

电气设备

重庆电力技工学校 主编



水利电力出版社

电 气 设 备

重庆电力技工学校 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为电力技工学校“发变电电气运行和检修”专业《电气设备》课程的教材，全书分两篇：第一篇为发电厂和变电所的一次设备，自第一章至第十五章；第二篇为发电厂和变电所的二次回路，自第十六章至第二十章。

《电气设备》课程主要讲述发电厂和变电所中高低压开关器的工作原理和结构，电气主接线的分析和运用，蓄电池组的运行方式和整流操作的直流系统，发电厂和变电所二次回路的基本知识以及控制、信号、同期回路和绝缘监察装置等。

本书亦可作为电力工人的技术培训用书。

电 气 设 备

重庆电力技工学校 主编

*

水利电力出版社出版、发行

（现中国电力出版社）

（北京三里河路6号）

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 438 千字

1982 年 7 月第一版 1996 年 4 月北京第九次印刷

印数 209351—221400 册

ISBN 7-120-00840-4/TM·232

定价 15.80 元

前 言

本书系根据电力工业部技工学校《发变电电气运行和检修》专业，《电气设备》教学大纲，由重庆电力技工学校、苏州电力技工学校分工编写的。本书既作为电力技工学校的教材，同时也可作为发电厂及变电所工人的技术培训用书。

本书在编写过程中，注意了紧密结合发电厂和变电所的生产实际，以及与其他课程之间的联系，并力求做到少而精，图文并茂，文字通俗易懂。本书内容包括一次设备和二次接线两大部分，着重叙述各种电气设备的基本知识、结构原理及其应用。此外，对一些新型设备也作了适当的介绍。短路电流部分，除介绍基本概念外，还叙述了三相短路电流的计算方法和步骤，其目的是给学生以后自学提高打下基础。

本书由重庆电力技工学校王振明主编，河南电力技工学校侯伯君主审。第三、四、五、六、七、八、十三、十四、十五章由王振明编写，第一、二、九、十、十一、十二章由苏州电力技工学校王文渊编写，第十六、十七、十八、十九、二十章由重庆电力技工学校钟明都编写。1981年7月20日~31日在苏州召开了审定会议，参加单位有旅大电力技术学校、湖北电业技工学校、徐州电力技工学校、湖州电力技工学校等。全书经侯伯君、王振明最后修改定稿，特别是对第十二章作了较大改动。

本书在收集资料和编写过程中，曾得到重庆供电局、豆坝电厂、元宝山电厂、大港电厂、朝阳电厂、望亭电厂、高桥电厂和有关制造厂的大力支持，并提供了许多宝贵的资料，重庆电力技工学校林秉忠、李振金两同志为我们审阅了初稿，在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的知识水平和实践经验所限，书中难免存在不妥和错误之处，恳切希望各兄弟学校的师生以及广大读者批评指正。

编 者

1981年12月

目 录

前 言

第一篇 发电厂和变电所的一次设备

第一章 电力系统概论	1
1-1 电力工业发展简述	1
1-2 发电厂的类型及其生产过程	1
1-3 发电厂和变电所的电气设备概述	7
1-4 电气设备的额定值	10
1-5 电力系统的基本概念	13
第二章 电力系统中性点的接地方式	16
2-1 中性点不接地的系统	16
2-2 中性点经消弧线圈接地的系统	20
2-3 中性点直接接地的系统	23
第三章 电弧的基本理论与电气触头	24
3-1 电弧的基本特性	24
3-2 直流电弧	27
3-3 交流电弧的熄灭	28
3-4 熄灭电弧的基本方法	31
3-5 电气触头	34
第四章 熔断器	41
4-1 熔断器的概述及技术特性	41
4-2 熔断器的类型和结构	44
4-3 低压熔断器的选择	49
第五章 低压开关	53
5-1 闸刀开关	53
5-2 接触器	54
5-3 磁力起动器	58
5-4 自动空气开关	62
第六章 隔离开关及其操动机构	68
6-1 概述	68
6-2 户内隔离开关	69
6-3 户外隔离开关	70
6-4 隔离开关的操动机构	76

