

熱工學理論基礎

蘇聯 阿·姆·伏洛諾夫著
錢 叔 文譯

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書闡述了傳熱學的原理及熱力學的基本技術問題，對現代發電廠機組的蒸汽動力的循環過程也作了敘述。

本書可供中等動力技術學校，熱力專業學生之用。

* * *

熱工學理論基礎

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)

1953年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 A. M. ВОРОНОВ 著

錢 叔 文譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：朱雅軒 校對：胡定國

北京市書刊出版營業許可證出字第012號

書號277 * 電122 * 850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 11印張 * 288千字 * 定價19,800元

一九五四年八月北京第一版第一次印刷(1—4,200冊)

版權所有★不許翻印

原 作 者 序

這本「熱工學理論基礎」教程的編寫，考慮了蘇聯電站部所屬動力技術學校熱工專業教學計劃的特點。這個教學計劃的特點乃是動力學和傳熱學兩者與應用性質的技術問題之間有比一般更密切地聯繫，而這些問題能使培養技術人員便於完成。

在本教程中，作者力求總結自己在動力技術學校中講授熱工學課程的教學經驗，這一工作正如一切新步驟一樣，遇到了一定的困難。作者誠懇的接受讀者對本書中可能存在的缺陷所提出的意見。

作者對夏都爾斯基動力技術學校熱工學學科委員會主席 B. H. 魯達可夫工程師、列寧格勒動力技術學校熱工學學科委員會主席 Б. Ф. 波耶諾夫工程師及 Б. Л. 邁利尼茨基講師，M. A. 凡爾舒平斯基講師，С. Н. 茹洛夫工程師，П. И. 沙利舒金工程師等，及以 B. M. 莫洛托夫命名的莫斯科動力學院熱工學理論基礎教研室教授，斯大林獎金獲得者，技術科學博士基列林等，在評閱本書原稿時曾給予作者的各種指示，致以謝意。

作者對技術科學博士 B. M. 塔利夫教授在校閱本書原稿中付出更多的勞動，尤表感激。

目 錄

原作者序

緒 論	1
-----------	---

第一編 工程熱力學

第 一 章 基本概念	5
------------------	---

1 - 1. 熱力學發展簡史	5
1 - 2. 能的種類	5
1 - 3. 熱力狀態的基本參數	7
1 - 4. 可逆及不可逆過程	13
1 - 5. 氣體的內能與外功	15

第 二 章 氣體分子運動學說及理想氣體定律	18
-----------------------------	----

2 - 1. 氣體分子運動學說的基本方程式	18
2 - 2. 波義耳 - 馬略特定律	20
2 - 3. 給呂薩克定律	21
2 - 4. 門德列業夫 - 克拉必隆的理想氣體狀態方程式	22
2 - 5. 氣體特性常數及其物理意義	24
2 - 6. 亞佛加德羅定律	24
2 - 7. 氣體普遍常數	25

第 三 章 混合氣體	27
------------------	----

3 - 1. 分壓力及分體積	27
3 - 2. 道爾頓定律	28
3 - 3. 混合氣體組成的各種標示方法	28
3 - 4. 氣體的體積比率與重量比率間的變換	30
3 - 5. 在已知混合物的重量組成時, 求混合物的比容和氣體常數	31
3 - 6. 在已知混合物的體積組成時, 求混合物的比重及視在分子量	31
3 - 7. 體積比率與重量比率間關係式的進一步變換	32

