

电机工程手册

第16篇 火力发电

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社

电机工程手册

第16篇 火力发电

(试用本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

本篇扼要介绍火力发电厂的生产过程和规划设计要点。重点通过蒸汽轮机发电各动力设备以及辅助系统之间的内在联系,揭示热力循环与热效率、起动与运行工况、自动调节控制等综合技术问题。对于内燃机、燃气轮机以及地热等在电力工业中的应用技术,也有简要的叙述。

本篇供动力设备的制造厂、研究所、设计院和大专院校等部门的工人、科技人员、干部和大专学生查阅使用,也可供发电厂有关人员参考。

电机工程手册

第16篇 火力发电

(试用本)

水利电力部西北电力设计院 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 12 3/4·字数 359 千字

1980年8月北京第一版·1980年8月北京第一次印刷

印数 00,001—11,400·定价 0.95 元

*

统一书号: 15033·4669

编辑说明

(一)我国自建国以来,机械工业在毛主席的革命路线指引下,贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针,取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验,同时采用国外先进技术,加强机械工业科学技术的基础建设,适应实现“四个现代化”的需要,我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二)这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用,也可供教学及其他有关人员参考。

(三)这两部手册是综合性技术工具书,着重介绍各专业的理论基础,常用计算公式,数据、资料,关键问题以及发展趋向。在编写中,力求做到立足全局,勾划概貌,反映共性,突出重点。在内容和表达方式上,力求做到深入浅出,简明扼要,直观易懂,归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时,《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成,构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分,共七十九篇;《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分,共五十篇。

(四)参加这两部手册编写工作的,有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员,更为广泛。许多地区的科

技交流部门,为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中,广泛征求意见,发挥了广大群众的智慧和力量。

(五)为了使手册早日与读者见面,广泛征求意见,先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验,试用本在内容和形式方面,一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证,提出批评和建议,以便今后出版合订本时加以修订。

(六)本篇是《电机工程手册》第16篇,由水利电力部西北电力设计院主编,参加编写的有天津大学、广东水利电力局碓石电厂、湛江电厂等单位。西安交通大学、水利电力部热工研究所、上海汽轮机厂、上海锅炉厂、内燃机研究所、大电机研究所、河北电力学院等许多单位对编审工作给予大力支持和帮助,在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会 编辑组

目 录

编辑说明

常用符号表

第1章 概 述

- 1 能源利用16-1
 - 1.1 能源开发16-1
 - 1.2 电源构成16-1
 - 1.3 电源特性16-1
- 2 火电厂类型16-3
 - 2.1 主要类型16-3
 - 2.2 火电厂效率16-3
 - 2.3 基本计算16-3
- 3 火电厂的建设16-4
 - 3.1 规划设计16-4
 - 3.2 厂址选择16-5
 - 3.3 厂房配置16-5
 - 3.4 基本组成16-7
- 4 发展动向16-7
 - 4.1 技术革新16-7
 - 4.2 双工质联合装置16-10
 - 4.3 新型发电方式16-10

第2章 燃料及其贮运

- 1 燃料特性16-13
 - 1.1 固体燃料16-13
 - 1.2 液体燃料16-14
 - 1.3 气体燃料16-15
- 2 选用条件16-15
 - 2.1 燃料选用原则16-15
 - 2.2 贮运设施选用16-16
- 3 气体燃料的输送16-17
 - 3.1 管道输送16-17
 - 3.2 液化输送16-17
- 4 液体燃料的输送与贮存16-18
 - 4.1 铁路油槽车卸油方式16-18

- 4.2 油船卸油方式16-19
- 4.3 管道输油系统16-19
- 4.4 厂内贮、供油系统16-20
- 4.5 贮、供油设备16-20

- 5 固体燃料的输送与贮存16-21
 - 5.1 煤炭的运输方式16-24
 - 5.2 卸煤机械及受卸装置16-28
 - 5.3 煤炭的贮存16-28
 - 5.4 输煤集中自动控制16-34

第3章 锅炉设备

- 1 锅炉选型16-35
 - 1.1 容量及台数16-35
 - 1.2 锅炉参数16-35
 - 1.3 锅炉型式16-35
 - 1.4 其他要求16-38
- 2 燃烧装置16-39
 - 2.1 燃料消耗量计算16-39
 - 2.2 磨煤机型式16-39
 - 2.3 制粉系统16-41
- 3 通风设备16-45
 - 3.1 通风方式16-45
 - 3.2 通风计算16-45
 - 3.3 风机选型16-47
- 4 除尘装置16-48
 - 4.1 除尘装置的种类16-48
 - 4.2 除尘装置的性能16-48
 - 4.3 除尘装置选型16-51
- 5 排灰渣系统16-51
 - 5.1 灰渣量计算16-51
 - 5.2 除灰系统16-52

第4章 汽轮机组

- 1 汽轮机选型16-54
 - 1.1 汽轮机的种类16-54

1.2	参数选择	16-54
1.3	单机容量	16-55
2	热循环	16-56
2.1	简单循环	16-56
2.2	回热循环	16-57
2.3	再热循环	16-57
2.4	再热回热循环	16-58
2.5	热电循环	16-58
3	回热系统	16-59
3.1	给水温度	16-59
3.2	回热级数	16-60
3.3	回热装置	16-60
3.4	除氧装置	16-62
3.5	给水泵	16-63
4	凝汽冷却装置	16-64
4.1	凝汽设备	16-65
4.2	冷却水系统	16-66
4.3	冷却装置	16-67
5	管道系统	16-68
5.1	流速选择	16-68
5.2	管壁厚度计算	16-68
5.3	管道应力验算	16-70
5.4	主要管路系统	16-71

