

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
Av ——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_s ——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	Vr ——燃料可燃基挥发分 %
f_{K0} ——短路比	V^0 ——理论燃烧空气量 Nm^3/kg
G ——冷却水量 kg/h	W_i ——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_t ——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_F ——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_i ——汽轮机出力 kW	η_{is} ——郎肯循环热效率
N_h ——厂用电量 kW	汽轮机效率
N_t ——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_{ts} ——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_{zhw} ——持续外载轴向力 kgf	σ ——应力 kgf/mm^2
Q ——循环水、处理水量 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,公用电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/万千瓦,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電量和发电量之间的平衡,亦即发电、送電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,应严格控制在电厂内使用燃油。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作功。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。由于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

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

式中 G ——锅炉蒸发量 kg/h

i_0 ——主蒸汽焓 kcal/kg

i_{fw} ——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	

c. 汽轮机效率 η_t

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

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

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

d. 汽轮机的汽耗率 d

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

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

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

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_{tg} ——汽轮发电机总效率 %

e. 汽轮机的热耗率 q

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

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

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_{fw} ——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

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

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

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

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_{tg} ——汽轮发电机总效率 %

h. 送电端效率 η_{se}

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

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

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

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。应注意的有以下几点:

(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要尽量靠近水源地。

(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

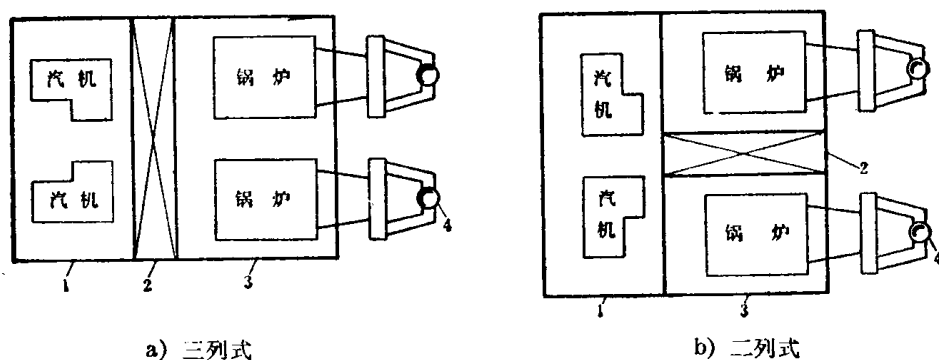


图 16.1-2 主厂房配置方式示意图

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。

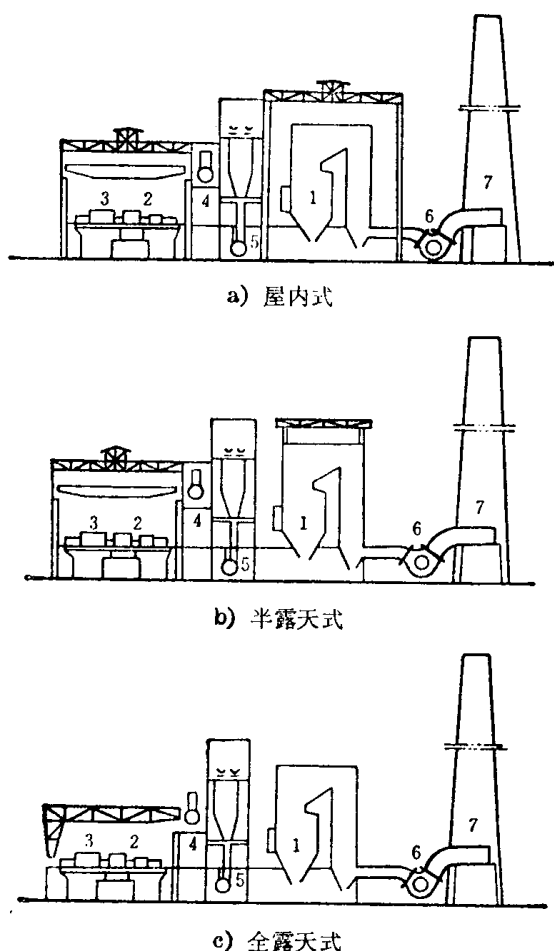


图 16-1-3 主厂房结构型式示意图

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

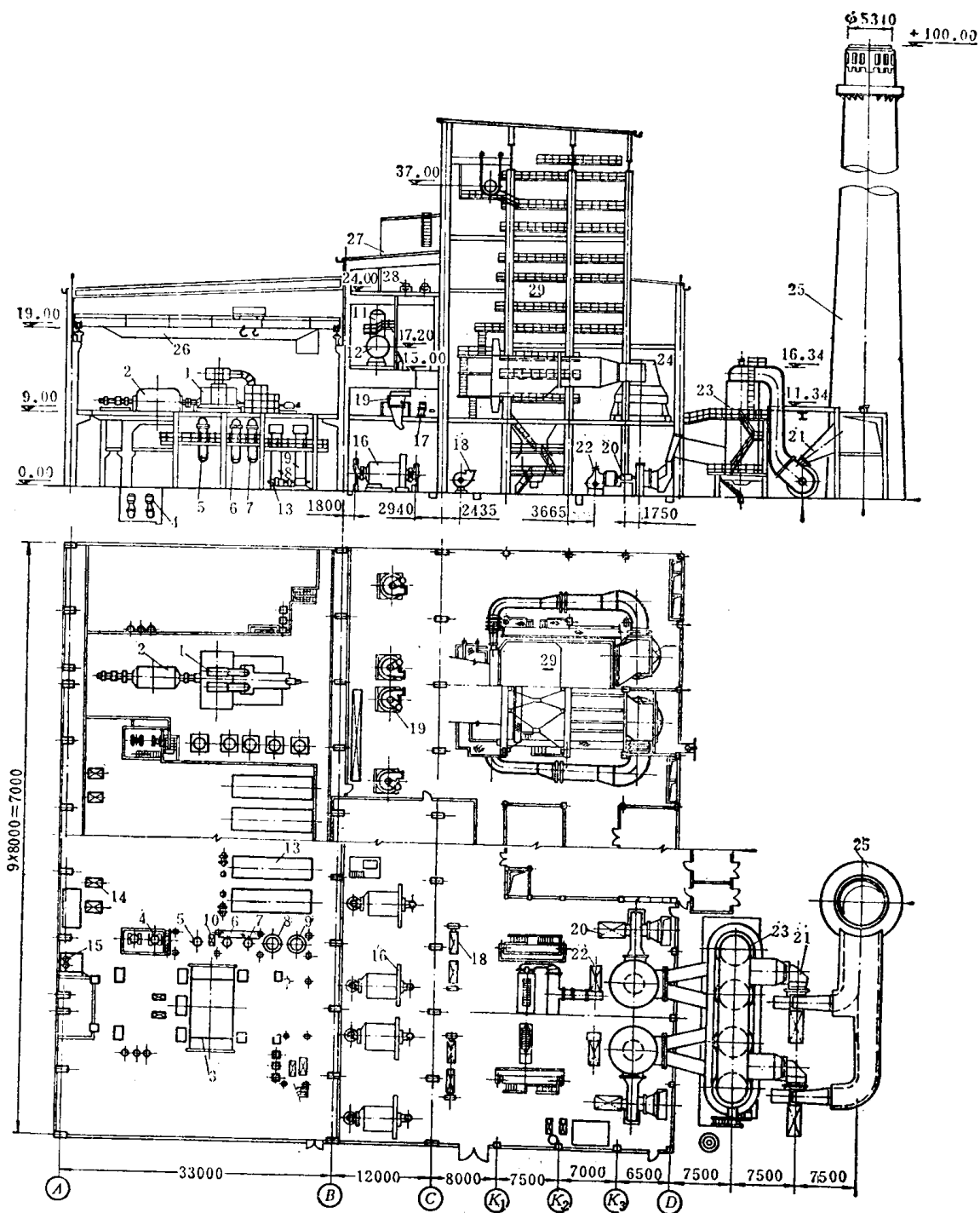


图 16.1-4 主厂房配置型式示例

- 1—汽轮机 2—汽轮发电机 3—凝汽器 4—凝结水泵 5—2号低压加热器 6—3号低压加热器 7—4号低压加热器 8—5号高压加热器 9—6号高压加热器 10—低压加热器疏水泵 11—压力除氧器 12—高压给水箱 13—电动给水泵 14—射水泵 15—射水抽气器 16—钢球磨煤机 17—振动式给煤机 18—排粉风机 19—回转分离器 20—送风机 21—引风机 22—烟气再循环风机 23—水膜除尘器 24—回转式空气预热器 25—烟囱 26—桥式起重机 27—工业水箱 28—输煤皮带 29—锅炉

