

中等專業學校教學用書

工程熱力學習題集

拉賓諾維奇著



機械工業出版社

出版者的話

本書包括工程热力学的習題和練習。

書中每一部分都有說明基本概念的定義的簡短理論、列出了基本公式及其解釋和習題。部分習題有詳盡的解法，其余的習題也都附有答案。

本書可作为机器制造中等專業学校动力机器制造及热工專業的教学参考書。高等工業学校也可应用。

NO. 0833

1956年8月第一版 1956年8月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字数230千字 印張9^{1/4} 插頁3 00.001—10,000册

机械工業出版社(北京东交民巷27号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008号 定价(10)1.90元

中等專業學校教學用書



工程熱力學習題集

改寫和增補的第二版

高 乃 棠 譯

蘇聯運輸機械和動力機械製造工業部學校管理局審定為
機器製造中等專業學校動力機器製造專業教學參考書



機械工業出版社

1956

Проф. О. М. РАБИНОВИЧ

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

*Рекомендовано Управлением учебных заведений
Министерства транспортного и тяжелого машиностроения
в качестве учебного пособия
для энергомашиностроительных специальностей
машиностроительных техникумов*



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ И СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1953

目 次

第二版原序	6
緒論	7
一 物体的状态参数	10
習題	15
二 理想气体和基本气体定律	21
習題	24
三 气体混合物	31
習題	33
四 气体的比热	38
習題	43
五 热力学第一定律	50
習題	53
六 基本的气体过程	56
定容过程	56
習題	57
定压过程	60
气体的焓	61
習題	62
定温过程	67
習題	69
絕热过程	72
習題	73
多变过程	78
習題	82
七 理想气体的熵	89
習題	93
八 周程 (循环)	99
卡諾循环	100

活塞式內燃机的理論循环	101
气輪机的循环	103
活塞式压气机	105
習題	109
九 水蒸汽	129
概論	129
干飽和蒸汽	131
湿飽和蒸汽	131
过热蒸汽	132
蒸汽的熵	134
習題	135
水蒸汽的熵圖	143
水蒸汽的状态变化过程	144
習題	147
十 气体和蒸汽經过孔口的外射流动	162
具有阻力的外射流动	166
气体和蒸汽的節流(阻塞)	167
習題	167
十一 蒸汽动力裝置循环	176
蒸汽的再热循环	182
热化循环	183
回热循环	184
兩汽循环	186
習題	188
十二 制冷裝置循环	204
空气制冷裝置循环	204
蒸汽压缩制冷裝置循环	206
習題	210
十三 湿空气	219
習題	224
十四 化学过程热力学	232
習題	239

附錄	250
参考文献	289
中俄名詞对照表	290

第二版原序

本版与第一版比較有顯著的增补。其中：1) 加入了說明制冷裝置循环和化学过程热力学的新的章節；2) 改寫了有关气体和蒸汽的流动、气輪机循环、蒸汽动力裝置循环以及湿空气各章；3) 增加了書中大多数章節中的例題和習題；4) 全部标准材料均引自最新数据。

作者謹对斯大林獎金獲得者、技術科学博士基列林 (B. A. Кириллин) 教授表示感謝，他的宝貴意見在准备手稿付印时都曾加以考慮。

緒 論

工程热力学是热工学中最重要的理論部分，而热工学是研究利用和生產热能的方法以及供此目的所用的機器和儀器的一門丰富的科学性課目。

工程热力学的基本內容是研究热力过程，主要是研究热能与机械能的相互轉換过程。

热力学，特別是工程热力学，是經歷了長时期發展的道路的。偉大的俄罗斯学者米哈依尔·瓦西里耶維奇·罗蒙諾索夫（Михаил Васильевич Ломоносов）作了热能本質的真正科学的論証。在热理論範圍內，罗蒙諾索夫所進行的卓越的研究，以及所獲得的成果決定了西歐一百多年來科学思想的發展。

罗蒙諾索夫大胆地拋棄了十八世紀中叶佔优势的伪科学的热質〔理論〕，並作出了热現象唯一正确的解釋：热就是物質运动的形式。

即使是在二百多年以前，罗蒙諾索夫所研究出來的和建立在物質分子运动学說基礎上的热理論仍包含着現代热理論的一切主要成分。

如果考慮到物質、运动和力的守恒和不滅定律以及能量守恒定律——此二基本定律奠定了自然界主要現象的唯物論的牢固基礎——的天才發明是屬於罗蒙諾索夫的，那么他在發展热的学說上的作用就更加顯得特別的偉大。

