

高等学校教材

发电厂电气部分

华中工学院 范锡普 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书着重讲述发电厂电气主系统设计与运行的理论和计算方法，相应地介绍主要电气设备的原理和性能。内容包括：电气主接线和厂用电系统的构成及设计；载流导体的发热和电动力理论；电气设备的选择；配电装置的组成；高压断路器的运行；同步发电机和变压器的运行，以及主设备的控制与信号等。每章末附有思考题和习题。

本书为“电力系统及其自动化”专业的教材，同时，亦可供从事发电厂设计、运行及有关的工程技术人员参考。

高等学校教材

发电厂电气部分

华中工学院 范锡普 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

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 19印张 430千字

1987年11月第一版 1987年11月北京第一次印刷

印数00001—29110册

ISBN 7-120-00048-9/TM·29

15143·6484 定价 3.20 元

前 言

本书是根据水利电力部电力类专业编委会1982年9月通过的大纲编写的，作为“电力系统及其自动化”专业《发电厂电气部分》课程的教材。

发电厂是电力系统的重要组成环节，它直接影响整个电力系统的安全与经济运行。本书主要讲述发电厂的电气部分。在发电厂中，电气一次系统是主干系统，处于关键的地位。本书阐述一次系统及其设备的原理、设计和运行方面的内容，力求概念清楚，层次分明，便于自学。每章末附有小结。另外，为了加深理解每章的内容，还附有一定数量的复习思考题和习题。

本教材共分十章：一、绪论；二、载流导体的发热和电动力；三、电气主接线；四、厂用电；五、电气设备的选择；六、配电装置；七、电气主设备的控制和信号；八、高压断路器的运行；九、同步发电机的运行；十、变压器的运行。

参加本教材编写的有：华中工学院范锡普教授（一、二、七章）和胡能正副教授（五、六章），华北电力学院戴克健教授（九、十章），西安交通大学李朝阳同志（三、四、八章）。全书由范锡普教授主编，南京工学院朱家果副教授主审。

在本书编写过程中，曾得到不少单位的支持，并提供了大量的资料和有益的建议，对此表示衷心的感谢。

主要符号意义

A ——可用度	P ——有功功率, 荷载
B ——磁感应强度	Q ——无功功率, 热量, 热效应
C ——热稳定系数	R ——电阻, 可靠度
c ——比热容	S ——视在功率, 截面积
D ——直径	T ——时间, 年限, 时间常数
E ——电势, 弹性模量	t ——温度
F ——力, 表面积, 不可靠度	U ——电压, 运行费
f ——单位长度上的力, 频率, 误差	V ——风速
H ——磁场强度, 高度	W ——截面系数
I ——电流, 断面二次矩	Z ——总投资
J ——转动惯量	α ——换热系数
j ——经济电流密度	β ——动应力系数
K ——系数	θ ——温度
L ——长度, 自感, 负荷	δ ——相位差
M ——互感, 转矩、力矩	ρ ——电阻率
m ——质量	ε ——辐射系数
N ——匝数	τ ——温升
n ——转速	φ ——相角, 辐射角系数

主要角注意义

<i>b</i> ——保护	<i>m</i> ——母线
<i>cj</i> ——冲击	<i>max</i> ——最大
<i>cy</i> ——厂用, 残压	<i>min</i> ——最小
<i>d</i> ——短路, 断路器, 定子	<i>p</i> ——平均
<i>dw</i> ——动稳定	<i>ph</i> ——破坏
<i>dz</i> ——等值	<i>q</i> ——起动
<i>e</i> ——额定	<i>R</i> ——剩余, 熔管, 电阻
<i>f</i> ——辐射, 集肤	<i>r</i> ——发热, 绕组
<i>fz</i> ——非周期分量	<i>s</i> ——失步, 串联, 第三
<i>g</i> ——最高, 关合, 公共	<i>t</i> ——日照
<i>h</i> ——燃弧	<i>t_i</i> ——铁
<i>hf</i> ——恢复	<i>t_o</i> ——铜
<i>j</i> ——基准, 介质	<i>w</i> ——电网, 稳定
<i>js</i> ——计算	<i>x</i> ——线路, 形状
<i>k</i> ——开始, 外壳, 电抗, 空气	<i>y</i> ——油, 允许, 效益
<i>kd</i> ——开断	<i>z</i> ——最终, 周期分量, 阻力, 转子,
<i>L</i> ——临界, 对流	自耦

