

部編大學用書

科學新知 / 技術先導

工程熱力學 及其應用

M. DAVID BURGHARDT 原著

萬迪棣 譯

國立編譯館 主編

五南圖書出版公司 印行

科學新知 / 技術先導

工程熱力學及其應用

M. DAVID BURGHARDT 原著

清華大學航空技術系主任 萬迪棣 譯



國立編譯館 主編
五南圖書出版公司 印行

工程熱力學及其應用

中華民國70年7月初版

譯者 萬 迪 棟
著作權 國立編譯館
所有人
發行人 楊 榮 川
發行所 五南圖書出版公司

局版臺業字第0598號
臺北市銅山街1~1號
電話：3916542號
郵政劃撥：106895號

基本定價：新台幣 6.25 元

印刷所 明文印刷廠

(本書如有缺頁或倒裝，本公司負責換新)

序 言

本教科書之目的在幫助工程學科學生學習熱力學——熱力學之理論基礎與實際狀況之應用。本書之第一部份在使學生具備從事熱力學分析的能力；第二部份使其有這些技巧的應用。

只有在學生完全瞭解之後，才能有效使用他們的新知識，因此，在能達到系統分析目的之前，他們必須先熟習熱力學，為達此目的，在本教科書內包含了甚多的例題。本人的希望是，當學生學習一個理論，在例題中注意其應用，而作相似的分析，他們就能夠瞭解與有效的應用熱力學原理，本書證明四個熱力學的假設可重覆的應用，毋論他們所應用的是那個系統。

本教科書為工程學科學生提供了穩固的理論基礎，因為基本理論之強調與討論，均適當的配合了其應用，理論上所發生的情況與物理上所發生的情況相併討論，並予以強調，因為工程院校學生離開學校後，將成為一職業性的工程師，他們必需具備所需分析的工具，本書提供了這些工具。

整本書中，國際標準單位（SI）與英制單位併用，單位系統并予完全推導，問題中具兩種單位系統，故能使學生習慣於使用此兩種單位——不僅是有單位轉換公式而已。當所列附表中僅有英制單位時，本教科書的習題使用這些附表以反映這種情況。

本教科書適用於講授或講授與實驗併用，本書材料足夠三學季熱力學基礎教學之用，其中後兩學季包含講授與實驗。

明顯的，雖然我對甚多作者虧欠很多，但在本書之末參考文獻中，對本人特別有幫助者，致誠懇之謝意。

尚有，在本書之撰寫時，有數位個別的幫助——直接或間接的，是Connecticut大學的Wallace W. Bowley 與Domina Eberle Spencer 教授，按照他們的例題，幫我定出了最高的標準。在前面的部份，有幾位特別要提出的，是我的好友亦是以前的同事，美國海軍軍官學校的教授Eugen L. Keating。我們間的甚多討論的結果與他的建議與具建設性的批評均包含在本書中。美國商船學院的教授，Edward Ferenczy 與 Joseph Jannone 在撰寫書稿期間，指出含意不甚明瞭之處及建議改進之點，對本人均甚有幫助。當本書在授課之講稿中推導時，我的學生提出了

問題及需要澄清之處，亦有幫助。我亦感激 Vivian Rosenberg 小姐為最後的書稿打字。

本書的構想、理想、影響及資料係由很多的來源所獲得，但對書中之材料內容本人應付全責。本人甚望，本書對工程教育能成為有用的一部份。

M. David Burghardt

工程熱力學及其應用

目 錄

序 言

第1章 概 論

1.1 基本蒸氣動力廠.....	1
1.2 燃燒引擎.....	2
1.3 直接能量轉換.....	3
1.4 地熱動力廠.....	6
1.5 太陽能.....	6
1.6 熱力學的創始者.....	7

第2章 定義與單位

2.1 巨觀 (Macroscopic) 與微觀 (Microscopic) 之分析	9
2.2 物質 (Substance)	10
2.3 系統 (System) — 固定 System 物質與固定空間	11
2.4 性質 (Properties) — 內涵與外延.....	12
2.5 物質之相 (Phases of a Substance)	14
2.6 過程與循環.....	14
2.7 力 (Force) 與質量 (Mass) 之單位.....	15
2.8 比容積 (Specific Volume)	21

2 工程熱力學及其應用

2.9	壓力 (Pressure)	22
2.10	溫度相等.....	27
2.11	熱力學第零定律.....	28
2.12	溫度制度.....	28

第3章 質量與能量不滅

3.1	質量不滅.....	33
3.2	能量形式.....	37
3.3	第一定律之第一系定律.....	50
3.4	能量為一性質.....	54
3.5	第一定律之第二系定律.....	55
3.6	系統邊界.....	63

