

730933

52011

31441

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

发生炉煤气的 生产与使用

(初级本)

科学普及出版社

011

441

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

发生炉煤气的生产与使用

(初 级 本)

科学普及出版社

本书是中华人民共和国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。本书对煤气生产中常遇到的热工基础理论、煤炭气化原理和反应机理作了初步介绍。列举了典型发生炉冷、热煤气的生产工艺流程及常用的煤气发生炉与附属设备,介绍了混合发生炉煤气的生产过程,使用煤气的安全技术,管道、热工仪表和设备的修理与维护保养,炉前化验知识等。还列出了必要的计算方法、数据及图表。

本书适用于基层煤气工作者,特别适合于煤气工人阅读,同时,还可供管理人员和初学煤气专业者参考。

本书由曹从信同志编写,经钱笑公同志、章鼎臣同志、赵德明同志审查。

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
发生炉煤气的生产与使用
(初 级 本)

责任编辑 罗秀文

科学普及出版社出版 (北京海淀区白石桥路32号)
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 1/4 字数: 295千字

1982年9月第1版 1984年2月第2次印刷

印数: 27,001—33,500册 定价: 1.20元

统一书号: 15051·1062 本社书号: 0547

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 **杨 铨**

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、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 热工学的基本知识.....	(1)
第一节 热工基本状态参数.....	(1)
第二节 热、热量、比热.....	(8)
第三节 机械功、电功、功率换算.....	(10)
第四节 粘度、动力粘度与运动粘度.....	(11)
第五节 物体三态及相互转化的条件.....	(12)
第六节 湿度.....	(15)
第七节 理想气体状态方程式.....	(18)
第二章 燃料的分类及煤炭的性质	(21)
第一节 燃料的分类.....	(21)
第二节 煤炭的工业分析.....	(25)
第三节 煤炭的物理性质.....	(30)
第三章 煤炭的气化原理	(33)
第一节 煤炭的气化概述.....	(33)
第二节 固定床常压气化原理.....	(33)
第三节 气化过程机理.....	(34)
第四节 热化学反应.....	(35)
第五节 化学反应速度.....	(37)
第四章 混合发生炉煤气	(41)
第一节 混合发生炉煤气的生产原理.....	(41)
第二节 混合发生炉煤气的生产过程.....	(45)
第三节 混合发生炉煤气的应用.....	(53)
第四节 混合煤气发生炉的热平衡及气化效率.....	(54)
第五节 混合煤气发生炉的气化强度.....	(58)
第五章 煤气站的技术经济指标	(60)
第一节 单台煤气发生炉的产量.....	(60)
第二节 煤气的主要组分和低发热值.....	(62)
第三节 灰渣含碳量.....	(64)
第六章 煤气发生炉及其附属设备	(65)
第一节 煤气发生炉分类.....	(65)
第二节 固定床旋转炉篦常压发生炉.....	(66)
第三节 固定床炉身旋转式常压发生炉——3MT型炉	(80)
第四节 煤气发生炉的附属设备.....	(82)
第七章 煤气发生炉的一般操作要点	(86)
第一节 开炉前的准备工作.....	(86)
第二节 烘炉、点炉及停炉操作要点.....	(87)
第三节 煤气发生炉的正常运行.....	(89)