第5章 电气结线和电气设备

1	电厂主结线及其设备	16-74
1.1	电厂主结线	16-74
1.2	汽轮发电机	16-76
1.3	主变压器	16-80
1.4	开关设备	16-82
1.5	发电机引出线	16-83
2	厂用结线和设备	16-86
2.1	厂用结线	16-87
2.2	厂用变压器及厂用电抗器	16-87
2.3	厂用开关柜、屏	16-89
2.4	厂用电动机	16-89
2.5	保安电源	16-90
2.6	蓄电池直流系统	16-91
3	电气设备布置	16-92
3.1	发电机出线间	16-92

3.2	发电机电压配电装置(主配电装置)	16-93
3.3	升压配电装置	16-93
3.4	厂用配电装置	16-95
3.5	污秽地区配电装置的防护措施	16-95
4	其他电气设施	16-95
4.1	电缆	16-95
4.2	通讯	16-97
4.3	照明	16-97

第6章 电厂自动控制

1	自动控制系统	16-98
1.1	控制方式	16-98
1.2	自动化装置与系统	16-99
1.3	自动化设计对主辅机的要求	16-99
2	自动检测	16-99
2.1	检测项目	16-99
2.2	巡回检测	16-99
2.3	新型检测仪表	16-101
2.4	闭路电视	16-101
3	自动调节	16-101
3.1	自动调节系统的主要控制方式	16-101
3.2	调节控制对象	16-103
3.3	全程调节	16-106
3.4	调节器的选型	16-107
4	程序控制	16-108
4.1	程序控制的作用	16-108
4.2	程序控制系统的组成	16-108
4.3	程控系统操作监视方式	16-109
4.4	对程控系统的几点要求	16-110
4.5	程控装置的选型	16-110
4.6	控制执行器及基础元件	16-111
5	自动保护	16-111
5.1	保护方式	16-111
5.2	单元机组综合保护联锁	16-111
5.3	各主、辅机的保护联锁	16-112
6	控制计算机的应用	16-113
6.1	控制计算机的监控功能	16-113
6.2	计算机为中心的综合自动化	16-116
6.3	计算机直接控制的自动化系统	16-116
6.4	对计算机系统的几点要求	16-116

第7章 电厂水处理

1 火力发电厂对水的要求	16-117
1.1 水中杂质的危害性	16-117
1.2 火力发电厂汽水质量控制标准	16-118
1.3 火力发电厂的水处理	16-119
2 水的沉清处理	16-119
2.1 沉清处理法	16-119
2.2 混凝澄清	16-119
2.3 药品剂量设备	16-121
3 水的过滤处理	16-123
3.1 过滤器	16-123
3.2 滤料	16-123
4 水的药剂软化、脱碱	16-123
4.1 石灰软化脱碱	16-123
4.2 石灰、苏打软化	16-123
5 离子交换处理	16-124
5.1 离子交换剂	16-124
5.2 离子交换反应	16-126
5.3 离子交换系统和设备	16-128
6 其他除盐法	16-128
6.1 蒸馏	16-128
6.2 扩容蒸发	16-128
6.3 反渗透	16-128
6.4 电渗析	16-129
7 凝结水处理	16-130
7.1 凝结水水质控制指标	16-130
7.2 凝结水处理方法	16-130
7.3 凝结水的过滤设备	16-131
7.4 凝结水的除离子设备	16-131
8 冷却水处理	16-132
8.1 冷却水处理方法	16-132
8.2 大型电厂冷却循环排水的处置	16-133

第8章 起动运行

1 起动停运	16-133
1.1 起动准备	16-133
1.2 自然循环锅炉的起动	16-134
1.3 直流锅炉的起动	16-135
1.4 汽轮机的起动	16-135

1.5 发电机并列和带负荷	16-136
1.6 停运	16-136
1.7 滑参数起停	16-137
1.8 旁路系统	16-138
2 运行特性	16-138
2.1 过负荷运行	16-139
2.2 最低负荷运行	16-139
2.3 负荷变化	16-140
2.4 进相运行	16-140
2.5 低频率运行	16-140
3 经济运行	16-141
3.1 燃料管理	16-141
3.2 燃烧管理	16-141
3.3 高热效率运行	16-142
4 故障及对策	16-143
4.1 锅炉放炮	16-143
4.2 制粉系统爆炸	16-143
4.3 炉管泄漏及爆管	16-143
4.4 汽轮机的故障	16-145
4.5 凝汽器管的故障	16-145
4.6 台风故障	16-146
4.7 地震故障	16-147

第9章 柴油机发电

1 柴油电站的特性	16-147
1.1 电站特点	16-147
1.2 电站分类	16-147
1.3 电站建设	16-147
2 机组选型	16-148
2.1 电站总容量	16-148
2.2 机组型式	16-148
2.3 机组台数	16-148
2.4 单机容量	16-152
3 辅助系统	16-152
3.1 燃油系统	16-152
3.2 润滑系统	16-153
3.3 冷却系统	16-153
3.4 起动系统	16-155
3.5 排气系统	16-156
4 柴油机的运行和维护	16-156
4.1 柴油机的运行	16-156

- 4.2 柴油机的维护·····16-157
4.3 机组的自启动·····16-158

第10章 燃气轮机发电

- 1 燃气轮机特性·····16-158
1.1 基本类型·····16-158
1.2 主要特性·····16-159
1.3 发展动向·····16-159
2 燃气轮机发电的热力循环·····16-160
2.1 基本工作原理·····16-160
2.2 热循环·····16-161
2.3 提高热效率的途径·····16-163
3 燃气轮机在电力工业中的应用·····16-164
3.1 基本用途·····16-164
3.2 燃气轮机发电的技术特点·····16-164
3.3 运行中存在的问题·····16-165
4 特种型式的燃气轮机组合·····16-166
4.1 自由活塞-燃气轮机联合装置·····16-166
4.2 蒸汽-燃气联合装置·····16-167