第七章 高压断路器及其操动机构	79
7-1 概述	79
7-2 多油断路器	82
7-3 少油断路器	86
7-4 压缩空气断路器	100
7-5 六氟化硫断路器和真空断路器	105
7-6 断路器的操动机构	103
第八章 绝缘子母线及电缆	119
8-1 绝缘子	119
8-2 母线	123
8-3 电缆	128
第九章 互感器	134
9-1 概述	134
9-2 电流互感器的工作原理及接线方式	135
9-3 电流互感器的结构	140
9-4 电压互感器的工作原理及接线方式	144
9-5 电压互感器的结构	148
第十章 电气主接线	152
10-1 概述	152
10-2 单母线接线	153
10-3 双母线接线	157
10-4 桥形接线	161
10-5 单元接线	162
10-6 多角形接线	163
10-7 发电厂的主接线	164
10-8 降压变电所的主接线	166
第十一章 发电厂和变电所的自用电及其接线	168
11-1 发电厂的厂用电及其接线原则	168
11-2 发电厂的厂用电接线类型	172
11-3 变电所的自用电及其接线	176
第十二章 短路的基本知识及短路电流的计算	178
12-1 短路的基本概念	178
12-2 标么值和系统中各元件的电抗	180
12-3 短路电流计算的程序和方法	184
12-4 无限大容量电力系统供电电路内的三相短路	188
12-5 发电机供电电路内的三相短路	193
12-6 用运算曲线法计算短路电流	196
12-7 短路电流的限制及电抗器的应用	202
12-8 短路电流的电动力效应和热效应	205

第十三章 配电装置	209
13-1 概述	209
13-2 屋内配电装置	210
13-3 屋外配电装置	215
13-4 成套配电装置	218
第十四章 接地装置	223
14-1 概述	223
14-2 电气装置中必须接地和不需接地的部分	227
14-3 接地电阻的要求值	228
14-4 接地装置的敷设	229
第十五章 发电厂和变电所的操作电源	230
15-1 概述	230
15-2 铅酸蓄电池	231
15-3 蓄电池组的运行方式	239
15-4 整流操作的直流系统	244

第二篇 发电厂和变电所的二次回路

第十六章 二次回路的基本知识	251
16-1 二次回路的图纸	251
16-2 控制室、控制屏与继电器屏的布置	255
16-3 二次回路的标志原则	258
16-4 安装图练习	266
第十七章 断路器的控制回路	267
17-1 概述	267
17-2 断路器操动机构与控制开关	267
17-3 断路器的控制回路	270
17-4 闪光装置	274
17-5 灭磁开关的控制回路	275
第十八章 信号装置	277
18-1 隔离开关的位置指示器	277
18-2 事故信号装置	278
18-3 预告信号装置	282
18-4 指挥信号	286
第十九章 同期回路	288
19-1 概述	288
19-2 手动准同期装置和接线	290
*19-3 自同期装置和接线	296
第二十章 绝缘监察装置	297
20-1 直流系统的绝缘监察	297
20-2 交流电网的绝缘监察	301

第一篇 发电厂和变电所的一次设备

第一章 电力系统概论

1-1 电力工业发展简述

自电力应用于生产以来,由于电能具有输送、分配、转换、控制和使用方便等优点,它已被广泛应用于国民经济各部门和人民群众的日常生活中,特别是在科学技术高度发达的今天,电力已成为现代工农业生产的主要动力。因此,电力工业是先行工业,是工农业生产机械化、自动化的技术基础,它的发展对国民经济具有重大影响。为了加快我国社会主义建设和实现四个现代化的宏伟目标,电力工业必须优先得到发展。

旧中国的电力工业是非常落后的。解放前夕,全国的总装机容量只有185万千瓦,年发电量仅有43.1亿度。发电厂几乎都集中在东北和沿海的几个大城市里,设备陈旧,类型庞杂,效率低,而且电能的规格极不统一。