第四节	煤气发生炉常见的不正常情况及其处理方法	(90)
第五节	生产炉改热备用及热备用投入运行	(94)
第六节	热煤气站操作要点	(95)
第七节	发生炉常见故障及紧急停电、停水的处理	(96)
第八章	煤气站附属设备	(99)
第一节	竖管及洗涤塔	(99)
第二节	热煤气站除尘及切断装置	(103)
第三节	煤气排送机和鼓风机	(109)
第四节	电气滤清器及离心除焦机	(116)
第五节	输煤、出灰系统	(119)
第六节	煤气站常用泵类	(120)
第九章	常用热工仪表、管件及阀门	(124)
第一节	测温仪表	(124)
第二节	测压仪表	(129)
第三节	测流量仪表	(133)
第四节	常用管件	(136)
第五节	常用阀门	(142)
第十章	炉前化验知识	(155)
第一节	炉前化验的重要性	(155)
第二节	炉前化验使用仪器	(155)
第三节	炉渣含碳量分析	(157)
第十一章	煤气发生炉的修理与维护保养	(160)
第一节	煤气发生炉的修理	(160)
第二节	煤气发生炉的维护保养	(165)
第十二章	安全技术	(169)
第一节	概述	(169)
第二节	煤气中毒及急救	(169)
第三节	煤气的着火爆炸	(172)
第四节	煤气站事故分析	(176)
第五节	工厂煤气安全注意事项	(177)
第十三章	煤气输送管道及附件	(180)
第一节	一般厂区管网布置	(180)
第二节	冷煤气管道及附件的使用维护	(185)
第三节	热煤气管道及其附件的使用维护	(189)

第一章 热工学的基本知识

以各种不同形式存在于自然界的各种物质，都在不停地运动，它们互相影响、互相作用并互相转化或变化。因此可以说“运动是物质存在的基本形式”。物质可以由一种运动形式转变成另一种运动形式，但它们都既不能消灭也不能创生。也就是说物质的互相转化或互相变化都遵循着物质不灭定律。

物质的每一种运动形式，都具有相应的能量。当几种运动形式互相转化时，其能量同时亦由一种形式转化为另一种形式，但总能量不变。也就是说，能量既不能创生又不能消灭，这就是能量守恒定律。

例如煤炭的燃烧可以放出热量，生成二氧化碳及其他气体。又如煤经过气化由固体燃料转化成气体燃料，它们的存在形式发生了变化，能量也发生了变化。热工学就是研究物质的能量、能量转换及其与物质性质之间相互关系的科学。

第一节 热工基本状态参数

在研究工业上存在的热工问题时，首先遇到的是某种气体处于某种状态的问题。气体所处状态的不同决定了它的特性的不同，描述气体所处状态特性的参数称为状态参数。状态参数一般有温度、压力、比容、内能、焓及熵等六个。其中，温度、压力和比容可以直接或间接地用仪器测量出来，因而称为基本状态参数；内能、焓及熵三个状态参数可以由其它参数推导出来，称为导出状态参数。本文只介绍基本状态参数。

一、温 度

用手去摸热煤气管道就觉得烫手；用手去摸冰块时，就觉得冷。这种物体冷与热的特性必须有一个量去衡量，这个量就是温度。温度是标志物体冷热程度的参数。

物体冷与热的原因，现代科学理论用分子运动学说予以解释。即物体都是由分子组成的，分子在不断地运动着。运动的形式有平行移动、转动、振动等。运动的平均速度的大小就标志着该分子平均动能的大小。若运动平均速度较快，说明分子的平均动能较大，因而温度也较高；相反，运动平均速度较慢，分子平均动能较小，因而温度也较低。因此，温度实质上是标志分子运动具有动能大小的参数。

测量温度的标准尺度一般称为温标。目前通用的温标有二种：即摄氏温标和绝对温标。而欧美等国家也有采用华氏温标的。各种温标的规定如下。

（一）摄氏温标

摄氏温标又名国际百度温标，它规定纯水在1个标准大气压下，开始结冰时的温度定为零度，而纯水沸腾时的温度定为一百度。在零到一百度之间划分出一百个等分，如图1-1(a)所示，每一等分为摄氏1度。零度以上的刻度为正值，零度以下的刻度为负值，又可称零上

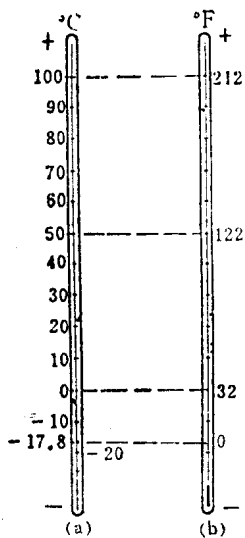


图 1-1 温标示意图

(a) 摄氏温标;
(b) 华氏温标

几度或零下几度。在表示时正值应加“+”号，而负值应加“-”号。例如用 $+20^{\circ}\text{C}$ 表示二十摄氏度；用 -20°C 表示零下二十摄氏度。

