

945/25
7338



電力工業技工學校教材試用本

熱工學理論基礎

沈陽電力技工學校編

電力工業出版社

热工学理論基础

沈陽电力技工学校編

中华人民共和国电力工业部教育司推荐
作为电力工业技工学校教材試用本

电力工业出版社

內 容 提 要

本書簡明地介紹了氣體和蒸汽的性質、熱力學基本定律和熱量交換問題的基本知識。書中對火力發電廠的生產過程和熱力循環也作了敘述。

本書是電力工業技工學校培養汽輪機運行和檢修專業的技术工人的教材，也可作為發電廠具有高小文化程度的人員學習讀物。

熱 工 學 理 論 基 礎

沈陽電力技工學校編

425R96

電力工業出版社出版 (北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 4 $\frac{1}{4}$ 印張 * 78千字 * 定價(第9類)0.48元

1956年9月北京第1版

1956年9月北京第1次印刷(00,001—105,100冊)

序 言

“電力工業技工學校教材試用本”原是沈陽電力技工學校 1955 年的教材，內容包括鍋爐、汽機、電氣三個專業（每一專業分運行和檢修兩班）的 25 種教材。沈陽電力技工學校編寫這套教材是以本校的教學計劃和教學大綱為根據，這個教學計劃和教學大綱是參照蘇聯技工學校的教學計劃和教學大綱制訂，經電力工業部審查批准的。

由於電力技工學校的學員大都是初中程度的青年，他們都不懂技術，生活經驗也不豐富，因此在編寫這套教材時，盡量使內容淺顯，說理簡明，通俗易懂，並且避免一些複雜公式的煩瑣推演和證明。另外，因為這些學員在校畢業以後，經過現場短期的實習，就要投入生產，擔負火力發電廠的運行或檢修工作，所以教材的內容就特別注意到貫徹法規和規程，結合現場實際的需要，並在必要的地方作了淺近的解釋，目的是使學員到達現場以後，很快地就熟悉生產過程並掌握操作技術。因此，“電力工業技工學校教材試用本”不僅可供電力技工學校的學員學習，而且也可作為各發電廠培訓技術工人的教材，還可作為幫助工人進修的讀物。

隨着國家電力工業蓬勃的發展，電力技工學校和現場培訓工作也在迅速地前進。根據客觀上的需要，電力工業

出版社和沈陽電力技工學校曾共同研究，決定將1955年的教材修訂出版。這套教材經中華人民共和國電力工業部教育司推薦作為電力工業技工學校教材試用本。

這套教材是由本校各專業科的教師集體編寫，其中電氣科有蔡元宇、吳修法、徐康吉、魏蔭蓀、施致中、王熹德等同志；汽機科有周禮惠、劉勤助、樓維時、于學富、郁善同、康文秀、林虔、齊恩海等同志；鍋爐科有李力夫、余立培、孫向方、蔣士征、董樹文、劉少清、王景龍、張印、孫吉星、王慶翰等同志；基礎技術科有李天璞、程與權、杜金祥、吳淑華、李恒章、樂學忠等同志。在修訂教材的過程中，重慶電力技工學校張盛榮同志曾協助編寫汽機專業熱工學教材，重慶、上海電力工人技術學校教師周基善、蔡紹勤、胡駿之等同志曾對教材的修訂提出了許多寶貴的建議，並校對了部分教材，謹此對他們表示感謝。

編寫這本“熱工學理論基礎”，是以蘇聯阿·姆·利特文著、裘堯作譯的“熱工學基礎”一書作為主要參考資料，我們也謹此向著譯者表示感謝。

由於修訂教材的時間短促，雖然曾盡了最大的努力，但限於水平，因而不完善的地方無疑是存在的。我們誠懇地希望讀者提出意見和批評，以便再版時修正。

沈陽電力技工學校

1955年6月

目 錄

序 言	
緒 論	4
第一章 气体	5
第1节 物体構造和物質三态	5
第2节 气体的性質	6
第3节 气体的主要状态参数及其度量	9
第4节 气体状态的变化	24
第5节 混合气体	39
第二章 热力学定律	45
第1节 能的轉換和能量不灭定律	45
第2节 热力学第一定律	48
第3节 热力学第二定律	54
第三章 水蒸汽	58
第1节 蒸汽的發生过程	53
第2节 蒸汽的比容	61
第3节 發生蒸汽所消耗的热量	65
第4节 水蒸汽的 $i-s$ 圖	72
第5节 蒸汽的节流	80
第四章 蒸汽动力裝置的循环	84
第1节 火力發電厂的設備布置系統	84
第2节 朗肯循环	92
第3节 提高汽輪机循环效率的方法	96
第4节 回热循环	100
第5节 蒸汽的二次过热	403
第6节 热化	106
第7节 中間抽汽汽輪机	112
第五章 热量交換	115
第1节 热量傳播的方法	115
第2节 热交換器	120
第3节 热量交換的主要情况	124

