

中华人民共和国第一机械工业部统编

机械工人技术培训教材

工业锅炉 基础知识

(初级本)

科学普及出版社

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材

工业锅炉基础知识

(初级本)

科学普及出版社

本书是第一机械工业部统编的机械工人技术培训教材之一。它是根据一机部《工人技术等级标准》和教学大纲编写的。书中较系统地介绍了锅炉及其燃烧设备、辅助设备、附件的结构原理和使用要求,锅炉安全运行操作技术,锅炉事故处理、检验和维护保养,水质处理方法以及有关锅炉的基本概念等。为便于读者学习,在各章之后附有复习思考题。

本书是锅炉司炉人员技术培训的初级教材,也可供有关技术人员和其他工人学习参考。

本书由周海平、黄俊峰同志编写,经许珏生、王靖昌、张庆生等同志审查。

中华人民共和国第一机械工业部统编
机械工人技术培训教材
工业锅炉基础知识
(初级本)
责任编辑:郭蕴玉

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
山西新华印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: $12\frac{3}{4}$ 字数: 298千字

1982年10月第1版 1982年10月第1次印刷

印数: 1—88,000册 定价: 1.20元

统一书号: 15051·1061 本社书号: 0546

对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是个关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

第一机械工业部第一副部长

栾 毅

一九八二年元月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化、正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。为此，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅（局）和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是一机部颁发的《工人技术等级标准》和当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工夹具、量具，按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工夹具、量具、结构原理、工艺理论、解决实际问题 and 从事技术革新的能力上有所提高（高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编）。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅（局）、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中还难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

第一机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八一年十二月

目 录

第一章 有关工业锅炉基本概念	(1)
第一节 基本知识	(1)
第二节 热力知识	(8)
第三节 水和水蒸气的性质	(13)
第四节 燃料与燃烧	(20)
第五节 锅炉的工作原理	(25)
第二章 锅炉结构	(28)
第一节 锅炉的发展与分类	(28)
第二节 工业锅炉的结构和特性	(31)
第三节 过热器、省煤器、空气预热器	(50)
第三章 锅炉燃烧设备	(56)
第一节 燃烧方式和炉膛	(56)
第二节 层燃炉	(58)
第三节 煤粉炉	(68)
第四节 沸腾炉	(69)
第五节 锅炉的型号及参数	(70)
第四章 锅炉附件	(73)
第一节 安全阀	(73)
第二节 压力表	(75)
第三节 水位表	(77)
第四节 汽、水管道和阀门	(85)
第五节 工业锅炉常用仪表	(94)
第五章 锅炉辅助设备	(98)
第一节 给水设备	(98)
第二节 通风排烟装置	(102)
第三节 吹灰器	(106)
第四节 除尘设备	(107)
第五节 运煤和出灰设备	(114)
第六章 锅炉运行与保养	(118)
第一节 锅炉运行	(118)
第二节 锅炉停炉和停炉后的保养	(138)
第三节 锅炉的定期保养和检验	(142)
第七章 工业锅炉运行事故的处理及预防	(152)
第一节 锅炉事故处理总则	(152)
第二节 锅炉缺水	(152)
第三节 锅炉满水	(154)

第四节	汽水共腾	(155)
第五节	沸腾管和水冷壁管	(156)
第六节	省煤器损坏	(157)
第七节	过热器管的损坏	(158)
第八节	水击事故	(159)
第九节	炉墙及拱的损坏	(159)
第十节	链条炉排故障	(160)
第十一节	风机故障	(161)
第八章	工业锅炉给水处理	(163)
第一节	水中的杂质及其对锅炉的危害	(163)
第二节	工业锅炉水质指标及水质标准	(165)
第三节	炉内加药水处理	(169)
第四节	炉外化学水处理	(173)
第五节	水的除氧	(186)
第九章	锅炉热效率	(189)
第一节	锅炉热平衡的概念	(189)
第二节	锅炉热效率的概念	(191)
第三节	提高锅炉热效率的措施	(192)
第四节	锅炉房的各项技术经济指标	(195)