(二) 绝对温标

绝对温标又称热力学温标，即取在一个标准大气压下，纯水的冰点为 273.15K ●，沸点为 373.15K 。也即绝对温标的零度相当于摄氏温标的 -273.15°C 。而在工程技术计算中，一般取摄氏零下 273°C 为绝对零度，其计算结果误差不大。

摄氏温度与绝对温度的换算公式为：

$$T = 273.15 + t \quad (1-1)$$

式中 T ——绝对温度，K；

t ——摄氏温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

(三) 华氏温标

华氏温标的刻度法是在1个标准大气压下，规定纯水的冰点为 32°F ，沸点为 212°F ，冰点与沸点间等分180个分度，每个分度格为华氏1度。如图1-1(b)所示。 32°F 相当于 0°C ； 212°F 相当于 100°C 。华氏每9个刻度相当于摄氏的5个刻度。华氏温度仍

用 t 来代表，单位用 $^{\circ}\text{F}$ 代表。

摄氏温度换算成华氏温度的公式为：

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

式中 $t^{\circ}\text{F}$ ——华氏温度($^{\circ}\text{F}$)；

$t^{\circ}\text{C}$ ——摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)；

$\frac{9}{5}$ ——换算系数。

华氏温度换算成摄氏温度公式为：

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32) \quad (1-3)$$

式中 $\frac{5}{9}$ ——换算系数。

例1 摄氏温度为100度，问折合华氏多少度？

解 $t^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C}$ 代入式(1-2)得：

$$t^{\circ}\text{F} = 32 + \frac{9}{5} \times 100 = 212^{\circ}\text{F}$$

例2 华氏温度为41度，问折合摄氏多少度？

● 读开尔文，简读“开”。

解 $t^{\circ}\text{F} = 41^{\circ}\text{F}$, 代入式 (1-3) 得:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(41 - 32) = 5^{\circ}\text{C}$$

例3 若煤气的炉出温度为 600°C , 问换算为绝对温度时为多少度?

解 $t = 600^{\circ}\text{C}$, 代入式 (1-1) 得:

$$T = 273.15 + t = 273.15 + 600 = 873.15\text{K}.$$

二、压 力

(一) 压力的基本概念

压力是基本状态参数之一。工程上常称的压力实际上是指压力强度。

将手放于风机出口管的管口上, 觉得手上有一种推力, 若将手倾斜一个角度, 则推力显得较小。所以手上受的总压力与风力的大小、手的角度、受力的面积大小有关。总压力的单位用公斤或牛顿来度量。单位面积上所受的垂直力称为压力强度。工程上习惯把压力强度称为压力。

如图 1-2 所示, 若在边长为 5 厘米的正方形面积上受垂直于该面的力为 25 公斤, 则该面上受的压强为 1 公斤/厘米²。

压力是工程技术上的重要参数, 在煤气生产工艺中, 经常要测量工艺设备上的压力, 它的正确与否对煤气炉的安全、经济、正常运行有很大的影响。

气体压力的大小可用分子运动论来解释。前面已经提到, 自然界的物质均由分子所组成, 分子是很小的, 例如氢气分子的直径只有 2.3×10^{-8} 厘米大。气体分子在相对较大的空间自由地不断地运动着, 若置气体于容器中, 分子在不断地做热运动, 它们不但彼此间互相碰撞, 同时也不断地向容器壁碰撞, 即对容器壁产生了打击力量。每一个分子的打击力很小, 若有许多个分子非常密集地碰撞打击容器壁时, 则就形成一个可以测量出来的力, 而且这个力随着碰撞次数的多少和碰撞力的大小而变化。单位容器壁上受的垂直力, 即为这个容器壁上受的压强。

