

中等专业学校教材

发电厂概论

重庆电力学校主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为水利电力类中等专业学校教材。

全书包括火力发电厂的热力部分，水电站的水力部分及发电厂电气部分等三部分内容。本书紧密联系发电厂的生产过程和我国电力工业发展的实际，在介绍发电厂生产过程基本知识的同时，着重叙述了主辅设备的基本原理、基本构造及主要连接系统。此外，本书还系统地介绍了热工学和水力学的基本概念及基本定律。内容由浅入深，文字通俗易懂，并附有大量插图。

本书可作为发电厂及电力系统、电力系统继电保护等专业的教学用书，也可作为发电厂工人、干部和技工学校学生的学习参考书。

中等专业学校教材
发 电 厂 概 论
重庆电力学校主编

水利电力出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 18 $\frac{3}{4}$ 印张 417千字 插图3张
1979年12月第一版 1979年12月北京第一次印刷
印数 00001—14140册 每册 1.50元
书号 15143·3549

前 言

本书是根据水利电力部中等专业学校“发电厂及电力系统”专业教材规划会议通过的《发电厂概论》教材编写大纲编写的。是作为电力类专业学生第一次到发电厂认识实习时的自学和教学用书，也可作为发电厂工人、干部和技工学校学生的学习参考书。

在编写中，我们注意紧密联系发电厂生产过程及我国电力工业发展的实际，着重叙述了发电厂中主要设备及主要辅助设备的名称、位置、用途、基本构造、基本工作原理和主要的连接系统；为了帮助电力类专业学生学习汽轮机、锅炉和水轮机等方面的知识，本书还系统地讲述了热工学及水力学的基本概念和基本定律。本书的主要内容有：热工学基础知识，锅炉设备，汽轮机设备，水力学基础知识，水电站枢纽，水电站的动力设备，发电厂的电气设备及电力系统的基本知识等。本书除例题外，有部分内容用小号字排印，可供教师教学选用或学生自学参考。

本书由重庆电力学校龙廷云、赵明全，吉林省水利电力学校张政、王蕴莹、邬承玉、王义林等同志编写，龙廷云同志主编。由西安电力学校主审，沈阳电力学校、长春电力学校、陕西省水利学校、成都水力发电学校等单位参加了审稿。在编写过程中，苏州电力学校、望亭发电厂、上海电力专科学校等单位给予了热情帮助和支持。对上述各单位的大力支持和认真审稿，我们表示衷心的感谢。

对于书中存在的缺点和错误，诚恳希望各校师生和读者提出意见和批评。

编 者

1978年12月

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一部分 火力发电厂热力设备

第一篇 热工学基础知识	5
第一章 工质的基本状态参数及其测量	5
第一节 温度及其测量	5
第二节 压力及其测量	7
第三节 比容和比重	10
第二章 热和功	11
第一节 气体的比热和热量	11
第二节 气体的功	12
第三节 气体的内能	13
第四节 热力学第一定律	14
第三章 水蒸汽的基本概念	16
第一节 水蒸汽的形成过程	16
第二节 水蒸汽表	17
第三节 水蒸汽的焓熵图($i-s$ 图)	18
第四节 水蒸汽的流动	19
第四章 水蒸汽的热力循环	24
第一节 水蒸汽的基本热力循环——朗肯循环	24
第二节 提高循环热效率的方法	26
第三节 中间再热、给水回热和供热循环的概念	26
第五章 传热基本知识	28
第一节 导热	29
第二节 对流放热	29
第三节 热辐射	30
第四节 传热和换热器	31
第二篇 锅炉设备	34
第六章 锅炉设备概况	34
第一节 锅炉设备的组成及其工作	34
第二节 锅炉的主要参数及型号	35
第七章 锅炉的燃烧系统及其设备	36
第一节 燃料与燃料的输送及制备	37
第二节 锅炉的燃烧设备及燃烧的一般概念	44

第三节 锅炉的风烟系统及设备	51
第八章 锅炉的汽水系统及其设备	55
第一节 锅炉的给水系统及设备	56
第二节 炉水循环系统及设备	59
第三节 锅炉汽水系统及设备	67
第四节 锅炉汽水系统附件	71
第五节 锅炉的水处理	72
第六节 几种国产锅炉简介	74
第三篇 汽轮机设备	80
第九章 汽轮机设备的一般概念	80
第一节 汽轮机设备的组成及作用	80
第二节 汽轮机的分类和型号	80
第十章 汽轮机本体	82
第一节 汽轮机工作的基本原理	82
第二节 汽轮机的损失和效率	88
第三节 汽轮机的主要组成部件	89
第十一章 汽轮机的调节	102
第一节 汽轮机的调速系统	102
第二节 调速系统的静态特性	110
第三节 汽轮机的油系统	112
第十二章 汽轮机的热力系统及主要辅助设备	114
第一节 新蒸汽系统	115
第二节 汽轮机的凝汽设备及系统	116
第三节 给水加热设备及系统	120
第四节 给水除氧设备及系统	123
第五节 汽轮机热力系统举例	125
第六节 发电厂的供水	128
第十三章 火力发电厂的仪表和控制以及运行管理	131
第一节 仪表和控制	131
第二节 机炉运行管理的基本知识	132

