職業教科書委員會審查通過

發動機

上冊

周緝庵編著

商務印書館發行

例言

1. 是書原本爲英人鄧肯氏所著，原名 Steam and Other Engines，其書在英國極其盛行，良由取材精審，有裨實用，故爲學術界所歡迎。

2. 是書內容適於吾國現今職業學校機械學科教材之用。譯者在江蘇省立水產學校教授機械學課程，即選譯此書爲講義，今將此書完全譯成，願以供諸一般職業學校。

3. 書中對於引用科學之原則，皆詳細闡明，所述各式機械，皆爲近代之設計，圖說精詳。

4. 讀是書者，須有實用數學，應用力學，機械繪圖之基本學識，前數章討論熱學，尤須悉心研究。

5. 書中詳舉例題，藉以指示計算之方式，復於每章之末，多列問題，以資練習。

6. 實習教程應以次實驗，第十九與第二十二章之試驗，尤爲重要。試驗室之設備，固繁簡不同，是編所舉者，乃最低之限度。

7. 教學時間，實習除外，每週授課三小時，可於兩學年中授完。

8. 書中所譯專門名詞，均從教育部公布之理工名詞，亦有極少數不同者，乃甚普通，仍將公布之名詞，與之並列於附錄之英漢名詞表。各種單位，有時以英文縮寫示之，以期簡便，其意義見附錄之數學表。

9. 蒸汽機，蒸汽鍋，蒸汽渦輪機，多簡稱汽機，汽鍋，渦輪機。內燃機則稱油機或氣機。

10. 機械學之範圍甚廣，除動力機外，其他如工具，煅煉，翻砂各種機械皆屬之。斯編專論蒸汽機及其他動力機，餘者願以異日從事撰述之。

周維庵

江蘇省立水產學校

吳淞砲臺灣

民國二十六年一月五日

錄 目

發動機

上冊

第一章　緒論

簡單蒸汽機之動作　蒸汽係用熱力煑水製成，若用敞口器皿，則蒸汽散出，其壓力與大氣相等，若用閉口器皿，則所得之蒸汽，壓力甚高，能力甚大，可用於工作，例如汽機以蒸汽推動活塞(Piston)，在汽筒(Cylinder)內往來行動，又如汽渦輪機以蒸汽擊動輪周之葉(Vanes)，使之旋轉，皆以蒸汽工作者也。本章先就簡單蒸汽機(Steam engine)之構造及動作，加以說明，俾學者有相當了解。

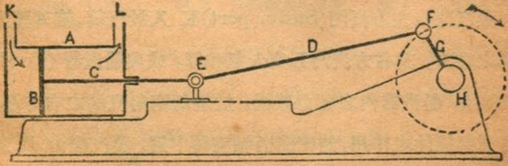

圖 1.　汽機之略圖

汽機之活塞，在汽筒內往來行動，能使機軸(Engine shaft)

作旋轉運動，其間有曲柄(Crank)與連接桿(Connecting rod)，使之動作。圖 1，A 爲汽筒之剖面，B 爲活塞，在汽筒內往來行動，裝置吻合，蒸汽不能自周緣透過，C 爲活塞桿 (Piston rod)，入於汽筒後端之孔，與活塞相連，此孔亦不透汽，活塞桿之外端 E 與連接桿 D 之一端相連，連接桿其他一端與曲柄 G 上之串(Pin) F 相連。曲柄裝於曲柄軸 H 上，此軸旋轉時，F 所行之路爲圓周，而 E 所行之路爲直線。

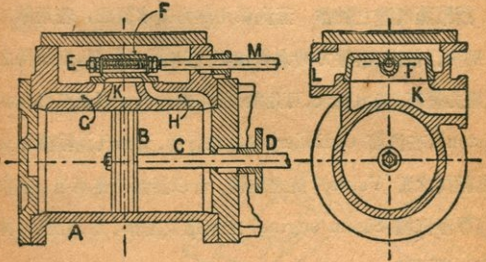

圖 2. 汽筒之縱橫剖面

蒸汽先自左方汽門(Steam port)K 入於汽筒，施其壓力於活塞之左方，其右方汽門 L 與大氣相通，或與凝汽器 (Condenser)相通，凝汽器內之壓力甚低，於是活塞向汽筒之右方進行，因有居間機件之作用，能使曲柄軸旋轉半週。蒸汽復由 L 入於汽筒之右方，其左方，K 與大氣相通，或與凝汽器相通，則活塞向汽筒之左方進行，於是曲柄軸完成一週。今欲使曲柄軸旋轉均

勻，而無急跳動作，故其上裝一重輪，曰飛輪(Fly wheel)。

汽筒之構造　汽筒內有各汽門，以便蒸汽流通，蒸汽先至活塞之一方，繼至他方，必須用一種機關曰汽瓣者(Valves)，始能爲功。汽瓣之種類至多，茲僅就簡單者言之，至於汽瓣之啓閉，又須用一種機件，以曲柄軸推動之，然後此機始能自動。

尋常汽筒之式如圖 2，A 爲汽筒，以鑄鐵製成，內裝鑄鐵之活塞 B。C 爲活塞桿，入於汽筒一端之孔 D，與活塞牢接。E 爲長方形之箱，謂之汽箱 (Steam chest)，位於汽筒之一方，與汽筒一體鑄成，上有可啓之蓋。G 與 H 爲二汽門，由汽箱達於汽筒之兩端。K 爲洩汽門(Exhaust port)，由 E 而達大氣或凝汽器。凡此汽門與汽箱相接處，皆爲平面，謂之汽筒面 (Cylinder face) 如圖 4。汽瓣 F 之往來滑動，乃由一種機件裝於曲柄軸上，推動瓣桿(Valve rod)使然，蒸汽由汽鍋引入 L，而達汽箱，再由滑動瓣 F (Slide valve)分佈之，此瓣狀如長方形倒置之箱如圖 3。

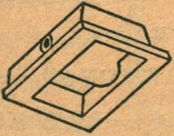

圖 3.　滑動瓣之立體圖

圖 4.　汽筒面與汽門

汽瓣之動作　欲知汽瓣之動作，須觀察圖 5 之立體狀態，其中汽瓣與汽門皆用剖面顯明之，按圖中汽瓣之位置，蒸汽由汽箱

經G流入汽筒之左方，其他方原有之蒸汽經 H 及汽瓣之中空處而達洩汽門K，於是活塞B向右方進行。欲使活塞回轉，必須移動汽瓣之位置，如圖 6，蒸汽經

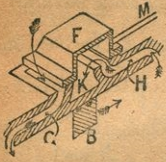

圖 5.

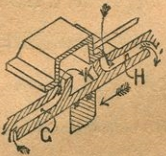

圖 6.

滑動瓣分佈蒸汽之狀態

H 而達汽筒之右方，其他方面經 G 及汽瓣之中空處而達洩汽門，於是活塞向左方進行，凡汽瓣之設計，須使蒸汽納入汽筒，僅在衝程(Stroke)之初步，嗣將蒸汽之供給斷絕，而使其中蒸汽之膨脹作用(Expansive action)，推進其餘之衝程，於是活塞上之壓力漸漸減少，乃節省蒸汽之法也。

推動汽瓣之方法 汽瓣以偏心輪(Eccentric) 推動之，其狀如第七圖。A 為圓盤，中有一孔承受曲柄軸 (Crank shaft) B.

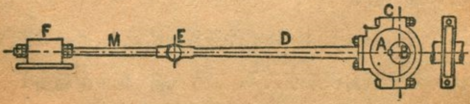

圖 7. 推動汽瓣之偏心輪與偏心輪桿

此孔中心與圓盤中心有短距離，用一楔子(Key)與曲柄軸牢接。圓盤謂之偏心盤(Eccentric sheave)，能納入偏心帶輪 (Eccentric strap)，二者吻合，故偏心盤與曲柄軸同時旋轉，而偏心帶輪無旋轉運動，偏心帶輪原分爲兩件，加於偏心盤上，以緊釘(Bolt)相連，再以植入緊釘(Stud)與偏心輪桿相連，桿之他端又用串 E 與汽瓣桿 M 相連，於是曲柄軸旋轉時，汽瓣有進退動作，其進退距離適爲偏心盤中心與曲柄軸中心相距之倍。偏心輪之安置，須使汽門之啓閉，在適當之時，以備蒸汽之出入，後章更詳言之。

活塞之構造　簡單汽機之活塞，大都以鑄鐵製成，直徑較大之活塞，則以鍛鋼或鑄鋼爲之。活塞與活塞桿相連之法，不一而足，總以運用之際，或推或挽，不致脫落爲尙，尋常係將桿端製成錐形，入於活塞中錐形之孔，如圖8。桿端有螺旋 (Screw)，上加螺旋套 (Nut)，則連接牢固，再以裂串(Split pin)通過螺旋止與活塞桿，以防螺旋止鬆落。

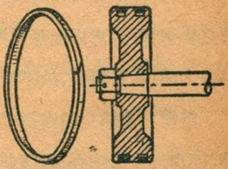

圖 8.　活塞及發條環

活塞在汽筒內，欲使蒸汽隔絕 (Steamtight)，須用發條環(Spring ring)塡入活塞周緣之凹陷。用於小活塞者如圖 8。中有二環，以鑄鐵製成，此環直徑略大於汽筒，在任何一點割開，剖面長方形，切去少許，進入汽筒內，則兩端相接，先將此環塡入活

塞之凹隙，然後推入汽筒，其外張之力，施於汽筒之裏面，故能防止蒸汽之透過。

塡料箱與壓蓋 今以活塞入於汽筒，瓣桿入於汽箱，欲使蒸汽不透，須裝置塡料箱(Stuffing box)及壓蓋(Gland)二物，狀如圖 9。塡料箱之內部 A 有一孔，以活塞桿或瓣桿入之，其外部較大，以備容納塡料，此種塡料，或用石綿，或同樣之物質皆可，再以壓蓋及植入緊釘持之，則其中堅實，塡料與各桿之間，物質緊張，故不能透汽。

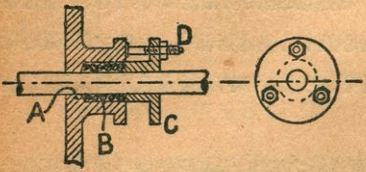

圖 9. 塡料箱與壓蓋

瓣桿之連絡 瓣與瓣桿之連絡，須防止脫落，並須能受汽壓，而與汽筒面吻合。欲達此種目的，故於瓣內作一卵形之孔。其方向與汽筒面垂直，接受瓣桿如圖 10。再於瓣之兩端，加抑壓螺

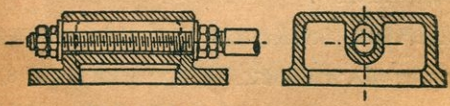
圖 10. 瓣與瓣桿之連絡

旋套(Locking nut)於桿上，則瓣與桿之間，不致鬆動，亦不致過

緊，有凝瓣與汽筒面之吻合。

汽筒之排水　汽筒每因温度降低，蒸汽凝結為水，而在汽機初動時，積水尤多，故必須排除之。當活塞行至極端時，活塞與筒蓋 (Cylinder cover) 之間，恆有空隙，謂之筒隙 (Clearance)，此處若為水充塞，筒蓋或爆裂，

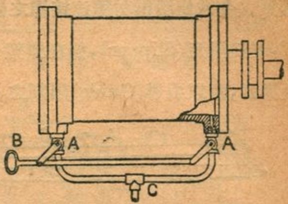

圖 11. 排水之佈置

或為活塞衝去，極其危險。圖 11 表示排水活嘴 (Drain cocks) 之裝置，A A 為二嘴，裝於汽筒兩端最低處之孔，祇須一拉連柄 B，活嘴卽開，則積水由排水管 C 流出。

橫頭與引導　連接桿與活塞桿相聯之具，謂之橫頭 (Cross-head)。用於小汽機者，其式如圖12。橫頭係一方塊 A，中有黃銅護圈 B (Bushes)，

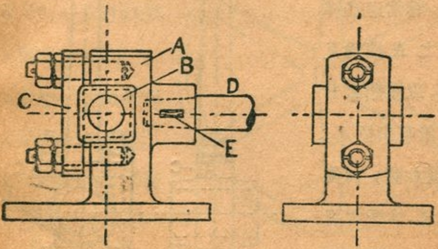

圖 12. 橫頭之縱橫剖面

以備承受橫頭串 (Cross head pin)，而與連接桿相聯。此種護圈

皆以頂蓋(Cap) C 及植入緊釘、抑壓螺旋套等物持之。活塞桿之一端 D,製成錐形,插入橫頭內同形之孔,而以扁栓(Cottor) E 繫緊。今欲使活桿勿隨連接桿之傾斜動作,故橫頭之下部如圖 12,名曰滑足(Slipper),能在機架 (Engine frame) 之平面上自由滑動,而以引導(Guide)限制之,狀如圖 13。圖內 A 為平面,

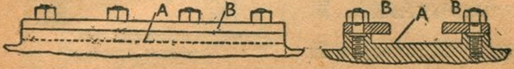

圖 13. 引導之縱橫剖面圖

BB 為引導棒 (Guide bars), 皆以植入緊釘持之,於是滑足之行動,與活塞桿同一方向,恆為直線。

連接桿 尋常連接桿如圖 14。桿之 A 端為叉形,夾於橫頭,以橫頭串 B 通過,再以二錐形串插入。桿之 C 端擴展如圖,與黃銅護圈 D 相連,承受曲柄串 (Crank pin)。此種護圈亦以頂蓋 E,及緊釘,抑壓

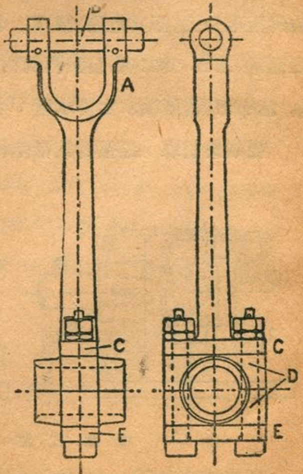

圖 14. 小汽機之連接桿

螺旋套，裂串等物持之。連接桿之橫頭一端較細，曲柄一端較粗。

曲柄軸　曲柄軸之構造，或以實體割成，或以數件結合，或以直棒曲折，圖 15 為第三種，其中 A 為曲柄串，BB 為曲柄軸，納入主軸承 (Main bearing)，飛輪與偏心輪亦加於其上，主軸承之式如圖 16，各方皆以剖面顯明之，其中 A 為機架，承受黃銅護圈B，上加頂蓋C，更以繫釘及抑壓螺旋套持之，油杯 D 亦在頂蓋之中。

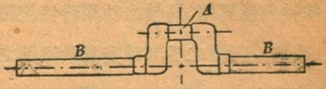

圖 15.　曲柄軸

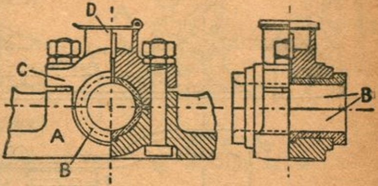

圖 16.　主軸承

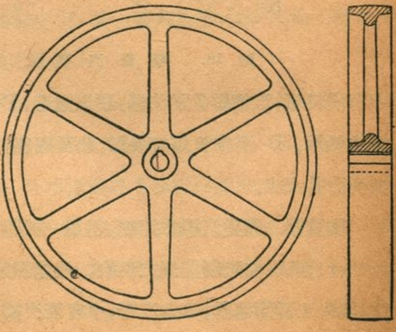
圖 17.　飛輪

飛輪(Flywheel)之用於小汽機者，如圖 17，此係鑄成一件，

中心之孔適合於曲柄軸，內有楔子道 (Keyway)，以便楔子插入，俾輪與軸同轉，飛輪之功用務使旋轉穩定，而無急跳動作。

底座 汽機之各部悉安置於鐵鑄之底座 (Soleplate)，以此位於基礎上，再加緊釘持之。尋常底座如圖 18，A 卽汽筒之蓋，

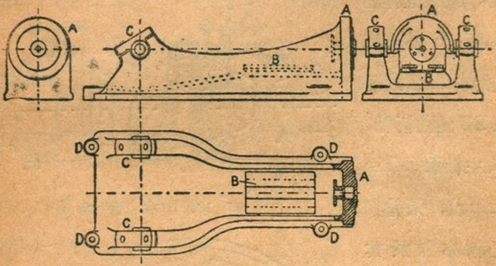

圖 18. 橫置汽機之底座

中有填料箱，汽筒懸置於前端，綴以緊釘，B 爲橫頭之引導，CC 爲主軸承，D 爲加入緊釘各點。此種底座，須有密精之設計，以其受力甚大也。

調速器 調整汽機之速度，須用一種器具，謂之調速器(Governor)。此器能限制蒸汽之供給，故能調速。尋常調速器如圖 19，其中 A 爲調速器，B 爲汽管，中有節汽瓣 C (Throttle valve) 此瓣係一圓盤，以槓桿 E 動之，能在 D 軸上旋轉。設將此瓣橫置管中，則蒸汽斷絕，若在傾斜地位，則蒸汽能透過，蒸汽供給之

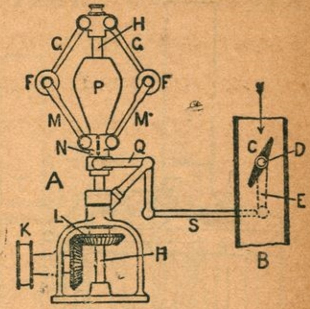

圖 19.　調速器

多寡，則視角度之大小，調速器卽限制此種角度者也。FF 爲二重球，聯於GG二臂之下端，其上端與中軸 H 相連，而此中軸 H 則由曲柄軸經過滑輪 K (Pulley)及斜齒輪 L(Bevel wheels)使之旋轉。其他兩臂 MM 一端與二球相連，一端與袖管 N (Sleeve)相連，袖管能在中軸上自由滑動，有重體 P 壓於其上。另有曲槓桿 Q，其一臂與袖管相連，其他一臂與 S 桿相連，而達止汽瓣之槓桿 E。

汽機行動時，中軸自能旋轉，遂有遠心力使二球向外，其向外移動之限度，則視旋轉之速度如何，速度愈高，則二球向外愈遠，袖管提起亦愈高，此項運動經各槓桿而達節汽瓣，卽使之漸平，則蒸汽之供給減少，汽機之速度亦漸低。若速度過低，則二球向內，袖管亦降落，可使節氣瓣稍斜，於是蒸汽之供給較多。

汽機全部之佈置　圖 20 及 21 表示汽機與汽鍋之佈置，注意察之，甚易了解。此機爲橫置式(Horizontal type)，其汽筒之中心線爲平線。圖 21 內，A 爲汽筒，繫於底座 B 之一端，與圖

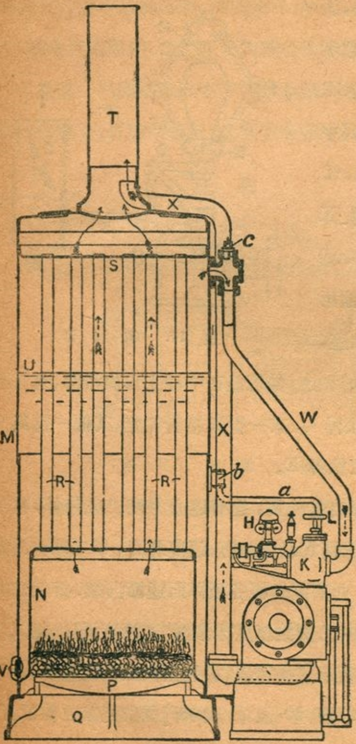

圖 20. 汽機及汽鍋之立面圖

18 相似。曲柄C 置於主軸承 DD 之間，其上加飛輪 E 及偏心輪 F，用以推動汽瓣者也。調速器之滑輪 G，亦在此軸上。圖20內，H爲調速器，推動 K 函內之節汽瓣，函內尙有阻止瓣 (Stop valve)，以手輪 L 運動之，得以通過或斷絕蒸汽之供給。阻止瓣之構造，後章當再說明之。

圖 20 表示汽鍋之剖面，其外殼 M (Shell) 爲圓形，用鐵板以釘(Rivets)綴成，中有一較小圓筒 N，以釘綴於底緣，

圓筒 N 卽火箱(Fire box)，下有火條 P (Fire bars)，排成火

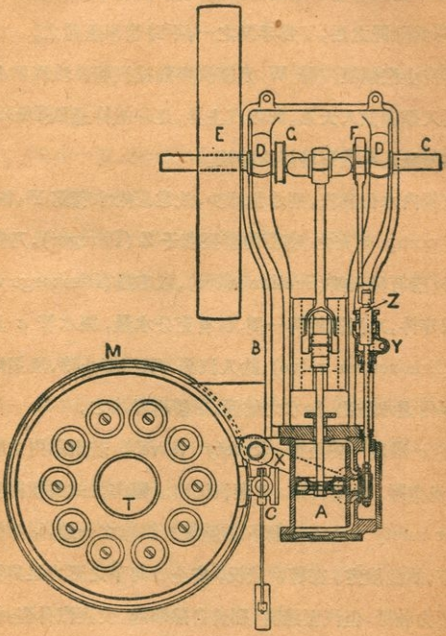

圖 21.　汽機及汽鍋之平面圖

柵(Fire grate)，空氣由灰池 Q (Ash pit) 經火柵而達火箱。多數火管 R (Fire tubes)，上接管板 S (Tube plate)，下接火箱，

以便火焰通過，最後由烟囪噴出，如箭頭所示。火管外之水平面在 U，水平面與管板 S 之間悉爲蒸汽。鍋上有手洞 (Hand holes) 若干，以爲除泥之用，V 爲手洞之一，平時皆以蓋覆之。

蒸汽由汽鍋經汽管 W 及節汽瓣而達汽筒。洩汽則由洩汽管 X 引入烟囪散入大氣。此洩汽上昇，足以維持通風(Draught)，而使空氣流入火箱以助煤之燃燒。

汽鍋內水化爲汽，則水量減少，故常以給水唧筒 Y (圖 21.) (Feed pump) 補充之。唧筒內有長唧子 Z (Plunger)，乃瓣桿之一部分，附有吸入瓣(Suction valve)，放出瓣(Discharge valve) 及水管等件。凡汽機旋轉一周，卽有充分水量，經水管 *a* 及無迴瓣 *b* (Non-return valve)，給入汽鍋，唧筒停止時，無迴瓣足以阻止鍋內之水流出，給水之佈置，以後再詳論之。

在 *c* 處設一安全瓣 (Safety valve)，若汽鍋內之壓力過高，狀況危險，此瓣自開，使蒸汽溢出。圖內之式爲槓桿安全瓣 (Lever safety valve)，係以重體繫於槓桿之一端，以瓣置於瓣桿之下，故能鎮定。在尋常狀況，安全瓣向下之壓力足與蒸汽向上之壓力相抵，但汽壓過高，則瓣自然舉起，使蒸汽外溢，減少汽鍋內之壓力。

汽機爲熱力機之一種 汽機與汽鍋皆係根據學理構成之物，能使燃料之潛熱 (Potential heat) 化爲機械工作 (Mechanical work),故學者對於熱之本性,應澈底了解。以下各章,先就熱之主要原理,加以討論,其不能詳舉者,以各種試驗補充之。

問　　題

1. 活塞在汽筒內作進退運動,如何能使機軸作旋轉運動?試作圖解釋之。

2. 試作一圖,表示汽筒之構造,內含汽筒蓋,活塞桿,塡料箱等件,惟汽箱可略去。

3. 圖解汽筒之活塞,并於發條環加以說明。

4. 圖解尋常滑動瓣,并說明瓣桿如何連絡,蒸汽如何出入。

5. 圖解偏心輪之構造。

6. 調速器如何能節制汽機之速度,試作略圖說明之。

7. 活塞桿之外端,何以必須引導?試圖解橫頭與滑足。

8. 試圖解連接桿之構造。

9. 試作底座圖,并顯明汽筒之安置。

10. 汽罐上裝置下列各瓣,有何作用,試說明之:

(a)阻止瓣,(b)安全瓣,(c)無迴瓣。

11. 試圖解簡單不凝汽自動汽機之動作,以及滑動瓣與偏心輪之效用。其餘如活塞與塡料箱如何能絕汽;活塞與桿如何相聯;連接桿兩端形狀如何;調速器與飛輪之作用若何;皆須一一

