

火电生产类学徒工初级工培训教材

热工基础知识

(试用本)

2

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为火电生产类学徒工初级工培训教材之一。全书共分两篇，第一篇为工程热力学，主要叙述火力发电厂中热能转变为机械能能量转换的热力学第一定律和第二定律，气体和水蒸汽的性质，蒸汽流动的规律，电厂的基本循环及提高热效率的途径。第二篇为传热学，叙述导热、对流换热、热辐射三种基本形式热量传递的规律，增强传热和削弱传热的方法，对各种类型的换热器及传热计算也作了简单介绍。

火电生产类学徒工初级工培训教材

热 工 基 础 知 识

(试用本)

*

水利电力出版社出版、发行

(北京德胜门外六铺炕)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 5.75印张 125千字

1983年3月第一版 1983年3月北京第一次印刷

印数00001—80000册 定价 0.48元

书号 15143·5146

前 言

为了提高水利电力系统学徒工初级工的技术水平，使技工培训工作逐步走向正规化、系统化，我们统一组织编写了水电生产、水电施工、火电生产、火电建设和供电等五类学徒工初级工的培训教材。

这五类培训教材是按照原水利部、原电力工业部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求编写的。每一工种的培训教材包括基础课与专业课两部分，注意到学徒工初级工两个阶段技术理论教育的系统性和完整性，力求密切联系生产实际，深入浅出，突出工人培训教材的特点。

火电生产类培训教材包括22个工种共23本，其中基础课11本，专业课12本，委托山西省电力工业局组织编写，并约请各大区网局和省电力工业局的有关同志参加审稿。

《热工基础知识》系基础课教材之一，由山西省电力学校黄光辉、李筱萍同志合编，山西省电力中心试验所、户县热电厂、阜新发电厂、南市发电厂等单位进行了审定。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，培训教材中难免存在错误和不妥之处，现以试用本出版，内部发行。希望使用单位和广大读者提出宝贵意见，以提高再版的质量。

水利电力部

· 1982年12月

目 录

前言	
概述	1

第一篇 工程热力学

第一章 气体的性质	3
第一节 基本概念	3
第二节 功、功率、能	6
第三节 工质的状态参数	11
第四节 热量、比热、热量计算	19
第五节 热力过程、热力循环	22
第六节 混合气体简介	23
第二章 热力学基本定律及其应用	30
第一节 理想气体的基本定律及状态方程	30
第二节 参数坐标图	34
第三节 热力学第一定律	37
第四节 热力学第二定律与卡诺循环	41
第三章 水蒸汽的基本性质	48
第一节 汽化和凝结	48
第二节 水蒸汽的形成	51
第三节 水蒸汽状态参数的确定	57
第四节 水蒸汽的焓熵图	61
第五节 水蒸汽的热力过程	63
第六节 蒸汽参数对热力设备的影响	65

第四章 蒸汽在喷管中的流动及蒸汽的节流	72
第一节 基本概念	72
第二节 喷管截面变化规律	74
第三节 喷管的流速与流量的计算	76
第四节 喷管的选择	78
第五节 蒸汽的节流	83
第五章 蒸汽动力循环	88
第一节 朗肯循环	88
第二节 蒸汽参数与热效率的关系	92
第三节 再热循环	96
第四节 回热循环	99
第五节 供热循环	104

第二篇 传 热 学

第六章 稳定导热	109
第一节 导热的基本概念	109
第二节 平壁及圆筒壁的导热	111
第七章 对流换热	120
第一节 基本概念	120
第二节 流体无物态变化时的换热	124
第三节 流体有物态变化时的换热	127
第八章 热辐射	136
第一节 基本概念	136
第二节 辐射的四次方定律	139
第三节 两物体之间的辐射换热	141
第四节 气体辐射与火焰辐射	145
第九章 传热与换热器	150
第一节 传热的基本概念	150
第二节 平壁和圆筒壁的传热	152

第三节	传热的增强与削弱	156
第四节	换热器	161
第五节	锅炉各部分受热面及汽轮机辅机的传热分析	168
附录	175
附录一	不同单位制换算表	175
附录二	常用能量单位换算表	176

