

熱 機 學

446.1
8774



此書大體依據美國密西干大學 Allen 與 Bursley 兩教授合著之熱機學 (Heat Engines) 編。其不足之處，則酌為增加。於其不甚適宜之處，則酌加更改。如燃料一章，已盡量加入中國材料；蒸汽表一部，則完全刪去，而別譯 Keenan 所著之蒸汽表與毛理耳圖一冊，以為此書之副。蓋吾國人研究燃料之應用，自應以吾國所產之燃料為主；蒸汽表插入書中，失之簡則不足用，失之繁則影響全書之內容。且在學校考試，准許學生查蒸汽表時，尤感不便也。

全書約三十萬言，插圖四百二十五，習題二百二十二，附表四十。倘每週講授三小時，約可供一學年之用。

書中插圖，除採用原書之一部外，其餘大部為石文元君代繪。稿成以後，並由曹國惠君為之校閱一遍。謹附識於此，以誌不忘。

書中如有錯誤之處，或不妥之處，倘承閱者指示，極為歡迎。

劉仙洲

由國家圖書館數位化

國立清華大學古月堂

二十五年一月一日

南京 42076

040491

目 錄

第一章 熱	1
1. 熱機定義	1
2. 熱機之種類	1
3. 研究熱機之步驟	1
4. 熱之理論	2
5. 溫度	3
6. 寒暑表與高溫表	4
7. 熱量	7
8. 熱之單位	7
9. 熱容量	8
10. 比熱	9
11. 輻射	11
12. 傳導	13
13. 對流	14
14. 功能與工率	14
15. 壓力	15

第二章 熱力學概論	17
16. 熱力學	17
17. 熱力學第一定律	17
18. 熱力學第二定律	18
19. 理想氣體之定律	19
20. 絕對溫度	19
21. 理想氣體之方程式	21
22. 理想氣體之壓力與其絕對溫度之關係	23
23. 熱之吸收或氣體能力方程式	24
24. 朱爾定律	25
25. 兩種比熱之關係	26
26. 氣體膨脹通式	28
27. 膨脹時所作之功	29
28. 膨脹時所加之總熱——在普通情形之下	31
29. 在定容與定壓之下加熱之公式	33
30. 斷熱膨脹與斷熱壓縮	36
31. 等溫膨脹與等溫壓縮	38
32. n 之數值	41
33. 氣體膨脹或被壓縮時, P, v 與 T 相互之關係	42
34. 熱機之介工物	44
35. 介工物工作之循環	45
36. 可逆動作	45

37. 熵	46
38. 壓容圖與溫熵圖	48
39. 熱機之熱效率	50
40. 加諾循環	50
41. 加諾循環所作之功與其熱效率	53
42. 加諾循環之逆行	54
43. 加諾原理	56
習題	58
第三章 蒸汽之性質	65
44. 蒸汽之作成	65
45. 乾飽和蒸汽	66
46. 蒸汽之品質或乾度	66
47. 溼蒸汽	66
48. 過熱蒸汽	66
49. 液體熱	67
50. 蒸汽之隱熱	68
51. 蒸汽之總熱	68
52. 蒸發時所作之外功	69
53. 內能	69
54. 蒸汽之焓	70
55. 水與蒸汽之溫熵圖	71
56. 毛理耳圖	73

57. 蒸汽表	74
習題	74
第四章 蒸汽中所含水分之測定	77
58. 蒸汽品質測驗之必要	77
59. 蒸汽測熱器	77
60. 取汽樣之方法	78
61. 阻塞式或過熱測熱器	78
62. 阻塞式測熱器之極限	81
63. 分離式測熱器	82
64. 輻射失熱	83
65. 分離式測熱器之極限	84
66. 通用或合併測熱器	84
67. 混合物之結果溫度	87
習題	91
第五章 燃料與燃燒	95
68. 燃料之類別	95
69. 燃料之成分	96
70. 煤質分析	96
71. 煤樣成分之標準	99
72. 煤之分類	101
73. 各種煤之特性	106
74. 煤塊之大小	107

75. 煤之風化作用.....	109
76. 鎔渣.....	110
77. 燃燒特性.....	110
78. 其他固體燃料.....	111
79. 煤粉.....	113
80. 用煤粉之優點與劣點.....	114
81. 液體燃料.....	115
82. 用油爲燃料之優點與劣點.....	121
83. 氣體燃料.....	122
84. 燃燒時所發之熱.....	123
85. 根據燃料分析計算之發熱量.....	124
86. 燃料測熱器.....	125
87. 燃燒時理論上所需空氣之量.....	128
88. 黑烟.....	130
89. 烟道氣之分析.....	131
90. 乾烟道氣之重量.....	131
91. 實際所用空氣之重量.....	133
92. 理論上燃燒之溫度.....	137
93. 燃燒之效率.....	142
習題.....	143
第六章 鍋爐.....	147
94. 鍋爐之分類.....	147

95. 科尼士與蘭開施鍋爐	147
96. 簡單立式鍋爐	149
97. 考克蘭鍋爐	149
98. 立式火管鍋爐	150
99. 臥式回管鍋爐	152
100. 機車鍋爐	154
101. 船舶鍋爐	158
102. 火管式鍋爐應用上之限制	159
103. 水管式鍋爐	160
104. 拔柏葛鍋爐	160
105. 海音鍋爐	162
106. 斯忒林鍋爐	165
107. 尼克勞塞鍋爐	168
108. 雅洛鍋爐	169
109. 春田鍋爐	170
110. 賴德鍋爐	171
111. 立式水管鍋爐	171
112. 魏克斯鍋爐	171
113. 耳賴西蒂鍋爐	173
114. 柏葛婁杭司卑鍋爐	173
115. 筒狀鍋殼之力	174
116. 鍋殼之構造	176

117. 爐管之構造.....178
118. 鍋爐牽條.....179
119. 鍋殼上之進人孔與手孔.....181
120. 鍋爐管.....182
121. 汽包與乾汽管.....184
122. 排洩管或洩水管.....185
123. 阻牆與阻板.....185
124. 汽壓表.....185
125. 安全瓣.....186
126. 槓桿安全瓣.....186
127. 彈簧安全瓣.....187
128. 荷重安全瓣.....188
129. 安全瓣大小之計算法.....188
130. 高汽低水安全瓣.....189
131. 水平表與水柱.....190
132. 易鎔塞.....190
133. 停汽瓣.....192
134. 雙擊停汽瓣.....192
135. 受熱面過熱面與爐籠面.....193
136. 鍋爐馬力.....195
137. 鍋爐經濟.....196
138. 鍋爐之效率.....197

139. 鍋爐內熱之損失.....	198
140. 熱力對照表.....	198
141. 高壓鍋爐.....	207
第七章 鍋爐輔助品	210
142. 燒火.....	210
143. 機械添煤器.....	211
144. 莫斐添煤器.....	212
145. 婁內添煤器.....	213
146. 鍊籠添煤器.....	215
147. 顧臨鍊籠添煤器.....	215
148. 拔柏葛鍊籠添煤器.....	217
149. 火下添煤器.....	218
150. 約翰標準添煤器.....	219
151. E式添煤器.....	220
152. 推樂耳添煤器.....	223
153. 在機械添煤器上之爐籠面積.....	224
154. 機械添煤器之優點與劣點.....	225
155. 煤粉製法.....	226
156. 瑞芒煤磨.....	227
157. 阿婁單位粉煤機.....	229
158. 哈丁球磨.....	230
159. 煤粉爐之燒火法.....	232

160. 用煤粉發生之問題	235
161. 水牆與水篩	236
162. 鍋爐給水	239
163. 蒸發器	239
164. 除氧器	242
165. 鍋爐上水器	242
166. 上水泵	243
167. 射水器	246
168. 入水溫度對於水面高低之關係	248
169. 上水預熱法	249
170. 上水預熱器之式樣	250
171. 預熱器之裝置	251
172. 省煤器	252
173. 裝置省煤器之優點與劣點	254
174. 空氣預熱器	255
175. 過熱器	258
176. 給水濾器	266
177. 乾汽器或分汽器	268
178. 通風	268
179. 自然通風	269
180. 烟筒之能量	270
181. 烟筒之高度	272

182. 烟筒所用之材料	272
183. 磚瓦及鐵筋混凝土烟筒	272
184. 鋼烟筒	273
185. 機力通風	274
186. 機力通風之種類	274
習題	275
第八章 蒸汽機	285
187. 蒸汽機之分類	285
188. 單式蒸汽機	288
189. 用蒸汽之加諾循環	290
190. 郎肯循環	291
191. 蒸汽在汽缸內之作用	295
192. 蒸汽機理論馬力之公式	296
193. 蒸汽機上種種熱之損失	299
194. 損失於排除之乏汽之熱	301
195. 初凝結與重汽化	301
196. 影響初凝結之因素	302
197. 減輕初凝結之方法	302
198. 汽套	302
199. 過熱	303
200. 複膨脹	303
201. 抽絲現象	303

202. 餘隙容積與壓縮	304
203. 考利斯蒸汽機	306
204. 單流蒸汽機	310
205. 蒸汽機各部之構造	313
206. 滑潤法	321
習題	328
第九章 蒸汽機之試驗	331
207. 示功器	331
208. 示功器之用法	334
209. 取功圖之手續	337
210. 蒸汽機之指示馬力	337
211. 制動馬力	339
212. 機械效率	341
213. 實際熱效率	343
214. 蒸汽消耗量之測定	344
215. 蒸汽消耗量之變化	346
216. 功率	347
217. 功圖	349
218. 用畫法求初凝結量	349
習題	353
第十章 複式蒸汽機	358
219. 複式蒸汽機之定義及其利弊	358

220. 串列式複式機.....	361
221. 串列式複式機之理想功圖.....	362
222. 並列式複式機.....	364
223. 三漲式與四漲式蒸汽機.....	367
224. 複式機汽缸容積之比.....	369
225. 複式機之馬力.....	370
226. 合併功圖.....	374
習題.....	375
第十一章 汽瓣機關	381
227. 活塞之地位.....	381
228. 汽瓣機關之定義.....	382
229. 偏心輪與曲柄之比較.....	382
230. 汽瓣之地位.....	384
231. 汽瓣所司之四事項.....	384
232. 活塞與汽瓣之相關運動.....	385
233. 進角.....	392
234. 汽瓣圖.....	393
235. 醉納耳汽瓣圖.....	393
236. 醉納耳汽瓣圖之數種特性.....	396
237. 汽瓣之種類.....	399
238. 活塞汽瓣.....	399
239. 雙門汽瓣與減壓汽瓣.....	401

240. 雙門汽瓣	402
241. 阿倫汽瓣	402
242. 減壓汽瓣	403
243. 邁爾膨脹汽瓣	404
244. 醉納耳汽瓣圖用於邁爾膨脹汽瓣	405
245. 雙擊提動瓣	407
246. 蘇爾哲汽瓣機關	408
247. 回行機關	410
248. 斯蒂芬孫汽瓣機關之演進	411
249. 斯蒂芬孫滑環機構之動作	414
250. 海克渥斯回行機關	415
251. 瓦耳施回行機關	416
252. 用量法裝配汽瓣	423
253. 根據功圖裝配汽瓣	424
習題	426
第十二章 調速器	428
254. 調速器及調速器約束蒸汽機所發動力之方法	428
255. 調速器之種類	429
256. 迴轉擺	431
257. 瓦特調速器	431
258. 載重調速器	433
259. Porter 調速器	434

260. 彈簧約束式調速器	436
261. 自動停汽調速器或軸裝調速器	437
262. Westinghouse 調速器	439
263. Rites 調速器	440
264. Robb-Armstrong 調速器	441
第十三章 汽輪	442
265. 汽輪與蒸汽機不同之點	442
266. 汽輪之優點與劣點	442
267. 流體噴射所生之動能力	443
268. 衝動力與反動力	444
269. 衝動式與反動式汽輪	446
270. 汽輪中能力之變化	448
271. <u>在管嘴中速率之發生</u>	448
272. 適當膨脹時管嘴應具之形狀	449
273. 蒸汽之臨界壓力	450
274. 過飽和或過冷卻	453
275. <u>在管嘴中蒸汽流動之量</u>	454
276. 管嘴之計算	456
277. 在葉片中速率之利用	458
278. 汽輪之分類	461
279. De Laval 汽輪	470
280. Rateau 汽輪	472

281. Curtis-Rateau 汽輪.....	473
282. Terry 汽輪.....	476
283. Westinghouse 汽輪.....	477
284. Parsons 汽輪.....	479
285. Curtis-Parsons 汽輪.....	480
286. 曲折軸墊.....	480
287. Ljungtröm 汽輪.....	482
288. 複式汽輪.....	483
289. 高壓力高溫度之汽輪.....	487
290. 用抽出之蒸汽以熱鍋爐給水.....	489
291. 水銀與蒸汽並用之循環.....	490
292. 汽輪之調速法.....	492
293. 汽輪之工況.....	493
習題.....	497
第十四章 凝汽器.....	501
294. 凝汽器之應用.....	501
295. 凝汽器之種類.....	501
296. 噴射凝汽器.....	502
297. 冷面凝汽器.....	505
298. 空氣唧筒.....	507
299. 凝汽器所需之冷水量.....	509
300. 用於普通蒸汽機之凝汽器.....	512

301. 用於汽輪之凝汽器.....	512
302. 冷水塔.....	513
習題.....	518
第十五章 內燃機	521
303. 內燃機之定義.....	521
304. 內燃機發展略史.....	521
305. 內燃機之分類.....	524
306. 勒訥循環.....	526
307. 布雷敦循環.....	527
308. 鄂圖循環.....	528
309. 笛塞耳循環.....	529
310. 克拉克循環.....	531
311. 三孔二程循環與兩孔二程循環之內燃機.....	532
312. 鄂圖循環理論上之熱效率.....	534
313. 笛塞耳循環理論上之熱效率.....	537
314. 內燃機各部熱能力之損失.....	539
315. 燃燒與火焰之前進.....	542
316. 突炸.....	543
第十六章 內燃機各部構造概要	544
317. 機軸與機軸箱.....	544
318. 氣缸與水套.....	545
319. 活塞與漲圈.....	546

320. 大氣機活塞之水冷裝置	548
321. 連桿	548
322. 航空機之氣缸與活塞	549
323. 凸輪軸	551
324. 氣瓣	551
325. 多氣缸內燃機曲柄之排列法及着火次序	552
326. 氣瓣開合時間圖	554
第十七章 內燃機之燃料及其設備	557
327. 內燃機所用燃料之種類	557
328. 博美氏度數	557
329. 引火點	558
330. 汽油	558
331. 燈油	558
332. 柴油	559
333. 酒精	559
334. 苯	560
335. 頁岩油	560
336. 普通煤氣	560
337. 發生爐煤氣	561
338. 煤氣發生爐之兩大類	562
339. 吸入式煤氣發生爐	562
340. 壓入式煤氣發生爐	565

341. 化油與化油器.....	566
342. 在化油器中噴油嘴口空氣與液體燃料之速率之關係.....	566
343. 則尼斯化油器.....	568
344. 笛塞耳油機之燃料唧筒與噴油嘴.....	571

第十八章 內燃機之點火裝置減熱裝置及調速裝

置 574

345. 點火時刻.....	574
346. 點火方法.....	575
347. 熱管點火.....	575
348. 電力點火各主要部分略述.....	577
349. 電流斷續法或低壓點火法.....	580
350. 火花飛躍法或高壓點火法.....	581
351. 自然點火.....	582
352. 減熱之必要.....	583
353. 空氣減熱法.....	585
354. 冷水減熱法.....	586
355. 用冷水減熱法所需之水量.....	588
356. 內燃機所用之調速方法.....	589
357. 變數法.....	590
358. 變量法.....	591
359. 變質法.....	591
360. 質量同變法.....	591

361. 變時法	592
習題	592
第十九章 內燃機實例	596
362. 克勞斯累煤氣機	596
363. 考亨雙動式煤氣機	598
364. 歐柴郝塞耳煤氣機	599
365. 杭司卑與阿克勞依德油機	601
366. 坎柏耳二程循環油機	603
367. 安德森二程循環半笛塞耳機	605
368. 笛塞耳油機	606
369. 倭星敦二程循環笛塞耳機	608
370. 摩托自行車上之油機	609
371. 汽車上之油機	610
372. 佛德孫拽重車上之油機	611
373. 葛林馬丁倒缸機	612
374. 漢符理內燃唧筒	612
375. 內燃機與蒸汽機合併之發動機	615
第二十章 內燃機之額定大小與工況	618
376. 額定馬力	618
377. 實際馬力	625
378. 內燃機之工況	627
379. 笛塞耳循環機與鄂圖循環機之比較	633

第二十一章 各種熱機熱效率及經濟上之比較	636
380. 各種熱機熱效率之比較	636
381. 熱機之經濟	637
習題	638



熱機學

第一章 熱(Heat)

1. 熱機定義 (Definition of a Heat Engine) 凡變熱爲功(Work)之發動機，皆謂之熱機。

2. 熱機之種類 熱機約包括下列五大類：(一)蒸汽機(Steam engine)；(二)蒸汽輪(Steam turbine)，簡稱之曰汽輪；(三)熱空氣機(Hot air engine)；(四)煤氣機(Gas engine)；(五)油機(Oil engine)。煤氣機與油機，因燃料之燃燒即在氣缸(Cylinder)之中，故有時總名之曰內燃機(Internal combustion engines)。

3. 研究熱機之步驟 研究熱機之步驟，大致可分爲兩層：第一專研究屬於熱機之基本理論。如熱與功之關係，氣體之性質，蒸汽之性質，燃料及燃燒等等。有特別名之曰熱力學(Thermodynamics)。第二則就各種熱機之構造及作用，加以研究。其重要之附件，如蒸汽機之鍋爐(Boiler)及蒸汽器(Condenser)，煤氣機之煤氣發生爐(Gas producer)，油機之化油器(Carburetor)點火(Ignition)裝置等等。亦均擇要論



4. 熱之理論 (Theory of Heat) 關於熱之理論有兩種：一為微塵說 (Corpuscular Theory)。謂熱為一種極稀薄之流體。名之曰熱素 (Caloric)。物體得之則熱，失之則冷。加多時則溫度高，減少時則溫度低。用以解釋關於熱之普通現象，如兩物體間熱之傳達，物體熱則膨脹，冷則收縮，經膨脹則溫度減低，受壓縮則溫度增高，及熱之輻射等，均可勉強說通。至十八世紀之末，經 Rumford (1753-1814) 及 Davy (1778-1829) 等，由種種試驗，證其誤謬。

第一，Rumford 於礮廠中試驗，當鑽孔時，所發之熱量甚多，可知熱之來源，非盡由於較熱之物體所付予。且容積並未縮小，不能用氣體被壓縮溫度即升高之解釋法。

第二，Rumford 曾作多次試驗，測驗物體之溫度增高後，其重量是否加大，結果均不能證明物體因溫度增高而增加其重量。熱若係一種流體，應有質量。既有質量，即應有相當重量。重量既無變化，可證明熱非物質。

第三，Davy 試驗，兩塊冰相摩可使盡化為水。由冰化水，需熱甚多。決非由低溫度之冰中所能擠出。

又 Rumford 反對舊說最重要之現象，即用摩擦所生之熱量，實無一定之限度。故又創一種分子運動說 (Molecular Kinetic Theory)。認熱為動能之一種 (A form of Kinetic Energy)，或物體分子運動之動能。

此說係假定無論何種物體，其分子恆以若干之速率運動。如運動之速率低，則分子之動能少；吾人觸之，即生冷之感覺。若以適當之方法，

加之以能，則分子之動能加多，運動之速率增高；吾人觸之，即生熱之感覺。當冷熱二物體互相接觸時，其冷熱漸趨於平均者，以接觸處熱物體之分子衝動冷物體之分子，因之一方面分子之速率漸增，一方面分子之速率漸減，徐徐傳達，漸趨平均也。

又在固體，其分子之運動，係一種往復之振動或擺動。溫度高時，其速率與振幅均大。溫度低時，其速率與振幅均小。物體因溫度之高低而有脹縮者以此。

若溫度更高，因之分子之振動加劇，至振動之力勝過各分子之凝集力之一部時，則物體不能保持其固有之狀態，遂由固體變為液體。若再加熱，使分子振動之力完全勝過分子之凝集力。則物體由液體變為氣體。

惟對於輻射熱之解釋，則較舊說稍難，舊說可解為係由熱物體直接輻射而來。新說則須假設宇宙間係充滿一種能媒 (Ether)，當熱物體之分子振動時，其動能先傳於能媒，使之振動，再傳於其他物體。與光電在空中之傳達同。

5. 溫度 (Temperature) 若根據分子運動說，則一物體分子運動速率之高低，即可確定此物體熱之強度 (Intensity of heat)。而度量物體熱之強度之術語即為溫度。當物體分子運動之速率低時，則謂之在低溫度。反之則謂之在高溫度。

又溫度亦可視為一物體能傳熱於他物體之一種情態。如兩物體間無傳熱之現象，則兩物體之溫度謂之相同。如兩物體間有傳熱之現象，則給熱之物體謂之溫度高，受熱之物體謂之溫度低。

又溫度之性質與水位 (head) 之高低及電位 (potential) 之高低相類。如有 A B 二器，各注以水，下部由一管連之。則水位較高之器內，其水必向水位較低之器內流動，直至兩器內水位同高為止。如有 A B 兩帶電體，各使荷電，由一導電體連之，則電位較高之帶電體，其電必向電位較低之帶電體上流動，直至兩帶電體上之電位同高為止。同理設有 A B 兩物體，各有一定之溫度，由直接接觸，或由其他傳熱之媒介物以連之，則溫度較高之物體，其熱必向溫度較低之物體上移動，直至兩物體之溫度同高為止。

6. 寒暑表 (Thermometer) 與高溫表 (Pyrometer) 測量物體溫度高低之器具，謂之寒暑表。但測量較高溫度者 (約 800°F 以上)，普通別稱之曰高溫表。

寒暑表與高溫表主要者約分下列數種：

(a) 液體寒暑表 即利用一種液體因溫度升降而發生脹縮之理。普通約分三類：

(1) 玻璃管內置水銀 測量溫度之範圍約由 -38°F 至 575°F 。

(2) 玻璃管內置酒精 測量溫度之範圍約由 -100°F 至 100°F 。

(3) 玻璃管內置五碳矯質 (C_5H_{12}) 測量溫度之範圍約由 -300°F 至 70°F 。

(b) 液體上加氣體。倘水銀上部加以一種氣體，如氮及二氧化碳，使水銀膨脹時，上部壓力增加，因之水銀之沸點增高。例如用石英玻璃 (Quartz Glass) 管，內置水銀，上部滿以氮氣，則測量之範圍，可上至 1000°F 。

(c) 氣體寒暑表 此種寒暑表 多用於純粹科學之研究上。用於工程上者甚少。採用之氣體多係氫氣。根據查耳司定律(Charles' law), 倘使定量氣體之容積不變, 則其壓力與其絕對溫度成正比。故可按其壓力之變化以表示溫度。

(d) 金屬寒暑表 利用兩種膨脹率不同之金屬條或金屬片, 使壓於一處。曲為螺旋線形, 使一端固定, 別一端附一長針。隨溫度之高低, 能迴轉於刻度之圓盤上。若圓盤上之度數, 由一種標準寒暑表較準而刻劃之, 則指針即能直接表示溫度。普通謂之金屬寒暑表(Metallic Thermometer), 或金屬高溫表(Metallic Pyrometer), 或較差膨脹寒暑表(Differential Expansion Thermometer)。測量之範圍, 約由 300°F 至 1000°F 。

(e) 電阻寒暑表或高溫表(Electrical Resistance Thermometer or Pyrometer) 電阻因溫度之高低而增減, 故可利用鉑絲(Platinum Wire)電阻之變化以測出溫度。其範圍約由 -300°F 至 1800°F 。

(f) 熱電高溫表(Thermocouple Pyrometer) 兩種金屬由兩端接頭合成一電路, 若兩端溫度不同, 則發生相當之電流。其所發電流之強度, 與兩端接頭處之溫度差成正比。如較冷之一端溫度常使不變, 則電流表上之刻度, 可比較一種標準寒暑表, 直接使之表示溫度。其範圍約由 300°F 至 2000°F 。

(g) 輻射高溫表(Radiation Pyrometer) 如所擬測之溫度, 在 2500°F 以上, 多用此種高溫表。在不便放置他種高溫表之地位, 尤為相宜。所根據之理論係一物體之輻射能(Radiated Energy) 與其絕對溫

度之四次方成正比。其構造係於一筒狀盒內置一凹鏡與一透鏡或數透鏡。當地位調節適當時，使物體所發之輻射熱聚於一小熱電堆上，再由一電流表表示其溫度，如(f)。測量之溫度自 300°F 以上。範圍甚大。

(h) 光色高溫表 (Optical Pyrometer) 此係根據 Pouillet 試驗之結果。多用於鑄鍊各種金屬。當在爐中鑄鍊時，各種高溫各有其一定之色。察其色即可約略推斷其溫度。茲列表如下：

第一表 溫度色 (Temperature Colors)

色	攝氏溫度	華氏溫度
微紅 (Faint red)	525	977
暗紅 (Dark red)	700	1292
微櫻紅 (Faint cherry)	800	1472
櫻紅 (Cherry)	900	1652
亮櫻紅 (Bright cherry)	1000	1832
暗橙 (Dark orange)	1100	2012
亮橙 (Bright orange)	1200	2192
白熱 (White heat)	1300	2372
亮白 (Bright white)	1400	2552
眩目白 (Dazzling white)	{ 1500 1600	{ 2732 2912

(i) 融解高溫表 (Fusion Pyrometer) 或 Seger 高溫尖錐 (Seger Pyrometer Cones) 此種尖錐係由數種氧化物混合製成。混合之成分與數量，各不相同。以使每一種各有一定之融解點為準。其融解點之範圍，由 590°C 至 1850°C 。每隔 20° 或 30° 為一級。各有一定之號數。如

使用之人稍有經驗，則所測溫度之差誤不能出 10°C 以上。

用時將一組尖錐並列爐中，當溫度逐漸上升時，融解點較低者必先行融倒。當一尖錐之頂端彎曲至所放置之地面時，此尖錐號數所對照之溫度即行達到。如第一圖所示，其溫度必在 830°C 與 860°C 之間（014 與 830°C 相當，013 與 860°C 相當）。此種高溫尖錐之劣點為只能表示爐中已經達到之最高溫度。如已高而又降低，則不能表示。



第一圖

7. 熱量(Quantity of Heat) 物體由冷變熱必加熱，由熱變冷必減熱。又同物質同質量之物體，溫度高時含熱必較多，溫度低時含熱必較少。熱量者，即表示此所加所減或所含多少之熱之數量之術語也。

熱量與溫度之意義迥然不同。蓋同物質同質量之物體，其溫度之高低，雖與所含熱量之多少成正比，然異物質或異質量之物體，其溫度之高低與所含熱量之多少，固截然二事也。

8. 熱之單位 (Unit of Heat) 熱既非物質，故只能就其所生之效果計量之。普通言之，恆以使單位質量之純水發生單位溫度變化之熱量，為熱之單位。

在法國制，以加熱於一克 (Gram) 質量之純水，使其溫度升高攝氏表一度所需之熱量為熱之單位。謂之一加羅利 (Calorie)。又因此單位失之太小，更規定以一鈞 (Kilogram) 質量之純水，使其溫度升高攝氏表一度所需之熱量為熱之單位，謂之一大加羅利 (Great Calorie)。

在英國制，以加熱於一磅 (Pound) 質量之純水，使其溫度升高華氏表一度，所需之熱量為熱之單位，謂之一英熱單位 (British Thermal Unit)，簡寫為 B. T. U。

以上所規定之熱之單位，係假定純水無論在何溫度，倘溫度升高一度，所需之熱量均相等而言。然就精密測驗，純水由冰點熱至沸點，中間各度所需之熱量，實微有不同。故物理家對於所謂升高一度之規定，有下列三說：

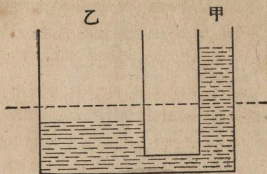
(a) 由攝氏表零度升至攝氏表一度，因便於記憶。

(b) 由攝氏表 3.5 度升至攝氏表 4.5 度，因此時水之密度最大。

(c) 由攝氏表 14.5 度升至攝氏表 15.5 度，因此一度所需之熱量，為由冰點升至沸點所需總熱百分之一。即平均升高攝氏表一度所需之熱量也。

近來多採用第三說。即一加羅利為一克純水，在一氣壓之下，由 0°C 熱至 100°C 所需總熱之百分之一。一英熱單位為一磅純水，在一氣壓之下，由 32°F 熱至 212°F 所需總熱之一百八十分之一也。

9. 熱容量 (Heat Capacity) 熱由高溫度之物體移於低溫度之物體，猶水由高水位之處移於低水位之處。如第二圖，設有甲乙二水槽，甲之水面較乙之水面高。若底部由連管通之，則水必由甲流向乙。至兩邊



第二圖

之水面同高爲止。此時甲所失之水量適等於乙所得之水量。但若甲之容量小於乙，則甲水面所降之程度，必較乙水面所升之程度大。熱之流動亦然。如質量相同溫度不同之二物體，互相接觸，則熱由高溫物體移於低溫物體，至兩物體之溫度同高爲止。而高溫物體所失之熱量，亦適等於低溫物體所得之熱量。然兩物體溫度升降之程度亦未必相等。若溫度升降之程度相等，則兩物體之熱容量謂之相等。否則謂之熱容量不相等。例如以 100°C 之銅 100 克，入於 0°C 之純水 100 克之中，則水與銅之平均溫度爲 9°C 。是銅由 100°C 冷至 9°C 時，所失之熱量，僅能使同質量之純水升高 9°C 。由此可知一定質量之銅，使其溫度升高一度，比同質量之純水，溫度升高一度，所需之熱量必亦少。即銅之熱容量比純水之熱容量小也。故熱容量之定義可述之如下：

單位質量之某物體，使其溫度升高一度所需之熱量，謂之此物體之熱容量。需熱多者，謂之熱容量大。需熱少者，謂之熱容量小。

10. 比熱(Specific Heat) 加定量之熱於一物體，或由一物體取出

定量之熱，除變更物體之狀態外，其溫度必有一定之上升或下降。上升或下降之多少，必與所加或所取之熱量之多少成正比。即

$$dQ \propto dt,$$

或

$$\delta Q = c dt \dots \dots \dots (1)$$

式中 c 為變更物體溫度一度所需之熱量。

設單位質量之某物體由溫度 T_1 熱至溫度 T_2 ，同時並設物體所含之熱量由 H_1 增至 H_2 。

則因升高此溫度所加之總熱

$$Q = Q_2 - Q_1 = \int_{T_1}^{T_2} c dt$$

如 c 為一常數，並等於使單位質量之某物體溫度升高一度所需之熱量，則

$$Q = c \int_{T_1}^{T_2} dt = c (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2)$$

式中 c 即為某物體之熱容量。

一種物質之熱容量對於同質量之純水之熱容量之比，謂之該物質之比熱。

又比熱之定義，更可規定之如下：

一克或一磅質量之某物質，使其溫度升高攝氏表（或華氏表）一度所需之熱量，與同質量之純水使其溫度升高攝氏表（或華氏表）一度所需之熱量之比，謂之該物質之比熱。

因一克（或一磅）質量之純水，使其溫度升高攝氏表（或華氏表）一度所需之熱量為熱量之單位，即恆為 1，故一物體之比熱，可直以該物體一克（或一磅）之質量，使其溫度升高攝氏表（或華氏表）一度所需之

熱量表之，簡言之，即一物體之比熱者，乃該物體一克（或一磅）之質量所有之熱容量也。

研究固體與液體之比熱時，一種物質之比熱，只有一種。因當固體與液體受熱時其容積膨脹極微。即膨脹時因對外工作所需之熱能，可以略去不計。研究氣體之比熱時，則情形與此不同。因氣體受熱後，其容積之膨脹甚大，若在一定壓力之下加熱，其容積之膨脹與其絕對溫度成正比。氣體之容積既反抗外部之壓力而膨脹，即作有相當之功。用以增高溫度者，只其所受之熱能之一部。反而言之，若限制定量之氣體於一定之容積而熱之，既不能膨脹，即未作外部之功。用以增高溫度者，為其所受熱能之全部。故氣體之比熱應分為兩種：

1. 定壓比熱 (Specific heat of constant pressure),
2. 定容比熱 (Specific heat of constant volume),

定壓比熱由 C_p 代表之，定容比熱由 C_v 代表之。均以每磅若干英熱單位計。

11. 輻射 (Radiation) 一物體之熱能力經過空間直接及於他物體，謂之熱之輻射。太陽傳於地面之熱即係輻射熱 (Radiant heat)。凡高溫度之物體，恆有輻射熱傳於低溫度之物體。其輻射之量則與兩物體間之溫度差及構成物體之原料有關。

物體之表面愈黑暗愈粗糙者，其輻射力 (Radiating Power) 愈強。又凡放散輻射熱之力最強者，其吸收輻射熱之力亦最強。例如一物體之表面，若附以燈烟一層，則放散及吸收輻射熱之力均最強。具有光滑表面之金屬，則兩者均最弱。茲將數種物質之輻射力表列之，如第三表。

第二表 氣體之性質(Properties of Gases)

氣 體 (Gas)	化學符號 (Chemical symbol)	原子數 (Number of Atoms)	分子量 (Molecular Weight)		在大氣壓力 下一立方呎 之重量，以 磅計。		32°F 與 400°F 間之平均 比熱，以每 磅若干英熱 單位計		$R = J(C_p - C_v)$	$K = \frac{C_p}{C_v}$
			近 似 (Approximate) 數	確 (Exact), $C_p = 32$ 數	在 62°F	在 32°F	定壓 C_p	定容 C_v		
空 氣	.....	...	29.0	28.95	0.0761	0.0807	0.2410	0.1725	53.33	1.397
氧 氣	O ₂	2	32.0	32.00	0.0840	0.0892	0.2182	0.1560	48.4	1.399
氮 氣	N ₂	2	28.0	28.016	0.0737	0.0783	0.2494	0.1783	55.34	1.399
氫 氣	H ₂	2	2.0	2.016	0.00529	0.00562	3.426	2.441	766.89	1.404
一氧化炭	CO	2	28.0	28.00	0.0734	0.0780	0.2494	0.1783	55.34	1.399
二氧化碳	CO ₂	3	44.0	44.00	0.1156	0.1227	0.2080	0.1622	35.66	1.282
二氧化硫	SO ₂	3	64.0	64.065	0.1684	0.1768	0.154	0.123	24.14	1.252
阿母尼亞	NH ₃	4	17.0	17.031	0.04483	0.0476	0.523	0.399	96.54	1.11
Acetylene	C ₂ H ₂	4	26.0	26.015	0.0684	0.0725	0.350	0.20	62.29	1.296
Methane	CH ₄	5	16.0	16.03	0.0421	0.0447	0.6606	0.5360	97.01	1.232
Ethylene	C ₂ H ₄	6	28.0	28.03	0.0738	0.0780	0.40	0.33	54.50	1.212

第三表 物體之輻射力(Radiating Power of Bodies)

以溫度相差 1°F 每點鐘每方呎所能輻射之熱量計

物 體	輻射力(英熱單位)
銅，磨光者.....	0.0327
鋁.....	0.0920
玻璃.....	0.595
鑄鐵，帶銹者.....	0.648
建築石材，灰泥，木材，磚.....	0.7358
毛絨料，無論何色.....	0.7522
水.....	1.082

12. 傳導(Conduction) 凡熱由一物體之一部移於他部，或由互相接觸之兩物體中之一物體，移於他物體，而物體上各部之物質並無移動之痕跡者，謂之熱之傳導。

在一物體中，任想像互相平行之兩平面。其面積各等於 A ，其間之垂直距離等於 d 。一面之溫度為 t_1 ，別一面之溫度為 t_2 ，如 t_1 大於 t_2 ，則熱必由高溫之一面向低溫之一面傳導。且在 T 時間內所傳導之熱量 Q ，與面積 A ，溫度差 $(t_1 - t_2)$ 及時間之大小 T ，均成正比。與兩平面間之垂直距離 d 成反比。

即

$$Q \propto \frac{A(t_1 - t_2)T}{d}$$

$$= \frac{kA(t_1 - t_2)T}{d} \dots \dots \dots (3)$$

式中 k 係一常數，視物質之種類而異，謂之物質之傳導率。

茲將數種物質面積一方呎，時間一點鐘，溫度差 1°F ，垂直距離 1 吋之傳導率列表於下：

第四表 物體之傳導率

物體	傳導率(英熱單位)
銅.....	515
鐵.....	233
鉛.....	113
石.....	16.7
玻璃.....	6.6
磚.....	4.8
灰泥.....	3.8
松木.....	0.75
羊毛.....	0.323

13. 對流 (Convection) 凡熱由物體之一部移於他部，而物體各部之物質顯然有移動或交流之現象者，謂之熱之對流。

鍋爐之效率，熱水暖室裝置及各種熱機熱力之耗散等，均與熱之對流有關。

當熱機之外部與空氣接觸，空氣受熱上升，攜帶其熱而去，冷空氣又流來以補之，熱遂繼續耗散。

又熱之耗散於對流，與組成表面之物質無關（木石與鐵耗散之量相同），惟與形狀及地位有關。如形狀能使對外之面積增大，耗散之熱量自多。位置在機身下部者，不若上部易起對流。

14. 功 (Work) 能 (Energy) 與工率 (Power) 戰勝一種阻力而移動一定之距離時，謂之完成一定之功。功之多少，以所加之力（與戰勝之阻力之大小同）與移動之距離之乘積表之。若所加之力以磅計，所移動之距離以呎計，則所作之功以呎磅 (foot pounds) 計。

計算流體所作之功時，多用壓力與容積之乘積表之。

設容積由 v 增至 $v+dv$ ，

對外之壓力或所反抗之阻力

為 P ，則功 $= P\{(v+dv) - v\}$

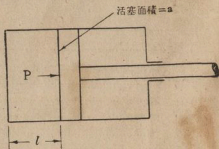
$$= Pdv = dw。$$

至壓力與容積之乘積足

以代表功之原理，可由第三

圖說明之。設活塞之面積為

a 方吋，活塞上每方吋所受之



第三圖

流體壓力為 P 磅(假定不變),受壓力之後,由左向右移動之距離為 l 呎,則所成之功 $W = Pal$ 呎磅。

但 al 為活塞讓出之容積或流體膨脹之容積 V ,

故 $功 = PV$ 呎磅。

作功快慢之程度,謂之工率。在同一時間內,作功多者,謂之工率大。作功少者,謂之工率小。

工率之單位,在工程上最普通者為馬力 (Horse power),即每秒鐘能成 550 呎磅,或每分鐘能成 33000 呎磅之功之謂。

如 r 代表所戰勝之阻力,以磅計。 l 代表移動之距離,以呎計。 t 代表時間,以分計。

則 $馬力數 = \frac{l \times r}{33000 \times t}$ 。

在電工上,一弗打 (Volt) 之電壓,與一安培 (Ampere) 之電流之乘積,謂之一瓦特 (Watt)。

一馬力 = 746 瓦特 = 0.746 仟瓦 (Kilowatt), 或瓩。

又一仟瓦 = 1.34 馬力。

15. 壓力 (Pressure) 壓力一名詞,用於工程上,恆係表示一物體所受之外力。多以單位面積上所受壓迫之力為單位。亦有時以一種液體柱之高低,表示壓力之大小。故常用以表示壓力者有以下四種:

(a) 每方吋若干磅 (Pounds per square inch),

(b) 每方呎若干磅 (Pounds per square foot),

(c) 若干吋水銀柱 (Inches of mercury),

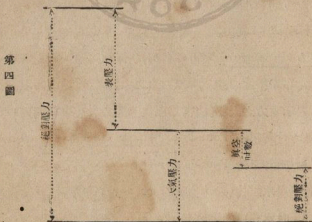
(d) 若干吋水柱 (Inches of water)。

每吋水銀柱相當每方吋 0.491 磅之壓力。

每吋水柱相當每方吋 0.036 磅之壓力。

計算壓力之起始點有二：(a) 由大氣壓力起，(b) 由真空起。大氣壓力之大小，按緯度之高低，海平面之高低及溫度之高低而生變化。在北緯 45° ，海平面，華氏 32° ，大氣壓力為 76 吋或 29.92 吋水銀柱，約等於每方吋 14.7 磅。自此種起始點所表示之壓力，有時謂之表壓力 (Gage pressure)。自真空起始者，則謂之絕對壓力 (Absolute pressure)。即表壓力與大氣壓力之和也。

若所測之絕對壓力較大氣壓力低，則多由一種真空表 (Vacuum gage) 上水銀柱之吋數表之。稱之為若干吋真空度 (Inches of vacuum)。其相當之絕對壓力，由氣壓表 (Barometer) 上之水銀柱吋數減去真空表上之水銀柱吋數，再用 0.491 乘之即得。所論各種壓力之關係，如第四圖所示。



第二章 熱力學概論

16. 熱力學 (Thermodynamics) 熱力學者，研究熱與功互相變換之原理及關於理想氣體 (Perfect gases) 之溫度容積與壓力變化之定律者也。若專就工程上之熱力學而言，則熱力學直可稱之為研究熱與功互相變換之原理之科學。例如在一動力廠 (Power plant) 之設備，如本書後部所述之蒸汽鍋爐 蒸汽機，蒸汽輪，內燃機及所有附件等等，皆可視為變熱為功之計畫。故倘擬對於任一種之計畫使之適當，或擬使之繼續向前進步，非對於熱與功及關於理想氣體之性質之定律加以詳細研究不可。

17. 熱力學第一定律 (First Law of Thermodynamics) 熱係能 (Energy) 之一種，功亦係能之變相。故熱可變為功 功亦可變為熱。且兩者之間，更有一定數量上之關係，熱力學第一定律，即係論述此種事實者。此定律如下：

當由熱生功，因每一單位功之發生，即有定量之熱失其存在。反而言之，若由功生熱，因每一單位功之消費，即有此同量之熱仍行發生。

功與熱數量上之關係，在 1843 年，朱爾 (Joule) 首先加以研究。彼當時測定每一英熱單位之熱相當 772 呎磅之功。至 1878 年，彼又改良試驗情形，得到每一英熱單位相當 774 與 775 呎磅之間。後由 Rowland 與 Giphith 等重加測驗，得到較為精密之結果。即每一英熱單位相當 778 呎磅之功。最近美國標準局 (U. S. Bureau of Standards) 發表更

爲精密之數值，即 778.57。惟普通計算問題時，仍用 778 一數。此數謂之熱之功當量 (Mechanical equivalent of Heat)。多用一字母 J 代表之。 J 之反數，或 $\frac{1}{J}$ ，多用一字母 A 代表之。等於 $\frac{1}{778.57}$ ，或 0.00128。

由熱力學第一定律及所述試驗之結果。可知熱與功可按一英熱單位與 778 呎磅之比，互相變換。

18. 熱力學第二定律 (Second Law of Thermodynamics) 熱力學第二定律，各著述家敘述之方法，不甚相同。茲將 Clausius 所敘述者譯述如下：

一自動機 (Self-acting machine) 不待他器之助力，欲移動一物體之熱於一溫度較高之別一物體爲不可能。

此定律按此種敘述法，不能證明 (按他種敘述法，有可證明者，可參看 J. A. Ewing 所著之 *The Steam Engine and other Heat Engines* 第 111 頁)。只可視爲係一種自理 (Axiom)。蓋所有之熱機，均係取溫度較高之物體之熱，使經過之，變其一部爲功，所餘之一部，再排於溫度較低之別一物體。不但移動一物體之熱於一溫度較高之別一物體爲不可能，即移動一物體之熱於一溫度相同之別一物體，亦爲不可能也。

又所有之熱機，所取之熱既均須排出一部 (因所用溫度較低之物體，其溫度實際上決不能到絕對零度)。故得所有熱機熱效率 (Thermal efficiency) 之公式如下：

$$\text{熱效率 } e_t = \frac{\text{加入之熱 (heat added)} - \text{放出之熱 (heat rejected)}}{\text{加入之熱 (heat added)}}$$

19. 理想氣體之定律 (Laws of Perfect Gases) 有兩定律表示理想氣體之壓力，容積與溫度之關係。即薄依耳定律 (Boyle's Law) 與查耳斯定律 (Charles Law)。

(a) 薄依耳定律 如溫度不變，則定量之某種理想氣體，其容積恆與其絕對壓力成反比。或絕對壓力與其容積之乘積恆等於一常數。

設定量之某種理想氣體，其原來之絕對壓力為 P_1 ，容積為 V_1 ，倘溫度不變，絕對壓力變為 P ，容積變為 V ，則

$$P_1: P = V: V_1, \quad \text{或} \quad P_1 V_1 = PV = \text{一常數}.$$

(b) 查耳斯定律 查耳斯定律之原義如下：凡定量之理想氣體，如只升高其溫度而不變其壓力時，則其容積必隨之膨脹。且溫度每升高一度，其容積之膨脹量恆等於此定量氣體在冰點時所有容積之一定分數。

如溫度用攝氏表計，則無論何種理想氣體，其溫度每升高一度，其容積之膨脹量，恆等於氣體在冰點時所有容積之 $\frac{1}{273.1}$ 。如用華氏表計，則無論何種理想氣體，其溫度每升高一度，其容積之膨脹量，恆等於氣體在冰點時所有容積之 $\frac{1}{491.6}$ 。在普通計算，273.1 可直用 273，491.6 可直用 492。

設 V_0 為定量之某種理想氣體在冰點時所有之容積，

V_t 為此同一之氣體在溫度 t 時所有之容積，

倘壓力不變，如用攝氏表計算，得

$$V_t = V_0 + \frac{1}{273} V_0 t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \dots \dots \dots (1)$$

由上式觀之，可知理想氣體之溫度與容積之關係比較複雜。

20. 絕對溫度 (Absolute temperature) 在一定之壓力之下，試取

在攝氏表冰點之某種理想氣體 273 立方呎，使其溫度升高一度，即在 1°C ，則其容積必為

$$V_1 = 273 + \frac{1}{273} \times 273 \times 1 = 274 \text{ 立方呎,}$$

同理，

$$\text{在 } 2^{\circ}\text{C, } V_2 = 273 + \frac{1}{273} \times 273 \times 2 = 275 \text{ 立方呎,}$$

$$\text{在 } 3^{\circ}\text{C, } V_3 = 273 + \frac{1}{273} \times 273 \times 3 = 276 \text{ 立方呎,}$$

反之言之，倘溫度降低一度，其容積之收縮量，亦與前同，即

$$\text{在 } -1^{\circ}\text{C, } V_{-1} = 273 + \frac{1}{273} \times 273 \times -1 = 272 \text{ 立方呎。}$$

$$\text{在 } -2^{\circ}\text{C, } V_{-2} = 273 + \frac{1}{273} \times 273 \times -2 = 271 \text{ 立方呎。}$$

如將攝氏表之分度法重行規定，將冰點作為 273 度，將沸點作為 373 度，將冰點下 273 度作為零度，則無論何種理想氣體，倘壓力不變，其容積必與此種新規定之溫度適成正比。所有關於理想氣體溫度與容積之關係變為簡單。此種新規定之溫度，謂之絕對溫度。

依同理，華氏表之分度法，亦可規定一種絕對溫度。

即攝氏表普通溫度之度數，再加 273.1 或 273，即變為攝氏表絕對溫度之度數。華氏表普通溫度之度數，再加 459.6 或 460，即變為華氏表絕對溫度之度數。

如就絕對溫度言，則查耳斯定律可改述之如下：

倘壓力不變，則定量之某種理想氣體所有之容積恆與其絕對溫度成正比。

設 V_1 爲定量之某種理想氣體在絕對溫度 T_1 時之容積，

V_2 爲此同一之氣體在絕對溫度 T_2 時之容積，

倘壓力不變，則

$$V_1:V_2 = T_1:T_2$$

或
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \dots\dots\dots (2)$$

21. 理想氣體之方程式 (Equation of a Perfect Gas) 理想氣體

之定義有下列兩種：

(a) 當氣體之壓力容積或絕對溫度發生變化時，其變化之情形合於薄依耳與查耳斯定律，則此種氣體謂之理想氣體。

(b) 當氣體之壓力容積或絕對溫度發生變化時，毫無內部之功 (Internal Work) 發生，或各分子間毫無摩阻力發生，則此種氣體謂之理想氣體。

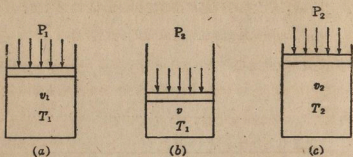
嚴格言之，無一種實際之氣體，完全合於此種條件。惟在普通溫度之下，空氣，氮，氫及氧等極近似的與此種條件相合。故在普通問題，多假定此類氣體爲理想氣體。關於理想氣體之方程式，係由薄依耳與查耳斯兩定律合併而成。其合併之方法如下：

如第五圖，設定量之某種理想氣體存於一氣缸之內，如 (a)，其壓力爲 P_1 ，容積爲 v_1 ，絕對溫度爲 T_1 。

設絕對溫度不變，其壓力由 P_1 變爲 P_2 ，容積由 v_1 變爲 v ，如 (b)。按薄依耳定律，得

$$P_1 v_1 = P_2 v$$

或
$$v = \frac{P_1 v_1}{P_2} \dots\dots\dots (a)$$



第五圖

由(b)之情形,再設壓力不變,絕對溫度由 T_1 變為 T_2 , 容積由 v 變為 v_2 , 如(c), 按查耳斯定律, 得

$$\frac{v}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

或

$$v = \frac{v_2 T_1}{T_2} \dots\dots\dots (b)$$

由(a)與(b)兩式, 得

$$\frac{P_1 v_1}{P_2} = \frac{v_2 T_1}{T_2}$$

或

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \dots\dots\dots (3)$$

用同一方法, 可證明任何理想氣體之壓力, 容積與絕對溫度由 P_1, v_1, T_1 同時發生變化, 變為 P, v, T 時, 則壓力與容積之相乘積再以絕對溫度除之, 恆等於一常數, 即恆等於 $\frac{P_1 v_1}{T_1}$ 。如命此常數為 R , 則

$$\frac{Pv}{T} = R,$$

或

$$Pv = RT_0 \dots\dots\dots (4)$$

式中 P 若以每方呎若干磅計， v 若以每磅氣體若干立方呎計，則 R 之數值亦係指一磅氣體而言。

若知某種理想氣體在一定壓力與絕對溫度之下，一磅之容積為若干立方呎，則可求其 R 之數值。例如在華氏表 32° 及絕對壓力每方呎 14.696 磅之下，一磅空氣之容積為 12.39 立方呎。

$$\begin{aligned} \text{故空氣之常數 } R &= \frac{Pv}{T} \\ &= \frac{14.696 \times 144 \times 12.39}{32 + 459.6} = 53.34。 \end{aligned}$$

故就一磅之空氣言，得

$$Pv = 53.34T \dots\dots\dots (5)$$

若氣體之重量不為一磅而為 W 磅，則得

$$Pv = WRT \dots\dots\dots (6)$$

此式謂之理想氣體之方程式。

22. 理想氣體之壓力與其絕對溫度之關係 按上段之公式

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2}, \quad \text{倘容積不變, 即 } v_1 = v_2, \text{ 則得}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \quad \text{或 } P_1 : P_2 = T_1 : T_2 \dots\dots\dots (7)$$

即定量之某種理想氣體，倘其容積不變，則其壓力與其絕對溫度成正比也。

例題 一容器含空氣 5 磅。其溫度為 75°F 。所受之壓力為每方呎 100 磅(表壓力)。求空氣之容積。

按 $Pv = WRT$ 公式，

$$P = (100 + 14.7)144 = 114.7 \times 144 \text{ 磅, 每方呎。}$$

$$T = 75 + 460 = 535^\circ\text{F, 絕對溫度。}$$

代入公式, 得

$$114.7 \times 144 \times v = 5 \times 53.34 \times 535$$

$$v = \frac{142760}{16520} = 8.64 \text{ 立方呎。}$$

例題 空氣 10 磅, 壓力每方吋 50 磅 (表壓力), 所占之容積為 10 立方呎。求其溫度。

按 $Pv = WRT$ 公式

$$P = (50 + 14.7)144 = 64.7 \times 144 \text{ 磅, 每方呎。}$$

故 $64.7 \times 144 \times 10 = 10 \times 53.34 \times T,$

$$T = \frac{93200}{533.4} = 174.5^\circ\text{F, 絕對溫度。}$$

或 $174.5 - 460 = -285.5^\circ\text{F}。$

23. 熱之吸收 (Absorption of Heat), 或氣體能力方程式 (Energy Equation of Gases) 當一種物質受熱後, 其熱可分為三部, 或三部中之一部或二部。即 (一) 增加溫度, (二) 作內功 (Doing internal work), (三) 作外功 (Doing external work)。

設 dQ 表示物質吸收之熱, dU 表示用於增加溫度之熱, dI 表示用於作內功之熱, dW 表示用於作外功之熱。

則 $dQ = dU + dI + dW \dots\dots\dots (8)$

所作全功 (total work 即內功加外功) 之熱當量為 $dI + dW$ 所代表, 而 $dU + dI$ 則代表改變物質內能 (internal energy) 之熱。根據第二

項而言，可知

吸收之熱 = 用於增加內能之熱 + 作外功之熱當量。

又所謂內功者，係用以戰勝物質各分子間互相吸引之力以變更其物理狀態所作之功，迨物理狀態復原時，此一部內功相當之熱能仍行發出。加熱於沸點之水使變為蒸汽即為一例，如此種狀態之下，溫度並不增高，故在前式中 dU 一項等於零。所加之熱，只用於作內功與作外功兩項。內功表現於物質狀態上之變化，外功則等於由水變蒸汽時所增之容積與外部壓力之乘積。實際上，在此種情況之下，用於作外功者，只為全熱之一小部，其餘大部均用於作內功。

當加熱於理想氣體時，則不作內功，故在前式中 dU 一項等於零。所加之熱，只用於增加溫度與作外功兩項。

故在理想氣體，得

$$dQ = dU + dW.$$

及

$$\int_{Q_1}^{Q_2} dQ = \int_{U_1}^{U_2} dU + \int_{v_1}^{v_2} PdV.$$

求積分，得

$$Q_2 - Q_1 = U_2 - U_1 + \int_{v_1}^{v_2} PdV.$$

設

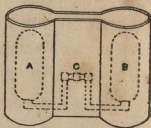
$$Q = Q_2 - Q_1, \quad U = U_2 - U_1, \quad W = \int_{v_1}^{v_2} PdV.$$

則

$$Q = U + W. \dots\dots\dots (9)$$

24: 朱爾定律 (Joule's Law) 當一種理想氣體膨脹時，若未作外功，並未吸入或給出任何熱量，則其溫度保持不變，其內能亦無變化發生。此謂之朱爾定律。係根據下列實驗而定。

如第六圖，A與B為兩容器。由一管連之。管之中間備一活門C。同置於一水槽之內。一容器內滿以壓力高至22氣壓之空氣。別一容器則使保持真空。當兩容器在水槽中放置一定時間以後，使空氣之溫度與水之溫度歸於一致，彼此間熱之流動停止。然後開活門C，使空氣由一容器流入別一容器，至兩容器中之壓力各為11氣壓為止。然後考查空氣與水之溫度，則見溫度並不發生變化。



第六圖

就所用儀器之情形察之，對於兩容器無發生外功之可能。因空氣未作外功，且未得熱，未失熱，其內能必保持未變。

故當一種理想氣體膨脹時，雖其壓力與容積發生變化，因其溫度無變化，內能即無變化。可證內能之變化專視溫度之是否變化而定。與壓力及容積之變化無關。

25. 兩種比熱之關係 (Relation of specific Heats) 設有 W 磅之理想氣體，在定壓之下加熱，使其溫度由 T_1 升至 T_2 ，容積由 v_1 增至 v_2 ，則吸入之熱。

$$Q = WC_p(T_2 - T_1) \text{ 英熱單位} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{所作之功, } W = \int_{v_1}^{v_2} Pdv = P \int_{v_1}^{v_2} dv = P(v_2 - v_1) \text{ 呎磅} \dots\dots\dots (11)$$

但按理想氣體之方程式，

$$Pv_2 = WRT_2, \quad Pv_1 = WRT_1,$$

代入上式，得

$$W = WR(T_2 - T_1) \text{ 呎磅} \dots\dots\dots (12)$$

$$= W \frac{R}{J} (T_2 - T_1) \text{ 英熱單位} \dots\dots\dots (13)$$

按本章(9)式, $U = Q - W$, 即(10)式與(13)式之差必代表增加溫度所用之熱, 或

$$U = W(C_P - \frac{R}{J})(T_2 - T_1), \text{ 英熱單位} \dots\dots\dots (14)$$

倘此同一之氣體, 在定容之下加熱, 使其溫度由 T_1 升至 T_2 則所加之總熱

$$Q = WC_V(T_2 - T_1), \text{ 英熱單位} \dots\dots\dots (15)$$

因容積無變化, 故未作外功。所加之熱必全部用以增加溫度。但(14)式亦表示用以增加溫度之熱。即(14)與(15)兩式應彼此相等, 或

$$W(C_P - \frac{R}{J})(T_2 - T_1) = WC_V(T_2 - T_1)$$

故

$$C_P - \frac{R}{J} = C_V \dots\dots\dots (16)$$

$$C_P - C_V = \frac{R}{J} \dots\dots\dots (17)$$

或

$$R = J(C_P - C_V) \dots\dots\dots (18)$$

又由(17)式 $C_P - C_V = \frac{R}{J}$,

兩邊均用 C_V 除之, 得

$$\frac{C_P}{C_V} - 1 = \frac{R}{JC_V} \circ$$

或假設 k 代表兩種比熱之比數, 即 $\frac{C_P}{C_V}$, 則

$$k - 1 = \frac{R}{JC_V}, \dots\dots\dots (19)$$

或
$$C_V = \frac{R}{J(k-1)} \dots\dots\dots (20)$$

又因 $\frac{C_P}{C_V} = k$, 故 $C_V k = C_P$, 用 k 乘(20)式之兩邊, 得

$$C_P = \frac{Rk}{J(k-1)} \dots\dots\dots (21)$$

又就(12)式觀之, 倘 W 係一磅, $(T_2 - T_1)$ 亦係一度, 則

$$W = R.$$

或一種理想氣體, R 之數值恰為一磅此種氣體在定壓之下加熱, 使其溫度升高華氏表一度所作外功之呎磅數也。

在空氣,

$$R = 778.57(0.2410 - 0.1725) = 53.33 \text{ (與 21 段比較觀之)}$$

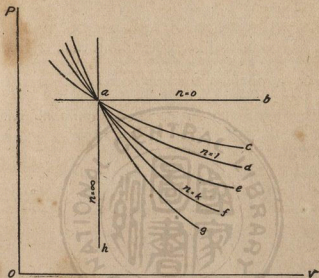
又
$$k = \frac{C_P}{C_V} = \frac{0.2410}{0.1725} = 1.397 \dots\dots\dots (22)$$

在普通算題, 空氣 k 之數值, 可用 1.4。

26. 氣體膨脹通式 當空氣, 蒸汽或任何別種氣體用作一種發動機之介工物 (Working substance) 時, 多係使氣體在發動機工作衝程 (Working stroke) 之一段因膨脹而作功。當膨脹時, 其壓力與容積之變化, 可在壓容圖 (Pressure volume diagram) 上用圖示法表出之。當加功於一種氣體使被壓縮時亦然。在此種圖上, 縱座標恆用以表示壓力。橫座標恆用以表示容積。

所有在蒸汽機煤氣機及壓氣機 (Compressors) 所遇之膨脹與壓縮, 普通均可由 $PV^n = c$ 一公式表之。謂之氣體脹縮線之方程式 (Equation of the path of the gas)。

當膨脹或被壓縮時， n 之數值可為 0 與 ∞ 之間之任何數值。第七圖表示按 n 之數值之變化，氣體膨脹或被壓縮所有之各種曲線。



第七圖

27. 膨脹時所作之功 (Work of Expansion) 如第八圖，設曲線 ab 代表氣體膨脹時壓力與容積之關係。並設此曲線之公式為

$$PV^n = c。$$

氣體由 a 點起始膨脹，其壓力為 P_1 ，其容積為 v_1 。膨脹至 b 點，其壓力為 P_2 ，其容積為 v_2 。圖上面積 $alcd$ 即代表當膨脹時所作之全功。

在 ab 曲線之下，任取一極狹之條 dv ，設其中間高度所代表之壓力為 P ，則此狹條所代表之功必為 Pdv 。

設 W 代表膨脹時所作之全功，則

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P dv \dots \dots \dots (23)$$

因曲線上之各點均與此曲線公式原來之情形相合，即

$$Pv^n = P_1v_1^n = P_2v_2^n$$

故

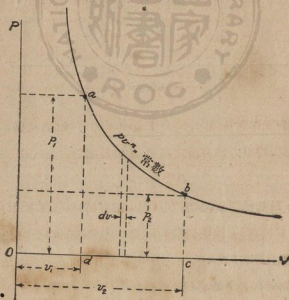
$$P = \frac{P_1v_1^n}{v^n} \dots \dots \dots (24)$$

將此式代入(23)式，得

$$W = P_1v_1^n \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v^n} \dots \dots \dots (25)$$

求積分，

$$W = P_1v_1^n \frac{(v_2^{1-n} - v_1^{1-n})}{1-n} = \frac{P_1v_1^n v_2^{1-n} - P_1v_1}{1-n} \circ$$



第八圖

用 $P_2 v_2^n$ 代替 $P_1 v_1^n$, 得

$$W = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} \quad \text{..... (26)}$$