第一章 有关工业锅炉基本概念

第一节 基本知识

一、物体的性质

(一) 物质及其组成

一切物体都是由物质组成的。如锅炉和机床都是由钢制作的，钢就是物质；桌子是由木材制作的，木材也是物质。其他如铁、煤、石灰、玻璃、粮食、酒精、油、水、空气、煤气等也都是物质。物质是由分子组成的。分子是保持物质原有性质的最小微粒，它非常微小，举例来说，1厘米³的气体中就含有 2.7×10^{19} 个气体分子。虽然分子这么微小，它还可以分成更小的微粒，这种更小的微粒称为原子。只是这时的原子已经不再具有物质原有的特性了。

大家知道，世界上的物质多得难以计数，尽管如此，它们却是由107种化学元素构成的。有些物质的分子是由同一种化学元素的原子组成的，我们称为单质。例如氧气是由两个氧原子组成的，它的分子式可用O₂来表示；有些物质的分子是由两种或两种以上化学元素的原子组成的，我们称为化合物。例如水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，它的分子式可用H₂O来表示。单质和化合物的共同之处在于，这两类物质都是只用一种分子组成的，如果某一物质内含有两种或两种以上的分子时，我们则称它为混合物。因此，若将混合物细分，直到最后，就成为不同的分子，如煤可分成碳、水和挥发物等的分子。这些分子混合在一起是煤，分开后则碳是碳，水是水，挥发物是挥发物，已不再是煤了。化合物和单质就不一样，一直分到分子还是不失其原来的特性。

(二) 物质的状态及其变化

物质有三种状态，即：固体、液体和气体。

1. 固体 具有一定的形状和体积的物质叫做固体。例如煤、铁、玻璃、石头、木材等。固体在外力的作用下，将会改变其原来的形状，这种现象叫做固体变形。固体变形有三种类型：弹性变形、塑性变形和破裂。

(1) 当作用在固体上的外力去除以后，固体仍能恢复其原来形状的变形叫做弹性变形；

(2) 当外力去除后，固体不能恢复其原来形状的变形叫做塑性变形；

(3) 在外力的作用下，固体的形状完全改变，并且永远不能恢复原状的变形，称破裂。

2. 液体 可以流动，无固定形状，但有一定体积的物质叫做液体。如在常温常压下，水、酒精、油、硫酸、汞等，都属于液体。由于液体分子的排列比较紧密，在极大的外力作用下，它的体积才发生极微小的变化，因此，通常我们把液体看作是**不可压缩的。如图1-1所示，在一个装满液体的密闭容器里，当液体的某一部分受到外力作用时，它能够立即将加于它的力，大小相等地传到容器的其余部分。在图1-2的盛有液体的连通器里，如果连通器的两个液面上所受的压力相等，则连通器的两个液面始终保持在同一水平面上。锅炉水位表

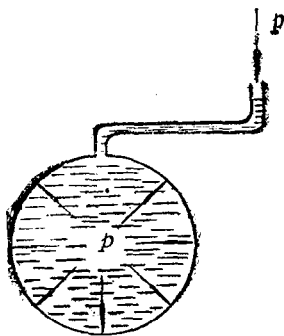


图 1-1 水在密闭容器内压力传递示意

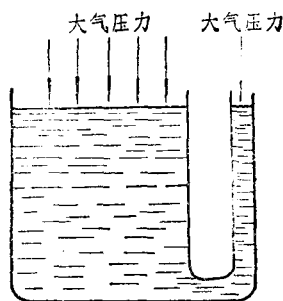


图 1-2 连通器

就是利用水的这一性质来指示炉内水位高低的：锅筒与水位表组成一个连通器，由于水位表内水柱面上的压力与锅炉内液面上的压力相等，所以锅炉内水位如果有变化，就会立即在水位表上显示出来。

3. 气体 可以流动，但无固定的形状和体积的物质叫做气体。如空气、氧气、二氧化碳、水蒸气等。由于气体分子间的距离比较大，分子间的作用力很小，它们在空间做着杂乱无章的无规则运动，因此，气体不论其气量多少，总是可以均匀地充满存放它的容器，并且能被压缩成很小的体积。例如工业用的各种气瓶，就是将气体经压气机压缩后储存在气瓶内的。气体也和其它物质一样，本身具有一定的质量，即使将其压缩成很小的体积，其质量也不改变。例如在温度为 0°C 和 1 标准大气压下， 1米^3 空气为 1.293 公斤(千克)。若将这 1米^3 的空气压缩成为 1厘米^3 体积时，其质量并不改变，还是 1.293 公斤。蒸汽也是气体。同样道理，容积相同的蒸汽，高压蒸汽比低压蒸汽重。