影响气体压力大小的因素首先是气体的压缩程度, 也就是跟单位体积内的分子数或气体的浓度有关。如往自行车内胎里打气, 空气被强制打入。随着空气打入, 车胎内空气浓度越来越大, 也就是空气分子对胎壁的碰撞次数增加, 致使压力增高。第二是和气体的温度有关, 温度升高, 分子平均动能增大, 分子的运动加剧, 碰撞器壁的次数增多, 器壁上受到压力也增高, 因此容器内气体加热后压力就能升高。如果气体分子之间的相互作用力忽略不计, 压力与分子的数量和分子的平均动能成正比。

(二) 压力的表示法

表示压力的方法有三种:

1. 用单位面积上所受的力来表示 一般常用表示法为每平方厘米面积上所受的 一 公斤力, 即公斤/厘米²; 或每平方米面积上所受的力, 即公斤/米²。这两个单位的换算关系是:

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2 \quad (1-4)$$

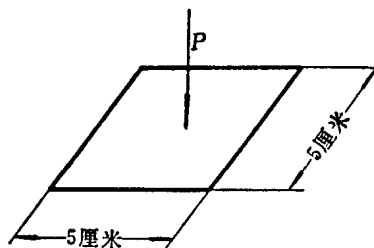


图 1-2 压力示意图

这是因为 $1 \text{ 厘米} = \frac{1}{100} \text{ 米}$, $1 \text{ 厘米}^2 = \frac{1}{10000} \text{ 米}^2$, 所以 $1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 1 \text{ 公斤} \times 10000 / \text{米}^2 = 10000 \text{ 公斤/米}^2$ 。

工程上称 1 公斤/厘米^2 压力单位为 1 工程大气压, 或工业大气压, 一般简称大气压。有时也用 at 表示。例如 $10at$ 压力表示 10 个工程大气压, 或者用 10 kg/cm^2 表示。kg 代表公斤, cm^2 代表厘米²。

2. 液柱表示法 液柱表示法是用盛有某种液体的玻璃管的垂直高度来表示压力。若管内为蒸馏水时, 则称压力为水柱高; 若管内装的水银, 则称水银柱高, 或称汞柱高。

在测量较小的压力时, 如煤气炉底压力和煤气炉出口压力, 常用“U”形管来测量。“U”形管内装有蒸馏水或水银。装水银时应在上层加少许水作保护层, 以防水银蒸发。

如图 1-3 所示, 底面积为 F 的柱形容器内装有某液体, 底面上受的力等于液柱的重量。而液柱的重量则等于液柱高与底面积的乘积再乘以该液的重度。

设 P 为容器底面积受的力 (单位: 公斤); h 为容器中液面的高度 (单位: 米); γ 为液体的重度 (单位: 公斤/米³); F 为容器的底面积 (单位: 米²)。则

$$P = h \cdot F \cdot \gamma \quad (1-5)$$

从上述关系式得知受力大小与液柱高度、底面积大小及液体的重度有关系。而单位面积上所受的力, 即压力为

$$p = \frac{P}{F} = \frac{h \cdot F \cdot \gamma}{F} = h \cdot \gamma \quad (1-6)$$

$$\text{或者} \quad h = \frac{p}{\gamma} \quad (1-7)$$

从 (1-6) 式可知, 压力与面积大小无关。若用“U”管测量压力时, 其压力大小与“U”管的粗细无关, 只用液柱高度与该液体的重度乘积来表示。因此常用纯水高度和水银高度来表示压力。

若用纯水做玻璃“U”形管的液体时, 因为纯水的重度 $\gamma = 1000 \text{ 公斤/米}^3$, 因此 1 工程大气压力的水柱高可用式 (1-7) 计算

$$\begin{aligned} h &= \frac{p}{\gamma} = \frac{10000 \text{ 公斤/米}^2}{1000 \text{ 公斤/米}^3} = 10 \text{ 米} \\ &= 10000 \text{ 毫米水柱高} \end{aligned}$$

由此可见, 一个工程大气压等于 10 米或 10000 毫米水柱高。而一个工程大气压又等于 10000 公斤/米^2 , 因此, $1 \text{ 毫米水柱高} = 1 \text{ 公斤/米}^2$; $1 \text{ 工程大气压} = 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10000 \text{ 毫米水柱}$ 。可用 mH_2O 或 mmH_2O 表示米水柱高或毫米水柱高。