用 w, R 與 T 代替 Pv 之值, 得

$$W = \frac{wR(T_2 - T_1)}{1-n} \quad \text{..... (27)}$$

28. 膨脹時所加之總熱 —— 在普通情形之下 氣體在任何情形之下膨脹時, 所加之總熱恆等於內能之變化與外功熱當量(Heat equivalent) 之代數和。又根據朱爾定律, 知氣體內能之變化, 只與溫度之是否變化有關, 且恆等於此同一之氣體在定容之下加熱發生同一溫度變化時所需之熱。故在理想氣體, 所加之總熱

$$Q = U + W; \\ = wJc_v (T_2 - T_1) + \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n}; \quad \text{..... (28)}$$

$$= \frac{wR}{k-1} (T_2 - T_1) + \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n}; \quad \text{..... (29)}$$

$$= \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{k-1} + \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} \quad \text{..... (30)}$$

因 P_1 與 P_2 以每方呎若干磅計, v_1 與 v_2 以立方呎計, 故上式之結果以呎磅計。若擬改為熱之單位, 則用 778 除之。

又(29)式更可改為

$$Q = \frac{wR(T_2 - T_1)}{k-1} + \frac{wR(T_2 - T_1)}{1-n} \quad \text{..... (31)}$$

式中 P_1, v_1 , 與 T_1 皆係代表氣體最初之情形(Original state)。 P_2, v_2 與 T_2 皆係代表氣體最後之情形(Final state)。

例題 空氣 5 立方呎，在每方吋 75 磅之表壓力之下，膨脹至每方吋 25 磅之表壓力。所沿曲線之公式為 $Pv^{1.2}=c$ 。

(a) 求空氣最後之容積。(b) 求膨脹時所作之功，以呎磅計。(c) 求膨脹時所加之總熱，以英熱單位計。

解答 (a)，按公式 $P_1v_1^n = P_2v_2^n$ ，

得
$$v_2^n = \frac{P_1}{P_2} v_1^n$$

故
$$v_2^{1.2} = \frac{(75+14.7)}{(25+14.7)} \times 5^{1.2} = 2.26 \times 5^{1.2}$$

$$\begin{aligned} 1.2 \log v_2 &= \log 2.26 + 1.2 \log 5 \\ &= 0.354 + 1.2 \times 0.699 = 0.354 + 0.839 \end{aligned}$$

$$1.2 \log v_2 = 1.193$$

$$\log v_2 = 0.994$$

$$v_2 = 9.86 \text{ 立方呎。}$$

(b) 按 (26) 式，

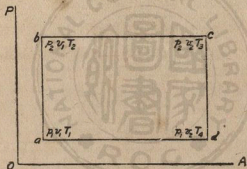
$$\begin{aligned} W &= \frac{P_2v_2 - P_1v_1}{1-n} = \frac{144(39.7 \times 9.86 - 89.7 \times 5)}{1-1.2} \\ &= \frac{144(391.44 - 488.50)}{-0.2} = \frac{144(-57.06)}{-0.2} \\ &= \frac{-8216.6}{-0.2} = 41083 \text{ 呎磅。} \end{aligned}$$

(c) 按 (30) 式，

$$Q = \frac{P_2v_2 - P_1v_1}{k-1} + \frac{P_2v_2 - P_1v_1}{1-n}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{144(39.7 \times 9.86 - 89.7 \times 5)}{1.4 - 1} + \frac{144(39.7 \times 9.86 - 89.7 \times 5)}{1 - 1.2} \\
 &= \frac{144(-57.06)}{0.4} + \frac{144(-57.06)}{-0.2} \\
 &= -20541 + 41083 = 20542 \text{ 呎磅} \\
 &= 26.4 \text{ 英熱單位。}
 \end{aligned}$$

29. 在定容與定壓之下加熱之公式 (Expressions for Heat Added at Constant Volume and at Constant Pressure)



第九圖

當氣體在定容之下加熱，如第九圖，由 a 至 b ，因未作外功，在 $Q = U + W$ 公式中， W 一項變為零，故

$$Q = U$$

前段第(30)式變為

$$Q = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{k - 1};$$

因假設容積保持不變，即 $v_2 = v_1$ ，故

$$\begin{aligned}
 {}_a Q_b &= \frac{P_2 v_1 - P_1 v_1}{k-1}, \\
 &= \frac{v_1 (P_2 - P_1)}{k-1}, \text{按呎磅單位。} \dots\dots\dots (32)
 \end{aligned}$$

$${}_a Q_b = \frac{v_1 (P_2 - P_1)}{778(k-1)}, \text{按英熱單位。} \dots\dots\dots (33)$$

式中 ${}_a Q_b$ 代表沿定容線 ab 所加之熱。

當氣體在定壓之下加熱，如第九圖，由 b 至 c ，則

$$P_b = P_c,$$

即 P_2 保持不變，第(30)式變為

$${}_b Q_c = \frac{P_2 v_2 - P_2 v_1}{k-1} + \frac{P_2 v_2 - P_2 v_1}{1-n} \dots\dots\dots (34)$$

因氣體沿定壓線膨脹時， $n=0$ ，故(34)式變為

$$\begin{aligned}
 {}_b Q_c &= \frac{P_2 (v_2 - v_1)}{k-1} + \frac{P_2 (v_2 - v_1)}{1-0}, \\
 &= \frac{P_2 (v_2 - v_1)}{k-1} + \frac{P_2 (v_2 - v_1)}{1}, \\
 &= P_2 (v_2 - v_1) \left(\frac{1}{k-1} + 1 \right), \\
 &= P_2 (v_2 - v_1) \left(\frac{1+k-1}{k-1} \right), \\
 &= P_2 (v_2 - v_1) \left(\frac{k}{k-1} \right), \\
 &= \frac{P_2 (v_2 - v_1) k}{k-1}, \text{按呎磅單位。} \dots\dots\dots (35)
 \end{aligned}$$

$${}_b Q_c = \frac{P_2 (v_2 - v_1) k}{778(k-1)}, \text{按英熱單位。} \dots\dots\dots (36)$$

例題 在第九圖，假設 P_1 = 每方吋 15 磅之絕對壓力， P_2 = 每方吋 75 磅之絕對壓力， $v_1 = 5$ 立方呎， $v_2 = 25$ 立方呎。

(a) 求加入之熱，以英熱單位計；(b) 求給出之熱，以英熱單位計。

解答 (a) 加入之熱 = $Q_1 = {}_aQ_b + {}_bQ_c$ 。

按第(33)式

$$\begin{aligned} {}_aQ_b &= \frac{v_1(P_2 - P_1)}{778(k-1)} \\ &= \frac{5 \times 144(75 - 15)}{778(1.4 - 1)} = \frac{5 \times 144 \times 60}{778 \times 0.4} = \frac{43200}{311.2} \\ &= 138.81 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

按第(36)式，

$$\begin{aligned} {}_bQ_c &= \frac{P_2(v_2 - v_1)k}{778(k-1)} \\ &= \frac{75 \times 144(25 - 5) \times 1.4}{778 \times (1.4 - 1)} = \frac{75 \times 144 \times 20 \times 1.4}{778 \times 0.4} \\ &= \frac{302400}{311.2} = 971.72 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

$$Q_1 = 138.81 + 971.72 = 1110.53 \text{ 英熱單位。}$$

(b) 給出之熱 = $Q_2 = {}_cQ_d + {}_dQ_a$ 。

$$\begin{aligned} {}_cQ_d &= \frac{v_2(P_2 - P_1)}{778(k-1)} \\ &= \frac{25 \times 144(75 - 15)}{778 \times (1.4 - 1)} = \frac{25 \times 144 \times 60}{778 \times 0.4} = \frac{216000}{311.2} \\ &= 694.08 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

$${}_dQ_a = \frac{P_1(v_2 - v_1)k}{778(k-1)}$$

$$= \frac{15 \times 144(25-5) \times 1.4}{778 \times (1.4-1)} = \frac{15 \times 144 \times 20 \times 1.4}{778 \times 0.4} = \frac{60480}{311.2}$$

= 194.34 英熱單位。

$$Q_2 = 694.08 + 194.34 = 888.42 \text{ 英熱單位。}$$

30. 斷熱膨脹 (Adiabatic Expansion) 與斷熱壓縮 (Adiabatic Compression) 當氣體膨脹或被壓縮時，除向外發出功或由外加入功以外，並不受熱亦不放熱時，謂之斷熱膨脹或斷熱壓縮。

所謂斷熱者，非謂此定量之氣體中之熱量恆保持不變，只表示此一部氣體與其他物體並無熱之交換耳。其實當此一部氣體膨脹，對外作功時，其所含之熱量必減，所減之量與所作之功相當。反而言之，當氣體被壓縮，由外部加入功時，其所含之熱量必增，所增之量亦與所受之功相當。只無熱之交換耳。

由定義察之，知氣體膨脹對外作功時，吸入之熱既等於零，按氣體能力方程式，得

$$Q = W + U$$

或
$$W = -U$$

即所作外功之熱當量 = -1 × 用於增加內能之熱。

易言之，即所作之外功，係由於氣體內所含內能之耗費也（ U 前之負號，並非表示負號之功，只係表示內能之減少）。在斷熱壓縮，則由外部加入之功，皆用以增加氣體之內能。

因氣體內能之變化，恆依溫度之變化而定，故內能增多時，溫度必因之升高。內能減少時，溫度必因之降低。

除氣體膨脹或被壓縮時，本身不起化學變化，且含氣體之容器完全由一種理想的熱之不導體所製成，則斷熱膨脹與斷熱壓縮為不可能。惟實際上膨脹與壓縮之動作愈速時，愈較為近似耳。

因氣體任意膨脹時，所作之功之公式，即第(27)式，為

$$W = \frac{wR(T_2 - T_1)}{1 - n},$$

茲試求在斷熱膨脹時， n 應有之數值。

在第 25 段，知因溫度變化所生之內能變化等於

$$wc_v(T_2 - T_1) \text{ 英熱單位,}$$

或

$$U = wJc_v(T_2 - T_1) \text{ 呎磅。}$$

在斷熱膨脹，前曾證明

$$W = -U,$$

故

$$W = wJc_v(T_1 - T_2)。 \dots\dots\dots(27)$$

但

$$Jc_v = \frac{R}{k-1},$$

代入上式，並變更上下正負號，得

$$W = \frac{wR(T_2 - T_1)}{1 - k}, \dots\dots\dots(28)$$

$$= \frac{P_2v_2 - P_1v_1}{1 - k}。$$

比較第(27)式與第(28)式，兩者均表示斷熱膨脹所作之功，得 $n = k$ 。

故在斷熱膨脹，其方程式為

$$Pv^k = P_1v_1^k = P_2v_2^k = \text{一常數。} \dots\dots\dots(29)$$

例題 空氣 5 立方呎，在表壓力每方吋 75 磅之下，按斷熱膨脹至

表壓力每方吋 25 磅。

(a) 求空氣最後之容積；(b) 求膨脹時所作之功。

解答 (a) 按第(39)式，

$$P_1 v_1^k = P_2 v_2^k$$

或
$$v_2^k = \frac{P_1}{P_2} v_1^k。$$

故
$$v_2^{1.4} = \frac{(75+14.7) \times 144 \times 5^{1.4}}{(25+14.7) \times 144} = 2.26 \times 5^{1.4}$$

$$\begin{aligned} 1.4 \log v_2 &= \log 2.26 + 1.4 \log 5 \\ &= 0.354 + 1.4 \times 0.699 = 0.354 + 0.979 \end{aligned}$$

$$1.4 \log v_2 = 1.333$$

$$\log v_2 = 0.952$$

$$v_2 = 8.95 \text{ 立方呎。}$$

(b) 按第(38)與第(6)兩式

$$\begin{aligned} W &= \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-k} \\ &= \frac{144(39.7 \times 8.95 - 89.7 \times 5)}{1-1.4} \\ &= \frac{1.4(-93.18)}{-0.4} = \frac{-13418}{-0.4} = 33545 \text{ 呎磅。} \end{aligned}$$

31. 等溫膨脹 (Isothermal Expansion) 與等溫壓縮 (Isothermal Compression) 當氣體膨脹或被壓縮，其溫度恆保持一定時，謂之等溫膨脹或等溫壓縮。

因等溫膨脹，其溫度恆保持一定，故用以增加溫度之熱等於零。在

$Q = U + W$ 公式中， U 一項等於零，即 $Q = W$ 。或一種理想氣體，當按等溫膨脹時，所有吸入之熱，皆用以作外功。又因溫度不變，其膨脹之情形，與薄依耳定律完全相合。即其膨脹線之方程式應為 $Pv = \text{一常數}$ 。

或認為在普通方程式 $Pv^n = c$ 中， n 之數值恰等於 1 亦可。

當等溫膨脹時，代表功之公式可求之如下：

仍參看第八圖，假設 ab 曲線係等溫膨脹線。由 a 點膨脹至 b 點所作之功為 $abcd$ 面積所代表。設 a 點之容積為 v_1 ， b 點之容積為 v_2 ，則所作之功：

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P dv \dots \dots \dots (40)$$

又因

$$Pv = P_1v_1 = P_2v_2,$$

故

$$P = \frac{P_1v_1}{v}$$

將 P 之數值代入上式，得

$$W = P_1v_1 \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v}$$

求積分，

$$W = P_1v_1 (\log_e v_2 - \log_e v_1) = P_1v_1 \log \frac{v_2}{v_1} \dots \dots \dots (41)$$

又因

$$P_1v_1 = wRT,$$

故

$$W = wRT \log_e \frac{v_2}{v_1} \dots \dots \dots (42)$$

但 $\frac{v_2}{v_1} = r$ ，氣體之膨脹率，而 $wRT = Pv$ ，

故

$$W = wRT \log_e r \dots \dots \dots (43)$$

$$= P_v \log_e r \dots \dots \dots (44)$$

在等溫膨脹，因溫度保持不變，其內能亦無變化。即氣體在等溫膨脹時，吸入之熱即等於所作之功。在等溫壓縮時，加入之功即等於放出之熱。故第(43)與第(44)兩式，不但表示功，並表示當等溫膨脹或等溫壓縮時，加入或放出之熱。

在實際上等溫膨脹或等溫壓縮亦難得到。惟與斷熱膨脹或斷熱壓縮適反，動作愈緩時愈較為近似。

例題 空氣 5 立方呎，在每方吋 75 磅之表壓力之下，按等溫膨脹至每方吋 25 磅之表壓力。

(a) 求空氣最後之容積；(b) 求膨脹時所作之功，以呎磅計；(c) 求膨脹時所加之熱，以英熱單位計。

解答 (a) 因 $P_1 v_1 = P_2 v_2$,

或
$$v_2 = \frac{P_1}{P_2} v_1,$$

故
$$v_2 = \frac{89.7 \times 144}{39.7 \times 144} \times 5 = 2.26 \times 5$$

$$= 11.30 \text{ 立方呎。}$$

(b) 按第(44)式，

$$W = P_1 v_1 \log_e r,$$

但
$$r = \frac{v_2}{v_1} = \frac{11.30}{5} = 2.26,$$

故
$$W = 89.7 \times 144 \times 5 \log_e 2.26$$

$$= 89.7 \times 144 \times 5 \times 2.3 \times 0.354$$

$$= 52600 \text{ 呎磅。}$$

(c) 所加之熱 = $\frac{52600}{778} = 67.6$ 英熱單位。

32. n 之數值 (Values of n) 就前數段之研究, 可知當一種理想氣體膨脹或被壓縮時, 在 $Pv^n = \text{一常數}$ 之公式中, 就 n 之數值, 即可斷定熱之加入, 熱之放出, 或保持不變。並可斷定溫度之上升, 下降, 或保持不變。

例如, 設 $n=0$, 則公式變為

$$P = \text{一常數。}$$

$$(\text{因 } PV^n = Pv^0 = P \times 1 = P)$$

按查耳斯定律, 壓力若為一常數, 即壓力不變, 則容積增加時, 熱必加入, 溫度必上升。

設 $n = \infty$, 則公式變為

$$v = \text{一常數。}$$

$$(\text{因 } P_1 v_1^n = P_2 v_2^n, \text{得 } (\frac{v_1}{v_2})^n = \frac{P_2}{P_1}, \text{或 } \frac{v_1}{v_2} = (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{1}{n}}.)$$

設 $n = \infty$, 則 $(\frac{P_2}{P_1})^{\frac{1}{\infty}} = 1$, 即 $\frac{v_1}{v_2} = 1$, 或 $v_1 = v_2 = \text{一常數}$ 。

按第 22 段之理, 若容積為一常數, 則壓力增高時, 熱必加入, 溫度必上升。壓力減低時, 熱必放出, 溫度必下降。

在第 30 段, 曾證明, 在斷熱膨脹, n 之數值等於 k , 按斷熱膨脹之定義, 當氣體膨脹時, 熱不加入, 亦不放出。即所作之功, 完全由於內能之耗費。故氣體之溫度必下降。

在等溫膨脹, n 之數值等於 1。按等溫膨脹之定義, 當氣體膨脹時,

溫度保持不變，且 $Q = W$ 。易言之，即當氣體膨脹作功時，必須有熱加入也。

茲再將氣體膨脹時熱及溫度依據 n 之數值之變化列表如下：

第五表

n 之 數 值	氣體膨脹線之方程式	在第七圖上之線	熱	溫 度
$n=0$	$T = \text{一常數}$	ab	加	升
$n > 0$ 而 < 1	$Pv^n = \text{一常數}$	ac	加	升
$n=1$	$Pv = \text{一常數}$	ad	加	不變
$n > 1$ 而 $< k$	$Pv^n = \text{一常數}$	ae	加	降
$n=k$	$Pv^k = \text{一常數}$	af	不變	降
$n > k$ 而 $< \infty$	$Pv^n = \text{一常數}$	ag	減	降
$n = \infty$	$v = \text{一常數}$	ah	減	降

在 ad 與 af 之間之任何曲線，則熱加入而溫度反下降，易言之，即在此種情形之下，其比熱為負也。

若氣體不膨脹而被壓縮，則所有熱與溫度之變化，均恰與上表所列者相反。

33. 氣體膨脹或被壓縮時， P ， v 與 T 相互之關係 因普通言之，氣體膨脹與被壓縮之曲線，可由 $Pv^n = \text{一常數}$ 之方程式表之。

即
$$P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \dots \dots \dots (45)$$

由此得

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n \dots \dots \dots (46)$$

或
$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(47)$$

又就理想氣體之方程式

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2},$$

得
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1 v_1}{P_2 v_2} \dots\dots\dots(48)$$

將(46)式中 $\frac{P_1}{P_2}$ 之值代入(48)式,得

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_2^n v_1}{v_1^n v_2}$$

故
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1} \dots\dots\dots(49)$$

將(47)式中 $\frac{v_2}{v_1}$ 之值代入(48)式,得

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{n-1}{n}} \dots\dots\dots(50)$$

第(46), (47), (49)及(50)四式,表出任何膨脹或壓縮時, P, v 及 T 三種彼此相互之關係。

在斷熱膨脹或斷熱壓縮,則將各式中 n 之數值易為 k 即得。實際運算時,以用對數較便。

例題 空氣 5 立方呎,在表壓力每方呎 75 磅與華氏表 60 度,按斷熱膨脹,直至表壓力為每方吋 25 磅。試求膨脹後之溫度。

解答 因係斷熱膨脹,故第(50)式變為

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = (60+460) \left(\frac{39.7 \times 1.4}{89.7 \times 144} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$= 520 \times 0.442^{0.286}$$

$$\log T_2 = \log 520 + 0.286 \times \log 0.442 = 2.716 + 0.286 \times \bar{1}.645$$

$$= 2.716 - 0.102 = 2.614$$

$$T_2 = 411^\circ\text{F 絕對溫度。}$$

$$= 411^\circ - 460 = -49^\circ\text{F。}$$

34. 熱機之介工物(Working Substance) 各種熱機，皆有一種介工物。當此介工物交替吸入熱與放出熱時，其容積普通多發生相當之變化，而戰勝抵抗此容積變化之阻力，功即發生。

就理論言之，介工物可用氣體，可用液體，亦可用固體。例如吾人可想像一種熱機之介工物為一金屬長桿，用作一閘輪(Ratchet wheel)之起動閘。與一齒節較密之閘輪相銜接。加熱於金屬桿，使之膨脹延長。推動閘輪，使前進一齒。然後用一溫度較低之物體使與金屬桿接觸，吸收其熱，使之縮短。同時並用一止動閘阻止閘輪，使不致後退。設金屬桿縮短時，恰與閘輪之第二齒相銜接，俟再加熱時，因膨脹延長，又進一齒。如此依次前進，倘於閘輪軸上纏繞一繩，下懸重物，則必依次被提升而發生相當之功。此種裝置，原理上實為一種完全之熱機。其所用之介工物則為一固體之金屬桿。與一溫度較高之熱源相接觸，吸收其熱，並變化其一小部為功，而放出其餘熱於一溫度較低之另一物體。普通謂之受熱器(Receiver)。熱之大部則只係由熱源經過熱機以達於受熱器。

以上所述之情形，實為各種熱機所同具。當工作時，恆係由一高溫

之熱源吸熱，變其一部為功，再放出其餘熱於一溫度較低之受熱器。惟所用之介工物多為氣體耳。

35. 介工物工作之循環 (Cycle of operations) 在多數熱機，其介工物恆按一定之週期仍恢復其原來溫度，壓力，容積及其他物理上之狀態。而介工物每經過此一次週期的變化，即謂之經過一工作之循環。例如一凝結蒸汽機 (Condensing steam engine)，水由熱井 (Hot well) 中排入鍋爐，化為蒸汽，在蒸汽機中工作後，復在凝汽器 (condenser) 內凝結為水而排於熱井。即經過一完全之循環而恢復其原來同一之狀態。若在一種不凝結蒸汽機 (Non-condensing steam engine)，其循環之情形雖不若凝結蒸汽機之顯明，然稍加思考，知其工作亦係一完全之循環。蓋雖非此同一之水復回於鍋爐，而實有同量之水以補其缺。且已經工作之一部蒸汽，排於大氣後，其溫度亦將冷至與鍋爐所上之水相同。故亦可想像為完成一循環也。

36. 可逆動作 (Reversible action) 當一種介工物膨脹或被壓縮時，設其動作之情形仍可逆行，且逆行之結果，能使介工物在完全相同之情況下經過原來所經過之各級以復其固有之狀態，則所有膨脹或壓縮之動作，謂之可逆動作。否則謂之不可逆動作 (Irreversible action)。

理想之可逆動作，須合於下列數種條件：

(一) 當膨脹或被壓縮時，介工物自身不發生旋捲 (whirls) 或盤旋 (eddies) 之動作，致生內部阻力 (Internal friction)，使各分子之動能消耗為熱。

(二) 當膨脹時，須不使經過阻塞之經路。如介工物膨脹時經過氣門

或其他狹隘之開口，以達於壓力較低之處，則恆有一部發生旋捲或盤旋，因之動能消散一部而變為熱。

(三)與介工物接觸之物體，除熱源及受熱器以外，其餘須完全為熱之不導體。

(四)當介工物膨脹時，由熱源吸熱，或被壓縮時放出其熱於受熱器。介工物之溫度須恆與熱源或受熱器之溫度一致。

就以上四種條件察之，可知實際上在任何熱機均為不可能。故可逆動作，實際上亦為不可能。惟為研究各種熱機起見，假定有一種理想的熱機，其介工物之膨脹與壓縮為可逆的，以為實際上各種熱機比較之標準，亦極為重要。

37. 熵 Entropy 當研究熱力學上之多種問題，每借助於一種抽象量 (abstract quantity)，或一比值 (Ratio)，稱之曰熵。因並非一種物理性質 (physical property)，故頗難予以明顯之定義。茲擇兩種定義述之如下：

(一)當加熱於介工物，或由介工物向外放熱，其狀態 (state) 按可逆情形發生變化時，則加入或放出之熱量被加入或放出時之絕對溫度除之，即為介工物在此時熵之變化 (採自 J. A. Ewing 所著之 *The Steam Engine and other Heat Engines*)。

(二)當介工物發生任何可逆動作時，其極微之熵之變化，等於其極微之熱量變化被發生此熱量變化時之絕對溫度除之 (採自 J. R. Allen 與 J. A. Bursley 合著之 *Heat Engines*)。

設 dQ 為加於一物體極微之熱量， T 為加此熱量時之絕對溫度，則

熵之變化 ds 爲 $\frac{dQ}{T}$ ，或

$$ds = \frac{dQ}{T} \dots \dots \dots (51)$$

若加熱時，絕對溫度由 T_1 變至 T_2 ，則在此溫度變化範圍以內，熵之總變化爲

$$S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} \dots \dots \dots (52)$$

因物質在極低溫度時之比熱未知，故一種物質由絕對零度熱至某溫度所需之總熱量不能測定。因之計算一種物質熵之絕對量爲不可能。習慣上所用者，恆係熵之變化 (Change of entropy)。又實際上與求物質總熱之假定相同，每由冰點算起。即假定物質在冰點時之熵爲零也。

如將 $ds = \frac{dQ}{T}$ 一式，

改寫爲

$$dQ = Tds,$$

則得

$$Q = \int_{s_1}^{s_2} Tds \dots \dots \dots (53)$$

結果爲用絕對溫度與熵之變化以表示熱量之公式。

在斷熱膨脹，因熱未加入，亦未放出，故(51)式變爲

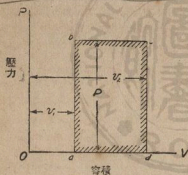
$$ds = 0 \dots \dots \dots (54)$$

或用文字言之，當斷熱膨脹時，熵無變化。更可依此而定一熵之定義如下。

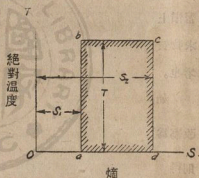
熵者，乃物質之一種特性 (Property)，當加熱於物質或由之減熱，即發生變化者也。

又就 $ds = \frac{dQ}{T}$ 公式察之，知熵之變化與物質所含之熱之變化成正比。與變化時之絕對溫度成反比。

38. 壓容圖 (Pressure-volume diagram) 與溫熵圖 (Temperature-entropy diagram) 功與熱本有一定之關係。壓力與容積之乘積可以代表功。並可在壓容圖上，由一定面積之大小，以代表功之多少。吾人是否可以比照之，由溫度與別一種假定之抽象量之乘積以代表熱？並可在一圖上，亦由一定面積之大小，以代表熱之多少？此為規定熵之原因，與溫熵圖之所以發生也。茲比較述之如下：



第一〇圖



第一一圖

設在定壓 P 之下，加熱於一種氣體，使其容積由 v_1 膨脹至 v_2 ，則所作之功等於壓力與容積變化之乘積，或

$$W = P(v_2 - v_1) \dots \dots \dots (55)$$

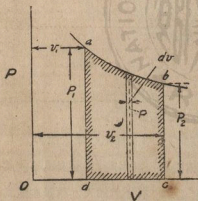
此可由第一〇圖表示之，圖中 $abcd$ 一面積，即代表壓力 P 保持不變，容積由 v_1 變至 v_2 所作之功。若使壓力有變化，如由 a 變至 b ，而容積則保持不變，即仍為 v_1 ，則圖上無面積之表現。故無功之發生。

在第一一圖，其形狀與第一〇圖相似。惟其座標所代表之量不同。用縱座標代表絕對溫度。用橫座標代表熵。則 $abcd$ 一面積，即代表所加之熱，若使溫度有變化，如由 a 至 b ，而熵則保持不變，即仍為 S_1 ，則圖上亦無面積之表現。故無熱之加入（在斷熱壓縮即如此）。

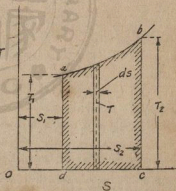
設在一定絕對溫度 T 之下，加入為面積 $abcd$ 所代表之熱，則熵之變化為 $S_2 - S_1$ ，易言之，即

$$Q = T(S_2 - S_1) \dots \dots \dots (56)$$

第一〇圖，因縱座標代表壓力，橫座標代表容積，故謂之壓容圖。第一一圖，因縱座標代表絕對溫度，橫座標代表熵，故謂之溫熵圖。



第一二圖



第一三圖

又在壓容圖，如壓力與容積同時變化，如第一二圖，則所作之功為

$$W = \int_{v_1}^{v_2} P dv \dots \dots \dots (57)$$

同理，在溫熵圖，如加熱時溫度亦同時變化，如第一三圖，則所加之

熱爲

$$Q = \int_{s_1}^{s_2} T ds_0 \dots\dots\dots(58)$$

由上述之情形察之，可知凡有功之變化，無論加熱與不加熱，均能表現於壓容圖。凡有熱之變化，無論作功與不作功，均能表現於溫熵圖。故研究熱力學與熱機原理時，熵之規定，頗爲重要也。

39. 熱機之熱效率 (Thermal Efficiency or Heat Efficiency)

無論何種機械，由機械得出之功對於加入機械之功之比，謂之該機械之效率。就熱機言，由熱機得出之功之熱當量對於加入之熱之比，謂之熱機之熱效率。或

$$\text{熱效率} = \frac{\text{所作之功之熱當量}}{\text{加入熱機之熱}} \dots\dots\dots(59)$$

但所作之功之熱當量 = 加入熱機之熱量 - 放出之熱量，

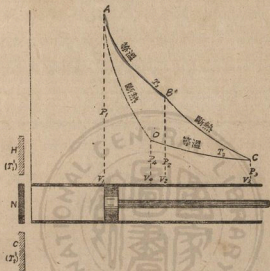
$$\text{故 熱效率} = \frac{\text{加入熱機之熱量} - \text{放出之熱量}}{\text{加入熱機之熱量}} \dots\dots\dots(60)$$

就理想言，如能將加入之熱量盡變爲功，則熱效率必最大而等於 1。惟實際上實爲不可能。蓋介工物經過熱機而被排出時，其溫度決不能爲絕對零度，即放出之熱量決不能爲零。亦即不能將加入之熱量盡變爲功也。

40. 加諾循環 (Carnot Cycle) 1824 年，法國工程師撒第加諾 (Sadi Carnot) 曾提出一種工作循環。普通謂之加諾循環。爲熱機之一種理想的標準。

所用介工物假定係一種理想氣體，如第一四圖，先按第溫膨脹由 A

至 B 。次按斷熱膨脹由 B 至 C 。再按等溫壓縮由 C 至 D 。最後再按斷熱壓縮由 D 仍返於 A 。



第一四圖

仍參看第一四圖，假想一熱物體 H ，為一熱量無限之熱源。其絕對溫度恆為 T_1' 。一冷物體 C ，其絕對溫度恆為 T_2' 。較低於 T_1' 。並假設其熱容量為無限。吸收熱量後，溫度不因之變化。更假設一蓋 N ，係熱之絕對不導體所製。一汽缸，除外端外，亦為熱之絕對不導體所製。內置一不導熱且無摩阻力之活塞。汽缸之外端則假設為熱之絕對導體 (Perfect conductor) 所製。

假設汽缸內含有 v_1 立方呎之理想氣體。其壓力為 P_1 。其溫度為 T_1 。然後按下列順序進行：(一)使汽缸之外端與熱物體 H 相接觸，使活塞外移，氣體膨脹。直至其容積變為 v_2 ，壓力變為 P_2 ，因 H 係一熱量無

限之熱源，故氣體之溫度可保持不變。即所有膨脹係一種等溫膨脹。(二)移去 H ，使 N 覆於汽缸之外端。使活寒繼續外移。氣體按斷熱膨脹。直至其容積變為 v_3 。壓力變為 P_3 。同時其溫度落至 T_2 。(三)移去 N ，使汽缸之外端與冷物體 C 相接觸。使活寒內移。壓縮氣體。放熱於 C 。直至其容積變為 v_4 。壓力變為 P_4 。因 C 之熱容量為無限，故氣體之溫度亦保持不變。即所有壓縮係一種等溫壓縮。(四)移去 C ，又將 N 覆於汽缸之外端。使活寒繼續內移。氣體按斷熱壓縮仍恢復其原來之容積壓力與溫度。

第三步，即等溫壓縮時，所至之點 D ，務使當第四步，即斷熱壓縮時，由此點起始恰能回至原來起始之點 A 為度。

得到此種關係之條件如下：

就斷熱膨脹線 BC 言，得

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_3}{v_2}\right)^{\gamma-1}$$

就斷熱壓縮線 DA 言，得

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{\gamma-1}$$

故

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{v_4}{v_1},$$

或

$$\frac{v_3}{v_4} = \frac{v_2}{v_1}.$$

即欲第四步斷熱壓縮仍回至原來起始之點 A ，則第三步之等溫壓縮率 (Ratio of Isothermal Compression) 須與第一步之等溫膨脹率 (Ratio of Isothermal Expansion) 相等。

41. 加諾循環所作之功與其熱效率 假設等溫膨脹率，與等溫壓縮率均由 r 代表之，氣體之重量為 w ，則在全循環中，

$$\begin{aligned} \text{(一) 沿 } AB, \text{ 氣體由 } H \text{ 吸入之熱} &= wRT_1 \log_e r \quad \text{功單位,} \\ &= \frac{wRT_1}{J} \log_e r \quad \text{熱單位.} \end{aligned}$$

(二) 沿 BC ，氣體不吸入熱，亦不放出熱。

$$\begin{aligned} \text{(三) 沿 } CD, \text{ 氣體向 } C \text{ 放出之熱} &= wRT_2 \log_e r \quad \text{功單位,} \\ &= \frac{wRT_2}{J} \log_e r \quad \text{熱單位.} \end{aligned}$$

(四) 沿 DA ，氣體不吸入熱，亦不放出熱。

故氣體在全循環中，所作純工之總量為

$$wR(T_1 - T_2) \log_e r \quad \text{功單位.} \dots\dots\dots (61)$$

在圖中為四曲線所包之面積所代表。

此循環之熱效率 = $\frac{\text{所作之功之熱當量}}{\text{吸入之熱量}}$

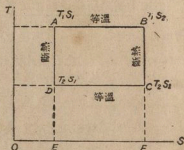
$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{wR(T_1 - T_2)}{J} \log_e r}{\frac{wRT_1}{J} \log_e r} \\ &= \frac{T_1 - T_2}{T_1} \dots\dots\dots (62) \end{aligned}$$

就此式觀之，可知只 $T_2 = 0$ 時，熱效率可等於 1。即冷物體之溫度須為絕對零度 (Absolute zero) 也。事實上為不可能之事。

又 $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ 愈近於 1，則熱效率愈大。即 $T_1 - T_2$ 之數值愈大時，熱效率愈大。如欲得此結果，則須盡力使 T_1 之數值增大，使 T_2 之數值減。

小。惟在事實上各種熱機各有其一定之極限。只為計畫時之一種預期之目標而已。

第一五圖表示用溫熵座標 (Temperature-Entropy Coordinates) 之加諾循環。在全循環中, 氣體



第一五圖

由 H 吸入之熱為面積 $ABFE$ 所代表 $= T_1(S_2 - S_1)$ 熱單位。

向 C 放出之熱為面積 $CDEF$ 所代表 $= T_2(S_2 - S_1)$ 熱單位。

所作之功之熱當量為面積 $ABCD$ 所代表 (等於面積 $ABFE$ - 面積 $CDEF$) $= T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)$ 熱單位。

$$\begin{aligned} \text{熱效率} &= \frac{\text{所作之功之熱當量}}{\text{加入之熱量}} = \frac{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} \\ &= \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ 與 (62) 式同。} \end{aligned}$$

42. 加諾循環之逆行 (Reversibility of Carnot Cycle) 加諾循環係一可逆循環 (Reversible Cycle)。仍可假設原來之氣體。其壓力容積與溫度仍由第一四圖上 A 點所代表。但前此所有之四步動作則依次逆向而行。其次序如下：

(一) 將 N 覆於汽缸之前端。使活塞外行。氣體按漸熱膨脹沿 AD 線膨脹至 D 。其溫度由 T_1 落至 T_2 。

(二) 移去 N 。將 C 置於汽缸之前端。使活塞繼續外行。氣體按等溫膨脹沿 DC 線膨脹至 C 。由 C 吸入熱。使其溫度恆為 T_2 。

(三)移去 C 。仍將 N 覆於汽缸之前端。使活塞回行。按斷熱壓縮沿 CB 線壓縮至 B 。其溫度由 T_2 升至 T_1 。

(四)移去 N 。將 H 置於汽缸之前端。使活塞繼續回行。按等溫壓縮沿 BA 線壓縮至 A 。氣體放熱於 H 。使其溫度恆為 T_1 。

在此種逆行的循環，就全循環言，氣體不但並未做功，且有定量之功加於氣體。其量亦為圖中四曲線所包之面積所代表。或

$$wR(T_1 - T_2) \log_e r \text{ 功單位。}$$

此一部分功實變為熱。

在第二步，由 C 吸入熱為 $wRT_2 \log_e r$ 功單位。在第四步向 H 放出熱為 $wRT_1 \log_e r$ 功單位。在第一步與第三步，則不吸入熱亦不放出熱。

所有動作，均恰與以前相反。此時加於氣體之功與以前氣體所作之功相等。向 H 放出之熱與以前由 H 吸入之熱相等。由 C 吸入之熱亦與以前向 C 放出之熱相等。所有情形如下表所列：

加諾循環……………順行(Direct)

$$\text{氣體所作之功} = wR(T_1 - T_2) \log_e r \text{ 功單位，}$$

$$= \frac{wR(T_1 - T_2)}{J} \log_e r \text{ 熱單位。}$$

$$\text{由} H \text{ 吸入之熱} = wRT_1 \log_e r \text{ 功單位，}$$

$$= \frac{wRT_1}{J} \log_e r \text{ 熱單位。}$$

$$\text{向} C \text{ 放出之熱} = wRT_2 \log_e r \text{ 功單位，}$$

$$= \frac{wRT_2}{J} \log_e r \text{ 熱單位。}$$

加諾循環……………逆行(Reverse)

加於氣體之功 $= wR(T_1 - T_2) \log_e r$ 功單位,

$$= \frac{wR(T_1 - T_2)}{J} \log_e r \text{ 熱單位。}$$

向 H 放出之熱 $= wRT_1 \log_e r$ 功單位,

$$= \frac{wRT_1}{J} \log_e r \text{ 熱單位。}$$

由 C 吸入之熱 $= wRT_2 \log_e r$ 功單位,

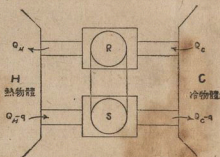
$$= \frac{wRT_2}{J} \log_e r \text{ 熱單位。}$$

由上表觀之, 可知在逆行之加諾循環, 向熱物體 H 放出之熱等於由冷物體吸入之熱與加於氣體之功之熱當量之和數。因按能力不滅之定理, 亦應如是也。

43. 加諾原理(Carnot's principle) 如工作在同一溫度界限以內, 則任何熱機之熱效率, 均不能超過可逆機(reversible engine)。此謂之加諾原理。

如第一六圖, 假想有 RS 兩熱機。就中 R 係一可逆機。並設當工作時, 吸熱於熱物體 H 放熱於冷物體 C 。

設 Q_H 為可逆機 R 作每單位功時, 由熱物體 H 吸入之熱量, Q_C 為向冷物體 C 放



第一六圖

出之熱量。

假設 S 之熱效率高於 R ，則作每單位功時，由 H 吸入之熱量應較少，而放出於 C 之熱量亦應相當的減少。設由 H 吸入之熱量為 $Q_H - q$ ，放出於 C 之熱量為 $Q_C - q$ 。

設 S 順行工作 (Working direct)，帶動 R 機，使逆行工作。即 S 機變熱為功，帶動 R 機，使變功為熱。則 S 機對逆行工作機 R 每發生一單位之功，由 H 吸入之熱為 $Q_H - q$ 。逆行機 R 向 H 放出之熱為 Q_H 。蓋可逆機 R 當順行工作時，每作一單位之功，由 H 吸入之熱為 Q_H ，當逆行工作時，其向 H 放出之熱應亦為 Q_H 也。是就全體言之， S 對於 R 每作一單位之功時，熱物體 H 即得定量之熱 q ，同時 S 向 C 放出之熱為 $Q_C - q$ ，而 R 由 C 吸入之熱則為 Q_C 。即就全體言之， S 對於 R 每作一單位之功時，冷物體 C 即失定量之熱 q 。故兩機合併工作（其一順行工作，為一實際之熱機，其一逆行工作，可稱之熱唧筒 (Heat pump)）。結果可將冷物體之熱移於熱物體。且能繼續前進，毫無限制。又因一機所發之動力恰足被另一機所吸收而帶動之。若想像各部均毫無摩阻力，更不必賴外部另加以助力。故兩機合併，實組成一自動裝置。即倘假定一熱機 S 之熱效率超過一可逆機 R 之熱效率，實得一與熱力學第二定律相反之結果。因此種情況能引起吾人於想像中製成一自動機，由一冷物體移動任意之熱量於一熱物體也。在熱力學第二定律，知此為與經驗相反之事實。故不能不歸於前述之結論。即在同一溫度界限以內，任何熱機之熱效率均不能超過可逆機也。

又假定兩機同為可逆機，用同一之討論，可證明任何一機，其熱效

率不能超過另一機。故所有可逆機若吸熱與放熱之溫度相同時，其熱效率皆相等。此種結果，有時亦認為加諾原理之一部。

習 題

1. 空氣 1 磅，在絕對壓力每方吋 100 磅時，其容積為 0.3 立方呎。問其溫度應為華氏表若干度？

2. 空氣 10 磅，在絕對壓力每方吋 10,000 磅時，其溫度為 100°F 。問其容積應為若干立方呎？

3. 空氣 5 磅，在溫度 60°F 時，所占之容積為 50 立方呎。問其表壓力為每方吋若干磅？

4. 一儲空氣箱，其容積為 300 立方呎，箱內之絕對壓力為每方吋 100 磅，溫度為 70°F 。試求箱內所有空氣之重量。

5. 定量之空氣，其溫度為 60°F ；絕對壓力為每方吋 14.7 磅；容積為 5 立方呎。倘壓力不變，溫度升至 120°F ，問其容積應為若干立方呎？

6. 一儲空氣箱，存有空氣 200 立方呎。其溫度為 60°F ；其絕對壓力為每方吋 200 磅。(a) 求空氣之重量。(b) 在大氣壓力之下，此一部空氣應占之容積為若干立方呎？

7. 某箱之容積為 1,000 立方呎。其中半滿空氣，餘半為水。箱內之絕對壓力為每方吋 60 磅；溫度為 60°F 。倘將箱內之水撤出一半，並假設溫度保持不變，問箱內之結果壓力為何？

8. 一儲空氣箱，儲有空氣 200 立方呎。其壓力為大氣壓力，其溫度為 60°F 。如將所有空氣熱至 150°F ，問 (a) 箱中空氣之結果壓力，(b)

所需之熱量。

9. 一儲空氣箱，儲有空氣 200 立方呎。其絕對壓力為每方吋 40 磅；其溫度為 60°F 。倘加 1,000 英熱單位之熱量於空氣，問其結果溫度與壓力各為何？

10. 某劇場可容 5,000 人。設每小時每人需供給 2,000 立方呎之通風，場外溫度為 0°F ，場內溫度為 70°F 。問每小時共需空氣若干磅？共需熱量若干英熱單位？在 0°F 時，1 立方呎空氣之重量為 0.0863 磅；在 70°F 時，1 立方呎空氣之重量為 0.075 磅。

11. 空氣 4 磅，容積 12 立方呎，絕對壓力每方吋 80 磅。經過等溫膨脹後，其絕對壓力變為每方吋 15 磅。問當膨脹時所作之外功與加入之熱量各為若干？

12. 一壓氣機汽缸之容積為 2 立方呎。吸入之空氣之絕對壓力為每方吋 15 磅，其溫度為 70°F 。按等溫壓縮直至絕對壓力為每方吋 100 磅。問 (a) 在壓縮衝程之始，氣缸內空氣之重量。(b) 空氣最後之容積。(c) 當壓縮時對於空氣所作之功。

13. 一壓氣機按大氣壓力吸入空氣。並按等溫壓縮，直至絕對壓力為每方吋 100 磅。壓氣機之內直徑為 8 吋，一衝程之距離為 12 吋。如不計餘隙容積，問由氣缸向外排氣應在一衝程之何點起始？

14. 空氣 1 立方呎，由 4 倍大氣壓力之表壓力與 60°F 之溫度，按斷熱膨脹至 1 倍大氣壓力之絕對壓力。求空氣之最後溫度。

15. 一氣缸之內直徑為 20 吋。其一端開口。內裝置一活塞。當移動時，須用力 50 磅方能戰勝摩阻力。氣缸內有空氣 5 立方呎，其絕對壓力

爲每方呎 12 磅，溫度爲 60°F 。氣壓表之讀數爲 30 吋水銀柱。倘使活塞向外移動 2 呎，問需功幾何？假設無熱之傳達。

16. 空氣 2 立方呎，其溫度爲 540°F ，其絕對壓力爲每方呎 100 磅。按斷熱膨脹直至其溫度降至 40°F 。問所作之功幾何？

17. 空氣 3 立方呎，其溫度爲 60°F ，其絕對壓力爲每方呎 45 磅。問：(a) 當斷熱膨脹至絕對壓力每方呎 15 磅時，問空氣之容積與溫度。(b) 膨脹時所作之功。(c) 變功之熱量(以英熱單位計)。

18. 空氣 2 立方呎，其溫度爲 60°F ，其絕對壓力爲每方呎 80 磅。問：(a) 空氣之重量。(b) 倘空氣按斷熱膨脹直至容積爲 8 立方呎時，求最後之溫度與壓力。(c) 膨脹時所作之功。(d) 倘空氣按等溫膨脹直至容積爲 8 立方呎時，求所作之功。

19. 空氣 4 立方呎，其絕對壓力爲每方呎 100 磅，沿 $PV^n=c$ 曲線膨脹至容積 14.2 立方呎，絕對壓力每方呎 15 磅。問：(a) 膨脹時加熱或放熱？(b) 加熱或放熱之量。(c) 膨脹時所作之功。

20. 空氣 10 磅，其溫度爲 150°F ，其絕對壓力爲每方呎 200 磅。沿 $PV^{0.9}=c$ 曲線膨脹至絕對壓力每方呎 15 磅。問：(a) 膨脹最後之溫度。(b) 膨脹時所作之功，以呎磅計。(c) 膨脹時加熱或放熱及其量。以英熱單位計。

21. 一定重量之空氣，由絕對壓力每方呎 100 磅，容積 2 立方呎。膨脹至絕對壓力每方呎 25 磅，容積 4 立方呎。問：(a) 膨脹時加熱或放熱。(b) 加熱或放熱之量，以英熱單位計。(c) 倘最後之容積不爲 4 立方呎，而爲 5.38 立方呎，求所加或所放之熱量。(d) 膨脹時空氣所作

之功。(e) 假設空氣原來之溫度為 70°F ，並沿 $PV^1=c$ 曲線由原來之情形膨脹至絕對壓力每方吋 25 磅，求其結果溫度。(f) 設膨脹之物質非空氣而為一種別種氣體，其 $c_p=0.1569$ ， $c_v=0.131$ ，問較(c)項所加或所放之熱多或少。(g) 多或少之量為何？

22. 一定重量之空氣，其容積為 1 立方呎，其絕對壓力為每方吋 100 磅。按定壓膨脹直至其容積為 3 立方呎。(a) 問膨脹時所作之外功。(b) 問膨脹時所加之熱量。

23. 一定重量之空氣，其容積為 10 立方呎，其溫度為 60°F ，其絕對壓力為每方吋 20 磅。先按定容加熱，使其絕對壓力增至每方吋 200 磅；其次按定壓加熱，使其容積增至 40 立方呎；再其次按定容放熱，使其絕對壓力減至每方吋 20 磅；最後按定壓放熱，使其容積仍減至 10 立方呎。(a) 求第一步終止時之溫度。(b) 求第二步終止時之溫度。(c) 求第三步終止時之溫度。(d) 總加入之熱量，以英熱單位計。(e) 總放出之熱量，以英熱單位計。(f) 全循環所作之功，以呎磅計。(g) 全循環之效率。

24. 空氣 2 立方呎，其絕對壓力為每方吋 15 磅。先按定容加熱，使其絕對壓力增至每方吋 100 磅；其次按等溫膨脹，直至其絕對壓力變為每方吋 15 磅；然後按定壓壓縮，至仍恢復其原來之容積。(a) 求加入之熱量，以英熱單位計。(b) 求所作之功之熱當量，以英熱單位計。(c) 求全循環之效率。

25. 空氣半磅，其絕對壓力為每方吋 20 磅，其溫度為 40°F 。先按定容加熱，使其絕對壓力增至每方吋 95 磅。其次使膨脹至容積 10 立方

呎，絕對壓力每方吋 20 磅；然後按定壓壓縮至原來之容積。(a) 求加入之熱量，以英熱單位計。(b) 求所作之功，以呎磅計。(c) 求全循環之效率。

26. 空氣 10 立方呎，其絕對壓力為每方吋 15 磅。先按定容加熱，使其絕對壓力增至每方吋 100 磅；其次沿 $PV^{1.2} = c$ 曲線膨脹至原來之壓力；然後按定壓線壓縮至原來之容積。求所加之熱，所放之熱，所作之功及全循環之效率。

27. 定量之空氣，其容積為 10 立方呎，其溫度為 60°F ，其絕對壓力為每方吋 20 磅。先按定容加熱，使其絕對壓力增至每方吋 150 磅；其次沿 $PV^n = c$ 曲線膨脹至絕對壓力每方吋 20 磅，容積 75 立方呎；然後按定壓壓縮仍回至原來情況。求：(a) n 之數值；(b) 每步終止時之溫度；(c) 加入之熱量；(d) 放出之熱量；(e) 所作之功；(f) 全循環之效率。

28. 空氣 2 磅，其絕對壓力為每方吋 100 磅，其容積為 1 立方呎。先按定壓膨脹，至容積為 6 立方呎；其次按定容變化，至絕對壓力為每方吋 10 磅；然後再壓縮至原來情況。求：(a) 加入之熱量，以英熱單位計；(b) 放出之熱量，以英熱單位計；(c) 所作之功，以呎磅計；(d) 全循環之效率；(e) 倘第二步，空氣非係按定容變化，係沿 $PV^1 = c$ 曲線，由絕對壓力每方吋 100 磅至絕對壓力每方吋 10 磅，其最後之容積應為何？(f) 如起始時之溫度為 70°F ，其最後之溫度應為何？

29. 空氣 10 立方呎，其溫度為 70°F ，其絕對壓力為每方吋 100 磅。先按等溫膨脹至絕對壓力每方吋 50 磅；其次沿 $PV^{1.6} = c$ 曲線膨脹至絕對壓力每方吋 15 磅。然後按定壓壓縮，使其容積減小一部；最後再按

斷熱壓縮，使仍回原始情況。求：(a)所加之熱，以英熱單位計；(b)所放之熱，以英熱單位計；(c)所作之功，以呎磅計；(d)全循環之效率。

30. 定量之空氣，其容積為半立方呎，其絕對壓力為每方吋 200 磅。先按定壓加熱，使其容積增至 2 立方呎；其次沿 $PV^n=c$ 曲線膨脹至絕對壓力每方吋 15 磅，容積 14 立方呎；然後按 $PV^n=c$ 曲線，壓縮至絕對壓力每方吋 90 磅，容積半立方呎；最後沿定容線仍回原來起始之點。求：(a)所加之熱，以英熱單位計；(b)放出之熱，以英熱單位計；(c)所作之功，以呎磅計；(d)全循環之效率。

31. 某氣機用空氣與煤氣之混合氣體為燃料。此混合氣體之 $c_p=0.26$ ， $c_v=0.20$ 。此機每循環用溫度 100°F ，絕對壓力每方吋 14 磅之上述混合氣體 0.25 立方呎。混合氣體在氣缸內，先按斷熱壓縮，至溫度 450°F ；其次加熱，使其溫度升至 $1,500^\circ\text{F}$ ；容積則保持不變。然後按斷熱膨脹，至絕對壓力為每方吋 30.85 磅，容積為 0.25 立方呎。最後按定容減熱，使溫度與壓力仍回至原來情況。求：(a)每循環所用混合氣體之重量；(b)所加之熱，以英熱單位計；(c)所放之熱，以英熱單位計；(d)全循環之效率；(e)倘此機每分鐘之循環數為 1,000，所發之馬力數為何？

32. 某空氣機 (air engine) 之循環由下列五線組成：定壓膨脹線 AB ；斷熱膨脹線 BC ；定容線 CD ；定壓壓縮線 DE ；定容線 EA 。已知 $v_a=v_c=0$ ； $P_a=P_b$ = 絕對壓力每方吋 180 磅； $v_b=1$ 立方呎； $v_c=v_d=5$ 立方呎； $P_d=P_e$ = 絕對壓力每方吋 15 磅。倘膨脹曲線易為 $Pv^{1.3}=c$ ，求所作之功增加或減少之百分數。

33. 空氣 2 立方呎，其絕對壓力為每方吋 100 磅。沿一線膨脹至容積為 4 立方呎，線之公式為 $PV^0 = c$ ；其次使膨脹至絕對壓力每方吋 15 磅，容積 14.2 立方呎；然後沿一線加熱，直至其絕對壓力為每方吋 30 磅，線之公式為 $PV^\infty = c$ ；又按定壓壓縮至容積為 4.46 立方呎；最後再壓縮至原來之容積與壓力。求：(a) 所加之熱；(b) 所放之熱；(c) 所作之功；(d) 全循環之效率。



第三章 蒸汽之性質 (Properties of Steam)

44. 蒸汽之作成 欲詳細了解蒸汽機之各種工作，須先就蒸汽之通性及其特性加以研究。在普通鍋爐 (boiler) 中所生之蒸汽，係一種蒸發氣 (vapor)，每有定量之水分浮游於其中，一似有霧之時水分之浮游於大氣者然。

假設在一鍋爐之中，半滿以冷水，而於鍋殼外繼續加熱，則水被熱後，其溫度必緩緩上升。自水之初溫度 (initial temperature) 直至水之沸點 (boiling point)。至沸點之高低，則依鍋爐內之壓力而生變化。水熱至沸點後，其質點即繼續變為蒸汽，升騰於水面之外。此時之水，謂之沸騰。

由沸水所生之蒸汽，其溫度與水之溫度相同。在此種情形下所成之蒸汽，謂之飽和蒸汽 (saturated steam)。如繼續對鍋爐加熱，但使其壓力無變化，則直至所有之水盡蒸發為蒸汽，水與蒸汽之溫度恆保持相同。

當所有之水盡變為蒸汽後，如仍繼續加熱，一面並使壓力保持不變，則蒸汽之溫度即行上升。在此種情形下之蒸汽，則謂之過熱蒸汽 (Superheated steam)。

故當蒸汽之作成，所用之熱可分為三部：

(一) 由水之初溫度熱至水之沸點溫度所用之熱，謂之液體熱 (Heat of the liquid)。

(二)變化沸點溫度之水爲沸點溫度之蒸汽所用之熱，謂之蒸汽之隱熱(Latent heat of steam)。

(三)在相同壓力之下，變化沸點溫度之飽和蒸汽爲溫度較高之蒸汽所用之熱，謂之過熱之熱(Heat of superheat)。

45. 乾飽和蒸汽(Dry saturated steam) 在一定壓力之下，飽和蒸汽恆在其相當之沸點溫度存在。若此種飽和蒸汽未含有任何水分浮游於其中，則謂之乾飽和蒸汽。或乾飽和蒸汽者，在沸點溫度且未含水分浮游於其中之蒸汽也。加熱於乾飽和蒸汽，則變爲過熱蒸汽。減熱於乾飽和蒸汽，則變爲溼蒸汽(Wet steam)。

又乾飽和蒸汽仍非一種理想氣體。其壓力容積與溫度之關係，不依據任何簡單定律。只能由實驗測定之。

46. 蒸汽之品質或乾度(Quality of steam) 飽和蒸汽或含有攜帶之水分(entrained moisture)，或不含有攜帶之水分。一部蒸汽之品質或乾度者，係此一部蒸汽內所含乾飽和蒸汽之百分數也。如飽和蒸汽中未含有攜帶之水分，則其品質或乾度爲百分之百。

由 100 減去乾度之百分數，謂之水分之百分數(Percentage of moisture)。

47. 溼蒸汽(Wet steam) 飽和蒸汽內若含有攜帶之水分時，則謂之溼蒸汽。若蒸汽機僅用飽和蒸汽，則蒸汽出鍋爐後，恆含有攜帶之水分，即蒸汽機所用之介工物實爲蒸汽與水之混合流體也。又在此種情形之下，水與蒸汽恆係同一溫度。

48. 過熱蒸汽(Superheated steam) 過熱蒸汽者，即蒸汽之溫度超

過其所受壓力相當之沸點溫度者也。有時稱之為「蒸汽氣」(Steam gas)。若使水與過熱蒸汽相混合，則水必繼續汽化。非待過熱溫度落至與沸點溫度相同不止。又若過熱之程度甚高時，其性質與理想氣體極為相近。若直以理想氣體視之，則其方程式為

$$P_v = 85.5 T (\text{近似}) \dots\dots\dots (1)$$

過熱蒸汽 k 之數值約為 1.3。

蒸汽之實際溫度與其壓力相當之沸點溫度之差，謂之蒸汽之過熱度 (Degrees of superheat)。此過熱度與比熱 C_p 之乘積給出過熱之熱量。

過熱蒸汽之比熱，非一常數。與所受壓力之大小及過熱之溫度有關。第六表表示飽和溫度與其他較高溫度間之平均過熱蒸汽之比熱 (Mean specific heat of superheated steam)。在普通問題，可勉強應用。若求過熱蒸汽之總熱，欲得精確結果，以查精細之蒸汽表為宜。

49. 液體熱 如第 44 段所述，由水之初溫度熱至水之沸點溫度所用之熱，謂之液體熱。為比較或計算有一定之標準起見，水之重量與初溫度之高低，須有一定之規定。普通水之重量多以一磅為準，而初溫度則由 32°F 算起。即假定 32°F 以下水之熱量為零也。故水之液體熱，可稱之為將一磅之水由 32°F 熱至沸點溫度 (在一定壓力下) 所需之熱量。

設 C 代表水之比熱， t 代表沸點溫度， h_f 代表水之液體熱，則

$$h_f = c(t - 32) \dots\dots\dots (2)$$

為得近似之結果，則 c 可視為等於 1。如擬得精確之結果，液體熱亦須在蒸汽表上查出。因精密言之，水之比熱亦因溫度不同微有變

化也。

又因水受熱後，其容積增加之量極微。即所作之外功可以略去不計。所受之熱可視為完全增加內能。

50. 蒸汽之隱熱 當水之溫度已達到沸點，欲使之變為蒸汽仍須繼續加熱。在此物態變化時，雖其溫度保持不變，而發生汽化必須多量之熱。在沸點溫度變一磅之水為同溫度之蒸汽所須之熱，謂之汽化隱熱 (latent heat of evaporation)。或簡稱之曰隱熱。多用 L 字母表之。

就實驗所得之結果，在一氣壓之下，沸點溫度為 212°F 時， L 之數值為 970.2 英熱單位。沸點溫度愈高時，其數值愈小。愈低時其數值愈大。

又當蒸汽凝結為水時，此同量之熱仍行給出。

51. 蒸汽之總熱 (Total heat of steam) 加熱於一磅 32°F 之水使完全變為沸點溫度之飽和蒸汽所需之總熱，謂之蒸汽之總熱。就前兩段觀之，知蒸汽之總熱應等於液體熱與隱熱之和。如以 h_g 代表之，則

$$h_g = h_f + L \dots \dots \dots (3)$$

乾飽和蒸汽每磅之總熱，可查蒸汽表。

如蒸汽之乾度為 x ，即每磅溼蒸汽中只有百分之 x 為乾飽和蒸汽，則每磅此種溼蒸汽之隱熱為

$$xL \dots \dots \dots (4)$$

每磅溼蒸汽之總熱為

$$h_f + xL \dots \dots \dots (5)$$

又因在同一壓力之下過熱蒸汽之總熱超過乾飽和蒸汽之總熱之量係由沸點溫度熱至實際溫度所需之熱量，故過熱蒸汽之總熱為

第六表 過熱蒸汽之平均比熱

絕對壓力每方吋若干磅	14.7	25.0	50.0	75.0	100.0	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	400.0	450.0	500.0	550.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	絕對壓力每方吋若干磅
沸點溫度 °F	212.0	240.1	281.0	307.6	327.8	358.4	381.8	401.1	417.3	431.7	444.6	456.3	467.0	476.9	486.2	503.0	518.2	532.0	544.6	沸點溫度 °F
蒸汽之實際溫度 °F																				蒸汽之實際溫度 °F
250	0.48	0.52																		250
275	0.48	0.50																		275
300	0.48	0.50	0.55																	300
325	0.48	0.49	0.53	0.57																325
350	0.47	0.49	0.52	0.56	0.59															350
375	0.47	0.49	0.52	0.55	0.57	0.63														375
400	0.47	0.48	0.51	0.54	0.56	0.61	0.63													400
425	0.47	0.48	0.51	0.53	0.55	0.59	0.64	0.69	0.73											425
450	0.47	0.48	0.50	0.52	0.55	0.58	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78									450
475	0.47	0.48	0.50	0.52	0.54	0.57	0.61	0.64	0.68	0.71	0.75	0.80	0.85							475
500	0.47	0.48	0.50	0.52	0.53	0.56	0.59	0.63	0.66	0.69	0.73	0.77	0.81	0.86	0.91					500
525	0.47	0.48	0.50	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.96	1.09			525
550	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52	0.55	0.58	0.60	0.63	0.65	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	0.91	1.01	1.13	1.28	550
600	0.47	0.48	0.49	0.51	0.52	0.54	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.68	0.70	0.73	0.76	0.83	0.90	0.98	1.07	600
650	0.47	0.48	0.49	0.51	0.52	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70	0.72	0.77	0.83	0.88	0.95	650
700	0.48	0.48	0.49	0.50	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.60	0.62	0.64	0.66	0.68	0.70	0.74	0.78	0.82	0.87	700
750	0.48	0.48	0.49	0.50	0.51	0.53	0.55	0.57	0.58	0.59	0.61	0.63	0.64	0.66	0.68	0.71	0.75	0.78	0.82	750
800	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51	0.53	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.65	0.67	0.69	0.72	0.76	0.79	800
850	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51	0.53	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.61	0.62	0.64	0.65	0.68	0.71	0.74	0.76	850
900	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.59	0.60	0.61	0.63	0.64	0.66	0.69	0.72	0.74	900
950	0.49	0.49	0.50	0.51	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.65	0.67	0.70	0.73	950
1000	0.49	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.64	0.67	0.69	0.71	1000

$$h_f + L + c_p(t_{sup} - t_{sat}) \dots \dots \dots (6)$$

式中 c_p 爲過熱蒸汽之定壓比熱。

t_{sup} 爲過熱蒸汽之實際溫度。

t_{sat} 爲飽和蒸汽之溫度，或沸點溫度。

52. 蒸發時所作之外功 (External work of Evaporation) 當水被蒸發爲蒸汽時，其容積增加甚大。故所加隱熱之一部實用以作外功。及在任一沸點溫度，蒸發時所作之外功恆有其一定之量。因在任一沸點溫度，其壓力與由水變蒸汽所增之容積均係定數也。