第4章 理想氣體與比熱

4.1	理想氣體狀態方程式.....	67
4.2	實際氣體狀態方程式.....	70
4.3	波義爾定律.....	73
4.4	查理定律.....	74
4.5	比熱.....	76
4.6	氣體表.....	82

第5章 理想氣體之過程

5.1	平衡與非平衡過程.....	87
5.2	封閉系統.....	88

5. 3	開放系統	99
5. 4	多變過程 (Polytropic Process)	102

第 6 章 純質之性質

6. 1	純質	115
6. 2	液體—汽體平衡	116
6. 3	飽和性質 (Saturated Properties)	117
6. 4	臨界性質 (Critical Properties)	117
6. 5	固體—液體—汽體平衡	119
6. 7	三度空間曲面	121
6. 8	熱力性質之表	121

第 7 章 熱力學第二定律與卡諾循環

7. 1	熱力學第二定律 (The Second law of Thermodynamics)	133
7. 2	能階 (Energy Level)	134
7. 3	一循環之第二定律	135
7. 4	卡諾循環 (Carnot Cycle)	136
7. 5	卡諾引擎 (Carnot Engine)	137
7. 6	平均有效壓力 (Mean effective Pressure)	141
7. 7	可逆卡諾引擎	144
7. 8	第二定律之第一系定律	146
7. 9	第二定律之第二系定律	147
7. 10	熱力學溫度之制度	147

第八章 熵

8·1	克勞秀不等式 (Clausius Inequality)	153
8·2	熵之推導	156
8·3	熱力學第三定律 (Third Law of Thermodynamics)	158
8·4	平衡狀態	159
8·5	一封閉系統熵之改變	160
8·6	理想氣體熵之計算	161
8·7	相對壓力與相對比容積	164
8·8	純物質之熵	166
8·9	用 $T-S$ 座標之卡諾循環	168
8·10	熱與功如面積	170
8·11	開放系統之第二定律	170
8·12	進一步之考慮	173

第9章 可用能與可用能率

9·1	一系統具熱傳遞之可用能	177
9·2	開放系統，穩定流動，絕熱	184
9·3	引擎內效率 (Engine Internal Efficiencies) ...	186
9·4	更進一步討論可用能—可用能率	187

第10章 熱力學關係

10·1	微分與偏微分導式之解釋	194
10·2	一重要之關係式	197

10· 3	應用數學方法於熱力學關係	199
10· 4	馬克斯威爾關係式	200
10· 5	比熱，焓，與內能	201
10· 6	克利卜洋方程式	206
10· 7	重要物理係數	208
10· 8	實際氣體行為	213

第11章 汽體動力循環

11· 1	卡諾第汽體循環 (Carnot Vapor Cycle)	221
11· 2	朗肯循環 (Rankine Cycle)	222
11· 3	朗肯循環之組件	223
11· 4	效率	230
11· 5	回熱式循環 (Regenerative Cycle)	232
11· 6	再熱循環 (Reheat Cycles)	242
11· 7	再熱一回熱循環	244
11· 8	超臨界與複合蒸汽循環	247
11· 9	蒸汽透平機再熱因子與狀況曲線	251

第12章 冷凍系統

12· 1	反向卡諾循環	261
12· 2	冷媒之考慮	262
12· 3	汽體一壓縮循環	263
12· 4	多級汽體一壓縮系統	270
12· 5	吸收式冷凍系統	275
12· 6	抽熱泵浦	285

6 工程熱力學及其應用

12. 7 低溫與液化	286
-------------	-----

第13章 混合物：氣體—氣體與氣體—液體

13. 1 理想氣體混合物	293
13. 2 氣體—汽體混合物	299
13. 3 濕度計 (Psychrometer)	306
13. 4 濕度圖 (Psychrometric Chart)	307
13. 5 空氣調節過程 (Air-conditioning Process)	309
13. 6 冷卻水塔 (Cooling Towers)	314

第14章 反應系統

14. 1 碳氫燃料	321
14. 2 燃燒過程	322
14. 3 理論空氣	324
14. 4 空氣—燃料比率	325
14. 5 燃燒生成物	328
14. 6 結合焓 (Enthalpy of Formation)	332
14. 7 第一定律分析穩定狀態反應系統	334
14. 8 絕熱火焰溫度 (Adiabatic Flame Temperature)	339
14. 9 燃燒焓：熱值	340
14. 10 第二定律分析	343
14. 11 化學平衡與分解	349

第15章 空氣壓縮機

15· 1	無餘隙之空氣壓縮機	361
15· 2	有餘隙之往復式空氣壓縮機	363
15· 3	容積效率 (Volumetric Efficiency)	367
15· 4	多級壓縮機	371
15· 5	壓縮機性能因數	374
15· 6	轉動式壓縮機	375