緒 論

電力工業是國民經濟的重要部門之一，這一點已經不需作任何解釋了。我國第一個五年計劃提出：“為着適應工業發展，特別是新工業地區建設的需要，必須努力地發展電力工業，建設新的電站和改造原有的電站，第一個五年計劃期間，將以建設火力發電站為主，同時利用已有資源條件，進行水力發電站的建設工作，……全部建設單位設計能力為406萬瓩。五年內共增加發電能力205萬瓩，為1952年底全國發電量的一倍。”

我國過去的電力工業基礎是非常薄弱的，全國發電能力不到200萬瓩，技術裝備落后，大都是依靠外國製造的設備。但是，解放以後，從第一個五年計劃開始，已有巨大的變化，發電能力將大大增加，技術裝備將是現代化和自動化，並且將出現我國製造的全套設備裝備起來的電站。

新的電站將以飛快的速度在全國各地建立起來，它需要配備和培養大批新的技術工人。廣大的電業工人同志，需要了解自己的工作在發電廠中的特殊作用，要了解機器的工作原理。本課程是為汽輪機等專業課程打下理論的基礎，是研究熱能與機械能之間的各种變化。在現代火力發電廠中，熱能是在蒸汽鍋爐中產生，熱能轉換為機械能是在汽輪機中來達到的。

第一章 气 体

第 1 节 物体構造和物質三态

自然界的各种物体均由細小的微粒——“分子”構成，分子是非常微小的东西。對於这个问题，从 Я. И. 別列耳曼著的“您知道物理么？”一書中摘录出下面的一段話，就可以得到一个明确的概念：“放大到一百万倍时，人的高度为 1700 千米，耗子長 100 千米，蒼蠅長 7 千米，每一根頭髮粗 100 米，我們血液中的紅血球的直徑为 7 米，而分子还只有本書所用的鉛字的点子那么大。”

如我們將約 3 000 000 个中等的分子紧紧地排列起来，它們的長度約为 1 公厘，由此就可以知道分子是如何微小的了。但不能認為分子已是物体的最小單位，分子还可以再分割成更細小的微粒，叫做“原子”，由一个以至几十个原子，可以構成各种不同的分子。同样，也不能認為原子已不可以再分了，近代的科学家告訴我們，原子是由更微小的部分組成的。

分子之間有自由活动的間隙，这可以从物体的体积在压缩或冷却时减少，在压力减少或加热时增加这些現象中得到証实。

由实验和观察还可以知道：物体中的分子是在不断地运动着的，运动的情况因各种物体而不同。

自然界各种物体有三种形态：“固体”、“液体”及“气体”。固体(如煤、鋼、橡皮)的特征是形状固定。要改变固体的形状(如將鋼板或橡皮弯曲)，就要使用較大或較小的力量。这种现象可以这样解釋：固体中排列的分子，彼此比較接近，而分子間的凝聚力^①較大。也可以这样說，固体中的分子不願意移动它的位置，仅在原点位置的附近搖摆。

液体(如水、水銀)分子間彼此的距离比較接近，但分子間的凝聚力要小得多。这些分子並不搖摆，而是到处移动，分子一个跟着一个，在容器範圍內运动。因此液体的性質，是它的形状随液体注入的容器的形状而改变。液体的体积是一定的，換句話說，我們不能預知液体是什么形状，但可以知道液体一定的体积。即是同数量的同一种液体，可以移注在不同形状の容器內。

气体(如空气)分子間的凝聚力很微小，分子之間互相排斥，間隔很大，分子处在不断运动的不安定状态下。气体与液体一样，沒有一定的形状，是按照容器而改变形状的。但气体与液体有区别，气体是沒有一定的体积，它总是尽量扩大它的体积，充滿整个容器。如某些气体帶进大厅內，則气体很快就充滿整个大厅。如將气球內的气体抽出一部分，則剩余的气体，仍充滿在整个气球內。