概 述

随着我国社会主义建设事业的迅速发展，需要大量的动力来满足工农业生产和人民日常生活的需要。在自然界中，动力的来源有水力、风力、太阳能、燃料的化学能和原子能等。然而在工农业生产和人们日常生活中被广泛利用的是电能。

生产电能的工厂叫发电厂，利用煤、石油及天然气等燃料生产电能的工厂叫火力发电厂。

图0-1是火力发电厂的生产过程。锅炉中的水吸收燃料燃烧时放出的热量变成具有一定压力和温度的蒸汽，蒸汽被送入汽轮机。蒸汽在流经汽轮机时通过喷管降低压力和温度，提高流动速度，这种高速的汽流冲动汽轮机转子上的叶片使转子旋转。汽轮机旋转时就带动同一轴上的发电机旋转而发出电来。

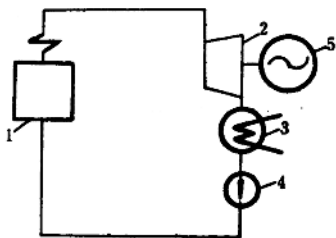


图 0-1 火力发电厂的生产过程
1—锅炉；2—汽轮机；3—凝汽器；
4—水泵；5—发电机

工作过的蒸汽送入凝汽器中被凝结成水，由水泵提高压力再送回锅炉继续工作。

火力发电厂种类很多，但从能量转换的观点分析，其基

本过程都是相同的。在火力发电厂中，属于燃料的化学能转变为热能、热能转变为机械能的范围，叫做热力部分；属于机械能转变为电能的范围，叫做电气部分。由热能转变为机械能的设备，称为热机；进行热量交换的设备，称为换热器。火力发电厂能量转换过程为：燃料的化学能 \rightarrow 热能 \rightarrow 机械能 \rightarrow 电能。

热能转变为机械能是火力发电厂的主要工作之一；热量传递是火力发电厂热力设备都能遇到的工作过程。

热工基础知识包括工程热力学和传热学两部分。工程热力学的研究对象是热能转变为机械能的规律和方法，从而找出提高转换效率的途径；它的任务是研究参与能量转换的工作物质（称为工质）——气体或水蒸汽的热力性质和转换过程的规律，以便使能量的转换过程在最有利的情况下进行，提高发电厂的经济性。传热学的研究对象是热量传递的规律；它的任务是探求热量传递过程的物理本质，对单位时间所传递热量规律进行分析，从而能更有效地利用增强或减弱传热来解决实际问题，满足工程的要求。

第一篇 工程热力学

第一章 气体的性质

第一节 基本概念

一、分子及其运动

(一) 物质在通常情况下有三态——固态、液态和气态。但一切物质都是由极小的微粒组成的，这些微粒叫做分子。如果把某种物质不断地分割下去，分成许多极小的微粒时，最后就可以得到这种物质的分子。如水可以分成为水分子；盐可以分成为盐分子。而这时的水分子、盐分子和原来的水、盐具有同样的化学性质。

(二) 分子的质量很小。在很小的体积内，分子数目却是很多的。如一滴直径约为0.1毫米的水约含有 10^6 个分子。大气温度为 0°C ，压力为760毫米汞柱时（称为标准大气压），1立方厘米的氧气含有 2.7×10^{19} 个氧分子。

(三) 通过观察、实验可知，一切物质都是在不断地运动着。而组成物质的分子也同样地在其内部不断地运动，只是因为分子很小人们不能直接看见罢了。但能通过实验来证实分子运动是存在的，以及分子运动的状态。

