

全国电力工人公用类培训教材

应用热工基础

水利电力出版社

全国电力工人
公 用 类
培 训 教 材

应用热工基础

黄 光 辉 编

水利电力出版社

全国电力工人公用类培训教材

应用热工基础

黄光辉 编

*

水利电力出版社出版、发行

(现中国电力出版社)

(北京三里河路6号)

山西省永济发电厂达达电脑公司照排

北京市地矿局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6.125印张 130千字

1994年12月第一版 1996年1月北京第二次印刷

印数 10101—30140册

ISBN 7-120-02286-5/TK·329

定价 9.70元

内 容 提 要

本书是新颁《电力工人技术等级标准》配套教材之一。

“应用热工基础”共分两篇。第一篇为通用部分，主要介绍热工基础，包括热力学第一定律和热力学第二定律；气体与水蒸气的性质；蒸汽动力装置的热力循环；增强传热和削弱传热的方法；介绍各种类型换热器。第二篇为专用部分，叙述蒸汽流动；导热、对流传热、热辐射三种基本形式热量传递的规律。为便于培训与考核，各章之后均附有复习题。

本书适用于火力发电、火电建设两部分的7个专业51个工种的初级、中级工人培训考核使用。

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨
丁巳年春

出版者前言

1991年12月能源部颁布的《电力工人技术等级标准》，是按照全国第三次修标工作的统一部署，对原标准进行修订后形成的。它将原八级制改为初、中、高三级制。这是一项重大突破。新标准颁布的文件中明确指出：工人技术等级标准是衡量工人技术水平和工作能力的客观尺度，是对工人进行培训、考核、使用和给予相应待遇的重要依据。

由于颁发了新标准和工人考核条例，所以培训工作必须适应这一改革的要求。为此，本社组织出版了这一套《全国电力工人公用类培训教材》，旨在为全国电力系统广大工人的技术定级、上岗、转岗、晋级及电力职业技能鉴定等的培训、考核工作服务。

在编写这套《全国电力工人公用类培训教材》时，首先对新标准的七大部分各专业的内容进行了逐条摘录和分类归纳，然后取其共性和通用部分，产生了教材目录，再经重点调查研究和广泛征求意见后才着手编写。初稿形成后，又广为征询修改意见，并进行了审稿和统稿。因此，定稿后的公用类培训教材内容，深信是紧扣新标准的实用性教材，它具有按照工人培训的特殊要求和规律建立的教材体系，以及重点突出、层次分明、深入浅出、易教易学、图文并茂等特点。各分册教材中还附有各工种培训、考核范围表。这可以指导工人自学和开展培训、考核时掌握教学和考核的范围。

在编写这套《全国电力工人公用类培训教材》的全过程中，得到了电力工业部领导的关怀和各有关司局的大力支持，

同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助。山西省电力工业局的解一凯、关增荣二位同志也为此做了大量的工作。在此一并表示感谢。

《应用热工基础》是《全国电力工人公用类培训教材》之一，它适用于火力发电、火电建设两部分7个专业51个工种的学习。本书由浙江省电力干部培训中心黄光辉编写，陈茂松主审。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现不妥之处或有修改意见，请随时函告，以便再版时修改。

水利电力出版社

1994年7月

目 录

史大桢部长题词	
出版者前言	
概述	1

第一篇 通用部分

第一章 热力学常用基本概念	4
第一节 气体的基本性质	4
第二节 工质的状态参数	7
第三节 功、功率、能	18
第四节 热量、比热容及热量计算	23
第五节 混合气体简介	26
复习题	30
第二章 热力学基本定律及其应用	35
第一节 理想气体参数的变化规律及分析	35
第二节 热力过程、热力循环与参数坐标图	39
第三节 能量守恒定律与热力学第一定律	43
第四节 热力学第二定律与卡诺循环	48
复习题	53
第三章 水蒸气的基本性质	58
第一节 汽化与凝结	58
第二节 水蒸气的产生过程及应用图表	61
第三节 水蒸气的热力过程	72
第四节 水蒸气状态参数对热力设备的影响	73

第五节 喷管和扩压管	74
复习题	85
第四章 蒸汽动力循环	89
第一节 蒸汽动力装置的基本循环——郎肯循环	89
第二节 回热循环	97
第三节 再热循环	102
第四节 供热循环	105
复习题	107
第五章 传热及换热器	111
第一节 传热的基本概念	111
第二节 平壁和圆筒壁的传热	114
第三节 传热的增强与削弱	118
第四节 换热器	122
复习题	128