顯明之。

12. 圖解調速器之構造。

第二章　溫度　膨脹

溫度　吾人以手與各種物體接觸，應覺其冷熱不同，此由於熱者之溫度高於冷者之溫度。溫度(Temperature)之義，即物體之冷熱狀態與標準溫度比較其高低之謂也。吾人之感覺亦足以試驗溫度之高低，然不能精確，故不足恃，必須用一種儀器，作精確之測驗，此種儀器，謂之溫度計(Thermometer)。

大抵一切物質，皆遇熱則脹，遇冷則縮。尋常溫度計，即利用此性以爲測驗溫度之具，法將水銀注入玻璃管中，視其脹縮之多寡，而定溫度之高低。水銀溫度計 (Mercury thermometer)，乃一細徑玻璃管，先將其一端吹成球形或柱形，以水銀注入，施行煮沸，盡去其中之空氣，然後將其他一端封閉，於是管內祇有水銀及水銀氣，別無他物。溫度計之細管部分，謂之幹 (Stem)，球形或柱形部分謂之根 (Bulb)，根之玻璃極薄，傳熱甚速，幹內之水銀平面，或升或降，皆因與熱體或冷體接觸，而使根內水銀脹縮也。試以溫度計與物體接觸，其水銀平面即爲物體溫度之指示。

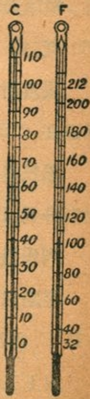

圖　22.
攝氏及華氏水銀溫度計

溫度計之分度 今欲以溫度計,計量溫度,須在其幹上,劃成度數。試先作二定點,再於二點間分爲若干分,是爲度數(Degree)。此二定點之意義如下:

(a)以根與幹之有水銀部分,置於溶冰內,此際之水銀平面,謂之冰點(Freezing point)。

(b)以根與幹之有水銀部分,置於蒸汽內,此際之水銀平面,謂之沸點(Boiling point)。惟此蒸汽須在標準大氣壓之下構成,因水之沸騰,恆與氣壓相上下,故必須用標準氣壓,而得一定沸點。標準大氣壓,在海平面氣壓計(Barometer)上之水銀柱爲760 粍,或 30 吋。

溫度計之種類 **華氏溫度計**(Fahrenheit)之冰點在 32°,沸點在 212°,二點之間分爲 180 度,零點在冰點下 32°。

攝氏溫度計(Centigrade)之冰點在 0°,沸點在 100°,二點之間分爲 100°。

列氏溫度計(Réaumur)之冰點在 0°,沸點在 80°。

零點以下之溫度,在任何溫度計,皆以負號指示之,例如 −10° F. 卽冰點下華氏 42 度之義也。

以上三種溫度計,前二種用之最廣,第三種僅用於歐洲一小區域。英美工程家大都用華氏,物理學家與化學家皆用攝氏,實則用攝氏最便,然在現時狀況,二者皆不可不知,并須能將二者

之溫度，互相變換，以資應用。

溫度之變換 同一冰點在華氏爲 32°，在攝氏爲 0°，若將二者之溫度，互相變換，必須加 32° 或減 32°，最易錯誤，應行注意。今欲避免錯誤，可用下列之法推算。試作二直線，代表二種溫度計，彼此定點相對，再將已知溫度，記於該溫度計上，茲假定已知溫度爲 60° F.，此應等於 $(60-32)=28°$，

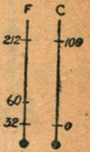

圖 23. 溫度之變換

卽冰點上華氏之度數。按華氏 180° 適爲攝氏 100°，由此可求華氏 28° 等於攝氏若干。C.：28＝100：180，

$$C.=28\times\frac{100}{180}=15.°5.$$

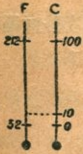

圖 24.

例一 試求 10°C. 等於華氏若干。

C. 在冰點上＝10°

F. 在冰點上$=10\times\frac{180}{100}=18°$

所求溫度＝18＋32＝50° F.

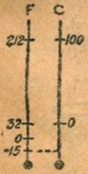

圖 25.

例二 試求 −15° F. 等於攝氏若干。

F. 在冰點下＝15＋32＝47

C. 在冰點下$=47\times\frac{100}{180}=26.°1$

∴ 所求溫度＝−26.°1 C。

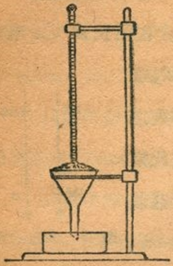

圖 26.　測定冰點之儀器

溫度計檢查法　試作以下各試驗：

試驗 1.　設置漏斗及燒杯如圖26，取冰屑置漏斗內，再以溫度計插入近冰點處，以目平視水銀柱之頂，間時觀察，最後水銀平面抵定，記其度數，即爲冰點。此點與華氏 32° 之差，與攝氏 0° 之差，皆應以(＋)號或(－)號記之。作此試驗時，須俟冰完全溶解，水銀平面不動，始爲定點。

試驗 2.　試用一瓶如圖 27，盛水若干，再取溫度計通過軟

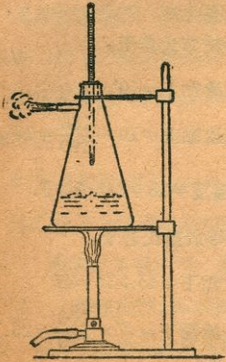

圖 27.　定沸點之儀器

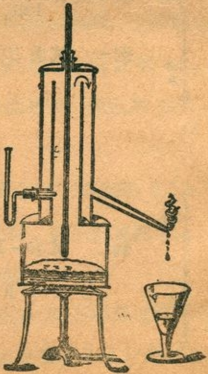

圖 28.　定沸點之精確儀器

木塞，裝於瓶口以火煮水，及其沸騰，則蒸汽自瓶頸之枝管溢出，此時所見之溫度，卽爲沸點。

圖 28 所示之儀器，較爲精確，此爲銅質小汽罐，中有內外雙重銅管。以溫度計置於內管，則有蒸汽包圍，蒸汽由內管上昇，復由外管下降，最後由枝管洩出。此種佈置，蓋欲爲內管備一汽衣(Steam jacket)，使與蒸汽爲同一溫度也。另有一玻璃 U 形管，中盛水少許，連於外管，其二股之水在同一平面時，則蒸汽之壓力，與大汽相等。用此儀器時，先將溫度計插入軟木塞，裝於頂上之口，沸點須置於軟木塞之上，然後將水煮沸，迨蒸汽散出，歷數分鐘，記其度數。

若所記溫度，異於溫度計上之沸點，亦未必卽爲錯誤，因水之沸騰須在標準大汽壓之下，前節已言之矣，而此時大氣壓未必卽爲 760 mm. 故不能斷定所刻之沸點爲眞爲僞。今欲決此問題，須於試驗時，觀察標準汽壓計，計其壓力，再於蒸汽表(Steam table)內，檢查與此壓力相對之溫度，與所記之溫度相較，其差數應以(+)或(−)若干度更正之。

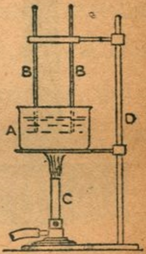

圖 29. 溫度計之較正

溫度計之幹，內徑或粗細不均，則水銀之膨脹，不能確實表示度數之增減，故應加以檢查，如有缺點，卽須較正之。下列試驗足以證

明二定點間分度之眞否。

試驗 3. 圖 29. 內 B B 二溫度計並列。一爲標準溫度計，其錯誤已確定，其他爲應行檢查者，二者之根皆浸入燒杯 A 之水中，將水之溫度漸漸加高，幷時時調勻之，間五度記數一次，列表於下:

標準溫度計		待較溫度計	
所見溫度	眞溫度	所見溫度	錯誤

第 1 與第 3 行皆由觀察得來，第 2 行得自標準溫度計之錯誤，第 4 行得自第 2 與第 3 行之差數，即所較正之溫度計上，各段之錯誤。

圖 30.
霍卜京生(Hopkinson)防壓杯

溫度計之保護與用法 用溫度計時，必須細心，根之薄處，不可強使通過軟木塞之孔，溫度驟變時，溫度計亦易損傷。若遇溫度高於溫度計上最高之度數，此溫度計便不可用，否則水銀膨脹，能使其根爆裂。今欲防此種危險，可用狀如圖22之溫度計，其上端吹成球形，足以容納膨脹。欲求重壓力下之水或蒸汽之溫度，可

於水管或汽管上裝一銅杯，狀如圖 30，內盛水銀或石油，即等於管內之溫度，再以溫度計插入，此種佈置，足以防止壓力之摧毀。

有時欲求長管上兩處之溫度，則用二溫度計平置於長管上，以絨布包裹，即得管中之溫度，此二溫度計之差，即管內兩處溫度之差。

高溫度之量法　尋常大氣壓之下，水銀之沸點為 357° C.，故水銀溫度計，不能適用高於此點之溫度。但高溫度可用物質之熔點 (Melting point) 計量之，亦甚準確。設有一物體，溫度甚高，以鉛塊與之接觸，恰能熔化，其溫度即等於鉛塊之熔點 (617° F.)。石蠟，硫磺，錫，皆可用為標準。測驗火爐 (Furnace) 之約略溫度，可用此法，所用之物質，謂之檢熱品 (Thermoscopes)。

高溫計 (Pyrometer) 為測驗高溫度精確之儀器，其種類甚多。

(1)卡路里高溫計 (Calorimetric pyrometer)。此用鉑或銅或其他物質一塊，置於火爐或焰道 (Flue) 之間，經若干時，即與其間之溫度相等，然後取此金屬塊投入水中。若能知此金屬塊及水之重量，以及水之前後溫度，即能推算火或焰道之溫度，其推算之法，當再詳言之。

(2)電流抵抗高溫計 (Electric resistance pyrometer)。鉑絲之電流抵抗與溫度有一定比例，以電流通過鉑絲，其抵抗即能

指示所在處之溫度。

(3)熱電高溫計 (Thermo-electric pyrometer) 此用鉑絲與鉉絲並列相連，設使兩端之溫度不同，即能發生電流，且與溫度有一定比例，故能指示所在處之溫度。

其他根據電學或光學製成之高溫計，種類尚多，非是編所能及，其在實用方面，皆甚便利。

膨脹 凡金屬物之溫度增高，則體積膨脹，人莫不知之。工程家利用此性，施於脹縮之工作，例如輪箍，鎗管等物，皆爲金屬製成之外件，必須合於另一內件，溫度低時，外件之徑殊小，惟溫高體脹，始能加於內件，迨溫度重復降低，則外件縮小，而能與內件緊合。

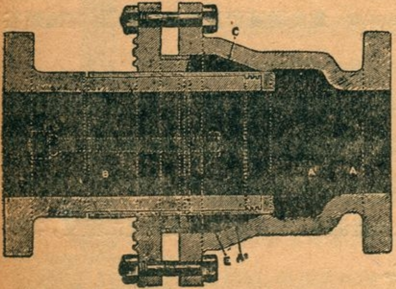

圖 31. 霍卜京生 (Hopkinson) 汽管膨脹之結合

其他如鋼軌，汽管，焰管等物，莫不因熱膨脹，而受損傷，皆須設法防護。

圖 31 表示汽管自由膨脹之結構，B 之部分在 A′ 處納入 A 之部分，能在其中滑動，以填料 E, A_2 填入 C

處，再加壓蓋 D 緊持之，另用二植入緊釘，旋入 B 之凸緣(flange)，其一如虛線所示，再通過 A 之凸緣，以防 AB 兩部分分離。

試驗 4. 圖 32 表示儀器之佈置，用以試驗金屬管之膨脹，

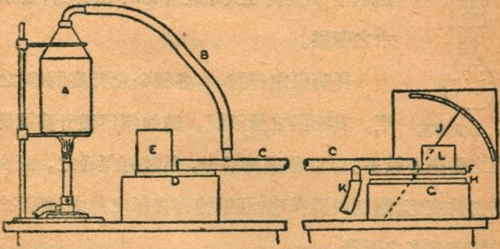

圖 32. 金屬管之膨脹

A 爲小汽罐，以橡皮管 B 與銅管 C 相連。銅管長約三呎，上有二枝管，將銅管兩端閉塞，導蒸汽由汽罐經 B 入於銅管，復由 K 放出。在D及F處，以二銅板長 $3\frac{1}{2}$吋，闊 1 吋，厚$\frac{1}{4}$吋，釺於銅管上。其一銅板在 D 塊上，以重體 E 鎮之，其他銅板之下，有捲動物，以銅板 H 托之，在 G 塊之上。若銅管延長，則捲動物自能旋轉，而使指針 J 表示旋轉之度數。指針以硬紙製成，以封蠟黏於捲動物之端。俟蒸汽通過銅管，指針之動，即表示銅管之膨脹。

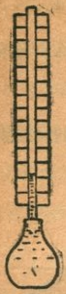

圖 33. 水之膨脹

試驗 5. 今欲試驗水之膨脹，可用一小瓶如圖 33. 瓶口加有孔橡皮塞，以玻璃管插入，復置紙格於後。瓶中之水略加朱墨，使變紅色。管中之水平面，在尋常溫度，可二三吋。以此瓶置熱水中，則瓶中之水漸熱，水平面升高，卽表示水之膨脹。

長膨脹之係數　各種金屬升高同等之溫度，其膨脹之量不同，例如銅與鐵升高同等溫度，銅之膨脹必較多。試取銅鐵棒各一，用鉸釘綴合之，以火燒熱，其初爲直形，繼則變爲弧形，而銅棒必在弧之外方，卽銅之膨脹，必較鐵爲多之明證。

單位長之棒，升高一度，所增之長，謂之長膨脹之係數(Coefficient of linear expansion)。

命　e ＝長膨脹之係數，

L ＝棒之原長，

t ＝升高之溫度。

單位長之棒，升高 t 度，所增之長 $=t\times e$;

L 長之棒，升高 t 度，所增之長 $=L\times t\times e$,

$\therefore$ 溫度升高以後之棒長 $=L+Lte$

$=L(1+te)$

例題 有鋼軌若干段，各長 20 呎，在 50° F. 之際安置。若溫度升高至 120° F. 則各端相接，問各端間應留空間若干？長膨脹係數作爲 0.0000067。

升高之溫度 $=(120-50)=70°$ F。

20 呎所增之長 $=L\times t\times e$

$=20\times70\times0.0000067$

$=0.00938$ 呎

$=\underline{\underline{0.113}}$ 吋。

各端間須留之空間應爲 0.113 吋。

面積膨脹之係數 單位面積升高一度，所增之面積，謂之面積膨脹之係數(Coefficient of superficial expansion)。

此項係數爲長膨脹係數之二倍。

體積膨脹之係數 單位體積，升高一度，所增之體積，謂之體積膨脹之係數(Coefficient of cubic expansion)。

此項係數適爲長膨脹係數之三倍。

各種物質，皆有一定膨脹係數，所用溫度，爲華氏抑爲攝氏應行注意。

問 題

1. 試將下列各名詞解釋之：

(a)溫度，(b)溫度度標，(c)冰點，(d)沸點。

2. 攝氏 140° 等於華氏若干度?

3. 華氏 −40° 等於攝氏若干度?

4. 攝氏−273° 等於華氏若干度

5. 今有銅棒在 60° F. 時長 34 吋,問在 200° F. 時,此棒長若干? 華氏每度銅之長膨脹係數=0.0000105。

6. 今以曲柄裝於機軸上,曲柄之孔在 60° F. 時直徑 12.02″,問在幾度,此孔之徑應為 12.05″?華氏每度鐵之長膨脹係數等於 0.0000067。

7. 試作圖并說明汽管膨脹之結合。

8. 今有汽管長 65 呎,設使溫度自 50° F., 升至 338° F., 此管應增長若干?

華氏每度鐵之長膨脹係數=0.0000067。

9. 今以水通過凝汽器, 入時溫度 15° C., 出時溫度 92° F.,試求溫度升高之度數,(a)以攝氏計,(b)以華氏計。

10. 蒸汽給入機筒,其溫度自 165° C. 降至 137° C., 試求溫度降低之華氏度數。

11. 試用華氏膨脹係數表,推算下列各物質之攝氏膨脹係數:

鑄鐵　　　銅

熟鐵　　　黃銅。

12．今有鑄鐵機筒，直徑 40 吋，若溫度自 15° C. 升至 170° C.，試求其直徑之增加。

13．圖 32 內膨脹係數之公式如下：

$$e=\frac{ad}{57.3\,lt},$$

其中 a ＝指針旋轉之角度，

d＝轉動物之直徑，以吋計，

l＝銅管之長，以吋計，

t＝溫度之升高。

今有 $a=33°$，$d=0.1''$，$l=40''$，$t=150°$ F.，

試求銅之膨脹係數。

第三章　熱與熱之量法

熱量　設將冷熱二物體,使之接觸,則二者之溫度,當於一致,且在原有二溫度之間。

試驗 6. 試取 A 杯盛水二品(Pint, $34\frac{3}{4}$立方吋),溫度 60° F., 再取 B 杯盛水半品,溫度 150° F., 以溫度計插入二杯中淘拌之,確定其溫度,然後將 A 杯之水傾入 B 杯,再測其溫度。按以上狀況,所測之溫度約爲 70° F., 於是 A 杯之水升高 10° F., B 杯之水降低 80° F., 顧其間必有一物,由熱水入於冷水,是物名之曰熱(Heat)。

溫度與熱之意義,固自不同,即如 A 杯中之水,溫度升高之數,幷不及 B 杯中之水, 溫度降低之數, 由此可知所傳者爲熱, 幷非溫度, 而且較冷之物體含熱未必少, 較熱之物體含熱未必多,例如置杯水於本生燈 (Bunsen burner) 上煑沸之,吸熱甚多, 其最高溫度不過 212° F., 若持鐵絲於燈焰中燒之, 立至極高之溫度,但所含之熱甚少。

熱之單位　熱之計量,恆以單位質量之水,升高一度之熱量爲標準。十進制(Metric system)以克、度、攝氏 (Gram-degree-centigrade) 爲單位, 即一克之水升高攝氏一度之熱量也, 此種

單位謂之克·卡 (Gram-calorie)，千倍於此者謂之大卡 (Major calorie or great calorie)。

英國通用熱單位除十進單位外，有下列二種：

(a) 1 磅水升高 1° C. 之熱量。

(b) 1 磅水升高 1° F. 之熱量。

前者謂之磅·度·攝氏單位 (Pound-degree-Centigrade)，後者謂之磅·度·華氏單位 (Pound-degree-Fahrenheit)。或稱英國熱單位(British thermal unit, B. t. u.)。

工程家恆用 B. t. u.，但近時工程界重要論文，亦有用磅·度·攝氏單位者，故學者於三種單位，皆應注意。

大熱單位(Therm)等於 100,000 B. t. u.。

例 1. 1 磅水升高 1° C. 之熱量等於若干 B. t. u.?

1 B. t. u. 能使 1 磅水升高 1° F.

$$1^{\circ}\text{ C.} = \frac{9^{\circ}}{5}\text{F.}$$

由此可得以下二式：

$$1\text{ 磅·度·攝氏單位} = \frac{9}{5}\text{B. t. u.}$$

$$1\text{ B. t. u.} = \frac{5}{9}\text{磅·度·攝氏單位。}$$

例 2. 1 克·卡等於若干 B. t. u.?

1 克·卡能使一克水升高 1° C.

453.6 克·卡能使 453.6 克水升高 1°C.

1 磅=453.6 克,

453.6 克·卡能使 1 磅水升高 1°C.

$(\frac{5}{9}\times 453.6)$克·卡能使1磅水升高 1°F.

$\therefore$ 1 B. t. u. $=\frac{5}{9}\times 453.6=\underline{\underline{252}}$ 克·卡。

欲化克·卡為 B. t. u., 以$\frac{1}{252}=0.00396$ 乘克·卡;

欲化 B. t. u. 為克·卡,以 252 乘 B. t. u.。

比熱 試取各種物質,測其 1 磅升高 1° 所需之熱量,則各自不同。水之所需最多,金屬之所需較少。凡一種物質其單位質量升高 1° 之熱量,謂之比熱(Specific heat)。

水之比熱=1;

鐵之比熱$=\frac{1}{9}$.

$\frac{1}{9}$ B. t. u. 能使 1 磅鐵升高 1°F.;

$\frac{1}{9}$磅·度·攝氏單位能使一磅鐵升高 1°C.;

$\frac{1}{9}$克·卡能使1克鐵升高 1°C.;

每種物質之比熱在三種單位皆同。

普通物質比熱表附載編末

物體之水等量　一定重量之水，升高 1° 所需之熱，與其他物體升高 1° 所需之熱相等時，此水之重量謂之該物體之水等量 (Water equivalent of a body)。例如 1 磅鐵之水等量爲 $\frac{1}{9}$ 磅，224 磅鐵之水等量爲 $\frac{224}{9}=25$ 磅是也。此項定義，用於傳熱試驗之計算，最爲便利。

今以 W=物體重量之磅數，

S=物體之比熱。

則物體之水等量 $=WS$ 磅。

傳熱　一物體之熱，傳於其他物體，或以(a)傳導 (Conduction)或以(b)對流(Convection)或以(c)輻射(Radiation)。

(a) 物體之分子與熱源最近者，先受傳熱，由此而達鄰近各分子，更及其他，最後乃普遍全體，此種傳熱謂之傳導。

(b)最近熱源之分子，旣受傳熱，遂離其地位，俾其他分子居之，與熱源相近，而受傳熱，如此循環不息，則全體皆熱，此種傳熱，謂之對流。

(c)宇宙間一切空間皆以太(Ether)所充塞，謂之能媒，熱波(Heat wave) 經此而達物體，即爲物體所吸收，此種傳熱，謂之輻射。

以上三種傳熱，汽罐內皆有之，燃燒之熱，以射輻而達爐板，由爐板傳導於水，而水則以對流傳熱，使之循環。

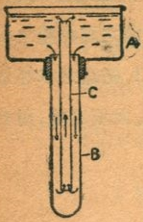

圖 34. 試驗對流之儀器

試驗 7. 圖 34 爲試驗對流之儀器，A爲盛水器，底有一孔，以玻璃管 B 插入，B 之下端封閉，上端與 A 相通。另有一細徑玻璃管 C，兩端皆開，懸於 B 管中，其下端去 B 下端約 2 吋，其上端在水平面之下，兩管中皆貯水。以本生燈燒 B 之下端，則水受熱而起對流，熱水由 C 直上而達 A 之水面，冷水自 A 經兩管間下降，以次吸熱。

此種方法常用於汽鍋，汽鍋內水之循環，最關重要，必須有適當設置，應加注意。

傳熱之計算法 今欲計算二物體互相傳熱之混合溫度，先假定所傳之熱，限於二者之間，不及此外之物體。若有損失，再行更正之。設此二物體爲 A 與 B，其約略解答於次：

A 發出之熱＝B 吸收之熱。

試驗 8. 試取一銅杯盛冷水四磅，另取一銅杯盛熱水一磅。用二溫度計分測二杯中水之溫度，然後將熱水傾入冷水，加以淘拌，再測其最後溫度。

試將所測之最後溫度，與計算之最後溫度比較之：

W_A＝冷水之磅數，

W_B＝熱水之磅數，

$t°_A$ =冷水之溫度，

$t°_B$ =熱水之溫度，

$t°$ =計算之最後溫度。

(各溫度皆用同樣度標)

B 發出之熱 $= W_B \times (t_B - t)$。

A 吸收之熱 $= W_A \times (t - t_A)$。

B 發出之熱 $= A$ 吸入之熱。

$$W_B \times (t_B - t) = W_A \times (t - t_A) \quad \cdots\cdots (1)$$

$$W_B t_B - W_B t = W_A t - W_A t_A,$$

$$W_A t_A + W_B t_B = W_A t + W_B t = t(W_A + W_B),$$

$$t = \frac{W_A t_A + W_B t_B}{W_A + W_B} \quad \cdots\cdots (2)$$

以試驗所得各數，代入此式之右方，計算 t 之數，比試驗所測之 t 應略高。二者之差，應加以更正，以求 t 之眞數。

計量溫度之誤，以及傾注熱水未盡之誤，姑置不論，主要之誤，由於藏冷水器之溫度同時增高，應將此器之水等量加入冷水之重量，以資補正。

今以 W =盛冷水器之重量，

S =盛冷水器之比熱，

則 WS =盛冷水器之水等量。

於是式(1)變爲

$$W_B(t_B-t)=(W_A+WS)(t-t_A) \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

$$t=\frac{(W_A+WS)t_A+W_Bt_B}{W_A+W_B+WS} \quad \cdots\cdots\cdots (4)$$

由式(4)算得之 t，應與試驗所測之 t 更近。

試驗所用之盛水器，謂之熱量計 (Calorimeter)，卽計熱量之器也。

試驗 9. 實體之比熱，可用混合法測定之。以棉線繫銅塊或鐵塊，懸於沸水中，歷數分鐘。同時於熱量計內貯一定分量之水，加冷水或熱水少許，使其溫度較室內溫度稍低，幷以溫度計測其溫度得 t_1，速將金屬塊自沸水中移入熱量計，幷運動之，測其最高之溫度得 t_2. 用天秤分權金屬塊，熱量計及水之重量。

