

科學圖書大庫

最新工程熱力學要義

譯者 王大倫

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

最新工程熱力學要義

譯者 王大倫

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧銓 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十六年四月三十日初版

最新工程熱力學要義

基本定價 3.80

譯者 王大倫 台灣鉛業公司總工程師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(63)局版臺業字第0116號

出版者 財團法人 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
7815250 號

發行者 財團法人 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第 15795 號

承印者 大典圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話 9719739

本書簡介

本書針對工學院機械工程系課程上需要，將力學一門包括靜力、材料強度、機構與動力四部分。有系統有深度作基本上之敘述，並運用工程數學及工程科學之說明，使學生能得一完整之基礎與應用之工具，為西德大專院校用作課本，現已發行至23版。國內力學課本均失之過簡，本書內容豐富，深信各大學工學院及工專機械科系課程，在與國際水準相較上，在使用本書後，定能大為提高。

AI-160/03

我們的工作目標

文明的進度，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啟發，始能為蔚為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啟導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員林碧鐸氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尚在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掬誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尚祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

譯者序

熱力學爲機械工程內基本智識之一，起源於物理學內熱學一門，以其原理加以工程化應用之。在原動機、工作機，以及空氣調節等工程方面，並及於熱傳送與乾燥等之應用，成爲工程科學中重要之一環。

選擇本書之動機尚有如下之兩點：

1. 熱力學內容極爲廣泛，已如上述，能以簡明扼要闡述者實不多見。本書乃具此一長處，且舉計算例題極多，可使讀者能由例題而了解其實質與內容，並與工程上之應用相連貫，實爲不可多得之著作。

2. 近年來對工程科學上之單位問題，經多次討論已初獲決議。本書內採用最近統一之國際單位制(SI)，其運算上之簡單及方便，更感有其統一之重要性意義。爲迎接在吾國內推行國際單位制之前夕，深感早行譯出推介之急切需要。

王 大 倫 謹識

民國六十五年十月

著者序

自第十四版起，本書原著者 Puschmann 謝世，即由著者接任修訂工作；並在其後數版中，增加若干章節，及依現代工程之實際進展，修正若干原有之章節。

在此第二十三修訂版中，已將國際統一度量衡單位制 (SI) 引入應用。此對現職工程人員在習慣上雖有若干不便，但在計算上將均為十進位，而顯出之優點甚多。

SI 制之基本單位為 m , kg , s , A , K (Kelvin), Mol 及 cd (Candela)。其他如力、能量及壓力等單位，均可由基本單位引出，且均採用倍數 1 以計算而有相關性。使用 N , J 及 Pa 以替代 kp , cal 及 atm 。依 SI 制分別有倍數及分數命名法，並以 l , t 及 bar 等為特別工程上常用之單位名稱。

採用 SI 制為法定單位之後，使其他工業用制及 CGS 制等，失去其存在之意義，故已不復在本書內使用。

在西德已訂於 1977 年底將原用制度廢止，而須一律採用 SI 單位制。但為易於換算，仍附入常用單位換算表一頁，以供使用。若干熱力學數據資料，亦經換 SI 單位後，列入附件參考。

著者 R. Drath 博士

徐氏基金會

科學圖書大庫

引介世界科技新知
協助國家科學發展

發行編號 1185

目 錄

譯 者 序

著 者 序

第一章 導 言

- 1.1 單位……………1
- 1.2 工作與能量……………2
 - 1.2.1 動能……………2
 - 1.2.2 位能……………3
 - 1.2.3 壓力能……………3
- 1.3 能量公式……………4

第二章 概 論

- 2.1 情況數值……………8
- 2.2 氣體與蒸汽之性質……………11

第三章 氣體

- 3.1 氣體定律……………13
 - 3.1.1 Boyle—Mariotte
氏定律……………13
 - 3.1.2 Gay—Lussac 氏定
律……………14
- 3.2 氣體與混合氣體之一般
公式……………15
- 3.3 千克分子量 (kmol),

千克分子量容積及一般

氣體常數……………19

3.4 混合氣體……………21

第四章 熱量與工作量

- 4.1 熱量與比熱量……………29
- 4.2 熱量測定計……………31
- 4.3 融化與蒸發……………32
- 4.4 熱力學之第一主要定律
……………32
- 4.5 容積變換工作……………35
- 4.6 內能量……………36
- 4.7 內能量與全熱量，容積
變換（膨脹）工作與
工程工作……………39
- 4.8 比熱量 c_p 與 c_v ……42
- 4.9 分子比熱量或分子熱…44
- 4.10 混合氣體之比熱量……………51
- 4.11 混合氣體之壓力與溫度
……………54
- 4.12 氣體之動力學理論……………56

