

126538

蘇聯高等教育部審定

高等航海學校教材

船舶動力裝置

(上 冊)

П. П. 阿基莫夫著

王 今、馮 櫚、林瑞東合譯

人民交通出版社

蘇聯高等教育部審定

高等航海學校教材

船舶動力裝置

(上 冊)

П. П. 阿基莫夫 著

王 今、馮 桐、林瑞東合譯

人民交通出版社

[船舶動力裝置]一書，係蘇聯阿基莫夫所著，由蘇聯海運出版社出版，曾經蘇聯高等教育部審定，作為高等航海學校輪機系以外各系的普通輪機學教材，介紹各種船用熱機的基本原理、構造及技術管理知識。

中譯本係根據原書1952年的經過修訂與補充的第二版翻譯的，分成上下兩冊出版。上冊包括熱力學、蒸汽鍋爐與蒸汽機三部分，由王今、馮桐、林瑞東三同志合譯互校。

船舶動力裝置

П. П. АКИМОВ

СУДОВЫЕ СИЛОВЫЕ

УСТАНОВКИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ"

МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

本書根據蘇聯海運出版社1952年莫斯科列寧格勒俄文版本譯出

王今 馮桐 林瑞東合譯

人民交通出版社 出版

(北京北兵馬司一號)

新華書店發行

(全國各地)

北京市印刷一廠印刷

初編者：周雲錦 複審者：劉奉琦

全書 261,400 字 ★定價 17,000 元

1954年11月北京第一版 ★1954年11月北京第一次印刷

印數：1—2,300 冊

31"×43" $\frac{1}{16}$ ★印張：9 $\frac{3}{4}$ 張

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號)

目 錄

前 言 緒 論

第一編 工程熱力學原理

第 一 章 熱力學第一定律	5
§ 1 工程熱力學的對象及其發展	5
§ 2 熱力學第一定律要義	6
§ 3 熱力學第一定律的數學式子	8
§ 4 表徵物體狀態的數值	9
§ 5 外功的數學式子	11
第 二 章 理想氣體的基本性質	13
§ 6 理想氣體的特性方程式	13
§ 7 萬氣常數	14
§ 8 混合氣體的性質	15
§ 9 氣體及混合氣體的比熱	18
第 三 章 理想氣體狀態改變的特種情況	22
§ 10 在定容和定壓下氣體狀態的改變	22
§ 11 在定溫下氣體狀態的改變	25
§ 12 無熱量交換時氣體狀態的改變	26
§ 13 多變的狀態改變	29
第 四 章 熱力學第二定律	33
§ 14 熱力學第二定律的本質及其基本定義	33
§ 15 循環與卡諾循環	34
§ 16 熵的概念	37
§ 17 熵的計算與圖形	41
§ 18 內燃機和燃氣輪裝置的理論循環	44
§ 19 往復壓縮機的工作	50
第 五 章 水蒸汽	53
§ 20 汽化過程	53
§ 21 產生蒸汽所耗的熱量	56

§ 22	過熱蒸汽	58
§ 23	蒸汽的熵	60
§ 24	水蒸汽溫熵圖	61
§ 25	氣體和蒸汽的流動	64
§ 26	氣體和蒸汽的節流	71
§ 27	蒸汽動力裝置的理論循環	72
§ 28	壓氣機式冷凍裝置的循環	77
第 六 章	熱傳遞理論的基本概念	79
§ 29	熱傳遞的各種方法	79
§ 30	經過壁的熱傳遞	82