如图1-1为在一个装满较重的褐色溴气的玻璃圆筒B上面，口对口地放上一个充满空气的玻璃圆筒A，并用一张厚纸把空气与溴气隔开。当把隔着的厚纸抽去时，即可以看到

褐色的溴气渐渐地扩散到上面的玻璃圆筒A中，并在很短的时间内与空气完全混合。这个实验指出，溴气的分子质量虽

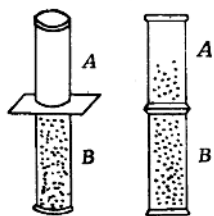


图 1-1 气体的扩散

比空气大，但在筒B内能渐渐地跑到上面与筒A内的空气相混合，同时筒A内的空气也能下降与筒B内的溴气相混合，这并不是由于重力等外来的作用，而是分子本身运动的结果。

(四) 分子与分子之间存在一定距离。当距离过小时分子间要发生相互排斥，而当距离一定时却相

互吸引，即分子之间存在引力。气体能充满任何大小的空间，一般地说来，是因气体分子间离得很远，所以它的分子引力在许多地方可以考虑不计。当气体的分子不和其它的分子或容器壁相撞时，则可以认为它不受外力作用。因此，气体的各个分子在不同的方向上按其惯性而作匀速直线运动。当气体的分子受到其它分子或容器壁的碰撞时，它的速度要发生改变。气体分子的这种运动方式就决定了气体的膨胀性（或压缩性）。而电厂在生产电能的过程中应用最广泛的的就是气（汽）体，作为工质。

(五) 分子的运动与物质的温度有关。物质的温度越高，物质内部的分子运动越激烈。因此，物质的热状态跟物质内部分子的不规则运动有关系，这种运动又叫做分子的热运动。如热水与冷水都是由同样的分子组成，但冷、热不同，就在于分子运动的速度不同。

必须指出，相同物质的分子运动速度不同，它们的动能也不同。物质温度不同，则说明组成其物质的分子所具有的

平均动能的不同。分子除了运动时具有动能外，还具有和分子间距离有关的位能。分子动能的总和加上分子位能的总和就组成物质的内能。

二、工质、理想气体和实际气体

(一) 工质

汽轮机利用具有一定压力和温度的蒸汽做功，把热能转变成机械能，这里蒸汽起了媒介作用。这种将热能转变为机械能的媒介物质叫做工质。电能生产是连续的，为了使热机不断地做功，就要求工质连续不断地流过，因此工质应具有良好的流动性和膨胀性。目前工业上都采用气（汽）体作为工质。此外，水蒸汽还具有价廉易得，不易腐蚀，无毒等优点，所以火力发电厂中主要以水蒸汽作为工质。

(二) 理想气体和实际气体

为了研究方便，又把气体分为理想气体和实际气体。气体分子之间不存在引力，分子本身不占有体积的气体叫做理想气体。反之，分子之间存在着引力，分子本身占有体积的气体叫做实际气体。

理想气体实际上并不存在，但自然界中存在的气体，由于它的性质很接近于理想气体，应用理想气体规律进行计算能满足工程要求，为方便起见，就把它看成理想气体。至于在热力工程中作为工质的水蒸汽，应看作为实际气体。因为在这种情况下气体分子间的距离比较小，分子间的吸引力也相当大，水蒸汽所处的状态又很接近于液态，所以不能把它看成理想气体。

三、物理量的单位制

测量物理量，其测量的数值随测量单位的大小而改变。如某一绳长，当用米为单位时，测定值为 0.5 米；当用厘米

为单位时，测定值为50厘米。显然，测量所得的值同测量单位的大小成反比。但是并不是任何物理量都能独立地选定自己的测量单位。可以通过某些物理量的单位来导出其它一些物理量的单位。因此凡是测量单位能独立地选定的那些物理量称为基本量，基本量的单位称为基本单位。在国际单位制中，如长度、时间、质量等就是基本量，而对应的米、秒、公斤等就是基本单位。凡是由基本单位导出的量称为导出量，其单位称为导出单位。如速度、力等就是导出量，而对应的米/秒、牛顿等就是导出单位。而基本单位和导出单位等的总和就构成了一种单位制。

为了便于世界各国科学技术的交流，定出国际单位制（SI制），为国际上通用的单位制。本教材是采用的国际单位制。但鉴于目前我国还处于从工程单位制向国际单位制过渡的阶段，故在本书后面附有两种单位制的换算表，见附录一和附录二。

如热量，国际单位制是用焦耳或千焦耳表示，而工程单位是用卡或千卡表示，其换算是：

$$1 \text{ 卡} = 4.1868 \text{ 焦耳 (简称焦)}$$

$$1 \text{ 千卡} = 4.1868 \text{ 千焦耳 (简称千焦)}$$

$$1 \text{ 千卡/小时} = \frac{4.1868 \times 10^3 \text{ 焦}}{3600 \text{ 秒}} = 1.163 \text{ 焦/秒}$$

$$= 1.163 \text{ 瓦特 (简称瓦)}$$

$$\text{或 } 1 \text{ 千瓦} \cdot \text{小时} = \frac{1 \times 1000}{1.163} = 860 \text{ 千卡}$$

