

熱力學概論

王遠臣 譯
薛宗柏 校

大東書局出版

熱力學概論

王遠臣 譯
薛宗柏 校

大東書局出版

原書名： Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe
原著者： Franz Seufert
原出版者： Julius Springer, Berlin

—— 1931 年 ——

一九五二年十一月初版

熱力學概論

定價人民幣：8000元

譯者 王 遠 臣
校閱者 薛 宗 柏
出版發行者 大 東 書 局

上海福州路310號

印刷者 大 東 印 刷 廠
上海安慶路268弄



書號：5077 (0001——3000)

譯 者 序

熱力學爲熱機之理論基礎，凡研習熱機者，對於熱力學，須有相當之理解，俾研究熱機時，可收事半功倍之效。

德國 Franz Seufert 氏，專門致力於熱機之研究，在熱機方面之著作甚多，其所著熱力學概論一書，對於每種熱機工作情形之敘述，簡要切實，且富於啓發性，書中所舉例題，使理論與實際之結合，更爲具體。學者讀此書後，對於熱力學理論與實際相結合之應用上，可獲得有充分之認識。

本書每節內容，甚爲精闢，且懇切平易，具有一般物理知識者，皆能閱讀，極適於作專科及技術學校教本之用，即供技術人員參攷亦無不宜。

譯者於工作之餘譯出此書，惟以學識淺陋，倘有錯誤之處，尙希海內學者惠予指正爲幸。

本書脫稿後承薛宗柏先生詳細校閱，附此致謝。

王遠臣

一九五二年八月於上海

本書符號說明

at	大氣壓	m^2	平方公尺
ata	絕對大氣壓	m^3	立方公尺
$atü$	表壓力	n	轉數
B	噴射柴油量	N	功率
C	流速	N_i	指示功率
C_0	臨界速度	p	單位壓力
$^{\circ}C$	攝氏度數	P	絕對壓力
Cm	公分	PS	馬力
Cm^2	平方公分	PSi	指示馬力
C_v	定容比熱	q	液體熱
C_p	定熱壓比	Q	熱量
D	直徑	Q_s	水銀柱高
f	斷面積	r	蒸發熱
g	克, 重力加速度	R	氣體常數
G	重量	R_m	混合氣體常數
h	小時	s	行程
H	含熱值	S	熵
i	總熱量	t	攝氏溫度
Kg	公斤	T	絕對溫度
Kw	瓩	v	比容積
$Kcal$	仟卡	V	容積
l	呎	V_h	位移容積
L	功	γ	重度
m	公尺	η_{th}	熱效率
mm	公厘		

目 錄

譯者序

本書符號說明

第一章 氣體

1. 熱量、比熱、熱當量	1
氣體數值表 1.	6
2. 氣體定律	7
3. 熱功當量之計算	14
4. 混合氣體之氣體常數	16
5. 氣體之狀態變化	18
6. 圓週循環	46
7. 壓氣機之循環	50
8. 鄂圖機之循環	56
9. 狄塞爾機之循環	62
10. 熵之原理	68
11. 絕熱向外流動	71

第二章 蒸汽

A. 水蒸汽

1. 飽和蒸汽之熱含量	77
-------------------	----

飽和蒸汽數值表 2.	78
2. 濕蒸汽之熱含量	80
3. 過熱蒸汽之熱含量	82
過熱蒸汽之平均比熱數值表 3.	83
4. 過熱蒸汽之狀態方程式	84
5. 水蒸汽之熵	86
便於熵計算之數值表 4.	89
6. 水蒸汽之絕熱外流	90
7. 莫理耳氏熱熵圖形	92

B. 阿摩尼亞蒸汽

1. 阿摩尼亞蒸汽之物理性質	95
數值表 5.	96
2. 冷凝循環	95
3. 冷凝效率之計算	100

中德英名詞對照表

註：書中計算所用自然對數之處，可採用其與常用對數之換算關係，較為方便。即： $\log_e a = 2.303 \log a$

第一章 氣 體

1. 熱量、比熱、熱當量

昔日世人假想熱爲一種目不能見且不可衡量之物質，自馬葉耳氏(Robert Mayer)發現熱功當量以後，乃知消耗一定之功，可產生相當之熱量，從而證明熱非物質。在近世物理學方面，闡釋熱爲能之一種形態，而物體發生熱現象之原因，爲其分子運動能增加之故。此項假說，在日常經驗上，殊通情理，而於實際計算之應用方面，則頗不適合，是以吾人仍視熱爲一種物質而計算之。