目 录

前言

主要符号意义

主要角注意义

第一章 绪论	1
1-1 我国电力工业发展概况	1
1-2 发电厂和变电所的类型	2
1-3 发电厂电气设备简述	5
小结	7
思考题	7
第二章 载流导体的发热和电动力	8
2-1 概述	8
2-2 导体的发热和散热	9
2-3 导体的长期发热	13
2-4 导体的短时发热	16
2-5 大电流导体附近钢构的发热	22
2-6 导体短路的电动力	25
2-7 大电流导体的电动力	33
小结	36
思考题和习题	37
第三章 电气主接线	38
3-1 对电气主接线的基本要求和设计原则	38
3-2 发电厂主变压器的选择	40
3-3 主接线的基本接线形式	42
3-4 限制短路电流的方法	50
3-5 各种类型发电厂和变电所主接线的特点	54
3-6 主接线方案的经济比较	58
3-7 主接线可靠性分析和计算	61
小结	84
思考题和习题	85
第四章 厂用电	89
4-1 概述	89
4-2 厂用电接线的设计原则和接线形式	90
4-3 不同类型发电厂的厂用电接线	96
4-4 厂用变压器或电抗器的选择	100

4-5	厂用电动机的选择	104
4-6	电动机的自启动校验	109
4-7	电动机的发热校验	112
	小结	117
	思考题和习题	118
第五章	电气设备的选择	119
5-1	导体和电气设备选择的一般条件	119
5-2	母线、电缆、绝缘子和套管的选择	122
5-3	高压断路器、隔离开关及高压熔断器的选择	136
5-4	限流电抗器的选择	139
5-5	电流互感器的选择	142
5-6	电压互感器的选择	151
5-7	互感器在主接线中的配置原则	159
	小结	161
	思考题和习题	162
第六章	配电装置	164
6-1	概述	164
6-2	屋内外配电装置的安全净距	165
6-3	屋内配电装置	167
6-4	屋外配电装置	172
6-5	成套配电装置	178
6-6	发电机与配电装置(或变压器)的连接母线	182
6-7	发电厂和变电所的电气总平面布置	184
	小结	187
	思考题	188
第七章	发电厂电气设备的控制与信号	189
7-1	发电厂的控制方式	189
7-2	二次接线图	190
7-3	断路器的控制	199
7-4	中央信号	206
7-5	发电厂和变电所的弱电控制	211
7-6	微机监控系统	213
	小结	215
	思考题	216
第八章	高压断路器的运行	217
8-1	概述	217
8-2	高压断路器的主要性能和参数	218
8-3	高压断路器开断短路电流时的工作状态	221
8-4	高压断路器的特殊运行状态	230
8-5	短路电流中非周期分量对断路器运行状态的影响	239

小结	240
思考题	241
第九章 同步发电机的运行	242
9-1 概述	242
9-2 同步发电机的额定参数	245
9-3 同步发电机的容许运行范围	248
9-4 同步发电机的正常运行	249
9-5 同步发电机的进相运行	252
9-6 同步发电机的调相运行	256
9-7 同步发电机的非正常工作状态	257
小结	260
思考题	261
第十章 电力变压器的运行	262
10-1 概述	262
10-2 变压器的负荷能力	262
10-3 自耦变压器的特点和运行方式	273
10-4 分裂绕组变压器	282
10-5 星形-星形接线的三相变压器组的运行	284
10-6 变压器的并列运行	287
小结	294
思考题和习题	295

第一章 绪 论

本章首先阐述我国电力发展的远景，介绍当前电力工业开发的方针。为便于今后学习，还简要地介绍了发电厂和变电所的各种类型和生产过程，以及主要电气设备的作用。同时，也指出学习本课程的目的和任务。

1-1 我国电力工业发展概况

电是能量的一种表现形式，电力已成为工农业生产不可缺少的动力，并广泛应用到一切生产部门和日常生活方面。电能有许多优点：首先，它可简便地转变成另一种形式的能量。例如，工厂中的电动机，就是将电能转换成机械能，拖动各种机械；又如我们常用的电灯，是将电能转变为光能，满足照明需要。其次，电能经过高压输电线路，还可输送很长的距离，供给远方用电。另外，许多生产部门用电进行控制，容易实现自动化，提高产品质量和经济效益。由此可见，电力工业在国民经济中占有十分重要的地位，而且电力必须先行，才能满足工农业发展的需要。

刚解放时，全国总装机容量仅184.9万kW，年发电量仅43亿kW·h。三十多年来，我国电力工业发展很快，1979年总发电量为1949年的64倍，平均年增长率为14%，1985年总装机容量已达8500万kW，年发电量为3950亿kW·h，为解放前的92倍。虽然已取得了很大成绩，但电力供应仍感不足，必须加快发展。

电是一种二次能源。我国的一次能源（如煤、水力、油等天然能源）十分丰富：全国水力蕴藏量约6.8亿kW，可开发量约3.7亿kW，年发电量可达1.9亿kW·h，居世界首位；我国煤炭储量也很丰富，约有二万多亿吨；石油资源可开采量为几十亿吨……。这些是我国发展电力工业非常优越的物质条件。

