

THERMAL ENGINEERING

SOLBERG

CROMER

SPALDING

熱力工程學

下 冊

龔 肇 鑄 譯



東華書局印行

熱力工程學

下 冊

HARRY L. SOLBERG

ORVILLE C. CROMER 原著

ALBERT R. SPALDING

龔肇鑄 譯

東華書局 印行

027454



版權所有・翻印必究

中華民國六十四年九月初版

中華民國六十七年三月三版

大專
用書

熱力工程學 (全二冊)

下冊 定價新台幣七十元整

(外埠酌加運費滙費)

譯 著 者 龔 肇 鑄

發 行 人 卓 鑫 森

出 版 者 臺灣東華書局股份有限公司
臺北市博愛路一〇五號

印 刷 者 合 興 印 刷 廠
大 理 街130巷 2 弄 1 號

行政院新聞局登記證 局版業字第零柒貳伍號
(64002)

序 言

本書，熱力工程 (Thermal Engineering)，為作者前此所著熱力概論 (Elementary of Heat Power) 之延續。該書之第一版發行於 1946 年。

晚近，工程教育之方針有一種革命性的改變，即各科教材甚為重視工程科學 (Engineering Science) 而忽略了工程技術。當然，這種改變吾人相信它的方針是正確的，但在某種情況下，似乎是過度的離譜。一般認為工程師的特質，在於他具有設計的能力。假若一個學習工程之學生對於熱交換器、原動機、泵浦、壓縮機等單元機器所知者僅為流程圖 (flow diagram) 中之方框或圓圈，外觀似甚神秘而不知其詳，則吾人不敢相信該生能對機械工程系統之設計有何優良的成績。吾人相信，一個成功的學生，必須對於上述各機械單元之構造原理，操作，性能等有徹底的瞭解。同時由時間因素觀之，研讀此項知識，在學期間以愈早愈好。本書之寫作，特別考慮下列各點：

1. 作為熱力學，流體力學，及熱傳遞學等之優良而正確的先修教材。
2. 令學生先對於這些熱力工程範圍內之主要構件或單元的

2 熱力工程學(下)

構造，操作或運用原理，以及性能等有充份的瞭解，以節省在修習有關下游課程之時間。

3. 對於熱力系統中主要構件之能量及物質平衡等問題，特別加以重視。

4. 各主要構件或單元之使用方法，亦分別加以說明。

5. 令修習學生於解答熱力工程上的問題時，能瞭解並熟習物質之熱力性質，及善於利用所謂完全氣體 (perfect-gas) 之關係及熱力性質之圖表。

6. 對於化石性 (fossil) (即石油、煤等) 燃料及核子釋放能量之工作原理，皆分別加以說明。

7. 令學生瞭解熱傳遞之基本原理，以及這些原理能影響各種熱交換器設計效率之問題。

8. 本書包括熱力學第一定律中有關產生動力及冷凍工程等之適當資料。

9. 一般熱力學教科書中對於動力及冷凍工程缺乏相當資料者，本書可作為補充教材。

簡 字

制動馬力 (brake horsepower)	bhp
制動馬力小時 (brake horsepower-hour)	bhp-hr
制動平均有效壓力 (brake mean effective pressure)	b MEP
制動燃料消耗比值 (brake specific fuel consumption) ...	bsfc
英制熱量單位 (British thermal unit)	Btu
立方呎/分鐘 (cubic feet per minute)	cfm
立方呎 (cubic foot)	cu ft
攝氏溫度 (degrees centigrade)	C [°]
華氏溫度 (degrees Fahrenheit)	F [°]
凱氏溫度 (degrees Kelvin)	K
郎氏溫度 (degrees Rankine)	R
電動力 (electromotive force)	emf
呎/分鐘 (feet per minute)	fpm
呎/秒 (feet per second)	fps
呎 (foot)	ft
呎—磅 (foot-pound)	ft-lb
加侖 (gallon)	gal
加侖/分鐘 (gallon per minute)	gpm
馬力 (horsepower)	hp
馬力小時 (horsepower hour)	hp-hr
小時 (hour)	hr