第二部分 水电站枢纽及动力设备

第一篇 水力学基础知识	134
第十四章 基本概念	134
第一节 水力学的定义和任务	134
第二节 液体的物理性质	134
第十五章 液体静止的基本知识	136
第一节 静水压力基本方程式	136
第二节 作用于壁面上的静水总压力	138
第十六章 液体运动的基本知识	140

第一节	基本概念和定义	140
第二节	液体稳定流的连续方程式	144
第三节	液流的伯诺里方程式	144
第四节	液体的喷射流	149
第十七章	水头损失及水锤的概念	150
第一节	水头损失的概念	150
第二节	压力管路中的水锤	155

第二篇 水电站枢纽

第十八章	水能的利用及水电站的基本布置方式	156
第一节	水能和水流功率	156
第二节	水电站的出力、保证出力、发电量和负荷	156
第三节	水电站布置的基本方式	159
第十九章	水电站的水工建筑物	161
第一节	挡水建筑物——坝	162
第二节	水工闸门	166
第三节	水电站的引水建筑物	168
第四节	水电站的输水建筑物	170
第五节	水电站的泄水建筑物	173
第六节	水电站的专门水工建筑物	175
第七节	水电站厂房	177

第三篇 水电站的动力设备

第二十章	水轮机结构	179
第一节	近代水轮机的基本类型及其应用范围	179
第二节	混流式水轮机结构	184
第三节	轴流式水轮机结构	187
第四节	可逆式水力机组	189
第二十一章	水轮发电机组的辅助设备	190
第一节	水轮机的调速系统	190
第二节	水电站的水系统	197
第三节	水电站的压缩空气系统	200
第四节	水电站的油系统	201
第五节	离心泵的工作原理和结构	203

第三部分 发电厂电气部分

第二十二章	同步发电机	207
第一节	同步汽轮发电机的铭牌参数	207
第二节	汽轮发电机的原理和结构	208
第三节	水轮发电机的特点和结构	211
第四节	发电机的冷却方式	213
第五节	励磁设备	213

第二十三章 变压器	214
第一节 变压器的铭牌参数	214
第二节 变压器的工作原理及结构	215
第三节 变压器的分类	216
第四节 变压器的冷却方式	217
第二十四章 电动机	217
第一节 电动机的铭牌参数和分类	217
第二节 电动机的原理和结构	218
第二十五章 高压电气设备	220
第一节 高压断路器	220
第二节 隔离开关	226
第三节 高压熔断器	227
第四节 电抗器	229
第五节 互感器	230
第六节 防雷设备	234
第二十六章 发电厂电气主结线及自用电	236
第一节 电气主结线的基本要求	236
第二节 电气主结线的基本形式	237
第三节 发电厂自用电及低压电气设备	238
第二十七章 配电装置及母线	243
第一节 配电装置及其类型	243
第二节 屋内配电装置	243
第三节 成套配电装置	246
第四节 屋外配电装置	250
第五节 母线	252
第二十八章 二次系统及操作电源	253
第一节 二次接线的基本概念及操作电源	253
第二节 测量及绝缘监察系统	257
第三节 控制及信号系统	259
第四节 继电保护装置	261
第五节 自动装置	265
第二十九章 电力系统简介	268
第一节 概述	268
第二节 提高电力系统运行的可靠性、质量和经济性的措施	270
附 录	271
表一 饱和水及饱和蒸汽性质表（按压力排列）	271
表二 水和过热蒸汽性质表	274
表三 常用单位换算表	284
表四 工程上常用材料的导热系数 λ	285
表五 工业用换热设备里 α 和 K 的大致范围	285
水蒸汽的热力特性（焓-熵）图	

绪 论

一、电力工业的重要性的特点

电力工业是转化能源的工业，它把一次能源转化为电能，使成为通用性更强的二次能源。由于电能可以远距离输送给各种用户，又可以方便地转化为其它各种能量（如机械能、热能、声能、光能、化学能等等），再加以使用时易于操作和控制等特点，所以它已经广泛地应用于工农业生产、科学实验、国防、交通和人民生活之中，并成为现代化生产不可缺少的动力来源。显然，电力生产将直接影响到国民经济，它必须满足国民经济发展的需要，为此电力工业应以更快的速度向前发展。电力先行，这已经成为现代化生产的一个客观规律。

生产电能的工厂叫做发电厂（如火力发电厂、水电站、原子能电厂等）。由于电能无法大量贮存，所以电能的生产不同于其它生产，它的特点是发电、供电、用电同时完成，因此，必须确保电能生产具有高度的可靠性和安全性。如果供电中断，将会造成工农业、交通运输、医疗等生产工作的停顿减产、甚至损坏设备、发生人身事故。此外，还应保证电能质量（电压和频率），电能质量的降低，也将影响用电单位产品的产量和质量。