我国目前电力工业开发的方针是：①积极发展火电。火电应立足于煤炭资源发电，我国今后相当长的时间内，火电仍为主要能源。山西、内蒙、河南等省和自治区将建设一批坑口火电厂。②大力开发水电。因水能是一种再生能源，水资源不但可以发电，还可与航运、灌溉、防洪、水产等进行综合利用。我国水电资源主要集中在西南和西北地区。它的发电成本低，但大型工程投资大，建设周期长。③有重点有步骤地建设核电厂。在自然能源匮乏的缺电地区建设核电厂，可改善能源平衡。④发展联合电力系统。由于系统容量不断增大，应采用超高压远距离输电和直流输电，并逐步形成跨区的联合电力系统，以提高供电可靠性和经济性。⑤开发多种发电能源。可根据当地具体条件，因地制宜、由地方和群众兴办小水电、小火电、风力发电和地热发电等。

我国电力工业自动化水平正在逐年提高，已有许多电厂实现了集中控制和采用计算机控制，电网也实现了分级集中调度。我国电力工业将跨入世界先进水平行列。

1-2 发电厂和变电所的类型

发电厂是把各种天然能源，如煤炭、水能、核能等转换成电能的工厂。电能一般还要由变电所升压，经高压输电线路送出，再由变电所降压才能供给用户使用。为便于了解电能的生产，下面简要叙述发电厂和变电所的类型。

一、发电厂类型

1. 火力发电厂

这是指用煤（包括用油和天然气）为燃料的发电厂。火力发电厂中的原动机，大都为汽轮机，也有个别地方采用柴油机和燃气轮机。火力发电厂又可分为：

（1）凝汽式火电厂 锅炉产生蒸汽，送到汽轮机，带动发电机发出电能。已作过功的蒸汽，排入凝汽器内冷却成水，又重新送回锅炉。在凝汽器中，大量的热量被循环水带走，所以，凝汽式火电厂的效率很低，只有30%~40%左右。凝汽式火电厂，通常简称为火电厂。火电厂的典型布置图，如图1-1所示。

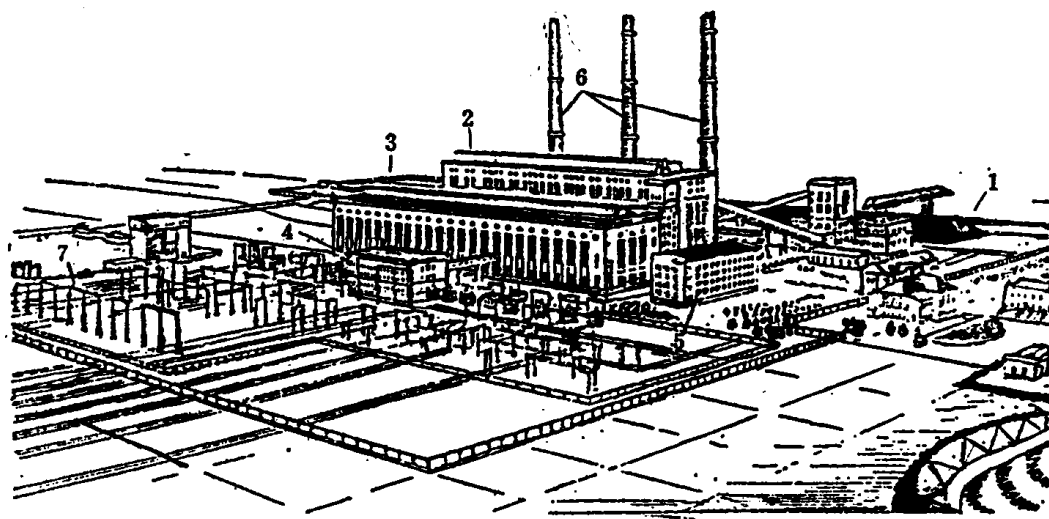


图 1-1 火电厂的布置图

1—煤场；2—锅炉房；3—汽机房；4—主控制室；5—办公楼；6—烟囱；7—屋外高压配电装置

（2）热电厂 热电厂与凝汽式火电厂不同之处主要在于，汽轮机中一部分作过功的蒸汽，从中间段抽出来供给热用户，或经热交换器将水加热后，把热水供给用户。这样，便可减少被循环水带走的热量损失，现代热电厂的效率高达60%~70%。