第五章 氣體之情況變換

- 5.1 概論……………59
- 5.2 等容積 (Isochore) 變
換……………60

5.3 等壓型 (Isobare) 變換	61
5.4 等溫型 (Isotherme) 變換	63
5.5 等熱型 (Adiabate) 變換	65
5.6 多熱型 (Polytrope) 變換	70
5.7 多熱型變換之一般意義	73
5.8 自 pV 圖求溫度及多熱型曲綫指數	77

第六章 熱力循環

6.1 第二熱力定律	82
6.2 (氣壓行程) 指示圖及 活塞機功率之計算	84
6.3 可逆性與不可逆性變換 過程	86
6.4 Carnot' 氏循環	87

第七章 熱力圖

7.1 概論	90
7.2 熵量 (Entropie) 情況值	91
7.3 熵量之計算	92
7.3.1 固體及液體之熵量	92
7.3.2 氣體之熵量	94
7.4 氣體最重要變換之熱力 圖 ($T-s$ 圖)	103
7.5 以熵量表示熱能之工作 值	103
7.6 可逆性及不可逆性變換	

過程之熵量變化..... 109

7.7 特殊不可逆性之過程	111
7.7.1 磨擦阻力	111
7.7.2 熱傳導	112
7.7.3 混和作用	113
7.7.4 阻流作用	114

第八章 水蒸汽

8.1 蒸發過程	116
8.2 三合點 (Tripelpunkt)	118
8.3 飽和蒸汽	119
8.4 濕蒸汽	122
8.5 過熱蒸汽	127
8.6 水蒸汽之全熱量 (Enthalpie) 與熱力圖	129
8.6.1 水在沸點溫度 T_s 之熵 量 s'	129
8.6.2 飽和蒸汽之熵量 s''	130
8.6.3 濕蒸汽之熵量 s_x	130
8.6.4 過熱蒸汽之熵量 s_h	131
8.7 水蒸汽之 $h-s$ 圖	133
8.8 水蒸汽之情況變換	134
8.8.1 等容積型變換	134
8.8.2 等壓型變換	135
8.8.3 等熱型變換	136
8.8.4 等全熱量型變換	137

第九章 氣體與蒸汽之混合 氣體

9.1 概論	140
9.2 空氣之絕對濕度與相對 濕度	143

9.3 濕空氣之比容積與其全 熱量..... 145	11.2 自等壓之容器內流出... 199
9.4 濕空氣之 $h-x$ 圖..... 149	11.3 流量及壓力變換..... 201
9.5 濕空氣之情況變換..... 152	11.4 噴嘴之構造..... 203
9.5.1 加熱與冷卻..... 152	11.5 噴嘴內之流速..... 205
9.5.2 混和作用..... 154	11.6 消壓及壓縮流動(噴嘴 與擴散口)(Diffusor) 207
9.5.3 蒸汽與水之噴入..... 157	11.7 氣體在膨脹流動時之磨 擦阻力工作與能量損 失..... 212
9.6 揮發與結露, 濕度計... 160	11.8 小壓力差之流動..... 217
9.7 乾燥作用..... 163	11.9 靜壓力及動壓力..... 219
第十章 熱力機之循環過程	11.10 用噴嘴及擋孔量測流量 法..... 222
10.1 概論..... 167	11.11 在微小壓力差時之流出 量..... 223
10.2 效率..... 168	第十二章 蒸汽渦輪機之 能量變換
10.3 熱氣機(氣渦輪)之循 環過程..... 170	12.1 無磨擦阻力之等壓式或 衝力式(Aktion)渦 輪機..... 226
10.4 Otto 式或等容積熱力 機之循環..... 178	12.2 流出氣體之回壓力及回 壓工作..... 230
10.5 Diesel(重油)機或等 壓熱力機之循環..... 181	12.3 無磨擦阻力之差壓力或 回力式(Reaktion) 渦輪機..... 231
10.6 混合式循環過程(Seil- iger 氏循環)..... 183	12.4 顧及磨擦損失之能量變 換..... 234
10.7 蒸汽機之循環過程..... 185	12.5 徑向渦輪機..... 238
10.8 理想蒸汽機循環過程之 $T-s$ 圖..... 187	12.6 中間過熱..... 240
10.9 利用 $h-s$ 圖計算蒸汽 機循環過程..... 188	12.7 熱量再生法(Regener- ativ-Verfahren)..... 242
10.10 Carnot 氏循環過程之 逆向..... 192	
10.11 理想冷凍機之熱力圖 ($T-s$ 圖)..... 193	
第十一章 氣體與蒸汽之流動	
11.1 概論..... 198	