欲計算一物體所含之熱量，須明瞭下列三種數值：

(1) 重度 即單位體積所具有之重量，以[公斤]計。

(2) 溫度 以攝氏表度數 $^{\circ}\text{C}$ 計。

(3) 比熱

在氣體及蒸汽方面，尚須加上

(4) 壓力 即單位面積上所受之作用力。

(1) 重度 在固體及液體方面，重度以[公斤/立方公寸]計之，對於氣體及蒸汽，則採用[公斤/立方公尺]爲單位，比較方便實用。氣體之體積及重度，與溫度及壓力有關，此點後章將予說明，其數值並加以確定。因此吾人對於氣體重度之計算，通

常以 0°C 及 760 [公厘] 水銀柱高之絕對氣壓為標準，如第 1 表中所列之數值^①。

(2) 溫度 吾人對於冷熱物體之區別，可由感覺而知之，溫度則為表示物體冷熱之程度，通常加熱於物體，則發生膨脹現象^②。吾人乃利用水銀柱之膨脹，而製成溫度計，以為測量溫度之標準。並規定冰溶化時之溫度為零度，在氣壓計為 760 [公厘] 水銀柱高時，水沸騰之溫度為 100 度，此種度數之刻定，稱為攝氏分度法。熱由高溫之物體，可移於低溫之物體，溫度之降低，表示其對外作功。此種情形，恰與電壓較高之電流，流向電壓較低處，及物體由高處下落之情形相似。

(3) 比熱 以單位熱量或卡路里計之，一仟卡或卡之熱量，為將 1 [公斤] 或 1 [克] 之水，溫度由 15°C 增高 1°C 時所需之熱量^③，仟卡為卡之一千倍，前者為工業方面所採用，後者於物理學中常見之。

例題 將 3.40 [公斤] 之水，溫度由 10°C 加熱至 50°C ，問需若干仟卡之熱量？

$$G = 3.40 \text{ [公斤]}$$

$$t_1 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 50^{\circ}\text{C}$$

所需之熱量為：

$$Q = G(t_2 - t_1) = 3.40(50 - 10) = 136 \text{ [仟卡]}$$

各種物質溫度增高 1°C 時，所需之熱量，並不相同，由此而

① 通常所用之另一標準為 15°C 及 735 [公厘] 水銀柱高。

② 水在 0°C 及 4°C 間為例外。

③ 因此熱隨溫度而變更（水之變更較少），吾人乃定溫度由 14.5°C 增高至 15.5°C 。

得比熱之定義如下：

使 1 [公斤] 之物質，溫度由 0°C 增高至 1°C 所需之熱量，稱為該物質之比熱。

若干物質，在較高溫度時，其溫度增高 1°C 所需之熱量，與在 0°C 時所需之熱量，並不相同，因此 0°C 至 1°C 之地位，須予確定，此點於後章討論水蒸汽及阿摩尼亞蒸汽時，特別明顯。

以 C 表重 G [公斤] 物質之比熱，當加熱時，其溫度由 $t_1^{\circ}\text{C}$ 增高至 $t_2^{\circ}\text{C}$ 則所加入之熱量為。

$$Q = G \cdot C (t_2 - t_1) \quad [\text{仟卡}]$$

或於冷卻時，溫度由 $t_2^{\circ}\text{C}$ 降至 $t_1^{\circ}\text{C}$ 所放出之熱量亦相同。

在氣體及蒸汽方面，其比熱有兩種不同之區別，由下述二種情況，即可明瞭。

1. 將 1 [公斤] 氣體，在密閉器內加熱（圖 1），其容積不發生變化，而壓力增高，在此情況下，溫度每增高 1°C 所需之熱量為 C_v [仟卡]，稱為定容比熱。



圖 1.

