

# 玻璃制品 及模具设计

杨裕国 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

# 玻璃制品及模具设计



ISBN 7-5025-4480-1



9 787502 544805 >

ISBN 7-5025-4480-1/TS·99 定价：50.00元



# 玻璃制品及模具设计

杨裕国 编著

化学工业出版社  
材料科学与工程出版中心  
·北京·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

玻璃制品及模具设计/杨裕国编著. —北京: 化学工业出版社, 2003. 8

ISBN 7-5025-4480-1

I. 玻… II. 杨… III. ①玻璃-产品②玻璃成型-模具-设计 IV. TQ171.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 042844 号

---

**玻璃制品及模具设计**

杨裕国 编著

责任编辑: 龚浏澄 窦 臻

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

\*

化学工业出版社 出版发行  
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23 $\frac{1}{4}$  字数 579 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4480-1/TS·99

定 价: 50.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 前 言

《玻璃制品及模具设计》一书将玻璃制品的造型、设计、工艺分析、计算方法、模具的结构设计和型腔设计,以及大量应用实例融会于一体,有较高的学术水平。

随着我国加入 WTO 组织,该专著的出版,对推动我国玻璃制品技术的发展和 innovation,增强我国玻璃制品的国际竞争力,无疑会产生较为积极的作用。

本书取材丰富,内容新颖,层次分明,理论联系实际。其特点是:在玻璃制品设计(包括造型)和模具设计过程中,以创新设计为主线,提倡运用数值模拟和计算辅助设计等现代方法,注意以实用为主,兼顾前瞻性与导向性,较全面地吸取和总结了玻璃制品制造业的前沿技术和我国众多研究成果的精华。

全书共分七章。第 1 章为玻璃制品及模具设计基础,它首先概述了玻璃的定义、共性、结构、化学组成、性质和类型等基本知识,其后主要介绍了玻璃的可加工性,玻璃制品成型制度和成型方法,玻璃模分类,玻璃制品成型过程和温度场的数值模拟。第 2 章介绍了玻璃制品的造型设计,讨论了玻璃制品的艺术造型和工业造型,玻璃制品造型设计的基本要点和时尚性,玻璃容器的设计原则、造型设计和设计程序。第 3 章介绍了玻璃制品设计,包括产品设计程序,容器分类和形状,制品和容器瓶口规格系列推荐,瓶容、瓶体积和瓶重设计与计算,结构工艺性设计,制品公差选择、变形考虑、颜色、化学组成和现代玻璃对玻璃原料的要求,制品强度设计、容器轻量化、冷成型和强化设计以及回收利用;本章的最后两节重点介绍了玻璃制品 CAD,快速原型技术与玻璃制品设计。第 4 章玻璃模设计,涵盖了设计内容、需要考虑的问题、特点和设计原则以及设计程序,并简要介绍了玻璃模类型与结构、模具与成型机;其次,讨论了吹制模和压制模设计;然后,详细介绍了制瓶机吹-吹法和压-吹法模具设计所涉及的瓶罐制品计算、夹钳与模具的配合、制瓶机初型模设计、制瓶机成形模设计、玻璃模温度与冷却以及排气设计,还就模腔的尺寸公差和技术要求,以及制瓶机模具与制品缺陷等作了扼要的说明,所叙述的内容力求从基本知识到设计方法,都遵循逐渐深入的过程,使本章具有一定的自学功能;最后,重点介绍了玻璃模具 CAD。第 5 章涉及了玻璃模材料与热处理方面的内容,根据符合模具材料的条件,介绍了国内外近代玻璃模常用材料和研究成果、材料的热处理,并根据玻璃模的特殊性,较详细地讨论了玻璃模材料热喷焊表面强化处理技术。第 6 章就玻璃模使用、维护及质量管理作了论述,并指出提高模具使用寿命是一项综合技术。最后一章介绍了国内外玻璃模设计实例,既有理论计算的实例,又有结构设计的实例。数十幅玻璃制品图、模具总装图和零件图等国内外较典型的图例可供读者参考,也值得一些工厂借鉴。

在本书的编写过程中,参阅了大量文献,从中获益匪浅,并得到了喻惠琴等人的鼎力相助。在此本人谨向所有参考文献的作者和对本书出版有所帮助的同仁,表示深切的谢意。

限于本人的水平,本书难免有错误和不妥之处,欢迎使用本书的读者批评指正。

杨裕国

2003 年 3 月

## 内 容 提 要

本书是一本论述玻璃制品及模具设计的著作。全书共分七章，系统介绍了玻璃制品及模具设计的基础知识，玻璃制品的造型，玻璃制品的设计，玻璃模具设计，玻璃模具材料与热处理，玻璃模具使用、维护及质量管理，玻璃模具设计实例等内容。

本书内容丰富，兼具理论性与实用性，可供从事玻璃制品及玻璃模具设计、制造的工程技术人员，以及轻化工程、包装工程、材料成型与控制工程等专业的本科生、研究生阅读参考。

# 目 录

<b>第 1 章 玻璃制品及模具设计基础</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 玻璃的定义 .....	1
1.1.2 玻璃的共性 .....	2
1.1.3 玻璃的结构 .....	2
1.1.4 玻璃的化学组成 .....	3
1.1.5 玻璃的性质 .....	4
1.1.6 玻璃制品的类型 .....	19
1.2 玻璃的可加工性 .....	26
1.2.1 黏度与成型 .....	27
1.2.2 表面张力与成型 .....	29
1.2.3 弹性与成型 .....	29
1.2.4 热性质与成型 .....	30
1.2.5 色泽与成型 .....	33
1.3 玻璃制品成型制度 .....	34
1.4 玻璃制品成型方法 .....	36
1.4.1 平板玻璃成型 .....	36
1.4.2 容器和电视以及技术玻璃 成型方法 .....	39
1.4.3 玻璃管和安瓿及玻璃管件成型 .....	44
1.4.4 玻璃细珠成型 .....	49
1.4.5 其他成型方法 .....	49
1.5 玻璃模分类 .....	56
1.5.1 按成型方法分 .....	56
1.5.2 按成型过程分 .....	56
1.5.3 按润滑方式分 .....	56
1.5.4 按结构类型分 .....	56
1.5.5 按成型机械分 .....	57
1.6 玻璃制品成型过程和温度场 数值模拟 .....	58
1.6.1 玻璃制品压制成型的数学模型 .....	58
1.6.2 玻璃压-吹法和压制法成型过 程的数值模拟 .....	61
1.6.3 玻璃模具的温度场控制方程及 基本假定 .....	66
1.6.4 有限差分法对玻璃模具温度场的 数值模拟 .....	67
1.6.5 有限元法对玻璃模具温度场的 数值模拟 .....	73
<b>第 2 章 玻璃制品的造型</b> .....	76
2.1 玻璃制品的造型设计 .....	76
2.1.1 艺术造型 .....	76
2.1.2 工业造型 .....	78
2.1.3 值得注意的问题 .....	79
2.2 玻璃制品造型设计的基本要点 .....	79
2.3 玻璃制品造型设计的时尚性 .....	80
2.3.1 单纯 .....	80
2.3.2 抽象 .....	81
2.3.3 流线型 .....	82
2.3.4 色彩和绘画 .....	83
2.4 玻璃容器的设计原则 .....	84
2.4.1 适用性 .....	84
2.4.2 便利性 .....	86
2.4.3 美的艺术品质 .....	86
2.4.4 科学创新性 .....	87
2.5 玻璃容器造型设计 .....	87
2.5.1 变化与统一 .....	88
2.5.2 对比与调和 .....	90
2.5.3 对称与平衡 .....	92
2.5.4 稳定与轻巧 .....	92
2.5.5 节奏感与韵律感 .....	92
2.5.6 比例与尺度 .....	93
2.5.7 呼应与过渡 .....	93
2.5.8 模拟与概括 .....	93
2.5.9 整体与局部 .....	95
2.6 玻璃容器造型的设计程序 .....	95
2.6.1 构思——概念设计 .....	95
2.6.2 深化造型设计 .....	96
2.6.3 制作模型 .....	96
2.6.4 最终效果图和模型 .....	97
<b>第 3 章 玻璃制品设计</b> .....	98
3.1 玻璃制品设计程序 .....	98
3.2 玻璃容器分类 .....	98
3.2.1 按用途分类 .....	98
3.2.2 按容器口径大小分类 .....	99
3.2.3 按瓶身形状分类 .....	101

3.3 玻璃容器形状 .....	102	3.19 玻璃制品的计算机辅助设计 .....	174
3.4 玻璃制品规格系列推荐 .....	103	3.19.1 基于 AutoCAD 的玻璃瓶型 CAD 系统 .....	175
3.4.1 饮料瓶 .....	105	3.19.2 瓶罐造型计算机辅助设计 系统简介 .....	179
3.4.2 食品瓶 .....	105	3.19.3 基于 ObjectARX 的玻璃瓶型 CAD 系统 .....	180
3.4.3 调味瓶 .....	106	3.19.4 基于面向对象的智能玻璃 瓶型设计 .....	180
3.4.4 化妆品瓶 .....	106	3.20 快速原型技术与玻璃制品设计 .....	183
3.4.5 医药保健品瓶 .....	106	<b>第 4 章 玻璃模设计</b> .....	184
3.4.6 玻璃管道、衬玻璃管及管件 .....	116	4.1 玻璃模类型与结构 .....	184
3.5 容器瓶口规格系列推荐 .....	123	4.1.1 吹制模 .....	184
3.5.1 冠形瓶口 .....	123	4.1.2 压制模 .....	184
3.5.2 螺纹瓶口 .....	124	4.1.3 制瓶机模 .....	186
3.5.3 塞形瓶口 .....	126	4.2 模具与成型机 .....	188
3.6 瓶容的设计与计算 .....	126	4.2.1 成型机性能和特点 .....	188
3.7 瓶体积设计与计算 .....	128	4.2.2 成型机类型 .....	189
3.8 瓶重设计与计算 .....	130	4.2.3 模具与成型机的关系 .....	201
3.9 结构工艺性设计 .....	130	4.3 吹制模与压制模设计 .....	203
3.9.1 形状与尺寸 .....	130	4.3.1 吹制模设计特点 .....	203
3.9.2 壁厚 .....	132	4.3.2 压制模设计特点 .....	204
3.9.3 孔的设计 .....	134	4.3.3 压制模结构设计 .....	205
3.9.4 螺旋 .....	136	4.3.4 压制成型缺陷与调整措施 .....	208
3.9.5 凸起和凹槽 .....	136	4.4 制瓶机模具设计 .....	209
3.9.6 拔模斜度 .....	137	4.4.1 设计内容 .....	209
3.10 制品公差选择 .....	138	4.4.2 玻璃模设计须考虑的问题 .....	209
3.10.1 瓶罐尺寸公差 .....	138	4.4.3 玻璃模设计程序 .....	210
3.10.2 瓶罐容积公差 .....	139	4.5 瓶罐制品计算 .....	211
3.10.3 瓶罐质量公差 .....	140	4.6 夹钳与模具的配合 .....	212
3.11 制品变形考虑 .....	141	4.6.1 夹钳选择 .....	212
3.12 玻璃制品的颜色 .....	142	4.6.2 夹钳位置与尺寸 .....	213
3.13 玻璃制品的化学组成 .....	143	4.6.3 模具零件的配合 .....	214
3.13.1 常见玻璃制品的化学组成 .....	143	4.7 制瓶机初型模设计 .....	215
3.13.2 化学组成设计 .....	152	4.7.1 过容量率和缩小量 .....	215
3.14 现代玻璃对玻璃原料的要求 .....	155	4.7.2 延伸量 .....	217
3.14.1 玻璃原料的成分控制 .....	155	4.7.3 锥型确定 .....	219
3.14.2 玻璃原料的粒度控制 .....	156	4.7.4 反转值 X 或 Y .....	225
3.14.3 玻璃原料的 COD 值控制 .....	156	4.7.5 口模 .....	226
3.15 制品强度设计 .....	157	4.7.6 闷头和漏斗选择 .....	231
3.15.1 玻璃瓶的强度指标 .....	157	4.7.7 初型模工作图 .....	235
3.15.2 结构强度分析 .....	160	4.7.8 有关配件选择 .....	237
3.15.3 瓶罐的形状与强度 .....	160	4.8 制瓶机成形模设计 .....	246
3.16 玻璃容器轻量化 .....	163	4.8.1 吹气头选择 .....	246
3.17 制品的冷成型和强化设计 .....	164		
3.17.1 冷成型 .....	164		
3.17.2 强化设计 .....	171		
3.18 玻璃制品的回收利用 .....	173		



4.8.2	冷却吹气头	248
4.8.3	模底	248
4.8.4	模腔设计原则	250
4.8.5	成形模工作图	251
4.8.6	瓶钳	255
4.9	玻璃模温度与冷却以及排气设计	255
4.9.1	模温对成型质量的影响	255
4.9.2	模具冷却方式	256
4.9.3	排气设计	260
4.10	模腔尺寸公差	261
4.11	模腔技术要求	261
4.12	制瓶机模具与制品缺陷	261
4.13	玻璃模具计算机辅助设计	263
4.13.1	初型模型腔 CAD	264
4.13.2	成形模型腔设计须考虑的问题	272
4.13.3	零部件设计	273
4.13.4	玻璃模具 CAD 系统的设计构思	273
4.13.5	参数化绘图概述	275
4.13.6	参数化绘图的步骤	275
4.13.7	模具 CAD 中的数据管理	279
4.13.8	玻璃压制模 CAD 系统实例	281
<b>第 5 章 玻璃模材料与热处理</b>		<b>283</b>
5.1	符合模具材料的条件	283
5.2	玻璃模材料类型	284
5.2.1	常用模具材料	284
5.2.2	研究成果	288
5.2.3	国外近代玻璃模具材料	294
5.3	材料热处理	297
5.4	激光合金化处理	297
5.5	玻璃模材料热喷焊表面强化处理	298
5.5.1	玻璃模具损坏的形式	298
5.5.2	热喷焊表面强化处理	298
5.5.3	国外玻璃模具的自熔性合金粉末	301
5.5.4	四种元素对 Ni-B-Si 粉末性能的影响	301
5.5.5	玻璃模具自熔性合金粉末喷焊	304
5.5.6	喷焊工艺、缺陷及其预防措施	305

<b>第 6 章 玻璃模使用、维护及质量管理</b>		<b>308</b>
<b>管理</b>		<b>308</b>
6.1	模具的安装	308
6.2	模具的润滑	308
6.3	模具的清洗和修理	310
6.3.1	模具的清洗	310
6.3.2	模具修理	311
6.4	提高模具使用寿命	312
6.5	质量管理	313
6.5.1	质量管理基本原则	313
6.5.2	质量管理体系的特点	313
6.5.3	关于质量标准及质量规格的规定	314
6.5.4	检验概况	314
6.5.5	索赔处理体制	318
<b>第 7 章 玻璃模具设计实例</b>		<b>319</b>
7.1	初型模设计	319
7.1.1	参数确定	319
7.1.2	设计校验	321
7.1.3	设计示例	323
7.2	成型模设计	326
7.2.1	瓶塞多工位压制模	326
7.2.2	圆柱形器皿压制模	327
7.2.3	显像管玻壳压制模	327
7.2.4	镜片压制模	328
7.3	玻璃制品及模具图例	329
7.3.1	烟缸平面和立体图	329
7.3.2	烟缸立体造型图	330
7.3.3	170ml 口杯图	330
7.3.4	170ml 口杯压制模	331
7.3.5	皇冠糖缸盖图	331
7.3.6	皇冠糖缸盖样件和模具零件图	331
7.3.7	皇冠糖缸模具零件图	337
7.3.8	风帆包装杯模具零件图	339
7.3.9	10021-1 盆模具零件图	341
7.3.10	咖啡瓶和蘑菇瓶图	342
7.3.11	咖啡瓶和蘑菇瓶的锥型设计效果图	343
7.3.12	三套制瓶机模具零件图	343
<b>参考文献</b>		<b>361</b>

# 第 1 章 玻璃制品及模具设计基础

## 1.1 概述

### 1.1.1 玻璃的定义

玻璃和玻璃制品的历史悠久,据考察,人们最早发现的玻璃是由火山喷发的酸性熔岩经凝结硬化而形成的,古埃及和美索不达亚是世界上最早生产玻璃的国家。大约在五千年前古埃及人就采用人工方法制作玻璃珠子,纪元前 1 世纪罗马人发明用铁管吹制玻璃的技术,中世纪的玻璃制造中心在威尼斯,此地生产的窗玻璃,玻璃瓶,玻璃镜及其他装饰性的玻璃器皿,几乎占据整个欧洲市场。玻璃制品的大量生产,获得普及是在产业革命之后,在原料、燃料得到充分供应的基础上,尤其是钢熔解槽炉的发明,从其中制造出高质量的大块平板玻璃,才使玻璃真正成为普及的工业和民用材料。我国在三千多年前的西周就发明了白色穿孔的玻璃珠子、玻璃壁和战国时期的彩色料珠、玻璃装饰剑柄,标志着我国古代的玻璃制造技术达到了较高的水平。化验证明,中国西周的古玻璃是与西方钠钙玻璃完全不同的铅钡系玻璃。汉代,玻璃制品由装饰品演进到礼品、器皿和殉葬品,盛行模仿玉器,并部分取代了玉器。隋、唐之后的玻璃出土实物很少。明、清时期山东淄博颜神镇继承了部分古代玻璃制作传统,流传至今的产品种类很多,颇受群众喜爱。清代在广州和北京宫廷中都建立有小型玻璃厂和作坊,专门为宫中制造御用品,曾生产透明和多达 15 种以上的单色不透明有色玻璃,还创制了“套料”(二色或三色套层)工艺,所造制品品种很多,雕刻花纹细腻精致,显示了清代较高的玻璃制品设计和成型工艺水平。

中国古代玻璃因属易熔的铅钡系玻璃,有质地松脆和不坚固等缺点,所以始终未能成批生产,仅限于较小的使用范围之内。尽管如此,中国古玻璃在各个时代都有不同的风格和艺术特色,受到国内外研究者的重视。

自五千年前,人们就知道将石英和适当的氧化物熔剂一起熔化,制造传统的硅酸盐玻璃。即使在今天,几乎所有的工业玻璃仍是以硅酸盐成分为基础的。历经若干世纪的发展,尤其是 20 世纪以来,玻璃的生产技术获得了极其迅速的发展,多数玻璃制品的成型已达到机械化、半自动化或自动化,玻璃的科学研究也达到了很高的水平,玻璃制品制造业已成为一个重要的工业领域。然而,关于玻璃的定义有多种说法,列举如下:

- ① 玻璃是过冷液体以固体状态而存在的物质;
- ② 玻璃是一种透明或半透明的无定形物质,其主要成分一般为硅酸盐,但有时是由硼酸盐或磷酸盐等混合物组成的;
- ③ 玻璃是熔融液体冷却时不析出结晶,逐渐硬化而形成的无机物质;
- ④ 玻璃是把加热到熔点以上的熔融液体适当地急冷,在不析晶的情况下硬化形成的具有各向同性的无定形物质。

到目前为止,公认的玻璃定义尚未形成,但根据已有的关于玻璃定义的各种说法,把玻璃理解为“熔体因受冷却,黏度逐渐增大而形成的非晶态固体物质”,还是比较适宜的。

### 1.1.2 玻璃的共性

(1) 没有固定的熔点 玻璃有一个从熔融状态到固体状态的连续变化的过程,即有一个从转变温度 ( $T_g$ ) 到软化温度 ( $T_f$ ) 的温度范围。在该温度范围中,发生熔体 $\leftrightarrow$ 固体的可逆性的转变,许多物理性能都发生连续且剧烈变化,该温度范围被称为玻璃的“转变区”或“反常”区。玻璃通过转变区和退火区的热历史,必然有其相应的结构状态,而且这一定的结构状态必然反映在它外部的性质。例如:密度、黏度和热膨胀性能等。

(2) 各向同性 玻璃通常是透明的,可以制作均质透光材料。当玻璃内部不存在应力或缺陷的情况下,光线在内部的散射很少,其力学、热学、电学等性能都是各向相同的。

(3) 没有晶界或粒界 可获得原子、分子级平滑表面,并具有良好的气密性。

(4) 性能可设计性 玻璃的膨胀系数、黏度、电导、电阻、介电损耗、离子扩散速度及化学稳定性等性能一般都遵循加和法则。可通过调整成分及提纯、掺杂、有机-无机改性、表面处理、混杂及微晶化等技术,获得所要求的高强、耐高温、半导体、激光、光电、磁光、声光、红外光学及非线性光学等性能。

(5) 无固定形态 可按作者的要求改变其形态。如可以制成粉体、薄膜、纤维、块体、空心腔体、微珠、多孔体和混杂复合材料等。

### 1.1.3 玻璃的结构

#### 1.1.3.1 玻璃的结构模型

玻璃的 X 射线谱图呈弥散的、宽幅的晕带,与晶体物质完全不同。其结构的最显著特征是局部原子具有类似于晶体的有序排列,而宏观上原子排列又类似于液体一样无序。即所谓“长程无序、短程有序”。

目前的结构测定技术还不能精确地测得玻璃和新型玻璃材料原子的三维排列状况,只能以模型的方式加以描述,最具代表性的是微晶(或晶子)模型和无规则网络模型。

(1) 微晶模型 氧化物玻璃大多数原子与其最邻近原子的相对位置和对应的晶体完全相同,这些原子组成一些非常微小(十几至数十埃)的晶粒,它们取向散乱、无规则,失去远程有序。微晶模型强调玻璃的有序性、不均匀性和不连续性,它反映了玻璃结构的一个重要的特性。尤其在发现微不均匀性是玻璃的普遍现象后,微晶模型得到了更为有力的支持。

(2) 无规则网络模型 氧化物玻璃最邻近原子间的键长、键角等基本上与对应的晶态相似,允许在一定范围内涨落,由于键的无规则排列而失去远程有序性。无规则网络模型宏观上强调了玻璃体中多面体相互间排列的连续性、均匀性和无序性方面。这可以说明玻璃的各向同性,以及玻璃性质随成分变化的连续性等基本特性。因此,这个模型获得较为广泛的应用,流传较广。

(3) 硬球无规则密堆模型 氧化物玻璃熔体为硬球均匀、连续、无规则地堆积体,模型中没有可以容纳另一个球体的空间。

近代玻璃结构的模型还有多面体无规则堆积模型、无规则线团结构模型、凝胶模型、五角形对称模型和高分子模型等。目前较流行的玻璃结构学说是无规则网络学说与晶子学说。随着对玻璃性质及其结构的深入研究,各方面都承认具有近程有序和远程无序是玻璃态物质结构的特点,但是对这两方面作用的估计,近程有序区域的大小和结构等仍有分歧。干福熹等人曾指出:“无序与有序、连续与不连续、均匀性与不均匀性是构成玻璃结构矛盾的两个

方面，它们同时存在于玻璃这统一体中，而且在一定条件下，其中一个方面可能起主导作用，而在外部性质上突出地反映出来，当条件改变时，它可能为另一方面所替代”。干福熹等人还强调了对一般玻璃的结构应以无序、连续以及均匀为主要方面，只有在一定条件下经过热处理后才显示出另一方面为主要特征。

### 1.1.3.2 影响玻璃结构的因素

玻璃可以近似地看成是原子或离子的一个聚合物，是在结构化学等规律制约的前提下根据离子的电价和大小等特性，使离子彼此间以一定方式组织起来，这就是玻璃的“结构”。玻璃的结构主要决定于内部条件，即由组成玻璃的原子集团及其相互之间的化学键特性所决定，外界条件的影响是次要的。

各种不同组成的玻璃，由原子或离子组成聚合物（又称原子集团）的具体结构也各不相同。类似于晶体的晶格结构，玻璃由各种原子集团构成结构网络，有三度空间的网络（骨架结构），也有二度空间和一度空间的结构网络（层状和链状结构）。各种原子集团是玻璃的基本结构单元，玻璃的结构单元形成诸如三角体（ $[\text{BO}_3]$ 、 $[\text{AsS}_3]$ 等）、四面体（ $[\text{SiO}_4]$ 、 $[\text{GeSe}_4]$ 等）、八面体（ $[\text{AlO}_6]$ 、 $[\text{SbTe}_6]$ 等）。有一些离子（如碱金属离子）孤立地在结构网络以外的空隙中。图 1-1 表示典型的硅酸钠（ $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ）玻璃结构的平面示意图。一般把引入玻璃的化合物分成三类：①能形成玻璃结构网络的称玻璃生成体化合物；②以孤立的原子（离子）处在玻璃结构网络以外的称玻璃网络外体；③根据具体的玻璃成分不同，可以进入网络也可能在网络以外的称中间体。

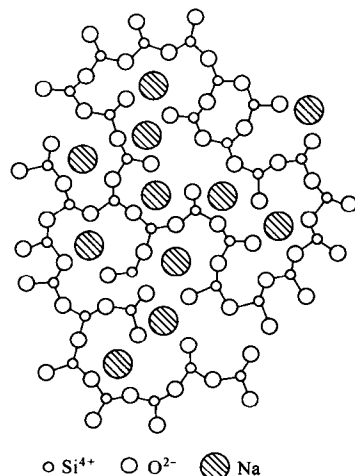


图 1-1  $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  玻璃结构的平面示意图

化学键是表示玻璃原子间的作用力，一般分为金属键、共价键、离子键、氢键及范德华键五种形式。但这五种键不是绝对的，例如共价键与离子键，共价键与金属键之间有过渡形式。它们的特性也对结构起着重要的影响。例如共价键与离子键的混合键，既具有离子键易改变键角，易形成无对称变形趋势，造成玻璃的长程无序，又具有共价键的方向性饱和性，不易改变键长和键角的倾向，赋予玻璃短程有序，而较易形成玻璃。

玻璃的结构也随外界条件如温度、压力等而变化，特别是熔体冷却过程中的热历史对玻璃结构有较大的影响，不仅影响到有序和无序区域的多少和大小，而且影响到有序区域的内部结构。同时，由于冷却的速度不同，玻璃结构达到平衡状态的程度也不同，因此玻璃结构还随时间而变化，当然，温度愈低，玻璃处于凝聚态的结构随时间的变化也就愈小。

### 1.1.4 玻璃的化学组成

传统的氧化物玻璃的组成最广，成分的变化范围也很大，通常是指以 $[\text{SiO}_4]$ 四面体为网络骨架的硅酸盐玻璃，即以二氧化硅为主要原料的玻璃。并发展了硼酸盐玻璃、硼硅酸盐玻璃、铝硅酸盐玻璃等。新型玻璃主要包括特殊的氧化物、卤化物和硫属化合物系统及非晶态材料等，这些新型非晶态材料一般都具有特殊的光学、磁学、电学（绝缘、半导体、超导等）、记忆、存储、功能转换、非线性光学特性，已成为现代非晶态材料的研究热点之一，详见表 1-1。

表 1-1 玻璃的化学组成

类 别	组 成
传统 氧化物 玻璃	硅酸盐 $\text{Li}_2\text{O} - \text{SiO}_2, \text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2, \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2, \text{MgO} - \text{SiO}_2, \text{CaO} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{BaO} - \text{SiO}_2, \text{PbO} - \text{SiO}_2, \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$
	硼酸盐 $\text{Li}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{MgO} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{CaO} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{PbO} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{ZnO} - \text{PbO} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3$
	磷酸盐 $\text{Li}_2\text{O} - \text{P}_2\text{O}_5, \text{Na}_2\text{O} - \text{P}_2\text{O}_5, \text{MgO} - \text{P}_2\text{O}_5, \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5, \text{BaO} - \text{P}_2\text{O}_5, \text{K}_2\text{O} - \text{BaO} - \text{P}_2\text{O}_5, \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5, \text{SiO}_2 - \text{P}_2\text{O}_5, \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5, \text{V}_2\text{O}_5 - \text{P}_2\text{O}_5, \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5, \text{WO}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$
	硼硅酸盐 $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$
	铝硅酸盐 $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2, \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$
	铝硼酸盐 $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3, \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3$
	铝硼硅酸盐 $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$
新 型 玻 璃	纯氧化物 $\text{SiO}_2, \text{B}_2\text{O}_3, \text{P}_2\text{O}_5, \text{GeO}_2, \text{As}_2\text{O}_3$
	锗酸盐 $\text{Li}_2\text{O} - \text{GeO}_2, \text{Na}_2\text{O} - \text{GeO}_2, \text{K}_2\text{O} - \text{GeO}_2, \text{B}_2\text{O}_3 - \text{GeO}_2, \text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$
	钨酸盐 $\text{Na}_2\text{O} - \text{WO}_3, \text{K}_2\text{O} - \text{WO}_3$
	钼酸盐 $\text{Na}_2\text{O}, \text{MoO}_3, \text{K}_2\text{O} - \text{MoO}_3, \text{Li}_2\text{O} - \text{MoO}_3$
	碲酸盐 $\text{Na}_2\text{O} - \text{TeO}$
	氟化物 $\text{BeF}_3, \text{NaF} - \text{BeF}_3, \text{ZrF}_4 - \text{BeF}_2 - \text{ThF}_4, \text{GdF}_3 - \text{BaF}_2 - \text{ZrF}_4$
	氟磷酸盐 $\text{Al}(\text{PO}_3)_3 - \text{AlF}_3 - \text{NaF} - \text{CaF}_2$
	硫系玻璃 $\text{S}, \text{Se}, (\text{Te}), \text{As} - \text{S}, \text{As} - \text{Se}, \text{As} - \text{Te}, \text{Ge} - \text{S}, \text{Ge} - \text{Se}, \text{Ge} - \text{Te}, \text{As} - \text{S} - \text{Se}, \text{As} - \text{S} - \text{Te}, \text{As} - \text{Se} - \text{Te}, \text{As} - \text{Si} - \text{Se}, \text{As} - \text{Si} - \text{Te}, \text{As} - \text{Ge} - \text{Te}, \text{As} - \text{Si} - \text{Ge}, \text{Li}_2\text{S} - \text{CdS} - \text{GeS}, \text{As}_2\text{S}_3 - \text{Sb}_2\text{O}_3, \text{As}_2\text{O}_3 - \text{CuO}, \text{Na}_2\text{S} - \text{GeO}_2, \text{Na}_2\text{S} - \text{B}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{S} - \text{SiO}_2$

### 1.1.5 玻璃的性质

大量的实验工作获得了可以根据成分计算性质的数据，证明了对于玻璃几个重要性质与整个组成范围的加和公式是可行的。

传统的模型几乎都假设性质是组成的简单线性函数，见公式 (1-1) 与公式 (1-2)：

$$x = \sum a_i c_i \quad (1-1)$$

或

$$x = a_0 + \sum a_i c_i \quad (1-2)$$

这些被广泛采用的模型所适用的性能包括热膨胀系数、室温密度、折射率、弹性模量、泊松比、介电常数、表面张力、比热容和热导率。式中  $x$  是性质值， $a_i$  为每种成分的系数 (Appen 因子，见表 1-2)， $c_i$  为每种成分的浓度。浓度常用质量比表示，一般来说，摩尔百分比可能更好，尤其是玻璃成分是由不同摩尔质量的氧化物组成时。但因为是线性近似，准确度不总会因换算成摩尔百分比而得到改进。因为  $m$  个组合仅有  $(m-1)$  个自由度，有时组成由其他成分与二氧化硅含量的比值表示，这时必须使用式 (1-2)，系数  $a_0$  代表二氧化硅的理论值，若回归线与数据靠得很近，就没有必要使用系数  $(m-1)$ 。有时当拟合曲线可接受但也不是很好时，使用系数  $m$  使拟合曲线上增加一个自由度，可得到较好的结果。

可以相信，准确处理组成-性质之间的关系 (模型)，将会随着计算机硬件和软件的发展，使得组成-性质关系模型和分析方法更为科学和更为成熟。

表 1-2 计算多组分玻璃密度、折射率、热膨胀系数、杨氏模量和表面张力的 Appen 因子

性质	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	折射率	热膨胀系数/(10 <sup>-8</sup> K <sup>-1</sup> )	杨氏模量/GPa	表面张力/(mN·m <sup>-1</sup> )
Li <sub>2</sub> O	11.0	1.695	27.0	0.8	450
Na <sub>2</sub> O	20.2	1.590	39.5	0.595	295
K <sub>2</sub> O	34.1	1.575	46.5	0.41	*
MgO	12.5	1.610	6.0	0.92	520
CaO	14.4	1.730	13.0	1.115	510
ZnO	14.5	1.710	5.0	0.60	450
SrO	18.0	1.770	16.0	0.965	490
BaO	22.0	1.880	20	0.625	470
PbO	20.0~23.6	2.5~2.35	13.0~19.0	0.43	*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.4	1.520	-3.0	1.14	580
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.4~34.0	1.47~1.710	-5.0~0.0	0.1~1.8	*
SiO <sub>2</sub>	26.1~27.25	1.458~1.475	0.5~3.8	0.65~0.71	290

注：1. 资料来源：Appen (1949, 1954, 1956), Appen 等 (1961), Appen 因子为第 I 项的系数  $a_i$ 。

2. 各个因子的计算

密度(g·cm<sup>-3</sup>):

SiO<sub>2</sub>  $c(\text{SiO}_2) < 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 26.1$ ;  $c(\text{SiO}_2) > 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 23.75 + 0.035 c(\text{SiO}_2)$ 。

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 计算  $\phi = [\sum c(\text{R}_2\text{O}) + \sum c(\text{RO}) - c(\text{Al}_2\text{O}_3)] / c(\text{B}_2\text{O}_3)$ , 然后根据以下情况选择  $a(\text{B}_2\text{O}_3)$ 。

$c(\text{SiO}_2)$  为 44~64 时,  $0.33 < \phi < 1$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 24.7 + 3.1/\phi$ ;  $1 < \phi < 4$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 30.8 - 3.1/\phi$ ;

$\phi > 4$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 18.5$ 。

$c(\text{SiO}_2)$  为 71~80 时,  $0.333 < \phi < 0.5$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 24.7 + 3.1/\phi$ ;  $0.5 < \phi < 1$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 15.4 + 7.8/\phi$ ;

$1 < \phi < 1.6$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 31.0 - 7.8/\phi$ ;  $\phi > 1.6$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 18.5$ 。

PbO 计算  $\gamma = c(\text{SiO}_2) + c(\text{B}_2\text{O}_3) + c(\text{Al}_2\text{O}_3)$  然后按以下情况计算。50 <  $\gamma$  < 80,  $a(\text{PbO}) = 14.0 + 0.12\gamma$ ;  $\gamma > 80$ ,  $a(\text{PbO}) = 23.6$ 。

折射率:

SiO<sub>2</sub>  $c(\text{SiO}_2) < 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 1.475$ ,  $c(\text{SiO}_2) > 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 1.5085 + 0.0005c(\text{SiO}_2)$ 。

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 按上述“密度”的方法计算  $\phi$ , 然后按下面选择。

$c(\text{SiO}_2)$  为 44~64 时,  $\phi < 0.333$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.470$ ;  $0.333 < \phi < 1$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.616 - 0.048/\phi$ ;

$1 < \phi < 4$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.518 + 0.048/\phi$ ;  $\phi > 4$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.710$ 。

$c(\text{SiO}_2)$  为 71~80 时,  $\phi < 0.333$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.470$ ;  $0.333 < \phi < 0.5$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.760 - 0.12/\phi$ ;

$1 < \phi < 1.6$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.518 + 0.12/\phi$ ;  $\phi > 1.6$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1.710$ 。

PbO 按上述“密度”的方法计算  $\gamma$ , 然后按下面选择。50 <  $\gamma$  < 80,  $a(\text{PbO}) = 2.685 - 0.0067\gamma$ ;  $\gamma > 80$ ,  $a(\text{PbO}) = 2.350$ 。

热膨胀系数 20~400℃ (10<sup>-8</sup>K<sup>-1</sup>):

SiO<sub>2</sub>  $c(\text{SiO}_2) < 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 3.8$ ,  $c(\text{SiO}_2) > 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 10.5 - 0.1 c(\text{SiO}_2)$ 。

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $\phi = \{c(\text{Na}_2\text{O}) + c(\text{K}_2\text{O}) + c(\text{BaO}) - c(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0.7[c(\text{CaO}) + c(\text{SrO}) + c(\text{PbO})] + 0.3[c(\text{Li}_2\text{O}) + c(\text{MgO}) + c(\text{ZnO})]\} / c(\text{B}_2\text{O}_3)$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = -1.25\phi$ ; 但  $\phi > 4$  时,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = -5.0$ 。

PbO 对于①无碱玻璃②含碱铅硅酸盐玻璃,  $\sum c(\text{R}_2\text{O}) < 3$ , 及③其他玻璃  $[\sum c(\text{RO}) + \sum c(\text{R}_m\text{O}_n)] / \sum c(\text{R}_2\text{O}) < 3$  时,  $a(\text{PbO}) = 13$ ; 其他玻璃不满足①②③时,  $a(\text{PbO}) = 11.5 + 0.5 \sum c(\text{R}_2\text{O})$ 。

杨氏模量(kbar):

SiO<sub>2</sub>  $c(\text{SiO}_2) < 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 6.5$ ,  $c(\text{SiO}_2) > 67$ ,  $a(\text{SiO}_2) = 5.3 + 0.018 c(\text{SiO}_2)$ 。

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $\phi < 1$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 1 + 14\phi$ ;  $1 < \phi < 2$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 12 + 3\phi$ ;  $\phi > 2$ ,  $a(\text{B}_2\text{O}_3) = 18$ 。

表面张力(1300℃)(mN·m<sup>-1</sup>):

\* 不同玻璃熔体中有不同的影响, 甚至因子的正负号都会发生变化。

3. 公式 (1-1) 中  $c_i$  的单位是 mol%。

1.1.5.1 性质与成分和结构间的关系

当外来因素如热、机械力、化学介质、光和电等作用于玻璃时, 玻璃就会做出一定的反应, 这种反应就是玻璃的性质。玻璃通常是以整个结构对外来因素做出反应。

玻璃外部属性是内部结构的反映, 玻璃的任何一种物理及物理化学性质均决定于化学成分和内部结构状态。由于玻璃成分及其物理和物理化学性质的多样性, 对每一种玻璃系统的

每一种性质来说，都有其特殊的取决于成分和结构的变化规律。

在玻璃性质和成分、结构间还存在着某些一般的规律性。根据这些共同属性，可以把常见的玻璃性质分为以下两大类。

① 第一类性质，玻璃性质和玻璃成分间不是简单的加和关系，而可以用离子迁移过程中克服势垒的能量来标志这些性质。如玻璃的黏度、电导、介电损失、离子扩散速度、化学稳定性等，从高温熔体冷却过程中，这类性质逐渐变化，如图 1-2(a)所示。在转变温度以下这类性质主要决定于玻璃结构网络的弛豫过程和网络外离子的迁移性，因此对温度和其他外界条件比较敏感，在玻璃成分和性质之间缺乏简单的加和关系。② 第二类性质，玻璃性质和玻璃成分间的关系比较简单，一般可以根据玻璃成分和某些特定的加和法则进行推算。如玻璃的密度、折射率、分子体积、色散、弹性模量、剪切模量、硬度、介电常数以及热膨胀系数等，当玻璃从熔融状态冷却时，在转变区有突变，见图 1-2(b)。在转变温度以下，这类性质与温度成直线关系，而且受外界的影响较小，主要决定于玻璃网络结构和网络外离子的配位状态的统计规则。

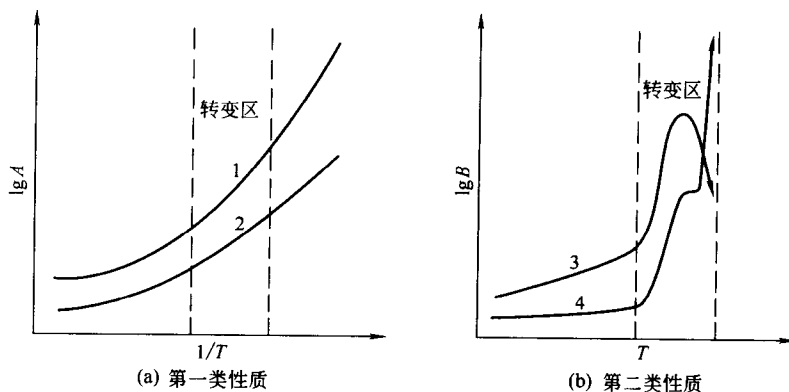


图 1-2 玻璃的几种性质随温度的变化

1— $\rho$  体积(电阻率); 2— $\eta$ (黏度); 3— $n, V_m$ (折射率、分子体积); 4— $E, G$ (弹性及剪切模量)

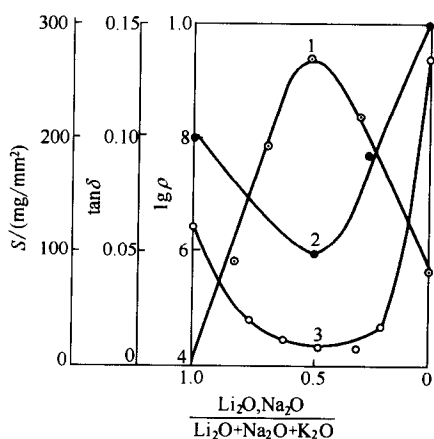


图 1-3  $R_2O-SiO_2$  系统玻璃性质变化

1— $lg\rho$   $(40-x)K_2O \cdot xLi_2O \cdot 60SiO_2$ ;  
 2— $\tan\delta$   $(25-x)K_2O \cdot xNa_2O \cdot 100SiO_2$ ;  
 3— $S/(mg/mm^2)$   $(14-x)K_2O \cdot xNa_2O \cdot 9PbO \cdot 77SiO_2$

上述不同的两类性质也可以从以下性质变化过程中表现出来。在简单硅酸盐玻璃系统 ( $R_2O-SiO_2$ ) 中，当一种碱金属氧化物被另一种所替代时，第二类性质差不多是按直线变化的，而第一类性质的变化则完全不同，在“成分-性质”图中呈现极大或极小值，如图 1-3 所示。这种现象一般称中和效应，在第一类性质中反映非常明显。例如，同时含两种碱金属氧化物的玻璃的电阻率可以比只含一种碱金属氧化物的玻璃的电阻率大几千倍。而玻璃的介电损失率 ( $\tan\delta$ ) 和化学稳定性 ( $S$ ) 则数值减小，性质改善。

在变化比较复杂的第一类性质中，也可以找某些共同的特点，可以用迁移过程中克服势垒的能量来标志这些性质，如黏程活化能、扩散活化能、导电离子的激活能等。这些势垒能量间有一致的规律，可以找到化合物在熔点附近的黏度、黏程活化

能与电导率、电导激活能之间的一致关系。

在常温下玻璃的第二类性质大致上可以看成各阴离子集团和网络外离子性质的总和，例如，玻璃密度 ( $d$ ) 决定于离子半径的大小与其堆积的紧密度，折射率决定于密度及离子极化率，热膨胀系数 ( $\alpha$ ) 决定于阴阳离子间的吸引力等。这类性质变化规律可以从各元素或离子在周期表上的位置来判断。在结构化学的基础上，玻璃成分和性质间可以找出联系。所以在室温下这类性质可以根据玻璃成分和某些特定的加和法则进行推算。

玻璃结构上的分相对性质也有影响。对于上述的第一类性质如黏度、导电率、化学稳定性等，玻璃分相的影响是敏感的，这些性质的变化决定于高黏度、高电导和易溶解的分相区域的结构。如图 1-4 所示，沟通状的分相区对黏程激活能  $E_\eta$  和  $\lg\rho$  (电阻率) 有显著变化，而形成封闭的滴状的分相区对性质的影响要小。玻璃分相对另一类性质，如折射率、密度、热膨胀系数和弹性模量等是不敏感的，如图 1-4 所示，在变化曲线上只形成不明显的折曲点，它们的性质变化取决于各分相区域的体积分数，仍符合加和原则。

玻璃的光吸收性能是另外一类性质。它主要是由于电子在离子内部不同轨道间的跃迁 (在可见光区引起吸收)，在不同离子间的电荷迁移 (引起紫外吸收)，以及原子或原子组团的振动 (引起红外吸收) 的结果，吸收波长的位置受配位体中阳离子的电子层结构、价态原子量的大小及其周围配位体等的影响。

### 1.1.5.2 玻璃的黏度

在重力、机械力和热应力等的作用下，玻璃液中的结构组元 (离子或离子组团) 相互间发生流动，这种流动形态是黏滞流动。黏滞流动用黏度来衡量。

黏度是表征玻璃熔体和内摩擦力，由熔体的结构本质决定的。黏度大小是熔体内部结构的外在表现。一般地说，聚合程度较高的熔体往往有较高的黏度，黏度越大，熔体的流动性就较差，反之，亦然。

黏度的单位为  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

玻璃没有固定的熔点，其黏度和温度的关系与晶体结构有明显的差别，这一特性使得黏度在玻璃制品生产过程中有着重要作用，它决定了玻璃生产全过程中各个特性阶段的温度：澄清相应的黏度为  $10\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；成型相应的黏度为  $10 \sim 10^6\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；热处理及其他相应的黏度  $10^3 \sim 10^{14}\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。影响玻璃黏度的主要因素是温度和化学组成，在转变区，还与时间有关。

(1) 玻璃黏度与温度的关系 玻璃的黏度随温度降低而增大，从玻璃液到固态玻璃的转变，黏度是连续变化的。

硅酸盐玻璃在  $10\text{Pa} \cdot \text{s}$  (或更低) 至约  $10^{11}\text{Pa} \cdot \text{s}$  的黏度范围内，玻璃的黏度由温度和化学组成决定，而从  $10^{11}\text{Pa} \cdot \text{s}$  至  $10^{14}\text{Pa} \cdot \text{s}$  (或更高) 的范围内，黏度又是时间的函

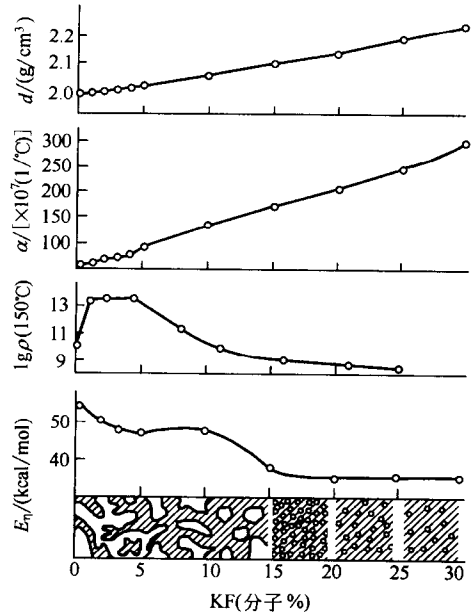


图 1-4 KF-BeF<sub>2</sub> 系统玻璃的分相和性质变化  
注: 1kcal/mol = 4.186kJ/mol



数。图 1-5 为  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$  玻璃的弹性模量、黏度与温度的关系曲线。在温度较高的

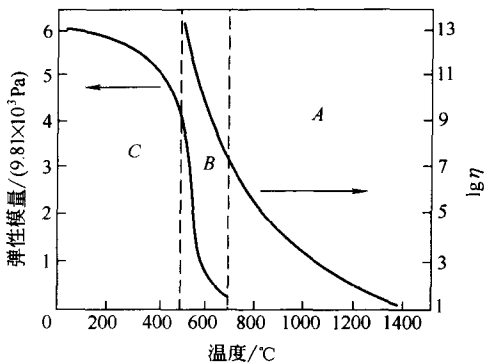


图 1-5  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$  玻璃  
弹性模量、黏度与温度的关系

A 区，玻璃表现为典型的黏性液体，它的弹性性质近于消失，黏度仅决定于玻璃的组成和温度；在 B 区（一般叫转变区），黏度随温度下降而迅速增大，弹性模量也迅速增大，此时，黏度除决定于组成和温度外，还与时间有关；在 C 区，由于温度继续下降，弹性模量进一步增大、黏滞流动变得非常小，这时，玻璃的黏度只仅决定于组成和温度而与时间无关。

黏度随温度变化的快慢是一个很重要的玻璃生产指标，常称其为玻璃的料性，黏度随温度变化快的玻璃称为短性玻璃，反之称为长性玻璃。

(2) 玻璃黏度与成分关系 常见氧化物对玻璃黏度的作用大致归纳如下：

①  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}$  等能提高玻璃黏度；

② 碱金属氧化物  $\text{R}_2\text{O}$  降低玻璃黏度；

③ 碱土金属氧化物对玻璃黏度的作用较为复杂，一般来说，碱土金属引起黏度增加的能力排序为  $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ba}^{2+}$ ，其中  $\text{CaO}$  低温时增加黏度；高温时，质量分数小于 10%~12% 时降低黏度；质量分数大于 10%~12% 时增加黏度；

④  $\text{PbO}$ 、 $\text{CdO}$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}$  等降低玻璃黏度；

⑤  $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$  等都有增加低温黏度，降低高温黏度的作用。

(3) 玻璃黏度参考点 玻璃没有固定的熔点，其黏度和温度的关系与晶体有明显的差别，玻璃熔体在高温时，黏度变化不大；随着温度的逐渐降低，黏度缓慢地增大，到低温时黏度才迅速增大。玻璃黏度-温度这一特性，对玻璃的熔制、成型都有密切关系，掌握黏度的变化规律极为重要，有利于提高玻璃制品的质量和产量。

玻璃生产常用的黏度参考点如下。

① 应变点：应力能在几小时内消除的温度，大致相当于黏度为  $10^{13.6} \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度；

② 转变点：在该温度下，玻璃可在短时间内消除应力，折射率、比热、密度、导电率、热膨胀系数等均发生突然的变化，同时玻璃的结构也发生一定程度的改变。低于该温度时玻璃处于脆性状态。高于该温度，玻璃就进入黏滞状态。转变点相当于黏度为  $10^{12} \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度，通常用  $T_g$  表示；

③ 退火点：应力能在几分钟内消除的温度，大致相当于黏度为  $10^{12} \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度；

④ 变形点：相当于黏度为  $10^{10} \sim 10^{11} \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度范围；

⑤ 软化温度：它与玻璃的密度和表面张力有关，相当于黏度为  $(3 \sim 15) \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s}$  之间的温度，通常用  $T_f$  表示；

⑥ 操作范围：相当于成型时玻璃表面的温度范围。 $T_{\text{上限}}$  指准备成型操作的温度，相当于黏度  $10^2 \sim 10^3 \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度； $T_{\text{下限}}$  相当于成型时能保持制品形状的温度，相当于黏度大于  $10^5 \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度。操作范围的黏度一般为  $10^3 \sim 10^{6.6} \text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

⑦ 熔化温度：相当于黏度为  $10 \text{Pa} \cdot \text{s}$  的温度，在此温度下玻璃能以一般要求的速度熔化；

⑧ 自动供料机供料的黏度： $10^{2.2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ；

⑨ 人工挑料黏度： $10^{2.2} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ；

⑩ 挑料入衬碳模的黏度： $10^{3.5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ；

⑪ 衬碳模脱模的黏度： $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

### 1.1.5.3 玻璃的表面张力和密度

(1) 玻璃的表面张力 玻璃表面张力指玻璃与另一相接触的相分界面上（一般指空气），在恒温、恒容下增加一个单位表面时所做的功，单位为  $\text{N/m}$  或  $\text{J/m}^2$ 。硅酸盐玻璃的表面张力为  $(220 \sim 380) \times 10^{-3} \text{ N/m}$ 。玻璃的表面张力在玻璃的成型过程中起着重要的作用，详细说明参见“1.2.2 表面张力与成型”内容。

各种氧化物对玻璃的表面张力有不同的影响，如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{La}_2\text{O}_3$ ， $\text{CaO}$ ， $\text{MgO}$  能提高表面张力。 $\text{K}_2\text{O}$ ， $\text{PbO}$ ， $\text{B}_2\text{O}_3$ ， $\text{Sb}_2\text{O}_3$  等如加入量较大，则能大大降低表面张力。同时， $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ， $\text{V}_2\text{O}_5$ ， $\text{Mo}_2\text{O}_3$ ， $\text{WO}_3$  等，当用量不多时也能降低表面张力。

表面张力随温度的升高而降低，二者几乎成直线关系。实际上可以认为，当温度提高  $100^\circ\text{C}$  时表面张力减少 1%，然而在表面活性组分及一些游离的氧化物存在的情况下，表面张力能随温度升高而稍有增加。此外，表面张力也会受到大气中水蒸气分压的影响而有所变化。

(2) 玻璃的密度 玻璃密度是一个很敏感的物理特性，主要取决于构成玻璃的原子质量，也与原广堆积紧密程度以及配位数有关，是表征玻璃结构的一个重要标志。其成分上的微小变化就会立即从密度值上反映出来，因而不少工厂就用测定密度来分析成分和控制工艺变化。

密度测定的精度一般可达  $0.0002 \text{ g/cm}^3$ ，即当玻璃中  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  及  $\text{CaO}$  等氧化物有下列波动时，其密度值均可得到反映： $\text{Na}_2\text{O}\% \pm 0.05\%$ 、 $\text{CaO}\% \pm 0.03\%$ 、 $\text{SiO}_2\% \pm 0.1\%$ 。故可以从密度测定值来分析玻璃组成的波动。表 1-3 为  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  玻璃中部分单一氧化物的变化对密度的影响。

表 1-3 在  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  系统中部分单一氧化物的变化对密度的影响

氧化物	改变趋势	密度变化值 $\Delta\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$ (相当于氧化物变化 0.1 质量分数)	氧化物变化量/ $\%$ (相当于 $\Delta\rho$ 变化 0.0005 质量分数)
$\text{SiO}_2$	增加	-0.00024	0.21
$\text{CaO}$	增加	+0.00106	0.05
$\text{MgO}$	增加	+0.0050	0.10
$\text{BaO}$	增加	+0.0017	0.03
$\text{Al}_2\text{O}_3$	增加	+0.00018	0.18
$\text{Na}_2\text{O}$	增加	+0.00050	0.10
$\text{CaO} \rightarrow \text{SiO}_2$	取代	-0.0013	0.04
$\text{Na}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2$	取代	-0.00050	0.07
$\text{CaO} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$	取代	-0.00060	0.09
$\text{PbO}$	增加	+0.0022	0.025

由表 1-3 可知，氧化物的少量变化均会引起玻璃密度值的波动，因而可作为技术人员分析玻璃组成波动的参考依据。

密度的单位  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。在各种实用玻璃中密度变化的差别是较大的，例如：

玻璃类别	密度/ $(\text{g}/\text{cm}^3)$	玻璃类别	密度/ $(\text{g}/\text{cm}^3)$
石英玻璃	2.20	显像管玻璃	2.68
硼硅酸盐玻璃	2.23	重铅玻璃	3.20
瓶罐玻璃	2.26	彩色显像管管颈玻璃	3.05
平板玻璃	2.50	防辐射玻璃	6.22

玻璃的密度随温度升高而下降。一般工业玻璃，当温度由  $20^\circ\text{C}$  升高到  $1300^\circ\text{C}$  时，密度下降约为  $6\% \sim 12\%$ ，在弹性形变范围内，密度的下降与玻璃的热膨胀系数有关。

玻璃的热历史是指玻璃从高温冷却，通过  $T_i \sim T_g$  区域时的经历，包括在该区域停留时间和冷却速度等具体情况在内。热历史对玻璃密度影响为：

- ① 玻璃从高温状态冷却时，淬冷玻璃比退火玻璃的密度小；
- ② 在一定退火温度下保温一定时间后，玻璃密度趋向平衡；
- ③ 冷却速度越快，偏离平衡密度越高，其  $T_g$  温度也越高。

#### 1.1.5.4 玻璃的力学性能

(1) 玻璃的机械强度 一般用抗压强度、抗折强度和抗张强度等指标表示玻璃的机械强度。玻璃的抗压强度一般在  $4.9 \sim 1.96\text{GPa}$  之间，抗折强度由于实际玻璃的脆性和玻璃中存在有微裂纹及不均匀所致，只有  $6.86\text{MPa}$ ，抗张强度一般在  $34.3 \sim 83.3\text{MPa}$  之间。玻璃是一种脆性材料，受到应力作用时不会产生流动，表面上的微裂纹便急剧扩展，并且应力集中，以致破裂，为造成玻璃的实际强度低的主要原因。

影响玻璃机械强度的主要因素有以下几种。

① 化学组成 各组成氧化物对玻璃抗张强度提高作用的顺序是： $\text{CaO} > \text{B}_2\text{O}_3 > \text{BaO} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{PbO} > \text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > (\text{MgO}, \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 。

各组成氧化物对玻璃抗压强度提高作用的顺序是： $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{SiO}_2, \text{MgO}, \text{ZnO}) > \text{B}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > (\text{B}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{PbO})$ 。

由于玻璃强度主要受外界环境和本身表面状态的影响，因而组成对强度影响不是主要因素。

② 玻璃中的缺陷 宏观缺陷如固态夹杂物、气态夹杂物、化学不均匀等，由于其化学组成与主体玻璃不一致而造成内应力。同时，一些微观缺陷如点缺陷、局部析晶等在宏观缺陷地方集中，导致玻璃产生微裂纹，严重影响玻璃的强度。

③ 温度 实验证明玻璃在高温与低温条件下，对强度的影响是不同的。在温度  $-273^\circ\text{C}$  附近到  $0^\circ\text{C}$  间，强度随温度的上升而下降。此时由于温度的升高，裂纹末端部分分子的热运动加剧，积聚的能量促使部分硅氧键  $\text{Si}-\text{O}$  断裂，因而强度下降；当玻璃温度高于  $200^\circ\text{C}$  时，强度会显著提高，这是由于玻璃产生了塑性变形。图 1-6 所示为玻璃强度与温度的关系。由图可见，在  $-200 \sim 200^\circ\text{C}$  间强度随着温度的增加而下降，而在  $200 \sim 500^\circ\text{C}$  范围内，强度随温度的增加而增加，强度的最低点在  $200^\circ\text{C}$  附近。

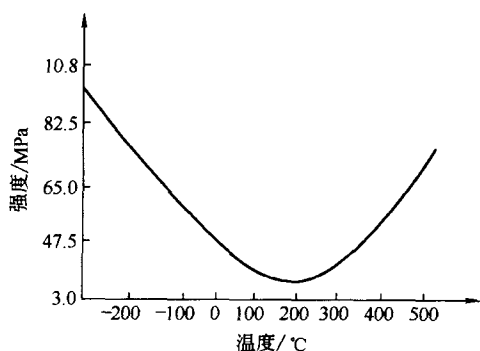


图 1-6 玻璃强度与温度的关系

④ 玻璃中的应力 玻璃中的残余应力，特别是分布不均匀的残余应力，使强度大为降

低。然而，玻璃进行钢化后，表面存在压应力，内部存在张应力，而且是有规则的均匀分布，玻璃强度得以提高。

⑤ 活性介质 活性介质如水、酸、碱及某些盐类等对玻璃表面有两个破坏作用：第一个破坏作用是会渗透到裂纹中去，使裂纹扩展；第二个破坏作用是与玻璃起化学作用，使结构破坏，硅氧键 Si—O 发生水解。此时即使加负载的速度很慢，活性介质也会渗透到裂纹中去，加速裂纹的扩展，造成强度下降。

⑥ 负载时间与负载性质 静负载与动负载即使在大小的方向均一致的情况下，它们对玻璃强度的影响是不同的，这是因为玻璃是脆性材料，其抗张强度和抗冲击强度都远远低于抗压强度。

冲击时产生的集中应力对脆性材料是非常危险的。当负载小于临界负载时，玻璃的破坏时间随负载的减小而增加，强度也随之而降低，这就是玻璃的疲劳。

玻璃的静疲劳表现出长时间承受一恒定张力负载下突然发生破裂。如受压容器（如饮料瓶，显像管等）都会因疲劳而产生自爆。

玻璃容器静疲劳的计算公式如下：

$$\lg T = a + b \lg P \quad (1-3)$$

式中  $T$ ——玻璃容器破坏时间，min；

$P$ ——玻璃容器所承受的压力，Pa；

$a$ 、 $b$ ——有关常数。

将上式化简后可得：

$$T_1/T_2 = (P_2/P_1)^b \quad (1-4)$$

式中  $T_1$ ——测试时间；

$T_2$ ——估算使用时间；

$b$ ——有关常数（对显像管可取 14）。

例如，当显像管玻壳在 0.355MPa 压力下保压 5min 不破损，则可根据上式估算出该显像管玻壳的静疲劳使用寿命为 393 年。

## (2) 玻璃的硬度和脆性

① 玻璃的硬度 硬度可以理解为固体材料玻璃抵抗另一种固体材料深入其内部的能力。

玻璃的硬度变化除服从离子晶体硬度的变化与晶格能有关的一般规律外，还有它自己的特殊规律。网络生成体离子使玻璃具高硬度，而网络外离子则使玻璃硬度降低。对于类型相同的玻璃来说，其硬度随网络外离子半径的减小和电价的上升而增加。当然随成分的不同，在硬度这一性质上也有“反常”和特异的规律。一般玻璃硬度在莫氏硬度 5~7 之间。硬度大小主要受  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{PbO}$  等成分的影响，玻璃组成中加入  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{PbO}$  等氧化物时都会显著地降低玻璃的硬度，因而凡碱性氧化物含量高的玻璃硬度就较低，高铅硅酸盐玻璃的硬度更低。当引入  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$  等都会显著地提高玻璃的硬度。各种组分对玻璃硬度提高的作用大致为：



② 玻璃的脆性 玻璃的脆性是指当负载超过玻璃的极限强度时立即破裂的特性。玻璃没有屈服延伸阶段，在受到冲击时，玻璃内部的质点来不及做出适应性的流动，就相互分裂。这种松弛速度低是玻璃脆性的重要原因，而玻璃的脆性通常用它被破坏时所受到的冲击强度来表示。冲击强度的测定值与试样厚度与样品的热历史有关。脆性与玻璃组成、热处理

程度等因素有关。提高玻璃强度是改善玻璃脆性的最好途径，此外在玻璃组成中适量引入离子半径小的氧化物如  $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{BaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$  等都可以改善其脆性。

#### 1.1.5.5 玻璃的热学性能

(1) 热膨胀系数 玻璃的热膨胀系数对其成型、退火、加工和封接等都有密切关系。玻璃的热膨胀系数愈小，其热稳定性就愈高，玻璃的强度也提高。通常在热膨胀系数降低时，玻璃的熔融黏度就增加，此时就必须提高成型温度、退火温度和热加工温度等，反之，就可以降低这一系列的温度。

当两种不同组成的玻璃需焊接在一起时，就要求这两种玻璃具有相近的热膨胀系数。热(线)膨胀系数的单位是  $1/^\circ\text{C}$ ，其计算公式为：

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1(T_2 - T_1)} = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \quad (1-5)$$

式中  $\alpha$  ——玻璃的线膨胀系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

$L_1$  ——加热前玻璃的长度，mm；

$L_2$  ——加热后玻璃的长度，mm；

$T_1$  ——加热前的温度， $^\circ\text{C}$ ；

$T_2$  ——加热后的温度， $^\circ\text{C}$ 。

玻璃的热膨胀系数一般在  $5.8 \times 10^{-7} \sim 150 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  之间。玻璃的体膨胀 3 倍于线膨胀，但因测试困难，加之数值变化不大，故习惯上应用线膨胀系数  $\alpha$  作为玻璃膨胀系数的特征。

影响膨胀系数的因素如下。

① 组成 玻璃的组成是影响热膨胀系数的主要因素。在常温和较高温度时，物质原子间、分子间结构单元间均在平衡位置附近振动产生线膨胀，而当玻璃中加入  $\text{R}_2\text{O}$  和  $\text{RO}$  后会使体积增加，引起本身的直接膨胀，再加上  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  键角的膨胀、桥氧的断裂，造成体积增大，故在组成中当  $\text{R}_2\text{O}$  和  $\text{RO}$  增加时，玻璃的膨胀系数必然增大。

碱金属离子  $\text{R}_2\text{O}$  对膨胀的影响是随着其阳离子半径的增加而增加，排列顺序为： $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Cs}^+$ 。碱土金属 ( $\text{RO}$ ) 离子因电价较碱金属离子为高，对膨胀系数的影响不如碱金属离子显著。

当组成中增加  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$  和  $\text{ZrO}_2$  等氧化物时，会使玻璃的热膨胀系数降低。

② 温度 温度是影响膨胀系数的重要外因。膨胀系数在低于临界温度范围内时，随着温度的改变，玻璃的膨胀系数变化近似地为一常数。退火良好的玻璃其膨胀与收缩几乎是全等和可逆的。当温度高于临界温度时，玻璃的膨胀系数变化不成线性增加。转变点温度  $T_g$  位于膨胀系数与温度变化曲线的突变处，表示玻璃的部分性质在这一点发生突变。低于  $T_g$  温度的玻璃处于脆性状态，高于该温度时玻璃就进入黏滞状态。

(2) 热稳定性 玻璃经剧烈的温度变化后不被破坏的性能称为热稳定性，热稳定性大小是以制品或试样保持不被破坏时所能经受的最大温差来表示。对玻璃热稳定性影响最大的是热膨胀系数，此外，还与玻璃厚度、几何形状、应力分布等都有密切关系。

玻璃制品承受急热性能要比急冷性能好得多，原因就在于急热时玻璃内部产生的是压应力，而冷却时内部产生张应力，而玻璃破坏时外层的应力性质起决定作用，所以玻璃耐热性能比耐急冷性能好。

玻璃热膨胀系数愈小，热稳定性就愈高，所能承受的温差也愈大。石英玻璃的热膨胀系数很小（约为  $5.8 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ），故热稳定性好，即使将它加热到几百度突然置于冷水中也不会炸裂。含大量碱性氧化物的玻璃，其热稳定性就差。

玻璃的热稳定性也与热处理有关。钢化玻璃的热稳定性较高，因为钢化后玻璃表面形成压应力，受热后热量先用来消除压应力，因而玻璃就不易破裂。

玻璃的热稳定性也同样存在有热疲劳现象，温度变化的频率和次数均会引起玻璃的热疲劳，使其热稳定性显著地降低。

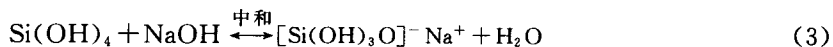
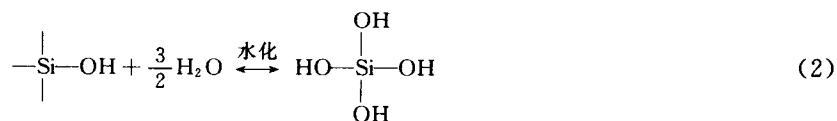
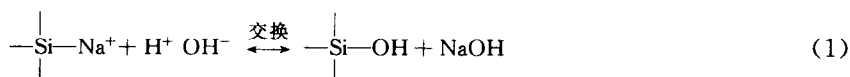
玻璃的导热性很差，热导率一般为  $0.4 \sim 1.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。所以玻璃耐急冷急热性差，制品壁越厚，承受温度急剧变化的能力越差。

#### 1.1.5.6 玻璃的化学稳定性

玻璃抵抗气体、水、酸、碱、盐和各種化学试剂侵蚀能力称为化学稳定性，可分为耐水性、耐酸性、耐碱性等。玻璃的化学稳定性较好，大多数工业用玻璃都能抵抗除氢氟酸以外酸的侵蚀。玻璃耐碱腐蚀能力较差。高温下水也能侵蚀玻璃，长时期在大气和雨水中玻璃也会受到侵蚀。尤其是一些光学玻璃仪器受周围介质，如潮湿空气等作用，表面形成白色斑点或雾膜，会破坏玻璃的透光性，即玻璃发霉，应精心加以保管和使用。

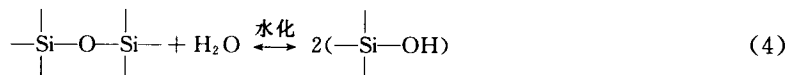
##### (1) 玻璃表面的侵蚀机理

① 水对玻璃的侵蚀 水对硅酸盐玻璃的侵蚀开始于水中的  $\text{H}^+$  和玻璃中的  $\text{Na}^+$  进行的离子交换，而后进行水化、中和反应：



反应 (3) 的产物硅酸钠的电离度要低于  $\text{NaOH}$  的电离度，因此这一反应使溶液中的  $\text{Na}^+$  离子浓度降低而促进了反应 (2) 的进行。以上三个反应互为因果，循环进行，而总的速度决定于反应 (1)。

另外， $\text{H}_2\text{O}$  分子也能与硅氧骨架直接反应



随着这一水化反应的继续， $\text{Si}$  原子周围原有的四个桥氧全部成为  $\text{OH}$ 。反应产物  $\text{Si}(\text{OH})_4$  是极性分子，它将周围的水分子极化，并定向地吸附在自己的周围，成为  $\text{Si}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (或  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) 硅酸凝胶，形成一层具有较强的抗水和抗酸性能的保护膜层。

② 酸对玻璃侵蚀 玻璃具有很强的耐酸性。除氢氟酸外，一般的酸都是通过水的作用侵蚀玻璃，浓酸对玻璃的侵蚀作用低于稀酸。

水对硅酸盐玻璃侵蚀的产物之一是金属氢氧化物，这一产物要受到酸的中和。中和作用起着两种相反的效果，一是使玻璃和水溶液之间的离子交换反应加速进行，从而增加玻璃的失重，二是降低溶液的  $\text{pH}$  值，使  $\text{Si}(\text{OH})_4$  的溶解度减小，从而减少玻璃的失重。当玻璃中  $\text{R}_2\text{O}$  的含量较高时，前一种效果是主要的，反之，当  $\text{SiO}_2$  的含量较高时，后一种效果是主要的。也就是说，高碱玻璃的耐酸性小于耐水性，而是高硅玻璃耐酸性大于耐水性。

③ 碱对玻璃的侵蚀 硅酸盐玻璃一般不耐碱，碱对玻璃的侵蚀是通过  $\text{OH}^-$  离子破坏硅氧骨架（即  $\begin{array}{c} | \\ \text{—Si—O—Si—} \\ | \end{array}$  键）而产生  $\begin{array}{c} | \\ \text{—Si—O}^- \\ | \end{array}$  群，使  $\text{SiO}_2$  溶解在溶液中。所以在玻璃侵蚀过程中，不形成硅凝胶薄膜，而使玻璃表面层全部脱落，玻璃的侵蚀程度与侵蚀时间成直线关系。

④ 大气对玻璃的侵蚀 大气对玻璃的侵蚀实质上是水气、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  等对玻璃表面侵蚀的总和。水气对玻璃侵蚀，首先是以离子交换为主的释碱过程，后来逐渐地过渡到以破坏网络为主的溶蚀过程。

## (2) 影响玻璃化学稳定性的主要因素

### ① 化学组成的影响

a.  $\text{SiO}_2$  含量越多， $[\text{SiO}_4]$ 四面体互相连接紧密，玻璃的化学稳定性越高。碱金属氧化物含量越高，网络结构越容易被破坏，玻璃的化学稳定性就越低。

b. 离子半径小，电场强度大的离子如  $\text{Li}_2\text{O}$  取代  $\text{Na}_2\text{O}$ ，可加强网络，提高化学稳定性，但引入量过多时，由于“积累”而促进玻璃分相，反而降低了玻璃的化学稳定性。

c. 在玻璃中同时存在两种碱金属氧化物时，由于“混合碱效应”，化学稳定性出现极大值。

d. 以  $\text{B}_2\text{O}_3$  取代  $\text{SiO}_2$  时，由于“硼氧反常现象”，在  $\text{B}_2\text{O}_3$  引入量为 16% 以上时，化学稳定性出现极大值。

e. 少量  $\text{Al}_2\text{O}_3$  引入玻璃组成， $[\text{AlO}_4]$  修补  $[\text{SiO}_4]$  网络，从而提高玻璃的化学稳定性。

一般认为，凡能增强玻璃网络结构或侵蚀时生成物是难溶解的，能在玻璃表面形成一层保护膜的组分都可以提高玻璃化学稳定性。如用酸性气体、水和酸性溶液等处理，从玻璃表面层移除对侵蚀介质具有亲和力成分（如  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ ），使玻璃表面生成一定厚度的高硅氧膜，以提高玻璃的化学稳定性。也可在玻璃表面涂有对玻璃具有良好黏附力，对侵蚀介质具有低亲和力的物质，如硅有机化合物，氧化物无机涂膜等。

### ② 热处理

a. 玻璃在酸性炉气中退火，降低玻璃表面碱性氧化物，提高了玻璃的化学稳定性。相反，在非酸性炉气中退火，会引起碱在玻璃表面上的富集，降低玻璃的化学稳定性。

b. 玻璃钢化过程中产生两方面作用，一是表面产生压力应力，微裂纹减少，提高化学稳定性；二是碱在表面的富集降低化学稳定性；总体来说是提高了化学稳定性。

③ 温度 玻璃的化学稳定性随温度的升高而剧烈变化。在  $100^\circ\text{C}$  以下温度每升高  $10^\circ\text{C}$ ，侵蚀介质对玻璃侵蚀速度增加  $50\% \sim 150\%$ ，在  $100^\circ\text{C}$  以上时，侵蚀作用始终是剧烈的。

④ 压力 当压力提高到  $2.94 \sim 9.80\text{MPa}$  以上时，甚至较稳定的玻璃也可在短时间内剧烈地破坏，同时大量的  $\text{SiO}_2$  转入溶液中。

### 1.1.5.7 玻璃的光学性质

玻璃光学性能涉及范围很广，除常见的反射、吸收、透过及折射等性质外，随着近代科学技术的发展，玻璃的发光、红外辐射、受激光辐射、光波导、光选择吸收、光致变色、光存储、光显示、电光、声光、磁光及非线性光学等特殊功能和性能已成为玻璃光学性质的重要组成部分。通常玻璃制品是一种均匀而透明的，性质可以通过调整成分、着色、光照、热处理、光化学反应以及涂膜等物理化学方法对其进行控制和改变。

(1) 玻璃的折射率 玻璃的折射率可以用光在真空和玻璃中的传播速度之比来表示。玻

璃的折射率与入射光的波长、玻璃的组成、密度、温度及热历史等有关。通常折射率随入射光的波长减小、密度的提高、温度的降低而线性地增大。

一般玻璃的折射率  $n$  为 1.50~1.75, 平板玻璃的折射率为 1.52~1.53。影响玻璃的折射率的主要因素如下。

① 玻璃内部离子的极化率越大, 玻璃的密度越大, 玻璃折射率也越大, 反之亦然。

② 氧化物分子折射度  $R_i (R_i = \frac{n_i^2 - 1}{n_1^2 + 2} v_i)$  越大, 折射率越大, 氧化物分子体积  $v_i$  越大, 折射率越小。

③ 温度。当温度升高时, 玻璃的折射率受到两个作用相反因素的影响, 一方面温度升高, 由于玻璃受热膨胀, 使密度减小, 折射率下降; 另一方面, 电子振动的本征频率 (或产生跃迁的禁带宽度) 随温度上升而减少, 使紫外吸收极限向长波方向移动, 折射率上升。多数光学玻璃在室温以上温度系数为正值, 在  $-100^\circ\text{C}$  左右出现极小值, 在更低的温度时出现负值。总之玻璃的折射率随温度的升高而增大。

④ 热历史

a. 玻璃在退火温度范围内, 其趋向平衡折射率的速率与所处的温度有关。

b. 当玻璃在退火温度范围内, 保持一定温度与时间并达到平衡折射率后, 不同的冷却速度得到不同的折射率。冷却速度越快, 折射率越低; 冷却速度越慢, 折射率越高。

c. 当两块化学组成相同的玻璃, 在不同退火温度范围, 保持一定温度与时间并达到平衡折射率后, 以相同的冷却速度冷却时, 保温温度越高, 其折射率越小, 保温温度越低, 其折射率越高。

(2) 玻璃的光学常数 玻璃的折射率、平均色散、部分色散和色散系数 (阿贝数) 等均为玻璃的光学常数。

① 折射率 玻璃的折射率以及有关的各种性质, 都与入射光的波长有关。

国际上统一规定下列波长为共同标准:

钠光谱中的 D 线 波长 589.3nm (黄色);

氢光谱中的 d 线 波长 587.6 nm (黄色);

氢光谱中的 F 线 波长 486.1 nm (浅蓝);

氢光谱中的 C 线 波长 656.3 nm (红色);

汞光谱中的 g 线 波长 435.8 nm (浅蓝);

氢光谱中的 G 线 波长 434.1 nm (浅蓝)。

上述波长测得折射率分别用  $n_D, n_d, n_C, n_g, n_G$  表示。

在比较不同玻璃折射率时, 一律以  $n_D$  为准。

② 色散 玻璃的折射率随入射光波长不同而不同的现象, 叫做色散。大多数玻璃在紫外区的折射率最大, 随着波长向红外区延伸而逐渐降低。因此, 白光可以被棱镜分解成七色光谱, 非单色光通过透镜在屏幕上会出现色差。透镜成像失真程度是光学玻璃极为重要的光学性质。玻璃的色散有以下几种表示方法。

a. 平均色散 (中部色散), 即  $\Delta = n_F - n_C$ 。

b. 部分色散, 常用的是  $n_d - n_D, n_D - n_C, n_g - n_G$  和  $n_F - n_C$  等。

c. 阿贝数, 也叫色散系数或色散倒数, 用符号  $\gamma$  表示:  $\gamma = (n_D - 1) / (n_F - n_C)$ 。

d. 相对部分色散, 如  $(n_D - n_C) / (n_F - n_C)$  等。



光学常数最基本的是  $n_D$  和  $n_F - n_C$ ，由此可算出阿贝数。阿贝数是光学系统设计中消色差经常使用的参数，也是光学玻璃的重要性质的体现。

(3) 玻璃的着色 玻璃的着色在理论上和实践上都有重要的意义，它不仅关系到各种颜色玻璃生产，也是一种研究玻璃结构的手段。

根据原子结构的观点，物质所以能吸收光，是由于原子中电子（主要是价电子）受到光能的激发，从能量较低 ( $E_1$ ) 的“轨道”跃迁到能量较高 ( $E_2$ ) 的“轨道”，亦即从基态跃迁到激发态所致，因此，只要基态和基发态之间的能量差 ( $E_2 - E_1$ ) 处于可见光的能量范围时，相应波长的光就被吸收，从而呈现颜色。

根据着色机理的特点，着色玻璃大致可以分为离子着色、金属胶体着色和硫化物着色。

玻璃着色剂的着色情况如表 1-4 所示。

表 1-4 几种着色剂的着色情况

着色剂	在氧化条件下产生的颜色	在还原条件下产生的颜色
硫化镉	无	黄色
硫化镉与硫化硒	无	黄色橙色至红色(加热显色)
氧化钴	蓝色带紫色	蓝色带紫色
氧化铜	蓝绿色	蓝绿色
氧化亚铜	绿蓝色	红色(加热显色)
氧化铀与氧化钛	黄色	黄色
氧化铬	黄绿色	绿色
金	红色(加热显色)	无
氧化铁	黄绿色	蓝绿色
氧化锰	紫色	无
氧化钼	紫色	紫色
氧化镍	紫红色(钾玻璃)、棕色(钠玻璃)	紫红色(钾玻璃)、棕色(钠玻璃)
硒	挥发	紫色
硫	无色	黄至琥珀色
铀	黄色带有绿色荧光	带有荧光的绿色

#### 1.1.5.8 玻璃的电学、磁学性质

在常温下一般玻璃是良好的高电阻电绝缘材料和介电体。在潮湿的空气中或高温下它们的电阻率数值大幅下降。尤其是高碱玻璃更是如此，室温下体积电阻率为  $10^{11} \sim 10^{19} \Omega \cdot \text{cm}$ ，而在熔融状态下下降到  $10 \sim 3 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 。随着温度的上升，玻璃的导电性迅速提高，特别是在转变点  $T_g$  温度以上，导电率有飞跃的增加，直到熔融状态时，玻璃变成良导体。多组分玻璃的介电常数在 5~7 之间，而石英玻璃为 3.5~4。

玻璃的电学特征主要有以下两个方面：

① 玻璃的半导体性能 玻璃半导体材料在室温下的电导率为  $10^{-5} \sim 10^{-10} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，具有电子导电性。它主要分三大类：a. 四面体配位的  $A^{\text{II}}$ 、 $B^{\text{IV}}$ 、 $C^{\text{V}}$  及其类似的三组分玻璃，如  $\text{CdSi}_x\text{As}_2$ 、 $\text{Zn} \cdot \text{Si}_x\text{P}_2$ 、 $\text{CdSn}_x\text{As}_2$  等；b. 多组分硫系玻璃，如  $\text{As}_{30}\text{Te}_{48}\text{Ge}_{10}$ 、 $\text{Si}_{18}\text{As}_{27}\text{Se}_{16}\text{Te}_{39}$  等；c. 氧化物玻璃，如  $\text{V}_2\text{O}_5\text{-P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{V}_2\text{O}_5\text{-GeO}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  等。

Mott 等人建立了与晶体的能带理论相似的玻璃电子导电过程的理论指出：根据玻璃结构的特点，玻璃半导体中的电子态分为两类，一类为扩展态，它与晶体中的共有化运动状态相似，波函数延伸在整个晶体之中；另一态为定域态，波函数局限在一些中心附近，随着与中心点的距离增大，而呈现指数衰减。

② 玻璃的压电和热释电性能 具有压电和热释电性能的玻璃分两类：一类为铁电微晶玻璃，它是先在玻璃中析出铁电性微晶，经过外电场极化，使其具有压电和热释电性能；另一类为极性微晶玻璃又称晶粒定向微晶玻璃，是在玻璃相中析出极性晶体并定向生长，无需外电场极化，就具有压电和热释电性能，属非铁电型微晶玻璃。研究表明选择  $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$ ， $\text{BaO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ ， $\text{SrO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$  等玻璃系统，经过高梯度温度定向微晶化工艺处理，使其析出针状极性晶体，则具有压电和热释电性能。

玻璃的磁学特性为：一般玻璃是弱磁性材料，但含有铁磁性晶体的微晶玻璃可具有强磁性；含有过渡金属离子和稀土金属离子的氧化物玻璃一般都具有磁性，如磷酸盐、硼酸盐或氟化物玻璃中添加钇、镱、铈和铊等离子，在室温下具有强磁性；若玻璃中添加铈、镱、镨或铽等稀土离子，可制得法拉第磁光玻璃；调整玻璃的化学成分，可获得顺磁性或逆磁性玻璃。

① 玻璃的逆磁性 以酸性氧化物为基础的玻璃或含有不成对电子的稀土元素（镧  $\text{La}^{3+}$ 、铈  $\text{Gd}^{3+}$  等）离子的玻璃是反磁体，逆磁性玻璃的磁化率与所含极化离子的原子成正比。

② 玻璃的顺磁性 玻璃基质是逆磁性的，当含有稀土离子和过渡金属（铁族、钪族、钼族、铜族）等顺磁性离子的浓度超过一定值时，整个玻璃才呈现顺磁性。顺磁性玻璃的极化率为：

$$\mu_p = \frac{N\mu}{3KT} \quad (1-6)$$

式中， $N$  为 1g 玻璃含顺磁性离子数； $K$  为波尔兹曼常数； $\mu$  为单位顺磁性离子的导磁率； $T$  为绝对温度。

玻璃的磁性与玻璃的组成的电子构型有密切的关系，而电子构型对磁性的贡献又受周围电场的强烈影响。通过热处理微晶化，控制析出晶体的类型和晶体大小，可得到所要求的磁性玻璃。

#### 1.1.5.9 化合物在玻璃中的部分性质

以化合物的分子分数来表达玻璃的成分是一般惯用的，也是比较简单而合理的，这并不意味着承认玻璃是由一些单独的化合物（如氧化物、氟化物等）分子所组成。由化合物的分子分数很容易换算成玻璃中阴、阳离子浓度，表示出各种离子对性质的影响，因此可以认为：玻璃的性质可由引入玻璃中各种化合物的、由它代表所起作用的性质的总和来表示。当然，在玻璃中化合物的这种性质与它单独存在时所具有的性质是不同的，所以在此称它为在玻璃中的部分性质。

20 世纪 60 年代，干福熹在系统地研究了硅酸盐玻璃成分和物理性质的关系以后，将已知的文献数据和系统的实验测定所得的数据，用微差法和替代法进行处理，求得了 36 种氧化物在硅酸盐玻璃中的部分性质，并利用简单的加和法则来计算玻璃性质  $G$ ：

$$G = \sum_i \bar{g}_i \cdot r_i \quad (1-7)$$

式中  $\bar{g}_i$  为各氧化物部分性质； $r_i$  为玻璃组成分子分数。该计算体系已在我国光学玻璃和其

他技术玻璃的试制生产中得到应用。

70年代,干福熹从结构化学的观点出发,研究了非硅酸盐玻璃的化学成分和结构与性质的关系,推导出各系统玻璃物理性质的计算方法,综合已提出的硅酸盐玻璃物理性质的计算方法,建立了整个无机氧化物玻璃物理性质统一的计算体系。以后的好多年,在玻璃生产和科学研究中不断获得了新的实际资料,使得有可能对一部分氧化物的部分性质进行修改和补充。

(1) 微差法 基于多组分的玻璃是过冷溶液的假设,就可以借助某些溶液的理论来求得各种化合物在玻璃中部分性质的推导方法。根据化学热力学,当溶液成分不断变化时,可以用偏微分摩尔变量  $\bar{g}_i$  (我们称为摩尔部分性质) 表示在某一溶液成分时,增加无限小数量的组分,并将由此产生的性质变化,转换为当增加 1 摩尔物质时所产生的变化。

$$\bar{g}_i = \frac{\partial G}{\partial n_i} \quad (1-8)$$

其中溶液的组分为  $n_i$ ; 溶液的外表性质为  $G$ ,  $G$  为  $n_i$  的函数

$$G = \Phi(n_1, n_2, \dots) \quad (1-9)$$

当组分表示为分子分数  $r_i$  时,可推导得下式

$$\bar{g}_i = G + \frac{\partial G}{\partial r_1} - r_1 \frac{\partial G}{\partial r_1} - r_2 \frac{\partial G}{\partial r_2} - \dots - r_{k-1} \frac{\partial G}{\partial r_{k-1}} \quad (1-10)$$

当原始溶液增加了一种组分时,  $i=1$ , 则

$$\bar{g}_1 = G + (1 - r_1) \frac{\partial G}{\partial r_1} \quad (1-11)$$

式(1-11)是我们推导玻璃中化合物部分性质的依据,在原始玻璃中我们添加少量欲推导部分性质的化合物(如果原始玻璃成分中没有这种化合物,则  $r_1=0$ ),测量原始玻璃的性质  $G$  以及添加该化合物玻璃性质的变化值  $\Delta G$ 。由于添加量 ( $\Delta r_1$ ) 过大时,将引起玻璃结构状态的改变;倘若过小时,由于性质变化太小,将受到性质测量误差的限制,故一般  $\Delta r_1$  取 1%~2% (分子百分数) 为宜。用式(1-11)的近似式,求得该化合物在玻璃中的部分性质:

$$\bar{g}_1 = G + (1 - r_1) \frac{\Delta G}{\Delta r_1} \quad (1-12)$$

这样求得的  $\bar{g}_1$  可接近真实情况,这种推导部分性质的方法称微差法。

(2) 替代法 在文献中很多系统玻璃性质的实验数据是以一种化合物代替另一种化合物的方式表示的,即,所谓替代法求得化合物的部分性质:如果一种化合物替代另一种主要化合物时,玻璃性质随成分直线变化,则可按直线斜率计算替代后性质的增值,部分性质可按下式计算:

$$\bar{g}_i = \bar{g}_A + \Delta G' \quad (1-13)$$

其中  $\bar{g}_A$  为被替代的主要化合物的部分性质;  $\Delta G'$  为换算到 100% 被替代后性质的增值。如果性质不是按直线变化,那么可根据成分范围求得不同的部分性质。

值得注意的是,求得的化合物部分性质,还需要加以分析,因为有时在很小的成分变化时,玻璃结构也会起变化,严格地说,各化合物在玻璃中的部分性质是随玻璃的系统 and 成分而变化的。

干福熹推荐了各种氧化物的部分性质计算体系。这个计算体系可以用来计算 15 种单独的物理性质:其中折射率 ( $n_D$ ) 和平均色散 ( $n_F - n_C$ ) 是玻璃的主要光学常数;热膨胀系数 ( $\alpha$ ) 和热传导系数 ( $\lambda$ ) 为玻璃的主要热学性质;弹性模量 ( $E$ ) 和剪切模量 ( $G$ ) 以及由此

计算得到的泊桑系数 ( $\mu$ ) 为主要的力学性质; 由玻璃的分子体积  $V_M$  ( $V_M = \frac{M}{\rho}$ , 式中  $M$  为玻璃的分子量) 可以计算得到密度 ( $\rho$ ); 由玻璃的  $n_D$  及  $V_M$  值可以得到玻璃的分子折射度  $R_M$  ( $R_M = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} V_M$ ); 折射率温度系数  $\beta$  ( $\beta = \frac{dn}{dT}$ ) 和应力光学常数 ( $C_1$ 、 $C_2$ ), 无应力情况下, 表示由于热引起的玻璃光程变化的热光系数  $W$  [ $W = (n-1)\alpha + \beta$ ], 有应力情况下, 表示由于热引起的玻璃圆棒光程变化的应力热光常数  $P$  [ $P = \beta - \frac{\alpha E}{2(1-\mu)}(C_1 + 3C_2)$ ] 和应力双折射系数  $Q$  [ $Q = \frac{\alpha E}{2(1-\mu)}(C_1 - C_2)$ ], 在强光及强电场作用下, 非线性折射率  $n_2$  ( $\Delta n = n_2 |E|^2$ , 其中  $|E|$  为电场强度) 等新的光学性质。

### 1.1.6 玻璃制品的类型

#### 1.1.6.1 传统氧化物玻璃制品

(1) 瓶罐玻璃、器皿玻璃和容器玻璃 啤酒瓶、酒瓶、清凉饮料瓶、牛奶瓶、食品瓶、调味料瓶、耐酸瓶、药瓶、化妆品瓶、器皿、玻璃杯、保温瓶、钢化器皿等。

(2) 平板玻璃 普通平板玻璃、磨砂玻璃、磨光玻璃、双层玻璃、玻璃镜子、半透明镀膜玻璃、型板玻璃、夹丝玻璃、夹层玻璃、遮断紫外线玻璃、遮断红外线玻璃、遮断 X 线玻璃、透过紫外线玻璃、钢化玻璃、着色玻璃、彩色玻璃、镶嵌玻璃、弯曲板玻璃等。

(3) 灯泡、真空管玻璃 灯泡的泡壳和芯柱、接受管和发射管的泡壳和芯柱以及荧光灯、水银灯、显像管、X 线管、整流管、超短波管、极超短波管、汽车灯、杀菌灯、红外线灯泡等用的玻璃。

(4) 理化、医疗用玻璃 仪器玻璃、医疗用玻璃、温度计、体温计、燃烧管、玻璃管、玻璃电极等。

(5) 工艺美术玻璃 晶质玻璃、刻花玻璃、玻璃珍珠、光珠、仿造宝石、玻璃球、手环、纽扣、穿孔珠制品、五彩玻璃等。

(6) 照明器具玻璃 灯罩、球灯罩、投光器、前面玻璃、反射器、导电玻璃、颜色玻璃制品、信号灯、灯塔玻璃、反射性小玻璃珠、电场发光板、发热板、感光玻璃等。

(7) 建筑用玻璃 玻璃砖、玻璃饰面砖、铺路玻璃、玻璃瓦、门手柄等。

(8) 光学玻璃、滤片玻璃 镜头、三角棱、反射镜、眼镜、保护镜、滤片、红外线透过黑色玻璃、鉴别紫外线用玻璃等。

(9) 玻璃纤维、泡沫玻璃 玻璃纤维、玻璃丝、玻璃布、玻璃毡、玻璃棉、钢化泡沫玻璃等。

(10) 其他 渔业用浮球、蓄电池槽、仪表壳、表蒙玻璃、玻璃绝缘子、水面计、教学用和办公用玻璃、玩具玻璃、石英玻璃等。

人们通常将满足人民日常生活需要, 或者具有装饰性的文化艺术需求的玻璃制品称之为日用玻璃制品。

#### 1.1.6.2 新型玻璃制品

新型玻璃制品是指采用精制、高纯或新型的原料, 或采用新工艺在特殊条件下或严格控制形成过程制成的, 具有特殊性能和功能的玻璃制品或无机非晶态材料制品。

新型玻璃制品已成为高技术领域不可缺少的一员, 特别是光电子技术开发的基础材料。预计 21 世纪, 激光、光通讯纤维、功能光纤、光存储器、集成电路 (IC) 光掩模板、光集

成电路用玻璃及电磁、磁光、光电、电光、声光、压电、高强度玻璃及生物化学等功能玻璃制品将有大幅度的发展，有可能形成较大的商品市场，不少新型玻璃制品如电磁功能玻璃、高强度玻璃和生物化学功能玻璃等应用开发将取得突破性进展。随着科学技术发展的需要，已经研制的和正在研制的新型玻璃制品主要有以下4大类。

#### (1) 光功能和光传输功能玻璃及制品

① 光导玻璃纤维 是一种能够导光、传像的玻璃纤维，又称光纤。它具有传光效率高、集光能力强，信息传递量大、速度快、分辨率高、抗干扰、耐腐蚀、可弯曲、保密性好、资源丰富、成本低等一系列优点，发展十分迅速。目前已有可见光、红外、紫外等导光、传像制品问世，并广泛应用于通讯、计算机、交通、电力、广播电视、微光夜视及光电子技术等领域。其主要产品如下。

a. 通讯光纤 是利用光波原理，由高折射率玻璃芯料，低折射率玻璃皮料组成的复合纤维。是利用界面全反射原理远距离传递光信息的可挠性玻璃制品。光通讯纤维传递的速度可达到  $10^9$  bit/s，比普通电信号传播的信息量提高了上千倍，成为取代铜质通讯电缆的优质材料。

目前光通讯纤维主要使用石英玻璃光纤，可分为阶跃型、自聚焦型、多模和单模等几种类型。目前应用的是传输波长为  $1.3\mu\text{m}$  的石英玻璃多模和单模光纤；新型的传输波长为  $1.55\mu\text{m}$ ，光损耗低达  $0.2\text{dB/km}$ ，中断距离可达  $200\sim 500\text{km}$  色散移位单模光纤和色散平坦型单模光纤。近年来各国都在研究传输波长大于  $2\mu\text{m}$  红外光纤，理论光损耗可达到  $10^{-2}\sim 10^{-3}\text{dB/km}$  的重金属氟化物玻璃光纤。这种通讯光纤有可能实现  $10000\text{km}$  无中继传输。

b. 非通讯光纤 是指具有导光、传像、敏感、放大及能量传输等功能的光纤。主要用于计算机穿孔照明、光电数字显示和信号传递、传真、密码通信和电视等光纤变换器、激光加工、激光医疗器械、内窥镜、光纤传感器、高效起偏器、光纤激光器和激光放大器及温度、液面、流速、转速及电磁场的测量、观察等领域。

c. 光学纤维面板 是由数百万乃至上千万根直径约几微米的光学纤维彼此紧密排列熔合而成的硬质光纤制品，是像增强器（微光夜视仪等）的关键元件之一。它可以不失真地将图像从一个端面传递到另一个端面，从光学角度可看作零厚度，具有很高的光学耦合效率和集光能力。用它制成像增强器，可将微弱的夜光下的图像增强几万到几十万倍。不需要光学透镜系统可直接接触照相和高速记录。因此，可广泛用于传真记录、数字和图像显示、雷达显示、摄像器、高能粒子探测器及工业探伤仪等。

d. 微通道板 是将成百万根孔径为  $15\mu\text{m}$  左右、吸收光子、电子后能发射二次电子的微细玻璃管平行排列而组成。通常可采取空芯法、金属芯法和可溶玻璃芯二次拉伸法等成型。目前生产主要采用可溶玻璃芯和高铅玻璃（ $\text{PbO}\geq 50\%$ ）皮料的玻璃纤维紧密排列熔合成板，经溶去芯料和氢处理而成。它的每一个通道实际上是一个微小的像增强器，并具有粒子响应范围宽、增益高、噪声低和结构轻小等优点。无论是和光学纤维面板一起使用或单独使用，都是像增强器的关键元件。

② 激光玻璃 是向硅酸盐、磷酸盐等基础玻璃中添加钕、钪等激活离子而制得的。可根据需要，在较大范围内调整基础玻璃的组分和激活离子掺入的浓度等，以制得性能优异的激光玻璃制品。它是目前输入能量最大、输出功率最高的脉冲激光工作物质。制得亮度大、单色性强、方向性好和相干性好的激光器。和红宝石、钕铝石榴石相比，还具有光学均匀性

好、加工成型方便、成本低等优点。

③ 光波导玻璃 是在玻璃基板上通过离子交换、离子注入等方法形成折射率梯度分布、再采取光刻技术置入光波导，可用于光器件和光电器件之间的光传输、分路或耦合，以及光开关、光隔离器等制品。

④ 微型透镜 是采用离子交换、离子注入、CVD 或溶胶-凝胶等技术制得具有折射率连续变化的平面透镜，有板状或棒状等形式，是微型光学数据处理的重要元件。可用于光通信系统的光源、光纤结合、光信号的插入和分支等。复印机使用了这种微型透镜，大大简化了光路系统并缩小体积。

⑤ 红外玻璃 是红外光学技术的关键制品，在现代军事领域如微光夜视、导弹的预警、制导等技术方面有着极其重要的作用。对红外玻璃的共同要求是在使用的波段范围内光透过率高，无水（羟基）和其他杂质的吸收带，有一定的机械强度，较低的膨胀系数，良好的加工性能，耐潮湿，耐酸碱侵蚀等性能。

红外玻璃制品主要有石英玻璃、硅酸盐玻璃、锆酸盐玻璃、碲酸盐玻璃及钙铝系等氧化物玻璃和氟化物与硫属化合物玻璃等非氧化物玻璃制品。已广泛用作窗口材料、透镜、滤光片、红外制导整流罩、光通讯纤维及大功率激光材料等。

⑥ 选择吸收玻璃和反射功能玻璃 选择吸收玻璃是能选择吸收（或透过）某一特定波长光的玻璃，通常是采用掺杂（或提纯）某种离子而制得。反射功能（包括反射和减反射功能）玻璃制品是采取表面处理技术而制得能增加反差，清晰显示等效果的玻璃制品。它们已广泛用于照相机、放映机、摄像机以及激光、光信息处理和显示系统，新能源（太阳能和激光核聚变等）、大规模集成电路和光集成电路系统等。

(2) 电子玻璃及制品 电子玻璃是用于电子、微电子和光电子技术的玻璃。电子玻璃制品主要用于制作集成电路以及具有光电、热电、声光、磁光等转换功能的遥感或探测及控制元器件。

① 基板玻璃 目前是在微电子、光电子和新能源等技术中应用得很广、发展最快的玻璃之一。要求表面极其平整、均匀、耐热、强度高、有一定的刚度、化学性能稳定、与膜层结合牢固等。用作基板玻璃的组分主要有钠钙硅酸盐玻璃、硼硅酸盐玻璃及石英玻璃等。通常采用引上、平拉、浮法等成型工艺生产，也有采用二次改拉、精细研磨抛光、溢流下拉及特殊熔射等成型方法来制作。

a. 液晶显示和太阳能电池用基板 随着液晶显示器件的商品化，个人计算机、袖珍电视、壁挂式大屏幕电视的普及，太阳能电池的转换材料能量转换率的提高，液晶显示和太阳能电池用基板材料的用量不断增加、质量要求也进一步提高。为了适应航天器用太阳能电池需要，正在研究开发防紫外线和宇宙射线的基板玻璃制品。

b. 存储器（磁盘和光盘）用基板 随着信息存储量增大，存取频度的提高，信息类型也由单纯的电信号向影像、图形、音响等方向发展，塑料光盘已不能适应这种要求，正在向透明度高、双折射率小、耐风化、平整度高的存储器玻璃基板方向发展。

c. 光掩模基板 又称制版玻璃，是大规模和超大规模集成电路制作过程中制备光刻用光掩模板。

② 熔封玻璃 又称焊接玻璃，一般具有较低的熔融温度，又称作低熔玻璃。主要用于半导体材料的钝化保护和集成电路的封装。通常要求有较低的封接温度、高绝缘电阻、高气密性、高化学稳定性和与封接件相匹配的膨胀系数等特性。为了提高其性能，主要采取调整

玻璃的组成，降低熔融温度、添加微量晶核剂，使其在封接过程中微晶化，达到既有低的封接温度又有高的化学稳定性；添加不同膨胀系数的微粉来调整封接材料的膨胀系数，使它与封接件相匹配。

③ 快离子导体玻璃 是玻璃态固体电解质，与液体和结晶态固体电解质相比，具有成分范围广、组分连续可变，各向同性和易于加工成薄膜等优点。快离子导体玻璃通常是含有碘化银-铂酸银及锂、钠的氟化物或其他卤素化合物等特殊组分的玻璃。快离子导体玻璃可用作小型固体高能电池、离子选择电极、电化学传感器以及彩色显示材料等。

④ 旋光玻璃 是在磁场的作用下，能够使通过玻璃的光的偏振面发生偏转或产生双折射现象的玻璃，又称磁光玻璃，有顺磁性和反磁性两种。真正有使用价值的是含铈、铽等离子的玻璃。已用作全息光弹仪、小型隔离器、环形激光磁力仪及光通讯系统的光隔离器等。

⑤ 半导体玻璃 玻璃半导体属于杂质型半导体，除有开关和记忆效应外，还有光导、光敏、热敏、整流、二次电子发射以及透红外等性能，并有相应的用途（如表 1-5）。此外，硫系玻璃薄膜在一定能量的激光照射下，结构发生变化。控制激光照射的能量可获得结构的可逆转变，利用玻璃薄膜在两种结构状态下对光的透射、反射和衍射性能上的敏锐变化，可以制成光存储器件。由于激光点的尺寸很小，能得到高密度、大容量的光存储器和激光全息记录介质。

表 1-5 玻璃半导体的用途

玻璃品种	所利用的性能	用途
氧化物玻璃, 硫系玻璃	电导率随温度变化的性能	测温温度计和电子线路温度补偿用的敏感元件
氧化物玻璃	电导率随温度变化的性能	红外检测器
氧化物玻璃 (如 $80V_2O_5 \cdot 20P_2O_5$ ), 硫系玻璃	电导率随压力变化的性能	测定高压用的敏感元件
硫系玻璃	光导性	(1) 摄像管靶子(牌号“Saticon”) (2) 静电复印
氧化物玻璃, 硫系玻璃	电流电压特性的非线性	开关、记忆元件
氧化物玻璃, 如 $SiO_2 + B_2O_3 + BaO$ 65~85, $K_2 + Na_2O + Li_2O$ 3~15, $MnO$ 10~25, $CaO$ 0~10, $Al_2O_3$ 0~12, $Fe_2O_3$ 0~5(质量%)	光电子发射	隧道型光电倍增管
氧化物玻璃	电子导电性	复合电子材料(介电体, 电阻体的黏合剂)
硫系玻璃	开关效应	三极管
$CdO - B_2O_3 - SiO_2$	电阻随光变化的性能	光敏元件
硫系玻璃	光照引起折射率的变化	(1) 声光偏转端 (2) 激光全息存储介质
非晶态硅	光伏效应	太阳能电池

用半导体玻璃制作开关和存储元件具有结构简单、体积小、读出速度快、无功耗记忆、抗辐照能力强和集成度高等特点。

热敏半导体玻璃制品可用作测量和控制温度、稳定线路的电流、电压及时间继电器等。

光敏半导体玻璃制品已成功地应用于复印技术，并可用于电视摄像管的靶面，提高色彩性能等。利用硫属化合物玻璃薄膜两种结构状态对光的透射、折射、反射及衍射性能的剧烈变化，可制作光存储器件，实现高密度、大容量的激光存储。

(3) 新型建筑玻璃及制品 随着现代科学技术和玻璃加工技术的迅速发展及人民生活水平的提高，建筑玻璃的功能不再仅仅是满足采光要求，还开发了能调制光线、保温隔热、节能、安全（防盗、防弹、防火、防辐射、防静电和电磁波干扰）艺术装饰等特性，在玻璃的成型和加工工艺方面也有了新的发展，其主要品种有下述 6 种。

① 吸热玻璃 是一种能透过可见光，吸收热（红外线）辐射，阻止一定量热辐射透过的玻璃。通常采取向玻璃原料中添加铁、钴、镍、铜及硒等元素的氧化物，控制熔制气氛等方法，可制得呈蓝色、灰或茶色等色调的玻璃。这种玻璃制品除具有吸热功能外，还有改善采光色调、节约能源和装饰的效果。

② 热反射玻璃 是采用化学热分解、阴极溅射及溶胶-凝胶等工艺，在玻璃表面形成热反射涂层的玻璃。其膜层主要有金、银、铜、铬和铝、钛及硅等氧化物。一般太阳热的反射率可达 30%~40%，甚至还可达到 40%~60%。除达到节能和装饰效果外，还可起到防眩、单面透视和提高舒适感等效果。

③ 中空玻璃 是由两块或两块以上的平板玻璃周边密封、层间保持一定距离、腔体内充以干燥空气或惰性气体并放置吸湿剂的空腹玻璃制品。节能是这种玻璃最大特点之一。特别是在寒冷的北方或炎热的南方，节能效果可达到 20%~25%。若原片玻璃采用吸热或热反射玻璃，其节能效果更佳，还可具有装饰、减轻结构自重、施工和维修方便等效果。

#### ④ 光色玻璃和电致变色玻璃

a. 光色玻璃 即光致变色玻璃，是含卤化银等胶体光敏剂的玻璃，受到光照射就会变暗或着色，停止光照射又能恢复到原来的透明状态。这种玻璃制品已用作眼镜玻璃（变色镜），用于建筑中可达到吸热和单面透视的效果。这种玻璃还有可能用作图像记忆、信息处理、光开关、全息照相和安全防护材料等。

b. 电致变色玻璃 是在电场作用下产生可逆的电化学显色的玻璃。通常采取向玻璃组成中引入电致变色氧化物，或玻璃表面涂敷导电膜（ITO 膜）、变色性非晶态膜（如  $\text{WO}_3$ 、 $\text{WO}_3\text{-Cu}$ 、 $\text{WO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$  等）固体电介的复合玻璃。这种玻璃制品具有透光度可以在较大范围内随意调节、多色连续变化、驱动变色的，电压低、电源简单、省电、受环境影响小等特性。可以用作建筑物门窗，达到单面透视、节能和装饰等效果。同时还可以用作飞机和汽车等交通工具的挡风玻璃、大面积数字、文字和图像显示、照相机和激光器等的光通量电子调节阀等。

⑤ 防静电和抗电磁波干扰玻璃 是具有导电性能和屏蔽或吸收各种电磁波功能的玻璃。是根据使用要求，在表面涂敷具有不同导电性能或屏蔽电磁波功能的金属或金属氧化物薄膜的玻璃。如果在微波和无线电通讯、电子计算机操作、战争指挥部、中央控制室等场所配备这种玻璃制品，可以有效地防止静电或外部信息的干扰，也可以有效地防止内部信息的泄漏。

⑥ 导电和电加温玻璃 这是一种整体导电或表面导电的玻璃。用它制成电加热元件，用作飞机、舰艇、寒冷地区的军事观察所、航空港的指挥塔楼等的除冰、防霜，已取得良好的效果。有这种玻璃制品同样可以取得防静电和防止信息泄漏的效果，此外，还研究开发了防火、防弹、防盗、防辐射以及无（低）反射和防紫外线等一系列新型安全建



筑玻璃制品。

#### (4) 其他新型玻璃及制品

① 耐碱玻璃纤维 是指能够抵御水泥等碱性侵蚀及氢氧化钙再结晶等物理损伤的玻璃纤维。该纤维通常是含氧化钙 16%~20% 的钠钙系玻璃纤维或具有抗碱涂层的纤维。耐碱玻璃纤维主要用于增强水泥或混凝土，即玻璃纤维增强混凝土（GRC）制品，还可以用作增强硅酸钙和石膏等。

② 氧氮化合物玻璃 是经过氮化处理或向原料中添加硅、铝及其他金属氮化物制成的玻璃。这种玻璃膨胀系数小、电阻大、硬度大、强度高及耐高温性好等优点。是一种很有前途的结构用高强度玻璃。

氧氮化合物玻璃通常采用在氮气、氩气或其他惰性气氛下熔融或采用溶胶-凝胶等方法制作，该玻璃已用作氮化硅陶瓷的黏结剂、耐磨表面材料、玻璃纤维增强塑料，并可望用作耐高温、高压的窗口材料等。

③ 纤维增强复合玻璃 是利用碳化硅晶须、陶瓷纤维、玻璃纤维等作增强剂而制成的复合玻璃。具有轻质、高强、高韧性和抗热冲击等一系列优异特性，已研制成功碳化硅晶须增强的锂-铝-硅酸盐玻璃陶瓷、碳纤维-石英玻璃耐烧蚀材料等。

④ 生物玻璃 生物玻璃通常包括医疗用生物玻璃和生物化学用玻璃两大类。

a. 医疗用生物玻璃 是指用作牙齿、人工骨、心血管及其他整形外科等玻璃制品。目前已研制成功的生物玻璃主要有钠-钙-硅-钛系微晶玻璃、微晶玻璃涂层及玻璃纤维复合材料等。它的出现为医疗用生物材料的发展开辟了新途径。

b. 生物化学用玻璃 是指用化学催化剂和生物酶的固化载体等用玻璃。通常利用钠-硼-硅酸盐玻璃容易分成富硅相、富硼相的特点，用沥滤法制成比表面积可控制的微孔玻璃制品。这种微孔玻璃制品具有化学性能稳定、耐急冷急热、生物活性高、富有极强的吸附力。可用作无机超滤膜过滤血液、反渗透膜淡化海水、化学催化剂载体及生物酶载体等。已用于抗菌素（如青霉素、红霉素等）及酿造酵素等酶的固定化载体。

⑤ 玻璃微珠 是直径为 2~200 $\mu\text{m}$  的微小球体，具有透明、折射率可调、定向回归反射、表面光滑、流动性好、电绝缘、化学性能稳定、耐热及机械强度较高等特点。通常是利用高温下玻璃在表面张力作用下成球的原理，采用一次成型（如玻璃熔体喷射法、离心法、液体介质法等）和二次成型（如隔离剂法、火焰悬浮法及火焰熔切法等）两种成型方法，其主要品种有实心微珠（高强度微珠、反光微珠、高折射率微珠等）和空心微珠两大类。高强度微珠主要用作研磨介质、机械加工的研磨材料、增强填充剂等，反光微珠主要用了交通标志、美术及宣传广告、海上救生器材、演出服装、定向投影屏幕等，空心微珠主要用于固体浮力材料、超低温绝热材料、工程塑料及固体火箭燃料充填剂等。此外，尚有放射性同位素玻璃微珠，可用于医学等。

⑥ 微晶玻璃 是向玻璃组成中引进晶核剂，通过热处理、光照射或化学处理等手段，在玻璃内均匀地析出大量微小晶体，形成致密的、微晶相和玻璃相的多相复合体。通过控制析出微晶的种类、数量、尺寸大小等，可以获得透明微晶玻璃、膨胀系数为零的微晶玻璃或不同色彩的及可切削微晶玻璃等。

微晶玻璃的组成范围很广，晶核剂的种类也很多，按基础玻璃组成，可分为硅酸盐、铝硅酸盐、硼硅酸盐、硼酸盐及磷酸盐五大类。其主要晶相和主要特性见表 1-6。应用实例见表 1-7。最近又研制出具有压电、热释电等功能的极性微晶玻璃材料及微晶玻璃制品。

表 1-6 实用微晶玻璃分类

基础玻璃系列	基础玻璃	主晶相	主要特性
硅酸盐玻璃	$\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ (二硅酸锂)	同金属封着性好
	$\text{NaO}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$	氟锰闪石	易熔融
	$\text{Na}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2$	$\text{NaNbO}_3$	强介电性、透明
	$\text{PbO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$	$\text{PbTiO}_3$ (钛酸铅)	强介电性
	$\text{Li}_2\text{O}-\text{MnO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{MnFe}_2\text{O}_4$	强磁性
	$\text{F}-\text{K}_2\text{O}-\text{MgF}_2-\text{MgO}-\text{SiO}_2$	$\text{KMg}_{2.5}\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$ (四硅酸云母)	易机械加工
铝硅酸盐玻璃	$\text{Li}_2\text{O}(\text{少})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ ( $\beta$ -锂灰石)	低膨胀、白色不透明
	$\text{Li}_2\text{O}(\text{少})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\beta$ -石英	耐高温、透明
	$\text{Li}_2\text{O}(\text{少})-\text{Al}_2\text{O}_3(\text{多})-\text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ ( $\beta$ -锂辉石莫来石)	耐热冲击、白色不透明、耐腐蚀
	$\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$	$\beta$ -石英	低膨胀
	$\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$	$\beta$ -锂辉石	
	$\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\beta$ -锂辉石	
	$\text{Li}_2\text{O}(\text{多})-\text{Al}_2\text{O}_3(\text{少})-\text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	高膨胀、涂层后获高强度
	$\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (霞石)	
	$\text{Na}_2\text{O}-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$ (霞石) + $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (钡长石)	
	$\text{Li}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\beta$ -锂辉石	易熔、透明、低膨胀、高强度
	$\text{Li}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	硅酸锌	
	$\text{Li}_2\text{O}(\text{多})-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2, \text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$	
	$\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ (堇青石)	低价电损耗、耐热、高周波绝缘性好、高熔点
	$\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	
	$\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$	钡长石、金红石	耐热、低膨胀强介电性、强度高
	$\text{PbO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2$	$\text{PbTiO}_3$ (钛酸铅)	
	$\text{PbO}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{PbNb}_2\text{O}_7$	强介电性
	$\text{Na}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{NaNbO}_3$	强介电性
$\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	钙黄长石	透明耐热、低膨胀	
$\text{ZnO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	尖晶石		
$\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	莫来石		
$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (矿渣)	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\beta$ -硅灰石)、钙长石	耐腐蚀、耐磨 耐酸、硬度高、抗冲击、耐磨	
$\text{MgO}-\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{TiO}_2-\text{CeO}_2$	$\text{Ce}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2 \cdot \text{O}_{11}$ (钛硅钇铈石)、 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 14\text{MgO} \cdot 15\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (尖晶石-碧石英固体)、 $2\text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TiO}_2$ (钛酸镁铝)		
$\text{F}-\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$ (氟金云母)	易机加工	
$\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	透辉石, 钙黄长石		
硼酸盐硼硅酸盐玻璃	$\text{B}_2\text{O}_3-\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	强磁性
	$\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3$		耐腐蚀
	$\text{ZnO}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$	$2\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2$ (硅锌矿)	耐腐蚀、低膨胀、封着性好
	$\text{PbO}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\beta-2\text{PbO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3, \alpha-2\text{PbO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$	高膨胀封接料

表 1-7 微晶玻璃的应用

主要使用性能	应用实例
低膨胀性耐高温、耐热冲击	天文反射望远镜、气体激光谐振器镜的支持棒、炊具、餐具、高温电光源用玻璃、实验室用加热器具、高温热交换器、代石英玻璃
高强度	汽车、轮船、飞机、火箭、卫星的结构材料、墙体材料、饰面材料、电热线保护管、小型绝缘子、电线管道衬垫、封接材料
高硬度耐磨	轴承、气缸、活塞、纺织机导线杆、研磨设备内衬及研磨介质、切削刀具、离合器、地板、楼梯踏板、导槽、料斗、流槽、水利旋流器锥体
易机械加工	可机械钻孔、切削、生产要求耐腐蚀、耐热冲击及加工精度高的部件、代不锈钢、塑料
耐腐蚀	化工管道、球磨机的球、衬垫、高纯化工产品生产设备
透明、耐高温耐热冲击	高温观察窗、化学输送管道、阀、泵
低介电损失	雷达罩、集成电路的基极、丝网印刷介电体
强介电性透明	彩色电视材料、光变色元件、指示元件
感光显影	需要复杂加工的产品如显示图像、印刷、刻花、彩蚀、打孔。印刷线路底板, 仪器标尺、器皿玻璃装饰

## 1.2 玻璃的可加工性

玻璃材料的表现物态可以为非定形材料和定形（或半定形）材料。

玻璃材料在进入成型模（型腔模）之间一瞬间的物态为一定的粉末、颗粒构成的非定形整体或它们的非定形的熔融黏流状态的整体，称之为非定形玻璃。非定形玻璃通过一般由金属（或其他材料）制成的成型模，在一定的工艺参数（如温度、压力等）下，由非定形状态成为定形的或半定形的固定状态而成型。这种非定形状态玻璃材料通过成型模或不通过模具，而变形制成玻璃制品的工艺叫“成型”（不叫“成形”）。

玻璃材料在进入成型模之间一瞬间的物态，既具有完整固体形状的性质，又具有一些熔融黏流的非定形性质（主要指在加工过程中），宏观上呈定形或半定形状态。定形和半定形玻璃也是通过一般由金属（或其他材料）制成的成型模，也在一定的工艺参数（如温度、压力）下，由定形状态和半定形状态成为定形的固定状态而成形。这种把定形状态和半定形状态玻璃材料通过成型模或不通过模具，而变形制成玻璃制品的工艺叫“成形”。

由上可得出以下结论。

(1) 玻璃制品的被加工形式由非定形到定形或半定形的称为“成型”，即将非定形玻璃材料成型成制品的加工和预定型坯（初型模制造的锥型）的加工属于成型，相应的模具称之为成型模。如玻璃压制模、玻璃吹制成型模、制瓶机初型模、玻璃拉制成型模，玻璃离心法成型模、玻璃浇铸成型模、玻璃注射成型模和玻璃烧结成型压模等。

(2) 玻璃制品的被加工形式由定形和半定形到定形的称为“成形”，即将预定型坯或已定形的半成品，采用吹制胀形或其他成形法制造制品的加工属于成形，相应的模具称之为成形模。如制瓶机成形模、玻璃热造型成形模、玻璃纤维缠绕成形模和拉挤成形模等。

(3) 根据玻璃制品加工中，实际的成型所占的份额远大于成形这样的事实，为了叙述的方便，本书将玻璃制品加工中的“成型”和“成形”，都统称为“成型”（即包含“成形”）。

玻璃制品成型同时涉及到玻璃熔体（玻璃液）流动和传热。流动通常取决于玻璃熔体的

牛顿行为，即可假设流动与所受应力成正比。然而，在成型期间，随着玻璃熔体的冷却，熔体温度和黏度的急剧变化，以及复杂的几何尺寸等，使得大多数玻璃制品成型操作的数学分析成为一项艰巨的任务。流动和传热处理需要借助于对解决其他大多数问题所不可缺少的数值方法。需要求解的方程通常容易建立，但问题往往在于确定现实的边界条件，尤其是传热的边界条件以及有效热导的测定。

工业玻璃制品成型的可加工性有两个重要的特征：①从原材料到玻璃制品的整个过程通常是连续的周期操作；②机械化的玻璃制品成型仅适用于大批量生产。

玻璃的可加工性与玻璃的性质有着密切的关系。玻璃的成型性质包括玻璃的黏度、表面张力、结晶性能、热膨胀性、传热性能和热流动性能等。关于玻璃的性质在本章 1.1.5 中已详细叙述，下面再就几个重要的成型性质与成型关系作进一步的说明。

### 1.2.1 黏度与成型

黏度是玻璃的重要性质之一。玻璃的黏度是温度的函数，并属于非线性关系。在玻璃制品的成型过程中，玻璃的黏度随温度下降而增大的特性是玻璃制品成型和定型的基础，因而可充分利用玻璃的黏度与温度的关系，以满足玻璃制品成型的要求。

表 1-8 为黏度与成型温度的关系表。由表可知，使用黏度概念来描述玻璃的成型过程比用温度来描述更确切与严密。

表 1-8 黏度与成型温度的关系

成 型	相应的黏度/Pa·s	温度/℃(以 Na <sub>2</sub> O-CaO-SiO <sub>2</sub> 为例)
开始成型	10 <sup>2</sup> ~10 <sup>3</sup>	1070~1230
机械供料		
吹 料	10	
落 料	10 <sup>3</sup>	
吹制成型	10 <sup>2.7</sup> ~10 <sup>3.7</sup>	
压制成型	10 <sup>2.6</sup> ~10 <sup>5</sup>	
制品出模	10 <sup>6</sup>	800

在玻璃的成型过程中，可以从黏度的变化了解玻璃材料是“长性”还是“短性”。如用熔制与成型的温度差来判别玻璃的料性，则差值愈大，玻璃的料性就愈长，玻璃成型和热处理的温度范围就愈广，反之就狭窄。

玻璃制品的成型过程可分为两个阶段，即成型阶段和定型阶段。第一阶段赋予制品以要求的外形（内形）；第二阶段是使第一阶段所成的形状固定下来。

在玻璃制品生产中，成型过程的两个阶段都与玻璃黏度有关，从玻璃的黏度-温度曲线（图 1-7）可以看出，在比较高的温度范围内，黏度的增长速度较缓慢，随着温度的降低，黏度指数呈曲线增加，整个黏度-温度曲线呈弯曲状，而这弯曲部分，玻璃液最适宜成型。由于成型方法各异，其开始的成型黏度当然不同。即使相同的成型方法，由于单位时间的产量不同或相同产品因规格尺寸不同，其成

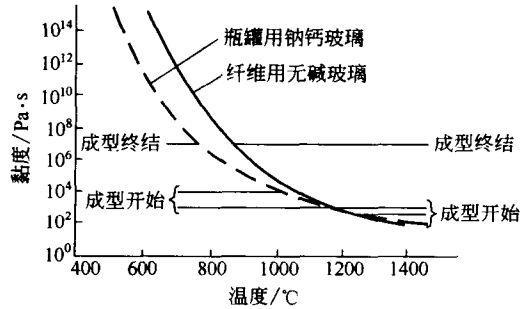


图 1-7 黏度曲线和成型黏度范围

型对玻璃的黏度要求也不同。由于玻璃液可以具有任何所要的黏度，所以它可以有各种不同的成型方法。

成型的开始和终结的必要黏度是因成型方法、制品的形状和尺寸、制品的质量、玻璃的颜色等不同而变化。这是因为上述重要因素对于成型中的玻璃的冷却速度，即黏度的增大速度有着很大影响。

普通玻璃制品按照黏度的增大速度由慢到快的顺序可列出：艺术玻璃、压制（或称模压）玻璃、管玻璃、平板玻璃、瓶罐（容器）玻璃、灯泡玻璃、纤维玻璃。这样的顺序根据上述因素和制品的品质、规格还有若干前后之分。对于不同系统的玻璃、不同的制品和不同的成型方法，情况就不尽相同。就成型的开始黏度而言，纤维玻璃或灯泡玻璃为  $10^{2.5} \sim 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、平板玻璃为  $10^{3.5} \sim 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、玻璃瓶罐为  $10^{1.75} \sim 10^{2.25} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ （小型轻量瓶为  $10^{1.75} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，大型轻量瓶为  $10^{2.25} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ）、压制或拉管以及手工吹制成型时为  $10^4 \sim 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。通常认为一般玻璃制品成型的开始黏度大约为  $10^3 \sim 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ，成型的终结黏度大约为  $10^6 \sim 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

图 1-7 为用于机械吹制成型的钠钙玻璃和无碱纤维玻璃的黏度曲线实例，成型黏度范围  $10^3 \sim 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  为玻璃成型特性的上下限，图中两种玻璃的成型温度范围宽度比较来看，纤维玻璃窄，而钠钙玻璃宽，前者称为短性玻璃，后者称为长性玻璃。

实践证明，钠钙玻璃用机械吹制法成型时，制品尺寸和质量对成型开始黏度的影响如下：中等尺寸制品的成型从相当于  $10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  黏度时对应的温度（ $1178^\circ\text{C}$ ）开始，到相当于  $10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  黏度时对应的温度（ $764^\circ\text{C}$ ）终结；对于小型制品，相当于  $10^{2.75} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  黏度时对应的温度是其成型开始温度，而对于大型制品，相当于  $10^{3.25} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  黏度时对应的温度是其成型开始温度。在瓶罐玻璃和器皿玻璃制品机械成型时，应考虑下列因素：成型开始温度与液相线的温度差、成型上限温度与软化温度之间差以及在此范围内的玻璃的散热速度。

加快成型速度是成型玻璃制品被成型到所需的尺寸后，从模具中取出而不变形的重要前提，同时也有利于提高成型效率。冷却时，颜色玻璃表面的表面温度比无色玻璃表面温度容易降低，两者的成型温度范围虽然都是相当于  $10^3 \sim 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  的温度范围，但颜色玻璃的成型速度却较快。

在平板玻璃生产控制和变动成分时，应善于应用玻璃温度参考点：如以  $T_{\text{上限}}$  为成型温度上限（相当于  $10^2 \sim 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  时的温度），以  $T_f$  为软化温度〔相当于  $(3 \sim 5) \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  时的温度〕，以  $T_L$  为液相线温度，那么  $T_{\text{上限}} \sim T_f$  值可作为成型的作业温度的区间。为了达到成型速度快的目的，该值较小时，较为有利，因此在使用同一设备成型条件下，如改变玻璃的组成时，新组成玻璃的  $T_{\text{上限}} \sim T_f$  就不应比原来组成的玻璃大。如新玻璃的  $T_{\text{上限}} \sim T_f$  值过大时，就意味着黏度系数变小，玻璃的料性变长。而在生产正常的情况下， $T_{\text{上限}} \sim T_L$  为已知区间，如在使用同一设备成型条件下，改变玻璃的组成时，新组成玻璃的  $T_{\text{上限}} \sim T_L$  不应比原来组成的玻璃小，如新玻璃的  $T_{\text{上限}} \sim T_L$  值过小时，就意味着  $T_{\text{上限}}$  刚接近  $T_L$ ，新玻璃就可能发生析晶，故新玻璃的  $T_L$  必须低于原玻璃。假如新玻璃的  $T_L$  和原玻璃的  $T_{\text{上限}} \sim T_L$  一致，这就意味着降低了新玻璃的黏度。

由上述讨论可知，与玻璃黏度有关的各温度点，在成型过程中起着重要作用，它既决定玻璃的成型特性，又能推断新玻璃的适用性。在成型过程中，除  $T_{\text{上限}}$ 、 $T_f$ 、 $T_L$  外，还应考虑玻璃黏度的温度系数、黏度系数、玻璃的降温速度、热传递速度等诸多因素。

总之在成型过程中应充分利用玻璃黏度和温度的关系。长性玻璃适合于复杂的成型作

业，短性玻璃用于成型简单的制品，并且机速要快。手工压制时，为保证玻璃能流动到模具各处，适宜采用“慢凝固”的“长性”玻璃。对机械化高速成型的制品，为提高生产效率和快速脱模并保证制品不变形，可以采用“快凝固”的“短性”玻璃。如果玻璃液突然硬化，即黏度与温度变化很快，玻璃的料性很短，则只能采用浇注的成型方法。

利用玻璃黏度的可逆性，可以在成型过程中多次加热玻璃制品，使它反复达到所需要的成型黏度，以制造出复杂的玻璃制品。

在吹制成型中的黏度还能自动调节玻璃制品壁的厚薄。因为任何的局部薄壁会引起该局部的黏度升高而变硬，造成了逆吹制的拉伸抗力，而厚壁部分则相反，易于拉伸并变薄。

影响玻璃的黏度还有一个重要因素就是化学组成，改变组成即可改变玻璃的黏度以及黏度的温度梯度（玻璃的料性），使它适应于成型时的温度梯度。但应十分注意，玻璃组成的改变会影响到玻璃制品的其他性质。

### 1.2.2 表面张力与成型

表面张力表示表面的自由能，具有把物体的表面收缩成球状的作用。玻璃的表面张力（也是温度与组成的函数）在制品的成型过程中有着重要意义。如人工挑料、吹小泡或滴料式供料机，都是借助玻璃的表面张力而形成球形表面的锥型或料滴的。而在拉制玻璃管或玻璃棒时，由于玻璃的表面张力才获得正确的圆柱形体。有些玻璃制品成型后还要进行爆口和烧口，也是借助玻璃的表面张力使锋利不齐的边口加热软化变圆滑的。浮法玻璃的生产原理也是基于玻璃和熔融锡液表面张力的相互作用和重力作用，获得优质平板。玻璃液的表面张力还影响到金属液对金属表面的附着作用，同时在玻璃同金属和其他材料封接时也具有重要的作用。此外，玻璃的火抛光也借助于表面张力使粗糙表面变得平滑。同样，表面张力对有些玻璃制品的成型也有不利的一面。如生产玻璃薄膜和玻璃纤维，就必须很好地克服表面张力的作用，浮法生产薄玻璃平板，要用拉边器等措施，克服由于表面张力所引起的收缩和变形。

玻璃的表面张力取决于玻璃的化学组成和温度，图 1-8 表面张力与温度的关系。在一般情况下温度升高则玻璃的表面张力降低。熔融玻璃的表面张力约为  $(150 \sim 350) \times 10^{-3} \text{ N/m}$ 。在配合料中使用适量的碎玻璃后，可以降低熔融玻璃的表面张力，改善成型性能，使制品的固化时间和模具的冷却时间都可缩短。

### 1.2.3 弹性与成型

玻璃从高温冷却到室温时由黏滞性液体向黏-弹性材料过渡，最终为弹性固体。对于瓶罐玻璃来说，黏度为  $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  以下时为黏滞性液体，黏度为  $10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  或  $10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  至  $10^{14} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  之间为黏-弹性材料。黏度在  $10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  以上时为弹性固体。在玻璃制品成型过程中，如果维持玻璃的黏滞性状态，不管如何调节玻璃的流动，成型的玻璃制品就不会产生永久应力，也不会产生微裂纹的缺陷。进入黏-弹性范围，玻璃材料的弹性可以立即恢复因应力作用的变形，而其黏度则在应力作用下开始使玻璃质点流动，直到应力消除为止，它是不能恢复应力作用的变形。

多数玻璃制品成型时已达到了弹性发生作用的温度，或者至少在制品的某些部位是这

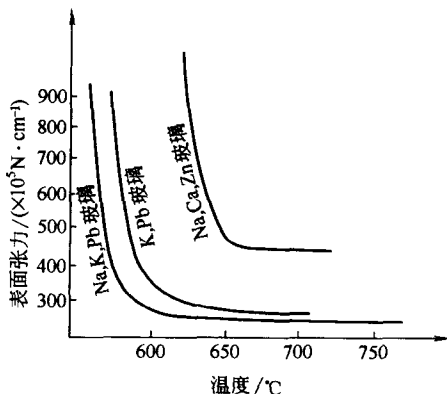


图 1-8 表面张力和温度的关系

样。弹性及消除弹性所产生的影响需要的时间，是成型操作时应考虑的重要问题。当然，高黏性玻璃的弹性值比弹性范围要少若干个数量级。而继续冷却时，进入成型的低温阶段，弹性以及应力会对有些缺陷，如脆裂、变形，产生一定影响。

玻璃结构的长程有序的结构不复存在，并且随着热和力的作用而连续变化。当热和力的作用取消后，就弹性性质而言可回复到原先的值，回复过程所需的时间和温度与目前该状态远离玻璃亚稳态的程度有关，这可称为弹性后效，它与弛豫效应有着紧密的联系。例如，快冷玻璃具有比慢冷玻璃的弹性模量低，钠钙硅酸盐玻璃制品正常冷却和淬冷时，其弹性模量从 74.5GPa 变成 71.5GPa，对同样的玻璃制品在  $T_g$  温度处作几小时的热处理，其弹性模量为 76GPa。

玻璃的弹性模量与原子之间的力和振动频率有关，是随着玻璃熔体通过  $T_g$  时的冷却速率的不同而发生变化，它的变化起因于玻璃的堆积密度。玻璃的弹性模量可以表示为单位体积离解能与离子填充密度的乘积，而这两个量均可以从玻璃的组成、密度以及各氧化物组分的摩尔离解能和摩尔体积计算得到。这几个量就是所需要的基本经验数据。

YAMANE 和 SAKAINO 提出了一种不同的方法，他们认为组分氧化物的熔点是玻璃结构黏聚力的量度：

$$E = 9.3(\rho/M) \sum T_{mi} X_i \quad (1-14)$$

式中  $E$  ——弹性模量， $10^2$  MPa；

$\rho$  ——密度， $g/cm^3$ ；

$M$  ——平均相对分子质量值；

$T_{mi}$  ——第  $i$  种氧化物熔点的绝对温度；

$X_i$  ——第  $i$  种氧化物的摩尔百分数；

9.3 ——系数（是普通构成玻璃常用的氧化物  $B_2O_3$ 、 $GeO_2$  和  $SiO_2$  的已知弹性模量值代入公式得到的）。

一些玻璃具有非虎克特性，可直观解释成是由于材料结构中“自由体积”的存在，而自由体积总伴随无序填充所固有的低效率而发生。从根本上说是由于体积相对庞大的  $SiO_2$  四面体不能像球形的金属和合金原子作紧密堆积所致。也可以说是由于玻璃制品成型时所持有的高黏度阻碍了它本身不能实现紧密堆积成型。

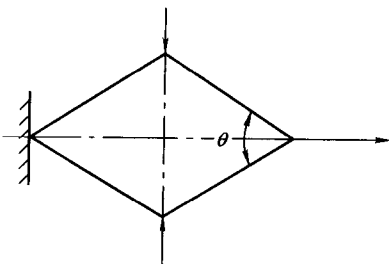


图 1-9 变形的缩放模型

玻璃熔体网络自由体积的存在，也与机械特性的反常不无关系。自由体积使网络可以按某种缩放方式发生变形（见图 1-9）。此处所说的缩放系数指键间夹角的微小变化，而不是键的纯伸长。当应变增加时（相当于一个小的  $\theta$  值），一个按比例增加的应力施加于键伸长模型，而使弹性模量也随之出现一定增长。这一概念也就解释了：室温下，石英玻璃的密实结构具有较高的弹性模量；石英玻璃熔体的弹性模量为何出人意料地小，并影响着玻璃制品的成型性。

#### 1.2.4 热性质与成型

玻璃的热性质是影响玻璃制品热传递的重要因素，对玻璃制品的冷却和硬化速度以及成型制度关系极大。

玻璃的热导率表面辐射强度与透热性时玻璃制品成型过程中的冷却速度影响很大，它们

的值愈大，玻璃制品的冷却速度愈快，成型速度也就愈快。

玻璃的热膨胀或热收缩，会影响玻璃制品中的应力产生和制品的尺寸偏差，因此，设计玻璃模具时，应当注意成型制品所允许的尺寸公差与模腔尺寸的关系。考虑玻璃制品在室温时和液态范围内的线膨胀系数的差异，以及玻璃制品的冷却收缩与铸铁模具膨胀之间的1%~2%差值，确保模腔尺寸设计合理。

另外，还需要考虑热性质对玻璃制品中的应力消除速度问题，以避免产生缺陷。玻璃制品成型时，玻璃与模腔表面接触因冷却而发生收缩，制品外表面的温度最低收缩最大，而愈向内部收缩愈小，这样制品表面产生大小与热性质有关的张应力。这个张应力虽因处于液体状态的质点流动而消除，但当玻璃制品部分达到弹性固体状态时，即会在制品内部产生残余应力，导致表面出现裂纹，成型过程中必须防止此类现象出现。

#### 1.2.4.1 传热性能

玻璃的传热方式为传导和辐射。玻璃制品的成型是热交换过程，特别是定型阶段依赖于模具除去玻璃所带的热量，使玻璃的温度降低。通常用于制瓶的 $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 系玻璃的比热容与模具材料（铸铁）的比热容在各温度区域是有所差异的，大致比率为0.6。这一差别意味着玻璃在成型过程中，与模具接触面处的玻璃温度下降比模具温度上升来得快。

玻璃的热导率远比模具材料的小，两者导热系数的比率大体为0.03。这样与模具接触的极薄的一层玻璃受到急冷，与其内部的温度差非常大。这是由于一般玻璃的热容小于金属模具的热容，所以在模具中，与模腔接触的玻璃表面温度降低很大，而模腔温度升高较小。又由于玻璃热传导较差，所以与模腔接触时，接触界面降温较大，其内部温度尚高的原因。当与模具接触而急冷的玻璃表面脱离模具时，从玻璃内部向表面的热交换是很活跃的，这一现象称之为再热（重热）。应该指出玻璃在成型过程中的热交换是不稳定的交换。值得说明的是在300℃以上时，辐射传热是玻璃在成型过程中的主要传热方式。

#### 1.2.4.2 热流动性能

成型过程中玻璃的热量要转移到冷却空气中，对于如平板玻璃、玻璃管等无模成形的玻璃制品，冷却介质为空气，热量流动较为简单。而对于如瓶罐、器皿、容器、照明器具等用模具成形的玻璃制品，冷却介质为模具，而模具的冷却介质可能是空气或水加上空气，热量流动较为复杂。

玻璃制品的质量在很大程度上取决于成型过程中玻璃的流变状态，这种情况不同于常温的流变学，就目前而言还没有一套较完整的理论来指导生产。以下就成型过程的热流动性能进行分析。

(1) 热阻力 成型过程中热流动的方向为玻璃→模具→周围空气（强制空气制冷）。除此以外还有玻璃与模具的界面层和模具与周围空气的界面层。这两个界面层的热阻力的变化非常复杂，很难用数学公式来表示。图1-10为与初型模密切接触的料泡在成型时的物理量和热阻力大小的关系。由图可知，玻璃的热阻力大而模具的热阻力小；两个界面层的热阻力与物理量相比却很大。

在压制法成型时，玻璃液和模腔壁的接触紧密，界面层的热阻力的增量比采用吹制法成型时热阻力的增量小。玻璃制品成型的起初阶段，模具

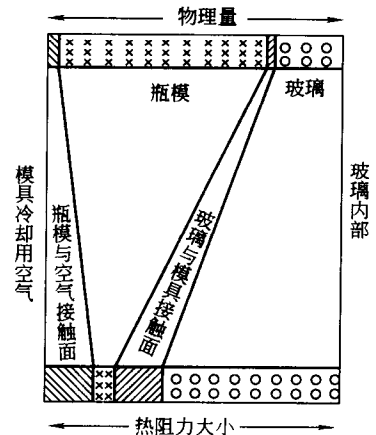


图1-10 物理量和热阻力大小的关系



的热阻相对较小，热流梯度较大。若此温度梯度过大，即冷却得过快，玻璃制品表面层的张应力就导致制品表面出现裂纹和破裂现象。

从玻璃方面分析，热阻力是玻璃的表面黏度与成型中把玻璃压向模腔壁的有效压力的函数。从模具方面分析，热阻力可看作是模腔表面粗糙度和淀积物的函数。由玻璃决定的因素是可以改变的，而模腔表面温度、模腔表面性能以及成型压力是可以控制的。为了得到良好的成型，务必尽可能掌握好这些可控因素。

(2) 玻璃表面的热流动形式 模具成型制品有几个阶段，下面以吹-吹法为例进行说明。吹制料泡是在初型模内完成的，玻璃液与初型模接触，两者发生热交换。初型模开后，雏型（料泡）离开初型模进入成形模，这一阶段，雏型与空气接触，向外散热。若雏型不再热，在最初的吹制时间内，由于雏型向金属模传热使雏型表面骤然冷却，雏型表面与内部的温度高，这对最后成型吹气是不适当的。因此，需要再热。再热时，雏型内部的热传导和辐射传热要比雏型向周围进行对流或辐射散热大，有时雏型表面温度反而升高，雏型内部温差变小，达到适合最后成型吹气的温度和比较缓和的温度梯度。最终成型和定型时，雏型接触到成形模，通过传导使雏型表面急冷，随后冷却到使制品从模取出到外面也不软化的地步。这样的工艺，就要求确定合适的时间使玻璃能达到与热流动形式相适应的黏度和黏度分布。

玻璃液向模具的热传导程度，还与模具的接触压力有关。一般来说，压制法比吹制法的大。

从玻璃表面通过模具的热流动（冷却）是多次反复进行的冷却和再加热，也就是说，从玻璃接触到模具开始，玻璃表面迅速冷却、硬化，随之发生收缩现象，并从模具内表面脱离。其次玻璃本身再加热又导致玻璃表面软化、膨胀，再与模具接触，热流动重新进行，其动速度随时间的延长而减弱。

(3) 模具的最佳温度范围 从玻璃传递到模具的热流受到界面热阻、玻璃表面温度、模腔内表面温度、玻璃液和模腔壁接触的紧密程度（成型的压力）等因素影响。其中模具温度（包括模腔内表面温度和模具外表面的温度）和成型时所用的压力是可以控制的。

除了冷的衬碳模外，在成型之前，模具应加热到适当的操作温度。在成型过程中，模具从玻璃中吸取并积蓄热量，同时借辐射和对流，又将热量传递给模外的冷却介质。这时玻璃表面被冷却硬化。从冷模具加热到操作温度稳定所需要的操作时间，与模具厚度有关。在压-吹法中，壁厚 2cm 的模具约为 20min，而壁厚 4cm 处于热平衡状态的模具约为 40min。模腔内表面随着与玻璃的接触和脱离，温度呈周期性变化。为了维持稳定的操作温度，模具从玻璃中吸取的热量和散失到冷却介质中的热量必须相等。这样，从模腔壁内表面与模具外表面的模具内形成一个稳定的传热带，又称蓄热带。

若模具厚度不足时，稳定的传热带缩小，甚至完全不存在，温度和波动将扩展到模具的外表面。所以在实际上模具的厚度应比模具的蓄热带的厚度大 50% 到 1 倍左右。厚壁模具操作可靠，不要求特别严格地调整外部冷却条件。但是过厚的模具由于蓄热量太大，可能使模具达不到合适的操作温度。相反，薄壁模具受热较快，蓄热能力小，要求较高的成型速度或更精细地调整冷却制度。

模腔内表面温度变化范围的大小，直接影响着成型的玻璃制品的质量。变化的范围越大，制品的表面质量越差，特别是模腔内表面温度低时不可避免地会使玻璃表面形成裂纹和锻纹。按一般情况，用吹-吹法制造瓶罐时，初型模的表面温度变化范围为 50~80℃。模具温度较高时，玻璃制品表面质量较好，制品中玻璃的分布也较为均匀。模具允许的上限温度

决定于玻璃的性质、玻璃液的温度和模具材料，主要以不使玻璃黏附在模腔上为原则。

为获得质量合格的制品，尽可能均匀而迅速地通过模具将玻璃带来的热量除去，是最为有效和可操作的方法。一方面玻璃表面向模具的热流动形式来自玻璃本身的再加热现象，因此，模具内表面的温度高一些才会与成型目的一致起来；然而，另一方面，随着模具内表面温度的升高，玻璃与模具的粘着性增大，达到一定温度时，从模具中取出玻璃制品已不可能了。因此，存在一个与各种成型条件（制品的大小、形状、质量、成型速度等等）都相适应的最佳温度。在工业生产上如何使这个最佳温度保持稳定便成为成型的关键。图 1-11 示意地说明了以上的关系。

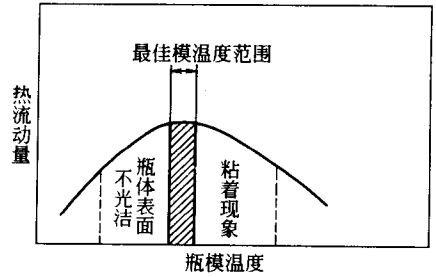


图 1-11 瓶罐模具最佳温度范围

推荐的模具温度制度指标如表 1-9 所示。

表 1-9 推荐的模具的温度制度指标

模 具	向周围大气中的 热辐射强度/(W/m <sup>2</sup> )	模具温度/°C		在模体壁面上 的温度差/°C	玻璃料与模腔壁 接触时的冷却程度/°C
		内 表 面	外 表 面		
初型模	1214.1~725586	300~500	140~220	160~280	30~70
成型模	34890~85585	450~580	200~300	250~280	150~250

以上说明了有模成型的玻璃制品，要求在某个位置如模具上的特定点，保持最佳温度范围和重复的时间—温度循环，无模成型的玻璃制品如拉管或平板玻璃成型，要求特定点的温度处于最佳温度范围，而温度随不同位置应快速变化。总之，不论是有模成型，还是无模成型，玻璃在成型期间还能流动时，其本身温度变化较快，才能在成型操作过程中确定最佳条件。对于不同类型的成型方法要选择不同的黏度-温度关系和最佳温度范围。即使今天有精确控制设备，也常要做适当的调整，如装入一新模具后花上几个小时才能优化工艺条件。因此，操作条件的频繁变化是很不可取的。

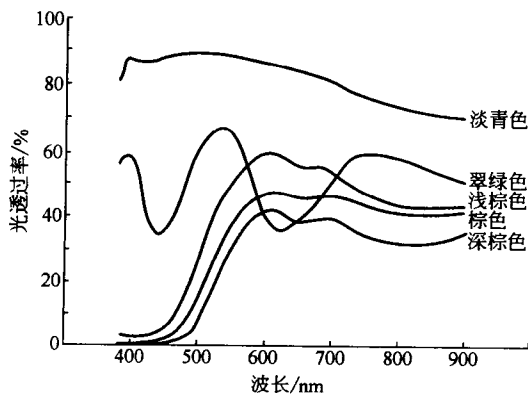


图 1-12 不同颜色玻璃透过率曲线

### 1.2.5 色泽与成型

在玻璃制品成型时，光辐射与热传递是密不可分的两个物理现象。对于不同颜色的玻璃而言，吸收辐射光的能力愈强，亦即吸收高温辐射的能力愈强，玻璃表面吸收的热量就愈多，透过玻璃体以辐射形式传递热量愈少。这种因玻璃的色泽不同所致的吸热能力的差异和传热能力的差异，称之为“传热差异”。

不同色泽的玻璃对于近紫外线、可见光和近红外线具有不同的吸收能力。几种颜色玻璃的光透过率曲线示于图 1-12。由

图可知棕色玻璃对于 400nm 附近波长的可见光具有极强的吸收能力，在 400nm 处出现最大

值。翠绿色玻璃对于 440nm 和 630nm 附近波长的可见光具有较强的选择性吸收能力，在 440nm 和 630nm 处出现极大值。淡青色玻璃对于可见光的吸收能力较弱，在 500nm 处出现最小值。对于近紫外区域光线的吸收能力，棕色玻璃很强，翠绿色玻璃适中，淡青色玻璃较弱。对于近红外区域光线的吸收能力，三种颜色玻璃之间存在一定差异，但这种差异已逐渐缩小。

试验证明，当色泽相同而色浓度不同时，对光线的吸收能力与色彩浓度的变化呈正比例关系。

在玻璃成型阶段，料坯内部及料坯与模具之间的传热，主要是以辐射和传导方式进行的。而在该温度范围，辐射热主要是以可见光和近红外线形式传播的。此时，不同色泽及色浓度的玻璃其吸热能力和传热能力还存在着相当大的差异，这种“传热差异”必然会给传热进程施予重要影响。

人们可以把锥型料坯和瓶子都看成若干玻璃层组合的整体。在整个成型过程中，处于中间的玻璃层温度最高，与工艺气和模具相接触的内外两个层温度最低，热量以辐射和传导方式不断地从高温层向低温转移。玻璃色泽不同，以辐射方式传递热量的速度就不同。传热速度的快慢顺序是：无色、淡青色、翠绿色、棕色。

在此引入一个“表层硬化速度”的概念，它是左右模具冷却强度和瓶子成型速度的主要因素之一。对于不同色泽的玻璃来说，传热速度快则表层硬化速度慢，而传热速度慢则表层硬化速度快。在成型过程中，料坯经历了扑气、倒吹气、重热、延伸、正吹气等工艺步骤，热量不断从玻璃体内部向玻璃表层转移，再经过玻璃表层向模具周围空间传递热量。模具及工艺气吸收热量并使玻璃逐渐冷却，当玻璃表层硬化并足以维持玻璃体的形状时，瓶便成型了。实际上，瓶子出模时，不同色泽的玻璃其瓶体温度是有差别的。例如：无色玻璃传热速度较快，释放热量较多，出模时瓶体温度较低；棕色玻璃传热速度较慢，释放热量较少，出模时瓶体温度较高；淡青色和翠绿色玻璃则介于它们之间。为此，生产无色玻璃瓶时，需要较高的冷却强度，否则瓶子就容易变形；生产棕色玻璃瓶时，需要较低的冷却强度，否则瓶子易于产生冷斑及表面微裂纹。

针对玻璃的色泽及其浓度的差异对玻璃制品成型的影响，人们可以调整成型时模具的冷却速度，调整冷却强度主要有两种途径：即机械调整和工艺调整。机械调整包括调整工艺气用量、调整模具冷却风用量、调整机构动作配时等；工艺调整包括调整机速、调整滴料温度、调整为料坯形状和质量等。

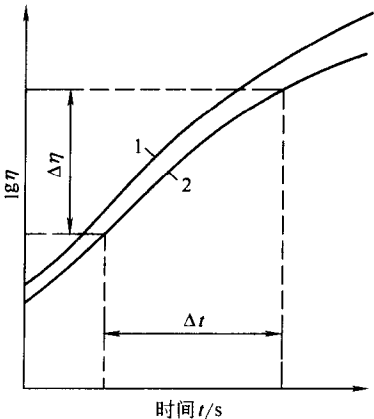


图 1-13 玻璃液的黏度与冷却时间的关系  
1—制品的表层；2—制品的平均层

### 1.3 玻璃制品成型制度

玻璃制品的成型制度是由玻璃制品的成型方法所决定，不同的成型方法和不同的玻璃液性质，有不同的工艺参数。工艺参数的内容须包括成型温度范围、成型时玻璃的黏度、冷却介质温度和要求、模具温度、制品成型的持续时间等主要因素。

玻璃的固化速度（黏度-时间曲线）是单位时间冷却过程中玻璃黏度增长的速度，是确定成型制度的主要依据。玻璃液的黏度与冷却时间的关系如图 1-13 所示。

玻璃液的黏度-时间曲线是在成型过程具体的热传递情况下，由玻璃液的黏度-温度曲线和温度-时间曲线两者所确定。玻璃液的黏度-温度曲线的特征对于玻璃制品成型起着关键的作用，已在 1.2 节进行了论述，一些有代表性的玻璃液的黏度曲线如图 1-14 所示，表明可以获得较宽的成型温度范围。玻璃液的温度-冷却时间曲线如图 1-15 所示。

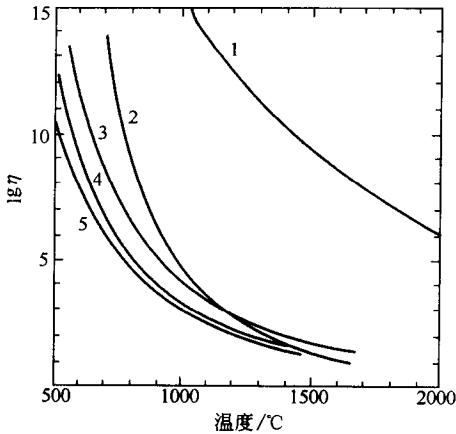


图 1-14 一些常用玻璃的黏度-温度关系  
1—熔融石英；2—纤维玻璃；3—器皿玻璃；  
4—二元碱硅酸盐玻璃；5—铅晶质玻璃

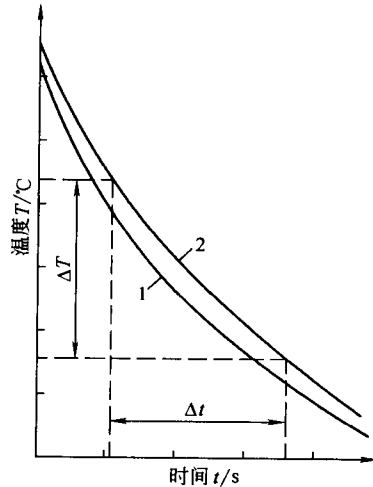


图 1-15 玻璃的温度-冷却时间关系  
1—制品的表层；2—制品的平均层

成型制度规定玻璃液的成型温度范围，即工作黏度范围，是以玻璃液应具有完整成型的流动性，在外力作用下易于成型，有一定冷却硬化速度与不产生析晶和缺陷等来考虑的，选择在玻璃的黏度-温度曲线的弯曲处。玻璃成型的工作黏度范围，根据不同的成型方法，玻璃的料性长短，制品的大小和质量而不相同。

成型各阶段的持续时间，可以根据玻璃的黏度-时间曲线的  $\Delta\eta$  值，由相应的  $\Delta t$  值来确定。实际上各阶段的持续时间与玻璃的热传递密切相关，在给定的成型方法和给定的成型设备下，应当考虑玻璃制品的质量与其表面积之比 ( $m/S$ )、玻璃压向模腔壁的有效压力、模具的材料、质量与冷却情况等。

不同的玻璃成型机，其操作时间周期是不相同的。空心玻璃制品的成型时间周期包括：送料入初型模和形成雏型，雏型传递和重热，在成形模中成型和冷却制品以及取出制品等每一个循环周期中，初型模和成形模的使用时间有一定的重叠，重叠的时间越多，生产效率越高。

在初型模中所形成的雏型温度，极大地控制着最后成型制品中玻璃的分布。在一定的模具温度制度下，初型模与玻璃液的接触时间是十分重要的，既不能使玻璃冷却过度或过快，也不能使玻璃冷却不足，否则将会使制品厚薄不匀和产生表面缺陷。玻璃液的  $m/S$  小，模具的质量大，模具材料传热快，初型模的周期时间应当少，反之则长。

在初型模打开，雏型传送成形模，直到吹制制品之前，有一定的玻璃表面重热时间。重热对制品中玻璃的均匀分布和制品的表面质量都起着重要的作用。重热的时间随雏型玻璃表面温度下降的大小而变化。

成形模周期控制着制品最后的形状和使玻璃硬化至制品从模中取出时不致变形。成形模

周期应当与玻璃的硬化速度相适应，不能太慢或太快，太慢将影响产量，太快会使制品产生表面缺陷。

模具的温度制度也是成型制度的一个重要方面（详见 1.2 节有关内容）。

## 1.4 玻璃制品成型方法

### 1.4.1 平板玻璃成型

平板玻璃成型有以下几类：

- ① 手工成型：冠冕法、手筒法和机筒法等，属原始的成型法；
- ② 压延法、浇注法和轧制法；
- ③ 机械拉制法：浮法、有槽垂直引上法、无槽垂直引上法和平拉法等。

#### 1.4.1.1 浮法成型

浮法是指熔窑熔融的玻璃液流入锡槽后，在熔融金属锡液的表面上成型平板玻璃的方法。

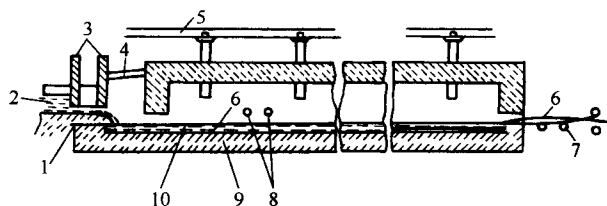


图 1-16 浮法生产示意图

- 1—流槽；2—玻璃液；3—闸板；4—碓顶；5—保护气体管道；  
6—玻璃带；7—过渡辊台；8—拉边器；9—碓底；10—锡液

熔窑的配合料经熔化、澄清均化、冷却成为  $1150\sim 1100^{\circ}\text{C}$  左右的玻璃液，通过熔窑与锡槽相接的流槽，流入熔融的锡液面上，在自身重力，表面张力以及拉引力的作用下，玻璃液便摊开成为玻璃带，在锡槽中完成抛光与拉薄，进入锡槽末端的玻璃带已冷却到  $600^{\circ}\text{C}$  左右即硬化，随后被引出锡槽，经过渡辊后进入退火窑。

其过程如图 1-16。

浮法成型的发展使得抛光平板玻璃也成为过时，但由于浮法成型生产的平板玻璃的自然平衡厚度约为  $7\text{mm}$ ，生产不同厚度的平板玻璃是浮法玻璃发展的主要问题之一。

#### 1.4.1.2 垂直引上法成型

(1) 有槽垂直引上法 有槽垂直引上法是使玻璃通过槽子砖缝隙成型平板玻璃的方法。其成型过程如图 1-17 所示，玻璃液由通路 1 经大梁 3 的下部进入引上室，小眼 2 是供观察、清除杂物和安装加热器用的。进入引上室的玻璃液在静压作用下，通过槽子砖 5 的长形缝隙上升到碓口。碓口玻璃液的温度约为  $920\sim 960^{\circ}\text{C}$  左右，在表面张力的作用下，形成葱头状板根 6，板根处的玻璃液在引上机 10 的石棉辊 9 拉引不断上升与拉薄形成原板 8。玻璃原板在引上后受到主水包 4 和辅助水包 7 的冷却而硬化成型。

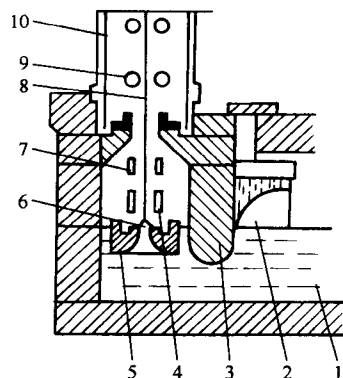


图 1-17 有槽垂直引上室

- 1—通路；2—小眼；3—大梁；  
4—主水包；5—槽子砖；6—板根；  
7—辅助水包；8—原板；  
9—石棉辊；10—引上机

玻璃板宽可达  $3\text{m}$ ，但常见的是  $1.8\sim 2.3\text{m}$  之间，能生产的玻璃板厚度范围很宽，在  $0.66\sim 14\text{mm}$  之间，但并不是整个范围都常用，常用范围一般在  $0.76\sim 6\text{mm}$  之间。在一定的设备条件下，对玻璃的厚度控制主要是：①引上室温度；②引上速度（薄玻璃的  $3.5\text{m}/\text{min}$  到厚玻璃的  $0.2\text{m}/\text{min}$ ）；③槽子砖所浸没的深度；④冷却水包的位置。