表 16.1-3 火电厂的主要生产系统一览表

系统名称	任 务	主 要 流 程	基 本 要 求
燃烧系统	用煤将炉水烧成蒸汽 (化学能转化为热能)	1. 烟气流程: 煤在炉内燃烧后产生的热烟气经过锅炉的各部受热面传递热量后, 流过除尘器及烟囱排入大气 2. 通风流程: 为了满足燃烧, 有通风机供给煤粉燃烧时所需要的空气量, 有吸风机将煤粉燃烧后的烟气吸出排入大气 3. 排灰流程: 炉底排出的灰渣以及除尘器下部排出的细灰由机械或水力排往贮灰场	1. 力求达到完全燃烧, 使锅炉效率 $\geq 90\%$ 2. 磨煤及通风的电耗较小 3. 排烟符合国家卫生标准
汽水系统	蒸汽推动汽轮机作功 (热能转化为机械能)	1. 汽水流程: 蒸汽引入汽轮机推动转子旋转后排入凝汽器中冷凝成水, 再经升压、除氧、加热后送回炉内, 形成闭合的汽水循环 2. 补给水流程: 由于汽水循环中有损失, 必须经常补充以维持额定出力。补给水要处理合格后送入汽水系统 3. 冷却水流程: 在汽轮机排汽的凝结过程中, 放出的大量潜热由冷却水带走。冷却水的吸取以及冷却设施等构成冷却水流程	1. 汽水循环中汽水损失量较低 2. 尽可能地利用汽轮机的抽汽回热凝结水, 提高锅炉的给水温度
电气系统	汽轮机带动发电机发电 (机械能转化为电能)	1. 向外供电流程: 发电机发出的电能由变压器升压后经升压配电装置向外供电, 以减少电能在线路上的损失 2. 厂用电流程: 发电厂内的自用电由变压器降压后经厂用配电装置向厂内各种辅机供电	1. 发供电安全可靠 2. 能迅速切除事故 3. 调度灵活 4. 发电质量符合国家标准
控制系统	操作机械化自动化	1. 燃料的装卸、入仓、制粉机械化、自动化 2. 锅炉给水、汽温、燃烧自动调节 3. 锅炉排灰机械化 4. 汽机进汽参数自动调节 5. 回热系统除氧加温自动调节 6. 汽机转速自动调节 7. 自动切除电气故障	1. 降低劳动强度 2. 提高劳动生产率 3. 迅速处理故障 4. 运行指标先进

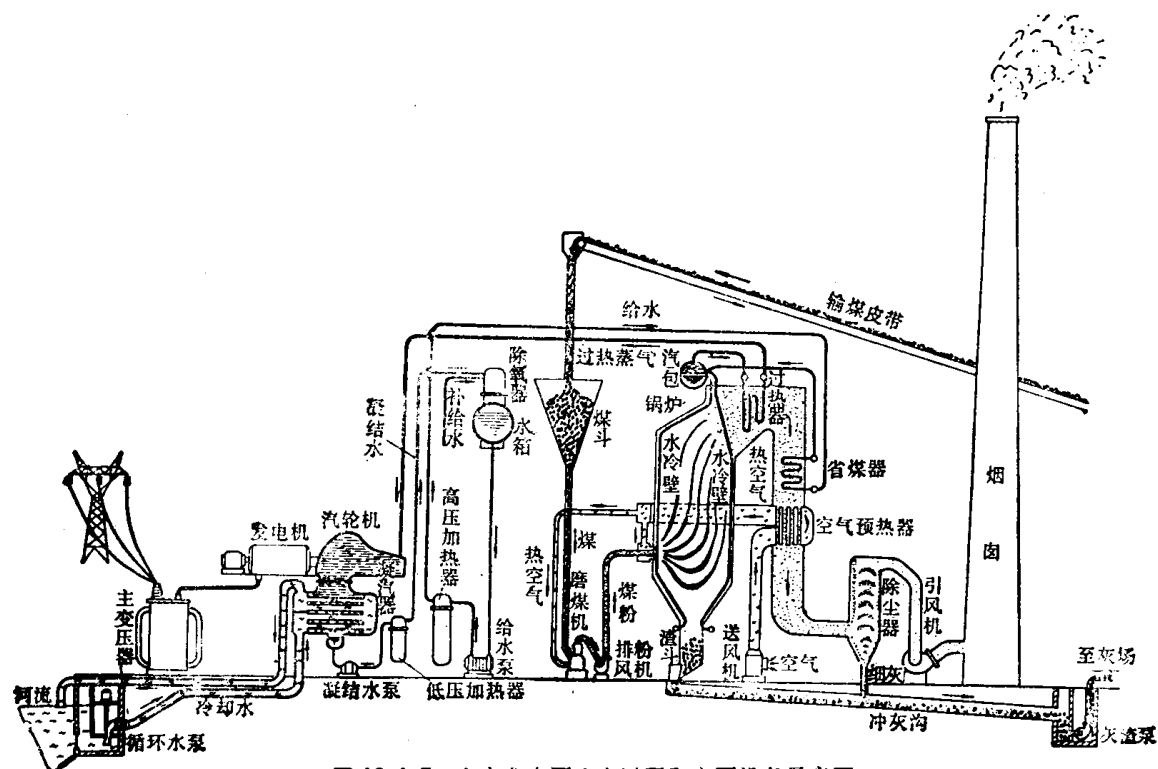


图 16.1-5 火力发电厂生产过程和主要设备示意图

发电设备的全部运行操作过程进行全盘自动化控制,其中包括最佳方式运行,最佳方式自动起停以及事故自动处理,达到采用电子计算机直接对机组进行操作的所谓“闭环运行”。

e. **加强环境保护,防止三废污染** 提高除尘效率,大力发展电气除尘器是降低粉尘污染的一种主要措施。采用高烟囱,作为稀释环境空气中的二氧化硫及其他有害气体的有效措施。已开始采用“多管组合式”烟囱,提高烟气出口的抬升高度,加大扩散范围,并增设排烟脱硫装置,降低二氧化硫排放量;我国试用的有氨法、钠法和石灰石法等。

f. **开展对灰渣的综合利用** 当前对灰渣的综合利用方式有灰渣砖厂,大型砌块厂,陶粒厂,水泥厂,或用于筑路、育秧、改良土壤、混合堆肥等方面。此外,还有利用灰渣填海、填矿,提炼稀有元素,炉内增钙燃烧直接生产纯粉煤灰水泥以及炉内烧磷肥等。

