

锅炉讲义

上册

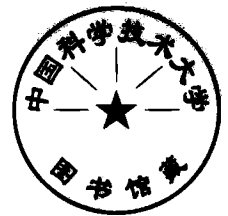
苏联专家 И. В. 邱貢柯夫

水利电力出版社

鍋 炉 講 义

上 册

苏联专家И.В.邱貢柯夫
嫩江电业局电厂翻譯室譯



水利电力出版社

內 容 提 要

本书为苏联专家邱實柯夫同志在我国嫩江电业局电厂为培訓高温高压电厂技术干部所写的譯稿。本书共分上、中、下三册出版。本册内容包括：鍋炉机組发展的簡述，热力学的基本知識，蒸汽及其性質，傳热，燃料，燃料的燃燒以及鍋炉設備的热平衡等。在本书中作者不仅講述了鍋炉机組的理論知識，而且还介紹了他本身多年来的經驗，因此本书是一本既有理論又有实际的好书。

本书可作培訓干部的教本，也可供发电厂工程技术人员参考。

鍋 炉 譯 义 上 册

苏联专家H.B.邱實柯夫

嫩江电业局电厂翻譯室譯

*

2291B.450

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 1/16开本 * 5 1/4印張 * 116千字 * 定价(第9类)0.59元

1960年2月北京第1版

1960年2月北京第1次印刷(0001—6,380册)

前 言

本书是苏联专家邱貢柯夫同志于 1957 年 6 月至 1958 年 3 月在我国嫩江电业局电厂为培训高温高压电厂技术干部所写的讲稿。参加听课的有：司炉、副司炉、班长、副班长、锅炉运行技术员、主任、副主任、生技科科长值长和总工程师等人。此讲稿系由晏勤、楊东甲两位同志担任翻译的。

在本书中作者不仅讲述了锅炉机组的理论知识，而且作者还介绍了他自己多年来的经验。因此，本书可算作一部既有理论又有实际，适合于锅炉工作者研究锅炉设备的好书。

本书共分上、中、下三册出版。本册内容包括：锅炉机组发展的简述，热力学的基本知识，蒸汽及其性质，传热，燃料，燃料燃烧和锅炉设备的热平衡。

本书虽系按苏联专家手稿译成中文的，但限于译者的水平，其中错误在所难免，希望读者予以指正。

嫩江电业局电厂翻译室

目 录

第一章 鍋炉机組发展的簡述.....	1
第二章 热力学的基本知識.....	3
第1节 气体、蒸汽及其性質.....	3
第2节 决定气体状态的参数.....	4
第3节 气体定律.....	5
第4节 气体状态方程式.....	7
第5节 比热.....	8
第6节 气体的比热.....	10
第7节 气体的热焓.....	11
第三章 蒸汽及其性質.....	14
第1节 饱和蒸汽.....	14
第2节 过热蒸汽.....	17
第3节 水蒸汽的 PV 图.....	18
第4节 $i-S$ 图.....	19
第5节 高压蒸汽.....	21
(一) 提高汽温汽压的意义.....	23
(二) 高压蒸汽的性質.....	24
(1) 热焓.....	24
(2) 高压蒸汽的比重和比容.....	25
(3) 水和过热蒸汽的比热.....	27
(4) 水和水蒸汽的粘度.....	29
(5) 压力提高时, 蒸汽工作能力的增加.....	29
第6节 提高热力循环效率的方法.....	29
第四章 傳热.....	36
第1节 傳热的基本知識.....	36
(一) 傳热的概念.....	36
(二) 热傳导.....	38
(三) 对流傳热.....	39
(四) 加强鍋炉机組内对流傳热的措施.....	40
(五) 輻射傳热.....	40
(六) 气体輻射傳热系数的确定.....	41
(七) 总傳热系数.....	41
(八) 管壁溫度.....	42
第2节 鍋炉机組里的热交换过程.....	43
(一) 加热流体和被加热流体的流向及受热面的几何形状和傳热的关系.....	43
(二) 燃燒室內的傳热.....	45
(三) 鍋炉机組烟道內的傳热.....	46

(四) 省煤器的傳热条件	49
(五) 鍋炉机組尾部受热面的組合	51
(六) 受热面不清洁对傳热的影响	52
第五章 燃料	52
第1节 概論	52
第2节 燃料的成分	53
第3节 燃料的发热量	56
第六章 燃料燃燒	62
第1节 燃料完全燃燒	62
(一) 碳的完全燃燒	62
(二) 氢的完全燃燒	63
(三) 硫的完全燃燒	63
(四) 燃料完全燃燒时所需的理論空气量	63
(五) 当燃燒完全时炉烟体积的計算	66
第2节 燃料不完全燃燒	69
第七章 鍋炉設備的热平衡	70
第1节 用于生产的有效热量	71
第2节 排烟的热損失	73
第3节 化学未完全燃燒的热損失	74
第4节 机械未完全燃燒的热損失	76
第5节 鍋炉散热損失	78

