

# 熱機學題解

曹國惠編

商務印書館發行





# 熱機學題解

曹國惠編

商務印書館發行

一九三九年四月初版  
一九四九年二月四版

熱學題解一冊

◆(84475.2)

基價拾肆元

印刷地點外另加運費

編纂者 曹國惠

發行人 陳懋解  
上海河南中路

印刷所 商務印書館

發行所 各地商務印書館

\*\*\*\*\*  
\* 5/13 \*  
\* 5/13 \*  
\*\*\*\*\*

(本書校對者陳敬衡)



## 序

拙編熱機學一書，自去年十一月由上海商務印書館編入大學叢書中出版後，各地購讀者為數頗多。近月以來，來函討論書中習題之解答方法者亦不少。足徵社會上對於此類書籍已有相當需要，而各題之正確解答與運算，似亦為多數讀者所急欲參考者。

近數年來，鄙人教授此門課程時，所有學生交入之習題，多由曹國惠君協助改正。故曹君對於本書所有之習題，研究極為精審，解答極為詳明。因前述之需要，月前遂請彼將歷年改正時所依據之底稿，正式加以整理，亦交由商務印書館印行，以為閱讀拙編者之一助；同時並將各題完全照錄於解答之前，使凡曾讀過此類課程者，即不閱拙編中文本，亦可專用之以作習題之練習。實為一舉兩得之事也。鄙人深喜國人對於機械工程研究者之日多，並感於曹君用力之勤，因為之序。

劉仙洲

廿六年六月六日。

國立清華大學古月堂

# 熱機學題解

## 第二章 熱力學概論

### 習 題

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

解答 按  $PV = WRT$  公式，

$$P = 100 \times 144 = 14,400 \text{ 磅，每方呎，}$$

$$V = 0.3 \text{ 立方呎，}$$

$$W = 1 \text{ 磅，}$$

$$R = 53.34.$$

代入公式，得

$$T = \frac{PV}{WR} = \frac{14,400 \times 0.3}{1 \times 53.34} = 81^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}$$

$$\text{或 } 81 - 460 = -379^\circ\text{F.}$$

2. 空氣 10 磅，在絕對壓力每方吋 10,000 磅時，其溫度爲  $100^\circ\text{F.}$  問其容積應爲若干立方呎？

解答 按  $PV = WRT$  公式，

$$P = 10,000 \times 144 = 1,440,000 \text{ 磅，每方呎，}$$

$$W = 10 \text{ 磅，}$$

$$T = 100 + 460 = 560^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}$$



代入公式，得

$$V = \frac{WRT}{P} = \frac{10 \times 53.34 \times 560}{1,440,000} = 0.207 \text{ 立方呎.}$$

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

解答 按  $PV = WRT$  公式，

$$V = 50 \text{ 立方呎,}$$

$$W = 5 \text{ 磅,}$$

$$T = 60 + 460 = 520^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}$$

代入公式，得

$$P = \frac{WRT}{V} = \frac{5 \times 53.34 \times 520}{50} = 2,775 \text{ 磅, 每方呎}$$

絕對壓力 = 19.3 磅，每方吋絕對壓力。

或  $19.3 - 14.7 = 4.6$  磅，每方吋表壓力。

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  $70^\circ\text{F.}$ 。試求箱內所有空氣之重量。

解答 按  $PV = WRT$  公式，

$$P = 100 \times 144 = 14,400 \text{ 磅, 每方呎,}$$

$$V = 300 \text{ 立方呎,}$$

$$T = 70 + 460 = 530^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}$$

代入公式，得

$$W = \frac{PV}{RT} = \frac{14,400 \times 300}{53.34 \times 460} = 152 \text{ 磅.}$$

5. 定量之空氣，其溫度為  $60^{\circ}\text{F}$ ., 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  $120^{\circ}\text{F}$ ., 問其容積應為若干立方呎？

解答 按查理斯定律

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_1 = 5 \text{ 立方呎,}$$

$$T_1 = 60 + 460 = 520^{\circ}\text{F}., \text{ 絕對溫度,}$$

$$T_2 = 120 + 460 = 580^{\circ}\text{F}., \text{ 絕對溫度.}$$

$$\text{故 } V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{5 \times 580}{520} = 5.575 \text{ 立方呎.}$$

6. 一儲空氣箱，存有空氣 200 立方呎。其溫度為  $60^{\circ}\text{F}$ ., 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？

解答 (a) 按  $PV = WRT$  公式，

$$P = 200 \times 144 = 28,800 \text{ 磅, 立方呎,}$$

$$V = 200 \text{ 立方呎,}$$

$$T = 60 + 460 = 520^{\circ}\text{F}., \text{ 絕對溫度.}$$

代入公式，得

$$W = \frac{PV}{RT} = \frac{28,800 \times 200}{53.34 \times 520} = 207.3 \text{ 磅.}$$

(b) 按薄依耳定律

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



$$P_1 = 200 \text{ 磅, 每方吋,}$$

$$V_1 = 200 \text{ 立方呎,}$$

$$P_2 = 14.7 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{故 } V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{200 \times 200}{14.7} = 2,720 \text{ 立方呎.}$$

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  $60^\circ\text{F}$ . 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?

解答 因溫度不變, 按薄依耳定律

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_1 = 60 \text{ 磅, 每方吋,}$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \times 1,000 = 500 \text{ 立方呎,}$$

$$V_2 = 500 + \frac{1}{2} \times 500 = 750 \text{ 立方呎,}$$

$$\text{故 } P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{60 \times 500}{750} = 40 \text{ 磅, 每方吋絕對壓力.}$$

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  $60^\circ\text{F}$ . 如將所有空氣熱至  $150^\circ\text{F}$ ., 問 (a) 箱中空氣之結果壓力, (b) 所需之熱量.

解答 (a) 因容積不變, 得

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

$$P_1 = 14.7 \text{ 磅, 每方吋,}$$

$$T_1 = 60 + 460 = 520^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度,}$$

$$T_2 = 150 + 460 = 610^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度,}$$

$$\text{故 } P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{14.7 \times 610}{520} = 17.24 \text{ 磅, 每方吋.}$$

(b) 按定容加熱

$$\begin{aligned} Q &= \frac{V(P_2 - P_1)}{778(K-1)} \\ &= \frac{200 \times 144(17.24 - 14.7)}{778(1.4 - 1)} = 237 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

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  $60^\circ\text{F}$ 。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？

解答 (a) 按定容加熱

$$Q = \frac{V(P_2 - P_1)}{778(K-1)}$$

$$Q = 1,000 \text{ 英熱單位}$$

$$P_1 = 40 \text{ 磅, 每方吋,}$$

$$V = 200 \text{ 立方呎.}$$

代入公式，得

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{Q \times 778(K-1)}{V} + P_1 \\ &= \frac{1,000 \times 778 \times 0.4}{200} + 40 \times 144 \\ &= 7,316 \text{ 磅, 每方呎} = 50.8 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$



(b) 因  $V_1 = V_2$

$$\text{則 } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$T_1 = 60 + 460 = 520^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度,}$$

$$\text{故 } T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1} = \frac{50.8 \times 520}{40} = 660.4^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}$$

$$\text{或 } 660.4 - 460 = 200.4^\circ\text{F.}$$

10. 某劇場可容五千人。設每小時每人需供給 2,000 立方呎之通風，場外溫度為  $0^\circ\text{F.}$ ，場內溫度為  $70^\circ\text{F.}$ 。問每小時共需空氣若干磅？共需熱量若干英熱單位？在零度時 1 立方呎空氣之重量為 0.0863 磅，在  $70^\circ\text{F.}$  時，1 立方呎空氣之重量為 0.075 磅。

解答 (a) 在  $70^\circ\text{F.}$  時，每小時共需空氣之容積

$$= 5,000 \times 2,000 = 10,000,000 \text{ 立方呎,}$$

故每小時共需空氣之重量

$$= 10,000,000 \times 0.075 = 750,000 \text{ 磅.}$$

(b) 按定壓加熱，每小時共需之熱量

$$= \frac{P(V_2 - V_1)K}{(K-1)778} = \frac{WR(T_2 - T_1)K}{778(K-1)}$$

$$= \frac{750,000 \times 53.34 \times 1.4(70 - 0)}{778(1.4 - 1)}$$

$$= 12,650,000 \text{ 英熱單位.}$$

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？

解答 按等溫膨脹

$$W = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1} = P_1 V_1 \log_e \frac{P_1}{P_2}$$

$$P_1 = 80 \times 144 = 11,520 \text{ 磅, 每方呎,}$$

$$V_1 = 12 \text{ 立方呎,}$$

$$P_2 = 15 \times 144 = 2,160 \text{ 磅, 每方呎.}$$

故當膨脹時所作之外功

$$= 11,520 \times 12 \log_e \frac{80}{15}$$

$$= 11,520 \times 12 \times 2.3 \times 0.7267$$

$$= 231,300 \text{ 呎磅.}$$

加入之熱量

$$= \frac{231,300}{778} = 297 \text{ 英熱單位.}$$

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，汽缸內容氣之重量。(b) 空氣最後之容積。(c) 當壓縮時對於空氣所作之功。

解答 (a) 按  $PV = WRT$  公式

$$W = \frac{PV}{RT} = \frac{15 \times 144 \times 2}{53.34(70 + 460)} = \frac{4320}{53.34 \times 530}$$

$$= 0.153 \text{ 磅.}$$



$$(b) \text{ 因 } T_2 = T_1$$

$$\text{故 } V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{15 \times 2}{100} = 0.3 \text{ 立方呎.}$$

$$(c) W = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 15 \times 144 \times 2 \log_e \frac{0.3}{2}$$

$$= 4,320 \times 2.3 \log 0.15$$

$$= 4,320 \times 2.3 \times (-1 + 0.176)$$

$$= -8,200 \text{ 呎磅. (負號表示對於空氣作功)}$$

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 問由汽缸向外排氣應在一衝程之何點起始?

$$\text{解答 } P_1 V_1 = P_2 V_2$$

設  $x$  為起始排氣點距汽缸前端之距離, 則

$$x \times V_1 = V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$\text{故 } x = \frac{P_1}{P_2} = \frac{14.7}{100} = 0.147 \text{ 呎} = 1.765 \text{ 吋}$$

$$\frac{12 - 1.765}{12} = \frac{10.235}{12} = 0.853$$

故汽缸向外排氣時, 應在一衝程之 85.3%.

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.

解答 因係斷熱膨脹，故 (50) 式變為

$$\begin{aligned}\frac{T_2}{T_1} &= \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \\ T_2 &= T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = (60+460) \left(\frac{1}{4+1}\right)^{0.4} \\ &= 520 (0.2)^{0.4} = 520 \times 0.635 \\ &= 330^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}\end{aligned}$$

或  $330-460 = -130^\circ\text{F.}$

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，其絕對壓力為每方吋 12 磅，溫度為  $60^\circ\text{F.}$  氣壓表之讀數為 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。

解答 因係斷熱膨脹，按 (39) 式，得

$$\begin{aligned}P_2 &= P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \\ P_1 &= 12 \times 144 = 1,728 \text{ 磅, 每方呎,} \\ V_1 &= 5 \text{ 立方呎,} \\ V_2 &= 5 + \frac{\pi}{4} \left(\frac{20}{12}\right)^2 \times 2 = 5 + 4.36 = 9.36 \text{ 立方呎,}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{故 } P_2 &= 1,728 \left(\frac{5}{9.36}\right)^{1.4} = 1,728 \times 0.4167, \\ &= 720 \text{ 磅, 每方呎.}\end{aligned}$$

因汽缸內空氣之膨脹所作之功

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{k-1} \\
 &= \frac{1,728 \times 5 - 720 \times 9.36}{1.4-1} = \frac{8,640 - 6,740}{0.4} \\
 &= \frac{1900}{0.4} = 4,750 \text{ 呎磅.}
 \end{aligned}$$

戰勝大氣壓力所需之外功

$$= 30 \times 0.491 \times 144 \times \frac{\pi}{4} \left( \frac{20}{12} \right)^2 \times 2 = 9,270 \text{ 呎磅.}$$

戰勝摩阻力所需之外功

$$= 50 \times 2 = 100 \text{ 呎磅.}$$

故所需之總功

$$= 9,270 + 100 - 4,750 = 4,620 \text{ 呎磅.}$$

16. 空氣 2 立方呎，其溫度為  $540^\circ\text{F}$ ，其絕對壓力為每方吋 100 磅。按斷熱膨脹直至其溫度降至  $40^\circ\text{F}$ 。問所作之功幾何？

解答 因係斷熱膨脹，由 (38) 式

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{wR(T_2 - T_1)}{1-k} \\
 &= \frac{P_1 V_1 (T_2 - T_1)}{T_1 (1-k)} \\
 &= \frac{100 \times 144 \times 2 (40 - 540)}{(540 + 460) (1 - 1.4)} \\
 &= \frac{14,400}{0.4} = 36,000 \text{ 呎磅.}
 \end{aligned}$$

17. 空氣 3 立方呎，其溫度為  $60^{\circ}\text{F}$ ., 其絕對壓力為每方吋 45 磅。  
問：(a) 當斷熱膨脹至絕對壓力每方吋 15 磅時，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)。

解答 (a) 因係斷熱膨脹，按 (39) 式，得

$$V_2 = V_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}} = 3 \times \left( \frac{45}{15} \right)^{\frac{1}{1.4}} = 3^{\frac{2.4}{1.4}} = 3^{1.714}$$

$$= 6.58 \text{ 立方呎.}$$

按 (49) 式，得

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = (60 + 460) \left( \frac{3}{6.58} \right)^{0.4}$$

$$= \frac{520}{(2.193)^{\frac{1}{2.5}}} = \frac{520}{1.37} = 379^{\circ}\text{F.}, \text{ 絕對溫度.}$$

或  $379 - 460 = -81^{\circ}\text{F}$ 。

$$(b) W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - k} = \frac{144 (15 \times 6.58 - 45 \times 3)}{1 - 1.4}$$

$$= \frac{5230}{0.4} = 13075 \text{ 呎磅.}$$

$$(c) \text{ 變功之熱量 } Q = \frac{13075}{778} = 16.8 \text{ 英熱單位.}$$

18. 空氣 2 立方呎，其溫度為  $60^{\circ}\text{F}$ ., 其絕對壓力為每方吋 80 磅。  
問 (a) 空氣之重量。(b) 倘空氣按斷熱膨脹直至容積為 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為 8 立方呎時，求所作之功。

解答 (a) 按  $PV = WRT$  公式

$$W = \frac{PV}{RT} = \frac{80 \times 144 \times 2}{53.34(60 + 460)} = 0.83 \text{ 磅}$$

(b) 因係斷熱膨脹，故

$$P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k = 80 \left( \frac{2}{8} \right)^{1.4} = 80 \left( \frac{1}{4} \right)^{1.4}$$

$$= \frac{80}{6.97} = 11.47 \text{ 磅，每方吋。}$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2 T_1}{P_1 V_1} = \frac{11.47 \times 8 \times 520}{80 \times 2} = 298^\circ \text{F.，絕對溫度，}$$

或  $298 - 460 = -162^\circ \text{F.}$

(c) 斷熱膨脹時所作之功

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - k} = \frac{144(11.47 \times 8 - 80 \times 2)}{1 - 1.4}$$

$$= \frac{144 \times 68.24}{0.4} = 24550 \text{ 呎磅。}$$

(d) 等溫膨脹時所作之功

$$W = P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1} = 80 \times 144 \times 2 \times 2.3 \log \frac{8}{2}$$

$$= 53,000 \times 0.602 = 31,900 \text{ 呎磅。}$$

19. 空氣 4 立方呎，其絕對壓力為每方吋 100 磅，沿  $PV^n = C$  曲線膨脹至容積 14.2 立方呎，絕對壓力每方吋 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。

解答 (a) 按  $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$  公式

$$100 \times 4^n = 15 \times 14.2^n$$

$$\left(\frac{14.2}{4}\right)^n = \frac{100}{15}$$

$$n \log 3.55 = \log 100 - \log 15$$

$$n \times 0.5502 = 2 - 1.1761 = 0.8239$$

$$n = \frac{0.8239}{0.5502} = 1.497$$

因  $n > k$ , 故膨脹時放熱.

(b) 膨脹時放出之熱量

$$\begin{aligned} Q &= (P_2 V_2 - P_1 V_1) \left( \frac{1}{K-1} + \frac{1}{1-n} \right) \\ &= (15 \times 144 \times 14.2 - 100 \times 144 \times 4) \left( \frac{1}{0.4} - \frac{1}{0.497} \right) \\ &= (30,700 - 57,600)(2.5 - 2.01) \\ &= -26,900 \times 0.49 \\ &= -13,200 \text{ 呎磅} = -16.95 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

(c) 膨脹時所作之功

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{-26,900}{-0.497} = 54,100 \text{ 呎磅.}$$

20. 空氣 10 磅, 其溫度為  $150^\circ\text{F}$ ., 其絕對壓力為每方吋 200 磅. 沿  $PV^{0.9} = C$  曲線膨脹至絕對壓力每方吋 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

解答 (a) 由 (50) 式

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



$$T_2 = (150 + 460) \left( \frac{200}{15} \right)^{\frac{1-0.9}{0.9}}$$

$$= 610 \left( \frac{40}{3} \right)^{\frac{1}{9}} = 610 \times \frac{1.505}{1.13} = 814 \text{ F.}, \text{ 絕對溫度}$$

或  $814 - 460 = 354^\circ \text{F.}$

(b) 膨脹時所作之功

$$W = \frac{wR(T_2 - T_1)}{1-n} = \frac{10 \times 53.34(354 - 150)}{1-0.9}$$

$$= \frac{533.4 \times 204}{0.1} = 1,087,000 \text{ 呎磅.}$$

(c) 因  $n = 0.9 < k$ , 故膨脹時加熱.

$$Q = \frac{wR}{778} (T_2 - T_1) \left( \frac{1}{k-1} + \frac{1}{1-n} \right)$$

$$= \frac{10 \times 53.34 \times 204}{778} \left( \frac{1}{0.4} + \frac{1}{0.1} \right)$$

$$= \frac{533.4 \times 204 \times 12.5}{778}$$

$$= 1,750 \text{ 英熱單位.}$$

21. 一定重量之空氣, 由絕對壓力每方吋 100 磅, 容積 2 立方呎, 膨脹至絕對壓力每方吋 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) 倘最後之容積不為 4 立方呎, 而為 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  $70^\circ \text{F.}$ , 並沿  $PV = C$  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特別氣體，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？

解答 (a) 由  $P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$  公式，

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^n$$

$$\frac{100}{25} = \left( \frac{4}{2} \right)^n$$

$$4 = 2^n$$

$$n = 2 > k$$

故膨脹時放熱

(b) 放出之熱量

$$\begin{aligned} Q &= \left( \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{778} \right) \left( \frac{1}{k-1} + \frac{1}{1-n} \right) \\ &= \frac{144(25 \times 4 - 100 \times 2)}{778} \left( \frac{1}{0.4} - \frac{1}{1} \right) \\ &= \frac{-144 \times 10 \times 1.5}{778} \\ &= -27.75 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

(c) 倘  $V_2 = 5.38$  立方呎

$$\text{則 } 4 = \left( \frac{5.38}{2} \right)^n = (2.69)^n$$

$$n = 1.4 = k$$

故不加熱亦不放熱。

(d) 膨脹時空氣所作之功

$$\begin{aligned} W &= \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-k} \\ &= \frac{144(5.38 \times 25 - 100 \times 2)}{-0.4} \\ &= 23,600 \text{ 呎磅} \end{aligned}$$

(e) 因  $n=1$  係等溫膨脹，故結果溫度等於原來之溫度  $=70^\circ\text{F}$ 。

$$(f) \quad k' = \frac{C_p}{C_v} = \frac{0.1569}{0.131} = 1.198$$

由 (e) 項得  $n=1.4 < k'$ ，故膨脹時放熱。

(g) 較 (c) 項多放之熱量

$$\begin{aligned} Q &= \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{778} \left( \frac{1}{k' - 1} + \frac{1}{1 - n} \right) \\ &= \frac{144(5.38 \times 25 - 100 \times 2)}{778} \times \left( \frac{1}{1.198 - 1} + \frac{1}{1 - 1.4} \right) \\ &= -\frac{9,440}{778} (5.05 - 2.5) \\ &= -\frac{9,440}{778} \times 2.55 = -30.95 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

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。問：(a) 膨脹時所作之外功。(b) 問膨脹時所加之熱量。

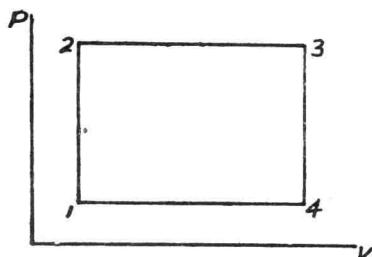
解答 (a) 膨脹時所作之外功

$$\begin{aligned} W &= P(V_2 - V_1) \\ &= 100 \times 144 (3 - 1) = 28,800 \text{ 呎磅。} \end{aligned}$$

(b) 膨脹時所加之熱量

$$\begin{aligned} Q &= \frac{P(V_2 - V_1)k}{778(k-1)} \\ &= \frac{100 \times 144 (3 - 1) \times 1.4}{778 \times 0.4} \\ &= 129.5 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

23. 一定重量之空氣，其容積為 10 立方呎，其溫度為  $60^\circ\text{F}$ ，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；再後按定壓放熱，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。



解答 (a) 按定容加熱

$$T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1} = \frac{200 (60 + 460)}{20}$$

$= 5,200^\circ\text{F}$ . 絕對溫度.

或  $t_2 = 5,200 - 460 = 4,740^\circ\text{F}$ .

(b) 按定壓加熱

$$T_3 = \frac{V_3 T_2}{V_2} = \frac{40 \times 5,200}{10}$$

$= 20,800^\circ\text{F}$ ., 絕對溫度.

或  $t_3 = 20,800 - 460 = 20,340^\circ\text{F}$ .

(c) 按定容放熱

$$T_4 = \frac{P_4 T_3}{P_3} = \frac{20 \times 20,800}{200}$$

$= 2,080^\circ\text{F}$ ., 絕對溫度,

或  $t_4 = 2,080 - 460 = 1,620^\circ\text{F}$ .

(d) 由 1 至 2 加入之熱量

$${}_1Q_2 = \frac{V_1(P_2 - P_1)}{778(k-1)} = \frac{10(200 - 20) \times 144}{778 \times 0.4}$$

$= 833$  英熱單位.

由 2 至 3 加入之熱量

$${}_2Q_3 = \frac{P_2(V_3 - V_2)k}{778(k-1)} = \frac{200 \times 144(40 - 10) \times 1.4}{778 \times 0.4}$$

$= 3,885$  英熱單位.

故總加入之熱量  $= 833 + 3,885 = 4,718$  英熱單位.

(e) 由 3 至 4 放出之熱量

$${}_3Q_4 = \frac{V_3(P_4 - P_3)}{778(k-1)} = \frac{40(20 - 200) \times 144}{778 \times 0.4}$$

$= -3,332$  英熱單位.

由 4 至 1 放出之熱量

$$Q_4 = \frac{P_4 (V_1 - V_4)k}{778 (k-1)} = \frac{20 \times 144 (10-40) \times 1.4}{778 \times 0.4}$$

$$= -388.5 \text{ 英熱單位.}$$

故總放出之熱量 =  $3,332 + 388.5 = 3,720.5$  英熱單位.

(f) 全循環所作之功

$$W = (4,718 - 3,720.5) \times 778$$

$$= 997.5 \times 778$$

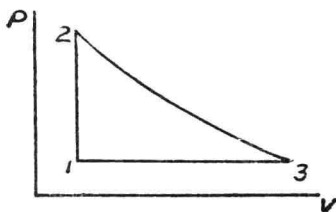
$$= 776,000 \text{ 呎磅.}$$

(g) 全循環之效率

$$= \frac{997.5}{4718}$$

$$= 21.13 \%$$

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。



解答 (a) 按定容加熱，由 1 至 2 加入之熱量

$${}_1Q_2 = \frac{V_1(P_2 - P_1)}{778(k-1)} = \frac{2(100-15) \times 144}{778(1.4-1)}$$



$$= \frac{2 \times 85 \times 144}{778 \times 0.4} = 78.6 \text{ 英熱單位.}$$

按等溫加熱，由 2 至 3 加入之熱量

$$\begin{aligned} {}_2Q_3 &= \frac{P_2 V_2}{778} \log_e \left( \frac{P_2}{P_3} \right) = \frac{100 \times 144 \times 2}{778} \times 2.3 \log \frac{100}{15} \\ &= \frac{28,800 \times 2.3}{778} (2 - 1.176) \\ &= 70.2 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

故總加入之熱量 = 78.6 + 70.2 = 148.8 英熱單位.

(b) 按定壓過程，由 3 至 1 放出之熱量

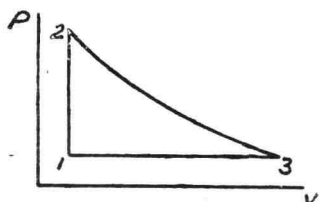
$$\begin{aligned} {}_3Q_1 &= \frac{P_3 (V_1 - V_3)k}{778(k-1)} = \frac{(P_3 V_1 - P_3 V_3)k}{778(k-1)} \\ &= \frac{(P_3 V_1 - P_2 V_2)k}{778(k-1)} = \frac{V_1 (P_3 - P_2)k}{778(k-1)} \\ &= \frac{2 \times 144(15 - 100) \times 1.4}{778 \times 0.4} = -110 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

故所作之功之熱當量 = 148.8 - 110 = 38.8 英熱單位.

(c) 全循環之效率

$$= \frac{38.8}{148.8} = 26.1\%$$

25. 空氣半磅，其絕對壓力為每方呎 20 磅，其溫度為 40°F. 先



按定容加熱，使其絕對壓力增至每方呎 95 磅，其次使膨脹至容積 10 立方呎，絕對壓力每方呎 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。

解答 (a) 按定容加熱，由 1 至 2 加入之熱量

$$\begin{aligned}
 {}_1Q_2 &= \frac{V_1(P_2 - P_1)}{778(k-1)} = \frac{WRT_1(P_2 - P_1)}{P_1 \cdot 778(k-1)} \\
 &= \frac{0.5 \times 53.34(40 + 460)(95 - 20) \times 144}{778(1.4 - 1) \times 20 \times 144} \\
 &= \frac{0.5 \times 53.34 \times 500 \times 75}{778 \times 0.4 \times 20} = 106.6 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

由 2 至 3，按  $P_2 V_2^n = P_3 V_3^n$  公式，

$$V_2 = V_1 = \frac{WRT_1}{P_1} = \frac{0.5 \times 53.34 \times 500}{20 \times 144} = 4.62 \text{ 立方呎.}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^n$$

$$\text{或 } \frac{95}{20} = \left(\frac{10}{4.62}\right)^n, \quad 4.75 = (2.16)^n$$

$$n \log 2.16 = \log 4.75$$

$$n = \frac{0.676}{0.334} = 2.024 > k, \text{ 故膨脹時放熱.}$$

由 3 至 1，係定壓壓縮，故亦必放熱。

故加入之熱量 = 160.6 英熱單位。

$$(b) \quad {}_1W_2 = 0$$

$$\begin{aligned}
 {}_2W_3 &= \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{1-n} = \frac{(20 \times 10 - 95 \times 4.62) \times 144}{1 - 2.024} \\
 &= \frac{(439 - 200) \times 144}{1.024} = 33,600 \text{ 呎磅}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_3W_1 &= P_1(V_1 - V_3) = 20 \times 144(4.62 - 10) \\ &= -15,500 \text{ 呎磅} \end{aligned}$$

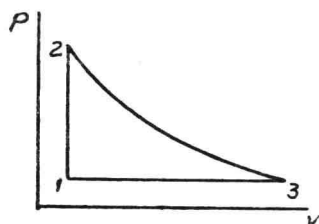
故全循環所作之功

$$= 33,600 - 15,500 = 18,100 \text{ 呎磅}$$

(c) 全循環之效率

$$= \frac{18,100}{160.6 \times 778} = 14.5\%$$

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；其次按  $PV^{1.2} = C$  曲線膨脹至原來之壓力；然後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。

解答  $P_2 V_2^{1.2} = P_3 V_3^{1.2}$

$$\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{1.2} = \frac{P_2}{P_3} = \frac{100}{15}$$

$$1.2 \log V_3 - 1.2 \log 10 = \log 100 - \log 15$$

$$1.2 \log V_3 = 2 - 1.1765 + 1.2 = 2.0235$$

$$\log V_3 = 1.688, \quad V_3 = 48.6 \text{ 立方呎.}$$

由 1 至 2

$${}_1W_2 = 0$$

$$\begin{aligned}
 {}_1Q_2 &= \frac{V_1(P_2 - P_1)}{778(k-1)} = \frac{10(100-15) \times 144}{778(1.4-1)} \\
 &= 393 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

由 2 至 3

$$\begin{aligned}
 {}_2W_3 &= \frac{P_3V_3 - P_2V_2}{1-n} = \frac{(15 \times 48.6 - 200 \times 10) \times 144}{1-1.2} \\
 &= \frac{(730 - 1,000) \times 144}{-0.2} = \frac{270 \times 144}{0.2} \\
 &= 194,400 \text{ 呎磅}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 {}_2Q_3 &= \frac{194,400}{778} + \frac{P_3V_3 - P_2V_2}{778(k-1)} \\
 &= 250 + \frac{(730 - 1,000) \times 144}{778 \times 0.4} \\
 &= 250 - 125 = 125 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

由 3 至 1

$$\begin{aligned}
 {}_3W_1 &= P_1(V_1 - V_3) = 15 \times 144(10 - 48.6) \\
 &= -83,400 \text{ 呎磅.} \\
 {}_3Q_1 &= \frac{P_1(V_1 - V_3)k}{778(k-1)} = \frac{15 \times 144(10 - 48.6) \times 1.4}{778 \times 0.4} \\
 &= -375 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

故得，全循環所加之熱 = 393 + 125 = 518 英熱單位。

全循環所放之熱 = 375 英熱單位。

$$\begin{aligned} \text{全循環所作之功} &= 194,400 - 83,400 \\ &= 111,000 \text{ 呎磅.} \end{aligned}$$

$$\text{全循環之效率} = \frac{518 - 375}{518} = \frac{143}{518} = 27.6\%$$

27. 定量之空氣，其容積為 10 立方呎，其溫度為  $60^\circ\text{F}$ ., 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，其次按

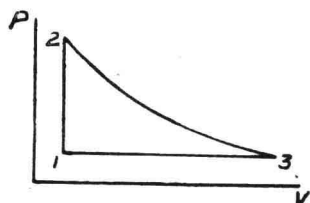
$PV^n = C$  曲線膨脹至絕對壓力每方吋 20

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

步驟終止時之溫度；(c) 加入之熱量；(d) 放出之熱量；(e) 所作之功；

(f) 全循環之效率。



解答 (a) 由 2 至 3,

$$P_2 V_2^n = P_3 V_3^n$$

$$150 \times 10^n = 20 \times 75^n$$

$$\frac{150}{20} = 7.5 = \left(\frac{75}{10}\right)^n$$

故  $n = 1$ , 即由 2 至 3 係等溫過程。

$$(b) \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1} = \frac{150 \times (60 + 460)}{20} = 3,900^\circ\text{F.}, \text{ 絕對溫度,}$$

$$t_2 = 3,900 - 460 = 3,440^\circ\text{F}.$$

$$t_3 = t_2 = 3,440^\circ\text{F}.$$

$$(c) {}_1Q_2 = \frac{V_1(P_2 - P_1)}{778(k-1)} = \frac{10 \times 144(150 - 20)}{778 \times 0.4}$$

$$= 602 \text{ 英熱單位.}$$

$${}_2Q_3 = P_2 V_2 \log_e \frac{V_3}{V_2} = 150 \times 144 \times 10 \times 2.3 \log \frac{75}{10}$$

$$= 150 \times 144 \times 23 \times 0.875 = 434,500 \text{ 呎磅}$$

$$= 558 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故總加入之熱量} = 602 + 558 = 1,160 \text{ 英熱單位.}$$

$$(d) {}_3Q_1 = \frac{P_3(V_1 - V_3)k}{778(k-1)} = \frac{20 \times 144(10 - 75) \times 1.4}{778 \times 0.4}$$

$$= -842.5 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故放出之熱量} = 842.5 \text{ 英熱單位}$$

(e) 全循環所作之功

$$= 1,160 - 842.5 = 317.5 \text{ 英熱單位} = 247,000 \text{ 呎磅.}$$

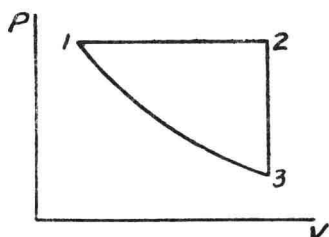
(f) 全循環之效率

$$= \frac{317.5}{1,160} = 27.4\%$$

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，係按

$PV^n = C$  曲線，由絕對壓力每方吋 100 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  $70^\circ\text{F}$ ，其最後之溫度應為何？

解答 由 3 至 1，

$$P_1 V_1^n = P_3 V_3^n, \quad \frac{P_1}{P_3} = \left( \frac{V_3}{V_1} \right)^n$$

$$\text{或 } \frac{100}{10} = \left( \frac{6}{1} \right)^n, \quad 6^n = 10, \quad n = 1.285$$

$$\begin{aligned} {}_1Q_2 &= \frac{P_1(V_2 - V_1)k}{778(k-1)} = \frac{100 \times 144(6-1) \times 1.4}{778(1.4-1)} \\ &= \frac{14,400 \times 5 \times 1.4}{778 \times 0.4} = 326 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$${}_1W_2 = 100 \times 144(6-1) = 72,000 \text{ 呎磅.}$$

$$\begin{aligned} {}_2Q_3 &= \frac{V_2(P_3 - P_2)}{778(k-1)} = \frac{6(10-100) \times 144}{778 \times 0.4} \\ &= -252 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$${}_2W_3 = 0$$

$${}_3Q_1 = \frac{P_1 V_1 - P_3 V_3}{778(k-1)} + \frac{P_1 V_1 - P_3 V_3}{778(1-n)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{144(100 \times 1 - 10 \times 6)}{778 \times 0.4} + \frac{144(100 \times 1 - 10 \times 6)}{778(1 - 1.285)} \\
 &= \frac{14,400}{778} - \frac{20,200}{778} \\
 &= 18.5 - 26 = -7.5 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

$${}_3W_1 = -20,200 \text{ 呎磅}$$

故 (a) 加入之熱量 = 326 英熱單位.

(b) 放出之熱量 = 252 + 75 = 259.5 英熱單位.

(c) 所作之功 = 72,000 - 20,200 = 51,800 呎磅.

(d) 全循環之效率 =  $\frac{326 - 259.5}{326} = \frac{66.5}{326} = 20.4\%$

(e) 由 2 至 3, 係等溫變化, 即

$$P_2 V_2 = P_3 V_3$$

或  $100 \times 6 = 10 \times V_3$ , 故  $V_3 = 60$  立方呎.

(f) 倘第二步係定容變化, 則

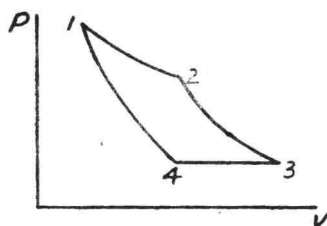
$$\begin{aligned}
 T_3 &= T_1 \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^{\frac{1.285-1}{1.285}} = (460 + 70) \left( \frac{1}{10} \right)^{\frac{1}{4.5}} \\
 &= 318^\circ, \text{ 或 } t_3 = -142^\circ\text{F.}
 \end{aligned}$$

倘第二步係等溫變化, 則

$$T_3 = T_2 = \frac{T_1 V_2}{V_1} = \frac{530 \times 6}{1} = 3,180^\circ$$

或  $t_3 = 2,720^\circ\text{F.}$

29. 空氣 10 立方呎，其溫度為  $70^{\circ}\text{F}.$ ，其絕對壓力為每方吋 100



磅。先按等溫膨脹至絕對壓力為每方吋 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，

使仍回原始狀況。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。

解答  $V_1 = 10$  立方呎，

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{100 \times 10}{50} = 20 \text{ 立方呎，}$$

$$V_3 = V_2 \times \left(\frac{p_2}{p_3}\right)^{\frac{1}{n}} = 20 \times \left(\frac{50}{15}\right)^{\frac{1}{1.6}} = 42.4 \text{ 立方呎，}$$

$$V_4 = V_1 \times \left(\frac{p_1}{p_4}\right)^{\frac{1}{k}} = 10 \times \left(\frac{100}{15}\right)^{\frac{1}{1.4}} = 38.9 \text{ 立方呎。}$$

$$\begin{aligned} {}_1W_2 &= P_1 V_1 \log_e \frac{V_2}{V_1} = 100 \times 144 \times 10 \log_e \frac{20}{10} \\ &= 144,000 \times 2.3 \times 0.301 = 99,690 \text{ 呎磅。} \end{aligned}$$

$${}_1Q_2 = \frac{99,690}{778} = 128.1 \text{ 英熱單位。}$$

$${}_2W_3 = \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{1 - n} = \frac{(15 \times 42.4 - 50 \times 20) \times 144}{1 - 1.6}$$

$$= \frac{(636 - 1000) \times 144}{-0.6} = \frac{364 \times 144}{0.6}$$

$$= 87,350 \text{ 呎磅.}$$

$${}_2Q_3 = \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{(k-1)778} + \frac{87,350}{778}$$

$$= \frac{-364 \times 144}{0.4 \times 778} + \frac{87,350}{778} = -168.4 + 112.3$$

$$= -56.1 \text{ 英熱單位.}$$

$${}_3W_4 = P_3 (V_4 - V_3) = 15 \times 144(38.9 - 42.4)$$

$$= -2160 \times 3.5 = -7560 \text{ 呎磅.}$$

$${}_3Q_4 = \frac{P_3 (V_4 - V_3)k}{778(k-1)} = \frac{-15 \times 144 \times 3.5 \times 1.4}{778 \times 0.4}$$

$$= -34 \text{ 英熱單位.}$$

$${}_4W_1 = \frac{P_1 V_1 - P_4 V_4}{1-k} = \frac{(100 \times 10 - 15 \times 38.9) \times 144}{-0.4}$$

$$= \frac{(1,000 - 584) \times 144}{-0.4} = -149,800 \text{ 呎磅.}$$

$${}_4Q_1 = 0$$

故 (a) 總加入之熱量 = 128.1 英熱單位.

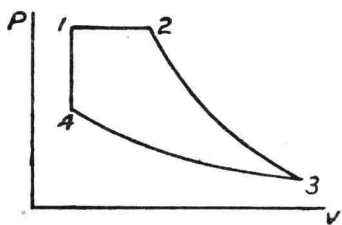
(b) 總放出之熱量 = 56.1 + 34 = 90.1 英熱單位.

(c) 全循環所作之功 = 99,690 + 87,350 - 7560  
 $-149,800 = 39,690$  呎磅.

(d) 全循環之效率 =  $\frac{128.1 - 90.1}{128.1} = \frac{38}{128.1}$

$$= 29.6\%$$

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；最後按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。

解答， 按  $PV^n = C$  公式，由 2 至 3，

$$\frac{200}{15} = \left(\frac{14}{2}\right)^n = 7^n$$

$$n \log 7 = \log 200 - \log 15$$

$$n = \frac{2.301 - 1.176}{0.845} = \frac{1.125}{0.845} = 1.332$$

由 3 至 4，

$$\frac{90}{15} = \left(\frac{14}{0.5}\right)^n = 28^n$$

$$n \log 28 = \log 6$$

$$n = \frac{0.7782}{1.4472} = 0.5375$$

$$\begin{aligned} {}_1Q_2 &= \frac{P_1(V_2 - V_1)k}{778(k-1)} = \frac{200 \times 144(2 - 0.5) \times 1.4}{778(1.4 - 1)} \\ &= \frac{28,800 \times 1.5 \times 1.4}{778 \times 0.4} \end{aligned}$$

$$= 194 \text{ 英熱單位.}$$

$$\begin{aligned} {}_2Q_3 &= \frac{(P_3 V_3 - P_2 V_2)}{778} \left( \frac{1}{k-1} + \frac{1}{1-n} \right) \\ &= \frac{144}{778} (15 \times 14 - 200 \times 2) \left( \frac{1}{1.4-1} + \frac{1}{1-1.332} \right) \\ &= \frac{144}{778} (-190) (2.5 - 3.01) \\ &= \frac{144 \times 190 \times 0.51}{778} = 17.9 \text{ 英熱單位} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_3Q_4 &= \left( \frac{P_4 V_4 - P_3 V_3}{778} \right) \left( \frac{1}{k-1} + \frac{1}{1-n} \right) \\ &= \frac{144 (90 \times 0.5 - 15 \times 14)}{778} \left( \frac{1}{1.4-1} + \frac{1}{1-0.5375} \right) \\ &= \frac{144 (-165) (25 + 2.16)}{778} \\ &= - \frac{144 \times 165 \times 4.66}{778} = -142.2 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_4Q_1 &= \frac{V_1 (P_1 - P_4)}{778 (k-1)} = \frac{0.5 \times 144 (200 - 90)}{778 (1.4 - 1)} \\ &= \frac{72 \times 110}{778 \times 0.4} = 25.45 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

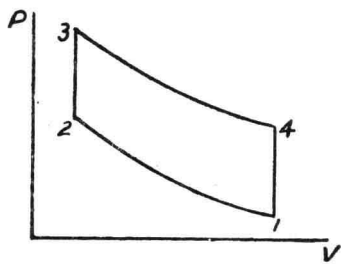
故 (a) 總加入之熱量 =  $194 + 17.9 + 25.45$   
 $= 237.35$  英熱單位.