設 P 爲蒸汽發生時外部所受之壓力，以每方吋若干磅計。 V 爲一磅蒸汽之容積，以若干立方呎計。 v 爲一磅水之容積，以若干立方呎計。則所作之外功等於

$$\frac{144P(V-v)}{778} \text{ 英熱單位} \dots \dots \dots (7)$$

例如在一氣壓，沸點溫度爲 212°F 時，一磅水所占之容積爲 0.0167 立方呎，一磅蒸汽所占之容積爲 26.8 立方呎，故一磅蒸汽蒸發時所作之外功爲

$$\frac{144 \times 14.7(26.8 - 0.0167)}{778} = 73 \text{ 英熱單位。}$$

即約爲其隱熱之十三分之一也。

53. 內能 (Internal energy) 就前段觀之，可知所加之熱，只有一小部表現爲外功。其餘大部則均用以增加蒸汽之內能。謂之蒸發內能 (Internal energy of evaporation)。如用字母 I 代表之，則

$$I = L - \frac{144P(V-v)}{778} \text{ 英熱單位} \dots \dots \dots (8)$$

設 E 代表蒸汽之總內能 (Total internal energy of steam), 則 E 應等於蒸發內能加液體熱, 或

$$E = I + h_f \dots \dots \dots (9)$$

蒸汽之總內能, 更可由蒸汽之總熱減蒸發外功之熱當量表之, 或

$$E = h_g - \frac{144P(V-v)}{778} \dots \dots \dots (10)$$

由(10)式, 得

$$h_g = E + \frac{144P(V-v)}{778} \dots \dots \dots (11)$$

或蒸汽之總熱等於蒸汽之總內能加所作之外功 (參看第二章第 23 段)。

54. 蒸汽之熵 (Entropy of steam) 水由 32°F 熱至一定壓力下之沸點溫度, 其熵之變化謂之液體熵 (Entropy of the liquid)。如用 S_f 代表之, 則

$$S_f = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dh}{T} \text{ (與第二章第 52 式相比較)} \dots \dots \dots (12)$$

式中 T_1 為與 32°F 相當之絕對溫度。 T_2 為與沸點溫度相當之絕對溫度。

假設水之比熱為 1, 則

$$S_f = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} \dots \dots \dots (13)$$

$$= \log_e T_2 - \log_e T_1$$

$$= \log_e \frac{T_2}{T_1} \dots \dots \dots (14)$$

當水在沸點變為蒸汽時，隱熱係在一定溫度之下加入。在此時所得之熵，等於與沸點溫度相當之絕對溫度除隱熱。謂之蒸發熵 (Entropy of evaporation)。即

$$\text{蒸發熵} = \frac{L}{T} \dots \dots \dots (15)$$

乾飽和蒸汽之總熵 (Total entropy), S_g , 為液體熵與蒸發熵之和; 或

$$S_g = S_f + \frac{L}{T} \dots \dots \dots (16)$$

若蒸汽係溼蒸汽，其乾度之百分數為 x ，則其總熵為

$$S_f + \frac{xL}{T} \dots \dots \dots (17)$$

當蒸汽過熱時，熵改變，溫度隨之增高。而比熱之大小亦隨之改變。其情形與水由 32°F 熱至沸點時之情形相似。惟過熱蒸汽之比熱其變化加甚耳。

設 S_{sup} 代表過熱熵 (Entropy of superheat)，則一磅過熱蒸汽之總熵

$$S = S_f + \frac{L}{T} + S_{sup} \dots \dots \dots (18)$$

S_f 與 L/T 之數值可由蒸汽表上飽和蒸汽之性質表上查出。 S 之數值可由蒸汽表上過熱蒸汽之性質表上查出。參看 Keenan 著之蒸汽表及毛理耳圖 (Mollier diagram)。

55. 水與蒸汽之溫熵圖

第一七圖，表示一磅水由 32°F 加熱，先變為乾飽和蒸汽，再變為

長，彼此將遇於一點 e 。在此點之蒸發溫度為 706.1°F 。蒸發熵變為 0。總熵遂等於液體熵。又此點有時謂之臨界點 (Critical point)。不待加任何隱熱，水即由液體直接變為蒸發汽。換言之，即蒸汽之總熱只含有液體熱也。

若蒸汽為溼蒸汽，其乾度之百分數為 x ，則蒸發熵須乘以 x 。例如在每方吋絕對壓力 118 磅時，蒸發熵為 cj 而不為 cg 。總熵為 nj 而不為 ng 。在此種情形之下，蒸汽之乾度為 cj/cg 所代表。水分則為 jj/cg 所代表。

當飽和蒸汽被過熱，熵之變化為 hl 與 gk 等線所代表。與 ac 線之情形相似。因過熱蒸汽之比熱較水之比熱變化大，故在溫熵圖上，每一沸點溫度，即有一特有之過熱線 (superheat line)。

56. 毛理耳圖 (Mollier diagram or Mollier Chart) 參看 Keenan 所著蒸汽表所附之圖。此圖係 1904 年德人 毛理耳 (Mollier) 博士創製。故普通謂之毛理耳圖。對於解答關於蒸汽性質之問題，使變為簡便。在此圖上，縱座標代表 32°F 以上之總熱。橫座標代表熵。圖上畫有三組相交之曲線。一組表示定壓 (Constant pressure)。一組表示定溫 (Constant temperature)。一組表示一定之乾度 (Constant quality) 或過熱度 (Constant superheat)。

如按適宜之放大尺寸畫出，則在工廠內，普通關於蒸汽機與汽輪等之計畫，可用以代替蒸汽表。茲舉一例以表明其應用如下：

例題 試求在絕對壓力每方吋 120 磅之一磅蒸汽之總熱與其總熵。(a) 當蒸汽恰為乾飽和蒸汽；(b) 如乾度為百分之 96；(c) 當過熱

表為 50° 。

(a) 在 Keenan 蒸汽表所附之毛理耳圖上，找出 120 磅之壓力線與飽和線之交點。沿水平線，求出總熱為 1190 英熱單位。沿垂直線，求總熵為 1.588。

(b) 由 120 磅之壓力線與百分之四之水分線 (Moisture line) 之交點。沿水平線，求出其總熱為 1154.5 英熱單位。沿垂直線，求出其總熵為 1.542。

(c) 由 120 磅之壓力線與 50° 之過熱線之交點，沿水平線求出其總熱為 1219 英熱單位。沿垂直線，求出其總熵為 1.623。

57. 蒸汽表 (Steam table) 本章對於水之液體熱，液體熵，及溼蒸汽，乾飽和蒸汽與過熱蒸汽之蒸發熵，總熱，總熵等雖均給出相當之公式，惟因在不同之壓力或不同之沸點溫度之下，水及過熱蒸汽之比熱，均時有變化。對於研究比較精密之問題，每覺其不甚適用。有人根據精密實驗之結果，製為各種經驗之公式。並依據之將各種不同之壓力下，或各種不同之沸點溫度下，蒸汽之比容 (Specific volume)，液體熱，蒸發熱，總熱，液體熵，蒸發熵，總熵等均詳細算出。製成詳表。普通謂之蒸汽表。茲擇 Keenan 所編者，譯為中文，單行印出，以便採用。本書所有關於蒸汽之性質各題，均可依據該書上給出之數值計算也 (著者所譯 Keenan 所編之蒸汽表及毛理耳圖，亦由商務印書館出版)。

習 題

1. 每分鐘有 10 加倫之冷水，經過外繞蒸汽之盤管中，使其溫度由

55°F 升至 212°F。蒸汽之表壓力為每方吋 1:0 磅，其過熱度為 150 度。

假使蒸汽凝結後並不減低溫度，問每分鐘共需蒸汽若干磅？

2. 在一合式上水預熱器 (Closed feed-water heater. 即水經過盤管由蒸汽繞之) 中，每分鐘須有 100 加倫之水由 60°F 熱至 200°F。圍繞預熱器盤管之乏汽，其絕對壓力為每方吋 15 磅，並含 10% 之水分。假設蒸汽凝結後並不減低溫度，問每點鐘共需蒸汽若干磅？

3. 每分鐘將在大氣壓力下溫度 60°F 之空氣 100 立方呎按等溫壓縮壓至表壓力每方吋 90 磅。然後使此空氣繞經一組蒸汽管，使在定壓之下熱至 150°F。加入蒸汽管之蒸汽係乾飽和蒸汽，其表壓力為每方吋 50 磅；離蒸汽管之蒸汽其乾度為 96%，其壓力為大氣壓力。問每分鐘所需蒸汽之磅數。

4. 在絕對壓力每方吋 56 磅，乾度 72% 之蒸汽，問每磅之內能幾何？

5. 將溫度 400.97°F 之水 1 立方呎 (其重量為 53.56 磅) 變成絕對壓力每方吋 250 磅之蒸汽。(a) 求蒸發每磅蒸汽時所作之外功。(b) 求每磅之蒸發內能。(c) 求此 1 立方呎水之全部汽化隱熱。

6. 將溫度 70°F 之水 50 磅變為表壓力每方吋 149.3 磅乾度 98% 之蒸汽。問共需熱量幾何？氣壓表之讀數為 29.93 吋水銀柱。

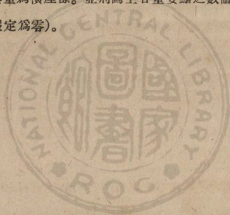
7. 將溫度 90°F 之水。1,000 磅變為絕對壓力每方吋 200 磅，溫度 400°F 之蒸汽，問共需熱量幾何？

8. 絕對壓力每方吋 150 磅，水分 2% 之蒸汽 1 磅，按斷熱膨脹至絕對壓力 $1\frac{1}{2}$ 吋水銀柱。(a) 由毛理耳圖求膨脹最後之蒸汽乾度。(b) 用

算法校對所求乾度之結果。

9. 用一圖表明 1 磅水由溫度 32°F , 絕對壓力每方吋 100 磅, 變成絕對壓力每方吋 100 磅, 溫度 400°F 之蒸汽。圖中以溫度為縱座標。以熱量為橫座標。並將數值註於圖上。

10. 將溫度 20°F 之冰 1 磅在絕對壓力每方吋 205 磅之定壓之下, 變為 534°F 之過熱蒸汽。試作一圖以表明其變化。圖中以溫度為縱座標。以所含熱量為橫座標。並將圖上各重要點之數值註明(水在 32°F 所含之熱量假定為零)。



第四章 蒸汽中所含水分之測定

(Determination of the moisture in steam)

58. 蒸汽品質測驗之必要 就前章所研究之結果觀之，知在一定壓力之下，蒸汽可在三種情形之下存在：即（一）溼蒸汽，（二）乾飽和蒸汽，（三）過熱蒸汽。在三種情形之下，同一質量之蒸汽，其所含之總熱各不相同。就溼蒸汽與乾飽和蒸汽言，在同一壓力之下，其所得之液體熱當然相同，但在溼蒸汽中，若只有百分之 x 汽化，其餘仍為水分，攜帶於蒸汽之中，則乾飽和蒸汽所得之隱熱為 L ，溼蒸汽所得之隱熱為 xL 。此百分數 x 即為蒸汽之品質或乾度。由百分之百減去蒸汽之乾度，即為蒸汽所含水分之百分數。

蒸汽品質之測定極為重要。因蒸汽中所攜帶之水分，往往為量甚大。即使對於蒸汽機無大損害，然對於作工言，實毫無利益。只攜帶一部分熱能經過蒸汽機而去耳。且試驗蒸汽機與鍋爐之熱效率時，若對於蒸汽之品質未加測定，不但計算上不圓滿，其結果亦易致錯誤。

59. 蒸汽測熱器 (Steam calorimeter) 測驗蒸汽品質所用之儀器謂之蒸汽測熱器。普通用者有下列三大類：

（一）阻塞式或過熱測熱器 (Throttling or superheating calorimeter)。

（二）分離式測熱器 (Separating calorimeter)。

（三）通用或合併測熱器 (Universal or combination calorimeter)。

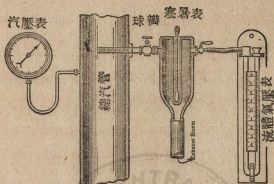
60. 取汽樣之方法 無論用何種測熱器，所測驗者，當然只蒸汽之一小部分。可名之曰汽樣 (Sample of steam)。此一部汽樣若取之不得其當，則所得結果不準確。就實驗所得之結果，蒸汽在汽管中各部之情形實不一致，在橫管之頂部者水分少；底部者水分多。在曲管之外部者水分少；內部者水分多。即就立管言，附近管之內壁處亦較管之中心處水分多。故取汽樣時，安置測熱器之地位須特別注意。務使加入測熱器之一部蒸汽，能代表蒸汽之平均情形方好。美國機械工程師學會所規定之方法，其主要之點如下：

由蒸汽取汽樣，須用一種取樣嘴 (Sampling nozzle)，或測熱器乳頭 (Calorimeter nipple)。此取樣嘴須裝置於由鍋爐垂直上行之管。其構造係用一直徑半吋之管橫貫蒸汽管。前端在對面半吋以內。上穿 $\frac{1}{8}$ 吋之小孔二十以上。且不使小孔位於距管壁半吋以內。管之前端則使閉口。又測熱器與連管等則均由氈布包覆之，使不致受外界溫度之影響。

61. 阻塞式或過熱測熱器 阻塞式測熱器，通用者有下列兩種：(a) 加噴特測熱器。此種測熱器，係 1888 年皮保得教授 (Prof. C. H. Peabody) 所發明。1893 年加噴特 (Carpenter) 改良之式，如第一八圖所示。

此種測熱器之原理如下：在較高壓力之下，一磅飽和蒸汽所含之熱量，較在較低壓力之下一磅飽和蒸汽所含之熱量多。當蒸汽由高壓地方經過一通路而流入低壓地方時，則蒸汽所含熱量之一部即行給出。如壓力變化時，並未作外功，則所有給出之熱量，將仍為蒸汽自身所吸收而消耗於作內功。蒸汽之溫度即由之升高。倘此一部蒸汽在高壓地方時含有一部分水分，則給出之熱量之一部將使水分蒸發為蒸汽。所餘者則使

蒸汽過熱。



第一八圖

設 x = 蒸汽之品質或乾度，

t_1 = 溼蒸汽經過通路前之溫度，

P_1 = 蒸汽管內溼蒸汽之絕對壓力，

t_2 = 與通路低壓一邊之絕對壓力相當之溫度，

t_3 = 通路低壓一邊寒暑表所表示之蒸汽溫度，

h_{f_1} 與 L_1 = 與溫度 t_1 或絕對壓力 P_1 相當之液體熱與隱熱，

h_{f_2} 與 L_2 = 與溫度 t_2 相當之液體熱與隱熱。

在溫度 t_1 或壓力 P_1 ，一磅蒸汽與水之混合物所含之熱量為

$$h_{f_1} + xL_1,$$

一磅蒸汽膨脹後在通路低壓一邊所含之熱量為

$$h_{f_2} + L_2 + c_p(t_3 - t_2) = h_{g_2} + c_p(t_3 - t_2),$$

式中 c_p 為過熱蒸汽之比熱。

但一磅蒸汽在通路兩邊所含之熱量應相等，

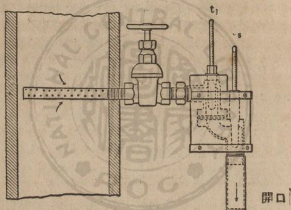
故 $h_{f_1} + xL_1 = h_{f_2} + c_p(t_2 - t_1),$

或 $x = \frac{h_{f_2} + c_p(t_2 - t_1) - h_{f_1}}{L_1} \dots \dots \dots (1)$

所含水之百分數則等於 $1 - x \dots \dots \dots (2)$

t_2 之數值，普通係根據測熱器中之絕對壓力，在蒸汽表中查其相當之溫度（絕對壓力為大氣壓力與壓力表上所指壓力之和數）。

(b) 巴拉斯 (Barrus) 測熱器



第一九圖

此種測熱器之構造，略如第一九圖所示。與前一種不同之點有二：第一觀察加入測熱器之蒸汽之溫度而不觀察其壓力。即求 h_{f_1} 與 L_1 時，以溫度 t_1 為準，而不以絕對壓力 P_1 為準。第二測熱器低壓一邊之乏汽，其出路極為自由。即其壓力 P_2 可假設為大氣壓力。乏汽管如失之長時，其壓力恆較大氣壓力稍高。若假設為大氣壓力，則有相當差誤。

如實際之大氣壓力未知，可假設為每方吋 14.7 磅。但若有氣壓表，

則恆宜用氣壓表上所指示之壓力。

62. 阻塞式測熱器之極限 倘蒸汽中所含之水分過多，致經過通路後在低壓一邊所生之熱，不足使蒸汽過熱或甚至不足使所含之水分全行蒸發，則此種測熱器即失其效用。

在本章第(1)式中，倘 t_1 變至與 t_2 相等，則蒸汽經過通路後所生之熱，即完全用於蒸發蒸汽中所含之水分。此為此種測熱器能指示蒸汽所含水分百分數之最高限度。若再有過量之水分，此種測熱器即不能指出。故此種測熱器對於乾度太低之蒸汽，實不適用。

下表假定 t_1 與 t_2 相等，且測熱器低壓一邊之絕對壓力為每方吋 15 磅計算而得。

第七表 阻塞式測熱器之極限

絕對壓力(每方吋若干磅)	最高水分百分數	蒸汽之乾度(百分數)
300	5.41	93.59
250	6.05	93.95
200	5.59	94.41
150	4.98	95.02
100	4.65	95.95
75	3.39	96.61
50	2.48	97.52

上式只能表示此種測熱器在各種壓力之蒸汽所能指示之極限。實際上若 t_1 等於 t_2 時，不能認定其乾度即為表上相當之數值。蓋所含水分不能斷定已完全蒸發也。若 t_1 微高於 t_2 ，除所用寒暑表極為精確外，

其結果亦不甚可靠。普通言之，用此種測熱器， t_1 以超過 t_2 八九度以上為宜。

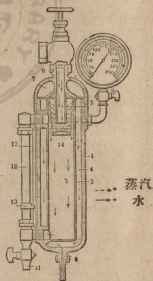
63. 分離式測熱器 在一定時間內，乾飽和蒸汽經過一定橫斷面積之通路之量，恆視通路兩邊之壓力而變化。如 A 為通路之橫斷面積，以方吋計。 P 為高壓一邊之絕對壓力，以每方吋若干磅計。 W 為每秒鐘經過通路達於低壓一邊之蒸汽量，以磅計。倘低壓一邊之絕對壓力等於或小於高壓一邊絕對壓力之 0.58 倍，則

$$W = \frac{PA}{70} \dots\dots\dots (3)$$

此謂之奈皮耳氏經驗定律 (Napier's empirical rule)。

倘低壓一邊之壓力即為大氣壓力，則高壓一邊之壓力但使等於或高於 14.7/0.58 或每方吋 25 磅以上，此定律即可應用。

加噴特 (Carpenter) 氏分離式測熱器，即係根據此理而製。其構造略如第二〇圖所示。蒸汽由管 6 入測熱器，向下投射於杯 14 之底部。使其方向幾改變 180°。水分遂因之被擲出。經過杯周圍之網狀孔而流於 3 部。蒸汽則離杯上行，由 7 而歸於環狀部 4。最後由通路 8 而排於大氣。



第二〇圖

因通路之橫斷面積甚小，故蒸汽由測熱器流通，其壓力並未減低。即壓力在 3 與 4 兩部完全相等。其溫度亦相等。因之內筒無輻射之損失。玻璃管 10 與 3 相通。並列有一尺 12。分度至百分之一磅。故由蒸汽分離之水分可直接表出。看尺時由滑標 13 比之，以便得水之真平面。

表 9 有內外兩種分度。內分度表示蒸汽之壓力。外分度則直接指出在一定時間內（普通多為 10 分鐘）由通路 8 經過之蒸汽磅數。惟所表之數值，並不與所表之壓力成正比。因表示壓力之度數係與大氣壓力以上之壓力成正比，而非與絕對壓力成正比也。所得結果之精確度，可隨時將一定時間內經過通路 8 之蒸汽凝結而稱其重量，以比較之。

設 w 為一定時間內由通路 8 排出之乾蒸汽量， W 為在此同一時間內分出之水分，即在 3 內增加之水分，則蒸汽之乾度

$$x = \frac{w}{w + W} \dots\dots\dots (4)$$

w 可直接由表 9 看出，或實際稱經過之蒸汽量。 W 可由試驗前後尺 12 上所表示之水面差得之。

64. 輻射失熱 (Radiation loss) 凡用測熱器之試驗，欲結果比較精確，各部均須用氈布包覆之，以防受外部溫度之影響。即如此設備，有時仍受輻射失熱之影響，致結果須加以矯正。矯正之法，係同時用兩個構造一律包覆一律之測熱器。使第一測熱器排出之蒸汽復入於第二測熱器。如第一測熱器排出之蒸汽確係完全乾蒸汽，則第二測熱器中所凝結之水分，必由輻射失熱而生。而第一測熱器亦應有此同一之性質。故計算蒸汽之乾度時，應於所表示之水分中先將此一部減去而加於乾蒸

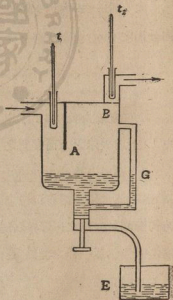
汽之量中。

65. 分離式測熱器之極限 就理論言之，此種測熱器對於含水分多少之蒸汽，均能適用。惟實際上若所含水分太少時，則輻射失熱之影響較所含水分多時為大。其結果即難期正確，故在乾度頗高之蒸汽，用此種測熱器反不若用阻塞式較為適宜也。

66. 通用或合併測熱器 就上述各節觀之，可知兩種測熱器各有其利弊。各有其宜與不宜。當蒸汽中所含之水分過多時，用阻塞式測熱器有時失敗。不能不別用一分離式測熱器以測之。反而言之，當蒸汽中所含之水分過少時，則又以採用阻塞式測熱器為宜。若所測蒸汽之乾度已知梗概，則採用以前，自可先加選擇。但有時所測蒸汽之乾度，測驗前毫無所知，則以採用所謂通用測熱器或合併測熱器為便。

此種測熱器多可視為係由一阻塞式測熱器與一分離式測熱器相合併而成。茲將巴拉斯 (Barrus) 通用測熱器略述如下：

此種測熱器之構造，略如第二一圖所示。可視為由一分離式測熱器與一阻塞式測熱器相合併而成。A 為一分離器。B 為一阻塞通路。其橫斷面積為 0.01227 方吋。 t_1 表示新蒸汽之



第二一圖

溫度。 t_2 表示過熱蒸汽之溫度。當蒸汽經過分離器時，若所含水分甚多，則大部分即被分離。其量可由 E 器量之。分離器中之水面則恆使保持一定。在一定時間內由 B 處經過蒸汽之量，可按奈皮耳公式算出。

設 w 為在一定時間內經過阻塞通路之蒸汽量，

W 為在同一時間內遺於分離器之水分。

x_1 為經過阻塞通路之蒸汽之乾度，其求法與前第 61 段同。

則所測蒸汽之乾度

$$x = x_1 \times \frac{w}{W + w} \dots \dots \dots (5)$$

例題 表壓力每方吋 100 磅之蒸汽加入一阻塞式測熱器。低壓一邊寒暑表所表示之溫度為 275°F 。流體氣壓表 (manometer) 上表示 5.6 吋水銀柱。氣壓表上表示 29 吋水銀柱。求此種蒸汽之乾度。

解答 先求大氣壓力與測熱器中之壓力。

大氣壓力 = $0.491 \times 29 = 14.25$ 磅，每方吋。

測熱器中之壓力 = $0.491 \times 5.6 = 2.75$ 磅，每方吋。

從蒸汽表上，查出與每方吋絕對壓力 114.25 磅相當之 h_{v1} 與 L_1 ，並查出與測熱器中每方吋絕對壓力 17 磅相當之 h_{v2} 與 t_2 。然後按第 (1) 式，得

$$\begin{aligned} x &= \frac{h_{v2} + c_p(t_2 - t_1) - h_{v1}}{L_1} \\ &= \frac{1152.9 + 0.48(275 - 219.4) - 308.53}{880.45} \\ &= \frac{1152.9 + 0.48 + 55.6 - 308.53}{880.45} = \frac{871.61}{880.45} = 0.99 \end{aligned}$$

$$= 99\%。$$

例題 不用蒸汽表，用毛理耳圖，以求前題蒸汽之乾度。

解答 在毛理耳圖上，先求出 17 磅之壓力線與 275°F 之溫度線之交點。因總熱保持不變，故由此交點水平向左，直至 114.25 磅之壓力線。在此查蒸汽之乾度，得百分之 99。

例題 (a) 用一分離式測熱器求前題蒸汽之乾度。設所得之與件如下：經過通路之乾蒸汽之重量為 4.5 磅。收集之水分為 0.05 磅。

(b) 如試驗之時間為 20 分鐘，試求通路之直徑。

解答 (a) 按第(4)式，得

$$x = \frac{w}{w+W} = \frac{4.5}{4.5+0.05} = \frac{4.5}{4.55} = 0.989 = 98.9\%。$$

(b) 先求每秒鐘經過通路之蒸汽之重量，設為 w' ，

$$\text{則 } w' = \frac{4.5}{20 \times 60} = \frac{4.5}{1200} = 0.00375 \text{ 磅。}$$

按第(3)式，

$$w' = \frac{PA}{70}，$$

$$A = \frac{70w'}{P} = \frac{70 \times 0.00375}{100 + 0.491 \times 29} = \frac{0.26250}{114.25}$$

$$= 0.0023 \text{ 平方吋。}$$

$$\text{即 } \pi r^2 = 0.0023, \quad r = \text{通路之半徑。}$$

$$r^2 = \frac{0.0023}{3.1416} = 0.000732,$$

$$r = 0.02705。$$

故通路之直徑 $d = 2r = 2 \times 0.02705 = 0.0541$ 吋。

67. 混合物之結果溫度 當數種溫度不同之物質混合於一處，而求其最後情形與結果溫度，為常遇到之問題。解決此種問題之方法，最好將所有各物質之溫度，均假設變至 32°F ，以求其能利用之熱量，以英熱單位計。然後再應用此熱量（正或負）使全部混合物質升高或降低，直至其結果溫度與最後情形。

如使溫度 t_1 之乾飽和蒸汽一磅凝結為水，再使其凝結之水之溫度降低至 t_2 ，則給出之總熱 h' 必為

$$h' = L_1 + c(t_1 - t_2) \dots \dots \dots (6)$$

式中 L_1 為與溫度 t_1 相當之隱熱， c 為水之比熱。

如蒸汽只係凝結為水，則給出之熱必為

$$h' = L_1 \dots \dots \dots (7)$$

而混合物之溫度即為與壓力相當之溫度。

如蒸汽只有一部分凝結為水，設 x 為凝結為水之百分數，則

$$h' = xL_1 \dots \dots \dots (8)$$

混合物之溫度亦為與壓力相當之溫度。

熱力學各種定律，不能應用於混合物。因其公式將變為不連續。由固體變至氣體所有吸入之熱量，普通可表示之如下：

設 c_1 為固體時之比熱， c_2 為液體時之比熱， c_3 為氣體時之比熱。 w 為物體之重量。 t 為初溫度， t_1 為融點溫度， t_2 為沸點溫度， t_3 為最後溫度。 h 為液化隱熱 (Heat of liquefaction)， L 為氣化隱熱 (Heat of vaporization)，則

$$h' = w\{c_1(t_1 - t) + h + c_2(t_2 - t_1) + L + c_3(t_3 - t_2)\} \dots\dots\dots (9)$$

第八表 液體與固體之比熱

物質	比熱 c
水銀.....	0.0333
酒精.....	0.615
松節油 (Turpentine)	0.642
熟鐵.....	0.114
生鐵.....	0.129
銅.....	0.095
冰.....	0.504
鯨腦油 (Spermaceti)	0.320
硫黃.....	0.177
玻璃.....	0.187
石墨, 筆鉛 (Graphite)	0.200

冰之融解隱熱或液化隱熱為 144 英熱單位。

例題 將 20°F 之冰 10 磅, 50°F 之水 20 磅, 一氣壓之蒸汽 2 磅, 混合於一處, 混合時之壓力與蒸汽之壓力相同。試求結果溫度與結果情況。

解答

使冰之溫度升至 32°F 所需之熱 = $10 \times 0.5(32 - 20) = 60$

融解冰成爲 32°F 之水所需之熱 = $10 \times 144 = \underline{1,440}$

即變原來之冰成 32°F 之水所需之總熱 = 1,500 英熱單位。

水由原溫度降至 32°F 給出之熱 = $20 \times (50 - 32) = 360$

蒸汽在 32°F 以上所有之總熱(查蒸汽表) = $2 \times 1,150.2 = \underline{2,300.4}$

使水與蒸汽各由原溫度降至 32°F 之水給出之總熱 = 2,660.4

英熱單位。

仍可應用之熱 = $2660.4 - 1500 = 1160.4$ 英熱單位。

此一部熱將使混合物升高之溫度 = $\frac{1,160.4}{32} = 36.3$

故混合物之結果或最後溫度 = $36.3 + 32 = 68.3^\circ\text{F}$ 。

答案 結果為 32 磅 68.3°F 之水。

例題 將 20°F 之冰 10 磅， 50°F 之水 20 磅， 82°F 之空氣 40 磅，表壓力每方吋 100 磅之蒸汽 20 磅，混合於一處。混合時之壓力與蒸汽之壓力相同。試求結果溫度與結果情況。

解答

$$10 \times 0.5(32 - 20) = 60$$

$$10 \times 144 = 1,440$$

1,500 英熱單位，使冰變為 32°F 之水所需之熱。

$$20 \times (50 - 32) = 360$$

$$40 \times 0.241(82 - 32) = 482$$

$$20 \times (309.04 + 0.98 \times 880) = 23,420$$

24,262 英熱單位，= 水，空氣與蒸汽

給出之熱。

$$\frac{1,500}{22,762}$$

22,762 英熱單位 = 可應用之熱。

$$40 \times 0.241(338.08 - 32) = 2,950 \text{ 英熱單位} = \text{使空氣升至 } 338.08^\circ\text{F}$$

所需之熱 (338.08°F 係表壓力每方吋 100 磅相當之沸點溫度)。

$$22,762 - 2,950 = 19,812 \text{ 英熱單位，} = \text{熱水可利用之熱。}$$

$$50 \times 309.04 = 15,452 \text{ 英熱單位} = \text{使水熱至 } 338.08^\circ\text{F} \text{ 所需之熱。}$$

$$19,812 - 15,452 = 4,360 \text{ 英熱單位} = \text{使水蒸發可利用之熱。}$$

習 題

1. 蒸汽經過一阻塞式測熱器，其絕對壓力由每方吋 200 磅變為每方吋 15 磅；其溫度則變為 235.5°F ，問蒸汽之乾度。

2. 在一總汽管中，蒸汽之溫度為 390°F 。經過一阻塞式測熱器後，其溫度變為 260°F 。蒸汽出測熱器後係排於大氣，而氣壓表之讀數為 28.53 吋水銀柱。求總汽管蒸汽之乾度。

3. 在絕對壓力每方吋 150 磅之蒸汽，使經過一阻塞式測熱器（如第一八圖所示者）。蒸汽在低壓一邊之溫度為 250°F ，流體氣壓表 (manometer) 之讀數為 5.6 吋水銀柱。氣壓表之讀數為 29 吋水銀柱。求蒸汽之乾度。

4. 一阻塞式測熱器，低壓一邊連於一凝汽器。凝汽器內之真空度為 27.86 吋水銀柱。蒸汽未經測熱器以前之溫度為 250.3°F ；低壓一邊之溫度為 179.4°F 。求蒸汽之乾度。

5. 今有蒸汽與水之混合體 5 磅，水之成分占 2%；其絕對壓力為每方吋 150 磅。如使經過一管嘴，膨脹至絕對壓力每方吋 14.7 磅。問低壓一邊蒸汽之溫度。

6. 某汽管中蒸汽之絕對壓力為每方吋 100 磅。如擬用一阻塞式測熱器測其蒸汽之乾度，所測乾度之程度須能低至 92%，而測熱器低壓一邊蒸汽之過熱度又須不少於 10 度。問此測熱器低壓一邊之壓力須保持何種程度？

7. 表壓力每方吋 200 磅，乾度 94% 之蒸汽，使經過一阻塞式測熱

器。如擬使蒸汽出測熱器恰為乾飽和蒸汽，問其壓力應為何？

8. 絕對壓力每方吋 150 磅之蒸汽，使經過一阻塞式測熱器而測其乾度。假設在此測熱器測量蒸汽之乾度，最低限度須有 10 度之過熱度；而低壓一邊之絕對壓力則為每方吋 15 磅。根據以上情況，試求此測熱器所能測之水分之最高百分數。

9. 在溫度 337.9°F 表壓力每方吋 100 磅之水，如使經過一狹瓣排於大氣之中。問此水變蒸汽之百分數。

10. 一水箱，存有溫度 50°F 之水 400 磅。使絕對壓力每方吋 125 磅之蒸汽加入之，直至水與凝結之蒸汽之混合溫度為 100°F 。水箱中之水，結果為 418.5 磅。試求蒸汽原來之乾度。

11. 將絕對壓力每方吋 100 磅乾度 90% 之蒸汽吹入冷水中，使其溫度由 55°F 升至 200°F 。設每分鐘須熱之冷水量為 100 磅，問每點鐘至少須用蒸汽若干磅。

12. 10 磅溼蒸汽，在絕對壓力每方吋 100 磅時，占容積 25 立方呎。問此種溼蒸汽之乾度？1 磅水所占之容積為 0.017 立方呎。

13. 一蒸汽管在某處發生一漏隙，其橫斷面積為 0.1 方吋。蒸汽在管中之表壓力為每方吋 150 磅。氣壓表之讀數為 30 吋水銀柱。蒸汽漏入之處之表壓力為每方吋 25 磅。問每點鐘損失之蒸汽之重量。

14. 用分離式測熱器，測得在一定時間內，所得之乾蒸汽量為 4.5 磅，分出之水分為 1.5 磅，求蒸汽之乾度。如測驗之時間為 30 分鐘，蒸汽之絕對壓力為每方吋 100 磅，求通路之直徑。

15. 絕對壓力每方吋 100 磅之蒸汽，使經過一分離式測熱器。在 45

分鐘之時間內，流過通路之乾蒸汽量為 10.5 磅，所得之水分為 0.5 磅。

試求蒸汽之乾度與通路之橫斷面積。

16. 將溫度 100°F 之水 3 磅， 40°F 之酒精 10 磅， 50°F 之水銀 20 磅混合於一處。求混合後之溫度。

17. 將溫度 212°F 之飽和蒸汽 10 磅， 60°F 之水 50 磅， 32°F 之冰 2 磅混合於一處。問結果溫度及混合後之情況。

18. 將溫度 12°F 之冰 8 磅， 45°F 之水 25 磅，與在絕對壓力每方吋 14.7 磅之蒸汽 3 磅混合於一處。問結果溫度及混合後之情況。

19. 將溫度 100°F 之空氣 50 磅，大氣壓力下之蒸汽 10 磅與 60°F 之水 10 磅，在大氣壓力下混合於一處。問混合物之結果溫度及蒸汽凝結為水之磅數。

20. 將溫度 20°F 之冰 8 磅， 75°F 之水 12 磅， 190°F 之空氣 10 磅與大氣壓力下溫度 588°F 之蒸汽 5 磅混合於一處。混合時之壓力係大氣壓力。問結果溫度及混合後之情況。

21. 將溫度 15°F 之冰 12 磅， 60°F 之水 20 磅，大氣壓力下乾度 90% 之蒸汽 4 磅在大氣壓力下混合於一處。問結果溫度與混合後之情況。

22. 將絕對壓力每方吋 150 磅溫度 400°F 之蒸汽 10 磅， 60°F 之水 15 磅， 20°F 之冰 30 磅與 112°F 之空氣 50 磅。在絕對壓力每方吋 40 磅之下混合於一處。問結果溫度與混合後之情況。

23. 將 -40°F 之冰 12 磅， 300°F 之空氣 8 磅，絕對壓力每方吋 15 磅溫度 350°F 之蒸汽 50 磅，在絕對壓力每方吋 15 磅之下混合於一處。

(a) 求混合物之情況及溫度。(b) 求蒸汽凝結之百分數。

24. 將溫度 500°F 絕對壓力每方吋 100 磅之空氣 100 磅與絕對壓力每方吋 100 磅乾度 98% 之蒸汽 2 磅，在絕對壓力每方吋 100 磅之下混合於一處。問結果溫度與混合後之情況。

25. 將溫度 22°F 之冰 50 磅， 62°F 之水 50 磅，絕對壓力每方吋 100 磅乾度 98% 之蒸汽 20 磅，與絕對壓力每方吋 14.7 磅溫度 250°F 之蒸汽 20 磅，在大氣壓力之下混合於一處。問結果溫度與混合後之情況。

26. 將溫度 0°F 之冰 20 磅， 50°F 之水 30 磅， 80°F 之空氣 40 磅，絕對壓力每方吋 150 磅溫度 400°F 之蒸汽 10 磅，在絕對壓力每方吋 10 磅之下混合於一處。問結果溫度與混合後之情況。

27. 將溫度 30°F 之冰 10 磅， 50°F 之水 50 磅，絕對壓力每方吋 20 磅乾度 95% 之蒸汽 2 磅，絕對壓力每方吋 120 磅之飽和蒸汽 4 磅，絕對壓力每方吋 165 磅溫度 466°F 之蒸汽 6 磅，在大氣壓力之下混合於一處。問結果溫度與混合後之情況。

28. 某煖汽裝置，採用絕對壓力每方吋 25 磅之蒸汽。一氣輪乏汽之絕對壓力為每方吋 25 磅，其乾度為 85%，按每分鐘 1,000 磅之流量進入此煖汽裝置。此一部乏汽與由一高壓汽管經過一阻塞汽瓣流來之蒸汽互相混合。高壓汽管內蒸汽之絕對壓力為每方吋 150 磅，其乾度為 98%，每分鐘進入煖汽裝置之流量為 500 磅。問兩部蒸汽恰在混合以後之乾度如何？

第五章 燃料與燃燒

(Fuels and Combustion)

68. 燃料之類別 燃料為各種熱機之熱源。大別之可分為固體燃料，液體燃料與氣體燃料三大類。又有就其生產之來源分為天然燃料，人造燃料與副產燃料三大類者。今按固體液體與氣體三大類再各分為天然人造及副產三項分別列表如下：

(一) 固體燃料 (Solid fuels)

(a) 天然燃料 (Natural fuels) 如木柴 (Wood), 泥煤 (Peat), 褐煤 (lignite), 烟煤 (Bituminous Coal) 與無烟煤 (Anthracite) 等是。

(b) 人造燃料 (Prepared or artificial fuels) 如煤粉 (Powdered Coal), 煤磚 (briquettes), 木炭 (Charcoal), 焦炭 (Coke) 等是。

(c) 副產燃料 (by-products) 如鋸末 (sawdust), 製革用過之樹皮 (tanbark), 造紙廢料 (Paper mill refuse), 與甘蔗餘櫟 (bagasse) 等是。

(二) 液體燃料 (Liquid fuels)

(a) 天然燃料 如石油 (Petroleum) 是。

(b) 人造燃料 如汽油 (Gasoline), 燈油 (Kerosene), 柴油 (fuel oil) 及酒精 (alcohol) 等是。

(c) 副產燃料 如製煤氣廠之煤膠 (Gas works tar) 是。

(三) 氣體燃料 (Gaseous fuels)

(a) 天然燃料 如天然煤氣(Natural gas)是。

(b) 人造燃料 如發生爐煤氣(Producer gas), 燈用煤氣或普通煤氣(Coal gas)及油氣(oil gas)等是。

(c) 副產燃料 如化鐵爐煤氣(blast furnace gas)與煉焦爐煤氣(Coke oven gas)等是。

69. 燃料之成分(Composition of fuels) 各種燃料中所含之主要可燃成分為炭(Carbon)與氫(Hydrogen)。雖有時有含有少量之硫黃者, 惟就燃燒之價值言, 實不甚重要。除去此數種可燃成分外, 每含有氧(oxygen)與氮(Nitrogen)。在固體燃料中更含有少量之礦物質。當燃燒後即成為灰分。

當一種燃料根據化學分析而知其所含成分之種類及各種成分之比例數時, 各種成分實不敢斷其皆係獨立存在。例如所含之氫每與所含之炭合成不同之化合物而為一種炭氫合質(hydrocarbons)。所含之氧亦多與所含之氫化合為水分。故化學分析僅能表示一種燃料所含之成分及其比例數。至其中之原質是否有已經彼此化合者, 則不能表出。因當作化學分析時, 其中之化合物, 普通恆被分解也。

70. 煤質分析(Coal analysis) 為比較各煤礦產品之優劣, 及各種煤對於各種用途之是否適宜, 煤之品質應加以相當分析。

煤質分析, 普通分為兩種: 一為元素分析或化學分析(Ultimate analysis or Chemical analysis); 一為實用分析或簡易分析或物理分析(Proximate analysis or Physical analysis)。欲知其實在發熱量之高低, 更須用一種煤質測熱器(Coal calorimeter)以測之。

元素分析，係測定煤中所含炭，氫，氧，氮及硫等之百分數。實用分析，係測定煤中所含水分(moisture)，揮發物(volatile matter)，固定炭(fixed carbon)及灰分(ash)之百分數。

元素分析，完全用化學分析方法爲之。茲不贅述。實用分析與化學分析方法迥然不同。茲將地質調查所沁園燃料研究室金開英洪曾荃二位先生合著之中國各省煤質分析上所載之方法，擇要錄下，以備參考。

(a)定水分法 稱煤樣一克(檢樣及勻分法，參考地質調查所出版，王寵佑先生所著煤之檢樣法及金洪二君原著)，於知重之磁坩堝。即刻置入攝氏 105 度至 107 度之空氣乾燥箱中。一小時後取出。移入乾燥器中。冷卻稱重。減少之重，即水分之量。以百分數表示之。

(b)定揮發物法 稱煤樣一克，於知重有蓋之坩堝。本室(即沁園燃料研究室，下同)目下用電爐灼燒。其法先將爐通電至攝氏表 950 度(用高溫表測定)。隨將稱就之坩堝置入距爐口二寸之位置(約 400 度)。此時坩堝中之煤，因熱灼燒發烟。俟其發烟淨盡，即刻移入近爐底二寸之位置(此處溫度適爲攝氏表 950 度)。五分鐘正，即取出。在乾燥器冷卻稱重。減少之重，即水分及揮發物之含量。由此減去水分，即揮發物之重。以百分數表示之(若係無烟煤，則稱就之坩堝直接置於近爐底之位置，七分鐘取出)。

(c)定灰分法 定水分之煤樣稱重後，隨即置入電爐內。溫度漸次增高至攝氏表 600 度至 800 度。爐門務須稍開，俾空氣流通，煤易灼熱。溫度漸漸增高，至炭盡燒去取出。在乾燥器內冷卻稱重，再置入電爐內復燒。取出冷卻稱重。若重與前無異，即爲灰分純淨之數。若較前減少，

第九表 中國各地產煤實用分析表

(此表係採自地質調查所翁文灝先生所著中國石炭之分類一文，載地質叢報第八號。僅足代表各礦產煤實用分析之略數。實際上同一礦場，因礦地及礦層之不同，分析之結果即有相當差異。欲知詳細之結果，可參看地質調查所金關英洪曾荃二位先生合編之中國各省煤質分析一書)。

省	區	礦	地	水	分	揮	發	物	固	定	炭	灰	分
河	北	門	頭	澁	2.3	6.50	75.20	15.00					
河	北	開	平		0.6	25.98	59.78	13.34					
河	北	井	陘		0.53	20.20	69.20	9.20					
河	北	臨	城		1.89	30.88	56.64	10.50					
河	北	柳	江		0.70	6.57	77.57	15.20					
河	北	怡	立		1.60	10.00	68.50	10.30					
熱	河	北	聚		3.25	30.50	54.25	11.00					
熱	河	新	邱		12.00	35.00	42.50	10.00					
遼	寧	撫	順		6.73	39.34	48.15	5.25					
遼	寧	木	湖	溪	0.68	23.95	64.07	11.20					
遼	寧	煙	臺		1.15	12.00	71.20	14.70					
遼	寧	八	道	編	12.65	20.55	41.68	14.12					
吉	林	長	春		10.80	32.50	45.16	11.12					
黑	龍	江	湯	源	1.50	32.21	58.14	7.50					
黑	龍	江	札	賚	諾	爾	20.93	36.35	39.03	5.69			
山	東	中	興		0.50	27.00	63.50	9.40					
山	東	淄	川		0.57	14.90	74.70	10.00					
山	東	博	山	子	0.85	18.90	69.80	9.85					
河	南	六	河	溝	0.55	19.16	72.05	8.40					
河	南	南	焦	作	0.65	6.70	84.50	8.00					
河	南	南	瀋	池	9.60	22.50	45.40	13.50					
山	西	大	同		4.50	30.99	59.45	5.50					
山	西	西	平	定	0.78	6.55	86.35	5.70					
山	西	澤	州		1.80	9.35	80.80	7.80					
江	西	萍	鄉		1.35	23.75	62.75	11.80					
江	西	樂	平		1.00	45.90	44.00	9.10					
江	西	贛	汪		1.35	29.54	51.50	17.60					
安	徽	歙	耕	山	0.85	34.90	54.75	9.50					
安	徽	宣	城		0.75	26.47	49.77	22.00					
浙	江	長	興		0.94	37.70	49.80	10.90					

即第一次未燃盡之證。故灰分必須復燒至重量一定為止。以百分數表示之。

(d) 定固定炭法 固定炭乃由水分揮發物及灰分之含量減餘而得。

71. 煤樣成分之標準 煤質分析，無論按實用分析或元素分析，其成分之百分數尚有下列數種標準：

(a) 原煤標準 (As fired basis, as received basis, or wet basis)；

(b) 減水標準或乾煤標準 (Moisture free basis, or dry basis)；

(c) 減灰標準 (Ash free basis)；

(d) 減水減灰標準 (Moisture and ash free basis) 即以純燃質 (Combustible) 為標準；

(e) 減水減灰減硫標準 (Moisture, ash and sulphur free basis) 此僅用於元素分析。

如各種成分之百分數係按減水標準給出，欲改為按原煤標準之百分數，則將各種成分之百分數用 $(1 - \frac{\text{水分之百分數}}{100})$ 乘之即得。反之若各種成分之百分數係按原煤標準給出，欲改為按減水標準之百分數，則將各種成分之百分數用上述之數除之。

同一理由，如各種成分之百分數係按原煤標準給出，欲改為按減水減灰標準之百分數（即將煤質中之水分與灰分都行減去而重行計算各成分之百分數），則將各種成分之百分數用

$$(1 - \frac{\text{水分百分數} + \text{灰分百分數}}{100}) \text{ 除之。}$$

例題 給出某種烟煤按原煤標準之實用分析與元素分析。將實用

分析之結果，改爲按減水標準之百分數及按減水減灰標準之百分數。並將元素分析之結果改爲減水減灰減硫標準之百分數。

解答

(一)實用分析

	原 煤 標 準 A	減 水 標 準 B	減水減灰標準 C
固 定 炭	50.19	54.42	61.49
揮 發 物	31.44	34.08	38.51
灰 分	10.61	11.50	.....
水 分	7.76	.....	.....
	100.00	100.00	100.00

A 行 = 試驗室按原煤標準之分析。

B 行 = A 行 \div $(1 - \frac{7.76}{100}) = A$ 行 \div 0.9224。

C 行 = A 行 \div $(1 - \frac{7.76 + 10.61}{100}) = A$ 行 \div 0.8163。

(二)元素分析

	原 煤 標 準		減水標準	減水減灰標準	減水減灰減硫標準
	A	A ₁	B	C	D
炭	66.55	66.55	72.15	81.52	83.54
氫	5.14	4.28	4.64	5.24	5.37
氮	1.32	1.32	1.43	1.62	1.66
氧	14.41	7.51	8.14	9.21	9.43
硫	1.97	1.97	2.14	2.41	.....
灰 分	10.61	10.61	11.50	.....	.....
自由水分	.....	7.76*	.....	.....	.....
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

*由實用分析得出。

在原煤標準之元素分析中(A行),自由水分即包括於氫與氧之中。因水係氫氣一份氧氣八份所組成,如欲將自由水分另列為一項,如 A_1 行,則須由氫中減出水分之九分之一,由氧減出水分九分之八。故得

A行 = 試驗室按原煤標準之分析。

氫(A_1 行) = 氫(A行) - $\frac{1}{9} \times$ 自由水分之百分數。

$$= 5.14 - \frac{1}{9} \times 7.76 = 4.28。$$

氧(A_1 行) = 氧(A行) - $\frac{8}{9} \times$ 自由水分之百分數,

$$= 14.41 - \frac{8}{9} \times 7.76 = 7.51。$$

B行 = A_1 行 \div $(1 - \frac{\text{水分百分數}}{100})$

$$= A_1 \text{行} \div 0.9224。$$

C行 = A_1 行 \div $(1 - \frac{\text{水分百分數} + \text{灰分百分數}}{100})$

$$= A_1 \text{行} \div 0.8163。$$

D行 = A_1 行 \div $(1 - \frac{\text{水分百分數} + \text{灰分百分數} + \text{硫黃百分數}}{100})$

$$= A_1 \text{行} \div 0.7966。$$

煤之發熱量(Calorific value)有時亦按上式數種標準分別計算。

茲將吾國十六種烟煤,按減水標準之實用分析及其發熱量列為表如第一〇表。

72. 煤之分類(Classification of Coals) 煤之分類,標準甚多。其結果亦互有利弊。茲擇數種比較重要者略述如下:

(a) 格魯納(Gruner)法 此法係假定水分及灰分為零,而算出純

第一〇表 (發熱量按英熱單位計)

煤	揮發物	固定炭	灰 分	發熱量	原水分
宣化厚豐全層	36.72	49.37	13.91	11902	1.96
磁縣怡立頭煤	21.25	72.28	6.47	14675	0.24
磁縣怡立一坐煤	21.25	73.88	4.97	14902	0.32
井陘礦務局第五層	23.73	64.98	11.29	13919	0.14
開灤第五層洗煤	32.03	57.58	10.39	13745	0.31
開灤特別洗煤	31.49	56.17	12.34	13602	0.78
博山大靛石炭	21.37	67.72	10.91	13945	0.41
博山小靛石炭	22.82	67.17	10.01	14087	0.30
中 興 洗 煤	31.87	61.31	6.82	14416	0.40
大同口泉加疙疙	36.35	59.31	4.34	14029	2.00
六 河 溝	23.87	61.06	15.07	13239	0.46
湘潭譚家山	22.22	71.33	6.45	14625	0.62
宣城大汪村	33.37	46.74	19.89	11426	0.10
懷遠舜耕山大通	33.59	52.99	13.42	12645	1.49
長興大煤山	33.60	45.81	20.59	11124	0.48
賈汪上層	37.60	52.45	9.95	12609	1.91

此表採自地質調查所燃料研究專報第九號，蕭之謙先生著中國煙煤低溫蒸餾之試驗。

燃質 (Combustible) 中揮發物之百分數。即用之作為分類根據。揮發物百分數愈低者，愈近於無煙煤。愈高者，愈近於褐煤。歐洲大陸多採用之。

(b) 弗雷社 (Frazer) 法 此法係以固定炭對於揮發物之比值為分類之標準。此比值謂之燃率 (Fuel ratio)，或燃料率。如揮發物之百分數愈低者，燃率愈高。即愈近於無煙煤。對於極低級之煤不適用。美國從

前多用之。

(c) 道陵 (Dowling) 法 將揮發物分作兩半。以一半與固定炭之和為分子，又一半與水分之和為分母。名其比值曰分揮燃率 (Split volatile ratio)。其意蓋以為揮發物中之炭及氫一部分已受氧化，不能再燃。茲假定其約居半數，則煤質中真能燃者與不能燃者，兩者數量之比即為分揮燃率。初採用於加拿大。後與拂雷社法合用。燃率較高者用拂雷社法。較低者用此法。

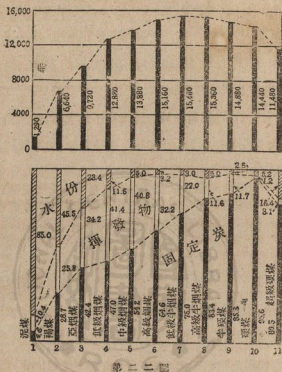
(d) 愛施累 (Ashley) 法 此法係以固定炭對於水分與揮發物之和之比值為分類之標準。此比值謂之加水燃率 (Moisture combined ratio)。

(e) 康倍耳 (Campbell) 法 美國地質調查所康倍耳氏新規定一種煤之分類法。其法係在實用分析中，將灰分假定為零，重行計算其水分，揮發物及固定炭之百分數。而發現自褐煤以至無烟煤，固定炭之含量逐漸增加。即以此為分類之標準。並稱之為級次 (Rank)。

第二二圖，採自美國礦務局 (U. S. Bureau of Mines) 第 6094 號通告。表示該局所承認各級次之煤之成分及其發熱量。所有數字皆係根據實際分析各級次之代表煤質而定。非謂各級次之煤，其各種成分完全如此也。

下圖表示各級次之煤按減灰標準之實用分析。上圖表示各級次之煤按減水減灰標準之發熱量，以英熱單位計 (根據康倍耳法分類)。

又在上圖，由泥煤 (Peat) 至低級半烟煤 (low-rank semibituminous coal)，其發熱量均繼續增加，達到最高點。級次再高，則發熱量反漸減。



其故因無烟煤硬化之程度愈深，受地殼溫度與壓力之影響，含氫之量愈少也。

在下圖，除最後超級無烟煤 (Superanthracite) 一種，表現例外外，級次愈高者，固定炭愈多。因由泥煤至無烟煤，巖石變化之程度愈深，水分及揮發物愈少也。在前部水分遞減之程度較高，在後部揮發物遞減之程度較高。

又煤中所含灰分及硫質之多寡，則另以淨度 (Grade) 一名詞別之。翁文灝先生，曾將各種分類法對於中國煤適用上之優劣加以比較。

結果被主張採用加水燃率之數以定煤之類別（見地質彙報第八號）。其所定分類法如下：

第一一表

類 別	級 次	加 水 燃 率	符 號
褐 煤	(Lignite)	0.90 以下	C
褐性烟煤	(Lignitic Bitumite)	0.90-1.30	Be
低級烟煤	(Low-rank Bitumite)	1.30-1.70	Bl
中級烟煤	(Medium-rank Bitumite)	1.70-3.00	Bm
高級烟煤	(High-rank Bitumite)	3.00-4.00	Bh
無烟性烟煤	(Anthracitic Bitumite)	4.00-6.00	AB
低級無烟煤	(Low-rank Anthracite)	6.00-8.00	Al
中級無烟煤	(Medium-rank Anthracite)	8.00-10.00	Am
高級無烟煤	(High-rank Anthracite)	10.00-12.00	Ah

翁氏規定其分類法時，係雜取各出版物中不同機關之分析結果，而酌量採用之。其分類各數分界之標準，殊缺乏一定之依據。後沁園燃料研究室金開英先生，根據國內之煤四百餘種之實用分析，稍加以修正。創一種圖解分類法。其修正之結果如下（見燃料研究專報第十二號）：

第一二表

煤 類	加 水 燃 率	煤 類	加 水 燃 率
褐 煤	0.80 以下	高級烟煤	6.00 至 4.10
褐性烟煤	0.80 至 1.25	無烟性烟煤	4.10 至 4.90
低級烟煤	1.25 至 1.85	低級無烟煤	4.90 至 7.00
中級烟煤	1.85 至 3.00	中 高 級無烟煤	7.00 至 12.00

73. 各種煤之特性 (Characteristics of Coals) 茲將各種煤之特性略述如下：

(a) 無烟煤 (Anthracite) 一名硬煤 (hard coal)。燃着甚緩而燃燒之溫度則甚高。色黑。帶金屬光澤。主要之成分為固定炭。故燃燒時幾無烟，而火焰則甚短。因燃燒時幾乎無烟，故多用於家庭爐竈。與揮發物比較，固定炭之百分數須在 92 以上。我國平定與焦作等處所產者屬於此類。

(b) 半無烟煤 (Semianthracite) 較無烟煤軟。且無其金屬光澤。因所含氫炭合質較多，故燃着較易。與固定炭比較，其揮發物之百分數恆在 12.5 以下。亦多用於家庭爐竈。我國柳江門頭溝與澤州等處所產者屬於此類。

(c) 半烟煤 (Semibituminous) 較半無烟煤又軟。全無金屬光澤。但其外表仍較烟煤近於無烟煤。較無烟煤輕，且燃燒較快。如欲保持強度之熱力時，甚為適用。與固定炭比較，揮發物之百分數恆在 25 以下。多用於蒸汽鍋爐。我國煙臺及淄川等處所產者即屬於此類。

(d) 烟煤 (Bituminous) 亦名軟煤 (soft coal)。揮發物在百分之 25 以上者，多屬於此類。又分為焦結煤 (coking coal) 不結煤 (non-coking coal) 及燭煤 (Cannel coal) 三大類。

納烟煤於密閉之器中，斷絕空氣而熱之。揮發物氣化而出。所殘餘者多為固定炭。若殘餘黏結為灰黑色纖維狀之塊，則謂之焦結煤。其塊狀殘餘，即謂之焦炭 (coke)。若所殘餘者鬆散而不黏結，則謂之不結煤。我國博山，六河溝，磁縣，井陘，本溪湖，萍鄉，中興，開平等處所產者，屬

於焦結煤。八道壕，臨城，大同，宣城，湯源，北票等處所產者，則屬於不結煤。可分別用於製煤氣，煉焦炭及蒸汽鍋爐等。燭煤極富於揮發性物質。堅硬而緻密。無帶狀之構造。宛如黑色之頁岩。因含氫較高，故燃燒時發熱甚大。燃燒甚易。光焰甚長。用作製煤氣之用甚佳。我國宣化蔚州一帶所產者，有一部屬於此類。

(e) 亞烟煤(Subbituminous)有時謂之黑褐煤(black lignite)。或褐性烟煤。級次位於烟煤與褐煤之間。與烟煤不同之點，為含水分之百分數較高。且受交替溼乾之作用，往往自行破碎。與褐煤不同之點，為其色澤及毫無木質構造之痕跡。我國澠池，長春，長興，撫順各處，所產者屬於此類。

(f) 褐煤(lignite)比較新成，外表每似木質。在級次較高者，其光澤有時亦似無烟煤。因其色多現褐色，故有時謂之褐色煤(brown coal)，恆含有百分之30至40之水分。發熱量甚低。故距離較遠時，運費上甚不經濟。我國札賚諾爾及樂平等處所產者，近於此類。

74. 煤塊之大小 (Sizes of coal) 煤由礦中取出，自大塊至煤末，其大小至不一律。若只就純燃質之發熱量言，一磅純燃質恆發生其一定之熱量。與煤塊之大小無關。但實際上因碎煤易摻雜質，且燃燒碎煤往往須有特別設備，或須摻加水分，故大塊煤之價值較高。在無烟煤，此種關係尤為顯著。

煤塊大小之分類，恆係使經過一定標準之孔之煤篩。茲將美國機械工程師學會對於無烟煤煤塊之大小所規定之等級列下：

第一三表 無烟煤塊之大小

名 稱	篩 孔 直 徑 (以 吋 計)	
	通 過 (Through)	在 上 (Over)
碎塊(broken)	4 1/2	3 1/4
蛋塊(egg)	3 1/4	2 5/16
爐塊(stove)	2 5/16	1 5/8
栗塊(chestnut)	1 5/8	7/8
豌豆塊(pea)	7/8	9/16
頭號蕎麥塊(No. 1 buckwheat)	9/16	5/16
二號蕎麥塊(No. 2 buckwheat)	5/16	3/16
三號蕎麥塊(No. 3 buckwheat)	3/16	3/16
煤末(culm)	3/32	

對於烟煤塊大小之分類，則因地不同。美國機械工程師學會所規定者如下：

(一) 東部烟煤(Eastern bituminous coal)

- (a) 原煤(Run-of-mine coal)由礦中取出未經過篩者。
- (b) 塊煤(Lump coal)在篩孔1 1/4吋之篩上者。
- (c) 栗塊(Nut coal)通過1 1/4吋之篩孔而在 3/4吋篩孔以上者。
- (d) 末煤(Slack coal)通過 3/4吋之篩孔者。

(二) 西部烟煤(Western bituminous coal)

- (a) 原煤(Run-of-mine coal)由礦中取出未經過篩者。
- (b) 塊煤(Lump coal)分爲6吋塊(6-in. lump), 3吋塊(3-in. lump)與1 1/4吋塊(1 1/4-in. lump)三種。在篩孔直徑6吋之篩以上者，

謂之6吋塊；在篩孔直徑3吋之篩以上者，謂之3吋塊。在篩孔直徑1½吋以上者，謂之1½吋塊。又如煤塊通過直徑6吋之圓孔而在直徑3吋之圓孔以上者，謂之6吋3吋塊(6-in. by 3-in. lump)。通過直徑3吋之圓孔而在直徑1½吋之圓孔以上者，謂之3吋1½吋塊(3-in. by 1½吋 lump)。