若用水银柱表示, 即在“U”形管内充装水银时, 将水银重度代入式 (1-7) 得:

$$h = \frac{10000 \text{ 公斤/米}^2}{13600 \text{ 公斤/米}^3} = 0.7356 \text{ 米水银柱}$$

● 13600 公斤/米^3 是水银的重度。

$$= 735.6 \text{ 毫米水银柱高}$$

式中, 毫米水银柱可用 mmHg 表示。因此, 1 工程大气压 = 735.6 mmHg。毫米水银柱高与毫米水柱高的换算关系是:

$$1 \text{ mmHg} = 13.6 \text{ mmH}_2\text{O}$$

毫米水银柱高又可用“托”来表示, 即

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ 托}$$

还可用巴和毫巴来表示:

$$1 \text{ 巴} = 1.02 \text{ 工程大气压}$$

$$1 \text{ 毫巴} = \frac{1}{1000} \text{ 巴}$$

3. 标准大气压 在地球表面包围着一层厚约 320 公里的大气层, 大气受地球吸引力产生重量, 也即对地表面有压力。大气的重量对地表面的压力称为大气压力。用符号 B 来表示。

国际上规定纬度 45° 海洋平面上全年平均大气压力为 760 mmHg 为标准大气压力。随着纬度的偏移、气候的不同和高出海平面的距离 (海拔高度), 大气层的稀薄与浓厚程度不同, 因而大气压力也不同。因此大气压力与海拔高度、所处纬度、气候等因素有关系。例如北京冬季平均大气压力为 765 mmHg, 夏季为 749 mmHg; 太原冬季平均 699 mmHg, 夏季为 689 mmHg, 太原海拔比北京为高。标准大气压力也可用 atm 来表示, 标准大气压又称物理大气压。

标准大气压与工程大气压的关系是:

$$1 \text{ 标准大气压} = 760 \text{ 毫米水银柱高}$$

$$1 \text{ 工程大气压} = 735.6 \text{ 毫米水柱高}$$

$$\text{于是, } 1 \text{ 标准大气压} = \frac{760}{735.6} = 1.033 \text{ 工程大气压} = 1.033 \text{ 公斤/厘米}^2$$

$$\text{即, } 1 \text{ atm} = 1.033 \text{ at}$$

(三) 表压力、真空度和绝对压力

在正常情况下, 煤气炉炉顶的压力要高于外界大气压, 即正压操作。若炉内的压力低于大气压力, 即产生负压, 空气会被吸入炉内, 这是不允许的。又如水套汽包上压力表指示为 0.5 公斤/厘米², 这就是汽包实际压力大于大气压力 0.5 公斤/厘米², 而真空泵抽气, 真空泵上指示的压力是被抽容器内实际压力比大气压力所低的压力。因此表压力是某容器中气体实际压力与外界大气压力之差值。

在煤气生产工艺中, 遇到负压时, 操作者应立即采取措施纠正。负压值的大小可用真空度来表示, 真空度是容器中的负压值与外界大气压的百分比, 即:

$$\text{真空度} = \frac{p_i}{B} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 p_i ——容器的负压值, mmHg;

B ——当地大气压力, mmHg。

图 1-4 及图 1-5, 表示煤气管正压与负压时用“U”管测量其压力的情形。正压时,

“U”管通大气端的液面升高，液面的高度差就是容器的表压力。容器处于负压时，“U”管通大气端的液面比通容器端的液面要低，其差值即负压力值。

为了统一和计算方便，引入绝对压力的量。由图 1-4 可以看出，表压力是实际压力与大气压力之差值，而且随气候、海拔不同所测出的数值并不一致。在热工计算中应知气体的实际压力，即测出的表压力与大气压力之和。通常把此和称为绝对压力。