(2) 对辊法成型 对辊法成型在一定程度上弥补了有槽法的缺点。图 1-18 为对辊法引上的剖面图。对辊法成型有以下 3 个特点：

① 一对成型辊构成了类似于槽子砖的砖口作不停地转动，缓解了玻璃液的侵蚀；

② 对辊沉入玻璃液的深度一般控制在 15mm 左右。当需要改变其深度时，可通过调节偏心装置来实现；

③ 原板宽度可通过调节边型砖位置来实现。

(3) 无槽垂直引上 图 1-19 为无槽垂直引上室的结构示意图，它采用了沉入玻璃液内的引砖并在玻璃液表面的自由液面上成型。

由于无槽引上法采用自由液面成型，所以槽口不平整（如槽口玻璃液析晶，槽唇侵蚀等）引起的波筋就不再产生，其质量优于有槽法，但无槽引上的技术操作难度大于有槽引上法。

通常玻璃板的最大宽度 3.05m，但大多在 2.1~2.75m 之间，玻璃平板厚度通常在 2.0~9.5 mm 范围内。

#### 1.4.1.3 平拉法成型

平拉法与无槽垂直引上法都是在玻璃液的自由液面上垂直拉出玻璃板。但平拉法垂直拉出的玻璃板在 500~700mm 高度处，经转向辊转向水平方向，由平拉辊牵引，当玻璃板温度冷却到退火上限温度后，进入水平辊道退火窑退火。玻璃板在转向辊处的温度约为 620~690℃。图 1-20 为平拉法成型示意图。

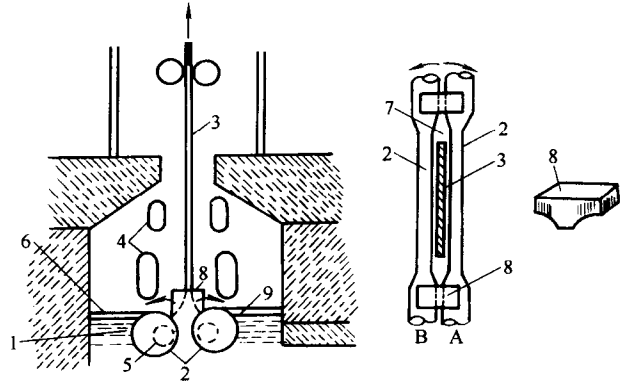


图 1-18 对辊法成型剖面示意图

1—玻璃液；2—带有偏心装置的转动式成型辊；它半浸入玻璃液中作连续式或间歇式的反向转动；3—厚板；4—冷却器；5—转轴；6—玻璃液面；7—对辊形成的槽口；8—形成边子和稳定边子用的成型辊；9—上方的挡热板

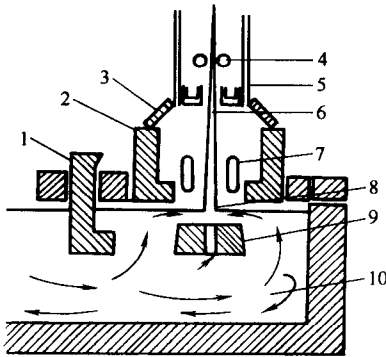


图 1-19 无槽垂直引上室

1—大梁；2—L形砖；3—八字水包；  
4—石棉辊；5—引上机；6—原板；  
7—冷却水包；8—板根；  
9—引砖；10—玻璃液

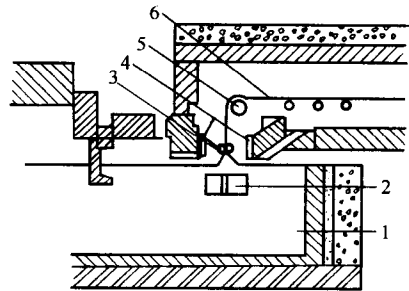


图 1-20 平拉法成型示意图

1—玻璃液；2—引砖；3—拉边器；  
4—水冷却器；5—转向辊；6—玻璃带

平拉法成型的玻璃宽可达 3.5m，厚度范围较宽，为 0.6~25mm，但常用的 2m，宽玻璃厚度在 0.1~10.0mm 之间，拉引速度比垂直引上法快，2mm 厚的玻璃为 2.5m/min，但

常用为 0.7m/min。

#### 1.4.1.4 压延法成型

压延玻璃的生产方法分间隙压延法和连续压延法两种，间隙压延法已过时，目前主要是采用连续压延法。

##### (1) 间隙式压延模

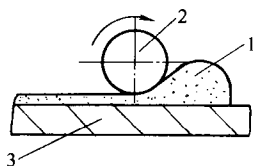


图 1-21 平台式压延模工作示意图  
1—玻璃液；2—辗压辊；3—平台

① 平台压延模是一种古老的方法，如图 1-21 所示。它是将熔融的玻璃液从坩埚或料勺中浇在铸铁平台上，经辊子轧压制成压花玻璃或加工用玻璃板。辗压辊 2 与铸件平台 3 保持一定间距，在玻璃 1 上向前滚动辗压出所需厚度的玻璃平板，再送入退火炉退火。

② 辊间压延模如图 1-22 所示，用坩埚或料勺将玻璃液倒在玻璃接料器 1，接料器将玻璃液喂向一对成型辊 3 之间，成型辊旋转将玻璃料轧压成合乎要求厚度的玻璃板 4，并滑落到下面的多节接板台 6 上，接板台的移动速度与成型辊相同，将玻璃板边接边连续地带走。在接板台的接合点用切割器 5 将玻璃板切断，升送往退火炉将玻璃板退火。

图 1-23 所示，为夹丝玻璃辊间压延模工作示意图。

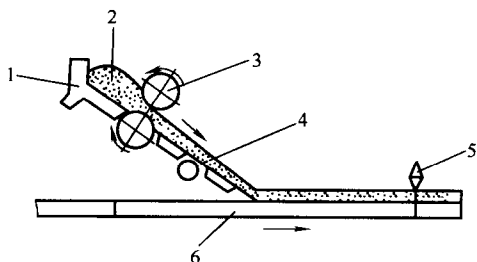


图 1-22 辊间压延模工作示意图  
1—接料器；2—玻璃液；3—成型辊；  
4—玻璃板；5—切割器；6—接板台

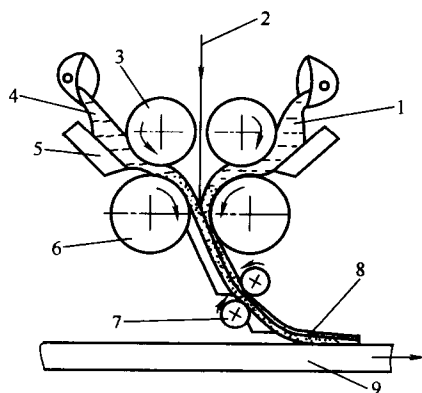


图 1-23 夹丝玻璃辊间压延模工作示意图  
1、4—玻璃液；2—金属钢丝；3—喂料辊；  
5—喂料托板；6—压延辊；7—导向辊；  
8—夹丝玻璃制品；9—输送平台

(2) 连续式压延模 图 1-24 所示，是由压延辊 4、倾斜托辊 5、过渡辊台 6、退火窑 7 和切装机组联合组成的机械和自动化生产线。具有生产速度快、产品质量高和产量大的特点。从熔窑 8 融化好的玻璃液经溢流口 2 连续地通过托砖 3 流入一对中心通水冷却的压延辊 4。压延辊旋转的圆周速度决定了玻璃带的拉引速度，辊 4 间缝隙的距离决定了玻璃的厚度。玻璃液通过压辊被压轧并急骤地冷却，出压

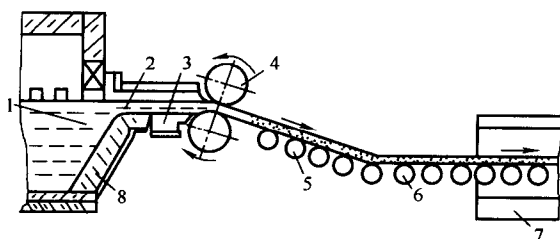


图 1-24 连续压延模工作示意图  
1—玻璃液；2—溢流口；3—托砖；4—压延辊；  
5—倾斜托辊；6—过渡辊台；7—退火窑；8—熔窑

延辊后即被成型后的连续玻璃带，经倾斜托辊 5，过渡辊台 6 进入退火窑 7 退火，退火后的连续玻璃带进入冷端机组被切裁为单片玻璃板，在末端进行堆垛或装箱，并入库。

采用对辊压延的玻璃板两面的冷却强度大致相近。由于玻璃液与压辊成型面的接触时间短，适用于温度较低的玻璃液。连续压延法的产量、质量、成本都优于间隙压延法。

连续式压延模按制品种类和生产方法基本可分为如下几种：

- ① 压花玻璃连续式压延模；
- ② 夹丝压花玻璃连续式压延模，包括上夹丝一次连续式压延模，上夹丝两次连续式压延模和下夹丝连续式压延模；
- ③ 磨光原板连续式压延模；
- ④ 异形断面玻璃连续式压延模，包括 U 形（槽形）瓦玻璃连续式压延模（如图 1-25 所示），波形瓦玻璃连续式压延模等。

目前压延法生产的主要品种如下。

① 压花玻璃 压花玻璃是压延法生产的主要品种，一般情况压花玻璃单面带有别致的几何图案或花卉图案等用于建筑装饰玻璃。压花玻璃的厚度一般为 2~12mm。

② 夹丝玻璃 在压延玻璃中间夹钢丝，钢丝直径一般为 0.4~0.53mm，钢丝有做成钢丝网或间距为 50mm 的平行钢丝，钢丝网有菱形或十字形的，夹丝玻璃比普通玻璃强度高，破碎后仍被钢丝连在一起，主要用于防火、防盗和安全防护方面，属于安全玻璃。

③ 磨光玻璃原板 作为磨光玻璃原板已有悠久的历史，磨光玻璃原板主要采用普通和夹丝两种压延玻璃。磨光用普通压延玻璃原板一般厚度为 4.3~17mm，夹丝玻璃原板一般厚度为 7.8~11.6mm。夹丝磨光玻璃可做橱窗玻璃或各种各样用途的防护玻璃。普通磨光玻璃又是深加工玻璃采用的主要原板，现在大部分已被浮法玻璃代替，但一些有特殊要求的深加工玻璃产品仍采用磨光玻璃。

④ 各种异形断面的玻璃 各种异形断面的玻璃，如厚度为 6~7mm 的波形玻璃和槽形玻璃，这些玻璃有夹丝和不夹丝两种，波形玻璃又有大波形玻璃和小波形两种。主要用于屋面材料和围护材料，并且具有优良采光性能，夹丝后兼备可靠的安全性。

⑤ 着色压花玻璃 具有各种颜色的着色压花玻璃被广泛地用作建筑装饰玻璃。着色压花玻璃作为艺术玻璃，用于建筑装饰已是几世纪前的事，在国外一些古老的建筑和教堂上装饰的种种着色压花玻璃色彩绚丽，被视为古代艺术珍品。

玻璃压延一般可认为是直接对玻璃熔融态进行压延，应归于“无定形→成型”和“半定形→成型”两种。自 20 世纪 60 年代浮法玻璃生产工艺问世后，先进国家中传统的平板玻璃生产工艺（垂直引上法、平拉法等）已被淘汰，只有连续压延法因其产品独具特色，成了浮法玻璃生产工艺并存的工艺方法。

#### 1.4.2 容器和电视以及技术玻璃成型方法

容器和电视以及技术玻璃等玻璃制品的加工方法分人工成型和机械成型两种。

人工成型是一种比较原始的成型方法，但目前在一些特殊的玻璃制品成型中仍在使用的，如仪器玻璃的成型等。这种方法目前最常用的是人工吹制法。具体是由操作工人用一空吹管

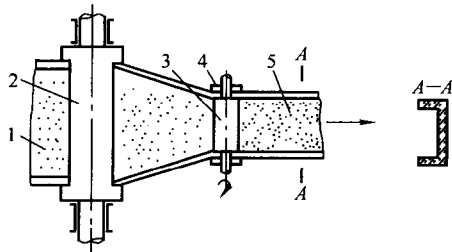


图 1-25 U 形（槽形）瓦玻璃连续式压延模工作示意图

- 1—玻璃液；2—平板玻璃压延辊；  
3—U 形瓦凸成形辊；4—U 形瓦凹成形辊；5—U 形瓦玻璃



将一端挑起熔制好的玻璃料，然后依次均匀吹成小泡、吹制、加工等操作而使玻璃制品成型。这种成型方法要求操作工人具有丰富的工作经验和熟练的操作手法。

占主导地位的机械成型法使玻璃制品的成型实现了机械化。一般空心制品的成型机大多以压缩空气为动力，也有一部分采用液压传动。

#### 1.4.2.1 压制成型

压制法模具的主要零件有凸模、凹模、模环和顶杆，常采用供料机供料和自动压力机成型。其成型过程如图 1-26 所示。

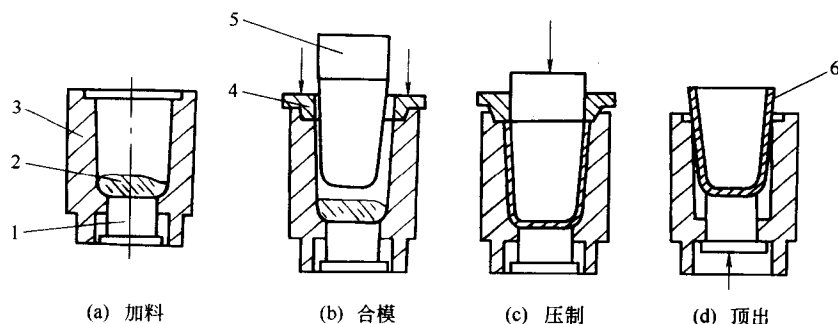


图 1-26 压制成型示意图

1—顶杆；2—玻璃熔料；3—凹模；4—模环；5—凸模；6—玻璃制品

压制法能生产实心 and 空心玻璃制品，如玻璃砖、透镜、电视显像管的面板及锥体、耐热餐具、水杯、烟灰缸以及技术玻璃制品等。其特点是制品的形状比较精确，能压出外面有线条或带花纹的制品，工艺简便，生产能力较高。缺点是制品粗糙度较高。压制成型对玻璃液的温度、黏度、成型时间、冷却介质等要求较高。

#### 1.4.2.2 吹制成型

(1) 手工吹制 手工吹制是以中空铁管作为吹管，在熔融的玻璃液中蘸料，经过滚压后吹成料泡，然后在衬碳模中吹成瓶身，再加工完成瓶口如图 1-27 所示。

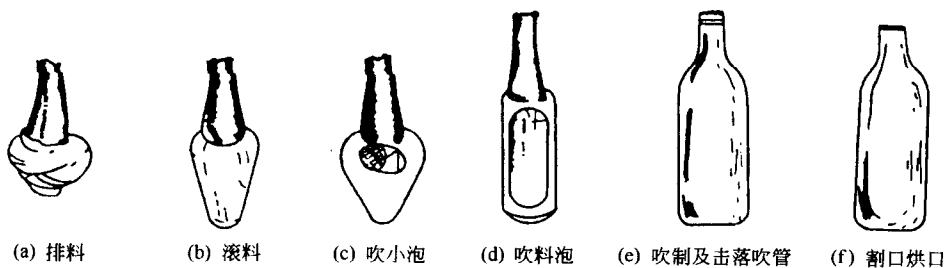


图 1-27 手工吹制

手工吹制使用空心的铁管或（不锈钢管），一端用来蘸取玻璃液，另一端用来人工吹气。管长约 1.5~1.8m，中心孔径  $\phi=0.5\sim 1.5\text{cm}$  可根据制品大小选用不同规格的吹管。

衬碳模又称冷模或转吹模。它是在铸铁模腔表面上，以干性油，如亚麻仁油、桐油等为黏合剂用不同的方法涂附烟炱、软木粉、细焦炭粉等，加热使之牢固。模具使用时用水冷却，在模中吹制制品时要使料泡旋转，由于这种模具兼具碳模和铸铁模的优点，特别是在吹制时，料泡和模腔表面间形成气垫，便于料泡转动，制品表面比较光滑接近于火抛光的表

面，而且制品的尺寸也比较精确。

手工吹制主要依靠熟练的技术和本人的操作经验。操作的要领如下。

① 勺料要均匀，灼热玻璃在各部分的分布是否匀称主要取决于吹制铁管的旋转速度，旋转速度过快或过慢都会造成制品厚薄不均。

② 吹制时间和吹制气量要恰到好处，吹气过大会使制品端部过薄，尺寸偏大；反之，会使端部过厚，尺寸偏小。运气自如和吹气力量恰到好处是保证制品尺寸的关键。

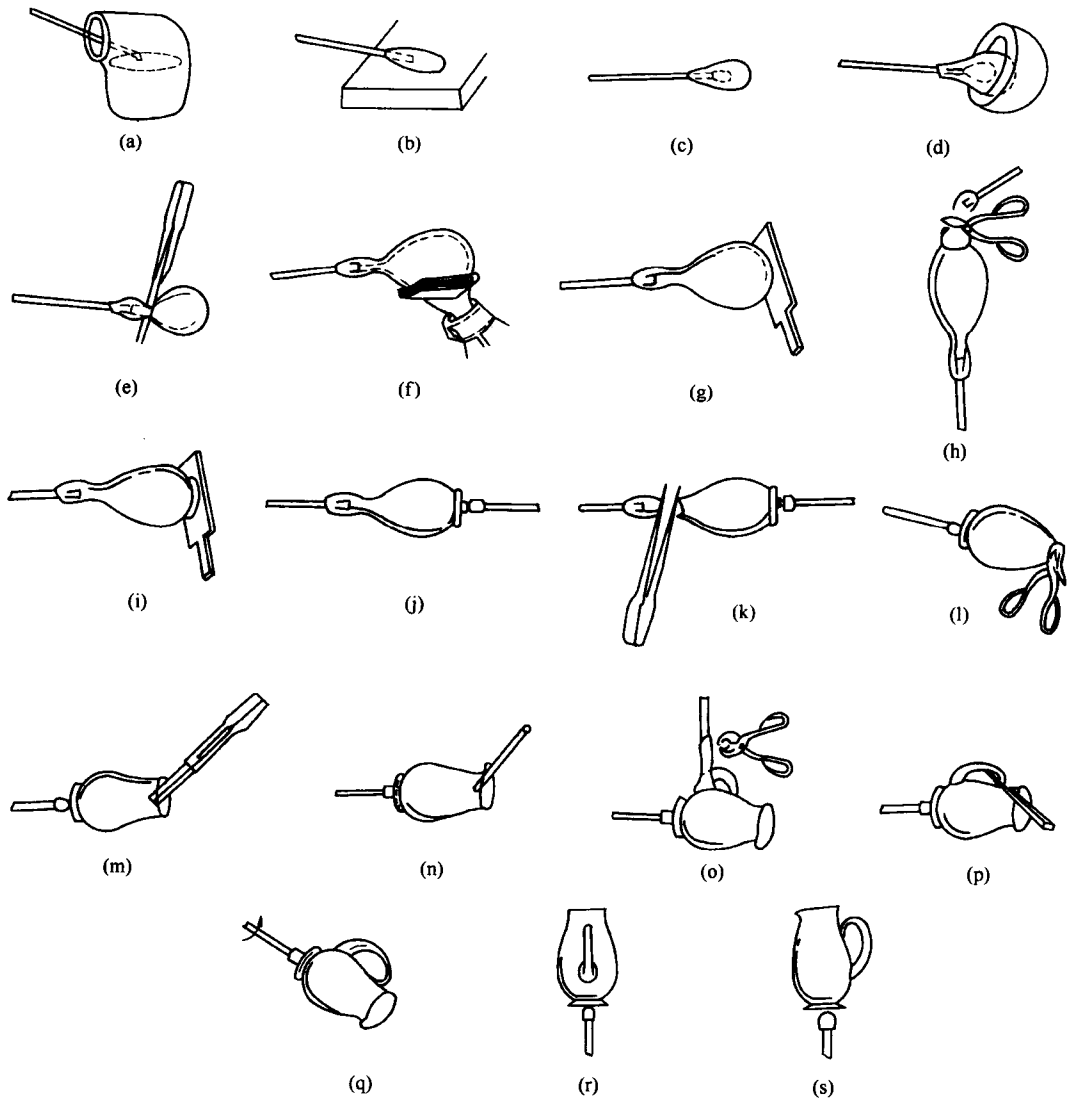


图 1-28 空吹成形法流程

- (a) 用吹杆前端蘸玻璃料；(b) 于铁板上滚料整形；(c) 向小泡内吹气，二次蘸料；  
 (d) 于铃碗中滚动，修整厚度；(e) 用夹钳齐口；(f) 以湿润纸托整形；(g) 以托板平底；  
 (h) 加底座玻璃料坯；(i) 平齐并形成底座；(j) 用另一料杆蘸少量玻璃加于底座处；  
 (k) 使吹杆分离；(l) 以微细火加热软化，切除余料；(m) 木板扩口；(n) 制作倾出口；  
 (o) 黏附手把用玻璃料坯；(p) 手把上部扩口；(q) 轴动物，扩修手把；  
 (r) 整形；(s) 脱离后一铁杆，送入退火炉

③ 挑料质量每次应基本一致，因这种成型方法主要依靠手感和经验。坩埚上部玻璃液黏度与接近坩埚底部的玻璃液黏度有差异，挑料时尤其要注意。

上述的模吹成型法为“旋转法”，适用于无脚平底玻璃杯、酒杯等玻璃容器。除“旋转法”外还有“胀吹法”，它是将蘸取在吹杆上的玻璃料放入预热的金属模内，吹胀成型，适用于“旋转法”无法制造的多角形玻璃容器。

除模吹成型法，还有空吹成型法。它巧妙地利用玻璃的成型性质和特殊的夹钳或其他简单工具，能制成富有自由流动感的玻璃制品。高级玻璃艺术品多数采用窑玻璃手工自由和空吹成型法，完成艺术造型。

空吹成型法成形的玻璃容器有器皿、花瓶、钵缸等，成形的玻璃制品有各种装饰品、陈列品、甚至有收藏和欣赏价值高的艺术精品，范围很宽广。此外，以无色玻璃和着色玻璃并用的“套色玻璃制品”也用这种方法成形。图 1-28 为空吹成型法流程图。

## (2) 机械吹制

① 压-吹法 该法的特点是先用压制的方法在初型模中制成制品的口部和锥型，然后再移入成形模中吹成制品。

成型时口模放在初型模上，由滴料供料机送来的玻璃液料滴落入初型模后，冲头开始向下压制成口部和锥型，然后将口模连同锥型移入成形模中，重热伸长并放下吹气头，用压缩空气将锥型吹成制品，最后，将口模打开取出制品。

压-吹法主要用于生产广口瓶、小口瓶等空心制品，容易实现制品的壁厚分布均匀，其成型过程如图 1-29 所示。

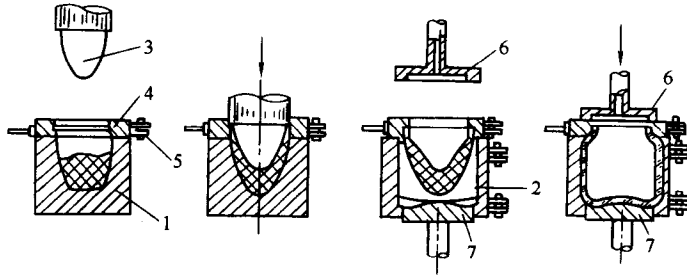


图 1-29 压-吹法成型广口瓶示意图

1—初型模；2—成形模；3—冲头；4—口模；5—口模铰链；6—吹气头；7—模底

② 吹-吹法 该法的特点是先在带有口模的初型模中制成口部和吹成锥型，再将锥型移入成形模中吹成制品。

吹-吹法主要用于生产小口瓶。根据供料方式不同又分为翻转锥型和真空吸吹法。

翻转锥型法的特点是用锥型倒立的办法，使滴料供机送来的玻璃液滴落入带有口模的初型模中，用压缩空气将玻璃液向下压实形成口部（俗称扑气）。在口模中心有一顶芯子，以便使压下的玻璃液留出适当的凹口。口部形成后，口模中的顶芯子即自行下落，用压缩空气向形成的凹口吹气（倒吹气）形成锥型，然后将锥型翻转移入正立的成形模中，经重热、伸长、吹气，最后吹成制品。其成型过程如图 1-30 所示。

真空吸料法是将袋式供料机或窑池中的玻璃液直接吸入正立的初型模中。初型模下端开口，上端为口模。模的下端浸入玻璃液中，供真空的抽吸作用，将模内空气从口模排除，使整个初型模和口模吸满玻璃液。然后，将初型模提高使之离开玻璃液面，并用滑刀沿模下端

切断玻璃液。打开初型模使锥型自由地悬挂在口模，微吹气并进行重热和伸长，接着移入成型模，用压缩空气吹成制品。其成型过程如图 1-31 所示。

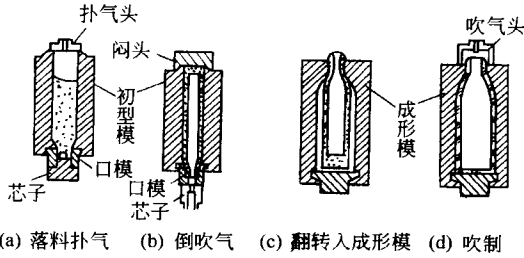


图 1-30 翻转料泡吹制法示意图

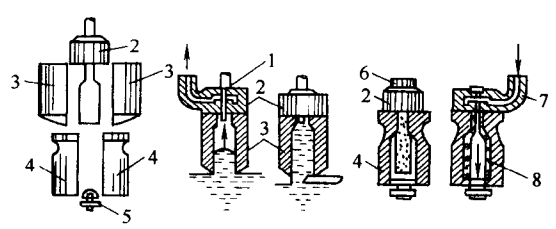


图 1-31 真空吸料成型示意图

1—吸气头；2—口模；3—初型模；4—成型模；  
5—模底板；6—阀头；7—吹气头；8—制品

转吹法是吹-吹法的一种，只是在吹制时料泡不停地旋转。所用模是用水冷却的衬碳模。转吹法主要吹制薄壁器皿、电灯泡、热水瓶胆等。

带式吹制法是以玻璃液从料碗中不断地向下流泻的液流，经过用水冷却的压辊压成带状。依靠玻璃本身重力和扑气，在有孔的链带上形成料泡，再由旋转的成型模抱住料泡，吹成制品。带式吹制主要用于生产电灯泡和水杯。

压-吹法与吹-吹法成型的区别在于前者为锥型和瓶口同时由冲头压制而成，后者要经过顶芯子，扑气和倒吹气才能制出锥型和瓶口。压-吹法是在吹-吹法的基础上发展起来的，并用冲头代替了顶芯子。

#### 1.4.2.3 压制成型与吹制成型相结合

带脚杯的成型即为这个复合成型：上部杯碗用压-吹法或吹-吹法成型，下部脚与底座是用压制成型，杯碗与杯脚的连接有以下几种方法。

(1) 热间熔接法 先成型杯碗，在温度尚未降低时，将杯碗倒过来与脚座模紧贴，接着向脚座模内浇注玻璃料滴，并用冲头加压以成型脚与座，同时脚便与杯碗粘接一起。为了消除杯脚和杯座的合缝线，要先将杯座压成浅碗形，然后加热软化，将底座展平，这是一种方法；另一种方法是用火焰烘热合缝线，使线减轻到不明显程度，如图 1-32 所示。

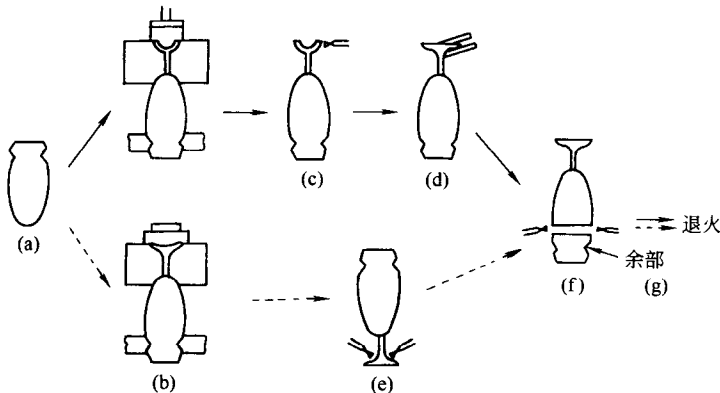


图 1-32 带脚杯成型工艺流程（热间熔接之一）

(a) 杯碗成型（旋转吹制）；(b) 脚座成型（压制）；(c) 底座加热软化；  
(d) 底座展平；(e) 火抛；(f) 烧掉杯口余部；(g) 退火

上述方法是成型脚与座的同时就与杯碗熔接的方法，还可将杯碗和脚与座分别成型，当两者都热时使连接处加热软化熔接，然后退火，如图 1-33 所示。

(2) 冷间熔接法 杯碗和脚与座分别进行成型，分别退火，然后将要连接处加热软化熔接，最后再次进行退火，如图 1-34 所示。

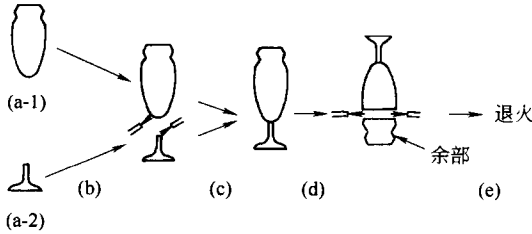


图 1-33 带脚杯成型工艺流程（热间熔接之二）

(a-1) 杯碗成型（旋转吹制）；(a-2) 脚座成型（压制）；(b) 加热软化；(c) 熔接；(d) 烧掉杯口余部；(e) 退火

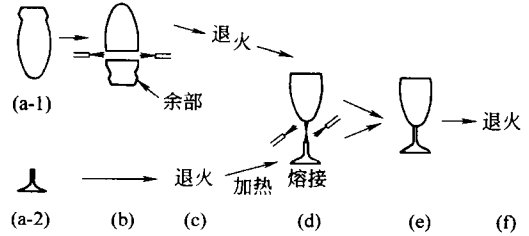


图 1-34 带脚杯成型工艺流程（冷间熔接）

(a-1) 杯碗成型（旋转吹制）；(a-2) 脚座成型（压制）；(b) 烧去余部；(c) 退火；(d) 加热；(e) 熔接；(f) 退火

(3) 杯脚拉伸法 先成型下部带有玻璃块的料泡，接着在吹制模中边旋转吹气，同时顶起底座模进行杯碗和杯座的成型，然后从模中取出，将杯碗和杯座之间的部分加热软化并拉伸以便于做成杯脚，最后烧去杯口余部，进行退火，如图 1-35 所示。这种成型方法适用于一体式带脚器皿。

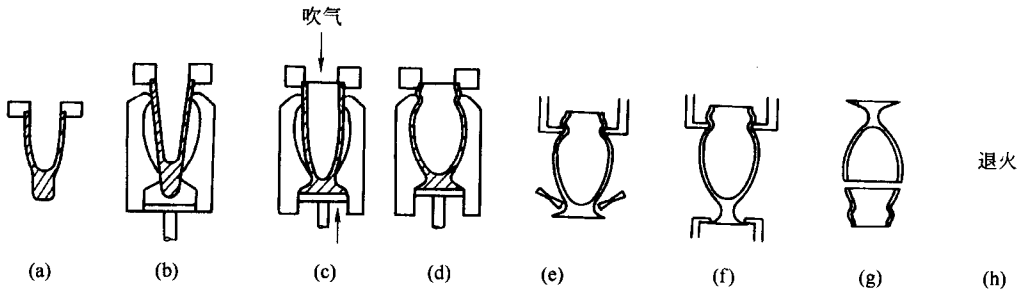


图 1-35 杯脚拉伸法成型

(a) 料泡成型；(b) 吹模闭合；(c) 吹制开始成型，底板顶起；(d) 吹制成型，顶板顶升停止；(e) 脚部加热；(f) 拉伸；(g) 烧掉余部；(h) 退火

### 1.4.3 玻璃管和安瓿及玻璃管件成型

#### 1.4.3.1 玻璃管的成型

(1) 水平拉制法 丹纳拉管的方法如图 1-36 所示。熔融的玻璃液经流料槽和供料机调节温度，使黏度约为  $10^{2.5} \text{Pa} \cdot \text{s}$  左右，然后成带状落于耐火材料制成的旋转筒上，筒与水平成  $15^\circ \sim 20^\circ$  的倾角，并放置于马弗炉中，玻璃带缠绕在旋转筒上，由于重力和旋转逐渐向下流淌。因马弗炉温度低于玻璃温度，玻璃黏度逐渐增大到  $10^4 \text{Pa} \cdot \text{s}$  左右，并在放置筒表面逐渐形成均匀的玻璃层。随着玻璃层被牵引和空心轴中吹入  $60 \sim 1200 \text{Pa}$  的压缩空气，便形成玻璃管。调节水平放置的牵拉装置的线速度可以得到不同的管径（几毫米到  $70 \text{mm}$ ）和壁厚  $0.3 \sim 0.4 \text{mm}$  的玻璃管。仪器用玻璃管、电子管、医药用玻璃管等多用此法控制。

典型的水平拉制模为丹纳拉管模（装置），它的主要部分为带有截圆锥形耐火材料旋转管的机头、中间导轮和拉管切管的机尾。丹纳拉管可以拉制外径为  $2 \sim 70 \text{mm}$  的玻璃管。主

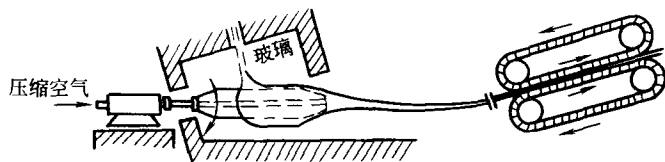


图 1-36 玻璃管的拉制

要生产日光灯、霓虹灯等用的薄壁玻璃管。

维罗拉管模（装置）与丹纳法基本相同，也是由机头、导轮和机尾三部分组成，不同的是机头部分的形状与滴料供料类似，如图 1-37 所示。池炉中的玻璃液沿通路流入料盆，在耐火材料转筒的不断搅动下，玻璃液从料碗中心漏孔流出，在漏孔的中心有一根空心的耐火材料管，管中装有耐热钢管，用以不断送入压缩空气使玻璃成为管状。当玻璃管延伸到一定程度后，由人工将它放在导轮上，用与丹纳法相同的拉管机控制。控制速度与玻璃化学组成和冷却速度有关，并随玻璃管外径及管壁厚度的增加而降低。

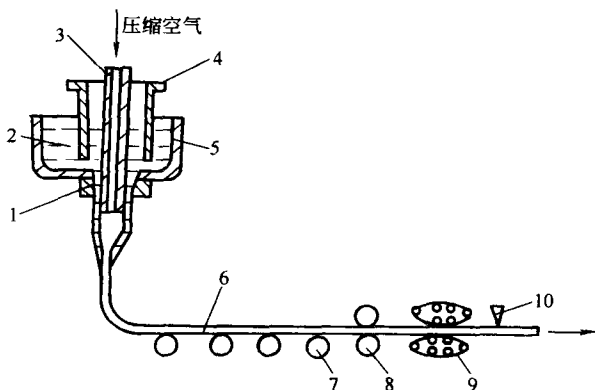


图 1-37 维罗拉管模工作示意图

- 1—料碗；2—玻璃液；3—芯管；4—转筒；  
5—料盆；6—玻璃管；7—导轮；  
8—导辊；9—拉管机；10—截管器

## (2) 垂直引上法

① 玻璃管有槽引上拉制模 有槽引上拉制模可拉制直径 2~30mm 的玻璃管，引上速度为 1.5~20m/min。一般用于生产厚壁工业用管道。其由引上机和槽子砖组成，如图 1-38 所示。槽子砖沉入作业室的玻璃液中，使槽子砖中心孔的上边低于玻璃液液面稍许，玻璃液从槽子砖中心孔向上溢出。这时从设在槽子砖中心孔下面的吹气管吹入压缩空气，使溢出的玻璃液形成管根。同时，采用“爪子”从槽子砖内拉出玻璃管，再送入引上机内。根据管壁厚薄和直径不同，调节引上机速度。当管子拉到顶端时，按需要的长度截取收集。

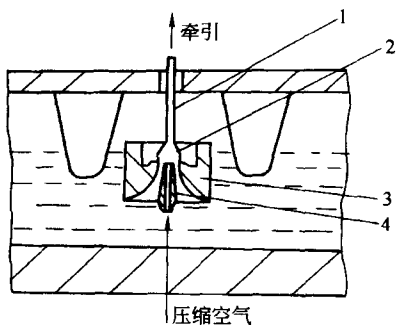


图 1-38 玻璃管有槽引上拉制模工作示意图

- 1—玻璃管；2—管根；  
3—槽子砖；4—芯管

一般为 0.7~2.5m/min，一般用于生产厚壁工业用管道。

② 玻璃管无槽引上拉制模 无槽引上拉制模可控制直径为 4~40mm 的薄壁管，引上速度为 6~12m/min。引上直径为 50~170mm 的厚壁管，速度

如图 1-39 所示，玻璃液自池炉流到圆形作业室 1 中，在作业室中央部位设有耐火材质的成形嘴 4，成形嘴中心装有耐热钢管，用以向被成形的玻璃管吹入压缩空气。拉制时将“爪子”对准成形嘴送入作业室，并使“爪子”浸入玻璃液面内，提出玻璃管经过环形冷却器送入拉管机，拉制玻璃管。作业室周围排列有燃烧嘴，以使玻璃均匀地加热。

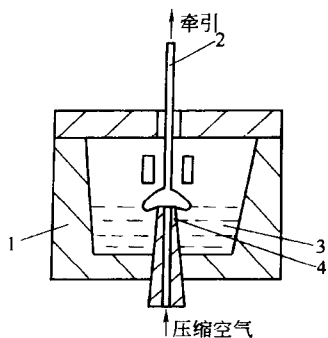


图 1-39 玻璃管无槽引上  
拉制模工作示意图  
1—作业室；2—玻璃管；  
3—玻璃液；4—成形嘴

(3) 垂直引下法 垂直引下法的玻璃管成型后移动的方向正好与垂直引上法相反。垂直引下法既能控制大直径厚壁管，又能控制小直径的薄壁管，兼有水平拉制和垂直引上法两者的共同特点。

(4) 转绕法 转绕法是将玻璃液缠绕在转筒成形轴上，再用滚压轮压平并拉长，来成型内径略比转筒成形轴粗的玻璃管。

如图 1-40 所示，玻璃液从熔窑的供料器 1 均匀地流下绕在耐热钢制的转筒成形轴 2 上。环形的喷嘴 3 的火焰将转筒轴上呈螺旋线的玻璃熔为一体，然后的滚压轮 4 轻轻压平和挤长，成为一个比转筒轴直径稍大的玻璃管。再用辊 5 把它推向左边，继续转绕成型，直到玻璃管达到要求的长度后切割下。

(5) 离心浇注法 离心浇注法如图 1-41 所示，将玻璃液注入可拆的沿水平轴高速旋转的成型筒后，在离心力作用下玻璃液成形为管形并变冷而硬化。离心浇注法通常用于成型大直径的玻璃管。

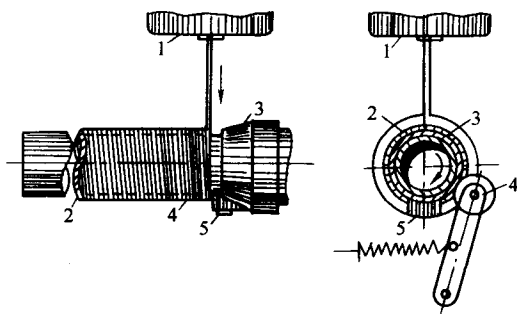


图 1-40 转绕法成型

1—供料器；2—转筒成形轴；3—喷嘴；4—滚压轮；5—辊

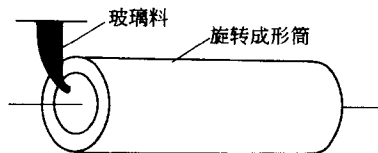


图 1-41 离心浇注法成型

#### 1.4.3.2 安瓿瓶的成型

拉制成型的玻璃管经过冲洗干燥后，在安瓿机上以水煤气烧嘴加热，通过肩部成型、拉细、切断等操作加工出成品，又经退火后即可作为包装注射剂的安瓿瓶（成型过程详见图 1-42）。安瓿管外径为 9~27mm，壁厚 0.4~0.7mm 之间。

#### 1.4.3.3 衬玻璃管和管件的成型

目前有两种成型方法，一种是手工法成型，一种是衬管法成型。手工法成型又有翻边和绕边两种。“翻边”是将玻璃直接翻到法兰面上，成型时采用戴铁皮帽的办法。铁皮帽有上帽和底帽（下帽）（图 1-43），上帽在金属管和管件喷完瓷釉后进焙烧炉前即拧固在法兰上，底帽则根据情况，如弯管需要从戴底帽的那边下引料泡时，则底帽不能先戴上，而在管件出炉后，把料泡由底帽处引出来了才戴上底帽，并用钳子夹紧（如图 1-44 弯管成型所示）。如弯管不需从戴底帽的那边下引料泡时，则可先戴上底帽。短直管、弯管、三通的成型如图 1-44 所示。“绕边”是金属管和管件从熔绕炉出来后即进行直管部分的玻璃衬里，然后在管端的扩口处放以预热好的石墨节，将玻璃料在扩口处绕上一圈，用经过预热的平铁圈转压法兰平面上的玻璃料，冷却成型后再用粗砂磨平即可。

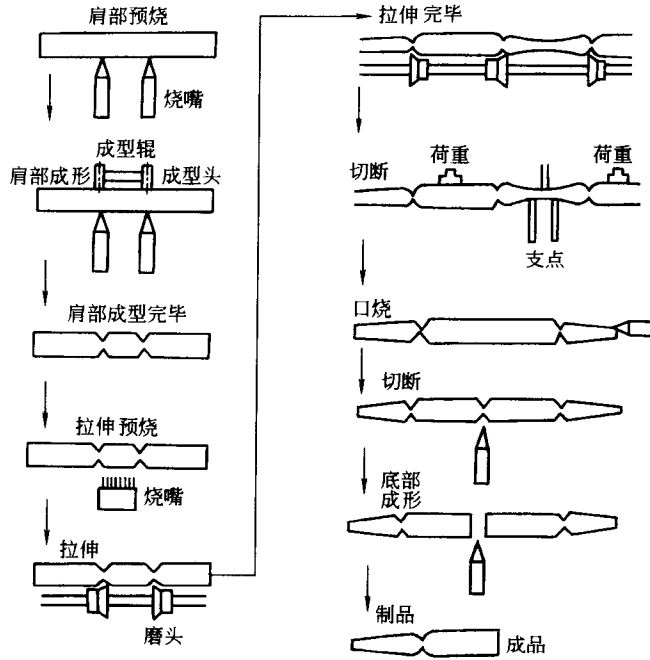


图 1-42 安瓿瓶成型过程

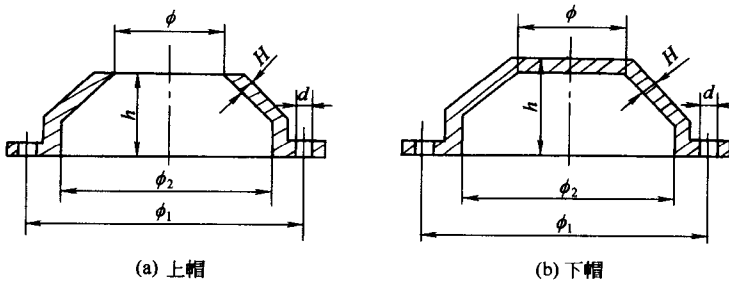


图 1-43 上帽和下帽

$\phi$ —管或管件内径； $\phi_1$ —与管或管件法兰的螺孔中心距； $h$ —帽高 60~120mm；  
 $H$ —铁板厚 1~3mm； $d$ —四个螺孔直径，位置和法兰相对，  
 以便拧固在法兰上； $\phi_2$ —根据玻璃翻边宽度决定

衬管法成型是将封结好的玻璃管装入金属管内，金属管的两端分别戴以上帽和下帽（图 1-45），上帽与法兰密封，常用石棉垫或搪瓷做密封件，底帽留有跑气缝。然后入炉进行加热成型。（图 1-46）所示为四孔卧式电炉示意图。炉内依次有低温段、中温段、高温段。管和管件上帽端从低温段入炉，逐渐移向高温段，移动速度是使管或管件经低温、中温至高温时，玻璃恰好软化。由于温度逐渐升高，玻璃管内压力逐渐增加，软化的玻璃自然膨胀而贴附在金属管上。上帽端即出炉，随之从上帽给气孔捅开一玻璃孔，插上气管给以 0.02~0.05MPa 的压力，随着管的移动，依次成型，各温度段的温度及牵引速度是随金属管壁的厚薄及玻璃料的不同而不同。日前衬玻璃管的高温段一般为 700℃ 左右，中温段为 600℃ 左右，低温段为 500℃ 左右。



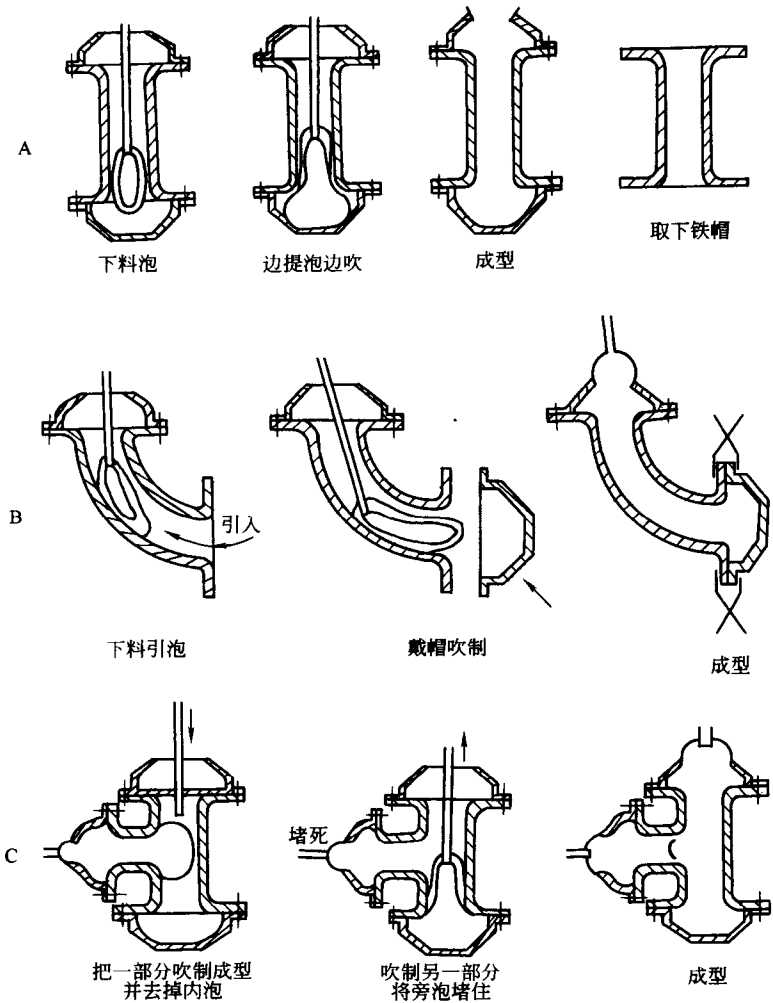


图 1-44 短直管 A、弯管 B、三通 C 成型示意图

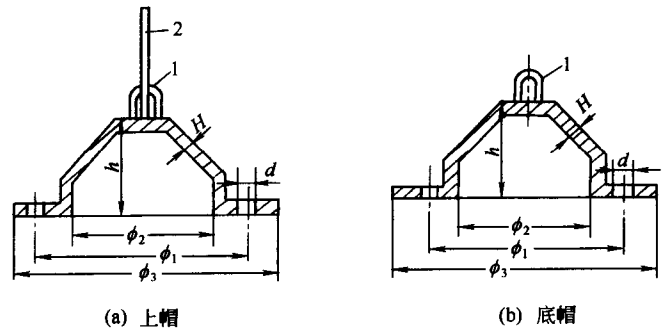


图 1-45 铁皮帽

$\phi_1$ —与管和管件法兰螺孔中心距； $d$ —四个螺孔直径，位置和法兰孔相对，以便拧固在法兰上； $h$ —60~100mm； $H$ —2.4mm； $\phi_2$ —根据玻璃翻边宽度决定； $\phi_3$ —铁皮帽法兰外径  
1—牵引挂钩；2—给气孔

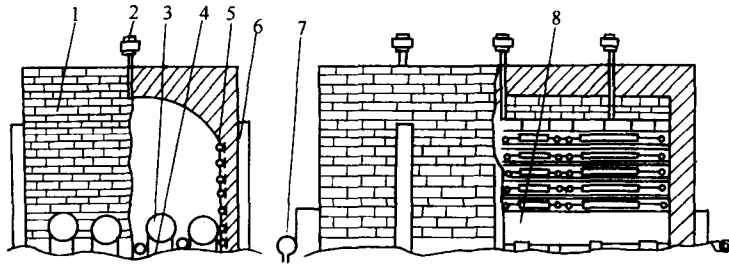


图 1-46 四孔衬管炉

1—炉体；2—热电偶；3—衬管孔道；4—拖孔管砖；5—电阻丝；  
6—电阻丝引线罩盖；7—拖管砖；8—孔道管

### 1.4.4 玻璃细珠成型

#### 1.4.4.1 粉末法

粉末法的基本原理是将玻璃粉碎成要求的颗粒，经过筛分在一定温度下通过均匀加热区，使玻璃颗粒熔融，在表面张力作用下形成细珠。图 1-47 为粉末法制取玻璃细珠的简图。立筒 2 的外壁用空气冷却，空气从喷嘴 2 中喷出，圆形排列的煤气喷嘴 3 位于立筒下部的 1/3 处，玻璃颗粒贮于容器 4 中，通过管道 5 送入立筒内的熔融区，当开始熔融和形成细珠时，它立即为向上流动的燃烧气体带出立筒，落在出口处的漏斗 6 上，经过管 7 进入收集器的 8 中。

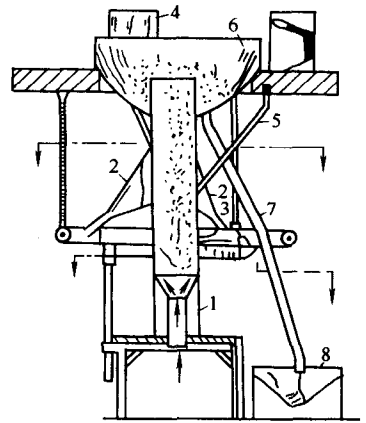


图 1-47 粉末法制取玻璃细珠简图

1—立筒；2—空气喷嘴；3—煤气喷嘴；  
4—容器；5—管道；6—漏斗；  
7—管道；8—收集器

粉末法生产的关键是选择空气喷嘴，喷嘴所形成的气流可以确保玻璃细珠能上升到顶部，使重的粒子沉在底部。

#### 1.4.4.2 熔液法

图 1-48 为熔液法制取玻璃细珠的简图。由图所示，在熔炉 1 中熔化了了的玻璃 2 经耐热钢管 3 漏出成为料流 4。耐热钢管下的一侧装有高压喷嘴 5，由高压喷嘴喷出的热蒸气或热空气把料流 4 吹散成纤维状的玻璃，在其四周装有高压喷灯 6，在它喷出的高压火焰 7 的作用下将纤维状的玻璃收缩成细珠，细珠会因自重而落入收集器 8 中。

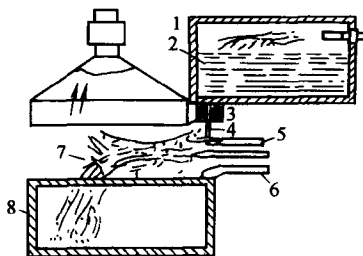


图 1-48 熔液法制取玻璃细珠简图

1—熔炉；2—熔融玻璃；3—耐热钢管；  
4—料流；5—高压喷嘴；6—高压喷灯；  
7—高压火焰；8—收集器

### 1.4.5 其他成型方法

#### 1.4.5.1 离心法成型

离心法成型的基本原理是通过供料机滴料进入高速旋转模腔内，在离心力作用下成型，用这种成型法可生产大直径器皿玻璃的果盘、工业玻璃透镜和显像管玻壳的锥体以及玻璃细丝等。成型显像管玻壳的锥体以八工位离心机为例成型速率每分钟在 8~14 只（产品规格为  $\phi=200\sim640\text{mm}$ ）。在料滴入模前，模具真空已开始作用，同时顶出杆开始下降。真空的目的是吸住料滴。防止飞出和吸出长约 120mm

的料杆。料滴入模 0.5~0.7s 后，模具开始高速旋转，玻璃料在离心作用下沿着四壁上升，差不多 4.5s 的时间上升到 15mm 左右时，分配器冲头开始下降并进行冲压。实践证明，分配器的下降时间以料滴入模为基准，不得早于 0.9s，否则料滴将易于和分配器冲撞。但也不能迟于 1.4s，否则会造成玻璃黏度增大。分配器接触玻璃和保压时间约为 0.5s。分配器下降速度与保压时间应配合，下降快，保压长，反之，即短。此时，冲压压力与制品玻璃厚度成正比关系，压力大，区域厚度就薄；反之，会造成制品区域厚度增加。

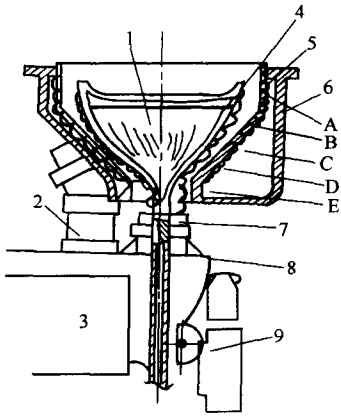


图 1-49 模具分层冷却示意图

- 1—制品；2—液压马达；3—底座；  
4—模具；5—冷却模具风盘；  
6—风门调节滑块；7—顶出杆机构；  
8—真空出口；9—真空和底部空气出口

模具温度关系到制品是否能顺利脱模与避免炸裂等一系列问题。影响模具温度的因素有：底部风温度、顶部风量大小、模具的冷却速率、环境温度、料滴温度和质量等。若全部工位的模具温度偏高或偏低等，可调节底部风量；若个别工位的模具温度波动，可通过顶部风量的调节来解决。模具和制品的冷却由两个系统构成：

第一冷却系统是模具外壁冷却系统，又称底部风冷却，底部冷却风通过机器底部进入每只机头风盘，每只风盘分成 A、B、C、D 和 E 五条冷却带。每条带有三个出风口对准模具冷却，风口的开度可根据需要进行调节，从而达到分层冷却作用，如图 1-49 所示。第二冷却系统是顶部的冷

却风管与压缩空气对 3#、4#、5#、8# 工位进行冷却，顶部的冷却风管与压缩空气直接对准模内制品吹风冷却，在料滴入模前还有清扫尘埃与玻璃屑的作用。

#### 1.4.5.2 浇注成型

浇注成型是将已熔融和澄清均化的玻璃液倒入经预热的模具中成型，然后送入退火窑中进行退火处理。浇注成型法大多用于光学玻璃器件、艺术雕刻、装饰玻璃制品和有特殊要求的制品。

#### 1.4.5.3 注射成型

注射成型是将熔融质量优良的玻璃滴入或射入模具内，割去余料，经过手工或模制加工处理后，即可获得各种形象逼真、栩栩如生的艺术制品。该成型方法中模具设计与制造是关键，成型玻璃的黏度与温度要选择恰当。

#### 1.4.5.4 热造型

玻璃热造型工艺大量用于工业玻璃中特殊造型要求的制品中，如照明玻璃与舞台艺术效果处理的反光镜等。

通常将所需制品的外曲面作为底模内曲面的设计依据，然后将平板玻璃置于加工好的底模上，一起送入电炉或煤气炉中进行加热。当制品软化变形时，就会贴近底模处，有时为了保证曲面符合设计要求，也可使用经预热后的冲模稍加压力往下压制，如图 1-50 所示。

对要求更高的制品也可将热造成型后的曲面进行再研磨抛光。

#### 1.4.5.5 玻璃纤维成型

连续玻璃纤维成型法有：棒拉丝法、坩埚拉丝法、陶土坩埚法、镍铬片孔板平拉法、球法、池窑拉丝法（又称直接拉丝法或一次法、无嘴漏板法和挤压拉丝法等）。

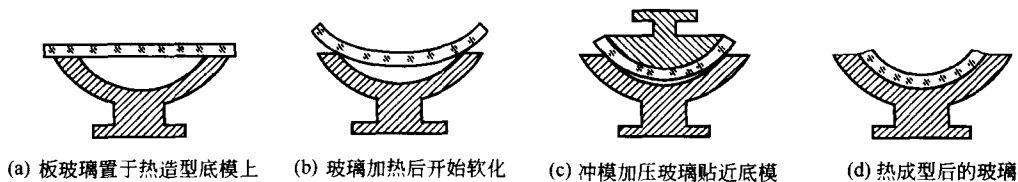


图 1-50 热造型简图

定长玻璃纤维成型法有：气流吹拉法，滚筒法和移动炉法等。

玻璃棉成型法有：垂直嘴吹法（又称立吹法）、火焰喷吹法和离心喷吹法等。

#### 1.4.5.6 玻璃烧结成型法

烧结成型法是将玻璃粉末烧结成型，用于制造特种制品以及不宜用熔融态玻璃液成型的制品。这种成型法又可分为干压法、注浆法和用泡沫剂制造泡沫玻璃。玻璃烧结成型压模可参考金属粉末冶金成型压制模具。

干压法就是用球磨机将玻璃磨成粉末，加入少量的结合剂如水玻璃（使坯体具有一定强度），充分混合，然后干压成型，压成所需的形状和尺寸的坯体。注浆法是将磨细的玻璃粉末与水调成“泥浆”，注入石膏模中进行成型。脱膜后的湿坯经过干燥作为烧结的坯体。

#### 1.4.5.7 热加工成型

(1) 管的切割 管的切割有以下几种方法：①熔断 是利用煤气或其他热源，将玻璃管的确部位进行局部边熔融边切断的方法；②急冷切割 是将玻璃一边旋转一边在沿周围的狭小范围内急速加热，用经冷却过的冷却体接触加热部位，借助热应力将玻璃管切断；③爆口 用金刚石或超硬合金在玻璃上造成伤痕，再向受伤部位加热，或将玻璃加热到软化后压上伤痕，使裂纹扩展直至切断；也有在热的时候加上伤痕，随着玻璃冷却，热应力使裂纹扩展而切断。

(2) 管端的熔封 将要熔封的部位加热、软化，从两端拉伸管使之变细，并使变细了的部分软化，在继续拉伸后脱离的同时，封住了管端。加热伸出部位，利用玻璃的表面张力。整形后的管端如图 1-51 所示。

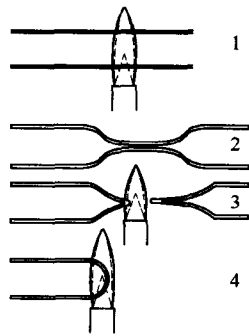


图 1-51 管端熔封成形

(3) 同径管的熔接 将管的一端熔封住（或用软木塞、橡皮塞塞紧），另一根管的一端加工成可套上橡皮管的形状。要连接的两根管的端部同时加热而软化，对接上。一面向橡皮管内吹气使管内保持适当的内压，一面加热对接部位，利用玻璃的表面张力、自重、内压三者之间的平衡，两管熔接部位便形成平整的结合部位。如图 1-52 所示。

(4) 异径管的熔接 将粗的玻璃管的一端加热、拉伸到与另一管的直径相同时切下，在该部位将两根管熔接，如图 1-53 所示。

(5) 管端、管鼓、器壁上的开孔 要开孔的部位用锐利的火焰加热、软化、吹气使之鼓胀，让鼓胀部位的直径接近所需的孔径，鼓胀部位再软化，使其膨胀到壁很薄，吹破或用工具弄破，加热破裂面，软化而平整，如图 1-54 所示。

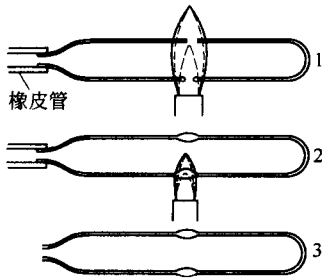


图 1-52 同径管的熔接成形

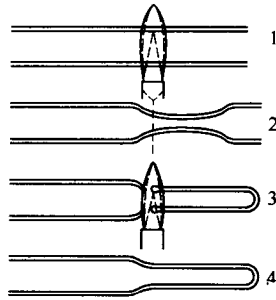


图 1-53 异径管的熔接成形

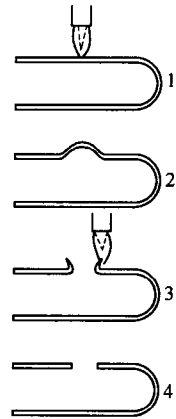


图 1-54 器壁上开孔

开极小的孔时，用喷灯加热钢针刺压在玻璃上，以弄破玻璃壁，如图 1-55 所示。

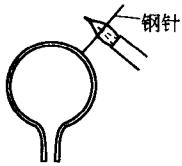


图 1-55 器壁上开小孔

(6) 形成支管 在管壁一面开一个与另一管径相近的孔洞，该孔与另一管的一端同时加热，压紧连接后，边吹气、边整形，如图 1-56 所示。

(7) 管的弯曲成形 将管子要弯的部位加热、软化然后弯曲，这时内侧的管壁收缩，并且起皱，因而要加热、吹气、边整形，如图 1-57 所示。大玻璃管必须用比管径大 2~3 倍的宽火焰。

(8) 管上鼓泡成形 在管子熔封端部或中间鼓泡，是将该部分加热，利用玻璃的表面张力和挤压管子两端的操作，使管壁增厚后，再加热，一软化就吹气，使之形成泡状，如图 1-58 所示。

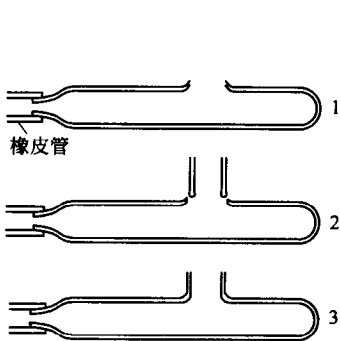


图 1-56 形成支管

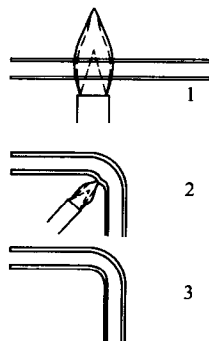


图 1-57 管的弯曲成形

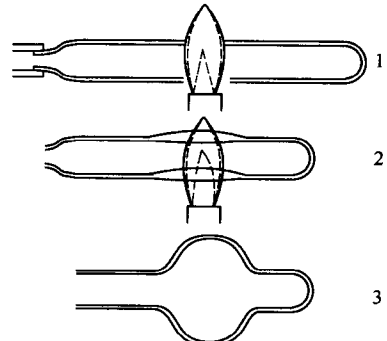


图 1-58 管上鼓泡成形

总之，玻璃制品的成型方法很多，对一个具体的玻璃制品成型可选择一种或多种成型方法。就保温瓶胆的成型为例介绍如下（见图 1-59）。

- ① 吹制瓶胆的内外坯：内外瓶坯应符合图纸要求，内瓶坯能投进外瓶坯内。
- ② 切割内瓶坯口：按瓶口尺寸长短要求，在割口机上用熔断法切去过长的部分。
- ③ 切割外瓶坯底：按瓶身尺寸长短要求，在割口机上用熔断法切去过长的部分。
- ④ 塞石棉：将三粒石棉紧塞在内外瓶夹层中，三粒石棉位于瓶的中腰部呈三角形三点，使内瓶不会移动。

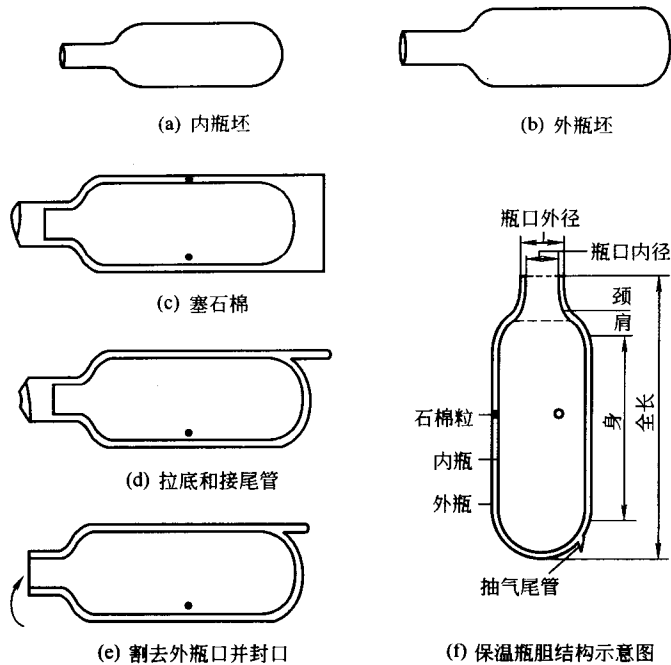


图 1-59 保温瓶胆的成型过程

⑤ 拉底：将外瓶下部在煤气火焰上烧软，用钳子拉成圆形底，把内瓶包在里面。内外瓶间保持一定距离。

⑥ 接尾管：在瓶底边缘，接上镀银与抽气用的小玻璃管。

⑦ 切割外瓶坯口：按瓶口尺寸长短要求，在割口机上用熔断法切去过长部分。

⑧ 封口：用煤气火焰把内外瓶口烧至软化，然后用与瓶口大小相同的模具在瓶口上套按，使内外瓶口接熔在一起。

⑨ 镀银抽真空后，立即烧软玻璃尾管、拉细、封口，成为一只完整的保温瓶胆。

#### 1.4.5.8 冷成型

冷成型分为物理成型和化学成型两类，详见第 3 章 3.17 节。

物理成型有：喷砂、草刻成型、精刻成型、雕刻成型、研磨、机械抛光、火抛光和激光加工等。

化学成型有：化学蚀刻成型和化学抛光等。

#### 1.4.5.9 光导纤维成型

光导纤维又称为光通信纤维。是用低折射率的硼或氟硅酸盐玻璃包覆在透明度和折射率很高的掺杂  $\text{GeO}_2$  或  $\text{P}_2\text{O}_5$  的石英玻璃周围形成的纤维。

工业上成型光导纤维的方法有：管棒法、双坩埚法、分子填充法和化学气相沉积法四种成型法。

① 管棒法是将内芯玻璃插入外层玻璃管中（尽量不留间隙，见图 1-60），熔融拉丝成型。

② 双坩埚法是将内芯玻璃和外层玻璃分别放在内外两个同心铂合金坩埚内，熔融后同步拉丝成型（见图 1-61）。

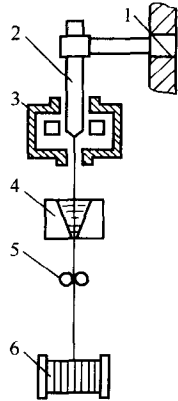


图 1-60 管棒法拉丝设备示意图

1—送棒机构；2—棒管组合体；3—拉丝炉；  
4—涂覆器；5—拉丝牵引轮；6—卷绕机构

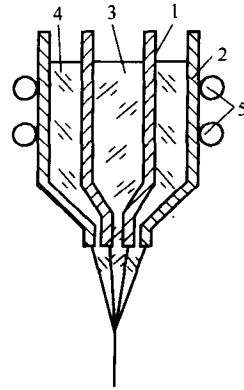


图 1-61 双坩埚控制光导纤维装置

1—内坩埚；2—外坩埚；3—芯料；  
4—皮料；5—加热器

③ 分子填充法是将微孔石英玻璃棒浸入高折射率的添加剂溶液中，待得所需折射率分布的断面结构后，再进行拉丝成型。

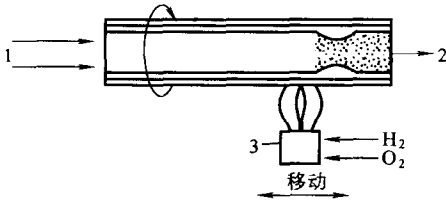
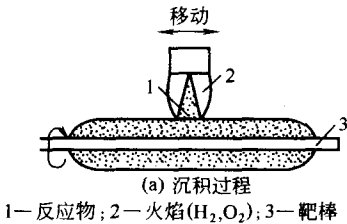


图 1-62 改良化学气相

沉积 (MCVD) 法工艺原理

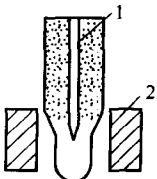
1—输入 ( $O_2$ ,  $SiCl_4$ ,  $GeCl_4$ ,  $PoCl_3$ ,  $BCl_4$  等气体)；2—排出 ( $O_2$ ,  $Cl_2$ , 粉尘)；3—氢氧焰

④ 气相沉积法成型的光导纤维具有更低的光损耗率 (见图 1-62、图 1-63、图 1-64)，气相沉积法生产工艺是在拉伸塔中于  $2000 \sim 2300^\circ C$  下，预制成直径  $25mm$ ，长  $1.5m$  的石英玻璃管塑坯。然后将含有玻璃元素的气体，如  $SiCl_4$ 、 $GeCl_4$ 、 $BCl_3$ 、 $PoCl_3$  等充入石英玻璃管，并使其在内壁沉积。沉积物于  $1500 \sim 1600^\circ C$  与氧气反应，使沉积在内壁上的玻璃元素转化成清澈的高纯度玻璃。多次重复上述过程 (高达 1000 余次)，即可制得所需的任意折射率分布的光导纤维。



(a) 沉积过程

1—反应物；2—火焰 ( $H_2, O_2$ )；3—靶棒



(b) 玻璃化过程

1—疏松棒；2—加热炉

图 1-63 棒外气相沉积 (OVD) 法工艺原理

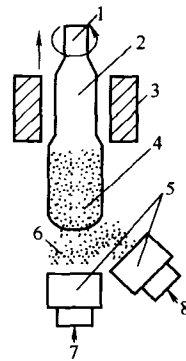


图 1-64 气相轴向沉积 (VAD) 法工艺原理

1—靶棒；2—透明玻璃棒；3—加热炉；4—疏松棒；  
5—燃烧器 (能  $H_2$ ,  $O_2$ )；6—氧化物微粒；7—反应物 ( $SiCl_4 + GeCl_4 + PCl_3$ )；8—反应物 ( $SiCl_4 + B_2O_3$ )

光导纤维按结构分为阶跃型结构和梯度型结构两种。阶跃型光纤可用管棒法或双坩埚法成型，而梯度型光纤则常采用气相沉积法。

#### 1.4.5.10 特种成型法

(1) 超速冷却法 传统玻璃是按照玻璃的用途和性能要求设计玻璃的成分，选择合适的原料制成的配合料，经高温（1500~1600℃）加热熔融、澄清、均化形成黏度较大的熔体，在常规条件下，经压、吹、拉等成型工艺、冷却、退火而制得。光学玻璃、平板玻璃、器皿玻璃、电真空玻璃等均使用这种方法制成。但是这种方法的冷却速度慢（ $10^2 \sim 10^3$  K/s），无法使金属及其合金或某些离子化合物形成玻璃。

超级冷却法是指冷却速度极大（ $10^6 \sim 10^8$  K/s），能使采用传统的熔体冷却法无法形成玻璃态的物质（如氟化物、硫酸盐等）形成玻璃，也能用于制备非晶态合金等。按照冷却形式的不同，有离心喷吹（射）法、喷射法、轧辊法、转筒甩出法、扭力弹射法、等离子喷涂法和熔体雾化法等成型方法。

(2) 溶胶-凝胶法 溶胶-凝胶法是一种化学合成玻璃的新技术，通常以金属醇盐或有机、无机盐为原料，配制成溶液，经在常温或接近常温下加水分解，水解形成溶胶，再聚缩成湿凝胶，通过适当的方法成型和干燥、烧结制成玻璃。

溶液组成中的水是为了促使发生水解反应所必须的成分。根据成型制品的目的不同（如由溶液拉制成纤维、凝结成型块状玻璃制品，或用作涂层液等）加水量不相同。为了成型石英玻璃纤维，水含量宜少些；为了成型块状石英玻璃制品，则水含量宜多一些。含水量在  $[H_2O]/[Si(OC_2H_5)_4]$ （摩尔比）小于6时，凝胶化前后的龟裂非常严重；当比值大于10时，龟裂变轻；当比值大于15~24时，几乎不再引起龟裂。成型的块状凝胶或拉制成型的纤维凝胶，经600~900℃热处理，就可得到块状或纤维状的石英玻璃制品。

溶胶-凝胶法的优点是：

- ① 混合均匀性好，可使二元以上系统达到分子级超均匀性结合；
- ② 成分可调性好，可按分子设计的要求制得化学配比准确的玻璃；
- ③ 合成温度低，可制得含易挥发或难熔组分的多元系玻璃；
- ④ 可制得用传统方法无法或难以获得的高熔点、易析晶的玻璃；
- ⑤ 可利用凝胶具有极大的比表面积和均匀连通孔的特点，采取分子填充等技术制得具有特殊功能的玻璃制品。

因此，应用溶胶-凝胶技术不仅可以成型块状玻璃，还可制备超薄玻璃、功能薄膜（如遮阳、电、彩色、热反射、选择吸收、抗辐射、化学保护及耐磨等）、粉体、微孔体、纤维、有机改性硅酸盐材料等。

#### (3) 气相沉积法

① 化学气相沉积（CVD）法 将化学原料，由可燃性载气导入高温区，经分解或氧化等化学反应、沉积形成非晶态块体或薄膜的方法。根据加热方式、炉体结构及压力等，又可分为常压CVD、真空CVD、改良（M）CVD、等离子体（P）CVD和激光（L）CVD等不同的方式。

化学气相沉积法已广泛用于成型石英玻璃系光通讯纤维、高纯石英玻璃、掺杂石英玻璃（如低膨胀、滤紫外、紫外敏感、磁性及激光放大等）、非晶态硅太阳能电池、导电材料及绝缘材料等。

② 物理气相沉积（PVD）法 采用真空蒸发、阴极溅射、辉光放电等沉积技术，制备



玻璃和非晶态材料（膜）的方法。由于这种成型方法有工艺简单、易于控制、适应性较强等优点，已得到广泛的应用，如用于制备单元素（金、银、铁、钴等）、某些半金属单质（硅、锗和镓等）和Ⅲ、Ⅴ族副族元素非晶态氧化物薄膜等。

(4) 晶体能量泵入法 能量泵入法是向晶态固体物质泵入能量，直接形成非晶态材料的方法。主要有高能射线辐射法、冲击波法、离子注入法等成型方法。都已取得可喜的研究成果，其中离子注入法已用于制备非晶态合金和金属与合金的表面优化以提高其强度、耐磨和抗腐蚀性能。

## 1.5 玻璃模分类

用于玻璃制品成型的工艺装置，称为玻璃成型模具，简称玻璃模。玻璃模有多种分类方法。

### 1.5.1 按成型方法分

按玻璃制品成型方法，可分为压制模、吹制模和混合成型模3种，如表1-10所示。

表 1-10 按成型方法分类

分 类	特 点
压制模	制品的内部形状由冲头确定，外形尺寸由型腔确定，口部内径必须大于其他部位内径，以利于成型过程中冲头退出
吹制模	制品的外形由型腔确定，内部形状在成型过程中自然形成，其口部内径可比其他部位内径小
混合(或分步成型模)	制品通过分步使用压制模或吹制模，获得一个过渡(雏型)，再用吹制模使制品成型

### 1.5.2 按成型过程分

- (1) 初型模 指两步成型时形成雏型的模具。
- (2) 成形模 包括一步成型的模具和两步成型的最终成型模具。

### 1.5.3 按润滑方式分

- (1) 敷模（冷模） 模内壁敷有润滑涂层，多用于吹制空心薄壁制品，成型时制品与模具作相对旋转。一般采用水冷却，此模亦称冷模。
- (2) 热模 多用于空心厚壁制品的成型。模具常采用风冷，并用油润滑或加涂润滑涂层。

### 1.5.4 按结构类型分

- (1) 按模具结构类别分 按模具结构类别可分成以下两类。

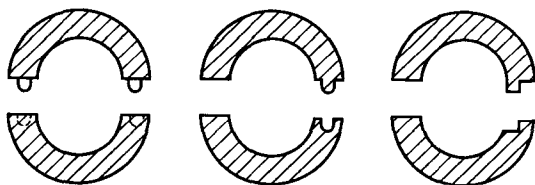


图 1-65 可拆模的定位

① 不可拆模 它是整体模。为了改善成型条件和有利制品脱模，一般模具内壁应有不小于  $2^{\circ}5'$  的斜度，冲头的斜度还应大些。属于不可拆模的有：压制成型用的压模，压-吹法成型用的初型模和某些吹泡机用的初型模。

② 可拆模 如图1-65所示，它是由对称的两片半模组成，能开能合，为了避免模具在开合时错位，在两片模的接合处制成凸凹

结构，借以定位。

(2) 按模具支承方法分 按模具支承方法可分成以下两类。

① 铰链式承模 这种支承装置与模具铸成一体(见图 1-66)，模壁厚度不均。成型制品时温度制度难于保证，同时安装和拆卸也不方便。特别是当模具磨损报废时，支承装置也得一道抛弃。

② 夹钳式支承模 图 1-67 为模具的夹钳支承。根据模具外形尺寸选择相应号的夹钳，将模具装在夹钳上。夹钳与铰链铸为一体。模具的开合由夹钳操纵。

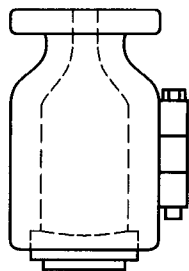


图 1-66 铰链式支承

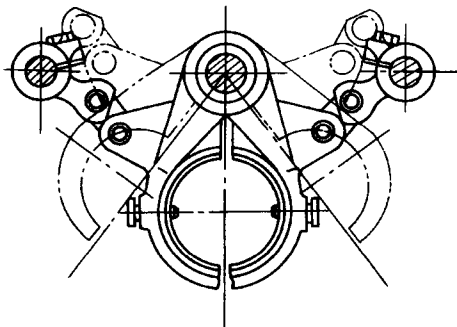


图 1-67 夹钳式支承

(3) 按模具开合机构分 按模具开合机构可分成以下两类。

① 凸轮开合模 如图 1-68，凸轮盘 1 压迫与模具夹钳 2 相连的滚轮 3 作径向运动。滚轮 3 通过左右推臂 4 开合模具。多数吹泡机采用此种机构。

② 气缸开合模 如图 1-69，气缸开合机构主要使用在气动或液压传动的制瓶机上。当气缸活塞向右运动时，模具被打开，反之，当气缸活塞向左运动时，模具闭合。

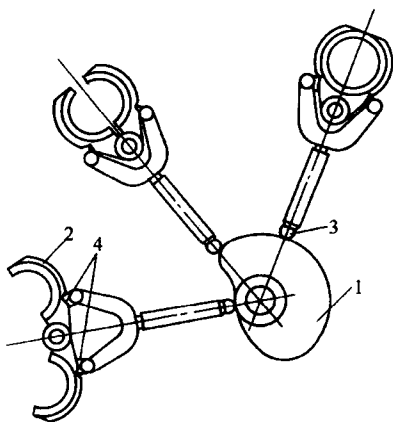


图 1-68 凸轮开合机构

1—凸轮盘；2—模具夹钳；3—滚轮；4—左、右推臂

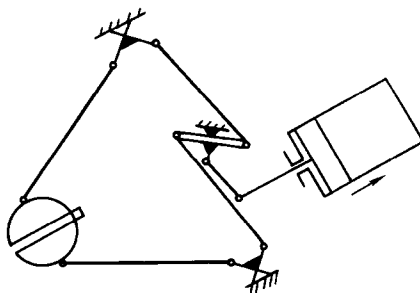


图 1-69 气缸开合机构

### 1.5.5 按成型机械分

按成型机械可分成如表 1-11 所列 4 种。

表 1-11 按成型机械分类

分 类	特 点
行列式制瓶模	生产率高,制品质量好,可配置不同部件,用于吹-吹成型和压-吹成型及小口压-吹成型,适用生产口径小于 $\phi 25\text{mm}$ 、瓶身较长的瓶罐
回转式制瓶模	整机体积较小,更换制品品种较困难,只能用于吹-吹成型,适用生产于单一品种的大批量生产,该机可采用单滴和双滴两种方法生产
压制模	由模体、模圈及冲头组成。安装在压制机上使用,有单工位和多工位两种类型,分人工压制和机器自动压制两种
吹泡模	分人工吹制模及机器自动吹制模两种,用于吹制薄壁制品,如灯泡玻壳、保温杯胎等

## 1.6 玻璃制品成型过程和温度场数值模拟

### 1.6.1 玻璃制品压制成型的数学模型

对玻璃制品压制成型的机理问题进行数值模拟是预先确定其成型最佳条件的一种可靠、费用较低的方法。真实地模拟可以减少新产品开发的费用和周期,可减少制品力学性能的波动和缩短成型周期提高生产率。

#### 1.6.1.1 模腔内的充模流动

充模流动阶段建模的目的在于预示充模过程中压制料形状的变化(从其起始形状直至完全充满模具型腔),以研究压制料起始形状及其位置的形状,获得成型过程中玻璃成型的信息,包括速度分布、压力分布、汇合线位置和模腔内可能没被充满的区域等。

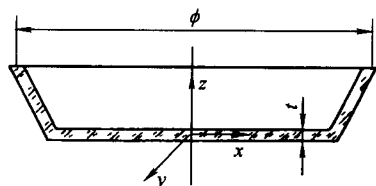


图 1-70 玻璃压制制品

大多数压制成型制品是薄壁的,即其厚度相对于外形尺寸而言很小,如图 1-70 所示。充模过程建模的第一步是采用“压平”近似,即把制品展开,使其位于  $x-y$

平面内,  $z$  向为其厚度方向。这样,就把三维形状转化为等效的二维扁平形状。

#### 1.6.1.2 数学模型

为便于建立数学模型,做以下假设:

- ① 忽略惯性力(因为压制料的黏度高);
- ② 压制料为不可压缩、各向同性的黏性流体;
- ③ 充模成型过程中的温度场已知(温度场对压制料的影响仅在于它会使压制料的黏度随位置而变化,故在此将黏度看成是坐标  $x$ 、 $y$  和  $z$  的函数);
- ④ 模腔边缘处没有漏流。

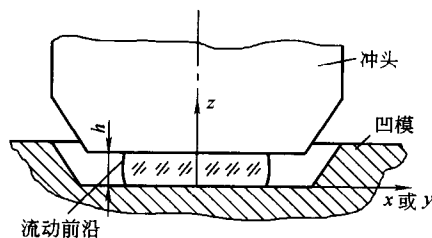


图 1-71 压制成型中充模流动模型示意图

如图 1-71 所示,  $x-y$  平面内压制料的流动是由凸模以速度  $-\dot{h} (= \partial h / \partial t)$  向下的挤压运动所引起的。压制料的瞬时厚度为  $h(x, y)$ ,  $x$  和  $y$  方向上的速度由  $u$  和  $v$  表示,它们的平均值定义为:

$$\bar{u}(x, y) = \frac{1}{h} \int_0^h u(x, y, z) dz \quad (1-15)$$

$$\bar{v}(x, y) = \frac{1}{h} \int_0^h v(x, y, z) dz \quad (1-16)$$

平均速度必须遵守质量守恒方程，而该方程可以通过对连续方程沿  $z$  向由模具凹模上表面至凸模下表面积分而导出，若假设  $h$  为  $x$  和  $y$  连续的可微函数，则结果为：

$$\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u}h) + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v}h) = -\dot{h} \quad (1-17)$$

这里称上式为连续方程。

基于上述假设条件，表示压力分布  $p(x, y)$  与剪切应力相关的运动方程可简化为：

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (1-18)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (1-19)$$

(1) 凸模下表面和凹模上表面存在无滑移的边界条件 该流动模型称之为“广义 Hele-Shaw 流动模型”，其运动方程可简化为：

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial z} \quad (1-20)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial z} \quad (1-21)$$

可把平均速度写成：

$$\bar{u} = -\frac{S}{h} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1-22)$$

$$\bar{v} = -\frac{S}{h} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (1-23)$$

其中  $S$  是压制料局部流动难易程度的量度，由下式给出：

$$S = \int_0^h \frac{(z-\lambda)^2}{\eta} dz \quad (1-24)$$

式中  $\eta$  ——黏度（为  $z$  的函数）；

$\lambda$  ——剪切应力  $\tau_{xx}$  和  $\tau_{xy}$  为零处的  $z$  坐标值（对凸模下表面和凹模上表面热边界条件相同的问题， $\lambda = h/2$ ）。

把式 (1-22)~式 (1-24) 代入连续方程式 (1-17) 中，可得出压力分布的单个控制方程：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( S \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( S \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \dot{h} \quad (1-25)$$

边界条件为：

本质边界条件：流动前沿处压力  $p=0$  (1-26)

自然边界条件：压制料与模腔边界接触时  $\partial p / \partial n = 0$  (1-27)

其中的  $n$  表示垂直于模腔表面的方向。

求解式 (1-25)~式 (1-27) 可得出压力分布  $p(x, y)$ 。然后，可按下式求出整个压制料内的速度分布：

$$u(x, y, z) = \frac{\partial p(x, y)}{\partial x} \int_0^h \frac{(z-\lambda)}{\eta} dz \quad (1-28)$$

$$v(x, y, z) = \frac{\partial p(x, y)}{\partial y} \int_0^h \frac{(z-\lambda)}{\eta} dz \quad (1-29)$$

对等温牛顿流体，且任一给定时刻模腔内  $x, y$  处的厚度  $h$  均为均匀的，则平均速度为：

$$\bar{u} = \frac{h^2}{12\mu} \left( -\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (1-30)$$

$$\bar{v} = \frac{h^2}{12\mu} \left( -\frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (1-31)$$

把上两式代入方程式 (1-25), 则成为泊松方程:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 12\mu \left( \frac{\dot{h}}{h^3} \right) \quad (1-32)$$

其中  $\mu$  为牛顿流体的黏度。

控制方程式 (1-25) 或方程式 (1-32) 适于任一时刻, 可用于确定该时刻的压力和速度。

(2) 压制料与凸模凹模接触表面存在滑移现象 压制料与凸模下表面和凹模上表面存在滑移, 应建立“润滑挤压流动模型”。这一模型假设压制料沿模具的凸模下表面和凹模上表面上有滑移, 且沿压制料的厚度方向不存在剪切力。

可采用流体动力学摩擦模型来描述模腔表面上压制料的滑移。假设流体动力学摩擦力  $f_x$  和  $f_y$  与压制料和模腔表面的相对滑移速度成正比, 即:

$$f_x = -k_H u \quad (1-33)$$

$$f_y = -k_H v \quad (1-34)$$

其中  $k_H$  为流体动力学摩擦系数。可导出压制料流动控制方程为:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \eta h \left( \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 u}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 v}{\partial x^3} \right) - 2k_H \left( \frac{\dot{h}}{h} \right) \quad (1-35)$$

式 (1-35) 中等号右边第一项表示压制料对变形的阻力, 第二项表示因模腔上压制料的滑移所产生的摩擦阻力。对薄壁玻璃制品, 第一项可忽略, 故式 (1-35) 可简化为:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = -2k_H \left( \frac{\dot{h}}{h} \right) \quad (1-36)$$

(3) 两种流动模型的差异 上述两种流动模型表示了薄壁玻璃制品压制成型过程中充模流动的两种极限情况。比较式 (1-32) 和式 (1-36) 可见, 两者在形式上很相似, 但它们等号右边项所表示的物理意义是不同的。式 (1-32) 右边项表示的是横向剪切变形阻力, 而式 (1-36) 右边项表示的则是模腔上压制料滑移的摩擦阻力。

Tucker 和 Barone 等人分别对模压成型的片状模塑料充模, 建立了广义 Hele-Shaw 流动模型和润滑挤压流动模型, 并进行了实验, 还分别采用有限元法和边界元法进行数值模拟, 对于较厚的模压料, 润滑挤压流动模型所预示的流动前沿形状与实验结果较为接近; 对于较薄的模压料, 两种流动模型的预示均与实验结果相差较小, 不过, 由于式 (1-36) 中的  $k_H$  较难以确定, 故广义 Hele-Shaw 流动模型较易于被采用。

广义 Hele-Shaw 流动模型还存在一些局限, 例如忽略  $z$  向速度, 平面内应力的假设在靠近制品边缘处是否合适,  $\partial \tau_{xz} / \partial z$  和  $\partial \tau_{yz} / \partial z$  这些应力项与  $\partial \tau_{xx} / \partial x$ ,  $\partial \tau_{yy} / \partial y$ ,  $\partial \tau_{xy} / \partial x$  和  $\partial \tau_{yx} / \partial y$  等应力项相比很大时才有效等。

值得说明的是两种流动的建模和分析表明, 确定压制料充模流动的主要因素是起始形状和位置。它们一经确定, 其他因素对充模流动的影响是次要的。这个结论与实际压制成型的玻璃制品是吻合的, 可以借鉴。

### 1.6.1.3 数值求解方法

实际上压制成型玻璃制品的结构较为复杂, 必须采用数值方法 (有限差分法、有限元法、边界元法和控制体积/有限元法) 来求解充模流动的控制方程。此外, 还要选择某些方

法，以能跟踪运动前沿和压制料的形状，并当部分压制料前沿与模腔边界接触时能修改边界条件。最终通过求解，得到成型过程中被玻璃料充模的压力分布、速度分布、汇合线位置、模腔内可能没被充满的区域和所需的压制力（合模力）。

### 1.6.2 玻璃压-吹法和压制法成型过程的数值模拟

弹性力学、塑性力学、热传导和流动分析等基本概念可以应用于玻璃制品成型，但是由于制品成型过程是一个非常复杂的热力耦合弹塑性变形过程，边界的流动性、大的变形率、边界条件与时间和温度有关，以及玻璃材料非线性和几何非线性的大变形特征等，使得平衡方程的解析解很难获得。多年来，国内外学者通过大量的研究，利用许多数值方法来模拟制品成型，多数集中在有限元分析技术上。

方刚和曾攀两人利用有限元模拟技术，建立玻璃瓶罐成型的力学模型，根据成型时塑性变形远大于弹性变形的现象，将玻璃材料简化为刚黏塑性材料来处理，以利用刚黏塑性或弹黏塑性有限元，并考虑了制品成型时温度对各物理参数的影响以及变形场与温度场的热力耦合效应，直至速度场或力场收敛，模拟出整个成型过程；还针对制品成型的大变形特点，采用了自适应网格重划分的功能，确保了数值模拟的顺利进行和结果的可靠性。此外，他们还利用剪切摩擦准则和摩擦生热的现象，处理了玻璃制品与模具之间的接触摩擦问题。方刚和曾攀两人完成的玻璃饮料瓶压-吹法成型和显像管屏压制成型的模拟实例（采用模型的四分之一）证明了有限元模拟可行。有限元模拟不仅可以用来改进模具和料滴的设计以及成型方案，而且还可以预测制品形状、温度分布以及料滴的缺陷等。

#### 1.6.2.1 刚塑性流动理论的基本方程

将玻璃简化为刚黏塑性材料，在塑性区内应满足下列塑性力学基本方程：

(1) 平衡方程（体积力为零）

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0$$

简记为：
$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad (1-37)$$

(2) 几何方程（变形协调条件）

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$(1-38)$$

式中  $u$ 、 $v$ 、 $w$  为  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向位移。

简记为：

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (1-39)$$

式中  $u_i$ 、 $u_j$  为  $u$ 、 $v$ 、 $w$ 。

式 (1-38) 左右求导，则

$$\dot{\epsilon}_x = \frac{\partial v_x}{\partial x}$$

$$\dot{\epsilon}_y = \frac{\partial v_y}{\partial y}$$

$$\dot{\epsilon}_z = \frac{\partial v_z}{\partial z}$$

$$\dot{\gamma}_{xy} = \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \quad \dot{\gamma}_{yz} = \frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \quad \dot{\gamma}_{zx} = \frac{\partial v_z}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \quad (1-40)$$

式中  $v_x$ 、 $v_y$ 、 $v_z$  为沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向速率

简记为：
$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i}) \quad (1-41)$$

式中  $v_i$ 、 $v_j$  为  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向速率。

(3) 材料不可压缩条件

体积应变为零：
$$\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = 0 \quad (1-42)$$

式 (1-42) 左右求导，则

$$\dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z = 0 \quad (1-43)$$

简记：

$$v_{i,i} = 0$$

(4) 在成形温度范围内，玻璃的本构关系遵守牛顿流体法则和 Levy-Mises 方程：

$$\sigma'_{ij} = 2\eta(T)\dot{\epsilon}_{ij} \quad \sigma'_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\epsilon}} \dot{\epsilon}_{ij}$$

两式合并为：
$$\frac{\bar{\sigma}}{\dot{\epsilon}} = 3\eta(T) \quad (1-44)$$

式中  $\eta(T)$  为材料的黏度

$\bar{\sigma}$  为等效应力 (即 Mises 应力，也称应力强度)：

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

将  $\begin{cases} \sigma_x = \sigma'_{xx} + \sigma_m & \sigma_y = \sigma'_{yy} + \sigma_m & \sigma_z = \sigma'_{zz} + \sigma_m \\ \tau_{xy} = \sigma'_{xy} & \tau_{yz} = \sigma'_{yz} & \tau_{zx} = \sigma'_{zx} \end{cases}$  代入上式得

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2}(\sigma'^2_{xx} - \sigma'^2_{yy} + \sigma'^2_{zz} + 2\sigma'_{xy}\sigma'_{xy} + 2\sigma'_{yz}\sigma'_{yz} + 2\sigma'_{zx}\sigma'_{zx})}$$

简记为：
$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2}\sigma'_{ij}\sigma'_{ij}} \quad (1-45)$$

塑性区内，应力偏量与应变关系式如下：

$$\sigma'_{ij} = 2G'\epsilon_{ij}$$

式中  $G' = \frac{E'}{2(1+\mu')}$ ，其中  $G'$ 、 $\mu'$  和  $E'$  都是变化函数，因材料不可压缩， $\mu' = \frac{1}{2}$ ， $\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = 0$ ， $G' = \frac{E'}{3}$ ， $\epsilon_m = 0$  和  $\epsilon'_{ij} = \epsilon_{ij}$ ，则

$$\sigma'_{ij} = \frac{2}{3}E'\epsilon'_{ij} \quad (1-46)$$

式 (1-46) 代入式 (1-45) 得

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2}\left(\frac{2}{3}E'\epsilon'_{ij}\right)\left(\frac{2}{3}E'\epsilon'_{ij}\right)} = \sqrt{\frac{2}{3}\epsilon'_{ij}\epsilon'_{ij}(E')^2}$$

则等效应变

$$\bar{\epsilon} = \frac{\bar{\sigma}}{E'} = \sqrt{\frac{2}{3}\epsilon'_{ij}\epsilon'_{ij}} \quad (1-47)$$

式 (1-47) 左右求导，

则等效应变速率 
$$\dot{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3} \epsilon'_{ij} \epsilon'_{ij}} \quad (1-48)$$

(5) 黏度 玻璃黏度随温度变化见式 (1-44), 随玻璃种类和成分的不同也不尽相同, 以钠钙玻璃为例, 可根据 Fulcher 公式计算黏度:

$$\eta(T) = 10^{A + \frac{B}{T - T_0}}$$

式中  $A$ 、 $B$  和  $T_0$  是通过实验来确定的系数, 与玻璃组成的成分有关。

(6) 边界条件

① 速度边界  $\Gamma_v$  上 
$$\begin{cases} v_x = \widehat{v}_x \\ v_y = \widehat{v}_y \\ v_z = \widehat{v}_z \end{cases}$$

简记为:

$$v_i = \widehat{v}_i$$

② 力的边界  $\Gamma_\sigma$  
$$\begin{cases} \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n = t_x \\ \tau_{xy} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n = t_y \\ \tau_{xz} l + \sigma_{yz} m + \tau_z n = t_z \end{cases}$$

简记为:  $\sigma_{ij} n_j = \widehat{t}_i$

③ 接触边界  $\Gamma_c$  上

a. 非穿透性接触 (接触点在工具表面法线方向上速度相同):

$$v_n = V_D \cdot n$$

式中  $v_n$ ——接触点沿工具表面法线方向速度;

$V_D$ ——工具速度向量;

$n$ ——工具表面法线方向单位向量。

b. 摩擦条件:

$$f_s = -mk_d \left[ \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{v_s}{v_0} \right) \right]$$

式中  $f_s$ ——摩擦力向量;

$m$ ——保持不变的摩擦系数;

$k_d$ ——剪切屈服应力;

$v_s$ ——工具与制件之间相对滑动速度;

$v_0$ ——光滑系数。

### 1.6.2.2 刚塑性有限变分原理

刚黏塑性有限元法以 Markov 变分原理为基础, 采用对离散泛函变分而直接得到速度场, 避免了成型过程的几何非线性问题。

Markov 变分原理可以表述为: 设变形体的体积为  $V$ , 表面积为  $S$ , 在表面  $S$  上给定面力  $f_s$  和速度  $v$ , 则在满足边界条件、协调方程和体积不可压缩条件 (Lagrange 乘法) 的许可速度场中, 真实解必然使能量泛函:

$$\phi(v, p) = \int_V \sigma \dot{\epsilon} dV + \int_V p \dot{\epsilon}_v dV - \int_{\Gamma_\sigma} f_s v_s dS - \int_{\Gamma_i} t v dS$$

取驻值时, 它的一阶变分为 0:

$$\delta \phi(v, p) = \int_V \sigma \delta \dot{\epsilon} dV + \int_V \lambda \delta \dot{\epsilon}_v dV - \int_{\Gamma_\sigma} f_s \delta v_s dS - \int_{\Gamma_i} t \delta v dS + \int_V \epsilon_v \delta \lambda dV = 0 \quad (1-49)$$

式中  $p$ ——静水压力;



$\lambda$ ——乘子，此处为各单元静水压力的平均值；

$\epsilon_v$ ——体积应变速率；

$V$ ——成型制件的体积；

$S$ ——成型制件的面积。

式(1-49)是一组以节点速度分量为未知的非线性方程组，采用 Newton-Raphson 法求解该方程组，即可得到速度分量的解，进而得到各点的应变速率、应变和应力解。

### 1.6.2.3 玻璃成型的热力耦合

玻璃成型过程通常是在高温下进行，制件发生变形的同时也伴随着温度的变化。玻璃的材料性能参数，尤其是黏度系数受温度影响很大。实际上，由于制件的变形通常是很不均匀的，因而由变形引起的变形功热在制件内部的分布不尽相同，如果模具温度较低，制件-模具接触界面的传导热也会产生热量损失。这些因素都会使得制件内部产生较大的温度梯度分布。对于玻璃这样的温度敏感材料来说，分布不均匀的温度对材料的变形抗力影响很大，从而进一步影响制件的流动特性。因此，在玻璃成型过程模拟中考虑热力耦合的影响是极其重要的。这样，式(1-49)的外力不仅有表面力，而且与温度效应产生的附加热应力、热应变增量有关。

通过求解下面的能量平衡方程来得出制件或模具中的温度分布。式中的符号“ $\cdot$ ”是为了表示对空间坐标的求导。

$$(kT_{,i})_{,i} + r - \rho c \dot{T} = 0$$

式中  $k$ ——热导率；

$T$ ——温度；

$r$ ——热生成速率；

$\rho$ ——相对密度；

$c$ ——比热容。

在变形体内由塑性变形而引起的热生成率：

$$r = \alpha \bar{\sigma} \dot{\epsilon}$$

式中， $\alpha$  为热生成效率系数，即机械能转化为热能的比例。

能量平衡方程可以用加权残值法重新表述为：

$$\int_V k T_{,i} \delta T_{,i} dV + \int_V \rho c \dot{T} \delta \dot{T} dV - \int_V \alpha \bar{\sigma} \dot{\epsilon} \delta T dV - \int_S q_n \delta T \delta S = 0 \quad (1-50)$$

式中， $q_n$  为边界的热流法线。

经过有限元法的离散化，公式(1-50)可以转化为矩阵形式：

$$C \dot{T} + K T = Q \quad (1-51)$$

在玻璃成型模拟中，将对流和辐射当作与环境的换热条件，在变形体和模具之间的传导按常规方法和计算。在玻璃成型过程中，模具的冷却往往采取强制冷却，在模具中有冷却管道。在模拟过程中，要根据实验或工程实际给出对流换热系数。在计算中还考虑了在模具以及成型制件中的温度分布和温度改变。

### 1.6.2.4 玻璃成型过程数值模拟的工程实例

图 1-72 为饮料瓶锥形压制成型过程及温度分布，图 1-73 为饮料瓶在压-吹法成形模内的成形过程及制品温度分布，图 1-74 为显像管管屏压制成型过程的模拟，图 1-75 为压制 1.07S 和 11.3S 时，显像管管屏玻璃温度分布的等值线。

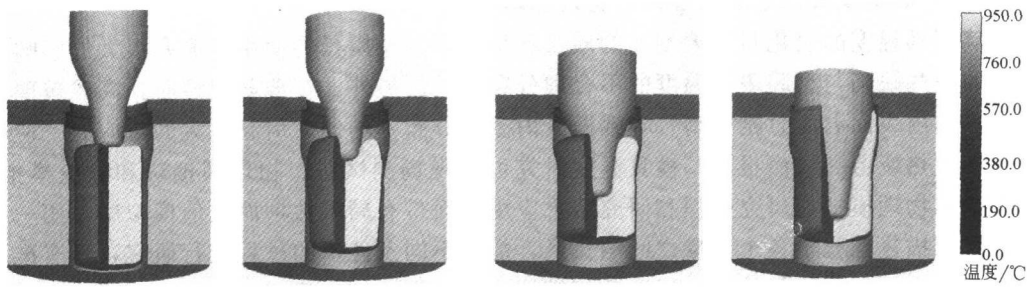


图 1-72 饮料瓶锥型压制成型过程及温度分布

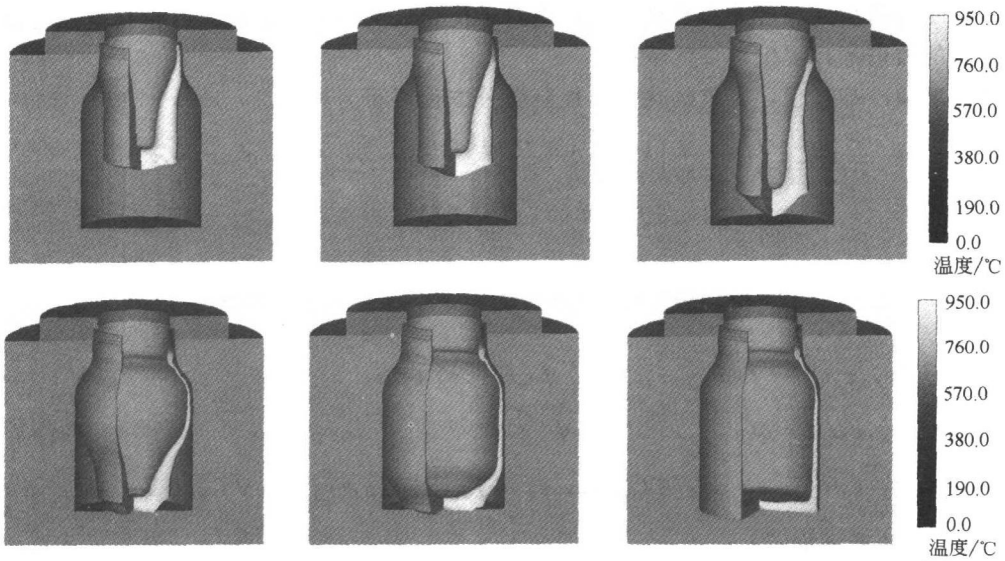


图 1-73 饮料瓶在压-吹法成形过程及制品温度分布

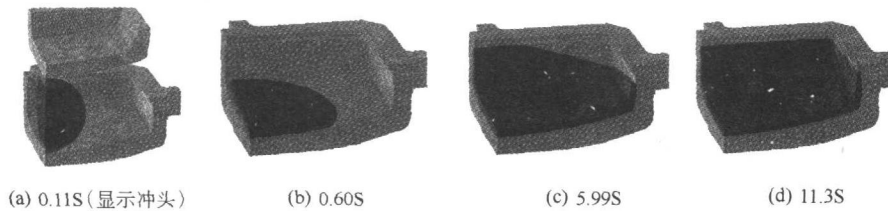


图 1-74 显像管管屏压制成型过程的模拟

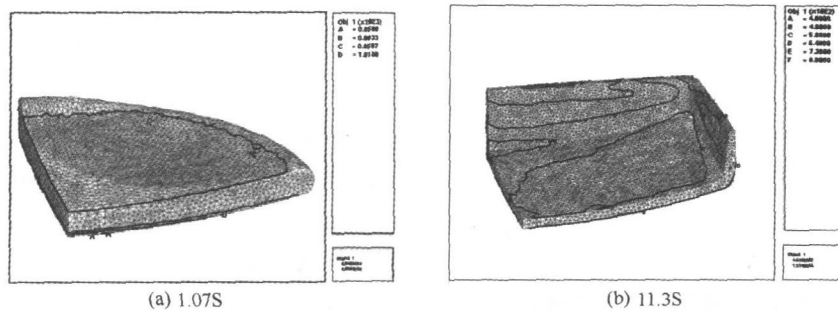


图 1-75 显像管管屏玻璃温度分布的等值线

### 1.6.3 玻璃模具的温度场控制方程及基本假定

玻璃模具温度的变化对玻璃制品的质量和生产率以及模具的使用寿命有很大的影响。玻璃制品的一些缺陷与型腔表面温度的不合理分布有关。另外,在玻璃成型时,高温玻璃熔体使玻璃模的内表面温度急剧升高,导致模具内温度分布不均匀,引起很大的热应力,使玻璃模表面产生热疲劳裂纹而报废。模具温度研究可用现场测试法、物理模拟法和数值模拟法,现场测试和物理模拟在研究过程和研究成果应用方面带有局限性,而数值模拟法是用一组数学方程式来描述系统中各个变量之间的关系,能对不同条件下的过程进行研究,具有准确可靠、灵活多变、速度快等特点,因而数值模拟法应用得比较广泛。

玻璃模具设计制造完成后,就难以进行很大的修改,所以在开始设计时就采用数值模拟技术,预测各部位的温度分布及其变化,这对于优化玻璃模的工艺设计(包括模具材质的改变、形状的改进等)提供重要的依据。

对玻璃模冷却过程,完整的热传导控制微分方程可写为:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + q^0(x, y, z) \quad \forall (x, y, z) \in V \quad (1-52)$$

初始条件:

$$T(x, y, z, t_0) = T_0(x, y, z) \quad \forall (x, y, z) \in V$$

边界条件:

$$T(x, y, z, t) = \bar{T}(x, y, z, t) \quad \forall (x, y, z) \in S_r$$

$$q(x, y, z, t) = \bar{q}(x, y, z, t) \quad \forall (x, y, z) \in S_q$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial x}(x, y, z, t) = \alpha [T(x, y, z, t) - T_\infty(x, y, z, t)] \quad \forall (x, y, z) \in S_h$$

式中  $\rho$ ——相对密度;

$c$ ——比热容;

$q^0$ ——生成热;

$k$ ——热导率;

$T$ ——温度;

$q$ ——热流;

$\alpha$ ——传热系数;

$t$ ——时间;

$k_x, k_y, k_z$ ——模具材料在  $x, y, z$  方向的热导率;

$x, y, z$ ——某点的空间坐标;

$V$ ——模具传热体的空间区域;

$S_r, S_q, S_h$ ——分别代表给定不同边界条件的边界面。

由上述控制方程可以看出,玻璃模冷却过程是一个瞬态不稳定的导热过程,模具内任一点的温度和热流受冷却系统中各几何参数和物理参数的影响,需要用具有周期性边界条件的三维热扩散方程求解。而且完整的分析还应该考虑玻璃熔体与模具型腔之间具有温度突变的相互热作用。为了在实际中应用将上述数学模型做以下简化。

① 用稳态冷却过程代替瞬态过程 为了使计算不至于复杂,做以下两点假设:第一,假设成型操作是在标准稳定状态下进行的,不考虑起始阶段的温度变化;第二,忽略周期性

的温度波动，而以一个循环周期内某点温度的平均值代替该点温度。

② 型腔内的热流仅沿型腔表面法线方向传播 对于复杂型腔形状以及不均匀的制品壁厚，型腔表面的热流方向往往难以把握。但由于在实际加工中，制品壁厚一般较薄，其尺寸比其长度和宽度尺寸要小得多，因此可假定型腔内的热流方向垂直于型腔表面。根据这一简化，玻璃制品的冷却可用一维非稳态热传导分析。

③ 假定模具材料为各向同性材料  $k_x = k_y = k_z = k_m$ 。

④ 玻璃制品与模壁在成型过程中始终完全接触 不计接触热阻。

通过简化，玻璃模的温度场控制方程可用 Laplace 方程来表示：

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad \forall (x, y, z) \in V \quad (1-53)$$

#### 1.6.4 有限差分法对玻璃模具温度场的数值模拟

以 640ml 啤酒瓶成形模为例。

模具在工作中每完成一个瓶子的生产，其内部温度发生一次周期性变化。为用数学方法描述这种周期变化的温度场，张卫军和杨景祥将每个周期人为地分为三个阶段，即合模段、成形段和开模段。在合模段中，模子闭合，玻璃料已从初型模进入成形模待吹气成形，这段时间为 2.5s。接着进入成形段，在成形段中玻璃料被吹入高压空气在模内成形，并保持一定时间使瓶子定形，这段时间为 4.5s。最后进入开模段，在开模段中模具张开，瓶子离开模具，这段时间为 3s。并假设模具在上述各段中，玻璃的入模和瓶的离模及吹气的过程都是瞬时完成的，在各段均以某种状态保持一定的时间。

计算开始时，首先假设模具的初始温度分布为常数（这个常数可以任意给定而不影响最后的计算结果），然后在合模段的边界条件下进行合模段计算。并将结果作为成形段的初始条件，在成形段的边界条件下进行成形段的计算。再将结果作为开模段的初始条件，联立开模段的边界条件进行开模段的计算。这样第一个周期内的温度场计算完成。此时并没有获得具稳定的温度场。要获得稳定的温度场，必须进行第二、三，以至更多周期的计算。在进行第二周期的计算时，将第一周期开模段结束时的温度分布作为第二周期合模段的初始条件，重复各段的计算。以此类推，直至在以后的各周期中，相邻两周期在对应时刻、对应位置的温差小于预先给定的平衡误差  $E(1^\circ\text{C})$  时，说明模具的温度已达到平衡，进入了稳定的周期分布状态，记录下这一稳定周期的结点温度，即获得了要建立的温度场和解决了初始条件的问题。

##### 1.6.4.1 温度场数学模型的建立及其定解条件

(1) 数学模型 根据模具在实际工作中温度变化的对称性，只取模具的四分之一进行讨论。将模具本身视为研究对象，而将影响模具温度场的其他因素视为边界。模具中各边界表面的命名及标号如图 1-76 所示。

对模具工作的不同阶段，玻璃模具的热传导控制微分方程式 (1-52) 或简化的温度场控制方程式 (1-53) 是相同的。

经坐标系转换，玻璃瓶模具的数学模型即可采用圆柱坐标下三维不稳态的微分方程（圆柱坐标中微元体见图 1-77）：

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1-54)$$

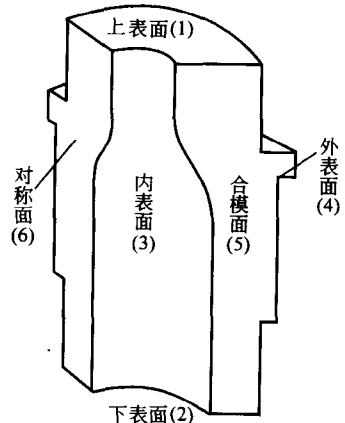


图 1-76 模具边界表面的命名及标号

式中  $T$  —— 温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\tau$  —— 时间,  $\text{s}$ ;  
 $\alpha$  —— 热扩散率,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;  
 $r, \phi, z$  —— 见图 1-77。

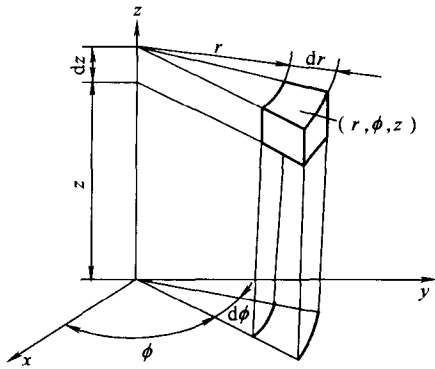


图 1-77 圆柱坐标中的微元体

## (2) 初始条件和边界条件

### ① 合模段

$$T|_{r=0} = T_0 \quad (1-55.1)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_1 = \alpha_1 (T_1 - T_{\infty}) \quad (1-55.2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_2 = \alpha_2 (T_{\infty} - T_2) \quad (1-55.3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_3 = \alpha_3 (T_B - T_3) \quad (1-55.4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_4 = \alpha_4 (T_4 - T_{\infty}) \quad (1-55.5)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \phi} \Big|_{5.6} = 0 \quad (1-55.6)$$

式中  $\lambda$  —— 模具的导热系数,  $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  
 $\alpha_1, \alpha_2$  —— 模具上、下表面自然对流换热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  
 $\alpha_3$  —— 模具内表面辐射、对流综合换热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  
 $\alpha_4$  —— 模具外表面对流换热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  
 $T_0$  —— 模具的初始温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $T_{\infty}$  —— 模具外介质温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $T_B$  —— 玻璃的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $T_1, T_2, T_3, T_4$  —— 模具的上、下、内、外表面温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

### ② 成形段

$$T|_{r=2.5} = T_1(r, \phi, z) \quad (1-56.1)$$

$$T_3 = T_B(\tau) \quad (1-56.2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_1 = \alpha_1 (T_1 - T_{\infty}) \quad (1-56.3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_2 = \alpha_2 (T_{\infty} - T_2) \quad (1-56.4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_4 = \alpha_4 (T_4 - T_{\infty}) \quad (1-56.5)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \phi} \Big|_{5.6} = 0 \quad (1-56.6)$$

式中  $T_1(r, \phi, z)$  —— 合模段结束时模具内温度分布函数;  
 $T_B(\tau)$  —— 模具内表面温度随时间变化函数。

### ③ 开模段

$$T \Big|_{r=r_1} = T_2(r, \phi, z) \quad (1-57.1)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_1 = \alpha_1 (T_1 - T_\infty) \quad (1-57.2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_2 = \alpha_2 (T_\infty - T_2) \quad (1-57.3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_3 = \alpha'_3 (T_\infty - T_3) \quad (1-57.4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_4 = \alpha_4 (T_4 - T_\infty) \quad (1-57.5)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \phi} \Big|_5 = \alpha_5 (T_\infty - T_5) \quad (1-57.6)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial \phi} \Big|_6 = 0 \quad (1-57.7)$$

式中  $T_2(r, \phi, z)$ ——成形段结束时模具内温度分布函数；

$\alpha'_3$ ——内表面开模时自然对流换热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

$\alpha_5$ ——合模面开模时自然对流换热系数， $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

### (3) 模具外表面空气对吹冷却的模型

**实验** 在模具的外表面，实际情况为两侧有横向冷风对吹冷却。对于这种空气横向对吹圆柱体的换热问题还未有专门的报导。而在进行模具温度场计算中必须知道沿模具周向的局部对流换热系数。为此，张卫军和杨景祥对这一强制对流换热现象依相似理论进行了物理模型实验。

首先根据相似逆定理将模具及冷却风口按几何相似（相似比  $C_1 = 0.343$ ）制成实验模型。并在实验中保证模型中的雷诺数  $Re$  与实际中的相等。测得了一组沿模具周向的局部努赛尔数  $N_{\phi}$  变化曲线（见图 1-78）。

根据相似正定理，模型中测得的努赛尔数  $(N_{\phi})_{模}$  与实际努赛尔数  $(N_{\phi})_{实}$  相等。由此可求出实际工况下沿模具周向的局部对流换热系数。

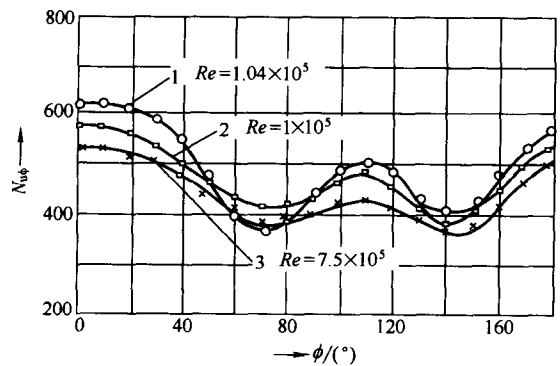


图 1-78 沿模具周向局部努赛尔数曲线

$$\alpha_\phi = \frac{\lambda_f}{D} (N_{\phi})_{模} \quad (1-58)$$

式中  $\lambda_f$ ——冷却介质导热系数， $W/(m \cdot ^\circ C)$ ；

$D$ ——模具直径， $m$ ；

$(N_{\phi})_{模}$ ——在模型中测出的局部努赛尔数。

(4) 成形段模具内表面温度函数的数值逼近 在成形段中，内表面处理成了第一类边界条件，即内表面温度是时间的函数。这一函数通过实测后用函数的逼近方法获得。根据实测的结果，选择了直线指数线两种数学模型，用最小二乘法逼近的结果表明，直线逼近的拟合率（97.4%）高于指数曲线的拟合率（93.3%）。直线拟合结果为：

$$T_B = 739.58 - 17.4 \times \tau \quad (1-59)$$

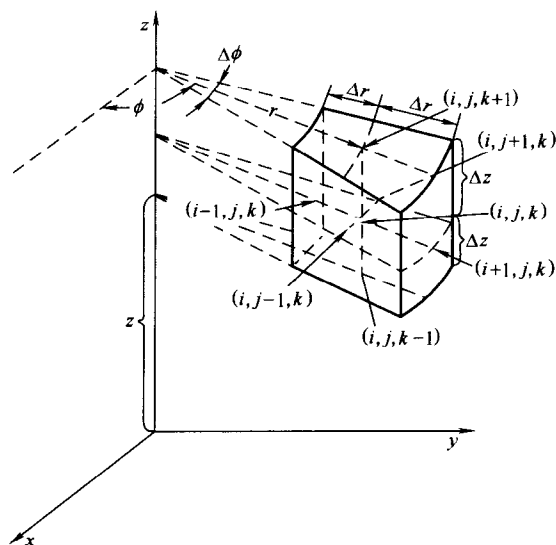


图 1-79 柱坐标系中体内结点单元

#### 1.6.4.2 有限差分方程的建立

为了实现上机运算，需要将研究的区域进行离散化。张卫军和杨景祥把求解区域划分为适当的网格，着眼于求未知函数在网格节点（见图 1-79）上的近似值。在节点上用差商近似的代替偏导数，把数学模型中偏微分方程及其定解条件化为以未知函数在节点上近似值为未知量的差分方程，然后由计算机求解差分方程，得到微分方程在节点上的近似值。

(1) 热传导差分方程 将柱坐标下的三维不稳态导热微分方程式 (1-54) 的右边各项采用中心差分，左边时间导数采用向前差分，得到六点中心差分有限差分方程：

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\Delta r^2} (T_{i+1,j,k}^n - 2T_p^n + T_{i-1,j,k}^n) + \frac{1}{r_p} \cdot \frac{1}{2\Delta r} (T_{i+1,j,k}^n - T_{i-1,j,k}^n) \\ & + \frac{1}{r_p^2} \cdot \frac{1}{\Delta \phi^2} (T_{i+1,j,k}^n - 2T_p^n + T_{i-1,j,k}^n) + \frac{1}{\Delta z^2} (T_{i+1,j,k}^n - 2T_p^n + T_{i-1,j,k-1}^n) = \frac{T_p^{n+1} - T_p^n}{\Delta \tau} \cdot \frac{1}{\alpha} \end{aligned} \quad (1-60)$$

将式 (1-60) 写成显式为：

$$\begin{aligned} T_p^{n+1} = T_p^n + \alpha \Delta \tau \left[ \frac{1}{\Delta r^2} (T_{i+1,j,k}^n - 2T_p^n + T_{i-1,j,k}^n) + \frac{1}{r_p} \cdot \frac{1}{2\Delta r} (T_{i+1,j,k}^n - T_{i-1,j,k}^n) \right. \\ \left. + \frac{1}{r_p^2} \cdot \frac{1}{\Delta \phi^2} (T_{i+1,j,k}^n - 2T_p^n + T_{i-1,j,k}^n) + \frac{1}{\Delta z^2} (T_{i+1,j,k}^n - 2T_p^n + T_{i-1,j,k-1}^n) \right] \end{aligned} \quad (1-61)$$

式中  $\Delta \tau$  ——时间间隔 (计算实例  $\Delta \tau = 0.5 \text{ s}$ )；

$n$  ——时段序号， $\tau = n\Delta \tau$ ， $n = 0, 1, 2, \dots$ ；

$i, j, k$  ——单元径、周、高向序号， $r = i\Delta r$ ， $\phi = j\Delta \phi$ ， $z = k\Delta z$ ， $i, j, k = 1, 2, 3, \dots$ ；

$p$  ——中心结点的略写，即  $T_p = T_{i,j,k}$ 。

(2) 边界条件 在数学模型中用到了三类边界条件，它们的有限差分方程是：

① 第一类边界条件：

$$T_s^n = T(n\Delta z) \quad (1-62)$$

② 第二类边界条件，即绝热条件：

$$T_{s+1}^n = T_{s-1}^n \quad (1-63)$$

③ 第三类边界条件：

$$T_s^{n+1} = \frac{T_{s-1}^n + (\alpha\Delta/\lambda)T_\infty}{1 + \alpha\Delta/\lambda} \quad (1-64)$$

其中下脚标“s”表示边界上结点，“s-1”表示与边界结点相邻的内部结点， $\Delta$ 表示边界沿线方向的位置增量。

(3) 差分方程的收敛条件 根据差分理论，要使差分方程的解收敛于与之对应的微分方

程的解，差分方程的基本项  $T_p^n$  (即  $T_{i,j,k}^n$ ) 的系数必须非负。据此得到如下收敛条件式：

$$\alpha \Delta z = \left( \frac{1}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_p^2 \Delta \phi^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right) \leq \frac{1}{2} \quad (1-65)$$

上式中  $r_p$  应为模具的最小内径。

### 1.6.4.3 成形模温度场数值模拟计算实例

借助于计算机，张卫军和杨景祥用有限差分法和自行开发的软件，对某玻璃制品厂640ml啤酒瓶成形模的温度场进行数值模拟，结果及分析如下。

(1) 模拟结果与实测结果的比较 经模具温度场数值模拟计算后，间隔 0.5s 顺序打印 (与实测间隔时间一致)，表 1-12 是成形段第二秒某截面的温度分布运算结果 (表中  $K$  和  $I$  分别为高度和径向尺寸的节点)。图 1-80 和图 1-81 是某玻璃制品厂模具工况和实测结果。

表 1-12 温度场计算打印示例 (°C)

项 目	$I=1$	2	3	4	5	6	7	8
			* 3					
$K=16$	467	356	332	310	284	259		
$K=15$	512	404	370	345	316	289		
			* 5					
$K=14$	552	448	414	387	355	325		
$K=13$	632	508	466	436	401	366		
$K=12$		682	535	487	455	416	380	346
$K=11$		722	586	542	518	495	481	438
$K=10$			732	594	557	541	526	
					* 10			
$K=9$			724	606	576	560	544	
$K=8$			722	610	580	564	548	
$K=7$			717	601	571	555	540	
$K=6$			712	585	549	530	515	
					* 4			
$K=5$			702	557	508	463	449	
$K=4$			689	533	482	440		
$K=3$			652	505	458	418		
				* 2				
$K=2$	000	000	532	466	434	396		
$K=1$	000	000	462	462	435	396		

注：画“\*”的位置表示测点位置，标号表示测点标号。

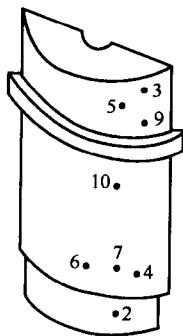


图 1-80 测点位置示意

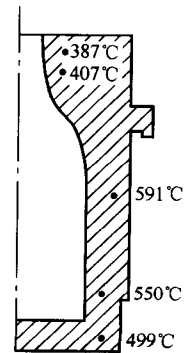


图 1-81 模具纵向温度实测示意



通过表 1-12、图 1-80 与图 1-81，可以看出模拟结果与实测结果在某一时刻对应情况。表 1-13 给出了 4 个具有代表性点的温度随时间变化的对照。结果表明模拟计算与实测十分吻合，所有测点与计算结果相差不超过 5%。

表 1-13 实测温度与模拟温度对照表

检验点序号	段次	成形段								开模段					合模段						
	时间/s	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	0	0.5	1	1.5	2	2.5	0	0.5	1	1.5	2
1	实测值/°C	748	734	718	708	698	692	688	680	677	644	588	582	565	553	551	555	546	555	557	708
	模拟值/°C	742	732	722	713	703	693	684	674	670	614	598	584	570	559	552	556	556	561	569	678
	实测中的 7 点，位于模具的内表面；结点坐标为 T(3,3,10)																				
2	实测值/°C	597	598	597	601	599	601	604	603	600	598	598	597	597	597	597	597	579	596	596	595
	模拟值/°C	595	595	597	601	601	602	603	603	604	600	598	595	594	592	590	590	593	594	594	595
	实测中的 10 点，位于模具中部距内表面 15mm 处；结点坐标位于 T(4,3,9), T(5,3,9) 中间																				
3	实测值/°C	391	391	392	391	392	393	392	392	392	391	392	393	392	392	392	391	390	390	391	391
	模拟值/°C	387	388	398	391	392	393	395	395	394	391	389	388	388	387	384	384	385	385	386	386
	实测中的 3 点，位于模具上部距内表面 15mm 处；结点坐标位于 T(2,4,15), T(3,4,15) 中间																				
4	实测值/°C	500	500	500	501	500	501	501	500	502	500	501	501	499	499	500	497	498	500	499	498
	模拟值/°C	494	496	498	501	501	503	505	506	506	503	503	502	501	500	498	497	498	499	500	500
	实测中的 2 点，位于模具下部距内表面 15mm 处；结点坐标位于 T(4,4,6), T(5,4,6), T(4,4,5), T(5,4,5) 中间																				

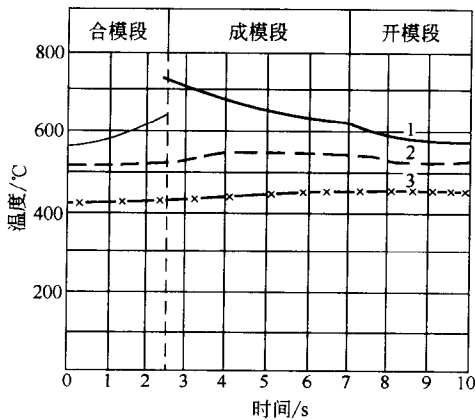


图 1-82 模具内、中、外表面温度变化  
1—内表面；2—中部；3—外表面

(2) 温度场分析

① 从温度随时间变化上看 (见图 1-82)，模具内表面的温度变化最大。

② 从模具纵向某一截面温度分布上看 (见表 1-12)，中部及偏下部温度最高，底部次之，然后是肩部，瓶口处最低。中部及偏下部比底部温度高 100°C 左右，比肩部高 190°C 左右，比瓶口处大约高出 210°C。

③ 从模具温度在各段分布上看 (见表 1-14)，合模段和成形段除沿高度方向温度变化较大外，径向温度变化相对不大。在成形段，由于模具内表面直接接触 750°C 的玻璃料，使各向的温度变化都很大，尤其内表面处的温度梯度最大。

表 1-14 模具各段纵剖面结点温度分布图 (°C)

I	合模段 时间=2.5								成形段 时间=0.5								开模段 时间=2.5							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
K=16	345	341	324	302	278	254			345	339	323	301	278	254			353	356	332	304	278	254		
K=15	385	378	360	336	310	283			522	400	363	336	310	283			394	391	363	389	310	283		
K=14	429	423	403	376	347	317			562	444	405	376	347	317			439	437	412	380	347	317		

续表

I	合模段 时间=2.5								成形段 时间=0.5								开模段 时间=2.5							
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
K=13	483	475	454	424	391	357			612	506	458	424	390	356			500	495	467	430	393	359		
K=12		507	500	475	442	406	370	337		692	529	478	441	405	370	337		524	519	486	447	409	372	339
K=11		557	550	530	505	484	470	428		732	583	534	505	483	470	428		577	572	544	511	485	470	428
K=10			568	563	546	527	512				742	590	549	526	512				583	579	555	531	515	
K=9			586	581	566	548	533				734	604	568	547	532				598	595	573	552	535	
K=8			588	583	569	552	537				732	606	572	551	536				599	598	577	556	539	
K=7			580	575	561	543	528				727	589	563	542	527				592	590	568	547	530	
K=6			561	556	538	512	503				722	581	541	516	502				576	573	548	522	506	
K=5			532	525	497	456	443				712	553	499	453	440				549	545	511	468	454	
K=4			507	500	472	434					699	530	474	430					508	521	487	446		
K=3			480	475	447	410					662	501	449	407					482	493	461	422		
K=2			456	450	425	589					520	458	425	387			000	000	458	463	459	356		
K=1			456	453	427	389					450	450	425	387			000	000	450	450	425	351		

### (3) 模具设计、工艺的改进

① 加强中部风冷 现在大部分行列机上风冷的主要部位是模具的上、下两个部位，而中部风冷很差，甚至没有风冷，所以应加强中部的风冷。同时，目前使用的模具卡盘过于笨重，它对模具的中部散热阻碍很大，应适当采用空体结构，多开散热孔。

② 加开散热槽 新型的模具带有周向凹凸结构的散热槽。目前散热槽的沟和笼都过大，所以作用不大。合理的结构应尽可能将沟和笼都缩小，设计成类似肋片状结构。同时应注意，带有散热的模具只适于有轴向风冷的行列机使用，如果没有轴向风冷，则会因这种周向沟笼的出现影响模具的自然对流散热。对于自然冷却的场合，适于在模具上沿高度方向加开散热槽。

③ 采用吹-吹法成形工艺 吹-吹法成形工艺使吹入的气体在瓶内流动，变原来的瓶内自然对流为强制对流，并使吹入的气体及时排出。瓶内的压力由原来的静压变为等值的动压。该工艺可有效提高生产率及模具的使用寿命。

利用玻璃瓶模具的三维不稳态温度场的数值模拟，可以定量地揭示模具工作时的温度变化和分布。为研究制瓶工艺，设计模具，确定材质等问题提供了第一手参考资料。

#### 1.6.5 有限元法对玻璃模具温度场的数值模拟

##### 1.6.5.1 有限元法的优点

如前所述，玻璃制品在模具成型过程中，模具内的传热属于非稳定传热，非稳定温度场的数值模拟研究法主要分为有限差分法和有限元法两种。前述的有限差分法因遵循于规则的差分网络划分，对模具非直线边界只能以折线表示，其计算结果不够准确。以下介绍的有限元法继承了有限差分法中将求解的区域离散为各个子域的特点，还借助于古典的泛函变分或迦辽金加权余量法，在子域内寻找试探函数，对区域积分，使其具有很大的灵活性和适应性，因而计算效率、准确率提高。甘迎红运用拉普拉斯变换特征有限元法，对不同模具材料的玻璃模具温度场进行数值模拟，分析了模具材料对模具温度的影响情况，为玻璃模具的使用和模具材料选择提供了参考；并指出若要提高生产速度和产品质量，延长模具使用时间，则宜采用热渗透值较大的金属作为模具材料，否则模具将变热，模温波动增加，模具易产生热疲劳，使用寿命缩短。

### 1.6.5.2 玻璃模具温度场数值模拟实例

以 500ml 盐水瓶成形模为例 (见表 1-14)。

在玻璃锥型的成型过程中, 整个周期分为接触时间  $t_c$  和分离时间  $t_s$  两部分。当玻璃的初始温度一定, 锥型的成型时间为零, 即锥型一接触模具就充满整个模腔, 接着下一个周期的玻璃具有同样的初始温度, 而模具初始温度取上一个周期末的温度。这个过程重复进行, 模具温度在恒定的最大值和最小值之间变化。

甘迎红假设整个周期中模具内、外表面及内部有不同的传热状况, 分别如下所述。

- ① 接触时间 模具内表面与玻璃间传导传热, 模具外表面与外界强制对流传热;
- ② 分离时间 模具内表面与外界的自然对流传热, 模具外表面与外界强制对流传热;
- ③ 整个周期 模具体内的传导传热。

玻璃模具成形模的温度场数学模型可采用与式 (1-54) 相同形式的瞬间导热传热方程表示:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial r} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1-66)$$

式中  $\rho$  —— 模具材料的相对密度;  
 $c_p$  —— 等压比热容;  
 $T$  —— 温度;  
 $k$  —— 模具材料的热导率。

成形模边界条件如下。

① 接触时间:

节点  $B \sim C \sim D \quad k \frac{\partial T}{\partial n} + q = 0 \quad (1-67)$

节点  $I \sim J \sim K \sim L \sim M \sim N \quad k \frac{\partial T}{\partial n} + \alpha_t (T - T_a) = 0 \quad (1-68)$

② 分离时间:

节点  $C \sim D \sim I \sim J \sim K \sim L \sim M \sim N \quad k \frac{\partial T}{\partial n} + \alpha_t (T - T_a) = 0 \quad (1-69)$

节点  $C \sim B \sim N \quad k \frac{\partial T}{\partial n} + \alpha_n (T - T_a) = 0 \quad (1-70)$

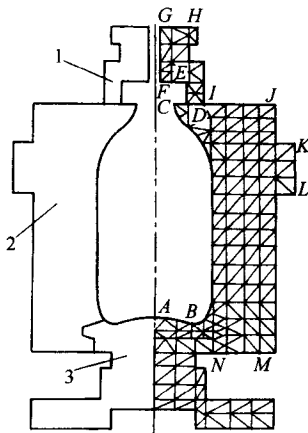


图 1-83 成形模

1—吹气头; 2—成形模体; 3—垫板

拉普拉斯变换特征有限元法计算瞬态模具温度的求解过程是: 首先对热传导控制的微分方程施以拉普拉斯变换, 然后对变换后的方程按一般的有限元法离散得到有限元平衡方程, 运用特征值方法求解, 最后经过逆变换得到离散温度场对时间的解析表达式。上述各式中的某些物理量采用理论估算, 取玻璃与模具界面的热流  $q=150\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 为了计算方便, 外界与模具内表面自然对流和模具外表面强制对流所涉及冷却介质温度和外界的空气温度  $T_a$  取同等值; 自然对流系数  $\alpha_n$  和强制对流系数  $\alpha_t$  分别用卡斯劳公式和尤格思公式计算, 取  $\alpha_n=9.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  和  $\alpha_t=29.0\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ 。

甘迎红采用简单三角形划分法, 所得单元数为 273, 节点数为 163, 见图 1-83。计算结果如下:

取  $T_a=40\text{C}$ ,  $t_c=5.5\text{s}$ ,  $t_s=3.5\text{s}$ , 计算从初始温度  $T=$

200℃开始，直到相邻的两个周期模具上对应点的温差小于0.4℃为止。400个周期以后，模具温度场变化达到稳定，相同模型结构，相同成型条件，不同材料（见表1-15）模具温度场的计算结果见图1-84和图1-85。

表 1-15 模具材料对温度场的影响

材 料	密度 $\rho$ /(g/cm <sup>3</sup> )	比热容 $c$ /[J/(g·℃)]	热导率 $k$ W/(cm·℃)	热渗透值 $E$ /[J/(cm <sup>2</sup> ·s <sup>1/2</sup> ·℃)]	模具内表面 温度波动幅度/℃	模具内表面 温度最大值/℃
铸铁	7.60	0.460	0.469	0.306	43.28	695
镍	8.89	0.544	0.607	0.409	36.46	616
黄铜	8.47	0.381	1.158	0.460	18.35	610
铝	2.70	0.987	2.176	0.575	8.03	601
银	10.49	0.238	4.184	0.772	4.49	579
铜	8.90	0.423	3.908	0.912	4.20	537

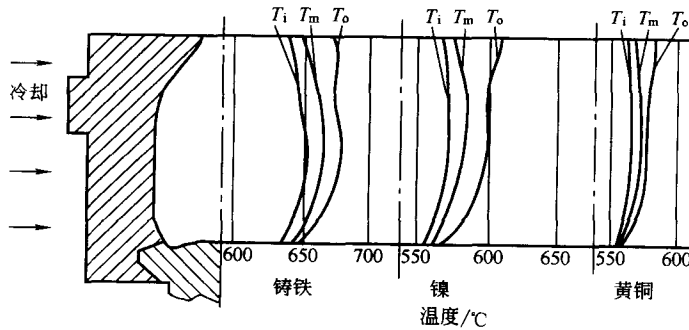


图 1-84 不同模具材料（铸铁、镍、黄铜）的温度场

$T_i$ —模具内表面； $T_m$ —模具中部温度； $T_o$ —模具外表面温度

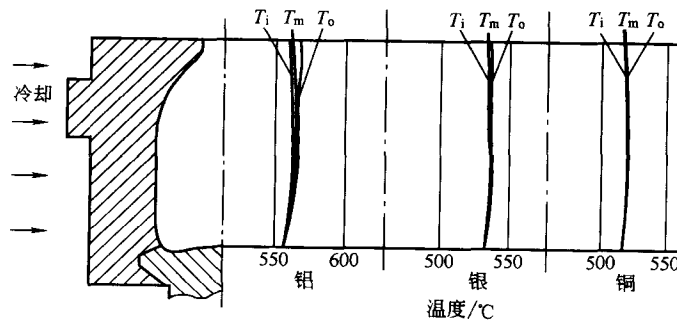


图 1-85 不同模具材料（铝、铜、银）的温度场

$T_i$ —模具内表面； $T_m$ —模具中部温度； $T_o$ —模具外表面温度

由以上两图可知：随着热导率  $k$  的增加，模具内壁和外壁的温度曲线逐渐靠近，内、外壁温差减少。模具材料热渗透值  $E = \sqrt{kc\rho}$ ，是材料的综合性的物性参数。从表1-15可看出随着热渗透值变化，不同材料的模具内表面温度波动幅度和模具内表面温度最大值变化趋势。

## 第2章 玻璃制品的造型

### 2.1 玻璃制品的造型设计

玻璃制品是科学和艺术的综合产物，一件好的玻璃制品应达到科学与技术的统一，又由于它是物质产品，应具有使用价值和经济价值，能给人以物质和精神的享受。

玻璃制品的造型美是玻璃制品整体体现出来的全部美感的综合，不仅包括形式美，而且把形式美的感觉因素、心理因素建立在功能、构造、玻璃材料及其成型技术等物质基础上。玻璃制品的造型可分为艺术造型和工业造型两类。

#### 2.1.1 艺术造型

艺术造型是指在艺术玻璃制品立体空间对有形世界作主观的、明显的、为视觉所感受的描述，多以自然物体（如动物、植物、人类本身及工业产品）的形态为表现对象，借助于玻璃材料、工艺成型技术和相应的手法以及人的创作观念（个人的理念、视觉），通过刻画典型事件和现象反映特定历史条件下人类的审美理想，强化了艺术的概念，淡化或取消其使用功能，并赋予它多元化的意义和结构形式，以其的精神功能，供人们欣赏并从中得到精神上和情感上的需求以及美的享受。因此，艺术造型是以欣赏价值来衡量的，有的艺术玻璃制品还具备艺术珍品所具有的独立持久的“无价”艺术收藏价值。艺术玻璃制品可以分成：模具成型的艺术玻璃制品（装饰陈列品，属赏用结合型玻璃制品）和手工成形的窑玻璃艺术制品（艺术品）。

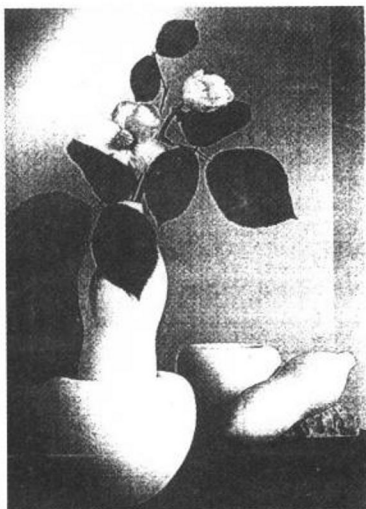


图 2-1 男性、女性与大地玻璃花瓶

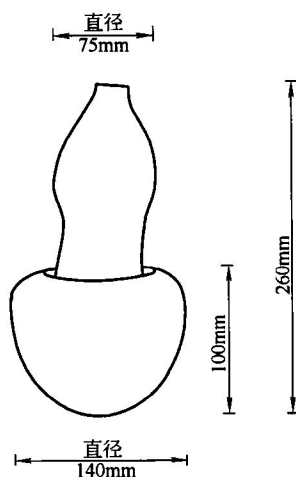


图 2-2 花瓶空间尺寸

印度安尼斯·卡波尔和工业设计师斯藤·弗利兹协作，生产了“男性、女性与大地玻璃花瓶”如图 2-1 所示，花瓶空间尺寸见图 2-2。这只乳白色玻璃花瓶的三个部分为：上部瓶身部分代表男性，下部碗形部分代表女性；放置两性的部分象征着大地。插入鲜花直立姿态

的花瓶表示男人女人共同创造世界上一切美好的东西；花瓶平放时，寓意着地球上的女人男人偎依在一起，享受着甜蜜的爱情。

图 2-3 为荷兰玻璃艺术家杰出的手工成形的窑玻璃艺术品，就是从客观存在的女人人体的几何形态中抽取而构成的。这卓越的设计来源于生活而高于生活，将艺术家的审美意趣融入到作品中，充分显示了女人人体美和体现了艺术与成型技术的完美结合，以迷人的造型、材质的美和富有想像力的纹饰，折射出令人折服的佳作。

玻璃器皿是人类古老的产品之一。自古以来佳作的价值往往超出其基本的使用功能，而具有审美和收藏价值。在人们精神生活日益精彩丰富的今天，玻璃制品的艺术属性更受注重。有的甚至放弃批量生产的模具成型手段，而采用传统的单件成型工艺，并在近代科技的推动下，使玻璃工艺精益求精，更加赋予其深刻和强烈的文化的内涵，反映了地域性和民族特色。

这样也就使焕发勃勃生命力的玻璃制品更具有国际性。图 2-4 为欧洲玻璃艺术家的“克纳萨斯”1号作品。图 2-5 为我国玻璃人物瓶，其俏丽的人物，神态高雅，不事娇饰，以清秀娴静取胜，舞姿优美，秀丽飘逸，静中有动，有韵律感，是具有独特艺术魅力的作品。



图 2-3 女人（周震提供）

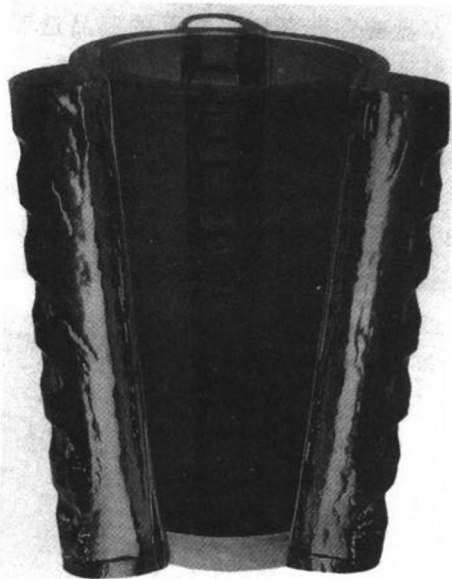


图 2-4 “克纳萨斯”1号



图 2-5 玻璃人物瓶

图 2-6 和图 2-7 为我国窑玻璃花插和动物的玻璃制品。作者分别抓住了植物和动物的特征，巧妙地利用色彩和玻璃的聚光效果，而不在表面上做更多的加工，创造出栩栩如生、生

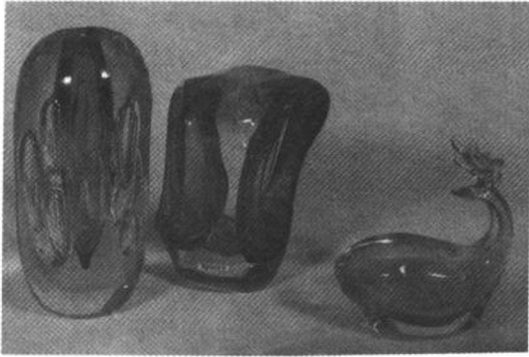


图 2-6 窑玻璃花插、动物

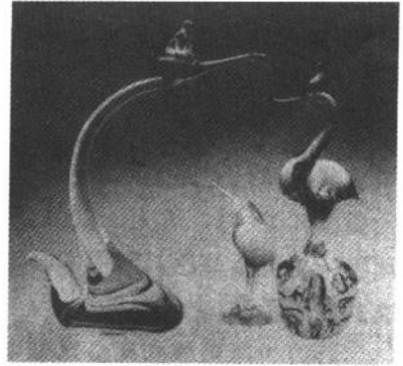


图 2-7 窑玻璃鸟

动有趣，给予人以自然流动美感的室内装饰陈列品。

### 2.1.2 工业造型

工业造型主要是以日用和工业玻璃制品为表现对象，日用和工业玻璃制品（以下称玻璃

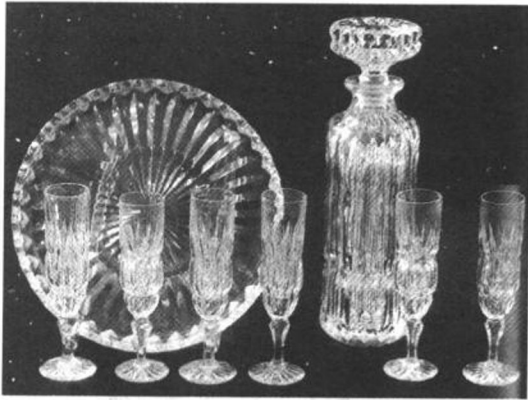


图 2-8 玻璃酒具

制品，为本书重点讨论的对象）是指以工业手段为主，大多采用模具成型的制品。工业造型是在满足特定的成型工艺条件下，用艺术手段创造出美的玻璃制品造型。造型应充分体现出人的因素，使玻璃制品能适应和满足人的生理、心理要求，并最终

以市场竞争能力和人机系统的使用效能来衡量。图 2-8、图 2-9 和图 2-10 为玻璃酒具、盘碗和花鸟瓶。图示的制品透明度高、折射率强、敲击时声音清脆悦耳，它们具有色彩绚丽和高雅艳丽之美，或洁白无瑕、清澈透明的特点，使人心旷神怡。表层上的点、线、沟、板和花鸟，形成了宽窄、粗细、疏密、大小的对比，构成了光泽华丽的宝石般纹样或层次丰富的浮雕式图案，光色璨然，既有多样变化，又统一在流畅的造型之中，十分精美。

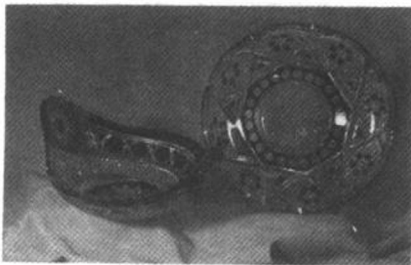


图 2-9 玻璃盘碗



图 2-10 玻璃花鸟瓶

### 2.1.3 值得注意的问题

玻璃制品的造型设计一定要因销售地区、国家不同而异，这是由于各地自然环境和风俗不同，人们对玻璃制品形态的喜爱也有所不同。例如：哥伦比亚人、罗马尼亚人喜爱三角形体和筒体；德国人喜爱方形体，而其他欧洲人是偏爱圆形的造型体；美国人、澳大利亚人和新加坡人都喜欢椭圆或六角形的造型。

对于仿生造型的玻璃制品特别应充分注意。日本人和新加坡人对仿如来佛型的制品十分反感；巴基斯坦、阿富汗、利比亚及许多伊斯兰国家禁忌猪与狗的仿生造型，巴基斯坦人连熊猫的仿生造型都不欢迎；印度禁忌牛、北非禁忌狗、马达加斯加禁忌猫头鹰的仿生造型；在有些地区将动物视为邪恶、肮脏，相反伊拉克人想像的神是形态如孔雀，对孔雀的仿生造型特别喜欢。日本、印度认为鸭子是吉祥、智慧的象征。我国人民习惯于把猫头鹰看作不祥之物，对蛇也非常厌恶，很少有它们的仿生造型。而欧洲一些国家常用猫头鹰、蛇、狮子等动物作为标志，他们认为猫头鹰是智慧的象征，猫头鹰、蛇、狮子的仿生造型的玻璃制品就会受到欢迎。

## 2.2 玻璃制品造型设计的基本要点

玻璃制品造型设计的基本要求如下。

(1) 玻璃制品的功能 玻璃制品的功能具有双重性，即物质和精神两个方面，制品的物质功能是制品的基本方面，必须满足现代生活具体而切合实际的需要；制品的精神功能应体现出时代精神，是基本功能的补充手段。制品的物质功能包括制品的技术功能和使用功能。技术功能指制品本身所具备的结构性能、理化性能、精度以及可靠性；使用功能是指人在使用制品的过程中，制品所具有的使用合理、安全可靠、舒适方便等宜人性因素。制品的精神功能包括审美功能和象征功能。审美功能是指制品的造型形象通过人的感官传递给人的—种心理感受，影响人们的思想，陶冶人们的情操；象征功能是指制品造型形象所代表的时代特征及显示—定意义的作用。

(2) 造型形象 造型形象是具备特定功能的玻璃制品实体形态，包括玻璃制品的结构形态、色彩、表面处理及装饰等多种形式要素。造型形象是为功能服务的，它必须体现功能，有助于功能的发挥，而不是对功能进行阻碍。如玻璃杯的功能是用来喝水，但完成喝水和盛水功能的杯子的形态却是多种多样的。如果从造型的角度出发，在满足喝水、盛水功能和形态美观的同时，进一步考虑人们手握方便、利于清洗、合理堆放等因素时，那么造型形象就起到了对功能进行补充和完善的积极作用。

(3) 物质技术条件 各种玻璃材料、成型技术和设备是实现玻璃制品功能和造型形象的基础，是构成玻璃制品的重要条件。为此，玻璃制品结构设计师和造型设计师不应脱离现实的物质技术条件，而应对玻璃材料的组成、成型性能、成型工艺及设备等方面的知识进行深入了解。

玻璃镇纸是一种防止纸张飘落的文具，它将功能、造型、晶莹剔透的玻璃材料与五颜六色的内饰材料等，有机地融合在一起。图 2-11 为博山玻璃花球镇纸。这



图 2-11 博山玻璃花球镇纸

颇受人们欢迎的文具，早在元末明初，已享誉国外，远早于法国著名的玻璃艺术家拉利克玻



璃美人鱼镇纸和犀牛镇压纸。

## 2.3 玻璃制品造型设计的时尚性

每一件玻璃制品，在造型设计上或多或少都带有时代烙印为玻璃制品的时尚性。

玻璃制品造型的这种时代特性，直接决定着它在市场中的竞争能力和生命力，反映时代先进科学技术的符合人们审美要求的造型，因其“款式新颖”而受到社会欢迎，使玻璃制品具有很强的生命力；而落后于这个时代的科技水平，背离人们审美要求的玻璃制品，就有可能因其落后和陈旧，而引起人们的反感而被淘汰。

图 2-12、图 2-13 和图 2-14 为抽象玻璃碗具、开心放杯和名为“灵活的模具”玻璃瓶。它们具有强烈时代感，在功能上体现出该时代玻璃工业的最新的科技水平，在造型上展现出现代玻璃工业的生产方式、新材料及先进的成型工艺水平；同时，还体现出符合现代的人们审美观念的形态、色彩、表面处理及装饰等，备受人们的青睐。

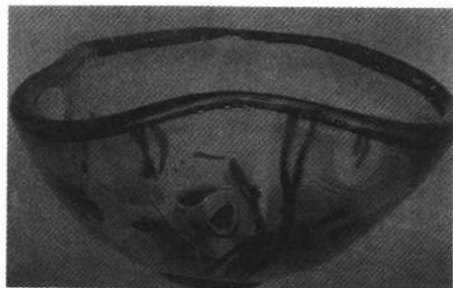


图 2-12 抽象玻璃碗具



图 2-13 开心放杯

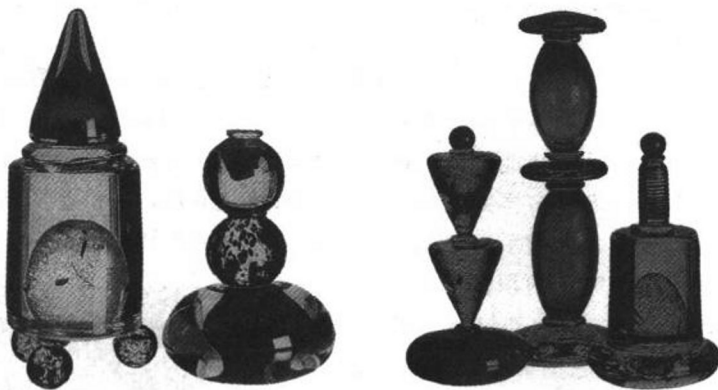


图 2-14 “灵活的模具”玻璃瓶

### 2.3.1 单纯

单纯是指玻璃制品的高度概括，给人以鲜明清新的结构轮廓印象。单纯简单的形体便于识别，又便于人们记忆，使一件美的玻璃制品，无论从远处还是从近处看，都能给人以鲜明的结构印象。单纯化的形体符合现代化工业生产的特点。

单纯化形态的特点是构成形态的几何要素应该少，一般以两种为限，形态结构要简单，形象要明确（如图 2-15 所示）。

实现单纯化的方法有以下两种。

① 减弱形态的非特征部分，加强形态的特征部分，会使形态趋向统一，个性更加突出。这种减弱和加强处理的目的是为了要达到次要的陪衬主要的，一般的服从重点的艺术效果，使形态不仅具有单纯化的特征，而且还有生动的个性。

② 归纳是将玻璃制品上能统一的因素进行统一处理，以突出重点和加强整体效果。

应当指出的是，从审美的角度出发，现代工业玻璃和模具成型的艺术玻璃制品，与手工成型的窑玻璃艺术品相比是有差别的。前者表现出的形式简朴，体现朴素大方纯真的美，而后的制作往往是十分繁琐，体现出富丽华贵高雅的美。这是因为手工成型的艺术品和艺术珍品的主要功能是供人欣赏和收藏。它的制作和存在价值，就是为了展示非凡的技艺才能、艺术形象创造、卓越的设计以及无限的想像空间。

### 2.3.2 抽象

人类生活在自然界中，一切都是现实的、具体的。现代人对世界的了解是深刻的，人类的思维也发展到了更为抽象的地步，美学的抽象思维在生活中具有丰富的内容。因此，人们要求自己所接触到的玻璃制品应具有抽象的形式美。玻璃制品的形态都属于几何形抽象，由直线、曲线、平面、曲面、圆形和方形等几何元素所构成。由于各种几何元素在人们的生活中反复地出现，被用来构成千姿百态的各类玻璃制品往往就注入了人们的意识和情感以及造型设计师的审美意趣和艺术品味，于是便在人们的心目中产生了一定的心理意义。

两件都用“运动”命名的玻璃制品，见图 2-15 和图 2-16，各自采用了不同的几何抽象，分别表示同属运动范畴的两种意境。前者表达了竞技体育永争第一、腾飞向上的拼搏精神，而后者则表示体育事业有着广泛的群众基础和体育锻炼是身体健康的柱石，促进了运动成绩全面提高，到处开花结果。



图 2-15 “运动”（一）



图 2-16 “运动”（二）

对于不同国家的人来讲，同一几何抽象图形产生的心理意义可能不同，但一般来说：

直线表达果断、坚定、力量，有男性感，直线的粗细变化给人产生硬感和柔和感，直线的间距、聚集、疏散变化，产生对比与调和的趣味；

曲线、弧线反映的感情柔和、灵活、美好、优雅、纤弱、抒情，有女性感，同时也给人光明、希望、轻松、幽雅之感，与活力、圆满、柔顺及圆滑等情感因素结合起来；

水平线表达安定、寂静、广阔、理智、大地、天空等，有内在感，并有把人的视线导致横向、产生宽阔的视觉效果；

垂直线描绘崇高、肃穆、无限、安静、激情、生命、尊严、永恒，并有把人的视线向上、向下延伸的视觉效果；

斜线给人散射、奔驰、放纵、粗犷、突破，具有倾斜的上升之感，交叉的斜线还含有两个极端的暗示，故斜线在形态设计上要慎重应用，用之不当有破损感，合理使用则能达到静中有动、变化统一的调和效果；

锯齿状折线显示紧张、压抑、痛苦不安；



图 2-17 玻璃恋人

除几何形的抽象外，还有简洁化的抽象，它与单纯化有一定的联系。简洁化的抽象是用理性归纳的方法，将自然界的一切自然形态，从天体、地貌到动植物等自然物有选择地与自己所需之物联系在一起，对自然形态加以模仿、变形、概括、简化，舍弃一切具体的东西而构成抽象化的形象，如图 2-6 和图 2-17。图 2-17 为意大利产的旅游纪念品“玻璃恋人”，让人感受到这对恋人心心相印，甜蜜幸福。当玻璃恋人在旋转的时候，两人身上的颜色会融合在一起，此时就会使人想到我国明朝的一首歌《新选桂枝儿》唱到的：“我身上有你来也，你身上有了我”。说明了对爱情的理解上，东西文化还是有共同之处的。

### 2.3.3 流线型

流线型不是指自然界中的生物和人造物，而是指人类在流线型形态的影响下，为了适应快速运动所需要具有的科学形态，所产生的玻璃制品形态的一种形式美。现代人对玻璃制品造型流线型的理解，已扩展为把琐碎的部分尽量与玻璃制品的整体相协调的，具

螺旋状给人以升腾、超然、脱俗之感；

圆形使人产生平衡感和圆满的感觉；

椭圆形有不安定的感觉；

等边三角形显示稳定牢固；

不等边三角形显得活泼、跳跃；

水平面给人以平静、稳定的感觉，有引导人的视线向远处延伸的视觉效果；

垂直面给人以庄重、安定、严肃、高耸、挺拔、雄伟、刚强、坚强的感觉；

倾斜面给人以活泼的动感；

几何曲面给人以变化有序、连贯流畅，具有规整流动的感觉；

任意曲面给人以自由奔放，统一有变，具有起伏轻快的感觉。

除几何形的抽象外，还有简洁化的抽象，它与单纯化有一定的联系。简洁化的抽象是用理性归纳的方法，将自然界的一切自然形态，从天体、地貌到动植物等自然物有选择地与自己所需之物联系在一起，对自然形态加以模仿、

