

工程材料學

李直鈞 編輯

松澤先生指正

受業李直鈞敬贈

北京直鈞科學實驗社出版

北京鼓樓東草廠胡同六十八號

電話北分局(4)一〇八五六號

1941

序

治工學者宜注重學識，材料及人工三事。無優良之學識，不足以言設計；無堅實之材料，不足以言營造；無熟練之人工，不足以言施工。三者有一或差，工事必劣；三者盡差，則其工事之敗壞不堪聞問矣。

工程材料學之研究，目的在盡物之性，因材器使，俾無遺材或過荷之弊，實治工學者所當研究之一基本學科。本書取材有為國內所習用者，有採自國外者。間有楚材晉用，挹彼注茲之處，亦事實需要，非示淵博，實不得已也。

方今建設事業，突飛猛進，國內應有大規模之材料試驗機關，將所有國產材料作詳盡之試驗以為工程設計之依據；惜至今此項機關尚付缺如。編者每於企劃教學時，即感覺此項需要之迫切。但有是心而無是力，徒呼負負，為之奈何？是則有待於國內工學團體之呼籲，與夫從事工業教育者及工程企業者之共同協力者也。

他日對於號稱地大物博之中國所產之材料能有精確之試驗與研究，而於本書再版時得以嶄新之資料與讀者相見，豈非工學上之一件快事耶！是則編者與讀者所共同企望之矣；是為序。

民國三十年四月

編者識

工程材料學目錄

序.....封面之裏面

章 1 石膏石灰及石灰泥

I 熟石膏

- § 1 熟石膏 熟石膏的分類 烘製.....頁 1 至頁 1
- § 2 各種熟石膏的製法 凝結及硬固.....頁 2 至頁 2
- § 3 熟石膏的強度.....頁 2 至頁 3
- § 4 熟石膏的用途.....頁 3 至頁 4

II 石灰

- § 5 石灰與熟石灰 凝硬原理 富鈣石灰與含鎂石灰 品質
.....頁 4 至頁 4
- § 6 石灰的貯藏.....頁 4 至頁 4

III 石灰沙泥

- § 7 石灰的消解.....頁 5 至頁 5
- § 8 石灰沙泥 沙的功用 石灰漿用量 石灰沙泥的混合法
.....頁 5 至頁 6
- § 9 石灰沙泥及石灰漿的用途 石灰漿.....頁 6 至頁 6
- § 10 石灰沙泥的抗張強度.....頁 6 至頁 6

章 2 洋灰

I 洋灰的製造

- § 11 洋灰 用途.....頁 7 至頁 7
- § 12 原料 原料的配合.....頁 7 至頁 7
- § 13 製法 乾法 濕法 烘燒的原理.....頁 7 至頁 9

II 洋灰的性質及其試驗法

- § 14 洋灰的性質 檢樣 比重 細度 增加強度 凝結加速

增加和沙量 增加成品的體積 洋灰泥 正則稠度 健全性 游離的石灰 健全度試驗 正常試驗 加速試驗 凝結時間 凝結時間的試驗 維卡氏器法 季爾摩氏針法 強度 洋灰樣件	頁 9 至頁 18
附錄 1 洋灰的標準規範	頁 19 至頁 22

章 3 洋灰沙泥

I 洋灰沙泥的配料

§ 15 洋灰沙泥 洋灰 沙 水	頁 23 至頁 23
§ 16 洋灰沙泥的配料比量計算法 通行的配料比量	頁 23 至頁 23
§ 17 每立碼洋灰沙泥中所需各原料	頁 23 至頁 24
§ 18 洋灰沙泥的混和 手工混和 洋灰沙泥噴射機	頁 24 至頁 25

II 洋灰沙泥的強度及性質

§ 19 洋灰沙泥的強度 質度 細粒料顆粒粗細及其分配情形的影響 用水量的影響 熟石灰的影響 雜質的影響 溫度的影響 濕度的影響 成品年齡的影響	頁 25 至頁 27
§ 20 洋灰沙泥的各種強度 抗張強度 抗壓強度 抗剪強度 附着強度 彈性係數	頁 27 至頁 29

章 4 沙及碎石

I 沙的品質及成分

§ 21 沙的品質	頁 30 至頁 30
§ 22 沙的成分 雜質	頁 30 至頁 30

II 沙粒的研究

§ 23 沙粒的研究 沙的細度 沙的空隙量	頁 30 至頁 31
§ 24 沙粒細度與洋灰沙泥強度的關係 沙粒粗細的限度	頁 31 至頁 31
§ 25 空隙量 直接測定沙的空隙量 間接測定沙的空隙量 含水量與空隙量的關係	頁 31 至頁 32

III 洋灰沙泥的試驗

- § 26 洋灰沙泥的試驗……………頁 32至頁 33
 § 27 篩過的碎石屑……………頁 33至頁 33

IV 粗粒料

- § 28 粗粒料 強度 硬度 雜質 顆粒的大小限 顆粒的形狀
 顆粒粗細分配的情形 粗粒料的空隙量……………頁 33至頁 35
 § 29 碎石 卵石 碎石與卵石的比較……………頁 35至頁 36
 § 30 煤渣……………頁 36至頁 36

章 5 混凝土

I 混凝土的配料

- § 31 混凝土 單純混凝土 鋼筋混凝土……………頁 37至頁 38
 § 32 配料的重要 配料的原理 注重質度的配料原理 不注重
 質度的配料原理 坍落試驗 流動試驗……………頁 38至頁 40
 § 33 依通行標準配料法……………頁 40至頁 40
 § 34 依空隙量配料法……………頁 40至頁 40
 § 35 依最小產率配料法 配料方法……………頁 40至頁 41
 § 36 材料的估計……………頁 41至頁 41

II 不透水混凝土

- § 37 不透水混凝土的性質……………頁 41至頁 42
 § 38 不透水混凝土 塗隔水層 摻和明礬肥皂或亞麻仁油 摻
 入水化石灰 塗抹滲青層 鋪滲青氈……………頁 42至頁 43

III 混凝土的混和，移運及放置

- § 39 混凝土的混和 手工混和法 機器混和法 間歇混和機
 連續混合機……………頁 43至頁 45
 § 40 混凝土的移運……………頁 45至頁 45
 § 41 混凝土的放置……………頁 45至頁 46

IV 混凝土的模板

- § 42 混凝土的模板……………頁 46至頁 47
 § 43 模板的設計……………頁 47至頁 47
 § 44 模板的拆卸……………頁 47至頁 48

V 混凝土表面的整理

- § 45 混凝土的整理 混凝土的表面整理……………頁 48至頁 48
 § 46 混凝土表面增加耐磨性法……………頁 48至頁 48

VI 混凝土的性質及強度

- § 47 混凝土的性質及其影響 洋灰比量對於抗壓強度的影響
 混和用水比量的影響 粒料粗細對於其強度的影響 粒料品質的
 影響 成品年齡的影響 混和情形的影響 移運放置情形的影響
 低温度的影響……………頁 49至頁 50
 § 48 混凝土的強度 抗壓強度 抗張強度 抗剪強度 橫撓強
 度 附着強度……………頁 50至頁 53
 § 49 混凝土的彈性 混凝土的彈性係數……………頁 53至頁 54
 § 50 混凝土的資用應力及安全率……………頁 54至頁 55

VII 混凝土的耐用性

- § 51 混凝土的耐用性 磨蝕 火災 海水 污水 酸類 鹼類
 油脂 透水性 吸水性……………頁 55至頁 56
 附錄 2 單純及鋼筋混凝土的規範……………頁 56至頁 65

章 6 磚瓦及陶器

I 粘土製品

- § 52 粘土製品的分類……………頁 66至頁 66
 § 53 粘土製品的製造 原料 製坯 軟泥法 硬泥法 乾泥法
 泥坯的乾燥 磚窰 烘燒 降冷 揀選……………頁 66至頁 72

II 粘土製品的性質

- § 54 粘土製品的性質 敲聲 硬度 吸水量 比重
.....頁 72至頁 73
- § 55 粘土製品的強度 抗壓強度 橫撓強度 抗剪強度 彈性
係數.....頁 73至頁 74

III 各種成品的特性

- § 56 粘土製品的特性 普通房屋磚 牆面磚 玻璃面磚 裝飾
磚 空心磚 鋪地磚 耐火磚 酸性磚 中性磚 鹼性磚 蓋屋
瓦 空心瓦塊 鋪地瓦片 貼牆瓦片 赤陶 粘土製管 污水瓦管
電綫導管.....頁 74至頁 79

章 7 建築石

I 石的種類及選擇

- § 57 建築石的分類 依物理學性質的分類 依化學性質的分類
.....頁 80至頁 80
- § 58 石料的選擇.....頁 80至頁 80
- § 59 重要石料的特性 花剛岩 片麻岩 深暗岩 石灰岩 大
理岩 沙岩 板岩.....頁 81至頁 82

II 石料的開採及琢磨

- § 60 石料的開採 手工採石法 機械採石法 炸藥採石法
.....頁 82至頁 82
- § 61 石的琢磨 未斫石 粗斫石 細斫石.....頁 83至頁 84

III 石的強度及性質

- § 62 石的強度 抗壓強度 橫撓強度 抗剪強度 彈性係數
.....頁 84至頁 86
- § 63 石料的物理性 比重 硬度 韌度 空隙度 吸水率 膨
脹係數.....頁 86至頁 89
- § 64 石料的耐用性 石料對於凍結的抵抗性 石料對於酸性氣

體的抵抗性 石料的耐火性 維持石料耐用性的方法 石料的用途.....	頁 89至頁 91
------------------------------------	-----------

章 8 木材

I 樹木

§ 65 成材樹木.....	頁 92至頁 93
§ 66 樹木的構造 髓心 樹木的生長 木的紋理 木節.....	頁 93至頁 94

II 木材的備辦

§ 67 木材的採伐 伐木 伐木的時期.....	頁 94至頁 94
§ 68 鋸木.....	頁 94至頁 95
§ 69 除液法 風乾除液法 爐烘除液法.....	頁 95至頁 95

III 木材的性質

§ 70 木材的性質 重量 含水量 收縮 色 味 膨脹係數.....	頁 95至頁 98
§ 71 木材的各種強度 抗壓強度 抗張強度 抗剪強度 橫撓強度 木梁的勁度 安全係數及安全實用載重 木材性質表 硬度 勃氏硬度 壽氏硬度 韌度 受劈性 撓性.....	頁 98至頁102

IV 木材的敗壞及保存

§ 72 木材的敗壞 乾朽 濕朽 害木的昆蟲.....	頁102至頁103
§ 73 木材的防腐法 幾阿蘇油法 無壓法 伯特利法 西利法 布蘭特法 煮沸法 律普靈法 勞立法 氯化鈣法.....	頁103至頁106

V 木材的選擇及檢查

§ 74 木材的選擇.....	頁106至頁106
§ 75 木材的檢查.....	頁106至頁107

章 9 純金屬

§ 76	鋁	頁108至頁109
§ 77	鎂	頁109至頁109
§ 78	鈹	頁109至頁109
§ 79	銻	頁109至頁110
§ 80	鉛	頁110至頁110
§ 81	銅	頁110至頁111
§ 82	鐵	頁111至頁112
§ 83	鉛	頁112至頁112
§ 84	鎳	頁112至頁113
§ 85	錳	頁113至頁113
§ 86	鎳	頁113至頁113
§ 87	錫	頁113至頁114
§ 88	錫	頁114至頁115
§ 89	鈦	頁115至頁115
§ 90	鎢	頁115至頁116
§ 91	鈳	頁116至頁116
§ 92	鋅	頁116至頁117
§ 93	鎳	頁117至頁117
§ 94	砒	頁117至頁117

金屬物理性質表

章 10 鐵與鋼

I 熟鐵

§ 95	熟鐵	頁118至頁118
§ 96	商用純鐵 錠鐵 電鐵	頁118至頁120

II 鋼

- § 97 鋼的種類 坩堝製煉鋼 柏塞麥製煉鋼 平爐製煉鋼 電爐製煉鋼.....頁120至頁123
- § 98 合金鋼 炭 硫 磷 錳 矽 砷鋼 砷鎳鋼 砷鎢鋼 砷錳鋼 砷鉻鋼及砷鎳鉻鋼 錳鋼 簡單錳鋼 錳鎢鋼 錳鉻鋼 錳鉍鋼 錳 鎢鋼 鎢錳鋼 鎢鉍鋼及鎢鉻鋼 鈳 鉍 鉻鋼 鎢 鎢鋼 簡單鎢鋼 磁性鎢鋼 模子鋼 熱作鎢鋼 鋁 鈦 銅 鈷 氧 氮.....頁123至頁133

III 建築鋼材的軋製

- § 99 建築鋼材的軋製 初步軋壓 粗形軋壓與最後軋壓.....頁133至頁133
- § 100 鋼件的截面種類 標準截面 特殊截面.....頁133至頁134
- § 101 I 形鋼 標準截面 卡內岐截面 培斯利恩截面 最小截面 特點及用途.....頁134至頁136
- § 102 槽形鋼 特點及用途.....頁136至頁136
- § 103 角形鋼.....頁136至頁137
- § 104 Z 形鋼.....頁137至頁138
- § 105 T 形鋼 特點與用途.....頁138至頁138
- § 106 板形鋼.....頁139至頁139
- § 107 H 形鋼.....頁139至頁140
- § 108 雜樣鋼.....頁141至頁141
- § 109 圓鋼條及眼鋼條.....頁141至頁141
- § 110 建築鋼材的試驗樣件.....頁141至頁142

章 11 鑄鐵與鑄鋼

I 鑄品的分類

- § 111 鑄品 灰生鐵鑄品.....頁143至頁143
- § 112 特別灰生鐵鑄品.....頁143至頁144
- § 113 展性生鐵鑄品.....頁144至頁144

§ 114 高級生鐵.....頁144至頁144

§ 115 銅鑄品.....頁144至頁145

II 鑄鐵中的原質及其影響

§ 116 炭.....頁145至頁145

§ 117 矽.....頁145至頁146

§ 118 硫.....頁146至頁146

§ 119 錳.....頁146至頁147

§ 120 磷.....頁147至頁147

§ 121 錳 鉻 氧 錳 鈦 鋁 其他原質.....頁147至頁148

III 鑄鐵的物理性質

§ 122 收縮性 離析性.....頁148至頁149

§ 123 歷時性.....頁149至頁149

§ 124 強度.....頁150至頁150

IV 鑄工材料

§ 125 塊鐵 廢鐵 廢銅 柔軟劑 鐵礮 鐵錘 別種鐵合金
熔劑 耐火磚 耐火沙 菱苦土 製模沙.....頁150至頁152

V 熔爐

§ 126 熔爐 坩堝爐 電爐 熔鐵爐 空氣爐 平爐 電爐
.....頁153至頁156

VI 展性生鐵

§ 127 展性生鐵.....頁156至頁157

VII 鑄鋼

§ 128 鑄鋼的種類 鹼性柏塞麥鑄鋼 酸性柏塞麥鑄鋼 鹼性平
爐鑄鋼 酸性平爐鑄鋼 電爐鑄鋼 坩堝鑄鋼
.....頁157至頁158

§ 129 合金鑄鋼.....頁158至頁158

章 12 白合金及輕合金

I 白合金

§ 130 鉛錫合金	頁159至頁159
§ 131 鐳合金	頁159至頁159
§ 132 易溶合金	頁159至頁160
§ 133 鉛鎳合金	頁160至頁160
§ 134 錫鎳合金	頁160至頁160
§ 135 錫鋅合金	頁160至頁160
§ 136 緊塞合金	頁160至頁160
§ 137 承襯合金	頁160至頁161
§ 138 印字合金	頁161至頁162

II 輕合金

§ 139 輕合金的種類 鋁銅合金 鋁鋅合金 鋁鎂合金 鋁鐵合金 鋁錳合金 鋁鈦合金 鋁錳合金 鋁銅鋅合金	頁162至頁163
§ 140 鑄鋁合金	頁163至頁165
§ 141 鍛鋁合金	頁166至頁168

章 13 黃銅與青銅

I 黃銅

§ 142 黃銅中別種原質的影響	頁169至頁170
§ 143 鑄黃銅	頁170至頁170
§ 144 煉黃銅 熱作黃銅 冷作黃銅	頁171至頁171
§ 145 黃銅的加熱處理	頁172至頁172

II 青銅

§ 146 青銅中別種原質的影響	頁172至頁173
§ 147 普通青銅 廠銅 機器青銅 承襯銅 鐘銅 像銅 貨幣 獎章及徽章青銅 美術用青銅 鏡銅	頁173至頁175

§ 148 特別黃銅及青銅 錳青銅 鋁青銅 鎳黃銅 鎳紅黃銅 磷青銅 磁性合金 鈔青銅 錳青銅	頁175至頁179
--	-----------

章 14 承襯合金及其他合金

I 承襯合金

§ 149 承襯合金	頁180至頁181
§ 150 銅基承襯合金 銅錫承襯合金 銅錫銻承襯合金 銅錫鉛承襯合金 銅錫鉛銻承襯合金 承襯紅黃銅	頁181至頁182
§ 151 錫基承襯合金 軟性正把別脫 硬性正把別脫 含鉛把別脫 含銻把別脫	頁183至頁184
§ 152 鉛基承襯合金 鉛銻承襯合金 鉛銻錫承襯合金 鉛錫銻銅承襯合金 弗拉留合金	頁184至頁186
§ 153 銻基承襯合金	頁186至頁186

II 其他合金

§ 154 斯單列脫合金	頁186至頁188
§ 155 袁凡杜合金	頁188至頁189
§ 156 銅線合金 洋白銅	頁189至頁190
§ 157 壓鑄用合金	頁190至頁190
§ 158 電阻材料	頁190至頁191

章 15 瀝青

§ 159 瀝青	頁192至頁192
§ 160 比重試驗	頁192至頁193
§ 161 針入度試驗	頁193至頁194
§ 162 浮標試驗	頁194至頁195
§ 163 軟化點試驗	頁195至頁196
§ 164 黏度試驗	頁196至頁197
§ 165 引伸度試驗	頁197至頁198

§ 166 揮發減量試驗	頁198至頁199
§ 167 引火點及發火點試驗	頁199至頁200
§ 168 二硫化炭容量	頁200至頁201
§ 169 四氯化炭容量	頁201至頁202
§ 170 瀝青質	頁202至頁202
§ 171 固定炭	頁202至頁202
§ 172 分解蒸餾	頁203至頁203

章 16 雜樣材料

§ 173 油漆及膠漆 粉漆	頁204至頁205
§ 174 地瀝青漆 膠漆	頁205至頁205
§ 175 膠	頁205至頁205
§ 176 橡皮	頁205至頁207
§ 177 革	頁207至頁207
§ 178 紙	頁208至頁208
§ 179 帆布	頁208至頁208
§ 180 引帶	頁208至頁209
§ 181 石棉	頁209至頁209
§ 182 玻璃	頁209至頁210

工程材料學

章 1 石膏石灰及石灰泥

I 熟石膏

§ 1 熟石膏 石膏係一種礦物，其成分為含水硫酸鈣，其純淨者的分子式為 $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。取石膏加以烘燒，除去其含水的一部分或全部，所得的物質即熟石膏也。

熟石膏的分類 熟石膏可如次分類：(a) 烘燒石膏除去其含水一部分所得的熟石膏，其烘製係在 374°F 以下行之。此類中又分二種：(1) 澆型熟石膏，為用純淨的石膏製成，且在烘時或烘後不加雜質者。(2) 墻牆熟石膏，為用不純的石膏製成，或於烘製時加入某種雜質，以減緩其遇水硬結之性者。

(b) 烘燒石膏除去其含水的全部而得的熟石膏，其烘製係在 374°F 以上行之。此類亦分為二種：(1) 鋪地熟石膏，為用純淨石膏烘製而成者。(2) 極硬熟石膏，為將石膏烘至赤熱或赤熱以上的溫度而成，並加入明礬或矽砂等物質者。

烘製 如將純淨的石膏，熱至 212°F 以上，但未逾 374°F 時，則除去其原來含水的量，而得澆型熟石膏，澆型熟石膏遇水，再行化合，在數分鐘內硬結，仍成石膏。

如將石膏熱至 374°F 以上，則完全除去其所含的水分，而得無水硫酸鈣，喪失其遇水硬結的性質；其失性的深淺程度，視溫度高低，歷時長短，並石膏塊粒的粗細而異。

§ 2 各種熟石膏的製法 澆型熟石膏與攪磨熟石膏的製造法，大略相同，所異者在前者用純淨石膏，後者用不純淨石膏耳。作原料的天產石膏石，常含有自微量以至 6% 的雜質，將石膏石碾成碎塊，磨成細粉，為製法的第一步；將細粉置於烘罐中烘之，為製法的第二步。如為旋轉式的烘爐，則俟烘後，再行細磨。緩性熟石膏在烘成後，常加入一種緩結劑。

鋪地熟石膏係用成塊石膏在直立式分饋密中烘製，其密與燒石灰者相似，原料分批加入。烘製溫度常約為 752°F 至 930°F，需時約三小時。若烘製的溫度過高或歷時過長，則成品失其硬結之性。重烘熟石膏，烘後必須磨細乃可用。

器因熟石膏(註)極硬，為熟石膏中之最著名者；係用極純淨的石膏，烘至赤熱，浸入 10% 的明礬溶液中，復加烘製，終行磨細而成。

凝結及硬固 熟石膏與適量的水分混合時則凝結而硬固，需時自 5 分鐘至數小時不等，視熟石膏的純淨程度及和水的情形而定。用純淨原料製成的澆型熟石膏，凝固較速，而極硬熟石膏，則凝結極緩，其硬固之度則最大。

§ 3 熟石膏的強度 關於熟石膏強度的紀錄尚屬無多，而其試驗的方法與情形亦無標準。熟石膏沙泥的強度，與石膏的品質，沙的品質，及其拌和的方法均有關係。良好熟石膏的強度，略如次表：

註 器因熟石膏 Keene's cement.

各種石膏的強度表

石膏的成分	抗張強度 歷時二月 磅/方吋	抗壓強度 磅/方吋	附着強度 磅/方吋
淨石膏粉	350	1200 至 2000	
1 : 2 石膏沙泥	175	900 至 1500	
淨石膏粉與鋪地磚間			100
淨石膏粉與 1 : 2 的沙泥間			130

由試驗結果得知純淨熟石膏粉，僅在凝結的前數日內，急速增加強度，而最大的抗張強度與抗壓強度，係在二星期至四星期中得之。熟石膏與沙混合而成的沙泥強度的增加，則略較淨熟石膏粉為遲緩。

§ 4 熟石膏的用途 茲分述如次：

澆型熟石膏，因凝結硬固過速，故在工程上用途極少，僅限於室內裝飾。

環牆熟石膏，用以粉環牆壁，加入少量的頭髮，羊毛，石棉，熟石灰，或粘土等，令其便於工作。此物與熟石灰相較，各有優劣。

環牆熟石膏可製成石膏磚或石膏板，頗有用於建築屋內隔壁，地板或樓板者，以其分量不重，甚能抗火，堅固任重，且易於鋸解剖分，以成所需的形狀故也。有用環牆熟石膏與水及細煤灰或薄木片相和以作房屋，地板，樓板者；較之混泥土地板，樓板的分量為輕，然常不及其堅固，且其抗火之力亦遜。

鋪地熟石膏，係用作地板的表面層。

極硬熟石膏用於粉壩牆壁及地板。此類中的器因熟石膏，凝結最緩，得力最遲，然其成品最硬，非別種石膏所能及也。

II 石灰

§ 5 石灰與熟石灰 石灰係以石灰石置入窯中，燒去碳酸氣後所餘的物質，即氧化鈣也。石灰遇水，急速吸收之，發生強熱與熱氣而行分解，終成粉末，體積可有 2 倍乃至 3 倍於其原來的石灰塊；此即熟石灰，可用以製成石灰沙泥或石灰蕨泥。

凝硬原理 石灰沙泥或石灰蕨泥暴置空氣中，吸收碳酸氣後，則氧化鈣復變成碳酸鈣，而石灰沙泥或石灰蕨泥乃凝硬。

富鈣石灰與含鎂石灰 製造石灰所用的石灰石，如為近於純淨的碳酸鈣，則所得的石灰，亦為近於純淨的氧化鈣，是為富鈣石灰。如石灰石中多含碳酸鎂，則所得石灰，為氧化鈣與氧化鎂的混和物，是為含鎂石灰。普通以含氧化鎂不及 10% 的石灰為富鈣石灰。二者的性質不同，含鎂石灰凝硬甚緩，而其所得的強度，終較富鈣石灰為高。

品質 選用石灰，定其品質，要點有四：(a) 石灰中須無煤灰與未燒透的石塊，且所含砂石，礫土等雜質不得逾 10%。(b) 石灰應為硬塊而無多量粉屑者。(c) 石灰應遇水即化，成為極細緻膩滑的漿液而無渣滓。(d) 石灰應在軟水中溶解。

§ 6 石灰的貯藏 因石灰能吸收空氣中的水分，一部分變成熟石灰，足以妨害以後使用時的水化，故貯藏時應與空氣隔離；倘不能時，亦當勿使受濕氣所侵。

石灰已經和水而成熟石灰時，倘不使與空氣接觸以致消去水分，則可長期保存，不至失性。故可將熟石灰置於淺槽中或堆於地面上，覆蓋以沙，使不透氣；至使用時，即可用此沙以製石灰沙泥。

III 石灰沙泥

§ 7 石灰的消解 消解石灰的方法，普通所用者為澆水法。先將生石灰塊鋪於不漏水的槽上，亦可於製造石灰沙泥中所用的沙上作成凹槽，逐鋪石灰塊，其層厚由 6 吋至 8 吋。以體積為石灰塊 2.5 倍或 3 倍的水，澆灌於石灰塊上。倘加水的數量恰當，則生石灰塊消解即成為稠厚的石灰漿。如加水過多，則石灰漿成為半流體，即大損其粘性。用富鈣石灰時應將水一次澆灌，用含鎂石灰時，應先澆水少量，其後逐漸加水，以不使混和物降冷為度。石灰消解時，混和物的溫度愈高，則消解的作用愈速，亦愈完全。生石灰吸水起化學作用，所發生的熱量，使水化成蒸汽，其力足使石灰塊迸裂，而石灰塊又有新斷面與水接觸。如於石灰開始消解後，加入冷水，則混和物降冷，蒸汽停止，石灰塊不行迸裂，消解作用不能完全，而所成的石灰漿不能足量矣。攪拌正在消解中的生石灰，一方面令石灰降冷，一方面又令其破碎，故為有弊亦有利。要之，攪拌時以使石灰降冷的程度愈少愈好；石灰塊突出水面以上者，有消解不完全之弊，故應隨時推入水面以內。

消解石灰所以務使透澈者，一因消解不完全，甚不合算，往往僅得 2 倍於其生石灰的體積的石灰漿；若消解透澈，則可得 3 倍或尚不止此；一因未消解的生石灰顆粒，用於壘粉薄層時，常發生起泡或落屑之弊也。

§ 8 石灰沙泥 以石灰和沙製成石灰沙泥，廣用於磚瓦工程中，因 (a) 石灰價廉，(b) 石灰和水後體積膨脹，甚為合用，且甚經濟，及 (c) 石灰沙泥的製造甚便也。

沙的功用 石灰沙泥係由石灰漿與沙調和而成。用沙之故有四：(a) 石灰漿中有沙分成極多的薄膜，質地疏鬆，易於吸收空氣中的碳酸氣，而使石灰漿得以凝結。(b) 當石灰漿中水分蒸發時，體積收縮，有沙粒在石灰漿中，則石灰漿可不致有過度的裂縫。(c) 石灰沙泥抵抗壓力的強度較純粹石灰漿為大。(d) 石灰漿中用沙則在一定體積的石灰沙泥中，石灰用量因之減少，而價值亦低。

石灰漿用量 石灰漿倘非分成極薄的片膜，則凝固甚緩；縱在空氣中亦復如是。故石灰沙泥中石灰漿的用量，當以較塗於沙粒的表面及填滿沙粒間隙所需者略多為度。過多過少俱不合宜。過多則石灰沙泥不易凝固，而石灰沙泥的抗壓強度降低。過少則石灰漿疏鬆虛弱。普通的沙，以體積 1 分的石灰漿與 2.5 分乃至 3 分的沙相混和為適當的比例。

石灰沙泥的混和法 在石灰消解以後，將沙平均攤布於石灰漿上，而以錘混和之。若石灰漿過硬時，可略加水。混和時須令透澈，直至石灰沙泥已顯呈一色為度。

§ 9 石灰沙泥及石灰漿的用途 石灰與沙合成的石灰沙泥，不合於砌造厚牆之用，因牆厚則內部的石灰沙泥難得空氣，必須經過多年始能凝固，且有竟不凝固者故也。是以石灰沙泥不宜用於水下圻工，以及終年潮濕之處。石灰沙泥的強度不高，故在須注重強度及常受震動的建築物，亦不宜用之。

石灰漿 石灰漿在磚工及石工中常作為填充細微空隙之用，尚屬相宜；惟其並無多大力量，僅增進充實穩定的程度而已。我國工程習慣，多致力於建築物的外表，而於內部常致薄弱空虛不堪；故必灌漿到頂，以資彌補，亦誠不得已也。

§ 10 石灰沙泥的抗張強度 石灰沙泥的抗張強度依用每邊為 1 吋的立方體的樣件試驗結果，知其隨石灰的成分及製造的歲月而異。富鈣石灰所製的 1 : 2 的石灰沙泥在製成後八星期時為每方吋 36 磅；在 1 年時，僅增加至每方吋 45 磅耳。含鎂石灰所製的 1 : 2 的石灰沙泥在八星期時為每方吋 29 磅；在 1 年時，則增加至每方吋 93 磅矣。

章 2 洋灰

I 洋灰的製造

§ 11 洋灰 以粘土質及石灰質的材料依適當而正確的比例，透澈混和，烘燒至開始熔融，取其燼塊，磨為細粉；在烘燒後，除水及石膏外，不加他物；此細粉名為洋灰（註）。

用途 洋灰為膠凝性材料的一種，其用途屬於建築工程方面，大別之可分二項：(a) 作成洋灰沙泥，用於砌工中砌置磚石，及用於墁工中塗刷牆面。(b) 作成混凝土，用於各種建築。

§ 12 原料 洋灰的主要成分為氧化鈣，氧化矽及氧化鋁。製造洋灰所用的原料為粘土質及石灰質兩類。粘土質原料有粘土質石灰岩，粘土或頁岩，及粘土等。石灰質原料有純淨石灰岩，白堊或白堊質石灰岩，及泥灰石等。前者供給氧化矽及氧化鋁，後者供給氧化鈣。

原料的配合 洋灰原料的配合法係分析原料的成分，決定各種原料用量的多寡，以期與所定洋灰的成分相副；復從實驗的結果，以行加減。此事頗屬不易；但在一廠成立以後，所用原料，如來源不改，而成分無大殊異時，則原料配合的比量自亦無大變化也。

§ 13 製法 洋灰原料在入窯烘燒以前，須將其碎為粉末，依適當比量，透澈混和，是為初步處理；其方法隨原料的種類而異；而洋灰的製法遂有乾法及濕法之別。乾法使用較廣，濕法僅在原料用泥灰岩及粘土，或用白堊質石灰岩及粘土時行之。

乾法 乾法製造洋灰的程序為：(a) 先將石灰質原料及粘土質原料分別在軋碎機中軋成塊粒如雞卵的大小；若原料本係小塊，則不用軋碎。(b) 送入橫置的旋轉乾燥機中烘乾。(c) 將原料送入

註 洋灰 Cement.

球磨機中以行粗磨。(d) 依分析原料成分所得的結果決定原料配合的比量，乃將原料置入混和序中混和。(e) 將混和物送入管磨機中以行細磨。(f) 將磨得的細粉送入洋灰窯的上端；此窯為旋轉式，橫置而略斜，直徑約為 10 呎至 12 呎，長自 150 呎至 240 呎，每分鐘約旋轉一周；燃料為碾細的煤粉，由送風機吹入窯的下端。磨細的原料，隨窯的旋轉而緩緩下行，與火焰相遇，燒至初起熔融，其溫度約為 2700°F。當其到達窯的下端時，已燒成如胡桃大小的爐塊。(g) 爐塊出窯，送至儲藏桶中陳置，歷時約 10 日。(h) 將爐塊送入軋碎機中軋碎。(i) 將軋碎的爐塊，送入粗磨機中，以行粗磨。此時加入石膏，以作緩凝劑，所需分量，亦由計算定之；有此而後成品的凝結性減緩，方便於普通工作。(j) 將所得爐塊粗粒，送入管磨機中以行細磨。(k) 所得細粉，即為洋灰。再置入洋灰桶中，儲蓄歷數星期，以期改良其品質。(l) 陳置合度的洋灰，送至包裝室中，衡其重量，裝入布袋或木桶中。每袋洋灰重 94 磅；每桶重 376 磅。包裝既畢，即可運出銷售。

濕法 製造洋灰如用泥灰岩與粘土或頁岩同用時，則採用濕法。其程序如次：(a) 泥灰岩常藏在水底，須用浚淤法取之。所得的薄泥漿，除去夾雜的樹根，石塊後，儲於大櫃中備用。(b) 烘乾粘土。(c) 將烘乾的粘土，置入側輪磨機中磨細。(d) 將泥漿送入攪拌機中混和透澈。(e) 送入大桶中，分析其成分，添入不足的原料。(f) 送入濕金剛砂磨機或濕管磨機中，以行細磨。(g) 將此磨細泥漿送入儲藏櫃中。(h) 將泥漿送入窯中烘燒，不用預先烘乾，泥漿入窯時含有約 60% 至 65% 的水分，在窯的上端，化汽散出。(i) 烘燒後的處理與乾法同。

烘燒的原理 原料入窯烘燒所起的變化，大概最先為水分的蒸發；次為碳酸鈣及碳酸鎂的分解；復次為鹼質的逐出；復次為第一氧化鐵氧化為第二氧化鐵；終為氧化鈣及氧化鎂之與氧化矽，氧化鋁及

氧化鐵等化合，而成矽酸鹽，鋁酸鹽，及鐵酸鹽。其所得者即洋灰也。大概烘燒洋灰，溫度常須至 2850°F 以上，始能使其中的石灰質與粘土質兩種材料完全化合。

II 洋灰的性質及試驗法

§ 14 洋灰的性質 洋灰的性質中當注意者為：(a) 健全性，(b) 洋灰泥的抗張強度，(c) 凝結時間，(d) 細度，及(e) 比重等。在重要工程中，須行關於此種性質的試驗，以定洋灰的合用與否。試驗時須遵守標準規則或規範，然後所得的結果，乃有比較的價值。

檢樣 試驗洋灰的性質時，檢樣一事頗屬重要。須力求使所檢的樣件，足以代表全部的洋灰。例如試驗時或用單獨樣件，或用複合樣件，隨所指定者行之。每一試驗樣件，至少應重 8 磅。檢取的樣件應貯在不透氣的容器中，以便移運及儲藏。樣件用每吋 20 絲的篩子篩過，使混和均勻，捏碎其團塊，除去其中不相干的物質。

比重 昔時以為測定洋灰的比重，可以察出曾否攙有低劣的材料及烘燒有無不足之弊；今乃知此種情形對於洋灰的比重的影響，並不顯著。故比重的測定，遂不視為特別重要；非經特別指定，則不行之。

洋灰攪雜或水化，比重均將因而減低；故攪雜水化與否，可由比重方法試驗之。惟其比重的差數極微，試驗時必力求精密。

作洋灰比重的試驗時，使用查泰利亞比重計（註）如圖 1 所示。其中 D 為一長頸瓶，容量約為 120 立極，頸長約 20 吋。頸的中部為一球形泡 C，其下上有 E 及 F 兩標記。E F 間的容量為 20 立極。在 F 以上頸管的直徑約為 9 耗，管上刻劃十分之一立極的橫綫。試驗時瓶內的液體應用無水的煤油或揮發油。

試驗時先注液體於瓶中以至 E 處為度，取洋灰 64 克，使其溫

註 查泰利亞比重計 Chatelier's apparatus,

度降低至與液體相同；用漏斗 B 逐漸注入；漏斗的管，須具適當的

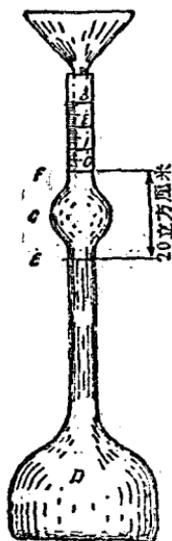


圖 1. 查索利亞比重計

D 為一長頸瓶，容量約為 12 立厘，頸長約 20 厘。C 為球形泡。E 及 F 為 C 泡上下的兩標記，E F 之間的容量為 20 立厘。P 以上頸管的直徑約為 9 毫，管上刻有十分之一的立厘的橫線。B 為適當長度的漏斗。

長度，伸達 C 球之上，以防洋灰附着於瓶壁。漏斗亦不可觸及液體。在將洋灰全部注入以後，液體的表面將達到瓶頸刻劃之處；其讀數加 20 立厘，即為洋灰 64 克所排除液體的體積。故洋灰的比重，可以如次計算之：

設 S = 所求洋灰的比重，M = 洋灰重量的克數，V = 洋灰所排除的液體的體積的立厘數 = 洋灰的體積的立厘數，則

$$S = \frac{M}{V}$$

當試驗時，應將長頸瓶浸入水中，以防瓶內液體的溫度改變。此項溫度的改變不得超過 $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ 的範圍。將數次試驗的結果互相比較，其差數須在 0.01 以內。

測定洋灰的比重宜用交到的洋灰行之。洋灰的比重應不小於 3.10。如其比重不

及此值時，應將洋灰烘乾後，再行試驗。細度 洋灰磨粉使之極細，約有種種

利益：(a) 增加強度，(b) 凝結加

速，(c) 增加和沙量，(d) 增加成品的體積。
增加強度 洋灰中顆粒粗者，遇水無變化，其性質竟與沙粒無殊，歷經試驗，得有證明。由此可知用一種洋灰，其磨粉愈細者製成洋灰泥的強度自當愈高。但同一細度的異種洋灰，則未必具同一的強度耳。

凝結加速 洋灰磨粉愈細，則水化愈易透徹且能加速，遂成速凝的洋灰。

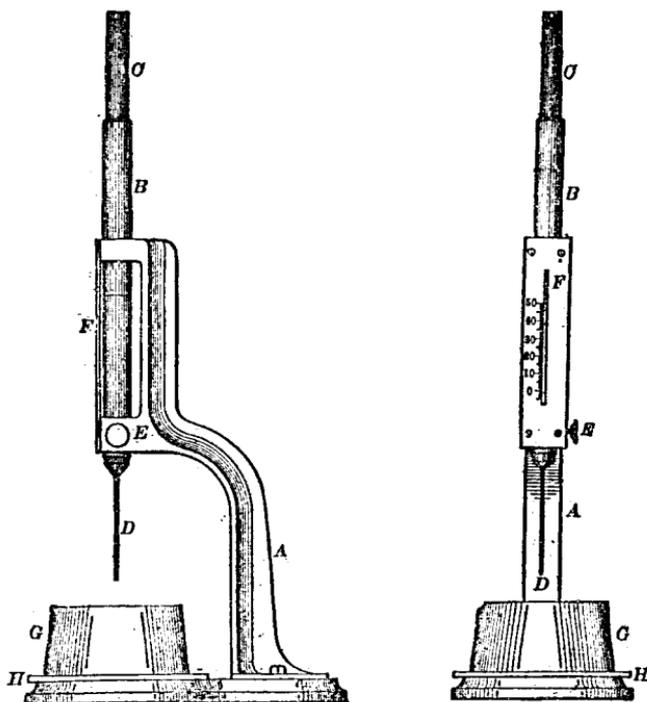


圖 2. 測驗洋灰沙泥稠度的維卡氏器。

A 為曲形支架，其上部前面附有一刻劃成耗數的刻度表。B 為重 300 克而可以上下活動或取出倒置的桿，C 為桿 B 的一端（上端）具長度 6 厘米而直徑 1 毫米者，D 為桿 B 的他端（下端）具一可以移換的針直徑為 1 毫米長度為 6 厘米者，E 為懸架桿 B 的螺釘。F 為桿 B 的中部。G 為盛洋灰沙泥的上下大小不同的圓環，係以硬橡皮製成者，底的直徑為 7 厘米，高為 4 厘米，H 為每邊 10 厘米的方形玻璃板。（左圖表示側面，右圖表示前面）。

增加和沙量 洋灰中顆粒粗者與細者的水化性既別，故和沙量亦不同；即製出同一強度的洋灰沙泥時，洋灰愈細者所能和沙的數量愈多。

增加成品的體積 因粗顆粒減少，則顆粒的大小漸少差異，其顆粒的配合，遂不能如前者的密實，而空隙量隨之增加，因成體積較大的成品也。

總上所述，可知洋灰以磨粉愈細愈好；但勿使其價值增加過昂斯可矣。

洋灰泥 欲測定洋灰的健全性，凝結時間及強度時，第一步為依標準方法，製成洋灰泥或洋灰沙泥。純粹的洋灰泥實際上無大量用之者。以後僅就洋灰和沙泥言之。為簡便計，以後所稱的洋灰泥專指洋灰沙泥而言。

正則稠度 純粹洋灰泥的試驗樣件應作成正則稠度。其正則稠度係用維卡氏器（註）定之。此器如圖 2 所示，有一支架 A，支持一活動的桿 B，此桿重 300 克，其一端 C 長 6 吋的部分的直徑為 1 吋，別一端具一可更換的針 D，其直徑為 1 耗，長為 6 吋。此桿能上下倒置，且能藉螺釘 E 固定於相當地位，而當其兩端的中部有一標記 F。附於支架 A 上者，有一劃分為耗數的刻度表，此標記 E 即在其後移動。將洋灰泥置在一上小下大成環狀的圓環 G 中，此環係硬橡皮所製者，底部的直徑為 7 吋，高 4 吋，置在一玻璃板 H 上，板約為 10 吋見方。

行稠度測定時，應用 500 克的洋灰與一定量的水相混和，揉捏成泥，急用手搓成圓球；由此手擲至彼手，復由彼手擲至此手，兩手相距約 6 吋，如是接擲 6 次；取此球置於一手掌中，取圓環置於別一手上，即將洋灰泥球壓入圓環大口中，全行填滿；其溢出於圓環大口以外的泥，則移動手掌而去之。於是將圓環的大口置於玻璃板上，其溢出於圓環小口外的泥，則用壞刀於環上斜向刮去之。在此項動作中，切須注意，勿壓泥過緊；將玻璃板上橡皮環內的泥，置在維卡氏器的針桿之下，移圓桿的粗端與泥面相接觸；於是察核標記 F 在刻度表上相對之處，乃將其桿急速放鬆落下。如當其桿放開後半分鐘時

註 維卡氏器 Vicat apparatus.

標準洋灰沙泥含水量的百分率表

正則稠度的淨洋灰泥中含水的百分率	1 分洋灰 3 分標準沙的洋灰沙泥中含水的百分率
15	9.0
16	9.2
17	9.3
18	9.5
19	9.7
20	9.8
21	10.0
22	10.2
23	10.3
24	10.5
25	10.7
26	10.8
27	11.0
28	11.2
29	11.3
30	11.5

，桿端落於原來泥面下 10 釐時，則其泥為具正則稠度。當試驗時，勿使其器受任何震動。應依各種比量和水，造成試用的洋灰泥，逐一試驗，以求得正則稠度。所需水量以相當於乾洋灰重量的百分率表示之。

洋灰沙泥的樣件，須作成標準稠度，視由同樣洋灰製成正則稠度的純粹洋灰沙泥所需的水量而定。通常在既經測定洋灰泥的正則稠度含水量的百分率，則可從左表查出製成相當的標準稠度洋灰沙泥含水量的百分率，係以相當於乾燥洋灰及沙二者的總量的百分率計之。

健全性 洋灰的健全性指其不含有使強度及耐用性等減退的性質而言。凡洋灰在凝結以後膨脹，而起分裂破壞者，即為不健全的表示。健全性實為洋灰中最重要之性質。洋灰如不能抵抗空氣或水的作用而起分裂破壞，則在當初試驗時強度雖高，固一樣的無價值耳。

洋灰所以有缺乏健全性之病，原因不外：(a) 含有游離的石灰，(b) 含氧化鎂過多，及 (c) 含硫過多。

游離的石灰 洋灰缺乏健全性中最重要之原因為含有游離的石灰。此物在洋灰已經凝結以後方行水化，故使洋灰泥膨脹而破壞。此因洋灰磨粉不細，所

視的水不易滲入洋灰顆粒之中，直至洋灰凝結以後，游離的石灰方行水化，遂致缺乏健全性。故將洋灰磨粉至極細，佐以充分的陳置作用，自能令其健全性加高也。

氧化鎂過多 洋灰中若含多量的氧化鎂，則在燒過之後，水化極緩；是以洋灰中所含氧化鈣的分量，至多應以 5% 為限。

含硫過多 洋灰中含硫過多似亦能引起缺乏健全性之弊。但如含量不多，則不至有損。

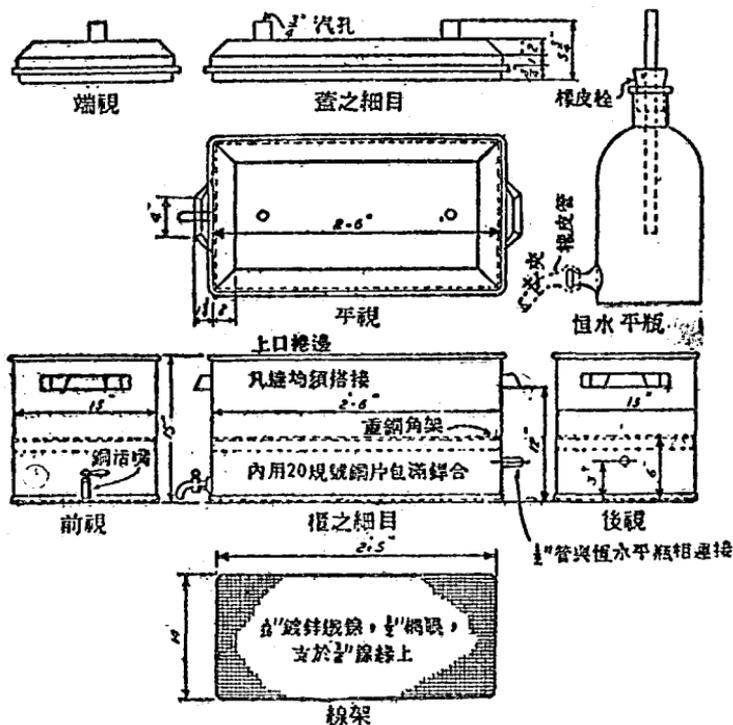


圖 3. 洋灰樣件加速試驗的器具。

健全度試驗 健全度試驗的目的在檢出洋灰有妨碍強度及耐久

的劣性。此種劣性或極易發現，或須經相當時間方能顯露。在使用洋灰之前，此事頗為重要，故不特依照正常環境試驗，並須用特種方法使其劣性易於發現，俾資檢定。此項試驗，可分兩種：(1) 正常試驗，(2) 加速試驗。

正常試驗 此法係用正常稠度的洋灰漿，製成 3 吋直徑的圓餅，中心厚為 $\frac{1}{2}$ 吋，四週漸成薄邊。置於 4 吋見方的玻璃板上，儲於濕空氣中 24 小時。樣件在濕空氣中 24 小時以後，取一塊浸入水中經過 28 日，隨時加以檢查。再取同樣一塊，置於空氣中經過 28 日，或多於 28 日，亦隨時加以檢查。洋灰樣件，經過此項試驗，而仍屬堅固，不見裂紋，扭歪，崩解者，即為健全。迨脫離玻璃板以後，用直尺量其與玻璃板相觸的平面，即可知其有無扭歪。

加速試驗 此法係用正常稠度的洋灰漿，製成 3 吋直徑的圓餅，中心厚 $\frac{1}{2}$ 吋，四週漸成薄邊。置於 4 吋見方的玻璃板上，儲於濕空氣中 24 小時，樣件在濕空氣中 24 小時後，取一塊置於金屬網上。將此金屬網置於沸水的上端，距水面約 1 吋，經 5 小時。此項器具須特製，使蒸汽易於發散，大氣壓力仍行繼續保持。器具的製法，對於試驗結果，頗關重要。圖 3 (見頁 14) 所示的形式，較為可取。洋灰樣件經過此項試驗後，而仍屬堅固，不見裂紋，扭歪，崩解者，乃可稱為健全。迨脫離玻璃板以後，用直尺量其與玻璃板相觸的平面，即可知其有無扭歪。

凝結時間 洋灰隨其用途的不同，有宜速凝者，有宜緩凝者。其凝結時間，隨溫度，試驗情形，試驗樣件，含水量多寡等事項而異。故作此試驗時，用水的量必須按照所定的標準。如用水過多，則凝結時間定較長，此固顯而易見也。

試驗洋灰凝結時間的意義，目的在決定自加水至凝結(名為初步凝結)及至凝結達相當硬度(名為終了凝結)的時間。初步凝結較為重要，因結晶正在開始也。凝結時如感受震動，則其強度將因而減

損；故在洋灰沙泥凝結以前，必須將拌和及傾入模型等手續，全部辦竣。

凝結時間的試驗 決定洋灰沙泥的初步凝結及終了凝結的時間的試驗有：(a) 維卡氏器法，及(b) 季爾摩氏針法(註)。茲分述之：

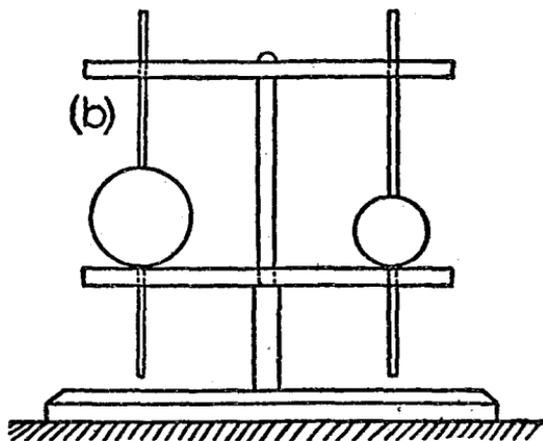


圖 4. 試驗洋灰沙泥凝結時間的季爾摩氏針。

在圖 4 的 (a) 中，下端爲一置板，其上置有直徑 3 吋，厚 $\frac{1}{2}$ 吋，平頂的純粹洋灰漿餅一塊，以備試驗者。在圖 4 的 (b) 中，木架上置有數種不同直徑的針，針的中部均附有相當的錘形重量。

維卡氏器法 參看頁 11 的圖 2，將正則稠度的洋灰沙泥，裝於硬橡皮圈的模中；置於 B 桿之下，使桿中針 D 恰與洋灰沙泥的面相觸。讀出標尺上的記數後，立刻將螺旋放鬆，使桿自由墜下。若針 D

註 膠灰即洋灰也

穿入洋灰沙泥達玻璃板以上 5 毫米爲止，即爲初步凝結。若針 D 不能穿入，即爲終了凝結。

此項樣件，須保存於潮濕空氣中；或置於架上，下設水盆，上覆濕布。布用綫網支持，使不與洋灰沙泥相觸；或儲存於潮濕的箱中或室中。

季爾摩氏針法 此法係用一定重量的金屬球支於木架上，球上附有數種不同直徑的針。針端可與洋灰漿餅的樣件垂直相觸。先用適當的水量拌成純粹洋灰漿餅一塊，其直徑爲 3 吋，厚爲 $\frac{1}{2}$ 吋，頂平，如圖 3（見頁 16）的 (a)，置於潮濕的空氣中。溫度須保持在 21°C 左右。如能任受直徑 $\frac{1}{8}$ 吋的季爾摩氏針，負重 $\frac{1}{2}$ 磅，而無顯著的缺痕時，即爲初步凝結。如能任受直徑 $\frac{1}{4}$ 吋的季爾摩氏針，負重 1 磅，而無顯著的缺痕時，即爲終了凝結。在作此試驗時，針須保持垂直，而輕輕置於洋灰樣件之上。

用維卡氏器試驗凝結時間時，其初凝應在 45 分鐘以內；如用季爾摩氏針試驗時，其初凝應在 60 分鐘以內。其終了凝結時間，應在 10 小時以內。洋灰於終了凝結以後，猶行繼續硬化。凝結時間的長短，與在製成後 7 日或 28 日的強度，並無關係。

強度 關於洋灰強度的試驗有僅測定洋灰沙泥的抗張強度者，亦有兼測純粹洋灰泥的抗張強度者。在實用上洋灰無不與沙混和而單獨使用者；且純粹洋灰泥的強度，並不能指示洋灰沙泥的強度；故不試驗純粹洋灰泥的強度，自屬合理。又在工程設計中，並無利用洋灰抗張強度之處。故就理論上言之，乃以試驗洋灰的抗壓強度，方爲正當。習慣上所以僅試驗其抗張強度者，乃假定其足以表示洋灰質品的優劣，并洋灰能抵抗擠壓的程度。實則抗張強度與抗壓強度之間，並無一定的比值在也。

在普通所謂一比三的洋灰沙泥樣件的抗張強度，應有下列所示的數值，或超過之：

註 季爾摩氏針 Gillmore needle.

一比三洋灰沙泥樣件的抗張強度表

樣件製成的日數	樣件藏置的情形		抗張強度 磅/方吋
	在濕空氣中	在水中	
7	1 日	6 日	200
28	1 日	27 日	300

在製洋灰沙泥時所用的沙，對於其強度大有關係，故應按照標準。又樣件的藏置情形與其強度亦大有關係，故亦須按照標準。

標準沙 用於洋灰沙泥試驗中的沙，應取天然的粗細均勻的沙，用篩篩之；選其能穿過 20 號篩，不能穿過 30 號篩者，篩的直徑，至少 8 吋，篩網係用銅絲編成，並須合於下表的條件：

篩 號	銅 絲 的 直 徑 吋	每 吋 的 網 眼 數	
		經	緯
20	0.0160 至 0.0170	19.5 至 20.5	19.0 至 21.0
30	0.0105 至 0.0115	29.5 至 30.5	28.5 至 31.5

將穿過 20 號篩的沙 500 克，再置於 30 號篩內繼續篩之；在一分鐘內，所過篩眼的沙，若不足 5 克時，即為標準沙。

洋灰樣件 試驗洋灰抗張強度的樣件應特製如圖 5 所示（見頁 19）。試驗抗壓強度則可用 2 吋的立方塊。樣件的模型須用黃銅，青銅或其他不銹的金屬製成。其側壁應有充分的厚度，俾在模製時，不致因被壓而彎曲。

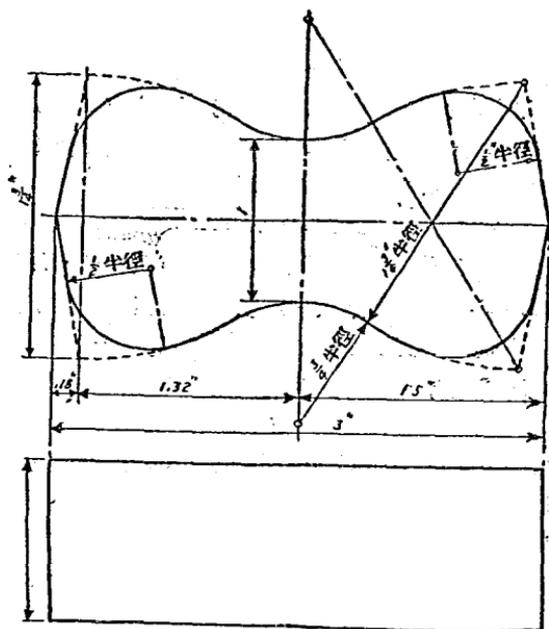


圖 5. 試驗洋灰抗張強度的樣件。

上圖表示樣件的平面形狀，下圖表示樣件的立面形狀。

附錄 1 洋灰的標準規範

普通觀察

1. 本規範各條係為說明需要的各項適當現象，及將試驗結果解釋時所應注意之點。
2. 標準委員會的意見，凡照本規範取捨材料時，應依據有經驗的人用適當方法作試驗後定之。

比重

3. 試驗比重可偵查是否摻雜，試驗的結果固不必視作洋灰性質優劣的確切定論，但參合其他試驗的結果，即可視為有價值的說明。

細度

4. 所用的篩，須完全保持乾燥。

凝結時間

5. 試驗所用的樣件，在可能範圍內須十分謹慎，使其保持在同一環境的試驗室中。溫度驟變，或參差過多，或大氣極燥極濕，及其他不規則的現象，均於凝結遲速影響極大。

體積的不變

6. 體積不變試驗分為正常試驗及加速試驗兩種。加速試驗祇可視作一種預測，不能認為無錯誤。試驗時情形複雜，須十分謹慎。

7. 製樣件時，應注意避免因模印而生的初步應變，或在開始 24 小時內的乾燥過速。樣件應在可能範圍內，保持在同一環境中，並須避免溫度的驟變。

8. 加速試驗的結果如不合需要條件時，不能即認其洋灰已不可用。應候 28 日以後，另用新樣件再行試驗。如仍不合用，則可認為拒絕採用的充分理由；雖在目前吾人尚不能認為此項試驗的不合格即為不健全，亦不能認為僅通過此項試驗的洋灰即屬十分滿意也。

普通條件

1. 洋灰應全部加以檢查。
2. 檢查洋灰在製造廠中或工場上辦理，均無不可。
3. 洋灰應儲於不受天氣影響的地板房中，俾有充分時間以備檢查或試驗。房中如無地板，則洋灰應架空離地，以免受潮。
4. 洋灰的堆積方法，應使便於檢查，並應各船分清。
5. 包工人應在各方面力求便利於檢查及試驗。並至少應預備 12 日為檢查及試驗的時期。
6. 運送洋灰應用合宜的包裝。其桶或袋上應有出品廠家顯明的牌號及名稱。
7. 每袋洋灰淨重 94 磅，每桶波特蘭洋灰（註），恰合四袋。每桶天然洋灰恰合三袋。

註 波特蘭洋灰 Portland cement.