第11章 地热发电

- 1 地热能的开发和利用·····16-168
1.1 各类地热资源的技术概况·····16-168
1.2 地热发电发展状况·····16-168
1.3 地热电站规划要点·····16-170
2 地热发电的基本原理和计算·····16-171
2.1 热水型地热发电·····16-171
2.2 蒸汽型地热发电·····16-173
2.3 发电能力计算·····16-173
3 地热电站主要设备·····16-175

- 3.1 蒸汽发生设备·····16-175
3.2 汽轮发电机组·····16-176
3.3 凝汽设备·····16-177
4 地热电站的运行·····16-177
4.1 启动和停机·····16-177
4.2 运行中应注意的问题·····16-178

第12章 小型火力发电厂

- 1 小型火力发电厂的特点·····16-179
2 小型火力发电厂的建厂条件·····16-179
2.1 负荷量的估算·····16-179
2.2 厂址选择·····16-180
3 小型火力发电厂主机的选择·····16-180
3.1 主机类型和性能特点·····16-180
3.2 选型的依据·····16-180
3.3 汽轮发电机组的选择·····16-182
4 小型火力发电厂的辅助系统·····16-182
4.1 燃料的输送与储存·····16-182
4.2 灰渣的排除·····16-184
4.3 供水系统·····16-184
4.4 热工测量与控制·····16-185
4.5 电气结线·····16-187
5 小型火力发电厂的安装布置方式·····16-188
5.1 固定式电站·····16-188
5.2 移动式电站·····16-191
6 小型火力发电厂的启动与运行·····16-193
6.1 启动·····16-193
6.2 并列·····16-194
6.3 运行·····16-194
参考文献·····16-194

常用符号表

A ——导体截面积 mm^2	Q_0 ——总吸热量 kcal/h
通流面积 m^2	Q_B ——相当于每公斤燃料送入锅炉的热量 kcal/kg
功热当量 $\text{kcal/kgf}\cdot\text{m}$	Q_{DW} ——燃料低位发热量 kcal/kg
A_v ——燃料应用基灰分 %	Q_{GW} ——燃料高位发热量 kcal/kg
B ——燃料消耗量 kg/h, t/h	q ——汽轮机的热耗率 kcal/kg
b ——燃料消耗率 $\text{kg/kW}\cdot\text{h}$	q_c ——柴油机燃油消耗率 $\text{g/HP}\cdot\text{h}$
大气压力 mmHg	R ——功率比
D ——地热流体可产生的蒸汽量 kg/h	R_{90} ——煤粉细度 %
D_0 ——汽轮机汽耗量 kg/h	s ——比焓 $\text{kcal/kg}\cdot\text{deg}$
D_B ——锅炉额定蒸发量 kg/h	静过载能力
D_K ——进入凝汽器的蒸汽量 kg/h	t_{fw} ——给水温度 $^{\circ}\text{C}$
D_r ——再热蒸汽量 kg/h	t_{Ks} ——压力为 P_K 时的饱和温度
d ——汽轮机汽耗率 $\text{kg/kW}\cdot\text{h}$	t_w ——凝汽器冷却水温度
1t/h 热水扩容后产生的蒸汽量 kg/h	V_r ——燃料可燃基挥发分 %
f_{K_0} ——短路比	V^0 ——理论燃烧空气量 Nm^3/kg
G ——冷却水量 kg/h	W_t ——理想循环净功 $\text{kgf}\cdot\text{m/kg}$
H ——自生通风力 $\text{kgf/m}^2, \text{mmH}_2\text{O}$	W^f ——燃料分析基水分 %
H_0, h_0 ——汽轮机的有效焓降 kcal/kg	x_D ——分裂绕组变压器的穿越电抗
i_0 ——主蒸汽焓 kcal/kg	x_d ——同步电抗
i_{fw} ——锅炉给水焓 kcal/kg	x'_d ——瞬变电抗
i_{os} ——锅炉炉水焓 kcal/kg	x''_d ——超瞬变电抗
i_K ——汽轮机排汽焓 kcal/kg	α_i ——炉膛过剩空气系数
i_{Kt} ——等熵膨胀排汽焓 kcal/kg	β ——储备系数
i_R ——再热蒸汽焓 kcal/kg	δ ——压力损失率
i'_K ——背压 p_K 时的饱和水焓 kcal/kg	导体厚度 mm
K ——工质的绝热指数	η ——运行效率
K_{Km} ——燃料可磨系数	η_0 ——循环效率
K_p ——分裂绕组变压器分裂系数	η_B ——锅炉效率
M ——热胀当量力矩 $\text{kgf}\cdot\text{m}$	η_c ——压气机内效率
M_w ——持续外载当量力矩 $\text{kgf}\cdot\text{m}$	η_d ——电动机效率
m ——冷却倍率	η_g ——发电机效率
N ——轴功率 kW	η_h ——厂用电率 %
N_e ——额定功率 kW	η_i ——汽轮机相对内效率
N_0 ——空载功率 kW	η_m ——机械效率; 传动效率
N_g ——发电机出力 kW	η_p ——发电端效率
N_t ——汽轮机出力 kW	η_r ——郎肯循环热效率
N_h ——厂用电量 kW	汽轮机效率
N_s ——相对功率系数	燃气轮机内效率
n ——速度调整率	η_s ——热效率
回热级数	η_{ps} ——送电端效率
P ——计算负荷 kW	η_{tg} ——汽轮发电机总效率
P_{js} ——计算压力 kgf/cm^2	μ ——回热度
P_{zhu} ——持续外载轴向力 kgf	σ ——应力 kgf/mm^2
Q ——循环水、处理水水量 t/h	ϕ ——压缩比

