

ENGINEERING THERMODYNAMICS

工程熱力學

(合訂本)

James B. Jones, P. E. 原著
George A. Hawkins, P. E.

張以忠教授譯

五洲出版社印行

ENGINEERING THERMODYNAMICS

工程熱力學

(合訂本)

James B. Jones, P. E.
George A. Hawkins, P. E. 原著

張以忠教授譯

五洲出版社印行

出版登記證局版台業字第〇九三九號
中華民國七十一年九月出版

工程熱力學

(合訂本)

版權所有
翻印必究

編譯者 張
發行人 丁
發行所 五
總經理 五

以 廼 出 出 版 版
忠 庶 社 社

海外總經理

地址：台北市重慶南路一段八十六號
郵政劃撥儲金帳戶：二五三八號
電話：三三一九六三〇號
世界圖書公司
地址：香港干諾道西一二一號二樓

科技名詞辭典

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 專科分類名詞辭典.....左秀靈編580元 | 政治經濟名詞辭典.....蔡淑娟編250元 |
| 英漢綜合科學技術辭典...左秀靈編450元 | 國際貿易名詞辭典.....趙 瑾編140元 |
| 科技英文縮寫詞典.....李樹聲著500元 | 會計名詞辭典.....盧黛茵編90元 |
| 金屬材料及熱處理辭典...吳秀真編240元 | 心理學名詞辭典.....王明良編340元 |
| 圖解機械工程名詞.....夏里文著300元 | 攝影名詞辭典.....林啓昌編印刷中 |
| 機械工程名詞辭典.....李啓鵬編340元 | 會計統計名詞辭典.....盧黛茵編240元 |
| 新編機械名詞辭典.....李啓鵬編250元 | 法律名詞辭典.....李啓鵬譯150元 |
| 機械名詞辭典.....楊金輝編110元 | 新編數學名詞辭典.....陳淪青編150元 |
| 電腦名詞辭典.....黎佐治編150元 | 社會科學名詞辭典.....李拜揚譯150元 |
| 電子計算機名詞辭典.....李啓鵬編190元 | 農漁牧名詞辭典.....王明良編翻譯中 |
| 電學名詞辭典.....顧 東譯150元 | 博物名詞辭典.....周復聰編200元 |
| 電子名詞辭典.....李啓鵬譯160元 | 動植物名詞辭典.....陳 碩編150元 |
| 空間電子學名詞辭典.....蔡淑娟編460元 | 生物名詞辭典.....任化民譯110元 |
| 電視電信名詞辭典.....鍾乃蔓編300元 | 英漢生物學名詞彙編...張樹庭編400元 |
| 建築名詞辭典.....古 力編150元 | 理化名詞辭典.....王鴻泰編160元 |
| 營造名詞辭典.....任化民譯150元 | 物理學名詞辭典.....李嬌娟編240元 |
| 地質學名詞辭典.....趙敏修編350元 | 物理名詞辭典.....吳新建編150元 |
| 土壤學名詞辭典.....許勝貞編300元 | 高能物理學名詞辭典...左靈秀編350元 |
| 航空名詞辭典.....李滌民編300元 | 新編物理學詞彙.....黃曙平著150元 |
| 氣象學名詞辭典.....吳秀真編300元 | 新編化學名詞辭典.....黃曙平編150元 |
| 汽車工業名詞辭典.....王宇綬編150元 | 化學名詞辭典.....顧世弘編150元 |
| 海洋科學名詞辭典.....左秀靈編450元 | 大學化學名詞註釋.....黃曙平編150元 |
| 水產科學名詞辭典.....吳秀真編380元 | 紡織名詞辭典.....呂民基編140元 |
| 海事名詞辭典.....任道遠譯150元 | 紡織染整名詞辭典.....趙 瑾編150元 |
| 船舶工程名詞辭典.....潘正英譯150元 | 橡膠工業名詞辭典.....徐鳳珠編380元 |
| 航海應用名詞圖說.....周維德譯180元 | 中醫名詞辭典.....陳西河編140元 |
| 鍋爐名詞辭典.....蔡素香編220元 | 醫學名詞辭典.....何尙武譯140元 |
| 地球科學名詞辭典.....王 瑩編240元 | 口腔牙醫名詞辭典.....鍾宛編著160元 |
| 工業名詞辭典.....李啓鵬編120元 | 藥學名詞辭典.....呂民基編100元 |
| 石油工業名詞辭典.....魏榮萬編380元 | 音樂名詞辭典.....施新民編250元 |