8. 洋灰經七日試驗，如不合條件，可候 28 日後的試驗，再定取捨。

9. 各種試驗應依標準的方法辦理。

10. 洋灰可依據下列的條件定取捨。

波特蘭洋灰

11. 定義 波特蘭洋灰係用含適當比例的粘土與石灰質密切混合的物質，燒至初步熔化，研末而成。煨燒以後加入的物質，並無多於百分之 3 者。

比重

12. 洋灰的比重不得小於 3.10，否則將樣灰用火烘燒，重行試驗，烘燒後所失的重量，不得超過百分之 4。

細度

13. 用 100 號篩篩之，其剩餘物的重量比，應不超過百分之 8。
用 200 號篩篩之，其剩餘物的重量比，應不超過百分之 25。

凝結時間

14. 初步凝結的時間不應少於 30 分鐘。終了凝結的時間，不應少於 1 小時，亦不應多於 10 小時。

抗張強度

15. 樣件截面每方吋的抗張強度至少應如下表所列；並在規定的時期中，抗張強度不應有減退現象：

純 洋 灰	抗 張 強 度 磅/方吋
在濕空氣中 24 小時	175
在濕空氣中 1 日，在水中 6 日	500
在濕空氣中 1 日，在水中 27 日	600

1 分 洋 灰 3 分 標 準 沙	抗張強度 磅/方吋
在濕空氣中 1 日，在水中 6 日	200
在濕空氣中 1 日，在水中 27 日	275

體積的不變

16. 洋灰樣件，直徑約 3 吋，中心厚 $\frac{1}{2}$ 吋，四週漸成薄邊，置於濕空氣中 24 小時：(a) 然後取一塊置於正常溫度的空氣中。隨時檢查，至少經 28 日。(b) 另取一塊置於 70°F 左右的水中。在可能範圍內，保持水溫不變。隨時檢查，至少經 28 日。(c) 取第三塊，用不論何種方法，置於沸水的蒸汽中，約經 5 小時。

17. 上述各樣件，如始終堅硬，無扭歪，縮縮，裂紋及崩解等現象時，堪認為合格。

硫酸及氧化鎂

18. 洋灰中所含的無水亞硫酸 (SO_3) 不得超過百分之 1.75，所含的氧化鎂 (MgO) 不得超過百分之 4。

章 3 洋灰沙泥

I 洋灰沙泥的配料

§ 15 洋灰沙泥 洋灰沙泥爲用洋灰及沙和水製成。其成分以洋灰與沙的比量表示之。例如 1 比 3 的洋灰沙泥，即指含洋灰 1 分而含沙 3 分者而言。在實地工事中，常以體積計算比量，在標準試驗中，常以重量計算比量。

洋灰 製造洋灰沙泥的洋灰，應用品質合於標準規範書之品。

沙 製造洋灰沙泥的沙或任何細粒料，應具的品質及其選擇方法，將述於章 4 中（頁 30 至頁 36），暫不論列。

水 製造洋灰沙泥所用的水，須用清潔而不含有油類，酸類，鹼類及一切有害的有機物質與無機物質者。大概合於作飲料的水，亦宜用於製造洋灰沙泥中。

§ 16 洋灰沙泥的配料比量計算法 配料時根據所用材料的性質及所需成品的性質，以定所用洋灰與沙的比量。其比量的計算法有：(a) 依重量計算法，及 (b) 依體積計算法。

依材料的重量計算，最爲正確。在洋灰沙泥的標準試驗中，多用此法。

依材料的體積計算，在實地工作中通用之。又隨細目分爲次之兩種：(1) 洋灰以每袋作爲 1 立方呎，或每桶作爲 3.8 立方呎計算，而沙則以疏鬆時的體積計算；此法間有用之者。(2) 洋灰及沙俱依疏鬆時的體積計算；此法最爲通行，惟最不正確。

通行的配料比量 通常在磚砌工或石砌工中所用的洋灰沙泥的配料比量爲 1 比 2 或 1 比 3。在作地板或路面的面層的洋灰沙泥，以及填嵌污水管的接縫等時，其配料的比量爲 1 比 1。

§ 17 每立碼洋灰沙泥中所需的各原料 製造 1 立碼的洋灰沙泥時，如所用的沙爲自粗至細，分配整齊，且用質地優良的沙，則所需洋灰及沙的數量，如附表所示。在計算時每桶洋灰按 3.8 立呎計算。

各品洋灰沙泥所需原料的體積表

配 料 比 量	洋 灰 (桶)	沙 (立 呎)	洋灰沙泥(立碼)
1 : 1	4.88	0.70	1
1 : 1.5	3.85	0.82	1
1 : 2	3.20	0.90	1
1 : 2.5	2.70	0.96	1
1 : 3	2.35	1.00	1
1 : 4	1.84	1.05	1
1 : 5	1.52	1.08	1
1 : 6	1.30	1.12	1

§ 18 洋灰沙泥的混和 洋灰沙泥的混和，有：(a) 手工混和，及 (b) 洋灰沙泥噴射機混和，兩種。

手工混和 若用手工混和洋灰沙泥時，可取一次混和用沙的半量，平攤於洋灰混和箱中，加鋪洋灰，再將其餘半量的沙攤上。用鏟將洋灰反復鏟起，以行乾拌，如是翻轉二次乃至六次，務使兩者和成一色。次將此乾燥混和物，堆置於混和箱的一端，而注水於此箱的他端。復次用鋤將乾燥混和物逐漸挑入水中，用力攪拌，以成洋灰沙泥。如洋灰沙泥的稠度已經適宜，則拔起鋤時，其膠着於鋤條上的洋灰沙泥，為數甚微。洋灰沙泥中和水的分量，寧可失之稍多，不可失之太少。

洋灰沙泥噴射機 洋灰沙泥噴射機的主體為一直立的容器，分為上下二室。使用時先啟上室頂部與外方相通的錐形活門，經此送入洋灰與乾沙的混和物。次關閉此錐形活門，而開啟上室底部與下室相

通的錐形活門，容混和物落入下室，而復閉之。下室中有平置的輪，具輻射形的臂，旋轉不息，遂將洋灰沙泥推送至出口處。下室聯於壓縮空氣機，故洋灰沙泥一至出口處，即被空氣壓力推出甚急。口外聯於兩軟管，其長不等，長者可達 200 呎，軟管末端，裝有噴射口。當洋灰沙泥在此噴出時，即有足量的水與之相合。

用噴射機所製的洋灰沙泥噴射於構造物的表面上，甚為均勻；而成品的實度及強度均勝於以同一原料與成分而用手工混和者。凡修補穢水溝的內部，敷成隧道的附壁，修補爐室的附壁，以及於房屋橋梁的鋼料的表面上造成防水層等，均可藉用噴射機而得良好的結果。

II 洋灰沙泥的強度及性質

§ 19 洋灰沙泥的強度 洋灰沙泥的強度，視種種事物變化的影響而異，其中最重要者有：(a) 所用洋灰的比量，(b) 細粒料的顆粒粗細及其分配情形，(c) 用水的比量，及 (d) 製成洋灰沙泥的密實程度。此四項影響可以下列兩條定例概括之：

(1) 用同樣的洋灰及同樣的細粒料時，則洋灰沙泥的強度隨其單位體積中含有洋灰的數量而增減。

(2) 如單位體積的洋灰沙泥中所含洋灰的數量固定時，則實度最大者洋灰沙泥，所具的強度最大。

實度 洋灰沙泥的實度乃實在的密實物質（以洋灰及沙的絕對體積為準）與製成洋灰沙泥硬化後的體積之比。在決定所用材料的體積時，可精密測定其重量，而假定洋灰的比重為 3.10 而沙的比重為 2.65 以計算之；如能將洋灰及沙的比重實行測定尤佳。

足以影響洋灰沙泥的強度者，除上舉數種事項外，尚有攪用物質中原料的雜質以及成品年齡等。茲分述之：

細粒料顆粒粗細及其分配情形的影響 細粒料中顆粒粗細及其分配情形，與洋灰沙泥的實度有顯著的關係，因之對於洋灰沙泥的強度亦生重大影響。大概言之，如細粒料中顆粒粗細及其分配情形恰能使成品得到最大實度者，則其成品的強度亦最大。此須令細粒料中的空

隙量的百分率極小，且須有足量的粗粒，空隙量的百分率的大小視顆粒粗細分配的情形而異，而非視其顆粒實在之為粗或為細。若以空隙量的百分率相同的細粒料而言，則由顆粒粗者所製的洋灰沙泥較由顆粒細者所製的洋灰沙泥為強。因顆粒粗者所有表面積的總量較小，則所需附着在表面的水及洋灰的量較少，而所需製成某一種稠度時的水亦較少，故其洋灰沙泥的實度較高。由研究沙粒粗細對於洋灰沙泥強度的影響的試驗結果，顯示數事如次：(a) 洋灰沙泥的實度如為最大時，其強度常為最大，(b) 細沙的比例數應小，(c) 如沙的粗細整齊一律，則粗沙較中等的沙為佳，而中等之沙較細沙為佳。

用水量的影響 製造洋灰沙泥時，用水的比量如逾適當之度或不及適當之度，俱令其成品的強度減低，故用水的比量須審慎決定，不可隨意定之。

熟石灰的影響 製造洋灰沙泥時，若加入少許的熟石灰有使其不易透水及便於使用的功效。在 1 比 3 的洋灰沙泥中，所加入熟石灰的數量若不逾 15% 時，可不至損其強度。

雜質的影響 製造洋灰沙泥所用的沙，除經洗滌者外，總含有多少雜質，其對於強度的影響，絕不可以忽視。此因：(a) 沙中含有粘土，常有損於洋灰沙泥的強度；但在有特別情形時，每故意加入分散的粘土，以求成品的密實不透水；其分量不過沙的 5% 至 10%，先與沙拌勻。大概含洋灰較少的洋灰沙泥，加入粘土，頗有良效，而無損於成品的強度；含洋灰較多的洋灰沙泥，空隙本已填滿，加入粘土，反使其品質降劣。(b) 若沙中含有雲母，縱使其分量甚微，亦足以減低所製洋灰沙泥的強度，因其質地柔軟，洋灰不能附着在其表面上故也。(c) 若沙中含有垢質，則製成的洋灰沙泥的強度降低；有機物質尤甚，其量縱不過 0.1% 者，亦為有害。

溫度的影響 低溫度增加洋灰沙泥所需的凝結時間，而使洋灰沙泥的強度增加甚緩。在 40°F 時，製成後已歷時二月的洋灰沙泥，強度僅得在 70°F 者所有強度的 $\frac{1}{3}$ ，洋灰沙泥在 32°F 時凝結者，需時

4 倍於在 65°F 時凝結者。洋灰沙泥表面的顯露者，如係在終止凝結以前凍結，常行成片剝落。在冬季結水的天氣中使用洋灰沙泥，如無防其凍結的特別設備則不可行。高溫度減少洋灰沙泥所需凝結的時間，而使其強度的增高加速。

濕度的影響 洋灰沙泥在乾燥天氣中製用者強度的增加略速。此際須令其顯露的表面保持潮濕，經歷數天，俾在硬固以前，不致從表面處有水蒸發。洋灰沙泥在潮濕天氣中製用者，凝結需時較長，而強度的增加亦較緩。

成品年齡的影響 普通言之，洋灰沙泥的強度隨其製成年齡而增加。

§ 20 洋灰沙泥的各種強度 洋灰沙泥的強度可分為：(a) 抗張強度，(b) 抗壓強度，(c) 抗剪強度，及 (d) 附着強度，四種。茲分述之：

抗張強度 通常測定洋灰沙泥的強度係取其抗張強度。此乃因其便於試驗，且假定其與抗壓強度有關係之故也；實則在建築中，並不利用洋灰沙泥的抗張力，而在抗張強度與抗壓強度之間，亦無一定不變之比也。在平常情形中，洋灰沙泥的強度，當製成後數日之間，增加最速。增加之率，向後漸次減低。製成後七日的強度，約為最大強度的 $\frac{2}{3}$ ；約在三月之後，乃得有此最大強度。大概言之，1 比 3 的洋灰沙泥的最低強度，應如次表：

1 比 3 洋灰沙泥應有的最小的抗張強度表

製成時間及調理情形	抗張強度 (磅/方吋)
製後在濕空氣中1日, 在水中6日	200
製後在濕氣空中1日, 在水中27日	300

洋灰沙泥多有於製成後五月或六月時起強度減縮的現象者，但常僅係一時如此，非永遠減弱也。

抗壓強度 決定洋灰沙泥的品質，實以測定其抗壓強度為最合理的方法，但普通却不用之。良好洋灰沙泥的抗壓強度隨製成後的年月而逐漸增加，無減縮的現象。洋灰沙泥的抗壓強度試驗結果，其應有的抗壓強度的最小限度如次表：

1 比 3 洋灰沙泥應有抗壓強度的最小限度表

製成時間及調理情形	抗壓強度 (磅/方吋)
製後在濕空氣中1日, 在水中6日	1200
製後在濕空氣中1日, 在水中27日	2000

普通言之，洋灰沙泥的抗張強度大者，其抗壓強度亦大；但其比值則非一定不變的數量。故不能據以換算耳。

抗剪強度 洋灰沙泥的抗剪強度頗關重要，不僅因其與抗壓強度有密切的關係，實以洋灰沙泥常起抗剪應力之故。惟抗剪試驗，作者頗少，蓋難使樣件起完全的抗剪應力也。

附着強度 洋灰沙泥的附着強度頗關重要。製成經過六月的洋灰沙泥對於數種材料的附着強度如次表：

洋灰沙泥的附着強度表

附澆材料 附着強度 混和比	鐵 桿	鋸的石灰石	磚
	1 : 0	315	270
1 : 1	290	220	40
1 : 2	265	170	30
1 : 3	110	75	15

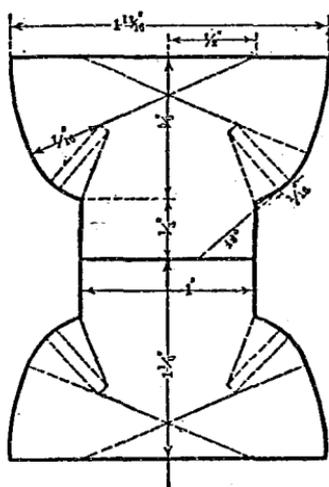


圖 6. 附着試驗的洋灰樣件。

上表所示的附着強度的單位以每方吋的磅數表示者。其附着試驗的洋灰樣件如圖 6 所示：

彈性係數 洋灰沙泥的抗壓彈性係數乃一變化的量，因應力變形的曲綫不成一直綫之故也。於其當極限強度的 $\frac{1}{3}$ 處，1 比 3 的洋灰沙泥的抗壓彈性係數約為每方吋 3×10^7 磅。

章 4 沙及碎石

I 沙的品質及成分

§ 21 沙的品質 沙為製造洋灰沙泥及混凝土的材料，其品質對於成品的優劣有重要關係。洋灰為人造材料，其品質能整齊優美，非如沙為天產材料，品質至多差異。故製成洋灰沙泥或混凝土的優劣，所使用沙的品質影響常較所受洋灰品質的影響為多。由此可見用沙品質的重要，絕不容忽視之也。

供給建築材料所用的沙應為剛硬的石英顆粒，不雜有粘土易碎或有機物質。其顆粒以較粗者或自粗至細分配有序而粗粒較多者為宜。若能自粗至細，分配有序，恰使其空隙量減至最小者，是為最佳之沙；其所含細顆粒不多，故外觀與粗沙相似。

§ 22 沙的成分 沙以全由石英顆粒組成者為最佳。如含有雲母，普通角閃石，長石，石灰石等，則視其為量的多寡而為有害或無害；此種物質，軟弱易碎，沙中含量若稍多，則製成洋灰沙泥或混凝土時的強度，便因之降低。雲母雖含量極微，而為害甚著。但沙的質物成分，尚不如其物理性之重要耳。

雜質 製造洋灰沙泥欲求強度特高，不能不注意於用沙的清潔；因如用不潔淨的沙，則沙粒表面為污穢物質所包圍，而洋灰不能膠着緊密，其強度自不能高也。沙中絕不可雜有草梗樹葉等顯而易見的有機物質。

如不能得清潔的沙，則當用水洗淨，去其雜質。其法不一：有置沙於平篩口上，用水沖射者；有置沙於旋轉的圓桶篩內，用水濾過者；有用螺旋形輪葉洗沙機以行洗滌者。

II 沙粒的研究

§ 23 沙粒的研究 在研究沙的顆粒以定其品質是否相宜時，當注意：(a) 沙的細度，及 (b) 沙的空隙量，二項。

沙的細度。沙粒以粗者為優，因沙粒愈粗，則製成的洋灰沙泥的強度愈高。又沙粒愈粗，則每一單位體積中沙粒的表面積愈小，而所需以被覆其表面的洋灰愈少，有節省洋灰的利益。

沙的細度及顆粒粗細分配的情形，須經用篩分析後始能明瞭；但憑目力攷察，不能得出正確的觀念。往往有一見似屬粗沙，實則含有細沙甚多，其效用竟與細沙無異也。

§ 24 沙粒細度與洋灰沙泥強度的關係 沙粒愈粗，則所成的洋灰沙泥的強度愈高。曾有人試驗，以同一種類的沙分成各種粗細等級，與同一牌號的洋灰作成洋灰沙泥，定其強度；而得粗沙的強度較大的結果。

沙粒粗細的限度 製造砌工的洋灰沙泥時，所用的沙須將夾雜的粗卵石篩出。製造混凝土時所用的沙，可不如此篩分；但如所含粗卵石過多，則以篩分為宜。所用之篩為 $\frac{1}{2}$ 吋的篩孔，篩出的顆粒，亦可作為卵石用之。

§ 25 空隙量 沙中空隙量愈少，則所需以充填其間的洋灰愈少，而費用愈省；故沙中空隙量與所用的洋灰量有直接的關係；此點甚屬重要。

測定沙中空隙量的百分率，有：(a) 直接法，及 (b) 間接法，兩種：

直接測定沙的空隙量 直接測定沙的空隙量，可取某定量的水盛於容器 A 中，又取已知體積的容器 B，乃從容器 A 中注水入容器 B，占其一部分；於是取沙粒緩緩撒入容器 B 中。俟與水面齊平，再行注水，并繼續撒入沙粒。如是反復行之，直至容器 B 中水已注滿，而沙面亦與水面齊平為止。將所注入的水的體積，以容器 B 的體積除之，而乘以 100，即為沙中空隙量的百分率也。

設 V = 容沙器的體積， W = 所注入的水的體積，則

沙中的空隙的體積 = $\frac{W}{V}$ ，

或
$$\text{沙中空隙量的百分率} = \frac{100W}{V} \% .$$

間接測定沙的空隙量 在間接測定沙的空隙量時，取其一定體積的乾沙，測定其重量；由其比重，計算其中實體所應佔的體積；復算出其空隙量的百分率。考一切成沙的物質，比重均在 2.6 與 2.7 之間；若假定其平均數 2.65 為沙的比重，則其計算結果，可以充分正確。

設 W = 乾沙每立方呎的重量， V = 實體的絕對體積， P = 空隙量的百分率，則

$$W = 62.5 \times 2.65 V, \quad \text{或} \quad V = \frac{W}{166},$$

而
$$P = 100 \left(1 - \frac{W}{166} \right) .$$

含水量與空隙量的關係 沙中含水量的多少，對於其空隙量大有影響。細沙具 2% 的含水量時，較其乾燥時竟增加空隙量至 20% 之多；迨含水量增加甚多時，而空隙量又隨之減少。故在測定沙的空隙量時，務取用乾燥的沙試驗，否則所得結果不能準確，難作比較。

計算沙中含水量，可先測定某一定體積中濕沙的重量，繼加熱除去其水分，再測定其重量；此兩次重量之差，即為水分的重量，由此便可算出水分所佔的體積並其百分率。

沙中空隙量的百分率，最大者為顆粒極整齊的沙，常在 40% 至 45% 之間，最小者為顆粒自粗至細分配有序，而粗粒較多的沙，約得 28%。普通優良的砂，空隙量約在 30% 至 35% 之間。

III. 洋灰沙泥的試驗

§ 26 洋灰沙泥的試驗 研究沙的品質，最可靠的方法為用某種已知品質的洋灰與沙混和，製成洋灰沙泥，而試驗其強度及產率。

常行的強度試驗為抗張試驗，但如能行抗壓試驗尤佳。

產率試驗係測定某定量的洋灰沙泥與某定量的沙相和，製成洋灰沙泥多寡的試驗。法為依實際採用的洋灰沙泥配料比量，分別量出隨

需重量的洋灰及乾沙，按照實際上所用的稠度，和水製成洋灰沙泥。取此洋灰沙泥置入試驗所備的桶中，自上面捶實，記其高度。又依此法，取同一重量的別種沙，照同一比量與洋灰相和，製成同一稠度的洋灰沙泥，亦置入桶中捶實，定其高度。如此取所有的沙，施行試驗，其中製出洋灰沙泥柱最短的沙，即所謂產率最小的沙，亦為最優良的沙。

§ 27 篩過的碎石屑 由軋碎岩石中篩出的細屑，有時用以代沙，作為製造洋灰沙泥或混凝土的原料。用沙岩碎屑製成洋灰沙泥，較用沙所製成者強度略高。用石灰岩碎屑製成洋灰沙泥的強度更高，其差異又隨成品年齡而俱增；有時強度竟可較最良的沙製成洋灰沙泥的強度大過 $\frac{1}{2}$ 乃至2倍；其強度之高，諒由石屑尖銳所致，而其隨年齡以增加，則或由於洋灰與石灰岩間有某種化學作用也。石屑的空隙量較沙為小，在30%以下，尤以石灰岩者為低；此亦洋灰沙泥的強度得以較高之一原因。但石屑中常含有多量極細的粉末，故須經過用篩分析，定其細度；如極細之粉過多，則須於設法篩出之後，方可使用也。

IV 粗粒料

§ 28 粗粒料 粗粒料指製造混凝土所用粗大塊粒的材料而言。常用者有碎石及卵石，間有使用煤渣，鐵屑，碎磚及礦灰等者。

強度 粗粒料應具充分的強度，至少須與洋灰相等，但亦無須異常之高。

硬度 粗粒料應有的硬度，隨混凝土的用途而異；如作樓梯，地板，及鋪砌街道所用的混凝土，因須能耐受重大的磨蝕，故粗粒料須具有受刀割而不破的硬度。別處所用的粗粒料，無須如此堅硬，但得強韌已足。

雜質 粗粒料應清潔，不含粘土，及有機物質等一切有害的雜質。

顆粒的大小限 粗粒料中顆粒之小於 0.25 吋者，應行篩去；或遇品質優良者，亦可存留以代同量的細粒料。顆粒的最大限度，隨混凝土的用途而定；如用於體積巨大的建築物，如基礎之類，可以 2.5 吋為限；如用於跟座，可以 2.0 吋為限；如用於拱圈，可以 1.5 吋為限；如用於橋梁，薄牆，鋼筋混凝土的建築，及別種普通小件構造物等，常以 1.0 吋為限。混凝土的強度，略隨粗粒料的增多而增高，故能用較大顆粒時，自不宜採用較小者耳。

顆粒的形狀 粗粒料中顆粒的形狀以約成立方體或球體者，較之平扁或狹長者為佳；因前者較後者易於攢聚密實故也。

顆粒粗細分配的情形 製造混凝土時，如所用的材料相同，而其配料的比量亦相同，所異者僅在混和物的空隙量時；則其空隙量減至最少者，其成品的強度為最大。欲求空隙的減至最小，則須使粗粒料的較大顆粒，由較小顆粒填充，而較小顆粒，復由沙粒填充。故粗粒料的顆粒，乃以自小至大，分配有序者為佳。若粗粒料全由同一式樣的顆粒組成，則製成的混凝土，不能得到最高的實度與強度矣。

粗粒料的空隙量 粗粒料的空隙量，可以直接測定；法與測定沙的空隙量的方法相同。亦可由其比重算出。

設 V = 粗粒料的體積， W = 此體積中粗粒料的重量， G = 此粗粒料的比重， P = 粗粒料中空隙量的百分率，則

$$P = 1 - \frac{W}{V(62.5G)} = 1 - \frac{W}{62.5VG}$$

作混凝土中粗粒料的各種石料的比重，無大變化，約如次表：

粗粒料的比重表

粗粒料的種類	比 重	粗粒料的種類	比 重
深暗岩	2.8 至 3.0	沙 岩	2.3 至 2.6
花剛岩	2.65 至 2.75	卵 石	2.6 至 2.7
石灰岩	2.6 至 2.7	碎 磚	

粗粒料的空隙量與其鬆實的情形大有關係。通常測定空隙量，係將粗粒料用鏟送入容器中，略加捶實時的情形為準。

§ 29 碎石 作粗粒料的碎石，最常用者為深暗岩；其硬度，韌度及強度均高，又能耐高溫度，故作粗粒料，最為相宜。花剛岩品質亦優。此二種石用於樓梯，地板，街道，路面等受磨蝕劇烈之處，極為相宜。

白雲岩及硬質石灰岩用作粗粒料，亦頗通行。此種岩石的質地雖不及花剛岩的剛硬，然製成混凝土的強度，初不稍遜；而其抗火的性質，猶且過之。軟質石灰岩質地疏鬆，製造混凝土時，須先使其潤濕透徹；否則吸收洋灰泥中的水分，妨害其硬化作用，而成品的強度因之降低。沙岩的堅強密實者，尚可用為粗粒料，但用者甚少；若夫軟弱疏鬆者，則絕不可用。

卵石 選擇卵石作粗粒料的方法，與選擇作細粒料的沙的方法相同。用卵石製混凝土鋪成地板或路面時，如地面受劇烈磨蝕者，其卵石須具有刀割不破的硬度，方能合用；且各塊的硬度須整齊。在作別項用途的混凝土，其注重在強度者，則用質地稍軟的卵石，亦屬不可。卵石中含有多量的爛石者，切不可用。其含有粘土及一切有機物質

的卵石，可洗淨後用之。卵石以近於球形者為優，平扁者製成混凝土時不能密實，故不佳也。

碎石與卵石的比較 用卵石所製成的混凝土，較用碎石所製者，易於流動，且得密實，而其所需的捶實工作亦不多；此皆因卵石表面圓滑之故。就抗壓強度言，卵石混凝土似易達到最大強度；但歷時一年後，兩者即無甚差異。卵石混凝土似較碎石混凝土為難於滲水，諒因其質地稍為密實之故。卵石混凝土的質地似不如碎石混凝土的整齊，此乃由卵石質地每不整齊所致。

§ 30 煤渣 用於混凝土的煤渣不可含有未燒過的煤或烟煤。煤渣中的碎屑雖有時分配均勻，可以不必篩去，藉以減少用沙之量，但仍以篩去而另行加沙為佳。

煤渣混凝土的強度遠不及碎石混凝土，故需要負載高壓的建築，切不可用；但因其價值特廉，故凡負載較輕之處如屋面等，常利用之。

煤渣的缺點，因其含有硫質及其他化學物質，每致剝蝕鋼條，故不可作為鋼筋混凝土之用。任何建築物，其混凝土的強度如關重要，則不論其資用的單位抗壓應力如何低微，非經澈底檢查，不可輕於試用。

章 5 混凝土

I 混凝土的配料

§ 31. 混凝土 洋灰沙泥與粗粒料的混和物名爲混凝土；易言之，即洋灰，細粒料及粗粒料三者和水製成之物也。

混凝土的成分，以洋灰細粒料及粗粒料三者的比量表示之；如含洋灰 1 分，細粒料 3 分，及粗粒料 6 分者，稱爲 1:3:6 的混凝土。混凝土的比量常以體積計，但亦有以重量計者。

混凝土的種類可分爲兩類：(1) 單純混凝土，(2) 鋼筋混凝土。

單純混凝土 製成混凝土的成分爲洋灰，沙，碎石及水四者，名爲單純混凝土；其強度大約視材料的配合的比值而定，材料的優劣自亦極有關係，製造優良的混凝土必須選用優良的材料，拌合既須均勻，且當用最少量的水，使成膏狀的混凝土。板型亦須建築堅固，使混凝土傾入凝固，不致變形。單純混凝土大都用於建造牆壁，擁壁，橋墩，橋台，基礎及其他各式的荷重工程。

鋼筋混凝土 混凝土具有極高的抗壓強度，但抗張強度則極弱，故混凝土建築物內，應於適當之處，埋置鋼條，使在抗張應力，以補不足。例如設計橫梁，梁的上部爲壓縮，即由混凝土抵抗之，梁的下部爲伸張，而混凝土的抗張強度極低，不堪勝任，故必須於靠梁底處，埋置鋼條，使抵抗伸張。且鋼條必須全部埋於混凝土內，使鋼條的表面與混凝土附着而發生抗滑力。鋼條以下至梁底，須有混凝土一層，既可防止鋼筋生銹，倘遇火警，亦可保護鋼筋，不致受熱過甚。至於其抗剪應力則由混凝土及鋼筋共同負擔之。鋼筋混凝土常用於建築房屋，拱，及擁壁等。近年來並用以建築公路。此外如防止鋼建築生銹及火警受熱，混凝土亦爲最優良的材料。其組合的材料，比較價廉，且隨處可以取得。如在混凝土內加入適量鋼筋，則因溫度不同而發生的裂紋，亦可大爲減少。

鋼筋混凝土爲由材料所成的建築工程，本書不再詳論；欲知其詳

，應讀混凝土工學。

§ 32 配料的重要 製造混凝土時，原料配合的比量，最關重要。就理論上言之，成品的價值，須求其小，而強度須求其高。洋灰為混凝土成分中的價值最貴者，故用洋灰愈少，則混凝土的價值愈廉也。

配料的原理 混凝土配料的方法有種種，而其原理，可括為兩大類：(a) 一類為成品的實度最大則強度最高的學說。(b) 一類為不注重成品實度的學說。

(a) 注重實度的配料原理 依從前學者的研究，混凝土的強度及實度的變化，可以次之二定律包括之：(1) 用同一細粒料及同一粗粒料時，混凝土單位體積中含洋灰量最多者，強度最高。(2) 用同一含洋灰的比量及同一粒料時，混凝土的粗細粒料配合能得最大的實度者，強度最高。以上兩條定律，與在章 3 中所述洋灰沙泥配料的原理的兩條定律相似。

根據上列原理，以求混凝土最大實度為目的之配料方法有次之數種：(甲) 依通行標準配料法。(乙) 依空隙量配料法。(丙) 依最小產率配料法。以後當分述之。

(b) 不注重實度的配料原理 最近關於混凝土的配料的學說，不注重於求其最大實度，且認此為無關重要。屬於此類的新配料法有數種，例如(甲) 依用水率及細度係數配料法。(乙) 依粒料的表面積配料法。此等方法，雖甚合理，但實用上甚費手續，姑略之。學者欲知其詳，可參考專門的混凝土工學。

坍塌試驗 製造混凝土時，除洋灰及粗細粒料外，其用水的多寡對於混凝土的強度亦有重大的關係。混凝土之極潤濕而浮滑者不可用；極乾燥而多費捶實的工作者亦不可用；以得乎中庸之度者為最佳。為求得所需稠度及在用同種配料比量時求得全部混凝土的整齊稠度起見，可行坍塌試驗(註)及流動試驗(註)。坍塌試驗為用金屬作成截圓

註 坍塌試驗 slump test.

流動試驗 flow test.

錐形的型，高 12 吋，上面徑為 4 吋，下面徑為 8 吋如圖 7，置於不吸水的平面上，置入混凝土，依標準方法分四層充填。在三分鐘後，提起此型，則混凝土的表面向下坍落，其距離名為坍落度。混凝土愈濕，則其坍落度愈大。極乾的混凝土，坍落可少於 1 吋，極濕的混凝土坍落可達 8 吋，但此數已為極限。普通坍落的數量常限於 3 吋至 6 吋。

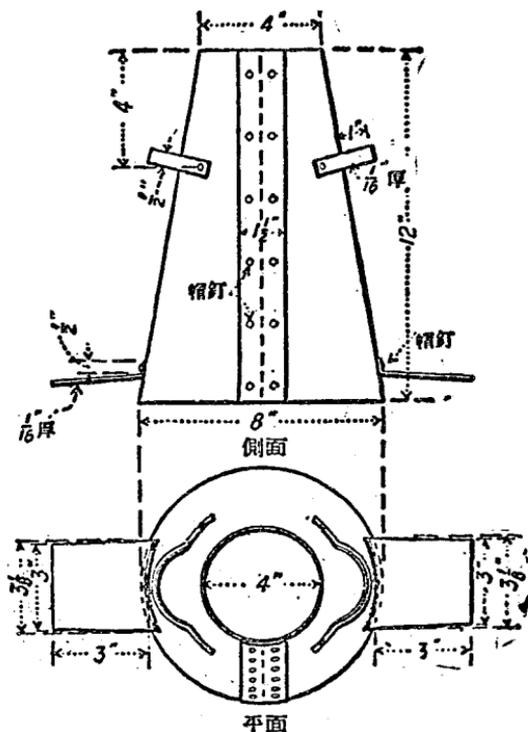


圖 7. 試驗混凝土坍落的器具。

流動試驗 在此試驗中，以截圓錐體的型，裝入混凝土；於提起其型後，將承放混凝土的案，舉起 $\frac{1}{2}$ 吋，而放落之。在 10 秒鐘內反

復行之，計 15 次。其混凝土底部直徑的增大，名為流動度，用為計量稠度的標準。

§ 33 依通行標準配料法 最簡便最常用而最不合理的配料法為依獨斷的比量配料法。在決定配料的比量時，對於粗細粒料的性質，並不研究，但憑主觀的態度，以選取一種比量；例如欲製強度較高的混凝土時，則指定其比量為 1 比 2 比 4，並不問粗細粒料的品質，究竟如何，是否可以依別種比量，而得製出價值較廉而強度較高之品也。

此法在饒有經驗的工程師用之，固可得優良的結果。如主事者並無經驗，則必耗費可貴的洋灰，而仍不能得合宜的製品也。

§ 34 依空隙量配料法 依空隙量配料法的原理，係使洋灰用量適足以填滿洋灰沙泥中細粒料（即沙）間的空隙，而洋灰沙泥用量適足以填滿混凝土中粗粒料間的空隙。

在配料時，先測定燒乾的粗細粒料空隙量，然後依此決定所用材料的比量。有人主張所用洋灰的量，應略較細粒料間的空隙為多，而所用洋灰沙泥的量，應略較粗粒料間的空隙為多。

此法不盡可靠，因乾燥粗細粒料間的空隙量，與製成洋灰沙泥及混凝土的空隙量，不能相同，又無一定的關係可求故也。是以依此法所得的結果，不能斷定較依通行標準配料法所得的結果為優勝；但如由有經驗的工程師行之，則亦可製出良好的混凝土耳。

§ 35 依最小產率配料法 依最小產率配料法的原理，係假定如洋灰的用量，水的用量，及粗細粒料的總用量俱不變，而惟細粒料（沙）與粗粒料（碎石）的比量互有增減時，則製成混凝土的體積最小者，即產率最小者，為具有最大實度，亦即具有最大強度，故為品質中之最優良者。

配料方法 依此法製混凝土時，係用材料實地試製混凝土，以定應用粗細粒料的比量。斟酌所需混凝土的品質，決定所用洋灰量與粗細粒料總量的比，及所用的水量。試製混凝土時，先取各種所用材料

，稱準重量。和成混凝土後，置入一長圓桶中，圓桶的橫截面積，上下一律。混凝土分次置入，仔細捶實。所製混凝土既經全行置入桶中，乃測定其高度。測定既畢，乃將其傾出，洗淨圓桶。復取原料，製成新混凝土，其所用洋灰及水的重量，與前相同，粗細粒料的總重量亦同，惟粗細粒料的比量，則與前異。製成混凝土後，依前法置入圓桶中捶實，測定其高度。如是試驗數次，即可知如何配合粗細粒料，以使成品增進密實。其所得混凝土的高度最小者，即產率最小者，亦即實度最大者，便可以其粗細粒料的比量，用作實地配料的標準。所當注意者，即用水之量，須要得當，使成品便於使用，而無過乾或過濕之弊。

§ 36 材料的估計 混凝土的配料比量既經決定後，對於單位體積的混凝土需用各種材料的分量，可依次之公式計算之：

$$\text{所需洋灰的體積} = \frac{1.55C}{C+S+R} ;$$

$$\text{所需細粒料的體積} = \frac{1.55S}{C+S+R} ;$$

$$\text{所需粗粒料的體積} = \frac{1.55R}{C+S+R} ;$$

式中 C=混凝土中洋灰的配料比量的體積，S=混凝土中細粒料的配料比量的體積，R=混凝土中粗粒料的配料比量的體積。

II 不透水混凝土

§ 37. 不透水混凝土的性質 普通的混凝土並非不透水，但依經驗，如組合材料的比例適當能得最大的密度時，則在平常壓力之下可以不透水。常見當混凝土置放之初，滲水處頗多，但經短時間以後，即行停止。如用含洋灰或兼含洋灰沙泥的水，以強壓力使流入滲水之處，則此混凝土即可變為不透水。

曾有人用各種物質與混凝土拌和，或塗於其表面上，以求其不透水。但大率均係暫時性質，經過一個時期，即失其效用。

在長牆，地道，水庫等，如用適當比例的鋼筋，縱橫排列，於不透水問題，大有裨益。蓋因鋼筋能使混凝土減少裂紋，即有亦甚微小，故不致漏水，且易為沉澱物質塞沒。地窖的隔水層，應塗於牆的外面。反之如建築水櫃水庫，其目的均在防水外漏，所以其隔水層應塗於牆的內面。凡設計任何建築物，應使其便於做適當的隔水設備，且此隔水設備，應置於牆受壓力的一面。

§ 38 不透水混凝土 普通用的不透水混凝土的方法有：(1) 塗隔水層，(2) 摻和明礬肥皂或亞麻仁油，(3) 摻入水化石灰，(4) 塗抹瀝青層，(5) 鋪瀝青氈。

塗隔水層 水池，游泳池，及水庫等，於裏面塗兩層 1:2 的洋灰沙泥，即可不透水，如壓力不大，則用 1 吋厚的較富洋灰沙泥層，亦屬有效。

摻和明礬肥皂或亞麻仁油 將明礬肥皂加入洋灰沙泥後，可使其不透水。法以重量比為 1% 的明礬粉，加入乾燥的洋灰及沙中，充分拌和，又將約 1% 的肥皂溶化水中，用以拌成洋灰沙泥。又於新置放的混凝土上，塗以 1 磅鹼，5 磅明礬，2 加侖水的溶液，亦曾奏效。

另有一法，用亞麻仁油煮沸，塗於混凝土的外面，至混凝土停止吸收為止，亦曾用之而有效。

摻入水化石灰 加入水化石灰(註)，亦可使混凝土不透水。蓋因水化石灰的細粒，可以填塞微孔，增加其密度。1:2:4 的混凝土中，可用洋灰重量的 6% 至 8% 的水化石灰。如混凝土中洋灰較少者，則水化石灰的百分比，尚須增多，如 1:3:6 的混凝土所需水化石灰的百分比，可達 16% 至 18%。

塗抹瀝青層 瀝青(註)用於阻止透水者，其厚自 $\frac{1}{2}$ 吋至 1 吋。普通常鋪成連續的一層或數層，並填充於混凝土的收束接縫。牆壁不

註 水化石灰 hydrated lime.

瀝青 asphalt.

論係用混凝土或石或磚建造，其背後常敷瀝青一層，防止透水。數時應先燒熱，用布帶拖拂。水庫的底，用 6 吋至 8 吋的方塊混凝土砌造者，其接縫的瀝青，厚應自 $\frac{3}{8}$ 吋至 $\frac{1}{2}$ 吋，其深約為方塊混凝土厚度之半。

鋪瀝青 地板，隧道，地道，屋面及拱等。常用油紙或氈，與瀝青或煤黑油，相間塗放，防止透水。其煤黑油中含炭質的百分比較多者，更為相宜。用此種材料使混凝土不透水，必須先放混凝土或磚一層，後用布帶抹熱瀝青於其上，繼鋪氈或紙，每張須互相複疊 6 吋至 12 吋，再抹熱瀝青，鋪氈或紙如前。繼續進行，至需要的厚度為止。普通常為 2 層至 10 層。

III 混凝土的混和，移運及放置

§ 39 混凝土的混和 在混和混凝土時，最當注意之點，為於最短時間內，將各種材料混和透徹，成為全部稠度均勻的混和物。混和時無論採用何種方法，均須將洋灰與細粒料先行乾拌均勻，如此則結成洋灰球的弊病，可以避免。所用細粒料應取乾燥者；而粗粒料則勿令全乾，否則將吸收洋灰沙泥中的水分，而令成品的硬化性降低，其弊不容忽視之也。

混和時，計量洋灰，常按重量，每袋重 94 磅，作為體積 1 立方呎；每桶洋灰重 376 磅，作為體積 4 立方呎。取用粗細粒料，係以木斗定其體積。用水之量，在手工混和時，用體積已知的量器，以量定之；在機械混和時，於混和機所附水箱上，安有計量進水體積之器，以量定之。

手工混和法 手工混和，應在混和台上行之。混和台用木板造成，須不漏水，長可 15 呎，寬可 10 呎。混合時，先將沙平鋪於板面上，加洋灰於其上。次將洋灰與乾沙乾拌之，直至其混為一色。另將潤濕的粗粒料，亦攤在板上。於是將混和的沙及洋灰簾起，加於粗粒料上而混和之。復次，於混和的材料中，造成底穴，加入適量的水。復次，簾起四邊，向中心翻進，俟水全被吸收，再翻轉三邊，使混合

透澈爲止。又一法爲於洋灰及沙經過乾拌之後，即行加水，作成稀薄的洋灰沙泥，翻轉兩次；後鏟起攤於潤濕的粗粒料上，而混合之，翻轉三次爲止。

以手工混和混凝土，極爲用力，工人易感疲勞，往往有混和不透澈的弊病，而有損於成品的強度及別種性質。僅在所製混凝土分量不多時，用之爲宜。

機器混和法 混凝土的混合機有兩種，運用法隨之不同，分述如次：

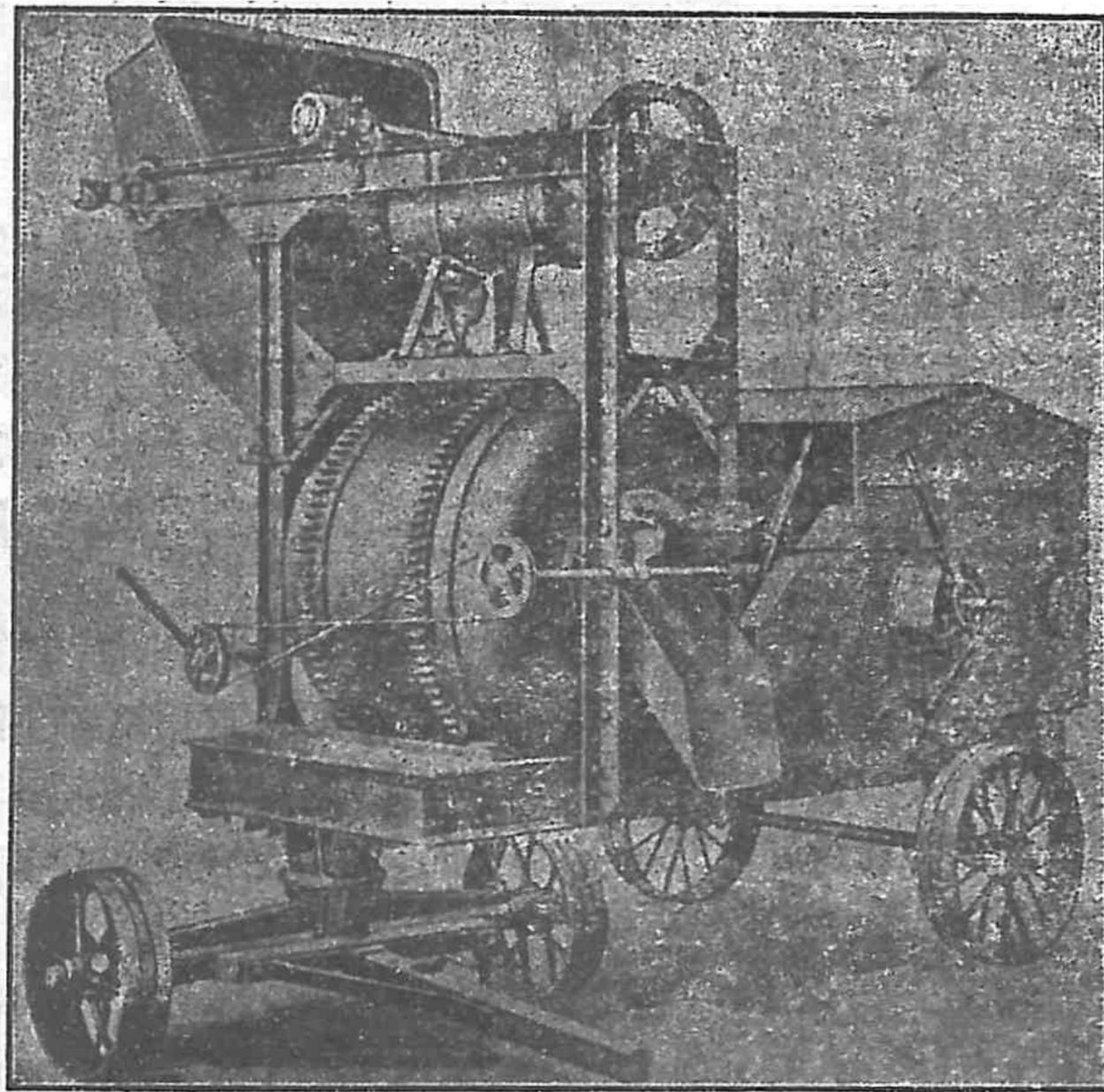


圖 8 間歇式鼓形混凝土混和機

(a) 間歇混和機 間歇混和機(註)如圖 8 所示，常具鼓形的桶一具，以軸支於架上，故能迴轉。桶有爲圓形者；其內有斜置的推板

註 間歇混和機 batch mixer.

，以便推動材料，有為立方形者，則不需此。每次混和，先將各種乾燥材料的適宜分量送入，令桶旋轉，則材料被送至上方，復行落下，故得混和透澈。歷十秒鐘或十五秒鐘後，急將所需分量的水送入桶內，繼續混和。歷一分半鐘至二分鐘，將混和成的混凝土瀉出機外，以備運輸放置。此式機械，製出混凝土，混合透澈，質地均勻，強度亦高，較手工混和者為佳，且在較大工事，使用機械，並屬省費，故其應用最廣也。

(b) 連續混和機 連續混和機(註)常具一種的槽，中設螺旋或轉動輪。材料繼續分別送入機的一端，或為已配合的乾燥材料，或為未配合的各種材料，異其送入速度，以節制配料的比量。製成混凝土，則由機的別一端處放出。此式機械，雖屬省事，然成品常不佳，不可施於重要工作。

§ 40 混凝土的移運 混凝土一經和成，即應移運至使用之處而放置之，絕不可猶豫失時；一以免粗粒料下沉而與洋灰沙泥分離，一以免混凝土在放置前即行凝結。如有此種現象，則混凝土的強度降低而不可用矣。

在使用少量的混凝土時，可用尋常獨輪手車或雙輪小車移運。在規模較大的混凝土工作中，可安置輕便鐵路，用大車移運。又有用索引送與起重機等項設備，移運混凝土者。

§ 41 混凝土的放置 在尋常建築工事中，放置混凝土的程序，隨混凝土的稠度而異。如混凝土較乾，則放置時宜成 6 吋或 8 吋厚的平層，施以搗實，容其略起凝結，乃加置上層。如混凝土較濕，可繼續放置，而不須分層搗實。

較乾的混凝土，不可自過高之處倒下，否則粗粒料與洋灰沙泥分離。較濕的混凝土如從高處垂直倒下，亦不免有此弊病，但不甚顯著耳。造薄牆時，須用鏟將混凝土放入型板內，用鋼條在近型板處上下搗之，使粗粒料與型板略為隔離，其間僅留有洋灰沙泥；如此則拆去、

註 連續混和機 continuous mixer.

型板後，牆面可以較為平滑完美。

混凝土放置後，用適當工具搗築，乃所以逐去其中的氣泡，而使其質地密實也。較乾的混凝土，可用尋常修路所用的槌為之。較濕的混凝土，如用重槌，有使洋灰沙泥浮升上部之弊，故宜用較輕的槌為之。

在鋼筋混凝土建築中，須使混凝土在型板中到處填實，而鋼條與鋼網之間，尤不可有充填不周之處，此點極為重要。可用鋼條在混凝土中上下搗實。又可用氣力槌在型板外敲擊，使混凝土中的氣泡因受震動而逸去，故全體混凝土得以增加密實也。

在混凝土建築之注重不透水性者，如蓄水池，水櫃，游泳池，船舶等，混凝土應如天衣無縫，成一整體，絕不可有縫隙。故放置混凝土時，最好須用兩三班工人，輪流日夜工作，以免因休息或停工，而使先後放置的混凝土間，生出界線。如不能採用此法辦理，則須於先凝結的混凝土的表面，洗刷十分清潔，或並須使其粗糙，用水潤濕，塗以純淨洋灰漿，然後再放置新混凝土。在整實混凝土建築物，其混凝土僅受抗壓應力，又無須防止透水者，則對於新舊混凝土的聯合，可不用十分加工處理，但將舊混凝土的表面洗刷清潔足矣。

有時將混凝土送入水下放置，一切程序，均須特別注意。混凝土不可倒於水面而令其自行沉至水底；否則一部分洋灰沙泥，將隨水飄散，僅餘一部分洋灰沙泥及粗粒料，而不全為混凝土矣。

IV 混凝土的模板

§ 42 混凝土的模板 混凝土當放置時有幾分流動性，故須設法使不逸出預定範圍以外，直至硬化成形為止。其法有簡有繁，隨其情形而異。

如欲在地面上造成混凝土路面，則混凝土直接灌注於路基上，無需另用板型，惟周圍應設置邊條，阻其流入路旁耳。

如欲用混凝土造成種種複雜形式，則須依構造物的形狀，用板型作成外殼，承受混凝土，而支持其重量，直至混凝土已充分凝結硬化。

，能自行支持時為止。模板安置法，往往甚為繁雜，乃隨構造物情形而異也。

§ 43 模板的設計 模板均由包工者備辦，在每次包工之一部分中用過後，尚須求其在別一部分中再用。在一次包工中用過之後，尚須求其能在別處包工中再用。故設計模板時，當注意使構造簡單，而拆卸便利，能不受大傷。如此則模板可反復使用多次，其價值由前後工作分攤，而各次的包價可省。混凝土在未曾凝硬時，重量由模板支持，故設計模板時，又須注意於結構的安穩也。

模板的材料可用木或鋼。我國今多用木料。木料須取其經過適度的陳置者，不宜過乾，亦不宜過濕。過乾易致引起木料受水膨脹過度之病。過濕易致引起接縫不密而滲漏之病，而混凝土中或發生有空洞也。

模板必須仔細結構，毋使地位參差，又須用足數的支柱及斜柱，抵撐結實，使能承受潤濕混凝土的重量，不致改變形狀；而在受風之處，更須加用禦風撐條，以免被風吹倒。

模板的內面，即與混凝土接觸部分，須飽成平滑。在放置混凝土之先，須將模板內的一切木屑垢穢除去，又須用潤滑油或軟鹼皂，塗刷模板內面，使模板不致與混凝土的表面聯合，始便於拆卸也。

§ 44 模板的拆卸 在混凝土建築中，對於模板的拆卸時期，須謹慎定之。然並無定律可循，須視工程情形及天氣而定。大概言之，如天氣較冷，或在多雨之時，混凝土的凝結與硬化較緩；若建築物頗厚重，則因中心難於硬化，故拆卸模板宜遲。

拆卸模板，須按次序為之。在溫和天氣中，柱的邊板可於灌成混凝土後一星期以外拆卸；但須將大梁，小梁，樓板等，分別撐柱安妥。次為小梁的邊板及樓板的底板，可於灌成混凝土半月以外拆卸。復次為大梁的邊板。復次為小梁的底板及支柱，可於灌成混凝土後三星期以外拆卸。復次為大梁的底板及支柱。牆的模板，常獨立而與別種模板無關連，故可於灌成混凝土後四日至十日拆卸。

拆卸模板及支柱時，須由熟手工人擔任，而由監工員監督之，所須注意者，不可亂敲重擊，致使新混凝土因震動而受損；又當愛惜模板，以備拆卸後改在他處應用也。

V 混凝土表面的整理

§ 45 混凝土的整理 混凝土凝結後，應行調理，以使其洋灰的水化作用，繼續進行，無有阻碍。法為每日灑水兩三次，或用濕布覆之，每日澆水二次。令布潤濕，或用木屑沙泥，覆於其上，每日澆水一次，以潤濕之。在天氣溫暖時，混凝土澆成後，應使其保存潤濕狀態，至少歷二星期。

混凝土的表面整理 混凝土澆成，拆去模板後，表面常留有痕跡，或須加以整理。其法如次：(a) 用鎚鑿等工具琢削，(b) 用炭精石，鋼玉沙，混凝土塊，軟石塊等磨礱。(c) 趁混凝土未堅硬時，將表面顯露處的模板除去，用鋼絲刷刷之。(d) 於混凝土表面堅硬後，用噴射機洗刷之。(e) 在混凝土中，先加入顏色鮮明的粗粒料，其後施以適當整理，所得的表面，頗為美觀。

§ 46 混凝土表面增加耐磨性法 作地板或路面的混凝土重在耐磨蝕性，故注意作成良好的外層。通常於混凝土地板上另造耐蝕表面一層；而混凝土的鋪砌，亦分上下兩層造成，以上層為耐蝕表面。耐蝕表面的材料，大概為 1 分洋灰，與不及 2 分的石英沙，沙質須粗細分配整齊有序，用最少量的水，和成略乾的洋灰沙泥，趁混凝土底層未全凝結時，（即在澆注後 45 分鐘以內）攤布於其上。地板的耐蝕層，至少應有 1 吋厚；而道路的耐蝕層，則厚自 5 吋至 10 吋。用直條架於地面，以為攤平其表面的準則。當洋灰沙泥已起硬化時，可用鐵環刀磨平，惟用力不可過度。當硬化漸深，將不可刮磨時，再用鐵環刀磨平一次。此後在 24 小時以內，用水濕木屑蓋在表面，不時加水，至半月為止。不用木屑而用濕泥亦可。凡此均所以防混凝土的速乾而硬化不充分也。

VI 混凝土的性質及強度

§ 47 混凝土的性質及其影響 混凝土的物理性質，如強度，彈性，透水性，吸水性，脹縮性，及耐用性等，隨各種事物的影響而變化。材料的品質，配料的比量，用水的多寡，混和的程度，放置及捶實的得法與否，調理的合度與否，成品年齡的時期，皆足以影響混凝土的性質而使其變化。故混凝土的性質不能離此諸種事物而討論之也。

(a) 混凝土中洋灰比量對於抗壓強度的影響 用各種洋灰比量製造混凝土試驗樣件，依同一方法混和及保護，後行抗壓試驗，所得結果如次表：

混凝土中洋灰比量對於抗壓強度的影響

混和比量	平均抗壓強度 磅 / 方吋			
	七天	一月	三月	六月
1 比 2 比 4	1565	2399	2896	3826
1 比 3 比 6	1311	2164	2522	3089

(b) 混凝土中水和用水比量的影響 混凝土中用水比量，對於其強度，大有影響。用水略少，稍覺乾燥的混凝土，須經重捶，方能密實，其強度在初期增加頗速。用水稍多，稍覺潤濕的混凝土，強度的增加頗緩，但終可與前者同堅。若用水過多，則混凝土的強度不能充分提高矣。

(c) 混凝土中骨料粗細對於其強度的影響 用各種材料，製成洋灰 1 分配用粒料 9 分的混凝土，行抗壓試驗，所得結果如次表：

1 比 9 混凝土粒料最大顆粒的大小對於抗壓強度的影響

粗粒料最大顆粒的大小	2 ½ 吋	1 吋	½ 吋
製成 140 目的平均抗壓強度	1391	1153	1008
磅 / 方吋			

(d) **粒料品質的影響** 粒料中如含有雜質等，為量雖微，足令製成的混凝土的強度，大為降低。粗粒料的強度，對於其所成混凝土的強度，可有影響，大概花剛石最佳，石灰石次之，卵石又次之，軟弱易碎的石製成混凝土，強度不能高也。

(e) **成品年齡的影響** 新製混凝土的強度，隨其經歷時日，增加甚速，但過一二十日後，其增加的速率漸減。其強度增加的平均比率約如次表：

混凝土的強度隨年齡增加的平均比率表

成品年齡	一月	六月	一年	二年	三年	七年
強度比率	1.00	1.50	1.78	1.98	2.00	2.10

(f) **混和情形的影響** 混凝土混和的情形，對於稠度及強度，俱有影響。混和透澈的混凝土，不僅較便於使用，且其強度亦增加。大概言之，同類混凝土，其由手工混和者的強度，較由機器混和者的強度，可減小 $\frac{1}{3}$ 乃至 $\frac{1}{2}$ 。

(g) **移運放置情形的影響** 移運放置混凝土時，設未盡合法，則有損混凝土的強度。移運時若有耽誤，則混凝土不免在放置之前，即行開始凝結；及灌入型中，再受攪動而破壞其結晶的組織；又移運時與放置時，若混凝土的粗粒料與洋灰沙泥起分離現象，則灌入型中，結構不能均勻；遂有強度不齊之弊。此類情事，皆使構造物中，有強度特低之面。而危險每由此發生。如放置時，混凝土未能擠實，或放置以後未經過適當的調理，皆足令混凝土的強度降低。

(h) **低溫度的影響** 初經放置的混凝土，或放置未逾數日的混凝土，遇低溫度時，則其強度大減。此乃由於洋灰的水化作用及礫化作用受阻之故也。其甚者，混凝土的強度永遠傷損。

§ 48 混凝土的強度 今就混凝土的各種強度，分論如次：

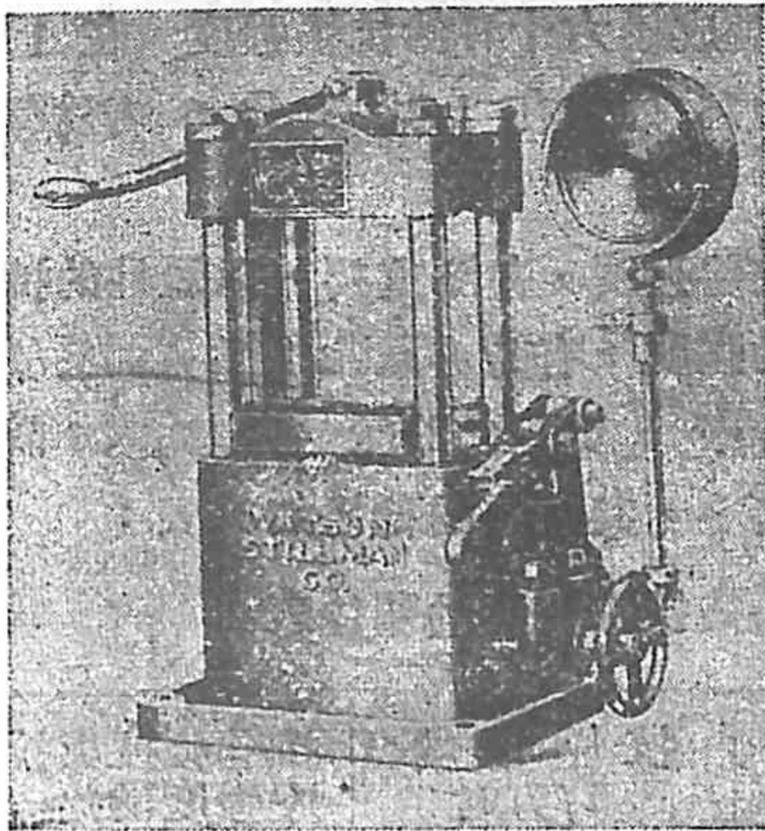


圖 9. 水壓機。

一個30噸的水壓機，用以壓碎立方形的小石，或混凝土塊。

(a) 抗壓強度 混凝土的抗壓強度，最為重要。有種種事物，足以影響於混凝土的強度。在工程設計中，所用混凝土的極限抗壓強度如次表：(圖 9)。

(b) 抗張強度 混凝土的抗張強度，遠不如抗壓強度的重要，因混凝土無用以承受張力者故也。混凝土的抗張強度與其抗壓強度無一定的比。大約言之，抗張強度為其抗壓強度的 $\frac{1}{8}$ 至 $\frac{1}{12}$ ，平均為 $\frac{1}{12}$ 。材料與人工的優劣及環境情形，對於抗張強度的影響，較其對於抗壓強度為大；而試驗時設備裝置的差異，亦足使測得的數值，發生多少差異也。

各種混凝土在製成 28 日的抗壓強度表

磅 / 方呎

混凝土的材料	配 料 比 量				
	1 比 3	1 比 4.5	1 比 6	1 比 7.5	1 比 9
花剛岩，片麻岩	3300	2800	2200	1800	1400
硬石灰石，硬沙石，卵石	3000	2500	2000	1600	1300
軟石灰石，軟沙石	2200	1800	1500	1200	1000
煤 渣	800	700	600	500	400

大概工料良好的混凝土，在製成後六十日的抗張強度，在 1 比 2 比 4 者為每方吋自 175 磅至 275 磅；在 1 比 3 比 6 者為每方吋自 125 磅至 200 磅。

(c) 抗剪強度 混凝土的抗剪強度，甚關重要，以短柱的抗壓強度，實由於此；而混凝土的梁的強度，有時亦視此種性質而異故也。因在受壓力的混凝土構造物部分中，剪割角略較 45° 為大，故直接抗剪強度較抗壓強度的一半為略小。其試驗的結果如次表：

混凝土的抗剪強度與其抗壓強度的關係表

混凝土的混和比量	抗剪強度 磅/方吋	抗壓強度 磅/方吋	抗剪強度與抗 壓強度的比
1 比 2 比 4	1225	3210	0.38
1 比 3 比 6	656	1605	0.53

(d) 橫撓強度 混凝土中橫撓強度的大小，隨抗張強度而異。算出的撓斷係數，約為抗張強度的 2 倍。試驗的結果如次表：

各種混凝土製成後一月時的橫撓強度表

混凝土混和比量	在牽引方面的橫撓強度 磅/方吋
1 比 2 比 4	425
1 比 2 比 5	350
1 比 3 比 5	275
1 比 3 比 6	225
1 比 4 比 8	125

(e) 混凝土與鋼的附着強度 混凝土對於鋼的附着強度(註)，在鋼筋混凝土計劃時，甚關重要。此種強度大約隨混凝土中含洋灰量的多寡及鋼面的情形而異。試驗的結果如次表：

混凝土對於鋼條的附着強度表

混凝土混和比量	鋼條性質		鋼條敷在混凝土中深度 的吋數	附着強度 磅/方吋
	種類	尺度		
1 比 2 比 4	光面圓條二種	徑 $\frac{3}{8}$ 吋 徑 $\frac{5}{8}$ 吋	6	438
1 比 2 比 4	光面圓條二種	徑 $\frac{3}{8}$ 吋 徑 $\frac{5}{8}$ 吋	12	409
1 比 3 比 5.5	光面圓條二種	徑 $\frac{3}{8}$ 吋 徑 $\frac{5}{8}$ 吋	6	364
1 比 3 比 5.5	光面圓條二種	徑 $\frac{3}{8}$ 吋 徑 $\frac{5}{8}$ 吋	12	388
1 比 3 比 5.5	冷軋鋼軸桿二種	徑 1 吋 徑 $\frac{3}{4}$ 吋	6	146
1 比 3 比 5.5	半硬鋼平條一種	厚 $\frac{3}{8}$ 吋 寬 1 $\frac{1}{2}$ 吋	6	125
1 比 3 比 6	工具鋼圓條一種	徑 $\frac{3}{8}$ 吋	6	147

在 1 比 2 比 4 的混凝土中對於光面圓鋼條的附着強度，大約為每方吋 400 磅。如須提高附着強度，可改用表面有凸凹的鋼條。

§ 49 混凝土的彈性 混凝土的彈性，頗關重要；不僅因混凝土構造物受力時的情形受其影響，且因在計劃鋼筋混凝土構造物時，須知鋼及混凝土起同樣變化之際，其相當的應力為如何也。

註 附着強度或名抗滑強度。

混凝土的彈性係數 混凝土的應力變形曲線，全為曲線，故混凝土的彈性係數，即在極小的應力變化範圍中，亦為變數。欲研究此彈性係數，可有兩法。其一法為由在原點處對於曲線作切線，以其傾斜度計算彈性係數。另一法為於應力變形曲線上，取應力為某定量之點（通常取應力為每方吋 300 磅或 500 磅，或等於極限強度 $\frac{1}{2}$ 的一點），與原點以直線相連，以其傾斜度計算彈性係數。第二法所得數值常遠較第一法為小。依第二法計算混凝土的彈性係數如次表：

混凝土的彈性係數表

混凝土混和比量	彈性係數	抗壓強度
1 比 2 比 4	2×10^6 至 2.5×10^6	500
1 比 3 比 6	1.5×10^6 至 2×10^6	500
製成 1 月後		

大概論之，混凝土的彈性係數，隨混凝土含洋灰量的增加及成品年齡的延長而加大；但粗粒料的品質亦與之大有關係。

§ 50 混凝土的實用應力(註)及安全率(註) 在單純混凝土短柱的實用抗壓應力對於每方吋 2000 磅的混凝土為每方吋 450 磅，安全率為 4.5。

在鋼筋混凝土梁，受抗壓部分的表面纖維應力，假定混凝土在實用應力下的彈性係數為常數而計算之，為對於每方吋 2000 磅的混凝土為每方吋 650 磅，安全率為 3.1。

在僅發生完全剪割應力而不混有與剪割面正交的抗壓應力及與剪

註 實用應力 working stress.