第1章 概述

1 能源利用

1.1 能源开发

地球上的能源主要来源于太阳,光合作用使太阳能转化为植物生命运动的化学能。长期的地壳运动将地面的动植物埋入地下,经过地温和地压的作用,动植物的遗体发生碳化作用,形成了煤炭和石油。蕴藏在地下的煤炭或石油开采出来燃烧时,其化学能被释放出来转化为热能;这些热能可以用来推动各种机械并被转化为机械能,也可以用来发电而变为电能。电能又可以转化为热能、光能、化学能或机械能等为人类服务。

火力发电的工作原理就是利用燃料所蕴藏的化学能,通过高温燃烧释放出来的热能,将水加热成高温高压的蒸汽,然后利用蒸汽的热能推动蒸汽轮机使一部分热能转化为电能。

火力发电所利用的能源主要是煤炭、石油和天然气三种燃料。目前世界上火力发电所用的燃料以煤炭为主,约占50%以上。

根据目前已有的资料表明,地球上的(能量)资源以煤炭的蕴藏量为最多,约为76000亿吨;而石油的蕴藏量约为740亿吨,接近100:1。

当前世界上煤炭资源每年的总开发量为22亿吨,而石油资源每年的总开发量为23亿吨,接近1:1。

1.2 电源构成

目前世界各国所采用的各种发电方式中,最主要的是火力发电和水力发电两种。根据统计资料,近年来火力发电的比例仍在增长,当前世界上的火力发电量占总发电量的比例达75%以上。

一个国家采用何种发电方式为主是根据本国自然资源和能源政策等因素决定的。我国目前火力发电所占的比例约为70%。

当前我国火力发电厂的能源构成情况大约是70%烧煤,20%烧油,10%为其他能源。由于我

国各种资源都比较丰富,因此各种发电方式都具有极其广阔的发展前景。

最近几年,由于燃料资源的条件限制,采用核能发电的比例正在逐步增长。

由于国民经济的迅速发展,近几年来,世界各国电力工业的增长速度也比较快。六十年代,主要工业国家发电设备的装机容量及发电量的平均年增长率均在7%以上。七十年代前五年,除个别国家仍保持此水平外,其他国家均已降至4~5%,但各国的电力发展速度均高于国民经济的发展速度。

发电量的平均年增长率与国民经济生产总值的平均年增长率的比值(或称电力弹性系数)在六十年代均在1.3以上。预计在本世纪内,电力弹性系数将始终保持大于1的水平。

火力发电的实际运行水平也在不断地提高,随着蒸汽的参数提高而出现的超临界参数大容量机组,最高的热效率(发电端)已达40%,一般机组的热效率也都在35%左右。根据1975年的统计资料,公用事业的供电煤耗率先进指标大约为340克/度。火力发电厂内的厂用电率最低为4.5%,一般在6~7%,视烧油比例的大小而不同。输电线路的线损率一般均在6~8%水平。火力发电厂的劳动生产率,较先进的国家平均为1.37人/千千瓦,317.5万度电/人。

1.3 电源特性

电能的生产及其应用具有它一定的特殊性,因此不论是发电设备的制造,还是它的运行维护,都必须注意下列基本特点:

a. 发电和用电的同时性 电能的生产必须时刻保持着用电量和发电量之间的平衡,亦即发电、送电和用电的过程是同时进行的。

b. 频率的一致性和电压的局部性 电功率是由有功功率和无功功率两部分组成的。

当发电和用电之间在有功功率方面有差别时,一般是由电网中的频率变化来维持平衡。当发电的有功功率大于用电的有功功率时,电网中的频率上

表 16-1-1 火电厂的分类

分 类	型 式	简 要 说 明
按企业性质	区域电厂 自备电厂 热电厂	地区性的主要发电厂 企业单位的自备车间 同时供电和供热的电厂
按使用性质	基本负荷电厂 尖峰负荷电厂 紧急备用电厂	担任电网中基本电力负荷的电厂 担任电网中尖峰电力负荷的电厂 经常处于停用状态,当运行电厂发生事故停用时立即投入
按供电方式	孤立电厂 联网电厂	不与大电网相联而独立供电的电厂 接入大电网联合供电的电厂
按使用燃料	燃煤电厂 燃油电厂 燃气电厂 地热电厂 太阳能电厂 废料电厂	根据地区燃煤特性,大致分为无烟煤、烟煤、褐煤和劣质煤四类。按照我国的燃煤政策,应优先采用当地劣质煤 除国家批准的燃油电厂以外,应严格控制电厂内使用燃油。在油源地区可掺烧一部分渣油 在产气地区可充分收集天然气使用。当企业有副产品煤气时应尽量使用 在有地热地区可充分利用地热发电 在缺乏燃料的地区可利用太阳能发电 充分利用工业企业的废料发电,例如甘蔗渣、锯屑、树皮、城市垃圾等。有工业废热时可采用废热锅炉
按蒸汽压力	低压电厂 中压电厂 高压电厂 超高压电厂 亚临界电厂 超临界电厂	蒸汽初压为 1.2~15 ata 蒸汽初压为 20~40 ata 蒸汽初压为 60~100 ata 蒸汽初压为 120~140 ata 蒸汽初压为 160~180 ata 蒸汽初压大于 226 ata
按热力循环	郎肯循环 回热循环 再热循环 热电循环	蒸汽动力装置的基本热力循环 从汽轮机的某些中间级后抽出作过功的部分蒸汽,用以加热给水,其热效率比郎肯循环有显著地提高。现代大型机组都无例外地采用给水回热循环 将作过一段功的蒸汽从汽轮机的某一中间级全部引出,送到锅炉的再热器中再加热后,又引入汽轮机的以后级组中继续膨胀做功。通常是在 10 万千瓦以上的超高压机组才采用再热循环 汽轮机除了供应电能以外,还利用其抽汽或排汽满足生产和生活上的供热需要,提高燃料的热量利用率
按原动机	汽轮机发电厂 内燃机发电厂 燃气轮机发电厂	凝汽式——汽轮机的排汽在低于大气压力的真空状态下进入凝汽器凝结成水 背压式——汽轮机的背压大于大气压力,其排汽供热用户使用。当排汽供低压汽轮机工作时,称为前置式汽轮机 抽汽式——利用调整抽汽供热的汽轮机,一般有单级和双级两种。生产抽汽压力一般为 8~16 ata,取暖抽汽压力一般为 0.7~2.5 ata 柴油机——一般作工矿企业自备电源和缺煤、缺水地区和小城镇中、小型孤立电站 汽油机——容量较小,便于移动 煤气机——利用煤气发生器的煤气推动煤气机发电,一般容量小于 50 kW 燃气轮机——一般作为事故紧急备用电源,或临时供电的移动式电源。特别适用于缺水地区 自由活塞机——一般是配合燃气透平发电
按厂房型式	封闭方式 安装方式	室内——主厂房全部为室内式 露天(半露天)——锅炉房露天或半露天居多 地下——战备需要 快装式——设备成组运往现场,很快组装发电