固体、液体、气体，这三种物态并不是一成不变的。同一种物质在一定的条件下，能够由一种状态转变为另一种状态，这种变化叫做物态变化。例如，在通常情况下，铁是固体，水是液体，空气是气体。如果将铁加热到一定温度，它就变成液体——铁水，当水加热到一定温度时，它就由液体变为气体——水蒸气，而在空气冷却到一定温度时，就会由气体变为液体，我们称做液态空气。

在物态变化中，我们常要遇到以下几个名词：

- (1) 溶解：物质由固态变为液态的现象；
- (2) 凝固：物质由液态变为固态的现象；
- (3) 气化：物质由液态变为气态的现象；
- (4) 液化：物质由气态变为液态的现象；
- (5) 升华：物质由固态直接变为气态的现象。例如，樟脑球可直接变为气体。

物质三态之间的相互转化在生产和科学实验中应用非常广泛，工业锅炉生产蒸汽的过程就是液、气两态相互转化的过程。

二、温 度

温度是指物体冷热的程度。在日常生活、生产和科学实验中，我们经常要测量各种温度，

比如测量体温、室温、气温以及各种运行设备的温升，等等。为了测量这些温度，必须使用温度计。温度计上表示温度高低的尺度叫做温度标尺（简称温标），常用的温标有如下三种：摄氏温标（米制）、华氏温标（英制）和绝对温标。

1. 摄氏温标 又叫做国际百分度温标，是目前比较通用的一种温度标尺。摄氏温标是把标准大气压下冰水混合物的温度规定为 0 度，把水沸腾时的温度（即沸点）规定为 100 度，在 0 度与 100 度之间平均分成 100 个等分，每一等分就是 1 度。用摄氏温标表示的温度就称为摄氏温度。摄氏温度的单位为“摄氏度”，用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示。例如，摄氏温度 80 摄氏度可以写成 80°C 。若温度低于 0°C ，则要在度数前面加一个“-”号。例如摄氏温度零下 15 $^{\circ}\text{C}$ 写成 -15°C 。

2. 华氏温标 是英制温标，为英、美等国过去比较通用的一种温标。华氏温标是把标准大气压下水凝固成冰时的温度（冰点）规定为 32 度，水沸腾时的温度（沸点）规定为 212 度，在 32 度与 212 度之间平均分为 180 个等分，每 1 个等分就是 1 华氏度。用华氏温标表示的温度称为华氏温度。华氏温度的单位为“华氏度”，用符号 $^{\circ}\text{F}$ 表示。例如华氏温度 86 华氏度可写为 86°F 。

3. 绝对温标 绝对温标也称为热力学绝对温标。它的刻度和摄氏温标相等，只是它把摄氏温标的 -273°C （准确值应为 -273.15°C ）规定为 0 度，把一个大气压下水凝固的温度（冰点）规定为 273 度，把沸水的温度（沸点）规定为 373 度。用绝对温标表示的温度称为绝对温度（也叫热力学温度）。绝对温度的单位叫做“开尔文”，简称开，用符号 K 表示。例如绝对温度 280 开尔文可写为 280K 。

摄氏温度与华氏温度之间的换算关系如下

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32 \quad (1-1)$$

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32) \quad (1-2)$$

例 摄氏温度 18 摄氏度等于多少华氏温度？

$$\begin{aligned} \text{解} \quad t^{\circ}\text{F} &= \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32 \\ &= \frac{9}{5} \times 18 + 32 \\ &= 64.4^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

摄氏温度与绝对温度之间的换算关系如下

$$t^{\circ}\text{C} = T\text{K} - 273 \quad (1-3)$$

$$T\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273 \quad (1-4)$$

例 绝对温度 406K，等于多少摄氏温度？

$$\begin{aligned} \text{解} \quad t^{\circ}\text{C} &= T\text{K} - 273 \\ &= 406 - 273 \\ &= 133^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