第一章 鍋爐機組發展的簡述

在開始研究鍋爐設備以前，需要簡單扼要地談談電能在發展國民經濟中的作用。電能在各種形態的能中占有極為重要的地位。電能與其他形態的能相比，有許多優點。現將其主要的幾點敘述如下：

1. 便于遠距離輸送，損失較少；
2. 可集中大量生產，便于分配；

目前，大型水電站工作容量已達二百萬瓩以上，正在設計的有四百萬瓩的水電站和一百五十萬瓩以上的火力發電廠。這種火力發電廠採用容量為15~20萬瓩，甚至30萬瓩的巨型汽輪機組和蒸發量為540~640以及850噸/時的鍋爐機組。

3. 可利用極為豐富的燃料潛在能、水能、風能、原子能以及太陽能轉變為電能；

4. 電能便于在實際中的應用，就是說，電能容易轉變為工業和日常生活上應用的其他形態的能，如：機械能、光能、熱能和化學能。

擺在電力工業部門工作者面前的任務，就是保證電廠安全、可靠和經濟地運行。

鍋爐房的工作人員在保證這個任務的完成上起着極大的作用，因為鍋爐房的設備在電廠整個設備中居于首要地位。

電廠可靠、經濟的運行，燃料消耗量的減少，廠用電的降低，主要取決于鍋爐房工作人員的工作情況。

在現代電廠鍋爐房內裝備有多種複雜的機械、容器和機器。因此，直接從事鍋爐設備操作、維護工作的人員和調整人員，不僅要善于操作設備，而且對其中所發生的各種現象和過程，亦應清楚了解。此外，還要善于正確分析設備的工作情況，並根據分析結果，做出各種過程的最正確的決定。由此可見，學習和掌握理論不僅對技術工作有所裨益，而且也是絕對必要的。

應該說明，鍋爐技術正在日新月異地向前發展着，而且鍋爐技術也必須趕上科學與技術的飛躍發展。因此，我們每個人都應該不斷地豐富和提高技術知識。

擺在我們鍋爐工作者面前的任務是很明顯的，這就是學習各種高壓鍋爐的結構、鍋爐設備中所發生的物理化學過程和鍋爐設備所應用的資料，以及掌握現代最先進的工作方法。

現在我們來談談鍋爐機組的發展過程。

在十七至十八世紀之間，由於採礦和採煤工業的發展，就給人們提出了製造比馬力或水輪機更有力的蒸汽機的要求，以便抽出礦井中的地下水，從此，水蒸汽在工業上就得到了應用。

很早以前，在世界上許多科學家的著作中就已談到蒸汽鍋爐，例如：意大利的杰拉·波爾特(1601年)、法國的索洛蒙(1615年)、英國的烏斯捷爾(1665年)等等。

1707年，法國工程師巴平發明了一台著名的鍋爐。

1764年，俄國偉大的發明家，И.И. 波爾宗諾夫制成了世界上第一台可供工業上使

用的蒸汽鍋炉。波尔宗諾夫所发明的蒸汽鍋炉为球形，类似煮飯用的鍋。

起初，制造鍋炉所用的材料是銅，以后逐渐改用生鉄，直到十八世紀末叶，由于冶金工业的发展才开始利用鋼板制造鍋炉。

現代的鍋炉就是由十九世紀前半期制造出来的简单的圓筒鍋炉經過逐步改造而发展起来的。

最初的鍋炉特点，是占据的地面大，金属用得更多，蒸发量小（約40公斤/时），压力和效率低（ P 約为10大气压， η 約为30%）。

标志鍋炉結構发展的是蒸发量的增加，过热蒸汽温度和压力不断的升高，效率的提高，外形尺寸的縮小以及金属消耗量的减少。

上述各点通过增加圓筒汽水循环管、烟道和烟管的方法得到了解决。增加这些管子的数量是从以下两方面着手的：

1. 制造火管鍋炉，即在圓筒鍋炉內装一两根甚至三根大直径的火筒，以后又逐渐增加到数十根走炉烟的烟管；

2. 制造水管鍋炉，即增加圓筒数目，起初增加三个到九个大直径的圓筒（如：并例汽鼓式鍋炉），以后又增加到数十根和数百根小直径的水管。

十九世紀末叶，在鍋炉制造方面，才开始生产可靠而又頗为經濟的大型鍋炉。

由許多小直径鋼管組成的水管式鍋炉所以能过渡到大型鍋炉，是因为厚度为3~4毫米的小直径管子具有耐高压的性能。并可通过增加鍋炉管子的总长度来增大受热面。

水管式鍋炉分为臥式和立式两种。二者的区别，不仅是管子的布置角度不同，而且在臥式鍋炉上装有特殊联箱，臥式鍋炉的管子脹在联箱上，而立式鍋炉的管子却是直接脹在汽鼓上的。这两种类型鍋炉受热面的增加，均靠加长管子、增加管子的根数以及增加联箱和汽鼓的数目来达到。

