

高等学校教材

发电厂

上册 动力部分

华中工学院主编

电力工业出版社

内 容 提 要

本书内容为大、中型发电厂的动力部分和电气部分。动力部分主要阐述电能生产过程有关的基本知识与基本理论；电气部分则偏重讲述电气一次系统的设计与运行原理。

全书分上、下两册。上册包括：第一篇火力发电厂；第二篇水力发电厂；第三篇原子能发电厂及其它方式发电。下册包括：第四篇发电厂电气一次设备及其接线；第五篇电气一次系统设计；第六篇发电厂的控制；第七篇变压器及电机运行。

本书为“电力系统及其自动化”专业与“发电厂及电力系统”专业《发电厂》课程的教材，也可供工程技术人员参考。

高等学校教材

发 电 厂

上册 动力部分

华中工学院主编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 13.75印张 306千字 1插页

1980年7月第一版 1980年7月北京第一次印刷

印数 0001—7350册 定价 1.60元

书号 15036·4081

前 言

本教材是为“电力系统及其自动化”和“发电厂及电力系统”专业的《发电厂》课程而编写的。

根据1978年原水利电力部修订的“发电厂及电力系统”专业教学计划，本课程主要讲述大、中型发电厂的动力部分和电气部分，而以电能生产过程为线索组成本教材。

本教材共分七篇。前三篇主要是火力发电厂、水力发电厂和原子能发电厂的动力部分，包括电能生产过程的基本知识与基本理论，为便于配合实践性教学环节组织教学，这三篇合编为上册。后四篇阐述电气一次设备及其接线、电气一次系统设计、电厂控制以及变压器和电机的运行，合编为下册。下册主要在学校讲授，其中有关电气部分所阐述的基本概念对于变电所的设计和运行也是适用的。

参加本教材编写的同志有重庆大学何大章，武汉水利电力学院徐树铨、周润坚、林开荣、李日隆，华北电力学院连述遐，南京工学院朱家果，华中工学院褚松、栾庆富、白彩云、章霞飞、胡能正、范锡普，由范锡普同志主编。参加本教材审阅的同志有华东水利学院陆文祺，西安交通大学朱元昌，南京工学院汪孟乐、朱受天、钱为民、方一麟、朱家果等，由朱家果同志主审。

本书在编审过程中，得到不少单位的大力支持，提供了大量的资料和有益的建议，对此我们表示衷心的感谢。

编 者

1979年11月

主要符号意义

A ——能量, 面积, 吸收率	T ——绝对温度, 时间, 时间常数, 反应堆周期, 半衰期, 偿还年限
a ——距离, 开度	t ——温度, 时间
B ——磁感应强度, 燃料消耗量	U ——电压, 内能
b ——厚度, 倍数, 煤耗率	u ——电压, 比内能, 短路电压, 速度, 周长
C ——电容, 系数, 费用	V ——体积, 容积, 流速
c ——比热容	v ——速度, 比容
D ——蒸汽量, 直径, 透射率	W ——体积, 截面系数, 刚度, 水量
d ——汽耗率, 直径, 距离	w ——匝数, 速度
E ——电势, 能量, 弹性模数, 辐射力	x ——电抗, 干度, 开度, 系数
F ——力, 面积	y ——挠度
f ——单位长度上的力, 面积, 误差	Z ——阻抗, 高度
G ——重量, 流量	α ——系数, 角度
g ——重力加速度	β ——系数, 角度
H ——水头, 高度, 焓	γ ——重度
h ——水头损失, 比焓, 相对高度	δ ——角误差, 长度, 厚度
I, i ——电流	ε ——黑度, 系数
J ——转动惯量, 惯性矩, 电流密度	ζ ——系数
K, k ——系数	η ——效率
L ——电感, 长度	θ ——温度, 角度
l ——长度, 功, 平均寿命	λ ——系数
M ——互感, 力矩, 转矩	μ ——分子量, 动力粘度
m ——质量	ν ——运动粘度
N ——功率, 匝数, 系数, 原子数	ρ ——电阻率, 密度, 反应性
n ——转速, 中子密度	σ ——应力, 系数
P ——有功功率, 压力, 综合造价	τ ——时间, 开度, 温升
p ——压力, 压强, 几率	Φ, ϕ ——磁通
Q ——无功功率, 热量, 流量	φ ——相角, 包角, 系数
q ——热流密度, 热耗率, 热量	χ ——湿周
R ——电阻, 半径, 反射率	ψ ——角度, 系数
r ——电阻, 半径, 故障率, 潜热	ω ——角速度, 过水断面
S ——视在功率, 容量, 焓	
s ——比焓, 转差率, 中子源强, 可靠性, 距离	