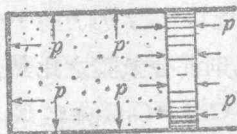


圖 2.

2. 在前述之實驗中，於容器之一端，假設置一無摩擦阻力、無重量而可自由移動之活塞（圖 2），在未受熱時，活塞兩面上每 [平方公分] 所受之壓力均為 p ，當加熱後，氣體之體積發生膨脹，勝過外部壓力，乃將活塞推動，直至活塞內部之壓力，亦等於

p 時而止。在此情況下，溫度每增高 1°C 所需之熱量 C_p ，稱為定壓比熱。

若干氣體定壓比熱 C_p 之值，首為雷勞氏所精確求得，亦可用其他方法測定之，多數氣體之定容比熱與定壓比熱之比，為一常數即：

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

並由此以計算 C_v 之值。對於二原子氣體，如：氫、氧、氮、一氧化碳及空氣等，其定壓比熱與定容比熱之比例常數，殆近似一定值即：

$$k = 1.40$$

為顧及氣體在 0°C 及 760 [公厘] 水銀柱高壓力時之重度起見，吾人亦可將 C_p 及 C_v 之值，計算為其單位體積相應之比熱 C_p' 及 C_v' ，其值已同列於第 1 表，表中 R 一項表示氣體常數，此點當於後章敘述之。

設混合氣體之比熱為 C ，而 1 [公斤] 混合氣體，其各合成氣體之重量為 $G_1, G_2, \dots, G_n$ ，各合成氣體之比熱為 $C_1, C_2, \dots, C_n$ 則混合氣體之比熱，即依下式而計算之。

$$C \cdot 1 = C_1 G_1 + C_2 G_2 + \dots + C_n G_n$$

(4) 壓力 壓力之計量，由下述之實驗即可知之。

取長約 80 [公分]，底面積為 1 [平方公分]，一端開口而彎曲之玻璃管（圖 3），注入水銀而倒置之，則管內密閉一端之水銀面，將下降少許，其上空隙部



圖 3.

份當爲真空，而開口彎曲支管一端之水銀面，與密閉一端管中水銀面之高度差爲 h ，二水銀面相差之高度，顯與空氣之壓力有關，在同一水平面上所受之壓力應相等，在開口一端所受之壓力，爲大氣壓力，而管中同一水平面上所受之壓力，則爲底面積 1 [平方公分] 高 $h = 760$ [公厘] 水銀柱之重量，如水銀之重度等於 13.6 ，則底面積上所受之壓力爲：

$$P = 76.0 \cdot 1 [\text{平方公分}] \cdot 13.6 = 1033 [\text{克}] = 1.033 [\text{公斤}] \textcircled{1}$$

昔日稱此項壓力爲 1 大氣壓力，現今工業上爲計算方便起見，則以 [公斤/平方公分] 之壓力代之，稱爲 1 公制大氣壓力，在上述之實驗中，相當於

$$1 \text{ 公制大氣壓力} = \frac{1000}{13.6} = 73.5 [\text{公分}] \text{ 水銀柱高}$$

在大氣壓力之計量方面，有表壓力與絕對壓力之區別，前者通常係指氣壓表所量得之壓力，後者則按絕對真空時而計算得之壓力，因此在壓力相同之情況下，絕對壓力之數值，較之表壓力大 1 大氣壓。在熱力學之理論及計算中，對壓力之計量，則常以 [公斤/平方公尺] 爲單位，於是

$$1 \text{ 大氣壓力} = 10000 [\text{公斤/平方公尺}]$$

自馬葉耳氏發現熱功當量以後，乃知消耗熱可以作功，消耗功時，亦能產生熱，熱與功之互換，有一定之數量關係，即每單位熱量應相當於一定數量 [公尺·公斤] 之功，或每 [公尺·公斤] 之功應等於若干分 [仟卡] 之熱量，此項數量之換算值，已由馬葉耳、焦耳、赫恩及羅南諸氏，在理論及實驗方面予以確定，即

！ ①嚴格言之，須加上真空中水銀面上之水銀蒸汽壓力。

1 仟卡 = 427 [公尺·公斤] (熱之功當量)