第二編 船用蒸汽鍋爐

第 七 章	燃料及燃燒過程	86
§ 31	鍋爐中蒸汽的形成	86
§ 32	關於燃料的一般知識	87
§ 33	固體燃料	89
§ 34	液體燃料	92
§ 35	海船上燃料的裝入與存儲	94
§ 36	燃料的燃燒	95
§ 37	鍋爐單位的熱平衡	100
第 八 章	船用蒸汽鍋爐的結構	104
§ 38	對船用鍋爐的要求與鍋爐的分類	104
§ 39	關於船用鍋爐發展的基本知識	105
§ 40	火管鍋爐	107
§ 41	混合式鍋爐	111
§ 42	分部式水管鍋爐	112
§ 43	鼓式水管鍋爐	115
§ 44	強力循環的鍋爐	118
§ 45	輔助鍋爐與內燃機廢氣鍋爐	119
第 九 章	爐膛結構	122
§ 46	燃燒固體燃料的床式爐膛	122
§ 47	煤粉的燃燒	124
§ 48	液體燃料的爐膛	126

第十章	船用蒸汽鍋爐的輔助裝置及附件	128
§ 49	鍋爐單位的補充受熱面	128
§ 50	船舶鍋爐裝置中的自然通風	130
§ 51	強力通風	132
§ 52	鍋爐給水及處理	135
§ 53	給水器具	139
§ 54	給水的預熱及給水系統	142
§ 55	船用鍋爐的附件	145
第十一章	船舶蒸汽鍋爐的運用	149
§ 56	船舶蒸汽鍋爐管理規程	149
§ 57	船舶鍋爐的蒸汽生產量及經濟性的提高	153

第三編 船用蒸汽往復機

第十二章	蒸汽機內的熱力過程	158
§ 58	蒸汽機的結構原理及其分類	158
§ 59	船用蒸汽機的發展	159
§ 60	蒸汽在蒸汽機汽缸內的工作原理	162
§ 61	蒸汽機馬力的決定	164
§ 62	蒸汽機內的損失及減少損失的方法	166
§ 63	蒸汽機的效率	169
§ 64	多脹式蒸汽機	172
§ 65	蒸汽機主要尺寸的確定	177
第十三章	蒸汽分配	180
§ 66	滑閥配汽的機構與工作原理	180
§ 67	滑閥的結構	185
§ 68	提閥配汽	188
§ 69	滑閥及提閥傳動	190
§ 70	關於蒸汽機調速的概念	192
第十四章	船用蒸汽機的構造及冷凝裝置	194
§ 71	蒸汽機的零件	194
§ 72	冷凝裝置	200
§ 73	滑閥蒸汽機的一般結構	206
§ 74	單流低壓缸(半單流)蒸汽機及提閥配汽蒸汽機的構造	212

§ 75 具有蒸汽機的船用動力裝置的一般佈置.....	216
第十五章 船用蒸汽機的操作	218
§ 76 蒸汽機動力裝置中蒸汽、燃料及滑油的消耗.....	218
§ 77 船舶營運條件的變動對蒸汽機工作及燃料消耗的影響.....	222
§ 78 船用蒸汽機管理的基本規程.....	225
附錄 1 按照壓力的飽和水蒸汽表.....	230
附錄 2 過熱水蒸汽表	
附錄 3 水蒸汽 Si 圖形根據 M.Π. 符加洛維契的數據	

前 言

本書經訂正增補再版，預定作為高等航海學院船舶駕駛系、管理系及電機系所讀的「船舶動力裝置及輔機」一門課程的教本。

本書的用途確定了它的內容。著者儘量注意有關船舶動力裝置的操作、它在不同的航行條件下的工況問題，以及船上燃料的使用問題。

本書內對船舶電動的問題未加研討，因為高等航海學院對此另設有單獨課程進行講授。書內對於泵浦方面也不作詳述，因尚有「水力學與泵浦」專門課程。

在現代高等學校內，對學科的研究，應在嚴格的理論基礎上進行，因此，在本書內除了說明船舶動力裝置及輔機的結構以外，復對各種發動機的理論作極簡要的介紹。本課程內又包含工程熱力學的原理，若無該項知識，實不可能對熱機內所發生的過程作相當深入的理解。