第十三章 活塞式壓氣機

- 13.1 壓氣機功率之計算..... 247
- 13.2 多級式壓氣機..... 250
- 13.3 壓縮空氣傳動..... 253
- 13.4 空氣之溫度焓量 ($T-s$)
圖..... 256
- 13.5 無損失之活塞壓氣機熱
力圖..... 258
 - 13.5.1 等溫型壓縮..... 259
 - 13.5.2 等熱型壓縮..... 260
 - 13.5.3 多熱型壓縮..... 261
 - 13.5.4 等熱型膨脹 (氣動機)
..... 263

第十四章 離心式壓氣機

- 14.1 氣體內部發生熱量之壓
縮流動 (噴嘴壓氣機)
..... 264
- 14.2 無冷却之離心式壓氣機
..... 266
- 14.3 有冷却系統之離心式壓
氣機..... 268
- 14.4 離心式排氣機..... 273

第十五章 噴射推動

- 15.1 概論..... 275
- 15.2 火藥式推動..... 276
- 15.3 空氣噴射式推動..... 278
- 15.4 推力管 (衝擋式噴射推
進器, Lorin 噴嘴)
(Schubrohr)..... 279
- 渦輪噴射式推動 (TL)

..... 281

第十六章 工作量及全效 工作量

- 16.1 最大工作量..... 283
- 16.2 工程工作量..... 287
- 16.3 全效工作量在 $h-s$ 圖
中之表示法..... 288
- 16.4 不可逆性變換之全效工
作量..... 290
- 16.5 全效工作之效率..... 291

第十七章 燃 燒

- 17.1 概論..... 295
- 17.2 燃燒熱量及發熱量..... 296
- 17.3 燃燒時之氧氣及空氣需
要量..... 299
- 17.4 固體與液體燃料所產生
廢氣量及成份..... 301
- 17.5 氣體燃料之空氣需要量
與廢氣成份..... 304
- 17.6 由廢氣之分析測定空氣
之比數..... 306
- 17.7 不完全之燃燒..... 312
- 17.8 空氣需要量及廢氣量與
燃料發熱量之關係... 312
- 17.9 理論燃燒溫度..... 313

第十八章 熱能之傳送

- 18.1 概論..... 318
- 18.2 傳導法傳熱..... 318
- 18.3 熱傳達與熱傳通 (Wär-
medurchgang) ... 322

18.4	熱傳達係數	327	18.7	輻射法熱交換	337
18.5	熱交換器	331	第十九章 磁流動力發電法		
18.6	輻射傳熱法	335			

參考資料	346
-------------	-----

附 錄	347
------------	-----

附表 1	各種重要氣體之性質、常數	347
------	--------------	-----

附表 2	空氣之 $\frac{pv}{RT} = z$ 值 (修正值)	348
------	---------------------------------	-----

附表 3	各種物質之融 (熔) 解熱及蒸發熱 (潛熱)	348
------	------------------------	-----

附表 4	各種重要氣體之分子熱	349
------	------------	-----

附表 5	各種重要氣體之平均分子熱	350
------	--------------	-----

附表 6	計算比熱量 $\text{kJ}/(\text{kmol K})$ 之近似值公式	351
------	--	-----

附表 7	氣體多熱型變換時 V_2/V_1 與 p_1/p_2 間之關係	352
------	-------------------------------------	-----

附表 8	水之全熱量 h_w (kJ/kg)	353
------	--------------------------------	-----

附表 9	飽和蒸汽之性質	354
------	---------	-----

附表 10	水及飽和蒸汽之狀態值	355
-------	------------	-----

附表 11	過熱蒸汽之狀態值	359
-------	----------	-----

附表 12	飽和氨氣之狀態值	361
-------	----------	-----

附表 13	蒸汽之飽和壓力, 濕空氣之全熱量	362
-------	------------------	-----

附表 14	氣候 (空氣 + 水氣) 表	363
-------	----------------	-----

附表 15	固體及液體燃料之平均成份 (重量%)	364
-------	--------------------	-----

附表 16	氣體燃料之成份 (空積%)	364
-------	---------------	-----

附表 17	各種燃料之氧氣需要量, 燃燒溫度及燃熱量	365
-------	----------------------	-----

附表 18	由燃料之 H_u 計算 L_{min} 及 V_{min} 近似值之公式	366
-------	--	-----

附表 19	輻射熱計算式中 $(T/100)^4$ 值	366
-------	-----------------------	-----

索 引	367
------------	-----

附 件

附件 1	工程用與物理用壓力單位換算表
附件 2	機械工作熱能量及電能單位換算表
附件 3	機械、熱及電力功率單位換算表
附件 4	混合氣體之公式彙編

X

- 附件 5 理想氣體多熱型變換之公式彙編（依 1 kg 氣體計算）
- 附件 6 水蒸汽之 $h - s$ 圖
- 附件 7 濕空氣之 $h - s$ 圖
- 附件 8 乾空氣之 $t - s$ 圖