新中国成立后,随着整个国民经济的恢复和发展,我国的电力工业也得到了迅速发展。不仅完成了对原有发电厂的恢复、改造和扩建,而且又在许多地区相继建设了新电厂和电力网络。到目前为止,经过三十多年的建设,我国的电力工业无论在运行、设计、安装和制造等方面都有了很大的发展,已初步建成了以大区为单位的区域性电网,其中容量为800万千瓦以上的大电网已有三个,装机容量为百万千瓦以上的大型发电厂我们已能自行设计和安装。自古以来,连年泛滥成灾的黄河已被开发利用并造福于人民,在其上游建设了装机容量为120万千瓦的刘家峡等大型水力发电厂。被视为天险的长江上,装机容量为271万千瓦的葛洲坝大型水力发电厂也正在建设中,其第一台17.5万千瓦的机组已投入生产。输电电压最高已达到500千伏。目前已能制造单机容量为30万千瓦的成套机组,60万千瓦机组也正在研制中。到1980年底,全国装机总容量已超过6600万千瓦,年发电量已达3006亿度。我国的电力工业从解放初期居世界第二十五位,跃升到世界的第六位。成绩是巨大的。但是,我国与世界上其它发达国家相比差距还很大。我国是一个地大物博的国家,有着极其丰富的能源资源,仅水力资源,可供开发利用的就有3亿多千瓦,居世界首位,而目前我国的水电所占比重还相当小,需加速开发。此外,煤、石油、天然气等的蕴藏量也很丰富。所有这些都是发展电力工业的雄厚的物质基础。总之,我国电力工业的发展前景是远大的。因此,提高科学技术水平,加快电力工业的建设步伐,是摆在我国电力工作者面前的一项光荣而艰巨的任务。

1-2 发电厂的类型及其生产过程

一、发电厂的类型

发电厂是把其他形式的能量(燃料的化学能、水能、风能、原子能等)转换为电能的

特殊工厂。因此，发电厂的类型根据其所利用的能量形式可分为如下几种：（1）火力发电厂；（2）水力发电厂；（3）原子能发电厂；（4）风力发电厂；（5）其他，如太阳能、地热、潮汐发电厂等。目前电力系统中主要是火力和水力发电厂，但从二十世纪六十年代以来，原子能发电厂的建设逐年增加，已在一些国家的电力系统中占有相当的比重。我国目前亦正在筹建原子能发电厂。下面将分别介绍火力和水力发电厂的生产过程。

二、火力发电厂及其生产过程

火力发电厂是以煤、石油、天然气等作为燃料，燃料燃烧时的化学能被转换为热能，再借助汽轮机等热力机械将热能变换为机械能，并由汽轮机带动发电机将机械能变换为电能。

火力发电厂的主要设备是锅炉、汽轮机和发电机，其他部分是为主要设备服务的辅助设备，如风机、水泵等。

火力发电厂按其作用来分，有单纯供电和既发电又兼供热的两种类型，前者即指一般的凝汽式发电厂，后者称为供热式发电厂（简称热电厂）。

（一）凝汽式发电厂生产过程

图1-1所示为凝汽式发电厂生产过程示意图，其主要生产过程如下。

煤先由输煤皮带运送到锅炉房的煤斗中，再由煤斗进入磨煤机被磨成煤粉，在热空气的输送下，经喷燃器送入锅炉炉膛（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，其中一部分热空气进入磨煤机，以干燥并输送煤粉，另一部分热空气则

