

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目

● 全国电力工人公用类培训教材

实用热工基础

唐莉萍 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TK122

10

全国电力出版指导委员会出版规划重点项目
◎全国电力工人公用类培训教材

实用热工基础

唐莉萍 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据进行编写。

本书分为两篇，共七章。第一篇为工程热力学部分，共四章，主要介绍热力学基础知识、热力学基本定律及应用，水蒸气的热力性质和蒸汽流动规律与计算，蒸汽动力循环的分析与计算。第二篇为传热学部分，共三章，主要介绍导热、对流换热、辐射换热的基本概念和基本规律，并介绍传热规律的分析与计算、换热器的传热计算和综合分析等内容。

为便于自学、培训和考核，各章后均附有复习题，书末附有复习题答案。

本书适用于火力发电、水力发电、供用电、城镇（农村）工矿企业、火电建设、水电建设和电力机械修造等7个部门15个专业85个工种的初、中、高级工，技师和高级技师的理论知识及技能笔试的培训、考核。

使用本书时，请读者向中国电力出版社购买《水和水蒸气热力性质图表》，以便读者进行热力计算时确定热力状态参数时使用。

图书在版编目（CIP）数据

实用热工基础/唐莉萍主编. —北京：中国电力出版社，2004

全国电力工人公用类培训教材

ISBN 7-5083-2383-1

I. 实... II. 唐... III. 热工学-技术培训-教材

IV. TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 135951 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>）

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 1 月第一版 2005 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 8.625 印张 225 千字

印数 0001—5000 册 定价 17.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

（本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换）

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



出版说明

《全国电力工人公用类培训教材》自 1994 年出版以来，已用于电力行业工人培训 10 余年，得到了广大电力工人和培训教师的一致好评。为提高电力职工素质、使电力职工达到相应岗位的技术要求奠定了基础。

近年来，随着国家职业技能标准体系的完善，《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》已在电力行业正式实施。随着电力工业的高速发展，电力行业的职业技能标准水平已有明显提高，为满足职业技能鉴定规范对电力行业各有关工种鉴定内容中共性和通用部分的要求，我们对《全国电力工人公用类培训教材》重新组织了编写出版。本次编写出版的原则是：以《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》为依据，以满足电力行业对从业技术工人基本知识结构的要求为目标，兼顾提高电力从业人员的综合素质。本次编写出版的教材共 14 种，即：

电力工人职业道德与法律常识	应用机械基础(第二版)
电力生产知识(第二版)	应用力学基础(第二版)
电力安全知识(第二版)	应用水力学基础(第二版)
应用电工基础(第二版)	实用热工基础
应用电子技术基础(第二版)	应用计算机基础
电力工程识绘图	电力工程常用材料(第二版)
应用钳工基础(第二版)	电力市场营销基础

本教材此次编写出版得到了以上各册新老作者的大力支持，在此表示由衷的感谢！同时，欢迎使用本教材的广大师生和读者对其不足之处批评指正。

中国电力出版社

2004.6



前 言

本书是依据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·电力行业》而编写的培训教材。

本书力求简明、实用，密切结合火力发电厂实际。书中选用的例题、复习题主要取材于火力发电厂 200MW、300MW、600MW 机组的数据资料。

本书由保定电力职业技术学院唐莉萍老师主编，并编写概述、第一、二、四章，保定电力职业技术学院王进春老师编写第三、五、六、七章。全书由重庆电力教育培训中心黄恩洪老师审阅。

本书在编写过程中得到了保定电力职业技术学院的大力支持，在此谨表谢意。

对于书中存在的缺点和不足之处恳切希望广大读者批评指正。

编者

2004 年 7 月

主 要 符 号 表

一、工程热力学符号

英 文 字 母

A	面积; 功热当量
C	热容
c	比热容; 流速
d	汽耗率
F	力
g	重力加速度
H	焓
h	比焓
K	热量利用系数
l	长度; 比汽化潜热
M	摩尔质量
Ma	马赫数
M_r	相对分子质量
m	质量
p	绝对压力
p_{amb}	大气压力
p_g	表压力
p_v	真空
Q	热量
q	比热量
q_m	质量流量
R	气体常数
S	熵

s	比熵; 位移
T	热力学温度
t	摄氏温度
U	内能
u	比内能
V	容积
v	比体积
W	容积功
W_0	循环净功
W_s	轴功
W_t	技术功
W_f	流动净功
w	比容积功
w_i	混合气体的质量分数
w_0	比循环净功
w_s	比轴功
w_t	比技术功
w_f	比流动净功
x	干度
z	高度

