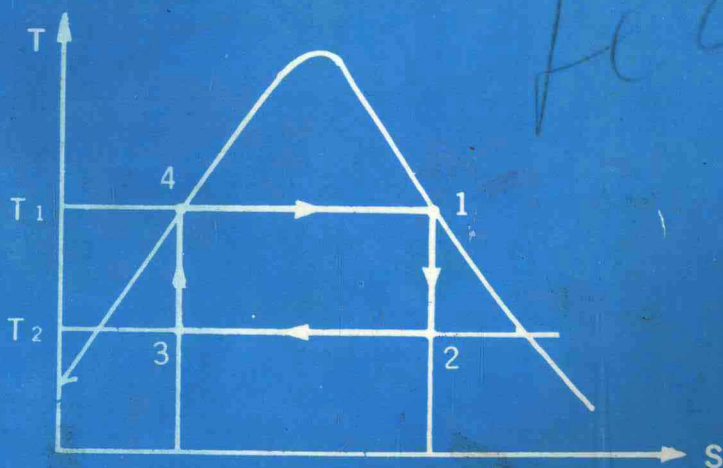


科技用書

應用熱力學

(修訂本) (上 冊)

林晃盛 編著



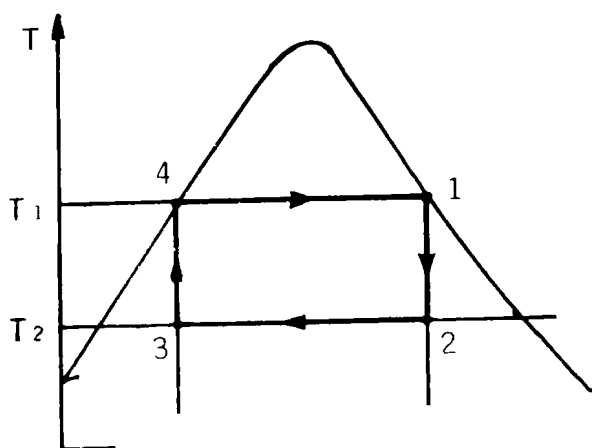
大行出版社印行

科技用書

應用熱力學

(修訂本) (上 冊)

林晃盛 編譯



大行出版社印行



中華民國七十二年八月	日七版
中華民國七十一年六月	日六版
中華民國六十九年三月	日五版
中華民國六十八年八月	日四版
中華民國六十七年九月	日三版
中華民國六十四年八月	日二版
中華民國六十一年十月	日初版

書名：應用熱力學(上)(修訂本)

著作者：林 晃 盛 編著

發行人：裴 振 九

出版者：大 行 出 版 社

社址：台南市體育路41巷26號

電話：613685 號

本社免費郵政劃撥帳號南字第32936號

本社登記證字第：行政院新聞局

局版台業字第0395號

總經銷：成大書局有限公司

台南市體育路41巷26號

電話：651916 號

特 價：平一五〇元精一八〇元

編 號：C0004-00113

同業友好・敬請愛護

序

用中文寫書的目的，主要是便於我國人研讀，以最少的時間得到最大的效果。

這本書使用的單位是國際單位（註），簡稱為 SI 單位。它最大的好處是將單位簡化了。譬如，在 SI 單位內，熱、功與所有能量的單位都是 J，J 是焦耳。

既稱為應用熱力學，所以本書避開較抽象的理論，儘量討論應用方面的問題。當然，限於篇幅，祇能介紹基本觀念的應用，所以很適合專科學生研讀，也可供普通大學生參考。

參考書主要以 Eastop & McConkey 所編的 *Applied Thermodynamics* 為主，並參考其他如：

- ① Sonntag & Van Wylen, *Intoduction to Thermodynamics*
(成大書局影印, 1971)
- ② John F. Sandfort, *Heat Engines*
(Doubleday & Compony, 1962)
- ③ Norris, Therkelsen, & Trent, *Applied Thermodynamics*
(McGraw-Hill, 1955)
- ④ Thomas A. Brzustowski, *Introductim to the principles of Engineering Thermodynamics* (Addison-Wesley, 1969)