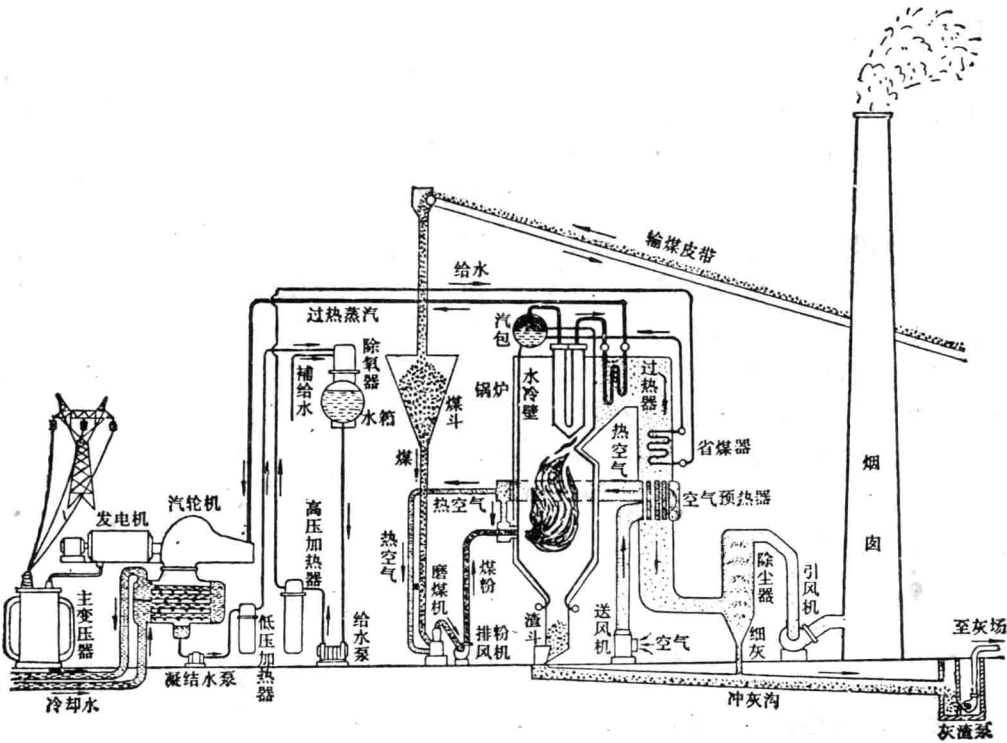


图 1-1 凝汽式汽轮发电机生产过程示意图

进入炉膛助燃。在炉膛内燃料燃烧并放出热量，其热量的一部分传给炉膛四周的水冷壁，并在流经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、水和空气；而被冷却后的烟气则经除尘器除去飞灰，由引风机从烟囱排至大气。另外，通常用水把由锅炉下部排出的灰渣和由除尘器下部排出的细灰冲到灰渣泵房，经灰渣泵排往贮灰场。

在水冷壁中产生的蒸汽在流经过热器时进一步吸收烟气的热量而变为过热蒸汽，然后通过主蒸汽管道被送入汽轮机。进入汽轮机的蒸汽膨胀做功，推动汽轮机的转子旋转，将热能变为机械能，汽轮机带动发电机旋转，将机械能变为电能。发出的电能除少量自用外，大部分供给用户或经升压变压器送入系统。

在汽轮机内作完功的蒸汽将进入凝结器内，由循环水泵将冷却水送入凝结器的管道，将蒸汽冷却为凝结水，再由凝结水泵经由低压加热器送入除氧器。除氧后的水由给水泵打入高压加热器加热，进一步提高给水温度后再进入锅炉。以后又重复上述过程，并不断地产生电能。

需要指出，冷却水经循环水泵打入凝结器的水管中，在吸收了蒸汽的热量后，又经排水管排出，从而将热量带走。由于循环水系统带走很大一部分热能，因此一般凝汽式发电厂的效率是不高的，目前比较先进的指标也已达37~40%。

（二）热电厂生产过程

热电厂可以提高热效率、减少热能损耗，把作过功的蒸汽中所含的热能充分利用起来。其生产过程与凝汽式发电厂基本相同，所不同的地方只是在汽轮机的中段抽出了作过一部分功的蒸汽，再把这些蒸汽引到一个给水加热器去加热，供热力用户的用水，或把蒸汽直接送给热力用户。这样一来，进入凝结器内的蒸汽量就大为减少，于是循环水所带走的热量消耗也就相应地减少，从而提高了热效率。因此，热电厂的效率可达60~70%以上，从供电和供热的全局来看，可节约燃料20~25%。但是，由于热网络不能太长，所以热电厂总是建在热力用户集中的地区。此外，热电厂的发电出力还与热力用户的需热情况有关，当需热量多时，发电厂必须相应多发电；需热量少时，则少发电。所以，这类发电厂的发电量有时不一定能满足用电部门的需要，必须和电力系统并列运行。