升,反之频率下降,整个电网中的频率是一致的。由一个电网中的用电负荷是时刻在变化着,因此必须经常调整一些发电机组的发电量(即出力),使电网的频率保持在规定的范围以内。这种过程一般称之为调频。

当发电和用电之间在无功功率方面失去平衡时,电网中的电压就要发生变化。当用电的无功功率比发电的无功功率多时,电网中的电压下降,反之电压上升。在这种情况下,整个电网中的频率是不变的,而随无功功率的差异程度,在电网中产生局部性的电压变化。为了提高电压质量,一般是在电网中无功功率差异较大的局部地区安装电力电容器或调相机组予以补偿。这种方式一般称之为调相(或调压)。

c. 供电的连续性和设备故障 电源处于全年长期运行之中,为了保证安全连续供电,对各种发电设备都要定期检修维护,如果检修维护不当,也可能引起设备在运行中发生故障停机。为了使发电设备在检修或故障停机时不影响安全连续供电的要求。一般要求有备用电源或备用容量。

2 火电厂类型

2.1 主要类型

火电厂的分类见表 16.1-1。

2.2 火电厂效率

火力发电所需的能量是通过煤炭、石油或天然气等燃料燃烧后得来的,但是燃料中所蕴藏的全部能量(即燃料的发热量)并不是百分之百的都能转换为电能。到目前为止,世界上最好的火电厂也只能把其中百分之四十左右的热能转换为电能。这种把

热能转换为电能的百分比,我们通常称之为火电厂效率。

如果以发电厂锅炉燃用煤的发热量为 100%,则各种蒸汽参数电厂的能量损失和发电厂效率大致如表 16.1-2 所示例。

提高火电厂效率的办法除了提高锅炉、汽轮机等设备的制造和运行水平以外,主要是提高蒸汽参数和采用再热循环,另一途径是充分利用汽轮机的抽汽或排汽的潜热供工业生产或生活取暖之用,从而减少或完全避免汽轮机排汽带走的热量损失。

2.3 基本计算

为了加强对火电厂的运行管理,有关火力发电的各种效率计算公式如下:

a. 锅炉效率 η_B

$$\eta_B = \frac{\text{送给汽轮机的热量}}{\text{供给锅炉的热量}} \times 100 \\ = \frac{G(i_0 - i_{TW})}{BQ} \times 100 \% \quad (16.1-1)$$

式中 G ——锅炉蒸发量 kg/h

i_0 ——主蒸汽焓 kcal/kg

i_{TW} ——锅炉给水焓 kcal/kg

B ——燃料消耗量 kg/h

Q ——燃料的低位发热量 kcal/kg

b. 汽轮机相对内效率 η_i

$$\eta_i = \frac{\text{有效焓降}}{\text{等熵焓降}} \times 100 \\ = \frac{i_0 - i_k}{i_0 - i_{k1}} \times 100 \% \quad (16.1-2)$$

式中 i_0 ——主蒸汽焓 kcal/kg

i_k ——汽轮机排汽焓 kcal/kg

i_{k1} ——等熵膨胀排汽焓 kcal/kg

表 16.1-2 各类火电厂的发电效率示例表

项 目	中压电厂	高压电厂	超高压电厂	超临界电厂	说 明
锅炉热损失(%)	11	10	9	8	主要决定于蒸汽参数
汽轮机的机械损失(%)	1	0.5	0.5	0.5	
发电机损失(%)	1	0.5	0.5	0.5	
管道系统损失(%)	1	1	0.5	0.5	
汽轮机排汽热损失(%)	61.5	57.5	52.5	50.5	
总损失(%)	75.5	69.5	63	60	
发电效率(%)	24.5	30.5	37	40	

e. 汽轮机效率 η_i

$$\eta_i = \frac{\text{汽轮机出力}}{\text{送给汽轮机的热量}} \times 100$$

$$= \frac{860N_i}{G(i_o - i_{jw})} \times 100 \% \quad (16.1-3)$$

式中 N_i ——汽轮机出力 kW
 G ——锅炉蒸发量 kg/h
 i_o ——主蒸汽焓 kcal/kg
 i_{jw} ——锅炉给水焓 kcal/kg

d. 汽轮机的汽耗率 d

$$d = \frac{\text{汽轮机汽耗量}}{\text{发电机出力}}$$

$$= \frac{G_o}{N_g}$$

$$= \frac{860}{(i_o - i_k) \eta_{lg}} \text{ kg/kWh} \quad (16.1-4)$$

式中 G_o ——汽轮机汽耗量 kg/h
 N_g ——发电机出力 kW
 i_o ——主蒸汽焓 kcal/kg
 i_k ——汽轮机排汽焓 kcal/kg
 η_{lg} ——汽轮发电机总效率 %

e. 汽轮机的热耗率 q

$$q = \frac{\text{燃料发热量} \times \text{燃料消耗量}}{\text{发电机出力}}$$

$$= \frac{G_o i_o + G_R (i_{R_1} - i_{R_2}) - G_o i_{jw}}{N_g} \text{ kcal/kg} \quad (16.1-5)$$