第一章 導 言

1-1 單 位

國際單位制度 (SI) 選定基本單位如下：

長度單位爲：公尺 (m)，時間單位爲：秒 (s)，

質量單位爲：公斤 (kg)。

其精確度常依所使用場合上，與科學程度相當爲準

公尺之單位，原訂爲地球經度 (子午綫) 長之四千萬分之一，但自1960年起改訂爲氫-86 原子光譜波長之若干倍。公斤單位則依保存在巴黎之鉑銥合金塊質量爲準，原始規定爲在 4°C 時 1ℓ 水之質量，亦已廢棄。秒單位原依地球自轉一週時間之分數而訂者，現自 1968 年起亦改依鉀-133 原子光譜週期之若干倍爲據。

自基本單位可導出其他單位，如面積單位爲平方公尺 (m²)，容積單位爲立方公尺 (m³)，速度單位爲 (m/s)，加速度單位爲 (m/s²) 等。以上導出單位與基本單位之比均爲 1 倍計數，或爲直接引用，或爲相關導出，凡以 1 倍計數之單位，亦視之爲國際單位 (SI-單位)。在實用上則常有小數點或倍數相隨。

自牛頓基本定律得

$$F = ma \quad (\text{力} = \text{質量} \times \text{加速}) \quad (1)$$

得間接相關之力單位爲牛頓 (N)，即爲能將 1 kg 質量產生加速度 1 m/s² 之力。

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kgm/s}^2 \quad (1a)$$

因之力非爲一基本單位而爲一導出單位。又因平均落體加速率爲 9.81 m/s² (精確數爲 9.80665 m/s²)，故 1 kg 質量在地球表面上 (近海平面) 即有 1 kg · 9.81 m/s² = 9.81 N 之重力 (地心吸力)。此一重力稱之爲 1 kp。

故 $1 \text{ kp} = 9.80665 \text{ N} \approx 9.81 \text{ N}$

或 $1 \text{ N} \approx 0.10197 \text{ kp} \approx 0.102 \text{ kp}.$ (2)

上式中之 9.81 或 0.102 即為兩單位間換算之倍數。

因之 kp 與基本單位為不相關聯。

在地球之各處，加速率並不完全相同，在南北兩極處為較大，赤道處為較小。因之一物體之重力隨其位置而變，但其質量則不變。

9.81 含有兩種意義：

1. 落體加速率： $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

2. 為 N 與 kp 間之換算率，即 $1 \text{ kp} = 9.81 \text{ N}$ (單位為 $\frac{\text{N}}{\text{kp}}$)

二者數字相同但含義與單位則不相同。

演算時最好選用 SI 單位，則不需加入換算率而較簡便。如日前仍常遇有用 kp 者，則計算中即應加入 9.81 N/kp 而化成 SI 單位進行。

例如： $m = 1000 \text{ kg}$ ，加速率為 0.2 m/s^2 ，則需力為 $F = ma = 1000 \text{ kg} \cdot$

$0.2 \text{ m/s}^2 = 200 \text{ kgm/s}^2 = 200 \text{ N}$ 。如除以 9.81 N/kp ，得

$F = 20.4 \text{ kp}$ 。

因之如質量以 kg 計算而需得重力為 kp 時，應使用之公式為

$$F = \frac{1}{9.81} ma \text{ (kp)} \quad (3)$$

$$\text{或為} \quad G = \frac{mg}{9.81 \text{ kgm/(kp s}^2\text{)}} \text{ (kp)} \quad (4)$$

式中 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 為重力加速率

1 kg 質量在地球上之重力為 1 kp，但在月球上祇有 0.166 kp。如需在月球上得重力為 1 kp 時，則其質量為 6.03 kg，由之可得月球上之加速率為

$$g_{\text{mond}} = \frac{9.81}{6.03} = 1.627 \text{ m/s}^2$$

1-2 工作與能量

1-2-1 動 能 如以有大小及方向之力 F 推動一物體，使移動距離為 s (抵消其阻力)，則產生之工作為

$$W = Fs \quad (5)$$

如並無阻力存在，則該力作用於物體而產生加速 a ，依照牛頓定律 $F = ma$ ，其起始點之速度為 0，其終點之速度為 c ，則由力學得公式為

$$Fs = \frac{mc^2}{2} \text{ (工作)} \quad (6)$$