2. 水力发电厂

水力发电厂是把水的位能和动能转变成电能。根据水力枢纽布置的不同，又可分为堤坝式、引水式等。

（1）堤坝式水电厂 在河床上游修建拦河坝，将水积蓄起来，抬高上游水位，形成发电水头，这种开发方式称为堤坝式。堤坝式水电厂又可分为坝后式和河床式两种。

1) 坝后式水电厂 这种水电厂的厂房建筑在坝的后面，全部水头由坝体承受。水库

的水由压力水管引入厂房，转动水轮发电机组发电。坝后式水电厂适合于高、中水头的情况，如图1-2所示。

2) 河床式水电厂 这种水电厂的厂房和挡水堤坝联成一体，厂房也起挡水作用，因修建在河床中，故名河床式。水头一般在20~30m以下，如图1-3所示。

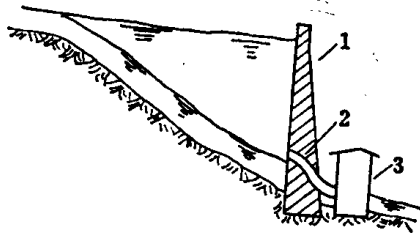


图 1-2 坝后式水电厂
1—坝；2—压力水管；3—厂房

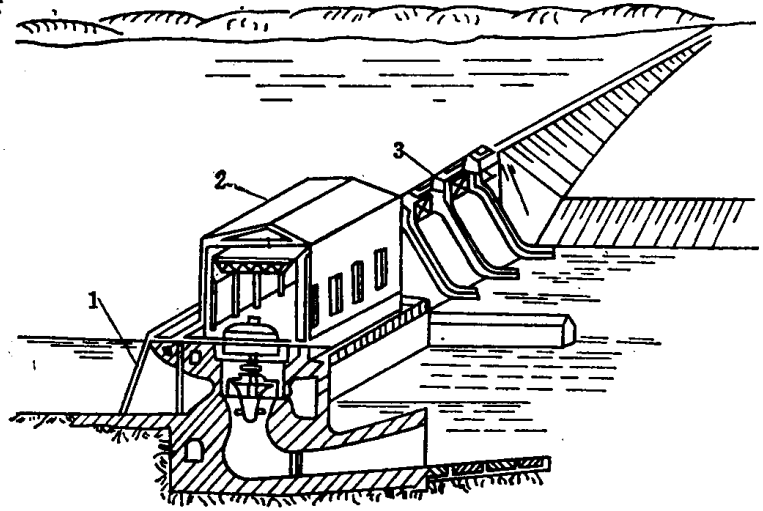


图 1-3 河床式水电厂
1—进水口；2—厂房；3—溢流坝

(2) 引水式水电厂 水电厂建筑在山区水流湍急的河道上，或河床坡度较陡的地方，由引水渠道造成水头，而且一般不需修坝或只修低堰，如图1-4所示。

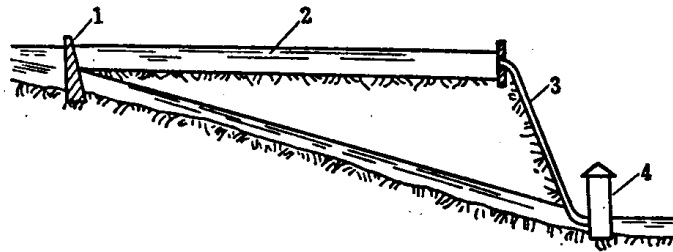


图 1-4 引水式水电厂
1—堰；2—引水渠；3—压力水管；4—厂房

上面讲到的水电厂是专作发电用的。另外，尚有一种特殊形式的水电厂，叫做抽水蓄能电厂，如图1-5所示。

抽水蓄能电厂中，有一种是单纯起蓄水作用的，然而更多的是既可蓄水又可发电。后者即是当电力系统处于低负荷时，系统尚有多余出力，此时机组以电动机-水泵方式工作，将下游水库的水抽至上游水库储存起来；待系统高峰负荷到来时，机组则按水轮机-发电机方式运行，使所蓄的水用于发电，以满足调峰的需要。此外，抽水蓄能电厂还可有调频、调相、系统备用容量和生产季节性电能等多种用途。

抽水蓄能电厂的机组常用的有：三机式——即同步电机、水轮机和水泵三者联成一套同轴机组；二机式——即同步电机和可逆式水轮机（此种水轮机可工作于水轮机状态，亦可工作于水泵状态）组成一套机组。