第 四 章 實際氣體	35
------------------	----

4 - 1. 實際氣體對理想氣體特性方程式的偏差	35
4 - 2. 萬德威爾方程式	36

第 五 章 熱力學第一定律	41
---------------------	----

5 - 1. 熱與功的等量性	41
----------------------	----

5 - 2.	熱力學第一定律方程式的一般形式	42
5 - 3.	氣體的熱含	46
第 六 章	熱容量	49
6 - 1.	熱容量的定義	49
6 - 2.	熱容量圖	51
6 - 3.	根據真實熱容量對溫度的已知關係來推導平均熱容量	53
6 - 4.	混合氣體的熱容量	56
6 - 5.	各種溫壓下的氣體混合物	60
第 七 章	熱力過程	65
7 - 1.	等容過程	65
7 - 2.	等壓過程	66
7 - 3.	等溫過程	67
7 - 4.	絕熱過程	69
7 - 5.	多變過程, 基本方程式	74
7 - 6.	多變過程的熱容量, 多變曲線的構成	78
7 - 7.	多變過程的熱力特性和多變過程在 vp 圖上的 曲線形狀的關係	80
第 八 章	熱力學第二定律	86
8 - 1.	封閉的可逆過程 (循環)	86
8 - 2.	加諾順行循環	88
8 - 3.	加諾逆行循環	90
8 - 4.	加諾原理	92
8 - 5.	熱力學第二定律	93
8 - 6.	熵	94
8 - 7.	熵或熱的 sT 圖	99
8 - 8.	加諾可逆循環在 sT 圖上的形狀	101
8 - 9.	孤立系統中熵之增升與能之遞降原理	102
第 九 章	內燃機循環	107
9 - 1.	內燃機循環概念	107
9 - 2.	等容加熱循環	107
9 - 3.	等壓加熱循環	109
9 - 4.	混合加熱循環	112
第 十 章	燃氣輪機	116
10 - 1.	燃氣輪機概念	116
10 - 2.	等壓加熱式燃氣輪機循環	118
10 - 3.	有回熱的等壓加熱式燃氣輪機循環熱效率的推求	120

10- 4.	等容加熱式燃氣輪機循環熱效率的推求	122
10- 5.	有回熱的等容加熱式燃氣輪機循環	124
10- 6.	實際燃氣輪機循環的經濟性及燃氣輪機的前途	127
10- 7.	燃氣輪機的特殊系統	129
10- 8.	航空用燃氣輪機工作的基本原理	130
10- 9.	壓縮機循環	133
第十一章	水蒸汽、基本概念	140
11- 1.	蒸汽形成的過程	140
11- 2.	飽和蒸汽的比容	142
11- 3.	獲得蒸汽所消耗的熱量	143
11- 4.	蒸汽的內能和熱含	144
11- 5.	過熱蒸汽	146
11- 6.	水及水蒸汽之熵的計算	149
11- 7.	飽和及過熱蒸汽表	151
11- 8.	水蒸汽的 si 圖	155
第十二章	水蒸汽的熱力過程	158
12- 1.	濕蒸汽的等容過程	158
12- 2.	水蒸汽的等壓過程	160
12- 3.	等溫過程	162
12- 4.	絕熱過程	163
第十三章	蒸汽動力裝置循環	168
13- 1.	蒸汽動力裝置	168
13- 2.	飽和蒸汽的加諾循環	168
13- 3.	郎肯循環	170
13- 4.	各種狀態蒸汽的郎肯循環	172
13- 5.	不完全膨脹的蒸汽循環	175
13- 6.	提高蒸汽發動機循環效率的方法	177
13- 7.	給水的回熱	179
13- 8.	按回熱給水循環工作的設備系統	180
13- 9.	蒸汽的重熱	182
13-10.	兩汽循環	183
13-11.	熱化	185
13-12.	中間抽汽式蒸汽發動機	189
第十四章	氣體和蒸汽的流動	194
14- 1.	氣體流動速度的計算	194
14- 2.	每秒鐘氣體流量的計算	197