二、发电厂的基本生产过程

目前用来转变成电能的自然能源主要有：各种燃料的化学能转变的热能，水流的势能，物质的原子核能，自然气流产生的机械能（如风能、波能），地热能，太阳的辐射能等。

按照所利用的自然能源不同，发电厂可分为：

火力发电厂（火电厂） 燃料（煤、石油、天然气）的化学能转变为热能再转换为电能；

水力发电厂（水电站） 河流的流量和落差（势能）转变为电能；

原子能发电厂 原子能转变为电能；

其它 如风（波）力发电、潮汐发电、地热发电、太阳能发电等。

根据我国的能源政策，各种形式的能源都将被利用来为社会主义建设服务，但现阶段主要是火力发电厂和水力发电厂。

1. 火力发电厂热力部分的生产过程

火力发电厂的生产过程就是将燃料中的化学能转变为热能（在锅炉中），再将热能转换为机械能（在汽轮机中），机械能再进一步转变为电能（在发电机中）的过程。

图0-1所示是以煤为燃料的火力发电厂生产过程示意图。煤先由输煤皮带送到锅炉房的煤斗中，再由煤斗进入磨煤机被磨制成煤粉，在热空气的输送下，经喷燃器送入燃烧室内燃烧。助燃空气由送风机先送入空气预热器加热为热空气，一部分热空气进入磨煤机以干燥和输送煤粉，另一部分热空气进入燃烧室助燃。在燃烧室内燃料着火燃烧并放出热

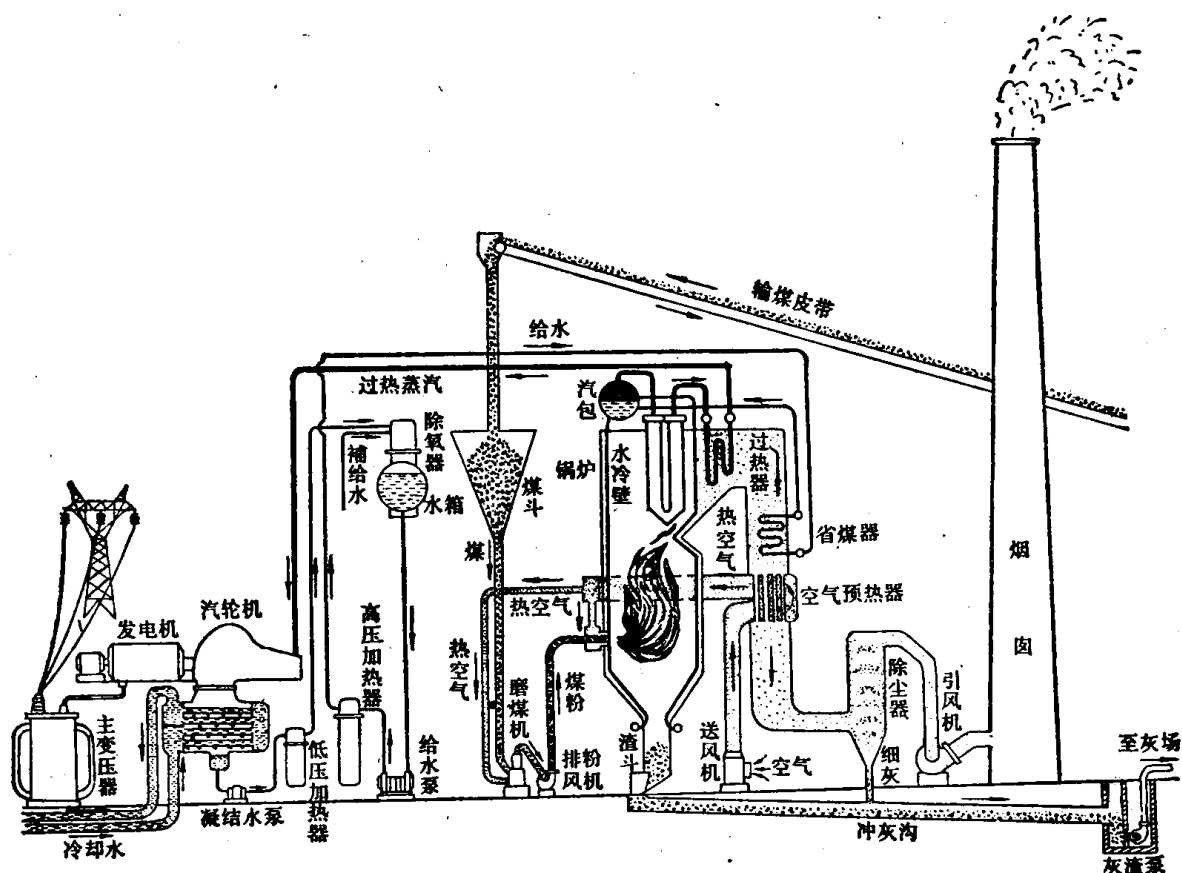


图 0-1 火力发电厂生产过程示意图

量，高温燃气把一部分热量传给燃烧室四周的水冷壁，并在流过水平烟道内的过热器及尾部烟道内的省煤器、空气预热器时，继续把热量传给蒸汽、水及空气，被冷却了的烟气经除尘器除去飞灰，由引风机从烟囱排入大气。

由锅炉下部排出的灰渣和由除尘器下部排出的细灰，通常是用水冲至灰渣泵房，经灰渣泵排送至贮灰场。

在水冷壁中产生的饱和蒸汽，流经过热器时进一步吸收烟气的热量变为过热蒸汽，然后通过主蒸汽管道送入汽轮机。

进入汽轮机的蒸汽膨胀做功，推动汽轮机转子旋转，将热能转变为机械能，带动发电机旋转，将机械能变成电能。

汽轮机的排汽进入凝汽器放出汽化热而凝结为水，凝结水由凝结水泵经由低压加热器加热送入除氧器。除氧后的水由给水泵打入高压加热器加热进一步提高温度后再进入锅炉。以后又重复上述过程，从而不断地生产电能。