三、压 力

过去我们把物体表面受到的垂直作用力称为压力，而把单位面积上所受到的垂直作用力

称为压强，但锅炉上或一般工程技术上习惯于将压强称为压力。根据国家标准，压力和压强都是相同的意义，即都是指单位面积上受到的垂直作用力。本书采用的名称是压力。如图1-3所示，在一个长5厘米、宽4厘米的面积上垂直作用着均匀分布的力80公斤力（千克力），那末此面积上受到的压力为：

$$p = \frac{80}{5 \times 4} = 4 \text{ 公斤力/厘米}^2$$

$P = 80 \text{ 公斤力}$

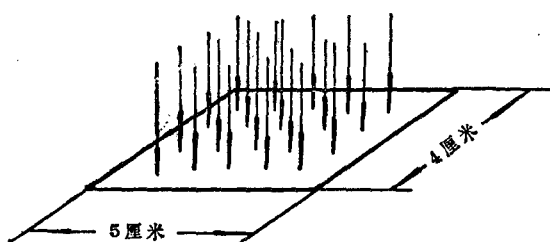


图1-3 压力

所以包围在地球外面的大气层对地球表面便产生了压力。这个压力是由大气产生的，就叫做大气压力（用 $p_{\text{大气}}$ 表示），又称大气压。大气层越厚，大气的压力就越大；相反地，大气层越薄，大气的压力就越小。所以高山上的大气压比海平面上的小。

由此可知，大气压力不是恒定不变的。为使计算及论证有个科学的统一基点，需要有一个标准大气压力作为衡量标准。

由实验测得，海平面上的大气压为1.033公斤力/厘米²，或为760毫米汞柱。这个大气压我们称为标准大气压。

工程上，为了计算方便，常用1公斤力/厘米²作为压力的单位，并把这个单位叫做工程大气压或者工业大气压，也简称为大气压。

工程大气压与标准大气压之间的关系如下：

因为 $1 \text{ 标准大气压} = 1.033 \text{ 公斤力/厘米}^2$
 $\approx 760 \text{ 毫米汞柱}$

$1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ 公斤力/厘米}^2$

所以 $1 \text{ 工程大气压} = \frac{1}{1.033} = 0.968 \text{ 标准大气压}$
 $= 760 \times 0.968 = 735.6 \text{ 毫米汞柱}$

$1 \text{ 标准大气压} = \frac{1.033}{1} = 1.033 \text{ 工程大气压}$

压力的单位除了用公斤力/厘米²外，还有用公斤力/米²的。公斤力/米²表示每平方米面积上受到多少公斤力的力。它与公斤力/厘米²之间的换算关系是

$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 10^4 \text{ 公斤力/米}^2$

$1 \text{ 公斤力/米}^2 = 0.0001 \text{ 公斤力/厘米}^2$

1升水的质量为1公斤，产生的重力为1公斤力。

$1 \text{ 升} = 1,000 \text{ 厘米}^3 = 1,000,000 \text{ 毫米}^3$

在锅炉的铭牌上，我们可以看到“工作压力13公斤力/厘米²”一类的字样，它表示锅炉运行时，其炉内的蒸汽压力为13公斤力/厘米²，也就是说，锅炉每平方米受热面积上允许承受的力为13公斤力。

（一）大气压力

地球表面被一层很厚的气体包裹着，这层气体称为大气。

由于气体受地心的吸引产生了重力，

若用体积进行计算时，1 公斤力/米²又可写作

$$1 \text{ 公斤力/米}^2 = 1 \text{ 升/米}^2 = 1000000/1000000 = 1 \text{ 毫米 (高)}$$

以上是以水柱计算的，因此 1 毫米高也是指水柱的高度。所以

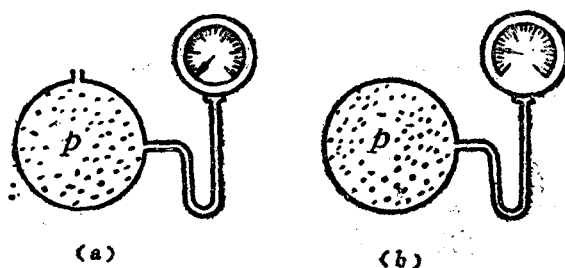
$$1 \text{ 公斤力/米}^2 = 1 \text{ 毫米水柱}$$

(二) 绝对压力、表压力与负压力

容器内介质（此处为液体和气体）的压力高于大气压时，介质处于正压状态；如低于大气压力，则介质处于负压状态。

容器内介质的实际压力称为绝对压力，用符号 $p_{\text{绝}}$ 来表示。通常用压力表或U形管压力表测量得到的压力称为表压力，用 $p_{\text{表}}$ 表示。