〔註〕：William Morris (Editor), *The American Heritage Dictionary of the English lanquage* (美亞, 1970) P. 813

⑤ J.P. Holman, *Thermodynamics* (淡江影印, 1970)

⑥ Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 2nd ed (中央影印, 1972)

⑦ V.W. Faires, *Thermodynamics* (Macmillan, 1970)

感謝陳正興先生幫我校對原稿，以及謝爾昌老師與翁志昌先生提供的圖表。尤其王九陸先生一直辛辛苦苦的幫忙抄寫與校對稿子，編者應特別向他致謝的。

編者所知有限，如這本書有任何需要更正的地方，請多多指教。

國立成功大學機械系 林晃威

1972年10月20日

目 錄

第一章 緒論	1
1.1 系統、熱、功	1
系統	1
熱	3
壓力	4
功	5
1.2 單位	7
力、能、功率	7
壓力	8
溫度	8
1.3 工作流體	10
1.4 可逆性	10
熱力平衡	10
可逆過程與不可逆過程	11
可逆性	12
1.5 可逆功	12
第二章 熱力學第一定律	19
2.1 質量不減	19
2.2 不流動公式	20
2.3 流動公式	22
第三章 工作流體	29
3.1 液體、蒸汽與氣體	29
3.2 蒸汽表的使用	32
飽和狀態的特性	32
濕蒸汽的特性	34
過熱蒸汽的特性	35

IV 應用熱力學

內插法	37
3.3 理想氣體	40
狀態方程式	40
比熱	42
焦耳定律	43
比熱的關係式	43
理想氣體的烓	44
比熱的比值	44
第四章 可逆與不可逆過程	49
4.1 可逆不流動過程	49
定容過程	49
定壓過程	50
定溫過程	52
4.2 可逆絕熱不流動過程	57
4.3 多變過程	63
4.4 不可逆過程	70
自由膨脹	70
節流	72
絕熱混合	74
4.5 可逆流動過程	74
4.6 不穩定流動過程	76
第五章 熱力學第二定律	83
5.1 熱機與冷凍機	83
5.2 熱力學第二定律	86
5.3 熵	87
5.4 T-s圖	90
(a) 蒸汽	90
(b) 理想氣體	95
5.5 T-s圖上的可逆過程	97

(一)可逆定溫過程	97
①水蒸汽	98
②理想氣體	99
(二)可逆絕熱過程(或定熵過程)	102
①水蒸汽	102
②理想氣體	103
(三)多變過程	104
①水蒸汽	104
②理想氣體	105
5•6 熵與不可逆性	109
5•7 可用能 ¹	117
(a)不流動系統	117
(b)穩定系統	118
有效性	118
第六章 熱機循環	125
6•1 卡諾循環	125
6•2 絕熱溫標	127
6•3 理想氣體的卡諾循環	128
5•4 布瑞登循環	131
6•5 空氣標準循環	134
6•6 歐圖循環	136
6•7 狄賽爾循環	137
6•8 雙樞式循環	140
6•9 平均有效壓力	143
第七章 汽力廠	146
7•1 朗肯循環	146
7•2 裝有過熱器的朗肯循環	154
7•3 焓—熵圖	156
7•4 濕水蒸汽的乾度	157