主要角注意义

A ——吸收	ap ——非周期
a ——空气, 附加, 有功	av ——平均

ava——可用
 arc——电弧
 b——基准, 人体, 母线, 动叶
 bal——平衡
 br——开断
 c——临界, 补偿, 计算, 可燃
 CM——共模
 D——透射
 d——下游, 日, 纵轴
 dem——去磁
 do——重复
 ds——介质强度
 e——励磁, 经济, 当量
 ear——地
 eff——有效, 效益
 el——电
 em——电力
 f——磁场, 流体, 沿程, 保证, 最终
 fb——反馈
 fd——灭磁
 fw——给水
 g——发电机, 表, 烟气, 高位
 i——电流, 内, 起始
 imp——冲击
 in——安装, 输入, 入射
 j——局部
 l——漏, 受阻, 损失
 lf——漏磁
 m——电动机, 最大, 平均
 meas——测量

mec——机械
 max——最大
 min——最小
 n——额定, 喷嘴, 低位
 ne——必需
 o——油, 起始
 p——峰荷, 允许, 定压
 par——寄生
 per——周期
 pl——电厂
 pr——临近
 q——横轴
 R——反射
 r——电抗器, 辐射, 无功
 re——整流
 rec——恢复
 reg——调配
 res——剩余
 s——集肤, 外壳, 关闭, 表面, 衬垫
 sc——短路
 sp——备用
 sr——自启动
 st——起动, 级, 跨步
 t——总, 理想, 热, 时间
 th——热
 tr——变压器
 u——上游, 电压
 v——真空, 定容
 w——工作, 绕组, 壁面
 ϕ ——相

目 录

前 言

主要符号意义

绪 论	1
-----------	---

第一篇 火 力 发 电 厂

第一章 火力发电厂的生产过程及其组成	2
1-1 火力发电厂的生产过程	2
1-2 火力发电厂的组成及其基本热力系统	4
第二章 工程热力学的基本知识	6
2-1 工质及其状态参数	6
2-2 理想气体状态方程式	7
2-3 气体比热容	8
2-4 状态参数——内能、焓、熵	8
2-5 混合气体	9
2-6 水蒸汽	11
2-7 水蒸汽的热力过程	16
2-8 热力循环	19
2-9 火力发电厂的动力循环	19
第三章 传热学的基本知识	23
3-1 概述	23
3-2 导热	24
3-3 对流换热(放热)	29
3-4 辐射换热	33
3-5 传热与换热器	38
第四章 锅炉设备的基本知识	43
4-1 发电厂锅炉概述	43
4-2 燃料及其燃烧	45
4-3 锅炉分类及热平衡	47
4-4 煤粉炉及煤粉制备	50
4-5 锅炉受热面	56
4-6 直流锅炉	64
4-7 锅炉的主要辅助设备	65
4-8 锅炉起动与停炉的基本知识	67
第五章 汽轮机设备的基本知识	69
5-1 汽转机的基本工作原理	69
5-2 汽轮机的构造	74
5-3 汽轮机的调节系统及保护装置	78
5-4 汽轮机的主要辅助设备	81

5-5 汽轮机运行的若干主要问题	84
第六章 火力发电厂运行的几项技术经济指标	85

第二篇 水力发电厂

第七章 水能利用	88
7-1 水力发电概述	88
7-2 水力学基础	89
7-3 水能及其形成要素	101
7-4 水电厂开发方式	103
7-5 河川径流和径流调节	107
7-6 水电厂在电力系统中的作用	111
7-7 水电厂装机容量的确定	121
7-8 水库调度	123
第八章 水电厂厂房的主要动力设备和辅助设备	131
8-1 水轮机	131
8-2 调速器	145
8-3 水电厂的油、气、水系统	153
8-4 机组的开机与停机	154
第九章 水电厂的水工建筑物	155
9-1 水利枢纽的组成及其主要建筑物	155
9-2 水电厂建筑物	157
9-3 水电厂厂房	158