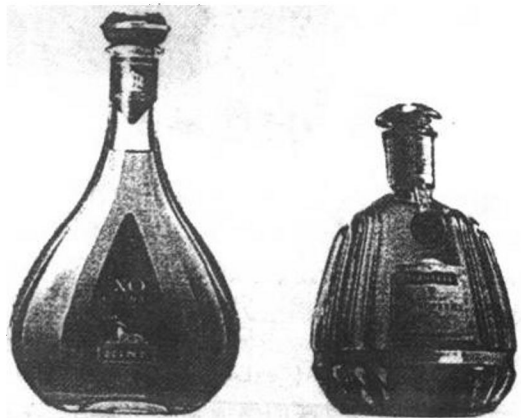


图 2-18 流线型瓶型

有平顺、光滑、柔和的美的造型。借用的流线型概念是为了改变玻璃制品呆板、坚硬、易脆、冷漠的造型效果，造型设计师应根据生活体验及文化熏陶，将情感因素融入形态，以使人们产生动的、活泼的、明快的、舒适的手感、柔和的美感和无限的联想（见图2-18）。

### 2.3.4 色彩和绘画

玻璃制品的色彩设计和绘画，必须与制品的物质功能及使用对象相适应，在人们的心理中产生统一协调的感觉。不同的色彩和绘画能通过对心理的刺激，产生不同的影响。在玻璃制品色彩和绘画色彩具体运用中，一般常以大面积的低纯度、高明度色调占优势地位，而在局部点缀小面积高纯度的色彩进行对比，以求得和谐、丰富、醒目的效果。色彩设计还要与使用环境、民族风俗、地理气候条件等保持相适应的关系。尤其是外销玻璃制品，更要注意色彩设计应符合销往国人民的色彩爱憎习惯。色彩对人们抽象联想、象征含意和心理感觉的影响见表2-1。

表 2-1 色彩对联想、象征和心理感觉的影响

色名	抽象联想		象征含意		产生的心理感觉
	青年	老年	褒义	贬义	
红	热情,革命	热烈,吉祥	活力,光辉,积极,刚强,欢乐,喜庆,胜利	危险,灾害,爆炸,愤怒	兴奋,引人注意,产生紧张感
橙	热情,温暖,愉快,明亮	甜美,堂皇,欢喜	热情,光明,辉煌,向上		引起人烦恼,焦躁和注意
黄	明快,希望,泼辣,温柔,纯净,轻快,甜美	光明,明快,轻薄,丰硕	光明,富有,忠义,高贵,豪华,威严	枯败,没落,颓废	丰硕感,香禾感,也给人以病态感
绿	青春,少壮,永恒,理想	希望,公平,新鲜	生长,和平,复苏,欢乐,喜悦,春天,成长,活泼,希望,生命		具有宁静、新鲜的感觉
蓝	无限,理想,永恒,理智	冷淡,薄情,平静,悠久	宁静,深远,和平,希望,诚实,善良	悲凉,贫寒,凄凉	具有平静安详的感觉
紫	高贵,古朴,高尚,优雅	古朴,优美,高贵,消极,神秘	庄严,奢华,高贵	阴暗,悲哀、险恶,苦,毒,恐怖,荒淫,丑恶	忧郁感,不安与消极感
白	清洁,纯洁,神圣	洁白,神秘,衰亡	朴素,纯真,高雅,光明,真实,洁净	寒冷,苍老,衰亡	
黑	死亡,刚健,悲哀,坚实	严肃,阴郁,绝望,死亡	庄严,肃穆,沉重,坚固	绝望,死亡	
灰	忧郁,绝望,阴郁	沉默,荒废	温和,沉闷,平淡,忧郁	空虚,悲哀	

色彩和绘画在艺术玻璃品和装饰艺术玻璃中，起着十分重要的作用。图2-19和图2-20为“丝绸之路”和“猫”的内画壶，它们集造型设计、绘画和材料成型工艺三者为一体，是

使用性和审美性与收藏价值相结合的艺术品。同样，艺术家和建筑师在沟通自然最佳材料——装饰艺术玻璃设计和绘画上，能充分发挥玻璃材质与色彩融合渗透而展示出光洁、多彩、柔媚、神秘的特性，用绘画使得玻璃艺术获得更加本质的语言，寻求抹去两个空间屏障的界限，将自然引入室内，达到人类回归自然的艺术生态建筑方向。



图 2-19 “丝绸之路”内画壶



图 2-20 “猫”内画壶

## 2.4 玻璃容器的设计原则

玻璃制品是用有形的玻璃材料制成，占有一定的空间，具有实用价值和美感的制品。玻璃制品中，应用最为广泛的是玻璃瓶罐、食器和容器，统称玻璃容器器皿（简称玻璃容器）。人们的饮料、食物、水果、日常生活用品、化妆品、药品、鲜花、文教用品中的水类、油类、膏类、粉类、乳类、粒类等许多商品都离不开被设计成千姿百态的玻璃容器。

### 2.4.1 适用性

玻璃容器是否适用，在很大程度上取决于使用方式是否合理，因此合理的使用方式是衡量容器功能与形式的基本标准。任何容器的功能都是根据人们的各种需要产生的，而任何一种容器的形式又是这种需要的具体体现。

玻璃容器有的是作为某一商品的一部分，如作为包装葡萄酒用的葡萄酒瓶，与瓶内盛入的内容物——葡萄酒一起组成商品；也有的本身就是商品，如酒杯、花瓶、烟缸等。作为一件商品，从离开生产线到消费者手中的整个流通过程中，有时要经过几个月甚至几年的时间，在这个过程中，易脆的玻璃容器必须能承受并抵抗流通环境中的各种各样的外部作用因素，包括防机械损伤、防潮、防霉、防挥发、防虫害、防微生物、防冷热、防光电、防假冒和防偷盗等。即使到了消费者手中，也还有存放和使用的问题。一句话，如何防止各种可能的损害和保护内容物，体现玻璃容器在使用过程中的存放安全可靠是玻璃容器设计的第一原则。

玻璃容器的设计应该结合内容物的属性特点和运输、贮存、使用、清洗等要求加以考虑。例如内容物为啤酒、汽水的瓶型设计，由于内容物本身有较强的气体胀力，因此常采用瓶口与瓶底直径差距大的、稳定性好的圆柱形瓶型，有利于平均分散胀力，以避免某些部位受力集中而造成破损爆炸。为了有效减少爆瓶率，国家技术监督局在1997年1月1日开始

实施“B”标瓶，以保证啤酒瓶的质量。又如香水瓶的瓶型，由于香水具有很强的挥发性，使用量很小，因此其口径宜小不宜大，瓶型设计要考虑到手感的舒适性，且瓶的容积不宜大，这样可以减少存放中相对较少的挥发损耗和控制使用时的倒出量。再如玻璃酒杯的造型随着鸡尾酒的衍变和发展也应运而生，琳琅满目，名目繁多。每个酒杯的用途都不一样，且不能混用、替代。通常情况下，葡萄酒杯都是带脚的高脚杯，红葡萄酒杯开口较大，使红葡萄酒在杯中充分展示其芳香；白葡萄酒杯开口较小，为的是保持葡萄酒香味；它们的优点：①高脚杯便于拿用而不使手指被酒液沾污；②高脚杯可减少因手温较高而对杯中葡萄酒温度的影响；③高脚杯便于对酒的风格进行品评；④高脚杯给人以典雅优美的观感。酒与酒杯，如同鲜花与绿叶、美女与丽装，相得益彰。只有质地晶莹透亮、造型典雅的玻璃酒杯，才能衬托出酒的艺术品质。常用的酒杯如图 2-21 所示。就享用白兰地要用白兰地杯，或称球形杯（见图 2-22）而言，是为了充分享用白兰地而特殊设计的。闻是享受的主要部分，当白兰地倒入窄口大肚的球形杯，酒香能长时间留在杯内，窄口抑制散味的作用，大肚是用来加热以利酒香散发。为了充分享受白兰地酒香，喝酒时，可用手掌托杯，使掌心和杯肚接触，让掌心的热量慢慢地传入酒杯中，使杯内的白兰地稍加温，易于香气散发；同时，还可晃动酒杯，以扩大酒与空气的接触面，使酒的芳香飘逸在大肚酒杯的空间内。

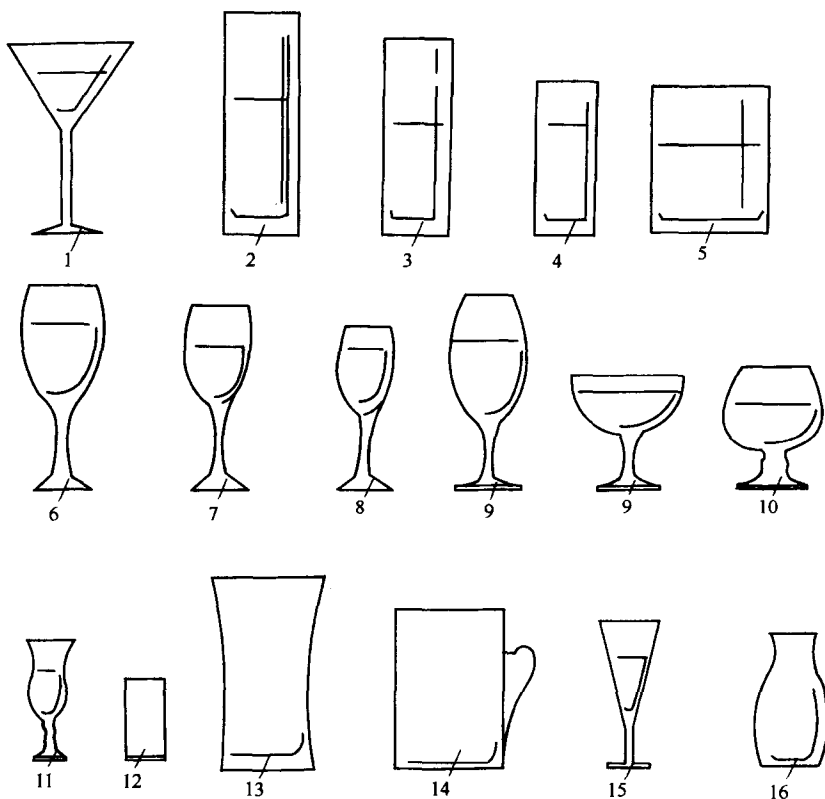


图 2-21 常用玻璃酒杯（载杯）

- 1—鸡尾酒杯；2—卡林杯；3—海波杯；4—果汁杯；5—古典杯；6—爱尔兰咖啡杯；  
7—红葡萄酒杯；8—白葡萄酒杯；9—香槟杯（左为郁金香型，右为浅碟型）；  
10—白兰地杯；11—利乔杯；12—烈酒杯；13—啤酒杯；  
14—生啤杯；15—酸酒杯；16—滤酒杯

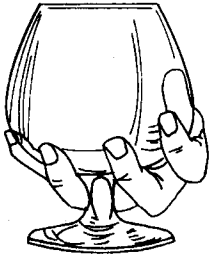


图 2-22 球形白兰地杯示意图

玻璃容器的设计还应该具有成型作业和生产作业的适用性，一方面造型设计本身要适用于成型，如能制成瓶、罐、缸、食器等玻璃容器；另一方面，生产出来的玻璃容器要适用于生产，如酒瓶要适用于灌装设备作业需要和密封需要。所以，一定不可搞超越实际生产成型条件的玻璃容器造型设计，否则不是不能生产，就是要提高成本，造成经济上的不可行。

#### 2.4.2 便利性

在设计方面要考虑玻璃组成的来源丰富、成本降低、系列化设计和成型的便利性。

在储运方面要考虑装卸省力、堆码牢固、包装的尺寸和形状宜于集合包装。

在销售方面要考虑商品的陈列效果，有利于货架和橱窗的展示，便于消费者辨认和选购。举例如下：法国波尔多的葡萄酒瓶，呈高肩圆柱形，深绿色的为“红酒”瓶，透明玻璃制的为“白酒”瓶；而勃艮第的葡萄酒瓶呈溜肩型，为深绿色或褐色；阿尔萨斯葡萄酒的瓶身细长匀称，但瓶身略宽于瓶底，呈浅绿色；波罗旺斯一科·普罗旺斯的葡萄酒瓶则呈棒锤状，底部如花瓶似的带有底座；香槟酒瓶瓶口粗大、溜肩、宽腰、收底，瓶底为凹形，瓶壁厚实，呈深绿色；德国的莱茵和摩泽尔的葡萄酒瓶均为溜肩、细长圆柱形，前者呈褐色，后者为绿色；意大利干蒂的葡萄酒瓶较独特，呈大肚形，一般为深绿色。各国知名的葡萄酒都以鲜明清新的瓶型轮廓，给人留下难忘的印象。

在使用方面要考虑消费者携带省力、开启简便、用量适当、保存方便和使用安全以及便于回收利用，举例如下：内容物为膏状的苹果酱玻璃瓶，它的容器外形不宜有过多的曲线变化，口部宜大，瓶身宜短，以便于使用。儿童用的玻璃杯，容量要小，做成有把手型，不易烫手和脱手跌落，喝水和倾倒时都要方便。调味用的味精存放的容器容量应根据使用的对象进行设计，500g 玻璃瓶装的适用于饭店宾馆，而 50g 玻璃瓶装的适用于家庭。

总之，成功的设计不仅可以满足使用者的使用方便，甚至还能超过使用者的想像，能给使用者带来意想不到的便利。

#### 2.4.3 美的艺术品质

玻璃容器不仅要满足人们的使用要求，同时也要满足人们对美的艺术品质追求。

在一段很长的时期，人们谈及玻璃容器质量时，往往指容器的技术性能和理化性能，而忽略了玻璃容器“物”的形态里还包含着广泛的文化和艺术品质要素，包含着与人的生理、心理、视觉感受相关的种种要素。毋庸置疑，优美的玻璃容器形态、色彩、肌理、气质等可使人赏心悦目、心情舒畅。

为适应消费者的心理需要，玻璃容器应不断以其富有美感具有吸引力的造型形象打动消费者。例如 MANDAN 男性化妆品采用广口的瓶型，瓶的外形不是光滑柔和的线条，而是棱角分明，用以体现男子硬挺刚毅的性格，使化妆品整体有一种威风凛凛、稳重可靠的感觉。又如一些国家设计了造型独特的广口香槟酒杯，杯柄中间是空的，从杯身直通杯座。酒倒入杯中后，从杯柄下部不断上升的气泡犹如泉涌，香味不断翻滚，经久不散，使人充满着迷人神奇的联想。

在保证玻璃容器功能的基础上，如何降低成本，利用工业美学原理设计出精美的造型，以其美的艺术品质瞬间迅速吸引住消费者的视线，从而导致消费者进一步判断和购买。总之，人们对美的艺术品质的追求，随着人们物质生活和精神生活水平的提高将越来越明显。

#### 2.4.4 科学创新性

科学创新性是玻璃容器造型设计的灵魂。

科学创新设计的原则中,科学是指玻璃容器设计应符合客观规律;创新是指玻璃容器的设计要有创造性。任何一种玻璃容器设计,即便是传统知名品牌的包装玻璃容器,一定要从实际出发,尽量采用先进的材料和成型工艺,都应创造性地设计出具有先进性和时代感的造型设计。例如,五粮液酒瓶瓶型近来上市了不少规格、形式、品种及样式的创新造型(图示2-23)。用抗热性能好的玻璃材料制成的广口小瓶,可耐高温,能直接加热对内容物进行消毒杀菌处理。国际和国内开发的轻量薄型玻璃瓶,质量减轻40%~70%,壁厚减少50%,而强度却有所提高。带有“M”字样标记的玻璃容器,可适用于微波炉加温。一种涂覆玻璃瓶能克服玻璃易碎的缺点,它的抗机械冲击强度为原来的1.5倍,从75cm高处落到水泥地上,只发生龟裂。又如近年来出现了不少杯状玻璃容器,内装果酱、果冻、果仁调味粉、干酪片等,用后可改作酒杯使用,对消费者有很大的诱惑力。突破传统古典葡萄酒瓶型的束缚,一些仿生造型的帆船形、小S形、苹果形、鱼形、飞机形和一匹马坐在太阳上那样的酒瓶纷纷进入家庭,不仅可以点缀美化房间,又可作为艺术品收藏,从而给人们美好的生活增添美好的情趣。



图 2-23 “一帆风顺”五粮液

总之,科学创新性设计为玻璃容器带来新的生命力,是促进玻璃容器不断更新,推动玻璃工厂技术进步的生产力。

#### 2.5 玻璃容器造型设计

玻璃容器造型是以适用、方便、美的艺术品质和传达信息为主要目的。它既包含功能效应、玻璃材料和成型工艺技术诸因素,也包含形态的美观因素,具有实用与观赏的双重价值。也就是说,玻璃容器的功能不仅由简单的、一般的、符合生理需求的结构等因素构成,它同时还包含美的情感因素。这种美的情感因素是人类复杂的心理需求,是容器功能的一个方面(即情感功能),它是通过容器的诸因素以及美的形式规律等合理性带来的设计美,而最后由具体的外在形态来展现的。所以,当设计师在设计玻璃容器时,他必须同时考虑这些因素与外在形态是否协调,同时考虑外在形态是否符合由具体功能决定的总设计目标。

玻璃容器的形态是使用功能,以及由这种功能所决定的结构的一种最后的视觉体现。简而言之,功能决定形状,材质表现形态,情感融入形态,自然启示形态,成果转换形态。但是玻璃容器设计决不能采用先进行容器的使用功能为目的设计(结构设计),而最后补充设计容器形态的方法,因为这常常势必导致容器使用功能与容器形态简单地相加,或形态设计只是辅助次要的补充。

玻璃容器的基本形态,一般有筒体、方体、锥体、球体、异形自然物和人造物体等几种类型。筒体有耸峙挺拔感,方体有厚实端庄感,锥体有舒展稳定感,球体有动态饱满感,异形体有翩翩联想感,自然物和人造物体有充满活力出奇感,设计师必须根据玻璃容器本身和容器所盛的内容物的要求来确定容器的基本形态。



当然，基本形态的确定，绝不是被动地去适应结构等因素，在不少设计实例中，形态的开拓性往往能扩展设计思路，甚至使容器功能步入一个新的领域。但即便如此，设计师在容器设计的过程，也不能忽视功能对形态的限制。基于上述原因，要求设计师在设计过程中，既能把握形态的基本造型语言(即造型美的形式规律)，又能把这种语言落实到对玻璃材料、结构、成型工艺和人机关系等因素的理解和设计中。只有这样，才能在形态、功能相互协调的前提下，尽可能完善形态，从而完善整体设计过程。基本形态的开拓需要注意以下几个关系。

## 2.5.1 变化与统一

### 2.5.1.1 变化

变化是指同一玻璃容器要素与要素之间存在的差异，能在乏味呆滞中重新唤起活泼新鲜的兴味。玻璃容器设计过程中，通常按其的功能要求来确定其基本形体。单一的基本形体往往单调乏味，适当的变化可以使造型形态更为丰富、生动和充满生机。在造型设计中，用常用的几种基本形体加以变化与相互组合，从而产生各种设计方案，是人们经常采用的方法。在具体处理时，要注意变化层次的单纯性，过多的层次则必然导致混乱、庞杂，从而视觉效果差。同时，也会失去了玻璃容器基本形体的典型特征，也就失去了变化的立足点。把握玻璃容器的变化同整体造型的关系应注意以下几点：

- ① 应把握好整体与局部的主从关系，取一个重点部位或重点倾向进行变化；
- ② 形体应处理好稳定与轻巧的关系，遵循力学原理；
- ③ 形体的不同部位间采用逐渐变化的过渡形式，彼此间相呼应；
- ④ 根据不同的玻璃容器，选择恰当的比例与尺度，以符合人体工程学的要求。

变化的形式介绍如下。

(1) 组合 以2个或3个相同或不同玻璃容器的基本形体组合为一个造型整体。设计时要注意组合的整体感，组合数量一般不宜过多，如图2-24所示。

(2) 适形 指玻璃容器的2~3个基本形体相互适合于对方形体的变化，每个形体又可以单独成为一个造型整体。这种造型的变化往往应用于配套的玻璃容器设计，变化应注意彼此间自然的合乎，还应考虑成型的便利性，如图2-25所示。



图 2-24 组合



图 2-25 适形

(3) 切割 相应组合与适形的变化形式，切割是一种去除法处理形式。它对玻璃容器的基本形体加以局部切割，使形态产生面的变化，切割的部位、大小、数量、弧度都可以进行变化，但应注意避免锐边和锐角，如图2-26所示。

也有采用对玻璃容器的基本形体进行穿洞式的去除法处理。去除部位的形状要单纯，以一个为宜，常用于内容物为大容量的或某些特殊的礼品用玻璃包装容器等，但其成型性较差。

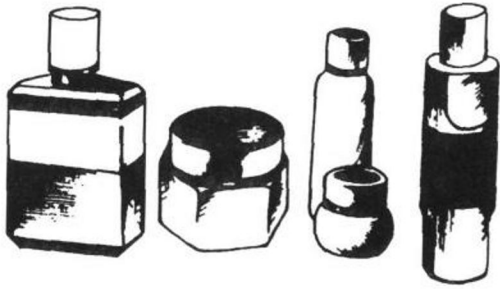


图 2-26 切割

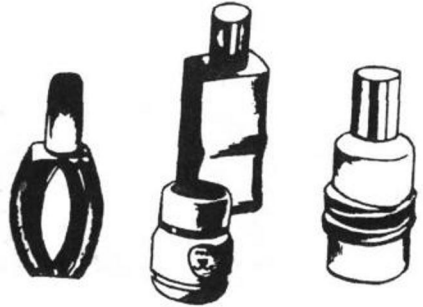


图 2-27 凹凸

(4) 凹凸 这得指玻璃容器造型形体局部的凹陷和凸起的变化。凹凸的深度或厚度不能过大，凹凸部位可以有位置、大小、数量、弧度的变化，如图 2-27 所示。

玻璃容器的形体中不同方向凹凸面是光和影的基础。因此，要使玻璃容器具有折光效果和阴影效果，就必须在形体中增加面的数量。面组织得越好，效果就越强烈。面的组织可以是规则的，也可以是不规则的，可以有硬的多角型面组织，也可以有软的圆弧形面组织，如图 2-28 所示。

(5) 线饰 对玻璃容器造型形体的外层施加线形变化，以产生良好的手感和视觉效果。外层线形装饰可有粗细、曲直、凹凸以及数量、方向、部位的变化。线形变化要注意到与玻璃容器整体造型的和谐，如图示 2-29 所示。



图 2-28 带盖的糖缸(美)

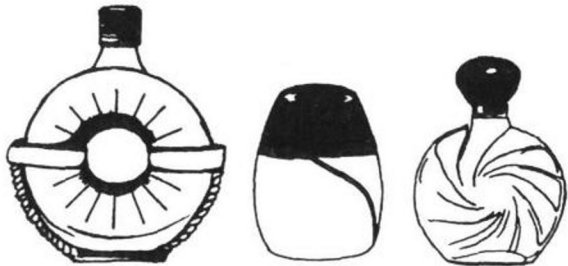


图 2-29 线饰

(6) 肌理 对玻璃容器形体表层加以肌理变化，产生良好的视觉感受，是造型变化的形式之一。其变化的形式可以是整体的，也可以是个局部的，可以是规则的，也可以是不规则的，如图 2-30 所示。

(7) 特异 这是改变既成型体的特征、体量、比例、线型、配件等，一个富有个性化的、有较大幅度的变化。例如对基本形体的倾斜、弯曲、扭转、或其他反均齐的造型变化。在处理中，玻璃容器造型体的盖、肩、身、底、边、角等都可以加以变化，但要注意成型的可能性，如图 2-31 所示。

(8) 模仿 玻璃容器的造型设计中，采用模仿式造型可取得趣味和生动的艺术效果。处理的形式上，可以模仿自然形态，也可以模仿人工形态，可以整体模仿，也可以局部模仿。



图 2-30 肌理

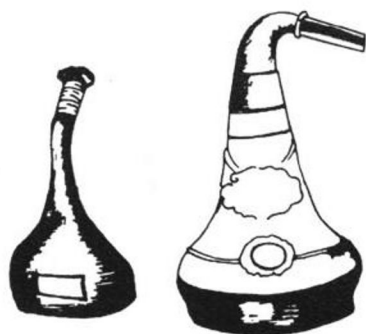


图 2-31 特异

手法上可以是象形模仿，也可以是象意模仿。但是切忌过分逼真与琐碎，力求简朴与概括，还应注意成型的可能性。例如，法国“HARMONY”甜酒瓶模仿设计成一只吉他形象，如图 2-32 所示，它表示酒的性质温和，喝酒后令人身心愉快。一看就知道，图 2-32 所示的瓶是女性用品的玻璃容器。它巧妙地模仿女性的背影，用造型轮廓线表现出女性生理特征曲线的美感。

(9) 附饰 指玻璃容器另施附加装饰的变化形式。附饰应与玻璃容器造型的和谐相一致，避免琐碎、奇特、喧宾夺主、矫揉造作，使造型形象更富感染力，如图 2-33 所示。



图 2-32 模仿

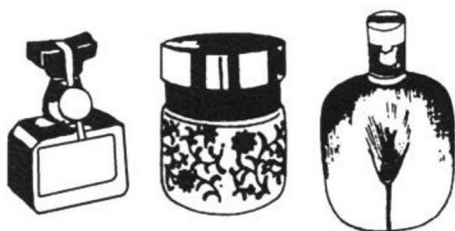


图 2-33 附饰

### 2.5.1.2 统一

统一是指同一玻璃容器中多次出现，或在同一玻璃容器中不同要素趋向或安置某个要素之中的一致性。统一的作用是使玻璃容器形体有条理、趋于一致，有宁静和安定的美感。但过分的统一则会造成呆板、单调、平淡，不显丰富和缺少生命力。

在玻璃容器的造型设计中，无论是形体、线型、色彩、装饰，都要考虑到统一这个因素上，切忌不同形体、不同线型、不同色彩和装饰的等量配置，必须有一个为主，其余为辅，为主者体现统一性，为辅者起配合作用，体现出统一中的变化效果。

总之，玻璃容器造型设计变化与统一的正确关系就是：变化中求统一，统一中求变化。

### 2.5.2 对比与调和

对比与调和是玻璃容器造型设计中最常用的一种手法，是人们生活中广泛存在的普遍形式美法则。有对比才能突出相同事物的个别现象，有调和才具有不同事物的类似一致性。

对比是利用玻璃容器造型中某一种因素的差异，将其组织在一起，强调彼此之间的差异，突出各自特点，使之产生程序不同的对照关系。调和则是使玻璃容器具有统一感，缩小这种差异，强调相互的内在联系，借助相互之间的共性以求得和谐。对比与调和体现在以下几方面。

(1) 线型的对比与调和 线型是指直线、弧线、曲线等外轮廓线在玻璃容器上的应用。如前所述,各种不同的线型有着不同的意味,似乎在表示不同的情感。直线简单明了,容易理解,但却生硬;曲线丰富、丰满有变化,却又易显得模糊不清;竖线高耸而挺拔,可又显得不稳定;横线稳定,却又显得僵化等。

缺乏对比的线性,玻璃容器的形体容易单调,而过于强调对比的形体就显得不统一。因此,要在统一中求变化,要注意主从关系,主体线型的比重要大而突出,次要的线型起到辅助衬托作用,只有这样造型才会有个性,达到既丰富又有层次的变化统一效果(图示2-34)。

(2) 体量的对比与调和 体量是指玻璃容器的体积和分量,它是用立体的眼光审视体积之间量感的对比与调和关系,主要表现在如何恰当地安排玻璃容器各功能结构部分之间的体和量。例如,容器的上部与下部,颈与腹的形状、长短、粗细、方圆等的差异,以及差异产生的形体变化(图 2-35)。

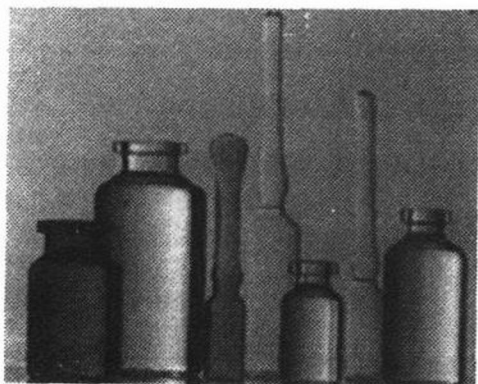


图 2-34 线型的对比与调和



图 2-35 体量的对比与调和的实例“向阳钵”

(3) 肌理的对比与调和 肌理就是包括视觉和触觉两方面的质感。抚摸玻璃容器的表面,会产生强烈的舒适或不舒适的感觉,并且即使不去直接接触,只用眼睛看,也能得到直接接触那样的感觉,这就是肌理的作用。

肌理的对比与调和与有光与毛、明与暗、粗与细、透明与不透明等。同一种玻璃材料,经过不同的工艺处理,可以形成不同的肌理效果,如法国巴黎香水瓶,瓶盖是水珠滴型晶莹剔透,瓶面磨砂浮雕层次丰富、光色璨然、十分漂亮,曾获得奥斯卡包装奖。总之,恰当的肌理,既能加强玻璃容器造型的变化,又可以产生引人入胜的表面装饰效果(图 2-36)。

(4) 风格的对比与调和 玻璃容器造型形体的局部风格的对比主要涉及线性的风格、色彩格调、环境因素等,而它的整体风格的调和,是因为它很少是单独使用,应考虑到它与其他的物品及周围的环境在总体上相协调。

总之,对比与调和是相对而言。在同一玻璃形体里,调和因素增强,对比效果自然就减弱,反之则相反。一般多采用整体调和、局部对比来突出玻璃容器造型的统一性。

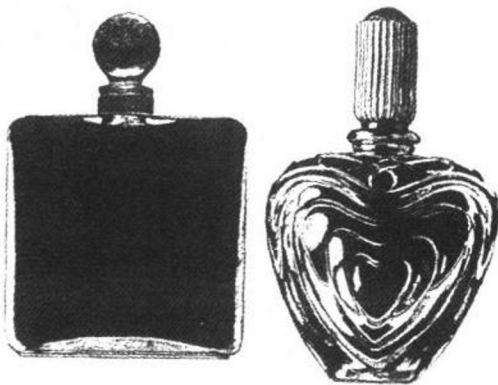


图 2-36 肌理的对比与调和

### 2.5.3 对称与平衡

对称是指玻璃容器的左右或上下同形同量，体现出一种严肃、庄重、有条理的静态美。



图 2-37 法兰西蓝色花瓶  
(阿姆斯特·福里阿特设计)

平衡是指玻璃容器的左右两部分形态不同而感觉量是相等的，追求的是一种动感的美。

对称的都是平衡的，而平衡的不一定是对称的。对称平衡有明显且非常重要的特征，即容易理解、结构严谨、显得庄重。过分对称，易呆板；过分平衡，就不平衡，会失去重心。因此，要把对称与平衡这一形式美法则结合起来，才能使玻璃容器达到既大方、有变化，又生动有趣、重力稳定，如图 2-37 所示。

### 2.5.4 稳定与轻巧

稳定是指玻璃容器上下之间的轻重关系。它有物理上的重心问题，也有心理上的稳定问题，感觉不稳或一碰就倒的玻璃容器造型，是谈不上美感的。稳定给人以安全、轻松的感觉，不稳定却给人以危险和紧张的感觉。在玻璃容器造型中，稳定表现有“实际稳定”和“视觉稳定”两个方面。设计玻璃容器时，不能一味追求“奇”，还要考虑稳定。如某酒瓶设计成三节竹筒形体，又瘦又高，使人产生不稳定感。

稳定且生动是构成玻璃容器形体美的基本法则之一。要使玻璃容器稳定，可采用降低玻璃容器的高度或重心，以及放大玻璃容器的足底部等方法。

轻巧也是指玻璃容器上下之间的轻重关系。它的核心是在满足“实际稳定”的前提下，用艺术创造的方法，使玻璃容器给人以轻盈、灵巧的美感。在玻璃容器形体创造上一般可

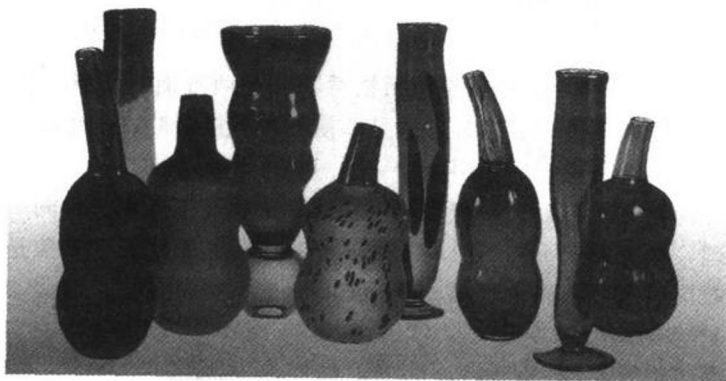


图 2-38 稳定与轻巧的实例——拉丁爱情

采用提高重心，缩小足底部支承面积，适当地多用曲线、曲面，采用提高色彩的明度，利用玻璃材料处理方法不同给人以心理联想等方法(见图 2-38)。

总之，玻璃容器造型设计，应追求稳定与轻巧感觉的造型形式与其物理功能的高度统一。

### 2.5.5 节奏感与韵律感

在玻璃容器造型中，节奏指有条理、有组织地重复同一因素，如相同形重复、相似形重复、大小重复、渐变形的

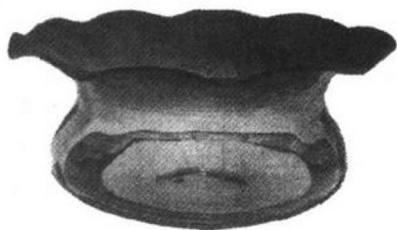


图 2-39 琥珀色器皿

重复等(图 2-39)。韵律则是在节奏的基础上,注意处理线形和空间起伏延伸转折等关系,造成一定的有规律的重复、有组织变化的艺术意境(图2-40)。

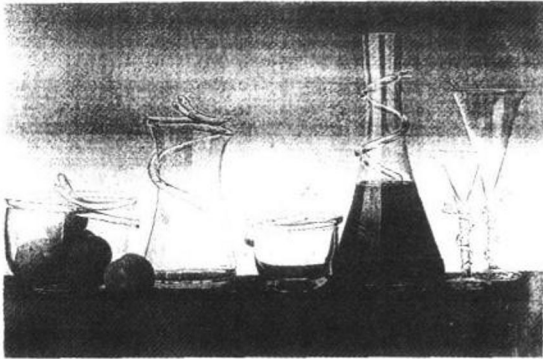


图 2-40 “埃及女王”玻璃容器

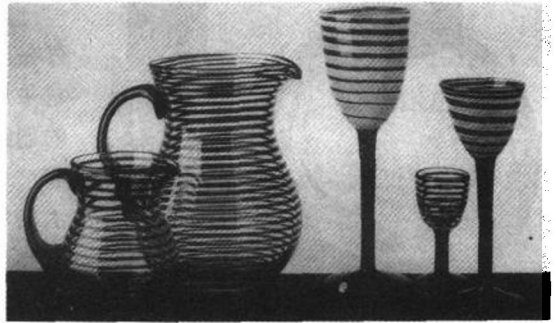


图 2-41 虎纹玻璃容器

图 2-41 为尤里卡·赫德曼·瓦林设计的虎纹玻璃容器。作者将节奏和韵律的美感,通过线条的流动、色彩的深浅间断、形体的高低曲面、光和影的明暗等因素,做有规律的反复、重叠,把音乐和诗歌的美妙的节奏感与韵律感转移至玻璃容器形态上,引起欣赏者的生理感受,进而引起心理感情上的活动,从而产生购买和收藏的欲望。

### 2.5.6 比例与尺度

玻璃容器的比例与尺度应相辅相成。良好的比例的本身常常是根据人或人所使用的空间大小而形成;正确的尺度感也往往是以各部分的比例关系显示出来。单纯考虑形体的比例而忽视形体尺度,会造成尺度失真,甚至影响人们合理使用玻璃容器。反之,如果只重视尺度而不推敲比例关系,同样不能得到富有美感的玻璃容器。

按照手的形态和握握玻璃容器的具体方式,进行玻璃的提手或外形设计时,为握拿时手感良好并不易滑落,可在玻璃容器的特定部位(握拿时手指在玻璃容器上的关键接触部位)留有适当的空间,配以合适的弧形凹槽(图 2-41)或特意设计粗糙的局部表面,以增加支撑力,便于握拿、省力。

### 2.5.7 呼应与过渡

玻璃容器造型的呼应有线型的、形状的、空间的、动势的以及相互间各种交叉的呼应关系。对称和平衡的玻璃容器形体都容易产生呼应的效果。玻璃容器造型的过渡是将杂乱无章、缺乏和谐及秩序的部分趋向平滑和缓,使造型更整体、更统一。呼应与过渡的实例见图 2-42。

### 2.5.8 模拟与概括

人们的审美观是相对的,往往把某一件玻璃制品与美的自然物和人造物相比拟,并产生对一定客观事物的美好形象的联想。因此,造型设计师应根据人们思维中的模拟与概括的特点,用模拟与概括的设计方法,努力创造出与美好的客观事物相比拟和能引起美好联想的玻璃制品形态。

玻璃容器造型中有很多是采用模拟客观物像的手法,如模拟车船、动物等的酒瓶和食品瓶等。也有应用类似人体的几何形态,采用概括的手法进行设计,如用于男性用化妆品的玻璃容器,常用柱体作不同方式的组合,宽宽的瓶肩可以产生男子体态刚直的联想。应用球体



图 2-42 压花点缀的彩色玻璃花瓶(美)



图 2-43 法国香水瓶

与圆柱体或流线体作为女性用化妆品的玻璃容器，体现轮廓线柔和、流畅、形体圆畅，具有女性魅力和气质(图 2-43)。

玻璃容器造型仿生形态设计是仿造自然界客观存在的有机体(如动物、植物及人类本身)的形态。它采用提炼、概括、抽象、升华，运用模拟与概括的创造使仿生的玻璃容器的形态具有“神”似，而非“形”似，置形态于“似”与“不似”之间，使消费者产生种种美的联想。如花型的香水瓶能使人联想到内装香水有花香味，梨形玻璃瓶内装梨汁酒，日本竹节造型的酒容器使人想到酒如竹节水一样清醇。又如，造型设计师为适应某些消费者的收藏心理的需求，利用玻璃材质晶莹剔透和反映内装

的内容物清晰，开发设计了一些仿生造型的“可被收藏容器”，其中有小鸭造型的彩粒糖包装用



图 2-44 法国狄帕尔考香水瓶



图 2-45 “伴随一生”  
香水瓶

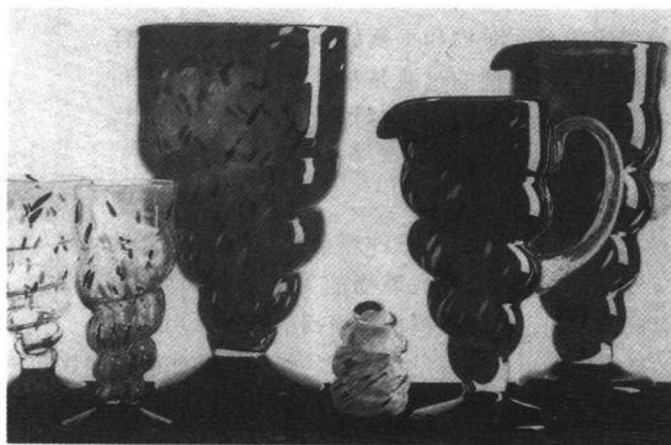


图 2-46 整体与局部

玻璃瓶、小猫造型的可可豆包装用玻璃瓶和小熊造型的果冻玻璃瓶，十分惹人喜爱。更典型的是法国拿破仑威士忌酒瓶和酒瓶盖，塑造了拿破仑的胸像，深受法国消费者的青睐。图 2-44 和图 2-45 均属仿生形态的造型，采用模拟与概括的手法，它耐人寻味、韵律欢快，巧妙地满足女性的物质需要和精神上与情感上的需求，能给使用香水的女性产生一种超凡脱俗的美好联想，从喜欢水瓶的造型开始，到更喜欢香水所散发的迷人香味。

### 2.5.9 整体与局部

玻璃容器的造型设计都应符合整体与局部统一变化的原则，口、颈、肩、腹、足、底、盖诸部分对造型的整体来说都是局部，任何局部的处理都应有利于整体的效果，要服从整体的需要，使每一个局部都能成为整体不可分割的一部分(图 2-46)。

## 2.6 玻璃容器造型的设计程序

玻璃容器造型设计是在充分调研和汇总的基础上进行，分初步设计、修改设计和完型设计，中间要经过多次修改和评审。设计程序如下。

### 2.6.1 构思——概念设计

玻璃容器结构设计师，根据容器的使用功能和技术要求以及生产条件等因素，初步设计和绘制包含容器的形状和尺寸的草图，并填写造型设计任务书。造型设计师有了造型任务后，首先应了解用户有何要求，什么档次，销售对象以及竞争对手是谁，用什么玻璃材料，该种玻璃材料的生产和成型工艺有哪些特点及限制，并与结构设计师共同研究和讨论后，然后进行构思。

构思是原来作为知识的某种想法向其他物品的转化。这种构思又称概念设计，主要由造型设计师承担完成。造型设计的构思是指对容器造型产生新的创造性的想法和探索性的活动。在造型设计时，常常寄希望于未来种种的可能性，设计师可根据这些可能性寻求新的构思，从中加以优选，得出最佳方案。它与单纯的模仿、翻版决然不同，造型设计方案是经历反复地转化与发展得来的。构思的路线正确，能使造型设计工作进行顺利，以得到满意的效果，否则会走入歧途或徘徊不前，导致造型工作的失败。

人们把观察、认识、分析、综合、组织、选择和决定称为构思方法的几种能力。这些能力彼此相互联系、相互补充，使人的思维想像不断深化。因此，对玻璃容器造型设计构思有如下的要求：

① 思路广阔 在构思过程中要广开思路，特别是构思活动的初期，广开思路才能路广办法多；

② 思路灵变 能从不同的角度与方向思考问题，当思路受阻时又能灵活变向；

③ 思路得法 善于抓住问题的要害，正确选择，灵活的运用有关设计构思方法去解决问题；

④ 思路新颖 新颖、独特的思路能够使构思打破常规，获得较大的突破。

构思的步骤一般由抽象到具体，由个性到共性，由简单到复杂，由内容到形式。就容器设计的具体构思来说，考虑问题要经过由里(功能)及表(造型)、由表及里的反复过程，最后以图形(形象)表达造型的构思。

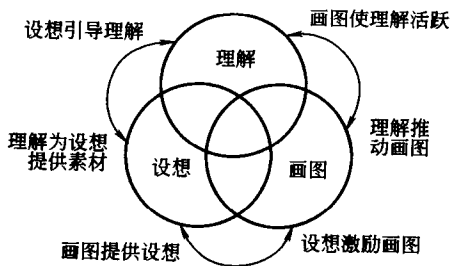


图 2-47 设计方案的构思方法



玻璃容器构思图对评定造型设计方案非常重要，可采用直观、形象、细致的对比分析，配以精练的文字说明，将设计方案表述得全面、重点突出、清晰明了、形态直观、条理性强、引人注目。在实际工作中，初步造型设计就能创造出完全符合需求的玻璃容器是很少见的，常常会有某些反复和修正的反复循环。图 2-47 为设计方案的构思方法。

### 2.6.2 深化造型设计

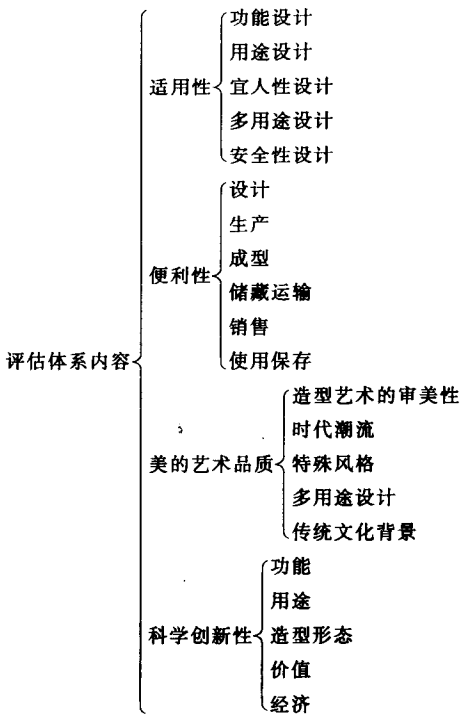


图 2-48 评估体系的内容

在完成玻璃容器设计构思后，造型设计师、结构设计师、用户及生产者一起，对造型的构思图进行一次或多次评定。评定的主要内容为：构思方案的适用性、便利性、美的艺术品质和科学创新性。评定后，造型设计师再进入设计深化的修改设计和完型设计阶段。评估体系的详细内容见图 2-48。

在设计深化阶段，造型设计师的想像力最为活跃。他依靠自己的创造力，在头脑中想像着各种形象、问题和要素，以最高的欲求灵活运用头脑风暴法、检查提问法、类比法、旁通法、逆向法、结合构成法、输入输出法和形态分析等方法，将诸方案进行分析比较，设计师要尽力排除玻璃容器构思方案中一些不切实际的设想，找到可以满足各种条件的解决办法。有了玻璃容器设计方案的轮廓，在诸多构思方案中，要综合考虑玻璃容器的可靠性、耐久性、宜人性和成型工艺、

材料选择、外部协作及储运包装等一系列问题，收敛到在给定的条件下，最后决策选定最理想的设计方案，绘制出玻璃容器造型设计的效果图。

玻璃容器造型设计的效果图可以是按制图人工绘制的平面和三维立体图，也可以利用高性能的 CAD 软件进行 CAD 建模，绘制的玻璃容器形体的三维实体图。

### 2.6.3 制作模型

模型的作用主要表现在以下三方面：

① 把平面转化为立体 模型可直观展示出设计的玻璃容器，以便进一步完善造型设计。因为三维空间的玻璃容器给人的感觉更直观，以发现平面造型存在的问题，并加以修改和完善；

② 补充平面造型的不足 通过实体模型，检验许多在结构上的凹凸与衔接、立体贯穿与线条过渡、体面的转折、色质的效果等等；

③ 辅助玻璃容器的模具制造和成型工艺分析。

#### 2.6.3.1 传统制模与材料

玻璃容器模型的制造方法为传统的加工方法，常为机械加工与手工制作相结合的制造方法。

目前国内玻璃容器造型设计的制模材料有石膏、泥料、木料、有机玻璃、塑料板和金属

材料等。简单的几何型体多以石膏完成；型体复杂的，如模拟型或表层有浮雕纹样的，多以泥料雕塑；有些简单的圆体，可通过木料完成；对那些以块面为主的小体积模型，则可用有机玻璃或塑料板黏合成型。

#### 2.6.3.2 CAD 建模

由于不同的 CAD 系统采用不同的方式来描述零件的几何形状，因此需要一个标准的界面将几何描述从不同的 CAD 数据包中转换到快速成型系统中去。3D 系统公司开发了这种界面规格，即“STL”文件格式。这种格式文件的 STL 界面是实体造型中的多面表示法的基础，即几何模型中的曲面，可由非重叠的三角小平面镶嵌而成。其曲面的精确度是由镶嵌小三角平面的数量所控制的。

快速成型系统有聚合体烧结、粉末烧结、层压制造和沉积成型几大类，几十个品种，它们都是三维的“复印机”。它接收一个三维的玻璃容器的 CAD 建模的几何描述后，就能根据这些数据复制出一个三维的玻璃容器实体来。

#### 2.6.4 最终效果图和模型

最终效果图和模型，可以是制图人工绘制的玻璃容器产品图和效果图以及传统方式制作的模型；也可以是最终认可的玻璃容器的 CAD 图和用 STL 文件表示的 CAD 建模以及用快速成型系统生成的玻璃容器实物原型。

## 第3章 玻璃制品设计

### 3.1 玻璃制品设计程序

在玻璃制品造型设计基本完成的基础上, 再进行玻璃制品的结构设计, 其设计程序如下。

① 结构设计者设计玻璃制品时, 要考虑该制品有什么功能和技术要求, 还要力求使制品的形状简单、制品质量轻, 用料少、生产过程及其模具制造简单便宜, 而且要避免产生由于造型设计者未考虑生产方法的特点而产生的裂纹、破碎、壁多肉、出模变形以及模壁上黏附玻璃等缺陷。然后绘制制品及各主要部位的详细草图。

② 造型设计者从艺术角度进一步完善制品的内、外形设计, 即进一步的造型设计。

③ 结构设计者要把造型设计者的构思反映在详图上 (结构设计者应同玻璃工艺人员合作), 最好使用 CAD 建模技术绘制出玻璃制品的产品图和三维造型图来。

④ 如果设计图样是令人满意的, 即可用简便的方法 (各部位焊接、熔接和粘接) 制作样品, 或采用二维离散法和材料堆积的快速原形技术快速生成制品的实物样品。

⑤ 造型设计者、结构设计者和生产代表仔细研究样品, 共同审查该制品是否满足要求, 这样一方面可以避免一些失误, 另一方面接触实物样品, 还能暴露出一些未预料到的问题, 有时还能够触发灵感, 设计出更好的制品来, 并尽可能使制品的各部分轮廓标准化。

⑥ 若压制品有较精确的公差, 则应在设计和制造生产用模之前制作单腔实验模, 以便确定所用材料的收缩率和制品总的变形情况。一般修改模具的代价较高, 故应使用实验模进行试生产。熔铸酚醛树脂, 各种蜡质和掺有石膏、特制火漆掺料的树脂皆可成功用于制作这种生产用模。

⑦ 最后把设计成果 (玻璃制品的产品图、三维造型图和造型实物样品等) 提交定货人评估、确认, 如定货人同意, 则应在图样上签字, 或以交换文件的方式确定下来。

### 3.2 玻璃容器分类

玻璃制品中瓶罐容器占的比例很大, 制品设计较为典型, 以下的叙述以瓶罐容器为主。

#### 3.2.1 按用途分类

玻璃容器按用途可做如下分类。

- (1) 饮料瓶 用于各种饮料, 如酒瓶、啤酒瓶、果汁瓶、咖啡瓶等。
- (2) 食品瓶 用于包装食品, 如干果、凉果类、鱼类、肉类、水果类瓶罐等。
- (3) 调味品瓶 用于装各种食用调味品瓶, 如装酱油、醋、咸、酸、辣菜类等瓶。
- (4) 化妆品瓶 用于包装各种化妆品, 如香水、润肤脂等。
- (5) 医药保健品瓶 用于包装各种医药或保健品, 如各种药瓶、安瓿瓶、盐水瓶等。
- (6) 化学药品瓶 用于包装各种化学药品或化学试剂, 如各种有机、无机酸、碱、盐以及各种指示剂、色料、农药等。
- (7) 文具瓶 主要有墨水瓶、浆糊瓶等。

### 3.2.2 按容器口径大小分类

#### 3.2.2.1 广口瓶

瓶口和瓶身内径之比大于二分之一的称为粗颈瓶，俗称广口瓶。广口瓶适于快速灌装和灌装粒状、膏状、块状或黏度较大的液体，用户易于清洗，便于周转和回收是它的优点。它主要存在的问题是瓶颈较大，内装物与瓶内残留空气的接触面积较大。

广口瓶是由口、颈、肩、身、底五部分构成，只是颈部与肩部较短，底部外观不明显。广口瓶按瓶口封闭式可分为以下几种。

(1) 扎口瓶（如图 3-1 所示）

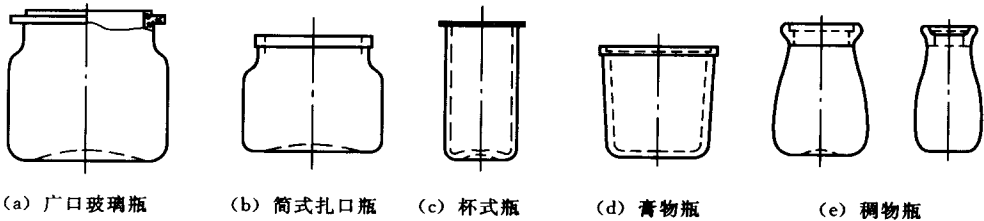


图 3-1 扎口广口玻璃瓶

① 罐头瓶（广口瓶和筒式扎口瓶） 罐头瓶是用于罐头工业填装罐头食品的。根据罐头食品的加工特点，设计这类玻璃瓶必须考虑到瓶罐能承受食品加工中的加热处理和温度变化产生的冷热压力作用。因此要求瓶罐材质均匀，罐身厚薄均匀，结构各组成部分圆滑贯接，避免热应力和机械应力的局部集中而导致瓶罐结构强度的降低。

瓶口设计也很重要，因为瓶罐的密封方法是靠罐内外压力差使封盖紧贴瓶口密封面，并辅以封盖与瓶口间的锁合力完成密封的。

② 杯式瓶 从成型加工和充填商品两方面来分析都是不合理的，只是清洗方便并可作为口杯复用。

③ 膏物瓶 用于装填不流动的膏、脂状商品。

④ 稠物瓶 主要用于充填牛奶和酸奶等稠性饮料，也可用于黏度大的其他商品的包装。

(2) 螺口瓶 螺口瓶除在瓶口部侧面有成型的螺纹外，其他各部可以是各式各样的，如图 3-2 所示。

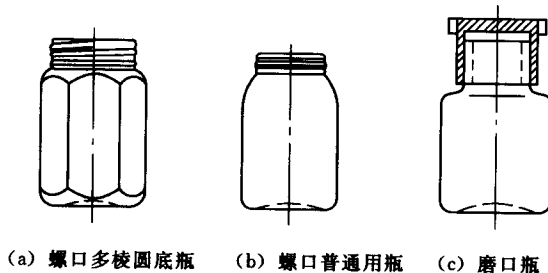


图 3-2 螺口瓶和磨口瓶

(3) 磨口瓶 玻璃盖与瓶口相配合的侧面是磨砂的，以增加接触面积和提高密封性能，其形式也如图 3-2 所示。

#### 3.2.2.2 小口瓶

瓶口和瓶身内径之比小于二分之一的称为细颈瓶，俗称小口瓶。小口瓶设计者必须熟悉

瓶内盛装的物质（又称内容物），只有这样才能正确选定瓶型、玻璃料颜色及其化学组成。如果是用来盛装在灯光下和阳光下会分解和变质的物质，通常选用褐色、绿色或其他相近的颜色。

小口瓶中最典型的结构形状是最常见的啤酒瓶，其结构如图3-3所示。溜肩瓶是瓶口

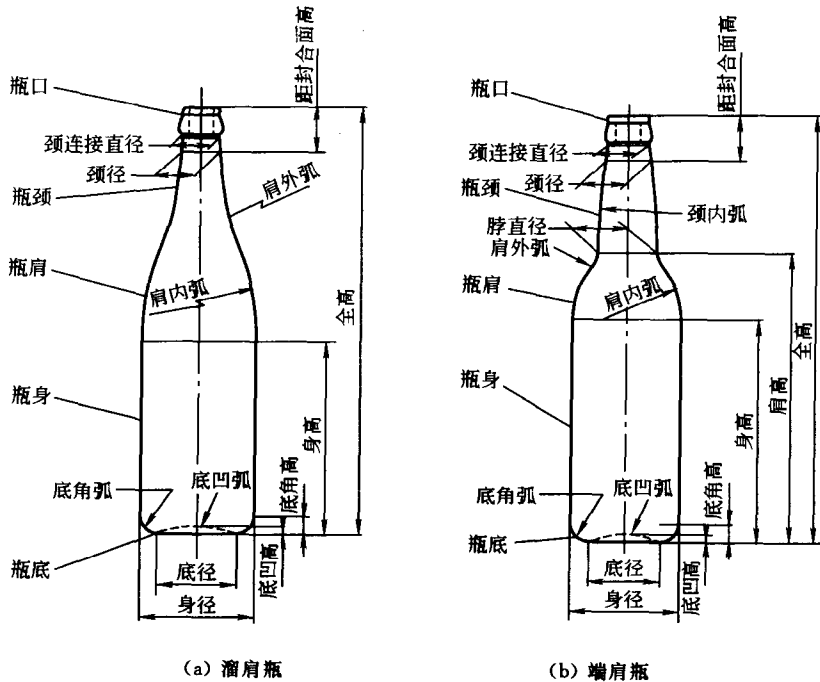


图 3-3 溜肩瓶和端肩瓶的结构与各部位名称

小，瓶颈较长，瓶肩逐渐过渡到瓶身。这样的结构有利于酒液从瓶内均匀而平稳地倒出。端肩瓶是采用瓶肩突然过渡到瓶身的结构，肩胛部分突出，起到阻挡沉淀物的作用。如图 3-4 所示。

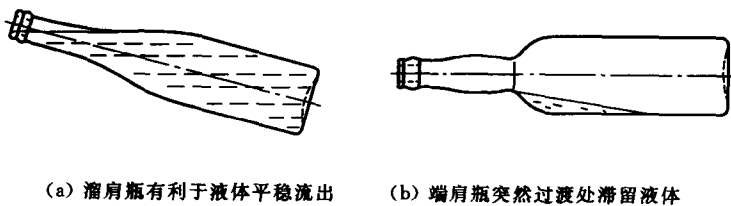


图 3-4 瓶形结构与液体倒出的关系

小口瓶最突出的特点是瓶子口部和颈部较小，灌装内容物后残留空气量少，内装物与瓶内密封后残留空气的接触面不大，所以能较好地保持内装物的原始状态、风味以及外观。

小口瓶有长颈瓶和短颈瓶之分，长颈瓶制作难度大；短颈瓶容易成型，瓶厚较均匀，力学性能较好，但灌装作业相对长颈瓶难些。常见的普通瓶类型如图 3-5 所示。

(1) 白兰地酒瓶 瓶型设计制造困难，价格高，凹穴底部的玻璃料厚度很难均匀，且退瓶复用时洗刷内底较困难。

(2) 啤酒瓶 瓶早先设计的颈部有苹果状的凸肚，且瓶颈向瓶肩过渡处骤然收缩，这样的瓶型可使瓶内残存的空气表面减小，且在斟酒时可瞬间排出瓶内的空气而不中断液流。但由于此种瓶制造困难并易出现皱纹，因而目前多用的啤酒瓶取消了颈部的凸肚。

(3) 食油瓶 此种瓶型是基于灌装时可以畅通，使用时倒出的油量较少的原则而设计的，同时这样的油瓶很适于制瓶机生产。

(4) 矿泉水瓶 此种瓶的颈部为通用型，且瓶肩向瓶身过渡较为修长。

(5) 葡萄酒瓶 瓶的高度很大，甚至颈部更长，由于瓶内空气面积最小，所以酒液可平稳地倒出。

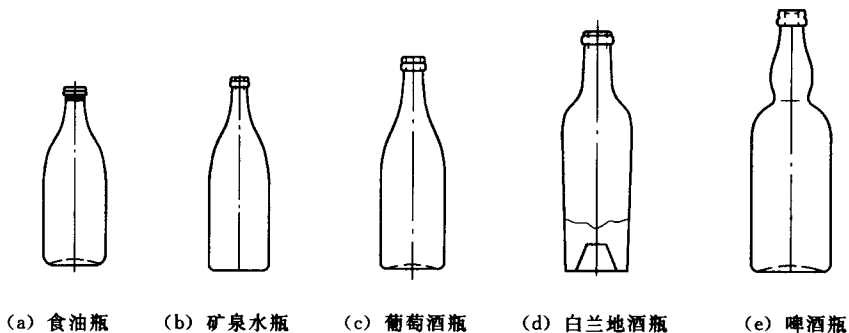


图 3-5 短颈细口瓶类型

### 3.2.3 按瓶身形状分类

按瓶身形状分类为圆筒瓶、椭圆瓶、方形瓶和异型瓶。

近来，酒、饮料和化妆品等商品的玻璃瓶包装，不少采用异型瓶，瓶身横截面有圆形、椭圆形、非整圆形及各种多边形，瓶肩有平肩、折线肩及各种弧线肩，在瓶的其他部位也有所创新，如图 3-6 所示。



图 3-6 各种异形瓶

(1) 防护瓶 瓶身带有凸起防护圈，对贴在两道防护圈中间的商标以及当瓶身倾倒时都可起到防护作用。

(2) 梅花瓶 具有梅花筋的圆瓶，中部商标呈浮雕型。

(3) 大肚长颈瓶 瓶身下部有矩形凸起，底部凹穴处有一缺口，用来包装时定位。

(4) 锥形瓶 瓶身与瓶颈等部位均呈圆锥形。

(5) 常见药瓶 瓶身近似矩形，可节省包装空间。

(6) 棱柱瓶 瓶身为四面体与六面体的组合，上、下瓶身锥度相反。

(7) 椭圆瓶 瓶身呈带波纹的椭圆形，颈特短，肩较平。为保证成型时壁厚均匀，椭圆长、短之比为 1 : 1.14 为宜。

异型瓶不拘于成型加工与使用上的限制，充分运用造型的艺术手法来美化瓶型，但异型瓶成型质量差不适于大量生产，造价较高。瓶体短、长轴之比大于 0.7 的，一般采用圆形瓶初型模型腔设计的方法。短、长轴之比在 0.55~0.7 之间的，而瓶口为中口瓶 ( $\phi 25\text{mm}$  以上) 时，初型模内腔可酌情考虑采用扁形或圆形。如瓶口为小口瓶 ( $\phi 25\text{mm}$  以下)，则短、长轴之比以 0.6 为界，小于 0.6 采用扁形，反之采用圆形。短、长轴之比小于 0.55，其初型模型腔不采用圆形，除颈部段为圆柱或圆台外，其余高度设计为椭圆形或长圆形，交接处采用顺滑过渡。

此外还有按制造方法分类为模制瓶（借助模具成型）和管制瓶（由玻璃管二次加工而成型）。按颜色分类为无色透明瓶、半透明乳白瓶、茶色瓶、绿色瓶以及不透明的白色或黑色瓶等。按使用次数分类为非回收和回收瓶（可回收多次使用）。

### 3.3 玻璃容器形状

玻璃容器的结构形状设计是玻璃容器设计的最重要内容。玻璃容器的基本形状，主要取决于所装内容物的品种和数量。然后，可以根据以下几种方法进一步确定容器的形状：

① 依据行业间标准化组织提供或认可的规格尺寸和造型结构确定，尤其是大批量使用的瓶罐更要注意行业间的协调一致，保证设计出的瓶罐与灌装、标贴、包装、运输等过程协调；

② 由制造厂商提供现有的瓶罐结构形状；

③ 依用户要求专为用户设计具有特色的瓶罐结构形状。

在设计中确定瓶罐结构形状时，最重要的一点是要考虑瓶罐结构强度的问题。影响瓶罐结构强度的因素较多。首先，构成瓶罐基本结构形状的瓶罐横截面形状、瓶罐肩部结构形状和底部结构形状是决定瓶罐结构强度的三个重要因素，其次，瓶口的设计或选择也是值得重视的因素，它应与瓶罐形状的设计相协调。

在设计瓶罐结构形状的过程中还应考虑所盛内容物各自特定的容器结构形状，瓶罐的使用性能、稳固性、成型加工性能和制造条件，尽可能设计出使用方便灵活，内容物装填及包装适应性好，结构简单、成本低、外观美、富有特色的结构形状。有关设计的参考意见如下。

(1) 容器的外形结构应利于成型生产 玻璃容器的外形结构，应利于成型和便于出模，使模具生产简单，且尽量避免或减少制品成型生产中的辅助工序。为便于成型的瓶罐从模中脱出，应把瓶罐与模腔及模芯的所有接触面设计成具有一定脱模斜度。斜度的大小与脱模方式、接触面的线度、脱模冷却速度、模具表面粗糙度以及玻璃料的收缩率等有关。容器结构形状力求简单，因为复杂的结构形状直接影响到容器的成本。例如，容器上的凸起需要在模具上开凹槽，反之亦然。而在模具内做圆柱面或圆锥面相对于棱面要简单得多。

(2) 容器的最大尺寸 应根据玻璃的成型性质而定。

(3) 壁厚棱角合理 瓶罐壁厚要均匀, 如果结构上需要不同的壁厚, 设计时应使不同厚度瓶壁的连接部分为平缓过渡区。瓶罐的棱角应设计成圆弧形, 因为较尖的棱角易受机械冲击, 热冲击及内外荷重的作用而产生裂纹。另外, 圆弧形棱角便于玻璃液料在模具中的流动与展布。

(4) 提高瓶罐的强度 除结构形状设计要考虑提高瓶罐的强度外, 通常采用在加强面表面起棱的措施。采用此法时必须注意, 应使起棱的棱条形状均匀且合理排布。

用增加壁厚的方法提高强度的效果并不好, 增加壁厚会增加瓶罐的质量, 延长制品在模内的停留时间和冷却时间, 从而使成型周期变长生产率下降。

在易碰撞的瓶身上下部设计凸纹或珠状凸点形成箍圈(图 3-7)。可以增加瓶型美观, 同时在不降低瓶内压强度的情况下, 提高抗热冲击度 50%。这是因为在附有颗粒状凸点的瓶壁表面, 拉应力发生在凸点间隙, 而擦痕只产生在凸点表面, 二者并不重合, 因此, 受拉应力作用时, 瓶壁不易破损。

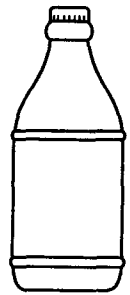


图 3-7 防冲击  
罐结构

### 3.4 玻璃制品规格系列推荐

为实现模具和设备标准化, 降低生产费用, 我国轻工行业规定了一般玻璃酒瓶所选用的参数和参数系列, 名酒和特需酒用瓶也应尽量选用。国家规定的酒瓶容量系列见表 3-1; 直径和高度系列见表 3-2; 酒瓶系列见表 3-3。

表 3-1 酒瓶容量系列

公称容量/ml	125	250	350	500	640	750
满口容量及允差/ml	140±6	270±8	375±8	530±10	670±10	785±15

表 3-2 酒瓶直径和高度系列

直径/mm	46	47	49	52	57	59	61	63	65	68
	70	72	75	79	82	85	90			
高度/mm	130	140	150	160	170	180	195	210	225	(231)
	240	255	270	285	(289)	300				

注: 括号内参数为现行啤酒瓶使用, 其他酒瓶不得选用。

表 3-3 酒瓶系列

公称容量/ml	系列	直径±0.5/mm	高度±2/mm		
			1 组	2 组	3 组
125	A	46	160	170	180
	B	47	150	160	170
	C	49	140	150	160
	D	52	130	140	150
250	A	57	195	210	225
	B	59	180	195	210
	C	61	170	180	195
	D	65	160	170	180



续表

公称容量/ml	系列	直径 $\pm 0.5$ /mm	高度 $\pm 2$ /mm		
			1组	2组	3组
350	A	63	210	225(231)	240
	B	65	195	210	225
	C	68	180	195	210
	D	72	170	180	195
500	A	70	240	255	270
	B	72	225	240	225
	C	75	210	225	240
	D	79	195	210	255
640	A	75	255	270	285(289)
	B	79	240	255	270
	C	82	225	240	255
	D	85	210	255	240
750	A	79	270	285	300
	B	82	255	270	285
	C	85	240	255	270
	D	90	225	240	255

注：括号内参数系现得啤酒瓶使用，其他酒瓶不得选用，最新国标中规定啤酒瓶高度允差为正负1.5mm；葡萄酒瓶选用表中B2系列，并用溜肩瓶型。

上述部分的应用原则如下。

① 公称容量：125ml，250ml，500ml 和 750ml 四个规格供不充气酒瓶使用，350ml 和 640ml 两个规格供充气酒瓶使用。

② 直径是指瓶肩以下部分的瓶身最大直径，高度是指全高而言。

③ 直径允差 $\pm 0.5$ mm 是为了适应工艺上需要而定的质量调整幅度。高度允差 $\pm 2$ mm 是生产、检验控制的幅度。在定型设计时，一般不应采用极限数值。

④ 酒瓶的形状，可在符合规定的主要参数容量、直径和高度的条件下任意设计。在设计系列瓶型时，按系列组号选取直径和高度参数。其他参数应按表 3-4 的相似系数求得近似数值，再按容量要求进行调整。

表 3-4 相似系数表

公称容量/ml	125	250	350	500	640	750
相似系数(K)	0.66	0.82	0.91	1	1.08	1.11

⑤ 在进行新的瓶型设计时，应与全国已定型产品有明显区别。

酒瓶以外的一般玻璃瓶罐，国内尚未有统一标准，现介绍国外推荐的系列，供设计时参考。表 3-5 为推荐的瓶径系列。

选择瓶口内径时要考虑采用的封口形式。瓶口内径同瓶容量和所用封口形式的相互关系参见表 3-6。

表 3-5 普通容器直径参考系列 (单位: mm)

系列 1	15	18	20	22	25	28	30	32	35	40	42
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
	100	105	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	200	235	250	275							
系列 2	13	16	19	21	23	27	29	31	33	37	39
	41	43	48	52	58	62	68	72	78	82	88
	92	98	102	108	115	125	135	145	155	165	175
	185	195	210	235	260						

表 3-6 瓶全容、瓶口内径、封口形式的关系

封口形式	瓶全容/L	瓶口内径/mm	封口形式	瓶全容/L	瓶口内径/mm
色箔塞封	0.37~0.59	16	其他封口形式	0.37~0.59	15
	0.59~1.03	17.5		0.59~1.03	18
冠形封口	0.37~0.59	15.5		0.59~1.03	18
	0.59~1.03	15.5			

### 3.4.1 饮料瓶

#### 3.4.1.1 啤酒瓶

啤酒瓶的规格及主要尺寸应符合表 3-7 规定。啤酒瓶的理化性能应符合急冷温度不小于 39℃ 时不破裂、升压时限 10~15s、耐内压力不小于 1.2MPa、真实应力不大于 4 级以及酸性溶液应呈红色的耐稀酸侵蚀等。

表 3-7 啤酒瓶规格尺寸

项目名称	指 标	
	350ml	640ml
满口容量/ml	375±8	670±10
质量/g	<350	<550
瓶身直径/mm	63.5±1.2	75±1.6
瓶高/mm	231±1.5	289±1.5
瓶身厚度/mm	≥1.8	≥1.8
瓶底厚度/mm	3~8	3~8
同一只瓶的瓶底厚度	不大于 1 倍	不大于 1 倍

#### 3.4.1.2 汽水瓶

汽水瓶按容量分为两种，其规格尺寸应见表 3-8 的规定。汽水瓶的理化性能要求与啤酒瓶基本相同。

表 3-8 汽水瓶规格尺寸

项目名称	指 标	
	240ml	350ml
满口容量/ml	250±8	370±8
质量/g	>290	>330
瓶身最大直径/mm	≤ 60.5	64.5
瓶高/mm	197±1.5	228.5±1.5
瓶身最薄处/mm	≥ 2	2
瓶底厚度/mm	≥ 4	4
同一只瓶的瓶底厚度差	不大于 1 倍	不大于 1 倍

#### 3.4.1.3 酒瓶

酒瓶的最大直径与最小直径之差不得大于 30mm，瓶身最薄处不小于 1.5mm，其余的尺寸规格应与啤酒瓶相似。酒瓶的理化性能除耐内应力不小于 0.49MPa 外，其余要求与啤酒瓶基本相同。

### 3.4.2 食品瓶

罐头瓶是目前广泛使用的保存食品的容器，容量多为 500ml，规格尺寸符合表 3-9 规定。

表 3-9 罐头瓶规格尺寸

项 目 名 称	指 标			
	卷 封 式		旋 开 式	
	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
公称容量/ml	500		500	
满口容量/ml	540	±10	550	±10
质量/g	≤ 290		290	
瓶高/mm	105	±1.5	110	±1.5
瓶身外径/mm	94	±1.5	94	±1.5
封口线外径/mm	73	±0.4		
瓶口外径/mm	72	±0.4	65.80	±0.45
瓶口螺纹外径/mm	62		68.95	±0.45
瓶口内径/mm	1.8	±1.5	最小 59.25	
瓶身厚度/mm	≥ 5		1.8	
瓶底厚度/mm		±2	5	±2

注：瓶底厚度与最薄之比不大于 1。

卷封式罐头瓶的外形各部的名称如图 3-8。卷封式罐头瓶口各部位尺寸如图 3-9 所示。

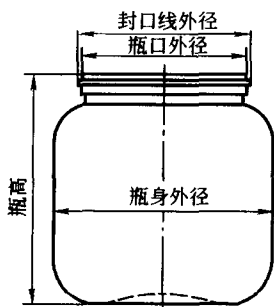


图 3-8 卷封式罐头瓶外形各部位名称

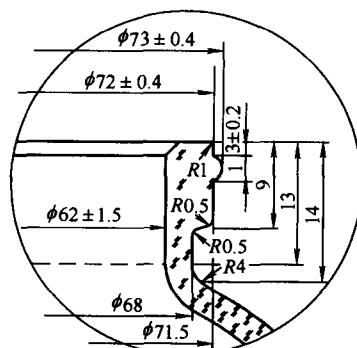


图 3-9 卷封式罐头瓶瓶口尺寸

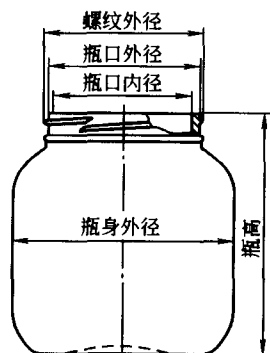


图 3-10 旋开式罐头瓶外形各部位名称

旋开式罐头瓶外形各部名称如图 3-10 所示。

罐头瓶的理化性能应符合急冷温差不小于 42℃、真实应力不大于 4 级以及酸性溶液呈红色的耐稀酸侵蚀等。

### 3.4.3 调味瓶

调味瓶按容量分为 150ml 和 500ml 两种，其封合面向下 35mm 处的瓶颈直径不得大于 30mm，还应符合急冷温差不低于 39℃时不破裂、真实应力不大于 4 级和耐稀酸侵蚀的性能。

### 3.4.4 化妆品瓶

化妆品瓶品种较多，形状各异，常为异形瓶，轻工行业的规定对于化妆品瓶的质量要求除了满足玻璃瓶罐的基本要求外，主要是外观的要求比较高。

### 3.4.5 医药保健品瓶

#### 3.4.5.1 安瓿瓶

分为易折安瓿和非易折安瓿两种。非易折安瓿包括曲颈安瓿和直颈安瓿。易折安瓿和非易折曲颈安瓿分为 A 型、B 型和 C 型 3 种型号。

按质量等级分为优等品、一等品和合格品 3 个等级。

(1) 易折安甌 规格尺寸, 应符合图 3-11 和表 3-10 规定。

(2) 非易折安甌

① 非易折曲颈安甌规格尺寸, 应符合图 3-11 和表 3-10 的规定。

② 非易折直颈安甌规格尺寸, 应符合图 3-12 和表 3-11 的规定。

表 3-10 易折安甌规格尺寸

规格 /ml	型号	外 径												厚度/mm	圆跳动/mm	容量(至 颈部中 间)/ml				
		$d_1$ /mm			$d_2$ /mm			$d_3$ /mm			$d_4$ /mm									
		基本 尺寸	极限偏差			基本 尺寸	极限偏差			基本 尺寸	极限偏差						基本 尺寸	极限偏差		
			优等品	一等品	合格品		优等品	一等品	合格品		优等品	一等品	合格品					优等品	一等品	合格品
1	A 型	10.75				6.50				8.50				6.00						
	B 型	10.00	±0.15	±0.35	±0.45	6.30	±0.50	±0.80	±1.00	7.80	±0.50	±1.00	±1.20	5.00	±0.50	±0.60	±0.70			
	C 型					5.80				7.30				4.20						
2	A 型	10.75				6.50				8.50				6.00						
	B 型	11.50	±0.15	±0.35	±0.45	7.00	±0.50	±0.80	±1.00	8.50	±0.50	±1.00	±1.20	5.50	±0.50	±0.60	±0.70			
	C 型					6.50				7.00				5.00						
5	A 型	14.75				7.00				9.00				7.00						
	B 型	16.00	±0.15	±0.40	±0.55	8.20	±0.50	±1.00	±1.20	10.00	±0.50	±1.00	±1.20	6.00	±0.50	±0.60	±0.70			
	C 型					8.20				11.00				5.70						
10	A 型	17.75				7.50				9.50				7.10						
	B 型	18.40	±0.20	±0.45	±0.55	8.80	±0.50	±1.30	±1.50	11.00	±0.50	±1.00	±1.20	6.30	±0.60	±0.80	±1.00			
	C 型					8.80				12.00				6.00						
20	A 型	22.50				8.50				12.00				7.80						
	B 型	22.00	±0.25	±0.45	±0.55	10.5	±0.50	±1.30	±1.50	13.00	±1.00	±1.20	±1.40	7.30	±0.80	±1.00	±1.20			
	C 型					10.5				14.00				7.00						
规格 /ml	型号	高 度										厚度/mm		圆跳动/mm		容量(至 颈部中 间)/ml				
		$h_1$ /mm			$h_2$ /mm	$h_3$ /mm			$h_4$ /mm	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	优等 品	一等品 和合格品							
		基本 尺寸	极限偏差			基本 尺寸	基本 尺寸	极限偏差						不小于						
			优等品	一等品	合格品			优等品	一等品	合格品										
1	A 型	60.00				47.00	25.50				21.00	≥0.20	≤0.60	≤1.20	≈1.50					
	B 型	65.00	±0.50	±1.00	±1.50	62.00	25.00	±0.50	±1.00	±1.20	21.00									
	C 型																			
2	A 型	72.00				57.00	37.50				33.00	~	≤1.00	≤2.00	≈2.30					
	B 型	70.00	±0.50	±1.00	±1.50	67.00	36.50	±0.50	±1.00	±1.20	32.00									
	C 型																			
5	A 型	83.00				68.00	46.50				41.00	0.50	≤1.00	≤2.00	≈5.50					
	B 型	87.00	±0.50	±1.20	±1.50	84.00	43.00	±0.50	±1.20	±1.50	38.50									
	C 型																			
10	A 型	102.00				87.00	62.00				55.00	≥0.30	≤1.00	≤2.00	≈11.50					
	B 型	102.00	±0.50	±1.30	±1.50	99.00	58.50	±1.00	±1.30	±1.50	53.50									
	C 型																			
20	A 型	113.00				100.00	76.00				65.00	≥0.35	≤1.20	≤2.40	≈23.50					
	B 型	126.00	±1.00	±1.70	±2.00	123.00	76.50	±1.30	±1.70	±2.00	68.00									
	C 型																			

注: 同一支安甌, 必须  $d_1 > d_3 > d_2 > d_4$ 。

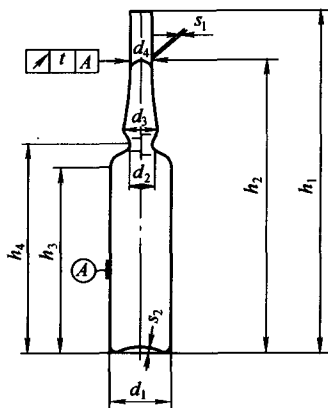


图 3-11 易折安瓿和非易折曲颈安瓿规格尺寸  
 $d_1$ —颈外径； $d_2$ —外径； $d_3$ —泡外径； $d_4$ —丝外径； $h_1$ —全高； $h_2$ —底至测量点高； $h_3$ —底至肩高； $h_4$ —底至颈高； $s_1$ —丝壁厚； $s_2$ —底厚

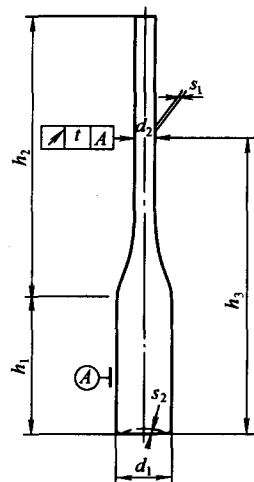


图 3-12 直颈安瓿规格尺寸  
 $d_1$ —身外径； $d_2$ —丝外径； $h_1$ —身高； $h_2$ —全高； $h_3$ —割丝高； $s_1$ —丝壁厚； $s_2$ —底厚

表 3-11 非易折直径安瓿规格尺寸

规格 /ml	外 径				高 度				厚 度		圆跳动 /mm		
	$d_1$ /mm		$d_2$ /mm		$h_1$ /mm		$h_2$ /mm	$h_3$ /mm	$s_1$ /mm	$s_2$ /mm			
	基本 尺寸	极限 偏差	尺寸	极限 偏差	基本 尺寸	极限 偏差							
1	10.00	±0.45	4.20	±0.50	22.0	±1.00	≥65	60.00	0.20~ 0.50	≥0.20	≤1.20		
2	11.50		4.70		33.0			70.00					
5	16.00	5.70	±0.60	40.0	±1.50	≥80	86.00	≥0.30				≤2.00	
10	18.40	±0.55	6.00	±0.70		55.0	≥85	102.0				≥0.35	≤2.40
20	22.00		7.00			73.0	±2.00	≥90				126.0	≥0.35

### 3.4.5.2 玻璃输液瓶

玻璃输液瓶按玻璃类型分为 I 型和 II 型，并应标记在瓶底部。第一种玻璃为硼硅酸盐玻璃，第二种玻璃为钠钙玻璃，其瓶只适用于一次性使用。

A 型瓶的规格尺寸应符合图 3-13 和表 3-12 的规定，B 型瓶的规格尺寸应符合图 3-14 和表 3-13 的规定，输液瓶理化性能应符合表 3-14 的规定。

表 3-12 A 型输液瓶规格尺寸

规格 /ml	主要规格尺寸							
	标线容量/ml		全高 $h_1$ /mm		瓶口外径 $d_1$ /mm		瓶口内径 $d_2$ /mm	
	公称容量	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
50	50	±5	68	±0.9	32	±0.3	22.5	±0.5
100	100		104	±1.0				
250	250	±8	136	±1.2				
500	500	±10	177	±1.3				
1000	1000	±15	230	±1.8				

续表

规格/ml	主要规格尺寸					
	瓶身外径 $d_3$		瓶身厚 $s$	垂直轴偏差 $M$		
	基本尺寸	极限偏差		优等品	一等品	合格品
50	46	±1.0	≥0.8	≤1.0	≤1.8	≤2.0
100	49			≤1.4	≤2.0	2.2
250	66			≤1.8		
500	78	±1.4		≤2.3	≤2.5	≤2.7
1000	95	±1.8	≥1.0	≤3.0	≤3.0	≤3.2

规格/ml	参考规格尺寸								
	底部接圆 $d_4$ /mm	颈弧高 $h_2$ /mm	肩弧高 $h_3$ /mm	颈弧 $r_1$ /mm	肩弧 $r_2$ /mm	底上弧 $r_3$ /mm	底下弧 $r_4$ /mm	瓶底厚 $s_2$ /mm	质量/g
50	38	56	36	6.5	20.6	10	2.5	≥2.5	60
100	39	92	67	8.0	25.0	12	3.0		100
250	54	124	86	10.5	34.0	16	4.0		180
500	61	165	116	13.0	42.0	20	5.0		280
1000	75	218	153	16.5	52.0	25	6.5	≥3.0	525

注：垂直轴偏差指瓶口中心到通过瓶底中心垂直线的水平偏差。

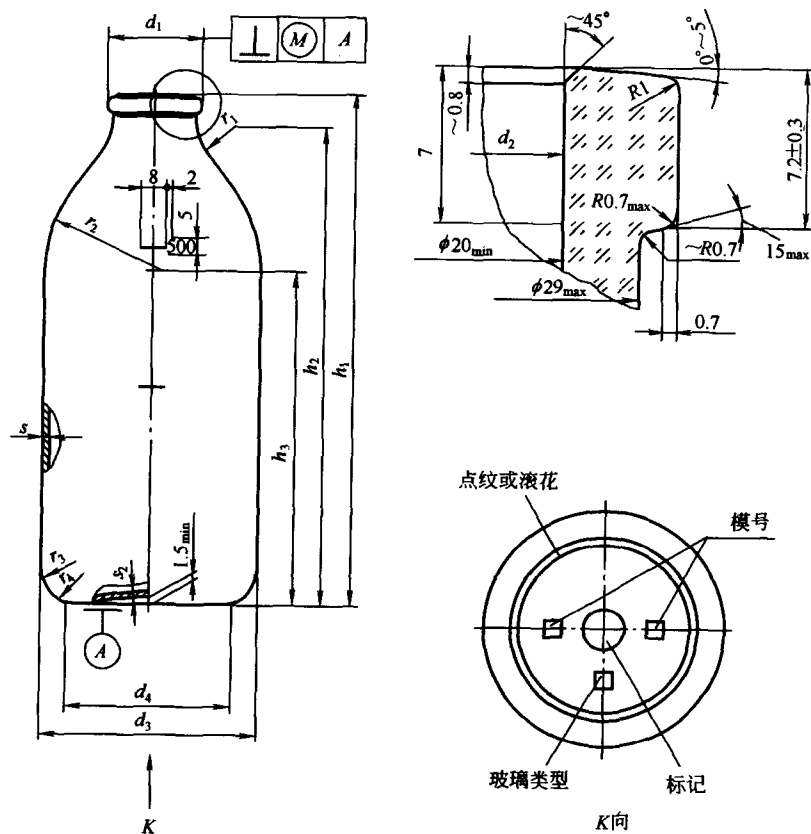


图 3-13 A 型输液瓶规格尺寸

注：1. 数字和标线的刻道宽为 0.6mm，外凸 0.3mm。2. 倒置半公称容量标线应分别示在公称容量标线一侧和相隔 180°的另一侧。

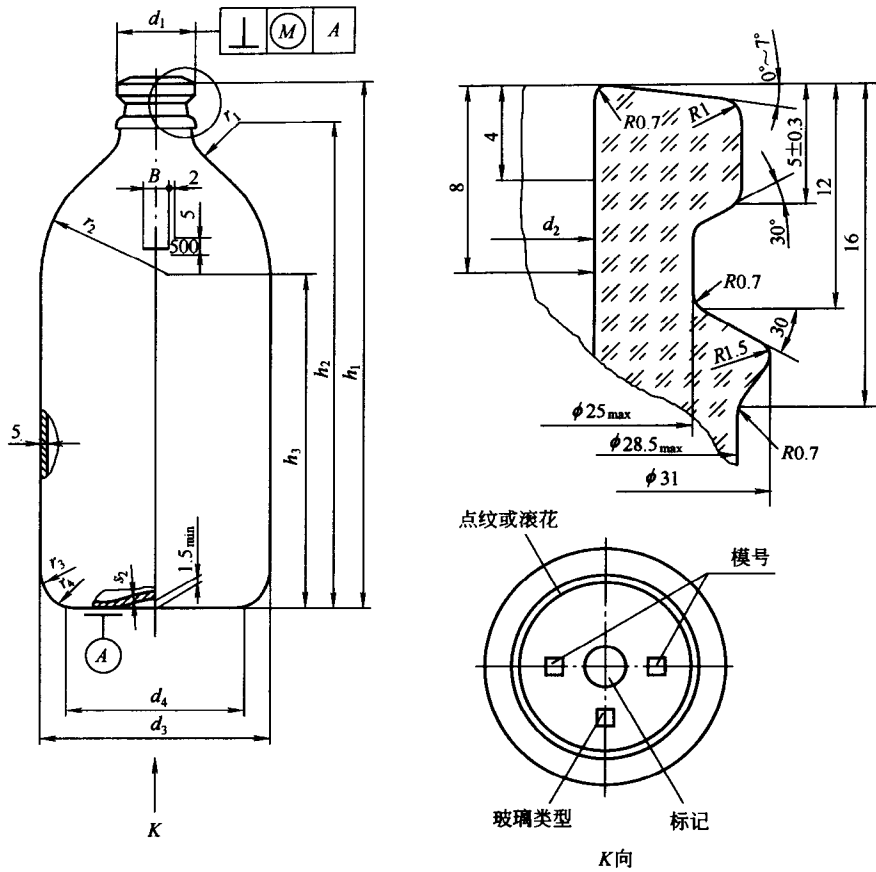


图 3-14 B型输液瓶规格尺寸

注：1. 数字和标线的刻道宽为 0.8mm，外凸 0.4mm。2. 倒置半公称容量标线应分别在公称容量标线一侧和相隔 180°的另一侧。

表 3-13 B型输液瓶规格尺寸

规格 /ml	主要规格尺寸									
	标线容量/ml		全高 $h_1$ /mm			瓶口外径 $d_1$ /mm		瓶口内径 $d_2$ /mm		
	公称 容量	极限 偏差	基本 尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
				优等品	一等品	合格品				
50	50	±5	78	±0.9	±1.0		28.3	±0.3	16.5	±0.5
100	100		110	±1.0	±1.2					
250	250	±8	140	±1.2	±1.5					
500	500	±10	182	±1.3	2.0					
1000	1000	±15	220	±1.8	2.0					
规格/ml	主要规格尺寸									
	瓶身外径 $d_3$ /mm			瓶身厚 $s$ /mm	垂直轴偏差 $M$ /mm					
	基本尺寸	极限偏差	优等品		一等品	合格品				
	50	46	±1.0	≥1.0	≤1.0	≤1.8	≤2.0			
100	53	±1.2	≤1.4		≤2.0	≤2.2				

续表

规格/ml	主要规格尺寸					
	瓶身外径 $d_3$ /mm		瓶身厚 $s$ /mm	垂直轴偏差 $M$ /mm		
	基本尺寸	极限偏差		优等品	一等品	合格品
250	68	$\pm 1.2$	$\geq 1.2$	$\leq 1.8$	$\leq 2.0$	$\leq 2.2$
500	81	$\pm 1.5$		$\leq 2.3$	$\leq 2.5$	$\leq 2.7$
1000	102	$\pm 2.0$	$\geq 1.5$	$\leq 3.0$	$\leq 3.0$	$\leq 3.2$

规格/ml	参考规格尺寸								质量/g
	底部接圆 $d_4$ /mm	颈弧高 $h_2$ /mm	肩弧高 $h_3$ /mm	颈弧 $r_1$ /mm	肩弧 $r_2$ /mm	底上弧 $r_3$ /mm	底下弧 $r_4$ /mm	瓶底厚 $s_2$ /mm	
50	38.0	60	39	6.5	20.5	10	2.5	$\geq 2.5$	75
100	38.7	91	63	7.0	28.0	21	5.0		125
250	49.6	121	80	10.0	36.0	27	6.2		200
500	59.3	164	112	12.0	45.0	33	6.6		330
1000	75.8	202	132	15.0	55.0	40	8.4	$\geq 3.0$	555

表 3-14 输液瓶理化性能

项 目	规 定		
	优 等 品	一 等 品	合 格 品
玻璃容器耐水性	应符合 GB 12416.1 中表 2HC1 和 HC2 级的要求		
热稳定性	瓶内灌装清水至公称容量标线处于 121℃ 恒温 30min 不破裂		
抗热振性(耐热急变性)	按 GB 4547 的规定,瓶子经受下列温差的热振试验后不破裂		
	42℃	42℃	42℃
内压力	按 GB 4546 的规定,瓶子经受下列内压试验后不破裂		
	0.6MPa	0.6MPa	0.5MPa
内应力	按 GB 12415 的规定,瓶子的真实应力必须小于或等于		
	20nm/mm	30nm/mm	30nm/mm

3.4.5.3 模制抗生素玻璃瓶

模制抗生素玻璃瓶的规格尺寸应符合表 3-15 以及图 3-15 的规定,其理化性能应符合表 3-16 的规定。

表 3-15 模制抗生素玻璃瓶的规格尺寸

规格/ml		瓶全高 $H$		瓶身外径 $D_1$ /mm			瓶口外径 $D_2$ /mm			瓶口内径 $D_3$ /mm			
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差		基本尺寸	极限偏差		
					优等品	一等品		合格品	优等品		一等品	合格品	优等品
5	A 型	41.30	$\pm 0.50$	20.80	$\pm 0.40$	$\pm 0.45$	$\pm 0.50$	22.00	+0.20	$\pm 0.30$	12.60	$\pm 0.20$	+0.20
	B 型	38.70		22.00				19.70			12.50		
7	A 型	40.80		22.10				19.70			12.60		
	B 型	38.70		24.50				19.70			12.50		
8	A 型	46.80	23.00										
10	A 型	53.50	$\pm 0.60$	25.40			20.00			12.60			



续表

规格/ml		瓶全高 H		瓶身外径 D <sub>1</sub> /mm			瓶口外径 D <sub>2</sub> /mm			瓶口内径 D <sub>3</sub> /mm					
		基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差		
					优等品	一等品	合格品		优等品	一等品	合格品		优等品	一等品	合格品
12	B 型	56.80	±0.60	27.00	±0.40	±0.45	±0.50	19.70	+0.20 -0.30	±0.30	12.50	±0.20	+0.20 -0.30		
15	A 型	58.80		26.50	±0.45	±0.50	±0.55	20.00			12.60				
20		58.00		32.00	±0.50	±0.55	±0.60								
25		36.00													
30		62.80	±0.70	36.00	±0.80	±0.85	±0.90								
50		73.00	±0.80	42.50											
100	94.50	±0.90	51.60												

规格/ml		瓶颈外径 D <sub>4</sub> /mm	瓶颈内径 D <sub>5</sub> /mm	垂直轴偏差 M/mm			瓶口边厚 S <sub>1</sub> /mm			瓶底厚度 S <sub>2</sub> /mm		满口容量/ml			质量/g	凹底 t <sub>s</sub> /mm	
				优等品	一等品	合格品	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差	容积	极限偏差			
		优等品	一等品					合格品	优等品	一等品				合格品	优等品	一等品	合格品
5	A 型	≤17	≥11.5	1.1	1.2	1.3	3.80	±0.20	±0.25	0.30	3.00	±1.5	7.00	±0.70	±0.90	±1.10	≈14.00
	B 型	≤16.8	≥11				4.50						7.30			±1.10	≈15.50
7	A 型	≤17	≥11.5	1.2	1.3	1.4	3.80	±0.20	±0.25	0.30	3.00	±1.5	9.00	±1.10	±1.20	±1.20	≈13.00
	B 型	≤16.8	≥11				4.50						±1.20			≈16.50	
8	A 型	≤17	≥11.5	1.2	1.3	1.4	3.80	±0.20	±0.25	0.30	3.00	±1.5	10.00	±1.10	±1.20	±1.20	≈16.00
10				1.4	1.5	1.6							15.00			±1.20	≈21.00
12	B 型	≤16.8	≥11	1.5	1.6	1.7	4.50	±0.20	±0.25	0.30	3.00	±1.5	16.00	±1.40	±1.40	±1.40	≈27.50
15	17.00	±1.40	≈24.00														
20	A 型	≤17	≥11.5	1.6	1.7	1.8	3.80	±0.20	±0.25	0.30	3.00	±1.5	26.00	±1.40	±1.40	±1.70	≈29.00
25													32.00			±1.40	≈30.00
30													38.00			±1.40	±1.80
50	A 型	≤17	≥11.5	1.9	2.0	2.1	3.80	±0.20	±0.25	0.30	3.00	±1.5	60.00	±1.80	±2.50	±3.20	≈50.00
100				2.4	2.5	2.6							119.00			±2.80	±3.90

表 3-16 模制抗生素玻璃瓶理化性能

项 目	规 定
内表面的耐水性	应符合 GB 12416.1 中的 HC1、HC2、HC3 任何一级的要求
抗热振性	玻璃瓶经受 42℃ 温差的热振试验不破裂
内压力	玻璃瓶承受 600kPa 内压力不破裂
内应力	内应力应小于 40nm/mm

### 3.4.5.4 管制抗生素玻璃瓶

管制抗生素玻璃瓶的规格尺寸应符合表 3-17、表 3-18 和图 3-16 的规定，其理化性能应符合表 3-16 中的耐水性和内压力的规定。

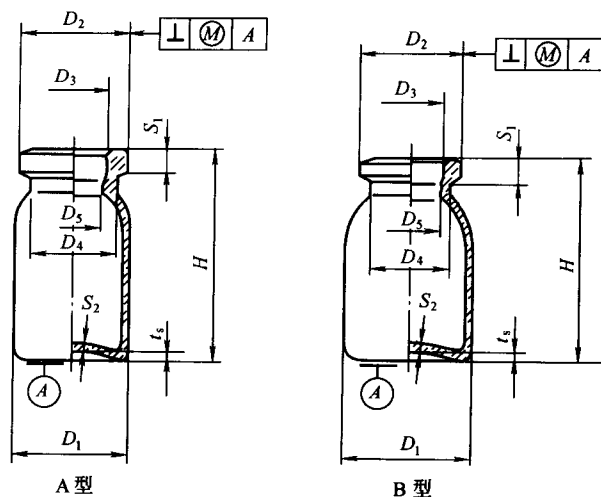


图 3-15 模制抗生素瓶规格尺寸

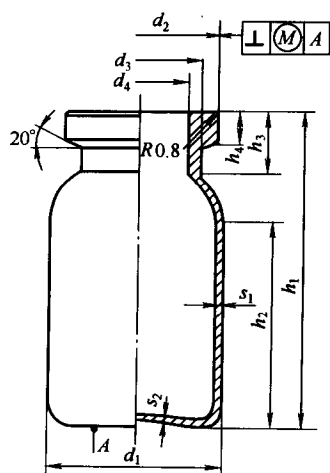


图 3-16 管制抗生素玻璃瓶规格尺寸

表 3-17 管制抗生素玻璃瓶主要规格尺寸

公称容积 /ml	垂直轴偏差 M/mm			瓶身外径 $d_1$ /mm			瓶口外径 $d_2$ /mm				
	优等品	一等品	合格品	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差		
					优等品	一等品	合格品		优等品	一等品	合格品
5	1.2	1.4	1.6	18.4	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$	$\pm 0.40$	13.0	$\pm 0.25$	$\pm 0.25$	$\pm 0.30$
7	1.2	1.4	1.7	22.0	$\pm 0.25$	$\pm 0.40$	$\pm 0.50$	19.6	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$	$\pm 0.40$
10	1.2	1.4	1.7	22.0	$\pm 0.25$	$\pm 0.40$	$\pm 0.50$	19.6	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$	$\pm 0.40$
25	1.5	1.9	2.3	28.0	$\pm 0.30$	$\pm 0.40$	$\pm 0.50$	19.6	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$	$\pm 0.40$

公称容积 /ml	瓶口内径 $d_4$ /mm			瓶全高 $h_1$ /mm			瓶边厚 $h_4$ /mm			底厚 $s_2$ /mm			
	基本尺寸	极限偏差			基本尺寸	极限偏差			基本尺寸		极限偏差		
		优等品	一等品	合格品		优等品	一等品	合格品			优等品	一等品	合格品
5	7.7	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	39.7	$\pm 0.50$	$\pm 0.70$	$\pm 0.80$	2.8	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	$\pm 0.30$	$\geq 0.4$	
7	12.5	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	39.7	$\pm 0.50$	$\pm 0.70$	$\pm 0.80$	3.2	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	$\pm 0.40$	$\geq 0.4$	
10	12.5	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	49.7	$\pm 0.50$	$\pm 0.70$	$\pm 0.80$	3.2	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	$\pm 0.40$	$\geq 0.4$	
25	12.5	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	65.0	$\pm 0.70$	$\pm 0.80$	$\pm 0.80$	3.2	$\pm 0.20$	$\pm 0.30$	$\pm 0.40$	$\geq 0.45$	

表 3-18 管制抗生素瓶参考尺寸

公称容积/ml	瓶颈外径 $d_3$ /mm	瓶身長 $h_2$ /mm	瓶颈長 $h_3$ /mm	瓶壁厚 $s_1$ /mm	瓶重/g	满口容量/ml
5	$\approx 10.5$	$\geq 28.0$	$\approx 6.8$	$\approx 0.8$	$\approx 5.0$	7.5
7	$\approx 16.0$	$\geq 27.0$	$\approx 7.5$	$\approx 1.1$	$\approx 8.8$	10.5
10	$\approx 16.0$	$\geq 37.0$	$\approx 7.5$	$\approx 1.1$	$\approx 10.6$	13.5
25	$\approx 16.0$	$\geq 47.0$	$\approx 7.5$	$\approx 1.1$	$\approx 16.2$	28.5

### 3.4.5.5 玻璃药瓶

大口药瓶的容量系列应符合表 3-19 的规定，规格尺寸应符合表 3-20 和图 3-17 以及图 3-18 的规定。

表 3-19 大口玻璃药瓶规格 (单位: ml)

规格	满口容量	偏差	规格	满口容量	偏差
10	13	$\pm 3$	250	285	$\pm 11$
20	23		300	335	

续表

规格	满口容量	偏差	规格	满口容量	偏差
30	35	±4	350	385	±11
40	45		400	435	
50	55	±5	450	485	±12
60	65		500	535	
80	90	±7	550	600	±13
100	110		600	650	
120	130		650	700	
140	160	±9	750	800	±15
170	190		850	900	
200	220		950	1000	

表 3-20 大口玻璃药瓶主要尺寸

规格 / ml	瓶身外径 D/mm		瓶子全高 H/mm		螺纹外径 d <sub>1</sub> /mm		瓶口外径 d <sub>2</sub> /mm		瓶口内径 d <sub>3</sub> /mm		瓶颈 外径 d <sub>4</sub> /mm	瓶底 直径 d <sub>5</sub> /mm	肩角 半径 r <sub>1</sub> /mm	底角 半径 r <sub>2</sub> /mm	瓶头 高度 h <sub>1</sub> / mm	底弧 深度 h <sub>2</sub> / mm	螺纹 宽度 b/ mm	螺纹 间距 t/ mm
	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸
10	32		43		25		22.6		16		19.6	22	4	5	±	±	2.0	3.5
20			62															
30	38	±1.0	64	±1.0	32	+0.0 -0.6	29.2	+0.0 -0.6	22		26	24	6	7	1.2	1.5		
40			76															
50	43		73							+0.0		29	8					
60			83															
80	51		75	±1.2	40	+0.0 -0.8	37.2	+0.0 -0.8	30	-1.0	34	37	8	9	14	2.0	2.5	4.0
100			88															
120			100															
140	59	±1.2	88	±1.2	50	+0.0 -1.0	47.2	+0.0 -1.6	40		44	41	7	9				
170			101															
200			114															
250	70	±1.2	107	±1.2	63		60.2		53		57	48	6	11				
300			122															
350			137															
400	76		130	±1.5	70	+0.0 -1.0	67.2	+0.0 -1.6	60	+0.0 -1.0	64	54	9	14	2.0	2.5	4.0	
450			143															
500			156															
550			141															
600	84	±1.5	151	±1.5	70						58	13						
650			161															
750	94		155								68	14						
850			171															
950			187															

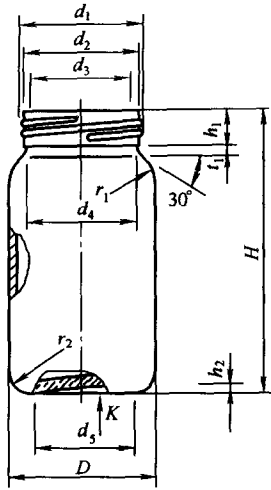


图 3-17 大口药瓶尺寸

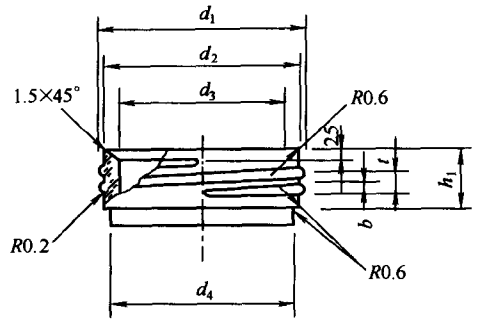
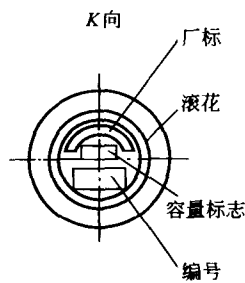


图 3-18 大口药瓶的瓶头形状和尺寸

小口瓶的容量系列应符合表 3-21 的规定，并且规格尺寸应符合表 3-22 和图 3-19 以及图 3-20 的规定。

表 3-21 小口玻璃药瓶规格 (单位: ml)

规格	满口容量	偏差
25	30	±3
50	60	±5
100	120	±7
200	240	±11
500	600	±13
1000	1200	±15

表 3-22 小口玻璃药瓶主要尺寸

规格 / ml	瓶身外径 D/mm		瓶子全高 H/mm		螺纹外径 d <sub>1</sub> /mm		瓶口外径 d <sub>2</sub> /mm		瓶口内径 d <sub>3</sub> /mm		瓶颈 外径 d <sub>4</sub> /mm	瓶底 直径 d <sub>5</sub> /mm	肩角 半径 r <sub>1</sub> /mm	底角 半径 r <sub>2</sub> /mm	瓶头 高度 h <sub>1</sub> /mm	底弧 深度 h <sub>2</sub> /mm	螺纹 宽度 b /mm	螺纹 间距 t /mm
	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸	尺寸
25	34	±1.0	74	±1.0	22		19.6		13		16.6	24	3	5	12	1.5	2.0	3.5
50	42		89									30	6					
100	50	±1.2	107	±1.2	25	+0.0	22.6	+0.0	16	+0.0	19.6	36	4	7	14	2.0	2.5	4.0
200	64		128											44				
500	83	±1.5	168	±1.5	32		29.2		22		26.0	59	12	14	2.5	2.5	4.0	
1000	103		210									75	14					

玻璃药瓶理化性能应符合急冷温差 35℃ 时不破裂，装有甲基红酸性溶液的瓶 85℃ 水浴时，保持 30min，淡红色不消失以及白瓶允许呈紫红~淡蓝色和黄瓶允许呈紫红~淡绿色应力色泽。

#### 3.4.5.6 化学药品瓶

农药瓶的主要规格尺寸应符合表 3-23、图 3-21、图 3-22 和图 3-23 的规定。瓶口各部分

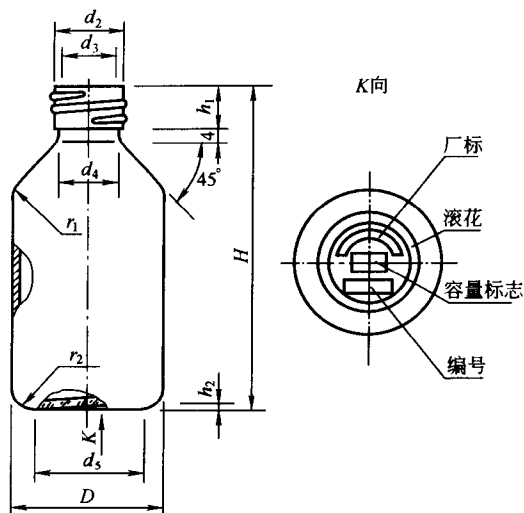


图 3-19 小口药瓶尺寸

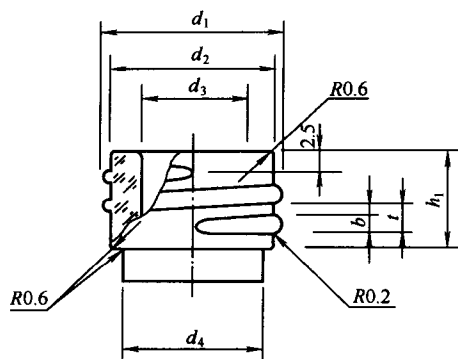


图 3-20 小口药瓶的瓶头形状和尺寸

尺寸如图 3-24 所示，其理化性能应符合表 3-24 的规定。

表 3-23 农药瓶主要规格尺寸

项 目	容 量		
	500ml	850ml	1000ml
满口容量/ml	555±15	930±20	1100±25
质量/g	320	540	575
瓶高/mm	240±2	240±2	240±2
瓶身外径/mm	81	94	94
螺纹外径/mm	30.5-0.7	30.5-0.7	30.5-0.7
瓶口外径/mm	27-0.7	27-0.7	27-0.7
瓶口内径/mm	19-1	19-1	19-1
瓶口使用高度/mm	18+0.5	18+0.5	18+0.5

表 3-24 农药瓶的理化性能

项 目 名 称		规 定	指 标
耐热急变		急冷温差 35℃	不破裂
耐稀酸侵蚀		酸性染色液	淡红色不消失
应 力	棕黄色瓶	定量	表观 4 级
		定性	紫色或棕色
	淡青色瓶	定量	表观 4 级
		定性	紫色或蓝色

### 3.4.6 玻璃管道、衬玻璃管及管件

玻璃管道、衬玻璃管及管件广泛地应用于石油化工、医药、食品、建筑工程、农业等国民经济各部门。

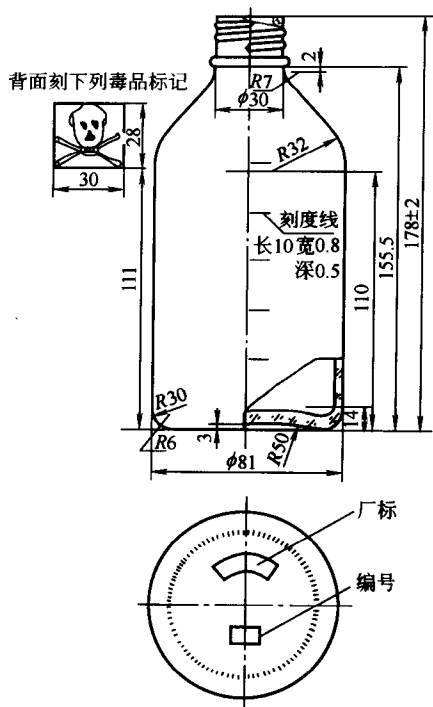


图 3-21 500ml 农药瓶各部位尺寸

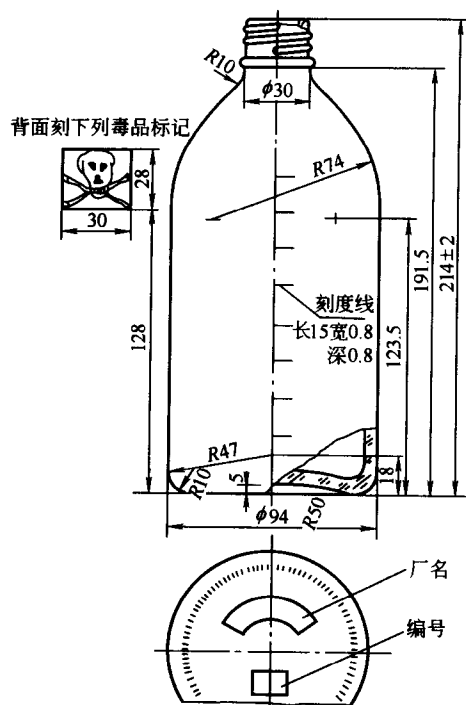


图 3-22 850ml 农药瓶各部位尺寸

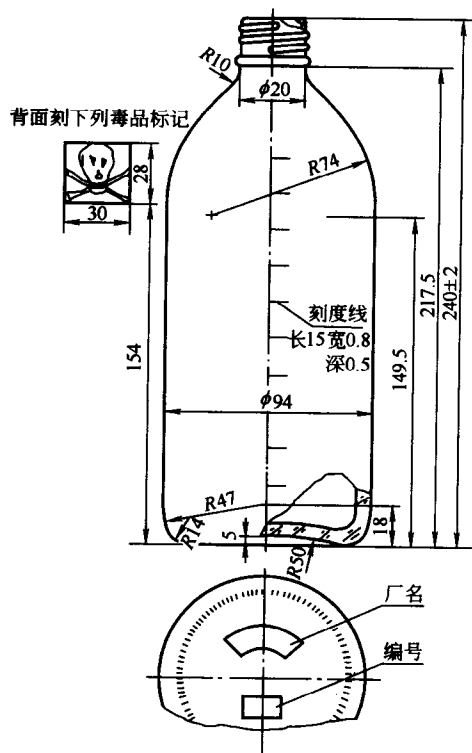


图 3-23 1000ml 农药瓶各部位尺寸

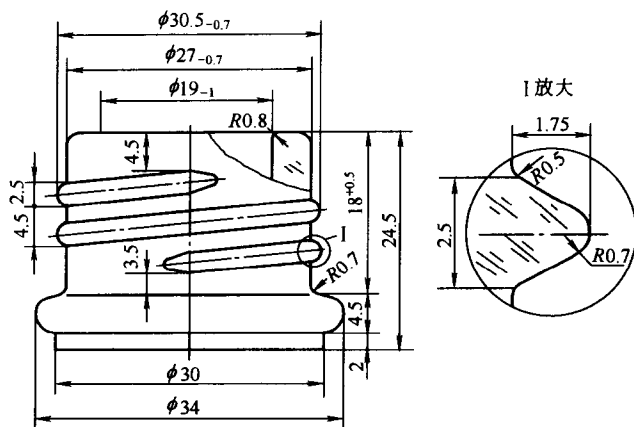


图 3-24 农药瓶口各部位尺寸

用来制造玻璃管道和衬玻璃管及管件的玻璃材料主要为高铝、无硼、低碱玻璃和低碱含量的硼硅酸盐玻璃。它们的化学成分（质量分数/%）如下：

高铝、无硼、低碱玻璃					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	F <sub>2</sub>
63.5	15.5	13	4	2	2
低碱含量的硼硅酸盐玻璃（“95”硬质玻璃）					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O		
78.5	2.0	14.3	5.2		

衬里用的玻璃管，其热膨胀系数变化曲线应和所要衬的金属热膨胀系数变化曲线基本一致，并一般要求玻璃的膨胀系数比金属小一些。以下为目前选用的两种玻璃化学成分（质量分数/%）：

原料	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO
配方一	74.2	4.5	0.3	1.0	5.3	0.4	14.0	—	0.3	—
配方二	68.3	3.9	0.27	1.7	8.0	0.7	9.5	7.1	0.2	0.9

### 3.4.6.1 玻璃管道

目前大量使用的玻璃管及管件是高铝、无硼、低碱厚壁平口型玻璃管（以下简称平口型玻璃管），此外，尚有低碱含量的硼硅酸盐扩口型玻璃管（以下简称扩口型玻璃管）。其耐热性能为：耐高温 150℃、耐低温 -30℃、耐急热温差 100℃、耐急冷温差 ≤60℃。

(1) 平口型玻璃管的规格 见图 3-25 及表 3-25。

表 3-25 平口型玻璃管的规格

公称直径 DN/mm	管子外径 D/mm	壁厚 S/mm	管子标准长度 L/mm							长度(L) 公差/%	计算质量 /(kg/m)
			1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000		
40	50 <sub>-0.3</sub>	5 <sub>-1.0</sub>	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	±1	1.60
50	62 <sub>-0.3</sub>	6 <sub>-1.5</sub>	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	±1	2.33
75	90 <sub>-0.3</sub>	7 <sub>-1.5</sub>	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	±1	4.13
100	116 <sub>-0.3</sub>	8 <sub>-1.5</sub>	1500	1750	2000	2250	2500	2750		±1	6.25
125	144 <sub>-0.4</sub>	10 <sub>-2</sub>	1500	1750	2000	2250	2500			±1	8.95

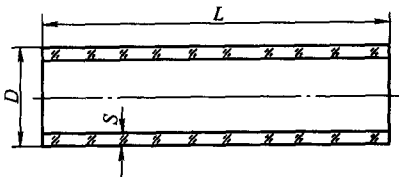


图 3-25 平口管

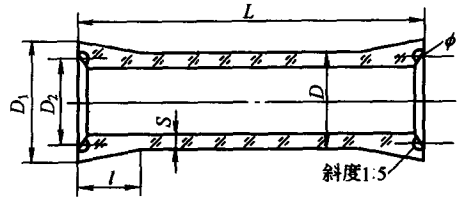


图 3-26 扩口管

(2) 扩口型玻璃管的规格 见图 3-26 及表 3-26。

表 3-26 扩口型玻璃管规格

公称直径 DN /mm	管子外径 D/mm	壁厚 S /mm	扩口外径 D <sub>1</sub> /mm	密封槽 中心圆 直径 D <sub>2</sub> /mm	密封槽 直径 φ /mm	扩口长度 l/mm			管子标 准长度 L/mm	长度(L) 公差 / %	质量 /(kg /m)
20	32±1.5	3.5±0.5	40±0.5	33.5	1	20	1000	1500	2000	±1	0.79
40	45±2.0	3.5±0.5	53±0.5	45.5	1	20	1000	1500	2000	±1	1.17
50	58±2.0	4.0±1.0	68±0.5	59	2	25	1000	1500	2000	±1	1.75
65	74±2.0	4.0±1.0	84±0.5	74	2	25	1000	1500	2000	±1	2.19
80	89±3.0	4.5±1.0	99±0.5	89	2	25	1000			±1	3.07
100	110±3.0	5.0±1.0	122±0.5	111	2	30	1000			±1	4.18

(3) 平口型 90°弯管的规格 见图 3-27 及表 3-27。

表 3-27 平口型 90°弯管的规格

公称直径 DN/mm	管件外径 D/mm	壁厚 S/mm	边长 A/mm	弯曲半径 R/mm	质量/(kg/个)
40	50 <sub>-3</sub> <sup>0</sup>	5.0 <sub>-2</sub> <sup>0</sup>	160	80	0.47
50	62 <sub>-3</sub> <sup>0</sup>	6.0 <sub>-2</sub> <sup>0</sup>	160	80	0.66
75	90 <sub>-4</sub> <sup>0</sup>	8.0 <sub>-3</sub> <sup>0</sup>	200	110	1.40
100	116 <sub>-4</sub> <sup>0</sup>	9.0 <sub>-3</sub> <sup>0</sup>	230	130	2.46
125	144 <sub>-4</sub> <sup>0</sup>	11.0 <sub>-3</sub> <sup>0</sup>	250	150	3.76

(4) 扩口型 90°弯管的规格 见图 3-28 及表 3-28。

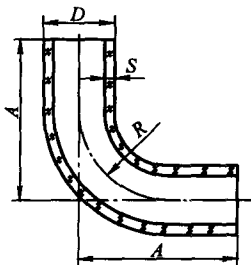


图 3-27 平口型 90°弯管

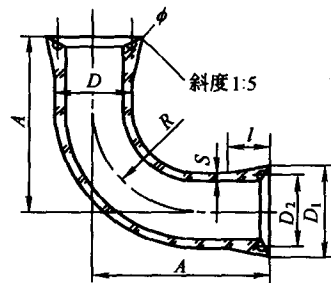


图 3-28 扩口型 90°弯管



表 3-28 扩口型 90°弯管的规格

公称直径 DN/mm	管子外径 D/mm	壁厚 S/mm	扩口外径 D <sub>1</sub> /mm	扩口长度 l/mm	边长 A/mm	弯曲半 径 R/mm	密封槽中心 圆直径 D <sub>2</sub> /mm	密封槽 直径 φ/mm	质量 /(kg/个)
25	32±1.5	3.5±0.5	40±0.5	20	125	40	33.5	1	0.20
40	45±2.0	3.5±0.5	53±0.5	20	135	55	45.5	1	0.30
50	58±2.0	4.0±1.0	68±0.5	25	150	70	59	2	0.60
65	74±2.0	4.0±1.0	84±0.5	25	165	90	74	2	0.72
80	89±3.0	4.5±1.0	99±0.5	25	175	100	89	2	1.04
100	110±3.0	5.0±1.0	122±0.5	30	200	120	111	2	1.48

(5) 平口型等径三通的规格 见图 3-29 及表 3-29。

表 3-29 平口型等径三通的规格

公称直 径 DN/mm	管件外径 D/mm	壁厚 S/mm	边长 A/mm		圆角半径 R/mm	质量/(kg/个)
			短节	长节		
40	50 <sup>-0</sup> <sub>3</sub>	5.0 <sup>-0</sup> <sub>1</sub>	200	400	8	3.76
50	62 <sup>-0</sup> <sub>3</sub>	6.0 <sup>-0</sup> <sub>1.5</sub>	200	400	8	1.40
75	90 <sup>-0</sup> <sub>3</sub>	7.0 <sup>-0</sup> <sub>1.5</sub>	200	400	10	2.48
100	116 <sup>-0</sup> <sub>3</sub>	8.0 <sup>-0</sup> <sub>1.5</sub>	200	400	10	3.75
125	144 <sup>-0</sup> <sub>4</sub>	11.0 <sup>-0</sup> <sub>2</sub>	200	400	15	5.35

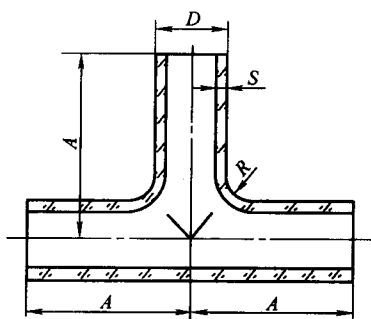


图 3-29 平口等径三通

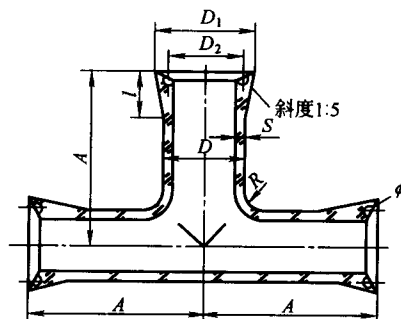


图 3-30 扩口等径三通

(6) 扩口型等径三通的规格 见图 3-30 及表 3-30。

表 3-30 扩口型等径三通的规格

公称直径 DN/mm	管子外径 D/mm	壁厚 S/mm	扩口外径 D <sub>1</sub> /mm	扩口长度 l/mm	边长 A/mm	圆角半 径 R/mm	密封槽中心 圆直径 D <sub>2</sub> /mm	密封槽 直径 φ/mm	质量 /(kg/个)
25	32±1.5	3.5±0.5	40±0.5	20	125	8	33.5	1	0.30
40	45±2.0	3.5±0.5	63±0.5	20	135	8	45.5	1	0.50
50	58±2.0	4.0±1.0	68±0.5	25	150	10	59	2	0.83
65	74±2.0	4.0±1.0	84±0.5	25	165	10	74	2	1.13
80	89±3.0	4.5±1.0	99±0.5	25	175	10	89	2	1.68
100	110±3.0	5.0±1.0	122±0.5	30	200	15	111	2	2.61

(7) 平口型 U 形弯管的规格 见图 3-31 及表 3-31。

(8) 扩口型 U 形弯管的规格 见图 3-32 及表 3-32。

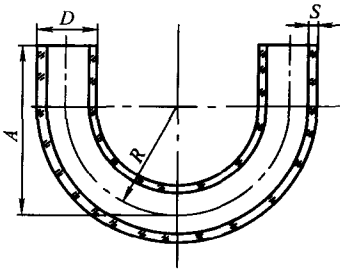


图 3-31 平口型 U 形弯管

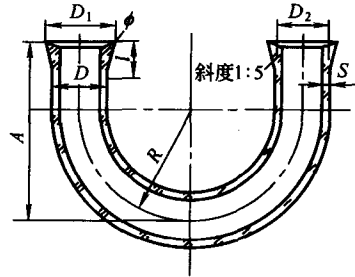


图 3-32 扩口型 U 形弯管

表 3-31 平口型 U 形弯管的规格

公称直径 DN/mm	管件外径 D/mm	壁厚 S/mm	边长 A/mm	弯曲半径 R/mm	质量/(kg/个)
40	50 <sup>-0.3</sup>	5.0 <sup>-0.2</sup>	160	80	0.68
50	62 <sup>-0.3</sup>	6.0 <sup>-0.2</sup>	170	90	1.01
75	90 <sup>-0.4</sup>	8.0 <sup>-0.3</sup>	200	110	2.0
100	116 <sup>-0.4</sup>	9.0 <sup>-0.3</sup>	240	140	3.9
125	144 <sup>-0.4</sup>	11.0 <sup>-0.3</sup>	250	150	5.8

表 3-32 扩口型 U 形弯管规格

公称直径 DN/mm	管子外径 D/mm	壁厚 S/mm	扩口外径 D <sub>1</sub> /mm	扩口长度 l/mm	边长 A/mm	圆角半径 R/mm	密封槽中心圆直径 D <sub>2</sub> /mm	密封槽直径 φ/mm	质量/(kg/个)
25	32±1.5	3.5±0.5	40±0.5	20	120	60	33.5	1	0.29
40	45±2.0	3.5±0.5	53±0.5	20	140	70	45.5	1	0.46
50	58±2.0	4.0±1.0	68±0.5	25	200	100	59	2	0.70
65	74±2.0	4.0±1.0	84±0.5	25	220	110	74	2	0.92
80	89±3.0	4.5±1.0	99±0.5	25	240	120	89	2	1.41
100	110±3.0	5.0±1.0	122±0.5	30	260	130	111	2	2.10

### 3.4.6.2 衬玻璃管及管件

(1) 衬玻璃直管规格 见图 3-33 及表 3-33。

表 3-33 衬玻璃直管规格

公称直径 DN/mm	直管		法 兰								加工尺寸					最大长度 L/mm
	d <sub>H</sub> /mm	D/mm	D/mm	D <sub>1</sub> /mm	D <sub>2</sub> /mm	f/mm	b/mm	d/mm	螺孔数量	K/mm	α	D <sub>3</sub> /mm	D <sub>4</sub> /mm	h/mm	R/mm	
25	32	3.5	115	85	68	2	20	14	4	4	45°	50	52	5	12	1000
32	38	3.5	135	100	78	2	20	18	4	5	45°	55	57	5	12	1500
40	45	3.5	145	110	88	3	20	18	4	5	45°	64	66	5	12	1500
50	57	3.5	160	125	102	3	24	18	4	5	45°	76	78	6	15	2000
70	76	4	180	145	122	3	24	18	4	6	45°	96	98	6	15	2500
80	89	4	195	160	138	3	24	18	4	6	45°	112	114	6	15	3000
100	108	4	219	180	158	3	28	18	8	6	45°	130	132	7	20	3000
125	133	4	245	210	188	3	28	18	8	6	45°	157	159	7	20	2500
150	159	4	280	240	212	3	28	20	8	6	45°	182	184	7	20	2500

注：1. 上表介绍的加工尺寸仅适用使用压力小于 0.6MPa 的情况（连接尺寸为化工部颁标准 Pg10 平焊法兰尺寸）。如果使用压力大于 0.6MPa，则法兰厚度还需适当增加，并采取对应公称压力下的平焊法兰连接尺寸或采用高颈法兰的型式。

2. 管子应采用无缝钢管或铸铁管。

3. 加工的法兰需车成凹槽，加工尺寸参考图 3-33 及表 3-33。图上假想线表示实际加工的凹槽形状，弧线可根据各单位实际制造情况而定。

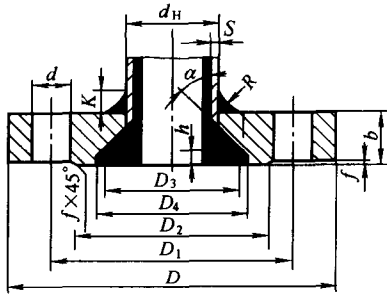


图 3-33 衬玻璃直管

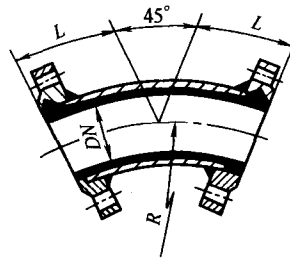


图 3-34 衬玻璃 45°弯管

(2) 衬玻璃管件 衬玻璃 45°弯管、90°弯管、U形管、三通和四通规格分别见表 3-34 和图 3-34~图 3-38。

表 3-34 衬玻璃管件规格 (单位: mm)

公称直径 DN		25	32	40	50	70	80	100	125	150
衬玻璃 90°弯管	R	75	96	120	150	210	255	310	375	450
	L	100	120	145	175	235	280	345	405	480
衬玻璃 45°弯管	R	75	96	120	150	210	255	310	375	450
	L	55	65	75	85	105	120	155	190	210
衬玻璃三通	L	90	95	105	115	130	140	150	165	190
衬玻璃四通	L	90	95	105	115	130	140	150	165	190
衬玻璃 U 型弯管	R	75	96	120	150	210	255	310	375	450
	L	115	140	170	205	275	325	400	475	560

注: 1. 法兰尺寸同表 3-33。

2. 管件应采用无缝钢管或铸铁管。

3. 90°弯管和 U 形弯管的直管段应尽可能的短, 以 25~40mm 为最好。三通和四通的接管长度应尽量短 (以能把上螺栓为限)。

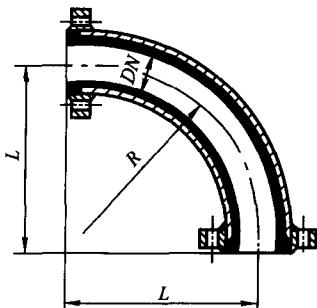


图 3-35 衬玻璃 90°弯管

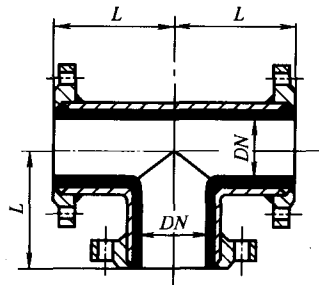


图 3-36 衬玻璃 U 形管

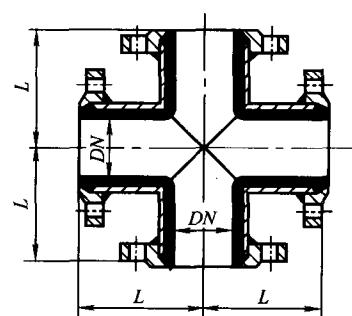


图 3-37 衬玻璃三通

(3) 衬玻璃旋塞规格 图 3-39 及表 3-35, 表 3-36。

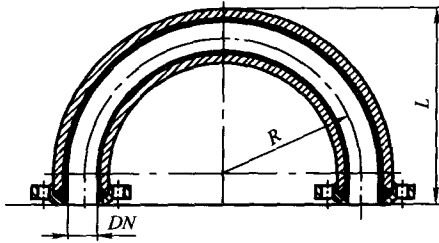


图 3-38 衬玻璃四通

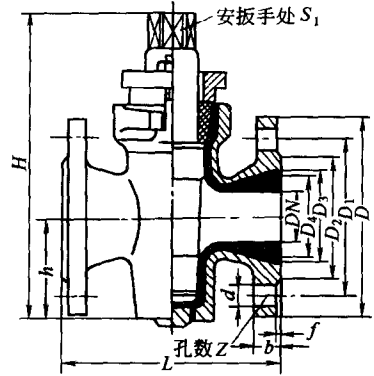


图 3-39 衬玻璃旋塞

表 3-35 衬玻璃旋塞零件

零件名称	材料	零件名称	材料
阀体	灰铸铁内衬玻璃	填料压盖	灰铸铁
阀芯	玻璃		

表 3-36 衬玻璃旋塞规格

公称直径 DN /mm	L/mm	D/mm	D <sub>1</sub> /mm	D <sub>2</sub> /mm	D <sub>3</sub> /mm	D <sub>4</sub> /mm	f/mm	b/mm	H/mm	h/mm	S/mm	螺孔	
												d/mm	个数
25	148	115	86	68	55	53	2	14	200	60	34	14	4
40	154	145	110	88	72	72	3	18	230	72	45	18	4
50	185	160	125	102	82	82	3	18	161	77	57	18	4

- 注: 1. 法兰连接尺寸同 1MPa 的平焊法兰连接尺寸;  
2. 阀芯安扳手的六方头端面上有一道白磁带, 以指示通道的方向。

### 3.5 容器瓶口规格系列推荐

玻璃容器在灌装以后要以适当的方法封口, 封口目的在于防止内装物洒出或氧化腐败。开启时瓶口不会断裂和破裂, 对封口的要求不同, 瓶口结构也不相同。瓶头瓶口设计要尽量参照国际标准组织或国家制定的专业系列标准推荐标准尺寸, 逐步使旋盖螺纹等尺寸规范化标准化。

#### 3.5.1 冠形瓶口

用来承接冠形瓶盖的瓶口叫冠形瓶口。多用于啤酒, 清凉饮料以及启封后不再需要封口的各种瓶子。冠形瓶口结构及各部分名称如图 3-40 所示, 瓶口主要尺寸可参考表 3-37。国家规定的冠形瓶口尺寸如图 3-41 所示, 图中还规定了瓶口与瓶颈的连接尺寸和结构, 即瓶口与瓶颈的过渡部分尺寸应符合图中左图的规定。

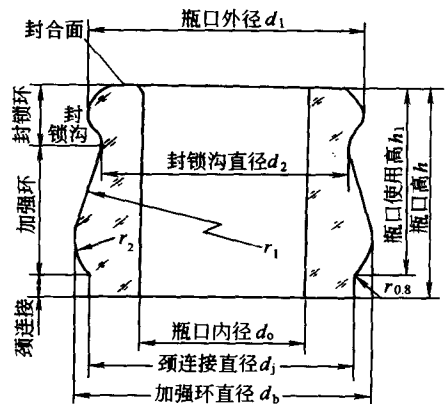


图 3-40 冠形瓶口各部名称

表 3-37 冠形瓶口主要尺寸 (单位: mm)

项 目	规 定				
颈连接直径 $d_j$	22	25.4		28	
瓶口外径 $d_1$	$23 \pm 0.3$	$26.3 \pm 0.3$		$29 \pm 0.3$	
瓶口内径 $d_o$	$13 \pm 0.5$	$16 \pm 1$		$18 \pm 1$	
瓶口高度 $h$	16	16	20	16	16
瓶口使用高度 $h_1$	14	14	18	14	18

注: 紧靠封合面的瓶口内径  $d_o$  不得超过其最大口径值, 以保证封合面具有一定的宽度。

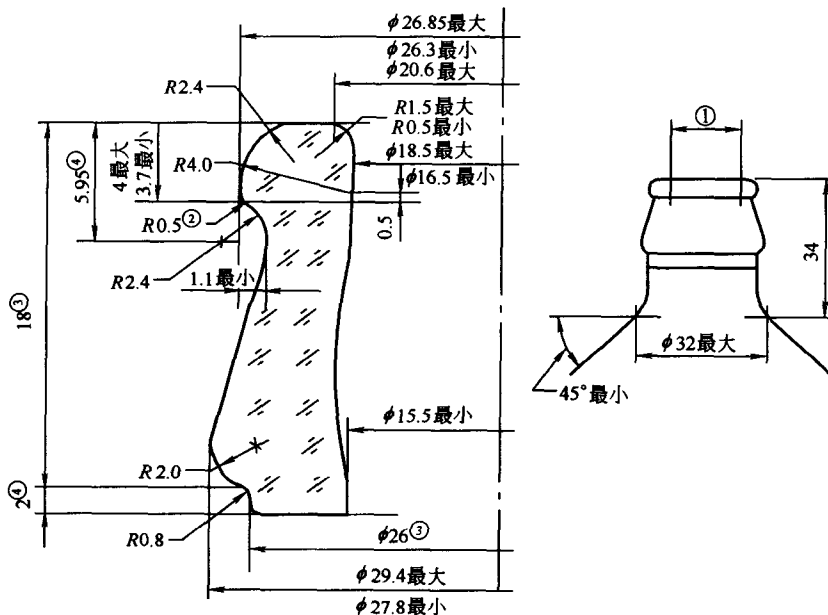


图 3-41 冠形瓶口各部尺寸

①在 1.5~3.0mm 深度处的瓶口内径应介于 18.5mm 和 16.5mm 之间, 需进行重复封装或经受特殊消毒处理的回收瓶, 瓶口内径应介于 16.6mm 和 15.6mm 之间。②最佳半径。

③适用于玻璃制造的公称尺寸。④仅为制造而定的尺寸。

推荐使用的 GA 型、GB 型、GC 型和 GD 型冠形瓶口的尺寸应符合表 3-38 的规定。

图 3-42 是一种特殊的冠形瓶口, 适用于不用启封工具开启的牛奶和果汁瓶。

### 3.5.2 螺纹瓶口

对于经常开启和封闭又不使用开启工具的瓶子, 常采用螺纹瓶口, 它适合于封闭后无需热处理的内容物。

表 3-38 推荐使用冠形瓶口尺寸 (单位: mm)

型式代号	$d_j$	$d_1$	$d_2$	$d_b$	$d_o$	$h$	$h_1$	$r_1$	$r_2$
GA 23-16	22	23	20.5	24.5	13	16	14	35	4
GA 26.3-26	25.4	26.3	23.8	28	16	16	14	35	4

续表

型式代号	$d_j$	$d_1$	$d_2$	$d_b$	$d_o$	$h$	$h_1$	$r_1$	$r_2$
GA 26.3-20	25.4	26.3	23.8	28.5	16	20	18	45	5
GA 29-16	28	29	26.5	31	13	16	14	35	4
GA 29-20	28	29	26.5	31.5	18	20	18	45	5
GB 23-16	22	23	20.5	24.5	13	16	14	15	1.5
GB 26.3-26	25.4	26.3	23.8	28	16	16	14	15	1.5
GB 26.3-20	25.4	26.3	23.8	28.5	16	20	18	20	2
GB 29-16	28	29	26.5	31	18	16	14	15	1.5
GB 29-20	28	29	26.5	31.5	18	20	18	20	2
GC 23-16	22	23	20.5	24.5	13	16	14	22	1
GC 26.3-26	25.4	26.3	23.8	28	16	16	14	22	1
GC 26.3-20	25.4	26.3	23.8	28.5	16	20	18	28	1
GC 29-16	28	29	26.5	31	18	16	14	22	1
GC 29-20	28	29	26.5	31.5	18	20	18	28	1
GD 23-16	22	23	20.5	24.5	13	16	14	5	1
GD 26.3-26	25.4	26.3	23.8	28	16	16	14	5	1
GD 26.3-20	25.4	26.3	23.8	28.5	16	20	18	6	1
GD 29-16	28	29	26.5	31	18	16	14	5	1
GD 29-20	28	29	26.5	31.5	18	20	18	6	1

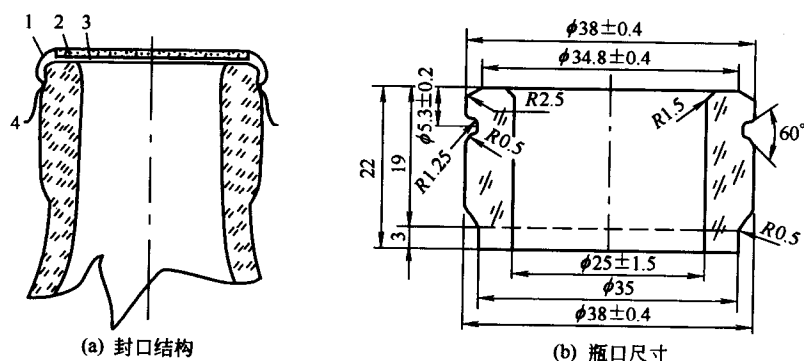


图 3-42 特殊冠口瓶口

1—铝筒型；2—软木垫；3—铝筒；4—自封舌片

封口的螺纹可设计成单头螺纹或多头螺纹。螺纹尺寸和螺距大小应按瓶口尺寸和瓶罐及盖子制造所需的精度来选择。螺纹断面越小，就越难达到所需的精度和封口质量。

酒瓶类螺纹瓶口结构及尺寸见图 3-43 和表 3-39 所示。

表 3-39 酒瓶螺纹瓶口尺寸 (单位: mm)

型 号	$d_j$	$d$	$d_1$	$d_o$	$d_b$	$h$	$h_1$	$t$	$a$	$b$
LA22-16	22	22 <sup>-0.5</sup>	18.96 <sup>-0.5</sup>	12 <sup>+2</sup>	25	16	10 <sup>+0.5</sup>	3	3	4
LA25-26	25.4	25 <sup>-0.5</sup>	22.99 <sup>-0.5</sup>	15 <sup>+2</sup>	28	16	10 <sup>+0.5</sup>	3	3	4
LA25-20	25.4	25 <sup>-0.5</sup>	22.96 <sup>-0.5</sup>	15 <sup>+1</sup>	28	20	13 <sup>+0.5</sup>	3	5	5
LA28-16	28	28 <sup>-0.5</sup>	25.96 <sup>-0.5</sup>	18 <sup>+1</sup>	31	16	10 <sup>+0.5</sup>	3	3	4
LA28-20	28	28 <sup>-0.5</sup>	25.96 <sup>-0.5</sup>	18 <sup>+1</sup>	31	20	13 <sup>+0.5</sup>	3	5	5
LA25-16	22 <sup>-0.5</sup>	25 <sup>-0.5</sup>	22.96 <sup>-0.5</sup>	15 <sup>+1</sup>	25 <sup>-0.5</sup>	16	14 <sup>-0.5</sup>	3	1.5	7
LA28-20	25 <sup>-0.5</sup>	28 <sup>-0.5</sup>	25.96 <sup>-0.5</sup>	18 <sup>+1</sup>	28 <sup>-0.5</sup>	20	18 <sup>-0.5</sup>	3	2	9
LA30-20	28 <sup>-0.7</sup>	30 <sup>-0.7</sup>	27.28 <sup>-0.7</sup>	18 <sup>+1</sup>	30 <sup>-0.7</sup>	20	18 <sup>-0.5</sup>	4	2	9

注: 型号的标注顺序为螺纹口、环箍类型、瓶口外径和瓶口高度等, 如 LA25-16 为外径 25mm, 高度 16mm 的 A 型螺纹瓶口。

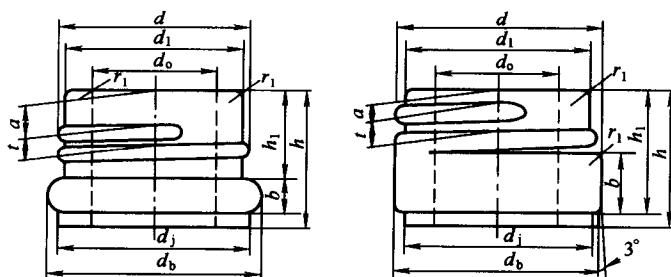


图 3-43 螺纹瓶口结构

### 3.5.3 塞形瓶口

塞形瓶口是一种简单而传统的瓶口型式, 主要用于高档红白葡萄酒和中低档调味品。

塑料塞形瓶口的结构与尺寸, 葡萄酒瓶可选用图 3-44(a), 白酒瓶可选用图 3-44(b), 黏稠液体如油脂、糖浆、果汁等可选用图 3-44(c)。

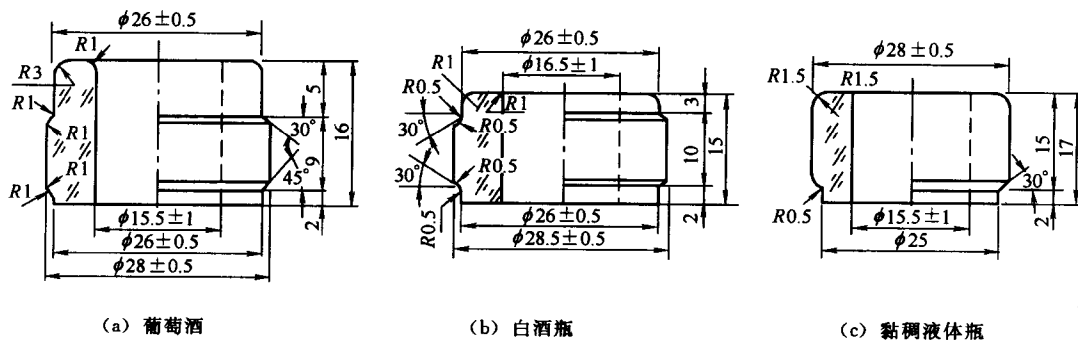


图 3-44 塑料塞形瓶口尺寸

## 3.6 瓶容的设计与计算

为确定所设计瓶罐的实际容量, 要依据瓶罐内容物的性质、封口形式、公称容量 (或用户要求容量)、预留容量等进行分析与计算。食品包装用瓶罐, 往往还要考虑装填后的热处理最高温度等。

公称容量是依据内容物的品种、性质、包装要求确定的, 也可由用户提供。

(1) 公称容量 ( $V$ ) 公称容量是在 20℃ 的规定使用温度下, 灌装到灌装标线时瓶罐容器应有的容积。计算公式如下:

$$V = V_1 / [1 + (T_1 - 20)\beta] \quad (3-1)$$

式中  $V$  —— 公称容量, ml;  
 $V_1$  —— 受热后的内装物容积, ml;  
 $T_1$  —— 内容物最高温度, °C;  
 $\beta$  —— 体膨胀系数,  $K^{-1}$  (见表 3-40)。

表 3-40 部分液体的体膨胀系数  $\beta$

液体名称	水	甘油	酒精	苯	酯	水银
体膨胀系数/ $K^{-1}$	0.000207	0.00055	0.00102	0.001237	0.001656	0.000182

(2) 顶隙容量 ( $V_h$ ) 根据内容物的性质和外观来规定其灌装容量。瓶罐的上部要留有一定的顶隙容量 (膨胀空间), 它是指灌装后液面或内容物表面到瓶盖之间的空间。顶隙容量和容量的比例称为顶隙 (见表 3-41)。顶隙容量的计算公式如下:

$$V_h = K_v V \quad (3-2)$$

式中  $V_h$  —— 顶隙容量, ml;  
 $K_v$  —— 顶隙, %;  
 $V$  —— 公称容量, ml。

表 3-41 部分瓶罐的内容物顶隙  $K_v$  (%)

瓶罐名称	顶 隙	瓶罐名称	顶 隙
1L 饮料瓶	4	香水, 科隆水, 花露水	4
1L 啤酒瓶	4	果汁瓶(大口)	4
0.5L 牛奶瓶	9	果汁瓶(小口)	2
1L 酒瓶	3~4	过氧化物	10
鸡尾酒瓶	2	次氯酸盐	10

(3) 瓶塞容积 ( $V_s$ ) 瓶口型式不同, 封口最低表面也就不同。当采用塞形瓶口或磨塞瓶口时, 瓶塞也占有一定的瓶口空间, 这一空间的容积就是瓶塞容积。

中低档调味品瓶塞容积计算公式如下:

$$V_s = 7.5 \times 10^{-5} \pi D_j^3 \quad (3-3)$$

式中  $V_s$  —— 瓶塞容积, ml;  
 $D_j$  —— 塞形瓶口内径, mm。

高档红白葡萄酒瓶塞容积计算公式如下:

$$V_i = \pi D_i^2 H / 4000 \quad (3-4)$$

式中  $V_i$  —— 瓶塞容积, ml;  
 $D_i$  —— 塞形瓶口内径, mm;  
 $H$  —— 橡木塞高度, mm。

(4) 满口容量 ( $V_o$ ) 满口容量为内容物灌装到瓶罐口平面时的容量。计算公式如下:

$$V_o = V + V_h + V_s \quad (3-5)$$

式中  $V_o$  —— 满口容量, ml;  
 $V$  —— 公称容量, ml;



$V_h$ ——顶隙容量, ml;

$V_s$ ——瓶塞容积, ml。

我国标准瓶型的满口容量可参阅 3.4 节内容。各个国家的满口容量和公称容量也各不相同,如美国财政部规定,进入美国的烈性酒(酒精度在 24 度以上),要符合 6 个强制性容量标准,即 1.75L、1L、750ml、500ml、200ml 和 50ml。美国规定,葡萄酒(酒精度在 24 度以下)要符合 7 个容量标准,即 3L、1.5L、1L、750ml、375ml、187ml 和 100ml。美国用于航空班机上的瓶装酒特殊容量为 187ml。法国瓶装酒容量规定为 50ml、100ml、200ml、500ml、750ml、1000ml 和 2000ml 七种。日本瓶装清酒容量为 900ml、1800ml;瓶装“威士忌”酒为 500ml。

### 3.7 瓶体积设计与计算

瓶体积指玻璃瓶罐所占有的空间。计算时首先要设计好瓶罐外廓,然后,将不规则瓶型分解成若干部分可计算的规则形状,分别用不同的公式或方法进行计算,最后将分部结果相加。例如冠形啤酒瓶可分为瓶口、瓶颈和瓶肩、瓶身、瓶底四部分分别计算相加。

(1) 瓶口体积 ( $V_i$ ) 瓶口体积可分为两部分,一部分是瓶口容量,一部分是瓶口玻璃料体积,即:

$$V_i = V_{i_1} + V_{i_2} \quad (3-6)$$

式中  $V_i$ ——瓶口体积,  $\text{cm}^3$ ;

$V_{i_1}$ ——瓶口容量,  $\text{cm}^3$ ;

$V_{i_2}$ ——瓶口玻璃料体积,  $\text{cm}^3$ 。

其中  $V_{i_1}$  的计算公式如下:

$$V_{i_1} = \pi D_1^2 h_i / 4000 \quad (3-7)$$

式中  $V_{i_1}$ ——瓶口容量,  $\text{cm}^3$ ;

$D_1$ ——瓶口内径, mm;

$h_i$ ——瓶口高度, mm。

瓶口玻璃料立体是一个不规则图形的旋转体,其体积可以考虑为若干个微圆环体积之和。具体计算方法如下:

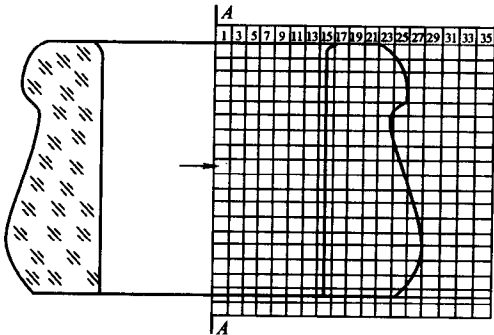


图 3-45 瓶口玻璃料体积计算法

在  $n(\text{mm}) \times n(\text{mm})$  方格计算纸上以  $n:1$  比例放大绘制瓶口轮廓,从 AA 轴开始,把横格编上奇数号,将横格号与瓶口玻璃料所占方格数的乘积加起来,再乘以常数 0.00302,结果为瓶口玻璃料体积(见图 3-45),其计算公式如下:

$$V_{i_2} = 0.00302 \sum S_i D_i \quad (3-8)$$

式中  $V_{i_2}$ ——瓶口玻璃料体积,  $\text{cm}^3$ ;

$S_i$ ——微圆环横截面所占方格数(微圆环横截面积);

$D_i$ ——微圆环奇数编号(微圆环直径)。

(2) 瓶颈和瓶肩体积 ( $V_n$ ) 瓶颈与瓶肩一般为不规则立体,可以考虑为若干处微形规则立体的组合。例如:普通啤酒瓶的瓶颈与瓶肩可分解为若干微圆柱(高度为 10mm 或 5mm)分别计算其体积,然后将结果相加。其计算公式如下:

$$V_n = \sum \pi D_i^2 h_i / 4000 \quad (3-9)$$

式中  $V_n$ ——瓶颈与瓶肩体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $D_i$ ——瓶颈与瓶肩微圆柱平均直径,  $\text{mm}$ ;  
 $h_i$ ——瓶颈与瓶肩微圆柱高度,  $\text{mm}$ 。

(3) 瓶身体积 ( $V_b$ ) 瓶身一般为规则立体, 可直接用公式计算体积。例如一般圆柱形瓶身体积可用圆柱体体积公式计算:

$$V_b = \pi D_b^2 (h_b - h_a) / 4000 \quad (3-10)$$

式中  $V_b$ ——瓶身体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $D_b$ ——瓶身外径,  $\text{mm}$ ;  
 $h_b$ ——瓶身高度,  $\text{mm}$ ;  
 $h_a$ ——瓶身角高度,  $\text{mm}$ 。

(4) 瓶底体积 ( $V_a$ ) 瓶底也是不规则立体, 但可分解为规则立体计算体积。例如, 图 3-46(a) 所示圆柱瓶瓶底可考虑为图 3-46(b) 底环、图 3-46(c) 球面底和图 3-46(d) 底盘的组合。其计算公式如下:

$$V_a = V_{b_1} + V_{b_2} - V_{b_3} \quad (3-11)$$

式中  $V_a$ ——瓶底体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_{b_1}$ ——瓶底底环体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_{b_2}$ ——瓶底球面底体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_{b_3}$ ——瓶底底盘体积,  $\text{cm}^3$ 。

其中底环按扇形旋转体计算体积:

$$V_{b_1} = \pi D_1 F \quad (3-12)$$

式中  $V_{b_1}$ ——瓶底底环体积,  $\text{mm}^3$ ;  
 $D_1$ ——扇形旋转体形心直径,  $\text{mm}$ ;  
 $F$ ——扇形面积,  $\text{mm}^2$ 。

$D_1$  和  $F$  计算 [见图 3-46(e)] 如下:

$$D_1 = d_1 + x$$

$$\text{扇形形心坐标} \quad x = 0.7071y, \quad y = \frac{2R_1 S}{3b}$$

$$F = \frac{\pi R_1^2}{4}$$

球面底可考虑为一圆柱体减去一球冠, 其体积计算公式如下:

$$V_{b_2} = \pi d_1^2 h_1 / 4 - \pi h_2^2 (R - h_2 / 3) \quad (3-13)$$

式中  $V_{b_2}$ ——球面底体积,  $\text{mm}^3$ ;  
 $d_1$ ——球面底圆柱体直径,  $\text{mm}$ ;  
 $h_1$ ——球面底圆柱体高度,  $\text{mm}$ ;  
 $h_2$ ——球面底球冠高度,  $\text{mm}$ ;  
 $R$ ——球面底球半径,  $\text{mm}$ 。

底盘体积按球台计算:

$$V_{b_3} = 0.1309h_3 [3(D_2^2 + D_3^2) + 4h_3^2] \quad (3-14)$$

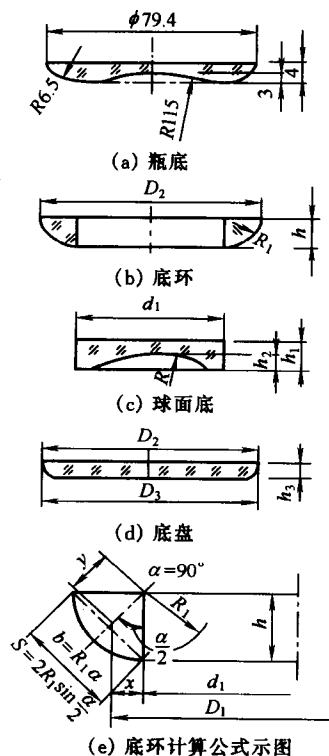


图 3-46 瓶底体积计算示例

式中  $V_{b_3}$ ——球面底盘体积,  $\text{mm}^3$ ;  
 $h_3$ ——球台高度,  $\text{mm}$ ;  
 $D_2$ ——球台上圆直径,  $\text{mm}$ ;  
 $D_3$ ——球台下圆直径,  $\text{mm}$ 。

(5) 瓶体积 ( $V_w$ ) 瓶体积计算公式如下:

$$V_w = V_f + V_n + V_b + V_a \quad (3-15)$$

式中  $V_w$ ——瓶体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_f$ ——瓶口体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_n$ ——瓶颈与瓶肩体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_b$ ——瓶身体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_a$ ——瓶底体积,  $\text{cm}^3$ 。

### 3.8 瓶重设计与计算

计算瓶重应考虑制品壁厚和玻璃料密度, 由于瓶重与生产工艺等因素有关, 所以实际设计中只是根据经验估算。

按瓶罐壁厚计算瓶重的步骤如下。

- ① 绘制瓶形: 在设计瓶型的基础上画上瓶厚度, 即构成计算瓶重的瓶形状图。
- ② 分割瓶全身: 按一定宽度将瓶全身分成若干块, 并测量每块的外径和内径。
- ③ 计算各段体积: 按每瓶平均外径和内径分别计算各段的体积和内腔容积。
- ④ 计算瓶重: 各瓶体积之和与瓶腔容积之和的差再乘以玻璃料密度即得瓶重, 见公式 3-16。

$$G = (V_w - V_o) \rho \quad (3-16)$$

式中  $G$ ——瓶重,  $\text{g}$ ;  
 $V_w$ ——瓶体积,  $\text{cm}^3$ ;  
 $V_o$ ——瓶容积 (即为满口容量对应的内腔容积),  $\text{cm}^3$ ;  
 $\rho$ ——玻璃密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

### 3.9 结构工艺性设计

#### 3.9.1 形状与尺寸

玻璃容器的结构形状已在本章 3.3 节作了叙述, 此处就玻璃制品形状与尺寸的一些值得注意的事项强调如下。

- ① 根据生产的可能性, 设计玻璃制品的形状、尺寸以及壁厚。
- ② 制品壁厚要均匀, 如果构造上需要有不同的壁厚, 应设计成平缓的、圆弧形过渡。
- ③ 制品力求制成流线形, 流线形制品可提高制品的强度和便于模具的制造, 只要有可能, 棱角部位应呈圆弧形, 以利玻璃在模内流动, 并能减少模具因热应力和制品冷却造成的废品。
- ④ 制品的结构要合理, 尽量避免成型以外的任何辅助工序。
- ⑤ 厚壁并不能提高制品的强度, 为了增加制品的强度通常采用表面起棱的方法, 并注意制品壁内玻璃料的正确分布。
- ⑥ 必须防止制品壁产生任何翘曲现象, 玻璃由可塑性状态转变为硬固状态之前就

存在这种翘曲危险，再加上制品各部分收缩不均匀可能增加了翘曲的倾向。消除这种缺陷的最有效方法是做加固棱。加固棱不应构成封闭形，因为这样的棱收缩受阻时产生的应力，在制品表面上形成细裂纹，见图 3-47(a) 所示的制品，它可能在环状棱内产生裂纹。如果不用环状棱，而把每条棱延长到中心 [图 3-47(b)]，即可消除此种缺陷。

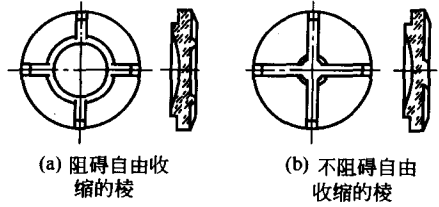
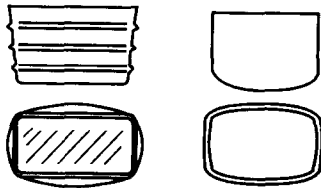


图 3-47 起棱的方法

⑦ 大型空心制品起棱不能消除因挠度引起的壁翘曲现象。翘曲量通常每 200mm 为 1~1.25mm。壁多肉往往在光泽表面上较为显眼，即使不破坏制品强度，通常也有损其外观。一般采用在表面上朝制品出模方向做沟纹或者在底与盖上做波纹即可防止出现上述缺陷。最好的解决方法是使制品壁稍向外凸起（只要制品形状和结构允许这样做的话）。凸起、起棱和沟纹常用于空心玻璃、饮料玻璃、包装玻璃和工业玻璃（图 3-48）。