14- 3.	流動公式的研究	198
14- 4.	氣體及蒸汽的節流	206
第十五章	製冷裝置	211
15- 1.	製冷裝置循環	211
第十六章	濕空氣	214
16- 1.	基本概念	214
16- 2.	露點和濕度計	215
16- 3.	濕空氣的物理性質	216
16- 4.	空氣的含濕量	217
16- 5.	濕空氣的焓和 dI 圖	218
16- 6.	理想(無損失)乾燥器	220
第二編 傳 熱 學		
第十七章	熱傳導	226
17- 1.	基本概念	226
17- 2.	利用傳導的熱能傳遞	227
17- 3.	溫度梯度	228
17- 4.	熱流	229
17- 5.	平壁的熱傳導	233
17- 6.	多層壁的熱傳導	234
17- 7.	平壁的授熱	237
17- 8.	圓柱壁的熱傳導	242
第十八章	熱對流	244
18- 1.	基本概念	249
18- 2.	相似原理	250
18- 3.	牛頓定理	252
18- 4.	流體(可滴的或彈性的)運動中牛頓定理的應用	254
18- 5.	層流和紊流	257
18- 6.	授熱係數的實用推求法	260
18- 7.	流體自由流動時的授熱	268
18- 8.	液體集態變化(沸騰、凝結)時的授熱	268
18- 9.	凝汽器熱力計算示例	271
第十九章	熱輻射	275
19- 1.	基本概念	275
19- 2.	布蘭克定律	276
19- 3.	朗貝特定律	277
19- 4.	固體的輻射	278

19- 5.	輻射熱交換	278
19- 6.	克希荷夫定律	281
19- 7.	絕對黑體, 灰體	281
19- 8.	氣體的輻射	282
19- 9.	物體系吸收及放射的換算係數	286
19-10.	蒸汽鍋爐燃燒室空間內的輻射	288
第二十章	熱交換器具	293
20- 1.	基本概念	293
20- 2.	傳熱係數的計算	295
20- 3.	熱交換器具加熱面的計算	296
參考文獻		299
附 表		300

緒 論

熱工學理論基礎為深入研究熱工課程打下科學的基礎。當學員開始研究熱工課程時，應該知道那些已在我國完成，那一些是在具有歷史意義的斯大林五年計劃中動力部門所擬定實現的。

列寧同志創建了俄羅斯電氣化計劃，這計劃被稱作 ГОЭЛРО(俄羅斯國家電氣化委員會)計劃而載入歷史。其中規定了大規模地建設火力發電站(主要是在不需輸入燃料的地區)和水電站。

全俄中央執行委員會關於俄羅斯電氣化的法令頒佈於1920年2月。在俄羅斯國家電氣化委員會中參加了200名左右優秀的俄羅斯動力專家。計劃中擬定建築30個電力站，總容量為150萬瓩(其中20個為火電站，10個為水電站)。

關於這個計劃約·維·斯大林曾寫信給弗·伊·列寧說①：「最近三天我有機會讀完了『俄國電氣化計劃』彙編。疾病倒幫助了我(塞翁失馬，安知非福!)。一本出色的、寫得很好的書。巧妙的描繪了不加括號的真正統一和真正國家經濟計劃。這是當代唯一的馬克思主義的嘗試，給經濟落後的俄國的蘇維埃上層建築奠定在目前條件下真正實現的和真正可能的技術生產基礎」。

後來，這個電氣化計劃不僅實現了，而且是超額完成了。

ГОЭЛРО計劃中所擬定的第聶伯河水電站每年要發出十億瓩小時以上的電能，比整個沙皇時代的俄國在1913年發出的還要多。

在第八次全俄蘇維埃代表大會上，弗·伊·列寧講述了ГОЭЛРО計劃說②：「共產主義，就是蘇維埃政權加全國電氣化」。

在第一個五年計劃時期內(1928—1932)，發電廠容量從190萬瓩增加到470萬瓩，而電能產量則從50億瓩小時增加到137.6億瓩小時。

① 斯大林全集第五卷50頁(俄文版)。

② 列寧全集第三十一卷484頁(俄文版)。

在第二個五年計劃時代裏（1933—1937），廣泛地展開了新型發電站的建設——熱電站（ТЭЦ）。

蘇聯共產黨第十九次代表大會規定了動力部門今後的任務，以及它在我國今後發展中的強大速度。例如，按照五年計劃，在1955年蘇聯的發電站應生產出比1950年多80%的電能。按照計劃，總的電站容量增加兩倍，而水電站要增加三倍。古比雪夫、卡馬、高爾基、明基卡烏爾、烏斯特-卡曼諾戈爾斯卡亞及其他發電站將投入生產。