第16章 內 燃 機

16· 1	空氣標準循環	384
16· 2	開放循環分析	399
16· 3	實際笛賽爾與鄂圖循環	403
16· 4	循環比較	406
16· 5	引擎性能分析	406
16· 6	溫可爾引擎	408
16· 7	引擎效率	408
16· 8	功率測量	411

第17章 氣 輪 機

17· 1	氣輪機循環之基本理論	419
17· 2	循環分析	420
17· 3	效率	423
17· 4	開放循環分析	427
17· 5	燃燒效率	430

8 工程熱力學及其應用

17· 6	回熱	431
17· 7	再熱、中間冷卻	437
17· 8	複合循環	442
17· 9	飛機氣旋機	445

第18章 流體流動與噴嘴

18· 1	質量不變	458
18· 2	作用於控制體積之力	458
18· 3	聲速	460
18· 4	停滯點性質	462
18· 5	馬赫數 (Mach Number)	463
18· 6	第一定律分析	465
18· 7	噴嘴	466
18· 8	過熱飽和	473
18· 9	震波	477
18· 10	擴張器 (Diffuser)	478
18· 11	流動測量	481

第19章 熱傳遞與熱交換器

19· 1	熱傳遞模式	485
19· 2	熱傳遞定律	486
19· 3	熱傳遞之複合模式	490
19· 4	複合牆之熱傳導	491
19· 5	圓筒座標之熱傳導	492
19· 6	臨界絕熱厚度	496

19. 7 熱交換器 (Heat Exchanger)	497
-------------------------------------	-----

附錄一：符 號 表

附錄二：附 表

附錄三：部份習題解答

附錄四：索 引

參考文獻

第 1 章

概 論

熱力學的研究涵蓋甚多工程領域，由動力廠的分析至燃料電池的分析，本章所要研討的，是指出一些可用熱力學分析的情況類型及系統。熱力學之能力在一個人使用一些原理——正確的說是事則原理，來分析廣範的系統。去瞭解一些偉大的人們及他們如何發現與推進熱力學科學，對學生而言亦是有益的。

1.1 基本蒸汽動力廠

第一個要看的系統是蒸汽動力廠，一種現代生活之能量裝置，電力的產生與運輸系統，例如，船等都須要用到蒸汽動力裝置。（許多其他類型之動力系統亦被使用，這些動力系統也可用熱力學來探討），圖(1.1)說明一簡單蒸汽動力廠，就像在很多家庭地下室所用之燃油汽鍋，燃油而產生熱量，此熱使在蒸汽發生器中之水，在壓力下變成蒸汽，蒸汽離開蒸汽發生器及經過過熱管，此過熱管中吸收更多之熱，它再經過透平機，它增加體積，減小壓力，而輸出功，此功帶動發電機或一條船，蒸汽復冷凝成液體，再用幫浦打回至蒸汽發生器。

2 工程熱力學及其應用

此系統看似足夠簡單，對工程師不應有很大的挑戰性，但實際上並不那麼簡單，要附加一些裝置於動力廠，我們將在後面作更詳細的討論，譬如；水加熱器，使水在進入蒸汽發生器之前預熱；同時，從透平機中抽出一部份蒸汽，再熱，而回到透平機內；空氣在尚未抵達燃油燃燒器之前，將它再熱，它能增進燃燒過程，這些均為工程師用熱力學分析去分析一個蒸汽動力廠時所必須包含在分析中的。

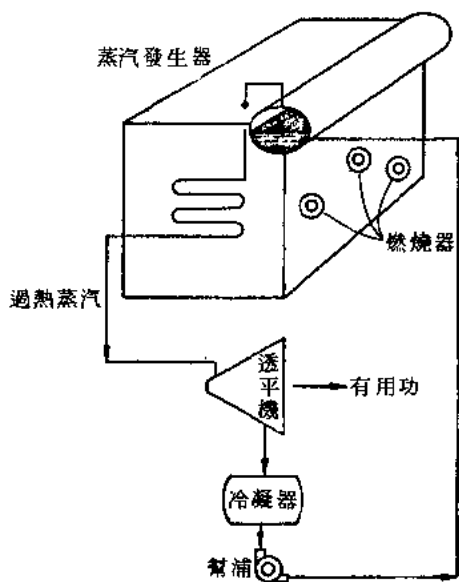


圖 1.1 簡單蒸汽動力廠

1.2 燃燒引擎

另一個標準動力廠，幾乎是我們每日均使用的汽油機——汽車引擎圖(1.2)，曾經改革過的，如溫可爾引擎(Wankel Engine)，但是它亦遵循相同之原理，引擎可視為一簡單的動力廠；燃料燒掉，從燃燒的燃料中放出的能量傳至活塞，經過齒輪，帶動輪子，因此推