或 $1 \text{ [公尺·公斤]} = \frac{1}{427} = A \text{ [仟卡]} \text{ (功之熱當量)}$

數值 $A = \frac{1}{427}$ 乃表示 1 [公尺·公斤] 之功，可產生 $\frac{1}{427}$ [仟卡] 之熱量，反之亦然。所可注意者，在熱動力機中，原輸入熱量之一部份，將因作功而被明顯消逝，即每消逝 1 [仟卡] 之熱量，當可作 427 [公尺·公斤] 之功 (熱力學第 1 主要定律)。

在第 3 頁所述之兩種情形而作之實驗中，知氣體之定壓比熱 C_p 與定容比熱 C_v 間有一重要之關係，即加熱於 1 [公斤] 之

氣體數值表 1.

氣 體	化 學 符 號	原 子 數	近 似 分 子 量	氣 體 常 數 R	在 0°C 及 760 [公厘] 氣壓下之重量 公斤 / 立方公尺	比 熱				$k = \frac{C_p}{C_v}$
						C_p	C_v	C_p'	C_v'	
								在 0°C 及 760 毫米 1 立方公尺		
						1 公 斤				
氫 氣	H_2	2	2	420.6	0.0898	3.408	2.420	0.31	0.22	1.407
氧 氣	O_2	2	32	26.50	1.429	0.218	0.156			1.40
氮 氣	N_2	2	28	30.26	1.251	0.250	0.178			1.40
一氧化碳	CO	2	28	30.29	1.250	0.250	0.180			1.40
空 氣	—	—	—	29.27	1.293	0.241	0.172			1.40
水 蒸 汽	H_2O	3	18	47.1	0.804	0.48	0.37	0.386	0.297	1.30
二氧化碳	CO_2	3	44	19.27	1.977	0.202	0.156	0.399	0.308	1.30
二氧化硫	SO_2	3	64	13.24	2.927	0.151	0.120	0.422	0.351	1.25
阿摩尼亞	NH_3	4	17	49.79	0.771	0.53	0.41	0.41	0.32	1.29
沼 氣	CH_4	5	16	52.90	0.717	0.531	0.406	0.38	0.29	1.31
酒 精	$C_2H_5(OH)$	9	46	18.42	0.205	0.453	0.400	0.930	0.822	1.133
苯	C_6H_6	12	78	10.87	0.349	0.33	0.305	1.150	1.063	1.082

氣體，溫度增高 1°C 所需之熱量各為 C_v 及 C_p ，在第二種情形中，所加入之熱量，須用一部份以勝過活塞外部所受之壓力 p [公斤/平方公分]，而將其推動一相當距離，是以此一部份熱量，係用以對外作功，設所作之功為 L ，則其熱當量當為 AL ，由此可知第二種情形加入之熱量 C_p ，當較第一種情形所加入之熱量 C_v 為多，亦即 C_p 之值應較 C_v 為大，即

$$C_p > C_v$$

換言之

$$C_p = C_v + AL$$

或

$$AL = C_p - C_v$$

上式可說明為在壓力不變之情況下，1 [公斤] 氣體溫度增高 1°C 時， C_p 與 C_v 相差之值，等於其對外所作之功相當之熱量 [仟卡] 值。

由此可知，加熱於氣體，則可作功。反之從其吸出熱量，則必須消耗功。

2. 氣體定律

以 V [立方公尺] 表氣體所具之容積， v [立方公尺/公斤] 表每公斤氣體所具之容積。

(a) 格魯薩克氏定律

在一定壓力下，加熱於氣體，（例如：在一圓形貯氣筒內，置一無摩擦阻力而可移動之活塞）則發生膨脹，體積增大，一如固體與液體然。據實驗知，各種氣體（嚴格言之，僅二原子氣體），在一定壓力下，溫度增高 1°C 時，其體積增加，為其 0°C 時所具體