4.2 双工质联合装置

利用不同工质的热力特性所组成的联合动力装置,可以改善热力装置的经济性。

a. **燃气-蒸汽联合装置** 这就是利用燃气循环吸热平均温度高和蒸汽循环放热平均温度低的有利特点,将燃气轮机和蒸汽轮机联合工作的动力装置。主要的联合方式有: 1) 用燃气轮机的排气作为余热锅炉的热源; 2) 燃气轮机的排气作为一般蒸汽锅炉的助燃气体; 3) 增压燃烧锅炉的排气作为燃气轮机的工质。

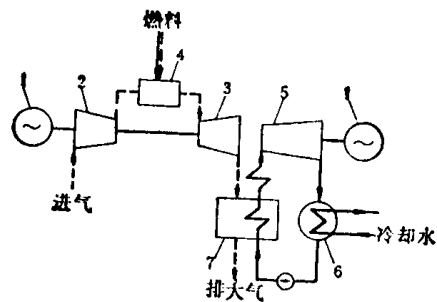
前两种联合方式通常是在改造现有蒸汽动力装置或燃气轮机装置时采用,一般可提高原有装置的效率2~5%。后一种联合方式一般可较同参数的蒸汽动力装置提高热效率5~10%。

燃气-蒸汽联合装置示意图见图16.1-6。

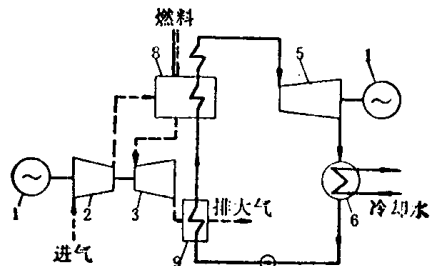
b. **水银-蒸汽联合装置** 这种联合装置的工作原理和燃气-蒸汽联合装置一样,一般是在高温段采用汞循环发电装置(或者是其他具有高沸点的有机载热质),低温段采用蒸汽循环发电装置。采用这种双工质复合循环的发电厂,其热效率可达40~42%。

水银-蒸汽联合装置示意图见图16.1-7。

c. **其它双工质联合装置** 双工质联合装置还有蒸汽-二氧化碳以及蒸汽和低沸点工质(如氨、氟



a) 燃气轮机排气作锅炉燃烧空气



b) 锅炉排气作燃气轮机工质

图 16.1-6 燃气-蒸汽联合装置示意图

1—发电机 2—压气机 3—燃气轮机 4—燃烧室
5—蒸汽轮机 6—蒸汽凝汽器 7—蒸汽锅炉
8—增压锅炉 9—热交换器

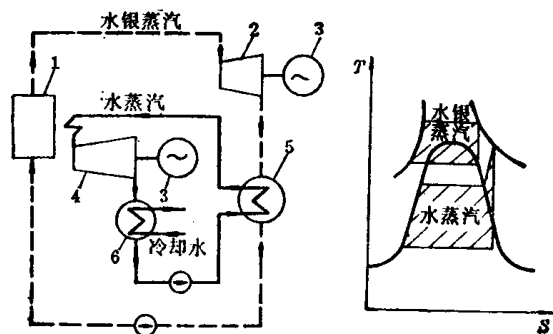


图 16.1-7 水银-蒸汽联合装置示意图

1—水银锅炉 2—水银汽轮机 3—发电机
4—蒸汽轮机 5—水银冷凝器 6—蒸汽凝汽器

里昂等)的联合循环装置。由于低沸点工质在低温时的比容比相同温度下水蒸汽的比容要小得多,因而在同样排气面积下大大增加汽轮机的单机容量。这种蒸汽和低沸点工质的联合循环装置已成为当前的研究对象之一。

4.3 新型发电方式

随着工业的高度发展,出现了一些新型发电方式的试验研究工作,其目的是为了充分利用自然界的各种能源,提高发电效率,或者是为了适应某些特

殊用途。有些已经得到了实际的应用。

a. **磁流体(MHD)发电** 磁流体发电的原理是利用温度很高而且高度电离的气体流过强磁场来发电。当高温电离化气体以高速流过强磁场时, 气体中的电子受磁场吸引力以及和气体中别的金属粒子(钾、铯)相互碰撞的影响下, 电子就沿着和磁力线方向成垂直线的方位流向外部电路的正电极; 通过外部电路负荷汇集到负电极后回到气体中去, 结果就发出直流电力; 最后经过交直流变换装置以及升压变电设备而送入电网。

磁流体发电装置有开式循环和闭式循环两种方式。开式循环中的工作气体为燃料燃烧后的高温燃气, 最后由烟囱排入大气。闭式循环中的工作气体可以应用惰性气体, 例如氩气或氦气, 在回路中循环流动使用。开式循环和闭式循环的磁流体发电装置示意图见图 16-1-8。