希 腊 字 母

α	抽汽率
β	压力比
η	效率

η_t	循环热效率
κ	绝热指数
ρ	密度
φ_i	混合气体的容积分数

下 角 标

C	卡诺循环
cr	临界参数
i	序号
max	最大
min	最小
R	朗肯循环
p	定压
s	定熵; 饱和状态
T	定温
v	定容

x	湿蒸汽
0	标准状态; 基准状态
1	初态; 进口
2	终态; 出口

上 角 标

'	饱和水
"	干饱和蒸汽

顶 标

—	平均
---	----

特 殊 符 号

d	状态参数的微小量变化
Δ	状态参数的增量
δ	过程函数的微小量变化

二、传 热 学 符 号

英 文 字 母

A	面积
C	辐射系数
c	比热容; 流速
d	直径
E	辐射力
h	高度
K	传热系数
K_l	单位长度圆筒壁传热系数
l	长度; 比汽化潜热
q_m	质量流量
R	热阻
R_λ	导热热阻

R_c	对流换热热阻
R_r	辐射换热热阻
R_K	传热热阻
T	热力学温度
t	摄氏温度
X	角系数

希 腊 字 母

α	吸收率; 复合换热系数
α_c	对流换热系数
α_r	辐射换热系数
δ	厚度
ϵ	黑度
λ	热导率

μ	动力黏度
ν	运动黏度
π	圆周率
ρ	反射率; 密度
τ	穿透率
Φ	热流量
φ	热流密度
φ_i	单位长度圆筒壁的热流量

上 角 标

'	进口
"	出口

下 角 标

b	黑体
cr	临界
f	流体
max	最大
min	最小
s	饱和状态
w	壁面

顶 标

—	平均
---	----



目 录

出版说明

前言

主要符号表

绪论	1
复习题	4

第一篇 工程热力学

第一章 热力学基础知识	9
第一节 工质、热机、热源及热力系统	9
第二节 工质的状态及基本状态参数	12
第三节 热力过程、功及热量	23
第四节 气体的热力性质	33
复习题	43
第二章 热力学基本定律及其应用	49
第一节 热力学第一定律	49
第二节 理想气体基本热力过程	59
第三节 热力学第二定律	69
复习题	79
第三章 水蒸气的基本性质	83
第一节 汽化与凝结	83
第二节 水蒸气的形成过程及应用图表	86
第三节 水蒸气的热力过程及其参数对热力设备的影响	101
第四节 蒸汽的流动	105
复习题	122

第四章 蒸汽动力循环	129
第一节 蒸汽动力装置的基本循环——朗肯循环	129
第二节 给水回热循环	140
第三节 再热循环	146
第四节 热电合供循环	151
复习题	154

第二篇 传 热 学

第五章 传热的基本方式	163
第一节 热传导	163
第二节 对流换热	175
第三节 辐射换热	192
复习题	202
第六章 传热过程	208
第一节 传热过程与传热方程式	208
第二节 平壁和圆筒壁的传热	210
第三节 传热的强化与削弱	215
复习题	219
第七章 换热器	222
第一节 换热器及其分类	222
第二节 表面式换热器的传热计算	224
第三节 火力发电厂各类换热器特性分析	231
复习题	234
附表一 压力单位换算表	237
附表二 常用能量单位换算表	237
附表三 部分气体的摩尔质量和气体常数	237
附录 复习题解答	238
参考文献	263