第 2 节 气体的性質

我們在前面已經說过，气体和液体同样是沒有一定形

① 物質兩個分子間的吸引力叫凝聚力。

狀的，而且氣體沒有一定的體積，它經常平均地充滿整個供給它的容積。因為氣體的分子處在不間斷的無秩序的運動中，分子間的凝聚力非常小，所以氣體要佔據可能大的容積。

在氣體中的吸引力與別種物態來比較是最小的，但就氣體本身來講，當它接近液態時，具有最大的吸引力，這時的吸引力隨着氣體的繼續加熱而愈來愈小，也就是說，隨着氣體狀態離開液態愈遠，這時的吸引力就愈小。

近代科學證明各種氣體都可轉化為液體。物體可由一種狀態轉變到另一種狀態，如由液態變為氣態，由氣態變為液態，不同的物質進行狀態轉化的條件也不相同。我們已知各種物體在一定壓力下，達到一定的溫度才進行轉化。如水在 1 大氣壓時，約 100°C 轉化為氣體（蒸汽），但若壓力改變，則在另一溫度進行轉化。

現在討論 1 大氣壓下，即我們在海平面周圍空氣的壓力下，物體從氣體至液體的轉化。如水須加熱到 100°C 方轉變成蒸汽；反過來，若蒸汽為 100°C 時，外界吸收了蒸汽的熱量，則蒸汽轉化為水。若取另一種氣體（如乙醚），如壓力為 1 大氣壓，則於 35°C 沸騰；在另一方面，若乙醚蒸汽在 35°C 時將熱量放出一部分，可將它轉化為液體。如冷凍裝置所用的阿母尼亞氣，在 1 大氣壓下，須冷至 -33.5°C 才開始轉化為液體。佔空氣中大部分的氮氣至 -196°C ，氧氣至 -183°C ，而飛艇汽球內所用的氫氣要冷至 -269°C 才轉化為液體。從以上說明中，我們知道有一部分氣體（蒸汽、乙醚）在大氣壓力下容易轉化為液體，

或者說仍然是与液态很接近；而另一部分(氧、氮、氦)則很困难，就是說离开液态已很远，要使这些气体在大气压下液化，必須要有特殊的条件。在以上所述的情况下，氧、氮、氦分子中的吸引力已極小，可以不計算，但水蒸汽、乙醚內分子間的吸引力还是比较大的。

在同一气体中，增加温度及減低压力的結果，將使分子間的吸引力減小，同样的情形，增加气体的容积，則分子間的距离亦增加，而后者使吸引力減小。

在科学上，將在 1 大气压力下容易轉化为液体的气体称为“汽”，而轉化困难的称为“气”。

气体分子間的凝聚力極小，很难使它轉化为液体，因此可不考虑它的凝聚力。假定气体的分子間吸引力不存在，而分子本身的容积也不存在，这种气体名为“理想气体”。

虽然这种“理想气体”在自然界中並不存在，但是对它进行研究是有很大的实际意义，因为在工程上应用很多种的气体所处的状态，都是分子間的吸引力及分子本身容积很小，可以不加計算。因此任何一种实际上存在於自然界中的气体，只要該气体可以忽略分子間的吸引力及分子本身的容积，也不致使有关的計算的准确度有过大的誤差，我們就可以把它当作理想气体。从上面所說的事实，可以知道，当气体的温度愈高而压力愈小时，那么上面的結論也愈准确。

蒸汽分子間的凝聚力較大，因此蒸汽的性質与理想气体的性質有区别。

在热工中应用的各种气体在各种技术过程中,如烘干、烤、加热、用於远距离的傳热等,都很方便,特别是在將热能轉換为机械能的过程中。

在上列的傳热过程中,和使热变为机械能时,必須用一种物質来做媒介。这媒介物質,称为“工質”。

在热工中,我們首先注意燃料燃燒产物中的气体——氧、氮、二氧化碳、和一氧化碳。在热工中应用最广的是空气,主要用途是参加燃料的燃燒过程,但也可以經過压缩机压縮作为工質。