几乎是与罗蒙諾索夫在理論上發明的同时，俄罗斯学者、机械师兼發明家依凡·依凡諾維奇·波尔茹諾夫（Иван Иванович Ползунов）於1765年創造了供工厂用的、帶有傳动裝置的、世界上第一部万能蒸汽机，实际解决了热能轉換为机械能的問題。就在这一部万能蒸汽机的構造上奠定了現代蒸汽机的主要概念。

波尔茹諾夫的偉大發明，是他在細心鑽研当时对自然界和热的本質的理論的基礎上創造出來的。

進一步發展有关热的學說，多半归功於十九世紀後半叶的許多傑出的俄罗斯学者——門德雷業夫(Д. И. Менделеев)，奧卡托夫(М. Ф. Окатов)，維施涅克拉德斯基(И. А. Вышнеградский)，赫伏尔松(О. Д. Хвольсон)，捷尔諾夫(Д. С. Зернов)等。

沙俄的統治階級對於發展祖國的科學是不感興趣的，偉大的俄罗斯学者的工作是被輕視的，他們的成就被湮沒了，沙俄使本國科學屈从在外國科學的面前。

只有蘇維埃學者才真正發掘並掌握羅蒙諾索夫的偉大的科學遺產。雖然關於波尔茹諾夫傑出發明的消息不僅國內皆知，並且遠聞國外，但是在沙皇的俄國，波尔茹諾夫的著作竟沒有被發表出來。

偉大的十月社会主义革命扫除了我國(蘇聯)科學發展道路上的一切障礙，激發起蘇聯人民強大的創造性力量。

在列寧-斯大林黨領導下的蘇聯科學，包括力能科學在內，在与社会主义國民經濟蓬勃發展的密切聯系下，也經歷了她自己巨大的發展道路。

在發展蘇聯熱工科學上起巨大作用的是若干國立熱工科學研究院，首先是以德捷爾任斯基(Ф. Э. Дзержинский)命名的全蘇熱工學院(ВТИ)，以波尔茹諾夫命名的中央鍋爐輪機學院(ЦКТИ)，及蘇聯科學院以克爾齊讓諾夫斯基(Г. М. Кржижановский)命名的動力研究所(ЭНИН)。

這些研究機構的全体人員以及大批卓越的蘇聯學者和工程師們〔舒霍夫(В. Г. Шухов)，格利聶維茨基(В. И. Гриневецкий)，基爾施(К. В. Кириш)，拉德茨克(А. А. Радциг)，拉姆辛(Л. К. Рамзин)，克拉松(Р. Э. Классон)，馬卡利耶夫(Т. Ф. Макарьев)，德米特里耶夫(В. В. Дмитриев)，庚介爾(Л. Л. Гинтер)等人〕的許多成就豐富了蘇聯的熱工學。

蘇維埃國家自沙皇制度的手中所獲得的動力遺產是非常薄弱

的：1913年發電站的總功率是1098000 仟瓦，電力年產量僅約二十億仟瓦·小時。

列寧的偉大作品——全俄電氣化委員會（ГОЭЛРО）的計劃擬定在十五年內建設發電量為1750000 仟瓦的新的發電站，這個計劃在十年中就已大大地超額完成了。

1941年初，蘇聯發電站的功率與1913年比較已增加了十倍，而電力的產量則增加了二十四倍。

1950年電力產量與1940年比較增加了87%。在電力生產方面蘇聯在歐洲佔第一位，在世界上佔第二位。

斯大林同志在他的經典著作「蘇聯社會主義經濟問題」中，特別強調指出列寧的著名的共產主義公式——「共產主義就是蘇維埃政權加上全國電氣化」。這是現階段共產主義社會建設的唯一正確的公式。

蘇聯的動力工程不僅在數量上有發展而且在質量上也有提高。燃料利用的經濟性的提高即是這方面發展的主要指標之一：1 仟瓦·小時的單位燃料消耗量在1950年與1913年相比即減低了50%。