(a) 壁起棱和做沟纹 (b) 壁凸起  
图 3-48 防止壁翘曲的方法

⑧ 选择瓶颈内径时要考虑拟用的封口形式。瓶口内径同瓶容量和所用的封口形式的相互关系列于表 3-5 和表 3-6。

此外，若成形模同模底的结合垂直于制品轴线的薄壁瓶罐，瓶身底部（参见图 3-49），可采用表 3-42 所列瓶底尺寸，能避免出现瓶底塌陷现象。如果圆角做在模身上的制品（参见图 3-50），可采用表 3-43 所列的瓶底尺寸。对于那些要求瓶底周围和瓶底与瓶身过渡处壁加厚的制品，也可采用表 3-43 所列尺寸。对于有双圆角瓶底的大直径制品（参见图 3-51），可采用表 3-44 所示的瓶底尺寸。

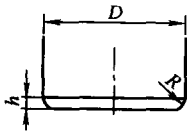


图 3-49 模底面垂直于制品的瓶底

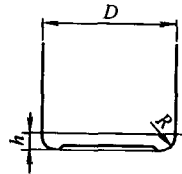


图 3-50 圆角位于模身瓶底

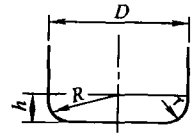


图 3-51 双圆角瓶底

表 3-42 模底面垂直于制品的瓶底尺寸（单位：mm）

项 目	尺 寸												
	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶身直径 $D$	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶底高度 $h$	1.25	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
圆角半径 $R$	2	2.75	3.5	4.25	5	5.75	6.5	7.25	8	8.75	9.5	10.25	11

表 3-43 圆角位于模身瓶底尺寸（单位：mm）

项 目	尺 寸												
	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶身直径 $D$	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶底高度 $h$	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25	9	9.75	11
圆角半径 $R$	1.5	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6	6.75	7.5	8.25	9	9.75	11

表 3-44 双圆角瓶底尺寸 (单位: mm)

项 目	尺 寸												
	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶身直径 $D$	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶底高度 $h$	5	7	9	11	13	15	17	19	22	24	26	28	30
瓶身同底部的结合半径 $R$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
瓶底圆角半径 $r$	2	3	4	5	5.75	6.5	7.25	8	8.75	9.5	10.25	11	12

凸底能提高制品的稳定性。其形状与尺寸, 由于瓶的种类及所用的成型机不同, 可做成各种样式的。机械成型常采用球形凸底, 尺寸参见图 3-52 和表 3-45。

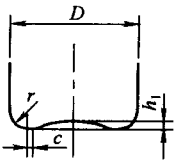


图 3-52 瓶的球形凸底

表 3-45 瓶的球形凸底尺寸 (单位: mm)

项 目	尺 寸												
	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶身直径 $D$	0~20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
瓶底座尺寸 $C$	0.5	0.5	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5
瓶底凸起高度 $h_1$	1	1.25	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5

### 3.9.2 壁厚

一般瓶罐壁的厚度是不均匀的, 对强度影响最大的是其最薄处, 所以设计时应以最薄处为基础进行设计和分析。

图 3-53 为一种罐头最小壁厚的正态分布曲线, 中间突出, 左右两边对称。最小壁厚的平均值为 1.35mm, 标准偏差  $S$  为 0.15mm, 最小壁厚下限为 0.9mm。国外一般采用下列参数来表示瓶罐的厚度:

① 分布系数  $c$  根据生产经验来决定的, 通常, 吹-吹法  $c$  值取 0.6; 压-吹法  $c$  值取 0.64;

② 最小壁厚下限  $d_m$ ;

③ 最大壁厚偏差  $\delta$  从实验数据按统计方法得出;

④ 计算厚度  $d_c$  其定义为:

$$d_c = (d_m + 3\delta) / c \quad (3-17)$$

玻璃瓶罐的设计厚度与设计的瓶罐尺寸和质量有关。但瓶罐的成型厚度却决定于送入成型模内的玻璃液料的温度、成型模的温度、玻璃液料的成分、瓶罐的成型质量以及玻璃液料流入成型模前所流经的距离和时间。所有的这些因素中, 只有成型模温度和玻璃料成分可以可靠地加以调节和控制。所以瓶罐壁厚的设计, 可以通过确定成型工艺的有关参数来实现。

在设计壁厚时, 薄壁的瓶罐应通过生产检验, 以能顺利生产为佳, 厚壁瓶罐则应考虑其脱模和形状的稳定性问题。因为壁厚大, 容易使瓶罐壁内产生应力, 导致脱模困难和出模后因温度较高而产生变形。表 3-46 和表 3-47 为部颁标准的瓶罐壁厚, 表 3-48 为瓶罐壁厚的国家标准。

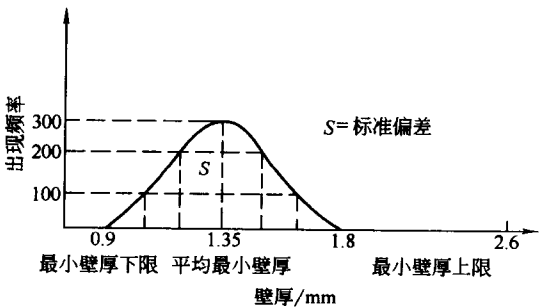


图 3-53 一种罐头瓶最小壁厚的分布曲线

表 3-46 部颁标准普通酒瓶厚度

指标名称	瓶身厚/mm	瓶底厚/mm		底厚薄偏差(倍)
		≤500ml	>500ml	
规定值	≥2	≥3	≥4	≤1

表 3-47 部颁标准啤酒瓶、葡萄酒瓶厚度及瓶重

酒瓶种类	指标名称	瓶身厚/mm		瓶底厚/mm		参考质量/g				
	公称容量/ml	640	350	640	350	640	350	250	500	750
啤酒瓶		≥2	≥2	3~9	3~8	500	350			
葡萄酒瓶								255	380	540

表 3-48 标准瓶罐壁厚

瓶 型	执行标准	公称容量 /ml	瓶身厚度 /mm	瓶底厚度/mm
A 型输液瓶	GB 2639—90	50	≥0.8	≥2.5
		100	≥0.8	≥2.5
		250	≥0.8	≥2.5
		500	≥0.8	≥2.5
		1000	≥1.0	≥3.0
B 型输液瓶	GB 2639—90	50	≥1.0	≥2.5
		100	≥1.0	≥2.5
		250	≥1.2	≥2.5
		500	≥1.2	≥2.5
		1000	≥1.5	≥3.0
模制抗生素瓶	GB 2640—90	5~100		3.0±1.5
管制抗生素瓶	GB 2641—90	5	约 0.8	≥0.4
		7	约 1.1	≥0.4
		10	约 1.1	≥0.4
		25	约 1.1	≥0.45
螺纹口管制瓶	GB 5043—85	2	0.90	>0.40
		3	0.90	>0.40
		5	0.90	>0.40
		7	0.90	>0.40
		10	0.90	>0.40
		5 <sup>Φ</sup>	1.10	>0.40
		7 <sup>Φ</sup>	1.10	>0.40
		10 <sup>Φ</sup>	1.10	>0.40
		15	1.15	>0.40
		20	1.15	>0.50
		25	1.15	>0.50
30	1.15	>0.60		
啤酒瓶	GB 4544—91	355	≥1.3	≥3.0
		640	≥2.0	≥3.0

① 螺纹口管制瓶中, 5ml, 7ml, 10ml 公称容量瓶, 瓶全高分别为 40.00mm、50.00mm、64.00mm, 瓶身外径均为 18.00mm; 5ml、7ml、10ml 公称容量瓶瓶全高分别为 30.00mm、37.00mm、46.00mm, 瓶身外径为 22.00mm。

表 3-49 列出了国外对各种瓶罐的壁厚要求。表 3-50 为国外普通瓶罐常用壁厚，供设计参考，表中所列数据指壁厚平均值。

表 3-49 常用瓶罐的壁厚要求 (单位: mm)

瓶罐名称	计算壁厚	最小壁厚下限	标准偏差
软饮料瓶			
回收瓶	4.4~4.6	2	0.25~0.30
非回收瓶	3.5~3.7	1.1~1.5	0.22~0.27
啤酒瓶			
回收瓶	3.2~3.4	1.2~1.3	0.20
轻量非回收瓶	2.09	0.9	0.12
普通非回收瓶	2.5~2.7	1.0~1.1	0.15
酒瓶			
普通不回收	3.0~3.2	1.1	0.15~0.18
牛奶瓶			
回收瓶	3.6	1.4	0.19~0.23
非回收瓶	3.0	1.1	0.16~0.19
罐头瓶(压一吹法)			
非回收瓶	2.4~2.7	0.9~1.0	0.12~0.17

表 3-50 国外普通瓶罐常用壁厚 (单位: mm)

小边长度(矩形断面)或 制品高度(圆形断面)	大边长度(矩形断面时)或制品直径								
	0~50	50~75	75~100	100~125	125~150	150~175	175~200	200~250	250~300
0~20	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.5	9.0
20~40	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
40~60	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0
60~80	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5
80~100	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
100~125	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5
125~150	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
150~175	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
175~200	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
200~250	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
250~300	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	

总之，整个玻璃制品的壁厚应均匀一致，过渡处应采用圆角。厚度的选择能否同制品尺寸保持正确的比例并满足玻璃制品性质的要求，都取决于设计者的经验多少。

### 3.9.3 孔的设计

玻璃制品成型孔的最小直径通常为 2mm。压制时玻璃施于成型孔的型芯以很大的压力，使它变弯，甚至还会使它折断。此外，型芯受热后，温度升高与下降，也会促使产生上述现象。因此，制品内的孔深最好不要超过按下式计算的结果：

$$L \leq 2.8d$$

(3-18)

式中  $L$ ——型芯长度, mm;  
 $d$ ——型芯最小直径, mm。

为便于型芯抽芯, 它应有一定的拔模斜度。

成型贯穿长孔的  $L/d$  值超过 2.8 时, 应采用在模内相互对接的双芯或者中间留缝的双芯来成型孔 (图 3-54)。假如制品的结构已定, 无法降低孔深, 也不可能采用贯穿式型芯,

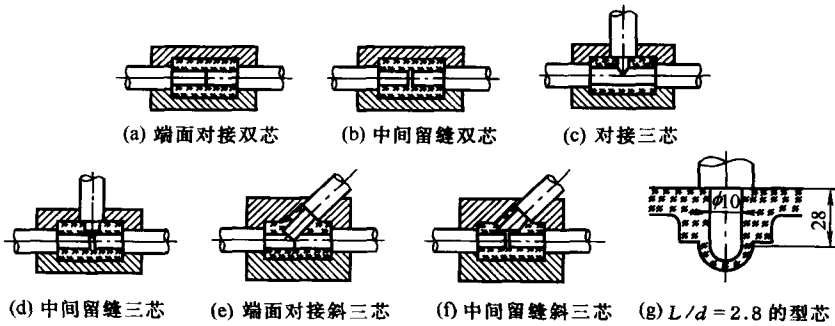


图 3-54 型芯种类

那么可做成阶梯形孔, 以增加型芯的强度, 减少孔的变形 (图 3-55)。

图 3-56 所示的图表供确定两个型芯之间或型芯与零件边沿之间的壁厚  $S$  和盲孔底的厚度  $S'$  用。实践表明, 凡厚度小于图中所示的壁会产生裂缝和翘曲现象。

为了降低有环状凸起 [图 3-56(c)] 的废品率, 建议实际生产采用以下比例:

- 当  $h \leq 2.5\text{mm}$  时,  $h/S \geq 2.5$
- 当  $2.5\text{mm} < h \leq 10\text{mm}$  时,  $h/S \geq 1.6$
- 当  $h > 25\text{mm}$  时,  $h/S \geq 3.5$

环状凸起的壁厚应不小于 1.5mm。如果凸起边沿很尖且其上有细裂纹, 这就意味着壁太薄或玻璃料局部已冷却, 成型时间过长, 此时应减小  $h/S$  值。实际应用这些数据时, 往往需要根据所用

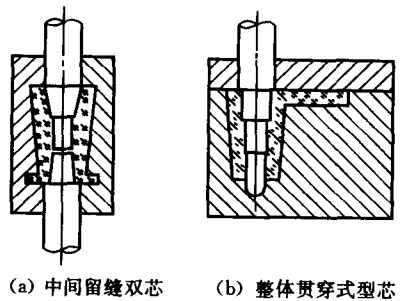
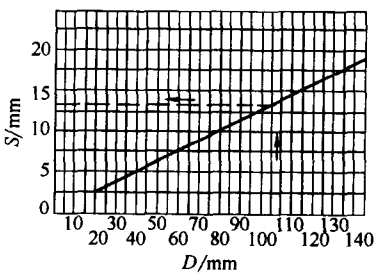
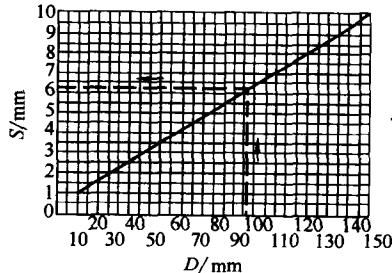


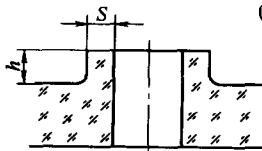
图 3-55 阶梯形孔用的型芯



(a) 推荐采用的环形壁厚



(b) 推荐采用的孔底厚



(c) 环状凸起高度  $h$  与其壁厚  $S$  的示意

图 3-56 壁厚  $S$  和盲孔底厚  $S'$



的玻璃种类加以修正，因为压制的好坏还同其他许多因素有关，如果发现某种缺陷，首先要查明其原因，再设法消除它。

### 3.9.4 螺旋

玻璃制品上的内外螺旋是在模腔内和型芯上成型，螺旋的终端以圆弧形为好。

如果所成型的内螺旋过于靠近制品边沿或位于尺寸比螺旋直径稍大的凸起上，就有产生裂纹的危险。因此，螺旋孔的过桥厚度应比光面孔的过桥厚度至少大一半。

玻璃制品通常有两种螺旋：多线的（图 3-57）和单线的（图 3-58）。其断面的形状不是结构的决定性因素，因此可由设计者任选之。但要考虑因受振动而不松动，接触平面应窄，以免伤手。

图 3-59 所示为国外最常用的螺旋尺寸，若已知螺距  $P$  和直径  $d$ ，则其他尺寸都可按图所列的公式计算。

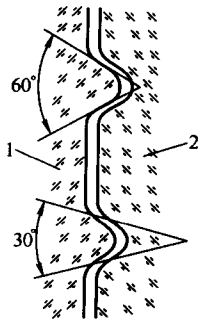


图 3-57 多线内外螺旋断面  
1—螺母；2—螺栓

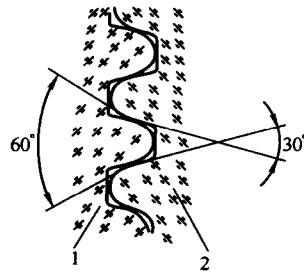


图 3-58 单线内外螺旋断面  
1—螺母；2—螺栓

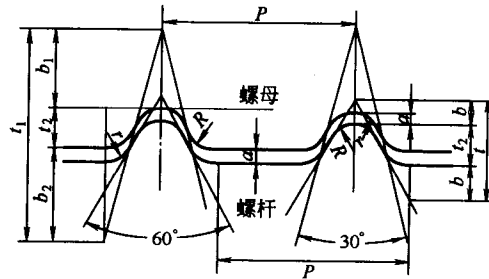


图 3-59 螺旋尺寸计算

$$\begin{aligned} \text{单线螺旋: } t &= 0.866 \frac{P}{2}; t_1 = 1.866 \frac{P}{2}; t_2 = 0.34 \frac{P}{2}; b = 0.263 \frac{P}{2}; b_1 = 0.688 \frac{P}{2}; b_2 = 0.838 \frac{P}{2}; \\ r &= 0.2 \frac{P}{2}; R = 0.24 \frac{P}{2}. \text{ 双线螺旋: } P_1 = \frac{P}{2}. \text{ 三线螺旋: } P_2 = \frac{P}{3}. \\ & a - \text{公差总和} \end{aligned}$$

### 3.9.5 凸起和凹槽

设计表面有凸起和凹槽的玻璃制品时，除保证制品顺利脱模外，还应使模具相应部件的制造方法简单。如果采用可拆卸模，除保证模具易于开启外，还应考虑不损害制品的表面，因此所有各种凸起（直的除外）处的型腔比较复杂。如果采用不可拆卸模，凸起和凹槽应是直的 [图 3-60(a)] 和 [图 3-60(b)]，并平行于制品的出模方向。最好采用薄断面的直的和斜的凸起和凹槽 [图 3-60(c)]。

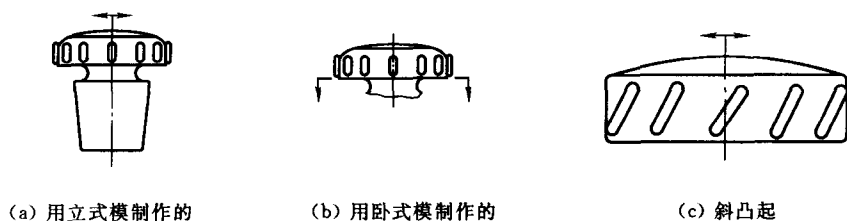


图 3-60 有凸起的瓶塞

设计时最好用图 3-61 所示的凸起、大凹槽或棱面来代替上述玻璃制品的凸起。因为这种凸起便于成型，若凸起不高则不必提前冷却，从而避免了产生细裂纹；大凹槽和棱面还会使玻璃制品不易从手中滑落，且不易损坏。

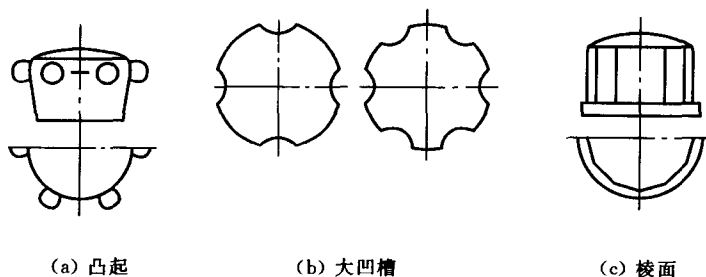


图 3-61 凸起、大凹槽和棱面

### 3.9.6 拔模斜度

压制品的拔模斜度有下列作用：便于制品脱模；出于结构上的原因，使制品断面上的壁厚或增强或削弱；调节玻璃在模腔的流动速度；减少模具变形，有利于提高模具寿命等。

最小拔模斜度取决于模具工作表面的加工质量、玻璃制品出模时玻璃料的冷却程度、玻璃料的成分等因素。表 3-51 所列的是制品的最小拔模斜度，它们是根据实际生产经验和用普通成分的玻璃料以压制法生产的实践结果确定的。

表 3-51 玻璃制品的最小拔模斜度

开模至制品出模之间的时间/s	每 100mm 平面长度的最小斜度/(°)	
	内表面	外表面
5~20	20	40
20~40	40	35
40~60	60	30
60~80	80	25
≥80	100	20

在使用不可拆卸模成型的情况下，只有对那些表面需要完全垂直的制品才允许采用近于 0° 的最小斜度。对所有其他可拆模，只有开模时模壁能较快脱开制品壁，垂直表面才是适宜的。

除此之外，只要结构允许，都应该做成 1° 或更大的拔模斜度，特别是那些为减轻质量而设置的凹槽、加固肋、环形凸起等的模具。

### 3.10 制品公差选择

在玻璃制品成型过程中，由于一些因素的变化，有必要给出一个可接受的制品公差范围。影响玻璃制品精度的因素较多，而且不少是彼此间互不相关的，在生产和成型过程中又不可能予有效调节的因素。因此玻璃制品的公差设定较为复杂，不能只根据玻璃制品的外形及模具的磨损来规定其公差。表 3-52 列出了影响玻璃制品公差的因素。

表 3-52 影响玻璃制品公差的因素

影响公差的因素	制品需要规定的项目						
	内外尺寸	轴向距离	高度	容积	质量	外形变化	壁厚
玻璃收缩率的波动	+	+	+	+	-	+	+
玻璃料滴质量的波动	+	-	-	+	+	-	+
模具零件的尺寸公差	+	+	+	+	+	-	+
模具型腔的磨损	+	-	+	+	+	-	+
模具的活动成型零件与固定成型零件之间的间隙及其偏心率	-	+	-	-	-	-	+
模具材质选择不当	+	+	-	-	-	+	-
模具温度不合理	+	-	+	-	-	+	+
生产制品时产生的机械力	+	+	+	-	-	+	-

注：表中（+）表示相应的因素对公差有影响，（-）表示没影响。

实践证明：通过对影响公差的因素调整，可使玻璃制品达到很高的精度。但是在减小玻璃制品公差时，请设计人员不要忘记所运用的手段都会大大地提高生产费用和废品率。

#### 3.10.1 瓶罐尺寸公差

表 3-53 列出实际生产的制品高度和直径尺寸公差值，其值已考虑到模具的磨损、制品的变形和收缩等因素。根据对制品所提的要求，表中偏差可以变化，如  $\pm 2.5 = \frac{+1.5}{-3.5}$ 。

要精确计算瓶高度尺寸公差（公差=上偏差一下偏差），一般采用下式计算：

$$\Delta h = \pm \frac{\sqrt{h}}{9.85} + 0.15 \quad (3-19)$$

式中  $\Delta h$  —— 瓶高度尺寸公差，mm；

$h$  —— 瓶实际高度，mm；

9.85 —— 常数；

0.15 —— 玻璃与模具收缩量（常数）。

表 3-53 瓶罐尺寸公差（单位：mm）

制品直径	40 以内	40~70	70~100	100~130	130~160	160 以上
制品直径尺寸公差(±)	1	1.25	1.5	2	2.5	3
制品高度	50 以内	50~125	125~200	200~275	275~350	350 以上
制品高度尺寸公差(±)	0.5	1	1.25	1.5	2	3

例 1 若实际瓶高为 250mm, 则公差为:

$$\Delta h = \frac{\sqrt{250}}{9.85} + 0.15 = \pm 1.75 \text{mm}$$

因此瓶高及尺寸公差为  $250 \pm 1.75 \text{mm}$ 。

下式一般用于精确计算直径尺寸公差:

$$\Delta D = \pm \frac{\sqrt{D}}{6.45} + 0.3 \quad (3-20)$$

式中  $\Delta D$  —— 直径尺寸公差, mm;

$D$  —— 直径, mm;

6.45 与 0.3 —— 常数。

例 2 若瓶直径为 60mm, 则公差等于:

$$\Delta D = \pm \frac{\sqrt{60}}{6.45} + 0.3 = \pm 1.5 \text{mm}$$

故瓶径及其公差为  $60 \pm 1.5 \text{mm}$ 。

这样计算得的公差在表 3-53 中圆整到 0.25mm, 在模具和机器设备维护良好的情况下, 公差还可缩小 35%。

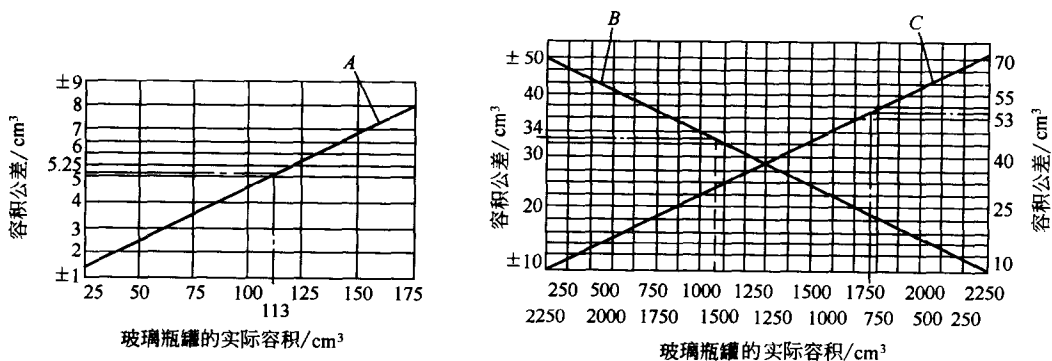
瓶口尺寸公差的范围幅度较小, 通常在  $\pm 0.2 \sim \pm 0.8 \text{mm}$  之间, 其大小取决于所用封口形式。

### 3.10.2 瓶罐容积公差

瓶罐的容积公差可按图 3-62 所示的图表确定。有时要求瓶容积上限偏差大些, 下限偏差小些, 但即使在这种情况下, 公差还应等于图中所示的正负偏差之和。

图 3-62 所示的平均容积公差, 系根据实际经验及订户的要求确定的。其中考虑了可能出现的模腔加工误差及其在使用过程中的磨损, 容积公差则随制品容积和质量增加而增加。

部分标准瓶型的满口容量和容量偏差可查表 3-54。



(a) 容积 175cm<sup>3</sup> 以内的瓶罐

(b) 容积为 250~2250cm<sup>3</sup> 的瓶罐

图 3-62 玻璃制品容积公差计算图

(a) 用法示例: 设制品实际容积为 113cm<sup>3</sup>, 试求其容积公差, 由点 113 引横坐标轴的垂线同辅助线 A 相交, 再由交点做横坐标轴平行线与纵坐标轴交于点 5.25 处, 此数表示容积公差为  $\pm 5.25 \text{cm}^3$ , 圆整为  $\pm 5.5 \text{cm}^3$ 。

(b) 用法示例: 设瓶实际容积为 1475cm<sup>3</sup>, 用同上方法, 但在此系与 B 线相交, 得公差为  $\pm 34 \text{cm}^3$ ; 若为实际容积 1725cm<sup>3</sup> 的罐, 则与 C 线相交得公差等于  $\pm 53 \text{cm}^3$ 。

表 3-54 部分标准瓶型的满口容量及容量偏差 (单位: ml)

瓶 型	公称容量	满口容量	容量偏差
模制抗生素瓶(A型)	5	7.00	±0.70
	7	9.00	±0.70
	8	10.00	±0.80
	10	15.00	±1.00
	15	17.00	±1.00
	20	26.00	±1.10
	25	32.00	±1.10
	30	38.00	±1.40
	50	60.00	±1.80
模制抗生素瓶(B型)	5	7.30	±0.70
	7	9.00	±0.70
	12	16.00	±1.00
管制抗生素瓶	5	7.5	
	7	10.5	
	10	13.5	
	25	28.5	
螺纹口管制瓶	2	3.50	
	3	4.50	
	5	6.50	
	7	8.50	
	10	11.50	
	5 <sup>Ⓧ</sup>	7.50	
	7 <sup>Ⓧ</sup>	9.50	
	10 <sup>Ⓧ</sup>	12.50	
	15	20.00	
	20	24.00	
	25	29.00	
酒 瓶	125	140	±6
	250	270	±8
	355	370	±7
	500	530	±10
	640	670	±10
	750	785	±15

① 见表 3-48 注①。

### 3.10.3 瓶罐质量公差

计算瓶罐的质量公差可按图 3-63 所示的质量公差图确定。质量公差与玻璃料供料方法(自动供料还是手工挑料)有关,一般它取决于供料量的偏差。采用自动供料机和真空吸料式制瓶机(玻璃被吸入初型模模腔)供料时,瓶罐质量公差可降低至很小值。

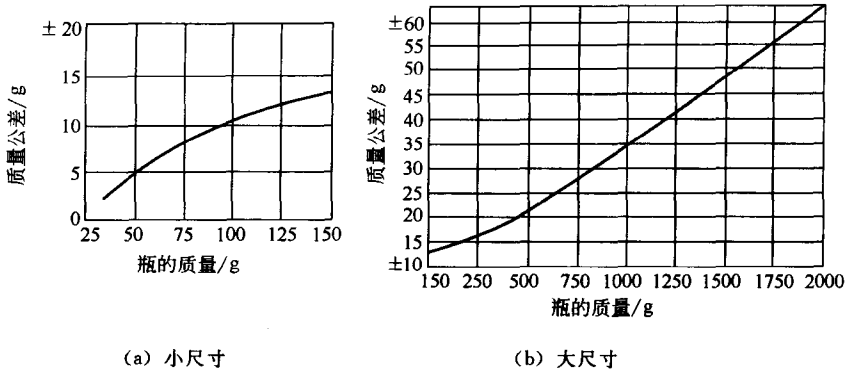


图 3-63 制品质量公差计算图

(使用方法见图 3-62 图注)

公差的规定要合理，公差范围太窄，生产的废品率就会提高。目前的公差还是以传统经验为主制定的。一般是大型瓶罐的公差范围小些，小型容器的公差范围稍大些，常用的公差范围如表 3-55 所列。

表 3-55 玻璃瓶罐公差表

序号	公差	公差范围	说明
1	高度公差	0.5%~3%	按总高度计,高罐取大值
2	瓶径公差	3%~1.5%	小罐取大值,大罐取小值
3	瓶口公差	0.5%	
4	容量公差	1.5%~1%	小罐取大值,大罐取小值
5	质量公差	5%	

注：根据用户对制品所提的要求，表列公差可加以变化，但正负公差的绝对范围应不变。

### 3.11 制品变形考虑

变形是一种缺陷，它不仅破坏制品的外观，而且还常常影响瓶罐的容积、成型过程以及运输过程中的破碎率。变形通常由下列原因引起：

- ① 处于塑性状态的制品，受到外部或内部机械压力的作用；
- ② 塑性状态的收缩应力的作用；
- ③ 制品过早地出模；
- ④ 成型保压时间过短。

通过制品适当的设计、改变生产工艺或修改模具结构，多数变形可以预防，方法如下：

- ① 设计制品应使其壁厚达到均匀分布，如因结构上的原因做不到这一点，应相应地调整模具或制品的冷却。
- ② 应使制品在不致发生自然变形的温度下出模，开模后用空气冷却制品。
- ③ 制品通过相应的操作工序时，要注意制品形状不为运输和辅助设备所改变。
- ④ 在生产中应用环规或塞规检测。
- ⑤ 退火炉内要保持制品退火所必需的足够的温度而又不致使玻璃过热引起变形。
- ⑥ 模具和接合面的配置应做到制品出模不受损伤；在退火炉内运输制品不受任何影响。
- ⑦ 模内和冲头内应设排气孔，以防止制品脱模时产生变形。

- ⑧ 模温要适当均匀，以免玻璃黏附于模具成型表面，应尽量使料团的温度趋于均匀。
- ⑨ 生产的速度应确保制品得以冷却硬化。

### 3.12 玻璃制品的颜色

玻璃制品可以制成无色透明的，也可以加入适量的着色剂使制品着上相应的颜色。可以选用的着色剂种类很多，因此可以说玻璃的颜色几乎是无限的。如使玻璃着红色的有氧化铜、氧化亚铜、硫化镉；着黄色的有氧化铁、氧化铋、银、硫；着绿色的有氧化铬、氧化亚铁、氧化钒等。另外同一种着色剂在不同的碱度，不同的氧化或还原介质条件下可能会呈现不同的色彩。着色的玻璃还可以屏蔽一定波长范围的光线，这点对那些因光照会发生氧化或还原或变质的内容物能起一定的保护作用。例如琥珀色玻璃可吸收波长短于 290~450nm 的光线，无色玻璃可吸收远紫外光线。

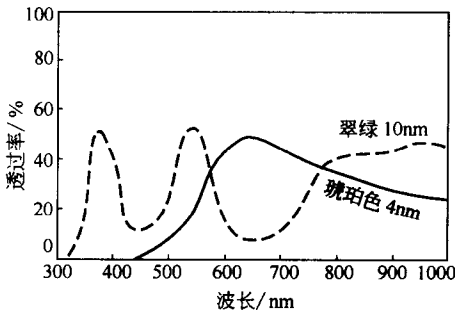


图 3-64 琥珀色与绿色玻璃的透过率曲线

玻璃容器颜色的选择，可以根据内容物品质的要求，包装的需要和装潢装饰的目的确定。如利用无色玻璃使消费者能清楚地看到瓶罐内的产品；无色玻璃的热透性好，有助于池窖的熔制。然而无色玻璃要求原料的含铁量要低，耐火材料的质量也要好，因而成本贵。所以在盛装一般物料时，就可以采用以含铁量较高的原料熔制出来的淡青色玻璃。如要防止啤酒、果酒、果汁等在货架存放时因光照，特别是紫外线照射而变质，需选择琥珀色、茶色、绿色玻璃瓶灌装。深色的玻璃屏蔽紫外线遮光效果

较好。蓝色和乳白色玻璃的装饰效果较好。绿色比琥珀色看起来更透亮些，但琥珀色吸收紫外线能力比绿色大，如图 3-64 所示。

在人类长期对颜色的认识中，形成了对某些颜色喜欢与不喜欢的差别。这是随着人们的生活习惯、气质、心理、文化水平、艺术素养及地区、不同民族的传统习俗等不同以及宗教信仰等多方面原因所产生了对颜色的喜欢与禁忌的现象。因此在玻璃容器和其他玻璃制品（尤其是艺术玻璃制品）的颜色设计中，要充分考虑到这些因素。例如红色在我国一般象征光明、喜庆、吉祥，人们对此比较喜欢，而在另一些国家和地区则表示流血、死亡和经济上的赤字，是不吉祥的象征。不同国家，不同民族和地区的人对颜色的喜欢与禁忌列于表 3-56，以供参考。

表 3-56 不同国家与地区的颜色爱好与禁忌

洲 别	国家与地区	爱好的颜色	禁忌的颜色
亚 洲	中国	红, 黄, 绿	黑, 白
	中国港澳地区	红, 绿, 黄, 鲜艳颜色	黑, 灰
	韩国	红, 绿, 黄, 鲜艳颜色	黑, 灰
	印度	绿, 黄, 红, 橙, 蓝, 鲜艳色	黑, 白, 淡色
	日本	柔和色调	黑, 深灰, 黑白相间
	马来西亚	红, 橙, 鲜艳色	黑
	巴基斯坦	绿, 银色, 金色, 鲜艳色	黑
	阿富汗	红, 绿	
	缅甸	红, 黄, 鲜明色	

续表

洲 别	国家与地区	爱好的颜色	禁忌的颜色
亚 洲	泰国 土耳其 叙利亚 沙特阿拉伯 伊拉克 科威特 伊朗 也门	鲜明色 绿,红,白,鲜明色 青蓝,绿,白 绿,深蓝与红相间,白 绿,深蓝与红相间,白 绿,深蓝与红相间,白 绿,深蓝与红相间,白 绿,深蓝与红相间,白	黑  黄 粉红,紫,黄 粉红,紫,黄 粉红,紫,黄 粉红,紫,黄 粉红,紫,黄
非 洲	埃及 贝宁 博茨瓦纳 乍得 利比亚 毛里塔尼亚 摩洛哥 尼日利亚 多哥 (其他)	红,橙,绿,青绿,天蓝,鲜明色  浅蓝,黑,白,绿 白,粉红,黄 绿 绿,黄,浅淡色 绿,红,黑,鲜艳色  白,绿,紫 明亮色	暗淡色,紫色 红,黑  黑,红  白 红,黑 红,黄,黑 黑
欧 洲	挪威 瑞士 丹麦 荷兰 奥地利 爱尔兰 捷克 斯洛伐克 罗马尼亚 瑞典 希腊 意大利 德国	红,蓝,绿,鲜明色 红,黄,蓝 红,白,蓝 橙 绿 绿 红,白,蓝 红,白,蓝 白,红,绿,蓝 黑,绿,黄 绿,蓝,黄 鲜艳色 鲜艳色	     黑 黑 黑 蓝 黑 紫
北美洲	美国 加拿大	(无特别爱好) 素静色	(无特别要求)
拉丁美洲	墨西哥 阿根廷 哥伦比亚 秘鲁 圭亚那	红,白,绿 黄,绿,红 红,蓝,黄,明亮色 红,红紫,黄,鲜明色 明亮色彩	黑紫,紫褐相间

### 3.13 玻璃制品的化学组成

#### 3.13.1 常见玻璃制品的化学组成

玻璃制品的化学组成的选择及其设计是一项复杂的工作。首先必须确定制品重要的应用



性质，其次应考虑制备性质，然后在它们之间进行权衡，最终决定采用什么原料来制备质量最好或价格最便宜而又满足要求的玻璃制品。表 3-57 给出了各种玻璃成分变化范围的例子。

表 3-57 有代表性的玻璃成分 (质量分数/%)

玻璃类型	NaO	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	ZnO	BaO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	其他
器皿玻璃											
19 世纪中叶瓶	4.7	0.9	20.5	5.4	0	0	0	4.4	0	62.5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
20 世纪中叶瓶	14.5	0.3	9.9	0.3	0	0	0	1.0	0	73.7	SO <sub>3</sub>
20 世纪末叶瓶	13.5	0.4	111.0	11.5	0	0	0	11.0	0	72.3	SO <sub>3</sub>
药用玻璃											
安瓿瓶	9.0	3.0	0	0	0	6.5	0	9.0	8.0	64.5	
安瓿瓶	12.8	0	3.9	1.1	2.3	0	0	8.1	1.4	70.2	
平板玻璃											
浮法(UK)	13.0	0.6	8.4	3.9	0	0	0	1.0	0	72.6	SO <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
弗克法	12.3	0.7	8.8	3.6	0	0	0	1.8	0	72.1	SO <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
铅晶质玻璃											
英国	5.1	7.2	0	0	0	0	30.0	1.0	0	526.5	
欧洲	1.0	14.9	0	0	0	0	24.0	0.1	0	60.0	
化学仪器玻璃											
派来克斯	4.1	0.5	0.3	0.2	0	0	0	2.2	111.9	80.8	
卡瓦赖尔	7.6	7.7	7.4	0.3	0	0	0	0.6	0	76.4	
维克玻璃											
熔化好后	6.6	0	0	0	0	0	0	3.5	26.9	62.7	
浸析后	0.2	0	0	0	0	0	0	0.8	4.0	95.0	
封接玻璃											
铅	4.8	0.7	0.9	0	0	4.6	0	4.8	8.4	75.5	
钨	4.0	1.8	0	0	0	0	0	2.0	16.9	75.3	
玻璃纤维											
E 玻璃	0.5	—	19.0	3.5	0	0	0	15.0	7.0	55.0	F <sub>2</sub>
纺织玻璃	1.0	0	18.0	4.5	0	0	0	14.6	7.4	54.0	
矿物棉	3.5	1.1	10.4	10.3	0	0	0	13.5	0	65.0	15.5Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
C 玻璃	8.5	0	14.0	3.0	0	0	0	4.0	5.0	65.0	
白炽灯玻璃											
灯泡	16.3	1.0	5.5	3.40	0	2.0	0	1.40	0	70.3	
夹头	12.9	0.9	0.4	0	0	0	22.6	0.5	0	61.8	
夹尖	5.1	7.2	0	0	0	0	30.0	1.0	0	56.5	
钠蒸气灯											
内涂层	14.0	0	6.0	0	0	0	0	24.0	48.0	8.0	
内涂层	6.5	0	10.0	0	0	0	0	23.7	37.0	22.6	
内涂层	0	0	5.0	0	0	10.0	0	32.5	24.0	0	28.5P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
外套层	15.0	1.0	6.4	3.7	0	2.3	0	1.5	0.5	69.1	

注：总量不到 100% 是因为没有计入一些微量成分 (如澄清剂或脱色剂)。

一般玻璃制品成分的选择应该根据下列原则。

① 符合质量的要求玻璃制品种类繁多，各种制品质量的要求也各有不同，但必须首先满足其主要要求，如有一定的化学稳定性、热稳定性及机械强度。

② 合工艺上在熔制方面要求玻璃易熔融、易澄清、玻璃液不容易产生缺陷，并有良好的成型和加工性能。

③ 应具有较高的透明度和富有光泽。装饰加工玻璃通常应当是无色透明的，或者是具

有纯净的颜色，并富有光泽。

④ 利用廉价的原料。各地应根据当地原料资源，尽量利用廉价的原料，特别是天然矿物原料，以降低成本。如我国优质的长石、花岗岩质的矿石、瓷土等用于制造玻璃，能有效地节约纯碱，改善制品的性能，所以在设计和选择玻璃的成分时，应考虑到多方面的因素。其中最主要的是熔制条件、成型方法、加工工艺和制品的用途等等。

### 3.13.1.1 平板玻璃

平板玻璃是指其厚度远远小于其长和宽，上下表面平行的板状玻璃制品。玻璃平板及其制品在建筑、交通运输以及各经济部门都有广泛的应用。随着经济的发展，它的生产向多品种及多功能方面发展。其产量及用途，在各种玻璃制品中占有突出的地位，平板玻璃的组成如表 3-58 所示。

表 3-58 平板玻璃的组成 (质量分数/%)

序号	玻璃名称	玻璃成分							
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
1	有碱平板玻璃	72.0~73.0	0.5~2.3	0.10~0.22	6.5~8.0	3.0~4.2	14.5~15.5	14.5~15.5	
2	无碱平板玻璃	72.1~72.4	1.3~1.9	0.15~0.20	7.5~9.8	3.1~4.0	14.3~14.5	14.3~14.5	
3	平拉平板玻璃	72.0	0.6	0.05~0.21	8.0~10.1	4.2	13.0	13.0	
4	压延平板玻璃	70.8~72.5	0.94~1.1	0.07~0.10	8.0~10.5	3.34~4.2	13.6	0.6	0.38
5	浮法玻璃	72.0~72.2	1.3~1.5	0.17	8.2~8.9	2.9~4.0	13.4~14.6	13.4~14.6	0.3

### 3.13.1.2 瓶罐玻璃

瓶罐玻璃具有清洁、透明、美观、化学稳定性好、不透气、易于密封和保持盛装物品性质不变、可以多次周转使用以及制造原料丰富、价格低廉等一系列优点，成为食品、医药等工业广泛采用的包装的容器。几种瓶罐玻璃的组成如表 3-59 所示。

表 3-59 几种瓶罐玻璃组成 (质量分数/%)

玻璃组成名称	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	其他
绿色啤酒瓶	68.0	3.6		0.51	8.5	2.3	1.0	15.7	15.7	0.09	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.07 ZnO1.5 F9.4
棕色啤酒瓶	66.3	5.8		0.7	6.6	2.2		15.5		2.7	
酒瓶	71.5	3.0		0.06	7.5	2.0		15.0			
罐头瓶 (淡青色)	69.0	4.5		0.27	9.0	2.5	0.6	15.0	15.0		
汽水瓶	65.0	8.0		0.5	11.0	4.00	0.30	11.0	11.0		
盐水瓶	74.5	4.5	2.4		5.8			12.8	12.8		
试剂瓶	74.0	4.8	6.0		3.7			11.5	11.5		
盛酸瓶	77.7	2.12	0.48	0.05	3.21	0.73		14.6	0.96		
药用瓶 (硫酸茶色)	71.0	4.0		0.30	7.5	2.0	0.1	15.20	15.2		
文教用瓶	72.0	6.0			5.5	0.5	0.5	15.5	15.5		
化妆品瓶	75.0	2.5			5.5	0.5	0.5	14.5	14.5		
雪花膏瓶 (氟乳浊玻璃)	64.0	5			8.2			13.4	13.4		
美国 1977 平均组成	72.15	2.13		0.11	10.06	0.91	0.08	13.83	0.57		SrO0.04 SO <sub>3</sub> 0.14
日本无色玻璃	72.1	1.80		0.10	5.60	4.20	0.30	15.6	15.6		

### 3.13.1.3 器皿玻璃

玻璃器皿通常指满足人民日常生活和文化生活的玻璃制品。玻璃器皿的种类繁多,按用途可分为饮料器皿(如茶具、酒杯等)、日用杂货(如烟灰缸、花瓶)、炊具(如盘碟、钢化器皿、微波炉盖、煎锅烧锅盖等)、装饰文化用品(教学用和办公用的玻璃制品,玻璃玩具等)。按组成可分为一般器皿玻璃和晶质玻璃两种类型。常用器皿玻璃与晶质玻璃的组成如表 3-60 所示。

表 3-60 常用器皿玻璃与晶质玻璃的组成(质量分数/%)

玻 璃	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	BaO	ZnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	其 他
中国吹制杯	74.3	1.4	0.3			0.6	6.5	1.4	15.3		As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.4
中国压制杯	74.5	1.5	0.3		0.5		6.5	1.5	15		
中国机制高脚酒杯	72.21	1.7			3.77		6.6		14.99	1.35	
美国压一吹法吹杯机(哈特福特 28 型机)	73.0	1.50					6.46	3.8	15.0	15.0	SO <sub>3</sub> 0.25 F <sub>2</sub> 0.10
中国人工成型	75.24		0.52	0.47		0.74	4.95		17.17	0.90	
	75.5	1	0.50		1	1	5		14	1.5	
日本玻璃器皿	72.5	0.15	1.0		3.4		6.8		14.90	1.30	
俄罗斯钢化器皿	71.0	1.65			0.52		9.22	2.76	13.91	0.65	SO <sub>3</sub> 0.28 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.022
国外咖啡壶与烘烤用器皿	81	2	13						4.0	4.0	
国外火焰加热烹饪器皿	55.3	22.6	7.4				4.7	8.5	0.6	0.4	
捷克乳白耐热炒锅	74.0		12.4			8.5			3.0		其他 1.5
国外耐碱液洗涤餐具	65	1.7	0.5	4.6	2.5	2.5	8.0		3.9	10.1	Li <sub>2</sub> O0.4
捷克钾钙晶质	76.65						5.55		2.6	15.20	
	73.32		1.05		1.13		4.96		5.04	14.10	
俄罗斯低铅晶质	66.0			8.0	8.0	2.5			4.9	10.6	
德国低铅晶质	62.5		2.99	18.8					3.47	12.24	
捷克低铅晶质	66.11			17.85			0.5		1.61	13.36	
中国中铅晶质	58.40			25.3					2.41	14.05	
捷克中铅晶质	59.24		0.8	24.35		0.96			2.5	12.47	
美国中铅晶质	56.0		0.2	29.0					2.0	13.0	
俄罗斯中铅晶质	58.5		1.0	24.0		1.0			2.0	13.5	
德国全铅晶质	56.64			30.64	1.15					13.52	
瑞典全铅晶质	53.3		0.4	31.4	0.8				1.0	12.2	
罗马尼亚全铅晶质	53			33					1.0	1.3	
俄罗斯似晶质	58				18	5.0			3.0	16.0	
俄罗斯混合型晶质	53			10.0	17.0	3.0			2.5	14.5	
俄罗斯锆晶质	64					4.7			3.0	12.6	ZrO <sub>2</sub> 6.2

### 3.13.1.4 套色玻璃制品

套色玻璃制品是在无色透明玻璃表面均匀套上一层或多层颜色玻璃或乳白色玻璃而成,属高级艺术玻璃制品。一般用于套制的颜色都比较深,其着色剂的用量约等于普通颜色玻璃的几十倍或数百倍。颜色玻璃是用各种着色氧化物或金属胶体使玻璃着色,着色剂用量则要视颜色玻璃层的厚度而定,常用套色玻璃组成如表 3-61 所示。其中蓝色、绿色、紫色等对玻璃膨胀系数影响不大,而其他颜色如红色、黄色、玫瑰红色等,还应特别注意使它们具有与无色玻璃相近的膨胀系数。

乳白玻璃制品成型时,除注意它的膨胀系数外,在其配方中还要加入适量的乳浊剂。套色玻璃的组成如表 3-61 所示。

表 3-61 套色玻璃的组成 (质量分数/%)

化学组成	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	K <sub>2</sub> O	PbO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	K <sub>2</sub> CrO <sub>7</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Se	SnO	CdS	其他	
颜色	蓝	75	16.5	3	0.8	0.35	2.4	0.9	0.5	0.4							
	蓝绿	75	16.5	3	0.8	0.35	2.4	0.9	0.5		3.2	2					
	绿	75	16.5	3	0.8	0.35	2.4	0.9	0.5			3.2					
	天蓝	75	16.5	3	0.8	0.35	2.4	0.9	0.5	0.012	4						
	紫	75	16	3	0.8	0.35	2.4	0.9	2	0.1						KMnO <sub>4</sub> 2	
	大红	66	11.5		1	8	8.5		3.5					0.68		2	
	黄	66	11.5		1	8			3.5					0.06		2.2	
	橙	66	11.5		1	8	8.5		3.5					0.2		2.2	
	玫瑰红	52.5	1				13.5	30	3				0.5		0.5		Au0.03 Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0.5

3.13.1.5 安瓿和抗菌素瓶与西林瓶

安瓿和抗菌素瓶与西林瓶为硼硅酸盐系统的“中性玻璃”。这一类玻璃的抗水性很好，用以盛装 pH 值等于 7 的中性溶液长时间贮放后其 pH 值不变，因而称为“中性玻璃”。硼硅酸盐中性玻璃一般为无色。着色的安瓿玻璃主要为琥珀色，以隔断紫外线，采用 MnO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 TiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为着色剂。几种硼硅酸盐中性玻璃的组成如表 3-62 所示。

表 3-62 几种中性玻璃的组成 (质量分数/%)

玻璃牌号	国别	化 学 组 成									
		SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZnO
KG N-51A	美国	73.95	9.09	5.42	2.91	0.91	6.4	0.9	—	—	—
KG N-203	美国	73.5	9.5	5.3	2.1	0.9	6.4	0.8	0.6	2.7	—
Jena DX	德国	75.0	6.36	5.05	4.10	0.9	6.49	1.27	—	—	—
NS-1	俄罗斯	73.0	4.5	4.0	MgO1.0	7.0	8.5	2.0	—	—	—
Fiolax8412	德国	74.5	9.9	5.6	3.9	0.5	6.3	—	—	—	—
Fiolax8414	德国	74.5	6.7	4.9	3.1	0.5	6.4	1.3	1.4	5.0	—
French	法国	71.71	6.77	5.27	3.54	0.35	10.94	0.92	—	—	—
Neutral											
Dimbleby	英国	67.0	7.50	8.5	MgO0.3	4.0	8.7	4.0	—	—	—
NO81	中国	74.3	8.0	5.0	1.0		9.0	9.0		ZrO <sub>2</sub> 2.0	0.5
BG NO3	中国	71.5	6.7	5.0	—	3.3	11.5	11.5	—	—	2.0
sh N	中国	74.0	6.0	4.8	2.4	1.0	11.0		MgO0.2	ZrO <sub>2</sub> 0.6	

3.13.1.6 仪器玻璃

通常将用于化学、生物、医学和物理实验室以及生产技术中使用的玻璃器具、管材和装置，称为玻璃仪器。根据不同用途可选择不同的化学组成，仪器玻璃的理化性能也不尽相同，有的侧重于耐热或强度，有的侧重于耐蚀或灯工性能，有的则几方面兼而有之。国际上著名的仪器玻璃组成如表 3-63 所示。

表 3-63 国际上著名的仪器玻璃组成 (质量分数/%)

类别	牌 号	化学 成分								用 途
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	BaO	ZnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
高硅氧玻璃	Vycor	96	0.3	3	—	—	—	—	—	高耐热仪器
高硼硅玻璃	Pyrex-7740	80.5	2.0	12.5	—	—	—	—	4.5	烧器及各种仪器
高铝硼玻璃	Supremax	54	21	10	5	MgO10	—	—	—	燃烧管
中性硼硅仪器玻璃	G-20	76	5	9	0.4	3.6	—	1.2	5.3	一般仪器
中性硼硅安瓿玻璃	KG-N-51A	74.7	5.6	9.6	0.9	2.2	—	0.5	6.4	安瓿
温度计玻璃	Jena16Ⅲ	67.5	2.5	2	7	—	7	—	14	温度计

3.13.1.7 石英玻璃制品

石英玻璃制品是指以二氧化硅为单一成分的玻璃制品。石英玻璃通常分为透明石英玻璃和不透明石英玻璃两大类。透明石英玻璃只有极少量小气泡，有相当高的光学均匀性和透明度，由水晶或四氯化硅（或三氯氢硅）为原料，经高温熔制而成，SiO<sub>2</sub>含量在99.95%以上，高纯石英玻璃含SiO<sub>2</sub>99.999%以上。不透明石英玻璃是以脉石英、石英砂为原料经高温熔制而成，含SiO<sub>2</sub>99.5%以上，同时还含有直径0.15~0.3mm的大气泡与0.004~0.08mm的小气泡，多达10<sup>6</sup>个/cm<sup>3</sup>。各品种的石英玻璃所含杂质（单位mg/kg）见表3-64。

表 3-64 石英玻璃的杂质含量 (mg/kg)

杂质含量 品 种	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Cu	Ni	Sn	Mn	Pb	B
高纯透明石英玻璃	4.0	0.5	3.5	1.2	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.06	0.1
气炼透明石英玻璃	30~100	1.0	1.5	1.0	1.0	0.2	—	—	0.2	—	0.2~0.6
电熔透明石英玻璃	30~150	5	5	5	1	0.5	—	—	0.2	—	0.3~0.6
不透明石英玻璃	0.03	0.015	0.02	0.005	0.005	0.002	—	—	—	—	—

3.13.1.8 光学玻璃制品

光学玻璃制品是构成光学仪器和装置的核心。眼镜、照相机、摄影装置、电视、电影机、显微镜、夜视仪、指挥仪、瞄准器等民用和军用的光学仪器和装置，都要用光学玻璃作为关键元件材料。几类典型光学玻璃组成如表3-65所示。

3.13.1.9 技术玻璃制品

一般说来，技术玻璃制品是根据特殊用途制成的玻璃制品，其成分、性能、制造工艺与一般工业和日用玻璃有所差别。几种技术玻璃组成如表3-66所示。

3.13.1.10 玻璃纤维

玻璃纤维是一种人造无机纤维。按其形态可分为连续玻璃纤维、定长玻璃纤维及玻璃棉。用于复合材料的主要为连续玻璃纤维，它是由熔融的高温黏性玻璃体从漏孔流出而拉成的无限长的玻璃纤维，单纤维直径为3~9μm。

纤维玻璃是玻璃制品中的一类。它的化学成分既需要具备玻璃熔制方面的一般通性，也要满足玻璃纤维成型的一些工艺性能，更重要的是还要满足工程材料上的某些理化性能。对

不同用途的纤维玻璃，都有相应的玻璃成分。可分为普通纤维玻璃和特种纤维玻璃两大类。普通纤维玻璃包括无碱玻璃（E玻璃）、中碱玻璃（C玻璃）和高碱玻璃（A玻璃）等；特种纤维玻璃具备某些特殊物理化学性能，如石英纤维、高硅氧纤维、高强度纤维、高模量纤维、耐辐射电绝缘纤维、抗碱纤维、涂金属纤维、空心玻璃纤维以及光学玻璃纤维等等。它们的典型化学组成如表 3-67~表 3-69 所示。

表 3-65 几类典型光学玻璃制品的组成（质量分数/%）

化学组成 光学玻璃	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	ZnO	BaO	PbO	MgO
K <sub>9</sub>	66.21	8.17			17.80		1.93		4.93		
BaK <sub>7</sub>	49.83	5.32			7.24	1.36		12.53	20.51	2.61	
ZK <sub>10</sub>	32.20	11.85		3.35				8.44	42.73	0.61	
PK <sub>1</sub>		4.04	71.11	9.09	10.71						4.04
ZF <sub>6</sub>	31.09				2.11	0.91				65.59	
ZbaF <sub>20</sub>	25.54	10.89		1.48			6.53	3.37	34.16	11.19	
LaK <sub>2</sub>	3.11	41.68					14.00	10.14			
LaK <sub>7</sub>	2.77	29.12						1.19			
ZlaF <sub>1</sub>	5.27	24.62						2.19			

化学组成 光学玻璃	CdO	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>
K <sub>9</sub>				0.97						
BaK <sub>7</sub>			0.50	0.20						
ZK <sub>10</sub>			0.31	0.51						
PK <sub>1</sub>			1.01							
ZF <sub>6</sub>				0.30						
ZbaF <sub>20</sub>		5.84	0.50	0.50						
LaK <sub>2</sub>		4.44		0.26	26.37					
LaK <sub>7</sub>	2.96	7.45			47.08	6.98		2.00	0.45	
ZlaF <sub>1</sub>	4.96	7.45			47.38		3.68		4.45	

表 3-66 几种技术玻璃制品的组成（质量分数/%）

序号	玻璃名称和用途	玻璃成分				
1	吸收 X 射线和 Y 射线玻璃	SiO <sub>2</sub>	PbO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	
		20	82.6	2.6	2.2	
2	吸收中子玻璃	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CdO	CaF <sub>2</sub>	
		26	2	64	8	
3	重碱光学玻璃	SiO <sub>2</sub>	PbO	K <sub>2</sub> O	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		31.60	65.35	2.85	0.20	
4	电极玻璃	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O	Cs <sub>2</sub> O
		53.8	3.5	18.6	12.0	12.1
5	低融玻璃	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	ZnO	
		5	15	64	16	

续表

序号	玻璃名称和用途	玻璃成分				
		B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BeO	Li <sub>2</sub> O		
6	透 X 射线玻璃	83	2	15		
7	半导体(氧化物)玻璃	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>5</sub> O <sub>5</sub>	BaO		
		85	10	5		
8	高折射率玻璃( $n_D=2.2$ )	TeO <sub>2</sub>	PbO	BaO		
		80	14	6		
9	聚焦型光学纤维玻璃	SiO <sub>2</sub>	PbO	Ti <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
		48	24	16	12	
10	高硅氧基玻璃	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	
		63	27.9	2.0	6.8	
11	高绝缘微晶玻璃	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	
		42.8	30.2	13.0	14.0	
12	可切削微晶玻璃	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	
		47.2	8.5	16.7	14.5	
13	零膨胀微晶玻璃	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O	MgO ZnO	ZrO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		65	23	3.8	1.8 1.5	2 2 0.9
14	可伐封接玻璃	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	
		65	25	1.8	8	
15	铝封接玻璃	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO+As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
		73	14	2.3	3.0	7.5
16	钠蒸气放电玻璃	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	MgO	
		36	27	27	10.0	
17	吸收红外线玻璃	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O FeO
		40.0	30.0	10.0	10.0	10.0 2.5
18	耐氢氟酸磷酸盐玻璃	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO		
		72	18	10		

表 3-67 国外玻璃纤维成分(质量分数/%)

成分	E 玻璃	C 玻璃	A 玻璃	S 玻璃	Cemfil 玻璃
SiO <sub>2</sub>	55.2	65	72.0	65.0	71.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.8	4	2.5	25.0	1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.3	5	0.5		
ZrO <sub>2</sub>					16
MgO	3.3	3	0.9	10.0	
CaO	18.7	14	9.0		
Na <sub>2</sub> O	0.3	8.5	12.5		1
K <sub>2</sub> O	0.2		1.5		
Li <sub>2</sub> O					1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3	0.3	0.5	微量	微量
F <sub>2</sub>	0.3				

表 3-68 中国玻璃纤维成分 (质量分数/%)

成分	无碱	中碱 5#	中碱 5-2#	高碱	高强 2#	高模量 M <sub>2</sub>	耐碱 R <sub>13</sub>	耐碱 83-10
SiO <sub>2</sub>	54.4	67.3	67.3	71	52~57	48~54	59~63	58~62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.9	7	5	3	20~25	16~22		<3
CaO	16.6	9.5	9.5	8			<5	8~13
MgO	4.6	4.2		3	10~14	18~23		0~4
Na <sub>2</sub> O	<0.5	12	12	15			8~13	10~13
K <sub>2</sub> O							1.5~3.7	
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.5		2.0		<5			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0.5	<0.5	<0.5		<1.2			
CeO <sub>2</sub>					1~2	1~3		
Li <sub>2</sub> O					0.8~1.2			BaO<1
ZrO <sub>2</sub>						0~4	13~16	9~14
TiO <sub>2</sub>	微量					0~4	4~8	0~4

表 3-69 中国几种特种玻璃成分 (质量分数/%)

成分	特殊玻璃			
	半导体	低介电	耐辐照	高硅氧纤维
SiO <sub>2</sub>	45~50	52~56	50~55	60~70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8~12	14~17	20~25	少量
CaO	6~12	1~4	10~15	
MgO	0~2	1~4	10~15	
K <sub>2</sub> O	微量	微量	微量	微量
Na <sub>2</sub> O	0~4	0~4	0~4	0~4
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5~10	5~10	5~10	5~10
BaO	1~5	1~5	1~5	1~5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	微量	微量	微量	微量
MnO	微量	微量	微量	微量
CuO	10~20	10~20	10~20	10~20
CeO <sub>2</sub>	微量	微量	微量	微量
ZnO	微量	微量	微量	微量
Li <sub>2</sub> O	0~1	0~1	0~1	0~1

表 3-70 给出了一些国外重要的商品玻璃化学组成。

玻璃 1~3 分别为浮法玻璃、器皿玻璃和白炽灯泡用玻璃，其化学成分很相近。这些玻璃器皿的制备成型有其一定的黏度—温度特性。玻璃具有良好的化学稳定性，而且原材料价格低廉。此外，除对玻璃 3 需要控制热膨胀系数外，对其他两种玻璃没有特别的技术要求。

玻璃 4 为传统的铅晶质玻璃成分，较高的 PbO 含量使玻璃具有较高的折射率，打磨后灿烂耀目，类似成分的玻璃还用于制造用作白炽灯的高电阻玻璃。

玻璃 5~7 为重要的硼酸盐系玻璃。玻璃成分 5 因具有较低的热膨胀系数和良好的抗酸、抗化学侵蚀能力，被广泛用于制造化学器皿及厨房烧具。玻璃 6 和 7 具有与某些金属相一致的热膨胀系数用作封接玻璃。玻璃 6 用于封接铁-镍-钴合金、铁镍合金、镍铬合金、并广



表 3-70 一些国外商品玻璃成分 (质量分数/%)

玻璃品种编号	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	PbO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	Li <sub>2</sub> O	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ThO <sub>2</sub>	ZnO
1	72.8	0.7		3.6	8.8		13.8							
2	72.0	1.3		3.5	8.2		14.3							
3	71.5	2.0		2.8	6.5		15.5	1.0						
4	56.0					29.0	2.0	13.0						
5	80.8	2.2	12.0	0.3	0.3		4.2	0.6						
6	67.5	2.5	21.7				3.2	4.2						
7	75.5	2.6	16.0				3.7	1.7						
8	52.9	14.5	9.2	4.4	17.4		1.0	1.0						
9	67.0	5.0					7.0	8.3	11.7	0.6				
10	68.3	0.2	2.2	4.6		2.9	14.4	7.0						
11	26.9	0.5				71.3	1.0							
12			20.0								36.0	28.0	16.0	
13	5.5	17.5	16.0		9.5				52.0					
14	5.0		17.0			64.3								14.0

泛用于管道大面积封口及端口小范围封接。玻璃 7 具较低的热膨胀系数，可以封接钨。

玻璃 8 属高熔点、低碱铝硅酸盐系玻璃，即所谓的 E 玻璃，用于玻璃钢（玻璃纤维增强复合材料）和玻璃纤维纺织物的制造起电绝缘作用。

玻璃 9 为电视机显像管的玻璃组分。

玻璃 10 及 11 为光学玻璃，其折射率分别为 1.518 和 1.805。玻璃 12 也用作光学玻璃（折射率为 1.85），可以用替代高铅玻璃，制造高精度透镜系统。

玻璃 13 在高温下能抗钠蒸气侵蚀，可镀膜于低压钠灯的玻璃泡内电弧管上。

玻璃 14 为焊接玻璃，550℃ 时其流动性很好，可用于无变形焊接。类似于组分 3，由碱钙玻璃制得。焊接玻璃热膨胀系数必须与所要焊接物相符合。

### 3.13.2 化学组成设计

#### 3.13.2.1 设计原则

玻璃的化学组成是计算玻璃配合料的重要依据，它对玻璃的物理和化学性质有着重要影响。改变玻璃的化学组成即可改变玻璃的结构形态，从而使玻璃的性能发生变化。在生产中往往通过改变玻璃的组成来调整性能和控制生产。对于新品种玻璃的研制或对现有玻璃性能的改进，都必须首先从设计和确定它的化学组成开始。

玻璃的科学研究，特别是性质与组成依从关系的研究，为玻璃组成的设计提供了重要的理论基础。但是理论只能定性地指出设计的方向，要得到合乎预定要求的玻璃，还必须通过实践，对拟订的玻璃组成进行反复的实验调整，最后才能将组成确定下来。

在设计玻璃组成时，应当注意以下原则。

- ① 根据组成、结构和性质的关系，使设计的玻璃能满足预定的性能要求。
- ② 根据玻璃的形成图和相图，使设计的组成能够形成玻璃，析晶倾向小（微晶玻璃除外）。
- ③ 根据生产条件使设计的玻璃能适应熔制、成型、加工等工序的实际要求。

④ 所设计的玻璃应当价格低廉，原材料易于获得。

在设计玻璃的组成时，首先要依据玻璃所要求的性能选择适宜的氧化物系统，以确定玻璃的主要组成。通常玻璃的主要组成氧化物有 3~4 种，它们的总量往往达到 90%。在此基础上再加入其他改善玻璃性能要求的必要氧化物，拟定出玻璃的设计组成。例如，设计耐热性和耐蚀性要求较高的化工设备用玻璃时，首先要考虑采用热膨胀系数较小，化学稳定性好，机械强度高的  $R_2O-R_2O_3-SiO_2$  或  $RO-Al_2O_3-SiO_2$  系统的玻璃。为了使设计的玻璃析晶倾向小，可参照有关相图，在接近共熔点或相界线处选择组成点。这些组成点在析晶时会形成两种以上的晶体，引起相互干扰，成核的概率减小，不易析晶。同时这些组成点相对应的熔制温度也较低。应用玻璃形成图时，应当远离析晶区选择组成点，设计的组成应当是多组分的，这也有利于减小析晶倾向，一般工业玻璃的组成氧化物在 5~6 种以上。对于引入其他氧化物及其含量，则主要考虑它们对玻璃性能的影响。例如，引入离子半径小的氧化物有利于减小热膨胀系数和化学稳定性，也可以利用双碱效应改善玻璃的化学稳定性及电性能等，有时可应用性质计算公式进行预算。也要考虑对  $BO_3$  与  $BO_4$  和  $AlO_4$  与  $AlO_6$  的转变影响。最后还要添加适当的助熔剂和澄清剂，以使玻璃易于熔制和成型。

### 3.13.2.2 设计步骤

(1) 列出设计玻璃的性能要求 列出主要的性能要求，作为设计组成的指标。针对设计玻璃制品的不同，分别有重点地列出其热膨胀系数、软化点、热稳定性、化学稳定性、机械强度、光学性质、电学性质等。有时还要将工艺性能要求一并列出，如熔制温度、成型操作性能和退火温度等，作为考虑因素。

(2) 拟定玻璃的组成 按照上述设计原则，根据设计玻璃的性能要求，参考现有的玻璃组成，采用适当的玻璃系统并结合给定的生产工艺条件，拟定出设计玻璃的最初组成（原始组成）。然后按有关玻璃性质计算公式，对设计玻璃的主要性能进行预算，如果不合要求，则应当进行组成氧化物的增减和引入量的调整，然后再反复进行预算、调整，直到初步合乎要求，即可作为设计玻璃的实验组成。对于新品种玻璃则应参照有关相图和玻璃形成图选择组成点，拟出玻璃的原始组成，再进一步设计出玻璃的实验组成。

(3) 实验、测试、确定组成 按照拟定的玻璃实验组成，制备配合料，在实验室电炉中进行熔制实验，并对熔好的玻璃进行有关性能的测试。通过实验和测试，对组成逐次调整修改，直至设计的玻璃达到给定的性能要求和工艺要求，然后在池炉中进行生产实验。在生产实验时对熔化、澄清、成型及退火等工序都应采集数据，必要时再对组成氧化物进行调整，最后确定新设计的玻璃组成。

### 3.13.2.3 举例

设计一瓶罐玻璃，使其化学稳定性和机速比现有的玻璃高，工艺条件与现有玻璃基本相同，而且价格要低。

现有玻璃的组成为： $SiO_2$  72.9%， $Al_2O_3$  1.6%， $CaO$  8.8%， $B_2O_3$  0.4%， $BaO$  0.5%， $Na_2O+K_2O$  15.6%， $SO_2$  0.2%。

按下述步骤进行设计。

(1) 列出设计玻璃的性能要求 a. 提高化学稳定性；b. 增加机速；c. 降低价格；d. 其他性能不应低于现有玻璃。

(2) 拟定玻璃的组成 以现有玻璃为参考，进行组成的调整。

① 瓶罐玻璃中碱性氧化物 ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ) 对玻璃的化学稳定性影响最大，为了提高设

计玻璃的化学稳定性，必须使设计玻璃中的  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  含量比现有玻璃低，同时适提高  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量。

② 由于要求增加机速，设计玻璃的料性应当比现有玻璃短，同时考虑到  $\text{MgO}$  对提高化学稳定性有利，而又能防止析晶，为此在设计玻璃中添加了  $\text{MgO}$ ，从而使  $\text{MgO}+\text{CaO}$  的含量比现有玻璃中的  $\text{CaO}$  含量高。

③ 为了降低玻璃的价格，将现有玻璃组成中的  $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{BaO}$  去掉。

④ 用萤石为助熔剂，并增大澄清剂（芒硝）的用量，以加速玻璃的熔化和澄清。根据综合考虑拟定出设计玻璃的组成，并通过有关性质公式预算，与现有玻璃比较，使之符合要求。

设计玻璃的组成和现有玻璃组成对比见表 3-71，性能对比见表 3-72。

表 3-71 设计玻璃组成和现有玻璃组成的对比

组成氧化物	现有玻璃的组成/%	设计玻璃的组成/%	氧化物差值/%
$\text{SiO}_2$	72.9	73.2	+0.3
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.6	2.0	+0.4
$\text{CaO}$	8.8	6.4	-2.4
$\text{MgO}$	—	4.5	+4.5
$\text{BaO}$	0.5	—	-0.5
$\text{B}_2\text{O}_3$	0.4	—	-0.4
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	15.6	13.5	-2.1
$\text{Fe}$	—	0.25	+0.25
$\text{SO}_2$	0.2	0.25	+0.25
总量	100	100.1	+0.1

表 3-72 设计玻璃和现有玻璃的性能对比

性能	现有玻璃	设计玻璃	差值
1475℃时澄清时间/min	50	40	10
热膨胀系数 $\alpha/(10^7/^\circ\text{C})$	89.8	81.5	-8.3
$\eta=10^6 \cdot 65 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时软化温度/ $^\circ\text{C}$	712	735	+23
相对机速	100%	106%	+6%
工作范围温度/ $^\circ\text{C}$	182	187	+5
析晶指数	+22	+27	+5
$\eta=10^{12} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时料滴温度/ $^\circ\text{C}$	1191	1226	+35
$\eta=10^{12} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时退火点/ $^\circ\text{C}$	530	548	+18
应变点/ $^\circ\text{C}$	488	503	+15

(3) 实验、测试 通过熔制试验和对熔化玻璃的性质进行检测，设计的玻璃符合原先提出的性能要求，即确定为新设计的玻璃组成。

为了简便起见，可以只测定玻璃的热膨胀系数、软化温度和退火点，其他性能按下列公式计算：

① 相对机速

$$\text{相对机速} = \frac{f-450}{(f-A)+80} \quad (3-21)$$

式中  $f$ ——软化温度，即黏度为  $10^{6.65} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  时的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$A$ ——退火点，即黏度为  $10^{12} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  时的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

上式必须在同样的生产条件，即同样的生产设备，生产同样的产品和同样的操作下才能和现有玻璃来比较。

#### ② 工作范围指数

$$\text{工作范围指数} = f - A \quad (3-22)$$

#### ③ 析晶指数

$$\text{析晶指数} = \text{工作范围指数} - 160 \quad (3-23)$$

指数为正则不析晶，指数为负则有析晶潜力，即当玻璃在低温供料时，成型大尺寸制品或压制成型均有析晶可能。

#### ④ 料滴温度

$$\text{料滴温度} = 2.63(f-A) + f \quad (3-24)$$

### 3.14 现代玻璃对玻璃原料的要求

#### 3.14.1 玻璃原料的成分控制

对于玻璃原料，不仅要求它的有效氧化物的含量高，有害杂质少，难熔重金属氧化物的含量极少，更重要的是氧化物含量的波动要小，控制在工艺上允许的波动范围内。针对平板、瓶罐、器皿玻璃等钠钙酸盐玻璃，国际上目前推荐的玻璃原料成分控制界限如表3-73所示。表中所列数值与我国许多玻璃工厂的实际情况相差悬殊，但这毕竟是努力目标。

表 3-73 钠钙酸盐玻璃用主要天然玻璃原料的成分

原料名称	氧化物	边界值/%	允差/%
砂子	$\text{SiO}_2$	$>99.5$	$\pm 0.2$
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$< 0.3$	$\pm 0.05$
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$< 0.05$	$\pm 0.01$
白云石	酸不溶矿物	$< 0.5$	$\pm 0.2$
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$< 0.3$	$\pm 0.1$
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$< 0.2$	$\pm 0.05$
石灰石	酸不溶矿物	$< 1$	$\pm 0.2$
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$< 0.3$	$\pm 0.1$
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$< 0.2$	$\pm 0.05$
长石	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\approx 14.5$	$\pm 0.5$
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$< 0.2$	$\pm 0.1$
	$\text{Na}_2\text{O}$ 或 $\text{K}_2\text{O}$	$\approx 10$	$\pm 0.5$

有的原料虽然在有效氧化物的含量和波动方面都比较满意，但是含有过量的难熔重矿物（简称 RHM），这种原料也不能算是满意的，甚至不能用，因为难熔重矿物在熔制玻璃过程中极难溶解，残留在成品玻璃中形成玻璃缺陷。表 3-74 是主要玻璃原料中常见的难熔重矿物名称。对难熔重矿物从粒子大小和数量两个方面都做了规定。

一般控制的限度如下：

按质量计 60 目 (0.246mm 粒径) 筛上的 RHM 最大含量为 0.0003%；

按粒子数目计 40 目 (0.350mm 粒径) 筛上的最多粒子数为 2 粒；40 目 (0.350mm 粒径) 筛下 60 目 (0.246mm 粒径) 筛上的最多粒子数为 20 粒。

表 3-74 一些主要玻璃原料中常见的难熔重矿物

原料名称	难熔重矿物的名称			
砂子	硅线石	兰晶石	红柱石	锆英石
	尖晶石	刚玉	铬铁矿	高岭土
石灰石	刚玉	尖晶石	铬铁矿	
白云石	刚玉	尖晶石	铬铁矿	
长石	硅线石	刚玉	锆英石	铬铁矿
	尖晶石	锡石	蛇纹绿柱石	

### 3.14.2 玻璃原料的粒度控制

控制玻璃原料粒度的好处如下：

① 减少各种玻璃原料的粒度分散性能显著提高玻璃配合料的均匀性，从而最终提高玻璃制品的成品率和产品质量，降低成本；

② 能减小原料中有效成分的波动；

③ 对减少原料中重矿物有利。

表 3-75 是国际上对主要玻璃天然原料的粒度要求和我国大多数玻璃工厂目前主要玻璃原料的粒度大致情况。

表 3-75 国际上及我国主要玻璃天然原料的粒度分布

原料名称	粒径/mm	粒度分布/%	
		国外概况	我国概况
砂子	>0.6	0	16
	>0.5	<2	11
	>0.3	<20	26
	0.1~0.3	主要部分	31
	>0.1	<5	16
白云石	>2.0	<15	0
	>1.0	>20	2
	0.5~1.0	主要部分	25
	<0.5	<10	28
	<0.1	<10	45
石灰石	>2.0	<15	0
	>1.0	>20	0
	0.5~1.0	主要部分	6
	<0.5	<10	53
	<0.1	<10	41
长石	>0.4	0	24
	>0.3	<5	22
	0.1~0.3	主要部分	26
	<0.1	<20	28

### 3.14.3 玻璃原料的 COD 值控制

大量研究和实践进一步说明要想熔窑内的对流稳定，玻璃中氧化铁的两价态量和三价态量的比例必须要相对稳定。单靠控制窑炉空间的氧化还原气氛是不够的，更重要的是控制配

合料的氧化还原气氛和控制配合料中的碳素物质（碳素物质含量简称 COD 值）。表 3-76 是玻璃中常见原料的 COD 典型值及变化范围。

表 3-76 各种玻璃原料的 COD 值 (mg/kg)

物 料	范 围	典 型 值
砂 子	70~270	150
石灰石	100~800	500
海水石灰石	4000~4400	4200
纯碱	20~150	75
长 石	100~350	260
高炉炉渣	9000~12000	10000
碳（煤）	590000~680000	650000
芒硝（人造丝附产）	70~120	100
芒硝（造纸附产）	600~750	635

现代化玻璃生产中，人们把原料的成分控制、粒度控制和 COD 值控制并列为高效玻璃生产的三个关键要素。采用这种控制技术，无论是引进的现代化的配料设备和计算机控制系统，还是使用国内研制的设备与系统用于生产后经济效益都很好，玻璃制品的质量也有明显的提高。

### 3.15 制品强度设计

玻璃容器的强度是玻璃容器结构设计中要特别考虑的问题。容器的强度受到其结构形状、质量、作用应力和表面状态的制约。现以玻璃瓶的强度与分析为例进行介绍。

#### 3.15.1 玻璃瓶的强度指标

##### 3.15.1.1 抗拉强度

玻璃的理论抗拉强度（指分子间的强度）为  $10^4$  Pa。由于存在着不可避免的宏观与微观缺陷，实际抗拉强度只有理论值的 0.2%~1%。玻璃为脆性材料，其抗压强度比抗拉强度约大 10~20 倍。因此，玻璃瓶的强度是以抗拉强度为着眼点。

##### 3.15.1.2 内压强度

内压强度是玻璃瓶强度的重要指标，受玻璃原料、瓶的造型、生产与成型工艺等因素的影响。瓶型对内压强度影响很大，一般瓶型越复杂其内压强度就越低。

啤酒和汽水瓶等常温下的耐内压力为 0.2~0.4MPa，40℃时为 0.35~0.6MPa。为了安全，玻璃瓶实际耐内压试验压力应比上述值约大 3~4 倍，耐内压力指标见 4.1 节。

由一定的压力引起的瓶内表面应力差与外表面相比可以忽略不计。瓶身的内应力与瓶外径（不同壁厚）成线性关系如图 3-65 所示。从图可见，瓶内的内压为 0.98MPa 时，同一壁厚的瓶外径  $R$  越大，内应力越大；同一瓶外径  $R$ ，壁厚越小，内应力越大。

瓶身内应力的计算公式：

$$\sigma_n = P(R^2 + r^2) / (R^2 - r^2) \quad (3-25)$$

式中  $\sigma_n$ ——瓶身内应力，kPa；

$P$ ——瓶内压力（980.7kPa）；

$R$ ——瓶身外半径，mm；

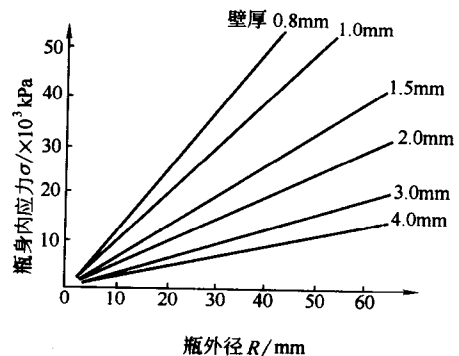


图 3-65 内压产生的瓶身内应力与瓶外径的关系

$r$ ——瓶身内半径, mm。

圆形瓶的耐内压强度之大小, 随瓶直径、壁厚和划伤程度的不同而变化, 瓶身能够承受的最大内压力可按下式计算:

$$P=2\delta[\sigma]/D \quad (3-26)$$

式中  $[\sigma]$ ——玻璃的许用应力, MPa;

$D$ ——圆瓶瓶身内直径, cm;

$\delta$ ——圆瓶瓶身壁厚, cm;

$P$ ——瓶内的内压, MPa。

GEHLHOFF-TOMAS 提出允许用应力  $[\sigma]=64.96\text{MPa}$ 。

瓶的造型对内压强度影响很大, 如将圆形截面的瓶身强度定为 100%, 则椭圆形 (长、短径之比为 2:1) 为 50%, 正方形截面的瓶身强度只有 10%~25%。

但在实际使用中, 玻璃容器常为非圆柱体, 在瓶肩处、瓶颈处、瓶底处和瓶底, 曲率和厚度变化十分严重, 因此玻璃瓶的安全许用的应力值降低。为此, 各国标准化组织都对玻璃瓶相应的内压强度做了规定, 达不到规定强度的玻璃瓶不能使用。

### 3.15.1.3 热冲击强度

热冲击强度是指玻璃瓶耐骤冷骤热性能的指标。玻璃瓶受到急冷或急热作用时, 由于热胀冷缩使瓶壁内产生复杂的温度应力, 如图 3-66 所示。

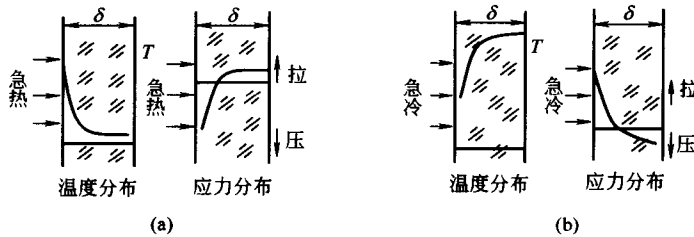


图 3-66 玻璃容器壁急热或急冷时的温度应力

由图可见, 当瓶外部受急热作用时, 外表面的压应力远大于内壁面的拉应力; 相反, 当瓶外部受急冷作用时外表面的拉应力远大于内壁面的压应力。据研究瓶壁越薄, 产生的应力越小。因急冷或急热作用而产生的最大应力值超过玻璃的抗拉或抗压强度时, 导致瓶壁破裂, 称为热冲击破裂, 此种破裂常发生在瓶身与瓶底过渡下部的外表面。当玻璃瓶受骤冷骤热作用发生热胀冷缩时, 瓶壁内就产生复杂的应力, 当此应力超过玻璃强度时, 即发生破裂。

按热应力观点, 圆形瓶热应力可用下式描述:

$$S=3.5\Delta T\delta^{0.5} \quad (3-27)$$

式中  $S$ ——热冲击产生的张应力, MPa;

$\Delta T$ ——温度差, °C;

$\delta$ ——瓶壁厚度, mm。

在热冲击下, 瓶子受热产生压应力较大, 受冷产生张应力较大, 所以瓶子受热时不易破裂, 受冷时反而容易破裂。

从热冲击强度的角度分析, 可以得出对设计玻璃容器结构有用的结论: 容器壁越薄越好, 厚度越均匀越好。

### 3.15.1.4 水冲击强度

水冲击力是指瓶罐突然往下移动时，由于内容物悬空，致使瓶罐与内容物之间产生空隙，而口部空间被压缩。此压缩力又传给内容物，在内容物恢复原来位置时给瓶底一个剧烈地冲击内压力。在这种冲击力作用下，发生两种现象：其一是约在  $1/10000\text{s}$  时间内产生  $0.25\sim 0.18\text{MPa}$  的压力，这时，底部压力相当于高。而接近口部空间的压力瞬间急剧降低；其二是在约  $1/1000000\text{s}$  时间的产生高达  $350\sim 3500\text{MPa}$  的压力。这两种压力叠加在一起便引起各种形态的水冲击。水冲击强度难以定量计算，故此项目指标目前尚无明确规定。

### 3.15.1.5 机械冲击强度

试验证明，当瓶子的侧壁受冲击，可产生 3 种主要的应力（见图 3-67）：接触应力、弯曲应力和扭转应力。接触应力最大，弯曲应力次之，接触应力和弯曲应力虽然比扭转应力大，但它们集中在一个很小的区域，只要局部无伤痕，发生破裂的可能性不大；而扭转应力虽小但很重要，因为它作用在瓶子外表面很大的区域上，由于外表面常有伤痕，所以几乎实际破裂全是由扭转应力引起的。

机械冲击的冲量是作用在被撞物体上的力对时间的积分，在弹性的范围内，不论壁厚的大小，冲击能量终会被撞击所伴生的变形所吸收，于是减少破裂。

图 3-68 为摆锤冲击不同壁厚瓶与接触时间的关系。从图可知，壁厚越小，接触时间越长，所吸收的冲击能量越多，瓶罐的冲击强度越高。

由于瓶的各部形状与相对位置不同，因而各部的冲击强度也不同。图 3-69 表明了以钢球冲击玻璃瓶各部所得到的结果。由图可知，玻璃瓶承受机械冲击的薄弱部位在瓶颈与瓶口处。

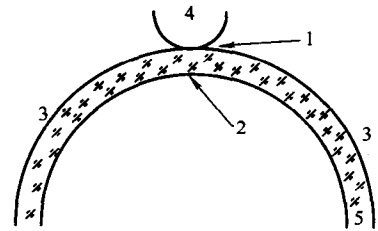


图 3-67 碰撞时产生的应力

1—接触应力；2—弯曲应力；3—扭转应力；4—物体；5—瓶身

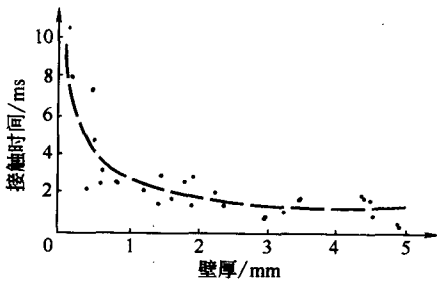


图 3-68 摆锤冲击不同壁厚瓶的接触时间

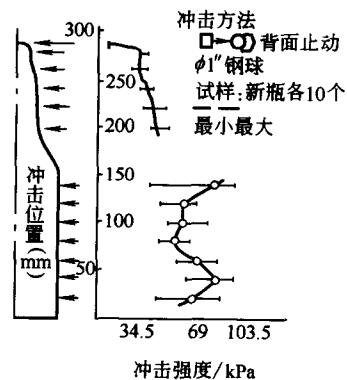


图 3-69 玻璃瓶各部的冲击强度

玻璃瓶在灌装、装箱、运输、销售和使用过程中，受到的冲击次数、冲击大小、冲击方式、波形等难以估计，因而至今尚无标准化的试验方法和定量的技术指标。

瓶在使用、运输及销售中可能出现如下两种形式的机械冲击。

① 翻倒冲击 玻璃瓶在桌上翻倒时的冲击强度与瓶的质量大小及瓶型有关。图 3-70 所示



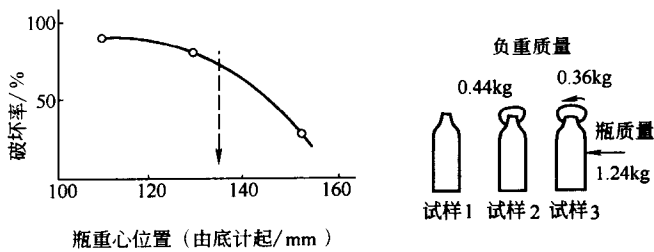


图 3-70 玻璃瓶翻倒冲击试验

的试验方法是以瓶口加重物而改变瓶的重心位置的方式来模拟瓶重心高度的变化。试验结果表明，质量大小相同的瓶子，重心位置高的瓶型翻倒冲击强度高，翻倒破损率小，这一结论与重心位置高而稳定性差是两个不同的概念。

② 落下冲击 充填商品后的玻璃瓶，使瓶底下处于水平或歪斜等方式从一定高度自由落下，观察瓶的各部是否破坏。此种试验结果可以综合表明瓶的水冲强度和冲击强度。

### 3.15.1.6 垂直荷重强度

玻璃瓶在灌装、压盖、开盖和码垛时，都要受到垂直方向的荷重作用，玻璃瓶承受垂直荷重的能力，并非单纯反映玻璃的抗压强度，而是与瓶型密切有关的综合性荷重性能。瓶肩的形状不同，其能够承受的强度有很大差别，瓶肩形状圆滑平缓的较肩形成直角的垂直荷重强度大 14 倍，如图 3-71 所示。

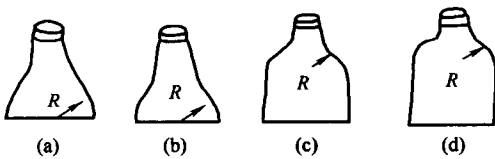


图 3-71 瓶身形状与垂直荷重

(a) 4.5t; (b) 3.6t; (c) 1.8t; (d) 0.3t

### 3.15.2 结构强度分析

玻璃容器的结构形状，直接决定玻璃容器的结构强度。一般玻璃容器的形状越接近球形结构，其强度就越大，瓶型越复杂，强度就越小。外形竖直平滑瓶的结构强度通常比形状曲折变化瓶的结构强度大，从本质上

看，这是由于玻璃冷却凝结时，在形状变化区域的局部集中了残余应力，当瓶受力时，残余应力与外力叠加作用，使得瓶的表观强度下降。从瓶型变化曲率来看，变化过渡区的曲率半径越小，应力集中就越大，强度降低就越多。在玻璃应力观测仪的屏幕上，可以清楚地看到在瓶肩、瓶底边弯折区域，存在着明显的应力。

评定瓶型对制品强度设计优劣的条件很多，有时各条件间还存在着相互矛盾的现象。但从力学的观点来看，玻璃瓶造型最好是高度不大，无尖角或尖棱，各部分之间采用缓和过渡的光滑线型。




玻璃瓶的造型变化无穷，对强度有一定程度的影响。不同用途的玻璃瓶造型要求从实际出发加以考虑。例如，需要多次回收的啤酒瓶和汽水瓶等饮料瓶，往往造型十分简单，而化妆品用瓶很注重造型装饰，优美高雅，具有艺术性。按照力学原理，瓶型越接近球形越好，而瓶型的线条则越简单越好。

### 3.15.3 瓶罐的形状与强度

#### 3.15.3.1 肩部的形状与强度

玻璃瓶的肩部形状主要影响瓶的垂直荷重强度，三种用圆锥形连接起来的肩型设计与强度的关系如表 3-77 所示。

表 3-77 肩型设计与强度

强度类别	肩型		
			
垂直荷重强度	劣	良	良
机械冲击强度	劣	尚可	良
水冲击强度	劣	尚可	良

瓶肩是瓶颈和瓶身的过渡部位，从使用和制造出发需要以曲线逐渐缓和地过渡。在实用上，瓶肩多是圆滑过渡。一般情况下，溜瓶肩比平肩或端肩的强度高十几倍。实验证明，瓶肩线的曲率半径越大，垂直荷重强度越高，如图 3-72 所示。

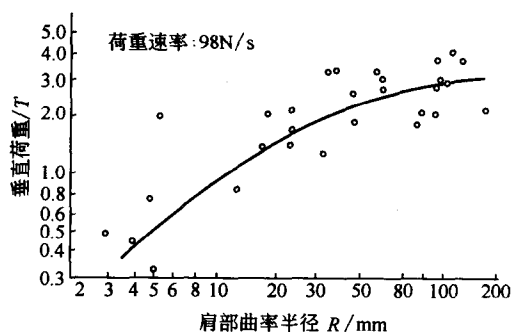
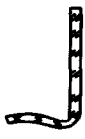




图 3-72 瓶肩曲率半径与垂直荷重的关系曲线

### 3.15.3.2 瓶身瓶底连接的形状与强度

瓶身下部和瓶底形状对强度的影响较复杂，表 3-78 表示了 3 种瓶身瓶底连接的形状与强度的关系，从综合性能来看，瓶身与瓶底平缓过渡的构型较好。

表 3-78 瓶身瓶底连接的形状与强度

强度类别	瓶身瓶底连接的形状		
			
垂直荷重强度	良	尚可	尚可
机械冲击强度	劣	良	良
水冲击强度	劣	尚可	劣
热冲击力强度	劣	良	良

### 3.15.3.3 瓶底形状与强度

一般瓶罐的瓶底向内凸一些，以增加瓶罐的稳定性，防止擦伤，同时对增大内压强度和水冲击强度也很有利。花纹底边还可以使瓶底部分因接触温差而受到的热冲击作用降低。

### 3.15.3.4 瓶身形状与强度

玻璃瓶子的横截面形状主要影响瓶子的内压强度，几种横截面形状的内压强度比较如表 3-79 所列。

表 3-79 瓶身断面形状与耐内压强度的比值

瓶身水平断面形状	耐内压强度的比值	瓶身水平断面形状	耐内压强度的比值
圆形	10	正方形、四个角较大	2.5
椭圆形(长短轴比为 2:1)	5	正方形、四个角较尖锐	1

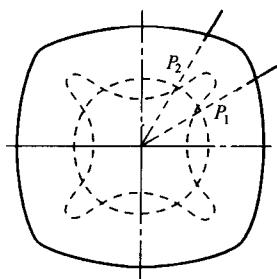


图 3-73 四面体瓶瓶壁内的应力分布

当瓶呈圆柱形时，瓶在内外压力作用下，周身表面各处形成的应力相同，在内压力作用下为张应力；在外压力作用下为压应力；圆柱瓶一般不存在残余应力。如果瓶形状为椭圆形或矩形等非圆截面，瓶内的内压力力图使瓶体变为圆柱体。如果瓶内有一定的真空度，则外部大气压力就力图使瓶壁压进去，这些作用在瓶的整个瓶壁上的压力不相同，再加上内外压力和残余应力的叠加，周部常常产生很高的应力，应力的方向在各处不同的，与圆柱形瓶体相比，强度变低，容易发生破裂。图 3-73 所示是四面体瓶瓶壁内的应力分布。外压力引起的瓶壁内应力分布如图中虚线，虚圆表示零应力线。虚圆与虚曲线交点（即  $P_1$ 、 $P_2$  等）和其他诸点均无任何应力。在虚圆内的虚曲线表示相应的瓶壁处作用着压应力；虚圆外虚曲线表示的力为张应力。

由上述分析可知，在设计异形瓶时，应根据制品壁内的应力方向，正确地选择和设计瓶型及壁厚，以改善异形瓶的性能。

### 3.15.3.5 瓶罐的表面状态与强度

玻璃制品的破坏往往是从表面微裂纹开始的，随着裂纹的逐渐扩展会导致整个制品破裂。由于微裂纹的存在，玻璃的抗折强度要比抗压强度低  $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{5}$ 。微裂纹是一种宏观缺陷，一般玻璃表面都存在着宽  $10 \sim 20\text{nm}$ ，深度不小于  $100\text{nm}$  的裂纹。微裂纹的存在，使制品在受热或受负载作用或受水汽介质作用时，就会向纵深发展，从而加剧制品破裂，使强度显著下降。

玻璃制品表面的擦伤与磨损对强度有很大的影响，伤痕愈大愈尖锐，强度降低就愈显著。

当张力  $\sigma$  与伤痕垂直，应力集中值  $\sigma_m$  可用下式表示：

$$\sigma_m = 2\sigma(c/R)^{0.5} \quad (3-28)$$

式中  $R$  —— 曲率半径；

$c$  —— 伤痕长度。

为此在设计时，可以采取一定的措施改善瓶的表面状态以提高瓶的强度，如涂覆表面涂层或进行表面处理；也可以设计些构件，使接触集中在那些对玻璃瓶强度影响极小的特定接触区域内，如在底部支承面压花纹，或在瓶身较突出部位设计凸纹或箍圈，把碰撞接触集中在这些部位，这样就既美观，又同时大大避免了瓶身的受损，从而保持足够的强度。例如，在啤酒瓶的使用及回收过程中，剧烈的相互撞击经常存在，频繁的撞击使得啤酒瓶产生微裂纹和疲劳破坏，于是再次使用时，只要有一点外界因素（如物理的冲击、温度突然改变）就会破裂或爆炸。为了提高加强环的缓冲性能，可以在环上进行压花处理，使瓶体的相互撞击被加强环缓解掉，避免瓶身其他部位的撞击。这样不仅能够避免微裂纹的出现，也能防止相互撞击产生的疲劳破坏。

### 3.15.3.6 瓶的壁厚与强度

前面讨论强度问题时，都是假定瓶的壁厚相同。瓶壁增厚，除热冲击强度外，其余各种强度均匀提高。图 3-74 表明随着壁厚的增加，瓶的冲击强度有所提高，壁厚约在 3mm 以上的玻璃瓶，其冲击强度高，在碰撞时一般产生局部破坏。

在一定的环境温度下，薄壁使温度迅速趋于均衡，所产生的热应力变小，只有温差较大时才有可能超过材料的极限强度。

此外，玻璃瓶的使用年限长短与强度有关，由图 3-75 所示，玻璃瓶承受内压的强度逐年降低，因此，回收复用的玻璃瓶应定出年限。

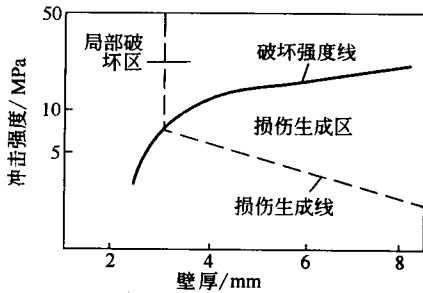


图 3-74 玻璃容器壁厚与冲击强度的关系

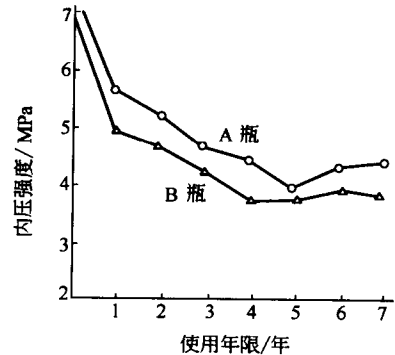


图 3-75 玻璃容器使用年限与承压的关系

### 3.16 玻璃容器轻量化

轻量瓶的壁薄，质量轻且壁厚一致，玻璃的分布比较均匀。通常轻量化的玻璃容器还要进行涂层离子交换和包塑料膜等强化处理，它的主要优点是原材料用量少，燃料消耗低。例如，轻量瓶的质量如比原来的瓶子减轻 20%~60%，则用同样的原料就能够多生产 15% 到 25% 的产品，单位产品的燃料消耗也大为降低。由于瓶壁薄冷却快，成型机速可以相应提高，生产加快。此外，因为质量减轻了，运输费用也可节省。

玻璃瓶罐的质量对于其容量之比，称为重容比。重容比是评价同样容积的瓶罐其质量大小的尺度，根据瓶罐的用途不同，轻量瓶的重容比一般在 0.15~0.8 之间。图 3-76 是轻量瓶与普通瓶罐的重容比。

轻量瓶的玻璃必须分布均匀，壁薄而一致，成型的关键是在于获得尺寸大而形状合理的锥型料泡，并确保它充分合理的重热。锥型料泡比料滴的体积要扩大到 60% 以上，以使锥型在成形模中经过局部的小幅度蠕动，将玻璃再分配而形成均匀的薄壁制品。实践证明用压-吹法制造小口瓶是比较好的，它可以避免锥型料泡“扑气箍”的产生，而且重热能力较强，容积也可以更大。所以制造轻量瓶时，一般采用压-吹法。

玻璃容器轻量化可采取以下几个方面的措施。

① 玻璃原料的开发研究和采用合理的玻璃表面强化的方法，使玻璃容器的壁厚尽量

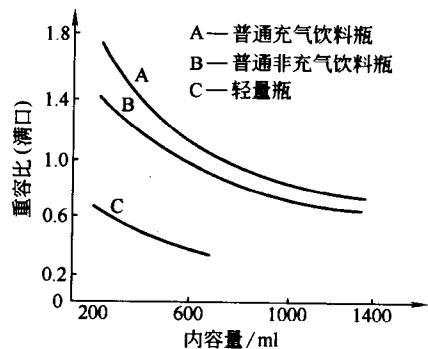


图 3-76 轻量瓶与普通瓶重容比

减薄。

② 运用优化设计的方法使其原料耗量降低。容器设计者应使玻璃容器的质量小而容量大，这对回收瓶来说，意义更大。因此，需要探讨最佳瓶型的问题，用优化设计的方法，降低原料耗量。

③ 尽量采用接近于圆形断面形状和合理的结构，以减小玻璃容器的壁厚。采用了这种措施会使玻璃容器的垂直荷重能力减小，但可使应力分布均匀，冷却均匀和增加容器的“弹性”，使耐内压强度和冲击强度反而得以提高。针对垂直荷重强度的降低，可采取措施以保证垂直荷重强度稍微降低或不被降低。措施如下：

- a. 瓶罐的总高度要尽量低；
- b. 瓶罐口部的加强环要尽量小，或取消加强环；
- c. 小口瓶的瓶颈不要细而长；
- d. 瓶罐肩部不要出现锐角，要圆滑地过渡；
- e. 瓶罐底部尽量少向上凸出。

采用表面增强也带来了以下一些缺点：一是增加了产品的生产成本；二是有些涂料在生产时产生对人体有害的物质；三是对于回收的啤酒瓶，由于在流通过程中增强膜受到破坏，应用过程中屡有爆炸事件发生，因此，在我国还没有得到广泛应用。

针对以上第二、三两条措施，胡昌盛等人提出分析啤酒瓶应力分布的有效方法是建立玻璃制品应力数学模型，运用三维有限元理论对各单元进行应力模拟。他们将啤酒瓶视为一子午面，绕垂直轴旋转而成的轴对称模型，相对于整个玻璃制品大小，其厚度较小，因而可采用轴对称壳体理论进行应力分析。目的是通过应力分析，减小应力较小部位的厚度，增加应力较大部位的厚度，通过改变造型设计，使应力分布更加合理。

通过建立啤酒瓶应力分析数学模型，约束条件的设定和基本参数的计算，运用三维有限元求解应力的控制方程，数值模拟结果与分析表明：

① 可得到啤酒瓶高度上等值线的几何高度分布；

② 给出了在底受到支撑力和瓶口受到  $X, Y$  方向的约束时，啤酒瓶受到  $1.2\text{MPa}$  时的应力分布指向；

③ 等值线外侧应力分布显示：瓶在不同高度上受力是不均匀的，在全瓶等厚为  $0.3\text{cm}$ ，瓶根部受力较大，瓶身次之，瓶颈和瓶肩受力皆较小；

④ 瓶底内外侧应力分布显示：内侧应力明显大于外侧，中心及边缘为全瓶应力最大处。最大应力值为  $57.19 \times 10^7 \text{Pa}$ ，已大于给定的玻璃成分的抗张强度的最大值  $53 \times 10^7 \text{Pa}$ ；

⑤ 瓶大部分区域的应力并没有超出玻璃的抗张强度，所以等厚分布玻璃制品厚度不适于实现玻璃制品的轻量化，而按照应力分布进行厚度分布，在生产实际中不难于实现；

⑥ 通过造型设计也可以改变应力分布，使其应力分布更加均匀，以达到轻量化最优化设计的目的。

### 3.17 制品的冷成型和强化设计

#### 3.17.1 冷成型

##### 3.17.1.1 喷砂

喷砂又叫喷刻，即利用气压将砂粒高速喷射在玻璃制品表面，使之凹凸不平，形成散射

而不再透明的毛面。如欲雕刻花样，只需用厚纸、金属薄片或软橡皮先雕刻成镂空的花样套模，覆贴在玻璃制品表面，再送入喷砂机内，喷射约 10~30s，取出后脱去套模，则制品表面即形成毛面花纹。

喷砂加工的效率视注射的砂量及气体的压力大小而定，花纹之粗细则因采用砂粒的大小及性质的软硬而不同。

如今仍有将喷刻与酸刻或人工雕刻结合应用，以制得精彩辉映之山水人物及其他立体感的花纹，艺术效果很好，可用于制造高档的工艺品和装饰陈列品。

#### 3.17.1.2 草刻成型

在刻花成型机上由人工用砂轮（主要是电熔刚玉轮）在玻璃上刻出各种花草图案的方法称为草刻，属于车刻加工。草刻用的砂轮是氧化铝刚玉或金刚石制成的特殊砂轮。对一些具有简单几何形状的图案，如直线、交叉线、箭头形、星形等图案，也可用仿型的工作原理的多工位半自动刻花机和自动刻花机进行。在成型过程中，砂轮上要始终保持充分的水分，以防止缺少水分时产生的热量引起制品的破裂。

#### 3.17.1.3 精刻成型

精刻与草刻均属于车刻加工，前者只是比后者更为精密些。经过精刻的晶质玻璃器皿、工艺品、香水瓶和调味品瓶等，由于其深槽棱面上极高的折光效果，晶莹光泽的表面十分雅致，属于高级的装饰品和工艺陈列品。

精刻的粗磨和细磨加工，都是在生铁轮上进行的，仅使用的磨料（金刚砂或矿砂）的颗粒度有粗细之分，修饰（俗称磨石头）是在由水润湿的高硬度电熔刚玉（主要成分是  $Al_2O_3$ ）轮上进行的。这类制品上图案的设计基本上是用不同深浅的三角线条组成各种各样的花样和图案，如直线、交叉线、曲线、S线、星形、放射形、多边形等等。

普通成分的玻璃器皿，其深刻角度在  $90^\circ \sim 120^\circ$  之间，能得到较好的效果。对无色晶质玻璃制品，其光色变幻效果将随棱角角度的减少而加强。

精刻的铅晶质玻璃制品，应根据它的外形，选择适当的玻璃成分。如制品是封闭形状的花瓶和酒壶等，一般是采用氧化铅含量小于 24% 的晶质玻璃。若制品是敞开形状的酒杯、果盘等，一般是采用氧化铅含量大于 25% 的晶质玻璃。

所有精刻的制品最后用机械或化学方法抛光。

#### 3.17.1.4 雕刻成型

雕刻也属于车刻加工，用来加工艺术品。可采用大小不同，形状各异的铁轮、铜轮和金刚砂轮。在涂有水（或油）的细金刚砂研磨料的作用下，对玻璃制品表面进行精细雕刻加工，刻出深浅不同的各种复杂图案。由于制品表面层磨去的深度和磨料的颗粒度不同，能在图案各部分得到不同的毛度，使图案层次分明，特别美丽，并富有立体和真实感。必要时，在雕刻后制品花纹的个别部分还可以用锡粉或氧化铈抛光粉进行抛光，以恢复其晶亮而光泽的表面，与毛面形成对比和互相衬托。用雕刻法能成型出极其复杂、艺术性很高的图案、山水风景、飞鸟走兽，甚至能刻出十分精细逼真的人像。

#### 3.17.1.5 研磨

研磨是将制品粗糙不平或成型时余留的不需要部分的玻璃磨去，使制品具有所需的形状和尺寸，并可与抛光结合，提高制品外观质量和艺术效果。在研磨过程中，应根据研磨的要求，先用粗颗粒磨料，继而用中等程度颗粒磨料，最后使用细颗粒磨料，直至其表面成为细致均匀的毛面玻璃。

玻璃的研磨过程是磨盘与玻璃作相对运动的过程。自由磨料在磨盘或有外加压力负载下对玻璃表面进行磨削与剥离的机械作用，同时还在玻璃表面上造成微裂纹。在研磨过程中须不断地注入水，一方面可以吸收玻璃表面的热量，起冷却作用，同时又与新生态的玻璃表面产生水解作用，生成的硅酸薄膜有利于剥离，具有一定的化学作用，所以可以认为磨料的性能、磨盘的材质和冷却介质是研磨进行中不可缺少的三大要素。

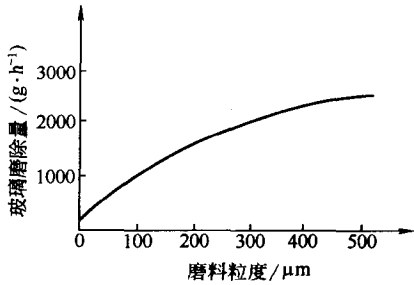


图 3-77 磨料粒度与研磨效率的关系

(1) 磨料粒度 磨料颗粒按其粗细程度可分为粒状(150~2300 $\mu\text{m}$ )、粉状(15~50 $\mu\text{m}$ )和细粉状(3.5~28 $\mu\text{m}$ )三类，根据要求，其中主粒度分布量应为30%~60%，细粉颗粒不得多于14%~35%。

图 3-77 为磨料粒度与研磨效率的关系。由图可知，玻璃磨除量与磨料颗粒度的大小直接有关，随着磨料粒度直径的增加，磨除量也增加，两者几乎成线性关系。但若粒度过于粗大，容易划伤玻璃表面，给以后的抛光带来困难，故选用合适的颗粒度是既可提高研磨质量又可增加磨除量的重要因素。

(2) 磨料浓度和给料量 图 3-78 是磨料浓度与研磨效率的关系。由图可见，研磨效率(玻璃的磨除量)随着磨料浓度的增加而提高，但提高到一定程度后，继续增加浓度，对研磨效率的提高并不明显，甚而呈现出降低的趋势。由此可见选择合适的磨料浓度对提高研磨效率和降低成本是有利的。

图 3-79 为磨料粒度和研磨时间与研磨效率的关系。由图可见，在相同的研磨时间内，磨料颗粒愈粗，研磨效率(玻璃磨除量)愈高。同时，研磨效率随着研磨时间的增长而提高，但提高到一定程度后，继续延长研磨时间，对研磨效率的提高并不明显，甚而呈现出降低的趋势。

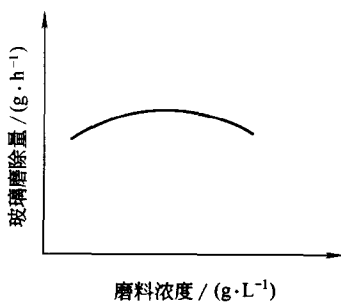


图 3-78 磨料浓度与研磨效率的关系

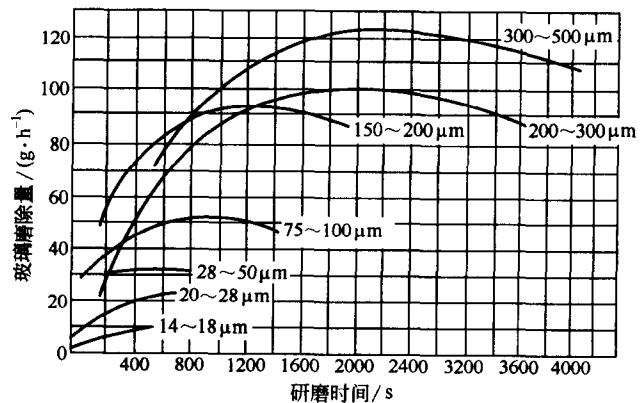


图 3-79 磨料粒度和研磨时间与研磨效率的关系

(3) 磨料硬度 磨料硬度大，研磨效率就高。但硬度大的磨料易造成被研磨物表面有较大的凹陷深度，常易损伤玻璃表面或使刻痕过深，增加研磨和抛光时间，故在选用磨料硬度时须考虑到玻璃的性能。硬质玻璃可选用硬度较高的磨料，如金刚砂、刚玉等一类磨料。对磨除量不高的一些玻璃，如显像管玻璃等，也有使用浮石或火山灰等质地较软的材料作为磨料。浮石的成分为(质量分数/%)：

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
73~75	12~14	1.0~1.5	1.0~1.5	0.2~0.5	2~2.5	3~3.5

硬度为  $5.5 \pm 0.5$  (莫氏)。表 3-80 为常用磨料的性能。

表 3-80 常用磨料的性能

名称	化学式	莫氏硬度	磨削能力
金刚石(天然矿物)	C	10	用于粗磨
刚玉(天然矿物)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	用于粗磨
金刚砂(天然矿物)	主要成分 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7~9	用于粗磨
电熔刚玉(人造矿物)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	用于细磨
碳化硅(人造矿物)	SiC	9	用于粗磨
碳化硼(人造矿物)	B <sub>4</sub> C	9	用于粗磨
浮石(天然矿物)	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6	用于细磨
黏土(天然矿物)	SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		用于细磨
硅藻土(天然矿物)	SiO <sub>2</sub>	6~7	用于细磨

(4) 磨盘转速 磨盘转速影响到玻璃的磨除量, 两者几乎成线性关系。磨盘转速快, 将磨料往外甩得就多, 离开磨盘中心愈远处离心的转速就愈大, 玻璃与磨料的摩擦机会就增多, 使玻璃的磨削量增加。但若磨盘的转速过快, 将会适得其反。同时还会对玻璃造成很大的内压力, 导致玻璃在研磨过程中破裂。图 3-80 为磨盘转速与研磨效率的关系。

(5) 负载压力 在研磨过程中, 为提高磨削量与加强玻璃与磨料的摩擦作用, 往往在玻璃上面加一压力负载, 且随着压力负载的增加, 磨料接触玻璃表面的磨削力就增加, 研磨效率也随之提高。但是过高的压力负载将会减少玻璃与磨料的摩擦作用, 从而造成研磨效率降低, 甚至影响磨盘的转速。图 3-81 为负载压力与研磨效率的关系。

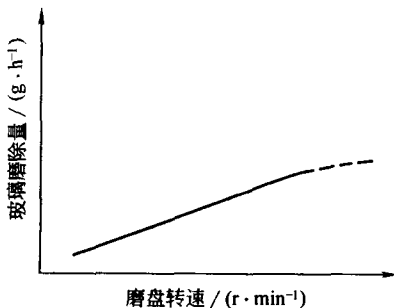


图 3-80 磨盘转速与研磨效率的关系

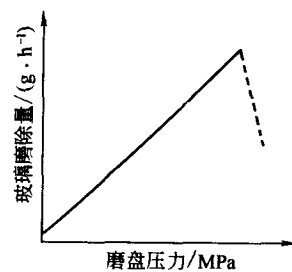


图 3-81 负载压力与研磨效率的关系

(6) 磨盘材料 硬度大的磨盘材料能提高研磨效率, 如以铸铁材料的研磨效率为 1, 有色金属则为 0.9, 塑料仅为 0.2。图 3-82 为磨盘材料与研磨效率的关系。由图可见, 硬度大的磨盘材质可以增加被研磨表面的凹陷深度, 硬度小的塑料盘可使被研磨玻璃的表面凹陷度浅些。若最后一道研磨工序使用塑料盘时, 则可缩短抛光时间。

### 3.17.1.6 抛光

(1) 机械抛光 经研磨后的玻璃表面总会留下几个微米的凹陷层, 抛光过程就是要



除掉这一凹陷层，使散光和不透明的玻璃变得光洁、透明。在抛光过程中磨削玻璃的总量虽然很少，但所耗用的时间却大大超过研磨时间。

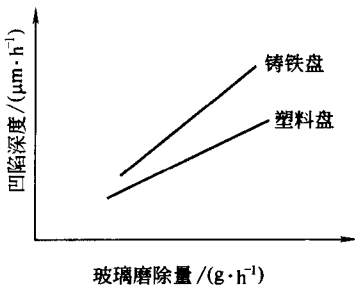


图 3-82 磨盘材料与研磨效率的关系

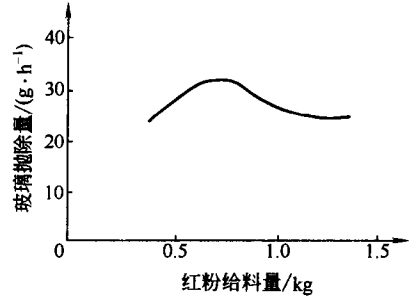


图 3-83 氧化铁给料量与抛光效率的关系

常用的抛光材料有氧化铁（红粉）、氧化铈、氧化铬、氧化钛、氧化钍等。影响抛光的因素如下。

① 抛光材料性能和给料量 抛光材料的能力和给料量对抛光效率影响与研磨材料和给料量对研磨效率的影响十分相似。表 3-81 为玻璃抛光材料性能的比较，图 3-83 为氧化铁给料量与抛光效率的关系。

表 3-81 玻璃抛光材料性能的比较

名称	组成	颜色	相对密度	莫氏硬度	抛光能力/(mm·min <sup>-1</sup> )
红粉	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	赤褐	5.1~5.2	5.5~5.6	0.56
氧化铈	CeO <sub>2</sub>	淡黄	7.3	6	0.88~1.04
氧化铬	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	绿	5.2	6~7.5	0.28
氧化锆	ZrO <sub>2</sub>	白	5.7~6.2	5.5~6.5	0.78
氧化钍	ThO <sub>2</sub>	白褐	9.7	6.7	1.26

② 玻璃表面温度和周围空间温度 图 3-84 为玻璃表面温度对抛光效率的影响。由图可见，当玻璃的表面温度提高后，抛光效率也随之而提高。图 3-85 为周围空间温度对抛光效率的影响。由图可见，随着周围环境温度的提高，玻璃的抛除量也增加。

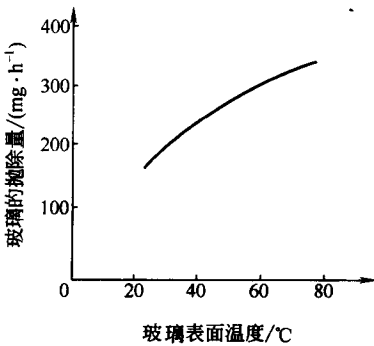


图 3-84 玻璃表面温度对抛光效率的影响

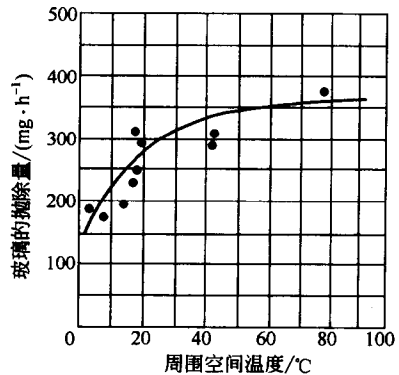


图 3-85 周围空间温度对抛光效率的影响

③ 抛光盘转速和负载压力 抛光盘转速和负载压力与抛光效率的提高存在着线性关系，转速和负载压力增大，抛光材料接触玻璃的机会增加，玻璃的表面温度就提高，反应加剧，

促进抛光效率提高。反之，抛光效率降低。

④ 抛光盘材质 一般抛光盘都是用毛毡、呢绒或尼龙来制作的，也有用毛毡与尼龙做的复合材料制作的。

(2) 化学抛光 化学抛光适合于日用玻璃器皿和小件玻璃制品。用来抛光的酸液是硫酸和氢氟酸的混合液。某化学抛光过程如下：先将玻璃制品去油、洗净放入塑料（或铜丝）网篮内慢慢浸入已盛有混合酸液的抛光池中约 3~4s，制品表面生成一层乳白色的氟化物薄膜，然后将网篮移入 50~60℃ 的温水池中洗去覆盖物。洗净后的制品又重新浸入酸液中，再移入水池中，如此反复进行，直到制品加工表面被抛光为止。每批产品浸酸的次数视酸液的浓度和温度而定。在新配制的酸液中，浸入次数一般可达 6~8 次，但随着酸液浓度逐渐降低和变冷，浸酸的次数要增加到 20~25 次或更多次。

抛光液配比和浓度的选择，一定要与玻璃制品的化学组成相适应，建议在确定了进行抛光的制品后，须先进行实验室的小样试验。实践证明，采用化学抛光时，铅晶质玻璃能获得最好效果，普通钠钙玻璃较慢较差，含钡的玻璃更为困难。对普通的钠钙玻璃建议采用如下酸液 3 种配比（容积份数）：

配 料	配比 1	配比 2	配比 3
硫酸(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 92.5%)	2	3	3
氢氟酸(HF40%)	1	2.5	3

对铅晶质玻璃建议采用如下酸液 4 种配比（容积份数）：

配 料	配比 1	配比 2	配比 3	配比 4
硫酸(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 92.5%)	2	3	3	1
氢氟酸(HF40%)	1	1	4	1
清 水	1	—	—	1
硝 酸	—	—	—	1

值得注意的是，若制品磨刻后表面过于粗糙，化学抛光也不会有好的效果。同时，对几何尺寸精确度很高的制品，也不宜采用酸抛光工艺。

(3) 火焰抛光 用高温火焰直接喷射到玻璃制品加工表面的方法称为火焰抛光，简称火抛光。火抛光过程如下：先将玻璃制品预热到接近软化点，再采用高温火焰（有时高达 1600℃ 以上），使制品表面迅速变软熔化。以利用玻璃熔融时的表面张力特性使制品获得光滑而平整的表面，达到抛光的目的，然后迅速将制品送入退火窑再次进行退火，以避免爆裂。

这方法也同样适用于制品压制时，由于模具温度不够高或模具材质粗糙造成制品表面有较多冷印或波纹，通过火抛光后对这区域重新熔烧，使之变得光滑。

### 3.17.1.7 蚀刻成型

采用化学蚀刻成型的方法能够在玻璃制品上施加各式各样的复杂图案或商标。分为如下几种：①毛面蚀刻；②深蚀刻（又称化学蚀刻）；③深纹蚀刻（俗称摇花）。它们都具有如下大致相同的工序：

制品→干燥→涂上保护耐酸层→刻绘图样→边缘修整→蚀刻→除掉制品上耐酸层→洗涤制品

化学加工处理时，可采用石蜡、树脂、柏油和一些有机化合物等作耐酸保护涂料层。

(1) 毛面蚀刻 毛蚀刻加工能使制品表面不光滑，而且带有凹凸状态，以造成光的折射和散射，使制品成为不透明无光泽的毛表面。

在日用玻璃和平板玻璃生产中，毛蚀刻可用两种方法进行：即制品浸入蚀刻溶液中或在制品上用笔涂刷液态的或较液态更稠的蚀刻胶。

由于蚀刻混合物的成分不同，毛蚀刻可在室温下或者加热时进行，某单位介绍的混合物加热到 40~60℃时的两种蚀刻溶液成分（质量份）如下：

溶液 1		溶液 2	
原料	配比	原料	配比
水	64	水	100
氢氟酸	3	氟化钙	10
碳酸钾	2	盐酸	1

不加热时的 3 种蚀刻溶液成分（质量份）如下：

原料	配比 1	配比 2	配比 3
水	100	50	240
氢氟酸	10		
碳酸钾	2		
氟化铵		50	40
硫酸		10	
硫酸铵		5	
盐酸			2

另有一种蚀刻溶液成分为：

氟氢化钾	250g	硫酸钾	140g
盐酸(相对密度 1.15)	250g	清水	1000ml

此蚀刻溶液中硫酸钾能促使玻璃表面所生的氟化物的溶解度降低。

还有一种氟化物配料成胶状涂料。液态蚀刻胶的成分（质量份）如下：

原料	配比 1	配比 2	原料	配比 1	配比 2
氟化铵	1	3	水	0.5	—
盐酸	1	2			

液态蚀刻胶是用下述方法来制造：将在研钵内仔细磨碎的氟化铵放在不大的铅质盛器内，并加入盐酸，其加入量以能用毛笔方便地将混合物涂布在制品上为准。蚀刻时间仅持续 1~2min 就足够了。此后制品放在水中洗涤，除去蚀刻胶，接着放在松节油或煤油中洗涤，以除去保护耐酸层（如柏油香之类）。为了得到散光的背景，可用氟氢化铵的酸性溶液或由氟氢化铵 16 份和硫酸钡 20~22 份组成的成分，并将重晶石粉加入酸槽内作为填充料。

(2) 化学蚀刻 化学蚀刻大多是用于套色制品的艺术加工。

这种方法在于使套色制品的有色套皮表面用多次蚀刻除去不同的厚度层，用以表现图案的不同层次，使制品具有人工雕刻相似的艺术效果和立体感。

加工过程如下：先在制品上印制或描出图案的轮廓，并在图案部分都覆盖上保护层（如柏油加松香）进行酸腐蚀，使制品未被遮蔽部分都被腐蚀呈无色透明为止（有时仅腐蚀到颜色稍浅一些），在制品上留下套色玻璃图案的轮廓。接着用保护涂料来描绘表现图案层次的最暗部分，待涂料干燥后再进行化学蚀刻。并在未被涂保护层的表面上用毛刷涂上氢氟酸，

表面上就逐渐生成并聚集许多氟化物的盐类，通过不断搅动或洗刷除去这些盐类，即露出新的表面。再在新表面上重新涂刷氢氟酸液，进行酸腐蚀，如此重复操作直到达到蚀刻的需要深度为止。待制品蚀刻结束后，放入水中洗去保护层，制品表面最后用清水洗净擦干即可。蚀刻酸液常常是用硫酸和氢氟酸的混合液，而最后几次的蚀刻应使用化学抛光液。

(3) 摇花 摇花又叫刻图法，是在制品表面用蚀刻方法施上细条的深纹圆圈和波形图案。此项工作的进行是将整个制品先涂上一层由蜂蜡、树脂、石蜡以及其他物质所组成的耐酸涂料薄层，然后用锋利的尖针在这层涂料上刻出所需的图案，再将制品浸入酸浴中，酸液侵蚀有图案部分的玻璃（即刻去蜡质的部分）至一定深度。蚀刻酸液的温度应在 18~25℃ 内。当制品蚀刻终结之后，首先在冷水中，然后在温水中洗去酸渍，最后在热水中除去蜡质即可。某厂酸浴溶液的成分如下：

氢氟酸(40%)	100ml	清水	60ml
硫酸(80%)	40ml	蚀刻温度控制在 18~20℃ 之间, 不超过 2~3min	

### 3.17.1.8 激光加工

CO<sub>2</sub> 激光器发射波长 10.6μm 的红外线，特别适合于玻璃的热加工。

采用激光加工玻璃的基本原理是：一束平行的高亮度激光，聚集后，使焦点处的功率密度达到 10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>W/cm<sup>2</sup> 以上，由于照射功率大且高度集中，足以使玻璃在瞬间内熔化和气化，而造成玻璃表面刻划、切割或打孔。

使用一定功率的激光输出装置，对玻璃制品表面进行光刻加工，其加工的准确性和精细程度为其他加工工艺所不及。如在一组高脚酒杯上用激光加工法雕刻成葡萄叶图案，所用 CO<sub>2</sub> 激光器功率约 60W，照射时间仅 0.5~1min。

采用激光加工的优点是：激光是很纯的单色光，经反射、聚集达到很高的功率密度，集中加工制品上很小的区域，利用光学装置，能使光束按照要求进行偏转，也可利用工件的配合运动或镂空金属样板遮盖，来控制加工非常精致的图案花纹。

在目前已知的激光器中，CO<sub>2</sub> 激光器不仅能产生持续输出功率，而且输出的辐射能与耗用电量之比已为 15%，因而激光加工能经济地切割玻璃制品和装饰加工玻璃器皿。

## 3.17.2 强化设计

### 3.17.2.1 调整玻璃组成

调整玻璃组成，提高组成中的网络形成物含量，使玻璃结构更趋紧密。组成中引入的氧化物离子的电荷要高，离子半径要小。如 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、CaO、MgO 等都能使玻璃的强度增加。

### 3.17.2.2 强化处理

(1) 塑料涂层 用浸液、流延和静电等方法在瓶的外表面涂上 0.2~0.3mm 厚的树脂（环氧树脂、聚氨酯、聚氯乙烯或聚苯乙烯等）或合成橡胶涂层，涂层可为一层或多层，涂后加热硬化。这种方法简单、价廉，但涂层寿命较短。塑料涂层的效果如图 3-86 所示。

(2) 制瓶涂层 在制瓶过程中，使玻璃表面强化的方法有 4 种：

① 热涂 热涂是在制瓶成型后及退火处理前进行，成型后的玻璃瓶在缓缓冷却至温度

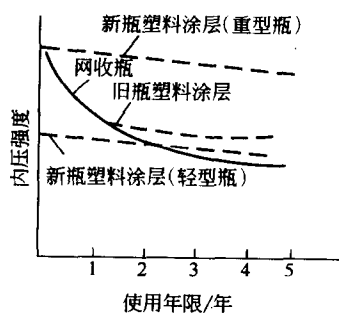


图 3-86 涂层对玻璃瓶的影响

约为 500~600℃ 时，将廉价的四氯化锡喷涂在热玻璃表面上，即可形成厚 5~80nm 的二氧化锡保护层，既可使瓶表面强度提高 30%，又可使瓶经得起长期的水冲、水洗。

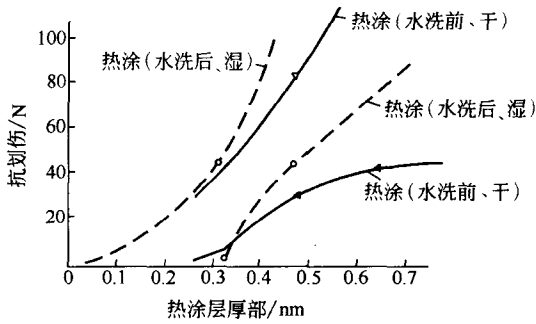


图 3-87 玻璃容器涂层与抗划伤能力的关系

② 起霜 起霜是在玻璃瓶冷却过程中喷涂四氯化碳，或在退火炉中通入二氧化硫，两者均可在瓶的表面与玻璃反应，使玻璃中的钠离子析出而形成芒硝微粒（即浊白粉状的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ），用水冲除后，由于碱性降低而使表面强度和耐水性提高。

上述两种涂层厚度以及抗划伤能力见图

3-87。

③ 冷涂 冷涂是在玻璃瓶退火之后，将单硬脂酸盐、聚乙烯、油酸、硅烷、硅酮或其他聚合物乳液喷成雾状，附着在具有一定温度的玻璃瓶表面上（瓶温依喷涂材料而定，约为 21~80℃），形成具有耐磨性和润滑性的保护层。

④ 表面有机硅涂层处理 玻璃表面使用有机硅蒸发涂层或用有机硅浸渍都可使玻璃强度有较大提高，这是因为有机硅能在玻璃表面形成有机聚硅氧烷憎水膜和聚合  $(\text{SiO}_2)_n$ 。硅氧膜，通过公用的硅氧键而与玻璃表面连接起来。经热处理后有机基团会挥发而剩下硅氧膜可填充于裂纹中，使裂纹愈合，所具憎水性可避免活性介质在裂纹中的扩散。常用的有机硅溶液有甲基氟硅烷  $(\text{CH}_3\text{SiCl}_3)$ 、二甲基二氯硅烷  $[(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2]$ 、二苯基二氟硅烷  $[(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{SiCl}_2]$  和苯基三氯硅烷  $(\text{C}_6\text{H}_5\text{SiCl}_3)$  等。

(3) 物理强化（钢化） 瓶罐的物理强化——钢化的目的是为了提提高玻璃瓶罐的机械强度和热稳定性。物理强化处理方法如下：瓶罐由制瓶机脱模后，立即送入马弗式钢化炉内均匀加热到接近于玻璃的软化温度，然后转入钢化室，用多孔喷嘴的风栅向瓶罐的内壁上喷射冷空气，快速冷却瓶罐，或用液体作冷却介质进行突然冷却瓶罐，造成制品表面因突然收缩而形成的压应力层，制品内部的冷却因滞后于表面为张应力层，当这两种应力分布合理时，玻璃耐内压强度可以成倍提高。喷射瓶身的空气压力一般为 15~21kPa，喷射瓶底的空气压力一般为 6~7kPa。

钢化的效果取决于制品加热温度与冷却介质温度间的差值，差值愈大，效果愈好。同时还和冷却速率，冷却介质的特性及制品厚度有关，图 3-88 所示为钢化玻璃的强度与厚度关系。

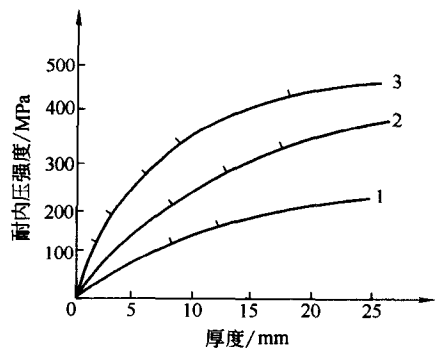


图 3-88 钢化玻璃的耐内压强度与厚度关系

1—冷却间质为空气；2、3—冷却间质为两种不同的液体

(4) 化学强化（钢化） 对玻璃表面进行离子交换处理又称化学强化，常用方法有两种：第一种方法是以溶质中半径大的离子交换玻璃中半径小的离子，如以溶质中的  $\text{K}^+$  取代玻璃中的  $\text{Na}^+$  或  $\text{Li}^+$ ，使玻璃表面产生压应力。第二种方法是以溶质中半径小的离子置换玻璃中半径大的离子，使在玻璃表面形成热膨胀系数比基体玻璃小的薄层。冷却时，因表面与基体玻璃的收缩不一致从而使玻璃表面形成压应力。如将  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  玻璃置于 850℃ 的  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  熔盐中，这

样, 促使  $\text{Li}^+$  与玻璃中的  $\text{Na}^+$  进行交换, 在玻璃表面形成热膨胀系数很小的  $\beta$  锂霞石 ( $\text{Li}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-2SiO}_2$ ), 冷却时就会造成压应力, 可使耐内压强度提高到  $392\sim 588\text{MPa}$ 。前一种方法的特点是处理温度低 (达到  $\text{KNO}_3$  的熔融温度约  $360\sim 380^\circ\text{C}$ ), 不受制品形状限制, 无须担心制品会变形, 但处理时间较长 (几小时到几十小时)。后一种方法的特点是交换时间短, 处理温度高, 经处理后制品的硬度高, 耐磨损, 制品的强度不会因长时间使用而降低。

(5) 表面酸处理 表面酸处理可以消除玻璃表面较大数量的微裂纹或使微裂纹的宽度与深度变小, 减少应力集中。处理方法通常是将玻璃制品置于低浓度的氢氟酸中浸蚀一定时间。为使浸蚀效果更好, 也可在氢氟酸中加入适量的硫酸或磷酸。当浸蚀深度在  $100\mu\text{m}$  左右时, 可使制品机械冲击强度提高  $50\%\sim 100\%$ , 再结合物理钢化, 可使玻璃强度的提高更为显著。图 3-89 为玻璃表面处理与机械冲击强度的关系。由图可见, 制品经物理钢化后再结合酸处理, 强度可成倍地提高。

(6) 粒化强化 经过滚花、刻痕等粒化强化处理, 使玻璃瓶表面形成密集粒状花纹。当瓶受到冲击时, 冲击应力首先发生在粒面的峰顶上, 经过峰、谷间的斜面得以分解, 使其冲击破坏性得到缓和。采用粒化强化处理的玻璃瓶强度约增加  $50\%$  左右。

(7) 瓶外加塑料套 在玻璃瓶外表面套上发泡聚苯乙烯的塑料套, 起到强化、防震、耐磨、坚韧和隔热等作用, 可使瓶的质量减少  $25\%$  左右。

综上所述, 人们可以根据玻璃制品的用途和造型选择强化方法, 也可以采用几种方法进行综合处理以进一步提高制品的强度。

### 3.18 玻璃制品的回收利用

目前玻璃制品的回收利用有几种类型: 作为铸造用熔剂、转型利用、回炉再造、原料回收和重复利用等。

(1) 作为铸造用熔剂 碎玻璃可作为铸钢和铸造铜合金熔炼的熔剂, 起覆盖熔液防止氧化作用。

(2) 转型利用 转型利用是一种急待开发的回收利用方法, 今后将会有很多新的可带来增值的技术用于转型利用。经预处理的碎玻璃被加工成小颗粒的玻璃粒后, 有以下多种用途:

① 将玻璃碎片作为路面的组合体, 在美国和加拿大已经过数年的试验证实, 用玻璃碎片作为道路的填料比其他材料具有以下几个优点: a. 车辆横向滑翻的事故减少了; b. 光线的反射合适; c. 路面磨损情况良好; d. 积雪溶化得快, 适用于气温低的地方使用等等。

② 将粉碎的玻璃与建筑材料混合, 制成建筑预制件、建筑用砖等建筑制品。实践证明, 用有机物质作胶结剂加压成型的制品的尺寸精度和强度较高、生产成本低。例如: 将磨碎到  $0.165\text{mm}$  粒径以下的玻璃粉同石子、选矿尾砂、高炉矿渣、砖、混凝土片等加水混合, 用振动浇注到模具内, 然后干燥成块, 在  $780\sim 900^\circ\text{C}$  下烧成。可以加着色剂和涂釉使制品着色。制品的强度和吸水性可根据玻璃的含量和烧成升温曲线来调整, 能制得比高强度混凝土

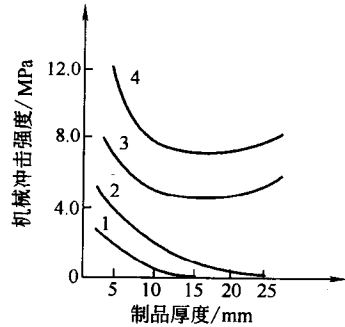


图 3-89 表面处理与机械冲击强度的关系

1—未经酸处理; 2—20%浓度氢氟酸处理;

3—液体介质中钢化; 4—液体介质中钢

化再以20%浓度氢氟酸处理

强度更高的制品。

③ 粉碎的玻璃用来制造建筑物表面装饰物，反光板材料、工艺美术品和服装用饰品，有美丽的视觉效果。

④ 玻璃和塑料废料与建筑材料的混合料可制成合成建筑制品等。

(3) 回炉再造 将回收的玻璃进行预处理后，回炉熔融制造玻璃容器、玻璃纤维等。

(4) 原料回用 将回收的碎玻璃作为玻璃制品的添加原料，因为适量地加入碎玻璃有助于玻璃在较低温度下熔融。

(5) 重复利用 目前，玻璃瓶包装的重复利用范围主要为低值量大的商品包装玻璃瓶。如啤酒瓶、汽水瓶、酱油瓶、食醋瓶及部分罐头瓶等。重复利用是一种节约而经济的回收利用。

### 3.19 玻璃制品的计算机辅助设计

传统的玻璃瓶罐设计中，玻璃瓶罐外形轮廓的造型设计是很关键的。在设计外形轮廓线时，通常首先从社会的、经济的、人为的心理和生理以及艺术等多个方面作综合处理，徒手勾画出美学艺术好的外形轮廓，然后，对瓶罐的技术功能、结构、色泽和成型工艺等科学技术方面作进一步的结构设计，最终，以科学技术与美学艺术相互渗透、交叉和结合的玻璃瓶罐，来满足人们不断提高的物质和精神双重需求，美化人类生存环境。

在勾画外形后，传统的做法是用一段圆弧和直线逼近轮廓线，圆心的位置、半径的大小、交点和切点都是估计出来的。对

这种造型方法进行数学处理时很不方便。计算机辅助瓶罐设计系统将工业造型和制品结构设计与 CAD 技术有机地结合起来，与传统的瓶罐造型和结构设计相比，有以下一些优点。

① 先进性 系统改变了传统的瓶罐设计中采用大量人工估测的局面，通过建立严格的数学模型，完成瓶罐的造型、瓶罐的容积和瓶罐的用料量等重要的产品指标的计算，对设计过程起到很好的指导作用，提高了瓶罐设计的质量和速度。

② 整体性 计算机系统能迅速将设计者的构思，生成 CAD 数据和玻璃制品图，作为随后的生产经营活动的技术依据。

③ 灵活性 可利用计算机进行创造性设计，其随意性表现在曲线和曲面形状可以由人们随意控制，且连续性和光顺性可以调整；其局部可修

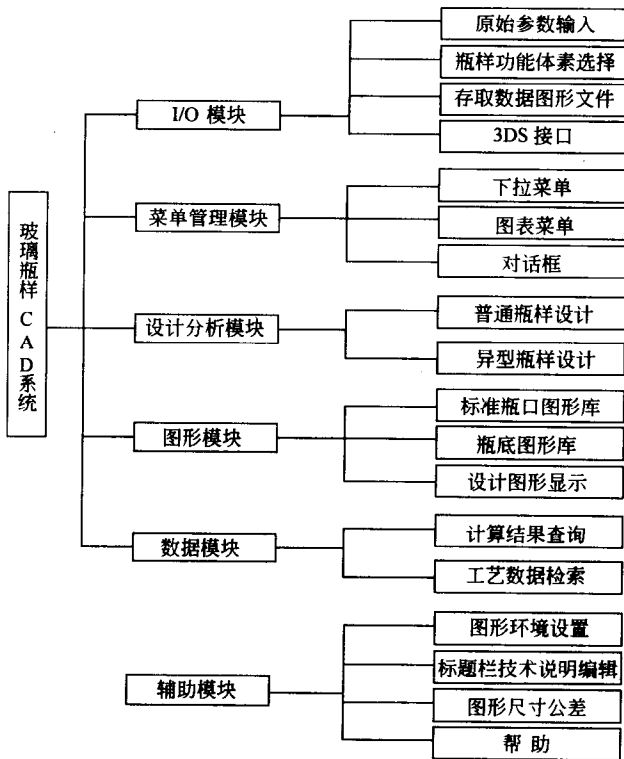


图 3-90 玻璃瓶样 CAD 系统总体结构

改性体现在线和面的形状可进行局部修改、缝补、挖补等构造形状比较复杂的实体，能充分满足用户的要求。在修改某一部分时，不会对其他不修改部分产生影响。

### 3.19.1 基于 AutoCAD 的玻璃瓶型 CAD 系统

卢立新和蔡莹开发的玻璃瓶样 CAD 系统的总体结构和 workflow 分别见图 3-90 和图 3-91。利用 AutoLISP 程序开发的系统用参数化圆弧控制曲线和 Bezier 曲线构造瓶样表面，采用体积控制设计方法，可较好地满足一般瓶样的造型、设计要求，充分运用人机交互技术，系统设计规范，运行可靠。

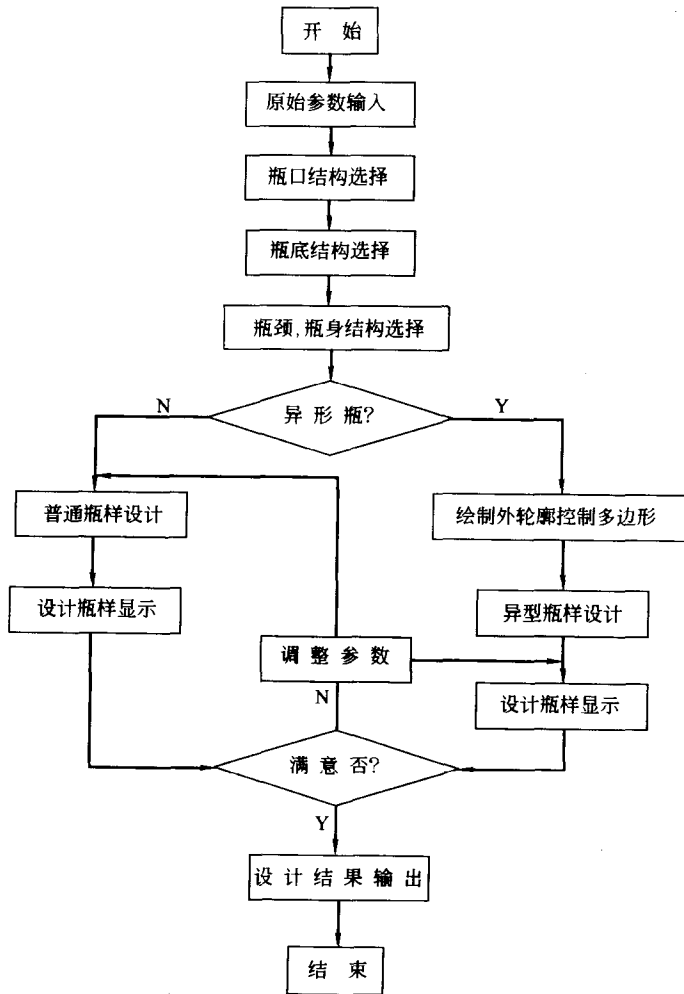


图 3-91 系统工作流程图

该系统的研究对象为旋转类玻璃瓶。其输入输出模块中的瓶样功能体素选择，包括瓶口、瓶颈、瓶身和瓶底结构选择。其中瓶口部分设置了螺纹瓶口、冠形瓶口以及其他瓶口结构供设计选择，其中的螺纹瓶口结构选择界面如图 3-92 所示；瓶颈部分分普通结构和异型结构，普通结构由两段圆弧光滑连接控制曲线构造。异型结构由 Bezier 曲线模型构造；瓶身部分由直线型和 Bezier 曲线模型构造结构供选择；瓶底部分，选择了实际设计中最常用的四种瓶底结构，即圆角、双圆角、圆角内凹以及球冠形内凸瓶底供选择。

#### 3.19.1.1 造型模型的建立

玻璃瓶型常采用两种造型模型构造瓶的外轮廓。



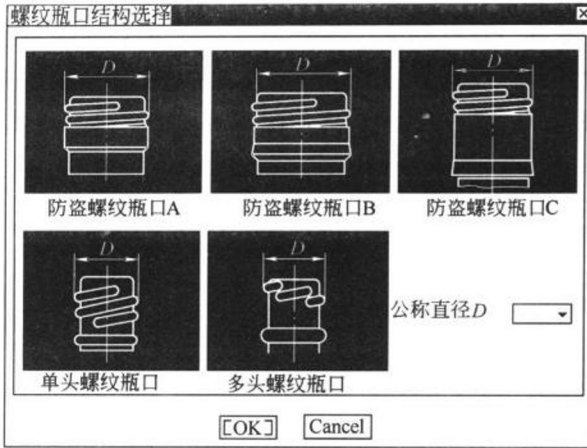


图 3-92 螺纹瓶口结构选择界面

状的外轮廓。

(2) Bezier 曲线 利用 Bezier 曲线进行造型设计，具有构图直观，使用方便以及凸包性等优点，其曲线形状是通过一组多边形折线（称为控制多边形）的各顶点而惟一的定义出来的。 $n$  次 Bezier 曲线通常由  $n+1$  个顶点来定义，其参数向量表达式为：

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(t) \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (3-31)$$

式中， $P_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ ) 是控制多边形各顶点的位置向量； $B_{i,n}(t)$  是基函数，且有

$$B_{i,n}(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i}$$

通过调整控制多边形顶点，可构造不同形状的外轮廓。

### 3.19.1.2 造型设计方法

玻璃瓶设计中，由于瓶口几何尺寸已标准化，一般可直接选用标准结构和尺寸。故下面着重讨论瓶体过渡段、瓶身、瓶底的外轮廓造型设计。

(1) 瓶口过渡段 设计中瓶体过渡段表面应保证瓶口到瓶身的光滑过渡，系统按两种瓶型分别采用不同的造型方法。

① 普通瓶型瓶体过渡段，采用参数化圆弧光滑连接曲线构造其外轮廓。根据设计输入的基本参数，系统获得瓶口与瓶体过渡段连接处直径  $D_{j1}$ ，瓶体过渡段与瓶身连接处直径  $D_{j2}$ ，瓶体过渡段高度  $h_j$ ；同时根据设计人员选择的瓶体过渡段结构形式，得出圆弧连接曲线造型段高度  $h_{j2}$ ，利用参数化圆弧光滑连接曲线模型可构造出瓶体过渡段表面，如图 3-94 所示，其中：

$$\alpha = \pi - 2 \tan^{-1} \left( \frac{2h_{j2}}{D_{j2} - D_{j1}} \right) \quad (3-32)$$

(1) 参数化圆弧光滑连接曲线 过瓶体轴心线作主剖切面，选取其中上、下两截面间的外轮廓线。 $lmn$  为研究对象，如图 3-93 所示。曲线  $lmn$  由两段圆弧  $lm$  和  $mn$  光滑连接而成。则有：

$$\alpha = \pi - 2 \tan^{-1} \left( \frac{2h}{D_2 - D_1} \right) \quad (3-29)$$

$$R_2 = \frac{h}{\sin \alpha} - R_1 \quad (3-30)$$

式中  $\alpha$  —— 圆弧  $lm$  和  $mn$  的夹角；

$h$  —— 两截面的距离；

$D_1$ 、 $D_2$  —— 上下两截面处的直径；

$R_1$ 、 $R_2$  —— 圆弧  $lm$  和  $mn$  的半径。

改变参数  $\mu = R_1/R_2$ ，可构造不同形

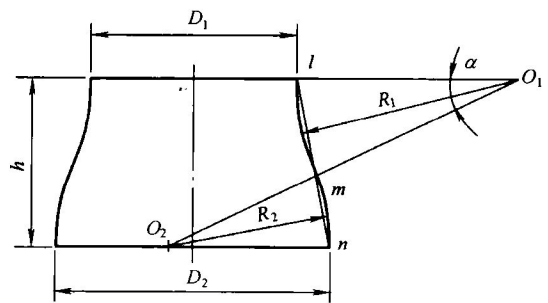


图 3-93 圆弧光滑连接曲线尺寸关系

$$R_2 = \frac{h_{j2}}{\sin\alpha} - R_1 \quad (3-33)$$

当设计人员选择设计结构形式为整段圆弧表面时,  $h_{j2} = h_{j1}$ 。

② 异型瓶型瓶体过渡段, 采用 Bezier 曲线构造其外轮廓。此时由设计人员人机交互先绘制曲线控制多边形, 系统自动获取图形信息; 结合设计参数  $D_{j1}$ 、 $D_{j2}$ 、 $h_{j2}$ , 构造 Bezier 瓶体过渡外轮廓。

考虑到设计人员绘制控制多边形只是大致确定轮廓外形, 且瓶体过渡段表面与瓶口、瓶身须光滑连接, 因而构造 Bezier 曲线前应对控制多边形节点进行预处理。

同时对于 Bezier 曲线, 当  $n$  较大时, 多边形对曲线控制能力减弱, 造成实际直观性差, 故本系统选用 2 次、3 次 Bezier 曲线构造异型瓶体过渡段外轮廓。

根据控制多边形结点数  $N$ , 分为:

a. 当  $N=3$  时, 采用一条 2 次 Bezier 曲线构造其外轮廓;

b. 当  $N=4$  时, 采用一条 3 次 Bezier 曲线构造其外轮廓;

c. 当  $N \geq 5$  时, 采用 2 条或 2 条以上 2 次、3 次 Bezier 曲线合成构造其外轮廓, 此时须保证相邻两条曲线光滑连接, 由 Bezier 曲线的性质可知, 曲线  $P_n (P_0, P_1, \dots, P_n, t)$  与曲线  $P_m (P_n, P_{n+1}, \dots, P_{n+m}, s)$  在  $b_n$  处几何  $c_1$  连续的条件是  $b_{n-1}$ 、 $b_n$ 、 $b_{n+1}$  共线。为此, 系统在相邻两条曲线的相关节点  $P_i$ 、 $P_{i+1}$  之间增设一节点  $P_{i,i+1}$ , 使:

$$P_{i,i+1} = (1-a)P_i + aP_{i+1}, 0 < a < 1,$$

构造时以  $P_{i,i+1}$  分别作为前一曲线的终点和后一曲线的始点即可保证两曲线光滑连接。

下面以  $N=5$  为例简要说明, 如图 3-95 所示, 控制多边形  $P_0P_1P_2P_3P_4$ , 在节点  $P_1$ 、 $P_2$  间增设节点  $P_{1,2}$ , 且有:

$$P_{1,2} = (1-a)P_1 + aP_2 \quad 0 < a < 1$$

这样分别以  $P_0P_1P_{1,2}$  为控制多边形构造 2 次 Bezier 曲线段, 以  $P_{1,2}P_2P_3P_4$  为控制多边形构造 3 次 Bezier 曲线段。

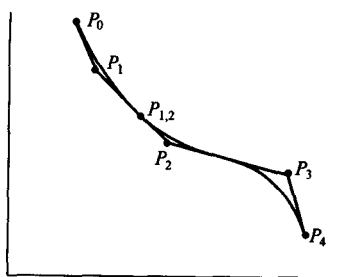


图 3-95 控制多边形

异型瓶型瓶体过渡段设计流程见图 3-96。

(2) 瓶身 根据设计人员的设计要求, 可构造圆柱、圆锥瓶身表面, 也可构造 Bezier 瓶身表面。Bezier 瓶身表面的构造方法与 Bezier 瓶体过渡段表面相同。

(3) 瓶底 选择了实际设计中最常用的 4 种瓶底结构, 即圆角、双圆角、圆角内凸以及球冠形内凸瓶底供选择设计, 其中圆角、双圆角、圆角内凸底结构较为简单, 在此不作说明。

球冠形内凸瓶底结构的设计, 为了使平底与凸底两部分光滑过渡, 以免因非光滑过渡而引起的局部应力集中, 凸底、凸底与平底的过渡部分的主剖切轮廓仍采用参数化圆弧光滑连接曲线模型构造, 其主剖切轮廓尺寸关系如图 3-97 所示。

(4) 内轮廓设计 内轮廓设计根据瓶壁厚大小进行并保证壁厚均匀。对于由圆弧光滑连

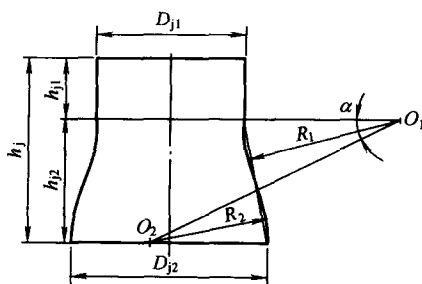


图 3-94 普通瓶型瓶体过渡段

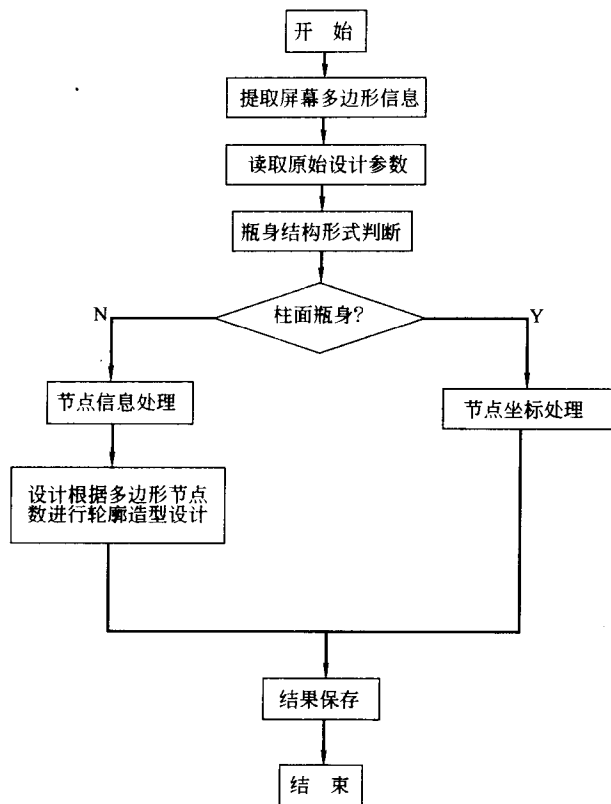
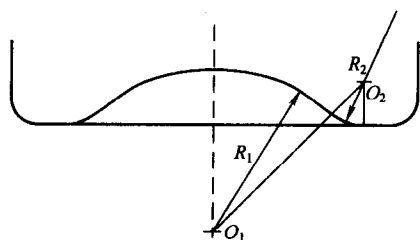


图 3-96 异型瓶型瓶体过渡段设计流程

接曲线模型构造的外轮廓瓶体部分，其内轮廓主要是通过相应调整圆弧半径  $R_1$  与  $R_2$  进行，而 Bezier 曲线构造的外轮廓瓶体部分的内轮廓设计，设计中作了适当的简化，首先对外轮廓控制多边形作等距平移，得到内轮廓控制多边形，然后根据设计原始参数对此控制多边形作必要的调整处理，以此构造其内轮廓。

(5) 体积控制设计 瓶容量的计算，理论上只需求瓶体内轮廓包容体积，但考虑到实际

生产过程中，玻璃瓶内轮廓形状无法控制，故设计中根据瓶体外轮廓体积  $V_{out}$  和瓶质量  $G$  进行，即瓶容积  $V$  为：



$$V = V_{out} - G/\rho$$

式中， $\rho$  为玻璃密度。

瓶体外轮廓体积的计算，只要确定外轮廓线上任意点的坐标，求得相邻两点为一段瓶体的体积，即可用分段求和的方法获得。

若设计要求的瓶容量为  $V_b$ ，允许偏差为  $\Delta$ ，当  $|V_b - V| \leq \Delta$  时，设计符合要求；否则，需调整有关参数重新设计。

根据容积偏差的大小，设置两种调整方法，如下。

① 偏差较小时，在保证用户所要求的瓶总高、最大直径不变的情况下，通过增加瓶颈

高度  $h_j$ ，同时减小瓶身高度  $h_s$ ，这时容积将减小；反之容积将增大。设计中构造一调整因子  $k$ ， $k = \sqrt[3]{V/V_b}$ 。瓶颈高度调整为  $h_j$ ，令  $h_j = kh_j$ 。瓶身高度相应调整为  $h_s$ ， $h_s = h_j + h_s - h_j$ 。实践证明：利用调整因子能保证设计的瓶容积较快地收敛于所要求的容积。

② 偏差较大时，系统显示设计瓶交互选择的修改参数。考虑到影响容积的主要因素为瓶的高度和直径，故系统设置的修改参数即为两个主要参数：总高度和直径。通过调整，使瓶容积收敛于所要求的容积。

### 3.19.2 瓶罐造型计算机辅助设计系统简介

薛强和查建中选用 AutoCAD 和 3DS 软件系统作为玻璃瓶罐造型设计支撑软件，提出建立玻璃瓶罐造型计算机辅助设计系统的总体构成，如图 3-98 所示。

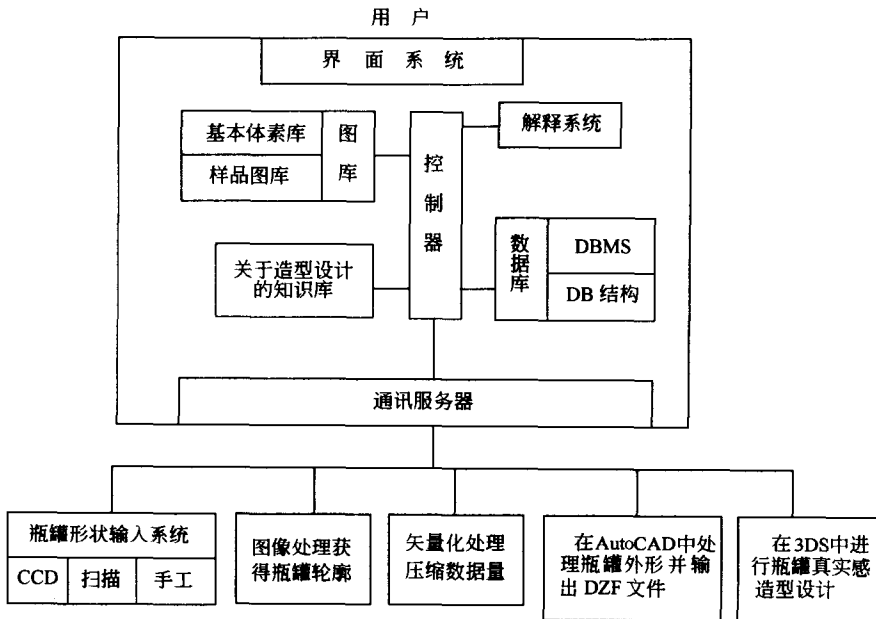


图 3-98 玻璃瓶罐造型计算机辅助设计系统

系统上层为整个系统的核心部分，实现对玻璃瓶罐造型设计过程的管理控制，对设计结果进行解释、评价。

(1) 界面系统 界面系统是用 C 语言写成的，其功能是将用户与控制器连接起来，让用户能方便使用该软件系统进行玻璃瓶罐造型设计。

(2) 图库 图库由基本体素库和样品图库组成。基本体素做成参数化图形，放在图库中，设计瓶罐外形时，就可以将它们拼装起来，这样方便了造型设计。样品图库则是将已经设计完的各种瓶罐以参数化图形方式存放在图库中，用户设计其他瓶罐时可拿来作参考。