冷却汽轮机的排汽是由循环水泵把冷却水送入凝汽器来实现的，冷却水吸收排汽热量温度升高后返回河流的下游，或送入冷却设备。

通常我们把锅炉、汽轮机和发电机称作火力发电厂的三大主机，它们分属于锅炉车间、汽轮机车间和电气车间管理。此外还有负责燃料运输的燃运车间，进行水处理和化学监督的化学车间，负责热工仪表及自动装置运行维修的热工车间，进行机修的机修车间等等。

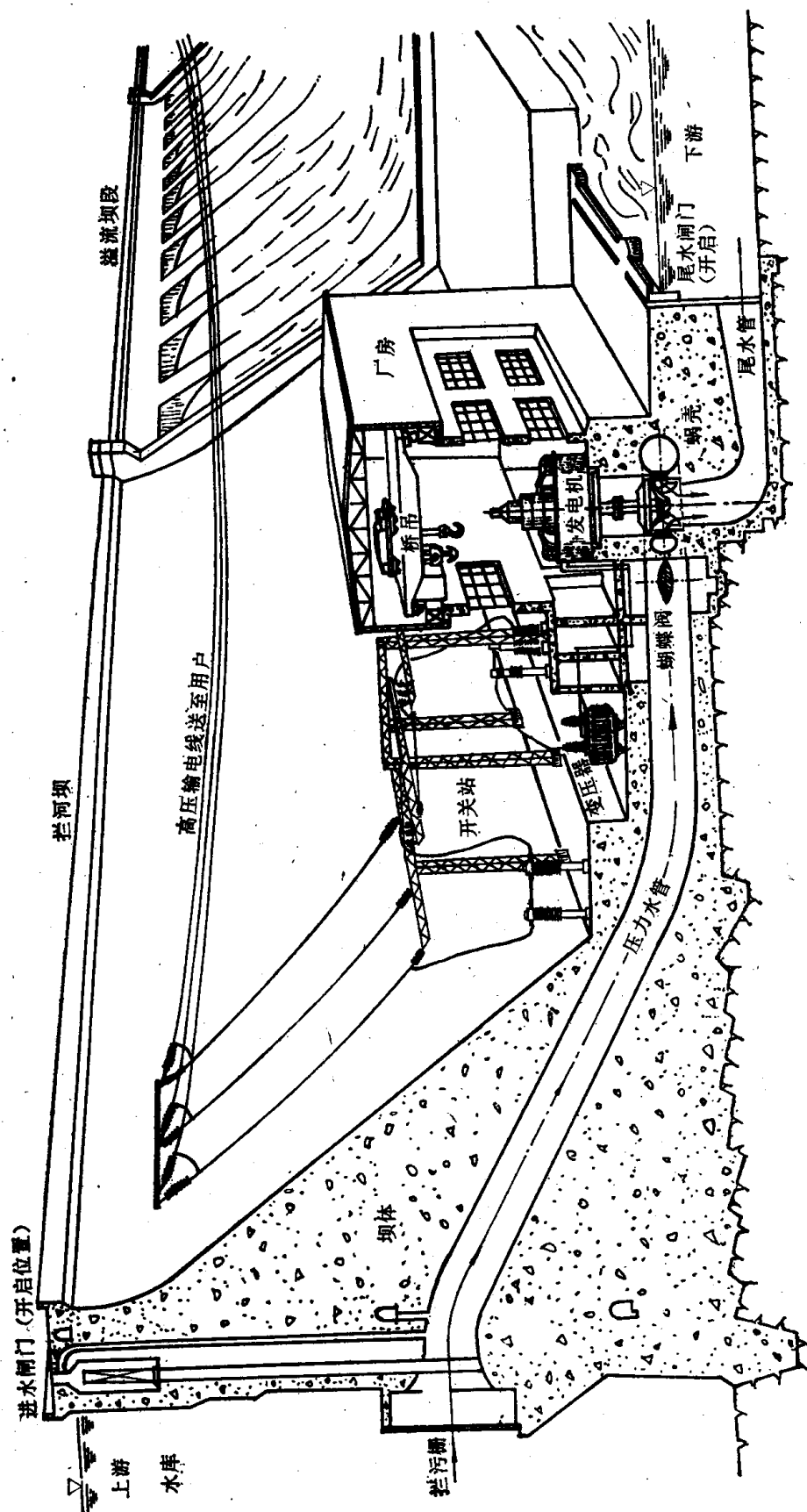


图 0-2 水力发电厂示意图

有些火力发电厂装有供热式机组，除发电外还向附近的工厂和住宅区提供生产用汽和采暖及生活用热水。

2. 水力发电厂动力部分的生产过程

水力发电厂一般是在河流中拦河筑坝形成水库，利用河流的水能进行发电。它的基本生产过程示于图0-2。从水库引水，使水冲动水轮机旋转，将水能变为机械能，水轮机带动发电机旋转，将机械能变为电能。

构成水能的基本条件是水的流量和落差。流量和落差越大，水流的能量就越大。

水力发电厂的生产过程比火力发电厂简单，其特点是机组启动较迅速，调整负荷较容易，易于实现自动化，工作人员较少，管理费用较低。但是建厂投资大，建设工期较长，运行中受天然水情影响较大。因此，水轮机组宜于担任电力系统中的尖峰负荷和用于调整频率，或者担任备用机组，洪水季节宜带基本负荷多发电，枯水季节宜带尖峰负荷少发电。