今以 W＝金屬塊之重量，

W_W＝水之重量，

W_CS_C＝熱量計之水等量，

212°F.＝金屬之最初溫度，

t_1＝水之最初溫度
t_2＝水之最後溫度 } 皆用華氏。

S＝金屬塊之比熱。

金屬發出之熱＝$W\times(212-t_2)\times S$，

熱量計吸收之熱＝$(W_W+W_CS_C)(t_2-t_1)$，

$$\therefore W\times(212-t_2)\times S=(W_W+W_CS_C)(t_2-t_1)。$$

作此試驗時，若熱量計內水之溫度高於室內空氣之溫度，則熱由熱量計入於大氣，若熱量計內水之溫度低於室內空氣之溫度，則熱由大氣入於熱量計。二者皆須更正。惟水之最初溫度低於室內溫度，適等於水之最後溫度高於室內溫度，則無更正之必要。故將最初溫度，稍事調整，卽能得此狀况。

試驗 10. 取錫版罐五枚容量約半加侖，無柄有蓋，蓋中央銲一短銅管，徑約$\frac{3}{4}$吋，以便用軟木塞裝置溫度計。其一仍其淨面，其二塗以燈煤，其三包以棉花，其四裹以毛氈，其五膚以石棉。將各罐列於几上，以漏斗自短銅管注以等量之熱水，勿使流露於外，然後以溫度計插入，間五分鐘記其溫度，列表於次：

時間	水之溫度				
	淨面	燈煤	棉花	毛氈	石綿

試將溫度與時間在格紙上作一曲線圖。此線足以表示各罐本體之傳熱與外面之輻射。各種不良導體之作用，得以比較之。A 與 B 應特別注意，A 散熱較緩，B 散熱較速，故吾人用金屬器皿，而欲保守其中之溫度，其外面務求光亮。

重要定義 有力行經若干距離以勝抵抗者，謂之功(Work)。例如舉一物體，即抵抗重力之功也，功之單位(Unit of work)以呎磅計，一磅之力行經一呎距離爲一單位。可以作功者謂之能(Energy)，例如一物體升高，斯有能，以其下降時可以作功，又如運動之物體亦有能，以其停止時可以作功。此在微細之物體亦然，故其說甚確。

能之形態不一，舉高之物體或盤緊之發條，其可有之能曰勢能 (Potential energy)，運動之物體，其所有之能曰動能 (Kinetic energy)。凡勢能皆可化爲動能，若舉高之物體，使之下降，其勢能漸化爲動能，及至定所，則勢能全化爲同量之動能。能常住之定律 (Conservation of energy) 曰，能不可生，亦不可滅，而各形態可互相變換。

熱爲能之一種 昔時以熱爲實質之物，可於物體中提出入或加入之。倫福德 (Rumford) 曾作試驗，以鈍錐鑽鋼，發生熱量極多，足以使水沸騰，彼以爲如此多量之熱，入於水中，未必皆自所鑽之物質而來，是必爲一種運動而已。

德威 (Davy) 復證實其理，以二冰塊互相摩擦，幷不使外熱流入，在短時間中，冰遂溶解。凡二物體彼此摩擦，皆可生無限之熱，若謂此物體能蓄如許物質，顯爲不可能之事。

熱之本性 現時皆認熱爲分子之能。固體中之分子，又變其

位置，而爲振動狀態，故加熱於固體，即增其分子振動，并增其分子之能。

液體中分子非振動，而運動自由，加熱於液體，即增其振動之能，同時使分子自一方流於他方。

氣體中分子運動最快，互相撞擊，并施撞擊於盛器，此種連續撞擊即爲壓力，加熱於氣體，即增其分子速度，并增其動能與壓力。

焦耳 (Joule) 之功當量　焦耳 (Joule) 研究熱與功之關係，曾作試驗，以重力施於落體 *ee* (圖 35)，推動輪葉，在 AB 水筒

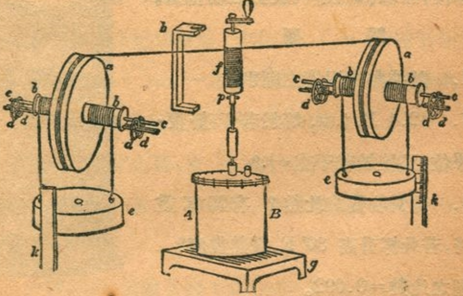

圖 35.　焦耳(Joule)試驗熱之功當量，所用儀器。

中旋轉，筒式如圖 36。此落體之功，使水激動，與輪葉抵抗，遂化爲熱。倘知落體之重量，及其下降之高度，即可計量其功，另將機

械損失除去。定量之水温度增高，亦可計其發生之熱，其消耗之熱，合併計之。作此試驗時，極其精細，所得結果如次：

772 呎磅之功＝1 B. t. u. 之熱。

嗣後魯蘭，銳納耳，格利夫斯，(Rowland, Osborne Reynolds 及 Griffiths) 諸家，重行試驗得 774 及 778 等數，較爲眞確。現時公認 778 呎·磅等於 1 B. t. u.，$778\times\frac{9}{5}=1400$ 呎·磅等於 1 磅·度·攝氏單位，而以（J）字代表熱之功當量。

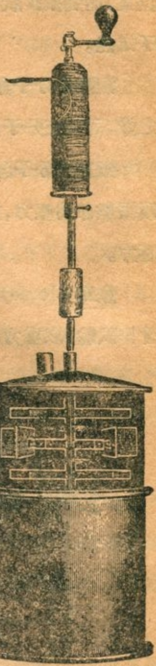

圖 36. 熱量計

問 題

1. 試述熱與温度之區別。

2. 42.4 B. t. u. 等於若干磅·度·攝氏單位，又等於若干克·卡？

3. 何爲物質之比熱？有銅杯重 $4\frac{1}{2}$ 磅，若此杯升高 80° F. 需熱幾何？

銅之比熱＝0.092。

4. 各種傳熱之方法若何？試舉例釋之。

5. 貯水櫃內盛水 30 加侖在 60° F.，設將 5 加侖水在 180

F.,傾入貯水櫃,假定熱無損失,最後溫度若何?

6. 有銅塊重二磅在 212° F.,另有一杯盛水 3 磅在 55° F.,設將銅塊投入杯中,熱無損失,其最後溫度若干?

7. 第六題內假定杯之水等量爲 0.5 磅,試解答之。

8. 熱爲能之一種,試言其理。

9. 以 778 呎磅爲熱之功當量,今以一磅水自冰點升至沸點,熱之功當量等於若干?

10. 有鐵塊重 100 克,置之熱氣中,歷數分時,再投入熱量計,內盛水 500 立方糎在 15° C.,熱量計之水等量爲 40 克,最後溫度爲 22°.5 C.,試求熱氣之溫度。(鐵之比熱 =0.1098)

11. 一磅煤完全燃燒發熱 15000 B. t. u.;一磅石油完全燃燒發熱 20500 B. t. u.; 一立方呎照耀氣完全燃燒發熱 600 B. t. u.;試求各熱量之功當量 J=778 呎磅。

12. 有一汽鍋之金屬,重 13 噸,內貯水 11 噸,今欲使金屬與水皆自 60° F. 升高至 340° F., 須加熱若干 B. t. u.? 此金屬之比熱=0.1098。

13. 一磅蒸汽,其壓力爲 100 lbs/in.^{2}, 含熱 1191.3 B. t. u.,試求此熱之功當量。

14. 設有一噸重之物體,降下 24 呎,試求此功之熱當量。

15. 今有汽鍋，每點鐘燒煤 840 磅，每磅煤之發熱量等於 14,000 B. t. u.，其 12% 化爲功，問每點鐘成功若干？

第四章　氣體之性

氣體狀態　凡物質在氣體狀態，皆有膨脹性。以少許氣體引入眞空器皿中，即能充塞其內部。氣體可分爲變液氣體 (Vapours)與眞氣體(Perfect gases)二種。凡近於化液點之氣體，謂之變液氣體。一同物質之氣體，距化液點甚遠者，謂之眞氣體。眞氣體之本義，須在任何壓力與溫度皆爲氣體，但一切氣體遇低溫及高壓，皆化爲液體。氧，氫，氮及空氣在尋常壓力溫度，皆有眞氣體性。蒸氣自沸水中騰出，乃變液氣體，若燒至極高溫度，亦有眞氣體性。若將氣體之溫度加高，其壓力不變，則容積之增大與溫度爲正比；容積不變，則壓力之增大與溫度爲正比。

大氣壓　試作以下諸試驗，則空氣之壓力自然證明，并可計其輕重。

試驗 11. 用一長玻璃管，一端敞口，一端封口，長約 36 吋，滿注水銀，以手指閉其敞口，顚倒數次。若有空氣，則聚於一處，使之洩出，再加水銀補足之。復以手指閉其敞口，倒置於水銀杯中，使之直立。俟手指移去，其中水銀即下降，高度僅 h 吋，如圖 37。

在管內 A 點之壓力，由於 h 吋水銀柱之重。今以 w 爲每

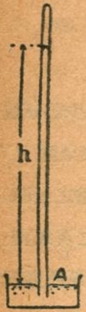

圖 37.
試驗氣壓計之原理

立方吋水銀柱之重，則 A 點每平方吋之壓力，即等於 $w \times h$，杯中水銀平面之大氣壓，亦等於 $w \times h$，水銀柱之高度，約 30 吋，按水銀每立方吋重 0.491 磅，故此水銀柱等於 $0.491 \times 30 = 14.7$ 磅·每平方吋。

尋常氣壓計(Common barometer)，即如此構造，其中每吋水銀柱約$\frac{1}{2}$磅·每平方吋。

試驗 12. 試將上項水銀柱，以吋數計量之，再算其每平方吋壓力之磅數。同時以所量之水銀柱高度，與標準氣壓計比較之。

各式氣壓計　標準氣壓計之構造，極其精細，不似圖 37 之簡略。圖 38 爲福廷 (Fortin) 氣壓計，中有螺旋 A，在水銀杯之下，能使水銀平面與指針 P 相接觸。函管之上端有 S 尺及奇零尺，可用螺旋 B 推動之。水銀杯與 S 尺之後面，各有一玻璃鏡，以便觀察。用此儀器時，先用螺旋 A 將水銀平面較準，復以目平視銀柱之平面，再以螺

圖 38.
福廷(Fortin)氣壓計

旋 B 推動奇零尺，使與水銀柱之平面相合，讀其高度。

空盒氣壓計(Aneroid barometer) 乃一金屬眞空盒，其一邊有柔韌性，大氣壓之增減，可使之伸縮，其運動則以槓桿齒輪等物，傳於中心軸，此軸露出儀器之表面，上有指針，指示大氣之壓力。

氣體壓力之量法　英美工程家恆以每平方吋磅數，計量氣體之壓力，壓力之大者，則以若干大氣壓計之，一大氣壓等於 14.7 磅·每平方吋。蒸汽低壓如凝汽器之例，則以水銀柱之吋數計，以便與大氣壓相較。在十進制中，氣壓以每平方糎之瓩數計。

按 1 平方吋＝6.45 平方糎

1 瓩　＝2.205磅

∴ 1 瓩·每平方糎＝(6.45×2.205)＝14.22 磅·每平方吋。

欲將英制與十進制互相變換，即以一瓩每平方糎作爲一大氣壓(14.7 磅每平方吋)。

烟囱通風　烟囱內氣體流通，由於烟囱內外壓力之不同，恆以水柱計其大小。

144 呎水柱＝62.4 磅每平方吋，(容積一立方呎)，

2.3 呎水柱＝1.0　磅每平方吋，

1.0 吋水柱＝0.036磅每平方吋，

1.0 吋水柱＝5.2 磅每平方呎，

氣壓有二標準零點：

(1) 以大氣壓爲標準，其他壓力高於此或低於此者，比較計之。

(2) 以眞空爲標準，在絕無空氣之處，氣壓自等於零。

眞空以上之氣壓謂之絕對氣壓 (Absolute pressure)，大氣壓以上之氣壓謂之計示氣壓 (Gauge pressure) 或破裂氣壓 (Bursting pressure)。玆舉一例，解釋破裂氣壓之意義。設有器皿，內盛氣體，其壓力高於大氣壓 100 磅每平方吋。此器內部之絕對氣壓爲(100＋14.7)＝114.7 磅與其外部之大氣壓 14.7 磅相抵抗，遂有 100 磅氣壓施於此器之邊，欲使之破裂，故謂之破裂氣壓。同此氣壓又謂之計示氣壓，以其得自壓力計故也。計示氣壓即盛氣器皿內部之絕對氣壓與其外部之大氣壓之差。壓力計(Pressure gauge)之構造，當於後章說明之。

波義耳 (Boyle) 之眞氣體定律 波義耳 (Boyle) 及其他學者研究氣體之壓力與容積之關係，作種種試驗，所得結果如次：

設使溫度不變，絕對壓力之消長與容積爲反比。

今有一定質量之氣體，其壓力爲 p_1，容積爲 v_1，設使溫度不變，其壓力變爲 p_2，容積變爲 v_2，可得以下比例：

$$p_1 : p_2 = v_2 : v_1,$$

$$p_1v_1=p_2v_2。$$

在任何壓力與容積，其關係亦復如是，故可定公式如次：

$$pv=常數。$$

此項定律，曾用空氣，氧，氫，氮，及其他氣體試驗，證明無誤，惟試驗時，所用壓力與溫度，須與大氣壓相去不遠。但蒸汽及其他變液氣體，距化液點甚近者，則不能合於此例。

眞氣體者卽合於波義耳(Boyle)定律之氣體也。

試驗 13. 試驗波義耳(Boyle)之定律，可用儀器如圖 39. 試將直管折成 A 與 B 二股，A 端敞口，B 端封口，將水銀注入，并使其二股中之平面相等，於是 B 內之空氣壓力應與大氣壓相同。設此時氣壓計上之水銀柱爲 h_1 吋，B 內空氣之容積以 l_1 之長計之。再將水銀注入 A，其平面應高於 B(圖 40)。命 h_2 爲二平面之差，則 B 內空氣之壓力變爲 (h_1+h_2)，容積變爲 l_2。加水銀若干次，每次間一分鐘，俾 B 內壓縮之空氣冷却，列表於次：

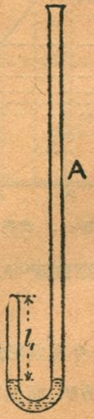

圖 39.

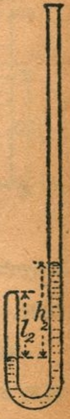

圖 40.

壓力，水銀吋數	容積，B內空氣之長	壓力與容積之積

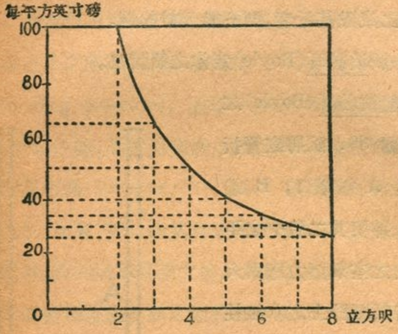

圖 41. 波義耳定律之曲線

末行之積數，應各相等，皆等於h_1 l_1，試將一二行作一曲線圖，顯明波義耳 (Boyle) 之定律（圖 41）。

此曲線曰長方雙曲線 (Rectangular hyperbola)，最爲重要，玆舉一例，說明求點作線之法則。

例題 今有空氣二立方呎，壓力每平方吋 100 磅，使之膨脹至 8 立方呎，而溫度不變，試作膨脹曲線圖。

法則 1. 按波義耳定律：

$$p_1v_1=p_2v_2=p_3v_3，以至無限 \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

依此定律,計算容積增加一立方呎之相當壓力,可變上式爲

$$p_2=\frac{p_1v_1}{v_2},\ p_3=\frac{p_1v_1}{v_3},\text{以至無限。}$$

計算結果,列表於次:

容積,立方呎	壓力,每平方吋磅數	容積,立方呎	壓力,每平方吋磅數
2	100	6	33.3
3	66.6	7	28.6
4	50	8	25
5	40		

繪成曲線如圖 41。

法則 2. 作 OX, OY 兩經緯線(圖 42)。用相當比率於 OY 上取 OA 代表 p_1, OX 上取 OC 代表 v_1。作 $OE=v_2$。完成 OABC 及 OADE 兩長方形。連接 OD 兩點與 CB 交於 F。作 FG 與 OX 平行,則 EG 等於 p_2,G 即膨脹曲線上之一點。

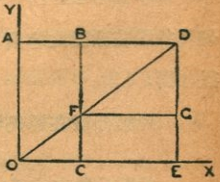

圖 42.

證明　OCF 與 OED 爲相似三角形,

$$FC:OC=DE:OE$$

$$EG:OC=BC:OE$$

$$OC=v_1,\quad BC=p_1,\quad OE=v_2,$$

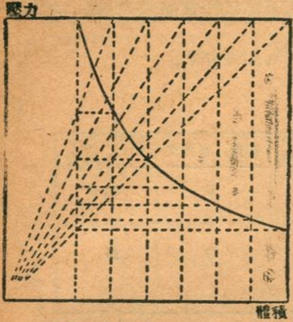

圖 43. 波義耳定律之曲線

$$\therefore \mathrm{EG}:v_1=p_1:v_2$$

$$\mathrm{EG}=\frac{p_1v_1}{v_2}$$

其他各點，用同樣之法求之，即可得完全曲線如圖 43。

查理(Charles)之定律　此項定律創自查理及給呂薩克(Charles and Gay Lussac)二氏，其言曰，一切眞氣體在冰點之容積，倘壓力不變，每升高一度，則膨脹之分數相同。

$$\text{此種分數在攝氏}=\frac{1}{273.1},$$

$$\text{此種分數在華氏}=\left(\frac{1}{273.1}\times\frac{5}{9}\right)=\frac{1}{491.6}。$$

命 V_0=一種氣體在冰點之容積，

V=同一氣體在 t 度之容積。

於是 $V=V_0+\frac{1}{273.1}\times V_0t$, 或 $V=V_0+\frac{1}{491.6}V_0(t-32)$。

以上二式，用於計算殊不便，以所求容積常在 t，而不在冰點。用此二式，須先求冰點之容積，然後可求在 t 之容積。

絕對溫度　引用絕對溫度，計算氣體，容積與溫度之改變，

愈較簡易，設有氣體 491.6 立方呎，自 32°F. 升至 33°F.，其壓力不變，其容積應變爲

$$\left\{491.6+\left(\frac{1}{491.6}\times 491.6\right)\right\}=492.6 \text{ 立方呎。}$$

若升至 34°F.，其容積應變爲

$$\left\{491.6+\left(\frac{2}{491.6}\times 491.6\right)\right\}=493.6 \text{ 立方呎。}$$

若升至 35°F.，其容積應變爲 494.6 立方呎，由此可知溫度升 1°F.，容積即增加一立方呎。

若華氏溫度計上之冰點改 32° 爲 491.6°，沸點改 212° 爲 671.6°，則容積之改變卽與此種度數爲正比。此種度數謂之絕對溫度 (Absolute scale of temperature)。如此分度，攝氏計上之冰點應爲 273.1°，沸點應爲 373.1° 此二種度數曰華氏絕對溫度 (Absolute temperature Fah.) 及攝氏絕對溫度 (Absolute temperature Cent.)。

今以 t 指示尋常華氏或攝氏溫度，T 指示絕對溫度，華氏零點在絕對度數＝(491.6－32)＝459.6。

欲化尋常溫度爲絕對溫度可用以下二式：

$T=459.6+t°$ F.

$T=273.1+t°$ C.

查理 (Charles) 定律以絕對溫度爲標準，其文如次：

眞氣體之容積與其絕對溫度爲正比，其壓力須保持不變。

命 V_1＝一種氣體在絕對溫度 T_1 之容積，

V_2＝同一氣體在絕對溫度 T_2 之容積。

於是 $V_1 : V_2 = T_1 : T_2$,

$$V_1 T_2 = V_2 T_1,$$

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

此項公式最便於計算。

例 1. 在 0°C. 及 14.7 磅每平方吋之際，一磅空氣之容積爲 12.4 立方呎。試求其在 60°F. 及同等壓力時之容積。

$V_1 = 12.4$ 立方呎

$T_1 = 32 + 459.6 = 491.6°$ F.

$T_2 = 60 + 459.6 = 519.6°$ F.

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

$$\therefore\ V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{12.4 \times 519.6}{491.6} = \underline{\underline{13.1}}\ 立方呎。$$

在尋常溫度與壓力，一磅空氣之容積約爲 13 立方呎，當記憶之。

例 2. 試驗汽鍋時，每磅煤燃燒，須用空氣 300 立方呎，其溫度 60°F.，壓力 14.7 磅每平方吋。問每磅煤燃燒所需空氣

之重量若干？

$$每磅煤所需空氣=\frac{300}{13}=\underline{\underline{23}}\ 磅。$$

例 3. 一室之長寬高爲 $50\times30\times25$ 呎。若室內空氣溫度自 $40°$ F. 升至 $60°$ F.，問散出之空氣爲原有空氣之百分若干？

$V_1=50\times30\times25=375,00$ 立方呎。

$T_1=459.6+40=499.6°$ F.

$T_2=459.6+60=519.6°$ F.

$$V_2=\frac{V_1T_2}{T_1}=\frac{37,500\times519.6}{499.6}=\underline{\underline{39,000}}\ 立方呎。$$

散出空氣之容積 $=39,000-37,500=15,00$ 立方呎。

空氣在 $60°$ F. 散出，其在原有空氣中之百分數

$$=\frac{15,00}{39,000}\times100$$

$$=\underline{\underline{3.8}}$$

查理 (Charles) 與波義耳 (Boyle) 定理之幷合　前已證明 t 不變時，p 與 v 爲反比；p 不變時，v 與 T 爲正比。茲再求一定理，規定 p_1 v_1 T 三者同時改變之互相關係。若用代數改變律(Law of variation)，立即能得其結果，今另用方法求之。

設有氣體閉於圓筒內，其各種狀態爲 v_1 p_1 t_1 如圖 44 a。假定 p_1 變爲 p_2，v_1，變爲 v，而 t_1 不變。

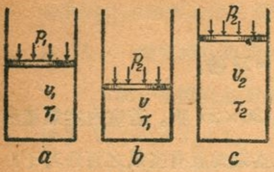

圖 44. 氣體之 v, p, t 何時改變

按波義耳定律，$p_1v_1=p_2v$，

$$v=\frac{p_1v_1}{p_2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

此時氣體之狀如圖 44 b，再令 t_1 變爲 t_2，v 變爲 v_2，而 p_2 不變，如圖 44 c，按查理定律 $\frac{v}{t_1}=\frac{v_2}{t_2}$，

$$\therefore\ v=\frac{v_2t_1}{t_2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

由(1)與(2)兩式可得

$$\frac{p_1v_1}{p_2}=\frac{v_2t_1}{t_2}$$

$$\frac{p_1v_1}{t_1}=\frac{p_2v_2}{t_2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

縱使各種形狀，同時改變，非如假定之步驟，亦得同一結果。

將(3)化爲比例式：

$$p_1v_1 : p_2v_2=t_1 : t_2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

由此可作幷合定律之法則，設有一種動作，施於定量之氣體，使其容積，壓力溫度三項同時改變，其絕對壓力與容積之積，對於絕對溫度爲正比。

此項定律可寫如下式：

$$PV=\text{常數}\times T,$$

以 c 代常數，

$$PV=cT. \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

此式謂之氣體方程式 (Gas equation)，惟不能用於不合波義耳與查理定律之變液氣體。

空氣之方程式　今欲構成一磅空氣在標準壓力及標準温度之方程式，其壓力須用每平方呎之磅數，温度須用絕對度數。

$$PV=cT$$

$$V=12.4 \text{ 立方呎}$$

$$P=14.7\times 144=2116 \text{ 磅·每平方呎}$$

$$T=459.6+32=491.6^{\circ}\text{ F.},$$

$$\therefore c=\frac{PV}{T}=\frac{2116\times 12.4}{491.6}=\underline{\underline{53.4}}.$$

空氣之方程式即

$$PV=53.4\ T.$$

等温膨脹與絕熱膨脹　氣體脹縮，而温度不變，謂之等温脹縮(Isothermal expansion or compression)。圖 41 之曲線謂之等温曲線(Isothermal curve)。

等温作用，可虛擬一種狀況言之。設有一圓筒與活塞，以良導體製成，內貯空氣，其時室內温度保持不變，而令活塞，自圓筒

內緩緩退出，一日或一星期始能行一呎衝程。如此必有充分時間，能使熱透過圓筒，而能保持筒內空氣之溫度與室內空氣之溫度相等。

絕熱脹縮　氣體脹縮，其熱量不增不減，謂之絕熱脹縮(Adiabatic expansion or compression)，設有圓筒與活塞，絕無吸熱性，且爲不良導體，氣體在其中脹縮，卽爲絕熱。但事實上必不能製成此種圓筒，故亦不能有絕熱膨脹，惟蒸汽通過喉管(Nozzle)，自由膨脹，似有此現象。

壓力與溫度之關係　引用前節第(3)式，

$$\frac{p_1 v_1}{t_1}=\frac{p_2 v_2}{t_2}$$

設使容積不變則 $v_1=v_2$ 乃得

$$\frac{p_1}{t_1}=\frac{p_2}{t_2},$$

$$p_1 : p_2=t_1 : t_2。$$

眞氣體之容積不變時，其壓力與絕對溫度爲正比。

圖 45.