近年来，火力发电厂的主要发展趋势是采用大容量的高温、高压机组，这样可显著提高其效率。

（三）火力发电厂运行的几项技术经济指标

现代大型火电厂，每天都要消耗巨额燃料。因此，除保证安全发电外，节约燃料也是火电厂的一项重要工作。

发电厂的技术经济指标是衡量电厂技术装备好坏及技术管理水平高低的标志。火电厂的技术经济指标有下列几项：

1. 发电厂效率 在火电厂的能量转换过程中，不可避免地存在各种能量损失，最后转换为电能的能量只占燃料总能量的一部分。所以，发出的电能与消耗的燃料总能量之比称为发电厂的效率。

如以 B 代表燃料消耗量（千克/时）； $Q_{d,1}$ 代表燃料的低值发热量（焦/千克）； η_1 代表

发电厂效率； W 代表发电量（千瓦·时），则其数学表达式为：

$$\eta_f = 3.6 \times 10^6 W / BQ_{df} \quad (1-1)$$

火电厂的效率，最低的不到20%，高的可达40%左右，与单机容量、运行管理水平等因素有关。

2.煤耗率 火电厂每发一度电需要的煤耗量称为发电煤耗率。由于不同电厂、不同时期所用燃料的发热量各不相同，为便于比较，通常都将其折算成标准煤计算（标准煤的发热量为7000大卡/千克），于是发电厂煤耗率（用 b 表示）的表达式为：

$$\begin{aligned} b &= \frac{B}{W} \times \frac{Q_{df}}{29.3 \times 10^6} = \frac{3.6 \times 10^6}{29.3 \times 10^6 \eta_f} \\ &= \frac{0.123}{\eta_f} \text{ (千克/千瓦·时)} \end{aligned} \quad (1-2)$$

上式说明，发电厂效率愈高，每生产一度电的耗煤量就愈少。所以，发电煤耗率的作用与发电厂效率一样，也能表明火电厂总的热经济性，因此为生产部门所采用。

3.厂用电率 在实现能量转换过程中，发电厂本身需耗用一定的电能，供厂用辅助机械和厂区照明等用电，这一部分电能消耗统称为厂用电。它与电厂发电量之比称为厂用电率。一般此数值为5~10%，与发电厂的类型、单机容量等因素有关。此外，厂用机械的选择是否合理及其运行方式等，也都对厂用电率有一定影响。

三、水力发电厂及其生产过程

利用河流所蕴藏的廉价水能资源来发电的电厂称为水力发电厂。水力发电厂容量的大小决定于上下游的水位差（简称水头）和流量的大小。因此，建设水力发电厂必须根据不同的具体条件，采用不同的方法，将河道上分散的落差集中起来，形成所需要的水头。按照集中落差的方式不同，水力发电厂的类型较多，下面将分别作一简要介绍。

（一）水力发电厂的类型

1.堤坝式水力发电厂

在河道上修建堤坝（或闸门）拦河蓄水，使上游水位抬高，形成水库。这样，堤坝上游水库水面与堤坝下游河流的水面之间就形成了水头，用输水管或隧道把水库里的水引入厂房，通过水轮发电机组发电，这种类型的发电厂就是堤坝式水力发电厂。它又可分为河床式和坝后式两种类型。

河床式水力发电厂 它的厂房直接建在河床上，与堤坝（或闸门）布置在一条直线上或成一定角度，厂房本身是坝体的一部分，与坝一样承受水的压力，这种型式的水电厂多用于平原地区低水头、大流量的河道上，如富春江、葛洲坝等水电厂都属此种型式。

坝后式水力发电厂 它的厂房位于坝后（即坝的下游），厂房建筑与坝分开，不承受水的压力。这种水电厂所适用的水头比河床式高，如新安江、龚咀、刘家峡、丹江等水电厂都属此种型式，如图1-2所示。

2.引水式水力发电厂

引水式水力发电厂的水头是由引水建筑物集中而形成的。一般在河道上建个引水低坝（或闸）将河水集中，再经引水道（隧洞、管道、明渠）将水引进厂房，如四川的磨房沟水电厂即属此种型式。