热工中应用最普遍的工質是“水蒸汽”。水蒸汽常常在燃燒产物中,这时水蒸汽的压力很低,而温度甚高,即与液体状态相距很远,因此具有理想气体的性質。同理,普通空气中含有的水蒸汽,按其性質,也可列入理想气体內。

水蒸汽如果是在蒸汽机、汽輪机中当作工質用,或在热交換器(如蒸發器、加热器等)中当作携帶热能的物質,在这种情况下,水蒸汽容易轉化为液体,即处于一种非常接近液体的状态,这种状态的蒸汽不能看作理想气体,应单独进行研究。

凡是不能將分子間的吸引力及分子本身容积略去不計的气体,称为“实际气体”。因此,用作热机及热交換器中的工質狀況下的蒸汽,我們將当作实际气体来研究。

第 3 节 气体的主要状态参数及其度量

消耗热能而得到功需要有工質的存在,由它作为媒

介，將外界加給工質的热变为功。加热給物体的結果，改变了物体的状态，这状态的特性主要可用三个数量來說明，即压力、温度和比容。

(一) 压 力

气体的压力，是由於容器内气体中的分子對於容器壁冲击的結果。分子的数目及對於器壁的冲击次数非常大，不可能观察到每一个分子及分子的每一个冲击。在这种情况下，我們只能观察到分子巨大次数的冲击的平均結果，这个結果就是气体的压力。

压力系用每單位面积上的作用力来度量。在热力工程上，力的單位是公斤，而面积的單位是平方公尺，於是压力就用每平方公尺上受若干公斤的力（公斤/平方公尺）来度量。在实际应用中，这个压力的單位太小，故工程上測量压力，多用每平方公分面积上受到多少公斤的力（公斤/平方公分）来度量，它比上面的單位大 10 000 倍，这度量單位叫一个工業大气压，或簡称大气压，用 am 来表示。

1 工業大气压 = 1 公斤/平方公分 = 10 000 公斤/平方公尺。

在物理学上，度量压力所用的單位为空气的大气压，在平均海平面，它等於 760 公厘高度的水銀柱对柱底的压力，这种度量單位（在工程上不用）称为物理大气压，或标准大气压。

大气压力因气候而变化，所以对标准大气压須規定条件，肯定当温度为 0°C 时，水銀柱高度为 760 公厘的压力为

1 标准大气压。水銀的比重因温度的变化而不同，因此在水銀温度升高时，水銀要膨胀，故相应於一定压力的水銀柱高度將增加，所以必須指明水銀的温度。

若取水銀柱垂直高度为 760 公厘，水銀温度为 0°C ，管子断面积为 1 平方公分，則水銀的重量等於 1.033 公斤，即 1 标准大气压力 等於 1.033 公斤/平方公分，而 1 公斤/平方公分的压力叫 1 “工業大气压”，故 标准大气压 等於工業大气压的 1.033 倍。这样，不难求出 1 工業大气压相当於温度为 0°C 时的水銀柱高 735.6 公厘的压力。

如以水代替水銀，同体积的水銀等於水的重量的 13.6 倍，則 1 标准大气压等於 10.33 公尺水柱的压力，1 工業大气压等於 10 公尺水柱的压力，即

$$1 \text{ 公厘水銀柱} = 13.6 \text{ 公厘水柱。}$$

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ 公厘水銀柱} = 760 \times 13.6 \approx$$

$$10\,330 \text{ 公厘水柱} = 10.33 \text{ 公尺水柱。}$$

$$1 \text{ 工業大气压} = 735.6 \text{ 公厘水銀柱} = 10 \text{ 公尺水柱，於是}$$

$$1 \text{ 公厘水柱} = 0.0001 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ 公斤/平方公尺。}$$

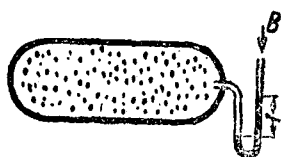


圖 1 容器內气体余压
的度量

設在容器(圖 1)內有气体，盛有液体弯管的一端插入容器壁，另一端开口。这样使弯管中液体左面受容器內气体的压力，而右边受大气压力。若液体的位置如圖所示，弯管的右边比左边