(c) 栗塊(Nut coal)亦分爲三種：(一)3吋蒸汽栗(3-in. steam nut)，通過直徑3吋之孔而在直徑1½吋之孔以上者。(二)1½吋栗(1½-in. nut)，通過直徑1½吋之孔而在直徑¾吋之孔以上者。(三)¾吋栗(¾-in. nut)，通過直徑¾吋之孔而在直徑¼吋之孔以上者。

(d) 篩末(Screenings)，通過¼吋直徑之孔者。

吾國對於煤塊大小之分類，尙無一定之標準。雖各礦場及各煤商亦有原煤，塊煤，末煤，小爐塊，大爐塊，鍋爐塊，一號塊，二號塊，三號塊，一號末，二號末，三號末，篩漏等名稱，然迄無一定之規定也。

75. 煤之風化作用(Weathering of coal) 近年以來，多數工廠及各城鎮之總電廠，因預防煤礦罷工，鐵路罷工及車運擁擠，致煤價提高或煤量缺乏起見，多預存多量之煤於廠中。惟存煤甚多時，往往有逐漸崩碎(disintegration)或甚至自然發火(Spontaneous Combustion)之危險。即所謂風化作用是也。

此種現象，蓋由於煤質中遊離之氫吸收空氣中之氧而成水，炭之一部亦吸收空氣之氧而成炭酸所致。溫度低時，進行甚緩，溫度高時，轉爲急劇。遂致自然發火之現象。富於硫化鐵之烟煤，含水多時，亦極易發生此現象。

無烟煤實際上幾無崩碎及自然發火之現象。故按存儲論，無烟煤似較優。惟因價值較貴及不宜於鍋爐內之燃燒之故，預存者不多。

烟煤則發生此種現象。欲防崩碎以後煤塊大小恐不適用起見，所存之煤塊宜較實用者稍大。且煤塊大時，通風較便，亦可減輕自然發火之機會。最善之法，係將煤放置水中。不但自然發火之現象完全避免，崩碎之作用亦大為減輕。

76. 鎔渣 (Clinker) 鎔渣為灰分自行鎔化之結果。為用煤為燃料之原動工廠中極重要之問題。司拍婁 (John P. Sparrow) 由實驗得知，倘煤之灰分鎔化在 2400°F 以上時，若燃燒得宜，實際上無甚妨礙。故此種煤可稱之為無渣煤 (Non-clinkering coal)。倘灰鎔化在 2400°F 以下時，則對於燃燒上極有妨礙。故此種煤可稱之為生渣煤 (Clinkering Coal)。用生渣煤時，當灰分之溫度高過其鎔化度以上，鎔渣即行發生。故欲避免或移去，須有相當設置。

又就實驗之結果，知燃料中含硫質愈多時，鎔渣愈易成。灰分中含氧化鐵 (Fe_2O_3) 愈多及氧化矽 (SiO_2) 愈少時，鎔渣愈易成。

77. 燃燒特性 (Firing characteristics) 煤之其他特性在商業上甚有關係者尚有三點：(a) 所含水分之量；(b) 焦結之難易；(c) 灰分之多少。

所含水分之多少，對於著火之難易及燃燒之快慢極有關係。若所含水分在百分之二十以上時，如欲得一定之燃燒速率，則對於爐之計畫，須特別加以注意。

烟煤置入爐中後，若係焦結煤，則燃燒以前，每先黏結為焦塊。若係

不結煤，則先自行分解或崩碎。美國伊里諾大學 Parr 教授(S. W. Parr)稱：焦結煤者，係煤中所含之煤膠(tar)在揮發溫度以前，或未變氣體飛散以前，即行鎔化者也。反而言之，若煤膠所含之成分在鎔化以前即行揮發，變為氣體而飛散，則此種煤為不結煤。或自由燃燒煤(free burning coal)。

欲使焦結煤燃燒完全，則焦塊之作成，須設法避免。當氣體揮發完全以前，須使煤常保持碎塊之狀態。但不結煤則在此時甚勿加以震動。因此種煤以靜止燃燒較佳也。

又灰中所含灰分若在百分之十以上時，謂之高灰煤(high-ash coal)。若在百分之十以下時，謂之低灰煤(low-ash coal)。若用高灰煤，則由爐中移去灰分之問題，須特別加以注意。以用繼續自動之方法，不使清理工作影響鍋爐之工作為宜。

78. 其他固體燃料

(a) 泥煤(Peat) 泥煤位於木柴與煤之間。古時沼澤之地，蘆葦苔蘚灌木之屬，繁榮滋生，積之數千萬載，遂成植物層。受壓力溫度及溼氣之影響，成暗色土狀之固體。謂之泥煤。含有炭氫合質及固定炭。並常有百分之七十至百分之八十之水分。採取後，多切成塊狀。並在空氣中乾燥之。經空氣乾燥後，品質佳者約含有炭百分之六十，氫百分之六，氧與氮百分之三十一，灰分百分之三。

次頁第一四表給出四種泥煤之實用分析及發熱量。

(b) 木柴(Wood) 木柴普通分為兩大類：一、軟木(soft wood)，二、硬木(hard wood)。比重在 0.55 以下者，謂之軟木。在 0.55 以上者，

第一四表

生 產 地 點	固定炭	揮發物	灰 分	發熱量(每磅)
梅因(Maine)	29.7	66.1	4.2	8900
南米四干(Southern Michigan)	29.0	68.5	2.3	9500
紐約(New York)	29.2	65.6	8.25	10200
威斯康新(Wisconsin)	27.6	60.5	11.8	8250

謂之硬木。最普通之軟木為松(pine), 榆(elm), 樺(birch), 楊(poplar) 與柳(willow)。最普通之硬木為橡(oak), 胡桃(hickory), 楓(maple), 山毛櫸(beech) 與黑胡桃(walnut)。當初採下時, 所含水分約為百分之五十。乾燥後則減至百分之十至百分之二十。

下表表示數種普通木柴之成分及其發熱量。

第一五表

名 稱	C	H	O	N	灰 分	發 熱 量
槐(ash)	49.2	6.3	43.9	0.07	0.57	8480
山毛櫸(beech)	49.0	6.1	44.2	0.09	0.57	8590
樺(birch)	48.9	6.0	44.7	0.10	0.29	8590
榆(elm)	48.9	6.2	44.3	0.06	0.50	8510
橡(oak)	50.2	6.0	43.4	0.09	0.37	8320
松(pine)	50.3	6.2	43.1	0.04	0.37	9150

在鍋爐試驗, 普通多假定一磅木柴相當 0.4 磅煤。或一磅煤相當 2.5 磅木柴。

(c) 甘蔗餘渣(bagasse) 即甘蔗榨取其汁後之殘餘。多用作製糖

廠鍋爐之燃料。

甘蔗餘榨燃料上之價值，視所含之木質纖維量與其他可燃質如殘餘內所餘液體內之葡萄糖(glucose)及蔗糖(sucrose)等之量而定。普通約含百分之三十五至五十木質纖維。百分之十以下葡萄糖及蔗糖。百分之四十至五十水分。

乾燥之甘蔗餘榨，每磅之發熱量約為 8300 英熱單位。但實際燃燒時，因每含有相當之水分故，只能得 4000 英熱單位，或更行減少。

79. 煤粉 (Powdered coal) 煤粉用於製造洋灰及冶金工業，雖已有三十餘年之歷史，用於蒸汽鍋爐則只為 1920 年以後之事。近年以來，在較大原動力廠或總發電廠，採用煤粉為燃料者極為普通。在用低級煤為燃料時，尤為相宜。

使煤之粉末與空氣相混合，極似一種可燃之氣體，故有時稱之為機械氣(mechanical gas)。

用煤粉為燃料之設備，有兩種不同之制(systems)：

(a) 倉儲制(storage or bin system)。

(b) 單位制(unit system)。

倉儲制係將所用之煤在各鍋爐之外一集中地點乾燥之。並研為粉末，儲於倉中。再由導管與螺旋搬運器(screw conveyor)或鼓風空氣(air blast)分送於各鍋爐。單位制則各鍋爐各自帶一碎煤器(pulverizer)。當需用時，即自行預備。倉儲制發達較早，其優點為燃料之乾度(dryness)與所製煤粉之細度(fineness)比較易於一律。管理上亦比較集中。惟因乾煤機，聯絡裝置，分配裝置及儲煤粉倉等，設備上較為複

雜，因之初裝費較大。占地面亦較大。故晚近以來，採用單位制者較多。單位制則裝置比較簡單。約與普通用機力添煤器(mechanical stoker)之鍋爐相仿。且所用煤粉若不乾時，亦無在管中黏附或阻塞之弊。

採用煤粉為燃料之鍋爐雖日見增加，但用新式機力添煤器之鍋爐仍不失為主要之競爭者。特別在含灰分少，水分少及硫黃質少之高級煤。

用煤粉為燃料之鍋爐，其溫度恆比在普通鍋爐所到之溫度高。故對於爐牆之損壞力甚大。預防之法，最有效者為採用輻射過熱器(radiant superheater)或水簾(water screens)。其法係用一排水管或一排汽管鑲於燃燒室之內層。不但可防止爐牆之燒毀，並可增加鍋爐之水熱面(water heating surface)或過熱面(superheating surface)。

80. 用煤粉之優點與劣點

用煤粉之優點如下：

(a) 能用任何等級之煤 即普通認為不宜於鍋爐或燃燒效率極小之煤，均可採用。最低級之褐煤至最高級之無煙煤，無不可用。

(b) 燃料燃燒時已無水分 因碎粉以前已加以乾燥，燃燒時遂無水分攜去熱力之損失。

(c) 移灰易 若灰分不成為鎔渣，則移灰較易。

(d) 極易變更火力之大小 煤粉與空氣之加入量，均極易管理。故極易變更火力之大小。短時之過載(overload)與停止，均易於短時間作到，不致耗費多量之燃料。如不用蒸汽時，即可立時停止。

(e) 因需用過量之空氣少，故耗費於煙氣之熱量少 在燃燒塊煤

時，因可燃氣體與空氣不易混合均勻，恆加相當過量之空氣。若用煤粉則燃料與空氣混合較易，故過量之空氣可減少。

(f) 爐之效率與能量(capacity)均增高 因燃燒之溫度與燃燒之空間均增加，故效率與能量均增高。較同等鍋爐之採用煤塊作燃料者，其效率與能量均約增百分之十。

用煤粉之劣點如下：

(a) 初裝費高 在倉儲制，其初裝費較同等鍋爐之採用機力添煤器者高。但在單位制，則較採用機力添煤器者，無大差別。

(b) 占地面較大。

(c) 預備煤粉之工作費。

(d) 養護(maintenance)費大。

(e) 增加灰渣之困難 若所用之煤，其灰分之鎔化點低，往往在爐周各水管上結一層灰渣，不易除去。

(f) 灰分與煤屑逃散空中，於附近公眾有礙。

(g) 爐之折舊重(Furnace depreciation) 因溫度較高，故損傷較烈，折舊較重。

81. 液體燃料 凡可燃之液體均可利用之為燃料而在一種特製之爐中燃燒之。如動植物油及酒精等。惟用作發生蒸汽之燃料，有時覺其太不經濟或嫌其產量過少耳。

用於鍋爐之油，最要者只有石油(Petroleum)或提煉汽油燈油以後之柴油(fuel oil)。在產油量甚少之國，亦間有用酒精為內燃機之燃料者。

石油以美國，墨西哥及俄國所產者為最多。俄國最早用作機車與輪船之燃料，近年來他國採用者亦日見增加。商船之鍋爐亦多採用。戰艦上用之尤為重要。

石油共分為三大類。其名稱係由被蒸溜後所留殘餘之性質而定。

(a) 石蠟質基 (Paraffin base)。

(b) 土瀝青質基 (Asphalt base or Naphthene base)。

(c) 混合質基 (Intermediate base or Mixed base)。

石蠟質基之石油，經蒸溜後，其殘餘之大部分為蠟類，含土瀝青甚少。其成分之構造，多合於 C_nH_{2n+2} 化學公式。土瀝青質基之石油，經蒸溜後，其殘餘之大部為煤脂 (Pitch) 或土瀝青渣。其成分之構造，多合於 C_nH_{2n} 化學公式。混合質基之石油，則介乎兩者之間。

鑑別三類之方法，最簡單者為美國標準局之比重法。其規定如下：

在攝氏表 250 度至 275 度所蒸出之部分，其比重在 0.825 或 0.825 以下者為石蠟質。在 0.86 以上者為土瀝青質。在 0.825 至 0.86 之間者為混合質。

石蠟質基之石油含汽油較多，含柴油較少。土瀝青質之石油適與之相反。混合質基之石油則介乎其間。

美國中部及東部所產者，多屬於石蠟質基。近年以來，因汽油之需要日增，大有供不應求之勢。有人發明一種分裂法 (cracking process)。使較重之油在高壓力高溫度之下，受一種分子構造上之分裂，變為較輕之油。結果使汽油之產量增加。而原來能用作燃料之柴油則因之減少。美國西南部，太平洋沿岸，墨西哥及俄國所產者，則多屬於土瀝青質基。

比重較高。色澤較暗。用於鍋爐之柴油多取給於此。

我國所產石油，就地質調查所沁園燃料研究室燃料研究專報第五號所載，在化驗之十七種中，有十四種屬於石蠟質基。三種屬於混合質基。茲將其產地及數種特性列下：

第一六表 中國石油之性質(一)

化驗 號數	產 地	油名稱	原油比重	250°-275°C間 蒸溜物之比重	油之 基本質
1	四川自流井桂花山四福井	原油	0.8394	0.8205	石蠟
2	四川自流井老林冲東昇井	煎過油	0.8660	0.8230	石蠟
3	四川自流井壩塘同昌井	原油	0.8585	0.8244	石蠟
4	四川自流井壩塘同昌井	煎過油	0.8587	0.8238	石蠟
5	四川自流井白家灣積富井	原油	0.8748	0.8170	石蠟
6	四川自流井白家灣積富井	煎過油	0.8752	0.8120	石蠟
7	四川自流井雷家冲富龍井	原油	0.8775	0.8240	石蠟
8	四川自流井雷家冲富龍井	煎過油	0.8780	0.8234	石蠟
9	四川自流井大坎堡同德井	原油	0.8650	0.8227	石蠟
10	四川貢井驢子嘴龍井	原油	0.8310	0.8065	石蠟
11	四川貢井驢子嘴龍井	煎過油	0.8372	0.8075	石蠟
12	四川資中羅泉井	原油	0.8393	0.8164	石蠟
13	四川資中羅泉井	水洗油	0.7750	……	石蠟
14	四川樂山河河坎	原油	0.8340	0.8106	石蠟
15	四川巴縣顏坡石油溝	原油	0.9134	0.8518	混合
16	甘肅玉門上赤金堡南六十里	原油	0.8961	0.8334	混合
17	陝西延長縣	原油	0.8840	0.8390	混合

四川石油除巴縣外，均屬石蠟質基。巴縣與陝西延長縣甘肅玉門縣三種屬於混合質基。由上表觀之，國內重要石油均不在土瀝青質基之列。

又沁園燃料研究室並將上述十七種油樣所含汽油煤油(即燈油)柴油及油渣之百分數,加以分析。茲將分析之標準及其結果擇要錄下:

(a)分析標準(照錄原文) 夫石油乃一極複雜之有機物質。蒸溜時常有不確實之虞。再各部分分類之標準又復不同。尤以汽油成分為最。以攝氏一百五十度沸點以下為汽油者有之。以二百度沸點為汽油者有之。煤油柴油等亦然。但由實際而論,則當以沸點及比重兩種標準同時鑒定之較為合理。蓋沸點往往不能代表各部分之分別。其比重之別常相差太遠(如汽油之比重約在 0.80 左右,其沸點約二百度左右。如其沸點果在二百度而比重則在 0.82 或 0.83 以上者,決不能稱之為汽油)。故沸點與比重當並用以定各蒸溜物,似較妥協。今應用下列暫定規則以區別各石油之蒸溜物。

(一)在 200 度以前所蒸出,而其比重在 0.825 以下者為汽油。

(二)在 200 度, 275 度, 300 度等各部分,其比重如在 0.825 以下者,為煤油。在 0.825 以上者為柴油。

(三)300 度以上部分即名之油渣。

照此暫定之例,其汽油部分約可代表工業上所用之汽油(其最高沸點 215 度)。至於油渣,則其中仍含柴油,凡士林及石蠟等尚多。因現在無法研究,置之不論。其實所含有用物質種類繁多,並非渣滓也。如用高熱度蒸之,常有分裂物(cracking product)發現。既不能謂之自然成分(original fraction),又不可稱之為蒸溜部分(distilling fraction)。於分析有大關係。四川東盛井石油及巴縣石油在 275 度至 300 度所蒸溜之物,其比重較 275 度者為低。如將此部分重複蒸溜之,則 200 度, 250

度及 275 度各部分均有。故可斷定其中已有分裂物)。如欲分析之,則非在真空情形中爲之不可。在 300 度以下,已有此類情形發現。300 度以上之成分勢不可在空氣壓力境界內蒸溜之可無疑矣。今按暫定規則,計算所得各部分列表如下:

第一七表 中國石油之性質(二)

化驗 號數	汽 油		煤 油		柴 油 ¹		油渣 ² 300°C以上	
	百分數	比 重	百分數	比 重	百分數	比 重	百分數	比 重
1	17.66	0.7575	26.00	0.8041	9.00	0.8317	49.00	0.8821
2	6.41	0.7976	49.82	0.8180	17.00	0.8006 ³	25.23	0.8530
3	3.75	0.7880	22.25	0.8144	10.50	0.8351	64.20	0.9054
4	3.67	0.7845	23.00	0.8140	10.33	0.8362	63.40	0.8997
5	5.00	0.7920	29.33	0.8148	...	.....	64.95	0.8983
6	5.00	0.7924	30.50	0.8145	.....	.....	65.00	0.8976
7	3.23	0.8058	13.50	0.8200	8.50	0.8274	75.00	0.8872
8	3.34	0.8064	13.34	0.8204	8.34	0.8270	77.70	0.8880
9	4.00	0.7898	18.27	0.8138	13.32	0.8334	63.50	0.8893
10	0.54	.....	33.23	0.8084	.....	.....	68.40	0.8360
11	0.54	.....	35.10	0.8130	.....	.....	66.50	0.8340
12	16.02	0.7558	29.68	0.8238	.....	.....	55.00	0.8689
13	70.50	0.7553	14.50	0.7972	.....	.....	13.50	0.8564
14	20.00	0.7543	40.66	0.8051	.....	.....	40.00	0.8780
15	.....	.....	.....	.....	13.68	0.8420	85.60	0.9135
16	16.55	0.7976	.....	.....	38.40	0.8440	44.80	0.9378
17	10.70	0.7892	.....	.....	22.65	0.8300	66.60	0.9056

註¹ 只代表石油中之一部分,油渣內尙可提取柴油。

² 油渣內含有柴油,潤油及凡士林等,並非渣滓也。

³ 似已有分裂物,故比重較低。

四川資中水洗油，似已蒸溜過者。因其汽油多而油渣少。但其詳情不明，姑置不論。餘如煎過油等等，與原油幾相同。或其所謂煎過者，乃將水油泥各分澄清而已。大半質厚原油，不用火力恐不易澄清。故煎過之原油水量微而少泥。但其成色及成分均與原油中分出之石油相等。因用火之故，稱之曰煎。否則不能得同樣成分。

茲再將美國數種石油之性質列表於下，對於石油所含原質之成分及發熱量等，可知其梗概。

第一八表 美國石油之性質

產地	成分之百分數 (以重量計)				比 重	每加 倫之 磅數	每磅之英熱單位數	
	炭	氫	硫	氧			根據試驗	根據計算
Ohio	83.4	14.7	0.6	1.3	0.800	6.68	19,580	19,718
Pennsylvania, light	82.0	14.8	1.0	2.2	0.816	6.80	19,930	19,519
Pennsylvania, heavy	84.9	13.7	...	1.4	0.886	7.40	19,210	19,385
West Virginia, light	84.3	14.1	0.3	1.3	0.841	7.02	18,400	18,527
West Virginia, heavy	83.5	13.3	0.8	2.4	0.873	7.28	18,324	18,800
Texas	84.0	13.2	1.0	1.8	0.925	7.71	19,100	18,928
California	85.2	12.4	0.5	1.9	0.959	8.00	18,500	18,656
平均	83.9	13.9	0.7	1.8	0.871	7.27	19,006	19,086

石油與其蒸溜油之成分，最主要者為炭氫合質(hydrocarbon compounds)及少量之水分，硫黃與其他雜質。就上表觀之，可知由不同產地所得之油，分析之結果，炭之百分數只由 82 變至 85。氫之百分數則只由 12 變至 15。

用於蒸汽鍋爐之油，無論係原油或係曾蒸溜之油，其每磅之發熱量

可假設為 18,000 英熱單位至 19,500 英熱單位。不似煤之發熱量變化之巨。

82. 用油為燃料之優點與劣點

(一)優點:

- (1) 搬運及存儲之方法均較簡單。
- (2) 無塵土與灰分，使鍋爐房不清潔之物大為減少。
- (3) 減少人工與燒火器具或燒火設備。
- (4) 易於管理，故燃料耗費之損失減低。
- (5) 工作之彈性大，即易於變更火力之大小。
- (6) 效率高。
- (7) 保護費大減，因占地位小。與煤相較，約小百分之五十。
- (8) 保持蒸汽發生率使之律極為可能。無清理爐火所受之損失。
- (9) 養護費 (Cost of maintenance) 減輕。因爐中及燃燒室中之溫度比較一律。故傷損少。修理少。
- (10) 各按一磅言，油之發熱量較高級煤之發熱量約高百分之三十五。
- (11) 為油燃燒完全起見，過量空氣之需要減至最低。故烟氣中損失之熱量較少。

(二)劣點:

- (1) 較固體燃料危險性大。易成火災。
- (2) 向爐中噴射時，多發生大聲音。

(3) 價值變化大。

(4) 同一之設備，同一之載荷，用油為燃料時，過熱之程度較低。

(5) 因油之產量有供不應求之勢，故價值日高。若就同一數量之熱單位之價格言，油較煤高，

83. 氣體燃料 氣體燃料分為天然人造及附產三大類。因燃燒效率之高，管理之簡單及省工等等優點，均為極好之燃料。惟存儲時占空間太大，為其一劣點耳。就專為發生蒸汽言，除距天然煤氣井甚近之地點或係有附產煤氣可以利用外，則嫌其不經濟。在內燃機，因熱效率甚高之故，有專行製造者。茲將天然煤氣及兩種附產煤氣略述如下：

(a) 天然煤氣 天然煤氣發見甚早。俄國 Baku 地方，在昔謂之聖火(Holy fire)。1667年，英國 Wigan 地方取之以供燈用。1821年美國始利用之。我國四川自流井地方，自漢代即已發見。宋代即知利用之以煮鹽。謂之火井(見范鍇花笑廬雜筆)。茲將明代宋應星所著天工開物上記載火井之一段照錄如下：

「西川有火井，事甚奇。其井居然冷水。絕無火氣。但以長竹剖開。去節合縫。漆布。一頭插入井底。其上曲接。以口緊對釜臍。注鹵水釜中。只見火意烘烘，水即滾沸。啓竹而視之，絕無半點焦炎意。未見火形而用火神，此世間大奇事也」。

天然煤氣之成分，主要者為炭與氫。惟其量極不一致。如欲得一平均成分表，幾不可能。有含 CH_4 特多者，有含 C_2H_6 或 C_2H_2 特多者。其發熱量亦極不一致。約由每立方呎 720 至 1,700 英熱單位。

(b) 鼓風爐煤氣 化鐵爐每鎊生鐵一噸，約用焦炭 1,600 至 3,600

磅。平均約用 2,000 磅。每焦炭一磅，可發生可燃氣體 70 立方呎。約含百分之三十 CO 。其發熱量每立方呎約由 85 至 110 英熱單位。

(c) 煉焦爐煤氣 常用分解蒸溜 (destructive distillation) 法製焦炭時，所發之氣體，先行冷卻。提出煤膠 (tar) 與阿母尼亞等。即成爲煉焦爐煤氣。每立方呎之發熱量約由 400 至 550 英熱單位。

84. 燃燒時所發之熱 燃燒者，一種物質急劇與氧化合而生熱之一種現象也。一種燃料之燃燒，普通恆生二氧化碳水蒸汽，氮及少許之氧化硫。

單位重量或單位容積之某種燃料，當完全燃燒時所發之總熱量，謂之此種燃料之發熱量 (calorific value, heating value, heat of combustion)。

當氫或含氫之燃料被燃燒時，其發熱量有兩種：一爲高發熱量 (higher heating value)；一爲低發熱量 (lower heating value)。

因氫氣燃燒之結果，係發生蒸汽。倘所生之蒸汽被冷至與原來燃料同一之溫度，則不但發出因溫度升高所有之熱，並將蒸汽之隱熱亦行給出。故熱之總量較大。惟實際上燃料被燃燒時，其烟筒內烟氣之溫度恆甚高，且烟氣中蒸汽之量甚少，即有時溫度低至 212°F 時，因其部分壓力 (Partial pressure) 比較甚小之故，亦不能凝結。即蒸汽之一部隱熱不能利用。故每單位重量或每單位容積之氫或含氫之其他燃料燃燒時，將所生蒸汽之隱熱亦計算在內，其發熱量謂之高發熱量。高發熱量減去實際上不能利用之隱熱，謂之低發熱量。在歐陸各國計算或比較鍋爐或煤氣機之工作時，多採用低發熱量爲標準。然美國機械工程師學會，動力

試驗委員會，則採用高發熱量。因任何熱機，當計算其工作或效率時，均以加入彼之熱量為標準。至能利用至何種程度則為另一問題。且近年以來，有一種熱水省煤器(heat water economizer)已能將烟氣中蒸汽之隱熱取回一部。故尤宜如此計算也。

又在固體與液體燃料，多以每磅若干英熱單位計。在氣體燃料，多以壓力 30 吋水銀柱，溫度 60°F ，每立方呎若干英熱單位計。在此種壓力與溫度之下，每立方呎有時稱之曰標準立方呎 (standard cubic foot)。

85. 根據燃料分析計算之發熱量 一種燃料所含之各種成分及其百分數，雖能由化學分析將其求出，然各種成分在燃料中實際存在之化合情形，普通多未能斷定。在煤與其他固體燃料尤然。惟一種燃料發熱量之近似值，可想像由燃料中所含各成分燃燒時所有發熱量之和得之。至少亦可作一比較之標準也。

又當一種燃料中同時含有氫氧二質，計算發熱量時，普通恆假設所有之氧已與氫中之一部化合而為水。當燃燒時，只有所餘之一部氫（有時謂之自由氫 (free hydrogen)）可利用之以生熱。但實際上是否確係如此，亦屬疑問也。因就重量言，16 分氧與 2 分氫化合成為 18 分水。故與氧化合之氫之重量必為氧之全重之八分之一。減去此一部，所餘之氫方為燃燒時能用以發熱之氫。故根據一種燃料之元素分析，可計算其發熱量如下：

$$\text{每磅燃料之發熱量} = 14600\text{C} + 62000\left(\text{H} - \frac{\text{O}}{8}\right) + 4000\text{S} \dots\dots (1)$$

式中 C, H, O 與 S 代表每磅燃料中所含炭，氫，氧與硫之重量。此公式

謂之杜朗公式 (Du Long's formula)。14,600, 62,000 與 4,000 三數值則為每磅炭, 氫或硫燃燒為 CO_2 , H_2O 或 SO_2 時所發之熱量。

如 C 之燃燒不完全, 不作成 CO_2 而作成 CO, 則每磅只能生 4,430 英熱單位。此為供給之空氣不足或供給之空氣與蒸發之炭氣未能混合均勻所致。就燃燒之效率言, 當然係一種損失。但若供給空氣之量失之太多, 則無用之一部空氣須由其原溫度熱至烟筒烟氣之溫度, 攜帶一部熱力而去。亦係一種損失也。

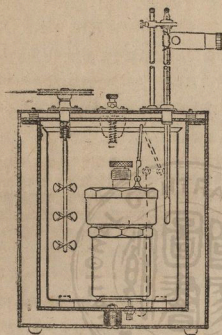
一磅炭素若燃燒為 CO, 未能發出之熱量 $14,600 - 4,430 = 10,170$ 英熱單位。當所生之 CO 再被燃燒時, 仍全部發出。

又由第(1)式所得之發熱量只係一近似值。如欲得精密之結果, 應實際用測熱器測驗之。

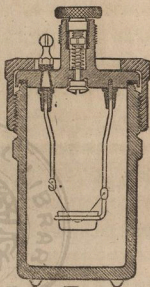
86. 燃料測熱器 (Fuel calorimeter) 燃料測熱器共分兩大類: 一為測固體與液體燃料者 一為測氣體燃料者。茲分別述之如下:

(a) 測固體與液體燃料者 測固體與液體燃料發熱量之測熱器, 常用者為 Burgess-Parr 氧彈測熱器 (oxygen bomb calorimeter)。其構造略如第二三圖所示。

主要之部分係一鋼製之彈形器。如第二四圖所示。內懸一杯形器。將定量之液體燃料 (普通多用一克), 或空氣乾燥之細煤粉置於其中。並由一白金絲通過之。白金絲之兩端各連一電極。一電極即連於彈形器之蓋上。一電極則由絕緣體與彈形器隔離而達於外部。將蓋裝緊, 並滿以每方吋由 300 磅至 400 磅壓力之氧氣。使燃料燃燒時得有充分氧氣之供給。當充滿氧氣後, 即將彈形器置於存有定量之水之容器中。然後通



第二三圖



第二四圖

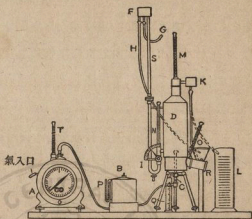
過電流，使燃料起始燃燒。當燃燒時，一面由一葉輪桿攪動器中之水。一面觀察溫度之上升。迨升至不再上升時，記其溫度。並對於輻射熱及電力所生之熱等，加以相當校正。然後燃料之發熱量可以算出。因水所得之熱必為燃料所發之熱也。

(b) 測氣體燃料者 測氣體燃料發熱量之測熱器，常用者為 Jun-ker's 氣體測熱器。其構造略如第二五圖所示。

圖中 A 為一氣表 (Gas meter)。B 為一儲氣箱 (Gas receiver) 或調節箱 (Regulator)。C 為一本生燈 (Bunsen lamp)。D 為一圓筒形之測

熱器。置於一三足架上。

L 爲一量杯 (measuring jar)。氣體由最左邊之管流入，經過氣表 A。再經過調節箱 B 而達於 C。調節箱之作用，係使氣體之壓力比較一律者（防止用氣之一邊壓力突變致表上所指之結果不精確）。氣在 C 燈之口



第二五圖

部繼續燃燒。燈之位置可任意上下移動，以便燃着後提升至適宜位置。燃氣在測熱器中間之空部先向上行。至頂部再折而向下。經過環排於測熱器內外兩層間之多數小管，傳其熱於環繞之水。最後總聚於測熱器下部之周圍。由 R 管逃於大氣。冷水由 G 管先入於 F。由 S 管下行。經過 I 處之瓣而入於測熱器。環繞多數小管上行，由 K 處流於外部。或使流於廢水管。或使流於量杯。如此燃氣所發之熱量，遂均爲冷水所吸收。H 係一溢管 (overflow pipe)。F 內之水面如超過一定之高度，即由此管以達於廢水管。水位之高既保持不變，在一定時間內經過之水量即無甚變化。P 爲一 U 形測壓表，用以測氣體之壓力。Q 爲一小刻度量杯，用以收集燃氣內所含水蒸汽凝結之水。共有四個寒暑表。T 表示氣體之溫度。N 表示冷水之初溫度。M 表示冷水出測熱器時之溫度。O 表示燃氣出測熱器時之溫度。如經過測熱器之水量及燃燒氣體之量能調節適宜，使燃

氣出測熱器之溫度與寒暑表 T 所表示者相同。則氣體所發之熱，可視為全被冷水所吸收。根據一定時間內經過之水量及溫度差，可算出水所得之熱量。根據一定時間內氣表所指燃燒之氣之立方呎數，再按 T 表示之溫度與 P 表示之壓力，算出標準立方呎數，即可求出每標準立方呎之氣體之發熱量。

如此測出之結果，係高發熱量。如欲得低發熱量，則須減去每立方呎氣體燃燒後凝結之水量與隱熱之乘積。

87. 燃燒時理論上所需空氣之量 供給燃料燃燒所用之氧，係取之於空氣。空氣係一種混合物。除去極少量之數種其他元素外，按重量言，係含氧氣百分之 23.15。氮氣百分之 76.85。按容積言，係含氧氣百分之 20.9。氮氣百分之 79.1。只氧氣應用於燃料之燃燒。氮氣則對於燃燒無化學上之效果。

當氫燃燒為水 (H_2O) 時，每一磅氫之燃燒，須 $16 \div 2 = 8$ 磅之氧。又因每磅空氣中，只含有 0.2315 磅之氧，故每磅氫之燃燒，須 $8 \div 0.2315 = 34.56$ 磅之空氣。

當炭燃燒為二氧化碳 (CO_2) 時，每一磅炭之燃燒，須 $32 \div 12 = 2.667$ 磅之氧，故每磅炭之燃燒，須 $2.667 \div 0.2315 = 11.52$ 磅之空氣。若炭之燃燒不完全，未作成 CO_2 而作成 CO ，則每磅炭之燃燒，須 $16 \div 12 = 1.333$ 磅之氧，所須之空氣為 $1.333 \div 0.2315 = 5.76$ 磅。

若燃料中含有硫黃，當燃燒為二氧化硫 (SO_2) 時，每磅硫黃須 $12 \div 12 = 1$ 磅氧，即每磅硫黃須空氣 $1 \div 0.2315 = 4.32$ 磅。

與求發熱量之性質相同，燃料中若含有氧氣，則相當之一部氫氣，

亦假定係與之相合，已成為水。故計算理論上所需之空氣量時，此一部氫氣亦須減去。如此則任何燃料當完全燃燒時，可根據其化學分析以求其理論上所需空氣之量如下：

$$\text{每磅燃料所需空氣之重量} = 11.52 C + 34.56 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 4.32 S_o \quad (2)$$

當燃燒不完全而成一部 CO 時，則每磅燃料所需空氣之重量為

$$11.52 C_1 + 5.76 C_2 + 34.56 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 4.32 S_o \dots\dots\dots (3)$$

式中 C_1 與 C_2 代表每磅燃料燃燒為 CO_2 與 CO 之炭之重量。

又因兩容積之氫與一容積之氧相化合，一立方呎之氫當完全燃燒時，須用 $\frac{1}{2}$ 立方呎之氧。又 12 磅之炭與 378 立方呎之氧相化合，作成 378 立方呎之 CO_2 (378 為磅原子量 [pound molecular weight] 之標準立方呎數)，一磅之炭當完全燃燒時，將用 $378 \div 12 = 31.5$ 標準立方呎之氧。故每立方呎之氫，當燃燒完全時，須用 $0.5 \div 0.209 = 2.39$ 立方呎之空氣。每磅炭當燃燒完全時，須用 $31.5 \div 0.209 = 150.7$ 立方呎之空氣。

在求發熱量與理論上所需空氣量之兩公式，係假想氫與炭之分子均能與適當之氧之分子互相接觸，惟在實際上，此種情形極難得到。故為得到完全燃燒起見，供給之空氣恆使有相當之過量 (excess of air)。

就理論言，多數之煤完全燃燒，約須用 12 磅或 155 標準立方呎之空氣。惟就實際言，在採用自然通風 (natural draft) 之鍋爐中燃燒煤，每磅煤約須 24 磅或 310 標準立方呎之空氣。若採用加力通風 (forced draft)，則每磅約須 18 磅或 232 標準立方呎之空氣。

如加入爐中之量不足，則只有炭之一部與氧化合，作成 CO_2 ，其餘

則作成 CO。但若加入之空氣超過其應有之量，亦為失熱之源。蓋不但攜帶一部熱力隨烟氣逃散於空中，並使爐中烟氣之溫度降低，以減低鍋爐之傳熱效率也。

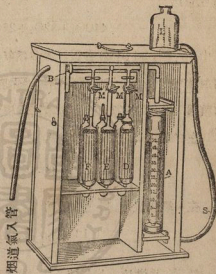
燃料中常有之各元素燃燒之情形，每磅之發熱量及所需空氣量等，均列入第一九表。

88. 黑烟 (Smoke) 黑烟係極細而未經燃燒之炭質。黑烟中之炭質，就重量言，普通尚不及百分之一。但一生黑烟，足以表示燃燒之不合法。不但耗費成黑烟之炭素，其餘無色或不能見之可燃物亦必燃燒不完全。故就全部可燃物言，耗費之量每由百分之三至百分之十。且因燃燒不完全之故，爐中溫度不能達到其應有之高度。傳熱之效率，因之大減。故總合計之，燃料效率上之損失，往往至百分之二十至三十。

所生黑烟係已至白熱之炭質點未待與充分之氧相化合即行冷卻者。炭之質點與氧相合之先，應保持其白熱之情況。若鍋爐之情況，使炭之質點未待與氧相化合即被冷至白熱以下之溫度，即成為黑烟。且既成之後，即不易再行燃燒。燃料中富於炭氫合質者，比較易於生黑烟。因飛散之炭質點較多，且溫度亦較低也。當炭氫合質由煤中蒸出後，如能使其溫度總保持燃燒度以上，並供以充分之氧氣，則恆發生紅色，黃色或甚至白色之火焰而燃燒。且燃燒愈緩，火焰愈長。此時若有較冷之鍋爐熱面極近於彼，則熱被吸收，溫度因之下降。燃燒或因之變為不完全。黑烟因之發生。一部可燃氣體遂亦不及燃燒而逃散。但若使鍋爐在爐篋之上，地位較高或較遠，使多量之揮發物有縱容燃燒之餘地，不使即刻與較冷之鍋面相接觸，則燃燒自較完全。黑烟之發生，自然免去或減輕矣。

89. 烟道氣之分析 (Analysis of flue gases) 在大動力廠或設備比較完備之動力廠，由鍋爐發出之烟道氣，每時時加以分析。有時更有採用一種自動表使隨時記出烟道氣內所含 CO_2 之百分數者。

分析烟道氣恆係採用一種歐塞提儀器 (Orsat apparatus)，或稍加以改良者。其構造略如第二六圖所示。主要部分為三個玻璃管 (Pipettes) D, E, F。一量管 (measuring tube) A。與一水平瓶 (leveling bottle) L。第一玻璃管 D 內盛以水化鉀 (potassium hydrate) 或水化鈉 (sodium hydrate) 之飽和溶液。能吸收 CO_2 。第二玻璃管



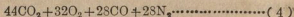
第二六圖

E 內盛以焦性沒食子酸鉀 (potassium pyrogallate)。能吸收 O_2 。第三玻璃管 F 內盛以一氯化銅 (cuprous chloride)。能吸收 CO 。擬分析之氣，亦按以上之次序使分別與三玻璃管之溶液相接觸。使依次吸收其所能吸收之物質。所餘者即假定為氮。又如此分析之結果，係各種氣容積之百分數。

90. 乾烟道氣之重量 (weight of dry flue gases) 根據 Avogadro's 定律，知在同壓力同溫度之下，等容積之各種氣體所含之分子數相同。

故在同壓力同溫度之下，等容積之各種氣體之重量必與其原子量或分子量成正比。

由此可知由一定重量之燃料燃燒後所得乾烟道氣之總重量必與下式成正比



式中 44, 32, 28 與 28 各數，係各種氣體之分子量。CO₂, O₂, CO 與 N₂ 爲由歐塞提儀器分析而得各種氣體之容積。因由歐塞提儀器分析之總容積爲 100。故各種氣體之容積實爲構成總容積之百分數。

在二氧化碳中，炭之重量爲

$$\frac{12}{44} \times 44\text{CO}_2 = 12\text{CO}_2; \dots\dots\dots (5)$$

在一氧化碳中，炭之重量爲

$$\frac{12}{28} \times 28\text{CO} = 12\text{CO}; \dots\dots\dots (6)$$

設 W₁ 爲燃燒之炭每磅所成之乾烟氣之重量，則

$$W_1 = \frac{44\text{CO}_2 + 32\text{O}_2 + 28\text{CO} + 28\text{N}_2}{12\text{CO}_2 + 12\text{CO}} \dots\dots\dots (7)$$

$$= \frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{CO} + \text{N}_2)}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \dots\dots\dots (8)$$

第(8)式更可用下法表示，即

$$W_1 = \frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7[(100 - \text{CO}_2 - \text{O}_2 - \text{N}_2) + \text{N}_2]}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})}$$

$$= \frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 700 - 7\text{CO}_2 - 7\text{O}_2 - 7\text{N}_2 + 7\text{N}_2}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})}$$

第一九表 數種元質及化合物之燃燒性質

燃 燒	燃燒反應式	化 合 容 積	化 合 重 量	每 磅 之 發 熱 量 (英熱單位)	每 磅 單 立 方 呎 之 高 發 熱 量 (英熱單位)	每 磅 所 需 之 空 氣 量 (英熱單位)
H ₂ 燃燒為 H ₂ O (水)	2H ₂ +O ₂ =2H ₂ O	2容積 H ₂ +1容積 O ₂ =2容積 H ₂ O	$\begin{cases} 2 \text{ 磅 H}_2 + 16 \text{ 磅 O}_2 = 18 \text{ 磅 H}_2\text{O} \\ 1 \text{ 磅 H}_2 + 8 \text{ 磅 O}_2 = 9 \text{ 磅 H}_2\text{O} \end{cases}$	62,000	328	34.56
C 燃燒為 CO ₂ (二氧化碳)	C+O ₂ =CO ₂	$\begin{cases} 1 \text{ 容積 C} + 1 \text{ 容積 O}_2 = 1 \text{ 容積 CO}_2 \\ 12 \text{ 磅 C} + 378 \text{ 立方呎 O}_2 = 378 \text{ 立方呎 CO}_2 \\ 1 \text{ 磅 C} + 31.5 \text{ 立方呎 O}_2 = 31.5 \text{ 立方呎 CO}_2 \end{cases}$	$\begin{cases} 12 \text{ 磅 C} + 32 \text{ 磅 O}_2 = 44 \text{ 磅 CO}_2 \\ 1 \text{ 磅 C} + 2.66 \text{ 磅 O}_2 = 3.66 \text{ 磅 CO}_2 \end{cases}$	14,600	.....	11.52
C 燃燒為 CO (一氧化碳)	2C+O ₂ =2CO	$\begin{cases} 2 \text{ 容積 C} + 1 \text{ 容積 O}_2 = 2 \text{ 容積 CO} \\ 24 \text{ 磅 C} + 378 \text{ 立方呎 O}_2 = 756 \text{ 立方呎 CO} \\ 1 \text{ 磅 C} + 15.75 \text{ 立方呎 O}_2 = 31.5 \text{ 立方呎 CO} \end{cases}$	$\begin{cases} 12 \text{ 磅 C} + 16 \text{ 磅 O}_2 = 28 \text{ 磅 CO} \\ 1 \text{ 磅 C} + 1.33 \text{ 磅 O}_2 = 2.33 \text{ 磅 CO} \end{cases}$	4,430	.....	5.76
CO 燃燒為 CO ₂	2CO+O ₂ =2CO ₂	2容積 CO+1容積 O ₂ =2容積 CO ₂	$\begin{cases} 28 \text{ 磅 CO} + 16 \text{ 磅 O}_2 = 44 \text{ 磅 CO}_2 \\ 2.33 \text{ 磅 CO} + 1.33 \text{ 磅 O}_2 = 3.66 \text{ 磅 CO}_2 \\ 1 \text{ 磅 CO} + 0.57 \text{ 磅 O}_2 = 1.57 \text{ 磅 CO}_2 \end{cases}$	$\frac{10,170}{2.33}$ =4,365	324	2.46
S 燃燒為 SO ₂ (二氧化硫)	S+O ₂ =SO ₂	$\begin{cases} 1 \text{ 容積 S} + 1 \text{ 容積 O}_2 = 1 \text{ 容積 SO}_2 \\ 32 \text{ 磅 S} + 378 \text{ 立方呎 O}_2 = 378 \text{ 立方呎 SO}_2 \\ 1 \text{ 磅 S} + 11.8 \text{ 立方呎 O}_2 = 11.8 \text{ 立方呎 SO}_2 \end{cases}$	$\begin{cases} 32 \text{ 磅 S} + 32 \text{ 磅 O}_2 = 64 \text{ 磅 SO}_2 \\ 1 \text{ 磅 S} + 1 \text{ 磅 O}_2 = 2 \text{ 磅 SO}_2 \end{cases}$	4,000	.....	4.32
CH ₄ (沼氣)	CH ₄ +2O ₂ = CO ₂ +2H ₂ O	1容積 CH ₄ +2容積 O ₂ = 1容積 CO ₂ +2容積 H ₂ O	$\begin{cases} 16 \text{ 磅 CH}_4 + 64 \text{ 磅 O}_2 = 44 \text{ 磅 CO}_2 + 36 \text{ 磅 H}_2\text{O} \\ 1 \text{ 磅 CH}_4 + 4 \text{ 磅 O}_2 = 2\frac{3}{4} \text{ 磅 CO}_2 + 2\frac{1}{4} \text{ 磅 H}_2\text{O} \end{cases}$	23,840*	1,009	17.28
C ₂ H ₂ (乙炔 acetylene)	2C ₂ H ₂ +5O ₂ = 4CO ₂ +2H ₂ O	2容積 C ₂ H ₂ +5容積 O ₂ = 4容積 CO ₂ +2容積 H ₂ O	$\begin{cases} 52 \text{ 磅 C}_2\text{H}_2 + 160 \text{ 磅 O}_2 = 176 \text{ 磅 CO}_2 + 36 \text{ 磅 H}_2\text{O} \\ 1 \text{ 磅 C}_2\text{H}_2 + 3.08 \text{ 磅 O}_2 = 3.38 \text{ 磅 CO}_2 + 0.7 \text{ 磅 H}_2\text{O} \end{cases}$	21,830	1,531	13.30
C ₂ H ₄ (乙烷 ethylene)	C ₂ H ₄ +3O ₂ = 2CO ₂ +2H ₂ O	1容積 C ₂ H ₄ +3容積 O ₂ = 2容積 CO ₂ +2容積 H ₂ O	$\begin{cases} 28 \text{ 磅 C}_2\text{H}_4 + 96 \text{ 磅 O}_2 = 88 \text{ 磅 CO}_2 + 36 \text{ 磅 H}_2\text{O} \\ 1 \text{ 磅 C}_2\text{H}_4 + 3.43 \text{ 磅 O}_2 = 3.14 \text{ 磅 CO}_2 + 1.29 \text{ 磅 H}_2\text{O} \end{cases}$	21,830	1,620	14.82

$$= \frac{4\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 700}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \dots\dots\dots (9)$$

又設 C_b = 所燒每磅燃料中曾燃燒之炭之百分數，

W_f = 所燒燃料之重量之磅數，

C_f = 所燒燃料含炭之百分數，

W_a = 灰與殘餘之重量之磅數，

C_a = 殘餘中所含炭之百分數，

則所燒每磅燃料中，曾燃燒之炭之百分數必為

$$C_b = \frac{W_f C_f - W_a C_a}{W_f \times 100} \dots\dots\dots (10)$$

如此，則所燒每磅乾燃料所成之乾烟道氣之重量 W_2 必為

$$W_2 = \left[\frac{W_f C_f - W_a C_a}{W_f \times 100} \right] \left[\frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{CO} + \text{N}_2)}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \right] \dots (11)$$

$$\text{或 } W_2 = \left[\frac{W_f C_f - W_a C_a}{W_f \times 100} \right] \left[\frac{4\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 700}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \right] \dots\dots\dots (12)$$

倘燃料中之炭完全燃燒（如殘餘中不含炭質時，可假設如此），則

C_b 與 C_f 相等，(11)與(12)兩式變為

$$\frac{C_f}{100} \left[\frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{CO} + \text{N}_2)}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{與 } \frac{C_f}{100} \left[\frac{4\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 700}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \right] \dots\dots\dots (14)$$

91. 實際所用空氣之重量 (Weight of air actually used) 在第

87 段，燃燒時理論上所需空氣之重量之公式，已經求出。在該段並曾言實際上所需之重量恆超過理論上算出之數。下列問題表示求實際所用空氣之重量之一法。

例題 一種烟筒氣，其分析之結果如下： CO_2 ，百分之十二； CO ，百分之一； O_2 ，百分之七； N_2 ，百分之八十。如所用之煤含 C ，百分之八十； H_2 ，百分之四； O_2 ，百分之二，試求燃燒一磅所用之空氣。

解答

100 立方呎中之容積 密度 重量

$$\text{二氧化碳} (\text{CO}_2) \cdots \cdots \cdots 12 \times 0.1164 = 1.396$$

$$\text{一氧化碳} (\text{CO}) \cdots \cdots \cdots 1 \times 0.0714 = 0.0714$$

$$\text{氧} (\text{O}_2) \cdots \cdots \cdots 7 \times 0.0846 = 0.592$$

式中 0.1164, 0.0714 與 0.0846 爲 CO_2 , CO 與 O_2 在 60°F 之密度。

一磅二氧化碳中含有 $\frac{8}{11}$ 磅氧，一磅一氧化碳中含有 $\frac{4}{7}$ 磅氧。故烟道氣每 100 立方呎中所含氧之重爲：

$$\text{在二氧化碳中者} \cdots \cdots \cdots \frac{8}{11} \times 1.396 = 1.015$$

$$\text{在一氧化碳中者} \cdots \cdots \cdots \frac{4}{7} \times 0.074 = 0.042$$

$$\text{自由氧氣} \cdots \cdots \cdots = 0.592$$

$$\text{氧之全重} \cdots \cdots \cdots 1.649 \text{ 磅}$$

炭之重量則爲：

$$\text{在二氧化碳中者} \cdots \cdots \cdots \frac{3}{11} \times 1.396 = 0.381$$

$$\text{在一氧化碳中者} \cdots \cdots \cdots \frac{3}{7} \times 0.074 = 0.032$$

$$\text{炭之全重} \cdots \cdots \cdots 0.413 \text{ 磅}$$

按重量言，空氣含氧百分之 23.15，故燃燒 0.413 磅炭所用空氣之

磅數為

$$1.649 \div 0.2315 = 7.12。$$

在此同一情形之下，燃燒一磅炭所用之空氣之磅數必為

$$7.12 \div 0.413 = 17.25。$$

按給出之分析之煤，每燃燒一磅所用空氣之磅數應為

$$\begin{aligned} & 17.25 C + 34.56 \left(H - \frac{O}{8} \right) \\ &= 17.25 \times 0.80 + 34.56 \left(0.04 - \frac{0.02}{8} \right) \\ &= 13.8 + 1.3 = 15.1 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

此處應加注意者，所得解答係將理論上燃燒氫所用之空氣量加於根據烟道氣分析實際燃燒炭所用之空氣之中。此結果當然不完全相合。惟用以燃燒氫所用之空氣量與用以燃燒炭所用之空氣量比較極屬甚少，故結果亦極近似。

又上題所得之結果，在引誘通風 (induced draft) 之鍋爐大致與此相合。

燃燒每磅煤實際所用空氣之重量，更可採用求乾烟道氣之重量之同樣方法求之。

根據第(4)，(5)與(6)三式，當燃燒每磅炭，在烟道氣中氮之重量為

$$\frac{28N_2}{12(CO_2 + CO)} \text{。} \dots\dots\dots (15)$$

因1磅空氣含0.7685磅 N_2 ，故燃燒每磅炭應供給之空氣量

$$A_1 = \frac{\frac{28N_2}{0.7685}}{12(CO_2 + CO)} = \frac{28N_2}{12(CO_2 + CO) \times 0.7685} \dots\dots (16)$$

或
$$A_1 = \frac{3.036N_2}{CO_2 + CO}$$

燃燒每磅乾燃料應供給之空氣重量為

$$A_2 = \left[\frac{W_f C_f - W_a C_a}{W_f \times 100} \right] \left[\frac{28N_2}{12(CO_2 + CO) \times 0.7685} \right] \dots\dots (17)$$

或
$$A_2 = \left[\frac{W_f C_f - W_a C_a}{W_f \times 100} \right] \left[\frac{3.036N_2}{CO_2 + CO} \right] \dots\dots (18)$$

若殘餘中無未經燃燒之炭，則(17)與(18)兩式變為

$$\frac{C_f}{100} \left[\frac{28N_2}{12(CO_2 + CO) \times 0.7685} \right] \dots\dots (19)$$

與
$$\frac{C_f}{100} \left[\frac{3.036N_2}{CO_2 + CO} \right] \dots\dots (20)$$

倘烟道氣之分析已知，所用過量空氣之百分數之求法，可由下題表明之：

例題 如烟道氣之分析為 CO_2 ，百分之十一； O_2 ，百分之九； N_2 ，百分之八十。試求所用過量空氣之百分數。

解答 當空氣供給 80 立方呎之 N_2 時，同時即供給 $\frac{20.9}{79.1} \times 80 = 21.14$ 立方呎之 O_2 ，在此 21.14 立方呎之 O_2 中，有 9 立方呎未用以燃燒炭素，即係過量之 O_2 。或 $21.14 - 9 = 12.14$ 立方呎之 O_2 ，實用以燃燒煤。故過量空氣之百分數，亦即過量 O_2 之百分數為

$$\frac{9(\text{過量之數})}{12.14(\text{理論之數})} = 74.1\%。$$

第二〇表

氣體自 60°F 至 T°F 之間之平均定壓比熱。按溫度 60°F 壓力 30 吋水銀柱每立方呎若干英熱單位計。

T°F	二氧化碳 (CO ₂)	水蒸汽 (water vapor)	氮氧與其他二 原子氣體 (diatomic gases)
200	0.0237	0.0220	0.0174
400	0.0246	0.0220	0.0175
600	0.0253	0.0221	0.0177
800	0.0260	0.0222	0.0178
1000	0.0268	0.0224	0.0180
1200	0.0275	0.0226	0.0181
1400	0.0282	0.0229	0.0183
1600	0.0287	0.0232	0.0184
1800	0.0292	0.0236	0.0186
2000	0.0298	0.0240	0.0187
2200	0.0302	0.0245	0.0189
2400	0.0306	0.0250	0.0190
2600	0.0309	0.0256	0.0192
2800	0.0312	0.0263	0.0194
3000	0.0314	0.0270	0.0196
3500	0.0317	0.0288	0.0201
4000	0.0319	0.0312	0.0206

92. 理論上燃燒之溫度 (Theoretical temperature of combustion)

如對於各氣體能利用之總熱及一定煤質燃燒時所生之各種成分已知，則燃燒後之結果溫度，可以大略算出。由計算所得之燃燒溫度恆高

第二一表

氣體自 60°F 至 T°F 之間之平均定壓比熱，按每磅若干英熱單位計。

T°F	二 氧 化 炭 (CO ₂)	水 蒸 汽 (water vapor)	氮氣與其他二 原子氣體
200	0.2067	0.4653	0.2365
400	0.2143	0.4657	0.2386
600	0.2216	0.4673	0.2407
800	0.2285	0.4698	0.2428
1000	0.2348	0.4735	0.2449
1200	0.2406	0.4782	0.2470
1400	0.2462	0.4841	0.2491
1600	0.2512	0.4910	0.2512
1800	0.2559	0.4990	0.2534
2000	0.2601	0.5081	0.2555
2200	0.2638	0.5182	0.2576
2400	0.26 0	0.5294	0.2597
2600	0.2698	0.5420	0.2618
2800	0.2722	0.5557	0.2639
3000	0.2742	0.5702	0.2660
3500	0.2770	0.6093	0.2707
4000	0.2790	0.6599	0.2755

於實際所得之溫度。因各氣體在達到其最高溫度之前，往往受輻射之影響而變冷，且 CO₂ 一種在 1800°F 以上往往有一部復分解為 CO 與 O₂ 也。

例題 假定一種煤之成分如下：C，百分之七十五；H₂，百分之五；O₂，百分之三；N₂，百分之二。灰分與硫黃則可置之不計。試求燃燒後氣

體之理論與實際上升之溫度。

解答 上述成分之煤，其發熱量為 13,800 英熱單位。燃燒其一磅，理論上所需之空氣量為 10.24 磅。在此 10.24 磅之空氣中，有 $10.24 \times 0.7685 = 7.87$ 磅 N_2 。更須將煤中之 0.02 磅 N_2 加入，給出 N_2 之總量 7.89 磅。

作成 CO_2 之總量	$= 0.75 \times 3.66 = 2.745$ 磅	}	見第一九表。
作成 H_2O 之總量	$= 0.05 \times 9 = 0.45$ 磅		

假設一最後溫度 $2,500^\circ F$ ，則升高燃燒氣體一度所需之熱單位必為

	比熱	英熱單位
二氧化碳.....	$2.75 \times 0.268 =$	0.737
水蒸汽.....	$0.45 \times 0.536 =$	0.241
氮.....	$7.89 \times 0.261 =$	<u>2.059</u>
總計.....		3.037

理論上燃燒氣體上升之溫度必為

$$13,820 \div 3.037 = 4,550 \text{ 度。}$$

在鍋爐之實際工作，須較燃燒時所需之空氣量加多百分之五十至一百。此加多之過量空氣，實際上係減低理論上燃燒之溫度。假定多加者為百分之百，則應多加 10.24 磅之空氣。就第二一表查之，使此多加之空氣溫度升高一度所需之熱必為

$$10.24 \times 0.261 = 2.683 \text{ 英熱單位}$$

將未經稀薄之氣體所需者加入 3.037 英熱單位

則每度所需之總英熱單位數 5.720

故實際上升之溫度必為 $13820 \div 5.72 = 2415$ 度。

此結果與人工燒火所得之結果極為相近。

如鍋爐房之溫度已知，則加入按上法所求出因燃燒上升之溫度，即得燃燒氣體最後之溫度。煤之溫度係假定與鍋爐房之溫度相同。

在用自動添煤器之鍋爐，則火之溫度超過 $3,000^{\circ}\text{F}$ 以上，曾經遇到。當鍋爐達到其全能量，工作又十分謹慎，特別對於加入爐中之空氣加以注意，則此溫度常能得到。

例題 一種煤含百分之七十 C，百分之十 H_2O ，每磅之發熱量為 13,000 英熱單位。燃燒後，其烟道氣之分析為百分之十五 CO_2 ，百分之五 O_2 ，百分之八十 N_2 。入爐空氣之溫度為 60°F 。問燃燒之溫度。

解答 因在烟道氣分析中，表出每有 80 立方呎 N_2 ，即有 15 立方呎 CO_2 ，5 立方呎 O_2 ，故在 79 立方呎 N_2 中，必有 $15 \times \frac{79}{80} = 14.8$ 立方呎 CO_2 ，與 $5 \times \frac{79}{80} = 4.94$ 立方呎 O_2 。因作成 14.8 立方呎 CO_2 ，用 14.8 立方呎 O_2 ，故加入計算之 O_2 只為 $14.8 + 4.94 = 19.74$ 立方呎。此數量與攜同 79 立方呎 N_2 所供給之 21 立方呎 O_2 之差數，或 $21 - 19.74 = 1.26$ 立方呎 O_2 與煤中之 H_2 相合，作成 2.52 磅之 H_2O 。未表現於烟道氣分析之中。

因此種煤每磅含有 0.70 磅 C，故一磅煤必給出

$$31.5 \times 0.70 = 22.05 \text{ 立方呎 } \text{CO}_2。$$

就烟道氣分析，知 CO_2 與 N_2 之比為 15:80。 CO_2 與 O_2 之比為 15:5。故在 22.05 立方呎 CO_2 ，將有

$$22.05 \times \frac{80}{15} = 117.6 \text{ 立方呎 } \text{N}_2，$$

與 $22.05 \times \frac{5}{15} = 7.35$ 立方呎 O_2 。

在 79 立方呎 N_2 ，有 2.52 立方呎 H_2O 由煤中之 H_2 燃燒而成。故在 117.6 立方呎 N_2 ，將有

$$2.52 \times \frac{117.6}{79} = 3.75 \text{ 立方呎 } H_2O。$$

煤中所含百分之十之水表示

$$0.10 \times \frac{378}{18} = 2.1 \text{ 立方呎水蒸汽。}$$

100 立方呎 乾烟道氣	100 立方 呎乾空氣	每磅煤烟道氣 之立方呎數
80 N_2	79 = 79 N_2	117.6 N_2
15 CO_2	14.8	22.05 CO_2
5 O_2	4.94	7.35 O_2
—	1.26	3.75 H_2O
—	—	—
100	100.00	2.1 H_2O

在 60°F 蒸發 5.85 立方呎，或 $5.85 \times \frac{18}{378} = 0.279$ 磅 H_2O 所需之熱為 $0.279 \times 1057.8 = 295$ 英熱單位。

式中 1057.8 係蒸發在 60°F 之水一磅所需之熱(壓力每方吋 0.2562 磅)。

可用以升高氣體溫度之熱為

$$13,000 - 295 = 12,705 \text{ 英熱單位。}$$

在 60°F 與 3,000°F 之間，升高氣體華氏表一度所需之熱計算如

下:

	60°F 至 3000°F 間之平均比熱	英熱單位數
$N_2 + O_2$	$(117.6 + 7.85) \times 0.0196$	$= 2.457$
CO_2	22.05×0.0314	$= 0.692$
H_2O	5.85×0.0270	$= \frac{0.158}{3.307}$

故氣體上升之溫度為 $\frac{12705}{3.307} = 3,840$ 度。

燃燒之溫度為 $3,840 + 60 = 3,900^\circ F$ 。

欲求更精確之結果，上升之溫度應再重行計算。用 $60^\circ F$ 與 $2,800^\circ F$ 之間之平均比熱，以代替 $60^\circ F$ 與 $3,000^\circ F$ 之間之平均比熱。但在鍋爐房之計算，普通殊不需要耳。

上述例題，因過量之空氣甚少，故能得甚高之溫度。協同 80 立方呎之 N_2 ， $21 \times \frac{80}{79} = 21.3$ 立方呎之 O_2 由空氣供給。此數量中有 5 立方呎未用以燃燒煤，而用為過量。餘 $21.3 - 5 = 16.3$ 立方呎為實際應用之 O_2 。故過量空氣之百分數為 $5 \div 16.3 =$ 百分之 30.7。過量之空氣，普通恆至百分之五十以上。其意即多量之氮與氧須加以熱，燃燒之溫度遂由之減低。

93. 燃料之效率 (Efficiency of fuels) 燃料之商業價值，係按每點鐘能蒸發 $212^\circ F$ 之水為同溫度之蒸汽之磅數定之。但此種說法，係包含鍋爐之效率而言。故欲比較實際應用之燃料，應在同一之鍋爐內燃燒之。又就實際論之，在任一動力廠，一種燃料之價值，恆受鍋爐之式樣與特性，供給空氣之量，與通風之強度等之影響。在事實上有種種關係

影響此問題。使對於各種煤作精密之比較發生困難。

在任何鍋爐，無烟煤與半烟煤均易燃燒。烟煤所含揮發物在百分之四十以下者，用平爐籠並在火上用一火磚拱，可得極佳之結果。若所含揮發物在百分之四十以上，則以用一種特製之爐，使氣體與熱空氣相混合為佳。即須備一種較大之燃燒室。

一種煤在商業上之結果，多以能蒸發 1,000 磅 212°F 之水為同一溫度之蒸汽之價值定之。若煤價之大部係屬於運費，則採用高級煤較低級煤為優。

習 題

1. 某種煤按原煤標準分析，含水分 3%，灰分 8%。每磅純燃部分 (combustible portion) 之發熱量為 14,000 英熱單位。問每磅乾煤之發熱量為若干英熱單位。
2. 某種半烟煤之成分如下：C, 85%；H, 5%；O, 4%。求此種煤每磅之發熱量及燃燒 1 磅所需之空氣量。
3. 某種無烟煤之成分如下：C, 84%；H, 2%；O, 4%。求此種煤之發熱量及燃燒 1 磅所需之空氣量。
4. 某種燭煤之成分為 C, 75%；H, 7%；O, 8%。求此種煤之發熱量及燃燒 1 磅所需之空氣量。
5. 某種煤之成分為 C, 80%；H, 3%；O, 4%。倘所含之炭一半燃燒為 CO ，一半燃燒為 CO_2 ，問所損失之熱量幾何？又倘按此種情形燃燒，問每磅煤所需空氣之重量為若干磅。

6. 某種煤含 C, 90%; H, 1%; O, 2%。倘所含之炭四分之三燃燒為 CO_2 , 其餘燃燒為 CO。問每磅發出若干英熱單位之熱量? 又倘按此種情形燃燒, 每磅煤所需空氣之重量為何?