安全率 factor of safety.

割面正交抗張應力之處，混凝土的實用抗剪應力對於每方吋 2000 磅的混凝土，為每方吋 120 磅，安全率在 6 與 7 之間。在抗剪應力相與等抗壓應力混合之處，應力可等於實用抗壓應力的 $\frac{1}{3}$ 。如抗壓應力與抗剪應力之比在 0 至 1 之間時，實用抗剪應力，可依比例計算之，安全率為 4.5。

混凝土與光面鋼條間的實用附着強度對於每方吋 2000 磅的混凝土，為每方吋 80 磅。在抽成的鋼絲，對於每方吋 2000 磅的混凝土，為每方吋 40 磅，安全率約為 4.5 及 2.25。

混凝土的彈性係數，可假定為鋼的 $\frac{1}{4}$ ，即在製成後一月良好的比 2 比 4 的混凝土，為每方吋 2×10^6 磅。此數雖不準確，然依此計算，所得結果不致發生危險。

VII 混凝土的耐用性

§ 51 混凝土的耐用性 混凝土的耐用性，可就其對於各種事物的抵抗力分別論之：

(a) 磨蝕 混凝土的抵抗磨蝕性，大都視其洋灰沙泥的抵抗磨蝕性而異。然如混凝土的表面磨蝕甚劇，致露出其粗粒料時，則粗粒料的抵抗磨蝕性，對於混凝土的抵抗磨蝕性自亦有幾分影響。洋灰沙泥的抵抗磨蝕性，乃隨洋灰膠合沙粒的能力及沙粒本身抵抗磨蝕性而異。

(b) 火 混凝土的抗火性，較尋常磚，石，燒泥為佳。混凝土被燒至 1200°F ，經 3 小時或 4 小時後，突然受冷水激射，可僅在表面上微見裂罅。於鋼料外，護以 2 吋厚的混凝土，遇尋常火災時，可令鋼料不起彎曲扭損。惟在混凝土有受火機會之處，其中粗粒料自不可用遇火即燒毀者。圖 10 表示鋼建築中在鋼柱外用空心磚及混凝土防火的做法。

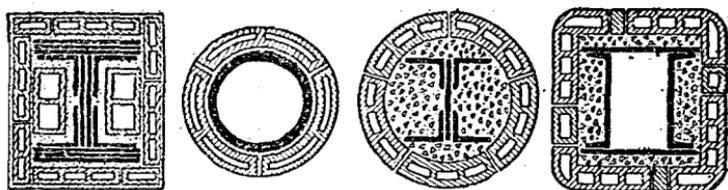


圖 10. 表示柱用空心及混凝土防火的做法。

(c) **海水** 海水對於工料俱佳的混凝土，實際上無甚影響，工料稍差的混凝土，受海水的侵蝕時，常在水縫處發生膨脹，裂坼，融軟等現象，海水滲入鋼筋混凝土中，亦足令鋼條生銹，而與混凝土分離。

(d) **污水** 用混凝土作污水管時，如污水中放出硫化氧氣，可使洋灰中氧化鈣質分解，而起破壞。

(e) **酸類** 酸化透澈的混凝土，僅遇強烈酸類足以傷害別種材料者，始受其侵蝕。

(f) **鹼類** 含鹼類的水，侵蝕混凝土的作用，與海水的作用相似。

(g) **油脂** 工料俱優的混凝土，不受尋常機械油及石油的作用。

(h) **透水性** 混凝土中用洋灰量愈大，質度愈大，用沙愈細，則透水性愈低。混和時用水過多或過少，均令透水性增高。混凝土混和透澈，放置時充分捶實，放置後經過適宜調理者，透水性低。混凝土製成後歷時愈長，則透水性愈低。

(i) **吸水性** 混凝土的吸水性，隨其用洋灰量，用水量，粒料種類，混合及放置情形等而異。大概能減小混凝土透水性的事物，亦有減小其吸水性的作用。

附錄 2 單純及鋼筋混凝土的規範

1. **規範的範圍** 本規範以單純及鋼筋混凝土之用於房屋工程者

為範圍，故為房屋規範的一部。工程師或建築師如參照本規範訂立契約，必須將該工程的特別情形，加以說明，並應將涉及碎石的條件，加以修改，俾合於當地的情形。

2. 契約的普通條件 該部份工程的包工人，應將該全工程契約的普通條件，詳加研究。凡普通條件之有關該部工程，工程師認為可以適用者，包工人自應受其約束。此種普通條件，亦為混凝土工程契約的一部。又包工人在投標以前，應詳細考察施工地址。

3. 工作的範圍 包工人應供給全部材料，工具，工人，並均須經工程師認為滿意始可。建築底腳，牆柱，樓版，窗楣，走道，梯道，地坑，機器的基礎，鋼骨的防火層，填煤渣，鋪地版，以及結構圖建築圖中所示一切其他有關工程的混凝土。均包括在本契約之內，由包工人負責辦理。

4. 房屋的式樣 房屋的結構，全為鋼筋混凝土骨架。地窖的牆，用單純及鋼筋混凝土建築。惟在地平面以上者，外面用磚鑲砌。樓版為深梁結構，顯露的面，應磨補至可油漆為度。樓版的面飾，與其本身同時澆置。屋面略具斜度，以便瀉水。

5. 地窖的牆 地窖的牆，分單純及鋼筋混凝土兩種，按照圖樣上所示為之。在地窖深處的牆，須用鋼筋混凝土，俾支撐牆外的土，若牆深僅 8 呎者，可不用鋼筋。

地窖的混凝土牆，自底脚起直達第 1 層樓版的底。惟露於外面的牆則不同，須自完工後地面線以下三呎處，突出 5 吋，為支承面磚的地步。

模版卸去以後，牆的內面凸紋等，應立即鏟除，全面用 1 分洋灰，4 分細沙的洋灰沙泥塗之。

此項工作，須於混凝土澆置後的三日內辦理完竣。牆的外面，則祇須將粗糙部分如石孔等，用洋灰沙泥填抹。

6. 梯道 樓梯梯台等，全用鋼筋混凝土建造。階級的踏面應與混凝土版同時澆成。踏面為 1 吋厚的洋灰沙泥，由 1 分洋灰，2 分

顆粒勻淨的砂調拌而成，加上後，用泥錘勻成光面。模版卸除後，階級的豎面亦塗抹洋灰沙泥一層，俾成光面。

此時如發見階級踏面，尚有缺點，不妨重行塗飾，使成完美，惟不得再行加高。梯邊的斜梁，於模版除去後，亦應立即以充分的洋灰沙泥塗飾，使之光滑。

註：如階級的踏面，需用金屬，石料，或保安物等，亦於此處，加入說明。

7. 天花板的潤飾 樓版梁的底面，梁的側面，及柱的各面等，應整理妥善，以待油漆。模版除去以後，應立即將凸紋等鏟除，並用 1 分洋灰，4 分沙的洋灰沙泥，將所有孔隙填平。俟混凝土經過 30 日以上的調養，上述之各面，全部用機械磨光，至工程師認為滿意而止。

8. 地窖鋪版 自地窖的潤飾版面線，向下挖深 12 吋，填以煤渣 8 吋，夯堅，上加碎石混凝土 3 吋，比例為 1:3:5。混凝土澆成後，隨即加澆 1 分洋灰，3 分沙的洋灰沙泥面飾，使全面平直光滑，然後用鋸屑或麻袋，浸水蓋之，至少兩星期，方可除去。

倘土質為砂或礫，則可不必開挖再填煤渣，混凝土可直接澆於沙或礫之上。

9. 石灰石之保護 房屋中所用的切整石灰石，不可與新拌的混凝土，灰沙泥，或混凝土中的水接觸。故凡梁樓版，與石灰石相接者，均應隔以防水紙或毛氈，使與石灰石隔離。

10. 管的設備 鋼筋混凝土的包工，應與裝置水管熱氣管電燈線管等的包工人合作，俾工程可同時進行，而免以後打洞裝置，致樓版強度受損。

必要處應設置套筒以備各管或其他機械的通過。設置插座，以利機軸等的支架。

11. 樓版的面飾 所有樓版，均於澆置混凝土時，同時即加面飾。面飾的厚為 1 吋，用 1 分洋灰，3 分沙的洋灰沙泥，直接澆於

混凝土上，勻成光滑平面。大都於混凝土澆成後，一小時內行之。如混凝土的面上，發見有水，應用海棉吸乾之。

舖地氈之處，面飾表面所有粗糙不平的點，應切實壓平。當面飾充分結硬後，包工者應妥慎將表面加以保護而任其休養，並用錫屑，或麻袋，浸水蓋護，至少歷三星期。

註：倘不能或不願將面飾隨即舖加，則可留至將來再做，惟必須非常謹慎方能成功，在混凝土澆成數小時後，應用重大的清街掃帚，或其他方法，全面掃動。所有白色，乳沫，均應除去，使粗粒料露出，俾與面飾結合。模版的面，至少須除去 $\frac{1}{4}$ 吋，並完全用水浸透，再加面飾。

12. 屋面的面飾 屋頂的面飾，於混凝土版澆成後，即行舖蓋。所用之洋灰沙泥，為 1 分洋灰 4 分沙。包工人應注意坡度，俾水能卸入圖內所示的孔中。

13. 填煤渣混凝土 用木板為模面板時，板下木條之間，應填以煤渣或爐渣混凝土。又屋頂的卸水斜坡，亦用煤渣或爐渣混凝土做成。其成分為 1 分波特蘭洋灰，3 分沙，及 5 分煤渣或爐渣。水量多少，以拌成濃泥為度。經充分舂搗，面上無過量的水溢出者方為適合。

木條之間，煤渣或爐渣混凝土，必須完全填滿，頂面必須與木條相平。

煤渣或爐渣之中，不可含灰，或其他有損的雜質。並應壓碎，至能穿過 1 吋直徑的圓孔為度。

14. 設計 本工程依據連續梁的理論設計。鋼筋及混凝土的實用應力規定如次：

	每方吋的磅數
混凝土受壓力時的極邊纖維應力，	800
混凝土受直接壓力，	500
鋼筋混凝土的抗撓應力，	150
光面鋼筋與混凝土的抗滑應力，	80

變形鋼筋與混凝土的抗滑力，	100
鋼筋的抗張應力	18000
鋼筋的抗壓應力	7500

15. 鋼筋 除鋼筋或柱中的鋼箍，為光面圓鋼筋外，其餘全工程，均用變形鋼筋。此項鋼筋的原料，可由開爐（註）或柏塞麥法（註）鑄成。全部鋼條均用胚鋼軋成，其化學及物理的性質，均遵照材料試驗學會所採用的中級鋼鋼條 A 15-14 號的規範。

註：此項規範包括通常所用鋼條的各種等級。中級鋼幾專為軋鋼筋而特製，其抗張強度，較高於建築鋼，而較遜於硬鋼，惟較硬鋼易於彎曲。該學會並規定舊軌鋼鋼條有 A 16-14 號的規範。舊軌鋼較坯鋼價廉，中西兩部多用舊軌鋼，東部多用坯鋼。

16. 紮鋼筋及製圖等 一切鋼筋，置入模中，須在準確地位，並應固定之，俾不致因澆置及鏟動混凝土而被移動。如經工程師核准，用機械方法固定鋼筋的地位，亦屬可行。或用鋼線扣紮，而以適當厚度的洋灰塊襯攔。

一切鋼筋，均應遵照細目圖所示，或照工程師所指示而彎之。梁及樓版，在不連接之端，鋼筋應彎成鈎形。

一切細目圖均應先送工程師核准。經批評或改正後，發還包工人，遵照重製三份，送交工程師存查。

17. 檢查 鋼筋既由包工人供給，則包工人應將該項鋼筋原製造廠的試驗證明書，送交工程師查核。

一切鋼筋，遵照圖樣排入模中，固定位置後，應由工程師加以檢查。故包工人在未澆混凝土以前，應提前知照工程師，俾可有充分時間，檢查鋼筋及混凝土的材料，以及混凝土的澆拌方法。

18. 洋灰 全部工程，均用波特蘭洋灰，並應用工程師所核准的標準牌號，而與材料試驗學會所定的波特蘭洋灰 C9-26 號規範相符合。所用洋灰，並應經工程師所核准的試驗所，加以試驗。洋灰裝袋

註：開爐 Open hearth.

柏塞麥法 Bessemer process.

送至工場，其牌號及製造廠的名稱，須於袋上明白顯示。當試驗時，該項洋灰應儲藏封閉，儲藏的房屋，不可透水，支棚的板，亦應離地面較遠，不使受濕。每船所裝運之洋灰，均須分別保存，在未經驗認為合格時，不得取用。

19. 沙 此項工程所用的沙，為天然沙或人工沙，須顆粒勻淨，堅強，耐久，無皮，不含灰泥，軟片，如頁岩，鹼性物，有機物，壤土及其他有損物質。洗滌的沙中，所含壤土及其他微細物質，不可超過百分之 3。

註：倘欲規定沙粒自細至粗的大小等級，可以參考材料試驗學會所公布的表如次：

細粒料的粗細等級

	重量的百分比				
能穿過 4 號篩者.....	不少於 80				
能穿過 50 號篩者.....	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">不多於 30</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding-left: 5px;">不少於 15</td> </tr> </table>	}	不多於 30		不少於 15
}	不多於 30				
	不少於 15				
能揚去的重量.....	不多於				

關於沙的規定，許多工程師均主張洗滌。沙的來源不同者，在未用之前，應詳細試驗。

20. 石 碎石或礫等材料，應潔淨，堅強，耐久，無皮，不含柔軟物，易變形物，鹼性物，有機物，及其他有損物質。石塊尺度，則應大小皆備。用於鋼筋混凝土者，自 $\frac{1}{2}$ 吋起至 $1\frac{1}{2}$ 吋止。用於單純混凝土者，自 $\frac{1}{2}$ 吋起至 2 吋止。

21. 水 拌混凝土所用的水，應清潔，不含油類，酸類，有機物，及其他有損的物質。

22. 比例 數量以立方呎為單位。洋灰 95 磅 (1 袋或 $\frac{1}{4}$ 桶)，作為 1 立方呎。每次拌調，均應遵照規定比例。粒料應各以其體積分別量計。粗細粒料，均應鬆量，即傾入量器，隨即倒去。水量照需要量入。

本工程所用的混凝土，經 28 日後，必須具有下表所規定的強度。表中的材料比例，雖僅為拌調時參照之用，但亦不可使混凝土貧於表中所列者。

混凝土的強度及比例

混凝土的等級	容量的比例			混凝土經28日後的強度 磅/方呎
	洋灰	細粒料	粗粒料	
單純混凝土	1	3	5	1500
梁, 梁, 版—鋼筋混凝土	1	2½	3½	2000
柱	1	1½	3	2200

經工程師核准後，粒料的等級，不妨變動，惟不得要求加價。

混凝土所用的水量，應以恰能適合工作的最小量為度。1：2½：3½ 混凝土，用一袋洋灰拌調，水量不得超過 7½ 加侖（美國標準量器）。照材料試驗學會的標準，坍落不得多於 4 至 5 吋。所謂 7½ 加侖者，已包括材料的潮濕在內。

23. 拌和 拌混凝土的機器，須經工程師核准，而能產生一致勻淨的混凝土者。機上附有裝材料的漏斗，及儲水器，量水器。量水器的構造，祇裝材料時，可以放水。放水的積杆，附有自動鎖，須材料在鼓中拌至適當時間，方能開放。混和鼓中的混凝土，必須出淨，方可重裝材料。材料全部裝入後，鼓的轉動時間，不得少於 1 分鐘，其時轉動的周圍速度，約每分鐘 200 呎。如洋灰的一部份，已受濕凝固，切忌再用。

24. 澆置混凝土 混凝土拌成後，應立即輸送至澆置地點，愈速愈妙，以防各種材料的分離鬆解。傾入模板中的位置，亦應適當，以免重行壅移。

混凝土傾入模板後，立即用適當器具，幫同鐵錘，充分舂搗，防止內藏氣孔，以期得最大的密度。澆置混凝土柱，尤應謹慎，並將模板時時拍擊，以為增大混凝土密度之助。

如用斜槽分送，則斜槽與水平所成的角度，應力求適當，恰使混凝土流下，洋灰沙泥與碎石，不致互相分離。最小角度為 27 度，或直 1 與 平 2 之比。槽的下端，恰置於需要混凝土的地點，最好先使流入器具，再用車運。每一次卸去混凝土的前後，斜槽均應用清水沖洗，沖洗的水，須使流於模板之外。

25. 試驗 每日所澆的混凝土 包工人應取具樣件 4 個，直徑 6 吋，高 11 吋，送至指定的試驗所，作 7 日及 28 日的試驗。試驗所應迅速將結果報告工程師。試驗費由包工人擔負。

26. 築造縫 所有的柱，至少應較樓版先澆 4 小時。牆的負有荷重者，亦應同樣辦理。柱及牆的接縫，均應在水平方向。續澆之前，接縫上的白色乳沫等，應充分洗淨。

梁中的接縫，均應垂直，愈近跨距的中央愈佳。如事實上接縫不能置於跨距的中央，則於深度的中央，做一凸榫，近各方面均加置短鋼筋，其長度至少為直徑的 70 倍。接縫之間，並應置斜鋼筋。

27. 混凝土的調養 當熱天澆置混凝土，至少在 7 日以內，不可使太陽光線，直接照射，並應常使潮濕。

28. 寒天的防護 當溫度在冰點以下，而澆置混凝土，尤應特別注意。所用的混凝土材料，均須烘熱。含有冰塊的材料，不可加入混和機。混凝土澆入模板的溫度，不可少於 50°F ，並至少須在 6 日以內，不可降低至此項溫度以下。必要時，應將此項建築物包蓋，設法用人工保持其溫度常在 50°F 與 80°F 之間。鹽及其他化學物，雖亦可使混凝土不凍，但不可採用。

29. 火警的防護 鋼筋以外，應有混凝土保護層，以資防護火警。樓版鋼筋的保護層，厚須 1 吋，如鋼筋在上面亦相同。梁內鋼筋的兩邊及底面保護層厚，均須為 1 吋。梁內鋼筋的保護層，兩邊

爲 1½ 吋，底面爲 2 吋。柱內主要垂直鋼筋的保護層，四周均爲 2 吋。

鋼梁以外，不論底及邊，均應有保護層 2 吋。鋼梁兩邊仍用 2 吋，底面用 3 吋。鋼柱的混凝土保護層厚四周均爲 2 吋。鋼梁及鋼梁的底翅上，常置連續鋼筋，俾協助固定混凝土的地位。緊靠鋼柱之外，應置垂直鋼筋 4 根，並用圓鋼條箍紮，箍的間距約爲 8 吋。

30. 模板 除舖於地上或煤渣上的混凝土外，其餘一律須用模板。模板應堅固穩定，俾混凝土建築物不致變樣，且應緊密，俾洋灰沙泥不致漏出。梁架尤應注意使之平直。歪曲木料，不得用作模板。模板的組數，應預備充足，俾工作不致中斷。

模板與混凝土相接觸的面應飽光。非顯露的面，則可不飽。柱模的近底處，應留一孔，以便除去模中鋸屑等物。在澆混凝土以前，所有的孔，須一律補塞。模板的結構，應易於卸除而不傷轉角，或損壞混凝土。澆混凝土以前，並應將模板內，完全浸濕。混凝土未凝固達安全程度時，如因拆除模板而發生損害，仍由包工人負責。拆除模板的時間，不可短於下表所列的日數：

版的底部，跨距 6 呎，……5 日(跨距每增大 1 呎，應增加 1 日)

梁及梁的底部，跨距 20 呎以下，……14 日

梁及梁的底部，跨距 20 呎或 20 呎以上，……21 日

梁架及窗楣的兩邊……3 日

柱……3 日

牆……3 日

澆置某一層樓的混凝土時，至少須保存其下二層的撐柱。地面以上的第一層樓，當然無須如此。

包工人應將拆除模板的時間，特別放長，以期安全；並應先與工程師商量，決定期限。工程完竣後，全部模板，包括底腳模板在內，均應除去。

註：本規範規定一律用光面模板，但混凝土上，如直接加粉飾者，宜用糙面模板，俾混凝土與粉飾的結合，可以加固。

31. **荷重試驗** 如工程師認為必要，包工人應作兩次荷重試驗，其費用由包工人負擔。試驗樓版所用的荷重，應較設計所用的荷重加倍。此試驗須經過 24 小時，其垂度不可超過跨距的 $\frac{1}{600}$ ，不發生裂痕，並不留存永久的垂度。

試驗時，如發生損壞，應由包工人重建，不得要求加價。

32. **有缺點的建築物** 建築物的一部，在模板取下以後，或取下以前，發見有氣孔或其他缺點者，包工人應設法重造，至使工程師滿意為度。倘有缺點的部份不大，且非緊要之處，則可局部重造。重造的範圍，材料，及方法，均應得工程師的認可。

章 6 磚瓦及陶瓷

I 粘土製品

§ 52 粘土製品的分類 建築用粘土製品，乃重要的工程材料，所包括的種類頗廣；大略言之，可分為下列六類：(a) 房屋磚 內分為 (1) 普通房屋磚，(2) 牆面磚，壓製磚，再壓磚等，(3) 瓷釉磚，玻璃釉磚，(4) 裝飾磚。(b) 鋪地磚。(c) 耐火磚，內分為 (1) 酸性磚，(2) 鹼性磚，(3) 中性磚。(d) 房屋瓦，內分為 (1) 蓋屋瓦，(2) 空心瓦塊，隔壁瓦塊，及耐火瓦等，(3) 鋪地瓦片，(4) 貼牆瓦片。(e) 赤陶 (註)，內分為 (1) 裝飾赤陶，(2) 軟燒赤陶。(f) 粘土管，內分為 (1) 洩水瓦管，(2) 污水瓦管，(3) 電綫導管。

§ 53 粘土製品的製造 建築用粘土製品的製造方法有種種 程序大體相同，而細節則隨所製成的品類而異。大概言之，為 (a) 採取原料，加以初步處理，並將其攪拌均勻；(b) 次依成品形式，製成土坯；(c) 復次，使土坯乾燥；(d) 復次，入窯烘燒；(e) 終則取燒成之品，依其品質，揀選分類，以備出售。

原料 製造粘土製品的原料，通常為沉積粘土，間有用頁岩磨粉者。沉積粘土為岩石腐敗崩解後 經河水運送，復行沉澱積聚的物質。其潤濕時具粘性；當置入型中乾燥後，能保持所賦予的形式；及入窯燒成，則能堅硬如石。此皆其特性，亦即其所以能製成磚瓦的原因也。粘土中的主要成分為二氧化矽，含量自 40% 至 80%，而在製耐火磚的粘土中，其含量可至 98%。其次的成分為氧化鋁，含量在 10% 至 40%。此外的成分為鐵，鈣，鎂，鉀，鈉，等的氧化物及水分。

粘土及頁岩可用手工挖掘，或用汽鏟 (註) 開採。然後運至製造廠中備用。採得原料如質地純淨，可入機械中碾軋，使其粉碎。如不純淨，須先用水淘洗而後碾軋。粉碎的原料，常略行加水混和，靜置

註 赤陶 terra cotta.
汽鏟 steam shovel.

些時，令其調性。其後送入攪拌機中，攪拌成爲潤濕而具粘性的泥，由機筒末端的穴中送出。攪拌機有爲獨立設備者，亦有附於製坯機之上，爲其一部分者。在乾泥法製磚，亦用攪拌機以攪拌之；但不加水，故所得者，乃乾燥的粉末。

製坯 粘土製品中製造泥坯的方法，隨其製品的種類及所用粘土乾濕軟硬的程度而別爲三種：(a) 軟泥法，(b) 硬泥法，(c) 乾泥法。

軟泥法 軟泥法施於製磚。所用粘土，用水攪拌至充分融軟，以便填入木型中，製成磚坯。造坯或用手工，或用機械。

手工法製磚坯，分爲兩種形式。其一係濕水型法，乃於填土入型之先，將型投入水中，以免粘土附着於型的內面。工人取粘土用手揉捏，作成與磚坯相仿的形式後，填入型內，十分捶實，用板刮平型面

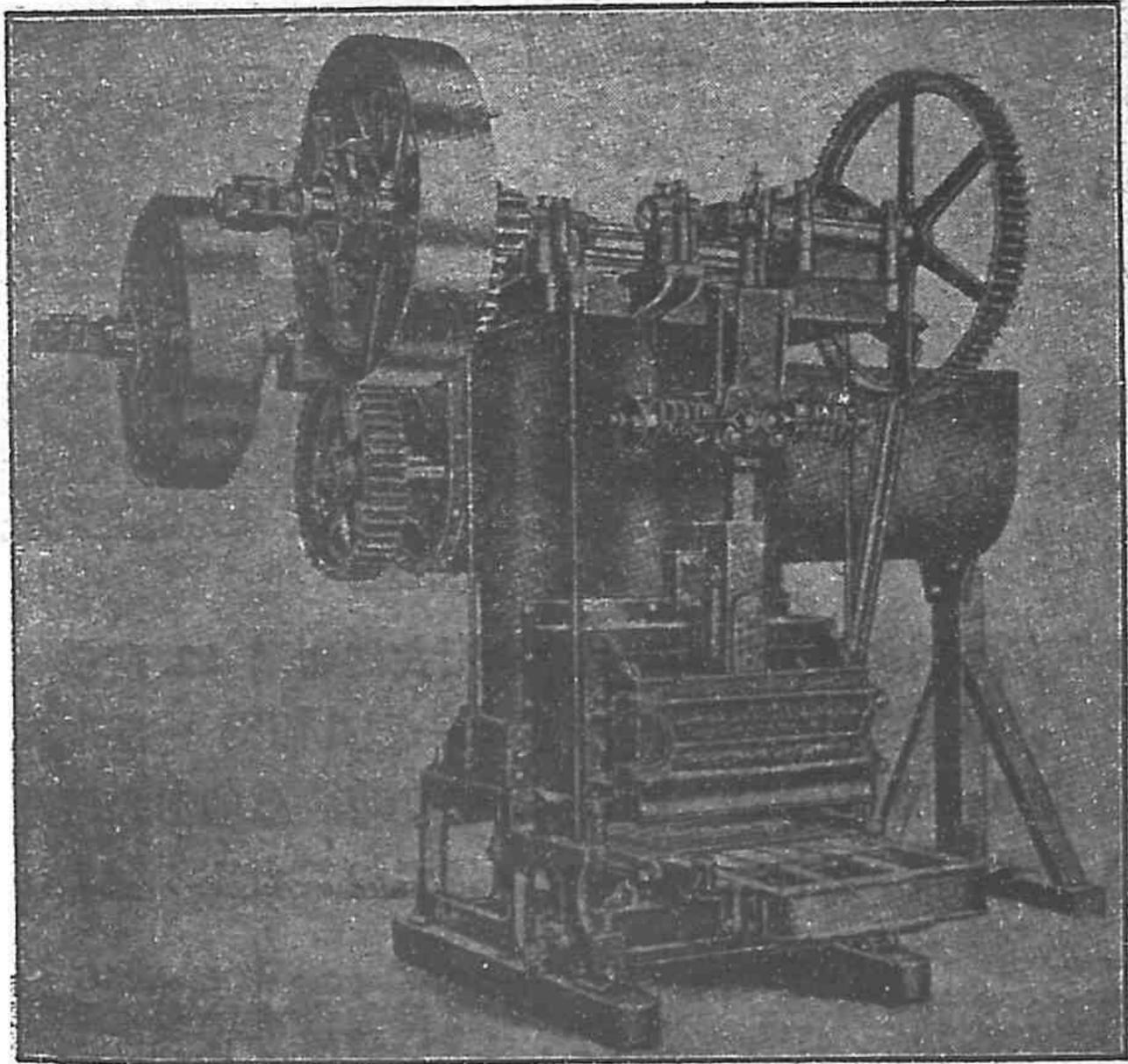


圖 11. 附有攪拌機的軟泥法製磚坯機。

。泥坯留在型內，須乾燥後方行取出。其二係洒沙型法，工作的大部分與前法同；所異者為不將型浸入水中，但洒沙於其上，以防粘土膠着。此法工作較前法為速，而成品亦較為清潔整齊。

機械法製磚坯，除工作多用機械外，程序與手工法實無多異。所用原料粘土的攪拌，亦在製坯機中行之。所得軟泥，送至下方，填入型中，由活塞壓成磚坯。連型移至一邊，另有空型，送未填的泥壓成如前。此種造磚機如圖 11 所示，每日能造磚坯自 8000 塊至 12000 塊不等。

硬泥法 硬泥法製坯，用水不多，恰足使粘土潤濕；當其在型中受尋常壓力壓實後，即能保存其形式不變。此法用水既少，所以乾燥的時間較短，而烘燒所需的燃料亦省。

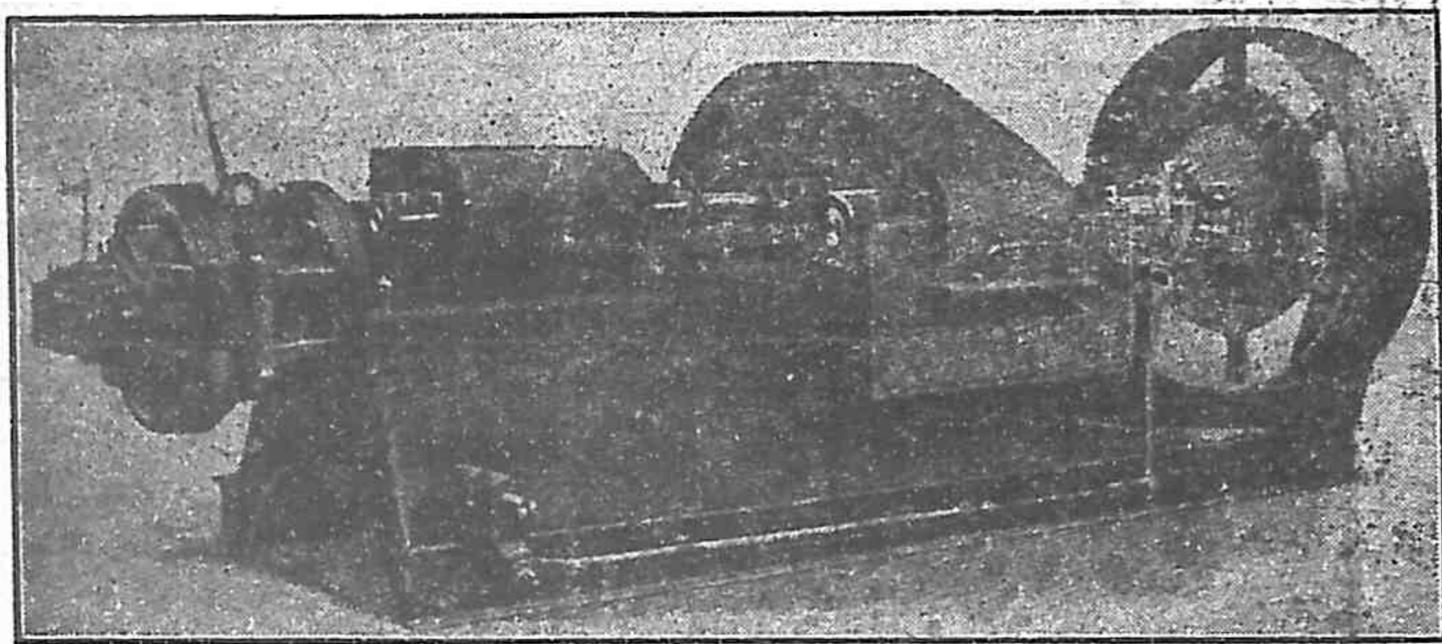


圖 12. 螺鑽式製磚坯機。

製坯機有螺鑽式及活塞式兩種。螺鑽式機如圖 12 所示，置螺鑽於圓筒內，而迴轉之，藉以壓粘土通過一型孔而出。活塞式機如圖 13 所示，則以一簡單活塞代替螺鑽。型孔隨成品的形式而異。在製磚時，為一長方孔。泥料長條出孔後，送至一長台上；在此切成磚坯，由運送帶送去之。

乾泥法 用此法製牆面磚時，所用泥粉，含水量應不愈 7%。如圖 14 所示，泥粉送入製坯機的裝料斗內，斗的下端，有往復裝料器

以粘土裝入型孔。型為硬鋼所造，用蒸汽加熱，以防泥粉粘着。泥粉裝入型孔後，型孔上下的兩活塞，遂在型中對向進行，以極大的壓力，壓實其間的泥粉。其後將上方活塞拔出，下方活塞隨之上行，將磚坯推起，與型孔的面相平。終則活塞再動作，推磚型至型台的面上，由此移至乾燥室，或逕行送入窯中。

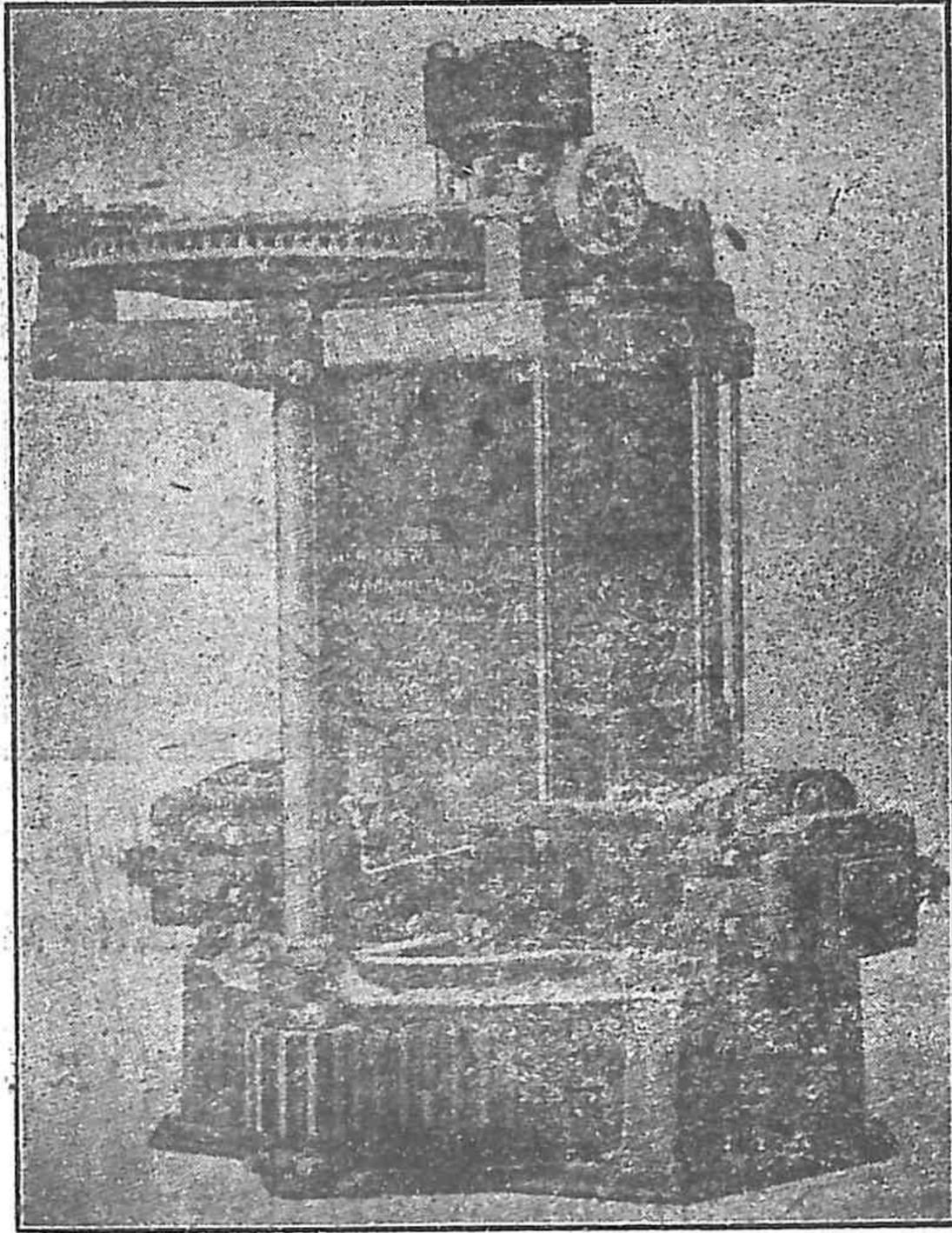


圖 13. 活塞式製磚坯機。

泥坯的乾燥 泥坯的乾燥，有 (a) 自然乾燥法，及 (b) 人工乾燥法二種。

在自然乾燥法中，最簡單者，為將泥坯積疊成堆，令四周通風，並能接受日光，上用薄板搭蓋，以防雨淋。較優的方法，為起造陰棚

以爲蔽覆。軟泥手工製成的坯，其型曾浸水者，乾燥需時最長，自三星期乃至六星期不等。其餘方法製成者需時一星期已足。

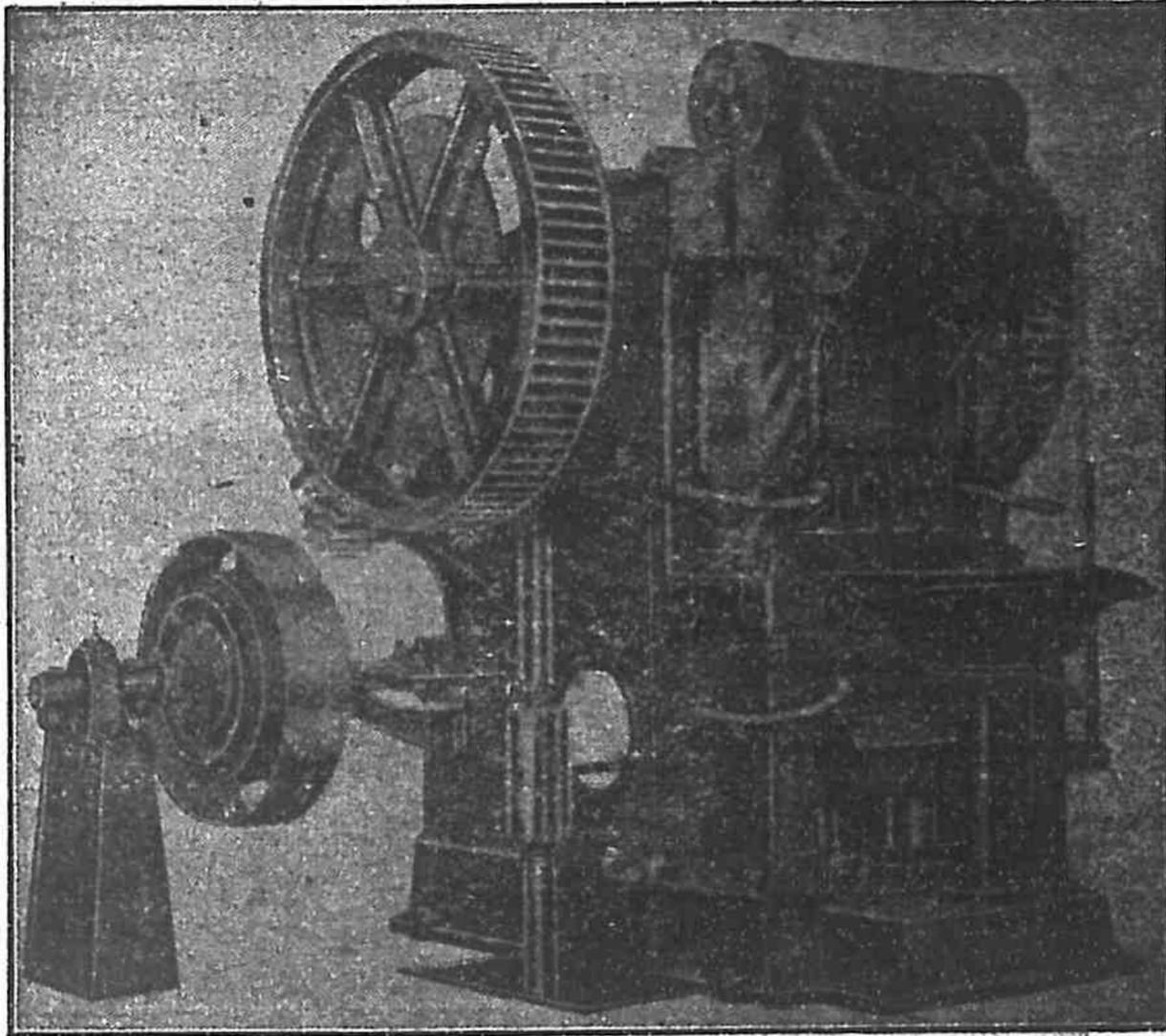


圖 14. 乾泥磚坯壓縮機。

在人工乾燥法中，須有乾燥室，或乾燥隧道的設備。送泥坯入其中，加熱以行乾燥。所需的乾燥時間，自一日至三日，隨溫度的高低，粘土的性質，以及泥坯的形式等而異。

磚窯 烘燒粘土製品的窯，分爲 (a) 間歇窯，及 (b) 連續窯兩大類。

間歇窯中又分爲 (1) 升火窯及 (2) 降火窯二類。在升火窯中，常不過將磚坯疊置，成爲大堆；其旁用濕泥塗敷，頂部用泥密蓋。堆中留有橫行道路，卽在其中堆積燃料生火。此式窯中的溫度分配不均，故其成品因被燒不足或過度而致廢棄無用者甚多。

新式升火窯的壁，爲 12 吋至 16 吋的磚牆。生火不在窯內，而在窯外的竈中；火焰及熱氣，則由窯壁的火路，進入窯內。窯中生火

約歷七日；屆時息火，將窯門密封，使窯中溫度的降冷極緩；如是其成品方能不脆。此新式窯所得有用的磚，較舊式升火窯為多。

降火窯用於烘燒各種粘土製品。窯底有孔，用煙道連於煙突。燃料在窯外的竈中燃燒。發生熱氣，通入窯中，先抵泥坯堆的頂上，次經過其中，復次至窯底的孔，復次經煙道而入煙突。此式窯中溫度的分配較為均勻，故成品質地整齊，多能合用。

連續窯有多種的式樣，圖 15 表示其一種；均具有若干窯室，用牆隔之。每一室中附有一火箱，為生火之處。窯室之間，有煙道相通，而每一窯室與煙突間，亦有一煙道相通；俱有火門，以行啓閉。煙道在窯底開孔；磚坯受熱，乃自上而下。當一間窯室生火時，可使熱氣經過其餘的各窯室，然後入煙突；故置在數間窯室中的磚坯，俱得先行加熱，因之所用燃料可省。其製成的磚，有用的數目頗多。

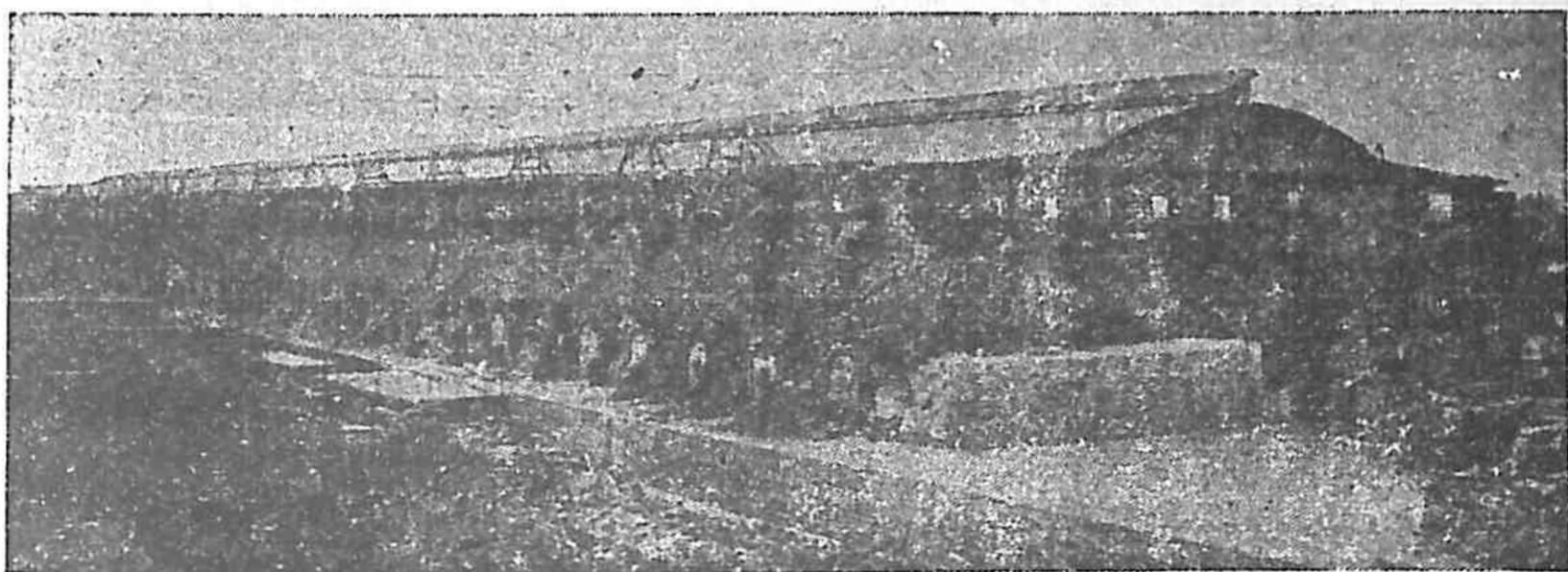


圖 15. 美式的一種連續窯。

磚窯中所用的燃料，隨地而異。窯中的爐，依用柴，用煤，或用煤氣之別，而異其形式。

烘燒 粘土在烘燒時的變化，可分為：(a) 除水期，(b) 氧化期，及 (c) 熔融期，的三個時期。

在除水期中，粘土空隙中的水分，受熱蒸發；而含水的物質，如瓷土質，及氫氧化第二鐵等，亦失其水分；炭質物質燒失。此時約在 700°C 以前而終結。

在氧化期中，遺留的炭質燒盡，而第一鐵經氧化成爲第二鐵。此時約在 900°C 以前終結。

在熔融期中，普通磚瓦雖未曾燒至熔融，但如鋪地磚則必須燒至全熔時期，方能堅韌。普通磚瓦的烘燒，最高溫度約在 900°C 與 1200°C 之間。

降冷 窯中保持最高溫度，經過六日至 15 日，乃行息火，封閉窯門，以防冷空氣竄入。令成品自行緩緩降冷，庶免生有裂拆之弊；且能增加磚塊的韌度，過數日後，乃開窯出貨。

上釉 粘土製品，經過上釉，不僅增加美觀，且能具不透水性。釉有玻璃釉及琺瑯釉之別。前者透明，後者則否。

揀選 因窯中溫度，非極均勻，故成品質地，不能一律。其近火被燒過度者，及遠火受燒不足者，均非良品。開窯時，應將成品揀選分類，以備出售。

II 粘土製品的性質

§ 54 粘土製品的性質 粘土製品的外觀，如形狀，色彩，窳斑，裂拆，片層等，與其品質頗有關係，故當注意。大概言之，成品表面帶有顯明的窳斑者，示其烘燒已劇。裂拆乃由製坯時乾燥或烘燒後的降冷不得法所致，而其強度及其耐凍度，俱因之降低。片層如太顯著，亦有害於其強度及耐凍度。

敲聲 粘土製品中，烘燒合度，無有裂縫者，在乾燥時用錘擊之，則發生金屬清脆之聲。其有裂縫者則否。故由其敲聲，即可知其究有裂縫與否。

硬度 由粘土製品的硬度，可以知其烘燒的程度。

吸水量 通常以爲磚瓦的吸水量，與其耐用性大有關係；而吸水多者，在冬季有凍裂之虞；實則磚瓦中空隙，罕有全被水分填滿者；在水結冰時，儘有膨脹餘地，自不至將磚瓦凍裂也。

比重 粘土製品的比重，隨其原料及烘燒的程度而異。大概言之

，原料用頁岩者，較用粘土者為重；而烘燒的程度愈深，則似愈重。

§ 55 粘土製品的強度 粘土製品在工程上的整個強度，遠不及其樣件試驗中的單純強度。下列的表僅表示樣件的單純強度而已。

粘土製品的強度表

粘土製品名稱	浸後水中48小時後吸水重量的百分率	平均抗壓強度 磅/方吋	平均抗拉強度 磅/方吋	平均抗剪強度 磅/方吋	彈性係數 應力未逾極限抗壓強度的1/4時 磅/方吋
普通房屋磚	12 至 18	4000	500至1000	1000至1500	1500000至2500000
牆面磚	6 至 12	8000	600至1200	800至1200	2000000至3000000
鋪地磚	1 至 3	10000	1500至2500	1200至1800	4000000至8000000
耐火磚	8 至 12	3000至6000	300至600	500至1000	
無釉的空心瓦塊及房屋瓦	10 至 15	2000至4000	500至1200	600至1200	1500000至3000000

抗壓強度 粘土製品中如房屋磚及耐火磚，砌成牆壁，其抗壓強度，常不及單一磚塊的抗壓強度。故由試驗單一條件所得的抗壓強度，僅在比較各種磚塊時作參考比較之用，此外則無甚重要的價值。

橫撓強度 磚的橫撓強度，易於試驗測定，結果亦頗準確，最足以表示其品質的優劣。當磚牆被壓損壞時，磚塊並非被壓破碎，乃由嵌縫中沙泥先被擠出，磚塊中起抗張應力，及逾其所能勝的限度，遂使磚塊破碎。磚塊的橫撓強度，與其抗張強度，頗有密切的關係；故試驗橫撓強度，可推得其抗張強度的係數，而因以測其磚牆抵抗破壞的能力。

抗剪強度 試驗磚塊的抗剪強度時，常有抗張及抗壓應力，與抗剪應力，一同存在。故其所得數值，難得正確；而在實用上各無若何的價值。

彈性係數 磚塊的彈性係數，隨其受力的數量而異，由抗壓試驗應力變形圖觀之，其彈性的性質與混凝土及洋灰泥的性質頗相似。

III 各樣成品的特性

§ 56 粘土製品的特性 粘土製品的特性，隨其成品的種類及用途而異。茲分述如次：

普通房屋磚 普通房屋磚為房屋磚中等級之最次者；用於砌造不注重美觀的牆壁，及填充牆壁台墩的中心等。其顏色有深淺，烘燒有強弱；而其形式亦非一律。其用途為作房屋，牆壁，支柱，支墩等一切磚砌工作的材料。

牆面磚 牆面磚乃較普通房屋磚為優良的磚，表面平滑，隅角方正，質地堅硬。用以砌成牆面，則沙泥接縫可薄；頗為美觀。因由乾泥法壓製磚坯，可得此種之磚，故又有壓製磚之名。又由軟泥法或硬泥法所製磚坯，在乾燥後，再加壓實，然後燒之，所得者亦為牆面磚，故又有再壓磚之稱。

玻璃面磚 玻璃面磚的製法，係用未燒的普通房屋磚坯作地，於

其表面上先塗彩泥一薄層，後塗玻璃質釉料一層。將塗好的磚入窯烘燒，則釉料熔化，於彩泥之上，成一透明層。其用途為作屋內裝飾。

裝飾磚 裝飾磚係用特別式樣的型製坯，俾表面起有花紋，亦有用特別彩色的粘土作原料，以求美觀者；其餘製法與普通房屋磚同。其用途為作房屋的裝飾。

空心磚 空心磚乃依硬泥法用特別磚型製坯而成，沿其長度方向，中心空虛。因其質輕，多用在房屋內部砌造牆面或隔壁之用。又有於磚面上作成凹槽，以便塗附圬料者。圖 16 表示空心磚用於平拱樓板的情形。在鋼建築中，於 I 形梁間以空心磚作平拱，其上作混凝土

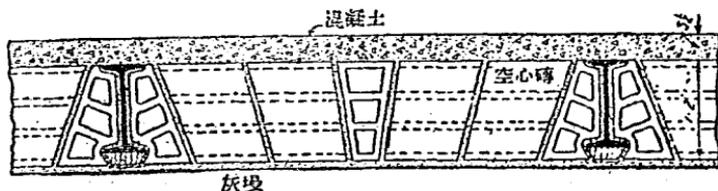


圖 16. 空心磚平拱樓板的截面。

圖中黑形截面表示兩枚 I 形梁，其旁作空心磚的平拱。
上部為混凝土，而下面則用灰墁，以求整潔。

的地板，既可減輕體重，又可作為防火的裝置。圖 17 表示在鋼筋混凝土建築中，以空心磚及鋼筋混凝土作樓板的情形。既能減輕重量，又可兼事防火。

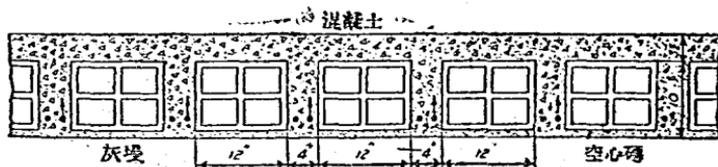


圖 17. 鋼筋混凝土及空心磚樓板的截面。

圖中黑形圓點表示混凝土中的鋼筋，此空心磚築於 I 形鋼筋混凝土之間，作為填充料，下用灰墁，以資整潔。

鋪地磚 製造鋪地磚，當注意於其成品的形式，應具方正稜角，絕不可有扭損，裂垢，胞點等弊。磚的質地，更應整齊一律。

鋪地磚的原料有表面粘土，不純耐火粘土，及頁岩三種。其中以頁岩為最適宜而最通用。其製坯係用硬泥法。鋪地磚的坯的乾燥與尋常硬泥法製磚相同。其烘燒係在降火窯或連續窯中行之。需時自 7 日至 10 日。其火候視所用的原料而異，用頁岩者須至發鮮紅色，溫度自 850°C 至 1100°C 。磚坯既經燒透，即將窯密封，使其降冷極緩，歷時亦約自 7 日至 10 日，方可開窯。在窯的中部受燒合度的磚，乃優良的鋪地磚；在窯上下，烘燒不合度者，僅可作為次等磚出售，以供建築基礎，或砌造水溝等之用。

耐火磚 耐火磚為用於砌造工廠烟突與各種冶金廠熔爐之用，必須能耐受高熱而不融軟變形，必須能不受冶金時所生氣體及爐渣等的侵害，必須能在極熱之時，不受侵蝕，又必須不易傳熱。冶金的化學作用有種種，因之耐火磚的性質，亦隨其用途而異，故可分類為：(a) 酸性磚，(b) 鹼性磚，及 (c) 中性磚，三種。

酸性磚 酸性磚用以抵抗含矽質爐渣或別種酸性爐渣作用的耐火磚；計有耐火粘土磚，氧化矽磚，及密緻石英沙岩磚三種。耐火粘土磚的原料，係以尋常耐火粘土為主，而和入少量燧石粘土，燒過的耐火粘土，沙，或別種難熔材料，以防磚坯乾燥時，或燒成時收縮過多。耐火粘土所含熔劑，較普通粘土為少，是以難熔。原料採得後，分別磨成細粉，用篩篩過，依適當比例而混和之，加入應須的水量。所得濕泥，留置若干時，然後製坯。製坯有依軟泥洒水法用手工者，亦有依硬泥法或乾泥法用機器者。其乾燥法與房屋磚同。其烘燒係在降火窯或連續窯中行之。燒成溫度自應較燒普通磚的溫度為高；使以後在爐竈受高熱時，不致再有收縮變形之慮。普通耐火磚的燒成溫度為 1400°C ，而最高等成品的燒成溫度則為 1900°C 。

氧化矽磚係以矽質沙或矽質沙岩為主要原料，和以少量石灰，用

為膠合的物質。用質地極低的原料所製者，能耐 2150°C 的高熱。但普通之貨，則不能耐 2000°C 以上的熱。氧化矽磚常採用手工製坯，在降火窖中燒成。燒時溫度自 1400°C 至 1760°C 。熄火後降冷須極緩。

密緻石英沙岩磚的品質，介於上列二種磚之間，乃用密緻石英沙岩製成。製法約與氧化矽磚相似。

鹼性磚 用以抵抗鹼性熔渣作用的耐火磚為鹼性磚，其中分為 (1) 苦土磚，及 (2) 鐵礬土磚兩種。苦土磚的原料為菱鐵礦。先輕燒之成為苦土，即氧化鎂也。次強燒之，加入氧化鐵成為含鐵苦土。次取含鐵苦土，加入輕燒苦土，加水調和。用手工製坯，俟其半乾，再行壓實。移入降火窖中燒之。燒成溫度自 1820°C 至 1950°C 。

鐵礬土磚的主要原料為鐵礬土。磨成細粉和以粘土，加水調和。用手工製坯，或依硬泥法用機器製坯，烘燒的溫度為 1550°C 。成品的性質不堅。

中性磚 在鹼性冶金爐的爐渣綫，及時與鹼性物質時與酸性物質接觸之處，所用耐火磚，應屬中性。此種磚的主要原料為鎂鐵礦，即鎂及鐵的氧化物。取礦石軋碎，與耐火粘土或苦土相混，加水磨細。用極大壓力壓成磚坯。燒成溫度約為 1650°C 。中性磚對於爐渣的抵抗力雖強，但不及苦土磚的耐火，而性質亦較弱。

蓋屋瓦 蓋屋瓦的硬度及強度均須高，而吸水量則須低。作原料的粘土，碾磨以後，細細篩過，再加水攪拌碾磨。送入螺旋製坯機中，製成瓦坯；或先製成粗坯，後經機器再壓，以成瓦坯。與硬泥再壓製磚法相同。瓦坯乾後，置於耐火土鉢中，送入窖中燒之，俾不與火接觸。蓋屋瓦的用途為蓋造屋頂。

空心瓦塊，**隔壁瓦塊**及**耐火瓦塊** 此三者為相似之物，俱用粘土為原料，或以頁岩磨細與粘土混和用之。以乾泥法用機器製坯，在降火窖中燒之。空心瓦塊用於建築受有載重的牆。隔壁瓦塊用於建築無

載重的牆。耐火瓦塊與隔壁瓦塊，僅形式上不同而已。

鋪地瓦片 鋪地瓦片的原料為燒成白色或紅色的粘土，耐火粘土及頁岩。用乾泥法製坯，在降火窯中燒之。常用者有花面瓦片及本色瓦片兩種。

貼牆瓦片 貼牆瓦片與鋪地瓦片的主要差異，在花樣及烘燒程度的深淺。先放於耐火土鉢中，置入窯中燒過，加塗釉料，仍放鉢內，入窯再燒，使釉料熔解，則得美觀的表面。

赤陶 赤陶（註）的原料亦為粘土，與房屋磚同，所不同者在原料經過仔細選擇，碾磨成為質地均勻的細粉，故能燒成所需的彩色而略帶釉面。常取數種粘土混和用之。其中分為：(1) 裝飾用赤陶，及(2) 軟燒赤陶二種。

裝飾用赤陶廣用於房屋及別種建築物的裝飾。其原料為耐火粘土及頁岩，或耐火粘土及不純粘土。混和碾細，加入碎磚或燒過粘土所磨的粉，以減少其收縮性。用手工製坯。表面灑彩泥漿一層。置入耐火土鉢中，入窯燒之；其溫度當在 1100°C 至 1300°C 之間。

軟燒赤陶與裝飾用赤陶極不相類。用於建築地板，拱面及作耐火材料。其製法與隔壁瓦塊相似。此物有一特點，即於粘土中，混入多量鋸木屑，或細切的稻桿和水攪拌，成為硬泥，用活塞製坯機，製成空心的坯。送入降火窯中烘燒；其溫度不高，僅足以將木屑等燒盡，而使其赤陶成為輕鬆之質，能受鋸解，並可加釘，亦如木然。

粘土製管 粘土所製陶管，形式甚多，普通分為：(a) 洩水瓦管 (b) 污水瓦管，及 (c) 電線導管三種。

洩水瓦管 洩水瓦管的原料，為燒成紅色的粘土，或如製造軟燒赤陶所用數種粘土的混和物。製管常採硬泥法，在螺鑽製坯機中，用特別的型，製成長筒泥坯，截成所需長度在窯內烘燒的溫度，足以燒成強固鬆透的物質，而不使熔融。

污水瓦管 污水瓦管的原料為燒成紅色的粘土，耐火粘土，頁岩

註 赤陶 terra cotta.