2 熱力工程學 (下)

吋 (inch)	in.
指示馬力 (indicated horsepower)	ihp
指示馬力小時 (indicated horsepower-hour)	ihp-hr
瓩 (kilowatt)	kw
瓩小時 (kilowatt-hour)	kw-hr
平均有效壓力 (mean effective pressure)	mep
分鐘 (minute)	min
外徑 (outside diameter)	OD
磅 (pound)	lb
力磅 (pounds of force)	lb _f
質量磅 (pounds of mass)	lb _m
磅/平方呎 (pounds per square foot)	psf
磅/平方呎, 絕對壓力 (pounds per square foot absolute)	psfa
磅/平方吋 (pounds per square inch)	psi
磅/平方吋, 絕對壓力 (pounds per square inch absolute)	psia
磅/平方吋, 表壓力 (pounds per square inch gage)	psig
轉/分鐘 (revolution per minute)	rpm
秒 (second)	sec
平方呎 (square foot)	sq ft
平方吋 (square inch)	sq in.

符 號

面積 (area)	A
加速度 (acceleration)	a
比熱 (specific heat)	c
定壓比熱 (specific heat at constant pressure)	c_p
定容比熱 (specific heat at constant volume)	c_v
常數 (constant)	C
直徑 (diameter)	d
通風 (draft)	D
活塞排氣量 (piston displacement)	D_p
力 (force)	F
局部地心加速 (local acceleration of gravity)	g
因次常數 (dimensional constant)	g_c
揚程, 落差 (head)	h
焓, 每單位質量 (enthalpy, per unit mass) $h=u+pv/J$...	h
壓縮液體焓 (enthalpy of compressed liquid)	h_c
飽和液體焓 (enthalpy of saturated liquid)	h_f
蒸發焓 (enthalpy of evaporation)	$h_{f,1}$
乾飽和蒸汽焓 (enthalpy of dry saturated vapor)	h_g
濕蒸汽焓 (enthalpy of wet vapor)	h_x
過熱蒸汽焓 (enthalpy of superheated vapor)	h_s
烟囱高 (height of chimney)	H

2 熱力工程學 (下)

熱之機械當量 (mechanical equivalent of heat).....	J
比熱之比 (specific heat ratio) ; $k = c_p / c_v$	k
長度 (length)	L
質量 (mass)	m
分子量 (molecular weight)	M
多變膨脹指數 (exponent of polytropic expansion)	n
每分鐘轉數 (number of revolutions per minute)	n
每分鐘動力衝動數 (number of power impulse per minute).....	N
壓力, 絕對的或表上指示 (pressure, absolute or gage).....	p
制動平均有效壓力 (brake mean effective pressure)	P_b
指示平均有效壓力 (indicated mean effective pressure).....	P_i
熱傳遞率 (rate of heat transfer).....	q
熱量 (quantity of heat).....	Q
高熱值 (higher heating value).....	Q_H
低熱值 (lower heating value)	Q_L
廢料 (燃料) 熱值 (heating value of refuse)	Q_r
壓縮比 (compression ratio)	τ
半徑 (radius)	r
公式中之氣體常數 (gas constant in equation) $pv = RT$	R
單位質量之熵 (entropy per unit mass).....	s
攝氏或華氏溫度 (temperature in degrees Fahrenheit or Centigrade)	t
扭力矩 (torque)	t
郎氏或凱氏絕對溫度 (absolute temperature in degrees Rankine or Kelvin).....	T
每單位質量之內能 (internal energy per unit mass)	u
熱傳遞之總係數 (overall coefficient of heat transfer).....	U
比容, 每單位質量之容積 (specific volume ; volume per unit mass).....	v
全容積 (total volume)	V
速度 (velocity)	V