(3) 管理系统 包括控制器、关于造型设计的知识库、数据库和解释系统几部分。控制器是系统的核心，整个系统的活动都由它来控制；知识库则是控制器进行控制时所依据的知识；数据库用于存放系统内的各种数据；解释系统完成最终设计结果的评价与解释工作。上述管理功能的实现中，引用了智能工程的理论、方法和软件系统结构，建立管理型专家系统。

系统下层为玻璃瓶罐造型设计的具体实现，整个造型设计工作分为 5 个任务完成。各项任务并行独立，它们之间的联系靠通讯服务器实现，各任务的执行由控制器来控制。

当玻璃瓶罐外形较为复杂时，采用先在 AutoCAD 中处理瓶罐外形，建立瓶罐的线框模型，然后将线框模型转化为 DXF 格式的数据文件（瓶罐的数值模型），再输入到 3DS 中做真实感造型是比较合理的造型设计方法。

获得玻璃瓶罐的造型有 3 种途径，其中 CCD 元件摄像和扫描输入瓶罐的图像，通过图像处理得到瓶罐外形轮廓，然后矢量化处理得到 AutoCAD 可接受的瓶罐外形。

### 3.19.3 基于 ObjectARX 的玻璃瓶型 CAD 系统

ObjectARX 是 Autodesk 公司针对 AutoCAD 平台上的二次开发而推出的一个开发软件包，ObjectARX 应用程序与 AutoCAD 之间的通信更加直接，运行效率更高。而且 ARX 命令一经注册，即被添加到 AutoCAD 原始命令组中，与 AutoCAD 自身固有命令一样，由 AutoCAD 本身执行。

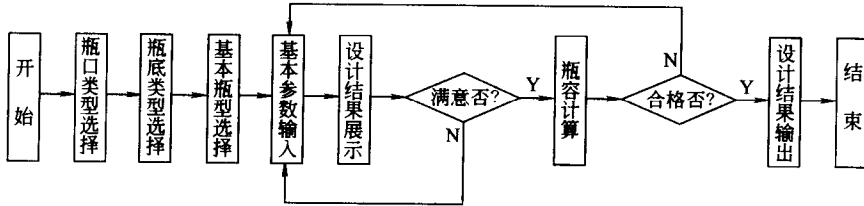


图 3-99 系统的工作流程图

曾孝宇等人开发的系统采用 ObjectARX 与 Visual C++ 6.0 相结合，开发出了玻璃瓶型设计系统。具有面向对象编程方式的数据可封装性、可继承性及多态性等特点，用其开发的软件具有模块性能好、独立性强及代码可重用性等特点。并且采用 ObjectARX 可以完全利用 MFC (Microsoft Foundation Class Library) 类库，开发出具有真正 Windows 风格的软件。该系统主要针对应用最为广泛的回转体小口瓶，建立了丰富的瓶型库。



图 3-100 三维演示图

系统根据实现的功能不同分为 4 个模块，分别为用户界面模块、图形绘制模块、容积计算模块和绘图辅助模块。系统的工作流程如图 3-99 所示。

图 3-100 为公称容积为 700ml、全容为 724ml、瓶质量为 570g、玻璃料密度为  $2.5\text{g}/\text{cm}^3$  的冠式瓶口，瓶底为球截面凸底普通啤酒瓶型三维演示图。

### 3.19.4 基于面向对象的智能玻璃瓶型设计

运用玻璃瓶型 CAD 系统，用户在选定瓶型和输入参数后，计算机程序会对数据进行处理，便可得到设计瓶型的平面图、三维图，还可以进行实体效果模拟，使设计者直观、快速地观测到设计效果，并可以及时进行修改，直至满意，最后输出符合用户需要的工程图纸。目前，国内较先进的工厂中，大多数设计者都采用这种先进的设计方法。但这种设计方法至少存在以下不足：

- ① 设计所投入的时间长，工作量大，效率低；

② 修改时需输入参数，且修改过程不直观。

为了免除设计人员在图纸上描绘样图之苦，从枯燥繁琐的参数计算中解放出来，缩短设计周期，增加瓶型种类，方便修改，满足市场需求。陈元琰和冯能山开发了智能瓶型设计，使设计人员在设计瓶型的过程中，不用输入任何绘图命令和瓶型参数，只需用鼠标在工具栏上选择画线工具，在绘图区上用鼠标按下 (Down) 和移动 (Move)，就可以设计任意长短和形状的线段或弧型，以得到各种形状和大小瓶型。

#### 3.19.4.1 智能瓶型设计界面和绘图设置

(1) 操作界面 智能瓶型设计的操作界面为标准 Windows 界面，屏幕顶部为带有菜单项的主窗体，其下为智能瓶型设计窗体 (DrawForm) 该窗体分为四个区，最左边为工具栏，每个工具上都画有线型图，直观地显示它所能绘制的线型；中间一个为绘图区域 (DrawPic)，用于在其上进行图形绘制；右边为参数显示区，用于显示绘图过程或结果的各项重要参数，操作人员可以根据所显示的参数来确定所绘制的图形是否符合要求；最后一个为功能按钮区，它用于辅助绘图操作。

(2) 设计绘图工具按钮 VB 的 3D Command Button (三维命令按钮) 是一个本身具有 Picture 属性的按钮，它不但具有按钮的功能，还具有在按钮表面装载图片的功能。本系统采用它来设计出一组具有三维视觉效果的工具按钮，这组工具包括：直线工具、弧线工具和矩形工具。

(3) 设置绘图区坐标系统 绘图区是图形生成的环境，本系统用 VB 的图片框作为绘图操作的工作区，它已考虑以下几个方面：

① 坐标系的最大纵坐标和最大横坐标之比应与绘图区的实际长度和宽度之比相近；

② 坐标系的取值应在瓶子的高或直径为几十毫米到几百毫米这数量范围内；

③ 坐标系的原点和轴方向的规定应符合人们的思维习惯，原点定于绘图区左下角，Y 轴正方向朝上，X 轴正方向朝右。

(4) 定义变量和数组 不同的过程使用的常量、变量和数组都要进行定义，在公共模块中把它们定义为全局变量；对于只在某一个过程中使用的变量则在该过程中定义为局部变量。

(5) 数组说明 智能瓶型设计中使用了一个二维数组  $E(J, I)$ ，作为文件保存前的记录数据，因为利用数组不但能记录线的各关键点数值，还能记录线的序号，当要对某线进行调整修改时，只要确定了该线  $J$  值，数值中其他的值都可以根据该值求出。

#### 3.19.4.2 绘图函数定义

为了设计方便，编写了绘制直线的自定义函数、圆弧线的自定义函数和矩形的自定义函数 (因篇幅关系不一一展开)。

#### 3.19.4.3 图形定位的方法

图形定位就是提供当前画图的所在位置坐标值。设计人员进行瓶型设计时，要在屏幕上绘制图形，一般需要定位，如指定某点作为画一条直线或一条弧线的起点 (或终点)。本系统使用了以下几种方便设计人员进行定位操作的方法。

(1) 设置绘图区的中心对称轴 为了保证画出的瓶型是对称的，程序中引进了一条辅助线，它允许设计人员在设计瓶型时只在辅助线的一侧作图，程序通过对称处理在辅助线的另一侧同时生成图线，且可以把该辅助线作为参照物，根据鼠标光标与辅助线的距离大小来定位，设计者可通过观察该处与辅助线的水平距离来确定所定位置是否满足瓶型要求。

(2) 捕捉线段端点 在用鼠标进行绘图时, 程序中采用了捕捉定位方式, 使得当鼠标在以某线段端点为中心的一定范围内按下时, 程序自动让按点与该点的坐标值相等。

(3) 使用橡皮筋技术 智能瓶型设计中使用了一项非常有用的图形动态显示技术, 就是橡皮筋技术。设计者如果想要从 A 点到 B 点引一根线段, 可先将光标定位于 A 点, 然后将鼠标光标朝 B 点移动, 在移动过程中, 就在绘图区上从 A 点到光标“十字丝”中心拉出一根线段, 随着光标的移动, 该线段也不断地移动(伸长或缩短), 就像从 A 点到“十字丝”光标之间紧拉着一根弹性的橡皮筋, 所以称为橡皮筋技术。

橡皮筋技术对于决定一条线段、弧线或一个矩形框, 且需要考虑与其他点、线的关系时是十分有用的, 因为利用这种反馈, 设计者可以随时判断所引的线段、弧线或矩形是否合适。

在 VB 中实现橡皮筋技术的绘图方法是: 在设计时先将绘图区的背景色设计为黑色, 绘图模式 (drawmode) 定义为反转 (Invert) 模式, 然后在鼠标移动的事件里编写以下代码:

```
Sub drawpic - mousemove (Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
```

```
    DrawPic.drawmode=6 ; 反转模式
```

```
    Select case currenttool
```

```
        Case 0 ; 如果选择了直线工具按钮
```

```
            Call DrawLine (XX1, YY1, preX, preY, ds, forecolor) ; 画直线
```

```
            PreX=X
```

```
            PreY=Y
```

```
            Call DrawLine (XX1, YY1, preX, preY, ds, forecolor) ; 画圆弧线
```

```
        Case 1 ; 如果选择了弧线工具按钮
```

```
            Call DrawArc (XX1, YY1, XX2, YY2, preX, preY, ds, forecolor)
```

```
            PreX=X
```

```
            PreY=Y
```

```
            Call DrawArc (XX1, YY1, XX2, YY2, preX, preY, ds, forecolor)
```

```
        Case 2 ; 如果选择了矩形工具按钮
```

```
            Call DrawBox (XX1, YY1, preX, preY, ds, forecolor) ; 画矩形框
```

```
            PreX=X
```

```
            PreY=Y
```

```
    Call DrawBox (XX1, YY1, PreX, PreY, ds, forecolor)
```

```
    End select
```

以上的 XX1, YY1 为鼠标第一次按下时的坐标值, XX2, YY2 为画弧时鼠标第二次按下的坐标值 (即画弧的第二点), PreX, PreY 为前一次的鼠标位置值, X, Y 为当前的鼠标位置值。画线模式采用的是 Invert 模式, 在该模式下绘制图形的颜色与背景色反色 (黑色背景上图形为白色), 之所以能够实现橡皮筋技术, 是因为在代码中编写了两条同样的画线语句, 绘出的第一条线是白色的, 再重画一次则白色线变为黑色线 (绘图区背景色), 原有线条消失, 随着鼠标不断移动, 上述现象不断重复, 可产生线条在移动的效果, 从而实现了图形的动态显示。

(4) 拖动定位 在移动光标时, 使图形跟着一起移动叫做图形的拖动, 拖动可以是平

移,也可以是图形绕一定点的转动,把鼠标“十字丝”按到图形的关键点上(节点),然后移动鼠标,图形就跟着鼠标不断地移动和显示。拖动效果的实现实际上也使用了橡皮筋技术,同样地需在程序中设置绘图模式为反转模式。

陈元琰和冯能山在玻璃瓶模具 CAD 系统上增加了智能瓶型设计功能后,在瓶型设计方面突破了以前单一的依赖参数的设计模式,使设计更灵活,修改更方便,式样更丰富,令设计人员深感方便和快捷。

### 3.20 快速原型技术与玻璃制品设计

快速原型技术与玻璃制品三维 CAD 数据相结合,能使玻璃制品的三维实体模型在很短的时间内,以很快的速度制出。

(1) 玻璃制品的决策模型 一个公司的决策者有决定制品是否研制投产的权力,因此要使制品能进行研发,设计者就必须提出令人信服的理由说服决策者。采用快速原型技术,在很短的时间内,将设计者的构思方案转变成为一个三维实体的制品模型。这个决策模型提供了大量详细的产品信息,让公司的决策者一目了然,对于准确、安全可靠的决策是很有力的支持。

(2) CAD 数据检查模型 即使是熟练的 CAD 操作者,往往也难以仅仅从三维的实体图像就准确、清楚地理解零件的详细结构。模型是检验三维计算机图形是否真正代表设计者思想的行之有效的方法。这样既可以方便地验证设计思想的正确与否,还可以检查 CAD 数据是否真正正确。设计的初期进行这样的检查,可以大大减少制品生产过程中产生的不必要的修改工作。

(3) 销售模型 为了生产出客户所满意的玻璃制品,同时不产生任何误解,可以采用快速原型技术生成一个制品销售模型,与客户进行讨论协商。

(4) 设计构思评价模型 评价一个玻璃制品的设计是否正确有美感或是否有价值是十分重要的,尤其是对于有触摸感觉的制品更需要进行感触模拟试验。采用快速原型技术制造的制品样件,可进行充分讨论、修改和试验,反复进行直到满意为止。



## 第 4 章 玻璃模设计

### 4.1 玻璃模类型与结构

#### 4.1.1 吹制模

人工吹制模仅用于成型日用玻璃制品。它成型形状简单，用于尺寸和形状的精度没有特殊要求的瓶罐，是吹制玻璃制品早期延续至今的主要模具。常用木材、塑料制造，只有批量较大时才用灰铸铁制造。

图 4-1 为人工吹制酒杯用的较复杂的转底模。两瓣模 1 装在销轴上，并与座板 4 紧密贴合。模底 5 装在钢球 3 与淬硬板 2 上。

人工吹制模也可以有若干分模面。图 4-2 为吹制灯罩用的模具，其下部由 2 个零件、上部由 4 个零件组成。只要适当改变模具的组合形式，就可以吹制出各种不同形状的制品。

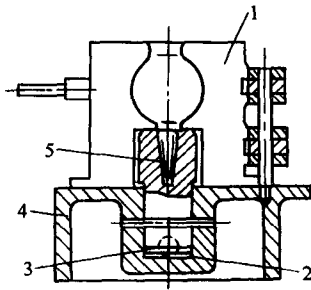


图 4-1 人工吹制酒杯用转底模

1—两瓣模；2—淬硬板；3—钢球；  
4—座板；5—模底

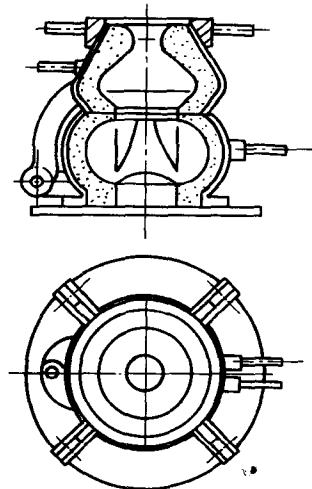


图 4-2 人工吹制灯罩多瓣模具

若采用气动玻璃吹管代替人工吹制，则模具即为机器自动吹制模，可减轻吹制工人的劳动强度。

#### 4.1.2 压制模

压制模主要用于日用玻璃制品和工业玻璃制品的生产，其制品形状复杂，可带有花纹图案。图 4-3 为制造糖缸用的三瓣压制模。该模前两瓣做成一样，后一瓣做成  $60^\circ$ ，压制花纹分布不对称的制品，一般采用这种结构的模具。各模瓣的配置应不会在制品的花纹上留下开模造成的粗痕。

花纹分布为奇数等分的制品，往往采用角度为  $120^\circ$  的三瓣模。而花纹分布为偶数等分的制品，则采用双瓣或四瓣模。

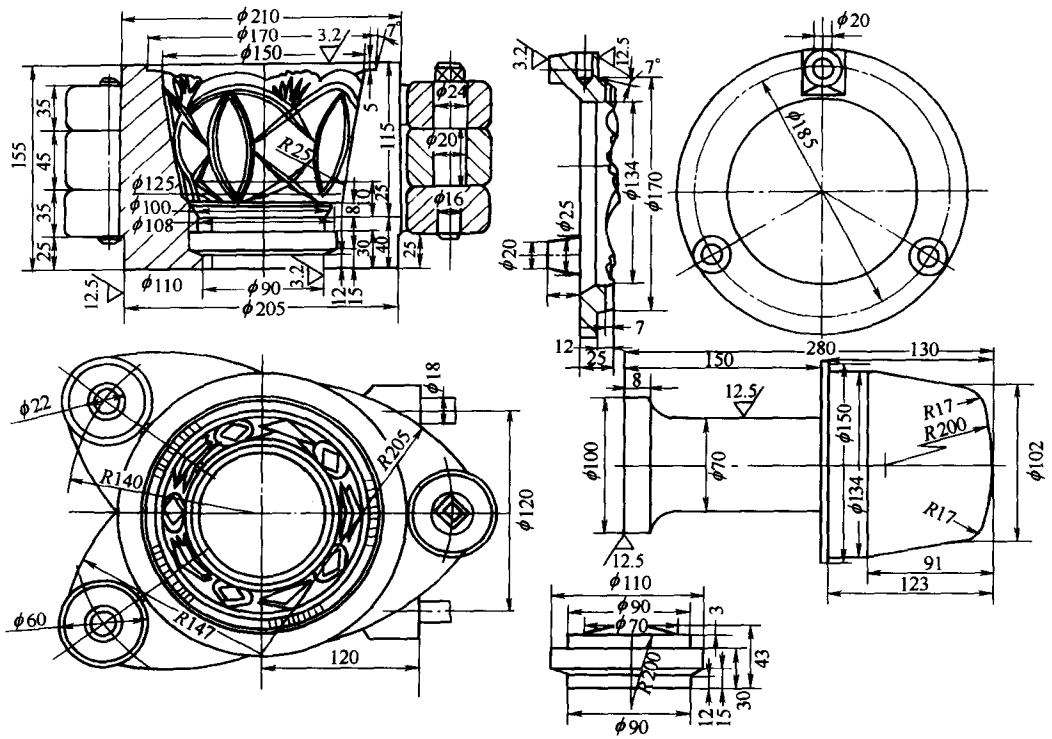


图 4-3 压制糖缸用的三瓣压制模

图 4-4 为高脚杯压制模，它有固定的夹钳和底板。该模的最大特点是模体 1 没有钩环、锁紧装置和扳手，这些部件的作用已全部为固定夹钳所代替。夹钳 2、3 为铸件，夹钳铰链内安装活动套筒 4、4a 和铰链轴 12，能保证压制模工作时垂直和水平方向不发生歪斜。锁紧装置 5 上有锥形凸起可锁紧两瓣模夹钳，以保证压制时模身紧密接合。

这种锁紧装置不需要将它从钩环中拉出，因为带把 7 的扳手 6 能兼作开闭模之用。有了带锁紧部分的固定底板 8，即可保证模具在压力机台上对称，同时它也是装模底 9 的基座。模身用两只螺栓 10 固定在夹钳内，螺栓尾部有一段无螺纹部分伸进模身内，这样两瓣模闭合时模身能自动对齐。压制环 11 有内坡口，它可使两瓣模压制时更好地锁紧，供冲头 13 压制。生产实践证明，

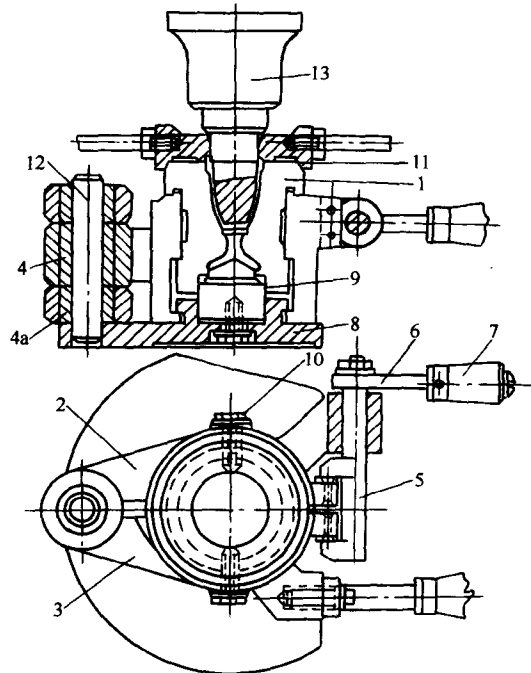


图 4-4 高脚杯压制模

1—模体；2、3—夹钳；4、4a—套筒；5—锁紧装置；6、7—扳手；8—底板；9—模底；10—螺栓；11—压环；12—轴；13—冲头

这种结构的压制模也适用于压制高度不超过 100mm 的其他制品。

带贮料室的压制模压制制品时，不直接把玻璃料放入模腔，而是放入贮料室内。贮料室壁承受玻璃料的大部分热冲击，因而能提高模具型腔的寿命。这种压制方法的另一个优点是

进入型腔内的玻璃料质量正好等于压制制品的质量，因而，成型后的制品尺寸精度高。

根据制品的轮廓和成型方法，贮料室下面的浇注槽有的为圆形槽，有的为扁槽。设计浇注槽时，应考虑玻璃料在模内的流动情况，开始时，浇注槽可做得小些，待试模后，再根据结果加大浇注槽。

图 4-5 为带有贮料室的阀壳压制模。当玻璃料送入贮料室后，冲头 1 将玻璃料从室 A 经由槽 B 压入模腔内。压制完后，提起冲头。为防止形成真空，冲头设有排气槽 2。模具离开机器的工作位置后，应

迅速转动杠杆 8、6，从制品中拔出型芯 7、3 和 4，并打开了冷却风 C 的通路，使冷却空气能够进入制品，冷却制品壁。取下抱环 9，放松模具基础板上的拉紧偏心装置，顺着基础板 5 的导向凸耳即可打开两瓣模具。

#### 4.1.3 制瓶机模

制瓶机模是全部由机械操纵完成玻璃制品成型的工艺装置，又称为机制模，大致有以下 4 种。

① 行列式制瓶机吹-吹模见图 4-6。

② 行列式制瓶机双滴料单腔吹-吹模见图 4-7。

③ 行列式制瓶机压-吹模见图 4-8。

④ 回转式制瓶机滴料压-吹模如图 4-9 所示，模具的全部外形尺寸均在图示尺寸以内，口模和成形模直径不变，初型模最大直径应与制瓶机转台上的凹槽相适应。

初型模 1 支承在底座 2 上，后者安装在机器的支座 3 上。两半口模 7 与口钳 8 镶在一起安装在初型模上。口模靠初型模定心并承受提升机构的压力。冲头 5 的导向套 6 是用来限定初型料泡的高度和引导冲头，冲头可在导向套内自由移动。与底板 12 连接的冲头由管 4

通入的空气或水进行内冷却。初型模下落时，料泡转移到成形模 9，然后成形模闭合。成形模靠夹钳 10 夹持，夹钳内设有成形模冷却装置。两半成形模由模底 11 封闭和定心。用底板

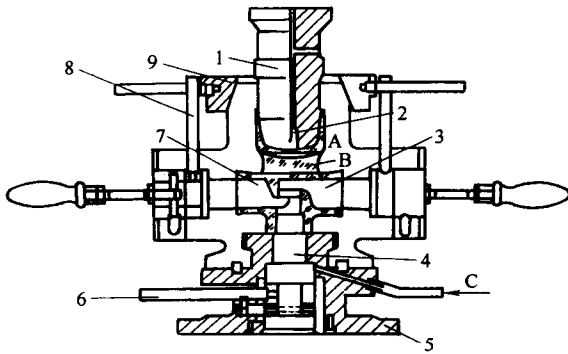


图 4-5 带有贮料室的阀壳压制模

1—冲头；2—排气槽；3、4—型芯；  
5—基础板；6、8—杠杆；9—抱环

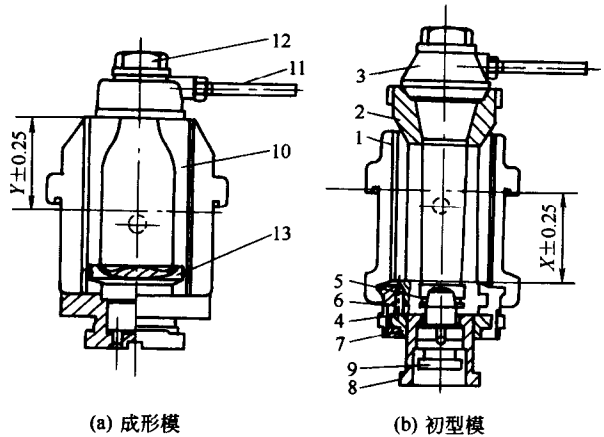


图 4-6 行列制瓶机吹-吹模

1—初型模；2—漏斗；3—网头；4—口模；5—口模套筒；  
6—圆柱销；7—导向套筒；8—封气套筒；9—芯子；  
10—成形模；11—杆；12—吹气头；13—模底

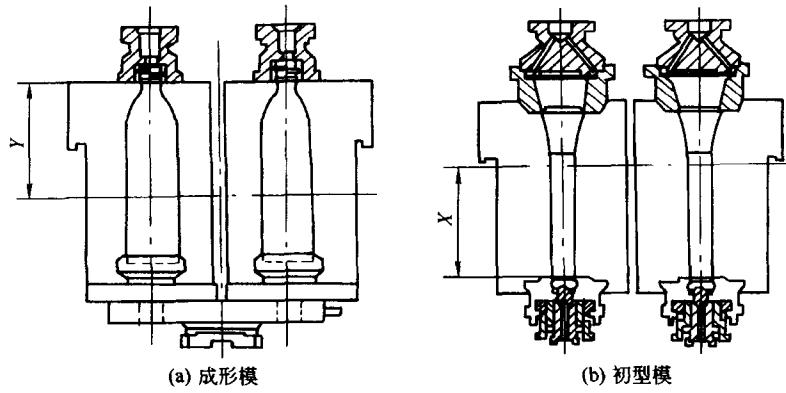


图 4-7 行列制瓶机双滴料单腔吹-吹模式

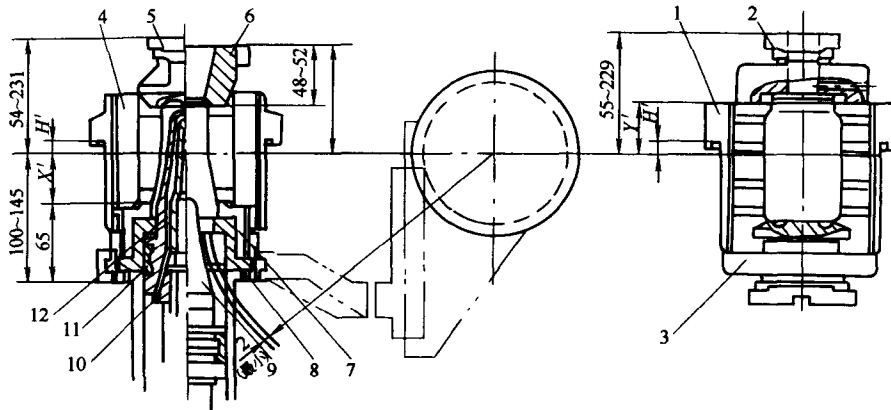


图 4-8 行列式制瓶机压-吹模  
1—成形模；2—吹气头；3—模底；4—初型模；5—闷头；6—漏斗；7—口模；  
8—口模套筒；9—冲头；10—冲头接头；11—夹环；12—冷却器

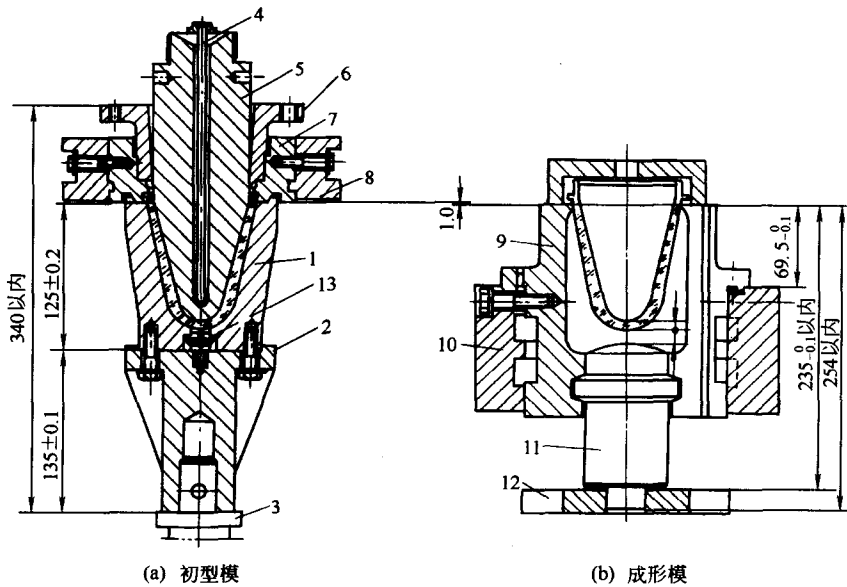


图 4-9 回转式制瓶机滴料压-吹模型  
1—初型模；2—底座；3—支座；4—输气（水）管；5—冲头；6—导向套；7—口模；  
8—口钳；9—成形模；10—夹钳；11—模底；12—座板；13—排气阀

把模底由成形模内抽出来，即可使初型料泡进入成形模内。初型模内的空气由排气阀 13 排出。

## 4.2 模具与成型机

### 4.2.1 成型机性能和特点

玻璃制品成型机通常可分为四类：行列式制瓶机、回转式制瓶机、吹泡机和压制机。

#### 4.2.1.1 性能要求

玻璃制品种类繁多，它们对成型机的要求虽不尽相同，但根据现代化的标准概括起来有五项基本的要求：

- ① 成型机要在最好的产品质量和最佳的经济效果前提下，具有最高的生产率；
- ② 成型机要操作容易、维护方便、运行安全可靠，并具有先进的程序控制和自动化的系统；
- ③ 先进的成型机，或是专门成型某种产品达到最高经济技术指标的专用设备；或者是能成型多种类型、不同规格的制品，适应能力强的成型机，二者必居其一；
- ④ 成型机要经久耐用，它的检修周期要和高炉龄熔窑的冷修周期相适应；
- ⑤ 成型机要具有先进的成型工艺、合理的润滑和冷却系统，以及完备的辅助设施。

#### 4.2.1.2 行列式成型机特点

目前世界上生产玻璃瓶罐的成型机中，行列式制瓶机（又称 I. S. 制瓶机，简称行列机）约占 60%，所生产的产品数量约占全部玻璃瓶罐的 80% 以上。

行列式制瓶机是由数个完全相同的机组（分部）组成的，每一机组都是一个独立完整的制瓶机，近年来制造的行列式制瓶机多为 6、8、10 组。行列式制瓶机的特点如下：

- ① 行列机装有导料系统，不另设分料器；
- ② 行列机的每一机组是完全独立的定时控制，可以单独启动和停车，不会影响其他机组，便于更换模具和维修机器。因生产需要，可减少运转的组数；
- ③ 行列机的生产范围广，它既可用吹-吹法，又可用压-吹法成型瓶罐。对不同尺寸和形状的大口或小口瓶具有非常好的适应性和灵活性。在制品质量和机速完全一致、料形相近时，各机组可以分别成型不同形状和尺寸的产品；
- ④ 行列机能够使成型的瓶罐获得较好的玻璃分布，尤其是以压-吹法生产的各种瓶罐，壁厚均匀，可以实现玻璃瓶罐的轻量化。与其他成型机比较有较高的单模生产效率；
- ⑤ 行列机的主要操作机构不转动，动作平稳，操作条件良好。

行列机吹-吹法操作工艺过程如下：

- ① 装料；
- ② 扑气；
- ③ 倒吹气；
- ④ 锥型翻转；
- ⑤ 锥型重热和延伸；
- ⑥ 正吹气和瓶罐初冷；
- ⑦ 钳瓶；
- ⑧ 瓶罐冷却和输送。

行列机压-吹法操作工艺过程如下：

- ① 装料；
- ② 压制锥型；
- ③ 锥型翻转。

以后的工艺过程与吹-吹法完全相同。

## 4.2.2 成型机类型

### 4.2.2.1 QD<sub>4</sub> 型行列机

国产 QD<sub>4</sub> 型行列机属于 E 型 I. S. 制瓶机, 是气动、四组、单滴料的玻璃瓶罐成型机。它是由导料机构、漏斗机构、扑气机构、顶芯子和冲头机构、初型模和成形模夹具、口钳和口钳翻转机构、正吹气机构、钳瓶机构、模底翻倒机构、定时控制机构、输瓶机构, 以及压缩空气及冷却风系统和供油润滑系统等组成。行列机使用净化和除水后的高或低压两种压缩空气。表 4-1 为 QD<sub>4</sub> 行列机的技术规格。

表 4-1 QD<sub>4</sub> 行列机的技术规格

项 目			技 术 规 格
瓶的质量/g	小口瓶	极限范围	30~1200
		适用范围	120~800
	大口瓶	极限范围	30~1000
		适宜范围	100~600
瓶的尺寸/mm	瓶头外径	吹-吹法	<50
		压-吹法	<90
	瓶身高度 (不算瓶头)	吹-吹法	<315
		压-吹法	~200 (<240)
	瓶身外径		50~120 (<150)
分 部 数			4
生产率/(个·min <sup>-1</sup> )	每个分部	极限范围	2.5~15
		适宜范围	4~12
	全机	极限范围	10~60
		适宜范围	16~48
压缩空气	压力/Pa	低压气	$1.96 \times 10^5 \pm 1.47 \times 10^4$
		高压气	$2.7 \times 10^5 \sim 3.43 \times 10^5$
	耗气量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	低压气	10.3
		高压气	6.95
		总量	<16.75
冷却风	压力/Pa	$3.7 \times 10^5$	
	风量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	15300	
外形尺寸(长×宽×高)/mm			3700×2630×2948
机器质量/t			11.66

### 4.2.2.2 E 型 6 组 I. S. 制瓶机

E 型 I. S. 制瓶机是属于 I. S. 制瓶机的原型机。它具有 6 个相同的“机组”, 采用玻璃滴料供料、压缩空气驱动的行列式制瓶机, 带有单滴料操作和双滴料操作的替换件装置, 供变换不同的生产操作方法使用。当采用双滴料生产操作时, 模具中心距为 108mm。

由于它可以根据玻璃制品的质量和尺寸的大小, 变换不同的生产操作方法, 采用单滴料或双滴料, 进行吹-吹法或压-吹法生产操作, 所以, 既能生产小口的又能生产广口的空口玻璃制品。在一般情况下, 玻璃制品较轻, 尺寸较小, 采用双滴料生产操作, 可以达到最高的

生产率。正常时，E型6组I.S.制瓶机24h的最大生产能力和制品的质量范围如下：

- ① 单滴料吹-吹法 制品质量范围 28~1417g，生产能力约 40t；
- ② 单滴料压-吹法 制品质量范围 28~1134g，生产能力约 42t；
- ③ 双滴料吹-吹法 制品质量范围 28~425g，生产能力约 41t；
- ④ 双滴料压-吹法 制品质量范围 58~198g，生产能力约 30t；

E型6组I.S.制瓶机能生产的玻璃制品的最大尺寸见表4-2。

表4-2 E型6组I.S.制瓶机的产品尺寸(最大)(mm)

项 目	单 滴 头		双 滴 头	
	吹-吹法	压-吹法	吹-吹法	压-吹法
瓶头以下最大高度	350	280	270	127
瓶子最大直径	178	165	76	76
瓶口最大直径	89	110	53	68

E型6组I.S.制瓶机生产各种质量的玻璃制品的产量关系见表4-3。

表4-3 E型6组I.S.制瓶机生产的玻璃制品质量和产量关系

操作方式	制品质量 /g	模具装料 /(次/min)	生产能力 /(个/24h)	操作方式	制品质量 /g	模具装料 /(次/min)	生产能力 /(个/24h)
单滴料 吹-吹法	142	65	87264	单滴料 压-吹法	142	74.6	97920
	283	55.3	76320		283	59.6	78912
	425	44	57744		425	48.6	61488
	567	42	57204		567	40.4	51120
	709	36	47520		709	34.1	44208
	850	30.2	38880		850	33.0	40464
	1134	24.7	31698		1134	26.0	30816
	1417	19.9	22608		85	163.0	213264
双滴料 吹-吹法	142	117.6	139392	双滴料 压-吹法	142	131.6	172656
	283	84.5	115776		198	105.6	133200
	425	68.3	93600				

E型6组I.S.制瓶机冷却空气消耗量(如使用的压缩空气的压力为 $3.72 \times 10^4$ Pa)：

117型单固定板输瓶机配套用量：22936m<sup>3</sup>/h。

117型双固定板输瓶机配套用量：27184m<sup>3</sup>/h。

E型6组I.S.制瓶机所需压缩空气量见表4-4。

表4-4 E型6组I.S.制瓶机所需压缩空气量(m<sup>3</sup>/min)

用 气 项 目	吹-吹法		压-吹法	
	单 滴 料	双 滴 料	单 滴 料	双 滴 料
运 转	11.80	11.80	14.40	12.80
内部冷却	3.40	没有	3.40	没有
倒 吹	1.70	1.70	不需要	不需要
冲头冷却	不需要	不需要	6.00	8.50
合 计	16.90	13.50	23.80	21.30

注：1. 驱动用的压缩空气的压力： $(2.068 \times 10^5 \pm 0.1726 \times 10^4)$  Pa。

2. 其余的压缩空气的压力： $2.756 \times 10^5 \sim 3.425 \times 10^5$  Pa。

#### 4.2.2.3 EF型8组I.S.制瓶机

EF型8组双滴料I.S.制瓶机是在E型和F型的基础上发展成的，现已标准化。它可进行吹-吹法、压-吹法作业，生产各类小口和广口瓶，是目前各国普遍使用的一种机型。

EF型8组I.S.制瓶机具有8个相同的“机组”，双滴料模具中心距(C.D)为140mm。采用气动定时转鼓或电子定时方式，主要成型机构由压缩空气驱动，配用115型滴料式供料机、K36-510型供料槽。

EF型8组双滴料I.S.制瓶机在成型原理和成型机构上与E型6组I.S.制瓶机基本相同，但在每个机构或部件上较E型6组I.S.制瓶机均有改进。制品规格范围见表4-5，制品质量范围及生产速度分别见表4-6和表4-7。

表4-5 制品规格范围 (mm)

制品尺寸项目	EF型8组双滴料I.S.制瓶机		制品尺寸项目	EF型8组双滴料I.S.制瓶机	
	吹-吹法	压-吹法		吹-吹法	压-吹法
最大瓶身直径	111	111	瓶口以下最小瓶身高度	48	32
瓶口以下最大瓶身高度	343	229	最大瓶口直径	48	90

注：1. 制品形状会影响最大瓶身直径。

2. 压-吹法时冲头冲程为165mm。

3. 锥形伸长或变形将影响压-吹法的瓶口以下最小尺寸。

表4-6 制品质量范围及生产速度 (压-吹法)

容量/L	玻璃质量/g	生产速度		产量/(t·d <sup>-1</sup> )(平均/ 最佳条件下)
		平均/(个·min <sup>-1</sup> )	最佳条件下/(个·min <sup>-1</sup> )	
1.0	460	98	106	65/70
1.0	410	110	124	65/73
0.73	345	128	142	64/71

注：1. 所列生产速度将因瓶罐的形状、容量、玻璃黏度、操作人员熟练程度、机器运转状况、当地的环境条件而有差别；

2. 新机器开始投产时，产量按平均机速减10%计算。

表4-7 制品质量范围及生产速度 (吹-吹法)

容量/L	玻璃质量/g	生产速度		产量/(t·d <sup>-1</sup> )(平均/ 最佳条件下)
		平均/(个·min <sup>-1</sup> )	最佳条件下/(个·min <sup>-1</sup> )	
1.0	960	64	73	88/101
1.0	927	66	76	88/101
1.0	730	72	80	76/84
1.0	540	92	102	72/79
0.7	488	100	110	70/77
0.7	470	98	108	66/73
1.0	468	101	112	68/75
0.7	430	102	116	63/72
0.7	410	102	116	60/68
0.5	390	102	116	57/65
0.31	350	116	136	58/69
0.5	327	118	140	56/66

注：1. 吹-吹法生产小口瓶适宜的制品质量范围为300~700g。

2. 同表4-6的表注1。



EF 型 8 组 I. S. 制瓶机的动力消耗见表 4-8。传动采用直流多电动机自动同步传动系统，各电动机的功率如下：供料机主传动直流电动机为 2.2kW；制瓶机转鼓轴传动、分料器传动和输瓶机传动直流电动机均为 1.5kW。

表 4-8 EF 型 8 组 I. S 制瓶机动力消耗

用途	压力/10 <sup>5</sup> Pa	用量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	用途	压力/10 <sup>5</sup> Pa	用量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )
低压操作空气	2.0595	8.0	真空(初型模真空辅助)	0.846	2.8
高压操作空气	3.0892	6.5	模具冷却风	0.060	815
高压成型空气和冲头冷却	3.0892	18.1	冷却风	2.0595	10L·min <sup>-1</sup>
真空(成形模真空成型)	0.846	5.6			

注：1. 实际的消耗量取决于生产速度、瓶罐质量、当地条件等。

2. 冷却水用于分料器的漏斗、料勺和截料器。

#### 4.2.2.4 解放 20 型制瓶机

从长远的观点看，采用液压传动的解放 20 型制瓶机会逐步被行列机所取代。介由于它的数量较多，而且在短时期内还不可能有足够的行列机来代替它，所以它目前仍是小型玻璃厂生产玻璃瓶罐的重要设备之一。

从结构上看，解放 20 型制瓶机与行列机的一个机组相似。它也以吹-吹法成型小口瓶，以压-吹法成型大口瓶，所不同的是在压-吹法中采用正压压制锥型，不需要口钳翻转设备。与行列机不同，解放 20 型制瓶机不附带导料机构，如果由一台供料机供多台机器生产时，要另设分料器。解放 20 型制瓶机主要组成部分有漏斗机构、扑气机构、顶芯子机构、初型模机构、口钳翻转机构、正吹气机构、成形模转盘和钳瓶器等组成。这些组成部分的结构和作用均与行列机相似。不同之处除传动机构外，还有成形模机构。转盘上有三个成形模，间歇转动。其中一个位置接锥型，第二个位置进行正吹气，第三个位置钳瓶。解放 20 型制瓶机技术规格见表 4-9。

表 4-9 解放 20 型制瓶机技术规格

项 目			技术规格	项 目		技术规格	
瓶的质量 /kg	小口瓶		0.03~0.8	动力用油	压力/Pa	1.96×10 <sup>6</sup>	
	大口瓶		0.03~0.6		油泵规格	型 号	YB <sub>1</sub> -50
瓶罐尺寸 /mm	瓶口外径	吹-吹法	单口	50	电动机	流量/(L·min <sup>-1</sup> )	50
			双口	30		功率/kW	3
		压-吹法	单口	90	驱动用	压力/Pa	2.45×10 <sup>5</sup>
			双口	50		消耗量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0.4
	瓶身高度 (不计瓶头)	吹-吹法	单口	270	吹制用	压力/Pa	1.96×10 <sup>5</sup>
			双口	150		消耗量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0.1
		压-吹法	单口	150	总耗量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )		0.5
			双口	100	消耗量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )		1430
瓶身外径	单口		100	冷却风	压力/Pa	3.92×10 <sup>3</sup>	
	双口		60		外形尺寸(长×宽×高)/mm		1800×920 ×1700
最高机速/(个·min <sup>-1</sup> )			15	质量/kg		3000	
动力用油	流量/(L·min <sup>-1</sup> )	48.6					

这种机器体积小，构造简单，投资小，适合小厂使用，它的缺点主要是消耗高，生产率低。

#### 4.2.2.5 气动6模制瓶机

气动制瓶机既可生产小口瓶，也可生产广口瓶。它采用滴料式供料机供料。有初型模和成形模转台，分别安装于各自的立柱上，做间歇旋转，但方向相反。两个转台上分别有6套初型模座和成形模座。转台及其各机构的运动均采用气缸推动。气动6模制瓶机技术规格见表4-10。

表 4-10 气动6模制瓶机技术规格

项 目	技术数据	备 注
玻璃瓶的质量/kg		须装特殊初型模夹钳
极限范围	0.014~1.8	
适宜范围	0.227~0.625	
瓶口最大直径/mm		
无缝	90	
有缝	100	
瓶身最大直径/mm	125	
瓶子最小高度/mm	25	
瓶子最大高度/mm		
标准口模夹钳	320	
装特长口模夹钳	370	
最大机速/(个·min <sup>-1</sup> )	48	
压缩空气压力/Pa	2.75~2.94×10 <sup>5</sup>	
压缩空气消耗量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	5.7~8	
真空度/Pa	8.8×10 <sup>5</sup>	
真空排气量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	3.5	
冷却风压力/Pa	19.6~2.94×10 <sup>3</sup>	
冷却风量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	340~500	

#### 4.2.2.6 罗兰特 S10 型制瓶机

罗兰特 S10 型制瓶机（简称 S10）有 10 组成型架（10 个初形模与 10 个成形模），采用滴料法供料，用吹-吹法制瓶，并在成形模中采用真空成型技术。S10 机主要有支撑 10 组成型架的顺时针旋转的主转台部分、逆时针旋转的钳瓶机构、顺时针旋转的完成台和逆时针旋转的拨瓶机构等组成，各组部分均连续转动。

S10 机可采取单滴料和双滴料两种方式进行生产。它采用机械传动，有一个固定的、动作较可靠的生产程序，而且工艺过程的时间可以调节。

S10 机的产品规格，单滴料生产见表 4-11，双滴料生产见表 4-12。

表 4-11 单滴料生产的产品规格（单位：mm）

项 目	采用标准夹具	采用特殊夹具	项 目	采用标准夹具	采用特殊夹具
瓶口最大外径	40	52	总高度（平底瓶） （凹底瓶）	152+B~372.5	79+B~372.5
瓶身最大直径	90	125		—	79+B~338.5

注：B 为瓶口高度。

S10 机的辅助设备技术性能见表 4-13。

S10 机单滴料生产能力如图 4-10 所示。

表 4-12 双滴料生产的产品规格 (单位: mm)

项 目	模具中心距为 82mm	模具中心距为 92mm
瓶口最大外径	32	38
瓶身最大直径	70	75
总高度	$86 + B \sim 260 + B$	$120 + B \sim 265 + B$

注: B 为瓶口高度。

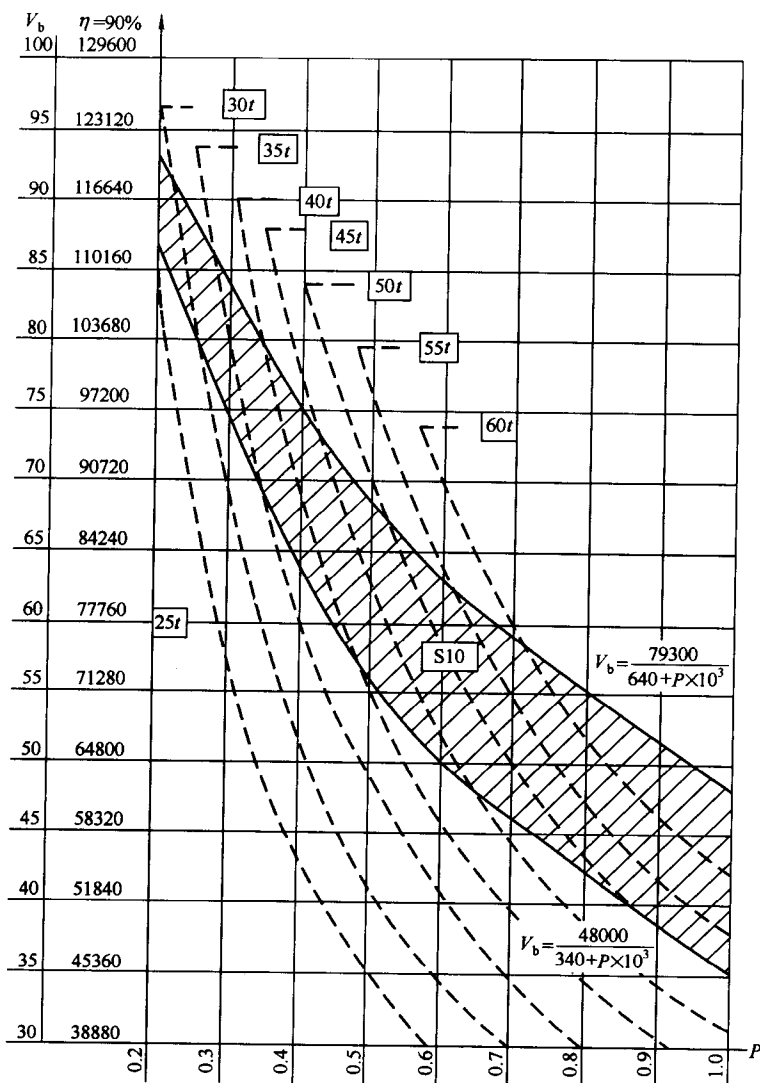


图 4-10 S10 机单滴料生产能力

$V_b$ —机速, 个· $\text{min}^{-1}$ ;  $P$ —瓶质量, kg;  $\eta$ —正品率, %;  $t$ —日产量,  $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$

表 4-13 辅助设备技术性能

名 称	技 术 性 能	
	单 滴 料	双 滴 料
供料机	平均产量 $45\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ , 最高产量 $65\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ , 机速 $30 \sim 102 \text{滴} \cdot \text{min}^{-1}$	
制瓶机与送料机的同步器	气动 L 型联动装置	

续表

名 称	技 术 性 能	
	单 滴 料	双 滴 料
真空度/Pa	$8.67 \times 10^4$	$8.67 \times 10^4$
真空排气量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	23	33
压缩空气压力/Pa	机器使用范围 $(0.875 \sim 2.94) \times 10^5$	
压缩空气消耗量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	12	16
(1) 瓶模冷却风机		
风量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	720	810
风压/Pa	$4.9 \times 10^3$	$5.88 \times 10^3$
(2) 瓶子冷却风机		
风量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	300	
风压/Pa	$2.16 \times 10^3$	

S10 机双滴料生产能力如图 4-11 所示。

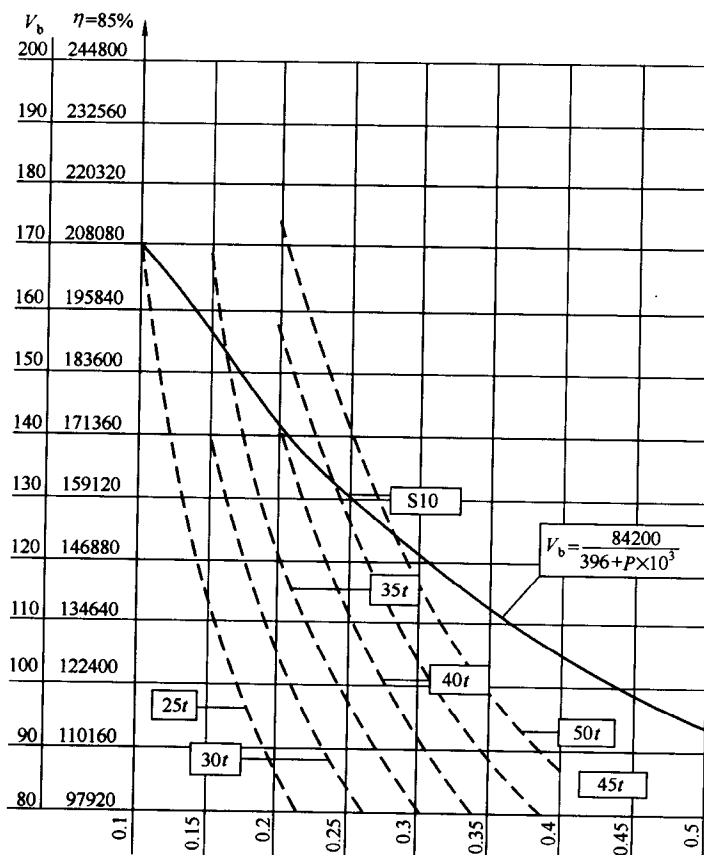


图 4-11 S10 机双滴料生产能力

$V_b$ —机速, 个· $\text{min}^{-1}$ ;  $P$ —瓶子质量, kg;  $\eta$ —正品率, %;  $t$ —日产量,  $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$

两图中所表示的生产能力曲线, 是按瓶子质量来计算的。特性曲线中机速 (个·

$\text{min}^{-1}$ ) 与质量 (kg) 关系的计算公式见表 4-14。

表 4-14 S10 机生产能力计算公式

项 目	单滴料	双滴料
保证机速	$V_b = \frac{48000}{340 + P \times 10^3}$	$V_b = \frac{84200}{396 + P \times 10^3}$
最高机速	$V_b = \frac{79300}{640 + P \times 10^3}$	—

注：1.  $V_b$ ——机速，个· $\text{min}^{-1}$ 。

2.  $P$ ——瓶子质量，kg。

生产能力曲线图中还注明了 S10 机每日 (24h) 正品的产量。正品率，单滴料生产时以 90% 计算，双滴料生产时为 85%。图中以虚线绘出的曲线表示玻璃的日产量。

#### 4.2.2.7 吹泡机

吹泡机主要用于成型薄壁玻璃制品。

SJ694 型 12 模吹泡机用于吹制保温瓶内、外胆和大功率白炽灯泡壳；BD72 型 12 模吹泡机常用小功率白炽灯泡壳、电子管玻壳的成型；M830 型 18 模吹泡机适用于吹制各种类型的水杯、酒杯、烧杯、烧瓶、灯泡、桅灯罩、保温瓶胆等薄壁玻璃制品。

SJ694 型和 BD72 型吹泡机的机械结构和成型过程较相似，都是全机械传动，成型过程都分为初成型、吹塑、垂直延伸、成型吹制、制品冷却五个阶段。而 M830 型吹泡机是机械传动与气动相结合，成型过程为先压料饼然后进行吹制。

SJ694 型和 BD72 型吹泡机的机械结构和成型过程较相似，都是全机械传动，成型过程都分为初成型、吹塑、垂直延伸、成型吹制、制品冷却五个阶段。而 M830 型吹泡机是机械传动与气动相结合，成型过程为先压料饼然后进行吹制。

SJ694 型 12 模吹泡机的技术性能见表 4-15。

BD72 型 12 模吹泡机的技术性能见表 4-16。

M830 型 18 模吹泡机的技术性能见表 4-17。

表 4-15 SJ694 型吹泡机的技术性能

制品范围	生产能力		成型组	转数/( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )		配气方式	传动方式	电动机	
	/(个· $d^{-1}$ )	/( $t \cdot d^{-1}$ )		公转	口钳自转			功率/kW	转速/( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )
(1~5)lb 保温内 外胆	15000~ 18000	5.5~7	12	0.9~1.1	26~35	配气盘 分配	传动带、 齿轮	4	960

注：1lb=0.4536kg。

表 4-16 BD72 吹泡机的技术性能

制品范围	生产能力 /(个· $h^{-1}$ )	成型 组数	转数/( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )		直流电机规格		
			公转	吹接管自转	型号	功率/kW	转速/( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )
$\phi 35 \sim 80$ mm 泡壳	2160	12	0~3	0~7	Zn-32	2.2	1500

表 4-17 M830 型 18 模吹泡机的技术规格

项 目		技术规格		项 目		技术规格	
机速/(个· $\text{min}^{-1}$ )		17~60		产品尺寸 /mm	产品壁厚	0.3~2	
质量/g	最大料滴	400			产品底厚	0.3~12	
	最大料泡	260		主电动机功率/kW	2.2		
产品尺寸 /mm	最大直径	36		压缩空气	压力/Pa	$3.9 \times 10^5$	
	最大高度	300			耗量/( $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )	8.8	

#### 4.2.2.8 压机及其他成型机

(1) 压杯机 国内压杯机的主要技术参见表 4-18。气动压杯机的主要工艺技术参数

见表 4-19。

表 4-18 国内压杯机的主要技术参数

压杯机	10 模机	12 模机	14 模机	16 模机
模台(大盘)直径/mm	1310	1310	1500	1500
模具安装中心直径/mm	1140	1140	1300	1300
摇臂中心/mm	330	371	370	370
冲压缸内径/mm	220	220	240	240
推气缸内径/mm	127	127	130	130
分气缸内径/mm	56	56	60	60
制品最大高度/mm	160	160	150	150
制品最大直径/mm	120	120	110	110
制品最大质量/g	500	500	400	400
压缩空气压力/MPa	0.55	0.55	0.7	0.7
压缩空气气量/(m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	6.5	6.5	7.5	7.5
机器噪声/dB	90	90	95	95

表 4-19 气动压杯机的主要工艺技术参数

气动压杯机	1109	2008	11H <sub>1</sub>	19H <sub>5</sub>
机型	12 模机	16 模机	10 模机	10 模机
机速/(个·min <sup>-1</sup> )	43	43	50	46
压力/MPa	0.55	0.55	0.55	0.55
产品名称	1109	2008	11H <sub>1</sub>	19H <sub>5</sub>
冲压时间/s	0.64	0.66	0.4	0.6
风压/Pa	1800	1800	1800	1800
制品质量/g	160	170	50	110
熔化池温度/°C	1540	1560	1560	1540
澄清池温度/°C	1450	1460	1460	1450
工作池温度/°C	1200	1190	1240	1190
泥碗直径/mm	34	34	22	32
料滴温度/°C	1100	1100	1120	1080
泥筒转速/(r·min <sup>-1</sup> )	3 $\frac{1}{3}$	3 $\frac{1}{3}$	3 $\frac{1}{3}$	3 $\frac{1}{3}$
通道温度/°C	1080	1280	1300	1320

(2) JC2133-6 六模玻璃器皿压机 适用于压制各型 120~600ml 的玻璃杯、各型式的花插、中西式玻璃果盆等玻璃制品。JC2133-6 六模玻璃器皿压机的主要技术参数见表 4-20。

表 4-20 JC2133-6 六模玻璃器皿压机的技术参数

名称	技术参数	名称	技术参数
装模数量/座(模)	6	冲压(工作)气缸直径/mm	φ300×80
压制产品最大高度/mm	250	冲头最大行程/mm	220~310
压制产品最大直径/mm	200	压缩空气工作压力/MPa	0.3~0.4
生产能力/(只/min)	6~10	外形尺寸(长×宽×高)/mm	1550×1300×2800
转盘外圆直径/mm	φ1070		

(3) 液压自动压机 液压自动压机主要适用于玻璃制品行业压制汽车玻璃灯片, 也可以压制其他一些杂件玻璃制品。该机采用液压转动, 以液压油为传递动力, 液压系统采用集成块分油, 由电器顺序控制电磁换向阀的运动时间及运动方向, 来实现压机自动循环。有 8 工位液压自动压机和 10 工位液压自动压机。8 工位液压自动压机的主要技术参数见表 4-21。

表 4-21 8 工位液压自动压机和技术参数

名 称	技术 参数	名 称	技术 参数
最大冲击力/kgf	3000(29420N)	转盘直径/mm	1260
冲压行程/mm	272	电动机功率/kW	7.5
机速/(只/min)	6~7	机重/kg	3500
工位	8		

(4) 电机驱动玻璃压机 JBY-12 型电机驱动玻璃压机适用于玻璃器皿行业, 生产各种玻璃杯和各种整体模的玻璃器皿杂件。该机由同步电机驱动, 机械传动中, 压机采用特殊设计的槽轮机构做间隙运动, 克服了槽轮在启动和停歇间发生的冲击。机速最快达到 53 只/min。压机实现机电一体化控制, 选用交流变频调速器进行无级调速, 压机由机械定时器和可编程控制器进行控制。与同类气动压机相比, 节能约 40% 左右, 属节能型压机。

JBY-12A 型电机驱动玻璃压机是 JBY-12 型的改型机型。主要适用于玻璃器皿行业生产各种小型玻璃器皿和电光源行业生产各种小型射灯玻璃壳。

JBY-12K 型电机驱动玻璃压机是 JBY-12 型的改型的铰链开模压机。主要适用于玻璃器皿行业生产各种两瓣模模具的玻璃器皿杂件和整体模的盘类玻璃器皿。

JBY-12O 型压杯机也是 JBY-12 型的一种改进型高精度机型, 它采用高精度 12 工位分割器(O 型凸轮)为主要传动部件。

PG-12M 型自动气动压杯机, 适用于压制 28~336ml 的玻璃杯, 每分钟可压制杯子 10~54 只, 它成型制品最大尺寸为直径  $\phi 160$ mm, 高度 150mm, 料重 600g。

JBY-10 型电机驱动玻璃压机为 10 工位的玻璃制品成型压机。

JBY-14 型电机驱动玻璃压机, 适用于玻璃器皿行业生产各种玻璃杯和各种整体模的玻璃器皿杂件, 此压机的模具散热时间较长, 特别适用于南方气温较高的环境, 为 14 工位, 机速最快达到 53 只/min。

JBY-16 型电机驱动玻璃压机的为 16 工位, 机速最快达到 53 只/min 的玻璃制品成型压机。

JBY-24 型双冲头电机驱动玻璃压机, 适用于玻璃行业生产各种玻璃杯和各种整体模的玻璃器皿杂件, 它有两个冲压气缸可单独控制便于调换模具, 有 24 个工位, 机速最快达到 90 只/min。

JBY-12 型和 JBY-12O 型、JBY-12A 型、JBY-12K 型、PG-12M 型和 JBY-10 型的主要技术参数分别见表 4-22、表 4-23、表 4-24、表 4-25 和表 4-26。

表 4-22 JBY-12 型和 JBY-12O 型压机的技术参数

名 称	技术 参数	名 称	技术 参数
冲压气缸内径/mm	220	转盘直径/mm	1200
冲压气缸活塞最大行程/mm	190	模具安装直径/mm	1015
工位数	12	模具间弦长/mm	262

续表

名称	技术参数	名称	技术参数
电机功率/kW	4	产品的最大直径/mm	160
压缩空气工作压力/MPa	0.6	外形尺寸(长×宽×高)/mm	2000×1900×2500
压缩空气耗气量/(m <sup>3</sup> /min)	5	机重/kg	4000
产品的最大高度/mm	150		

注：实际生产压机机速取决于玻璃制品的类型、玻璃的料性、冷却系统和其他因素。

表 4-23 JBY-12A 型压机的技术参数

名称	技术参数	名称	技术参数
冲压气缸内径/mm	160	压缩空气工作压力/MPa	0.6
冲压气缸活塞最大行程/mm	140	压缩空气耗气量/(m <sup>3</sup> /min)	6
工位数	12	压机最快机速/(只/min)	52
转盘直径/mm	1200	压机动停比	5/7
模具安装直径/mm	1015	外形尺寸(长×宽×高)/mm	1600×1600×2100
模具间弦长/mm	262	机重/kg	3000
电机功率/kW	3		

表 4-24 JBY-12K 型压机的技术参数

名称	技术参数	名称	技术参数
冲压气缸内径/mm	250	压机最快机速/(只/min)	25
冲压气缸活塞最大行程/mm	200	压机动停比	5/7
工位数	12	电机功率/kW	5.5
转盘直径/mm	1600	外形尺寸(长×宽×高)/mm	2200×2500×2500
模具安装直径/mm	1340	机重/kg	5000
模具间弦长/mm	346	模具铰链中心至模具冲压中心距离/mm	150
最大冲压力(工作压力)	0.7MPa 时 3000kgf(29420N)	模架开口	40°(180mm)

注：实际生产压机机速取决于玻璃制品的类型、玻璃的料性、冷却系统和其他因素。

表 4-25 PG-12M 型压机的技术参数

名称	技术参数	名称	技术参数
冲压气缸内径/mm	220	压缩空气工作压力/MPa	0.63
冲压气缸活塞最大行程/mm	198	压缩空气耗气量/(m <sup>3</sup> /min)	9
转盘直径/mm	1200	风压/风量	400mm 汞柱/9000m <sup>3</sup> /n
模具安装直径/mm	1050	外形尺寸(长×宽×高)/mm	1700×1300×2550
模具间弦长/mm	253	机重/kg	2500

表 4-26 JBY-10 型压机的技术参数

名称	技术参数	名称	技术参数
冲压气缸内径/mm	250	压机动停比	2/3
冲压气缸活塞最大行程/mm	300	电机功率/kW	4
转盘直径/mm	1200	压缩空气工作压力/MPa	0.6
模具安装直径/mm	1050	最大冲压力/kgf	2500(24517N)
模具间弦长/mm	313	外形尺寸(长×宽×高)/mm	2000×1900×2550
压机最快机速/(只/min)	25	机重/kg	4000



(5) CBJ-16 型吹杯机 CBJ-16 型吹杯机广泛用于玻璃器皿吹制工艺的玻璃制品, 如吹制杯、花瓶、糖缸等, 一般每分钟可生产 19~21 只左右制品, 其主要技术参数见表 4-27。

表 4-27 CBJ-16 型吹杯机的技术参数

名 称	技术 参数	名 称	技术 参数
工 位	16	电机功率/kW	4
机速/(r/min)	1 或 3	外形尺寸(直径×高)/mm	φ2400×2000
玻璃制品直径/mm	60~90	机重/kg	7000
玻璃制品的高度/mm	80~150		

(6) 圆盘式烧口机 常用的盘式烧口机有 JC-216 型和 JC-224 型圆盘式烧口机, 其主要技术参数见表 4-28。

表 4-28 JC-216 型和 JC-224 型圆盘工烧口机的技术参数

项 目	JC-216	JC-224
制品外形最大高度/mm	250	150
制品外形最大直径/mm	350	150
座盘数量/个	16	24
座盘转数/(r/min)	20、30、40	20、30、40
转盘转数(机动)/(r/min)	4/5	4/5
转盘转数(手动)/(r/min)	根据需要控制	根据需要控制
托盘规格/mm	φ100、φ150、φ200	φ50、φ80、φ100
电机功率/kW	1	1
外形尺寸(长×宽×高)/mm	1700×1500×1450	1210×990×1200
机重/kg	600	504

(7) 长型烘口机 长型烘口机是用于对压制成型后的玻璃制品口部加热成型的设备, 常采用煤气、天然气或轻柴油等燃料, 将玻璃制品口部加热到软化点。HK-88 烘口机主要技术参数见表 4-29。

表 4-29 HK-88 烘口机主要技术参数

名 称	技术 参数	名 称	技术 参数
制品烘口速度/(只/min)	20~55	轻柴油耗量/(kg/24h)	200
烘口制品最大直径/mm	φ180	压缩空气耗量/(m <sup>3</sup> /min)	0.8
烘口制品最大高度/mm	160	传动功率/kW	1.5
加热喷嘴煤气耗量/(m <sup>3</sup> /24h)	800		

#### (8) 玻璃制球机

① 用途 将玻璃窑孔流下的柱状玻璃液, 经过制球机的剪切和搓滚, 加工成型成玻璃球制品或作为拉制玻璃丝的半成品。

② 技术性能 玻璃制球机分为剪刀、分球、滚筒和车架等 4 个主要部件。滚筒有 3 个, 内腔为空的, 通水冷却, 当左右两路球胚各自进入两滚搓道, 处于高温下的球胚则被滚筒的螺旋槽滚搓成玻璃球。Qh73B-75 型三滚筒玻璃制球机主要技术参数如下:

剪刀刃口面高、低调节距离/mm	100
剪刀刃口面最低高度/mm	1325
滚筒外直径/mm	$\phi 162$
滚筒螺旋槽导程/mm	22
滚筒螺旋槽长度/mm	700
电动机功率/kW	1.1

电动机转速/(r/min)	1000
剪刀剪切速度/(次/min)	180
滚筒转速/(r/min)	90
玻璃球直径/mm	$\phi 19.5 \pm 0.5$
玻璃球产量/(t/24h)	2.4
机器质量/t	1.1

### 4.2.3 模具与成型机的关系

图 4-12 表示行列机吹-吹法玻璃模具的安装和与行列机的配合关系。

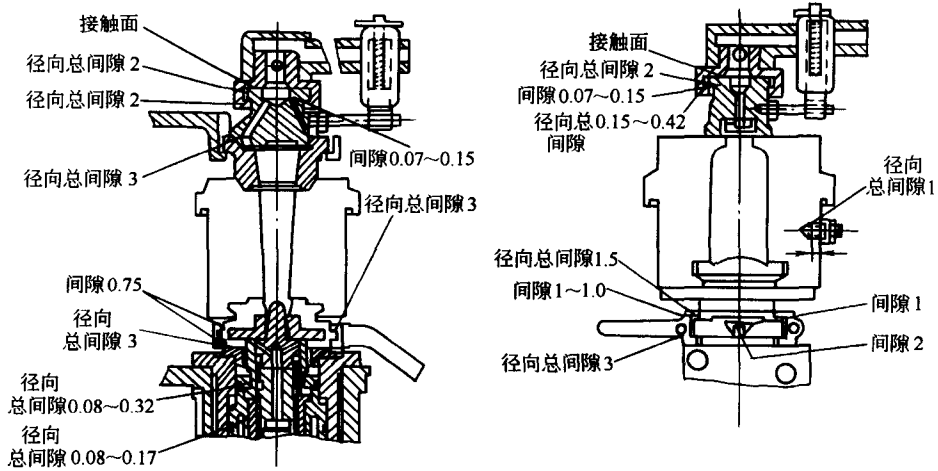


图 4-12 行列吹-吹模与机件的配合

图 4-13 表示行列机压-吹法玻璃模具的安装与行列机的配合关系。

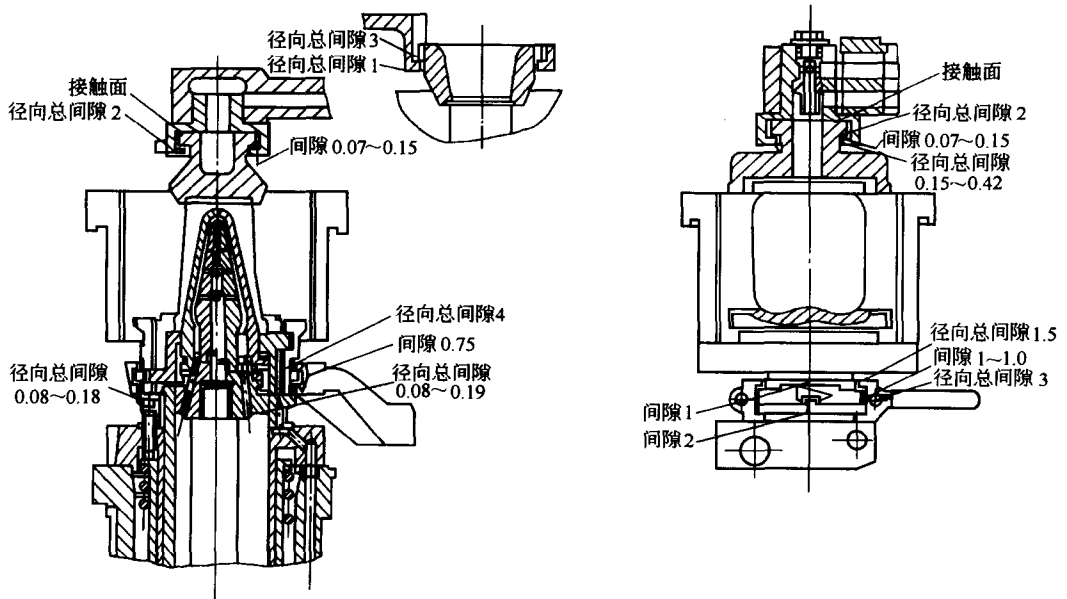


图 4-13 行列压-吹模与机件的配合

图 4-12 和图 4-13 所示的间隙值是为了保证模具的良好使用和互换性而设置的。

图 4-14 表示了行列吹-吹模与行列机顶芯机构相互之间装配关系及配合尺寸和模具零件编号。吹-吹法顶芯子机构制造瓶口外径（最大）为 50mm。芯子行程为 30mm。封气套行程为 22mm。

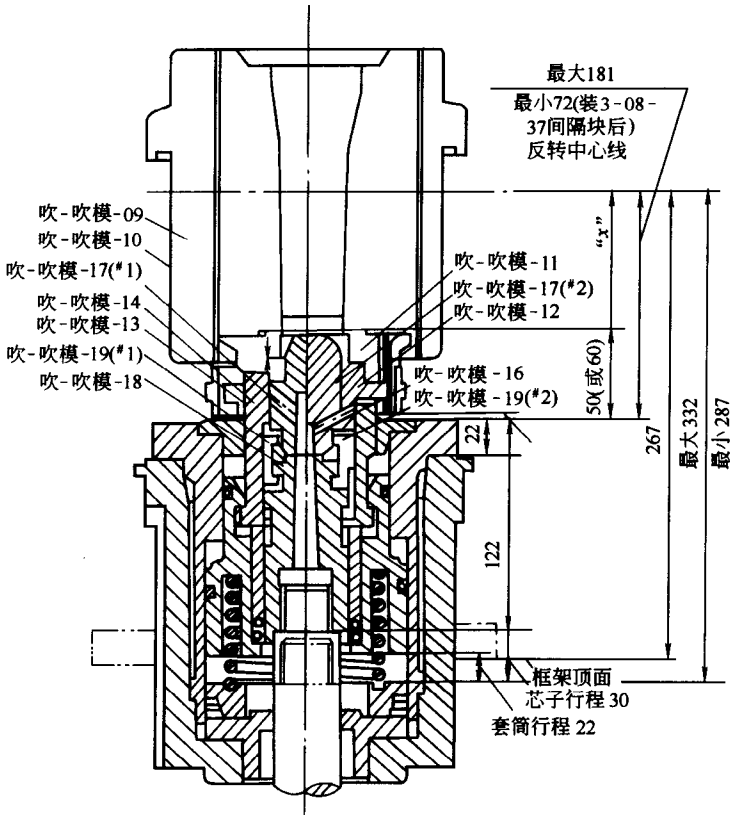


图 4-14 行列吹-吹模与顶芯子机构的配合

注：使用 3-08-02/3 小口瓶装置。

为避免瓶罐产生“双口”弊病，要求芯子圆柱形部分凸入口模（或口模套筒）内 0.10~0.15mm。

由反转中心线到口模与初型模接缝线之间距离称为反转值“X”。由反转中心线到顶芯子机构顶面的极限尺寸“最大 181mm”是指当不装间隔块（3-08-37）时的最大值；“最小 72mm”是指当装有间隔块（3-08-37）时的最小值。

图 4-15 表示了行列压-吹模与行列机冲头机构相互之间装配关系及配合尺寸和模具零件编号。压-吹成型玻璃瓶罐的口部外径最大 90mm，内径最大 82mm，冲头最大工作行程为 165mm。由接料位置退到反转位置的最大位移为 62mm。

为了适应在生产时玻璃液滴质量有偏差，设计冲头时，应考虑其圆柱形部分进入口模套筒上 3mm，并保证冲头肩部和口模套筒内孔肩部有 5mm 间隙。

反转值“X”可采用 35、45、60、80mm 等四种尺寸，为使模具规格统一，缩短换模时间，建议应尽可能选用 X=45mm。

接料位置一般可通过改变调节螺钉（3-08-40）长度和冲头垫管（3-08-44）的高度来控制

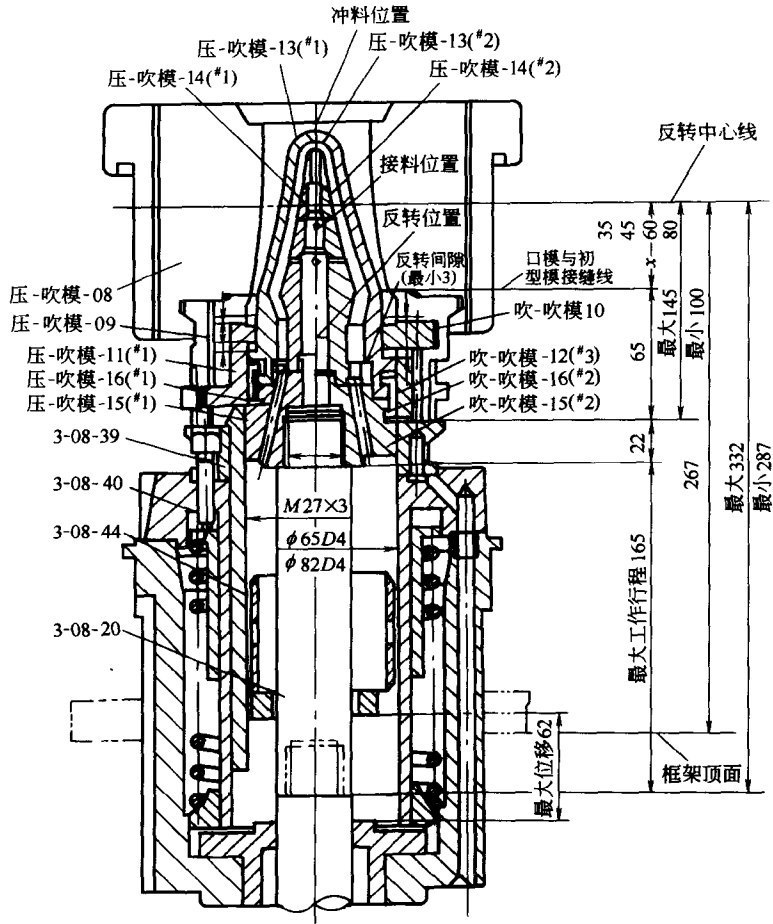


图 4-15 行列压-吹模与冲头机构的配合

注：使用 3-08-03/3 大口瓶装置。

制。反转位置由冲头垫管高度来确定，其应保证反转间隙大于 3mm。

### 4.3 吹制模与压制模设计

#### 4.3.1 吹制模设计特点

① 型腔的直径、高度、形状尺寸是产品实际尺寸加上玻璃收缩量，再加上 0.2~0.3mm 的内壁涂层厚度。

② 型腔由成型与上爆口两部分组成。如果产品口小、颈细而又特别长或形状较复杂，为了便于加工可以把成型部分设计成几个分体，然后装配紧固成一体，如图 4-16 所示。

③ 由于部分吹制模在使用前需涂上桐油和木屑或者炭粉，因此型腔内壁不需要很光洁，型腔内壁表面粗糙度一般取  $Ra6.3\mu m$ 。

④ 模具型腔内需要交叉均匀地分布出气孔，孔径一般取  $\phi 2\sim\phi 5mm$ ，如果不是转动吹制的，出气孔径为  $\phi 0.7mm$ 。如果是开合模，在合缝面上还需开排气槽，如图 4-17 所示。

⑤ 吹制模具对材质要求不高，如铁质较疏松或偶有  $\phi 2mm$  以下的砂眼不会影响制品的质量，但非转动吹制的不允许有砂眼，模具的壁厚一般取 14~20mm。吹制模材料亦可采用

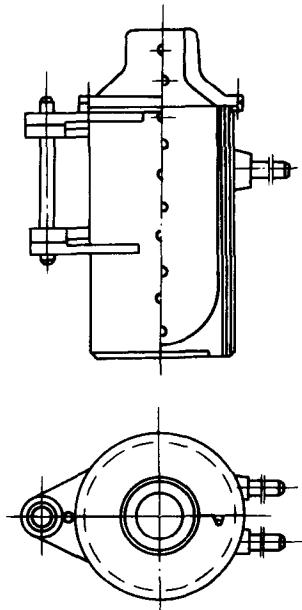
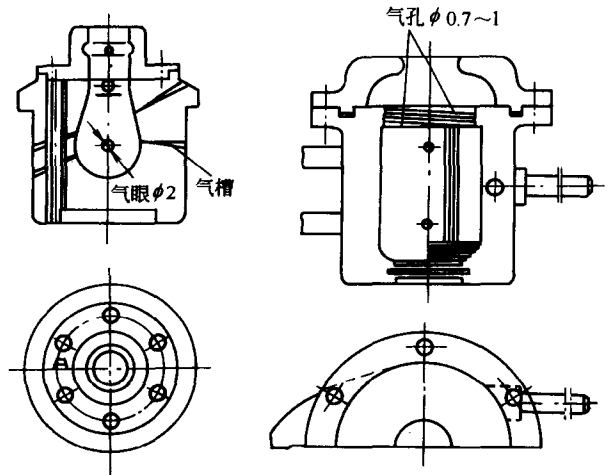


图 4-16 热水瓶内胆吹制模



(a) PS 灯泡吹制模

(b) 节能灯罩吹制模

图 4-17 气孔、气眼和排气槽

生铝，如数量少甚至可采用木质的模具。

⑥ 吹制模具爆口部分的设计要考虑大小适宜，爆口方便。

### 4.3.2 压制模设计特点

① 模具的模体、模圈、冲头必须有拔模斜度，一般不小于  $3^\circ$ ，如有复杂的图案花纹必须考虑脱模方便，如图 4-18 所示。

② 压制法的玻璃制品其壁厚一般  $\geq 3\text{mm}$ 。模体型腔、模圈的尺寸大小应该是产品的实际尺寸加上玻璃的收缩量，冲头的尺寸大小即为型腔尺寸减去玻璃制品壁厚。

③ 模体型腔的设计要根据玻璃制品的形状、花纹复杂程度与制品的开槽脱模方便，可以设计成整体模、对开模、三瓣模、多开模等，如图 4-19 所示。

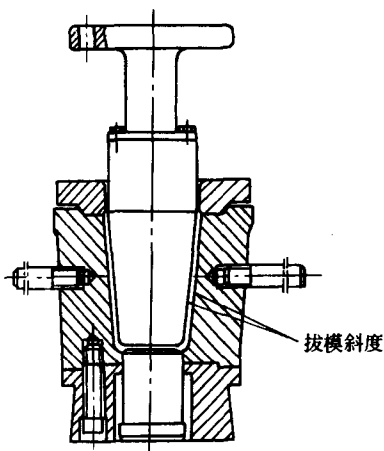
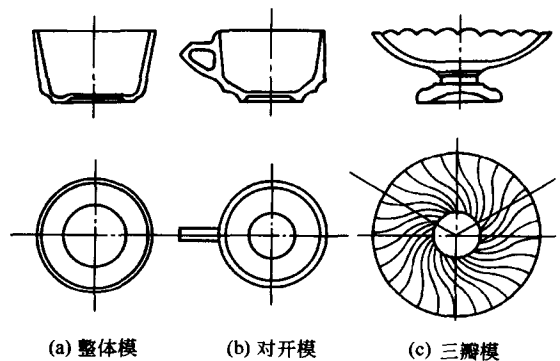


图 4-18 玻璃杯压制模



(a) 整体模

(b) 对开模

(c) 三瓣模

图 4-19 开模方式

④ 模圈的设计要有翻边线，不然玻璃制品会产生毛刺影响产品质量，如显像管玻壳、玻璃砖之类的制品因其后工序还要烧接，可以不要翻边线，如图 4-20 所示。

⑤ 冲头与模圈的配合要有间隙和互换性，一般间隙不小于 0.10mm。

⑥ 压制模型腔内壁的表面粗糙度直接影响玻璃制品的外观质量。因此，模体、模圈的内腔，冲头的表面粗糙度必须保证在  $Ra0.4\mu\text{m}$  以上。

⑦ 压制模具的壁厚由产品的形状、大小、成型速度来确定。模体的壁厚一般应在 30mm 左右。如壁厚太薄，热稳定性差，制品容易产生冷斑、皱皮。壁厚太厚，模具难以达到所需要的温度。

⑧ 冲头在使用中如果温度过高，会产生粘料，为了考虑冷却，可以采用将冲头挖空或用水进行冷却。

⑨ 压制模具对材质要求较高，型腔内不允许有铸造缺陷，要求高的玻璃制品模型腔需进行镀铬处理，冲头则采用不锈钢材料制作。

### 4.3.3 压制模结构设计

玻璃制品压制模，因使用的压制成型机械不同，其结构和安装尺寸也有所不同，现介绍几种典型的结构。

#### 4.3.3.1 整体模结构

整体模结构见图 4-21。模具零件的配合间隙要按零件的材质、温升来计算变化量，从而修正模具零件的加工和测量的基本偏差和公差等级，可按下式计算：

$$\Delta = K_i D_i \Delta_t \quad (4-1)$$

式中  $\Delta$ ——配合间隙变化量，mm；

$K_i$ ——模具零件材料的线膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

$D_i$ ——模具零件配合处的直径或长度，mm；

$\Delta_t$ ——模具零件的工作温度与室温之差， $^{\circ}\text{C}$ 。

模具实际加工处的尺寸，可按下式计算：

$$D = D_i - \Delta \quad (4-2)$$

式中  $D$ ——模具实际加工处的尺寸，mm。

#### 4.3.3.2 开合模结构

开合模按结构可分为对开模、三开模、多开模等。

开合模常用结构见图 4-22。开合模的成型模应按不同的成型机械和要求设置，可利用成型机械上的开模和锁模机构，或设计专用的开模和锁模装置。

曲型的自动开模机构有两种，一种为套缸顶升斜开式，其特点是开模幅度较小，但对模具自锁力强。

另一种是平移式，其特点是开模幅度大，但要另加锁模装置。

(1) 套缸式成型模结构 套缸式成型模结构见图 4-23，其尺寸见表 4-30。

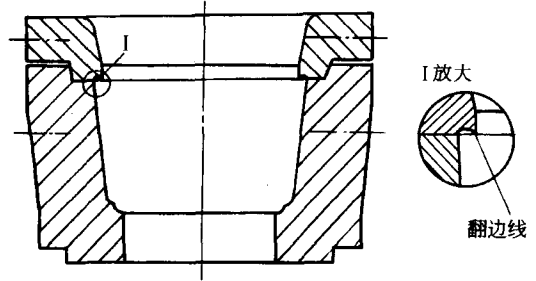


图 4-20 制品口部和模具口环翻边线

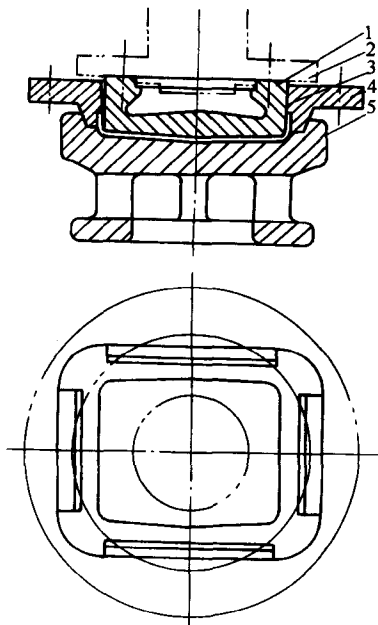


图 4-21 整体模结构压制模

1—冲头；2—接口；3—制品；4—口环；5—下模

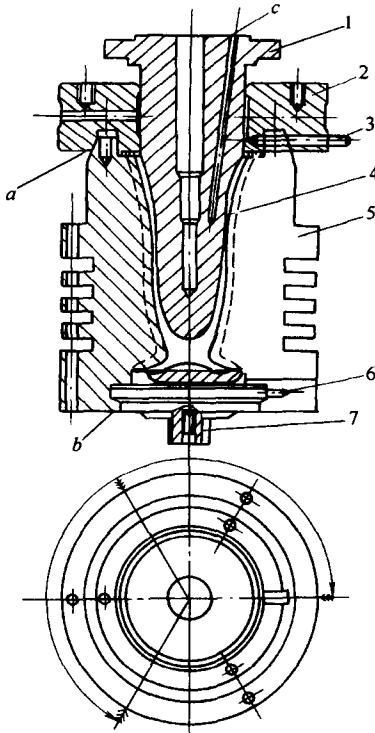


图 4-22 开合模结构压制模  
1—冲头；2—口环；3—定位销；4—制品；  
5—成型模；6—定位销；7—模底

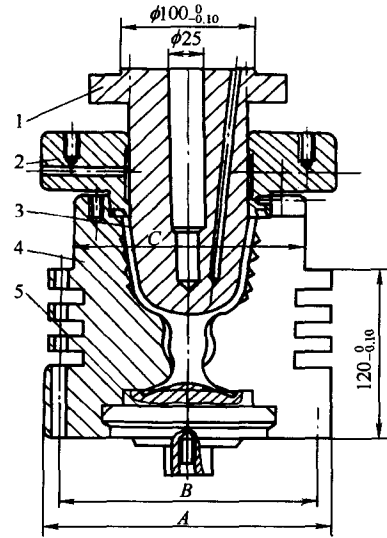


图 4-23 套缸式成型模

1—冲头；2—口环；3—制品；  
4—成型模；5—模底

表 4-30 套缸式成型尺寸 (单位: mm)

	180	220	260	220
A	180	220	260	220
B	160	200	240	280
C	138	178	218	258

(2) 平移式成型模结构 平移式成型模结构见图 4-24，其尺寸见表 4-31。

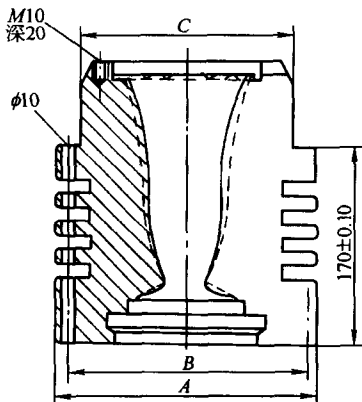


图 4-24 平移式成型模

表 4-31 平移式成型模尺寸 (单位: mm)

A	180	220
B	160	200
C	138	178

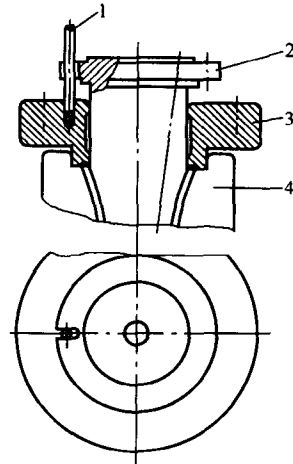


图 4-25 冲头和口环的定位结构

1—定位杆；2—冲头；3—口环；  
4—成型模

- (3) 辅助锁模机构 当制品要求较高时,可利用口环做辅助锁模机构,见图 4-22a 处。
- (4) 模底定位 模底定位见图 4-22b 处。
- (5) 冲头结构 冲头结构见图 4-22c 处。
- (6) 模底的安装结构 模底的安装结构见图 4-23。

如果冲头和口环需定位,即防止冲头在口环内相对转动,可采用如图 4-25 所示的结构。

由于存在滴料误差(质量)造成滴料的体积不一致,为使当料滴为允许最大质量时不产生冒口,就要在冲头根部设计一个圆柱段来调节,该圆柱段的直径等于冲头与口环配合处的直径,体积应略大于料滴体积的公差带宽度。

#### 4.3.3.3 口环和成形模定位方式

##### (1) 十字槽定位

① 特点:口环和成形模合模时能自动定心,即使成型机械定位精度较差时,也不影响快速合模。

② 结构:见图 4-26。

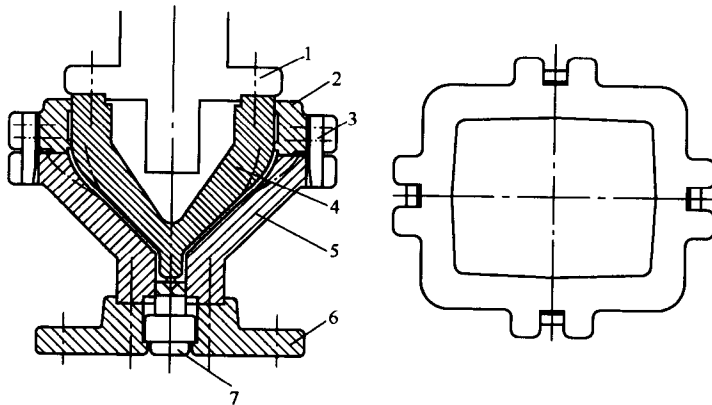


图 4-26 十字槽定位结构

1—接头; 2—口环; 3—定位楔; 4—冲头; 5—下模; 6—模托; 7—模底

##### (2) 梯形榫槽定位

① 特点:加工方便,常用于小型简易模具上,当成型机械精度较高时,也可用于较大、较高要求的模具上。

② 结构:见图 4-27。

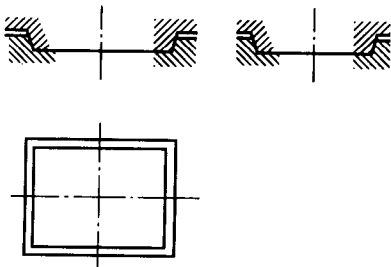


图 4-27 梯形榫槽定位结构

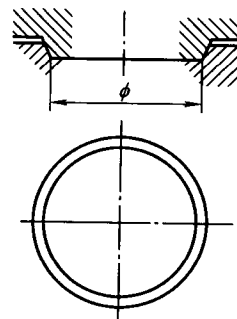


图 4-28 圆锥台榫槽定位结构



### (3) 圆锥台榫槽定位

① 特点：同梯形榫槽定位，常用于回转体制品的成型。

② 结构：见图 4-28。

#### 4.3.3.4 压制模壁厚

根据强度计算得出的玻璃模腔的壁厚都较薄，包括在玻璃压制、吹制或分步成型模具中几乎不会遇到这样薄的模壁。在大多数情况下，按结构、使用及蓄热要求，所确定的壁厚要厚得多。

一般以铸铁为基体材料的模具壁厚大于 25~35mm，而以耐热钢为基体的模具壁厚应在 18~25mm 范围内。

#### 4.3.4 压制成型缺陷与调整措施

压制成型缺陷有：剪刀印、吸气、变形、冷纹、制品单面厚薄、炸裂和粘模等。

##### 4.3.4.1 剪刀印调整措施

- ① 调换剪刀或换下后重新磨制。
- ② 校正剪刀架位置。
- ③ 及时更换与剪切制品规格相应的剪刀。
- ④ 提高料滴温度到改善剪刀印时为合适。
- ⑤ 增加雾化润滑量或校正雾化位置。

##### 4.3.4.2 吸气调整措施

- ① 减缓冲模的上升速率。
- ② 适当延长冲模的保压时间。
- ③ 降低冲模温度，对冲模内腔采用风冷或水冷却。
- ④ 降低冷却介质的温度。
- ⑤ 适当降低玻璃成型温度或提高玻璃黏度。
- ⑥ 可将内腔适当减薄，以加速散热，也可以使用风冷和水冷，若效果仍不显著，可设法进一步降低冷却介质的温度。方形模具因内腔过厚而造成四角吸气的，可在内腔的四角处进行钻孔，以降低厚度。孔的直径和深度可以视吸气情况加以决定，但不能打穿。

有时候一种措施因受工艺的局限性，效果不明显，难以及时奏效。此时可同时辅以几种措施，均作小调整，效果就明显。例如：因保压时间性不足所引起的吸气，仅依靠延长保压时间会导致制品的炸裂概率增加，此时还可以采取降低冷却介质的温度，适当减薄模具厚度等措施。

##### 4.3.4.3 变形调整措施

- ① 增加模具的冷却措施（如增加散热片、调整散热片设置位置、减薄模具厚度、降低冷却介质温度、增加冷却介质质量等）或提高模具材质的散热速率。
- ② 改进取出方法与置放办法，适当延长制品的冷却时间，延缓制品脱模时间。

##### 4.3.4.4 冷纹调整措施

- ① 改进模具结构，提高冷却介质的温度，提高单位时间的成型速率。
- ② 提高玻璃成型温度或料滴温度。
- ③ 提高单位时间的成型速率。

##### 4.3.4.5 制品单面厚薄调整措施

- ① 校正落料位置。
- ② 校正模具，使冲头、下模、口环、模底的中心重合。

#### 4.3.4.6 炸裂调整措施

- ① 减少冷却风量或增加保温措施，调整玻璃在成型时的润滑剂材质。
- ② 尽量将棱角改为圆角或放宽棱角处的曲率半径值，以减少应力集中，棱角处可适当增加保温措施。
- ③ 缩小分模面的间隙，并对这些部位进行加热，以提高飞边处的温度。
- ④ 缩短成型后玻璃在模具中的停留时间，缩短保压时间，对模具与制品进行适当保温和加热。
- ⑤ 修改制品的造型设计或模具设计，增加脱模斜度。
- ⑥ 改善制品的冷却速度。

#### 4.3.4.7 粘模调整措施

- ① 降低单位时间内的成型速率。
- ② 降低料滴温度或延长制品的冷却时间。
- ③ 改善模具的冷却条件或降低冷却介质温度，增加冷却介质质量。
- ④ 改进模具材质

### 4.4 制瓶机模具设计

#### 4.4.1 设计内容

随着玻璃制品成型的机械化和自动化，对模具设计提出了越来越高的要求，模具设计的优劣直接影响制品的质量和成型机的产量。模具设计内容有如下两个方面考虑：

① 考虑模具各部件之间及模具与夹钳的配合和成型工艺的要求，设计模具和有关配件的外形尺寸；

② 根据制品质量、形状和尺寸，以及成型的方法，设计模具内腔（包括压制成型的冲头）。

由于人们对模成型过程中的热流变学和传热学的知识还掌握得不够丰富和完整，因而是在模具的设计中很大程度上依赖于经验和反复试验。

以下介绍的行列式制瓶机模具为吹-吹法和压-吹法两种成型瓶罐的模具，本书提供了整套模具零件和有关配件的外形尺寸，所注明的公差是为了保证模具有良好的使用性和互换性。

用吹-吹法成型瓶罐，由于其锥型是吹制而成，故适用于口径较小、瓶身较长的瓶罐。其极限尺寸如下：

瓶口外径（最大） $\phi 50\text{mm}$	瓶身外径（最大） $\phi 150\text{mm}$
瓶口内径（最大） $\phi 42\text{mm}$	瓶身高度（最大） 315mm

用压-吹法成型瓶罐，由于其锥型是冲压而成，故适用于口径较大、瓶身较矮的瓶罐。其极限尺寸如下：

瓶口外径（最大） $\phi 90\text{mm}$	瓶身外径（最大） $\phi 150\text{mm}$
瓶口内径（最大） $\phi 82\text{mm}$	瓶身高度（最大） 240mm

#### 4.4.2 玻璃模设计须考虑的问题

- ① 瓶罐形状、壁厚和质量 这些数据与选择成型机种类和模具强度设计有关。
- ② 工艺参数和料滴温度 此类成型工艺参数，应根据瓶罐质量和成型机种类来加以确定。
- ③ 料泡形状和尺寸 料泡形状和尺寸关系到制品形状和尺寸。压制成型时，料泡厚度

取决于初型模和冲头的形状；吹制成型时，料泡壁厚与料泡尺寸、料滴进入初型模到进行倒吹气的时间、料滴温度密切相关。

④ 模腔设计和冷却系统设计。

⑤ 模具外形和结构设计 模具外形和结构设计涉及到模具强度和刚度校核，但在本章介绍的标准化玻璃瓶行列式机制模中，强度和刚度问题已经考虑，不必再进行计算与校核。

#### 4.4.3 玻璃模设计程序

(1) 成形模和初型模夹钳号的选定

① 通过对样瓶的称量或计算（参见本章 4.5 节），确定瓶罐的容量和质量、瓶头（瓶口）质量。

② 根据瓶质量、瓶头质量和瓶口以下高度，在 4.6.1 中选用合适的成形模夹钳号和初型模夹钳号，夹钳位置与尺寸见 4.6.2。

(2) 绘制初型模和成形模的内形，以及冲头的外形（指压-吹模）

① 根据样瓶或图样绘制成形模的内形图（参见 4.8.4）。

② 根据成形模的内形、高度和瓶的质量，在 4.7.2 查得延伸量。

③ 据瓶的质量和延伸量，通过计算和试验，确定初型模的内形和冲头的外形（参见 4.7.3）。

上述的内形和外形均指模具零件的成型部分。

(3) 确定反转值“X”或“Y” 根据瓶罐在瓶头以下高度，在 4.7.4 中选定合适的反转值“X”或“Y”。

(4) 绘制初型模

① 根据瓶口外径，在 4.7.5 选定口模号。

② 根据初型模内形在闷头处直径，在 4.7.6 选定闷头号 and 漏斗号。

③ 根据已绘成初型模内形、已选定的口模、闷头和“X”值，参阅 4.7.7 绘制初型模工作图。

(5) 绘制初型模模腔配件图

① 根据已选定的口模号，在 4.7.5 中找出与其相配的其他配件号（包括导向套筒、口模套筒、封气套筒、芯子、芯子接头、夹环等）；或根据已选定的口模号，在 4.7.5 找出与其相配的其他配件号（包括口模套筒、冲头、冷却器、冲头接头、夹环等）。

② 根据已选定的模具配件图，结合瓶罐的有关外形尺寸，参阅 4.7.5、4.7.6 和 4.7.8 各有关附图，绘制初型模模腔配件图（包括口模、闷头、漏斗、导向套筒、口模套筒、封气套筒、芯子、芯子接头、夹环等）；或根据已选定的模具配件图，结合瓶罐的有关外形尺寸，参阅 4.7.5、4.7.6 和 4.7.7 各有关附图，绘制初型模模腔配件图（包括口模、闷头、漏斗、口模套筒、冲头、冷却器、冲头接头、夹环等）。

(6) 绘制成形模

① 根据瓶口外径，根据 4.8.1 和 4.8.2 选定吹气头号或内部冷却吹气头号。

② 根据瓶罐底径，根据 4.8.3 选定模底号。

③ 根据已绘成的成形模内形、已选定的吹气头号或内部冷却吹气头号和模底号，以及“Y”值，并且参阅 4.8.5 有关内容，绘制成形模工作图。

(7) 绘制成形模腔配件图

① 根据已选定的吹气头号或内部冷却吹气头号和模底号，结合瓶罐有关外形尺寸，参

阅 4.8.1、4.8.2 和 4.8.3 各有关附图，绘制吹气头或内部冷却吹气头和模底图。

② 根据瓶罐瓶颈的直径和 4.8.6 有关内容选定瓶钳号，瓶绘制瓶钳图。

### 4.5 瓶罐制品计算

#### (1) 制品容量计算

① 模型法 用石膏、木材或透明的塑料，按制品的内形制成模型（用石膏时，制成模型后要涂漆），再用排水失重法计算其体积（即制品的容量）。

用同样的方法再翻成制品，可计算出制品的质量：

$$W_1 : W_2 = \rho_1 : \rho_2 \quad (4-3)$$

$$W_2 = \frac{W_1 \rho_2}{\rho_1} \quad (4-4)$$

式中  $W_1$  ——代用材料的质量，g；

$W_2$  ——玻璃制品的质量，g；

$\rho_1$  ——代用材料密度，g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_2$  ——玻璃密度（钠钙玻璃约为 2.5），g/cm<sup>3</sup>。

② 累计法 把制品的内腔分成若干个部分，每一部分按曲率大小不同来划分，并按简单的截圆锥体积公式（4-5）计算并累计：

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + Rr + r^2) \quad (4-5)$$

式中  $V$  ——截圆锥的体积，cm<sup>3</sup>；

$h$  ——截圆锥的高，cm；

$R$  ——下底半径，cm；

$r$  ——上底半径，cm。

③ 微分法 若制品是一对称的旋转体，如对中心线  $OX$  对称的旋转体，其外形轮廓的曲线方程式为  $y=f(x)$ ，则面积  $y \cdot dx$  绕  $OX$  轴旋转后所得的体积为  $V = \pi \int y^2 dx$ 。设  $y_1 = y^2$ ，绘出曲线  $y_1$ ，并用面积仪直接测得该曲线下的面积，再乘以  $\pi$ ，即为该旋转体的体积（见图 4-29）。

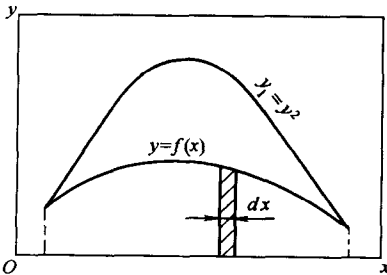


图 4-29 微分法图解

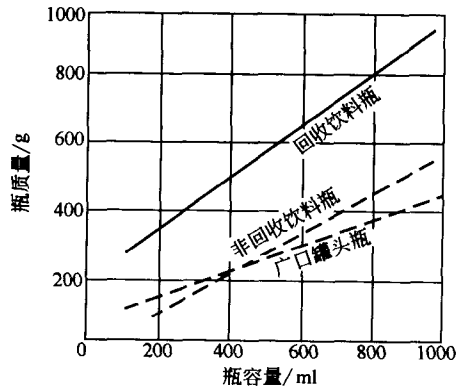


图 4-30 几种瓶罐的质量与容积的关系

(2) 瓶罐轻量化 在一定的容量下，瓶罐的质量取决于形状和壁的厚薄。制造薄壁轻量

瓶是发展趋势。它可以减少原料、燃料的消耗，提高制品的成型速度和降低运输费用。

玻璃瓶罐本身的质量与其容量之比称为重容比<sup>①</sup>：

$$E = \frac{W}{C} \quad (4-6)$$

式中  $E$  —— 重容比，g/ml；

$W$  —— 瓶罐自身的质量，g；

$C$  —— 瓶罐的容积（容量），ml。

瓶罐轻量化的程度，可以用重容比来表示，也可从原瓶罐的质量减少百分率来表示。不同容积、形状和用途的瓶罐其轻量化标准也不相同，图 4-30 举出了国外几种瓶罐的质量与容积的关系。

## 4.6 夹钳与模具的配合

### 4.6.1 夹钳选择

根据制品质量、瓶高和瓶头质量由图 4-31（质量在 150g 以下的）和图 4-32（质量在 150g 以上的）查出适用的初型模和成形模的夹钳号。

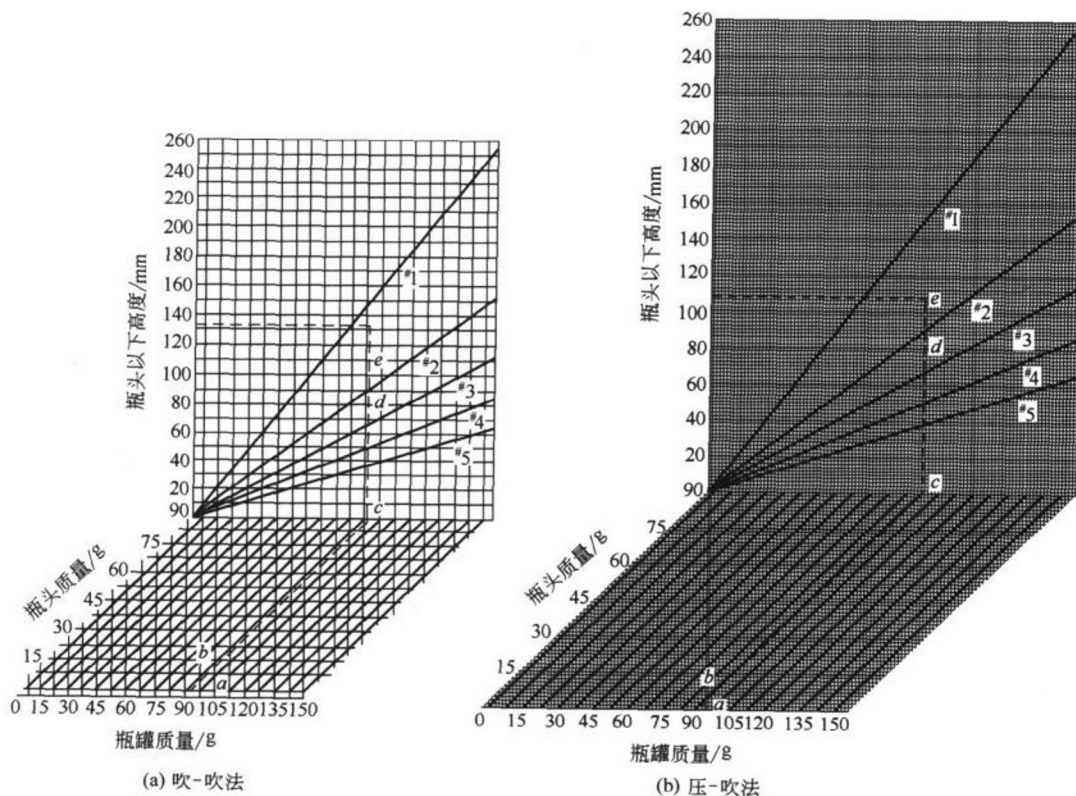


图 4-31 150g 以下瓶罐成型夹钳

(1) 吹-吹法举例 90ml 的酒瓶，瓶质量 95g，瓶头质量 8g，瓶头以下高度为 108mm。在图 4-31 上查得成形模夹钳为 1 号。再将瓶高加 25mm（实验数据）后，在图上查得初型

<sup>①</sup> 应为“质容比”，但考虑行业习惯，本书仍采用“重容比”。

模夹钳，也是1号。

当制品质量超过150g时，则用图4-32得出夹钳号。以250ml酒瓶为例，瓶的质量260g，瓶头质量16g，瓶头以下高度为192mm。查得所需成形模夹钳为3号。再将瓶高加上25mm (192mm+25mm=217mm)，在图上查得初型模夹钳为2号。

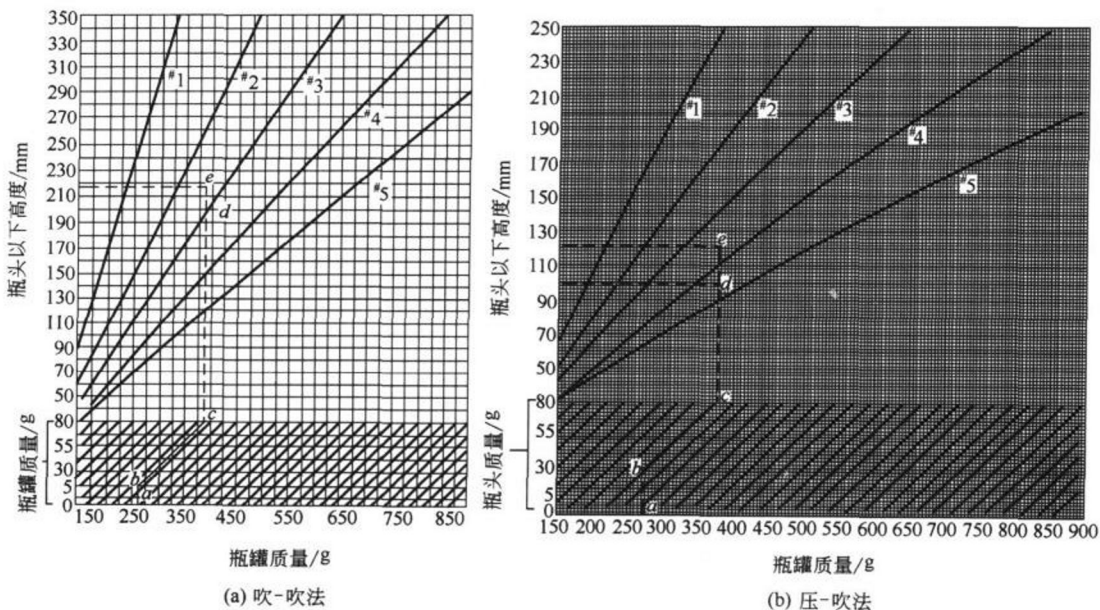


图 4-32 150g 以上瓶罐成型夹钳

(2) 压-吹法举例 125ml 罐头瓶，瓶质量 100g，瓶头质量 9g，瓶头以下高度为 84mm，在图 4-31 上查得成形模夹钳为 2 号。再将瓶高加 25mm (实验数据) 后，在图上查得初型模夹钳为 1 号。

当制品质量超过 150g 时，则也用图 4-32 查出夹钳号。以 500ml 罐头瓶为例，瓶的质量 270g，瓶头质量 28g，瓶头以下高度为 95mm。查得所需成形模夹钳为 4 号。再将瓶高加 25mm 后，在图上查得初型模夹钳为 3 号。

无论是吹-吹法，还是压-吹法，凡是瓶质量在 900g 以上的瓶罐，模具的夹钳均用 5 号。

#### 4.6.2 夹钳位置与尺寸

图 4-33 表示了初型模和成形模与夹钳之间的位置和夹钳的尺寸。图 4-34 表示了初型模

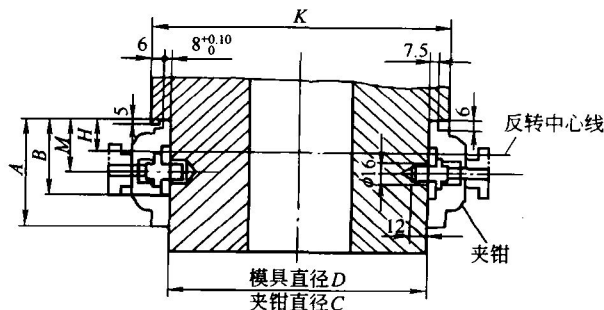


图 4-33 夹钳与模具的配合尺寸

注：见下页上表。

(mm)

夹钳号	A	B	H	C(H8)	D(e9)	K	M±0.10
#0	38	—	4	φ75	φ75	φ103	18
#1	38	—	4	φ110	φ110	φ138	18
#2	48	—	10	φ130	φ130	φ158	22
#3	60	40.5	16	φ150	φ150	φ178	28
#4	74	49	23	φ175	φ175	φ203	34
#5	80	55	26	φ200	φ200	φ228	35

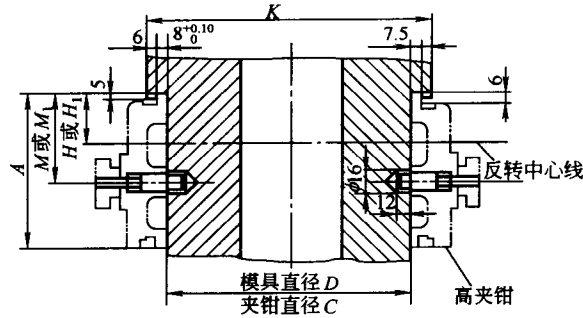


图 4-34 高夹钳与模具的配合尺寸

注：见下表。

(mm)

夹钳号	A	H(H <sub>1</sub> )	C(H8)	D(e9)	K	M(M <sub>1</sub> )
#3	110	16(66)	φ150	φ150	φ178	55
#4	124	23(73)	φ175	φ175	φ203	62
#5	130	26(76)	φ200	φ200	φ228	65

注：1. “H”值用于成形模。

2. “H<sub>1</sub>”值用于初型模。

和成形模与高夹钳之间的位置和夹钳的尺寸。高夹钳主要用于生产较高的瓶罐，特别是用作初型模夹钳。使用高夹钳比普通夹钳增加 50mm 高的夹持位，减少了初型模和成形模的变形，从而使初型模和成形模闭合更为紧密。

#### 4.6.3 模具零件的配合

行列机吹-吹模和行列机压-吹模的模具零件之间配合分别见图 4-35 和图 4-36。

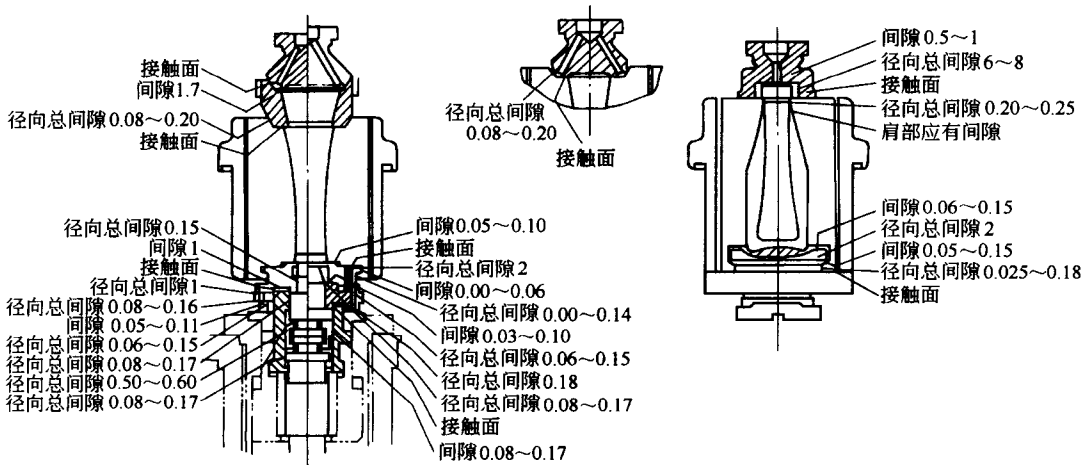


图 4-35 行列吹-吹模零件的配合间隙

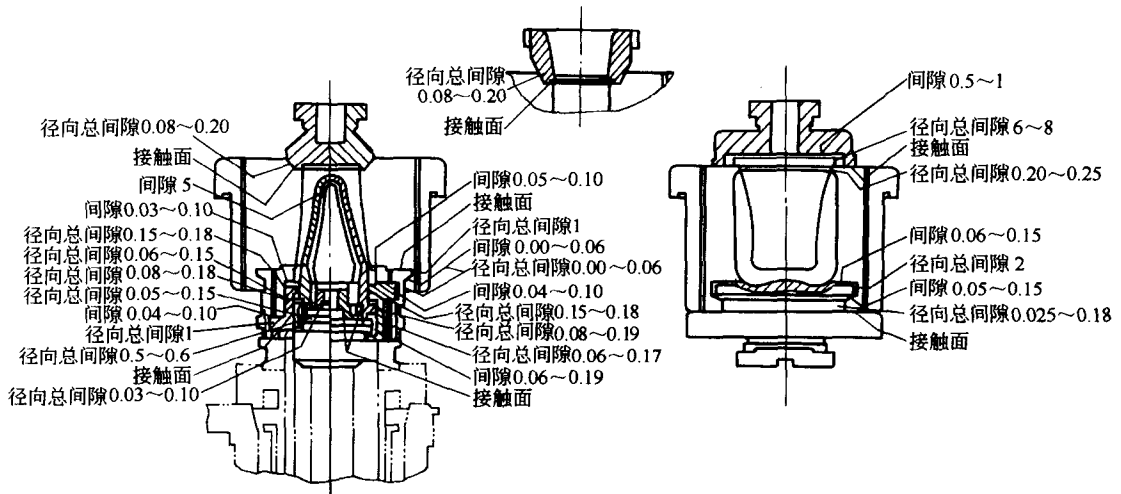


图 4-36 行列压-吹模零件的配合间隙

## 4.7 制瓶机初型模设计

在两步成型时，初型模的作用是使玻璃料得到初步分布，为最终成型的过渡阶段。

### 4.7.1 过容量率和缩小量

#### 4.7.1.1 过容量率确定

过容量率表示玻璃料进入吹-吹法初型模后，模腔体积的过剩程度。

$$P = \frac{V_B - V_g}{V_g} \times 100\% \quad (4-7)$$

式中  $P$  —— 过容量率（简称过容率）；

$V_B$  —— 初型模内腔体积，它等于初型模、口模和扑气头三者内腔体积之和扣除顶芯子成型部分的体积， $\text{cm}^3$ ；

$V_g$  —— 玻璃料的体积， $\text{cm}^3$ 。

初型模内的空腔容积  $A$ （见图 4-37）为  $V_B - V_g$ 。

为使制品具有美观的外形，并保证制瓶机达到较高生产率，实践证明采用下列过容率值对机制圆形瓶和多面体瓶，在大多数情况下是适宜的。

当瓶容（单位  $\text{cm}^3$ ）数值大于瓶的质量（单位  $\text{g}$ ）时（25% 以内），过容率可取 30%~40%。

当瓶容数值远大于瓶的质量时（25%~40%），过容率可取 40%~50%。

当瓶容数值与瓶的质量相等或近乎相等时，过容率应取 25%~30%。

当瓶容数值小于瓶的质量时（25% 以内），过容率应取 15%~30%。

在某些情况下，过容率可根据瓶口、瓶颈的形状而加以改变。对于扁瓶及特殊形状的瓶子，过容率一般根据料泡的设计确定之（初型模轮廓应保证玻璃料得以正确的分布，并能保

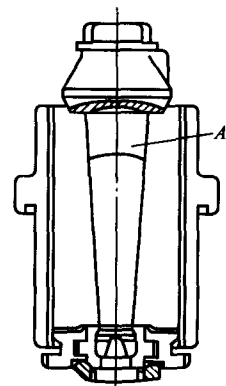


图 4-37 初型模内的空腔容积  $A$



证闷头成型部分的形状)。

为了能比较精确地决定圆形瓶与多面体瓶过容率，可按图 4-38 进行计算，其使用方法如下。

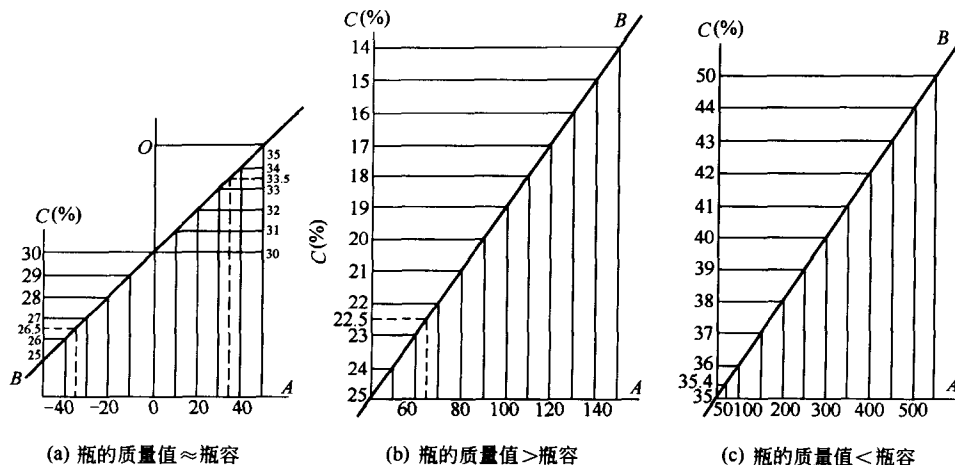


图 4-38 过容率计算图

不管瓶的体积或质量哪一个数值大，只要用其中大数减去小数，即得到一个所谓常数。在图 4-38 的图表的横轴 A 上找到该常数值，然后由该点作 A 轴的垂线，与 B 线相交，再由交点作 A 轴平行线与 C 轴相交，交点数值即为所求的过容率 P。现举例说明：

① 瓶的质量为 485g，瓶容积为 520cm<sup>3</sup>，二者在数值上近乎相等。

$$520 - 485 = 35 < 50$$

这意味瓶的质量与瓶容积之比近于 1 : 1 (常数在 50 以内均为此比例)，因此应查图 4-38(a)。若瓶的质量数值上小于瓶容积，则利用该图的右侧，反之用左侧。因为本例瓶的质量大于瓶容积，故从 A 轴右侧找到与常数 35 相对应的点，然后按上述规则作图，于是 C 轴上得到交点，得过容率为 33.5% (显然此数值比前面推荐的数值略大些)。

② 瓶的质量 425g，瓶容 360cm<sup>3</sup>，数值上前者大于后者。

$$425 - 360 = 65$$

利用图 4-38(b)，得到此例的过容率为 22.5%。

③ 瓶的质量为 450g，瓶容积为 520cm<sup>3</sup>，数值上前者小于后者。

$$520 - 450 = 70$$

由图 4-38(c) 查到过容率等于 35.4%。

④ 试计算瓶子之过容率，其瓶的质量 W 为 570g，瓶容积 C 为 724cm<sup>3</sup>，玻璃密度  $\rho$  为 2.5g/cm<sup>3</sup>。

此例瓶的质量小于瓶容积，724 - 570 = 154，因此利用图 4-38(c)，查得过容率应等于 36% ~ 37%，因为光整模具时，初型模容积还会逐渐增加，料泡余量亦将增加，故设计模具时都选用较小的过容率。

如果取过容率等于 36%，则料泡总容积等于：

$$V = \frac{W}{\rho} \left( 1 + \frac{P}{100} \right) = \frac{570}{2.5} \times \left( 1 + \frac{36}{100} \right) \text{cm}^3 = 310.08 \text{cm}^3$$

这样当过容率为 36% 时，闭合的初型模腔总容积应等于 310cm<sup>3</sup>。

对于硬化比较快的玻璃，根据图 4-38 所确定的过容率应降低 10%~15%，这样即可形成较厚的初型料泡壁，从而使初型料泡能较长时间保持后续生产过程所需的温度。

通常工厂多数以过容率作为吹-吹法锥型设计的校核判别条件。过容率的取值与瓶质量、瓶容及制瓶的生产条件等因素有关，每个玻璃瓶罐生产厂家都有一套适合自己生产的过容率数据，以过容率或过容量允许偏差作为过容率校核的依据，如果设定初型模内腔过容率为  $P_d$ ，锥型完成后计算的初型模内腔实际过容率  $P$ ，过容率允许偏差为  $|dP|$ ，则当  $dP = |P - P_d| \leq |dP|$  时，设计达到要求，否则，还需要调整所选料坯形状的有关参数，直到过容率的计算在要求的允许偏差内。

#### 4.7.1.2 缩小量确定

缩小量是从理论上衡量压-吹法初型模设计合理与否的重要依据：

$$E_s = \frac{V_{RB} - V_{CB}}{V_{RB}} \quad (4-8)$$

式中  $E_s$ ——缩小量；

$V_{RB}$ ——热玻璃体积，mm<sup>3</sup>；

$V_{CB}$ ——初型模总容积，mm<sup>3</sup>。

一般根据式 4-8 所计算的瓶罐的缩小量应在 5%~12%。若不能满足此要求则要修正某些参数，重新计算锥型和冲头尺寸及相关容积，并再次校核，直至缩小量满足上述要求为止。

过容量率和缩小量的确定请详见玻璃模具的计算机辅助设计和初型模设计两节的实例。

#### 4.7.2 延伸量

经初型模成型的锥型进入成形模时（见图 4-39）的  $a$  值，称为延伸量。对一个成型机而言，延伸量主要决定于制品的长度和质量。表 4-32 为双滴料行列机延伸量表；表 4-33 为行列机吹-吹法的延伸量表；表 4-34 为行列机压-吹法延伸量表。

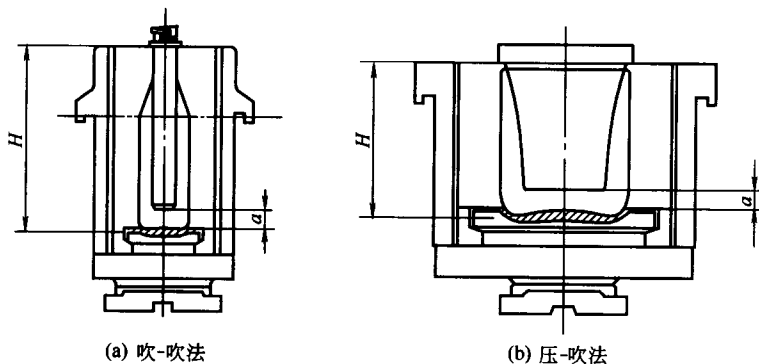


图 4-39 延伸量

表 4-32 双滴料行列机延伸量

瓶口以下高度/mm	延伸量 (a)/mm				
	瓶罐质量/g				
	227 以内	227~680	680~1134	1134~1588	1588~2041
13~25	0.8				
25~38	1.6				

续表

瓶口以下高度/mm	延 伸 量 (a)/mm				
	瓶 罐 质 量/g				
	227 以 内	227~680	680~1134	1134~1588	1588~2041
38~51	2.0				
51~64	2.4				
64~76	2.8				
76~89	3.2				
89~102	3.6				
102~114	4.0	5.2			
114~127	4.4	6.0			
127~140	5.2	6.4	7.5		
140~152	5.6	6.7	7.9		
152~165	6.0	7.1	8.7		
165~178	6.4	7.9	9.1		
178~191	6.7	8.3	9.9		
191~203	7.1	9.1	10.7		
203~216	7.5	9.5	11.1		
216~229	7.9	9.9	12.3	13.9	16.3
229~241	8.7	10.3	12.7	15.1	17.1
241~254	9.1	10.7	13.5	15.5	17.9
254~267	9.5	11.5	13.9	16.3	18.7
267~279		12.3	15.1	17.1	19.8
279~292		12.7	15.5	17.9	20.6
292~305		13.5	16.3	18.7	21.4
305~318		13.9	16.7	19.4	22.2
318~330		14.7	17.1	20.2	23.0
330~343		15.1	18.3	21.0	23.8
343~356		15.9	18.7	21.8	25.0

表 4-33 行列机吹-吹的延伸量

瓶口以下高度/mm	延 伸 量 (a)/mm				
	瓶 罐 质 量/g				
	30~225	225~680	680~1135	1135~1600	1600~2000
12~25	0.5				
26~38	1				
39~50	1.3				
51~64	1.5				
65~78	1.8				
79~90	2				
91~102	2.5				
103~116	3	4.5			
117~130	3.5	5			

续表

瓶口以下高度/mm	延 伸 量 ( $a$ )/mm				
	瓶 罐 质 量/g				
	30~225	225~680	680~1135	1135~1600	1600~2000
131~142	4	5.5	6.5		
143~155	4.5	6	7		
156~168	5	6.5	7.5		
169~182	5.5	7	8		
183~194	6	7.5	8.5		
195~208	6.5	8	9		
209~220	7	8.5	9.5		
221~234	7.5	9	10.5	12.5	14.5
235~246	8	9.5	11.5	13.5	15.5
247~260	8.5	10	12	14	16
261~272	9	10.5	12.5	15	16.5
273~285		11	13	15.5	17.5
286~298		11.5	13.5	16	18
299~310		12	14.5	17	19
311~324		12.5	15	17.5	19.5

表 4-34 行列机压-吹法的延伸量

瓶口以下高度/mm	延 伸 量 ( $a$ )/mm				
	瓶 罐 质 量/g				
	30~225	225~680	680~1135	1135~1600	1600~2000
12~25	0.5				
26~38	1				
39~50	1.3				
51~64	1.5				
65~78	1.8	3.5			
79~90	2	3.8			
91~102	2.5	4			
103~116	3	4.5			
117~130	3.5	5			
131~142	4	5.5	6.5		
143~155	4.5	6	7		
156~168	5	6.5	7.5		
169~182	5.5	7	8		
183~194	6	7.5	8.5		
195~208	6.5	8	9		
209~220	7	8.5	9.5		
221~234	7.5	9	10.5	12.5	14.5
235~246	8	10	11.5	13.5	15.5

### 4.7.3 锥型确定

初型模腔的几何形状应保证玻璃料分布合理, 所得的锥型料泡有利于瓶的最终成型。

#### 4.7.3.1 小口瓶锥型头部直径 $D$

从瓶身往瓶底的过渡圆弧  $R$  终点量出 1.5 mm (见图 4-40), 引一条与瓶轴成  $20^\circ$  的直线, 通过此线与初型模型腔轮廓线的交点作一水平面即为闷头与初型模的分模面  $A$ 。据此即可定出初型





模满料直径  $D$ 。从分模面至模底内凸起的距离等于初型料泡延伸量  $a$  加上闷头的深度  $h$ 。

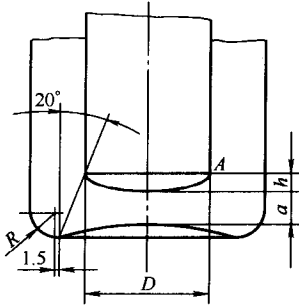


图 4-40 锥型头部直径的确定

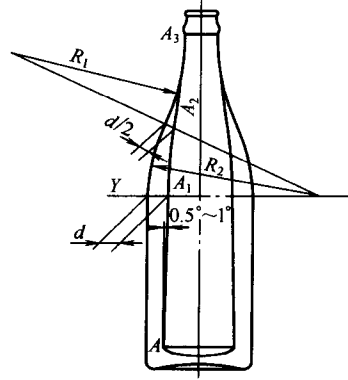


图 4-41 初型模型腔轮廓的设计

由上述方法确定的初型模满料直径，还要按表 4-35 加以校核：根据料滴的直径与质量在表中找到它的长度，此长度至少应该比初型模长度短 15mm，否则玻璃料可能受到漏斗的阻滞。

#### 4.7.3.2 初型模型腔

玻璃料滴长度确定后，即可进行设计初型模型腔轮廓（图 4-41）：由点 A（参见图 4-40）作与瓶轴线成  $30' \sim 1^\circ$  的斜线。初型模型腔轮廓线的此段斜线与 Y 轴交点为  $A_1$ 。初型模和成形模在 Y 轴水平面上的型腔截面积之差（与过容率的大小有关），约为成形模型腔在该水平面上截面积的 40%。半径  $R_1$ 、 $R_2$  两圆弧的圆心连线与初型模型腔轮廓线交于  $A_2$ ，它在成形模型腔轮廓线与初型模型腔轮廓线之间所截的线段约为  $d/2$ （ $d$  为 Y 轴与成形模型腔轮廓线交点到  $A_1$  点的距离）。

用圆滑曲线连接  $A_1$ 、 $A_2$  和  $A_3$ ，初型模型腔轮廓线（锥型料泡轮廓线）即设计初步完成。

若已知初型模满料直径，可按图 4-42 确定闷头尺寸，在 X 轴上找到对应的闷头直径

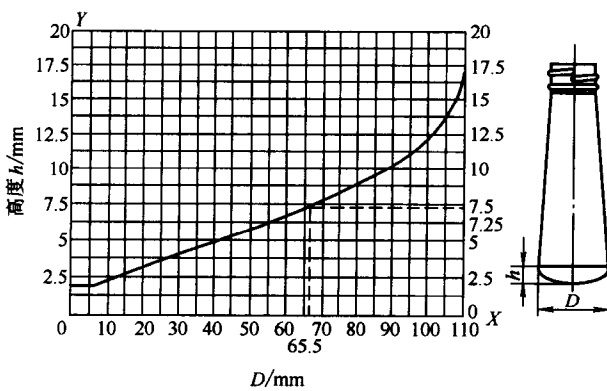


图 4-42 闷头尺寸图

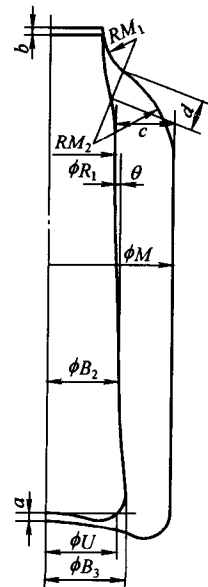


图 4-43 小口瓶锥型设计

(比初型模满料直径小 0.2~0.5mm) 点。由此点做 X 轴垂线同图中曲线相交, 再由所得交点做 X 轴的平行线至 Y 轴, Y 轴上的数值即为所求的闷头成型部分的高度  $h$ 。

小口瓶锥型料泡轮廓线, 也可按图 4-43 和表 4-36 提供的参数和数据进行设计。

大口瓶锥型料泡轮廓, 按图 4-44 和表 4-37 提供的参数和数据进行设计。

表 4-36 小口瓶锥型数据

品种	规格/ml	锥型倾斜角 $\theta/(\circ)$	锥径比 $\phi B_3/\phi M$	托径比 $\phi U/\phi B_3$	肩距比 $d/c$
盐水瓶	250	2.0	0.64	0.87	0.41
	500	2.5	0.65	0.91	0.45
	1000	2.2	0.65	0.91	0.43
啤酒瓶	600	1.5	0.82	0.95	0.54
	640	1.5	0.82	0.90	0.51
	750	1.5	0.81	0.94	0.55

注: 以上为气动 6 模制瓶机数据。

表 4-37 大口瓶锥型数据

名称	制品质量/g	制品瓶头下高度/mm	瓶头高度/mm	延伸量/mm	底部最小厚度/mm	锥型底厚/mm	锥型总高度/mm	锥型底凸度/mm	锥型头部直径/mm	闷头内型直径/mm	锥型上壁垂直厚度/mm
符号	$W$	$H$	$h$	$a$	$x$	$C$	$L$	$e$	$d_1$	$d$	$s$
数值或公式				普通玻璃: $a=0.02(1.25+0.01W)H$ “短性”玻璃: $a=0.0125(1.25+0.01W)H$	2~3	$C=x+0.01W$		$e=0.1d$	$\frac{d_1-d}{2}$ $\leq 7.5\text{mm}$ $d_1=d+2(0.8+0.01W)$	$d=1.2\sqrt{\frac{W}{L}}$	$s=3.5+0.25h$

行列机吹-吹模-09 初型模和行列机压-吹模-08 初型模的高度尺寸均取决于各自初型模内型腔高度尺寸, 而型腔高度尺寸即为各自的锥型总高度去除锥型口部高度与闷头内型腔深度的和。

初型模型腔设计后可进行少量试样生产, 待成熟完善后再正式批量生产。

#### 4.7.3.3 冲头

见图 4-44。

初型模型腔的容积加上口模的容积, 减去按制品质量计算的玻璃体积, 所得余数即为冲头成型部分体积。

冲头  $R_3$  尺寸按制品质量决定:

质量  $\leq 130\text{g}$   $R_3 = 7\text{mm}$

质量  $140 \sim 279\text{g}$   $R_3 = 8.5\text{mm}$

质量  $280 \sim 479\text{g}$   $R_3 = 10.5\text{mm}$

质量  $480 \sim 679\text{g}$   $R_3 = 12\text{mm}$

质量  $> 680\text{g}$   $R_3 = 15\text{mm}$

冲头倾斜角  $\alpha$  取  $4^\circ$ , 最低不小于  $2^\circ 30'$ 。

冲头突出部分  $h_1$  一般取  $1.5 \sim 3.5\text{mm}$ , 如果瓶口有内塞的话, 必须根据内塞长度、形状适当放大突出部。

冲头最大直径  $d_3$  通常与瓶口内径相同, 如有内塞的必须注意其收缩量。直径  $d_3$  向直径

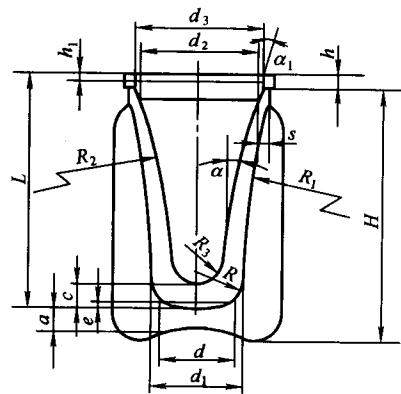


图 4-44 大口瓶锥型设计



$d_2$  处过渡的倾斜角  $\alpha_1$  一般为  $2^\circ$ 。

冲头直径  $d_2$  与表 4-37 的  $s$  相适应,  $s$  除按公式计算外, 也可按以下选择:

制品平均壁厚  $< 2.5\text{mm}$   $s = 2.5\text{mm}$

制品平均壁厚  $> 4.1\text{mm}$   $s = 6.0\text{mm}$

制品平均壁厚  $\approx 3.3\text{mm}$   $s = 3.9\text{mm}$

冲头圆弧半径  $R_2$  与初型模圆弧半径  $R_1$  相同。

按上述确定形状后算出其容量, 确认计算结果是否符合冲头成型部分体积。如不符, 则需要修正初型模型腔及冲头形状, 逐步调整容量分布, 此时要十分注意“锥型上壁垂直厚度  $s$ ”的变化。冲头的设计可参照 7.7.1 实例。

若已知冲头轮廓欲求初型模型腔轮廓, 其设计计算方法同上, 只是步骤相反。

行列压-吹模成型玻璃瓶罐时, 瓶罐总高度的极限是根据冲头冲压高度而改变。冲压高度极限又是与反转值 (“X”), 以及头端部圆球半径和冲头外径密切相关。图 4-45 以及附表表示了冲头冲压高度  $H$  (最大) 与反转值 ( $X$  或  $Y$ ) 和冲头端部圆球半径 ( $R$ ), 冲头外径 ( $D$ ) 之间的相互关系。其中图附表上所列的  $H$  最大值, 已留了  $2\text{mm}$  反转间隙。

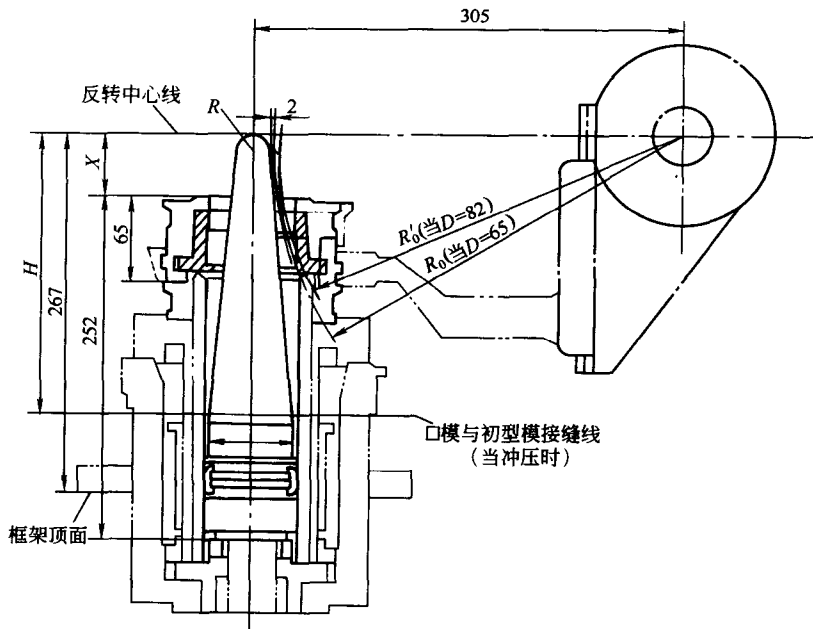


图 4-45 冲头高度极限数据

注: 见下表。

反转值 (X 或 Y)	H (最大)									
	D=65					D=82				
	R 最大 =8	R 最大 =10	R 最大 =13	R 最大 =16	R 最大 =18	R 最大 =10	R 最大 =13	R 最大 =16	R 最大 =18	R 最大 =21
80	178	171	163	156	152	183	175	167	162	156
60	210	191	178	168	160	—	203	185	178	167
45	—	—	210	183	168	—	—	—	206	184
35	—	—	—	210	186	—	—	—	—	210

注: 1. 冲头冲压高度  $H$  如图所示, 其最大值为  $H$  (最大)。

2. 冲头高度由冲头冲压高度和冲头未注尺寸高度两部分组成。

行列压-吹模成型瓶罐的最大高度为 240mm。冲头在冲压部分高度  $H$  最大值约为 210mm 左右，再加上瓶口高度、锥型料泡底部厚度和延伸间隙即为 240mm。因此，图附表表示  $H$  最大值到 210mm 为止，其余未注明尺寸处，均为 210mm 以外的部分。

当瓶罐总高度在 180mm 以上时，才需应用本图进行查对。

冲头在冲压部分的高度  $H$  最大值，除了与冲头本身外径及端部圆球半径有关外，尚与反转值 ( $X$  或  $Y$ ) 密切相关。一般在生产 200mm 高度以上的瓶罐时，建议  $X$  选用 60mm，其将使成型瓶罐的高度范围较大。若初型模（或成形模）夹钳的夹持位不够，应采用高夹钳，以增加夹持位。

#### 4.7.4 反转值 $X$ 或 $Y$

由反转中心线到口模与初型模型装配面的间距称为反转值“ $X$ ”。“ $X$ ”值决定了模具夹钳在模具上的夹持位置。为使锥形顺利准确地由初型模翻转到成形模中，必须确定反转值  $X$  或  $Y$ 。成形模的反转值“ $Y$ ”为反转中心线到吹气头与成形模装配面的间距。行列吹-吹模的“ $X$ ”或“ $Y$ ”可以根据瓶罐在瓶头以下的瓶身高度  $H_1$ （图 4-46），由表 4-38 查出（指行列吹-吹模）。

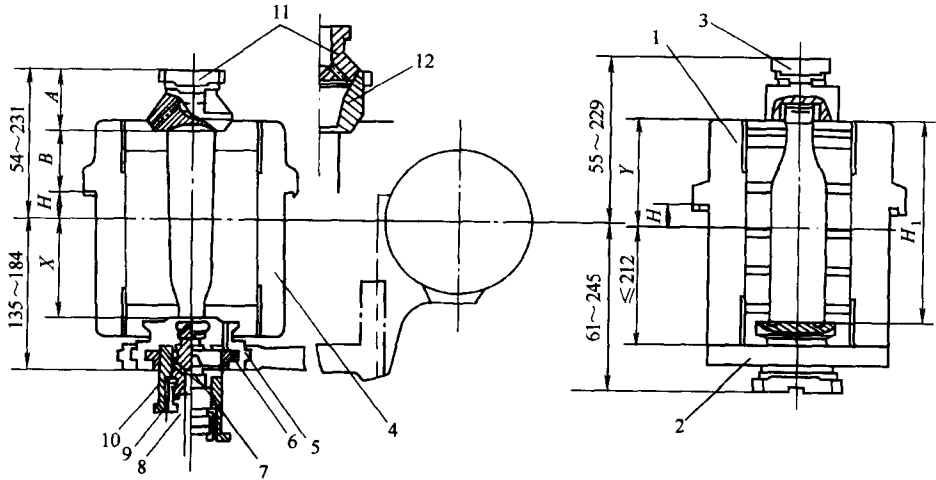


图 4-46 吹-吹法模具和极限尺寸

- 1—成形模；2—模底；3—吹气头；4—初型模；5—口模；6—口模套筒；  
7—芯子；8—芯子接头；9—夹环；10—封气套筒；11—网头；12—漏斗

表 4-38  $H$  与  $X$  或  $Y$  的关系（单位：mm）

高度 $H_1$	20~50	50~90	90~130	130~180	180~210	210~270	270~310
$X$ 或 $Y$	20	30	60	80	100	115	120 或 130

行列压-吹模的“ $X$ ”或“ $Y$ ”为 35mm、45mm、60mm、80mm 4 种（见图 4-45），根据瓶罐的高度进行选择：总高度 90~200mm 的瓶罐建议选用  $X=45$ mm，超过 200mm 高的瓶罐建议选用  $X=60$ mm 或 80mm。

考虑到因“ $X$ ”值较小，瓶罐较高时，夹钳在初型模上的夹持位置过低，而在成形模上过高，所以，瓶罐总高度在 140mm 以上时，初型模夹钳一般需采用高夹钳；瓶罐总高度在 160mm 以上时，成形模夹钳也需采用高夹钳。

总之，设计模具时必须严格恪守  $X$  与  $Y$  值，其公差不得超过  $\pm 0.25$ mm。

#### 4.7.5 口模

##### 4.7.5.1 口模设计原则

① 必须保证灌装需要的最小瓶口内径，有瓶口内塞的需考虑成形后收缩，因此要加放余量。

② 合理确定瓶头的壁厚，如轧口冠形瓶头应保证瓶子开启时不会断裂或碎裂，四旋、六旋瓶头的螺纹也要有一定的强度。

③ 瓶头设计要尽量参照国际标准组织或国家制定的专业标准推荐标准尺寸，逐步使旋盖螺纹尺寸规范化、标准化。

④ 口模与口圈（口环）的配合有两种，可根据需要选用，如图 4-47 所示。

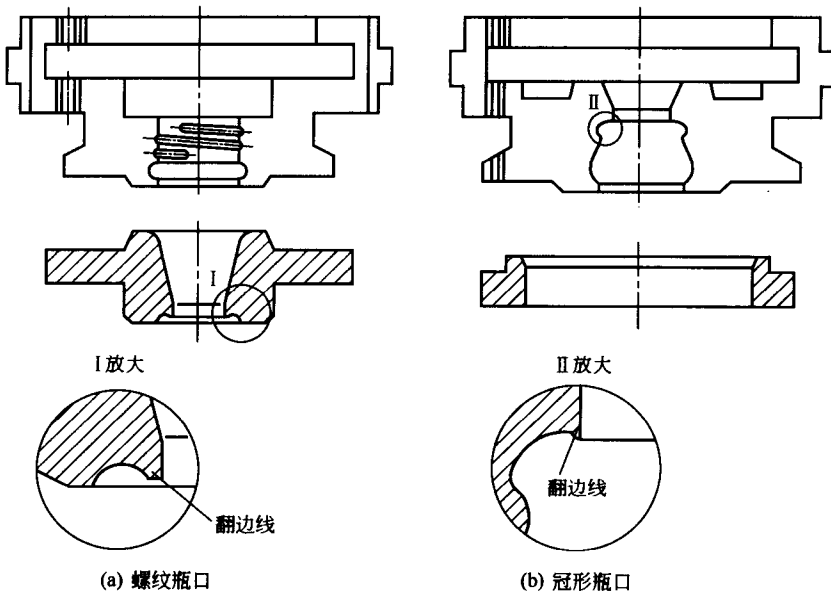


图 4-47 各种口模的分型方式

a. 高口圈特点是瓶端封口面无接缝线，较平整。可以有较高的翻边线，不会使口模开合时牵带瓶子。

b. 低口圈亦称口环，在成型过程中仅起导向作用，如要有翻边线，最高只能取 0.10~0.15mm，否则，口模打开时会扎坏瓶口。

c. 口模颈部直径要比成型模颈部直径小 0.20~0.30mm。

##### 4.7.5.2 口模选择

口模是行列机成型瓶罐口部用的模具零件，可根据瓶口外径尺寸，由表 4-39 中查得。行列机吹-吹模-10 口模、行列机吹-吹模-11 口模和行列机压-吹模-09 口模、行列机压-吹模-10 口模尺寸分别见图 4-48、图 4-49、图 4-50 和图 4-51。

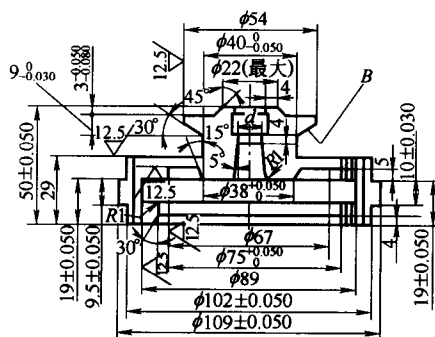
表 4-39 口模规格（单位：mm）

成型方法	口模号	瓶口外径最大尺寸	口模高度	适合瓶头高度
吹-吹法	# 2-1	14		
	# 2-2	20		

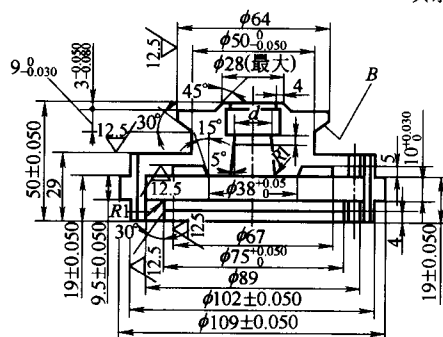
续表

成型方法	口模号	瓶口外径最大尺寸	口模高度	适合瓶头高度
吹-吹法	# 2-3	32	50±0.05	<25
	# 2-3	32	60±0.05	25~35
	# 2-3a	30	50±0.05	<25
	# 2-3a	30	60±0.05	25~35
	# 2-4	50	50±0.05	<25
	# 2-4	50	60±0.05	25~35
压-吹法	# 3-1	48	65±0.05	<22
	# 3-2	68	65±0.05	<22
	# 3-3	78	65±0.05	12~22
	# 3-4	90	65±0.05	12~22
	# 3-4a	82	65±0.05	<12

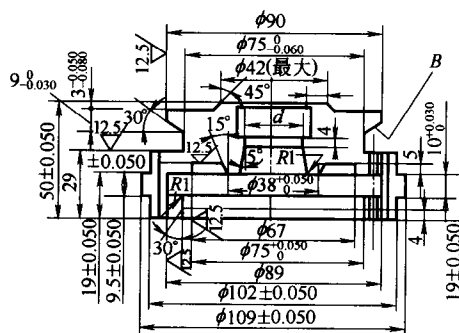
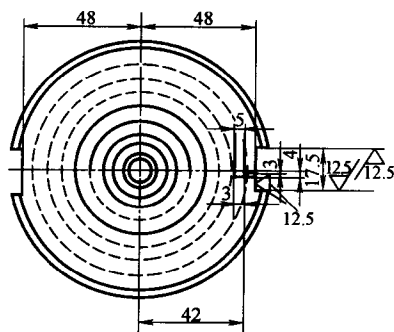
其余 3/2



(a) #2-1口模



(b) #2-2口模



(c) #2-3口模

图 4-48 行列吹-吹模-10 口模

注：1. 在楔形面 B 上，由合缝面向两边 45° 的弧形范围内，由 0 逐渐锉削到 0.5（在合缝面处为 0.5）以免在运行时与初型模楔形相摩擦。

2. 内径  $d$  与芯子外径  $d_0$  之间隙为 0.15。

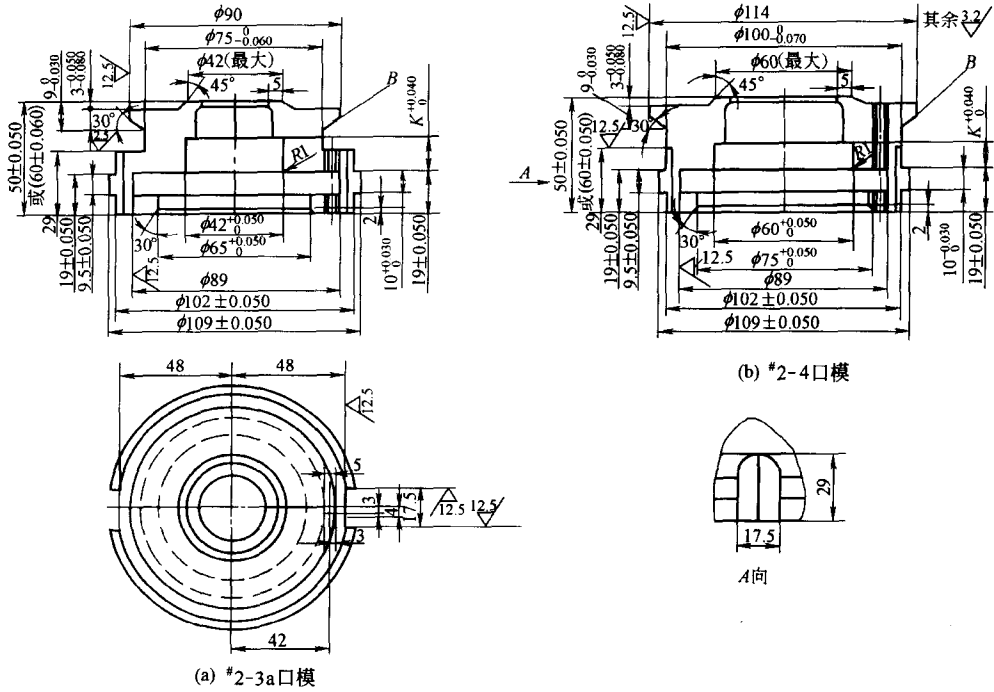


图 4-49 行列吹模-11 口模

注: 1. 在楔形面 B 上, 由合缝面向两边 45° 的弧形范围内, 由 0 逐渐锉削到 0.5 (在合缝面处为 0.5) 以免在运行时与初型模楔形相摩擦。

2. 尺寸 K 由产品瓶口高度确定。

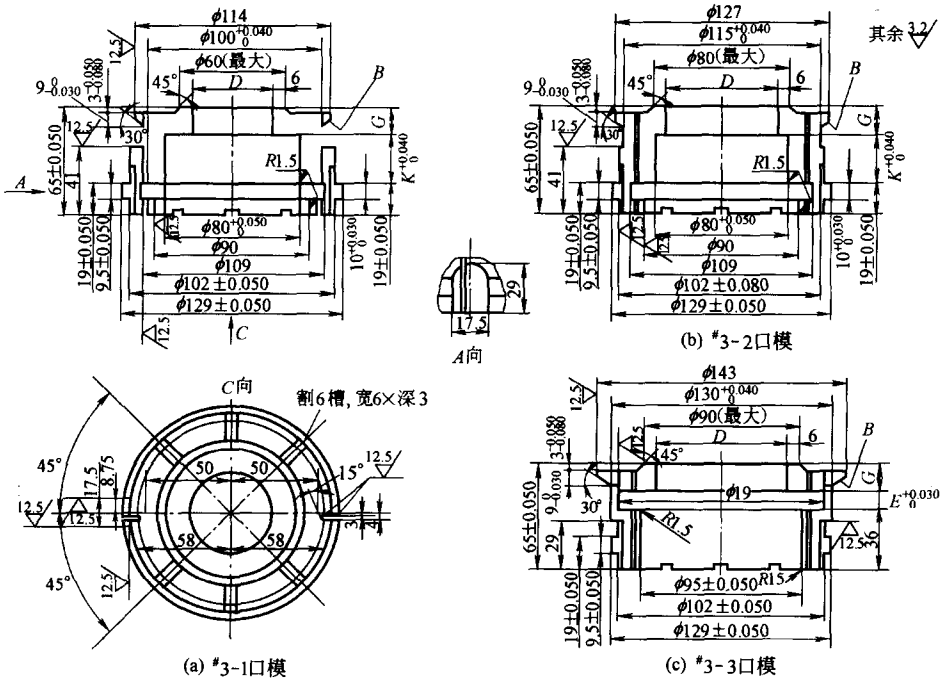


图 4-50 行列压-吹模-09 口模

注: 1. 在楔形面 B 上, 由合缝面向两边 45° 的弧形范围内, 由 0 逐渐锉削到 0.5 (在合缝面处为 0.5) 以免在运行时与初型模楔形相摩擦。

2. 尺寸 D、G、E、K 均由产品瓶口尺寸确定。

其余  $\frac{3.2}{\sqrt{\quad}}$

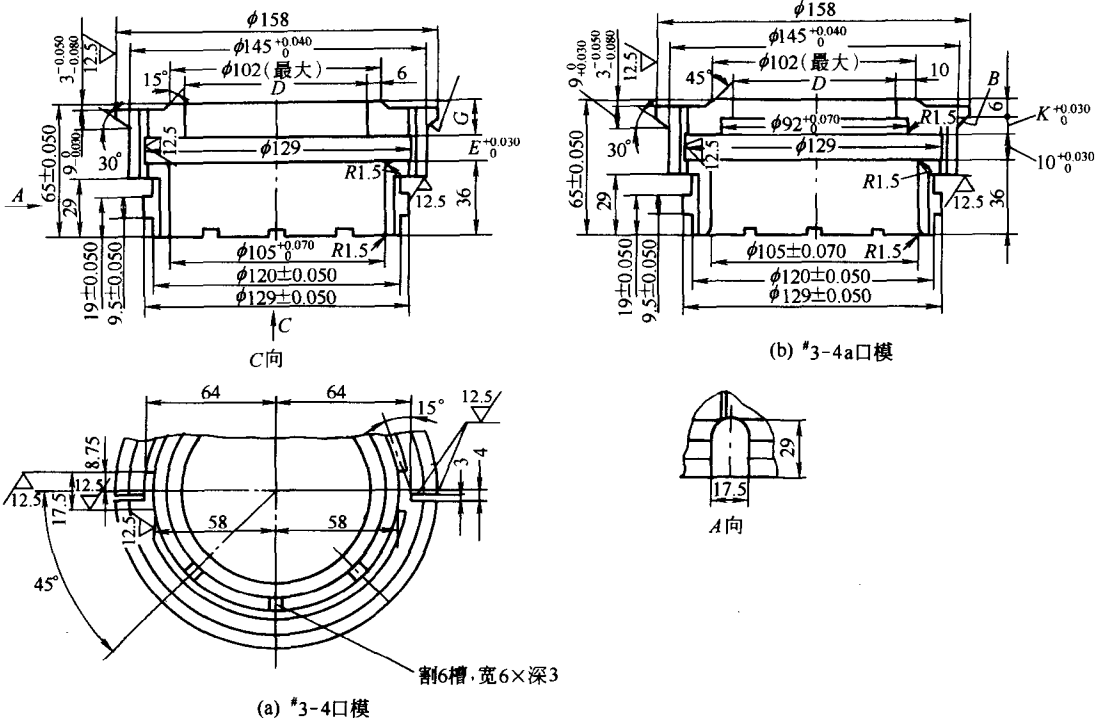


图 4-51 行列压-吹模-10 口模

- 注：1. 在楔形面 B 上，由合缝面向两边 45° 的弧形范围内，由 0 逐渐锉削到 0.5（在合缝面处为 0.5）以免在运行时与初型模楔形相摩擦。  
 2. 尺寸 D、G、E、K 均由产品瓶口尺寸确定。