料初熔爲度。污水瓦管常上鹽釉，使其極難吸水，且現平滑。污水瓦管長約3呎，直徑自數吋至42吋不等。

電線導管 電線導管係在城市中，裝置地下電線的粘土製管，埋在地下，形如方柱，長約3呎，中空穿孔，爲安置電線之用。其選料造坯，與耐火瓦塊相似；但燒至極硬，且上鹽釉，令不透水。

章 7 建築石

I 石的種類及選擇

§ 57 建築石的分類 建築石的分類法，有以物理的構造為標準者，有以化學的成分為標準者，今分述之。

依物理學性質的分類 岩石依其大塊的物理的構造，分為成層岩，及不成層岩二類。成層岩係由石層積疊而成。例如石英岩，大理岩，普通角閃板岩，硬沙岩是。不成層岩係非由石層積疊而成。常屬結晶狀的顆粒，黏合甚堅，結為岩石。例如花剛岩，深暗岩，玄武岩，燄岩等。

依化學性質的分類 岩石依其中主要礦物成分的化學性質，分為矽質石，粘土質石，及石灰質石三類。矽質石成分以氧化矽為主。例如花剛岩，正長岩，雲母板岩，綠岩，玄武岩，深暗岩，斑岩，石英岩，普通角閃板岩，沙岩等。粘土質石成分以氧化鋁為主。例如板岩，及硬沙板岩。此種岩石，常不耐用。石灰質石成分以碳酸鈣為主。例如大理岩，及石灰岩。此種岩石，以愈密緻者為愈耐用。

§ 58 石料的選擇 選擇石料，當注意之點如次：(a) 價值須廉；凡石料之出產豐富，易於採掘，產地離使用之處不遠，且運輸便利者，則其價可廉。(b) 耐用性須高；此與石料的種類，當地的溫度，濕度，空氣是否新鮮，有無烟氣等，俱有密切的關係。(c) 石的強度；石的強度有時尚非極重要的條件，如在石砌工中，所用安全係數甚大，且接縫沙泥的強度，遠不及石料強度的高，自不需要強度極高的石料；然如在作支柱，門楣等受壓力甚大之處，與階級，門限等受磨蝕甚劇之處，自需堅強的石料。(d) 美觀；石的美觀，有時甚為重要，亦視其用途而定。

§ 59 重要石料的特性 茲將建築常用的石料的特性，分述如次：

花剛岩 花剛岩的結構，有為細顆粒者，有為粗結晶者，種類不同。其成分以石英及長石為主。此外有少量的雲母及普通角閃石。通常為灰色，間有帶綠色，帶黑色，淡紅色，帶黃色及帶紅色者。花剛岩極硬又極韌；故琢治不易。其強度及耐用性，在普通石料中，推為最優。

花剛岩用於建築房屋，作為基礎，牆的底層，屋柱，台階等，均藉其具堅固耐用之性；用途最廣。此外有用作裝飾房屋表面者，則選其質地不過粗，能受磨琢，且彩色美觀者用之。

片麻岩 片麻岩乃花剛岩經過變質而成者，其礦物的成分與花剛岩同，形狀亦相似；所異者在片麻岩的結構為葉狀，而其礦物成分略作平行排列。故片麻岩易於分裂為平板。片麻岩適用作牆壁的基礎，鋪砌街道，及作路沿，版石等。

深暗岩 深暗岩為數種顏色深暗，質地細緻的火成岩的總稱。如玄武岩，輝綠岩，及細緻輝長岩屬之。

石灰岩 石灰岩指一切成層岩之為碳酸鈣質或碳酸鈣與碳酸鎂兩質合成者而言。其大部分為碳酸鈣而僅雜有極少量的碳酸鎂者，名為石灰岩；雜有碳酸鎂 $\frac{1}{2}$ 以下者，名為含鎂石灰岩；其在 $\frac{1}{2}$ 以上者，名為白雲岩質石灰岩，其在 $\frac{3}{4}$ 之譜者，名為白雲岩。石灰岩的質地常甚細緻，結晶微小，非目力所能察見。其色自白至黑不等，而以灰色及藍色者為最多。石灰岩用於建築房屋橋梁，室內裝飾，隨其種類品質的不同，而其用途亦異。

大理岩 石灰岩之因高熱高壓的合並作用，而成為顯著的結晶質者名為大理岩。大理岩結晶粗細，及色彩深淺，頗多差異，或作白色；或帶黃色，或淡紅色；或帶灰色，青色，黑色。大理岩乃建築石料中之最美觀者，多用於室內裝飾。

沙岩 沙岩為沙粒膠合結硬所成。其沙粒及純淨的石英，而膠合物質則有種種。沙岩的品，隨之變異。其膠合物質如為氧化矽質，則沙岩色淡質堅，難於琢磨，極為耐用。如為氧化鐵質，則沙岩帶紅色或棕色，不甚堅硬，易於雕飾，常不耐用。如為碳酸鈣質，則沙岩顏色頗淡，質軟，易於整理，但耐用性又遜。如為粘土質，則沙岩易於刻劃，然最不能耐受風霜。沙岩的結構，亦有種種。通常用作裝飾的沙岩，顆粒常不及 1 吋；但用於建築而不求精緻者，則可大至 1 吋。

板岩 板岩乃粘土質頁岩，受重大壓力固結而成，亦間有由火成岩變質所成者。其礦物成分，以氧化矽為主；此外有氧化鋁，氧化鐵，氧化鈣，氧化鎂，及鹼質等。其色自青至黑。板岩最重要的特性，在能分裂為薄而平的片。其韌性及強度尚不弱。多用以蓋屋。頗為美觀。

II 石料的開採及琢磨

§ 60 石料的開採 開採石料的方法有數種；或用手工，或憑機械，或炸藥，或合併以上兩法或三法用之。

手工探石法 在岩層不厚之處，可用手工開採。法先用鑽及錘在岩石上鑽孔若干列，孔徑自 1 吋至 2 吋，一列中兩孔相距數吋。此列之孔與彼列之孔間，視所採石料的尺度而定其距離。將一根心楔，夾於一對邊楔之間，置於孔中。心楔為狹窄的鋼楔，兩面俱平；邊楔為一面平一面圓的鋼楔。將各孔中諸楔同時敲擊；當岩石受力已足時，即行脹裂，依穿孔的直線而分離。

機械探石法 開採石料，在工作規模較大時，即可用蒸汽，或壓縮空氣，或電力，以推動機械而行鑽鑿；既較手工鑽鑿為速，且能為手工鑽鑿所不能為的工作；如向石面鑽成斜孔是也。

炸藥探石法 如所採岩石，不求成為巨大的方整的塊，或取作築路或製混凝土的材料，尚須施行軋碎者，則可用炸藥開採。在岩石中鑽孔後，取適當分量的炸藥，置入孔中；上加濕沙，粘土，紙團等壓

實。引火使炸，則岩石即行分裂。

開採石料的炸藥常用者為火藥，或狄納密特炸藥(註)。

§ 61 石的琢鑿 建築用的石料，依其表面整理的情形分爲 (a) 未斲石，(b) 粗斲石，及 (c) 細斲石，三類。

未斲石 未斲石係從石坑採取後，除將過於顯著的突起除去外，更不再施雕琢之工，即行使用。

粗斲石 粗斲石爲石面及接縫處，略施雕琢，如接縫中填嵌沙泥



圖 18. 粗面石。

厚逾 $\frac{1}{2}$ 吋者即屬此類。又依其表面的琢鑿情形，分爲三種：(1) 粗面石 如圖 18 所示，爲表面留存其自石坑取出時的原形者。(2)

粗邊石 如圖 19 所示，爲用寬刃鑿削平表面的邊緣，使約略正直者。(3) 細邊石



圖 19. 粗邊石。

如圖 20 所示，爲用鑿削平表面沿邊的部分，而其中間地位，未施雕琢，仍屬粗糙者。

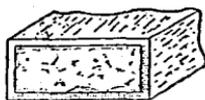


圖 20. 細邊石。

細斲石 細斲石係面層平滑，接縫整齊，嵌縫沙泥，厚在 $\frac{1}{2}$ 吋以下者。細斲石恒修成細邊，在其中間地位，依上述各法，整理平滑；但在體積巨大的建築，有保留粗糙石

面，而不加工修琢者。細斲石依其表面的琢鑿情形，分爲八種：(1) 粗鑿石 如圖 21 所示，係用鶴嘴鑿或粗鏈鑿，除去石面餘臃的材料，至其突起部分，高在 $\frac{1}{2}$ 吋至 1 吋之



圖 21. 粗鑿石。



圖 22. 細鑿石。

間爲度。在琢治石灰岩及花崗岩時，恒先行此法。(2) 細鑿石 如圖 22 所示，係將石面粗鑿之後，如尚須加細，則用細錐鑿斲削，至突起部分，高不過 $\frac{1}{2}$ 吋爲度。修成的面

註 狄納密特炸藥 dynamite.

，不再用別種工具整理。



圖 23. 密鑿石。

(3) 密鑿石 如圖 23 所示，係與細鑿石相似，惟鑿痕更加整齊，而突起部分僅有 $\frac{3}{8}$ 吋高。所用器具為筲齒鑿。

(4) 斧琢石 如圖 24 所示，係鑿刃錐

鑿石，係石料表面，留有平行的斧痕，後者較前者為細。

(5) 齒斧琢石 其工具係用齒斧，琢成的石面，與細鑿石相同。



圖 24. 斧琢石。

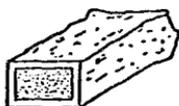


圖 25. 稜面錐琢石。

(6) 稜面錐琢石 如圖 25 所示，係將石料表面的不平處，用稜面錐敲擊去之。此法施於細鑿或齒斧琢鑿之後，常僅在石灰岩用之。

(7) 磨平石 係將石料的表面用粗沙或沙岩磨成平滑。此法宜施於大理岩及沙岩。磨成之石，不見邊緣。



圖 26. 錐面石。

(8) 錐面石 如圖 26 所示，係在石料的表面之在邊緣以內者，造成扁平的錐形。

III 石的強度及性質

§ 62 石的強度 石料的強度，不僅隨其種類而異，即同一種類的岩石，因產地不同，則其強度即異；甚至同一石坑所採得者，亦有強弱之分。至於石料的強度性質中，所當研究者，為其 (a) 抗壓強度，(b) 橫撓強度，(c) 抗剪強度，及 (d) 彈性係數等項。下表表示某處所產石料的強度性質。

建築石料強度表

石的種類	抗壓強度 磅/方吋	抗剪強度 磅/方吋	撓斷係數 磅/方吋	柏松的比(註)
花剛岩	20000	2250	1600	0.172 至 0.25
沙 岩	12000	1685	1450	0.091 至 0.333
石灰岩	9000	1400	1240	0.27
大理岩	12600	1300	1500	0.222 至 0.345
板 岩			7000	

抗壓強度 建築石料的抗壓強度，隨其種類及產地而異；即試驗的情形，對於其所得的結果，亦有影響。通常試驗樣件，多為立方體；如易為長柱或扁板，則所得的結果便不相同。樣件如屬鋸成者，石質無甚損傷；如係用斧鑿成，則因其受震之故，強度降低。樣件如受水浸濕，則亦損其強度。樣件在試驗機上的安置情形亦關重要。襯墊樣件的物質有異，則試驗結果亦殊。壓力分布在樣件面上，須求均勻，否則所得的數值，不能準確。

石料的抗壓強度，固屬重要，然不能單獨據此以定石質的優劣。

橫撓強度 在用石條作門窗的楣，用石板鋪路，或蓋造涵洞等時，固當注意於石料的橫撓強度。其在石牆中，往往因建築未得法，致發生橫撓應力，而有裂圻現象；欲救此弊，不得不審石料的橫撓強度，而後用之。

抗剪強度 石料的抗剪強度，通常不關重要，但有時亦應注意，如用石條作門窗的楣時是。

註 柏松的比 Poissons' ratio,

彈性係數 石料的彈性係數，亦有當注意的價值，因在計算整塊石料受壓力的變形時，須用此值；而從此值亦可略測石砌工受壓力時的變形情形故也。石料不守虎克的定律；其彈性係數，隨應力的大小而異。在應力變形圖上，花剛岩，石灰岩，及大理岩的曲綫，不及沙岩的曲折之甚。

§ 63 石料的物理性 所謂石料的物理性包含其 (a) 比重，(b) 硬度，(c) 韌度，(d) 空隙度，(e) 吸水率，(f) 膨脹率等。茲分述之。

石的比重 石料的比重，頗關重要；因同一種類的石料，其強度幾與其比重為正比。又常用石料作壩堰障壁等時，一方面受水壓力的構造物，石料的比重愈大，則其構造物愈安定。

計算石料的比重方法有二：一為求石料的真正比重，可將石料磨成細粉，依測定洋灰比重的方法測之（參看章 2 頁 9），此法使用適宜，結果可得正確。

如求石料的大概比重，即石料及其中空隙的比重，可先取乾燥石塊樣件，定其重量 A ，次浸入水中，定其重量 B ；復次提出拭乾，隨定其重量 C 。則

$$\text{石的比重} = \frac{A}{C - B} ;$$

此值較真正比重為小。

石塊每立呎的重量 = 石塊的比重 \times 水的密度 = $62.4 \times$ 石塊的比重。

常用石料的比重及其單位體積重量的磅數如次表：

石料的比重及單位重量表

石料種類	比 重			單位體積的重量：磅/立呎		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
深暗岩	3.03	2.80	2.95	189	175	184
花剛岩	2.84	2.64	2.70	177	165	168
沙 岩	2.75	2.11	2.52	172	132	157
石灰岩	2.76	2.48	2.64	172	155	165
大理岩	2.87	2.73	2.81	179	171	175
板 岩	2.84	2.75	2.79	177	172	174

石的硬度 石料的硬度隨其礦物成分的硬度及其凝聚的情形而異。組成石料的礦物，硬度高低，相差甚遠；低者如滑石，可用指甲刮傷；硬者如石英，能於玻璃面上劃痕。礦物成分之凝聚緊密者，則岩石的硬度高，而耐用性亦高；其疏鬆者反是。故有種岩石，雖由堅硬的礦物生成，然以組織疏鬆之故，易受斧鑿，反不似其由較軟的礦物緊密結合者之難於琢磨也。

石的韌度 石料的韌度，隨其礦物成分凝聚之力而異。凡鋪街道的石塊，造道路的碎石，砌階級的石條等；均須兼具充分的硬度及韌度，方能合用。

空隙度 石料的空隙度不宜高，高則受烟氣雨水侵蝕而分解，及因凍結而剝落的石層加深。測定石料樣件連空隙計的體積，復由其

粉末的比重，求得樣件不連空隙計的體積，從此便可推出石的空隙度

- 下表為某處所產數種石料的空隙度。

石料的空隙度表

石的種類	空隙度的百分率	
	最大 值	最 小 值
花 剛 岩	1.45	0.19
石 灰 岩	13.38	0.320
沙 岩	28.28	4.81

吸水率 只就石料的吸水性論之，則吸水愈少者耐用的年限愈長。計算吸水率的方法，為先定乾燥樣件的重量 A，次浸入水中歷 24 小時，再定其重量 B。則

$$\text{石料的吸水率} = \frac{B-A}{A} \cdot$$

下表表示某處所產數種石料的吸水率。

石料的吸水率表

石的種類	以重量計的吸水百分率		
	最大 值	最 小 值	平 均 值
花 剛 岩	0.67	0	0.12
石 灰 岩	5.00	0.20	2.63
大 理 岩	0.67	0	0.33
沙 岩	0.67	0.42	4.16

膨脹係數。石料受熱的膨脹，降冷的收縮，與其他的物質相同。
 下表表示某處所產數種石料的膨脹係數表

石料的膨脹係數表

石的種類	以 1°F 計的膨脹係數		
	最大 值	最 小 值	平 均 值
花 剛 岩	0.0000046	0.0000032	0.0000036
石 灰 岩	0.0000063	0.0000019	0.0000038
大 理 岩	0.0000047	0.0000006	0.0000028
沙 岩	0.0000069	0.0000032	0.0000052

§ 64 石料的耐用性 石料的耐用性，不僅隨石料本身的種類而異，復隨地不同；故石料的耐用年限，自數年以至數百千年，差異甚大。今將各種普通石料的耐用年限，列表如次：

石料的耐用年限表

石的種類	耐用年限
花 剛 岩	75 至 200
片 麻 岩	50 至 200
石 灰 岩	20 至 40
大 理 岩	40 至 100
沙 岩	20 至 200

石料對於環境中種種侵蝕作用，本身原有抵抗的力量；迨其逐漸消失，敗壞遂顯。凡氣候寒暑的變化，風吹，雨淋，烟熏，火燒，重壓，摩擦等，對於石料皆有侵蝕作用，但其程度有深淺耳。至於石料的抵抗侵蝕性，則視其成分，組織，構造，及表面狀況等而不同。

研究石料的耐用性，方法有二：(1) 檢查古舊石牆，石橋，石碑，石柱等的狀態，其耐用性高者，則經歷長久時期，猶能保存其斧鑿痕跡而顯露稜角。觀察所得，可供選擇新石料的參考。(2) 假定各種石料耐用性的高低，乃與石料的強度，吸水性，抵抗凍結的性質，抵抗酸性氣體的性質，及抵抗火毀的性質等為正比或反比；而作關於各種侵蝕作用的試驗，以推測其耐用性。但種種侵蝕作用，乃同時進行且有連帶的關係，與分別進行者不同。故試驗所得的結果，只為大概情形，並不準確。關於石料的強度，前已述及。今將石料抵抗侵蝕的別種作用，分述如下。

石料對於凍結的抵抗力 石料建築物在嚴寒時凍壞者，殊屬少見。通常試驗石料對於凍結的抵抗力為取樣件浸水，時凍時解，經歷若干次後驗其所失重量，或驗其前後強度的差異。其結果僅能指示其大略，因試驗時的情形與石料使用時的情形，非盡相符也。

石料對於酸性氣體的抵抗力 在大都市中，煤烟迷漫，空氣中所含碳酸氣及二氧化硫氣，較村野清新空氣所含者為多，對於石料的侵蝕作用頗著。試驗石料對於酸性氣體的抵抗力，可取樣件石塊置於器中，除去空氣，代以碳酸氣或二氧化硫氣，而密封之；經過二三日，換氣一次；如是歷一月或二月，驗其所失的重量，按百分率計之。

石料的耐火性 在火災時，石造房屋，常受重傷；若受救火的水管噴射，則損害尤甚。就此層言之，石料乃不如磚及混凝土之佳。其所以破壞的原因，乃在全部受熱不均，則膨脹的程度相差，而生內部應力，遂引起裂拆分解等現象。石質的組織，與其各種礦物成分的膨脹性質，對於石料的耐火性，有重要的關係。今將各種石料耐火性，分述如次：

花崗岩的抗火性特弱。每於溫度僅有 550°C 時即不能承受。花崗岩中顆粒較粗者的抗火性，較細者為低。

片麻岩因有成片的組織，故抗火性更較花崗岩為劣。

石灰岩遇火，在溫度未昇至 600°C 時，尚無損傷；過此點則分解而崩壞。但石灰岩被燒後，如急速降冷，其傷損反不如緩慢降冷者為大；此可異者也。

大理岩因組織粗疏與成分純淨之故，被火燒時，未及分解的溫度，即已傷損。其裂坼頗雜亂，而石屑迭落，與花崗岩正相似。

沙岩如組織密實而不疏鬆，則受火燒與急冷的傷害，不及別種岩石之劇。但不能耐受 850°C 以上的溫度。沙岩裂坼時，大都沿天然層理；故安置沙岩石料時，宜使其層理成水平，則遇火時雖起裂坼，不易散落。沙岩的膠合物質，屬氧化矽或碳化鈣者，抗火性較高；屬氧化鐵或粘土者反是。

維持石料耐用性的方法 琢磨石料的方法，對於石料的耐用性，頗有關係。如用稜面錘或鑿刃錘等類工具，則石面受擊後生有細縫，易於吸水凍裂。花剛石及別種密緻的結晶質岩石，以表面少受斧鑿者為耐用。質地粗疏軟弱的岩石，以表面平滑者為耐用。

石料應依其在鑿坑中的天然層理，平置於構造物中。此點對於石料的耐用性，甚關重要。

石料的用途 整塊石料用於砌工，用於鋪砌石塊路，碎石用於造碎石路，用於作鐵路的道渣，用於作混凝土中的粗粒料。

章 8 木材

I 樹木

§ 65 成材樹木 木材用作工程材料，由來甚古，因其到處可得，且易於使用故也。樹木的種類雖多，然成材可用者，種數甚少，而可大別為三類：(a) 第一為松柏類，乃軟木樹，如松，杉，柏等。(b) 第二為闊葉樹類，乃硬木樹，如橡，槭，槐，核桃等。以上(a)及(b)二類總稱為外長樹。(c) 第三為內長樹類，如竹，藤，及棕櫚等。

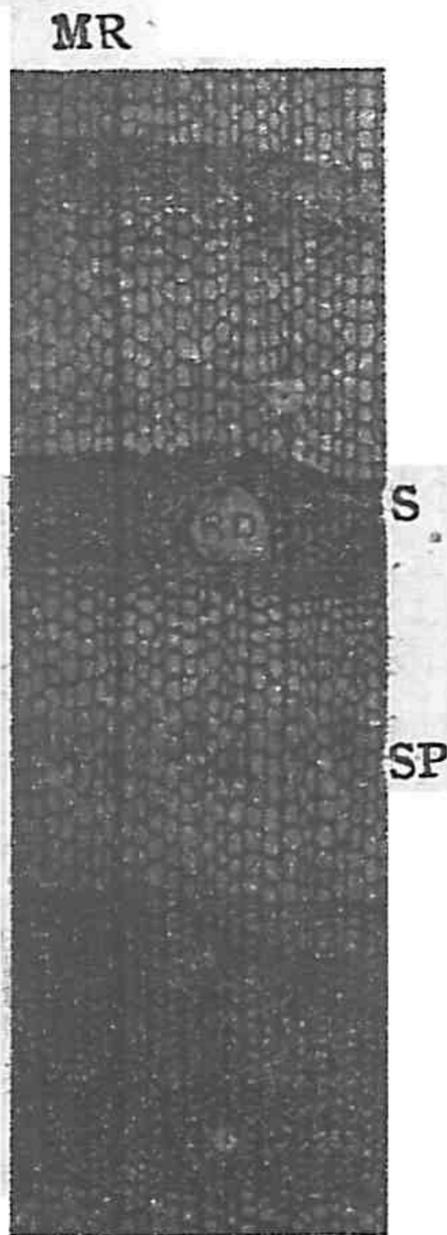


圖 27. 長葉松。

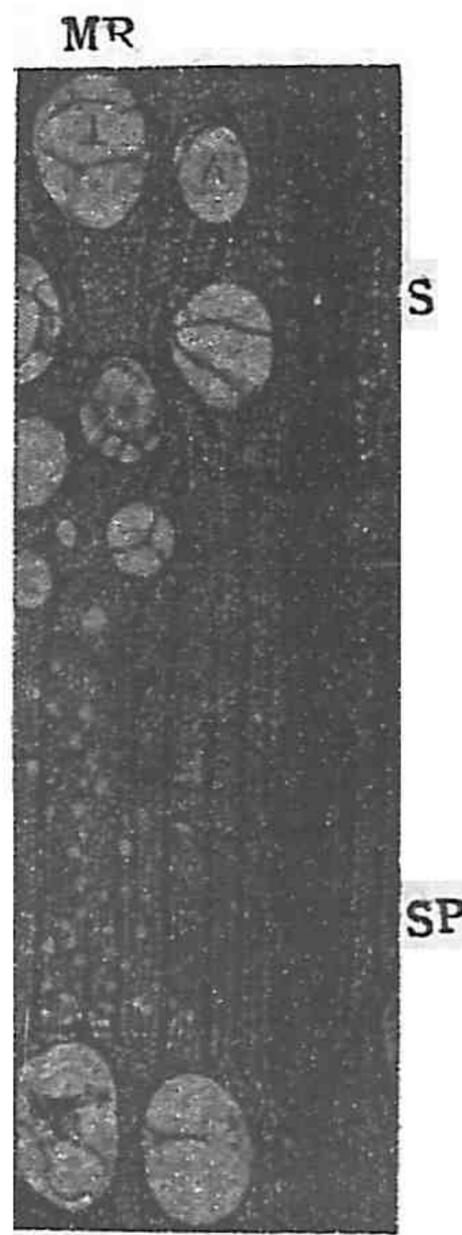


圖 28. 白橡。

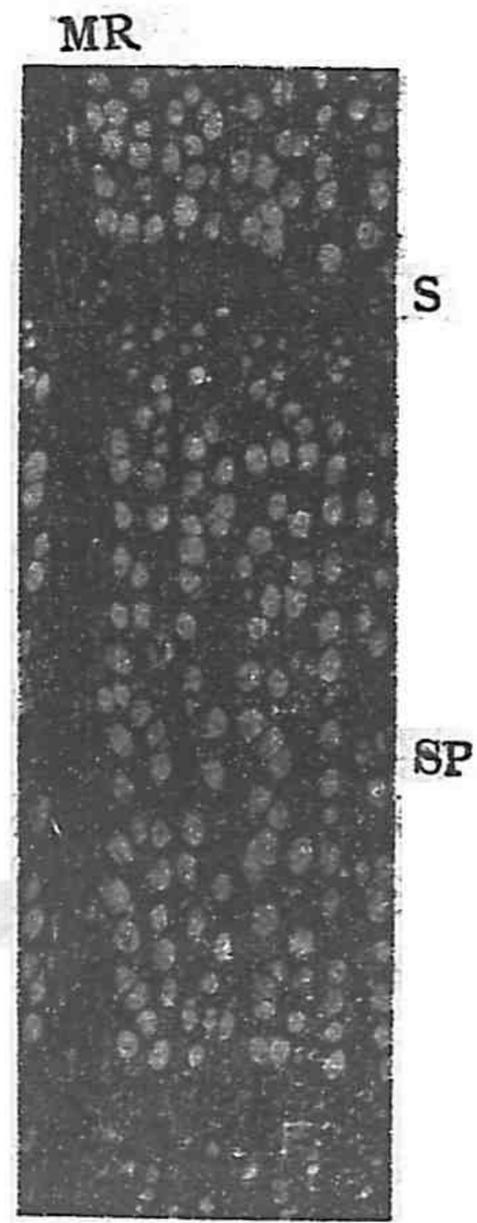


圖 29. 山毛櫸。

在圖 27 中，表示一種無孔樹長葉松的橫截面。在圖 28 中，表示一種環狀孔樹白橡的橫截面。在圖 29 中，表示一種散漫孔樹山毛櫸的橫截面。在此三圖中，RD=樹脂導管，S=在夏木中的厚形細胞層，SP=在春木中的薄形層，MR=髓線，V=在春木中的大形導管，1=導管擴大，F=纖維。此三圖約放大 27 倍。

三類之中，松柏類遍布於北半球各地，為最重要的工程材料。闊葉樹類，世界各地均有之，在建築上亦占重要地位，而兩者之中，則以松，杉，柏，樟，槐，樺，核桃等為較重要。

§ 66 樹木的構造 外長樹的構造，分為三部，即樹皮，邊材，及心材是也。樹皮為生於樹身外面的保護層，厚自 $\frac{1}{2}$ 吋至 2 吋不等。此層不堪用作建築材料，且當於樹木砍伐後，即行剝去，免使木材的腐蝕加速。邊材在樹皮之內，係由柔軟而具薄皮的細胞合成，為樹身的生活部分。心材成圓形，顏色較邊材為深暗；係由為數甚多的維管束合成，樹木所以能強固勁挺，即藉此維管束的作用。（圖 27，28 及 29）。

髓心 依樹身半徑方向，向外方周圍的邊材射出片狀的髓線。髓線乃扁平細胞所組成，其為用在使直徑上的結合加固，又使髓心與外圍有交通的路。松柏類樹木的構造，較之闊葉類樹木為均勻；闊葉樹的構造，多異常繁複。

樹木的生長 外長樹於樹皮之下，生有新維管，或從舊維管束歧出。每年春季的生長較夏季為盛，生長的變化，使木質纖維形狀起殊異；夏季所生的木質，恒較春季所生者為色深而質密。是以樹身的剖面，遂成為多數同心的圓環，每環表示一年的生長，故名為年輪。核計年輪的層數，可知樹的年齡。最後的數層，成為邊材的部分，顏色較淺。在邊材以內的諸年輪，成為心材，占有木材剖面積的 25% 乃至 85%，其多寡依樹木種類及生長情形而異。外長樹每年所成的年輪，包於前一年的年輪之外，故其樹幹，亦逐年增長。復因樹頂為錐形，故長度的增加，可遠逾於其直徑的增加。

木的紋理 木的紋理，隨木質纖維的特性及排列，年輪的寬度等而生種種的不同。

木的年輪狹窄者為具細紋理，其寬闊者為具粗紋理。木的表面光滑者為具滑紋理；其粗糙者為具粗紋理。木的纖維挺直，而與樹的長軸平行者為具直紋理，其纖維沿樹身而作螺旋者，為具捩紋理，其纖

雜在生長時改變方向者爲具斜紋理，其纖維卷曲成爲短曲線者爲具卷紋理，其具斑點的形狀者爲具斑紋理。樹皮下的樹層因受未發生的芽的影響而起凹凸者，其紋理爲鳥眼紋理。木質纖維小者爲具細紋理，其纖維大者爲具粗紋理，木質纖維約略同大者爲具勻紋理；其不同者爲具不勻紋理。

木節 木節係由樹枝爲縱長增多的年輪覆蔽所致。鋸分木材爲木板，則木節卽爲該段樹枝含在板中的部分，而木節的纖維常與板上其他纖維略成直角。虛節乃木節處的裂縫，致木節在板片中鬆動分離者。實節乃木節與板片連屬，中間未見裂縫者。

II 木材的備辦

§ 67 **木材的採伐** 木材的採伐實包含採購，伐木，運廠的數種工事。

伐木 自斬伐樹木，削其枝條，修其本幹，成爲適宜形式，乃至運木入廠，統以伐木一詞統之。斬伐樹木，或用斧，或用鋸。修削後的木材以便於輸運爲度。運木的方法，視當地的情形而異。如鋸木廠離森林甚近，木材可自山上轉滾而下，或置於拖車上，用馬拉之，或用汽車運之，或用架空鐵路運之，或推入小溪中浮下，或造窄軌距鐵路用車載之。如鋸木廠離森林較遠，可由鐵路運之，或紮成木筏，由水道浮至木廠。

伐木的時期 斬伐木材，須慎擇適當時期。在春季及夏季霖雨正盛時，邊材中含有多量水分，及溶解的澱粉質，糖質，及油質，如於此際斬伐木材，則此數者皆能促進木材的朽壞，故不相宜。在夏季較乾燥時，並冬季中，樹中細胞的生長作用較衰，或竟全無作用，如於此際斬伐木材，則能得最佳的結果。斧砍的木材，較鋸斷的木材爲耐用。通常伐木之期大都在冬季。

§ 68 **鋸木** 木材的鋸解，大都在鋸木廠中用機械力節制的帶鋸或圓鋸爲之。木材的鋸法，對於鋸成木料品質的高低，大有關係。

鋸法大別有二，即 (a) 平鋸法，及 (b) 輻鋸法。平鋸法鋸解的縫，俱屬平行。輻鋸法鋸解的縫，務求其與半徑的方向相近；所以求板片紋理的美觀，而令秋材的硬帶顯露。用平鋸法，得平紋理之木；用輻鋸法，得側紋理之木。側紋理之木，不起長縫，較之平紋理者，收縮及裂坼俱少，而其磨蝕亦得稍均勻平滑。有時合並上述二法行之，是為雜鋸法，將整木先鋸分為平行面的方木若干；而後用圓鋸沿方木的側邊修鋸之。所得的板，有屬平鋸法者，有屬輻鋸法者，而餘約一半，不專屬平鋸法，亦不專屬輻鋸法也。

§ 69 除液法 備辦木料以供建築之用，須設法除去木中的液體，或藉自然的作用，或藉人工為之。此項辦法，統名為除液法。木料愈乾，則其收縮愈少，而敗壞愈緩。

風乾除液法 於木板鋸解後，擱置之，使得受流通的空氣。木材積於乾燥地方，成為大方堆，上下相鄰之層分開，用穿條三四支，依相對的方向安置而隔離之。最下一層，離地至少須 2 呎。如遇堆中有敗壞的木料發現，須立刻剔除，而將木料重堆。木料乾燥透澈，為時自一年至三年不等，視樹木的性質用途，及其尺度的大小而定。

爐烘除液法 爐烘除液法促進水分的蒸發，而除去樹液，但不無缺點，即使木料表面及末端乾燥過速，而內部乾燥過遲，難得透澈，因之木料的強度及彈性，均為之減少。將木材置於乾燥爐內，使受熱蒸汽的作用，其溫度隨木料種類及尺度而定。時或用抽氣機抽出空氣，與加熱的作用相濟。麻栗木所需溫度約為 40°C ；而松木所需溫度約為 90°C 。所需時間，視木料的厚度而異。1 吋厚的松板，柏板，乾燥時間為二日乃至四日。硬木常先置在空氣中乾燥之，自三日至六日，然後置於乾燥爐中，自六日至十日。

III 木材的性質

§ 70 木材的性質 木材的性質，極不一律，不僅異種的樹木為然，即同種的樹木亦復如此，甚至在一株樹木上各處所取之料，仍有

多少差異。估計木材的性質時，應注意下列數事：辨別木材之究屬何種，何亞種，考定其生長年數，及生長速度，察看試驗樣件取自樹的那一部分，查驗其所含的水分如何，檢點試驗樣件及供用木料之有無疵病。

重量 樹木的比重，在用木作建築材料時，間有當注意及之者。又乾燥木材的比重，亦略足以表示其強度，其收縮度，分別數種性質。樹木每立方呎的重量多在 25 磅至 60 磅之間，然亦有較此為輕或重者。木材中的水分能使每立方呎的重量增加甚多。

含水量 尋常乾燥木材中，含水量的為其重量的 15%，隨溫度及氣候而復有差異。普通所稱乾材，含水量常可至 8% 之多，而青材及濕材，含水量則在 30% 以上。欲得完全乾燥的木材，在實際上為不可能之事。木材置在烘乾爐中，保持 100°C 的溫度，歷 24 小時，而其重量的減少，不及 0.5% 者，即可稱為乾燥的木材。

木材所含水分，對於其強度的影響極大。考木材的強度及其重量，大部分與其剖面中每單位面積中所含有的纖維數目成正比，纖維愈多，木材愈沉重強固。木材吸收水分，則使纖維膨脹加粗，因之每單位剖面面積中的纖維數減少，而木材變弱。且細胞受水分的影響，其堅固亦遜於前。

收縮 一段段的木質纖維，當乾燥時，起收縮現象；纖維的壁較前大為減薄，中間的空隙增加，但其長度，仍無多大變動。纖維的壁愈厚，收縮愈多。木材的此種纖維，多係與樹身的長度平行，故在木材乾燥時，長度的變動甚少。在橫剖面上的收縮以與髓綫成正交方向者，較成平行方向者為多；此因髓綫本身係依剖面收縮，而非依其長度收縮故也。是以木材中最大的收縮，係在與年輪相切的方向；較小的收縮，係在沿年輪半徑的方向；而在樹身長度的方向，則收縮不甚顯著。樹木的收縮，多寡不等。愈硬的木材，結構愈密實，其細胞的壁愈厚，故收縮愈多。

薄板的收縮如不勻，則起扭損，此或出於一面的纖維乾燥，較別

一面的纖維爲速，或由於乾燥的不勻，或由於鋸解的結果，使其數種方向的收縮，較別種方向爲大，或由於木料的性質使然。與收縮相反者，則爲木料受濕氣而膨脹。在建築時必須留有膨脹的餘地，如用木塊鋪砌街道時所留的膨脹接縫是。用木塊砌成寬 60 呎的街道，受熱膨脹有多至 1 呎者。

木材的縱向收縮，常不及千分之一。木材體積的變化，大部分由於與年輪相切及沿年輪直徑兩方向的收縮所致，而因兩方向收縮約略相等，故若以百分率計算體積收縮時，約爲下表所列數目的 2 倍。下表所列爲木料寬度收縮的平均百分率：

木料寬度收縮的百分率表

樹木種類	收縮的百分率
輕質針葉樹（軟松，針樅，柏）	3
重質針葉樹（硬松，落葉松）	4
皂莢，老橡樹	4
榆，胡桃，白楊，槭，山毛櫸	5
樺木，栗，青山毛櫸	6
美洲胡桃，橡樹的幼者	可大至 10

色 木色足爲分別木材種類之助。新生之木，幾多爲無色，於數年之後，變成黃色；而邊材變爲心材，則色常加深，故木色復能爲分別心材與邊材之助。心材的色，有全部均勻者，有內外變化者，而其深淺，則視木材種類及生長的情形而異。深色常由樹脂，着色劑，單寧質等滲入心材而起。凡木質露置於空氣中或浸沒於水中，經歷長短時間，則色常加暗。故自然的木色，僅在新鋸的木中見之。

味 木材各有其特具的氣味，但間有不能立時辨別者。此種氣味

，係由木質中夾雜的化合物所致，而在心材中，常較在邊材中為顯著。各種樹木的氣味，隨其為生濕木，陳置木，或腐朽木而異，故可為辨別木質種類之助。有數種木質，於陳置後，則失其氣味的大半。

膨脹係數 木材的膨脹係數，與纖維平行者在 2°C 與 16°C 之間為每度自 0.000014 至 0.000034 之間。

§ 71 木材的各種強度 茲分述之：

抗壓強度 木材在建築工程上的用途，大都為承受抗壓力，故其抗壓強度，極關重要。木材受與紋理平行的壓力者，其各纖維的作用，有如結束在一起的若干空心支柱然。其敗壞係由纖維彎折，而與相鄰的纖維脫離所致。木質的密度，纖維的勁度及連續性，纖維間的附着性，陳置情形，含水量，紋理的斜正，及木料的疵病等，對於與紋理平行的抗壓強度，俱有影響。

木料受與紋理平行方向的壓力時的彈性限度，常約為極限強度的 60% 至 75%。

木材受與紋理垂直的壓力而敗壞時，係由纖維壓扁所致。關於此項的強度，大部分隨木質的密度而異，但別種事物的變化，亦不無影響。大略言之，木材的抗壓強度，與紋理垂直者，約為與紋理平行者的 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{1}{4}$ 。

抗張強度 木材的抗張強度，不甚重要，僅在橫撓試驗中須計及之。在建築工程中，木材罕有承受全屬張力者，因在末端繫定之處，難於規畫適當也。木材在受與紋理平行方向的張力時的彈性限度，常約為其極限強度的 60% 至 75%。

抗剪強度 木材的抗剪強度，有時頗關重要，尤以在木梁中者為甚。木材與紋理垂直的抗剪強度，約為與紋理平行者的 4 倍至 10 倍。濕材的抗剪強度，較乾材為小，而木節裂拆等疵病，俱足使抗剪強度減小。木材與紋理平行的抗剪強度甚小，視木質纖維間的附着力，木材紋理為直抑為偏，及髓線的有無等而定。與木材纖維垂直的抗

剪強度，約為與纖維平行者的 $\frac{1}{2}$ 。

橫撓強度 木材在建築工程中，用為梁者甚多，故木材的橫撓強度，頗關重要。木材的橫撓強度，大部分隨其抗壓強度，抗張強度及抗剪強度等而異。故凡足以影響此種強度的事物，對於其橫撓強度，亦有影響。

木材的敗壞，幾常由於不勝抗壓開端；然類多以不勝抗張而斷裂為結局，尤以梁的比較長薄者在受牽引方面而有疵病者為甚。木梁的敗壞，由於平面剪割所致者亦不少，尤以比較短而厚者為甚。

木梁的載重，若超過其彈性限度，且常存而不移去，將使其梁終不免於敗壞。木材在橫撓中的彈性限度，乃一不定的量，其量約與在擠壓中的彈性限度相同，而約為極限強度的 66% 至 75%。

木梁的勁度 木梁的勁度為其抵抗橫撓載重，而不生大量低垂的能力。木材在橫撓中的彈性係數，可視作勁度高低的表示。直紋理木材，較之多節或斜紋理木材的勁度為高，而乾材的勁度約為青材或濕材勁度的 1.5 倍。普通言之，本質愈重，則愈強固而愈勁挺。

安全係數及安全實用載重 木材的安全係數及安全實用應力，視其應力的種類，載重的種類及工程師的決斷而定。在設計時，應僅取製成木料的淨剖面積計之。

下列對於各種遞變載重的安全係數可視為適當者；牽引用 10，與紋理平行的擠壓用 5，與紋理垂直的擠壓用 2 至 2.5，橫撓的最外纖維應力用 6，橫撓中彈性係數用 2，剪割用 4。

對於固定載重，可取上述安全係數減去 33%，即將單位實用應力增加 50%。木材之含有大節或鬆節者，用此種安全係數則嫌過小。

對於固定的重大載重，對於正反應力的載重，及對於舊木料之尚見堅實者，所取容許的單位應力，並僅可等於通用數的 80%，或即取對於遞變載重安全係數所算得用之。

木材性質表 此表所載者，為含水量在 15% 至 20% 間的木料

的各種性質。此種木料即係市上出售備用的乾燥木材。若取小件樣件或取特別優良樣件試驗，其強度可較表中所列者加多 50% 或 60% 不等。取特別惡劣的樣件，如含有木節等者試驗之，則其強度可較表中所列者為小，而青材或含水量多的濕材，亦復如此。

欲求資用應力，可視載重種類，取一適當的安全係數，除表中所列的極限強度而得之。

硬度 木材的硬度，常以鋼球置在木面受壓下陷的深淺計之。與紋理垂直的剪割強度，對於硬度有重大影響。木材之比重大者的硬度較其比重小者為大。陳置作用，能使硬度增加；而含水量加多，則使硬度減小。

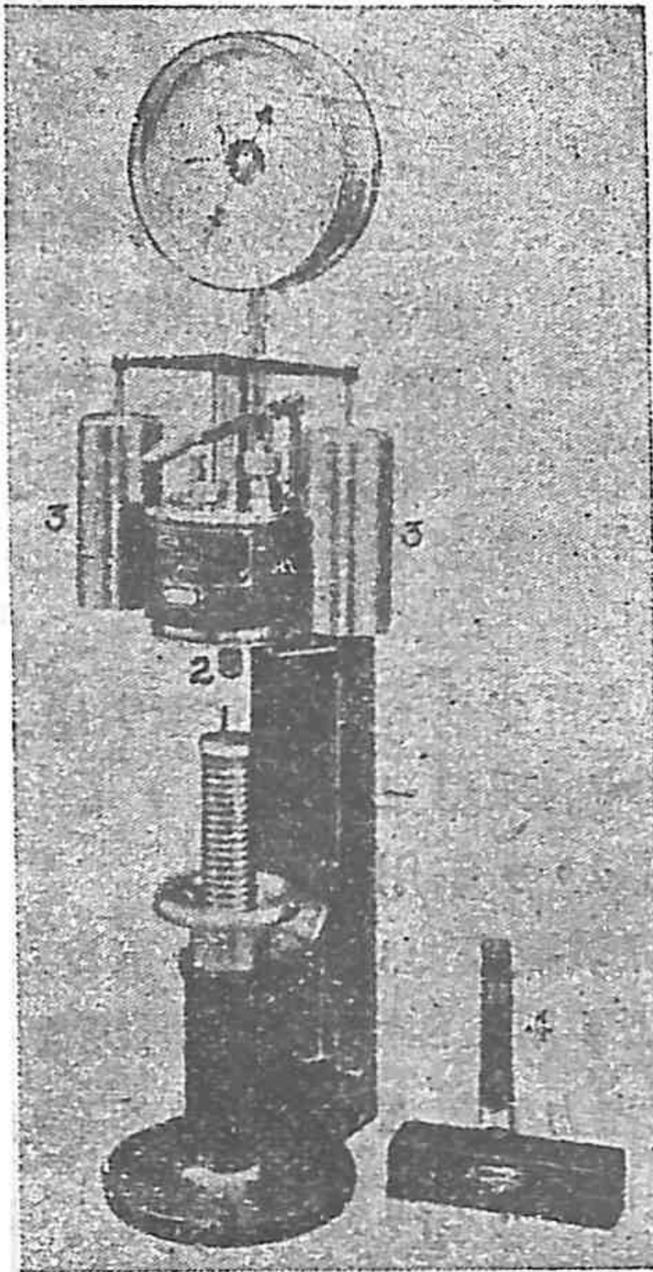


圖 30. 勃氏硬度試驗器。
1. 為試驗台，2 為鋼球，3 為固定的重量，4 為觀察陷痕的特製顯微鏡。

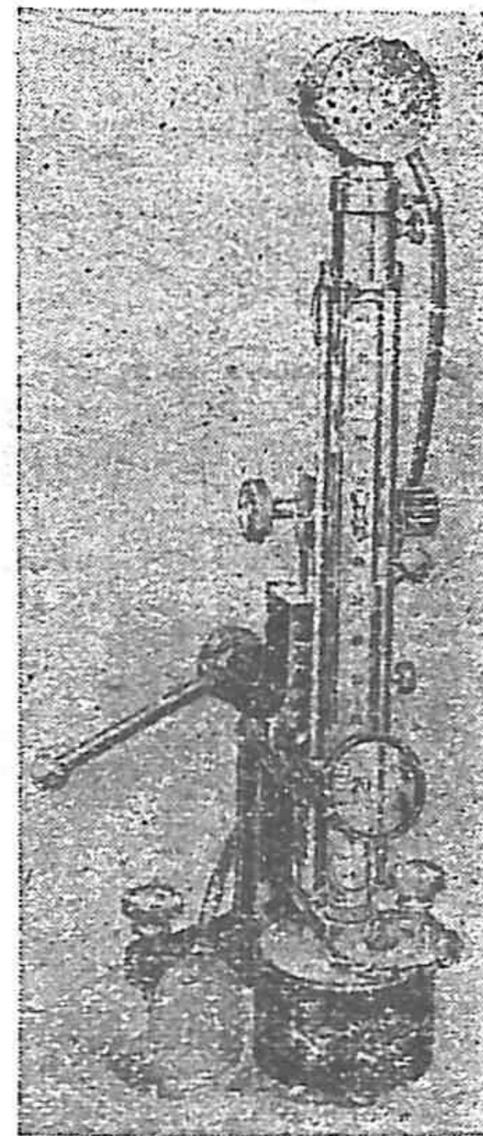


圖 31. 壽氏硬度試驗器。

建築木材的資用應力表

木材種類	撓曲				擠壓						
	最外纖維的資用應力			資用水平剪割應力	資用彈性係數	短柱中平行木紋的資用應力			垂直木紋的資用應力		
	潮濕處	顯露處	乾燥處	各處		各處	潮濕處	顯露處	乾燥處	潮濕處	顯露處
橡木	1000	1200	1400	125	1500000	800	900	1000	300	375	500
扁柏	900	1100	1300	100	1400000	800	1100	1100	225	250	350
樺櫟	1000	1300	1500	150	1600000	900	1100	1200	300	375	500
栗	700	850	950	90	1000000	600	700	800	150	200	300
美洲胡桃	1200	1500	1900	140	1800000	1000	1200	1500	350	400	600
南美黃松	1000	1300	1500	110	1600000	850	1000	1100	200	225	350
白松	750	800	900	85	1000000	650	750	750	125	150	325
挪威松	800	1000	1100	85	1200000	700	800	800	150	175	250
西美松	900	1100	1300	75	1400000	800	900	900	200	225	275
赤針櫟	800	900	1100	85	1200000	650	750	800	125	150	300
赤木	800	1000	1200	70	1200000	750	900	1000	125	150	250
落葉松	900	1100	1200	95	1300000	800	900	1000	200	225	250
西美赤松	750	800	900	80	1000000	650	700	700	125	150	300

註
 本表所謂潮濕處係指用於船塢，木椿，門閘等處而言。
 所謂顯露處係指用於不與土壤相接的顯露處，如橋梁，做棚等處而言。
 所謂乾燥處係指有庇護的乾燥處，如工廠，貨棧等處而言。

材料強度表

木材種類	重量：磅/立呎			比重	撓曲試驗		擠壓試驗		劈裂試驗	牽引試驗	硬度
	生濕	風乾	烘乾		撓斷係數	彈性係數	平行木紋的極限強度	垂直木紋的極限強度	平行木紋的極限強度	垂直木紋的極限強度	
扁柏	49	32	31	0.42	6855	1218000	3565	486	822		378
栗	55	30	29	0.40	5600	930000	2470	380	800	430	434
胡桃	64	54	51	0.64	10990	1346000	4360	1080	1421		
長葉松	50	42	40	0.55	8654	1618000	4360	583	1063	290	580
短葉松	50	38	36	0.50	7960	1450000	3810	475	890	330	558
白松	39	27	26	0.36	5310	1073000	2720	314	644	260	296
西美松	41	30	29	0.40	6680	1060000	2890	375	850	260	432
赤木	39	26	25	0.35	7010	1065000	4000	575			
落葉松	47	38	37	0.49	7170	1236000	3480	480	863	260	375
赤柏	27	23	22	0.31	5240	950000	2840	315	720		259

(此頁在頁 101 之前)

勃氏硬度 勃因訥耳 (註) 試驗材料硬度的方法，係以一定的壓力壓迫一定大小的鋼球於材料的面上而測其陷入的深淺或陷落面的直徑的大小，以爲材料的抵抗的強度或硬度。圖 30 表示勃氏硬度試驗器的一種；先將樣件放於壓擊地點，使之平滑。隨置之於試驗台(1)上直至與其上的鋼球接觸。此鋼球則懸於放置樣件的水衝機的活塞上。(2) 欲得所用壓力的準確數，此水衝機中置有固定重量(3)的集重器。當一確定的壓力加於樣件時，此固定重量即行高舉。

壽氏硬度 壽爾 (註) 試驗材料硬度的方法，係以一小金剛針錐約由 10 吋的高度自由降落打擊於樣件上，而觀察其躍上的高度數以爲材料硬度的比較。圖 31 表示壽氏硬度試驗器的一種；一小金剛石的針錐盛於一垂直而前面刻度的玻璃管中，其上具一吸氣裝置。當使其中空氣稀薄時，可使針錐上升管頂；及再壓其上的包泡，空氣壓針錐自由落下而無初速度。此針錐擊樣件後而躍上的高度則由觀察者以目觀察而記錄之。

韌度 強固的木材，受撓曲而不折斷，能抵抗震動打擊者是爲具有充分的韌度。檢定木材韌度，常行衝擊試驗，測定破壞時所需的工作以計之。木材之能抗高度的牽引力及與紋理平行的剪割力，且能在牽引及擠壓中忍受 3% 以上的變形者，常爲具有高度的韌度。

受劈性 木材被斧刃分劈時有難有易，此即其受劈性強弱的表示。彈性較大的木材分劈較易；而硬度較大及橫向牽引強度較大者，則分劈較難。

木材在與紋理平行的面上，易於分劈，如更依樹身直徑行之，尤屬便利。木材有木節及斜紋理等疵病，以及含水量大者，則分劈較難。

撓性 木材能行撓曲而不折斷的性質，名爲撓性。硬度較大的木材，撓性較大。木材含水量增加，則趨於柔弱，而撓性亦加大。木節

註 勃因訥耳 Brinell

壽爾 Shore

及別種疵病，均使撓性減小。

註 此表係按質地清潔的生濕木材的小件樣品，剖面為 2×2 吋，撓曲時兩支點間的跨度為 28 吋者而言。

重量係指每立呎的磅數而言；所謂風乾係指含水率由 12% 至 15% 者。所謂烘乾，係指含水率 8% 者。比重係按生濕時的體積及爐中烘乾時的重量計算。

撓斷係數按每方吋的磅數計算；其風乾者約大 50%，烘乾者約大 100%。

彈性係數係按每方吋的磅數計算；其風乾者約大 25%。

擠壓試驗中，平行木紋的極限強度，係按每方吋的磅數，其風乾者約大 100%，烘乾者約大 100% 至 200%。其垂直木紋在彈性極限時的強度係按每方吋的磅數而言，其風乾者可大 75%。

剪割試驗中，與木紋平行的極限強度係按每方吋的磅數而言，其風乾者大 50%，烘乾者更大。

牽引試驗係按每方吋的磅數而言。

硬度係使 0.44 吋直徑的鋼球陷入水平面下深至 0.22 吋時所需載重的磅數。

建築木材的資用應力表在材料強度表的背面。

IV 木材的敗壞及保存

§ 72 木材的敗壞 木材耐用年限的多寡，隨其砍伐，陳置，及使用的情形而異。樹木自生長以至作成材料，無時不受侵蝕作用，或由動物致之，或由植物致之。砍伐樹木，應在其生長細胞及輸液細胞的作用減弱或停息時行之。樹木經過陳置，則樹液及侵入樹中的水分散去，故其耐用年限加長。在構造工程中，應力圖將木料保護，使不致受侵蝕而朽壞。

能引起木材朽壞的事物有種種，即如 (a) 乾燥與潮濕相間，(b) 空氣悶熱，(c) 細菌及菌類的繁殖，及 (d) 昆蟲及蛀蟲的生養。木材曾經充分陳置，且用於空氣流通乾濕有定之處者，能經多年不朽壞。木材常時浸沒在水中者，僅變成軟弱，亦不致朽壞。

乾燥及流通的空氣最能防止木材的朽壞。木材之保持乾燥者，雖終不免於轉成脆弱，然常能歷時數百年。是以在建築工程中，木材的安置，如不在乾燥通氣之處，即應全行浸沒在水中。置在乾處的木材，應防止有水分浸入接縫之中，而重要的構造木材，應有充分的保護，使勿受氣候變化的影響，是為至要。

乾朽 木材乾朽的直接原因，係由某種菌類在木材微濕時浸入其中，引起木質的發酵分解。此項下等有機體分泌酵素，溶解木質細胞的壁膜，而使木材朽爛。如木材受熱受濕且其處空氣不流通，則此種菌類的生長加盛。是以在通氣不利的地方，如樓板，地板，嵌入牆壁之處，如工廠木柱的中心俱極易見乾朽。未曾陳置的木材，朽壞尤速。

木材在乾朽處，可見其腫脹變色，漸形腐爛，發生霉味，有時木材表面起帶紅色或黃色的斑點，而木質纖維化為粉末。

乾朽頗為危險，因不僅起始朽爛的木材毀壞，且能延及鄰近木材。乾朽既起，難於阻止，惟有將所有菌類撲滅，而於木材施行除毒方法而已。

濕朽 木材之起濕朽，僅於其置在潮濕處者，或時乾時濕者見之。如木材曾經充分陳置且不容其再吸收濕氣者，即不生此弊；蓋濕朽的原因，乃在所吸的水分溶解木材中細胞壁膜之故。濕朽必須接觸始蔓延。春材之在春季及早秋砍伐者，易蒙此害。補救之法，在將所有已朽的木質除去，且使其餘木質，常保乾燥，並能通氣也。

害木的昆蟲 多種昆蟲的幼蟲能傷害木材。其數種傷害生長的樹木，而別數種傷害伐後的樹木，及鋸成的木材。

水中亦有數種蛀木之蟲，對於木樁及船舶所加傷害，有極難防範者。

§ 73 **木材的防腐法** 木材耐用的年齡，可藉充分的除液作用而略為延長。然此法不若防腐法之佳。防腐法係將幾種物質注射於木質中；此種物質，對於木材無顯著的損害，然如菌類虫類等之能侵蝕木

質者，則受其毒而滅絕。防腐劑之最常用者為幾阿蘇油（註）及氯化鋅。

注射防腐劑入木材中的通用方法有三：(a) 一為加壓法，係用強壓機，空氣壓縮機等以求得到所需的壓力。在實際上所有特別防腐方法，俱屬此種。(b) 二為無壓法，此法係取曾經充分除液的木材，浸於熱的防腐液中，歷一時至六時而急行取出，送入冷液中。此係使木材內的空氣及水分收縮，而防腐液因得竄入木材的組織中。另一法係先將木材在一爐中烘熱，然後猝然浸入冷的防腐液中，其意亦正相同。(c) 三為塗刷法，此法係取防腐液用刷塗布一層或數層於木材的表面。埋入地內的木材，先用煤膏塗刷，即其例也。

幾阿蘇油法 在所有木材防腐劑中，實驗上當推幾阿蘇油為最佳。此物尤以對於水中蝕木的虫為有大效。惟在用於室中裝修的木料，則不適用。塗用的方法有：(1) 無壓法，(2) 伯特利法（註），(3) 西利法（註），(4) 布藍特法（註），(5) 煮沸法，(6) 律普靈法（註），(7) 勞立法（註）等。

無壓法 用無壓法時，係將木材浸入幾阿蘇油中，經歷數日，取出用之。因油之透入木質者不深，故此法未足稱為完全滿意。

伯特利法 伯特利用幾阿蘇油法，係先置木材於大圓桶內，隨送入蒸汽以熱之，歷數小時，務求透澈，以使樹液蒸發散去；次用抽氣機抽去樹液及蒸汽，造成真空，然後乃將幾阿蘇油充入桶中至滿，熱之至 65°C ，保持每方吋 180 磅的氣壓。所需油量約為每立呎的木材用油 6 磅。浸置的時間約為 24 小時。如浸製者為青材，則每立呎的木材用油 12 磅乃至 18 磅。

西利法 西利用幾阿蘇油法為取上法加以變通者。木材浸在幾阿

註 幾阿蘇油 creosote

伯特利 Bethell

西利 Seeley

布藍特 Brent

律普靈 Rueping

勞力 Lowry

蘇油中，保持 100°C 至 150°C 的溫度，經歷的時間以足除去木質所含的水分爲度。後乃將熱油洩去，而送入冷油。吸收的油量，約爲每立呎的木材需油 4 磅。

布蘭特法 布藍特用幾阿蘇油法，係將木材置入直立的圓桶中，於其中注入幾阿蘇油，幾至桶頂。封閉之後，用抽氣機吸去桶中的空氣，使壓力甚低，後乃改變作法，壓入幾阿蘇油，直至壓力約有 10 個氣壓乃止。所需浸透的時間，約爲 6 小時。

煮沸法 用幾阿蘇油煮沸法，宜於峇格刺斯杉（註），係將木材置入盛幾阿蘇油的圓桶中，溫度微較 100°C 爲高，其浸置時間，自數小時至二日不等。於是提高壓力至每方吋 120 磅，將油壓入木質中，而溫度則漸減低。

律普靈法 律普靈用幾阿蘇油法，係將木材在空氣中先行乾燥後，乃置入桶中，而將桶密封。於是將空氣壓入桶內，壓力爲每方吋 75 磅；次將幾阿蘇油壓入桶內，壓力爲每方吋 85 磅，以後提高壓力至每方吋 150 磅以上，使油質入木透澈。追加壓時間已足，乃將壓力降低，並造成局部真空，則木中所含擠壓空氣逼出油質的大部分，僅餘少許的油粘附於細胞的壁膜上。用此法時，油質的浸透，入木甚深，而其吸收量較少，無多耗費。