式中 G_o ——汽轮机汽耗量 kg/h
 i_o ——主蒸汽焓 kcal/kg
 G_R ——再热蒸汽量 kg/h
 i_{R_1} ——高温再热蒸汽焓 kcal/kg
 i_{R_2} ——低温再热蒸汽焓 kcal/kg
 i_{jw} ——锅炉给水焓 kcal/kg
 N_g ——发电机出力 kW

f. 燃料消耗率 b

$$b = \frac{\text{燃料消耗量}}{\text{发电机出力}}$$

$$= \frac{B}{N_g}$$

$$= \frac{860}{q \eta_p} \text{ kg/kWh} \quad (16.1-6)$$

式中 B ——燃料消耗量 kg/h
 N_g ——发电机出力 kW
 q ——汽轮机的热耗率 kcal/kWh
 η_p ——发电端效率 %

g. 发电端效率 η_p

$$\eta_p = \frac{\text{发电机出力} \times 860}{\text{供给锅炉的热量}} \times 100$$

$$= \frac{N_g \times 860}{BQ} \times 100$$

$$= \eta_B \cdot \eta_{lg} \% \quad (16.1-7)$$

式中 N_g ——发电机出力 kW
 B ——燃料消耗量 kg/h
 Q ——燃料的低位发热量 kcal/kg
 η_B ——锅炉效率 %
 η_{lg} ——汽轮发电机总效率 %

h. 送电端效率 η_{ps}

$$\eta_{ps} = \frac{(\text{发电机出力} - \text{厂用电量}) \times 860}{\text{供给锅炉的热量}} \times 100$$

$$= \frac{(N_g - N_h) \times 860}{BQ} \times 100$$

$$= \eta_p (1 - \text{厂用电率}) \times 100 \% \quad (16.1-8)$$

式中 N_g ——发电机出力 kW
 N_h ——厂用电量 kW
 B ——燃料消耗量 kg/h
 Q ——燃料的低位发热量 kcal/kg
 η_p ——发电端效率 %

i. 厂用电率 η_h

$$\eta_h = \frac{\text{厂用电量}}{\text{发电机出力}}$$

$$= \frac{N_h}{N_g} \times 100 \% \quad (16.1-9)$$

式中 N_h ——厂用电量 kW
 N_g ——发电机出力 kW

3 火电厂的建设

3.1 规划设计

火力发电厂的规划设计应立足于发电设备的成套技术, 经济合理地选定机组的燃烧系统、热力系统、发供电系统以及各项汽水参数; 搞好机炉电之间的配合问题; 根据机组的运行方式选定各种控制调节系统; 并做好各种辅机的选型工作。尽量做到使火电厂的运行效率高, 发电成本低, 投资费用少, 运行安全可靠, 系统操作简便, 厂房布置合理, 安装维护方便。

火电厂的规划设计工作一般分为规划选厂、工程选厂、初步设计和施工图设计四个阶段进行。每一个阶段都要按照规定的要求提出正式报告和推荐

意见,提请上级审查批准后,才能开展下一个阶段的勘测设计工作。

通常的规划设计原则如下:

(1) 根据供电区域内电力负荷发展的需要以及电网中现有发电能力进行电力平衡,计算出每一规划年限内需要增加发电设备的总容量。

(2) 按照合理开发和利用动力资源的方针政策,以及地区动力资源,电厂建设条件,负荷分布的经济运行等情况,考虑几种电源布点的可能,然后通过全面的技术经济比较以后选定一个合理的方案。

一般考虑的原则是:优先开发水力发电还是火力发电;在用电地区建设孤立电厂还是由邻近的电网输电供给;将电源布点在电力负荷中心,采用长距离的运煤方式,还是将电源布点在煤矿附近,采用长距离的输电方式等等。

在进行各种比较中,不仅要考虑电厂本身的各种建厂条件,还要考虑各种外部因素,例如电网、铁路和煤矿的建设条件,城镇规划以及综合利用等方面的影响。

(3) 选择装机容量时,应考虑电力负荷增长速度、电力系统的备用容量和电网结构等因素。最大机组的单机容量一般为电网总容量的8~10%,对个别电力负荷增长速度比较快的电网,可根据具体情况选用较大容量的机组,其单机容量可考虑为电网总容量的15%。

在尖峰负荷较大的电网中,如果选用过大的单机容量,往往造成电网中的备用容量过大,使机组经常处于低负荷运行状态,其热效率降低较多,因此也不一定经济。为此,在选择单机容量时,还必须根据设备运行情况进行综合比较。

为了便于生产管理,同一厂房内的机组数量以不超过6台为宜;同容量机、炉应尽量采用同一型式,其配套设备的型式也应尽量一致。

(4) 选定建设方案后,要按照规划年度进行电力平衡,以确定火电厂的建设规模和装机进度。及时安排工程设计项目进行设计。

(5) 在电网中,往往要求采用多种不同性能的发电机组,以适应电力负荷的各种不同变化;有的是为了提高发电效率,有的是为了满足某些特殊用途,例如有担任基本负荷的机组,有担任尖峰负荷的机组,有担任调频的机组,有担任调相的机组,有紧急备用机组等。