在熱化（供電兼供熱）方面也獲得很大的成就。社會主義的計劃經濟為電能和熱能的集中聯合生產創造了特別有利的條件；在蘇維埃政權的年代里，就曾建立了好幾個極其龐大而又很經濟的中央熱電站。在偉大的衛國戰爭以前，蘇聯在中央熱電站的功率方面已佔世界上第一位。

在掌握燃燒各種當地生產燃料和劣質燃料方面曾進行了巨大的工作。蘇聯的力能專家為燃燒泥煤、褐煤、無煙煤粉而創造了第一流新穎爐子的構造（馬卡利耶夫爐、歇爾施涅夫爐、全蘇熱工學院爐等等）。在燃燒劣質燃料方面，我國（蘇聯）大大地勝過資本主義國家，大多數資本主義國家的大發電廠多半是用高級燃料的。我國的發電廠中都廣泛地應用最新的動力技術——高壓及高溫蒸汽，最新型式的热力原动机和蒸汽鍋爐。

在沙俄时代的动力設備中，鍋爐的蒸汽压力通常不超过 16 大气压力，蒸汽溫度不超过 350°C 。蒸汽生產量大於 $15\sim 20$ 噸/小時的鍋爐是罕見的。在目前，苏联工厂制造压力 185 大气压，溫度 550°C 的强大的蒸汽鍋爐，鍋爐裝置的蒸汽生產量达到 240 噸/小時。

革命前的俄罗斯根本沒有汽輪机工厂。在苏維埃政权的年代里，建成了保證充分供应我國(苏联)現代蒸汽輪机的强大的动力机器制造基地。1952 年列寧格勒斯大林金屬工厂制造的利用 175 大气压， 550°C 溫度的超高参数蒸汽，150000 仟瓦，3000 轉/分的汽輪机乃是苏联技術上最巨大的成就。

苏联共產党第十九次代表大会關於發展苏联的 1951~1955 年第五个五年計劃的指令中，規定大力發展动力机器制造並在新的强大的动力技術基礎上更進一步發展社会主义國民經濟的电气化。汽輪机的生產应当增加 1.3 倍，水輪机的生產——6.8 倍，鍋爐的生產——1.7 倍。拟定在这一个五年計劃內發電厂的总發電量大約增加一倍，而水力發電站的总發電量則增加二倍。

动力裝備的不断增長乃是發展國民經濟事業的巨大貢獻。

列寧-斯大林的党在苏联人民的面前提出了建設共產主义社会的巨大的和令人感奋的任务。要完成这一个任务，就要求全体劳动人民創造性地自觉地劳动。我國的青年面臨着一个光荣的任务——去參加更進一步巩固並發展我們偉大祖國的科學和技術。

— 物体的狀態参数

表示物体在某一狀態下的特征性数字称为狀態参数。物体的狀態大多是用下列諸参数來确定的：比容、压力和溫度。

1. 比容 (v) 是物体單位重量的容積。在工程热力学中，重量的單位採用公斤而容積的單位採用立方公尺。因此比容等於 1

公斤重的物質所佔的立方公尺容積。

設 V 為 G 公斤重的物體所佔有的容積，則以公尺³ 計的比容為

$$v = \frac{V}{G} \text{公尺}^3/\text{公斤}。 \quad (1)$$

比容的倒數

$$\frac{1}{v} = \gamma = \frac{G}{V} \text{公斤}/\text{公尺}^3, \quad (2)$$

即單位容積的重量，稱為重度。因此重度等於 1 立方公尺物質以公斤計的重量。所以比容以公尺³/公斤來度量，而重度則以公斤/公尺³來度量。

在工程手冊里重度通常是以克/公分³或（等值的）公斤/公寸³表示的。因此以公斤/公尺³作為重度的因次時，應該將手冊里所查得的數值增大 1000 倍。

由方程式 (2) 得

$$v\gamma = 1,$$

又 $V = Gv = \frac{G}{\gamma} \text{公尺}^3$ 及 $G = \gamma V = \frac{V}{v} \text{公斤}。$

2. 壓力 (p) 以作用在單位面積上的力來度量。因為在工程熱力學中面積單位採用平方公尺，所以壓力以每平方公尺若干公會的巨大的和令人感奮的任務。要完成這一個任務，就要求全體勞動人民創造性地自覺地勞動。我國的青年面臨着一個光榮的任務——去參加更進一步鞏固並發展我們偉大祖國的科學和技術。