图 1-6 表示绝对压力、表压力和大气压力之间的压力关系图。

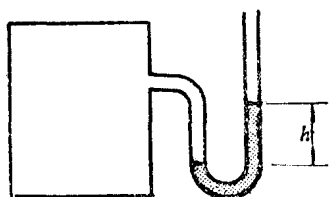


图 1-4 正压状态图

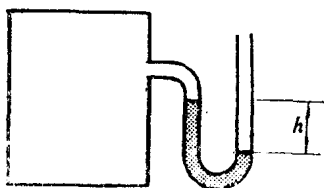


图 1-5 负压状态图

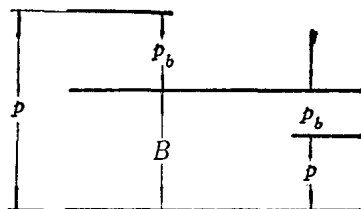


图 1-6 压力关系图

绝对压力用下式表示：

$$p = B + p_b \quad (1-9)$$

式中 p ——绝对压力，mmHg；

p_b ——表压力，mmHg；

B ——大气压力，mmHg。

所以当容器内压力大于大气压力时，如图 1-4 所示，绝对压力等于表压力加上大气压力；当容器内实际压力小于大气压力时，则如图 1-5 所示，绝对压力等于大气压力和表压力之差。因此绝对压力等于表压力和大气压力的代数和。

例 1 用“U”形管测量煤气炉底压力，若管中装有水银，为避免水银蒸发，在水银柱上加 30 毫米水柱，水银柱高差为 35 毫米。若当地大气压力为 692 mmHg，问煤气炉底表压力是多少水柱？绝对压力是多少 mmHg？

解 按式 (1-9)，设表压力为 p_b ，大气压力为 B ，绝对压力为 p 。

根据题意， $p_b = 35 \times 13.6 + 30 = 506 \text{ mmH}_2\text{O}$

$$p = p_b + B = 506 + 692 \times 13.6 = 9917.2 \text{ mmH}_2\text{O}$$

例 2 用真空泵抽某容器的气体产生负压为 650 mmHg，问容器的真空度为多少？已知大气压力为 699 mmHg。

解 按式 (1-8)，真空度 $= \frac{p_b}{B} = \frac{650}{699} \times 100\% = 92.9\%$

例 3 采用流量孔板和倾斜式压差计来测量煤气炉鼓风流量。已知压差计内装水银，测得孔板前后压差为 15 毫米，倾斜角 $\alpha = 30^\circ$ ，试计算折合多少水柱高？（水银重度为 13.6 克/厘米³）。

解 $h = 15 \times \sin \alpha = 15 \times \sin 30^\circ = 7.5 \text{ mmHg}$

折合水柱为 $13.6 \times 7.5 = 102 \text{ mmH}_2\text{O}$

三、气体的密度与比容

由于气体体积受压力和温度的影响很大，所以研究气体体积和重量关系时，要在同一温度和压力下来进行。在同样温度和压力情况下，不同的气体，体积相同重量不一定相同。例如一立方米的空气在1个大气压、20℃时的质量是1.29公斤，而同样体积的干煤气只有1.04公斤。为了便于研究问题，在热工学中又引入一个新的物理量，这个量称为密度。单位容积内所含物质的质量称为密度。设密度为 ρ （单位：公斤/米³）；质量为 m （单位：公斤）；体积为 V （单位：米³）则：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-10)$$

密度的倒数称比容，设比容为 v （单位：米³/公斤）

则：

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-11)$$

因为比容与密度互为倒数，所以其关系为：

$$\rho = \frac{1}{v} \quad \text{或} \quad \rho v = 1$$

即：密度与比容的乘积等于1。

在工程上常提到重度这个参数，重度是单位容积所含物质的重量，国际上用单位是牛顿/米³。公制单位是公斤/米³，或 kg/m³。重度的关系式如下：

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (1-12)$$

$$W = mg \quad (1-13)$$

而重度与密度的关系是：

$$\gamma = \rho g \quad (1-14)$$

以上三式中 W ——物质的重量，公斤；

g ——地球重力加速度，米/秒²；

γ ——重度，公斤/米³；

ρ ——密度，公斤/米³。

常见物质的密度可见表1-1。

比容也是基本状态参数，它与压力、温度两个状态参数一起可以决定某气体所处状态。设煤气的炉出温度为550℃，压力为80mmH₂O表压力，重度为 γ_1 。改变这两个参数，如煤气经过净化、洗涤、干燥后，温度降低到35℃，压力降到30mmH₂O，则其重度就会改变为 γ_2 ，因此煤气的重度与压力、温度有一定的关系。