3.2 厂址选择

火电厂的厂址选择应根据燃料供应、水源、对外交通、铁路专用线、电力和热力负荷、除灰、出线、地质、地震、地形、水文、气象和综合利用等条件,通过全面分析和技术经济比较以后确定。应注意的有以下各点:

(1) 大型燃煤的凝汽式发电厂应尽量靠近煤矿。

(2) 要积极贯彻节约用地的原则。

(3) 厂址不应建在滑坡或岩溶发育地带和九度以上的地震区。

(4) 厂址地面标高要高出百年一遇的高水位,否则应有可靠的防洪设施。

(5) 厂区的地形坡度一般为0.3~3%,当坡度较大时,宜采用阶梯式布置,以减少土石方工程量。

(6) 厂址应尽量避免采用人工地基。厂区持力层的地基计算强度一般要在 18t/m^2 以上,大型机组宜在 25t/m^2 以上。

(7) 供水水源必须可靠,既要做到合理分配用水,又要考虑水利资源的综合利用,还要注意水利规划对水源的变化影响。采用直流供水的电厂应尽量靠近水源地。

(8) 电厂的铁路专用线要便于与国家铁路干线相连接,并力求距离不宜过长,尽可能避免建造大型桥梁或隧道等工程。

(9) 厂址距热负荷中心一般为1~3公里,尽量不超过6公里。

(10) 厂址应位于附近居民区的夏季风向向下风侧,还要考虑不与邻近其他企业排出的“三废”有相互影响。

(11) 选厂时还必须选有能堆放10~20年排灰渣量的贮灰场。

(12) 一座大容量的火电厂,它所排出的大量废渣、废气、废水,是一个比较集中的污染源。其中最主要的污染物是从烟囱排出的飞灰和二氧化硫。此外,还有些设备或气流发出的噪音对周围环境的干扰。因此,对环境保护的工作必须予以重视。

图16-1-1是一个大型火力发电厂的鸟瞰图。

3.3 厂房配置

火力发电厂主厂房的配置方式可以随机炉设备

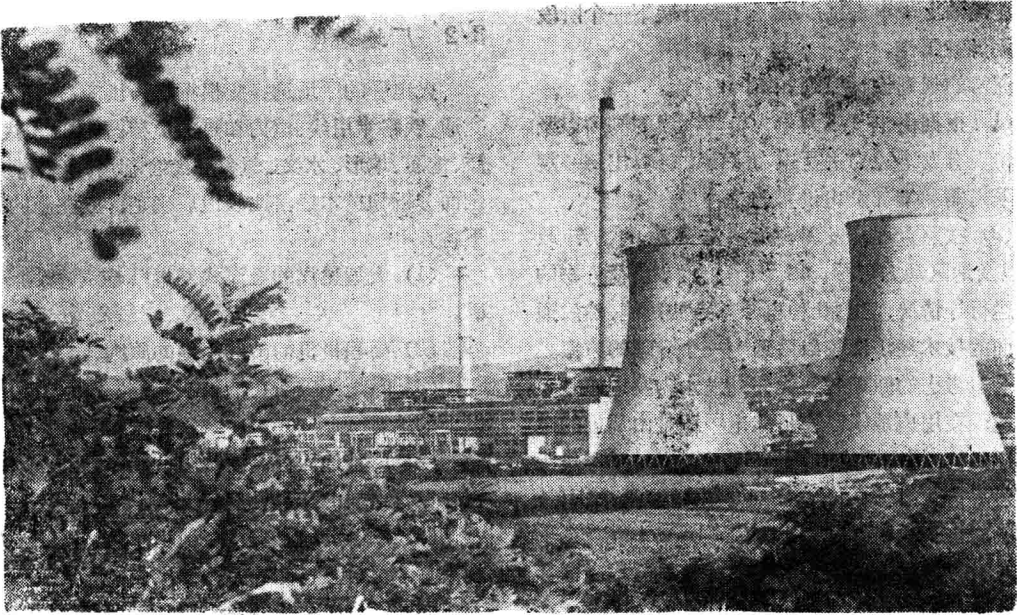


图 16.1-1 火力发电厂鸟瞰图

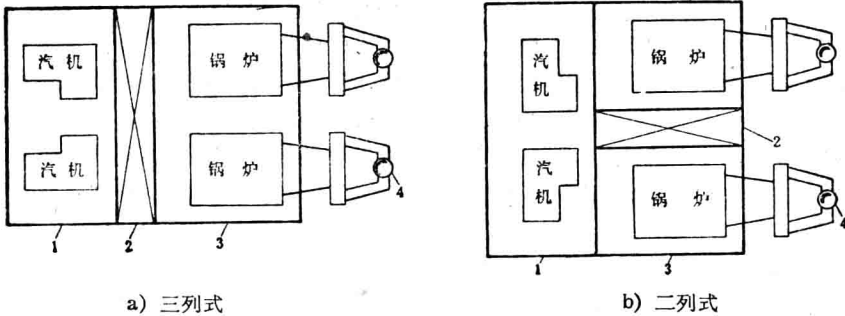


图 16.1-2 主厂房配置方式示意图

1—汽机房 2—除氧煤仓间 3—锅炉房 4—烟囱

的型式而不同，它对整个火电厂的总体布置起决定性的作用。

主厂房的配置方式应力求紧凑合理、运行操作安全，并便于安装和维修。

通常要研究决定下列问题：

a. 配置方式 随着机组容量的逐步增大，主厂房的配置方式也逐步演变成两种基本型式。一种是在锅炉房与汽机房之间配置一个除氧煤仓间，集中安放各种辅助设施，通常称之为三列式。另一种是将锅炉房紧靠汽机房，而将除氧煤仓间配置在两台锅炉之间，一般称之为二列式。两种配置方式的示意图见图 16.1-2。

