



熱力學

修訂四版

陳呈芳 編著

0474.1
2011.4

港台書

熱力學

陳呈芳 編著



 全華圖書股份有限公司

國家圖書館出版品預行編目資料

熱力學 / 陳呈芳編著. -- 五版. --
臺北縣土城市：全華圖書，2008.06
面；公分
ISBN 978-957-21-6631-4(平裝)
1. 熱力學
335.6 97010158

熱力學

作者 / 陳呈芳

執行編輯 / 吳春儀

發行人 / 陳本源

出版者 / 全華圖書股份有限公司

郵政帳號 / 0100836-1 號

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

圖書編號 / 0288904

五版二刷 / 99 年 5 月

定價 / 新台幣 380 元

ISBN / 978-957-21-6631-4 (平裝)

全華圖書 / www.chwa.com.tw

全華科技網 Open Tech / www.opentech.com.tw

若您對書籍內容、排版印刷有任何問題，歡迎來信指導 book@chwa.com.tw

臺北總公司(北區營業處)

地址：23671 臺北縣土城市忠義路 21 號

電話：(02) 2262-5666

傳真：(02) 6637-3695、6637-3696

中區營業處

地址：40256 臺中市南區樹義一巷 26 號

電話：(04) 2261-8485

傳真：(04) 3600-9806

南區營業處

地址：80769 高雄市三民區應安街 12 號

電話：(07) 862-9123

傳真：(07) 862-5562

全省訂書專線 / 0800021551

有著作權·侵害必究

序言

PREFACE

熱力學為研究有關能源的各學科之基礎，值此能源日益短缺，而能源需求又日益增加之際，如何有效使用能源更形重要，故熱力學為所有工程人員均須熟悉的基本科學。本書除可作為技專院校之教科書外，且極適宜作為自修者入門之參考用書。

本書著重於基本觀念的闡述，並配合實際應用問題之分析，而避免過於深奧的理論之探討，期讀者能建立深厚的基礎，利於爾後深入的鑽研。

本書共分為四章，第一章為熱力學常用術語之介紹，及基本量之定義的說明，並討論純物質狀態的訂定與熱力性質表的應用；第二章討論功與熱，及熱力學第一定律在各種不同系統之應用，並說明熱機與冷凍機；第三章說明理想氣體之特性、熱力性質之分析及圖表的應用；第四章敘述熱力學第二定律、熱力性質熵、熱力溫標及熵在能量分析中的應用。

本書在各章節中均舉出相當多的例題，且每一章的最後並有極多的練習題；而此等例題及練習題，均著重於基本觀念的建立及其應用，而不在於艱深問題之解析，相信讀者應可建立熱力學良好的基礎。又本書最後附有練習題的答案，可作為讀者解析練習題之參酌。

筆者基於二十多年熱力學的教學經驗而著手本書之編著，雖力求內容的深入淺出與完整性，及文句的順暢，惟因才疏學淺，疏漏之處在所難免，故祈海內外學界先進及讀者諸君不吝指正為禱。

承全華圖書公司之鼎力支持，使本書得以順利付梓，特此致謝。

編著 陳呈芳

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書係參照教育部八十三年最新頒布的「熱力學」課程標準編寫而成，也是作者在台灣工業技術學院教授「熱力學」課程二十年的寶貴心血結晶。作者深知循序漸進的重要，所以，自基本觀念談起，再慢慢地引導讀者，進入實際應用問題之分析，並且以適度的例題與豐富的練習題來提高讀者的學習能力。本書內容豐富、解說精闢，還將習題詳解製作成教師手冊方便老師教學之用，可說是大專院校「熱力學」課程的最佳教本，亦非常適合有興趣的讀者自修之用。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函聯繫，我們將竭誠為您服務。