氣體之二種比熱　圖 45 表示圓筒與活塞，其外有固定壓力，施於筒內之氣體。加熱於此氣體，乃有二種效果。

(1)氣體之溫度增高，

(2)氣體之容積增大，活塞向上，抵抗其外壓力

而成向外之功。

再使氣體返於原狀，并使活塞勿動，加熱於此氣體，使其溫度增高如前。此際容積固定，活塞不動，遂無抵抗外壓力之功。

第一次加熱於氣體，壓力固定，其溫度高增，并成向外之功。

第二次加熱於氣體，容積固定，僅使其溫度增高，并無向外之功。

如此可知固定壓氣體之比熱，必大於固定容積氣體之比熱。

例如固定壓力空氣之比熱＝0.238，

固定容積空氣之比熱＝0.169。

1 磅固定壓力空氣升高 1°F. 須熱 0.238 B. t. u.

1 磅固定容積空氣升高 1°F. 須熱 0.169 B. t. u.

問　題

1. 眞氣體與變液氣體有何區別？氣體之計算壓力與絕對壓力有何區別？

2. 試述波義耳(Boyle)之定律，氣體在何種狀況合於波義耳定律？

3. 今有一空氣壓縮機，自大氣中吸收空氣 4 立方呎，自 14.7 磅．每平方吋絕對壓力，壓縮至 100 磅．每平方吋計算壓力，設溫度不變，問最後容積若干？

試作一曲線，表示壓力與容積之改變。

4. 脚踏車之橡皮輪注足空氣，其容積爲 150 立方吋，計算壓力 25 磅·每平方吋，若其初輪中並無空氣，問所注空氣之自然容積等於若干？

5. 試述查理 (Charles) 之定律。引用此項定理，必須依據絕對溫度，其故爲何？

6. 一汽鍋烟囱高 80 呎，內部 2×2 平方呎，其中氣體溫度 500° F.，若溫度降至 60° F.，而壓力不變，試求其容積。

7. 今有圓筒與活塞，內貯氣體 6 立方呎，絕對壓力 15 磅·每平方吋，溫度 15° C.，若此絕對壓力變爲 150 磅·每平方吋，容積變爲 2.5 立方呎，試求其溫度。

8. 今有壓縮空氣箱，其容積爲 20 立方呎，所儲空氣之絕對壓力爲 120 lbs./in.^{2}，溫度 70° F.，試求箱內空氣之重量。

9. 設將第 8 題箱內空氣之溫度自 70° F. 升至 120° F.，而體積不變，須加熱若干？設初壓力爲 120° lbs/in.^{2}，試求其終壓力。

10. 若將一磅空氣升高 1° F.，(a) 壓力固定，(b) 體積固定，所需熱量，試以呎·磅計之。二者之差卽爲 (a) 之外功，試其數值。

第五章　蒸汽之性

水　水爲氫氧二素之化合物。若將一分氧氣與二分氫氣混合燃燒，則發爆裂，成爲化合物，此化合物卽蒸汽(Steam)。

水之狀態　水之固體狀態爲冰，液體狀態爲水，氣體狀態爲汽。汽爲變液汽體，在一定壓力之下使其溫度升高，可成眞氣體。再加高溫度，則二素分解，成爲二種分子混合物，俟溫度降低，二者仍化合爲汽。

欲使水經過各種狀態，如由冰而水，由水而汽，必須加熱，反之，必須提取其中之熱。

感熱　凡施於一種物質之熱，使其溫度增高，謂之感熱(Sensible heat)。感熱入於物質，得以溫度計測驗之，水之感熱在 32°F. 作爲零，一磅水自 32°F. 升至 212°F.，需熱 180.0 B. t. u. 卽水在 212°F. 之感熱也。

若在一切溫度，水之比熱皆爲 1，則水在 $t°$ F. 時之感熱應爲(t−32) B. t. u.，用於約略計算，水之比熱可作爲固定，於是感熱 h 在任何溫度 $t°$ F. 之公式卽爲

$$h=(t-32)\text{B. t. u. 每磅} \quad \cdots\cdots (1)$$

高德(Prof. W. J. Goudie)之公式，較爲準確，並列於次：

$$h=(0.479\,T^{1.1}-438)\text{B. t. u. 每磅} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$T=(t+459.6)$ 華氏絕對度數。

感熱之數，列於蒸汽表，可為公式計算之參考，表中所無之數，而在列數之間者，可用推測求之。

潛熱 試驗温度計之定點時，曾見冰解及水沸，雖頻頻加熱，而温度不變，此由於化固爲液，化液爲氣，必須消耗熱量，使其狀態改變，故温度不見增減。凡施於一種物體之熱，變其狀態而不變其温度者，謂之潛熱(Latent heat)。若使氣體返於液體，或液體返於固體，必須將潛熱提出。

試驗 14. 先秤銅質熱量計之重量，加熱水(100° F.)約二磅，再秤之，減去熱量計之重量，卽水之確實重量 (W)。取冰一塊約 $\frac{1}{4}$ 磅，拭去面上之水，先測水之溫度得 t_1° F.，卽以冰塊投入，同時以溫度計淘拌，俟冰完全溶解，再測其溫度得 t_2° F.，然後秤其總重量，減去熱量計之重量及原有水之重量，卽得冰之重量(w)。

茲假定原有水中之熱，悉用於以下二項：

(a) 化冰爲水

(b) 升冰點至 t_2° F.

今以 l B. t. u.=1 磅冰之潛熱

$$W(t_1-t_2)=lw+w(t_2-32),$$

$$\therefore l=\frac{W(t_1-t_2)-w(t_2-32)}{w}。$$

據精確試驗 1 磅冰之潛熱 = 144 B.t.u. 試將試驗之結果，與之比較。若將熱量計之水等量合併計之，能相同否？若不相同，其故如何？

今以下列方法，於大氣壓之下，試驗蒸汽之潛熱，應可得相當結果。

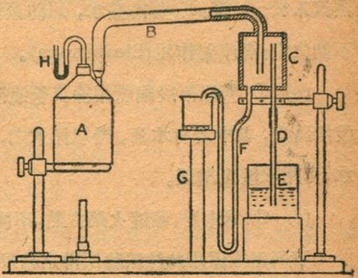

圖 46. 大氣壓下試驗蒸汽之潛熱

試驗 15. 圖 46 內，A 爲銅汽罐，以銅管 B 達於分別器 C，另一銅管 D 自分別器入於熱量計 E，若有水分自 B 與 D 二管，入熱量計，則結果錯誤，欲求準確，須注意以下各點：

(a) 汽罐內煮水過猛，則有多量水分，騰入蒸汽，同入 B 管，謂之倂水 (Priming)。倂水作用，由於煮水過猛或蒸汽容積太小，故試驗罐內水不宜多，其外火不宜太烈。H 爲汽壓計，其水銀平面，用以指示汽壓與大氣壓之差。

(b) B 管自汽罐伸出，略向上傾斜，汽流緩時，管內之水分，仍流入罐內。

(c) B 管及分別器之外，皆以法蘭絨包裹，以防散熱及凝冷。

(d) 凡有水入分別器，則由其下 U 形管 F 洩出之，祇有蒸汽入於 D 管。F 管內盛水，以防蒸汽溢出，此管祇能洩水，不能洩汽，有汽封作用 (Steamtraps)。

(e) D 管以兩段銅管用橡皮管連接，熱量計移去時，其下段能斜折，其中若有水分，得以杯承之，蒸汽任其洩出，所收之水，可用以較正錯誤。

(f) G 爲木屏，蔽遮火焰之熱，不使傳於熱量計。

下列記錄係用此法試驗所得之結果。

汽罐內之水量，適能充分，並非過多，煮沸之際，所得觀察如次：

熱量計之重量……132.5 g.

熱量計及所盛水之重量……505.7 g.

水之重量……373.2 g.

室內溫度……13.7° C.

當蒸汽自 D 管洩出，將熱量計置於其下，蒸汽入水爲時 $3\frac{1}{2}$ 分，有爆裂之聲，由於汽泡在冷水中分解。溫度觀察，以溫度計於熱量計內測之。

時間分數	0	1	2	3	$3\frac{1}{2}$	4	5
溫　度 C.	12.1	16.5	21.6	26.7	29.5	29.9	29.85
時間分數	6	7	8	9	10	11	12
溫　度 C.	29.4	29.15	28.8	28.5	28.15	27.85	27.5

$3\frac{1}{2}$分時後，將熱量計移去，先作各種秤量，其結果如次：

熱量計及內容之重量……………………518.4 g.

減去熱量計及原有水之重量……………505.7 g.

通入熱量計蒸汽之重量…………………12.7 g.

再將 D 管斜折，滴出之水，以杯承之，經時 7 分，秤量之結果如次：

杯與水之重量……………………………50.1 g.

杯之重量…………………………………48.1 g.

水之重量…………………………………2.0 g.

$3\frac{1}{2}$分時滴水之重量…………………………1.0 g.

熱量計內凝冷蒸汽之重量………………12.7−1

=11.7 g.

圖 47 內，4 分時至 12 分時之曲線，表示熱量散入室內空氣中，凡溫度高於室內溫度，自然有此效應，最高溫度為 29.9° C.，即以此用於計算。

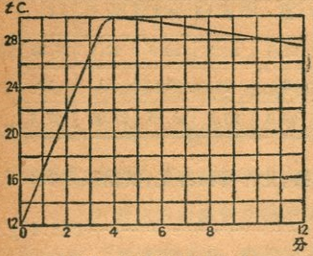

圖 47. 溫度與時間之曲線

今假定熱量計內吸收之熱等於 11.7 g. 蒸汽之潛熱，以及 12.7 g. 水自 100° C. 降至 29.9° C. 之感熱，熱量計之水等量合併計之，得式如次：

$$\{373.2+(132.5\times 0.094)\}(29.9-12.1)=11.7\,L+12.7(100-29.9)$$

$$(373.2+12.47)\,17.8=11.7L+890.3$$

$$6865=11.7L+890.3$$

$$L=\underline{\underline{510.7}}\text{卡·每克。}$$

此數在表內爲 539.3。若將溫度加以改正，可得 30.75° C.，於是 $L=540.5$。

飽和蒸汽與超熱蒸汽 煑水則溫度升高，但須溫度與壓力相當，始能沸騰，而成蒸汽，凡蒸汽與水接觸者，謂之飽和蒸汽 (Saturated Steam)。飽和蒸汽在一定壓力時，其溫度固定不易，雖提去其中之熱，不能使其溫度降低，祇能使之凝結爲水耳。加熱於飽和蒸汽，苟其壓力不變，且無水分，乃能升其溫度，此種蒸汽，已非飽和蒸汽，謂之超熱蒸汽(Superheated Steam)。

超熱蒸汽在一定壓力時，能升至極高溫度。飽和蒸汽爲變液

汽體，其壓力與溫度之關係不依簡單定理。超熱蒸汽近似眞汽體，溫度愈高，眞汽體之性愈顯。

超飽和蒸汽　乾飽和蒸汽經過緩慢絕熱膨脹，必致凝冷。若絕熱膨脹之作用甚驟，如汽渦輪機喉管之例，則不及凝冷。凡凝冷之發生，必須有細微水分子爲心，再有水分子加於其上，乃成水滴，此種細微水子，在尋常汽鍋蒸汽中恆有之。喉管中膨脹之作用，爲時不及一秒，水分子不能集合，於是必須降至相當壓力以下，蒸汽始行凝冷，此種蒸汽謂之超飽和蒸汽(Supersaturated Steam)。

蒸汽表　蒸汽之各種性質，經銳根納(Regnault)歷次試驗，始有充分了解。以後從事試驗者，亦復不少，輯爲蒸汽表，以示各種壓力溫度下之性質。昔時試驗之結果不免錯誤，故舊表中之數多不合，均經開倫達 (Prof. H. L. Callendar)改正。開倫達之蒸汽表係根據各項基本原則製成，能與試驗之結果符合，茲列開倫達簡表於篇末。

開倫達　簡表包括 550 磅之蒸汽，足以供給日常之用，其詳表之汽壓可至 2000 磅，是爲近年發展高汽壓之工作所必需也。

飽和蒸汽之壓力與溫度　表中之壓力與溫度不能成簡單比例，圖 48 以 p 與 t 相當之數繪成，左方之曲線指示左方之壓

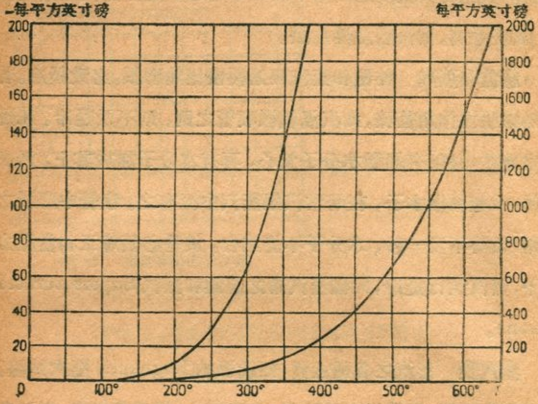

圖 48. 飽和蒸汽之壓力與溫度

力，最高 200 磅，右方之曲線指示右方之壓力，最高 2000 磅，此二曲線皆顯明壓力與溫度同時消長，p 與 t 之關係，可以試驗公式表明之。今列郎肯(Rankine)之公式於下，其中常數曾經較定，以期計算結果，得與開倫達之表相合。

$$\log.\ p=5.9761-\frac{B}{T}-\frac{C}{T^{2}}\text{.........}(3)$$

式中 p=絕對壓力，每平方吋磅數，

T=攝氏絕對溫度，273.1+t° C.，

$\log.B=3.1515$，

$$\log.C=5.1478,$$

用此公式計算之結果，應與表中之數相較，表中無者，可推算求之。

例題　飽和蒸汽在 200° C. 時，其壓力等於若干？

$$t=200^\circ\,\mathrm{C}.$$

$$T=200+273.1=473.1^\circ\,\mathrm{C}.$$

$$\log T=2.6750$$

$$\log\left(\frac{B}{T}\right)=3.1515-2.6750$$

$$=0.4765$$

$$\therefore\ \frac{B}{T}=2.995.$$

$$\log\left(\frac{C}{T^2}\right)=5.1478-5.3500$$

$$=\bar{1}.7978.$$

$$\therefore\ \left(\frac{C}{T^2}\right)=0.6277.$$

$$\log p=5.9761-2.995-0.6277$$

$$=2.3534.$$

$$\therefore\quad p=225.6\ \text{磅每方吋}$$

表中之數爲 225.2 磅·每平方吋。設溫度爲 229.75° C., 以公式計算之壓力爲 399.2 磅·每平方吋，表中之數爲 400 磅·每

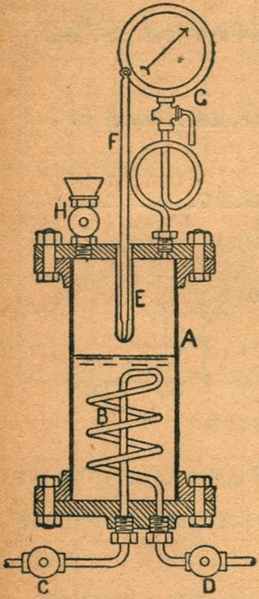

圖 49. 測驗飽和蒸汽之 p 與 t

平方吋，公式與表相差無幾，用於尋常壓力，卽爲適宜。

試驗 16. 圖 49 所示之儀器，係用以試驗壓力與溫度之關係，蒸汽必須取自大汽鍋，A 爲堅固器皿，足以抵抗汽壓，內有盤繞銅管 B，蒸汽自大汽鍋經 C 瓣入於 B 管，復經 D 瓣洩出，以蒸餾水自 H 瓣傾入 A，覆沒 B 管，E 爲溫度計函，中有溫度計 F.，G 爲蒸汽壓力計。

試開 C 與 D 二瓣，A 中之水卽被 B 內之蒸汽燒熱，將 H 全開，驅除空氣，俟 H 有蒸汽洩出，仍閉之，蒸汽之壓力立刻增加，G 上可見，其相對溫度得自 F 上見之。此種儀器所得之壓力，必不能大於汽鍋之壓力。

試讀多數之壓力與相當溫度，讀溫度時，須將 C 與 D 二瓣調節，俾壓力穩定，壓力上加 15，化爲絕對壓力，列表於次：

壓　力 每平方吋磅數	溫　度 試驗所得	溫　度 表中之數	錯誤

試將 1 與 2 兩行及 1 與 3 兩行各作曲線圖比較之。

乾飽和蒸汽之壓力與容積　此種關係亦無簡單定理可為依據，各種實驗公式，曾經制定，茲舉其一如下：

$$pV^{\frac{16}{15}}=490 \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

式中 p＝絕對壓力，每平方吋磅數，

V＝一磅乾飽和蒸汽之容積，以立方呎計。

乾飽和蒸汽中不含水分。設蒸汽內有水分，一磅混合物內衹有蒸汽 q 磅，則容積為 qV 立方呎。

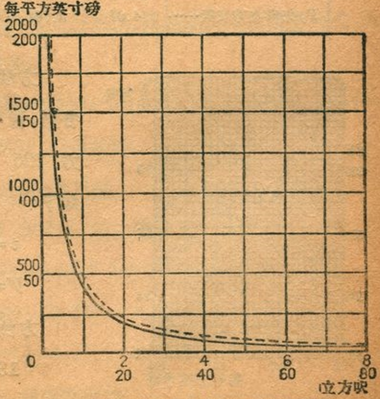

圖 50.　乾飽和蒸汽之壓力與容積之曲線圖

容積之試驗甚不易為，此種試驗之成

積最佳者，當推德國納本佬克，林得，克乃本(Knoblauch, Linde, Klebe)諸氏。取表中壓力與容積之數，作曲線圖如圖 50，所成曲線，與波義耳(Boyle)定律所示者極相似。圖 50 內之虛曲線係表示高壓力，與上方之數相對。

推算法 玆舉一例，以明蒸汽表內各數之推算法。

例 試求一磅乾飽和蒸汽在絕對壓力 125 磅時之華氏溫度與容積。

自表中取得各數於下：

p，每平方吋磅數……	110	120	130	140
$t°$ F.…………………	334.7	341.1	347.2	353.0
V，每磅立方呎數……	4.07	3.751	3.479	3.245

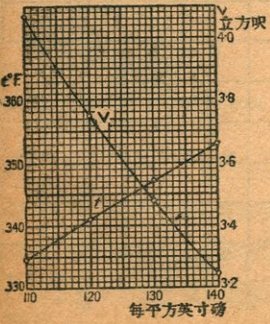

圖 51. 推算線圖

方法 (a) 壓力，容積，溫度各數，皆可於圖 51 中求之，壓力 125 磅之相當溫度與容積如下：

$t = 344.2°$ F.

$V = 3.61$ 立方呎·每磅。

方法 (b) 用數學推算法。

130磅之溫度＝347.2°F.

120磅之溫度＝341.1°F.

差數＝　6.1° F.

5 磅之差數＝　3.05° F.

$\therefore t=\quad 341.1+3.05=\underline{\underline{344.15^\circ}}$ F.