(b) 總放出之熱量 =  $142.2$  英熱單位.

(c) 全循環所作之功 =  $(237.35 - 142.2) \times 778$   
 $= 95.55 \times 778 = 74,340$  呎磅.

$$(d) \text{ 全循環之效率} = \frac{95.55}{237.35} = 40.3\%$$

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  $100^\circ\text{F}$ ., 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  $450^\circ\text{F}$ ., 其次加熱，使其溫度升至  $1500^\circ\text{F}$ ., 容積則保持不變。然後按斷熱膨脹，至容積為 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 1000，所發之馬力數為何？

解答 此混合氣體之  $k = \frac{C_P}{C_V} = \frac{0.26}{0.20} = 1.3$

$$R = 778 (C_P - C_V) = 46.68$$

(a) 每循環所用混合氣體之重量

$$\begin{aligned} W &= \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{14 \times 144 \times 0.25}{46.68 (100 - 460)} \\ &= \frac{14 \times 144 \times 0.25}{46.68 \times 560} = 0.0193 \text{ 磅.} \end{aligned}$$



由 1 至 2,

$$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 0.25 \left( \frac{100+460}{450+460} \right)^{\frac{1}{1.3-1}} = 0.25 \left( \frac{56}{91} \right)^{3\frac{1}{2}} \\ &= 0.0494 \text{ 立方呎.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k = 14 \left( \frac{0.25}{0.0494} \right)^{1.3} = 14(5.06)^{1.3} \\ &= 115.36 \text{ 磅, 每方呎.} \end{aligned}$$

由 3 至 4,

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{WRT_3}{V_3} = \frac{0.0193 \times 46.68 \times (1,500 + 460)}{0.0494} \\ &= \frac{0.0193 \times 46.68 \times 1960}{0.0494} = 35,800 \text{ 磅, 每方呎} \\ &= 248 \text{ 磅, 每方呎.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4 &= P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^k = 248 \left( \frac{0.0494}{0.25} \right)^{1.3} = \frac{248}{8.24} \\ &= 30.1 \text{ 磅, 每方呎.} \end{aligned}$$

$${}_1Q_2 = 0$$

$$\begin{aligned} {}_2Q_3 &= \frac{V_2(P_3 - P_2)}{778(k-1)} = \frac{0.0494(248 - 115.36) \times 144}{778(1.3-1)} \\ &= \frac{0.0494 \times 132.6 \times 144}{778 \times 0.3} = 4.045 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$${}_3Q_4 = 0$$

$$\begin{aligned} {}_4Q_1 &= \frac{V_4(P_1 - P_4)}{778(k-1)} = \frac{0.25(14 - 30.1) \times 144}{778(1.3-1)} \\ &= \frac{0.25(-16.1) \times 144}{778 \times 0.3} = -2.482 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

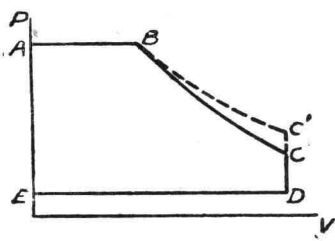
故 (b) 全循環加入之熱量 = 4.045 英熱單位.

(c) 全循環放出之熱量 = 2.482 英熱單位.

$$\begin{aligned} \text{(d) 全循環之效率} &= \frac{4.045 - 2.482}{4.045} \\ &= \frac{1.563}{4.045} = 38.6\% \end{aligned}$$

$$\text{(e) 所發之馬力數} = \frac{1.563 \times 778 \times 1,000}{33000} = 36.8$$

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  $V_a = V_e = 0$ ;  $P_a = P_b =$  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.

解答: 設 BC 代表斷熱膨脹線,

BC' 代表  $PV^{1.3} = C$  膨脹曲線.

$$\text{則 } P_c = P_b \left( \frac{V_b}{V_c} \right)^k = 180 \left( \frac{1}{5} \right)^{1.4}$$

$$= \frac{180}{9.5} = 18.95 \text{ 磅, 每方呎.}$$

$$P_c = 180 \times \left(\frac{1}{5}\right)^{1.3} = \frac{180}{8.1} = 22.2 \text{ 磅, 每方呎.}$$

當空氣沿  $BC$  線膨脹時, 全循環所作之功

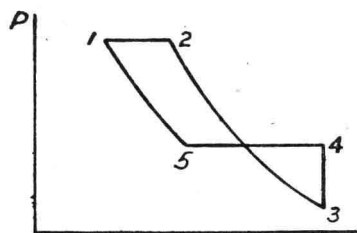
$$\begin{aligned} &= {}_aW_b + {}_bW_c + {}_cW_a \\ &= P_a(V_b - V_a) + \frac{P_c V_c - P_b V_b}{1-k} + P_a(V_a - V_c) \\ &= 180 \times 144(1-0) + \frac{144(18.95 \times 5 - 180 \times 1)}{1-1.4} \\ &\quad + 15 \times 144(0-5) \\ &= 25,920 + \frac{144 \times 85.25}{0.4} - 10,800 \\ &= 25,920 + 30,690 - 10,800 \\ &= 45,810 \text{ 呎磅.} \end{aligned}$$

當空氣沿  $BC'$  線膨脹時, 全循環所作之功

$$\begin{aligned} &= {}_aW_b + {}_bW_{c'} + {}_{c'}W_a \\ &= 25,920 + \frac{144(22.2 \times 5 - 180 \times 1)}{1-1.3} - 10,800 \\ &= 25,900 + 33,120 - 10,800 \\ &= 48,240 \text{ 呎磅.} \end{aligned}$$

$$\text{故功之增加} = \frac{48,240 - 45,810}{45,810} = \frac{2,430}{45,810} = 5.3\%$$

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；(c) 所放之熱；(c) 所作之功；(d) 全循環之效率。

解答 由 2 至 3

$$P_2 V_2^n = P_3 V_3^n$$

$$\text{或 } 100 \times 4^n = 15 \times 14.2^n$$

$$\frac{100}{15} = \left( \frac{14.2}{4} \right)^n = (3.55)^n$$

$$n = \frac{\log 100 - \log 15}{\log 3.55} = \frac{2 - 1.176}{0.550} = 1.5$$

$$\text{由 5 至 1, } P_5 V_5^n = P_1 V_1^n$$

$$\text{或 } 30 \times 4.46^n = 100 \times 2^n$$

$$\frac{100}{30} = \left( \frac{4.46}{2} \right)^n = (2.23)^n$$

$$n = \frac{\log 10 - \log 3}{\log 2.23} = \frac{1 - 0.477}{0.348} = 1.5$$

$${}_1Q_2 = \frac{P_1(V_2 - V_1)k}{778(k-1)} = \frac{100 \times 144(4-2) \times 1.4}{778(1.4-1)}$$

$$= \frac{14,400 \times 2 \times 1.4}{778 \times 0.4} = 129.5 \text{ 英熱單位.}$$

$$\begin{aligned} {}_2Q_3 &= \left( \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{778} \right) \left( \frac{1}{k-1} + \frac{1}{1-n} \right) \\ &= \left( \frac{15 \times 144 \times 14.2 - 100 \times 144 \times 4}{778} \right) \left( \frac{1}{1.4-1} + \frac{1}{1-1.5} \right) \\ &= \left( \frac{30,670 - 57,600}{778} \right) (2.5 - 2) \\ &= -\frac{26,930 \times 0.5}{778} \\ &= -17.3 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_3Q_4 &= \frac{V_3(P_4 - P_3)}{778(k-1)} = \frac{14.2 \times 144(30 - 15)}{778(1.4-1)} \\ &= \frac{14.2 \times 144 \times 15}{778 \times 0.4} = 98.5 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_4Q_5 &= \frac{P_4(V_5 - V_4)k}{778(k-1)} = \frac{30 \times 144(4.46 - 14.2) \times 1.4}{778(1.4-1)} \\ &= \frac{4320 \times (-9.74) \times 1.4}{778 \times 0.4} = -189 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}_5Q_1 &= \left( \frac{P_1 V_1 - P_5 V_5}{778} \right) \left( \frac{1}{k-1} + \frac{1}{1-n} \right) \\ &= \left( \frac{100 \times 144 \times 2 - 30 \times 144 \times 4.46}{778} \right) \left( \frac{1}{1.4-1} + \frac{1}{1-1.5} \right) \end{aligned}$$

$$= \left( \frac{28,800 - 19,267}{778} \right) (25 - 2)$$

$$= \frac{7,533 \times 0.5}{778} = 4.84 \text{ 英熱單位.}$$

故 (a) 全循環所加之熱 =  $129.5 + 98.5 + 4.84 = 232.84$  英熱單位.

(b) 全循環所放之熱 =  $17.3 + 189 = 206.3$  英熱單位.

(c) 全循環所作之功 =  $232.84 - 206.3 = 26.54$  英熱單位.

$$= 20,650 \text{ 呎磅.}$$

(d) 全循環之效率 =  $\frac{26.54}{232.84} = 11.4\%$

## 第三章 蒸汽之性質

## 習 題

1. 每分鐘有 10 加侖之冷水，經過外繞蒸汽之盤管中，使其溫度由  $55^{\circ}\text{F}$ . 升至  $212^{\circ}\text{F}$ ., 蒸汽之表壓力為每方吋 120 磅，其過熱度為 150 度。假設蒸汽凝結後並不減低溫度，問每分鐘共需蒸汽若干磅？

解答 每分鐘流過冷水之重量  $= 10 \times 8.33 = 83.3$  磅.

蒸汽之絕對壓力為每方吋  $120 + 14.7 = 134.7$  磅.

每磅水所得之熱量  $= 212 - 55 = 157$  英熱單位.

由過熱蒸汽表查得如題所述每磅蒸汽之含熱量

$$= 1274.63 \text{ 英熱單位}$$

由蒸汽表查得每磅蒸汽之液體熱  $= 321.59$  英熱單位.

每磅蒸汽所失之熱  $= 1274.63 - 321.59$

$$= 953.04 \text{ 英熱單位.}$$

設  $x$  為每分鐘共需蒸汽之磅數，

$$\text{則 } x \times 953.04 = 83.3 \times 157$$

$$\text{故 } x = \frac{83.3 \times 157}{953.04} = 13.7 \text{ 磅.}$$

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 加侖之水由  $60^{\circ}\text{F}$ . 熱至  $200^{\circ}\text{F}$ . 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？

解答 每分鐘流過冷水之重量 =  $100 \times 8.33 = 833$  磅。

每磅水所得之熱量 =  $200 - 60 = 140$  英熱單位。

每磅蒸汽所失之熱量 =  $969.6 \times \frac{90}{100} = 872.5$  英熱單位。

設  $x$  每點鐘共需蒸汽之磅數，

則  $x \times 872.5 = 833 \times 140 \times 60 = 6,990,000$

故  $= \frac{6,990,000}{872.5} = 8010$  磅。

3. 每分鐘將在大氣壓力下溫度  $60^\circ F$ . 之空氣 100 立方呎，按等壓縮壓至表壓力每方吋 90 磅。然後使其空氣繞經一組蒸汽管，使在定壓之下熱至  $150^\circ F$ . 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？

解答 每分鐘預熱空氣之重量

$$= \frac{PV}{RT} = \frac{144 \times 14.7 \times 100}{53.34(60+460)} = 7.64 \text{ 磅.}$$

每分鐘每磅空氣所得之熱量

$$= (150 - 60) \times 0.241 = 90 \times 0.241 = 21.69 \text{ 英熱單位.}$$

進蒸汽管時每磅蒸汽之含熱量 = 1,178.4 英熱單位。

出蒸汽管時每磅蒸汽之含熱量 =  $180 + \frac{96}{100} \times 970.2$

$$= 180 + 931 = 1,111 \text{ 英熱單位.}$$

每磅蒸汽所失之熱 =  $1,178.4 - 1,111 = 67.4$  英熱單位。



設  $x$  為每分鐘所需蒸汽之磅數，

$$\text{則 } x \times 67.4 = 7.64 \times 21.69 = 165.8$$

$$\text{故 } x = \frac{165.8}{67.4} = 2.46 \text{ 磅.}$$

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？

解答 每磅蒸汽之總內能 = 內能 + 液體熱

$$\begin{aligned} &= L - \frac{44 P(V-v)}{778} + h_f \\ &= \frac{72}{100} \times 918.3 - \frac{72}{100} \left[ \frac{144 \times 56(7.653 - 0.0173)}{778} \right] \\ &\quad + 257.38 \\ &= 661.18 - \frac{0.72 \times 144 \times 56 \times 7.6357}{778} + 257.38 \\ &= 661.18 - 56.9 + 257.38 \\ &= 861.66 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

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.

解答 (a) 蒸發每磅蒸汽時所作之外功

$$\begin{aligned} &= \frac{144 P(V-v)}{778} \\ &= \frac{144 \times 250 (1.841 - 0.01867)}{778} \end{aligned}$$

$$= \frac{144 \times 250 \times 1.82233}{778}$$

$$= 84.4 \text{ 英熱單位.}$$

$$= 65,650 \text{ 呎磅.}$$

(l) 每磅之蒸發內能

$$= L - 84.4 = 824.5 - 84.4$$

$$= 740.1 \text{ 英熱單位.}$$

(c) 此一立方呎水之全部汽化熱

$$= 824.5 \times 53.36$$

$$= 44,200 \text{ 英熱單位.}$$

6. 將溫度  $70^{\circ}\text{F}$ . 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.

解答 蒸汽之絕對壓力 =  $149.3 + 0.491 \times 29.93$

$$= 149.3 + 14.7 = 164 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{共需之熱量} = 50 \left[ 337.95 + \frac{98}{100} \times 857 - (70 - 32) \right]$$

$$= 50(337.95 + 839.86 - 38)$$

$$= 50 \times 1,139.81$$

$$= 56,990.5 \text{ 英熱單位.}$$

7. 將溫度  $90^{\circ}\text{F}$ . 之水 1000 磅變為絕對壓力每方吋 200 磅, 溫度  $400^{\circ}\text{F}$ . 之蒸汽, 問共需熱量幾何?

解答 由過熱蒸汽表, 查得如題所述之蒸汽每磅之含熱量

$$= 1,209.8 \text{ 英熱單位.}$$

溫度  $90^{\circ}\text{F}$ . 之水, 每磅之含熱量

$$= 90 - 32 = 58 \text{ 英熱單位.}$$

故共需之熱量

$$= 1,000 (1209.8 - 58)$$

$$= 1,000 \times 1151.8$$

$$= 1,151,800 \text{ 英熱單位}$$

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) 由毛理耳圖求膨脹後之蒸汽乾度. (b) 用算法校對所求乾度之結果.

解答 (a) 在 Keenan 蒸汽表所附之毛理耳圖上, 找出 150 磅之壓力線與百分之二之水分線之交點. 經過此交點之垂線與  $1\frac{1}{2}$  吋水銀柱壓力線之交點, 恰位百分之二十四之水分線上. 故得膨脹後之蒸汽乾度為 76%.

(b) 因係絕熱膨脹

$$Sg_1 = Sg_2$$

由蒸汽表

$$Sg_1 = 0.514 + \frac{98}{100} \times 1.055$$

$$= 0.514 + 1.034$$

$$= 1.548$$

$$Sg_2 = 1.548 = 0.1147 + x \times 1.8877.$$

$$\begin{aligned} \text{故 } x &= \frac{1.548 - 0.1147}{1.8877} = \frac{1.4333}{1.8877} \\ &= 76\% . \end{aligned}$$

9. 用 1 圖表明一磅水由溫度  $32^{\circ}\text{F}$ ., 絕對壓力每方吋 100 磅, 變成絕對壓力每方吋 100 磅, 溫度  $400^{\circ}\text{F}$ . 之蒸氣. 圖中以溫度為縱座標以熱量為橫座標. 並將數值註於圖上.

解答 絕對壓力 = 每方吋 100 磅, 沸點溫度 =  $327.83^{\circ}\text{F}$

由蒸汽表得:

在  $32^{\circ}\text{F}$ . 時, 1 磅水之熱量 = 0.

在沸點溫度時, 1 磅水之熱量 = 298.33 英熱單位.

在沸點溫度時, 1 磅乾飽和蒸汽之熱量

= 1,186.6 英熱單位.

當溫度為  $340^{\circ}\text{F}$ . 時, 1 磅過熱蒸汽之熱量

= 1,193.9 英熱單位.

當溫度為  $360^{\circ}\text{F}$ . 時, 1 磅過熱蒸汽之熱量

= 1,205.3 英熱單位.

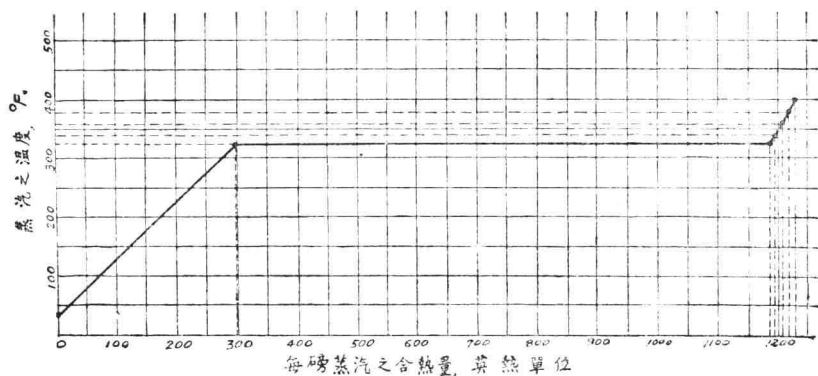
當溫度為  $380^{\circ}\text{F}$ . 時, 1 磅過熱蒸汽之熱量

= 1,216.2 英熱單位.

當溫度為  $400^{\circ}\text{F}$ . 時, 1 磅過熱蒸汽之熱量

= 1,226.9 英熱單位.

以溫度為縱座標, 以熱量為橫座標, 即得下圖



10. 將溫度  $20^{\circ}\text{F}$ . 之冰 1 磅在絕對壓力每方吋 205 磅之定壓之下，變為  $534^{\circ}\text{F}$ . 之過熱蒸汽。試作一圖以表示此種變化。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  $32^{\circ}\text{F}$ . 所含之熱量假定為零)。

解答 絕對壓力 = 每方吋 205 磅，沸點溫度 =  $383.89^{\circ}\text{F}$ .

由蒸汽表得：

在  $20^{\circ}\text{F}$ . 時，1 磅冰之含熱量 =  $-(0.50 \times 12 + 144)$   
 =  $-150$  英熱單位。

在  $32^{\circ}\text{F}$ . 時，1 磅冰之含熱量 =  $-144$  英熱單位。

在  $32^{\circ}\text{F}$  時，1 磅水之含熱量 = 0。

在沸點溫度時，1 磅水之含熱量 =  $357.56$  英熱單位。

在沸點溫度時，1 磅乾飽和蒸汽之含熱量  
 =  $1,198.1$  英熱單位。

當溫度為  $400^{\circ}\text{F}$ . 時，1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,208.8 英熱單位.

當溫度為 420°F. 時, 1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,221.5 英熱單位.

當溫度為 440°F. 時, 1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,233.7 英熱單位.

當溫度為 460°F. 時, 1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,245.2 英熱單位.

當溫度為 480°F. 時, 1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,256.5 英熱單位.

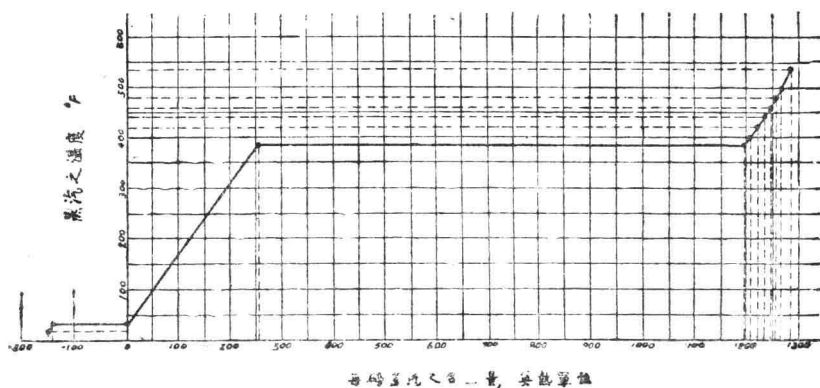
當溫度為 500°F. 時, 1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,267.5 英熱單位.

當溫度為 534°F. 時, 1 磅過熱蒸汽之含熱量

=1,285.2 英熱單位.

附圖即表示此種變化.



## 第四章 蒸汽中所含水分之測定

## 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  $235.5^{\circ}\text{F}$ ，問蒸汽之乾度。

解答 從蒸汽表上，查出與絕對壓力每方吋 200 磅相當之

液體熱  $h_{f1} = 355.33$  英熱單位，

隱熱  $L_1 = 842.4$  英熱單位。

再查出與絕對壓力每方吋 15 磅相當之

總熱量  $h_{g2} = 1150.6$  英熱單位，

沸點溫度  $t_2 = 213.03^{\circ}\text{F}$ 。

設  $x$  為蒸汽之乾度，則

$$h_{f1} + xL_1 = h_{g2} + C_p(t_s - t_2)$$

$$\text{或 } x = \frac{h_{g2} + C_p(t_s - t_2) - h_{f1}}{L_1}$$

$$= \frac{1150.6 + 0.476(235.5 - 213.03) - 355.33}{842.4}$$

$$= \frac{1150.6 + 0.476 \times 22.47 - 355.33}{842.4}$$

$$= \frac{805.77}{842.4}$$

$$= 95.6\%$$

2. 在一總汽管中，蒸汽之溫度為  $390^{\circ}\text{F}$ 。經過一阻塞式測熱器後，其溫度變為  $260^{\circ}\text{F}$ 。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。

解答 從蒸汽表上，查出與蒸汽溫度  $390^{\circ}\text{F}$ 。相當之

$$\text{液體熱 } h_{f1} = 364.14 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{隱熱 } L_1 = 834.9 \text{ 英熱單位.}$$

再查出與絕對壓力每方吋 28.53  $\times$  0.491 或 14 磅相當之

$$\text{總熱量 } h_{g2} = 1149.3 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{沸點溫度 } t_2 = 209.56^{\circ}\text{F}.$$

設  $x$  為蒸汽之乾度，則

$$h_{f1} + xL_1 = h_{g2} + C_p(t_s - t_2)$$

$$\begin{aligned} \text{或 } x &= \frac{h_{g2} + C_p(t_s - t_2) - h_{f1}}{L_1} \\ &= \frac{1,149.3 + 0.48(260 - 209.56) - 364.14}{834.9} \\ &= \frac{1,149.3 + 24.21 - 364.14}{834.9} \\ &= \frac{809.37}{834.9} \\ &= 96.94\% \end{aligned}$$

3. 在絕對壓力每方吋 150 磅之蒸汽，及經過一阻塞式測熱器。



蒸汽在低壓一邊之溫度為  $250^{\circ}\text{F}$ .，流體汽壓表之讀數為 5.6 吋水銀柱。  
氣壓表之讀數為 29 吋水銀柱。求蒸汽之乾度。

解答 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。

測熱器低壓一邊之絕對壓力  $= 17$  磅，每方吋。

從蒸汽表上，查出與絕對壓力每方吋 150 磅相當之

液體熱  $h_{f1} = 330.44$  英熱單位。

隱熱  $L_1 = 863.1$  英熱單位。

再查出與絕對壓力每方吋 17 磅相當之

總熱量  $h_{g2} = 1,152.9$  英熱單位。

沸點溫度  $t_2 = 219.43^{\circ}\text{F}$ 。

設  $x$  為蒸汽之乾度

$$\begin{aligned} \text{則 } x &= \frac{h_{g2} + C_p(t_s - t_2) - h_{f1}}{L_1} \\ &= \frac{1,152.9 + 0.48(250 - 219.43) - 330.44}{863.1} \\ &= \frac{1,152.9 + 14.7 - 330.44}{863.1} \\ &= \frac{837.16}{863.1} \\ &= 97\% \end{aligned}$$

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

度爲 27.86 吋水銀柱。蒸汽未經測熱器以前之溫度爲  $250.3^{\circ}\text{F}$ ., 低壓一邊之溫度爲  $179.4^{\circ}\text{F}$ . 求蒸汽之乾度。

解答 測熱器低壓一邊之絕對壓力  $= 14.7 - 0.491 \times 27.86$   
 $= 14.7 - 13.7 = 1$  磅, 每方吋。

從蒸汽表上, 查出與蒸汽溫度  $250.3^{\circ}\text{F}$ ., 相當之  
 液體熱  $h_{f1} = 218.73$  英熱單位。

隱熱  $L_1 = 945$  英熱單位。

再查出與絕對壓力每方吋 1 磅相當之

總熱量  $h_{g2} = 1,105$  英熱單位。

沸點溫度  $t_2 = 101.76^{\circ}\text{F}$ 。

設  $x$  爲蒸汽之乾度

$$\begin{aligned} \text{則 } x &= \frac{h_{g2} + C_p(t_s - t_2) - h_{f1}}{L_1} \\ &= \frac{1,105 + 0.48(179.4 - 101.76) - 218.73}{945} \\ &= \frac{1,105 + 37.3 - 218.73}{945} \\ &= \frac{923.57}{945} \\ &= 97.7\% \end{aligned}$$

5. 今有蒸汽與水之混合體 5 磅, 水之成分占 2%; 其絕對壓力爲每方吋 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。

解答 從蒸汽表上，查出與絕對壓力每方吋 150 磅相當之

液體熱  $h_{f1} = 330.44$  英熱單位。

隱熱  $L_1 = 863.1$  英熱單位。

再查出與絕對壓力每方吋 14.7 磅相當之

總熱量  $h_{g2} = 1,150.2$  英熱單位。

沸點溫度  $t_2 = 212^\circ\text{F}$ 。

由  $h_{f1} + xL_1 = h_{g2} + C_p(t_s - t_2)$  式得

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{h_{f1} + xL_1 - h_{g2}}{C_p} + t_2 \\ &= \frac{330.44 + \frac{98}{100} \times 863.1 - 1150.2}{0.48} + 212 \\ &= \frac{330.44 + 845.8 - 1150.2}{0.48} + 212 \\ &= \frac{26.04}{0.48} + 212 \\ &= 54.3 + 212 \\ &= 266.3^\circ\text{F} \end{aligned}$$

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？

解答 已知蒸汽之乾度  $x = 92\%$ ，

$$t_s - t_2 = 10^\circ\text{F}.$$

從蒸汽表上，查出與絕對壓力每方吋 100 磅相當之

液體熱  $h_{f1} = 298.33$  英熱單位。

隱熱  $L_1 = 888.2$  英熱單位。

由  $h_{f1} + xL_1 = h_{g2} + C_p(t_s - t_2)$  公式

得  $h_{g2} = h_{f1} + xL_1 - C_p(t_s - t_2)$

$$= 298.33 + \frac{92}{100} \times 888.2 - 0.48 \times 10$$

$$= 298.33 + 817 - 4.8$$

$$= 1,110.53 \text{ 英熱單位}$$

從蒸汽表上查得與  $h_g = 1,110.53$  英熱單位相當之絕對

壓力 = 3 吋水銀柱，即測熱器低壓一邊之絕對壓力

最高不能超過 1.473 磅，每方吋。

7. 表壓力每方吋 200 磅，乾度 94% 之蒸汽，及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？

解答 已知蒸汽之乾度  $x = 94\%$ ，

$t_s = t_2 =$  沸點溫度。

從蒸汽表上，查出與絕對壓力每方吋 200 + 14.7 或

214.7 磅相當之

液體熱  $h_{f1} = 361.8$  英熱單位。

隱熱  $L_1 = 836.7$  英熱單位。

$h_{g2} = h_{f1} + xL_1 - C_p(t_s - t_2)$

$$= 361.8 + \frac{94}{100} \times 836.7$$

$$= 361.8 + 786$$

$$= 1,147.8 \text{ 英熱單位.}$$

- 、從蒸汽表上，查得與  $h_g = 1,147.8$  英熱單位相當之絕對壓力為每方吋 13 磅，故得蒸汽出測熱器時之絕對壓力為每方吋 13 磅。

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 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。

解答 已知  $t_s - t_2 = 10^\circ\text{F}$ 。

從蒸汽表查得與絕對壓力為每方吋 150 磅相當之

液體熱  $h_{f1} = 330.44$  英熱單位。

隱熱  $L_1 = 863.1$  英熱單位。

再查得與絕對壓力每方吋 15 磅相當之

總熱量  $h_{g2} = 1,150.6$  英熱單位。

由  $h_{f1} + xL_1 = h_{g2} + C_p(t_s - t_2)$  公式，

$$\begin{aligned} \text{得 } x &= \frac{h_{g2} + C_p(t_s - t_2) - h_{f1}}{L_1} \\ &= \frac{1,150.6 + 0.48 \times 10 - 330.44}{863.1} \\ &= \frac{824.96}{863.1} \\ &= 95.58\% \end{aligned}$$

故得此測熱器所能測之水分之最高百分數

$$= 1 - 0.9558 = 4.42\%$$

9. 在溫度  $337.9^{\circ}\text{F}$ ., 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.

解答 從蒸汽表查得與絕對壓力每方吋 114.7 磅相當之

$$\text{沸點溫度} = 337.9^{\circ}\text{F}.,$$

$$\text{液體熱} = 308.36 \text{ 英熱單位.}$$

再查得與大氣壓力相當之

$$\text{液體熱} = 180 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{隱熱} = 970.2 \text{ 英熱單位.}$$

經過狹瓣後, 可應用變水為蒸汽之熱

$$= 308.36 - 180 = 128.36 \text{ 英熱單位.}$$

故經過狹瓣後, 水變蒸汽之百分數

$$= \frac{128.36}{970.2} = 13.24\%$$

10. 一水箱, 存有溫度  $50^{\circ}\text{F}$ . 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  $100^{\circ}\text{F}$ . 水箱中之水結果為 418.5 磅. 試求蒸汽原來之乾度.

解答 從蒸汽表查得與絕對壓力每方吋 125 磅相當之

$$\text{液體熱} = 315.6 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{隱熱} = 874.9 \text{ 英熱單位.}$$

凝結於水中之蒸汽之重量

$$= 418.5 - 400 = 18.5 \text{ 磅}$$

設  $x$  蒸汽原來之乾度

則蒸汽所失之熱 =  $18.5(315.6 + x \times 874.9 - 100 + 32)$

$$= 4,580.6 + 16,186x$$

水所得之熱 =  $400(100 - 50)$

$$= 20,000 = 4,580.6 + 16,186x$$

$$\text{故 } x = \frac{20,000 - 4,580.6}{16,186}$$

$$= \frac{15,419.4}{16,186}$$

$$= 95.27\%$$

11. 將絕對每方吋 100 磅，乾度 90% 之蒸汽吸入冷水中，使其溫度由  $55^\circ\text{F}$ . 升至  $200^\circ\text{F}$ . 設每分鐘須熱之冷水量為 100 磅，問每分鐘至多須用蒸汽若干磅？

解答 從蒸汽表查得與絕對壓力每方吋 100 磅相當之

液體熱 = 298.33 英熱單位.

隱熱 = 888.2 英熱單位.

設  $x$  為每分鐘須用蒸汽之磅數

每點鐘蒸汽所失之熱量

$$= x(298.33 + \frac{90}{100} \times 888.2 - 200 + 32)$$

$$= x(298.83 + 799.88 - 168)$$

$$= 929,71x$$

每點鐘冷水所得之熱量

$$= 100 \times 60(200 - 55)$$

$$= 870,000 \text{ 英熱單位}$$

$$= 929,71x$$

$$\text{故 } x = \frac{870,000}{929,71} = 935.78 \text{ 磅}$$

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 0.01771 立方呎。

解答 從蒸汽表查得，當絕對壓力為每方吋 100 磅時，

$$\text{一磅水之容積} = 0.01771 \text{ 立方呎。}$$

$$\text{一磅蒸汽之容積} = 4.426 \text{ 立方呎。}$$

設  $x$  為 10 磅溼蒸汽中，所含乾蒸汽之磅數，

$$\text{則 } 25 = 4.426x + 0.01771(10 - x)$$

$$= 4.426x + 0.1771 - 0.01771x$$

$$= 4.40829x + 0.1771$$

$$x = \frac{25 - 0.1771}{4.40829} = 5.64 \text{ 磅}$$

$$\text{故蒸汽之乾度} = \frac{5.64}{10} = 56.4\%$$

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。

解答 大氣壓力 =  $30 \times 0.491 = 14.73$  磅，每方吋。

$$\frac{25 + 14.73}{150 + 14.73} = \frac{39.73}{164.73} = 0.241 < 0.58, \text{ 故可應用奈皮耳}$$

$$\text{經驗公式 } w' = \frac{PA}{70}$$

每點鐘損失蒸汽之重量

$$\begin{aligned} &= \frac{PA}{70} \times 60 \times 60 = \frac{164.73 \times 0.1}{70} \times 60 \times 60 \\ &= 0.23533 \times 3,600 = 846 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

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。

解答 (a) 按第(4)式，得蒸汽之乾度

$$x = \frac{w}{w + W} = \frac{4.5}{4.5 + 1.5} = \frac{4.5}{6} = 75\%$$

(b) 設  $w'$  為每秒鐘經過通路之蒸汽重量，則

$$w' = \frac{4.5}{30 \times 60} = 0.0025 \text{ 磅。}$$

$$\text{按奈皮耳經驗公式 } w' = \frac{PA}{70}$$

$$A = \frac{70w'}{P} = \frac{70 \times 0.0025}{100} = 0.00175 \text{ 平方吋。}$$

$$\text{即 } \pi r^2 = 0.00175$$

$$\begin{aligned} \text{故通路之直徑 } d = 2r &= 2 \times \sqrt{\frac{0.00175}{\pi}} = 2 \times 0.0236 \\ &= 0.0472 \text{ 吋.} \end{aligned}$$

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。

解答 (a) 按第(4)式，使蒸汽之乾度

$$x = \frac{w}{w+W} = \frac{10.5}{10.5+0.5} = \frac{10.5}{11} = 95.5\%$$

(b) 設  $w'$  為每秒鐘經過通路之蒸汽之重量，則

$$w' = \frac{10.5}{45 \times 60} = 0.0039 \text{ 磅.}$$

按奈皮耳經驗公式

$$A = \frac{70w'}{P} = \frac{70 \times 0.0039}{100} = 0.00273 \text{ 方吋.}$$

16. 將溫度  $100^\circ\text{F}$ . 之水 3 磅， $40^\circ\text{F}$ . 之酒精 10 磅， $50^\circ\text{F}$ . 之水銀 20 磅混合於一處。求混合後之溫度。

解答 使水之溫度降至  $40^\circ\text{F}$ . 給出之熱

$$= 3(100 - 40) = 180 \text{ 英熱單位}$$

使水銀之溫度降至  $40^\circ\text{F}$ . 給出之熱

$$= 20 \times 0.0333(50 - 40) = 6.66 \text{ 英熱單位}$$

可用以升高混合物之溫度之熱

$$=180+6.66=186.66 \text{ 英熱單位.}$$

使混合之溫度升高  $1^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱

$$=3 \times 1 + 10 \times 0.615 + 20 \times 0.0333 = 9.816 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故混合後之溫度} = 40 + \frac{186.66}{9.816} = 40 + 19 = 59^{\circ}\text{F.}$$

17. 將溫度  $212^{\circ}\text{F}$ . 之飽和蒸汽 10 磅,  $60^{\circ}\text{F}$ . 之水 50 磅,  $32^{\circ}\text{F}$ . 之冰兩磅混合於一處. 問結果溫度與混合後之情況.

解答 使蒸汽變為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水給出之熱量

$$=10 \times 1,150.2 = 11,502 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$ . 給出之熱量

$$=50(60-32)=1,400 \text{ 英熱單位.}$$

融解冰成  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水所需之熱量

$$=2 \times 144 = 288 \text{ 英熱單位.}$$

可用以升高混合物之溫度之熱

$$=11,502+1,400-288=12,614 \text{ 英熱單位.}$$

使混合物之溫度升高至  $212^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱

$$=180(10+50+2)=180 \times 62=11,160 \text{ 英熱單位.}$$

可用以蒸發水之熱量 =  $12,614 - 11,160$

$$=1,454 \text{ 英熱單位}$$

$$\text{可蒸發之水之重量} = \frac{1,454}{970/2} = 1.5 \text{ 磅.}$$

答案 結果之溫度  $212^{\circ}\text{F}$ .

混合後之情況：水 60 5 磅, 乾飽和蒸汽 1.5 磅.

18. 將溫度  $12^{\circ}\text{F}$ . 之冰 8 磅,  $45^{\circ}\text{F}$ . 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?

解答 使冰之溫度升至  $32^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱

$$= 8 \times 0.5(32 - 12) = 80 \text{ 英熱單位.}$$

融解冰成  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水所需之熱

$$= 8 \times 144 = 1,152 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$ . 給出之熱

$$= 25(45 - 32) = 325 \text{ 英熱單位.}$$

使蒸汽變為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水給出之熱

$$= 3 \times 1,150.2 = 3,450.6 \text{ 英熱單位.}$$

可用以升高混合物之溫度之熱

$$= 325 + 3,450.6 - 80 - 1,152 = 2,543.6 \text{ 英熱單位.}$$

此一部熱將混合物升高之溫度

$$= \frac{2,543.6}{8 + 25 + 3} = \frac{2,543.6}{36} = 70.65$$

故混合物之結果溫度  $= 70.65 + 32 = 102.65^{\circ}\text{F}$ .

答案 結果為 36 磅溫度  $102.65^{\circ}\text{F}$ . 之水.

19. 將溫度  $100^{\circ}\text{F}$ . 之空氣 50 磅, 大氣壓力下之蒸汽 10 磅與  $60^{\circ}\text{F}$ . 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.

解答 使空氣之溫度升至  $212^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 50 \times 0.241(212 - 100) = 1,350 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度升至  $212^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 10(212 - 60) = 1520 \text{ 英熱單位.}$$

故蒸汽凝結為水之磅數

$$= \frac{1,350 + 1,520}{970.2} = \frac{2,870}{970.2} = 2.96 \text{ 磅.}$$

混合物之結果溫度為  $212^{\circ}\text{F}$ .

20. 將溫度  $20^{\circ}\text{F}$ . 之冰 8 磅,  $75^{\circ}\text{F}$ . 之水 12 磅,  $190^{\circ}\text{F}$ . 之空氣 10 磅與大氣壓力下溫度  $588^{\circ}\text{F}$  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.

解答 使空氣之溫度升至  $212^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 10 \times 0.241(212 - 190) = 53.02 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度升至  $212^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 12(212 - 75) = 1,644 \text{ 英熱單位.}$$

使冰化為水再升至  $212^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 8[0.5(32 - 20) + 144 + 180] = 2,640 \text{ 英熱單位.}$$

使過熱蒸汽變為乾飽和蒸汽所給出之熱量

$$= 0.47(588 - 212) \times 5 = 883.6 \text{ 英熱單位}$$

故得蒸汽凝結為水之磅數

$$= \frac{53.02 + 1644 + 2640 - 883.6}{970.2} = \frac{3,453.42}{970.2} = 3.56 \text{ 磅.}$$

答案

空氣 10 磅

水 23.56 磅

乾飽和蒸汽 1.44 磅

} 均在  $212^{\circ}\text{F}$ .

21. 將溫度  $15^{\circ}\text{F}$ . 之冰 12 磅,  $60^{\circ}\text{F}$ . 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.

解答 使冰變為  $32^{\circ}\text{F}$  之水所需之熱量

$$= 12[0.5(32-15) + 144] = 1,830 \text{ 英熱單位.}$$

使蒸汽變為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水給出之熱量

$$= 4(180 + \frac{90}{100} \times 970.2) = 4,212.7 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$  給出之熱量

$$= 20(60 - 32) = 560 \text{ 英熱單位.}$$

可用以升高混合物之溫度之熱量

$$= 4,212.7 + 560 - 1830 = 2,942.7 \text{ 英熱單位.}$$

此一部熱量將混合物升高之溫度

$$= \frac{2,942.7}{12 + 20 + 4} = \frac{2,942.7}{36} = 81.8$$

混合物之結果溫度  $= 81.8 + 32 = 113.8^{\circ}\text{F}$ .

答案 結果為 36 磅溫度  $113.8^{\circ}\text{F}$ . 之水.

22. 將絕對壓力每方吋 150 磅溫度  $400^{\circ}\text{F}$ . 之蒸汽 10 磅,  $60^{\circ}\text{F}$ . 之水 15 磅,  $20^{\circ}\text{F}$  之冰 30 磅與  $112^{\circ}\text{F}$ . 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.