行列机压-吹法初型模闭合时，若口模处于偏高位置，口模楔形部分与初型模应相接触于“A”点（见图 4-52），而不至于碰坏初型模内腔颈部的尖角，为此，在口模楔形部分必须开 4 个缺口，缺口位置的确定方法如下：

- ① 以初型模夹钳轴中心为圆心，以圆心至口子内圆边线为半径，做一个圆弧与口模楔形槽底圆（虚线）及外圆（实线）相交得 B、D 两点；
- ② 连线 B、D 并作 AB、BC 两线，使  $\angle ABD = \angle CBD = 45^\circ$ ，则 A、B、C 的连线就是所求缺口的位置；
- ③ 在 B 角的对称位置再开一个缺口，每副口模共开 4 个缺口。

#### 4.7.5.3 口模与配件的配合使用

行列吹-吹模-10 口模的 #2-1、#2-2 和 #2-3 口模均与下列配件配合使用

- 行列吹-吹模-13 导向套筒；
- 行列吹-吹模-14（#1）封气套筒；

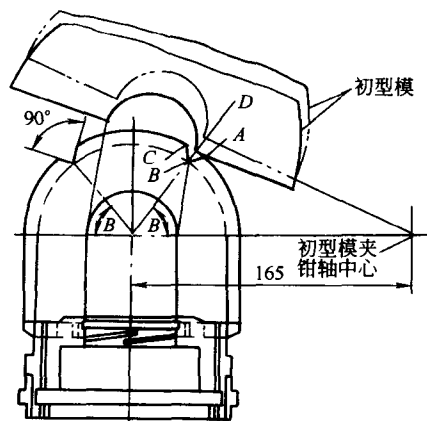


图 4-52 行列机压-吹法口模缺口位置

行列吹-吹模-17 (# 1b) 芯子;

行列吹-吹模-18 芯子接头;

行列吹-吹模-19 (# 1) 夹环。

**行列吹-吹模-11 口模的 # 2-3a 口模与下列配件配合使用**

行列吹-吹模-12 (# 1) 口模套筒;

行列吹-吹模-15 (# 2) 封气套筒;

行列吹-吹模-17 (# 1a) 芯子;

行列吹-吹模-18 芯子接头;

行列吹-吹模-19 (# 1) 夹环。

**行列吹-吹模-11 口模的 # 2-4 口模与下列配件配合使用**

行列吹-吹模-12 (# 2) 口模套筒;

行列吹-吹模-16 (# 3) 封气套筒;

行列吹-吹模-17 (# 2) 芯子;

行列吹-吹模-18 芯子接头;

行列吹-吹模-19 (# 2) 夹环。

**行列压-吹模-09 口模的 # 3-1 和 # 3-2 口模与下列配件配合使用**

行列压-吹模-11 (# 1) 口模套筒;

行列压-吹模-13 (# 1) 冲头;

行列压-吹模-14 (# 1) 冷却器;

行列压-吹模-15 (# 1) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (# 1) 夹环。

**行列压-吹模-09 口模的 # 3-3 口模与下列配件配合使用**

行列压-吹模-11 (# 2) 口模套筒;

行列压-吹模-13 (# 2) 冲头;

行列压-吹模-14 (# 2) 冷却器;

行列压-吹模-15 (# 2) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (# 2) 夹环。

**行列压-吹模-10 口模的 # 3-4 口模与下列配件配合使用**

行列压-吹模-12 (# 3) 口模套筒;

行列压-吹模-13 (# 2) 冲头;

行列压-吹模-14 (# 2) 冷却器;

行列压-吹模-15 (# 2) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (# 2) 夹环。

**行列压-吹模-10 口模的 # 3-4a 口模与下列配件配合使用**

行列压-吹模-12 (# 4) 口模套筒;

行列压-吹模-13 (# 2) 冲头;

行列压-吹模-14 (# 2) 冷却器;

行列压-吹模-15 (# 2) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (# 2) 夹环。

以上初型模的配件见 4.7.8。

#### 4.7.6 闷头和漏斗选择

根据初型模外形尺寸和选定的口模号，从图 4-57 和图 4-58 查出与其相匹配的闷头号。

##### 4.7.6.1 行列机吹-吹模闷头

它是在下料后，第一次降落作扑气，待漏斗上升后，第二次降落作初型模封盖用的，其尺寸见图 4-53。

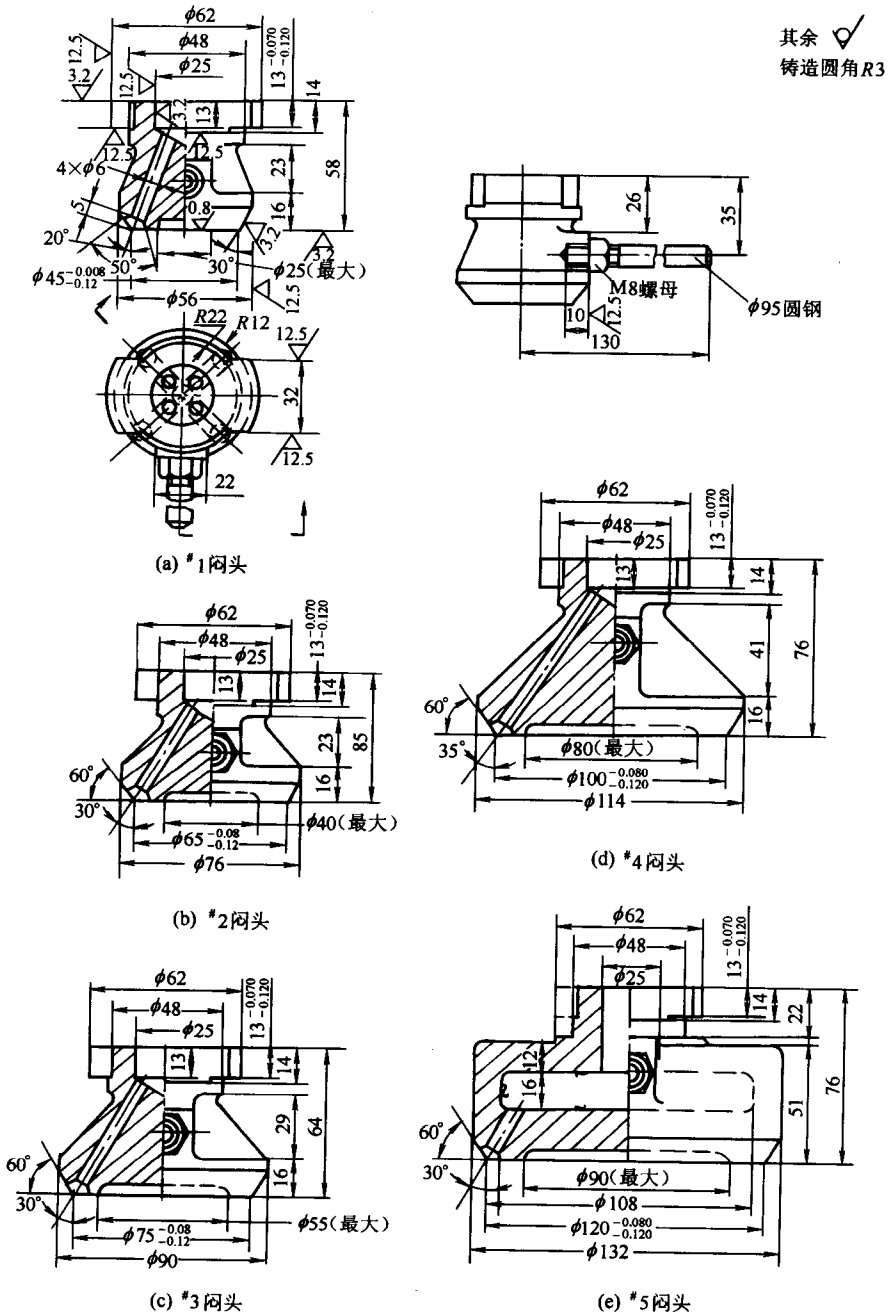


图 4-53 行列吹-吹模-21 闷头

注：\*2、\*3、\*4、\*5 闷头未注尺寸及加工符号与\*1 闷头相同



行列吹-吹模-21 阀头的#1~#5 阀头均与支架 (3-11-01) 配合使用。

阀头内部  $4 \times \phi 6$  孔是扑气时用的。

当成型很矮的瓶罐时, 漏斗在初型模内的位置应降低。为保证阀头杆与初型模顶部有空隙, 可增加阀头总高度。

#1 阀头与行列吹-吹-20 漏斗 (#1-1) 配合使用。

#2 阀头与行列吹-吹-20 漏斗 (#1-2) 配合使用。

#3 阀头与行列吹-吹-20 漏斗 (#1-3) 配合使用。

#4 阀头与行列吹-吹-20 漏斗 (#2-1) 配合使用。

#5 阀头与行列吹-吹-20 漏斗 (#3-1) 配合使用。

#### 4.7.6.2 行列机压-吹模阀头

它是在冲压玻璃料泡时, 作初型模上方封盖用的, 尺寸见图 4-54。

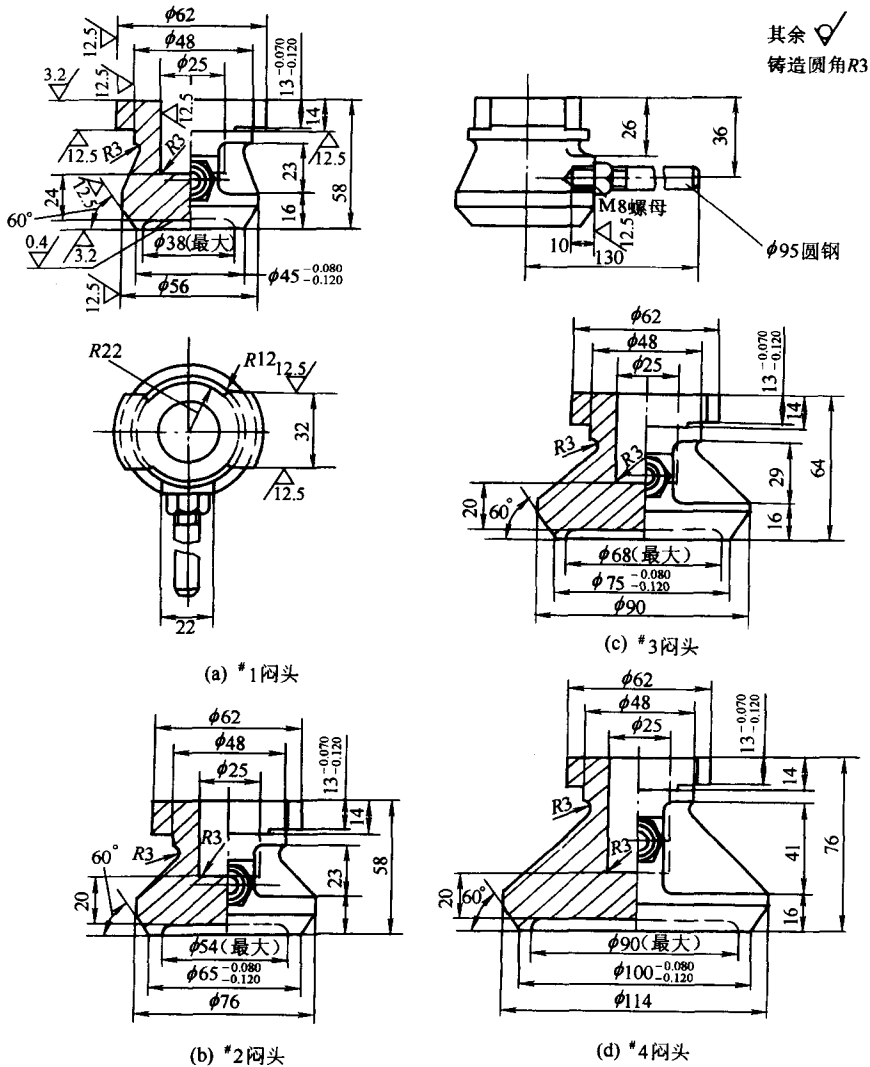


图 4-54 行列压-吹模-18 阀头

注: #2、#3、#4 阀头未注尺寸及加工符号与#1 阀头相同

行列压-吹模-18 闷头的#1~#4 闷头均与支架(3-11-01)配合使用。

当成型很矮的瓶罐时,漏斗在初型模的位置应降低。为保证闷头杆与初型模顶部有空隙,可增加闷头总高度。

#1 闷头与行列压-吹-17 漏斗(#1-1)配合使用。

#2 闷头与行列压-吹-17 漏斗(#1-2)配合使用。

#3 闷头与行列压-吹-17 漏斗(#1-3)配合使用。

#4 闷头与行列压-吹-17 漏斗(#2-1)配合使用。

#### 4.7.6.3 行列机吹-吹模漏斗

它是在下料前,放置在初型模上方,作玻璃料导向。落料后,闷头下落排气时,漏斗上部内锥面与闷头外锥面配合作封气用。行列吹-吹模-20 漏斗的尺寸见图 4-55。

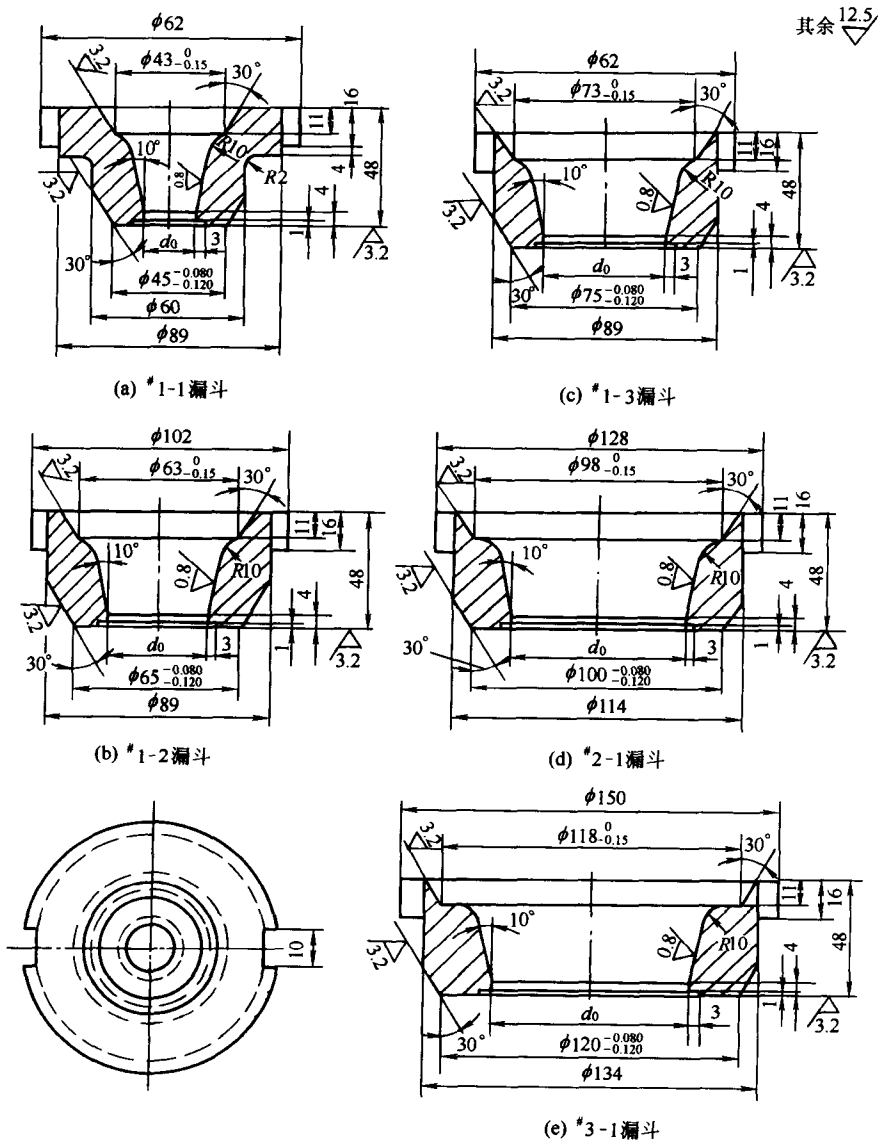


图 4-55 行列吹-吹模-20 漏斗

漏斗内孔尺寸  $d_0$  由闷头  $d$  确定，一般  $d_0$  比  $d$  小 1mm（最少）。若初型模型腔上部为喇叭形时， $d_0$  比  $d$  小得更多。

#1-1、#1-2 和 #1-3 漏斗均与 #1 漏斗支架（3-09-15）配合使用；#2-1 漏斗与 #2 漏斗支架（3-09-16）配合使用；#3-1 漏斗与 #3 漏斗支架（3-09-17）配合使用。

当成型很矮的瓶罐时，漏斗在初型模内的位置应降低，但不能增加漏斗高度，否则机器运行时会与闷头相碰。

漏斗的最低位置是由初型模夹钳号和相配的漏斗号来确定。配用 #1-1、#1-2 和 #1-3 漏斗的最低位置，要避免 #1 漏斗支架（3-09-15）臂的底面与初型模顶面相碰，以及防止在漏斗升起并回转时与初型模上部相碰。配用 #2-1 和 #3-1 漏斗的最低位置，主要避免 #2 或 #3 漏斗支架（3-09-16 或 17）臂的底面与初型模顶面相碰。此外，为了保证闷头螺杆与初型模顶面之间有空隙，可以增加闷头高度。

漏斗号的选择与已选定的闷头号相匹配：

- #1-1 漏斗与行列吹-吹模-21 闷头（#1）配合使用；
- #1-2 漏斗与行列吹-吹模-21 闷头（#2）配合使用；
- #1-3 漏斗与行列吹-吹模-21 闷头（#3）配合使用；
- #2-1 漏斗与行列吹-吹模-21 闷头（#4）配合使用；
- #3-1 漏斗与行列吹-吹模-21 闷头（#5）配合使用。

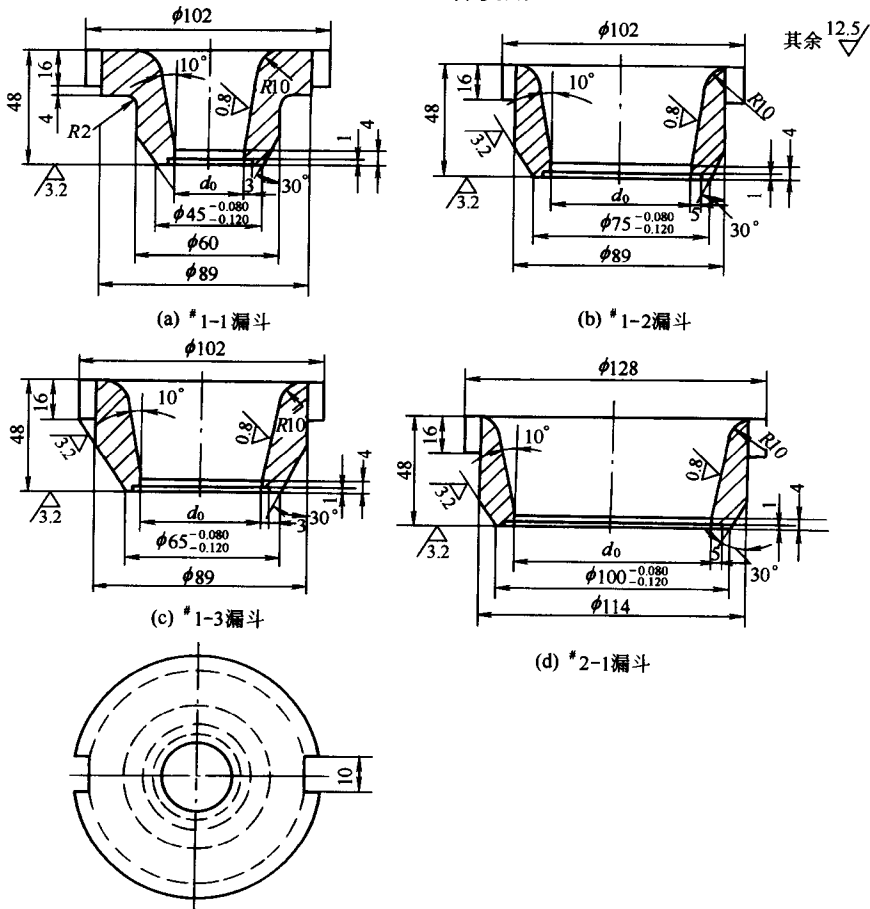


图 4-56 行列压-吹模-17 漏斗

#### 4.7.6.4 行列机压-吹模漏斗

它是在初型模下料时，放置在初型模上方，作玻璃料导向，行列压-吹模-17 漏斗的尺寸见图 4-56。

漏斗内孔尺寸  $d_0$  由闷头  $d$  确定，一般  $d_0$  比  $d$  小 1mm (最小)。

# 1-1、# 1-2 和 # 1-3 漏斗均与 # 1 漏斗支架 (3-09-15) 配合使用；# 2-1 漏斗与 # 2 漏斗支架 (3-09-16) 配合使用。

漏斗号的选择与已选定的闷头号相匹配：

# 1-1 漏斗与行列压-吹模-18 闷头 (# 1) 配合使用；

# 1-2 漏斗与行列压-吹模-18 闷头 (# 2) 配合使用；

# 1-3 漏斗与行列压-吹模-18 闷头 (# 3) 配合使用；

# 2-1 漏斗与行列压-吹模-18 闷头 (# 4) 配合使用。

#### 4.7.7 初型模工作图

初型模型腔设计参见 4.7.3。

初型模要与配用的口模号、闷头号 and 初型模夹号相适应。

##### 4.7.7.1 行列机吹-吹模-09 初型模

它是成型瓶罐锥形料泡模具的主体部分，其外形尺寸及其与口模、闷头和夹钳 (高夹钳) 的配合尺寸见图 4-57。

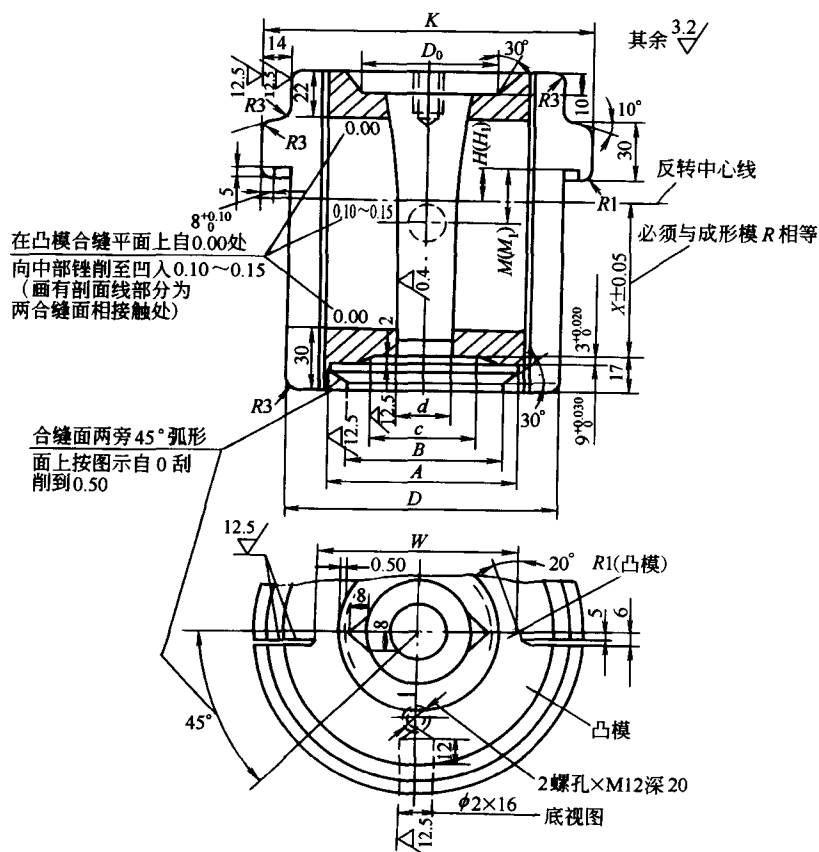


图 4-57 行列机吹-吹模-09 初型模工作图

注：1. 内径  $d$  比口模内径  $D$  小 0.10mm。

2. 见下页表。

单位: mm

网头号	$D_0$		网头号	$D_0$		
# 1	$\phi 45^{+0.05}_0$		# 4	$\phi 100^{+0.07}_0$		
# 2	$\phi 65^{+0.05}_0$		# 5	$\phi 120^{+0.08}_0$		
# 3	$\phi 75^{+0.06}_0$					
口模号	A	B(H8)	C(最大)	W		
# 2-1	$\phi 56$	$\phi 40^{+0.050}_0$	$\phi 30$	64		
# 2-2	$\phi 66$	$\phi 50^{+0.050}_0$	$\phi 36$	74		
# 2-3	$\phi 92$	$\phi 75^{+0.060}_0$	$\phi 50$	96		
# 2-4	$\phi 116$	$\phi 100^{+0.070}_0$	$\phi 28$	120		
夹钳号	H	$H_1$	D(e9)	K	M	$M_1$
# 0	4	—	$\phi 75^{+0.050}_{-0.140}$	$\phi 103$	18±0.10	—
# 1	4	—	$\phi 110^{+0.050}_{-0.140}$	$\phi 139$	18±0.10	—
# 2	10	—	$\phi 130^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 158$	22±0.10	—
# 3	16	—	$\phi 150^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 178$	28±0.10	—
# 4	23	—	$\phi 175^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 203$	34±0.10	—
# 5	26	—	$\phi 200^{+0.075}_{-0.195}$	$\phi 228$	35±0.10	—
# 3(高)	—	66	$\phi 150^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 178$	—	—
# 4(高)	—	73	$\phi 175^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 203$	—	—
# 5(高)	—	76	$\phi 200^{+0.075}_{-0.195}$	$\phi 228$	—	—

反转值“X”与成形模“Y”值相等。

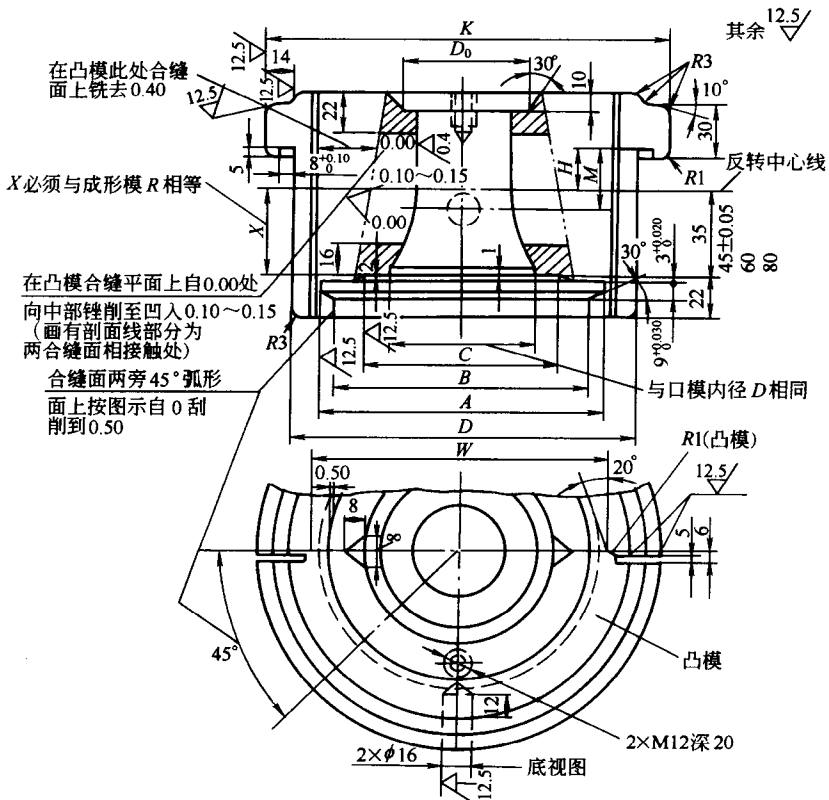


图 4-58 行列机压-吹模-08 初型模工作图

注: 1. 为使模具规格标准化建议在一般情况下采用  $X = 45\text{mm}$ 。

2. 见下页表。

单位: mm

口模号	A	B(H8)	C(最大)	W
# 3-1	φ115	φ100 <sup>+0.054</sup> <sub>0</sub>	φ68	120
# 3-2	φ128	φ115 <sup>+0.054</sup> <sub>0</sub>	φ88	134
# 3-3	φ144	φ130 <sup>+0.063</sup> <sub>0</sub>	φ98	148
# 3-4	φ160	φ145 <sup>+0.063</sup> <sub>0</sub>	φ110	164

网头号	D <sub>0</sub>	网头号	D <sub>0</sub>
# 1	φ45 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	# 3	φ75 <sup>+0.06</sup> <sub>0</sub>
# 2	φ65 <sup>+0.05</sup> <sub>0</sub>	# 4	φ100 <sup>+0.07</sup> <sub>0</sub>

夹钳号	H	D(e9)	K	M
# 0	4	φ75 <sup>-0.050</sup> <sub>-0.140</sub>	φ103	18±0.10
# 1	4	φ110 <sup>-0.050</sup> <sub>-0.140</sub>	φ138	18±0.10
# 2	10	φ130 <sup>-0.060</sup> <sub>-0.165</sub>	φ158	22±0.10
# 3	16	φ150 <sup>-0.060</sup> <sub>-0.165</sub>	φ178	28±0.10
# 4	23	φ175 <sup>-0.060</sup> <sub>-0.165</sub>	φ203	34±0.10
# 5	26	φ200 <sup>-0.075</sup> <sub>-0.195</sub>	φ228	35±0.10

初型模在运行中经受高温, 变形较大, 为减少瓶罐合缝线, 在初型模凸模的合缝面上应按图示进行加工。同时, 为避免其与口模相互卡住或摩擦, 应在其内孔“B”和“C”处按图示进行刮削和锉角。

#### 4.7.7.2 行列机压-吹模-08 初型模

它是成型瓶罐锥型料泡模具的主体部分, 其外形尺寸及其与口模、网头和夹钳的配合尺寸见图 4-58。

反转值“X”与成形模“Y”值相等, 应尽可能采用 X=45mm。

初型模在运行中经受高温, 变形较大, 为减少瓶罐合缝线, 在初型模凸模的合缝面上应按图示进行加工。同时, 为避免其与口模相互卡住或摩擦, 应在其内孔“B”或“C”处按图示进行刮削和锉角。

#### 4.7.8 有关配件选择

根据初型模外形尺寸和选定的口模号, 选择与其相配的其他配件号 (见 4.7.5)。

##### 4.7.8.1 行列机吹-吹模配件

行列机吹-吹模配件主要有口模套筒、导向套筒、封气套筒、芯子、芯子接头、夹环等。其尺寸见图 4-59~图 4-66。

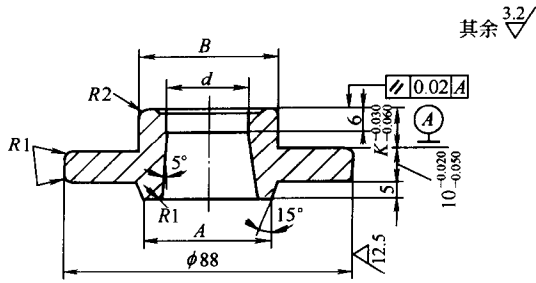
##### 4.7.8.2 行列机压-吹模配件

主要有口模套筒、冲头、冷却器、冲头接头、夹环等。尺寸见图 4-67~图 4-72。

各种配件说明如下。

(1) 口模套筒 口模套筒是成型瓶罐口部顶面的配件。

① 吹-吹法 # 1 和 # 2 口模套筒 # 1 口模套筒成型瓶口内径最大为 φ24mm; # 2 口模套筒成型瓶口内径最大为 φ42mm。由于口模套筒是在高温情况下运行, 故其内孔 d 应比芯子外径 d<sub>0</sub> 大 0.15~0.18mm, 以免在高温时卡住芯子。



口模套筒号	A/mm	B/mm	内径 $d$ 与 芯子外径 $d_0$ 间隙/mm
# 1	$\phi 38_{0}^{+0.05}$	$\phi 42_{-0.010}^{-0.060}$	0.15
# 2	$\phi 50_{0}^{+0.05}$	$\phi 60_{-0.010}^{-0.080}$	0.18

图 4-59 行列吹-吹模-12 口模套筒 (#1 和 #2)  
注: 尺寸  $K$  由产品瓶口高度确定。

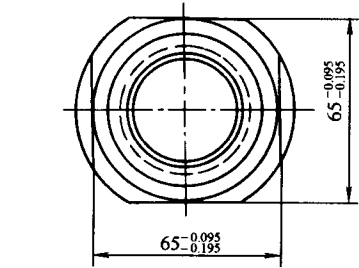
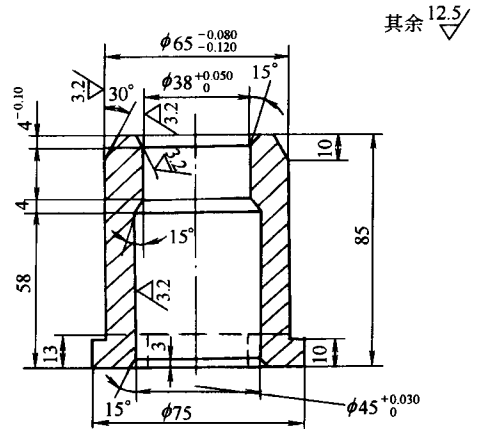


图 4-61 行列吹-吹模-14 封气套筒 (#1)

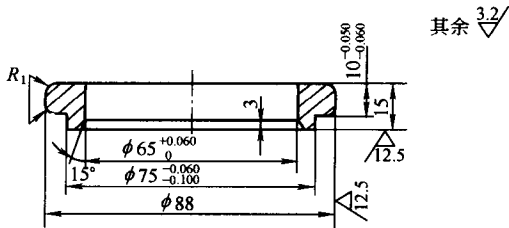


图 4-60 行列吹-吹模-13 导向套筒

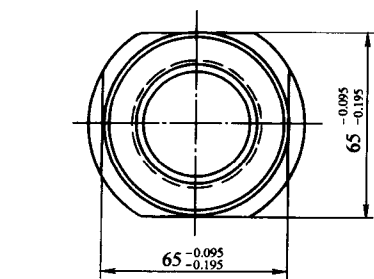
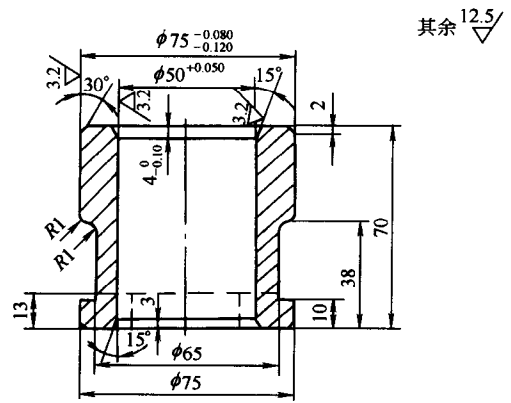


图 4-62 行列吹-吹模-15 封气套筒 (#2)

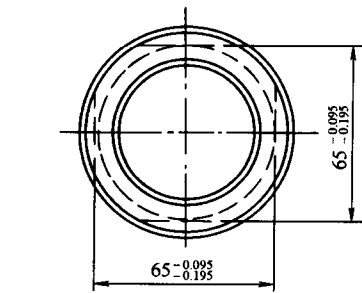
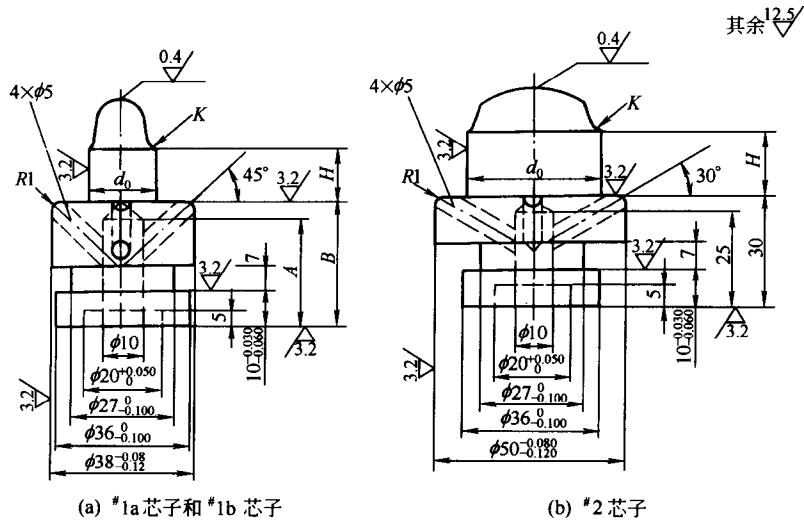


图 4-63 行列吹-吹模-16 封气套筒 (#3)



芯子号	A/mm	B/mm
# 1a	25	30
# 2b	40	45

图 4-64 行列吹-吹模-17 芯子 (和 #2)

- 注: 1. 高度  $H$  由瓶口高度确定, 其应保证芯子“K”处进入口模  $0.10 \sim 0.15\text{mm}$ , 以免形成双口弊病。  
 2. 外径  $d_0$  与口模 (或口模套筒) 配合间隙为  $0.15 \sim 0.18\text{mm}$ 。  
 3. 芯子头部大端尺寸一般与瓶口内径相同, 如有瓶口内塞时要加放余量。头部大圆角半径为  $20 \sim 40\text{mm}$ , 球面与锥面过渡圆角半径为  $2 \sim 6\text{mm}$ , “K”处圆角半径  $1 \sim 3\text{mm}$ , 锥面锥角  $6^\circ \sim 10^\circ$ 。

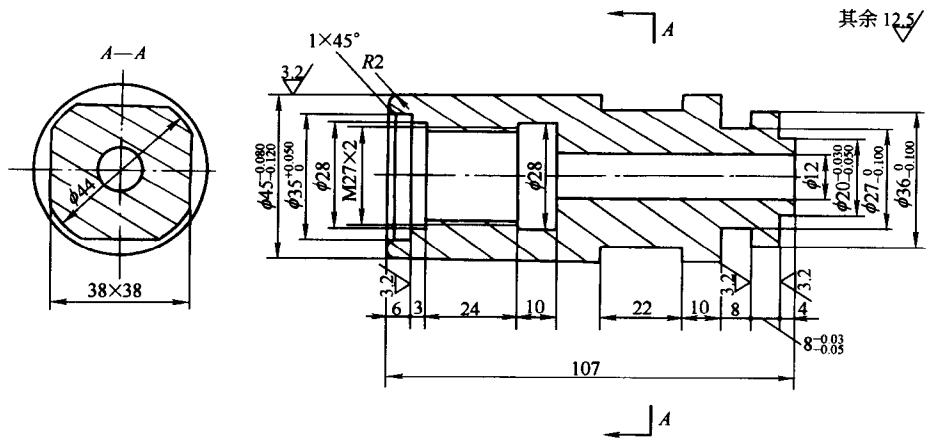


图 4-65 行列吹-吹模-18 芯子接头

### #1 口模套筒与下列模具配件配用

- 行列吹-吹模-11 (#2-3a) 口模;
- 行列吹-吹模-15 (#2) 封气套筒;
- 行列吹-吹模-17 (#1a) 芯子;
- 行列吹-吹模-18 芯子接头;
- 行列吹-吹模-19 (#1) 夹环。



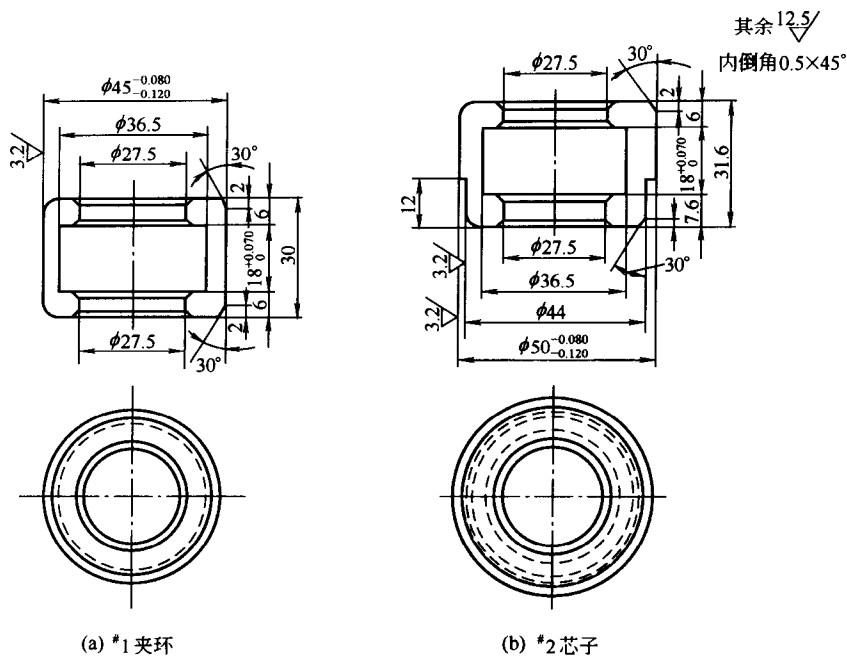
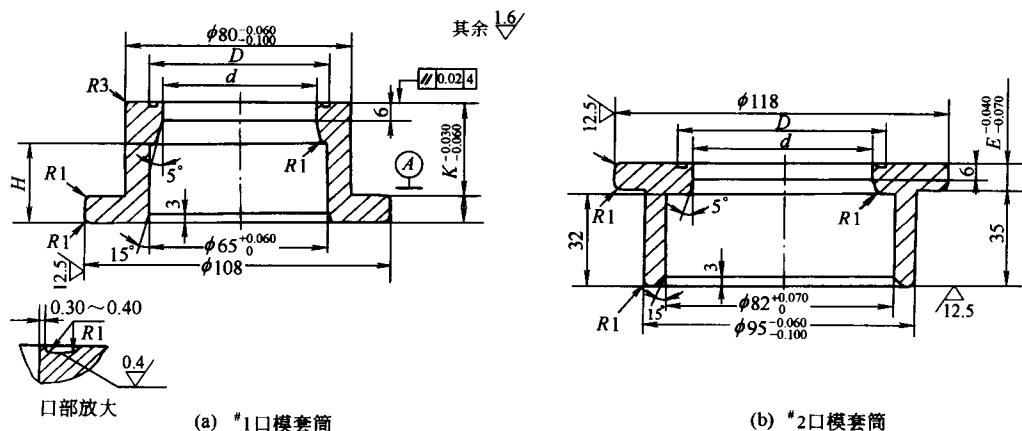


图 4-66 行列吹-吹模-19 夹环 (#1 和 #2)

### #2 口模套筒与下列模具配件配用

- 行列吹-吹模-1 (#2-4) 口模;
- 行列吹-吹模-16 (#3) 封气套筒;
- 行列吹-吹模-17 (#2) 芯子;
- 行列吹-吹模-18 芯子接头;
- 行列吹-吹模-19 (#2) 夹环。



瓶口高度/mm	H/mm
<10	40
10~20	30

图 4-67 行列压-吹模-11 口模套筒 (#1 和 #2)

- 注: 1. 尺寸  $D$ 、 $d$ 、 $K$ 、 $E$  均由产口瓶口尺寸确定。
- 2. 内径  $d$  与冲头外径  $d_0$  间隙为  $0.15 \sim 0.18$  mm。
- 3. #2 口模套筒用于生产瓶口高度为  $12 \sim 22$  mm 的产品。

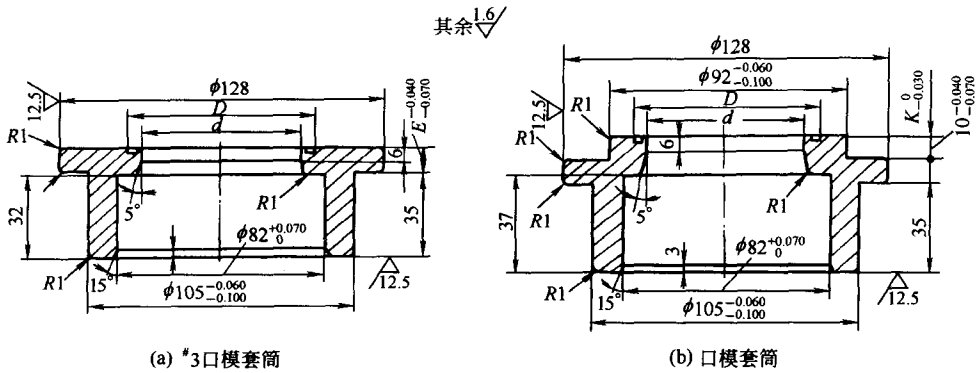
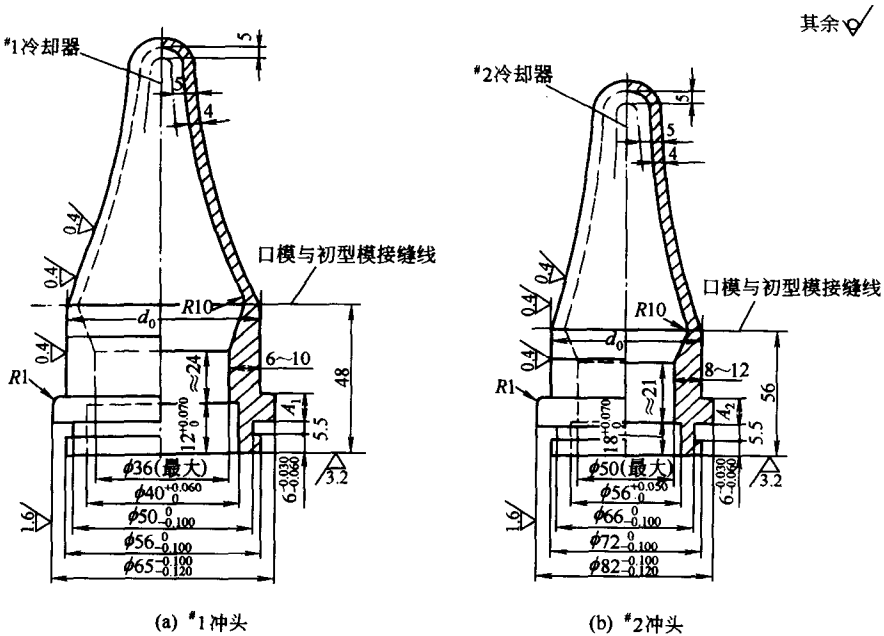


图 4-68 行列压-吹模-12 口模套筒 (#3 和 #4)

- 注: 1. 尺寸  $D$ 、 $d$ 、 $K$ 、 $E$  均由产口瓶口尺寸确定;  
 2. 内径  $d$  与冲头外径  $d_0$  间隙为  $0.15 \sim 0.18\text{mm}$ ;  
 3. #3 套筒用于生产瓶口高度为  $12 \sim 22\text{mm}$  的产品; #4 套筒用于生产瓶口高度小于  $12\text{mm}$  的产品。



瓶口高度/mm	$A_1$ /mm	$A_2$ /mm
<12	15	12
12~22	5	7

图 4-69 行列压-吹模-13 冲头 (#1 和 #2)

注: 外径  $d_0$  与口模套筒内径  $d$  间隙为  $0.15 \sim 0.18\text{mm}$ 。

② 压-吹法 #1、#2、#3 和 #4 口模套筒 #1 口模套筒成型瓶口内径最大为  $\phi 65\text{mm}$ ; #2 口模套筒成型瓶口内径最大为  $\phi 82\text{mm}$ ; #3 口模套筒成型瓶口内径最大为  $\phi 82\text{mm}$ , 瓶口高度为  $12 \sim 22\text{mm}$ ; #4 口模套筒成型瓶口内径最大为  $\phi 82\text{mm}$ , 瓶口高度为  $12\text{mm}$ 。由于口模套筒是在高温情况下运行, 故其内孔  $d$  应比芯子外径  $d_0$  大  $0.15 \sim 0.18\text{mm}$ , 以免运行时卡住冲头。

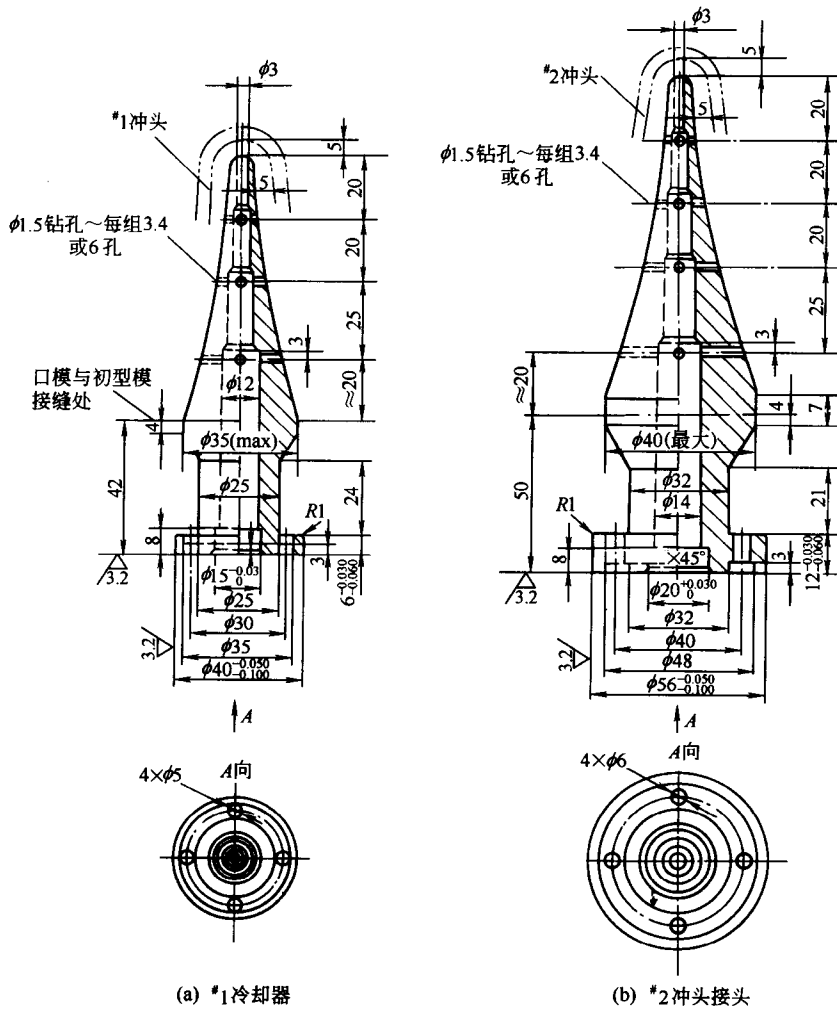


图 4-70 行列压-吹模-14 冷却器 (#1 和 #2)

#### #1 口模套筒与下列模具配件配用

- 行列压-吹模-09 (#3-1、#3-2) 口模；
- 行列压-吹模-13 (#1) 冲头；
- 行列压-吹模-14 (#1) 冷却器；
- 行列压-吹模-15 (#1) 冲头接头；
- 行列压-吹模-16 (#1) 夹环。

#### #2 口模套筒与下列模具配件配用

- 行列压-吹模-09 (#3-3) 口模；
- 行列压-吹模-13 (#2) 冲头；
- 行列压-吹模-14 (#2) 冷却器；
- 行列压-吹模-15 (#2) 冲头接头；
- 行列压-吹模-16 (#2) 夹环。

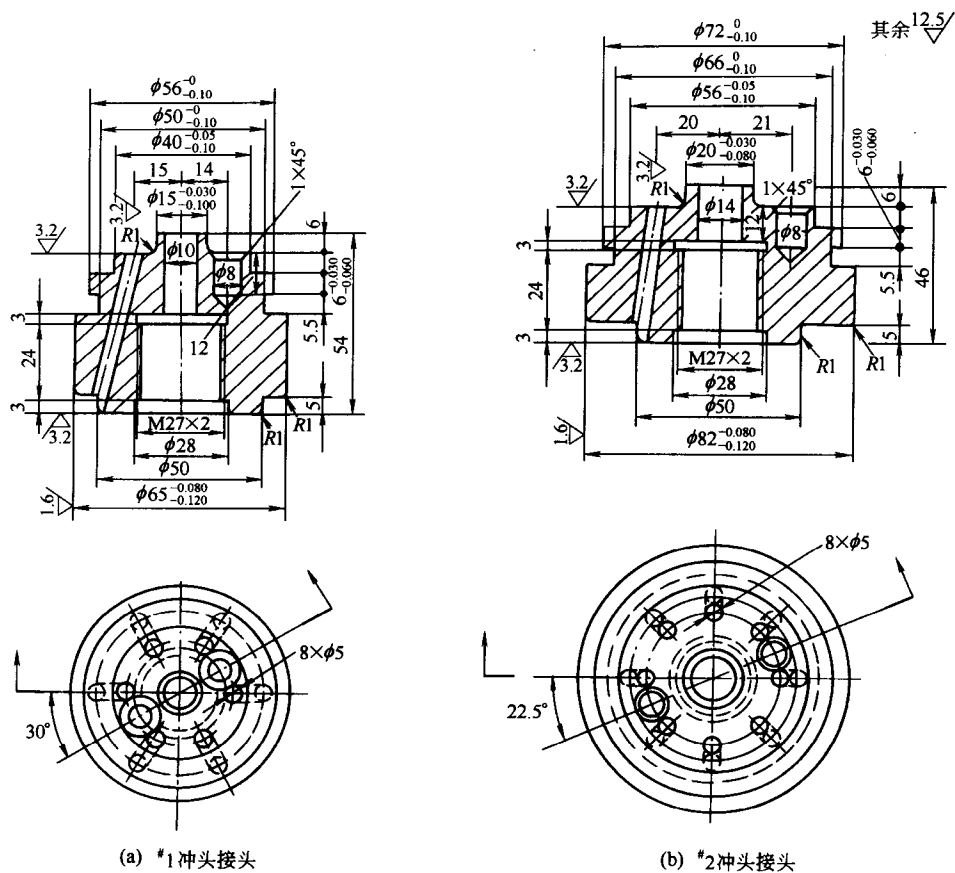
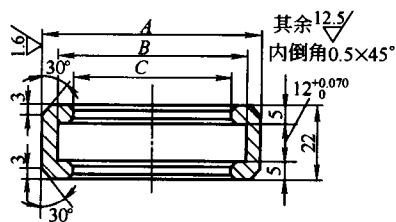


图 4-71 行列压-吹模-15 冲头接头 (#1 和 #2)



夹环号	A/mm	B/mm	C/mm
# 1	$\phi 65_{-0.080}^{-0.120}$	$\phi 56.5$	$\phi 50.5$
# 2	$\phi 82_{-0.080}^{-0.120}$	$\phi 72.5$	$\phi 66.5$

图 4-72 行列压-吹模-16 夹环 (#1 和 #2)

**# 3 口模套筒与下列模具配件配用**

- 行列压-吹模-10 (# 3-4) 口模;
- 行列压-吹模-13 (# 2) 冲头;
- 行列压-吹模-14 (# 2) 冷却器;
- 行列压-吹模-15 (# 2) 冲头接头;
- 行列压-吹模-16 (# 2) 夹环。

**# 4 口模套筒与下列模具配件配用**

- 行列压-吹模-10 (# 3-4a) 口模;
- 行列压-吹模-13 (# 2) 冲头;
- 行列压-吹模-14 (# 2) 冷却器;

行列压-吹模-15 (#2) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (#2) 夹环。

(2) 导向套筒 导向套筒是吹-吹法口模和#1封气筒导向的配件,与下列模具配件  
配用:

行列吹-吹模-10 (#2-1、#2-2和#2-3)口模;

行列吹-吹模-14 (#1)封气套筒;

行列吹-吹模-17 (#1b)芯子;

行列吹-吹模-18芯子接头;

行列吹-吹模-19 (#1)夹环。

(3) 封气套筒 封气套筒在初型模下部,与口模或口模套筒相配而封闭倒吹气的配  
件。#1封气套筒是靠其15°内锥面与口模套筒外锥面配而封气;#2和#3封气套筒是靠其15°  
内锥面与口模外锥面相配而封气的。

#### **#1封气套筒与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-10 (#2-1、#2-2和#2-3)口模;

行列吹-吹模-13导向套筒;

行列吹-吹模-17 (#1b)芯子;

行列吹-吹模-18芯子接头;

行列吹-吹模-19 (#1)夹环。

#### **#2封气套筒与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-11 (#2-3a)口模;

行列吹-吹模-12 (#1)口模套筒;

行列吹-吹模-17 (#1a)芯子;

行列吹-吹模-18芯子接头;

行列吹-吹模-19 (#1)夹环。

#### **#3封气套筒与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-11 (#2-4)口模;

行列吹-吹模-12 (#2)口模套筒;

行列吹-吹模-17 (#2)芯子;

行列吹-吹模-18芯子接头;

行列吹-吹模-19 (#2)夹环。

(4) 芯子 芯子是成型锥型料泡头部内孔的配件,芯子内部的通孔是倒吹气用的。#1芯  
子成型瓶口内径最大为 $\phi 24\text{mm}$ ;#2芯子成型瓶口内径最大为 $\phi 42\text{mm}$ 。

#### **#1b芯子与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-11 (#2-3a)口模;

行列吹-吹模-12 (#1)口模套筒;

行列吹-吹模-15 (#2)封气套筒;

行列吹-吹模-18芯子接头;

行列吹-吹模-19 (#1)夹环。

#### **#1b芯子与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-10 (# 2-1、# 2-2 和# 2-3) 口模；

行列吹-吹模-13 导向套筒；

行列吹-吹模-14 (# 1) 封气套筒；

行列吹-吹模-18 芯子接头；

行列吹-吹模-19 (# 1) 夹环。

#### **# 2 芯子与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-11 (# 2-4) 口模；

行列吹-吹模-12 (# 2) 口模套筒；

行列吹-吹模-16 (# 3) 封气套筒；

行列吹-吹模-18 芯子接头；

行列吹-吹模-19 (# 2) 夹环。

(5) 芯子接头 芯子接头是连接活塞杆 (3-08-20) 和芯子的配件。

(6) 夹环 夹环是连接芯子和芯子接头的配件，或者是连接冲头和冲头接头的配件。

#### **① 吹-吹法# 1 和# 2 夹环**

##### **# 1 夹环与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-10 (# 2-1、# 2-2 和# 2-3) 口模；

行列吹-吹模-11 (# 2-3a) 口模；

行列吹-吹模-12 (# 1) 口模套筒；

行列吹-吹模-13 导向套筒；

行列吹-吹模-14 (# 1) 封气套筒；

行列吹-吹模-15 (# 2) 封气套筒；

行列吹-吹模-17 (# 1a、# 1b) 芯子；

行列吹-吹模-18 芯子接头。

##### **# 2 夹环与下列模具配件配用**

行列吹-吹模-11 (# 2-4) 口模；

行列吹-吹模-12 (# 2) 口模套筒；

行列吹-吹模-16 (# 3) 封气套筒；

行列吹-吹模-17 (# 2) 芯子；

行列吹-吹模-18 芯子接头。

#### **② 压-吹法# 1 和# 2 夹环**

##### **# 1 夹环与下列模具配件配用**

行列压-吹模-13 (# 1) 冲头；

行列压-吹模-14 (# 1) 冷却器；

行列压-吹模-15 (# 1) 冲头接头。

##### **# 2 夹环与下列模具配件配用**

行列压-吹模-13 (# 2) 冲头；

行列压-吹模-14 (# 2) 冷却器；

行列压-吹模-15 (# 2) 冲头接头。

(7) 冲头 冲头是冲压瓶罐锥型料泡内腔的配件,其内部用压缩空气进行冷却。为了使其冷却均匀,冲压部分壁厚要均匀地控制在4mm左右。为了适应在生产时玻璃液滴质量有偏差,在设计冲头时,应考虑其圆柱部分进入口模套筒以上3mm。冲头用作冲压瓶口的部位应成圆锥体,便于其冲入和退出。

#1 冲头冲压瓶口内径最大为 $\phi 65\text{mm}$ ; #2 冲头冲压瓶口内径最大为 $\phi 82\text{mm}$ 。

#### #1 冲头与下列模具配件配用

行列压-吹模-09 (#3-1、#3-2) 口模;

行列压-吹模-11 (#1) 口模套筒;

行列压-吹模-14 (#1) 冷却器;

行列压-吹模-15 (#1) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (#1) 夹环。

#### #2 冲头与下列模具配件配用

行列压-吹模-09 (#3-3) 口模;

行列压-吹模-10 (#3-4、#3-4a) 口模;

行列压-吹模-11 (#2) 口模套筒;

行列压-吹模-12 (#3、#4) 口模套筒;

行列压-吹模-14 (#2) 冷却器;

行列压-吹模-15 (#2) 冲头接头;

行列压-吹模-16 (#2) 夹环。

(8) 冷却器 冷却器是装在冲头内部,通过压缩空气均匀冷却冲头的配件。冷却器上部外形曲面与冲头内壁曲面应接近平行,其间隙一般为5mm。冷却器顶端和身部小孔的大小、数量和位置对冲头冷却起较大的影响。应按实际情况确定,图上所注尺寸仅作参考。

#1 冷却器应与#1 冲头配用,#2 冷却器应与#2 冲头配用。

(9) 冲头接头 冲头接头是连接活塞杆(3-08-20)和冲头的配件。

#### #1 冲头接头与下列模具配件配用

行列压-吹模-13 (#1) 冲头;

行列压-吹模-14 (#1) 冷却器;

行列压-吹模-16 (#1) 夹环。

#### #2 冲头接头与下列模具配件配用

行列压-吹模-13 (#2) 冲头;

行列压-吹模-14 (#2) 冷却器;

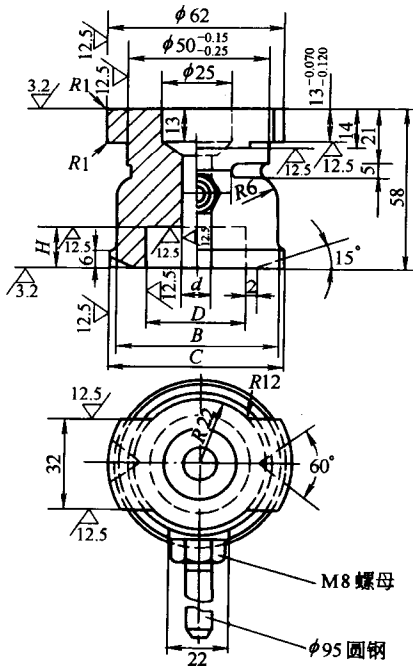
行列压-吹模-16 (#2) 夹环。

## 4.8 制瓶机成形模设计

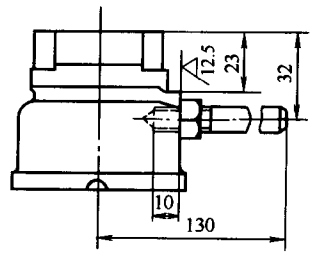
### 4.8.1 吹气头选择

吹气头是作为向成形模内玻璃料泡中吹压缩空气的配件,在吹制过程中,玻璃料泡外部的空气易于从其下部两条 $15^\circ$ 气槽向上方排出。

吹气头根据瓶口外径参照图表,选定吹气头号,尺寸见图4-73和图4-74。



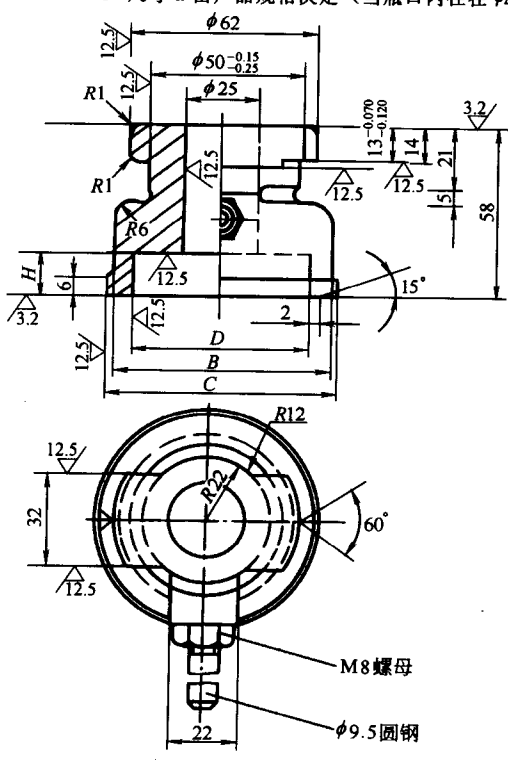
其余 ∇



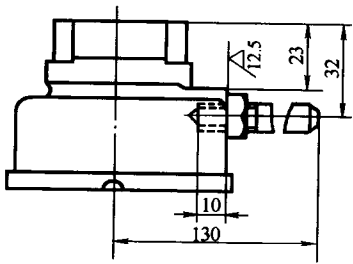
吹气头号	C/mm	B/mm	D(最大)/mm
#1	φ60	φ57	φ45
#2	φ75	φ72	φ60

图 4-73 行列吹-吹模-25 吹气头 (#1 和 #2)

- 注: 1. 尺寸 H 比瓶口高度高 0.5~1mm。  
 2. 尺寸 D 比瓶口外径大 6~8mm。  
 3. 尺寸 d 由产品规格决定 (当瓶口内径在 φ25mm 以下时, d 一般采用 φ6~8mm)。



其余 ∇



吹气头号	C	B	D(最大)
#1	φ60	φ57	φ45
#2	φ75	φ72	φ60
#3	φ95	φ92	φ80
#4	φ110	φ107	φ95
#5	φ125	φ122	φ110

图 4-74 行列吹-吹模-24 吹气头 (#1、#2、#3、#4 和 #5)

- 注: 1. 尺寸 H 比瓶口高度高 0.5~1mm。  
 2. 尺寸 D 比瓶口外径大 6~8mm。



## 4.8.2 冷却吹气头

内部冷却吹气头是一种能在吹气的同时，进行排出空气的吹气头，它的应用可以加快瓶罐成型时的冷却速度，达到增加产量的目的。内部吹气头下部的气槽功能与吹气头相同。

内部冷却吹气头，根据瓶口外径参照图表，选定内部冷却吹气头号，尺寸见图 4-75 和图 4-76。

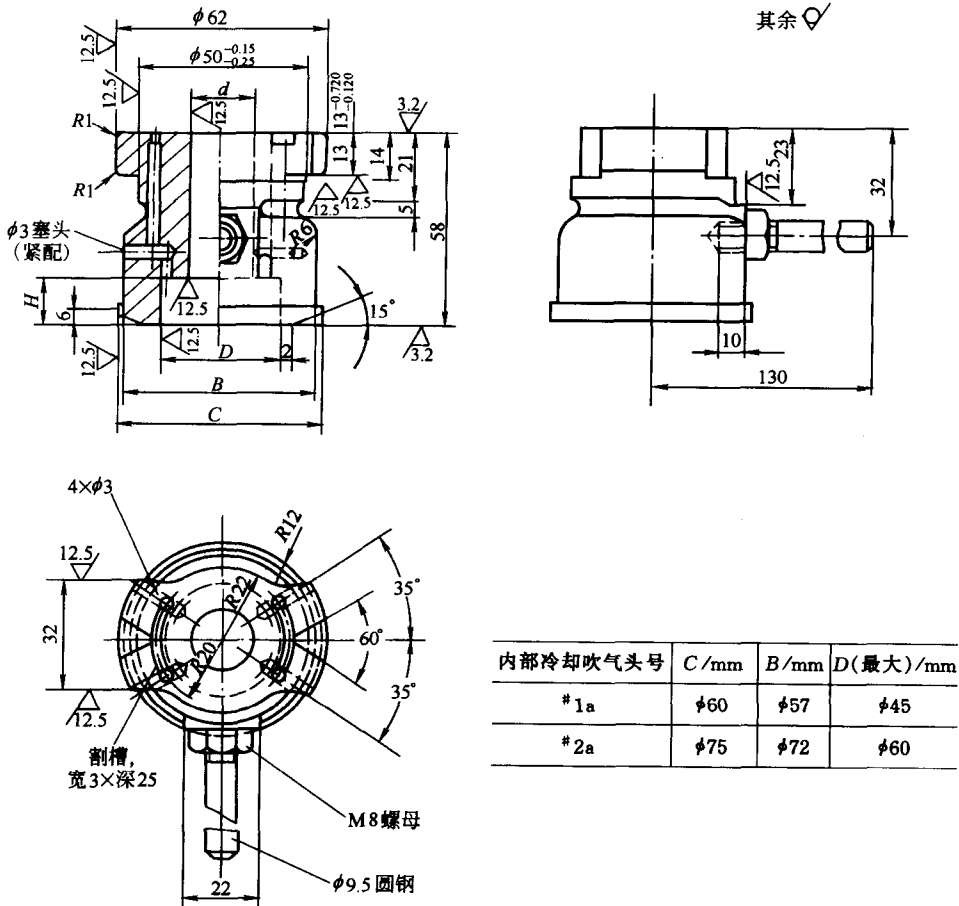


图 4-75 行列吹-吹模-26 内部冷却吹气头 (#1a 和 #2a)

注：1. 尺寸  $H$  比瓶口高度高 0.5~1mm。

2. 尺寸  $D$  比瓶口外径大 6~8mm。

3. 尺寸  $d$ ：当瓶口内径为 10~25mm 时，其与瓶口内径相同；当瓶大于 25mm，则  $d=25$ mm。

## 4.8.3 模底

### 4.8.3.1 模底设计原则

① 模底与瓶罐成型时的结合形式见图 4-77。

a. 大底：特点是瓶底的接触部位较平稳，但易看到瓶罐外观上的接缝线。

b. 小底：特点是瓶罐外观不易看到接缝线。

c. 异形瓶（非圆形瓶）：采用此模底较适宜。

② 模底与成形模的接口处，成形模部分公差取 +0.10mm，模底部分公差取 -0.10~

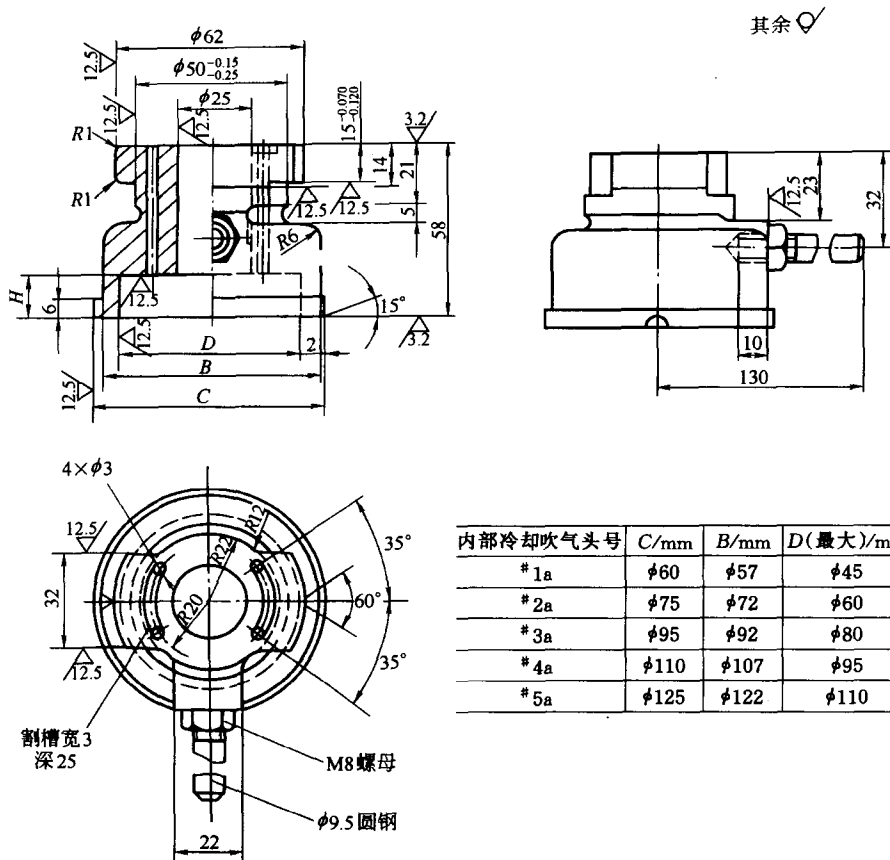


图 4-76 行列压-吹模-25 内部冷却吹气头 (#1a、#2a、#3a、#4a 和 #5a)

注：1. 尺寸  $H$  比瓶口高度高 0.5~1mm。  
2. 尺寸  $D$  比瓶口外径大 6~8mm。

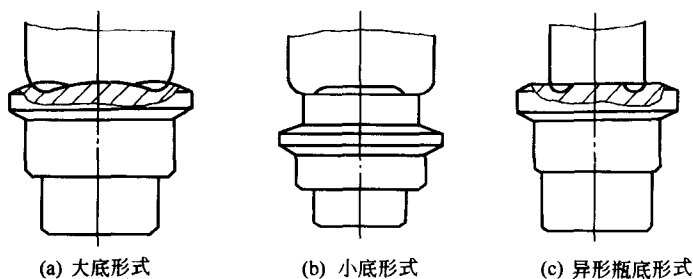


图 4-77 模底与瓶罐成型时结合形式

0.20mm，或参见图 4-35 和图 4-36。

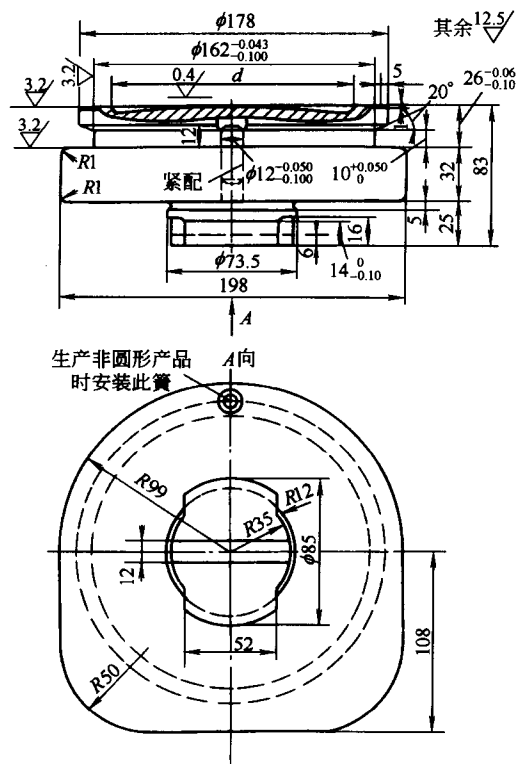
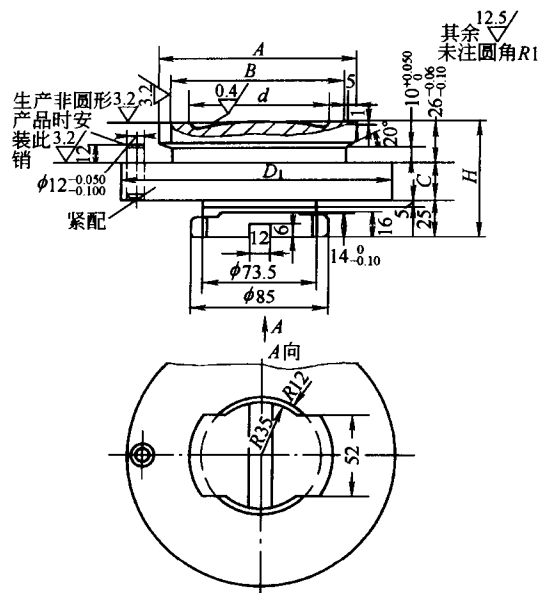
③ 模底型腔深度一般取 3.5mm 左右，模底的最深部分可设防爆滚花，特殊瓶可根据需要定深度，异形瓶（非圆形瓶）底部要凿刻条纹或麻点。

④ 模底可凿刻厂标、模号等，大小应按比例配置。

⑤ 食品瓶之类考虑包装时要重叠安放，故模底接触面的直径大小与瓶盖凹形大小吻合。

#### 4.8.3.2 模底选择

模底是与成形模配合成型瓶罐底部的模具零件。它根据瓶罐底部直径参照图表，选定模底号，尺寸见图 4-78、图 4-79 和图 4-80。



单位: mm

模底号	d(最大)	A	B (f8)	C	H
# 1	$\phi 25$	$\phi 50$	$\phi 35^{-0.025/-0.064}$	16	67
# 2	$\phi 50$	$\phi 75$	$\phi 60^{-0.030/-0.076}$	20	71
# 3	$\phi 75$	$\phi 100$	$\phi 85^{-0.036/-0.090}$	22	73
# 4	$\phi 100$	$\phi 125$	$\phi 110^{-0.036/-0.090}$	25	76
# 5	$\phi 125$	$\phi 150$	$\phi 135^{-0.043/-0.106}$	28	79

图 4-78 行列吹-吹模-23 模底和行列压-吹模-21 模底 (#1、#2、#3、#4 和 #5)

图 4-79 行列吹-吹模-24 模底和行列压-吹模-22 模底 (#6)

注: 1. 外径  $D_1$  比成形模外径  $D$  小 1mm。

2. 尺寸  $d$  比成形模内形相匹配。

#6 模底安装到制瓶机上时，应注意将托板方形端在靠输瓶机方向上。当成形模开启时，可起到保护成型内腔下部尖角的作用。

采用 #1a~#5a 模底时，可使行列压-吹模-20 成形模 (a) 与模底的配合角为钝角，以免运行时损坏。

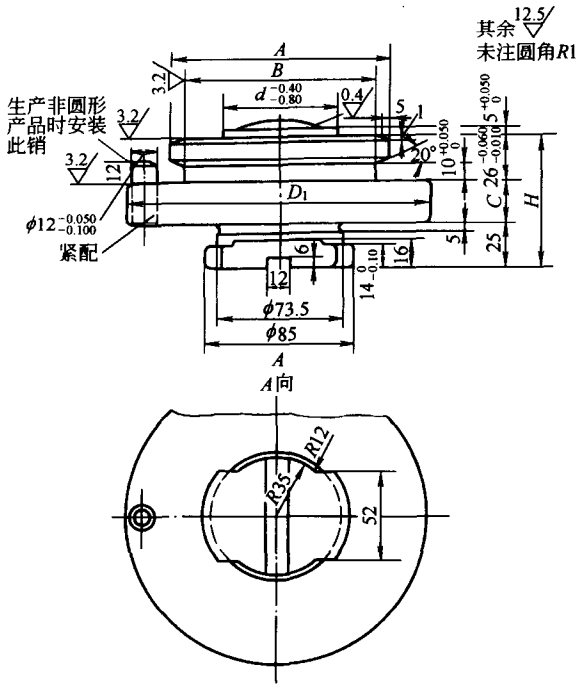
#### 4.8.4 模腔设计原则

① 成形模的高度尺寸应以瓶样的实际尺寸加上收缩量 (约瓶高的 0.4%)，一般机速愈快，收缩量也愈大，瓶口加强肋以下至模底的接缝面，即为成形模型腔部分。

② 型腔的直径一般取瓶样公差尺寸的中间值，模具加工完成后，可进行水容量测试来检验是否符合要求，然后进行修正。

③ 成形模颈部直径应大于初型模的颈部直径 0.3~0.4mm。

④ 异形瓶合缝线的选择原则：必须开模方便，有一定的开模斜度。型腔内如有花纹图案，在靠近合缝线处的花纹图案应改浅，并用各种剖视图来充分表示其形状和尺寸，成形模与模底配合要考虑安置定位销，以免型腔与模底的衔接处发生错位。



单位: mm

模底号	d(最大)	A	B(f8)	C	H
# 1a	φ20	φ50	φ35 <sup>-0.025</sup> <sub>-0.064</sub>	16	67
# 2a	φ45	φ75	φ60 <sup>-0.030</sup> <sub>-0.076</sub>	20	71
# 3a	φ70	φ100	φ85 <sup>-0.036</sup> <sub>-0.090</sub>	22	73
# 4a	φ95	φ125	φ110 <sup>-0.036</sup> <sub>-0.090</sub>	25	76
# 5a	φ120	φ150	φ135 <sup>-0.043</sup> <sub>-0.106</sub>	28	79

图 4-80 行列压-吹模-23 模底 (# 1a、# 2a、# 3a、# 4a 和 # 5a)

注: 1. 外径  $D_1$  比成形模外径  $D$  小 1mm。

2. 尺寸  $d$  比成形模内形相匹配。

⑤ 凡是盐水瓶、药瓶之类品种，内腔的刻度线高度要正确，刻字不宜太深，一般为 0.8mm 左右，有厂标、文字图案或商标的要在适当部位设出气孔。

⑥ 成形模型腔内不允许有铸造缺陷，型腔的表面粗糙度为  $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。

⑦ 模壁厚度一般取 25mm 左右，薄壁模具的热容量小，冷却风不易调整，模腔温度不易控制。模壁太厚，则散热和传热不良，不利于提高成型速度。

#### 4.8.5 成形模工作图

成形模应与配用的模底号、吹气头号 and 成形模夹钳号相适应。

##### 4.8.5.1 行列机吹-吹模-22 成形模

它是最后成型瓶罐外形模具的主体部分，其外形尺寸及其与模底、吹气头和夹钳的配合尺寸见图 4-81。

反转值“Y”必须与初型模“X”值相等。

成形模在运动中经受高温，变形较大，为减少瓶罐合缝线，在成形模凸模的合缝面上应按图示进行加工。同时，为避免其与模底相互卡住或摩擦，在内孔“B”处按图示进行刮削和锉角。

##### 4.8.5.2 行列机压-吹模-19 成形模

它是最后成型瓶罐外形模具的主体部分，其外形尺寸及其与模底、吹气头和夹钳的配合尺寸见图 4-82。

反转值“Y”必须与初型模“X”值相等，尽可能采用  $Y=45\text{mm}$ 。

成形模在运动中经受高温，变形较大，为减少瓶罐合缝线，在成形模凸模的合缝面上应按图示进行加工。同时，为避免其与模底相互卡住或摩擦，在内孔“B”处按图示进行刮削和锉角。

单位: mm

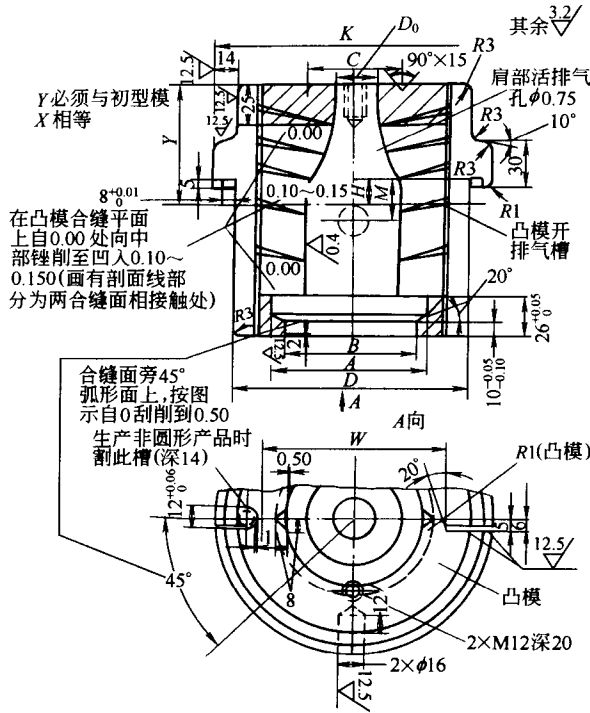


图 4-81 行列机吹-吹模-22 成形模工作图

注: 内径  $D_0$  比口模内径  $D$  大  $0.20 \sim 0.25$ mm。

模底号	A	B(H8)	W
# 1	$\phi 52$	$\phi 35^{+0.050}_0$	62
# 2	$\phi 77$	$\phi 60^{+0.060}_0$	92
# 3	$\phi 102$	$\phi 85^{+0.070}_0$	117
# 4	$\phi 127$	$\phi 110^{+0.070}_0$	142
# 5	$\phi 152$	$\phi 135^{+0.080}_0$	167
# 6	$\phi 180$	$\phi 162^{+0.080}_0$	184

吹气头号	C
# 1	$\phi 60$
# 2	$\phi 75$

夹钳号	H	B(e9)	K	M
# 0	4	$\phi 75^{+0.050}_{-0.140}$	$\phi 103$	$18 \pm 0.10$
# 1	4	$\phi 100^{+0.050}_{-0.140}$	$\phi 138$	$18 \pm 0.10$
# 2	10	$\phi 130^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 158$	$22 \pm 0.10$
# 3	16	$\phi 150^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 178$	$28 \pm 0.10$
# 4	23	$\phi 175^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 203$	$34 \pm 0.10$
# 5	26	$\phi 200^{+0.075}_{-0.195}$	$\phi 228$	$35 \pm 0.10$

单位: mm

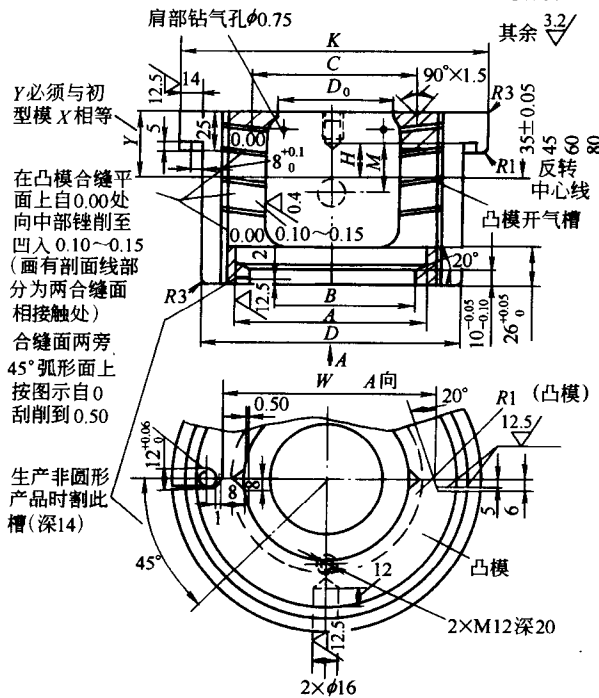


图 4-82 行列机压-吹模-19 成形模工作图

注: 1. 为使模具规格化, 建议在一般情况下, 采用  $Y=45$ 。

2. 内径  $D_0$  比口模内径  $D$  大  $0.20 \sim 0.25$ mm。

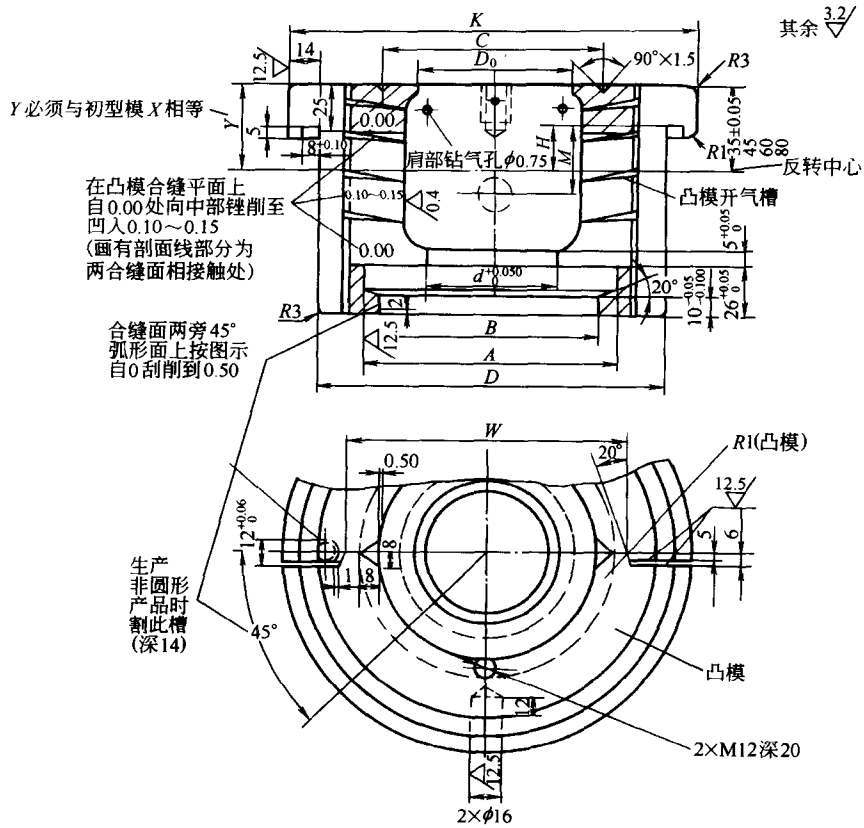
模底号	A	B(H8)	W
# 1	$\phi 52$	$\phi 35^{+0.050}_0$	62
# 2	$\phi 77$	$\phi 60^{+0.060}_0$	92
# 3	$\phi 102$	$\phi 85^{+0.070}_0$	117
# 4	$\phi 127$	$\phi 110^{+0.070}_0$	142
# 5	$\phi 152$	$\phi 135^{+0.080}_0$	167
# 6	$\phi 180$	$\phi 162^{+0.080}_0$	184

吹气头号	C	吹气头号	C
# 1	$\phi 60$	# 4	$\phi 127$
# 2	$\phi 75$	# 5	$\phi 25$
# 3	$\phi 95$		

夹钳号	H	B(e9)	K	M
# 0	4	$\phi 75^{+0.050}_{-0.140}$	$\phi 103$	$18 \pm 0.10$
# 1	4	$\phi 100^{+0.050}_{-0.140}$	$\phi 138$	$18 \pm 0.10$
# 2	10	$\phi 130^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 158$	$22 \pm 0.10$
# 3	16	$\phi 150^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 178$	$28 \pm 0.10$
# 4	23	$\phi 175^{+0.060}_{-0.165}$	$\phi 203$	$34 \pm 0.10$
# 5	26	$\phi 200^{+0.070}_{-0.195}$	$\phi 228$	$35 \pm 0.10$

### 4.8.5.3 行列机压-吹模-20 成形模 (a)

它也是最后成型瓶罐外形模具的主体部分,除了与模底配合部分外,其余全部尺寸和技术要求与行列机压-吹模-19 成形模相同,见图 4-83。



单位: mm

单位: mm

模底号	A	B(H8)	W
1a	φ52	φ35 <sup>+0.050</sup> <sub>0</sub>	62
# 2a	φ77	φ60 <sup>+0.060</sup> <sub>0</sub>	92
# 3a	φ102	φ85 <sup>+0.070</sup> <sub>0</sub>	117
# 4a	φ127	φ110 <sup>+0.070</sup> <sub>0</sub>	142
# 5a	φ152	φ135 <sup>+0.080</sup> <sub>0</sub>	167

吹气头号	A
# 1	φ60
# 2	φ75
# 3	φ95
# 4	φ110
# 5	φ125

单位: mm

夹钳号	H	D(e9)	K	M
# 0	4	φ75 <sup>-0.050</sup> <sub>-0.140</sub>	φ103	18±0.10
# 1	4	φ100 <sup>-0.050</sup> <sub>-0.140</sub>	φ138	18±0.10
# 2	10	φ130 <sup>-0.060</sup> <sub>-0.155</sub>	φ158	22±0.10
# 3	16	φ150 <sup>-0.060</sup> <sub>-0.165</sub>	φ178	28±0.10
# 4	23	φ175 <sup>-0.060</sup> <sub>-0.165</sub>	φ203	34±0.10
# 5	26	φ200 <sup>-0.075</sup> <sub>-0.195</sub>	φ228	35±0.10

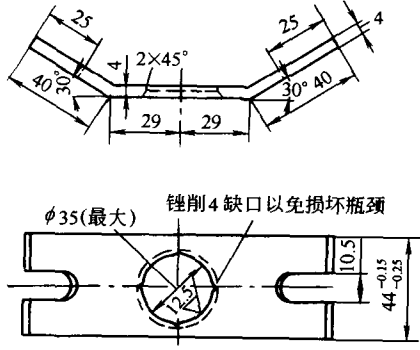
图 4-83 行列机压-吹模-20 成形模 (a) 工作图

注: 1. 为使模具规格标准化,建议在一般情况下采用 Y=45mm。

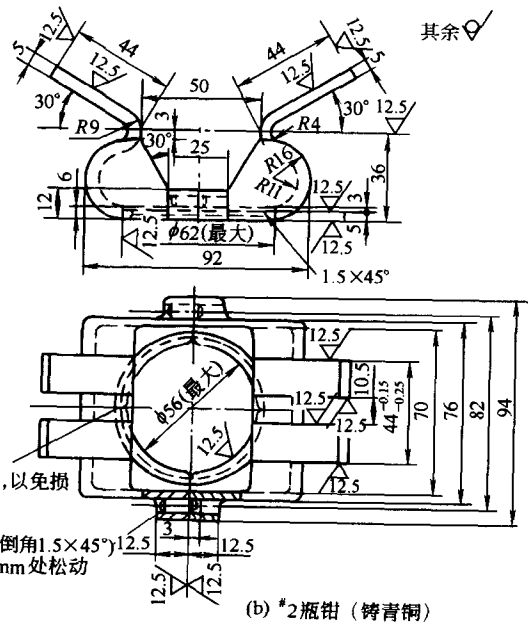
2. 内径  $D_0$  比口模内径  $D$  大 0.20~0.25mm。

3. 内径  $d$  由产品规格确定 (与模底相配)。

20 成形模 (a) 与模底配合的内孔, 因有 5mm 直位, 能使其内腔下部与模底的配合角为钝角, 以保护此角在运行时不易损坏。



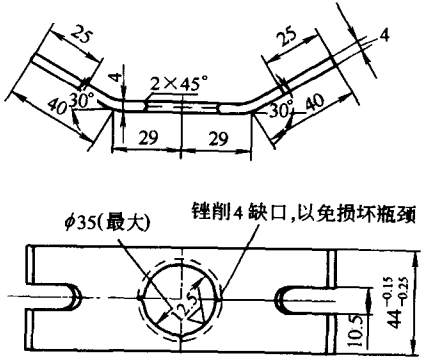
(a) #1 瓶钳 (铸青铜)



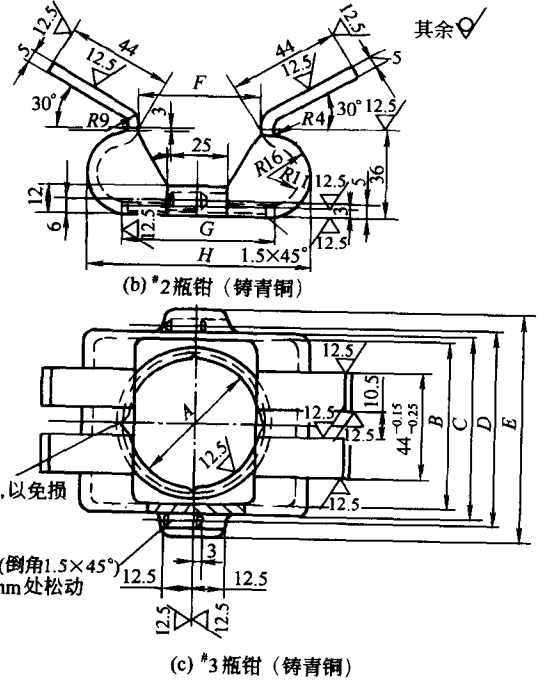
(b) #2 瓶钳 (铸青铜)

图 4-84 行列吹-吹模-27 瓶钳 (#1 和 #2)

- 注: 1. 未注明圆角均为 R3.  
 2. 瓶钳夹紧后, 其内径应比瓶颈直径大 0.8~1.0mm.



(a) #1 瓶钳 (低碳钢)



(c) #3 瓶钳 (铸青铜)

瓶钳号	A(最大)	B	C	D	E	F	G(最大)	H
#2	φ56	70	76	82	94	50	φ62	92
#3	φ72	96	102	108	120	64	φ78	106

单位: mm

图 4-85 行列压-吹模-26 瓶钳 (#1、#2 和 #3)

- 注: 1. 未注明圆角均为 R3.  
 2. 瓶钳夹紧后, 其内径 (A) 应比瓶颈直径大 0.8~1.0mm.

#### 4.8.6 瓶钳

瓶钳是钳出已吹制成型的瓶罐的夹钳，见图 4-84、4-85 和图 4-86。

瓶钳号（又称夹钳号）是根据瓶罐颈部直径来选择，其中#4 瓶钳用于瓶罐颈部直径在  $\phi 72\text{mm}$  至  $\phi 90\text{mm}$  的瓶罐。

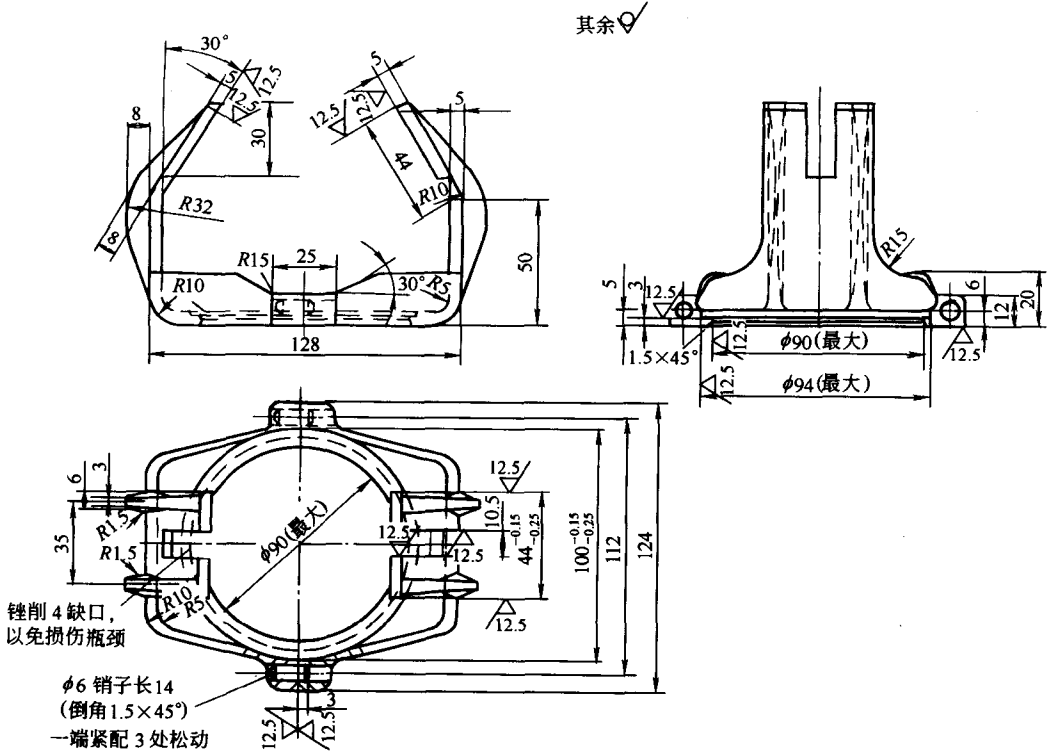


图 4-86 行列压-吹模-27 瓶钳 (#4, 铸青铜)

注：1. 未注明圆角均为 R3。

2. 瓶钳夹紧后，其内径应比瓶颈直径大 0.8~1.0mm。

### 4.9 玻璃模温度与冷却以及排气设计

#### 4.9.1 模温对成型质量的影响

模具温度在制品成型过程中起着重要作用，温度过高会造成制品黏附在模具的内腔上，使脱模发生困难，制品也容易变形。过低的模具温度又会造成制品表面有较多的波纹印痕，同时在制品的哈味线处易发生爆裂。因此，控制合适的模具温度将直接影响到制品的成型质量。

玻璃模具为间歇作业，使得玻璃向模内表面间歇地放热，而模外表面则向四周近乎均匀地散热，于是在模壁内形成一个准稳定的温度场。模具内表面的温度波动特别显著，至外表面则大大衰减。据测定玻璃初型模的温度波动为  $50\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，成形模的温度波动为  $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。玻璃的温度愈高，模具的热导率愈小，温度波动的幅度就愈大。

通常希望模腔内横截面上的温度分布应尽可能一样，但沿模具纵轴方向的温度分布，由于工艺上的原因（口部硬固快）希望有差别。实践表明，模具一半高度处的内表面温度最



高，而其上下的内表面温度低些。

英国玻璃研究协会 F·SHAW 发表的《玻璃成型的模具温度对制品质量的影响》论文，介绍了关于行列式制瓶机上某些口模的试验表明：当口模的作业温度是 380~400℃ 时，则大约 5% 的制品有裂纹；若作业温度提高到 430~460℃ 时，则 53% 的制品有裂纹；若作业温度继续提高到 440~480℃ 时，则 78% 的制品有裂纹；而当口模的作业温度降低到 280~345℃ 时，仅 1% 的制品有裂纹。上述试验说明，使口模保持在合适的较低的温度对这制品来说是比较有益的。

F·SHAW 就初型模温度试验提出报告指出，初型模的温度对制品的尺寸精度是相当重要的。其依据是，在特定行列机制瓶机上，当内外壁温差为 100℃ 的双腔初型模经过特殊的冷却处理减少到 40℃ 时，制品外形尺寸的精度可以提高很多。

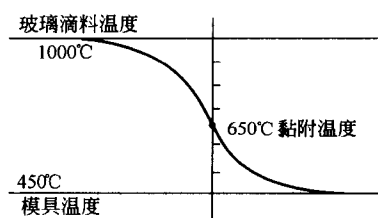


图 4-87 玻璃的黏附温度曲线

F·SHAW 还就压制模提出报告，为了避免波纹印痕，必须在尽可能接近黏附温度之下成型。他拟定的标准黏附温度为 515℃ 左右。

图 4-87 为玻璃的黏附温度曲线。由图可见，当模具的温度低于 450℃ 时，压制时玻璃制品的质量不好，且因温度过低，制品容易发生炸裂；而当模具温度高于 650℃ 时，制品容易粘模或变形，同时还易造成吸气。

由于玻璃组成和模具材质不同，其热导率也不一样，黏附曲线也会有较大差异。加之制品规格和成型速度的不同，对模具温度的控制方法也不尽相同。

#### 4.9.2 模具冷却方式

要使模具温度始终保持在工艺规定的范围内，模具的保温和冷却是极其重要的措施。

黏滞状态下成型的玻璃料，必须在模具中得到充分冷却，才能在离开成型机后保持定型。在成型过程中，由于冷却使模壁散出大量热量。冷却方法如下。

① 在大气自然中冷却：由于金属模本身传热能力有限，自然冷却只适合于成型速度低的情况。一般这种方法多用于手工作业，尤其是人工吹制空心玻璃时。

② 周期地将模具浸入水中进行人工冷却：用这种方法冷却木模或石墨模时，模具与玻璃之间形成的水蒸气层起隔离和润滑层的作用。此法适用于人工吹制和全自动成型薄壁无缝玻璃。

③ 用一股或数股压缩空气流（直吹或斜吹模壁）对模具进行冷却：这种方法在空心玻璃成型中应用最为广泛。

根据冷却部位的不同，可采用连续冷却外壁或周期地直接冷却同玻璃接触的模内壁，也可以同时采用以上两种方法。

除空气之外，也有倡议用其他冷却剂进行冷却的方法，如蒸发冷却法和用钠作为冷却剂的循环冷却法，以及水冷却。

对冷却水的进水温度、流量及对水质的要求等根据制品生产速率、模具材质、形状及各部分的厚度的不同而有所区别，以显像管玻壳模具为例：

玻屏凸模的冷却

水流量 20L/min

水压 0.3MPa

### 玻璃凸模的冷却

水流量 25L/min

水压 0.3MPa

气压 0.6 MPa

进水温度 30~35℃, 要求采用软化水, 出水温度规定为 90~95℃。

玻璃制品的成型是一个逐渐降温的过程。玻璃模具的冷却设计是控制成型的一个重要环节, 冷却的原则为冷却最需要冷却的部位。通常的情况是初型模的上方和成形模的下方要强制冷却, 而初型模的颈部有时需要减少或避免冷却甚至施以保温措施; 在使用压-吹法生产时, 冲头和口模的冷却显得比较关键; 端肩的瓶型和长颈的瓶型在肩部和颈部的适当位置施以冷却; 特种玻璃瓶可以特殊方式进行冷却; 一般初型模的冷却相对要小, 成形模的冷却相对较大。有时为使玻璃模具得到理想的冷却, 避免因冷却过度或不足而产生玻璃瓶缺陷, 采用槽型风嘴与孔型风嘴混合使用的方式, 使需强制冷却的部位风量大, 不需冷却的部位风量小, 在双滴或三滴生产时, 使用特制的风嘴使里外模或前中后模的冷却量相近也是常采用的冷却方式。

以玻璃瓶为例, 因模具冷却而产生的缺陷可分为以下两类。

① 玻璃模具温度高(玻璃模具冷却不足)引发玻璃瓶缺陷: 瓶口不足、瓶口内颈窄、瓶底细裂纹、瓶壁薄、瓶底黏附玻璃屑、瓶底有突尖(压-吹法时冲头过热)、瓶口鼓胀、瓶口椭圆、瓶口粗糙、瓶口弯曲或歪斜、瓶颈弯曲、瓶颈长、瓶口内表面凹陷、瓶肩细裂纹、瓶肩薄、热细裂纹、合缝线细裂纹、合缝线粗大、瓶身内有玻璃丝、瓶身侧壁凹陷、瓶身侧壁鼓胀、瓶身搓板纹、瓶底厚、瓶底不稳、闷头印、皱纹、瓶子歪斜、瓶子脏、再生气泡。

② 玻璃模具温度低(玻璃模具冷却过度)引发玻璃瓶缺陷: 瓶口直裂缝(压-吹法时口模过冷)、瓶口细裂纹、瓶口下部细裂纹、瓶底细裂纹、瓶口内部细裂纹、瓶颈脏、瓶肩下塌、瓶身内有玻璃丝、瓶身冷纹、瓶底薄、瓶子裂、装料印、拖擦印、玻璃分布不良。

针对上述缺陷, 有人提出以下几点措施。

① 吹-吹法生产玻璃瓶时, 初型侧的冷却位置在从初型模上平面以下 50~70mm 处为加吹风口部位, 成型侧的冷却位置在从成形模下平面上 25~50mm 处为加吹风口部位。

② 压-吹法生产玻璃瓶时, 除沿用吹-吹法的上述原则外, 在初型侧增加的冷却位置在以不妨碍初型模开的调节高度处设异型加长吹吹风嘴为宜; 在成型侧增加的冷却位置在以不妨碍成形模开的高度处设压帽型加长吹吹风嘴为宜。这是压-吹法生产时为防止口部变形常采用的冷却方式。

③ 上述的冷却位置要根据模具安装于夹钳后的位置, 再调整风嘴垫的位置达到所需要的高度。

玻璃模具的冷却灵活多变, 应视具体情形对待, 在全面分析玻璃瓶缺陷的整体性和个别性后施以正确的冷却方式, 施加适度的冷却风风压和冷却风风量。

尽管在玻璃的成型过程中玻璃模具需要冷却, 但在更换模具时应应对模具进行预热与之并不相矛盾, 这样可以缩短玻璃模具达到成型温度制度时的时间, 减少不必要的损失。玻璃模具预热炉的使用正在日益推广普及。

#### 4.9.2.1 凸模冷却

图 4-88 为凸模冷却系统图。该系统特点如下:

① 采用温度控制仪和 PID 流量调节计, 依靠流量大小来控制其温度;

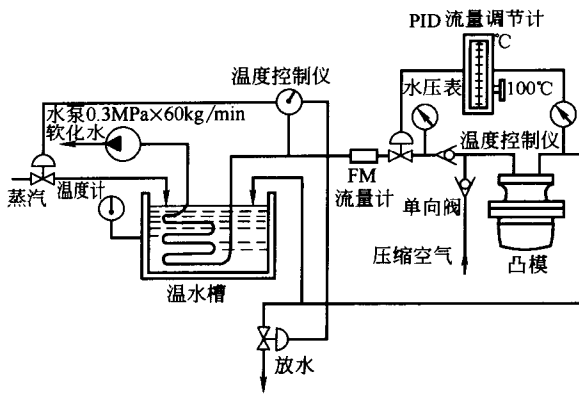


图 4-88 凸模冷却系统

IS 机得以改进的方法之一。图 4-89 和图 4-90 为铰链式整体模采用密闭液体循环冷却的网络形式，若干条与内腔中心线平行的通道，使内腔的周围得到均匀的冷却，控制热量的分布和达到所需的散热速率。

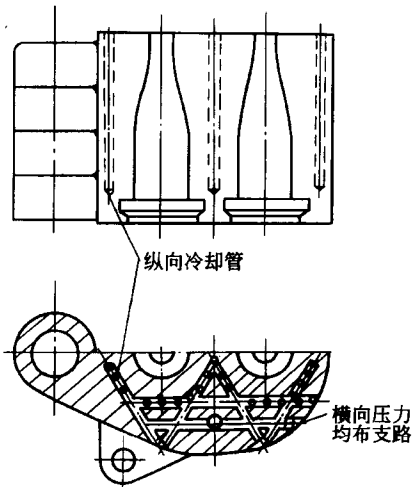


图 4-89 液体冷却的铰链式整体模

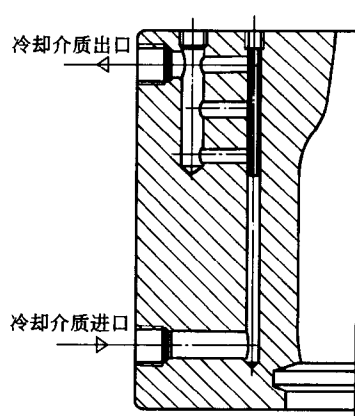


图 4-90 单独控制冷却介质流量的节流闸门

#### 4.9.2.2 散热片冷却

实际生产中也有水冷却和风冷却两者同时使用的。

鉴于制品造型的复杂性和对模具各部位的保温冷却要求不同，在模具本体外表面分别焊上长约 20mm、宽为 15mm、厚度为 3mm 左右的散热片效果更佳，使用和操作既灵活又方便。

散热片的作用：

- ① 增大散热面积；
- ② 增加冷却风的接受量，可根据需要在指定区域进行局部冷却；
- ③ 可以对模具四周进行均衡冷却；
- ④ 使模具的垂直温度趋于均衡。

散热效果决定于散热片的数量、厚度、散热片之间的间距、装置的位置、深度和余留下

的模具壁厚及冷却风的压力与风量等因素。

模具的热积累与模壁的壁厚有关。如果模具的壁厚不足，玻璃入模前后的内壁面温度差就会过大；当装有散热片时，这个周期性的温度变化通常会更加恶化，因此，保留足够厚的模壁，可使这个周期性温度变化保持在最小的限度之内。经验证明，散热片以不超过模具壁厚的 1/3 为佳。

就散热片和热积累而言，不同形式的成型机械要求模具作不同的设计。机速慢的成型机械所需要的模壁热积累比机速快的成型机械所需要的多。锥型成型时间相对较少的成型机械所需要的初型模热积累多一些。行列机采用大约初型模时间的 1/3 与玻璃接触，而 2/3 空着，成形模却几乎在整个周期里都载满着玻璃，因此，初型模的壁厚应厚于成形模的壁厚。

确定散热片位置的简便方法是：将模具在无冷却风的成型机上运转，测量模具的温度场，寻找到首先取得热量的部位和需要冷却的部位，作为安置散热片的位置（即模具散热条件较差的部位）。

不难看出，在模具四周安装散热片后，由于合缝线部位的散热面积比较大，因此瓶罐的合缝线部位通常比其他部位冷一些（假定模具各部分壁厚相等），随着模具逐步加热时，合缝线附近也是升温最慢的部位。由此可见，减少或取消合缝线附近的散热片有时是很必要的。

只有在成型外形特殊的细颈瓶时，才采用垂直的散热片。值得注意的是一些宽的垂直散热片，事实上会使模具该部位变热而不是冷却，原因之一是散热片太宽不遵守上述的原则，第二是冷却风不能到达沟槽的底部使模具排放热量。

多数散热片是在模具制成后根据成型要求另行焊接的，但也可以与模具本体一起浇注成型。图 4-91 为与模具本体一起浇注成型的散热片示意图。

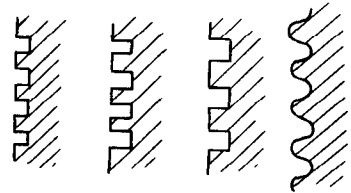
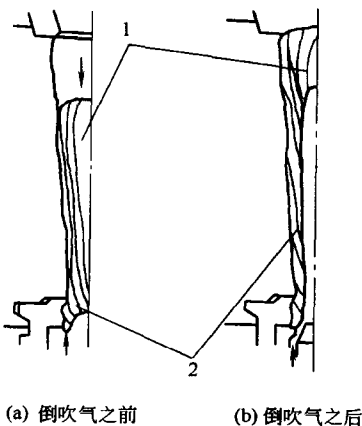


图 4-91 浇注成型的散热片

保温孔、挖空、起肋、阻隔和加套都可用来改善模具温度分布的手段，下面就模具的保温孔和散热片的保温和散热作用做简单的介绍。



(a) 倒吹气之前 (b) 倒吹气之后

图 4-92 锥型料泡等温线

1—温度较高区域；2—温度较低区域

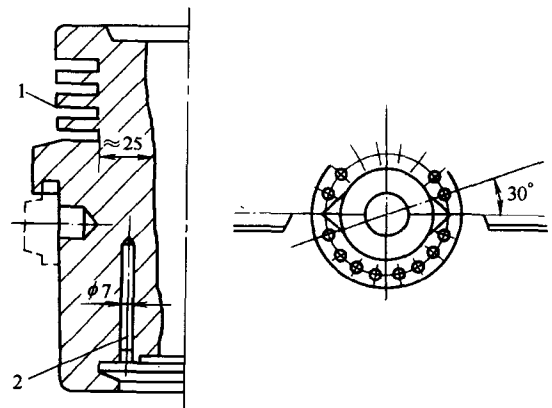


图 4-93 初型模散热和保温结构

1—散热片；2—保温孔（孔应塞住）

在行列机上，制品的成型主要分两个阶段，一是初型阶段，二是成型阶段。在初型阶段，主要考虑减少玻璃锥型料泡内部温度分布的温差。锥型料泡温度大致分布如图 4-92 所示。在初型模上应加强 1 区域的散热，减弱 2 区域的散热。

初型模散热和保温结构，如图 4-93 所示。

成型模温度大致分布如图 4-94 所示。在成型模上应加强 2 区域的散热，减弱 1 区域的散热。结构见图 4-95。

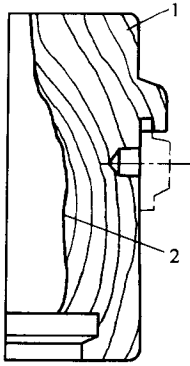


图 4-94 成型模温度分布

1—温度较低部位；2—温度较高部位

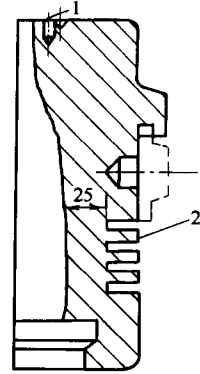


图 4-95 成型模散热和保温结构

1—保温孔；2—散热片

### 4.9.3 排气设计

为了提高成型质量和速度，在模具分型面上设计排气槽，尺寸和位置可参见图 4-57、

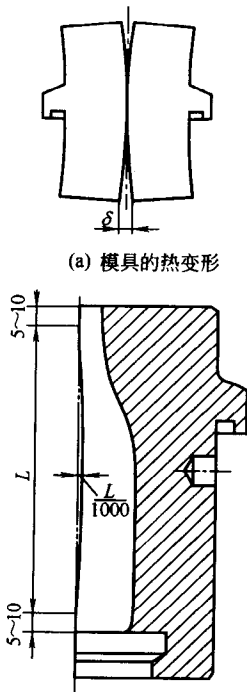


图 4-96 模具的热变形及预防

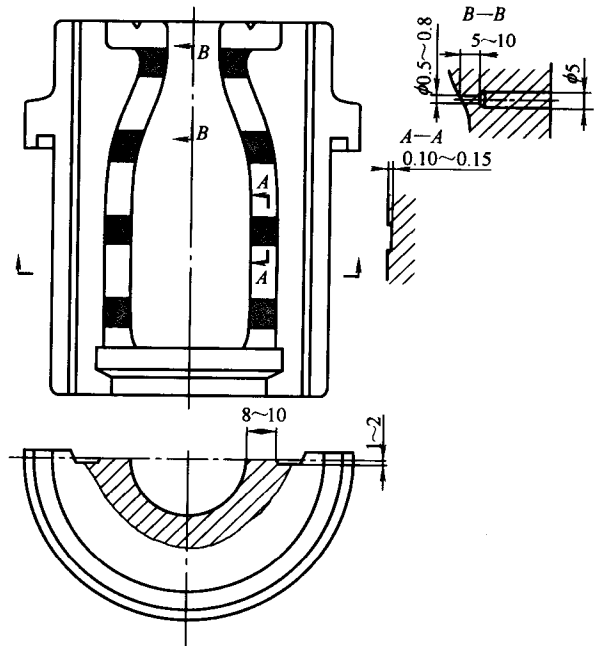


图 4-97 排气槽和排气孔

图 4-58、图 4-81、图 4-82 和图 4-83。这样的排气槽还能克服成型过程中，因模具内部温度分布不均匀会产生热变形。模具的热变形见图 4-96(a)，这样在模具上下两部的分型面上就会产生一个  $\delta$  间隙，使制品的相应部位产生毛刺，为了提高制品质量，应在模具的垂直分型面上预先加工成一对凹面，如图 4-96(b) 所示，加工深度一般取宽度的千分之一，作排气通道和防止模具变形之用。

排气槽也可设计成如图 4-97 所示的位置和尺寸。

适当部位开设排气孔，也是一种很好的排气设计，一般位于中型面上如图 4-97 所示。

#### 4.10 模腔尺寸公差

模具成型部分尺寸的公差可按下式计算：

$$\Delta m = \pm 0.035 \sqrt[3]{L} \quad (4-9)$$

式中  $\Delta m$  ——制造公差，mm；

0.035 ——一般精度常数；

$L$  ——成型部分长度尺寸和直径尺寸，mm。

[例] 模具型腔的长度为 265mm，直径为 76mm，确定这两个尺寸的公差值。

将这些数值代入公式 (4-9)，得到：

$$\Delta m_1 = \pm 0.035 \sqrt[3]{265} \text{mm} = \pm 0.22 \text{mm}$$

$$\Delta m_2 = \pm 0.035 \sqrt[3]{76} \text{mm} = \pm 0.15 \text{mm}$$

按生产的要求，计算的公差应圆整到 0.05mm。

这样，模具型腔的长度应为  $(265 \pm 0.2) \text{mm}$ ，模具型腔直径应为  $(76 \pm 0.15) \text{mm}$ 。

如果制品的孔深、孔间距和角度规定了公差，建议模具零件的相应尺寸的公差取其 1/3 至 1/4。如果未规定公差，则建议模具零件选择下列公差：

型腔和芯子的长度尺寸与直径尺寸的精度按 IT12 级；

孔间距公差按  $\pm(0.05 \sim 0.1) \text{mm}$ ；

角度公差按  $\pm 30'$ 。

#### 4.11 模腔技术要求

- ① 模具型腔以符合按图样公称尺寸下偏差制造的样板为合格。
- ② 模具芯子以符合按图样公称尺寸上偏差制造的样板为合格。
- ③ 几何形状复杂的成型部分的公差应相应放宽，一般放宽 0.05mm。
- ④ 模具成型表面应光滑，平直部分和圆弧部分相切处，圆弧与圆弧连接处均应平滑过渡和圆滑过渡，不得有明显凹凸棱。
- ⑤ 凡属两开模具和多开模具，其合缝线应保持刃口不得有圆角和错牙现象。
- ⑥ 模具内腔，不得有气孔、砂眼、麻点、夹渣和铁质疏松等现象。
- ⑦ 模具内腔，不允许有任何外伤、缺角、无棱等缺陷。
- ⑧ 两开模具的合缝面，经铣和对研后应平整，对合时用光隙检验法检验，应无缝为合格。
- ⑨ 如遇特殊产品，其公差标准按图样和模具制造厂加工能力经过协商后确定。

#### 4.12 制瓶机模具与制品缺陷

由玻璃模具引发的玻璃瓶缺陷见表 4-40。

表 4-40 由玻璃模具引发玻璃瓶缺陷

序 号	模具零件名称	模具存在的问题	可能引发的玻璃瓶缺陷
1	成形模和模底	成形模颈部尺寸过小(相对应的料坯颈部)	瓶口鼓胀、瓶口弯曲或歪斜
		成形模颈部尺寸过大(相对应的料坯颈部)	瓶口错位、瓶口弯曲或歪斜
		成形模顶部无圆角或损坏	瓶肩下塌、瓶肩细裂纹
		成形模排气不良	瓶内有玻璃丝、瓶口弯曲或歪斜、瓶颈弯曲、瓶身侧壁凹陷、瓶颈长、瓶子歪斜、瓶身冷纹
		成形模瓶肩半径小或余量小	瓶口下部细裂纹、瓶口颈环缺陷
		成形模合缝线位置不适或粗糙或损坏	合缝线细裂纹、瓶肩细裂纹
		成形模定位槽、挂钉位置不适,所刮凹面尺寸过小,纵向上下两端变形	成形模合缝线粗大
		文字标识处理不当、字形与成形模的间隙不符	文字标识细裂纹
		成形模与模底配合处尺寸不适	瓶口颈环缺陷、瓶底细裂纹、成形模合缝线粗大
		成形模尺寸不适或散热设计不良	瓶身侧壁鼓胀、瓶身侧壁凹陷、瓶颈长、瓶子歪斜、瓶身冷纹
		模底过大或过重	瓶底厚
模底底凹设计不合理或脏	瓶底不稳		
2	初型模	设计不当或内腔形状不适	瓶身内有玻璃丝、瓶身侧壁凹陷、瓶口直裂缝、瓶颈弯曲、瓶肩薄、瓶身侧壁鼓胀、瓶身搓板纹、瓶口不足、瓶颈断裂、瓶底薄、瓶底厚、拖擦印、装料印、刷子印、皱纹、玻璃分布不均匀、瓶子歪斜
		肩部过小	瓶壁薄
		颈部尺寸过大(与成形模颈部相比)	瓶口下部细裂纹、瓶颈缩窄、瓶底偏
		初型模合缝面磨损、纵向变形、合缝处椭圆	瓶颈缩窄、网头印、初型模合缝线粗大
		内腔表面粗糙	瓶颈脏
		初型模与网头配合不良或延伸间隙过度	网头印、网头印偏、瓶底偏、瓶子裂、瓶底合缝线毛刺、瓶底细裂纹
3	口 模	接合面磨损	瓶口口模合缝线毛刺、瓶口下部细裂纹、瓶口直裂缝
		尺寸过大或不合理	瓶口直裂缝、瓶口细裂纹、瓶口不足、瓶口鼓胀

续表

序号	模具零件名称	模具存在的问题	可能引发的玻璃瓶缺陷
3	口模	脏、油垢、表面粗糙	瓶口不足、瓶口口模合缝线毛刺、瓶口粗糙、瓶口微裂纹
		维修不当	瓶口椭圆
		口模内半径小	瓶口微裂纹、瓶口下部细裂纹
		制造原因(不同心)	瓶口弯曲或歪斜
		材质不良	瓶口粗糙
	配合不良(与口环、套筒、芯子、初型模)	瓶口颈环缺损、瓶口破损、瓶口错位、瓶口细裂纹、瓶口口模合缝线毛刺、瓶口口模与初型模合缝线毛刺、瓶口下撕裂、瓶颈撕裂	
4	芯子	设计不正确(尺寸不合理——太长太尖,直径小)	瓶口直裂缝、瓶底薄、瓶口内颈窄、瓶颈弯曲、瓶口内表面凹陷、玻璃分布不良、芯子痕、瓶口有毛刺
		芯子脏	瓶口内部细裂纹、瓶口不足、瓶口内表面凹陷
		材质不良	黑点、瓶底有尖突
5	吹气头	有效高度太浅	瓶口直裂缝、瓶口微裂纹、瓶口弯曲或歪斜、瓶颈弯曲、瓶口鼓胀
		有效高度太深	瓶肩下塌、瓶口直裂纹、瓶口微裂纹
		排气不畅或不平衡	瓶口鼓胀、瓶口椭圆、瓶肩下塌、瓶身冷纹
		吹气头与成形模不同心	瓶口错位
6	钳爪	余量小(过紧、直径小)	瓶口微裂纹、瓶口内颈窄、瓶口下部细裂纹、瓶口椭圆
		材质不良	瓶口下部细裂纹
		变形(不成直角)	瓶口椭圆、瓶颈弯曲
7	漏斗	尺寸小	瓶口不足、刷子印、装料印、拖擦印
		尺寸不合适	瓶身薄、皱纹
		脏	瓶身搓板纹
8	闷头	设计不合适(直径和高度)	闷头印、瓶底黏附玻璃屑
		过大或过重	瓶底厚
		闷头与初型模配合处畸形	闷头印

#### 4.13 玻璃模具计算机辅助设计

玻璃模的设计是一个较复杂的过程,它主要包括初型模设计、成形模设计及其他零部件设计。我国玻璃模的设计至今还主要是以经验式手工设计为主,这种传统的设计准则的标准化、模具零件和模具结构的标准化及典型的组合,是实现玻璃模具 CAD 的必要条件。传统玻璃模具手工绘图设计方法有以下一些特点。



① 传统的玻璃模设计方法很多方面依赖于设计人员的经验和模具工的手艺，设计和制造质量受人因素影响较大，设计和制造精度不高。

② 计算及绘图工作量大，设计人员的大部分精力浪费在重复劳动中，容积计算贯穿样件及模具设计的全过程，对复杂的玻璃容器，采用手工方式计算十分困难，且精度难以保证。模具设计的每次修改及尺寸变动都需重新绘图，即使对标准化、系列化的模具零部件设计也是如此，造成大量重复的劳动，影响模具设计速度和工作效率。

③ 由于缺乏成熟的玻璃模的设计理论，设计人员往往采用试探性设计方法，每次变动都需重新手工计算容积、质量及过容量率等参数，既费时又费力。

但是，市场是无情的，一成不变的制品越来越难以满足市场的需求，传统的经验式手工设计方法已很难适应新颖玻璃制品的开发，也就无法满足快速、多变的市场需求。国外从 20 世纪 70 年代开始研究玻璃容器及其模具的计算机辅助设计系统，美国、德国和英国等国家先后开发了玻璃容器及模具的 CAD 系统。通过 CAD 系统进行瓶型及模具的设计、修改，最终得到要求的瓶型和模具。不仅可以通过绘图机清楚、精确地给出瓶型和模具部件的二维工程图和三维实体模型图，而且还可以通过网络工作站将容器的精确几何形状和模具部件尺寸以数据形式传输给数控机床制造模具 (CAM)。为适应日趋激烈的市场竞争，提高玻璃模具的设计和制造水平，利用计算机进行玻璃容器及模具的计算机辅助设计已显得尤为迫切。

#### 4.13.1 初型模型腔 CAD

玻璃瓶的成型过程是分两步进行的，首先由初型模来成型玻璃瓶的雏型，再由成形模把该雏型成形加工成最终制品。整个过程中雏型对制品质量的影响将是最大的，不合理的雏型将影响其后续成形时玻璃料的分布，从而导致制品的各种缺陷乃至报废。因此初型模设计是玻璃瓶模设计的关键。

关于如何从瓶样模型获取初型模型腔的轮廓，目前还没有一个成熟的设计理论，设计时主要依赖经验法。设计者可根据 7.7 节介绍的内容，依据瓶样形状选择适宜的雏型形状（初型模轮廓），并综合考虑其他影响因素，调节雏型形状模型，计算制品缩小量或过容率，最后确定初型模的轮廓尺寸（以制瓶机模具为叙述对象）。

压-吹法和吹-吹法模具设计的重要环节为雏型和冲头参与成型部分设计。薛强和李树森参照国内外生产实践经验和设计方法，建立了数学模型，编制出压-吹法雏型与冲头设计和吹-吹法雏型设计的计算机程序，介绍如下。

##### 4.13.1.1 大口玻璃瓶罐压-吹法模具 CAD

初型模型腔设计参数的确定：

压-吹法程序框图如图 4-98 所示。

(1) 雏型参数 初型模型腔轮廓如图 7-1

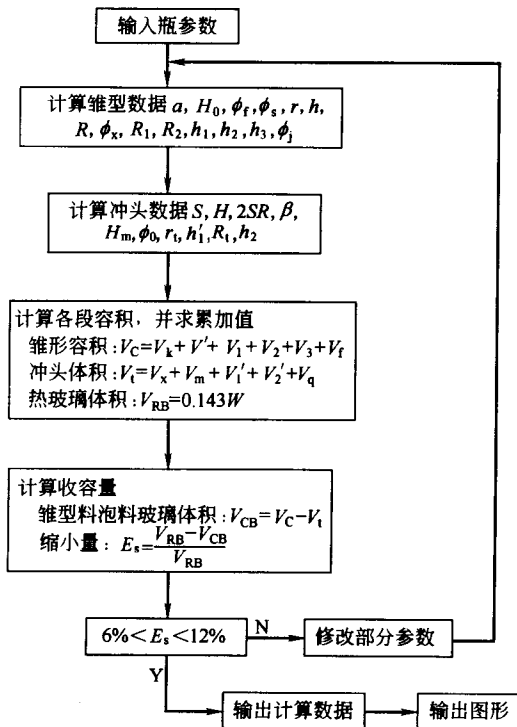


图 4-98 压-吹法程序框图

所示。

① 延伸量  $a$  延伸量如图 4-98 所示，是锥型设计中的参数之一，可按下式计算（本节所有参数参见图 7-1、图 7-2 和图 7-3）：

$$a = (0.025 + 1.76 \times 10^{-4} W) X H \quad (4-10)$$

式中  $W$ ——瓶罐质量，g；

$H$ ——瓶口以下高度，mm；

$X$ ——系数，在 0.75~1.75 之间，取决于轻量化程度。当重容比  $E=0.7\sim 1.0$ ， $X=1.2$ ；当重容比  $E=1.0\sim 1.4$ ， $X=1.0$ 。

② 初型模锥型总高度  $H_0$ 。它是由瓶口以下高度  $H$  减去延伸量  $a$ 、瓶底部凹入深度  $H_t$ 、闷头深度  $H_f$ （闷头深度过深会导致闷头痕偏斜而影响产品质量，一般取 3~5mm），以及瓶颈在口模中的高度  $H_g$ （一般为 2.25~3.5mm）。计算公式如下：

$$H_0 = H - a - h_t - H_f - H_g \quad (4-11)$$

③ 闷头直径  $\phi_t$  它是瓶的特定部位直径和瓶容量的函数，其简化计算公式如下：

$$\phi_t = b \phi_a \quad (4-12)$$

式中  $b$ ——闷头直径设计常数，见表 4-41；

$\phi_a$ ——瓶身相应部位直径，若瓶罐为圆锥体时，取相应部位平均直径，mm。

表 4-41 闷头直径设计常数

瓶的容积/ml	<200	200~300	300~400	400~500	>500
常数 $b$	0.62~0.58	0.58~0.56	0.56~0.50	0.50~0.48	0.48~0.42

④ 锥型腰部以上高度  $h_2$  和  $h_3$  它指锥型腰上端的圆弧台高度和与闷头部相连的圆弧台体高度两部分。计算公式如下：

$$h_2 + h_3 = CH \quad (4-13)$$

式中  $C$ ——常数，见表 4-42。

表 4-42 腰部以上高度的常数 ( $C$ )

$$h_2 = (0.5 - 0.8)CH \quad (4-14)$$

$$h_3 = (0.5 - 0.2)CH = CH - h_2 \quad (4-15)$$

$(h_2 + h_3)/\text{mm}$	<350	350~550	>550
常数 $C$	0.44~0.50	0.50~0.55	0.55~0.58

⑤ 锥型腰部直径  $\phi_x$  可根据玻璃料质量按下式计算：

$$\phi_x = 0.067 \times 10^2 \times \sqrt[3]{W} \quad (4-16)$$

⑥ 颈部直径  $\phi_j$  确定颈部直径应考虑瓶的收缩量和瓶在成型过程中配合的要求，一般比瓶的公称直径小。计算公式如下：

$$\phi_j = \phi_k - 0.2 \quad (4-17)$$

式中  $\phi_k$  为瓶颈尺寸（见图 7-3），单位：mm。

⑦ 颈部圆弧  $r$  颈部圆弧的圆心应确定在口模和初型模接合面上，其值可根据瓶的容积来确定：当瓶容在 350ml 以下时， $r$  为 8~14mm；当瓶容在 (350~750) ml 时， $r$  为 15~20mm。图 7-1h' 的颈部（直径  $\phi_j$ ）处，图中  $r$  没有标，因为此段为圆柱体， $r$  无穷大。

⑧ 锥型腰部圆弧半径  $R$  它是指锥型腰部直径处和颈部直径  $\phi_j$  相交的大圆弧，且腰部直径  $\phi_x$  是圆弧  $R$  的一个切点，可根据几何方法列出下式：

$$R = \frac{4h_1^2 + (\phi_j - \phi_x)^2}{4(\phi_j - \phi_x)} \quad (4-18)$$

令：
$$R_x = \frac{R}{\phi_j - \phi_x} \quad (4-19)$$

$$h = \frac{(H - h_2 - h_3)r}{r + R_x} \quad (4-20)$$

$$h_1 = H - h_2 - h_3 - h' \quad (4-21)$$

⑨ 圆弧凸出部直径  $\phi_s$ 。它是指锥型腰部上端凸出部分最大处直径。计算公式如下：

$$\phi_s = \phi_x + (0.0 \sim 0.1)\phi_s \quad (4-22)$$

式中  $\phi_s$  为瓶身最大直径（见图 7-3），单位：mm。

⑩ 锥型腰部圆弧  $R_1$  和凸出部圆弧  $R_2$ 。可根据腰部直径  $\phi_x$  和凸出部最大处直径  $\phi_s$  作  $R_1$  和  $R_2$  的两圆弧外切，靠近闷头直径的小圆弧  $r$ ，与闷头直径  $\phi_f$  相交和凸出部分圆弧  $R_2$  内切。也可按下列公式计算：

$$R_1 = \frac{(\phi_x - \phi_f)^2 + 4h_2}{4(\phi_s - \phi_x)} \quad (4-23)$$

$$R_2 = \frac{(\phi_s - \phi_f)^2 + 4h_1}{4(\phi_s - \phi_f)} \quad (4-24)$$

(2) 冲头设计程序 冲头成型部分一般由一个半圆满球、一个圆锥台体和两个圆弧台体四部分组成。

冲头成型部分的设计一般应在瓶样图上结合锥型形状进行综合考虑。根据经验，应从瓶口端面下  $H_x$  (3~4mm) 高度处（高度为  $H_x$  圆锥台斜度  $\alpha$  角为  $3^\circ \sim 4^\circ$ ），与瓶口外径保持 2.5~3mm 间隙，在  $H_x$  高度的平面线上，作一个与水平方向成  $\alpha$  角 ( $3^\circ \sim 4^\circ$ ) 的斜线，在此斜线上作一颈部圆弧  $r_1$ ，与初型模锥型顶部直径  $\phi_1$  保持 3~3.5mm 间隙，均匀过渡到冲头顶部圆球，直径与锥型间距为 6.5~9.5mm，玻璃瓶罐重容比大的取大值，重容比小的取小值。

### (3) 冲头参数

① 冲头顶部与锥型料泡底部的间距  $S$  一般取间距为 4.5~15mm，轻量瓶取小值，质量瓶取大值。计算公式如下：

$$S = 1.5t + 0.01W \quad (4-25)$$

式中  $t$  为瓶底最小厚度，单位：mm。

② 冲头成型部分高度  $H_s$ 。它与初型模型腔以及口模型腔的高度  $H_k$  密切相关计算公式如下：

$$H_s = H_o + H_k + H_f - S \quad (4-26)$$

③ 冲头圆球半径  $SR$  它直接影响锥型料泡质量，由表 4-43 确定。

表 4-43 冲头圆球半径  $SR$

瓶的质量/g	<150	150~300	300~500	500~600
$SR/mm$	7	9	11	12.5~14.5

④ 圆锥台体斜度  $\beta$  圆锥台体是从半圆球直径一端作切线，此切线与半圆球轴线成  $\beta$  角，该切线也与圆弧  $R_1$  相切，该切线绕半圆球轴线一周形成一圆锥台体， $\beta$  角一般取  $3^\circ \sim 8^\circ$ 。

⑤ 圆锥台体高度  $h'_2$  应结合初型模型腔参数确定，并随着设计过程的体积校正，与斜度  $\beta$  角同时变动修正，以满足设计要求，一般初步可按下式计算：

$$h'_2 = h_3 + h_2 + H_1 + H'_2 - (S + h'_3) \quad (4-27)$$

式中  $H_2$  ——冲头圆弧  $R_1$  圆心轴线和初型模型腔轮廓圆弧  $R$  圆心轴线之间的间距，一般为 3~10mm；

$h'_3$  ——冲头半球切线高度，计算公式： $h'_3 = SR - SR \tan \beta$ 。

⑥ 颈部直径  $\phi_1$  根据瓶口外径和瓶壁厚度确定，计算公式如下：

$$\phi_1 = \phi_k - 2\delta \quad (4-28)$$

式中  $\phi_k$  ——瓶口外径，mm；

$\delta$  ——瓶口厚度，普通瓶为 3.2~4mm；轻量瓶为 2.5~3mm。

⑦ 冲头颈部圆弧  $r_1$  冲头颈部圆弧应与锥型顶部直径保持 3~3.5mm 间距为宜，以便于冲头退出，一般为 15~50mm。计算公式如下：

$$r_1 = r + (3 \sim 8) \quad (4-29)$$

⑧ 圆弧  $R_1$  可应用上述冲头设计参数，根据几何方法列出下式：

$$R_1 = \frac{r_1 [2(h'_1 + H_m) \sin \alpha - (\phi_1 - \phi_0) \cos \alpha] + 0.25(\phi_1 - \phi_0)^2 + (h'_1 + H_m)^2}{2r_1 [1 - \cos(\alpha - \beta)] - 2(h'_1 + H_m) \sin \beta + (\phi_1 - \phi_0) \cos \beta} \quad (4-30)$$

式中  $H_m$  为瓶口的  $H_x$  以下高度，单位：mm。

⑨ 圆锥台体大端直径  $\phi_0$  计算公式如下：

$$\phi_0 = \phi_q + 2h'_2 \tan \beta \quad (4-31)$$

(4) 设计检验 设计校审验算是评价锥型设计能否满足瓶罐成型要求的依据，以便对设计做改进。

① 锥型设计效果图 锥型设计效果图能直观地反映锥型料泡的分布情况及冲头成型部分是否有利于瓶罐成型，从而校审验算出大口瓶的初型模设计是否合理正确。

② 体积计算 采用几何和微积分方法分别将各段体积求出后相加，得到锥型容积  $V_c$ 、冲头参与成型部分体积  $V_i$ 、口模型腔容积  $V_k$  和闷头内型腔容积  $V_f$ 。

$V_c = V_k + V' + V_1 + V_2 + V_3 + V_f$ ，其中  $V'$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  为相应  $h'$ 、 $h_1$ 、 $h_2$  和  $h_3$  尺寸段的体积。

$V_i = V_x + V_m + V'_1 + V'_2 + V_q$  其中  $V_x$ 、 $V_m$ 、 $V'_1$ 、 $V'_2$  和  $V_q$  为相应  $H_x$ 、 $H_m$ 、 $h'_1$ 、 $h'_2$  和半球尺寸段的体积。

若闷头型腔角部加工成圆角半径  $V_f = H_f$ ，则  $V_f = 0.616(\phi_f - 2H_f)H_f^2 + 3.14\left(\frac{\phi_f}{2} - H_f\right)^2 H_f$  (4-32)

若闷头型腔形状为球冠，则  $V_f = \frac{\pi}{6} H_f \left( H_f^2 + \frac{3}{4} \phi_f^2 \right)$  (4-33)

③ 缩小量  $E_s$  验算 缩小量是从理论上衡量初型模设计合理与否的重要依据：

$$E_s = \frac{V_{RB} - V_{CB}}{V_{RB}} \quad (4-34)$$

式中  $V_{RB}$  ——热玻璃体积， $\text{mm}^3$ ；

$V_{CB}$  ——初型模总容积，见式 (4-35)， $\text{mm}^3$ 。

热玻璃体积  $V_{RB}$  为：

$$V_{RB} = \frac{W \bar{\alpha}_1}{\rho}$$

式中  $\bar{\alpha}_1$  ——体膨胀系数，为 1.025；

$\rho$ ——密度为  $2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

初型模总容积与锥型容积（包括初型模内、口模内和闷头内型腔容积）和冲头成型部分体积有关，按下式计算：

$$V_{CB} = V_C - V_t \quad (4-35)$$

一般根据式 (4-34) 所计算的瓶罐缩小量  $E_s$  应在  $5\% \sim 12\%$ 。若不能满足此要求则要修正某些参数，计算机程序将返回去重新计算锥型和冲头尺寸及相关体容积，并再次校核，直到缩小量满足上述要求为止。同时可输出计算结果，绘制锥型和冲头等图形。

480ml 罐头瓶初型模设计和冲头设计的输出实例如下。

① 已知瓶的参数：瓶质量  $W=319\text{g}$ 、满口容积  $V=520\text{ml}$ 、重容比  $E=0.613$ 、瓶口以下高度  $H=92\text{mm}$ 、瓶身半径  $R_s=47\text{mm}$ 、瓶底凹深  $h_t=3\text{mm}$ 、壁厚  $t=3.5\text{mm}$  和瓶口高  $H_k=15\text{mm}$ 。

② 输出结果：

a. 锥型  $W=319\text{g}$ ,  $E=0.613$ ,  $a=7.64\text{mm}$ ,  $H_0=75.04\text{mm}$ ,  $\phi_t=39.48\text{mm}$ ,  $\phi_1=63.20\text{mm}$ ,  $\phi_x=45.77\text{mm}$ ,  $\phi_s=50\text{mm}$ ,  $r=15\text{mm}$ ,  $h'_1=6.61\text{mm}$ ,  $R=70.12\text{mm}$ ,  $h_1=30.91\text{mm}$ ,  $R_1=120.9\text{mm}$ ,  $h_2=22.51\text{mm}$ ,  $R_2=24.04\text{mm}$  和  $h_3=15.01\text{mm}$ ;

b. 冲头  $H_s=83.26\text{mm}$ ,  $S=10.78\text{mm}$ ,  $2SR=21\text{mm}$ ,  $\beta=5^\circ$ ,  $\phi_t=55\text{mm}$ ,  $\phi_0=22.4\text{mm}$ ,  $h'_2=28.24\text{mm}$ ,  $r_t=21\text{mm}$ ,  $H_m=17.77\text{mm}$ ,  $R_t=13.88\text{mm}$  和  $h'_1=11.75\text{mm}$ ;

c. 锥型与冲头容积  $V_k=47.03\text{ml}$ ,  $V'=20.18\text{ml}$ ,  $V_1=65.5\text{ml}$ ,  $V_2=46.96\text{ml}$ ,  $V_3=25.88\text{ml}$ ,  $V_t=3.35\text{ml}$  和  $V_c=206.97\text{ml}$ ;  $V_x=35.62\text{ml}$ ,  $V_m=6.05\text{ml}$ ,  $V'_1=34.38\text{ml}$ ,  $V'_2=10.44\text{ml}$ ,  $V_q=2.42\text{ml}$  和  $V_t=89.37\text{ml}$ ;

d. 锥型与冲头容积差  $V_{CB}=117.60\text{ml}$ ;

e. 热玻璃体积  $V_{RB}=130.70\text{ml}$ ;

f. 缩小量  $E_s=10.02\%$  锥型与冲头设计合理，输出图形如图 4-99 和图 4-100 所示。

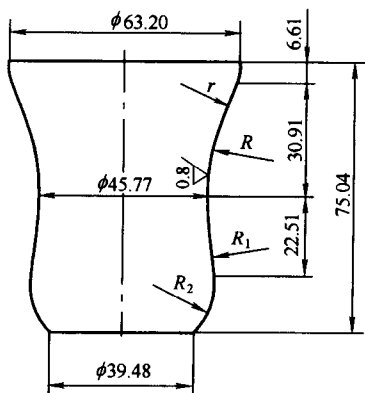


图 4-99 初型模型腔图

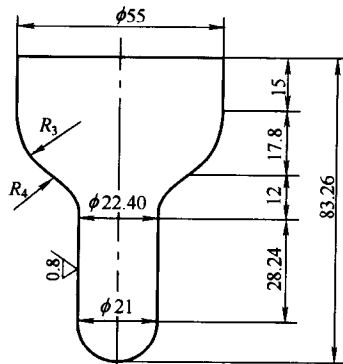


图 4-100 冲头参与成型部分图

#### 4.13.1.2 小口玻璃罐吹-吹法模具 CAD

吹-吹法锥型设计如下。

锥型设计程序框图如图 4-101 所示。

图 4-102 为锥型设计图，图中标明了设计锥型所需的与瓶有关的几何尺寸和与锥型有关的几何尺寸。

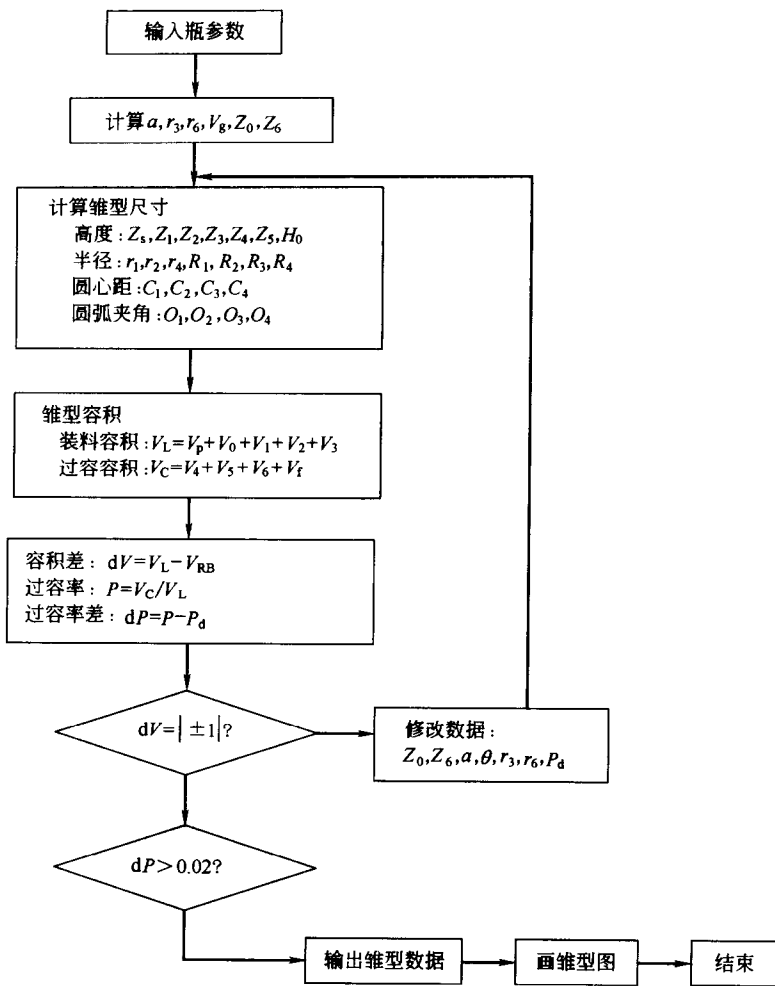


图 4-101 吹-吹法锥型设计程序框图

(1) 锥型参数计算 锥型设计所需与瓶有关的参数包括：瓶的全高  $H_a$ ，支承直径  $Y_d$ ，瓶各处的直径  $Y_i$ ，质量  $W$  等。

① 延伸  $a$  可按下列式计算：

$$a = (X_1 + 2 \times 10^{-5} W) H_a + X_2 \quad (4-36)$$

式中  $X_1, X_2$ ——系数，见表 4-44。

表 4-44 延伸量系数表

玻璃料重 $W/g$		$< 227$	$\geq 227$
单滴料生产系数	$X_1$	0.0327	0.0289
	$X_2$	0.5610	0.3600
双滴料生产系数	$X_1$	0.0327	0.0329
	$X_2$	0.3410	0.5830

② 闷头深度  $H_f$  它影响产品质量，过深会导致闷头

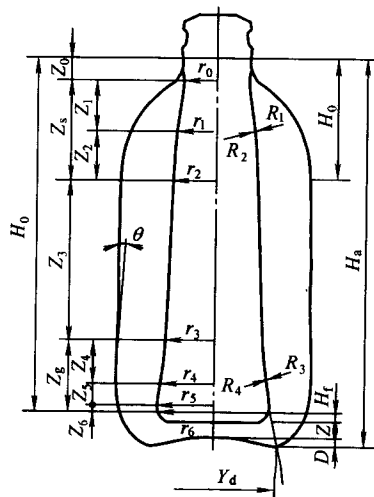


图 4-102 锥型设计图

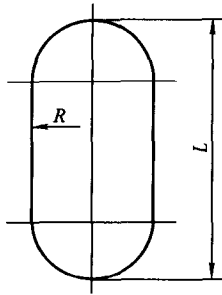


图 4-103 料滴形状

痕偏斜，具体见表 4-45。

表 4-45 闷头深度表

玻璃料质量 W/g	<140	140~340	>340
闷头深度 $H_t$ /mm	3	4	6

③ 装料半径  $r_3$  扑气时料滴填满初型模的封闭腔，即由瓶口至装料半径  $r_3$  所处平面的全部容积（装料容积  $V_L$ ），较为理想料滴的形状如图 4-103 所示。料滴等相关尺寸由下列公式得出：

$$\text{料滴半径} \quad R = 2.9 \sqrt[3]{W} \quad (4-37)$$

$$\text{料滴长度} \quad L = 6R \quad (4-38)$$

$$\text{装料半径} \quad r_3 = R + (1 \sim 3) \quad (4-39)$$

$$\text{装料高度} \quad Z_z = Z_0 + Z_s + Z_3 \quad (4-40)$$

$$\text{一般取} \quad Z_z = K_a H_0 \quad (4-41)$$

式中  $K_a$ ——系数，0.75~0.8；

$$H_0 = H_a - H_t - Z - D。$$

④ 过容量率  $P$  从装料平面到闷头内腔表面组成的容积为过容容积  $V_C$ 。过容量率（简称过容率）计算公式如下：

$$P = V_C / V_L \quad (4-42)$$

式中  $P$  一般取 0.3~0.6。

⑤ 闷头内腔半径  $r_6$  距瓶口为  $H_0$  高度的平面为初型模的顶平面，也为锥型的分型面。此分型面半径即为闷头内腔半径，其相关尺寸由下列公式得出：

$$H_a - H_0 = H_t + Z + D \quad (4-43)$$

$$r_{6\max} = Y_d - (H_a - H_0) \tan 15^\circ \quad (4-44)$$

$$r_{6\min} = Y_d - (H_a - H_0) \tan 20^\circ \quad (4-45)$$

$$r_6 = \text{INT} \left[ \frac{1}{3} (r_{6\max} + r_{6\min}) + 0.5 \right] \quad (4-46)$$

⑥ 热玻璃体积  $V_{RB}$  按下式计算：

$$V_{RB} = \frac{W \alpha_1}{\rho}$$

式中  $\alpha_1$ ——体膨胀系数，为 1.025；

$\rho$ ——密度（随组成变化见玻璃的性质）常为 2.5g/cm<sup>3</sup>。

⑦ 设定锥型的其他参数 锥型倾斜角  $\theta = 1.5^\circ \sim 2^\circ$ ，型腔深度  $Z_6 = 3\text{mm}$ ，扑气头端内半径  $r_5 = r_6$ ，颈部高度  $Z_0 = 10\text{mm}$ ，颈部半径  $r_0$  稍小于瓶相应处半径  $R_i 0.3\text{mm}$ 。

(2) 锥型各部分容积计算 由图 4-102 可知锥型容积由下各部分组成：扑气时瓶口容积  $V_p$ ，锥型颈部容积  $V_0$ ，肩部容积  $V_s$  和本体容积  $V_3$ 。它即为装料容积。过容容积为余下的四个部分容积（ $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$  和  $V_m$ ）之和。

① 扑气时的瓶口容积  $V_p$ 。一般瓶口已标准化，并事先计算已存计算机数据库。

② 锥型各段尺寸 各段高度尺寸由下列公式得出：

$$H_0 = H_a - H_t - Z - D \quad (4-47)$$

$$Z_s = H_s - Z_0 \quad (4-48)$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{1}{2} Z_s \quad (4-49)$$

$$Z_3 = Z_2 - Z_0 - Z_s \quad (4-50)$$

$$Z_g = H_0 - Z_0 - Z_s - Z_3 \quad (4-51)$$

$$Z_4 = \frac{2}{3} (Z_g - Z_6) \quad (4-52)$$

$$Z_5 = \frac{1}{3} (Z_g - Z_6) \quad (4-53)$$

各段半径尺寸:  $r_2 = r_3 - Z_3 \tan \theta$ ;  $r_1 = \frac{r_0 - r_2}{2}$   $r_4 = r_3 + \frac{2}{3} (r_5 - r_3)$ ;  $r_5 = r_6$ 。

各段圆弧尺寸:  $R_1 = \frac{(r_0 - r_1)^2 + Z_1^2}{2(r_0 - r_1)}$ ;  $R_2 = \frac{(r_2 - r_1)^2 + Z_2^2}{2(r_2 - r_1)}$ ;

$$R_3 = \frac{(r_3 - r_4)^2 + Z_3^2}{2(r_3 - r_4)}$$
;  $R_4 = \frac{(r_5 - r_4)^2 + Z_5^2}{2(r_5 - r_4)}$ 。

圆心至中心线距离:  $C_1 = r_0 - R_1$ ;  $C_2 = r_2 - R_2$ ;  $C_3 = r_3 - R_3$ ;  $C_4 = r_4 - R_4$ 。

圆弧夹角:  $O_1 = \arcsin\left(\frac{Z_1}{R_1}\right)$ ;  $O_2 = \arcsin\left(\frac{Z_2}{R_2}\right)$ ;

$$O_3 = \arcsin\left(\frac{Z_3}{R_3}\right)$$
;  $O_4 = \arcsin\left(\frac{Z_5}{R_4}\right)$ 。

③ 装料容积和过容容积 按下列公式计算:

$$\text{装料容积 } V_L = V_p + V_0 + V_s + V_3 = V_p + V_0 + V_1 + V_2 + V_3 \quad (4-54)$$

式中  $V_1$ ,  $V_2$ ——相应于  $Z_1$  和  $Z_2$  段的容积 (见图 4-102);

$$\text{过容容积 } V_C = V_4 + V_5 + V_6 + V_f \quad (4-55)$$

式中  $V_4$ ,  $V_5$  和  $V_6$ ——相应于  $Z_4$ ,  $Z_5$  和  $Z_6$  段的容积 (见图 4-102);

$V_f$ ——闷头内型腔容积 (见式 4-32 和式 4-33)。

$$\text{初型模内腔总容积 } V_B = V_L + V_C \quad (4-56)$$

(3) 锥型设计的校核与修正

$$\text{① 装料容积与热玻璃体积之差: } dV = V_L - V_{RB} \quad (4-57)$$

$$\text{② 实际过容量率: } P = V_C / V_L \quad (4-58)$$

$$\text{③ 实际过容量率与设定 } P_d \text{ 之差: } dP = P - P_d \quad (4-59)$$

$$\text{判别条件: } dV < |\pm 1.0| \text{ ml}; dP < 0.02 \quad (4-60)$$

若锥型设计计算不能满足上述判别条件或锥型使用不理想时,可修正下列数据:  $Z_0$ ,  $Z_6$ ,  $a$ ,  $r_3$ ,  $r_6$ ,  $\theta$  和  $P_d$ 。计算机显示各参数的数值,询问操作者是否修正此数据,并提示修正范围。当修正参数的数据完成后,计算机程序将返回并重新计算初型模各部分尺寸及容积,再次校核,直至达到的要求。

同时可输出计算结果,绘制初型模图形。

500ml 盐水瓶初型模设计的输出实例如下。

① 已知瓶参数 瓶质量  $W = 363\text{g}$ 、满口容积  $V = 592\text{ml}$ 、重容比  $E = 0.613$ 、瓶口以下高度  $H_s = 166\text{mm}$ 、瓶身半径  $R_s = 40.50\text{mm}$ 、瓶底凹深  $D = 6.6\text{mm}$ 、壁厚  $t = 3.5\text{mm}$ 、瓶口高  $H_k = 16\text{mm}$  和玻璃密度  $\rho = 2.3744\text{g/cm}^3$ 。

② 输出结果  $W = 363.00\text{g}$ ,  $E = 0.613$ ,  $a = 6.41\text{mm}$ ,  $R_d = 2.00\text{mm}$ ,  $\theta = 1.5^\circ$ ,  $K_s =$