当容器内介质的压力等于大气压力时，压力表的指针指在零位，如图 1-4(a) 所示，或U形管压力表内的液面高度相等，如图 1-5(a) 所示。



(a) $p_{\text{绝}} = \text{大气压力}$

(b) $p_{\text{绝}} > \text{大气压力}$

图 1-4 压力表读数

当容器内介质的压力大于大气压力时，压力表的指针才开始转动，如图 1-4(b) 所示。U形管压力表的液面被容器内介质压力压向通大气的一端，形成液柱差 H ，如图 1-5(b) 所示。此时液柱差 H 的压力值就是容器内压力超出大气压力的部分，即表压力。

当容器内介质的压力低于外界大气压力时，则U形管压力表内的液面被大气压力压向与

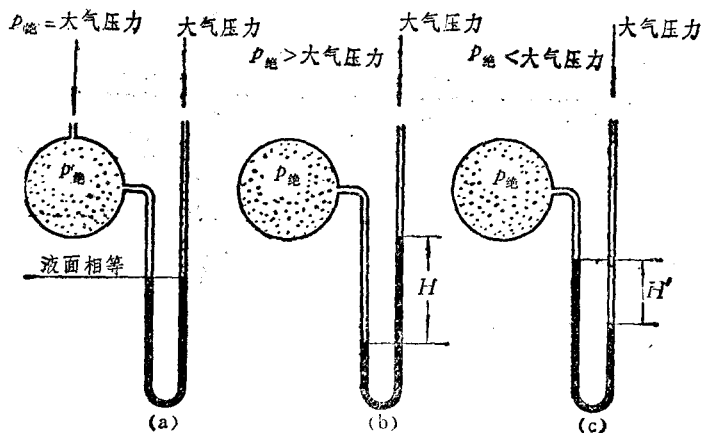


图 1-5 U形管压力表测压

容器相连的一端,形成液柱差 H' ,如图 1-5(c) 所示。此液柱差 (H') 的压力值,即为介质的压力比大气压力低的部分,称为负压力或真空。例如,炉膛压力为 -4 毫米水柱,就是说炉膛的压力比大气压力低 4 毫米水柱,即炉膛有 4 毫米水柱的负压力,这样可以保证火焰和烟气不向外喷。

由此可知,绝对压力、表压力及大气压力三者之间的关系如下

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + p_{\text{大气}} \quad (1-5)$$

由公式可知,只有表压力为负数时,绝对压力 $p_{\text{绝}}$ 才有可能小于大气压力 $p_{\text{大气}}$ 。而出现负压力 $p_{\text{负}}$, 此时:

$$p_{\text{负}} = p_{\text{大气}} - p_{\text{绝}} \quad (1-6)$$

式中 $p_{\text{大气}}$ 为当地的大气压力。

平时,我们所说的锅炉压力或介质压力,都是指表压力而言。但蒸汽表里所列的数值却是指的绝对压力,这一点应注意不要弄错。

例 锅筒压力表读数为 18 公斤力/厘米², 当地气压计读数为 743 毫米汞柱, 求锅筒内蒸汽的绝对压力。

解 $p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + p_{\text{大气}}$

$$\begin{aligned} &= 18 + \frac{743}{735.6} \\ &= 19.01 \text{ 公斤力/厘米}^2 \end{aligned}$$

到此为止,说了许多压力和压力单位。为避免混淆,再总结一下:

(1) 大气压是当地的实际大气压力,它的值是随高度、温度等条件而变化。实用上规定 760 毫米汞柱的大气压为标准大气压。工程上为方便起见,规定 1 公斤力/厘米² 为压力的单位,称为“工程大气压”,或者“工业大气压”;