在第五個五年計劃完成的年代裏，將大規模地建造斯大林格勒和卡霍夫克水電站，開始建造伏爾加河上的契鮑克薩利，卡馬河上的沃特金斯克等水電站。

在建造水電站的同時，也將保證熱電站容量的顯著增長，以改善南部，烏拉爾、庫茲涅茨克等工業地區的供電，並實現城市和工業企業廣泛的供熱。

這些電站的興建就能解決關於工業、農業和交通運輸業今後電氣化的一系列重要問題。

五年計劃勝利的實現，證明了我國經濟、科學、文化和技術上的繁榮，並且它是建立共產主義物質和技術基礎的柱石。

聯共（布）中央六月會議（1931）作出了關於熱化（供熱）的決定，這個決定成為電氣化事業中歷史的轉折^①：「中央認為，在今後的電氣化計劃中，國家應該儘量地考慮到大力興建強大的熱電站的問題，首先是在大工業中心，不論它是原有的（莫斯科、列寧格勒、哈爾科夫等地）還是新建的（齊略賓斯克、斯大林格勒等地）」。

這個決定奠定了熱化事業的快速發展，在熱化事業方面，蘇聯佔世界首位。因為在蘇聯，計劃經濟和蘇維埃國家制度給它的發展打下了良好的基礎。

目前，新電站的建築還在大規模地發展中。

在蘇聯，動力事業，尤其是熱力工程事業的這種廣闊的發展是建立在祖國熱工科學巨大成就的基礎上的。從羅蒙諾索夫和巴祖諾夫開

^① 聯共（布）代表大會，代表會議以及中央委員會全體會議決議彙編。第二部，1925—1939（俄文版）。

始，俄羅斯學者是熱工學這門科學的奠基人。

М. В. 羅蒙諾索夫第一個發表了氣體分子運動理論的基本原理。在「論熱和冷的原因」這篇論文中，寫到：「熱由物質內部運動所組成」。М. В. 羅蒙諾索夫在建立分子熱運動理論基礎方面超越了外國學者一百年。

М. В. 羅蒙諾索夫在分析了分子運動以後，第一個形成了關於溫度絕對零度的觀念。物質守恆定律也是其創立的。

И. И. 巴祖諾夫佔據了發明第一台工廠蒸汽機的優先地位，它的發明要比瓦特早20年。

在氣體分子運動理論的領域中，Н. Н. 皮洛高夫教授作了深刻的研究。Н. Н. 皮洛高夫的這些工作是在上一世紀八十年代進行的。

在上一世紀六十年代，偉大的俄羅斯學者 Д. И. 門德列業夫確定了所有物質都有它一定的臨界溫度。Д. И. 門德列業夫在氣體壓縮研究上也作了很多的工作。

在熱力學方面的第一批俄羅斯學者為 И. А. 維師涅哥拉德斯基 (Вышнеградский) 教授和 М. Ф. 奧卡托夫 (Окатов) 教授。

在確定飽和蒸汽熱力性質的領域中，必須指出為包格也夫斯基 (Богаевский)，高里金 (Голицын)，納捷茹金 (Надеждин)，基斯加科夫斯基 (Кистяковский) 等人的勞動。

談到水蒸汽理論和創立蒸汽機和汽輪機的熱力理論方面，必須指出為下列俄羅斯的學者：В. И. 哥里涅威茨基 (Гриневецкий)，А. А. 拉德齊哥 (Радциг)，А. А. 布朗特脫 (Брандт) 等。

羅蒙諾索夫的朋友，Г. В. 李赫曼 (Рихман) 院士早在 1750 年就首先作了傳熱學方面的究研。在傳熱學領域中很多重要的問題已被 С. Я. 切列辛 (Терешин)，В. А. 米赫爾遜 (Михельсон)，В. А. 烏里雅寧 (Ульянин)，М. В. 奧斯特洛格拉特斯基 (Остроградский)，Р. Э. 李恩赤 (Ленц)，М. В. 基爾皮柴夫 (Кирпичев) 等人順利地解決了。