— 物體的狀態參數

表示物體在某一狀態下的特征性數字稱為狀態參數。物體的狀態大多是用下列諸參數來確定的：比容、壓力和溫度。

1. 比容 (v) 是物體單位重量的容積。在工程熱力學中，重量的單位採用公斤而容積的單位採用立方公尺。因此比容等於 1

$$1 \text{ (工程) 大气压} = 1 \text{ 公斤/公分}^2 = 10000 \text{ 公斤/公尺}^2 \\ = 735.6 \text{ 公厘水銀柱} = 10000 \text{ 公厘水柱。}$$

$$1 \text{ 物理大气压} = 1.0332 \text{ 公斤/公分}^2 = 10332 \text{ 公斤/公尺}^2 \\ = 760 \text{ 公厘水銀柱} = 10332 \text{ 公厘水柱。}$$

在美國和英國，不同於國際通用的公制标准而採用下列各項度量單位：

比容 v ——以每磅的立方呎數計（呎³/磅）；

重度 γ ——以每立方呎的磅數計（磅/呎³）；

壓力 p ——以每平方吋的磅數計（磅/吋²）。

將這些度量換算成公制時，可以利用下列的關係式：

$$1 \text{ 磅/呎}^3 = 16.02 \text{ 公斤/公尺}^3; 1 \text{ 呎}^3/\text{磅} = 0.062 \text{ 公尺}^3/\text{公斤};$$

$$1 \text{ 磅/吋}^2 = 0.0703 \text{ 公斤/公分}^2。$$

壓力表是用來測量高於大氣壓的壓力的。壓力表的讀數表示被測介質壓力超出大氣壓力的數值——表壓力或超出壓力（ $p_{\text{ман.}}$ ）。

為了得到真實壓力或絕對壓力，必須將表壓力加上氣壓計的壓力：

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{ман.}} + B, \quad (3)$$

式中 B ——氣壓計的壓力（周圍環境壓力）。

如壓力是以大氣壓來度量，則須採用下列表示方式：絕對大氣壓（ $p_{\text{амб}}$ ）——代表絕對壓力，計示大氣壓（ $p_{\text{амб}}$ ）——代表超出壓力。

真空表是用來測量低於大氣壓的壓力的。真空表的讀數表示被測介質壓力低於大氣壓力的數值（真空度或稀薄度）。在此情況下的絕對壓力由下式計算之：

$$p_{\text{абс}} = B - p_{\text{вак}}。 \quad (4)$$

當用水銀柱高度來表示壓力時，應當注意到儀器（氣壓計，水銀壓力表）的讀數不僅和被測介質的壓力有關，而且和水銀的溫度也有關係；因為後者改變時水銀的重度也跟着改變。在水銀

溫度高於 0°C 時，它的重度比在 0°C 時小。故在這種情況下壓力計上的讀數要比在同樣壓力及水銀溫度為 0°C 時為高。在水銀溫度低於 0°C 時，則讀數的關係恰巧相反。把那以液柱高度表示的壓力化成工程大氣壓時，這一點要加以注意。這須將儀器中水銀柱高度修正到 0°C 時的值再進行換算。

在不同溫度下，1000 公厘水銀柱應有的修正值列於表 1 中。

當水銀溫度高於 0°C 時，表 1 所示的修正值應當從儀器讀數中減掉；當水銀溫度低於 0°C 時，則所示的修正值應當加在儀器的讀數上。

將水銀氣壓計讀數化成 0°C 時的值，也可以很容易地利用下列關係式求得：

$$B_0 = B (1 - 0.000172t), \quad (5)$$

式中 B_0 ——換算至 0°C 時氣壓計的讀數；

B ——在空氣溫度為 $t^{\circ}\text{C}$ 時水銀柱的真實高度。

表 1

水銀柱溫度(0°C)	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
1000 公厘的修正值(公厘)	0.00	0.87	1.73	2.59	3.45	4.31	5.17

利用水銀柱高度來度量壓力時，還應當注意到由於毛細管作用而使量得的數值有某些減小。毛細管現象的修正值和管子的內直徑及水銀彎月面的高度有關（圖 1）。以公厘計算的修正值見表 2，它應當加在儀器讀數上。