相關叢書介紹

書號：05315007
書名：熱力學－第六版
英譯：林正仁、呂立鑫、蔡秉宏
16K/848 頁/779 元

書號：06016
書名：靜力學(第六版)
英譯：林儒禮、潘韻丞、王欽忠
16K/576 頁/550 元

書號：0254002
書名：進入汽電共生的世界
(修訂二版)
編著：涂 寬
20K/304 頁/320 元

書號：06129
書名：熱力學(第七版)(國際版)
英譯：林正仁、江木勝、鄭宗杰
16K/768 頁/820 元

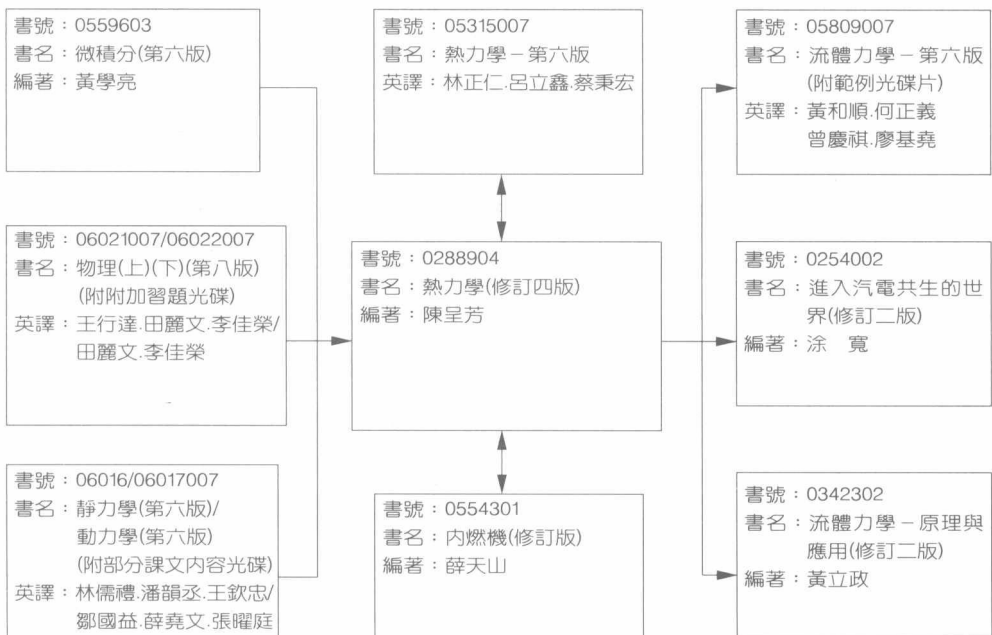
書號：06134007
書名：流體力學(第七版)(公制版)
(附部分內容光碟)
英譯：鄧昌祺
近期推出

書號：05809007
書名：流體力學－第六版(附範例光碟片)
英譯：黃和順、何正義、曾慶祺、廖基堯
16K/944 頁/950 元

書號：0554301
書名：內燃機(修訂版)
編著：薛天山
20K/600 頁/520 元

◎上列書價若有變動，請
以最新定價為準。

流程圖



目錄

CONTNETS

第一章 概論	1-1
1-1 熱力學與工程熱力學	1-2
1-1.1 基本蒸汽動力廠	1-2
1-1.2 冷凍機	1-4
1-1.3 基本氣輪機動力廠	1-5
1-2 熱力學系統	1-6
1-3 熱力性質、狀態、熱力平衡、過程及循環	1-8
1-3.1 熱力性質	1-8
1-3.2 狀態	1-16
1-3.3 熱力平衡	1-16
1-3.4 過程	1-18
1-3.5 循環	1-19
1-4 狀態函數與路徑函數	1-19
1-5 物質、純物質之狀態變化及熱力性質表之應用	1-22
1-5.1 純物質	1-23
1-5.2 純物質之相平衡與相圖	1-23
1-5.3 熱力性質表與應用	1-35
練習題	1-47
 第二章 熱力學第一定律	 2-1
2-1 質量守恆定律	2-2

2-2	功與熱	2-3
2-2.1	功	2-3
2-2.2	熱	2-6
2-3	密閉系統無摩擦過程之功.....	2-8
2-4	開放系統穩態穩流過程之功.....	2-18
2-5	熱力學第一定律	2-25
2-5.1	熱力循環之熱力學第一定律.....	2-25
2-5.2	熱力過程之熱力學第一定律.....	2-27
2-6	內能、動能、位能及焓	2-29
2-6.1	內能、動能及位能	2-29
2-6.2	焓	2-33
2-7	熱力學第一定律在密閉系統之應用.....	2-34
2-8	熱力學第一定律在開放系統之應用.....	2-41
2-8.1	穩態穩流系統之第一定律	2-42
2-8.2	充填過程與排放過程之第一定律	2-51
2-9	熱機及熱效率	2-61
2-10	冷凍機及性能係數	2-62
	練習題	2-64