著者修訂本書時，定下自己的任務：對不同類型的船舶動力裝置的發展作更充實的說明，以船舶動力裝置發明及改進史上的實例顯示祖國（指蘇聯）科學家與工程師們在該技術領域內所起的傑出的作用。

本書「工程熱力學原理」一編有重要修改，「船用內燃機」一編從新改寫。書內其他各編也有所修改，此外，初版內有一些不精確的地方均加以修訂，而圖例說明材料頗多更換。

在本書再版準備過程中，П.И. 梯托夫及 Д.Б. 泰拿太爾二教授，А. В. 高倫斯基及 В.Г. 葉爾美洛夫二講師，Е. Е. 房依漢斯基及 А.Г. 薩未利夫二工程師，以及列寧格勒與敖德薩的高等航海學院的輪機系各教研室同志們均曾提供寶貴意見，著者謹表謝忱。

緒 論

在海運方面的運輸船與工務船上，蒸汽動力裝置（裝有蒸汽機或汽輪機的）與內燃機動力裝置，均被採用。

雖則蒸汽動力裝置比內燃機動力裝置在經濟性上較差，但海運船舶上仍繼續廣泛採用。它的理由首先是因為蒸汽動力裝置使用固體燃料（煤）及低品級的液體燃料來工作，而內燃機係使用高品級的液體燃料。此外，蒸汽機的動力裝置具有高度機動性能，這是因為它在各種運行情況下工作穩定，換向迅速，並且初轉矩大；因此，在破冰船及拖輪上使用蒸汽機極為有效。再者，蒸汽機能力在2500匹馬力以內者，與其他同能力的發動機比較，則具有相當高的效率。

現代船舶動力裝置乃是由許多單元構成的複雜的綜合體。船舶動力裝置的組成部分，除了鍋爐（在蒸汽動力裝置內）及主機（它們所發生的能力是用在迴轉螺旋槳以形成推進船舶的力）以外，還有輔機（泵浦、鼓風機等等）以及各種換熱器（凝汽器、預熱器等等）。

輔機及換熱器乃是保證主機及鍋爐工作的正常與經濟所不可缺的。

為錨、纜、舵、吊貨及拖曳裝置服務的艙面輔機，以及為船舶系統、冷藏設備、淡水器等服務的輔機，也都屬於船舶動力裝置。通常，船上設置輔助發動機以帶動這些輔機以及發電機。

圖 1 顯示最簡單的船舶動力裝置的簡要線圖。蒸汽從鍋爐裝置 1 進入主蒸汽機或汽輪機 2，並進入輔機的蒸汽發動機 3。從主蒸汽機出來的乏汽進入凝汽器 4 中受循環泵 5 所供應的舷外水的冷却而凝結。濕空氣泵 6 將凝水（以及從動力系統不密處漏入的空氣）自凝汽器內抽出並送入熱水井 7。

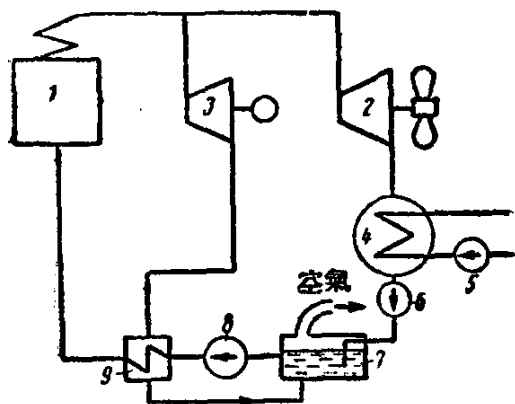


圖 1

給水泵 8 從熱水井將凝水壓入蒸汽鍋爐內，而在進入鍋爐以前先在預熱器 9 內利用輔機乏汽的熱量來預熱。這種乏汽的凝水也進入熱水井。

在本圖內未顯示在作用上不與動力裝置工作直接關聯的機械。

船舶內燃機動力裝置係由主內燃機及輔助內燃機所構成（輔助發動機用以帶動發電機）。暖汽與日常生活上所用的蒸汽係由輔助蒸汽鍋爐產生。為主、輔內

熱機服務的輔助機械則包括製造壓縮空氣的壓氣機及供送冷却水、滑油與燃料的泵浦。

關於熱機採用於船舶上的觀念，早已產生。但是到了十九世紀初年才真正實行。

祖國的科學家與工程師們以卓越的勞動為國爭光，他們對船用動力裝置的創製與改進有巨大的功績。他們在各個科學與技術部門有過無價的貢獻，而科學與技術的發展保證了航海術的改進。