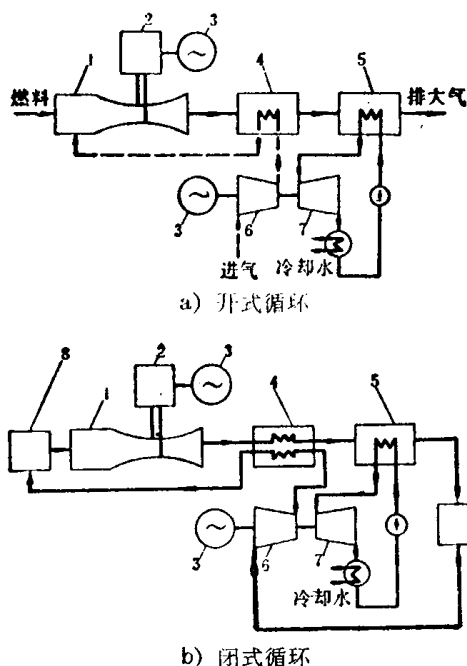


图 16-1-8 磁流体发电装置示意图

- 1—磁流体发电机 2—逆变器 3—发电机
4—热交换器 5—蒸汽锅炉 6—压气机
7—蒸汽轮机 8—高温原子炉 9—冷却器

在图中可以看到无论是开式循环还是闭式循环, 磁流体发电都可以同蒸汽循环的发电装置联合运行。这是由于磁流体发电排气的温度很高, 可以利用作为蒸汽锅炉的热源, 进一步提高热效率。

目前已成功地采用了开式循环的磁流体发电机, 容量为 20000 千瓦的机组已于 1976 年投入电网

运行。由于在磁流体发电机中没有高温应力的转动部件, 运行简单可靠, 便于快速起停, 最适用于尖峰负荷或紧急备用; 如果用作担任基本负荷的发电机组, 其效率可达 50% 左右。

由于这种发电方法在理论上没有上限, 因此有些国家已在研究单机容量为 25~100 万千瓦的磁流体发电装置。预计以煤粉为燃料的 50 万千瓦磁流体发电装置将在 1985 年投入运行。

b. **电气体发电** 电气体发电是利用高温高速的电离气体流过强电场来发电。电气体发电的工作过程可分为气体电离区, 能量转换段和电荷收集段三个部分。当具有一定压力和温度并含有尘粒的气体流过电离区时, 形成了单极性的带电粒子; 然后通过能量转换段输送到电荷收集段, 并为收集电极接收; 当电荷流经外负载时, 就输出了电能。在这个过程中, 外负载以及存在于气流中的空间电荷, 都形成了一个与气流流动方向相反的轴向电场; 当气流在推动带电粒子作反抗这种轴向电场的运动时, 它的压力和温度都降低; 这样, 就实现了把热能(通过流体动能)直接转变成电能的过程。电气体发电的工作原理见图 16-1-9。

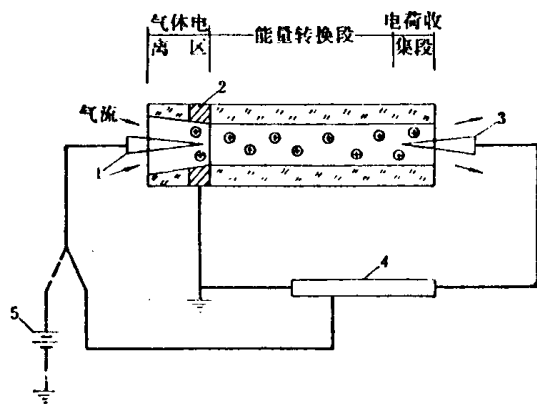


图 16-1-9 电气体发电的工作原理图

- 1—发射极 2—吸收极 3—集电极
4—外部负荷 5—起动电源

以煤、石油、天然气等燃料为一次能源的电气体发电, 一般采用开式循环, 以原子能、地热能、太阳能等为一次能源的电气体发电则采用闭式循环。其循环示意分别见图 16-1-10 和图 16-1-11。

由于带电粒子是由离子源产生的, 因而发电装置可不受温度的限制, 当气体温度为 1000~1500°C 时, 电气体发电的总效率可达 50% 左右。由于这种装置的能量转换段的内阻抗很大, 它是由绝缘性能