在蒸汽鍋爐理論方面應該指出為格弗里連克 (Гавриленко)，吉伯 (Деппо)，基爾師 (Кириш)，蘇郝夫 (Шухов)，蘭辛 (Рамзин)

等人以及其他俄羅斯學者的工作。

爲了加強固體燃料的氣化過程而採用的氧氣鼓風的觀念是屬於俄羅斯熱工家的。

目前在蘇聯，很多卓越學者的輝煌工作解決了許多現代熱力工程中的複雜問題。

無數熱工界人員的科學工作都被高級的科學研究所所綜合。首先是以蘇聯科學院院士 Г. М. 克爾西柴諾夫斯基 (Кржижановский) 命名的動力研究所，以 Ф. Э. 捷爾任斯基 (Дзержинский) 命名的全蘇熱工學院以及 И. И. 巴祖諾夫命名的中央機爐研究所。

熱工科學發展的高度水平以及那些體現在偉大的共產主義事業中的動力部門的成就，祇有在社會主義取得勝利的國家中，在政府屬於人民的國家中，在以偉大的斯大林爲首的共產黨英明領導下，勝利地建設着沒有階級的共產主義社會的國家中，才有可能。

第一編 工程熱力學

第一章 基本概念

1-1. 熱力學發展簡史

熱力學是關於能及其特性的科學，它包括了有關藉助熱機（內燃機、蒸汽機、汽輪機等）把熱能變為機械能的諸問題。

熱力學建立在兩個被稱為熱力學第一定律及第二定律的基本原理上。

熱力學第一定律說明熱與功的等量性，而第二定律則指出熱轉換為功的條件。

為了解決熱力學上的具體問題，除了這兩個基本定律外，還必須具備關於物質結構的概念。氣體分子運動學說的特殊價值即在於此，這個學說在熱力學發展的最初階段即已得到闡明。最初提出氣體分子運動學說觀點的是 M. B. 羅蒙諾索夫。

熱力學是從能量轉換的研究而演變來的。因此，只有在能量守恆及轉換定律成立以後，熱力學才能發展起來。

在上一世紀中葉以前，曾把熱當作自成一類之物質的論調頗為盛行。直到現在，這種論調的痕跡還能在術語中遇到。但是早在 1750 年，M. B. 羅蒙諾索夫就對當時所公認的熱質論予以詳盡的批判，並且始終不渝地發展了熱乃是運動的一種形態的觀點：「……熱的充分基礎必然是任何物質的運動」。

能量守恆及轉換定律的發現，對科學的發展曾發生過巨大的影響：在當時看來，洞悉大自然全部奧秘的門鑰似乎已由此而得，能量守恆及轉換定律是科學上最大的收穫之一。

1-2. 能的種類

恩格斯在《自然辯證法》中，給能下了這樣的定義：「一眼便可以看清楚，我們這裏作為排拒力來研究的運動形態正是現在物理學中所說的『能』。……但是熱乃是所謂『能』的一種形態；而後者却又是排拒力的同等物」。

由此可見，各種不同種類的能都是與運動和聯系的。運動物體的活力（或動能）與物體的質量及其速度的平方成正比。

具有能的物體能作功。

恩格斯在同一書中說：「這樣看來，所謂功者，就是從數量方面來觀察的運動形態的變化」。

又說：「我們知道，機械運動（即活力）的消逝有兩種形態：第一，它變成機械的位能，例如一個重物被舉起的時候。這種形態的特點就是位能不但可以反轉為機械運動（同時這個運動所包含的活力與本來的運動相同），而且它只能有這樣的一種轉變。機械的位能，設若不先變為實際的機械運動，無論如何都不能變成熱與電……」