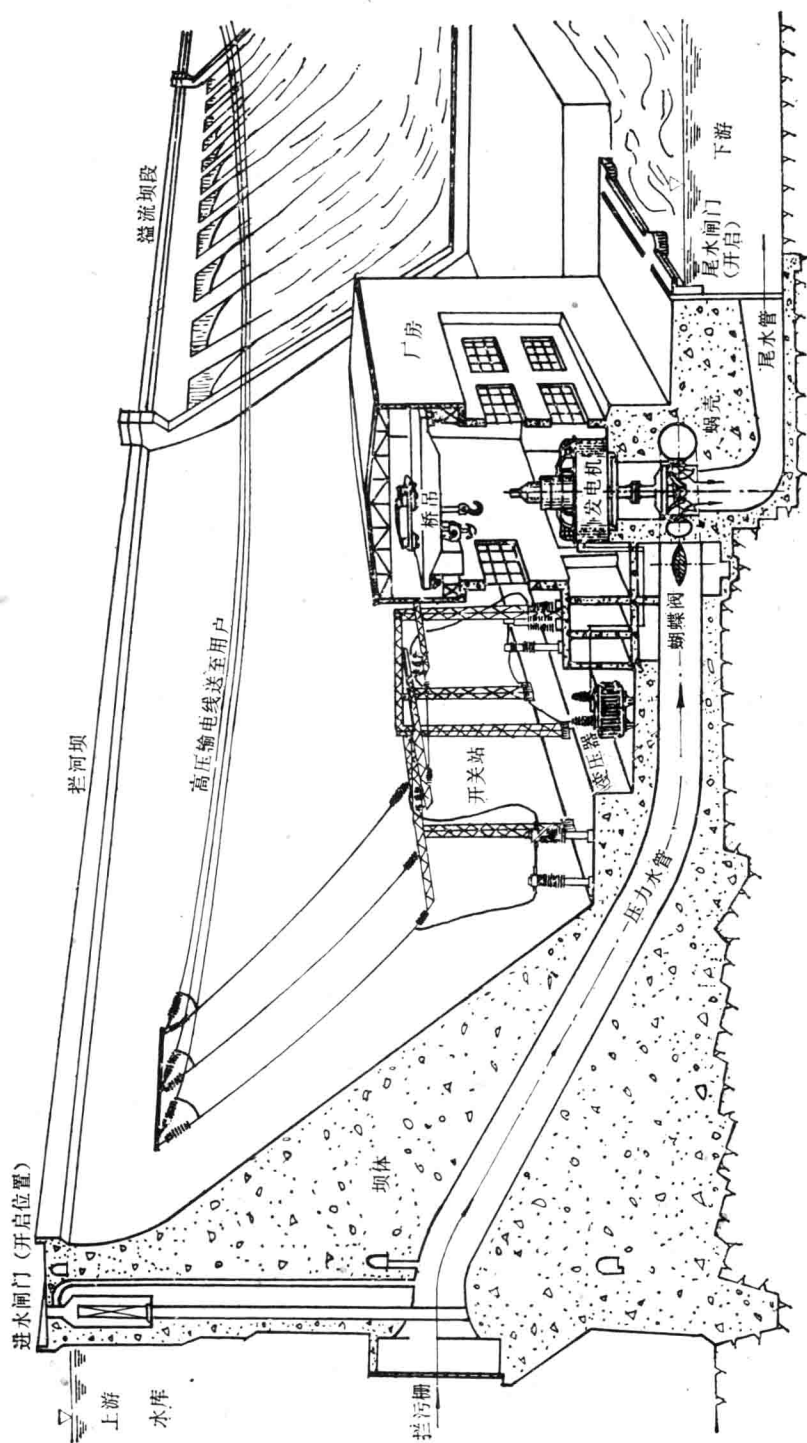


图 1-2 坝后式水电厂生产过程示意图

3. 混合式水力发电厂

混合式水力发电厂是堤坝式和引水式两者兼有的水力发电厂。它的特点是，其一部分落差由拦河坝集中，另一部分落差由引水道集中，如安徽的梅山水电厂即属此种型式。

水力发电厂除上述几种类型外，还有抽水蓄能式水力发电厂。这种水电厂的工作特点是：在低负荷时，利用多余的电能将水由低蓄水池抽至高蓄水池，而在高峰负荷时放水发电，以增大出力，如北京的密云水电厂即属此种型式。