由于温度和压力对物质状态有密切关系，所以，国际上规定压力为760毫米水银柱，温度为零摄氏度时的状态为标准状态。

在压力 = 1atm, 温度 = 20°C, 常见物质密度

表 1-1

名称	铝	汞	铁	铜	银	金	石棉	矿渣棉	硅石瓦	水	酒精	空气	干煤气	湿煤气	饱和蒸汽	一氧化碳	二氧化碳	氢气	氮气	甲烷	氧气
密度 (公斤/米 ³)	2700	13600	7870	8930	10500	19320	800	100 150	250	1000	790	1.29	1.04	1.14	0.81	1.24	1.94	0.09	1.25	0.72	1.43

第二节 热、热量、比热

一、热

能的形式在自然界是多种多样的。热是能的一种。燃料在锅炉中燃烧,使水变成水蒸气,水蒸气带动汽轮机发电,使热能转化为电能。由于热是能的一种表现形式,根据能量守恒定律,可以转换成其它形式的能,而其它形式的能也可以转换成热能。如电能、风能、太阳能、水能、地热能、化学能、原子能等能量可以互相转换。

二、热量

热量是表示物体吸热或放热多少的物理量。某物体温度较高,若与另一温度较低的物体相接触,因为它们之间存在温度差,所以在两物体之间就要产生冷热交换现象,使冷物体的温度逐渐升高,热物体的温度逐渐降低。在此交换过程中引入热量概念。由此可以看出,没有温差就没有冷热交换,热量概念也就不成立。

热量的单位通常用卡来表示,卡的一千倍称千卡或大卡。一卡热量是指使 1 克纯水温度升高 1 度所吸收的热量^①。国际上用焦耳或千焦耳为热量单位。卡与焦耳的关系式是:

$$1 \text{ 卡} = 4.1816 \text{ 焦耳}$$

$$1 \text{ 千卡} = 4.1816 \text{ 千焦耳}$$

例如冷煤气低发热值是 1250 千卡/标米³^②,折合焦耳热量单位是

$$4.1816 \times 1250 = 5227 \text{ 千焦耳}$$

焦耳一般以 J 来表示,千焦耳以 KJ 表示。

三、比热

实践证明,不同的物质在热交换过程中使其升高或降低一度所吸收或放出的热量不相

① 我国现行以 20°C 卡路里为热量单位,即在标准大气压下,一克纯水温度从 19.5°C 升高到 20.5°C 所需要的热量。

② 标准立方米是指煤气在标准状况下的体积。

同。如加热一公斤水使它升高一度所需的热量为 1 千卡；加热一公斤钢使它升高一度所需的热量则为 0.12 千卡。同一种物质若其质量不同，使其升高或降低 1℃ 所吸收或放出的热量也不同，为了研究方便引入比热的概念。

使单位质量的某物质的温度变化 1℃，所吸收或放出的热量称为该物质的比热。表示比热的方法有三种：

1.单位重量比热 使单位重量某物质升高或降低 1℃ 所吸收或放出的热量是该物质的重量比热。

重量比热单位是千卡/公斤·度或用符号表示为 kcal/kg·℃。表 1-2 列出一些物质的比热。

2.单位容积比热 使单位容积某物质升高或降低 1℃ 时所吸收或放出的热量是该物质的容积比热，其单位是千卡/标米³·度。

几种物质比热表

表 1-2

类别	水	润滑油	褐煤	烟煤	无烟煤	混凝土	金	银	铜	铁	锡	铅	铝	锌	钢
重量比热 (千卡/公斤·℃)	1.00	0.58	0.27	0.25	0.23	0.27	0.032	0.056	0.0928	0.113	0.054	0.31	0.212	0.094	0.12
类别	发生炉煤气	CO	CO ₂	SO ₂	H ₂ S	CH ₄	C ₂ H ₄	H ₂	O ₂	N ₂	干空气				
容量比热 (千卡/标米 ³ ·℃)	0.334	0.31	0.382	0.414	0.360	0.370	0.370	0.305	0.311	0.309	0.309				