勞立法 勞立用幾阿蘇油法，與律普靈法相似，惟於歷幾阿蘇油入桶之先，不將壓縮空氣送入耳。

氯化銻法 木材防腐用氯化銻法中，以柏涅特法（註）爲最良好。此法先將木材置入密封的桶中；次將空氣抽出，使氣壓降低至與 20 吋的水銀柱的壓力相當；復次，送入蒸汽，壓力約爲每方吋 25 磅，歷 4 小時；復次，將蒸汽抽去，再將氣壓降低；復次，灌入

註 峇格刺斯杉 Douglas fir

柏涅特 Bunett

卡德 Card

氯化鋅溶液，其溫度為 65°C ，而壓力為每方吋 135 磅。所需防腐液量，約為每立呎的木材用氯化鋅 $\frac{1}{2}$ 磅。需時約 10 小時。

其次為卡德（註）法，其步驟與伯特利法相似，係用 3% 至 5% 的氯化鋅溶液，和以 5% 至 20% 的幾阿蘇油。此兩種防腐劑，不能自行混和，故用壓氣機壓送，使其攪和均勻。

V 木材的選擇及檢查

§ 74 木材的選擇 當選擇木材以供某種用途時，應使所選的材料，最能適合所需。

構架用木材，應選擇價廉易得而能有大料者。有時須格外求其強固耐用。

埋於地中的木材，無論全部掩覆，或僅一部分入土，以及作樁的木材，選擇時應以耐用性為主，但有時亦不能不計及其價值。

用於水中的木材，無論全部淹沒，或僅一部入水，如在水底打樁，或造碼頭等用者，選擇時應以耐用性為主，尤當注意其抵抗水中虫類蝕蝕能力的大小。

用於顯露在外方的木料，應選擇易於刨削且無扭扳裂縫等病，並須求其能耐受氣候變化的影響者。

用於樓板，地板的木料，選擇時應以抵抗磨蝕之性為主，有時並須顧及其美觀。

用於室內裝修的木料，選擇時應注意於顏色，紋理，受刨削的程度，受磨光的程度等。

§ 75 木材的檢查 木材的檢查，在定全部的品質，與分件的尺度。其強固耐用的木材，具有下列的特點：(a) 強固耐用的木材，係取自生長緩慢的樹木，故其年輪薄而密。(b) 優良的木材，係取自樹木的中心，應不帶有邊材。(c) 木材的間隙中含有樹脂或樹液最少者，為最耐用。(d) 木材的形式須齊整，紋理須平正，且須無疵病。(e) 新鋸解的木材帶有甜香；當刨平時，見其鮮明整齊而有絲光

者必為良木。(f) 木材表面，應絕不起毛；當鋸解時，應無鋸齒為木屑塞住的現象。(g) 凡顏色頗深的木材在顏色轉為深暗時，常可知其堅固耐用。(h) 堅固的木材，在一端輕敲，或微抓時，置耳於他端，可聞清晰的聲音；雖在木材長至 50 呎者猶然。(i) 堅固的木材被擊時，發出清脆的聲音；而敗壞的木材，則發出滯鈍的聲音。(j) 木材具滯鈍似土的氣色，且發生可惡的臭味者，定非良材。(k) 木材的乾朽者，常可自外觀辨認，設或不見痕跡，可鑽孔以檢查木屑的形色與臭味而知之。(l) 木材的長度，寬度，厚度等，均應量定，以驗其尺度的適合與否。

章 9 純金屬

§ 76 鋁 鋁具錫白色，性軟，故能施輻，鍛，擊，旋展，拉牽等工作；其硬度及抗張強度可因而稍增，但其延性則減低。普通應用的鋁常含微量的銅，碲，錒，錳，鎳，鈦及鎳以增高其抗張強度，可與軟鋼相比擬；惟成分太多時，韌性變小，不甚適宜。

鋁富展性，可輻成 0.00025 吋的薄片，可牽為直徑 0.004 吋的線，又富於空氣腐蝕的抵抗力，又有抵抗化學腐蝕性如 CO , CO_2 , SO_2 , H_2S 及硫；但對於鹽酸，氫氟酸，氯，溴，碘及苛性鹼，易與其起化學作用；鋁面經切削後，在平常濕空氣中，其表面立刻氧化而成透明，此層始終緊附於其表面上，獲保護的功效。

鋁的用途，晚近日漸廣大，因其與其他金屬配合，其強度甚高而其比重仍輕，故在飛機，汽車等工業，甚為需要；且其有抗蝕性，無毒，傳熱率及傳電率均高，質輕尤為金屬中的特色；其在工業上可輻為鋁板，鋁片，鋁箔，建築材料，圓料，管子，模型，螺釘，鑄件，鍛件等。

鋁的密度為 2.71，熔點為 1214°F ，比熱為 0.247，膨脹係數為 0.0000133，熔解所需的熱量每磅約為 167.4 英熱量。

鑄鋁的抗張強度為 13500 磅/方吋至 15500 磅/方吋，滾輻後為 33500 磅/方吋至 67000 磅/方吋，彈性限度，鑄鋁為 6750 磅/方吋至 9000 磅/方吋，輻鋁為 33500 磅/方吋，彈性係數為 9800000 磅。

鋁的用途有：(1) 製造炊具器皿；(2) 製造管，板及模型；(3) 煉製輕合金的主要原料，供飛機，汽車製造之用，又為煉製青銅的原料；(4) 可製為電線；(5) 可作為熔焊劑；因鋁與氧化合時，發生極高的溫度，故鋁粉與氧化鐵的混合物，可煨接鐵板；當其着火後，鋁與氧化合，溫度增高，而遊離的鐵，被其熔化，可將其注入接合部。(6) 可作為煉鋼時的提氧劑，將鋁投入熔鋼內，可除去其中的氧化物，使鋼的質地優良。

我國鋁的產地，經發現者有山東的淄川，博山，成分不低，鐵量亦富。又浙江的平陽，福建的福鼎，安徽的廬江，四川的江北，亦富有製鋁的原料，惟尚未採煉耳。

§ 77 鎂 鎂具銀白色，性脆弱，市上所售者含有硫，鉛，銅，磷，鐵等雜質。

鎂的比重為 6.71，熔點為 1167°F，比熱為 0.0493，傳熱率及傳電率均極低，性因脆弱，易於粉碎，當其由液體凝固時，體積膨脹。

鎂的用途為煉製印字合金，承襯合金的原料，加入鉛中能增加鉛的硬度，故又為硬鉛的原料。

我國鎂的產量為世界各國冠，尤以湖南的新化，安化，益陽等地，儲量最富；餘如廣西的賓陽，南丹，河池等地，廣東的曲江，樂昌，貴州的銅仁，獨山，大塘等地，雲南的平彝，阿迷，峨山，文山，廣南等地，四川的寶興，浙江的淳安，遂安，開化，昌化，福建的龍巖，江西的星子等處，皆有鎂礦。湖南，廣東，廣西，雲南四省，業已開採，產量曾供給全世界總額過半。惟國內冶金事業，尚未發達，故開採後幾完全運銷國外耳。

§ 78 鋇 鋇具白色，比重為 9.8，熔點為 520°F，比熱為 0.0291，傳熱率及傳電率均極低，其主要用途為煉製印字合金及易熔合金的原料。

我國鋇的產地，有江西的大庾，安遠，贛縣，廣東的翁源，樂昌，河源，湖南的資興，郴縣，廣西的賓陽，南丹，福建的長樂，霞浦，河北的撫寧，遷安等處，其中已開採者有江西，廣東，廣西，湖南四省，按鋇礦與鎢礦共生，故上述各地，同時又為鎢的產地。

§ 79 鎢 鎢具白灰色，比重為 7.1，比熱為 0.106，熔點為 2940°F，硬度極高，有抗蝕性，及抗磨性；其主要用途為煉製鉻鋼，風鋼，高速鋼的原料；製造儀器如度量儀，速度表多用之；機械的運動部分如活塞針，重油機關的活塞桿，及儀器上的齒輪等材料，煉製

時皆含有鉻質，又可用以鍍於別種金屬的表面上，其效率功用較鎳為佳。

§ 80 鈷 鈷具鋼灰色，比重為 8.9，熔點為 2696°F ，比熱為 0.0988，其主要用途為煉製高速鋼，鈷合金鋼，及其他合金。

§ 81 銅 銅具赤色而微黃，因其煉製法的不同，種類甚多，比重亦異；如純結晶銅為 8.940，沉積電銅為 8.91，鑄銅為 8.89，輾鎚銅為 8.9 至 8.94，普通市上所售的銅為 8.2 至 8.5。

銅具展性及延性，經滾輾後其硬度增高，但一經爛火則行消失；其熔點為 1981°F ，比熱為 0.0915，傳電率甚高，除銀外為諸金屬冠，故為電業材料中最主要者；加熱至 600°F 則變軟，可用以鍍包於別種金屬的表面，又可施錫鍍及熔鍍。

銅的彈性係數為 17000000 磅/方吋至 18000000 磅/方吋，其抗張強度鎚擊者為 38400 磅/方吋，拉牽者為 45000 磅/方吋至 60000 磅/方吋，輾後爛火者為 32700 磅/方吋，特別固定螺釘，軋鍛者為 38400 磅/方吋，鑄者為 20000 磅/方吋至 30000 磅/方吋，伸長至 35% 至 38% 時，面積縮減數為 45% 至 50%，鑄時的收縮為每呎 0.1875 吋，抗壓強度鑄者為 40000 磅/方吋，在 700°F 時，抗張強度約為上述的半數。

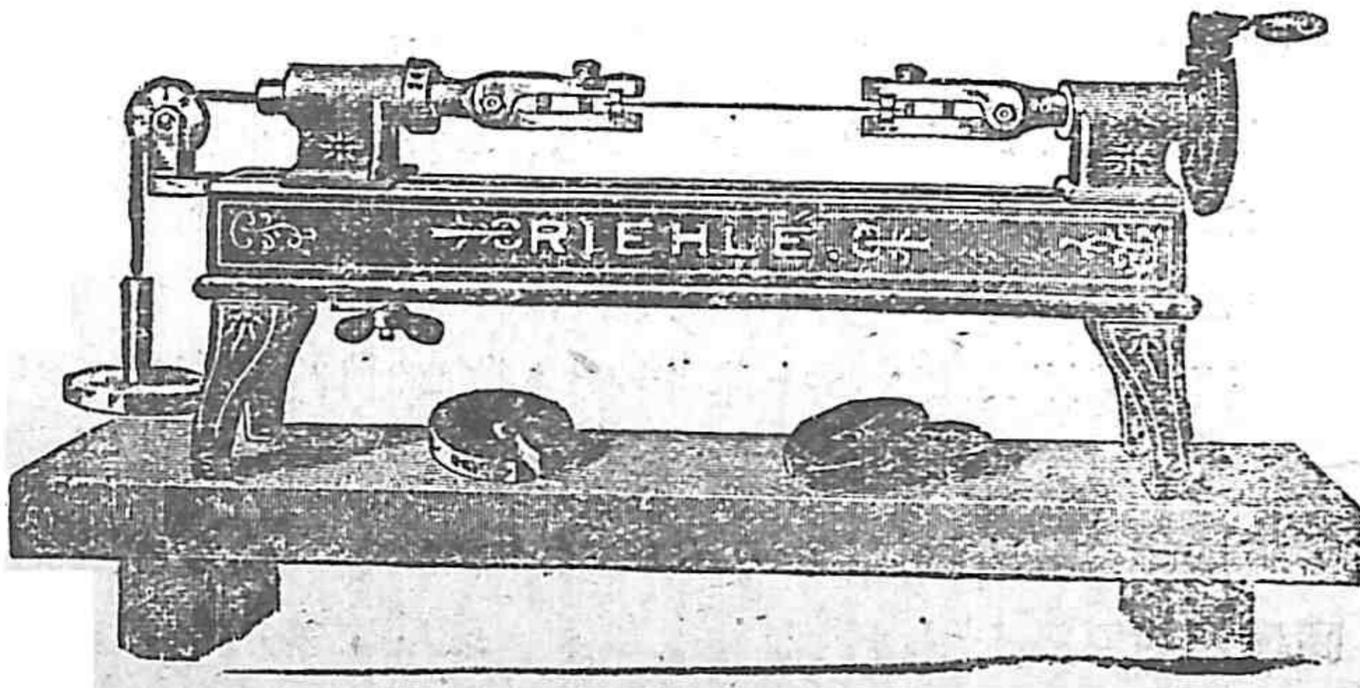


圖 32. 鐵絲扭轉試驗機。

銅的用途極廣，與鋅的合金稱爲黃銅，與錫的合金稱爲青銅，機件，承襯材料，軍器，日用品，模型，人像，電線，鍋爐管子等，多用其爲原料。現在工程上除鐵外，以銅爲最重要。（圖 32）。

銅鑛種類甚多，大別爲天然銅，氧化銅，硫化銅三種。我國開採雖早，然皆用土法，現老鑛就殘，新鑛未繼；較爲重要者有雲南的會澤，四川的彭縣，貴州的威寧，大定等地；至於銅鑛的分佈，極爲繁碎，重要產區爲四川，雲南，貴州；餘如福建，浙江，陝西，河南，湖北，新疆等省，亦有銅鑛。

§ 82. 鐵 鐵具灰白色，強度延性均高，在工程上的應用爲諸金屬冠。

市上售品，純鐵甚少，因工業上所用悉係鐵的合金，且因純鐵的製煉非常困難也。煉鋼鑄鐵係採用鼓風爐熔煉後的鐵塊；試驗用的純鐵含鐵約 99.84%，另含炭 0.01%，錳 0.025%，磷 0.005%，硫 0.005%，硫 0.025%，銅 0.05%，鎳 0.004%，錒 0.001%，氧 0.035%，共計 0.16%。

純鐵的比重爲 7.9，熔點爲 2795°F，比熱爲 0.101，膨脹係數爲 0.0000065；具有三種同質異相體，在 767°C 以下者爲 α 鐵，質軟有延性及磁性，與炭化鐵無化合力；在 767°C 以上至 900°C 者爲 β 鐵，質硬，性脆，無磁性，與炭化鐵亦無化合力；在 900°C 以上者爲 γ 鐵，質硬富延性無磁性，與炭化鐵可熔合爲均勻的組織。

純鐵的抗張強度爲 40000 磅/方吋，彈性限度爲 20000 磅/方吋，伸長爲 50%。

鐵的主要用途爲摻入他種原質如炭，鎳，釩，鎳，鉻，鎢，錳，鎂等以煉製有用的普通炭鋼及合金鋼，又可煉製生鐵麻鐵等。

我國鐵鑛的分佈甚廣，以湖北的漢陽，大冶，譚家磯，山西的陽泉，河南的新鄉，河北的景山等處較爲重要，業已設廠採煉；餘如江蘇的銅山，安徽的當塗，銅陵，湖北的靈鄉，鄂城，宜都，江西的九江，永新，瑞昌，河北的灤縣，井陘，臨榆，易縣，山東的益都，費

縣，河南的修武，武安，信陽，福建的安溪，莆田，建甌，浙江的長興，建德，淳安，瑞安，廣東的廉江，浮英，察哈爾的宣化，龍關，綏遠的固陽，武川，白雲，湖南的新化，安化，邵陽，寧鄉，茶陵，四川的碁江，榮經，山西的晉城，平定，盂縣，高平，長治，臨縣，陽曲，皆有鐵礦。即雲南，貴州，廣西，甘肅，新疆亦有少量的鐵礦。

§ 83 鉛 鉛具藍灰色，為普通金屬中之最軟者，具展性，延性，可軋為板，條，管子等，其抗張強度極低，不能拉牽為細線。

市上所售的鉛塊，含純鉛 99.933%，餘含銀 0.0015%，銅 0.0015%，銀銅 0.0025%，砷 0.0015%，錫 0.0095%，銻 0.0015%，鐵 0.002%，鉍 0.05%，有僅含銀，銅，鉍，銻者。

鉛的比重為 11.35，為普通金屬之最重者，對於酸性的抗蝕性極強，能溶解於硝酸中；與錫的合金稱為硬鉛；熔點為 622°F，比熱為 0.0302，硬度極低。

鉛的抗張強度為 1780 磅/方吋，此指軋及鑄者而言，硬鉛為 3130 磅/方吋，軟鉛為 2420 磅/方吋，彈性係數軋及鑄者為 700000 磅/方吋，鉛線為 1000000 磅/方吋，收縮每呎為 0.3125 吋。

鉛的主要用途為硬鉛，可作鎗彈的彈頭，其性重，故法碼中恒以鉛嵌入，性軟，故又可作為阻滯材料，又可製為蓄電池中的鉛極；與錫的合金稱為白鐵，銲接金屬時用之。

鉛恒與錒銅共產，我國鉛礦之最要者有湖南的水口山，次如四川的會理，雲南的會澤，巧家，河池，南丹亦有鉛礦。

§ 84 鎂 鎂具銀白色，質較鋁為輕，比重為 1.74，具展性，延性，可軋為片，牽為線，可鍛可銲。

鎂的熔點為 1204°F，比熱為 0.241，膨脹係數為 0.0000142，具有抗蝕性，惟對於稀酸液及鹽水易與其起作用；其抗張強度為 25000 磅/方吋至 28000 磅/方吋，伸長 4% 至 8%。

市上所售者含純鎂 99.97%，餘為砒，銅，鐵，鋁，及氮。加入

微量的鉛及錳於鎂中，所成的合金，其抗張強度可達 36000 磅/方吋，其特點與鋁同，質輕而强度高，又具光滑的承襯面；含鎂合金鑿在飛機發動機工程上，應用甚廣。鎂中加入鋁 10% 至 3%，錳 1% 至 3%，及微量的銅，矽，錳，可製為發動機的曲柄箱，機筒蓋，齒輪箱，活塞及輪子等；又可作為提氧劑。

§ 85 錳 錳具灰白色，質硬脆，稍具磁性，比重為 7.2，比熱為 0.107，熔點為 2300°F，在高溫度中易與氧化合，故可用以提去他金屬中的氧，作為提氧劑。

錳的主要用途為煉製錳鋼，錳鐵，青銅的原料。

我國中錳的產地，以江西的樂平，湖南的湘潭，廣東的欽縣，防城，廣西的武宣，桂平為最重要，次如河北的昌平，廣東的羅定，湖南的岳陽及常寧，湖北的大冶等處為次要，餘如湖南的攸縣，長沙，安仁，廣東的寶安，梅縣，惠陽，雲南的路南，湖北的陽新，江蘇的東海，山東的卽墨，浙江的諸暨，餘杭，昌化，平陽，泰順，臨海，杭縣，義烏，貴州的威寧，綏遠的豐鎮，福建的福清，蒲田等處，均有少量錳礦。業已開採者有江西的樂平，湖南的湘潭，廣東的欽縣，梅縣，廣西的武宣，桂平等處。

§ 86 鉍 鉍具黝銀色，性軟而韌，比重為 10.2，熔點為 4750°F，比熱為 0.065，其抗張強度較輕者約為 26000 磅/方吋。

鉍的主要用途為製藍琴管中的電極，白熱電燈中的支架，無綫電上的零件，及煉製鉍鋼及合金生鐵的原料。

我國鉍礦，因其常與鎢共生，故江西，廣東，湖南均有少量鉍質。江西，廣東已有開採者，餘如浙江的青田，諸暨，山東的泰安，福建的德化，永泰，寧德皆曾發現鉍質。

§ 87 鎳 鎳具白色，延性，展性均大，可製為片，牽為綫。上等鎳含純鎳自 99.2% 至 99.65%；餘含硫 0.035% 以下，炭 0.07% 以下，鐵 0.04% 至 0.45%。市中所售者含純鎳 88% 至 99%，餘為鐵，鋁，錫，矽，硫及炭。

鎳的比重為 8.9，熔點為 2646°F，比熱為 0.103，傳熱率及傳電率均極小，稍具磁性，惟超過 662°F 則消失。鎳中所含炭分若低則變脆，如加鎂或錳，能提氧去硫，延性亦可以增加。

鎳的彈性係數為 30000000 磅/方吋，抗張強度滾軋者為 70000 磅/方吋，伸長為 48%，面積縮減 70%，冷軋者抗張強度可達 140000 磅/方吋，鑄造者可達 65000 磅/方吋，伸長 25%，面積縮減 40%；鑄時的收縮為每呎 0.25 吋；熱軋或鍛須在 1100°C 至 1250°C，淬火須在 600°C 至 900°C。

鎳的用途甚廣：(1) 鎳鋼，鎳鉻鋼，鎳鉬鋼，含鎳 0.5% 至 5%，飛機，汽車，機關車的製造皆採用之；(2) 抗蝕鋼，含鎳 7% 至 35%；(3) 鐵鎳合金，非磁性材料，含鎳 10% 至 25%，低膨脹材料含鎳 35% 至 45%，製儀器及度量器中用之；磁性材料含鎳 45% 至 80%；(4) 鑄鎳鋼含鎳 1.5% 至 4%，機關車座，模子，農用攪車的鑰板等採用之；(5) 鎳鑄鐵含鎳 0.5% 至 3%，汽車的機筒，機筒套，活塞，活門，承襯套，工具刀，印刷機等多採用之，含鎳 10% 至 15% 者，用以鑄造電機；(6) 鎳銀合金含鎳 10% 至 30%；(7) 鋁基錫基壓鑄材料含鎳 0.5% 至 5%；(8) 鎳青銅含鎳 0.5% 至 5%；(9) 白銅含鎳 15%；(10) 耐熱合金含鎳 35% 至 80%；(11) 電用合金含鎳 25% 至 80%；(12) 莫奈爾合金 (註) 含鎳 70%，銅 30%；(13) 鎳幣含鎳 25%；(14) 滾軋鎳料製造日用器具，炊具，化學用器，蒸汽透平機的輪葉，管子，白熱電燈及無線電真空管多採用之。

我國現無鎳礦發現，不過四川西南部及雲南曾產白銅，因白銅為銅鎳合金，其間必含鎳質，山東歷城所產硫砷礦亦含有鎳，不過為量太少耳。

§ 88 錫 錫具銀白色，展性甚大，惟延性稍遜，可軋為極薄的箔；較鉛稍硬，加入微量的銅或鉛，其硬度及韌性增加，普通另含鉛

註 莫奈爾合金 Monel metal

，砷，鎘，鐵或鉍，故其光澤較暗。

錫的比重為 7.3，熔點為 449°F，比熱為 0.053，在常溫度中可輾擊為薄片，但在高溫度中，則其展性消失，至 392°F 後則變脆，以錘擊之即碎裂為粉，故溫度太高或太低，皆能使其變脆，在 360°F 以下，最為適宜，錫中加入 1% 至 2% 的銅或鉛，則其硬度韌性增加。

錫的抗張強度為 5000 磅/方吋 至 5700 磅/方吋，彈性係數為 5700000 磅/方吋，在 212°F 時延性最大，鑄錫的抗張強度為 3500 磅/方吋，抗壓強度為 6000 磅/方吋。

錫的用途：(1) 製造青銅，作合金的原料；(2) 鍍於鐵皮上以防生銹；(3) 製造器皿；(4) 製造錫箔等。

我國錫礦甚富，雲南的箇舊出產最多，次為廣西的富川，南丹，河池，賀縣，鐘山，湖南的江華，臨武，郴縣，江西的大庾，南康，餘如廣東的儋縣，電白，揭陽，赤溪，浙江的遂昌，永嘉，開化亦有錫礦。

§ 89 鈦 鈦具黯灰色，性硬而脆，惟在低溫及熱時，具有展性，可施鍛，比重為 4.5，熔點為 3300°F，比熱為 0.143，傳電率頗高。

鈦的主要用途為煉製合金鋼及合金生鐵。

§ 90 鎢 鎢具鋼灰色，質硬，比重甚大，約為 19.3，熔點為 6100°F，為諸金屬冠，比熱為 0.034，經高溫度製煉後，具有展性，可施滾軋，拉牽等工作。

鎢的彈性係數為 60000000 磅/方吋，抗張強度為 450000 磅/方吋 至 500000 磅/方吋，各種強酸及氫氧化鈉皆不能溶解之，惟與氫氟酸，硝酸的混合溶液起化學作用；市上所售者含鎢 98.5% 以上，餘為炭，鉍等。

鎢的主要用途為：(1) 煉製鎢鋼，風鋼，高速鋼；(2) 炭化鎢與鈷的合金可製電燈泡內的發火絲；(3) 製造標準砝碼；(4) 製造

測熱用的鎢鉍熱電偶。

我國主要鎢鎢產於江西，廣東，湖南三省的交界處。江西南部尤為重要，分佈於大庾，安遠，贛縣，會昌，南康，龍南，定南，雲都，上猶，崇義，遂川等處，亦為世界重要產鎢地。廣東產地有翁源，樂昌，河源，中山，從化，始興，梅縣，恩平，寶安，東莞，揭陽，五華，惠陽，紫金等處。湖南產地有資興，郴縣，臨武，酃縣，汝城，茶陵，江華，桂東等處。餘如廣西的賓陽，南丹，福建的長樂，霞浦，河北的撫寧，遷安，皆有少量鎢鎢。

§ 91 鈳 鈳具淡灰色，質硬，比重為 5.96，熔點為 3110°F ，比熱為 0.11，市上所售者皆含有鐵，砒，鋁，鎳等雜質，在空氣中不起化學作用，即溴水，鹼水，鹽酸，硫酸等皆不能將其溶解。

鈳加入鐵中能增加其硬度，且去鐵中的氧，其主要用途為煉製鈳鋼，鎳鈳鋼，鎳鈳鋼，高速鋼合金生鐵。

§ 92 鋅 鋅具淡藍色，其展性介乎鉛鐵之間。延性介乎銅錫之間。比重為 7.14，熔點為 787°F ，比熱為 0.092，各種強酸不能溶解之，惟與硝酸能起化學作用，抗蝕性極強。

鋅含鉛 2% 至 3% 者名為亞鉛(註)，其展性延性甚高，可軋為鋅板，鋅皮，惟含鉛太多時，不適用於煉製黃銅。

高級鋅用以煉製黃銅，牽引為綫，軋為薄片及製管原料，又可煉製錳青銅及電鍍電話電報綫，裝飾器具亦有用之者；中級鋅亦用以煉製黃銅青銅，惟此等銅不若前者之優，用於鑄造機件；低級鋅用以製造亞鉛。

鋅的抗張強度甚低，鑄品約為 2000 磅/方吋，軋品約為 24000 磅/方吋，抗壓強度鑄品約為 20000 磅/方吋，彈性係數約為 13700000 磅/方吋，伸長 12% 至 38%，面積縮減 23% 至 56%，在 140°F 至 300°F 間，展性延性加大，過 300°F 則脆性激增，能碎為粉狀，鑄時收縮為每呎 0.3125 吋。

鋅的主要用途為：(1) 鍍鐵板電綫鐵器等；(2) 製造黃銅，青

註 亞鉛：Spelter

金屬物理性質表

名稱	符號	比重	比熱	熔點°F	膨脹係數	傳電率	傳熱率	硬度
鋁	Al	2.70	0.2070	1220	0.1280	64.5	116.0	2.9
銻	Sb	6.71	0.0493	1167	0.0633	4.3	10.6	3.0
鉍	Bi	9.80	0.0291	520	0.0740	1.5	4.7	3.5
鉻	Cr	7.10	0.1060	2940	0.0460	65.0	—	9.0
鈷	Co	8.90	0.0988	2696	0.0680	17.0	—	5.5
銅	Cu	8.94	0.0915	1981	0.0923	100.0	222.0	3.0
鐵	Fe	7.90	0.1010	2795	0.0650	16.9	39.0	4.5
鉛	Pb	11.35	0.0302	622	0.1620	7.7	20.1	1.5
鎂	Mg	1.74	0.2410	1204	0.1420	37.9	92.0	2.0
錳	Mn	7.20	0.1070	2300	0.1300	34.0	—	5.0
鉬	Mo	10.20	0.0650	4750	0.0200	35.4	—	—
鎳	Ni	8.90	0.1030	2646	0.0712	25.0	34.4	3.5
錫	Sn	7.30	0.0530	449	0.1100	14.8	37.6	1.8
鈦	Ti	4.50	0.1430	3300	—	56.0	—	—
鎢	W	19.30	0.0340	6100	0.0200	30.8	—	6.5
釩	V	5.96	0.1100	3110	—	—	—	—
鋅	Zn	7.14	0.0920	787	0.1800	30.0	64.1	2.5
鎘	Cd	8.65	0.0548	610	0.1660	23.0	53.7	2.0
矽	Si	2.40	0.1740	2590	0.0390	0.002		7.0

此頁在頁一一七之前

銅，承攬合金；(3) 製管，鋅板，用於製造汽車的車身，屋頂蓋板等。

我國鋅礦貯藏不富，以四川的會理，雲南的羅平，浙江的諸暨等處最為重要。按鋅鉛銅常共產，故前之鉛鋅產地中亦有鋅礦，如湖南的水口山，鉛鋅產量均富。

§ 93 鎳 鎳具白色，微有藍彩，比重為 8.65，熔點為 610°F ，比熱為 0.0548，與錫銻常共存，其主要用途為製易熔合金及鎳白鐵，亦可鍍於別種金屬的表面上。

§ 94 鈷 鈷具銀白色，具延性及抗蝕性，故亦適用於鍍被他種金屬的表面上，其主要用途為煉製鋁合金，其實甚輕；鈷的鑄品具延性，無折裂之虞，故鑄造機件，尺度可小。

試驗所用的鈷含鈷約為 99.94%，惟市上所售純鈷較低，約為 92.42%，餘含鐵 4.24%，炭化鈷 0.41%，鋁 1.48%，鈣 0.02%，銨 0.04%，銻 0.05%，磷 0.025%，鈦 0.15%，硫 0.02%，及微量的銅。

鈷的比重為 2.4，熔點為 2590°F ，比熱為 0.174。

金屬物理性質表見右面。

上表的說明：(1) 比重係指在 68°F 時；(2) 比熱係指在通常室內的溫度；(3) 膨脹係數係用原數值的 10000 倍；(4) 傳電率以銅等於 100 為標準；(5) 傳熱率係指板厚一呎，溫度差 1°F ，在定限普通溫度由每方呎每時所傳熱量的英熱量數；(6) 硬度以金剛石等於 10 為標準，即按模斯氏硬度表。

章 10 鐵與鋼

I 熟鐵

§ 95 熟鐵 熟鐵為較純粹的鐵，以生鐵為原料，用攪拌爐熔煉，隨時以圓棒攪拌，使所含炭及矽，錳，硫，磷等雜質，經氧化變成鐵渣而去之。出爐之鐵，並非溶液，係成塊狀。此塊狀之鐵，再經擠壓擊錘以去剩餘的浮渣，然後滾軋，始成熟鐵；滾軋一次者名為單鍊鐵，滾軋二次者名為複鍊鐵，又有用球形爐以木炭鍊成者，名為木炭鐵。

熟鐵含炭量甚微，雜質亦少。木炭鐵含炭 0.05%，矽 0.037%，硫 0.006%，磷 0.012%，錳 0.108%，砷 0.007%，及微量的銅。比重為 7.7，熔點為 2800°F。

熟鐵的抗張強度約為 41600 磅/方吋至 43900 磅/方吋，彈性限度為 30900 磅/方吋至 27400 磅/方吋，抗剪強度為 4000 磅/方吋，其強度對於溫度頗有影響，極冷溫度可增加其彈性限度，但其抗張強度並不增加，自 0°F 起其抗張強度逐漸增加，至 400°F 及 600°F 為止，其值約為 8000 磅/方吋及 10000 磅/方吋，過此限度則漸減低，至 1500°F 僅得強度 6000 磅/方吋，抗壓強度亦弱，在 300°F 時為 108 磅/方吋，在 1500°F 時為 15 磅/方吋。

熟鐵的主要用途為：(1) 鍊製坩堝鋼；(2) 鍋爐固定螺釘，鉚釘；(3) 水管，蒸汽管，鍋爐管；(4) 普通機件；(5) 圓料及各種形狀的桁料，板等；其中鍋爐管以木炭鐵製造；螺釘以複鍊鐵製造；板，圓料，普通機件以單鍊鐵製造。

§ 96 商用純鐵 現在最通用的純鐵有兩種：一為錠鐵；所含雜質炭，錳，矽，硫，磷，總計 0.08%；二為電鐵，含雜質僅 0.05%。

錠鐵 錠鐵乃用鹼性平爐煉成，法與煉鋼相似，其雜質氧化成浮

渣後去之，並以鋁作為提氧劑。

錠鐵含炭 0.013%，錳 0.018%，磷 0.005%，硫 0.024%，砒量極微，含純鐵約 99.94%，比重為 7.86，熔點為 2768°F，傳熱率為 464 英熱量，具抗蝕性，剩磁性甚弱。

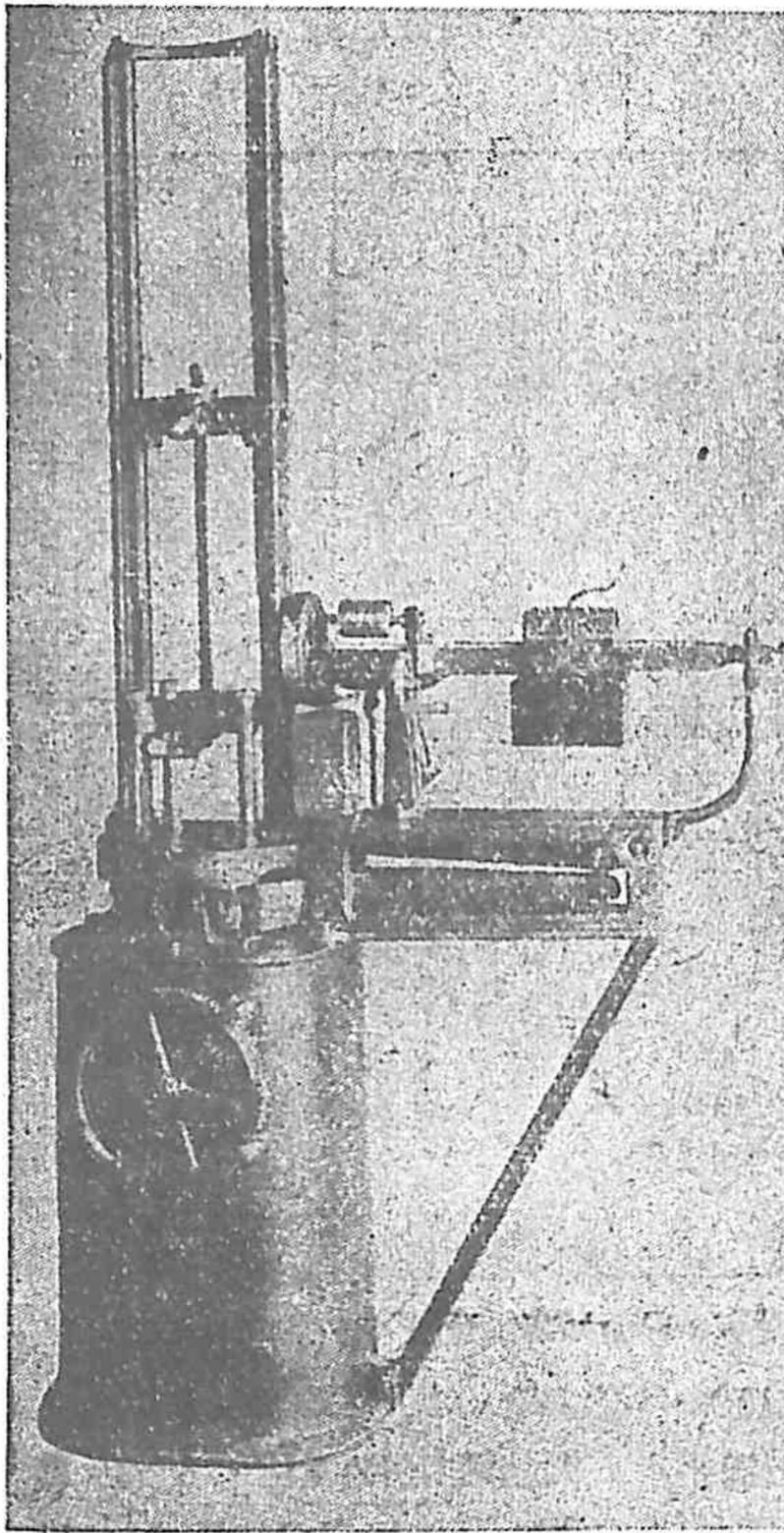


圖 33. 量至 10000 磅的鐵絲試驗機。

錠鐵的強度在 $\frac{5}{16}$ 吋厚的鐵板抗張強度為 44000 磅/方吋，屈服點為 27500 磅/方吋，伸長 23%，彈性係數為 29000000 磅/方吋。熱軋鐵板的抗張強度為 46000 磅/方吋，屈服點為 30000 磅/方吋，伸長 28%。

錠鐵的用途甚廣，軋成鐵板，可造水箱，油箱，鍋爐，集氣器；如鍍抗蝕金屬後，可作陰溝水管，水槽，屋頂蓋板，板牆，室內熱爐；鍍珐瑯質後，可製水箱，廚房傢俱，燈用器械等；又可製為管子鐵絲電鍍綫及煉製高級工具鋼。（圖 33）。

電鐵 電鐵乃以生鐵用硫溶液電解而得，含炭 0.006%，磷 0.005%，硫 0.004%，

砒 0.005%，銅 0.015%，含純鐵 99.965%。

完善燭火的電鐵，其抗張強度自 39550 磅/方吋至 42000 磅/方

吋，屈服點為 22400 磅/方吋至 23100 磅/方吋，伸長 28.5% 至 37.5%，面積縮減為 67.7% 至 74.5%，比重為 7.899。

電鐵因含純鐵最高，故純鐵的合金及特種工業品多應用之。此外又可製造無縫管子等。

II 鋼

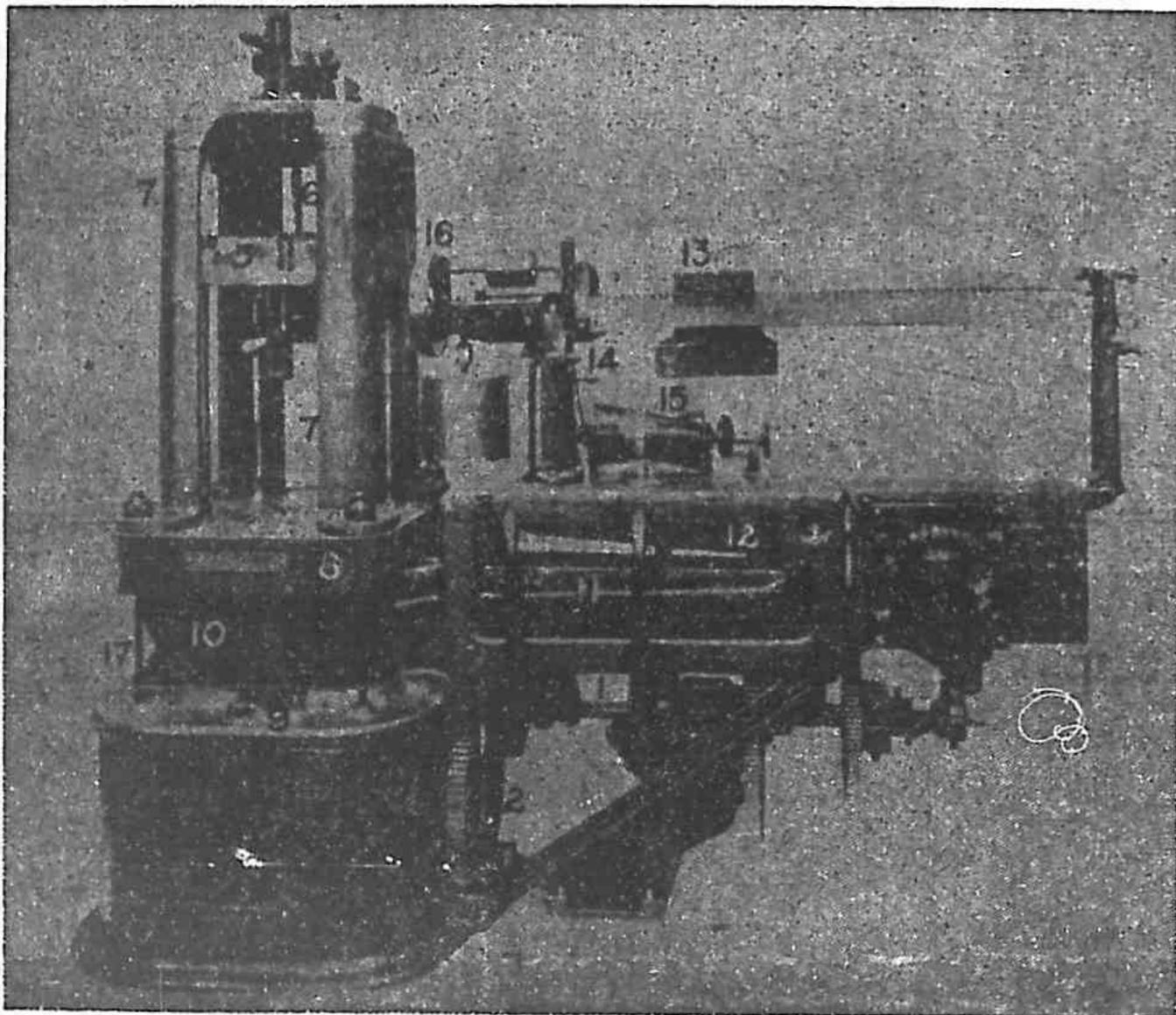


圖 34. 自動功能附有電機的材料試驗機。

圖中 1 為總軸，以齒輪裝置連於電動機者。2 為齒輪。3 及 4 均為卡子橫桿。

5 為牽引樣件的牽頭。6 為所試驗的樣件。7 為鑄鐵所製的支柱。8 為重台。9 為床板。10 及 11 為複式橫桿。12 為橫桿。13 為稱重的秤錘。14 為轉輪。15 為可變速度的錐形牽動裝置。16 為記錄數值的圓盤。17 為迴力墊。

§ 97 鋼的種類 鋼的種類甚多，隨其煉製法而異，普通有 (1) 坩堝製煉鋼，(2) 柏塞麥製煉鋼，(3) 平爐製煉鋼，(4) 電爐製

煉鋼等。

坩堝製煉鋼 坩堝製煉鋼為 1730 年英人翰慈曼（註）所發明，以熟鐵或粗煉的鋼料入石墨與粘土所製成的坩堝中而蓋閉之，不使燃料及火焰接觸，加熱至二小時至四小時後，注入砂模，即成坩堝鋼，其採用原料極佳，故鋼亦甚優良；坩堝中不含浮渣及任何氣體，鋼的成分可以預先配定，此為其兩特色；惟應用此法所費甚巨，除重要機械武器材料工具鋼合金鋼外，罕有採用此法者。

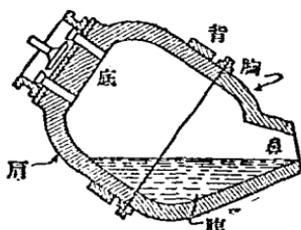


圖 35. 轉化爐的各部。

種不同煉法：一為酸性爐，爐內悉用酸性耐火材料，此法因不能將鐵中磷質除去，故所用原料以含磷極少者為宜；二為鹼性爐，乃 1878 年英人托馬（註）所發明，爐內改用白雲石為耐火材料，溶煉時又加石灰石，磷質可大部入浮渣而去，故可用含磷甚高的生鐵為原料。

平爐製煉鋼 平爐製煉鋼（圖 37 及 38）係 1865 年英人馬丁（註）兄弟利用法人西門（註）兄弟所發明的蓄熱室築成反射爐而發明者。所用原料為鐵屑，鐵塊，及破碎機器，其煉鋼的原理，在使含炭少的鐵屑與含炭多的生鐵造成一含炭適中的鋼料，除去雜質，亦賴火焰的氧化作用。平爐亦有酸性與鹼性兩種，採用原料酸性爐不可多用磷硫的生鐵鐵屑，鹼性爐則可用任何原料；現今此種煉鋼法每次出鋼自 15 噸至 120 噸，亦有出 300 噸者，需時自 6 小時至 12 小時；此法又稱西門馬丁煉鋼法。

註 翰慈曼 Huntsman
柏塞麥 Bessemer
托馬 Thomas

馬丁 Martin
西門 Siemens

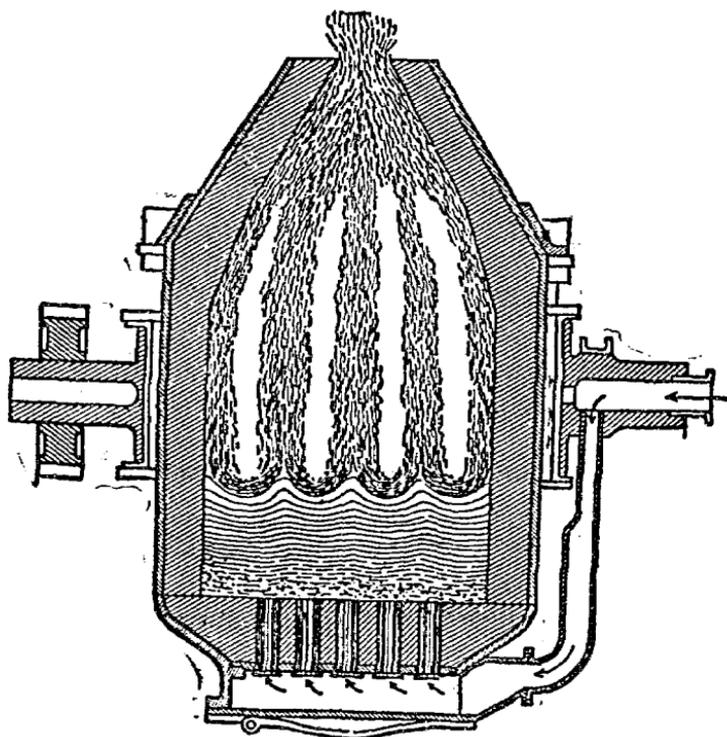


圖 36: 柏塞麥轉化爐的剖面

電爐製煉鋼 電爐製煉鋼係利用電熱以煉鋼，其煉爐有弧形爐，感應爐，及電阻爐三種，所用原料以鋼屑，電鐵，熟鐵，用鐵屑者亦有之。電爐煉鋼的特點為：鋼不與空氣煤氣焦炭接觸，最後去磷硫並不困難；溫度較高，且可保持一定，又可隨時停止或變化，加熱時鐵無變成氧化鐵之患，雜質可完全除去，故煉成的電鋼，含磷，硫，矽，極微。

電鋼的成分及物理性質表見頁 125 中。

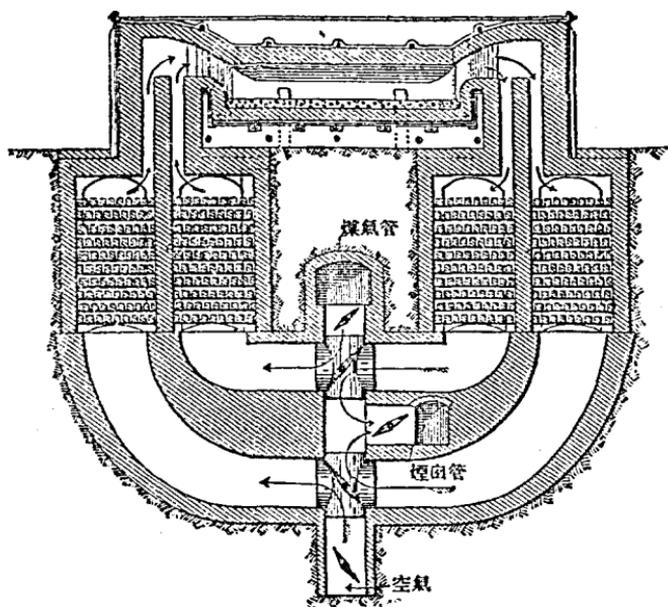


圖 37. 開爐的剖面。

§ 98 合金鋼 普通工程上應用的鋼，其主要成分為鐵與炭，其他含量極少，對於鋼的本身，影響甚微，此種鋼名為炭鋼，其物理性質的變化，全視炭分多寡而定；如在炭鋼中加入別種金屬，能使鋼的物理性質優良，是為合金鋼。僅含一種金屬者名為三元鋼，如鎳鋼，錳鋼，鎢鋼，鉬鋼，釩鋼，矽鋼，鈷鋼等。含二種金屬者為四元鋼，如鎳錳鋼，錳釩鋼，鎳鉬鋼，錳鉬鋼，鎢錳鋼等。含二種以上金屬者為多元鋼，如高速鋼，風鋼，馬雪脫鋼（註）等。合金鋼的製煉，大多用坩堝與電爐。

鋼中的炭及別種金屬成分的變化，頗有影響於鋼的性質，即硫磷等質太高後，亦有影響，今分述如次：

註 馬雪脫 Robert Mushet

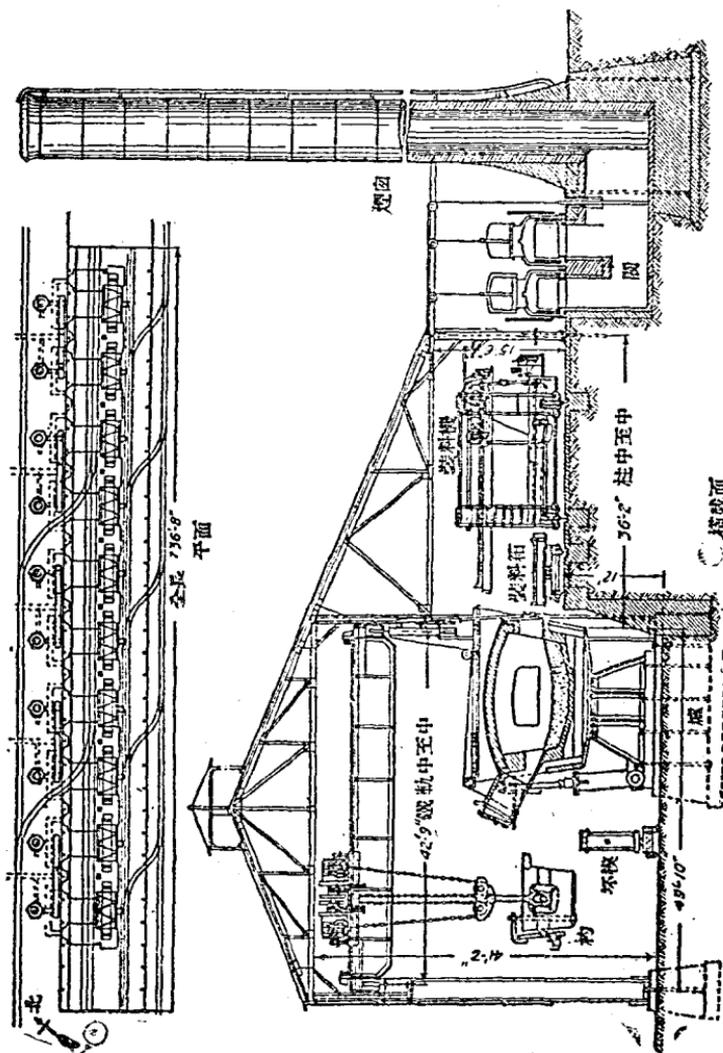


圖 38. 鋼爐調節的設備

電鋼的成分及物理性質表

成分的%數					抗張強度 磅/方吋	伸長率 %	面積 縮減 %	用途
炭	錳	磷	硫	矽				
0.13	0.54	極微	0.014	0.16	58000	30.0	65.6	角鋼
0.13	0.70	0.018	0.020	0.08	61000	31.0	62.3	角鋼
0.19	0.56	極微	0.010	0.13	66849	31.0	55.0	角鋼
0.22	0.90	0.010	0.017	0.25	82495	27.5	52.8	角鋼
0.25	0.88	極微	0.017	0.26	85339	23.5	49.1	I 形鋼桁
0.33	0.74	0.010	0.010	0.20	92450	19.0	42.0	機件
0.64	0.62	0.010	極微	0.47	122319	13.2	23.5	方塊
0.53	0.68	0.008	0.010	0.37	123000	12.8	30.3	鋼條
0.57	0.70	極微	0.008	0.40	127165	10.7	21.4	鋼條
0.72	0.42	0.020	0.010	0.34	138107	6.0	23.8	模子
0.82	0.48	0.006	0.010	0.25	141520	5.8	20.1	衝頭

表 鋼中的炭，與鐵結合成碳化鐵 (Fe_3C)，此碳化鐵與鐵混合而成鋼，炭分少時鋼內有多餘的鐵，故強度硬度較低，倘含炭量增加，其抗張強度與硬度俱隨之而高至 0.85% 時，鋼內盡係鐵與碳化鐵的混合物，成飽和狀態；鋼依含炭量的多寡，可分為極軟鋼 (0.1% 以下)，軟鋼 (0.25% 以下)，半硬鋼 (0.6% 以下)，硬鋼 (1.25% 以下)，極硬鋼 (1.25% 以上) 五種。又有將鋼分為低級，中級，高級者。茲將鋼的含炭量與其用途列表如次：

鋼的含炭量及用途表

含炭量, %	用途
0.05—0.10	鋼絲, 管子, 釘, 衝壓件
0.10—0.15	鉚釘, 螺釘, 部分加硬的機件
0.15—0.20	普通鍛件, 鉚釘, 螺釘
0.20—0.25	普通鍛件, 鍋爐板, 建築材料, 起重機架橋鋼桁
0.25—0.35	鍛件, 建築材料, 變速軸針, 齒輪, 活瓣
0.35—0.45	堅強鍛件, 軸, 輻
0.45—0.55	曲柄軸, 工作時受突然擔負的機件
0.60—0.70	鍛用模子, 固緊螺釘
0.70—0.80	鋼砧, 鋸片, 鑿, 鑿, 鋼鎚, 鉗口, 螺釘扳手, 斧
0.80—0.90	衝頭, 模子, 開山鑽, 鐵工的鑿子, 鋸條
0.90—1.00	彈簧, 鐵工用鋼鎚, 衝頭, 模子
1.00—1.10	彈簧, 工具刀, 螺公, 石鑿
1.10—1.20	鋼珠軸承圈, 螺公, 螺母, 鉸刀鑼刀, 鑽頭
1.20—1.30	銼刀
1.30—1.40	牽引模子, 切石工具, 切紙刀, 彫刻工具刀
1.40—1.50	牽線模子, 速冷生鐵切削工具
1.50—1.60	斷鋼用鋸條

硫 硫能使鋼易起紅折, 但鋼中含有多量的錳或銅則否; 又有害

鋼的可鍛性，使其延性無從表現，故其成分不得過 0.05%，高硫鋼含硫 0.1%，凡滾軋的鋼，硫分須低，否則軋時易起折裂。

磷 磷能使鋼變脆，在常溫中易起冷折，高炭鋼此種影響尤烈，磷成分增高至 0.1% 時，其抗張強度亦隨之增高，過此則減低；磷又害鋼的延性，故含磷較高的鋼，不宜受突然擔負及震動，建築材料所用的鋼，磷分最多不能過 0.06%，普通須在 0.05% 以下。

錳 柏塞麥鋼與馬丁鋼的煉製，常加錳質 0.3% 至 0.5%，因錳能與硫氧化合而成浮渣，使熔液潔淨，且能減低鋼的紅折性，通常其成分約為 0.8%，強度硬度亦賴之而增高，在高炭鋼此種影響尤烈，錳高至 2% 至 7% 時（指高炭鋼），使鋼變脆，但繼續增高，延性即漸恢復（錳鋼）。錳鋼約分三種：一為炭錳鋼；二為工具炭錳鋼；三為高錳鋼；前兩種同為炭錳鋼，不過成分稍有分別耳。

炭錳鋼含錳 1.6% 至 1.9%，含炭 0.3% 至 0.5% 者，可製為汽車的車軸，抗張強度為 110000 磅/方吋至 130000 磅/方吋，伸長 15% 至 45%；含炭 0.2% 至 0.5%，錳 1% 至 1.3% 者，其抗張強度稍次，施以加熱處理，可製造船舶的錨鏈及來福鎗的管，其抗張強度自 90000 磅/方吋增至 105000 磅/方吋，如經用水淬後復導熱至 650°C 至 700°C 時，其屈服點自 62000 磅/方吋至 85000 磅/方吋，如加鎳 3.5% 時，性質更優，稱為鎳錳鋼。

工具炭錳鋼含炭較高，並另含鉻鎢。其硬度，強度，耐磨性等均佳，另有含鉬者，性質更佳。

高錳鋼含炭 0.95% 至 1.15%，錳 10% 至 13%，矽 0.2% 至 0.4%，磷 0.1% 以下，硫 0.06% 以下，其抗張強度約為 100000 磅/方吋，彈性限度為 55000 磅/方吋，伸長 20%；有時另加鉻質，如加鉻 1%，其抵抗突然擔負性不稍遜，彈性限度可增至 85000 磅/方吋，惟伸長當鉻高過 0.5% 時，減低甚速；淬火時加熱至 1800°F，俟緩冷至 900°F 時，投入冷卻劑中。

錳鋼的主要用途為鉗口，抵抗磨耗的機件，碎石機的機件，鐵道

岔道口及轉彎處的條軌，車輪，挖泥機的杓齒等。

矽 矽在鋼中能防止氣眼的發生，但能增鋼的收縮度，故鑄鋼的矽分不得過 0.25%，增加至 0.4% 時，能增鋼的導磁性而減其頑磁性；過 6% 時，則其脆度與生鐵無異。

矽鋼 矽鋼可分六種：即 (1) 簡單矽鋼，(2) 矽錳鋼，(3) 矽鉻鋼，(4) 矽鎳鋼，(5) 矽鉍鋼，及 (6) 矽鎳鉍鋼。

矽鋼具有高導磁性低頑磁性，故適用於電機導磁材料如磁鐵的鐵心，變壓器等。

矽錳鋼 矽錳鋼頗能抵抗突然擔負，其主要用途為車用彈簧，齒輪，在汽車製造上採用頗多。

矽鉻鋼 矽鉻鋼為不銹鋼的一種。其配合成分有多種，用於易起銹蝕的器物，甚為相宜。

矽鎳鋼 矽鎳鋼的抗張強度為 262500 磅/方吋，伸長為 7%，此種鋼可製彈簧。

矽鉍鋼及矽鎳鉍鋼 矽鎳鉍鋼能受突然擔負，其抗張強度為 129000 磅/方吋至 312000 磅/方吋，屈服點為 92000 磅/方吋至 290000 磅/方吋，伸長 5.5% 至 23%，此係指油淬與常淬而言。

鎳 鎳能增高鋼的硬度，抗張強度，彈性比，惟延性則微低，抗蝕性亦稍遜，常與鉻並用於鋼中。

鎳鋼 鎳鋼分為四種：即 (1) 簡單鎳鋼，(2) 鎳鉻鋼，(3) 鎳鉍鋼，及 (4) 鎳矽鋼等。

簡單鎳鋼 簡單鎳鋼又分為普通與高鎳兩種：普通鎳鋼含鎳 1.5% 至 4.5%，而以 2% 至 3.75% 最為普通，含炭 0.2% 至 0.5%，普通為 0.3%。其主要用途為橋梁架構材料，鐵路轉彎處軌條，大噸材料，引擎鍛件，船舶推進軸，汽車引擎的零件及底座，汽車及鐵路車輛的車輪，鋼絲等。高鎳鋼含鎳總在 20% 以上，含鎳 25% 的鋼無脆性，可製液態空氣的容器，含鎳 30% 的鋼，宜於製船舶的鍋爐管，故又可牽為線，絞為索，應用於船舶中。其斷點強度為 198700

磅/方吋，伸長 6.25%，含錳 36.2%，鐵 63.8% 的鋼名為英萬鋼（註）為古拉梅（註）所發明，其膨脹係數極微，故亦可採用之以製標準度量器械，普通含錳 25% 至 35% 的鋼，內燃機的活門及軸針亦有採用者，其抗張強度自 85000 磅/方吋至 95000 磅/方吋，彈性限度為 35000 磅/方吋至 50000 磅/方吋，伸長為 30% 至 40%，不施加熱處理，但可燬火；含錳 35% 至 38% 的鋼即膨脹率甚小的鋼，其抗張強度約為 100000 磅/方吋至 115000 磅/方吋，彈性限度為 64000 磅/方吋至 78000 磅/方吋，伸長 35% 至 25%，含炭量約為 0.3% 至 0.5%，此外又有高錳鋼兩種：含錳 46% 與 57%，前者用於電燈的固封材料，後者用於鋼用螺公，鐘擺的補償條，時計的均勢輪等。