3. 发电厂电气部分概述

发电厂电气部分如图0-3所示。由汽（水）轮机带动发电机旋转，将机械能转变为电能。发电机发出的电能分为两部分：一部分由主变压器升高电压后，经高压配电装置和输电线路向外供电。另一部分由厂用变压器降低电压后，经厂用配电装置和电缆供发电厂内部各种辅助机械及照明等用电，发电厂自用部分称为厂用电。

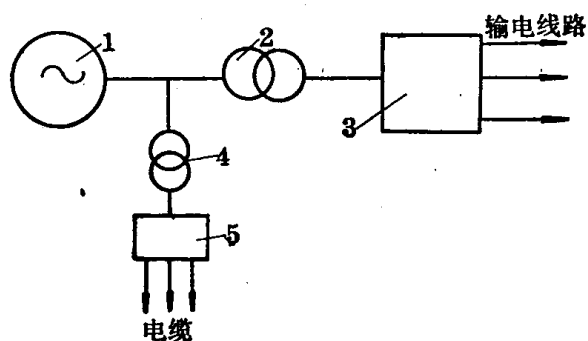


图 0-3 电气系统示意图

1—发电机；2—主变压器；3—高压配电装置；
4—厂用变压器；5—厂用配电装置

为了提高发电厂供电的可靠性和经济性，合理的使用煤、水资源，目前广泛地将许多火力发电厂和水力发电厂用电力网连接起来并联工作。这种由许多发电厂连成的给用户供电和供热的整体，叫做动力系统。动力系统中的一部分，即由发电机、配电装置、升压和降压变电所、电力线路及电能用户所组成的系统叫做电力系统。电力系统中由各级电压的输配电线路和变电所组成的部分，叫做电力网。

为了提高发电厂供电的可靠性和经济性，合理的使用煤、水资源，目前广泛地将许多火力发电厂和水力发电厂用电力网连接起来并联工作。这种由许多发电厂连成的给用户供电和供热的整体，叫做动力系统。动力系统中的一部分，即由发电机、配电装置、升压和降压变电所、电力线路及电能用户所组成的系统叫做电力系统。电力系统中由各级电压的输配电线路和变电所组成的部分，叫做电力网。

三、发电厂概论的内容和学习方法

《发电厂概论》是“发电厂及电力系统”等专业的学生学习发电厂基本知识的课程。通过本课程的学习，对发电厂的生产过程可有一完整具体的了解，为进一步学习专业课和从事发电厂工作打下基础。

根据上述发电厂的生产过程，本课程包括三部分内容：火力发电厂的热力部分，水力发电厂的水力部分和发电厂的电气部分（包括电力系统的基本知识）。在各部分中将介绍主辅设备的名称、位置、用途、基本构造和简单原理，以及相应的主要连接系统。

为了学习好《发电厂概论》的各部分内容，除了要学习好各基础课程和本专业的电工学基础知识外，对热工学和水力学方面的基本知识也要有所了解。由于本课程内容是紧密联系发电厂的生产实际的，所以还要注意从实践中学习。

第一部分 火力发电厂热力设备

第一篇 热工学基础知识

热工学是研究热能转换成机械能的规律以及热量传递规律的一门科学。它是从事热力工程和学习各种热能动力设备所必须具备的基础理论知识。本概论只介绍一些必要的热工学的基础知识。

第一章 工质的基本状态参数及其测量

凡是将热能转换成机械能的设备，统称为热机。汽轮机、燃气轮机、蒸汽机和内燃机等均属于热机。在热机中用以实现热能转换成机械能的工作物质，简称为工质。显然，水蒸汽是汽轮机的工质。在物质三种状态中，气体（蒸汽）受热时膨胀能力最大，能最大限度地热能转换成机械能，同时它具有良好的流动性，易于送入热机和从热机排出，所以气体物质最适宜于作为工质。

一切物质都是由处于无规则热运动中的分子所组成。气体分子之间有吸引力，分子具有微小的体积，这是“实际气体”的特点。为了研究上的方便，常把气体分子之间的吸引力和分子的微小体积略去不考虑，这种气体叫做“理想气体”。空气、高温燃气、高温低压下的水蒸汽●等等，都可以视为理想气体，因为在高温低压下，气体的体积较大，分子热运动剧烈，相比之下，气体分子体积与分子之间的吸引力小到可以忽略。研究理想气体性质以后，对于研究实际气体的性质就容易了，这是热工学上的一种研究方法。

表示工质状态的物理量，称为状态参数。热工学上一般常用六个状态参数，即：温度、压力、比容、内能、焓和熵。温度、压力和比容这三个量可以利用仪表直接测量，称为基本状态参数；内能、焓和熵是导出的状态参数。本章先介绍基本状态参数，导出的状态参数将在以后的内容中逐步介绍。

第一节 温度及其测量

一、温度

温度是表示物体冷热程度的物理量。分子运动论指出，温度说明了物体的分子热运动

● 水蒸汽能否看作理想气体，要看它所处的状态。在热机中作为工质的蒸汽，因为压力较高，比容甚小，离液态不远，因之就不能把它当作理想气体，对于水蒸汽性质将在第三章中介绍。