3.分子比热 除上述两种比热表示法外，在计算上通常采用分子比热（也称摩尔比热）。分子比热是使 1 公斤分子气体温度升高或降低 1℃ 时所吸收或放出的热量。其单位是千卡/公斤分子·度。

重量比热常用“c”来代表，容积比热常用“c'”来代表，分子比热常用“Mc”代表（其中M为公斤分子）。则三种比热表示法的互换关系是：

$$c = \frac{Mc}{M}$$

(1—15)

$$c' = \frac{Mc}{22.4}$$

(1—16)

$$c = \frac{c'}{\gamma}$$

(1—17)

上面已叙述过，比热与物质的属性有关。除此而外，比热与温度也有关系。同一物体在

不同温度下其比热也不同。但在工程计算中，在温度不太高、变化不太大的情况下，可以粗略地取其为定值。在温度比较高并且变化较大的情况下，应考虑到比热与温度的变化关系。

第三节 机械功、电功、功率换算

一、机械功

人用力推动小车前进，行走一段路程，人对小车就做了功。若用 F 来表示人力的大小（单位：公斤），用 S 来代表路程的长短（单位：米），用 W 来表示做功的多少（单位：公斤·米）时，其关系式则是：

$$W = F \times S \quad (1-18)$$

S 又可称为受力物体沿着作用力方向的位移。因此可以说功等于力和受力物体在力的方向上的位移的乘积。

力是产生运动的原因，没有力即没有功。力作用在物体上可以使物体得到加速度，如果使 1 公斤质量的物体能得到 1 米/秒² 的加速度时，则称此力为一牛顿。一牛顿的力使物体沿着力的方向走一米的路程时，所完成的功为 1 焦耳。1 公斤·米 = 9.8 焦耳。

若作用力与受力物体位移方向不在一条线上，有某一个角度时，则功的大小不但与力的大小有关，而且与力和物体位移方向的夹角的余弦有关。

如图 1-7 所示，力与物体位移的夹角为 α ，则功等于：

$$W = F \cos \alpha \cdot S \quad (1-19)$$

若 $\alpha = 0^\circ$ 时，则 $\cos \alpha = 1$ ， $W = F \cdot S$ 即为式 (1-18)；若 $\alpha = 90^\circ$ 时，则 $\cos \alpha = 0$ ，则 $W = 0 \cdot S = 0$ ，说明虽然施力于物体，但未

产生位移，也未能做功。当 $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$ 时，

$\cos \alpha > 0$ ，所做的功为正值。而当 $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$

时， $\cos \alpha < 0$ ，所做的功为负值。因此功是一个有正负性的物理量。

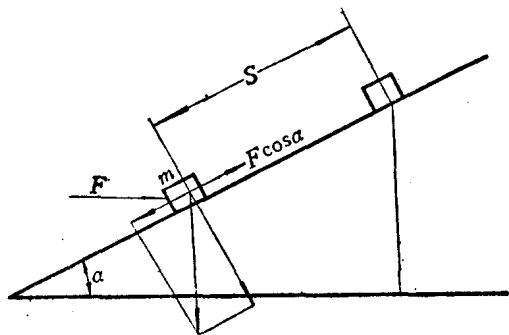


图 1-7 力的做功图

二、电 功

电流通过导体时，电场力所做的功叫做电功。电功是将电能转化为功的物理量。通常用 W 来表示。而在国际单位中电功用焦耳表示，即 1 安培的电流在电压为 1 伏特、1 秒钟内做的功为 1 焦耳。又称 1 瓦特秒。在计算电功时，常用

$$W = I \times U \times t \quad (1-20)$$

式中 W ——电功，焦耳；

I ——电流，安培；