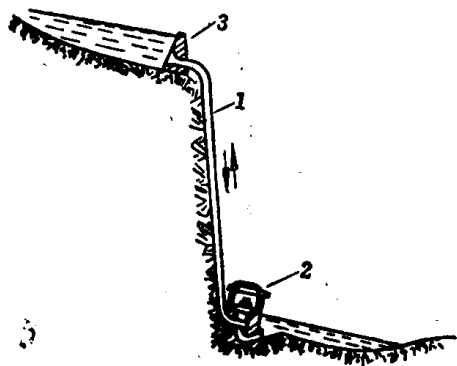


图 1-5 抽水蓄能电厂
1—压力水管；2—厂房；3—坝

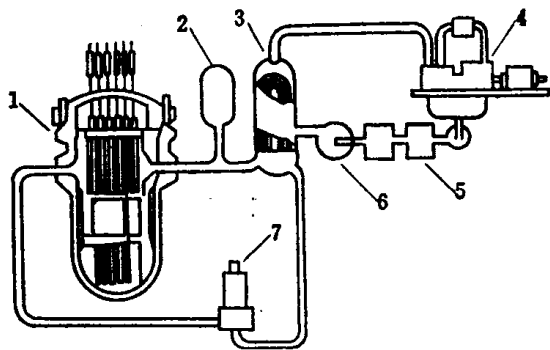


图 1-6 核电厂发电方式示意图
1—核反应堆；2—稳压器；3—蒸汽发生器；4—汽轮发电机组；
5—给水加热器；6—给水泵；7—主循环泵

前面所述水电厂的布置方式，无论堤坝式和引水式，同样也适用于抽水蓄能电厂。

3. 核电厂

核电厂是利用核裂变能转化为热能，再按火电厂的发电方式发电的，只不过它的“锅炉”是原子核反应堆。其中除核燃料外，并以重水或高压水等作为慢化剂和冷却剂，所以，反应堆可分为重水堆、压水堆等。图1-6为压水堆核电厂发电方式示意图。

核反应堆内，铀-235在中子撞击下，使原子核裂变，产生巨大的能量，且主要是以热能的形式被高压水带至蒸汽发生器，在此产生蒸汽，送至汽轮发电机组。

1kg铀-235约等于2700t标准煤发出同样多的电力。

4. 其它方式发电

利用其它一次能源发电的，尚有风力发电、潮汐发电、地热发电、太阳能发电等。此外，还有直接将热能转换成电能的磁流体发电等。

二、变电所类型

电力系统由发电厂、变电所、线路和用户组成。变电所是联系发电厂和用户的中间环节，起着变换和分配电能的作用。

图1-7是一个电力系统的原理接线图。在这个电力系统中，接有大容量的水电厂和火电厂，水电厂的电力经500kV超高压输电线路输至枢纽变电所。220kV的电力网构成环形，由此可提高供电可靠性。

变电所根据它在电力系统中的地位，可分成下列几类：

1. 枢纽变电所

位于电力系统的枢纽点，连接电力系统高压和中压的几个部分，汇集多个电源，电压为330~500kV的变电所，称为枢纽变电所。全所停电后，将引起系统解列，甚至出现瘫痪。