(2) 压力的单位有公斤力/厘米²、水柱和汞柱三种。一般都采用公斤力/厘米² 为单位,但遇到压力较低的测量时,若再用公斤力/厘米² 表示,则将是小数点以后几位的数值,很不方便,这时就用若干毫米水柱来表示。至于汞柱,锅炉上基本不用。只有在仪表方面有时还用一下;

(3) 绝对压力、表压力和负压力都不是衡量单位,而是压力的不同形式。表压力的大小是随当地大气压而变的,蒸汽表用的是绝对压力。若要了解蒸汽的有关参数时,须在压力表读数值(表压力)上再加上当地大气压的数值,这就成了绝对压力,然后根据绝对压力去查蒸汽表。负压力表示低于当地大气压的压力,一般都用毫米水柱为单位。如负压力为 3 毫米水柱,表示压力低于当地大气压 3 毫米水柱。

工业大气压一般简称气压(或压力),平时说到气压就是指工业大气压,若说的是绝对大气压,则在气压之前一定写上“绝对”二个字。负压力简称负压,表压力简称表压。这些都是工人中间的习惯叫法。

四、比 容 与 密 度

(一) 比容

单位质量的物质所占有的容积称为比容,用符号 v 表示。其单位为米³/公斤。例如某气

压和气温下空气的比容为 $0.775 \text{ 米}^3/\text{公斤}$ ，就是指质量为 1 公斤 的空气需占有容积为 0.775 米^3 的空间。若质量为 m 的某物质占有容积 V 时，则其比容 v 为

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-7)$$

气体的比容大小与气体的压力和气体的温度有关，它们之间的相互变化关系为：

假定气体的温度不变，则压力越高，比容越小；压力越小，比容越大，即压力与比容成反比。

假定气体的压力不变，则温度越高，比容越大；温度越低，比容越小，即温度与比容成正比。

假定气体的比容不变，则压力越高，温度越高；压力越低，温度越低，即压力与温度成正比。

由于气体的比容与气体的压力及温度都有关系，所以锅炉运行时产生的蒸汽，其比容就与蒸汽的压力及温度有关。同样道理，锅炉燃料燃烧后排出的烟气的温度要比空气温度高得多，所以比容也大得多，因此锅炉引风机的容量要比鼓风机的（鼓的是冷空气）大得多。又如锅筒内蒸汽表压力为 11 公斤力/厘米^2 ，蒸汽温度为 187°C 时，蒸汽的比容为 $0.1663 \text{ 米}^3/\text{公斤}$ ，如果蒸汽压力不变，仍为 11 公斤力/厘米^2 ，蒸汽温度提高到 240°C ，则蒸汽的比容就变为 $0.1919 \text{ 米}^3/\text{公斤}$ 。从上例可以看出，在蒸汽压力不变的情况下，蒸汽的温度升高，则蒸汽的比容也增大。所以，有过热器的锅炉，在同样压力下，过热蒸汽的比容就比饱和蒸汽的比容大。

（二）密度

单位容积内所含物质的质量称为密度，用符号 ρ 表示，其单位为 公斤/米^3 。例如标准状况（即温度为 0°C ，压力为 1 标准大气压 ）下空气的密度为 1.29 公斤/米^3 ，就是指容积为 1 米^3 的空气质量是 1.29 公斤 。若质量为 m 的某物质占有容积 V 时，则其密度 ρ 为

常用物质或材料的密度 (20°C)

表 1-1

名 称	密 度 (克/厘米 ³)	名 称	密 度 (克/厘米 ³)	名 称	密 度 (克/厘米 ³)
碳 钢	7.85	锌	7.14	桦 木	0.65
铸 铁	7.2~7.7	汞	13.6	杨 木	0.35~0.5
铝	2.7	玻 璃	2.2~2.5	软 木	0.24
紫 铜	8.94	硬聚氯乙烯	1.38~1.60	花 岗 石	2.8
黄 铜	8.5~8.6	有 机 玻 璃	1.18~1.19	砂 子	1.5~2
铅	11.34	玻 璃 钢	1.7~1.9	生石灰(块)	0.9
镍	8.8	石 棉	2.6	水泥(堆放)	1.4~1.5
锡	7.2~7.75	石棉橡胶板	1.2~1.5	砖	1.5~1.8
银	10.5	黑 硬 橡 皮	1.15~1.2	耐 火 砖	1.7~2.7
金	19.3	石 蜡	0.9	煤 油	0.85
铂	21.37	石 墨	2.3~2.7	机 油	0.9~0.91
镁	1.74	皮 革	0.4~1.2	汽 油	0.76