V 應 用 熱 力 學

7.5	凝結器	159
7.6	重熱循環	162
7.7	再生循環	164
7.8	汽力廠效率的改進	169
7.9	雙汽循環	171
7.10	近代的鍋爐	172
7.11	用來加熱與做其他工作的水蒸汽	177
7.12	核能汽力廠	181
第八章	蒸 汽 機	187
8.1	蒸汽機的理论示功圖	187
8.2	理論示功圖與功圖因數	190
8.3	蒸汽機的調速法	194
8.4	複式蒸汽機	195
第九章	排量式壓縮機	201
9.1	往復式壓縮機	202
9.2	最小輸入功的條件	206
9.3	定溫效率	207
9.4	考慮餘隙容積的往復壓縮機	208
9.5	容積效率	212
9.6	實際的示功圖	215
9.7	多級壓縮	216
9.8	理想的中間壓力 (理想的中壓)	221
9.9	能量的平衡	223
9.10	旋轉式壓縮機	225
	(i) 魯式鼓風機	225
	(ii) 輪葉式壓縮機	227
9.11	真空泵	230
9.12	往復式空氣馬達	230
第十章	噴 嘴	237

10.1 噴嘴的形狀	238
10.2 臨界壓力比	239
10.3 最大質量流率或阻流	246
10.4 不足膨脹與過度膨脹	250
10.5 噴嘴效率	252
10.6 水蒸汽流經噴嘴的分析	256
10.7 水蒸汽流經噴嘴的近似分析法	258
10.8 過飽和	264
10.9 停滯狀態	270
10.10 流量的測定	273
附 錄	280
1. 單位換算表	281
2. 飽和水與水蒸汽表 (以溫度為準)	283
3. 飽和水與水蒸汽表 (以壓力為準)	284
4. 過熱水蒸汽	287
5. 飽和水與水蒸汽性質表	291
6. 關於水的一些數據	292
7. 水蒸汽的定熵過程—近似法	292

第一章 緒 論

生物必須靠能量 (Energy) 來維持生命，所以人要能充分利用現有的能源來配合愈來愈多的需要，現代的文明才能繼續往後發展。能量以很多種型式存在着，如核能、化學能、熱能、輻射能、電能、磁能、機械能（包括動能和位能）等。有些已被人類利用，而有些尚未被發掘出來。如大量的水由高山上流下來，沖動水渦輪 (Water turbine) 再流入海洋，將水的位能變為電能；煤燃燒後所產生的熱能能使水變為水蒸汽，水蒸汽流經汽輪 (Steam turbine)，也可使汽輪轉動而產生電能；汽油 (Petroleum) 燃燒所生的熱能，用來加熱空氣，使空氣膨脹來推動內燃機活塞，以產生機械能；鈾原子分裂時所生的熱量，可用來加熱水，使變為蒸汽以發電。最近兩個世紀以來，或直接由實際經驗，或間接由理論的分析，已改進了很多，如瓦特的蒸汽機發展成頗為複雜的動力廠 (Power station)。

應用熱力學是研究能量由一種型式變為另一型式的轉換，包括熱和功，以及物質參與能量轉換時，它的特性 (Property) 間之關係。應用熱力學的對象包括各種熱機、冷凍、空氣調節、燃燒、流體的壓縮與膨脹，以及應用於這些方面所有物質的一些物理性質。它的目的是如何使能源變為動力。如熱機作週期的循環，吸收熱量以對外作功。熱力學上的定律往往是人類觀察自然的現象後，所得的假說。如熱力學第一定律告訴我們，熱與功可以互換，這是前人由實驗察的結果。也像河水不能自動地由低處流向高處一樣，熱也不能自動地由低溫的地方流向高溫的地方，這就是熱力學第二定律的來源。第二定律也可用來證明熱機不能將所吸的熱量全變為功，而必須白白地排掉一部份熱量。這些觀念在以後依依詳述。本章先來介紹幾個基本定義。

1.1 系統、熱、功

系統 (System)

我們研究動力學的問題時，往往是先取坐標的位置。一樣的，我們研究熱力學上的問題時，總要先找出我們想研究的對象，也就是先

2 應用熱力學

取系統。什麼叫系統呢？

系統是一定量的物質，或空間內的任何一個範圍，它是我們要研究的對象。但不管是一定量的物質也好，或是空間的任何一個範圍也好，它總有個邊界 (Boundary)。這邊界可以是假想的，它可以變形，也可移動。邊界之外叫外界 (Surroundings 或 Environment)。所以系統可大別為兩種：