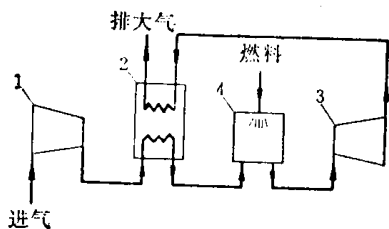


图 16.1-10 电气体发电开式循环示意图

1—压气机 2—回热器 3—电气体发电机 4—燃烧室

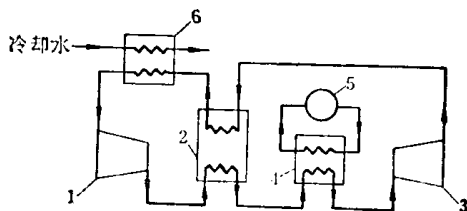


图 16.1-11 电气体发电闭式循环示意图

1—压气机 2—回热器 3—电气体发电机
4—热交换器 5—热源 6—冷却器

极好的介质和绝缘的气体组成，所以可发出高达 50 万伏以上的直流电流。它可以直接将电力送到超高压直流输电网中，免去了复杂的升压、整流、变电设备。

目前，电气体发电尚处于实验室探索阶段，不论是从电气体发电微观过程的探索，到宏观结构的研究；还是从流体种类、参数的选择，到整个热力循环的分析和探讨，都涉及到电动力学、流体动力学、高压绝缘、气体放电以及热力学等一系列学科的所谓“电气流体动力学”。随着“电气流体动力学”这门新兴学科的发展，电气体发电将有新的广阔前景。

c. 热电偶发电 当某些金属物质受热后，其本身的自由电子就会产生移动，进行重新排列，热端的电子密度减小，而冷端的电子密度则增大。如果把两种不同金属物件的一端连接起来，并将这个连接端加热，则在其他两个冷端就会产生电动势。若把这两个冷端与外部电路连通，就会发出直流电来，这就是热电偶将热能直接转变为电能的基本工作原理。热电偶的发电原理见图 16.1-12。

热电偶发电装置可以采用两种循环方式：开式

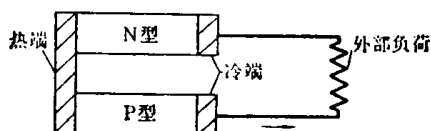
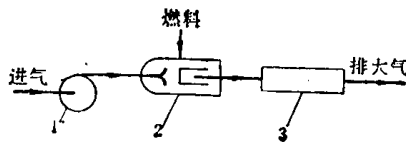
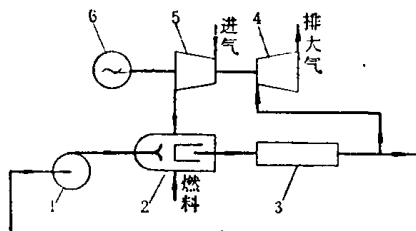


图 16.1-12 热电偶发电原理图

循环方式见图 16.1-13a，这种方式的设备比较简单，但效率也比较低；闭式循环方式见图 16.1-13b，这种方式的设备虽然比较复杂，但效率较高。



a) 开式循环



b) 闭式循环

图 16.1-13 热电偶发电装置示意图

1—送风机 2—燃烧器 3—热电偶发电器
4—燃气轮机 5—压气机 6—发电机

采用半导体材料（Pb-Te 或 Si-Ge）组成的小容量热电偶发电装置，实际上的热效率已达到 10~13%。根据理论计算，如果使用 2000°C 左右的高温加热，发电效率有可能达到 35%。

这种发电方式，目前还不可能作成大容量的发电机组，但作为小容量的孤立供电电源，则有一定的优越性。

将来的热电偶发电装置有可能利用燃烧煤粉的火焰，或核反应堆的高温热源直接发电，作为普通蒸汽发电设备的前置式发电装置；或者利用其他工业废热，例如工业锅炉的排烟热量、燃气轮机的排气热

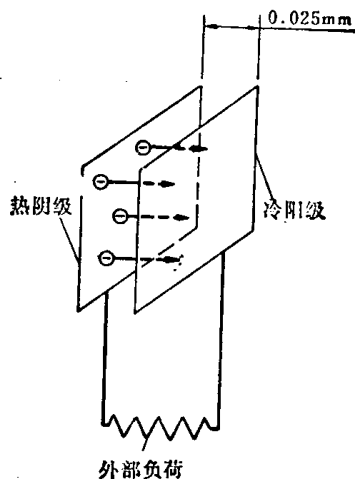


图 16.1-14 热电子发电原理图

量等直接获得电力。

d. 热电子发电 当某种金属的表面受热时,它就会放射出热电子,其电子发射率决定于金属的特性和它表面受热的温度。

最简单的热电子发电机是由两种电子发射率不同的金属电极所组成,两电极之间保持高度真空。当将电子发射率高的电极加热(一般称为热阴极),而保持另一电极在冷的状态时(一般称为冷阳极),则热阴极将发射电子到冷阳极;如果将两个电极与外部电路接通时,则形成电流发电。热电子发电的

原理见图 16-1-14。

根据计算,如果将阴极面加热到 1700°C 左右,则每平方厘米的极板面上可发出 21.5 瓦的电力。目前热电子发电效率可达 17%,随着形势发展,效率有可能达到 30% 以上。如果利用热离子发电装置作为核能发电的前置式发电设备,则发电总效率可高达 42~64%。

热电子发电的能源也可取自原子核分裂的热能或太阳辐射的热能。

第2章 燃料及其贮运

1 燃料特性

火力发电厂的蒸汽锅炉一般采用固体燃料,只在锅炉启动点火或低负荷时为了维持稳定燃烧才燃用极少量的液体燃料。缺煤、缺水地区,个别有条件的地方,或需采用内燃机等发电时,则亦有燃用液体或气体燃料的。