(二) 水电厂的生产过程

水力发电厂的生产过程要比火力发电厂简单得多，下面以图1-2为例来说明其生产过程：由拦河坝维持在高水位的水，经压力水管进入螺旋形蜗壳，推动水轮机转子转动，将水能变为机械能，再由水轮机带动发电机旋转，于是将机械能转变成电能。作过功的水经过尾水管排往下游，发电机发出的电能，除极少部分供厂用外，大部分经升压变压器升压后由输电线路送至系统。

水力发电厂的优点是：生产过程简单，运行维护人员较少，且易于实现自动化；发电成本低；水力机组效率高，改善运行方式较为灵活；起动迅速，在系统中的其他电厂发生事故时，能有力地发挥其后备作用；不存在污染问题。再者，随着水力发电厂的兴建，往往还可以解决发电、防洪、灌溉、航运等多方面的问题，从而实现河流的综合利用，使国民经济取得更大效益。水力发电厂存在的问题是受水文等条件的影响较大。

(三) 水力发电厂的容量

如前所述，水电厂的容量大小决定于水头和流量的大小，它们三者之间的关系可用下式表示：

(按工程实用单位1米³水重为1000公斤。1千瓦=102公斤·米/秒。)

$$P = \frac{1000QH}{102} \eta_s = 9.81QH\eta_s \text{ (千瓦)} \quad (1-3)$$

式中 Q ——通过水轮机的水流量，米³/秒；

H ——水力发电厂的水头，米；

η_s ——水轮发电机的总效率(考虑了水轮机，发电机、传动设备等的能量损耗后的总效率)，一般此值取0.85~0.86。

四、原子能发电厂简介

近二十年来，世界上原子能发电厂发展较快，投入运行的有200多个，其容量占世界电力总容量的25%左右。我国原子能发电厂正在筹建中。

原子能发电厂的基本原理是把原子核裂变所产生的原子能转变为热能，将水加热为蒸汽，然后同一般火力发电厂一样，用蒸汽推动汽轮机，再带动发电机发电。原子能发电厂与火力发电厂在构成上的最主要区别是前者用核蒸汽发生系统(反应堆、蒸汽发生器、泵和管道等)来代替后者的蒸汽锅炉。原子能发电厂的主要优点之一是可以大量节省煤、石油等燃料。例如一座容量为50万千瓦的火电厂每年至少要烧掉150万吨煤，而同容量的原子能发电厂每年只要消耗600公斤的铀燃料就够了。其造价比火电厂高，发电成本与烧煤火电厂相差不多，比烧油火电厂低很多。

1-3 发电厂和变电所的电气设备概述

为了便于学习本书以后各章节，下面对发电厂和变电所的电气设备及电气主接线等一些基本概念作一简单介绍。

一、主要电气设备的用途及其分类

发电厂和变电所的主要任务是生产、输送和分配电能。为此，运行人员须根据负荷变化的要求，起动、调整或停运机组，对电路进行必要的切换，经常地监视主要设备的工作，周期性地检查和维护主要设备，定期检修设备以及迅速消除发生的故障等。根据生产上的要求，发电厂变电所中装设的主要电气设备有：

- (1) 生产和变换电能的设备 如发电机、调相机、变压器、电动机等；
- (2) 接通和断开电路的开关设备 如断路器、隔离开关、自动开关、接触器、刀闸开关等；
- (3) 限制电流或过电压的设备 如电抗器、避雷器等；
- (4) 保护电器 如熔断器、保护装置的继电器等；
- (5) 测量和监察设备 如电流表、电压表、功率表、绝缘监察装置以及供测量仪表和继电器用的辅助设备——电流互感器及电压互感器等。