十九世紀中叶，許多制造厂就开始制造臥式水管鍋炉。

臥式水管鍋炉的缺点是，联箱大，同时它是平面的，并且有許多联接处（即需要很多加固牵条），使之不易清理鍋炉；此外，并产生很大的热应力。由于联箱是平壁的，所以也就限制了鍋炉蒸汽压力的升高。

根据上述原因，就必须找出另一种便于結構自由膨胀与升高压力的解决方法。

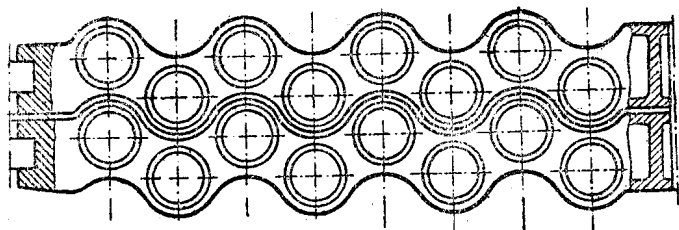


图 1-1 分联箱結構簡图

这个問題通过制造分联箱式鍋炉得到了解决，而且这种分联箱式鍋炉在十九世紀末和二十世紀初获得了广泛的应用。

分联箱式鍋炉的平壁联箱分成了数个单独部分（图

1-1）。某些鍋炉（如：拔拍葛鍋炉，舒霍夫鍋炉）的每一联箱都并列脹有数根管子。

1867年，最初制造出的一台拔拍葛式分联箱鍋炉在巴黎展覽会上展出过，从那时起这类鍋炉就没有很大改变，并且在世界各国得到了广泛的采用。

下面談談立式鍋炉。立式鍋炉的名称是由于垂直放置沸騰管而得来的。当时在动力工业中广泛采用的这种型式鍋炉最早的結構是斯特林鍋炉和加尔貝鍋炉。

这两种类型鍋炉的主要区别是其中一种类型鍋炉的管子是根据汽鼓半径的方向膜接在汽鼓上的，而另一种类型鍋炉的管子(直管)是膜接在汽鼓凸部上的。

双鼓、三鼓、四鼓和五鼓立式鍋炉就是在这两种鍋炉结构的基础上发展起来的。

二十世紀初，由于发电厂迅速的发展及其容量的增大，就使当时有可能从已有的类型鍋炉中选择出能够增加蒸发量和升高压力的鍋炉。

具有这种性能的鍋炉就是水管式鍋炉，在二十世紀的一十年代末期，其受热面就增加到了1,000~2,000平方米。

鍋炉机组蒸发量的提高，并不是单纯从增加受热面而得到解决的。譬如，以二十世紀初的单位受热面的蒸发量与二十世紀中叶的单位受热面的蒸发量相比較的話，可以看出它們之間的蒸发量相差10倍，即二十世紀中叶鍋炉单位蒸发量較前者增加10倍。

新结构的鍋炉不仅增加了蒸发量，而且还保证了鍋炉安全、可靠和经济地运行，从而使現代鍋炉消除了以前旧式鍋炉经常发生的局部或整个爆炸的事故。鍋炉效率在为时半世紀的过程中就几乎增加了一倍。

在改善鍋炉机组运行方面，为了能很好地把可燃质燃烧时放出的热和炉烟中的含热傳給鍋炉管子循环系统中的水与蒸汽，曾找到了很多发展途径：第一，就是提高炉烟速度。为此，先以增加烟囱的高度，后以安装吸风机的方法，提高了通风力。在个别情况下，尚以送风机往炉排下輸送热风以克服燃烧煤层的阻力的方法，提高了通风力。第二，靠增加水管中水的自然循环的速度，改善傳热过程。第三，把部分受热面轉移到燃烧室内部(即安装水冷壁)，使热交换得到了改善。第四，改善蒸汽鍋炉燃烧室的燃烧过程。第五，还制造了一系列结构不同的机械炉排燃烧室(以不间断地往燃烧室抛煤的方式代替了間断的抛煤方式)。第六，过去甚至还进行过燃烧煤粉的尝试。第七，还制造了多种噴射液体燃料的噴嘴。