7. 某鍋爐房所燒之煤含 CH_4 , 20%; C, 60%; O, 6%。燃燒之效率為 70%。問每磅煤能蒸發溫度 100°F 之水為表壓力每方吋 150 磅之蒸汽若干磅? 分解 CH_4 所用之熱不計。

8. 一種烟道氣之分析, 其容積之百分數如下: CO_2 , 8.33%; CO, 0.02%; O, 11.65%。試求每磅煤實際所用空氣之重量。煤之元素分析為 C, 75%; H, 5%; O, 7.3%。

9. 由一鍋爐試驗, 得到烟道氣分析之結果, 其容積之百分數如下: CO_2 , 8.1%; CO, 0.03%; O, 12.19%。煤之元素分析為 C, 76.66%; H, 4.89%; O, 7.06%。試求每磅煤實際所用空氣之重量。

10. 一種烟道氣之分析, 其容積之百分數如下: CO_2 , 11.36%; CO, 0%; O, 7.81%; N, 80.83%。煤之元素分析為 C, 74%; H, 5.1%; O, 6.12%。問此種煤之發熱量及燃燒所用之空氣量。

11. 一種烟道氣之分析。其容積之百分數如下: CO_2 , 8%; CO, 0%; O, 14%; N, 78%。所用之煤之元素分析為 C, 80%; H, 5%; O, 3%; N, 1%。求所用過量空氣之百分數。

12. 某鍋爐房所燃燒之煤, 其元素分析之結果為 C, 75%; H, 5%; O, 8%, 倘燃燒時實際所用之空氣量為理論上應用之空氣量之兩倍, 若用歐塞提儀器分析其所生之烟道氣, 問其結果應如何? 燃燒時所生之水分, 在此種儀器不能表現。

13. 一種煤之元素分析為 C, 90%; H, 1%; O, 2%。倘因燒火方法不適宜, 致使所含炭質之 15% 不燃燒為 CO_2 而燃燒為 CO。而採用此種煤之動力廠假定全年開工 360 日, 每日工作 24 小時, 每小時燒煤 50 噸, 每噸價洋 10 元。試求因燒火方法不適宜, 每年所損失之錢數(每噸按 2,000 磅計算, 下同)。

14. 某動力廠每年用煤 10,000 噸。煤之元素分析如下: C, 75%; H, 5%; O, 12%。倘因燒火方法之改良, 將燃燒炭質為 CO 之百分數由 15% 減至 5%, 問所省煤之百分數為何?

15. 某鍋爐房烟道氣分析之結果為 CO_2 , 5%; O, 12%。所用煤之元素分析為 C, 80%; H, 4%; O, 6%。全廠每年開工 300 日, 每日用煤 30 噸, 每噸價洋 9 元。烟道氣之溫度為 500°F , 鍋爐房之溫度為 70°F 。倘燒火方法有相當改良, 使烟道氣之分析為 CO_2 , 12%; O, 5%; 問全年所省之錢數為何?

16. 某種煤之元素分析為: C, 80%; H, 5%; O, 3%; N, 1%。倘燃燒時實用之空氣量較理論上應用之空氣量多 30%, 問理論上燃燒之溫度。鍋爐房之溫度為 70°F 。

17. 某鍋爐房烟道氣由歐塞提儀器分析之結果為: CO_2 , 6%; O, 14%; 其餘為 N。求過量空氣之百分數。

18. 某鍋爐中所燃燒之煤, 其元素分析為: C, 80%; H_2O , 4%。其烟道氣之分析為: CO_2 , 6%; O, 14%; N, 80%。問燃燒每磅煤曾供給若干標準立方呎之乾空氣。

19. 一種烟道氣之分析, 其容積之百分數為: CO_2 , 12%; O_2 , 7.5%;

其餘爲 N_2 ，倘煤中含有炭質 68%，試求燃燒 1 磅煤所用過量空氣之百分數，及理論上應用之空氣量。

20. 某鍋爐房之烟道氣分析，其容積之百分數爲： CO_2 , 14%； CO , 2%； O_2 , 5.3%；其餘爲 N_2 。所用之煤之元素分析爲： C , 75%； H_2 , 6%。每磅之發熱量爲 13,800 英熱單位。求燃燒之溫度。



第六章 鍋爐 (Boilers)

94. 鍋爐之分類 現在應用最多之鍋爐，按燃料燃燒後火焰所行之道路，分爲火管式鍋爐 (fire-tube or tubular boilers) 與水管式鍋爐 (water-tube or tubulous boilers) 兩大類。在火管式，火焰在多數之管內通過，周繞以水。在水管式，則火焰圍繞於多數水管之外。又兩類之中，按其鍋殼安置之位置係垂直或係水平，又可分爲立式 (vertical) 與臥式 (horizontal) 兩種。

火管式按燃料燃燒所在之地位，又可分爲外火鍋爐 (externally fired) 與內火鍋爐 (internally fired) 兩種。在外火鍋爐，燃料燃燒完全在鍋爐之外。而由一磚臺約束之，此種鍋爐多用於固定之工廠以內。內火鍋爐則用於機車及輪船者爲最多。燃料燃燒，完全包含於鍋殼之中。且無用磚臺之必要。就製造之原價言，此種鍋爐較外火鍋爐貴。

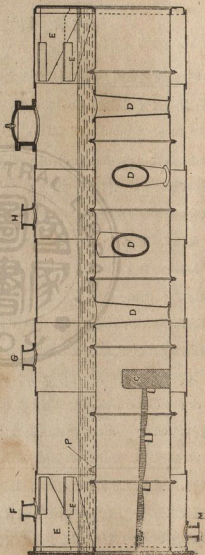
又就應用之地點言，有時分爲陸地鍋爐 (land boilers) 與船舶鍋爐 (marine boilers) 兩種。就長期固定或可以任意移動言，有時分爲固定鍋爐 (stationary boilers) 與輕便鍋爐 (Portable boilers) 兩種。

95. 科尼士 (Cornish) 與蘭開施 (Lancashire) 鍋爐 此兩種均係內火鍋爐，臥式中最簡單者也。外部有長鍋殼一個，中貫爐管。在科尼士鍋爐，爐管之數爲一。在蘭開施鍋爐，爐管之數爲二。爐管之前段，自爐門以及磚壩 (bridge) 爲燒火處。中置爐箆。逾磚壩爲內烟道 (flue)。內烟道之後端，與底烟道通。底烟道之前端，復分爲左右兩烟道。左右烟道之移

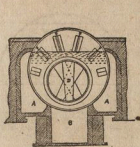
端再通於烟筒。烟氣之經路亦順此程序。如此裝置，鍋爐全體自水面以下，幾全為受熱面 (heating surface)。較新式者，更有短管三四，橫置於內烟道。並使彼此傾斜之方向互相錯開。名曰加羅威管 (Galloway tube)。於受熱面之增加及水之交流均有補助。

第二七圖及第二八圖為科尼士鍋爐之縱斷面與橫斷面。A A 為左右兩烟道。B 為底烟道。C 為磚壩。D 為加羅威管。E 為牽條 (stays)。F 為置安全瓣處。G 為安汽管處。H 為安低水安全瓣處。M 為裝洩水管處。P 為易熔塞。

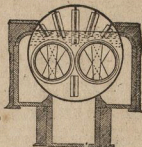
第二九圖為蘭開施鍋爐之橫斷面。除具有兩個爐管外，其他均無甚差異。又在科尼士鍋爐，爐管直徑約當鍋



圖中二第



第二八圖

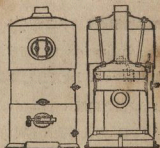


第二九圖

殼直徑之半。在蘭開施鍋爐 爐管直徑約當鍋殼直徑十分之四。

96. 簡單立式鍋爐 (Simple vertical boiler) 此種鍋爐之構造，略如第三〇圖所示。外部為圓筒狀之鍋殼。內部為筒狀之爐管。爐篦及灰腔則在最下部。自爐管之頂端以達鍋殼之頂端，有直立之管一個。謂之揚管 (uptake)。燃氣由此直達烟筒。又有橫管三二，橫置於爐管之上部。其利益有三：(一)增加受熱面；(二)補助水之交流；(三)增加爐管之強力。各橫管之位置恆微行傾斜，以便水之交流。

爐管之上部，有牽條五六，直連鍋殼頂部。在鍋殼上與各橫管底端相對處各有手孔 (handhole) 一。鍋殼之前上部，更有進入孔一。以便清理鍋殼內部爐管外部及橫管內部之水銹 (scale)。安全瓣及蒸汽管等，則裝置於鍋殼之上部。



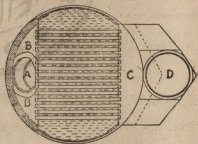
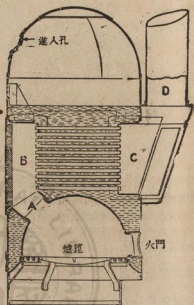
第三〇圖

97. 考克蘭鍋爐 (Cochran boiler)

此種鍋爐屬於立式，火管式及內火

式。其構造略如第三一圖所示。鍋殼與爐之頂部幾均成半球形。因如此裝置，用同一重量之鋼板，不但內部所包之容積或空間比較最大，且抵抗力亦比較最強也。燃氣由爐管發出，先向上行，經過短管 A 而入於燃燒室 B。再經過多數橫置之火管而達於烟箱 (smoke box) C。最後再歸於烟筒 D。又燃燒室鍋殼一邊由耐火磚鑲之。

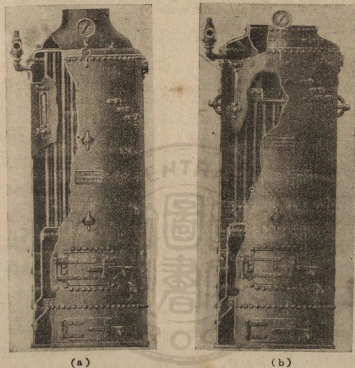
98. 立式火管鍋爐 (vertical fire-tube boiler) 此種鍋爐亦屬立式，火管式及內火式。與前段所述者不同之點，只將橫置之火管改為立置之火管一項。其構造如第三二圖 (a) 與 (b) 所示。具一垂直之筒狀殼。下端為爐管及灰腔。火箱 (fire box) 被一筒狀水環或水腳 (water leg) 所繞。多數火



第三一圖

管由爐頂之帽板 (crown sheet) 直連鍋爐上部之管板 (tube sheet)。管板之地位，因式樣彼此不同；有浸入水中者，如第三二圖 (b)。有高出於水面外者，如第三二圖 (a)。燃氣由爐中或火箱中直經火管至鍋殼之上

部。然後歸於烟筒。



第三二圖

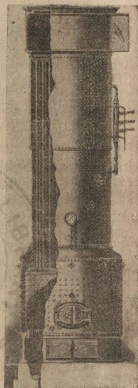
本段及前兩段所述之小立式鍋爐，其優點為占地面小，價值較低。惟就效率言，比較不經濟。存蒸汽之空間小，且比較不易清潔。

又因此數種鍋爐皆係內火式，故鍋殼不受火力侵蝕之影響。若鍋殼與火焰直接接觸，此種影響實屬難免。因此之故，鍋殼之材料可以酌為加厚。利用高壓蒸汽之範圍，可因之提高。

第三三圖，表示一滿寧 (Manning) 立式鍋爐。較前述數種均大。其

水面約在頂端以下三四呎之處。各管之上端遂變為過熱面(superheating surface)。此種較大之立式火管鍋爐，比較優點甚多：(一)每鍋爐馬力所占之地方較小；(二)因爐管面積及存汽之空間增大，無小立式鍋爐之劣點；(三)有利用高壓蒸汽及過熱蒸汽之可能。

99. 臥式回管鍋爐(Horizontal return tubular boiler) 此種鍋爐屬臥式，火管式。惟係外火式。其構造略如第三四與三五兩圖所示。全部由一磚臺包圍之。爐管G位於鍋殼之外。在鍋殼前下方前面磚牆與磚牆B之間。煤在爐管上燃燒。燃氣沿鍋殼之下面由前向後行。先入於後面之燃燒室(combustion chamber)C。再由鍋殼內之多數火管T回於前方。再經烟管S而歸於烟筒。S在鍋爐磚臺之前上方。

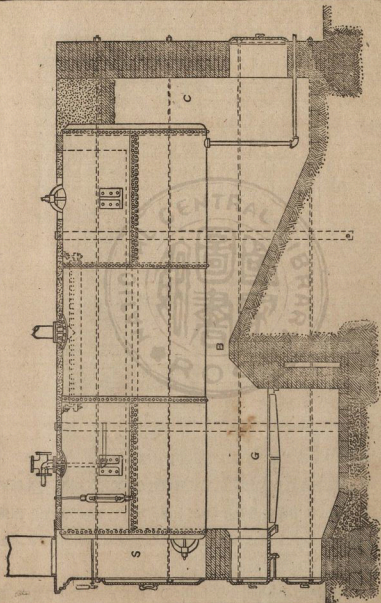


第 三 三 圖

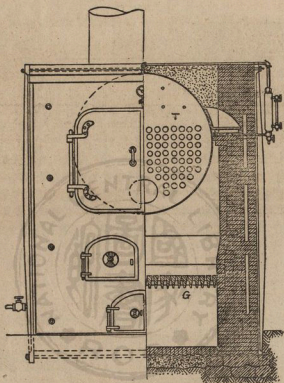
在此種鍋爐，普通多備兩個進入孔。一在鍋殼之前面火管之下。一在鍋殼之上方。

此種鍋爐恆裝置於磚臺之中。當建築磚臺時，應特別留意。磚縫透氣須特別免避。因若有縫透入冷空氣，於鍋爐之效率影響甚鉅也。

又有八主張在牆之中心備一二吋厚之空間，一面使熱之外傳較難，



第三四圖

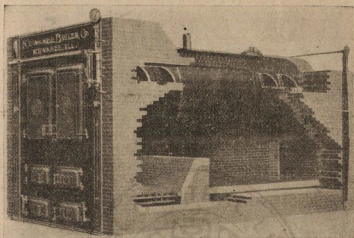


第三五圖

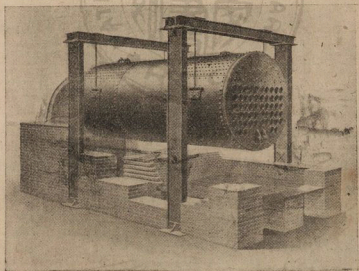
一面並阻止外面冷空氣之滲入，致使爐中之燃氣變冷。

第三六圖表示此種鍋爐在磚臺放置之情形。又此種鍋爐，每先懸於一鋼製之架上。周圍再築磚臺。如第三七圖所示。此種裝置法較佳。因磚臺之力常較弱，改此裝置，則鍋爐之重力不及於磚臺。磚臺所受之力遂甚小，不致發生裂縫等弊矣。

100. 機車鍋爐 (Locomotive boilers) 機車鍋爐，就外形言之，屬

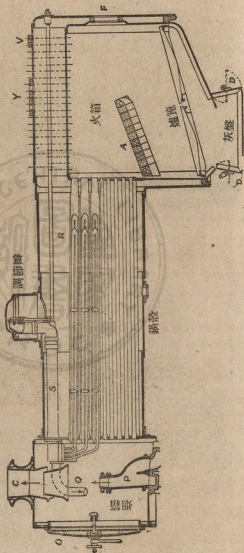


第三六圖



第三七圖

於臥式。就內部之構造言之，屬於火管式及內火式。其構造約可分為四大部分：（一）鍋殼本體，其構造略似科尼士等臥式鍋爐。惟兩端之構造不同。（二）火箱(fire box)，位於鍋殼之後端，普通皆係長立方形。在此一部之鍋殼，亦與之具同樣之形狀。惟中間留一部空間，滿繞以水，作成所謂水腳(water legs)者。（三）烟箱(smoke box)，位於鍋殼之前端。上置一短烟筒。（四）火管(fire tubes)，縱互於鍋殼之內。（兩端裝置於火箱與烟箱之兩管板(tube plates)上。



各部之構造略如第三八圖所示。

圖中F爲爐門。燃料由此加入傾斜之爐篋上。爐篋之前上方，有一耐火磚所製之拱(arch) A。使爐篋向上發出之燃氣多一曲折。一面使燃燒比較完全。一面使與火箱大部之受熱面接觸。以便吸收其熱力。燃氣經曲折後即入於多數火管。圖中所示者，共有直徑 $1\frac{1}{2}$ 吋之管 157 個。直徑 $5\frac{1}{2}$ 吋之管 24 個。在各大管之中，各裝有過熱管一組。燃氣經過各管後，即入於烟箱 C。再由烟筒逃散於大氣。

通風之力係利用汽缸內排出之乏汽。經過鼓風管(blast pipe) P 而排於烟筒。P 之周圍，更裝置一多孔之空環。當無乏汽可以利用時，即由鍋爐直接供以新汽，幫助通風(圖上未完全表出)。停汽瓣(stop valve)，在機車上多稱之爲調節瓣(Regulator)，位於汽包(dome)之內。在車棚內即可由一桿 R 開關之。

蒸汽由調節瓣經過汽管 S 而入於汽頭(header) H。由 H 入過熱管。由過熱管復歸於 H 之另一部。再經過兩邊之汽管 Q 而達於汽缸。

又 O 爲烟箱之前蓋。Y 爲裝置安全瓣處。V 爲裝置汽笛(whistle) 處。D D 爲灰盤前後之兩活門。可由車棚內經過槓桿連桿等以開關之。以便調節風力，或去灰渣。

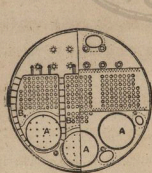
又火箱周圍及其頂部，均由牽條以連於鍋殼。

與他種內火式鍋爐相同，燃氣與鍋之外殼並不接觸。此點能使此種鍋爐用於較高之汽壓。在打穀(Threshing)，排水，碾道及其他可移動之鍋爐，亦多採用此式而稍加以改變。有時亦用作固定鍋爐。特別爲暖室用而所占地面宜於縮小之時。

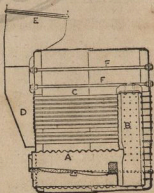
101. 船舶鍋爐(Marine boilers) 船舶鍋爐，亦火管式及內火式中之一例。其構造約分爲五大部：(一)鍋殼；(二)爐管；(三)內燃室；(四)回管；(五)烟筒。鍋殼由三數段筒狀鋼板連綴而成。其體長較普通臥式鍋爐短。其直徑則較大。爐管之數以二個或三個者爲最多。亦有用四個者。內燃室在爐管之後上方。其形略似立箱。周圍亦用許多牽條連於鍋殼。在爐管之上部，復有多數回管。一端連於內燃室。一端通於揚管。回管之上，復有牽條數根。直連鍋殼之兩端。燃氣由爐管先至內燃室。再由內燃室經過回管以達於揚管。然後入於烟筒。排於空氣。

又船舶鍋爐有單頭(single ended)與雙頭(double ended)之分。單頭者僅一端有爐管。由一端燒火。雙頭者則兩端各有同數之爐管。由兩端燒火。內燃室有各自分離者。亦有合而爲一者。燃氣由回管送於兩端。再由揚管合於一烟管。有時更有將四個單頭鍋爐合於一烟筒者。

第三九圖及第四〇圖，表示 單頭船舶鍋爐之橫斷面與縱斷面。第

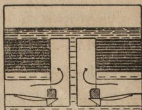


第三九圖



第四〇圖

四一圖表示一雙頭船舶鍋爐主要部分之縱斷面。內燃室係各自分離者。



一圖

102. 火管式鍋爐應用上之限制 第三四至第三七四圖所示之火管式鍋爐，其應用頗有一定之限制。因其構造係使燃料在鍋殼之外燃燒，鍋殼之內則存較冷之水。使鍋殼之兩面發生甚大之溫度差。鋼板內遂

因之發生相當之變形 (strain)。如鍋殼之鋼板愈厚，其兩面之溫度差必愈大。而製造時由鋼板碾為筒狀，欲使其各部物料均勻一律比較愈難。故實際上欲得到較好之結果，鋼板之厚以不使超過 $\frac{1}{2}$ 吋至 $\frac{3}{4}$ 吋為最佳。此種鋼板厚度之限制，自然對於鍋爐之直徑與所能用之蒸汽壓力，亦加以限制。故普通論之，此種鍋爐其表壓力以不使超過每方吋 125 磅至 150 磅，馬力數以不使超過 125 為宜。雖晚近以來，有製成 300 或 400 馬力者，然非通例也。

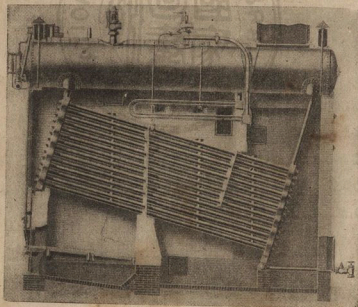
多數新式工廠，蒸汽之壓力多用至每方吋 150 磅以上。故此種火管式鍋爐實不適用。且因每一鍋爐之馬力數既不宜超過 125，倘全廠需用之馬力數較大，則所需鍋爐之數目必太多。例如全廠所需之馬力數為 50,000，倘用此種鍋爐，則鍋爐之數目須為 400。鍋爐數目既如此其多，則其所占地面或使此工廠之建築上發生極大之困難。

內火式鍋爐受所用汽壓高低之限制，不若外火式之甚。因在內火式鍋爐，其火焰不直接與鍋殼接觸。故鍋殼可比較加厚。鍋殼加厚，其馬力數遂可使較外火式者加多。惟在此種鍋爐，因購置費及修理費均比較

高，故在陸地固定之鍋爐採用者較少。

103. 水管式鍋爐 因增高汽壓與增大一鍋爐之馬力數之兩種需要，遂使水管式鍋爐由之發達。晚近以來，所有大動力廠幾乎完全採用水管式。其原因有下列三項：(一)可採用高汽壓；(二)比較占地面小；(三)工作安全。在市場上製造水管式鍋爐者家數甚多，因之式樣之種類亦甚夥。茲擇要述之如下。

104. 拔柏葛鍋爐(Babcock and Wilcox boiler) 第四二圖表示拔柏葛鍋爐主要部分之構造。大體可分為四大部：(一)汽水筒(steam and water drum)；(二)斜水管；(三)前後聯管與聯箱(header)；(四)爐。汽



第四二圖

水筒與普通臥式鍋爐之鍋殼無大差異。底部前後兩端各由聯管與斜水管通。聯管與斜水管相接處，復各有聯箱一。爐則在斜水管之前下部。

由爐篋上發出之燃氣，繞經各管，先受壩牆(bridge wall)上各管間之阻牆(baffle wall)所折，使向上行。再受另一阻牆所折，繞各管下行，而達於壩牆之後方。然後復向上行，經過各管。或由磚臺後壁上之烟門以達於烟筒。或繞汽水筒之後部上行以達於烟筒。

管中之水，當受熱時，即向管之上部或前端而升，經前聯箱與聯管而升入汽水筒。蒸汽由水內分出。水又流向筒之後方。復經後聯管與後聯箱下行而入於各水管。給水(feed water)之排入鍋爐，係經過筒前端之一管而入。向後延長約當筒長三分之一之處。

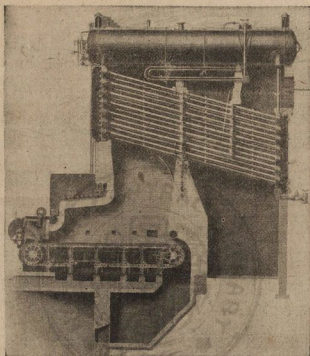
此種鍋爐對於利用高壓力之工作結果甚佳。具有廣大之蒸汽離水面與容納蒸汽之空間。

第四三圖表示裝置鍊篋添煤器(Chain grate stoker)之拔柏葛鍋爐。與前圖所示者不同之點有二：(一)爐篋以上至水管之空間較大。宜於燃燒揮發物較多之煤。(二)前後聯管及聯箱，改為垂直者。

又拔柏葛鍋爐普通製為兩種式樣：(一)縱筒式(longitudinal drum type)；(二)橫筒式(cross-drum type)。縱筒式如第四二與第四三兩圖所示。橫筒式，則如第四四圖所示。又第四四圖所示之鍋爐，其爐係以油為燃料者。

又在兩式之中，聯管與聯箱，均可製為直者。與汽水筒垂直。亦均可製為斜者，與水管垂直。

第四五圖表示聯箱之構造及各水管之排列法。使互相錯開，以期燃

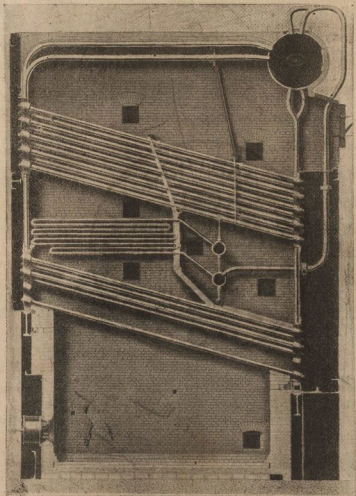


第四三圖

氣經過時不致互相妨礙。聯箱按鍋爐壓力之大小，或用熟鋼製。或用生鐵製。大致壓力如超過每方吋 160 磅時，即多用熟鋼。

又在第三六至三八三圖所示者，均裝有過熱器。在前兩圖，位於各水管之上部。在後一圖，位於各水管之中間。蒸汽由鍋爐發出。使先經過過熱器。然後再用於蒸汽機或汽輪。

105. 海音鍋爐 (Heine boiler) 第四六圖表示一海音水管式鍋爐之構造。與拔柏葛鍋爐不同之點：(一)汽水筒前高後低。微行傾斜。(二)



第四四圖

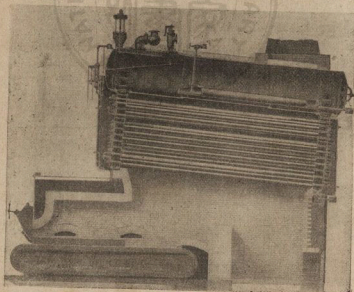
阻牆與水管之方向平行。但亦有製為橫行者。

(三 水入鍋爐之裝置，係一種特別計畫。

圖中所示者，係採用一種鍊篋添煤器。且爐篋之上有較長之磚拱及較大之燃燒室。故宜於燃燒揮發物較多之烟煤。與水管平行，裝有三個阻牆(baffle walls)。上部與下部者，均係由前向後。在後部留有一部空隙。中部者係由後向前，在前部留有一部空隙。燃氣經過磚拱，上升為下部阻牆所阻。遂逾過壩牆，入於燃燒室。在燃燒室內達到完全燃燒之程度。然後由下部阻牆之



第四五圖



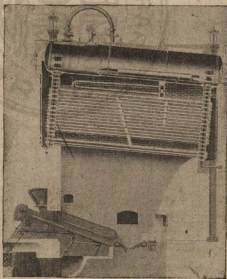
第四六圖

後方上升。再向前行，圍繞各管平行前進。復至鍋爐之前端。再由中部阻牆之前方上升。重向後行。圍繞上部各管平行向後。最後始繞鍋殼而歸於烟筒。

水入鍋爐之裝置，如圖上所示。係由一管排入鍋爐後，先入於一斜置之筒之前端。此筒謂之內泥筒 (internal mud drum)。然後沿其底部緩緩後流。使不潔之物質均沈澱於其內。水變熱後，遂上升而沿筒之上部向前流出。自此以後，水之交流係先向鍋爐之後方。下行入於後水腳 (rear water leg)。經過各管達於前方。再由前水腳 (front water leg) 上升而復歸於鍋爐。蒸汽之大部，係發生於各管中。然後由水攜帶，自前水腳上升而入於鍋爐。

海音鍋爐亦有製為橫筒式者。又無論在橫筒式與縱筒式，阻牆之方向有與水管平行者。亦有製為橫行者。惟在橫筒式，阻牆更製為橫行，直與拔柏葛鍋爐之橫筒式者無大區別矣。其情況如第四七與四八兩圖所示。

106. 斯忒林鍋爐 (Stirling boiler) 第四九圖
表示斯忒林鍋爐之構

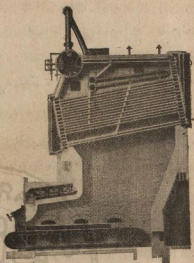


第四七圖

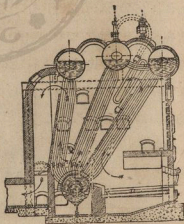
造。共含三個橫置平行之汽水筒與一泥水筒 (mud drum)。由多數水管聯絡之。各水管兩端入鍋殼處之方向，係與殼板垂直。水管如此彎曲，使水管易於脹縮。且對於因脹縮所生之危險，防止上亦為有效。前中兩汽筒，在水面之上，由彎曲之平衡管連之。水線以下，亦由弧形之曲管連之。中後兩汽筒，則只由水面上之平衡曲管連之。

由三排水管所生之蒸汽，均歸於中汽筒。此汽筒較其餘兩汽筒之位置稍高，使容納蒸汽之空間比較增大。蒸汽再由此出總汽管以達於過熱器。至安置總汽管之地點，則在中汽筒上部任何處均可。

安全瓣位於中汽筒之上方。給水管則經過後汽筒之上方，入於一槽中。水得藉之以分配於全筒之各部。洩水管 (blow-off pipe)



第四八圖



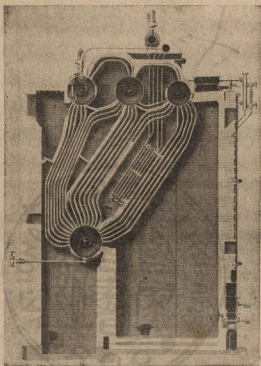
第四九圖

則連於泥水筒下部之中心。經過磚牆上之一管通出，洩水瓣即恰位於出牆之一部。水平管位於鍋爐前面之一邊。連於中汽筒之一端。給水排入後汽筒以後，經過後排水管，向下行流至泥水筒。然後上行，經過前排水管至前汽筒。當經過前排水管向上行時，管中所生之蒸汽在汽筒中即與水分開。再經過上層平衡管而入於中汽筒。然後再歸於總汽管。前汽筒中之水，則由下層弧形曲管流入中汽筒。再經過中排水管下行而入於泥水筒。由此處復歸於前排水管而上行。在後排水管所生之蒸汽，亦經過橫管而歸於中汽筒。當給水沿後排水管下行時，因受熱之故，水銹物質 (scale making matter) 多沈澱聚集於後排水管與泥水筒之中。每隔相當時間，即加以洗滌。

燃氣則恰按一相反之方向而行。離爐篋以後，受磚拱所折，阻礙所阻，先沿前排水管折向上行。直至前汽筒之下部，然後沿中排水管下行。迨後又折而向上。沿後排水管而達於後汽筒之下部。復折而下行，歸於烟筒。各汽筒及泥水筒與相連之各管，係由一鋼製之架支持之。建築於磚牆之內。故磚牆之應用，僅在約束熱氣。不致因鍋爐之重而發生變形。四筒之一端，各有一進入孔。將進入孔之擋板移去，人可入內清理。

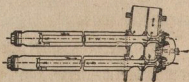
就水與燃氣所經之路線言，此種鍋爐可謂代表一種理想的對流。即最冷之氣與鍋爐內最冷之水接觸。最熱之氣與鍋爐內最熱之水接觸。

第五〇圖表示一種最新式之斯忒林鍋爐。將三個汽筒置於同一之平面上。蒸汽由一乾汽管 (dry pipe 見後) 自後汽筒引出，再入於過熱器之汽頭 (header)。安全瓣置於後汽筒與過熱蒸汽之汽頭上。



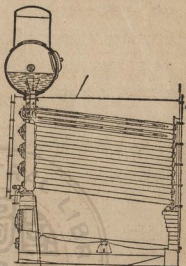
第五〇圖

107. 尼克勞塞鍋爐(Niclausse boiler) 此種鍋爐之特點，在其水管之構造。略如第五一圖所示。於直徑較粗之水管內，復置一細水管。再由聯箱達於汽筒。聯箱之中由隔壁分為廣狹二部。較寬之部與粗水管直接相通。較狹之部與細水管直接相通。此種水管謂之界管(field tube)。鍋爐全體之構造，略



第五一圖

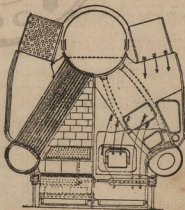
如第五二圖所示。置多數傾斜界管於汽筒之下。在下部燃火。界管因周圍受熱，其內部之溫度，周圍較高，中間較低。故發生一種交流。較冷之由汽筒下降，經過聯箱較狹之部而入於細水管。再轉入粗管周圍，受熱後再經過聯箱較寬之部而達於汽筒。此種鍋爐在法國海軍上應用頗多。



第五二圖

108. 雅洛鍋爐 (Yarrow boiler)

雅洛鍋爐之構造，略如第五三圖所示。有汽筒一。水管二。並由多數細水管聯絡之。每管之直徑僅一吋左右。水管兩端之連接處鋼板較厚。燃火處在各細管之下。溫度較高之熱水由細管上升，再由外部較粗之管下降，以成交流。亦有不備粗管，熱水只由受熱較多之管上升。更由受熱較少之管下降者。



第五三圖

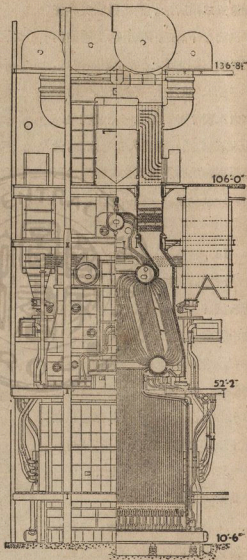
又燃氣經過細水管後，由左右二揚管上升，會於烟筒。在左右二揚管之上部，復有空氣預熱器 (air

preheater)。爐中所用之空氣，先經空氣預熱器以增其溫度，然後再入爐中。因之燃燒較強。又此種鍋爐，有由一端燃燒者。有由兩端燃燒者。此圖所表示者，係由一端燃燒者。

109. 春 田 鍋 爐

(Springfield boiler)

此種鍋爐之構造，大體與拔柏葛橫筒式鍋爐無甚差異。只其給水裝置微有不同耳。其構造略如第五四圖所示。給水係先排於總汽水筒(main drum)中之給水盤(feed-pan)中。水銹物質之大部遂沈澱於此及各管最下部之泥水筒(mud drum)中。且兩部均備有排出裝置blow-



第五四圖

off connections)。故所有沈澱，可由之排出。

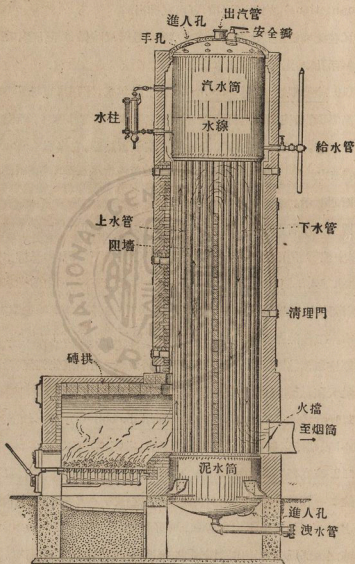
又在此種鍋爐，各水管皆係直形者。且裝置時係每手孔對四水管。即開一手孔之蓋，可清理四水管也。

110. 賴德鍋爐 (Ladd boiler) 近十數年來，因採用煤粉為燃料並利用高壓蒸汽，使鍋爐之計畫頗有顯著之進步。就其外形言，就支持鍋爐之建築言，均與從前不同。且均附有空氣預熱器，省煤器 (economizer)，加力通風與引誘通風等裝置。賴德鍋爐可為一代表。其構造略如第五四圖所示。

圖上所示者，係一多筒 (multi-drum) 或雙組 (double-set) 賴德鍋爐。以中線為界，兩邊之裝置完全相同。每邊有上下兩筒。由三排水管連之。給水加入下筒。由後排水管上升。由中排水管下降。再由前排水管上升。蒸汽升入中間公共之汽筒中，再行外出。下部係燃燒煤粉之爐。每邊各備有空氣預熱器及省煤器。上部係四個風扇。兩個司加力通風。使空氣先經空氣預熱器再入爐中。兩個司引誘通風。使烟氣先經過省煤器，再排於大氣。近來大動力廠及總發電廠多採用之。

111. 立式水管鍋爐 (Vertical water-tube boilers) 當一工廠之地面較小時，則恆以採用立式水管鍋爐為宜。茲擇述數種如下：

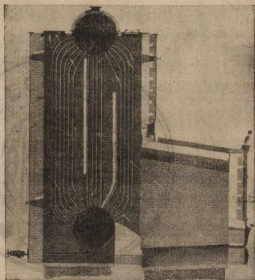
112. 魏克斯 (Wickes) 鍋爐 此種鍋爐之構造，略如第五五圖所示。爐筒位於一較長之磚拱之下。在鍋爐磚臺之前方另成一部。燃氣由爐中發出。先向上行。經過水管之前半。再折而向下，經過水管之後半。最後由鍋爐之後部近泥水筒處離開鍋爐。鍋爐部分之組織，甚屬簡單。上部係一汽水筒。下部係一泥水筒。中由多數直水管連之。用一阻牆將水管



第五五圖

分爲兩部。一部謂之上水管 (risers)。一部謂之下水管 (downcomers)。管中之水在兩部對流之方向與燃氣經行之方向相同。此種鍋爐發汽甚速。占地面甚小。

113. 耳賴西蒂 (Erie City) 鍋爐 此種鍋爐之構造，如第五六圖所示。上下兩筒，由三排水管連之。並由兩阻牆以引導燃氣之經路。使燃氣所經之路線，如圖上矢標所示。又在此種鍋爐，有一穿孔之給水管位於上筒之中。引導排入之水，使之由後排水管下行。生銹物質遂沈澱於下筒之內。下筒之水由前水管上升。在上筒內對前排各管之上端，懸一阻板 (baffle plate)。作成一不受擾動之存汽空間。再由一穿孔之乾汽管收集之以達於外部。



第五六圖

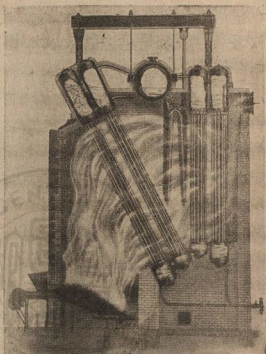
114. 柏葛婁杭司卑鍋爐 (Bigelow-Hornby boiler) 此種鍋爐之構造，略如第五七圖所示。給水由上面後筒加入。經後管下行。再由前管上升。結果使水在與前面較熱之面接觸以前，先與較冷之面接觸。

每一筒各有一進入孔。可自由進入一組管之套箱中，以便清潔各

管。因各管均係直形，故由一端可直見彼端。不待進入鍋爐之中，即可將各管加以清潔。

在各管外聚集之烟子，可用一空氣或蒸汽噴射器將其噴下。落於筒下灰腔中及牆壁之後部。

蒸汽由各筒套箱之上部發出。再歸於總汽水筒中而達於外部。



第五七圖

115. 筒狀鍋殼之力 (Strength of a cylindrical boiler shell) 一鍋殼當受有內部壓力時，或沿一縱斷面破壞。或沿一橫斷面破壞，茲分別考察之如下：

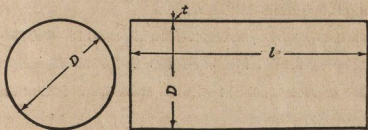
如第五八圖。

設 D = 鍋殼之內直徑，以吋計。

l = 鍋殼之長度，以吋計。

t = 鍋殼之厚度，以吋計。

f = 沿縱斷面之抗牽應力 (Tensile stress)，以每方吋若干磅



第五八圖

計。

P = 蒸汽之壓力，以每方吋若干磅計。

則對於鍋殼一半之總壓力等於 $P D l$ 磅。此即使鍋殼沿縱斷面破壞之力。

縱斷面鋼板之全面積為 $2l$ ，其抵抗破壞之力則為 $2l f_c$ 。

$$\therefore 2l f_c = P D l,$$

$$\text{或 } 2f_c = P D,$$

$$f_c = \frac{P D}{2} \dots \dots \dots (1)$$

對於鍋殼橫斷面之總壓力等於 $\frac{\pi D^2}{4} P$ 磅。此即使鍋殼沿橫斷面破壞之力。

橫斷面鋼板之全面積為 $\pi D t$ (極近似，因板厚與鍋殼直徑相較，恆屬甚小)。其抵抗破壞之力則為 $\pi D t f_c$ 。

$$\therefore \pi D t f_c = \frac{\pi D^2}{4} P.$$

$$\text{或 } f_c = \frac{D P}{4 t} \dots \dots \dots (2)$$

式中 f 代表沿橫斷面之抗牽應力。

由第(1)與第(2)兩式觀之,可知在同一直徑,同一壓力,同一材料且同一厚度之鍋殼,沿縱斷面所生之抗牽應力為沿橫斷面所生抗牽應力之二倍。易言之,即在同一之鍋殼,沿縱斷面被破壞之力為沿橫斷面被破壞之力之二倍也。

下列兩項事實,係根據此結果而生:

(一)鍋殼縱行鉚釘;恆用對接(butt joint),並加搭飯(butt straps or cover straps)。橫行鉚釘,則只用搭接(lap joint)。

(二)鍋殼上之進入孔,因係橢圓形,故恆係橫置。

又無論就第(1)或第(2)式觀之,倘所用製造鍋殼之材料之抗牽應力有一定,則所用之汽壓 P 與鍋殼之厚度成正比,與鍋殼之直徑成反比。但在火管式外火式鍋爐,火直接與鍋殼之外部接觸。若失之太厚,則傳熱難而易燒壞。若厚度有一定之限制,其直徑即受一定之限制。故火管式外火式鍋爐之馬力數不能甚大也。在內火式與水管式,因火不直接與鍋殼接觸。或至接觸時其溫度已降至甚低。故鍋殼可以任意加厚。此火管式內火式鍋爐之馬力數之可以較大,而大多數之總發電廠或總動力廠之所以多採水管式鍋爐也(現拔柏葛鍋爐廠所製水管式鍋爐,其鍋殼之厚度有至 $4\frac{3}{8}$ 吋者。其汽壓為每方吋1,400磅)。

116. 鍋殼之構造 鍋殼之構造,普通多係由數段筒狀鋼飯連綴而成(厚度在2吋以上,多由一鋼錠加熱壓成)。取長方鋼飯,先用彎飯機(Plate bending roll)碾為筒狀。用對接法連其兩端。上下各置搭飯一,以增其力。然後再將各筒用搭接法連於一處。最後加首尾兩飯,即成鍋

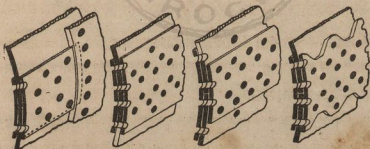
殼。惟須注意下列三點：(一)各筒縱行鉚釘處，不宜列於一行。(二)各筒縱行鉚釘，宜使偏於上部，以避燃氣(在內火式無此關係)。(三)各筒須交替增減其直徑，以便搭接。其差為板厚之二倍。

各筒搭接時，有用一行鉚釘者。有用兩行鉚釘者。亦有用三行鉚釘者。如第五九圖所示。



第五九圖

每筒對接時，則如第六〇圖所示。最左一圖，更表示對接以後再與他筒搭接之情形。一面使上面搭板最外之一段變薄，使嵌入另一筒相當之缺口中。



第六〇圖

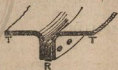
至首尾兩板之連接法，則如第六一圖所示。圖中 S 表示鍋殼圓筒之一端。E 表示一端之板。



第六一圖

117. 爐管 (furnace tubes) 之構造 在科尼士，蘭開施及船舶鍋爐等，恆含有一個或數個爐管。爐管設於每管之前段。爐管之直徑由 2 呎至 4 呎不等。其構造有兩種：(一)平管，(二)綫紋管 (Corrugated tube)。

平管之構造，係由數段筒狀鋼板連接而成。取長方鋼板，用彎板機碾為筒狀。接頭處鍛合於一處。筒之兩端使向外伸出。各作成一凸緣。筒與筒接連時，復置一鋼板環於其中。再用鉚釘連於一處。其情況如第六二圖所示。所以必多用一環者，以易使兩段筒得嚴密之接合也。此種裝置其利益有二：(一)鉚釘均在水中，不直接受爐火之熱力。故比較不易傷損，(二)筒之兩端向外彎曲部分稍具伸縮之餘地，以應溫度變化時爐管之伸縮。圖中 T T 表示兩筒之各一端。R 表示鋼板環。



第六二圖

綫紋管係將爐管之全部碾成多數之綫紋。其容納全管因溫度變化而伸縮之彈性更大。在船舶鍋爐上恆採用之。綫紋之種類，則有四種。如第六三圖所示。

(a) 福克斯綫紋 (Fox's corrugations),

(b) 莫理遜綫紋 (Morison's corrugations),



第六三圖

- (c) 戴頓 綫紋 (Deighton's corrugations),
 (d) 懸球狀 綫紋 (Suspension bulb corrugations)。

第六四圖，表示爐管與鍋殼首尾兩板連接之情形。圖上 T 表示爐管之一端。E 表示鍋殼兩端之板。



第六四圖

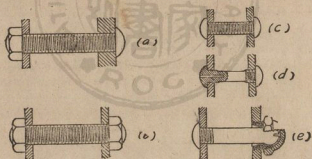
118. 鍋爐牽條 (Boiler stays) 在各種鍋爐中，凡平板或微曲之板，多需用一種牽條以控制之。不使因受壓力及溫度變化而變形過甚。牽條最普通者有下列三種：

(a) 直牽條 (direct stays) 多用圓柱形鋼條，垂直連於所控制之兩板之間。

(b) 角桿牽條與角板牽條 (diagonal and Gusset stays) 多用圓柱形鋼條與平形鋼板，控制互成直角之兩部鋼板。

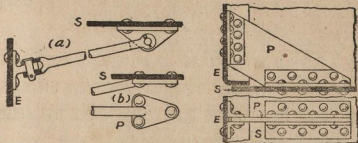
(c) 橫梁牽條 (Girder stays) 多用一橫梁夾於所欲控制之板之兩邊。並用螺釘 (bolts) 固定於其上。再用牽條連於他部。

直牽條種類甚多。最普通者如第六五圖 (a), (b) 及 (c) 所示。在機車鍋爐，連火箱四周之牽條，有時製成第六五圖 (d) 所示之情形。在牽條在鍋殼之一段上，中間鑽一小孔。牽條有被折斷之時，水即由孔中流出。工人即可覺察。牽條之近火箱頂者，每多折斷，因此處脹縮之變化較大也。又有一種活頭牽條，如第六五圖 (e) 所示。使牽條在火箱板上之一頭固定，在鍋殼上之一頭則製為球形，能在一螺絲帽及一螺絲環中活動。螺絲環上在鍋殼上。螺絲帽又上在螺絲環上。如此裝置，可免折斷之弊。



第六五圖

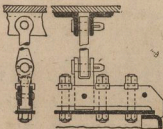
角桿與角板牽條，最普通之應用為連鍋殼兩端之平板於其圓筒上部之彎曲部。其情形如第六六圖所示。圖中 E 係鍋爐一端之平板。S 為鍋殼之圓筒。(a) 表示角桿。(b) 表示角桿上端之另一連法。P 表示角板。



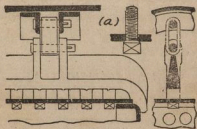
第六六圖

橫梁牽條如第六七圖所示。此圖係表示普通船舶鍋爐燃燒室之頂板連於鍋殼之方法。將熟鐵或軟鋼所製之橫梁，夾於燃燒室前後兩板之上。用數個螺釘連於頂板。再用牽條連橫梁於鍋殼之頂部。

第六八圖，表示一機車火箱頂部之橫梁牽條。其中 (a) 表示用螺釘連橫梁於火箱頂板之法。近年以來，在機車火箱頂部，此種橫梁牽條又有被直牽條代替之勢。因橫梁所占空間甚大，有礙於火箱頂上水之交流也。



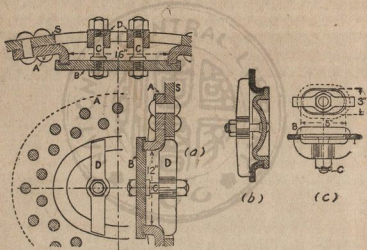
第六七圖



第六八圖

shells) 進入孔與手孔，皆所以清潔或考察鍋爐之內部者。用時則開。不用時則閉。

進入孔之構造，略如第六九圖(a)所示。圖中S為鍋殼之一部。製一橢圓孔。A為一環飯。由鉚釘固定於橢圓孔內。內緣向下彎曲。B為蓋飯。C C為螺絲釘。D D為橫桿。其裝置之法如圖所示。所以必用橢圓形者，以A B兩飯易於納入且適於人體之出入也。

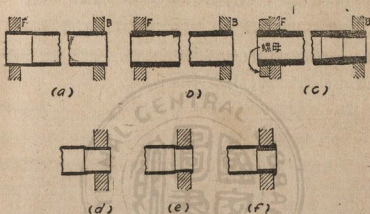


第六九圖

如進入孔裝置於鍋殼一端之平飯上，A環飯可以省去不用。將平飯上橢圓孔之內緣向下彎曲，再用一彎曲或平蓋飯即可。如圖上(b)所示。圖上(c)則表示一手孔或泥孔(mudhole)。其理與進入孔同。

120. 鍋爐管 (Boiler tubes) 在普通船舶鍋爐上，其管多為熟鐵管。若係採用加力通風(最通用者)，各管之外直徑多為2½吋。其長度由

7呎6吋至8呎3吋。約全管數之百分之六十八為平管(Plain tubes)。厚度約為0.16吋。各平管在最前端之直徑擴大 $\frac{1}{16}$ 吋。如第七○圖(a)所示。其餘為牽條管(Stay tubes)。即同時並有牽條之作用也。



第七○圖

牽條管兩端均有螺旋線。上於管板(tube plate)上之螺旋孔中。又前端有螺旋線之部分，係由管向外凸出。後端有螺旋線之部分，或係由管向外凸出，或係由管向內凹入。如圖中(b)與(c)所示。惟無論如何製法，後端螺旋線之頂端不能超過前端螺旋線之底部。因不如此則不能由一端嵌入也。每吋之線數為十。又在同一鍋爐之上，每用不同厚度之牽條管。最薄者為 $\frac{1}{4}$ 吋。最厚者普通為 $\frac{3}{8}$ 吋。為使前管板力量加強起見，有時在一部分管上(普通多係牽條管)另加一螺母。如圖中(c)。惟只加於前端。

在機車鍋爐管，其直徑最小在 $1\frac{1}{4}$ 吋以下者極少。用2吋者最多。有

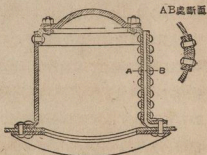
時亦有用 $2\frac{1}{4}$ 吋者。管之材料，在英國及歐洲大陸諸國，用黃銅者最多。但紅銅、熟鐵及軟鋼管，採用者亦不少。在美國，則用熟鐵及鋼管者較多。

在烟箱之一端，與船舶鍋爐同。每使其直徑擴大約 $\frac{1}{16}$ 吋。擴大部分之長約 3 吋。各管均係用擴管器 (tube expander) 擴於管飯上。

又在機車鍋爐，火箱一端，更有使其直徑縮小 $\frac{1}{8}$ 吋者。如圖中 (d)。更有具一捲緣者。如圖中 (e)。在黃銅或紅銅管，除捲緣外，更有鑲以鋼環 (ferrule) 者。如圖中 (f)。

121. 汽包與乾汽管 (Steam dome and dry pipe) 汽包一譯汽室。其惟一之目的，係備一較高之地位，使蒸汽由鍋爐入汽管時距水面較遠，使蒸汽不致多攜帶水分也。惟因製造上較為費工，且近年來利用之汽壓較高。鍋爐上有一汽包，鍋殼之力因之減弱，已多改用乾汽管或集汽管 (Steam collecting pipe)。即機車鍋爐上，亦有漸改用乾汽管者。

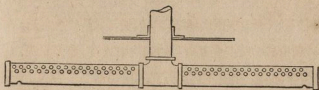
又在其他鍋爐，亦有不用汽包，同時亦不用乾汽管者，惟對於此種原理，則莫不注意。例如在拔柏葛鍋爐，發生蒸汽最盛之處，在鍋殼之前端。向外引出蒸汽之處，反較在後。在斯忒林鍋爐，發生蒸汽最盛之處，在前面汽水筒。向外引出蒸汽之處，反在中汽水筒。又在海音鍋爐，引出蒸汽之處雖在鍋爐之前上方，然一因鍋殼係前高後低，二因尚有一阻飯以遮斷水分。皆可證注重此原理也。



汽包之構造，如第七一圖所

第七一圖

示。乾汽管之構造，如第七二圖所示。無待詳述。



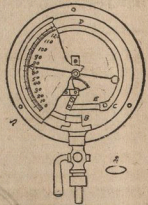
第七二圖

122. 排洩管或洩水管 (Blow-off-pipe) 鍋爐每隔一定之時間，須將內部之水全部洩出，以便考察或清潔內部。亦有時每隔一定之時間，洩出其水之一部使沈澱物隨之而去者。此種洩水管當然恆裝置於鍋爐之最低部。排洩瓣有直接裝置於鍋殼者。有裝置於一段管上者。實例甚多。每一種鍋爐，其最低部均有此裝置。甚至有兩個者。

123. 阻牆與阻板 (Baffle wall and baffle plate) 爲使燃燒之熱氣多生曲折，在水管式鍋爐之各管間或各組管間，恆設有相當之阻牆或阻板。多爲耐火磚製。在鍋殼中有時爲使新加入之冷水不致與正在沸騰之水相混，或引導之使入一定之水管中，亦有時設有阻板。

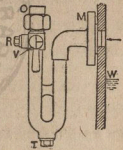
124. 汽壓表 (Steam pressure gage) 汽壓表係用以表示鍋爐內蒸汽壓力之高低者。最普通者爲博登管汽壓表 (Bourton tube gage)。其構造略如第七三圖所示。內部有一彎曲之空黃銅管。其橫斷面有製爲橢圓形者。有製爲扁平形者。一端固定，與由鍋爐引出之U形曲管相通。一端閉口，與一槓桿之一端相連。槓桿之他端，裝置一扇形齒輪。與中軸上之小齒輪相銜接。指針即固定於小齒輪之軸上。當管內所受之壓力增加

時，其橫斷面有逐漸變圓之趨勢。全弧形管亦因之有逐漸變直之趨勢。壓力愈大，變直之趨勢愈甚。此動作由槓桿，扇形齒輪，小齒輪等傳於指針。所刻度數由一標準汽壓表較準之，即可表示鍋爐內之壓力。又圖中 A 表示黃銅管之斷面。B 表示固定之一端。C 表示閉口之一端。D 表示管之全體。E 表示槓桿。



第七三圖

汽壓表裝置之地位，以易於觀察為準。連管則愈短愈好。又須備一 U 形曲管。如第七四圖。使存有一部分凝結之水分。不使蒸汽直接與表內接觸。但須備有洩水活門，以便易於洩出。



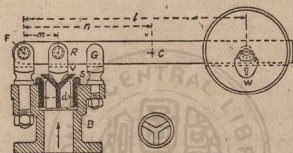
第七四圖

表上所畫壓力之高度，普通恆常用汽壓之二倍。如常用者為每方吋 100 磅，則表上最高之壓力為 200 磅。又常用之壓力，每用一紅線標出，使比較醒目。

125. 安全瓣 (Safety valve) 安全瓣所以使鍋爐內汽壓高至一定之程度即行自開，放出繼續所生之蒸汽，借以保護鍋爐之安全者也。其種類甚多，茲擇述數種如下。

126. 槓桿安全瓣 (Lever safety valve) 槓桿安全瓣為最普通之一種。其構造略如第七五圖所示。汽瓣 V 與汽瓣座 S 均為磁金 (Gur-

metal) 所製。瓣筒 B 爲生鐵或生鋼所製，槓桿爲熟鐵或軟鋼所製。其支點在 F。右端懸一重量 W。其向下之壓力，由短桿 R 而達於汽瓣。G 爲一 T 形架。所以約束槓桿使不致左右移動者。亦有製成一長方框形者。C 爲槓桿之重心。



第七五圖

設 d = 汽瓣之直徑，以吋計，

W = 所懸之重，以磅計，

w = 槓桿本身之重，以磅計，

w_1 = 汽瓣與支桿 R 之合重，以磅計，

p = 每方吋之汽壓，最大預定之量。

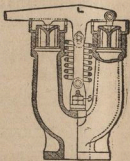
如 l, m, n 等之距離均以吋計，取各力繞 F 之力矩，得

$$Wl + wn + w_1m = \frac{\pi}{4}d^2pm。$$

127. 彈簧安全瓣 (Spring loaded safety valve) 安全瓣利用彈簧之力者亦甚多。第七六圖所示者，係 Rams-bottom 式。多用於機車鍋爐。共有兩汽瓣。兩汽瓣座。下部則合而爲一。裝置於鍋爐上部。中間設

彈簧 S，牽動橫桿 L。橫桿左右壓於兩汽瓣之上，因之彈簧之牽力遂易為兩汽瓣上之壓力。當蒸汽之壓力及於兩汽瓣者超過一定之程度時，彈簧之牽力不能勝之，則汽瓣自開。

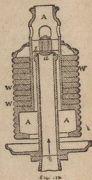
又將橫桿一端之柄向上下推動，可驗兩汽瓣是否與汽瓣座膠固於一處。又如改變螺絲釘 S 高下之位置以變更彈簧之牽力，則汽瓣上所受之最大壓力亦即隨之改變。



第七六圖

128. 荷重安全瓣 (Dead weight safety valve) 此種安全瓣多用於工廠固定之鍋爐。其構造略如第七七圖所示。圖中 a 為汽瓣，b 為汽瓣座，位於一長管之上部。汽瓣 a 固定於筒狀部 A 上。A 之形狀，上部細，下部成為盤狀，以便加重。W 為所加之重，係多數環狀厚鐵板。其數目可酌為增減。如此裝置，當蒸汽向上推動汽瓣之壓力超過 A 部重量及外加之重之和時，汽瓣自開。

129. 安全瓣大小之計算法 安全瓣之大小，以鍋爐在全載荷 (full load) 時所生之蒸汽均能逃出為度。其計算之方法有種種。茲將達林 (P. G. Darling) 1909 年在美國機械工程師學會會報上所提出之公式列下：



第七七圖

設 E = 每點鐘外出蒸汽之磅數，

L = 汽瓣上升之時數，

D = 汽瓣之直徑，以吋計，

則在平汽瓣座之汽瓣，

$$D = 0.0067 \times \frac{E}{L \times P};$$

在傾斜 45° 之汽瓣座之汽瓣，

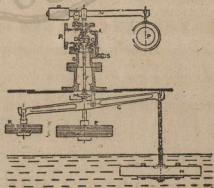
$$D = 0.0095 \times \frac{E}{L \times P}。$$

一安全瓣平均提升之高度約為 0.1 吋。

130. 高汽低水安全瓣 (High steam and low water safety valve)

此種安全瓣所司之事有二：(一) 當汽壓超過一定之高度時，即行自開；(二) 當水面低過一定之低度時，即行自開。均發出警告之聲音，使火夫注意。故名曰高汽低水安全瓣。

其構造略如第七八圖所示，A B 二部，一含汽瓣。一置汽瓣座。C D 為兩個汽瓣。C 汽瓣置於 D 汽瓣之內。更由 F 桿與懸錘 E 相連。C D E F N P 共組成高汽安全瓣。當汽壓超過 C D E F 等部之重力及 N P 兩部繞支點力矩之和時，汽瓣即開。蒸汽遂由 R 管逃出。G 為槓桿，其支軸由一立桿固定於連管上。一端懸重 K。恆位於水面以上。一端懸重 H。平時位於水面以下。又 G 桿上支柱之左邊上部有一刃狀突起