積之 $\frac{1}{273}$ ，是為格魯薩克氏定律。換言之，即氣體之膨脹係數 $\alpha = \frac{1}{273}$ 。如將氣體加熱至 $t_1^\circ\text{C}$ ，則其體積增加為其 0°C 時所具體積之 $\alpha t_1 = \frac{t_1}{273}$ ，由 0°C 冷卻至 $-t_1^\circ\text{C}$ 時，則其體積縮小為 0°C 時所具體積之 $\frac{t_1}{273}$ 。

以 V_0 表氣體 0°C 時之體積

以 V_1 表氣體 $t_1^\circ\text{C}$ 時之體積

則有如下之關係

$$V_1 = V_0 + V_0 \cdot \frac{t_1}{273}$$

或

$$V_1 = V_0 \left(1 + \frac{t_1}{273} \right) \quad (1)$$

如將氣體由 0°C 加熱至 $t_2^\circ\text{C}$ 同理得

$$V_2 = V_0 \left(1 + \frac{t_2}{273} \right)$$

將上二式相除得

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 + \frac{t_1}{273}}{1 + \frac{t_2}{273}}$$

或

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2} \quad (2)$$

由格魯薩克氏定律之第(1)式，則導出一特別簡單之絕對溫度形式。如吾人設想將氣體冷卻至 0°C 下 $-t_3^\circ\text{C}$ ，則由第(1)式，

$$V_3 = V_0 \left(1 - \frac{t_3}{273} \right)$$

或 $V_3 = \frac{V_0}{273} (273 - t_3)$

當 $-t_3 = -273^\circ\text{C}$ 時

則 $V_3 = 0$

意即：當氣體冷却至 -273°C 時，氣體之體積縮小為零，假設在如此低下之溫度，格魯薩克氏定律仍屬適用，而氣體亦不液化，則其分子運動停止，及熱含量為零，因此吾人定 -273°C 為絕對零度，以此為起點而計算之溫度，稱為絕對溫度，以 T 表之。即絕對溫度 T 之值，較相當於攝氏溫度計上 t 值大 273° ，故攝氏溫度計上之零度為絕對溫度之 273° 。即：

$$T = 273 + t$$

將此值代入格魯薩克氏定律第(2)式則得如下之形式

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3)$$

換言之，在一定壓力下，等重量氣體之體積與其絕對溫度成正比。

關於加入或放出之熱量及其所作之功，將於後面氣體之狀態變化一章中計算之。

例題 一煉焦爐煤氣機，每小時消耗溫度 20°C 氣壓計為 745 [公厘] 水銀柱高時之煤氣 1.10 [立方公尺/瓩·小時]，試換算為 0°C 時之煤氣消耗量。

(a) 依第(1)式解之

$$V_1 = 1.10 [\text{立方公尺}]$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$\alpha = \frac{1}{273}$$

於是由下式得

$$V_1 = V_0 \left(1 + \frac{t_1}{273} \right)$$

$$V_0 = \frac{V_1}{1 + \frac{t_1}{273}} = \frac{273 \cdot 1.10}{273 + 20} = 1.025 \text{ [立方公尺]}$$

(b) 依第(3)式解之

$$V_1 = 1.10 \text{ [立方公尺]}$$

$$T_1 = t_1 + 273 = 293^\circ \text{ 絕對溫度}$$

$$T_0 = 273^\circ \text{ 絕對溫度}$$

於是由下式得出

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0}$$

$$V_0 = V_1 \cdot \frac{T_0}{T_1} = 1.10 \cdot \frac{273}{293} = 1.025 \text{ [立方公尺]}$$

(b) 波以耳——馬畧特氏定律

P 表每平方公尺所受之絕對壓力[公斤/平方公尺]，以 p 表每平方公分所受之絕對壓力[公斤/平方公分]。

在溫度不變情況下，體積為 V_1 之氣體，所受之絕對壓力為 P_1 [公斤/平方公尺]，如將其體積增大或縮小至 V_2 時，則氣體所受之絕對壓力變為 P_2 [公斤/平方公尺]，故當溫度一定時，氣體體積與壓力之變更，有如下式之關係。即

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

換言之，在一定溫度下，等重量氣體之體積與絕對壓力成反比。

試將上式移項得 $P_1 V_1 = P_2 V_2$

式中 P_1 及 V_1 相當於體氣開始時之狀態，由此可知當溫度