在探求最有效燃烧方式的同时，还在提高鍋炉机组运行的经济性方面做了很大努力。1900年在鍋炉尾部安装了省煤器和空气預热器，从而降低了排烟温度。

必須指出，由于水管式鍋炉的发展，还給我們提出了处理給水的任务。

可見，在上述鍋炉技术发展的期間內，曾出現許多問題。但是这些問題在发明和制造出的鍋炉中，不难看出都已得到解决。

十九世紀末和二十世紀初，俄国鍋炉工作者还設計并制造了用給水泵强制循环的直流鍋炉，这种鍋炉就是庫次明和巴斯林鍋炉。

第二章 热力学的基本知識

在热力学中对于气体的定律做了詳細的探討，这里只对热力学中的气体和蒸汽的基本知識做一般介紹。

第1节 气体、蒸汽及其性質

自然界中的所有物質均呈三种状态存在：固态、液态和气态。

气体和空气相似，在自然条件下不能完全而仅能部分地变为液体。因此在自然界

里，霧狀或液態的气体是碰不到的。

飽和蒸汽与气体相反，它的状态是最不稳定的。当此蒸汽有温度降低、压力增大或体积縮小任一变化时，飽和蒸汽就会局部地变为液体；而在温度提高、压力减小或体积增大时它又会变为气体。

过热蒸汽的状态在一定的温度、压力和体积的变化范围内是稳定的。因此过热蒸汽根据其本身的性质来说，很接近于气体。

气体和蒸汽的一个主要性质，是具有很大的弹性，也就是说在外部因素即在压力与温度的影响下，具有易于改变本身体积的性能。由于蒸汽和气体都具有这种基本性质，故在技术上得到了广泛的应用。

大家都知道，在锅炉技术上常碰到的气体有：

1. 二原子气体：如氧气(O_2)；氮气(N_2)；氢气(H_2)；一氧化碳(CO)。
2. 三原子气体：如二氧化碳或叫碳酸气(CO_2)；二氧化硫(SO_2)。
3. 多原子气体：如甲烷(CH_4)；乙烷(C_2H_6)；乙烯(C_2H_4)。

工业上具有较大意义的混合气体有：大气；灯用煤气(发光气)；发生炉煤气；炼铁瓦斯；炼焦瓦斯；烟气(燃烧产物)；天然瓦斯。

第2节 决定气体状态的参数

气体状态决定于以下三个特性数值或称参数：1)压力；2)温度；3)比容或比重。

密闭在容器内的任何气体或蒸汽，对于容器的各壁均受有压力作用。作用于容器壁单位面积上的力称为气体或蒸汽的压力。

因为在工程上力的单位是以公斤表示，而面积以平方米或平方厘米表示；所以压力的单位以公斤/米²或公斤/厘米²表示。

1 公斤/厘米²的压力称为 1 工业大气压，近似的等于一个物理大气压；物理大气压又称为表压力或大气压力。

因为 1 米² = 10000 厘米²，所以 1 个大气压 = 1 公斤/厘米² = 10000 公斤/米²。

压力可用专门的仪表测得，这种仪表称为压力表。压力表测出容器内的压力值比大气压高。例如：锅炉汽鼓的压力等。压力表所测出的压力值称为表大气压，其符号为 atu 。

为了求得总压力，即通常称为绝对大气压(用符号 ata 表示)，必须将表大气压加上 1 个大气压。例如： $5ata = 4atu + 1at$ 。

假如容器内的压力低于大气压力，则大气压和所测出的压力之差，称为负压或真空。

使用真空表或负压表来测量负压，例如：锅炉燃烧室上部的负压用负压表测得，它为 2~8 毫米水柱。为了根据这仪表的指示求得绝对压力，必须将气压表的指示压力值减去真空表的指示值(即真空之值)。

压力小于 1 个表大气压(atu)以及负压不用大气压表示，而以能和所测压力平衡的水银柱或水柱高度表示之。

在物理学中，1 表大气压的压力等于 735.6 毫米水银柱或 10,000 毫米水柱高。

在实际应用上，我们取 1 表大气压 = 736 毫米水银柱 = 10000 毫米水柱。

气体或蒸汽的受热程度称为它们的温度。测量温度的单位是度，测量温度的仪表叫温度计。

在工程测量中，大部分都用摄氏温度计来测定温度，符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温度计的 0°C 是取绝对压力为760毫米水银柱时的纯水(蒸馏水)的结冰温度，而 100°C 是纯水的沸腾温度。