熱力過程理論的奠基人乃是偉大的俄羅斯學者 М.В. 羅蒙諾索夫。在以後的年月，這個理論的研究，與熱機的創製與改進有着不可分割的關係。

優秀的俄國機械師 И.И. 包爾蘇諾夫創製了世界上第一部通用的蒸汽機，不論在工業上及運輸上均可適用。

俄國科學與技術思想對於許多類型的船用鍋爐、各種船用發動機、機械及裝置的創造上起了巨大的作用。

早在 1815 年，第一艘俄國的汽船「葉里柴佛泰」在彼得堡——康樂歇泰特航線上開航。後來，俄羅斯的發明家們改善了蒸汽機，而我國的科學家們創立了關於這種發動機的完整的理論。

В.С. 牙可皮院士於 1838 年建造了電動機，在世界上首先將它運用來推進船舶。

我們的國家乃是柴油機船、柴油機電力推動船、運油船誕生的國家。

祖國科學家與設計師們的經驗大大地確定了航海及造船技術的發展道路。

但在偉大的十月社會主義革命以前，俄國的海上運輸船舶不能滿足需要；由於本國一般經濟與政治的落後，以致海上運輸船舶的發展也落後。祖國科學家及工程師們的發明與發現，在資產階級——地主統治制度情況下沒有獲得應有的實際採用。

在偉大的社會主義革命以後，在我們的國家內，為人民創造力的發揮，為所有國民經濟部門內採用最先進的技術開闢了無限的可能性。

祖國海運事業的發展與改進從此展開了廣大的遠景。共產黨與蘇聯政府對於海運方面添增新船，採用最新式機器、機械及儀器，以及改善海船操作，曾表現過並正表現着深切的關注。

我國於幾次斯大林五年計劃的歲月中建立了巨大的海洋船隊，並給以先進的技術配備。學校裏培養出具有高度技術的船舶駕駛、輪機幹部及海運方面其他專門人才。

在我們的船舶上實施着「船舶技術操作規程」以及關於船舶鍋爐、主機、輔

機、設備的管理與保養的補充規程。這類規程皆係根據蘇聯海員豐富經驗的科學綜合而擬訂的。利用這類規程有助於船上最先進的勞動方法的採用。唯有在社會主義計劃經濟制度的條件下才可能擬訂出這類規程。

我們對船舶裝置的管理，廣泛地採取自動化。在社會主義經濟的條件下，生產的自動化乃是提高生產率與改善勞動條件底最重要手段。

船舶動力裝置的發展道路就是提高它的馬力與經濟性，並減輕它的重量、體積與造價。

蘇聯科學與技術的發達，所有工業部門的蓬勃發展，乃是改善蘇聯航海技術的物質基礎。

1951—1955 年蘇聯第五次五年計劃規定要大大發展蘇聯的運輸船舶以及進一步的技術革新。

按照黨十九次大會關於第五次五年計劃的指令，海運上貨船與運油船的生產量於 1955 年應比 1950 年增加約 1.9 倍。在該五年計劃期內海運上貨物周轉量要增加 55—60%，這將依靠海上船舶噸位的大量增加，以及它的工作質量的提高。船舶修理廠能力大約擴充一倍，這對於海上船舶工作質量的提高與船舶技術操作的改善起了很大作用。