的强弱程度。物体的温度越高，分子运动的平均速度就越快，分子动能也就越大；物体的温度低，分子运动的平均速度就慢，分子动能就小。

量度温度的单位，常用百度温标（又叫摄氏温标）和绝对温标两种。

百度温标是取标准大气压下洁净水的沸点为100度，其冰点为0度，这二个温度之间采用一百个分度。这种温标上的温度以符号 t 表示。单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。在 0°C 以下及 100°C 以上的温度，由两端相应延长获得。

热力学中，还采用绝对温度的标尺，用 T 表示，单位用 $^{\circ}\text{K}$ 表示。它和百度温标每一度的间隔是相同的，不同的是绝对温度的 0°K 定为百度温标零下 273.15°C 作为起点，所以两者的关系为：

$$T = (t + 273.15)^{\circ}\text{K} \quad (1-1)$$

热工上，表示物体分子热运动的是绝对温度，它是工质的状态参数。

二、温度的测量

物体的温度是用温度计来测量。发电厂里各种热力设备上装有温度计，用来监视各处蒸汽、水、油、空气、烟气等的温度情况，以保证设备的安全、经济运行。常用的温度计分别简述如下：

1. 玻璃管温度计

它是根据液体体积随温度变化而改变的性质制作的。玻璃管温度计所使用的工作液体

表 1-1 几种工作液体的测量范围

工 作 液 体	测 温 范 围($^{\circ}\text{C}$)
水 银	-30~700
酒 精	-100~75
甲 苯	-90~100
戊 烷	-190~20

通常是水银、酒精、甲苯和戊烷等。采用的工作液体不同，测量温度的范围也不同，见表1-1。

发电厂中水银温度计被广泛采用。水银温度计除了构造简单，价格便宜和使用方便外，还有测量范围较大和准确度较高等优点。

水银温度计常做成两种形式——棒式和

标尺封入式的，如图1-1所示。

2. 热电偶温度计

它是利用热电现象制成的测量仪表，如图1-2所示。它主要由热电偶1、指示仪表（毫伏计）2及连接导线3组成。热电偶是用二根不同材料的金属丝做成的（如铂铑—铂；铁—镍铜），把它们的一端焊接在一起，如图中点 a ，称为工作点或热端，它们的另一端 b 与 c 称为冷端，用导线3接到指示仪表——毫伏表2上去。毫伏表是一个测量微电势的磁电式仪表，它是根据载流线圈在磁场中受作用力而发生偏转的原理设计成的，在这里是用来指示温度。

热电偶温度计是利用热电现象的原理来测量温度的，这一现象就是在两种不同导体连接的闭合线路中（如图1-2），若两个接点的温度不同（如把 a 点放入高温介质中， b 与 c 点放入低温介质中），就会在闭合回路内产生电动势（热电势），形成电流，使毫伏表指针移动。

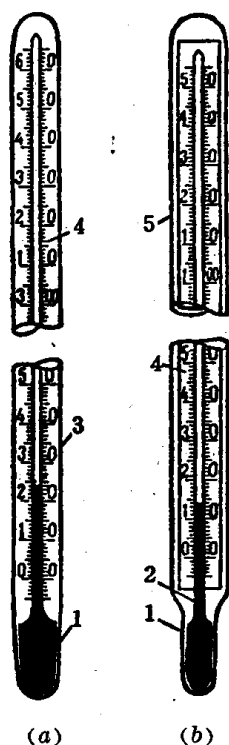


图 1-1 水银温度计
(a)棒式温度计；(b)标尺封入式的温度计
1—测温包；2—薄壁毛细管；3—厚壁毛细管；4—标尺；5—保护外壳

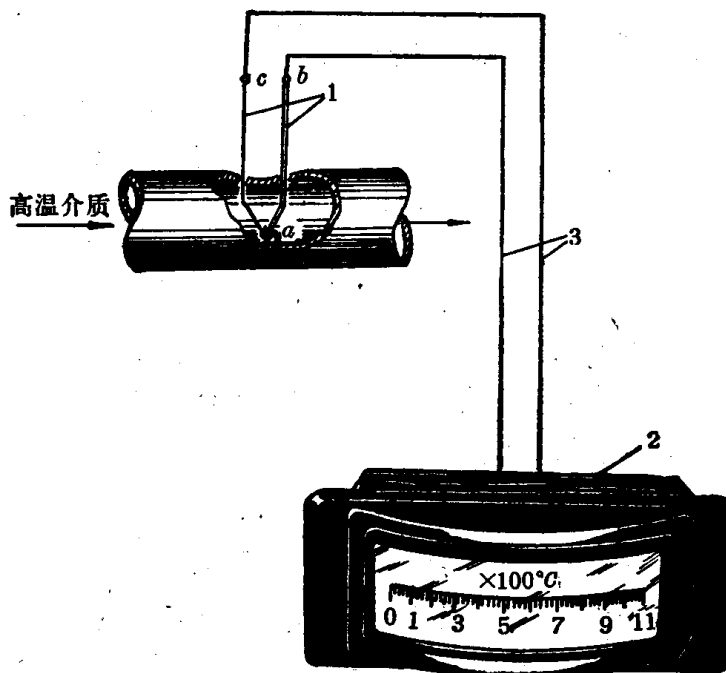


图 1-2 热电偶温度计简图
1—热电偶；2—毫伏计；3—连接导线

热电偶温度计有许多优点，如测温范围较大（ $-100 \sim +1300^{\circ}\text{C}$ ），准确度较高，便于进行远距离测量和自动记录，以及可以把几只热电偶通过切换开关接到同一只测量仪表上，以利于进行集中检查等。因此，热电偶温度计得到广泛的应用。