除了用摄氏温度表示以外，还有用列氏和华氏来表示的。在很多的国家里还采用这些温度标准(如美国等)。各温度计温度标准的比较见表2-1所示。

表2-1

温 度 计		水 的 结 冰 点	水 的 沸 点
摄	氏	0°	100°
列	氏	0°	80°
华	氏	32°	212°

华氏温度计的零点相当于摄氏的 $-17^{\circ}38'$ 或列氏的 $-14^{\circ}22'$ 。

单位体积的气体或蒸汽的重量称为比重。体积的测量单位是立方米，重量的单位是公斤；因此比重是在1立方米里所具有的重量数，即以公斤/米³表示。

比重的倒数，即1公斤重的气体所占的体积称为比容，以米³/公斤表示之。

比重(γ)和比容(v)有下列的关系：

$$\gamma = \frac{1}{v} \text{ 公斤/米}^3;$$

$$v = \frac{1}{\gamma} \text{ 米}^3/\text{公斤}.$$

压力越高，气体的比重越大，比容越小。与此相反，温度越高(t 或 T)气体的比重越小，比容越大。

第3节 气 体 定 律

一、第一定律——波义尔-马略特定律

设定量气体的温度为 t ，压力为 P_0 和比容为 v_0 ，如温度 t 保持不变，将其体积增大或缩小到 v ，则气体的绝对压力与容积的变化成反比：

$$\frac{P}{P_0} = \frac{v_0}{v},$$

那么 $Pv = P_0 v_0 = \text{常数}$ 。

因此，波义尔-马略特定律可以这样简述：一定质量(重量)的气体，当温度不变时，它的压力和体积的乘积为一常数。

若以比重 γ 代入上式，在恒定的温度下，比重和压力成正比，即：

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\gamma}{\gamma_0}.$$

例1. 在 0°C 和760毫米水银柱压力下，空气的比重 $\gamma_0 = 1.293$ 公斤/米³，求空气在 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 和600毫米水银柱压力下的比重。

解：

已知,

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{P}{P_0}$$

$$\therefore \gamma = \gamma_0 \frac{P}{P_0} = 1.293 \times \frac{600}{760} = 1.02 \text{ 公斤/米}^3.$$

例2. 已知温度为 30°C 和压力为1绝对大气压时, 空气的比重是 1.165 公斤/米^3 , 求温度为 30°C 和压力为3 ata时空气的比容。

解: 我們知道:

$$v_0 = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{1.165} = 0.86 \text{ 米}^3/\text{公斤}.$$

从公式

$$\frac{P}{P_0} = \frac{v_0}{v}$$

$$v = v_0 \frac{P_0}{P} = 0.86 \times \frac{1}{3} = 0.287 \text{ 米}^3/\text{公斤}.$$

二、第二定律——盖吕萨克定律

在定压下, 使气体加热或冷却, 气体的体积在温度变化1度 C 时将增大或缩小在 0°C 时相同压力下体积的 $1/273$ 。

设在 0°C 时气体的体积为 v_0 , 而当温度为 t_1 , 气体的体积为 v_1 时, 则可以写出下式:

$$v_1 = v_0 + v_0 \frac{t_1}{273} = v_0 \left(1 + \frac{t_1}{273} \right),$$

若在另一温度下 $t_2 > t_1$ 时, 气体的体积为

$$v_2 = v_0 + v_0 \frac{t_2}{273} = v_0 \left(1 + \frac{t_2}{273} \right),$$

以 v_2 减去 v_1 我們可以得到体积的绝对增加量

$$v_2 - v_1 = v_0 \left(\frac{t_2 - t_1}{273} \right),$$

以 v_1 除 v_2 , 可求得体积的相对变化量

即

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1 + \frac{t_2}{273}}{1 + \frac{t_1}{273}}$$

简化后得

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{273 + t_2}{273 + t_1}$$

温度 -273°C 相当于绝对温标的 0° (摄氏温标)。

若气体的温度为 $t^\circ\text{C}$, 绝对温度为 $T = 273 + t$, 可得:

$$T_1 = 273 + t_1, \quad T_2 = 273 + t_2,$$

代入化简后的公式右边则得:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

由上式可知, 即在定压下, 定量气体的容积与绝对温度成正比。

因为

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$$

所以

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad (P = \text{常数})$$

即在定压下, 定量气体的比重与绝对温度成反比。

因此, 根据波义尔-馬略特定律气体的比重与压力成正比; 而根据盖吕薩克定律气体的比重与绝对温度成反比。

假设 γ_1 是温度为 t_1 和压力为 P_1 下的气体比重, 那么根据波义尔定律在同一温度 t_1 和压力 P_2 时, 气体的比重 γ_2 将等于:

$$\gamma_2 = \gamma_1 \frac{P_2}{P_1}$$

在温度和压力变化时, 气体的比重可从下列公式算出:

$$\gamma_2 = \gamma_1 \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}$$

第4节 气体状态方程式

如果用气体的比容 $\frac{1}{v} = \gamma$ 代入方程式 $\gamma_2 = \gamma_1 \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}$ 中, 则可以得到下列公式:

$$\frac{1}{v_2} = \frac{1}{v_1} \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2}$$