130磅之容積＝　3.479 立方呎

120磅之容積＝　3.751 立方呎

差數＝　-0.272 立方呎

5磅之差數＝　-0.136 立方呎

$\therefore V=3.751-0.136=3.615$ 立方呎。

蒸汽之潛熱　一磅蒸汽在大氣壓之下有潛熱 970.7 B. t. u., 蒸汽表所示之潛熱，與沸騰溫度成反比，此在圖 52 中尤爲明顯，而且溫度愈高，潛熱愈形減少。開倫達制定熱潛熱公式，於任何沸騰溫度皆能適用。

$$\log L=1.9638+0.3151 \log (374-t), \tag{5}$$

其中 t＝沸騰溫度，以攝氏計。

L＝潛熱，攝氏熱單位。

例　試求蒸汽在 200° C. 時之潛熱。

$$\log L=1.9638+0.3151 \log (374-200)$$

$$=1.9638+(0.3151\times 2.2405)$$

$$=1.9638+0.7060=2.6698$$

$\therefore L=467.7$ 攝氏熱單位。

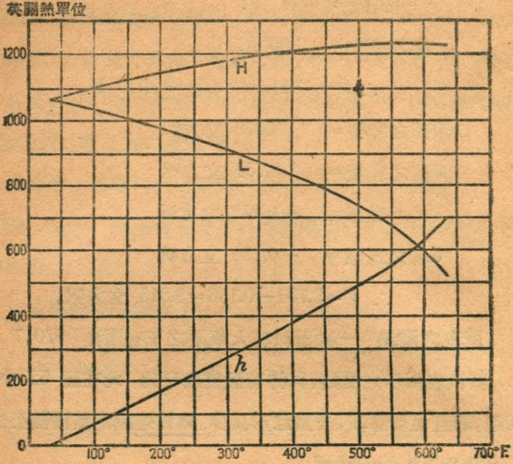

圖 52　h. L. H. 與溫度之曲線圖

$$=467.7\times1.8$$

$$=\underline{841.9}\ \text{B. t. u.}$$

水中加熱則膨脹，但沸騰溫度愈高，則構成蒸汽之容積愈小，於是必有一定溫度，其時水之容積與蒸汽之容積相等。在此溫度水與蒸汽不分，潛熱爲零，開倫達所測定者爲 374° C.，是謂之臨界溫度(Critical temperature)，其相當壓力爲 3158 磅·每平方吋。

大抵汽鍋中之蒸汽常含水分，乾飽和蒸汽乃不含水分之蒸

汽也。蒸汽表之熱量皆屬乾飽和蒸汽。濕蒸汽之乾度，以 q 磅乾蒸汽在一磅濕蒸汽之分數計之。在濕蒸汽中，惟蒸汽有潛熱，故每磅濕蒸汽有潛熱 qL 熱單位。

總熱　乾飽和蒸汽之總熱，乃感熱及潛熱之總熱量。即施於一磅冰點之水，化爲任何温度乾飽和蒸汽之熱也，即其温度之相當壓力恆保持不變。

今以 $H=$總熱，

$h=$感熱，

$L=$潛熱，

$$H=h+L \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

設蒸汽中有水分，其蒸汽分數爲 q，總熱之公式乃爲

$$\text{總熱}=h+qL \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

蒸汽表內所示之總熱，與沸騰温度爲正比，近 600° F. 時，其量最大。圖 52 內 H 及 t 曲線指示總熱與温度同時增加，感熱及潛熱與温度之曲線亦見此圖內。

h, L, H, 與壓力之曲線見圖 53，H 及 L 二曲線在 200 磅時，變率最速，餘者較緩。

計算總熱，並無簡單公式，欲求 H 約略之數，可先用(1)式求 h，再用(5)式求 L，二者相加即得。

超熱蒸汽　加熱於任何温度壓力之乾飽和蒸汽使其壓力保

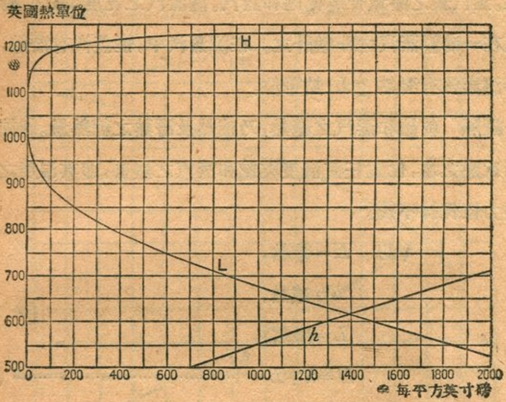

圖 53. *h. L. H.* 與壓力之曲線圖

持不變，而溫度升高，即可得超熱蒸汽。構成超熱蒸汽之熱量，須視蒸汽比熱之大小，比熱又視壓力及溫度而異，例如 20 磅壓力之蒸汽，其比熱在 248° F. 爲 0.504，在 716° F. 爲 0.48。又如 400 磅壓力之蒸汽，其比熱在 464° F. 爲 0.646，在 716° F. 爲 0.536。

若知比熱之平均數，即可計算構成超熱蒸汽之熱量。

今以 t＝飽和蒸汽之溫度，在任何壓力，

t_s＝超熱蒸汽之溫度，在同一壓力，

t_s-t＝超熱度數，

k_p＝平均比熱，

$$超熱蒸汽所需之熱 = k_p(t_s - t) \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

圖 54 可爲計算超熱之用，曲線指示一定壓力，平均比熱得

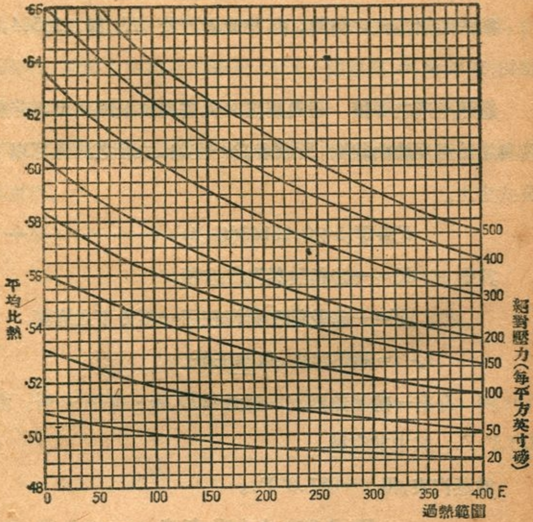

圖 54.　超熱蒸汽之平均比熱

於其壓力及超熱溫度之上求之。

例　今有乾飽和蒸汽，在絕對壓力 200 磅，欲使其超熱溫度至 250° F.，須加熱若干？

試於圖 54 中，在 250° F. 之上與 200 磅曲線相交處，求比熱之數。

$$k_p = 0.551$$

所需熱量 $= 250 \times 0.551 = \underline{\underline{137.75}}$ B. t. u. 每磅。

欲求超熱蒸汽之總熱，須將此數加於 H，即 1205.4，得 1343.1 B. t. u.

超熱蒸汽之容積 超熱蒸汽之性質與眞氣體相近，若將容積與超熱溫度繪曲線圖，所成者爲一直線，二者之關係可以下列公式定之。

$$V_s = V\{1+0.00146(t_s - t)\} \quad \cdots\cdots (9)$$

其中 V_s = 一磅超熱蒸汽之容積，

V = 一磅乾飽和蒸汽在同一壓力下之容積，

$t_s - t$ = 超熱溫度，以華氏計。

例 今有一磅超熱蒸汽，壓力 200 磅·每平方吋，溫度 631.8° F.，試求其容積。

檢蒸汽表，得 $t = 381.8°$ F.。

$V = 2.320$ 立方呎·每磅。

超熱溫度 $= t_s - t = 631.8 - 381.8$

$= 250°$ F.

$V_s = 2.320\{1 + (0.00146 \times 250)\}$。

$=2.320\times1.365$

$=\underline{\underline{3.16}}$立方呎·每磅。

蒸汽之膨脹　機筒內蒸汽之膨脹，極其煩複，茲以絕熱膨脹(Adiabatic expansion)爲標準，以資比較，蒸汽經此膨脹，乾者變濕，濕者愈濕。設原爲超熱蒸汽，其膨脹與眞氣體定律相符，若繼續膨脹，則壓力與溫度均降低，及至一定溫度，其超熱全失，則變爲乾飽和，再行膨脹，則水分增加。

濕蒸汽之絕熱膨脹當於後章述之。下列開倫達公式，適用於超熱蒸汽。

今以　p＝絕對壓力每平方吋磅數。

V＝一磅蒸汽之容積，以立方呎計。

b＝一磅水之容積＝0.016 立方呎。

T＝絕對溫度。

$$p(V-b)^{1.3}=K \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

$$\frac{T}{p^{\frac{3}{13}}}=K \quad\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

若 V 非極小，則 b 無甚關係，可略去之。

例　今有一磅超熱蒸汽，其原始絕對壓力爲 200 磅·每平方吋，溫度 700° F., 容積 3.396 立方呎。設經絕熱膨脹，絕對壓力降至 80 磅·每平方吋，試求其容積及溫度。

用式(10)，$p_1(V_1-0.016)^{1.3}=p_2(V_2-0.016)^{1.3}$

$$\therefore \frac{V_2-0.016}{V_1-0.016}=\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{1.3}}$$

$$V_2-0.016=(3.396-0.016)\left(\frac{200}{80}\right)^{\frac{1}{1.3}}$$

$$3.38\times 2.5^{\frac{1}{1.3}}$$

$$V_2=6.839+0.016$$

$$=\underline{\underline{6.855}}\ \text{立方呎。}$$

用式(11)，$\dfrac{T_1}{p_1^{\frac{3}{13}}}=\dfrac{T_2}{p_2^{\frac{3}{13}}}$

$$\therefore T_2=T_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{3}{13}}$$

$$=(700+459.6)\left(\frac{80}{200}\right)^{\frac{3}{13}}=1159.6\times(0.4)^{\frac{3}{13}}$$

$$=939.1^\circ\text{F.}(\text{絕對溫度})$$

$$=939.1-459.6$$

$$=\underline{\underline{479.5^\circ}}\text{F.}$$

飽和溫度在 80 磅時爲 311.9°F.，可知此蒸汽在膨脹之終，仍爲超熱。

固定壓力下蒸汽之構成　圖 55 內 a 爲圓筒，中有活塞，上加任何重量。筒內盛水一磅，其上壓力爲 p。假定活塞之面積爲一方呎，一磅水之容積爲 v 立方呎，故筒內水之高度爲 v。設此水已至沸點，其相對壓力爲 p，再加構成蒸汽所需之潛熱，則容積增至 V 立方呎，卽一磅飽和蒸汽在 p 壓力下之容積，活塞上升之高度亦爲 V 呎。〔圖 55(b)〕。

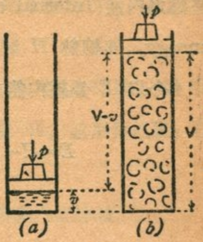

圖 55.

此際有二種作用(1)化水爲汽，(2)外功(External work)成就，二者皆由潛熱加入所致也。外功之量，計算如下：

活塞上之總壓力 $=144\ p$ 磅。

活塞行動之距離 $=(V-v)$ 呎。

外功 $=144\ p\ (V-v)$ 呎·磅。

一磅水之容積甚小，可略去之，上式變爲

外功 $=144\ p\ V$ 呎·磅。

$$=\frac{144\ p\ V}{J}\text{ B. t. u.}$$

此式表示一部份潛熱化爲功，其餘等於

$$\left(L-\frac{144\ p\ V}{J}\right)\text{ B. t. u.},$$

是謂之內能(Internal energy)。蒸汽之總內能 (Total internal energy),即總熱 H 減去外功所需之熱是已。

今以 E 爲總內能之符號,得式如下:

$$E=H-\frac{144\,p\,V}{J}\,\text{B. t. u.} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

問 題

1. 蒸汽之"感熱""潛熱"及"總熱"之定義若何?

2. 用蒸汽表,作飽和蒸汽之 p 與 t 之曲線圖,至300磅每平方吋,壓力與溫度之關係若何?

3. 用蒸汽表,作乾飽和蒸汽之 p 與 v 之曲線圖至 300 磅每平方吋,在同一紙上並作波義耳 (Boyle)定律之曲線圖,以資比較。

4. 用實驗公式 (3),求飽和蒸汽在 300° F. 之相當壓力,並與蒸汽表中之數比較之。

5. 用實驗公式(4)求一磅乾飽和蒸汽在絕對壓力 100 磅每平方吋時之容積,並與蒸汽表中之數比較之。

6. 用實驗公式(1)及(2),求一磅水在 300° F. 時之感熱,並與蒸汽表中之數比較之。

7. 用實驗公式 (2),(5)及(6),求乾飽和蒸汽在 300° F. 時之潛熱及總熱,並與蒸汽表中之數比較之。

8. 設第七題之蒸汽有水分，其乾燥分數為 0.8，試解答之。

9. 今欲將乾飽和蒸汽在 150 磅·每平方吋時，燒至 500°F.，而壓力不變，須加熱若干？引用圖 54，並用蒸汽表，以求超熱蒸汽之總熱。

10. 用實驗公式(9)，求第九題超熱蒸汽之容積。

11. 設第十題內之超熱蒸汽，經過絕熱膨脹，壓力自 150 磅降至 70 磅，試用實驗公式(10)，求其容積。

12. 用實驗公式(11)，求第十一題膨脹終止時之溫度。

13. 設有乾飽和蒸汽重 100 磅，其絕對壓力 3 磅·每平方吋，今欲使之凝冷至 130°F.，須提出熱量若干？須用之數查表。設此蒸汽含有水分，其乾蒸汽分數為 0.85，試將此題解答之。

14. 有一水櫃盛水 40 加侖，以乾飽和蒸汽注入，其絕對壓力為 30 磅·每平方吋，水之初溫度為 60°F.，今欲升高至 150°F.，須用蒸汽若干磅？須用之數查表。

15. 今欲將一磅水在 80°F. 化為蒸汽，其絕對壓力為 260 磅·每平方吋，乾燥分數 0.95，須熱若干？此種蒸汽若干磅之熱適等於一磅煤之發熱量(15,000 B. t. u.)？須用之數查表。

16. 今將一磅水在 40°C.，化為蒸汽在 170°C.，乾燥分數為 0.9，須加熱若干？

17. 在固定壓力下構成蒸汽時，內功與外功有何區別？

18. 試求一磅水構成 100 磅絕對壓力之乾飽和蒸汽之外功，以熱單位計之。內能之量若干？須用之數查表。

19. 蒸汽在喉管內絕熱膨脹，自絕對壓力 100 磅·每平方吋，超熱溫度 200° F.，降至絕對壓力 50 磅·每平方吋，試求其最後溫度。

20. 今欲將 2000 磅乾飽和蒸汽在絕對壓力 100 磅·每平方吋時，燒至 450° F.，須加熱若干？

第六章　功之線圖

功　凡力行經若干距離以勝抵抗謂之功。功爲力與距離之積,力之方向與距離相同。功之單位以呎·磅計,卽 1 磅之力行經 1 呎距離之功。

功之單位亦有以吋·噸或呎·噸計者。

十進制中,以爾格(Erg)爲單位,卽 1 達因(Dyne)行經 1 糎距離之功。此種單位太小,應用不便,工程家常以粎瓩爲單位,卽 1 瓩之力行經 1 粎之功。

1 呎·磅$=1.3562\times10^7$ 爾格。

1 粎·瓩$=7.235$ 呎·磅。

例題　設有 10,200 磅之力施汽機之活塞,衝程 2 呎,1 衝程之功等於若干?

功$=$力$\times$距離

$=10,200\times2$

$=\underline{20,400}$ 呎·磅。

功率　功率爲作功之率,英美功率單位曰馬力 (Horse power), 乃每分時 33000 呎·磅之功。此種單位係瓦特 (James Watt)制定, 約大於平均生馬功率之一倍。欲求動力機之馬力,

須先求其每分時呎·磅之功，再以 33,000 除之。

例 前題之活塞，每分時衝程 240 次，試計其馬力。

$$馬力=\frac{20400\times240}{33000}$$

$$=\frac{4,896,000}{33000}$$

$$=\underline{\underline{148.4}}。$$

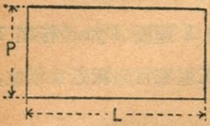

圖 56. 等力作功之線圖

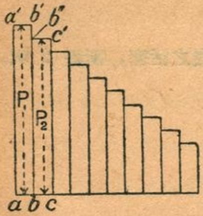

圖 57. 變力作功之線圖

功之線圖 功既爲力與距離之積，應可以面積代表。設有 P 磅均等之力，施於汽機活塞，衝程 L 呎，其功即爲 $P\times L$ 呎·磅。今用適當比例，以圖 56 之橫線代表衝程，縱線代表均等之力，此圖適成長方形，其面積即等於 $L\times P$，故能代表功，是爲無膨脹之功。

若逢變動之力，須另用方法，以求其功，圖 57 內，假定 P_1, P_2 各力，在極短距離 ab, bc，之間，皆屬均等，於是

$$P_1之功=P_1\times ab,$$

$$P_2之功=P_2\times bc。$$

但　$P_1\times ab=abb'a'$ 之面積，

$P_2\times bc=bcc'b'$ 之面積。

故總功等於各面積之和，即全圖之面積。設使 ab, bc 等距離愈小，其理愈眞，若至極小，圖上之階級，可變爲連續曲線如圖 58。圖之面積，等於長度與平均高度之積，即代表功之多寡。

圖 58.　連續變力作功之線圖

今以 $L=$ 長度之呎數

$P_m=$ 平均壓力之磅數。

變力之功 $=P_m\times L$ 呎磅。

活塞上功之線圖　現今汽機皆使蒸汽自行膨脹，其初供給蒸汽(Admission)，自由入於汽筒，俟活塞進行若干衝程，即令滑瓣將給汽門關閉，斷絕蒸汽(Cut off)，其餘衝程，則任蒸汽自行膨脹完成之。茲擬一活塞上功之線圖，雖不全合事實，而能與實際線圖比較，亦甚有用。假定給汽時壓力不變，絕汽後，壓力之改變合於波義耳定律，即

$$PV=c。$$

設使滑瓣啓閉甚速，則給汽，膨脹，洩汽之際，界限分明，請舉一例說明之。

例　汽機活塞徑 10″，衝程 18″，絕對汽壓 60 磅·每平方

吋，給汽至衝程三分之一為止，其餘以膨脹完成之，試作線圖表示活塞一方之功。

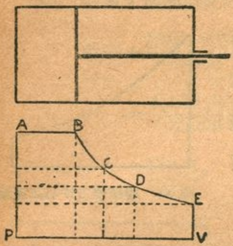

圖 59. 汽機功作之線圖

用適當比例，作 PV 線(圖 59)代表衝程，此線作為眞空線。作 AP 線與 PV 垂直，代表 60 磅每方吋之壓力，作 AB 線與 PV 平行，等於 PV 三分之一。

AB 即代表定壓力之給汽部分。

筒內蒸汽在 B 點之容積如下：

V_1＝活塞面積×AB。

在其他各點之容積如下：

V＝活塞面積×活塞行經距離。

各式皆有活塞面積，係一定數，即以活塞行經之距離代表容積亦無不可。今以 6,9,12,18 代表$\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ 及全衝程之容積，即圖中 B,C,D,E 各點。

引用 $PV=c$, 則 $P_1V_1=P_2V_2$。

經過$\frac{1}{2}$衝程在 C 點，$P_2=\frac{P_1V_1}{V_2}=\frac{60\times6}{9}=40$磅·每平方吋。

經過$\frac{2}{3}$衝程在 D 點，$P_3=\frac{P_1V_1}{V_3}=\frac{60\times6}{12}=30$磅·每平方吋。

經過全衝程在 E點，$P_4=\frac{P_1V_1}{V_4}=\frac{60\times6}{18}=20$磅·每平方吋。

連 B, C, D, E 各點，得一曲線，卽膨脹線。圖內各縱線皆代表每平方吋壓力，圖之面積代表活塞上每平方吋之功，以活塞面積之平方吋數乘之，卽爲總功。

活塞上之淨功　蒸汽施於活塞一方之功，一部分耗於活塞之抵抗，一部分耗於活塞他方之背壓力 (Back pressure)。不凝汽汽機 (non-condensing engine) 洩汽入於大氣，其絕對背壓力約爲 17 或 18 磅·每平方吋。凝汽汽機(Condensing engine) 之絕對背壓力約 2 或 3 磅·每平方吋。茲假定背壓力在一衝程中保持均等。

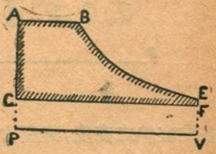

圖 60.　活塞上淨功作之線圖

活塞上每平方吋之淨功，應爲 PABEV (圖 59)之面積與抵抗背壓之功之差。圖 60 內，PG 代表背壓力，作 GF 線與 PV 平行。背壓力旣係均等，則 PGFV 卽代表背壓力之功。GABEF 自然代表活塞上每平方吋之淨功。

活塞上淨功之計算法　此爲工程家習用之方法，略述於次：

GABEF 之平均高度，以壓力比例乘之，卽得活塞上之平均壓力。分 GF 爲 10 等分，於各分之中，作垂直線(圖 61)。計量

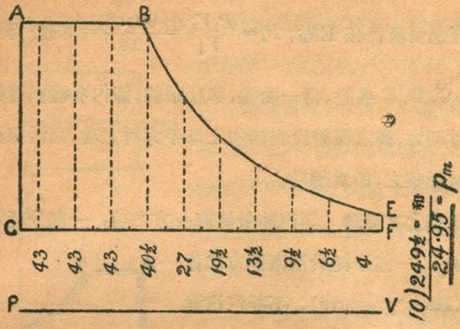

圖 61. 計算平均壓力之線圖

各垂直線之高度，與壓力成比例，求其和數，以 10 除之。

今以 P_m = 平均壓力每平方吋磅數。

L = 衝程呎數。

A = 活塞面積方吋數。

∴每衝程之功 = $P_m \times A \times L$ 呎·磅。

引用前例各數，背壓力作爲 17 磅·每平方吋，於是每衝程之功 = $24.95 \times 78.54 \times 1.5$

= 2939 呎·磅。

平均壓力方程式 工程家常用方程式以代線圖計算法，其式如次：

$$P_m = P_1\left(\frac{1+\log_e \gamma}{\gamma}\right) - P_2$$

其中 P_1＝給汽之絕對壓力每平方吋磅數，

P_2＝絕對背壓力每平方吋磅數，

P_m＝平均淨壓力每平方吋磅數。

$$\gamma=\frac{\text{全衝程筒內汽之容積}}{\text{絕對點筒內汽之容積}}.$$

γ 謂之膨脹比率(Ratio of expansion)，$\log_e\gamma$ 爲膨脹比率之奈皮亞(Napierian)自然對數，可於表中求之。

例　$P_1=60$ 磅·每平方吋，

$P_2=17$ 磅·每平方吋，

$\gamma=3$,

$\log_e\gamma=1.0986$

$$P_m=P_1\left(\frac{1+\log_e\gamma}{\gamma}\right)-P_2$$

$$=60\left(\frac{1+1.0986}{3}\right)-17$$

$=\underline{\underline{24.97}}$ 磅·每平方吋。

自圖 61 所得之數爲 24.95，係因作圖與計量不能準確，故與方程式所得之數稍異。圖 61 爲理想線圖 (Hypothetical diagram)，實際上不能如此。圖 62 爲近似實際線圖，其理想部分以虛線示之。

給汽　滑瓣安置，應使蒸汽入於汽筒，在洩汽衝程未終以

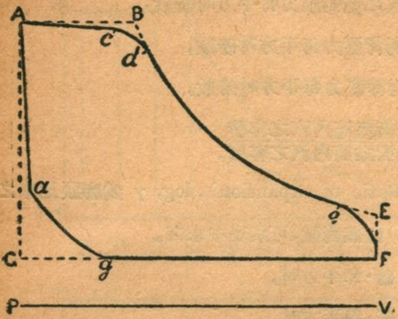

圖 62. 近似線圖與理想線圖之比較

前。此種設計，蓋欲得充分蒸汽，以便活塞開始進行，故給汽線 aA 稍斜，並非垂直。

節汽與減汽 活塞開始進行，其速度漸漸增加，蒸汽流入汽筒之速度，亦必須繼續增加，但汽道狹小，蒸汽流入，不能如活塞之速，則壓力降低，是謂之節汽(Throttling)，其效見圖 62 內 AC 線。又滑瓣不能立時關閉，故近 B 角處，壓力愈低，蒸汽將近絕汽點時，經過縮小之口，以致壓力降低，謂之減汽 (Wire-drawing)，其效見圖 62 內 cd 線，倘能使活瓣自全開至全閉，無須時間，則可得如 B 之銳角。

膨脹 汽筒忽冷忽熱，故其中蒸汽之膨脹，無定律可據，然與 $PV=c$ 之定律相去不遠。筒內之汽常化爲水亦由冷熱不均之故。

洩汽 洩汽瓣須於衝程未終以前即開，俾洩汽先行放出，得以減少背壓力。洩汽瓣在 e 點開時(圖 62)，壓力頓減而成圓角

eF。洩汽衝程中，壓力或變或不變，則視洩汽道之廣狹若何，過狹則背壓力在中程增加，因活塞至此進行甚速故也。

壓汽　洩汽瓣須於洩汽衝程未終止以前卽閉，得以保留若干蒸汽，俟活塞達於極端，壓縮此汽，以爲汽墊(Cushion)。汽墊之作用，須有筒隙容積 (Clearance volume)，以防活塞與筒蓋接觸。在衝程開始時，活塞以外之容積謂之筒隙容積，包括活塞至筒蓋之空間，以及滑瓣以內之汽門。若無筒隙容積，卽無汽墊，蒸汽或其他物質之容積，自不能壓縮以至於零。

壓汽能增加筒隙中之壓力，使之高於洩汽壓力，其效能節省蒸汽。衝程開始時，筒隙中壓力，應與汽箱中壓力相等。筒隙中壓力增加，給汽得以減少。

圖 62 內，壓汽始於 *g*，洩汽瓣卽於此際關閉，壓力漸高如 *ga* 線。

各種效應，皆使線圖面積減少，去其 100 之 25 或 100 之 40，多寡視汽機之構造而異。實際平均壓力亦可於圖中求得之，較之方程式所得者約爲 100 之 75 或 100 之 60。

筒隙其他效應　在衝程之中，筒隙與筒內蒸汽之容積有密切關係。欲求此容積，須將筒隙容積加入活塞所經之容積，由此可得實膨脹比率，其式如次：

$$\text{實膨脹比率}=\frac{\text{衝程終止時筒內蒸汽之容積}}{\text{絕汽時筒內蒸汽之容積}}$$

$$=\frac{(\text{活塞所經之全容積})+(\text{筒隙容積})}{(\text{絕汽時活塞所經之容積})+(\text{筒隙容積})}。$$

前節以全衝程之蒸汽容積，與絕汽時之蒸汽容積之比爲膨脹比率，其數爲 3。此用於理想線圖，自無不可，但祇爲約略之數。

小汽機之筒隙較大，大汽機之筒隙較小，筒隙與全衝程容積之比，在小汽機中約爲 100 之 20，在大汽機中約爲 100 之 4。筒隙可用汽筒之剖面圖計算之，或用試驗方法求之。法將活塞置於衝程之始，以水注入空間至滑瓣爲止，依據水之重量，計算筒隙之容積。

例 1. 設有汽筒徑 10″，衝程 18″，筒隙容積須用水 4 磅，始能注滿，試求筒隙容積並求其在衝程容積之百分。

1 立方呎水=62.3 磅。

今以 V=筒隙容積之立方吋數。

$$V:1728=4:62.3$$

$$V=\frac{1728\times 4}{62.3}=\underline{\underline{111}}\ \text{立方吋}。$$

$$\text{全衝程容積}=\frac{\pi d^2}{4}\times 18$$

$$=78.54\times 18$$

$$=\underline{\underline{1414}}\ 立方吋。$$

$$百分數=\frac{111}{1414}\times 100=\underline{\underline{7.86}}。$$

例 2. 設使例 1 之絕汽點在衝程三分之一，試求實膨脹比率。

$$衝程終止時筒內蒸汽之容積=1414+111$$

$$=1525\ 立方吋。$$

$$絕汽時筒內蒸汽之容積=\frac{1414}{3}+111$$

$$=582.3\ 立方吋。$$

$$實膨脹比率=\frac{1525}{582.3}$$

$$=\underline{\underline{2.62}}。$$

例 3. 引用例 1 及例 2 各數，作功之線圖，表示筒隙之容積，以及給汽與膨脹部分，給汽壓力作為 60 磅·每平方吋。

圖 63 內，PV 為眞空線，其長代表衝程，以活塞之面積乘之，卽為活塞所經之容積，故 PV 亦可代表活塞所經之容積。

今以 PO 代表筒隙之容積，用下列比例求之。

PO : PV＝筒隙容積：活塞所經之容積。

OV 代表衝程終止時，筒內蒸汽之全容積。

命 l=PO 之吋數。

$$l : PV = 111 : 1414$$

$$\therefore l = \left(PV \times \frac{111}{1414}\right) \text{吋。}$$

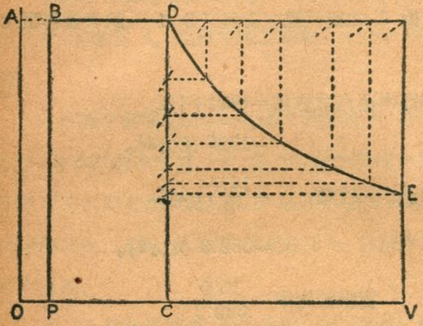

圖 63.　功之線圖包含箇隙

作 C 點使 PC 等於 PV 三分之一。作 BP 線及 CD 線與 PV 垂直，皆代表 60 磅·每平方吋。BD 即代表此圖之給汽部分。膨脹曲線可用前章所述方法求之，於是得 PBDEV 即所求之功之線圖。圖內之輻射線皆始於 O，非始於 P，應行注意。

問　　題

1. 1 呎·噸等於若干粎·瓩?