原書序

本書專用於工程科系學生之熱力學課程，其目的在幫助學生發展①第一定律，第二定律，及某些物理性質關係之瞭解及②對工程系統此種原理之應用之能力，本書直接為學生而寫，並利用第二人稱之關係，在此種形式中我們希望教員對其學生們無解釋本書之必要，如講課時間中心於需要當面交換思考之教學活動而不能由一本教科書完成者須更有效地利用其才能。

此種最好說明本書所未顧到者，除為了需要表明基本原理之應用之某種程度之敘述外，不敘述設計實作或裝備，不提供實際系統之性能資料或引伸之物理性質數據，不給予對裝備之物理裝置之詳細說明。此類事物雖在工程實作上至為重要，但最好留給以後學生們應涉獵之專門著作，而非必需在熱力學之啟蒙課程中予以研讀。

我們不要求提及所有熱力學之工程應用。若一位工程學生完成熱力學之課程而不熟稔第一定律，第二定律，以及一些彼等之系，此為值得考慮的；但我們無理由不驚奇如其從未聽過一具供水加熱器或一具中間冷卻器或一種熱電偶之熱力學之分析。可能被運用其他實例已獲致基本學識之領悟。而且，我們相信並非每件有關現代工程熱力學之事物需要在初始課程中提到。諸如“即使未提到蒸汽渦輪（或 Onsager 關係或 Maxwell 方程式）”之說明在一啟蒙課程或教科書中觀察較評論應更為關切。

本書之一般計劃由我們之確信當熱力學課程之早期部份循序而進之學生需要詳細之解釋及說明所影響。已充份研究熱力學者能極扼要地說明基本原理並從彼等推論許多遠程之結論。對課題之徹底認識提供顯露基本原理之簡易以及重要之遠景，但已達此種認識者經常並不知道重覆基本原理之解釋及說明對初學者之需要。有經驗的教員們知道當在循序而進的課程中時他們發現多數學生們對這種扼要地基本原理尚為無知，因此，本書先前各章之闡釋經常精密，而我們對所發現可能成為學生們障礙之各點作特殊之強調。在先前各章中有許多完全解答之例題，當學生們在課題中已屆成熟，需較少闡釋，而可在彼等之推理力上作更多信賴；因此解釋之程度及解答例題之數量在以後各章中適量減少。

所選取材料之次序從教學法之考慮較論理之經濟之理由為多。(此點在10.8節中已要求學生們注意)因此,在緒言章及對第一定律之第二章之後,有三章對物理性質之說明。隨附此等章次之習題涉及第一定律及從緒言章所得之材料,以及物理性質關係之引伸應用,因而學生們在從事第二定律之新材料前可於應用第一定律於各種系統中獲致適當之練習。

各別之各章專注於第二定律說明,可逆性,加諾原理及循環,及熵。此種編排在於着重循序而進。可逆性僅具有按照第二定律之意義;加諾原理及循環僅如可逆性已瞭解方可予建立;而熵之定義涉及可逆過程與熱力學溫度,在加諾原理介述後最易解釋,然後第十章處理物理性質關係,其依從聯合之第一及第二定律,而第十一章介紹可用性及不可逆性。在初級課程中由可用性及不可逆性結論所提出之問題雖然為簡單以及高度有用之結論但有時仍涉及此等結論之一般起源。某些教員可能希望使用該項結論而不致力於尋求此等起源之時間。

第十五章至十九章之目的在說明涵蓋早先各章各種系統基本原理之應用。欲保持對基本原理之加強,已略去特別之技術問題。例如,在十五章中若干問題可以在各處列表之包括凱南及凱伊氣體表(Keenan and Kaye Gas Tables)利用一維流動參數極迅速地解答;但此等特殊之技術不予介紹。我們以為彼等不在開始之熱力學課程場合中介紹。當然並不阻止教員們在教室中予以介紹。事實上,在課本上介紹此種特別材料作為基本方法之補充資料較學生們之教科書如常利用更專門之方法而使學生們確信信賴基本方法更容易。

如已提及者,以後各章中解釋之文字予以減少,我們的意圖為僅以充份之詳盡文字來敘述若干工程系統而彼等成為習題之標題以給予學生應用基本原理之實作機會,不企圖作實際系統之詳細敘述或提供典型之性能圖。此為學生們應具有或準備擁有之手冊之功能。應鼓勵工程學生們定期利用圖書館,如照此去做,不需在熱力學課本中作裝備之敘述。否則,或應指定補充教材或手冊以輔助本書。少數習題需要不包括於本書但可在其他手冊中找到之性質資料。