第三篇 原子能发电及其它方式发电

第十章 原子能发电	164
10-1 概述	164
10-2 原子核反应堆的物理基础	164
10-3 热中子反应堆	172
10-4 快中子增殖堆	183
10-5 原子能发电厂的燃料循环与发电成本	184
10-6 原子能发电厂的安全与防护	185
10-7 原子能发电厂的厂址选择	188
10-8 原子能发电厂的运行与维护	189
10-9 厂用电系统的特殊设计要求	195
第十一章 其它方式发电	195
11-1 概述	195
11-2 潮汐发电	196
11-3 波力能发电	198
11-4 地热发电	199
11-5 燃气轮机发电	202
11-6 磁流体发电	204
11-7 电气体发电	209
11-8 热电子发电	210

目 录

前 言

主要符号意义

绪 论

第四篇 发电厂电气一次设备及其接线

第十二章 开关电器中的灭弧原理	212
12-1 电弧的产生及物理过程	212
12-2 直流电弧的特性及熄灭	213
12-3 交流电弧的特性及熄灭	217
12-4 熄灭交流电弧的基本方法	227
第十三章 开关电器	232
13-1 概述	232
13-2 高压断路器的基本参数	233
13-3 油断路器	236
13-4 压缩空气断路器	240
13-5 SF ₆ 断路器	243
13-6 真空断路器	249
13-7 断路器的操动机构	251
13-8 隔离开关	257
13-9 熔断器	259
13-10 低压开关	260
第十四章 互感器	263
14-1 概述	263
14-2 电磁式电流互感器	263
14-3 电压互感器	273
第十五章 电气主接线及厂用电接线	283
15-1 概述	283
15-2 主接线的基本形式	283
15-3 不同能源发电厂的主接线	290
15-4 限制短路电流的措施	293
15-5 大型发电厂主接线的特点	296
15-6 不同能源发电厂的厂用电接线	298
15-7 国外发电厂的主接线	300
第十六章 配电装置	305
16-1 概述	305

16-2	屋内外配电装置的最小安全净距	306
16-3	屋内配电装置	309
16-4	屋外配电装置	316
16-5	成套配电装置	326
16-6	配电装置的抗震	332
16-7	发电厂和变电所的电气总平面布置	332
16-8	发电厂和变电所的保护接地装置	333

第五篇 电气一次系统设计

第十七章 主接线设计 337

17-1	主接线设计的要求和原则	337
17-2	设计主接线的原始资料和依据	339
17-3	发电厂主变压器容量和台数的确定	341
17-4	主接线的技术经济比较	344
17-5	主接线分析及布尔代数表示法	347
17-6	主接线的可靠性计算	359

第十八章 厂用电设计 366

18-1	厂用电设计的一般原则	366
18-2	厂用电电压等级的确定	370
18-3	厂用变压器和电抗器的选择	371
18-4	电动机自启动校验	375
18-5	电动机起动时间的确定	381
18-6	计算机用电电源	384

第十九章 电气设备的发热和电动力 385

19-1	概述	385
19-2	载流导体的发热	386
19-3	均匀导体短路时的发热	394
19-4	大电流母线附近钢构的损耗和发热	399
19-5	短路时载流导体间的电动力	403
19-6	全连式离相封闭母线	414

第二十章 电气设备的选择 423

20-1	电气设备选择的一般条件	424
20-2	母线和电缆的选择	427
20-3	支持绝缘子和穿墙套管的选择	440
20-4	高压断路器、隔离开关及高压熔断器的选择	442
20-5	限流电抗器的选择	450
20-6	电压互感器的选择	458
20-7	电流互感器的选择	462

第六篇 发电厂的控制

第二十一章 发电厂主设备的控制与信号	467
21-1 发电厂的控制方式	467
21-2 二次接线图	469
21-3 断路器的控制	477
21-4 中央信号及其它信号	484
21-5 发电厂和变电所的弱电有触点逻辑控制	493
21-6 弱电无触点逻辑控制	498
第二十二章 发电厂的电子计算机控制	504
22-1 控制机及其中断系统	504
22-2 控制机的过程输入装置	510
22-3 控制机的过程输出装置与运行控制台	517
22-4 控制机在火电厂日常运行中的应用	523
22-5 应用控制机实现火电厂机组的自动起停	528
22-6 控制机在火电厂事故工况下的应用	533
22-7 控制机的操作系统	538
22-8 发电厂计算机控制的现代发展方向	547