海船上社會主義競賽的廣泛開展，普遍表現於船員中的創造的主動精神，足以保證船舶動力裝置操作法的改善。

先進的機艙人員力求大量節約燃料，增加船舶航行速度，延長修理間隔時期。同時，他們也促成船舶運輸能力的提高，船舶使用的改善，計劃的完成與超額完成，以及運輸成本的降低。

第一編 工程熱力學原理

第一章 熱力學第一定律

§ 1 工程熱力學的對象及其發展

從事研究熱能在熱機內轉變為機械功的規律的科學部門，稱為工程熱力學^①。

所有熱機的工作原理的基礎就是：當工質膨脹時，工質中所含的熱能轉變成機械功。

內燃機中的工質乃是燃料燃燒的產物，即若干種氣體的混合物。故對氣體狀態變化過程的研究，乃是工程熱力學最重要課題之一。熱力學的另一同樣重要課題，即是研究水蒸汽狀態的變化過程，因水蒸汽是蒸汽動力裝置的工質。

熱力學以一門科學出現，僅在熱的性質得到正確的物理解釋之後。我們知道，羅蒙諾索夫於 1744—1747 年間首先根據物質構造的分子運動學說來解釋熱的性質。

羅蒙諾索夫在[論冷熱原因]一文內寫道：[完全明顯的，熱的充分基礎就是運動。但因運動離開物質是不能發生的，所以須將熱的充分基礎建立在某種物質的運動上]^②。羅蒙諾索夫並指出：[……熱就是物質的內部運動]^③。羅蒙諾索夫創立根據唯物論觀點的力學的熱理論，比諸外國的許多學者早了整整一世紀。他們一直到十九世紀中葉以前仍相信[熱素]的理論。

熱力學奠基人羅蒙諾索夫的第二個卓越的功績，就是他發明物質與能量不滅的普遍定律。熱能與機械功當量定律亦即從羅蒙諾索夫學說基本法則中推演出來。包爾蘇諾夫曾利用羅蒙諾索夫的結論作蒸汽機設計。

羅蒙諾索夫的最親密的同事 Г.В.雷哈門院士進行有關熱傳遞理論研究的實驗並研究蒸發問題。這些問題在包爾蘇諾夫進行設計他的蒸汽機的過程中，也曾加以實驗研究。現代的沸騰理論完全與包爾蘇諾夫的研究結果相符合。

熱力學的進一步發展是與蒸汽機的改善有關，而晚近的發展則又與內燃機

① 除了工程熱力學以外，還有化學熱力學，它研究伴隨化學反應的熱現象。

② 引自 М.В. 羅蒙諾索夫全集第二卷[物理與化學論文](1747—1752 年發表)第 9 頁 1951 年版。

③ 同上第 11 頁。

的創造與改良有關。工業上用的汽輪機與燃氣輪機的出現，乃是熱力學中所研究的氣體與蒸汽流動理論的探討結果。

對熱力學基本問題的論述，曾見於俄國關於蒸汽機理論與結構的早期所刊行的著作，例如，見於 H.H. 波捷賴諾夫於 1849 年所出版的書內及 A.Γ. 杜布浪拉伏夫於 1858 年所出版的書內。但是熱力學最初的有系統的教材是 1871 年所出版的 M.Φ. 歐卡多夫教授的著作「熱靜力學」一書及 И.А. 威許涅格拉特斯基所著的「熱的力學理論」。在這些年內以及此後若干年中陸續出版了 Л.К. 波波夫、Ф.Ф. 彼得魯歇夫斯基、A.Γ. 斯托勒托夫以及其他俄國科學家的著作。

上述著作的特點就是以唯物論來闡明熱力學的基本法則。而同時期內在國外，大多數是根據唯心論來解釋熱力學。因此在外國科學家的許多著作中曾從熱力學第二定律而作出不正確結論。