或将上式写成 $v_1 P_1 T_2 = v_2 P_2 T_1$ 以便求得 v_2 之值。

$$v_2 = \frac{v_1 P_1 T_2}{P_2 T_1}$$

利用此公式可以很方便地求出压力和温度变化时气体的比容。

由方程式 $v_1 P_1 T_2 = v_2 P_2 T_1$, 可以求出

$$v_1 = \frac{v_2 P_2 T_1}{P_1 T_2}$$

如果将方程式 $v_1 P_1 T_2 = v_2 P_2 T_1$ 的两边除以 $T_2 T_1$ 则可以得出:

$$\frac{v_1 P_1 T_2}{T_2 T_1} = \frac{v_2 P_2 T_1}{T_2 T_1} \quad \frac{v_1 P_1}{T_1} = \frac{v_2 P_2}{T_2} = \text{常数}.$$

可见 $\frac{PV}{T}$ 对任何状态下的同一气体的值, 都是一常数。

假如此值 $\frac{PV}{T}$ 用 R 表示, 则 $\frac{PV}{T} = R = \text{常数}$

或 $PV = RT$

式中 P ——压力, 公斤/米²;

V ——容积, 米³/公斤。

方程式 $PV = RT$ 称为气体状态方程式或称特性方程式。

这个方程式包括有决定气体状态的三个数值, 此方程式在任何压力、容积和温度下, 都是正确的。

从这方程式中可以看出, 若已知方程式 $PV = RT$ 中的两个值, 就可以求得第三个值, 因为 $\frac{PV}{T} = R = \text{常数}$ 。每种气体的 R 都有一固定的常数(从参考手册里可以查出), 一般称之为气体常数。

若已知某一压力 P_0 和温度 $T_0 = 273 + t_0$ 下的气体比重 γ_0 , 可以求出 R 之值。

例如：干空气的比重在标准状态下，即在 0°C 和760毫米水银柱下，它的 $P_0=1033$ 公斤/米²时， $\gamma_0=1.293$ 公斤/米³，那么干空气的 R 值为：

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{P}{\gamma T} = \frac{1033}{1.293 \times 273} = 29.27.$$

气体状态方程式 $PV = RT$ 是对19升气体而言的，因为这方程式内 V 是比容。

如果以 $V = \frac{V}{G}$ 代入公式 $PV = RT$

那么气体的特性方程式可写成：

$$PV = GRT$$

式中 V ——气体的体积，米³；

G ——气体的重量，公斤。

为了对空气量和炉烟体积作比较，在锅炉技术中常常利用所谓的气体标准状态的概念，即在 0°C 和760毫米水银柱下气体状态的概念。

例1. 干空气在 0°C 和760毫米水银柱压力下的比重 $\gamma_0=1.293$ 公斤/米³，那么此气体在 $t=20^{\circ}\text{C}$ 和710毫米水银柱压力下的比重为多少？

根据波义尔-马略特定律：

$$\gamma = \gamma_0 \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T} = 1.293 \times \frac{710}{760} \times \frac{273+0}{273+20} = 1.126 \text{ 公斤/米}^3.$$

例2. 送风机送进燃烧室的风量为30000米³/小时，热风温度 $t=250^{\circ}\text{C}$ ，压力为100毫米水柱，求送风机在温度为 0°C ，压力为10000毫米水柱时，每小时送进多少立方米的风？

$$V = 30000 \times \frac{273+0}{273+250} \times \frac{10000+100}{10000} = 16000 \text{ 标准米}^3/\text{小时}.$$

第5节 比 热

假如以某种方法增加或减少物体内部所含的热量，那么物体的温度就会相应地升高或降低。

若在其他相同的条件下，同样的改变各物体的温度，则它们所吸收或放出的热量是不同的。

使1公斤的物质温度升高摄氏1度所需的热量，称为该物质的比热，以符号 C 表示。

不同物体的比热是各不相同的，它决定于物体的物理性质和物体的状态。例如，气体和蒸汽的比热决定于它们的压力和温度。

使1公斤的水温升高 1°C 所需的热量叫做1大卡(Ккал)，并取之为量度热量的单位。

任何物体的比热，都是以使1公斤物质温度升高 1°C 所需热量的大卡数表示之。

量度热量的值相当大时，取百万大卡为单位。

各物体的比热都是根据试验确定的。气体和蒸汽的比热分为两种：(1)重量比热：

$$\frac{\text{大卡}}{\text{公斤}^{\circ}\text{C}}; (2) \text{容积比热: } \frac{\text{大卡}}{\text{米}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}}.$$