第七八圖

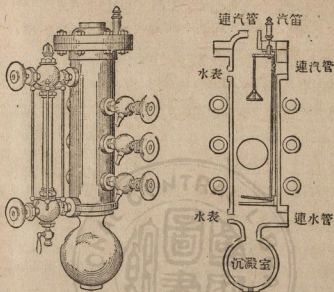
L，與F桿上之M片相接。G K H L M共組成低水安全瓣。當水面高度適中時，H重位於水中。其重量因受浮力之故而減少。G桿之左端下垂。L突起對於M片不生作用。當水面低至一定程度後，H重量露出水面。其重量等於增加。G桿之右端下垂。L突起向上推動M片，與E，F等部重量之一部相消。因之C瓣亦開。蒸汽亦由R管逃出。發為聲音。警告火夫，使之加水。

131. 水平表與水柱 (Water gage and water column) 水平表者，所以表示鍋爐內水面之高低者也。為鍋爐極重要之附件。其長度須超過鍋爐內水面升降之範圍。並須裝置於一水柱上(簡單者亦有直接裝於鍋爐者)。柱上須備試驗活塞 (Try cocks)。普通多係三個。有時用以試驗水面之位置。因水平表之玻璃管，每為水中不潔之物所污，致水面不甚清晰也。

水柱中更有備一浮球者。鍋爐內水面如失之過高或過低，即利用其上浮或下壓之力，再間接由槓桿之作用，開一汽笛。發出警響。此種汽笛，有時謂之高低水面警笛 (High and low water alarm)。其構造如第七九圖所示。

132. 易鎔塞 (Fusible Plug) 為避免水面過低發生炸患起見，應在爐之頂部或燃燒室之頂部，裝置一種易鎔塞。在普通工作情形之下，此易鎔塞恆位於水面以下。溫度常在其鎔解點以下。但當水面降至一定之低度，此塞露出。塞中易鎔之金屬或合金即被鎔化。致成一孔，而蒸汽逃出。使火夫知爐管或燃燒室將生危險。

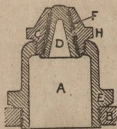
第八〇圖，表示易鎔塞之一種。A為一鐵金製之空塞。裝置於爐頂



第七九圖

或燃燒室之頂上。C 為鍍金製之第二塞。上於第一塞之上。D 為鍍金製之第三塞。與第二塞由一種易鎔解之合金相連。E 與 H 為六方形之凸緣。為用搬子 (spanner) 上下兩塞者，當水面過低使 C D 塞露出時，F 即行鎔解。D 塞下落。蒸汽即行逃出。另裝置時，只將 C 塞移下即可。

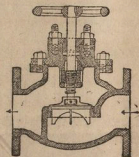
此種設備，在輪船上，有時為法律所規定，必須裝置。又易鎔之金屬因使用日久，有時變更其鎔解點。故約每兩年即須更換一次。



第八〇圖

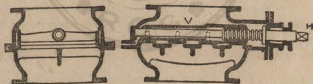
133. 停汽瓣(Steam stop valve) 停汽瓣或稱之曰總汽門，位於鍋爐與蒸汽機之間。所以開合汽管或變更蒸汽通路之廣狹者。

其構造，最普通者如第八一圖所示。在蒸汽經路中，置一汽瓣。上連一螺旋桿。轉動手輪，則汽瓣可以上下。因之汽管可以開合。



第八一圖

如所用之蒸汽量甚大，多用一種特式之停汽瓣。第八二圖所述之鐵柵停汽瓣 (Gridiron valve)，即其一例。汽瓣之底部具若干長方鋸。可開汽瓣座上相對之長方孔。如轉H處之手輪，則汽瓣因螺旋桿之作用可左右移動。因之各長方孔可以開合。



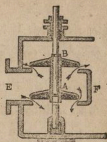
第八二圖

此種停汽瓣之優點，係移動較小之距離，可得較大之通路。

134. 雙擊停汽瓣(Double beat valve) 如蒸汽之壓力甚高，通過之量又甚大時，則汽瓣所受之汽壓，每致手輪難於轉動。欲救此弊，多用一種雙擊停汽瓣。其構造略如第八三圖所示。在同一汽瓣桿上，有兩個汽瓣A及B，可同時啓閉。A較B稍小。以便由上部孔中置入。汽瓣開

後，蒸汽之經路如矢標所示。如此裝置，則無論何時，一汽瓣上部所受之壓力與他一汽瓣下部所受之壓力相同。因之汽瓣桿上所受之力遂互相抵消而歸於平衡。手輪上遂不受何種影響。

135. 受熱面(heating surface)，過熱面(superheating surface)與爐篦面(Grate surface)



第八三圖

鍋爐內一面為水一面為火或熱氣之一部面積，謂之一鍋爐之受熱面或水熱面(water heating surface)。一面為蒸汽一面為熱氣之一部面積則謂之過熱面。且在此兩項中均以與熱氣接觸之面積為準(在計算火管與水管之受熱面時，有主張一律按外面計算者。因管之直徑多只給出外直徑。在水管式，此種計算法，當在恰為相合。在火管式，則計算之數較大)。爐篦面，即燃料在其上燃燒之全部面積。如爐篦係傾斜者，有時按其在水平方向之投射面積(Projected grate surface)計算。

爐篦面之大小與受熱面之大小之比，按所用燃料之種類與通風之強度而定。在較小之鍋爐，例如為暖室用者，用輕度通風與硬煤，普通多用1方呎爐篦面與20至30方呎受熱面相比。在大動力鍋爐，爐篦面對受熱面之比由1:50至1:70。在加力通風之機車鍋爐，則由1:50至1:100。

燃料燃燒之快慢，亦按燃料之種類與通風之種類而異。且恆按下列兩種單位計之：(a)爐篦投射面積每平方呎每點鐘能燃燒之磅數。(b)爐之容積(furnace volume)每立方呎每點鐘能燃燒之磅數。用硬煤及

不超過 5/10 吋水柱之通風，則每平方呎爐籠面每點鐘可燃 12 磅至 15 磅。用烟煤則由 15 磅至 20 磅。用機械添煤器 (mechanical stokers) 及自然通風，由 20 磅至 40 磅。若用機力通風 (mechanical draft 包括加力通風與引誘通風兩項)，則可由 40 磅至 60 磅。在機車鍋爐，用極高之引誘通風 (Induced draft)，燃燒之速率，曾達到每點鐘 200 磅。

爐籠上空氣之通孔，亦按煤之種類而異。普通由爐籠面積百分之 20 至百分之 50。硬煤及高級烟煤較劣等煤需空氣通孔較小。

下列定律係用以計算臥式回管鍋爐之受熱面者。即受熱面等於鍋殼外面筒狀面之二分之一，加各管之內面積，加兩管板面積之三分之二，減各管外部橫斷面積之二倍。均以平方呎為單位。

又在此種鍋爐，由鍋爐至烟筒通過熱氣之連接部，謂之雙筒烟道 (Breeching)。雙筒烟道之橫斷面積相當爐籠面積之六分之一至八分之一。根據通風之力而變化。又雙筒烟道普通多用鋼板製成。應備清潔與觀察之活門。

第二二表 鍋爐管之直徑

外 (Outside)		內 (Inside)	
吋	呎	吋	呎
2	0.167	1.80	0.150
2½	0.208	2.28	0.190
3	0.250	2.78	0.232
3½	0.292	3.26	0.272
4	0.333	3.74	0.312
4½	0.375	4.24	0.353
5	0.417	4.72	0.393

136. 鍋爐馬力(Boiler horsepower) 馬力一名詞用之於鍋爐，本不甚適當。若對於其意義不甚熟習，尤易發生誤解。當規定鍋爐之大小時，此名詞係指單位時間之傳熱率。當應用於鍋爐之工作時，為給予一定之意義起見，美國機械工程師學會曾選定下列之標準。即每點鐘能蒸發 34.5 磅 212°F 之水至同溫度之乾飽和蒸汽或其熱效應之相當量 (equivalent in heating effect)，即為一鍋爐馬力。即等於每點鐘由鍋爐傳達於水之熱為 $34.5 \times 970.2 = 33,472$ 英熱單位也。在普通算題，可直用 33,470 英熱單位。

當鍋爐馬力一名詞初被選定時，其原意係一馬力之鍋爐應能供給一馬力之蒸汽機所用之蒸汽。但因蒸汽機計畫之進步，日有增加。直至近年，鍋爐馬力與一蒸汽機馬力之間遂無一定之關係。用以供給一定馬力數之蒸汽機所需蒸汽之磅數，因蒸汽機之式樣不同，其變化之範圍極大。即一定之鍋爐能供給十馬力之甲種蒸汽機所用之蒸汽，或能供給二十馬力之乙種蒸汽機所用之蒸汽也。

一鍋爐發生蒸汽之能力與所含受熱面之方呎數有關。當規定一鍋爐之大小時，在水管式習慣上每以一鍋爐馬力應有 10 方呎之受熱面計算。在火管式每以一鍋爐馬力應有 12 方呎之受熱面計算。此種數值上之關係，均係人為的假定。在實際上，一鍋爐之能量決不能依此限制。亦有每一鍋爐馬力按 10 方呎以下受熱面計算之工廠。所有關於鍋爐大小之額定 (rating)，均可認為係製造者之一種確定之聲明。當其出品在普通情況之下，或在一定說明之條件以下，一定量之受熱面 (如云 10 方呎) 將由 212°F 之水蒸發為同溫度之乾飽和蒸汽 34.5 磅也。

根據若干方呎受熱面規定之鍋爐馬力數，有時謂之額定鍋爐馬力 (Rated boiler horsepower)。

因額定鍋爐馬力一名詞，缺乏極清晰之意義。故多數新式鍋爐常能在其額定能量以上，由百分之 150 至百分之 250 繼續工作。在短時間以內，甚至有上至百分 400 以至 600 者(例如額定鍋爐馬力，係按每 10 方呎受熱面為一鍋爐馬力計算。在短時間以內，最高可使發生六鍋爐馬力)。故欲規定鍋爐能量大小之標準，習慣上多別定一種說明書。說明鍋爐所含受熱面之方呎數，及在一定條件以下，每點鐘能蒸發水之磅數，似較用鍋爐馬力一名詞尤好也。

在 1923 年，美國機械工程師學會動力試驗委員會，曾對鍋爐工作情形或工況 (Performance) 選定一種新單位。謂之蒸發單位 (Unit of evaporation)。當一鍋爐因用於蒸發蒸汽而吸收 1,000 英熱單位時，則此鍋爐謂之發生一單位。此單位相當蒸發一磅 212°F 之水為同溫度之乾飽和蒸汽之 $1000 \div 970.2 = 1.03$ 倍。

137. 鍋爐經濟 (Boiler economy) 鍋爐經濟，普通多由燃燒一磅煤時鍋爐能蒸發之水之磅數表之。

為比較在各種不同情況下工作之鍋爐起見，例如給水溫度彼此不同，所用汽壓彼此不同，所用煤質彼此不同等等，最好先規定一種統一之標準。普通係以每磅純燃質之燃燒能發生在 212°F 之相當蒸發量表之。在 212°F 之相當蒸發量 (Equivalent evaporation from and at 212°F) 一名詞，係指在一定實際之情況下，每磅純燃質實際所費之熱量，若使加於 212°F 之給水能蒸發 212°F 之乾飽和蒸汽之磅數。

爲得到相當蒸發量，實際蒸發量必乘之因數，謂之蒸發因數(factor of evaporation)。此因數恆等於在一定實際情況之下，一磅蒸汽所需之熱，被一磅在 212°F 之水變爲 212°F 之乾飽和蒸汽所用之熱除之。即等於被在一氣壓之下一磅水之汽化隱熱，或 970.2 英熱單位，除之也。

從前，在普通式樣之鍋爐，當每點鐘每方呎受熱面之蒸發率不超過 3 磅時，最大之經濟點即已達到。但在新式鍋爐，此蒸發率曾大爲超過。且對於鍋爐之效率亦無大損。在擔負常有變化之載荷，並用機力添煤器或用煤粉燃料水冷爐牆之大動力廠，蒸發率曾增至 8 磅至 12 磅。惟此時其經濟上之損失較之減輕購置鍋爐資本及減小動力室之面積之補償爲大耳。

蒸發率依爐中所生之熱量而定。同時更依傳達於水之熱量而定。

鍋爐按過載(overloading)工作，只若能將熱傳達於水，則對於鍋爐並無損害。惟有時因溫度較高之故，對於爐之裏層或生相當之損傷耳。

又較高之蒸發率，並非在各式鍋爐均能得到。與鍋爐之計畫極有關係。燃料所生之熱量與所採燃料之種類，爐篋之面積，通風之量及燒火之方法等均有關係。若使燃燒之速率甚高時，結果恆使逃於烟筒之熱增多，而減低鍋爐之經濟。

138. 鍋爐之效率 (Efficiency of boilers) 鍋爐之效率，分以下三種：

(一)鍋，爐，及爐篋之效率 (Efficiency of boiler, furnace and grate) 爲每磅燃燒之煤 (Coal fired) 被吸收之熱量，對於此一磅之發熱量之比。或鍋爐吸收之熱量對於供給於爐篋之熱量之比。

(二)鍋與爐之效率 (Efficiency of boiler and furnace) 爲每磅燃燒之純燃質 (combustible burned) 燃燒時被吸收之熱量，對於此一磅純燃質之發熱量之比。或鍋爐吸收之熱量對於供給於爐之熱量之比(等於爐篋給出之熱量)。

(三)爐篋之效率 (Efficiency of the grate) 爲已燃燒之純燃質對於供給於爐篋之純燃質之比。

每磅乾煤或每磅純燃質被吸收之熱量，由 970.2 乘每磅乾煤或每磅純燃質在 212°F 之相當蒸發量得之。

燃燒之乾煤 (Dry coal fired) 係由供給於爐篋之煤之全量中，減去煤之水分而得。

燃燒之純燃質 (Combustible burned) 係由燃燒之煤之全重中，根據煤及灰之分析，減去煤之水分，由灰池中取出之灰分及煤渣，以及由管中烟道中燃燒室中取出之塵土烟子及被烟氣帶去之灰分等等。

一磅純燃質之發熱量，係一磅乾煤之發熱量被一減按實用分析所得煤中灰分之百分數除之。

就各種鍋爐實驗之結果，知在普通工作情形之下：

小鍋爐且用人工燒火者，其效率由 40% 至 60%。

用機器燒火之鍋爐，其效率由 60% 至 80%。

用煤粉爲燃料且用省煤器及空氣預熱器者

其效率由 80% 至 85%。

在特別情形之下有上至 92% 者。

139. 鍋爐內熱之損失 在鍋爐內熱之損失，其主要者有以下數項：

(一)被烟氣帶去之熱；(二)因煤內氫之燃燒所生之水蒸汽未至凝結所失之熱；(三)煤中水分帶去之熱；(四)燃燒不完全所失之熱；(五)經過爐篦之損失；(六)輻射熱之損失；(七)空氣中之水分帶去之熱。

以上七項，以被烟氣帶去之熱為量最大。且其量按加於爐中空氣之量及烟氣離烟筒時之溫度而定。在工作適當之鍋爐，由烟氣帶去之熱不宜超過百分之二十。但實際上每因火夫加入空氣太多之故而超過此數。此一部空氣由鍋爐房之溫度，熱至烟氣離烟筒時之溫度，其所用之熱完全歸於無用。故加入爐中之空氣量，宜按其絕對之需要量實最為緊要。又所加之量之是否適宜，可按烟道氣之分析得之。

140. 熱力對照表 (Heat balance) 將一鍋爐有用之熱及損失於各項之熱按百分數詳細列為一表。謂之熱力對照表。可由煤之分析及烟道氣之分析得之。由此種對照表可精密的看出燃燒之效率，對於鍋爐效率之改良上幫助甚大。又製此表時，普通恆以一斤乾煤之發熱量為準。即以此發熱量為百分之百也。

美國機械工程師學會，對於固定之蒸汽廠製定此種熱力對照表或熱力分配表之試驗法規 (Test Code)，其簡式 (Short form) 之大綱，如第二十三表所示。

例題 下列與件，由一鍋爐試驗得出。試根據之作一熱力對照表。乾溼球寒暑表所指之溫度， 67°F ；鍋爐房之溫度， 73°F ；由烟筒外出之烟氣之溫度， 575°F 。乾煤之元素分析：C，百分之 78.42； H_2 ，百分之 5.56； O_2 ，百分之 8.25； N_2 ，百分之 1.09；S，百分之 1；灰分，百分之 5.68。原煤之水分，百分之 1.91。乾煤每磅之發熱量，14,000 英熱單位。

第二三表 根據乾煤發熱量之熱力對照表或分配表

項	目	英熱單位	百分數
1.	鍋爐吸收之熱量 = 每磅乾煤能蒸發 212°F 之水為 212°F 之蒸汽之磅數 × 970.2.....		
2.	因煤中水分之損失 = $\frac{\text{乾煤每磅相當之水分之百分數}}{100} \times (1090.7 + 0.455 t_g - t_c)$ (註一) 式中 t_g = 烟氣之溫度, t_c = 煤之溫度。		
3.	因燃燒氫氣所生水分之損失 = $\frac{\text{乾煤中所含氫之百分數}}{100} \times 9 \times (1090.7 + 0.455 t_g - t_c)$		
4.	因空氣中所含水分之損失 = 每磅乾煤供給之空氣量 × 空氣中水分之百分數 (每磅空氣中之磅數) × 0.47 ($t_g - t_1$)。 式中 t_1 為鍋爐中空氣之溫度。		
5.	由乾烟筒氣帶去之熱 = 燃燒每磅乾煤所生之乾烟筒氣之量 × 0.24 ($t_g - t_1$) (註二)。		
6.	因炭素燃燒不完全之損失 = $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}}$ × 燃燒每磅乾煤所 燃燒之炭量 × 10170 (註三)。		
7.	因殘餘中未經燃燒之純燃質之損失 = $\frac{\text{殘餘對於乾煤之百分數} - \text{灰分之百分數}}{100} \times 14,000$		
8.	因未經燃燒之氫, 炭氫化物及輻射熱等之損失 = 100 - 上七 項之和。		
9.	總計		

(註一) $1090.7 + 0.455 t_g - t_c$ 一式, 係由 $h_g + CP(t_{sup} - t_{sat}) - (t_c - 32) = 1102 + 0.455 (t_g - 95) - (t_c - 32)$ 一式引申而來。

而 $1102 + 0.455 (t_g - 95)$ 一式, 係假定水在烟筒氣中蒸發汽之壓力 (vapor pressure) 其相當之沸點溫度為 95°F 時, 過熱蒸汽之總熱。 $(t_c - 32)$ 一式, 係燃料中之水分在鍋爐房溫度之下入爐時所含之熱。

(註二) 燃燒每磅炭所生之乾烟筒氣之重量, 可根據烟道氣之分析計算之如下:

$$\text{燃燒每磅炭所生之乾烟筒氣} = \frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{CO} + \text{N}_2)}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})}$$

式中 CO , CO_2 , O_2 與 N_2 為各種氣體容積之百分數。

燃燒每磅乾煤所生乾烟筒氣之量，由燃燒之炭之百分數乘燃燒每磅炭所生之乾烟筒氣而以 100 除之。

(註三) CO_2 與 CO 為烟道氣中二氧化碳與一氧化碳容積之百分數。10,170 一數，係含炭一磅之一氧化碳，當燃燒為二氧化碳時，所發之英熱單位數。

灰與殘餘為乾煤之百分之 7.03。灰與殘餘中未燃燒之炭為百分之 31.50。

烟道氣分析： CO_2 ，百分之 14； O_2 ，百分之 5.5； CO ，百分之 0.42； N_2 ，百分之 80.08；每磅乾煤能蒸發 212°F 之水為 212°F 之蒸汽 11.12 磅。

解答

第一項(各項均按百分數言)

$$\begin{aligned} \text{鍋爐吸收之熱量} &= \text{每磅乾煤能蒸發 } 212^\circ\text{F} \text{ 之水為 } 212^\circ\text{F} \text{ 之蒸汽之} \\ &\quad \text{磅數} \times 970.2 \div \text{每磅乾煤之發熱量} \\ &= 11.12 \times 970.2 \div 14000 = 10791 \div 14000 = 0.7708 = 77.08\% \end{aligned}$$

第二項

$$\begin{aligned} \text{因 煤中水分之損失} &= \frac{\text{乾煤每磅相當之水分之百分數}}{100} \\ &\quad \times (1090.7 + 0.455 t_g - t_c) \div \text{每磅乾煤之發熱量。} \end{aligned}$$

在原煤中每磅所含之水分百分之 1.91，相當每磅乾煤含

$$\frac{1.91}{100 - 1.91} = 0.0195 = 1.95\%$$

假定煤之初溫度與鍋爐房之溫度相同，則因

$$\text{煤中水分之損失} = \frac{1.95}{100} \times (1090.7 + 0.455 \times 575 - 73) \div 14000$$

$$= 25 \div 14000 = 0.0018 = 0.18\%$$

第三項

因燃燒氫氣所生水分之損失

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{乾煤含氫百分數}}{100} \times 9 \times (1090.7 + 0.455 t_g - t_c) \div \text{每磅乾煤發熱量} \\ &= \frac{5.56}{100} \times 9 \times (1090.7 + 0.455 \times 575 - 73) \div 14000 \\ &= 640 \div 14000 = 0.0457 = 4.57\% \end{aligned}$$

第四項

因空氣所含水分之損失 = 每磅乾煤供給之空氣量 \times 空氣中水分之百分數 $\times 0.47(t_g - t_1) \div$ 每磅乾煤之發熱量。

式中 t_1 係鍋爐中空氣之溫度。

$$\begin{aligned} \text{燃燒每磅炭所生之乾烟氣} &= \frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{CO} + \text{N}_2)}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})} \\ &= \frac{11 \times 14 + 8 \times 5.5 + 7(0.42 + 80.08)}{3(14 + 0.42)} = \frac{761.5}{43.26} = 17.603 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燃燒每磅乾煤所燃燒之炭量} &= \frac{\text{按元素分析煤中炭之百分數}}{100} \\ &\quad - \frac{\text{殘餘之百分數(註一)} \times \text{殘餘中炭之百分數}}{10,000} \\ &= \frac{78.42}{100} - \frac{7.03 \times 31.5}{10,000} = 0.7842 - 0.0221 = 0.7621 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

燃燒每磅乾煤所生之乾烟氣 = $17.603 \times 0.7621 = 13.415$ 磅。

燃燒每磅乾煤所供給之空氣量 = 燃燒每磅乾煤所生之乾烟氣量

$$+ \frac{9 \times \text{氫之百分數}}{100} - \frac{100 - \text{殘餘之百分數}}{100} = 13.415 + \frac{9 \times 5.56}{100}$$

$$-\frac{100-7.03}{100} = 13.415 + 0.5004 - 0.9297 = 12.986 \text{ 磅。}$$

就乾溼球寒暑表上之度數與溼度表查之，每供給一磅乾空氣，空氣中水分之重量為 0.0127 磅。

$$\begin{aligned} \text{故因空氣中所含水分之損失} &= 12.986 \times 0.0127 \times 0.47(575-73) \\ &\div 14,000 = 39 \div 14,000 = 0.0028 = 0.28\%。 \end{aligned}$$

第五項

$$\begin{aligned} \text{由乾烟筒氣帶去之熱之損失} &= \text{燃燒每磅乾煤所生之乾烟氣量} \\ &\quad \times 0.24(t_g - t_1) \div \text{每磅乾煤之發熱量} \\ &= 13.415 \times 0.24(575-73) \div 14000 \\ &= 1616 \div 14000 = 0.1154 = 11.54\%。 \end{aligned}$$

第六項

$$\begin{aligned} \text{因炭素燃燒不完全之損失} &= \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \times \text{燃燒每磅乾煤所燃燒之} \\ &\quad \text{炭量} \times 10,170 \div \text{每磅乾煤之發熱量} \\ &= \frac{0.42}{14 + 0.42} \times 0.7621 \times 10170 \div 14,000 = 226 \div 14,000 = 0.0161 = 1.61\%。 \end{aligned}$$

第七項

因殘餘中未經燃燒之純燃質之損失

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{殘餘對於乾煤之百分數} - \text{灰分之百分數}}{100} \times 14,600 \\ &\quad \div \text{每磅乾煤之發熱量} = \frac{7.03 - 5.68}{100} \times 14,600 \div 14,000 \\ &= 197 \div 14,000 = 0.0141 = 1.41\%。 \end{aligned}$$

第八項

因未經燃燒之氫，炭氫化物，及輻射熱等之損失

$$= 14,000 - (10,791 + 25 + 640 + 39 + 1,616 + 226 + 197)$$

$$= 14,000 - 13,534 = 446 \text{ 英熱單位。}$$

$$\text{或} = 100 - (77.08 + 0.18 + 4.57 + 0.28 + 11.54 + 1.61 + 1.41)$$

$$= 3.33\%$$

茲將所得結果列表如下：

第二四表 鍋爐熱力對照表

乾 煤 熱 量 之 分 配	英熱單位	百分數
1. 鍋爐吸收之熱	10,791	77.08
2. 因煤中水分之損失	25	0.18
3. 因燃燒煤內氫氣所生蒸汽帶去之熱	640	4.57
4. 因加熱於空氣中之水分之損失	39	0.28
5. 由乾烟筒氣帶去之熱	1,616	11.54
6. 因燃燒成一氧化碳之損失	226	1.61
7. 因殘餘中未經燃燒之純燃質之損失	197	1.41
8. 因未經燃燒之氫，炭氫化物及輻射熱之損失	466	3.33

例題 一 48 吋直徑 12 呎長之回管式鍋爐。共有 4 吋之管 30 個。每點鐘蒸發 1,600 磅水。給水之溫度為 120°F。蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅。問此鍋爐實際發出之能量為其額定馬力數之百分數若干。

解答 第一先根據第 145 段之定律，求出受熱面積。

$$\text{鍋殼圓筒部分之受熱面} = \frac{1}{2} \times 3.1416 \times 4 \times 12 = 75.4 \text{ 方呎。}$$

$$\text{管之受熱面} = 30 \times 3.1416 \times \frac{3.74}{12} \times 12 = 352.5 \text{ 方呎。}$$

$$\begin{aligned} \text{管飯之受熱面} &= 2\left\{\frac{3}{8}(3.1416 \times 2 \times 2) - 30 \times 3.1416 \times \frac{1}{8} \times \frac{1}{8}\right\} \\ &= 2(8.38 - 2.62) = 11.5 \text{ 方呎。} \end{aligned}$$

$$\text{總受熱面} = 75.4 + 352.5 + 11.5 = 439.4 \text{ 方呎。}$$

$$\text{根據第 146 段, 額定馬力 (rated horsepower)} = \frac{439.4}{10} = 43.94。$$

再求實際發出之馬力數。

蒸發一磅水實際所用之熱, 等於在一定壓力下一磅蒸汽之總熱, 減去已在給水中之熱。

在實際情形下蒸發水所用之熱

$$= 1,600[1,189 - (120 - 32)] = 1,761,600 \text{ 英熱單位。}$$

按第 147 段之理, 在 212°F 之相當蒸發量

$$= \frac{1,761,600}{970.2} = 1,816 \text{ 磅, 每點鐘。}$$

按第 146 段, 所發之鍋爐馬力

$$= \frac{1816}{34.5} = 52.6。$$

$$\frac{52.6}{43.94} = 1.20 = 120\%。$$

即鍋爐之工作係百分之二十過載。

例題 一鍋爐每燃燒一磅煤能蒸發 8.23 磅水。給水溫度 120°F 。蒸汽表壓力每方吋 100 磅。所燃之煤含水分百分之 2。乾煤含灰分百分之 5。其發熱量為 12,800 英熱單位。灰分與渣滓為燃燒之煤之百分之 12。

(a) 求鍋、爐及爐篦之合併效率。(b) 求鍋及爐之效率。

解答 (a)

蒸發一磅水所需之熱 = $1,189 - (120 - 32) = 1,101$ 英熱單位。

$$\text{燃燒每磅乾煤蒸發之水量} = \frac{8.23}{1.00 - 0.02} = \frac{8.23}{0.98} = 8.4 \text{ 磅。}$$

燃燒每磅煤利用之熱 = $8.4 \times 1101 = 9248$ 英熱單位。

鍋, 爐及爐籠之合併效率

$$= \frac{\text{燃燒每磅乾煤利用之熱}}{\text{每磅乾煤之發熱量}} = \frac{9,248}{12,800} = 0.7225 = 72.25\%$$

(b)

$$\text{每磅純燃質之發熱量} = \frac{12,800}{1.00 - 0.05} = \frac{12,800}{0.95} = 13,474 \text{ 英熱單位。}$$

$$\begin{aligned} \text{燃燒每磅純燃質蒸發之水量} &= \frac{8.23}{1.00 - (0.02 + 0.12)} = \frac{8.23}{0.86} \\ &= 9.571 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

燃燒每磅純燃質利用之熱 = $9.571 \times 1,101 = 10,538$ 英熱單位。

$$\begin{aligned} \text{鍋及爐之效率} &= \frac{\text{燃燒每磅純燃質利用之熱}}{\text{每磅純燃質之發熱量}} = \frac{10,538}{13,474} \\ &= 0.7821 = 78.21\% \end{aligned}$$

此結果並可用下法校對之,

$$\begin{aligned} \text{爐籠自身之效率} &= \frac{\text{每磅煤已燃燒之純燃質}}{\text{每磅煤加入爐籠之純燃質}} \\ &= \frac{1.00 - (0.02 + 0.12)}{1.00 - [0.02 + 0.05(1.00 - 0.02)]} = \frac{0.86}{0.931} \\ &= 0.9237 = 92.37\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{鍋及爐之效率} &= \frac{\text{鍋, 爐及爐籠之合併效率}}{\text{爐籠自身之效率}} = \frac{0.7223}{0.9237} \\ &= 0.7822 = 78.22\% \end{aligned}$$

例題 如燃燒發熱量 13,500 英熱單位之煤一磅，用去空氣 26 磅。烟筒氣之溫度為 550°F。倘鍋爐房內之溫度為 70°F。問由乾烟氣中損失之熱之百分數為何。

解答 倘煤中無灰分，則每燃燒一磅，必發出一磅氣體。即燃燒一磅，烟氣之總重量應為 26+1=27 磅。但實際上永不能得到此結果。因總有相當灰分及未經燃燒之煤。故每燃燒一磅煤，烟氣之實際總重量恆微少於 27 磅。又組成烟氣之各種氣體，其平均比熱較空氣之比熱稍高，(空氣之比熱為 0.2410)。欲求絕對正確之結果，烟氣中各種氣體之重量，應各用其比熱乘之，再加於一處，以求升高此混合氣體一度所需之熱量(即英熱單位數)。但普通常用之方法，係假設烟氣之比熱，即與空氣之比熱相同，即為 0.2410。實際上微高於此。同時又假設一磅煤之燃燒即給出一磅之氣體。實際上微低於此。兩者互相抵消。結果近於正確。

故升高烟氣一度所需之熱量 = $0.241(26+1) = 6.51$ 英熱單位。

烟氣升高之溫度 = $550 - 70 = 480^\circ\text{F}$ 。

升高烟氣 480°F 所需之熱量 = $480 \times 6.51 = 3,125$ 英熱單位。

故在乾烟氣中損失之熱之百分數 = $\frac{3125}{13500} = 0.2315$
= 23.15%

141. 高壓鍋爐(High pressure boilers) 自 1920 年以後，用高壓鍋爐之問題，即所用蒸汽之表壓力超過每方吋 400 磅至 450 磅以上之問題，頗為機械工程界所注意。從前因鍋殼過厚則傳熱較難，因燃燒而受損傷之機會自多。不厚則又不能抵抗高壓力。故多不敢輕於着手試驗。近十餘年以來，試驗而採用之者乃日見增加。

在小動力廠，普通所用之壓力，仍不過每方吋 100 磅至 150 磅。在機車與輪船上，汽壓仍多用 200 磅至 300 磅。普通動力廠較新式者，壓力用 250 磅左右者不少。

低壓汽輪之最高限度為 450 磅。因再高於此，則初溫度至 725°F 之蒸汽，經過汽輪，即失其過熱而凝結之水分較多。為避免凝水所生之障礙，則須添置重行加熱使復變為過熱蒸汽之裝置。

在最近七八年中，新動力廠採用之鍋爐，壓力有由 500 至 800 磅者。其溫度則由 725°F 至 825°F 。在此種情形之下，可用高壓低壓汽輪 (high and low-pressure turbines) 於發電機同一軸上。蒸汽由高壓部排出，其壓力尚餘 400 磅至 250 磅。再重行加熱，復入於低壓部。其溫度約與在高壓部時相同。當 1930 年，由 500 磅至 800 磅壓力之鍋爐，在已成之動力廠中，添設者不少。特別在屬於公用類之動力廠中情形如是。又此種壓力之鍋爐，在製造上需用低壓蒸汽之工廠中採用者亦不少。

當壓力超過 800 磅以至 900 磅時，則使高壓部與低壓部分別裝置，各帶動其發電機，較為經濟。

多數工廠現已安裝或定製 1,200 至 1,400 磅之鍋爐。其溫度約由 800°F 至 850°F 。鍋爐工廠則正製造壓力 1,800 磅溫度 850°F 之鍋爐。此種裝置恆設有重過熱器 (resuperheaters)。對於汽輪中溫度落低之蒸汽重行過熱。

英國本生工廠 (Benson System) 正試用高至 3,200 磅，即蒸汽之臨界壓力之鍋爐。在美國，拔柏葛鍋爐廠曾為普渡大學 (Purdue University) 製造 3,500 磅壓力之鍋爐，以備試驗之用。

在高壓鍋爐，其管殼當然須較普通壓力之鍋爐增厚。亦有減小直徑，因之減小各部分之受壓之容積者。總期壓力雖高，不致發生炸裂危險，或即使萬一發生危險，亦減輕其程度為準。

在鍋爐收集蒸汽之汽筒或汽水筒 (drum)，若表壓力上至 350 磅至 400 磅，則其厚約為 2 吋。若表壓力上至 1,000 磅至 1,200 磅，則其厚約為 4 吋。厚至 2 吋時，其接頭處尚可用水力機，施用鉚工。在 2 吋以上，則鉚工即不能用。恆由一固體之鋼錠 (steel ingot) 製成。甚至有重熱至 25 次方製成者。減小各部分受壓容積一法，可使厚度與普通厚度相同。並無因熱或高壓所生之危險。

在波士頓愛迪生公司 (Boston, Edison Co.)，最近裝置一拔柏葛鍋爐。其汽水管之厚度為 $4\frac{1}{2}$ 吋。長 38 呎。內直徑 48 吋。此筒係由一 78 吋之鋼錠煅成。鍋爐之壓力為 1,400 磅。溫度為 725°F 。

第七章 鍋爐輔助品

(Boiler Auxiliaries)

142. 燒火 (Firing) 當在一鍋爐中燒火，如僅隨意開爐門，隨意擲入一部新煤，使之繼續燃燒，不問經過時間之長短，亦不問煤層之是否均勻，則燃燒之結果必不圓滿。若欲燃料燃燒完全，比較經濟。必須採用一定之方法而後可。

燒無烟煤時，煤層宜勻。每次加入之量宜少，而加入之次數宜勤。當燃着以後，不宜時加擾動。燒火器具應用愈少，燃燒之結果愈佳。

燒烟煤時，如擬使燃燒經濟，不生黑烟，其困難較燒無烟煤時大。若所含固定炭之百分數愈少，揮發物之百分數愈多時，則困難之程度亦因之而愈加。

用人工燒火之方法，有下列三種：(一)撒布法(spreading method)；(二)交替法(alternate method)；(三)成焦法(coking method)。

在撒布法，係將煤平均撒布於爐篦之上。層宜薄，撒宜勻。宜用於無烟煤及揮發物較少之烟煤。

在交替法，係交替將新煤加於爐篦之半邊。如先加於左半，經過一定之時間後，再加於右半。即同時爐篦上只有半邊有新煤。由新煤蒸發之揮發物，在另一邊強烈之火焰上即行燃燒完全。宜於揮發物較多之烟煤。

在成焦法，係先將新煤加於爐篦之前端。揮發物蒸出，經過後部強

觀之火焰上，即行燃燒完全。然後將所餘之焦炭，碎散之而推於後部。一面更加新煤以補之。如有溼氣亦先被蒸出。宜於揮發物及水分較多之烟煤。鍋爐之火力，變化較小。

就理論言之，無論用無烟煤或烟煤，每次加入之量宜少，而加入之次數則宜多。即使煤達到繼續或近似繼續燃燒為最好。惟事實上若採人工燒火，火夫每次加入之量總好失之多，而加入之次數，則每好失之少。以如此便於休息也。且即使每次少加而增多次數，則開爐門之次數必多。爐篋上冷空氣侵入之次數亦自因之而多。於鍋爐之效率亦有不好影響。故欲達理想上之燒火情形，非用機械添煤器不可。

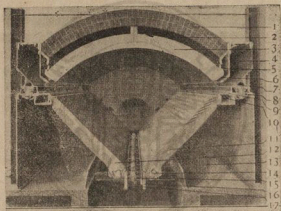
143. 機械添煤器 (Mechanical stokers) 機械添煤器，共分爲三大類：

(一)斜篋式(Inclined grate) 即爐篋對於水平成一定之斜度者。又分爲兩種：(a)邊喂雙斜式或V形式(side-feed double-inclined or V-type)。爐篋由兩邊向中間傾斜。煤由爐之兩邊加入。(b)前喂單斜式(front-feed single-inclined type)。爐篋由前向後傾斜。煤由爐前加入。

(二)鍊篋式(Chain grate) 即爐篋爲一平排之鍊狀。由兩鍊輪帶動之，使之繼續向內緩緩轉動。亦分爲兩種：(a)自然通風式(natural draft type)。(b)加力通風式(forced draft type)。

(三)火下添煤式(Underfeed) 即新煤由正在燃燒之煤之下部加入。亦分爲兩種：(a)單槽式(single retort type)。(b)多槽式(multiple retort type)。

144. 莫斐添煤器 (Murphy stoker) 此添煤器屬於斜籠式中之邊喂雙斜式。其構造略如第八四圖所示。爐之兩邊，由前部直達後部，各有一長煤箱 (coal magazine)。所燒之煤，或用人力，或用機械力之搬運器 (conveyors) 先裝入箱內。箱之下邊，有一成焦飯 (coking plate)。固定爐條之上端，即置於其內緣上。成焦飯之外上方，復有一添煤箱 (stoker box)。由一扇形齒輪及一齒條動作之。推落飯上之煤於爐籠之上。



第八四圖

- | | | | | |
|--------------|-----------|------------|----------|-------|
| 1. 紅磚拱 | 2. 熱空氣室 | 3. 火磚拱 | 4. 煤箱 | 5. 拱飯 |
| 6. 熱空氣通路 | 7. 添煤箱或推飯 | 8. 扇形齒輪及其軸 | 9. 成焦飯 | |
| 10. 成焦飯下之空氣路 | 11. 固定爐條 | 12. 活動爐條 | 13. 節坑 | |
| 14. 搖桿軸 | 15. 碎煤渣器 | 16. 爐籠架 | 17. 蒸汽射口 | |

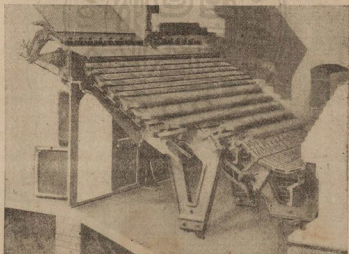
全爐籠係由兩組爐條組成。一組固定爐條。一組活動爐條。各活動爐條交插於各固定爐條之間。其上端可繞一軸迴轉。下端則由一搖桿使之上下擺動。有時升至固定爐條表面以上。有時落至固定爐條表面以下。以便使煤繼續下行。固定爐條之下端，則置於爐籠架上。兩架飯之間含碎煤渣器 (clinker grinder)。帶動添煤器之蒸汽機所排之乏汽，亦由

兩架飯與碎煤渣器之間之小孔向上噴射。使煤渣軟化，易於破碎。

在此種添煤器，煤篋與水平成 45° 之角度。此種傾斜度之爐篋，宜於各級烟煤及半烟煤。但對於褐煤及無烟煤則不適宜。又此種添煤器對於負擔一定載荷之小鍋爐及中號 (medium sized) 鍋爐，較為適宜。在學校旅館及其他公共建築中用作煖室用之鍋爐，採此種添煤器最多。

又此種爐篋以上，恆備一較長之磚拱。對於鍋爐之效率上及避免黑烟之作用上，均有好結果。

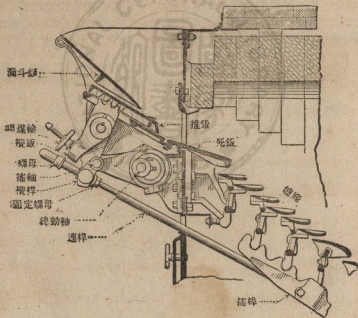
145. 婁內添煤器 (Roney stoker) 此種添煤器屬於斜篋式中之前喂單斜式。其構造略如第八五圖所示。



第八五圖

此種添煤器，僅採用自然通風。煤先裝入鍋爐前之漏斗 (hopper) 中。再由前邊繼續推於斜篋上。

喂煤機構 (feeding mechanism) 之構造，略如第八六圖所示。在漏斗之正下方，有一總動軸 (main operating shaft)。其上裝置一偏心輪。此偏心輪與攪桿 (agitator) 一擺動之動作。攪桿與爐篦相連。故間接與各爐條一種擺動。又偏心輪經由搖軸 (rock shaft) 又與推飯 (pusher) 一往復運動。此往復運動之長短，則可由手輪調節之，當推飯向後退時，漏斗中之煤下行而落於其前方。當推飯向前進時，煤遂被推於爐篦之上。因總動軸之速率係一定，故每次喂煤之量與推飯之行程成正比。



第八六圖

攪桿之動作，先傳於連桿。再傳於搖桿 (rocker bar)。然後方傳於爐篦。連桿之上端經過攪桿下端一滑筒中。攪桿可沿之上下滑動。連桿上

復有兩螺母 (nut)。位置較下者，係固定螺母 (lock-nut)。位置較上者，其地位可隨意調節 (adjusting nut)。依據兩螺母位置之遠近，可調節連桿往復運動之行程。間接即可調節爐箆擺動之振幅。

此種添煤器之爐箆，對於水平面成 35° 之角度。對於燃燒無烟煤，烟煤及褐煤均適用。

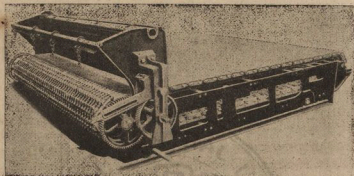
各種斜箆式添煤器工作之結果均甚好。特別在用同一鍋爐，燃燒不同性質之煤一層。當有重量之過載時，就仍能不發生黑烟論，或不若他種添煤器之優。但若小心使用，仍不失為一種最好之式樣。特別在小號及中號之鍋爐，尤為適用也。

146. 鍊箆添煤器 (Chain grate stokers) 在第 152 段，曾言倘燃料在爐中能達到繼續燃燒之程度，則結果最好。其意即使燃料在爐箆上有一種繼續前進之運動。其運動之快慢，喂煤之多少，以及供給空氣之約束等，務使燃料中所含各種成分均有一定之時間與空間容其燃燒。

鍊箆添煤器即依照此原理而工作。當煤離開漏斗落於爐箆之上，水分即先被蒸出。再稍前進，揮發物即行蒸出。經過後部白熱之火焰以上，即被燃燒。最後再燃燒固定炭。殘餘或灰分由爐箆最後端落於灰坑中。如鍋爐之載荷係一定，所用之煤又係一種不結煤時，此種方法之燃燒，結果最為圓滿。倘工作之情形適宜，可得到毫無黑烟之程度。普通言之，對於半烟煤及無烟煤不甚適宜。而最大之困難，則在安裝之不適當。致使過量之空氣，加入太多。但此種困難如安裝時特別謹慎，亦可避免。又安裝此種添煤器時，對於移灰方便一點，須特為設置。

147. 顧臨鍊箆添煤器 (Green chain grate stoker) 顧臨鍊箆添煤

器，有採用自然通風者，有採用加力通風者。第八七圖所示者，係採用自然通風者。

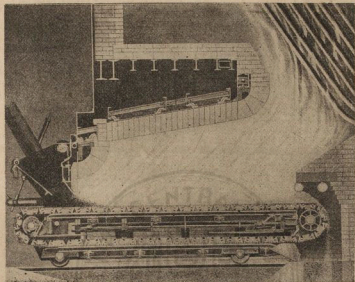


第八七圖

鍊筲係由多數鍊形爐條並排組成。繞於前後兩端之兩圓柱上而隨之迴轉。煤先裝於漏斗之中。漏斗之下端向爐筲開一橫口。當爐筲迴轉時，煤即繼續落於其上。爐筲之迴轉，係由一小蒸汽機帶動。其速率之快慢，可按用煤之種類及載荷之大小而加以調節。調節之結果，務使當煤進行至鍊筲之最後端時，恰好燃燒完全。如失之快，則必有未經完全燃燒之煤落於灰坑。如失之慢，則鍊筲之後段，將有若干通孔，使過量之空氣透入。兩者對於鍋爐之效率均有壞影響也。又由漏斗落於爐筲上之煤，其煤層之厚薄，可由鍋爐前之波板(apron)加以調節。

第八八圖表示顧臨自然通風鍊筲添煤器之剖面及正在工作之情形。

近年以來，需要鍋爐之能量日大。結果自然通風之鍊筲添煤器幾為加力通風者所代替。就現時論，凡採用鍊筲添煤器之總動力廠，均為加



第八八圖

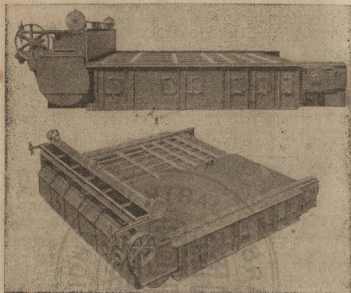
力通風式。在小規模之汽力廠，尚有用自然通風者。

用自然通風之鍊篋，實際工作若能達到額定馬力之百分之 200，即代表最大之能量。但若用加力通風，則可達到百分之 300。又在加力通風式，每方呎爐篋面積每點鐘能燃燒 55 磅至 60 磅煤。

148. 拔柏葛鍊篋添煤器 (Babcock and Wilcox chain-grate stoker)

此種添煤器係加力通風式，或鼓風 (blast) 式。其構造如第八九圖所示。

在此種添煤器，其兩邊之支架 (side frames) 含有兩個邊牆鼓風箱 (side-wall blast boxes)。此鼓風箱按添煤器之長短橫分為五部或六部。兩箱之間，並由工字梁橫連之。將鍊篋中間之空間，亦分為同數之部數。



第八九圖

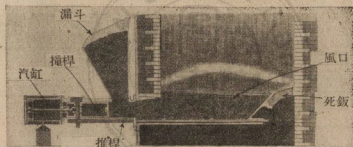
鼓風箱之各部，同連於一公共之鼓風管。各部所有空氣之壓力，均可由各部之阻飯(dampers)調節之。大致由前邊數，第二第三等部壓力較大。因此部燃燒較烈，需空氣較多。愈後則壓力愈小。因大部已燒全，多加入空氣，無益而反有害也。

149. 火下添煤器(Underfeed stokers) 火下添煤器分單槽式與多槽式。其原理皆係將新煤推入正在燃燒之煤之下部。受熱後，蒸出之揮發物一至上層正在強烈燃燒之煤層，即被燃燒。迨繼續被推至上層，則已成爲焦炭。故火之上層完全爲一層白熱之焦炭。所餘之灰分，在單槽式，則逐漸移於爐篦之兩邊。在多槽式，則逐漸移於爐篦之後部，落至灰坑，再行移出。

因灰分在火之上部，所到之溫度較高。故含硫黃或鐵質較多易成鎔渣之煤，不宜採用此種添煤器。因有發生大塊硬鎔渣之可能。

在此種添煤器，因在火上有極強烈之火焰，故所有揮發物實際上均被完全燃燒。就不發生黑烟論，較其他添煤器均在以上。惟因煤層甚厚之故，對於空氣通過之阻力太高。結果非用加力通風法不可。自然通風之力實不足以勝之。加力通風之風扇，恆由一小蒸汽機帶動之。

150. 約翰標準添煤器 (Jones standard stoker) 此種添煤器之構造，如第九〇圖所示，係單槽式。

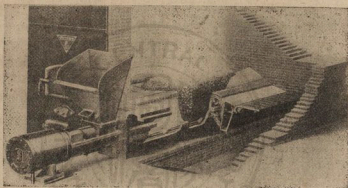


第九〇圖

煤由漏斗墜下，落於撞桿 (ram) 之前。撞桿後面直接與一小蒸汽機之活塞相連。故活塞每向上推動一次，撞桿即推進新煤一部於槽中。至推動之快慢，則按載荷之大小而定。槽之底上復有數個楔形推板 (wedge-shaped pushers)，與撞桿有同樣之往復運動。能協助撞桿向槽內推煤。使加入之新煤總在火下。再繼續上升。所需之空氣，則由一風扇迫入封閉之灰坑中。再經過爐篦上多數風口 (tuyère) 而達於爐篦之上。此多數風口之位置，多在槽之兩旁上部，新煤之上，正在燃燒之煤

之下。已成之灰，則逐漸移於兩邊之死飯(dead plate)上。再由爐前之灰門移出之。

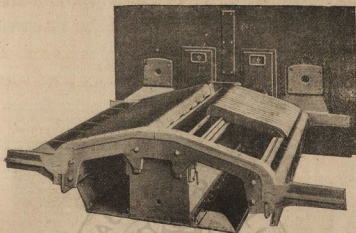
第九一圖，亦表示一種約翰標準添煤器。惟兩邊各備一卸灰之臺(dump)。謂之邊臺(side dump)。灰分先歸於臺上，再落於灰坑。由坑前之門移出。



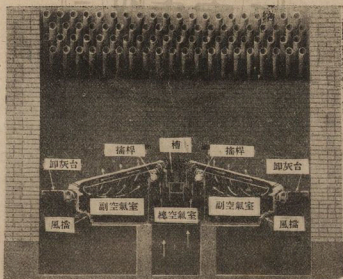
第九一圖

151. E式添煤器 (Type E stoker) E式添煤器，係燃燒工程公司(Combustion Engineering Corporation)所製。有單槽者。有多槽者。第九二圖表示此式中一單槽者之後視圖(rear view)。第九三圖則為此同一添煤器之橫斷面圖。圖中矢標表示爐篦下空氣之分配及空氣經過爐條之情形。

第九四圖，係此添煤器之縱斷面圖。表出煤由爐篦之前方移向後方之方法。在煤槽之中，尚有滑底(sliding bottom)一個。其長度約與爐篦之長相等。其上裝置楔形推飯(pushers)數個。煤由漏斗下行，先落於槽

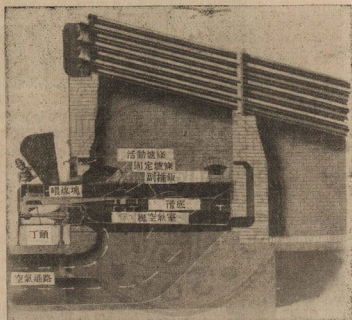


第九二圖



第九三圖

中滑底之上。由添煤機汽缸中之活塞，帶動滑底，使發生同樣之往復運動。滑底上之推板遂將煤由前方推向後方。前此之煤，亦遂因被擠而上升。



第九四圖

又此種添煤器之爐條與莫斐添煤器之爐條相似。亦由兩組組成。固定者與活動者彼此相間。兩邊活動爐條之內端，各置於一搖桿 (rocker bar) 之上。搖桿擺動時，使其內端發生上下運動。上下運動之程度，約由 $\frac{1}{2}$ 吋至 1 吋。此種裝置與運動，一面可使中部之煤繼續向兩邊移動。一面可使已成之灰分繼續移至兩邊卸灰之臺 (dump trays) 上。

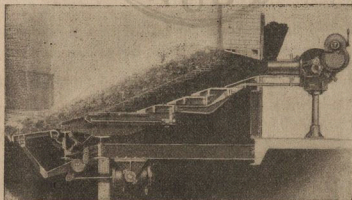
又兩種爐條均係中空者。內外兩端之下部各有一口。空氣由總空氣

室 (main air chamber) 上行，入於各爐條內部之口。一部由風口吹出。一部經過爐條之空部外行。由各爐條外之口入於副空氣室 (auxiliary air chambers)。再經過各爐條間之空隙達於爐篋之上 (參看第九三圖之矢標)。

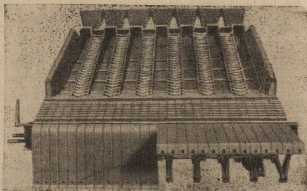
152. 推樂耳添煤器 (Taylor stoker) 此種添煤器係火下添煤器中之多槽式。全體爐篋微向前傾斜。故亦稍採斜篋式之理。或稱之為稍採重力之理 (Gravity principle)。其構造可參看九五與第九六兩圖。第九五圖表示全爐之縱斷面。第九六圖表示全爐篋之後視圖。

此種添煤器由並排之多數煤槽組成。槽之兩邊，由多數空盒排成。每盒之上，均有一有孔之鐵蓋。蓋上之孔，亦謂之風口 (tuyères)。由一風扇壓迫空氣入於各空盒，再經過風口而吹入煤層之中。

添煤之法與前述數種無大差異。即煤由漏斗中漏下。由上撞桿推入每槽之上端。將前此已在槽中之煤擠上一部。一部新煤，由重力關係沿



第九五圖



第九六圖

槽下行。並由下撞桿 (lower rams) 推之外出(此添煤器在各槽之下部，有數個推桿 (pusher)，或下撞桿與上撞桿同時運動)。故所有新煤，均由火下加入槽中。

在風口以上之煤層，其厚度由 2 呎至 4 呎。加入之新煤，先被擠向上方。然後緩緩下行，歸於卸板 (dump plate) 之上。下撞桿之動作，能保持煤層疎鬆多孔。並不生煤渣。最後之燃燒有時繼續至延伸爐篦之上 (即各煤槽下部較平部分)。至卸板時，則只餘稍熱之灰而已。

在延伸爐篦之下，備一阻板 (damper)，以便調節加入此一部爐篦之空氣量。使留於灰分中之可燃質燃燒完全。

卸板每經一定之時間，即卸灰一次。其動作或由機械力，或用人力。

153. 在機械添煤器上之爐篦面積 在具有斜篦之添煤器之爐篦面積，係按爐篦投射於水平面上之面積計算。謂之投射面積。在機械添煤器上。投射爐篦面積對於受熱面之比，約由 1:55 至 1:65。

154. 機械添煤器之優點與劣點 用機械添煤器燒火，較之人工燒火之優點如下：

(1) 省燃料 因無用之冷空氣加入之機會少。添燃料之方法亦均勻一律，故燃燒比較完全。結果鍋爐之效率自然提高。且較劣之煤，亦可採用。

(2) 在大動力廠，省人工。

(3) 在同一鍋爐所生之蒸汽多。等於增加鍋爐之能量。

(4) 有適應鍋爐載荷急劇變化之可能。

(5) 燃燒之結果幾達到無黑烟之程度。

其劣點如下：

(1) 初裝費高。

(2) 養護費高。

(3) 工作費大。——多數機械添煤器用其鍋爐所生蒸汽之百分之0.5至百分之3。

在小動力廠，倘無機械搬運灰煤之設備，則採用機械添煤器較用人工燒火所省之工費無多。但因下列數種原因，即在小動力廠亦有採用機械添煤器之必要：(一)保全燃料，或不應浪費燃料之需要日增；(二)高級煤或宜於人工燒火之煤之不易多得；(三)約束或免除黑烟問題之日趨嚴重。

在大動力廠，機械添煤器之採用，更屬毫無問題。所宜考慮之點，只在何種情形之下，以採用何式為優耳。

若用人工燒火，一火夫約可管理 500 鍋爐馬力。若用機械添煤器，

則一火夫約可管理 5,000 至 10,000 鍋爐馬力。

採用機械添煤器之鍋爐。其爐寬有至 32 呎者。爐長有至 24 呎者。火下添煤器多槽式之槽數，有至 15 者。

155. 煤粉製法 自 1920 年以後，用煤粉為燃料之汽力廠大見增加。同時機械添煤器之製造，亦大見進步。非就各方面詳加研究比較，有時頗不易判定究以採用何種為宜。

預備及燃燒煤粉，有兩種不同之制：(一)倉儲制 (storage system, bin system, or bin-and-feeder system)；(二)單位制 (unit system or direct fired system)。倉儲制採用較早，而兩種制所得之結果，亦不相上下。惟晚近以來，因單位制構造簡單，且初裝費，工作費及養護費均低之故，採用者日見加多。

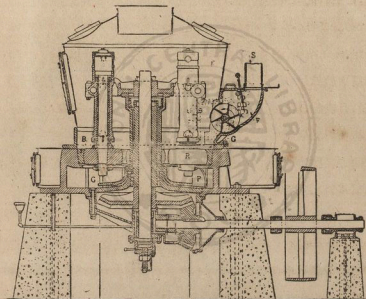
在倉儲制，所需標準設備為一乾燥機 (drier)，將煤中水分移去。一煤磨 (mill)，將煤磨至所需之細度。一螺旋搬運器或一鼓風系統 (blower system)，將煤粉運至鍋爐房。一風扇，將煤粉吹至燃燒器 (burner)。最後即燃燒器本身。若煤原無水分或水分極低，則磨以前不必加以乾燥之手續。如此則乾燥機可以省去。新式者更有即利用預熱之空氣在粉煤機中對於煤加熱，而不用單獨之乾燥機者。

在單位制，則全部之粉煤設備，即屬於每個之鍋爐。而設備則變為最簡。煤粉製成後，即直接用於鍋爐。故有下列數種優點：(一)無儲存設備之需要；(二)運搬之工作化簡，因粉煤機極近於鍋爐；(三)因用預熱空氣於粉煤機，省去單獨之乾燥機。

又在兩制之中，均須將煤先碎成大致一律之塊。普通以能經過 1 吋

之環孔爲度。然後再使經過一磁力分鐵器，使煤中混雜之碎鐵分出。再乾燥之而加入粉煤機。製成煤粉後，在倉儲制，則存於倉中。在單位制則直接用於鍋爐。

156. 瑞芒煤磨 (Raymond mill) 瑞芒煤磨，用於倉儲制。其構造略如第九七圖所示。



第九七圖

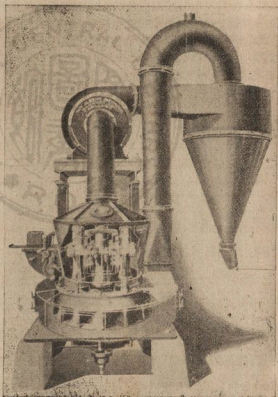
已碎已乾之煤，由儲倉內經過管口 S 入於自動喂煤裝置處 F。此自動喂煤裝置，按煤磨工作之情形，加適當之量於磨室 (grinding chamber) G。再由錳鋼製之推板 P 推之向上，使入於轉子 (roller) R 與磨面 B 之間。遂被磨碎。每一推板 P 均恰位於一轉子之前。故當迴轉時，

總有定量之煤推入R與B之間。

使已磨成之細煤粉與較粗之煤粒分開之工作，由一風扇司之。空氣由風扇上抽，使經過磨之內部。由磨室底部多數切線方向之孔加入。向上行，繞轉子R與磨面B。已成之細煤粉，遂被攜帶而上，入於分離器(separator)中。較粗較重之煤粒仍行落回。重被研磨。直至所要之細度為止。已磨細之煤粉，亦決無存留磨室以妨礙工作之弊。

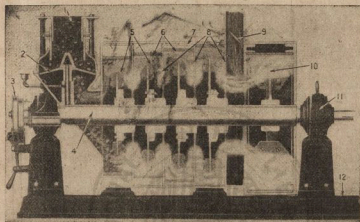
第九八圖表示

此種煤磨之全體。將風扇與旋風分離器等均行表出。已成之細粉由風扇從磨中抽上。按切線方向吹入旋風分離器之中。由離心力之作用，將煤粉擲出，落於下部漏斗中，再歸於煤粉倉中。較清潔之空氣，由漏斗上部分出，上行由回管復歸於煤磨之下部。如圖上所示。



第九八圖

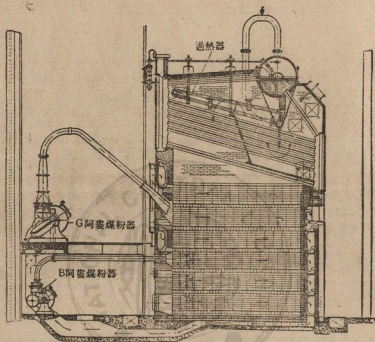
157. 阿婁單位粉煤機 (Aero-unit pulverizer) 此種粉煤機，用於單位制。其構造略如第九九圖所示。



第九九圖

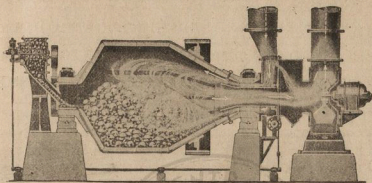
- | | | |
|-----------|----------|-------------|
| 1. 煤之入口 | 2. 迴轉喂煤板 | 3. 喂煤機構之原動輪 |
| 4. 特重合金鋼軸 | 5. 合金鋼磨板 | 6. 合金鋼襯套 |
| 7. 鋼板箱 | 8. 鋼隔板 | 9. 空氣入口調節板 |
| 10. 風扇 | 11. 雙滾軸承 | 12. 底板 |