彼得堡交通工程學院教授 A.A. 白朗特於 1893 年所出版的「有關蒸汽機的熱力學基礎」一書中最初對蒸汽動力裝置循環作深刻的分析。嗣後列寧格勒工藝學院教授 A.A. 拉特齊格（後為蘇聯科學院通訊會員）在水蒸汽理論方面有許多新貢獻。他的著作「水蒸汽公式、表格及圖解」曾多次再版。

我國（蘇聯）在蘇維埃期內對熱力學及熱傳遞理論有廣大的發展。這首先要歸於熱能學的巨大成長。

蘇聯科學家 M.П. 符加洛維契教授創立了真實氣體的新理論，並在該理論的基礎上大大發展了水蒸汽的理論。符加洛維契的研究工作曾綜合地寫入他的榮獲斯大林獎金的著作「水與水蒸汽的熱力性質」內。

現代的熱傳遞理論的發展，應當歸功於蘇聯工程師的努力。M.B. 基爾比契夫院士領導着熱傳遞理論領域中的一學派，它的基礎是建立在相似理論對熱傳遞問題的應用上。這個學派造就一批知名的蘇聯科學家：M.A. 美黑葉夫、C.C. 庫泰捷拉則、Г.Н. 古魯葉林等等。

以 Ф. Э. 德日爾英斯基為名的全聯盟熱工研究所及以包爾蘇諾夫為名的中央鍋爐汽輪機研究所的實驗室均做過很多熱傳遞的實驗。

§ 2 熱力學第一定律要義

熱力學第一定律乃是羅蒙諾索夫所發現的物質與運動（能量）不滅的普遍定律底結果。羅蒙諾索夫在「論固體與液體」一文內將他的定律按如下寫着：「……自然界中所發生的一切都是在變化着的。這種情況的真相是如此的：設某物喪失了多少，必有另一物增添了同樣的多少。譬如說，倘若某處損耗物質若干，則他處便增加……這個總的自然法則也可推論到運動本身的法則，因為某物以其力量

使另一物運動時，其本身所喪失的多少，都會傳給被動的物體^①。

熱力學第一定律確定了熱功當量。按照該定律，熱能可以轉變為機械功，或反之，但如果轉變只限於這兩種能，則每一單位的熱能將十足地作出一定量的機械功，或反之，每單位的功將十足地轉變為一定量的熱。

茲以 Q 代表轉變為功的熱量，以千卡計， L 代表所獲得的功，以公斤公尺計，那末根據熱力學第一定律可寫成下式：

$$L = EQ \quad (1)$$

為了說明比例係數 E 之值，假定 $Q = 1$ 千卡，則

$$L = E$$

E 值稱為熱的功當量，是一千卡的熱能所能得到的機械功的公斤公尺數。

根據類似的推論，復可寫成下式：

$$Q = AL \quad (2)$$

假定 $L = 1$ 公斤公尺，得 $Q = A$ ，比較公式(1)與(2)，顯知：

$$A = \frac{1}{E} \quad (3)$$

A 值稱為功的熱當量，是 1 公斤公尺的功變為熱時所能獲得的熱量之千卡數。

根據一系列的試驗，熱的功當量的整數值可取為 $E = 427$ 公斤公尺。

如此，功的熱當量是：

$$A = \frac{1}{E} = \frac{1}{427} \text{ 千卡，或 } 0.00234 \text{ 千卡}$$

根據公式(1)及(2)可得出一些實用上重要的當量，同時也可以解決許多實際問題。

現求一馬力時的熱當量 Q 。因一馬力時等於 75×3600 公斤公尺，故按公式(2)，

$$Q = \frac{1}{427} \times 75 \times 3600 = 632.3 \text{ 千卡}$$

一馬力時的熱當量取整數，則等於 632 千卡。

因為一瓩等於 1.36 匹馬力，故每瓩時的熱當量等於

$$632.3 \times 1.36 = 860 \text{ 千卡}$$

上面算出的當量在熱力工程計算上會常常遇到。茲引一個應用熱力學第一

① 引自 M. B. 羅蒙諾索夫 [哲學論文選集]，蘇聯國家政治書籍出版局 1950 年版第 541 頁。

定律解決某些實際問題的例子於下：

例題 1

某蒸汽機船拖帶一駁船，在其拖鈎上產生拖力 2000 公斤，試問耗重油 1 噸時，該船所走航程多少？同時假設燃料燃燒時所產生的熱量的 4% 轉變為有效的功。該項燃料的熱值為 10000 千卡/公斤。