解答 使蒸汽變為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水給出之熱量

$$= 10 \times 1,218.8 = 12,188 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$ . 給出之熱量

$$= 15(60 - 32) = 420 \text{ 英熱單位.}$$

使空氣之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$ . 給出之熱量

$$= 50 \times 0.241(112 - 32) = 964 \text{ 英熱單位.}$$

化冰為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水所需之熱量

$$= 30\{0.5(32 - 20) + 144\} = 4,500 \text{ 英熱單位.}$$

可用以升高混合物之溫度之熱量

$$= 12,188 + 420 + 964 - 4,500 = 9,072 \text{ 英熱單位.}$$

使混合物之溫度升高  $1^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= (10 + 15 + 30) \times \frac{235.93}{267.24 - 32} + 0.241 \times 50$$

$$= 55 \times 1.003 + 12.05 = 67.215 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{混合物之結果溫度} = \frac{9072}{67.215} + 32 = 135 + 32 = 167^{\circ}\text{F.}$$

答案 空氣 50 磅 } 絕對壓力每方吋 40 磅, 溫度  $167^{\circ}\text{F}$ .  
水 55 磅 }

23. 將一  $40^{\circ}\text{F}$ . 之冰 12 磅,  $300^{\circ}\text{F}$ . 之空氣 8 磅, 絕對壓力每方吋 15 磅溫度  $350^{\circ}\text{F}$ . 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.

解答 從蒸汽表查得與絕對壓力每方吋 15 磅相當之沸點溫度 =  $213.03^{\circ}\text{F}$ .

化冰為水再升至  $213.03^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 12\{0.5(32+40)+144+181.04\}$$

$$= 4,340 \text{ 英熱單位.}$$

使空氣之溫度降至  $213.03^\circ\text{F}$ . 所給之熱量

$$= 8 \times 0.241(300 - 213.03) = 167.9 \text{ 英熱單位.}$$

使過熱蒸汽之溫度降至  $213.03^\circ\text{F}$ . 所給之熱量

$$= 50 \times 0.48(350 - 213.03) = 3,287.28 \text{ 英熱單位.}$$

蒸汽凝結為水之磅數

$$= \frac{4,340 - 167.9 - 3,287.28}{969.6} = \frac{884.82}{969.6} = 0.912 \text{ 磅}$$

答案 (a) 空氣  $\left. \begin{array}{l} 8 \text{ 磅} \\ 12.912 \text{ 磅} \\ 49.088 \text{ 磅} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{絕對壓力每方吋 15 磅, 溫} \\ \text{度 } 213.03^\circ\text{F.} \end{array}$

$$(b) \text{ 蒸汽凝結之百分數} = \frac{0.912}{50} = 1.82\%$$

24. 將溫度  $500^\circ\text{F}$ . 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.

解答 從蒸汽表查得與絕對壓力每方吋 100 磅相當之沸點溫度  $= 327.83^\circ\text{F}$ .

使空氣之溫度降至  $327.83^\circ\text{F}$  給出之熱量

$$= 100 \times 0.241(500 - 327.83) = 4,150 \text{ 英熱單位.}$$

蒸發蒸汽中之水分所需之熱量



$$= 2 \times 0.02 \times 888.2 = 35.5 \text{ 英熱單位.}$$

可用 升高混合物之溫度之熱量

$$= 4,150 - 35.5 = 4,114.5 \text{ 英熱單位.}$$

使混合物之溫度升高  $1^\circ\text{F}$ . 所需之熱量

$$= 100 \times 0.241 + 2 \times 0.53 = 25.26 \text{ 英熱單位.}$$

故得混合物之結果溫度

$$= 327.83 + \frac{4,114.5}{25.26} = 327.83 + 162.8 = 490.63^\circ\text{F.}$$

混合後之情況為空氣 100 磅與絕對壓力每方吋 100 磅之乾飽和蒸汽 2 磅。

25. 將溫度  $22^\circ\text{F}$ . 之冰 50 磅,  $62^\circ\text{F}$ . 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  $250^\circ\text{F}$ . 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.

解答 化冰為  $32^\circ\text{F}$ . 之水所需之熱量

$$= 50 \{ 0.5(32 - 22) + 144 \} = 7,450 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至  $32^\circ\text{F}$ . 給出之熱量

$$= 50(62 - 32) = 1,500 \text{ 英熱單位.}$$

使絕對壓力每方吋 100 磅之蒸汽變為  $32^\circ\text{F}$ . 之水給出之熱量

$$= 20(298.33 + \frac{98}{100} \times 888.2) = 23,366.6 \text{ 英熱單位.}$$

使絕對壓力每方吋 14.7 磅之蒸汽變為 32°F. 之水給  
出之熱量

$$= 20\{1150.2 + 0.48(250 - 212)\} = 23,368 \text{ 英熱單位.}$$

可應用之熱 = 23,366.6 + 23,368 + 1,500 - 7,450

$$= 40,784.6 \text{ 英熱單位.}$$

使混合物之溫度升至 212°F. 所需之熱量

$$= (50 + 50 + 20 + 20) \times 180 = 140 \times 180$$

$$= 25,200 \text{ 英熱單位.}$$

可用以蒸發水之熱量

$$= 40784.6 - 25200 = 15,586.4 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{水被蒸發之重量} = \frac{15,586.4}{970.2} = 16.05 \text{ 磅.}$$

答案 乾飽和蒸汽 16.05 磅 } 溫度 212°F.  
水 140 - 16.05 = 123.95 磅 }

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 25 磅之下混合於一處. 問結果溫度與混合後之情況.

解答 化冰為 32°F. 之水所需之熱量

$$= 20(0.5 \times 32 + 144) = 3,200 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至 32°F. 給出之熱量

$$= 30(50 - 32) = 540 \text{ 英熱單位.}$$

使空氣之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$ . 給出之熱量

$$= 40 \times 0.241(80 - 32) = 462.5 \text{ 英熱單位.}$$

使蒸汽變為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水給出之熱量

$$= 10 \times 1,218.8 = 12,188 \text{ 英熱單位.}$$

可應用之熱 =  $12,188 + 540 + 462.5 - 3,200$

$$= 9,990.5 \text{ 英熱單位.}$$

使混合物之溫度升高所需之熱量

$$= (20 + 30 + 10) \times \frac{208.33}{240.07 - 32} + 40 \times 0.241$$

$$= 60 + 9.64 = 69.64 \text{ 英熱單位.}$$

故得結果之溫度

$$= \frac{9,990.5}{69.64} + 32 = 143.5 + 32 = 175.5^{\circ}\text{F.}$$

混合後之情況為空氣 40 磅與水 60 磅.

27. 將溫度  $30^{\circ}\text{F}$ . 之冰 10 磅,  $50^{\circ}\text{F}$ . 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  $466^{\circ}\text{F}$ . 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.

解答 化冰為  $32^{\circ}\text{F}$ . 之水所需之熱量

$$= 10\{0.5(32 - 30) + 144\} = 1,450 \text{ 英熱單位.}$$

使水之溫度降至  $32^{\circ}\text{F}$ . 給出之熱量

$$= 50(50 - 32) = 900 \text{ 英熱單位.}$$

使絕對壓力每方吋 20 磅之蒸汽變為 32°F. 之水給出  
之熱量

$$= 2(196.09 + \frac{95}{100} \times 959.9) = 2,217.2 \text{ 英熱單位.}$$

使絕對壓力每方吋 120 磅之蒸汽變為 32°F. 之水給出  
之熱量 =  $4 \times 1,189.8 = 4,759.2$  英熱單位.

使絕對壓力每方吋 165 磅之蒸汽變為 32°F. 之水給  
出之熱量 =  $6 \times 1253.15 = 7,518.9$  英熱單位.

可應用之熱 =  $900 + 2,217.2 + 4,759.2 + 7,518.9 - 1450$   
= 13,945.3 英熱單位.

使混合物之溫度升至 212°F. 所需之熱量

$$= (10 + 50 + 2 + 4 + 6) \times 180 = 12,960 \text{ 英熱單位.}$$

可用以蒸發水之熱量

$$= 13,945.3 - 12,960 = 985.3 \text{ 英熱單位.}$$

水被蒸發之重量 =  $\frac{985.3}{970.2} = 1.016$  磅.

答案 乾飽和蒸汽 1.016 磅 } 溫度 212°F.  
水  $72 - 1.016 = 70.984$  磅 }

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。高壓汽管內每方吋之絕對壓力為 150 磅，其乾度

爲98%，每分鐘進入煖汽裝置之流量爲500磅。問兩部蒸汽恰在混合後之乾度如何？

解答 使絕對壓力每方吋150磅乾度98%之蒸汽變爲絕對壓

力每方吋25磅乾度85%之蒸汽所給出之熱量

$$= 500 \left\{ 33.44 + \frac{98}{100} \times 863.1 - \left( 208.33 + \frac{85}{100} \times 951.9 \right) \right\}$$

$$= 500(1,176.2 - 1,017.2)$$

$$= 500 \times 159 = 79,500 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每磅溼蒸汽多得之熱量} = \frac{79,500}{1,000 + 500} = 53 \text{ 英熱單位.}$$

設  $x$  爲兩部蒸汽恰在混合後之乾度，則

$$x \times 951.9 = \frac{85}{100} \times 951.9 + 53 = 809 + 53 = 862$$

$$\text{故 } x = \frac{862}{951.9} = 90.5\%$$

## 第五章 燃料與燃燒

## 習 題

1. 某種煤按原煤標準分析，含水分 3%，炭分 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？

$$\begin{aligned} \text{解答 每磅原煤之發熱量} &= 14,000 \left(1 - \frac{8+3}{100}\right) \\ &= 14,000 \times \frac{89}{100} = 12,460 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每磅乾煤之發熱量} &= \frac{12,460}{\left(1 - \frac{3}{100}\right)} = \frac{12,460}{0.97} \\ &= 12,850 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

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。

$$\begin{aligned} \text{解答 每磅煤之發熱量} &= 14,600C. + 62,000 \left(H - \frac{O}{8}\right) \\ &= 14,600 \times \frac{85}{100} + 62,000 \left(\frac{5}{100} - \frac{4}{800}\right) \\ &= 12,410 + 2,790 = 15,200 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{燃燒 1 磅煤所需之空氣量} &= 11.52C. + 34.56 \left(H - \frac{O}{8}\right) \\ &= 11.52 \times \frac{85}{100} + 34.56 \left(\frac{5}{100} - \frac{4}{800}\right) \\ &= 9.8 + 1.55 = 11.35 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

3. 某種無烟煤之成分如下：C, 84%；H, 2%；O, 4%。求此種煤每磅之發熱量及燃燒 1 磅所需之空氣量。

解答 每磅煤之發熱量

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{84}{100} + 62,000 \left( \frac{2}{100} - \frac{4}{800} \right) \\ &= 12,264 + 930 = 13,194 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

燃燒 1 磅煤所需之空氣量

$$\begin{aligned} &= 11.52 \times \frac{84}{100} + 34.56 \left( \frac{2}{100} - \frac{4}{800} \right) \\ &= 9.7 + 0.52 = 10.22 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

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。

解答 每磅煤之發熱量

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{75}{100} + 62,000 \left( \frac{7}{100} - \frac{8}{800} \right) \\ &= 10,950 + 3,720 = 14,670 \text{ 英熱單位。} \end{aligned}$$

燃燒 1 磅煤所需之空氣量

$$\begin{aligned} &= 11.52 \times \frac{75}{100} + 34.56 \left( \frac{7}{100} - \frac{8}{800} \right) \\ &= 8.65 + 2.07 = 10.72 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

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<sub>2</sub>, 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？

解答 燃燒 1 磅煤損失之熱量

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times \frac{80}{100} (14,600 - 4,430) \\ &= \frac{40 \times 10,170}{160} = 4,068 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

燃燒 1 磅煤所需空氣之重量

$$\begin{aligned} &= 11.52 \times \frac{1}{2} \times \frac{80}{100} + 5.76 \times \frac{1}{2} \times \frac{80}{100} \\ &\quad + 34.56 \left( \frac{3}{100} - \frac{4}{800} \right) \\ &= 4.608 + 2.304 + 0.864 = 7.776 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

6. 某種煤含 C, 90%; H, 1%; O, 2%. 倘所含之炭四分之三燃燒為  $\text{CO}_2$ , 其餘燃燒為  $\text{CO}$ . 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?

解答 燃燒 1 磅煤所發出之熱量

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{3}{4} \times \frac{90}{100} + 4,430 \times \frac{1}{4} \times \frac{90}{100} \\ &\quad + 62,000 \left( \frac{1}{100} - \frac{2}{800} \right) \\ &= 9,850 + 995 + 465 = 11,310 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

燃燒 1 磅煤所需空氣之重量

$$\begin{aligned} &= 11.52 \times \frac{3}{4} \times \frac{90}{100} + 5.76 \times \frac{1}{4} \times \frac{90}{100} \\ &\quad + 34.56 \left( \frac{1}{100} - \frac{2}{800} \right) \end{aligned}$$



$$=7.776+1.296+0.259=9.331 \text{ 磅.}$$

7. 某鍋爐房所燒之煤含  $\text{CH}_4$ , 20%; C, 60%; O, 6%. 燃燒之效率為 70%. 問每磅煤能蒸發溫度  $100^\circ\text{F}$ . 之水為表壓力每方吋 150 磅之蒸汽若干磅? 分解  $\text{CH}_4$  所用之熱不計.

解答 分解  $\text{CH}_4$  為 C 與 H, 則

$$\text{C} = \frac{20}{100} \times \frac{12}{16} = \frac{15}{100}, \quad \text{H} = \frac{20}{100} \times \frac{4}{16} = \frac{5}{100}.$$

則原煤之成分可改為 C, 75%; H, 5%; O, 6%. 惟 H 係自由氫.

故得燃燒 1 磅煤所發出之熱量

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{75}{100} + 62,000 \times \frac{5}{100} \\ &= 10,950 + 3,100 = 14,050 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

每磅煤能蒸發之水量

$$\begin{aligned} &= \frac{14,050 \times \frac{70}{100}}{1,195 - (100 - 32)} = \frac{9,835}{1,127} = 8.72 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

8. 一種烟道氣之分析, 其容積之百分數如下:  $\text{CO}_2$ , 8.33%; CO, 0.02%; O, 11.65%. 試求每磅煤實際所用空氣之重量. 煤之原素分析為 C, 75%; H, 5%; O, 7.3%.

解答:

100 立方呎中之容積	密度	重量
二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ .....	8.33 × 0.1164	= 0.97
一氧化碳 (CO) .....	0.02 × 0.0741	= 0.00148

$$\text{氧 (O}_2\text{)} \dots\dots\dots 11.65 \times 0.0846 = 0.986$$

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為：

$$\text{在二氧化碳中} \dots\dots\dots \frac{8}{11} \times 0.97 = 0.705$$

$$\text{在一氧化碳中} \dots\dots\dots \frac{4}{7} \times 0.00148 = 0.000846$$

$$\text{自由氧氣} \dots\dots\dots = 0.986$$

$$\text{氧之全重} = 0.705 + 0.000846 + 0.986 = 1.692 \text{ 磅.}$$

碳之重量則為：

$$\text{在二氧化碳中} \dots\dots\dots \frac{3}{11} \times 0.97 = 0.265$$

$$\text{在一氧化碳中} \dots\dots\dots \frac{3}{7} \times 0.00148 = 0.000634$$

$$\text{碳之全重} = 0.265 + 0.000634 = 0.2656 \text{ 磅.}$$

按重量言，空氣含氧百分之 23.15，故燃燒 0.2656 磅碳所用空氣之磅數為  $1.692 \div 0.2315 = 7.31$  磅。

燃燒 1 磅碳所用空氣之磅數則為

$$7.31 \div 0.2656 = 27.52 \text{ 磅.}$$

按給出之分析之煤，每燃燒一磅所用空氣之重量

$$= 27.52 \times \frac{75}{100} + 34.56 \left( \frac{5}{100} - \frac{7.3}{800} \right)$$

$$= 20.63 + 1.412 = 22.042 \text{ 磅.}$$

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： $\text{CO}_2$ , 8.1%； $\text{CO}$ , 0.03%； $\text{O}$ , 12.19%。煤之原素分析為  $\text{C}$ , 76.66%； $\text{H}$ , 4.89%； $\text{O}$ , 7.06%。試求每磅煤實際所用空氣之重量。

解答

100 立方呎中之容積 密度 重量

$$\text{二氧化碳 (CO}_2\text{)} \cdots \cdots \cdots 8.1 \times 0.1164 = 0.94284$$

$$\text{一氧化碳 (CO)} \cdots \cdots \cdots 0.3 \times 0.0741 = 0.00222$$

$$\text{氧 (O}_2\text{)} \cdots \cdots \cdots 12.19 \times 0.0846 = 1.03127$$

烟道氣每 100 立方呎中所含氧之重為：

$$\text{在二氧化碳中} \cdots \cdots \cdots \frac{8}{11} \times 0.94284 = 0.6857$$

$$\text{在一氧化碳中} \cdots \cdots \cdots \frac{4}{7} \times 0.00222 = 0.00124$$

$$\text{自由氧氣} \cdots \cdots \cdots = 1.03127$$

$$\text{氧之全重} = 0.6857 + 0.00124 + 1.03127 = 1.7128 \text{ 磅.}$$

碳之重量則為：

$$\text{在二氧化碳中} \cdots \cdots \cdots \frac{3}{11} \times 0.94284 = 0.25714$$

$$\text{在一氧化碳中} \cdots \cdots \cdots \frac{3}{7} \times 0.00222 = 0.00098$$

$$\text{碳之全重} = 0.25714 + 0.00098 = 0.2581 \text{ 磅.}$$

$$\text{燃燒一磅碳所用空氣之重量} = \frac{1.7128}{23.15 \times 0.2581} = 28.76 \text{ 磅.}$$

按給出之分析之煤，每燃燒一磅所用空氣之重量

$$= 28.76 \times \frac{76.66}{100} + 34.56 \left( \frac{4.89}{100} - \frac{7.06}{800} \right)$$

$$= 22.05 + 1.38 = 23.43 \text{ 磅.}$$

10. 一種烟道氣之分析，其容積之百分數如下：CO<sub>2</sub>，11.36%；CO，0%；O，7.81%；N，80.83%。煤之原素分析為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.

解答 每磅煤之發熱量

$$= 14,600 \times \frac{74}{100} + 62,000 \left( \frac{5.1}{100} - \frac{6.12}{800} \right)$$

$$= 10,800 + 2,690 = 13,490 \text{ 英熱單位.}$$

在 100 立方呎烟道氣中,

$$\text{碳之重量} = \frac{3}{11} \times 11.36 \times 0.1164 = 0.361 \text{ 磅.}$$

$$\text{氮之重量} = 80.83 \times 0.0741 = 5.99 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅碳所生氮之重量

$$= \frac{5.99}{0.361} = 16.6 \text{ 磅}$$

按重量言, 空氣含氮百分之 76.85, 故燃燒 1 磅炭所用空氣

$$\text{之重量} = \frac{16.6}{0.7685} = 21.6 \text{ 磅.}$$

按給出之分析之煤, 每燃燒 1 磅所用空氣之重量

$$= 21.6 \times \frac{74}{100} + 34.56 \left( \frac{5.1}{100} - \frac{6.12}{800} \right)$$

$$= 15.96 + 1.495 = 17.455 \text{ 磅.}$$

11. 一種烟道氣之分析, 其容積之百分數如下:  $\text{CO}_2$ , 8%;  $\text{CO}$ , 0%;  $\text{O}$ , 14%;  $\text{N}$ , 78%. 所用之煤之原素分析為 C, 80%; H, 5%; O, 3%; N, 1%. 求所用過量空氣之百分數.

解答 在 100 立方呎烟道氣中,

$$\text{碳之重量} = \frac{3}{11} \times 8 \times 0.1164 = 0.254 \text{ 磅.}$$

氮之重量 =  $78 \times 0.0741 = 5.78$  磅.

烟道氣中氮之重量得自煤中之一部

$$= \frac{1\%}{78\%} \times 0.254 = \frac{0.254}{78} = 0.00326 \text{ 磅.}$$

= 0.044 立方呎.

烟道氣中氮之容積得自空氣之一部

$$= 78 - 0.044 = 77.956 \text{ 立方呎.}$$

按容積言，空氣含氧百分之 20.9，氮百分之 79.1，故得  
由空氣供給氧之容積為  $\frac{20.9}{79.1} \times 77.956 = 20.6$  立方呎.

過量之氧 = 14 立方呎.

故得過量氧之百分數或過量空氣之百分數

$$= \frac{14}{20.6 - 14} = \frac{14}{6.6} = 212\%$$

12. 某鍋爐房所燃燒之煤，其原素分析之結果為 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.

解答 燃燒 1 磅煤理論上所需之空氣量

$$= 11.52 \times \frac{75}{100} + 34.56 \left( \frac{5}{100} - \frac{8}{800} \right)$$

$$= 8.64 + 1.38 = 10.02 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅煤實際所用之空氣量

$$= 2 \times 10.02 = 20.04 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅煤，發生之二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 之容積

$$= \frac{75}{100} \times \frac{44}{12} \div 0.1164 = 23.6 \text{ 立方呎.}$$

燃燒 1 磅煤，在烟道氣中現出氧之容積

$$= 10.02 \times \frac{23.15}{100} \div 0.0846 = 27.43 \text{ 立方呎.}$$

燃燒 1 磅煤，在烟道氣中現出氮之容積

$$= 20.04 \times \frac{76.85}{100} \div 0.0741 = 208 \text{ 立方呎.}$$

故得烟道氣分析之結果如下：

$$\text{CO}_2 \text{ 之百分數} = \frac{23.6}{23.6 + 27.43 + 208} = \frac{23.6}{259} = 9.11\%$$

$$\text{O}_2 \text{ 之百分數} = \frac{27.43}{259} = 10.6\%$$

$$\text{N}_2 \text{ 之百分數} = \frac{208}{259} = 80.29\%$$

13. 一種煤之原素分析為 C, 90%; H, 1%; O, 2%. 倘因燒火方法不適宜，致使所含碳之 15% 不燃燒為  $\text{CO}_2$  而燃燒為 CO. 而採用此種煤之動力廠假定全年開工 360, 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.

解答 每磅煤之發熱量

$$= 14,600 \times \frac{90}{100} + 62,000 \left( \frac{1}{100} - \frac{2}{800} \right)$$

$$= 13,140 + 465 = 13,605 \text{ 英熱單位.}$$

因燒火方法不適宜，燃燒 1 磅煤所失之熱量

$$= \frac{90}{100} \times \frac{15}{100} (14,600 - 4,430) = 1,373 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{損失熱量之百分數} = \frac{1,373}{13,605} = 10.1\%.$$

故得每年損失之錢數

$$\begin{aligned} &= 360 \times 24 \times 50 \times 10 \times \frac{10.1}{100} \\ &= 436,320 \text{ 元.} \end{aligned}$$

14. 某動力廠每年用煤 10,000 噸。煤之原素分析如下：C, 75%；H, 5%；O, 12%。倘因燒火方法之改良，將燃燒碳為 CO 之百分數由 15% 減至 5%。問所省煤之百分數為何？

解答 在燒火方法未改良之前，每燃燒 1 磅煤所得之熱

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{75}{100} \times \frac{85}{100} + 4,430 \times \frac{75}{100} \times \frac{15}{100} \\ &\quad + 62,000 \left( \frac{5}{100} - \frac{12}{800} \right) \\ &= 9,300 + 499 + 2,170 = 11,969 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

在燒火方法改良之後，每燃燒 1 磅煤得之熱

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{75}{100} \times \frac{95}{100} + 4,430 \times \frac{75}{100} \times \frac{5}{100} \\ &\quad + 62,000 \left( \frac{5}{100} - \frac{12}{800} \right) \\ &= 10,402 + 166 + 2,170 = 12,738 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

在燒火方法改良後，每年所用之煤量

$$= 10,000 \times \frac{11,969}{12,738} = 9,400 \text{ 噸}$$

$$\text{故得省煤之百分數} = \frac{10,000 - 9,400}{10,000} = 6\%.$$

15. 某鍋爐房烟道氣分析之結果為  $\text{CO}_2$ , 5%;  $\text{O}$ , 12%. 所用煤之原素分析為  $\text{C}$ , 80%;  $\text{H}$ , 4%;  $\text{O}$ , 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  $500^\circ\text{F}$ ., 鍋爐房之溫度為  $70^\circ\text{F}$ .. 倘燒火方法有相當改良, 使烟道氣之分析為  $\text{CO}_2$ , 12%;  $\text{O}$ , 5%. 問全年所省之錢數為何?

解答 在燒火之方法未改良前, 燃燒 1 磅煤在烟道氣中所發生之

$$\text{CO}_2 = \frac{80}{100} \times \frac{44}{12} \div 0.1164 = 25.2 \text{ 立方呎},$$

$$\text{O}_2 = 25.2 \times \frac{12}{5} = 60.48 \text{ 立方呎},$$

$$\text{N}_2 = 25.2 \times \frac{83}{5} = 418.32 \text{ 立方呎}.$$

燃燒 1 磅煤, 被烟道氣帶走之熱量

$$\begin{aligned} &= (25.2 \times 0.025 + 60.48 \times 0.0176 + 418.32 \times 0.0176) \\ &\quad \times (500 - 70) \end{aligned}$$

$$= (0.63 + 1.06 + 7.37) \times 430 = 3,895.8 \text{ 英熱單位}.$$

在燒火之方法改良之後, 燃燒 1 磅煤在烟道氣中所發生之

$$\text{CO}_2 = \frac{80}{100} \times \frac{44}{12} \div 0.1164 = 25.2 \text{ 立方呎},$$

$$\text{O}_2 = 25.2 \times \frac{5}{12} = 10.5 \text{ 立方呎},$$



$$N_2 = 25.2 \times \frac{83}{12} = 174.3 \text{ 立方呎.}$$

燃燒 1 磅煤，被烟道氣帶走之熱量

$$\begin{aligned} &= (25.2 \times 0.025 + 10.5 \times 0.0176 \\ &\quad + 174.3 \times 0.0176)(500 - 70) \\ &= (0.63 + 0.185 + 3.065) \times 430 = 1,668 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

每磅煤之發熱量

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{80}{100} + 62,000 \left( \frac{4}{100} - \frac{6}{800} \right) \\ &= 11,680 + 2,020 = 13,700 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

燒火方法改良以後，每日需用之煤量

$$= 30 \times \frac{13,700 - 3,895.8}{13,700 - 1,668} = \frac{30 \times 9,804.2}{12,032} = 24.45 \text{ 噸.}$$

故得全年所省之錢數為

$$300(30 - 24.45) \times 9 = 14,985 \text{ 元.}$$

16. 某種煤之原素分析為：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多 30%，問理論上燃燒之溫度。鍋爐房之溫度為 70°F。

解答 每磅煤之發熱量

$$\begin{aligned} &= 14,600 \times \frac{80}{100} + 62,000 \left( \frac{5}{100} - \frac{3}{800} \right) \\ &= 11,680 + 2,867.5 = 14,547.5 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

燃燒 1 磅煤理論上所需空氣之量

$$= 11.52 \times \frac{80}{100} + 34.56 \left( \frac{5}{100} - \frac{3}{800} \right)$$

$$= 9.216 + 1.5985 = 10.8145 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅煤，在烟道氣中應作成之

$$N_2 = 10.8145 \times 0.7685 + 0.01 = 8.32 \text{ 磅,}$$

$$CO_2 = 0.8 \times 3.66 = 2.928 \text{ 磅,}$$

$$H_2O = 0.05 \times 9 = 0.45 \text{ 磅,}$$

$$\text{過量之空氣} = 10.8145 \times \frac{30}{100} = 3.244 \text{ 磅.}$$

假設一最後溫度  $3,500^\circ F.$ ，則升高燃燒氣體一度所需之熱單位將為

	比熱 英熱單位
$CO_2$ .....	$2.928 \times 0.277 = 0.812$
$H_2O$ .....	$0.45 \times 0.6093 = 0.274$
$N_2$ .....	$8.32 \times 0.2707 = 2.252$
過量之空氣	$3.244 \times 0.2707 = 0.879$
總計	4.217

$$\text{故得燃燒氣體上升之度數} = \frac{14547.5}{4.217} = 3,450^\circ F.$$

$$\text{即燃燒氣體之最後溫度} = 3,450 + 70 = 3,520^\circ F.$$

17. 某鍋爐房烟道氣由歐塞提儀器分析之結果為： $CO_2$ , 6%;  $O_2$ , 14%; 其餘為  $N_2$ . 求過量空氣之百分數.

解答 當空氣供給 100-6-14 或 80 立方呎之  $N_2$  時，同時

$$\text{即供給 } \frac{20.9}{79.1} \times 80 = 21.14 \text{ 立方呎之 } O_2. \text{ 在此 21.14 立方}$$

呎之  $O_2$  中，有 14 立方呎未用以燃燒碳，即係過量之  $O_2$ 。或  $21.14 - 14 = 7.14$  立方呎為實用以燃燒煤之  $O_2$ 。故過量空氣之百分數，亦即過量氧之百分數為  $\frac{14}{7.14} = 196\%$ 。

18. 某鍋爐中所燃燒之煤，其原素分析為：C, 80%； $N_2O$ , 40%。其煙道氣之分析為： $CO_2$ , 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。

解答 燃燒 1 磅煤，在煙道氣中應作成之

$$CO_2 = \frac{80}{100} \times \frac{44}{12} \div 0.1164 = 25.2 \text{ 立方呎。}$$

$$N_2 = 25.2 \times \frac{80}{6} = 336 \text{ 立方呎。}$$

故得燃燒每磅煤曾供給之空氣之容積

$$= \frac{336}{0.791} = 425 \text{ 標準立方呎。}$$

19. 一種煙道氣之分析，其容積之百分數為： $CO_2$ , 12%；O, 7.5%；其餘為 N。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，理論上應用之空氣量。

解答 當空氣供給  $100 - 12 - 7.5 = 80.5$  立方呎之  $N_2$  時，同

時即供給  $\frac{20.9}{79.1} \times 80.5 = 21.28$  立方呎之  $O_2$ 。故過量空氣

之百分數，亦即過量氧之百分數  $= \frac{7.5}{21.28 - 7.5} = 54.4\%$ 。

在 100 立方呎之煙道氣中，碳之重量

$$= 12 \times 0.1164 \times \frac{3}{11} = 0.381 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅煤，實際所用之空氣量

$$= \frac{0.68}{0.381} \times \frac{21.28}{0.209} = 182 \text{ 立方呎.}$$

$$= 13.85 \text{ 磅.}$$

故得燃燒 1 磅煤，理論上應用之空氣量

$$= \frac{13.85}{1+0.544} = 8.97 \text{ 磅.}$$

20. 某鍋爐房之烟道氣分析，其容積之百分數為： $\text{CO}_2$ , 14%； $\text{CO}$ , 2%； $\text{O}_2$ , 5.3%；其餘為  $\text{N}_2$ 。所用之煤之原素分析為： $\text{C}$ , 75%； $\text{H}_2\text{O}$ , 6%。每磅之發熱量為 13800 英熱單位。求燃燒之溫度。

解答 因在烟道氣分析中，表出每有 78.7 立方呎  $\text{N}_2$ ，即有 14

立方呎  $\text{CO}_2$ ，2 立方呎  $\text{CO}$ ，5.3 立方呎  $\text{O}_2$ ，故在 79.1 立

方呎  $\text{N}_2$  中，必有  $14 \times \frac{79.1}{78.7} = 14.05$  立方呎  $\text{CO}_2$ ， $2 \times \frac{79.1}{78.7}$

$= 2.01$  立方呎  $\text{CO}$ ，與  $5.3 \times \frac{79.1}{78.7} = 5.325$  立方呎  $\text{O}_2$ 。因

作成 14.05 立方呎  $\text{CO}_2$ ，需用 14.05 立方呎  $\text{O}_2$ ，作成 2.01

立方呎  $\text{CO}$ ，需用 1.005 立方呎  $\text{O}_2$ ，故加入計算之  $\text{O}_2$  只

為  $14.05 + 1.005 + 5.325 = 20.38$  立方呎。此數量與攜同

79.1 立方呎  $\text{N}_2$  所供給之 20.9 立方呎之差數，或  $20.9$

$- 20.38 = 0.52$  立方呎  $\text{O}_2$  與煤中之  $\text{H}_2$  相合，作成 1.04

立方呎之  $\text{H}_2\text{O}$ 。未表現於烟道氣分析之中。

因題給之煤每磅含有 0.75 磅碳，故燃燒 1 磅煤必給出

$$31.5 \times 0.75 \times \frac{4}{14+2} = 20.675 \text{ 立方呎 } \text{CO}_2,$$

$$31.5 \times 0.75 \times \frac{2}{16} = 2.95 \text{ 立方呎 } \text{CO}.$$

就烟道氣分析，知  $\text{CO}_2$  與  $\text{N}_2$  之比為 14 : 78.7.  $\text{CO}_2$  與  $\text{O}_2$  之比為 14 : 5.3. 故相當 20.675 立方呎  $\text{CO}_2$ ，將有

$$20.675 \times \frac{78.7}{14} = 116.1 \text{ 立方呎 } \text{N}_2,$$

與  $20.675 \times \frac{5.3}{14} = 7.83 \text{ 立方呎 } \text{O}_2.$

在 79.1 立方呎  $\text{N}_2$ ，有 1.04 立方呎  $\text{H}_2\text{O}$  由煤中之  $\text{H}_2$  燃燒而成。故在 116.1 立方呎  $\text{N}_2$ ，將有

$$1.04 \times \frac{116.1}{79.1} = 1.528 \text{ 立方呎 } \text{H}_2\text{O}.$$

煤中所含百分之六之水分表示

$$0.06 \times \frac{378}{18} = 1.28 \text{ 立方呎水蒸汽}.$$

100 立方呎 乾烟道氣	100 立方呎 乾空氣	每磅煤作成烟道 氣之立方呎數
78.7 $\text{N}_2$	79.1 = 79.1 $\text{N}_2$	116.1 $\text{N}_2$
14 $\text{CO}_2$	14.05	20.675 $\text{CO}_2$
2 $\text{CO}$	1.005	2.95 $\text{CO}$
5.3 $\text{O}_2$	5.325	7.83 $\text{O}_2$
	0.52	1.04 $\text{H}_2\text{O}$
		1.528 $\text{H}_2\text{O}$
<hr/> 100.00	<hr/> 100.00	1.28 $\text{H}_2\text{O}$

假設入爐空氣之溫度爲  $60^{\circ}\text{F}$ .，則當蒸發  $1.528 + 1.28$   
 或  $2.808$  立方呎，或  $2.808 \times \frac{18}{378} = 0.1337$  磅  $\text{H}_2\text{O}$  所需之  
 熱爲  $0.1336 \times 1057.8 = 141.5$  英熱單位。

故燃燒 1 磅煤，可用以升高氣體溫度之熱爲

$$13,800 - 141.5 = 13,658.5 \text{ 英熱單位.}$$

在  $60^{\circ}\text{F}$ . 與  $3000^{\circ}\text{F}$ . 之間，升高氣體華氏表一度所需之  
 熱計算如下：

$60^{\circ}\text{F}$ . 至  $3000^{\circ}\text{F}$ .

間之平均比熱 英熱單位

$$\text{CO}_2 \dots\dots\dots 20.675 \times 0.0314 = 0.6490$$

$$\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots 2.808 \times 0.0270 = 0.0759$$

$$\text{CO} \dots\dots\dots 2.95 \times 0.0196 = 0.0578$$

$$\text{N}_2 \dots\dots\dots 116.1 \times 0.0196 = 2.2750$$

$$\text{O}_2 \dots\dots\dots 7.83 \times 0.0196 = 0.1533$$

總計 3.2110

$$\text{故氣體上升之溫度爲 } \frac{13,658.5}{3.211} = 4,250 \text{ 度}$$

$$\text{因得燃燒之溫度爲 } 4,250 + 60 = 4,310^{\circ}\text{F}.$$

以上所得之結果與假設相差太遠，故仍須用  $60^{\circ}\text{F}$ . 與  
 $4,000^{\circ}\text{F}$ . 之間之平均比熱，重行計算之。

60°F. 至 4,000°F.

間之平均比熱 英熱單位

$$\text{CO}_2 \dots\dots\dots 20.675 \times 0.0319 = 0.6600$$

$$\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots 2.808 \times 0.0312 = 0.0877$$

$$\text{CO} \dots\dots\dots 2.95 \times 0.0206 = 0.0608$$

$$\text{N}_2 \dots\dots\dots 116.1 \times 0.0206 = 2.3920$$

$$\text{O}_2 \dots\dots\dots 7.83 \times 0.0206 = 0.1612$$

總計 3.3617

故氣體上升之溫度為  $\frac{13,658.5}{3.3617} = 4,060$  度

因得燃燒之溫度為  $4,060 + 60 = 4,120^\circ\text{F}$ .

## 第七章 鍋爐輔助品

## 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) 爲 29.3 吋水銀柱. (a) 鍋爐內每方吋之絕對壓力爲何? (b) 所生之乾飽和蒸汽之溫度爲何?

解答 (a) 鍋爐內每方吋之絕對壓力

$$= (29.3 - 18) \times 0.491 = 11.3 \times 0.491$$

$$= 5.55 \text{ 磅.}$$

(b) 從蒸汽表查得, 在絕對壓力每方吋 5.55 磅時, 乾飽和蒸汽之溫度爲  $166.16^{\circ}\text{F}$ .

2. 某鍋爐所生之蒸汽, 其乾度爲 98.5%, 其溫度爲  $182.9^{\circ}\text{F}$ . 氣壓表之讀數爲 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?

解答 從蒸汽表查得, 與沸點溫度  $182.9^{\circ}\text{F}$ . 相當之蒸汽絕對壓力爲每方吋 8 磅.

故得此鍋爐工作之真空度爲  $29.3 - \frac{8}{0.491} = 13$  吋水銀柱.

3. 一鍋爐每小時能將水 10,000 磅蒸發爲乾飽和蒸汽. 給水溫度爲  $180^{\circ}\text{F}$ . 蒸汽之絕對壓力爲每方吋 250 磅. 問每小時在  $212^{\circ}\text{F}$ . 之相當之蒸發量若干?



$$\text{解答 蒸發因數} = \frac{1,200.5 - (180 - 32)}{970.2} = \frac{1,052.5}{970.2} = 1.085$$

故得每小時在 212°F. 之相當蒸發量

$$= 10,000 \times 1.085 = 10,850 \text{ 磅.}$$

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？

解答 每磅煤所生之有用熱量

$$= 8(1,189 - 100 + 32) = 8 \times 1,121$$

$$= 8,968 \text{ 英熱單位.}$$

(a) 在此種情形下，每磅煤能蒸發之水量

$$= \frac{8,968}{1,185.5 - 200 + 32} = \frac{8,968}{1,017.5} = 8.8 \text{ 磅}$$

(b) 每磅煤在 212°F. 之相當蒸發量

$$= \frac{8,968}{970.2} = 9.25 \text{ 磅.}$$

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。

解答 蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= (338 - 200) \frac{309}{338 - 32} + 880$$

$$= 138 \times \frac{309}{306} + 880$$

$$= 139.4 + 880 = 1,019.4 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅煤，被吸收之熱量

$$= 13,000 \times \frac{70}{100} = 9,100 \text{ 英熱單位.}$$

(a) 燃燒 100 磅煤能蒸發之水量

$$= \frac{9,100 \times 100}{1,019.4} = 890 \text{ 磅.}$$

(b) 在 212°F. 之相當蒸發量

$$= \frac{9,100 \times 100}{970.2} = 938 \text{ 磅.}$$

6. 某鍋，爐及爐篦之總效率為 70%；所用之煤，其原素分析為 C, 80%；H, 5%；O, 4%。假設鍋爐發生 300 馬方，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？

解答 每磅煤之發熱量

$$= 14,600 \times \frac{80}{100} + 62,000 \left( \frac{5}{100} - \frac{4}{800} \right)$$

$$= 11,680 + 2,790 = 14,470 \text{ 英熱單位.}$$

鍋爐每小時吸收之熱量

$$= 300 \times 33,470 = 10,041,000 \text{ 英熱單位.}$$

(a) 每小時能蒸發給水溫度 100°F.，表壓力每方吋 100 磅，水分 2% 之蒸汽之量

$$= \frac{10,041,000}{1,189 - \frac{2}{100} \times 880 - 100 + 32} = \frac{10,041,000}{1,121 - 17.6}$$

$$= \frac{10,041,000}{1,103.4} = 9,100 \text{ 磅}$$

(b) 每小時用煤之量

$$= \frac{10,041,000}{14,470 \times \frac{70}{100}} = 990 \text{ 磅}$$

7. 給水之溫度為  $130^{\circ}\text{F}$ .，蒸汽之表壓力為每方吋 80 磅，每磅煤之發熱量為 12750 英熱單位，燃燒時損失之熱量為 40%。倘擬蒸發 5650 磅之水，問所需之煤為若干磅？

解答 蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 324 - 130) \frac{294}{324 - 32} + 891.4$$

$$= 195.36 + 891.4 = 1,086.76 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅煤被吸收之熱量

$$= 12,750 \left( 1 - \frac{40}{100} \right) = 7,650 \text{ 英熱單位.}$$

故得蒸發 5,650 磅之水所需之煤量

$$= \frac{1,086.76 \times 5,650}{7,650} = 803 \text{ 磅.}$$

8. 鍋爐房之溫度為  $70^{\circ}\text{F}$ .，烟道氣之溫度為  $500^{\circ}\text{F}$ .，燃燒每磅煤實用空氣 30 磅。如每磅煤之發熱量為 14,500 英熱單位，問損失於烟道氣之熱量之百分數。

解答 燃燒 1 磅煤損失於烟道氣之熱量

$$\begin{aligned}
 &= (30+1) \times 0.241 \times (500-70) \\
 &= 31 \times 0.241 \times 430 = 3,210 \text{ 英熱單位.} \\
 \text{損失之百分數} &= \frac{3,210}{14,500} = 22.1\%.
 \end{aligned}$$

9. 鍋爐房之溫度為  $70^{\circ}\text{F}$ ., 煙道氣之溫度為  $500^{\circ}\text{F}$ ., 所用之煤之原素分析為: C, 75%; H, 5%; O, 4%; 實用之空氣量為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.