(一) 封閉系統 (Closed system)——一定量的物質，它的邊界沒有質量流過。如圖1.1，系統是汽缸內的流體，它的邊界包括汽缸壁和活塞頂。活塞移動，邊界也跟着變形。但邊界雖移動，邊界內流體的質量不變。

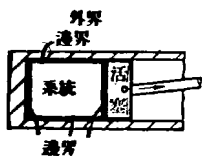


圖 1.1

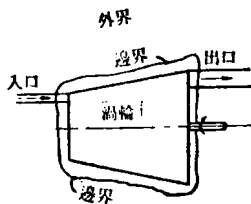


圖 1.2

(二) 開式系統 (Open system)——空間的一個範圍。它的邊界可以有質量流過。開式系統也叫控制容積 (Control volume)，它的邊界則叫控制面 (Control surface)。如圖1.2。

因我們所注意的對象不同，系統的種類、大小也跟着不同。如我們祇想研究空氣與汽油混合燃燒後，體積、壓力、或溫度等的變化，則我們可以取像圖1.1一樣，這是封閉系統。但如我們想研究整個內燃機的操作情形，則我們將整個內燃機作為一個系統，這就是開式系統了。因空氣與汽油不斷的供給內燃機，而較熱的廢氣不斷地排出。圖1.3與圖1.4是系統的兩個例子。

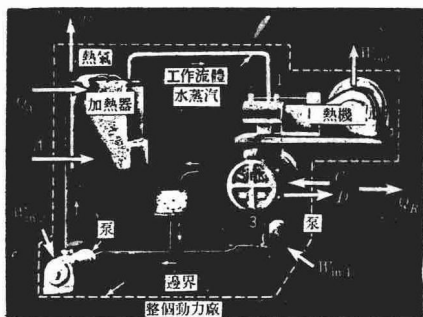


圖1-3 工作流體（水蒸汽）由加熱器流入熱機內，使熱機對外做功，功率為 W_{out} 。蒸汽由熱機出來，流入凝結器內，冷却水不斷由C進入凝結器，由D出來，每單位時間帶走熱量 Q_R 。由凝結器出來的凝結水，被兩個泵加壓，再打入加熱器內，構成一個循環。這是封閉系統。 W_{in1} ， W_{in2} 是兩個泵所作的功率。用來加熱水的氣體由A進入，由B流出。

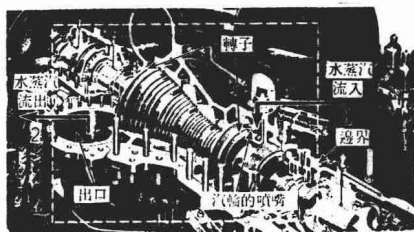


圖1-4 開式系統 水蒸汽不斷地由1流入汽輪，使汽輪做功，再由2流出。

熱 (Heat)

熱是能的一種型式。因系統與外界溫度的不同，或由系統流出外界或由外界流入系統的一種能量。但總是由高溫者流向低溫者。

當系統與外界溫度相等時，才沒有熱在它們之間流動。這時，我們叫系統與外界處於熱平衡 (Thermal equilibrium)。祇有在過程 (Process) 進行時，才有熱發生，因此熱是一種過渡性的能。

如有一塊物體A (圖1.5) 的溫度是 26°C ，而大氣的溫度是 25°C ，則必有熱由系統 (這裡指物體) 流向外界 (指大氣)，至兩物體與大氣的溫度相等時為止。因熱由A流出，溫度降低了，所以它本身的固有能量也減少了。相反的，如圖1.6，我們加熱給物體B，也就是使熱由外界流入系統。系統的溫度增加了，它的固有能量也增加了。所以任一個物體的固有能量，多少與溫度有關，但不可與熱混淆。