重量，地心引力作用於質量之力 (weight ; gravitational force acting on a mass)	w
工作 (work)	W
蒸汽乾度 (quality of vapor)	x
距某基準高度之距離 (distance measured from a datum level)	z
壓縮性因數 (compressibility factor)	Z
比重；每單位容積之重量 (specific weight ; weight per unit volume)	γ
密度；每單位容積之質量 (density ; mass per unit volume) ...	ρ
效率 (efficiency)	η
時間 (time)	τ
溫度差 (temperature difference)	θ
角速度 (angular velocity)	ω
吸收率或吸收性 (absorptivity)	α
反射率或反射性 (reflectivity)	ρ
傳遞率或傳遞性 (transmissivity)	τ

目 錄

序 言	1
簡 字	1
符 號	1

第七章 熱傳遞

7.1 概 說	1
7.2 熱傳遞之方式	1
7.3 通過均質壁之傳遞	2
7.4 通過組合壁之熱傳遞量	5
7.5 通過圓筒形壁之熱傳遞	8
7.6 層流或平行流與擾動流	9
7.7 藉對流以傳遞熱量	11
7.8 沸騰及凝結之熱傳遞	14
7.9 積塵及水垢之影響	15
7.10 通過均質壁由對流及傳導之熱傳遞	16
7.11 溫度差	23
7.12 輻射之熱傳遞	25
7.13 兩個大而平行之黑體平面上其相同面積中藉輻射而完成	

2 熱力工程學(下)

之熱傳遞量	27
7.14 兩面間輻射熱傳遞受所在幾何位置之影響	29
7.15 放射率對流輻射能(熱)之影響	30
7.16 輻射及對之熱傳遞	32
習 題	36

第八章 蒸氣之產生

8.1 概 說	37
8.2 水平迴路式管子鍋爐	38
8.3 整體式內燃火管鍋爐	40
8.4 水管鍋爐	42
8.5 雙汽鼓水管鍋爐	48
8.6 過熱器	49
8.7 節熱器及空氣加熱器	51
8.8 蒸汽產生單位	58
8.9 過熱控制	61
8.10 高效率、高容量的蒸汽產生裝置	63
8.11 核子反應器及蒸汽產生單位	71
8.12 蒸汽產生單位之容量及效率	74
習 題	83

第九章 熱交換器

9.1 概 說	86
9.2 直接接觸式給水加熱器	87
9.3 閉合式給水加熱器	90
9.4 凝結器	94
9.5 面層式凝結器之計算	100
習 題	105

第十章 渦輪機

10.1	概 說	106
10.2	渦輪機之基本型式	108
10.3	焓及莫禮耳圖	111
10.4	渦輪噴嘴	113
10.5	向 量	126
10.6	葉葉工作	127
10.7	簡單衝動式渦輪機	134
10.8	壓力分級	139
10.9	速度分級	140
10.10	反動式渦輪機	142
10.11	蒸汽渦輪機之型別	149
10.12	燃氣渦輪之應用	155
	習 題	158

第十一章 泵浦

11.1	概 說	160
11.2	壓力測量儀器	161
11.3	流體流動量的計算	170
11.4	泵浦試驗	177
11.5	泵浦之型式	182
11.6	往復式泵浦	182
11.7	離心泵浦	186
11.8	其他型式泵浦	194
11.9	泵浦性能	197
	習 題	201

第十二章 通風、風扇、吹風機、及空氣壓縮機

12.1	概 說	203
12.2	自然通風	203
12.3	機械通風	208
12.4	風 扇	210
12.5	風扇試驗	215
12.6	風扇性能	219
12.7	鼓風機	223
12.8	離心式空氣壓縮機	228
12.9	往復式空氣壓縮機	230
12.10	壓縮機能量平衡之應用	235
	習 題	238

第十三章 動力廠循環系統

13.1	概 說	240
13.2	郎肯循環	243
13.3	複式循環	249
13.4	簡單張開式燃氣渦輪動力循環	251
13.5	附有回熱器之燃氣渦輪動力廠	259
	習 題	260