第七篇 变压器及电机的运行

第二十三章 变压器运行	549
23-1 变压器的负荷能力	549
23-2 自耦变压器的运行	553
23-3 变压器的并联运行	560
第二十四章 感应电动机的运行	571
24-1 感应电动机在电压和频率变化时的运行	571
24-2 感应电动机的不对称运行	581
第二十五章 同步发电机的运行	588
25-1 同步发电机的正常运行	588
25-2 同步发电机的励磁与灭磁	594
25-3 同步发电机的调相运行	605
25-4 同步发电机的不对称运行	609
附录 I 布尔代数的基本式和定理	613
附录 II 感应电动机的基本特性	616
附录 III 同步电机正常运行时的参数计算公式	624
附录 IV 三相桥式不可控整流系统的基本工作特性	626

绪 论

电力自从应用于生产以来，已成为现代化生产的动力。由于电能具有输送方便，易于集中及分散，可简捷地转变成其它形式的能量等优点，而且用电进行控制，容易实现自动化和远动化，故在农业、工业、国防、科学技术各部门乃至人民的日常生活，电力已得到广泛的应用。电力发展水平和电气化的程度是衡量一个国家国民经济发展水平的一个重要标志。

电力建设对国民经济的发展有很大的影响。如果电力供应能满足工农业发展的需要，生产发展就快；电力供应不足就会直接影响各行各业的生产。因此，电力必须先行，这是现代化生产的客观规律。

新中国成立后，电力工业得到了迅速的发展。发电量和装机容量较解放前有了几十倍的增长。我们已能制造30万千瓦的大型发电机组，并着手研制60万千瓦以上的机组，对100万千瓦以上的发电厂已能自行设计和安装。目前，全国已形成了几个大型电力系统，330千伏的超高压输电线路已投入运行，并在筹建500千伏的超高压线路。尽管如此，我国的电力工业仍赶不上整个国民经济发展的需要，电力工业的技术水平与世界上一些工业发达的国家相比，还有很大的差距。因此，加快电力工业建设的步伐，提高电力工业的科学技术水平，是摆在我国电力工作者面前的光荣而艰巨的任务。

发展电力工业，必须从我国的实际情况出发，认真贯彻执行水火并举、因地制宜的能源政策。我国水力资源极为丰富，在有水力资源的地方要多搞水电；我国煤炭资源亦很充足，今后宜多建坑口电厂，在煤炭基地建设起电厂群，形成大型的电力基地；在一般情况下，油和气可少量采用。我国尚有不少劣质燃料，如石煤、煤矸石、油母页岩等，也要充分用来发电。对于原子能电厂和其它能源的电厂，应积极进行研究工作，这类电厂宜建于缺少水力和煤炭资源以及人口稀少的地区。所有电厂都要努力提高技术与管理水平，增产节约，降低成本，使电力工业真正发挥先行的作用，为我国实现四个现代化做出应有的贡献。

《发电厂》课程是“电力系统及其自动化”专业和“发电厂及电力系统”专业的一门专业课。通过本课程的学习，使学生熟悉电力的生产过程以及电气部分设计与运行方面的知识。本书上册供下厂实习使用，可根据实习条件安排现场教学；下册则在学校讲授，课堂讲述应着重阐明概念和原理部分，并安排一部分习题，培养学生计算和应用理论知识的能力。在教学中，教材的某些内容可根据具体情况有所侧重和取舍。

第一篇 火力发电厂

第一章 火力发电厂的生产过程及其组成

1-1 火力发电厂的生产过程

学习火电厂动力部分，首先应对火电厂的全部生产过程具有比较完整的概念，这项任务最好是通过现场参观学习去解决。图1-1可作为参考资料。

图1-1为一燃煤火电厂的动力设备及其主厂房布置图，其主要生产过程如下。

原煤用火车车箱2运到电厂的卸煤间1或储煤场3。锅炉用煤由卸煤间或储煤场用输煤皮带6首先送往碎煤机室，经碎煤设备5破碎后再输送到原煤仓7。磨煤时，原煤由给煤机8送进磨煤机9，并在那里磨制成粉。随后，煤粉被排粉机抽吸的空气依次带进粗粉分离器10和细粉分离器11。粗粉分离器分离出来的粗粉又被送回磨煤机再次加工，细粉分离器分离出来的细粉则送进煤粉仓12备用。

锅炉运行时，煤粉由给粉机14送入输粉管，并经喷燃器17进入炉膛18内燃烧。

燃料燃烧需要的空气由送风机22压入空气预热器21中加热，预热后的热空气，一部分引至磨煤系统，作为原煤干燥及输送煤粉的介质，而后由排粉机送入炉膛，其余大部分直接通至煤粉喷燃器进入炉膛。