第三章 理想氣體

3-1

3-1	理想氣體與理想氣體狀態方程式	3-2
3-1.1	理想氣體	3-2
3-1.2	理想氣體狀態方程式.....	3-3
3-2	比熱.....	3-6

3-3	理想氣體之性質	3-7
3-3.1	焦耳定律	3-7
3-3.2	理想氣體之內能	3-9
3-3.3	理想氣體之焓	3-9
3-3.4	理想氣體之比熱	3-10
3-4	工作物為理想氣體時之第一定律分析	3-18
3-4.1	密閉系統	3-18
3-4.2	穩態穩流系統	3-27
	練習題	3-38

第四章 熱力學第二定律 4-1

4-1	熱力學第二定律	4-2
4-2	可逆過程	4-6
4-2.1	外可逆過程	4-6
4-2.2	內可逆過程	4-14
4-3	卡諾循環	4-18
4-3.1	卡諾循環與卡諾機	4-19
4-3.2	反向卡諾循環與卡諾冷凍機、卡諾熱泵	4-24
4-4	卡諾原理	4-28
4-5	熱力溫標	4-35
4-6	克勞休斯不等式	4-38
4-7	熵、溫－熵圖及焓－熵圖	4-41
4-7.1	熵	4-41
4-7.2	溫－熵圖	4-46

4-7.3	焓－熵圖	4-48
4-8	熵變化之計算	4-49
4-9	熵增加原理	4-68
4-9.1	不可逆過程之熵改變	4-69
4-9.2	密閉系統之熵增加原理	4-70
4-9.3	開放系統之熵增加原理	4-74
4-9.4	等熵效率	4-80
4-10	有用能及非有用能	4-87
4-11	可用性及不可逆性	4-92
4-11.1	可逆功	4-92
4-11.2	可用性	4-96
4-11.3	不可逆性	4-100
4-12	第二定律效率	4-103
	練習題	4-105

附錄 A	附表	A-1
附表 1	飽和水—水蒸氣(溫度表)	A-2
附表 2	飽和水—水蒸氣(壓力表)	A-5
附表 3	過熱水蒸氣	A-8
附表 4	壓縮液體水	A-16
附表 5	飽和氨	A-18
附表 6	過熱氨	A-20
附表 7	飽和冷媒-12	A-23
附表 8	過熱冷媒-12	A-25
附表 9	飽和冷媒-22	A-29

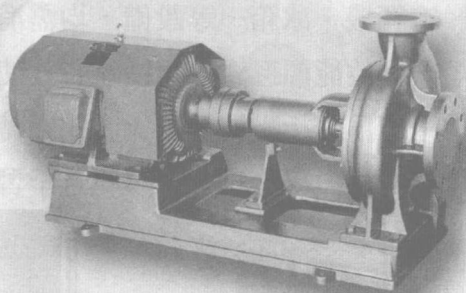
附表 10	過熱冷媒-22.....	A-31
附表 11	飽和冷媒-134a.....	A-36
附表 12	過熱冷媒-134a.....	A-38
附表 13	飽和氧.....	A-42
附表 14	過熱氧.....	A-43
附表 15	飽和氮.....	A-45
附表 16	過熱氮.....	A-46
附表 17	理想氣體之性質.....	A-48
附表 18	空氣在低壓下之熱力性質.....	A-49

附錄 B 附圖 B-1

附圖 1	水之溫－熵圖.....	B-2
附圖 2	水之焓－熵圖.....	B-3

附錄 C 參考資料 C-1

附錄 D 練習題之解答 D-1



Chapter 1

概論

科學文明越進步，生活水準越高，人類對能源的依賴也越重。舉凡機械、電機、電子、化工、紡織…等生產工業，飛機、船艦、汽車、機車…等交通工具，電視、音響、空調機、冰箱…等設備，均需消耗大量的能源。由於全球性能源日益短缺，故能源形式的轉換及有效使用，是一極為重要的研究標的，而熱力學即為分析不同形式能源間之轉換，及能源之使用效率的科學。本章係說明熱力學之定義、規範若干習用之術語，並詳述物質的性質特性。