解答 每磅煤之發熱量

$$\begin{aligned}
 &= 14,600 \times \frac{75}{100} + 62,000 \left( \frac{5}{100} - \frac{4}{800} \right) \\
 &= 10,950 + 2,790 \\
 &= 13,740 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

燃燒 1 磅煤理論上所需之空氣量

$$\begin{aligned}
 &= 11.52 \times \frac{75}{100} + 34.56 \left( \frac{5}{100} - \frac{4}{800} \right) \\
 &= 8.65 + 1.555 = 10.205 \text{ 磅.}
 \end{aligned}$$

實際上所用之空氣量

$$= 10.205 \times 2.5 = 25.51 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅煤損失於烟道氣之熱量

$$\begin{aligned}
 &= (25.51+1) \times 0.241 \times (500-70), \\
 &= 26.51 \times 0.241 \times 430 \\
 &= 2,747 \text{ 英熱單位.}
 \end{aligned}$$

$$\text{損失之百分數} = \frac{2747}{13740} = 20\%.$$

10. 根據報告, 某鍋爐之工作情況如下: 每磅煤蒸發 12.5 磅水; 每磅煤之發熱量為 13,000 英熱單位; 燃燒 1 磅煤用 24 磅空氣; 鍋爐房之溫度為  $70^{\circ}\text{F}$ ., 煙道氣之溫度為  $550^{\circ}\text{F}$ ., 蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅, 給水溫度為  $70^{\circ}\text{F}$ .. (a) 此種結果是否可能? (b) 倘係不可能, 問以鍋爐每磅煤能蒸發之水之磅數.

解答 (a) 蒸發 12.5 磅水所需之熱量

$$= 12.5(1,189 - 70 + 32)$$

$= 14,400$  英熱單位. 此數大於每磅煤之發熱量, 故上項之結果為不可能

(b) 蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 1,189 - 70 + 32 = 1,151 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅煤損失於煙道氣之熱量

$$= (24 + 1) \times 0.241 \times (550 - 70)$$

$$= 25 \times 0.241 \times 480$$

$$= 2,890 \text{ 英熱單位.}$$

因得燃燒 1 磅煤能得蒸發之水量

$$= \frac{13,000 - 2,890}{1,151} = \frac{10,110}{1,151}$$

$$= 8.78 \text{ 磅.}$$

11. 某鍋爐每小時蒸發 3,000 磅水. 每磅煤之發熱量為 13,000

英熱單位。蒸汽之表壓力爲每方吋 100 磅；給水溫度，180°F.，鍋、爐及爐篦之效率，70%。問每小時燒煤若干磅？

解答 蒸發一磅水所需之熱量

$$= (338 - 180) \frac{309}{338 - 32} + 880 = 1,039.6 \text{ 英熱單位}$$

$$\text{每磅煤之有效熱量} = 13,000 \times \frac{70}{100} = 9,000 \text{ 英熱單位}$$

故得每小時所需之熱量

$$= \frac{6,000 \times 1,039.6}{9,100} = 685.5 \text{ 磅}$$

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？

解答 設 9 磅水爲每磅煤在 212°F. 時之相當蒸發量。

實際蒸發一磅水所需之熱量

$$= 1,191.77 - 120 + 32 = 1,103.77 \text{ 英熱單位}$$

$$\text{每磅煤之有效熱量} = 9 \times 970.2 = 8,740 \text{ 英熱單位}$$

故得每指示馬力每小時所需之煤量

$$= \frac{30 \times 1,103.77}{8,740} = 3.79 \text{ 磅}$$

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. 之水爲同溫度之蒸汽 1,000 磅須用費若干？

解答 在 212°F. 時蒸發 1,000 磅水所需之熱量

$$= 1,000 \times 970.2 = 970,200 \text{ 英熱單位.}$$

每磅煤之有效熱量

$$= 7.5(1,195 - 200 + 32)$$

$$= 7.5 \times 1,027 = 7,702.5 \text{ 英熱單位.}$$

故得在 212°F. 時蒸發 1,000 磅水所需之用費爲

$$= \frac{970,200}{7,702.5} \times \frac{7}{2,000} = 0.44 \text{ 元.}$$

14. 一回管火管式鍋爐 (Return tubular boiler), 其直徑爲 72 吋; 其長度爲 18 呎; 內含 4 吋管 70 根. 問此鍋爐之受熱面及額定鍋爐馬力.

解答 從第 22 表查得 4 吋管之內直徑爲 0.312 呎,

故此鍋爐之受熱面 = 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.

$$= \frac{1}{2} \times \pi \times \frac{72}{12} \times 18 + 70 \times \pi \times 0.312 \times 18$$

$$+ \frac{2}{3} \times \pi \times \left(\frac{36}{12}\right)^2 - 2 \times 70 \times \pi \times \left(\frac{2}{12}\right)^2$$

$$= \pi(54 + 393 + 6 - 3.89)$$

$$= \pi \times 449.11 = 1,410 \text{ 方呎.}$$

每 10 方呎受熱面相當一額定鍋爐馬力,

$$\text{故額定鍋爐馬力} = \frac{1,410}{10} = 141$$

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) 若干方呎之爐篋面？ (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，鍋爐及爐篋之效率為 70%，問每小時須用煤若干磅？

解答 每小時由鍋爐取得之熱量

$$\begin{aligned} &= 400 \times 26(1+0.25)(1,195-200+32) \\ &= 13,000 \times 1027 = 13,350,000 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

鍋爐之額定馬力

$$= \frac{13,350,000}{33,470} = 399$$

(a) 每 10 方呎受熱面相當一額定鍋爐馬力，故得受熱之面積為  $399 \times 10 = 3,990$  方呎。

(b) 假設爐篋面對於受熱面之比為 1:60，則

$$\text{得鍋篋面之面積為 } \frac{3,990}{60} = 66.5 \text{ 方呎.}$$

(c) 假設烟道橫斷面對於爐篋面之比為 1:7，則

$$\text{得烟道橫斷面之面積為 } \frac{66.5}{7} = 9.5 \text{ 方呎.}$$

(d) 每小時須用煤之量

$$= \frac{13,350,000}{13,500 \times \frac{70}{100}} = 1,413 \text{ 磅.}$$



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爲 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、爐及爐篦之效率爲 70%。蒸汽之表壓力爲每方吋 100 磅；蒸汽之乾度爲 98.5%；給水溫度爲 200°F。每磅煤之發熱量爲 13,000 英熱單位。(a) 全廠所用之煤量每小時須若干磅？(b) 受熱面積須若干方呎？(c) 爐篦面須若干方呎？(d) 假設煙筒之高爲 125 呎，問其內直徑須爲若干呎？

解答 每小時由鍋爐取得之熱量

$$= 100 \times 17 \times (1 + 0.25) \left( 308.84 + \frac{98.5}{100} \right)$$

$$\times 880.18 - 200 + 32$$

$$= 100 \times 17 \times 1.25 \times 1007.3 = 2,140,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{額定鍋爐馬力} = \frac{2,140,000}{33,470} = 64$$

(a) 每小時所用之煤量

$$= \frac{2,140,000}{13,000 \times \frac{70}{100}} = 236 \text{ 磅.}$$

(b) 受熱面之面積

$$= 10 \times 64 = 640 \text{ 方呎.}$$

(c) 假設爐篦面對於受熱面之比爲 1:30，則

爐篦面之面積爲

$$\frac{640}{30} = 21.33 \text{ 方呎.}$$

(d) 從鍋爐馬力 =  $3.15 A \sqrt{H}$  公式, 得

$$64 = 3.15 A \sqrt{125}$$

$$\text{或 } A = \frac{64}{3.15 \times \sqrt{125}} = \frac{64}{3.15 \times 11.18} = 1.82 \text{ 方呎}$$

因得烟筒之內直徑

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1.82}{\pi}} = \sqrt{2.32} = 1.52 \text{ 呎.}$$

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?

$$\text{解答 } 2,500 = 3.15 A \sqrt{150}$$

$$A = \frac{2,500}{3.15 \times \sqrt{150}} = \frac{2,500}{3.15 \times 12.25} = 64.8 \text{ 方呎}$$

烟道之內直徑

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 64.8}{\pi}} = \sqrt{82.5} = 9.1 \text{ 呎.}$$

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. 如應發之鍋爐馬力增至 450, 問烟筒之高度應增加若干呎?

解答 設  $H$  為鍋爐馬力增加後, 所須烟筒之高度, 則

$$450 = 3.15 \times \pi \times 2^2 \times \sqrt{H}$$

$$H = \left( \frac{450}{4\pi \times 3.15} \right)^2 = 129.4 \text{ 呎.}$$

故得原來烟筒之高度應增加 29.4 呎.

19. 某動力廠每小時燒煤 1,500 磅, 烟筒之高度爲 130 呎, 鍋爐房之溫度  $70^{\circ}\text{F}$ ., 烟道氣之溫度  $500^{\circ}\text{F}$ ., 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) 由煙道氣損失之熱量之百分數爲何? (c) 通風之壓力爲何? 以十分之一吋之水柱爲單位.

解答 (a)  $W^0 =$  每秒鐘由煙道上行之氣體之總重量, 按第 271 頁第 8 式

$$W^0 = w^0 A \sqrt{2gH \left[ \frac{T^0}{T'} - \left( \frac{T^0}{T'} \right)^2 \right]}$$

現在  $T^0 = 70 + 460 = 530^{\circ}\text{F}$ ., 絕對溫度,

$T' = 500 + 460 = 960^{\circ}\text{F}$ ., 絕對溫度,

$w^0 = 0.075$  磅

$$\begin{aligned} W^0 &= 0.075 \times 8.025 A \sqrt{H \left[ \frac{530}{960} - \left( \frac{530}{960} \right)^2 \right]} \\ &= 0.3 A \sqrt{H} \end{aligned}$$

但  $W^0 = \frac{1,500 \times (24 + 1)}{3,600} = 10.4$  磅.

故  $A = \frac{W^0}{0.3 \sqrt{H}} = \frac{10.4}{0.3 \sqrt{130}} = \frac{10.4}{0.3 \times 11.4}$   
 $= 3.04$  方呎.

(b) 燃燒 1 磅煤, 由煙道氣帶走之熱量

$$= 0.241(24 + 1)(500 - 70)$$

$$= 0.241 \times 25 \times 430 = 2,590 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{損失之熱量之百分數} = \frac{2,590}{12,000} = 21.6\%.$$

(c) 按第 270 頁第 4 式，通風之壓力  $F$ ，以十分之一吋水柱計

$$= 10 \times 0.192 H w^0 \left( 1 - \frac{T^0}{T''} \right)$$

$$= 1.92 \times 130 \times 0.075 \left( 1 - \frac{530}{960} \right)$$

$$= 18.7 \times \frac{430}{960} = 9.45.$$

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  $120^\circ\text{F}$ 。蒸汽之乾度，98%，問此鍋爐之馬力數為何？

解答 蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 308.84 + \frac{98}{100} \times 880.18 - 120 + 32$$

$$= 1,083.3 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋爐之馬力數為

$$\frac{4,000 \times 1,083.3}{33,470} = 129.5$$

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  $150^\circ\text{F}$ 。問此鍋爐之工作係超過仰係不及其額定馬力數，並問超過或不及之數量。

解答 先求受熱面積：

鍋殼圓筒部分之受熱面

$$= \frac{1}{2} \times \pi \times \frac{60}{12} \times 16 = 125.66 \text{ 方呎.}$$

管之受熱面  $= 52 \times \pi \times 0.312 \times 16 = 816 \text{ 方呎.}$

$$\begin{aligned} \text{管板之受熱面} &= 2 \times \frac{2}{3} \times \pi \times \left(\frac{30}{12}\right)^2 - 2 \times 52 \times \pi \times \left(\frac{2}{12}\right)^2 \\ &= 26.15 - 9.07 = 17.08 \text{ 方呎.} \end{aligned}$$

總受熱面  $= 125.66 + 816 - 17.08 = 958.74 \text{ 方呎.}$

每 10 方呎受熱面相當 1 額定馬力, 故

$$\text{得額定馬力數} = \frac{958.74}{10} = 95.874$$

每小時鍋爐所發生之熱量

$$= 4,000(1,189 - 150 + 32) = 4,000 \times 1071$$

$$= 4,284,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{鍋爐馬力數} = \frac{4,284,000}{33,470} = 128$$

答 此鍋爐之工作係超過其額定馬力數, 其超過之數量  
 $= 128 - 95.874 = 32.126.$

22. 一鍋爐廠每小時燒煤 1,500 磅. 煤之原素分析爲: C, 85%; H, 5%; O, 4%. 給水溫度 150°F., 鍋爐中之汽壓, 表壓力每方吋 100 磅. 用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

溫度爲  $230^{\circ}\text{F}$ . 鍋, 爐及爐篦之效率爲  $70\%$ . 問此鍋爐實際發出之馬力數若干?

$$\begin{aligned} \text{解答 蒸汽之乾度 } x &= \frac{h_{g2} + C_p(t_s - t_2) - h_{f1}}{L_1} \\ &= \frac{1,150.2 + 0.48(230 - 212) - 908.8}{880.4} \\ &= \frac{850.04}{880.4} = 96.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每磅煤之發熱量} &= 14,600 \times \frac{85}{100} + 62,000 \left( \frac{5}{100} - \frac{4}{800} \right) \\ &= 12,410 + 2,790 = 15,200 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每小時鍋爐吸收之熱量} &= 1,500 \times 15,200 \times \frac{70}{100} \\ &= 15,960,000 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\text{鍋爐實際發出之馬力數} = \frac{15,960,000}{33,470} = 477.$$

23. 一汽輪發出 1000 仟瓦, 而蒸汽之消耗量爲每仟瓦小時 20 磅. 所用蒸汽之絕對壓力爲每方吋 20 磅, 並有 20 度之過熱度. 給水溫度,  $180^{\circ}\text{F}$ ., 鍋, 爐及爐篦之效率,  $70\%$ . 每磅煤之發熱量, 13,000 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?

$$\begin{aligned} \text{解答 (a) 每小時鍋爐發出之熱量} \\ &= 1,000 \times 20(1,197.8 + 0.64 \times 20 - 18) + 32) \\ &= 20,000 \times 1,062.6 = 21,252,000 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

故所需之鍋爐馬力數

$$= \frac{21,252,000}{33,470} = 635$$

(b) 每磅煤之有效熱量

$$= 13,000 \times \frac{70}{100} = 9,100 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每小時所需之煤量} = \frac{21,252,000}{9,100} = 2,335 \text{ 磅.}$$

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、爐及爐篋之效率為 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？

解答 蒸汽之絕對壓力 = 250 + 0.491 × 29.53 = 264.5 磅，每方吋。

每小時所需之蒸汽量 = 30,000 × 12 = 360,000 磅。

每小時鍋爐必須供給之熱量

$$= 360,000(1201.2 + 0.58 \times 250 - 180 + 32)$$

$$= 360,000 \times 1,198.2 = 431,500,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$(a) \text{ 須用鍋爐之馬力數} = \frac{431,500,000}{33,470} = 12,900$$

$$(b) \text{ 額定鍋爐馬力} = \frac{12,900}{2.5} = 5,160$$

(c) 每磅煤之有效熱量

$$= 13,250 \times \frac{68.4}{100} = 9,070 \text{ 英熱單位.}$$

每小時所需之煤量

$$= \frac{431,500,000}{9,070} = 47,600 \text{ 磅} = 23.8 \text{ 噸}$$

全年之燃料費用

$$= 23.8 \times 8 \times 24 \times 365 = 1,668,000 \text{ 元.}$$

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。蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅；給水溫度，150°F。問鍋、爐及爐篦之效率。

解答 每磅煤之有效熱量

$$= 7.5(1,189 - 150 + 32) = 7.5 \times 1071$$

$$= 8,026.5 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{鍋爐及爐篦之效率} = \frac{8,026.5}{13,000} = 62\%$$

26. 某鍋爐所用之煤，其原素分析為：C, 80%；O, 4%；H, 3%。所用之空氣量為理論上應用之空氣量之兩倍。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，煙道氣之溫度為 500°F，由煙道損失之熱量之百分數為何？(c) 鍋爐所發之馬力數為何？



解答 每磅煤之發熱量

$$= 14,600 \times \frac{80}{100} + 6,200 \left( \frac{3}{100} - \frac{4}{800} \right)$$

$$= 11,680 + 1,550 = 13,230 \text{ 英熱單位.}$$

蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 1,195 - 200 + 32 = 1,027 \text{ 英熱單位.}$$

(a) 鍋, 爐及爐篦之效率

$$= \frac{12,000 \times 1,027}{13,000 \times 1,500} = 63.2\%$$

(b) 燃燒 1 磅煤, 理論上所需之空氣量

$$= 11.52 \times \frac{80}{100} + 34.56 \left( \frac{3}{100} - \frac{4}{800} \right)$$

$$= 9.225 + 0.864 = 10.089 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅煤, 實際所需之空氣量

$$= 2 \times 10.089 = 20.178 \text{ 磅}$$

燃燒 1 磅煤, 損失於烟道氣之熱量

$$= 0.241(20.178 + 1)(500 - 70)$$

$$= 0.241 \times 21.178 \times 430 = 2195 \text{ 英熱單位.}$$

損失之熱之百分數 =  $\frac{2195}{13,230} = 16.6\%$

(c) 鍋爐所發之馬力數

$$= \frac{12,000 \times 1,027}{33,470} = 368$$

27. 在某鍋爐，每磅乾煤能蒸發 11 磅在  $212^{\circ}\text{F}$ . 之水爲同溫度之蒸汽。每磅乾煤之蒸發量爲 14,000 英熱單位。(a) 問鍋，爐及爐篦之效率爲何？(b) 按此同一之效率，倘所蒸發之蒸汽，其表壓力爲每方吋 200 磅，給水溫度爲  $200^{\circ}\text{F}$ ., 問每磅乾煤之蒸發量爲何？

解答 (a) 每磅煤之有效熱量

$$= 11 \times 970.2 = 10,672.2 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{鍋, 爐及爐篦之效率} = \frac{10,672.2}{14,000} = 76.2\%$$

(b) 按題給之情形，蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 1,198.7 - 200 + 32 = 1,030.7 \text{ 英熱單位,}$$

$$\text{每磅乾煤之蒸發量} = \frac{10,672.2}{1,030.7} = 10.35 \text{ 磅}$$

28. 在某鍋爐，每磅乾煤能蒸發 9 磅水。每磅乾煤之發熱量爲 13,000 英熱單位。蒸汽之表壓力每方吋 100 磅；給水溫度  $100^{\circ}\text{F}$ .(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  $200^{\circ}\text{F}$ ., 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？

解答 (a) 每磅乾煤之有效熱量

$$= 9(1189 - 100 + 32) = 9 \times 1,121 = 10,089 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全鍋爐廠之效率} = \frac{10,089}{13,000} = 77.6\%$$

(b) 安裝給水預熱器後，全廠之效率

$$= \frac{77.6}{100} \times \frac{1,121}{1,121 - 100} = 85.2\%$$

(c) 安裝給水預熱器後，每磅乾煤之蒸發量

$$= \frac{10,089}{1,121 - 100} = \frac{10,089}{1,021} = 9.88 \text{ 磅}$$

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。

解答 (a) 每磅乾煤之發熱量

$$= \frac{13,000}{1 - 0.02} = \frac{13,000}{0.98} = 13,260 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒每磅乾煤，可利用之熱量

$$= 9(330.44 + \frac{97}{100} \times 863.1 - 260 + 32)$$

$$= 9(330.44 + 837 - 228)$$

$$= 9 \times 939.44 = 8,454.96 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋，爐及爐篦之效率

$$= \frac{8,454.96}{13,260} = 63.75\%$$

(b) 每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{13,000}{1 - (0.02 + 0.05)} = \frac{13,000}{0.93} = 13,980 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅純燃質所能蒸發之水量

$$= \frac{9(1 - 0.02)}{1 - (0.02 + 0.1)} = \frac{8.82}{0.88} = 10.02 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅純燃質，可利用之熱量

$$= 10.02 \times 939.44 = 941.5 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋及爐之效率

$$= \frac{941.5}{13,980} = 67.3\%$$

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 186°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？

解答 (a) 燃燒 1 磅乾煤，能蒸發之水量

$$= \frac{8}{1 - 0.05} = \frac{8}{0.95} = 8.42 \text{ 磅.}$$

在 212°F. 之相當蒸發量

$$= \frac{8.42(1,195 - 0.02 \times 856.37 - 180 + 32)}{970.2}$$

$$= \frac{8.42 \times 1,030}{970.2} = \frac{8,672.6}{970.2} = 8.94 \text{ 磅.}$$

(b) 每磅乾煤之蒸發量 = 13,500 英熱單位.

燃燒 1 磅乾煤, 可利用之熱量

$$= 8.42 \times 1030 = 8,672.6 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋, 爐及爐篋之效率 =  $\frac{8,672.6}{13,500} = 64.24 \%$ .

(c) 每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{13,500}{1 - 0.03} = \frac{13,500}{0.97} = 13,920 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅純燃質, 能蒸發之水量

$$= \frac{8}{1 - (0.05 + 0.1)} = \frac{8}{0.85} = 9.41 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅純燃質, 可利用之熱量

$$= 9.41 \times 1,030 = 9,692.3 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋及爐之效率 =  $\frac{9,692.3}{13,920} = 69.63\%$ .

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. 由灰坑中取出之殘餘與灰分為 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, 爐及爐篋之效率. (c) 鍋及爐之效率. (d) 爐篋之效率.

解答 (a) 每小時鍋爐發出之熱量

$$= 20,000(1,189.1 - 180 + 32)$$

$$= 20,000 \times 1,041.1 = 20,822,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{鍋爐所發之馬力數} = \frac{20,822,000}{33,470} = 622.5$$

(b) 鍋, 爐及爐篦之效率

$$= \frac{9 \times 1,041.1}{13,000} = 72.1\%.$$

(c) 每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{13,000}{1-0.04} = \frac{13,000}{0.96} = 13,540 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅純燃質能蒸發之水量

$$= \frac{9}{1-0.1} = \frac{9}{0.9} = 10 \text{ 磅.}$$

燃燒 1 磅純燃質可利用之熱量

$$= 10 \times 1,041.1 = 10,411 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋及爐之效率

$$= \frac{10,411}{13,540} = 77\%.$$

(d) 燃燒 1 磅煤, 已燃之純燃質 =  $1 - 0.1 = 0.9$  磅.

1 磅煤所含之純燃質 =  $1 - 0.04 = 0.96$  磅.

$$\text{故得爐篦之效率} = \frac{0.9}{0.96} = 93.7\%$$

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與殘

餘, 310 磅. 乾煤分析, 含灰分 5%. 試求: (a) 鍋爐及爐篦之效率.  
(b) 鍋及爐之效率. (c) 每小時上入鍋爐之水量.

解答 由灰坑中取出之灰分與殘餘之百分數

$$= \frac{310}{2,064} = 15\%$$

(a) 每小時鍋爐發出之熱量

$$= 600 \times 33,470 = 20,082,000 \text{ 英熱單位.}$$

每小時燃燒之煤所發之熱量

$$= 2,064 \times 13,000 = 26,832,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得鍋, 爐及爐篦之效率} = \frac{20,082,000}{26,832,000} = 74.8\%.$$

(b) 每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{13,000}{1-0.05} = \frac{13,000}{0.95} = 13,700 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅純燃質可利用之熱量

$$= \frac{20,082,000}{2,064(1-0.15)} = 11,440 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得鍋及爐之效率} = \frac{11,440}{13,700} = 83.6\%$$

(c) 蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 330.44 + 0.97 \times 863.1 - 200 + 32$$

$$= 999.64 \text{ 英熱單位.}$$

每小時上入鍋爐之水量

$$= \frac{20,082,000}{999.64} = 20,082 \text{ 磅.}$$

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；蒸發平均表壓力，147.7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) 爐篋之效率。

解答 (a) 蒸汽之絕對壓力 =  $145.7 + 0.491 \times 29.19 = 160$  磅，  
每方吋。

蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 1,194.5 + 0.57(463.6 - 363.6) - 110 + 32$$

$$= 1,194.5 + 57 - 78 = 1,173.5 \text{ 英熱單位。}$$

每小時鍋爐發出之熱量

$$= \frac{582,300}{24} \times 1,173.5 = 28,500,000 \text{ 英熱單位。}$$

$$\text{故得鍋爐馬力數} = \frac{28,500,000}{33,470} = 852$$

$$(b) \text{ 額定馬力數} = \frac{4,000}{10} = 400$$

(c) 實發之馬力數為額定馬力數之

$$\frac{852}{400} = 213\%$$



(d) 每磅乾煤之相當蒸發量

$$= \frac{582,300 \times 1,173.5}{70,520 \times 970.2} = 10 \text{ 磅.}$$

(e) 原煤之水分 =  $\frac{73,810 - 70,520}{73,810} = \frac{3,290}{73,810} = 4.5\%$

灰分及殘餘之百分數 =  $\frac{11,360}{73,810} = 15.4\%$

每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{12,860}{1 - 0.113 - 0.045} = \frac{12,860}{0.842} = 15,280 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅純燃質可利用之熱量

$$= \frac{582,300 \times 1,173.5}{73,810(1 - 0.154 - .045)} = 11,600 \text{ 英熱單位.}$$

故得鍋及爐之效率 =  $\frac{11,600}{15,280} = 75.5\%$ .

(f) 在 24 小時內, 已燃燒之純燃質

$$= 70,520 - 11,360 = 59,160 \text{ 磅.}$$

在 24 小時內, 加入爐篋純燃質

$$= 70,520 - 0.113 \times 73,800$$

$$= 70,520 - 8,339.4 = 62,180.6 \text{ 磅.}$$

故得爐篋之效率 =  $\frac{59,160}{62,180.6} = 95.1\%$ .

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

認爲係鍋爐之一部)之蒸汽之溫度  $465^{\circ}\text{F}$ ; 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%; 定灰, 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, 爐及爐篦之效率. (d) 鍋及爐之效率. (e) 所需之受熱面積. (f) 所需之爐篦面積.

解答 蒸汽之平均絕對壓力

$$= 197.7 + 29.19 \times 0.791 = 212 \text{ 磅, 每方吋.}$$

蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 1247 - 171.2 + 32 = 1,107.8 \text{ 英熱單位.}$$

$$(a) \text{ 鍋爐所發之馬力數} = \frac{1,165,200 \times 1,107.8}{24 \times 33,470} = 1,610$$

(b) 每磅乾煤之相當蒸發量

$$= \frac{1,165,200 \times 1,107.8}{140,600 \times 9,000} = 9.46 \text{ 磅}$$

(c) 鍋, 爐及爐篦之效率

$$= \frac{1,165,200 \times 1,107.8}{148,150 \times 12,170} = 71.5\%$$

(d) 每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{12,170}{1 - 0.0507 - 0.1229} = \frac{12,170}{0.8264} = 14,730 \text{ 英熱單位.}$$

灰分及殘餘占乾度之百分數

$$= \frac{24,480}{140,600} = 17.4\%$$

燃燒 1 磅純燃質，可利用之熱量

$$= \frac{1,165,200}{140,600(1-0.174)} \times 1,107.8$$

$$= 9.9 \times 1,107.8 = 10,967.2 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{鍋及爐之效率} = \frac{10,967.2}{14,730} = 74.45\%$$

(e) 假設鍋爐所發之馬力數 = 額定馬力數，

則 所需之受熱面積 =  $1,610 \times 10 = 16,100$  方呎。

(f) 假設爐篦面積對於受熱面積之比為 1 : 60，

$$\text{則 所需之爐篦面積} = \frac{16,100}{60} = 270 \text{ 方呎}$$

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；爐篦面積 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；每小時由灰坑中取出之灰分與殘餘，583 磅；按分析之結果，乾煤中之灰分 8%；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) 每磅乾煤之相當蒸發量。(d) 鍋，爐，爐篦及過熱器之總效率。(e) 以所燒之純燃質為標準，鍋，爐及過熱器之總效率。

$$\text{解答 (a) 額定馬力數} = \frac{6,132}{10} = 613.2.$$

$$\begin{aligned} (b) \text{ 蒸汽之絕對壓力} &= 137.3 + 0.491 \times 29.92 \\ &= 152 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

蒸發 1 磅水所需之熱量

$$\begin{aligned} &= 1,193.7 + 0.58(457 - 359.47) - 184 + 32 \\ &= 1,250.25 - 152 = 1,098.25 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

鍋爐與過熱器所發生之馬力數

$$= \frac{38,880 \times 1,098.25}{33,470} = \frac{42,700,000}{33,470} = 1,276.$$

(c) 每磅乾煤之相當蒸發量

$$= \frac{42,700,000}{4,860 \times 970.2} = 9.06 \text{ 磅.}$$

(d) 鍋, 爐, 爐篋及過熱器之總效率

$$= \frac{42,700,000}{4,860 \times 13,220} = 66.5\%.$$

(e) 每磅純燃質之發熱量

$$= \frac{13,220}{1 - 0.08} = 14,370 \text{ 英熱單位.}$$

燃燒 1 磅純燃質所蒸發之水量

$$= \frac{38,880}{4,860 - 583} = \frac{38,880}{4,277} = 9.1 \text{ 磅.}$$

鍋, 爐及過熱器之總效率

$$= \frac{9.1 \times 1,098.25}{14,370} = \frac{9,994}{14,370} = 69.5\%.$$

36. 一氣輪按 30,000 仟瓦之載荷工作，每仟瓦每小時需蒸汽 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？

解答 (a) 蒸發 1 磅水所需之熱量

$$= 1,267.9 - 184 + 32 = 1,115.9 \text{ 英熱單位.}$$

每磅煤之有效熱

$$= 13,500 \times \frac{78}{100} = 10,530 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得每仟瓦小時需煤 } \frac{15 \times 1,115.9}{10,530} = 1.59 \text{ 磅.}$$

(b) 總共所需之鍋爐馬力數

$$= \frac{30,000 \times 15 \times 1,115.9}{33,470} = 14,850$$

$$\text{每個鍋爐之額定馬力數} = \frac{20,000}{10} = 2,000$$

每個鍋爐所發出之鍋爐馬力數

$$= 2,000 \times 1.5 = 3,000$$

$$\text{共須鍋爐之數} = \frac{14,850}{3,000} = 5$$

(c) 一仟瓦小時 = 3,412 英熱單位。

$$\text{全廠之總效率} = \frac{3,412}{1.59 \times 13,500} = 15.9\%$$

37. 一鍋爐廠裝有兩個 500 額定馬力之拔柏葛鍋爐，平均附有過熱器。經實驗得到下列結果：蒸汽平均表壓力，每方吋 148.3 磅；氣壓表之平均讀數，29.93 吋水銀柱。給水溫度，132°F；離過熱器之蒸汽溫度，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、爐及爐篦之效率。(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？

解答 全廠之額定馬力數 =  $2 \times 500 = 1,000$

蒸汽之絕對壓力

$$= 148.3 + 0.491 \times 29.93 = 163 \text{ 磅, 每方吋.}$$

每小時鍋爐發出之熱量

$$= 66,610(1,253 - 132 + 32)$$

$$= 66,610 \times 1,153 = 76,850,000 \text{ 英熱單位.}$$

每小時原煤供給之熱量

$$= 9,000 \times 13,000 = 117,000,000 \text{ 英熱單位.}$$

(a) 全廠所發之鍋爐馬力數

$$= \frac{76,850,000}{33,470} = 2,395$$

(b) 實發之馬力數為額定馬力數之

$$\frac{2,395}{1,000} = 239.5\%$$

(c) 鍋、爐及爐篦之效率

$$= \frac{76,850,000}{117,000,000} = 65.7\%$$

(d) 裝置給水預熱器後，蒸發 1 磅水少用之熱量

$$= 220 - 132 = 88 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年所省之熱量} = 66,610 \times 88 \times 10 \times 300$$

$$= 17,600,000,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年所省之煤量} = \frac{17,600,000,000}{13,000 \times 0.657} = 2,060,000 \text{ 磅}$$

$$= 1,030 \text{ 噸.}$$

$$\text{全年所省之煤價} = 1,030 \times 10 = 10,300 \text{ 元.}$$

$$(e) \text{ 利息及折舊} = 1,000 \times \frac{12}{100} = 120 \text{ 元,}$$

$$\text{全年所得之純益} = 10,300 - 120 = 10,180 \text{ 元.}$$

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、爐及爐篦之效率，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？

解答 (a) 添裝省煤器後，蒸發 1 磅水少用之熱量

$$= 300 - 200 = 100 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年所省之煤量} = 1,000 \times 14 \times 24 \times 365 \times 100$$

$$= 12,264,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年所省之煤量} = \frac{12,264,000,000}{13,500 \times \frac{70}{100} \times 2,000}$$

$$= 649 \text{ 噸.}$$

$$\text{全年所省之煤價} = 649 \times 7 = 4,543 \text{ 元.}$$

故添裝省煤器較為有益。

$$(b) \text{ 折舊, 修理及利息} = 10,000 \times \frac{16}{100} = 1,600 \text{ 元.}$$

$$\text{每年之純益} = 4,543 - 1,600 = 2,943 \text{ 元.}$$

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 330 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



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？

解答 蒸汽之絕對壓力 = 164.7 磅，每方呎。

未添裝給水預熱器及省煤器之前，蒸發 1 磅水所需之  
 熱量 =  $1,195 - 120 + 32 = 1,107$  英熱單位。

每馬力小時所需之蒸汽量 =  $\frac{33,470}{1,107} = 30.2$  磅。

每磅煤能蒸發之水量 =  $\frac{30.2}{4} = 7.55$  磅。

鍋爐之效率 =  $\frac{7.55 \times 1,107}{13,000} = 64.4\%$

(a) 添裝給水預熱器後，蒸發 1 磅水少用之熱量  
 =  $195 - 120 = 75$  英熱單位。

全年所省之熱量 =  $500 \times 30.2 \times 75 \times 10 \times 300$   
 = 339,750,000 英熱單位。

全年所省之煤量 =  $\frac{339,750,000}{13,000 \times 0.644 \times 2,000} = 203$  噸。

全年所省之煤價 =  $203 \times 10 = 2,030$  元。

每年折舊，修理，利息及保險費

=  $1,300 \times \frac{7+5+3}{100} = 13,000 \times \frac{15}{100} = 195$  元。

全年實省  $2,030 - 195 = 1,835$  元。

(b) 所省之數為購價之  $\frac{1,835}{1,300} = 141\%$ 。

(c) 添裝省煤器後，蒸發 1 磅水最少用之熱量

$$= 300 - 195 = 105 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年多省之熱量} = 500 \times 30.2 \times 105 \times 10 \times 300$$

$$= 475,650,000 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年多省之煤量} = \frac{475,650,000}{13,000 \times 0.644 \times 2,000} = 284 \text{ 噸.}$$

$$\text{全年多省之煤價} = 284 \times 10 = 2,840 \text{ 元.}$$

每年折舊，修理，利息及保險費

$$= 10,000 \times \frac{15}{100} = 1,500 \text{ 元.}$$

$$\text{故全年多省之數} = 2,840 - 1,500 = 1,340 \text{ 元.}$$

(d) 添裝給水預熱器及省煤器後，每磅煤能蒸發之水量

$$= \frac{7.55 \times 1,107}{1,195 - 300 + 32} = \frac{7.55 \times 1,107}{927} = 9 \text{ 磅}$$

$$\text{全廠之效率} = \frac{9 \times 1,107}{13,000} = 76.64\%.$$

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。原煤之原素分析：C, 65%；H, 3%；N, 1%；O, 7%。水分，13%；灰分，11%；每

磅之發熱量, 10,900 英熱單位. 烟道氣分析:  $\text{CO}_2$ , 14%;  $\text{CO}$ , 0.8%;  
 $\text{O}$ , 5.5%;  $\text{N}$ , 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爲 0.01233 磅.

解答 第一項, 鍋爐吸收之熱量:

每磅乾煤之發熱量

$$= \frac{10,900}{1-0.13} = \frac{10,900}{0.87} = 12,520 \text{ 英熱單位.}$$

每小時燃燒之乾煤量 =  $4,300(1-0.13) = 3,740$  磅.

蒸發 1 磅水所需之熱量 =  $1,197.75 - 144 + 32$

$$= 1,085.75 \text{ 英熱單位.}$$

每磅乾煤能蒸發之水量 =  $\frac{29,200}{3,740} = 7.81$  磅.

因得鍋爐吸收之熱量

$$= \frac{7.81 \times 1,085.75}{12,520} = \frac{8,480}{12,520} = 67.73\%.$$

第二項, 因煤中水分之損失: •

每磅乾煤相當之水分之百分數

$$= \frac{4,300 \times 0.13}{3,740} = \frac{4,300 \times 0.13}{4,300(1-0.13)} = \frac{0.13}{0.87} = 14.94\%.$$

故得因煤中水分之損失

$$= \frac{14.94}{100} \times (1,090.8 + 0.455 t_g - t_c) \div 12,520$$

$$= \frac{14.94}{100} \times (1,090.8 + 0.455 \times 510 - 62) \div 12,520$$

$$= \frac{0.1494 \times 1,260.8}{12,520} = \frac{188.5}{12,520} = 1.51\%$$

上項算式，係假定水之烟道氣中之沸點溫度為 95°F，  
 因得  $h_g + c_p(t_{sup} - t_{sit}) - (t_c - 32) = 1,102 + 0.455(t_g - 95)$   
 $-(t_c - 32) = 1,102 + 0.455t_g - 43.2 - t_c + 32 = 1,090.8 +$   
 $0.455t_g - t_c.$

第三項，因燃燒氫所生水分之損失：

$$\text{每磅乾煤含氫之百分數} = \frac{0.03}{1 - 0.03} = 3.06\%.$$

因得因燃燒氫所生之水分之損失

$$= \frac{3.06}{100} \times 9 \times (1,090.8 + 0.455t_g - t_c) \div 12,520$$

$$= 0.0306 \times 9 \times (1,090.8 + 0.455 \times 510 - 62) \div 12,520$$

$$= 0.0306 \times 9 \times 1,260.8 \div 12,520$$

$$= \frac{347}{12,520} = 2.77\%.$$

第四項，因空氣所含水分之損失：

燃燒每磅炭質所生之乾烟氣

$$= \frac{11\text{CO}_2 + 8\text{O}_2 + 7(\text{CO} + \text{N}_2)}{3(\text{CO}_2 + \text{CO})}$$

$$= \frac{11 \times 14 + 8 \times 5.5 + 7(0.8 + 79.7)}{3(14 + 0.8)}$$

$$= \frac{761.5}{44.4} = 17.15 \text{ 磅}.$$

燃燒每磅原煤所燃燒之炭量

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{按元素分析煤中炭質之百分數}}{100} \\
 &\quad - \frac{\text{殘餘之百分數} \times \text{殘餘中碳之百分數}}{10000} \\
 &= \frac{65}{100} - \frac{\frac{840}{4,300} \times 100 \times 43.7}{10,000} = \frac{65}{100} - \frac{8.54}{100} = 0.5646 \text{ 磅.}
 \end{aligned}$$

燃燒每磅乾煤所燃燒之碳量

$$= \frac{0.5646}{1 - 0.13} = 0.649 \text{ 磅.}$$

燃燒每磅乾煤所生之乾烟氣

$$= 0.649 \times 17.15 = 11.12 \text{ 磅.}$$

燃燒每磅乾煤所供給之空氣量

$$\begin{aligned}
 &= 11.12 + \frac{9 \times \text{氫之百分數}}{100} - \frac{100 - \text{殘餘之百分數}}{100} \\
 &= 11.12 + \frac{9 \times 3.06}{100} - \frac{100 - \frac{840}{3,740} \times 100}{100} \\
 &= 11.12 + 0.2754 - \frac{100 - 22.47}{100} \\
 &= 11.12 + 0.2754 - 0.7753 = 10.62 \text{ 磅.}
 \end{aligned}$$

每磅乾空氣中水分之重量 = 0.01233 磅.