燃烧产生的高温烟气，在吸风机24的抽吸作用下，先是沿着锅炉本体的倒U形烟道依次流过炉膛、过热器19、省煤器20及空气预热器21，同时逐步将其热能传递给工质及空气，并变成低温烟气进入除尘器23进行净化，最后经吸风机及烟囱25排向大气。

燃料燃烧时落到炉膛下的灰渣，以及除尘器收集下来的飞灰，用水冲入渣沟26及灰沟27并随水自流到灰渣泵房，而后用灰渣泵、灰渣管等设备输出厂外。

锅炉的给水，先在省煤器内加热，继通过炉膛周围的水冷壁管，在此受热汽化后，再进入过热器提高其过热度。由过热器出来的过热蒸汽（称新蒸汽或主蒸汽），沿新蒸汽管道28进入汽轮机31的高压缸膨胀作功。高压缸排出的蒸汽，又沿中间再热蒸汽管道29返回锅炉本体内的再热器，再次提高其过热度，然后由再热蒸汽管30返回汽机间，进入汽轮机的中、低压汽缸继续膨胀作功。蒸汽在膨胀作功的过程中，多次分出一部分来作为锅炉给水回热加热用的蒸汽，其余大部分在作功完毕后进入凝汽器33，并在那里冷却凝结成水（称主凝结水）。

主凝结水由凝结水泵34升压，使之通过各低压回热加热器（又称低压加热器）35初步加热，再进入除氧器36继续加热并除掉溶解在水中的各种气体。经过除氧的水由给水泵38升压后，通过各高压回热加热器（又称高压加热器）39进一步加热，最后经由给水管40送回锅炉使用。