绪 论

一、能源、热能及其利用

能源，是指为生产和日常生活提供各种能量和动力的物质资源。在自然界中，可被利用的能源主要有风能、水能、潮汐能、太阳能、地热能、燃料的化学能和原子核能等。在这些能源中，除风能、水能和潮汐能是以机械能的形式被人们利用之外，其余各种能源都往往以热能的形式被人们所用。显然，人们从自然界能源中获得能量的主要形式是热能。

热能是指组成物质的所有微观粒子作各种不规则热运动时的能量。热能的利用有两种基本方式，一种是直接利用，即将热能直接用来加热物体，如烘干、蒸煮、采暖、焙烧、冶炼等；另一种是间接利用，即将热能转换为机械能，用作生产上的动力，或进一步将机械能转变为电能，如火力发电厂的蒸汽动力装置、燃气轮机动力装置、核能动力装置等。由于电能具有传输方便，使用灵活，且易于转变为其他形式的能量等诸多优点，它已成为发展现代社会物质文明的重要条件。在能源的利用中，电能利用占总能源利用的比例已成为国民经济发展水平的标志。

电能可由自然界的各种能源转换而得到，其中火力发电是电力工业的重要组成部分。在我国，1990年的火力发电量为4905.51亿kW·h，占全国总发电量的81.76%。在世界上，火力发电约占世界总发电量的80%。预计在今后相当长的一个时期内，火力发电仍将占据主要地位。因此，热能的研究和利用对整个人类的生产和生活有着巨大的意义。

二、火力发电厂的生产过程

利用燃料（煤、石油、天然气等）生产电能的工厂叫火力发电厂。

火力发电厂的生产过程，就是将燃料中的化学能转换为热能

(在锅炉中)，再将热能转换为机械能（在汽轮机中），最后将机械能转换为电能（在发电机中）的一系列能量转换过程。锅炉、汽轮机、发电机是火力发电厂的三大设备。

图 0-1 是以煤为燃料的火力发电厂生产过程示意图。

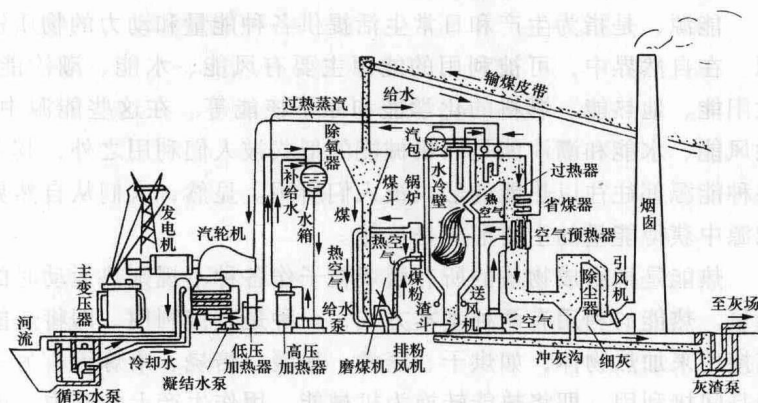


图 0-1 火力发电厂生产过程示意图

煤由煤场经输煤皮带送入锅炉制粉系统，经过磨煤机被磨制成煤粉，在热空气的输送下进入锅炉燃烧室内燃烧，生成高温烟气，使燃料的化学能转换为烟气的热能；锅炉受热面将烟气的热能传给水，水受热而蒸发，变成具有一定压力和温度的蒸汽，由此，烟气的热能通过传热就转换为水蒸气所具有的热能；具有一定热能的过热蒸汽进入汽轮机，在汽轮机喷管中降压、降温膨胀而形成高速气流，将蒸汽的热能转换成为动能；具有较大动能的蒸汽冲动汽轮机转子上的叶片，使汽轮机转子旋转，将蒸汽的动能转换成汽轮机轴的回转机械能；汽轮机再带动发电机一起旋转而发出电能，将机械能转换为电能。

做功后的蒸汽在凝汽器中将热量传给冷却水（也叫循环水）而凝结成水，再由水泵升压后经低压加热器、除氧器、高压加热器送回锅炉。如此周而复始，就使燃料燃烧时放出的热能连续不断地转换为电能。