由于在低温范围内（ $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ），热电偶温度计产生的热电势很小而不便测量，这时用电阻温度计来测量低温是适宜的。电阻温度计是根据导体或半导体的电阻值随温度变化的性质制成的。实践证明，大多数金属，当温度升高 1°C 时，电阻值增加 $0.4 \sim 0.6\%$ ，而半导体要减小 $3 \sim 6\%$ 。与电阻温度计配用的二次仪表是比率计。

第二节 压力 及其 测量

一、压力

发电厂里装有很多压力表，用来测量各处工质的压力。如测蒸汽压力、油压、风压、凝汽器真空等以监视设备运行是否正常。

1. 压力的概念

容器内的气体分子是在热运动中，气体分子必然在运动中冲击器壁产生作用力，大量分子冲击器壁的平均结果，就是气体的压力。经证明，气体的分子平均动能越大，单位体积内的分子数目越多，气体的压力就越高。

2. 压力单位

压力是用单位面积上所受的垂直作用力来度量, 用 p 表示, 其单位可用“工程大气压”、“汞柱高”和“水柱高”来表示, 它们的关系如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 工程大气压} &= 1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10^4 \text{ 公斤/米}^2 \\ &= 735.6 \text{ 毫米汞柱} = 10 \text{ 米水柱。} \end{aligned}$$

即是, 1 工程大气压 (简称大气压) 是指 1 厘米² 的面积上有 1 公斤的作用力。

3. 空气压力

这是由于地面上约 1 千公里的空气柱的重量对容器面产生的压力, 它是随各地的海拔高度和气候等条件而变化。空气压力用 p_B 表示, 是用气压计测量。

用气压计在当地测量得的空气压力, 称为“当地大气压”; 物理学上把在海平面上测量得的空气压力称为“物理大气压”, 又叫做“标准大气压”, 其值为 760 毫米汞柱。并有:

$$1 \text{ 物理大气压} = 1.0332 \text{ 工程大气压。}$$

4. 绝对压力和表压力

在发电厂中, 锅炉汽包及汽轮机进口中的蒸汽压力都是高于空气压力的, 如图 1-3 (a) 所示。容器中气体的压力叫做绝对压力, 用 $p_{绝}$ 表示; 压力表指出的部分叫做表压力, 用 $p_{表}$ (图中用 H) 表示, 其关系为:

$$p_{绝} = p_{表} + p_B \quad \text{绝对大气压} \quad (1-2)$$

5. 真空

如容器内气体的压力 $p_{绝}$ 小于空气压力时 (如凝汽器内), 用图 1-3 (b) 来表示。这

种情况下, 压力表指示的数值是表示气体的压力比空气的压力所小的数值, 叫做“真空”, 用 H 表示。测量真空 H 的仪表又叫做真空表。真空 H 为:

$$H = p_B - p_{绝} \quad (1-3)$$

一般 H 的单位用毫米汞柱或米水柱来表示。

有时用百分数表示真空的大小, 称为真空度。真空度是真空与大气压力的比值, 即

$$\text{真空度} = H/p_B \times 100\% \quad (1-4)$$

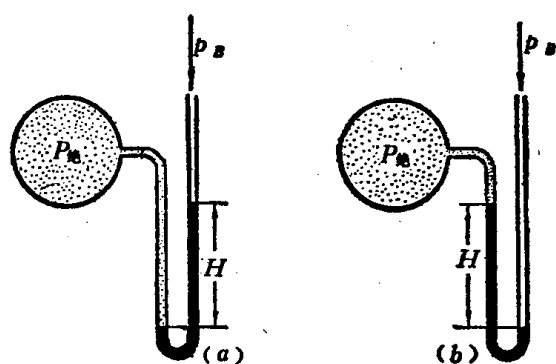


图 1-3 压力的测量

(a) 容器内压力高于大气压力时; (b) 容器内压力小于大气压力时

二、压力的测量

测量压力的仪表, 通称为压力表, 它所指示的数值是工质的表压力。常用的压力表简介如下:

1. U 形管压力表

如图 1-4 所示, 它是由直径相同的玻璃管 1 和 2 组成, 并固定在垂直的底板 3 上。在两玻璃管中间有刻度标尺 4, 其零点处位于标尺的中间位置。玻璃管内注入工作液体到零

点处，通常采用的工作液体是水或水银。测量时，将U形管的一端接到被测容器上，另一端通大气，U形管内液体在被测压力作用下将产生液面的高度差 h ，这段液柱高度就是表压力 $p_{表}$ ，即

$$p_{表} = p_{绝} - p_B = h\gamma \quad (1-5)$$

式中 h —— 工作液体的液面差，厘米；

γ —— 工作液体的比重，公斤/厘米³。

上述液柱式压力表其优点是构造简单、使用方便及测量的准确度较高。其缺点是测量范围受液柱高度的限制，一般不超过 1.5 米，仅用在压力稍高于大气压或真空的场合，如锅炉各处的风压、汽轮机凝汽器内的真空等。