2. 今有動力機發展 3500 馬力，問每時呎·磅之功若干?

3. 汽機之直徑 30″，衝程 48″，絕汽在衝程之半，初壓力在眞空以上 150 磅·每平方吋。試按膨脹定律，作線圖表示活塞

一方面之功。再於圖內求平均壓力，計算每衝程之功。筒隙可不計。

4. 引用題 3 各數，用下式計算平均壓力及每衝程之淨功，

$$P_m=P_1\left(\frac{1+\log_e\gamma}{\gamma}\right)-P_2$$

背壓力作為 45 磅·每平方吋。

5. 何謂理想線圖？試作半衝程絕汽之理想線圖，并於圖中指示實際線圖與理想線圖之異點。

6. 汽機之筒徑 24″，衝程 36″，筒隙為衝程 100 分之 10，絕汽在衝程之 0.6，試求約略膨脹比率及實膨脹比率，筒隙容積以立方吋計。

7. 依據問題 6，作理想線圖，并以虛線表示近似線圖。

8. 試求以下各能之呎·磅：

(a) 35 噸降落 15 呎。

(b) 砲彈重 60 磅，每秒射 2000 呎。

(c) 1 磅煤燃燒發熱 8500 磅·度·攝氏單位。

(d) 30 磅水自 40° F. 升至 103° F.

(e) 每時 1 馬力。

(f) 每時 1 瓩。

9. 蒸汽入於汽筒，壓力在真空以上 140 磅·每平方吋，絕

汽在衝程之 0.35,膨脹合於波義耳定律,筒隙與汽墊不計,試作理想線圖。背壓 17 磅·每平方吋,試求有效壓力。活塞面積 1 平方呎, 衝程 2 呎, 每衝程之功若干?入於汽筒之蒸汽若干立方呎?每立方呎之功若干?

10. 何謂筒隙?活塞徑 12″, 曲柄長 1 呎。工作之容積等於若干立方吋?設使活塞在衝程之終,筒隙能容水 4 磅,試求筒隙於工作容積之百分數。若以直線代表工作容積, 3 吋等於 1 立方呎,應以若干吋代表筒隙?

11. (a) 今有小汽機,以絕對壓力 90 lbs./in.² 之蒸汽給入,在衝程之半絕汽,其絕對背壓力爲 35 lbs./in.² 若實際平均壓力等於理想線圖之 60 %,試求此平均壓力。

(b) 此機發展 20 馬力,每時旋轉 240 次, 試求每衝程之功。

(c) 若衝程爲筒徑之 1.5 倍,試求筒徑及衝程之大小, 至 $\frac{1''}{8}$。

第七章　汽力指示器

指示器　指示器 (Indicator) 用以指示機筒內蒸汽狀態之物也。此器能於紙片上作線圖，表示壓力與容積之改變，其種類甚多，玆舉其著名者說明於次。

克佬士俾 (Crosby) 指示器　此器之外觀如圖 64，其剖面如圖 65。器中各部份以數目字指明，小圓筒 4 與外圓筒 5 配合，中有活塞 8，筒內有螺旋彈簧，其上端連於筒蓋 2，下端連於活塞，圓筒 5 之下有聯合物 6，旋入指示器之活嘴 (Indicator cock) 如圖 68，此活嘴又能旋入汽機筒兩端之孔。

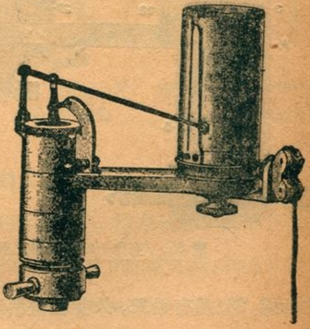

圖 64.　克佬士俾(Crosby)指示器之外觀

蒸汽入於汽機之筒，活嘴開時，並可入於指示器之筒，施其壓力於活塞 8，與汽機活塞之上壓力無異，於是蒸汽之壓力能使活塞 8 向上，抵抗彈簧之作用。彈簧之伸縮與壓力之增減爲正

比，乃力學上之定理，故活塞 8 之上下與蒸汽壓力之大小爲正比。活塞之上端 12，經 11，13，14，15，各棒，傳其運動於槓杆 16，使其外端 23 升降，與活塞之運動平行，而成平行運動 (Parallel motion)。槓杆之外端 23 載有鉛筆，故能繪畫活塞之運動，有一定比例。在此器中，鉛筆之運動大於活塞之運動六倍，活塞之運動愈小，則鉛筆運動之阻礙愈少。

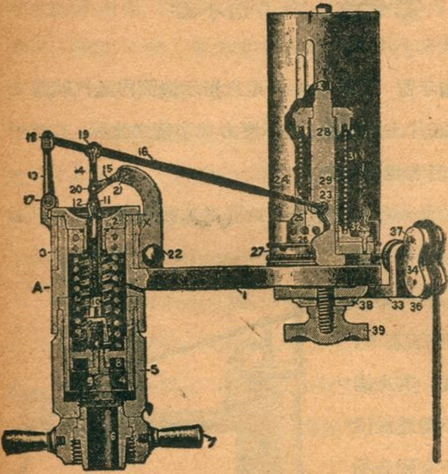

圖 65. 克佬士俾指示器之剖面

鼓筒 24 能在中軸 28 上旋轉，裝於托架 1 上，與圓筒 5 相連，紙片裹於鼓筒上，下繫紐繩，盤繞一週，經導輪 34，再結於汽機適宜之點。若拽此繩，則鼓筒向一方旋轉，釋之，則筒內彈簧

31 使之向他方旋轉。汽機上結繩之點，須使鼓筒上之紙片作往復運動，適與汽機之活塞運動相應，鉛筆之上下運動旣與汽機筒內之蒸汽壓力相應，鼓形筒之往復運動，又與汽機之活塞運動相應，故能成一線圖，以示一週間活塞運動與蒸汽壓力之關係。

克佬士俾彈簧爲雙螺旋式（圖 66），下端有一球，適合於活塞 8 內之凹隙（圖 65），活塞桿 10 之螺旋端及螺旋 9，構成彈簧之聯絡，此種結構，能使活塞在筒內自由運動。活塞 8 係用工具鋼（Tool steel）製成，周緣甚薄，堅固輕便，光滑適用。活塞之放大剖面及彈簧聯絡如圖 67。活塞周緣之外面有淺槽，能防止漏汽，槽內貯水分及油，故能阻止液體通過。筒蓋 2 旋入筒之上端（圖 65），並用以保持袖管（Sleeve）3 之位置，袖管用以支持平行運動，而能自由旋轉以便鉛筆與紙片接近或離開。鼓筒旋轉不得過一週，有阻止物限制之。

圖 66. 克佬士俾指示器之彈簧

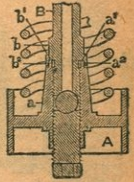

圖 67. 克佬士俾指示器之活塞與彈簧之聯絡

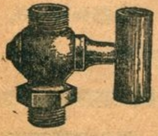

圖 68. 指示器之活嘴

指示器之活嘴（圖 68）開時，其柄直，閉時其柄橫，則與汽機之筒隔絕，球

面中心有一孔，與大氣相通，如此活塞上之壓力卽爲大氣壓力，此際令鉛筆作一線，卽表示大氣壓，作爲標準線，以資比較。

超熱蒸汽之高温度有礙指示器彈簧之彈性，故有將彈簧置於指示器筒之外者，得以避免高温度之效應，此式指示器如圖69，其空心活塞桿向上延長，而以形如圖66 之彈簧控制之，但位置顚倒。彈簧之下端旋入短管，連於橫棒，以兩柱支之，彈簧之下有螺旋止，能將鉛筆置於鼓筒上適宜之高度。

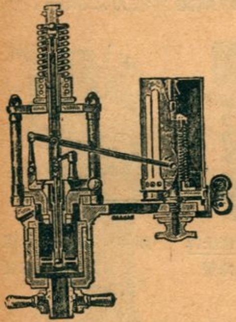

圖 69. 外彈簧克佬士俾指示器

此種指示器活塞之邊爲球面，與筒壁祇有一線接觸，足以防止粘着，且可減少摩擦，更換彈簧時毋須將活塞取出。

外彈簧指示器用於內燃機最爲適宜，以其中壓力特高故也。

道伯麥克茵 (Dobbie-McInnes) **指示器**　此器如圖 70，彈簧爲螺旋式，在圓筒之外。A 爲鼓筒之螺旋彈簧，其一端 a^1 結於中軸之方端 B，其他一端 a^2 能使鼓筒旋轉。若將中軸 C 上之旋頂(Milled head)旋開，便可將鼓筒取去，得以調度彈簧之強弱。試將 a^1 提出方端之上，加以扭轉，則彈簧之力卽增或

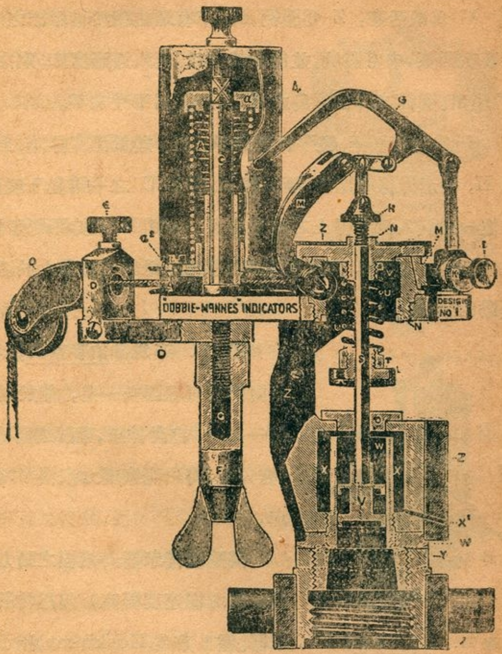

圖 70.　道伯麥克茵 (Dobbie-McInnes) 指示器

減。汽機之速度高，鼓筒內之彈簧須較強，始能使鼓筒立時回轉，而紐繩不致鬆落。D 為輪架，能調至任何角度，以便達於汽機上適宜之點。

V 爲鋼活塞，Z 爲圓筒，其下有螺旋接於指示器之活嘴。活塞有凹隙，中盛潤油，並能收集細粒。蒸汽透過活塞，則自通道 X′ 溢出。圓筒之外函以烏木爲之，則運用不致炙手。

G 爲鉛筆槓杆，經平行運動各槓杆，連於活塞桿 S 上之旋頂 H，活塞桿係一鋼管，極其輕便。彈簧 U 之一端旋入頂蓋 N，其他一端旋入活塞桿上之彈簧座 T。托架 M 支持平行運動，能在頂蓋 N 上旋轉，俾鉛筆與紙片接觸。鉛筆之運動大於活塞之運動六倍。

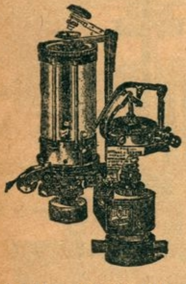

圖 71. 道伯麥克茵指示器自動作連續線圖

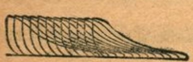

圖 72. 連續指示線圖

圖 71 亦爲道伯麥克茵指示器，鼓筒內皆有線圖紙一捲，能於鼓筒旋轉一次時，自動伸紙，而成連續線圖，(圖 72)，得以覺察變力汽機中功之狀況。

高速度指示器 飛機之動力機及同樣動力機速度極高，須用特製之指示器。霍卜京生(Hopkinson)指示器如圖 73，係霍卜京生及克來得 (Hopkinson and Clyde)公司所製，是爲高速度指示器之一種，其中活塞受氣體壓力，傳其運動於一小棒，由此達於橫軸上之小鏡，使之上下振

動，同時復有直軸與動力機相連，使此小鏡左右振動。若將光線射於小鏡，其直反射表示壓力，橫反射表示體積，於是可將照像乾片，受此反射光線，作成線圖。

美國航空署所用者，有法波魯(Farnboro)指示器。此係於每週間任取壓力之一點，以若干點製成線圖，足以表示機筒內之狀況。此種指示器不受速度之限制。

圖 73. 霍卜京生(Hopkinson)光線指示器

指示器與汽機之聯絡　指示器經過曲管 E 通於汽機之筒(圖 74)。曲管達於汽筒之兩端，中有枝管，其上置指示器，枝管下有三孔活嘴，能使汽筒任何一端通於指示器，而作任何一端之線圖。試驗汽機，欲求其精確，須用二指示器，汽筒二端各置一具，得以避免長曲管中之壓力損失。曲管入汽筒處應與汽筒垂直，亦足以避免蒸汽出入之虛壓力。

汽機之衝程甚大，指示器不能直接連於橫頭，必須用減度機關(Reducing gear)，如圖 74，其中 AB 爲直桿，一端結於固定樞紐，其他一端經 BC 短桿連於橫頭軸串之中心。鼓筒之紐繩繫於 AB 上適宜之小孔 D。圖 74 內 P 爲活塞桿，R 連接

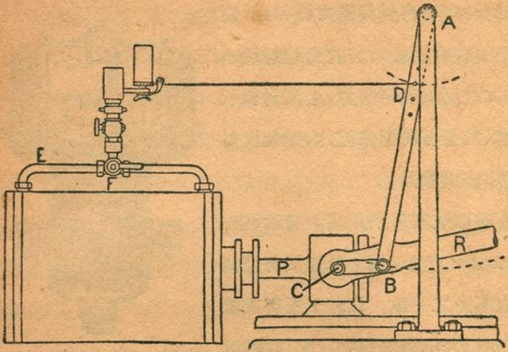

圖 74.　汽機上指示器的聯絡與推動

桿。

減度機關之功用，能使鼓筒與活塞作同樣運動，而比例減少。此種機關之結合過多，每易鬆脫，殊不適宜。

指示器之用法　運用指示器，須注意以下各點:

1.　指示器須安置妥貼，曲管與汽筒連接處不可漏汽，佈置鼓筒及導輪之地位，須使紐繩與減度機關之聯絡運動自由。

2.　調正紐繩之長度，勿使鼓筒與阻止物相撞。

3.　選用強弱合宜之彈簧，適於最高壓力。

4.　鉛筆須尖銳，但用金屬筆不可過銳，以防紙片括破。

5.　活塞上，須先行敷油，然後裝入。用於長時間之試驗，須

以時將活塞取出，拭淨加油。

6. 試驗終止，立將指示器取去，全部施行清潔，然後收藏。彈簧不可留於筒內，並須塗油以防生銹。

取得線圖之方法　進行方法如次：

1. 取紙片折其$\frac{1''}{4}$，以此邊插入鼓筒上之紙鋏，將紙片包圍鼓筒，以其對邊插入第二紙鋏，再將紙片推下鼓筒，務須吻合，將二短邊覆於紙鋏上。

2. 將鼓筒紐繩連於減度機關。

3. 試使鉛筆與紙片接觸，但不可過緊，以防摩擦過度，而致作線不準。

4. 開指示器之活嘴，使圓筒與大氣相通，作大氣壓線。

5. 開活嘴與汽筒之一端相通，使指示器之活塞上下數次，溫暖指示器之內部，再開活嘴二三次與大氣相通，驅除水分。

6. 置鉛筆於紙片上作線圖，在汽筒之他端，作同樣線圖。

7. 撤去鼓筒紐繩，取出紙片，須防圖上粘染指垢，蒸汽，油，水等物。

8. 同時紙片上記以下各事：

(a) 取得線圖之日期及時間。

(b) 取得線圖之汽機號數。

(c) 彈簧之力量。

(d) 取得線圖時之汽機速度。

(e) 汽機活塞之直徑與衝程。

實馬力 圖 75 爲二線圖,得自汽機之兩端,其平均壓力可於線圖上求之,旣求得平均壓力,則活塞每一進退衝程之工作,卽可計算。若知每分時雙衝程之次數,每分時之功,亦可計算。此功以呎磅計,再以 33000 除之,卽得此汽機之馬力,是謂實馬力(Indicated horse-power, I. H. P.)。

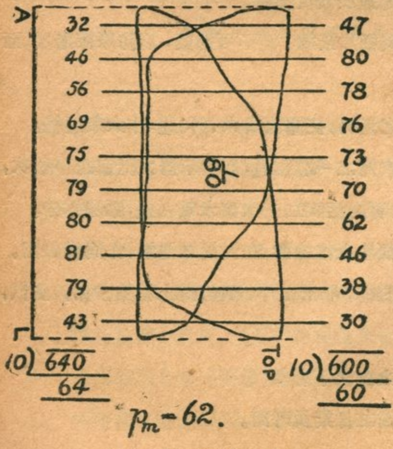

圖 75 指示器所作之線圖

實馬力之計算法 在圖 75 之兩端,作線與大氣線AL垂直,先將二線之間分爲 10 等分,再於每分之中,作縱線,各分點於二線圖皆適用。試計量二線圖曲線間之高度,用彈簧比例,將各

數寫於圖內；左線圖之數在上，右線圖之數在下。各高度之和，以 10 除之，卽爲活塞各方之平均壓力。

先作約略計算，求二平均壓力之和，以 2 除之卽得，此爲活塞雙方之平均壓力等於 p_m 磅·每平方吋。

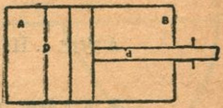

圖 76.

每衝程活塞上之功 $=(p_m \times A \times L)$ 呎磅。

其中 $A=$活塞之面積，以方吋計，

$L=$衝程之長，以呎計，

$N=$每分時旋轉次數，

$2N=$每分時衝程次數，

$\therefore$活塞上每分時之功 $=(p_m AL\,2N)$ 呎·磅。

$$\text{I. H. P.}=\frac{2\,p_m ALN}{33,000} \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

以上所得結果爲約略之數，因活塞桿之面積，並未除去。圖 77 內，活塞 A 方之全面積，$\frac{\pi D^2}{4}$皆受汽壓，B 方受汽壓之面積，乃活塞面積與活塞桿面積之差，$\left(\frac{\pi D^2}{4}-\frac{\pi d^2}{4}\right)$，$D$ 爲汽筒之直徑，d 爲活塞桿之直徑，皆以吋計，準確之計算如次：

今以 $p_A=$汽筒 A 端之平均壓力、每平方吋磅數。

p_B=汽筒 B 端之平均壓力，每平方吋磅數。

$$A\text{ 方之總壓力}=p_A\times\frac{\pi D^2}{4}\text{磅。}$$

$$A\text{ 方每衝程之功}=p_A\frac{\pi D^2}{4}\times L\text{呎·磅。}$$

$$A\text{ 方之 I. H. P.}=\frac{p_A\times\frac{\pi D^2}{4}\times L\times N}{33{,}000}\quad\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$B\text{ 方之總壓力}=p_B\left(\frac{\pi D^2}{4}-\frac{\pi d^2}{4}\right)\text{磅。}$$

$$B\text{ 方每衝程之功}=p_B\times\left(\frac{\pi D^2}{4}-\frac{\pi d^2}{4}\right)L\text{ 呎·磅。}$$

$$B\text{ 方之 I. H. P.}=\frac{p_B\left(\frac{\pi D^2}{4}-\frac{\pi d^2}{4}\right)L\cdot N}{33{,}000}\quad\cdots\cdots\cdots(3)$$

總實馬力等於(2)與(3)之和。

指示器其他功用 指示器亦可用以測驗汽筒內蒸汽之分佈，其中給汽，絕汽，洩汽，壓汽各事，過早過遲，皆可於線圖上見之，據此可得將滑瓣調度，改正各事。節汽緩與減汽亦可於圖上覺察。凡此觀察，關於試驗內燃機，尤多便利。指示器亦可置於汽箱，鼓筒仍連於橫頭，得以測驗汽箱內汽壓之變動。

交橫線圖 尋常線圖不能顯明一週內導汽程 (Lead) 之部份。圖 77 之線圖 (實線) 係由揆耳奇 (A. T. Quelch) 君在安格克薩生路(nglo-Saxon) 汽船上，三次膨脹汽機之高壓汽筒

取得者，圖中 ab 部份，表示高壓汽機之曲柄，自 $-25°$ 經上死點至 $10°$ 之汽壓，而導汽程不能明顯。

今欲明顯導汽程，須另作一線圖（虛線），將

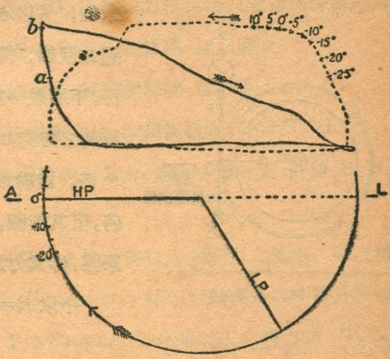

圖 77.　交橫線圖(Cross diagram)開展導汽程部份

指示器裝於高壓汽機，而以鼓筒連於低壓汽機之橫頭，因低壓曲柄在高壓曲柄 120° 之後，故線圖中之導汽程部份開展甚多，曲柄地位及各點皆於圖中注明。此法用於油機或煤氣機試驗，能使線圖之爆發部份開展，須將鼓筒連於小曲柄與動力機之曲柄成直角。

實效馬力　實馬力 (I. H. P.) 不能全歸於工作機，其 100 分之 5 至 100 分之 25 常耗於汽機本身之摩擦，欲求汽機之實效馬力 (Brake horse-power)，常用一制動物，謂之輪掣 (Brake) 加於飛輪上，吸收汽機發出之能力，普通制動物如圖 78。此為兩條繩索盤繞飛輪，而以鬆動木塊定其地位，圖中有四

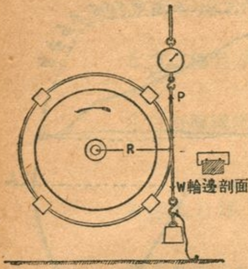

圖 78. 雙繩輪掣

木塊，另以小圖顯明木塊加於輪邊之狀態，繩索之上端連於彈簧秤，下端載一重錘（W 磅）。飛輪旋轉之方向如圖，彈簧稱之拽力 P 磅，能助飛輪之旋轉，重力 W 磅，阻其旋轉。繩索與輪邊之間有摩擦，傳其力於飛輪。

今以 R＝半徑呎數（至繩之中心）

飛輪工作之抵抗＝$W-P$ 磅。

此項抵抗之作用，施於 R 距離，故每一次旋轉，抵抗距離為 $2\pi R$ 呎。

∴ 每一次旋轉之功＝$(W-P)2\pi R$ 呎·磅。

若每分時旋轉 N 次，

每分時之功＝$(W-P)2\pi R\cdot N$ 呎·磅。

$$馬力=\frac{(W-P)2\pi R\cdot N}{33{,}000}$$

此項馬力謂之實效馬力 (B. H. P.) 卽汽機施於工作機之馬力。

試驗汽機（第十八章及第二十一章）須先作以下各試驗：

試驗 17. 汽機停止時,試將汽力指示器及連帶機件置於其上,以手旋轉汽機曲柄軸,若有不合之處,加以調正。

試驗 18. 汽機停止時,試將制動物,加於其上。

試驗 19. 依照取線圖之法,取線圖數張,計算 I. H. P.