2. 中间变电所

高压侧以交换潮流为主，起系统交换功率的作用，或使长距离输电线路分段，一般汇集2~3个电源，电压为220~330kV，同时又降压供给当地用电。这样的变电所主要起

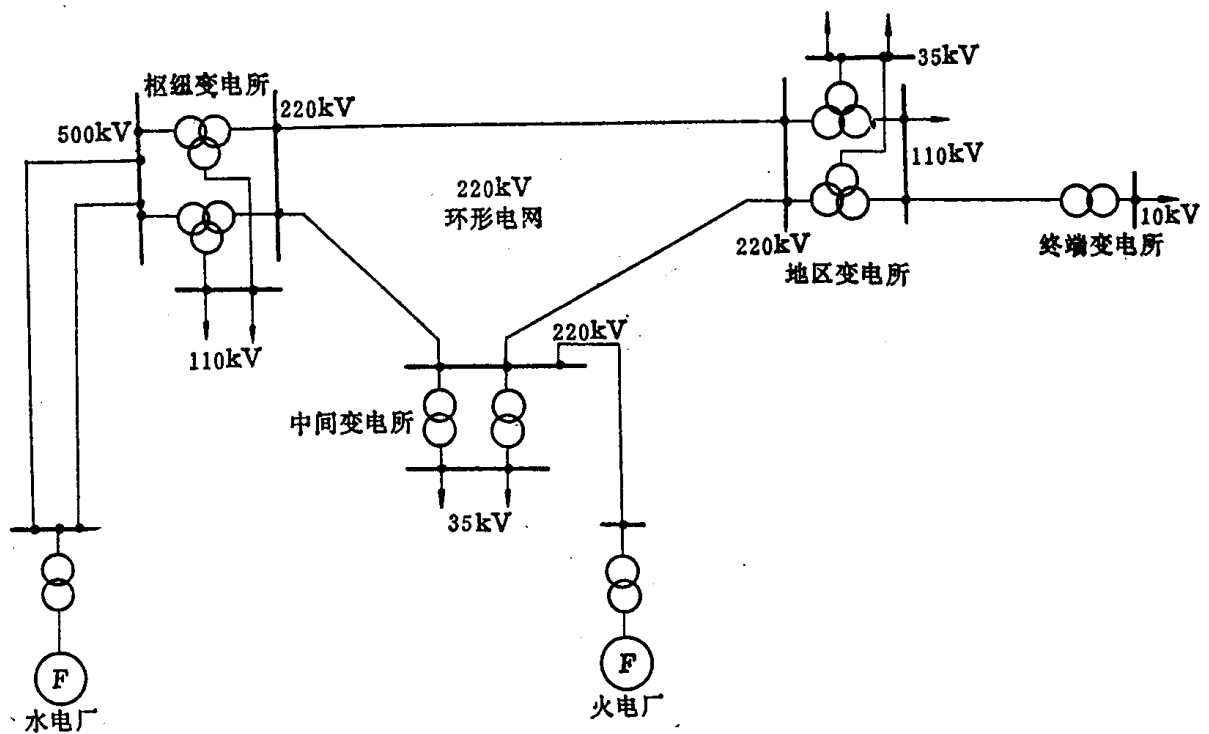


图 1-7 电力系统图

中间环节的作用，所以叫做中间变电所。全所停电后，将引起区域网路解列。

3. 地区变电所

高压侧电压一般为110~220kV，对地区用户供电为主的变电所，这是一个地区或城市的主要变电所。全所停电后，仅使该地区中断供电。

4. 终端变电所

在输电线路的终端，接近负荷点，高压侧电压多为110kV，经降压后直接向用户供电的变电所，即为终端变电所。全所停电后，只是用户受到损失。

1-3 发电厂电气设备简述

为满足生产需要，发电厂中安装有各种电气设备。通常把生产和分配电能的设备，如发电机、变压器和断路器等称为一次设备。它们包括：

(1) 生产和转换电能的设备 如发电机将机械能转变成电能，电动机将电能转变成机械能，变压器使电压升高或降低，以满足输配电需要。这些都是发电厂中最主要的设备。

(2) 接通或断开电路的开关电器 例如，断路器、隔离开关、熔断器、接触器之类。它们用于正常或事故时，将电路闭合或断开。

(3) 限制故障电流和防御过电压的电器 例如，限制短路电流的电抗器和防御过电压的避雷器等。

(4) 接地装置 无论是电力系统中性点的工作接地或是保护人身安全的保护接地，均用金属接地体埋入地中（或联成接地网）。

(5) 载流导体 如母线、电缆等, 它们按设计的要求, 将有关电气设备连接起来。

另外, 还有一些设备是对上述一次设备进行测量、控制、监视和保护用的, 故称为二次设备。它们包括:

(1) 仪用互感器 如电压互感器和电流互感器, 可将电路中的电压或电流降至较低的值, 供给仪表和保护装置使用。

(2) 测量表计 如电压表、电流表、功率因数表等, 用于测量电路中的参量值。

(3) 继电保护及自动装置 这些装置能迅速反应不正常情况并进行调节或作用于断路器跳闸, 使故障切除。

(4) 直流设备 包括直流发电机组、蓄电池等, 供给保护和事故照明的直流用电。

上述各种电气设备, 在发电厂中必须依照预定的要求连接起来。把发电机、变压器、断路器等按要求顺序连成的电路, 称为电气主接线。主接线表明电能引入和分配的关系以及各种运行方式, 主接线常画成单线图的形式(即以一条线代表三相电路)。图1-8是具有两种电压(发电机电压及升高电压)大容量火电厂的主接线图。