本書之末為一對熱輸送元件之短章次。雖熱輸送非屬熱力學之主題,但所有工程學生們應有一些熱輸送基本常識之瞭解,在多數學校中提供熱

輸送之研究生課程，在此種情況中此書之最後章次將不在教室中講授。然而，在正常課程中並不開授，雖然對熱輸送一章極為簡要可證實其價值。

包括變更疑難之超過七百則習題，而近似三分之一之答案列於附錄，許多習題為極“累積的”；亦即，彼等之解法涉及以前幾章之材料，有少數提供之習題可由求出一方程式，填入數字，想出答案而解出；然而，包括多數簡單問題因此為說明若干特點教師們可寧願利用其中之一即時製成習題使學生們在練習簿上完成解法，而不要作習題之說明，有些習題牽涉必須從其他來源獲得之物理資料，而多則習題涉及由 Keenan 及 Kaye 所編之蒸汽之熱力學性質及 Keenan 及 Kaye 合編之氣體表。

大多章次所列之參考資料均為學生們對各種論題所能找到更多之資料或不同之方法者，所列者儘量不予遺漏而加選定。我們僅列出多半可用於任何工程學院圖書館中之書籍及論著。

我們感謝普渡大學 (Purdue University)，機械工程研究所前主任及工學院副院長，H. L. Solberg 教授，建議編著本書，由於他之積極鼓勵與匡助，使本著作頻於完成，我們亦應對 C. L. Brown, R. A. Olsen, J. K. Stene, 及 O. W. Witzell 等教授及 R. A. Comparin 先生表示由衷的謝意，校正部份原稿，並作有價值之建議，Brown 教授亦調製用於第十三章中之大部份表列資料，我們感謝 Jane Hardcastle Jones 女士，作者之一之夫人，慷慨地化費她的時間來整理附圖並完成若干計算。

J. B. J.

G. A. H.

普渡大學

譯者序

我國各大專學校對熱力學一科多以採用原文著作爲主，致初學者多感艱澀難懂，際此科學昌明時代，我國亦已步入工業社會，工程人員之地位，日漸重要，而有關科學及工程方面之書籍，亦感供不應求，但我國從事外國原文著作之譯述工作，尙未能迎頭趕上，各大專學校每感教科用書之缺乏，而影響教學之進展，譯者有鑒於此，並以數年來之教學經驗，利用教學餘暇，編譯本書，盼能對我國工業教育聊盡棉薄。

本書爲美國普渡大學 (Purdue University) 機械工程系教授瓊斯 (James B. Jones, P.E.) 及工學院院長兼熱力學教授郝金斯 (George A. Hawkins, P.E.) 合編，尤以郝金斯教授所著之熱力學教本，在我國各大專工程科系，已用之有年，本書更顯其菁華且增加新穎資料，更適合一般工程科系教學之需要，全書譯文，儘量接近原文字義，以流暢通順爲原則，但在艱澀之處，則以淺近之中文句法表達，而不失原意爲主，所有名詞術語之翻譯，以教育部頒訂之機械工程名詞爲準，其原文字義變更，或新用名詞未及列入者，均按其意義，予以擬訂，務求文意相符，簡明劃一爲原則，書內註解，亦經一一譯述列於各章之後，俾供教學之參考。惟本書資料豐富，我國學制與美國國情並不完全一致，教學者可酌情取捨，以求適用。

本書譯校，以時間短促，疏漏之處難免，且譯者才疏學淺，舛誤之處尙多，尙祈學界先進及讀者諸君不吝指正，俾供修訂時之南針，至深感荷。

張以忠 謹識

符號及註字

A	面積；荷姆赫茲函數， $U - TS$
a	線加速度；比荷姆赫茲函數， $u - Ts$ ；壓力波之速度
b	達流士函數 (Darrieus function)， $h - T_0 s$
C	常數，成分數（相之規則）
C_p	定壓分子比熱
C_v	定容分子比熱
c	定溫係數， $(\partial h / \partial p)_T$ ；音速
c_p	定壓比熱， $(\partial h / \partial T)_p$
c_v	定容比熱， $(\partial u / \partial T)_v$
E	儲能
e	比儲能， E/m
F	力，獨立密集性質之最大數（相之規則）
F_A	輻射熱輸送之形狀因數
F_e	輻射熱輸送之放射因數
f	分子之自由度數
G	吉勃氏函數 (Gibbs function)
g	重力加速度或自由落體加速度；比吉勃氏函數， $h - Ts$
g_c	因次常數
H	焓， $U + pV$
ΔH_f	合成焓變化
ΔH_R	反應焓變化
h	比焓， $u + pv$ ；流體柱之高；對流熱輸送係數
I	不可逆率
i	比不可逆率， I/m
J	轉換因子，778 ft-lb/B（熱功當量）
K	比熱比， c_p / c_v ；熱傳導率
K_p	平衡常數
KE	動能