第二種形態發生於摩擦及打擊時，這兩者的差異不過是程度上的……

摩擦是綿延的打擊，打擊是尖銳的摩擦。此地所消逝的機械運動就這樣子消逝了，它再也不能自行恢復了……機械運動變成了性質不同的運動形態，變成了熱，變成了電，變成了分子運動的形態」。

如上所述，機械能可以轉變為另一種形式的能，變成熱和功的形態。

為了測定熱的量，規定了名為大卡的一種特殊單位。一大卡即為將1公斤的水在百分溫標 $19.5-20.5^{\circ}\text{C}$ 間升高 1°C 時所需的熱量。

機械功以仟克米為測度單位。

一般說來，各種能都同樣可用大卡或用公斤米來測度。

在氣體熱力學中所研究的各種熱力過程的工質及各種循環的工質，常常是所謂理想氣體，它是這樣的氣體，其分子不佔有體積，分子相互間也沒有作用力。實際氣體在稀薄狀態下非常接近於理想氣體的概念，因為這時分子的相互作用力很小，而分子的全體積與氣體所佔體積相比時也可以忽略。

在蒸汽熱力學中，作為工質來研究的是水蒸汽，目前它在工程上應用最廣。

在一些特殊的循環中也研究到水銀蒸氣。在熱力工程中蒸汽及其他物質（如氨及其他）均被採用，這些工質在專門的熱力學課程中加以研究。

1-3. 熱力狀態的基本參數

熱力狀態的參數，就是用以說明系統狀態特徵的數量。

工質的熱力狀態由下列各狀態參數來說明：溫度、壓力及比容。

a) 溫 度

物體的溫度就是其熱的程度。為了測定物體的溫度，人們採用一種名為溫度計的儀器。當溫度計與物體接觸時，經它們之間熱平衡狀態的形成，溫度計即確定了物體的待測溫度。在蘇聯，採用百分溫標以測定溫度，這種溫標的兩個固定點選為：

- a) 清潔的冰的溶解點；
- б) 標準大氣壓力下的清潔水的沸點。

在這兩個溫度之間採用了一百個刻度。

在百分溫標上，冰的溶點以 0°C 表示，而沸點則以 100°C 表示。

這種溫標上的溫度 ($^{\circ}\text{C}$) 以 t 表示。

0°C 以下及 100°C 以上的溫度由百分溫標兩端的相應延長中獲得。

百分溫標除掉上述那兩個固定點外，尚有四個固定點為校驗和刻劃適當的測溫儀器所必需，這些固定點即為在標準大氣壓力下的氧的沸點—— 182.97°C ，硫的沸點 444.60°C ，以及銀的凝固點 960.5°C ，金的凝固點 1063.0°C 。

熱力學中除了百分溫標外，也採用所謂絕對溫度的溫標，其零度是在百分溫標零下 273.16°C 處。

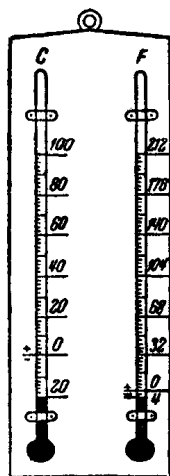


圖 1-1 百分溫標與華氏溫標的比較

絕對溫度 ($^{\circ}\text{K}$) 以 T 表示。

把絕對溫度換算為百分溫度或進行相反的換算時，可藉助下式進行：

$$\begin{aligned} t &= T - 273.16^{\circ}\text{C}, \\ T &= t + 273.16^{\circ}\text{K}. \end{aligned} \quad (1-1)$$

除掉百分溫標和絕對溫標外，某些國家還採用華氏溫標 ($^{\circ}\text{F}$)，華氏溫標的零度比百分溫標的零度低 32°F ，其沸點則採用 212°F (圖 1-1)。為了將華氏溫度換算為百分溫度或進行相反的換算，可利用下列公式：

$$\left. \begin{aligned} ^{\circ}\text{C} &= \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32), \\ ^{\circ}\text{F} &= \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32. \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