在此種粉煤機，煤之被磨係分爲數級 (stages) 爲之。預熱之空氣由左端加入一部，向右橫吹。已成之細粉，一面受離心力之影響，沿軸垂直之方向，向外投擲。一面受熱空氣之風力，由左向右運動。倘細至一定程度，結果受第二種之力之影響超過受第一種之力之影響時，則被吹向右而行。若仍失之較粗，則必落於中間一級。重被研磨。直至最右端，由風扇直接吹入鍋爐而被燃燒爲止。各部之名稱，參看圖下註解，即可了然。至此種粉煤機對於鍋爐之裝置法，則如第一〇〇圖所示。



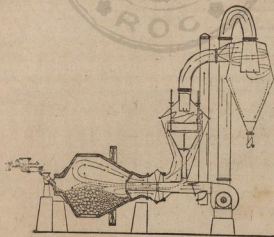
第一〇〇圖

158. 哈丁球磨 (Hardinge ball mill) 規模較大者，多採用球式 (ball type)。哈丁球磨，即其一例。其構造如第一〇一圖所示。中部係一段筒形兩段錐形組成之空筒。中置生鐵製之球若干。煤由左端加入。右端有一雙層套管。空氣由外層加入筒中。由筒之中部折回。再由中層管以達於風扇。空筒由外部之齒輪帶之旋轉。各球遂繼續翻轉。將煤擊碎。已成煤粉者遂被攜帶而出。較重者，仍落筒中，重複被擊。又煤粉之細度可由風力之大小調節之。



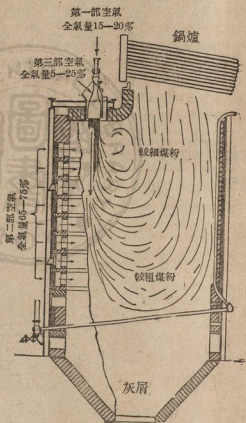
第一〇一圖

又有使空氣由中層以達於外部，經筒之中間折回，再由外層以達於外部者。當空氣攜帶煤粉外出後，亦有使再經一分離器 (separator)，結果使較細之煤粉外出，較粗者仍回於筒中者。如第一〇二圖所示。



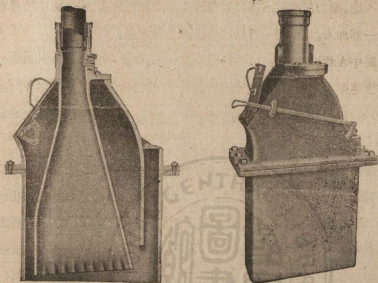
第一〇二圖

159. 煤粉爐之燒火法 煤粉爐之燒火法計有三種：(一)垂直式 (vertical)；(二)水平式 (horizontal)；(三)切線式 (tangential)。垂直式燒火法，如第一〇三圖所示。將燃燒器 (burner) 置於爐之上部。垂直向下噴射煤粉。燃燒所需之空氣共分三部。一部攜帶燃料，經過燃燒器之噴口 (nozzle) 入爐。謂之第一部空氣 (primary air)。一部由爐牆之前面，經過多數入口，向內橫吹。當燃料下行時，隨時隨地加入空氣。謂之第二部空氣 (secondary air)。又一部係由燃燒器噴口之周圍經過一可以調節之阻板加入。所以助燃料初出噴口之燃燒者。謂之第三部空氣 (tertiary air)。第一〇四圖表示用於此種燃燒器之一種。即婁怕耳扣燃燒器 (Lopulco burner)。



第一〇三圖

當第一部空氣吹煤

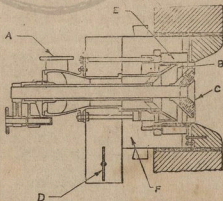


第一〇四圖

粉入爐中時，其速率約達到每秒100呎至150呎左右。迨火焰及於爐之下部，其速率慢慢遺失。

然後由通風之力，使之折而上行。沿爐之後部以達於水管之周圍。

水平式燒火法，如第一〇五圖所示。只有第一第二兩部空氣，而無第三部空氣。第一部空氣仍用以攜帶煤粉經過燃燒器之

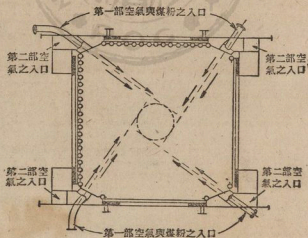


第一〇五圖

噴口入爐。第二部空氣或經過燃燒器周圍之通路加入。或經過燃燒器本體之一部加入。且多用一阻飯以便調節空氣之量。

圖中A為煤粉之入口。B為煤粉之噴口。C為分配器(Distributor)。可前後移動以調節噴口橫斷面之大小。D為調節第二部空氣多少之阻飯。E為第二部空氣入噴口處之翼片(vane)。F為第二部空氣之風箱(wind box)。

切線式燒火法，如第一〇六圖所示。亦無第三部空氣。宜於地位較小而能量較高之鍋爐。將燃燒器置於爐之四角。噴口則置於空氣入孔之中。第一部空氣隨煤粉吹入。第二部空氣則由噴管之周圍加入。四角之煤粉與空氣吹入時，使均與爐中央一想像之小圓相切。結果使火焰全體發生迴轉，以充滿爐之內部。對於燃料與空氣之混合上，亦頗有助力。



第一〇六圖

在三種方法中，水平式因構造簡單，裝置較易，故採用者較多。

當爐中燃燒之混合物發生劇烈之擾動，使各部互相攙雜互相交錯之現象，謂之擾動 (Turbulence)。就試驗所得之結果，此種擾動之現象，可以增燃燒之速率。其原因有二：(一)因擾動之故，幾使火焰充滿全爐之容積。即使全爐之容積變為有效；(二)增加空氣中之氧氣與燃料中純燃質之質點接觸之機會。

在採用加力通風之鍊籠式添煤器及火下添煤器，有時能得到此種結果。在用煤粉為燃料之鍋爐，更易得到。

160. 用煤粉發生之問題 用煤粉為燃料所以能得較高效率之原因，最主要者為減少過量之空氣。但結果使爐中溫度較高，灰分易鎔。而爐之內層亦易受侵蝕。當此種燃料初被採用時，鎔解之灰分投於爐牆，然後向下流入灰坑，有時將磚之一部為所帶下。俟冷卻以後，又結為堅硬之塊，極難移動。為避免此種障礙，最好之方法即使水冷全爐。在爐之下部置一排水管。當灰分下落經過水管時，使之變冷，不致鎔解。此一部水管，多謂之水篩 (water screen)。爐之後邊及兩側，亦各置水管一排。惟此數部水管，則謂之水牆 (water walls)。且所有水管均與鍋爐相連。或直可認為係鍋爐之一部。既可保護爐牆，又多收回熱力一部。

減輕爐牆被侵蝕之另一法，係將爐牆築成空者。使爐牆之內層與外層之間留一層空間。並使燃燒所用空氣之大部經過之，以吸收其熱量。如鍋爐燃燒之程度較烈時，水冷法較氣冷法之效率大。又增加過量之空氣量，犧牲百分之一二之效率。亦能將爐牆被侵蝕之程度大為減輕。

在採用機械添煤法之爐，有時因爐中溫度太高，亦發生此種困難。

故亦有採用水冷法或氣冷法者。

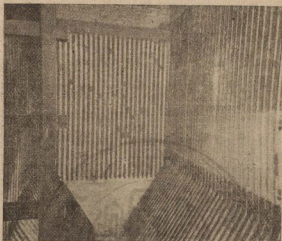
用煤粉爲燃料之爐，如欲燃燒完全，其容積須大。且容積變大，並可免去火焰直燒及爐牆之弊。又有一種問題，尙未十分解決者，即由烟筒上飛之細粉與細灰，對於附近居住人家之妨害。蓋此種細灰，由空中下落，一如灰霧。其受社會所厭惡，直與黑烟無殊。爲減輕此種細灰之飛揚，曾採用下列數種方法：（一）用噴水收集；（二）用機械分離器（mechanical separator）；（三）用電力洗滌法（electrical precipitation）。

161. 水牆與水篩 (Water walls and screens) 從前所有鍋爐之爐牆，多係由磚類建築。近年以來，因能量甚大之機械添煤器及用煤粉爲燃料等之發展，使爐牆之建築有改變之必要。第一步即係採用氣冷法，在火磚爐襯（lining）與外牆之間，留一部空間。使空氣經過之。被熱後再加入爐中。後經試驗之結果，知倘在爐牆內襯以一層水管，並置一水篩於灰坑之上，則結果更佳。水篩係一排水平或微行傾斜之水管組成。各管間之距離務使灰分及煤渣易於漏下。當鎔成之渣液落至水篩附近，即由水吸去其熱。故未降至灰坑以前，即已成固體碎塊。不致成爲大塊之鎔渣。

組成水牆與水篩之水管，有時與鍋爐連於一處，一如水管式鍋爐之水管。有時係一獨立之循環。無論用何種方法，均能增加鍋爐之吸熱能量。且就養護言，亦較用磚牆經濟。故近年以來，在大能量之鍋爐，對於採用水牆幾乎已無例外。有時爐之四邊皆裝水管。有時在一兩邊裝過熱管。其餘裝水管。

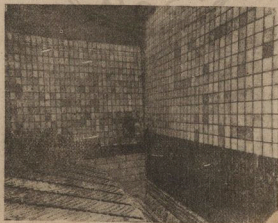
第一〇七圖表示一採用煤粉爲燃料之爐。三邊裝有法思特快樂

(Foster-wheeler)水牆。



第一〇七圖

第一〇八圖，表示一貝勒(Bailey)水冷爐於一機械添煤爐上。所有直立水管，恐萬一有一部燃燒過烈，而用若干薄鐵塊以保護之。使向各

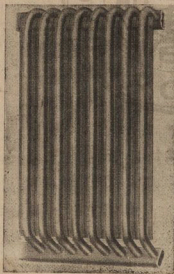


第一〇八圖

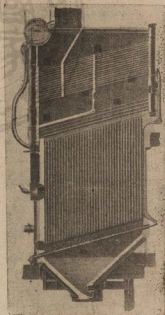
部平均傳達。此爐係用於一 1,658 馬力之拔柏葛鍋爐。每點鐘能蒸發每方吋 375 磅汽壓之蒸汽 200,000 磅。

第一〇九圖，表示一 C-E 加翅爐牆(C-E fin-furnace walls)之一部由爐內觀查之情形。各管之後部，向左右各加一翅。各管之翅相連即組成一平牆。管之上下兩端均彎向牆外，各連於一聯管之上。

第一一〇圖表示一採用煤粉為燃料之爐用於橫筒式海音鍋爐之情形。並含下列數項：(一) C-E 加翅水牆；(二)婁怕耳扣(Lopulco)水牆；(三)依來斯扣對流過熱器(Elesco convection superheater)；(四)水平式燃燒器。



第一〇九圖



第一一〇圖

162. 鍋爐給水(Boiler feed water) 鍋爐用水是否純潔，關係極為重要。自然井水，多少總含有一部不潔物質。尤以礦泉及在地面下接觸石層者為更甚。如不設法加以處理，依其不潔之性質，恆發生下列四種困難：

- (一)生水銹或結硬皮(Incrustation or scale)，
- (二)侵蝕鍋板或管板(Corrosion)，
- (三)起沫(Foaming)，
- (四)汽水同出(Priming)。

當所用之水近於純潔時，是否應用相當處理，有時似成問題。惟為增加鍋爐之效率及延長鍋爐之壽命(life)言，總以有適當處理較宜。又有絕對不能採用之水，如海水，除由之蒸溜凝結，得出一部純水再行應用外，無其他處理法，能使之應用也。

使鍋爐給水對於鍋爐不發生困難之方法，不外兩大類：

- (一)採用冷面凝汽器，使凝結之水復上於鍋爐。不足之量用一種蒸發器以補充之。
- (二)按水之性質，加一種處理方法或藥品，清潔後用之。發生困難之原因及處理方法，約如第二五表所列。

最普通之困難為發生水銹。伊利諾(Illinois)大學施密德教授(Prof. E. C. Schmidt)給出水銹之厚度對於效率上損失之比例，如第二六表所示。

163. 蒸發器(Evaporators) 如欲避免清潔多量之鍋爐給水，則在採用冷面凝汽器之蒸汽廠，利用凝汽器內凝結之水，仍上入鍋爐，最為

第二五表

使鍋爐發生困難之水中所有物 (Difficulty resulting from presence of)	困難名稱 (Name of difficulty)	戰勝或免除困難之普通方法 (Ordinary method of overcoming or relieving)
沈澱物及泥等	生 銹	澄清池, 沙濾, 用水沖出。
易 溶 鹽 類 (Readily soluble salts)	生銹及汽水同出	用水沖出(blowing down)
重碳酸石灰, 氧化鎂等 (Bicarbonate of lime, magnesia etc.)	生 銹	熱後再上。加石灰, 或加石灰與鹼處理之。加苛性鈉與水化銀 (barium hydrate) 處理之。
硫酸石灰(Sulphate of lime)	生 銹	加鹼 (soda) 或炭化銀 (barium carbonate) 處理之。
氯及硫酸鎂 (Chloride and sulphate of magnesium)	侵 蝕	加碳酸鈉(carbonate of soda) 處理之。
酸(acid)	侵 蝕	鹼質(alkali)。
溶解之碳酸與氧 (dissolved carbonic acid and oxygen)	侵 蝕	熱後再上。不使空氣滲入。加苛性鈉 (caustic soda) 或石灰末 (slacked lime)。
油脂(grease)	侵 蝕	過濾。加鐵明礬 (iron alum) 為凝固料 (coagulant)。用最高炭氫油 (hydrocarbon oils)
有機質(organic matter)	侵 蝕	過濾。用凝固料。
有機質(污物)(sewage)	起 沫	澄清池。加凝固料過濾。
大量炭酸鈉(carbonate of soda in large quantities)	汽 水 同 出	過新水 (New feed supply)。如用處理方法而起, 則更換之。

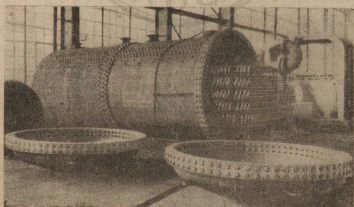
第二六表 因鍋爐水銹所受之損失

水 銹 之 厚 度 (吋)	效 率 之 損 失 (百分數)	水 銹 之 厚 度 (吋)	效 率 之 損 失 (百分數)
1/30	5.4	1/16	12.6
1/25	7.2	1/11	15.0
1/20	9.3	1/9	15.9
1/15	11.1		

經濟。因凝結之水係一種蒸溜水，幾將鍋爐給水之困難完全免去也。但蒸汽由鍋爐至汽機或汽輪仍回於鍋爐，經過一循環之後，總有一部分損失。故須時時加入一部分補充之水 (make up water)。此一部分補充之水若欲採用蒸溜者，則用一種蒸發器。

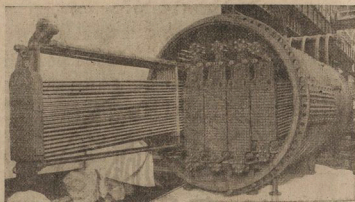
蒸發器之種類甚多，普通多係利用一部過熱蒸汽之熱，使水蒸發。此蒸發之蒸汽，再加入上水預熱器 (feed water heater) 中而凝結為水，或蒸發器凝汽器 (evaporator condenser) 中而凝結為水。即可隨同大部之給水入於鍋爐。至蒸發之法，係使過熱蒸汽經過多數小管，或由水圍繞之，或使水滴於管之外面成一薄層，均無不可。

第一一一圖表示一法思特恢樂潛入式 (Foster Wheeler Submerged type) 蒸發器。含有 1,850 方呎之蒸發面。在伊利諾煉鋼廠中裝有兩具。所用過熱蒸汽之表壓力為每方吋 252 磅。每點鐘能蒸發表壓力每方吋 150 磅，溫度 430°F (過熱度 60 度) 之蒸汽 100,000 磅。



第一一一圖

第一一二圖，表示格利克母羅素 (Griscom-Russel) 彎管蒸發器。係多組水平式 (multiple-section horizontal type) 圖上所表示之情形，係將一端之蓋移開，並將一組管抽出一段。



第一一二圖

164. 除氧器 (Deserator) 純水吸收氧氣之能力甚大，而氧隨水入於鍋爐，對於鍋板及管板之侵蝕力甚強。特別在溫度較高之時。故當給水未入鍋爐以前，宜將氧氣除去。此種驅除氧氣之器具，謂之除氧器。

除氧器之式樣甚多。但在所有式樣之中，均係使水在除氧器中沸騰，將其中之氧氣與空氣等驅出於水蒸汽之外。其熱源亦多係利用一部分蒸汽。有時即由開口上水預熱器 (open feed water heater) 任之。但因壓力較小之故，驅除之力有時嫌其不足耳。

165. 鍋爐上水器 鍋爐上水器，為上水於鍋爐之設備。為鍋爐輔助品中之必要者。且鍋爐無論在何種情形下，其工作均須確定而可靠。可分為兩大類：(a) 上水泵 (feed pumps)；(b) 射水器 (injectors)。茲分

別述之如下：

166. 上水泵 上水泵分爲三大類：

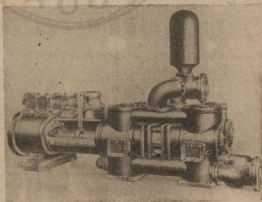
(一)直動泵(direct-acting pump) 由自身之汽缸帶動之。

(二)往復泵(reciprocating pump) 由蒸汽機直接帶動，或經過皮帶間接帶動。或另由一電動機帶動之。

(三)離心泵(centrifugal pump) 由一汽輪或由一電動機帶動之。

由自身汽缸帶動之上水泵，在 1,500 馬力以下之汽力廠採用者頗多。較由蒸汽機直接帶動或經過皮帶間接帶動之水泵優勝之點，爲對於蒸汽機之工作完全獨立。可根據鍋爐需水之量以調節其速率。其主要之劣點，則爲用蒸汽太不經濟。在較小者，每指示馬力(I. H. P.)每點鐘約需蒸汽 150 磅至 300 磅。在較大者，則約由 80 磅至 150 磅。在複式凝結者(compound condensing)，則由 60 磅至 75 磅。又此種上水泵之機械效率約爲百分之 80。

第一一三圖，表示一具有四個單行水缸(single-acting water cylinders)之直動泵。有兩個柱塞(plungers)在此四水缸內工作。柱塞在泵之中心，而軟墊蓋(packings glands)則在



第一一三圖

水缸之外。又在水泵中所以採用柱塞不採用活塞(piston)之故，因用柱塞時，軟墊易調節至不漏水之程度也。又此圖上所示之式樣，謂之外心墊水泵(outside center-packed pump)。

由蒸汽機直接帶動或經過皮帶間接帶動之上水泵，無蒸汽不經濟之劣點。因蒸汽在汽缸中之停汽點提早，可以利用蒸汽之膨脹力。不似直動泵蒸汽直推活塞於極端而無停汽點也。但同時又發生其他劣點。即其速率完全由蒸汽機之速率而來。不能隨意變化。如鍋爐所需之水量減少時，須備一種設備，使所排之水，一部仍返於吸水之一邊。如鍋爐之上水應短時停止，則所排之水須全部返回。

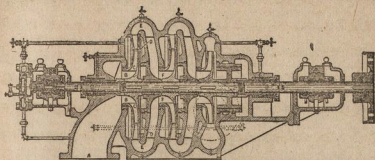
反而言之，採用此種上水泵，除蒸汽機正在工作外，不能用以上水。故當蒸汽機停止時，若欲上水，須另備一種輔助之設備方可。

在大動力廠，若採用此種往復泵，恆由一電動機帶動之。如此則前述兩種之優點均可得到。而無多耗蒸汽之劣點。

在動力廠之馬力數超過 1,500 上至 2,000 時，普通恆用離心泵。此種上水泵，恆製為若干級。級數之多少，按上水鍋爐壓力之高低而定。可用一小汽輪帶動之。亦可用一電動機帶動之。普通用電動機帶動者較多。又與前兩種比較，其不同之點有二：(一)用前兩種泵，水入鍋爐，係搏動的。用此種泵，水入鍋爐係連續的。(二)用離心泵，初裝費較高。但因無出入水瓣等部分，故養護費較低。

第一一四圖表示一凱模郎離心泵(Cameron centrifugal pump)之橫斷面。

此離心泵係由一小汽輪帶動。共分三級(three stages)。每級有一



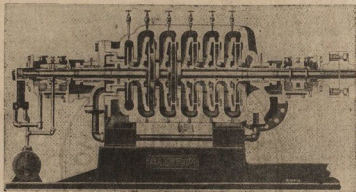
第一一四圖

推進輪 (impeller)。其裝於一軸上。水由 A 處入泵中。由 B 處加入第一推進輪。輪上有數個向外彎曲之通路或翼片 (vanes) C。與輪殼上之 B 孔相連。當輪按高速率迴轉時，水由 B 處入於輪中。即刻受離心力之影響，向輪之四周遠離。且其速率愈遠愈大，最後以高速率離開輪周。並即刻在 D 處入於擴散翼片 (diffusion vane) 之中。此種擴散翼片，滿裝置於固定函箱之內周。均向中心。包圍推進輪之周圍。各翼片含有多數向外之通路，其橫斷面均逐漸擴大。故水由 D 處以高速率加入擴散翼片，因所經通路逐漸擴大之故，其速率漸減而壓力則漸增。即由動能力變為壓力能力。直至 E 點，水之方向迴轉 180° 。務使其速率減低之程度，不但使迴轉時因摩擦阻力之損失減至最低，且不使水撞擊函箱之力失之過大，以致受損。

此後具有較低速率與較高壓力之水，由 F 處加入第二級之推進輪。在此一級，各步之作用完全重複。直至最後一級。每級均增加壓力一部。在最後一級，將擴散翼片減去，而代以蝸形室 (volute chamber)。因至

此級時，不再使水之方向向一邊迴轉。而使之直入於出水管。如此構造，比較簡單也。

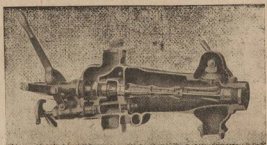
第一一五圖表示一六級凱模郎離心力鍋爐上水泵之斷面。鍋爐內之壓力，由每方吋 700 磅至 800 磅。



第一一五圖

167. 射水器 (Injector) 射水器係利用鍋爐所發之蒸汽以上水於鍋爐之器具。為 1858 年法國工程師給發 (Giffard) 所發明。機車鍋爐上採用最多。固定之鍋爐，間亦有採用者。

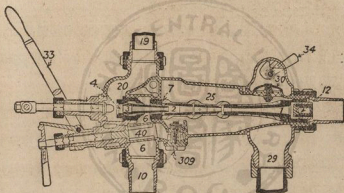
第一一六圖表示塞樂耳射水器 (Sellers injector) 剖面之照片。第一一七圖則表示其斷面及各部之構造。



第一一六圖

茲就第一一七圖敘述其各部之作用如下：

由鍋爐引來之蒸汽，由管 19 加入射水器。起動之時，先將柄 33 向左搬動少許。蒸汽由 20 經過斜鑽孔 4。再經過孔 7 而入於外溢室(overflow chamber) 25。推開外溢瓣(overflow valve) 30 而由廢水管 29 流出。此一部蒸汽當經過蒸汽噴嘴(steam nozzle)周圍之環管時，將附近之空氣攜之同去。使 6 部發生真空。結果使給水由 10 而上。此吸上之水隨蒸汽經過孔 7 及外溢室 25。最後亦由廢水管 29 流出。



第一一七圖

當 29 處有水流時，將柄 33 更向左搬一段。使多量之蒸汽由噴嘴 3 之中間向右衝過。此一部蒸汽當與周圍之水接觸時，與之混合於管 2。並同入於管 1。當混合之汽與水達到管之喉部時，蒸汽全部凝結。但與水以極高之速率。至管 1 中橫斷面漸行膨大之部分，水之速率減而壓力增。結果壓力高至能壓開止回瓣(check valve) 12 時。水即射入鍋爐。

如水之供給停止，則由小孔 4 經過之蒸汽必繼續在 6 發生真空。及水之供給一旦復原，則射水器又起始發生作用。故此種射水器有時謂之

自動射水器(self-acting injector)。又當射水器正在工作時，外溢室 25 中之真空度，使水將自動入水瓣(automatic inlet valve) 309 推開。多加入一部分水。此水亦經過管 7 而入於管 2。射入鍋爐。增加射水能量(capacity)約百分之二十。當壓力降時，6 處之真空度因之降低。上吸之水亦因之減少。即入混合管及鍋爐之水亦減少。40 係一調節瓣。根據鍋爐之需要以調節入水之能量者。當射水器用作一上水預熱器(heater)時，將柄 34 提升，使外溢瓣 30 關閉即可。

射水器一物，若以普通之排水機視之，其機械效率實屬甚低。但就向鍋爐上水言，其熱效率實近於百分之百。因除去極小部分之輻射熱外，其熱能力仍完全返於鍋爐也。

在普通固定鍋爐，用射水器者較少。即採用時，亦多用作一種輔助設備。萬一常用之上水泵發生意外時，即用射水器上水。在機車鍋爐，則普通多用射水器上水。其原因有二：(一)射水器占地面小；(二)有時可用作上水預熱器。因在機車上乏汽已用作通風之用。不能利用之以熱水也。

168. 入水溫度對於水面高低之關係 如上水泵或射水器用以排冷水時，則吸入一邊提升之高度(lift)不宜超過 22 呎。更有主張不宜超過 15 呎者。又凡吸入一邊依賴大氣壓力將水提升一定之高度者，有時謂之提升式(lift type)。

如所排之水係熱水，其溫度若至 120°F 時，則事實上不能採用提升式。因吸管中之壓力若低至與沸點 120°F 相當之壓力時，則水即沸騰。所排上者將盡為蒸汽也。故排熱水時，水泵應在吸入一邊水面之下。

例如向鍋爐排上水預熱器內之水，則水面應在水泵中心線以上 5 呎左右方好。

射水器若用以排 100°F 以上之水，亦頗難起動。

169. 上水預熱法 在新式汽力廠，水未加入鍋爐以前，多設法先加以熱。如所用之水係一種不純潔之水，則生銹物質多沈澱於加熱之設備中。但在多數新式汽力廠，所用之水多為蒸溜水或已加處理之水，故無此弊。加熱之方法，則有下列兩種：

(一)利用蒸汽之熱 如帶動上水泵，風扇及其他輔助蒸汽機之乏汽，汽輪低壓部撤出之汽(bleeder steam)，甚至即用新蒸汽。

(二)利用烟氣之熱 即利用已離鍋爐尙未至烟筒之烟氣之廢熱。

利用第一種加熱之方法者，謂之上水預熱器(feed water heaters)。利用第二種加熱之方法者，則謂之省煤器(economizers)。

在大動力廠，特別在採用高壓蒸汽者，上水預熱法，有時分為數步為之。即第一步利用乏汽或利用烟氣，先將上水熱至一定之溫度。然後再用由汽輪各級(stages)撤出之蒸汽熱之。此種方法，謂之分級加熱法。

預熱上水主要之優點如下：(一)因上水之溫度增加，故蒸發同一磅數之蒸汽，比較省熱。結果即比較省燃料。(二)因加入鍋爐之水之溫度已較高，故減輕鍋爐因溫度變化所發生之變形(strain)。因之即減輕傷損。(三)減少由水變汽所用之時間。即等於增加鍋爐之能量。(四)因撤出汽輪低壓部之蒸汽使加入上水預熱器，結果減少經過汽輪低壓一段之蒸汽之容積。對於汽輪製造上，有相當利益。如一上水預熱器能使上水之溫度由 70°F 增至 200°F 。則燃料可省去百分之十二。即平均每 11

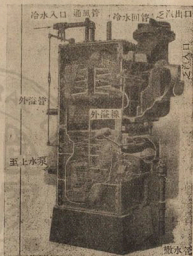
度即省燃料百分之一。普通安裝數月之後即可將初裝費省出。

170. 上水預熱器之式樣 上水預熱器之式樣，分爲兩大類：(一)開式(open type)；(二)合式(closed type)。開式上水預熱器之構造如第一一八圖所示。將利用之蒸汽由一管引入生鐵製或熟鐵製之箱中。冷水則由頂部加入，使向下噴散。與蒸汽直接接觸。又在此式冷水下行時多經過數層之平盤（其位置或交相傾斜，以便水流），水中所含生銹物質遂淤積於其上。當清理預熱器時，將平盤撤出加以清理即可。

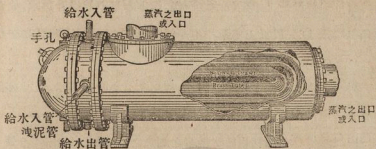
所利用之蒸汽，如係含有油質之乏汽，則入預熱器之前須經過一分油器(oil separator)。已熱之水在

加入上水泵以前，普通亦使經過一種濾器(filter)。上水預熱器須在上水泵以上一定之高度，使水入泵時即已有相當之壓力。普通多使在5呎以上。又預熱器中之水面由一浮瓣(float valve)保持一定。如低於此，則自動開開，使水流入。

合式上水預熱器之構造，係在一鐵製或鋼製之圓筒中，裝置若干細管。其裝置之方法，或按第一一九圖所示，將管之一端裝置於圓筒一端之隔飯上。彎曲後折回，將彼端亦裝置於同一之飯上。惟彼此分離，使冷熱水無混合之弊。或按第一二〇圖所示，將直管或盤管之兩端，分別裝



第一一八圖



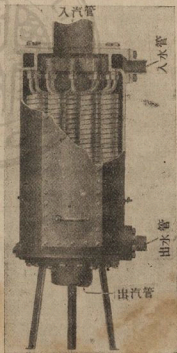
第一一九圖

置於圓筒兩端之聯箱中。

蒸汽加入圓筒之中，繞於各細管之外，冷水則經過各細管之中。故在合式之上水預熱器，蒸汽與水彼此不相接觸。

又合式上水預熱器多用於所熱之水受有相當壓力之時。價值較貴而清理較難。但採用者則日見增加。因在採用高壓蒸汽之汽力廠採用分級加熱法者日多，此式較為合宜也。

第一二〇圖，係瑞勒 (Reilly) 合式上水預熱器。所製之大小，由 50 馬力至 4000 馬力。



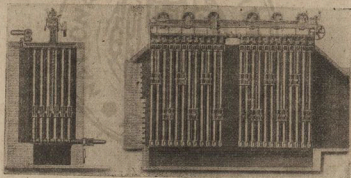
第一二〇圖

171. 預熱器之裝置 開式預熱器，恆裝置於上水泵吸水之一邊。合式

預熱器則多裝置於上水泵放水之一邊。因上水泵不能提升熱水，故在開式預熱器，或在裝置於上水泵吸水一邊之合式預熱器，上水泵之中心至少須在水面以下5呎之處。

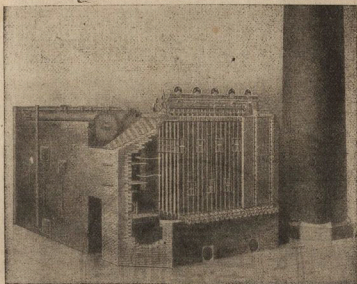
射水器永不與開式預熱器同用。因射水器不能用熱水。但可與合式預熱器同用。

172. 省煤器 凡利用已離鍋爐之烟氣之熱使熱鍋爐上水之裝置，均謂之省煤器。第一二一圖表示顧林(Green)氏省煤器之正視圖與側視圖。



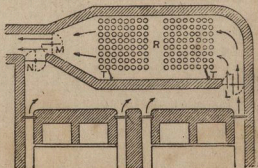
第一二一圖

第一二二圖表示省煤器在鍋爐與烟筒間裝置之情形。冷水先排入下聯箱(lower header)中。受熱以後，由上聯箱再入於鍋爐。烟氣出鍋爐後則繞於各水管及聯箱之外。再歸於烟筒。各管上均備有刮削器(scrapers)，由鍊懸之。時時往復上下，以清理附着於管外之烟灰。在他式有利用空氣或蒸汽吹落者，亦有每隔一定之時間，用水沖洗一次



第一二二圖

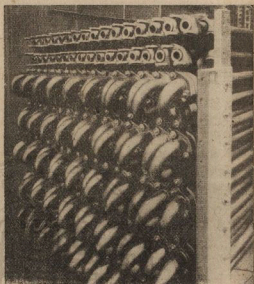
爲有時單獨清理省煤器，並不影響鍋爐之工作，則鍋爐與烟筒間之通路，使如第一二三圖所示之情形。即開L M兩阻板，關N阻板，則烟氣經過省煤器。反之若關L M兩阻板，開N阻板，則烟氣可由鍋爐直達烟筒。省煤器即可單獨清理之。



第一二三圖

第一二四圖表示
一拔柏葛省煤器(Bab-
cock and Wilcox

economizer)。各管均係無縫鋼管 (seamless steel)。直徑 2 吋。用擴張法 (expanded) 裝置於鍛鋼之聯箱上。再由曲管連接之。各管均係橫置。與顧德省煤器不同。



第一二四圖

173. 裝置省煤器之優點與劣點 裝置省煤器之優點如下：(一) 利用已離鍋爐之烟氣之廢熱，減輕熱之損失；(二)

如鍋爐對於其應負之工作失之小時，可利用省煤器以增加其能量；(三) 因鍋爐溫度之變化小，故各部因溫度差所生之變形 (strain) 小，因溫度差發生裂隙之機會少；(四) 水中不潔之物質多沈澱於省煤器，極少入於鍋爐。

其劣點如下：(一) 初裝費與修理費均較高；(二) 減低通風之力，因各管橫阻於烟氣通路之中；(三) 增加洩入冷空氣之機會；(四) 增加建築及工作複雜之程度；(五) 必須用一引誘通風之風扇。除有甚高之烟筒外，此風扇須長時間工作。故消耗一部工作。

總計之，對於鍋爐之效率實有增加。故結果在新式汽力廠，多加採用。尚有數種原因使採用省煤器者日益增多。即(一) 燃料之價值日增；

(二)所需鍋爐能量日高；(三)採用之汽壓日高。蓋燃料之價值愈高，則減輕燃料消耗之設備之利益自愈大。鍋爐之能量愈大，則烟筒氣之溫度愈易失之高，即使省煤器吸熱之可能性愈大也。

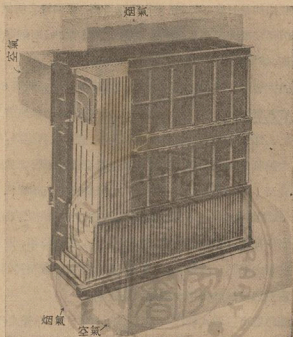
在普通情形下，每鍋爐馬力省煤器之面積約由4方呎至6方呎。

174. 空氣預熱器 (Air preheaters) 就前章關於鍋爐熱力對照表觀之，知損失之熱，以烟筒氣帶去之熱為最多。前述之省煤器，已能將此一部損失之熱收回一部。但一因裝置省煤器有種種附帶之劣點因之發生。有時竟至不見經濟。二因在新式汽力廠往往用汽輪撤汽 (turbine bleeding) 法熱鍋爐給水，以代替省煤器。再加以採用之汽壓日高，需要蒸發之速率日高，致烟筒氣之溫度因之愈高，種種原因，遂又發生一種吸收烟筒氣之廢熱之設備，即空氣預熱器是。故空氣預熱器者，利用烟筒氣之廢熱以預熱燃燒用之空氣之裝置也。

空氣預熱器有三種式樣：(一)熱板式 (plate)；(二)熱管式 (tubular)；(三)回熱式 (regenerative)。

熱板式之構造，如第一二五圖所示。將多數長方形之空鐵板置於一排。再置於一長立方形之箱中。烟氣由下而上經過各板間之空隙。空氣由左上方入於各板之中空部。再由右下方離開。彙於一總管再入於爐中。

各板之構造，如第一二六圖所示。外部之兩邊各具若干直線立棧。故各板相重，中留相當之上下通路。烟氣經過之。中部係空者。左上方留一口。右下方留一口。亦具若干曲線立棧。中留相當之曲線通路。空氣經過之。如此則烟氣所帶之熱即有一部經鐵板而傳於空氣。且合於對流原



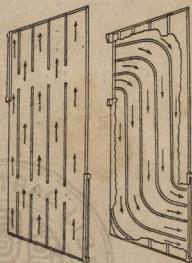
第一二五圖

理(principle of counterflow)。即較熱之烟氣給熱於較熱之空氣。較冷之烟氣給熱於較冷之空氣也。

熱管式之構造，如第一二七圖所示。其原理與熱板式相同。惟易板為管耳。在此種預熱器係烟氣由下而上經過各管，空氣則由左上方入，左下方出。繞於各管之外。並由三個阻板使之發生曲折。亦有反用之者，即空氣經過管內，以烟氣繞之。

回熱式之構造，如第一二八圖所示。在一圓筒形之巨箱中，裝置一迴轉甚緩之迴轉部(rotor)。中間由摺疊之金屬板或他種方法製成多彭

孔隙。交替由較熱之烟氣及較冷之空氣通過之。如圖中矢標所示。烟氣由左下方加入，向上行，經過迴轉部之孔隙。再由引誘通風之風扇排於烟筒。同時較冷之空氣由加力通風之風扇迫之，使由右上方加入。向下行，經過迴轉部之孔隙。再加入爐中。又烟氣與空氣

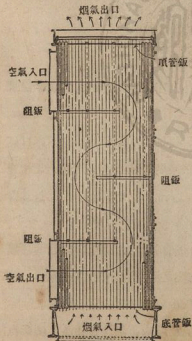


第一二六圖

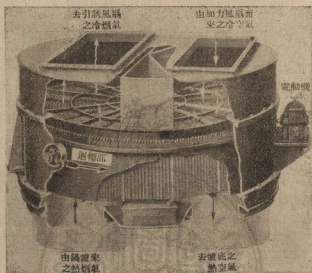
之流通皆係繼續者。

較熱之烟氣給熱於迴轉部之金屬板。儲蓄之，直至迴轉至對邊，與較冷之空氣接觸，即為空氣所吸去。因所有變化均係連續者，故烟氣繼續傳熱於空氣。

空氣之溫度，如擬使燃燒時不發生鎔渣之困難，實有一定之極限 (limitations)。特別在機械添煤爐中。在計畫適宜且灰分鎔化點較高之煤，空氣最高之溫度



第一二七圖



第一二八圖

曾用至 400°F 至 500°F 。在低級煤，如擬免除鎔渣之困難，空氣之溫度須較低。大致不宜超過 350°F 。

因用煤粉為燃料之鍋爐日見增加，結果使空氣預熱器應用亦日見增加。因預熱之空氣用於煤粉燃料較之用於機械添煤器之爐尤為相宜也。但用預熱空氣於煤粉燃料時，爐牆之大部須用水冷卻。否則養護費必高。且時有停工修理之弊。

使空氣預熱之結果，不但可減少由煙筒氣帶去之熱。同時並增加鍋爐之效率。一因空氣入爐以後使升至燃燒之溫度，所需之熱量較少。一因用預熱空氣，爐中燃燒之情形較佳，灰中殘餘之可燃質較少也。

175. 過熱器 (Superheaters) 在晚近以來，無論普通蒸汽機與汽輪，多採用過熱蒸汽。在新式之動力廠，則更無例外。其主要之利益如

下：(一)直至過熱未失去以前，蒸汽恆保持其乾燥狀態；(二)蒸汽由過熱器至用汽之處，雖有失熱，仍不凝結。只失去一部過熱程度；(三)在普通往復運動之蒸汽機，按蒸汽過熱程度之高低，蒸汽在汽缸內之初凝結(initial condensation)或大為減輕，或完全消除；(四)在汽輪中用過熱蒸汽，不但得到蒸汽上之經濟，並因無水分之故，高速率之葉片，不致因與水接觸而受侵蝕。

過熱器可分為下列三大類：

(一)對流式(Convection type)，

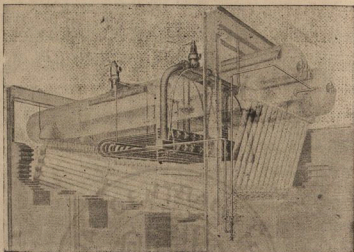
(二)輻射式(Radiant type)，

(三)汽對汽重熱過熱器(Steam to steam reheat superheater)，或簡稱之曰用汽過熱器。

過熱器恆係用多數較細之鋼管組成。蒸汽在管中。管外受熱。壓力較在鍋爐中並不增加。只容積增大。溫度增高。

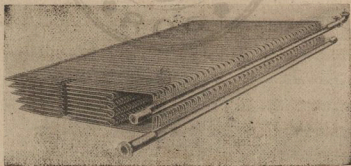
對流式又分為附屬式與獨立式兩種(built-in or attached type and independently fired type)。附屬式最普通。價值低。工作省。占地位小。因普通即附屬於鍋爐之中。吸收同一爐篋上所發燃氣之熱也。獨立式則對於鍋爐完全獨立。另建一爐專燒過熱器。此式應用較少。其主要之優點係較附屬式能得更高之溫度。

附屬式過熱器最普通者，如第一二九圖所示。將過熱器裝置於燃氣在鍋爐中之通路中。當燃氣圍燒各管通過時，蒸汽即吸其一部分熱力而變為過熱蒸汽。此係拔柏葛過熱器(Babcock and Wilcox superheater)。在前第四二圖與第四三圖，均可參考。



第一二九圖

第一三〇圖表示依賴斯扣(Elesco)過熱器。其式與前式無大差別。裝置之地位，亦大致相同。參看第四四圖及第一二〇圖。

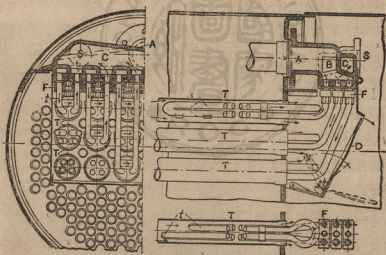


第一三〇圖

第一三一圖所示者，亦為附屬式中一最好之例。謂之施密德過熱器 (Schmidt's superheater)。多用於機車鍋爐中。在鍋殼裝置火管部分之

上部，有兩三行大管 T。擴裝(expanded)於火箱與烟箱之管板上。其外直徑約由 $4\frac{1}{2}$ 吋至 $5\frac{1}{2}$ 吋。但近於火箱之一小段，直徑微行縮減。在每一大管中，插入一過熱管。此過熱管係由兩段 U 形管組成一雙環管(double-looped tube) t。雙環管之兩端則連於烟箱中之聯箱。

由鍋爐來之飽和蒸汽或溼蒸汽，由 A 處入聯箱。再入於 B 室。每個過熱管入飽和蒸汽或溼蒸汽之一端，均與 B 室相通。蒸汽入過熱管後，在其中往復兩次。吸收經過大管中之燃氣之熱而變為過熱蒸汽。再入於聯箱中之 C 室。最後由 S 管分配左右入於兩邊之汽缸中。



第一三一圖

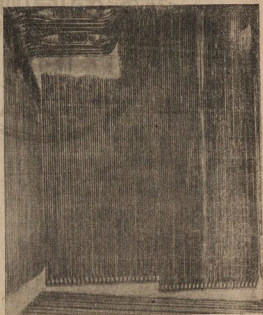
過熱管係無縫鋼管(seamless steel tubes)製成。近火箱之一端或由螺旋線上於生鋼 U 形彎管之中。或鍛於一處，使自成一彎曲部，如圖上所示。在烟箱中開口之一端，則擴裝於凸緣塊(flange blocks) F。F

再由螺釘裝置於聯箱之上。

如圖中所示，在烟箱之中為包含過熱管之各大管另劃出一間隔 (compartment)。並由阻板D之開合及開合之程度以約束經過各大管之燃氣。即間接約束過熱量，如汽缸中不用蒸汽時，停汽瓣或調節瓣即行關閉。此時過熱器亦由阻板加以關閉。各過熱管遂不致受過熱而傷損。

在更新式者，將此間隔廢去，當停汽瓣關閉後，使一部分蒸汽自動的在過熱管中循環。

輻射式過熱器之發生，係由於需要高度過熱之結果。最初係在爐壁之一面或兩面裝置一排生鋼或鍛鋼製成之平面管，並排連續組成一平面。直接吸收爐火之輻射熱。後又加以改良，改用多數圓管。裝置時並使管與管間及管與牆間，各留相當空隙。以便由各方面均能吸熱。在前面可吸爐火之熱。在後面可吸熱磚之熱。並可由與燃氣直接接觸之關係，由過熱面吸收燃氣之熱。



第一三二圖即表示
圓管，高壓輻射式過熱

第一三二圖

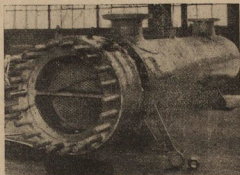
器之一種。裝置於一 2,850 馬力之鍋爐中。壓力為每方吋 1,400 磅。每點鐘能使 250,000 磅蒸汽過熱至 750°F。

壓力每方吋 1,200 磅。溫度 750°F 之蒸汽，按斷熱膨脹至每方吋之壓力約 300 磅時，蒸汽即變為飽和蒸汽。再膨脹則發生水分。即用此種蒸汽之汽輪，自此點下至最後壓力一段，效率上將大受損失。故近來在大多數之高壓汽力廠，均裝有重熱(reheat)裝置。當高壓過熱蒸汽膨脹至大部過熱已經用去之壓力，仍使在一重過熱器(resuperheater)中循環。使其溫度重至原來之溫度。然後再歸於汽輪。如此則汽輪之效率較高。

在許多汽力廠中，原過熱與重過熱均用輻射式過熱器。但在近來實驗之結果，知若使高壓蒸汽之原過熱由輻射式過熱器司之，重過熱則由對流式過熱器司之，則效率最高。因此之故，有若干汽力廠將此兩種合併用之。

用汽過熱器，係利用一部高壓過熱蒸汽，使經過多數細管。一面使由汽輪高壓部撤出之汽經過其外部。吸收其熱使復變為過熱蒸汽。再回於汽輪之低壓部用之。應用於高壓汽輪時較多。因汽輪用凝蒸汽之妨害較大。故雖費去一部高壓蒸汽之熱，全部計之仍比較有利也。

第一三三圖表示法思特恢樂(Foster-Wheeler)用汽過熱器之構造。係裝置於 San Antonio 公用公司之汽力廠中。過熱器之一端。係由一固體鋼塊鑄成之聯箱。其中蒸汽之表壓力為每方吋 1,450 磅。高壓蒸汽由其上半加入各細管。凝結之水分出各細管後。亦聚集於其下半，再行返回鍋爐。細管數為 600。總受熱面為 2,060 方呎。汽輪高壓部撤出之



第一三三圖

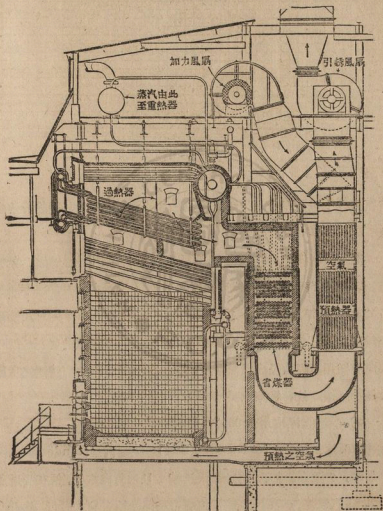
蒸汽量係每點鐘 196,000 磅。其壓力為每方吋 190 磅。在細管之外繞經數次而出。最後之溫度至 550°F 。過熱度約為 60 度。

第一三四圖表示裝置此用汽過熱器之鍋爐之全體。

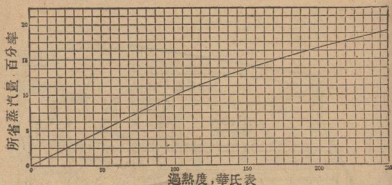
根據實驗之結果，知當汽輪採用過熱器時，蒸汽被過熱之程度，由零至 100 度（華氏表），則過熱度每增 10 度，蒸汽之消耗量即省百分之一。由 100 度至 200 度，則每增 12 度，蒸汽之消耗量即省百分之一。且此種結果係根據過熱蒸汽與乾飽和蒸汽比較。若與溼蒸汽比較，所省者當愈多。

第一三五圖表示當汽輪用過熱蒸汽時與用飽和蒸汽時，過熱度與所省蒸汽量之百分數之關係。

在普通往復運動之蒸汽機，用過熱蒸汽以代替飽和蒸汽，究能省多少蒸汽，則按蒸汽機工作之情形而變。普通言之，在馬力數較大工作情形比較經濟之汽力廠（如膨脹率較大等等），則每 100 度過熱度，可省百分之四至百分之八。在單式蒸汽機及蒸汽泵等，則每 100 度過熱度，可



第一三四圖



第一三五圖

省百分之十五至三十。但添此設備，當然增加購置費及養護費等之損失。

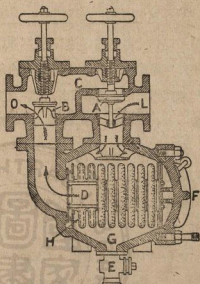
又用何種過熱度較為適宜，應按蒸汽機之種類及構造而定。就經驗而論，用普通滑瓣及考利斯汽瓣之蒸汽機，蒸汽之最後溫度不宜超過 475°F 。若係採用活瓣汽機或提動汽瓣 (Loppet-valve)，則可用較高之過熱度。蒸汽之溫度由 500°F 至 600°F 或最為適宜。在汽輪中，近年來趨向於採用高壓力及高過熱溫度。惟因溫度過高時，所有接觸之金屬部分易受傷損之故，實際上多以 750°F 左右為限。最近因新合金 (new alloys) 之發明，溫度用至 800°F 至 850°F 已屬可能。

176. 給水濾器 (Feed-water Filter) 在凝汽器 (condensers) 內凝結之水，為上鍋爐最好之水，因溫度較高且為蒸溜水也。惟在普通蒸汽機，因蒸汽經過汽瓣活瓣等部，恆攜帶一部分油質與之同行，故凝汽器內凝結之熱水，每含有一部油質在內。

因油質對於鍋爐極為有害，故再上於鍋爐以前，須經過一種濾器。

茲擇一例述之如下：

如第一三六圖，由上水泵排來之水，在L處加入濾器。按矢標所示之方向經過濾質 (filtering material) H 而入於 D 部。然後再折而向上，經過 B 瓣，由 O 而達於鍋爐。濾器之本體，係由一排多孔之隔壁組成一具有極深縐紋之管狀物。其內所留之空部即 D 室。其外覆以能吸收油質之織物一層，製為套狀，使緊附於各縐紋部之上。水經過時，油質遂被濾下。



第一三六圖

A 瓣具有兩面，約束進口，使通於濾器，或由側路直通於鍋爐。在圖上所示之情形，係側路關閉，進口通於濾器。但若轉下 A 瓣，將 L 處關閉，一面並將 B 瓣關閉，則給水可經過 C 直達於鍋爐。濾器即失去作用。

濾器每經過一定之時間，即須清理一次。其清理之方法如下：

先將 A 瓣轉至下座 (lower seat)。即將 L 處關閉。再將 B 瓣關閉。開洩水活嘴 E，然後微開 A 瓣。如此則必有足量之水衝入，以洗滌濾器之外部。其次又關閉 A 瓣，開 B 瓣。如此則必有足量之水由鍋爐而來。由濾器之內部，經過濾質，向外沖刷。再由洩水活嘴流出。

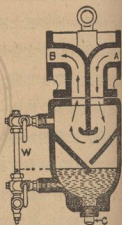
如擬更換濾質，則先關閉 A B 兩瓣。開洩水活嘴 E。將 G 部之水洩

空。再開 F 蓋而更換之。

177. 乾汽器或分汽器(Steam driers or separators) 當供給於蒸汽機之蒸汽非過熱蒸汽，則當達到蒸汽機之時，恆帶有一部分水分。此種水分或由鍋爐直接帶出。或係在由鍋爐至蒸汽機之管中凝結。因水分入於蒸汽機之中，害處甚多，故普通多在蒸汽未入蒸汽機以前之地方，裝置一乾汽器或分汽器。將蒸汽內所帶之水分盡量移去。

分汽器之式樣甚多，但原理上多係在蒸汽經過之通路中，裝置一立筒狀物。使蒸汽之方向變化。結果因水之惰性較大，遂擲於汽外而留下。

第一三七圖表示英國式(Glasgow, Alley and Maclellan 工廠製)之乾汽器之構造。蒸汽由 A 處加入，按矢標所示之方向曲折 180°。再由 B 處而出。水分即擲於下部。每至水面達到一定之高度，即由 C 處洩之。W 係一玻璃管，用以表示器內水面之高低。



第一三七圖

178. 通風(Draft) 燃料在爐內燃燒，欲使加入空氣之量適當，須有相當通風之法方可。通風之法計有下列數種：

(一)自然通風(natural draft)；

(二)機力通風(mechanical draft)；又名人爲通風(artificial draft)。

在機力通風又分爲加力通風(forced draft)與引誘通風(induced draft)兩類。

179. 自然通風 自然通風須備一烟筒。烟筒內氣體之溫度較高，故較輕。烟筒外氣體之溫度較低，故較重。較輕者上升。較重者由下流來以補之。此為烟筒之惟一作用。

使空氣加入爐竈之力，為烟筒內全氣柱之重量對於烟筒外同大之氣柱之重量之差數。此內外重量之差數，當然與烟筒之高度有關。故烟筒之高度，可規定通風之強度(intensity of draft)。

又通風之強度恆由若干吋水柱表之。若烟筒之高度及內外之溫度已知，可計算之如下：

設 H = 烟筒在爐竈以上之高度，以呎計，

T° = 烟筒外氣體或空氣之絕對溫度，

T' = 烟筒內氣體之絕對溫度，

w° = 每立方呎之空氣在 T° 度時之重量，

w' = 每立方呎之烟氣在 T' 度時之重量，

假設烟氣與空氣在同一溫度時其密度相同，或假設內外均為空氣，並假設烟筒之橫斷面積恰為一平方呎，

$$\text{則 熱氣之重量} = Hw' = Hw^{\circ} \frac{T^{\circ}}{T'}, \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{冷氣之重量} = Hw^{\circ} = Hw' \frac{T'}{T^{\circ}}, \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{故 通風之力 } F' = Hw^{\circ} - Hw'$$

$$= Hw^{\circ} - Hw^{\circ} \frac{T^{\circ}}{T'}$$

$$= Hw^{\circ} \left(1 - \frac{T^{\circ}}{T'}\right) \dots\dots\dots (3)$$

此式為每平方呎之磅數。若改為若干吋水柱，則用 0.192 (註) 乘之。

故通風之力

$$F = 0.192 H w^{\circ} \left(1 - \frac{T^{\circ}}{T'}\right) \text{吋水柱} \dots \dots \dots (4)$$

故通風之強度可由烟筒之高度及內外之溫度計算之。

(註) 假定每立方呎水按 62.4 磅計算，每方呎上一吋水柱相當 $62.4 \div 12 = 5.2$ 磅。故欲求通風之力之水柱吋數，即用 5.2 除每方呎壓力之磅數，或用 0.192 乘每方呎壓力之磅數均可。

180. 烟筒之能量 (Chimney capacity) 每點鐘由烟筒經過之熱氣之量，謂之烟筒之能量。每點鐘能燃燒之煤量與此有直接之關係。一烟筒每點鐘理論上能燃燒之煤量可求之如下：

設 h = 熱氣能發生速率之壓力落差 (head)，以呎計，仍就橫斷面一平方呎言，則發生壓力落差之熱氣之重量等於 $h w'$ ，且

$$h w' = H w^{\circ} - H w' = H w' \frac{T'}{T^{\circ}} - H w' = H w' \left(\frac{T'}{T^{\circ}} - 1\right) \dots \dots \dots (5)$$

故
$$h = H \left(\frac{T'}{T^{\circ}} - 1\right) \dots \dots \dots (6)$$

設 U° = 加入之氣之速率，以每秒若干呎計，

U' = 離去之氣之速率，以每秒若干呎計，

則離去之氣之速率

$$U' = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gH \left(\frac{T'}{T^{\circ}} - 1\right)} \dots \dots \dots (7)$$

設 W° = 每秒鐘由烟筒上行之氣體之總重量 (仍就橫斷面一平方呎言)，則

$$W^{\circ} = w^{\circ} U^{\circ} = w' U' = w' \sqrt{2gH \left(\frac{T''}{T^{\circ}} - 1 \right)},$$

$$= w^{\circ} \frac{T^{\circ}}{T''} \sqrt{2gH \left(\frac{T''}{T^{\circ}} - 1 \right)},$$

或
$$W^{\circ} = w^{\circ} \sqrt{2gH \left[\frac{T''}{T^{\circ}} - \left(\frac{T''}{T^{\circ}} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots(8)$$

當外部之溫度為 70°F , $w^{\circ} = 0.075$ 磅, 而 $T^{\circ} = 530^{\circ}\text{F}$ (絕對)。

設烟筒內部之溫度為 500°F , 則 $T'' = 960^{\circ}\text{F}$ (絕對)。

將此數個數值代入上式, 得

$$W^{\circ} = 0.075 \times 8.025 \sqrt{H \left[\frac{530}{960} - \left(\frac{530}{960} \right)^2 \right]}$$

$$= 0.602 \sqrt{H} \times 0.247 = 0.3 \sqrt{H} \dots\dots\dots(9)$$

設 A = 烟筒之橫斷面積, 以平方呎計, 則

$$W^{\circ} = 0.3 A \sqrt{H} \dots\dots\dots(10)$$

或以每點鐘若干磅計, 則

$$W_1^{\circ} = 3600 \times 0.3 A \sqrt{H} = 1080 A \sqrt{H} \dots\dots\dots(11)$$

此係假定烟筒之效率為百分之百。但實際上因爐篋烟道及烟筒內壁等處之阻力, 每損失百分之五十至七十五。故倘假定烟筒之平均效率為百分之三十五, 則每點鐘實際經過氣體之重量為

$$W_2^{\circ} = 0.35 \times 1080 A \sqrt{H} = 378 A \sqrt{H} \dots\dots\dots(12)$$

若每磅煤須供給 24 磅空氣以燃燒之, 而每鍋爐馬力每點鐘約用煤 5 磅, 則一烟筒之鍋爐馬力數為

$$\text{鍋爐馬力} = \frac{378}{24 \times 5} \times A \sqrt{H} = 3.15 A \sqrt{H} \dots\dots\dots(13)$$

他書所給關於此式之常數，彼此微有不同。然大致總在 3.5 與 3 之間。

181. 烟筒之高度 烟筒之高度恆係由爐箆之水平面量起。並與所採用之燃料有關。例如無烟煤所需通風之力較大，烟煤則較小。下表給出各種燃料最低限度之高度。

第二七表 烟筒之高度

所 用 燃 料	高 度 (呎)
草與木柴	35
烟煤塊(自由燃燒煤)	100
普通末煤	100
普通烟煤	115
碎末與無烟煤	125
無烟煤	150

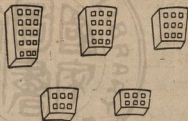
又高度與直徑相比不宜過小。例如 100 呎高之烟筒，其直徑不宜超過 6.5 呎。普通言之，烟筒之內直徑不宜超過高度之百分之八。

182. 烟筒所用之材料 如所建之烟筒係永久性質，確知其無甚變動之機會時，則磚，空瓦與鐵筋混凝土等均為適宜之材料。磚烟筒之壽命約為 40 或 50 年。如一汽力廠不敢望其有 20 年至 25 年之存在，且無擴充之變化時，則採用磚及鐵筋混凝土之烟筒亦嫌其不經濟。若為短時間之應用，不鑲裏之鋼板烟筒應用較多。但四周應用鋼絲牽之。此種烟筒之壽命較短，最多不能超過十年。如所用之燃料含硫黃質較多，有時不能超過五年以上。

183. 磚瓦及鐵筋混凝土烟筒 磚烟筒之建築，如第一三八圖所示。

多建為兩層。一內殼，一外殼。中間留一空氣層，以便內層自由脹縮。其內殼之裏面更鑲以耐火磚。此種烟筒建築較貴。但性質較為持久。

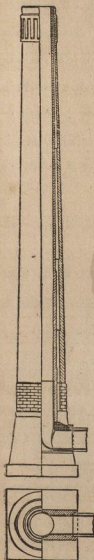
弧磚(radial brick)烟筒係用一種弧形多孔之磚築成。磚之形狀如第一三九圖所示。有時謂之空瓦(hollow tile)。且無裏面之襯層。此種烟筒較固體之磚烟筒輕。其價值則較鋼飯烟筒所高無多。



第一三九圖

鐵筋混凝土烟筒較固體磚烟筒輕。且無接縫處。又所占之面積亦較小。但建築烟筒之地基須特別加以注意。如地質鬆緊不勻，或陷下太甚等，均能使烟筒發生危險。

184. 鋼烟筒(Steel chimneys) 鋼烟筒係由鉚釘連綴鍋爐飯而成。下部由一廣大底座支持之。烟筒下部由重大之螺釘管於底座之上。其內部為應用時間較久計，每用耐火磚鑲其全部。



第一三八圖

又所受之風力由螺釘傳達於底座。故底座非較大較重即難免有顛覆之虞。外部為避免塵土及銹蝕起見，恆加以油飾。

185. 機力通風 有時因地位之關係，不容建一高大烟筒，或只賴烟筒通風之力仍嫌不足，即須用一種機力通風。此種通風完全離開內外溫度之關係 當用省煤器及空氣預熱器時烟氣之溫度有時已甚低，更加以上述兩種裝置之阻力，自然通風之力實不能勝之；又如機車鍋爐，事實上不能攜帶大烟筒；火下添煤器，因煤層過厚亦非自然通風所能收效。凡此均為需用機力通風之時。

又近年以來。鍋爐工作多好使超過其額定能量。亦為採用機力通風日見增如之原因。

186. 機力通風之種類 機力通風可分為加力通風與引誘通風兩大類。在加力通風。灰坑或灰池須關閉嚴密。將空氣迫入灰坑。再經爐篦上行。壓迫空氣入灰坑之方法則有二：(一)蒸汽噴射 (steam jet)；(二)用一風扇 (fan)。用機力添煤器之汽力廠多採用之。

在引誘通風，係將一風扇置於由鍋爐至烟筒之後烟道 (breaching) 中。或如機車鍋爐上，使乏汽直接噴入烟筒，將空氣引入爐篦。其作用與自然通風極為相似。又引誘通風普通多與省煤器及空氣預熱器同用。將引誘通風之風扇，置於省煤器或空氣預熱器與烟筒之間。