第二节 功、功率、能

一、功

在日常生活和生产中，到处可以看见人和机器在做功。

如起重机把重物提到高处；蒸汽推动汽轮机转动等。

功的定义是物体在力 F 的作用下，沿力的方向发生位移 S ，如图 1-2 所示。那么，功等于力和物体在力的方向移动距离的乘积，若以 F 表示力， S 表示距离， W 表示功，则：

$$W = FS \quad (1-1)$$

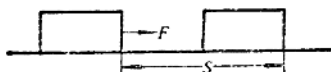


图 1-2 功的示意图

若取力的单位为牛顿，距离为米，则功的单位为焦耳。

1 焦耳 = 1 牛顿·米。因用焦耳单位太小，常用千焦耳。

功的单位还有千瓦·小时，在工程单位制中有公斤力·米等。

$$1 \text{ 千焦耳} = 102 \text{ 公斤力} \cdot \text{米}$$

$$1 \text{ 千焦耳} = 0.0002778 \text{ 千瓦} \cdot \text{小时}$$

但要注意：人持某重物而静止不动，以一般情况来看，人感到疲劳，但从功的定义看，这人并没有做功，因为重物静止不动，没有移动距离就不能做功，所以说这人没有做功；如果物体不受外力的作用而移动某一距离（例如当物体没有受到阻力，由于惯性而移动时），也不能说是做了功，因为物体没有受力就不能做功。

功有正、负之分，若力与位移的方向一致，功为正；力与位移的方向相反，功为负。例如人将重物抬高时，人的力对重物做的功为正，而重力对重物做的功为负。

注：① 1 牛顿的力的大小即是使质量为 1 公斤的物体产生 1 米/秒² 的加速度。即：

$$1 \text{ 牛顿} = 1 \text{ 公斤} \cdot \text{米/秒}^2$$

②在工程单位制中，力可以公斤力为单位。若重量或重量产生的重力用公斤力表示，而重量与质量之间相差一加速度 g ，即：

$$G = m \cdot g \quad (1-2)$$

式中 G ——重量，公斤力；

m ——质量，公斤；

g ——重力加速度，米/秒²。

一般取落体加速度为9.81米/秒²，所以当落体质量为1公斤时，1公斤力与牛顿的关系：

$$\begin{aligned} 1 \text{ 公斤力} &= 1 \text{ 公斤} \times 9.81 \text{ 米/秒}^2 \\ &= 9.81 \text{ 公斤} \cdot \text{米/秒}^2 \\ &= 9.81 \text{ 牛顿} \end{aligned}$$

③本书中所用的公斤都是指质量单位，公斤力表示力或重量单位。

二、功率

如果只知道各种动力机械所做的功，而不知道它们做这些功所费的时间，则就不可能比较它们效率的大小，所以在工程上应用一个新的量叫功率。

功率的定义是功与完成功所用时间之比，也就是单位时间内所做的功。即：

$$N = \frac{W}{\tau} \quad (1-3)$$

式中 N ——功率，瓦或千瓦；

W ——功，焦或千焦；

τ ——做功的时间，秒。

$$1 \text{ 瓦特} = 1 \text{ 焦耳/秒}$$

一般电厂用瓦特的1000倍单位表示，即：

$$1 \text{ 千瓦} = 1 \text{ 千焦耳/秒} = 3600 \text{ 千焦耳/时}$$

$$1 \text{ 千瓦} = 102 \text{ 公斤力} \cdot \text{米/秒}$$

三、能

在自然界中，物体从高处落下能做功。例如打桩的锤子

从高空落下时能将桩打入地下做功；从高处流下的水可以冲动水轮机的转子带动发电机转动而做功。电动机也可以带动机器转动而做功。这里，打桩举高的锤子，高处的水，转动的电动机，都具有做功的能力。能的定义即是具有做功的能力。在热力工程中应用的能有动能、位能和热能。