鎳鉻鋼 鎳鉻鋼即在炭鋼中含鎳高至 1.5%，鎳高至 4%，能增加鋼的延性，堅性，鉻加入後使抗張強度硬度亦增，惟鎳與鉻在鋼中的成分須有一定耳。

鎳錳鋼 鎳錳鋼含炭 0.2% 至 0.3%，錳 3.48% 至 5.01%，0.51% 至 0.62%，錳 0.29% 至 0.4%，有時含矽 0.2%，淬火時加熱至 800°C 至 850°C，可水淬及油淬。又可常淬，其抗張強度隨所用冷卻劑與導熱溫度而異，如水淬導熱至 315°C 度，其抗張強度為 208500 磅/方吋，彈性限度為 20000 磅/方吋，伸長為 12.5%；若在鎳鋼中能增其延性，同時不減其抗張強度，故抗張強度與彈性限度相差甚微，此種鋼適用於曲柄軸及軸針，及普通重要機件的製造。

鎳 鎳能增加鋼的彈性比，硬度，抗張強度，常與錳或乳並用於鋼中。

鎳鋼 鎳鋼約分為：(1) 簡單鎳鋼，(2) 鎳錳鋼，(3) 鎳鉻鋼，及(4) 鎳鎳鋼，四種，

簡單鎳鋼可分四種：(a) 第一類含鎳 1% 以下，此種以含炭

的多寡分高炭，中炭及低炭三種。低炭鉻鋼適用於部分加硬，中炭鉻鋼適用於架構材料，但經加熱處理後，亦可製造別種機件，如小齒輪，螺釘，扳手的製造。高炭鉻鋼宜製工具刀。(b) 第二類鉻鋼適用於製造鋼珠軸承襯，汽車上齒輪亦有採用者，如不施加硬，可製軍用甲冑，戎衣及保險箱保險庫的材料。(c) 第三類鉻鋼供製永久磁鐵，含炭 0.75% 至 1.05%，含鉻炭較高者宜油淬，低者可水淬。(d) 第四類鉻鋼亦稱不銹鋼，含炭較低，含鉻至少 10%，因其應用頗廣，故種類亦多，且有時含鎳或鈾。

鉻鎳鋼 鉻鎳鋼即在炭鋼中含鎳高至 1.5% 鎳高至 4%，能增加鋼的延性韌性，鉻加入後使抗張強度硬度亦增，惟鉻與鎳在鋼中的成分，須有一定的比例，普通為 1:2.5，依其成分的多寡分為低鉻鎳鋼，中鉻鎳鋼，高鉻鎳鋼，及特別鉻鎳鋼四種：低鉻鎳鋼含鉻 0.5%，鎳 1.5%，用於架構材料，如施加熱處理，亦可製重要機件。汽車的輻，齒輪，及鍛用機件多採用之，其強度無一定。高鉻鎳鋼含炭 0.2% 至 0.45%，鉻 1.25% 至 1.75%，鎳 3.25% 至 3.75%，錳 0.3% 至 0.6%，硫磷各在 0.04% 以下，可施炭化，油淬等。此種鋼亦應用於汽車工業上，與低鉻鎳鋼相同，不過高鉻鎳鋼性質較優。中鉻鎳鋼的成分介乎高低兩種之間，含炭 0.1% 至 0.45%，鉻 0.75% 至 1.25%，鎳 1.5% 至 3.25%，錳 0.3% 至 0.6%，硫磷各在 0.04% 以下，可施炭化，油淬等。用途與前兩種同，不過性質較優於低鉻鎳鋼而次於高鉻鎳鋼。特別鉻鎳鋼含炭 0.1% 至 0.425%，鉻 0.18% 至 2.33%，鎳 0.88% 至 5.19%，鈾 0.08% 至 1.27%，錳 0.22% 至 0.7%，磷 0.018% 以下，硫 0.057% 以下，加熱處理隨各種需要而定，可燻火，水淬，油淬，常淬等。此種鉻鎳鋼，用途甚廣，可製內燃機曲柄軸，汽車用齒輪，鍛用機件及受突然擔負的機件，軍艦甲板戰身及別種軍械。

鉻鈾鋼及鉻錳鋼 鉻鈾鋼含鉻 1% 左右，鉻錳鋼多用於汽車飛機引擎機件。

鈦 鈦在冶金上為優良的提氫劑，惟因價值昂貴，應用太不經濟。其在鋼中能改善鋼的物理性質，常與鉻或錳合用於鋼中。

鈦鋼 鈦鋼可分為三種：一為含鈦 0.25% 以下；二為含鈦 0.3% 至 0.6%。名為鈦鉻鋼。三為含鈦 0.5% 至 2%，屬於高速鋼。

含鈦 0.25% 以下的鈦鋼，又分三類：第一類為炭鈦鋼，用於架橋材料及機件，含鈦 0.15% 至 0.25%，此種鋼易於鍛鍊，惟加熱須緩；普通軟鋼中亦可加入鈦質以改善其性質，含鈦約 0.27% 左右；高炭鋼中加入鈦質，其影響與軟鋼同，含鈦約 0.14% 至 1.1%，另含鉻 0.07% 至 0.45%；炭鈦鋼的主要用途為橋梁機械的架橋材料，尤宜製造機車的車架。

第二類為鈦鉻鋼，含鉻 1% 左右，此外尚含炭，錳，鈦等。此種鈦鉻鋼的主要用途為製造連桿，齒輪，抗扭螺釘，車輪，鎗管，車上彈簧，引擎零件等。

第三類為含適量的別種元素如錳，鉻，鎳，鉬等。含錳者名為鈦錳鋼，適用於製造汽車重要部份的機件；鈦鋼含炭 0.3%，錳 0.52%，鈦 0.21%，此種鋼性質甚佳，能受突然擔負與交變磨負，其餘在工業上尚未見應用。

鈷 鈷能增加鋼的硬度，常與錳合用於鋼中，以鍊製高速鋼，惟鈷的產量少而價值昂，冶鍊手續困難，故應用不廣。

鈷鋼 鈷鋼約分為炭鈷鋼，鈷鉻鋼，鈷錳鋼，鈷鉻錳鋼，鈷鉻錳鋼，鈷鈦鋼，鈷錳鈦鋼等。

鈷的增進鋼的物理性質，三倍於錳，能抵抗突然擔負及磨耗，且具堅性；炭鈷鋼可展為板皮，鈷錳鋼可施部分加硬。

炭鈷鋼可製槌鑿斧鑿等，含炭 0.5% 至 1.72%，鈷 3.4% 至 3.9% 的鈷鋼，富有頑磁性，可作永久磁鐵，工具刀，鎗鐵，軍器；鈷錳鋼可製為坦克車的鋼板，鈷鉻錳鋼及鈷錳鋼在飛機汽車引擎機件中，頗多採用。

鎳 鎳能增加鋼的硬度，與鈷的作用相似，其主要用途為煉製高

速鋼，在高碳鋼中，鎢能增加鋼的頑磁性，故可作永久磁鐵。

鎢鋼 鎢鋼可分為五種：即（1）簡單鎢鋼，（2）磁性鎢鋼，（3）模子鋼，（4）熱作鋼，及（5）高速鋼。

簡單鎢鋼 簡單鎢鋼又分三種：一為含鎢 1% 以下，供普通應用如架構材料彈簧等；又可用作鍊工具炭錳鋼的原料；二為含鎢 1% 至 2.5%，為特別工具鋼。汽車引擎的活門，亦可採用此種鎢鋼；三為含鎢 2.5% 至 7%，亦為工具鋼。

磁性鎢鋼 磁性鎢鋼含鎢 5% 至 6%，炭 0.65% 至 0.75%，鉻 0.2%，可水淬及油淬。

模子鋼 模子鋼含炭較高，含鎢 1% 以上，此種模子鋼限於冷牽模子。

熱作鎢鋼 熱作鎢鋼亦可用於打擊的機件，即鎢鉻錳鋼或鎢鉻鋼，其耐熱性，堅性，硬度甚高。

高速鋼屬於鎢鉻鋼。

鋁 鋼中含微量的鋁，可增其流動性，且有提氧作用，減少鋼中的氧化物及氣眼的發生，但易使之成管狀收縮，超過 0.85% 時，能減低鋼的堅性。

鈦 鈦在鋼中能去鋼中的氮及氧，使成浮渣， TiO_2 ，通常在鍊鋼時加鈦 0.1%。

銅 含硫甚高的鋼中若加入銅質，能使鋼發生紅折，但含硫低者為害較少，銅又能增加鋼的抗蝕性，高至 1% 時，能增加鋼的抗張強度，屈服點及硬度，且其展性不稍減低。

鈷 鈷能增加鋼的抗張強度，減低伸長，與炭結合成炭結 Co_3C ，鋼中含有炭結，其硬度甚強，延性亦佳，可作為工具鋼，鈷常與別種金屬合用於鋼中，鈷成分高者能增加鋼的頑磁性。

氧 氧於鋼為害最烈，常使發生紅折及冷折。極佳的鋼，含氧雖極微，其鋼的性質即變劣，如含量較多，鍛鑄時易於折裂，冷卻時具

脆性，一遇衝擊，即行破碎。

氮 氮能使鋼變脆。柏塞麥鋼通常含氮 0.015% 至 0.03%，馬丁鋼含氮 0.001% 至 0.008%。

III 建築鋼材的軋製

§ 99 建築鋼材的軋製 鋼坯的化學成分既已煉至合於需要，其次為軋成各種形式以適用於建築之用。其方法為將鋼坯通過軋筒軋壓之。

用兩個軋筒為一組，稱為雙筒軋機；用三個為一組，稱為三筒軋機。因一片的鋼須數次通過同一軋機，故用雙筒軋機，則於鋼料一次軋過後，須將軋機轉向或將鋼料倒置；而用三筒軋機則可省此手續，因鋼料可迴轉往來連續不斷也。

初步軋壓 鋼坯在軋壓前，須先置於爐中加熱，此爐名為吸熱爐；然後使其通過軋機施以高壓滾軋。經過軋壓後，鋼料的厚度減小，寬度略加，而長度則大增。如欲軋成鋼板，則先使軋成扁片；如欲軋成各式成形狀，則須兩面交換軋壓，先使其橫截面約成方形，並適宜於續軋成形鋼的尺度。此種手續稱為初步軋壓，其軋機即稱為初步軋機。

粗形軋壓與最後軋壓 其次為將經過初步軋壓的鋼料施以粗形軋壓，所用軋機的各筒間有空隙模形，並係逐漸縮小改正，故當鋼料逐一通過後，即漸漸壓成需要的形式。然後再施以最後軋壓，使完全成為需要的形式。

§ 100 鋼件的截面種類 建築鋼的種類以截面的形式分之：(a) 如截面成 I 形者名為 I 形鋼，(b) 如截面成 Z 形者名為 Z 形鋼，(c) 如截面成 T 形者名為 T 形鋼，(d) 如截面成 H 形者名為 H 形鋼，(e) 如截面成槽形者名為槽形鋼，(f) 如截面成角形者名為角形鋼，(g) 如截面為圓形或方形者名為鋼條，(h) 如截面為扁形者名為扁形鋼，(i) 如截面為扁形而寬度在 6 吋以上者名為板形鋼或

鋼板。以上各種建築鋼普通以成形鋼及板為區分。

標準截面 普通使用的各式成形建築鋼，均採用一定的標準，故此種標準成形鋼不論為何家鋼廠出品，其尺度與重量均完全相同。在設計應用時，祇須規定截面，毋須說明誰家的出品。

特殊截面 多數鋼廠每於製造標準截面成形鋼之外，另製各種特殊截面。內有若干種已與標準者同樣通行，然在應用時寧仍說明其製造廠，以免混淆。鋼廠所刊行的手冊中，每註明何者為標準，何者為特殊，設計時普通應採用標準截面。

§ 101 I 形鋼 今舉三種 I 形鋼如次：(a) 標準截面，(b) 卡內歧（註）截面，(c) 培斯利恩（註）截面。

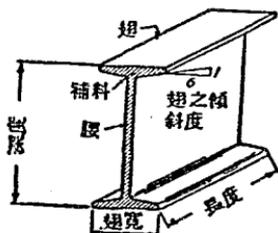


圖 39. 標準 I 形鋼的各部。

標準截面 I 形鋼的記號為 I，其各部如圖 39 所示，其類別以深度及每呎長的重量表示之；例如 12" I 31 $\frac{1}{2}$ [#]，即指深 12 吋，每呎重 31 $\frac{1}{2}$ 磅的 I 形鋼。其標準深度分為 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 20, 24 吋；每種深度又各分為若干種標準重量。多數廠家並製有若

若干種特殊重量者，如：(1) 深 12" 每呎重 40 至 55[#]，(2) 深 15" 每呎重 60 至 80[#]，(3) 深 15" 每呎重 80 至 100[#]，(4) 深 20" 每呎重 80 至 100[#]。

卡內歧截面 卡內歧製鋼公司加製若干種尺度的特殊 I 形鋼，其式樣與標準者相似，如：(1) 深 24" 每呎重 105 至 110[#]，(2) 深 18" 每呎重 75 至 100[#] 等。

該公司並製有若干種深度較輕的特殊 I 形鋼，如：(1) 10" I 22[#]，(2) 12" I 27 $\frac{1}{2}$ [#]，(3) 15" I 36[#]，(4) 18" I 46[#]，(5) 21" I 57 $\frac{1}{2}$ [#]，(6) 24" I 69 $\frac{1}{2}$ [#]，(7) 27" I 83[#] 等。

培斯利恩截面 培斯利恩製鋼公司製有一組特殊 I 形鋼，其深度

註。卡內歧 Carnegie

培斯利恩 Bethlehem

自 8 吋至 30 吋。此項 I 形鋼每種深度的最小重量，較同樣深度標準 I 形鋼的最小重量約輕百分之 10。其截面設計係使其最小截面的理論強度，仍與標準者相近；其方法為多用鋼於翅部而少用鋼於腰部。圖 40 表示培斯利恩 15" I 38# 的各部尺度。該公司並製有一組用作梁材的 I 形鋼，其深度亦自 8 吋至 30 吋。此項梁用 I 形鋼較重於標準 I 形鋼及該公司的特殊 I 形鋼，且其翅亦較寬，圖 41 表示該公司 15" × 73# 梁用 I 形鋼。

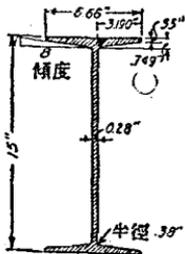


圖 40. 特殊形鋼。

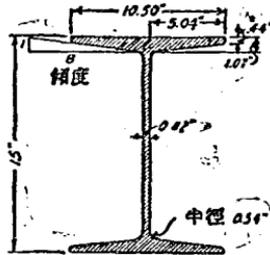


圖 41. 梁用 I 形鋼。

最小截面 學者須注意在鋼廠手冊中，凡同深的 I 形鋼，均列在一類。蓋同深的 I 形鋼，在製造時係出自同一軋機。其最小截面（亦即最小重量）I 形鋼的製造方法，係將軋機配緊，即使軋筒間留最小空模而施軋壓，如欲得較重者，祇須將軋筒間的空模放寬。如是則深度不變，而腰部加厚翅部加寬，截面放大而重量自增矣。因其出自一機，故屬同類。

特點及用途 學者但觀察 I 形鋼截面的形式，即可知此種成形鋼祇宜於一面受力。蓋設計此項形式的本意，僅欲使其能承受與腰在同一平面內的荷重而抵抗所生的彎曲，故其用途專限於作梁梁之材。雖間有用於樁各柱者，但究為少數。凡用 I 形鋼作柱材必須與他種成形鋼構合使能各面受力，始為經濟；惟如遇特殊情形為地位所限時，亦有不能顧及經濟問題，而單獨用作柱材者。

房屋架工中所用 I 形鋼，其深度鮮有在 6 吋以下者。在多數工

程內並以 8 吋為最小限度。

標準 I 形鋼祇須以深度，記號 I，及每呎長的重量表示之；例如 15" I 42#。同樣，培斯利恩 I 形鋼以 BI，或單一 B 字作記號；培斯利恩採用 I 形鋼以 BG, GB, GI，或單一 G 字作記號，故 15" BI 38# 同於 15" B 38#，指深 15 吋，每呎重 38# 的培斯利恩 I 形鋼；15" BG 73#，15" GB 73#，15" GI 73#，15" G 73# 同指深 15 吋，每呎重 73 磅的培斯利恩採用 I 形鋼。

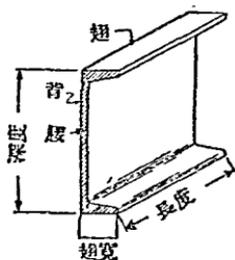


圖 42. 槽形鋼的各部。

§ 120 槽形鋼 標準截面及特殊截面槽形鋼的記號為 C，其各部如圖 42 所示，其類別以深度及每呎長的重量表示之，例如 15" C 33#，即指深 15 吋，每呎重 33 磅的槽形鋼。其標準深度分為 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15 吋；每種深度又各分為若干標準重量。卡姆昂利亞製鋼公司

並製有一類深 18 吋的槽形鋼，其每呎長的重量自 45 磅起至 60 磅止。同類槽形鋼的加重方法同於 I 形鋼。

特點及用途 槽形鋼與 I 形鋼相似，祇宜於一面受力，故亦適用作梁材，即荷重須與腹在同一平面內者。但不如 I 形鋼的經濟，因用時必須多設置旁支點以防其彎折；故除在特殊情形下，如樓井，側牆等處，及作門窗的楣外，每不用作梁材。

槽形鋼的主要用途為用於構合柱及構架各肢中。用時每將槽形鋼兩兩對置而以綴條，繫板；或蓋板聯結之。又在作索翅及特種情形下，為用亦廣。

§ 103 角形鋼 標準截面及特殊截面 角形鋼的記號為 L，其形式如圖 43 所示，分為等股與不等股兩種。其類別以股的長度及厚度，或以股的長度及每呎長的重量表示之，例如：L 4"×4"× $\frac{5}{16}$ " 或 L 4"×4"×15.7#，L 6"×3 $\frac{1}{2}$ "× $\frac{3}{8}$ " 或 L 6"×3 $\frac{1}{2}$ "×1.17# 等。

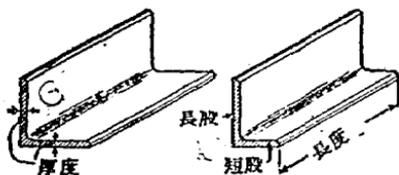


圖 43. 角鋼的各部。

等股角形鋼的標準尺度有 $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3, $3\frac{1}{2}$, 4, 6, 8 吋；其特殊尺度亦有若干種，最重要者為 5 吋。在建築上 $1\frac{1}{2}$ 吋的角形鋼應用絕少。

不等股角形鋼標準尺度有

$2\frac{1}{2}'' \times 2''$, $3'' \times 2\frac{1}{2}''$, $3\frac{1}{2}'' \times 3''$, $4'' \times 3''$, $5'' \times 3''$, $5'' \times 3\frac{1}{2}''$, $6'' \times 3\frac{1}{2}''$, $6'' \times 4''$ 。其特殊尺度的重要而通行者為 $3'' \times 2''$, $7'' \times 3\frac{1}{2}''$, $8'' \times 6''$ 。

每類角形鋼均有若干種厚度，其厚度的差變為 $\frac{1}{16}''$ 。最小角形鋼的厚度，雖亦有少於 $\frac{1}{2}''$ 者，但供建築用者應以此數為最小厚度。在重要工程中，並應以 $\frac{3}{8}''$ 為最小厚度。每類角形鋼的最大最小厚度，鋼廠手冊中均詳細載明。

角形鋼的放大（亦即加重）亦係用放寬襠筒間的空模方法。可見因厚度的增加，其股長亦隨有增加。有若干廠家對於大號角形鋼的放大，每多設備一種軋機，因增加重量而連帶增加的股長，有時以建築地位關係，必須計及。

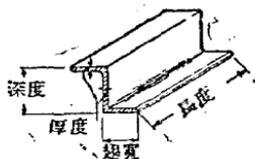


圖 44. Z 形鋼的各部。

§ 104 Z 形鋼 標準截面 Z 形鋼的記號為 Z，其形式如圖 44 所示，其類別以深度及厚度表示之，例如 Z $3'' \times \frac{1}{2}''$ 。卡內岐製鋼公司列表的深度為 3, 4, 5, 6 吋；厚

度的差變為 $\frac{1}{16}''$ ，其最小最大厚度如次：

- 3'' Z 最小厚度為 $\frac{1}{4}''$ 最大厚度為 $\frac{5}{16}''$,
- 4'' Z 最小厚度為 $\frac{1}{2}''$ 最大厚度為 $\frac{3}{8}''$,
- 5'' Z 最小厚度為 $\frac{5}{16}''$ 最大厚度為 $\frac{11}{16}''$,
- 6'' Z 最小厚度為 $\frac{3}{8}''$ 最大厚度為 $\frac{7}{8}''$,

Z 形鋼的放大，亦係用放寬襠筒空模方法。其放大結果，腰部與翅部同樣增厚，故腰深與翅寬所增的數值相同。因同一深度 Z 形鋼在變更厚度中經三次另具軋機軋壓，故其溢出的深度與寬度，在 3'' Z

僅為 $\frac{1}{16}$ ”，而較大者亦祇 $\frac{1}{8}$ ”。

用途 Z 形鋼普通用作柱材，惟已旋即不用。故除因特殊原因必須採用外，不宜用之。

§ 105 T 形鋼 標準截面 T 形鋼的記號為 T；其截面如圖 45 所示；其類別以翅的寬度，軀的深度，及每呎長的重量表示之，例如 T 4"×3"×9.3# 及 T 3"×4"×9.3#，先寫翅寬，次寫軀深，又次為每呎長的重量。若干新出板的鋼廠手冊，有不列 T 形鋼者。通用的 T 形鋼自 1"×1"×1.0# 起至 5"×3"×13.6# 止，介乎兩者之間有五十種以上的不同尺度。卡內歧製鋼公司的手冊中列載甚詳。

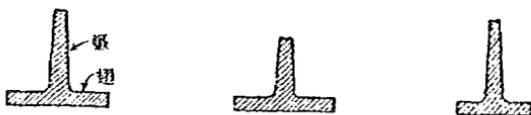


圖 45. T 形鋼的標準截面。

特點與用途 因 T 形鋼已漸不甚習用，致需要日減而漸難購得於市。蓋以此種形式供建築上普通之用，殊不經濟，因既不適宜於用作梁材或撐條，亦不適用於各橋合肢中也。惟如用以支架鋪屋頂的空心磚，則甚為適宜。

T 形鋼可以兩枚角形鋼彼此背置拼合而成，此種拼合方法可做成多數不同的 T 形鋼。

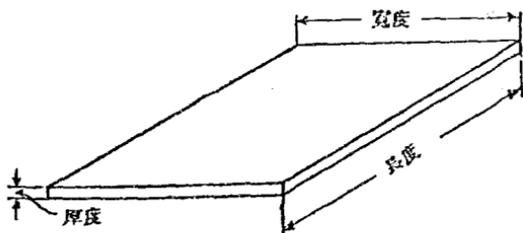


圖 46: 板形鋼的各部。

§ 106 板形鋼 標準尺度 板形鋼的記號為 Pl，其形式如圖 46 所示。其類別以寬度及厚度表示之，例如 Pl 48" × $\frac{7}{16}$ "；或以寬度及每方呎的重量表示之，例如 Pl 36" × 10.2。前一種表示法用於普通鋼建築設計圖中，後一種表示法用於工廠方面或鋼橋設計圖中。

板形鋼的厚度自 $\frac{3}{16}$ " 起至 2" 止，其差變為 $\frac{1}{16}$ "。薄於 $\frac{3}{16}$ " 者稱頁鋼，為建築上所不用。建築上所用的最小厚度為 $\frac{1}{4}$ "，多數工程並以 $\frac{3}{8}$ " 為限。厚度在 1" 以上者亦甚鮮用，因其不易鑿穿孔也；如必須用至 1" 以上，可改用兩板疊置或若干板疊置。

式樣 板形鋼的式樣計有兩種：(1) 普軋機板或稱有邊板，(2) 剪板。

普軋機板的寬度，在軋壓時已受限制。其軋壓方法為添設一對直立軋筒於平置軋機之旁。此種板的寬度自 4" 起至 48" 止，其差變為 2"；在 4" 以下者則有自 1" 起至 4"，其差變為 $\frac{1}{2}$ "。厚度最小為 $\frac{1}{4}$ "；各種需要厚度均易得到，其差變為 $\frac{1}{16}$ "。

剪板的寬度，係於軋就後照需要剪成。廠家所備現貨的寬度自 24" 起至 132" 止，其差變為 6"。然在此範圍內，任何寬度均能供給，並可使與需要寬度相差不及 1 吋。

板的最大長度載明於鋼廠手冊中。應用時如遇需要長度超過廠家所能供給的最大長度，則可用兩板接合之。

用途 板在建築上不能單用，故其用途每在構合肢中如梁柱等。板可用以作腰板與蓋板，亦可用以聯絡各鋼肢。

§ 107 H 形鋼 H 形鋼的記號為 H，其截面如圖 47 所示。其類別以製造廠家，深度，及每呎長的重量表示之；例如卡內歧 8" H 34.0# 及培斯利恩 14" H 98.8#。

H 形鋼並非標準形式，現時惟卡內歧製鋼公司與培斯利恩製鋼公司製造之。每種尺度，祇有一種重量。卡內歧製鋼公司製造者，有：(1) 8" H 34.0#，(2) 6" H 238#，(3) 5" H 18.7#，(4) 4"

H 13.6# 等。培斯利恩製鋼公司製造者，其名稱尺度計有 8"，9"，10"，11"，12"，13"，14" 等深度；而實際尺度則為深度自 $7\frac{3}{8}$ " 起

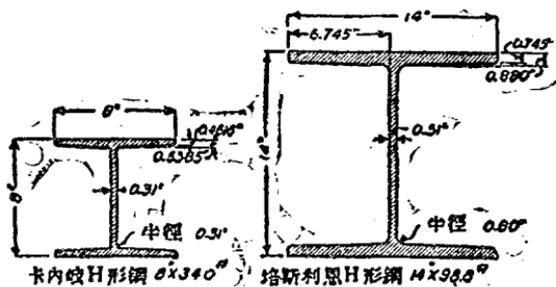


圖 47. 標準 I 形鋼的各部。

至 $16\frac{7}{8}$ " 止，其差變為 $\frac{1}{8}$ "。其每呎長的最大及最小重量為 291.2# 及 34.6#。H 形鋼專供作柱與撐條之用。除有時亦可添加翹板外，普通不用於橋合肢中。

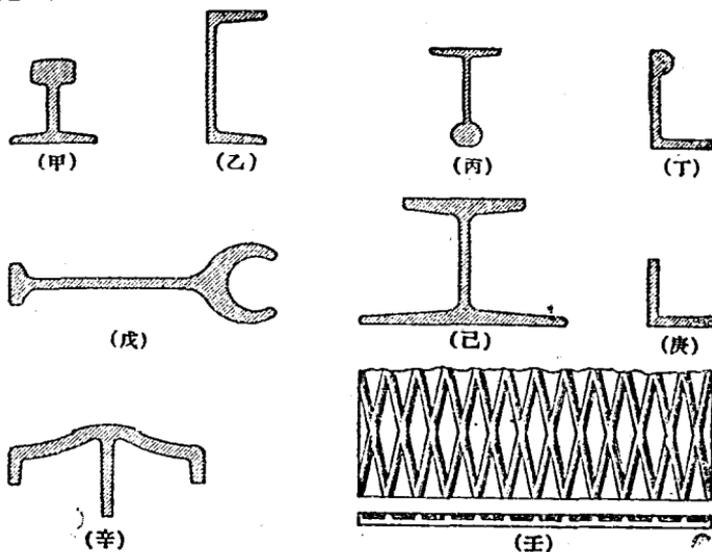


圖 48. 雜樣鋼的各種形式。

§ 108 雜樣鋼 建築鋼截面除上述諸種形式外，尚有若干種雜樣，如圖 48 所示，學者亦須熟知：計有：(a) 鐵路鋼軌如圖 48 的(甲)，(b) 闊翅槽形鋼如圖 48 的(乙)，(c) 球莖鋼梁如圖 48 的(丙)，(d) 球莖角梁如圖 48 的(丁)，(e) 鋼板樁如圖 48 的(戊)，(f) 鋼軌枕如圖 48 的(己)，(g) 方根角鋼如圖 48 的(庚)，(h) T 形扶手鋼如圖 48 的(辛)，(i) 斜格板如圖 48 的(壬)。

此種雜樣鋼，在房屋建築中不常用，惟在特殊情形下，間亦有需用之者。

§ 109 圓鋼條及眼鋼條 圓鋼條對於長度須調整的抗張肢最為適用。從其結頭的做法，可使其長度在端部調整；如係伴合者，則其長度並可在拌合處調整。圓鋼條的伴合係用轉緊扣，或套筒螺旋帽。圓鋼條的兩端應分別做成有左右向的螺紋，俾其長度可以藉此調整。圓鋼條的端部如做成螺紋，則須用壓短方法放大其直徑，俾該鋼條全截面的強度仍得保存。

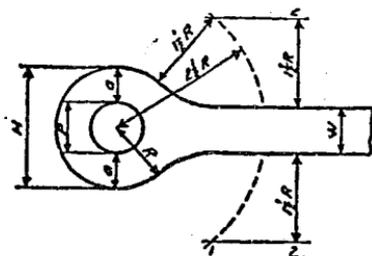


圖 49. 眼鋼條的端部細目。

眼鋼條必須在端部以鉚聯結，其端部做法如圖 49 所示。學者應參考建築作圖學以明瞭眼鋼條的細目。

§ 110 建築鋼材的試驗樣件 試驗樣件須遵守次之規範：(a) 試驗樣件應取自模成或範成的鋼件。(b) 試驗

樣件應沿鋼件縱向採取，並除 (d)，(e)，及 (f) 款所舉者外，應為模成鋼件的完全厚度或完全截面。(c) 板，成形鋼，及扁鋼的試驗樣件，可從機器做成如圖 50 所示的形狀及尺度，或邊與邊均相平行者。(d) 厚度或直徑在 $1\frac{1}{2}$ 吋以上的鋼件的抗張試驗樣件，除鉚及滾子外，可從機器做成厚度或直徑至少為 $\frac{3}{4}$ 吋而長度至少為 9 吋者，或可依照圖 51 所示的尺度。(e) 厚度或直徑在 $1\frac{1}{2}$ 吋以上的鋼

件的彎曲試驗樣件，除鑄及滾子外，可從機器做成厚度或直徑至少為
 吋者，或 $1 \times \frac{1}{2}$ 吋的截面者。(f) 錘及滾子的抗張強度試驗樣件

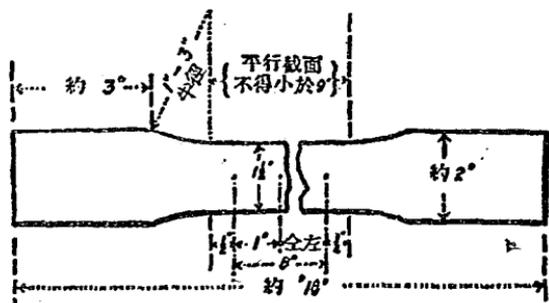


圖 50. 建築鋼的試驗樣件。

，應依照圖 50 所示的尺度，又其彎曲試驗樣件應為 $1 \times \frac{1}{2}$ 吋的截面
 •(g) 錘及滾子試驗樣件的採取，應使其軸線離面 1 吋 •(h) 從
 機器做成的長方形彎曲試驗樣件的諸邊可使有圓角，其半徑為不超過
 $\frac{1}{8}$ 吋者。

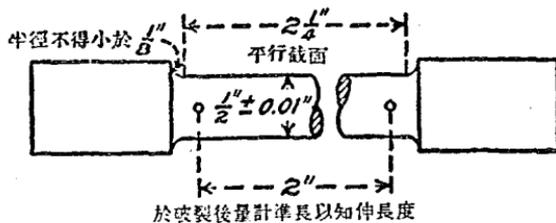


圖 51. 建築鋼的試驗樣件。

章 11 鑄鐵與鑄鋼

I 鑄品的分類

§ 111 鑄品 熔融後的鋼鐵，澆入沙模或別種模中，使成任何形狀的機件，名爲鑄品。依工程上的應用，約分下列五種：(1) 灰生鐵鑄品；(2) 特別灰生鐵鑄品，(3) 展性生鐵鑄品，(4) 高級生鐵，及 (5) 銅鑄品。圖 52 表示在建築中所用鑄鐵柱截面的數種形式。



圖 52. 鑄鐵柱的截面的各樣形式。

灰生鐵鑄品 在普通鑄鐵工廠中，灰生鐵鑄品約有三種：(a) 柔生鐵鑄品 此種生鐵，質地較柔，易於機械施工，適宜於製造普通機件，因其質量的輕重，分爲輕級，中級，重級三種。抗張強度輕級最少爲 18000 磅/方吋，中級爲 21000 磅/方吋，重級爲 24000 磅/方吋。(b) 強生鐵鑄品 此種生鐵乃應用於中等及重要機件須稍具較大強度者，鑄造時加入廢鋼同時須加礆質，使廢鋼在生鐵中充分熔和；此種鑄品，其強度隨廢鋼成分及鑄造方法而異，且鑄造人須有豐富經驗者，方能勝任；否則所成機件，反較普通生鐵鑄品爲弱；故爲安全及經濟計，以採用鑄鋼爲妥。(c) 速冷生鐵鑄品 速冷鐵乃鑄造時使其冷卻甚速的生鐵，故炭質與鐵化合，斷面成白色，顆粒密緻，堅而脆，硬度既高，故機械施工，甚爲困難，其用途有二：一爲製造擠碎機械的鉗口，車輪的輪面，翻沙桌及一切表面須硬內部柔軟的機件；二爲製造展性生鐵的原料。

§ 112 特別灰生鐵鑄品 此種鑄品供專一機械之用，約分下列四種：(a) 機筒及唧筒鑄品 機筒及唧筒鑄品乃用以鑄造蒸汽機，

壓氣機，唧筒，內燃機等的機筒及附件，需顆粒密緻，質地堅實，收縮度小而耐摩擦，強度較高者，皆用此種鑄鐵。(b) 電機座鑄品 此種生鐵專鑄造電機的機座，鐵中化合炭量須極少，故質地較柔，導磁性高，頑磁性低。(c) 火爐散熱器及裝飾品鑄品 此種生鐵乃鑄造薄小物件，故熔融時流動性須大，高磷高矽生鐵，最為適宜，但鑄造不得法時，性極脆，易於折裂。(d) 礮鐵 礮鐵為最佳的灰生鐵，鑄造時加入廢鋼，與強生鐵的鑄造相同，惟礮鐵則在空氣爐中煉造，故性質較強生鐵為佳。晚近此種生鐵用於鑄造優良引擎蒸汽輪機，滾輾軋銅皮鋼皮等的滾子。

§ 113 展性生鐵鑄品 用速冷生鐵以長時間的慢火力將其焗火，即成展性生鐵，其強度介乎生鐵與鑄鋼之間，如機件採用灰生鐵強度嫌小，採用鑄鋼，成本嫌貴，當以此種展性生鐵最為適合。其截面的厚度在 0.75 吋以下，長度 4 呎以內，重量 300 磅以下。通常展性生鐵鑄品，輕級僅重數磅，中級約 15 磅，重級約 150 磅。能彎能扭又能抵抗突然磨負，其較鑄鋼的優點為成本低，易於鑄造凹凸不規則的鑄件，以採用此種鑄鐵為宜。故其主要用途為鐵路機車零件，汽車農具的零件，管子接頭，唧筒，引擎的連桿，活門抬桿，管子，螺絲帽，螺絲，板鉗等。惟在設計時，宜極力避免尖角，截面宜均一，最好成方形，因圓形截面的強度，不若方形之高。

§ 114 高級生鐵 高級生鐵又名改良半鋼或速成展性生鐵，乃攪用廢鋼煉成與強生鐵相似，惟高級生鐵的煉製時，用高溫度使其超熱，待其冷至適當溫度，注入模子，塔爐採用開心爐或電爐，欲其強度高者攪鋼愈多，另加適量矽鎂，其組織在金相學上與展性生鐵相同，不過其展性稍遜而已，其抗張強度最少為 28000 磅/方吋。

§ 115 鋼鑄品 鑄鋼最通用的煉法有三：一為平爐法，每次出鋼可自數噸至數百噸；二為柏塞麥法，適用於鑄造小件；三為電爐法，用此法煉出的鑄鋼，品質最優。

鑄鋼例須經過焗火，以減其內力及改良其晶體顆粒，收縮性較速

冷生鐵爲大，內力遂高，失之疏忽，即發生崩裂；故沙模的製造及煉熔，須有經驗者方可勝任。

鑄鋼的成分可以隨意變更，可使成爲炭鋼，釩鋼，鎳鋼，鉻鋼，鈦鋼，及別種合金鋼，故其範圍甚廣，可隨設計所需的特性而改變；灰生鐵展性生鐵所不能製造的機件，以採用鑄鋼爲宜。

II 鑄鐵中的原質及其影響

市上買賣，純鐵甚少，因工業上所用，全係鐵的合金。煉鋼鑄鐵係採用鼓風爐（圖 54）熔煉後的鐵塊，其中含別種原質甚多，而其整個的性質亦有變化。下列不過爲其重要者耳。

§ 116 炭 鑄鐵含炭量總在 2% 以上，按炭在鐵中可分爲兩種體質：一爲化合炭；二爲石墨，即不與別種晶體化合的炭質，可分爲兩類：(1) 灰生鐵中的石墨其晶體結成薄片狀，其體積在含炭過餘的普通生鐵中甚大，在柔生鐵中甚細；(2) 展性生鐵中的石墨因生鐵經速冷及焗火後其石墨不能結成片狀，各成細小不規則的形狀，嵌於鐵質晶體之間，是謂導熱炭。

在鑄造生鐵手續上，加熱處理，僅不過減低其內部的內力；蓋鑄鐵的軟硬，爲溶化法澆注法所操縱，例如柔鐵水管的鑄造，倘採用離心力澆注法及金屬模，其炭量可使盡變爲化合炭，成硬脆的鑄品；但又可使盡變爲石墨或柔軟易於機械施工的鑄品；故加熱處理在鑄鐵並不重要；其重要而有影響者，爲別種原質成分的多寡，超熱熔煉的高低及澆注時的溫度。

§ 117 矽 使鐵變軟最有效者厥爲矽質，彼能使化合炭減少，故鑄鐵中無矽則成白生鐵。與速冷生鐵相似，含矽 3% 時，鐵中化合炭幾等於零，故成爲灰生鐵。但超過 3% 時，成爲銀鐵，高矽鐵，鐵矽至於金屬矽；此種金屬，成爲硬脆的鑄品矣。

在鑄鋼時加入矽質，作爲提氧劑，能減低炭的成分，此種鐵品，經適當加熱處理，具有優良的鐵性。

在灰生鐵鑄造時，如別種原質的成分已限定，則鐵的強度及施工效能等，全視矽質成分的多寡為轉移，故在熔鑄前對於矽量的決定，至為重要。

在展性生鐵鑄造時，矽量多寡，尤為緊要。大件鑄品含矽 0.35% 至 0.5%，中等鑄品含矽約 0.65%，小件鑄品如管子接頭等含矽 0.75% 至 1%，極小鑄品約 1.25%；如矽質成分大小互易，則所成鑄品必劣。

耐酸生鐵含矽 14%，成白生鐵的組織，性脆，故當設計時，鑄品的面，宜成曲線，厚度須大，使內力減小。此種生鐵，在化學中應用甚廣。比量為 7，抗張強度約為 10000 磅/方吋，抗壓強度為 70000 磅/方吋，熔點 2300°F，膨脹係數為 0.000156，其被腐蝕的深度，對於硫酸，硝酸，醋酸，磷酸，或其淡溶液，每年約 0.0001 吋以下，對於濃鹽酸每年 0.008 吋，淡溶液為此數的 25%，其用途為製造離心式唧筒，往復唧筒，排氣風扇，冷凝器的管子，及管子接頭等。

§ 118 硫 硫對於鑄鐵的影響極劣，其與鐵成鐵硫化物後，使鐵脆弱，與錳化合後，常在鑄品的表面上發生硬塊，使工作時易令工具刀折斷。但經加工改良的高硫鑄品，可得優良的表面；製為機筒能耐摩擦，切削螺紋，甚為清晰；普通鑄品，其硫的成分須低，其最壞作用為澆注時與金屬氧化，且硫量往往因燃料硫分之被吸入而增高，故以上等低硫塊鐵鑄造所得機件，其硫量無形中已增至 0.15% 矣。

硫經矽的反作用促成石墨，能使鐵的硬度增高，故高硫生鐵，鑄造時必須加入適量的矽質，高硫生鐵的主要用途為製造引擎機筒及需清晰螺紋的機件。

§ 119 錳 經矽的反作用後，錳亦有阻止化合炭的增加，但其成分超過 1% 後，此種作用不甚顯著；故灰生鐵的錳成分，須在 1% 以下，在展性生鐵鑄造時，錳量超過 0.4% 後，在焗火時其對於分離導熱炭夾入晶體間的作用頗有妨礙，故有損展性生鐵的煉製；如鐵中含硫甚高，加入錳質後，能與其化合成為硫化錳，能將其併入鐵中

浮渣而提去之，故用 1:2 的鑿量，可除去硫分，如以鑿加入溶鐵爐中，即成高鑿塊鐵，以鑿鐵加入溶鐵爐中，在熔融時其氧化作用極大，故通常以 15% 的鑿與洋灰調和，使成小塊的石狀，在暖處使其乾燥，以其加入熔鐵爐，能降至熔融層，且其氧化作用甚為和緩，故別種鐵合金的熔煉，亦可仿照此法加入盛鐵桶中，結果必較優。

§ 120 磷 磷能增加熔鐵的流動性，故如裝飾品，火爐，散熱器及薄小物件不注重強度的鑄品，皆用高磷生鐵，磷又能增加鐵的硬度，因薄小鑄品當熔鐵流入沙模後，冷卻甚速，如無適量礫質以阻止化合炭的增加，必成堅硬的鑄品無疑，鐵含磷量為 0.25% 以下者，名為低磷，含磷量為 0.3% 至 0.7% 者名為中磷，過 0.7% 者名為高磷。

§ 121 錳 在上等生鐵鑄造時，錳為重要原質之一，按生鐵與鋼不同之點，即在石墨的夾雜晶體，使其結合力減弱，故生鐵的改良，厥惟注意其石墨的生成；錳對於此種作用，影響甚大，其成分須至 3%，機能增加鐵的強度。

鉻 以鉻 20% 至 30% 加入鐵中，成別種金屬，其對於在高溫度時抵抗氧化作用極強，其抵抗氧化的溫度可達 1800°F，此時其抗張強度尚有 16000 磅/方吋，故用以製造爐膛加熱設備等，甚為適宜。

氧 氧對於鑄鋼鑄鐵有二弊病：(1) 提高鋼鐵的凝固點；(2) 使鋼鐵發生氣孔；故在鑄造時須加入礫質以分解氧化鐵，並去其浮渣。

鈳 鈳在鑄鐵中具有保持化合炭的存在及使浮鐵成為固溶體的能力，含鈳 0.25% 的鑄鐵，其抗張強度較不含時增高 5%，又灰生鐵加入鈳質 0.25%，其抗張強度增加 100% 左右，白生鐵中加入後，竟增加約 200%。

普通鑄鐵中含有鈳分，在灰生鐵其強度增加 10% 至 25%，且能使石墨分佈均勻，晶體顆粒變佳；在白生鐵使強度愈增；其主要用

途為鑄造引擎機筒，齒輪，滾子，活塞圈，機筒活門，及受壓力的鑄品，其所含鉛分約自 0.1% 至 0.2%。

鈦 鈦在鑄鐵中可為提氧劑，使鐵的強度增高，其成分最高至 0.1%，在車輪滾子的鑄造時，可加入鈦質，不過其碳錳的多寡，須與鈦分成適當的配合，惟在高氧鑄鐵中加加入鈦質，反有促其強度及速冷鑄造的功能。

鋁 鋁在鑄鐵中的作用與矽相似，能使總炭量減低，且能分離石墨，使其分佈均勻，故在速冷鑄鐵，得其助力不少；不過成分須在 0.23% 以上，過 0.53% 時，影響漸弱。在冷卻緩慢的鑄鐵，此種作用亦不甚顯著；按普通鑄鐵除為使潔淨鐵質採用鋁外，平時罕有加入鑄鐵者。

其他原質 在一般地鐵中，鎳，鉻，鈦，鈳，鋁，銅等原質，罕有存在，即有其量亦微，惟在鐵合金中，亦可加入。又普通鐵中皆含有神。按神能使鐵變脆，頗有妨碍，成分須極低，最好在熔煉時提去；普通地鐵中或含有鈦鈳的氧化原質，此則有利於鐵；銅在鐵中最少者無甚妨害；錫僅於鑄造穩定重量時加入。

III 鑄鐵的物理性質

§ 122 **收縮性** 鑄鐵澆入沙模後，俟其冷卻至室內溫度時，其體積即起收縮，故所得鑄品較其模型的尺寸為小，且澆注不得法或形狀特殊時，經收縮後即起凹腫或空隙；且有表面光滑而內部小孔甚多，又有內力，可使強度減低，故鑄造時對於此點首宜注意及之。

如鑄鐵在澆鑄時，內部已形成石墨，則其收縮甚微，普通灰生鐵的收縮度為每呎 $\frac{1}{8}$ 吋，白生鐵速冷生鐵鑄鋼為每呎 $\frac{1}{4}$ 吋，但對於冷卻的快慢，所含的成分，鑄品的形狀，俱有關係，此全憑經驗，不能一概而論；展性生鐵的原料即白生鐵或速冷生鐵，惟經燜火後收縮度可恢復一半，與原來相較為每呎 $\frac{1}{8}$ 吋，但有時因鑄品形狀的特殊，有不起收縮者，又竟有反形脹大者。

離析性 鑄鐵中的錳與硫化鐵，常在小部分發生硬塊，又有離析

的磷化鐵，在人截面上存在，使其硬度特高，前者發生於高錳高硫生鐵，後者發生於高磷生鐵。又有因冷卻不得法，各部亦能發生硬塊，使機械施工甚為困難，故鑄造時對於硫，錳，磷的成分及冷卻兩點，須特別留意。

§ 123 歷時性 鑄鐵因收縮而具內力，消除此種內力，在施以短時間的加熱處理，即將冷卻的鑄件清理後，加熱至 500°F 至 600°F ，經過一夜，翌晨冷卻後可施機械工作，或可將鑄品加熱至 1250°F ，歷 4 小時，任其緩緩冷卻，即可施工，最善莫如將鑄品先行粗光，再施 1250°F 的高溫加熱，如此所得結果，甚為優良，故汽車引擎的鑄鐵活塞，皆採用此法。

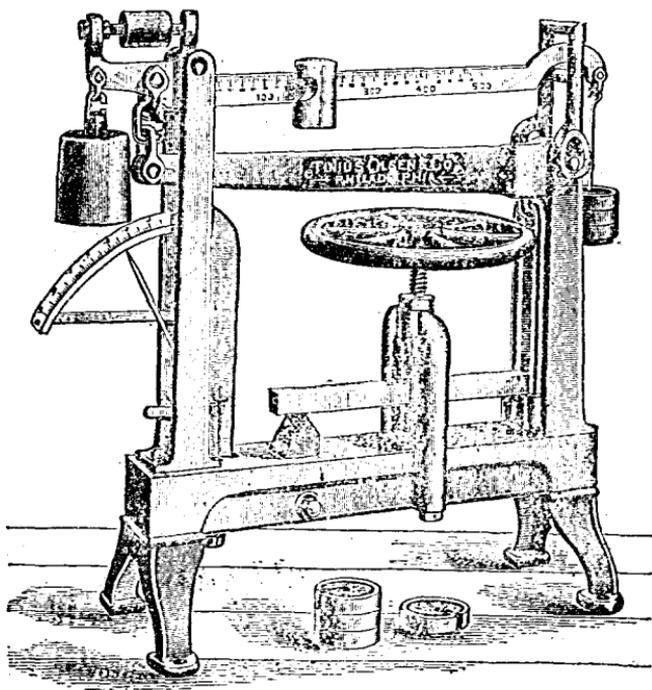


圖 53. 試驗鑄鐵機械強度的機器。

§ 124 強度 普通鑄鐵的抗張強度為 25000 磅/方吋，如加入廢鋼再使其超熱熔化，其抗張強度最高可達 45000 磅/方吋；高級生鐵其抗張強度可達 55000 磅/方吋；如加入錫質，尚可增高。（圖 53）。

鑄鐵的彈性限度與其極限強度相近，其韌碎強度最為重要，約自 80000 磅/方吋 至 140000 磅/方吋，用於架構製造，必須知其確數，抵抗突然擔負的能力極低，惟展性生鐵，則俱有彈性限度及抵抗突然擔負的性質。

鑄鐵的硬度可由速冷法而獲得，惟俱有硬度的鑄鐵，僅用於車輪，碎石機鉗口等特殊機件，普通機件對於硬度，不甚重視。

IV 鑄工材料

§ 125 塊鐵 塊鐵為鑄鐵的原料，普通可分為木炭煉鐵，煤煉鐵，電爐煉鐵三種；木炭煉鐵應用於展性生鐵的鑄造；電爐煉鐵的性質極優，惟價格甚昂，故除標準器，儀器及高等機件間或採用外，應用不廣。煤煉鐵的用途最為普遍，尋常一切機件，大率採用此種原料。

廢鐵 曾入熔鐵爐熔化鑄成後被棄下者，稱為廢鐵，可分兩種：一為本廠廢鐵；二為外來廢鐵；前者的成分常能明瞭，後者因經過一度混雜，含有機件，管子，爐板等不同級的廢料，故成分極難確知，購用外來廢鐵者，務須先經選擇，並於鑄造時慎重觀察為要。

廢鋼 廢鋼係橋梁架構，鐵路軌條，鍋爐板的廢舊者混合而成，此種廢料其碎片不宜過小過大；過小則與火焰接觸的面積大，氧化有過度之虞；過大能沉入爐底，熔融太甚，最善莫如將廢鋼直接加於燃料之上，然後加入塊鐵，再次加入廢鐵，如此則各料可同時溶化，其結果甚佳，在空氣爐中，鋼塊不妨稍大。

柔軟劑 柔軟劑即高級塊鐵，加入鑄鐵中用以提高其鐵的成分，此種鐵含鐵 4% 至 8%。

鐵矽 鐵矽中矽的成分過 8% 後稱為**矽鐵塊鐵**，其含矽量普通為 12% 至 14%，亦有 50% 及 75% 者，此種原料，其目的亦為增加鑄鐵的矽量。

鐵錳 普通鐵錳塊鐵含錳約 80%，鑄造車輪時，必須應用此種原料，尤其多加廢鐵廢鋼時，更屬重要，如新塊鐵含錳已達 2% 時，則再須再加鐵錳塊鐵。

別種鐵合金 鑄鐵應用的鐵合金，除鐵矽鐵錳外，尚有高矽鐵錳，鐵鈦及鐵鈷，皆可作為提氧劑，後者用量多後尚能遺留一部分於鐵中，惟鐵鈷的價值甚昂，故除俱有摩擦面的機件如機筒等外，鮮有採用者；鐵鈦最適宜於溶鑄劣等生鐵加入，惟加入時須審慎，故其應用亦不如鐵矽，鐵錳，高矽鐵錳之廣。

熔劑 塊鐵及廢鋼鐵皆含有沙銹，而燃料內又有灰分，若不設法除去，熔融後即與鐵混和，使其質地變劣，熔劑的應用即在補救此弊，其利益為：(1) 使鐵中的雜質凝集而上浮；(2) 吸取硫分；(3) 使鐵液潔淨；最通用的熔劑為石灰石，惟以含碳酸鈣 97% 至 98% 者為佳，如含有別種雜物質及黏土過多，其作用效能減低，若含碳酸鎂的石灰石，易使浮渣凝固，而硫的一部分不易為石灰所吸收；其餘尚有蠟殼及螢石方解石，亦可作為熔劑，前者作用甚佳，後者用於難渣甚多的鑄鐵原料，最好與石灰石同時應用。

耐火磚 鑄工用耐火磚約分二種：一種能耐極高溫度，故其結構顆粒頗密緻堅實，能抵抗鐵液浮渣流動時的衝擊，惟平爐及空氣爐的耐火磚，其顆粒須粗，二者俱由上等火泥造成，皆能耐受高溫度。二種為耐火磚較前種稍劣，專供烟火爐及熔鐵爐上層的爐壁材料，僅耐低溫度，此外尚有名煙突磚者，僅用於煤氣道煙突等，低溫爐窰附屬部分，其溫度須低於 1000°F。

耐火沙 耐火沙為難熔的沙，普通由海沙建築用沙及微量熔劑雜物混合而成，可作為爐底耐火材料，如與黏土相和，可用為熔鐵爐爐壁的塗抹材料，惟沙中須含 99% 以上的二氧化矽，且具極高的抵熔

性方為合格；普通灰生鐵鑄工廠皆採用礮氧磚，含二氧化矽 96% 至 98.5%，其餘為 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 及 CaO ，由此等沙粒混和而成；熔展性生鐵的平爐圓頂及鑄鋼熔爐，皆採用此種耐火材料。

菱苦土 菱苦土用於平爐爐底的耐火材料，此與酸性之用耐火沙不同，用菱苦土作爐底，其邊頂部分應採用礮氧磚為宜，必要時插入鉻磚，爐心補以鉻鐵，因此種材料能中和酸性與鹼性浮渣；此外白雲石可用為鹼性爐的耐火材料。

菱苦土又可稱為碳酸鎂，惟尚含有別種礦物質；鉻磚即由大部分鉻鐵與 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 所合成，置於窯中燒至 $2700^{\circ}F$ 至 $2800^{\circ}F$ 即成，用於鹼性平爐時最好用以介乎礮氧磚壁與菱苦土爐心之間，溫度高至 $3700^{\circ}F$ 時，此磚始軟，在此種高溫度下，不能抵抗鐵液的衝擊。

製模沙 製模沙須抵抗熔鐵 $2500^{\circ}F$ 的高熱，具有凝集性，使移模時不致碎裂，沙粒間又須有間隙，俾鑄鐵所發生的水氣，俱得散逸，其成分大部為石英顆粒，即氧化矽，約 80% 至 90%，其餘為黏土，即氧化鋁 Al_2O_3 約 6% 至 10%，氧化鐵 Fe_2O_3 約 4% 左右，及石灰，礬土，水分等；普通鑄鐵所用製模沙，含氧化矽約 84%，黏土 13.5%，長石 2.5%，用於鑄鋼的製模沙，氧化矽須 97%。

製模沙對於鑄品的影響極大，故須審慎選擇，鑄鐵在成熔液時其表面張力小者，可用細沙，大者宜用粗沙，大件鑄品可用粗沙，小件宜用細沙；經多次應用的沙，已失其模塑性，通常用以填框，而另以新沙接近木型，有以新沙與舊沙適當拌和而作模者，沙粒發軟的溫度，隨其顆粒的大小而異，細沙在熔鑄時每被燃燒，變成玻璃狀的渣質，尤其在鑄澆時最易發生，故模面預塗抹面沙或石墨炭末，使易與鑄品分離，將用的新沙及已用的舊沙，皆須用篩慮去粗塊後方可應用。

V 熔爐

S 12b 熔爐 熔鑄鋼鐵的爐，可用坩堝，熔鐵爐，空氣爐，平爐及電爐，在鑄鋼時有更有迴轉爐者，茲分述之：

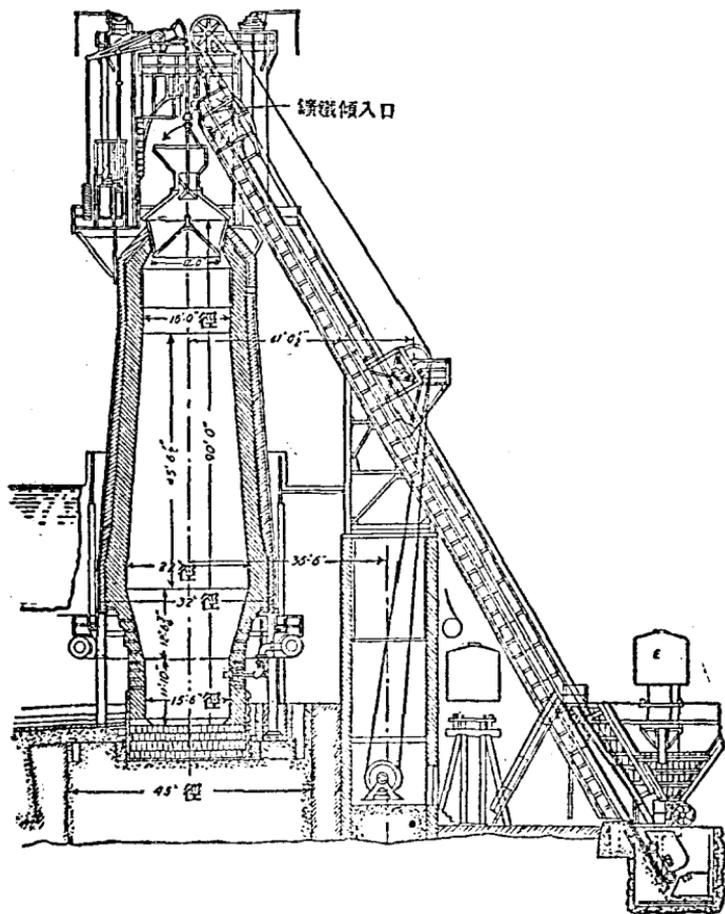
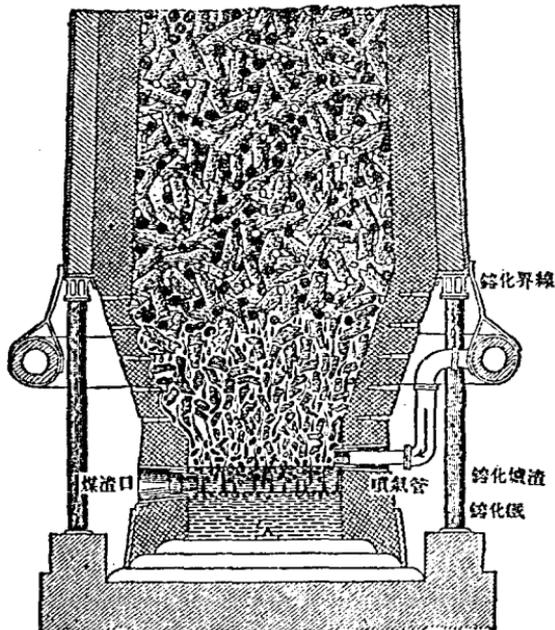


圖 54. 熔鐵爐及坩堝的橫截面。

坩堝爐 坩堝爐用以熔量少的上等鑄鋼，火焰不與鐵液接觸為其特點，熔黃銅，青銅，白合金及量少的合金，俱用此爐，惜其出量太少，而燃料甚費。

電爐 電爐用以熔最優等鑄鋼及其他種合金，其在鑄工上的地位，與坩堝相似，但燃料的耗費較為經濟。



- 記號：— 塊狀焦炭 
 塊狀礫石 
 塊狀石灰 
 點狀爐渣 
 點狀鐵 
 鎔化爐渣層 
 鎔化鐵層 

圖 55. 鎔鐵爐底部的剖面。

熔鐵爐 熔鐵爐的應用最為普遍，宜於熔鑄生鐵，而燃料的經濟，為諸爐冠，且可連續熔澆；燃料與塊鐵相間裝入，空氣由進風管導入，近於爐底，其與爐底的距離，適足以容所需出鐵量的溶液，故此爐設計時，此點最須注意（圖 54, 55 及 56）。