試驗 20. 試看明制動物上之力,並作各種計量,計算 B. H. P.

機械效率　機械發出之能力與收入之能力之比率,謂之機械效率 (Mechanical Efficiency)。此項定義在汽機中每分時收入之能力爲 I. H. P.×33,000,每分時發出之能力爲 B. H. P.×33,000。

$$\text{機械效率}=\frac{\text{B. H. P.}\times 33,000}{\text{I. H. P.}\times 33,000}$$

$$=\frac{\text{B. H. P.}}{\text{I. H. P.}}.$$

其結果以 100 乘之,即得機械效率之百分數,大抵在 100 之 75 與 100 分之 95 之間,

輪掣之發熱　引用吸收測力計 (Absorption dynamometers) 如圖 78,汽機發出之能力,恆因制動物之摩擦化爲熱力,故飛輪上須加肥皂水,使之滑潤冷却,飛輪旋轉時,鼓動空氣,亦能使之冷却。輪邊之內方,製成凹槽,導水流入,水與輪同時旋轉,因有遠心力,水不致瀉出。一方時時使水流入,一方用尖勺將水

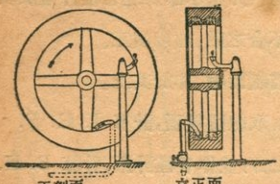

圖 79. 輪邊冷却法

引出，故能使輪邊冷却，其佈置如圖 79。

大馬力之計量 制動物不能用於大馬力之汽機。欲求此種汽機之實效馬力，先估計其機械效率，再由線圖求其 I. H. P.，然後估計其實效馬力。此種方法，常於舶用汽機。設此汽機用於推動發電機 (Electric generator)，可由發電機之產量，去其損失，估計汽機之馬力。

汽機發出之馬力＝發電機之產量＋發電機之損失。

發電機之電氣馬力可用下式求之。

$$\text{電氣馬力(E. H. P.)}=\frac{\text{電流單位數(Amperes)}\times\text{電壓單位數 (Volts)}}{746}$$

發電機之種種損失，可用試驗方法測定之，但非此編所能及。

蒸汽渦輪機不能以指示器作線圖，若用渦輪機推進船舶，其馬力得由機軸旋轉時之扭轉角(Angle of twist)測之。用於此種測驗者，有扭轉計 (Torsion meter) 如圖 80。將 A 管在機軸 AB 之左端夾緊，又將 D 環在機軸上夾緊。D 環上有小鏡 E，

裝於短軸上，通過機軸之中心線。此鏡復以短鏈 F 與 C 管相連，故能與機軸同時旋轉。另有 H 燈之光線射入鏡中，於機軸每次旋轉反射一次，達於G尺，其連續反射，在 G 尺上顯而易見，計算馬力之公式如次：

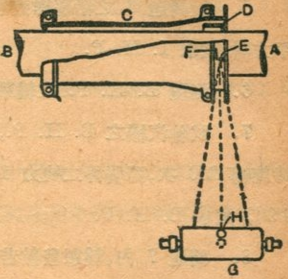

圖 80. 霍卜京生-宿林(Hopkinson-Thring)扭轉計

$$\text{機軸馬力}=CnN,$$

其中 C 為常數，n 為 G 尺所讀之數，N=R. P. M.

動力機之馬力亦可用水力制動器計量之，機軸上裝一有函之葉輪，激動函內之水，而得抵抗。

問　題

1. 試作指示器之平行運動，活塞及活塞桿各圖。

2. 圖解指示器之汽筒與活塞。

3. 圖解聯絡指示器於橫頭之減度機關。

4. 今有汽機，其平均壓力在活塞之一方為 26.7 磅·每平方吋，其他一方為 28.2 磅·每平方吋，活塞直徑 24″，衝程 36″，每分時旋轉 95 次，活塞桿之面積不計，試求 I. H. P.

5. 設問題 4 之活塞桿直徑爲 4″,其壓力爲 28.2 磅·每平方吋。試求 I. H. P.

6. 測驗 B. H. P. 之輪掣若何?試作圖並說明之。

7. 試驗汽機之 B. H. P., 所用輪掣如圖 78。機軸每分時旋轉 230 次,彈簧秤之拽力 15 磅,重錘 84 磅,制動輪直徑 4′9″, 試求 B. H. P.

8. 問題 7 內,輪掣發熱若干 B. t. u.?J=778。

9. 問題 7 內之機械效率爲 100 分之 82.5。試求 I. H. P., 耗於汽機本身之摩擦,所費能力等於若干呎磅。

10. 說明一種指示器;此器與汽機或氣機或油機應如何聯絡?試繪一線圖,其上有何意義?馬力如何計算?

11. 說明取得線圖之方法,並作圖助之。繪一線圖,說明如何計算馬力。必須之數目爲何?

12. 進退衝程之平均有效壓力,皆爲 62 磅·每平方吋,汽筒直徑 18″, 曲柄長 18″,問每次旋轉之功若干?

13. 今有汽機推動發電機,發出電流 450 安培(Ampers), 電壓 230 伏特 (Volts), 試求電氣馬力。設此發電機之效率爲 96%,受諸汽機之馬力若干?

14. 圖解一種扭轉計。

15. 設有一動力機之制動輪, 其直徑 3′6″, 每分時旋轉

350 次，彈簧秤之拽力 0.2 倍於重錘。假使實效馬力為 6.5，試求所需要之重錘。

16. 尋常指示器於高速度動力機不能適用，試言其故。此種困難如何避免？

17. 今有制動器能吸收 20 馬力，制動輪之邊以流水涼却，若水之溫度升高 30° F.，問每時須用水若干？假定發出之熱全歸於水。

18. 有一雙作用汽機之實馬力為 450，機軸每分時旋轉 150 次，試求每衝程之功。若每衝程等於 3 呎，試求活塞上之平均壓力。

第八章 瓣與瓣之裝置

活塞之地位 欲求活塞在汽筒內之地位，可用下列方法求之。CB 代表曲柄之長，以 C 為心，以 BC 為半徑。作圓（圖 81）。令

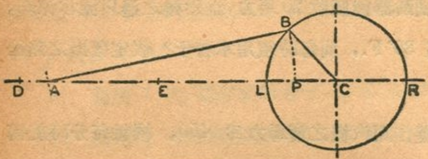

圖 81. 活塞地位之求法

RL 延長代表汽筒之中心線，CB 表示曲柄任何地位。取 BA 等於連接桿之長，以 B 為心，以 BA 為半徑；與中心線交於 A 點，A 即橫頭串之地位。與曲柄之 CB 地位相對待。曲柄旋轉時，A 點自 D 至 E，復自 E 至 D。A 點去衝程起點之距離為 DA，故活塞去衝程起點之距離等於 AD。曲柄經過 CL 及 CR 謂之死點地位 (Dead points)，L 去汽筒較近，謂內死點，R 去汽筒較遠，謂之外死點。

以 A 為心，以 AB 為半徑，作弧與 LR 交於 P，LP 等於 DA，足以表示活塞去衝程起點之距離。作 BM 與 LR 垂直（圖 82）。連接桿愈長，則 P 與 M 愈

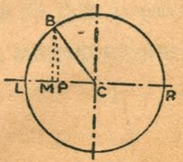

圖 82. 滑瓣地位之求法

近，設使連接之長無限，則 P 與 M 相合。

尋常動力機，連接桿并不甚長，活塞之地位，應在 P 點，設使連接桿之長較曲柄之長，相差甚遠，即假定活塞之地位在 M 點，亦無大差。

滑瓣之地位　滑瓣常以偏心輪推動之。試假定曲柄極短，曲柄串之直徑極長，曲柄之一端成為一孔，足以容納機軸，乃成為偏心輪，其動作與曲柄無異，故欲求滑瓣地位，即用求活塞地位之方法求之可也。

滑瓣桿之長較偏心輪直徑之長，相差甚遠，故滑瓣之地位即作為在 M 點(圖 82)。

滑瓣規定之事件　在活塞之各方，滑瓣足以規定以下四種事件發生之時間：

(1) **給汽點**　此為蒸汽開始流入汽筒之時，曲柄距死點尚有數度。滑瓣在衝程之始已開，俾蒸汽有充分時間流入汽筒，充滿活塞與汽門間之筒隙，於是滑瓣有導汽程(Lead)。

(2) **絕汽點**　此項事件，始於活塞行過衝程一部分，在所需之時，令滑瓣關閉汽門，其餘衝程，以蒸汽膨脹作用完成之。

(3) **洩汽點**　此為汽筒洩汽之時，今欲減少背壓力，須使洩汽甚速，故活塞衝程未終止以前，即行開瓣洩汽。

(4) **壓汽點**　此為關閉洩汽門之時，不再使蒸汽洩出，約在

回衝程之 0.8，筒內所餘蒸汽，被活塞壓縮，則壓力增高。此種佈置，蓋欲使活塞衝程終止時，得以鎮靜，且防止軸枕振動。墊汽充滿筒隙，其壓力高於洩汽之壓力，故能減省汽鍋之供給。

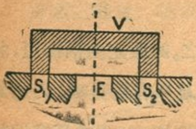

圖 83. 無膨脹作用之滑瓣

讀者倘能用一滑瓣模型，研究以上事件，極易明瞭。試驗室中大都有此種模型，若無模型，用硬紙片製一模型，亦無不可。鐘思公司(Messrs.Jones)所製模型極佳。

無膨脹作用之滑瓣 圖 83 內，S_1 與 S_2 爲汽門，E 爲洩汽門，滑瓣 V 在行程(Travel)之中，其長等於 S_1S_2 外邊之距離，其內部之長等於 S_1S_2 內邊之距離。以 OC 爲半徑作圓(圖 84)，代表曲柄串之動路，以OE爲半徑作圓，代表偏心輪中心之動路。假定旋轉方向與時計針相同。

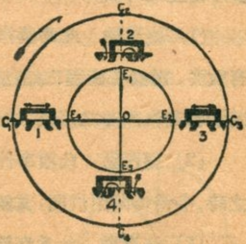

圖 84. 無膨脹作用滑瓣及偏心輪之地位

導汽程姑不計，曲柄在死點C_1時，滑瓣必在行程之中，將動向右方，而開 S_1 此在圖 84 爲 1。同時偏心輪之地位爲E_1，OE_1 與曲柄成直角。曲柄與偏心輪在機軸上皆固定，故二者之

比較地位，不因旋轉而變更，卽偏心輪恆在曲柄前 90°。

偏心輪至 E_2 時，則 S_1 全開，在圖內爲 2，同時曲柄在 C_2。偏心輪至 E_3 時，則絕汽，滑瓣復在行程之中，將動向左方，在圖內爲 3，其時曲柄在外死點 C_3。偏心輪至 E_4 時，則 S_2 開，在圖內爲 4，其時曲柄在 C_4。

曲柄由 C_1 至 C_3，卽活塞之進衝程，其時蒸汽經 S_1 流入汽筒。退衝程之際，蒸汽經 S_2 流入汽筒，其時曲柄由 C_3 至 C_1。進衝程時，S_2 與洩門通，退衝程時，S_1 與洩汽門通。用此種滑瓣，卽無膨脹或壓縮作用。

試驗 21．用一滑瓣模型，如圖 83，觀察一週中各種事件。

膨脹作用之滑瓣　今欲預先絕汽，須將偏心輪前進若干角度，E_0OE_1（圖 85），各種事件之發生皆因之較早。給汽開始時，偏心輪在 E_0，曲柄在 C_0，不在 C_1，C_1OE_0 等於 $C_1\ OE_1$。絕汽開始時，偏心輪在 E_2 曲柄在 C_2。

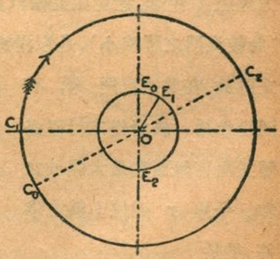

圖 85．偏心輪之前進

既使偏心輪前進，則絕汽與給汽皆較早，以致曲柄至死點

時，汽門開放之時過長。補救之法，特將滑瓣延長如圖 86。滑瓣

圖 86. 滑瓣餘面

圖 87. 餘面計量

在行程之中如圖 87，其外邊凸出汽門之外邊。在此地位，滑瓣外邊至汽門外邊之距離，謂之滑瓣之外餘面(outside lap)。

欲得膨脹作用，須將偏心輪前進，滑瓣增加餘面。

曲柄與偏心輪之安置　依據圖 87，其中外餘面爲 l，試求偏心輪半徑與滑瓣長度之關係。圖中滑瓣在中心地位，必須向右方經過 l 距離，始能開始給汽。命 a 代表汽門 S_1 最大之開放，(比較汽門之闊略小)，是以滑瓣必須向右更進 a 距離，乃得如 a 之開放。在其他汽門 S_2，有同樣作用，故滑瓣之行程必等於兩倍餘面與最大開放之和。今以 r 爲偏心輪之半徑，於是

$$r=l+a。$$

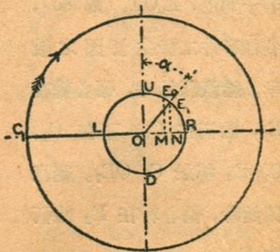

圖 88. 安置偏心輪適於有餘面及導汽程之滑瓣

以 r 爲半徑作圓(圖88)，於其上作中心線 LR 及UD。

L 及 R 爲死點。偏心輪在 U 時，滑瓣適在行程之中，如圖 87。作 OM 等於外餘面，作 ME_0 與 LR 垂直，作 MN 等於導汽程，作 NE_1 與 LR 垂直　E_1 卽爲偏心輪之地位，其時曲柄在死點 C_1。由此可知偏心輪在曲柄前 $90°$ 加 $UOE_1=\alpha$。此角謂之前進角(Angle of advance)。曲柄與偏心輪恆以 C_1OE_1 分之。

蒸汽之分佈　滑瓣分佈蒸汽，使之出入汽筒，此際得說明之。圖 89 仍爲偏心輪之圓及偏心輪在 E_1 之地位，一如圖 88，前節曲柄之地位，係另作一圓，若將偏心輪之圓，用相等比例(Full size) 作成，此圓亦可以相當比例代表曲柄，於是曲柄與 E_1 相對之地位爲 C_1。再作 E_0，卽偏心輪在給汽地位，作 E_0OC_0 角等於

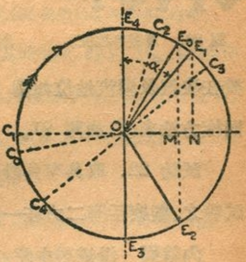

圖 89. 活塞左方之狀況

E_1OC_1 角，得 C_0，卽曲柄在給汽地位。延長 E_0M 至 E_2。偏心輪在 E_2 時，滑瓣將動向左方，去中央地位之距離爲 $OM=l$，此卽絕汽地位。作 E_2OC_2 角等於 E_1OC_1，得 C_2，卽曲柄在絕汽之地位。滑瓣之給汽，死點，絕汽各地位如圖 90 之 0,1 及 2。倘滑瓣之內邊如圖 87，洩汽卽在行程之中，將動向左方，偏心輪

應在 E_3(圖 89),曲柄應在 C_3。壓汽亦在行程之中，將動向右方,關閉 S_1,偏心輪應在 E_4, 曲柄應在 C_4。總之曲柄地位恆在偏心輪地位 E_1OC_1 角之後。滑

圖 90. 滑瓣各地位

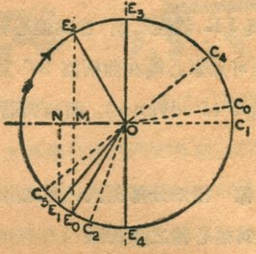

圖 91. 活塞右方之狀況

瓣在洩汽及壓汽地位如圖 90 之 3 及 4。活塞右方之事件，用同樣方法求之,如圖 91。

試驗 22. 取具有外餘面及導汽程而無內餘面之滑瓣模型試驗之。觀察活塞二方在一週間，各種事件發生時之曲柄角度。

內餘面 滑瓣居中時,其二內邊與汽門之二內邊相合,則偏心輪去死點 270° 爲洩汽點，偏心輪去死點 90° 爲壓汽點。欲使洩汽或壓汽較遲,或較早,須將瓣之內邊增加或減少。增加者謂之增內餘面(Positive inside lap),減少者謂之減內餘面(Negative inside lap)。二者如圖 92 *a* 及 93 *b*。凡一瓣有增內餘面,洩汽必當滑瓣內邊與汽門內邊相合,動向左方之時,(圖 93),滑瓣去居中地位等於 i, 即爲增內餘面，偏心輪之相對地位應在

E_3,曲柄應在 E_3OC_3 $(=E_1OC_1)$ 之後,故洩汽較遲。壓汽發生

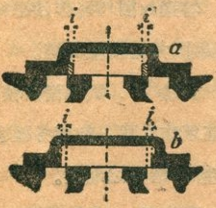

圖 92.
(*a*) 增內餘面之滑瓣
(*b*) 減內餘面之滑瓣

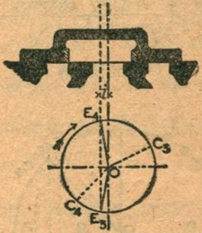

圖 93.
安置偏心輪適於增內餘面之滑瓣

時,滑瓣又在同樣地位,但動向左方,其時偏心輪在 E_4, 曲柄在 C_4,故壓汽較早。增內餘面之效用,足以使洩汽較遲,壓汽較早。

設一瓣有減內餘面,則 E_3 與 E_4 落於直中心線之右方,其距離等於 i, 於是洩汽較早,壓汽較遲。

試驗 23. 試驗(*a*)具有增內餘面之模型,(*b*)具有減內餘面之模型。觀察二者洩汽及壓汽時曲柄之角度。

線圖上活塞之地位　以偏心輪之直徑,用相當比例,代表活塞之衝程,則活塞與曲柄之任何相對地位,皆可用圖 81 所示之法,於直徑上求之。茲舉一例說明之。

例　滑瓣與汽門如圖 94。外餘面為 $\frac{7''}{8}$,內餘面為零,瓣之行程為 $2\frac{3''}{4}$。導汽程為 $\frac{1''}{8}$。試作線圖表示活塞左方之事件。先求活

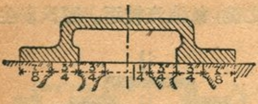

圖 94. 滑瓣一例

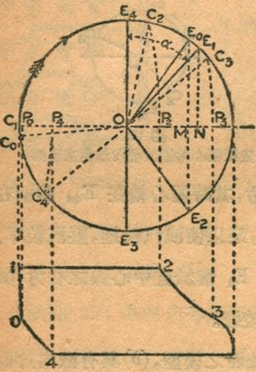

圖 95. 滑瓣之近似線圖

塞地位,然後作近似線圖。

答案如圖 95。作法悉如前節所述,幷繪脹縮曲線。

試驗 24. 試用滑瓣模型,較正所作之圖。觀察各種事件發生時,活塞之地位。

平衡瓣 (Balanced valves)。滑瓣過大或蒸汽壓力甚高,則磨擦阻力增加,於是汽機之馬力,耗於推動滑瓣者極多,各機件之構造,更須堅固。今欲避免馬力之虛耗,故於滑瓣上與汽箱蓋之間,裝一避壓架(Relief frame),則滑瓣得避免

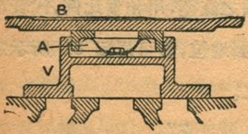

圖 96. 避壓架

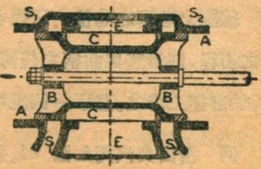

圖 97. 活塞瓣

汽壓,此架如圖 69。

汽機用高壓蒸汽，則裝活塞瓣(Piston valve)。圖 97 S_1,S_2 爲汽門，通於汽筒，而與另一圓筒 A 相通，瓣卽在 A 中動作。E 爲洩汽門，亦與 A 相通。瓣爲空心圓筒與 A 在 BB 處吻合，C 處直徑較小。BB 進退動作，於適當時開 S_1,S_2，得以給汽或洩汽。此瓣之運動及分佈蒸汽與尋常滑瓣無異，惟活塞瓣與圓筒之間，不受汽壓，故動作甚易。

雙門滑瓣 (Double-ported slide valve)。此瓣之構造足以拓大給汽門與洩汽門，而瓣之行程較小。圖 98 *a* 內 S_1,S_2 爲汽門，皆有雙門，E 爲洩汽門。瓣中有二汽道 A 及 B 通於汽箱，C 通於洩汽。圖 98 *b* 表示 S_1 汽門給汽，S_2 汽門洩汽。蒸汽自汽箱流入 S_1，幷由汽道 A 流入 S_1，其他方面洩汽，亦由兩處放出。故此滑瓣有雙門，而行程與尋常滑瓣相等。偏心輪之安置以及餘面等事皆與尋常滑瓣無異。

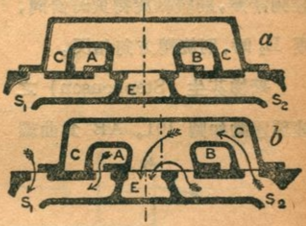

圖 98.　雙門滑瓣

空心滑瓣　此種滑瓣(Trick valve)之功用，亦與雙門滑瓣相同。汽筒有三門 S_1 S_2，E 如圖 99 *a*。A 爲內汽道，蒸汽得由此通過。B 爲洩汽道，一如尋常滑瓣。圖 99 *b*，滑瓣由 S_1 給汽，

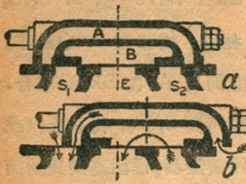

圖 99. 空心滑瓣

并由 A 給汽，S_2 經 B 與洩汽道相通，故同一滑瓣行程，得由兩處給汽。

連環運動 連環運動 (Link motion) 之作用，能使機軸反轉，中有二偏心輪，安置如圖 100。任取二偏心輪之一，推動滑瓣。用 E_1 推動滑瓣，則機軸旋轉與時針同，用 E_2 時，則旋轉方向相反。

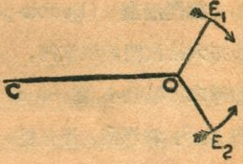

圖 100. 連環運動

斯悌芬生 (Stephenson) 之連環運動如圖 101。AB 爲曲環

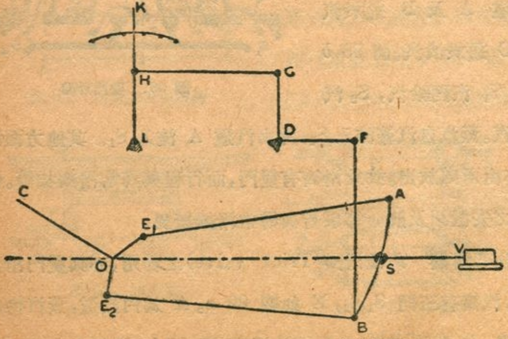

圖 101. 斯悌芬生(Stephenson)連環運動

(Curved link)，其兩端與 E_1A 及 E_2B 二偏心輪桿相連。SV 爲瓣桿，在 S 處與曲環相連，桿端有方塊 (Sliding block) 能在環中滑動。GDF 爲曲槓桿，D 爲固支點，以 FB 桿與曲環相連。曲槓桿以 KL 及 HG 二桿運動之，能使曲環上下，俾 B 或 A 與 S 相合。設 B 與 S 相合，則 E_2 推動滑瓣，E_1 但使曲環振動，不傳運動於滑瓣。曲環之半徑約等於偏心輪槓之長。此種連環運動之構造，當於十五章及十六章內，再說明之。