1.1 固体燃料

固体燃料主要是煤炭。煤炭根据炭化程度的不同,大致可以分为无烟煤、烟煤、褐煤和油页岩等几种。当前发电燃用最多的是烟煤。

1.1.1 主要成分

固体燃料中,除含有水分(W)和灰分(A)等不可燃物质外,主要是由碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)构成的燃质,其中碳、氢和挥发性硫是可燃成分。对于煤来说,含有挥发分(V),也是一个重要特性。

固体和液体燃料的成分常用质量的百分比来表示,通常采用四种计算基数。

a. 应用基(用上角标 y 表示) 以包括水分和灰分在内的燃料成分总量作计算基数,进行燃烧计算时用之。

b. 分析基(用上角标 f 表示) 以空气风干后的燃料成分总量作计算基数,其中仍包括残留的内

在水分(或称固有水分)。

c. 干燥基(用上角标 g 表示) 以干燥的,即除了水分以外的燃料成分总量作计算基数。灰分一般采用干燥基来表示。

d. 可燃基(用上角标 r 表示) 以无水无灰的燃料成分总量作计算基数。用可燃基表示燃质成分最为合理。

我国电力工业部门曾根据各地煤矿的实际开采煤质资料,统一分析归纳为四种代表性煤种,其分析特性见表 16-2-1。

煤炭中的水分分为二种,经 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ 干燥而发散的称之为表面水分,经 100°C 以上干燥而蒸发的称之为固有水分。在与空气隔离的情况下采用高温加热后,其中水分和挥发分析出,残留下来的是固定炭素和灰分。固定炭素、挥发分以及灰分的比率是衡量煤炭品质的主要指标。含灰多,含挥发分和固定炭素少,每单位重量的发热量比较低的称为劣质煤。

灰分中主要是二氧化硅(SiO_2)、三氧化二铝(Al_2O_3)、三氧化二铁(Fe_2O_3)以及生石灰(CaO)等。随着这些成分的含量不同,灰熔点将发生变化。低灰熔点的煤在燃烧时往往导致炉内结渣,受热面粘污,甚至影响锅炉出力。发电用煤的灰熔点一般在 $1100\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 之间。

硫分在燃烧时将生成亚硫酸(SO_2),与烟气中的水分结合可以生成硫酸,是造成锅炉受热面腐蚀的主要原因。

表 16.2-1 代表性煤种分析特性

类别	碳 C _v %	氢 H _v %	氧 O _v %	氮 N _v %	硫 S _v %	灰分 A _v %	水分 W _v %	可磨 系数 K _{KM}	挥发分 V _v %	低位 发热量 Q _{dw} kcal/kg	变温 形度 t ₁ °C	软化 温度 t ₂ °C	熔融 温度 t ₃ °C
1	41.00	2.20	4.50	1.30	1.00	25.00	25.00	1.00	40.00	3600	1100	1200	1300
2	45.84	3.13	5.59	0.85	0.50	34.09	10.00	1.55	31.50	4290	1100		
3	64.25	3.30	3.20	1.00	2.40	24.00	1.85	1.70	18.30	5600	1030	1185	1255
4	71.85	2.86	1.67	1.06	1.17	16.03	5.36	1.40	7.64	6396	1150	1200	1400

1.1.2 发热量

单位物量(对固体和液体燃料用 1 kg, 对气体燃料用 1 Nm³) 燃料完全燃烧时放出的热量称为发热量。煤炭的发热量是利用氧弹测热计测定的。用这种方法测出的发热量, 由于含有燃料燃烧时生成的蒸汽的蒸发潜热, 因此称为高位发热量。燃料在炉内燃烧时可以利用的热量, 不包括蒸发潜热, 称为低位发热量。两种发热量的换算公式如下:

$$Q_{dw} = Q_{dw}^v - 6(9H^v + W^v) \quad \text{kcal/kg} \quad (16.2-1)$$

式中 Q_{dw}^v ——低位发热量 kcal/kg

Q_{dw}^v ——高位发热量 kcal/kg

H^v ——含氢量 %

W^v ——含水量 %

或者, 可以按元素分析成分估算:

$$Q_{dw} = 81C^v + 264H^v - 26(O^v - S^v) - 6W^v \quad \text{kcal/kg} \quad (16.2-2)$$

式中 C^v ——含碳量 %

O^v ——含氧量 %

S^v ——含硫量 %

1.1.3 可磨系数

煤炭的粉碎性是利用哈氏 (Hardgrove) 试验机测定的, 一般用哈氏指数表示。它是取 50 克试料在哈氏测定机上按规定方式粉碎后, 量出它通过 200 目筛的煤粉量 W (克)。可按下式计算出哈氏可磨系数值

$$K_{KM}^e = 13 + 6.93W \quad (16.2-3)$$

过去使用过全苏热工研究所的一种可磨系数 K_{KM}^{BY} , 两者的换算式如下:

$$K_{KM}^{BY} = 0.0034(K_{KM}^e)^{1.25} + 0.61 \quad (16.2-4)$$

可磨系数是发电用煤的一个重要特性指标。

1.2 液体燃料

液体燃料主要为地下取出来的石油, 或称原油。原油经过加热精炼加工后, 分馏成为汽油、煤油、柴油, 最后在 300°C 以上分馏出以重碳氢化合物为主要成分的黑褐色重油。重油的发热量高达 10000 kcal/kg, 含灰量极少, 是很好的燃料油。