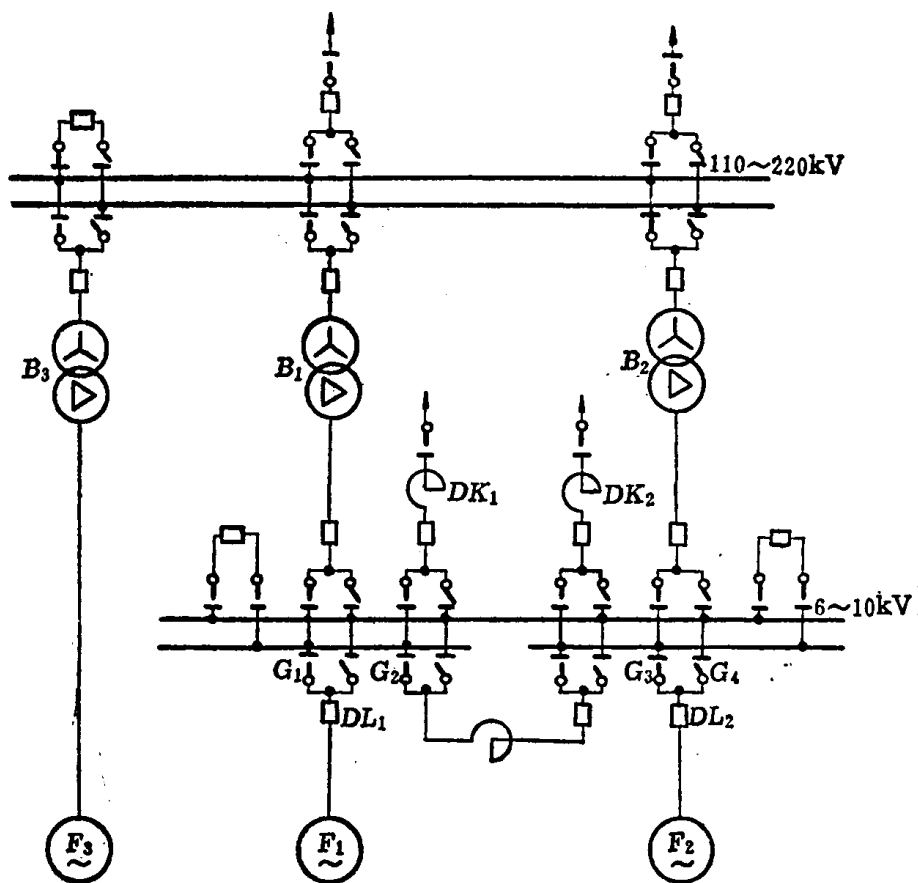


图 1-8 火电厂的主接线图

发电机(F_1 和 F_2)所发的电力经断路器(DL_1 和 DL_2)和隔离开关($G_1\sim G_4$)送至 $6\sim 10\text{kV}$ 电压母线。断路器具有灭弧装置, 正常运行时可接入或断开电路, 在故障情况下, 受继电保护的作用能将电路自动切断。隔离开关($G_1, G_2\cdots$ 等)是在必要时, 用来与带电部分可靠地隔离。

母线起汇集和分配电能的作用。图中 $6\sim 10\text{kV}$ 母线为分段的双母线。工作母线分为两段，备用母线不分段。一部分电能由电缆送往近区负荷。出线上装有电抗器，可限制短路电流。一部分电能则通过升压变压器送到 $110\sim 220\text{kV}$ 母线上。另一台发电机(F_2)和变压器(B_2)单独接成发电机-变压器单元，直接连到高压($110\sim 220\text{kV}$)母线上。高压侧母线亦为双母线。

发电厂和变电所的主接线是根据容量、电压等级、负荷情况，经过详细的技术经济比较，然后选出最佳方案。关于主接线的设计和电气设备的选择，将在下面有关各章详细叙述。

本课程的主要目的和任务是：通过课堂讲授、电化教学、课程设计、实验及生产实习等教学环节，使学生树立工程观点，掌握发电厂电气主系统的设计方法，并在计算、分析和解决工程的能力等方面得到训练，为以后从事设计、运行和科研工作，奠定必需的理论基础。

小 结

电能是一种重要的能源，优点很多，对国民经济的发展有很密切的关系，因此电力必须先行。

解放后，我国电力工业发展很快，不久的将来，必将跨入世界先进行业。

发电厂有各种类型，现在火电仍是发电的主力，我国水力资源极为丰富，今后要充分开发水电，在自然能源匮乏的缺电地区，应有步骤地建设核电厂。

电气设备分为一次设备和二次设备，都是电厂的重要组成部分。一次设备对于运行可靠及检修方便要求甚高，其投资也举足轻重，应合理选用和布置，二次设备也对运行起着十分重要的作用。

思 考 题

1. 电能有哪些优点？电力工业在国民经济中的作用是什么？
2. 我国电力工业开发的方针是什么？目前电力建设仍以火电为主，原因何在？
3. 发电厂和变电所的类型有哪些？分别说明发电厂的生产过程和变电所的作用。
4. 哪些设备属于一次设备？哪些属于二次设备？其用途是什么？
5. 本课程的目的和任务是什么？

第二章 载流导体的发热和电动力

本章讲述载流导体的发热和电动力理论，无论设计与运行都与此有关，故集中在一起进行分析。对于发热，由于长期发热和短时发热各有其特点，将分别叙述其两种情况的计算方法及应用。对于电动力，是按发电厂中常用的三相导体的受力情况进行分析，得出其最大值，并分析导体振动的动态应力。由于我国已生产30万kW以上的机组，也适当地介绍一些大电流母线的特殊问题。