古奇(Gooch)連環運動中，環之凸方與偏心相對，(圖 102)。

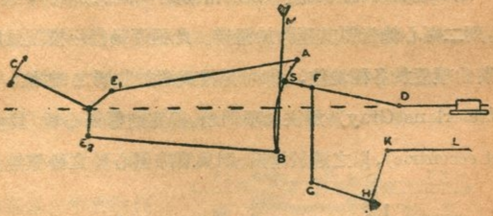

圖 102. 古奇(Gooch)連環運動

瓣桿以兩段構成，在 D 點相接，更以滑動塊與曲環連於 S。曲環 AB 以 BM 桿懸於支點 M，不能升降。欲得反向運動，但用 GHK 及 GF，使 SD 桿升降可也。KL 桿達於手槓桿。

愛倫(Allan)連環運動，係斯悌芬生及古奇(Stephenson & Gooch)二種合併構成。圖 103 內 AB 爲直環，以 GF 桿連於

T 字式槓桿 GMLK，得以升降。瓣桿係兩段，SD 經 HK 桿

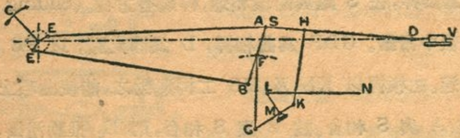

圖 103. 愛倫 (Allan) 連環運動

連於 T 槓桿之 K 點。拽 LN 桿向右，推動 T 槓桿，則 AB 上升，SD 下降。

連環運動與絕汽改變 設將滑動塊 S 置於曲環 A 與 B 之間，則二偏心輪皆傳其運動於滑瓣。此種運動得以模型試驗之。設將曲環置於各種地位，即可見滑瓣對於曲柄之地位。葛雷 (Macfarlane Gray) 解決此項問題，擬定同等偏心輪 (Equivalent eccentric)，以之連於滑瓣，則與實際偏心輪之動作無異。圖

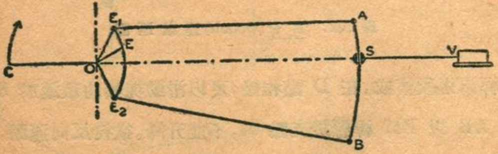

圖 104. 斯悌芬生連環運動之同等偏心輪

104 表示斯悌芬生連環運動之同等偏心輪，以弧連絡二偏心輪之心，弧之半徑以下列之式求之，

$$半徑=\frac{E_1E_2\times E_1A}{2\ AB}$$

以 E 點分 E_1E_2, 以 S 點分 AB, 使成以下比例:

$$E_1E:EE_2=AS:SB。$$

OE 卽爲同等偏心輪，其半徑較實際偏心輪爲小，而前進角較大,間環 (notching vp) 效應足以增加導汽程，減少滑瓣行程，減少汽門,而使各項事件發生較早。設使曲柄在 OC 地位,以一偏心輪桿交橫。則使 E_1EE_2 之凸面向 O。此種交橫桿若用間環,則使滑瓣行程及導汽程減少。如此佈置用之者絕少。

試驗 25. 試用模型,試驗思悌芬生之連環運動。滑動塊在曲環內各種地位時,觀察曲柄之角度及各種事件之發生。

麥亞(Meyer)之滑瓣裝置　此種裝置有二滑瓣，其一在其二之上，圖 105 *a* 內，V_m 瓣甚長，中有洩汽門 C, A 及 B 爲瓣內二汽門。蒸汽經 A 及 B 由 S_1S_2 二門入於汽筩。V_x 瓣在 V_m 之上，係用 D 及 E 二塊構成，

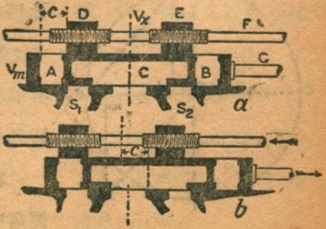

圖 105.　麥亞(Meyer)之滑瓣裝置

旋入 F 桿上之左右螺旋。F 桿旋轉,能使 D 及 E 相趨或相

避，視旋轉之方向而定，以此方法，可使絕汽或早或遲。V_m 謂之主要瓣(Main valve)，V_x 謂之膨脹瓣(Expansion valve)，每瓣各有一偏心輪。主要偏心輪推動 V_m，一如尋常滑瓣，瓣有充分餘面，可得最遲絕汽點。洩汽與壓汽皆以主要瓣之 C 門支配之。

膨脹瓣純為早絕汽而設，其偏心輪之半徑卽等於主要偏心輪之半徑，故二瓣之行程相等。膨脹偏心輪恰與曲柄相對，亦有時稍變其地位。

圖 105 *b* 內，D 之外邊合於 A 之外邊，則活塞之左方絕汽，在此地位，二瓣中心之距離等於 C，二瓣居中時，C 卽 D 之外邊與 A 之外邊之距離。

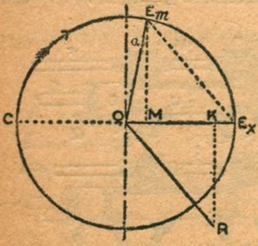

圖 106. 麥亞滑瓣偏心輪之安置

二偏心輪之安置如圖 106。曲柄在死點地位，OM 等於主要瓣之外餘面及導汽程。E_m 為主要偏心輪，α 為前進角。E_x 為膨脹偏心輪，與曲柄相對。

在此圖內，OM 為主要瓣離開居中地位之距離，OE_x 為膨脹瓣離開居中地位之距離，於是可知二瓣中心之距離等於 ME_x。

圖 107 表示曲柄與二偏心輪之任何地位。OM′ 為主要瓣離開居中地位之距離，ON 為膨脹瓣離開居中地位之距離，故 NM′ 為二者中心之距離。NM′等於 C 時,則絕汽發生。

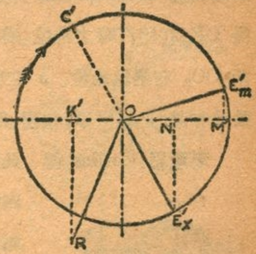

圖 107.

曲柄在任何地位時，欲得二瓣中心之距離，可用以下方法求之。在圖 106 內,連接 $E_m E_x$, 作 OR 等於 $E_m E_x$, 并與之平行。作 RK 與 CO 垂直,則 ORK 與 OE_mE_x 相等,故 OK 等於 ME_x, 即為二瓣中心之距離。用同樣方法，可得 OK′ 等於 NM′（圖 107）亦即二瓣中心之距離。OR 謂之合成偏心輪 (Resultant eccentric),足以表示曲柄在任何地位時,二瓣中心之距離。OR 與曲柄同時旋轉，其前進角為 C′OR。

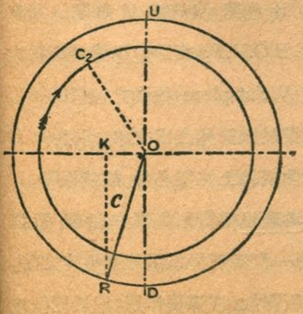

圖 108.　麥亞滑瓣之合成偏心輪

圖 105 內二瓣之中心距離為 c，欲求絕汽時，曲

柄之地位，作一圓代表 E_m 與 E_x 之動路，再作一圓代表 R 之動路，(圖 108)。作 OK 等於 c，作 RK 與 UD 平行。由此可得 OR 在絕汽時之地位。將 ROC_2 折回，依照圖 106，即得曲柄 OC_2 在絕汽地位。c 之數愈小，則絕汽愈早，即膨脹瓣之滑動塊相避，則絕汽早，相趨，則絕汽遲。

考理思(Corliss)瓣　此瓣常用於低速大汽機。每一機筒有四瓣，給汽瓣及洩汽瓣分置於兩端。各瓣即爲機筒之一部分，機筒之兩端有孔與之垂直，各瓣能在其中擺動。圖 108 *A* 內 A 爲汽箱，B 與 C 爲機筒左端之給汽瓣與洩汽瓣。圖中所示給汽瓣 B 已閉，洩汽瓣 C 將閉。所有四瓣 B,C,E,F，皆以短桿連於振動之圓版(Wrist-plate)推動之(圖108 *B*)。圓版裝於機筒外凸出之串，以長桿 G 連於曲柄軸上之偏心輪，故能振動。

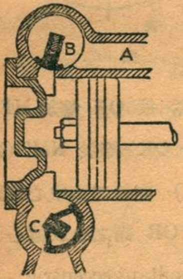

圖 108 *A*. 考理思(Corliss)瓣

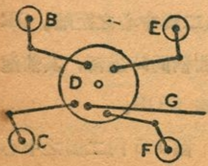

圖 108 *B*. 考理思瓣之推動

考理思瓣得用絕汽方法調節速度。每一汽瓣皆得於調速器規定之時，自圓版釋放，以彈簧作用，返於關閉地位。

汽瓣關閉以釋鈎爲之，釋鈎裝置 (Trip zear) 之設計，爲類甚多，圖 108 *C* 爲此類裝置之一種。汽瓣振動之軸，有曲柄楔於外端，曲柄上有方串 B。曲柄運動與時計針之方向相同，則汽瓣開，此由於圓版振動，有桿推動瓣軸上之鬆曲槓桿 D，而以 D 上之叉鈴 C，提起曲柄故也。D 作時針旋轉時，叉鈴外股之鈎與方串相合，其外股以 D 上之彈簧 F 壓之，使其內股與偏凸輪 E 相接

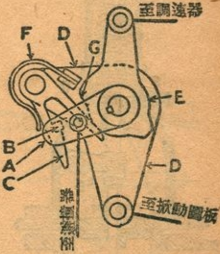

圖 108 *C*. 考理思釋鈎裝置

觸，E 本鬆置於瓣軸上，而能以調速器之桿推動之。曲柄 A 復以一桿連於下部之彈簧及避撞器(Dash pot 圖 108 *C* 內未載)。此項彈簧反對 A 之時針旋轉，避撞器係一小空氣筒，以活塞壓縮空氣。A 作反時針旋轉時，則空氣自一小孔噴出。

圓版振動時，曲柄 A 作時針旋轉，即將汽瓣連續開放，直至叉鈴之內股與偏凸輪之 G 處接觸爲止，再事進行，遂將叉鈴推出，幷將方串釋放。此時避撞器之彈簧即使汽瓣返於關閉地位，而避撞器內之空氣足以避免碰撞。同時曲槓桿 D 作反時針振動，及其順向時針，叉鈴又與方串相合。

迅速絕汽縮小減汽作用；而各種膨脹亦可用此瓣得之。

墜瓣(Drop Valves)　此瓣之構造如圖 108 *D*,其中 A 爲汽箱, B 爲通入機筒之汽門。C 瓣有二座,故有二口進汽。此瓣所受蒸汽之壓力甚小,開放甚易。以偏凸輪推動槓桿 D, 即能將瓣提起開放。瓣桿向上延長,連於避撞器內之活塞 E,而有彈簧節制之。此彈簧能使汽瓣返於關閉地位, 其時避撞器內之活塞將空氣由小孔F驅出 ,且有避免碰撞之效用。

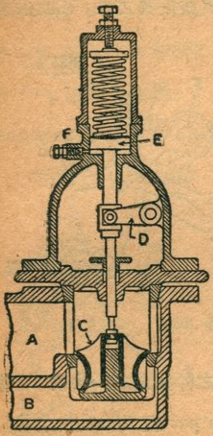

圖 108 *D*. 墜瓣

機筒之兩端皆有給汽瓣與洩汽瓣, 共有四瓣。各瓣皆以偏凸輪推動之,預定給汽,絕汽,洩汽及壓汽各點。惟給汽瓣亦常用釋鈎裝置, 而以調速器節制之,於是可得各種膨脹速度之規定,而絕汽迅速尤能縮小減汽作用。

阿耳夏特 (Walschaerts) **瓣之裝置**　此種裝置大抵用於歐美鐵道機車,其構造乃以數個相似槓桿互相連絡;而瓣之運動,乃兩種運動所組合,一與曲柄成 180°,一與曲柄成 90°, 圖 108 E 表示阿耳夏特之裝置 180° 之運動自橫頭 A 施於滑瓣,橫頭以 BC 與 CDE 二鏈接於瓣桿。設 D 爲不動支點,則瓣之運動

與活塞之運動成減度比率。而方向相反，相差 180°。90°運動以偏心輪 F 施於 D 點，(此乃一懸曲柄連於主曲柄串 G) F 與

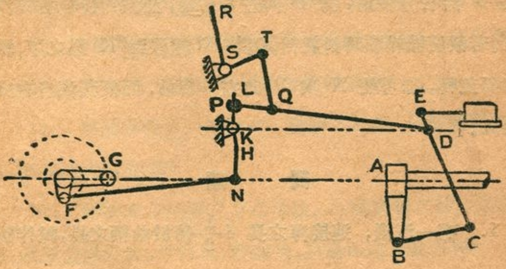

圖 108 *E*.　阿耳夏特(Walschaerts)瓣之裝置

G 成 90°。F 以 FN 桿使 HKL 鏈振動，而以 K 爲支點。另有一桿 PQD 連絡 P 與 D 二點，P 爲滑塊，能在鏈內滑動。PQD 桿又可以曲槓桿 RST 及 TQ 桿提起或放下。D 點運動之距離則視 P 塊在 HKL 鏈中之地位，而其運動之方向則又視 P 塊在 K 點之上或下。若 P 與 K 相合，則 F 之運動不能傳至 D，而橫頭 A 推動滑瓣經過中位雙方之距離適等於外餘面與導汽程之和。HKL 鏈亦可製成弧形，而得固定導汽程。瓣由 F 所得之運動，足以規定汽門之開放，又以 P 在 K 上或 K 下之地位，規定旋轉之方向。

圖 108 E 表示橫頭 A 開始向左方推動，其時滑瓣自中位

移向左方，經過距離等於外餘面及導汽程之和，於是右方汽門之開放即等於導汽程。按 P 塊之地位，曲柄 G 應作反時針旋轉，於是 N 向右方移動，而 P 向左方移動，蒸汽乃得自右方汽門給入。若欲使機軸順時針旋轉，須將 P 塊移至 K 點之下，機軸順時針旋轉，即可使 N 與 P 向左方移動，而使蒸汽自右方汽門給入。

問　題

1. 有一汽機，連接桿之長 $4\frac{1}{2}$ 倍於曲柄之長，試作圖計量曲柄離開內死點 30°,60°,90°,120°,150° 時，活塞所經衝程之分數，并表列其結果。

2. 無膨脹作用之滑瓣，應如何變更，乃有膨脹作用，試說明之。偏輪之安置，應如何變更？答案祗須給汽絕汽兩點。

3. 滑瓣之行程 $2\frac{1''}{2}$，外餘面 $\frac{1''}{2}$，導汽程 $\frac{1''}{8}$，試求前進角及給汽絕汽之曲柄地位。

4. 第三題內，設無內餘面，試求洩汽，壓汽之曲柄地位。

5. 引用問題 3 與 4 之結果，作理想線圖。假定連接桿 $4\frac{1}{2}$ 倍於曲柄之長，給汽壓力 80 磅每平方吋，并假定此機無凝汽性。

6. 試圖解活塞滑瓣,或雙門滑瓣。

7. 試圖解有避壓架之滑瓣。

8. 試圖解斯悌芬生(Stephenson)連環運動之作用。

9. 設使斯悌芬生連環運動爲交横偏心輪桿，試作圖說明其作用。設用閒環,一週間各項事件有何效應?

10. 試圖解麥亞 (Meyer) 滑瓣之裝置，改變膨脹塊之地位,於絕汽有何關係?

11. 作圖表示滑瓣之中心地位，活塞衝程之始，其地位若何,試以虛線示之。半行程,前進角,及餘面之意義若何?

12. 今有一滑瓣,直接用偏心輪推動。前進角 30°。曲柄去中心線 20° 時,試求偏心輪之地位。瓣之半行程爲 30″，以此爲半徑,於中線上作垂線,所得爲何?

13. 設有立式汽機,上下衝程之絕汽,均在曲柄去死點 70° 時,試證明下衝程之絕汽較遲，上衝程之絕汽較早。此種結果之利弊若何?

14. 設有連環運動，足以改變機軸之方向，今不用以改變方向，但用其半環，則效應如何? 試擬作指示線圖，表示此種變更。

15. 試作圖顯明考理思(Corliss)瓣在汽機上安置。

16. 試作圖幷說明考理思瓣之釋鈎裝置。

17. 試圖解墜瓣并說明控制彈簧及避撞器。

18. 試依據阿耳夏特 (Walschaert) 瓣之圖，說明其作用。機軸反轉及改變絕汽如何獲得？

第九章　動力機之力學

旋轉力矩　以力施於動力機之活塞，經活塞桿與連接桿，傳於曲柄串，而有推拽作用。此力用於曲柄串上，遂使曲柄軸有旋轉傾向，(Tendency to rotate the shaft)，是謂之旋轉力矩，(Turning moment)。自旋轉中心作線與力之方向垂直，此線與力之相乘積，謂之力矩。圖109內，AB 爲連接桿，BC 爲曲柄。Q 爲 15,000 磅之力，用於連接桿。今欲計量 Q 之旋轉力矩，自 C 點作垂直線 CD。設 CD 爲 22 吋，則

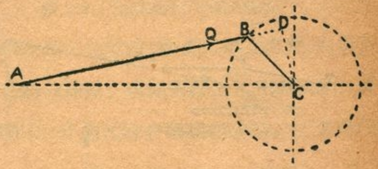

圖 109.　旋轉力矩之計量

$$
\begin{aligned}
\text{旋轉力矩} = T &= 15,000 \times 22 \\
&= 330,000 \text{ 磅·吋。} \\
&= \underline{\underline{27,500}} \text{ 磅·呎。}
\end{aligned}
$$

橫頭上之力　橫頭上之力有三種，其一爲活塞桿上之力 P，其二爲連接桿上之力 Q，其三爲橫頭引導之反應 S，(圖 110 i)，此三力互成平衡。摩擦力姑不計，則 S 恆與衝程之方向垂直，

設 P 爲已知數，Q 與 S 可用平行四邊形之法求之。用相當比例，作 Aa 等於 P，作 ab 與 AB 平行，與 S 交於 b，作 bc 與 AC 平行，與 Q 交於 c，於是 Q 卽等於 cA，S 卽等於 Ab。

圖 110 ii 表示曲柄回程之地位。P 與 Q 之方向相反，活

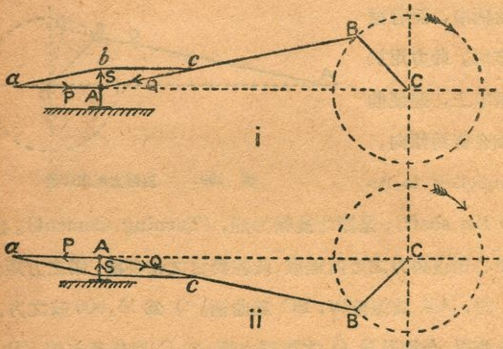

圖 110. 曲柄右旋，横頭上之力

塞桿與連接桿皆受拽力。S 之作用仍向上。設使旋轉之方向相反如圖 111，則 S 之作用向下。由此可知用於迴轉機之滑

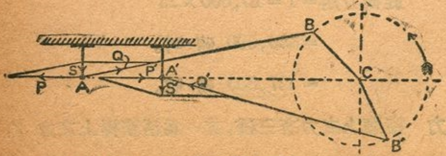

圖 111. 曲柄左旋，横頭上之力

足，須有上下反應之設備（圖 112），一切動力機大概皆有此種設

備，因橫頭在衝程終止時，其反應方向，每有迴轉之趨勢。

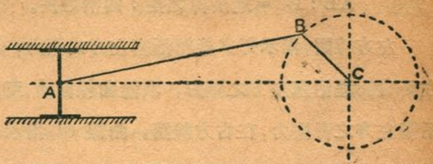

圖 112.　迴轉機變方引導之滑足

活塞上之力　曲柄在任何地位時，欲求活塞上之力，可用下列方法求之。取此機之指示線圖，於繪圖紙上，照式繪成，(圖 113)。再於 AC 中心線上，作線代表曲柄與連接桿。*ef* 為橫頭

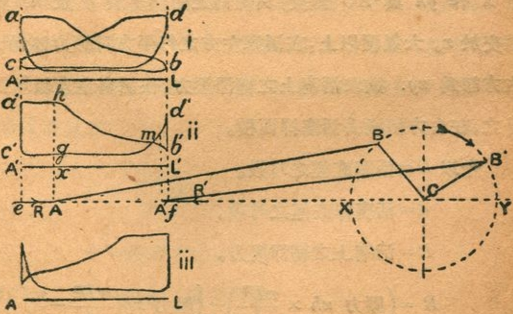

圖 113.　活 塞 上 之 力

之行程等於 AL，卽指示線圖之長，*e* 與 *f* 係 A 與 L 之投影。BC 為曲柄等於 *ef* 之半，AB 為連接桿，其長可用比例求之。

AB : BC＝連接桿之長：曲柄之長。

左方線圖，指示每次旋轉活塞左方之壓力，ab 曲線指示自左至右衝程活塞左方之壓力，其餘曲線自 b 至 a 指示返衝程活塞左方之背壓力。在右方線圖，曲線 cd 指示自左至右衝程，活塞上之背壓力。試於指示線圖下，作一線圖，以求活塞上之淨壓力，如圖 113 ii，繪 $a'b'$ 如 ab，$c'd'$ 如 cd。

作 CB 代表曲柄任何地位，約去衝程線 60°，再求曲柄串之地位 A，此亦可作爲活塞之地位，此際活塞之衝程，自 e 至 f。自 A 作 gh 與 AC 垂直，與線圖之曲線交於 g 及 h，與大氣線交於 x。大氣壓以上，在活塞左方之每平方吋壓力卽爲 xh，在右方卽爲 xg. 欲求活塞上之總淨壓力，在活塞左方須以全面積計之，在右方須減去活塞桿面積。

今以 D＝活塞直徑之吋數。

d＝活塞桿直徑之吋數。

R＝活塞上之總淨壓力。

$$R=\left(\text{壓力 } xh\times\frac{\pi D^2}{4}\right)-\left\{\text{壓力 } xg\left(\frac{\pi D^2}{4}-\frac{\pi d^2}{4}\right)\right\}\text{磅}$$

用於實際，往往略去活塞桿之效應，上式乃變爲

$$R=\text{壓力 } gh\times\frac{\pi D^2}{4}\text{磅。}$$

用此約略公式，則線圖二曲線間之高度，卽爲活塞上此際之

淨壓力。此淨壓在 m 之左方，其作用向 c, 在 m 之右方，其作用反於 c 如 R′, 因有壓汽效用故也。

返衝程之線圖，用同樣方法作之（圖 113 iii)。此圖謂之活塞施力線圖(Piston effort diagram)。

活塞桿上之力　若無外力干涉，活塞桿施於橫頭之力，卽等於活塞上之力。但活塞與汽筒間之摩擦，活塞桿與填料箱間之摩擦，皆足以減少原有之力。茲姑不論摩擦之效應，先行討論重要之原理。凡欲改變物體之速度，必須施力，乃爲力學上最著之原則。設有動體欲使之靜，必須施力，靜體欲使之動，亦必須施力。一切物體皆有慣性 (Inertia) 卽保持靜止狀態或直線等速度之性也。力須施於物體以勝其慣性。改變物體運動所需之力，得用下列之式計量之，

$$P=\frac{Wa}{g}\text{磅。}$$

P = 所需之力，

W = 物體之重量磅數，

a = 物體之加速度呎秒秒，

g = 重力之加速度，作爲 32.2 呎秒秒。

速度之改變，以改變之時間除之，卽得加速度。

例　今有汽機之活塞重 140 磅，本爲靜止狀態，於半秒時