0.76,  $P_d = 0.53$ ,  $r_0 = 13.70\text{mm}$ ,  $r_1 = 16.63\text{mm}$ ,  $r_2 = 19.55\text{mm}$ ,  $r_3 = 21.50\text{mm}$ ,  $r_4 = 27.16\text{mm}$ ,  $r_5 = 30.00\text{mm}$ ,  $r_6 = 30.00\text{mm}$ ,  $H_0 = 147.03\text{mm}$ ,  $Z_s = 44.00\text{mm}$ ,  $Z_0 = 10.0\text{mm}$ ,  $Z_1 = 22.00\text{mm}$ ,  $Z_2 = 22.00\text{mm}$ ,  $Z_3 = 62.16\text{mm}$ ,  $Z_4 = 20.58\text{mm}$ ,  $Z_5 = 10.29\text{mm}$ ,  $Z_6 = 3.00\text{mm}$ ;  $R_1 = -84.25\text{mm}$ ,  $R_2 = 84.25\text{mm}$ ,  $R_3 = -41.12\text{mm}$ ,  $R_4 = 20.56\text{mm}$ ;  $C_1 = 97.95\text{mm}$ ,  $C_2 = -64.70\text{mm}$ ,  $C_3 = 62.62\text{mm}$ ,  $C_4 = 6.60\text{mm}$ ;  $O_1 = -15.13^\circ$ ,  $O_2 = 15.13^\circ$ ,  $O_3 = -30.03^\circ$ ,  $O_4 = 30.03^\circ$ ;  $V_1 = 17.08\text{ml}$ ,  $V_2 = 30.75\text{ml}$ ,  $V_3 = 95.26\text{ml}$ ,  $V_4 = 34.08\text{ml}$ ,  $V_5 = 25.25\text{ml}$ ,  $V_6 = 9.05\text{ml}$  和  $V_f = 16.00\text{ml}$ 。

$V_L = 156.90\text{ml}$ ;  $V_C = 84.60\text{ml}$ ;  $dV = V_L - V_{RB} = 156.90 - 156.6987 = 0.2013\text{ml}$ ;  $dP = \frac{V_C}{V_L} - P_d = \frac{84.60}{156.90} - 0.53 = 0.0091$ ; 锥型设计合理, 输出初型模图形见图 4-104。

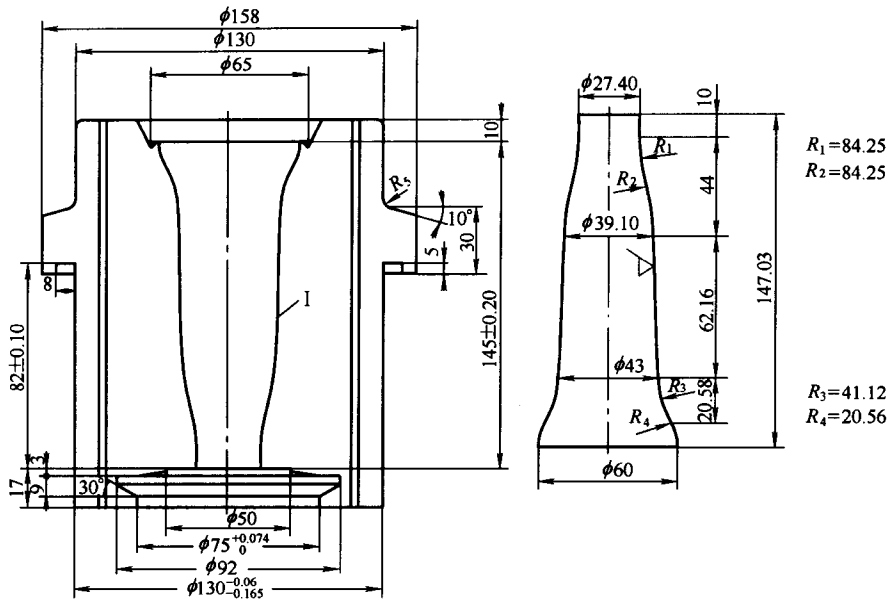


图 4-104 初型模图

#### 4.13.2 成形模型腔设计须考虑的问题

玻璃模的成形模、口模和模底的型腔决定了玻璃料的最终分布、制品的形状和尺寸, 直接关系到最终制品的质量。因此, 从设计的开始阶段就要求模具 CAD 系统具备几何构型功能, 以便输入玻璃制品的几何信息。

一般瓶样(制品)的外形即为成形模型腔的形状, 所以可以从瓶样设计模型直接生成成形模型腔(包括口模和模底型腔在内)。但经验设计过程表明, 这种直接转换有时不能满足最终设计要求, 这是因为未考虑瓶样的收缩率及模具、玻璃材料热膨胀等因素的影响。成形模在成形制品时, 玻璃及模具材料都经历了加热和冷却的过程, 材料热膨胀系数的差异将使制品尺寸与设计要求的有所不同。因此, 对尺寸要求较高的制品, 在从瓶样模型生成成形模型腔参数化模型时, 要考虑收缩率及不同材料的热膨胀的影响。

##### 4.13.2.1 收缩率的影响

对于一种玻璃料都有确定的收缩率, 物体冷却后任一方向的收缩量与收缩率、温差及这一方向物体长度等因素成正比, 可表示为:

$$\Delta L = \delta \Delta t L \quad (4-61)$$

式中  $\Delta L$  ——收缩量；  
 $\delta$  ——玻璃料的收缩率；  
 $\Delta t$  ——温差值；  
 $L$  ——长度值。

玻璃瓶的收缩还受到其他因素的影响，如瓶样形状、不均匀冷却等，在生产上，这些影响因素主要是通过调整成形工艺参数来弥补。假设玻璃瓶样的成型过程是一个理想的过程（均匀冷却且收缩量与形状因子无关），则在一次成型过程中， $\delta$  及  $\Delta t$  是固定的，可令  $K = \delta \Delta t$ （常数），则：

$$\Delta L = KL \quad (4-62)$$

这样，某一方向的收缩量  $\Delta L$  仅与该方向的制品尺寸  $L$  有关。

因温度变化（冷却）将引起体积变化，设成形模型腔的体积为  $V_2$ ，冷却后瓶样的体积  $V_1$ ，则可得：

$$V_1/V_2 = [(L - \Delta L)/L]^3 = (1 - K)^3 \quad (4-63)$$

则有  $K = 1 - (V_1/V_2)^{1/3}$ 。

#### 4.13.2.2 玻璃及模具材料热膨胀的影响

设模具材料的热膨胀系数为  $\alpha_1$ ，玻璃料的热膨胀系数为  $\alpha_2$ ，温度变化  $\Delta t$  后，成形模型腔尺寸变化为  $\Delta S_1$ ，玻璃瓶外形尺寸变化为  $\Delta S_2$ ，则

$$\Delta S_1 = \Delta t L_1 \alpha_1 \quad (4-64)$$

$$\Delta S_2 = \Delta t L_2 \alpha_2 \quad (4-65)$$

由于成形模型腔成型玻璃瓶外形，故  $L_1 = L_2$ 。当  $\alpha_1$  与  $\alpha_2$  相等或相差不大时，可忽略材料热膨胀的影响。如灰铸铁的热膨胀系数和玻璃相近，采用铸铁作制模材料时可不考虑热膨胀的影响。

当  $\alpha_1$  与  $\alpha_2$  相差较大时，应考虑尺寸补偿。设  $\alpha_1 < \alpha_2$ ，补偿值  $\Delta S$  应为：

$$\Delta S = \Delta S_2 - \Delta S_1 = \Delta t (\alpha_2 - \alpha_1) L_1 \quad (4-66)$$

令  $\tau = \Delta t (\alpha_2 - \alpha_1)$ ，则有

$$\Delta S = \tau L_1 = \tau L_2 \quad (4-67)$$

#### 4.13.3 零部件设计

玻璃瓶模的结构已比较成熟，模具的外形及模具各零部件间的装配、连接尺寸均基本形成系列（参见 4.2 和 4.6 节），常用的结构及有关尺寸已有国家标准或企业标准。采用基于特征的参数化技术对玻璃瓶模具的外形及标准化、系列化零部件进行建库，通过几个基本参数的输入进行变动设计，这样能较方便地解决玻璃瓶模中系列化、标准化零部件的设计。

#### 4.13.4 玻璃模具 CAD 系统的设计构思

由于 AutoCAD 近年来在我国有着越来越广泛的应用，很多企业把 AutoCAD 的使用作为设计人员必须掌握的一项基本技能。同时，大批软件开发人员如姚涵珍、曹卫群、王继韶等人，在 AutoCAD 上从事多年的二次开发的工作，积累了很多宝贵经验，以下几节作较详细介绍。他们的共同特点：从实用出发，系统选用高版本的 AutoCAD 作为其模具设计部分的开发平台，开发起点高，有效地提高设计效率和设计质量，同时方便了用户。

玻璃制品及模具系统由瓶型设计和玻璃模具设计两部分组成。玻璃模具的设计反映到各项指标是否满足用户的要求，是玻璃制品生产的重要环节；模具的结构是否合理，关系到玻

璃制品的质量及成本。模具设计和瓶型设计是相对独立却又相关的两部分，即为系统结构的两个部分。通常这两个部分分别采用基于 AutoCAD 和 Microstation 或 SolidEdge 等图形系统，以 DXF 文件进行图形信息交流，并用瓶样设计和锥型设计及冲头部分设计确定初型模、成形模、口模和模底等的相关部分内的型腔结构。

模具设计的过程是一个比较复杂的过程，它涉及到多方面的知识。除与瓶样相关的部分外，模具结构形状较为固定。设计人员可以用一系列的参数来描述每一种类型的模具零件，通过建立参数化尺寸和相应的约束关系，利用零件结构的相似性，可设计出不同型号的零件工程图。也可采用编程参数化技术建立参数化图形库。如初型模分为吹-吹法口模加高型、压-吹法口模加高型、吹-吹法口模普通型、压-吹法口模普通型、吹-吹法双滴料口模加高型-1、吹-吹法双滴料口模加高型-2 等 6 类标准件；成形模分为单滴普通型、单滴方瓶带散热槽型、单滴底带散热孔型、单滴平肩型、双滴带散热槽型、双滴普通型等 6 类标准件。系统可以用对话框接收用户输入的尺寸参数，查询并调用参数化图形库，并得到不同型号的零件工程图。

系统中标准化程度较高的零件，均可用 FORTRAN 语言、C 语言、AutoLISP 语言将它们分别设计成子程序、子函数、用户自定义函数库，即用高级语言设计成一级接口模块及二级应用软件，供 CAD 系统输出图形时调用。在此介绍了其中简便而又有效的 AutoCAD 与 C 语言的接口程序设计及 AutoLISP 语言参数化绘图。

(1) C 语言与 AutoCAD 的接口程序 由于 AutoCAD 缺乏复杂的科学能力，因此需要用高级语言（如 C 语言）来进行设计计算，然后通过接口与 AutoCAD 连接，将玻璃模具图经高级语言设计计算后的结果在 AutoCAD 中绘制成标准图纸。要实现这个过程，就需要编写接口程序，产生 Auto-CAD 可以接收的文件，“.DXF”形式的文件是应用较广泛的接口文件形式。

(2) 构成接口程序的基本模块 一个接口程序至少应包括：

- ① 建立一个新的“.DXF”文件，写出实体段的开始部分；
- ② 写出实体段的结果、文件结尾和关闭“.DXF”文件；
- ③ 由起、终两点坐标值绘制直线部分；
- ④ 由圆心坐标、圆半径绘制圆部分；
- ⑤ 由圆心坐标、圆半径及起、终点方向角绘制圆弧部分。

AutoCAD 其余常用绘图、编辑命令的接口程序可用类同的方法编写，也可以上述模块为基础，用高级语言编写较复杂图形模块。

(3) 用高级语言编写接口程序 在编写接口程序前应充分了解“.DXF”文件的格式和结构，还应考虑 AutoCAD 的命令格式，在此基础上即可采用某种高级语言来编写接口程序，至于采用哪一种高级语言，可视具体情况而定，用户通过高级语言调用这些接口程序，实现对 AutoCAD 功能的调用，通过 AutoCAD 就可以方便地绘出图形。

下面以 C 语言为例，说明接口程序的编写方法：

```
/* 一接口程序一 */  
/* 建立一个 DXF 文件，并且将实体段开头写在这个文件上 */  
# include <stdio. h>  
# include <math. h>  
# include <string. h>  
FILE * fp
```

```

Void start()
(char fname[12]
printf("enter filename:"); scanf("%s", fname); strcat(fname, ". DXF");
if((fp=fopen(fname, "W"))=null)
{printf("can't open this file"); return;}
fprintf(fp, "0\nSECTION\n0 2\nNetitles\n");
}

```

/\* 已知圆弧的圆心在坐标 (AX, AY)、半径 (AR)、起始角 (AS) 终止角 (AE), 将这段圆弧写在 DXF 文件上 \*/

```

void arc(float ax, float ay, float ar, float as, float ae)
{fprintf(fp, "0\nARC\n8\nC\n"); fprintf(fp, "10\n%\n", ax);
fprintf(fp, "20\n%\f\n", ay); fprintf(fp, "40\n%\f\n", ar);
fprintf(fp, "50\n%\f\n", as); fprintf(fp, "51\n%\f\n", ae);
}

```

/\* 将实体段结尾、文件结尾写在 DXF 文件上, 并且关闭这个文件 \*/

```

void gend( )
{fprintf(fp, "0\nENDSEC\n0\nEOF\n"); fclose(fp);}

```

绘制直线和圆的接口模块程序与上述圆弧接口程序的写法类同, 其他 AutoCAD 命令可在此基础上按功能分类分别设计。

#### 4.13.5 参数化绘图概述

参数化设计绘图是将设计结果的基本特征用一组约束集来描述, 而且约束不足, 这组约束集就是一个设计绘图的原型, 不足的约束就是设计绘图原型的特征参数。参数化设计绘图即事先用一种语言定义设计绘图原型, 只要给定设计绘图原型的特征参数, 就可以得到一个设计图形解, 这是 CAD 系统中最常用的约束满足法。

运用参数设计绘图程序进行辅助设计时, 目标的主要尺寸被赋予参数, 并且目标的其他尺寸成为这些参数的函数, 并随这些参数的变化而自动调整, 即根据参数的不同, 计算目标的其他尺寸, 然后根据尺寸和约束绘出图形。

#### 4.13.6 参数化绘图的步骤

玻璃瓶模外形大多为标准件, 仅仅尺寸参数变化。在进行模具设计时, 已经生成了画图所需的参数, 并存到相应的数据库文件中。所以在绘图程序中, 只要打开这些文件, 读出数据, 给相应的变量赋值即可。以制瓶机模具的漏斗和模底为例, 说明参数化绘图的步骤。

##### 4.13.6.1 参数化数学模型的建立

(1) 确定图形的控制参数 图 4-105 漏斗的结构中只有直径尺寸 A、B、C、D、E 的确定与初型模和闷头有关, 其余部分的尺寸都是确定的, 所以选择它们作为图形的控制参数。当这些参数的值变化时, 漏斗图形随之变化。这些参数的具体取值请参见图 4-105。

图 4-106 所示模底的结构中直径 A、B 和高度 C、H 是变化的, 与模底的型号有关, 模底号是根据瓶子底部的外径 D 选用。所以我们选择图中的 D、A、B、C、H 共 5 个参数作为图形的控制参数, 模底的图形则随着它们的变化而变化。这些参数的具体取值请参见图 4-106。

(2) 建立图形中的几何拓扑约束关系 控制参数确定之后, 就要建立图形中各点、线之间的几何拓扑约束关系, 并把这种关系用数学表达式表达为控制参数的组合。这样, 图形中

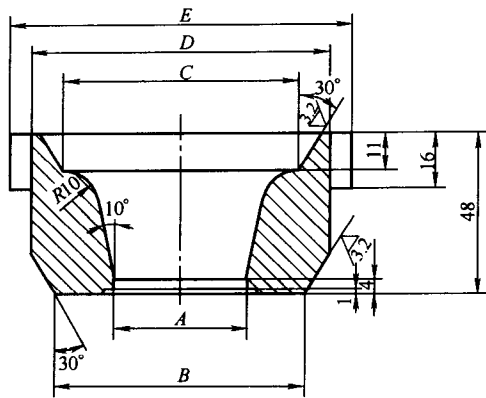


图 4-105 玻璃瓶模漏斗图

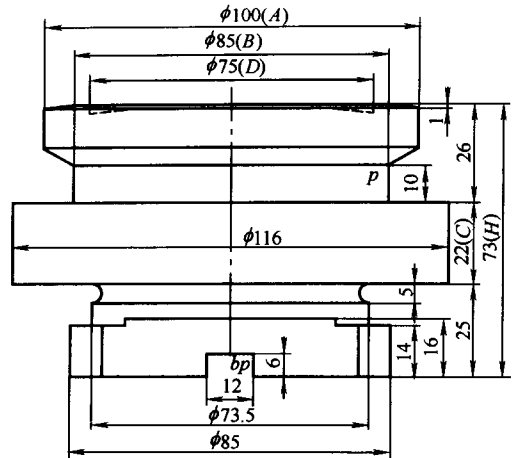


图 4-106 玻璃瓶模模底图

各点、线之间的相对位置关系就确定了。这里讨论的是二维图形，因而采用直角坐标系就能精确地表达图形中的几何拓扑关系。在直角坐标系中，点的坐标、直线和圆弧的方程都可以用控制参数的组合来表达。当控制参数的值改变了，上述的坐标值和方程就随之改变，从而图形中各点的相对位置就会改变。这样图形也会随参数值的变化而变化。在设定的直角坐标系中（这里需注意：坐标系原点如果选得不当，会使计算和作图变得较为繁杂），绘制各图形所需的点的坐标、直线和圆弧的方程都可以用控制参数组合的数学表达式来表达。如图 4-106 所示， $bp$  为设的用户坐标系原点， $p$  点的坐标值计算为： $Y=B/2$ ； $Y=25+C+10$ ，当模底号不同，控制参数  $B$ 、 $C$  的值也不同，因而  $p$  点的  $X$ 、 $Y$  值就随之改变，其他各点的坐标与之类似，这样使图中各点的相对位置就发生了改变，即模底图形就随参数  $D$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $H$  的值的改变而变化。

#### 4.13.6.2 记录作图过程

将上述漏斗和模底的手工作图过程记录下来，以便实现计算机程序绘图。值得注意的是，一个工程图可能有多种绘图方法。用于程序的作图过程应尽量选取简单的一种，否则，会使程序变得复杂。

#### 4.13.6.3 参数的输入

玻璃瓶模 CAD 的过程可分为两步：模具的设计和模具图的绘制。模具的设计主要完成数学计算、模具的选型、模具自动化绘图数据库的生成等。模具图的绘制则是根据模具设计的结果，并利用上述参数化绘图的思想，画出零件图。其程序设计方法如图 4-107 所示。其中 (a) 图表示绘图参数从数据库文件中提取，并赋予相应变量。由于 AutoLISP 不能直接访问数据库，所以这个过程是通过读取由数据库文件生成的临时文本文件 TXT 完成的。(b) 图表示绘图参数由用户输入，为了加强程序的实用性，在参数输入时，采用幻灯片提示帮助，将要输入的参数直观地显示在屏幕上，方便了用户的输入。另外，程序还应具有容错功能，不至于用户一次输入失误而重新运行程序。

#### 4.13.6.4 编写绘制零件图程序

因为 AutoLISP 有一个“command”函数为 AutoLISP 与 AutoCAD 惟一连接桥梁，通过这一桥梁就可以用 AutoLISP 语言编程进行设计计算后调用 AutoCAD 强大的二维绘图编辑功能，绘制出所需的图形。所以，所有图形用计算机实现参数化自动绘图之前，首先应将

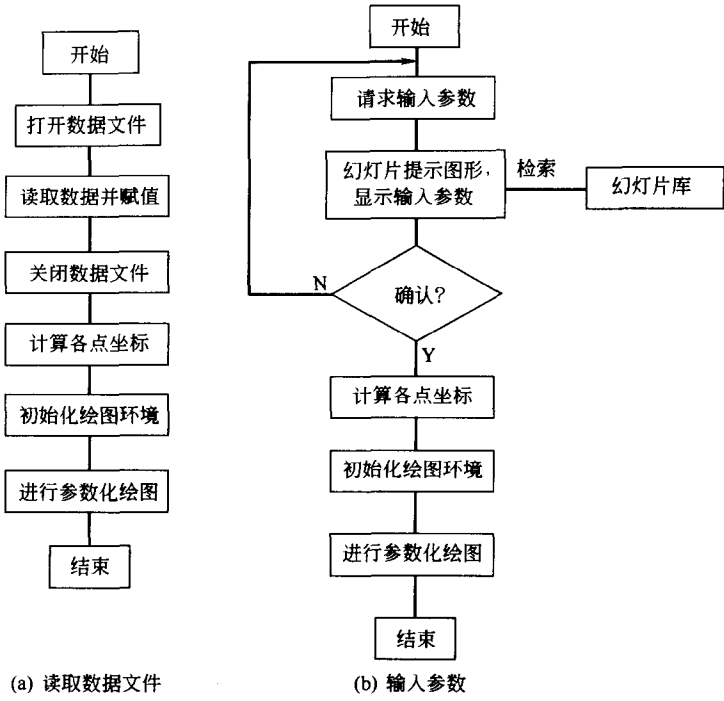


图 4-107 参数化绘图程序的设计

图形进行仔细的分析，充分利用 AutoCAD 的“对称、拷贝、陈列”等编辑功能（程序实例中利用了 AutoCAD 的“对称”功能），在此分析的基础上确定实现参数化绘图图形生成的最简便途径，然后按预先分析好的绘图途径分别编写 LISP 程序，绘制出所有玻璃瓶模的零件图，最后，将全部模具图的用户自定义函数组成一个软件包，并设计出用户调用界面，供 CAD 集成系统或用户输出图形时调用。

(1) 实现图 4-105 漏斗零件图的程序

```

(defun C:LD(/p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7 p8 d1 d2 r1 f2)
;输入参数,d1 代表图 4-105 中的尺寸 A,根据闷头内径确定
(setq r1(/da 2)r2(/d2 2) p1(list 108(-110 r2)
    p2(list 107(-110 r2)) p3(list 107(-110 r1)
    p4(list 104(-110 r1)) p5(list 104(-110 r1)
    p6(list 107(-110 r1)) p7(list 107(-110 r2)
    p8(list 107(-110 r2)) a-33b(-r1 35.65))
;画漏斗内腔参数曲线
(setq m (+3.754(+(* 2a)( * 0.352 b) )))
(setq c (+10.152b)d(* aa)n(-(+(* cc)d)100))
(setq e (-(* mm)( * n4.124) f (sqrt e))
(setq g (+m f) h (-m f)x1(/g2.062)x2 (/h2.062))
(setq ox (max x1 x2 )oy (- (* ox 0.176 ) 10.152))
(setq jdx (/ (+ (* 2ox) (* 0.352 oy) ) 2.062))
(setq jdy (+(* ox 0.17) (* 0.03 oy)))
  
```

```
(setq xo(+104 ox)yo (+oy(-110 r1)))
(setq xjd(+104 jdx) yjd (+jdy(-110r1)))
(setq p9(list xo yo) p10(list xjd yjd)
(command"line"p4 p10"")
(command"arc"p10"c"p9'(71 74. 35))
(command"mirror"p10(polar p4 (+pi
(/pi 18.0))2) ""'(60 110)'(108 110)"")
```

；插入已画好的漏斗结构中不变的部分，这部分结构由图 4-105 中的参数 B,C,D,E 确定

```
(command"insert" "1dab" '(60 110) "" "" "" """)
(command"insert" "1d3" '(108 105) "" "" "" """)
(command"explode" '(60 110))
```

；按参数化模型中记录的作图过程画图

```
(command"line"p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7 p8"")
(command"line"p3 p6"")
(command"line" '(108 72.5)p1 p8)'(108 147.5) """)
(command"hatch" "ansi31" "" "w" '(56.2 157.3)'(115.3 130) """)
(command"hatch" "ansi31" "" "w" '(56.2 95.3)'(115.3 64) """)
```

；自动标注，插入的图块为已画好的标注符号

```
(command"insert" "1b4"p4" "" "" "" """)
(command"insert" "1b1"p10" "" "" "" """)
(command"insert" "1b1"(list(- (Car p10)4.6)(-(cadr p10)2.4)) "" "" "" """)
(command"dim" "ver"p1 p8"@20.0"(strcat"%%c"(rtos d2 2 0))
"ver"p3 p6"@11,0"(strart"%%c"(rtos d1 w 0)) "exit")
```

## (2) 实现图 4-106 模底零件图的程序

```
defun dm(a b c d h /p1 p2 p3 p4 p5 p6 p7 p8 p9 p10) ;a,b,c,d,h 为参变量
(setq f(open "dm.dat" "r")) ;打开模底的数据文件，返回文件描述符 F
(setq a(read(read line f))) ;从 F 文件中读入一行，去掉引号后赋给 A
(setq b(read(read line f)))
(setq c(read(read line f)))
(setq d(read(read line f)))
(setq h(read(read line f)))
(command "limits" '(00) '(297 210) "zoom" "a" "ucs" "o" (150 100) "ucsion" "or"
```

；下面是各点坐标值及长度的计算并赋值：

```
(setq ra(/a2)rb(/b2)rd(/d2))
(set q p1(list 58 25 )p2(list 58(+25 c))p3list rb (+25c))
(setqc25(+25c)cc25(+25 10))
(setq aa(- ra rb))
(setq bb(* aa(/sqrt 3)3))
(setq p4(list rb cc25)p5(list ra(+cc25 bb))p6(list ra(-h1))
(setq p7(list rb h)p8(list(+rd 1)h)p9(list rd(-h 2))p10(list 0h))
(setq p99(list (-0 rd)(-h 2))) ;下面绘制与参变量有关的图形：
(command"layer" "n" "com, hid, cen" "c" "1" "con" "c" "3" "hid" "lt" "dashed2"
"hid" "lt" "center2" "cen" "c" "4" "cen" "s" "con" "" "ltscale" "10")
(command"line"(0 25)p1 p2(list 0 c25))")
```

```
(command"line"p3 p4(list 0 cc25)"")
(command"line" p4 p5(list 0(+cc25 bb)))")
(command"line" p4 p5(list 0(+cc25 bb)))""
(command"line" p5 p6 p7 p10"")
(command"line" p6 (list 0 (- h 1)"")
(command"layer"s"s"hid"")
(command"line" p8 p9"")
(command"mirror"all""(0 0)p10"") ;将上面所绘完的 1/2 图形对称
(command"arc"p9 p10 p99)
(command"Layer"s"s"cen"")
```

```
(command"line"(list 0(-0 5))(list 0(+h 5))""Layer"s"con"")
```

;插入已画好的模底中不变部分的图形(包括该部分的尺寸):

```
(command"insert"bk1(0 0)""Layer"s"dim"")
```

;自动标注与参变量(A、B、C、D、H)有关的尺寸:

```
(command"dim"dimse1"0"dimse2"0"exit)
```

```
(command"dim"hor"p8 (list (-0(+rd 1))h)"@0,7"(strcat"%%c"
```

```
(rtos d2 0"(D))"exit") (command"dim"hor"P4 (list(-0 rb)cc25"@0,30"(strcat"%%c"
```

```
(rtos b 2 0)"(B))"hor"P6(list(-0 ra)(-h 1))"@ 0, 22"(strcat"%%c"
```

```
(rtos a 2 0)"(A)"ver"p1 p2 "@7,0"(strcat(rtos c 2 0)"(C)"
```

```
"con"p7 26"ver"(list 65 0)(list 65 h)"@8,0"(strcat(rtos h 2 0))"(H)")
```

```
"dimse1"1"ver"p3 p4 "@10,0"10"ver" p7 p6 "@8.0"1
```

```
"dimse2"1"hor"p1 (list(-0 58)25)"@0,. 10"%%c116"exit")
```

```
(command"dim"dimse1"0"dimse2"0"exit")
```

#### 4.13.7 模具 CAD 中的数据管理

制瓶机模具 CAD 系统的设计是比较复杂的,其数据的处理过程也有一定的难度,且数据量较大,对系统的效率有较大影响。

在模具的设计过程中,只有为数不多的设计准则和规范是以公式的形式表达的,大量的则是以数表或线图的形式给出。处理时,就必须将这些数据(如表和线图)进行系统化的处理,并以计算机能处理的方式表达。数据的管理技术主要有以下 3 种方法。

##### 4.13.7.1 数据程序化、公式化处理

###### (1) 数表的处理

① 数表的程序化 数表的程序化就是将设计中用到的数据直接以某种形式存入在应用程序中,一般可以将表中的数据用数组的形式结合数据的查询,直接编排在解题的程序中。

② 数表的公式化处理 有些数表,表中为一些离散的数据点及其对应的函数值。对于这种表的处理,当精确度要求较低时可采用附近结点上的函数值近似代替;如果要求较高,则须采用插值的方法求得。常用的方法有:线性插值法;二次插值法;拉格朗日插值法。

(2) 线图的数据处理 在制瓶机模具的设计中,还有些参数间的函数关系是用线图表示的,包括直线、折线和曲线。线图表示方法的特点是鲜明、直观,能看出函数的变化趋势。但在 CAD 系统中不可能以线图的形式存储。因此,必须对其作必要的转换。处理线图时,可先将其转换为数表,然后用前面所述的数表程序化的方法将其程序化,也可以将线图公式化。

无论采用何种方法处理线图,都必须首先将其离散化。为将线图离散化,可在曲线上取



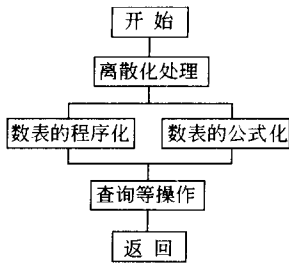


图 4-108 线图处理的计算机实现

一些点，把这些点的坐标值列成一张表。

这里需要注意的是，结点的选取要使各结点函数值之间相差不大（否则会造成很大的误差）。这样就可以按照前述的数表程序化的方法进行处理。

采用线图公式化的方法，就是用插值方法或最小二乘法将离散化的线图转换为公式，在应用程序中直接调用。其框图如图 4-108所示。

#### 4.13.7.2 数表文件化管理

在上述的处理中，将数表直接编在解题程序中，存取数据的子程序随着数据结构的变化而变化，当数据结构改变时，就必须修改程序。这样，程序模块间的独立性就会降低。而且，如果一个数据或线图被多个模块调用的话，势必造成数据的重复存储。因此，在系统中，数表化的方法用得不多，它只适用于数据较少且别的程序不需要调用的情况。

数表文件化的管理，将表或线图的数据存在辅助文件中，实现了程序与数据的分离。当应用程序用到有关数据时，再将数据文件读入内存，获得数据。一个数表文件可供多个程序调用，其数据的传递过程见图 4-109。

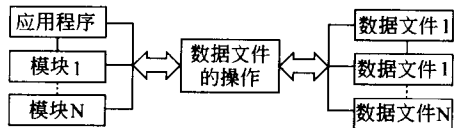


图 4-109 用文件系统处理数据

由图 4-109 可见，文件化的管理方法实现了程序与数据的独立性，简单易行，也不会占用太大内存。

文件系统管理数据的方法虽然比数表的程序化进步，但它仍有以下缺点：

① 数据冗余大；

② 由于文件是对应于某一固定的应用程序和目的而建立的，数据的个数及排列顺序均与要求一一对应，所以，当应用程序为了其他应用目的而要改变数据的个数或排列顺序时，原先建立的文件就不能使用，必须重建文件；

③ 文件系统缺乏对数据进行控制的统一方法，使得应用程序的编制相当繁琐；

④ 数据不能共享，难以适应多用户环境。

因此，在系统中，只有系统运行时所产生的动态数据（设计的中间结果）才采用这种方法。对大多数的静态数据处理中，一般采用数据库管理的方法。

#### 4.13.7.3 数据库系统的管理

与文件系统相比，数据库系统具有一些明显的优点：

① 数据库系统实现对数据的统一控制，保证数据的安全、完整和保密性；

② 数据的物理存储独立于应用程序，因而数据的修改不必相应地修改应用程序，应用程序的改变也不会影响数据结构；

③ 数据的冗余量少，实现了数据的共享，避免了数据的不一致性；

④ 数据可在记录或数据项的地址级上用，使用时可按地址查寻有关记录和数据项，不必将整个文件调入内存，减少了对内存的要求。

应用程序与数据库的关系可用图 4-110 表示，可采用的操作流程见图 4-111。

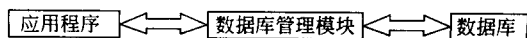


图 4-110 应用程序与数据库的关系

#### 4.13.8 玻璃压制模 CAD 系统实例

彩色玻壳是各类彩色显像管（显示器）的关键基础构件，由屏、锥两部分组成，通常在成型压机上通过成型模具压制而成，其成型精度要求高，成型过程复杂，技术含量高。方忆湘等针对彩色玻壳成型模具的特点，对彩色玻壳模具设计的核心技术进行了深入研究分析及破解，对关键成型参数的计算方法，进行了归纳、总结和优化，确定了系统的计算组成部分。系统以 VB6.0 为开发语言，采用面向对象的技术和方法开发了基于面向模具各主要成型部件的关键成型参数、可视化的计算机辅助设计计算系统。

##### 4.13.8.1 算法设计

算法设计主要解决两方面的问题：

- ① 彩壳模具各主要成型部件（模圈、凹模、凸模）关键成型参数设计计算方法的研究分析；
- ② 基于彩壳产品及模具的形状结构特点，模具设计中常用数学算法的确定及其容错处理。

##### 4.13.8.2 系统主要模块的组成

系统模块构成如图 4-112 所示。

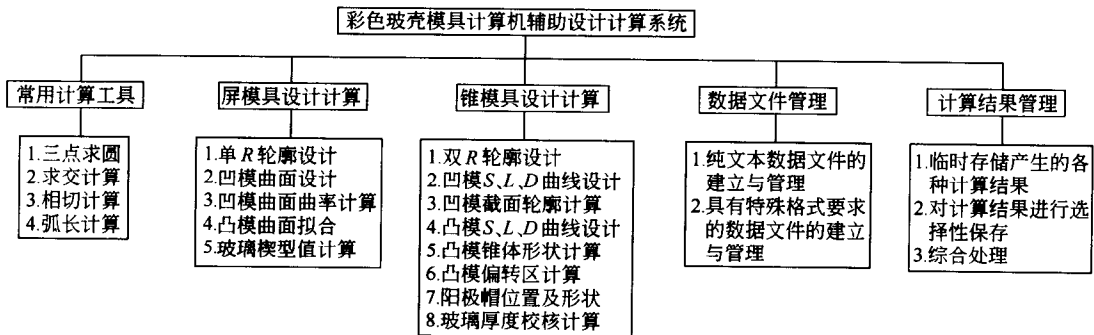


图 4-112 系统模块构成

屏模具设计计算模块集成了屏模具各主要成型参数的设计计算工具，在该模块中可进行屏模圈、屏凹模、屏凸模各轮廓尺寸的设计计算，凸、凹模曲面设计及曲率计算，屏玻璃楔型值（W/G 值）计算等。在输入原始数据及相应补偿参数的情况下，可直接得到所需设计计算结果及对应的图形显示。输入数据既可通过键盘直接键入，亦可支持将已建立的数据文件直接调入，同时系统支持在同一输入数据下的不同运算要求。

锥模具设计计算模块集成了锥模具各主要成型参数的设计计算工具，在该模块中可完成锥模圈、锥凹模、锥凸模各轮廓尺寸的设计计算，凸、凹模 S、L、D 三轴曲线设计及其锥体形状计算，并可根据已完成的凸、凹模数据进行玻璃厚度校核计算。

##### 4.13.8.3 系统设计计算过程

彩壳模具设计因其行业特点，模具各关键成型部件的成型尺寸如轮廓尺寸、曲面形状等都有其特定的参数构成和设计计算方法以及设计数据的表达方式，故彩壳模具设计极具参数

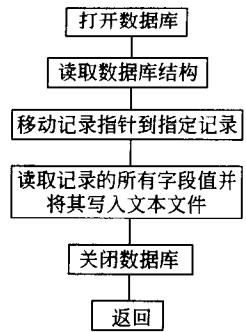


图 4-111 数据库操作流程

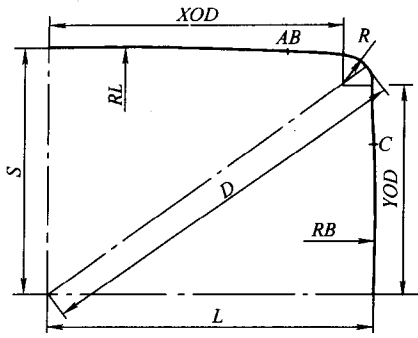


图 4-113 屏模具轮廓尺寸数据参数构成

化设计特征。以彩壳屏模具的模圈封接边 (S/E) 轮廓尺寸的设计为例, S/E 轮廓尺寸由尺寸参数  $S$  (短轴)、 $L$  (长轴)、 $D$  (对角轴)、 $R$  (拐角半径)、 $XOD$  及  $YOD$  (拐角圆心坐标)、 $RL$  (长边圆弧半径)、 $RS$  (短边圆弧半径) 组成, 如图 4-113。模具设计以彩色玻壳玻璃产品 S/E 轮廓尺寸为原始数据, 根据产品型号和大小的不同, 通过在  $S$ 、 $L$ 、 $D$  三轴及  $AB$  和  $C$  基准点施加经验补偿数据, 经计算求取组成模具轮廓尺寸参数的所有设计数据, 由于轮廓构成为沿  $S$ 、 $L$  轴对称, 故只对第一象限数据进行计算即可。

对于彩壳生产厂家而言, 经验补偿参数的取得需要长期的技术积累, 每副模具最终的设计补偿参数需经度模后确定, 因此, 算法和补偿参数是彩壳模具设计的关键和核心所在。

#### 4.13.8.4 系统的应用

彩色玻壳模具计算机辅助设计计算系统可完成彩壳模具新品设计主要关键成型参数的设计计算, 计算结果与实际数据吻合, 已在工厂投入使用。它亦可用于已有模具的尺寸修正设计计算, 其计算结果是随后进行的模具曲面造型、图纸设计、数控加工程序编制、三坐标测量等后续技术工作的前提, 将该系统与其他 CAD 系统结合起来, 可方便用户高效准确地完成模具设计工作。

## 第5章 玻璃模材料与热处理

### 5.1 符合模具材料的条件

模具在玻璃制品成型过程中既限制制品的形状，又是玻璃料热的交换介质，它与高温的玻璃料直接接触。因此，材质的优劣直接影响模具的寿命和制品的质量。

模具的制造材料，必须具备下列条件。

(1) 材质致密，易于加工，能获得优良的表面粗糙度 只有材质致密才能加工出高精度的模具。模具的制造要经过车、钳、铣、刨、钻等手段，有时还要焊接和钉补，所用材料必须具备这些加工性能。加工后要求模壁无杂质和针孔，并能获得优良的表面粗糙度。

(2) 化学稳定性好 模具材料要具有一定的抗玻璃腐蚀和在工作温度下的抗氧化能力，否则模具在使用时将会出现脱皮和起鳞现象，严重影响玻璃制品的质量和模具本身的寿命。

(3) 应具有良好的耐热性和热稳定性 在成型过程中，模具是周期地与热玻璃接触，玻璃的入模温度  $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$  之间，出模温度在  $500\sim 600^{\circ}\text{C}$  左右。模具中玻璃的停留时间一般  $5\sim 60\text{s}$ ，模具内表面的温度不稳定。

成型时，模具内表面的平均温度是  $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，而外表面的平均温度是  $300^{\circ}\text{C}$  左右，因此在模壁内存在着温度差。这种温度差在模壁内会引起强烈的内应力，使模具失效。所以，模具的材料必须是热稳定性强和耐热性高的材料。

使用热稳定性低的材料时，模具与玻璃接触的内表面会产生裂纹，从而使裂纹印在制品上。不仅如此，裂纹还能使玻璃黏着在模具上，影响模具继续使用。

(4) 应有良好的导热性和高的比热容 玻璃在模具内的冷却过程与模具材料的导热性有着直接的关系。因为玻璃的热量通常都是由模具的内表层来接受，然后被传导到外表层，再由外表层扩散和辐射到周围空气中。因此，当玻璃温度和周围空气的条件固定后，如果材料的导热性好，模具由内层到外层的热传导就进行得快，其温度差就小，同时热量从模具散到空气中也快，加快了玻璃的冷却速度；反之，则模具的导热速度慢，玻璃的冷却速度也随之缓慢。

使用导热性低的材料做模具，会引起模具产生局部过热现象，造成模具变形而缩短模具的使用寿命；使用导热性高的材料做模具，可以使模具蓄热很快散失，模温降低，有利于提高成型能力。

用比热容低的材料做模具，会引起模具过热；用比热容高的材料做模具，周期性温度波动的幅度小，成型温度稳定。

(5) 热膨胀系数小，抗热裂性好 当材料的膨胀性能变化显著时，不仅会造成成型与脱模等一系列困难，而且使制品在接合处有粗大的接合缝，造成在脱模过程中制品在该区域容易发生炸裂，模具也容易损坏。小的膨胀系数能保证模具在工作温度下开闭灵活。

模具在使用时受到循环交替的加热和冷却，造成很大的温差，使材料内部造成应力，严重时会导致材料开裂。因此，要求模具材料的抗热裂性好，在所处温度范围内不开裂不变形。

(6) 应具有较高的黏合温度 所谓黏合温度是指模具与玻璃开始发生粘贴而使成型条件显著恶化的温度。各种材料的黏合温度是不一样的。

模具与玻璃接触时的温度很高,如用黏合温度较低的材料做模具时,为了避免黏合,维持模具的正常连续工作,势必延长模具的冷却时间或加强对模具的人工冷却,才能使模具的温度降低。延长模具的冷却时间就是延长模具的工作周期,从而降低了机速。而加强模具的人工冷却会增加设备和运转费用。

反之,如模具由黏合温度高的材料制成时,模具在工作过程中的温度可以很高,这不仅能减少模具的冷却时间,提高机速,而且模具在工作过程中的温度愈高则所得的制品就愈光滑。

(7) 耐磨性好 在成型过程中,玻璃料、碎玻璃的摩擦,会使模具磨损,内壁变粗糙,合缝线扩大,影响制品质量。因此,要求材料耐磨性好,具有一定的硬度。

(8) 按单位玻璃核算,材料的价格要低廉。

## 5.2 玻璃模材料类型

### 5.2.1 常用模具材料

考虑到模具各部件在实际生产中与玻璃液的接触先后顺序不同,以及所受的机械作用不同,例如初型模比成形模的温度高,因而为了使整个模具有较长的使用寿命,可选择各不相同的材料,当然材料的种类不易太多。制造模具的材料主要是金属,有时也用非金属材料(如木材等)。金属材料的种类很多,其中以铸铁为主,其次是耐热钢。表 5-1 为铸铁、合金铸铁和球墨铸铁各类材料的性能和用途比较。

表 5-1 铸铁、合金铸铁和球墨铸铁各类材料的性能和用途比较

项目	成分	类别				
		铁素体非合金	铁素体 Ni、Mo	铁素体 Mo-V(Ti)	高铝合金	球墨铸铁
		铸铁	合金铸铁	合金铸铁	铸铁	
ω/ %	总 C	3.40~3.70	3.5~3.6	3.40~3.70	3.0~3.80	3.60~3.80
	总 Si	1.80~2.20	2.0~2.2	1.80~2.20	0.7	2.60~2.80
	Mn	0.55~0.85	0.6~0.75	0.55~0.85	0.2~0.4	0.1
	S	0.07	0.04	0.07	0.07	0.015
	P	0.12	0.05	0.12	0.12	0.015
	Ni		0.2~0.3			
	Cr					
	Mo		0.4~0.5	0.35~0.45		
	Ti			0.2~0.3		
	V			0.1~0.2		
	Al				2.0~3.0	
性能	布氏硬度/HBS	130~155	140~160	150~170	180~200	160~180
	抗张强度/MPa	100~150	200~220	220~260	320~360	420~450
	抗压强度/MPa		500~800	600~1800		
	热导率/ $4.18 \times 10^2 W(m \cdot K)^{-1}$	0.148~0.001	0.148~0.001	0.148~0.001	0.13~0.000064	0.083~0.0001
	热膨胀系数 ( $10^{-6} \cdot ^\circ C^{-1}$ )	12	12	12	12	12

项目	成分	类别				
		铁素体非合金	铁素体 Ni、Mo	铁素体 Mo-V(Ti)	高铝合金	球墨铸铁
		铸 铁	合金铸铁	合金铸铁	铸 铁	
用途		价格低廉,具有良好的机械加工性能,适宜制作口模	具有良好的吸热性和较高的抗热冲击性,在模具的内腔表面可获得较致密的微粒结构,故抗热裂性能较好,模具的变形温度也较高,适宜于制作吹-吹法或压-吹法模具材料		有较高的抗热冲击性和抗张强度,导热系数也高于含碳量相同的非合金状石墨铸铁,加之有较高的抗弯强度故可作为成型批量较大玻璃制品的模具,并有较长使用寿命	有较高的抗张强度和较低的导热系数,适宜于制作小制品的玻璃模具

注:布氏硬度(在3000N·m载荷下,φ=10mm钢球从淬火表面测试5mm之内的印痕)。

为提高模具寿命,采用新型铸铁代替HT200铸铁已成为趋势,6种新型铸铁的化学成分见表5-2,HT200和6种新型铸铁用于玻璃瓶模具的工作寿命见表5-3。从表中可以看出,模具寿命以低锡蠕铁与低铝蠕铁最高,但低铝蠕铁的熔炼及铸造工艺较为复杂,所含珠光体量也很少,对耐磨性不利,因此,以低锡蠕铁制作模具较为合适。

表 5-2 6种新型铸铁的化学成分

材料	化学成分(质量分数)/%										金相组织			
	C	Si	Mn	S	P	Sn	Cu	Cr	Al	Mo	稀土	基体	石墨	保护膜
低锡铸铁	3.0~3.2	1.8~2.2	0.55~0.71	0.023~0.026	<0.1	0.08	—	—	—	—	—	珠光体 98%	A型	—
铜铬铸铁	3.0~3.2	1.8~2.2	0.55~0.71	0.023~0.026	<0.1	—	1.0	0.65	—	—	—	珠光体 90%	A型	—
中硅稀土	3.0~3.2	4.17	0.55~0.71	0.023~0.026	<0.1	—	—	—	—	—	0.6	铁素体	蠕虫状	SiO <sub>2</sub>
中硅钼稀土	3.0~3.2	4.23	0.55~0.71	0.023~0.026	<0.1	—	—	—	—	1.0	0.6	铁素体	细片状	SiO <sub>2</sub>
低锡蠕铁	3.0~3.2	1.8~2.2	0.55~0.71	0.023~0.026	0.1	0.08	—	—	—	—	0.7	珠光体 70%~80%	蠕虫状	—
低铝蠕铁	3.0~3.2	1.8~2.2	0.55~0.71	0.023~0.026	0.1	—	—	—	2.5	—	0.6	珠光体 20%	蠕虫状	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

表 5-3 玻璃瓶模具的工作寿命

材 料	一次连续使用寿命		提高倍数(和 HT200 对比)	备 注
	工作时间/h	制瓶数/个		
HT200	48	20000	—	氧化
低锡铸铁	192	83000	3.15	氧化
铜铬铸铁	96	41000	1.05	氧化
中硅稀土	76	33000	0.65	瓶变形
中硅钼稀土	195	84000	3.20	瓶变形
低锡蠕铁	260	110000	4.50	正常
低铝蠕铁	235	102000	4.10	正常

国内外玻璃模具大多采用铸铁或铸造不锈钢,表5-4为国内外部分工厂采用的铸铁化学成分及组织状态。

表 5-4 国内外部分工厂铸铁玻璃模具的成分 (质量分数)

使用单位	化学成分/%											热处理	金相组织	
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Sn		石墨	基体
捷克	3.3~3.6	1.9	0.6	9.13	0.07	1.35	0.6	—	—	—	—	退火	片状	铁素体
日本	Ni-Cr 铸铁											—	片状	铁素体
	3.0~3.4	<1.0	0.4~0.7	<0.08	<0.1	—	—	—	—	—	—	①	蠕虫状	铁素体
英国	3.3~3.5	2.2~2.5	0.6~0.8	<0.12	<0.1	1.5	0.5	—	—	0.08~1.0	—	退火	片状	铁素体
北京玻璃二厂	2.9~3.2	4.0~4.4	0.44~0.71	<0.03	<0.08	—	0.49	0.05~0.07	1.0	—	—	②	球状	铁素体
上海玻璃搪铸造厂	3.2~3.4	2.2~2.4	0.5~0.8	<0.15	<0.2	—	0.3~0.4	—	1.0~1.2	—	—	③	片状	珠光体
广州玻璃模具厂	2.9~3.2	2.0~2.2	0.6~0.9	<0.25	<0.12	—	—	—	—	—	—	④	片状	珠光体
南通轻工机械厂	3.0~3.2	1.9~2.1	0.9~1.2	<0.12	<0.25	—	—	—	—	—	0.05~0.07	⑤	片状	珠光体 90%
沈阳玻璃模具厂	3.0~3.2	1.8~2.2	0.5~0.7	0.02~0.03	<0.1	—	—	—	—	—	—	⑥	片状	球光体 70%

- ① 950℃保温 2h, 750℃保温 4h, 炉冷。
- ② 900~950℃保温 4h, 750~780℃保温 2h, 炉冷到 300℃出炉。
- ③ 450~550℃保温 2~3h, 炉冷。
- ④ 650~700℃保温 2h, 炉冷。
- ⑤ 650~700℃保温 2h, 炉冷。
- ⑥ 600~650℃保温 4h, 炉冷。

两种新型玻璃瓶成型模具材料介绍如下。

(1) SMRI-86 型合金铸铁玻璃瓶成型模具

① SMRI-86 型合金的化学成分: 合金铸铁化学成分见表 5-5 所示。

表 5-5 SMRI-86 合金铸铁的化学成分 (质量分数/%)

元 素	C	Si	Mn	P	S
	3.27	1.92	0.68	0.078	0.498

② 力学性能: 经 1320~1340℃浇铸成型, 铸态硬度为 240~250HBS。经 660℃、8h 时效处理后, 硬度为 204~216HBS。抗氧化性、抗生长及热疲劳抗力均优于灰铸铁, 抗拉强度  $\sigma_b = 260\text{MPa}$ 。

③ 使用寿命: 用 SMRI-86 型合金铸铁制作 640ml 啤酒玻璃瓶成型模具, 当制瓶机转速为 6.2 次/min 时, 使用寿命比灰铸铁提高 1~2 倍, 见表 5-6。

表 5-6 SMRI-86 型合金的玻璃瓶成型模具寿命

模具名称	模 具 材 料	清洗次数/次	使用寿命/万只	失效形式
640ml 啤酒玻璃瓶成型模	SMRI-86 型合金铸铁	3	65	模底部位棱角处磨损
	Cr-Mo-Cu 合金铸铁	5	20	型腔磨损、氧化
	日本低 SiAl 系蠕铁	—	30	—
	英国 ABX 合金铸铁	—	40~50	—
	比利时 R-7 合金铸铁	—	50~60	—
	英国 BZX 合金铸铁	—	50~60	—

(2) 稀土蠕铁制造医用盐水瓶模具

① 稀土蠕铁的化学成分：稀土蠕铁化学成分见表 5-7 所示。

表 5-7 稀土蠕铁化学成分 (质量分数/%)

元 素	C	Si	Mn	Cr	Re	Mg
	3.8	1.4	1.8	0.4	0.03	0.035

② 模具材料金相组织：基体为铁素体加珠光体，石墨形态是模具内腔为球状，中间为球状和蠕虫状，外部为蠕虫状加片状。

③ 力学性能：抗拉强度  $\sigma_b = 528\text{MPa}$  和硬度为 225HBS (而合金灰铸铁分别为 220MPa 和 172HBS)。

④ 使用寿命：在同样条件下，采用稀土蠕铁的医用盐水瓶模具平均寿命为合金灰铸铁的 4 倍，达 24 万次。

常用模具材料除铸铁基外，还有其他的常用模具材料见表 5-8。

表 5-8 模具材料种类

序号	种 类	名 称 或 组 成	适 用 范 围
1	铸 铁	孕育铸铁、普通灰铸铁、球墨铸铁	压制模具、吹制模具
2	低合金铸铁	掺杂微量的镍、铬、镍铬、硅、铝、钛、钼等	压制模具、吹制模具
3	耐热钢	镍、铬、铁、镍、铬、钴、铜、铁、铬、钴、锰、钨、硅、铁	压制模具和吹制模具中的冲头、芯子和口模
4	青 铜	微量铝或无铝	吹模、冲头和芯子、口模、压制模具
5	镍铬合金		镗花模
6	蒙乃尔合金		小型模具
7	镍		镗花模、压模、小型模具
8	铂、铂-铱		喷嘴(玻璃纤维)
9	石 墨	人造石墨	转动模
10	木 材	梨木、杨木等	人工吹制用模

在玻璃制品特别是薄壁制品成型时，温度制度有着重要意义。在高温下，玻璃料易黏附于模壁。产生玻璃的黏附现象是由各种因素，有时可能是若干因素同时作用的结果。各种金属材料的黏附温度见表 5-9。在选择模具材料时，要估计到玻璃黏附于金属的温度。

表 5-9 金属材料的黏附温度

种类	名 称	400	500	600	700/℃	注	种类	名 称	400	500	600	700/℃	注
铁碳合金	铸铁(3.27%C)	—				落滴法试验数据	纯金属	Ti	—				落滴法试验数据
	铸铁(2.97%C)	—						Ag	—				
	铸铁(2.54%C)	—						Al	—				
	不锈钢	—						Au	—				
	铸铁(2.22%C)	—						Be	—				
	钢(1.20%C)	—						Ni	—				
	钢(0.80%C)	—						W	—				
	钢(0.45%C)	—						合金	Cr-Ni-Fe	—			
钢(0.20%C)	—				Fe-V		—						
钢(0.05%C)	—				黄铜(旧)		—						
纯金属	Mo	—					Cr-Mo		—				
	Cr	—					黄铜(新)		—				
	Cu	—					Ni-Cu-Fe(旧)	—					
	Pt	—					Ni-Cu-Fe(新)	—					
	Co	—					碳	C	—				



玻璃料与金属的黏附温度，除与金属种类和成分有关外，尚与玻璃料的化学组成有关。这方面资料较少，现将有关资料列于表 5-10。

表 5-10 玻璃的组成对黏附温度的影响

玻璃种类	化学组成(质量分数)/%												铸铁含碳量/%	黏附温度/°C	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	TiO <sub>2</sub>	F		静滴	落滴
棕色钠钙玻璃	71.3	2.5	0.18	10.8	0.4	0.8	13.4	0.4	—	—	—	—	2.54	—	400
无色钠钙玻璃	67.7	—	—	5.6	4.0	1.5	15.1	1.2	2.8	—	—	—	2.54	—	400
钡玻璃	67.5	5.0	—	—	—	—	7.0	7.0	—	12.0	0.6	0.9	2.51	590	405
硼硅酸盐玻璃	66.9	3.5	—	—	—	20.3	3.9	5.4	—	—	—	—	2.51	720	—

此外，模具加工的精度，表面处理（如电镀、渗碳、氰化、氮化、淬火等）也都会影响黏附温度和延长模具使用寿命。如模腔表面镀铬（0.002~0.005mm厚），能防止铸铁氧化和延长使用寿命，并使制品表层光洁。铬可以直接镀在研磨过的干净铸铁表面上，也可以镀在先用镍镀成的底膜上。后者可防止镀膜剥落。镀铬的模腔有高的耐磨损能力，而且适应在高温下使用。同样用火焰喷焊法，对新制的模具和修理的模具进行涂层，这层硬质合金涂层可增加模具的耐高温、耐蚀、耐磨性能，延长模具使用寿命。

为了消除黏附现象的发生，可采用压缩空气冷却模具，或向模具内壁涂油、胶体石墨涂料，以及石蜡、橡胶、硫磺、木炭粉、松香、滑石粉、白垩粉等。但要注意，过多的使用涂料将会使模具内壁积炭，结果会损害制品的外观。

## 5.2.2 研究成果

### 5.2.2.1 铌硅铁合金

福州大学用 1t/h 冲天炉熔化铁水，化学成分（质量分数）：C 3.4%~3.6%、Si 1.9%~2.5%、Mn 0.8%~1.2%、P ≤ 0.1%、S ≤ 0.08%，加铌硅铁合金（Nb 21.35%、Si < 12%）前先破碎后进行烘烤，放入铁水包内，铁水冲入包内进行搅拌，待合金熔化清扒渣后浇注 500ml 农药瓶成型模具。为使模具表面组织致密，提高表面耐磨性，仍采用铸铁型芯。为消除铸造应力，模具应退火后进行机加工。

当铌加入量从 0 增加到 0.7%，其常温力学性能得到全面提高，特别是塑性和韧性尤为显著。瓶模承受急剧的加热冷却循环，这种热冲击造成的破坏除与模具的残余应力值有关外，还与材料的韧性有重要关系。加铌硅铁合金后，改善了韧性，提高了瓶模的抗热冲击能力。

铌元素在铸铁中所起的作用如下：

① 铌是强烈形成碳化物的元素，其碳化物具有很高的显微硬度，它对模具的耐磨性起着良好的作用；

② 铌对铸铁具有细化晶粒、净化晶界的作用，使模具的抗氧化性、抗热疲劳性得到提高；

③ 铌铸铁的常温及高温强度比普通铸铁高，模具加工表面粗糙度小，硬度适中，便于成型刀具加工。

结果表明未加铈铸铁瓶模平均使用 50 万次报废，加铈模具使用 92.16 万次后模具仍可继续使用。可见加铈铸铁模具寿命至少是未加铈模具的 1.84 倍。在同一产量下，采用铈铁模具可节约模具费用，从而取得明显的经济效益。

#### 5.2.2.2 稀土铁合金

山东省冶金科学研究院研究的稀土微合金化铸铁常规化学成分（质量分数）：C3.32%、Si2.05%、Mn0.58%、S0.041%、P0.074%，合金元素 Cr、Ti、Al、B、Sb、Re 等的含量均在规定的成分内。

试验用材料在 1.5t/h 冲天炉内熔炼，中间合金与变质剂分别加入炉内和铁水包内。批料：生铁 42%，回炉铁 40%，废钢 18%。模具与试样同包浇注，用冷铁芯成型。铁水浇注温度为 1320~1340℃。试样铸态硬度为 246~258HBS。

工作与试样进行相同的热处理，加热温度为 760~780℃，保温 8h，时效退火处理。加热速度为 120℃/h，冷却速度为 50℃/h，降至 250℃时，空冷。试样硬度为 211~223HBS。断口形貌和显微组织应符合相关要求。

稀土微合金化铸铁制模优点。

① Re 微合金化铸铁，其显微组织、抗氧化、抗生长以及热疲劳抗力等综合性能，均得到显著的改善和提高，且断面敏感性小。

② 通过工业性试验，Re 微合金化铸铁 640ml 啤酒瓶双滴料真空成型模具，循环次数达到 80 万次/模，与常用 CrMoCu 材料模具相比较，使用寿命提高 4 倍。

③ 该新型模具材料，具有抗氧化、耐磨损、易修复、使用寿命长等特点，并可完全替代进口模具，且成本低，生产工艺简便，是制造玻璃模具的优良材料。

#### 5.2.2.3 稀土铁合金性能研究

吉林工业大学在稀土蠕铁玻璃模具性能方面进行研究和测试。几种试验模具材质的化学成分如表 5-11 所示，其性能测度结果如下。

几种玻璃模具材质平均抗热疲劳性能，如表 5-12 所示。

几种玻璃模具材质在 750℃和 950℃时的抗氧化性能测试结果，如表 5-13 所示。

几种玻璃模具材质在 750℃和 950℃时的抗生长性能测试结果，如表 5-14、表 5-15 所示。

几种试验模具上机使用结果，见表 5-16。

表 5-11 几种试验模具材质的化学成分（质量分数/%）

化学元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Re	Mg	其他合金元素
合金灰铁	3.8	2.14	0.6	0.03	0.04	0.45	0.01			适量
1#	3.9	2.6	0.8	0.015	0.04	0.4	0.01	0.038	0.035	适量
2#	3.8	1.4	1.8	0.018	0.05	0.4		0.03	0.03	
3#	3.5	1.4	0.6	0.01	0.04	0.4	0.12	0.03	0.03	

表 5-12 几种试验模具材质的抗热疲劳性能（次数）

性能	抗热疲劳性能	性能	抗热疲劳性能
合金灰铁	11	2#	90
1#	40	3#	62.5

表 5-13 几种试验模具材质的抗氧化性能 (g/mm<sup>2</sup>·h)

性能	抗氧化性能		性能	抗氧化性能	
	750℃	950℃		750℃	950℃
合金灰铁	8.423×10 <sup>-6</sup>	4.707×10 <sup>-5</sup>	2#	2.855×10 <sup>-6</sup>	2.14×10 <sup>-5</sup>
1#	6.403×10 <sup>-6</sup>	3.890×10 <sup>-5</sup>	3#	4.922×10 <sup>-6</sup>	3.046×10 <sup>-5</sup>

表 5-14 几种试验模具材质试样外形尺寸的变化 (mm)

性能	750℃		950℃	
	$\frac{D_2-D_1}{D_1}$	$\frac{l_2-l_1}{l_1}$	$\frac{D_2-D_1}{D_1}$	$\frac{l_2-l_1}{l_1}$
合金灰铁	3.777×10 <sup>-2</sup>	1.915×10 <sup>-2</sup>	15.35×10 <sup>-2</sup>	9.93×10 <sup>-2</sup>
1#	2.472×10 <sup>-2</sup>	1.832×10 <sup>-2</sup>	14.4×10 <sup>-2</sup>	9.5×10 <sup>-2</sup>
2#	1.645×10 <sup>-2</sup>	1.006×10 <sup>-2</sup>	9.92×10 <sup>-2</sup>	6×10 <sup>-2</sup>
3#	2.084×10 <sup>-2</sup>	1.025×10 <sup>-2</sup>	11.46×10 <sup>-2</sup>	8.13×10 <sup>-2</sup>

注: D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub> 和 l<sub>1</sub>、l<sub>2</sub> 分别为保温前后试样的直径和长度。

表 5-15 几种试验模具材质试样金相组织中石墨线尺寸的变化 (mm)

性能	$\frac{l_2-l_1}{l_1}$		性能	$\frac{l_2-l_1}{l_1}$	
	750℃	950℃		750℃	950℃
合金灰铁	84.194×10 <sup>-2</sup>	21.535×10 <sup>-2</sup>	2#	38.4×10 <sup>-2</sup>	3.065×10 <sup>-2</sup>
1#	54×10 <sup>-2</sup>	8.648×10 <sup>-2</sup>	3#	40.3×10 <sup>-2</sup>	12.938×10 <sup>-2</sup>

注: 1. 750℃时, l<sub>1</sub> 为常温时石墨平均线尺寸; l<sub>2</sub> 为 750℃保温后石墨平均线尺寸。

2. 950℃时, l<sub>1</sub> 为 750℃保温石墨平均线尺寸; l<sub>2</sub> 为 950℃保温后石墨平均线尺寸。

表 5-16 几种试验模具上机使用结果

项目	使用时数/h					平均寿命/万次
	第一次上机	第二次上机	第三次上机	第四次上机	总计	
合金灰铁	46	58.9	49		153.9	60021
1#	59.6	139	62		260.6	10.1615
2#	240	208	182		630	24.5700
3#	274	12	12	34	332	12.948

注: 以上数据在某市玻璃厂行列机上生产医用 500ml 盐水瓶模具使用结果。

(1) 石墨形态对模具性能的影响 石墨形状对铸铁的热导率有直接的影响, 随着石墨由片状—蠕虫状—球状的变化, 其热导率也由大逐渐变小。蠕铁的热导率介于灰铁和球铁之间, 偏向球铁。从试验结果来看, 当石墨形状由片状—蠕虫状—球状变化时, 其强度、抗热疲劳性能、抗氧化性能、抗生长性能也逐渐提高。灰铁的强度、抗热疲劳等性能较差。主要原因就是因为石墨是片状, 在受力时, 在石墨的尖角处易产生应力集中, 当受力大于其本身在同温度下强度时, 即产生开裂。在做抗热疲劳性能测试中, 合金灰铁在 11 次时即产生了宽而平直且深的裂纹。2# 稀土蠕铁在 90 次时产生的裂纹窄、弯曲且较短。可见稀土蠕铁的强度及抗热疲劳性能等高于合金灰铁。灰铁和蠕铁的抗氧化性能的好坏, 同样与石墨形状有直接关系。片状石墨互相连通, 在高温时, 使氧沿其石墨通道由外向内扩散, 造成氧化严

重，增重大。而球状石墨互相孤立，使氧的扩散通道不畅，故氧化较轻，增重小。石墨在高温下的生长主要是基体中的碳向石墨扩散的结果，片状石墨之所以生长得较快（抗生长性能差），主要是由于片状石墨表面积较大，碳原子往石墨中扩散的机会增多。而球状石墨表面积较小，碳原子往石墨中扩散的机会相对较少，故抗生长能力强。蠕铁的抗生长能力则介于两者之间。

灰铁具有导热性能较好，强度、耐磨性、抗热疲劳性能、抗氧化性能、抗生长性能较差，而球铁具有强度、耐磨性、抗热疲劳性能、抗氧化性能、抗生长性能较好的特点，但导热性能较差。蠕铁介于两者之间。在玻璃模具材质的选择上，选择了蠕铁，即应充分利用灰铁的长处，也应发挥球铁的优点。试验中，用稀土进行炉前处理并用控制冷却速度的方法，造成模具内腔（即工作面）石墨成球形，模具中间石墨为蠕虫状，模具外表面石墨为片状。石墨的形态与冷却速度有直接关系。铸铁在共晶转变时，随着凝固速度的升高，石墨从粗片状转变为细片状，再转变为枝晶状，最后转变为球状。这是因为当凝固速度小时，其凝固方式为外生凝固，石墨与液相界面为平界面，石墨片定向平行排列。随着冷却速度提高，石墨片间距减小。当冷却速度提高到一定数据值后，其凝固方式转变为内生凝固。此时相界面不再是平界面，石墨片间距不再减小，石墨聚成球状结构。

试验表明，炉前采用孕育处理，可以细化共晶团，使石墨球直径变小和球心之间距离缩短。通过控制冷却速度控制石墨形态，可以满足模具的使用条件。

#### (2) 合金元素对模具基体的影响

① 铬的影响 试验中，在1#、2#、3# 稀土蠕铁和合金灰铁中者加入了铬元素，铬能提高抗拉强度、伸长率、屈服强度和硬度，这是因为铬是中强碳化物元素，仅一小部分溶于铁的固溶体中，大部分则溶入渗碳体，形成置换式渗碳体  $(FeCr)_3C$ ，且铬能稍细化石墨，阻止铁素体析出，增加珠光体数量。铬还可以提高铸铁体积的稳定性，可阻碍高温下铸铁体积的长大。同时铬能改善铸铁的抗氧化性，可阻碍氧侵入铸件内部，这是由于铬缓慢地形成一种含铬的非常致密的氧化膜  $Fe [Fe_{2-x}Cr_x] O_4$ ，能阻止大量氧侵入铸铁内部。试验表明加入0.4%铬为好。

② 钒的影响 试验中在合金灰铁、1# 蠕铁、3# 蠕铁模具中加入钒。钒是强烈形成碳化物的元素，碳与钒有很强的亲和力，并能形成几种稳定的碳化物 ( $VC$ 、 $V_2C$ 、 $V_4C_3$ )。钒能细化石墨，促进珠光体的形成，但比铬弱。钒的加入使力学性能提高。但钒不能阻止氧化，甚至可能加速氧化。

③ 锰的影响 锰是一种稳定碳化物的元素，在铸铁中易形成  $Mn_3C$  型碳化物，它比  $Fe_3C$  稍稳定、坚固。锰有效地降低奥氏体向珠光体转变的温度，这对连续冷却的条件下，获得细密的珠光体、索氏体是十分有利的。锰分别溶解于基体组织及碳化物内，既强化了基体，又增加了碳化物的弥散度和稳定性，这对提高铸铁的耐磨性有良好的作用。本试验中，2# 蠕铁适当增加了锰含量 (1.8%)，起到了上述作用。

④ 硅的影响 硅是一种促进石墨化元素，它能改变石墨的大小和分布。硅量过高可使石墨片变得粗大、数量增多，直接影响模具的耐热疲劳性能和抗氧化、抗生长性能。本试验中2# 和3# 蠕铁将硅量降为1.4%，由于硅含量降低有利于模具热导率的提高。在炉前用一定量的硅铁进行孕育处理（包括在总硅量内），使石墨细化、组织细密、力学性能提高。

对几种稀土蠕铁玻璃模具的研究和测试，得出如下结论：

① 稀土蠕铁玻璃模具的使用寿命均比合金灰铁模具要高2~4倍，说明石墨形态是决定

模具寿命的关键。

② 3# 稀土蠕铁模具比合金灰铁、1# 稀土蠕铁模具使用寿命高是与 3# 稀土蠕铁模具中含硅量低有关，即低硅提高抗氧化和抗生长能力之故。

③ 2# 稀土蠕铁模具使用寿命最长，比合金灰铁模具提高 4 倍，比 1#、3# 稀土蠕铁模具寿命提高两倍之多。这是因为含锰量较高，降低了共折转变温度，同时形成了稳定的合金碳化物，从而提高了抗热疲劳性能的缘故。

#### 5.2.2.4 显像管模具材料研究

钢铁研究总院对显像管玻壳模具进行研究，具体如下。

(1) 玻壳模的工作条件 显像管玻璃的成分(质量分数)为： $\text{SiO}_2$  67.5%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  5%、 $\text{PaO}$  12%、 $\text{K}_2\text{O}$  7%、 $\text{Na}_2\text{O}$  7%、 $\text{Li}_2\text{O}$  0.6%、 $\text{F}_2$  0.9%。玻璃熔化炉温为 1300~1400℃。当滴料(或人工挑料)到压模中时，玻璃溶液的温度约为 1060℃。压制后玻壳温度为 800℃左右，此时模具表面温度可达 600~700℃，脱模后对模具吹风冷却，使模具表面迅速降温到 420~450℃。这样周而复始，使玻壳模始终在急冷急热的状态下工作。为此，对模具材料提出下列要求：

- ① 在 600~700℃时，具有良好的抗氧化稳定性；
- ② 较高的导热性能和较低的热膨胀系数，较高的耐冷热疲劳及热冲击能力；
- ③ 为防止玻璃粘模，需要具有良好的抗生长能力和足够高的黏附温度；
- ④ 对高温玻璃  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  有良好的抗腐蚀性；
- ⑤ 在 700℃高温下，具有足够的强度和良好的韧性；
- ⑥ 具有良好的耐磨性和耐热性；
- ⑦ 具有良好的铸造性能以及切削、磨削等加工性能；
- ⑧ 成本低廉、工艺简便，易于采用及推广应用。

上述性能要求有些是互相矛盾的，根据玻壳模的实际工作条件，材料的耐冷热疲劳能力和抗氧化、耐侵蚀能力是最为重要的。

(2) 玻璃壳模材料的选定 国内外大多采用含铬的马氏体不锈钢和含镍铬的奥氏体耐热钢制造玻壳模具。为了提高玻壳模具寿命，一般还要在模具表面进行镀铬或扩散镀铬处理。为了简化制模工艺，国外已开始研制不需要镀铬处理的耐热合金钢制作玻壳模具。

根据国外玻壳材料的发展和显像管玻壳模的工作条件，在实验室内对 14 种钢进行了试验，它们是：不锈钢(1Cr18Ni9Ti、Cr25Ni20Si2、1Cr13、3Cr13、4Cr13Ni、Cr17、Cr17Ni2 等)，热作模具钢(3Cr2W8V、3Cr3Mo3V、3Cr13Mo3Co3V 等)。试验结果表明，4Cr13Ni(还有 Cr25Ni20Si2)具有较高的耐冷热疲劳能力和物理、力学性能。由于 4Cr13Ni 的价格较低，所以选定 4Cr13Ni 为显像管玻壳模材料而不用价格昂贵的 Cr25Ni20Si2。

(3) 4Cr13Ni 钢的成分、组织和性能 4Cr13Ni 属于马氏体不锈钢，化学成分见表 5-17 所列。

表 5-17 4Cr13Ni 钢的化学成分(质量分数/%)

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
设计成分	0.35~0.45	≤1.0	≤1.0	12~14	0.6~1.5	≤0.03	≤0.035
实际成分	0.4~0.42	0.38~0.27	0.4	13.45~13.44	1.14~1.10	0.01	0.029~0.031

由于玻壳模形状复杂，通常采用铸造成型，再经机械加工后使用。为保证铸件质量采取如下措施：

① 造型时必须使工作面朝下，以防止在工作面附近产生砂眼和气孔；

② 造型时应采用新砂子（3#与6#砂的比例为1:1），涂料为 $Al_2O_3$ ，砂模和芯子的烘烤以350℃保温12h为宜；

③ 必须增大冒口，有利于铸造时钢水的补缩；

④ 浇注温度不宜过高，以1500℃为宜，以保证铸件质量。

为使玻壳模的工作面获得细小的晶粒，提高工作面的冷热疲劳抗力，可在型砂中放置冷铁。冷铁厚度应大于30mm，小于80mm。晶粒细化层的厚度应大于切削加工量。冷铁厚度超过80mm后，由于冷速过大，将形成垂直于表面的柱状晶粒，这对冷热疲劳抗力不利。

如果采用精密铸造，切削加工量极小（仅0.5~1.0mm），可采用厚度为40mm左右的冷铁。

铸后的热处理见5.3.2。

4Cr13Ni钢的导热系数小于铸铁，因此应比铸铁模采用更硬强的冷却，在设计模具时应考虑冷却系统，以保证模具在工作时，模具温度不会升高到接近玻璃的软化温度而使玻壳粘模。

4Cr13Ni钢在室温到550℃的线膨胀系数为 $(1.03\sim 1.2)\times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，而玻璃为 $8.9\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，二者差别不大，可适应玻壳的压制。

4Cr13Ni钢的冷热疲劳抗力显著高于铸铁。将预先开有缺口的板状试样在炉中加热到800℃，然后取出投入20℃的水中，进行冷热疲劳试验。具有条状石墨的灰铸铁试样，加热—冷却一次，就在缺口处产生一条9mm长的裂纹，有的试样甚至严重开裂，而经700℃回火两次的4Cr13Ni钢试样，冷热循环60次后，才出现微小的裂纹，其长度仅0.53mm。经1000℃淬火再经700℃回火两次的4Cr13Ni钢试样，冷热循环60次后，在缺口处出现长0.50mm的微裂纹和未经淬火者十分接近。

在铸造模具过程中，由于冶炼、铸造等工艺上的因素，在模具毛坯型腔表面可能会出现一些缺陷，在模具型腔表面经切削加工后，有时会暴露出一些针孔。这些微小的缺陷也会影响玻壳的质量，因此，应采取补焊措施，消除缺陷。补焊可采用氩弧焊，焊丝成分宜选用3Cr15Ni2(Ni≈1.5%)，降低碳量是为了改善焊接性能，避免产生焊接裂纹。提高铬、镍含量是为了补充在焊接时铬、镍的烧损。提高含铬量也有助于增强焊区的抗蚀能力。补焊层的冷热疲劳抗力与基体基本一致。

补焊后，应在700℃进行回火，以改善补焊层的组织和力学性能。

(4) 模具的寿命试验 在11工位自动压力机上安装4Cr13Ni钢制造的屏凹模5个，Cr25Ni20Si2钢屏凹模2个，Cr17钢屏凹模2个，另装2个铸铁屏凹模作为对比。

试验结果表明：铸铁凹模压制玻壳5000件后，就因凹模中心严重龟裂而报废；Cr25Ni20Si2钢凹模因导热性差，不能适应压力机的连续操作，无法和4Cr13Ni钢凹模同机继续试验；Cr17钢凹模和4Cr13Ni钢凹模在压制5万余次后均无龟裂现象。

为了验证4Cr13Ni钢凹模的使用效果，11个尺寸基本一致的14in(35.56cm)屏凹模安装在11工位自动压力机上进行第二次寿命试验，除3个凹模中心出现细小型纹外，绝大部分模具压制15万余次以上仍可继续使用。因此可以认为，4Cr13Ni钢玻壳模已超过日本同类型玻壳模（用3Cr13MoV钢制造，寿命为6万次）的水平。

两次试验表明, 4Cr13Ni 钢模具有如下优点:

① 压制的玻壳大多数为一级产品, 玻壳表面圆滑平整, 表面粗糙度小, 透明度和清晰度有很大提高, 基本上可以不再抛光而直接装机;

② 4Cr13Ni 钢模具抗氧化性好, 玻壳不易变形, 尺寸精度易于保证;

③ 钢模寿命明显高于铸铁模, 既有明显的经济效果, 又可大幅度减轻工人的劳动强度, 改善劳动条件, 并使模具消耗量下降了 90% (与铸铁凹模相比)。

#### 5.2.2.5 铜基合金

北京农业大学进行了铜基合金 (Cu-1 合金) 玻璃模具材料的开发。合金成分 (质量分数) 为: Ni14%~16%、Al8%~10%、Zn8%~10%、Cu 余量。Cu-1 合金开始凝固温度为 1163℃, 1046℃时发生异构变化, 652℃时有共析转变。

经测试 Cu-1 合金的显微组织是由树枝状  $\beta_2$  相和由  $\alpha+k$  两相所构成的基体组织成,  $k$  相呈颗粒弥散分布于  $\alpha$  相上。Cu-1 合金的高温性能, 在 600℃时的强度与灰铸铁室温下的  $\sigma_0$  相当。Cu-1 合金在 750℃和 900℃时, 均是完全抗氧化的, 比 CrCu 铸铁要好。其热稳定性远优于铸铁, 热生长很小可保证玻璃模具有稳定的尺寸的公差, 提高制品质量。

在双滴行列机上, 对 Cu-1 合金铸造 500ml 啤酒瓶的冠形口模进行生产试验。生产试验证明: Cu-1 合金导热性好, 在高速成型时仍能保证产品质量, 其模具一次连续使用寿命是 CrCu 灰铸铁模具的 2~4 倍。

### 5.2.3 国外近代玻璃模具材料

#### 5.2.3.1 OMCO 模具铸铁

OMCO 模具铸铁是奥佛梅 (OVERMYER) 公司生产的, 具有较好的抗氧化性和抗剥落性, 并且很少变形。

(1) EF.1 铸铁 EF.1 铸铁具有良好的机械加工性能和令人满意的抗机械损伤性, 并且热导率高。EF.1 铸铁的化学成分为:

C	3.40%~3.70%;	P <sub>max</sub>	0.12%;
Si	1.80%~2.20%;	S <sub>max</sub>	0.07%。
Mn	0.55%~0.85%;		

退火后的布氏硬度为 130~155HBS。

(2) EF.6 铸铁 EF.6 铸铁的组织是致密的显微结构。它具有良好的吸热性和抗热冲击性, 镍的作用是降低初生碳化物的稳定性, 并可以改善各项强度指标, 钼的作用提高玻璃模具的抗热裂性, 而且变形温度较高。它不仅被推荐为作为大多数的吹-吹法模具的材料, 有时候也推荐作为压-吹法模具的材料。EF.6 铸铁的化学成分为:

C	3.40%~3.70%;	S <sub>max</sub>	0.07%;
Si	1.80%~2.20%;	Ni	0.03%~0.04%;
Mn	0.60%~0.85%;	Mo	0.04%~0.05%。
P <sub>max</sub>	0.12%;		

退火后的布氏硬度为 155~160HBS。

(3) OMNOD 球墨铸铁 OMNOD 球墨铸铁易于机械加工, 与含碳量相同的片状石墨铸铁相比, 球墨铸铁的热导率约低 20%, 而热膨胀系数几乎相等。因为球墨铸铁的热导率比较小, 一般被认为释放热量小, 意味着成型机速必须降低, 因而不适宜用于成型大型瓶罐的模具, 或者说, 特别适宜生产小瓶罐的模具。因其模具工作温度较高, 并且也因为模具表

面能进行高度抛光，使得玻璃制品有良好的表面粗糙度。

OMNOD 球墨铸铁能在工厂中得到肯定的应用，是因为它具有以下性能：抗热冲击性能好、抗氧化性能好以及在 800℃ 以下的体积稳定性好。OMNOD 球墨铸铁化学成分为：

C	3.60%~3.80%；	P <sub>max</sub>	0.015%；
Si	2.60%~2.80%；	S <sub>max</sub>	0.015%；
Mn	0.075%~0.125%；	Mg	0.04%~0.06%。

退火后的布氏硬度为 160~180HBS。

(4) EF.35 铸铁 EF.35 铸铁是含铝的合金铸铁，其显微结构与其他种类铸铁的显微结构之间的本质差别，就在于它的石墨片呈圆片状，常将此结构看作球墨铸铁。它具有以下性能：

① 抗热冲击性好，适用于热冲击相当剧烈的一些特殊的制品模具，如有柄杯和特重香槟酒瓶的成型模；

② 热导率高于含碳量相同的非合金片状石墨铸铁，如与含钛或镍的合金铸铁相比，EF.35 铸铁的热导率约高 20% 左右；

③ 抗张强度可以通过改变组分来调节；

④ 在一定的布氏硬度下，EF.35 铸铁的抗张强度比普通低合金模具铸铁高很多；

⑤ 抗弯强度特别高，甚至在高温下也是如此。

EF.35 铸铁被推荐用于任何大量生产瓶罐的场合，所增加的成本可以通过延长模具使用寿命来证明是合理的。EF.35 铸铁的化学成分为：

C	3.00%~3.80%；	Al	2.00%~3.00%；
Si	<0.7%；	P.S	极低。
Mn	0.20%~0.40%；		

退火后的布氏硬度为 180~200HBS。

### 5.2.3.2 压模用钢

(1) 热处理钢 热处理钢标准规格有 AISI H13, ASSAB840 和 DIN1.2344，它们具有良好的抗热冲击性、良好的高温疲劳强度、韧性、延展性以及淬火期间良好的高温体积稳定性。为了让热处理钢在使用中取得良好的效果，模体和模环的淬火硬度应为 50~55HRC，冲头应为 60HRC 左右，并在某些场合下模体型腔面和冲头要渗铬。热处理钢的优点是模具和冲头可在成型机连续作业而无须清洗。热处理钢代表性的化学成分为：

C	0.37%；	Cr	5.3%；
Si	1.00%；	Mo	1.4%；
Mn	0.40%；	V	1.0%。

(2) 钼钒合金不锈钢 钼钒合金不锈钢的标准规格有 DIN1.2314，它具有带球状碳化物的铁素体基体结构，适当的热处理可达到布氏硬度 210HB 左右，可作为模具内衬。它的代表性的化学成分为：

C	0.45%~0.50%；	Cr	14.0%~15.0%；
Si	0.30%~0.50%；	Mo	0.30%左右。
Mn	0.30%~0.50%；		

(3) 铁钛合金 铁钛合金 NIKRO128 是一种标准规格的烧结材料。通过适当的热处理，其硬度为 59~65HRC，通过氮化，硬度可以上升至 72HRC，常被推荐作为冲头材料代表性的化学成分为：



TiC 33.0%;            Cu 0.80%;  
 Ni 15.0%;            Al 0.75%;  
 Mn 6.0%;            Ti 0.60%;  
 Co 0.90%;            Fe 其余。

(4) 镍铬钢 镍铬钢常用作压模、冲头和模环等。它们的型号和镍铬含量列于表 5-18 中。

表 5-18 镍铬钢型号镍铬钢含量

镍铬钢型号				大致含量/%	
AISI	DIN	AFNOR	英	Cr	Ni
420	1.4021	Z20C13	420S37	13	
430	1.4016	Z8C17	430S15	16	
431	1.4057	Z15CN 17.03	431S29	16	2
310	1.4841	Z15CNS 25.20	310S24	25	20
330	1.4864	Z12NCS 37.18	EG60	15	35

### 5.2.3.3 高镍合金

高镍合金主要是以改善机械性能为其目的，同时具有极好的耐腐蚀性。蒙乃尔合金和因康合金用作吹-吹法冲头或冲头端部。镍合金用作大量生产的压-吹法冲头，以及玻璃制品质量要求非常高的压模，例如用作制造透镜的模具。所有这些材料能使制品得到理想的表面粗糙度。典型的合金如下。

400号蒙乃尔 (Monel) 合金：含有 63%~68% 的 Ni，小于 3% 的 Fe，1%~4% 的 Si，其余为 Cu，其硬度可以达到相应不同的数值。

600号因康 (Inconel) 合金：含有大约 7.7% 的 Ni、8% 的 Fe 和 15% 的 Cr，硬度为 100~175HBS。

M-220-C 镍合金：含有 2%~3% 的 Be，其余为 Ni。

### 5.2.3.4 铜锡合金

铜锡合金的热导率比片状石墨的铁素体铸铁大约高 50%，改善了玻璃在成型期间的吸热速率，当然，这并不是指吸热速率大 50%。达不到 50% 的原因，是因为在玻璃至模具、模具至空气的交界面处的热阻，强烈地阻碍着热的流动。同时正确地选用铜锡合金，会改善模具的耐蚀性，并延长模具使用寿命和减少停机时间。但铜锡合金原材料价格比普通铸铁大约高数倍，而且加工费用也高，因而除非在特殊场合，一般不宜作为取代铸铁的模具材料。铜锡合金型号和化学成分见表 5-19。

表 5-19 铜锡合金型号和化学成分

型号	化学成分/%							备注
	Ni	Co	Al	Fe	Sn	Mn	Cu	
700XX	14.0~15.5		8.5~10.5	<1.0	7.5~10.0	<1.5	其余	口模
MINOX	14.0~16.0		8.5~10.5	<0.9	7.5~9.0	<0.15	其余	口模
CORUNDAL-GZ	14.0~15.0		9.5~10.5	<1.5	8.5~9.5	<0.4	其余	口模,底模,模 210~225HBS
VERALLOY93	4.0~6.0		9.5~10.5	4.0~6.0		<2.0	其余	底模,模底
NC4	5.0		10.0	4.0		<2.0	其余	底模,模底 170~210HBS
IMCRAMET800	14.0	1.7	8.0	0.8			其余	$P_{max}=0.017\%$
NCVB	7.5	1.0	11.0	5.0	5.0		其余	200~220HBS
CORUNDAL-TX	<1.0		9.0~10.0	1.0~2.0			其余	底模,模底

### 5.2.3.5 碳化硼 (BN) 陶瓷

六方 BN 陶瓷的热导率与不锈钢相当, 热膨胀系数和弹性模量都较低, 具有非常优异的热稳定性, 可在 1500℃ 至室温反复急冷急热条件下使用。六方 BN 陶瓷的密度小 ( $2.27 \text{ g/cm}^3$ ), 硬度低, 可进行各种机械加工, 容易制成尺寸精确的陶瓷部件。通过车、铣、刨、钻等切削加工, 其制品精度可达 0.01mm。

更为可贵的是 BN 对玻璃熔液和熔渣有良好的耐侵性, 适用于作为玻璃成型模具的零部件。

## 5.3 材料热处理

(1) 铸铁热处理 铸铁和合金铸铁通常采用时效退火处理, 以获得较高的塑性和韧性。

(2) 4Cr13Ni 热处理 模具材料为 4Cr13Ni 玻璃模具铸成后, 应立即进行 700℃ 高温回火两次, 每次保温 5~8h。第一次回火后切割浇冒口, 再经修磨和喷丸机打磨后进行第二次回火。用户收到毛坯后即可进行切削加工后使用, 不需进行其他处理。

4Cr13Ni 钢铸造的模具经 700℃ 两次回火后, 内部组织为铁素体和均匀分布的细粒状碳化物, 硬度为 24HRC。

将铸造的 4Cr13Ni 玻壳模具进行 1000℃ 淬火后, 再进行两次 700℃ 回火, 保温时间分别为 6h 和 8h, 处理后硬度为 25HRC, 其组织与铸后立即 700℃ 回火的组织相似, 只是碳化物分布更均匀些。两种工艺处理的力学性能也很相近, 见表 5-20 所列。

表 5-20 铸造 4Cr13Ni 钢的力学性能

热处理工艺	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ /%	$\Psi$ /%	$a_k$ /( $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	HRC
700℃ 回火两次	800	3.5	4.5	6	24
1000℃ 空冷淬火 700℃ 回火两次	800	5.0	6.0	7.6	25

由表 5-20 可见, 增加 1000℃ 淬火工序, 对力学性能并无明显改进。这表明仅采用两次回火处理是完全可行的。

## 5.4 激光合金化处理

利用高能激光束很容易在模具局部区域内实现合金化处理, 使模具表面成分变化, 以形成具有特殊性能的表面复合材料层, 这样就可以在不改变模具整体性能的基础上, 使模具的寿命大幅度提高。

选取模具的合缝线部位时, 采用横流  $\text{CO}_2$  连续波 JG-2 型激光器, 对涂覆粉末进行单次扫描激光合金化处理, 其处理过程如下。

(1) 预处理 先去掉材质为 HT200 模具表面的锈斑和氧化膜, 再用丙酮清洗、去油。然后采用黏结剂涂覆法进行预涂覆。黏结剂为松香酒精溶液, 涂覆料为 Ni-Cr-B-Si 粉末, 其成分 (质量分数) 为: Cr 0.11%~0.15%、B 0.02%~0.03%、Si 0.02%~0.03%、Fe<0.17%、C 0.003%~0.006%, 余量为 Ni。覆盖层厚为 0.7~0.9mm。

(2) 激光合金化处理 将预涂覆好的模具 (如图 5-1 所

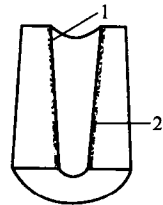


图 5-1 经预涂覆的模具示意图

1—合缝线; 2—预涂覆区

示) 放在激光加工机工作台上, 由于模具的外轮廓是半圆形的, 因此, 首先应调整好模具的位置, 使其待处理面与工作台平行, 再调整工作台位置, 使模具的待处理面位于焦平面上。然后, 根据玻璃模具合缝线的形状编制程序, 使光速运动轨迹与合缝线轨迹拟合, 最后调节光斑的位置, 使光斑中心位于距合缝线 1mm 处, 这样既可保证合金化区域有足够的宽度和深度, 又可使合缝线不产生严重倒角。激光合金化处理时, 输出功率为 1200~1400W、扫描速度为 (100~130) mm/min, 光斑直径约为  $\phi 3$ mm, 处理时用氩气保护。

## 5.5 玻璃模材料热喷焊表面强化处理

### 5.5.1 玻璃模具损坏的形式

玻璃铸铁模具使用时, 其模腔壁直接与高温熔融玻璃液相接触, 长期受到玻璃的化学侵蚀、磨损和冷热交变应力的作用。同时, 处于 500~700℃ 高温的模具, 表面氧化也是一个严重的问题, 再加上模具零件之间还存在频繁的机械撞击等, 造成模具损坏。模具损坏有以下几种形式。

#### 5.5.1.1 疲劳损坏

对损坏模具进行金相分析, 发现模具模腔表面有大量的疲劳裂纹存在, 特别模腔分模线和杯口部位更为集中, 这种裂纹是由于冷热交变应力和模具零件之间冲击疲劳所致。前者作用于整个模具模腔面和分模表面, 后者在模腔轮廓部位更易产生。模具的材料多为脆性铸铁材料, 存在着大量石墨组织, 这种石墨组织, 从某种概念上来讲就是一种裂纹源。在外界热应力和周期性的冲击力作用下容易产生裂纹, 并向四周扩散。铸铁中石墨数量极多, 裂纹的扩散速度是很快的。一旦在模腔表面造成大量的龟裂状的疲劳裂纹, 模腔表面就易产生微小剥落。由于杯口线和模腔分模线区域冷热交变作用和冲击应力最大, 在该部位的金属组织最易产生疲劳裂纹和剥落, 而造成玻璃铸铁模具过早的损坏。

#### 5.5.1.2 机械碰撞

模具零件之间频繁地机械碰撞是玻璃铸铁模具损坏的第二种形式。模具在加工、搬运过程中, 不小心碰撞会造成模具特别轮廓部位的脆性断裂损坏, 在装机使用期间, 合模的碰撞力和机械运转的不正常或分模面上残留硬性玻璃也会造成模具的损坏, 这种损坏一般发生在分模面和模腔的棱角部, 损坏的形状是大块的脆性断裂。一般机械损坏约占模具损坏率的 10% 左右。

#### 5.5.1.3 氧化和腐蚀

在铸铁模具高的工作温度 (500~700℃) 下, 铸铁模具的母材有热生长氧化脱皮的倾向, 造成模腔和分模面产生脱碳、氧化和脱落现象。同时, 模具在工作过程中, 模腔壁直接与熔融的玻璃相接触, 熔融的玻璃会对接触的模腔表面产生化学腐蚀作用。尤其是某些玻璃组成对模具的侵蚀是很严重的。

#### 5.5.1.4 磨损损坏

工作过程中模具零件之间的相对滑动, 模具的初型模和成形模与模底间的接触和玻璃熔体与模腔表面的相对滑动, 均会对模具产生磨损作用和降低模具使用寿命。

### 5.5.2 热喷焊表面强化处理

#### 5.5.2.1 氧-乙炔火焰喷焊

氧-乙炔火焰喷焊是 20 世纪 50 年代开始发展起来的一项热喷焊表面强化处理新技术, 它与喷涂有所相似, 但却可达到堆焊的效果。它利用氧-乙炔火焰喷焊炬将合金粉末喷射到

模具铸铁母材的表面，熔化后使其形成一层薄而平整呈焊合状态，具有耐磨、耐蚀、耐热及抗氧化等特殊性能的喷焊层。通常喷涂的缺点是喷涂层与母材之间是机械结构为主，因而结合力较弱并且涂层呈多孔性，内应力较大；而堆焊表面层虽与母体是冶金结合，但堆焊层表面粗糙不平，母材基体的冲淡率大，因此花费堆焊材料较多。氧-乙炔火焰喷焊能克服两者的缺点，表层薄而均匀，结构致密，熔深浅冲淡率小。

玻璃模具的氧-乙炔火焰喷焊是利用氧-乙炔火焰喷焊炬把自熔性合金粉末喷焊在模具铸铁母材的表面，在母材不熔化的情况下，合金粉末熔化而润湿母材，并与母材相互溶解与扩散从而形成一层牢固呈焊合状态的喷焊层。所谓自熔性合金，是指熔点较低，在熔融过程中，不需要外加助熔剂，有自行脱氧、造渣功能，能“润湿”基体表面并与基体母材溶合的一类合金。显然，这里包含着两个过程：先是喷涂过程，接着是熔化过程。所以为了掌握整个工艺实质，有必要了解和研究这些过程的规律性。

### 5.5.2.2 喷焊过程

氧-乙炔火焰喷焊的喷涂过程与通常的喷涂过程相似，喷涂时，合金粉末通过氧-乙炔的燃烧加热作用，使其熔化或接近熔化状态，高速冲击碰撞母材表面，形成叠层。

(1) 火焰 喷焊火焰是由乙炔与氧气混合燃烧而成的。根据氧与乙炔不同的混合比值，可分为中性焰、碳化焰（也称还原焰）和氧化焰三种，其结构和状态如图 5-2 所示。

① 中性焰是在火焰的内焰区域，基本上没有自由氧及自由碳存在的气体火焰，其  $O_2/C_2H_2$  为  $1\sim 1.2$ ，由焰心、内焰、外焰三部分组成。在中性焰的内焰与焰心之间，燃烧生成的  $CO+H_2$  具有还原作用，在外焰部分，则由空气中氧与  $CO+H_2$  进行完全燃烧。喷涂时飞散的粉末在火焰中不断地受到加热。一般铸铁母材都采用中性焰略带碳化焰进行喷焊。

② 碳化焰是在火焰的内焰区域中有自由碳存在的气体火焰， $O_2/C_2H_2$  小于 1，整个火焰比中性焰长。由于碳化焰中过剩的乙炔分解为  $C+H_2$ ，喷涂时渗入喷焊层，增高喷焊层的碳含量，因此喷焊时只采用某些钴基和铜基合金粉末。

③ 氧化焰是在火焰的内焰区域中有自由氧存在的气体火焰， $O_2/C_2H_2$  大于 1.2，焰心、内焰、外焰以及整个火焰都缩短了。整个火焰具有氧化性，因此一般氧化焰不适用于喷焊。

正确的调整及选用喷焊火焰，对保证喷焊层质量是非常重要的，因此在喷焊时，应根据不同的铸铁母材，合理地选用火焰，以得到理想的喷焊层。

(2) 喷焊温度 由于火焰喷焊的涂层是把合金粉末加热，在其熔化或接近熔化状态时喷附在模具母材表面上形成的。所以从喷炬到母材这段范围内的气体介质温度，对飞行中的粉末的加热及喷焊层的影响是很重要的。

一般氧-乙炔火焰温度可达  $3100^\circ\text{C}$ ，距喷炬出口  $60\sim 70\text{mm}$  处温度在  $2500^\circ\text{C}$  以上，随着距离的增大，温度逐渐降低，喷涂距离在  $100\text{mm}$  处，温度是  $1900^\circ\text{C}$ ，如距离是  $150\text{mm}$ ，则温度是  $1400^\circ\text{C}$ 。由于火焰的高温范围比较大，对飞行中的合金粉末的加热是有利的。自熔性合金粉末的熔点一般不超过  $1200^\circ\text{C}$ ，显然在喷焊火焰加热时能够熔化。

(3) 粉末飞行速度 为了形成喷焊层，粉末在被加热的同时，必须具有相应的冲击速

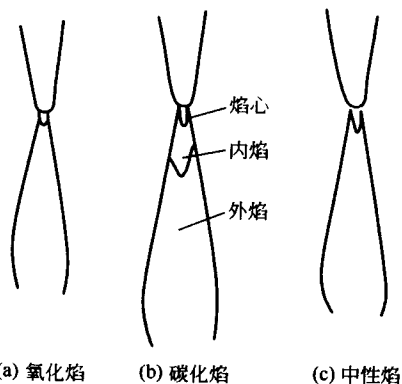


图 5-2 氧-乙炔火焰

度，即飞行速度。这样，粉末在高温状态下，高速度地碰撞母材表面产生扁平变形，并形成叠层。

大功率的粉末喷炬喷焊时，距喷炬出口 50mm、100mm、150mm 位置上的燃烧焰流速分别为 80m/s、50m/s、30m/s。

### 5.5.2.3 熔化过程

通过上述火焰喷焊而得到的自溶性合金喷焊层与其他喷涂涂层一样，存在着最大可达 25% 的气孔。为了消除气孔和氧化物，形成无气孔的保护层，对于自溶性合金，可进行重熔处理。同时通过重熔处理后，喷焊层和母材之间合金结合从原先的机械结合为主达到真正的冶金结合，大大提高结合强度。

分析重熔过程可知，要得到无气孔和氧化物，与母材形成冶金结合的喷焊层，首先要求熔化的喷焊层能润湿母材。如果喷焊层熔化后在母材表面凝成滴状，不能润湿流动，就不可能形成无气孔的保护层。其次，喷焊层润湿母材后，能与母材适当地发生物理化学作用，使喷焊层冷却后，与母材形成牢固的冶金结合，否则，喷焊层只黏附在母材上，没有焊牢。

(1) 熔化喷焊层对母材表面的润湿 重熔处理时，喷焊层是熔化的，母材是不熔化的，而处在固体状态下，显然，只有在熔化的喷焊层能很好地润湿母材的情况下，才能产生紧密的接触。

影响润湿性的因素很多，主要有以下几种。

① 表面氧化物的影响 表面氧化物的存在，妨碍了熔化喷焊层与母材的直接接触，因此必须采用自溶性合金粉末。

② 重熔温度的影响 温度升高，有助于提高熔化喷焊层对母材的润湿性；但重熔温度过高，喷焊层对母材的润湿性太好，往往发生流散现象，更重要的是温度过高，熔化的喷焊层对母材的熔蚀加重，改变喷焊层的性能，因此必须合理地选择重熔温度。

③ 表面状态的影响 熔化喷焊层在粗糙表面的润湿性比光滑表面上好，这是由于粗糙表面纵横交错的细槽起到特殊的毛细作用，促使了熔化的喷焊层沿母材表面的流动和分布。

(2) 喷焊层与母材的相互作用 重熔处理时，熔化的喷焊层在润湿母材的同时，与母材发生了相互作用，这种作用可归结为母材溶解于液态喷焊层和喷焊层向母材的扩散两种。

① 母材溶解于液态喷焊层 重熔时，由于喷焊层与母材一般在液态下是能够相互溶解的，因此重熔过程中母材能溶于液态喷焊层。这种溶解作用有利和弊两个方面。如果基材向液态喷焊层发生溶解，表层溶于喷焊层中，相当于母材表面产生“清理”作用，使母材以纯净的表面与喷焊层直接接触，有利于提高润湿性。但是母材元素溶于喷焊层，会改变喷焊层的性能，特别是当喷焊层能和母材形成化合物时，母材溶于喷焊层使结合强度降低。重熔温度愈高，加热时间愈长，母材向喷焊层的溶解愈强烈。

② 喷焊层对母材的扩散 在重熔过程中，在母材溶解于液态喷焊层的同时，也出现液态喷焊层向母材的扩散。如果扩散作用在喷焊层与母材交界处形成的是固溶体，对结合强度没有影响，如果形成的是化合物，则结合强度降低。

综上所述，重熔处理时，喷焊层与母材相互溶解、扩散，形成了冶金结合。一般情况下，母材向喷焊层的溶解引起母材界面组织的变化，最后形成了交界层，故喷焊层与母材的相互结合是通过交界层进行的，它是各个晶粒彼此之间相互作用相结合。这与一般堆焊不同，堆焊是母材和堆焊金属之间以共同晶粒的形态相结合，即晶内结合，而一般喷涂则不

同，喷涂大体是以机械结合为主。

### 5.5.3 国外玻璃模具的自溶性合金粉末

玻璃模具材料一般为灰铸铁，硬度和熔点都较低。喷焊用的自溶性合金粉末除应具有良好的韧性、塑性、耐急冷热性等特性外，其硬度不能太高，通常与铸铁硬度相当以利机械加工的顺利进行。玻璃工业为中，小型企业，要求喷焊工艺稳定和可操作性好，装备简单和使用方便。国外通常采用低硬度的 Ni-B-Si 或 Ni-Cr-B-Si 系粉末。详见表 5-21。

Ni-B-Si 粉末是在纯镍中加入少量的硼硅元素，具有良好的抗热、耐冲击性能和喷焊工艺性，加上硬度较低，熔点也较低只有 1000℃ 左右。因此，国内外玻璃制品行业的喷焊粉末大多采用 Ni-B-Si 粉末。

表 5-21 国外玻璃铸铁模具喷焊常用的自溶性合金粉末牌号

牌 号	化学成分 / %					硬度/HRC	熔点/℃	备 注
	C	Si	B	Cr	Ni			
瑞 士								
10680	0.1	2.5	1.20	—	其余	10~20	1070	Cu 7.0%
10224	0.1	3.50	1.75	—	其余	36~40	—	
美 国								
colmonoNo20	0.25	3.00	1.0	5.0	其余	10~20	—	Cu10%
No21	0.25	3.25	1.25	5.0	其余	26~31	1130	
No22	0.1	3.15	1.25	—	其余	28~33	1050	
No23	0.1	2.30	1.25	—	其余	14~19	1000	
日 本								
	0.3	3.5	1.2	5.0	其余	15~20	1093	
	0.05	3.5	2.0	—	其余	36~42	997	
	0.05	2.5	1.5	—	其余	10~20	1121	
	0.4	3.0	1.5	1.0	其余	25~30	—	
德 国								
	0.1	2.5	1.5	—	其余	—20	1050	
	0.1	3.3	2.5	—	其余	35~40	1050	
	0.25	3.3	1.0	5	其余	—20	1220	

### 5.5.4 四种元素对 Ni-B-Si 粉末性能的影响

纯镍具有很好的塑性，熔点为 1453℃，它的硬度不高。镍作为喷焊粉末时还必须加入能降低熔点和同时起强化作用的元素。硼、硅元素不仅能强烈降低镍的熔点，还对母材有明显的强化作用，以及大大增加合金熔体的流动性和润湿性。另外硼、硅元素和氧的亲合力较大，在喷焊过程中能生成熔点较低的硼硅酸盐，上浮到喷焊层表面，清除了模具母材表面和粉末中的氧化物。

#### 5.5.4.1 硅对自溶性合金粉末性能的影响

硅对粉末性能有着明显的影响，从 Ni-Si 相图知道，硅对镍中以固溶体的形式存在。它在镍中的溶解度不超过 5.5%，过高的硅含量，会生成 Ni<sub>3</sub>Si、Ni<sub>5</sub>Si<sub>2</sub> 等硬质脆性相，对粉末产生不利影响，所以，合金中硅含量限制在 5.5% 以下。

(1) 硅对喷焊层金相组织的影响 对不同硅含量的粉末喷焊层进行金相分析，硅含量 2.5% 粉末喷焊层的金相组织为含硅的镍固溶体 ( $r$  相) 和在晶界边缘有一些由于硼的存在而生成的 Ni<sub>2</sub>B、Ni<sub>3</sub>B 相 ( $r'$  相)。当硅含量提高到 3.5%，晶界上还出现一些氧化硅或硅酸盐化合物。当硅含量为 4% 时，晶界上有较多的含硅化合物。当硅含量提高到 4.5% 时，晶

界边的硅化合物明显增多,有  $\text{Ni}_3\text{Si}$  等硬质相存在。当硅量达 5% 时的金相组织除  $r$ 、 $r'$  相外,晶界上各种硅化合物总量可达 20% 以上。

(2) 硅对喷焊层硬度的影响

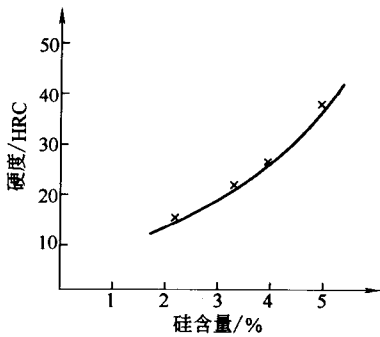


图 5-3 硅含量对喷焊层硬度的影响

粉末中的硅绝大部分固溶于镍奥氏体中,以固溶强化的形式起着硬化作用,图 5-3 表示硅含量对粉末喷焊层室温硬度的影响。从曲线可清楚地看出,随着硅含量的提高,粉末喷焊层的硬度不断升高,当硅含量从 2.5% 增加到 5.0% 时,喷焊层硬度从 15HRC 增加到 37HRC;硅含量从 3.5% 起,每增加 0.5% 的硅,喷焊层硬度几乎就增加 5HRC。成分为 C0.1%、B1.57%、 $\text{Fe} < 5\%$ 、 $\text{Si} 3.3\%$  的粉末喷焊层硬度约为 20HRC;当硅含量增加到 5.03%,其他成分基本不变,硬度就增加到 35HRC。

持续增加硅含量,硬度可继续上升,但上升趋势逐渐趋近水平。同时,过高的硅含量, $\text{Ni}_3\text{Si}$  等脆性相的出现,

喷焊层脆性会逐渐增加,且喷焊时渣子过多,上浮困难,喷焊层有夹渣出现,影响喷焊层的质量。对不同硅含量喷焊层高温硬度测定结果也说明,硅对粉末喷焊层的高温硬度的影响,随着硅含量的增加,高温硬度逐渐升高,但随着使用温度的提高,硅含量对硬度的影响作用越来越小(见图 5-4)。

(3) 硅含量对粉末熔点的影响 合金熔点降低,与固溶体中的硅含量有直接关系,如图 5-5 表明,每增加 1% 的硅含量,粉末熔点下降约  $50^\circ\text{C}$ 。

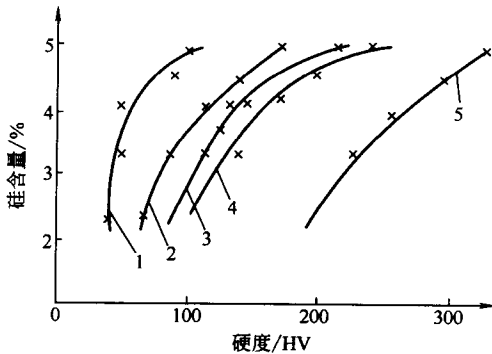


图 5-4 硅含量对室温和高温喷焊层硬度的影响  
1— $700^\circ\text{C}$ ; 2— $600^\circ\text{C}$ ; 3— $500^\circ\text{C}$ ; 4— $400^\circ\text{C}$ ; 5—室温

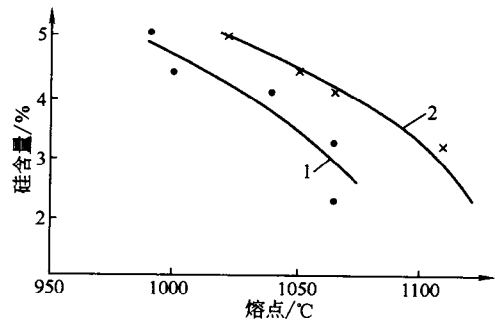


图 5-5 硅含量对粉末的熔点影响  
1—熔化开始温度; 2—熔化终了温度

(4) 硅对粉末喷焊工艺性能影响 把不同硅含量粉末在铸铁母材上进行喷焊试验,用硅含量为 2.45% 的粉末喷焊时,母材热温度很高,粉末重熔困难,熔体流动性差,过高的重熔温度会使母材熔化、上翻。喷焊层中气泡,微裂纹较多,不太可能实施大面积喷焊,这与粉末熔点过高有关。硅含量为 3.5% 的粉末熔点下降至  $1060\sim 1100^\circ\text{C}$ ,粉末熔体流动性明显改善,在母材表面可以大面积喷焊,喷焊层表面平整,具有较好的韧性,喷焊层硬度为 20HRC。硅含量为 4.0%、4.5%、5.0% 的  $\text{Ni-B-Si}$  粉末都能用边喷边熔的一步法喷焊工艺进行喷焊。喷焊层平整、光滑、致密,很少有气泡出现。但随着粉末硅含量的提高(从 3.5% 增加到 5.0%),硬度逐步上升,喷焊层车屑的长度却越来越短,这说明喷焊层的韧性随着硅含量的增加而下降。

(5) 硅对粉末形状等性能的影响 对不同硅含量的 Ni-B-Si 粉末形状进行显微镜观察,发现硅含量对粉末的形状无明显的影响。粉末大部分为球状,有小部分带有尾巴或多边形,也有少数“双脆”形粉末,比较不同硅含量的 20 多炉次的粉末回收率几乎相等,即硅含量对粉末粗细分布率无多大影响,粉末的松装比也大致相同,如含 C $\leq$ 0.1%、B1.2%~1.7%、Fe $\leq$ 6%、Si 为 3.0%~5.0% 的 Ni-B-Si 粉末松装比都稳定在 4.5g/cm<sup>3</sup> 左右,粉末密度也都为 8.2g/cm<sup>3</sup> 左右。

#### 5.5.4.2 硼对自熔性合金粉末性能的影响

(1) 硼对喷焊层金相组织的影响 硼加入镍基粉末中,除极少量固溶于镍  $r$  相,大部分以  $r'$  相即 Ni<sub>3</sub>B 或 Ni<sub>2</sub>B 金属间化合物形式存在。其中部分  $r'$  相还与基体  $r$  相形成  $r-r'$  共晶相,硼是通过  $r'$  和  $r-r'$  共晶相沉淀来强化。合金凝固时,硼优先偏聚在树枝状晶间,在这区域中析出的  $r'$  相密度较大,在枝晶轴内较稀, $r'$  相的数量随着硼含量的增加而增加,当硼含量为 1% 时,组织中的  $r'$  相很少;当硼含量为 2.23% 时,组织中的  $r'$  相明显增加;当硼含量为 3.15% 时,组织中的  $r'$  相可达到 30% 以上。组织中的共晶相形成还与合金冷却速度有关,凝固速度越快,则共晶相少而分散,硼大多以单独的  $r'$  相存在,反之,则  $r-r'$  相数量多,粗大而聚集。

合金中硼,有时还和碳形成碳化物,以粗大块状或沿晶界呈薄膜状析出,此种硬度较高的碳化物相在材料应变过程中往往成为裂纹的发展地,使喷焊层的韧性、塑性明显下降。同时过高的硼含量生成大量的  $r'$  相 (Ni<sub>3</sub>B, Ni<sub>2</sub>B),对焊层的韧性也很不利,这时要求一定韧性的 Ni-B-Si 粉末来说是不适宜的,应避免在合金中加入过高的硼含量。

(2) 硼对喷焊层硬度的影响 众所周知,镍基合金中主要强化相为  $r'$  相,合金中硼含量直接决定了  $r'$  相的多少。也就是说硼对喷焊层的硬度有直接明显的影响,图 5-6 表示了硼含量与喷焊层硬度的关系。它清楚表明 Ni-B-Si 系合金喷焊层硬度随着硼含量的提高而急剧增加。其硬化效应比硅的作用几乎大一倍。

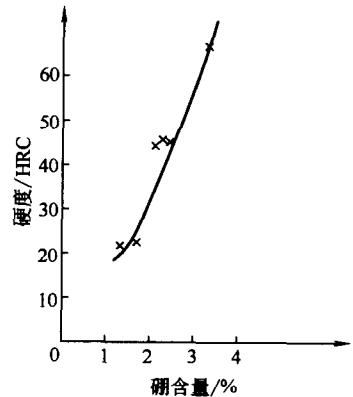


图 5-6 硼含量对喷焊层硬度的影响

$r'$  相晶格结构及点阵常数与  $r$  相似。 $r'$  自  $r$  相中析出往往保持相互共格关系,晶格畸变较小,界面能低。所以, $r'$  相在高温条件下也是相当稳定,这对粉末喷焊层的高温硬度很有利。图 5-7 表示了硼对喷焊层高温硬度的影响。由图可知,高温状态下,硼对喷焊层硬度仍有较大的影响。这一点与硅的行为不全相同。

(3) 硼对粉末熔点的影响 硼对粉末熔点有明显的降低作用。粉末中加入硼生成 Ni<sub>3</sub>B、Ni<sub>2</sub>B、Ni 与 Ni<sub>3</sub>B 或 Ni<sub>2</sub>B 形成低熔点共晶相,使合金的熔点急剧下降。不同硼含量粉末熔点测定结果见图 5-8,当硼含量从 1% 增加到 2.23% 时,粉末熔点下降 60~70℃ 之多。粉末开始熔化温度下降到 1000℃,再继续增加硼含量,粉末熔点下降速率减缓。由于硼硅元素的共同作用,使合金粉末的熔点控制在 950~1100℃ 之间,已成为可能,这样就能保证合金粉末在重熔过程中顺利熔化。另外粉末熔点的降低,减少了热的输入,对减少模具母材性能的恶化和节约能源都有好处。

(4) 硼对粉末喷焊工艺等性能的影响 对不同硼含量的粉末喷焊工艺试验结果表明,过高的硼含量对喷焊成型有不良影响。当硼含量 $\geq$ 3% 时的粉末在重熔时,粉末自行结合成球,



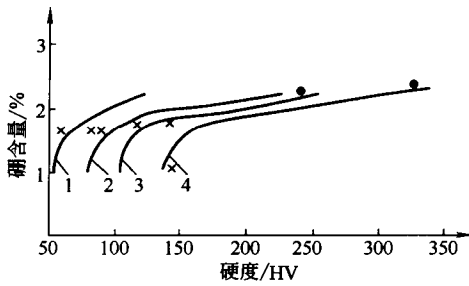


图 5-7 硼含量对喷焊层高温硬度的影响  
1—700℃；2—600℃；3—500℃；4—400℃

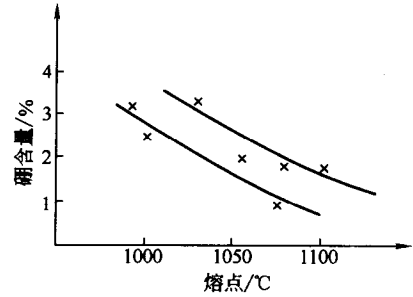


图 5-8 硼含量对粉末熔点的影响

呈菜花状，继续加温，喷焊层不易均匀成片，显示出粉末熔体表面张力较大。经高温重熔后，才能得到平整均匀的喷焊层，但此时模具母材上翻，元素冲淡率高，喷焊层呈灰色。其产生原因，可能与硼含量增加 Ni-B-Si 粉末熔体的表面张力相关，过大的表面张力不能润湿模具母材，使喷焊层无法与模具母材正常结合。联系到过高硼含量生成脆性碳硼化合物等因素，Ni-B-Si 粉末中硼含量不能超过 3%。

试验结果还表明，硼含量对粉末的形状有明显影响。当硼含量大于 1.5% 时，粉末的球形数和粉末流动性有较明显增加。

#### 5.5.4.3 铁对自熔性合金粉末性能的影响

一般镍基自熔合金粉末都含有一定数量的铁。试验结果表明，铁含量从 4% 增加到 12%，对喷焊层的硬度无明显影响，对粉末的熔点也无明显影响。喷焊层金相组织中，各相组织的数量几乎不变，也无新相出现，但铁含量对粉末的形状和松装比有较大的不良影响，随着合金中铁含量地增加，球形粉末减少，不规则的片状粉末增多，粉末的松装比随着铁含量增加而显著减少。但从喷焊工艺试验结果看，含 12% 铁 Ni-B-Si 粉末也能很好进行喷焊，可以得到致密、均匀的喷焊层。因此，在一般情况下，镍基粉末对铁含量不应有过多的限制。

#### 5.5.4.4 碳对自熔性合金粉末性能的影响

在 Ni-B-Si 粉末中，没有形成碳化物的合金元素，碳只能以固溶状态存在，并对喷焊层的硬度影响很小。试验结果表明，碳含量从 0.01% 到 0.3% 变化时，喷焊层的硬度几乎相等。但过高的碳含量有可能与硼形成碳硼化合物，以粗大块状或沿晶界呈薄膜状析出，促使喷焊层塑性下降，这对喷焊层的质量很不利。为此，Ni-B-Si 粉末的碳含量一般限制在 0.1% 以内。

某单位推荐了一组粉末系列如表 5-22 所示。

表 5-22 Ni-B-Si 粉末系列

牌 号	化 学 成 分 / %					硬 度 / HRC	熔 点 / ℃
	B	Si	Fe	C	Ni		
Ni-B-Si-20	1.2~1.7	3.20~3.69	≤6	≤0.1	其余	20	1070
Ni-B-Si-25	1.2~1.7	3.70~4.19	≤6	≤0.1	其余	25	1040
Ni-B-Si-30	1.2~1.7	4.20~4.69	≤6	≤0.1	其余	30	1000
Ni-B-Si-35	1.2~1.7	4.70~5.20	≤6	≤0.1	其余	35	990
Ni-B-Si-40	2.0~2.4	3.20~3.70	≤6	≤0.1	其余	40	1000

#### 5.5.5 玻璃模具自熔性合金粉末喷焊

玻璃模具的热喷焊表面强化处理和焊补修复工作，主要有两个方面的内容：①表面强化

模腔分模面和杯口部位表面强化的镶嵌喷焊；②焊补修复模腔棱角部和模腔分模线损坏部位，以及杯口损坏部位的焊补修复。

为了获得优良的喷焊层，一般要求合金粉末具有良好的自熔性，其熔点低于母材，以及合格的含氧量。对玻璃模具喷焊表面强化和焊补修复而言，除对上述要求之外，还必须选择合适的硬度和结晶温度区间（即流动性问题）。

合适的硬度以能保证较轻快地进行切削加工为原则。在初型模成形模腔分模面口和口模杯口部分的喷焊层的加工，以及内圆与平面交界棱角加工等系属内圆加工。粉末硬度拟在30HRC左右。在这一硬度范围内的合金粉末，有上海钢研所生产的镍-硼-硅25，镍-硼-硅30以及上海有色金属氧焊接材料厂生产的103粉末等。冲头的加工属外圆加工，故粉末硬度可稍提高，在35HRC左右。在这一硬度范围内的合金粉末，有上海有色金属焊接材料厂产101粉末，上海钢研所产Ni-GrEG粉末。这一硬度的粉末，也适于模底的喷焊。对玻璃模具的焊补修复，粉末硬度在20HRC即可，这样利于手工修理。例如，上海钢研所产镍-硼-硅20粉末。

玻璃模具的冲头表面是曲面，而初型模成形模分模面的喷焊是将狭长的喷焊槽堆满，所以要求合金粉末具有较宽的结晶温度区间，以满足在加热重熔时黏度较大喷焊层有一定的流动性，但又不易流失，利于成型，现国产粉末的结晶温度区间在50~150℃之间。

#### 5.5.6 喷焊工艺、缺陷及其预防措施

##### 5.5.6.1 喷焊工艺

(1) 工艺流程 工艺流程的设计，必须考虑综合经济效果，力求做到工序少，易于实施。

① 初型模、成形模分模面预防喷焊：毛坯→预加工分模面→铣喷焊槽→喷焊合金粉末→缓冷→精加工→检验。

② 冲头预防性喷焊：毛坯→喷焊部位加工成型→喷焊合金粉末→缓冷→成型加工→检验。

(2) 工艺方法 工艺方法的选择，要立于确保质量，做到可行简单。一步法的粉末粒径一般应细于0.061mm，两步法适宜的粒径范围为0.105~0.047mm，其中0.083~0.061mm宜占86%以上。

① 边喷边熔一步法：能确保喷焊层结合良好。适用于层厚和面积狭长的喷焊层。工序为表面清理→预热400℃左右→喷洒粉末→重熔→边喷边熔。

② 先喷后熔两步法：喷焊层均匀，适大面积的薄喷焊层。工序为表面清理→预热400℃左右→喷洒粉末→重熔。

(3) 工艺规范 工艺规范的正确与否，直接关系到工艺方法的实际效果，应予正确选用，严格掌握。

① 乙炔压力：0.13~0.15MPa

② 氧气压力：0.3~0.5MPa

③ 火焰：

预热 微碳化焰；

喷粉 略带碳化焰；

重熔 中性焰。

④ 内焰至模具母材待喷焊表面的距离：

一步法 10~15mm；

两步法 喷粉 100~150mm，重熔 5~10mm。

⑤ 粉末烘干：150℃烘 1h。

#### 5.5.6.2 缺陷及其预防措施

喷焊层的剥落是自熔性合金粉末喷焊最严重的缺陷。为了获得合格的合金喷焊层，在工艺上采取以下预防措施。

(1) 严格的表面准备 为使喷焊粉末能够很好地结合在模具母材待喷焊表面，重熔处理时具有良好的润湿作用，待喷焊表面必须进行预先处理。这些表面准备对制取优质的喷焊层具有十分重要的作用，否则，喷焊过程甚至无法进行。

待喷焊表面准备包括：把附在待喷焊表面的油污、铁锈、氧化物彻底干净，碳化层、氮化层以及电镀层等也必须去除。

当待喷焊表面存在大量油污时，清除油污可采用溶剂洗涤和碱洗。溶剂洗涤是采用挥发性的油，如三氯化乙烯等，碱洗是采用氢氧化钠、碳酸钠洗涤，然后用水冲净。由于待喷焊表面受到加热，模具母材缺陷吸入的油脂便会渗出表面，这对喷焊层与母材的结合和重熔处理时润湿作用极为有害。因此这样的模具母材在一般脱脂后，还需加热到 250~500℃，尽量使油脂渗出表面，然后除去。

除掉铁锈、氧化物常用机械方法，如喷砂、用锉刀、砂皮、金属丝刷或砂轮打磨工件表面。当然也可用硫酸、盐酸等进行酸洗。

待喷焊表面最好能有一定的粗糙程度 ( $Ra12.5\mu\text{m}$ )，不宜太光滑，否则会降低喷焊层的结合能力和重熔处理时的润湿作用。

(2) 正确的喷焊操作 喷焊操作包括模具预热、合金粉末的喷涂和重熔。

预热时根据模具的热容量大小及母材种类（主要取决于母材的热膨胀系数和抗氧化性）的不同，选择预热温度。预热温度不能过高，预热时间不能过长，否则会使母材表面严重氧化，在待喷焊表面形成一层氧化膜，造成与合金润湿性能的恶化，导致喷焊层结合不良，以至于假焊合。预热火焰一般用微碳化焰，以避免待喷焊表面的氧化。

边喷边熔一步法工艺的特点是喷涂和熔化在同一操作过程中进行。喷焊时先将待喷焊局部面积预热到 400℃左右，按动喷焊炬的粉阀开关柄间歇周期地送粉，火焰用中性焰或略带碳化焰，操作时内焰与待喷焊表面的距离约 10~15mm。粉末被喷涂在待喷焊表面的局部面积上即由喷焊炬火焰加热熔化，一边喷一边熔，连续喷熔直到整个喷焊面被喷焊层覆盖为止。有时为了防止待喷焊表面氧化，预热后也可先在待喷焊表面焊涂一薄层 (0.2mm) 合金粉末，然后再边喷边熔操作。

先喷后熔两步法工艺的粉末喷涂和熔化是分开进行的。喷焊时，预热到 400℃左右，即开始向待喷焊表面喷涂粉末，喷嘴与待喷焊层的距离约为 100~150mm，喷焊火焰的调节成略带碳化焰。同时，喷焊层与待喷焊表面距离不宜太近，否则由于粉末被火焰加热时间短，受热不足，则粉末撞击待喷焊表面时不易形成叠层。也不宜太远，否则粉末喷到待喷焊层表面的速度大小，喷焊层也不紧密。随着焊炬火焰功率的增大，这距离也相应地增大。喷焊炬缓慢均匀地由左向右移动。力于整个表面喷焊均匀，厚度约 0.2~0.5mm，停止送粉，然后立即用焊炬对模具的喷焊层进行重熔处理，火焰用中性焰，内焰与喷焊层的距离约 5~10mm，角度在 75°左右。重熔凭经验控制，使温度升到喷焊层呈熔化变为平滑光亮出现“镜面反光”，即应转移火焰向前加热另外部位，直到全部喷焊层重熔完毕为止，重熔速度愈快愈好。对于要求更厚的喷焊层，重熔后可再喷焊第二次、第三次直到最终的喷焊层厚度可到 3mm 或更厚。

气孔和夹渣也是自溶性合金粉末喷焊的严重缺陷。

气泡产生的原因就工艺而言主要是由于模具表面清理不妥和合金喷焊层的过烧。当喷焊层过烧时就会产生气泡及对母材融蚀。另外，合金粉末的含氧量过高也会产生气泡而使熔池沸腾。对于玻璃铸铁模具，气泡主要是  $\text{CO}_2$ ，因为  $\text{CO}$  是不溶于金属的。

然而，重熔温度的过低，不利于气泡的浮起。因为熔池中的气体要克服极大的表面张力才能浮出液面。而当熔池温度升高时，熔池的表面张力迅速下降，对气体的逸出是有利的。

夹渣的产生的主要原因是  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$  及其他金属氧化物形成的硼硅酸盐玻璃熔渣。

对玻璃铸铁模具而言，宏观上的气孔和夹渣，损坏了模具表面的光洁和平整度，为了消除这两种工艺缺陷，可采取以下的预防措施：

① 在确保模具母材与合金粉末良好润湿的情况下，要严格控制重熔温度，防止因过烧而使熔池泛泡沸腾。当然，适当提高重熔温度对夹渣析出是有利的，这对黏度较大的合金粉末熔体极为重要。因为温度升高，夹渣颗粒表面张力降低，有利于夹渣的凝聚，同时熔池黏度下降，夹渣的上浮速度正比于夹渣半径  $r^2$ ，反比于合金粉末熔体的黏度。采取垂直式重熔装置，在离心力的作用下，也有利于夹渣的上浮。

② 模具在预加工时，加工面上残留有石墨粉需清除干净。

③ 重熔过程中，熔池的搅动对杂质及气泡的浮起是有利的。

④ 对冲头喷焊，应采用垂直重熔的工艺方法。

日本、美国、德国、瑞士、前苏联等国家自 20 世纪 60 年代开始采用自溶性合金粉末对玻璃模具进行喷焊强化和焊补修复，取得明显成效，模具寿命提高 5 倍，模具成本节约 80%。许多文献指出，现代的玻璃工业不采用自溶性合金粉末喷焊新工艺是不可能长期生存下去的。喷焊工艺应用于玻璃工业的成功，被许多国家的冶金行家认为是自溶性合金粉末喷焊新技术实际应用的一个典范。某企业玻璃铸铁模具热喷焊表面强化处理实例介绍如下。

自溶性合金粉末 Ni460 是玻璃器皿模具表面强化材料，采用氧乙炔焰喷焊工艺将 Ni460 喷焊在模具表面，Ni460 的化学成分（质量分数）见表 5-23。

表 5-23 Ni460 粉末化学成分 (%)

元素	C	B	Si	Cr	Fe	Ni
含量	≤0.15	1.8~2.6	3~4	7~15	≤10	余量

Ni460 粉末及涂层性能如下：

① 0.110~0.045mm (140~320 目) 粒度范围内，松装密度  $\geq 3.0\text{g}/\text{cm}^3$ ，流动性  $\leq 30\text{s}/50\text{g}$ ；

② 硬度 40~60HRC；

③ 涂层厚度 0.8mm；

④ 粉末的氧含量  $\leq 0.15\%$ ；

⑤ 粉末颗粒呈球形，空心粉率极低，喷涂时粉末无脉动输送，没有飞溅现象；

⑥ 粉末熔点 950~1000℃，镜面反应明显；

⑦ 涂层材料与压模母材浸润良好，喷焊时无流失塌陷，涂层致密，喷焊工艺性能十分理想；

⑧ 采用氧乙炔火焰喷焊技术，并选用自溶性合金粉末 Ni460 来强化压制模表面，玻璃器皿压制模的使用寿命比原镀铬压制模提高 5 倍以上。

## 第6章 玻璃模使用、维护及质量管理

### 6.1 模具的安装

制备好的模具须经试模合格后才可办理登记等入库手续，并要精心存放，防止表面损伤；使用模具时，要正确的安装，这是保证产品质量的起码要求。

安装前，要对模具的表面状态进行检验。可拆模还要检查各部件相互配合情况。经过检查达到要求后，才能准许安装，否则不仅会影响产品的质量，也会降低模具的使用寿命。

安装时，要求各部件、夹具、模体、冲头、夹环、模底等的垂直轴线要准确重合，它们的水平接触面之间要互相平行，并与成型机的垂直轴成正交。

### 6.2 模具的润滑

模具不要润滑最为理想，但在运转中还不可能实现，因此，原则上润滑次数尽量少，润滑周期尽量长。

玻璃成型模具工作面涂敷润滑剂的目的是为了防止玻璃料黏附模壁，降低制品成型时玻璃料与模壁之间的摩擦系数，便于制品或料泡出模，以期保证制品质量和提高成型机产量。

模具润滑剂的作用是综合性的。有些润滑剂能在玻璃料和模具工作面之间形成干的或半干的涂层，还有些润滑剂则形成气体夹层（气垫），致使玻璃料和模具之间避免了直接接触。润滑剂蒸发时，模具工作面温度约降低4~30℃。所有的润滑剂都能使玻璃料的黏附温度提高10~70℃。国外多采用固体润滑剂，由石墨和耐热黏结剂构成，这种润滑剂是半干燥的，模具清洗后，涂上一层，并在一定温度下烘干，存放待用。它的优点是成本低，且提高了制品质量和劳动效率，从根本上减少了成型模具表面的碳污，延长了模具的使用寿命，属于这类润滑剂的有美国的KLEEN、KOTE R29、KLEEN MOLD99，德国的GRAFOREL103，荷兰的GREDAG ML12。

润滑剂应具有以下性质：同玻璃料的摩擦系数小，黏附温度高，热导率低，抗氧化性能好。此外，它还应符合卫生要求和容易涂敷。

由此可见，模具润滑剂所起的作用同普通机械防摩润滑剂是不太相同的。

(1) 热模的润滑 热模可采用锭子油、石蜡、松香油、滑石粉等润滑剂涂抹于模腔的内表面，润滑剂受热后，即引起燃烧产生大量气体，达到润滑的目的。

采用润滑剂带来的问题是：产生油烟会恶化劳动环境；一般的机油在高温下会结渣，影响制品表面的质量，而且结留残渣还将增加模具的清洗次数；一般润滑剂成型一个锥型涂抹一次，操作麻烦。润滑剂通常采用胶体石墨，一般采用环烷基润滑油作为石墨的载体，这种润滑剂残留的碳较少，石墨在油中也比较稳定。石墨的加入量为0.05%~0.20%。近年来，已研究成功用润滑涂层代替一般的润滑剂。它具有良好的润滑性、热稳定性和抗水性，润滑涂层的使用时间可达1~6h，大大减少模具清洗次数及显著减少油烟和结垢。与玻璃料相接触的铸铁模具表面如涂以铅化物，能形成一层具有良好的润滑、抗腐蚀和抗氧化性能的坚韧的薄层。这类铅化物有：氧化铅、甲酸铅、醋酸铅、硫氰化铅、氰化铅及其他任何一种能在高

温下热解的有机铅化物。采用这种润滑涂层可大大延长模具润滑操作间隔时间。

铅化物是以喷涂的方式涂于模具工作表面的，喷涂前一般须将铸铁模具表面上的金属氧化物、油垢等污物清除干净，以保证涂层粘牢在模具表面上。清洗后将模具表面预热到150~515℃，最好是预热到480℃，预热时间视铸铁成分为20min~2h不等。然后把配制好的铅化物喷涂到模具表面上，最好一次喷涂成所需的涂层厚度，这样才能使涂层粘牢在表面上。涂层磨损后尚可再涂，但必须注意防止基体金属过热（温度不要超过527℃）。

喷涂后，应将被涂表面抛光擦净。实验证明，涂层厚度为0.03~0.05mm左右，润滑和耐磨性能最为理想。但即使只有0.005mm厚涂层，也会显著改善润滑性能。

采用氧化铅时，一般用氧-乙炔喷枪把氧化铅粉末喷涂到模具表面上。气焰喷涂的优点是不用黏结剂就能使固体润滑剂粘牢在铸铁表面上，另外它不需要在加热炉中进行熔化或热处理。

也可用氧化铅、氧化硼（ $B_2O_3$ ）和石墨的混合物作为润滑涂层。氧化硼在此起助焊剂作用，此外它还能降低混合物的熔点，从而降低喷涂操作温度。使用这种混合物时，需将三者以一定比例溶于酒精中，制成悬浮液，喷涂于未被加热的模具表面上，然后把模具表面至少加热到120℃，并保持约30min使涂层干透。干燥后将模具再加热到更高温度并保持一定时间，如在527℃温度下保持15min。

上述三种原料的配比伸缩性很大。实验证明，下列配比效果良好：氧化铅85%~99%，氧化硼10%~0.5%，石墨5%~0.5%。尽管氧化硼具有上述的良好作用，但由于它可能同玻璃料发生反应，故仍以不用或少用为佳。

使用醋酸铅作为涂层料时，铸铁表面清洗后须预热并保温。实验证明，预热到205~372℃并至少保温15~20min能获得令人满意的效果。此种涂层料系制成浓度为20%的醋酸铅水溶液，喷涂到预热过的表面上，然后再加热干燥。为了达到所需涂层厚度，最好分几次喷涂。为使涂层得以干燥并部分热解，每次喷涂前均须加热至315℃。

以制瓶用铸铁初型模的喷涂操作为例介绍如下。

先用320号砂纸擦拭尘屑，然后用酒精清洗，洗后将之加热至215℃。按4份氧化铅粉末和1份石墨混合制备涂料，装入氧-乙炔喷枪喷涂。输送粉末涂料的压缩空气压力为0.21MPa，氧气压力为0.057MPa，乙炔为0.029MPa，加石墨有助于防止PbO结块，也有利于粉末喷涂。喷嘴距模具表面的喷涂距离为100mm，模具喷涂转台的回转速度为3m/s。涂层厚度为0.025mm。喷涂PbO时，初呈黄色，加热后呈灰黑色。

使用氧化铅涂料喷涂模具的效果参见表6-1所列。

表 6-1 氧化铅涂层的摩擦系数

编 号	氧化铅/%	石墨/%	氧化硼/%	使用 2h 后摩擦系数
I	80	20	—	0.2
II	95	5	—	0.3
III	100	—	—	0.25
IV	90	5	5	0.225

注：在同样条件下，未经喷涂处理的模具之摩擦系数为0.38。

采用硅酮（聚硅氧烷）作润滑剂，可以得到更为令人满意的效果。由于硅酮不易挥发，只需简单地喷射在热的模腔表面上即能均匀地形成涂层。使用硅酮时可使涂敷时间间隔由

10~20min 延长到 1~6h，减少成型机周围的烟雾，油烟和污物。

(2) 敷模的润滑涂层 与热模不同，在生产薄壁空心玻璃制品时，模具（敷模）通常采用较薄的铁壳和润滑涂层复合的形式。涂层由基物、填充物和模具粉三种物料组成。基物有干性油、亚麻仁油、橄榄油等。填充物包括锌白、红丹、松香等，填充物（锌白和红丹）含量对涂层吸水率的影响见表 6-2 所列。模具粉有木屑、木炭粉、石墨粉等。

表 6-2 锌白和红丹的含量对涂层吸水率的影响

填充物	填充物含量 (质量百分数)/%	涂层吸水率/%	填充物	填充物含量 (质量百分数)/%	涂层吸水率/%
红丹	15	60.4	锌白膏	15	41.8
红丹	25	42.5	锌白膏	25	23.6
红丹	40	18.9	锌白膏	40	14.2

注：涂层的基物为干性油，模具粉为桦木屑。

涂敷涂层时，先将基物、填充物和模具粉按一定比例调成黏稠糊状料，用软刷均匀地涂在预先清洗过的模具内表面上，并再撒上一层模具粉，最后再在一定温度下保温，使之固定。

这种涂层采用相对较软和多孔材料，可以吸水。当它吸水后，与进入模腔的玻璃料接触立即产生水蒸气，润滑模具，阻止了玻璃料与模腔内壁的密切接触。吸水和蒸发水循环进行，便构成了润滑作业。

## 6.3 模具的清洗和修理

### 6.3.1 模具的清洗

由于使用润滑的结果，模具表面结垢，如不及时清除，必然要影响产品的质量。对清洗的要求是去污垢，但对基体损失要最少，且应使表面光滑，另一方面清洗方法的劳动效率要高。

#### 6.3.1.1 污垢的种类

(1) 氧化层 在成型过程中，温度达 500℃左右时，模具表面在玻璃料和空气中氧的作用下，生成复杂的硅酸盐物质，就是所谓的氧化层。氧化层厚度与使用时间长短成正比。当氧化层达到一定厚度时，易脱落而黏附在玻璃制品表面，造成产品缺陷。

(2) 积炭层 润滑剂在高温下燃烧和炭化，将灰分和碳化物黏结在模壁表面，这就是积炭层。它的存在会影响模具导热，致使产品表面粗糙。

(3) 油污 由于润滑剂施用量过多，造成局部不完全燃烧，残留的油积在模壁表面构成油污。

#### 6.3.1.2 清洗的要求和方法

模具的清洗分两步进行：先清洗污垢，后抛光修整。

(1) 模具清洗要求 模具的清洗以不损坏模具的花纹、图案，尽量减少模具的磨损，达到要求的表面粗糙度，延长使用寿命为目的。此外，还要考虑减轻劳动强度，保证工人健康，注意提高清洗修整效率，适应机械化自动化发展的要求。

#### (2) 模具的清洗方法

① 一般清洗法 模具一般采用砂纸和煤油清洗，直到垢皮和碳沉积物除去，然后用粒度为 80 $\mu\text{m}$  的金刚砂或适当的砂布进行修整。定期的修整用金刚砂或金刚砂布进行。最初用粒度为 80 $\mu\text{m}$  的，然后用 50 $\mu\text{m}$  的，最后用 30 $\mu\text{m}$  的。模具的抛光，先用硬脂酸或其他油脂涂其表面，再用最细的研磨粉研磨，最后用抛光膏精抛。这种方法的缺点是进度太慢，并可

能引起模腔尺寸的精度下降。

② 喷砂清洗法 根据表面质量的要求,采用干的或湿的磨料对模具表面进行喷砂处理,喷砂后有时尚需进行抛光。干法磨料可用铅质黏土粉或氧化铝粉等。湿法用石英、刚玉、 $10\sim 15\mu\text{m}$ 粒度的玻璃珠,与水混合制成喷磨剂,由泵送往喷枪,利用压缩空气加速喷射到需清洗的部件上。

以上两种方法都要求操作人员有一定的熟练程度和经验,清洗时要精心,一不小心就会损坏棱角和表面,以致使模具过早磨损。

③ 化学清洗法 分为酸碱法和盐浴法。

a. 酸碱法 将有污垢的模具交替在碱和酸液中脱脂去垢,通常将模具在 $2.5\%\sim 5\%$ 的苛性钠溶液中煮沸 $30\text{min}$ ,取出用清水冲洗 $10\text{min}$ ,擦去污垢。第二步将模具放在 $3.5\%\sim 8\%$ 的稀硫酸溶液中 $5\sim 10\text{min}$ ,温度保持在 $55\sim 65^\circ\text{C}$ ,取出用清水清洗。最后用 $1\%$ 浓度的碱溶液中和残留的酸。这种方法对模具有腐蚀作用。

还有一种方法是将 $25\text{g}$ 乙二胺四乙酸,加入 $1\text{L}$  $25\%$ 氢氧化钠溶液中,温度保持 $90^\circ\text{C}$ ,处理模具时间 $30\text{min}$ ,再用水洗净,这种方法只适用于轻度结垢的模具。

b. 盐浴法 将苛性钠、硝酸钠、高锰酸钾混合熔融,温度保持在 $425\sim 480^\circ\text{C}$ ,将模具放入 $20\sim 50\text{min}$ ,取出慢慢冷却至 $250^\circ\text{C}$ ,再投入 $5\%$ 的甲酸溶液中,时间以不使酸液侵蚀模金属表面为准,取出有喷射水流洗涤。

④ 电化学法 在酸性、碱性或中性的电解质溶液中,将有污垢的模具作正极,负极或正负(交换)极,通强电流进行电化学清洗。这种方法模具金属不受腐蚀,只除掉模具表面的氧化层。为了使清洗工作能顺利进行,模具预先必须做脱脂处理。用 $15\%$ 碳酸溶液作电解液,用碳作阳极,模具为阴极,通过 $10\text{A}/\text{dm}^2$ 电流 $3\text{min}$ ,可去除轻度的结垢,对于严重脏污的模具,必须先用碱液清洗除去油脂,随后进行电解处理。也可用含少量乙二胺四乙酸和 $25\%$ 的氢氧化钠为电解质,碳棒和模具各为一个电极。用 $10\text{A}/\text{dm}^2$ 的电流通电 $10\text{min}$ ,每隔 $25\text{s}$ 调换电极一次,但最后一次模具应为阳极。这个方法也适用于轻度结垢的模具。

前苏联的研究证明,清洗效果最好的是以盐酸和醋酸的混合作为电解质溶液,同时加 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (质量浓度为 $2\sim 3\text{g}/\text{L}$ )作为阻尼剂,以保护铸铁模表面免受酸液腐蚀。模具经多次清洗处理后,表面光洁如初。表面粗糙度为 $R_a=0.8\sim 0.34\mu\text{m}$ (与原始表面状态有关),表面无腐蚀。

⑤ 铵盐法 将铵盐粉(如:碳酸铵、硫酸铵、硝酸铵或尿素等)用 $6.86\times 10^5\text{Pa}$ 的压缩空气向热模喷射。由于铵盐颗粒的机械摩擦和铵盐遇热分解猛烈放出氨气的作用,使氧化层和污垢去掉。此法可在停机时不取下模具的情况下进行。

⑥ 超声波法 以某种溶剂作为介质,利用超声波清洗模具,是具有发展前途的一种方法。例如:把钛酸钡换能器直接浸在对电不感应的清洁溶剂如三氯乙烯中,当换能器通电产生快速振动时,对模具产生一种强烈的洗擦作用,除去垢皮和脏污。

### 6.3.2 模具修理

模具损伤形式大都表现为成型腔表面、棱角及分模面损伤。其产生原因很多,诸如模内残留有冷硬玻璃、分模面上有异物、模具冷却过分和过快产生裂纹、硬物撞击、模具装配不当、模具材料热膨胀、两个表面之间彼此猛烈撞击、分模面变形、成型压力过大、模具温度高、润滑不当及模具在夹钳内固定不牢等原因都会造成模具损伤。

在使用过程中,模具的损坏大多是由于操作工人维护保养不够造成的,对成型机和模具



的缺陷与故障产生原因不明、排除不力，往往也会造成模具损坏。

模具修理的主要目的是：

- ① 使模具保持最佳状态；
- ② 使模具获得尽可能长的寿命。

正确修理模具，需要一些经验。日本瓶罐玻璃厂的模具大约每隔两天就换下检查；美国瓶罐玻璃厂的模具约使用 72h 检修一次。

模具型腔和配合面的磨损，以及模具机械损伤往往是由于使用、制造、运输和保管不经心造成的。模具成型腔或棱角的损伤多半是由于撞击引起的。有时机械损伤是由于材料的应力或陷患（如铸件的缩孔砂眼等）造成的。在制瓶机上或机旁处理和修理模具，是很多玻璃厂模具报废的重要原因。模具除了发生损坏，模具没经预热而突然受到温度变化，或在非常热的模具上喷吹冷风，均易造成模具材料破裂，降低使用寿命。

已损伤的模具究竟是否值得修理，要看新零件费用与修理成本如何而定。有时因重新制造时间来不及，不论成本高低只好修理，否则会影响生产计划的完成，这种情况自当别论。

修复受损的模具可采用焊接、加衬、铆接、变更尺寸及热喷焊（详见第 5 章）等方法。简介如下。

(1) 焊接 只要模具材料允许，所有受损部位均可采用焊接方法修复。用电弧焊局部加热模具，不致产生裂纹或变形。电焊条的材料应与模具材料一致或性质接近。电焊条要位于模具成型腔之外的平面上，以免烧坏好的地方。焊接时，应以最短的距离把焊条送到受损部位（见图 6-1），然后再退至成型腔之外原来所在的平面。焊补时，要将模具预热至暗红色，焊好后将模具徐冷，以期防止模具产生裂纹和变形，降低焊接部位的硬度。焊补后，模具的焊补部分应进行磨削加工。

(2) 加衬 衬板和模具零件的修配表面要按最高精度进行加工，力求其两者材料一致，紧密配合。图 6-2 所示为几种常用的衬板，它们一般都需要补充加工，使之达到所需的轮廓。

(3) 铆接 常用于修理两半模具的棱边和填补受磨损部位。用这种方法只能修复小面积损伤（图 6-3），另外还可用此法减小由于摩擦面的磨损而形成的间隙。

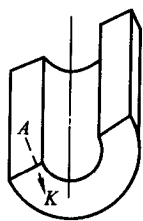


图 6-1 焊接模具受损的棱角  
A—电焊条所在的位置；  
K—电焊条离开焊接部位的方向

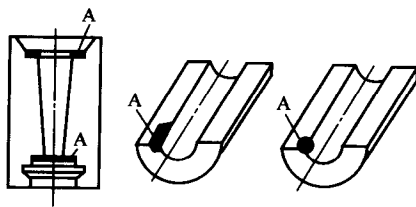


图 6-2 模具受损部位加衬板 A

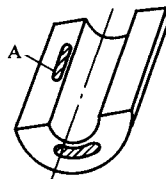


图 6-3 铆接修复受损的棱面  
A—铆接部位

(4) 变更尺寸 一般利用变更模具其他尺寸的方法，来校正必须遵守一定公差范围的尺寸。常用的作法是：降低分模面尺寸、提高或降低模底凸起高度、增加模腔直径、降低模具或其零件的高度等。

## 6.4 提高模具使用寿命

国内外部分工厂铸铁玻璃制品成型模具的使用寿命见表 6-3（化学成分见表 5-4）。

表 6-3 国内外部分工厂铸铁玻璃制品成型模具的使用寿命

使用单位	普通铸铁/(万次/模)	合金铸铁/(万次/模)	备注
捷克制瓶厂	—	12.4~22.8	啤酒瓶模具
日本制瓶厂	—	10	—
日本制瓶厂	—	30	—
北京玻机二厂	8	35	螺口瓶模具
上海玻璃铸造厂	—	16~20	玻璃器皿、瓶子模具
广州玻璃模具厂	10~12	—	酒瓶模具
南通轻工机械厂	2.5~3.0	22	酒瓶模具
沈阳玻璃模具厂	7.5	—	螺口瓶模具

国外模具材料主要为耐热铸铁、合金结构钢或合金工具钢，再经表面强化处理，模具寿命高达 40 万~50 万次。国内普遍仍采用灰铸铁制造玻璃模具，普通铸铁的一次上机连续使用寿命为 2 万~5 万次，最终使用寿命仅 7.5 万~12 万次，与国外差距较大。

本书介绍的国内外各种研究成果和新型模具材料，对显著地提高玻璃模具的使用寿命有重要的参考价值。除此以外，影响玻璃模具使用寿命的其他一些因素如下：

① 玻璃制品的尺寸、精度和材质的硬度：玻璃制品的尺寸公差越严，精度越高，模具寿命越短，玻璃材料为硬质料（硬度高）时，成型温度高，模具寿命下降。

② 模具设计制造和模具材料以及强化处理：模具采用合适的形状设计、公差、减少相互摩擦的结构，对模具寿命有利；模具材料应具有良好的耐磨性能和稳定的金相组织等；可采用热喷焊表面强化，激光合金化处理等新工艺和合理的热处理制度。

③ 模具的冷却、润滑、使用、清洗、修理和维护。

总之，提高模具使用寿命是一项综合技术，它涉及到玻璃制品的设计、玻璃模具的设计与制造、玻璃模具的材料，以及合理的生产操作使用和精心管理。

## 6.5 质量管理

现代化工厂之所以能高效率生产高质量的玻璃制品，是因为考虑到：

- ① 最重视人的因素和质量管理与控制；
- ② 不断减轻员工劳动强度；
- ③ 引进最新设备和技术；
- ④ 集技术经验，运用先进灵活的玻璃制品及模具的 CAD/CAM 系统；
- ⑤ 采用高效的物资管理，建立全球网络采购和销售系统；
- ⑥ 建立高尚的企业文化；
- ⑦ 防止污染环境，坚持可持续发展。

国外高效高品质的玻璃瓶罐，除了技术水平外，一套合理的管理制度和严格的管理值得我们借鉴，现将日本东洋玻璃公司的质量管理体系介绍如下。

### 6.5.1 质量管理基本原则

基于“瓶轻礼义重，个个连客心”的原则，对每一个产品实行质量保证或质量管理。并把以公道的价格提供质量公道的产品作为质量管理的一大目标来考虑。

### 6.5.2 质量管理体系的特点

(1) 注重产品机能性与经济性的质量管理 改变关于机能性缺陷（主要缺陷）和外观缺陷（次要缺陷）的检验比重，采取注重主要缺陷的质量或检验体制。

(2) 及时反馈，以促使生产过程安定化 在制造过程中，实行精细的生产过程检验，当

某过程一有缺陷苗头时，能及时准确把握，并力求杜绝产生缺陷的根源，提高生产能力。

(3) 利用检验设备，加强全量质量大检验 为了杜绝关于机能性缺陷（主要缺陷），引进多种检验设备，以提高检验的速度和准确性。

### 6.5.3 关于质量标准及质量规格的规定

#### 6.5.3.1 关于质量标准的规定

作为质量规格基础的质量标准，是以以往的实际工作成绩和用户提出的质量要求为中心制定而成的。其次，在制定质量标准过程中还考虑到如下几点。

(1) 机能性 特别是必须坚守法制（工业标准、药品法、食品卫生法、计量法、产品安全法、出口检验标准）保证质量。

(2) 质量的市场调查 定期实行质量的市场调查，了解用户的要求，掌握质量水平的动向。而且，在制定质量标准时，把这一质量信息考虑在内也是有必要的。

(3) 检验工序能力 在制定质量标准时，还应考虑检验工序能力的问题。检验工序能力不足的地方，尽最大努力加以改善。

#### 6.5.3.2 关于质量规格的规定

综合用户对规格技术的要求及使用条件，由该当产品的制造厂质量检验科制定其质量规格。

### 6.5.4 检验概况

实行产品质量保证，进行以下三项检验：

- ① 原材料、资材的接收检验（验收）；
- ② 生产过程检验；
- ③ 最后检验。

制造及检验概况如图 6-4 所示。又由于生产终日不停，质量保证的重点放在生产过程检

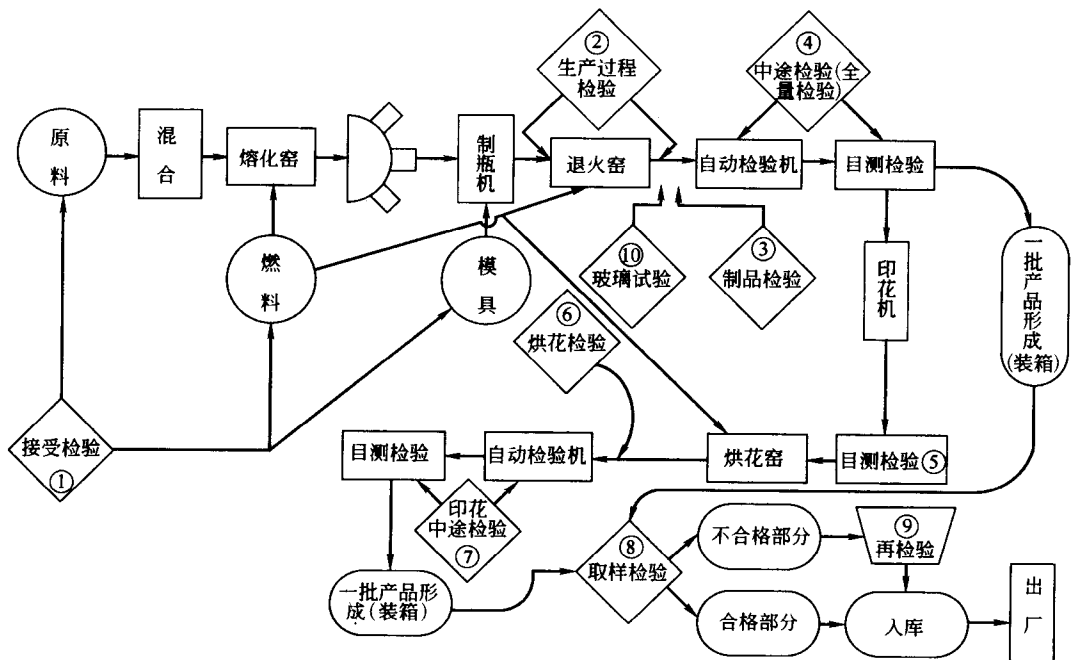


图 6-4 制造及检验简图

验上，并相应制定了这样的体制：生产过程取样检验；全生产线全量检验。

#### 6.5.4.1 生产过程取样检验

对于产品的尺寸、强度等计量值的特性取样检验。

生产过程检验的概况如表 6-4 所示。

表 6-4 检查方法一览表

生产过程图号码	检查项目	检查周期	方法及鉴定
①	接受检验		
	(1)原料		
	石英砂	每次进货时进行	参照 JIS-M-8852, 或根据公司验收标准鉴定
	纯碱	根据需要进行	参照 JIS-M-1201, 或根据公司验收标准鉴定
	石灰石	根据需要进行	参照 JIS-R-9011, 或根据公司验收标准鉴定
	碎玻璃	根据需要进行	依据生产厂试验分析标准
	(2)燃料		
	重油	每次进货时进行	依据制造单位成绩或根据公司验收标准鉴定
	液化石油气	每次进货时进行	依据制造单位成绩或根据公司验收标准鉴定
	(3)模具		
成形模	每次进货时进行(全量或取样)	测定装料尺寸、外观或根据模具验收鉴定	
初型模	每次进货时进行(全量或取样)	测定装料尺寸、外观或根据模具验收标准鉴定	
瓶口模	每次进货时进行(全量或取样)	测定尺寸、外观或根据模具验收标准鉴定	
②	生产过程检验		
	(1)制造中瓶的检验		
	外观检验	每小时一种模号一个	(制造现场取样检验制造中瓶) 目测检验。根据产品规格鉴定
	尺寸检验	每小时一种模号一个	用各种测量规。根据产品规格技术鉴定
	质量检验	每 20min 检验 5 个	用秤。记入管理图加以管理
	初产品检验	换模具时一种模号一个	用目测和测量规, 根据产品规格及产品规格技术书鉴定
	(2)生产过程检验		
	外观检验	每小时一种模号一个	(退火窑出口取样检验) 目测检验。根据产品规格鉴定
	尺寸检验	每小时一种模号一个	用各种测量规。根据产品规格技术
	质量检验	每小时抽查取样五个	用秤, 记入管理图加以管理鉴定
壁厚检验	第 4h 一种模号一个	用测厚千分表, 根据产品规格技术鉴定	
歪斜检验	第 4h 三个(退火窑出口左中右计三个)	用歪斜测定器(JIS-S-2305 法), 根据产品规格技术书鉴定	
耐压检验	换班时一种模号一个	用耐压试验机(JIS-S-2302 法), 根据产品规格技术书鉴定	

续表

生产过程图号码	检查项目	检查周期	方法及鉴定
③	制品检查 质量 容量 尺寸 耐热	一天一次,一种模号一个 一天一次,一种模号一个 一天一次,一种模号一个 一天一次,一种模号一个	(退火窑出口取样检验) 用秤。记入 $\bar{x}-R$ 管理图加以管理 用玻璃滴定管 用游标卡尺,千分尺等 用耐热试验机(JIS-S-2304法) 根据产品规格技术书鉴定
④	中途检验 (1)自动检验机  (2)目测检验	全量  全量	(退火窑出口取样检验) 配合各种裂纹检验机瓶口孔径(瓶颈)检验机、冲击模拟器、瓶口平度检验机、形状变形检验机 在传动线上对外观进行目测检验
⑤	印花工序检验(1) (目测检验)	全量	(印花后即刻全量检验) 在传动线上对外观进行目测检验
⑥	印花工序检验(2) (烘花检验) 烘完前  垂直度  歪斜	当烘花窑空网时取左中右十来个  当烘花窑空网时取左中右十来个  每4h三个	(通过烘花窑后即刻取样检验)  目测检验 根据印花规格技术书鉴定 用垂直度测定器 根据产品规格技术书鉴定 用歪斜测定器(JIS-S-2305法),根据产品规格技术书鉴定
⑦	印花中途检验 (1)自动检验机 (2)目测检验	全量 全量	各种裂纹检验机 在传动线上对外观进行目测检验
⑧	取样检验 外观检验  质量  尺寸	设1h的生产量为一个单位 ( $n=80\sim 120$ 个)  设1h的生产量为一个单位 ( $n=80\sim 120$ 个)  设1h的生产量为一个单位 ( $n=80\sim 120$ 个)	Ac Re A级缺陷 0 : 1 B级缺陷 1 : 2 C级缺陷 3 : 4 用秤,根据产品规格技术书鉴定 用各种测量规 根据产品规格技术书鉴定
⑨	再检验 (1)取样检验不合格品的再鉴定 (2)生产过程次品的再鉴定  (3)返销品的再鉴定  (4)再鉴定品的取样检验  (5)要再鉴定品的批量区分		上述在取样检验中不合格的部分,在审查不合格内容的基础上再经甄别 取样检验以外,质量管理科对认为是生产过程不稳定的批量与(1)一样进行再甄别 为掌握造成返销品的原因,亦进行再甄别 为确认在(1)(2)(3)再甄别中是否除去了次品,进行如前所述的取样检验 对要再鉴定品贴上隔离用标签,放到远离合格品的要再鉴定品区保管