1-1 熱力學與工程熱力學

熱力學(thermodynamics)係研究不同形式之能量間的轉換，及用以轉換能量之物質的物理性質之變化間的關係的一門科學。能量的形式甚多，例如化學能、太陽能、電能、磁能、風能、潮汐能…等，惟在熱力學探討中，將能量歸納為功(work)與熱(heat)兩大類，此將於第二章中再予說明。

當熱力學應用於工程問題之探討時，例如熱機、冷凍機、空調機、渦輪機、壓縮機、泵、噴嘴等，則稱之為工程熱力學(engineering thermodynamics)。

以下將舉數個設備為例子，除了可使讀者對此等設備有初步的瞭解外，並用以說明熱力學分析之領域。

1-1.1 基本蒸汽動力廠

基本蒸汽動力廠(basic steam power plant)，如圖 1-1 所示，其主要構件為蒸汽產生器(steam generator)、蒸汽輪機(steam turbine)、冷凝器(condenser)及泵(pump)。

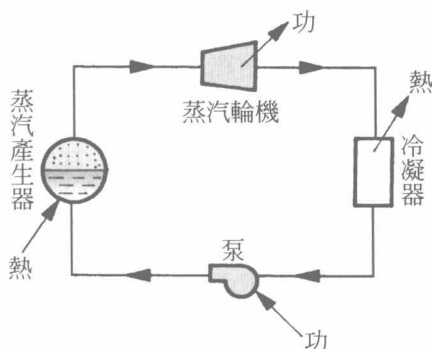


圖 1-1 基本蒸汽動力廠

自外部的熱源(如燃燒燃料產生的高溫氣體、電熱器、核能燃料等)對蒸汽產生器內的水加熱，使升溫並沸騰產生水蒸汽而送出。由供至蒸汽產生器的水及送出的水蒸汽之物理性質，利用熱力學的觀念可分析需供至蒸汽產生器之熱量的大小，進而分析燃燒的燃料量、電熱器的電壓與電流、核能燃料棒的反應長度等。

自蒸汽產生器送出的水蒸汽將進入蒸汽輪機，在其內膨脹帶動輪機的運轉做功後流出。由進入蒸汽輪機及膨脹後流出之水蒸汽的物理性質，利用熱力學可分析求得輸出功的大小。而此等功可帶動發電機用以發電，或應用於需要動力之處。

膨脹做功後的水蒸汽流入冷卻器，利用冷卻水予以冷卻而使水蒸汽凝結，俾再繼續循環使用。由膨脹後之水蒸汽及凝結後之水的物理性質，利用熱力學可分析所需放出熱量的大小，進而依冷卻水進出口的物理性質，可分析冷卻水的供應量。

凝結後的水，利用泵予以加壓後送入蒸汽產生器再循環使用。由凝結後的水及加壓後的水之物理性質，利用熱力學可分析將水加壓所需之功的大小，進而設計或選用適當的泵。

1-1.2 冷凍機

蒸汽壓縮式冷凍機(vapor-compression refrigerator)，如圖 1-2 所示，為目前冰箱、空調機等應用最廣的冷凍裝置，其主要構件為蒸發器(evaporator)、壓縮機(compressor)、冷凝器(condenser)及膨脹閥(expansion valve)。

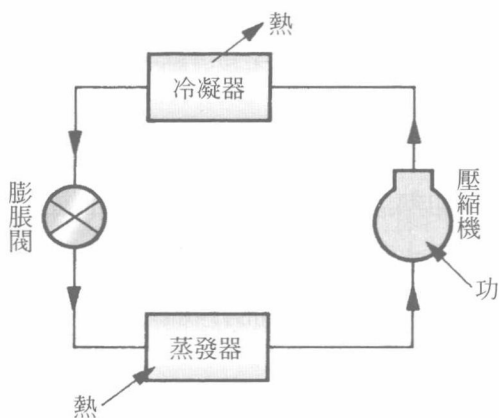


圖 1-2 蒸汽壓縮式冷凍機

低壓低溫的液態(或液—汽混合)工作物(一般特稱為冷媒)，流經蒸發器時自其周圍吸收熱量而產生製冷的效果，而冷媒本身吸熱後成為低壓低溫的汽態後流出蒸發器。由進入蒸發器之冷媒及蒸發後之冷媒的物理性質，利用熱力學可分析冷媒吸熱量的大小，進而分析對周圍空間或物品的降溫能力。