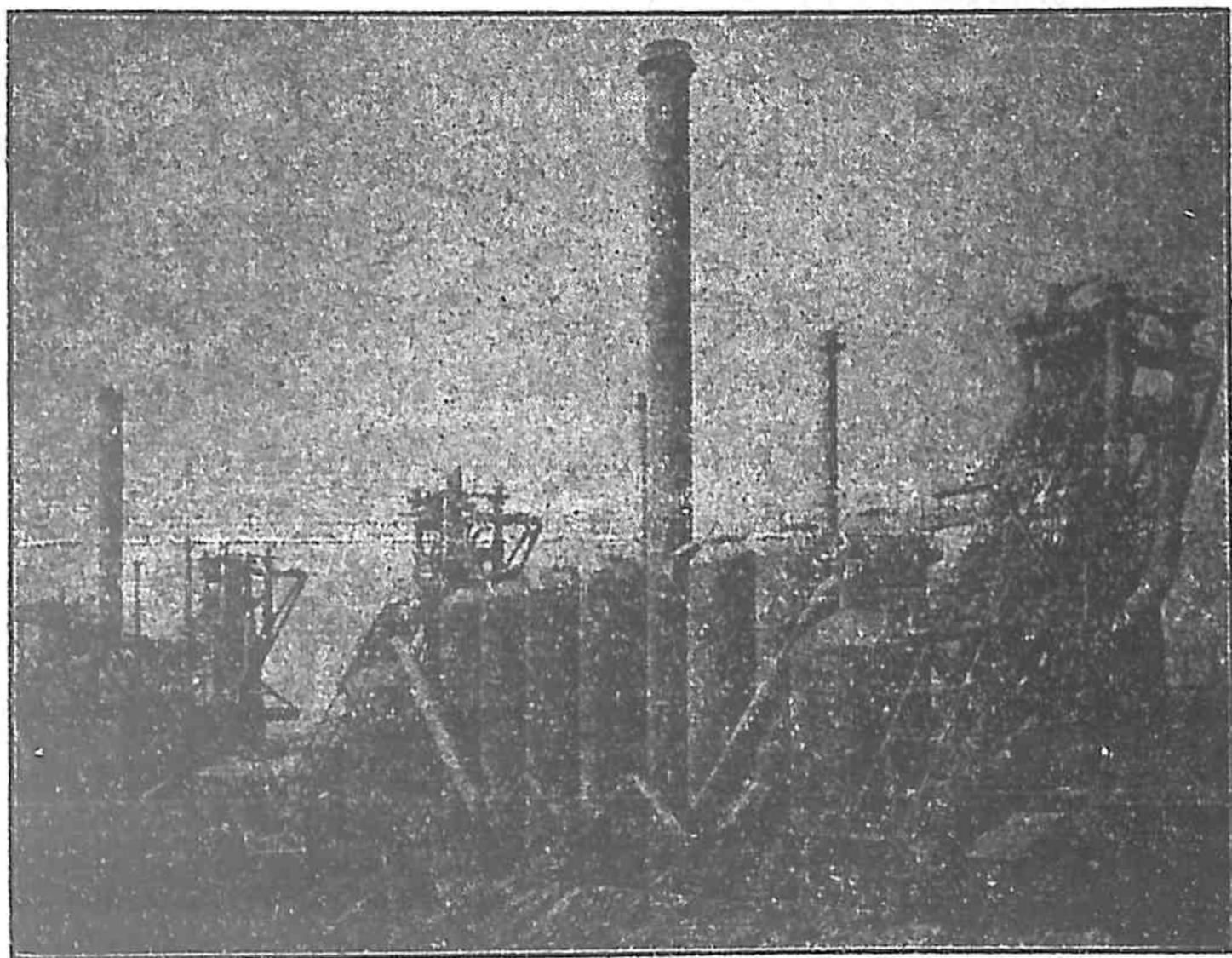


圖 56：製煉鐵塊的鼓風爐廠。

空氣爐 空氣爐用以熔鑄鐵，此爐有一水平爐室，一端為燃燒空間，他端為煙突，爐心成傾斜度，近燃燒室處較深；在熔煉時其吹入的過量空氣，必須減至最少數，否則其溫度不能達最高點，即有過量空氣以在 25% 以下為限；其熔鐵的原理，乃利用白熱焦炭的溫度，由爐頂的輻射以達於原料，故火焰與原料並不直接接觸，熔鐵時間全由以預定的出鐵量及現成爐子試驗而得；熔鐵在爐中太久，則與過量空氣起氧化作用。

空氣爐的優點在每次能出優良鑄鐵甚多，燃料與原料不直接接觸，故加鋼後減炭作用甚佳，燃料中的炭質，不致混入溶液內，且可用

大塊廢鋼鐵。

平爐 平爐單用於鑄鋼，間有熔展性生鐵，極少用於灰生鐵；爐心構造取最簡單者，火焰方向使能回復進行，故入爐空氣煤氣得以預熱；燃料採用煤氣，或油或煤膠，其預熱溫度較室內溫度高達 1000 °F 左右，其速率較空氣爐為快；且氧化的機會甚少，表面浮渣不妨礙其透熱作用，是其優點。

電爐 電爐用於熔鑄灰生鐵，其優點為能得甚高的超熱，提氧作用可靠，又能發生有力的減硫作用，加廢鋼多時其減碳作用亦佳；總之，應用電爐，其成分常可自由操縱之，是其優點。

最好以熔鐵爐與電爐相連並用，將熔鐵爐中熔化後的鐵液放入電爐，經 20 分鐘至 30 分鐘的加熱，其硫量即可減低至 0.04%，且得超熱與提氧作用。

VI 展性生鐵

§ 127 展性生鐵 展性生鐵的鑄造與灰生鐵相似，惟熔煉時燃料的消費量較大，須避免發生氧化作用，矽的損失量約為 0.3%。

展性生鐵的成分約為含矽 0.65%，錳 0.18%，磷 0.18%，硫 0.17%，總炭量在表面約為 0.2% 以上。

矽量的多寡，隨鑄品的厚薄而異，厚度 $\frac{1}{2}$ 吋以下，澆注前溶液含矽 0.65%，已可得優良結果；如厚度在 $\frac{1}{2}$ 吋以上，有變成灰生鐵斑生鐵之虞； $\frac{1}{2}$ 吋以下的鑄品，矽可達 1% 以上。 $\frac{1}{2}$ 吋的鑄品則低減至 0.45%；故重級，中級，輕級者，其成分各有限制。

熔煉展性生鐵的配合，塊鐵約佔半數，餘為廢鐵；經爛火的廢鐵及鋼，廢鋼鐵有時可減少，但增加時至多不能超過 50%；所用爐子為空氣爐及平爐，鑄時加熱不可過速，氧化作用須極微，此為最宜注意之點。

爛火為鑄造展性生鐵的必要手續，如措置失當，即有氧化鐵發生；如錐鱗片，磁鐵，赤鐵等；大半由於加熱過速所致；爛火溫度為

1550°F，保持須 60 小時，冷卻時須極緩慢；鑄鐵爐鑄成的鑄品，其燭火的溫度須高，普通為 1650°F。

按燭火的目的是使化合炭變為導熱炭，而工作時鑄品表面部分，炭量可移去一部分，質地更佳；故展性生鐵鑄品，最好不施機械工作，否則表面韌性部分受損，性質變劣矣。

展性生鐵有內部收縮性，低份量鑄品截面大小不勻者，收縮尤甚，此種影響可使其具有內力，雖加機械施工，終不能將其消滅。

VII 鑄鋼

§ 128 鑄鋼的種類 鑄鋼依其熔煉方法約分六種：(1) 鹼性柏塞麥；(2) 酸性柏塞麥；(3) 鹼性平爐；(4) 酸性平爐；(5) 坩堝；(6) 電爐；此外尚有雜種鋼者，實為經淬火的展性鑄鐵，全係商業上的名稱。

鹼性柏塞麥鑄鋼 此種鋼的物理性質極壞，延性甚低，且在熔煉時易吸收氣體與渣滓，使質地變脆。

酸性柏塞麥鑄鋼 此種鑄鋼常在輕式邊吹式柏塞麥迴轉爐中熔煉，出鋼量較少，如用上等原料，可得優良的鑄品；普通塊鐵廢鋼在熔鐵爐中熔化，其量約 2 噸，然後放入迴轉爐，使成低炭鋼，再加以適量的矽鈹，即可澆注。

鹼性平爐鑄鋼 此鋼成本最低，出量較多，惟熔煉時矽分須高，而矽常與浮渣中的磷交換，使鋼中矽有減低磷有增高的傾向，在澆注時此作用尤顯；機件龐大施工部分少者，採用此鋼，最為適宜；其成分為炭 0.20% 至 0.30%，矽 0.20% 至 0.40%，錳 0.60% 至 0.80%，硫不得過 0.03%，磷不得過 0.04%，其物理性質與酸性柏塞麥爐鑄鋼相似。

酸性平爐鑄鋼 上等機件欲製造成本低者，當以採用此種鑄鋼最為適宜；鑄品的重量可達 50 噸；熔煉時須謹慎從事，所成鑄品，宜經燭火，其成分與鹼性平爐相似，惟矽鈹成分可較低，其物理性質亦相若。

電爐鑄鋼 電爐鑄鋼的應用最廣，出產甚佳，鹼性電爐所出的鋼，硫磷量極低，酸性亦優，惟所用原料須較上等者。

坩堝鑄鋼 用坩堝熔煉鑄品，因其燃料消耗率極高，普通煉鋼尚少採用，鑄鋼更不經濟；故雖有此法，而罕有採用者。

§ 129 **合金鑄鋼** 鑄鋼亦有合金，普通工程上應用者有鈮鋼，鉻鋼，鉻錳鋼，鉻錳鋼，鎳錳鋼，鎳鋼六種。

合金鑄鋼在模中須冷至臨界熱限以下，將其取出，即行清理附沙，此時鑄品尚熱，宜速施燭火。

合金鑄鋼的加熱處理，包含常淬，燭火，淬火，導熱；燭火對於物理性質增高甚少，但易於機械施工；淬火導熱全為增高物理性質者。

合金鋼的用途甚廣，其所具硬度，強度，堅度為普通炭鑄鋼所不及，故負擔重大的齒輪，車輪，鐘，活門及其附件等，皆採用之，其重量可較採用炭鑄鋼為輕，又能發揮其特性；如鈮鋼有堅性，故機車座，齒輪齒，及受震動的機件宜採用之；鉻鋼有抗磨性，故衝模，軋碎機鉗口等宜採用之；鎳鋼有極高硬度與抗磨性，故機件須具硬度抗磨性者宜採用之；鎳鋼適用於引擎重要機件；故合金鑄鋼的應用，實較炭鑄鋼為廣。

章 12 白合金及輕合金

I 白合金

白合金的主要成分為錫，鎳，鋅，鉛，間亦有銅質；此種合金，熔點甚低，工業上應用者約有下列數種：

§ 130 鉛錫合金 鉛錫合金，俗名白鐵或錫錫，其成分隨用途而異。大率用為錫板及別種金屬板的焊接材料，稱為軟白鐵；含錫 90%，鉛 10% 者，其熔點為 410°F，含錫 70% 鉛 30% 者為 384°F；鉛管白鐵含鉛 30%，錫 70%；普通白鐵鉛錫成分相等；鍍錫鐵皮的焊合金用錫 60% 鉛 40%；鉛管的焊接用鉛管白鐵；電業用白鐵含鉛總在 5% 以下，另含鎳分，最高可達 2%。

鉛錫合金又可製造餐具，我國曩昔如酒壺，菜碟等俱採用此種合金，其成分為錫 80% 以上；至於日用器皿及玩具裝飾品大部分為鉛，含錫極微；含錫 3% 的合金，宜於作為地下水管等的鑲嵌接頭；含錫 25% 至 60% 的合金，亦可作為易熔合金；鉛管含鉛 60% 至 67%。

§ 131 錫合金 錫合金含錫 45% 至 50%，餘為銅。此種合金用於鑄錫，其法以欲鑄接的器物在其熔液蘸之即得，或將其合金碎為粉末，與硼酸混和散佈於器械的表面入爐中加熱亦可，俗稱大錫。

含銅 80% 鋅 20% 的合金，用以鑄接黃銅，銅，鐵與鋼需堅強鑄接者，亦應用之；又有含銀的錫合金，專用於首飾及高等精細器皿；其成分含銀 0% 至 80%，銅 52% 至 16%，鋅 38% 至 4%，熔點為 1360°F 至 1510°F。

鑄接劑用於軟白鐵，以松香鹽酸清除其作用，可加錫片及青油，用於含銀的錫合金為硼粉，氯化鋅；有時用於鑄銅。

§ 132 易熔合金 易熔合金即於鉛錫合金中加入銻而成，其熔點甚低，此種合金冷卻時膨脹，其用途為鉛鑄器，電鍍板的鑄接材

料，在木模解剖樣品鑄造的原料及普通作模樣的鑄品，鍋爐的熔塞，電流保險器，保險絲，防火自動灑水器，及防火自動警笛等。

§ 133 鉛錫合金 鉛錫合金又名硬鉛，因錫分的增加，影響於合金的硬度甚大。

自來水管的鑲嵌即應用硬鉛，含錫 10% 的硬鉛，宜於製造鎗彈的彈頭；含少量錫質的硬鉛，可作蓄電池的鉛板；化學上應用的唧筒，因其須抵抗蝕腐，故採用含錫 10% 至 15% 的硬鉛，其抗張強度自 7200 磅/方吋至 6500 磅/方吋，彈性限度自 2000 磅/方吋至 2240 磅/方吋，彈性係數為 3800000 磅/方吋；含錫 33% 鉛 67% 的合金，可作為中等樂器的鍵；印刷用的活字，亦用鉛錫合金，惟稍含錫質耳。

§ 134 錫鉛合金 錫鉛合金又名勃列太尼亞合金（註），其主要成分為錫及微量的銅質，亦有含銻者，其主要用途為裝飾品，餐具，及製造日用器皿等。

§ 135 錫鋅合金 錫鋅合金含錫 75%，溶化後流動性甚大，且膨脹係數小，故宜於製造標準鑄模。

§ 136 緊塞合金 金屬緊塞材料，其成分含鉛 83.33%，錫 8.33%，及銻 8.33%，用於製造過熱蒸汽的緊塞材料；其熔點須稍高，使受蒸汽及摩擦所生的熱，不至溶化；又須俱有受型性，使接觸密切，且微具抗摩性，此種合金，含鉛 80%，銻 20%，故亦為鉛錫合金的一種。

§ 137 承襯合金 白合金的承襯材料，依其主要成分，分為錫基，鉛基，銻基三種，

錫基承襯合金又名辨別脫合金（註）為辨別脫所發明，同時氏又首先將減摩合金作承襯的襯面，以硬合金作襯底，故現稱此法為辨別脫法；此種合金分為三類：（1）錫鉛銅，（2）錫鉛銅鉛，（3）錫銅銻；其對於壓力的抵抗性，因含銅銻故較鉛基承襯合金為大，此外尚含他種原質。

註 勃列太尼亞合金 (Britannia metal),

辨別脫合金 (Babbitt metal),

鉛基承襯合金可分為三類：(1) 鉛錫，(2) 鉛錫錫，(3) 鉛錫錫銅；其主要配合為錫質；鉛與錫在合金中結合為熔固體。鉛錫承襯合金的製造成本在減摩合金中為最廉者，惜其抗壓能力太小，不適用於大負擔的承襯，此為其極大缺點，不過其抗摩性甚佳，成本又低，普通機械採用之，頗為適宜。鉛錫錫承襯合金，應用甚廣，使用上較鉛錫者為優。鉛錫錫銅承襯合金能增加硬度，不過同時減小其流動性，其程度視錫銅成分的比例而定。

鋅基承襯合金普通有兩種：一為羅門合金（註），一為番頓斯合金（註）；此等合金的摩擦係數甚小，比重輕，鑄造易，施工易，成本較廉，惟一遇高熱，易於奔裂，故製為承襯，須有精確的校正，適用於高速度輕負擔的承襯，如電動機，起重機的軸承襯，轉盤的支襯承襯等。

§ 138 印字合金 印字合金約分五種：(1) 活字合金。(2) 列拿印字合金（註），(3) 模拿印字合金（註），(4) 斯單里鄂印字合金（註），(5) 電鑄板合金；其成分如次表：

印字合金成分表

印字合金名稱	鉛 %	錫 %	錫 %	銅 %
活字合金	50	25	25	—
	60	30	10	—
	75	20	5	—
列拿印字合金	79	16	5	—
模拿印字合金	76	16	8	—
斯單里鄂印字合金	83.75	11.75	4	0.5
電鑄板合金	92	4	4	—

註 羅門合金 (Lumen alloys),
 番頓斯合金 (Fentons alloys)
 列拿印字合金 (Linotype metal)
 模拿印字合金 (Moratype metal)
 斯單里鄂印字合金 (Steretoye metal)

活字合金須有四特性：(1) 細小筆劃，能鑄造清朗；(2) 耐受壓力；(3) 膨脹係致須小；(4) 耐受摩耗；上表三種成分以 50—25—25 者為最優，但鑄造的成本甚昂，故普通採用其餘兩種。

列拿印字合金用機械鑄造，其熔液藉壓力送入字模，製成整條字板。

模拿印字合金造法與列拿相同，惟模拿鑄造機每次僅出一字，故又稱為單型印字合金。

斯單里鄂印字合金用於製造整頁的字板，可得清朗字劃，硬度亦高，面亦平滑，且經久耐用。

電鑄板合金乃用為板的底背，故須具剛性，其硬度並不需高，因字面電鍍銅質，磨耗壓力大部分由銅面承受。

II 輕合金

§ 139 輕合金的種類 鋁的比重甚小，為普通金屬之最輕者，但其質地甚軟，故在工業上除綫，板，管等間有採用純鋁外，其他材料，須配以他種金屬，增其硬度，是名為輕合金。

鋁的合金由高溫急冷時，起始質軟，後漸變硬，經過一定的時間，始達最高硬度，故亦具歷時性。

鋁與別種金屬的合金，著有成效者，約有下列數種 (1) 鋁銅合金 (2) 鋁鋅合金，(3) 鋁鎂合金，(4) 鉛鐵合金，(5) 鋁鎳合金，(6) 鋁鈹合金，(7) 鋁鈣合金，(8) 鋁銅鋅合金等。

鋁銅合金 鋁加銅在 4% 以下，因其大部成固溶體，展性甚高，可施滾軋；其 7.0% 至 8.5% 的鋁合金，含雜質須在 1.7% 以下，因其質變脆，展性減低，宜於鑄造。

鋁鋅合金 鋁與鋅化成固溶體，在鋅量增至 40%，其硬度隨之增高，惟展性減低，且增加比重，又使鑄造困難，不過鋁鋅合金成本較低，抗張強度伸長甚高。

鋁鎂合金 在鋁鎂合金中，鎂與鋁一部結合成 $AlMg_2$ 及 $AlMg$ ，

惟當溫度減低，其結合作用有還原的傾向，含量約在 2% 至 23% 之間，現有加入矽質使與鎂結合為 $Mg Si$ 者，惟矽的加入雖能保持鎂的結合作用，但可使強度高而脆，故在應用上須另加他種金屬。

鋁鐵合金 在鋁鐵合金中，鐵與鋁結合成 $Fe Al_3$ ，其結晶成針狀，頗硬，故不能單獨應用，但以鐵加入於他種鋁合金如鋁銅合金，鋁銻合金，則能增加其展性，減低其收縮度。

鋁鎳合金 在鋁鎳合金中，鎳與鋁結成 $Ni Al_3$ ，其性質與鋁銅合金相似，在鑒別合金是否為 $Ni Al_3$ 或 $Cu Al_2$ ，可用氫氧化鈉，因其 $Ni A_3$ 接觸後即黯而無光，而 $Cu A_2$ 則否；普通鋁鎳合金含鎳 5% 以下。

鋁矽合金 在鋁矽合金中，矽與鋁僅係混合，矽分普通在 10% 左右。

鋁錳合金 鋁錳合金含錳 2% 以下，能增高強度，在高溫度時，亦能保持；又能使其具抗磨性，錳在鋁中與鋁結合為 $Mn Al_3$ 。

鋁銅鋅合金 此種合金應用較廣，為含鋅 25%，銅 3% 的合金，抗張強度為 41000 磅/方吋，此係在沙模鑄造；如用速冷法可增至 45000 磅/方吋，經熱展後其抗張強度可達 71000 磅/方吋，屈服點為 60000 磅/方吋，伸長 21%，如施冷卻，尚可增加；含鋅最高 23%，銅最高 5% 的合金，可製造飛機，汽車的零件，如曲柄箱等，又可為壓鑄合金。

輕合金在工程運用上大多為多元合金，可分為鑄合金及鍛合金兩種。

§ 140 **鑄鋁合金** 鑄鋁合金在沙模中或永久模中鑄造，後法所得的性質較佳，如再施加熱處理，可再增高其強度及硬度。普通應用者其成分及物理性質如次表：

鑄鋁合金的性質成分表

號數							抗張強度	伸長	比重
	銅	矽	錳	鋁	鎂	鐵	磅/方吋	%	
1	8.0	—	—	—	—	—	18000—23000	1—3	2.85
2	7.0	—	1.5	—	—	1.2	19000—24000	1—2.5	2.88
3	8.0	1.25	—	—	—	1.0	19000—24000	1—2.5	2.85
4	0.6	5.0	—	0.2	—	0.8	17000—21000	3—7	2.66
5	0.15	13.0	—	0.25	—	0.6	24000—31000	5—15	2.65
6	8.5—11	—	—	—	—	—	22000—30000	0.5—1.5	2.88
7	11—14	—	—	—	—	—	20000—30000	0—1.5	2.89
8	3.0	—	15.0	—	—	—	22000—32000	1—6	3.00
9	—	—	—	2.0	—	—	17000—22000	2—6	2.75
10	4.0	—	—	—	1.5	錳 2.0	23000—30000	0—1	2.8
以上適用沙模鑄造									
11	7.0	—	1.5	—	—	1.2	21000—29000	1.5—3	2.88
12	0.6	5.0	—	0.2	—	0.8	18500—24500	3—8	2.66
13	10.0	—	—	—	0.25	1.2	22000—30000	0—1.5	2.88
14	5.5	—	—	—	—	—	22000—28000	3—6	2.77
以上適用永久模鑄造									

15	10.0	—	—	—	0.25	1.2	24000—48000	0—6	2.88
16	4.0	—	—	—	—	—	28000—50000	0—6	2.77
17	5.0	—	—	—	—	—	33000—15000	0—2.5	2.78
18	4.0	—	—	—	1.5	鑲 2.0	32000—42000	0—1.5	2.8
以上適用加熱處理鑄造									

上表的說明：號 1 昔時曾用於鑄造龐大鑄品，現則採用號 2 及號 3 矣。

號 4 及號 5 收縮性較低，在澆注溫度時流動性大，故可鑄造大截面聯有薄臂的機件，製成鑄品後質地密實，且能抵抗腐蝕，在船舶機件及真空壓力器械，採用此種合金，最為適宜。號 5 合金鑄造時須有特別技術與經驗，融熔時宜稍加氧化鈉以改良其性質，否則晶體顆粒粗大，質地變脆，阿爾派克斯（註）及雪羅明（註）合金，即屬此號。

號 6，號 13 及號 15 宜於沙模及永久模鑄造，若施以加熱處理後，其性質易起變化，普通稱為活塞合金，飛機汽車引擎的活塞，大多採用此種合金。

號 7 多用於壓力鑄造，其用途與號 4 號 5 同；號 8 應用於普通鑄品，號 9 在鑄造時易起縮裂，故除小件及管子接頭外，採用甚少。

號 10 及號 17 合金，製成鑄品後在高溫時尚能保持其強度，此特色為諸金屬冠，故宜於製造內燃機關的機筒及活塞。

號 14 及號 17 合金強度甚高，鑄成後常施加熱處理。

鑄鑄合金在重溶時，須俟其溫度降低時澆注，則鑄後性質仍佳。

註 阿爾派克斯 Alpac

雪羅明 Silumin

§ 141. 鍛鋁合金 鍛鋁合金展性較大，質堅韌，普通應用者其成分如次：

鍛鋁合金成分表

號數	銅 %	錳 %	鎂 %	矽 %
1	4.0	0.5	0.5	—
2	4.5	0.8	0.0	0.8
3	—	—	0.6	1.0
4	2.5	—	0.3	—
5	3.5	—	0.3	—
6	4.0	0.6	0.5	1.25

鍛鋁合金的物理性質，對於加工處理，影響頗大，當其熔鑄後再經冷作，則晶體結構變優，但其硬度增高，須用 650°F 將其燜火，下表中合金柔軟者用記號 "S"。如經冷作加工加熱至熔點以下，投入冷水中淬火，其抗張強度，屈服點，硬度增加甚大，用記號 "W"。利用其歷時性俾其物理性質達最高度，可在常溫度中歷時數日，有合金須加熱至 320°F 然後在此溫度下歷時 12 至 18 小時者用記號 "T"。

上表諸合金的成品原料，形狀種類不一，或為鍛件，或為板皮，或為管子，或為各形桁，在飛機，汽車，鐵路車輛，船舶等的架橋及機件製造上，應用極廣。而號 1 合金通稱為寶拉羅明（註）合金，尤為製造飛機最適當的原料；號 2 及號 3 合金，大率用於鍛

註 寶拉羅明 Duralumin

鍛鋁合金性質表

號別	抗張強度 磅/方吋	屈服點 磅/方吋	伸長 %	勃氏硬度
1S	25000—35000	7000—10000	14—22	45—55
1T	55000—63000	30000—40000	18—25	90—105
2S	23000—35000	7000—12000	12—20	45—55
2W	45000—53000	15000—30000	15—22	68—85
2T	55000—63000	30000—40000	16—25	90—105
3S	14000—19000	4000—6000	15—30	25—32
3W	30000—40000	15000—20000	20—30	55—70
3T	45000—50000	30000—40000	10—18	90—100
4S	20000—25000	—	20—28	30—40
4T	35000—45000	15000—20000	20—28	55—75
5S	20000—25000	—	20—28	30—40
5T	42000—50000	20000—25000	20—28	65—85
6S	25000—35000	7000—10000	12—20	42—55
6T	63000—70000	50000—55000	8—14	95—125

件，其密度約自 2.69 至 2.8；抵抗腐蝕的合金首推 1T 及 3W 兩號。

阿爾克來特（註）鋁合金，乃純鋁為表合金為裏的鑄品，因表面用純鎂，對於腐蝕性的抵抗較強，惟強度則稍遜。此種合金，可施煨

接，情因所需溫度甚高，有損其物理性質，不若用鉚釘及別式機械按準法為佳。

馬格那列（註）合金含鎂 2% 至 23%，比重甚輕，僅為 2.4 至 2.57 熔點為 1110°F 至 1290°F ，其抗張強度速冷鑄成者自 42000 磅/方吋至 64000 磅/方吋，沙模鑄成者自 17000 磅/方吋至 30000 磅/方吋，滾軋後自 28000 磅/方吋至 35000 磅/方吋。

含鋅 18.5%，銅 2.5%，鎂 0.5% 的合金，抗張強度達 75000 磅/方吋至 80000 磅/方吋，為任何輕合金所不及，且其對受反覆擔負可達 18000 磅/方吋，伸長 18%，比重 3.1，但耐熱不得過 180°F 耳。

註 阿爾克來特 Alclad

馬格那列 Magnalium

章 13 黃銅與青銅

I 黃銅

§ 142 黃銅中別種原質的影響 黃銅為銅與鋅的合金，銅中含鋅，其強度增加，惟鋅成分超過 42% 時，此種影響漸低；在應用上黃銅尚含微量的錫與鉛，又有含鐵錳及鎳者；銅鋅各半的合金名為鋁白鐵，前已言之矣。

鉛能減低黃銅的強度及展性，展性的減低尤甚，使其對於突然擔負的抵抗減弱，但硬度的影響甚微，故需要展性大的黃銅，鉛成分須在 0.1% 以下；但鉛能使黃銅易於機械施工。

錫對於黃銅含量少時並無妨害，且對於海水的腐蝕抵抗頗強，故海用黃銅為銅 60%，鋅 39%，錫 1%。至於彈簧所用的黃銅，常用錫以增其堅度。

鐵對於黃銅的影響與錫相似，通常在含鋅 40% 至 45% 的黃銅中加鐵 1% 至 2%，可增高其強度，硬度及堅性，而對於冷作熱作加工，俱無妨害；最有名的含鐵黃銅為台爾太（註）黃銅，其成分為銅 55%，鋅 43.5%，鐵 1% 及微量的鉛，錳，鎳，錫；另有阿欺（註）及斯端洛（註）兩種黃銅亦屬此類，其成分為銅 60%，鋅 38%，鐵 1.5% 至 2%，此種黃銅抗張強度鑄者為 65000 磅/方吋，鍛者為 76000 磅/方吋，冷牽者為 85000 磅/方吋；鐵的優點在增高強度硬度後，尚能保持展性及堅性，若台爾太黃銅在高溫度時且能保持其強度。

鎳有害於黃銅，蓋鎳在黃銅中的影響與磷硫在鋼中相同，能使晶體粗大發生冷折，故其成分宜在 0.01% 以下，最好不含鎳質。

砷對於黃銅的影響與鎳同，惟能增加熔液的流動性，在銅 60%，鋅 40% 的黃銅中，含砷 0.5% 時，其晶體顆粒甚粗，雖減低至 0.02% 仍有此種作用；故鑄黃銅砷須在 0.1% 以下，燭火者須在

註 台爾太 Delta
斯端洛 Stro

阿欺 Aich

0.2% 以下。

鋅在黃銅中當其由熔融凝固時與銅分離，散布於晶體之間，易使其發脆。故在 60:40 的黃銅中，鋅成分須在 0.02% 以下，在 70:30 的黃銅中，鋅成分須在 0.01% 以下。

錫對於黃銅影響甚微，在 60:40 的黃銅中，含錫 1%，或 70:30 的黃銅中含錫在 1% 以上俱無妨害；不過含錫 1% 至 2% 時其晶體成膜狀，2% 以上時成球狀。

此外鉛對於 60:40 的黃銅能增高其強度，效用最著；錫，鋅，鐵與鉛同，惟不若鉛之有力，其影響於屈服點及伸長甚大，惟此專指沙模鑄造而言，若冷軋黃銅含鉛過 3% 時，有減低展性的傾向。

在工程應用的黃銅大別為鑄黃銅與鍊黃銅兩種，其成分性質如次表：（表在頁 170 的對面）

抗壓強度：(甲) 為 30000 磅/方吋，(乙) 為 39000 磅/方吋，(丙) 為 60000 磅/方吋，(丁) 為 75000 磅/方吋，(己) 為 77500 磅/方吋。

彈性係數：(甲) 為 13000000 磅/方吋，(戊) 為 16600000 磅/方吋，(庚) 為 14000000 磅/方吋，(辛) 為 17500000 磅/方吋。

§ 143 鑄黃銅 鑄黃銅含鋅 30% 至 40%，最佳者為銅 65%，鋅 35%，加入少量錫質，可增高其硬度；性軟，具有展性，切削時可牽捲，加鉛 1% 至 2% 後，切削較易，惟展性減低，故不成捲而成短片。

鑄黃銅分金色黃銅與普通黃銅兩種：金色黃銅含鋅 10% 至 20%，宜於製造裝飾品及日用器具，其色彩光耀如金，熔點為 1830°F，此種黃銅又可鑲以含銀白鐵或低溫度鎳黃銅。普通黃銅分為兩類：一為含錫極微，硬度適中者，具較大的流動性，機械施工容易，不含鐵分，用於鑄造上等機件；二為含鐵 0.5% 至 2%，另含鉛錫，用於鑄造次等機件。

黃銅的性質及成分表

(此頁在 170 中間)

成分 %					製法	抗張強度		伸長 %	面積縮減 %	勃氏硬度	附註
銅	錫	銻	鉛	其他原質		彈性限度	彈性極限				
90	—	10	—	—	沙模鑄	—	29	22	—	—	甲
					硬軋	—	55	5	—	60	—
					軟軋	—	37	40	70	47	—
80	—	20	—	—	沙模鑄	—	35	31	32	—	乙
					硬軋	—	75	5	—	75	—
					軟軋	—	42	50	85	46	—
70	—	30	—	—	沙模鑄	—	40	35	—	37	丙
66	—	34	—	—	硬軋	—	60	5	—	75	—
					軟軋	—	48	50	85	45	—
60	—	40	—	—	沙模鑄	21.8	45.8	15	22	—	丁
					硬軋	45	70	30	50	—	—
57	—	42	1	—	鑄	—	57	50	—	—	—
55	—	41	4	—	—	—	85.4	16.5	—	—	—
62.9	—	33.3	3.8	—	—	—	80	—	—	—	—
70.5	—	26.4	3.1	—	—	19	47	50	—	—	—
64	—	29	3.1	錳 2.5 鐵 1.2	鑄	30	98	16	17	130	—
58.6	—	38.5	1.5	鈳 0.03	冷牽	50.6	81.4	12	14	—	—
56	—	41.5	—	鐵 1	鑄	—	72—84	35—32	35	109—119	—
60	—	38.2	—	鐵 1.8	鑄	—	57.3	—	—	—	—
57	—	42	—	鐵 1	沙模鑄	—	45	10	—	—	戊
					硬軋	—	60	17	—	—	—
65	—	30	—	鐵 5	硬軋	—	65	—	—	—	—
60	—	38.5	—	鐵 1	鑄	35	70	25	—	—	—
					軋	45	90	25	—	—	—
56.5	1	40	—	鐵 1.5	鑄	33—37	70—75	35—20	35—22	104—119	—
55	0.8	42.4	—	鐵 1.8	鑄	—	60.5	—	—	—	—
					鍛	—	76.2	—	—	—	—
					硬牽	—	83.1	—	—	—	—
60—63.5	—	35—33.5	—	鉛 5.3	鑄	—	33—39	30—26	35—30	—	—
					烟火板皮	—	42	50	—	—	—
					硬板皮	—	61	30	—	—	—
83	4	7	—	鉛 6	鑄	16	30	17	19	—	己
78	2	9.5	—	鉛 10	鑄	12	26.5	22	24.9	—	—
70	1	27	—	鉛 2	鑄	10.5	29.5	25	28.5	—	—
58	—	39	—	錳 0.05	沙模鑄	30—35	70—75	30—22	32—25	109—119	庚
					速冷鑄	32—37	75—80	32—25	34—28	119—130	—
60	—	39	—	錳微量	軋	45	75	25	28	—	—
58.6	—	38.5	1.5	錳 0.5 鈳 0.03	冷牽	50.6	81.4	12	14	—	—
60.4	—	31.8	—	鏷 7.7	鑄	15.4	36	40.5	42	46	—
61.6	—	17.2	—	鏷 21.1	—	18.8	40.9	28.5	25.1	80	—
60.6	—	11.8	—	鏷 27.3	—	23.7	53.5	32	31.4	67	辛
58	—	24	—	鏷 18	硬牽細絲	—	150	—	—	—	—
61	1	38	—	—	沙模鑄	15.7	42.6	29.6	32	—	—
					軋後烟火	37	62	25	37	—	—
58.2	2.3	39.5	—	—	鑄	25	60	—	—	—	—
					軋	54	79	35	40	—	—
55	2	43	—	—	鑄	—	68.9	48	70	—	—
78	4	16	—	鉛 3	鑄	16.1	28.9	19	23.2	—	—
58.6	—	38.5	1.5	鐵 1 鈳 0.03	冷牽	80	92	11.5	29	—	—

§ 144 鍊黃銅 鍊黃銅的種類甚多，名稱各異，以其加工的不同可分為熱作與冷作兩種：

熱作黃銅 熱作黃銅又名低級黃銅，宜於熱軋，含鋅 38% 至 44%，加熱至紅熱時質柔韌，故可施熱工作，其物理性質常因加熱處理的不同而異，最有名的合金為曼茲（註）黃銅，含銅 60%、鋅 40%，頗耐海水的腐蝕，故適宜於製造船舶包皮，在鍊造時可軋為黃銅皮。黃銅熱軋須在 1100°F 以下，淬火後硬度可增，其抗張強度為 55000 磅/方吋，伸長 30%。

改良熱作黃銅即於熱作黃銅中加入錫及鐵，最有名的為韜平（註）及台爾太黃銅。韜平黃銅中含銅 58% 至 60%，鋅 40%，餘為錫，鐵，鉛，可製為 $\frac{3}{8}$ 吋至 2 吋厚的板皮，直徑高至 7 吋的圓條，直角桁及無縫管子等，以供應用。紅熱時可鍛；能抵抗腐蝕，故海用機械中應用甚廣。需用強度可靠的機件，宜採用此種黃銅。焊接生鐵，鋼管或普通機械的修配接合，又可採用之為銲接材料。台爾太黃銅與韜平黃銅相同，維台爾太含鐵 1% 至 3% 耳。

冷作黃銅 冷作黃銅又名高級黃銅，宜於冷軋，為製造管子，鎗彈殼綫的原料，其成分為銅 70%，鋅 30%，其強度適中，展性頗大，即銅成分高的合金，展性仍舊，故宜於冷工作。彈簧黃銅含銅 72%，鋅 28%，或銅 66.66%，鋅 33.33%，此種合金加工後硬度往往增高，故必須焯火，於焯火後應用酸液洗去其表面的氧化層，焯火時的加熱溫度頗為重要，如在 536°F 以下焯火，不生效力，最高不得過 1400°F，若 70:30 的黃銅，以 620°F 至 650°F 最為適宜。含有錫鉛的黃銅，其溫度尚可增高少許。

冷作黃銅中加入鉛錫，可以改良其性質，鉛質使易於施工，鉛黃銅必須冷軋，因其在紅熱時易於紅折，最適宜的成分為銅 60%，鋅 38%，鉛 2%，其抗張強度平均為 60000 磅/方吋，伸長為 15% 至 20%，面積縮減為 50% 以上；錫可增加其硬度及腐蝕抵抗力，尤其對於海水的腐蝕，海軍黃銅含錫 1%，銅 70%，鋅 29%。

註 曼茲 Muntz

韜平 Tobin

§ 145 黃銅的加熱處理 黃銅的物理性質的變化，於燻火的溫度關係至切，當加熱至 650°F 至 750°F 時，其抗張強度為 55000 磅/方吋，伸長 40%，增至 1300°F 至 1400°F 時，抗張強度為 40000 磅/方吋，伸長 55%，故冷襪後的黃銅，經燻火後能將其內力消滅；如溫度太高，則其晶體重行結合，重行結成晶體的最低溫度，在 750°F 時需壹小時，晶體的大小與安全燻火溫度為正比，如時間溫度及材料所受的加工程度俱已規定，則晶體的大小不變；故在此種情形物理性質間接與晶體的大小有關；含有雜質鐵，鎳等，因其有阻碍晶體形成的力，故加熱的溫度宜稍高。

含銻 20% 以上的黃銅，遇稀酸液或鹽溶液的腐蝕，易起季裂（註），燻火能將此種弊病革除，故如管子銅條螺釘等，應用前宜加熱至 480°F 至 570°F 。

II 青銅

§ 146 青銅中別種原質的影響 青銅為銅與錫的合金，銅中含錫，則其硬度增加，惟錫成分超過 27% 時，此種影響漸低，故以含錫 4% 至 25% 為最適宜，如需具有展性的青銅，則錫須在 6% 以下，倘過 12% 時，則展性減低甚大，受震後即可破裂，故在應用上青銅尚含有其他原質如鉛銻等。

銻在青銅中成分低時可作為提氧劑，對於鑄造的影響頗佳，但其成分高過 2% 時，強度的低減甚大，且有使青銅變為黃銅的傾向。

鉛在青銅中於熔融時稍有妨害，故除承襯及像銅外，以不含鉛為佳。

鐵對於青銅的影響與銻相似，在機器青銅中，常含有此種成分。銻，砷，硫能使青銅變脆，故其成分須在 0.1% 以下。

磷能使青銅質地潔淨，含磷甚微，磷的作用與錳青銅中的錳同，惟磷尚可使熔液流動性大，鑄成後的性質頗優，能抵抗化學溶液的腐

註 季裂 Season cracking

青銅的性質及成分表

(此頁在頁 173 中間)

成分 %					製法	抗張強度		伸長 %	面積縮減 %	勃氏硬度	附註
銅	錫	鉛	銻	其他原質		彈性限度	極限				
97.7	2.3	—	—	—	鑄	8.5	28	20	—	—	甲
					軋軋	10.8	48	55	75	—	—
90	10	—	—	—	軋軋	10.3	33	10	—	—	乙
80	20	—	—	—	鑄	10.1	32	1.5	—	—	丙
70	30	—	—	—	鑄	2	7	0.5	—	—	丁
89	10	1	—	—	鑄	—	22	—	—	—	—
88	10	2	—	—	鑄	19—23	30—35	20—15	26—18	65—70	—
80	10	10	—	—	沙模鑄	15.5	31.4	13.5	12	63	—
					速冷鑄	18.2	35.2	4.5	3.5	85	—
				磷微量	鑄	16	30	6	3.5	65	—
76	7	13	4	—	鑄	19.6	26.8	11	11.5	—	戊
81	7	9	3	—	鑄	19—20	30—35	18—15	24—22	50—55	—
88	8	2	2	—	鑄	—	31—37	20—16	—	57—59	—
73	11.3	12	2.5	磷 1	鑄	15	30.4	4	3.3	—	己
88	10	—	—	錳 2	鑄	12.8	27.2	25	—	—	—
88	5	—	2	鎳 5	鑄	13.1	40.7	32	28	—	庚
89	4	—	3	鎳 4	—	11.5	39.7	31	31	—	辛
95	4.9	—	—	磷 0.1	軋軋	40	65	30	—	—	—
89	10.5	—	—	磷 0.5	鑄	16—20	31—35	6—10	—	72—77	—
95	4.9	—	—	磷 0.1	軋軋	40	65	30	—	—	—
89	10.5	—	—	磷 0.5	鑄	16—20	31—35	6—10	—	72—77	—
70	29.5	—	—	矽 0.5	鑄	—	65	0	—	—	—
					硬牽	—	105	0	—	—	—
88	10	—	2	—	沙模鑄	12.2	38.9	25	21	64	—
					鑄	18	48.7	48.2	—	70	—
88	8	—	4	—	鑄	11	39.2	30.5	24	58	—
85	13	—	2	—	鑄	—	38	2.5	2.5	—	—
90	6.5	1.5	2	—	鑄	12—16	34—40	33—25	34—26	50—60	—
87	7	1	5	—	鑄	18.7	35.3	23.2	24.9	—	—
85	5	5	5	—	鑄	15—19	27—33	20—16	20—15	50—62	—
83	14	1	2	—	鑄	15—19	23—27	4—0.5	4—0.5	—	—
86	11	—	3	磷微量	鑄	19	35	9	—	—	—

蝕，尤為其特色。

鉛、錫，能增加青銅的強度，錫錳成分過高時有害於強度，含錫或鉛 2% 時，機械施工甚易。

青銅的性質及成分表在頁 173 的對面。

上表中，抗壓強度：(甲) 34000 磅/方吋，(乙) 55000 磅/方吋，(丙) 118000 磅/方吋，(丁) 150000 磅/方吋，(戊) 77000 磅/方吋，(巳) 70500 磅/方吋。

彈性係數：(甲) 10000000 磅/方吋 至 15500000 磅/方吋，(庚) 17300000 磅/方吋，(辛) 14900000 磅/方吋。

§ 147 普通青銅 青銅在工業上應用者約有：(1) 礮銅，(2) 機器青銅，(3) 承襯銅，(4) 鐘銅，(5) 像銅，(6) 貨幣及獎章徽章青銅，(7) 美術用青銅，(8) 鏡銅。

礮銅 礮銅含錫 8% 至 11%，當銅未發明前，以此種青銅製礮故名，普通尚含有錐，鉛，鐵質等。

我國礮銅含銅 93.19%，錫 5.43%，鐵 1.38%；又有含銅 77.18%，錫 3.42%，鐵 1.16%，錐 5.02%，鉛 13.22% 者。

礮銅的強度，展性，延性及對於突然擔負的抵抗均甚佳，在普通工程上可供製造蒸汽活門，耐高壓力機件如蒸汽器，抽水機，吹風器，及齒輪等。

機器青銅 機件之須具有耐摩擦蝕性者，除重要者採用合金鑽外，其餘大率採用機器青銅，其成分如下表所示：

機器青銅成分表

用途	銅 %	錫 %	錳 %	鉛 %
偏心圈	84	14	2	—
唧筒的筒身及活門箱	88	10	2	—
機關車上的管笛	80	18	2	—
塞阻箱及球形活門	86.2	10.2	3.6	—
大螺旋桿的螺母	86.2	11.4	2.4	—
活塞圈	84	3	8.5	4.5
滑動活門	82	18	2	—
齒輪(甲)	87.7	10.5	1.7	—
齒輪(乙)	88.8	8.5	2.7	—
科學儀器微受變差溫度者	82	13	5	—
科學儀器天平砝碼等	90	8	2	—
螺旋推進槳	97	14	29	—
槳葉及軸	76.8	17.4	3.8	—

承襯銅 承襯銅又名銅基承襯合金，其強度硬度均高，適於受重大的壓力。銅基承襯合金大別為四種：(1) 銅錫，(2) 銅錫錳，(3) 銅錫鉛，(4) 銅錫錳鉛；不過尚有加入別種原質以改良其性質者。

銅錫承襯合金係最先採用為承襯材料者，機械上機車上的軸承皆採用之，其成分含銅 $\frac{7}{8}$ ，含錫 $\frac{1}{8}$ ，其抗壓強度及硬度均甚高，受錳性

鋁青銅的性質及成分表

成分 %					製法	抗張強度		伸長 %	面積減縮 %	勃氏硬度	附註
銅	錫	鉛	鋁	其他原質		彈性限度	極限				
90	—	—	10	—	沙模鑄	19.8—33.2	72.7—85.5	28.8—21.7	30—22.4	102—106	—
92.5	—	—	7.2	—	—	9.6	53	91	72.9	81	—
86.4	—	—	9.7	鐵 3.9	鍊銅	14	84.4	11.5	—	—	—
					鑄	115	78.85	14.5	—	—	—
88.5	—	—	10.5	鐵 1	沙模鑄	20	77	24.5	25	100	—
					85°C 淬火 700°C 牽引	40	92	14	18.5	140	—
88.5	1.2	—	10.4	—	速冷鑄	36.7	68	4.5	5.5	189	—
90	—	—	10	—	鑄	19.8	74	19.5	23.7	100	—
					800°C 淬火	40.5	105.2	1	0.8	262	—
89	—	—	10	鐵 1	鑄	20—25	65—80	30—20	30—20	93—100	—
71.9	0.5	27.5	—	—	鑄	—	6—6.6	3—3.2	4.2—6.7	—	—
82.1	—	—	2.5	錳 0.7 鎳 14.6	鍛	63.3	128	10	12	—	甲

(此表在頁 175 中間)

甲 = 彈性係數為 21500000 磅。

小，易發熱，摩擦率甚大，故僅適用於受重壓力的軸承。

銅錫銻承襯合金係於銅錫合金中，加入銻質，可使其鑄造性變優，惟此種合金現僅作軸承的襯底，於其上再加錫基合金為襯面；船舶，汽車的軸承皆採用之；其製造成本甚昂。

銅錫鉛承襯合金中因有鉛質，故其受衝性優良，不易發熱，摩擦率甚小，應用最廣。適用於製造連桿，機車車輛及機械的軸承，以及冷軋軋輥的軸承襯等。

銅錫鉛銻承襯合金成本最廉，因銻的成分乃隨攪廢料混入者，其作用能使摩擦率增高，又能使質地變脆，在含鉛量甚多的合金中，銻質能使在較高溫度時強度減弱。

鐘銅 鐘銅含錫 15% 至 25%，小鐘約 15%，大鐘約 25%，含雜質宜少，熔液須潔淨，否則發音不良。不過鐘的發音與其形狀厚度，鑄造溫度，鑄造方法，微加鉛銻等皆有關係，故鑄造時務須注意，澆注後冷卻緩慢者，硬而脆，如在 932°F 以上使其速冷，則柔而韌，且微具黃色。

像銅 像銅為鑄造人像及藝術品用，其成分為銅 88% 至 95%，錫 2% 至 10%，銻 0.5% 至 10%，鉛最高 2.5%，廉價像銅含錫少而含銻多；鉛銻二質對於銅的美觀色彩頗有關係。

貨幣及獎章徽章青銅 此種青銅的成分為銅 95%，錫 2.5%，銻 2.5% 或錫 4%，銻 1%；具有硬度，能抵抗摩擦，其展性，延性仍佳，故可受模子衝壓花紋。

美術用青銅 此種青銅含銅 74%，錫 1%，銻 10%，鉛 15%；供製造美術品。我國普通的青銅器皿，即用此種合金。

鏡銅 鏡銅含銅 $\frac{7}{8}$ ，錫 $\frac{1}{8}$ ，質硬，加微量的砷或銻後，可使其銀白色分外增加，供造光學器械之用，古時用以製鏡，故名。

§ 148 特別黃銅及青銅 特別黃銅及青銅常見者有：(1) 錕青銅，(2) 鎳青銅，(3) 鎳黃銅，(4) 鑄紅黃銅，(5) 磷青銅，(6) 磁性合金，(7) 砒青銅，(8) 釩青銅等。

錳青銅 錳青銅實則可稱為錳黃銅，因其成分大部為銅與錳的合金，其所以稱為青銅者，因其具有紅色，與青銅相似。錳在銅中，全為提氧作用，故鍊成的錳青銅，含錳極微。

鑄錳青銅最初應用於船舶的螺旋推進葉，因其強度堅性極高，且能抵抗海水的腐蝕。若微加鎳質，其抗腐作用更佳。其用途除船舶推進葉外，擔負重大的齒輪，活門桿，擔負重大的承攔軸承，及唧筒等皆採用之。

鍊錳青銅鑄用機，船舶鍋爐的固定螺釘，蒸汽輪機的輪葉皆採用之。

抗酸性最強的錳青銅宜於製造化學器械，此種錳青銅名為丹雪立脫（註），取其具有高抗張強度之義也。

純粹銅錳合金含錳 5% 至 6%，因其能耐受高溫度，故適用為鍋爐的固定螺釘。

鋁青銅 鋁青銅為銅與鋁的合金，含鋁最高 11%，其特點與錳青銅相似，其抗張強度有時且大於錳青銅，但其伸長度較低，而鑄造較為困難，故成本大，不能與錳青銅競爭。

含鋁 10% 的合金，可鑄，可熱碾，其抗張強度甚佳，交變擔負的抵抗極強，抗蝕抗摩性俱佳。

鐵對於鋁青銅能增加其強度及硬度，在 0.5% 以下，影響於其延性甚微。含銅 79%，鋁 11%，鐵 5%，鎳 5% 的合金，硬度及抗摩性極高，飛機引擎需具硬度抗摩性的機件為活門座等，採用此種合金，最為適宜；如再加入鈦質，性質更佳。

鋁成分過 11% 時質脆，施工困難，不適應用。茲將鋁青銅合金列表如次：（見頁 176 的對面）

註 丹雪立脫 Tensilite

彈性係數：(甲) 為 21500000 磅/方吋。

鋁黃銅 鋁黃銅為含鋁 3% 以下的銅錒合金，其性質與錒青銅相似，在應用上有以此代替鋁青銅者，其抗張強度範圍甚廣，隨成分而異。

鑄紅黃銅 各種銅合金含銅的成分高，呈現紅色，俱可稱為紅黃銅，惟銅 55% 錒 45% 的合金及錒青銅，鋁青銅，鋁黃銅，雖亦具紅色，不屬此類。紅黃銅的銅成分總在 75% 以上，錒，錒，鉛三質的成分，多寡不定，因其易於施工，且具紅色，故應用於管子零件裝飾器皿等的製造，承襯合金，亦有採用此種合金者，其成分如次表所示：

鑄紅黃銅性質成分表

號數	成分 %				抗張強度 磅/方吋	伸長 %	面積 縮減 %	勃氏 硬度	每呎的 收縮率 吋	每立的 重量 磅
	銅	錒	鉛	錒						
1	88	6.5	1.5	4	30000-36000	25-30	25-30	—	0.125	0.31
2	85	5	5	5	27000-33000	16-20	15-20	50-60	0.14	0.31
3	83	4	6	7	25000-30000	15-20	26-26	55-60	0.125	0.31
4	77	3	10	10	25000-20000	10-15	10-15	50-55	0.125	0.31
5	76	2	6	16	20000-25000	15-20	10-20	43-48	1.125	0.31

上表號 1 為高級蒸汽管件，用紅黃銅鑄造，施工甚易；號 2 為普通機件採用的高級紅黃銅；號 3 為中級；此兩種鑄造易，施工較號 1 更為容易；號 4 供製造受低壓力的活門及管子零件；號 5 供製造空氣，煤氣及水的管子零件。

磷青銅 磷青銅含磷甚微，磷的作用與錒青銅中的錒同，惟磷尚可使熔液流動性大，鑄成後的性質頗優，能抵抗化學溶液的腐蝕，尤為其特色；磷青銅含磷銅 (Cu₃P) 約自 1.5% 至 3.5%，磷又可含

於錫質中，磷青銅含磷錫約自 0.5% 至 2%；含磷分高的青銅，其抗摩性極強，故可用以製造承襯機件。

鍊磷青銅含銅 91% 至 87%，錫 3% 至 9%，磷 0.5% 以下，可牽為綫，輾為板條，具有堅性，高强度及抗蝕性，而彈性更大，故可輾為板皮，製造彈簧的磷青銅綫含銅 92%，錫 8%；磷的成分以能行完全提氧作用已足，此種彈簧銅最適宜於製造電鍵，彈簧，普通彈簧以銅 94%，錫 6%，為宜。

鑄磷青銅含銅 80% 至 92%，錫 8% 至 20%，磷 1.5 以下；此種合金以不含鉛錫為佳，否則性質受其影響，茲將其成分列表如下：

鑄磷青銅成分表

號數	銅 %	錫 %	鉛 %	磷 %	鐵 %	錳 %	雜質 %
					最高	最高	最高
1	86-89	9-11	1-2.5	0.25(最高)	—	—	0.5
2	78.5-81.5	9-11	9-11	0.05-0.25	—	0.75	0.25
3	88-90	10-12	—	0.1-0.3	—	—	0.5
4	75.5-78.5	7.25-8.75	13.5-16.5	0.25(最高)	0.25	0.5	1.25
5	91.5-89.3	8-10	—	0.5-0.7	—	—	—
6	89.3-87	10-12	—	0.7-1	—	—	—
7	89-86.5	10-12	—	1-1.5	—	—	—
8	90	9.5	—	0.5	—	—	—

上表號 1 合金施工甚易，適宜於製造受重大擔負的承襯圈；號 2 為優良的減摩合金，宜於製造受重大擔負的承襯軸承；號 3 硬度更高，齒輪及螺旋齒輪等宜採用之；號 4 為軟青銅，其減摩性亦甚

優；號 5 合金宜製造活門，小齒輪，唧筒，螺旋推進葉，鍋爐的阻漏裝置等；號 6 合金較號 5 合金為硬，宜製造螺旋齒輪，活門，唧筒，機筒，電機用齒輪等；號 7 合金，硬度甚高，抗磨性甚強，適用於製造滑動活門，承襯軸承，螺旋齒輪及受摩擦的機件；號 8 的抵抗酸液腐蝕性甚大，應用於化學器械的製造。

磁性合金 此種合金名為赫斯勒磁性合金（註），含銅 64.4%，錳 23.4%，鎳 4%，其磁性甚佳，惟質硬而脆，故應用不廣。

砒青銅 砒青銅為純銅內加少量的砒以為提氧劑者，故含量甚微，約 0.1% 以下，強度甚大，導電率亦大，宜製造電車，電話，電報的傳電線。

鈳青銅 鈳青銅內的鈳亦為提氧劑，惟鈳又使鑄品質地密實，且可略增強度及展性，在 60：40 的黃銅內加入鈳質，其抗張強度增加 25%，伸長增加 60%，其用途為船舶機件；實則鈳青銅可稱為鈳黃銅，因其成分為銅與錫也。

註 赫斯勒磁性合金 Heusler magnetic alloy

章 14 承襯合金及其他合金

I 承襯合金

§ 149 承襯合金 機械能作有規則的運動，全賴各機件承襯相互就範，故摩擦的程度，對於原動力的虛耗及機械的工作效率，關係至切，在工程材料中，對於承襯金屬別立一類而論，即此之故。

優良的承襯合金須具下列特點：(1) 宜具適當的抗壓強度，使能受每方吋 350 磅至 400 磅的擔負，(2) 質地須柔，俾有受範性，使各部密接，擔負分配平均，不易發熱；但質地需柔，而以不易受熱為合格，(3) 易於鑄造，所含成分須有提氧作用，(4) 摩擦係數須低，惟此點對於潤滑油的優劣亦有關係，(5) 宜具適當的韌性，俾能抵抗摩擦，不致損耗太甚。

承襯金屬的配合即以適合上述五點為中心；接鉛能減低摩擦，混合石墨時，作用尤佳；錫亦能減低摩擦，惟不若鉛之甚；銅與錫能增高硬度；錫與鉛能使受範性優良；充以錫的作用為更甚；鉛與錫能使熔點降低，銅與錫能使其增高；鉛與磷能使流動性增高，有溶劑的作用；錫能使鑄造性質變佳；錫與銅能增加韌性及強度，但錫能減低之。

承襯金屬即由此等原質配成，依其所含主要成分，分為銅基，錫基，鉛基，銻基四類；銅基合金的強度硬度較其他三基為高，故適用於受重大壓力者，普通一承襯機件，往往有用兩種合金，以銅基作襯底，以錫基鉛基或銻基作襯面。

銅基合金因其硬度高，故摩擦係數甚低，但其受範性不佳，故接觸不能密切，易於發熱；設承襯軸承能施準確校正，則摩擦係數低的承襯金屬，頗為適合，但普通機件在動作時，往往不能達到理想準確的程度，故不得不採用摩擦係數較高的錫基鉛基銻基合金，此等又名減摩合金；其摩擦率在硬度高的合金大，柔軟合金較小，但質地太軟

，易於溶化，不克承受擠負。

§ 150 銅基承襯合金 銅基承襯合金大別為四種：(1) 銅錫，(2) 銅錫鋅，(3) 銅錫鉛，(4) 銅錫鋅鉛；不過尚有加入別種原質以改良其性質者。

銅錫承襯合金 此合金係最先採用為承襯材料者，機械上及機車上的軸承皆採用之，其成分含銅 $\frac{2}{3}$ ，含錫 $\frac{1}{3}$ ，其抗壓強度硬度均甚高，受範性小，易發熱，摩擦率甚高，故僅適用於受重壓力的軸承。

銅錫鋅承襯合金 銅錫合金中加入鋅質，可使其鑄造性變優，惟此種合金現僅作軸承的襯底，上再加錫基合金為襯面，船舶，汽車的軸承皆採用之，其製造成本甚昂。

銅錫鉛承襯合金 此種合金因有鉛質，故受範性優良，不易發熱，摩擦率甚低，應用最廣。含銅 85%，錫 10%，鉛 5% 的合金，每立方吋受壓力 24000 磅後，方達屈服點，受 100000 磅後壓縮 26%，尚不破裂，故適用於製造連桿。含銅 80%，錫 10%，鉛 10% 的合金，較鉛為 5% 的合金屈服點壓力減低至 23000 磅，受 100000 磅後壓縮 29% 而不裂，故適用於製造機車車輛及機械的軸承。含銅 77%，錫 8%，鉛 15%，磷約 0.2% 以下的合金，一立方吋受壓力 21000 磅後方變形，摩擦率低，其不易發熱的程度，較上兩種尤高，亦適用於製造車輛軸承。含錫 4% 至 7%，鉛 20% 至 30% 的合金，稱為受範青銅，亦應用於車輛及冷襯軌的軸承襯等。

銅基承襯合金的成分性質表見頁 182 中。

說明：磷的成分在號 1 及號 2 中為最高量，在號 3 號 4 及號 5 中為最低量，在號 5 及號 6 中鑄造甚難，可加鎳 1% 以改良之。

銅基承襯合金的成分及性質表

號數	成分 %						抗張強度 磅/方吋	勃氏硬度	壓縮彈性限 磅/方吋
	銅	錫	鉛	鋅 最高	磷	雜質 最高			
1	85	10	5	0.25	0.7	1.00	28000	60	18000
2	80	10	10	0.5	0.7	1.25	25000	55	15000
3	80	10	10	2.0	0.05	3.00	22000	50	12500
4	77	8	15	0.5	0.25	1.25	20000	48	12000
5	73	7	20	0.5	0.05	1.25	18000	45	11000
6	70	5	25	0.5	無	1.25	15000	40	10000

銅錫鉛鋅承襯合金 此種合金成本最廉，鋅的作用能使摩擦率增高，又能使質地變脆，在含鉛量多的合金中，鋅質能使在較高溫度時強度減弱，故鋅量宜在 1% 以下；通常成分為銅 74.28% 至 85.12%，錫 4.64% 至 5.62%，鉛 10% 左右，鋅 2% 至 11%。

承襯紅黃銅 紅黃銅亦可用為承襯材料，其成分及用途如次：

承襯紅黃銅的成分及用途表

號數	銅 %	錫 %	鋅 %	鉛 %	用途
1	85	11	4	—	普通軸承襯
2	86	10	—	4	電機軸承襯，連桿軸承襯
3	77	8	—	15	重大擔負承襯
4	79	20	—	—	車輛軸承襯
5	85	14	—	—	重大擔負的承襯
6	89	10	—	—	唧筒的機筒，及齒旋齒輪等

§ 151 錫基承襯合金 錫基承襯合金又名把別脫合金 (註)，為把別脫氏所發明，同時氏又將減摩合金作承襯的襯面，以硬合金作襯底，故現稱此法為把別脫法。此種合金分為三類：(1) 錫鑄銅，(2) 錫銻銅鉛，(3) 錫銅銻。其對於壓力的抵抗性，因含銅銻故較鉛基承襯合金為大，此外尚含他種原質。