熱永遠不是物體內所含的。

4 應用熱力學



圖 1-5

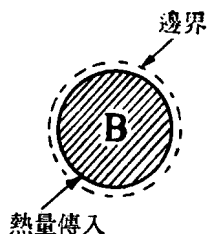
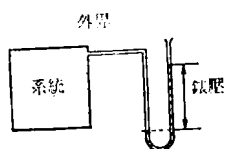


圖 1-6

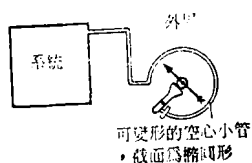
壓力 (Pressure)

系統的壓力是系統作用於其邊界上，每單位面積的力量。壓力的公制單位，或用牛頓/平方公尺 (N/m^2) 或用巴 (bar)；以符號 p 表之。依這個定義的壓力叫絕對壓力 (Absolute pressure)。如圖 1-7a 與 b，這兩個量壓力的儀錶，只表示高於大氣壓力的壓力值，這壓力叫錶壓 (Gauge pressure)。絕對壓力是錶壓加上大氣壓力。

圖 1-7b 的錶叫無液氣壓計 (Bourdon gauge)，系統內的絕對壓力使小管變形，變形的大小由指針的轉動表示出來，刻度的單位是巴。



(a)



(b)

圖 1-7

當系統的壓力低於大氣壓力時，叫真空壓力 (Vacuum pressure) (圖 1-7c)。

如一 U 型管的一端是完全真空，且密封起來時，這個儀錶就是氣壓計 (Barometer)，可量得大氣壓力 (圖 1-7d)。

今將大氣壓力、錶壓、真空壓力、與絕對壓力的關係以簡圖表示之，如圖 1-7e：

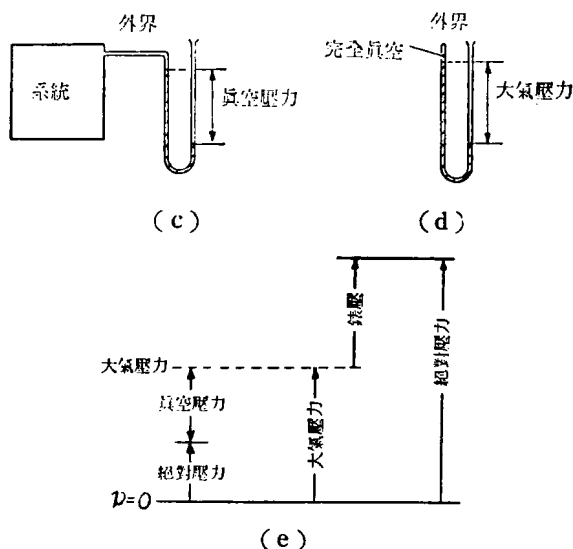


圖 1.7

圖 1.7a 與 1.7c 的錶，量得錶壓以液柱的高度厘米 (mm) 表示，但液體的密度必須知道。這種錶叫液體壓力計 (Manometer)。

如液體是水，則

$$1 \text{ mm 的水柱} = \frac{1}{10^3} \times 9806.65 \text{ N/m}^2 = 9.81 \text{ N/m}^2$$

上式假定 1 m^3 的水重是 9810 N 。

一般而言，壓力計所用的液體通常是水銀，水銀的比重以 13.6 來計算：

$$1 \text{ mm Hg} = \frac{1}{10^3} \times 13.6 \times 9810 \text{ N/m}^2 = 133.4 \text{ N/m}^2$$

系統的比容 (Specific volume) 是系統內單位質量所佔有的體積；符號是 v 。公制單位是 $\text{米}^3/\text{千克}$ 。比容的倒數就是密度。
注意！大寫的 V 是代表體積。

功 (Work)