此外对于弹性物体(气体)应分为定容比热(C_v)和定压比热(C_p)。

在定容容器内加热气体，则可获得定容比热。

表2-2

各种物质的平均比热

物 质	平均比热, 大卡/公斤°C	物 质	平均比热, 大卡/公斤°C	物 质	平均比热, 大卡/公斤°C
水	1($t=15^{\circ}\text{C}$ 时)	油	0.400	石 棉	0.200
冰	0.502	煤	0.310	铝	0.170
酒 精	0.600	干 混 凝 土	0.270	铁	0.110
木 材	0.600	玻 璃	0.230	铜	0.090
煤 油	0.500	磚	0.220	锌	0.091
				水 銀	0.033

从表2-2中可以看出,水的比热最大(通常取水的比热为1),其次是酒精,木材的比热也很大。金属的比热很小。

在定压下加热气体,可求得气体的定压比热(C_p)。

在锅炉技术上,最主要的也是必须遇到的是气体的定压比热(C_p)。

水的比热最大,通常(假定)在一个绝对大气压的压力和温度为 15°C 时水的比热为1,随着压力的变化水的比热变化很小。

弹性物体(如气体、蒸汽和空气)的比热主要是决定于温度。由于这一原因,下面必须讲一讲平均比热和真实比热的基本概念。

假设加热1公斤的物质,使其温度由 t_0 升高到 t_1 所需的热量为 Q , 则温度由 t_0 升高到 t_1 的平均比热值,可由下式算出:

$$C_{cp} = \frac{Q}{t_1 - t_0} \text{ 大卡/公斤}^{\circ}\text{C}$$

假如在 $t_1 - t_0$ 范围内任一两个温度之间的平均比热相同,则平均比热也和物体的真实比热相同。

为了求出物体内的含热量,除了应知道重量和温度以外,还要知道它的比热(C),物体的含热量就可以用物体的比热乘其重量和温度而得,即:

$$Q = C \times G \times t \text{ 大卡}$$

式中 C ——物体的比热,大卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$;

G ——物体的重量,公斤;

t ——物体的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

例1.已知灰渣的温度是 180°C , 求1吨灰渣内所含的热量。

$$Q = 0.1 \times 1000 \times 180 = 18000 \text{ 大卡}$$

在锅炉的热力计算中,经常需要计算使物体温度由 t_1 变到 t_2 , 必须输入物体或由物体放出的热量,其计算公式为:

$$Q = C_{cp} \times G(t_2 - t_1) \text{ 大卡}$$

式中 C_{cp} ——物体温度由 t_1 变到 t_2 的平均比热,大卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$;

G ——物体的重量,公斤。

例2.计算省煤器加热水1小时所需的热量。已知压力为110个大气压,水流量170吨/小时。省煤器入口水温 $t_1 = 210^{\circ}\text{C}$, 出口水温 $t_2 = 310^{\circ}\text{C}$ 。

取水的平均比热=1.06大卡/公斤°C

按公式 $Q = C_{cp} \times G(t_2 - t_1)$

得 $Q = 1.06 \times 170000(310 - 210) = 18020000$ 大卡/小时。

例3. 往重2公斤的铜制容器里注入温度为 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 的水10公斤, 若不计算到周围空气里的热量, 求将这水加热到 $t_2 = 80^\circ\text{C}$ 所需的热量。

水的平均比热为1.004大卡/公斤°C,

铜的比热为0.09大卡/公斤°C,

加热水所需的热量:

$$Q_a = C_{cp} \times G(t_2 - t_1) = 1.004 \times 10(80 - 20) = 10.04 \times 60 = 602.4 \text{ 大卡。}$$

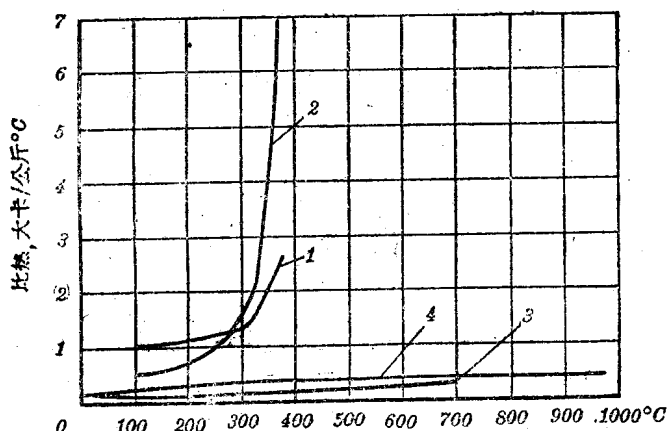


图 2-1 几种物质的比热和温度的关系曲线

1—水; 2—饱和蒸汽; 3—铜; 4—石墨。

加热铜容器所需的热量:

$$Q_m = 0.09 \times 2(80 - 20) = 10.8 \text{ 大卡}$$

$$\text{总热量 } Q = Q_a + Q_m = 602.4 + 10.8 = 613.2 \text{ 大卡。}$$

应该注意, 如果传热的过程并不改变物体的状态(即液态、气体或固态)时, 下述公式是正确的:

$$Q = C \cdot G \cdot t$$

$$Q = C_{cp} G(t_2 - t_1)$$

几种物质的比热和温度的关系曲线图示于图 2-1 中。

第6节 气体的比热

如上所述, 不同的气体和蒸汽的比热是不相同的, 它们的比热主要决定于温度。

在锅炉和燃烧技术上, 首先必须考虑到的是气体的比热和温度的关系。至于气体的状态参数之一——压力, 在这里的关系不大。

现在有很多关于确定气体比热和温度关系的研究工作者的著作, 其中以美国的鲍尔吉卡托拉和希林卡的研究最为可靠, 因此在锅炉和燃烧技术上的一切计算通常都应用他们所求得的气体比热值。

在锅炉技术上除了计算水蒸汽和空气的比热外, 还要计算混合气体的比热, 首先就是计算炉烟即燃烧产物的比热(温度由 0°C 到 $t^\circ\text{C}$ 的变化范围, 如表2-3所示)。

从表3中可以看出, 随着温度的升高, 气体的比热逐渐增加; 而水蒸汽的比热变化情况却不同, 温度自 0°C 升到 300°C 时它的比热是逐渐减少的, 以后又慢慢增高。当温度为 0°C 和 800°C 时, 水蒸汽的比热几乎相等。

要求得混合气体的比热, 首先应知道这混合气体的成分及其总的数量(重量或体积)。当知道了混合气体的成分和它们的比热后, 混合气体的比热可以用下述方法求出:

设混合气体是由比热为 C_1 、 C_2 和 C_3 , 体积为 V_1 、 V_2 和 V_3 的不同的气体所组成, 使这混合气体中的各种气体温度升高 1°C 所需之热量为: $V_1 C_1$, $V_2 C_2$, $V_3 C_3$ 大

表2-3 气体的定压比热(C_p大卡/标准米³°C)

温度, t°C	二氧化碳(CO ₂) 二氧化硫(SO ₂)	水蒸汽(H ₂ O)	氧(O ₂); 氮(N ₂); 氢(H ₂); 空气与一氧化碳(CO)
0	0.393	0.381	0.311
100	0.402	0.372	0.311
200	0.411	0.371	0.312
300	0.420	0.371	0.312
400	0.429	0.372	0.313
500	0.438	0.373	0.314
600	0.446	0.376	0.315
700	0.454	0.379	0.316
800	0.462	0.382	0.317
900	0.469	0.387	0.318
1000	0.477	0.392	0.319
1500	0.508	0.424	0.327
2000	0.531	0.471	0.337

卡; 而使混合气体的温度升高1°C所需之热量为:

$$V_1C_1 + V_2C_2 + V_3C_3 = VC \text{ 大卡;}$$

式中 V——混合气体的体积;

C——混合气体的比热。

那么
$$C = \frac{V_1C_1 + V_2C_2 + V_3C_3}{V} \text{ 大卡/米}^3 \text{°C}$$

通常利用专门的图表, 来求得锅炉机组的干气体的比热。

第7节 气体的热焓

在1公斤气体中所含的热量称为该气体的热焓(大卡/公斤)。

因为在锅炉设备中, 炉烟的体积是根据 1 公斤燃料燃烧后所生成的炉烟的体积来计算的, 所以炉烟的热焓可按下式求得:

$$i_2 = V_2 \cdot C_2 \cdot T_2 \text{ 大卡/公斤}$$

式中 V₂——1 公斤燃料燃烧后所生成的炉烟的体积, 标准米³/公斤;

C₂——温度从0°C变到 T°C时的容积平均比热, 大卡/标准米³;

T₂——排烟温度, °C。

例. 由锅炉机组排出的干炉烟系由下列成分组成的: CO₂=12%; CO₂+O₂=20%; N₂=80%。排烟温度为150°C时, 燃烧 1 公斤燃料所生成的气体体积V=12标准米³/公斤, 求炉烟的平均比热。

解: O₂=20-12=8%

$$V_{CO_2} = \frac{12 \times 12}{100} = 1.44 \text{ 标准米}^3 \text{/公斤,}$$