L	長度
M	質量流率；分子量
m	質量
m'	分子之質量（第四章）；進入渦輪每磅蒸汽中被抽出之蒸汽質量數
N	磅分子量數
N_M	馬赫數 (Mach number) , V/c
n	多變指數
P	功率；相數（在相律中）
p	壓力
p_r	相對壓力
PE	位能
Q	熱
$\dot{Q}$	熱輸送之時間率
q	每單位質量之熱輸送
R	氣體常數
R_u	通用氣體常數
r	半徑，壓縮比
r_c	停止比
S	嫡
s	比嫡
T	絕對溫度
t	溫度
U	內能；總熱輸送係數
ΔU_R	反應之內能（變化）
u	比內能；速度；轉子上一點之速度
V	容積；速度
v	比容
v_r	相對比容
W	功
w	每單位質量所作之功；重量

x	品質；分子分率；一般性質；熱傳導方向之距離
Y	流可用率
y	比流可用率 (Y/m)；一般性質
Z	壓縮因子， $Z = pV/mRT$
z	高度

希臘字母代號

α	吸收力
β	性能係數，容積膨脹係數， $(\partial v/\partial T)_p/v$
γ	比重
ϵ	放射率
η	效率；分子數
Θ	戴比常數 (Debye's constant) 或特性溫度
θ	任何非熱力學量度之溫度
κ_s	等熵壓縮率 $-(\partial v/\partial p)_s/v$
κ_T	等溫壓縮率 $-(\partial v/\partial p)_T/v$
μ	焦耳—湯姆遜係數， $(\partial T/\partial p)_h$
ν	化學計量係數 (化學方程式中之摩爾數)
ρ	密度；反射度
σ	斯坦芬—波茨曼常數 (Stefan-Boltzmann constant)
τ	時間，透過率
Φ	閉合系統之可用率
ϕ	閉合系統之比可用率： $\frac{\Phi}{m} \int \frac{c_p dT}{T}$ 相對濕度
ω	濕度比

註字

a	空氣
c	臨界狀態；(亦可表符號之 gc)
dg	乾氣體
f	終態；飽和液體；燃料

<i>fg</i>	在相同壓力及溫度時飽和汽之性質與飽和液之性質間之差
<i>g</i>	飽和汽
<i>H</i>	高溫 (如 T_H 及 Q_H)
<i>i</i>	初態；冰點；理想或等焓；中間 (如多級壓縮之中間壓力)
<i>if</i>	在相同溫度及壓力時飽和固體與飽和液體性質間之差
<i>ig</i>	在相同溫度及壓力時飽和固體與飽和汽性質間之差
<i>L</i>	低溫 (如 T_L 及 Q_L)
<i>m</i>	混合物，混合氣
<i>N</i>	磅分子 (如 v_N 表磅分子比容)
<i>O</i>	基本狀態；標準狀態，大氣狀態
<i>R</i>	減約座標；蓄能器
<i>r</i>	相對
<i>s</i>	沸點
<i>t</i>	全或止流
<i>u</i>	通用
<i>v</i>	汽 (在氣—汽混合氣)
<i>g</i>	指一種開口系統之界限