故得因空氣所含水分之損失

$$\begin{aligned}
 &= 10.62 \times 0.01233 \times 0.47(t_g - t_1) \div 12,520 \\
 &= 10.62 \times 0.01233 \times 0.47(510 - 62) \div 12,520
 \end{aligned}$$

$$= \frac{10.62 \times 0.01233 \times 0.47 \times 448}{12,520}$$

$$= \frac{27.6}{12,520} = 0.22\%$$

第五項，由煙道氣帶去之熱之損失：

$$= 10.62 \times 0.24(t_0 - t_1) \div 12,520$$

$$= \frac{10.62 \times 0.24 \times (510 - 62)}{12,520}$$

$$= \frac{1,141}{12,520} = 9.12\%$$

第六項，因碳燃燒不完全之損失：

熱燒每磅乾煤，未完全燃燒之碳量

$$= \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}} \times \text{燃燒每磅乾煤所燃燒之碳量}$$

$$= \frac{0.8}{14 + 0.8} \times 0.649 = 0.0351 \text{ 磅}$$

故得因碳燃燒不完全之損失

$$= 0.0351 \times 10,170 \div 12,520$$

$$= \frac{357}{12,520} = 2.85\%$$

第七項，因殘餘中未經燃燒之純燃質之損失：

$$\text{殘餘對於乾煤之百分數} = \frac{840}{3,740} = 22.47\%$$

每磅乾煤中，灰分之百分數

$$= \frac{0.11}{1 - 0.13} = \frac{0.11}{0.87} = 12.64\%$$

燃燒 1 磅乾煤，殘餘中未經燃燒之純燃質

$$= 0.2247 - 0.1264 = 0.0983 \text{ 磅.}$$

故得因殘餘中未經燃燒之純燃質之損失

$$= 0.0983 \times 14,600 \div 12,520 = \frac{1,435}{12,520} = 11.46\%.$$

第八項，因未經燃燒之氫，碳氫化物，及輻射熱等之損失

$$\begin{aligned} &= 12,520 - (8,480 + 188.5 + 347 + 27.6 \\ &\quad + 1,141 + 357 + 1,435) \\ &= 12,520 - 11,976.1 = 543.9 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

或  $= 100 - (67.73 + 1.51 + 2.77 + 0.22 + 9.12$

$$+ 2.85 + 11.46)$$

$$= 100 - 95.66 = 4.34\%$$

茲將所得結果列表如下：

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	8,480	67.73
2. 因煤中水分之損失	188.5	1.51
3. 因燃燒煤中氫所生水分之損失	347	2.77
4. 因加熱於空氣中之水分之損失	27.6	0.22
5. 由煙道氣帶去之熱之損失	1,141	9.12
6. 因碳燒燃不完全之損失	357	2.85
7. 因殘餘中未經燃燒之純燃質之損失	1,435	11.46
8. 因未經燃燒之氫，碳氫化物及輻射熱等之損失	543.9	4.34

## 第八章 蒸汽機

## 習 題

1. 一發電廠供給一工廠用電。工廠計有 10 馬力之電動機五個，20 馬力之電動機二個，30 馬力之電動機四個。各電動機之效率，80%；電力輸送之效率，80%，發動機與發電機合併之效率，80%。問發動機之額定指示馬力數及發電機之額定仟瓦數各爲何？

解答 工廠內之電動機發出之總馬力數

$$= 5 \times 10 + 2 \times 20 + 4 \times 30 = 210$$

$$\text{發動機之額定指示馬力數} = \frac{210}{0.8 \times 0.8 \times 0.8} = 410$$

$$\text{發電機之額定仟瓦數} = 410 \times 0.8 \times 0.746 = 244.8$$

2. 一雙動式蒸汽機，所生之馬力數爲 200。假設活塞上每方吋之平均有效壓力爲 40 磅；每分鐘之迴轉數爲 75；一衝程之長度爲 42 吋。試求其汽缸之直徑。

解答 設  $D$  爲所求汽缸之直徑，按額定指示馬力數 =  $\frac{2PLAN}{33,000}$

$$\text{式，得 } 200 = \frac{2 \times 40 \times \frac{42}{12} \times 75 \times A}{33,000}$$

$$A = \frac{330,000}{14 \times 75} = 314 \text{ 方吋}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 314$$



$$D^2 = \frac{4 \times 314}{3.14} = 400$$

故  $D = 20$  吋

3. 一蒸汽機，汽缸之內直徑為 18 吋；一衝程之距離為 36 吋；每分鐘之迴轉數為 100。新蒸汽之表壓力，每方吋 100 磅；活塞背面之壓力為大氣壓力。蒸汽之停汽點，四分之一衝程。假設功圖因數為 85%，問此機理論上應發之馬力數？

解答 平均有效壓力

$$\begin{aligned} \text{mep.} &= e \left[ \frac{P_1(1 + \log_e r)}{r} - P_2 \right] \\ &= \frac{85}{100} \left[ \frac{114.7}{4} (1 + \log_e 4) - 14.7 \right] \\ &= \frac{85}{100} \left[ \frac{114.7 \times 2.385}{4} - 14.7 \right] \\ &= \frac{85}{100} [68.4 - 14.7] \\ &= \frac{85 \times 53.7}{100} = 45.6 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

$$\text{理論上應發之馬力數} = \frac{2PLAN}{33,000}$$

$$= \frac{2 \times 45.6 \times \frac{36}{12} \times \pi \times 9^2 \times 100}{33,000}$$

$$= 211$$

4. 一蒸汽機，汽缸之內直徑為 18 吋；一衝程之距離為 30 吋；雙動式；每分鐘之迴轉數，100；停汽點，四分之一衝程。新蒸汽之表壓力每方吋 150 磅；氣壓表之讀數，28.5 吋水銀柱；功圖因數 85%。此機係按不凝結工作，乏汽之表壓力為每方吋 1 磅。(a) 試求此機之額定指示馬力。(b) 如使新蒸汽之表壓力增至每方吋 200 磅，問能增加馬力數幾何？

解答 (a) 大氣壓力 =  $0.491 \times 28.5 = 14$  磅，每方吋。

新氣壓力 =  $150 + 14 = 164$  磅，每方吋。

乏氣壓力 =  $1 + 14 = 15$  磅，每方吋。

$$\begin{aligned} \text{平均有效壓力} &= \frac{85}{100} \left[ \frac{P_1(1 + \log_e 4)}{r} - P_2 \right] \\ &= \frac{85}{100} \left[ \frac{164 \times 2.385}{4} - 15 \right] \\ &= \frac{85}{100} [97.785 - 15] \\ &= \frac{85 \times 82.785}{100} = 70.4 \text{ 磅，每方吋。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{額定指示馬力} &= \frac{2PLAN}{33,000} \\ &= \frac{2 \times 70.4 \times \frac{30}{12} \times \pi \times 9^2 \times 100}{33,000} \\ &= 271 \end{aligned}$$

(b) 新氣壓力 =  $200 + 14 = 214$  磅，每方吋。

$$\text{平均有效壓力} = \frac{85}{100} \left[ \frac{214 \times 2.385}{4} - 15 \right]$$

$$= \frac{85}{100} [127.5 - 15]$$

$$= \frac{85 \times 112.5}{100} = 95.75 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{額定指示馬力} = \frac{2 \times 95.75 \times 2.5 \times \pi \times 81 \times 100}{33,000}$$

$$= 368$$

新蒸汽之表壓力由每方吋 150 磅增至每方吋 200 磅時，增加之額定馬力數

$$= 368 - 271 = 97$$

5. 一蒸汽機，汽缸之內直徑為 18 吋；一衝程之距離為 30 吋；停汽點，一衝程之四分之一；每分鐘之迴轉數，100；新蒸汽之表壓力，每方吋 80 磅；乏氣之壓力等於大氣壓力。倘停汽點增至一衝程二分之一，新蒸汽之表壓力增至每方吋 150 磅，問馬力數增加若干？功圖因數均假設為 80%。

$$\text{解答 (a) 平均有效壓力} = \frac{80}{100} \left[ \frac{80 + 14.7}{4} (1 + \log_e 4) - 14.7 \right]$$

$$= \frac{80}{100} \left[ \frac{94.7 \times 2.385}{4} - 14.7 \right]$$

$$= \frac{80}{100} [56.5 - 14.7]$$

$$= \frac{80 \times 41.8}{100} = 33.4 \text{ 磅, 每方吋.}$$

(b) 停汽點及新汽壓力增加後之

$$\begin{aligned}
 \text{平均有效壓力} &= \frac{80}{100} \left[ \frac{164.7}{2} (1 + \log_e 2) - 14.7 \right] \\
 &= \frac{80}{100} [82.35(1 + 0.6925) - 14.7] \\
 &= \frac{80}{100} [139.3 - 14.7] \\
 &= \frac{80 \times 124.6}{100} = 99.7 \text{ 磅, 每方吋.}
 \end{aligned}$$

增加之平均有效壓力

$$= 99.7 - 33.4 = 66.3 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{增加之馬力數} &= \frac{2 \times 66.3 \times \frac{30}{12} \times \pi \times 9^2 \times 100}{33,000} \\
 &= 255
 \end{aligned}$$

6. 一蒸汽機，汽缸之內直徑為 18 吋；一衝程之距離為 30 吋；每分鐘之迴轉數為 100 次；新汽之表壓力為每方吋 150 磅；乏汽之壓力與大氣壓力同，其後添裝一凝汽器，使乏汽之絕對壓力落至每方吋 2 磅。又在前後兩種情形之下，停汽點均在一衝程四分之一，功圖因數均假設為 80%。(a) 添凝汽器後，其額定指示馬力增加之量為何？(b) 倘一馬力小時之工率售價 4 分，全年工作 300 日，每日工作 10 小時，問全年多得之進款幾何？(c) 如凝汽器及一切附件共價 4,000 元，並減除 15% 之固定費 (fixed charges)，問所得純益之百分率？

解答 (a) 增加之平均有效壓力 =  $0.08(14.7 - 2)$

$$= 10.16 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\begin{aligned} \text{增加之馬力數} &= \frac{2 \times 10.16 \times \frac{30}{12} \times \pi \times 9^2 \times 100}{33,000} \\ &= 39.2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \text{ 全年多得之進款} &= 39.2 \times 10 \times 300 \times \frac{4}{100} \\ &= 4,704 \text{ 元.} \end{aligned}$$

(c) 固定費(包括利息, 折舊, 保險及捐稅等費)

$$= 4,000 \times \frac{15}{100} = 600 \text{ 元.}$$

所得純益之百分率

$$= \frac{4,704 - 600}{4,704} = \frac{4,104}{4,704} = 87.3\%.$$

7. 一蒸汽機, 指示馬力數為 600; 活塞之速率每分鐘 600 呎, 新汽之表壓力, 每方吋 100 磅; 乏汽之表壓力, 每方吋 1 磅. 停汽點, 一衝程之四分之一, 每分鐘之迴轉數 100 次. 功圖因數 85%. (a) 一衝程之長度及汽缸之內直徑各為何? (b) 如背面之絕對壓力為每方吋 2 磅, 問汽缸之內直徑應為幾何?

$$\begin{aligned} \text{解答 (a) 平均有效壓力} &= \frac{85}{100} \left[ \frac{114.7}{4} (1 + \log_e 4) - 15.7 \right] \\ &= \frac{85}{100} \left[ \frac{114.7 \times 2.385}{4} - 15.7 \right] \\ &= \frac{85}{100} [68.4 - 15.7] \end{aligned}$$

$$= \frac{85}{100} \times 52.7 = 44.8 \text{ 磅, 每方吋.}$$

活塞之平均速率 =  $2 \times 100 \times L = 600$  呎, 每分鐘.

$$\text{故一衝程之距離 } L = \frac{600}{200} = 3 \text{ 呎.}$$

設  $D$  為汽缸之內直徑, 則

$$600 \text{ 指示馬力} = \frac{2 \times 44.8 \times 3 \times \frac{\pi D^2}{4} \times 100}{33,000}$$

$$D^2 = \frac{600 \times 33,000 \times 4}{2 \times 44.8 \times 3 \times 100\pi} = \frac{33,000}{11.2\pi} = 937 \text{ 方吋.}$$

$$D = 30.6 \text{ 吋.}$$

$$(b) \text{ 平均有效壓力} = \frac{85}{100} [68.4 - 2]$$

$$= \frac{85 \times 66.4}{100} = 56.4 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{則, } D^2 = \frac{600 \times 33,000 \times 4}{2 \times 56.4 \times 3 \times 100\pi} = \frac{33,000}{14.1\pi} = 745 \text{ 方吋.}$$

$$D = 27.3 \text{ 吋.}$$

8. 某機車上之蒸汽機, 其汽缸之內直徑為 19 吋, 一衝程之距離為 24 吋, 原動輪之直徑為 7 呎. 活塞之平均背壓力為絕對壓力每方吋 19 磅. 新汽之表壓力為每方吋 150 磅; 停汽點為一衝程之八分之五; 機車之速率為每小時 40 英里; 功圖因數為 75%. 問此機理論上所發之指示馬力為何?

$$\text{解答 膨脹率 } r = \frac{1}{\frac{5}{8}} = \frac{8}{5}$$

$$\begin{aligned}
 \text{平均有效壓力} &= \frac{75}{100} \left[ \frac{164.7}{\frac{8}{5}} \left( 1 + \log_e \frac{8}{5} \right) - 19 \right] \\
 &= \frac{75}{100} \left[ \frac{5 \times 164.7}{8} (1 + 0.47) - 19 \right] \\
 &= \frac{75}{100} \left[ \frac{5 \times 164.7 \times 1.47}{8} - 19 \right] \\
 &= \frac{75}{100} (151.2 - 19) = \frac{75 \times 132.2}{100} \\
 &= 99.2 \text{ 磅, 每方吋.}
 \end{aligned}$$

$$\text{原動輪每分鐘之迴轉數} = \frac{40 \times 5280}{\pi \times 7 \times 60} = 160$$

故此機理論上所發之指示馬力數

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2PLAN}{33,000} = \frac{2 \times 99.2 \times \frac{24}{12} \times \frac{\pi \times (19)^2}{4} \times 160}{33,000} \\
 &= 545.
 \end{aligned}$$

9. 某蒸汽機之餘隙容積爲每衝程活塞所掃除之容積之 8%。倘停汽點爲一衝程之五分之一，問此機之膨脹率爲何？

$$\begin{aligned}
 \text{解答 膨脹率 } r &= \frac{1 + 0.08}{\frac{1}{5} + 0.08} = \frac{1.08}{0.28} \\
 &= 3.86.
 \end{aligned}$$

10. 某蒸汽機汽缸之內直徑爲 9 吋，一衝程之距離爲 16 吋。餘隙容積爲活塞所掃除之容積之 10%。每分鐘之迴轉數爲 220 次；停汽點在一衝程四分之一。新汽之表壓力爲每方吋 120 磅；背面之真空度

爲 22 吋水銀柱。氣壓表之讀數爲 28.5 吋水銀柱。功圖因數 80%。試求：(a) 膨脹率。(b) 額定指示馬力數。

$$\text{解答 (a) 膨脹率 } r = \frac{1 + \frac{1}{10}}{\frac{1}{4} + \frac{1}{10}} = \frac{1.1}{0.35} = 3.14$$

$$\begin{aligned} \text{(b) 平均有效壓力} &= \frac{80}{100} \left[ \frac{120 + 0.491 \times 28.5}{3.14} (1 + \log_e 3.14) \right. \\ &\quad \left. - 0.491(28.5 - 22) \right] \\ &= \frac{80}{100} \left[ \frac{134}{3.14} (1 + 1.145) - 3.2 \right] \\ &= \frac{80}{100} (91.5 - 3.2) = 70.6 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

$$\text{額定指示馬力數} = \frac{2 \times 70.6 \times \frac{16}{12} \times \frac{\pi \times 9^2}{4} \times 220}{33,000} = 80$$

11. 一雙動式不凝結蒸汽機，汽缸之內直徑，10 吋；一衝程之距離，12 吋。每分鐘之迴轉數，250 次；停汽點，四分之一衝程；新汽之表壓力，每方吋 80.3 磅。(a) 假設功圖因數爲 90%，問額定指示馬力幾何？(b) 假定初凝結占 20%，問每馬力每小時之蒸汽消耗量爲何？(c) 假設蒸汽之速率爲每分鐘 5,000 呎，問由鍋爐來蒸汽之管之大小爲何？

$$\begin{aligned} \text{解答 (a) 平均有效壓力} &= \frac{90}{100} \left[ \frac{80.3 + 14.7}{4} (1 + \log_e 4) - 14.7 \right] \\ &= \frac{90}{100} \left[ \frac{95 \times 2.385}{4} - 14.7 \right] \end{aligned}$$



$$= \frac{90}{100}[56.7 - 14.7] = 37.8 \text{ 磅, 每方呎.}$$

$$\text{額定指示馬力} = \frac{2 \times 37.8 \times \frac{12}{12} \times \pi \times 5^2 \times 250}{33,000} = 45.$$

(b) 活塞一衝程所掃除之容積

$$= \frac{\pi \times 5^2 \times 12}{1728} = 0.545 \text{ 立方呎.}$$

在停汽點時活塞所掃除之容積

$$= \frac{0.545}{5} = 0.13625 \text{ 立方呎.}$$

在絕對壓力每方呎 95 磅時，飽和蒸汽每磅之容積為  
4.647 立方呎.

倘無初凝結，則每馬力每小時之蒸汽消耗量

$$= \frac{0.13625 \times 2 \times 250 \times 60}{4.647 \times 45} = 19.6 \text{ 磅.}$$

此題因設有 20% 之初凝結，故每馬力每小時之實際  
蒸汽消耗量 =  $\frac{19.6}{0.80} = 24.5$  磅.

(c) 每分鐘經過入汽管之新蒸汽之容積

$$= \frac{0.13625 \times 2 \times 250}{0.80} = 85.1 \text{ 立方呎.}$$

$$\text{入汽管之橫斷面積} = \frac{85.1}{5,000} = 0.01702 \text{ 方呎.}$$

$$= 2.45 \text{ 方吋.}$$

故得入汽管之內直徑

$$d = \sqrt{\frac{2.45 \times 4}{\pi}} = \sqrt{3.12} = 1.765 \text{ 吋.}$$

12. 在一郎肯循環中，絕對壓力每方吋 100 磅乾度百分之 90 之蒸汽 1 磅膨脹至絕對壓力每方吋 2 磅而排於凝汽器，求此環循之效率。

解答 納入蒸汽之熵為

$$\begin{aligned} S_{g1} &= S_{f1} + x_1 \frac{L_1}{T_1} \\ &= 0.4742 + 0.90 \times 1.1280 \\ &= 0.4742 + 1.0152 = 1.4894. \end{aligned}$$

排除蒸汽之熵必與納入蒸汽之熵相同，排除蒸汽之蒸發熵必為  $S_{g2} - S_{f2} = 1.4894 - 0.1750 = 1.3144$ 。

又因在絕對壓力每方吋 2 磅之乾飽和蒸汽，其全部之蒸發熵為 1.7442，故排除蒸汽之乾度為

$$x_2 = \frac{1.3144}{1.7442} = 75.4\%.$$

納入之蒸汽每磅之含熱量

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{f1} + x_1 L_1 = 298.33 + 0.90 \times 888.2 \\ &= 1,097.33 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

排出之蒸汽每磅之含熱量

$$\begin{aligned} h_2 &= h_{f2} + x_2 L_2 = 93.97 + 0.754 \times 1021.6 \\ &= 864 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

因得此循環之效率

$$\begin{aligned} e_t &= \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}} = \frac{1,097.33 - 864}{1,097.33 - 93.97} = \frac{233.33}{1,003.36} \\ &= 23.3\% . \end{aligned}$$

13. 在一郎肯循環中，絕對壓力每方吋 200 磅，過熱度 200°F. 之蒸汽膨脹至絕對壓力每方吋 1 磅而排於凝汽器，求此循環之效率。

解答 過熱蒸汽之熵為

$$\begin{aligned} S_1 &= S_{g1} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p dT}{T} \\ &= 1.5450 + c_p \left[ \log_e \frac{T_2}{T_1} \right] \\ &= 1.5450 + 0.57 \left[ \log_e \frac{381.82 + 200 + 460}{381.82 + 460} \right] \\ &= 1.5450 + 0.57 \times \log_e \frac{1041.82}{841.82} \\ &= 1.5450 + 0.57 \times 2.3 \times 0.093 \\ &= 1.5450 + 0.1220 = 1.6670 \end{aligned}$$

排除蒸汽之熵必與納入蒸汽之熵相同，排除蒸汽之蒸發熵必為  $S_{g2} - S_{f2} = 1.667 - 0.1326 = 1.5344$ 。

又因在絕對壓力每方吋 1 磅之乾飽和蒸汽，其全部之蒸發熵為 1.8442，故排除蒸汽之乾度為

$$x_2 = \frac{1.5344}{1.8442} = 83.4\% .$$

納入之蒸汽每磅之含熱量

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{g1} + c_p(t_{sup} - t_{sat}) \\ &= 1,197.8 + 0.57 \times 200 = 1,197.8 + 114 \\ &= 1,311.8 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

排去之蒸汽每磅之含熱量

$$\begin{aligned} h_2 &= h_{f2} + x_2 L_2 = 69.69 + 0.834 \times 1,035.3 \\ &= 932.7 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

故得此循環之效率

$$e_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}} = \frac{1,311.8 - 932.7}{1,311.8 - 69.69} = \frac{379.1}{1,242.1} = 30.5\%.$$

14. 兩磅蒸汽，其絕對壓力為每方吋125磅，容積為8.34立方呎。經過朗肯循環按絕對壓力每方吋25磅之壓力排出。求此循環之效率。

解答 由過熱蒸汽表查得，當絕對壓力為每方吋125磅，每磅之

容積為 $\frac{8.34}{2}$ 或4.17立方呎時：

蒸汽之溫度 = 448.5°F；

每磅蒸汽之含熱量  $h_1 = 1,249$  英熱單位。

每磅蒸汽之總熵  $S_{g1} = 1.6524$ 。

每磅乏汽之總熵  $S_{g2} = S_{g1}$

$$\begin{aligned} \text{乏汽之乾度 } x_2 &= \frac{S_{g2} - S_{f2}}{S_{fg2}} = \frac{1.6524 - 0.3533}{1.3604} \\ &= \frac{1.2991}{1.3604} = 95.5\% . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{每磅乏汽之含熱量 } h_2 &= h_{f2} + x_2 L_2 \\ &= 208.33 + 0.955 \times 951.9 \\ &= 1,115.4 \text{ 英熱單位.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{故得此循環之效率} &= \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}} \\ &= \frac{1,249 - 1,115.4}{1,249 - 208.33} = 12.8\%.\end{aligned}$$

## 第九章 蒸汽機之試驗

## 習 題

1. 一蒸汽機，其汽缸前端功圖之面積爲 2.1 方吋，長度爲 3 吋；後端功圖之面積爲 2.2 方吋，長度亦爲 3 吋。所用之彈簧係 100 磅者。汽缸之內直徑爲 18 吋；一衝程之距離爲 24 吋；每分鐘之迴轉數爲 150 次；活塞桿之直徑爲 3 吋。問此機之指示馬力爲何？

解答

$$\text{平均有效壓力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{2.1}{3} \times 100 = 70 \text{ 磅, 每方吋.} \\ \text{後端} = \frac{2.2}{3} \times 100 = 73.3 \text{ 磅, 每方吋.} \end{cases}$$

$$\text{面 積} \begin{cases} \text{前端} = \pi \times 9 \times 9 = 254.47 \text{ 方吋.} \\ \text{後端} = 254.47 - \pi \times 1.5 \times 1.5 = 247.4 \text{ 方吋.} \end{cases}$$

$$\text{每端之指示馬力} = \frac{Plan}{33,000}$$

$$\text{故指示馬力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{70 \times \frac{24}{12} \times 254.47 \times 150}{33,000} = 162. \\ \text{後端} = \frac{73.3 \times \frac{24}{12} \times 247.4 \times 150}{33,000} = 164.9. \end{cases}$$

答此機之指示馬力 = 162 + 164.9 = 326.9.

2. 一蒸汽機，其汽缸前端功圖之面積爲 2.4 方吋，長度爲 3 吋；後端功圖之面積爲 2.1 方吋，長度亦爲 3 吋。所用之彈簧係 60 磅者。汽缸之內直徑爲 18 吋；一衝程之距離爲 24 吋；每分鐘之迴轉數爲 100 次；活塞桿之直徑爲 3 吋。問此機之指示馬力數爲何？

解答

$$\text{平均有效壓力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{2.4}{3} \times 60 = 48 \text{ 磅, 每方吋.} \\ \text{後端} = \frac{2.1}{3} \times 60 = 42 \text{ 磅, 每方吋.} \end{cases}$$

$$\text{面積} \begin{cases} \text{前端} = \pi \times 9 \times 9 = 254.47 \text{ 方吋.} \\ \text{後端} = 254.47 - \pi \times 1.5 \times 1.5 = 247.4 \text{ 方吋.} \end{cases}$$

$$\text{每端之指示馬力} = \frac{Plan}{33,000}$$

$$\text{故指示馬力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{48 \times \frac{24}{12} \times 254.47 \times 100}{33,000} = 74.1. \\ \text{後端} = \frac{42 \times \frac{24}{12} \times 247.4 \times 100}{33,000} = 63. \end{cases}$$

$$\text{答此機之指示馬力數} = 74.1 + 63 = 137.1.$$

3. 某蒸汽機汽缸之內直徑爲 12 吋；一衝程之距離爲 15 吋；每分鐘之迴轉數爲 240 次。前端功圖之面積爲 1.341 方吋；後端功圖之面積爲 1.49 方吋；其長度均爲 2.98 吋。所用之彈簧係 50 磅者，活塞桿之直徑爲 2 吋。機上復裝置一波郎尼制動機，其桿臂之長爲 4 呎 9 吋。制

動機之皮重爲 23 磅，測出之總重爲 213 磅。求指示馬力，制動馬力，摩阻馬力及機械效率。

解答

$$\text{平均有效壓力} \left\{ \begin{array}{l} \text{前端} = \frac{1.341}{2.98} \times 50 = 22.5 \text{ 磅, 每方吋.} \\ \text{後端} = \frac{1.49}{2.98} \times 50 = 25 \text{ 磅, 每方吋.} \end{array} \right.$$

$$\text{面積} \left\{ \begin{array}{l} \text{前端} = \pi \times 6 \times 6 = 113 \text{ 方吋.} \\ \text{後端} = 113 - \pi \times 1 \times 1 = 109.86 \text{ 方吋.} \end{array} \right.$$

$$\text{指示馬力} \left\{ \begin{array}{l} \text{前端} = \frac{22.5 \times \frac{15}{12} \times 113 \times 240}{33,000} = 23.1. \\ \text{後端} = \frac{25 \times \frac{15}{12} \times 109.86 \times 240}{33,000} = 25. \end{array} \right.$$

$$\text{故總指示馬力} = 23.1 + 25 = 48.1$$

$$\text{制重機所生之純重} = 213 - 23 = 190 \text{ 磅.}$$

$$\text{制動機臂之長度} = 4.75 \text{ 呎.}$$

$$\begin{aligned} \text{故制動馬力} &= \frac{2\pi Lwn}{33,000} \\ &= \frac{2 \times 3.1416 \times 4.75 \times 190 \times 240}{33,000} = 41.3. \end{aligned}$$

$$\text{摩阻馬力} = 48.1 - 41.3 = 6.8.$$

$$\text{機械效率} = \frac{41.3}{48.1} = 85.9\%.$$



4. 今有一直流發電機，其額定全載荷為 100 仟瓦，其電力效率 (electrical efficiency) 在全載荷時為 90%。每分鐘之迴轉數為 240 次。擬選用一單式高速蒸汽機帶動之。蒸汽機活塞之平均速率須為每分鐘 750 呎。在全載荷時蒸汽機之機械效率為 90%。(a) 問機軸上能利用之制動馬力數應為若干？(b) 問此機之指示馬力數應為若干？(c) 求一衝程之長度，以吋計。(d) 求汽缸之內直徑，以吋計。假定係雙動式；不計活塞桿之面積，並假定汽缸兩端之平均有效壓力均為每方吋 40 磅。

解答 (a) 機軸上能利用之馬力數

$$= \frac{100 \times 1.34}{0.90} = 149.$$

(b) 此機之指示馬力數

$$= \frac{149}{0.90} = 165.6.$$

(c) 每分鐘之衝程數 =  $2 \times 240 = 480$  次。

$$\text{一衝程之長 } l = \frac{750 \times 12}{480} = 18.75 \text{ 吋.}$$

(d) 因指示馬力 =  $\frac{2Plan}{33,000}$ ，或

$$165.6 = \frac{2 \times 40 \times \frac{18.75}{12} \times a \times 240}{33,000}$$

$$a = 165.6 \times 1.1 = 182 \text{ 方吋.}$$

$$\text{汽缸之直徑 } d = \sqrt{\frac{182 \times 4}{\pi}} = \sqrt{232} = 15.22 \text{ 吋.}$$

5. 在一內直徑 11 吋，一衝程距離 13 吋之單流蒸汽機之試驗得到下列結果：新汽之表壓力，每方吋 110 磅；蒸汽之乾度，97%；凝汽器內之真空度，27 吋水銀柱；氣壓表之讀數，29.5 吋水銀柱；前端功圖之平均面積，1.57 方吋；後端功圖之平均面積，1.59 方吋；功圖之長度均為 3 吋；彈簧力量，80 磅；活寒桿之直徑， $2\frac{1}{8}$  吋；每分鐘之迴轉數，220；波郎尼制動機桿臂之長度，63 吋；總重，270 磅；皮重，40 磅。試求：(a) 所發之指示馬力數。(b) 所發之制動馬力數。(c) 如蒸汽之消耗量為每制動馬力每小時 20 磅，以制動馬力為標準之實際熱效率。

解答

$$(a) \text{ 平均有效壓力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{1.57}{3} \times 80 = 41.8 \text{ 磅, 每方吋.} \\ \text{後端} = \frac{1.59}{3} \times 80 = 42.4 \text{ 磅, 每方吋.} \end{cases}$$

$$\text{面 積} \begin{cases} \text{前端} = \pi \times 5.5 \times 5.5 = 95 \text{ 方吋.} \\ \text{後端} = 95 - \pi \times \left(\frac{2.125}{2}\right)^2 = 91.46 \text{ 方吋.} \end{cases}$$

$$\text{指示馬力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{41.8 \times 13 \times 95 \times 220}{12 \times 33,000} = 28.7. \\ \text{後端} = \frac{42.4 \times 13 \times 91.46 \times 220}{12 \times 33,000} = 28. \end{cases}$$

$$\text{所發之指示馬力數} = 28.7 + 28 = 56.7.$$

$$(b) \text{ 制動機所生之純重} = 270 - 40 = 230 \text{ 磅.}$$

$$\text{制動機臂之長度} = \frac{63}{12} = 5.25 \text{ 呎}$$

$$\begin{aligned} \text{所發之制動馬力數} &= \frac{2\pi Lwn}{33,000} \\ &= \frac{2 \times 3.1416 \times 5.25 \times 230 \times 220}{33,000} = 50.5. \end{aligned}$$

(c) 新蒸汽之絕對壓力 =  $110 + 0.491 \times 29.5 = 124.5$  磅，每方吋。

乏汽之絕對壓力 =  $29.5 - 27 = 2\frac{1}{2}$  吋，水銀柱。

新汽之總熱  $h_1 = 315.3 + 0.97 \times 875.15 = 1,165$  英熱單位。

乏汽之液體熱  $h_{f2} = 76.63$  英熱單位。

以制動馬力為標準之實際熱效率

$$\begin{aligned} &= \frac{2,545}{w(h_1 - h_{f2})} = \frac{2,545}{20(1,165 - 76.63)} = \frac{2,545}{20 \times 1,088.37} \\ &= \frac{2,545}{21,767.4} = 11.7\%. \end{aligned}$$

6. 一蒸汽機。汽缸之內直徑為 10 吋，一衝程之距離為 14 吋。直接帶動一往復運動之唧筒。在全衝程中，新汽按絕對壓力每方吋 100 磅繼續加入汽缸。在全部回行衝程中，乏汽按絕對壓力每方吋 16 磅排出汽缸。蒸汽機係雙動式；每分鐘之衝程數為 120 次。活塞桿之直徑為 2 吋。不計輻射熱及洩漏之損失。試求：(a) 所發之指示馬力數。(b) 每指示馬力每小時之蒸汽消耗量。(c) 以指示馬力為標準之實際熱效率。

解答

$$(a) \text{ 平均有效壓力 } \begin{cases} \text{前端} = 100 - 16 = 84 \text{ 磅, 每方吋.} \\ \text{後端} = 100 - 16 = 84 \text{ 磅, 每方吋.} \end{cases}$$

$$\text{面 積} \begin{cases} \text{前端} = \pi \times 5 \times 5 = 78.5 \text{ 方吋.} \\ \text{後端} = 78.5 - \pi = 75.36 \text{ 方吋.} \end{cases}$$

$$\text{指 示 馬 力} \begin{cases} \text{前端} = \frac{84 \times 14 \times 78.5 \times 120}{12 \times 33,000 \times 2} = 14. \\ \text{後端} = \frac{84 \times 14 \times 75.36 \times 120}{12 \times 33,000 \times 2} = 13.4. \end{cases}$$

所發之指示馬力數 =  $14 + 13.4 = 27.4$ .

(b) 設蒸汽之乾度為 100%，由蒸汽表查得，在絕對壓力每方吋

100 磅時，每磅飽和蒸汽之容積為 4.426 立方呎。

$$\text{每迴轉之蒸汽消耗量} = \frac{l(a_1 + a_2)}{4.426}$$

$$= \frac{14(78.5 + 75.36)}{1,728 \times 4.426} = 0.282 \text{ 磅.}$$

每指示馬力每小時之蒸汽消耗量

$$= \frac{0.282 \times \frac{120}{2} \times 60}{27.4} = 37 \text{ 磅.}$$

(c) 新汽之總熱  $h_1 = 1186.6$  英熱單位。

乏汽之液體熱  $h_{f2} = 184.35$  英熱單位。

以指示馬力為標準之實際熱效率

$$= \frac{2,545}{37(h_1 - h_{f2})} = \frac{2,545}{37(1,186.6 - 184.35)}$$

$$= \frac{2,545}{37,100} = 6.85\%.$$

7. 一蒸汽機，每指示馬力每小時用蒸汽 14 磅。新汽之表壓力為每方吋 125 磅，乏汽之絕對壓力為每方吋 2 磅。試求此機郎肯循環之熱效率及以指示馬力為標準之實際熱效率。

解答 加入蒸汽之熵為

$$S_{g1} = 1.5749.$$

乏汽之熵與加入蒸汽之熵相同。乏汽之汽化熵為

$$S_{g2} - S_{f2} = 1.5749 - 0.1750 = 1.4.$$

因在絕對壓力每方吋 2 磅時，蒸汽之汽化熵為 1.7442，

$$\text{故乏汽之乾度 } x_2 = \frac{1.4}{1.7442} = 80.3\%.$$

$$\text{新汽之總熱 } h_1 = 1,192.4 \text{ 英熱單位.}$$

$$\begin{aligned} \text{乏汽之總熱 } h_2 &= 93.97 + 0.803 \times 1021.6 \\ &= 914 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\text{乏汽之液體熱 } h_{f2} = 93.97 \text{ 英熱單位.}$$

故得郎肯循環之熱效率

$$= \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}} = \frac{1,192.4 - 914}{1,192.4 - 93.97} = \frac{278.4}{1,098.4} = 25.4\%.$$

以指示馬力為標準之實際熱效率

$$= \frac{2,545}{14(1,192.5 - 93.97)} = 16.5\%.$$

8. 一蒸汽機，每指示馬力每小時用蒸汽 20 磅。新汽之絕對壓力為每方吋 150 磅，並含 2% 之水分；乏汽之絕對壓力為每方吋 2 磅。試求：(a) 郎肯循環之熱效率。 (b) 以指示馬力為標準之實際熱效率。

解答 加入蒸汽之熵爲

$$S_{g1} = 0.514 + 0.98 \times 1.0550 = 1.5479 = S_{g2}.$$

$$S_{g2} - S_{f2} = 1.5479 - 0.1750 = 1.3729.$$

$$\text{乏汽之乾度 } x_2 = \frac{1.3729}{1.7442} = 78.25 \%$$

新汽之總熱

$$h_1 = 330.44 + 0.98 \times 863.1 = 1,176.3 \text{ 英熱單位.}$$

乏汽之總熱

$$h_2 = 93.97 + 0.7825 \times 1021.6 = 899 \text{ 英熱單位.}$$

(a) 郎肯循環之熱效率

$$= \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{f2}} = \frac{1,176.3 - 899}{1,176.3 - 93.97} = 25.6\%$$

(b) 以指示馬力爲標準之實際熱效率

$$= \frac{2,545}{20(1,176.3 - 93.97)} = 11.75\%$$

9. 一 2,000 仟瓦之汽輪，其每仟瓦小時之蒸汽消耗量爲 12 磅。新汽管內之表壓力每方吋 225 磅；過熱，華氏表 250 度；凝汽器內之真空度，27 吋水銀柱；氣壓表，29.6 吋水銀柱。求：(a) 汽輪之熱效率。(b) 假設在全載荷時，新汽在汽管中之速率不使超過每分鐘 4,000 呎，汽管之直徑應爲幾何？(c) 如不計輻射及他種損失，乏汽之乾度應爲何？

解答 新汽之絕對壓力

$$= 225 + 0.491 \times 29.6 = 239.53 \text{ 磅, 每方吋.}$$

乏汽之絕對壓力 =  $29.6 - 27 = 2.6$  吋水銀柱。

(a) 新汽之總熱  $h_1 = 1,343$  英熱單位。

乏汽之液體熱  $h_{f2} = 78$  英熱單位。

$$\text{故汽輪之熱效率} = \frac{3,412}{12(1,343 - 78)} = 22.4\%$$

(b) 設  $d$  爲汽管之直徑。由過熱蒸汽表查得每磅蒸汽之容積爲 2.663 方呎。

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 4,005 \times 60 = 2,000 \times 12 \times 2.663$$

$$d^2 = \frac{2.663 \times 2}{5\pi} = 0.3392 \text{ 方呎} = 49 \text{ 方吋。}$$

故  $d = 7''$

(c) 加入蒸汽之熵  $S_{g1} = 1.6766 = S_{g2}$ 。

乏汽之液體熵  $S_{f2} = 0.1472$ , 汽化熵  $S_{f2} = 1.8095$ ,

$$\text{故乏汽之乾度 } x_2 = \frac{1.6766 - 0.1472}{1.8095} = \frac{1.5294}{1.8095} = 84.5\%$$

10. 一蒸汽廠 (steam plant) 每小時燒煤 6,000 磅。每磅煤之發熱量, 13,500 英熱單位; 鍋, 爐及爐篦之效率爲 70%; 在汽管中熱之損失, 5%; 蒸汽機之熱效率, 15%; 蒸汽機之機械效率, 90%; 由此蒸汽機所帶動之發電機之電力效率, 88%。(a) 問蒸汽機所發之指示馬力數爲何? (b) 問發電機輸出量之仟瓦數爲何?