凝汽器需要的冷却水（通常称循环水），由安装在河边的循环水泵43升压，然后沿循

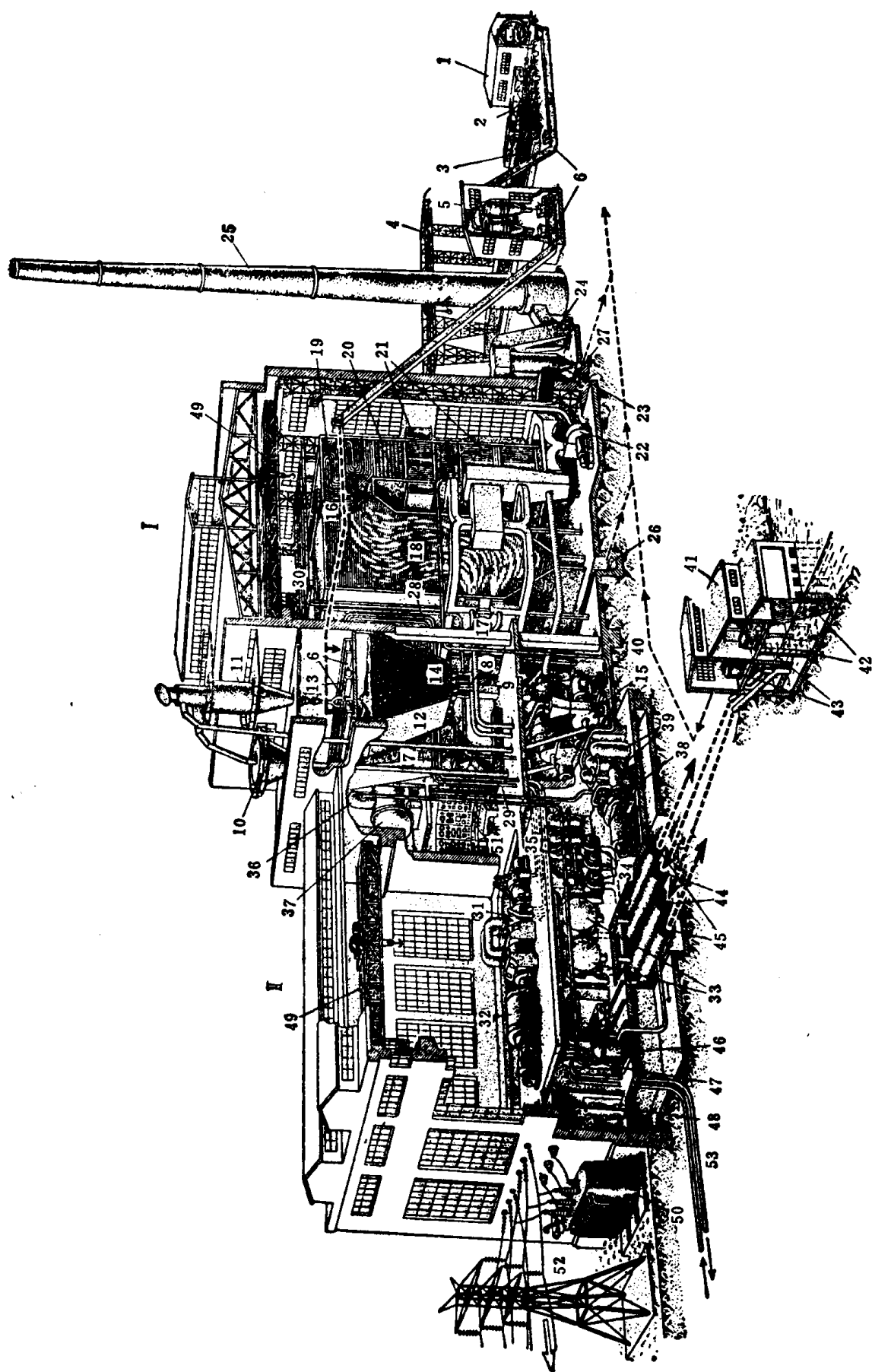


图 1-1 燃煤电厂动力设备及其主厂房布置图

I—锅炉间, II—汽机间, 1—卸煤间, 2—运煤车箱, 3—储煤场, 4—龙门转运机, 5—碎煤设备, 6—输煤皮带, 7—原煤仓, 8—给煤机, 9—磨煤机, 10—粗粉分离器, 11—细粉分离器, 12—煤粉仓, 13—螺旋输送机, 14—给粉机, 15—排粉机, 16—锅炉, 17—煤粉喷燃器, 18—炉膛, 19—过热器, 20—省煤器, 21—空气预热器, 22—送风机, 23—除尘器, 24—吸风机, 25—烟囱, 26, 27—冲渣沟及冲灰沟, 28—新蒸汽管道, 29, 30—中间再热蒸汽管道, 31—汽轮机, 32—发电机, 33—凝汽器, 34—凝结水泵, 35—低压回热加热器, 36—除氧器, 37—给水箱, 38—给水泵, 39—高压回热加热器, 40—给水管, 41—循环水泵, 42—拦污栅, 43—循环水泵, 44, 45—循环水进、出水管, 46—补充水化学除盐过滤器, 47—水热网加热器, 48—厂用配电装置, 49—电动机, 50—升压变压器, 51—热力控制盘, 52—高压输电线, 53—供热线

环水进水管44进入凝汽器。凝汽器出来的循环水沿排水管45流回河里。

由于热力设备对汽水品质的要求很高，汽水循环过程中损失的工质，常用化学除盐过滤器46等水处理设备处理过的高质量净化水进行补充。

发电机32由汽轮机拖动，发出的电能，一小部分由厂用配电装置48进行分配，作为厂用电源；其余均由升压变压器50（又称主变压器）升高电压后送入电网。

该厂还以水为介质对外供热，为此设置了水热网加热器47，其热源为汽轮机的抽汽。热网管道里的水不断地在用户与电厂之间循环流动，水经过用户的用热设备放热冷却后，又返回电厂的水热网加热器加热。

为了满足机组起动、停机、调整负荷与故障处理以及监视运行情况等需要，尚设有各种测量、控制设备，并且设置专门的热力控制盘51，以便进行集中控制。

由于各电厂所用锅炉、汽机的型式不同以及燃料、水源等条件的差别，各火电厂的动力设备和生产过程也就有所不同。譬如，燃油电厂的燃料供应设备就比燃煤电厂简单得多；缺水地区的火电厂需设有冷水塔或喷水池等庞大的循环水冷却设备，水源丰富的电厂就无需这些设备。所以，各电厂的生产过程都会有一定差别，图1-1只是其中的一个例子，但就火电厂总的生产流程来说，它仍具有一定的代表性。

从能量转换的角度来看，各火电厂的生产过程都是一样。能量转换都是由燃料的燃烧开始，燃烧时，燃料的化学能变为烟气的热能，当烟气在锅炉的炉膛及其后面的烟道中流动时，它的热能就逐渐传递给在锅炉各部分受热面里流动的水和蒸汽，在这一过程中，能量没有发生形式的变化，而只是由一种介质传递给另一种介质。锅炉生产的蒸汽进入汽轮机后逐次膨胀加速，蒸汽的部分热能转变为蒸汽的动能，汽流作用于汽机转子的叶片上，推动转子旋转，于是蒸汽的动能又被转换成汽轮机的机械能。汽轮机拖动发电机转动，汽轮机的机械能便由发电机转换成电能。