因功等於拖力 2000 斤與所求航程 S 的乘積，故利用公式(1)得

$$2000 \times S = 427 \times 10000 \times 1000 \times 0.04$$

由此求得的距離為

$$S = \frac{427 \times 10000 \times 1000 \times 0.04}{2000} = 85400 \text{ 公尺} = 85.4 \text{ 公里}$$

§ 3 熱力學第一定律的數學式子

除了表示熱功當量的方程式(1)和(2)以外，復須確定熱力學第一定律的較為普遍的數學式子。

假設有無限小的熱量 dQ 傳給某物體。在該物體內，受到傳來熱的影響，一般產生下列現象：(1)由於溫度升高，分子運動速度增加，即物體的內動能藉一部分傳入的熱量而起變化；(2)因物體受熱而膨脹，組成物體的分子之間距離增大，即由於熱量消耗於克服分子間相互吸引力，而發生物體內部位能的變化；(3)將作外功，因為物體受熱而膨脹時並克服周圍介質的壓力。此外，由於熱傳給物體的結果，可能產生化學反應或物體外動能的變化；但此等可能現象在下面的論述中不予考慮。

物體內動能及內位能的無限小的變化的總和，以 dU 來代表，並稱為物體的內能變動。內能通常以熱單位來量度。

物體由於微小熱量 dQ 傳入而起膨脹時所作的無限小外功，可以用 dL 代表，以公斤公尺計。

在這種情形下，可寫成下面的方程式：

$$dQ = dU + AdL \quad (4)$$

這個微分方程式即是熱力學第一定律的數學式子，通稱為熱力學第一定律的基本方程式。由此得出結論，在一般情況下，傳給物體的熱，其一部分消耗於內能的改變，而另一部分則做外功。這裏假定物體受熱的結果並不發生可見的運動，且在物體內部也未產生化學反應。

方程式(4)適用於任何數量的物質。對於 1 公斤的物質，則式內所有無限小數值咸用小寫字母表示而成為下面的形式：

$$dq = du + AdL \quad (5)$$

按照分子運動學說的基本法則，物體內能的變動僅視其初態與終態而定，故物體內能的變動，與它的狀態變化的性質無關。

至於 dq 及 dL ，因 q 與 L 是隨微元量 dq 與 dL 總和的中間狀態而變的，故 dq 及 dL 不是物體狀態參數的函數的全微分。

當物體自狀態 1 變到狀態 2 時，1 公斤物質內能的變化等於積分值

$$\int_1^2 du = u_2 - u_1$$

倘使 1 公斤物質被傳入有限的熱量 Q ，同時物體從狀態 1 轉變為狀態 2，那末，內能的值便從 u_1 改變為 u_2 ，與其同時將作外功 $L_{1,2}$ 。遇這種情況，熱力學第一定律的一般方程式可寫成以下的形式：

$$q = u_2 - u_1 + AL_{1,2}$$

在大多數情況下，熱力學第一定律的一般方程式採用微分的形式。

§ 4 表徵物體狀態的數值

表徵物體狀態數值的確定，對以後的推論是重要的。任何物體都可以成為固態、液態及氣態（汽態）。實際上，在熱機內是利用氣態或汽態物體。當研究熱能轉變為機械能時，表徵氣態或汽態物體狀態的基本數值，就是壓力比容及溫度；這類數值或稱為物體的狀態參數。