由此可见，火力发电厂主要由两大部分组成，即从燃料的化学能转换为机械能的热力部分和从机械能转换为电能的电气部分。热力部分包括锅炉、汽轮机、水泵、加热器，以及连接它们的管道等设备，这些设备的组合通常称为热能动力装置或热能动力设备。

三、《实用热工基础》的主要内容及应用

《实用热工基础》包括工程热力学和传热学两部分内容。

工程热力学是研究热能和机械能之间转换规律的科学，它以热力学第一定律、热力学第二定律为基础，着重阐述工质在基本热力过程和动力基本循环中的热功转换规律，最终找出提高转换效率的途径和方法。

传热学是研究热量传递规律的科学，它以导热、对流换热及辐射换热三种换热方式为基础，研究复杂换热的传热过程及常用换热设备的传热特点，最终找出增强传热和削弱传热的途径及方法。

《实用热工基础》着重研究热、功转换和热量传递等宏观现象，所以，主要应用宏观研究法，对热现象进行具体的观察和分析，总结出普遍的基本规律。但为了说明热现象的本质及其根本原因，有时也用微观理论去进行解释。为分析问题方便，本课程中还常常采用抽象化、理想化及简化的研究方法。

热能与机械能的转换及热量的传递是火力发电厂热力设备中的主要工作过程。所以实用热工基础是动力类专业的一门主要的专业基础课，各种热能动力装置的设计、制造、安装、运行、检修与改进都离不开它所讲述的基本理论。

四、分子运动论简介

在热力学中，许多内容要用分子运动论才能解释清楚，例如压力、温度、内能等。为此，简单介绍分子运动论的基本观点。

(1) 一切物质都是由分子组成的，分子具有质量和体积，分子是保持物质原有化学性质的最小微粒。

(2) 分子之间有一定的间隙。不但气体、液体的分子之间有



间隙，就是看起来很坚固的固体分子之间也存在间隙。比较起来，固体分子之间的间隙最小，气体分子之间的间隙最大。

(3) 组成物质的分子每时每刻都在不停地作无规则运动。分子无规则运动的剧烈程度与温度有关，温度越高，分子运动越剧烈。因此，大量分子的无规则运动叫做分子的热运动。

(4) 分子之间存在相互作用力——分子力。分子之间不仅有吸引力，而且也有排斥力；分子间的引力和斥力是同时存在的，物质分子对外表现出来的分子力是引力和斥力的合力，它取决于分子之间的距离。当分子距较小时，斥力大于引力，分子力表现为斥力，物质较难压缩，如固体；当分子距较大时，引力大于斥力，分子力表现为引力，物质较易压缩，如气体。

复 习 题

一、选择题（下列每题的四个答案中只有一个正确答案，将正确答案的序号填在括号内）

1. 物质分子之间的间隙最小的是（ ）。

(A) 液体；(B) 气体；(C) 固体；(D) 蒸汽。

2. 工程热力学是研究（ ）的规律和方法的一门学科。

(A) 热能与机械能相互转换；(B) 机械能转变成电能；(C) 化学能转变成热能；(D) 化学能转变成电能。

3. 利用（ ）生产电能的工厂称为火力发电厂。

(A) 燃料的化学能；(B) 太阳能；(C) 地热能；(D) 原子能。

4. 火力发电厂的三大设备是指（ ）。

(A) 锅炉、发电机、除氧器；(B) 汽轮机、发电机、给水泵；(C) 锅炉、汽轮机、发电机；(D) 变压器、凝汽器、锅炉。

二、判断题（下列描述中，正确的在括号内打“√”，错误的在括号内打“×”）

1. 火力发电厂的生产过程是能量转换过程，即将燃料的化



学能最终转换为电能。()

2. 在火力发电厂的能量转换过程中, 锅炉是将燃料的化学能转换为蒸汽的动能的设备。()

三、简答题

1. 锅炉是如何把燃料的化学能转变成蒸汽的热能的?

2. 简述火力发电厂中的能量转换过程。

四、论述题

试述火力发电厂的生产过程。