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-8)$$

由公式 (1-7)、(1-8) 可以看出, 比容 v 和密度 ρ 互为倒数, 即

$$v \rho = 1 \quad (1-9)$$

常用物质的密度见表 1-1。

第二节 热 力 知 识

一、热 量

热量是物体吸收或放出热的数量。

一切物体由冷变热时, 需要吸收热量; 由热变冷时, 则要放出热量。例如水吸收热量后才能使水温提高, 而采暖时, 热水又将其热量放出。

热量的 SI 单位为焦耳, 简称焦。过去热量单位还常用卡。

1 卡——1 克纯水温度升高 1°C 所需要的热量。

1 焦耳——在 1 牛顿的力作用下, 物体沿力的方向移动 1 米距离所做的功。

卡与焦耳的换算关系式为

$$1 \text{ 卡} = 4.1868 \text{ 焦耳}$$

由于热量单位卡和焦耳太小, 所以工程上常用千卡 (也称大卡) 和千焦耳 (简称千焦) 作为热量单位。

$$1 \text{ 千卡} = 1000 \text{ 卡} = 4.1868 \text{ 千焦}$$

$$1 \text{ 千焦} = 1000 \text{ 焦耳} = 1000 \text{ 牛顿米}$$

1 公斤纯水温度升高 1°C 所需要的热量为 1 千卡。

例 求 5 公斤水温度从 20°C 升高到 80°C 时, 需要吸收多少热量?

解 因为 1 公斤水温度升高 1°C 所需吸收的热量为 1 千卡, 所以若要将 5 公斤的水温度升高 60°C ($80^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$), 则需吸收热量

$$1 \times 5 \times 60 = 300 \text{ 千卡}$$

换算成焦耳为

$$4.1868 \times 300 = 1256.04 \text{ 千焦}$$

热量与温度二者之间虽有一定的联系, 但却是两个不同的物理量。例如在不发生物态变化的情况下, 物体吸收热量时, 温度就升高; 放出热量时, 温度就下降。热量是表示物体温度变化时吸收或放出的热的数量, 而温度则表示物体的冷热程度。平时我们说进入锅炉的给水温度是多少度, 但是没有人说进入锅炉的给水是多少大卡的, 只有在设计、试验和测定等计算中才用到热量。所以热量和温度二者之间虽有联系, 却不能混为一谈。

综上所述, 当物体受热之后会发生下列变化:

(1) 温度升高;

(2) 体积膨胀 (在定压下) ;

(3) 物体的状态改变。

同样地, 当物体受冷后会发生降温、体积缩小及状态变化。

二、比 热 容

单位质量的物质, 温度升高 1°C 吸收的热量称为该物质的比热容, 用符号 c 表示。如果质量的单位用公斤, 热量单位用千卡, 比热容的单位就是千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$, 这是我们常用的比热容单位。例如, 钢的比热容为 0.117 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$, 其含意就是 1 公斤质量的钢温度升高 1°C 需要吸收 0.117 千卡热量。实验证明, 1 公斤质量的钢温度降低 1°C 也将放出 0.117 千卡热量。

每种物质都有自己的比热容。在表 1-2 中, 我们列出了几种常用物质的比热容。物质中除了液态氮的比热容为 1.047 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 以外, 要算水的比热容最大, 为 1 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。所以通常我们用水作循环液, 以便吸收或散发较多的热量。

几种常用物质的比热容 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$

表 1-2

物质名称	比 热 容	物质名称	比 热 容	物质名称	比 热 容	物质名称	比 热 容
钢	0.117	铜	0.093	水	1	玻 璃	0.2
铁	0.11	铅	0.031	酒 精	0.58		
铸 铁	0.115	银	0.055	冰	0.51		
铝	0.21	铂	0.032	水 银	0.033		