生产过程图号码	检查项目	检查周期	方法及鉴定
⑩	玻璃试验		
	玻璃分析	每月一次以上	用 JIS-R-3101 法或根据出厂标准鉴定
	相对密度	每天一次	依据试验分析标准或根据社内标准鉴定
	软化点	每周两次	依据试验分析标准或根据公司标准鉴定
	碱溶出	每月一次	依据药品法,不超过 N/50H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> …… 2.5ml
	色调	每周一次以上	用分光光度仪,根据产品规格鉴定
	气泡	每天一次	依据试验分析标准,根据产品规格鉴定

## 6.5.4.2 全生产线全量检验

全生产线全量检验以检验设备为主,兼用目测检验。使用的检验设备的种类及其用途如表 6-5 所示。

表 6-5 使用的主要的检验设备

检验设备		主要检验对象
FP-S	Furguson drive portable 5 machine	瓶口裂纹、瓶底裂纹、封装面波纹、封装面欠缺
FP-515	Furguson drive portable 515 machine	瓶口裂纹、瓶底裂纹、封装面波纹、封装面欠缺
W&D	Dual warp and dip gauge	封装面欠缺、封装面波纹、瓶口封装倾斜、瓶高
SSG	Sealing surface gauge	封装面伤痕
SSG-C	Scaling surface gauge-cock	瓶口封装面倾斜(小口瓶用)
OR	Out of round gauge	瓶体欠圆、瓶体塌陷、瓶体鼓突(圆瓶用)
RT	Ribbon tear detector	瓶体过烧
RFG	Radio frequency glass thickness gauge	瓶体壁厚
BHE	Basic handling machine east coast	各处裂纹、瓶体欠圆
BHT	Basic handling machine Toyo glass	各处裂纹、瓶体欠圆
TCI-152	Toyo check inspector-150 BPM model 2	各处裂纹
GAP-10	Gauge and plug 10 heads	瓶口孔径(小口瓶用)
SH-G	Single head gauge	瓶口孔径(小口瓶用)
SH-W	Single head air warp	封装面波纹、瓶高
PS	Preselector	瓶高、体径、垂直度
TPS	Toyo's preselector	瓶高、体径、垂直度
DWD	Down ware detector	垂直度、塌瓶
TIS-150	Toyo impact simulator-150	瓶耐冲击强度
TRI	Toyo roll impact simulator	瓶耐冲击强度
ICK	Impact simulator K type	瓶耐冲击强度
BIT	Bottom impact tester	瓶耐冲击强度
BSD	Bird swing detector	瓶体拉丝
OHG	Optical height gauge	瓶高
BAS	Bulged and sunken sidewall detector	瓶体塌陷、瓶体鼓突(异形瓶用)
SAW	Solid state air warp detector	封装面波纹
LD	Label detector	有无雕刻面
IDG	Inside diameter gauge	瓶口内径、瓶口外径(小口瓶用)
LG-2	Leonor gauge 2 heads	垂直度(主要用于异形瓶)
LG-4	Leonor gauge 4 heads	垂直度(主要用于异形瓶)

### 6.5.5 索赔处理体制

一旦遇到索赔的情况，将圆满有效地加以处理。为此制定了如图 6-5 所示的体制，以加以执行。

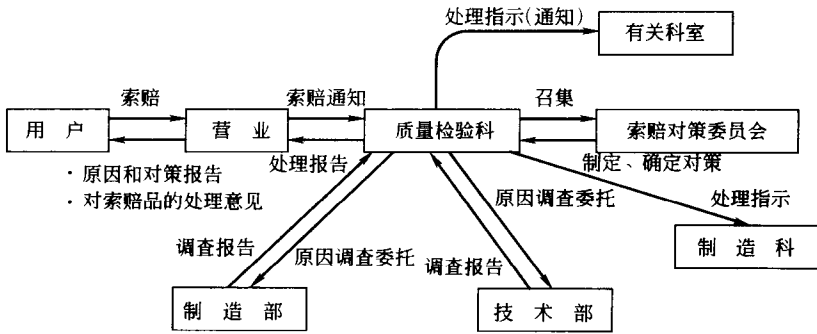


图 6-5 索赔处理体制

## 第 7 章 玻璃模具设计实例

### 7.1 初型模设计

以德国行列机大口轻量瓶初型模设计为例。

#### 7.1.1 参数确定

##### 7.1.1.1 锥型设计参数

一般有肩、直身的大口瓶，常采用的初型模锥型是由肩部圆弧台体、中间圆锥体或圆柱体，以及下部圆弧台体组成。其腰部和凸出部分是为了保证瓶罐的薄壁均匀而设计的。因此，初型模锥型形状参数可确定如下。

(1) 延伸量  $a$  德国行列机玻璃料温较高，机速较快；模具采用垂直深孔冷却结构；该机型上生产大口轻量瓶时，延伸量按下式计算（本节的所有参数参见图 7-1、图 7-2 和图 7-3）：

$$a = (0.065 + 4 \times 10^{-4} W) H \quad (7-1)$$

式中  $W$  —— 瓶罐质量，g；

$H$  —— 瓶口以下高度，mm。

德国极轻量延伸量计算公式：

$$a = (0.05 + 3.53^{-4} W) x H \quad (7-2)$$

式中  $x$  —— 系数，在 0.75~1.75 之间，取决于轻量化程度。

(2) 初型模锥型总高度  $H_0$  它是由瓶口以下高度  $H$  减去延伸量  $a$ 、瓶底部凹深度  $h_t$ 、闷头深度  $H_t$ （闷头深度过深会导致闷头痕偏斜而影响产品质量，一般取 3~5mm），以及瓶颈在口模中的高度  $H_g$ （一般为 1.5~3mm）。计算公式如下：

$$H_0 = H - a - h_t - H_t - H_g \quad (7-3)$$

(3) 闷头直径  $\phi_t$  它是瓶的特定部位直径和瓶容量的函数，其简化计算公式如下：

$$\phi_t = b \phi_s \quad (7-4)$$

式中  $b$  —— 闷头直径设计常数，见表 7-1；

$\phi_s$  —— 瓶身相应部位直径，若瓶罐为圆锥体时，取相应部分平均直径，mm。

表 7-1 闷头直径设计常数

瓶的容积/ml	<200	200~300	300~450	450~600	>600
常数 $b$	0.61~0.57	0.57~0.55	0.55~0.52	0.52~0.49	0.49~0.45

(4) 圆弧台体高度  $h_1$  它是指初型模腔腰部与瓶口相连部分圆弧台高度，计算公式如下：

$$h_1 = k H_0 - h' \quad (7-5)$$

式中  $k$  —— 系数，0.40~0.65；

$h'$  —— 1~1.5mm。

(5) 圆弧台中段高度  $h_2$  它是指锥型腰上端的圆弧台高度，计算公式如下：

$$h_2 = (H_0 - h_1) A \quad (7-6)$$



式中  $A$ ——0.55~0.80, 瓶身较长的取大值, 瓶身矮的取小值。

(6) 圆弧台上段高度  $h_3$  它是指与闷头部相连的圆弧台体高度, 计算公式如下:

$$h_3 = H_0 - h_1 - h_2 - h' \quad (7-7)$$

(7) 锥型腰部直径  $\phi_x$  可根据玻璃料质量 ( $W$ ) 按下式计算:

$$\phi_x = 0.067 \times 10^2 \times \sqrt[3]{W} \quad (7-8)$$

(8) 圆弧凸出部直径  $\phi_s$  它是指锥型腰部上端凸出部分最大处的直径, 计算公式如下:

$$\phi_s = \phi_x + (0.0 \sim 0.1) \phi_s \quad (7-9)$$

(9) 颈部直径  $\phi_j$  确定颈部直径应考虑瓶的收缩量和瓶在成型过程中配合要求, 一般比瓶的公称直径大 0.10~0.50mm, 比成型模颈部直径小 0.10~0.35mm。

(10) 锥型腰部圆弧半径  $R$  它是指锥型腰部直径处和颈部直径  $\phi_j$  相交的大圆弧, 且腰部直径  $\phi_x$  是圆弧  $R$  的一个切点, 可根据几何方法列出下式:

$$R = \frac{4h_1^2 + (\phi_j - \phi_x)^2}{4(\phi_j - \phi_x)} \quad (7-10)$$

(11) 锥型腰部圆弧  $R_1$  和凸出部圆弧  $R_2$  可根据腰部直径  $\phi_x$  和凸出部位最大处直径  $\phi_s$  作  $R_1$  和  $R_2$  的两圆弧外切, 靠近闷头直径的小圆弧  $r$ , 与闷头直径  $\phi_t$  相交和凸出部分圆弧  $R_2$  内切。

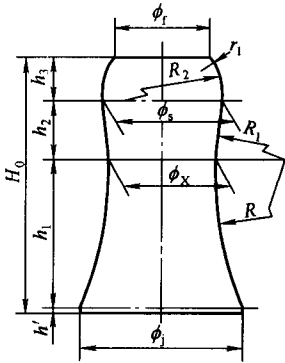


图 7-1 初型模型腔轮廓

根据上述参数, 绘制初型模型腔轮廓图 (图 7-1)。

#### 7.1.1.2 冲头设计程序及参数确定

冲头成型部分一般由一个半圆球、一圆锥台体和两个圆弧台体四部分组成。

(1) 冲头设计程序 冲头成型部分的设计一般应在瓶样图上结合锥型形状进行综合考虑。根据经验, 应从瓶口端面下  $H_x$  (3~4mm) 高度处 (高度为  $H_x$  圆锥台斜度  $\alpha$  角为  $3^\circ \sim 4^\circ$ ), 与瓶口外径保持 2.5~3mm 间隙, 在  $H_x$  高度的平面线上, 作一与水平方向成  $\alpha_1$  角 ( $3^\circ \sim 4^\circ$ ) 的斜线, 在此斜线上作一颈部圆弧  $r_1$ , 与初型模锥型顶部直径  $\phi_j$  保持 3~3.5mm 间隙, 均匀过渡到冲头顶部圆球, 直径与锥型间距为 6.5~9.5mm, 玻璃瓶罐重容比大的取大值, 重容比小的取小值。

(2) 冲头顶部与锥型料泡底部的间距  $s$  一般取间距为 4.5~15mm, 轻量瓶取小值, 重量瓶取大值, 计算公式如下:

$$s = t + 0.01W \quad (7-11)$$

式中  $t$ ——瓶底最小厚度, mm。

(3) 冲头成型部分高度  $H_s$  它与初型模型腔以及口模型腔的高度  $H_k$  密切相关, 计算公式如下:

$$H_s = H_0 + H_k + H_t - s \quad (7-12)$$

(4) 冲头圆球半径  $SR$  由表 7-2 确定。

表 7-2 冲头圆球半径  $SR$

瓶的质量/g	<150	150~250	250~350
SR/mm	8	8~11	11~13
瓶的质量/g	350~450	450~600	>600
SR/mm	13~14	14~16	16~18

(5) 圆锥台体斜度  $\beta$  圆锥台体是从半圆球直径一端作切线，此切线与半圆球轴线成  $\beta$  角，该切线也与圆弧  $R_1$  相切，该切线绕半圆球轴线一周形成一圆锥台体，一般取  $2^\circ 30' \sim 5^\circ 30'$ 。

(6) 冲头半圆球切线高度  $h'_3$  它是指圆锥台体与冲头顶端圆球相切处的高度，计算公式如下：

$$h'_3 = SR - SR \tan \beta \quad (7-13)$$

(7) 圆锥台体高度  $h'_2$  应结合初型模型腔参数确定，并随着设计过程的体积校正，与斜度  $\beta$  角同时变动修正，以满足设计要求，一般初步可按下式计算：

$$h'_2 = h_3 + h'_2 + H_1 + H_2 - (s + h'_3) \quad (7-14)$$

式中  $H_2$ ——冲头圆弧  $R_1$  圆心轴线和初型模型腔轮廓线圆弧  $R$  圆心轴线之间的间距，一般为  $3 \sim 10 \text{mm}$ 。

(8) 颈部直径  $\phi_1$  根据瓶口外径和瓶壁厚度确定，计算公式如下：

$$\phi_1 = \phi_k - 2\delta \quad (7-15)$$

式中  $\phi_k$ ——瓶口外径，mm；

$\delta$ ——瓶口厚度，轻量瓶为  $2.5 \sim 3 \text{mm}$ 。

(9) 冲头半圆球切点直径  $\phi_q$  它是指冲头顶部圆球与圆锥台体相切处的直径，计算公式如下：

$$\phi_q = 2SR \cos \beta \quad (7-16)$$

(10) 冲头颈部圆弧  $r_1$  冲头颈部圆弧  $r_1$  应与锥型顶部直径保持  $3 \sim 3.5 \text{mm}$  的间距为宜，以便于冲头退出，一般为  $15 \sim 50 \text{mm}$ 。

(11) 圆弧  $R_1$  可应用上述冲头设计参数，根据几何方法列出下式：

$$R_1 = \frac{r_1 [2(h'_1 + H_m) \sin \alpha - (\phi_1 - \phi_0) \cos \alpha] + 0.25(\phi_1 - \phi_0)^2 + (h'_1 + H_m)^2}{2r_1 [1 - \cos(\alpha - \beta)] - 2(h'_1 + H_m) \sin \beta + (\phi_1 - \phi_0) \cos \beta} \quad (7-17)$$

式中  $H_m$ ——瓶口  $H_x$  以下高度，mm。

(12) 圆锥台体大端直径  $\phi_0$  计算公式如下：

$$\phi_0 = \phi_q + 2h'_2 \tan \beta \quad (7-18)$$

根据上述参数，绘制冲头成型部分轮廓图（图 7-2）。

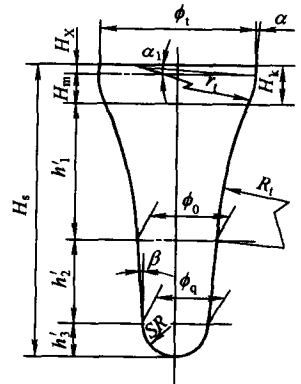


图 7-2 冲头的成型部分

## 7.1.2 设计校验

设计校审验算是评价初型模锥型设计能否满足瓶罐轻量成型要求的依据，以便对设计作改进。

### 7.1.2.1 锥型设计效果图

锥型设计效果图能直观地反映锥型料泡的分布状况及冲头成型部分外形是否有利于瓶罐成型，从而校审验算大口轻量瓶的初型模设计是否合理正确，图 7-3 为 315ml 芦笙瓶制品和锥型设计参数及程序绘制的大口轻量锥型设计效果图。

### 7.1.2.2 体积计算

(1) 初型模内型腔体积  $V_c$  如图 7-1 所示，初型模型腔体积包括四个部分： $h'$ 、 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$  四个高度部分。

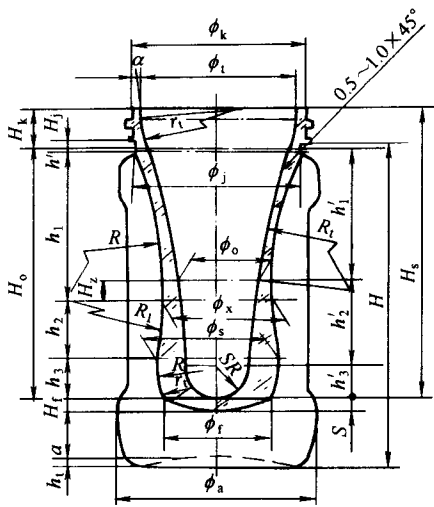


图 7-3 大口轻量瓶锥型设计效果图

体体积，以及两个圆弧台体部分体积。

$$\text{球头体积} \quad V_q = \frac{\pi}{12} \phi_q^3 \quad (7-22)$$

$$\text{圆台体积} \quad V_{tr} = \frac{\pi}{3} h'_2 \left( \frac{\phi_q^2}{4} + \frac{\phi_o^2}{4} + \frac{\phi_q \phi_o}{4} \right) \quad (7-23)$$

$$\text{圆柱体体积} \quad V_{uz} = \frac{\pi}{4} H_x \phi_i^2 \quad (7-24)$$

高度为  $h_1$  和  $H_m$  两个圆弧台体体积计算方法，与上述初型模型腔圆台体相同，分别为  $V'_1$  和  $V_m$ 。

冲头成型部分体积  $V_i$  为：

$$V_i = V_q + V_{tr} + V_{uz} + V'_1 + V_m \quad (7-25)$$

(3) 口模型腔体积  $V_k$  如图 7-3 所示，口模型腔体积一般由以下近似的四个部分组成：两个圆柱体、一个二分之一圆环体和一个 0.5~1mm 倒角的圆台体。

$$\text{圆柱体} \quad V_{k1} = \frac{\pi}{4} [H_k - H_g - (0.5 \sim 1)] \phi_k^2 \quad (7-26)$$

$$\text{圆柱体} \quad V_{k2} = \frac{\pi}{4} H_g \phi_i^2 \quad (7-27)$$

$$(0.5 \sim 1\text{mm 倒角}) \text{圆台体} \quad V_{k3} = \frac{\pi}{3} (0.5 \sim 1) \left( \frac{\phi_i^2}{4} + \frac{\phi_k^2}{4} + \frac{\phi_i \phi_k}{4} \right) \quad (7-28)$$

$$\text{二分之一圆环体} \quad V_H = \frac{\pi^2}{8} n \phi_k d_n^2 \quad (7-29)$$

式中  $n$  —— 螺纹圈；

$d_n$  —— 螺纹根部直径，mm。

口模型腔体积  $V_k$  为：

$$V_k = V_{k1} + V_{k2} + V_{k3} + V_H \quad (7-30)$$

(4) 闷头型腔体积  $V_i$  一般闷头型腔形状为球冠，体积为

$h'$  高度部分为圆柱体，体积  $V'$  为

$$V' = \frac{\pi}{4} h' \phi_i^2 \quad (7-19)$$

$h_1$ 、 $h_2$ 、和  $h_3$  高度部分都为圆弧台体，体积分别为  $V_1$ 、 $V_2$  和  $V_3$ ，并可在高度方向上，用  $n_0$  (5~10mm) 高度为小段圆台体叠加。每小段的圆台体体积  $V_i$  计算公式如下：

$$V_i = \frac{\pi}{3} n_0 \left( \frac{\phi_b^2}{4} + \frac{\phi_p^2}{4} + \frac{\phi_b \phi_p}{4} \right) \quad (7-20)$$

式中  $\phi_b$  —— 小段圆台体一端直径，mm；

$\phi_p$  —— 小段圆台体另一端直径，mm。

初型模型腔体积  $V_c$  为：

$$V_c = V' + V_1 + V_2 + V_3 \quad (7-21)$$

(2) 冲头成型部分体积  $V_i$  如图 7-2 所示，冲头成型部分体积计算包括球头体积、圆台体体积、圆柱体

$$V_i = \frac{\pi}{6} H_i \left( H_i^2 + \frac{3}{4} \phi_i^2 \right) \quad (7-31)$$

式中  $H_i$  —— 闷头型腔深度, mm;  
 $\phi_i$  —— 闷头型腔最大直径, mm。

(5) 缩小量  $E_s$  验算 缩小量是从理论上衡量初型模设计合理与否的重要依据:

$$E_s = \frac{V_{RB} - V_{CB}}{V_{RB}} \quad (7-32)$$

式中  $V_{RB}$  —— 热玻璃体积,  $\text{mm}^3$ ;  
 $V_{CB}$  —— 初型模总容积,  $\text{mm}^3$ 。

$$\text{热玻璃体积 } V_{RB} \text{ 为: } V_{RB} = \frac{W \bar{\alpha}_1}{\rho} \quad (7-33)$$

式中  $\bar{\alpha}_1$  —— 体膨胀系数, 为 1.025;  
 $\rho$  —— 密度为  $2.5 \text{g/cm}^3$ 。

初型模总容积与初型模内型腔体积、口模型腔体积、闷头型腔体积和冲头成型部分体积有关, 按下式计算:

$$V_{CB} = V_c + V_k + V_i - V_t \quad (7-34)$$

一般根据式 (7-32) 所计算的轻量瓶缩小量  $E_s$  应在  $5\% \sim 12\%$ , 但实际应用中  $E_s$  值不超过  $20\%$  的情况下, 也能符合要求。

### 7.1.3 设计示例

#### 7.1.3.1 315ml 轻量收腰酱菜瓶锥型设计

图 7-4 是大口酱菜瓶, 瓶的质量为 185g, 满口容积为 315ml。重容比为 0.58, 属于轻量瓶 (据有关资料介绍, 国外轻量瓶的重容比一般在  $0.4 \sim 0.8$  范围内)。在德国行列机上采用压-吹法生产, 机速为 110 瓶/min。

锥型设计计算如下。

① 延伸量  $a$  可根据式 (7-1) 计算:

$$\begin{aligned} a &= (0.065 + 4 \times 10^{-4} W) H \\ &= (0.065 + 4 \times 10^{-4} \times 185) (125 - 14 + 1.5) \text{mm} \\ &= 15.63 \text{mm} \approx 16 \text{mm} \end{aligned}$$

② 锥型总高度  $H_0$  可根据式 (7-3) 计算:

$$\begin{aligned} H_0 &= H - a - h_t - H_f - H_g \\ &= (112.5 - 16 - 3 - 3.5 - 1.5) \text{mm} \\ &= 88.5 \text{mm} \end{aligned}$$

③ 闷头直径  $\phi_i$  可根据式 (7-4) 和表 (7-1) 计算:

$$\begin{aligned} \phi_i &= b \phi_s \\ &= 0.55 \text{mm} \times 62 \text{mm} = 34.1 \text{mm} \approx 34 \text{mm} \end{aligned}$$

式中  $b$  取 0.55,  $\phi_s$  取  $(67.5 + 56.57) \text{mm} / 2 = 62 \text{mm}$

④ 圆弧台高度  $h_1$  可根据式 (7-5) 计算:

$$\begin{aligned} h_1 &= k H_0 - h' \\ &= (0.6 \times 88.5 - 1) \text{mm} = 52.1 \text{mm} \approx 52 \text{mm} \end{aligned}$$

式中因轻量化的要求,  $k$  取 0.6,  $h'$  取 1mm。

⑤ 圆弧台高度  $h_2$  可根据式 (7-6) 计算:

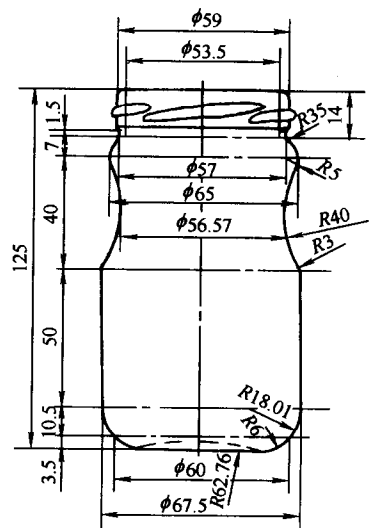


图 7-4 315ml 轻量收腰酱菜瓶

$$h_2 = (H_0 - h_1)A$$

$$= (88.5 - 52) \times 0.6 \text{ mm} = 21.9 \text{ mm}$$

式中  $A$  取 0.6。

⑥ 圆锥台高度  $h_3$  可根据式 (7-7) 计算:

$$h_3 = H_0 - h_1 - h_2 - h'$$

$$= (88.5 - 52 - 21.9 - 1) \text{ mm} = 13.6 \text{ mm}$$

⑦ 锥型腰部直径  $\phi_x$  可根据式 (7-8) 计算

$$\phi_x = 0.067 \times 10^2 \times \sqrt[3]{W}$$

$$= 0.067 \times 10^2 \times \sqrt[3]{185} \text{ mm} = 38.18 \text{ mm} \approx 38 \text{ mm}$$

⑧ 凸出部分直径  $\phi_s$  可根据式 (7-9) 计算:

$$\phi_s = \phi_x + (0 \sim 0.1)\phi_s$$

$$= (38 + 0.065 \times 62) \text{ mm} = 42.03 \text{ mm} = 42 \text{ mm}$$

式中系数为 0.065。

⑨ 颈部直径  $\phi_t$  比成形模颈部直径略小, 取  $56.9_{-0.05}^0 \text{ mm}$ 。

⑩ 锥型腰部圆弧直径  $R$  可根据式 (7-10) 计算:

$$R = \frac{4h_1^2 + (\phi_1 - \phi_x)^2}{4(\phi_1 - \phi_x)}$$

$$= \frac{4 \times 52^2 + (56.9 - 38)^2}{4(56.9 - 38)} \text{ mm} = 147.79 \text{ mm}$$

⑪ 锥型腰部  $R_1$  和凸出部圆弧  $R_2$  应注意  $R_1$  大于  $R_2$ , 二者光滑连接, 此设计给定  $R_1$  为 55mm,  $R_2$  为 45mm。

⑫ 靠近闷头部圆弧  $r$  它与  $R_2$  圆弧为内切, 取  $r$  为 5mm。

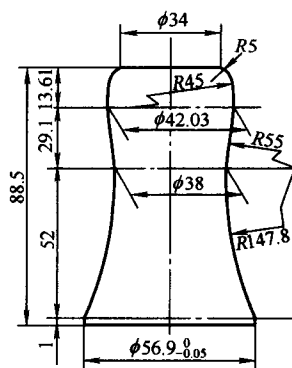


图 7-5 初型模锥型腔

根据上述参数, 绘制出初型模锥型腔图 (见图 7-5)。

### 7.1.3.2 冲头成型部分设计计算

(1) 冲头顶部与锥型料泡底部的间距  $s$  可根据式 (7-11) 及轻量瓶的要求计算:

$$s = t + 0.01W = (2.65 + 0.01 \times 185) \text{ mm} = 4.5 \text{ mm}$$

式中  $t$  取 2.65。

(2) 冲头成型部分高度  $H_s$  可根据式 (7-12) 计算:

$$H_s = H_0 + H_k + H_t - s$$

$$= (88.5 + 14 + 3.5 - 4.5) \text{ mm} = 101.5 \text{ mm}$$

(3) 冲头半圆球半径  $SR$  可根据表 7-2 选取为 11mm。

(4) 圆锥台体斜度  $\beta$  可根据瓶形取  $\beta$  为  $4^\circ 30'$ 。

(5) 冲头半圆球切线高度  $h'_3$  可根据公式 (7-13) 计算:

$$h'_3 = SR - SR \tan \beta$$

$$= 11 \text{ mm} - 11 \times \tan 4^\circ 30' \text{ mm} = 10.134 \text{ mm} \approx 10.03 \text{ mm}$$

(6) 圆锥台体高度  $h'_2$  可根据式 (7-14) 计算:

$$h'_2 = h_3 + h_2 + H_t + H_z - (s + h'_3)$$

$$= (13.6 + 21.9 + 3.5 + 6.26) \text{ mm} - (4.5 + 10.13) \text{ mm}$$

$$= 30.63 \text{ mm}$$

式中  $H_z$  取 6.26mm。

(7) 圆弧台体高  $h'_1$  可根据已知的  $H_s$ 、 $h'_2$ 、 $h'_3$ 、 $H_k$ ，按下式计算：

$$h'_1 = H_s - h'_2 - h'_3 - H_k \\ = (101.5 - 30.63 - 10.13 - 14) \text{mm} = 46.74 \text{mm}$$

(8) 颈部直径  $\phi_t$  可根据式 (7-15) 计算：

$$\phi_t = \phi_k - 2\delta = (59 - 2 \times 2.8) \text{mm} = 53.4 \text{mm}$$

(9) 冲头半球切点直径  $\phi_q$  可根据式 (7-16) 计算：

$$\phi_q = 2SR \cos\beta = 2 \times 11 \times \cos 4^\circ 30' \text{mm} = 21.93 \text{mm}$$

(10) 圆锥台体相切直径  $\phi_0$  可根据式 (7-18) 计算：

$$\phi_0 = \phi_g + 2h'_2 \tan\beta \\ = (21.93 + 2 \times 30.63 \times \tan 4^\circ 30') \text{mm} = 26.75 \text{mm}$$

(11) 颈部圆弧  $r_t$  依据冲头便于退出及有利于瓶罐的成型原则取 40mm。

(12) 圆锥台体相切处的圆弧  $R_t$  可根据式 (7-17) 计算：

$$R_t = \frac{r_t [2(h'_1 + H_m) \sin\alpha - (\phi_t - \phi_0) \cos\alpha] + 0.25(\phi_t - \phi_0)^2 + (h'_1 + H_m)^2}{2r_t [1 - \cos(\alpha - \beta)] - 2(h'_1 + H_m) \sin\beta + (\phi_t - \phi_0) \cos\beta} \\ = \frac{40 \times [2 \times (46.74 + 10) \times \sin 4^\circ - (53.4 - 26.75) \cos 4^\circ] + 0.25 \times (53.4 - 26.75)^2 + (46.74 + 10)^2}{2 \times 40 \times [1 - \cos(4^\circ - 4^\circ 30')] - 2 \times (46.74 + 10) \sin 4^\circ 30' + (53.4 - 26.75) \cos 4^\circ 30'} \text{mm} \\ = 149.98 \text{mm} \approx 150 \text{mm}$$

根据上述参数，绘制冲头成型部分图（详见图 7-6）和锥型设计效果图（见图 7-7）。

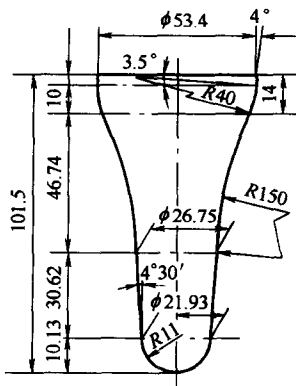


图 7-6 冲头成型部分外形

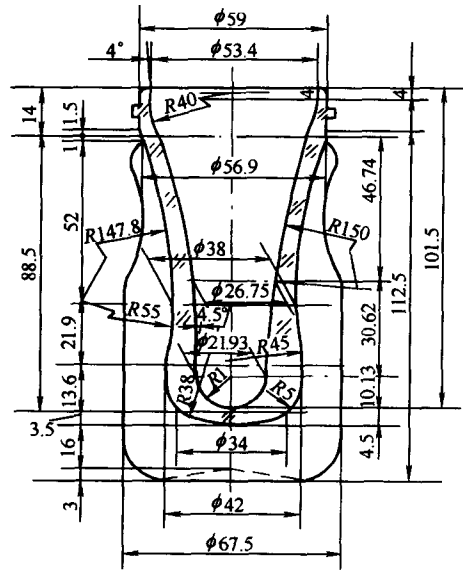


图 7-7 315ml 轻量酱菜瓶锥型设计效果图

### 7.1.3.3 体积计算

初型模型腔体积、口模型腔体积、网头型腔体积及冲头成型部分体积，可根据式 (7-19)~式 (7-31) 分别计算，得如下数值：

- |           |                         |
|-----------|-------------------------|
| ① 初型模型腔体积 | $V_c = 128.5 \text{ml}$ |
| ② 口模型腔体积  | $V_k = 35.5 \text{ml}$  |
| ③ 网头型腔体积  | $V_f = 1.6 \text{ml}$   |

④ 冲头成型部分体积  $V_i = 94.7\text{ml}$

#### 7.1.3.4 缩小量 $E_s$ 验算

根据式 (7-32)~式 (7-34) 计算:

$$V_{RB} = 75.85\text{ml}$$

$$V_{CB} = 70.9\text{ml}$$

$$E_s = 6.5\%$$

缩小量 6.5% 符合轻量瓶锥型设计缩小量 5%~12% 的范围, 设计是合理的。

## 7.2 成型模设计

### 7.2.1 瓶塞多工位压制模

如图 7-8 所示, 它可同时压制 6~20 个水平放置的制品, 这在垂直成型制品的压制模内很难实现。模体采用装配式, 内有上下两部分合成的若干工位凹穴。为使制品合缝线无毛

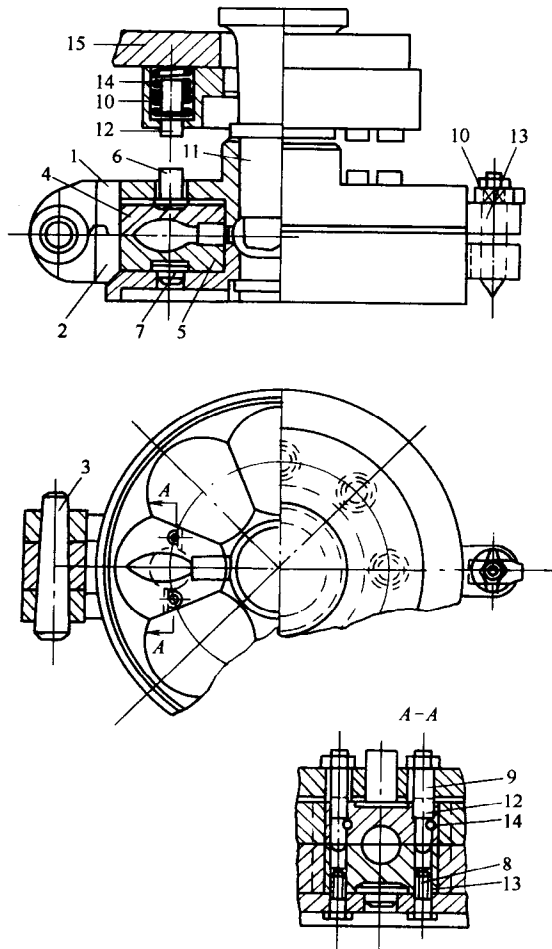


图 7-8 瓶塞多工位压制模

1—上模; 2—下模; 3—铰连轴; 4—上衬模; 5—下衬模; 6、7—止动销; 8、9—螺栓;  
10—圆盘; 11—冲头; 12—活动销; 13—销; 14—弹簧; 15—平板

刺，上部凹模做成能活动的，并装有柱形止动销，被安在冲头板下盘内的弹簧销压紧。

模体由上下两部分 1 与 2 组成，两者通过铰链连接装在轴 3 上。其内安有衬模 4 和 5，用以形成闭模时成型制品所需的凹穴。衬模 4（上部凹穴）上面有柱形止动销 6，借助它可使衬模安装时上下移动，因为衬模和模体上部壁之间有间隙。

衬模 5（下部凹穴）由止动销 7 定心，并用旋入的螺栓 8 固定。为使衬模准确定位，模体上部装有螺栓 9，它也是下部的定位器。活动销 12 装在圆盘 10 内，后者位于冲头 11 的平板 15 下面。被销 13 锁紧的封闭模腔充满玻璃料。开始压制制品时，圆盘下降，弹簧销压在柱形止动销上，在弹簧 14 作用下，上衬模 4 被压紧在下衬模上，这样就可得到合缝线处无毛刺的制品。

### 7.2.2 圆柱形器皿压制模

图 7-9 薄壁圆柱形器皿的成形模。图右侧表示压制前模底的位置，左侧表示制品压制好后模底的位置。

压缩空气进入底板 1 和模底 2（活塞）之间的空间，向上推动模底使之进入受料位置。模底上限工作位置由放气孔 A 加以限制。阀 3 关闭时，压缩空气系通过模底 2 底面的开孔进入。剪断玻璃料滴后即可压制制品。在冲头压力作用下，玻璃料被挤压到制品的上边沿，而活动模底靠压缩空气的压力作用保持在工作位置。待玻璃料填满型腔后，冲头压力超过作用于模底上的空气压力，这时模底开始向下移动；在移动过程中，玻璃料从中心被挤向四周，并在冲头作用下沿模壁分布。当模底落到底板 1 上时，压制过程即告结束。此时打开阀 3，活动模底 2 和底板 1 之间的空间即与大气相通，压缩空气停止送入。拔出冲头 5 之前，将压缩空气经由套管 8 送入冲头内腔，这样拔出冲头时压缩空气就由 4 排出，即能阻止制品变形，又使制品内表面得以冷却。

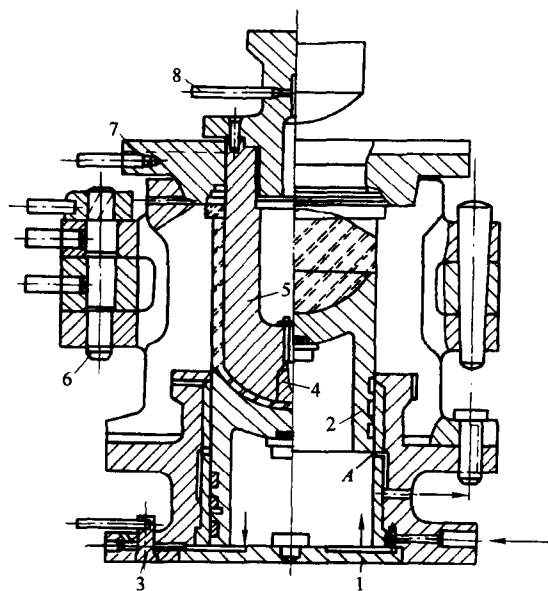


图 7-9 圆柱形器皿压制模

1—底板；2—模底；3—气阀；4—排出套；5—冲头；  
6—偏心机构；7—下环；8—套管

拔出冲头后，取下环 7，松开偏心机构 6，打开模具，小心地取出制品，送后道工序加工。

此外，也可以用机械牵引代替支持活动模底的压缩空气，靠杠杆机构的弹簧或气缸操纵模底。

上述的压制方法也可改为使玻璃料压向冲头，当冲头向上移动时使玻璃料沿模底分布。

### 7.2.3 显像管玻壳压制模

显像管玻壳，由屏玻壳和锥玻壳两部分配套组合而成，生产屏玻壳的模具称为屏模具，生产锥玻壳的模具称为锥模具，生产时均用玻璃熔料在模具中压制而成，图 7-10 介绍了这两种模具的主要结构。由于其凸、凹模的型腔形状复杂且要求精度较高，故制造时均由计算机编程，数控机床进行型面粗加工，再由钳工完成精加工工序。



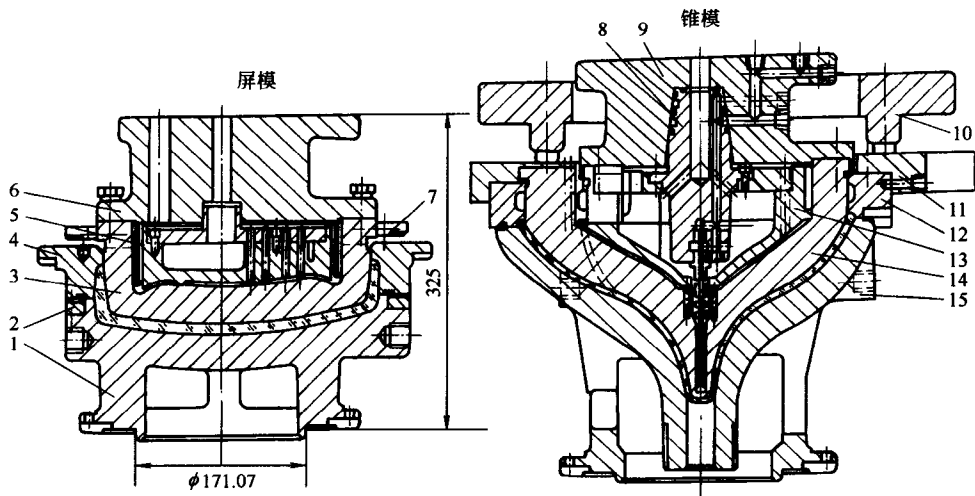


图 7-10 彩色显像管玻壳压制模

1—屏凹模；2—定位模；3—屏凸模；4—模圈；5—循环水箱；6—冲头柄；7—校正键；8—冷却芯；  
9—冲头柄；10—弹压板；11—固定板；12—模环；13—循环水箱；14—锥凸模；15—锥凹模

#### 7.2.4 镜片压制模

在玻璃镜片的压制过程中，进入模腔的玻璃液滴的温度约为  $1100^{\circ}\text{C}$ ，使模腔表面温度升到  $800^{\circ}\text{C}$ 。模具（图 7-11）材料采用  $3\text{Cr}2\text{W}8\text{V}$  钢（退火状态下的硬度为  $22\sim 26\text{HRC}$ ），当压制镜片  $3000\sim 5000$  件之后，就产生了因氧化、拉伤、合模口压塌等缺陷而不能继续使用。损坏主要发生在外圆周面和合模口边缘处，模具球面一般无明显损伤。

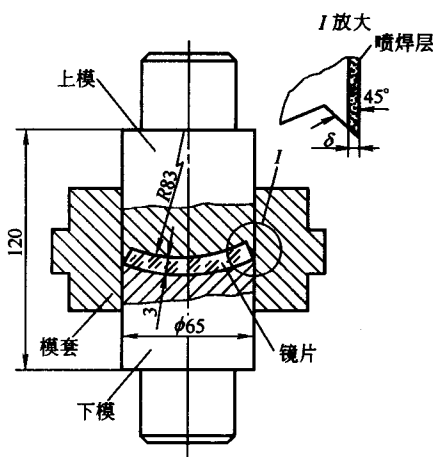


图 7-11 玻璃镜片压制模结构

经过实践探索发现，何东和马向阳采用合金粉末的氧乙炔喷焊工艺对模腔圆周面进行喷焊，喷焊分几次进行，每次喷敷层的厚度为  $0.2\sim 0.5\text{mm}$ ，总厚度约为  $1.5\text{mm}$ 。模具表面经过强化处理后，不仅提高了模具使用寿命，而且经济实用，获得了良好的效果。

镜片压制模设计与制造的技术要点如下。

(1) 模具材料选择 在选择基体材料时，既考虑经济因素，又要考虑到在高温下的抗氧化能力。可选用具有较高韧性、较好抗氧化能力和抗温度剧变能力的  $\text{QT420-10}$  稀土球墨铸铁作为模具的基体材料。

(2) 模具表面清理 用丙酮溶液将待喷表面浸泡  $15\text{min}$ ，待模具表面油污洗净后取出，在干燥箱中烘干。然后，对待喷表面进行机械研磨除净表面氧化物，以保证喷焊层与基体的结合性。

(3) 模具表面预热 为了防止喷焊料遇模具表面产生急冷作用，模具待喷表面须预热到  $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，预热切忌用氧化性火焰，以防止氧化物的产生。

(4) 表面喷敷 采用 SYH-E 喷射式火焰喷枪，载粉气体为氧气，燃烧气体为乙炔。喷焊枪与模具表面的距离为  $150\sim 200\text{mm}$ ，垂直工件表面喷敷。喷焊粉料采用料径为  $0.104\text{mm}$  的  $\text{NiCr-12}$  自熔合金粉末（见表 7-3），其熔点为  $1070^{\circ}\text{C}$ ，线膨胀系数为  $(1.4\sim$

1.6)  $\times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。NiCr-12 合金粉末不仅喷焊工艺性好，而且喷焊层的硬度高（42HRC）、红硬性好、抗氧化能力强。喷前在 150 $^\circ\text{C}$  的温度下将合金粉末热烘 2h，清除水分，以免喷粉时粉末受热结块，堵塞送粉通道。

表 7-3 合金粉末 NiCr-12 的化学成分

元素	C	Cr	Fe	B	Si	Ni
含量/%	0.15	10	$\leq 12$	2.5	3.5	其余

(5) 喷敷层重熔 用 SPH-C 重熔枪喷射的氧—乙炔火焰将喷敷层加热到该合金的固相线与液相线之间的温度区间内，这时被喷敷在模具表面的合金粉末粒子开始熔融，并与模具基体金属之间发生相互扩散，开成合金层。喷敷层经重熔后，原来疏松多孔的喷敷层变为连续、致密、与基体结合牢固的表面喷敷层。

重熔加热时，采用中性火焰，喷嘴与重熔面的距离为 20~30mm，夹角为 60 $^\circ$ ~75 $^\circ$ ，偏向已重熔面（图 7-12）。重熔温度要严格控制，因为过高会使喷焊层呈液态而发生流失现象，温度控制在“镜面”状态但未出现亮线纹为宜，并立即移开热源。

(6) 模具喷焊后的精加工 喷焊后模具表面需要经过精加工才能使用。加工时可采用 YT-15 硬质合金车刀，粗车切削速度为 80m/min，精车切削速度 50m/min。最后用大气孔碳化硅砂轮进行精磨。

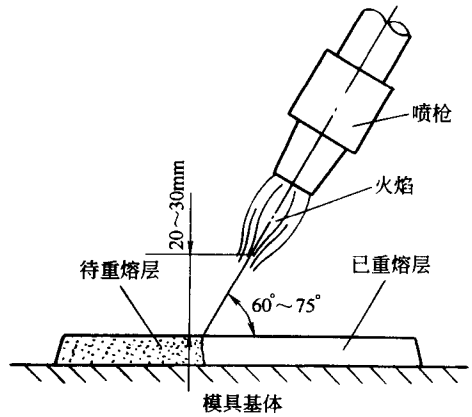


图 7-12 热喷焊加工示意图

## 7.3 玻璃制品及模具图例

### 7.3.1 烟缸平面和立体图

烟缸平面和立体图如图 7-13 所示。

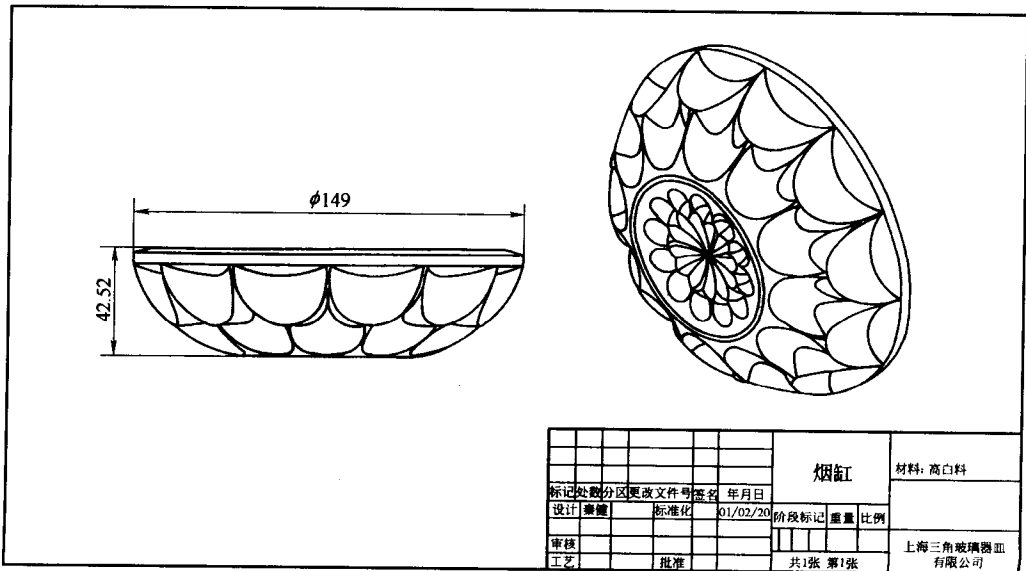


图 7-13 烟缸平面和立体图

### 7.3.2 烟缸立体造型图

烟缸立体造型图如图 7-14 所示。

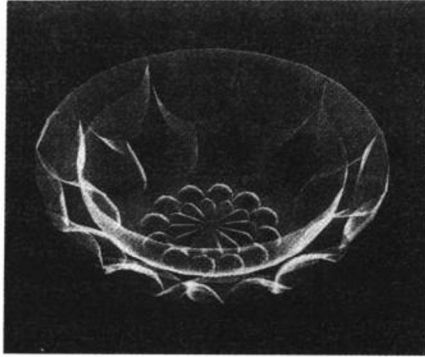


图 7-14 烟缸立体造型

### 7.3.3 170ml 口杯图

170ml 口杯图如图 7-15 所示。

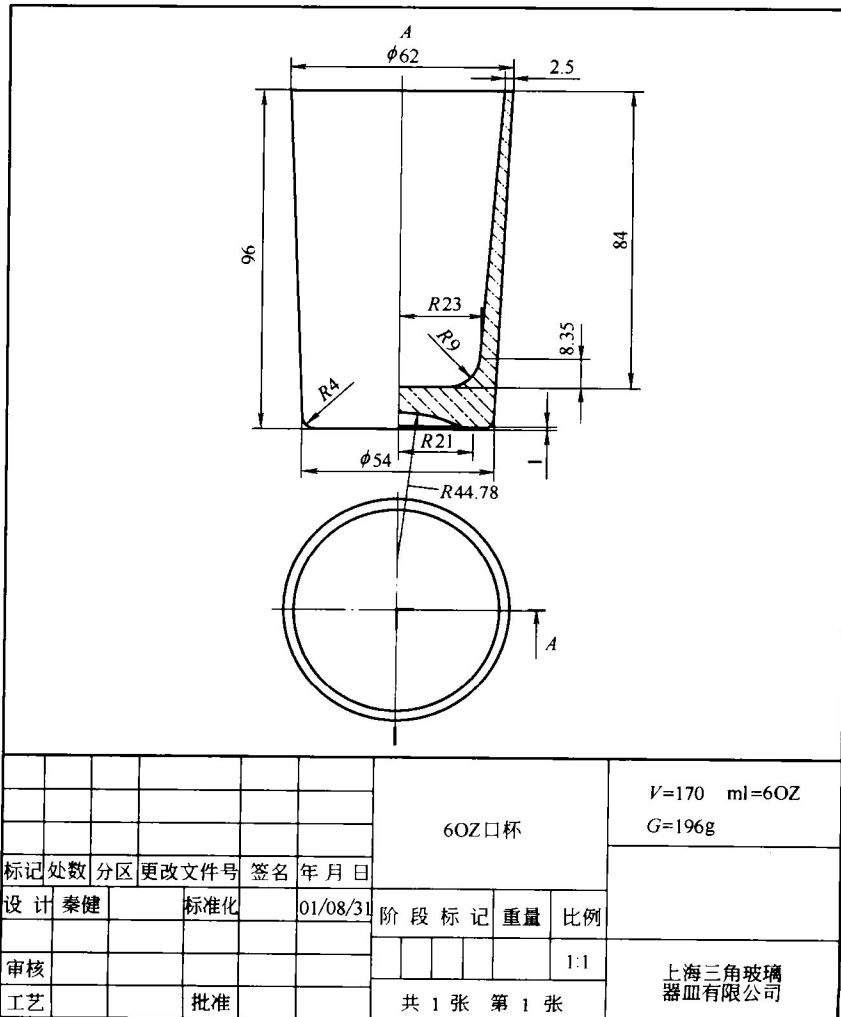


图 7-15 170ml 口杯图

### 7.3.4 170ml 口杯压制模

#### 7.3.4.1 170ml 口杯压制模总装图

170ml 口杯压制模总装图如图 7-16

所示。

#### 7.3.4.2 170ml 口杯压制模零件图

170ml 口杯压制模零件图如图 7-17~

图 7-21 所示。

### 7.3.5 皇冠糖缸盖图

皇冠糖缸盖图如图 7-22 所示。

### 7.3.6 皇冠糖缸盖样件和模具零件图

#### 7.3.6.1 皇冠糖缸盖样件图

皇冠糖缸盖样件图如图 7-23 所示。

#### 7.3.6.2 皇冠糖缸盖模具零件图

皇冠糖缸盖模具零件图如图 7-24~图

7-27 所示。

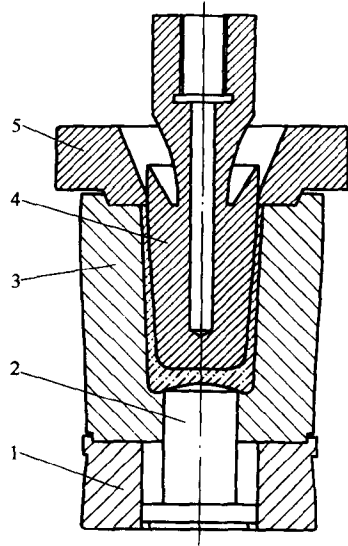


图 7-16 170ml 口杯压制模总装图

1—下模底；2—模底；3—成型模体；4—冲头；5—盖板

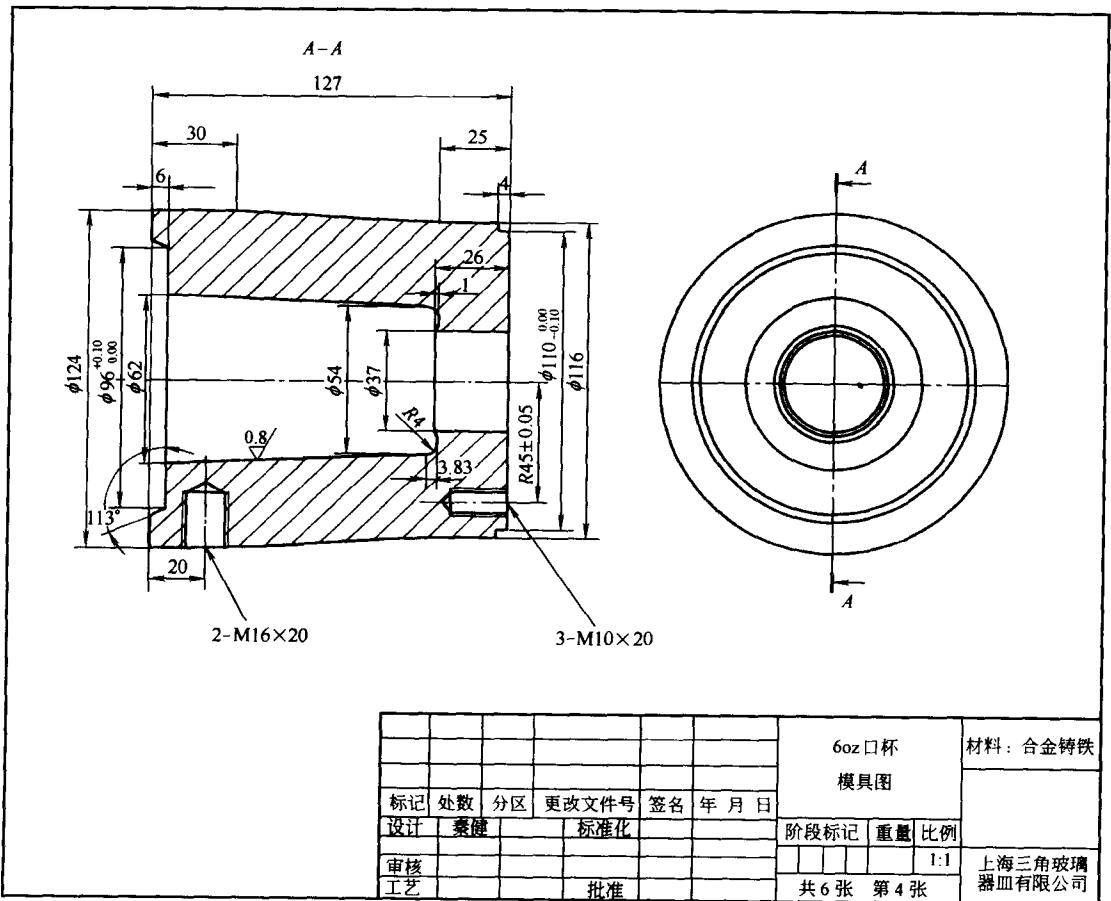


图 7-17 成型模体

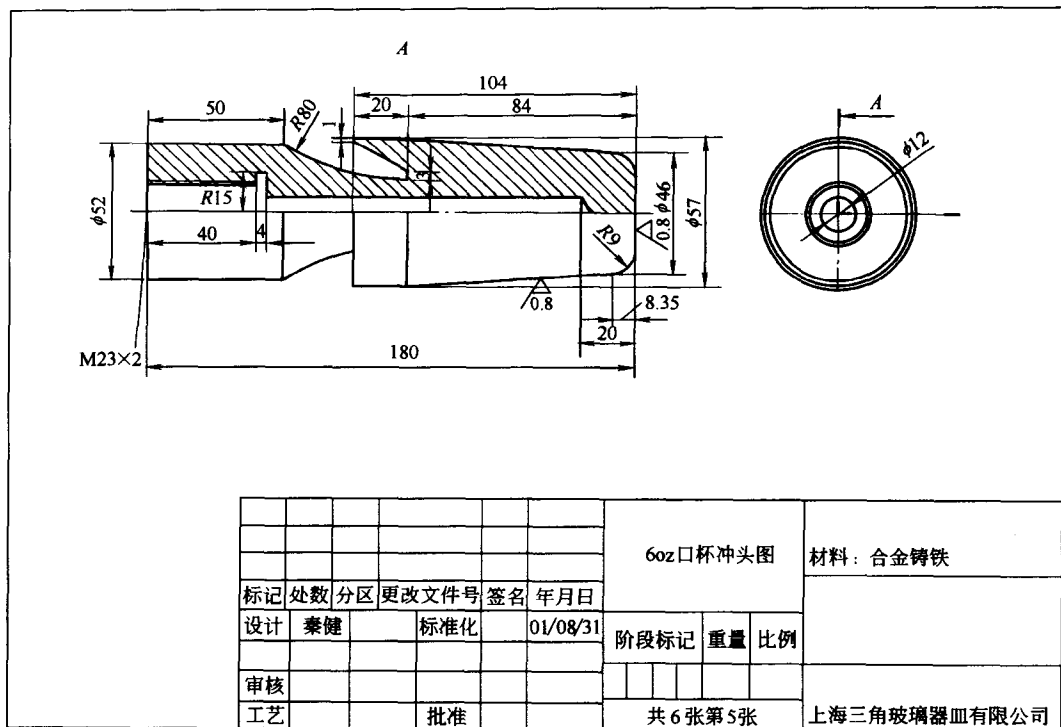


图 7-18 冲头

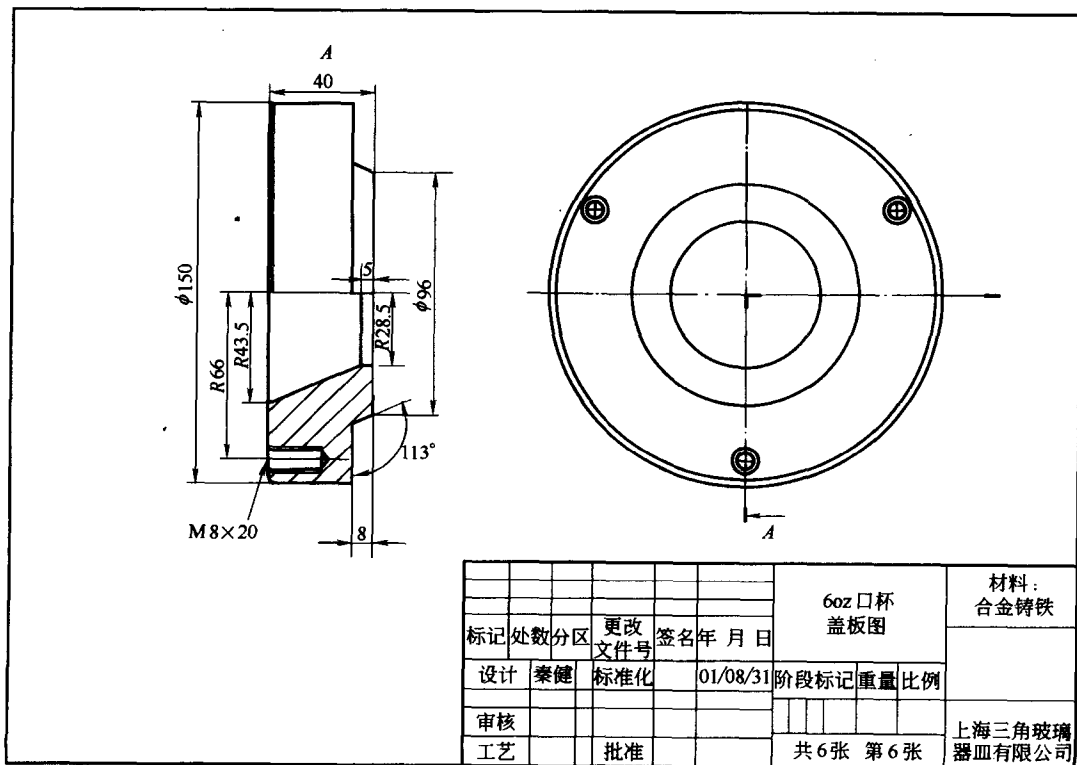


图 7-19 盖板

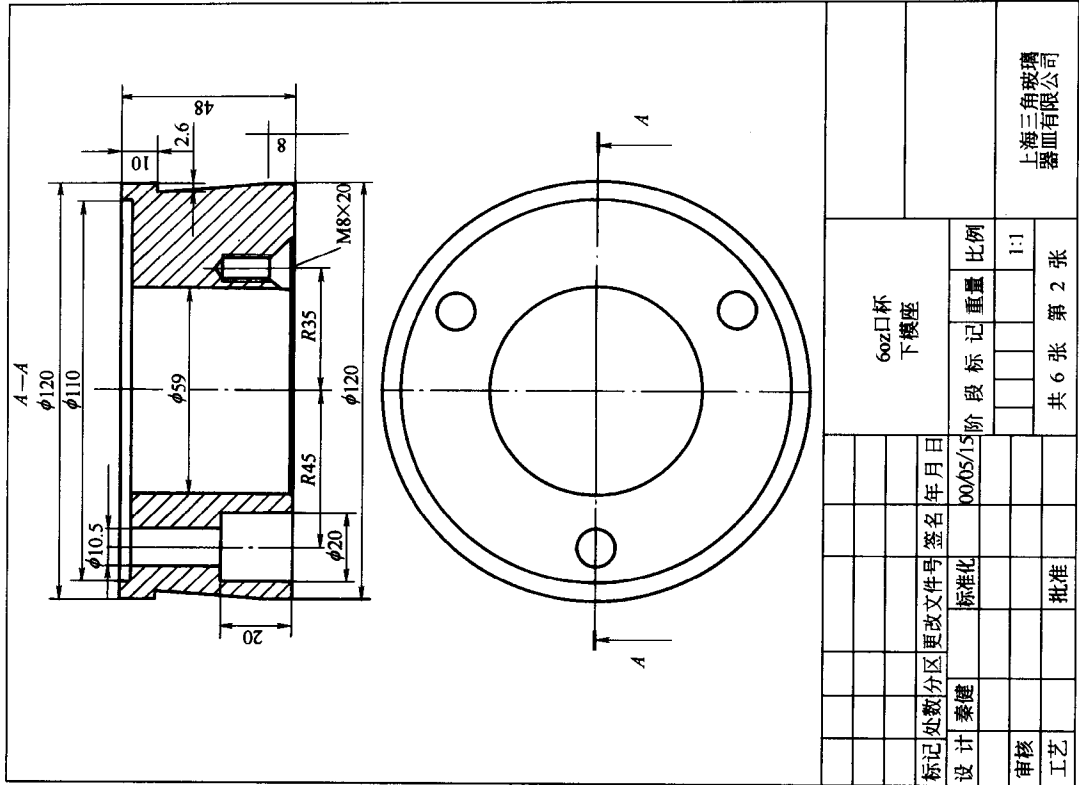


图 7-21 下模座

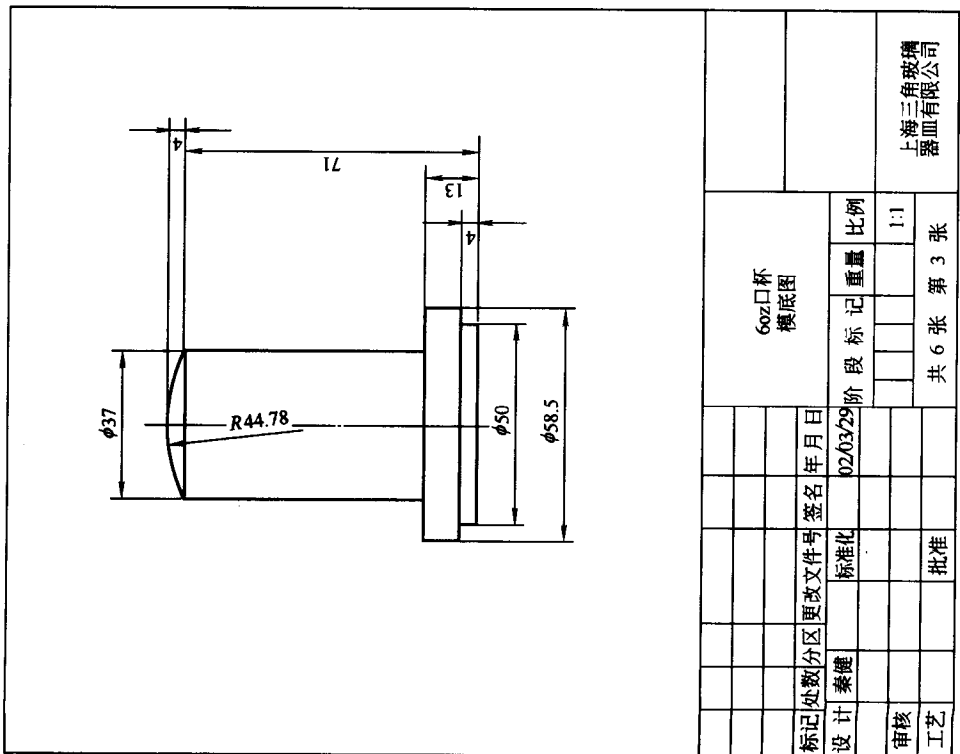


图 7-20 模底

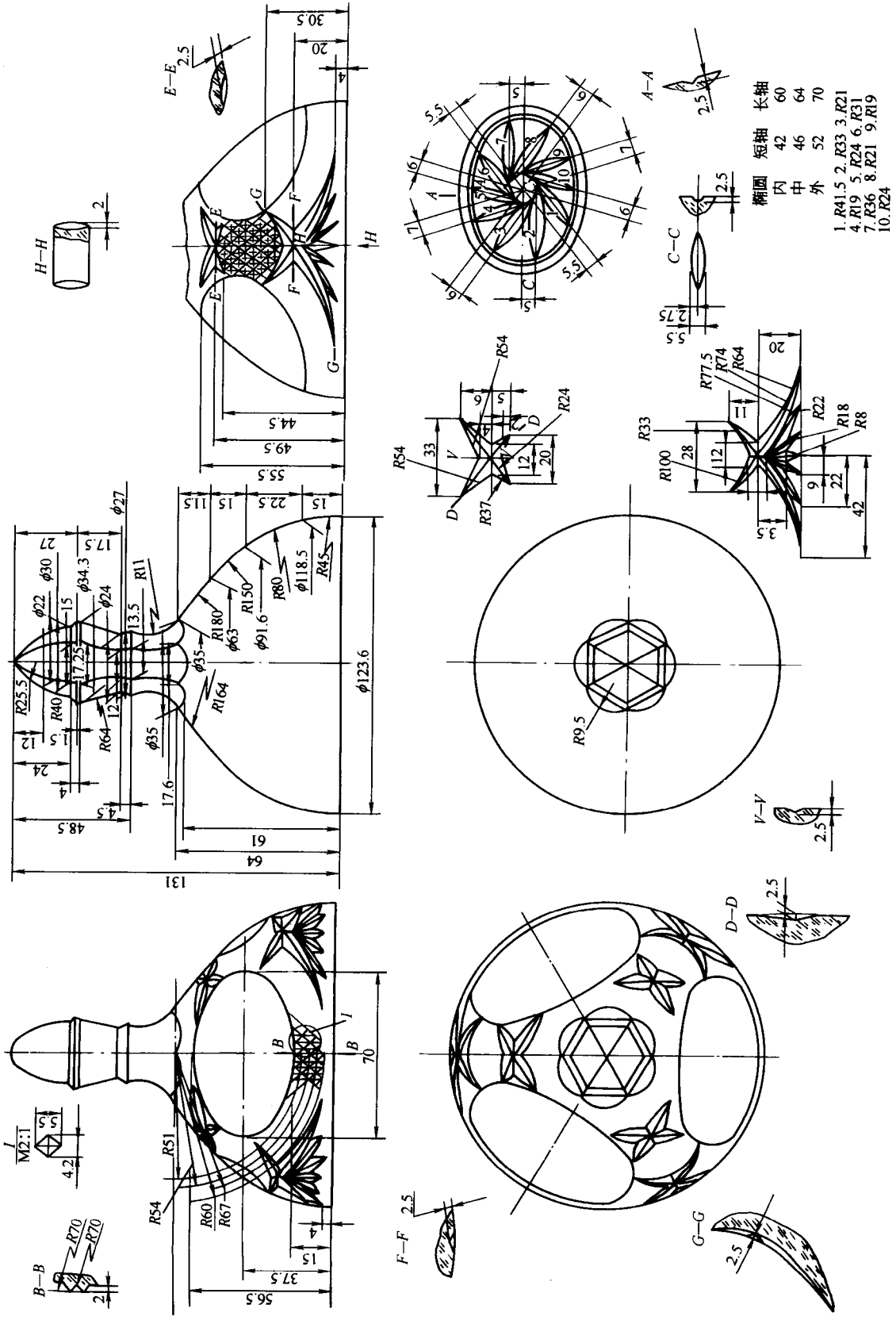


图7-22 皇冠糖缸盖图  
注：上海血模具厂、上海黄发记机模销售中心提供

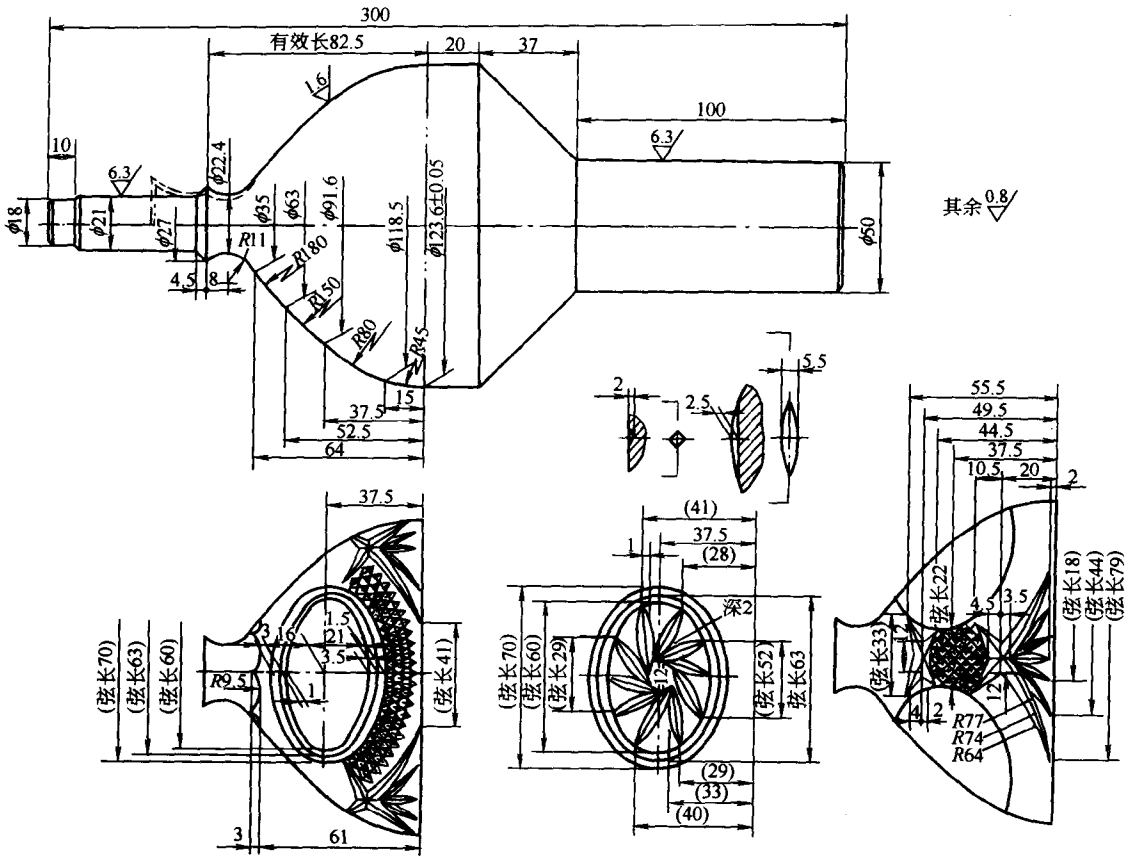


图 7-23 皇冠精缸盖样件图 (注同图 7-22)

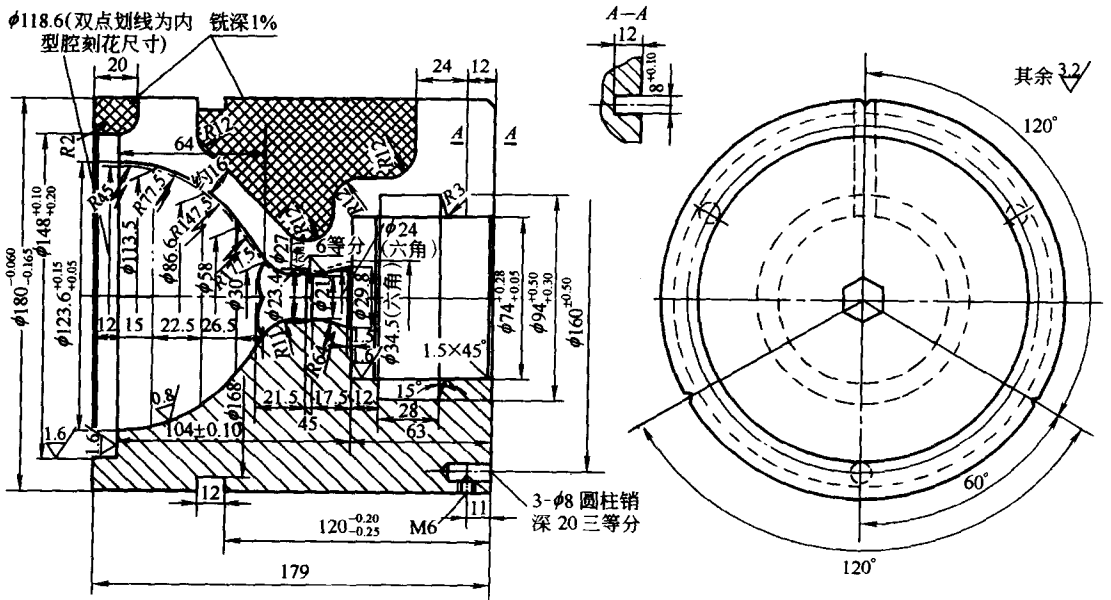


图 7-24 成型模体  
(注同图 7-22)



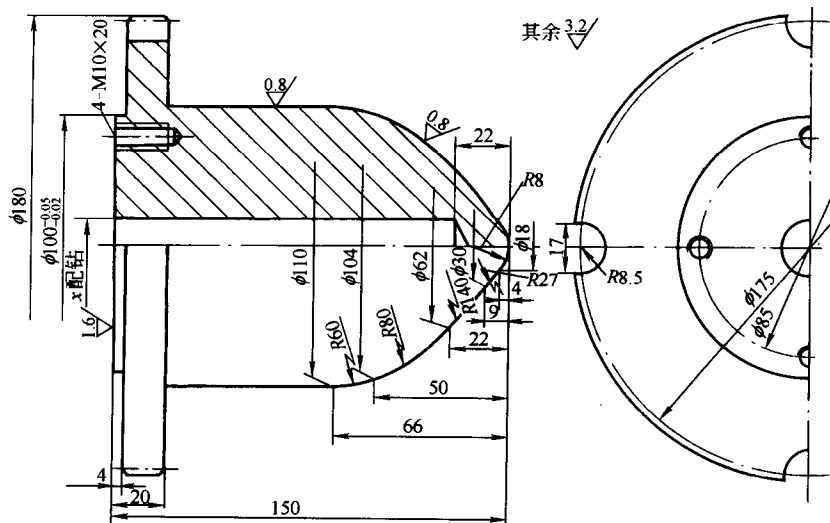


图 7-25 冲头  
(注同图 7-22)

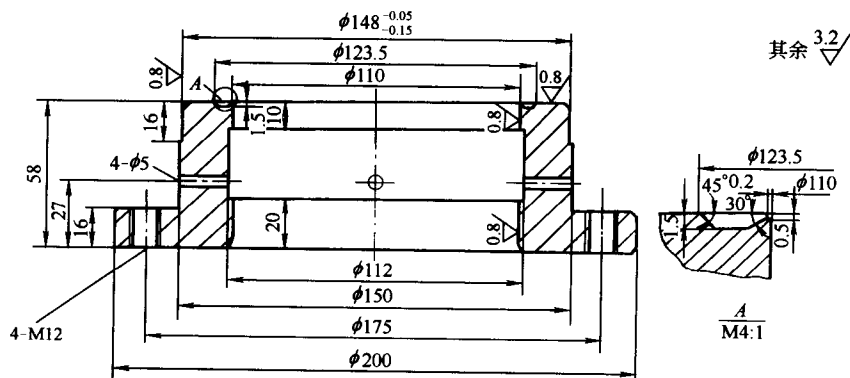


图 7-26 盖板  
(注同图 7-22)

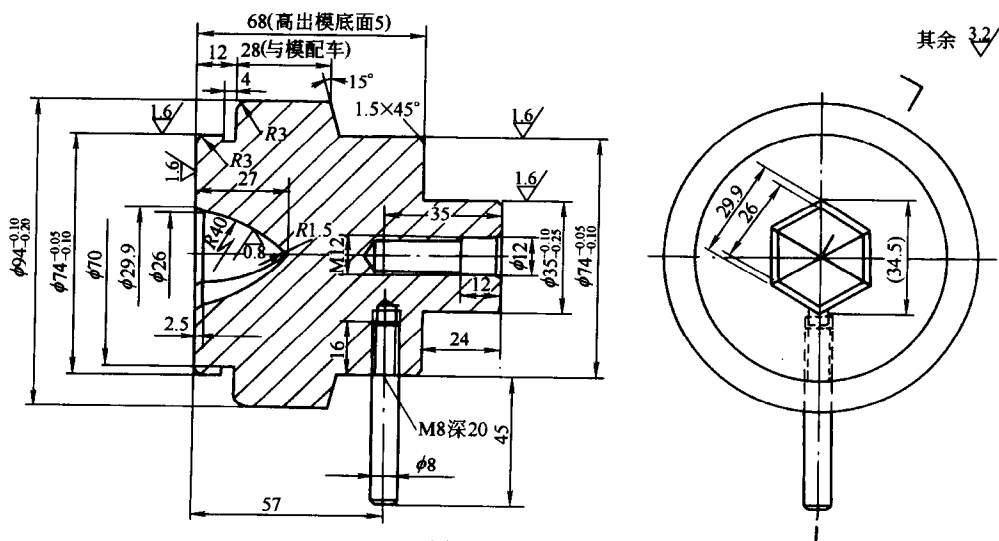


图 7-27 模底  
(注同图 7-22)



7.3.7.2 皇冠糖缸模具盖圈图

皇冠糖缸模具盖圈图如图 7-29 所示。

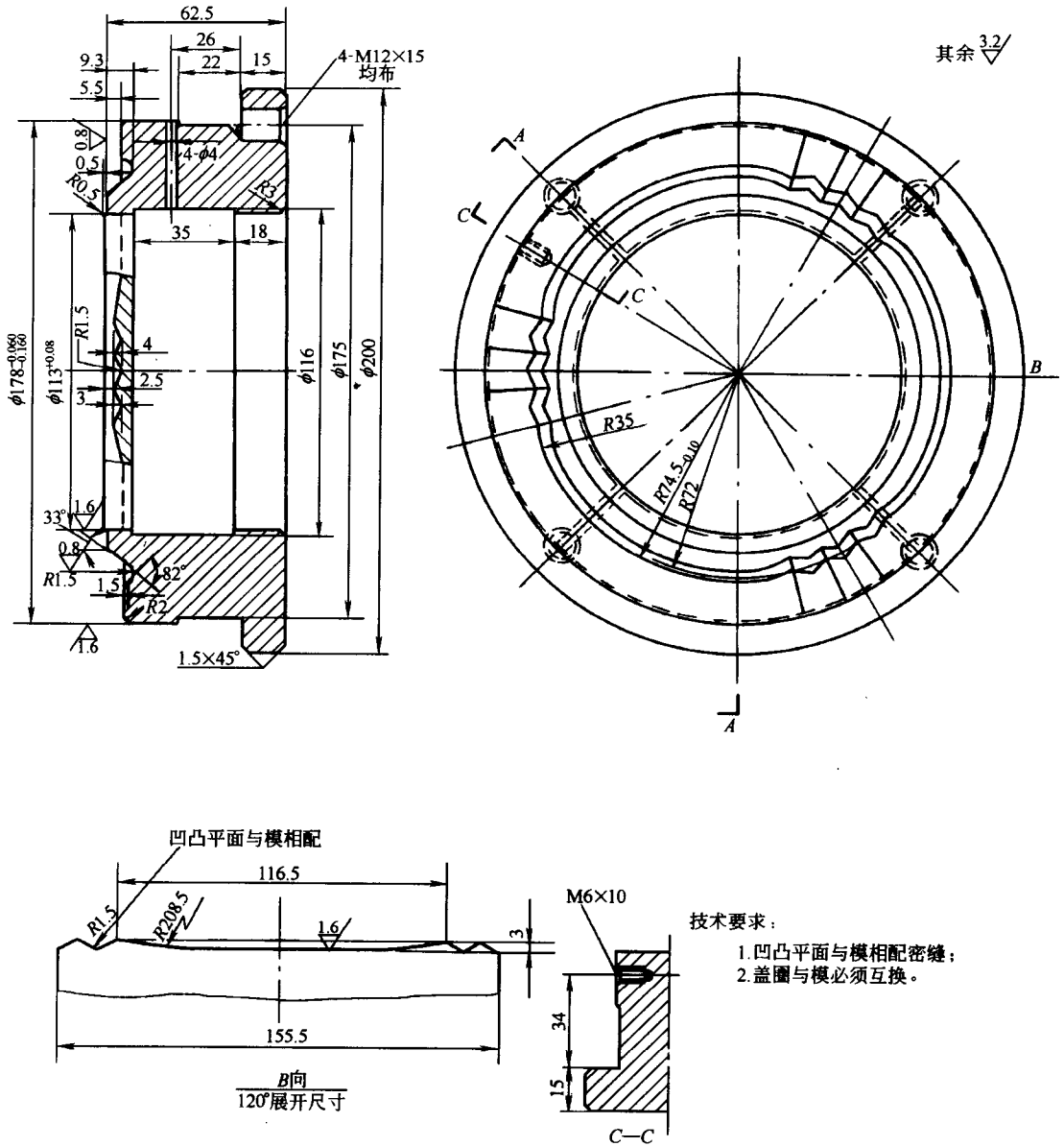


图 7-29 盖圈

(注同图 7-22)



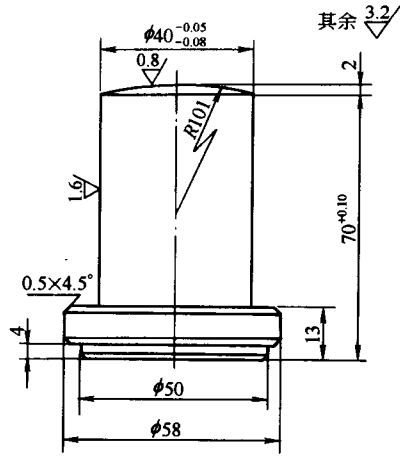


图 7-32 样件图  
(注同图 7-22)

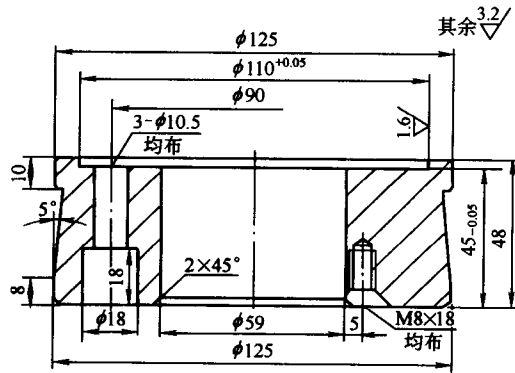


图 7-33 模底  
(注同图 7-22)

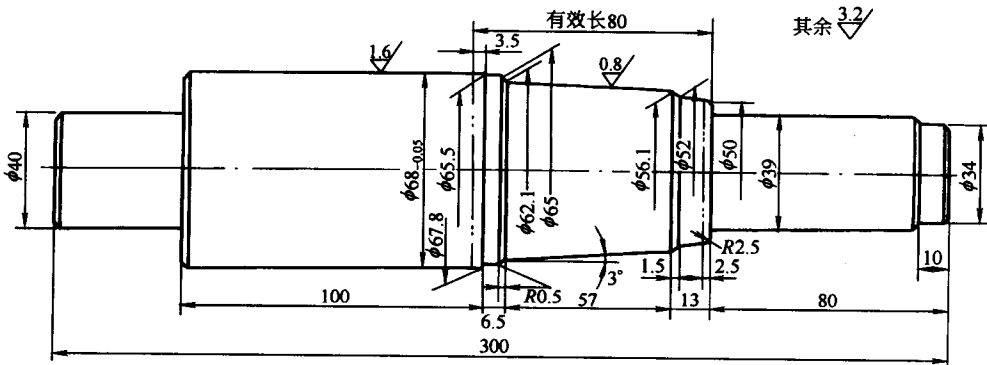


图 7-34 下模底  
(注同图 7-22)



### 7.3.10 咖啡瓶和蘑菇瓶图

图 7-39~图 7-41 分别为 375ml 咖啡瓶、315ml 蘑菇瓶和 315ml 咖啡瓶的制品图，其容积允许的偏差为  $\pm 10\text{ml}$ 。375ml 咖啡瓶质量为 235g，315ml 蘑菇瓶和 315ml 咖啡瓶质量均为 185g，且尺寸相近。

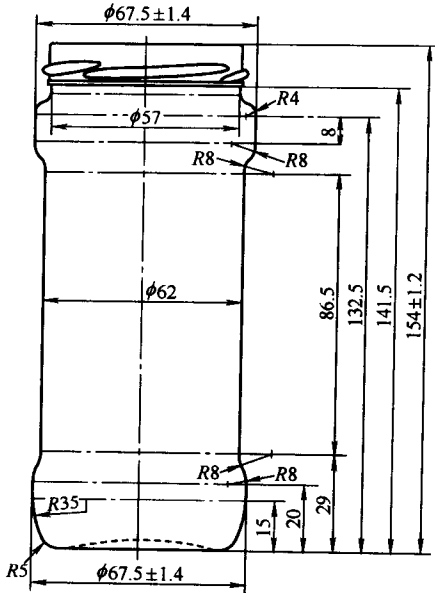


图 7-39 375ml 咖啡瓶

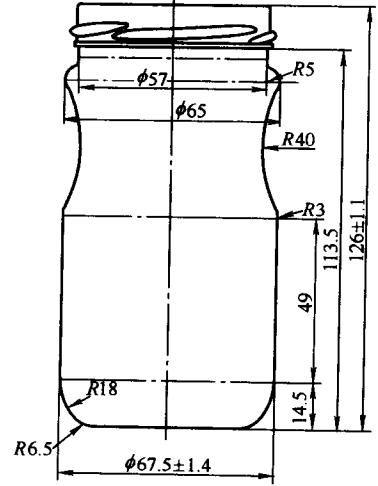


图 7-40 315ml 蘑菇瓶

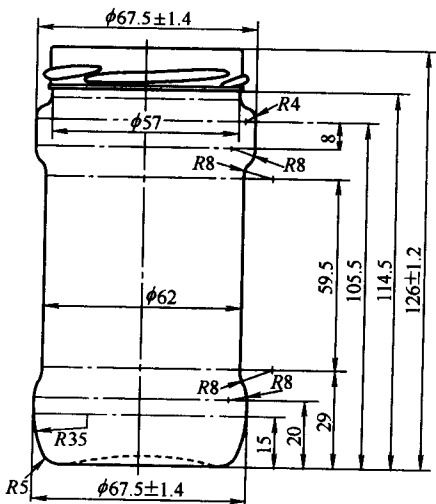


图 7-41 315ml 咖啡瓶

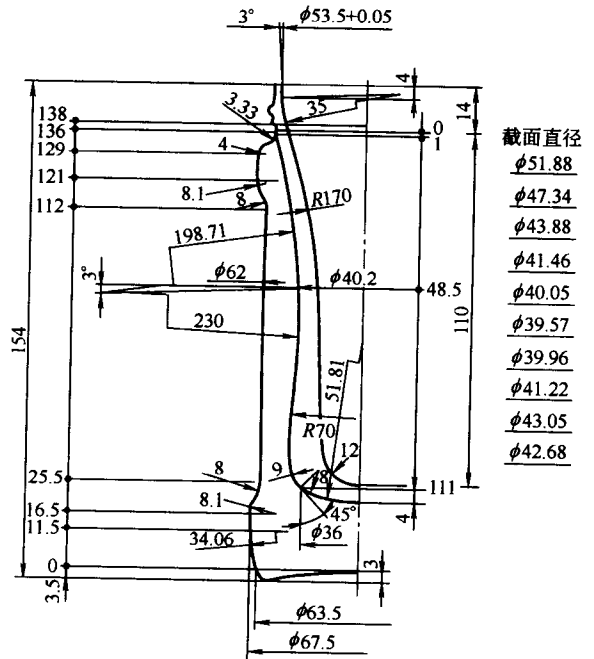


图 7-42 375ml 咖啡瓶锥型设计效果图

### 7.3.11 咖啡瓶和蘑菇瓶的锥型设计效果图

图 7-42~图 7-44 为德国某公司压-吹法成型的锥型设计效果图。

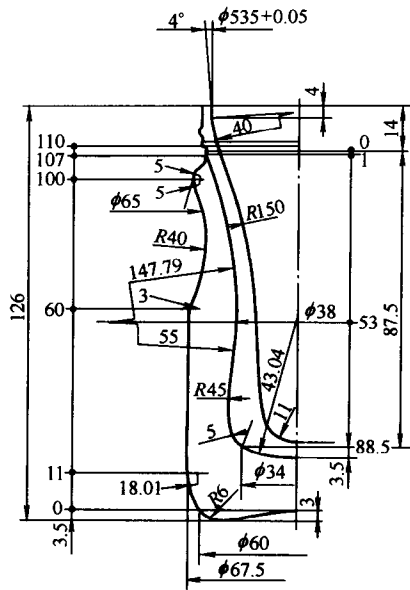


图 7-43 315ml 蘑菇瓶锥型设计效果图

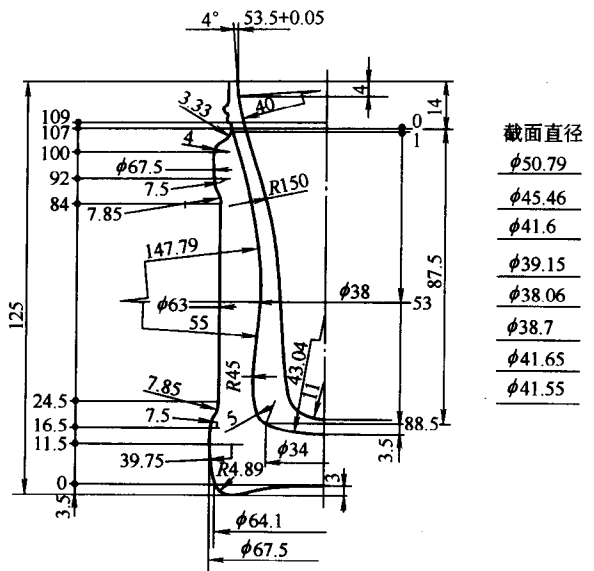


图 7-44 315ml 咖啡瓶锥型设计效果图

### 7.3.12 三套制瓶机模具零件图

三套玻璃瓶模具零件一览表见表 7-4，德国某公司的模具零件图如图 7-45~图 7-65 所示。

表 7-4 三套玻璃瓶模具零件一览表

零件	375ml 咖啡瓶	315ml 蘑菇瓶	315ml 咖啡瓶
成形模体	502 成形模体(图 7-45)	501 成形模体(图 7-46)	500 成形模体(图 7-47)
模底	502 模底(图 7-48)	501 模底(图 7-49)	500 模底(图 7-50)
初型模体	502 初型模体(图 7-51)	500 初型模体(图 7-52)	
网头	502 网头(图 7-53)	500 网头(图 7-54)	
口模	500 口模(图 7-55)		
口模套筒	500 口模套筒(图 7-56)		
冲头	502 冲头(图 7-57)	500 冲头(图 7-58)	
导向螺栓	500 导向螺栓(图 7-59)		
冲头冷却器	502 冲头冷却器(图 7-60)	500 冲头冷却器(图 7-61)	
吹气头	500 吹气头(图 7-62)		
夹钳	500 夹钳(图 7-63)		
接头	500 接头(图 7-64)		
夹环	500 夹环(图 7-65)		



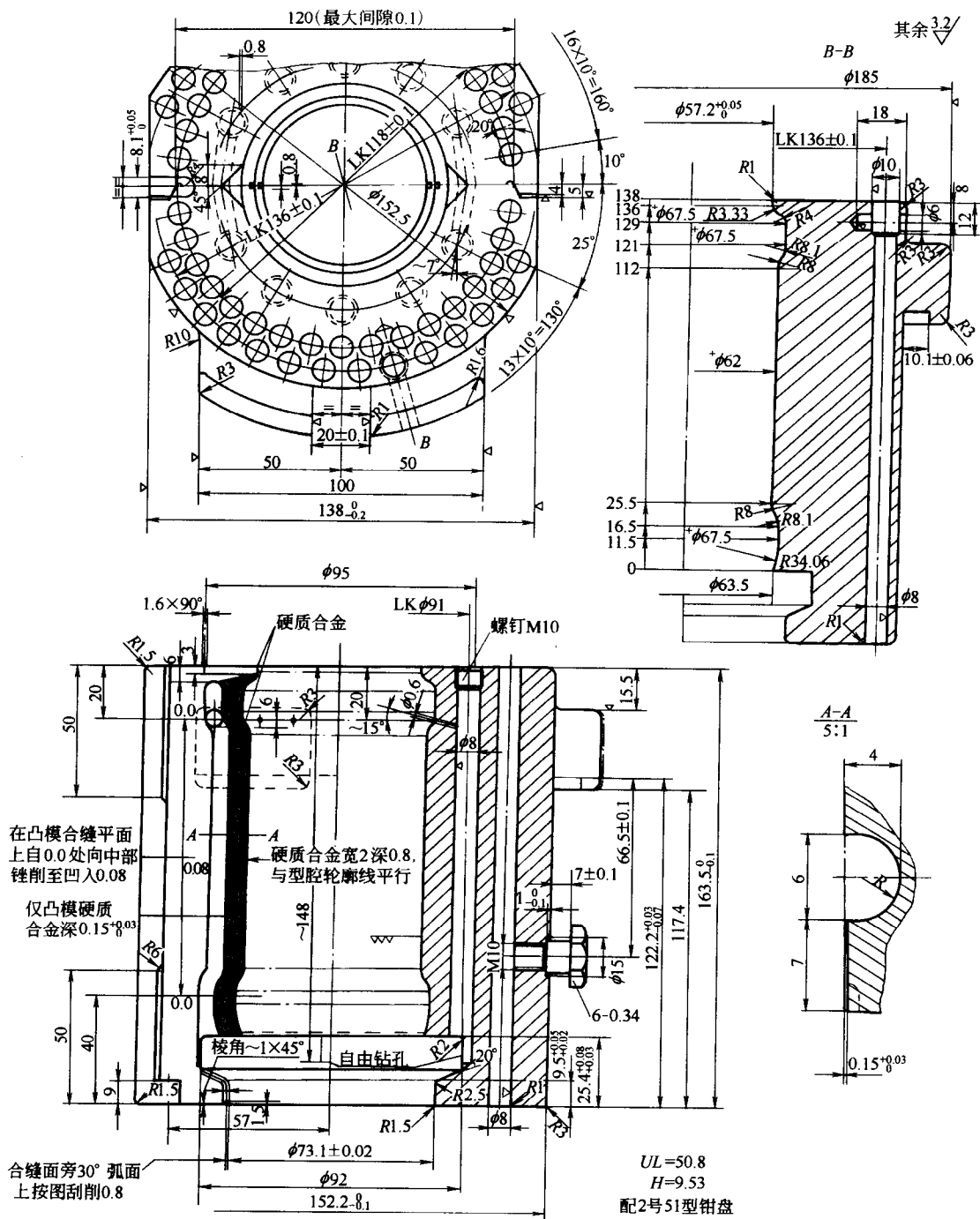


图 7-45 502 成形模体



其余  $\sqrt{3.2}$

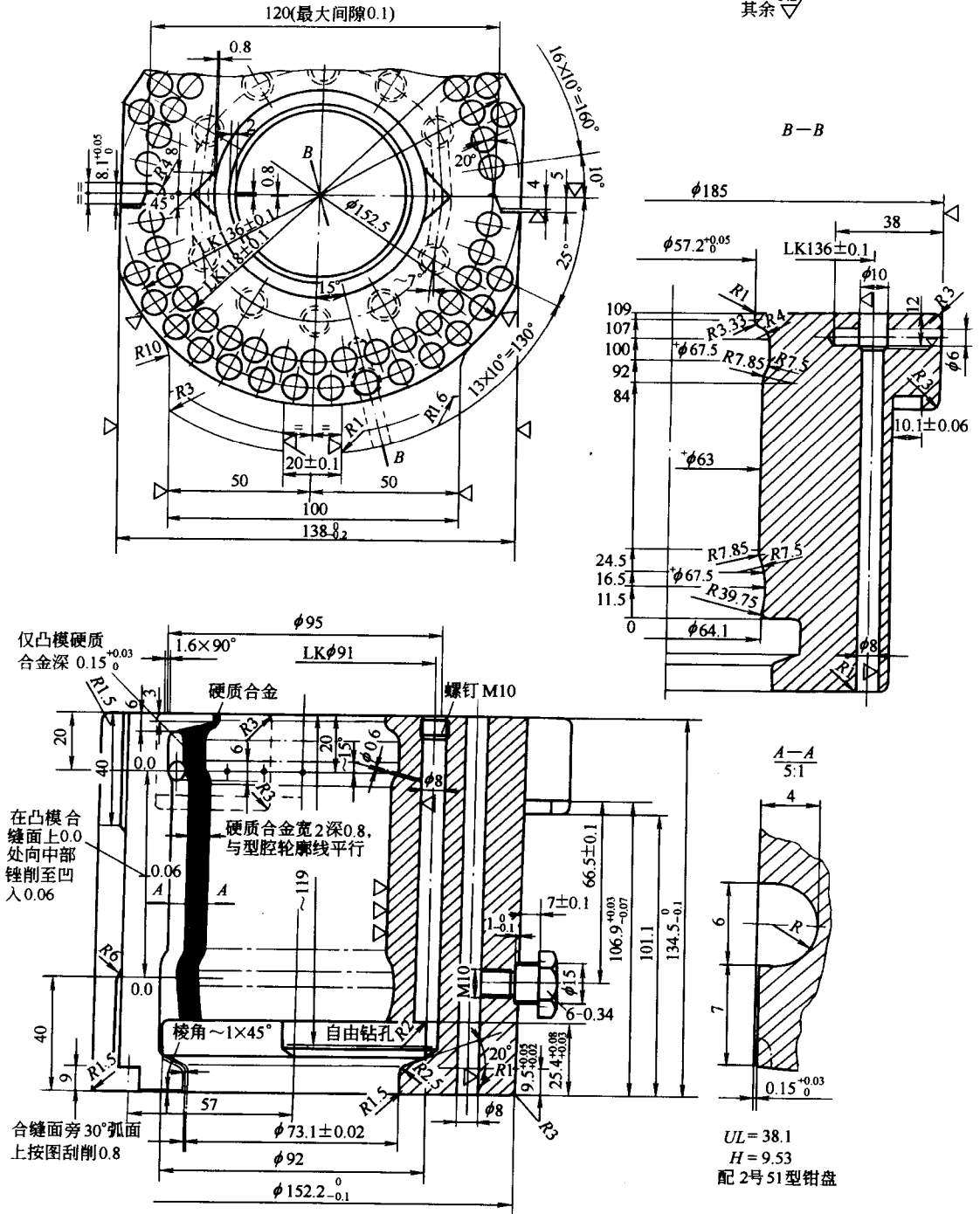


图 7-47 500 成形模体

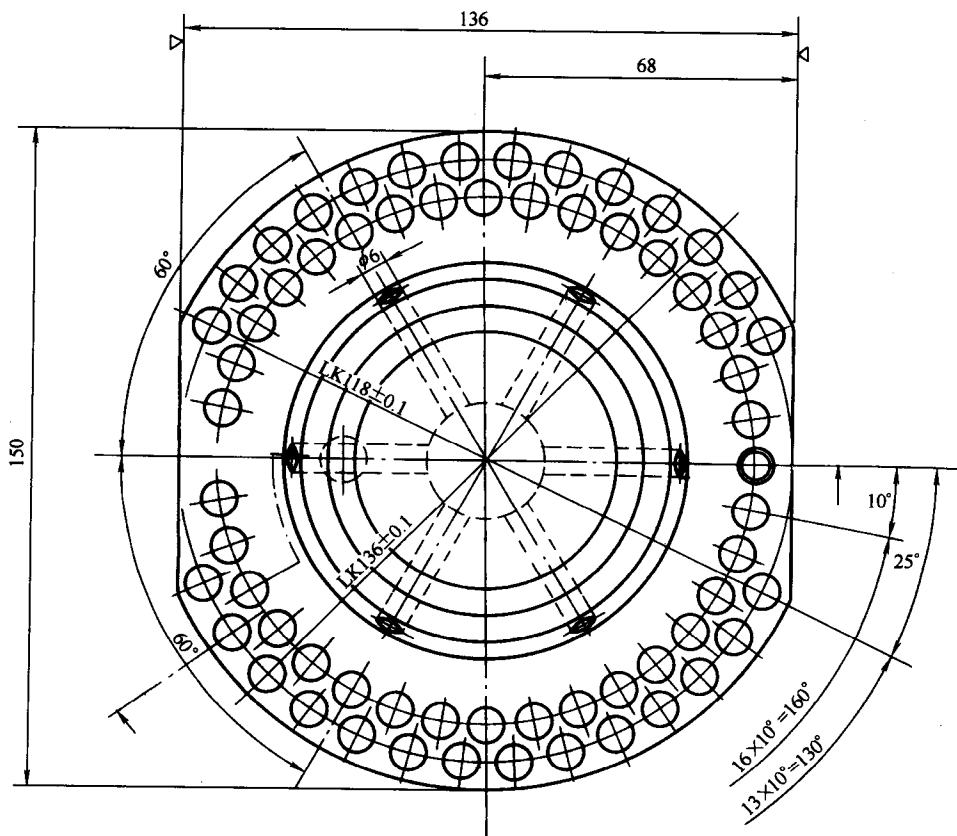
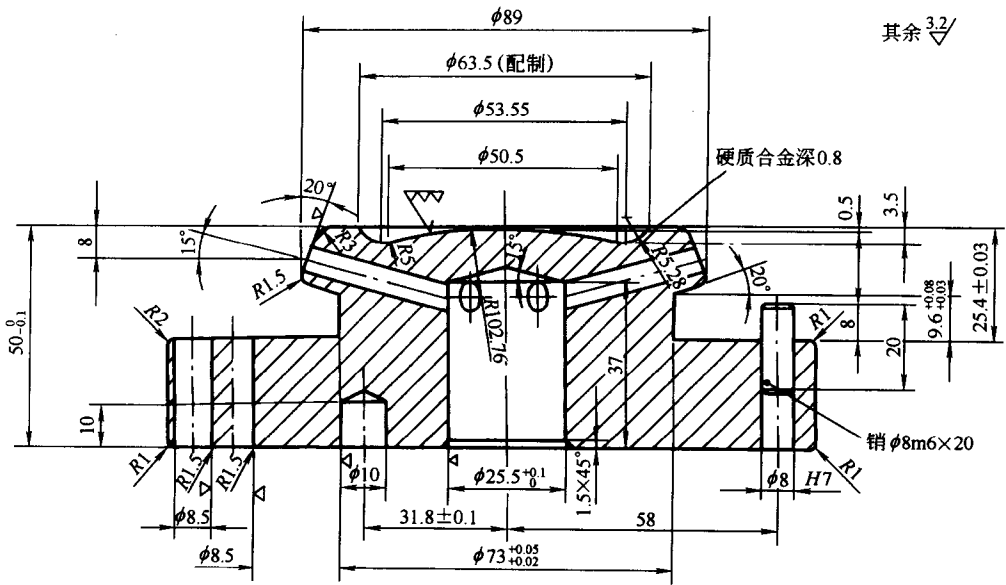


图 7-48 502 模底

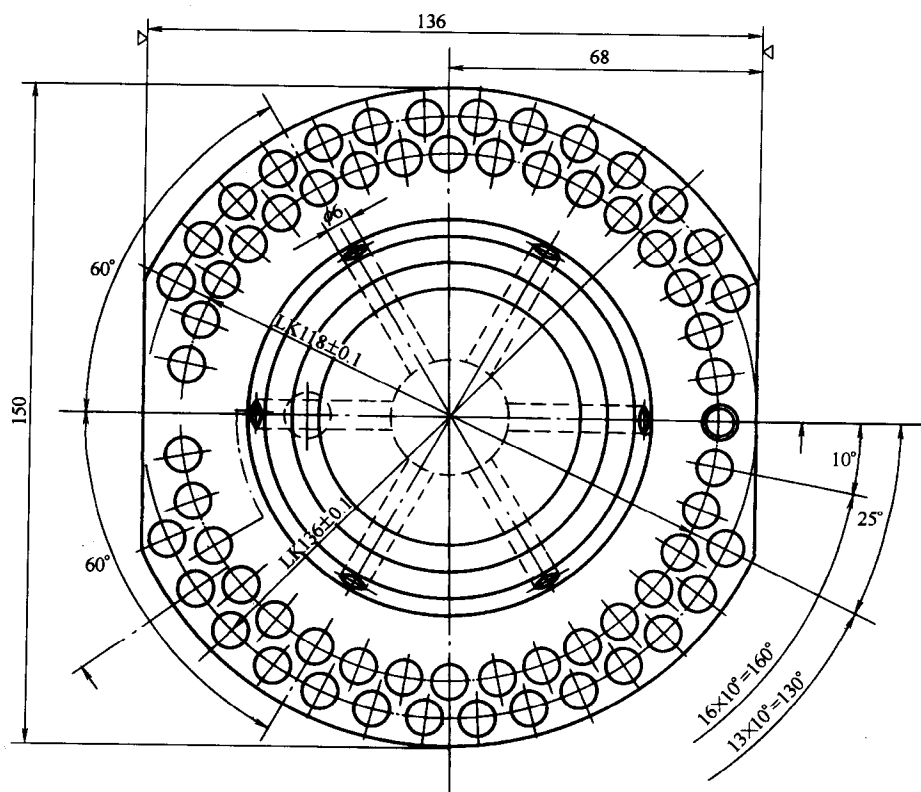
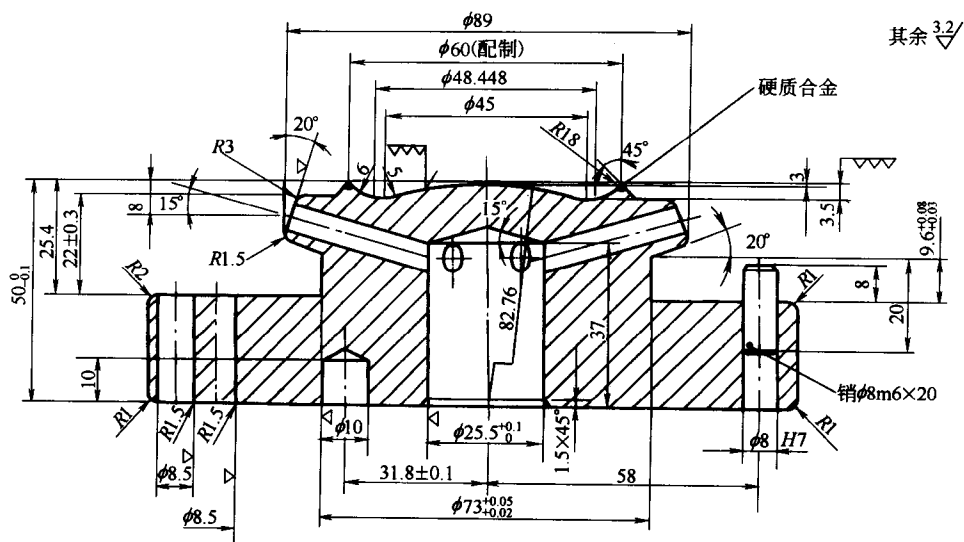


图 7-49 501 模底

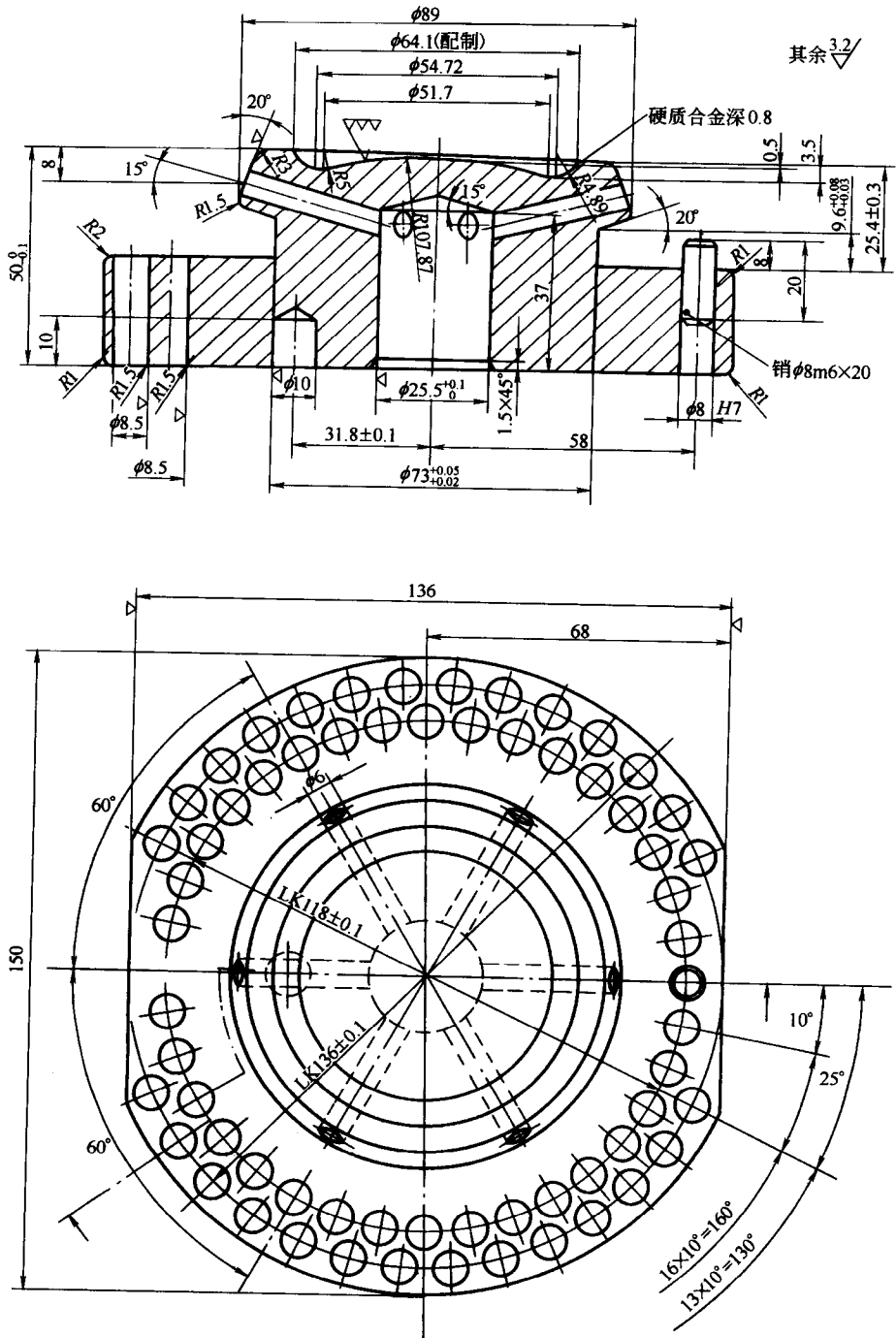


图 7-50 500 模底

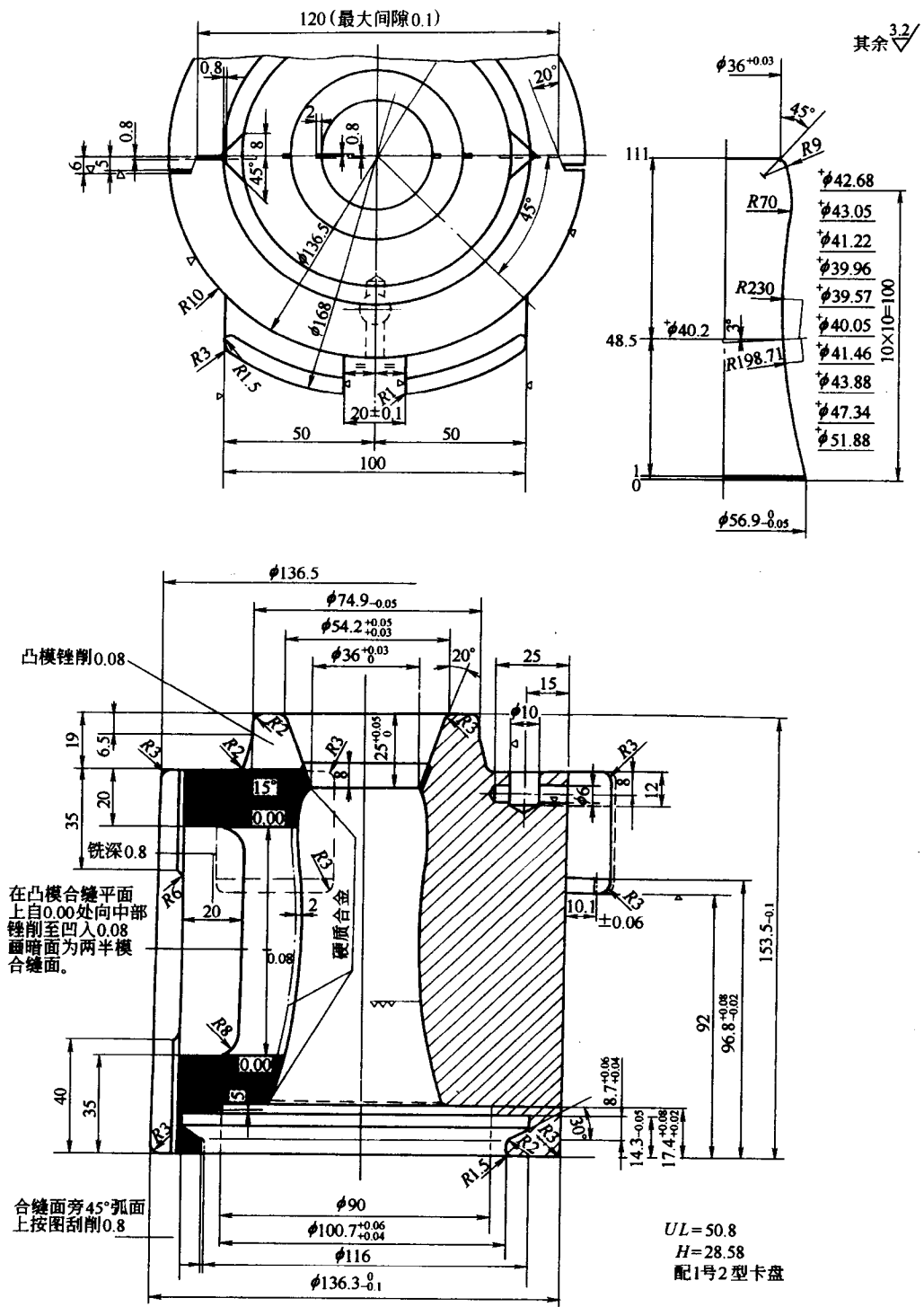


图 7-51 502 初型模体

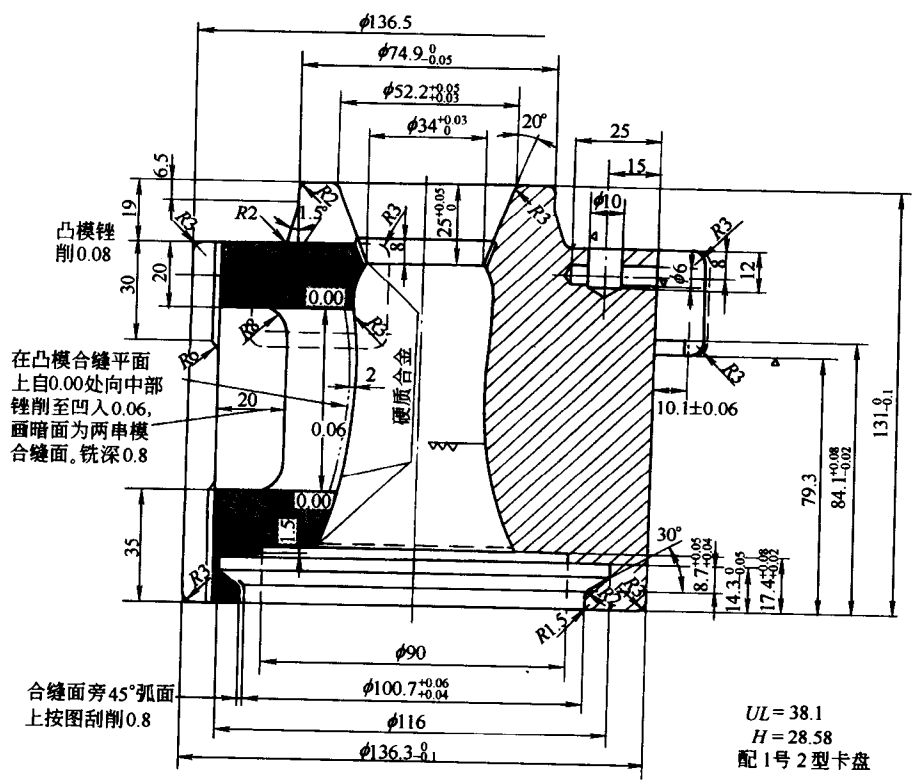
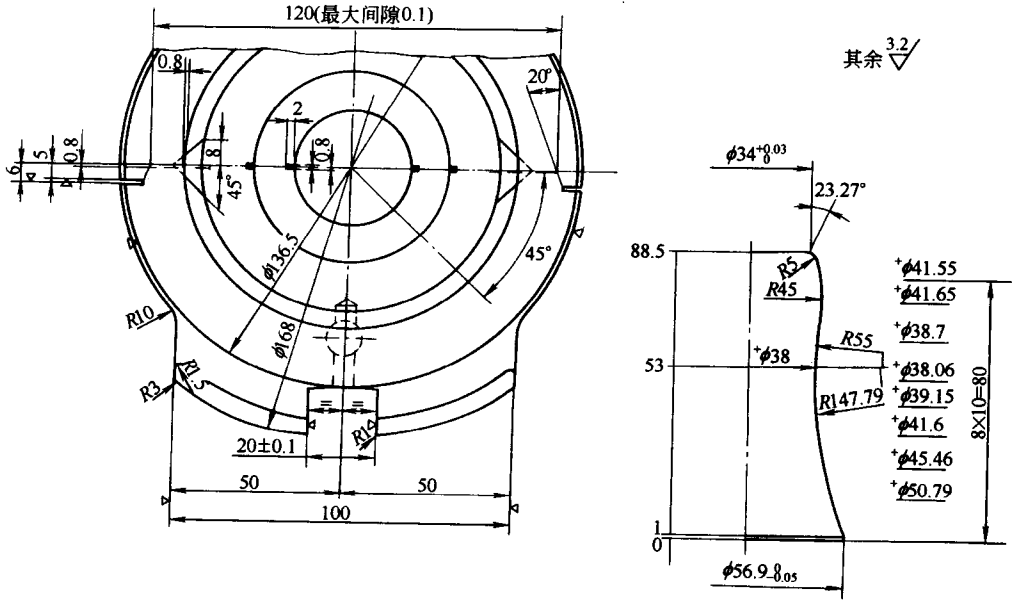


图 7-52 500 初型模体



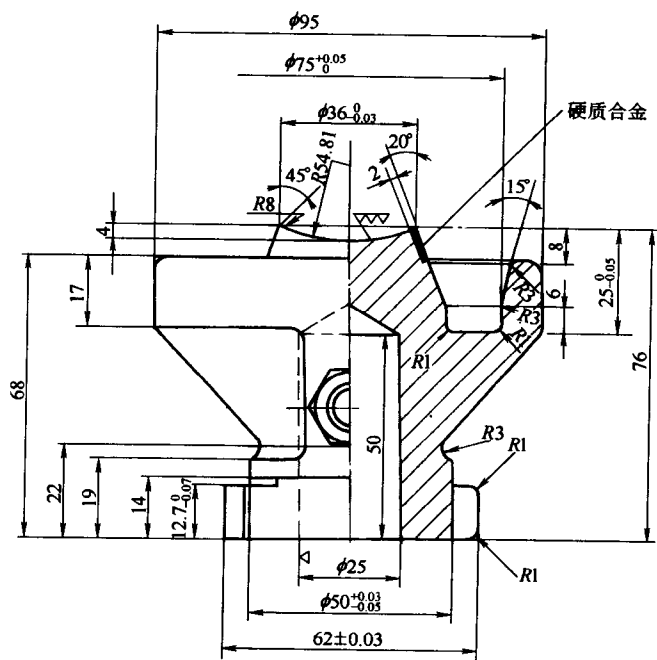
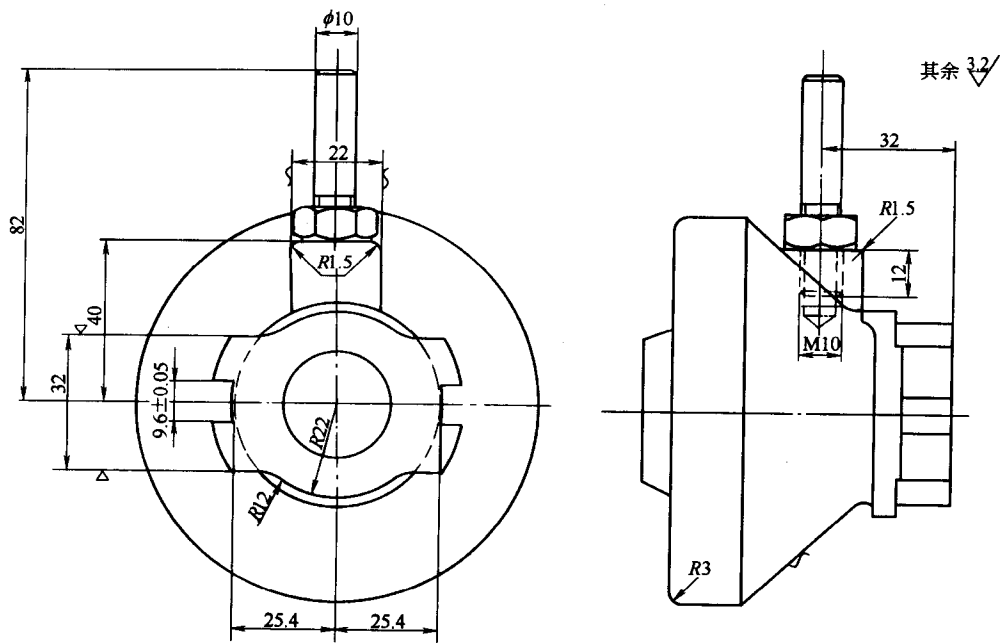
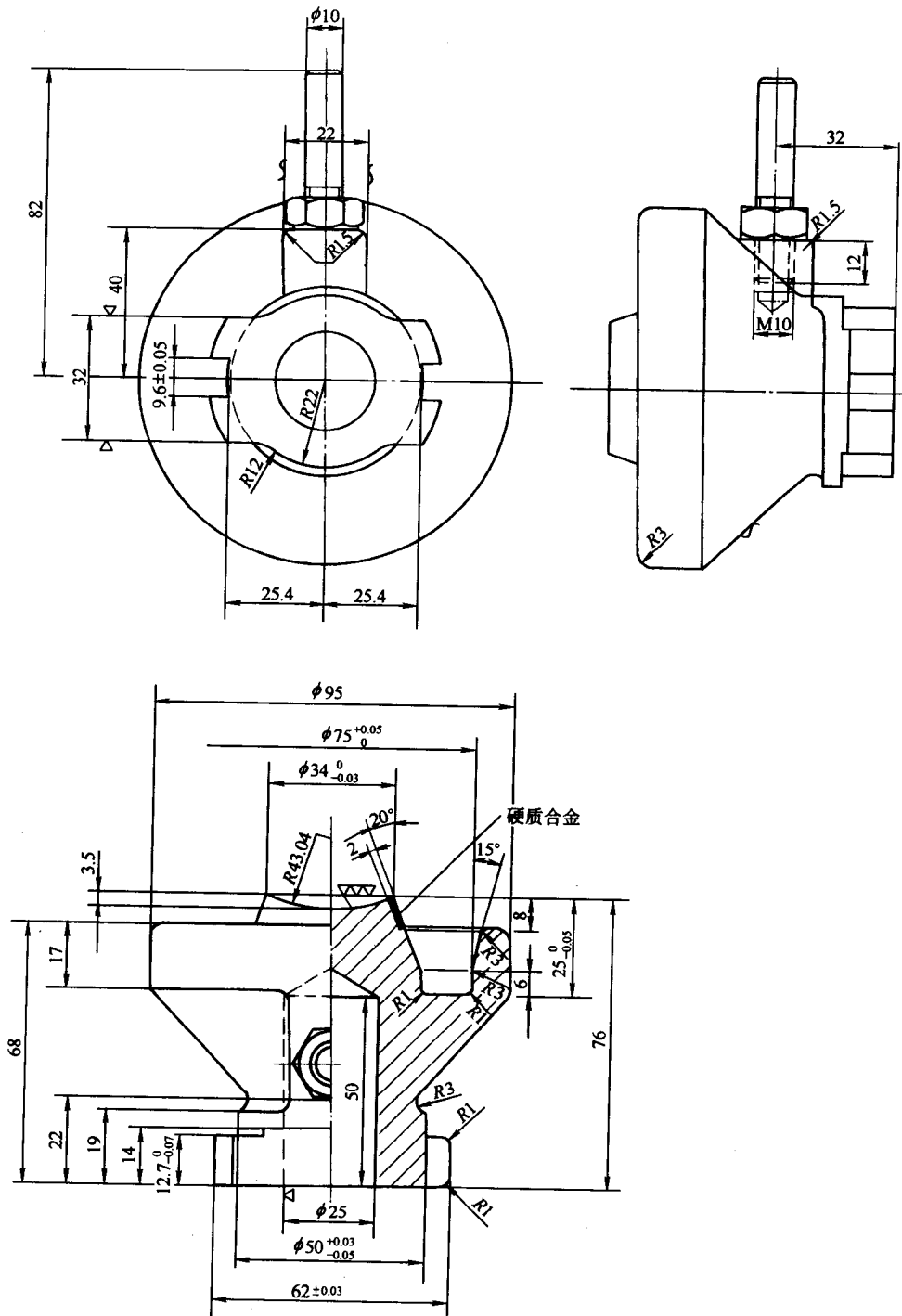


图 7-53 502 阀头



其余  $\sqrt{3.2}$

图 7-54 500 阀头

其余  $\sqrt{3.2}$

展开图 M2:1

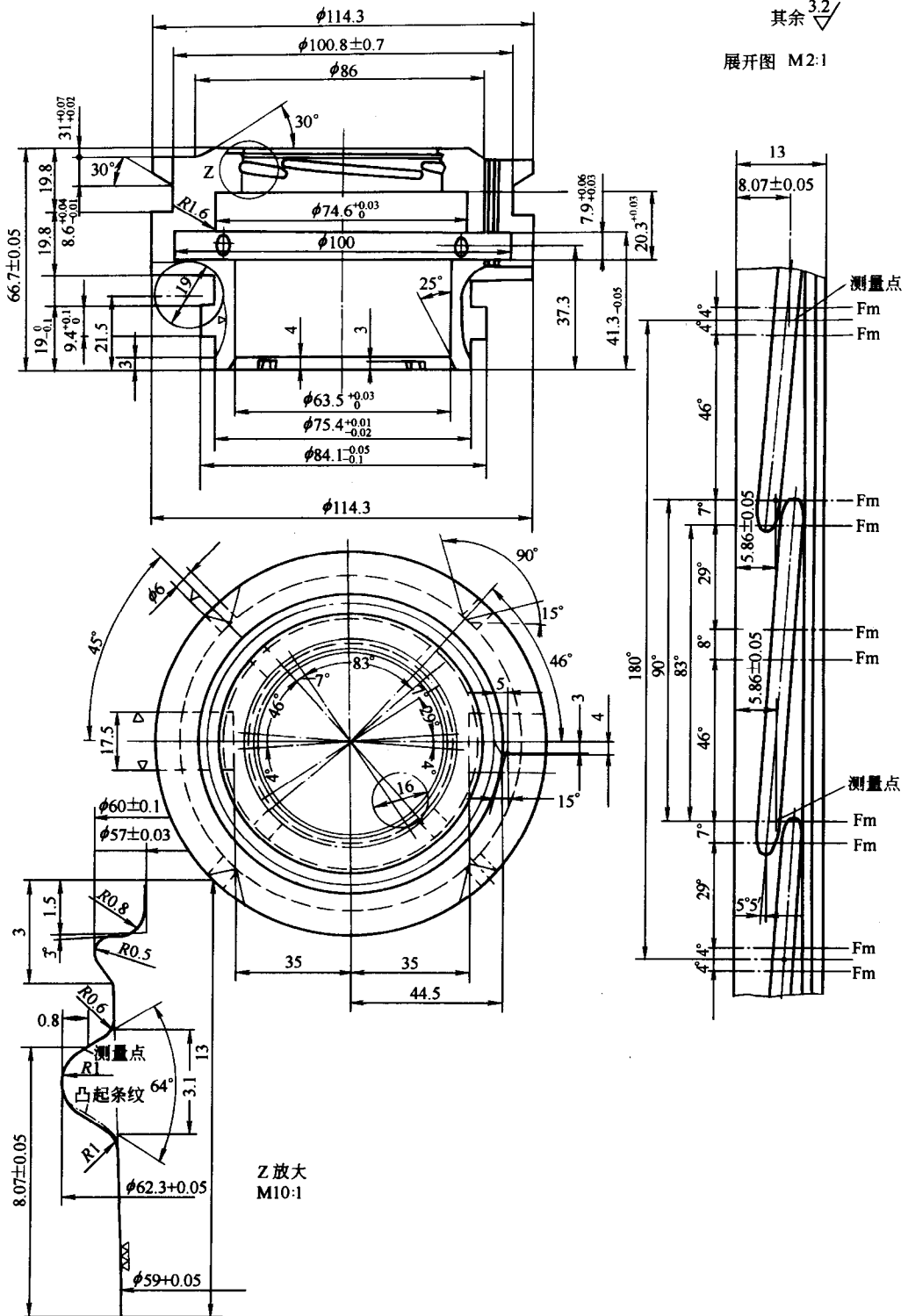


图 7-55 500 口模



其余 3.2

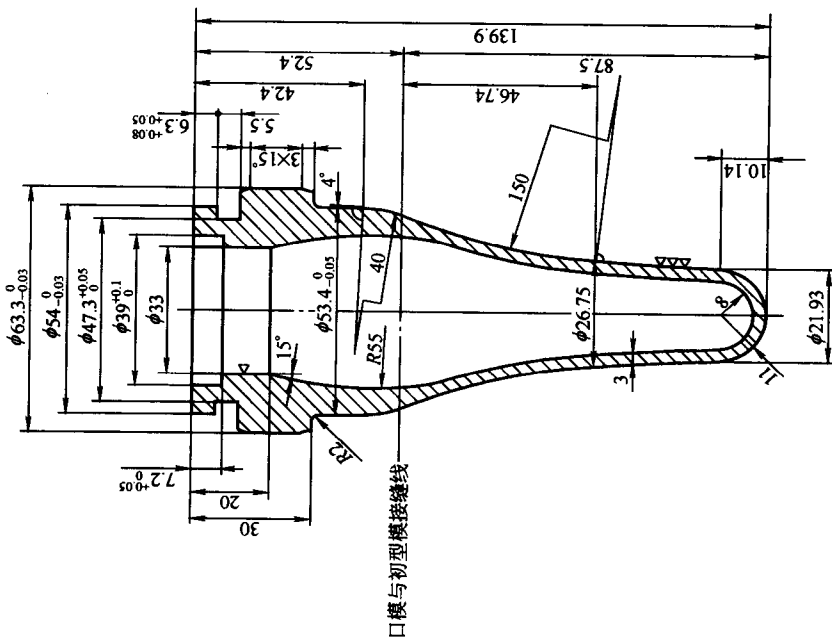


图 7-58 500冲头

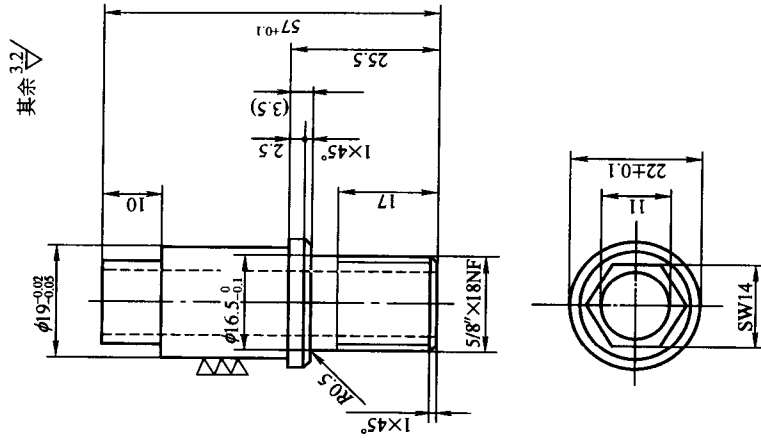


图 7-59 500导向螺栓

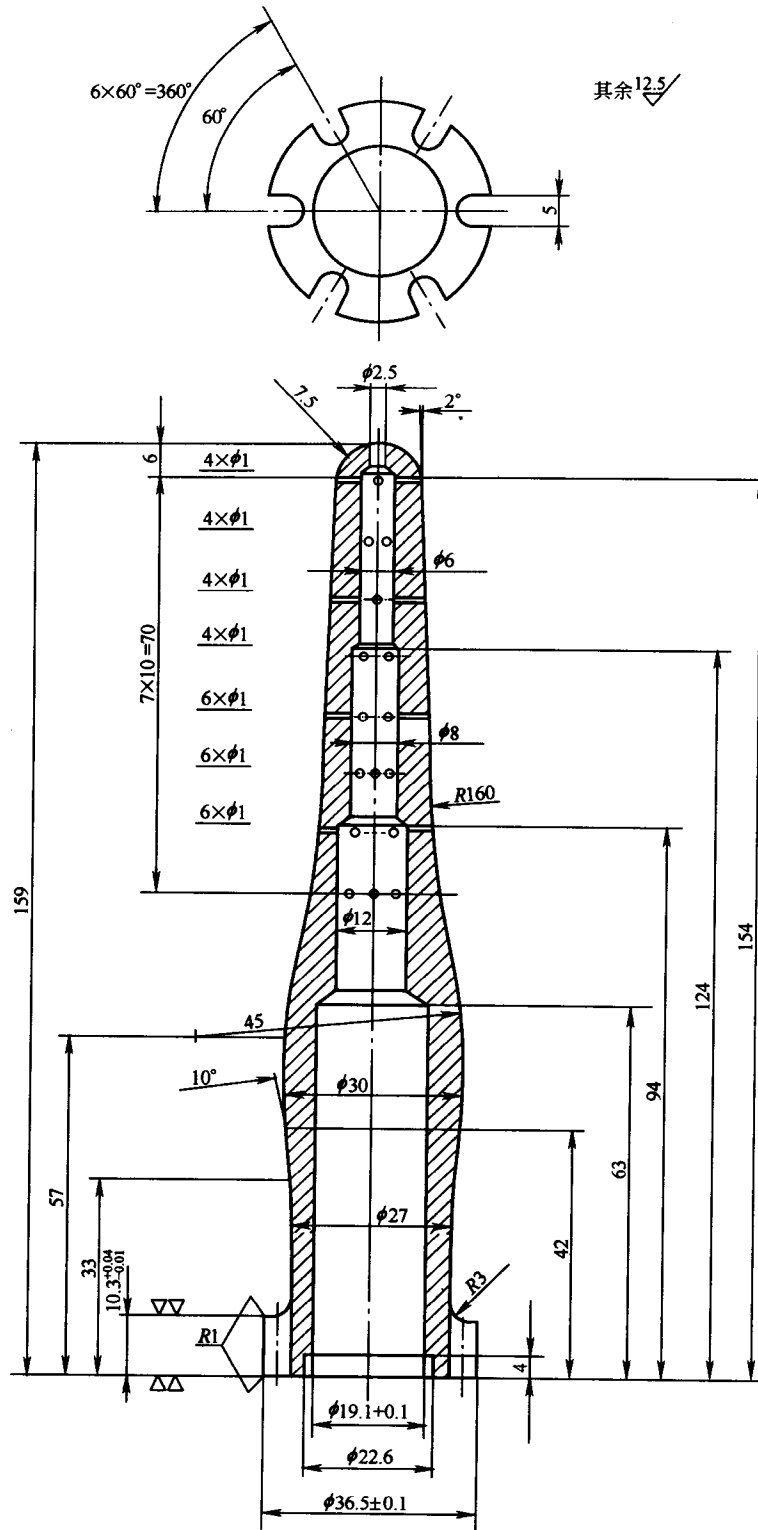


图 7-60 502 冲头冷却器

其余  $\sqrt{3.2}$

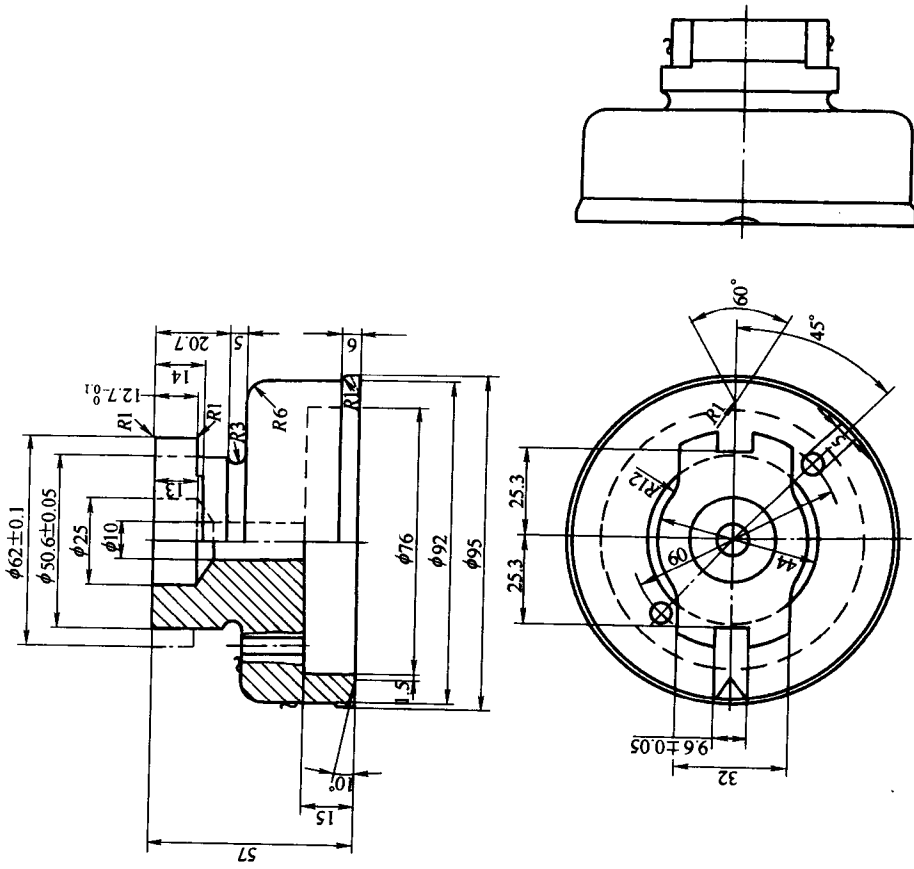


图 7-62 500 吹气头

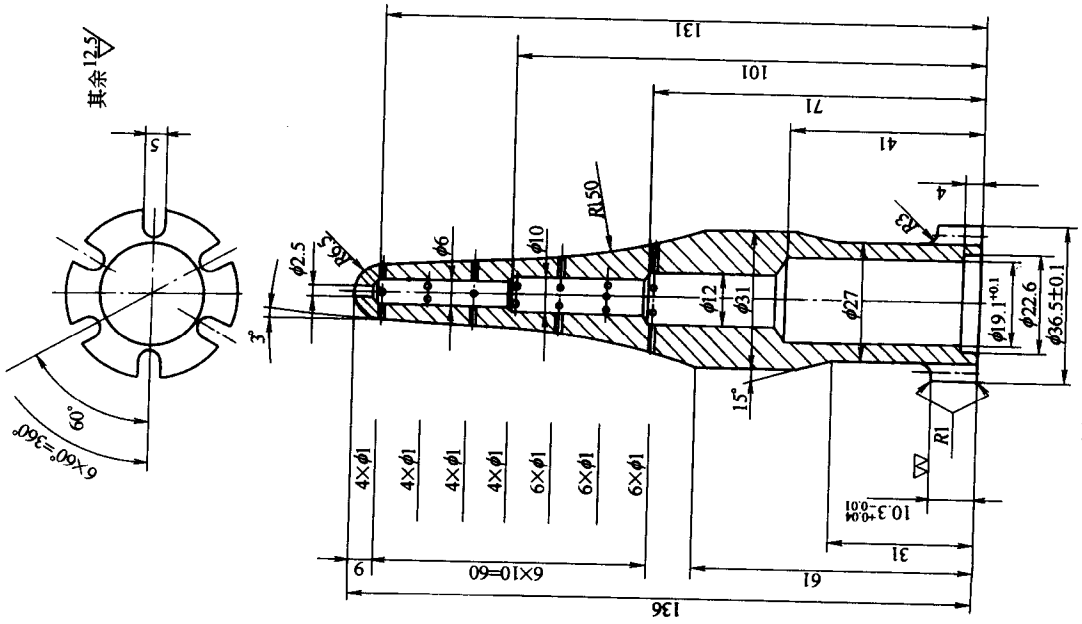


图 7-61 500 冲头冷却器

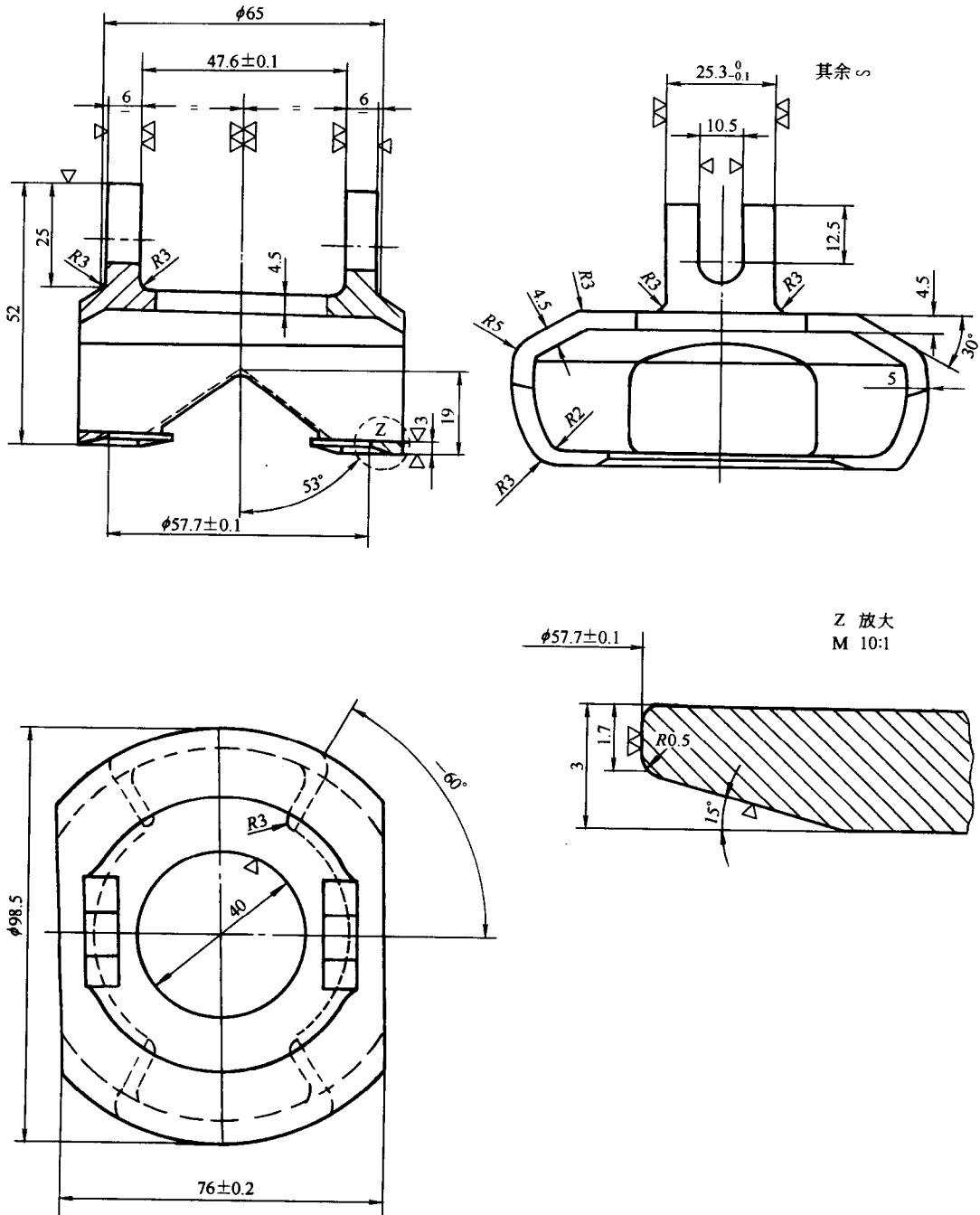


图 7-63 500 夹钳



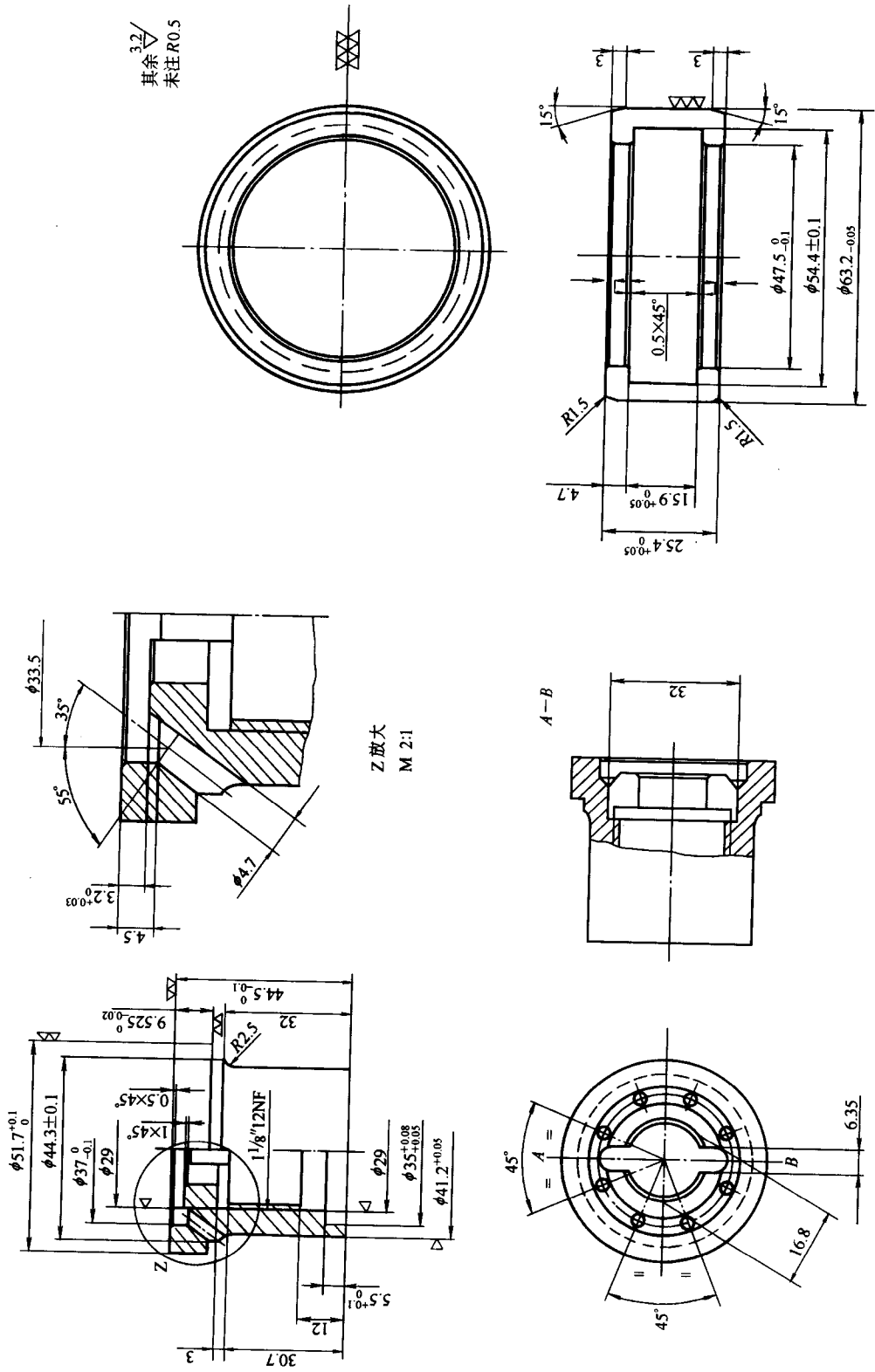


图 7-64 500接头

图 7-65 500夹环

## 参 考 文 献

- 1 《中国模具设计大典》编委会. 中国模具设计大典. 南昌: 江西科学技术出版社, 2003
- 2 《高技术新材料要览》编辑委员会编. 高技术新材料要览. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
- 3 西北轻工业学院主编. 玻璃工艺学. 北京: 中国轻工业出版社, 2000
- 4 范垂德等编译. 玻璃模具与瓶型设计. 北京: 轻工业出版社, 1981
- 5 戴金辉, 葛兆明主编. 无机非金属材料概论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999
- 6 齐齐哈尔轻工学院主编. 玻璃机械设备. 北京: 中国轻工业出版社, 1995
- 7 干福熹等著. 无机玻璃物理性质计算和成分设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1981
- 8 J·扎齐斯基主编. 玻璃与非晶态材料. 干福熹等译. 北京: 科学出版社, 2001
- 9 黄照柏译. 玻璃的本质结构和性质. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984
- 10 D·R 乌尔曼等主编. 玻璃的弹性与强度. 王西成等译. 北京: 轻工业出版社, 1988
- 11 崔冀凯, 周从阳. 玻璃色泽对制瓶生产工艺的影响. 玻璃与搪瓷. 1999, 1
- 12 《当代中国》编委会. 当代中国的工艺美术. 北京: 中国社会科学出版社, 1984
- 13 张福昌, 吴翔编著. 创意 100 产品造型设计. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1996
- 14 庞志成著. 工业造型设计. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1995
- 15 陈志俊等主编. 产品造型设计原理与方法. 天津: 天津大学出版社, 1994
- 16 金家琦等主编. 造型设计原理与方法. 天津: 天津大学出版社, 1994
- 17 谢庆森等主编. 产品造型设计实例图集. 天津: 天津大学出版社, 1995
- 18 陈新华. 包装容器造型设计. 北京: 中国美术学院出版社, 1992
- 19 梅尔·拜厄斯主编. 50 款新产品. 邓欣楠等译. 北京: 中国轻工业出版社, 2000
- 20 程能林主编. 产品造型设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 21 邓长明主编. 饮品知识. 北京: 中国轻工业出版社, 2000
- 22 陈中豪主编. 包装材料. 长沙: 湖南大学出版社, 1989
- 23 郑军主编. 包装设计与制作. 北京: 高等教育出版社, 1999
- 24 毛寿松编. 商品包装容器设计. 上海: 上海科学技术出版社, 1990
- 25 宋宝峰主编. 包装容器结构与制造. 北京: 印刷工业出版社, 1996
- 26 唐志祥主编. 包装材料与实用包装技术. 北京: 化学工业出版社, 1996
- 27 孙诚等编著. 包装结构设计. 北京: 中国轻工业出版社, 1997
- 28 陈国琴等编著. 国际包装. 北京: 对外贸易大学出版社, 1994
- 29 孙俊华等编著. 包装材料与包装技术. 广州: 暨南大学出版社, 1993
- 30 陈祖云主编. 包装材料与容器手册. 广州: 广东科技出版社, 1998
- 31 陈清华编著. 玻璃器皿装饰技术. 北京: 轻工业出版社, 1984
- 32 李绍林, 马长福主编. 实用模具技术手册. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2000
- 33 梁德海, 陈茂雄编译. 玻璃生产技术. 北京: 轻工业出版社, 1982
- 34 基泰戈罗茨基主编. 玻璃生产手册. 郑庆海等译. 北京: 轻工业出版社, 1996
- 35 吴柏诚编著. 玻璃制造工艺基础. 北京: 中国轻工业出版社, 1999
- 36 作花济夫等编. 玻璃手册. 蒋国栋等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985
- 37 瞿金平等主编. 注塑、模压工艺与设备. 北京: 化学工业出版社, 2001
- 38 陈万林等编著. 实用模具技术. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 39 卢立新, 蔡莹等. 玻璃瓶样造型设计与实现. 无锡轻工大学学报. 2001, 3
- 40 卢立新, 蔡莹等. 玻璃瓶样 CAD 系统研制. 包装工程. 2001, 1
- 41 曾孝宇等. 基于 Object ARX 的玻璃瓶型 CAD 系统的开发. 天津轻工业学院学报. 2002, 3
- 42 薛强, 查建中. 玻璃瓶罐造型计算机辅助设计系统. 天津轻工业学院学报. 1998, 1
- 43 薛强, 李树森. 小口玻璃瓶压-吹法模具 CAD. 天津轻工业学院学报. 1998, 2
- 44 李树森, 薛强. 大口玻璃瓶压-吹法模具 CAD. 天津轻工业学院学报. 1999, 1
- 45 薛强, 李树森. 制瓶机模具参数化作图及实现. 天津轻工业学院学报. 1996, 2

- 46 姚涵珍等. 玻璃容器模具参数化法. 天津轻工业学院学报. 2001, 1
- 47 曹卫群, 实用化玻璃模 CAD 系统的设计与实现. 机械科学与技术. 1999, 1
- 48 王继韶, 张建国. 玻璃模具 CAD 系统的研究与开发. 轻工机械. 1999, 4
- 49 王继韶等. 制瓶机模具 CAD 中的图形处理. 玻璃与搪瓷. 1998, 6
- 50 王继韶等. 制瓶机模具 CAD 中的数据管理. 玻璃与搪瓷. 1998, 1
- 51 方刚, 曾攀. 有限元法在玻璃成形工艺研究的应用. 玻璃与搪瓷. 2002, 1
- 52 张卫军, 杨景祥. 玻璃瓶模具温度场的数值模拟及分析. 玻璃与搪瓷. 1991, 1
- 53 甘迎红. 玻璃模具温度场的有限元研究. 模具工业. 1998, 10
- 54 陈火根. 玻璃瓶模 CAD 系统. 模具工业. 2000, 12
- 55 方忆湘等. 彩色玻壳模具计算机辅助设计计算系统研究. 模具工业. 2002, 7
- 56 陈元球, 冯能山. 玻璃瓶模具 CAD 的智能瓶形设计. 广西师范大学学报. 2002, 2
- 57 陆建刚等. 引进 I. S 机的大口轻量瓶初型设计. 模具工业. 1993, 1
- 58 冯晓曾等编著. 提高模具寿命指南——选材及热处理. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 59 叶宏. 玻璃模具的激光合金化处理. 模具工业. 2000, 4
- 60 梁文莉, 严长贵. 铜基合金玻璃模具材料的开发. 模具工业. 1993, 7
- 61 李崇礼. 合金铸铁玻璃模具的组织与性能研究. 模具工业. 1998, 8
- 62 王良映等. 镍铸铁在玻璃模上的应用. 模具工业. 1995, 3
- 63 唐英. 玻璃器皿冲模表面强化材料的研究. 新技术新工艺. 2001, 5
- 64 申长雨等著. 塑料模具计算机辅助工程. 郑州: 河南科学出版社, 1998
- 65 杨成浩. 玻璃模具与玻璃瓶缺陷. 玻璃与搪瓷. 2000, 3
- 66 何东, 马向阳. 镜片压制模具的热喷焊表面强化. 模具工业. 2001, 9
- 67 范垂德等编译. 玻璃工厂的设备. 北京: 轻工业出版社, 1965
- 68 张碧栋主编. 玻璃配合料. 北京: 中国建材工业出版社, 1992
- 69 《模具实用技术》编委会. 模具材料与使用寿命. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 70 程培源主编. 模具寿命与材料. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 71 杨婷等. 玻璃包装的回收利用技术与方法分析. 广东包装. 2002, 4