有時在同一鍋爐之內，採用兩種通風。即用加力通風以壓入空氣，使經過添煤器或爐篦而上，或使噴射煤粉於燃燒器；同時更用引誘通風以引出烟氣，使通過省煤器或空氣預熱器而排於烟筒。若自然通風之力足以使烟氣暢行，則引誘通風可以不用。

用機力通風，在普通情形之下，每點鐘每方呎爐籠可燃煤 15 磅至 30 磅。燃燒每磅煤所需之空氣則可減至 18 磅。又在引誘通風，所生通風之力約由 1.5 吋至 2 吋水柱。

習 題

1. 一鍋爐在真空度 18 吋水銀柱之下工作。當時氣壓表之讀數 (barometer reading) 為 29.3 吋水銀柱。(a) 鍋爐內每方吋之絕對壓力為何？(b) 所生之乾飽和蒸汽之溫度為何？
2. 某鍋爐所生之蒸汽，其乾度為 98.5%，其溫度為 182.9°F 。氣壓表之讀數為 29.3 吋水銀柱。問此鍋爐在何種真空度之下工作（以水銀柱吋數計）？
3. 一鍋爐每小時能將水 10,000 磅蒸發為乾飽和蒸汽。給水溫度為 180°F 。蒸汽之絕對壓力為每方吋 250 磅。問每小時在 212°F 之相當之蒸發量若干？
4. 在某鍋爐中，每磅煤能蒸發 8 磅水。蒸發之表壓力為每方吋 100 磅；給水之溫度為 100°F 。(a) 倘蒸汽之表壓力為每方吋 80 磅，給水之溫度為 200°F ，問每磅煤能蒸發幾何？(b) 問在 212°F 之相當蒸發量。
5. 給水之溫度為 200°F ；所生蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅；鍋、爐及爐籠之總效率為 70%；所用之煤每磅之發熱量為 13,000 英熱單位。問：(a) 燃燒 100 磅煤能蒸發水若干磅；(b) 在 212°F 之相當蒸發量。
6. 某鍋爐之鍋、爐及爐籠之總效率為 70%；所用之煤，其元素分析

爲：C, 80%；H₂, 5%；O₂, 4%。假設鍋爐發生 300 馬力，問：(a) 每小時能蒸發給水溫度 100°F，表壓力每方吋 100 磅，水分 2% 之蒸汽若干磅？(b) 每小時用煤若干磅？

7. 給水之溫度爲 130°F；蒸汽之表壓力爲每方吋 80 磅；每磅煤之發熱量爲 12,750 英熱單位；燃燒時損失之熱量爲 40%。倘擬蒸 5,650 磅之水，問所需之煤爲若干磅？

8. 鍋爐房之溫度爲 70°F；烟道氣之溫度爲 500°F；燃燒每磅煤實用空氣 30 磅。如每磅煤之發熱量爲 14,500 英熱單位，問損失於烟道氣之熱量之百分數。

9. 鍋爐房之溫度爲 70°F；烟道氣之溫度爲 500°F；所用之煤之元素分析爲：C, 75%；H₂, 5%；O₂, 4%；實用之空氣量爲理論上應用之空氣量之 2.5 倍。問損失於烟道氣之熱量之百分數。

10. 根據報告，某鍋爐之工作情況如下：每磅煤蒸發 12.5 磅水；每磅煤之發熱量爲 13,000 英熱單位；燃燒 1 磅煤用 24 磅空氣；鍋爐房之溫度爲 70°F；烟道氣之溫度爲 550°F；給水溫度爲 70°F；蒸汽之表壓力爲每方吋 100 磅。(a) 此種結果是否可能？(b) 倘係不可能，問此鍋爐每磅煤能蒸發之水之磅數。

11. 某鍋爐每小時蒸發 6,000 磅水。每磅煤之發熱量爲 13,000 英熱單位。蒸汽之表壓力，每方吋 100 磅；給水溫度，180°F；鍋、爐及爐竈之效率，70%。問每小時燒煤若干磅？

12. 一蒸汽機每指示馬力每小時用蒸汽 30 磅。給水溫度，120°F；蒸汽之表壓力每方吋 120 磅。每磅煤蒸發 9 磅水。問每指示馬力每小時

用煤若干磅？

13. 在某鍋爐，每磅煤蒸發 7.5 磅水。蒸汽之表壓力，每方吋 150 磅；給水溫度， 200°F 。每噸煤價洋 7 元。問蒸發 212°F 之水為同溫度之蒸汽 1,000 磅須用費幾何？

14. 一回管火管式鍋爐 (return tubular boiler)，其直徑為 72 吋；其長度為 18 呎；內含 4 吋管 70 根。問此鍋爐之受熱面及額定鍋爐馬力。

15. 一 400 馬力考利斯蒸汽機，每馬力每小時用蒸汽 26 磅。所有輔助機 (auxiliaries) 用蒸汽機消耗量之 25% (外用 25%)。蒸汽之表壓力，每方吋 150 磅；給水溫度， 200°F 。(a) 供給前述汽力廠之鍋爐須具若干方呎之受熱面？(b) 若干方呎之爐籠面？(c) 若干方呎之烟道橫斷面？(d) 如所用之煤之發熱量為每磅 13,500 英熱單位，鍋、爐及爐籠之效率為 70%，問每小時須用煤若干磅？

16. 一鍋爐用以供給一 100 馬力之蒸汽機。每馬力每小時所用之蒸汽量為 17 磅。所有輔助機所用之蒸汽量相當蒸汽機所用蒸汽量之 25%。鍋、爐及爐籠之效率為 70%。蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅；蒸汽之乾度為 98.5%；給水溫度為 200°F 。每磅煤之發熱量為 13,000 英熱單位。(a) 全廠所用之煤量每小時須若干磅？(b) 受熱面須若干方呎？(c) 爐籠面須若干方呎？(d) 假設烟筒之高為 125 呎，問其內直徑須為若干呎？

17. 某動力廠須發生 2,500 鍋爐馬力。烟筒之高度為 150 呎，問其內直徑須為若干呎？

18. 某動力廠發生 300 鍋爐馬力。其烟筒之高度為 100 呎，內直徑為 4 呎。如應發之鍋爐馬力數增至 450，問烟筒之高度應增加若干呎？

19. 某動力廠每小時燒煤 1,500 磅。烟筒之高度為 130 呎。鍋爐房之溫度， 70°F ；烟道氣之溫度， 500°F ；燃燒每磅煤所需之空氣量，24 磅。每磅煤之發熱量，12,000 英熱單位。(a) 問烟筒之橫斷面積。(b) 由烟道氣損失之熱量之百分數為何？(c) 通風之壓力為何？以十分之一吋之水柱為單位。

20. 一鍋爐每小時蒸發 4,000 磅水。蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅；給水之溫度為 120°F 。蒸汽之乾度，98%。問此鍋爐之馬力數為何？

21. 一回管火管式鍋爐，其直徑為 60 吋，其長度為 16 呎；內含 4 吋火管 52 根。每小時蒸發 4,000 磅水。蒸汽之表壓力，每方吋 100 磅；給水溫度， 150°F 。問此鍋爐之工作，係超過抑係不及其額定馬力數，並問超過或不及之數量。

22. 一鍋爐廠每小時燒煤 1,500 磅。煤之元素分析為：C, 85%； H_2 , 5%； O_2 , 4%。給水溫度， 150°F ；鍋爐中之汽壓，表壓力每方吋 100 磅。

巴拉斯阻塞式測熱器測得與大氣壓力相當之低溫寒暑表所指之溫度為 230°F 。鍋爐及爐篦之效率為 70%。問此鍋爐實際發出之馬力數若干？

23. 一汽輪發出 1,000 仟瓦，而蒸汽之消耗量為每仟瓦小時 20 磅。所用蒸汽之絕對壓力為每方吋 200 磅，並有 20 度之過熱度。給水溫度， 180°F ；鍋爐及爐篦之效率，70%。每磅煤之發熱量，12,000 英熱單位。(a) 問若干鍋爐馬力方足供給所需之蒸汽？(b) 每小時須用煤若干

磅？

24. — 30,000 仟瓦之汽輪與其輔助機每仟瓦小時用蒸汽 12 磅。蒸汽之表壓力，每方吋 250 磅；氣壓表，29.53 吋水銀柱；過熱度，250 度；給水溫度，180°F。(a) 問供給汽輪與其輔助機所需之蒸汽，須用若干鍋爐馬力之鍋爐？(b) 假設鍋爐之實際工作為其額定工率之 250%，問其額定鍋爐馬力若干？(c) 所用之煤每磅之發熱量為 13,250 英熱單位；鍋、爐及爐篦之效率為 68.4%；如一年全廠工作 365 日，每日工作 24 小時，每噸煤之價值為 8 元，問全年之燃料費用幾何？

25. 在某鍋爐，每磅煤蒸發 7.5 磅水。每磅煤之發熱量為 13,000 英熱單位。蒸汽之表壓力每方吋 100 磅；給水溫度，150°F。問鍋、爐及爐篦之效率。

26. 某鍋爐所用之煤，其元素分析為：C, 80%；O₂, 4%；H₂, 3%。所用之空氣量為理論上應用之空氣量之二倍。每小時用 1,500 磅煤蒸發 12,000 磅水。蒸汽之表壓力，每方吋 150 磅；給水溫度，200°F。(a) 鍋、爐及爐篦之效率為何？(b) 如鍋爐房之溫度為 70°F，烟道氣之溫度為 500°F，由烟筒損失之熱之百分數為何？(c) 鍋爐所發之馬力數為何？

27. 在某鍋爐，每磅乾煤能蒸發 11 磅在 212°F 之水為同溫度之蒸汽。每磅乾煤之發熱量為 14,000 英熱單位。(a) 問鍋、爐及爐篦之效率為何？(b) 按此同一之效率，倘所蒸發之蒸汽，其表壓力為每方吋 200 磅，給水溫度為 200°F，問每磅乾煤之蒸發量為何？

28. 在某鍋爐，每磅乾煤能蒸發 9 磅水。每磅乾煤之發熱量為 13,000

英熱單位。蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅；給水溫度， 100°F 。(a) 全鍋爐廠 (boiler plant) 之效率如何？(b) 倘加一給水預熱器，使給水溫度升至 200°F ，問其效率如何？(c) 將給水預熱器安裝後，問每磅煤之蒸發量如何？

29. 在某鍋爐，每磅乾煤能蒸發 9 磅水使變為含水分 3% 之蒸汽。蒸汽之絕對壓力，每方吋 150 磅；給水溫度， 260°F 。原煤每磅之發熱量為 13,000 英熱單位；按分析之結果，含水分 2%，含灰分 5%。由灰坑中取出之灰分與殘餘為 10%。(a) 問鍋、爐及爐篦之效率。(b) 問鍋及爐之效率。

30. 在某鍋爐所用之煤，其乾煤每磅之發熱量為 13,500 英熱單位。此種煤按分析之結果含水分 5%，含灰分 3%。由灰坑中取出之灰分與殘餘為 10%。蒸汽之表壓力，每方吋 150 磅；給水溫度， 180°F ；蒸汽內含水分 2%。燃燒每磅原煤能蒸發 8 磅水為上述情形之蒸汽。(a) 問每磅乾煤能蒸發 212°F 之水為同溫度之蒸汽若干磅？(b) 鍋、爐及爐篦之效率為何？(c) 鍋及爐之效率為何？

31. 某鍋爐每小時能蒸發乾飽和蒸汽 20,000 磅。給水溫度， 180°F ；蒸汽之絕對壓力，每方吋 115 磅。所用之每磅乾煤含灰分 4%；其發熱量則為 13,000 英熱單位。由灰坑中取出之灰分與殘餘為 10%。每磅乾煤實際之蒸發量為 9 磅。試求：(a) 鍋爐所發之馬力數。(b) 鍋、爐及爐篦之效率。(c) 鍋及爐之效率。(d) 爐篦之效率。

32. 某鍋爐發生 600 鍋爐馬力。所生蒸汽之絕對壓力，每方吋 150 磅；乾度，97%；給水溫度， 200°F 。每小時用乾煤 2,064 磅；每磅乾煤之

發熱量為 13,000 英熱單位，每小時由灰坑中取出之灰分及殘餘，310 磅。乾煤分析，含灰分 5%。試求：(a) 鍋爐及爐箆之效率。(b) 鍋及爐之效率。(c) 每小時上入鍋爐之水量。

33. 在一受熱面 4,000 方呎之水管式鍋爐之實驗，得到下列結果：實驗之時間，24 小時；蒸發之水量，582,300 磅；蒸汽平均表壓力，145.7 磅；氣壓表之平均讀數，29.19 吋水銀柱；給水之平均溫度，110°F；離過熱器（過熱器亦認為係鍋爐之一部）之蒸汽之溫度，463.6°F；所燒之煤，73,810 磅；相當之乾煤，70,520 磅；由灰坑中取出之灰分與殘餘，11,360 磅；按分析之結果，原煤中灰分之百分數，11.3；原煤每磅之發熱量，12,860 英熱單位。試求：(a) 鍋爐馬力。(b) 額定馬力。(c) 實發之馬力數為額定馬力數之百分數。(d) 每磅乾煤之相當蒸發量。(e) 鍋及爐之效率。(f) 爐箆之效率。

34. 在一鍋爐實驗，得到下列結果：實驗之時間，24 小時；蒸發之水量，1,165,200 磅；蒸汽平均表壓力，每方吋 197.7 磅；氣壓表之平均讀數，29.19 吋水銀柱；給水平均溫度，171.2°F；離過熱器（過熱器亦認為係鍋爐之一部）之蒸汽之溫度 465°F；所燒之煤，148,150 磅；相當之乾煤，140,600 磅；灰分與殘餘（乾）之重量，24,480 磅；煤之簡易分析或實用分析：水分，5.07%；揮發分，39.59%；定炭，43.05%，灰分，12.29%；原煤每磅之發熱量，12,170 英熱單位。試求：(a) 所發之鍋爐馬力數。(b) 每磅乾煤之相當蒸發量。(c) 鍋、爐及爐箆之效率。(d) 鍋及爐之效率。(e) 所需之受熱面積。(f) 所需之爐箆面積。

35. 在一鍋爐實驗，得到下列結果：鍋爐式樣，水管式並附有過熱

器；受熱面，6,132 方呎（鍋爐上水之受熱面）；過熱面，1,200 方呎；爐箠面積，91 方呎；蒸汽之表壓力，每方吋 137.3 磅；氣壓表之讀數，29.92 吋水銀柱，給水平均溫度，184°F；離過熱器之蒸汽之平均溫度，457°F；每小時之給水量，38,880 磅；每小時所燒之乾煤量，4,860 磅；每小時由灰坑取出之灰分及殘餘，583 磅；按分析之結果，乾煤中之灰分，8.0%；每磅乾煤之發熱量，13,220 英熱單位。求：(a) 額定馬力數，不包含過熱器在內。(b) 鍋爐與過熱器所發生之馬力數。(c) 每磅乾煤之相當發熱量。(d) 鍋、爐、爐箠及過熱器之總效率。(e) 以所燒之純燃質為標準，鍋、爐及過熱器之總效率。

36. 一氣輪按 30,000 仟瓦之載荷工作，每仟瓦小時需蒸汽 15 磅。供給之蒸汽，其絕對壓力為每方吋 200 磅，其溫度為 500°F。給水溫度為 184°F；鍋爐之效率為 78%。(a) 如每磅煤之發熱量為 13,500 英熱單位，問每仟瓦小時需煤幾何？(b) 如每一鍋爐之受熱面為 20,000 方呎，並按額定能量之 150% 工作，問供給此載荷所需之蒸汽，共須鍋爐幾個？(c) 全廠之總效率 (overall efficiency) 為何？

37. 一鍋爐廠裝有兩個拔柏葛鍋爐，並均附有過熱器。經實驗得到下列結果：蒸汽平均表壓力，每方吋 148.3 磅；氣壓之平均讀數，29.93 吋水銀柱。給水溫度，132°F；離過熱器之蒸汽之溫度，465°F，每小時之給水量，66,610 磅；每小時所燒之乾煤量，9,000 磅；每磅乾煤之發熱量，13,000 英熱單位。試求：(a) 所發之鍋爐馬力數。(b) 實發之馬力數為額定馬力數之百分數。(c) 鍋、爐及爐箠之效率。(d) 倘新裝置一給水預熱器，能使給水之溫度升至 220°F，並設此廠全年工作 300 日，

每日工作 10 小時，煤價每噸 10 元，問全年所省之煤價幾何？(e) 如預熱器之價值為 1,000 元；利息及折舊為 12%；問全年所得之純益幾何？

38. 一鍋爐廠供給一 1,000 指示馬力之蒸汽機；每指示馬力每小時所用之蒸汽量為 14 磅。蒸汽之表壓力，每方吋 150 磅；給水溫度， 200°F ；鍋、爐及爐篋之效率，70%；每磅煤之發熱量，13,500 英熱單位；每噸煤之價值，7 元。全年工作 365 日，每日工作 24 小時。設新裝置一省煤器，其價值為 10,000 元。能使給水之溫度升至 300°F 。(a) 假定折舊及修理占購價 10%，利息占購價 6%，問添裝此省煤器後之損益如何？(b) 如係有益，問每年之純益若干？

39. 一鍋爐廠發生 500 馬力；每馬力每小時用煤 4 磅。每磅煤之發熱量，13,000 英熱單位；蒸汽之表壓力，每方吋 150 磅；給水溫度， 120°F 。當添裝一給水預熱器後，使給水溫度升至 195°F 。給水預熱器之價值為 1,300 元。全年工作 300 日，每日工作 10 小時。每噸煤價值 10 元。假定折舊及修理占購價 7%，利息占 5%，保險費占 3%。(a) 問添裝預熱器後廠主能省若干？(b) 所省之數為購價百分之幾？(c) 倘此後又添裝一省煤器，使給水之溫度由 195°F 升至 300°F ，省煤器之購價為 10,000 元；折舊，修理，利息及保險費等之百分率仍如前，問廠主能多省若干？(d) 按最後之情形算，全廠之效率為何？

40. 下列與件，由一水管式鍋爐之實驗得出。試根據之作一熱力對照表：受熱面，5,080 方呎；每小時之給水量，29,200 磅；每小時之用煤量，4,300 磅；每小時由灰坑中取出之乾灰及殘餘，840 磅，其中之純燃質占 43.7%；給水溫度， 144°F ；鍋爐房之溫度， 62°F ；烟道氣之溫度，

510°F; 空氣之相對溼度(relative humidity), 55%; 蒸汽之表壓力, 每方吋 120 磅; 乾飽和蒸汽; 氣壓表之讀數, 29.39 吋水銀柱。原煤之元素分析: C, 65%; H₂, 3%; N₂, 1%; O₂, 7%。水分, 13%; 灰分, 11%; 每磅之發熱量, 10,900 英熱單位。烟道氣分析: CO₂, 14%; CO, 0.8%; O₂, 5.5%; N₂, 79.7% (差數)。

(註)根據相對溼度與溼度表,得每磅乾空氣中之水分為 0.01233 磅。



第八章 蒸汽機(Steam Engines)

187. 蒸汽機之分類(Classification) 蒸汽機分類之方法甚多，茲擇要分別述之如：

(a) 按機軸每迴轉中所有工作衝程(working strokes)數，分爲下列兩類：

1. 單行蒸汽機(single-acting engines)；
2. 雙行蒸汽機(double-acting engines)。

單行蒸汽機，或譯爲單動蒸汽機。係機軸每身迴轉一次，蒸汽之壓力只加於活塞一次。即每兩衝程中只有一衝程發生工作。在雙行蒸汽機，係每衝程蒸汽均加壓力於活塞之上。或機軸每迴轉一次，蒸汽之壓力加於活塞兩次。在單行蒸汽機，係用飛輪之惰力(inertia)由一工作衝程帶至下次之工作衝程。機軸上能力之變化較大。故須用比較重大之飛輪以調節之。

(b) 按乏汽(exhaust steam)排於大氣或排於凝汽器，蒸汽機分爲下列兩類：

1. 不凝結機(non-condensing engines)；
2. 凝結機(condensing engines)。

在不凝結機，乏汽直接排於大氣。活塞背面之壓力，恆較大氣壓力稍高。且蒸汽所餘之熱能力，完全耗散於空氣之中。在凝結機，則排於一凝汽器(condenser)內。並用冷水使乏汽凝結爲水。活塞背面發生部分

真空。其壓力低於大氣壓力。凝結之水及一部攜帶之空氣，再用泵排出，使真空度永能保持。

(c) 按調節或約束蒸汽機速率之方法，分爲下列兩類：

1. 節汽調速機(throttling engines)；
2. 自動停汽機(automatic cut-off engines)。

在節汽調速機。或阻塞調速機，蒸汽在汽缸內之停止點不變。而用一節汽瓣於汽管中，以約束蒸汽之通路。因之變更加入汽缸之蒸汽之壓力。在自動停汽機，則加入汽缸之蒸汽之壓力保持不變，但用一種調速器以變更蒸汽之停止點。即變更加入汽缸之蒸汽量。

(d) 按蒸汽膨脹之次數，分爲下列四類：

1. 單式機(simple engines)；
2. 複式機(compound engines)；
3. 三漲式機(triple-expansion engines)；
4. 四漲式機(quadruple-expansion engines)。

在單式蒸汽機，蒸汽只在一汽缸內膨脹後即行排出。在複式蒸汽機，蒸汽之膨脹在兩汽缸內行之。一部分膨脹在高壓汽缸內發生，然後排入低壓汽缸，又重行膨脹。再排於大氣或凝汽器。在三漲式蒸汽機，蒸汽繼續在高壓中壓低壓三汽缸中分部膨脹。然後再排於凝汽器。在四漲式蒸汽機，則分在四汽缸內行之。又在三漲式亦有採用四汽缸者。即將低壓蒸汽分爲兩股。分在兩個低壓汽缸內膨脹。因有時低壓蒸汽之容積失之太大，分於兩個汽缸較好也。

(e) 按汽缸所占之位置，分爲下列兩類：

1. 立式蒸汽機(vertical engines);

2. 臥式或平式蒸汽機(horizontal engines)。

在立式蒸汽機，汽缸之位置係垂直。在臥式蒸汽機，汽缸之位置係水平。

(f) 按應用之所在地，分爲下列三類：

1. 固定蒸汽機(stationary engines);

2. 船用蒸汽機(marine engines);

3. 機車或輕便蒸汽機(locomotive, or portable engines)。

固定蒸汽機，凡在陸地上工廠中固定之蒸汽機皆屬之。船用蒸汽機則限於應用於輪船上者。第三類則機車上之蒸汽機及機車式之蒸汽機如汽碾等皆屬之。

(g) 按曲柄(crank)所在之地位，分爲下列兩類：

1. 邊曲柄蒸汽機(side-crank engines);

2. 中心曲柄蒸汽機(center-crank engines)。

在邊曲柄蒸汽機，機架只具有一軸承。機軸距曲柄較遠之一頭，由機架外另一軸承支持之。普通謂之「機外」軸承(outboard bearing)。由汽缸向飛輪之方向看，如此軸承位於右方，則此機謂之右曲柄機。若位於左方，則謂之左曲柄機。

在中心曲柄蒸汽機，則兩軸承均在機架之上。

(h) 按機軸迴轉之速率，分爲下列三類：

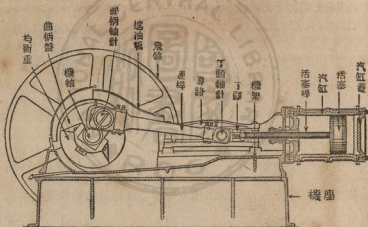
1. 高速蒸汽機(high-speed engines);

2. 中速蒸汽機(medium-speed engines);

3. 低速蒸汽機(low-speed engines)。

機軸每分鐘之迴轉數在250以上者，謂之高速蒸汽機。由100至250者，謂之中速蒸汽機。100以下者，謂之低速蒸汽機。又高速機較低速機之優點：第一同一之馬力數占地面較小；第二蒸汽與其接觸部分熱之交換時間短。惟各部所受之力較大，管理上不若低速者簡單耳。

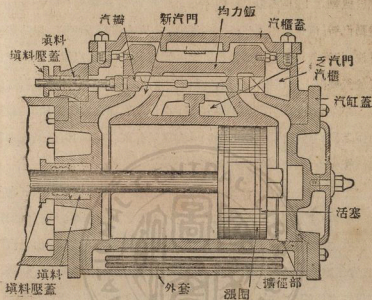
188. 單式蒸汽機 第一四〇圖，表示一常用固定式之單式蒸汽機。各部之名稱如圖上所示。



第一四〇圖

此機係雙行式。採用均衡滑瓣 (balanced slide valve 見後)。汽缸係生鐵製。兩端各有一生鐵製之缸蓋。由螺釘管於一處，無汽套 (steam jacket)。而由一種傳熱率極低之物質包裹之。外部再加以外套 (lagging)。

第一四一圖表示包含汽瓣之汽櫃 (steam chest) 及由汽櫃通於汽



第一四一圖

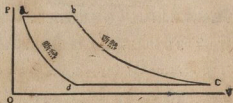
缸之各汽門 (steam ports)。新汽由汽櫃達於汽缸，及乏汽由汽缸排於外部。均由此汽門經過。活塞之外直徑微小於汽缸之內直徑。由漲圈 (spring rings) 阻止蒸汽由一邊向彼邊洩出。活塞桿對於活塞恆由一段逐漸加細之桿與一螺絲母管於一處。使往復運動時，不致歸於鬆弛。彼端則由汽缸一端之孔中通出。並由填料 (packing) 與填料壓蓋 (packing gland) 緊壓之。使不致洩汽。活塞桿之最外端，則與十字頭或丁頭 (crosshead) 相連。再由連桿 (connecting-rod) 以連於曲柄。曲柄則裝置於機軸 (crank shaft or main shaft)。故蒸汽所發之動力實由活塞連桿及曲柄以達於機軸。偏心輪 (eccentric) 由固定螺旋 (set screw) 固

定於機軸之上。再由偏心輪桿 (eccentric rod) 汽瓣桿 (valve stem) 以帶動汽瓣。汽瓣桿出入汽櫃之一端時，亦備有填料及壓蓋。以防蒸汽之外洩。其構造與活塞桿通過汽缸之一端時完全相同。汽瓣由鎖緊螺母裝置於汽瓣桿上。汽瓣之作用，係使汽櫃內之新蒸汽交替納入汽缸之兩端。同時並使汽缸不進新汽之一端，由汽瓣底部之空間與外部相通。以便使乏汽經過乏汽門 (exhaust port) 逃於外部。汽櫃則與由鍋爐來新汽之汽管相通。以便繼續供給新汽。

在第一四一圖所示之情形，汽瓣之位置係使新汽正向汽缸之前端 (head end) 加入。此時汽缸之後端則正與乏汽門相通。新汽由前端推動活塞。其後端之乏汽遂被迫外行。經過汽瓣底部之空間，由乏汽門逃出。當活塞至一衝程之彼端時，汽瓣亦位於彼端同樣之地位。新蒸汽將向汽缸之後端 (crank end) 加入。汽缸之前端則又正與乏汽門相通。

189. 用蒸汽之加諾循環 (Carnot cycle for steam) 在第二章第 40 與第 41 兩段，知在一定溫度界限以內，一熱機之工作，若採用加諾循環，其熱效率為最高。一蒸汽機用乾飽和蒸汽為介工物，其加諾循環之情形如第一四二圖所示。

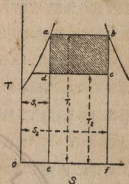
設有定量之水，其壓力與容積由 a 點代表。其沸點溫度與壓力 a 相當。沿 ab 線繼續按等溫加熱。至 b 點，所有之水盡變為乾飽和蒸汽。此蒸汽按斷



第一四二圖

熱膨脹由 b 至 c 。當膨脹時，其一部凝結為水。當膨脹至 c 點時，其溫度與冷物體相同。然後沿 cd 線繼續按等溫壓縮，直至 d 點。蒸汽復凝結大部。由 d 至 a ，又按斷熱壓縮。直至 a 點，則蒸汽盡行凝結為水。其溫度又升至與原來之溫度相同。

此循環之熱效率，最好用溫熵圖求之。如第一四三圖所示。 T_1 代表沸點溫度。即沿 ab 線加熱之溫度。 T_2 代表冷物體之溫度。即沿 cd 放熱之溫度。 $abcd$ 等字母均與前圖上各字母相當。則在全循環中，



第一四三圖

介工物得到之熱 $= h_b - h_a = T_1(S_2 - S_1)$ 熱單位，

介工物放出之熱 $= h_c - h_d = T_2(S_2 - S_1)$ 熱單位，

所作之功之熱當量為 $T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)$ 熱單位。

$$\text{熱效率 } e_t = \frac{\text{所作之功之熱發量}}{\text{加入之熱量}} = \frac{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)}$$

$$= \frac{T_1 - T_2}{T_1} \dots \dots \dots (1)$$

式中 h_a, h_b, h_c, h_d 代表 a, b, c, d 四點之總熱。

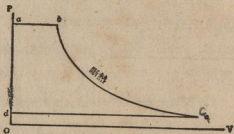
190. 郎肯循環 (Rankine cycle) 如前段所述，倘一蒸汽機按加諾循環工作，則所用水須不在另備之鍋爐內蒸發，而在汽缸內蒸發。蒸汽不排於大氣或凝汽器，而在汽缸內凝結。此種情形，顯然為不可能。故如欲為實際工作之蒸汽機定一比較之標準，宜另採一種循環。其工作之情形須與實際工作之情形相似方可。

曾經採用之標準，即郎肯循環。因此循環係蒸汽循環中之效率最高者。且其介工物更不在汽缸中蒸發與凝結也。

又在此循環，有以下三種假定：(一)無餘隙容積(clearance)；(二)汽缸壁不損失熱量，即膨脹係斷熱的；(三)汽瓣之動作，無論開關，皆係即刻的；即無抽絲(wiredrawing)之現象。

此三種假定，均不能全部實現。因餘隙容積為熱活塞及往復運動各部分歸於靜止必要之條件。斷熱膨脹，僅為一種理想的目的。即用最善之方法，亦有一部熱力由汽缸逃散。而抽絲作用，即在一種極精密的計畫與動作之下，亦不易去盡。故此循環只為一種標準，實際上尚不能達到。惟蒸汽機上不完全之點若日漸免除，結果愈與此接近耳。

第一四四圖表示郎肯循環各步之變化。蒸汽沿一等溫線 ab ，由鍋爐進入汽缸。至 b 點，供給之蒸汽被停止。斷熱膨脹起始，繼續至 c 點。其壓力與溫度為乏汽之壓力與溫度（若排於空氣，其壓力與溫度均較高。若排於凝汽器，其壓力與溫度均較低）。在此一步，有一部蒸汽被凝結。在 c 點，出汽門開。由 c 至 d ，蒸汽沿一等溫等壓線被排除。至 d 點，



第一四四圖

出汽門閉。而入汽門開。壓力與溫度沿 $d a$ 線直升至 a 點。容積保持不變。

郎肯循環之熱效率，亦以用溫熵圖求之較便。如第一四五圖，各字母仍與前圖上之字母相當。並設 h_a, h_b, h_c 與 h_d 代表四點之總熱，則

沿 $a b$ 得到之熱 $= h_b - h_a$ 熱單位，

沿 $d a$ 得到之熱 $= h_a - h_d$ 熱單位，

總得之熱 $= h_b - h_a + (h_a - h_d) = h_b - h_d$ 熱單位。

沿 $c d$ 放出之熱 $= h_c - h_d$ 熱單位，

所作之功之熱當量 $= h_b - h_d - (h_c - h_d) = h_b - h_c$ 熱單位。

$$\text{故 熱效率 } e_t = \frac{\text{所作之功之熱當量}}{\text{加入之熱量}} = \frac{h_b - h_c}{h_b - h_d} \dots\dots (2)$$

若所用之蒸汽非乾飽和蒸汽，而為過熱蒸汽或溼蒸汽，其變化如第一四六及第一四七兩圖所示。其熱效率之大小，仍可用第(2)式表之。

惟須切記各字母所代表之熱量。即

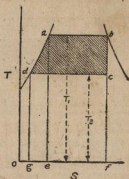
h_b 代表納入汽缸之蒸汽之總熱，

h_c 代表由汽缸向外排除之蒸汽之總熱，

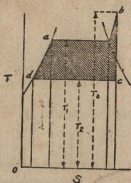
h_d 代表由汽缸向外排除之蒸汽之液體熱。

又 $h_b - h_c$ 謂之可利用作功之熱 (heat available for work), $h_b - h_d$ 謂之應負責之熱 (heat chargeable)。

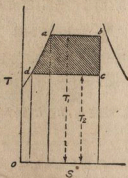
h_b 與 h_c 不宜與蒸汽表上給出之乾飽和蒸汽之總熱 h_g 相混。因納



第一四五圖



第一四六圖



第一四七圖

入之蒸汽或為溼蒸汽，或為乾飽和蒸汽，或為過熱蒸汽， h_b 之數值，將隨之而變化也。但由汽缸向外排除之蒸汽，則幾恆為溼蒸汽。故 h_c 等於 $h_{f2} + x_2 L_2$ ， h_d 等於 h_{f2} 也。

當求郎肯循環之效率時，須先求出排除蒸汽之乾度 x_2 。而求 x_2 之法，則係根據膨脹線 bc 之起始與終止其焓恆為相同。因此膨脹假定係斷熱的，故無熵之變化也。茲舉例題以明之如下：

例題 在郎肯循環中，絕對壓力每方吋 160 磅乾度百分之 95 之蒸汽，膨脹至絕對壓力每方吋 5 磅而排於凝汽器。試求此郎肯循環之效率。

解答 納入蒸汽之熵必為

$$\begin{aligned} S_{g1} &= S_{f1} + x_1 \frac{L_1}{T_1} \\ &= 0.5205 + 0.95 \times 1.0431 \\ &= 0.5205 + 0.9905 = 1.5114 \end{aligned}$$

排除蒸汽之熵必與納入蒸汽之熵相同。排除蒸汽之蒸發熵 (entropy of evaporation) 必為

$$\begin{aligned} S_{e_2} - S_{f_2} &= 1.5114 - 0.2348 \\ &= 1.2766。 \end{aligned}$$

又因在絕對壓力每方吋 5 磅之乾飽和蒸汽，其全部之蒸發熵為 1.6088，故排除蒸汽之乾度為

$$x_2 = \frac{1.2766}{1.6088} = 0.794 = 79.4\%。$$

$$\begin{aligned} \therefore h_b &= h_{f_1} + x_1 L_1 = 335.9 + 0.95 \times 858.7 = 335.9 + 815.8 \\ &= 1151.7 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_c &= h_{f_2} + x_2 L_2 = 130.1 + 0.794 \times 1000.4 = 130.1 + 794.2 \\ &= 924.3 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

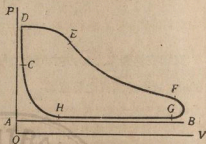
$$h_d = h_{f_2} = 130.1$$

$$\begin{aligned} e_t &= \frac{h_b - h_c}{h_b - h_d} = \frac{1151.7 - 924.3}{1151.7 - 130.1} = \frac{227.4}{1021.6} = 0.2224 \\ &= 22.24\%。 \end{aligned}$$

191. 蒸汽在汽缸內之作用 (action of the steam in the steam engine) 在蒸汽機中之最簡單者，蒸汽供給活塞之全衝程。出汽門一開，蒸汽幾乎仍按原鍋爐壓力而排於外部。蒸汽在汽缸內如此用法，當然極不經濟。在蒸汽機發達之初期已知有使蒸汽在汽缸內膨脹之必要。即蒸汽在汽缸內推動活塞，一部用原鍋爐壓力。行至一衝程之一段後，

入汽門關閉，新蒸汽停止。其餘一段用蒸汽之膨脹力推活塞前進。其容積漸增，壓力漸落。

第一四八圖表示蒸汽在汽缸內工作變化之情形。縱座標代表蒸汽之壓力。橫座標代表蒸汽之容積。蒸汽沿 CDE 線加入。在 D 點之壓力微低於鍋爐壓力。入汽門在 E 點關閉。

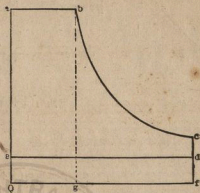


第一四八圖

此點普通謂之停汽點 (point of cut off)。過 E 點後，蒸汽沿膨脹線 EF 由 E 點膨脹至 F 點。在 F 點，出汽門開，此點普通謂之放汽點 (point of release)。由 F 至 H 為排汽之一段。在 H 點，出汽門關，此點普通謂之壓汽點 (point of compression)，汽缸內所餘之一部乏汽，起始被壓縮。直至 C 點。在 C 點新蒸汽又起始納入。故 C 點普通謂之進汽點 (point of admission)。活塞之彼邊有同樣之動作。故就最大部分言之，蒸汽在活塞一邊作工之時，即彼邊向外排汽之時。此種圖謂之示功圖 (indicator diagram)。可用一種儀器名示功器 (indicator) 者實際由蒸汽機畫出。

192. 蒸汽機理論馬力 (Theoretical horsepower of a steam engine)
之公式 當求一蒸汽機理論上之馬力數時，須假定下列數項：(一)無餘隙容積；(二)當納入蒸汽之一段，蒸汽之壓力能保持一律，即恆等於鍋爐之全壓力；(三)停汽點與放汽點均係即刻的 (instantly) 動作；(四)無壓縮作用。

如合於上列四種假定，則理論上之功圖，必如第一四九圖所示。膨脹曲線則假定為一長方雙曲線 (rectangular hyperbola)，其方程為 $PV = \text{一常數}$ 。因在簡單之不凝結機 (non-condensing engine)，其實際之膨脹曲線頗與此相合也。



第一四九圖

設在停汽點 b 之壓力為 p_1 ，容積為 v_1 。在 d 點之壓力為 p_2 ，容積為 v_2 。

則所作之功為 $abcde$ 面積所代表。

$$abcde = cabg + gbcf - oedf。$$

$$\text{面積 } cabg = p_1 v_1。$$

$$\text{面積 } gbcf = \int_{v_1}^{v_2} p dv。$$

$$\text{面積 } oedf = p_2 v_2。$$

代入上式，得

$$abcde = p_1 v_1 + \int_{v_1}^{v_2} p dv - p_2 v_2 \dots \dots \dots (3)$$

因 v_1 與 v_2 為膨脹前後之容積，即膨脹率

$$r = \frac{v_2}{v_1} \dots \dots \dots (4)$$

又因膨脹曲線係一長方雙曲線，即膨脹之情形合於薄依耳定律，得

$$pv = p_1 v_1 \quad \text{或} \quad p = \frac{p_1 v_1}{v},$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad abcde &= p_1 v_1 + p_1 v_1 \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v} - p_2 v_2 \\ &= p_1 v_1 \left(1 + \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v}\right) - p_2 v_2. \end{aligned}$$

求積分，並以 r 代替 $\frac{v_2}{v_1}$ ，得

$$abcde = p_1 v_1 (1 + \log_e r) - p_2 v_2 \dots\dots\dots (5)$$

圖上所表示之平均壓力，謂之平均有效壓力 (mean effective pressure)。簡寫為 *m. e. p.*。可由圖之長度 v_2 除其面積得之。或

$$m. e. p. = \frac{p_1}{r} (1 + \log_e r) - p_2 \dots\dots\dots (6)$$

在事實上，前述之四項假定，均難實現。故實在之 *m. e. p.* 恆小於理想上之 *m. e. p.*。實在之 *m. e. p.* 對於理想上之 *m. e. p.* 之比，謂之功圖因數 (diagram factor)。多以字母 e 代之。

$$\text{故} \quad \text{實在之 } m. e. p. = e \left[\frac{p_1 (1 + \log_e r)}{r} - p_2 \right] \dots\dots\dots (7)$$

由實驗之結果，求得此功圖因數約由百分 70 至 90。

當求一蒸汽機之額定指示馬力 (rated indicated horsepower) 時，須求蒸汽機汽缸內理想上所作之功。設蒸汽機之汽缸，其內部之橫斷面積為 a 方呎，一衝程之長度為 l 呎，每分鐘之迴轉數為 n ，係雙行式，按第 (7) 式得出之 *m. e. p.* 為每方呎 p 磅。則活塞上所受之總壓力必為 pa 磅。每分鐘所行之距離為 $2ln$ 呎。即每分鐘所作之功為 $2plan$ 呎磅。

故 額定指示馬力(rated i. h. p.) = $\frac{2 plan}{33000}$ (8)

例題 一蒸汽機汽缸內直徑為 12 吋。一衝程之距離為 15 吋。每分鐘之迴轉數為 200 次。停汽點在一衝程四分之一。所用新蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅。活塞背面之絕對壓力為每方吋 2 磅。功圖因數，百分之 80。試求此機之額定馬力數。

解答 按第(4)式，膨脹率

$$r = \frac{1}{\frac{1}{4}} = 4。$$

按第(7)式，

$$\begin{aligned} m.e.p. &= e \left[\frac{p_1}{r} (1 + \log_e r) - p_2 \right] \\ &= 0.80 \left[\frac{114.7}{4} (1 + \log_e 4) - 2 \right] = 0.80 [28.7 (1 + 1.386) - 2] \\ &= 0.80 (68.5 - 2) = 0.80 \times 66.5 = 53.2 \text{ 磅, 每方吋。} \end{aligned}$$

汽缸之橫斷面積， $a = \frac{\pi d^2}{4} = 3.1416 \times \frac{12^2}{4} = 113.3$ 方吋。

按第(8)式，

$$\begin{aligned} \text{額定指示馬力} &= \frac{2 plan}{33000} = \frac{2 \times 53.2 \times 1.25 \times 113.3 \times 200}{33000} \\ &= 91.4。 \end{aligned}$$

193. 蒸汽機上種種熱之損失 蒸汽在汽缸中實際之工作或作用，實與理想上者不同。惟所述理想上之各種情形亦頗有用。因可作一種標準以便與實際蒸汽機工作之情形相比較，其不同之點如下：

(一) 蒸汽在汽缸內恆不使完全膨脹 (complete expansion)。即出

汽門開時，其壓力仍較乏汽管中之壓力高。因此一段若使仍向前繼續膨脹，所發之力有時尚不及各部之摩阻力。即所得之功，有時尚不及摩阻力消耗之功也。

(二)在進汽之一段，特別在汽門初開及將關之時，因蒸汽經過甚狹之通路，發生抽絲之現象。使蒸汽之速率增高。壓力降低。故不能保持鍋爐原壓力之大小。因之在圖上 *B* 點以前發生圓角。

(三)在理想之蒸汽機，除在鍋爐中，假定他部均無熱之交換。然在實際之蒸汽機，則蒸汽至汽缸以內，在前段蒸汽失熱於汽缸壁。在後段汽缸壁又給熱與蒸汽。

(四)在實際蒸汽機，活塞背面之壓力恆較大氣壓力或凝汽器內之壓力稍高。因出汽門等處之摩阻力，蒸汽外出時難免稍有擁擠也。

(五)在理想之蒸汽機，汽缸內全部之容積假設均被活塞所掃除。在實際上則汽缸兩端均有相當之餘隙容積。使存一部分乏汽，為活塞之熱。

在實際之蒸汽機，熱之損失，主要者如下：

(一)損失於排除之乏汽之熱 此一部比較最多。有時甚至多至納入蒸汽機全部熱量之百分之 70。

(二)初凝結(initial condensation)。

(三)進汽與排汽時發生之抽絲作用。

(四)壓縮時在餘隙容積中之凝結。

(五)膨脹不完全。

(六)由汽缸向外之輻射熱與空氣對流之攜帶。

(七) 活塞與汽瓣之洩漏。

茲再分別詳述之如下：

194. 損失於排除之乏汽之熱 由蒸汽帶至蒸汽機之熱之大部，仍由蒸汽機於乏汽內排出。此種損失，按蒸汽機計畫之優劣，由蒸汽所含熱量之百分之 70 至百分之 90。在計畫最劣之蒸汽機，甚至有超過百分之 90 者。在許多汽力廠，利用乏汽之熱為暖室之用或製造上給熱之用（如造紙染色等工廠），尚可收回一大部分。又乏汽離汽缸時，常含有百分之 10 至百分之 20 之水分。

195. 初凝結與重汽化 (reevaporation) 從前關於蒸汽機經濟問題之試驗家曾查得汽缸內壁及汽門等處之表面對於蒸汽機之經濟上關係極大。當蒸汽與此等表面接觸，其溫度自然的欲趨於一致。故當新蒸汽進入汽缸以後，與曾與乏汽接觸，溫度較低之汽缸壁相接觸，每有一部分凝結為水。此種凝結之作用，甚至超過停汽點以後。迨過停汽點，蒸汽膨脹，其溫度漸漸落低，而又與曾對新蒸汽接觸溫度較高之汽缸壁相接觸。汽缸壁上之水層，又有一部重行汽化。因與蒸汽壓力相當之沸點溫度至一定點以後反較汽缸壁之溫度低也。迨活塞回行，在排除衝程之全部，此種重行汽化之作用仍行繼續。惟重行汽化之量，恆較初凝結之量少，故汽缸壁上每有一薄層水分。且此層水分，對於後來之蒸汽更助其凝結。因有水分時，蒸汽更易傳熱於汽缸壁也。

在不凝結機，初凝結之量，約由百分之 15 至百分之 20。在往復運動之小蒸汽泵，凝結之水分有時有至百分之 75 者。在計畫比較最完善之蒸汽機，均由百分之 10 至百分之 12。

196. 影響初凝結之因素 (Factors affecting initial condensation)

影響初凝結之因素，有下列幾項：

(一) 汽缸內溫度變化之範圍 (range of temperature) 溫度變化之範圍愈大者，初凝結之量愈多。

(二) 汽缸壁之面積對於汽缸容積之比 此比數愈大時，即同一容積汽缸壁之面積愈多時，凝結之量愈多。

(三) 時間之長短 時間亦為極重要因素之一。如其他情形完全相同，則蒸汽機之速率愈低者，初凝結之量必愈大。因接觸之時間愈長，則熱之變化機會愈久也。且時間短時，只汽缸壁之最內層影響蒸汽。若時間愈長，則影響之深度愈大。

(四) 膨脹率 膨脹率若大，即係停汽點較早。如此則進入汽缸之蒸汽量小，而汽缸所需吸收之熱量則未減少。故凝結之蒸汽對於進入汽缸之蒸汽之百分數增高 (此項與第一項亦有關係)。

197. 減輕初凝結之方法 減輕初凝結之方法，普通者有以下四種：

(一) 用汽套 (steam jacketing)；

(二) 用過熱蒸汽 (superheating)；

(三) 用複式機 (compounding)；

(四) 用單流機 (uniflow engines)。

有時將兩種方法合併用之。最好之結果，係採用過熱蒸汽，同時並加汽套。

198. 汽套 (Steam jacket) 初凝結之作用，因汽缸傳熱之損失而增加。此一部損失，可用新蒸汽圍繞汽缸外部而減少之。此種裝置，即汽

缸以外，複製一套，使一部新蒸汽繼續通過之裝置，謂之汽套。用汽套之效果，不但減少初凝結，同時並可增加重汽化。在汽套之中，當然消耗一部新蒸汽。惟總合計之，每馬力每點鐘所用之蒸汽量，恆較不用汽套時少。特別對於速率較低之蒸汽機。蓋蒸汽機之速率愈低時，汽套影響汽缸內蒸汽之時間愈長，因之汽套之效果亦愈高也。在低速率及大膨脹率之蒸汽機，採用汽套，有時消耗之蒸汽量可省至百分之10至百分之20。

199. 過熱 用過熱蒸汽亦為減少初凝結之一法。當過熱蒸汽入汽缸後，汽缸壁吸收過熱之熱而不吸收凝結之熱。結果使汽缸壁完全乾燥。因乾燥氣體為熱之不良導體。故傳於汽缸壁之熱大為減少。顧特瑪斯教授 (Prof. Gutermuth) 試驗之結果，知在單式不凝結機，若採充分之過熱蒸汽，其經濟之程度，幾與複式凝結機相等。

200. 複膨脹 (Compound expansion) 增加所用蒸汽之壓力。同時使在汽缸內膨脹時，其膨脹之範圍增大，以使用盡其膨脹力。此為初採用高壓蒸汽時自然之步驟。但如用此法，使一汽缸內溫度之變化加大。結果使初凝結亦增大。為減輕因此種原因初凝結之量，使蒸汽在一汽缸中只膨脹一部，即排出而入於第二汽缸，甚至繼續經過第三第四汽缸，以完成其膨脹。如此則在每一汽缸中，其溫度變化之範圍減小。因之初凝結之量亦大為減少。且重汽化之一部熱力，除最後一汽缸外亦變為有效能力。惟複式機除汽壓有充分之高度時，無採用之必要。普通言之，汽壓若在每方吋125磅以下者，極少採用。

201. 抽絲現象 (Wiredrawing) 汽瓣 (valves) 汽門 (ports) 與蒸汽狹隘之通路，其阻力常使進汽時汽壓減低。排汽時汽壓增高。因普通

滑瓣近於關閉之點或停汽之點時，汽瓣不能即刻關閉。蒸汽經過狹隘之通路，遂使其壓力落低。在實際之示功圖上，停汽與放汽點之圓角即由於此。此種阻力，普通稱之為阻塞 (throttling) 或抽絲。阻塞之結果，亦能使蒸汽微行變乾。若由鍋爐來之蒸汽，係完全乾飽和蒸汽，則必發生微量之過熱。

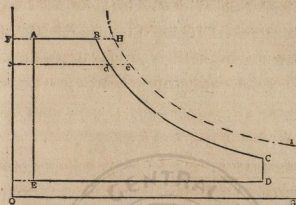
在第一四八圖所示之示功圖上，見初壓線 (initial pressure line) DE 非水平者。由 D 至 E ，其壓力遞降。即就較高之部分言，亦恆低於鍋爐壓力。因由鍋爐至蒸汽機之通路，恆有相當之阻力也。又蒸汽經過由鍋爐至蒸汽機之管中，恆失去一部分熱力。並有相當之凝結量。故在總汽管將入蒸汽機以前，普通多用一分汽器，使凝結之水分由之移去。

202. 餘隙容積與壓縮 (Clearance and compression) 欲使活塞對汽缸蓋不發生撞擊之動作，恆使活塞行至汽缸一端時，其前面與汽缸蓋之間尚留有一小部分空間。由汽瓣至汽缸之汽門通路與此一小部分空間，總稱之為餘隙容積 (clearance volume)。其大小之求法，係將活塞推至其極端之位置而滿注以水。知所用之水之重量與溫度，其容積即可算出。餘隙容積被活塞所經過之容積除之，即給出餘隙容積之百分數。

在餘隙容積之蒸汽，對於蒸汽機之膨脹線有相當影響。如第一五〇圖。 ED 代表活塞移動之距離。 AB 代表加入汽缸之新汽之容積。則外表之膨脹率 (apparent ratio of expansion) 為

$$\frac{ED}{AB} \dots\dots\dots (9)$$

但實際上膨脹之蒸汽，不但包含由鍋爐進入之蒸汽，並包含有餘隙



第一五〇圖

容積內之蒸汽。故實在之膨脹率(real ratio of expansion)爲

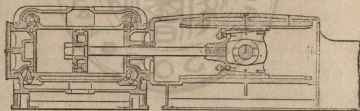
$$\frac{ED + AF}{AB + AF} \dots \dots \dots (10)$$

變更一蒸汽機之餘隙容積，則每衝程所用之蒸汽量即因之變更。爲減輕每衝程所消耗新蒸汽之量起見，使排除衝程未至極端之前，即將出汽門關閉。使乏汽存留一部。被活塞壓縮於餘隙容積之中。第一可抵消活塞之衝動力。同時當活塞未至極端之前，每使入汽門先開少許，使新汽亦進入一小部分(此種動作謂之導程[lead])，亦助壓縮蒸汽以抵消活塞之衝動力。第二當活塞起始回行時，汽壓不致忽而降低。

故占據汽缸之蒸汽，可認爲由兩部組成。第一部爲前次之乏汽遺留於餘隙容積之一部。謂之墊汽(cushion steam)。第二部爲加入汽缸之蒸汽。謂之汽缸喂量(cylinder feed)。墊汽與汽缸喂量之和爲膨脹時汽缸中蒸汽之總重量。即第一五〇圖上由B膨脹至C之總蒸汽量。

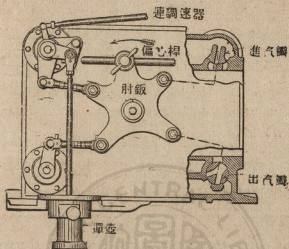
在餘隙容積中壓縮蒸汽，恆為一種損失。且未壓縮之先，汽缸壁係與乏汽接觸。當壓縮時，蒸汽之溫度升高。迨升至超過汽缸壁之溫度時，亦發生凝結之現象。與初凝結之作用相同。但因壓縮有兩種重要之利益，故雖有相當損失，仍行採用也。其利益為：(一)抵抗活塞與其他直線運動部分之衝動力；(二)留存之一部乏汽，因被壓縮而壓力增高，迨活塞回行時，新汽初入，壓力不致忽有低落之現象。

203. 考利斯蒸汽機(Corliss engines) 考利斯蒸汽機，係 1849 年美國考利斯(George H. Corliss)所發明。在馬力數較大之蒸汽機，採用此式者極為普通。在美國尤然。此機之特點為汽瓣與帶動汽瓣之機關(valve gears)。汽瓣之形狀，如第一五一圖及第一五二圖所示。



第一五一圖

汽缸每端各備一進汽瓣與一出汽瓣。且汽瓣對於汽瓣座之運動，不為直線滑動而代以繞筒狀汽瓣座與筒狀汽瓣公共中軸之往復擺動。在臥式蒸汽機，進汽瓣恆裝置於汽缸上部之兩角。出汽瓣則裝置於下部兩角。其方向皆係與汽缸中軸垂直。各汽瓣各有一軸經過填料函(stuffing box)而達於汽缸之外。其上各固定一曲柄。謂之汽瓣臂(valve



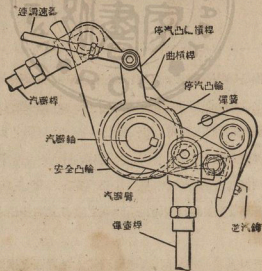
第一五二圖

arms)。

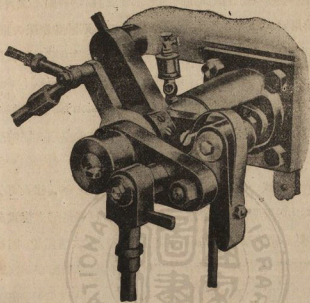
如第一五二圖所示，汽瓣臂之運動，皆由肘板 (wrist-plate) 而來。而肘板則由偏心輪桿帶動之。又出汽瓣上之汽瓣臂，係永久連於肘上。但進汽瓣上之曲柄，則備一跳動機關 (trip gear) 搬動之。當至停汽點時，此跳動機關即放開汽瓣臂，使汽瓣按一急速之迴轉運動關閉。關閉之動作係汽瓣臂與彈壺 (dashpot) 之活塞相連而發生。當汽瓣轉開時，彈壺之活塞被提起。在其汽缸中發生部分真空。活塞之上部則受有大氣壓力。故當跳動機關放開汽瓣臂時，大氣之壓力立將彈壺之活塞壓下。汽瓣遂行關閉。

第一五三圖及第一五四圖，表示進汽瓣跳動機關之構造。汽瓣臂用鍵固定於汽瓣桿上。當汽瓣桿外端上下運動時，汽瓣即沿汽瓣座迴轉。

在汽瓣桿上有一停汽凸輪 (knock-off cam) 與一曲柄桿 (bell crank lever), 均係套於其上。可繞之自由擺動。當肘板往復擺動時, 曲柄桿繞汽瓣發生一種擺動。此曲柄桿之另一端上, 裝置一進汽鉤 (steam hook)。亦謂之蟹爪。其內股由一彈簧之力恆與停汽凸輪槓桿 (knock-off cam lever) 在汽瓣桿上之環狀部接觸。在第一五三圖上所示之情形, 恰係如此。其外股則正與汽瓣外端上特備之一金屬塊相銜。當汽瓣桿受肘板之運動向左運動時, 進汽鉤被提起。帶動汽瓣臂之外端與之同起。汽瓣遂被迴轉而開關。當曲柄桿繞其軸迴轉至一定之位置, 進汽鉤之內股被停汽凸輪所作用。其外股遂被迫向右。放開汽瓣臂。汽瓣臂遂被彈壺桿 (dashpot rod) 所牽引。立即向下運動。此種急速之向下運動, 使汽瓣



第一五三圖



第一五四圖

臂迴轉汽瓣桿。汽瓣遂被關閉。且得一種極敏捷的停汽。

調速器 (governor) 係約束停汽凸輪之位置。因之確定進汽鉤放開汽瓣之點而發生停汽 (cut-off) 之動作。

又在停汽凸輪槓桿上，更有一安全凸輪 (safety cam)。如帶動調速器之皮帶萬一發生意外，則調速器上套筒 (sleeve) 下落之動作，使安全凸輪，向表針反向迴轉。因之使停汽特別變早。結果全機歸於停止。

計畫正確之考利斯汽瓣，其運動恆合於下列兩點：

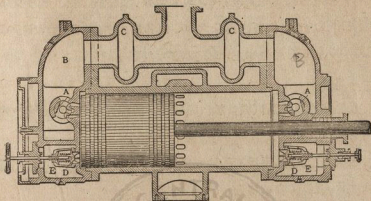
- (一) 當汽瓣之稜 (edge) 橫過汽門之稜時，按其最高之速率運動。
- (二) 當汽瓣已關閉汽門以後之一段，其運動之速率則極緩。

第一項特點，結果能減輕抽絲現象之程度。使示功圖上之角較為尖銳。因之較用單式滑瓣者多得一部分功。第二項則減輕摩阻力與傷損。因當汽瓣關閉時，其大部時間汽瓣被新蒸汽之全壓力壓迫於汽瓣座之上也。又因採用跳動機關之故，使停汽點完全離開其他事項 (events) 而獨立。故導程 (lead)，壓汽點 (point of compression) 與放汽點等，在任何載荷均可相同。不似在滑瓣上，變更停汽點，其他事項亦同時受其影響也。

204. 單流蒸汽機 (Uniflow engine) 在 1908 年，德人司徒慕福 (Prof. Stumpf) 發明單流蒸汽機。其經濟情形，幾與最好之複式蒸汽機相等。其主要之特點為減輕初凝結，因之減輕蒸汽之消耗量。因初凝結在此種蒸汽機能大為減輕之故，故停汽點可任意提早。而在一汽缸中即能得到甚大之膨脹率與甚低之終壓力 (terminal pressure)。在從前非用複式機不能得到者同時則無複式機之其他損失。

第一五五圖表示一單流蒸汽機之縱斷面。無出汽瓣。但於汽缸中部備一周出口。當活塞每一衝程之終點將至時，活塞即將此出口讓開。乏汽即由之逃出。再總匯於一乏汽管而達於外部。故活塞本身即備有出汽瓣之作用。在汽缸之兩端各有一入汽瓣 A A。汽瓣上有汽囊 B B。完全作成一新蒸汽之汽套。包覆於汽瓣之外。

在單流蒸汽機，汽缸壁與活塞之兩端，只於活塞開關出汽門之間之一段短時間與乏汽接觸。因入汽瓣被新蒸汽所包覆，故比較溫度最低之部分為活塞之兩面。水分亦多聚於此。當出口開開時，此一部分水分遂由乏汽掃出。此種結果，亦較在普通蒸汽機內，仍使在汽缸內重行汽



第一五五圖

化爲佳。當活塞回行，汽缸內餘留之一部蒸汽，遂被壓縮於餘隙容積內。其壓力與其溫度均行升高。蓋不但受壓縮之影響，同時更受汽瓣外汽套之影響也。

仍參看第一五五圖，汽缸係一鑄造之單圓筒。中間附鑄一環狀空帶，爲乏汽之通路。汽櫃係與汽缸連同鑄成。並備有兩膨脹部 C C。當溫度有變化時，使容納膨脹之影響，結果不致影響汽缸。汽缸之兩端，各備一汽瓣 D D。能開向 E 部。當汽缸內存水過量時，即自動壓開，將水洩出。其作用完全爲一種放水瓣 (relief valve)。當蒸汽機按不凝結機工作時，此處並作一部餘隙容積用。以減低壓縮之壓力，使不致過高。

上述之單流蒸汽機，其入汽瓣係考利斯式。由普通之考利斯汽瓣機構帶動之。又有用提動式汽瓣 (poppet valves) 者。

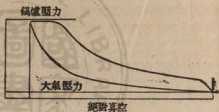
此種蒸汽機蒸汽之消耗量甚低。若用過熱蒸汽時尤然。其效率比較

一律，且能負擔較高之過載。所以能負擔甚大之過載之故，因平時其停汽點甚早，約為全衝程之百分之 10。但其最大之停汽點可增至全衝程百分之 60 至 65。雖效率上比較不經濟，然過載能提高之程度，則非他機可比也。

又在多數單流蒸汽機，放汽點約在一衝程百分之 90，而壓汽點則在回行衝程百分之 10。

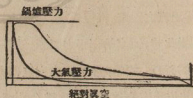
在單流蒸汽機，用為不凝結機與用為凝結機，頗有不同。當用為不凝結機時，其餘隙容積須大。

因壓汽點起始太早，壓縮之壓力有時失之太高也。用為凝結機，因所餘之乏汽壓力甚低，故餘隙容積可小。參看第一五六圖與第一五七圖，即可明瞭。



第一五六圖

又在利用乏汽熱力之製造廠，普通恆用為不凝結機。因其不經濟之故，又有在汽缸兩端各裝置一副出汽瓣者 (auxiliary exhaust valves)。



第一五七圖

使活塞回行之前段，乏汽外出。至一定之地點後，副出汽瓣關閉，始行壓縮。如此則可免去第一五六圖所示之弊。其構造如第一五八圖(a)所示。其相當之示功圖，則如圖中(b)所示。