必须指出，上述能量转换的各个环节是互相紧密配合的，不能稍有脱节。而且，由于电能是无法大量储存的能量产品，它的生产和消费几乎是同时进行，两者必须严格协调，因此，要求电厂的生产具有高度的安全性、可靠性和机动性，这是电能生产的一个主要特点。

1-2 火力发电厂的组成及其基本热力系统

现代火电厂的规模均较庞大，系统和设备很复杂，必须由互相严格协调工作的各部分构成一个有机整体。按照电厂各部分职能的不同，一般把它划分为如下几个主要组成部分：

- （1）燃料供应系统；
- （2）锅炉燃烧系统；
- （3）除尘、除灰系统；
- （4）热力系统（又称汽水系统）；
- （5）循环水系统；

- (6) 水处理系统;
- (7) 电气系统;
- (8) 热力控制系统。

显然, 在火电厂里, 绝大部分是热力机械方面的设备。因此, 火电厂动力部分的内容很多, 学习时应抓住主要内容。

对火电厂的生产过程加以分析便可知道, 电厂的热力系统在火电厂动力部分中占有极为重要的地位。因为它包括了动力部分的核心设备——锅炉设备和汽机设备, 包括了电厂能量转换和利用的主要过程, 所以, 热力系统是影响电厂工作可靠性和经济性的决定性部分。

火电厂的全面热力系统极为复杂。而其基本热力系统(又称原则性热力系统)已概括地表达了全部热力系统的基本内容, 简单明了地表示出电厂全部热力过程的本质, 因此, 它是我们学习的主要对象之一。

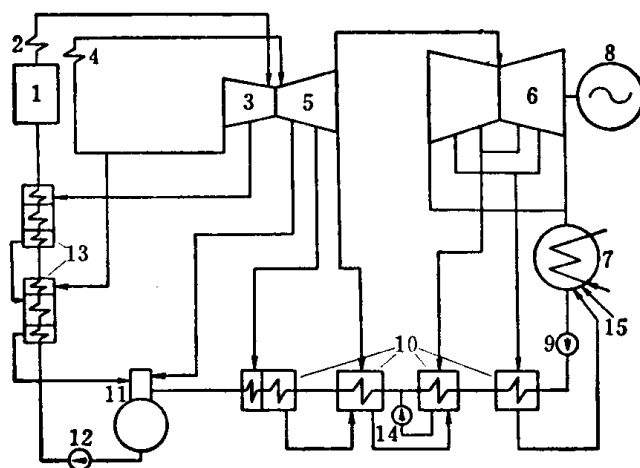


图 1-2 N125-135/550/550再热机组基本热力系统

- 1—锅炉; 2—过热器; 3—高压缸; 4—再热器; 5—中压缸; 6—低压缸; 7—凝汽器; 8—发电机;
9—凝结水泵; 10—低压加热器; 11—除氧器; 12—给水泵; 13—高压加热器; 14—疏水泵;
15—补充水

图1-2为国产N125-135/550/550再热机组的基本热力系统。机组的额定容量为12.5万千瓦, 汽轮机主汽门前新蒸汽压力为13.24兆帕(135大气压), 新蒸汽温度为550℃, 再过热后汽温为550℃。其汽水循环过程与图1-1相似, 无需重复。但要说明, 图1-1用的是直流锅炉, 而国产N125-135/550/550机组通常配用自然循环锅炉; 国产12.5万千瓦汽轮机共有七级回热抽汽, 分别供给两级高压加热器、除氧器及四级低压加热器加热需要的蒸汽。加热蒸汽放热后变成的凝结水(称为疏水), 主要是依靠蒸汽的压差逐级往压力较低的加热器下流, 但第三低压加热器的疏水不流入第四低压加热器, 而是用专门的疏水泵打进主凝结水管里, 以免大量疏水进入凝汽器, 增大热损失。

下面几章主要围绕火电厂的热力系统, 简要地讲述火电厂的热工理论基础及热力设备的基本知识。

第二章 工程热力学的基本知识

工程热力学是热力学的一个分支,即热力学原理在工程实际中的应用。它着重研究关于热能与机械能之间的相互转换问题,以便指导工程技术人员进行正确设计并指出有效地提高热能转换为机械能的经济性的方法。