壓力以符號 p 代表並以每平方公尺上的公斤數表示。應記牢，在工程上，壓力單位採用 1 公斤平方公分，稱為 1 氣壓。工程氣壓與物理氣壓不同，1 物理氣壓相當於 760 公厘汞柱高度的氣壓表壓力，即相當於 10333 公斤/平方公尺的壓力，而 1 工程氣壓等於 10000 公斤/平方公尺或 1 公斤/平方公分的壓力。

在熱工計算中，壓力往往採用工程氣壓。1 工程氣壓相當於氣壓表的壓力

$$760 \times \frac{10000}{10333} = 735.6 \text{ 公厘汞柱}$$

必須注意，用以測量壓力的儀器（壓力表）所標示出來的壓力，稱為淨壓力（我國通稱為表壓力——譯者註），即在大氣壓力以上的淨壓力，而在熱力計算上則採用絕對壓力。

因為壓力表的刻度是以公斤/平方公分為單位的，故求其絕對壓力時，須加上氣壓表上所標示的大氣壓力，但須化為工程氣壓。

以氣壓作單位的絕對壓力，用符號 ata 代表，而以氣壓為單位的淨壓力（壓

力表壓力)則用符號 atm 代表。取大氣壓力等於 1 公斤/平方公分,則得下例:

12 淨大氣壓 = $12 + 1 = 13$ 絕對大氣壓,

或 13 絕對大氣壓 = $13 - 1 = 12$ 淨大氣壓。

1 公斤物體的體積稱為比容。比容以符號 v 立方公尺/公斤表示。任一重量 G 公斤的氣體的體積以符號 V 立方公尺來表示: $V = vG$ 立方公尺。

工程計算上常常用到比重;即 1 立方公尺物質的重量。比重以符號 γ 公斤/立方公尺表示。顯然,比重與比容之值互為倒數,即

$$v = \frac{1}{\gamma} \text{ 及 } \gamma = \frac{1}{v}$$

溫度的測量,在實用上皆用百分刻度的溫度表,並以符號 $t^{\circ}C$ 來表示。可是在熱力學上通常用絕對溫度,以符號 T° (絕對)來表示。大家知道, $T = (273 + t)^{\circ}C$ 。羅蒙諾索夫在他的「關於冷熱原因」著作中首先闡明溫標上絕對零度的觀念。

對於氣態物體,表徵物體狀態的三項數值,由一個方程式結合起來,其一般形式可以函數形式表示:

$$f(p, v, t) = 0$$

這種方程式稱為特性方程式。該方程式在同樣氣體的條件下示出壓力、比容及溫度的數學關係。這就是說,這些數值在一般情況下係隨時間而變,但在每一瞬間就氣體所佔的整個容積而言,這些數值是相等的。這樣的物體狀態稱為平衡狀態,因為倘無外力作用,物體不能越出此種狀況。任何不受外力作用的物體,必趨向於平衡狀態,即趨向於壓力與溫度的平衡。物體所佔容積中各點的壓力相等,就決定了機械平衡,而溫度相等則決定了熱的平衡。

物體的平衡狀態,僅在它的壓力與溫度都等於周圍介質的壓力與溫度的條件下才有可能。遇外界情況改變時,物體狀態也將改變,且該物體經過一系列的不平衡狀態後復形成新的平衡狀態。特性方程式僅適合用於平衡狀態,所以欲將它使用於狀態改變的情況時,則須得假定所有狀態的改變是無限慢地進行的。

倘使狀態的改變是在平衡條件下無限慢地進行,並且無摩擦,那末,該過程稱為可逆過程。這就是說,該過程可以循逆方向進行的,同時參加該過程的物體本身及周圍介質在這兩個方向上必經過同樣的種種狀態,僅其次序相反而已^①。如果機械平衡或熱的平衡被破壞,或者有摩擦存在,那末這種過程稱為不可逆過

① 按蘇聯國家標準 ГОСТ 3270—45,所謂可逆過程,即指物系能够回到原始狀態而在周圍介質中不起任何改變的熱力過程。