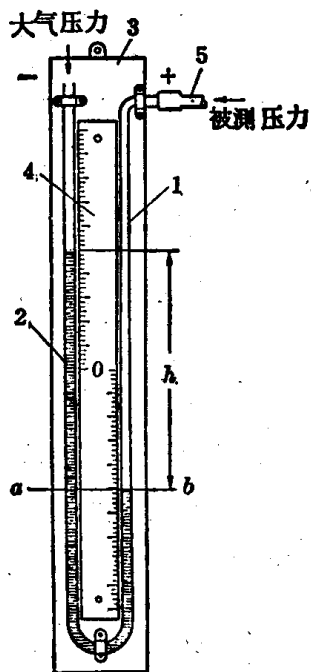


图 1-4 U形管压力表

1、2—玻璃管；3—底板；4—刻度标尺；
5—连接管

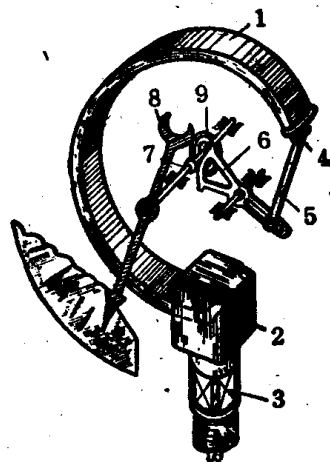


图 1-5 弹簧管压力表

1—弹簧管；2—支座；3—压力表接头；4—铰轴塞子；5—拉杆；6—扇形齿轮；7—轴齿轮；8—指针；9—游丝

2. 弹簧管压力表

弹簧管压力表应用很广泛，因为它构造简单，使用方便，测压范围大，能远距离测量和自动记录等优点。其构造如图 1-5 所示。它是利用弹性元件受力后产生弹性变形的原理来工作的。弹性元件就是一根剖面为长圆或椭圆并弯曲成圆弧形的空心金属管 1。当管内压力增加时，有伸直的趋势，使弹簧管自由端向上翘起，这个动作借拉杆 5 及齿轮 6 的传动，使指针 8 偏转一个角度，指示出被测压力的大小。

在发电厂中还采用螺旋形弹簧压力表及薄膜式风压表来测定空气和烟风的压力，其工作原理与弹簧管压力表相似。为了远距离测量压力，可以把压力的讯号转变为电气讯号，通过二次仪表进行测量。

【例 1-1】 锅炉出口处的蒸汽压力表读数为 139 公斤/厘米²，当地气压计读数为 756 毫米汞柱，求蒸汽的绝对压力。

解：

$$p_{绝} = p_{表} + p_B = 139 + \frac{756}{735.6} = 140.02 \text{ 绝对大气压}$$

可以近似取 $p_{\text{绝}} = 140$ 绝对大气压。

【例 1-2】凝汽器水银真空表的读数为710毫米汞柱，气压计读数为750毫米汞柱，问凝汽器中蒸汽的绝对压力为多少？

解：
$$p_{\text{绝}} = p_B - H = 750 - 710 = 40 \text{ 毫米汞柱}$$

或
$$p_{\text{绝}} = \frac{40}{735.6} = 0.0543 \text{ 绝对大气压}$$

第三节 比容和比重

1 公斤气体所占有的容积称为比容，用 v 表示，常用单位是米³/公斤。如果有 G 公斤重的气体，占有 V 米³的体积时，气体的比容为：

$$v = \frac{V}{G} \quad \text{米}^3/\text{公斤} \quad (1-6)$$

比重（容重或重度）是指单位体积的气体所具有的重量，用 γ 表示，单位是公斤/米³。显然比重和比容互为倒数，即

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{1}{v} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (1-7)$$

比容越大，表示物质比重就越小，物质就越轻；比重大，表示物质重。氢比空气轻，但氢的比容比空气大。在发电厂生产过程中，工质的比容和比重是不断变化的，如蒸汽流经汽轮机做功时，其比容是随压力降低而不断增大，因此汽轮机叶片是逐级增长的。

上述三个基本状态参数，不是孤立的而是有内在联系的，如对封闭容器内的气体进行加热时，温度将增加，分子热运动将加剧，压力必然增加。在气体内各部分的压力、温度相同的平衡状态下，连接温度、压力和比容的关系式叫做状态方程式。理想气体的状态方程式为：

$$pv = RT \quad (1-8)$$

式中 p 、 v 、 T 三者是工质的三个基本参数：压力（公斤/米²）、比容（米³/公斤）、温度（°K）。式中的 R 叫做气体常数，它的大小仅仅决定于气体的性质而不决定于气体的状态，例如空气在任何状态下的 R 均等于29.23，二氧化碳气的 $R = 19.2$ ， R 的单位是公斤·米/公斤·°K。

理想气体的状态方程式表明，气体的三个参数中，只要其中一个发生了变化，另外两个参数一定跟着发生变化。

从发电厂生产过程可知，工质的状态是在不断变化之中。热工学上，把工质由某一状态变化到另一状态所经历的过程称为热力过程。如果热力过程中没有损失，工质由某一平衡状态变化到另一平衡状态后，又能逆行回复到变化前的原状态，这样的热力过程叫做可逆过程。在以后提到的热力过程均是指可逆过程。常见的热力过程有：过程中保持容积不变的等容过程，保持压力不变的等压过程，保持温度不变的等温过程，以及过程中不吸收热量也不放出热量的绝热过程。

研究热力过程时我们感兴趣的是工质在热力过程中与外界热量和功量的交换情况，第二章就讨论这个问题。