2-1 概 述

导体和电器，在运行中常遇到两种工作状态：

(1) 正常工作状态 当电压和电流都不超过额定值时，导体和电器需长期而经济地运行。

(2) 短路工作状态 系统发生故障引起电流突然增加，短路电流比额定值要高出几倍甚至几十倍。在故障即将切除的短期内，导体或电器应能承受短时发热和力的作用。

导体正常工作时将产生各种损耗如：①导体通过电流，由于本身电阻产生的电阻损耗；②绝缘材料中出现的介质损耗；③导体周围的金属构件，在电磁场作用下引起涡流和磁滞损耗。这些损耗变成热能使导体的温度升高，以致使材料的物理和化学性能变坏。

发热对电器产生不良的影响，计有：

(1) 机械强度下降 金属材料温度升高时，会使材料退火软化，机械强度下降。例如，铝导体在长期发热时，当温度超过 100°C ，其抗拉强度便急剧降低。

(2) 接触电阻增加 导体的接触连接处，如果温度过高，接触连接表面会强烈氧化，使得接触电阻增加，温度便随着增加，因而可能导致接触处松动或烧熔。

(3) 绝缘性能降低 有机绝缘材料长期受到高温作用，将逐渐变脆和老化，以致绝缘材料失去弹性和绝缘性能下降，使用寿命大为缩短。

导体短路时，虽然时间不长，但短路电流很大，发热量仍然很多。这些热量在极短时间内不容易散出，于是导体的温度迅速升高。此外，导体还受到电动力的作用。如果电动力超过允许值，将使导体变形或损坏。由此可见，发热和电动力是运行中必须注意的问题。

为了保证导体可靠地工作，须使其发热温度不得超过一定数值。这个限值叫做最高允许温度。

按照有关规定：导体的正常最高允许温度，一般不超过 $+70^{\circ}\text{C}$ 。在计及太阳辐射（日照）的影响时，钢芯铝绞线及管形导体，可按不超过 $+80^{\circ}\text{C}$ 来考虑。当导体接触面处有镀（搪）锡的可靠覆盖层时，可提高到 $+85^{\circ}\text{C}$ 。

导体通过短路电流时，短时最高允许温度可高于正常最高允许温度，对硬铝及铝锰合金可取200℃，硬铜可取300℃。

2-2 导体的发热和散热

发电厂和变电所中，母线大都采用硬铝或铝锰、铝镁合金作成。无论正常情况下通过工作电流，或短路时通过短路电流，母线都要发热。为使母线发热温度不超过最高允许温度，须了解发热的过程，并加以计算。

热量的传递过程，就其物理本质而言，可分为以下三种形式：

(1) 导热 固体中由于晶格振动和自由电子运动，使热量由高温区传至低温区。而在气体中，气体分子不停地运动，高温区域的分子比低温区域的分子具有较高的速度，分子从高温区运动到低温区，便将热量带至低温区。这种传递能量的过程，称为导热。

(2) 对流 气体各部分发生相对位移将热量带走的过程，称为对流。

(3) 辐射 热量从高温物体，以热射线方式传至低温物体的传播过程，称为辐射。

导体的发热计算，是根据能量守恒原理，即导体产生的热量与耗失的热量应相等。具体来说，在稳定状态时，母线电阻损耗的热量及吸收太阳热量之和应等于母线辐射换热和空气对流换热之和（由于空气导热系数很小，因此裸导体对空气的导热可略去不计）。写成算式即为

$$Q_R + Q_s = Q_r + Q_c \quad (2-1)$$

式中 Q_R ——单位长度母线电阻损耗的热量 (W/m)；

Q_s ——单位长度母线吸收太阳日照的热量 (W/m)；

Q_r ——单位长度母线向周围介质辐射换热量 (W/m)；

Q_c ——单位长度母线的对流换热量 (W/m)。

下面分别对这些热量进行计算。

1. 导体电阻损耗的热量 Q_R

单位长度的导体，通过母线电流 I_m (A) 时，由电阻损耗产生的热量，可按下式计算

$$Q_R = I_m^2 R_{ac} \quad (\text{W/m}) \quad (2-2)$$

我们知道，导体的交流电阻 R_{ac} 为

$$R_{ac} = \frac{\rho [1 + \alpha_t (t_m - 20)]}{S} \cdot K_r \quad (\Omega/\text{m}) \quad (2-3)$$

式中 ρ ——导体温度为20℃时的直流电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)；

α_t ——电阻温度系数 ($^\circ\text{C}^{-1}$)；

t_m ——导体的运行温度 ($^\circ\text{C}$)；

K_r ——集肤系数；

S ——导体截面积 (mm^2)。

常用电工材料的电阻率及温度系数，示于表2-1。

导体的集肤系数与电流的频率、导体的形状和尺寸有关。矩形截面导体的集肤系数，