解答 (a) 每小時被變爲功之熱量

$$= 6,000 \times 13,500 \times \frac{70}{100} \times \frac{95}{100} \times \frac{15}{100}$$

$$= 8,095,000 \text{ 英熱單位.}$$

故蒸汽機所發之指示馬力數

$$= \frac{8,095,000}{2,545} = 3,180$$

(b) 發電機輸出之仟瓦數

$$= 3,180 \times \frac{90}{100} \times \frac{88}{100} \times 0.746 = 1,875$$

11. 一蒸汽機，汽缸之直徑為 9 吋；一衝程之距離為 15 吋。所用新蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅；每分鐘之迴轉數，200 次。停汽點為一衝程之四分之一；餘隙容積為 10%。每點鐘所用之蒸汽量為 1,128 磅。在壓縮線上相當回行衝程 88% 之一點，其絕對壓力為每方吋 20 磅，試求在停汽點初凝結之百分數。

解答 每小時之衝程數 =  $200 \times 2 \times 60 = 24,000$ 。

每衝程鍋爐供給蒸汽機之蒸汽量

$$= \frac{1,128}{24,000} = 0.047 \text{ 磅.}$$

在壓縮線上，絕對壓力為每方吋 20 磅之點；墊汽之容積

$$= \left(1 - \frac{88}{100} + \frac{10}{100}\right) \times \frac{15}{12} \times \pi (4.5)^2 = 0.1215 \text{ 立方呎.}$$

在此點時，每磅墊汽之容積為 20.095 立方呎。

故得墊汽之重量為  $\frac{0.1215}{20.095} = 0.00605$  磅。

當膨脹時汽缸內蒸汽之總重量

$$= 0.047 + 0.00605 = 0.05305 \text{ 磅.}$$



當絕對壓力爲每方吋 114.7 磅時，每磅蒸汽之容積爲 3.878 立方呎，故在起始膨脹時，蒸汽之容積應爲

$$0.05305 \times 3.878 = 0.2056 \text{ 立方呎.}$$

實際當起始膨脹時，蒸汽之容積爲

$$\left(\frac{10}{100} + \frac{1}{4}\right) \times \frac{15}{12} \times \pi \times (4.5)^2 = 0.1935 \text{ 立方呎.}$$

故得在停汽時初凝結之百分數

$$= \frac{0.2056 - 0.1935}{0.2056} = 6.03.$$

12. 一給水預熱器在下列情形之下工作；每小時經過預熱器之水量，20,469 磅；入預熱器之水之溫度，46.3°F；去預熱器之水之溫度，209.4°F；預熱器內之絕對壓力，每方吋 22.3 磅；加入蒸汽機之新蒸汽，其表壓力爲每方吋 120 磅；氣壓表之讀數 29.5 吋水銀柱；新蒸汽之乾度，99.2%；乏汽之絕對壓力，每方吋 22.3 磅。蒸汽機每指示馬力每小時之用汽量，22.25 磅。試求：(a) 每磅蒸汽用於蒸汽機之熱量。(b) 乏汽之乾度。(c) 每小時預熱器所用蒸汽之磅數。

解答 (a) 每磅蒸汽用於蒸汽機之熱量

$$= \frac{2,545}{22.25} = 114.2 \text{ 英熱單位.}$$

(b) 加入蒸汽機之新蒸汽，每磅之含熱量

$$= 321.47 + 0.992 \times 869.8 = 1,183.97 \text{ 英熱單位.}$$

離開蒸汽機之乏汽，每磅之含熱量

$$= 1,183.97 - 114.2 = 1,069.77 \text{ 英熱單位}$$

與乏汽之絕對壓力每方吋 22.3 磅相當之液體熱爲 202 英熱單位，汽化熱爲 956.1 英熱單位。因得乏汽之乾度  $x = \frac{1,069.77 - 202}{956.1} = \frac{867.77}{956.1} = 90.3\%$ 。

(c) 假設蒸汽經過預熱器凝結後其溫度並不減低，則每磅蒸汽在預熱器內給出之熱量

$$= 1,069.77 - 202 = 867.77 \text{ 英熱單位。}$$

預熱器每小時所需之熱量

$$= 20,469(209.4 - 46.3) = 3,340,000 \text{ 英熱單位。}$$

每小時預熱器所用蒸汽之磅數

$$= \frac{3,340,000}{867.77} = 3,850$$

13. 一 500 馬力之蒸汽機，在 24 小時內能排水 20,000,000 加倫。蒸汽機所用之蒸汽量，係每馬力每小時 12 磅。蒸汽之絕對壓力爲每方吋 200 磅；乏氣之絕對壓力爲每方吋 3 磅；蒸汽之乾度恰爲乾飽和蒸汽。氣壓表之讀數 29 吋水銀柱。排水機之功率，每 1,000,000 英熱單位 160,000,000 呎磅。(a) 求總水頭之呎數。(b) 凝汽器內所保持之真空度爲若干吋水銀柱。

解答 (a) 設總水頭爲  $h$  呎，則排水機每小時所作之功

$$= \frac{20,000,000 \times 8 \frac{1}{3} \times h}{24} = 6,950,000 \times h \text{ 呎磅。}$$

每小時所用之蒸汽量 =  $500 \times 12 = 6,000$  磅。

每磅蒸汽負責之純熱

$$= 1197.8 - 109.33 = 1088.47 \text{ 英熱單位.}$$

每小時加入蒸汽機之總熱量

$$= 6,000 \times 1,088.47 = 6,540,000 \text{ 英熱單位.}$$

每小時所作之功

$$= 6,540,000 \times \frac{160,000,000}{1,000,000} = 1,046,000,000 \text{ 呎磅.}$$

$$\text{因得 } h = \frac{1,046,000,000}{6,950,000} = 150.5 \text{ 呎.}$$

(b) 凝汽器內所保持之真空度應為

$$29 - \frac{3}{0.491} = 29 - 6.12 = 22.88 \text{ 吋水銀柱.}$$

14. 一排水機，在 24 小時內排水 12,000,000 加倫。放水管表上所指之壓力為每方吋 60 磅，吸水管表上所指之真空度為 20 吋水銀柱。放水管表之中心在吸水管表中心之上 10 呎。蒸汽機所用之新蒸汽，其絕對壓力為每方吋 180 磅，凝汽器內之真空度則為 25.5 吋水銀柱。機械效率為 85%；每指示馬力每小時之蒸汽消耗量為 14 磅。氣壓表之讀數，29.6 吋水銀柱。試求：(a) 每 1,000 磅蒸汽之功率。(b) 每 1,000,000 英熱單位之功率。

$$\begin{aligned} \text{解答 (a) 總水頭} &= 60 \times 2.31 + 10 + 20 \times 0.491 \times 2.31 \\ &= 138.6 + 10 + 23.68 = 172.28 \text{ 呎.} \end{aligned}$$

在 24 小時內所排之水量

$$= 12,000,000 \times 8 \frac{1}{3} = 100,000,000 \text{ 磅.}$$

在 24 小時內所作之功

$$= 100,000,000 \times 172.28 = 17,228,000,000 \text{ 呎磅.}$$

每小時所作之功

$$= \frac{17,228,000,000}{24} = 717,830,000 \text{ 呎磅.}$$

蒸汽機之指示馬力數

$$= \frac{717,830,000}{60 \times 33,000} \times \frac{100}{85} = 427.$$

每小時所用之蒸汽量 =  $427 \times 14 = 5,978$  磅.

故得每 1,000 磅蒸汽之功率

$$= \frac{717,830,000}{5.978} = 120,000,000 \text{ 呎磅.}$$

(b) 乏汽之絕對壓力 =  $29.6 - 25.5 = 4.1$  吋水銀柱

$$= 2.01 \text{ 磅, 每方吋.}$$

每磅蒸汽負責之純熱

$$= 1,196.3 - 94 = 1,102.3 \text{ 英熱單位.}$$

每小時加入蒸汽機之總熱量

$$= 5,978 \times 1,102.3 = 6,600,000 \text{ 英熱單位.}$$

故得每 1,000,000 英熱單位之功率

$$= \frac{717,830,000}{6.6} = 108,750,000 \text{ 呎磅.}$$

15. 一排水機, 在 24 小時內排水 30,000,000 加倫. 放水管表上所指之壓力為每方吋 50 磅, 吸水管表上所指之真空度為 20.37 吋水銀

柱，兩表中心線相距之垂直距離爲 11.55 呎。氣壓表之讀數，28 吋水銀柱。蒸汽機之指示馬力數爲 900，每馬力每小時所消耗之乾蒸汽量爲 12 磅。(a) 問排水機所排之總水頭爲若干呎？(b) 排水機所發之馬力數爲何？(c) 每 1,000 磅蒸汽之功率爲何？(d) 機械效率爲何？(e) 設蒸汽機所用之蒸汽係乾飽和蒸汽，新汽之表壓力爲每方吋 125 磅，乏汽之絕對壓力爲每方吋 1 磅，每 1,000,000 英熱單位之功率爲何？

解答 (a) 排水機所排之總水頭

$$\begin{aligned} &= 50 \times 2.31 + 11.55 + 20.37 \times 0.491 \times 2.31 \\ &= 115.5 + 11.55 + 23.1 = 150.15 \text{ 呎.} \end{aligned}$$

(b) 在 24 小時內所排之水量

$$= 30,000,000 \times 8 \frac{1}{3} = 250,000,000 \text{ 磅.}$$

每小時所作之功

$$= \frac{250,000,000 \times 150.15}{24} = 1,565,000,000 \text{ 呎磅.}$$

排水機所發之馬力數

$$= \frac{1,565,000,000}{60 \times 33,000} = 791.$$

(c) 每小時所用之蒸汽量

$$= 900 \times 12 = 10,800 \text{ 磅.}$$

故得每 1,000 磅蒸汽之功率

$$= \frac{1,565,000,000}{10.8} = 145,000,000 \text{ 呎磅.}$$

$$(d) \text{ 機械效率} = \frac{791}{900} = 88\%.$$

(e) 新汽之絕對壓力

$$= 125 + 28 \times 0.491 = 138.75 \text{ 磅, 每方吋.}$$

每磅蒸汽負責之純熱

$$= 1,192.28 - 69.69 = 1,122.59 \text{ 英熱單位.}$$

每小時加入蒸汽機之總熱量

$$= 1,122.59 \times 10,800 = 12,120,000 \text{ 英熱單位.}$$

故每 1,000,000 英熱單位之功率

$$= \frac{1,565,000,000}{12.12} = 129,000,000 \text{ 呎磅.}$$

16. 一氣輪帶動一離心力唧筒。每 24 小時內排水 28,000,000 加倫。總水頭等於每方吋 125 磅之壓力。供給汽輪之蒸汽，其表壓力為每方吋 175.3 磅；其溫度為 500°F。氣壓表表示 29.92 吋水銀柱。凝汽器內之真空度為 27.92 吋水銀柱。如每 1,000 磅蒸汽之功率為 112,000,000 呎磅，問每 1,000,000 英熱單位之功率為何？

解答 總水頭 =  $125 \times 2.31 = 289$  呎。

每小時所排之水量

$$= \frac{28,000,000 \times 8 \frac{1}{3}}{24} = 9,720,000 \text{ 磅.}$$

每小時所作之功

$$= 9,720,000 \times 289 = 2,810,000,000 \text{ 呎磅.}$$

每小時所需之蒸汽量

$$= \frac{2,810,000,000}{112,000,000} \times 1,000 = 25,100 \text{ 磅.}$$

新汽之絕對壓力

$$= 175.3 + 0.491 \times 29.92 = 190 \text{ 磅, 每方吋.}$$

乏汽之絕對壓力 =  $29.92 - 27.92 = 2$  吋水銀柱.

每磅蒸汽負責之純熱

$$= 1,268.9 - 69.1 = 1,199.8 \text{ 英熱單位.}$$

每小時加入蒸汽機之總熱量

$$= 25,100 \times 1,199.8 = 30,100,000 \text{ 英熱單位.}$$

故得每 1,000,000 英熱單位之功率

$$= \frac{2,810,000,000}{30.1} = 93,400,000 \text{ 呎磅.}$$

## 第十章 複式蒸汽機

## 習 題

1. 一三脹式複式機，其汽缸之內直徑為 15 吋，24 吋，及 36 吋；一衝程之距離為 30 吋。每分鐘之迴轉數為 100 次。高壓汽缸之停汽點在一衝程之  $\frac{3}{8}$ ；中壓汽缸之停汽點在一衝程之 39%；低壓汽缸之停汽點在一衝程之 44%。每汽缸之餘隙容積均為 10%。問全機之實際膨脹率為何？

解答 高壓汽缸之膨脹率

$$e_1 = \frac{1 + 0.1}{\frac{3}{8} + 0.1} = \frac{1.1}{0.475} = 2.315 = \frac{1}{x},$$

$$x = \frac{1}{2.315}.$$

全機之實際膨脹率

$$e = \frac{D^2}{xd^2} = \frac{36 \times 36}{\frac{1}{2.315} \times 15 \times 15} = 13.3.$$

2. 一兩汽缸複式機，其汽缸之內直徑為 18 吋及 24 吋；一衝程之距離為 30 吋。每分鐘之迴轉數為 150 次。高壓汽缸之停汽點在一衝程  $\frac{1}{4}$ ；新汽之表壓力為每方吋 160 磅，背面之絕對壓力為每方吋 2 磅；功圖因數，80%。求此機之額定指示馬力數。



解答 全機之膨脹率

$$r = \frac{D^2}{xd^2} = \frac{24 \times 24}{\frac{1}{4} \times 18 \times 18} = 7.11.$$

$$\text{平均有效壓力} = 0.8 \left\{ \frac{174.7}{7.11} (1 + \log_e 7.11) - 2 \right\}$$

$$= 0.8(72.8 - 2) = 56.6 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{低壓汽缸之活塞面積} = \pi \times 12 \times 12 = 452.4 \text{ 方吋.}$$

故得此機之額定指示馬力數

$$= \frac{2 \times 56.6 \times \frac{30}{12} \times 452.4 \times 150}{33,000} = 583$$

3. 一兩汽缸複式機，其汽缸之內直徑為 10 吋及 20 吋；一衝程之距離為 14 吋。每分鐘之迴轉數為 290 次。新汽之表壓力為每方吋 120 磅；乏汽之絕對壓力為每方吋 2 磅。功圖因數為 80%。倘兩汽缸內所作之功作按等量分配，高壓汽缸內停汽點在一衝程  $\frac{5}{8}$ ，問全機之額定指示馬力數為何？

解答 全機之膨脹率

$$r = \frac{D^2}{xd^2} = \frac{20 \times 20}{\frac{5}{8} \times 10 \times 10} = 6.4$$

$$\text{平均有效壓力} = 0.8 \left\{ \frac{134.7}{6.4} (1 + \log_e 6.4) - 2 \right\}$$

$$= 0.8(60 - 2) = 46.4 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{低壓汽缸之活塞面積} = \pi \times 10 \times 10 = 314.16 \text{ 方吋.}$$

故得此機之額定指示馬力數

$$= \frac{2 \times 46.4 \times 14 \times 314.16 \times 290}{12 \times 33,000} = 299$$

4. 一並列式考利斯複式機，其汽缸之內直徑為 27 吋及 35 吋；一衝程之距離為 48 吋。每分鐘之迴轉數為 80 次。新汽之表壓力為每方吋 125 磅。氣壓表之讀數 29.5 吋水銀柱。蒸汽之乾度 98%；乏汽之壓力與大氣壓力同。(a) 設高壓汽缸內之停汽點在一衝程之三分之一，功圖因數為 85%，問全機之額定指示馬力數為何？(b) 倘在乏汽一邊添裝一凝汽器，其真空度能保持 26 吋水銀柱，問額定指示馬力數應為何？其他條件假定均無變化。

解答 (a) 全機之膨脹率

$$r = \frac{D^2}{xd^2} = \frac{35 \times 35}{\frac{1}{3} \times 27 \times 27} = 5.05$$

平均有效壓力

$$\begin{aligned} &= 0.85 \left\{ \frac{125 + 0.491 \times 29.5}{5.05} (1 + \log_e 5.05) \right. \\ &\quad \left. - 0.491 \times 29.5 \right\} \\ &= 0.85 \left\{ \frac{139.5}{5.05} (1 + \log_e 5.05) - 14.5 \right\} \\ &= 0.85 (72.5 - 14.5) = 49.2 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

低壓汽缸之活塞面積 =  $\pi \times 17.5 \times 17.5 = 960$  方吋

故得全機之額定指示馬力數

$$= \frac{2 \times 49.2 \times \frac{48}{12} \times 960 \times 80}{33,000} = 920$$

(b) 乏汽之絕對壓力

$$= (29.5 - 26) \times 0.491 = 1.72 \text{ 磅, 每方吋.}$$

平均有效壓力

$$= 0.85(72.5 - 1.72) = 60.2 \text{ 磅, 每方吋.}$$

故額定指示馬力數

$$= \frac{2 \times 60.2 \times 4 \times 960 \times 80}{33,000} = 1,120.$$

5. 一兩汽缸複式機，其汽缸之內直徑為 9 吋及 15 吋；一衝程之距離為 9 吋。每分鐘之迴轉數為 200 次。高壓汽缸內之停汽點在一衝程之四分之一。新汽之絕對壓力為每方吋 150 磅，背面之絕對壓力為每方吋 2 磅。功圖因數 80%。假設用一單式機以代替此複式機，使一衝程之長度，所發之指示馬力數，新汽與乏汽之壓力，均與原來之複式機相同，問此單式機汽缸之內直徑應為若干吋。

解答 全機之膨脹率

$$r = \frac{D^2}{d^2} = \frac{15 \times 15}{\frac{1}{4} \times 9 \times 9} = 11.1$$

$$\text{平均有效壓力} = 0.80 \left\{ \frac{150}{11.1} (1 + \log_e 11.1) - 2 \right\}$$

$$= 0.80(46.1 - 2) = 35.3 \text{ 磅, 每方吋.}$$

低壓汽缸之活塞面積 =  $\pi \times 7.5 \times 7.5 \times 176.5$  方吋。

$$\text{額定指示馬力數} = \frac{2 \times 35.3 \times \frac{9}{12} \times 176.5 \times 200}{33,000} = 56.6$$

用一單式機以代替此複式機時，假設其停汽點仍與一衝程之四分之一，則

$$\begin{aligned} \text{平均有效壓力} &= 0.80 \left\{ \frac{150}{4} (1 + \log_e 4) - 2 \right\} \\ &= 0.80(89.5 - 2) = 70 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

設  $d$  為單式機汽缸之內直徑，則

$$56.6 = \frac{2 \times 70 \times \frac{9}{12} \times \frac{\pi d^2}{4} \times 200}{33,000}$$

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{56.6 \times 11}{7} = 89 \text{ 方吋.}$$

$$\text{故 } d = \sqrt{\frac{89 \times 4}{\pi}} = 10.65 \text{ 吋.}$$

6. 一三漲式複式機，其汽缸之內直徑為 18 吋，28 吋及 36 吋；一衝程之距離為 24 吋。每分鐘之迴轉數為 180 次。新汽之絕對壓力為每方吋 200 磅；凝汽器之真空度，28 吋水銀柱。停汽點：在高壓汽缸，四分之一衝程；在中壓汽缸四分之一衝程；在低壓汽缸，半衝程。功圖因數，85%。求全機之額定指示馬力數。

解答 全機之膨脹率

$$r = \frac{D^2}{xd^2} = \frac{36 \times 36}{\frac{1}{4} \times 18 \times 18} = 16.$$

新汽之絕對壓力 = 200 磅，每方吋。

乏汽之絕對壓力 =  $14.7 - 0.491 \times 28 = 0.95$  磅，每方吋。

$$\begin{aligned} \text{平均有效壓力} &= 0.85 \left\{ \frac{200}{16} (1 + \log_e 16) - 0.95 \right\} \\ &= 0.85(47.15 - 0.95) = 39.2 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

$$\text{低壓汽缸之活塞面積} = \pi \times 18 \times 18 = 1,020 \text{ 方吋.}$$

故全機之額定指示馬力數

$$\begin{aligned} & \frac{2 \times 39.2 \times \frac{24}{12} \times 1,020 \times 180}{33,000} = 872. \end{aligned}$$

7. 一單動式兩汽缸複式機，其汽缸之內直徑為 9 吋及 15 吋；一衝程之距離為 9 吋。每分鐘之迴轉數為 160 次，在高壓汽缸，停汽點在四分之一衝程；在低壓汽缸，停汽點在二分之一衝程；兩汽缸之功圖因數均為 85%。新汽之絕對壓力為每方吋 125 磅；背面之絕對壓力為每方吋 3 磅。高壓汽缸功圖之面積為 0.9 方吋；低壓汽缸功圖之面積為 1.15 方吋；長度均為 2.35 吋。又高壓汽缸示功器上所用之彈簧係 80 磅者，低壓汽缸示功器上所用之彈簧係 40 磅者。(a) 求全機之額定指示馬力數。(b) 求汽缸中實發之馬力數。

解答 (a) 全機之膨脹率

$$\begin{aligned} r &= \frac{15 \times 15}{\frac{1}{4} \times 9 \times 9} = 11.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{平均有效壓力} &= 0.85 \left\{ \frac{125}{11.1} (1 + \log_e 11.1) - 3 \right\} \\ &= 0.85(38.4 - 3) = 30.1 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

$$\text{低壓汽缸之活塞面積} = \pi \times 7.5 \times 7.5 = 176.5 \text{ 方吋.}$$

故全機之額定指示馬力數

$$= \frac{30.1 \times \frac{9}{12} \times 176.5 \times 160}{33,000} = 19.3$$

(b) 在高壓汽缸

$$\text{平均有效壓力} = \frac{0.9}{2.35} \times 80 = 30.6 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{活塞面積} = \pi \times 4.5 \times 4.5 = 63.6 \text{ 方吋.}$$

$$\text{指示馬力數} = \frac{30.6 \times \frac{9}{12} \times 63.6 \times 160}{33,000} = 7.08$$

在低壓汽缸

$$\text{平均有效壓力} = \frac{1.15}{2.35} \times 40 = 19.6 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$\text{活塞面積} = 176.5 \text{ 方吋.}$$

$$\text{指示馬力數} = \frac{19.6 \times \frac{9}{12} \times 176.5 \times 160}{33,000} = 12.57.$$

故汽缸中實發之馬力數

$$= 7.08 + 12.57 = 19.65.$$

8. 一並列式兩汽缸複式機，汽缸之內直徑為 13 吋及 25 吋；一衝程之距離為 16 吋。每分鐘之迴轉數為 200 次，活塞桿之直徑，2.5 吋。新汽之表壓力為每方吋 130 磅；乾度為 98%。氣壓表 29.5 吋水銀柱。凝汽器內之真空度為 21.3 吋水銀柱。功圖因數 85%。高壓汽缸之停汽點在一衝程四分之一。平均有效壓力如下：

高壓汽缸，前端，每方吋 54.50 磅。

高壓汽缸，後端，每方吋 60.30 磅。

低壓汽缸，前端，每方吋 12.00 磅。

低壓汽缸，後端，每方吋 14.63 磅。

(a) 求額定指示馬力數。 (b) 求全機實發之馬力數。

解答 (a) 全機之膨脹率

$$r = \frac{25 \times 25}{\frac{1}{4} \times 13 \times 13} = 14.8$$

平均有效壓力

$$\begin{aligned} &= 0.85 \left\{ \frac{130 + 0.491 \times 29.5}{14.8} (1 + \log_e 14.8) \right. \\ &\quad \left. - (29.5 - 21.3) \times 0.491 \right\} \\ &= 0.85 \left\{ \frac{144.5}{14.8} (1 + \log_e 14.8) - 4.03 \right\} \\ &= 27.2 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

$$\text{低壓汽缸之活塞面積} = \frac{\pi \times 25 \times 25}{4} = 491 \text{ 方吋.}$$

故額定指示馬力數

$$= \frac{2 \times 27.2 \times \frac{16}{12} \times 491 \times 200}{33,000} = 216.$$

$$(b) \left\{ \begin{array}{l} \text{高壓汽缸, 前端, } \pi \times 6.5 \times 6.5 = 132.5 \text{ 方吋.} \\ \text{高壓汽缸, 後端, } 132.5 - \frac{\pi \times 2.5 \times 2.5}{4} = 127.6 \text{ 方吋.} \\ \text{面積} \left\{ \begin{array}{l} \text{低壓汽缸, 前端, } \frac{\pi \times 25 \times 25}{4} = 491 \text{ 方吋.} \\ \text{低壓汽缸, 後端, } 491 - \frac{\pi \times 2.5 \times 2.5}{4} = 486.1 \text{ 方吋.} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

$$\text{常數} = \frac{\ln}{33,000} = \frac{16 \times 200}{12 \times 33,000} = 0.00808.$$

$$\text{指示馬力} \left\{ \begin{array}{l} \text{高壓汽缸, 前端} = 54.5 \times 132.5 \times 0.00808 = 58.4 \\ \text{高壓汽缸, 後端} = 60.3 \times 127.6 \times 0.00808 = 62.2 \\ \text{低壓汽缸, 前端} = 12 \times 491 \times 0.00808 = 47.6 \\ \text{低壓汽缸, 後端} = 14.63 \times 486.1 \times 0.00808 = 57.5 \end{array} \right.$$

故全機實發之馬力數 = 225.7

9. 在一巴奈克 (Buckeye) 並列式複式機之試驗, 得到下列結果: 汽缸之內直徑為 13 吋及 25 吋; 一衝程之距離為 16 吋. 活塞桿之直徑,  $2\frac{1}{2}$  吋; 每分鐘之迴轉數 190 次; 新汽之表壓力, 每方吋 135 磅; 氣壓表, 92.53 吋水銀柱; 蒸汽之乾度, 99%; 接受器內之表壓力為每方吋 10.82 磅; 凝汽器內之真空度, 21.5 吋水銀柱; 每指示馬力每小時所用之蒸汽量, 16.35 磅; 每制動馬力每小時所用之蒸汽量, 18.2 磅; 在高壓汽缸之停汽點為四分之一衝程. 平均有效壓力如下:

高壓汽缸, 前端, 每方吋 54.50 磅.

高壓汽缸, 後端, 每方吋 60.30 磅.



低壓汽缸，前端，每方吋 12.00 磅。

低壓汽缸，後端，每方吋 14.63 磅。

試求：(a) 全機之額定指示馬力。(b) 全機實發之指示馬力。(c) 以制動馬力為標準之實際熱效率。(d) 郎肯循環之效率。

解答 (a) 全機之膨脹率

$$r = \frac{25 \times 25}{\frac{1}{4} \times 13 \times 13} = 14.8.$$

設功圖因數為 85%，則平均有效壓力

$$\begin{aligned} &= 0.85 \left\{ \frac{130 + 0.491 \times 29.53}{14.8} (1 + \log_e 14.8) \right. \\ &\quad \left. - (29.53 - 21.5) \times 0.491 \right\} \\ &= 0.85 \left\{ \frac{144.5}{14.8} (1 + \log_e 14.8) - 3.94 \right\} \\ &= 27.2 \text{ 磅，每方吋。} \end{aligned}$$

$$\text{低壓汽缸之活塞面積} = \frac{\pi \times 25 \times 25}{4} = 491 \text{ 方吋。}$$

故全機之額定指示馬力數

$$\begin{aligned} &= \frac{2 \times 27.2 \times \frac{16}{12} \times 491 \times 190}{33,000} \\ &= 205. \end{aligned}$$

(b) 面積  $\left\{ \begin{array}{l} \text{高壓汽缸，前端} = 132.5 \text{ 方吋。} \\ \text{高壓汽缸，後端} = 127.6 \text{ 方吋。} \\ \text{低壓汽缸，前端} = 491 \text{ 方吋。} \\ \text{低壓汽缸，後端} = 486.1 \text{ 方吋。} \end{array} \right.$

$$\text{常數} = \frac{\ln}{33,000} = \frac{16 \times 190}{12 \times 33,000} = 0.007676.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{指示} \\ \text{馬力} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{高壓汽缸, 前端} = 54.5 \times 132.5 \times 0.007676 = 55.5 \\ \text{高壓汽缸, 後端} = 60.3 \times 127.6 \times 0.007676 = 59.1 \\ \text{低壓汽缸, 前端} = 12 \times 491 \times 0.007676 = 45.2 \\ \text{低壓汽缸, 後端} = 14.63 \times 486.1 \times 0.007676 = 54.6 \end{array}$$

故全機實發之指示馬力數 = 214.4

(c) 每磅新蒸汽之含熱量

$$= 327.6 + 0.99 \times 865.3 = 1,184.6 \text{ 英熱單位.}$$

每磅乏汽之液體熱 = 120.8 英熱單位.

故得以制動馬力為標準之實際熱效率

$$\begin{aligned} &= \frac{2,545}{18.2(1,184.6 - 120.8)} \\ &= \frac{2,545}{18.2 \times 1,063.8} = 13.15\%. \end{aligned}$$

(d) 新蒸汽之總熵 = 0.5105 + 0.99 \times 1.0612 = 1.5615.

乏汽之總熵 = 1.5615 = 0.2198 + x\_2 \times 1.644

$$\text{乏汽之乾度 } x_2 = \frac{1.5615 - 0.2198}{1.644} = 81.7\%$$

每磅乏汽之含熱量

$$= 120.8 \times 0.817 \times 1,006 = 942 \text{ 英熱單位.}$$

因得郎肯循環之效率

$$= \frac{1,184.6 - 942}{1,184.6 - 120.8} = \frac{242.6}{1,063.8} = 22.8\%.$$

10. 一三漲式蒸汽機，其汽缸之內直徑為 28 吋，54 吋及 80 吋；一衝程之距離為 60 吋；並列帶動一單動式三缸之排水唧筒。唧筒之內直徑均為 30.5 吋，其一衝程之距離亦為 60 吋。活塞桿之直徑，6.5 吋。新汽之表壓力，每方吋 150 磅；氣壓表之讀數，28.95 吋水銀柱；凝汽器內之真空度，26 吋水銀柱。每分鐘之迴轉數，20 次；每指示馬力每小時所用之蒸汽量，12 磅。平均有效壓力如下：

高壓汽缸，前端，每方吋 59.5 磅。

高壓汽缸，後端，每方吋 56.5 磅。

中壓汽缸，前端，每方吋 14 磅。

中壓汽缸，後端，每方吋 13.5 磅。

低壓汽缸，前端，每方吋 4.7 磅。

低壓汽缸，後端，每方吋 5.0 磅。

放水管表所指之壓力為每方吋 60 磅；吸水管表所指之真空度為 20 吋水銀柱。兩表安裝之地位之垂直距離為 10 呎。唧筒每 24 小時內排水 15,000,000 加倫。試求：(a) 全機之機械效率。(b) 以輸出之功率 (output) 為標準之實際熱效率。(c) 每 1,000,000 英熱單位之功率。

解答 (a)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{高壓汽缸，前端} = \pi \times 14 \times 14 = 615 \text{ 方吋。} \\ \text{高壓汽缸，後端} = 615 - \pi \times 3.25 \times 3.25 = 582 \text{ 方吋。} \\ \text{中壓汽缸，前端} = \pi \times 27 \times 27 = 2290 \text{ 方吋。} \\ \text{中壓汽缸，後端} = 2290 - 33 = 2257 \text{ 方吋。} \\ \text{低壓汽缸，前端} = \pi \times 40 \times 40 = 5025 \text{ 方吋。} \\ \text{低壓汽缸，後端} = 5025 - 33 = 4992 \text{ 方吋。} \end{array} \right.$

$$\text{常數} = \frac{\ln}{33,000} = \frac{60 \times 20}{12 \times 33,000} = \frac{1}{330}$$

$$\text{指示馬力} \left\{ \begin{array}{l} \text{高壓汽缸, 前端} = 59.5 \times 615 \div 330 = 111 \\ \text{高壓汽缸, 後端} = 56.5 \times 582 \div 330 = 97.2 \\ \text{中壓汽缸, 前端} = 14 \times 2290 \div 330 = 97.2 \\ \text{中壓汽缸, 後端} = 13.5 \times 2257 \div 330 = 92.5 \\ \text{低壓汽缸, 前端} = 4.7 \times 5025 \div 330 = 71.6 \\ \text{低壓汽缸, 後端} = 5.0 \times 4992 \div 330 = 75.6 \end{array} \right.$$

$$\text{全機實發之指示馬力數} = 547.6$$

$$\begin{aligned} \text{總水頭} &= 60 \times 2.31 + 10 + 20 \times 0.491 \times 2.31 \\ &= 172.3 \text{ 呎.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每小時所排之水量} &= \frac{15,000,000 \times 8 \frac{1}{3}}{24} \\ &= 5,208,000 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每小時所作之功} &= 5,208,000 \times 172.3 \\ &= 897,500,000 \text{ 呎磅.} \end{aligned}$$

$$\text{相當之制動馬力數} = \frac{897,500,000}{60 \times 33,000} = 453.5.$$

$$\text{故全機之機械效率} = \frac{453.5}{547.6} = 82.8\%.$$

$$\begin{aligned} (b) \text{ 新汽之絕對壓力} &= 150 + 0.491 \times 28.95 \\ &= 164.2 \text{ 磅, 每方吋.} \end{aligned}$$

$$\text{乏汽之絕對壓力} = 28.95 - 26 = 2.95 \text{ 吋水銀柱.}$$

每磅新汽之含熱量 = 1,194.9 英熱單位.

每磅乏汽之液體熱 = 82.9 英熱單位.

每制動馬力每小時所需之蒸汽量

$$= 12 \times \frac{100}{82.8} = 14.5 \text{ 磅}$$

故得以輸出之功率為標準之實際熱效率

$$= \frac{2545}{14.5(1,194.9 - 82.9)} = \frac{2545}{14.5 \times 1,112} = 15.8\%$$

(c) 每小時所用之蒸汽量 =  $547.6 \times 12 = 6,575$  磅.

每磅蒸汽負責之熱量

$$= 1,194.9 - 82.9 = 1,112 \text{ 英熱單位.}$$

每小時加入蒸汽機之總熱量

$$= 6,575 \times 1,112 = 7,320,000 \text{ 英熱單位.}$$

故得每 1,000,000 英熱單位之功率

$$= \frac{897,500,000}{7.32} = 122,500,000 \text{ 呎磅.}$$

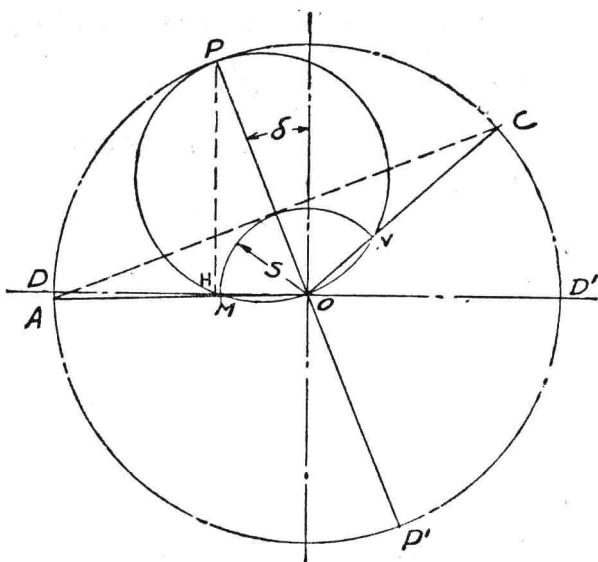
## 第十一章 汽瓣機關

## 習 題

1. 如新汽餘面爲  $\frac{7}{8}$  吋，汽門最大之開度爲  $1\frac{3}{4}$  吋，汽瓣一衝程之距離爲  $5\frac{1}{4}$  吋，導程爲  $\frac{1}{16}$  吋，連桿長度爲活塞一衝程距離之三倍。畫醉納耳汽瓣圖，表出當汽瓣初開時及汽瓣初關時曲柄所在之地位。

解答 畫一對互相垂直之軸，相交於  $O$  點。以  $O$  爲中心， $5\frac{1}{4}$  吋爲直徑畫一圓，代表偏心輪中心所行之路線。

以  $O$  爲中心，以新汽餘面之長  $\frac{7}{8}$  吋爲半徑，畫一弧線，截水平軸於  $M$  點。自  $M$  點向外截  $MH$  一段，使等於導程



之長，即  $\frac{1}{16}$  吋。再自  $H$  點畫水平軸之垂線，交偏心圓於  $P$  點。畫  $POP'$  線，則進角  $\delta$  即得出。

作  $S$  弧之切線，並垂直於  $POP'$ ，交偏心圓於  $A, C$  兩點。則  $OA$  即為汽瓣初開時曲柄之地位。  $OC$  即為汽瓣初關時曲柄之地位。

2. 設汽瓣一衝程所行之距離為 3 吋，兩端之新汽餘面各為  $1\frac{1}{8}$  吋，兩端之乏汽餘面各為  $\frac{1}{4}$  吋，兩端之導程各為  $\frac{3}{32}$  吋。連桿之長度為曲柄長度之六倍。試求：(a) 汽缸兩端停汽點，放汽點與壓縮點活塞所行之距離相當一衝程之百分數。(b) 入汽門對於新汽之最大開度。

解答 用醉納耳汽瓣圖。畫一對互相垂直之軸，相交於  $O$  點。

以  $O$  點為中心，3 吋為直徑，畫偏心圓。以  $O$  點為中心， $1\frac{1}{8}$  吋為半徑，畫兩端之新汽餘面弧。仍以  $O$  為中心， $\frac{1}{4}$  吋為半徑，畫兩端之乏汽餘面弧。自前端新汽餘面弧與水平軸之交點  $M$  向左截  $MH$  一段，使等於導程之長，即  $\frac{3}{32}$  吋。自  $H$  點作水平軸之垂線，交偏心圓於  $P$  點。畫  $POP'$  直線。則進角  $\delta$  即得出。

畫  $AC, RK, A'C'$  及  $R'K'$  各線，分別切於兩端之新汽餘面與乏汽餘面各弧，並各垂直於  $POP'$  線。則  $OA$  與  $OC$  為汽缸前端之進汽點與停汽點曲柄之地位。  $OR$  與  $OK$  為前端放汽點與壓縮點曲柄之地位。  $OA'$  與  $OC'$  為汽缸後端

進汽點與停汽點曲柄之地位、 $OR'$  與  $OK'$  爲後端放汽點與壓縮點曲柄之地位。

設偏心圓，又按另一尺寸代表曲柄軸針圓。以六倍曲柄之長，成連桿之長爲半徑，即  $C, R, K$  及  $C', R', K'$  各點分別投於水平軸上之  $c, r, k$  及  $c', r', k'$  各點，則活塞之相當地位，即可量出。茲將量得之結果列下：

$$(a) \text{ 前端之停汽點爲一衝程之 } \frac{Dc}{DD'} = \frac{1\frac{9}{32}}{3} = 42.7\%.$$

$$\text{後端之停汽點爲一衝程之 } \frac{D'c'}{DD'} = \frac{1\frac{1}{32}}{3} = 34.4\%.$$

$$\text{前端之放汽點爲一衝程之 } \frac{Dr}{DD'} = \frac{2\frac{5}{8}}{3} = 87.5\%.$$

$$\text{後端之放汽點爲一衝程之 } \frac{D'r'}{DD'} = \frac{2\frac{1}{2}}{3} = 83.3\%.$$

$$\text{前端之壓縮點爲一衝程之 } \frac{D'k}{DD'} = \frac{2\frac{1}{32}}{3} = 67.7\%.$$

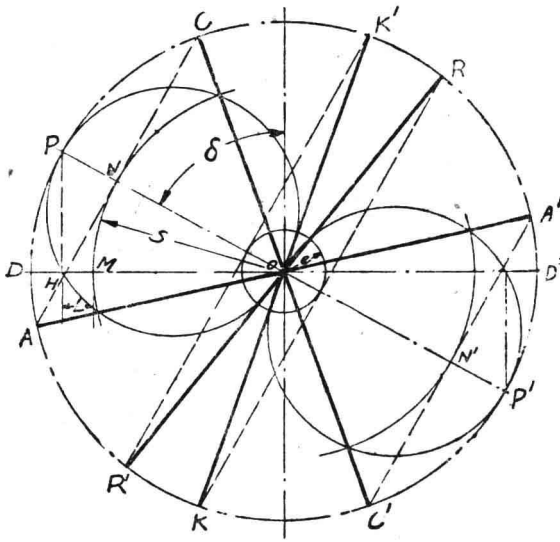
$$\text{後端之壓縮點爲一衝程之 } \frac{Dk'}{DD'} = \frac{2\frac{1}{4}}{3} = 75.0\%.$$

(b) 兩端入汽門對於新汽之最大開度，爲圖上之  $PN$  與  $P'N'$  所

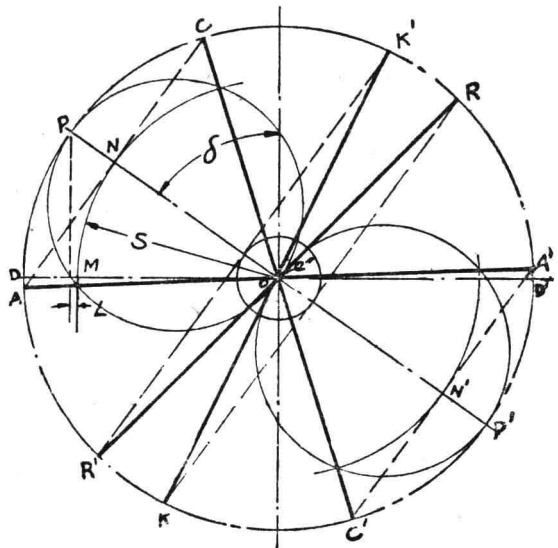
代表。各等於  $1\frac{1}{2} - 1\frac{1}{8}$  或  $\frac{3}{8}$  吋。







(a)



(c)

4. 汽瓣一衝程所行之距離爲 3 吋，活塞前端之進汽點當曲柄在靜點 (dead center) 前  $4^\circ$  之地位。 活塞後端之進汽點當曲柄在靜點前  $5^\circ$  之地位。 前端之停汽點在一衝程之 40%。 前端之放汽點在一衝程之 82%。 後端之放汽點在一衝程之 83%。 連桿之長度，爲曲柄長度之六倍。 餘隙容積爲 10%。 畫醉納耳汽瓣圖與理想之功圖。 功圖之長度爲 3 吋。 新汽之壓力用  $1\frac{1}{2}$  吋代表。 乏汽之壓力用  $\frac{1}{4}$  吋代表。

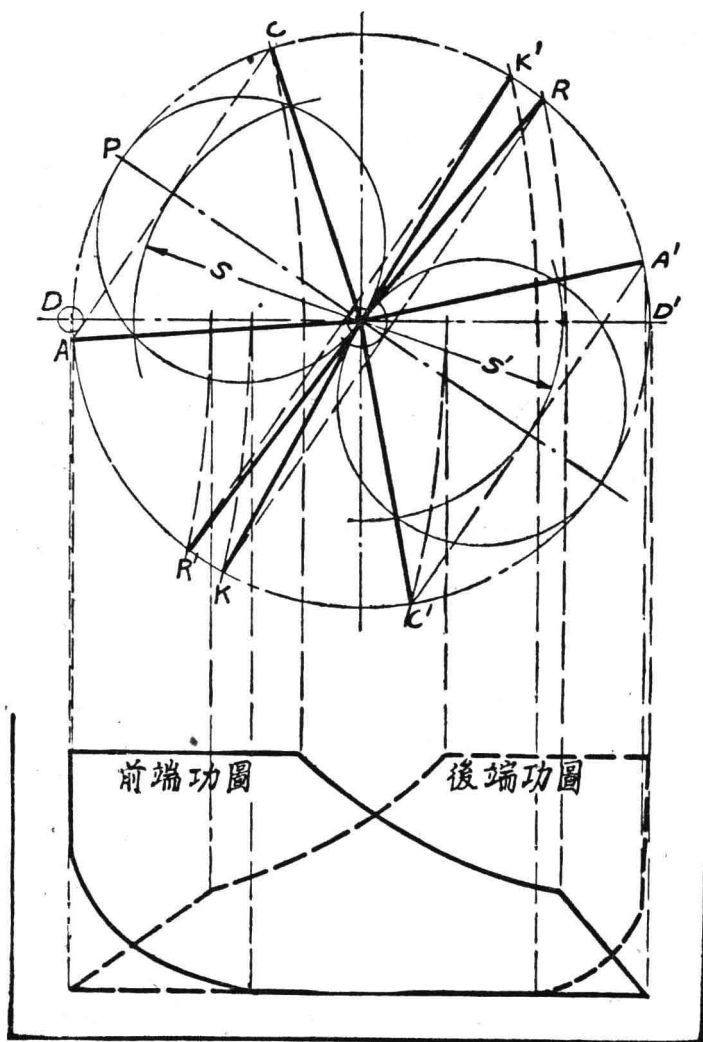
解答 畫一對互相垂直之軸，相交於  $O$  點。 以  $O$  爲中心，以 3 吋爲直徑，畫一圓，代表偏心圓。 並按另一尺寸代表曲柄軸針圓。