1. 动能

物体因为运动而具有做功的本领叫做动能。动能与物体运动的速度、质量有关。速度越大，动能就越大；质量越大，动能也越大。

动能按下式计算：

$$\text{动能} = \frac{1}{2}mc^2 \quad (1-4)$$

式中 m ——运动物体的质量，公斤；

c ——运动物体的速度，米/秒。

由式(1-4)可知，动能与物体的质量成正比，与其速度的平方成正比。

2. 位能

将质量为 m 的物体举到 h 高度，则反抗重力做了功。功的大小为：

$$W = Gh = mgh$$

式中 G ——物体的重量，公斤力；

m ——物体的质量，公斤。

如果不计阻力，这样高的物体落下（因地球的吸引力）时，就是重力所做的功。功的大小也是 mgh 。

所以，物体所处高度位置不同，受地球的吸引力不同而具有的能，称为重力位能。

$$\text{重力位能} = Gh = mgh \quad (1-5)$$

在自然界中，其它类型的位能还有很多种。如拉开的弓，旋紧的发条，被压缩的气体，弹簧等，都具有做功的能力。一旦将它们的约束排除，它们就能做功，这种位能称为弹性位能。弹性位能的大小是由物体内部各部分的相对位置所确定的。

3. 热能

由分子及其运动可知，物体冷、热的根本原因在于物体内部的分子运动，分子运动速度越快，物体热的程度越高。物体内部大量分子无规则运动（热运动）的动能就是热能。

四、能量转换与守恒定律

能的形式有多种，各种形式的能可以相互转换，如电灯将电能转变为光能，电动机将电能转变为机械能。而在能的转换中必须遵循能量转换和守恒定律。即：

能量既不能创造，也不能消灭，但它能从一种形式转变为另一种形式。

不管哪一种形式的能，它的单位和功的单位一样。在国际单位制中为焦耳、千焦耳或千瓦·小时；在工程单位制中为千卡，公斤力·米等。它们的换算关系除 1 千瓦·小时 = 860 千卡外，其它换算关系均在换算表中都已说明，这里不再介绍。

例1-1 功率 $N = 3$ 千瓦，求在 $\tau = 2$ 小时内所作的功。

解 由式(1-3)得 $W = N\tau$

$$W = 3 \times 2 = 6 \text{ 千瓦} \cdot \text{小时}$$

\because 1 小时 = 3600 秒，而 1 千瓦 = 1 千焦/秒

$$\therefore W = 6 \times 3600 = 21600 \text{ 千焦}$$

例1-2 如图1-2所示，物体在 3 公斤力的作用下，沿着

力的作用方向，物体移动了5米，求物体所做的功。

解 由式(1-1)知 $W = FS$

$$W = 3 \times 5 = 15 \text{ 公斤力} \cdot \text{米}$$

$$\because 1 \text{ 千焦} = 102 \text{ 公斤力} \cdot \text{米}$$

$$\therefore W = \frac{15}{102} = 0.147 \text{ 千焦}$$

例1-3 河水流量为每秒5立方米，从6米高悬崖落下，求水流的功率。

解 水的每立方米的质量为1000公斤

由式(1-3)知 $N = \frac{W}{\tau}$

$$N = \frac{mgh}{\tau} = \frac{5000 \times 9.81 \times 6}{1} = 294300 \text{ 牛顿} \cdot \text{米/秒}$$
$$= 294300 \text{ 瓦特} = 294.3 \text{ 千瓦}$$

第三节 工质的状态参数

电厂的汽轮机做功时，蒸汽的压力和温度要降低，这样才能获得冲动汽轮机转子的蒸汽流动速度。这就表明，汽轮机做功与工质状态变化有密切关系。因此在研究工质做功的问题时，首先要解决一个问题就是如何表示工质的状态。

工质的状态是由工质的压力、温度、比容等物理量来确定的。这些表明工质状态特征的物理量，称为工质的状态参数。工质如有一组确定的状态参数，就表明工质处于一个确定的状态。如工质确定状态所对应的状态参数中有一个或几个参数发生了变化，则工质的状态发生了变化。

工质的状态参数有压力、密度、温度、内能等。

工质的状态参数可以分为基本状态参数和一般状态参数