6) 壓 力

在熱力學中壓力的意義即為作用在單位面積上的力。壓力以符號 p 來表示，並以公斤/平方公分或公斤/平方公尺來測度。

1 公斤/平方公分的壓力被稱為一個技術大氣壓或簡稱為一個大氣壓：

$$1_{\text{大氣壓}} = 1 \text{ 公斤/平方公分} = 10000 \text{ 公斤/平方公尺},$$

除技術大氣壓外，亦採用所謂物理大氣壓

$$1_{\text{物理大氣壓}} = 1.0332 \text{ 公斤/平方公分} = 10332 \text{ 公斤/平方公尺}.$$

物理大氣壓相當於海平面上空氣的平均壓力，這個壓力在 0°C 時與 760 公厘高度的水銀柱相平衡。

所謂標準情況下的熱力狀態即相當於 0°C 的溫度和 760 公厘汞柱的壓力。

在工程上也常常採用另一種當溫度為 15°C ，壓力為一個技術大氣壓 1 公斤/平方公分時的標準狀態。

測定壓力的儀器稱為壓力表。

必須區別開絕對壓力和剩餘壓力。

氣體自一側施於容器壁的壓力稱為絕對壓力。若取一容器，並充

滿以在某一壓力下的氣體，如氮，則容器壁的一側將受有氮的壓力，而另一側將受有周圍空氣的壓力。

容器壁將處於此兩絕對壓力的差額之下，這兩個壓力之差被稱為剩餘壓力，即

$$p_{\text{剩餘}} = p_{\text{內}} - p_{\text{外}}. \quad (1-3)$$

外部的或周圍的空氣壓力決定於氣壓表的讀數，並稱為大氣壓力，內部壓力 $p_{\text{內}}$ 則簡稱為絕對壓力 $p_{\text{絕對}}$ ，而剩餘壓力則是表壓力（壓力表的壓力），即

$$p_{\text{外}} = p_{\text{大氣}}; \quad p_{\text{內}} = p_{\text{絕對}}; \quad p_{\text{剩餘}} = p_{\text{表}},$$

故

$$p_{\text{表}} = p_{\text{絕對}} - p_{\text{大氣}},$$

亦即，它等於兩個絕對壓力之差。大氣壓力決定於氣候條件，它是一個變數。

按照 (1-3) 式，絕對壓力等於

$$p_{\text{絕對}} = p_{\text{大氣}} + p_{\text{剩餘}}. \quad (1-4)$$

在汽輪機的凝汽器中，蒸汽壓力 $p_{\text{內}}$ 總比大氣壓力低，周圍的大氣壓力和凝汽器內部的（絕對）壓力之差稱為真空。

若以符號 $p_{\text{真空}}$ 表示凝汽器中真空，可得：

$$p_{\text{真空}} = p_{\text{外}} - p_{\text{內}} = p_{\text{大氣}} - p_{\text{絕對}}. \quad (1-5)$$

測定真空的儀器稱為真空表。

以公斤/平方公分為單位的絕對壓力用 ama 三個字母來代表。使用同樣單位的剩餘（表）壓力則以 amu 來表示。

由 (1-5) 式可見，在真空的場合下容器中的絕對壓力 $p_{\text{絕對}}$ 等於大氣壓力和真空表壓力之差：

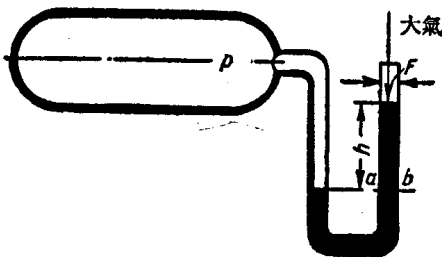


圖 1-2 用液柱高度來測定剩餘壓力

$$p_{\text{絕對}} = p_{\text{大氣}} - p_{\text{真空}}. \quad (1-6)$$

壓力的測定用液柱高度來進行常常是很方便的。

設在一個壓力 p 高於大氣壓力的密閉容器內，截面 ab 上形成平衡，如圖 1-2 所示，這時 $p > p_{\text{大氣}}$ 。