在前端靜點前  $4^\circ$  畫前端進汽點曲柄之地位  $OA$ 。 在後端靜點前  $5^\circ$  畫後端進汽點曲柄之地位  $OA'$ 。 以連桿之長度爲半徑，經過  $DD'$  線上 40% 之  $c$  點，畫一弧線，交偏心圓於  $C$  點。 則  $OC$  卽爲前端停汽點曲柄之地位。 同法畫出兩端放汽點曲柄之地位  $OR$  與  $OR'$ 。

平分  $AOC$  角，畫  $POP'$  線，進角  $\delta$  卽得出。 自  $A, R, A'$  及  $R'$  各點，各作  $POP'$  線之垂線，則汽缸兩端各種動作之相當曲柄地位，內外餘面及導程等均行得出。

理想功圖之畫法：以連桿之長爲半徑，將  $A, K, A', C'$  及  $K'$  各點分別迴轉於水平軸上。 再向下各畫垂直線。 設  $XX'$  爲絕對壓力爲零之基線。  $XX'$  線之長應等於汽瓣一

衝程之長加兩倍餘隙容積，即等於 3 吋 +  $2 \times \frac{3}{10}$  吋，或  $3\frac{3}{5}$  吋。自  $XX'$  線起，按題給之高度，畫新汽壓力線及乏汽壓力線。



當活塞起始自前端靜點前行時，汽缸內之蒸汽壓力當為新汽壓力，直至停汽點止。如圖上  $ab$  線所示。自停汽點起至放汽點止，恆假設係等溫膨脹，即  $bc$  曲線係以  $X$  為原點之長方拋物線。自放汽點起至一衝程之末，蒸汽逐漸沿  $cd$  線降至乏汽壓力。活塞回行時，乏汽按乏汽壓力線  $de$  排出，以至起始壓縮。此後乏汽仍假設按長方拋物線  $ef$  壓縮，直至汽門初開。進汽門開啓後，蒸汽之壓力當即沿  $fa$  線升至最高或新汽壓力。汽缸前端之理想功圖遂即得出。後端功圖之畫法仿此，茲不贅述。

5. 汽瓣一衝程所行之距離為 3 吋，前端停汽點在一衝程 40%。後端停汽點在一衝程 35%。前端導程， $\frac{1}{16}$  吋。前端乏汽餘面， $\frac{1}{8}$  吋。後端乏汽餘面， $\frac{1}{16}$  吋。畫醉納耳汽瓣圖與理想之功圖。功圖之長及新汽乏汽之代表尺寸與上題同。假設連桿長度為曲柄長度之四倍。

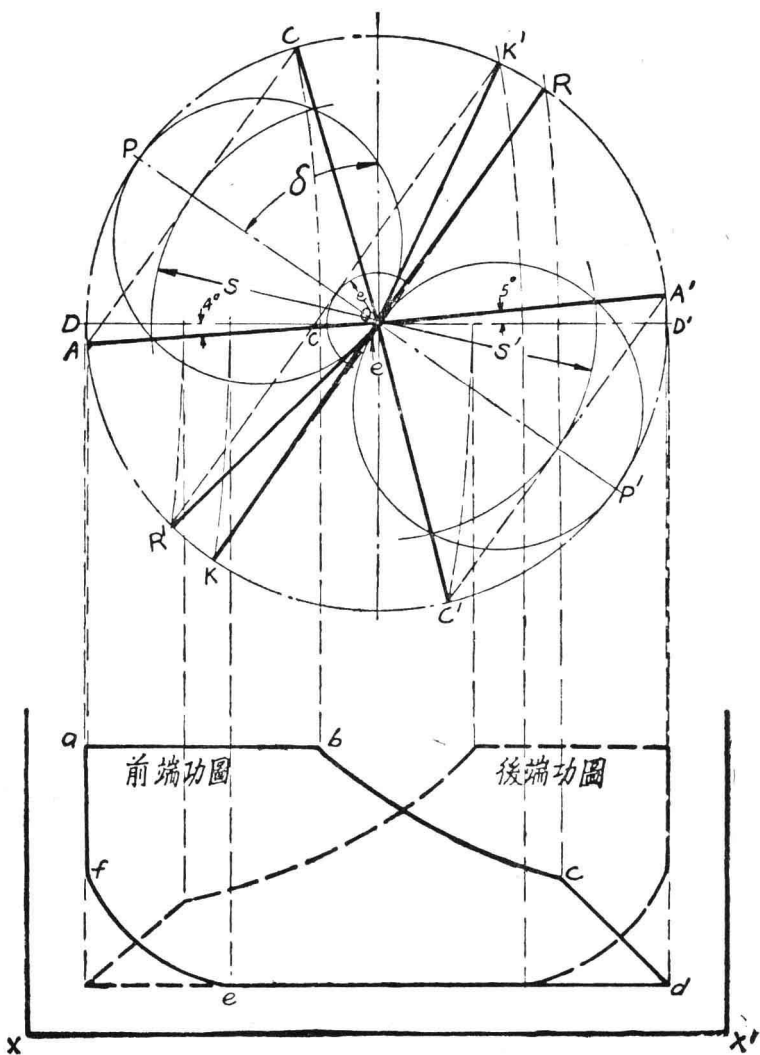
解答 仿前題之方法，畫偏心圓或曲柄軸針圓。再畫兩端停汽點曲柄之地位  $OC$  及  $OC'$ 。

以  $D$  為中心，前端導程， $\frac{1}{16}$  吋，為半徑畫圓。自  $C$  點作此圓之切線，遇偏心圓於  $A$  點，則  $OA$  即為前端進汽點曲柄之地位。

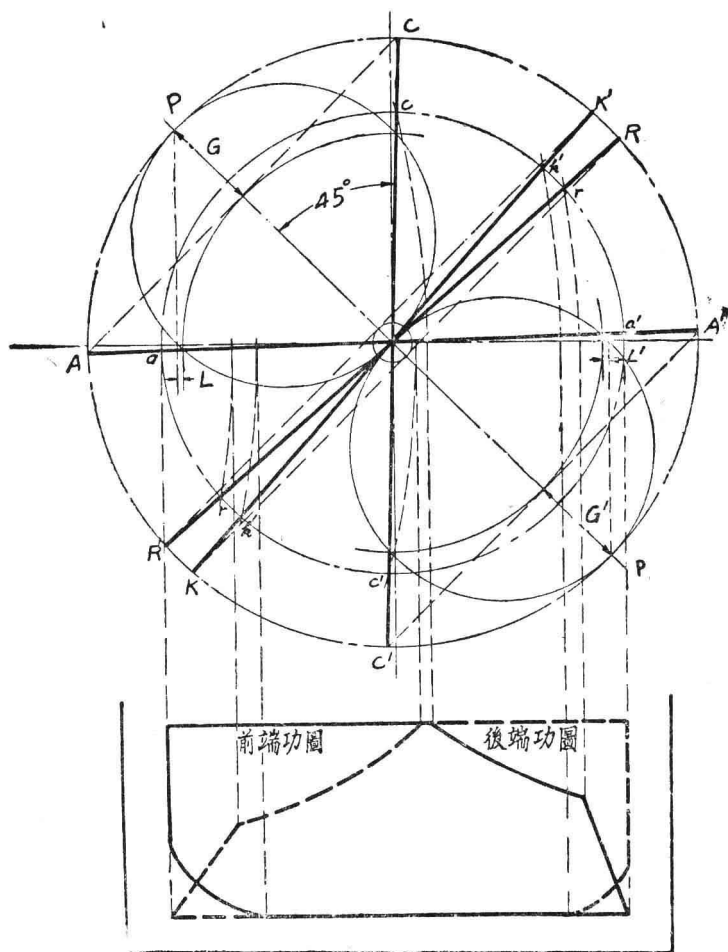
平分  $AOC$  角，畫  $POP'$  線，進角  $\delta$  即得出。畫兩端之汽瓣圓及乏汽餘面弧，則兩端之新汽餘面，後端之導程，兩端

之放汽，壓縮及進汽各點之相當曲柄地位，即可分別得出。

理想功圖之畫法，與前題同。



6. 前端新汽餘面,  $1\frac{3}{8}$  吋. 後端新汽餘面,  $1\frac{3}{8}$  吋. 進角,  $45^\circ$ .  
 偏距, 2 吋. 前端乏汽餘面,  $\frac{1}{8}$  吋. 後端乏汽餘面,  $\frac{1}{8}$  吋. 連桿長度  
 為曲柄長度之四倍. 蒸汽膨脹及被壓縮時均按  $PV=C$  公式. 畫活塞  
 兩端之醉納耳汽瓣圖. 並求: (a) 前端導程; (b) 後端導程; (c) 兩端汽門



之最大開度；(d) 兩端進汽點，停汽點，放汽點及壓縮點活塞所行距離占全衝程之百分數。畫相當之功圖。功圖之長度及新汽乏汽之代表尺寸與 5 題同。

解答 畫一對互相垂直之軸，相交於  $O$  點。以  $O$  為中心，以 2 吋為半徑，畫偏心圓。畫  $POP'$  線與垂直軸成 45 度角。畫兩端之汽瓣圓，新汽餘面弧及乏汽餘面弧。則兩端各種動作之相當曲柄地位，兩端之導程及最大汽門開度，均可得出。

因所要功圖之長為 3 吋，故功圖之畫法，係先以  $O$  為中心，以 3 吋為直徑，畫相當之曲柄軸針圓。與每個曲柄地位分別相交於  $a, c, r, k$  及  $a', c', r', k'$  各點。以四倍  $Oa$  之長為半徑，將以上各點迴轉於水平軸上，則每個相當活塞地位，即行得出。以下步驟，與前兩題同。

茲將量得所要之結果列下：

- (a) 前端導程， $L = \frac{1}{32}$  吋。
- (b) 後端導程， $L' = \frac{1}{32}$  吋。
- (c) 兩端汽門最大開度， $G = G' = \frac{5}{8}$  吋。
- (d) 前端進汽點為一衝程之 99.9%，  
 後端進汽點為一衝程之 99.9%，  
 前端停汽點為一衝程之 58.2%，  
 後端停汽點為一衝程之 44.8%，  
 前端放汽點為一衝程之 90.6%，  
 後端放汽點為一衝程之 85.4%，  
 前端壓縮點為一衝程之 86.5%，  
 後端壓縮點為一衝程之 80.2%。



## 第十三章 汽輪

## 習 題

1. 水由一內直徑一吋之管嘴中，向一輪之葉片上噴射。噴射之速率為每秒鐘 100 呎。且經過葉片後，向回迴轉 180 度。假設葉片之速率為每秒鐘 40 呎，問水對於葉片所生之衝動力幾何？(a) 假設葉片中毫無摩阻力；(b) 假設因摩阻力之影響使離開葉片時之相對速率為加入時之 90%。

解答 每秒鐘經過管嘴之水量

$$W = \frac{AV}{v} = \frac{\pi \times 1^2}{4 \times 144} \times 100 = \frac{314.16 \times 62.4}{4 \times 144} = 34 \text{ 磅.}$$

(a) 蒸汽離開葉片之絕對速率

$$V_2 = 100 - 40 - 40 = 20 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

$$\begin{aligned} \text{故衝動力 } F_t &= \frac{W}{g} (V_1 + V_2) \\ &= \frac{34}{32.2} (100 + 20) = 126.7 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

(b) 蒸汽離開葉片之絕對速率

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{90}{100} (100 - 40) - 40 \\ &= 54 - 40 = 14 \text{ 呎, 每秒鐘.} \end{aligned}$$

$$\text{故衝動力 } F_t = \frac{34}{32.2} (100 + 14) = 120.5 \text{ 磅.}$$

2. 在第 1 題，問裝置管嘴之部分所受之反動力爲何？

解答 (a) 反動力  $F_r = F_i = 126.7$  磅。

(b) 反動力  $F_r = F_i = 120.5$  磅。

3. 在一理想之管嘴中 (perfect nozzle)，絕對壓力每方吋 160 磅，溫度  $400^\circ\text{F}$  之蒸汽膨脹至絕對壓力每方吋 1 磅。問所生之速率爲何？

解答 加入管嘴時，每磅蒸氣之含熱量 = 1,217 英熱單位。

經過理想之管嘴，蒸汽之熵應無變化。

入管嘴時每磅蒸汽之總熵  $S_{g1} = 1.5906$ ，

出管嘴時每磅蒸汽之液體熵  $S_{f2} = 0.1326$ ，

出管嘴時每磅蒸汽之蒸發熵  $S_{fg2} = 1.8442$ 。

因得出管嘴時蒸汽之乾度  $x_2 = \frac{1.5906 - 0.1326}{1.8442} = 79\%$ 。

出管嘴時，每磅蒸汽之含熱量

$$= 69.7 + \frac{79}{100} \times 1,035.3 = 887.7 \text{ 英熱單位。}$$

故得所發生之速率

$$\begin{aligned} V_e &= 223.7 \sqrt{h_1 - h_e} \\ &= 223.7 \sqrt{1,217 - 887.7} \\ &= 223.7 \sqrt{329.3} = 4,060 \text{ 呎，每秒鐘。} \end{aligned}$$

4. 一管嘴喉部之橫斷面積爲 0.5 方吋。如一端供給之新汽 其絕對壓力爲每方吋 250 磅，其溫度爲  $600^\circ\text{F}$ ；彼端放出之乏汽，其絕對壓力爲每方吋 120 磅；問每小時由此噴管放出之蒸汽量爲若干磅？

解答 在管嘴喉部，蒸汽之比容 = 2.424 立方呎。

按 (13) 式，每秒由噴管放出之蒸汽量

$$\begin{aligned} W &= 0.3155 a_t \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} \\ &= 0.3155 \times 0.5 \sqrt{\frac{250}{2.424}} = 1.6 \text{ 磅。} \end{aligned}$$

故每小時放出之蒸汽量 =  $1.6 \times 3,600 = 5,760$  磅。

又因臨界壓力 =  $250 \times 0.54 = 135$  磅，每方吋。

背壓力  $P_e = 120$  磅，每方吋，小於臨界壓力，是以奈皮耳

經驗公式  $W = \frac{a_t P_1}{70} \cdot f$ ，亦可應用。

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{1 + 0.00065D} = \frac{1}{1 + 0.00065(600 - 400.97)} \\ &= \frac{1}{1 + 0.129} = 0.885 \end{aligned}$$

$$W = \frac{0.5 \times 250}{70} \times 0.885 = 1.58 \text{ 磅，每秒鐘。}$$

每小時放出之蒸汽量 =  $1.58 \times 3,600 = 5,690$  磅。

5. 一管嘴每小時放出蒸汽 2,160 磅。新汽之絕對壓力為每方吋 140 磅，含水分 1.0%。背面壓力為 2 吋水銀柱(絕對)。管嘴內之損失略去不計。試求此管嘴喉部及出口處之橫斷面積，及由喉部至出口處之長度。

解答 每秒鐘由管嘴流過之蒸汽量  $W = \frac{2,160}{3,600} = 0.6$  磅。

臨界壓力 =  $140 \times 0.58 = 81.25 > P_e$ ，故可應用奈皮耳經驗

公式，以求喉部之橫斷面積  $a_t$ 。

$$(a) \quad a_t = \frac{70 \times W}{P_1} \times \frac{1}{f}$$

$$= \frac{70 \times 0.6}{140} \times \frac{1 - 0.012 \times 1}{1} = 0.2965 \text{ 方呎.}$$

(b) 出口處之橫斷面積與喉部橫斷面積之關係為

$$\frac{a_t V_t}{v_t} = \frac{a_e V_e}{v_e}.$$

在喉部之壓力,  $P_t = 0.58 \times 140 = 81.25$  磅, 每方呎.

入管嘴時, 每磅蒸汽之含熱量.

$$h_1 = 324.74 + 0.99 \times 864.7 = 1,183.76 \text{ 英熱單位.}$$

因不計管嘴內之損失, 故須假設蒸汽經過管嘴時, 其熵無變化, 即係斷熱膨脹. 由蒸汽表查得,

入管嘴時, 每磅蒸汽之總熵

$$S_{g1} = 0.5070 + 0.99 \times 1.0677 = 1.5640$$

在喉部時, 每磅蒸汽之液體熵 = 0.4547.

在喉部時, 每磅蒸汽之蒸發熵 = 1.1644.

在喉部時, 蒸汽之乾度 =  $\frac{1.5640 - 0.4547}{1.1644} = 95.2\%$ .

在喉部時, 每磅蒸汽之含熱量

$$h_t = 283.01 + 0.952 \times 899.7 = 1140 \text{ 英熱單位.}$$

按第(8)式, 在喉部之蒸汽速率

$$V_t = 223.7 \sqrt{h_1 - h_t} = 223.7 \sqrt{1,183.76 - 1140}$$

$$= 223.7 \sqrt{43.76} = 1,480 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

在喉部時，蒸汽之比容

$$v_t = 0.01755 + 0.952 + 5.372 = 5.12 \text{ 立方呎.}$$

在出口處，每磅蒸汽之液體熵 = 0.1316.

在出口處，每磅蒸汽之蒸發熵 = 1.8468.

$$\text{在出口處，蒸汽之乾度} = \frac{1.5640 - 0.1316}{1.8468} = 77.6\%.$$

在出口處，每磅蒸汽之含熱量

$$h_e = 69.1 + 0.776 \times 1,035.7 = 873.1 \text{ 英熱單位.}$$

仍按第(8)式，在出口處蒸汽之速率

$$\begin{aligned} v_e &= 223.7 \sqrt{1,183.76 - 873.1} = 223.7 \sqrt{310.66} \\ &= 3,945 \text{ 呎，每秒鐘.} \end{aligned}$$

在出口處，蒸汽之比容

$$v_e = 0.01613 + 0.776 \times 339.5 = 263.516 \text{ 立方呎}$$

故得管嘴出口處之橫斷面積

$$\begin{aligned} a_e &= \frac{a_t V_t v_e}{v_t V_e} = \frac{0.2965 \times 1,480 \times 263.516}{5.12 \times 3,945} \\ &= 5.725 \text{ 方吋.} \end{aligned}$$

(c) 假設管嘴之膨脹角為 12 度，管嘴之長度為  $l$  吋。

$$\text{管嘴喉部之半徑 } r_t = \sqrt{\frac{0.2965}{\pi}} = 0.3074 \text{ 吋,}$$

$$\text{管嘴出口處之半徑 } r_e = \sqrt{\frac{5.725}{\pi}} = 1.35 \text{ 吋.}$$

$$\tan 6^\circ = \frac{r_e - r_t}{l} = \frac{1.35 - 0.3074}{l} = \frac{1.0426}{l}$$

$$\text{故 } l = \frac{1.0426}{\tan 6^\circ} = \frac{1.0426}{0.105} = 9.94 \text{ 吋.}$$

6. 蒸汽按每秒鐘2,000 呎之速率, 由一管嘴向一單行衝動式葉輪之葉片噴射. 葉片之速率, 為每秒鐘 900 呎, 管嘴之中心線與葉輪之平面成 18 度之角度, 而葉片之出角 (discharge angle) 則為 27 度. 葉片中之摩阻力使相對速率損失 12%. (a) 用圖示法 (graphically), 或解析法 (analytically) 加以略圖, 求葉片應具之入角, (entrance angle) 及蒸汽離葉片時之相對速率與絕對速率. (b) 根據絕對速率並根據相對速率計算每磅蒸汽對於葉片之衝動力. (c) 用第 287 段 (a) 與 (b) 兩公式分別計算葉片之效率.

解答 (a) 用解析法附以略圖.

蒸汽由管嘴噴射於葉片之絕對速率

$$V_1 = 2,000 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

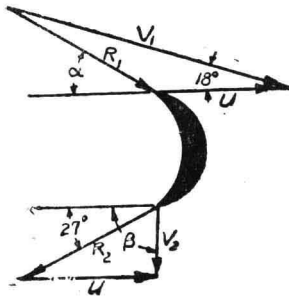
輪葉之速率  $U = 900$  呎, 每秒鐘.

蒸汽加入葉片時之相對速率

$$R_1 = \sqrt{V_1^2 + U^2 - 2V_1U \cos 18^\circ}$$

$$= \sqrt{2,000^2 + 900^2 - 2 \times 2,000 \times 900 \times 0.951}$$

$$= \sqrt{1,390,000} = 1,180 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$



蒸汽離開葉片時之相對速率

$$R_2 = R_1 (1 - 0.12)$$

$$= 1,180 \times 0.88 = 1,037 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

蒸汽離開葉片時之絕對速率

$$V_2 = \sqrt{R_2^2 + U^2 - 2R_2U \cos 27^\circ}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{1,037^2 + 900^2 - 2 \times 1,037 \times 900 \times 0.891} \\
 &= \sqrt{222,000} = 472 \text{ 呎, 每秒鐘.}
 \end{aligned}$$

設  $\alpha$  爲葉片之進角,

$$\frac{\sin(180^\circ - \alpha)}{V_1} = \frac{\sin 18^\circ}{R_1},$$

$$\sin(180^\circ - \alpha) = \frac{0.308 \times 2,000}{1,180} = 0.522 = \sin \alpha$$

故,  $\alpha = 31^\circ 28'$ .

(b) 根據絕對速率求每磅蒸汽對於葉片之衝動力.

設  $\beta$  爲  $V_2$  與水平線所成之角,

$$\frac{\sin(\beta - 27^\circ)}{\sin 27^\circ} = \frac{U}{V_2}$$

$$\sin(\beta - 27^\circ) = \frac{900 \times 0.454}{472} = 0.866$$

$$\beta = 60^\circ + 27^\circ = 87^\circ$$

$$\begin{aligned}
 \text{故 } F_t &= \frac{1}{g}(V_1 \cos 18^\circ + V_2 \cos 87^\circ) \\
 &= \frac{1}{32.2}(2,000 \times 0.951 + 472 \times 0.05234) \\
 &= \frac{1,902 + 24.7}{32.2} = 59.9 \text{ 磅.}
 \end{aligned}$$

根據相對速率, 求每磅蒸汽對於葉片之衝動力

$$\begin{aligned}
 F_t &= \frac{1}{g}(R_1 \cos 31^\circ 28' + R_2 \cos 27^\circ) \\
 &= \frac{1}{32.2}(1,180 \times 0.853 + 1,037 \times 0.891)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1,005 + 925}{32.2} = 59.9 \text{ 磅.}$$

(c) 用第 287 段 (a) 式求葉片之效率

$$\begin{aligned} \text{葉片之効力} &= \frac{V_1^2 - \left( \frac{R_1^2}{2g} - \frac{R_2^2}{g} \right) - \frac{V_2^2}{2g}}{\frac{V_1^2}{2g}} \\ &= \frac{V_1^2 - R_1^2 + R_2^2 - V_2^2}{V_1^2} \\ &= \frac{2,000^2 - 1,180^2 + 1,037^2 - 472^2}{2,000^2} \\ &= \frac{4 - 1.39 + 1.075 - 0.222}{4} = 86.6\% \end{aligned}$$

用第 287 段 (b) 式求葉片之效率.

$$\text{葉片之效率} = \frac{F_1 \times U}{\frac{V_1^2}{2g}} = \frac{59.9 \times 900 \times 64.4}{2,000 \times 2,000} = 86.6\%.$$

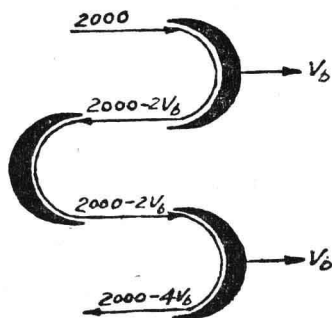
7. 設有一兩行 Curtis 級 (two row Curtis stage), 爲簡單起見, 無論在運動葉輪或固定葉輪, 其葉片之迴轉度均假定爲 180 度, 葉片中之摩阻力略去不計. 蒸汽由管嘴發出時, 其速率爲每秒鐘 2,000 呎. (a) 如擬達到最大之效率, 問葉片之速率應如何? (b) 各步之絕對速率與相對速率各爲何? (c) 每磅蒸汽對於兩行運動葉片所生之衝動力各爲何?

解答 (a) 設  $V_0$  爲葉片之速率,  $V_1$  爲蒸汽由管嘴發出時之絕對速率,  $V_2$  爲蒸汽離開第二行運動葉輪之絕對速率, 則

$$\text{葉片之效率} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{V_1^2}. \quad \text{當 } V_2 \text{ 等於零時, 效率最}$$



大。由圖上觀之， $V_2 = 2,000 - 4V_b$ ，是以欲達到最大之效率，必使  $2,000 - 4V_b = 0$ ，即  $V_b = \frac{2,000}{4} = 500$  呎，每秒鐘。



在第一行運動葉輪：

蒸汽加入葉片時之絕對速率  $V_1 = 2,000$  呎，每秒鐘。

蒸汽加入葉片時之相對速率  $R_1 = 2,000 - 500$

$= 1,500$  呎，每秒鐘。

蒸汽離開葉片時之相對速率  $R_2 = R_1 = 1,500$  呎，每秒鐘。

蒸汽離開葉片時之絕對速率  $V_2 = 1,500 - 500$

$= 1,000$  呎，每秒鐘。

在第二行運動葉輪：

蒸汽加入葉片時之絕對速率  $V_1 = 1,000$  呎，每秒鐘。

蒸汽加入葉片時之相對速率  $R_1 = 1,000 - 500$

$= 500$  呎，每秒鐘。

蒸汽離開葉片時之相對速率  $R_2 = R_1 = 500$  呎，每秒鐘。

蒸汽離開葉片時之絕對速率  $V_2 = 500 - 500 = 0$ 。

(c) 每磅蒸汽對於第一行運動葉片所生之衝動力

$$F_1 = \frac{1}{g}(V_1 + V_2) = \frac{2,000 + 1,000}{32.2} = 93.2 \text{ 磅.}$$

每磅蒸汽對於第二行運動葉片所生之衝動力

$$F_2 = \frac{1}{g}(V_1 + V_2) = \frac{1,000 + 0}{32.2} = 31.1 \text{ 磅.}$$

8. 在一單行衝動式葉輪，設葉片之迴轉度為 180 度。若流體噴射之絕對速率為  $V_1$ ，因受摩阻力之影響， $R_2 = CR_1$ ；式中  $R_1$  為流體入葉片時之相對速率， $R_2$  為流體出葉片時之相對速率， $C$  為小於 1 之數；試證葉片最大之效率仍發生於葉片速率  $U = \frac{1}{2} V_1$  之時，與無摩阻力時同。

解答 設  $V_2$  為流體出葉片時之絕對速率，按第 287 段 (a) 式，

$$\begin{aligned} \text{葉片之效率} &= \frac{\frac{V_1^2}{2g} - \left( \frac{R_1^2}{2g} - \frac{R_2^2}{2g} \right) - \frac{V_2^2}{2g}}{\frac{V_1^2}{2g}} \\ &= \frac{V_1^2 - R_1^2 + R_2^2 - V_2^2}{V_1^2} \\ &= \frac{V_1^2 - (V_1 - U)^2 + C^2(V_1 - U)^2 - [C(V_1 - U) - U]^2}{V_1^2} \\ &= \frac{2V_1U - 2U^2 + 2CV_1U - 2CU^2}{V_1^2} \\ &= \frac{2(1+C)(V_1U - U^2)}{V_1^2} \\ &= 2(1+C) \left( \frac{U}{V_1} - \frac{U^2}{V_1^2} \right) \end{aligned}$$

設  $\frac{U}{V_1} = x$ , 葉片之效率 =  $y$ , 則得

$$y = 2(1+C)(x-x^2).$$

當  $\frac{dy}{dx} = 0$  時,  $y$  之值為最大, 亦即

$$1-2x=0 \text{ 或 } x = \frac{1}{2},$$

$$\frac{U}{V_1} = \frac{1}{2}, \text{ 或 } U = \frac{1}{2} V_1.$$

故葉片最大之效率仍發生於葉片速率  $U = \frac{1}{2} V_1$  之時, 與摩阻力之有無與大小均無關。

9. 新汽之絕對壓力, 每方吋 200 磅, 過熱度, 華氏表 150 度; 背面絕對壓力相當 1 吋水銀柱. 試就下列各項情況, 計算其各需之級數:

(a) 盡用 Rateau 級, 各級之節徑 (pitch diameter) 大小一律, 均為 36 吋; 每分鐘之迴轉數, 3,600 次. (b) 第一級為兩行 Curtis 級, 其餘為 Rateau 級; 各級之節徑均為 36 吋, 每分鐘之迴轉數為 3,600 次. (c) 盡用 Rateau 級, 但大小分為兩段; 第一段之節徑為 36 吋, 第二段之節徑為 48 吋; 每分鐘之迴轉數, 1,800 次; 又全部熱能之三分之一須在第一段吸收之. (d) 第一級為兩行 Curtis 級, 節徑為 48 吋; 其餘為 Rateau 級, 節徑為 42 吋; 每分鐘之迴轉數為 1,800 次.

解答 每磅新汽之含熱量

$$h_1 = 1,197.8 + 0.58 \times 150 = 1,284.8 \text{ 英熱單位.}$$

設蒸汽經過汽輪, 係按斷熱膨脹, 其絕對壓力由每方吋

200 磅降至 1 吋水銀柱。由毛理耳圖沿等熵線查得每磅乏汽之含熱量  $h_2 = 881$  英熱單位。

每磅蒸汽可利用之熱能  $= h_1 - h_2 = 403.8$  英熱單位。

$$(a) \text{ 葉片之速率} = \frac{36}{12} \times \pi \times \frac{3,600}{60} = 565 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

每級蒸汽在管嘴中所生之速率, 均約須兩倍於葉片之速率, 即 1,130 呎, 每秒鐘。

假設管嘴之效率均為 95%, 按第 (8) 式,

$$1,130 = 223.7 \sqrt{AE_s \times 0.95}$$

$$\text{每級可利用之熱能 } AE_s = \frac{1}{0.95} \left( \frac{1,130}{223.7} \right)^2 = 26.9 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故所需之級數約為 } \frac{403.8}{26.9} = 15.$$

(b) 當採用 Curtis 式, 蒸汽在管嘴中所生之速率, 約須四倍於葉片之速率, 即 2,260 呎, 每秒鐘。

假設管嘴之效率仍為 95%, 則

$$2,260 = 223.7 \sqrt{AE_s \times 0.95}$$

在 Curtis 級吸收之熱能  $AE_s = 107.6$  英熱單位。

所餘之熱能  $= 403.8 - 107.6 = 296.2$  英熱單位。

$$\text{故得在 Rateau 式一段所需之級數} = \frac{296.2}{26.9} = 11.$$

$$(c) \text{ 第一段, 葉片之速率} = \frac{36}{12} \times \pi \times \frac{1800}{60} = 282.5 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

$$2 \times 282.5 = 223.7 \sqrt{AE_s \times 0.95}$$

$$AE_s = \frac{1}{0.95} \left( \frac{565}{223.7} \right)^2 = 6.73 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得第一段之級數} = \frac{\frac{1}{3} \times 403.8}{6.73} = 20.$$

$$\text{第二段, 葉片之速率} = \frac{48}{12} \times \pi \times \frac{1800}{60} = 377 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

$$2 \times 377 = 223.7 \sqrt{AE_s \times 0.95}$$

$$AE_s = \frac{1}{0.95} \left( \frac{754}{223.7} \right)^2 = 11.96 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得第二段之級數} = \frac{\frac{2}{3} \times 403.8}{11.96} = 23.$$

$$(d) \text{ 在 Curt s 級, 葉片之速率} = \frac{48}{12} \times \pi \times \frac{1800}{60} \\ = 377 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

$$4 \times 377 = 223.7 \sqrt{AE_s \times 0.95}$$

$$AE_s = \frac{1}{0.95} \left( \frac{1508}{223.7} \right)^2 = 47.8 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{所餘之熱能} = 403.8 - 47.8 = 356 \text{ 英熱單位.}$$

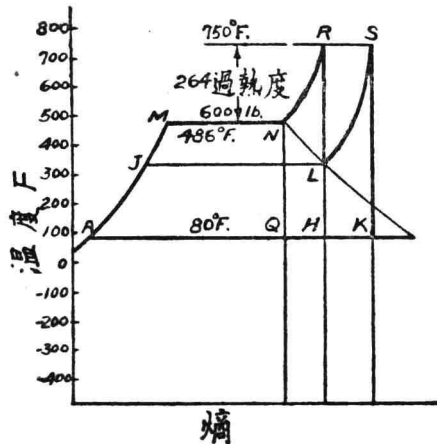
$$\text{在 Rateau 級, 葉片之速率} = \frac{42}{12} \times \pi \times \frac{1800}{60} \\ = 330 \text{ 呎, 每秒鐘.}$$

$$2 \times 330 = 223.7 \sqrt{AE_s \times 0.95}$$

$$AE_s = \frac{1}{0.95} \left( \frac{660}{223.7} \right)^2 = 9.16 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得在 Rateau 式一段所需之級數} = \frac{356}{9.16} = 39.$$





解答 由 N 至 Q:

$$S_{qn} = 1.4447,$$

$$S_{Tq} = 0.0932,$$

$$S_{Tsq} = 1.9407.$$

$$x_q = \frac{1.4447 - 0.0932}{1.9407} = 69.6\%.$$

故得在 Q 點時，蒸汽中所含之水分

$$= 1 - 0.696 = 30.4\%.$$

由 R 至 H:

$$S_{gr} = 1.6125,$$

$$S_{rh} = 2.0339,$$

故得在 H 點時，蒸汽中所含之水分

$$= \frac{2.0339 - 1.6125}{1.9407} = 21.7\%.$$

自 S 至 K:

$$S_{sk} = S_{gr} = 1.6125, \text{ 則}$$

$$P_s = P_t = 88 \text{ 磅每方吋, 絕對壓力.}$$

$$S_{\theta_s} = 1.8381, \quad S_{\theta_k} = 2.0339, \quad .$$

故得在  $K$  點時, 蒸汽中所含之水分

$$= \frac{2.0339 - 1.8381}{1.9407} = 10.1\%.$$

12. 供給於某汽輪之蒸汽, 其絕對壓力為每方吋 350 磅, 其溫度為  $700^\circ\text{F}$ . 乏汽之壓力相當 1.5 吋水銀柱. 在某種荷載時, 因調速器作用阻塞瓣, 使入汽輪之蒸汽, 其絕對壓力變為每方吋 250 磅. 問蒸汽可利用之能力因阻塞而損失之百分數.

解答 假設蒸汽之含熱量不因阻塞之影響而增多或減少, 即每磅蒸汽之含熱量在兩種不同之壓力時均為 1365.1 英熱單位.

當蒸汽由絕對壓力每方吋 350 磅, 溫度  $700^\circ\text{F}$ . 按斷熱膨脹至絕對壓力 1.5 吋水銀柱, 由毛理耳圖查得每磅乏汽之含熱量為 910 英熱單位.

每磅蒸汽可利用之熱 =  $1,365.1 - 910 = 455.1$  英熱單位.

當蒸汽由絕對壓力每方吋 250 磅, 含熱量 1,365.1 英熱單位按斷熱膨脹至絕對壓力 1.5 吋水銀柱, 由毛理耳圖查得每磅乏汽之含熱量為 930 英熱單位.

每磅蒸汽可利用之熱 =  $1,365.1 - 930 = 435.1$  英熱單位.

因得蒸汽可利用之能力因阻塞而損失之百分數為

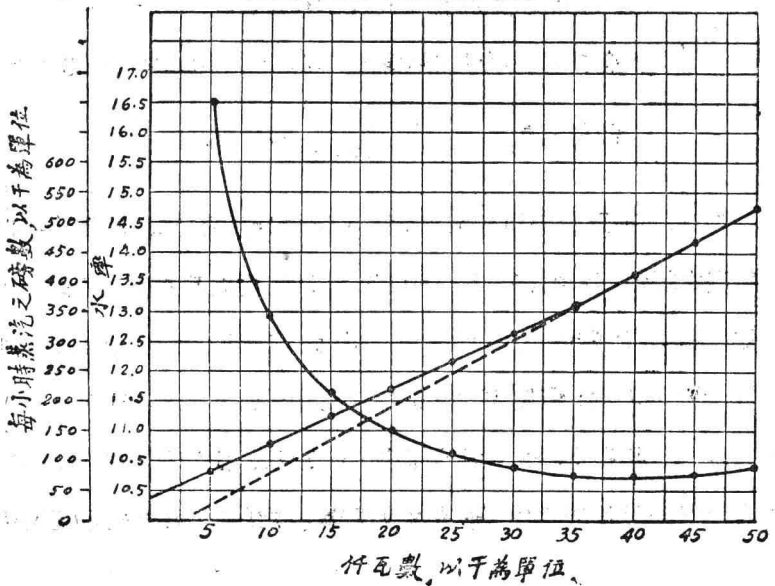
$$\frac{455.1 - 435.1}{455.1} = \frac{20}{455.1} = 4.4\%.$$



13. 用第303段代表一50,000 仟瓦汽輪之工況之公式, 即當載荷 < 37,000 仟瓦時, 每小時所需之總蒸汽量 =  $9.205 \times \text{仟瓦} + 36,400$ , 當載荷 > 37,000 仟瓦時, 每小時所需之總蒸汽量 =  $11.067 \times \text{仟瓦} - 32,450$ , 作此汽輪之 Willans 線及水率曲線。

解答 按題給之公式, 將載荷由 5,000 仟瓦, 每次遞增 5,000, 直至 50,000 仟瓦時, 每小時所需蒸汽之總量及每仟瓦小時所需之蒸汽量表列如下。

仟瓦數	每小時所需蒸汽之總量	每仟瓦小時所需之蒸汽量	每仟瓦	每小時所需蒸汽之總量	每仟瓦小時所需之蒸汽量
5,000	82,425	16.485	30,000	312,550	10.400
10,000	128,450	12.845	35,000	358,575	10.240
15,000	174,475	11.620	40,000	410,030	10.250
20,000	220,500	11.025	45,000	465,368	10.346
25,000	266,525	10.685	50,000	520,703	10.418



14. 如供給之新汽，其絕對壓力為每方吋 230 磅，過熱度為華氏表 180 度，背面之絕對壓力相當一吋水銀柱；試求第 13 題上之汽輪在全載荷 50,000 仟瓦時之熱效率與機效率。

解答 (a) 每仟瓦小時所需之蒸汽量

$$= 11.067 - \frac{32,450}{50,000} = 11.067 - 0.649 = 10.418 \text{ 磅.}$$

$$\text{每磅新汽之含熱量} = 1,199.6 + 0.59 \times 180$$

$$= 1,305.8 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每磅乏汽之液體熱} = 47.1 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得熱效率} = \frac{3,412}{10.418(1,305.8 - 47.1)} = 26\%.$$

(b) 在汽輪中倘蒸汽按等熵變化，由毛理耳圖查得每磅

$$\text{乏汽之含熱量} = 883 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每磅蒸汽可利用之熱量} = 1,305.8 - 883 = 422.8 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{故得機效率} = \frac{3,412}{10.418 \times 422.8} = 77.4\%.$$

15. 一單壓力單速率級之 De Laval 汽輪，用齒輪帶動一發電機。新汽之絕對壓力為每方吋 130 磅；凝汽器內之真空度為 22 吋水銀柱；乾飽和蒸汽；配電板 (Switchboard) 之載荷為 30 仟瓦；每分鐘之迴轉數，22,000 次；氣壓表，29.5 吋水銀柱；每小時蒸汽之消耗量，1,000 磅。(a) 以發電機之輸出量為標準，求全機之實際熱效率。(b) 假設有 3 仟瓦用以戰勝汽輪，輪齒及發電機之摩阻力，並不計因輻射熱之

損失，試求乏汽之乾度。(c) 如此汽輪共有四個管嘴，蒸汽入管嘴時之壓力即為蒸汽在汽管中之壓力，問管嘴喉部之橫斷面積為何？

解答 (a) 每磅新汽之含熱量 = 1,191.2 英熱單位。

乏汽之絕對壓力 = 29.5 - 22 = 7.5 吋水銀柱。

= 3.68 磅，每方吋。

每磅乏汽之液體熱 = 117.42 英熱單位。

因得以發電機之輸出量為標準之實際熱效率

$$= \frac{3412}{\frac{1000}{30}(1,191.2 - 117.42)} = \frac{102.42}{1,073.78}$$

= 9.53%。

(b) 每磅蒸汽所作之功之熱當量

$$= \frac{(30+3) \times 3412}{1,000} = 112.5 \text{ 英熱單位。}$$

每磅乏汽之含熱量 = 1,191.2 - 112.5 = 1,078.7 英熱單位。

$$117.42 + 1,008x = 1,078.7$$

故得乏汽之乾度  $x = \frac{961.28}{1,008} = 95.4\%$ 。

(c) 每秒鐘由一管嘴流過之蒸汽量

$$W = \frac{1,000}{4 \times 3,600} = 0.0694 \text{ 磅。}$$

臨界壓力 = 130 × 0.58 = 75.5 > 乏汽壓力，故可應用奈皮耳經驗公式，以求喉部之橫斷面積。

$$a_t = \frac{70 \times W}{P_1} \times \frac{1}{f} \quad (f=1)$$

$$= \frac{70 \times 0.0694}{130} = 0.0349 \text{ 吋}$$

## 第十四章 凝汽器

## 習 題

1. 一700指示馬力之三漲式蒸汽機，新汽之表壓力為每方吋150磅，其乏汽排入一噴射凝汽器中。凝汽器中之真空度為24吋水銀柱。冷水加入時之溫度為70°F，離開時之溫度為100°F。如蒸汽機每指示馬力每小時用乾飽和蒸汽15磅，問每小時所需冷水量為若干加倫？假定蒸汽入凝汽器時仍係乾飽和蒸汽。

解答 每小時進入凝汽器之蒸汽量

$$= 700 \times 15 = 10,500 \text{ 磅.}$$

乏汽入凝汽器後之絕對壓力

$$= 14.7 - 0.491 \times 24 = 2.92 \text{ 磅, 每方吋.}$$

每磅乏汽之含熱量 = 1121.4 英熱單位。

假設  $W$  為每小時所需冷水之加倫數，則

$$8\frac{1}{3} \times W(100 - 70) = 10,500 \{1,121.4 - (100 - 32)\}$$

$$W = \frac{10,500 \times 1,053.4 \times 3}{25 \times 30} = 44,250 \text{ 加倫.}$$

2. 噴射凝汽器之真空表表示26吋水銀柱。氣壓表表示29.4吋水銀柱。冷水加入時之溫度為70°F，離開時之溫度為105°F。蒸汽機每小時用蒸汽30,000磅。假設乏汽入凝汽器時仍為乾飽和狀態，問所需之冷水量幾何？

解答 乏汽入凝汽器後之絕對壓力

$$= 0.491(29.4 - 26) = 1.67 \text{ 磅, 每方吋.}$$

設  $W$  每小時所需之冷水量, 則

$$W(105 - 70) = 30,000\{1,112.6 - (105 - 32)\}$$

$$W = \frac{30,000 \times 1,039.6}{35} = 891,000 \text{ 磅.}$$

$$891,000 \div 8 \frac{1}{3} = 107,000 \text{ 加倫.}$$

3. 在一噴射凝汽器, 冷水之初溫度為  $60^{\circ}\text{F}$ . 其終溫度為  $100^{\circ}\text{F}$ . 加入蒸汽機者係乾飽和蒸汽, 其絕對壓力為每方吋 150 磅. 排入凝汽器時, 其絕對壓力為每方吋 2 磅. 蒸汽機所發之指示馬力數為 200, 而每指示馬力每小時所需之蒸汽量為 26 磅. 假設無輻射熱之損失, 試求: (a) 每小時所需之冷水量; (b) 乏汽之乾度; (c) 以指示馬力為標準之實際熱效率.