我们只要知道了某种物质的比热容, 就可以算出它在加热或冷却时所吸收或放出的热量。例如把 10 公斤钢从 20°C 加热到 800°C 时所需吸收的热量可按下式计算:

钢的比热容为 0.117 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

10 公斤钢温度升高 780°C 需吸收的热量为 0.117 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C} \times 10$ 公斤 $\times 780^{\circ}\text{C} = 912.6$ 千卡

此计算公式写成一般的数学式, 即为

$$Q = mc(t_2 - t_1) \quad (1-10)$$

式中 Q ——物质在温度升高时吸收的热量, 千卡;

m ——物质的质量, 公斤;

c ——物质的比热容, 千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$;

t_2 ——物质加热后的温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_1 ——物质加热前的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

三、热 胀 冷 缩

物体受热后就会膨胀, 受冷后便会收缩, 这种现象称为物体的热胀冷缩。

在日常生活和工作中, 我们到处都能遇到物体热胀冷缩的现象。例如, 夏天架在两个铁

塔之间的高压电缆，由于气温高而发生膨胀，电缆就伸长和下坠；到了冬天，气温下降，便又收缩和绷紧。

锅炉的各个受热部位，如锅筒、炉管、炉胆、炉墙等，在升温过程中，也都要发生膨胀。所以，在设计锅炉时就应预先为它们留有一定的膨胀余地，避免因热胀受阻而发生锅炉变形、泄漏或损坏。例如：水管锅炉的管子做成弯形的，兰开夏锅炉的炉胆做成波浪形的，等等，都是为了使锅炉受热或冷却时有个伸缩的余地。此外，水管锅炉在安装锅筒及砌炉墙耐火砖衬时，也都留有伸缩的余地。

物体受热膨胀有线膨胀和体膨胀二种：

1. 线膨胀 固体物质受热后，沿着长度方向发生的伸长变化，叫做固体的线膨胀。例如铁路上的钢轨、架空的高压电缆线、输送蒸汽或其它介质的管道等在长度上的冷热伸缩。固体物质受热后，温度升高 1°C ，其长度的增加值与该物质升温前长度之比叫做这种物质的线膨胀系数。例如钢的线膨胀系数为 0.0000114 （即 11.4×10^{-6} ），也就是说，不论它的长度单位是英尺还是米，是长是短，温度每升高 1°C ，钢的长度始终比升温前的长度增加 0.0000114 倍。不同的物质，它的线膨胀系数也不相同。各种常用物质的线膨胀系数可见表 1-3。

物质受热后长度的伸长可按下式计算

$$L_2 = L_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-11)$$

式中 L_2 ——物质在 t_2 时的长度，米；

L_1 ——物质在 t_1 时的长度，米；

α ——该物质的线膨胀系数；

t_2 ——物质受热后的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_1 ——物质受热前的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

例 工人在气温为 16°C 时，安装了一根长 18 米的蒸汽管道。如果用它来输送温度为 179°C 的蒸汽，其长度将比安装时伸长了多少？

解 已知 $L_1 = 18$ 米， $t_1 = 16^{\circ}\text{C}$ ， $t_2 = 179^{\circ}\text{C}$ ，

由表 1-3 可查得钢的线膨胀系数为 $\alpha = 0.000012$

将各数代入公式 (1-13)

$$\begin{aligned} L_2 &= L_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \\ &= 18 \times [1 + 0.000012 \times (179 - 16)] \\ &= 18.035 \text{ 米；} \\ \Delta L &= L_2 - L_1 \\ &= 18.035 - 18 \\ &= 0.035 \text{ 米} \end{aligned}$$

蒸汽管道比安装时伸长了 0.035 米。

2. 体膨胀 物质受热后，其体积的膨胀叫做物质的体膨胀。固体物质受热后，沿其长度、高度和宽度方向都要发生线膨胀，三个线膨胀量的乘积就是该物质的体膨胀。对于液体和气体来说，它们只有体膨胀。物质受热后，温度升高 1°C ，其体积的增加值与该物质升温前的体积之比叫做该物质的体膨胀系数。不同的物质，它的体膨胀系数也不相同。