2-1 工质及其状态参数

把热能转变为机械能的媒介物质叫做工作物质,简称工质。现代火力发电厂常用的工质是气态物质,如水蒸汽。用以描述工质情况的宏观物理量叫做热力学状态参数(简称参数)。常用的状态参数有温度、压力、比容,还有内能、焓以及熵等。

(一) 温度

温度表示物体的冷热程度。温度的数值通常用绝对温度和摄氏温度来表示。绝对温度也称作热力学温度。热力学温度是基本温度,用符号 T 表示,其单位是开尔文,代号为K或“开”。

摄氏温度用 t 表示,其单位是摄氏度,符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。

摄氏温度和热力学温度有下列关系:

$$t = T - T_0 \quad (T_0 = 273.16 \text{ 开})$$

作为状态参数的温度通常均指热力学温度。

(二) 压力

压力表示工质作用于容器壁单位面积上的垂直力(在物理学中也称压强)。

压力的单位随所采用的单位制而异。国际制单位中,压力单位为牛/米²,叫做帕斯卡,简称帕,用 P_a 表示,即1帕=1牛/米²。

根据国家标准计量单位规定,压力单位有:

(1) 工程大气压 1公斤力/厘米²= 9.80665×10^4 帕

(2) 液柱高度 当工质压力较小时,常用液柱的高度(如毫米汞柱的高度)作为压力单位,它相当于一定高度的液柱 Z 以自己的重量作用于其底面积 A 上所产生的压力 p ,即

$$p = Z\gamma$$

式中 γ ——液柱的重度(牛/米³)。

因水的重度为 9.80665×10^3 牛/米³(4 $^{\circ}\text{C}$ 时),汞的重度为 1.33321×10^5 牛/米³(0 $^{\circ}\text{C}$ 时),故

$$1 \text{ 工程大气压} = 10 \text{ 米水柱} = 10^4 \text{ 毫米水柱} = 735.6 \text{ 毫米汞柱} = 9.80665 \times 10^4 \text{ 帕}$$

(3) 物理大气压 在物理学里,把0 $^{\circ}\text{C}$ 时纬度45 $^{\circ}$ 海平面上大气的平均压力叫做物理大气压,它等于760毫米汞柱。

1 物理大气压=760毫米汞柱=1.0332工程大气压=101325帕

作为状态参数的压力通常指绝对压力。压力计只能测量出容器内工质压力超出外界大气压力的差值，即所谓表压力，所以表压力不是状态参数，它随大气压而变。工质的压力低于大气压的差值称为真空度。

若以 p_g 、 p_a 、 p_a 及 p_v 分别代表表压力、绝对压力、大气压力及真空度，则它们之间常用的关系可表达如下：

$$p_a = p_g + p_a$$

$$p_v = p_a - p_a$$

(三) 比容

比容为单位质量物体所占有的容积。如用 V 表示 m 千克质量工质的容积，则比容

$$v = \frac{V}{m} \text{ (米}^3\text{/千克)}$$

2-2 理想气体状态方程式

在热力工程中作为工质的水蒸汽和气体，都是自然界中存在的实际气体，均由大量的分子所组成。这些分子本身都具有一定的体积，分子与分子之间有内聚力。如果不考虑分子本身的体积和分子间的相互作用力，则这种气体称为理想气体。

理想气体的状态方程式可由理论或实验确定，有如下形式：

$$pv = RT \quad (2-1)$$

式中 R ——气体常数[牛·米/(千克·开)]或[焦/(千克·开)]；

p ——气体的绝对压力(牛/米²)；

v ——气体的比容(米³/千克)；

T ——气体的热力学温度(开)。

如果气体的公斤数量等于该气体的分子量 μ 时，则称该气体量为 1 摩尔。例如 1 摩尔氧就是 32 千克氧，1 摩尔的氮就是 28 千克氮。

对于 1 摩尔气体

$$p\mu v = \mu RT$$

式中 μv ——1 摩尔气体所占有的容积，称摩尔容积(米³/摩)；

μR ——摩尔气体常数[焦/(摩·开)]。

对于理想气体，实验指出，在标准状态下($p = 101325$ 帕， $T = 273$ 开)各种气体的摩尔容积均为 22.4 米³/摩。

由 $p\mu v = \mu RT$ ，得

$$\mu R = \frac{p\mu v}{T} = \frac{101325 \times 22.4}{273} = 8314 \text{ [焦/(摩·开)]}$$

这说明，任何气体的摩尔气体常数均相等，所以 μR 叫做通用气体常数，只要知道某种气体的分子量，就可以求得该气体的气体常数 R 。