第二篇 专用部分

第六章 蒸汽在喷管中的流动	131
第一节 基本概念	131
第二节 流速和流量的计算	132
第三节 喷管的选择与蒸汽流动分析	132
复习题	138
第七章 稳定导热	140
第一节 基本概念	140
第二节 平壁和圆筒壁的导热	142
复习题	147
第八章 对流换热	149
第一节 基本概念	149
第二节 流体无物态变化时的换热	152

第三节	流体有物态变化时的换热	155
复习题		160
第九章	热辐射	162
第一节	基本概念	162
第二节	辐射的四次方定律	164
第三节	两物体间的辐射换热	166
第四节	气体辐射	168
复习题		170
附录一	锅炉各部分受热面及汽轮机辅机的传热	
	分析	172
附录二	湿空气	176
附录三	常用能量计量单位换算表	180
附录四	不同海拔高度的大气压力值	181
附录五	全国电力系统各工种培训考核范围表	182

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。但日常生活和生产中电能得到了广泛利用。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 是火力发电厂生产过程和主要设备的示意图。结合本课程需要，火力发电厂的生产过程可简化如图 0-2 所示。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，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。这种高速的汽流冲击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。工作过的蒸汽送入凝汽器中，被凝结成水再由水泵提高压力后送回锅炉继续工作。

火力发电厂的种类很多，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以及热能转变为机械能的部分，叫做热力部分；属于机械能转变为电能的部分，叫做电气部分。由热能转变为机械能的设备称为热机，如汽轮机；进行热量交换的设备称为换热器，如加热器、凝汽器等。火力发电厂的能量转换过程为：燃料的化学能→热能→机械能→电能。

热能转变为机械能，是火力发电厂的主要工作之一；热

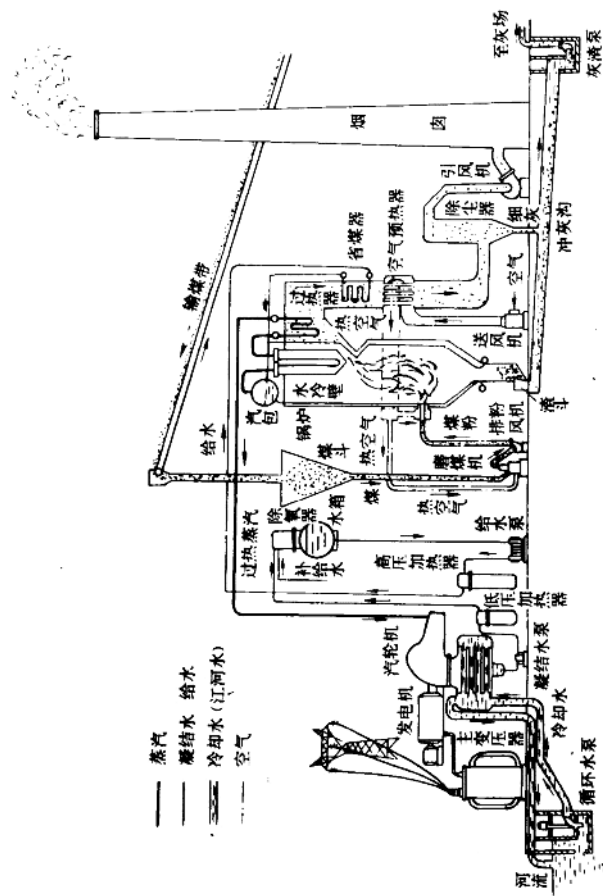


图 0-1 火力发电厂生产过程和主要设备示意图

量传递是火力发电厂热力设备都能遇到的工作过程。

应用热工知识包括工程热力学和传热学两部分。工程热力学研究的内容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）——气体或水蒸气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。传热学研究的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的规律进行分析，从而能更有效地用增强或减弱传热来解决实际问题，满足工程的要求。

根据 51 个工种对本课程内容的要求，本课程的编写分“通用”和“专用”两篇。“通用”篇是各工种都要掌握的内容；“专用”篇是机、炉运行和其他个别工种要掌握的相关内容。以课程结构分，除通用篇的第五章、专用篇的第七、八、九章等为传热学研究内容外，其余均为工程热力学研究的内容。