1.2.1 燃料油特性

我国国家规定的燃料油特性见表 16.2-2。

1.2.2 燃料油的适应性

重油与煤炭相比, 同样发热量的重油容积仅为煤炭的一半, 它具有可以利用油泵和油管输送, 无需排灰处理, 贮藏设备和燃烧装置都比较简单以及燃烧效率高、对负荷适应性较强等优点。但是, 由于含硫量较大, 有大气污染和低温腐蚀等问题。特别是在重油中即使有极微量的钒时, 由于高温燃烧生成五氧化二钒 (V_2O_5), 与锅炉的过热器或再热器的高温 (约 600°C 以上) 金属表面接触后, 将引起所谓“高温腐蚀”。此外, 重油还易于着火爆炸, 输送和贮藏时要特别注意安全。

重油用于燃气轮机时, 为了防止结灰和灰腐蚀, 还有下列特殊要求:

含钠量 < 5 ppm;

含钒量 < 2 ppm;

含钙量 < 10 ppm;

含铅量 < 5 ppm。

用于柴油机的燃料特别要注意它的着火性、燃烧性及析炭等问题。但由于发电用的柴油机一般采用低速柴油机, 因此不象高速柴油机那样对燃料品质的要求高。

表 16-2-2 燃料油特性

指 标		粘 度 °E 80°C[100°C] (50°C)	开口闪点 (闭口) °C大于	凝固点 °C 大于	灰 分 % 小于	水 分 % 小于	硫 分 % 小于	机械杂质 % 小于	标 准 代 号
燃 料 油	20	5.0	80	15	0.3	1.0	1.0	1.5	SYB1091-60
	60	11.0	100	20	0.3	1.5	1.5	2.0	
	100	15.5	120	25	0.3	2.0	2.0	2.5	
	200	[5.5~9.5]	130	36	0.3	3.0	3.0	2.5	
专用燃料油		(5~9)	90	-8	0.3	1.0	0.8	0.25	SYB1092-59
重 柴 油	10	(3.0)	(65)	10	0.04	0.5	0.5	0.1	GB445-64
	20	(4.0)	(65)	20	0.06	1.0	0.5	0.1	
	30	(5.0)	(65)	30	0.08	1.5	1.5	0.5	
页 岩 重 柴 油	1	(2.2)	(65)	10	0.04	0.5	0.6	0.1	SYB1074-625
	2	(2.2)	(65)	20	0.04	0.5	0.6	0.1	
	3	(3.0)	(65)	20	0.08	1.0	1.0	0.2	

表 16-2-3 气体燃料气质特性

气 体 燃 料		应 用 基 组 成 %								H ₂ S mg/Nm ³	发热量Q _W kcal/Nm ³
		CO ₂	CO	H ₂	N ₂	O ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₄ H ₁₀		
低 热 值	高 炉 煤 气	11	27	2	60						880
	发 生 炉 煤 气	5.3	26.3	10.0	57.3	0.2	0.9				1190
	水 煤 气	10.5	30.5	52.5	5.5		1.0				2617
高 热 值	纳 溪 天 然 气	0.5	0.1	1.0			95.0		2.4	400	8500
	泸 州 天 然 气		0.2	0.5	0.2		97.8	1.1	0.2		8634

1.3 气体燃料

气体燃料有高炉煤气、焦炉煤气和天然气三种。发电用的气体燃料主要是天然气。

天然气是一种天然产出的可燃性气体，主要成分是碳氢化合物，大致又可以分为天然煤气、油田煤气、煤田煤气和水溶性煤气四种。后三种煤气都是伴生性质，是油田或煤田地带的背斜构造所形成的构造性煤气。

天然气几乎能以理论空气量达到完全燃烧。由于含灰极少，排烟清洁。气态形式的燃烧便于控制，可以尽快地调节燃烧温度，且点火和灭火过程均比较简单。同时，发热量高，热量的利用系数亦比其它形式的燃料高，燃烧时可以获得极大的锅炉效率。

气体燃料的贮藏一般比较困难，又受地理条件的限制，燃料价格往往比其它形式的贵。同时有在装卸、使用和运输过程中由于泄漏而引起爆炸等缺点。

常用的天然气和工业煤气的气质特性见表 16-2-3。

2 选用条件

2.1 燃料选用原则

根据国家的能源利用政策，在选择火力发电用的燃料时，应该注意下列几点：

(1) 考虑到能源的合理利用，火力发电应尽量采用当地供应的劣质燃料，例如褐煤、洗中煤、矸石、