解答 (a) 每磅蒸汽所作之功之熱當量

$$= \frac{2,545}{26} = 97.85 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每磅新汽之含熱量} = 1,193.5 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每磅乏汽之含熱量} = 1,193.5 - 97.85$$

$$= 1,095.65 \text{ 英熱單位.}$$

每小時進入凝汽器之乏汽量

$$= 200 \times 26 = 5,200 \text{ 磅.}$$

設  $W$  爲每小時所需之冷水量, 則

$$W(100 - 60) = 5,200\{1,095.65 - (100 - 32)\}$$

$$W = \frac{5,200 \times 1,027.65}{40} = 133,500 \text{ 磅.}$$

$$133,500 \div 8\frac{1}{3} = 16,000 \text{ 加倫.}$$

(b) 每磅乏汽之液體熱 = 93.97 英熱單位.

每磅乏汽之蒸發熱 = 1,021.6 英熱單位.

設  $x$  爲乏汽之乾度, 則

$$x = \frac{1,095.65 - 93.97}{1,021.6} = 98\%.$$

(c) 以指示馬力爲標準之實際熱效率

$$= \frac{2,545}{26(1,193.5 - 93.97)} = 8.9\%.$$

4. 一蒸汽機所發之指示馬力數爲 250, 每指示馬力每小時所用之蒸汽量爲 18 磅. 乏汽排於一冷面凝汽器, 其中之真空度爲 27.96 吋水銀柱. 氣壓表之讀數爲 30 吋水銀柱. 新汽之表壓力爲每方吋 135.3 磅. 冷水之初溫度,  $50^{\circ}\text{F}$ ; 終溫度,  $90^{\circ}\text{F}$ ; 凝結之蒸汽之終溫度,  $100^{\circ}\text{F}$ . 假設無輻射熱之損失, 問每小時所需之冷水量幾何?

解答 每磅蒸汽所作之功之熱當量

$$= \frac{2,545}{18} = 141.4 \text{ 英熱單位.}$$

新汽之絕對壓力 =  $135.3 + 0.491 \times 30 = 150$  磅, 每方吋.

每磅新汽之含熱量 = 1,193.5 英熱單位。

每磅乏汽之含熱量 = 1,193.5 - 141.4 = 1,052.1 英熱單位。

每小時進入凝汽器之乏汽量 = 250 × 18 = 4,500 磅。

設  $W$  為每小時所需之冷水量，則

$$W = \frac{4,500\{1,052.1 - (100 - 32)\}}{90 - 50} = \frac{4,500 \times 984.1}{40}$$

$$= 110,700 \text{ 磅} = 13,300 \text{ 加倫。}$$

5. 乏汽入一冷面凝汽器時，即含 10% 之水分。凝汽器上真空表所指之真空度為 25.5 吋水銀柱；氣壓表之讀數為 29.57 吋水銀柱。冷水之初溫度，60 °F；終溫度，100 °F。凝結之蒸汽離凝汽器時之溫度為 80 °F。假設無輻射熱之損失，問凝結每磅蒸汽須用冷水若干磅？

解答 凝汽器內之絕對壓力

$$= 0.491(29.57 - 25.5) = 2 \text{ 磅，每方吋。}$$

加入凝汽器時，每磅乏汽之含熱量

$$= 93.97 + \frac{90}{100} \times 1,021.6 = 1,014 \text{ 英熱單位。}$$

設  $W$  為凝結每磅蒸汽須用之冷水量，則

$$W = \frac{1,014 - (80 - 32)}{100 - 60} = \frac{966}{40} = 24.15 \text{ 磅。}$$

6. 一凝結機發生 250 指示馬力，每指示馬力每小時所用之蒸汽量為 20 磅。乏汽排入一冷面凝汽器，其中之真空度為 26 吋水銀柱。氣壓表之讀數為 30 吋水銀柱。冷水之初溫度為 50 °F，終溫度為 100 °F。凝結蒸汽之終溫度為 120 °F。試求冷水唧筒之能量 (capacity)，以每

小時若干加倫計；(a) 假定乏汽之乾度爲 100%；(b) 假定蒸汽加入蒸汽機時之絕對壓力爲每方吋 150 磅；(c) 在 (b) 項，假設無輻射熱之損失，問乏汽之乾度如何？

解答 (a) 乏汽之絕對壓力

$$= 0.491(30 - 26) = 1.964 \text{ 磅, 每方吋.}$$

乏汽之含熱量 = 1,115.3 英熱單位.

設  $W$  爲冷水唧筒之能量，以每小時若干加倫計，則

$$W = \frac{250 \times 20 \{1,115.3 - (120 - 32)\}}{8 \frac{1}{3} (100 - 50)} = 12,320 \text{ 加倫.}$$

(b) 每磅新汽之含熱量 = 1,193.5 英熱單位.

$$\text{每磅乏汽之含熱量} = 1,193.5 - \frac{2,545}{20}$$

$$= 1,066.25 \text{ 英熱單位.}$$

則冷水唧筒之能量  $W$ ，以每小時若干加倫計，

$$= \frac{250 \times 20 \{1,066.25 - (120 - 32)\}}{8 \frac{1}{3} (100 - 50)} = 11,740 \text{ 加倫.}$$

(c) 每磅乏汽之液體熱 = 93.22 英熱單位.

每磅乏汽之蒸發熱 = 1,022 英熱單位.

設  $x$  爲乏汽之乾度，則

$$x = \frac{1,066.25 - 93.22}{1,022} = 95.18\%.$$

7. 一兩汽缸並列式複式機，直接帶動一發電機；汽缸之內直徑



爲 24 吋與 36 吋；一衝程之距離爲 36 吋。新汽之表壓力爲每方吋 125 磅；乏汽排入一暖汽裝置，其表壓力爲每方吋 8 磅。在高壓汽缸，停汽點在一衝程四分之一；每分鐘之迴轉數爲 125 次；氣壓表之讀數爲 29.5 吋水銀柱。

(a) 如功圖因數爲 0.80，問額定馬力數幾何？

(b) 設此機加設一冷面凝汽器，其真空度爲 27.14 吋水銀柱，且在實際發出 600 指示馬力時，每指示馬力每小時用蒸汽 25 磅，問每小時所需之冷水量幾何？冷水之初溫度，50°F；終溫度 80°F；凝結之蒸汽離凝汽器時之溫度，72°F。不計輻射熱之損失。

(c) 求乏汽之乾度。

解答 (a) 全機之膨脹率

$$r = \frac{D^2}{cd^2} = \frac{36 \times 36}{\frac{1}{4} \times 24 \times 24} = 9.$$

新汽之絕對壓力

$$= 125 + 0.491 \times 29.5 = 139.5 \text{ 磅, 每方吋.}$$

乏汽之絕對壓力 = 8 + 0.491 × 29.5 = 22.5 磅, 每方吋.

$$\text{平均有效壓力} = 0.80 \left\{ \frac{139.5}{9} (1 + \log_e 9) - 22.5 \right\}$$

$$= 0.80 \left\{ \frac{139.5 \times 3.19}{9} - 22.5 \right\}$$

$$= 0.80 (49.5 - 22.5) = 21.6 \text{ 磅, 每方吋}$$

$$\text{故額定馬力數} = \frac{2 \times 21.6 \times \frac{36}{12} \times \pi \times 18^2 \times 125}{33,000} = 500.$$

(b) 凝汽器之絕對壓力 =  $29.5 - 27.14 = 2.36$  吋水銀柱。

每磅蒸汽所作之功之熱當量

$$= \frac{2,545}{25} = 101.8 \text{ 英熱單位.}$$

每磅新汽之含熱量 =  $1,192.2$  英熱單位。

每磅乏汽之含熱量

$$= 1,192.2 - 101.8 = 1,090.4 \text{ 英熱單位.}$$

每小時進入凝汽器之蒸汽量 =  $600 \times 25 = 1,500$  磅。

設  $W$  爲凝汽器每小時所需之冷水量，則

$$\begin{aligned} W &= \frac{15,000\{1,090.4 - (72 - 32)\}}{80 - 50} \\ &= \frac{15,000 \times 1,050.4}{30} = 525,000 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

(c) 每磅乏汽之液體熱 =  $74.9$  英熱單位。

每磅乏汽之蒸發熱 =  $1,032.7$  英熱單位。

設  $x$  爲乏汽之乾度，則

$$x = \frac{1,090.4 - 74.9}{1,032.7} = 98.4\%.$$

8. 假設在冷面凝汽器內，每溫度差華氏表一度，每平方呎之受冷面，每小時之平均傳熱率爲  $600$  英熱單位；並假設每磅乏汽在凝汽器壓力之下之含熱量 (heat content) 爲  $1,000$  英熱單位；根據下列條件，計算一凝汽器所需受冷面之數量：乏汽之溫度， $140^\circ\text{F}$ ；循環水入凝汽器時之溫度， $75^\circ\text{F}$ ；循環水出凝汽器時之溫度， $105^\circ\text{F}$ ；凝結之蒸汽之溫度， $100^\circ\text{F}$ 。每小時之蒸汽量， $25,000$  磅。

解答 冷水之平均溫度 =  $\frac{1}{2}(75+105) = 90^{\circ}\text{F}$ .

蒸汽之平均溫度 =  $\frac{1}{2}(100+140) = 120^{\circ}\text{F}$ .

平均溫度差 =  $120 - 90 = 30^{\circ}\text{F}$ .

設  $S$  為凝汽器所需之受冷面積, 則

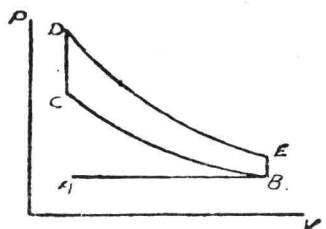
$$\begin{aligned} S &= \frac{25,000\{1,000 - (100 - 32)\}}{600 \times 30} \\ &= \frac{25 \times 932}{18} \\ &= 1,294.4 \text{ 方呎.} \end{aligned}$$

## 第二十章 內燃機之額定大小及工况

## 習 題

1. 一鄂圖循環機之餘隙容積為 35%；(a) 當  $k=1.4$  時，(b) 當  $k=1.3$  時，問其熱效率各為若干？

解答



$$\text{餘隙容積} = \frac{V_C}{V_B - V_C} = 0.35,$$

$$\text{則 } V_B = 3.86 V_C.$$

(a) 當  $k=1.4$  時，

$$\begin{aligned} \text{熱效率} &= 1 - \left( \frac{V_C}{V_B} \right)^{k-1} \\ &= 1 - \left( \frac{1}{3.86} \right)^{1.4-1} \\ &= 1 - 0.5925 = 40.75\%. \end{aligned}$$

(b) 當  $k=1.3$  時，

$$\begin{aligned} \text{熱效率} &= 1 - \left( \frac{1}{3.86} \right)^{1.3-1} \\ &= 1 - 0.676 = 32.4\%. \end{aligned}$$

2. 設一鄂圖循環機之熱效率為 45%， $k=1.4$ ，問其餘隙容積為一衝程之百分之若干？

$$\text{解答} \quad 1 - \left(\frac{V_a}{V_B}\right)^{k-1} = 1 - \left(\frac{V_a}{V_B}\right)^{0.4} = 0.45,$$

$$\left(\frac{V_a}{V_B}\right)^{0.4} = 0.55,$$

$$\frac{V_a}{V_B} = (0.55)^{\frac{1}{0.4}} = (0.55)^{2.5} = 0.225.$$

$$\text{故餘隙容積} = \frac{V_a}{V_B - V_a} = \frac{0.225}{1 - 0.225} = 29\%.$$

3. 在一採用鄂圖循環之內燃機，壓縮起始時之絕對壓力為每方吋 14 磅。(a) 倘理論上擬使熱效率達到 60%，問所需壓縮之程度為何？(b) 問所需之餘隙容積為何？

$$\text{解答} \quad \text{設 } k=1.4, \text{ 則熱效率} = \frac{60}{100} = 1 - \left(\frac{P_b}{P_c}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1 - \left(\frac{P_b}{P_c}\right)^{3.5}.$$

$$\text{或} \quad \frac{14}{P_c} = (1 - 0.6)^{3.5} = (0.4)^{3.5} = 0.0405$$

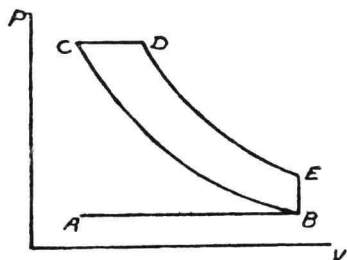
$$(a) \text{ 壓縮終點之絕對壓力 } P_c = \frac{14}{0.0405} = 346 \text{ 磅, 每方吋.}$$

$$(b) \quad 1 - \left(\frac{V_c}{V_b}\right)^{k-1} = \frac{60}{100},$$

$$\frac{V_c}{V_b} = \left(1 - \frac{60}{100}\right)^{\frac{1}{0.4}} = (0.4)^{2.5} = 0.101,$$

$$\text{餘隙容積} = \frac{V_c}{V_b - V_c} = \frac{0.101}{1 - 0.101} = 11.23\%.$$

4. 在一四程循環之笛塞耳機，壓縮起始時之絕對壓力為每方吋 14 磅，壓縮終止時之絕對壓力為每方吋 500 磅。(a) 求餘隙容積所佔一衝程之百分數；(b) 如  $k=1.4$ ，起始壓縮時之溫度為  $100^\circ\text{F}$ ，問壓縮終止時之溫度。



$$\text{解答 (a)} \quad \frac{V_c}{V_b} = \left(\frac{P_c}{P_b}\right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{14}{500}\right)^{\frac{1}{1.4}} = \frac{6.57}{84.7}$$

$$\begin{aligned} \text{故餘隙容積} &= \frac{V_c}{V_b - V_c} = \frac{6.57}{84.7 - 6.57} \\ &= \frac{6.57}{78.13} = 8.4\% \end{aligned}$$

$$(b) \quad \text{因} \quad \frac{T_b}{T_c} = \left(\frac{V_c}{V_b}\right)^{k-1},$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad T_c &= T_b \left(\frac{V_b}{V_c}\right)^{k-1} \\ &= (100 + 460) \left(\frac{84.7}{6.57}\right)^{0.4} \\ &= 560 \times (12.88)^{0.4} = 560 \times 2.75 \\ &= 1,540^\circ \text{ 絕對溫度。} \end{aligned}$$

故得壓縮終止時之溫度為  $1540 - 460 = 1080^\circ\text{F}$ 。

5. 一鄂圖循環機，其氣缸之內直徑為 10 吋，一衝程之距離為 18 吋，其餘隙容積為 20%。壓縮衝程起始時之絕對壓力為每方吋 14 磅，其溫度為 300°F。 (a) 求熱效率；(b) 求壓縮終止時之壓力與溫度。

解答 (a)  $\frac{V_c}{V_b - V_c} = \frac{20}{100} = \text{餘隙容積}.$

$$\frac{V_c}{V_b - V_c + V_c} = \frac{20}{100 + 20} = \frac{20}{120} = \frac{1}{6},$$

或  $\frac{V_c}{V_b} = \frac{1}{6}.$

$$\text{故熱效率} = 1 - \left(\frac{1}{6}\right)^{k-1} = 1 - \left(\frac{1}{6}\right)^{0.4}$$

$$= 1 - \frac{1}{2.048} = 51.2\%.$$

(b)  $\frac{T_c}{T_b} = \left(\frac{V_b}{V_c}\right)^{k-1}, \quad T_c = T_b \times (6)^{0.4}$

$$= (200 + 460) \times 2.048 = 1,350^\circ \text{ 絕對溫度}.$$

故得壓縮終止時之溫度 = 1,350 - 460 = 890°F.

$$\text{壓縮終止時之壓力 } P_c = P_b \left(\frac{V_b}{V_c}\right)^k = 14 \times 6^{1.4}$$

$$= 172 \text{ 磅, 每方吋}.$$

6. 在一笛塞耳機，其餘隙容積為 6%。 (a) 設燃料噴射占一衝程 6%，(b) 設燃料噴射占一衝程 12%，問熱效率各為何？

解答 (a) 壓縮率  $r = \frac{V_b}{V_c} = \frac{V_b - V_c}{V_c} + 1$

$$= \frac{100}{6} + 1 = \frac{106}{6} = 17.66.$$

$$\frac{V_d}{V_c} = \frac{2V_c}{V_c} = 2.$$

$$\begin{aligned} \text{故熱效率} &= 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left\{ \frac{\left(\frac{V_d}{V_c}\right)^k - 1}{k\left(\frac{V_d}{V_c} - 1\right)} \right\} \\ &= 1 - \frac{1}{(17.66)^{0.4}} \left\{ \frac{2^{1.4} - 1}{1.4(2-1)} \right\} \\ &= 1 - \frac{1}{3.15} \left( \frac{2.637 - 1}{1.4} \right) \\ &= 1 - 0.372 = 62.8\%. \end{aligned}$$

$$(b) \quad r = 17.66.$$

$$\frac{V_d}{V_c} = \frac{3V_c}{V_c} = 3.$$

$$\begin{aligned} \text{故熱效率} &= 1 - \frac{1}{(17.66)^{0.4}} \left\{ \frac{3^{1.4} - 1}{1.4(3-1)} \right\} \\ &= 1 - \frac{1}{3.15} \left( \frac{4.65 - 1}{2.8} \right) \\ &= 1 - 0.414 = 58.6\%. \end{aligned}$$

7. 某內燃機發出 3,500 制動馬力；其機械效率為 85%；損失於水套中汽水之熱能力占 33%；以制動馬力為標準之熱效率為 25%。冷水入水套時之溫度為 85°F。出水套時之溫度為 130°F。問每分鐘所需循環之水量為若干加倫？

解答 每制動馬力每小時汽缸內發生之熱量

$$= \frac{2,545}{0.25} = 10,180 \text{ 英熱單位.}$$



每馬力每分鐘冷水吸收之熱量

$$= \frac{33}{100} \times \frac{10,180}{60} = 56 \text{ 英熱單位.}$$

每分鐘冷水吸收之總熱

$$= 3,500 \times 56 = 196,000 \text{ 英熱單位.}$$

每分鐘所需循環之冷水量

$$= \frac{196,000}{130 - 85} = 4,355 \text{ 磅} = 523 \text{ 加倫.}$$

8. 在一四程循環，單動式，四汽缸之內燃機。燃料用煉焦爐煤氣；發出之制動馬力數為 800；活塞速率，每分鐘 600 呎；衝程與直徑之比，2；試求其汽缸之直徑，一衝程之距離及每分鐘之迴轉數。

解答 每汽缸之制動馬力數  $= \frac{800}{4} = 200.$

根據第三五表， $e_v = 0.80$

根據第三六表， $e_t = 0.27$ ， $A = 7$  立方呎，

$$H = 505 \text{ 英熱單位.}$$

$2ln = 600$ ， $ln = 300$ 。代入第 376 節 第 (6) 式，汽缸之

$$\begin{aligned} \text{直徑 } d &= \sqrt{\frac{108 \times N_n (1+A)}{l \times n \times H \times l_v \times l_t}} = \sqrt{\frac{108 \times 200 (1+7)}{300 \times 505 \times 0.80 \times 0.27}} \\ &= \sqrt{5.1} = 2.26 \text{ 呎} = 27.12 \text{ 吋.} \end{aligned}$$

一衝程之距離  $l = 2 \times d = 54.24 \text{ 吋} = 4.52 \text{ 呎.}$

$$\text{每分鐘之迴轉數 } n = \frac{600}{2 \times l} = \frac{600}{2 \times 4.52} = 66.4.$$

9. 一六汽缸，冷水減熱， $3\frac{1}{4}$ 吋直徑，4吋衝程之汽車機，每分鐘之迴轉數，1,500次。問所發之馬力數幾何？

解答 根據第三五表， $e_v = 0.77$ 。

根據第三六表， $e_t = 0.20$ 。

$$D = \frac{\pi \times 3.25^2}{4} \times 4 = 33.2 \text{ 立方吋。代入第 376 節第(9)式，}$$

$$\begin{aligned} \text{則每汽缸所發之馬力數 } N_n &= \frac{D m e_v e_t}{1,360} \\ &= \frac{33.2 \times 1,500 \times 0.77 \times 0.20}{1,360} \\ &= 5.64 \end{aligned}$$

$$\text{全機所發之馬力數} = 5.64 \times 6 = 33.84.$$

10. 一直徑 8 吋，衝程 15 吋之單動式煤氣機，每分鐘之迴轉數，250 次；每分鐘之爆炸數，100 次。功圖之面積，1.05 方吋；其長度為 3 吋。彈簧，240 磅。制動馬力用波郎尼制動機測定。桿臂之長 63 吋；總重，75 磅；皮重，20 磅。求此機之機械效率。

解答 平均有效壓力  $P = \frac{1.05}{3} \times 240 = 84$  磅，每方吋。

活塞面積 =  $\pi \times 4 \times 4 = 50.25$  方吋。

每分鐘之爆炸數 = 100 次。

$$\text{指示馬力數} = \frac{Plan}{33,000} = \frac{84 \times \frac{15}{12} \times 50.25 \times 100}{33,000} = 16.$$

制動機上之純重 =  $75 - 20 = 55$  磅。

每分鐘之迴轉數 = 250 次。

$$\text{制動馬力數} = \frac{2\pi l v n}{33,000} = \frac{2\pi \times \frac{63}{12} \times 55 \times 250}{33,000} = 13.72$$

$$\text{故機械效率} = \frac{13.72}{16} = 85.8\%$$

11. 一直徑 8 吋，衝程 15 吋之單動式煤氣機，每分鐘之迴轉數，250 次；每分鐘之爆炸數 110 次。功圖之面積 1.35 方吋；其長度為 3 吋。所用之彈簧，220 磅。制動馬力用波郎尼制動機測定。桿臂之長，63 吋；皮重，30 磅。如此機之機械效率為 90%，問制動機臺秤上所表示之總重應為若干磅？

$$\text{解答 指示馬力數} = \frac{\frac{1.35}{3} \times 220 \times \frac{15}{12} \times \pi \times 4^2 \times 110}{33,000} = 20.7.$$

$$\text{制動馬力數} = 20.7 \times \frac{90}{100} = 18.63.$$

設  $W$  為制動機臺秤上所表示之總重，則

$$\begin{aligned} W &= \frac{18.63 \times 33,000}{2\pi \times \frac{63}{12} \times 250} + 30 \\ &= 74.6 + 30 = 104.6 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

12. 一直徑 10 吋，衝程 15 吋之單動式煤氣機，每分鐘之迴轉數，225 次；每分鐘之爆炸數 105 次。功圖之面積 1 方吋；其長度為 3 吋。所用之彈簧，240 磅。制動馬力用波郎尼制動機測定。桿臂之長 66 吋；皮重，20 磅；純重，95 磅。試求：(a) 指示馬力；(b) 制動馬力；(c) 摩阻馬力；(d) 機械效率。

$$\text{解答 (a) 指示馬力} = \frac{\frac{1}{3} \times 240 \times \frac{15}{12} \times \pi \times 5^2 \times 105}{33,000} = 25.$$

$$(b) \text{ 制動馬力} = \frac{2\pi \times \frac{66}{12} \times 95 \times 225}{33,000} = 22.35.$$

$$(c) \text{ 摩阻馬力} = 25 - 22.35 = 2.65.$$

$$(d) \text{ 機械效率} = \frac{22.35}{25} = 89.5\%.$$

13. 一六汽缸，四程循環，單動式，直徑 5 吋，衝程 6 吋之汽油機，活塞之速率，每分鐘 1,250 呎。功圖之面積，1.5 方吋；長度，2.75 吋；所用之彈簧，200 磅。波郎尼制動機之桿臂，63 吋；皮重，40 磅；總重，110 磅。汽油每磅之發熱量，19,500 英熱單位；每小時共用 45 磅。試求：(a) 指示馬力；(b) 制動馬力；(c) 摩阻馬力；機械效率；(e) 每制動馬力每小時所用汽油之磅數；(f) 以制動馬力為標準之實際熱效率。

解答 (a) 指示馬力

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1.5}{2.75} \times 200 \times \frac{6}{12} \times \pi \times 2.5 \times 2.5 \times \frac{1,250}{2}}{33,000} \times 6 \\ &= 20.28 \times 6 = 121.68. \end{aligned}$$

$$(b) \text{ 制動馬力} = \frac{2\pi \times \frac{63}{12} \times (110 - 40) \times 1,250}{33,000} = 87.5.$$

$$(c) \text{ 摩阻馬力} = 121.68 - 87.5 = 34.18.$$

$$(d) \text{ 機械效率} = \frac{87.5}{121.68} = 72\%.$$

(e) 每制動馬力每小時所用之汽油量

$$= \frac{45}{87.5} = 0.514 \text{ 磅.}$$

(f) 以制動馬力為標準之實際熱效率

$$= \frac{2,545}{0.514 \times 19,500} = 25.45\%.$$

14. 一八汽缸飛行機，當按一定之速率，一定之載荷試驗時，得到下列之結果：試驗之時間，6.58 分；所用之汽油，7 磅；汽油之比重，0.7；機軸之總迴轉數，8,881 次；制動機上之純重，280 磅；桿臂之長度，21 吋。求每制動馬力每小時所用汽油之磅數。

解答 每分鐘之迴轉數  $= \frac{8,881}{6.58} = 1,350$  次。

$$\text{制動馬力} = \frac{2\pi \times \frac{21}{12} \times 280 \times 1,350}{33,000} = 126.$$

$$\text{每小時所需之汽油量} = \frac{7}{6.58} \times 60 = 63.8 \text{ 磅.}$$

每制動馬力每小時所用之汽油量

$$= \frac{63.8}{126} = 0.506 \text{ 磅.}$$

15. 一煤氣發生爐，自每磅褐煤可蒸出 60 立方呎之煤氣。每立方呎煤氣之發熱量為 120 英熱單位；每磅褐煤之發熱量為 10,000 英熱單位。當煤氣每分鐘之爆炸數為 100 次時，每制動馬力每小時用煤氣 100 立方呎。試求：(a) 煤氣發生爐之熱效率；(b) 以制動馬力為標準煤氣機之熱效率；(c) 發生爐與煤氣機之合併熱效率。

解答 (a) 煤氣發生爐之熱效率

$$= \frac{60 \times 120}{10,000} = 72\%$$

(b) 以制動馬力為標準煤氣機之熱效率

$$= \frac{2,545}{100 \times 120} = 21.2\%$$

(c) 發生爐與煤氣機之合併熱效率

$$= 72\% \times 21.2\% = 15.25\%$$

16. 一煤氣發生爐，由每磅褐煤可蒸出  $67\frac{1}{2}$  立方呎煤氣。每立方呎煤氣之發熱量為 120 英熱單位；每磅褐煤之發熱量為 11,100 英熱單位。當煤氣機每分鐘之爆炸數為 100 次時，每制動馬力每小時用煤氣 100 立方呎。試求：(a) 煤氣發生爐之熱效率；(b) 以制動馬力為標準煤氣機之熱效率；(c) 發生爐與煤氣機合併之熱效率。

解答 (a) 煤氣發生爐之熱效率

$$= \frac{67.5 \times 120}{11,100} = 73\%$$

(b) 以制動馬力為標準煤氣機之熱效率

$$= \frac{2,545}{100 \times 120} = 21.2\%$$

(c) 發生爐與煤氣機之合併熱效率

$$= 73\% \times 21.2\% = 15.47\%$$

## 第二十一章 各種熱機效率及經濟上之比較

## 習 題

1. 一 300 馬力自動停汽蒸汽機，價值 4,500 元；每指示馬力每小時用蒸汽 28 磅。一 300 馬力考利斯蒸汽機，價值 6,000 元；每指示馬力每小時用蒸汽 20 磅。廠中蒸汽每 1,000 磅合洋兩角。此廠全年工作 300 日，每日工作 10 小時。假設投資之利息按 6%，自動停汽機之折舊按 10%，考利斯機之折舊按 7%。(a) 購置何種比較經濟？(b) 此種較彼種全年共省若干元？

解答 採用自動停汽蒸汽機時：

$$\text{全年之利息及折舊} = 4,500 \left( \frac{6}{100} + \frac{10}{100} \right) = 720 \text{ 元.}$$

全年之蒸汽用費

$$= \frac{300 \times 28}{1,000} \times \frac{20}{100} \times 10 \times 300 = 5,040 \text{ 元.}$$

$$\text{全年共需之用費} = 720 + 5,040 = 5,760 \text{ 元.}$$

採用考利斯蒸汽機時：

$$\text{全年之利息及折舊} = 6000 \left( \frac{6}{100} + \frac{7}{100} \right) = 780 \text{ 元.}$$

全年之蒸汽用費

$$= \frac{300 \times 20}{1,000} \times \frac{20}{100} \times 10 \times 300 = 3,600 \text{ 元.}$$

$$\text{全年共需之用費} = 780 + 3,600 = 4,380 \text{ 元.}$$

(a) 購置考利斯蒸汽機比較經濟

(b) 採用考利斯機較採用自動停汽機全年可省

$$5,760 - 4,380 = 1,380 \text{ 元.}$$

2. 一 500 馬力之蒸汽機，全年工作 300 日，每日工作 10 小時。出品人擔保每馬力每小時只用蒸汽 14.5 磅。但經試驗之結果，實用 15 磅。如廠中蒸汽每 1,000 磅合洋一角七分；利息按 6%；折舊按 5%；倘對購買者因增加工作費所受之損失加以補償，問購價應減少若干？

解答 全年因多用蒸汽增加之工作費

$$= \frac{500 \times (15 - 14.5)}{1,000} \times \frac{17}{100} \times 10 \times 300 = 127.5 \text{ 元.}$$

$$\text{設 } x \text{ 爲減付之購價，則 } x \times \left( \frac{6}{100} + \frac{5}{100} \right) = 127.5$$

$$\text{故 } x = \frac{127.5}{0.11} = 1,160 \text{ 元.}$$

3. 某工廠須用一 600 指示馬力之蒸汽機供給其動力。工廠全年工作 300 日，每日工作 21 小時。現用之蒸汽機每指示馬力每小時用蒸汽 18 磅；新汽之表壓力爲每方吋 150 磅；給水溫度，212°F；每磅乾煤之相當蒸發量，9 磅；每噸煤之價值 6 元。廠中改裝一新蒸汽機，每指示馬力之價值爲 15 元。每馬力每小時只用蒸汽 15 磅。利息，6%，新機之折舊，8%。舊機平均每年之修理費爲 300 元；按每馬力價值 5 元售出。問廠中每年可純省若干元？

解答 新汽之絕對壓力 = 150 + 14.7 = 164.7 磅，每方吋。

$$\text{每磅蒸汽之含熱量} = 1,194.97 - 212 + 32$$

$$= 1,014.97 \text{ 英熱單位.}$$



$$\text{每磅煤之實際蒸發量} = \frac{9 \times 970.2}{1,014.97} = 8.6 \text{ 磅.}$$

$$\begin{aligned} \text{舊機每年所用之蒸汽量} &= 600 \times 18 \times 24 \times 300 \\ &= 77,760,000 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

$$\text{舊機每年所用之煤量} = \frac{77,760,000}{8.6} = 9,050,000 \text{ 磅.}$$

$$\text{舊機每年所用之煤費} = \frac{9,050,000}{2,000} \times 6 = 27,150 \text{ 元.}$$

$$\text{舊機每年之修理費} = 300 \text{ 元.}$$

因舊機之售價每年所得之利息

$$= 600 \times 5 \times \frac{6}{100} = 180 \text{ 元.}$$

因不用舊機廠中每年少用之費

$$= 27,150 + 300 + 180 = 27,630 \text{ 元}$$

$$\text{新機每年之利息及折舊} = 600 \times 15 \times \frac{6+8}{100} = 1,260 \text{ 元.}$$

$$\text{新機每年所用之煤費} = \frac{27,150}{18} \times 15 = 22,625 \text{ 元.}$$

因改裝新機廠中每年多用之費

$$= 1,260 + 22,625 = 23,885 \text{ 元.}$$

故得廠中每年純省之數為  $27,630 - 23,885 = 3,745$  元.

4. 某工廠須用一 1,000 指示馬力之蒸汽機供給其動力。工廠全年工作 300 日，每日工作 24 小時。現用之蒸汽機每指示馬力每小時用蒸汽 20 磅，平均每年之修理費為 300 元。廠中改裝一新機，每指示馬

力之價值爲 15 元；每指示馬力每小時只用蒸汽 15 磅。新汽之絕對壓力爲每方吋 150 磅；給水溫度 200°F。每磅乾煤之相當蒸發量爲 9 磅；每噸煤之價值爲 6 元。舊機按每馬力 5 元售出。利息按 5%；新機之折舊與修理按 10%。問廠中每年可純省若干元？

解答 每磅蒸汽之含熱量

$$= 1,193.5 - 200 + 32 = 1,025.5 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{每磅煤之實際蒸發量} = \frac{9 \times 970.2}{1,025.5} = 8.51 \text{ 磅.}$$

因改裝新機廠中每年所省之煤費

$$= \frac{(20 - 15) \times 1,000 \times 300 \times 24}{8.51 \times 2,000} \times 6 = 12,680 \text{ 元.}$$

每年所省之修理費 = 300 元。

因舊機之售價每年所得之利息

$$= 1,000 \times 5 \times \frac{5}{100} = 250 \text{ 元.}$$

新機之利息及折舊等費

$$= 1,000 \times 15 \times \frac{5 + 10}{100} = 2,250 \text{ 元.}$$

故得廠中每年純省之數爲

$$12,680 + 300 + 250 - 2,250 = 10,980 \text{ 元.}$$

5. 一動力廠，須在配電板發出 1,000 仟瓦之電力。若採用某種蒸汽機，則每指示馬力每小時用蒸汽  $14\frac{1}{2}$  磅。新汽之表壓力，每方吋 145 磅；給水溫度，150°F；乾蒸汽。蒸汽機之機械效率，92%；發電機

之效率, 95%。若採用某種汽輪, 則每仟瓦每小時用蒸汽 20 磅。新汽之表壓力, 每方吋 145 磅; 過熱度, 華氏表 150 度; 給水溫度, 150°F。在兩種情形之下, 發生蒸汽之價值均為每 1,000,000 英熱單位, 須洋二角。(a) 問採用何種比較經濟? (b) 比較經濟者, 每年能省幾何?

解答 採用蒸汽機時:

$$\begin{aligned} \text{蒸汽機之指示馬力數} &= 1,000 \times 1.34 \times \frac{100}{92} \times \frac{100}{95} \\ &= 1,535 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{蒸發一磅水所需之熱量} &= 1,194.47 - 150 + 32 \\ &= 1,076.47 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每小時共須發生之蒸汽量} &= 1,535 \times 14.5 \\ &= 22,260 \text{ 磅.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{每小時發生蒸汽之費用} &= \frac{22,260 \times 1,076.47}{1,000,000} \times \frac{20}{100} \\ &= 4.79 \text{ 元.} \end{aligned}$$

採用汽輪機時:

$$\begin{aligned} \text{蒸發一磅水所需之熱量} \\ &= 1,194.47 + 0.56 \times 150 - 150 + 32 \\ &= 1,160.47 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\text{每小時共須發生之蒸汽量} = 1,000 \times 20 = 20,000 \text{ 磅.}$$

$$\begin{aligned} \text{每小時發生蒸汽之費用} &= \frac{20,000 \times 1,160.47}{1,000,000} \times \frac{20}{100} \\ &= 4.64 \text{ 元.} \end{aligned}$$

故 (a) 採用汽輪, 較為經濟。

(b) 假設每年工作 365 日, 每日工作 24 小時, 則全年可省  $(4.79 - 4.64) \times 24 \times 365 = 1,314$  元。

6. 一蒸汽機發出 200 指示馬力; 每指示馬力每小時用蒸汽 20 磅。現擬用一煤氣機替代之。煤氣機汽缸之內直徑, 20 吋; 一衝程之距離, 24 吋; 單動式; 每分鐘之迴轉數, 220 次。當每分鐘之爆炸數為 105 次, 平均有效壓力每吋 100 磅時, 每指示馬力每小時須用 10,000 英熱單位之熱量。鍋爐廠之效率, 70%; 煤氣發生爐之效率, 80%。採用蒸汽機與鍋爐之價值為 20,000 元。採用煤氣機與煤氣發生爐之價值為 30,000 元。工人費用, 兩種假設相同。每噸煤價 6 元; 每磅煤之發熱量, 13,000 英熱單位。鍋爐內蒸汽之表壓力為每方吋 100 磅; 給水溫度, 180°F。如投資之利息按 5%; 折舊與修理按 10%。(a) 問採用何種比較經濟? (b) 如全年工作 300 日, 每日工作 10 小時, 比較經濟者, 全年能省幾何?

解答 採用蒸汽機時:

$$\begin{aligned} \text{蒸發一磅水所需之熱量} &= 1,189 - 180 + 32 \\ &= 1,041 \text{ 英熱單位.} \end{aligned}$$

$$\text{每磅煤之有效熱量} = 13,000 \times \frac{70}{100} = 9,100 \text{ 英熱單位.}$$

$$\begin{aligned} \text{全年所需之煤量} &= \frac{200 \times 20 \times 1,041 \times 10 \times 300}{9,100 \times 2,000} \\ &= 645 \text{ 噸.} \end{aligned}$$

$$\text{全年之煤費} = 645 \times 6 = 3,870 \text{ 元.}$$

$$\text{固定費} = 20,000 \times \frac{5+10}{100} = 3,000 \text{ 元.}$$

$$\text{全年共須之費用} = 3,870 + 3,000 = 6,870 \text{ 元.}$$

採用煤氣機時:

煤氣機之指示馬力數

$$= \frac{\text{Plan}}{33,000} = \frac{100 \times \frac{23}{12} \times \pi \times 10^2 \times 105}{33,000} = 220.$$

$$\text{每磅煤之有效熱量} = 13,000 = \frac{80}{100} = 10,400 \text{ 英熱單位.}$$

$$\text{全年所需之煤量} = \frac{220 \times 10,000 \times 10 \times 300}{10,400 \times 2,000} = 317 \text{ 噸.}$$

$$\text{全年之煤費} = 317 \times 6 = 1,902 \text{ 元.}$$

$$\text{固定費} = 30,000 \times \frac{5+10}{100} = 4,500 \text{ 元.}$$

$$\text{全年共須之費用} = 1,902 + 4,500 = 6,402 \text{ 元.}$$

故 (a) 採用煤汽機比較經濟.

$$(b) \text{ 廠方全年可省 } 6,870 - 6,402 = 468 \text{ 元.}$$