附录一和附录二，由各工种视工作要求自定是否需要学习，不作统一规定。

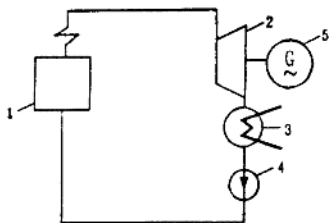


图 0-2 火力发电厂的生产过程

1—锅炉；2—汽轮机；3—凝汽器；

4—水泵；5—发电机

第一篇 通用部分

第一章 热力学常用基本概念

第一节 气体的基本性质

一、分子及其运动

物质在通常情况下有三态——固态、液态和气态。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。分子有何特征呢？

(1) 分子的质量很小。在很小的体积内，分子数目却是很大的。如直径为 0.1mm 的一滴水约含有 10^6 个分子。标准状态下(温度为 0°C ，压力为 101325Pa) 1cm^3 的氧气含有 2.7×10^{19} 个氧分子。图 1-1 是分子示意图。

(2) 分子是运动的。一切物质都在不停地运动着。组成物质的分子也同样地在其内部不停地运动着，只是因为分子很小，人们无法直接看到罢了。

图 1-2 表示一个装满较重的褐色溴气的玻璃圆筒 B，上面口对口地放着一个充满空气的玻璃筒 A，并用一张厚纸把空气与溴气隔开。把隔着的厚纸抽去后，随着时间的推移，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

很短时间内与空气完全混合。这个实验说明：溴气的分子质



图 1-1 直径为 0.1 mm 的水滴含有 100 万个水分子

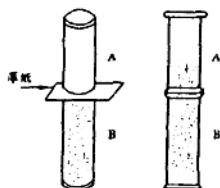


图 1-2 气体的扩散

量虽比空气大，但在筒 B 内渐渐地跑到上面与筒 A 内的空气相混合，同时筒 A 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。

(3) 分子与分子之间存在一定距离。分子间不是挤得很紧的，而是存在一定空隙的。房间里放一瓶打开盖子的香水，进入房间时可以闻到香味。这是香精的分子飞散开来，向各个方向运动，扩散到房间内空气分子间空隙中去的缘故。糖能溶解在水中，就是糖分子钻到水分子间的空隙中。气体、液体和固体，它们的分子间都有空隙。但气体分子间的空隙最大，固体分子间的空隙最小。

(4) 分子与分子之间有相互作用的分子力。分子力是分子间引力与斥力的合力，当分子间的距离为某一值时，引力等于斥力。距离减小，引力与斥力都增大，但斥力增加得快，因此分子力表现为斥力，这时比较难压缩。距离增大，斥力较引力减小得快，分子力表现为引力，这时比较容易压缩。当分子间的距离很大时，分子力极小，甚至可以忽略不计。大多数气体就属于这种情况。

(5) 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, 这种运动叫做分子的热运动。热水与冷水都由同样的分子组成, 但冷热不同, 就在于分子运动的速度不同。

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, 则说明组成物质的分子所具有的平均动能不同。分子除了运动所具有的动能外, 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, 组成了物质的内能。

在热力学中, 许多内容要用分子和分子运动论才能解释清楚, 例如压力、温度等等, 所以热力学以分子为基本粒子, 研究一些相关的问题。

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, 因此工质应有良好的流动性和膨胀性。气体(蒸汽)正好具有这样的特性, 所以目前工业上都采用气体(蒸汽)作为工质。而水蒸气还具有价廉易得和无毒等优点, 所以火力发电厂中主要以水蒸气作为工质。

(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，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气，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，水蒸气所处的状态又很接近于液态，所以不能把它看成理想气体。

第二节 工质的状态参数

火力发电厂中有很多温度表、压力表及其他表计，用来监视各处蒸汽、水、空气、烟气等的温度、压力及其他值，以保证设备的安全、经济运行。火力发电厂中的汽轮机做功时，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，汽轮机做功与工作物质（工质）的状态变化有密切关系。因此，在研究工质做功的问题时，首先要解决好如何表示工质的状态。

工质的状态是由工质的压力、温度、比热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。若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，则工质的状态就会发生变化。

工质的状态参数有温度、压力、比容、内能等。

工质的状态参数可以分为基本状态参数和导出状态参数两种。工质的基本状态参数有温度、压力和比容，它们可以通过仪表直接测量。