表 3 為科技中所用各種壓力單位的比較。

3. 表示物體狀態特征的第三個基本數值是溫度。在工程上它用國際百度溫標 ($^{\circ}\text{C}$) 的度數來度量，在這個溫標上當壓力為 760 公厘水銀柱時，冰的融解溫度和水的沸騰溫度分別以 0°C 和 100°C 來表示。



圖 1

研究熱力學最方便的是用所謂絕對溫標，它採取絕對零度為

計算溫度的起點。絕對零度比 0°C 低 273.16° 。溫標中絕對零度的存在是偉大的俄羅斯學者羅蒙諾索夫於 1747 年在他著名的著作 [論熱與冷的原因] 中首先說明的。

表 2

直徑 d (公厘)	彎月面高度 a (公厘)							
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
4	0.83	1.22	1.54	1.98	2.37	—	—	—
5	0.47	0.65	0.86	1.19	1.45	1.80	—	—
6	0.27	0.41	0.56	0.78	0.98	1.21	1.43	—
7	0.18	0.28	0.40	0.53	0.67	0.82	0.97	1.13
8	—	0.20	0.29	0.33	0.46	0.56	0.65	0.77
9	—	0.15	0.21	0.28	0.33	0.40	0.46	0.52
10	—	—	0.15	0.20	0.25	0.29	0.33	0.37
11	—	—	0.10	0.14	0.18	0.21	0.24	0.27
12	—	—	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.19
13	—	—	0.04	0.07	0.10	0.12	0.13	0.14

表 3

壓力單位名稱	符 號	公斤/公分 ²	公斤/公尺 ²	物理大氣壓	工程大氣壓	磅/吋 ²	公厘水銀柱
工程大氣壓	am	1.0000	10000	0.968	1.0000	14.223	735.6
物理大氣壓	Am	1.0332	10332	1.000	1.0332	14.696	760.0
英制壓力單位	lb/in^2	0.0703	703	0.068	0.0703	1.000	51.7

按絕對溫標計算的溫度稱為絕對溫度，並以絕對溫標的度數來表示 ($^{\circ}\text{K}$ 或 $^{\circ}\text{a6c}$)。

從 0°C 算起的百度溫標的溫度用符號 t 表示。從絕對零度算起的絕對溫標的溫度用符號 T 表示。

從上述規定即可得下列關係：

$$T^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273.16,$$

或近似地

$$T^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273.$$

在華氏溫標 ($^{\circ}\text{F}$) 中冰的融解溫度和水的沸騰溫度分別以 32°F 及 212°F 來表示。在將這個溫標的讀數換算為 $^{\circ}\text{C}$ 及作相反

的換算時，可利用下列關係式：

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32) ; \quad (6)$$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} t^{\circ}\text{C} + 32. \quad (7)$$

溫度計液柱露出部分的修正 水銀溫度計的刻度校驗是在恆溫器中進行的。進行時將溫度計沉入充滿恆溫器的液體中，浸至所需的刻度。因此溫度計中全部水銀具有和被測介質相同的溫度。在實際測量溫度時，溫度計液柱只有一部分沒入被測的介質中，另一部分水銀柱因而具有另外的溫度，所以必須對「露出的液柱」加以修正。這個修正值可按下式來計算：

$$\Delta t = n \alpha (t - t_1) \quad (8)$$

式中 Δt ——修正值，度；

n ——水銀柱露出部分所佔的度數；

α ——水銀對玻璃的視膨脹係數，
對於最常用的玻璃此值等於
0.00016；

t ——根據溫度計讀出的溫度；

t_1 ——水銀柱露出部分的平均溫度。

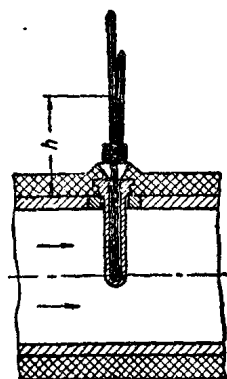


圖 2

水銀柱露出部分的平均溫度可用輔助溫度計來確定，輔助溫度計的水銀球緊固在水銀柱露出部分一半高的地方（圖 2）。

習 題

1. 在 0°C 時，空氣的壓力根據水銀氣壓計為 770 公厘。
試將此壓力以公斤/公分² 表示之。

〔解〕

$$1 \text{ 公斤/公分}^2 = 735.6 \text{ 公厘水銀柱,}$$