第十四章 機械式冷凍

14.1	概 說	262
14.2	液體蒸發之冷凍作用	263
14.3	冷凍之壓縮系統	265
14.4	阿姆尼亞之性質	266
14.5	膨脹閥	268

14.6	蒸發器	270
14.7	壓縮機	271
14.8	凝結器	274
14.9	壓縮式冷凍循環之能量平衡	275
14.10	性能系數	276
14.11	冷凍或冷氣設備	277
14.12	熱力泵浦	280
附	錄	285

熱傳遞

Heat Transfer

7.1 概說 Introduction

鍋爐，過熱器，省煤器，凝結器，蒸發器，冷却器，及加熱器等，皆為通過金屬面使熱量由一種流體傳熱至另一種流體，而不使二種流體混合之一種設備。由於此類設備之操作溫度大都與室溫有相當的差別，故設備的本身及連接的管路，皆用絕熱材料包圍之，以防熱能傳入大氣或自大氣中傳入。至於熱傳遞面積之設計，以及絕熱材料之選用，皆須根據熱傳遞的定律及經濟條件而定。

有關熱傳遞科學的學識，固然需要徹底研究各種有關書籍，最新資料，甚至必要的實際經驗，方能達到理論及實際經驗的完美階段。但本書係根據最基本的理論，應用於某種限度範圍以內之實例，作簡單明瞭之說明，相信可供給學生瞭解熱傳遞的基本觀念，重要的因素，並獲得設計之要義。

7.2 熱傳遞之方式 Modes of Heat Transfer

熱是可以依據溫度之不同，通過系統邊界而傳遞之能量。傳遞方式有傳導 (Conduction)，對流 (Convection) 及輻射 (radiation) 三種。有時單獨存在，但某種情形下也可有兩種或三種方式同時存在。

2 熱力工程學(下)

傳遞發生於實體的物質中，一部份是由於分子衝擊的結果，但主要是由於溫度之差而導致的電子流動。金屬為良好的導電體，但亦為良好的導熱體。非良好的導熱體（即絕熱體）者，大都為比重小，多孔，內含大量空氣，這樣即縮減了其截面積，減少了電子流動的機會。靜止之液體及氣體，除了分子有某種機會上的移動外，並無有組織而規則的流動，但其電子亦可流動，故亦有熱之傳導。由於這種熱傳導僅是藉分子機會上的移動而來，故較之固體的熱傳導性為低。

流體的對流，可能是由於比重的差別，也可能是由於泵浦或風扇之推動，使流體通過冷熱交界之面，變更其能量。能量變更之後，當然也可繼續流至他區，繼續作能量的變更。由於熱之對流包括流體的流動，故此問題與流體力學（fluid dynamics）有密切的關係。

輻射是在空間通過電磁波的能量傳遞，此電磁波頗似光波，不過其波長不同而已。由於電磁波不但具備光之速度，亦且有直線進行，吸收，反射等光波之性質，故光學定律亦為研究熱能輻射之重要定律。

一般而言，所謂熱交換器者，係指熱能自一種流體通過金屬之壁（板，片等）流至另一流體的一種設備，傳遞方式是依據傳導定律。流體與金屬之間是對流作用，高溫度者尚包括輻射作用。

熱之傳遞可能在穩定情形下進行，即溫度及流體流動情形為穩定不變者，但亦可能在不穩定情形下進行。本身討論範圍祇限於前者。

7.3 通過均質壁之傳導

Conduction through a Plane Homogeneous Wall

第7-1圖示一厚度不變，均質，面積頗大之壁，熱量能垂直於壁面而傳遞。熱傳遞之基本公式如下：

$$q = -kA \frac{dt}{dx} \quad (7-1)$$

式中之 q = 熱量之傳遞 Btu / 小時

A = 傳熱之面積，呎²

dt = 溫度之差 °F

dx = 熱流動方向一極薄之厚度，呎