自蒸發器流出的低壓低溫汽態冷媒，進入壓縮機被加壓成為高壓高溫汽態冷媒，以利進入冷凝器再作用。由壓縮機進出口之汽態冷媒的物理性質，利用熱力學可分析壓縮機所需之功的大小，進而設計或選用適當的壓縮機。

高壓高溫的汽態冷媒進入冷凝器後，被冷卻媒質(通常為空氣或水)移走熱量，而降溫並凝結為高壓中溫的液態冷媒。由冷凝器進口之高壓高溫汽態冷媒，及凝結後高壓中溫之液態冷媒的物理性質，利用熱力學可分析在冷凝器所必須移走熱量的大小，進而依冷卻媒質進出口的物理性質，可分析冷卻媒質供給量的大小。

膨脹閥係用以使凝結後的高壓中溫液態冷媒，降壓並降溫成為低壓低溫的液態(或液—汽混合)冷媒，使進入蒸發器再循環使用。膨脹閥之作用的分析，除利用熱力學外，尚需配合流體力學的觀念，故此處不予詳述。

1-1.3 基本氣輪機動力廠

基本氣輪機動力廠(basic gas-turbine power plant)，如圖 1-3 所示，其主要構件為壓縮機、燃燒室(combustion chamber)、及氣輪機(gas-turbine)，係利用燃燒燃料後產生的高壓高溫氣體，帶動氣輪機的運轉而輸出功。

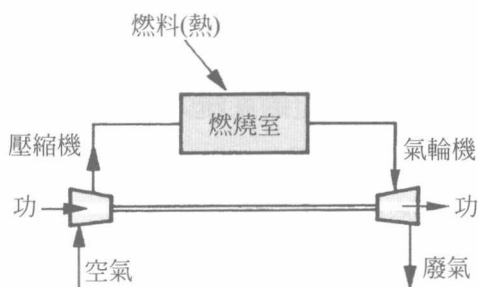


圖 1-3 基本氣輪機動力廠

壓縮機係用以將大氣中的空氣吸入並壓縮成為高壓的空氣，故由壓縮機進出口空氣的物理性質，利用熱力學可分析壓縮機所需功的大小，進而設計或選用適當的壓縮機。

高壓空氣進入燃燒室後，供給燃料並點火使空氣進行燃燒，產生高壓高溫的氣體後送出。由壓縮後的空氣及燃燒後的氣體之物理性質，利用熱力學可分析達到該高溫所需熱量的大小，進而依所使用之燃料的種類，而分析燃料的供給量。

高壓高溫的氣體進入氣輪機，膨脹帶動氣輪機的運轉而輸出功，而膨脹後的低壓中溫廢氣則由氣輪機排出。由氣輪機進出口的氣體之物理性質，利用熱力學可分析輸出功的大小。又，氣輪機輸出之功，除部分用以驅動壓縮機外，其餘的功可用以帶動發電機運轉發電，或用於如航空器等需要動力之處。

1-2 熱力學系統

若對某一定質量的某種物質，或對某一空間區域，進行質量與能量之熱力分析，則該一定質量的物質或該空間區域，稱為熱力學系統(thermodynamic system)；爲了方便起見，以下均簡稱為系統(system)。

進行熱力分析之前，首先應將分析的對象以邊界(boundary)明確地將系統予以設定。如圖 1-4 所示，虛線部分即爲邊界，而定質量的物質或空間區域即包容於該邊界所設定的系統之內。系統之邊界以外的所有物質與空間，統稱為該系統的外界(surrounding)，惟通常僅將與分析有直接關係的物質及空間，始稱為該系統的外界。

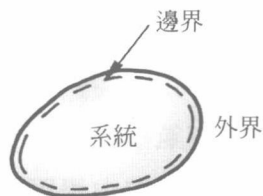


圖 1-4 系統之設定