把別脫發明的合金為高級錫鑄 (註)，其成分為錫 88.9%，銻 7.4%，銅 3.7%，此種合金現名為正把別脫 (註)。此外尚有：(1) 軟性正把別脫，(2) 硬性正把別脫，(3) 含鉛把別脫，及 (4) 含銻把別脫四種：

軟性正把別脫 此種合金成分的多寡，合乎上述的正把別脫的方式，其變化範圍不出錫 91%，銻 4.5%，銅 4.5%，及錫 88%，銅 4%，銻 8% 之間。此種合金具有堅性，流動性較優，擔負重大的承襯，宜採用之。

硬性正把別脫 此種合金成分變化範圍，在錫 83%，銻 8.5%，銅 8.5%，及錫 80%，銻 10%，銅 10% 之間。擔負較重的承襯宜採用之。軟性及硬性正把別脫宜適用於高級機械，如飛機、汽車的引擎等；因其具有彈性，能受衝擊，且苟遇重大擔負而熱熔，亦不致損及主軸。

含鉛把別脫 輕級承襯，因不受重大擔負，故可以鉛質加入，減低銅的成分，俾成本較廉。按鉛能增加錫基合金的易熔性，使其熔點降低，故配合此種合金，須錫在 50% 以上，銻最少 12%，銅最少 3%，其硬度隨銅銻的成分而增減。受範性因含鉛而較優。此種材料，適用於次級機械，惟若潤滑料缺乏時，易於熔化。

含銻把別脫 此類合金最著者為派孫斯白黃銅，其成分為錫 60%，銻 35%，銅 5%。此種承襯材料，船舶機械的軸承襯多採用之。

註 把別脫合金 Babbitt metal

高級錫鑄 High-grade pewter

正把別脫 Genuine Babbitt

，汽車引擎的軸承襯亦有應用者，惟潤滑問題必須有可靠的設計，其質硬有堅性，在澆注時流動性甚小，故不能鑄造薄小承襯，即厚大者其澆注溫度亦須近乎紅色的高溫度，鑄後尚須施以壓力，以增其持久性。

§ 152 鉛基承襯合金 鉛基承襯合金可分為三類：(1) 鉛錫，(2) 鉛錫錫，(3) 鉛錫錫銅。其主要配合為錫質，其成分自 7% 至 20%，因 7% 以下質太軟，20% 以上質太脆；鉛與錫在合金中結合為熔固體，其飽和度為錫 12.8%；在 12.8% 以下合金的成分為鉛錫熔固體與鉛，在 12.8% 以上為鉛錫熔固體與錫。

鉛錫承襯合金 鉛錫合金的成分為鉛 88% 至 90%，錫 10% 至 12%，此種鉛基合金其製造成本在減摩合金中為最廉者，惜其抗壓能力太弱，不適用於大擔負的承襯，但其抗壓性甚佳，成本又低，普通機械採用之，頗為適宜。

鉛錫錫承襯合金 鉛錫合金不能耐受高壓力，是其缺點，但可加入錫質以救此弊，此種合金應用甚廣，其成分為錫在 10% 以上，不宜過 20%，錫 10% 至 18%，此種合金的成分及性質如次表：

鉛錫錫合金的成分及性質表

成分 %			壓縮所需的壓力 磅	
鉛	錫	錫	0.008 吋	0.3 吋
10	80	10	2425	5952
20	60	20	2776	4850
40	40	20	2535	4023
60	20	20	2315	3748
80	10	10	1764	3913

鉛錫鋅銅承襯合金 在鉛錫鋅合金中加入銅質，能增加硬度，不過同時減小其流動性，其程度視錫銅成分的比而定。

鉛錫鋅銅承襯合金的成分及用途表

號數	成分 %					用途及性質
	鉛	錫	鋅	銅	其他原質	
1	65	—	25	10	—	機車軸承襯
2	78	5	15	2	錳 0.25	偏心盤的襯面
3	72	11.5	13.5	3	—	機車軸承襯，不能受衝擊 擔負
4	60	32	3	5	—	活塞桿的緊塞，及偏心盤 的襯面
5	48	40	10	2	—	水中的承襯
6	44	34	16	6	—	主要軸承襯
7	34	54	11	1	—	機車軸承襯，性頗硬
8	46	36.5	16.5	1	—	鐵路車輛軸承襯
9	10.5	70	15	9.25	錳 0.25	受範性合金
10	12	80	—	8	錳 0.5	受範性合金
11	17	77	3	3	—	船舶引擎軸承襯
12	13.5	74.22	6.55	3.6	錳 1.8	車軸箱
13	14.75	78.84	微量	3.7	—	抵抗酸性合金
14	10	80	1	8	錳 1	受範性合金
15	10	80	2	7	錳 1	受範性合金

在錫成分高的合金中，銅量增加影響於流動性較少，倘合金含錫 10% 時，則銅不得過 0.5%；錫 20% 時，銅不得過 1%；錫 30% 時，銅不得過 1.5%；錫 40% 時，銅不得過 2%；錫 50% 時，銅不得過 3%。市上所售大率為上述四種配合法；其成分及用途如頁 185 中所示的表：

弗拉留合金 弗拉留 (註) 合金又名安爾寇 (註) 合金，為鉛與銀鈣的三元合金，其成分為鉛 98%，銀鈣 2%，有時尚含微量的汞。此種合金由熔融電解法製成，專供作襯面，配以青銅襯底；有抵抗銹酸水的特性，故用於礦車的軸承襯。

§ 153 **銻基承襯合金** 銻基承襯合金普通有兩種：一為羅門 (註) 合金，其成分為銻 85%，銅 10%，錫 5%，一為番頓斯合金 (註)，其成分為銻 79%，錫 16%，銅 5%。此等合金的摩擦係數甚小，比重輕，鑄造易，施工易，成本較廉，惟一遇高熱，易於奔裂，故製為承襯，須有精確的校正，適用於高速度輕擔負的承襯，如電動機，起重機的軸承襯，轉盤的支樞承襯等。

茲將通用白合金承襯材料的成分性質，列表如次：(在頁 187 中)

說明：上表合金，澆注溫度約為 350°C；模的溫度須為 100°C；抗張強度抗壓強度的應力單位為每方吋 1000 磅；壓應力指將材料壓縮為原長一半時而言；勃氏硬度的壓力為 500 冠，球的直徑為 10 極。

II 其他合金

§ 154 **斯單列脫合金** 斯單列脫合金 (註) 係英人海更氏 (註) 所發明，由斯單列脫公司所製售者，乃銻鈷合金，有時或含鎢。其成分有兩種：一為銻 25%，鈷 65%，鎢 10%；一為銻 15%

註 弗拉留 Frary

羅門 Lumen

斯單列脫合金 Stellite alloy

安爾寇 Ulco

番頓斯合金 Fenton's alloys

海更氏 Hugens

承襯白合金的成分及性質表

號數	成分 %				抗張強度			抗壓強度		物氏硬度	用途及性質
	錫	鉛	銻	銅	極限	伸長	屈服點	壓應力	羅氏硬度		
1	93	0	3.5	3.5	11.5	11.6	8.0	33.0	24.9	強度韌度俱高，用於飛機引擎的軸承襯	
2	86	0	10.5	3.5	14.9	7.1	9.8	33.6	33.3	飛機汽車引擎的軸承襯	
3	83	4	10.5	2.5	12.5	0	9.6	39.5	34.5	能抵抗震動，用於飛機汽車引擎的軸承襯	
4	80	6	11	3	12.8	0	10.4	39.2	32.1	重大擔負，高速度狄雲爾機，蒸汽輪機，水輪機，戰風機，機車等的軸承襯	
5	60	28.5	10	1.5	11.3	0	8.3	28.8	27.1	內燃機，蒸汽機，電機，機車等的軸承襯	
6	40	48.5	10	1.5	10.3	0	8.2	25.3	21.8	重擔負，中速度，或中擔負，高速度機械的承襯，汽車，鐵路車輛，電車的軸承襯	
7	20	63.5	15	1.5	12.3	0	9.0	27.4	31.3	中擔負，中速度或輕擔負高速度機械的承襯	
8	78	0	11	11	14.3	0	10.2	40.0	37.0	船舶引擎軸承襯，有時加入鉛質，有受範性	
9	5	80	15	0	10.5	2.8	8.0	29.9	24.9	高溫度時能維持強度，有時加入鉍質	

、鉛 60%、錫 25%；有時含微量的炭鐵，其質極堅硬，抵抗摩擦性可保持至 1500°F，又具有空氣化學藥液的抗蝕性，其物理性質為：抗張強度 39000 磅/方吋 至 162500 磅/方吋，抗壓強度 206000 磅/方吋 至 304000 磅/方吋，彈性係數為 22000000 磅/方吋 至 33000000 磅/方吋，熔點為 2380°F 至 2730°F，膨脹係數為 0.0000065/°F 至 0.0000105/°F，每立方吋重 0.3 磅；此種為非磁性合金，能用煤氣或電將其焊接，又能燒焊，不過須用矽砂或磷酸為熔劑，其銻料青銅及銅均可；下表所示為通用的四種合金：

斯單列脫合金的性質表

號別	用法	勃氏硬度	抗張強度 磅/方吋	用途
No. 1	鍛接	555	38000	磨牀，蒸汽吞鐵機，風扇葉臂
No. 3	鑄造	600	38000	鑄成圓條，板條，製造工具刀
No. 6	滾輦	400	134000	抵抗摩擦機件
No. 12	鍛接	444	66000	磨牀，蒸汽吞鐵機，風扇葉臂

上表除 No. 6 外，其餘俱先經鑄造，然後以金剛沙輪研磨。No. 1 抵抗摩擦性最強，且能受輕微的突然擔負；No. 6 抵抗突然擔負性較大，亦可鑄造及輾成板皮，鍛成鍛件，可製切橡皮織物的刀；No. 3 鑄成板條圓條，專用於製造工具刀中。

§ 155 哀凡杜合金 哀凡杜合金（註）為銅砒銻合金，普通分為兩類：鑄哀凡杜含砒 4.5%，銻 1.1%，餘為銅；鍊哀凡杜含砒 3%，銻 1%，餘為銅。

鍊哀凡杜可製為板皮，圓桿，管子，綫，其抗張強度及彈性限度與中級炭鋼及低碳鋼相同，頗適用於抗蝕，其疲乏限度為 25000 磅/方吋 至 30000 磅/方吋 在 200000000 週時。

註 哀凡杜合金 Everdur alloy

鑄衰尺杜的性質與含錫青銅相似，其施工性質與高強度青銅相同，較鋼為優；其主要用途為不經煮的壓力器皿，熱水儲水箱，鹽酸水桶的加熱管，飛機引擎的油管及戶外架構的螺釘附件，電氣設備的高強度機械，非磁性材料等。

此種合金能焊接，燒焊或焊，其傳熱係數約為銅的 $\frac{1}{3}$ ，膨脹係數稍大，電阻大 15 倍，對於氯化物的抗蝕性甚佳。

§ 156 銅鎳合金 銅鎳合金具有延性及展性，銅成分至 50% 後，硬度強度均甚高，普通分為六種：

含鎳 2. % 者，用為礮彈導帶的材料。

含鎳 15% 至 20% 者，稱為銅鎳（註），用為無煙彈的彈殼，具有抗蝕性。可製冷凝管，如加微量的錳鎳，可增其加工性，俾能經滾機，冷軋的銅鎳，抗張強度為 50000 磅/方吋至 80900 磅/方吋。

含鎳 25% 者，稱為鏗青銅，用於製造貨幣。

含鎳 45% 者，稱為亢斯坦坦（註），可製電阻線。

洋白銅 洋白銅（註）又名鎳白銅，乃銅鎳鋅的合金。鋅的作用為提氧去硫，具有延性，能磨製、錘、擊、拉牽等工作，其硬度堅性可因而稍增，如施 650°F 至 1270°F 的熱火，其質變軟；普通成分為 5%，10% 或 18% 的鎳，64% 的銅，餘為鋅，前兩種（鎳 5% 及 10%）的主要用途為製廉價裝飾首飾品；此種合金在繪圖儀器，桌上器皿及電阻材料，多採用之，應用甚廣。

含鎳 16% 以下的合金，含鋅須 30%，鎳 16% 以上時鋅須 30% 以下，除此三種主要成分外，有時含有鐵，鉛，錫等雜質，鐵能增其強度、硬度，彈性限度，並使合金色彩格外變白；錫能使其變脆，妨害施碾工作，並使色彩變黃；鉛與合金僅係混合，故無顯著的作用。

註 銅鎳 Cupronickel

亢斯坦坦 Constantan

洋白銅 German silver

含鎳 68% 者稱為麻奈爾合金 (註)，此種合金鎳量可達 70%，含鐵約 1.5%，餘為銅，具銀白色，經磨光後，其抗蝕性極高，與空氣、鹽水，酸氣，過熱蒸汽，不起作用。鑄造者比重為 8.87，熔點為 2480°F，抗張強度條桿為 87000 磅/方吋 至 94000 磅/方吋，鑄品 72000 磅/方吋，伸長條桿為 39.44%，鑄品 34%；其保持強度能達 1000°F，可用以製造船舶的螺旋推進葉及架構，展為板皮可作為屋頂材料，空糧，鹽酸水箱，釜具，蒸汽輪機的輪葉，活門及活門座，及代替青銅鋼鐵因乏抗蝕性而不能採用的機件；其抵抗氧化達 1400°F，故可用為電花插頭，導線，及電阻材料等。

此外鎳與鉻的合金可耐高溫，其成分為鎳 85%，鉻 12%，其用途為加熱處理設備，煉鋼爐零件等。

§ 157 壓鑄用合金 重大鑄品，在壓鑄時普通用生鐵模；輕小鑄品用合金鋼模及受壓空氣；用此法鑄成者，毋須再經機械施工，頗為經濟；汽車上的零件，引擎，唧筒，真空過濾器，打字機，計算機，洗淨機，鋼琴，留聲機，無線電機，電業器械等，皆採用此種鑄造法。

錫基鉛基把別脫，大多用以壓鑄小機械，裝飾品，及承襯；鋅基合金壓鑄具有水，氣，油抗蝕性的器皿；鋁合金在壓鑄上採用含銅 8% 的合金，含鐵 5% 的合金，及含銅 10%，另有鎳鐵的合金三種。不過餘外高熔點合金，亦可採用。故黃銅青銅皆可用壓鑄法製造鑄品。

§ 158 電阻材料 電爐所用的電阻材料，須具有高電阻係數，在高溫度時宜無蝕蝕崩裂的現象，電學儀器所用的電阻材料，須具有中級高電阻係數，低溫度係數，及低熱電係數；變阻器及功率消耗裝置所用的電阻材料須具有高電阻係數，無蝕蝕性，且能耐冷熱變化的影響；此種材料的合金成分，如下表所示，裱為 1 吋闊的板條，以供應用；至於高容量低電阻價廉的材料，當推鑄鐵，電爐中有時採用

註 麻奈爾名金 Monel metal

電阻材料性質表

號數	名稱	成分摘要	比重	電阻係數		20°C 時電阻的溫度係數	工作溫度 °C	熔點 °C
				20°C 時每 立吋的歐數	20°C 時每 密爾吋的歐數			
1	Advance	銅鎳 0.45	8.9	48.8	294	0.000018	540	1320
2	Calido	鎳 0.59 鎳 0.16 鐵 0.26	8.16	110	660	0.00012	974	1400
3	Climax	—	8.13	87.2	525	0.0007	650	1430
4	Comet	鎳 0.3 鎳 0.05 鐵 0.65	8.35	96	575	0.00047	700	1480
5	German Silver	鎳 0.18 銅鎳	—	33	199	0.0004	—	—
6	Constantan	銅 0.6 鎳 0.4	9.73	49	295	0.000008	—	1290
7	Ia Ia	銅鎳	8.4	50.2	304	0.000011	575	1175
8	Ideal	鎳 0.45 銅 0.55	8.9	34.3	206	0.000018	350	1090
9	Karma	鎳 0.8 鎳 0.2	8.45	104.2	625	0.00005	1100	1410
10	Krupp	鐵鎳	8.1	85.1	511	0.0007	600	—
11	Lucero	鎳 0.65 銅 0.3 鐵鎳 0.05	8.9	43.3	260	0.00058	510	1360
12	Manganin	銅 0.84 鎳 0.12 鎳 0.04	8.9	41.4—73	249—443	0.000039 0.000011	—	—
13	Monel metal	鎳 0.67 銅 0.28	8.9	42.6	256	0.00198	900	1350
14	Monox	鎳銅		45	270	0.0013 0.0003 *	—	—
15	Nichrome	鐵鎳鎳	8.15	95.5	575	0.00043	870	1480
16	Nichrome II	鐵鎳鎳	8.02	105.0	632	0.000162	1090	1650
17	Nickel	鎳	8.89	60	360	0.0042 × 0.001	650	1470
18	Nickel Chromium	鎳鎳		110	660	0.00012	1000	—
19	Novar	鎳銅		49.3	296	0.000005	—	—
20	Phosphor bronze	銅鎳鎳 0.005 至 0.13		3.95	23.7	—	—	—

(此表在頁 190 中間)

之，大多鑄成 T 形，容量小者用綫（最大 16 號），較大者用圓桿（最小 4 號）。（表在頁 190 的對面）。

說明：* 表示 200°C 至 600°C。× 表示 375°C 至 1000°C。

摘要項內以 10 為單位，故如 0.1 即 10%。

上表中號 1 的溫度係數甚低，適用於電業器具；號 2 適用於烘爐，電鐵；號 3 用於變阻器，須使常保乾燥，以免蝕損；號 4 適用於低溫度重擔負電阻；號 5 即洋白銅，其工作溫度以 300°C 至 600°C 為宜，其性質及電阻隨鎳的結晶情形而異，且因銅的影響，其熱電電動勢甚高，約 1°C 為 20 至 30 微弗。合金配合成分，亦無一定，上表所載者，最為普通；號 6 的溫度係數甚低，但因銅的影響，熱電電動勢甚高，約 1°C 為 40 微弗，可用於電業器具，但最宜於製造熱電偶，此即尤斯坦坦合金；號 7 亦為銅鎳合金，適用於電業器具；號 8 適用於熱電偶，無綫電電阻器，須準確電阻的儀器；號 9 用於電爐及其抗熱固定螺釘軸針等；號 10 不宜用於潮濕地方，最好置於油內，不可以石棉作其絕緣物；號 11 用於變阻器及單位電阻；號 12 稱為鈹銅，極適用於製標準電阻圈，及單位電阻，因其熱電電動勢甚低，每 1°C 僅為 1.5 微弗，溫度係數亦甚小，每 1°C 約為 -0.000001 至 $+0.000039$ 歐，因含鈹之故，其電學性質永久不變，但須預先以 140°C 燜火 5 小時，且加熱時宜浸入油中；號 13 即麻奈爾合金，抵抗氧化達 1400°F，故可用為電花插頭，導綫等；號 14 適用於室內及車上的發熱器，其抗蝕性甚強；號 15 及號 16 適用於高工作溫度如電爐等，普通製成板條；號 17 鎳適用於製造電燈中的燈絲支架，電阻高溫計，化學及外科用器械等；號 18 用於電熱裝置，變阻器，電阻器，工作溫度可達 1000°C；號 19 用於電學儀器，其溫度係數甚低；電阻極準確，電學性質固定不變；號 20 適用於長距離低電阻的變阻器，如電氣鐵道的滑車，即用此種變阻器。

此外炭的電阻亦甚高，且耐高溫度，其溫度係數為負，截面每方吋可傳 125 安的電流，非晶質炭的電阻係數約為 3800 至 4100 微歐每立方吋，蒸餾過的炭約為 720 微歐，石墨約為 812 微歐，用炭作變阻器，電爐中有採用之者，名為加壓變阻器。

章 15 瀝青

§ 159 瀝青 瀝青可分為兩大類，一為土瀝青，一為柏油（或名焦油或名臭油）。前者又分為天然土瀝青及人造石油土瀝青。後者又分為炭爐焦油，煤氣焦油，及水氣焦油諸種，視所造主要出品而命名。瀝青的來源及造法既迥異，故其中成分亦隨之而不同。因土瀝青及焦油二者性質既相異，故試驗二者的方法有不同處。

瀝青的試驗視其品質，體態，用途，可有次之各種試驗：(a) 比重試驗，(b) 針入度試驗，(c) 浮標度試驗，(d) 軟化度試驗，(e) 黏度試驗，(f) 引伸度試驗，(g) 揮發減量試驗，(h) 揮發法針入度試驗，(i) 揮發後軟化度試驗，(j) 揮發後浮標度試驗，(k) 引火點及發火點試驗，(l) 二硫化炭容量試驗，(m) 游離炭試驗，(n) 灰分試驗，(o) 四氯化炭容量，(p) 瀝青質試驗，(q) 固定炭試驗，(r) 分解蒸餾試驗，(s) 蒸餾液的比重試驗，(t) 蒸餾渣的軟化點試驗。

§ 160 比重試驗 瀝青比重的標準溫度為 25°C ，以資比較。瀝青有液體，半固體及固體三種，故其比重試驗方法亦有三種；至於三種的劃分，則以針入度的多寡而定：針入度（ 25°C ，100 克，5 秒）在 10 以下者為固體；針入度（ 25°C ，100 克，5 秒）在 10 以上，而針入度（ 25°C ，50 克，1 秒）在 350 以下者為半固體；針入度（ 25°C ，50 克，1 秒）在 350 以上者為液體。

固體瀝青的比重試驗用代水量方法。設 a = 瀝青在空氣中的重量， b = 瀝青在水中的重量， S = 所求固體瀝青的比重，則

$$S = \frac{a}{a-b} \cdot$$

半固體瀝青之流動者可用比重瓶法。例如設 a = 空比重瓶的重量， b = 比重瓶及滿盛水時的重量， c = 比重瓶及滿盛能流動的瀝青的重量， S = 所求半固體瀝青的比重，則

$$S = \frac{c-a}{b-a} \cdot$$

其瀝青不能流動者可用次式：

$$S = \frac{c-a}{(b-a)-(d-c)},$$

式中，a=空比重瓶的重量，b=比重瓶及滿盛水的重量，c=比重瓶盛約一半不能流動瀝青油的重量，d=比重瓶盛約一半不能流動瀝青油及再注滿以水的重量。

液體瀝青的比重試驗可用浮秤法。用此法時加以下列的校正：

$$\text{比重 } 25^{\circ}/25^{\circ}\text{C} = \text{比重 } (25^{\circ}/15.5^{\circ}\text{C}) \times 1.002,$$

因浮秤皆在 15.5°C 時較準，但比重試驗溫度為 25°C 。1.002 為水自 15.5°C 至 25°C 膨脹的改正係數。

瀝青的來源及造法不同，故其比重懸殊。至於比重的大小，全視其來源而轉移，無特別緊要。不過在購買指定某種瀝青材料，每次交貨時，應作比重試驗，其比重應相差無幾，以鑑定該貨物的齊一，無雜物及摻和他物之弊。

比重一項，在規範上有不規定者，但亦有規定者。例如北京市瀝青碎石及瀝青混凝土，規定比重 $25^{\circ}\text{C}/25^{\circ}\text{C}$ 為 1.01 至 1.05，廣州市為 1.000。

§ 161 針入度試驗 針入度試驗係在一定的溫度，針上載重及時間標準針所插入瀝青的度數，（每一度為 0.01 槓）。針入度試驗適於土瀝青而不適於焦油，蓋因焦油性軟，其表面張力又高，以針插之，不過將油面扭歪，並非直接插入也。

普通針入度試驗以下列二者為標準，以定選擇。再揮發減量試驗後的油，應再作一同樣的針入度試驗，以視揮發後針入度減少若干。普通規定揮發後針入度不得少於原有針入度的百分之六十，如是則築路前油先燒熱及路成後輕油蒸發庶不致使針入度過於變低。

溫度		代表性	針上載重 克	時間 秒
°C	°F			
0	32	最冷天氣	200	60
25	77	普通天氣	100	5
46.1	115	最熱天氣	50	5

針入度試驗的主要目的乃測定半固體或固體土瀝青的稠度或軟硬度。普通針入度規定以第二種情形為標準，但用於路面上的瀝青，如填縫料之類，易受溫度變遷的支配，應同時作上列三種試驗，以視其針入度與溫度的變遷，是否過大。

築路所用的瀝青材料若其質太軟，其弊與用量過多同；夏季炎熱，路面易於軟化，車轍滿路，凸凹不平。反之若油質太硬，其弊與用量過少同；冬季嚴寒，路面易於脆裂，而分為薄片。針入度與地方氣候亦有關係；氣候熱者，油質可稍硬，氣候寒者，油質可稍軟。車輛多寡與針入度亦有關係；車輛多者，油質應稍硬，車輛少者可稍軟。至於各種路面，針入度亦不同。大略言之，瀝青碎石或瀝青碎石的針入度，較瀝青混凝土及土瀝青沙板為高。

瀝青碎石北京市規定針入度為 60 至 80 及 80 至 100 二種，廣州市規定為 60 至 120，日本規定為 80 至 150。瀝青混凝土北京市規定為 40 至 50，廣州市規定為 40 至 60，天津市規定為 40 至 60，日本規定為 50 至 70。土瀝青沙板，廣州市規定為 30 至 50，日本規定為 30 至 60。由此觀之，中外一律，無大變遷也。

針入度試驗與其他試驗亦有相互的關係。同類瀝青，比重愈高，針入度愈低；軟化點愈高，針入度愈低；瀝青質或固定炭愈多，針入度愈低；揮發減量愈少，針入度愈低；蒸餾愈久，針入度愈低。氣吹瀝青的針入度較其他為低，因吹法減少針入度也。

§ 162 浮標試驗 浮標試驗適於測定半固體或固體魚油的稠度

，因焦油常多含有極纖微的游離炭，此種物質乏流動性，故用黏度試驗，似不相宜，但於浮標試驗則無甚影響。土瀝青如用針入度試驗則太軟，用黏度試驗則太黏者，得偶用浮標試驗代之。

浮標度乃係在指定溫度下，標準浮標由浮游水面起至水將標準領套的油型化軟，水露出浮標上面所需時間的秒數。此種試驗，實際上不過測定一油由硬變軟的速度，頗似軟化度試驗，謂為稠度，似不甚宜，然普通仍多用之。試驗溫度有 25°C，32°C，50°C 及 100°C 三種，以 32°C 及 50°C 為較常用；溫度低則浮標度高，溫度高則浮標度低，但無一定比例可以比較；若知一溫度下的浮標度，欲變為其他溫度下的浮標度，不能為也。再油的傳熱快慢，與浮標度亦有關係；傳熱快者，其浮標度較傳熱慢者為低，氣吹焦油因傳熱特慢，故不適於浮標試驗。再同種材料，比重愈高，浮標度愈高，軟化點愈高，浮標度亦愈高。

焦油用於熱瀝路面治理者，浮標試驗溫度為 32°C，浮標度應為 60 至 150 秒。焦油用於築瀝青碎石路者，浮標試驗溫度為 50°C。浮標度可分為 100 至 160，130 至 190，及 160 至 220 三種，視氣候及車輛情形而定。氣候熱者所需浮標度較氣候寒者為高，車輛多者所需浮標度較車輛少者為高。常有不規定浮標度而以軟化點代之者。此層在軟化點試驗中，當再論及。

§ 163 軟化點試驗 瀝青材料，因成分性質複雜，由固體變為液體，無一定溫度。但在應用時，不在測定液化的溫度，而在欲知其軟化情形，在何種溫度下，油能軟化至某種程度。然後該油的軟化程度，是否合於路面受熱情形；路面種類既不同，所規定的軟化點亦隨之而異。

軟化點試驗方法有二；一為圈及球法，一為水中立方方法。前者多用於土瀝青，後者多用於焦油。近來趨向，水中立方方法漸不普及，圈及球法有取而兼代之勢。試驗方法步驟相同，所異者油的模型，一為圓形上置一球，一為立方形。假設的軟化程度，均為在每分鐘加熱

5°C (± 10%)，油型由距離杯底 25 耗，下墜至杯底水的溫度。因油型形狀大小不同，水中立方體的軟化點較圓及球法者為高；但相差若干，則無一定。

軟化點試驗有用代浮標度試驗而以之測定稠度者，實際上二者皆不過測定油軟化的程度及速度，謂為稠度，均不甚宜，但普通仍常用之。軟化點可以鑒定溫度變遷的感應性；若針入度相同，軟化點低者，溫度變遷易於感應，軟化點高者，溫度變遷，感應較難。同類瀝青，比重愈高，軟化點愈高。針入度愈低，軟化點愈高。焦油蒸餾愈久及蒸餾溫度愈高，軟化點亦愈高。

§ 164 黏度試驗 凡液體土瀝青不能作針入度，及液體焦油不能作浮標度試驗，而欲知其稠度，非以黏度試驗代之不可。黏度試驗，係於一定容量的油，在指定溫度下，流過標準小孔所需時間，與同一容量的水，在 25°C 下，流過同一小孔時間的比。簡列之為

$$\text{黏度 } A^{\circ}C/25^{\circ}C = \frac{50 \text{ 立厘油流過小孔時間}}{50 \text{ 立厘水流過小孔時間}} \times \frac{A^{\circ}C}{25^{\circ}C}.$$

普通用英格爾黏度計，容量規定為 50 立厘，但偶因油太稀薄，流過時間太短，改用 100 立厘。水的溫度為 25°C，大約需時 11 至 12 秒。油的溫度則視油的稀稠而定，油稀者試驗在 25°C，較稠者在 40°C，50°C，或 60°C，以 40°C 為最普通，最稠者溫度須至 100°C，惟須以甘油為調溫劑。在不同溫度下，油的黏度，無一定變遷。

至於黏度究應多少，全視路面種類，氣候情形，及築路器械方法而異。大概言之，黏度與溫度為反比，故氣候寒者黏度應較氣候熱者為低。鎮塵用的油，應灌入路面迅速，故其黏度須低。若應留在路面上的油，黏度宜稍高，以致不易灌入路面之下。補路工作用機器者，油的黏度可較用人工者稍高。在混和機中事先混和的油，其黏度可較在路上就地混和者為稍高。

焦油用於冷潑者，視黏度的多少（均以 40°C 計）可分為 5 至 8，8 至 13，10 至 18，18 至 25，25 至 35，及 35 至 45 六等級

• 結合層多用 8 至 13 級，若路面極密，可用 5 至 8 級，路面較鬆，可用 13 至 18 級。35 至 45 級多用於路面治理，如氣候較寒，35 至 45 級太黏，不易撒布均平，則改用 25 至 35 級者亦有之。

焦油黏度與游離炭的成分為正比，煤氣焦油中炭成分最多，黏度最高，油氣焦油次之，黏度較低，水氣焦油最少，黏度最低。溫度變遷，焦油較土瀝青易於感應，由黏度試驗亦可證明。

§ 165 引伸度試驗 引伸度試驗乃將試料溶化於標準模型，其橫截面為 1 方糎，以引伸機將其拉長。引伸度為斷時的長度以糎計，試驗溫度為 25°C，其拉長速度為每分鐘 5 糎（± $\frac{1}{2}$ 糎）。引伸機普通長 100 糎，至 200 糎者則不多見。但土瀝青的引伸度常有過一二百糎以上者，若欲比較各種土瀝青的引伸度，而欲其能在引伸機長度以內拉斷者，其法有二；一為減低溫度，一為增加拉長速度，皆可使其易於拉斷，但試驗情形皆須一致，方可比較。

引伸度試驗實際上不過測定油的黏性。黏性弱者延性高，黏性弱者延性低。冬季較寒，降至 0°C 或 0°C 以下，路面的脆裂，是低溫度如 0°C 下的引伸度，較為重要。填縫料尤甚，蓋填縫料受路面溫度變遷的支配，尤易脆裂，填縫料所須的引伸延性雖極少，因無結合物的功用，但在 0°C 下，需能維持少許引伸度，以不致過於脆裂。現在引伸度試驗，溫度仍多採用 25°C，其原因在試驗用 0°C 時，不易維持溫度，且普通引伸機開始拉引時，有時急拉一下，0°C 下的引伸度本極低，總不過 2 糎左右，因急拉常致立斷，故難測定其引伸度也。

引伸度規定，視路面情形，氣候情形，及車輛情形而稍不同；如車輛甚多，引伸度應較高；氣候潮濕地方，引伸度亦應較高。普通規定，均在 25°C，瀝青碎石，瀝青混凝土，及土瀝青沙板，所用土瀝青的引伸度，至少為 30 糎，土瀝青塊至少為 5 至 20 糎，氣吹土瀝青至少為 2 或 3 糎，未免規定過鬆。實際上除氣吹土瀝青外，土瀝青的引伸度，多超過此數而有餘。石油土瀝青引伸度最高，多在 100

纏以上，天然土瀝青次之，其中以軟製波木得茲（註）土瀝青較軟製吹泥待特（註）土瀝青稍高亦均在 40 纏以上。例如北京市現採用的亞細亞土瀝青（註）的針入度 40 至 50 者，其引伸度為 85 纏，60 至 80 者為 115 纏，80 至 100 者為 110 纏。再德士古土瀝青（註）的號 65 者，其引伸度亦為 95 纏。瀝青碎石路北京市規定的引伸度為 111 纏，青島市為 80。瀝青混凝土北京市規定為 90，天津市規定為 70。

§ 166 揮發減量試驗 揮發減量試驗，乃在 163°C 下蒸發 5 時後，50 克重的油所減重量的百分比。天然土瀝青精製後，其質仍太硬，不適於直接用為築路材料，須加溶劑使變為較軟的土瀝青膠泥。軟製溫度，最高不過 163°C ，否則恐油將起變化及有損失之虞，故試驗時，亦採用此溫度，揮發減量試驗，鮮用於焦油，蓋因焦油如燒至 163°C 時，油將大受損失也。

試驗所用油的重量，以 50 克為標準，但有半固體及固體土瀝青用 50 克，而液體土瀝青仍用舊定的 20 克者。盛 20 克的容器，較淺而大，蒸發面積較多，故用 20 克者，其揮發減量的百分比，自較用 50 克者為高。若再作揮發後稠度試驗，20 克的殘油，因蒸發較多，自較 50 克的殘油為硬，故浮標度較高，或針入度較低。故揮發減量高的油，試驗時用油的重量無關緊要。但普通除輕製土瀝青及路油外，揮發減量均甚低，故試驗時所用油的重量，應註明之。

揮發減量試驗的目的為測定油內所含輕而易蒸發的部分，以定油的耐久能力。普通路面治理用油揮發減量限為百分之 5，其他如瀝青混凝土及土瀝青沙板鋪路，則限為百分之 2。試驗溫度，初視似覺太高，蓋在普通情形之下，路面所受溫度，鮮有至 163°C 者，不過在

註 波木得茲 Bermudez

吹泥待特 Trinidad

亞細亞土瀝青 Shell asphalt

德士古土瀝青 Texaco asphalt

築路前，例如瀝青混凝土或土瀝青沙板等，油須先燒熱，然後再傾於混和機中，此時薄膜油面，包於燒熱的混和料上，所受溫度甚高，但同時在混和機內，因混和料如石沙之類為量甚多，混和料可將油面略事保護，使空氣及日光較難侵入。若油的揮發減量太高，及揮發後針入度太低，則油極易變硬，故普通築路所用油的揮發減量，鮮有過百分之 1 者，揮發後針入度，亦在百分之 60 以上。

在試驗室中，若盛一罐半固體土瀝青，久之其面上薄層漸硬，針入度漸低。如該油蒸發極少，若再溶化而混和之，則其針入度與原有者無異，証明而上薄層雖硬，與全部實無多大關係。實際上亦然，用作瀝青混凝土及土瀝青沙板鋪路上封絨層的土瀝青，經十年至十五年暴露之下，應易變硬，但將土瀝青混和料取出分析，作針入度試驗，與原有者實無大變更。

同類土瀝青，比重愈高，引火點愈高，黏度愈高，浮標度愈高，或針入度愈低者，揮發減量愈低。

關於各地揮發減量的規定，大致相差無幾。瀝青碎石北京市及青島市規定為最多為 1½%，廣州市為 3%。瀝青混凝土北京市及天津市規定最多為 1%，廣州市為 3%，天津市為 1½%。

§ 167 引火點及發火點試驗 火點試驗分為引火點及發火點試驗兩種。引火點者乃將油每分鐘加熱 9°F 至 11°F 或 5°C 至 6°C，如在油面用標準火焰點之，發藍色火焰，隨點隨滅，此時油的溫度即為引火點。如繼續增高溫度，火焰能着至 5 秒以上者，此時油的溫度為發火點。試驗方法有二：一為開蓋式，一為閉蓋式。前者的引火點及發火點，較後者為高。標準試驗，多採用開蓋式。

引火點試驗的主要目的，乃斷定油可着火的溫度，築路用油，熱潑及熱混和者，事先須燒熱，苟誤投火柴，煎油機將全着火，危險殊甚。故引火點最低，須高於築路油受燒的最高溫度，方為安全而無火險。築路用的土瀝青，鮮有燒過至 163°C 或 325°F 者，故普通限制引火點為 175°C 或 347°F。北京市及青島市規定瀝青碎石為 190°C 至

246°C，瀝青混凝土為 246°C（天津市同）。廣州市規定瀝青碎石為 200°C，瀝青混凝土及土瀝青沙板則為 230°C。如試驗時，引火點高於規定的溫度，則不必作發火點試驗，蓋引火點既高，發火點自更高矣。如引火點過低，則燒油者知有戒心，已知油可燒的安全限度，過此需特別小心，以防火險。

引火點及發火點究相差若干，視油的成分而異；據試驗的結果，發火點較引火點高約 100°F，或 40°C。

土瀝青中所含量炭化合物，有輕而易蒸發者，有重而難蒸發者，重者有牽制輕者使不蒸發的趨勢；故油的引火點及發火點，非純屬輕者，似在輕重二者之間。蒸餾殘渣引火點及發火點最高，蒸餾溫度愈高，火點愈高。未精製天然土瀝青次之，軟製天然土瀝青又次之；因製煉時，溫度頗低，且溶劑含有易於蒸發的成分故也。

§ 168 二硫化炭溶量 瀝青材料中的純粹瀝青為一種量炭化合物，能溶解於二硫化炭。試驗用普通濾清法，以二硫化炭為溶劑，溶解者為瀝青成分，不溶解者為有機及無機物質，有機物質為可燃燒的游離炭。無機物質為不能燃燒的灰。

試驗二硫化炭溶量的主要目的，為欲知瀝青成分，瀝青性黏，富有結和力，故能為築路結和物之用；例如水結碎石及瀝青碎石路主要分別，在結和物的不同；水結碎石路以水及石屑為結和物，瀝青碎石路以土瀝青或焦油為結和物。瀝青混凝土與混凝土，及土瀝青沙板與洋灰沙泥的不同，即一以瀝青為結和物，一以水及洋灰為結和物。瀝青材料結和力的強弱，視瀝青成分的多寡。再築路所需瀝青材料的多寡，亦視瀝青成分的多寡而轉移。

二硫化炭溶量試驗，於焦油尤為重要，因焦油所含游離炭甚多，游離炭為不能溶解於二硫化炭而能燃燒的有機物質，質極纖微，形似烟煤。游離炭能增加比重，軟化點，堅硬及安全性；其優點為減少溫度變遷的感應性，其劣點為減少結和力。依瀝青及游離炭成分的多寡，焦油可分為多炭焦油及少炭焦油二種，多炭焦油所含瀝青在百分之

78 至百分之 95。炭爐焦油及煤氣焦油皆屬此類，其中以煤氣焦油的游離炭較炭爐焦油為多，煤氣焦油中，游離炭又以橫蒸餾者較豎蒸餾者為多。此類多炭油，多用為填縫料，因填縫料溫度變遷感應性應低，粘性無關緊要，若以此類多炭焦油築路面則易於脆裂。少炭焦油所含瀝青成分在百分之 95 以上，水氣焦油是也；粘性較強，故可為築路材料之用。路面治理所用焦油，無論為水氣焦油或水氣焦油與炭爐焦油及煤氣焦油摻合皆可。但熱瀝者，其游離炭至多不得過百分之 15。冷瀝者，至多不得過百分之 10。碎石路面或補路所用焦油，最好用水氣焦油，其游離炭不得過百分之 5，或精製的炭爐或煤氣焦油，游離炭由百分之 5 以至百分之 20。

石油土瀝青所含瀝青的成分甚高，幾全部能溶解於二硫化炭，瀝青成分總在百分之 99.5 以上。天然土瀝青因本源不潔，所含有機及無機物質雖會精製，終難盡除，故其瀝青成分較石油土瀝青為低。天然土瀝青來源既不同，土瀝青成分亦隨之而異，但天然土瀝青若加石油土瀝青以為溶劑軟製之，則瀝青成分可增高；其增高程度，又視所加溶劑的多少而定。

土瀝青在二硫化炭中的最少容量，北京市規定瀝青碎石為 99.6%，瀝青混凝土為 99.6%；廣州市規定瀝青碎石為 99.5%，瀝青混凝土為 99.5%，土瀝青沙板為 99.5%。

§ 169 四氯化炭容量 四氯化炭容量試驗，用於土瀝青而不用於焦油，為測定土瀝青的炭化物成分，此試驗係選擇性質，有時省略之。炭化物為瀝青能溶解於二硫化炭而不能溶解於四氯化炭的物質。試驗方法與二硫化炭容量同，所異者惟溶劑耳。計算炭化物成分，係以純粹瀝青為 100 作標準，例如二硫化炭容量為 99.5%，四氯化炭容量為 99%，則

$$\text{炭化物成分} = \frac{\text{二硫化炭與四氯化炭容量的差}}{\text{二硫化炭容量}} \times 100 = \frac{99.5 - 99.0}{99.5}$$

$$\times 100 = 5.025\%$$

若二硫化炭溶量為 100%，則炭化物為 1%。

炭化物性似焦煤，當製造石油及土瀝青時，如溫度過高，炭化物因之乃成；故炭化物成分若多，則製造時有過燒之虞。普通規定限制炭化物成分不得過百分之 1；土瀝青油，石油土瀝青，及古巴士瀝青，四氯化炭溶量較二硫化炭溶量稍多。

§ 170 瀝青質 瀝青質為瀝青能溶解於二硫化炭而不能溶解於石油及醚中的物質，其試驗及計算方法與四氯化炭溶量相同，惟溶劑各異耳。此試驗亦祇用於土瀝青而不用於焦油，瀝青質富有粘性及稠度，故針入度相同的土瀝青膠泥，所含瀝青質的成分應相差無幾，同類土瀝青的針入度與瀝青質成反比。天然土瀝青的瀝青質較石油土瀝青為多，前者約為 21% 至 56% 後者約為 21% 至 28%。蒸餾使瀝青質全集於殘渣，故殘餘土瀝青的瀝青質常高；吹法亦能增加瀝青質的成分。

§ 171 固定炭 固定炭乃在一有蓋的杯中（無流動氧氣）焚燒後殘餘焦炭中的有機物質；固定炭試驗本無一定，如欲得結果可比較者，非嚴照試驗作法不可，如焚燒時間及火焰大小均須一定。固定炭試驗多用於土瀝青而鮮用於焦油。如開杯蓋作第二次焚燒，所餘剩者為無機的灰分。石油最少不過 0.2%，天然土瀝青最多有至 30% 者。

固定炭的多少與油的性質有關，又可藉知石油的系屬。石蠟系石油及蒸餾液的固定炭極少或幾無。土瀝青系石油及蒸餾渣的固定炭頗多。如稠度相同，殘渣石油的固定炭被氣吹石油為多，尤以墨西哥出產的殘渣石油為最，約為 16%。殘渣石油的固定炭又視蒸餾時間的長短而不同，蒸餾愈久，固定炭愈多。天然土瀝青中固定炭約為 11% 至 15%，墨西哥石油瀝青為 16.22%，摻合土瀝青為 13.12%。普通規範多無規定固定炭成分者，北京市及天津市規定瀝青碎石及瀝青混凝土所用土瀝青的固定炭成分為 7% 至 15%。同類瀝青比重愈高，固定炭愈多；瀝青質愈多，固定炭愈多；浮標度或黏度愈高，固定炭愈多；針入度愈低，固定炭愈多。

§ 172 分解蒸餾 分解蒸餾專用於試驗焦油，以代土瀝青的揮發減量試驗，其目的亦相符。分解蒸餾時所用油的重量，普通規定為 100 克，其蒸餾液與原重的比均以重量計。試驗普通分為四部分蒸餾液，亦有加 0°C 至 110°C 為五部分者，亦有合併 170°C 至 270°C 而減為三部分者。第一部蒸餾液（0°C 至 170°C）為輕油，含汽油，安息油，石炭酸等輕而易於蒸發者。凡用於瀝青碎石及熱瀝路面治理者，此部蒸餾液應極少，普通限制最多為 1%，第二部（170°C 至 235°C）及第三部（235°C 至 270°C）蒸餾液為中質油，多含焦油腦，蒸木油，多屬此部。第四部（270°C 至 300°C）蒸餾液為重油，大都為參困油，重油不易蒸發者。

分解蒸餾試驗中所用油的水分，最多不得過百分之 2，過此即須先作去水試驗，以去其水分，然後再作分解蒸餾試驗。築路用油所含水分亦有限制。土瀝青無論何時皆不得含有水分，在 175°C 下，油面不應起水泡，焦油用於冷瀝路面治理，冷混和補路用者，水分最多不得過 2%，其他如熱瀝路面治理，瀝青碎石及鋪塊填縫料用者，不得含有水分。焦油未精製前多含有水分，有高至 30% 者，精製法可除去水分，如水分未盡除者，則精製法未盡善或未完成。當精製時，用蒸餾法提出重焦油中的輕油，多用為染料，食物加味料，藥料，香料，照像材料等，殘渣則為築路之用。若殘渣過硬，則須加以蒸餾液以得相當稠度。焦油有能冷用者，有能熱用者；冷用者為輕製焦油，用於冷瀝路面治理及冷混和補路，熱用者用於熱瀝路面治理，瀝青碎石及填縫料。冷用焦油蒸餾後，因輕油成分較多，自較熱用者為多，冷用者可省却燒油手續及經濟，但不適用於瀝青碎石及填縫料。蒸餾液應作軟化點試驗，以視其在路面上蒸發後其稠度是否適宜。冷瀝路面治理用者因在路面上，且油又極易蒸發，故其蒸餾液的軟化點應稍低，以免易於脆裂，普通規定最多為 60°C。熱瀝路面治理用者，因油較難蒸發，冷混和用者因事先混和，瀝青碎石用者，可藉碎石保護，不如路面治理的直接暴露，其軟化點可稍高無妨，普通規定皆不得過 65°C。

章 16 雜樣材料

§ 173 油漆及膠漆 普通塗料有油漆粉漆及膠漆數種：

粉漆 粉漆係由一種底劑，一種粘劑，及一種溶解劑組成。多種粉漆並加有着色劑及乾燥劑。

粉漆的底劑常為白鉛粉或鋅白粉，但有時用紅鉛粉，氧化鐵，石墨等。白鉛粉為碳酸鉛及氧化鉛，碳酸鉛使粉漆具體，而氧化鉛予粉漆以粘合性。白鉛粉對於亞麻子油為良好的乾燥劑，故所需加入的別種乾燥劑甚少。鋅白粉即氧化鋅，此物較白鉛粉為明亮，但不及其耐用。白鉛粉三層等於鋅白粉五層。紅鉛粉為二氧化鉛。此物施於新木料鐵料，作首次粉漆，結果良好；能防止鐵銹，免除磨蝕；而對於亞麻子油，亦為良好的乾燥劑。氧化鐵價值低廉，效用亦著，但不能如白鉛粉及鋅白粉之優。石墨不透光，其遮覆的能力頗強。

常用的粘劑為胡麻子油，生亞麻子油係採取亞麻的種子製成。熟亞麻子油係將生亞麻子油單獨熱成，或加入乾燥劑少許。熟亞麻子油需乾燥時間，僅為生亞麻子油的一半，故熟亞麻子油多用於外部工作而生亞麻子油多用於內部工作。亞麻子油常摻雜入棉子油，松香油，苧麻油，鱗質油，或魚油等。魚油及棉子油用本品油調理過者 有時作亞麻子油的代用品。

松節油為最良的溶解劑。此油中常摻雜有鱗質油。本品油及那普塔油有時作松節油的代用品。

着色劑用以使其白色底劑的粉漆有彩色。最常用的着色劑如次：
(a) 黑色為烟煤及黑炭粉；(b) 紅色為威尼斯紅粉及紅鉛粉；(c) 櫻色為鐵赭土，生黃土及煨黃土；(d) 綠色為鐵綠粉；(e) 青色為普魯士青粉或羣青粉。用此種着色劑依各種成分混和，則任何深淺的顏色俱可製成。

乾燥劑為鉛化合物，或為鋅化合物，或為兩者的混和物，乃溶解於油質中者。此種化合物的功用為其攜帶氧質，以令亞麻子油的氧化

及膠固的作用加速。多種粉漆，僅能和用乾燥劑少許，而在調成粉漆及膠漆中不能用之。

§ 174 地瀝青漆 地瀝青漆係將地瀝青溶解於白蜡質，石油，本品油及那普塔油中而成。此種油漆用以保護鋼鐵，使不生銹。

瀝青為碳氫化合物所成的礦物質，世界上分佈極廣。其形式種類不同，或為固體，或為半流體，或為揮發的流質。普通多與各類不同的有機物質或無機物質混合，但亦偶有天然純粹者。

膠漆 膠漆係將樹膠或松香溶解於油，松節油，或油精中而成。常用亞麻子油與化石松香混和，而加入松節油以調薄之。當膠漆乾燥時，則留存平滑堅固透明的樹膠一層，即成漆面。

使用粉漆或膠漆的目的在於材料的表面上造成不透水層，以免空氣及濕氣的侵入，且使材料表面的顏色與容貌兩俱美麗也。

§ 175 膠 普通的膠係質地不純淨的動物性膠，由獸骨，獸皮魚類熬煎而成，故有骨膠，皮膠，及魚膠等名稱。良好的膠應無雜質污屑，具均勻的淡棕黃色，照之透明，切口成玻璃狀。膠塊侵入冷水中，化軟而膨脹，但不溶解，乾後復其本性。膠質在熱水中溶解成為稀薄的液體。

各種膠質的附着性，強弱大不相同。膠液愈熱，粘合愈緊。重行融化的膠不及新融者之佳，而新製成的膠則不及陳置時間長者為佳。木面用膠粘合，其最後的附着強度，在木面與木紋橫交者，每方吋自 1000 磅至 2000 磅，在木面與木紋平行者，每方吋自 350 磅至 1000 磅，視木材的種類，膠的品質，及人工的精粗而異。

膠的用途為將兩種材料的表面接合，如在木材接縫中即常用之。接合的材料不同，接合的情形不同，用膠須各適其宜，故製造的膠有種種。

§ 176 橡皮 橡皮的原料為幾種熱帶樹木外皮中的樹液，於樹皮上穿孔，則樹液流出，用器收取，加熱，和入化學藥品，施以調

製，即行凝結。此凝結物用煙薰之，即成生橡皮。取生橡皮洗滌切碎，和入硫質及別種物料，而軋成板片或壓成種種形式，然後加熱加壓以使其起合硫作用。

加入橡皮中的硫質，分量自 7% 至 30% 不等，視所需的硬度而異。工程中所用的橡皮多含 15% 至 30% 的硫。硫質並能使橡皮受熱難軟，受冷難硬。

含硫橡皮的比重，常取之以為其品質優劣的指數，但不甚準確。最佳的合硫橡皮比重常在 1 以下。

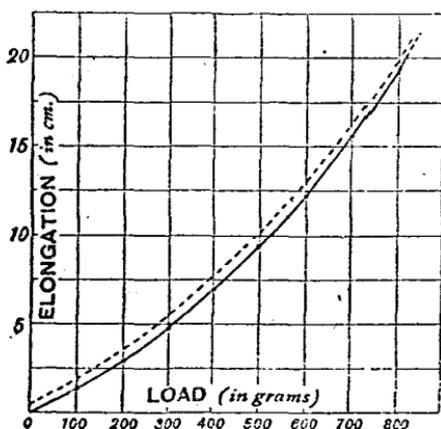


圖 57. 橡皮繩的應力形變圖。

橫標表示負重的克數，縱標表示伸長的厘米數。
實線表示加力時的圖線，虛線表示卸力時的圖線。

倍而不斷裂，視所含金屬氧化物分量的多寡而異其伸長的量。良好橡皮拉斷後，立時量其永遠伸長，常少於其原長的 12%。

如使橡皮受循環的張弛，緩緩加力，緩緩去力，則其應力形變曲線上顯有失能之象如圖 57 所示。當橡皮受力時所施的機械能，在移去其力時，不全恢復為機械能，乃有一部分變為熱能而散失。加力去

優等橡皮在受張力時的應力形變曲線，甚覺奇異。約在最後強度的 30% 以內，伸度隨載重的增加而增加，過 30% 以上，先見伸度略成固定，以後伸度隨載重的增加而減小。橡皮罕有顯明的永久形變，雖伸長至極近於最後抗張強度時始去其力，尚能復原。橡皮的最後抗張強度為每方吋自 200 磅至 2000 磅，隨其品質而異。（參看圖 57）。

良好橡皮極為柔順，應能伸長至原長的 5 倍乃至 8

力愈速，則機械能的消失愈多。

橡皮除極剛硬者外，因其至為柔軟，故在擠壓中並無顯明的最後抗壓強度。良好橡皮的應力形變曲線，向上微凸如圖 57 所示。當試驗樣件被擠壓至約為原長的 $\frac{1}{2}$ 時，單位應力為每方吋自 400 磅至 1000 磅，隨其品質及硬度而異。良好合硫橡皮，在受冷時，應不顯著變硬。橡皮的融解點約在 375°F 。稀薄酸類，稀薄鹼類，及水，對於橡皮的影響甚微。

油類使橡皮變脆，而減少其耐用的歲月。

合硫橡皮經歷歲月，則變硬而脆，漸失其能受牽引的性質，如其中含有金屬的氧化物（如白堊或氧化鋅）的量愈多，則其變化愈著。

橡皮用途甚廣，如機械上的引帶，隔電的材料，板的蓋層，車輪的實套，或空套，化妝用品，直線尺及刻度尺，服裝用品，橡皮條帶，楷字橡皮，水管等皆用之。

§ 177 革 革為取獸皮用化學方法及機械方法處理製成的不腐物質。依製造方法，革的分類如次：(a) 用單寧質或單寧酸與獸皮相化合而成的革，(b) 用礦物鹽製成的革，(c) 用油或脂處理獸皮，其分解而生的物質，實為製革的物料，使獸皮不腐。

革的分類亦有依取皮的獸的種類者，亦有依產獸的地域者。牝牛革及小牝牛革最佳，而牝牛革及牝牛革次之。

革的性質，隨製造，整理，擦油等方法而異。革的平均抗張強度為每方吋自 2000 磅至 3000 磅。製造優美的革，每立呎約重 62.5 磅。

革的用途為製造靴鞋，手套，衣服，引帶，書包，囊袋，箱籠等。

未曾用藥製造的生皮，如健全者較之製成的革，強度約為 $1\frac{1}{2}$ 倍，而對於衝擊力的抵抗性，亦較製成的革為強。生皮用於紡織機械的關節，桿軸，船舶上的舵索等。

§ 178 紙 紙可依其用途分爲四類：(a) 寫字及繪圖紙，(b) 印書及新聞紙，(c) 包裹紙，及 (d) 絹織紙及捲煙紙。

造紙的程序，分爲兩主要部分：(1) 原料的處理，其中包括清理，分碎，煮沸，洗滌，漂白，及化漿等項；(2) 由紙漿製成上市出售的紙，其中包括捶打，膠合，着色，整面，裁割等項。

造紙的通用材料爲破布，稻稈，及木材。

構造上所用的紙，大都屬於上述的 (c) 類。普通房屋用紙，爲一種包裹紙，貼於屋頂或牆壁，以令空氣及熱難於傳過。煤膏紙爲紙面上塗有煤膏或用煤膏浸過者，能防濕氣的穿過。有時用印花的裝飾紙，糊於屋中牆壁及天花板，以增加美觀。

§ 179 帆布 帆布爲粗重強固的布，由亞麻，大麻，粗麻，苧麻或棉花紡織而成。帆布或爲本色，或經漂白，或染爲別色。通常的色爲白色。

帆布用紗或爲兩股或爲數股，織工或緊或鬆，隨所需定之。帆布的品質，視用紗的股數，織工的鬆緊，布的重量，及其抗張強度而異。帆布的抗張強度每方吋自 3000 磅至 10000 磅不等。

帆布用於製造袋囊，油布，船帆，帳幕及引帶等。

§ 180 引帶 橡皮引帶係先織成長寬合度的帆布帶爲本體，後用合硫橡皮覆被於帆布的面上而成。帆布與橡皮合成層數，可有二，三，四層不等，隨其傳達的能力而異。橡皮引帶不透水，較之獸革引帶的強度爲大，其行動爲均勻正確，其磨阻係數亦高，但當受力過度而滑動時，其所受的損傷加大。橡皮引帶的平均抗張強度爲每方吋自 2200 磅至 3800 磅不等。

革引帶應用品質最佳製造得法的牡牛革製之。革條應切成 4 呎至 6 呎長的段而約具 $\frac{1}{8}$ 吋的厚，然後逐條膠結聯合，以成所需的長度。復依所需的強度而定革條之爲單堅或雙堅，即將革條重疊釘合膠結爲之。傳力不大者用單堅引帶，得較強的附着力，而傳力大者須用雙堅引帶。雖引帶的粗面的附着力較強，但對向滑輪者，常爲其滑面，以

其較難磨損故也。用革引帶作抗張試驗的結果，其單位應力為每方吋 1500 磅至 5500 磅不等，但平均引帶的強度，或者與較小的數值相近。

帆布引帶有時用之，但較良好橡皮引帶或革引帶，則效用為遜，因其附着力既小而耐用的歲月亦少也。帆布引帶的牽引強度為每方吋自 3000 磅至 8000 磅不等。

接聯引帶，使得有良好結合，最當注意。引帶多用鋸釘接合，而罕用縫合或膠合。接聯引帶約減少其強度的一半，故引帶的長度，須適如所需，以免改短添長時多一接聯之處。

在特別情形中，有用平薄的鋼條，作為引帶者。此種引帶最為強固，僅微有滑動耳。其傳力的效率甚高，行動的速度亦可甚大，而其所需的寬度，僅為傳同樣能力的良好革引帶的寬度的 $\frac{1}{2}$ 耳。

§ 181 石棉 石棉的成分中，主體為氧化鎂與矽酸的化合物，此外含有水分若干。色白而具纖維質。纖維或硬或軟，視含水的數量而異；含水約在 11.5% 以下者為硬纖維，而約在 14% 以上者為軟纖維。將石棉加熱，除去其水分，則使纖維極脆弱而易破碎。

石棉的成分約含氧化矽 40% 至 41%；氧化鎂 41% 至 44%；氧化鐵 1% 至 3%；氧化鋁 1% 至 3%；水 11.5% 至 14.5%。

石棉的傳熱率約為 0.0002。

石棉用於阻熱的傳導，例如包裹汽管，作避火慢等。出售的石棉，有作成纖維狀者，有製成板者，有製成布者，有製成圓筒狀者等等。石棉的纖維可混和成爲漿糊，以便塗於汽管等的外面。

§ 182 玻璃 尋常玻璃係取沙或氧化矽與氧化鈣，氫氧化鉀，氫氧化鈉，或氧化鉛混合熔融而成。製造的方法，極為複雜。

玻璃質硬而脆，具高度的彈性，半透明或透明，無色或有色，斷口成圓狀，對於電的抵抗甚高。

普通玻璃的抗張強度為每方吋自 2000 磅至 3000 磅；其抗壓強

度爲每方吋自 6000 磅至 10000 磅；其橫撓強度(折斷係數)爲每方吋自 3000 磅至 4000 磅；在橫撓中的彈性係數爲每方吋自 10000000 磅至 11000000 磅。玻璃的比重爲自 2.4 至 4.5，而常在 2.5 至 2.75 之間，即每立呎的重量爲自 156 磅至 172 磅。

玻璃片常按其厚度分爲單堅，雙堅等；其厚度常自 $\frac{1}{8}$ 吋至 $\frac{1}{2}$ 吋。

玻璃爲用甚廣，如裝於門窗，作爲隔電材料，造鏡，造瓶盤器皿，供裝飾等。

金屬絲玻璃係於玻璃之內含有金屬絲網者。金屬絲網係用金屬絲編成，使玻璃增加堅固，遇玻璃被火焚或打擊而破裂時，有金屬絲連繫可以防止其完全崩壞。

中華民國三十年四月初版

工程材料學一冊全

定價國幣貳圓

編輯者 李直鈞

發行所 北京直鈞科學實驗社

北京鼓樓東草廠六十八號

電話北分局四一〇八五六號

宣外上斜街西口路南

印刷者 慈成印刷工廠

電話南局三一二七九五號

代售處 北京市立高級工業職業學校

北京私立直鈞小學

其他各書局



37 / 25