1, 2, 3 指一系統之不同狀態或空間中之不同位置

上冊目錄

原序

譯序

符號及註字

第一章 基本觀念及定義 1

1.1 熱力學 1

1.2 工程熱力學 1

1.3 一般定義 2

1.4 數學用語 4

1.5 未下定義的術語 5

1.6 熱力學的系統 6

1.7 理想的及實際的系統 7

1.8 性質、物態及過程 8

1.9 密度、比容及比重 11

1.10 壓力 12

1.11 溫度 15

1.12 溫度之量法 16

1.13 功 20

1.14 閉合系統無摩擦過程之功 23

1.15 穩定流動 29

1.16 無摩擦穩定流動過程之功 30

1.17 熱 34

1.18 點函數及徑函數 38

1.19 摘要、參考資料、習題 45

第二章 熱力學第一定義 53

2.1 熱力學第一定律 53

2.2 比例因數 J 54

2.3	非循環過程之第一定律・能量	57
2.4	E 之本性	61
2.5	焓 (Enthalpy)	65
2.6	第一定律應用於閉合系統 (無變化)	66
2.7	第一定律應用於開口系統	70
2.8	第一定律應用於開口系統—穩定流動	72
2.9	第一定律應用於開口系統—公式演繹	83
2.10	熱機・熱效率・製冷機・性能係數	92
2.11	第一定律之限制	95
2.12	第一定律之史實	95
2.13	摘要・參考資料・習題	98
第三章	物理性質之一	109
3.1	物質之相；固態・液態及氣態。	109
3.2	純物質之相之平衡	111
3.3	相之圖解	117
3.4	其他性質之圖解	120
3.5	比熱及潛熱	126
3.6	相之變化	131
3.7	臨界點	135
3.8	各種性質表	137
3.9	摘要・參考資料・習題	145
第四章	理想氣體	155
4.1	理想氣體	155
4.2	真實氣體及理想氣體之狀態方程式	157
4.3	理想氣體溫標	159
4.4	理想氣體之內能及焓	160
4.5	理想氣體之比熱	165
4.6	定比熱之理想氣體之特殊關係	172

4.7	理想氣體狀態方程式及動力論	179
4.8	理想氣體之比熱及動力論	183
4.9	摘要, 參考資料, 習題	186
第五章	真實氣體	197
5.1	壓縮性因數	197
5.2	減約坐標	202
5.3	范得瓦耳 (Van der weals) 狀態方程式	206
5.4	貝蒂-勃里奇曼 (Beattie-Bridgeman) 狀態方程式	210
5.5	維里狀態方程式	212
5.6	真實氣體之比熱	212
5.7	摘要, 參考資料, 習題	215
第六章	熱力學第二定律	219
6.1	第一定律之限制	219
6.2	熱力學第二定律	220
6.3	永動機械	223
6.4	第二定律之價值	224
6.5	結論	225
第七章	可逆過程與不可逆過程及循環	226
7.1	可逆過程與不可逆過程, 定義	226
7.2	可逆過程與不可逆過程, 特性, 例證	226
7.3	內部及外部可逆性	237
7.4	$\int p dv$ 及 $\int v dp$ 之不可逆性	237
7.5	可逆及外部可逆循環	239
7.6	加諾循環	243
7.7	可逆加諾循環	247
7.8	其他外部可逆循環	249
7.9	不可逆過程及分子擾動	252

7.10	摘要，參考資料，習題	253
第八章	第二定律之一些影響	257
8.1	加諾原理	257
8.2	可逆發動機之效率	258
8.3	熱力學溫標	259
8.4	摘要，參考資料，習題	267
第九章	熵	273
9.1	熵	273
9.2	熵變化之計算	280
9.3	熵作為坐標	285
9.4	性質間之可用關係	292
9.5	熵之增加原理	296
9.6	可用能及不可用能	304
9.7	赫姆荷茲(Helmholtz)及吉勃氏(Gibbs)因數	314
9.8	熵之用處	316
9.9	熵及機率	317
9.10	摘要，參考資料，習題	321
第十章	物理性質之二	330
10.1	麥克斯威爾(Maxwell)方程式	330
10.2	克萊潑戎(Calpeyron)方程式	337
10.3	焦耳—湯姆遜(Joule-Thomson)係數	339
10.4	以壓力，比容，溫度及比熱表示之，內能及 等之變化之一般方程式	345
10.5	比熱關係	352
10.6	理想氣體性質表	357
10.7	性質圖解	361
10.8	精確之方法	364
10.9	摘要，參考資料，習題	365

下冊目錄

第十一章 可用率及不可逆率	373
11.1 最大功	374
11.2 可用率	381
11.3 不可逆率	386
11.4 可用率計算	393
11.5 摘要, 參考資料, 習題	396
第十二章 氣體及氣—汽混合物	403
12.1 質量分率, 分子分率	403
12.2 分壓, 分容	404
12.3 道爾頓定律或增壓定律	405
12.4 亞瑪該特 (Amagat) 定律, 賴德克 (Leduc) 定律或增容定律	405
12.5 理想混合氣之性質	407
12.6 最初在不同壓力及溫度下理想氣體之混合	413
12.7 真實氣體之混合氣	418
12.8 理想氣體與汽之混合氣	423
12.9 大氣空氣	425
12.10 相對濕度及濕度比	426
12.11 決定大氣空氣性質所用之溫度	428
12.12 濕度圖	433
12.13 在定總壓下空氣—汽混合氣之過程	436
12.14 摘要, 參考資料, 習題	442
第十三章 化學反應—燃燒	451
13.1 基本燃燒反應	451
13.2 乾空氣之組成	452
13.3 理想燃燒	453