較高，則表示容器內气体的压力大於大气压力。弯管兩边液面的差表示容器內气体压力比大气压力所大数值为液体

柱高度 l 的压力。換句話說，測量液柱高度 l 的压力，即可得出容器內气体压力大於大气压力的数值，这种压力称为“余压”。若余压以 P_u 表示，大气压以字母 B 表示，則可得容器內气体的全压力。这全压力称为“絕對压力”，以 P_a 表示，那么絕對压力为：

$$P_a = P_u + B. \quad (1)$$

实际上制造一种能直接度量絕對压力 P_a 的仪器是很困难的，因此根据公式(1) P_a 是用两种仪器来度量：一种是度量余压 P_u 的仪器叫做“压力表”(余压又常称为表压力)；另一种是度量 B 的仪器叫做“气压表”。最簡單的气压表如图2所示。

通常鍋爐的余压 P_u 較大气压 B 大得多，在这种情况下，气体压力不必量得很精确，余压簡單地加上1大气压就可以了，即

$$P_a \approx P_u + 1.$$

例如压力表指示为10大气压，則絕對压力等於11大气压。但如要測量較低的絕對压力，或者需要精确的計算时，則气体压力 B 应正确地用水銀气压表量出，这时公式(1)可改为：



圖 2 水銀气压表

$$P_a = P_u + \frac{B}{735.6}$$

式中大气压力以公厘水銀柱表示。例如一蒸汽鍋爐的表压力为 5 公斤/平方公分，当时的大气压力为 650 公厘水銀柱，則鍋爐內蒸汽的絕對压力就要这样計算：因 1 公斤/平方公分 = 735.6 公厘水銀柱，

$$\text{故 } 650 \text{ 公厘水銀柱} = \frac{650}{735.6} = 0.884 \text{ 公斤/平方公分，}$$

$$\text{由此 } P_a = 5 + 0.884 = 5.884 \text{ 公斤/平方公分。}$$

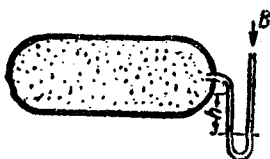


圖 3 容器內氣體真空的度量

可能遇到这种情况：当盛有液体的弯管与盛有气体的容器連通时，液体的位置如圖 3 所示，即左边的液体較右边的高。这表示右边管中液体所受的大气压，比容器內气体的絕對压力高；气

体的压力加液柱高度 h 的压力之和，等於大气压。換句話說，測量液柱的高度 h ，即得容器內气体的絕對压力較气压的不足数。这种較气压的不足数，称为“真空”。若真空以字母 h 表示，則上述情况可写为：

$$P_a + h = B, \quad (2)$$

也可写为：

$$P_a = B - h.$$

式中 P_a 为容器內絕對压力。 h 的数量也是用上面所說的仪器来度量，仪器用在这种情况下，用以度量真空时，叫做“真空表”。真空表的讀数大都用水銀柱来表示，如要知道

凝汽器內的絕對压力，可按下列的方法計算：

例(1) 汽輪機凝汽器內的真空，用真空表測得為 716 公厘水銀柱，當時用水銀气压表測得大氣压力為 756 公厘水銀柱，所以凝汽器里的蒸汽絕對压力為：

$$P_a = B - h = 756 - 716 = 40 \text{ 公厘水銀柱。}$$

若用大氣压為單位，則

$$P_a = \frac{40}{756} = 0.054 \text{ 公斤/平方公分。}$$

凝汽器的真空還常用百分數來表示，如以 $V\%$ 表示真空的百分數，則

$$V\% = 1 - \frac{(B-h)}{756} \times 100\% = (1 - p_a) \times 100\% \quad (3)$$

在上面的例子中，凝汽器內的蒸汽絕對压力為 0.054 公斤/平方公分，則真空百分數為：

$$V\% = (1 - 0.054) \times 100\% = 94.6\%.$$

所以，要確定容器內氣體的絕對压力，若高於大氣压，應从压力表指示的压力加上气压表指示的压力；若低於大氣压，則應从气压表指示的压力減去真空表指示的压力。

液体压力表通常是用来測量不大的压力或測量真空，这种压力表(圖4)用兩端開口的U形管制成，管子的長度通常为 0.8—1 公尺，管內注入液体(水或水銀)，則液体在弯曲的兩边保持同一高度，通常液体須注滿至 0 度的分划上，如圖所示的位置。AB面兩側受液体的压力相等，因此液体才趨於靜止，不致兩边上下晃动。若U形管兩边的