功的定義，以式子表示如下：

$$W = FX$$

6 應用熱力學

式中， F —作用於系統的力量。

X —在 F 方向所移動的距離。

$W = F$ 作用於系統，令系統在 F 的方向移動 X 單位的距離所作之功。

功的公制單位是牛頓—米（ $N-m$ ）。

功是一種過渡性的能，必須有一個“克服任何阻力”（有時僅僅是物體的慣性力！）的力量，而且，這個力量必須“移動一段距離”才會有功的存在。雖然系統有作功的能力或系統可被作功，但功絕不存在系統之內。

熱和功都是過渡性的能量，不可與系統本身的固有能量互相混淆。譬如，氣體放入絕熱良好的氣缸內，如圖1.8a，活塞向左推動，則壓縮氣缸內的氣體，使氣體內的壓力和溫度都升高。所以，氣體的固有能量增加。既然氣缸是完全絕熱的，沒有熱傳給氣體，或熱由氣體內流出。所以，活塞對氣體所作的功等於氣體固有能量的增加。

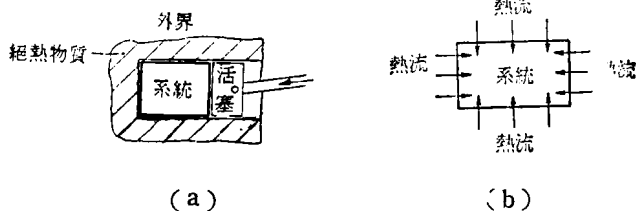


圖 1.8

另一例子，將氣體注入永不變形的容器內，再加熱，如圖1.8b。因系統的邊界不會變形，所以系統與外界沒有功的交換。氣體的壓力和溫度漸漸升高，氣體的固有能量也漸漸增加。外界給系統的熱量就等於氣體固有能量的增加。

像圖1.8a的例子，作用於系統的功是能的一種型式，它必須在壓縮進行時才有。起初，系統有它的固有能量；壓縮後，氣體也有它的固有能量。但功僅在系統由起始狀態（Initial state）至最後狀態（Final state）的中間，即過程在進行時才有。同樣，如圖1.8b的例子，氣體的狀態（State）在改變時，才有熱在流動。

又如圖 1·9，這是功傳給系統的另一種方法。功由軸輸入，帶動輪子，輪緣上的葉片擾動流體，流體因而獲得動能。因流體自己內部的摩擦，和流體與容器壁的摩擦，動能漸被消耗掉。如容器完全絕熱，所有輸入系統的功就等於系統固有能量的增加。

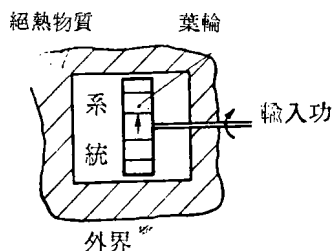


圖 1·9

1·2 單位

本書採用國際單位 (SI units)。先於1960年，由國際度量衡會議 (General conference of weights and measures) 規定採用，後受國際標準組織 (International organization for standards) 支持。在這單位中，先給予六個物理量的單位，其他物理量的單位都由這六個導出。這六個是：

長度：米(m)

電 流：安培(A)

質量：千克(kg)

熱力溫度：卡氏絕對溫度(K)

時間：秒(s)

光 度：燭光(cd)

其他如速度，單位是米/秒 (m/s)；加速度，單位是米/秒² (m/s²)；比容，單位是米³/千克(m³/kg)。

力、能、功率

牛頓第二定律，如用於一定質量的物體，可寫成

$$\text{力} \propto \text{質量} \times \text{加速度}$$

如 $F = kma$

式中 m —物體的質量

a —物體的加速度

F —作用於物體的力量

k —比例常數

如全用 SI 制，則 $k = 1$ ，所以

$$F = ma$$

力量的國際單位是 千克—米/秒² (kg-m/s²)，也叫牛頓(N)。即 1 N 就是使 1 kg 的物體產生 1 m/s² 的加速度所需的力量。