b. 结构型式 随当地气象条件和设备制造水

平的不同，主厂房的结构型式可以建设呈屋内式、半露天式和全露天式三种结构型式。从建设费用和建设进度方面来看，半露天式和全露天式的厂房有很大优点，但对设备的运行维护和检修工作却带来某些不便。当前我国的大型火电厂，一般都是采用锅炉房半露天的结构型式，而较少地采用全露天式的主厂房结构型式。结构示意图见图 16.1-3。

c. 汽机布置 汽机房内有汽机横放和纵放两种布置型式。由于机组的单机容量愈来愈大，机组的长度也愈来愈长，汽机横放的特殊优点已不显著，因此大容量机组已较多地采用纵向布置型式。这种布置方式对于再热机组的主蒸汽管道和再热蒸汽管道的配管走线特别有利。

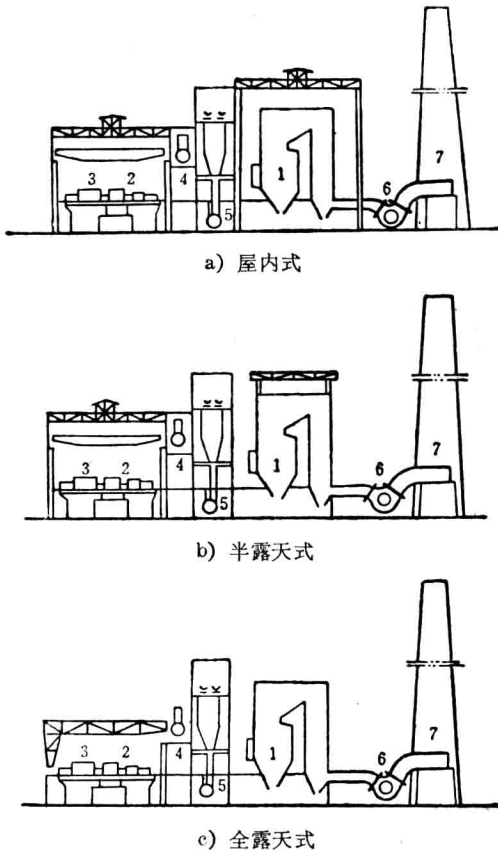


图 16-1-3 主厂房结构型式示意图

1—锅炉 2—汽轮机 3—发电机 4—除氧器
5—磨煤机 6—引风机 7—烟囱

国产机组的主厂房配置型式示例见图 16-1-4。

3.4 基本组成

火力发电厂的生产过程是能量转化的过程。经过磨制的燃煤送到锅炉中燃烧时放出的热量，用以加热锅炉中的给水，产生具有某一温度和压力的蒸汽；这个过程是把燃料的化学能转化为蒸汽的热能。具有某一温度和压力的蒸汽被送入汽轮机内，冲动汽轮机转子旋转；这个过程是把蒸汽的热能转化为汽轮机轴的机械能。汽轮机带动同一轴上的发电机旋转而发出电来；这个过程是把汽轮机轴的机械能转化为电能。只有对能量转化规律有了基本认识，才能掌握电能生产过程中的安全经济问题，使燃料在燃烧时所放出的热量更有利地被利用，提高热经济性。

燃煤火电厂的生产过程基本上可以划分为燃烧

系统、汽水系统、电气系统和控制系统四个方面。各个系统的主要流程和基本要求见表 16-1-3。

火力发电厂生产过程和主要设备的示意见图 16-1-5。

4 发展动向

为了满足日益增长的电力负荷需要，同时也为了提高发电效率，不论是在发电设备的制造水平方面，还是在各种电源的组合方式上，以及一些新型发电方式方面，都在进行各种新设备、新组合和新方式的研究和探索。当前有下列几方面的发展动向。

4.1 技术革新

a. 扩大单机容量 当前已投入运行的最大单机容量有 130 万千瓦的双轴机组和 85 万千瓦的单轴机组。正在设计制造的有 100~120 万千瓦的单轴机组。

b. 提高蒸汽参数 大多采用亚临界压力 (170 ata) 和 540°C 的蒸汽初参数，个别也在探索超临界压力 (226 ata) 和 570°C 的试验机组。由于核电站的兴起，大容量的火力发电机组也要求能经常起停或变化负荷，这对采用超临界压力和较高蒸汽温度都是不利的。因此，超临界机组还没有得到广泛应用。

c. 强化燃烧方式 由于燃用劣质煤，除已采用液态排渣炉和旋风炉以外，为了强化燃烧，正在试验研究沸腾燃烧锅炉、微正压燃烧锅炉以及脉动燃烧锅炉等。

沸腾炉的煤种适应性非常广，特别是能烧低挥发分、高灰分、低发热量的劣质煤，例如灰分高达 60~70% 以上、发热量只有 2000 kcal/kg 甚至更低的煤矸石也能在沸腾床中稳定地燃烧。

微正压炉除了能省去引风机以节约电耗外，还能消除锅炉各处的漏风，因而能提高锅炉效率，减少受热面的金属耗量。燃油锅炉采用微正压燃烧方式可以尽可能地减少炉膛过剩空气系数，防止尾部受热面的低温硫腐蚀。

脉动燃烧可以达到非常高的燃烧速度和强度，它所需要的燃烧室容积可以比一般锅炉的炉膛小几百倍，而且脉动的气流又可以大大提高对流受热面的传热强度。

d. 提高自动化水平 采用电子计算机对火力