除上述设备外，发电厂变电所中还有直流设备，如蓄电池、硅整流器等。

上述电气设备又可分为一次设备和二次设备。

直接生产和输配电能的设备称为一次设备，如前述(1)、(2)、(3)项。此外，还包括母线、电力电缆、熔断器、电流及电压互感器等。

对一次设备的工作进行监察、测量和操纵控制及保护的设备称为二次设备，如仪表、继电器、控制电缆、自动控制设备及信号设备等。

二、电路图的分类及其应用

将发电厂变电所中的一次设备，依一定的顺序用导线连接成的电路称为一次电路（电气主接线）。一次电路中，各设备元件按规定的图形符号表示的图称为一次电路图（主接线图）。二次设备连成的电路称为二次电路（二次接线），其中各元件按规定的图形符号表示的图，称为二次接线图。

主接线图分有三线图和单线图两种：

1. 三线图 它是用三根线表示三相电路的一次设备连接图，如果电力设备有零线时，也应画在图上。三线图画图繁琐、看图不便，故很少采用。

2. 单线图 它是利用三相电路的对称性，只画出其中一相（B）的连接图。如果装置有零线时，则可将它在图上用虚线表示。若三相设备布置不同，则可在单线图上将三相不同处画成局部的三线图。单线图绘制容易、简单清晰、看图方便，故得到广泛应用。

电气主接线图的用途：

(1) 反映发电厂和变电所的运行方式。在发电厂、变电所和电力系统的调度部门，由于运行的需要，在控制室都挂有简化的主接线模拟图，用来指示电气设备的实际运行状

态（断路器、隔离开关的“分”、“合”，如图1-3中 DL_F 、 $1DL$ 和 G_1 、 G_2 在分闸位置，其他设备在合闸位置）；

（2）指示设备停用、检修状态及安全措施的实际情况。如图1-3中，断路器 $1DL$ 检修，其两侧隔离开关 G_1 、 G_2 断开，并接地；

（3）主接线图能帮助运行人员进行正确地倒闸操作，分析和处理事故。

三、电力系统的负荷及其分类

（一）电力负荷

电力系统有着各种不同的用电部门（简称用户），如工业、农业、交通运输、国防、市政、生活等，所取用的功率统称为负荷（或称负载）。

发电厂的发电机既是有功功率电源，也是无功功率电源，它在任一时刻所发出的有功功率和无功功率总是与负荷相平衡。如果系统中电源发出的有功功率大于负荷需要的有功功率，则将使频率升高；反之，则频率降低。如果无功电源功率大于负荷需要的无功功率，则将使电压升高；反之，则电压降低。为了保证电能的频率和电压的稳定，在系统中需采取调频、调压措施。

（二）负荷分类

根据重要程度和对供电可靠性的要求，负荷可分为三类：

1. 第一类负荷 对这类负荷如供电中断，将造成人身伤亡，设备损坏，产品报废，生产秩序长期不能恢复，给国民经济造成巨大损失，或使城市生活发生严重混乱，如钢铁厂、重要矿井、大中城市的重要照明等。所以，对第一类负荷必须有两个独立电源供电。

2. 第二类负荷 对这类负荷如供电中断，将造成生产严重下降或产生次品，如纺织厂、化工厂等。因此，第二类负荷亦较重要，可用两个电源供电。

3. 第三类负荷 这类负荷可以非连续性地用电，如附属车间、修配车间，小城市公用电等。对三类负荷，通常用一个电源供电。

当电力系统发生事故时，为保证重要负荷用电的可靠性及电能质量，除了尽可能提高发电机的出力外，可暂停对第三类负荷，甚至第二类负荷的供电。

四、变电所的用途及类型

发电厂生产的电能除直接供厂用电和近区负荷外，其余电能须经变压器升高电压后送给远方用户（或电网），为此，发电厂中设有升压变电所。

各种用电设备（如电动机、电灯等），为了便于成批制造，产品的参数（如电压、频率等）都有标准化的规格。

一般用电设备的额定电压较低（10千伏以下），而电力网的额定电压一般较高，为此，须将高压电经过变压器降到一定值，有时需要经过几次降压后才能向用户供电（参见图1-6）。所以变电所是改变电压、调整电压和分配电能的场所。

变电所类型很多，按用途可分升压、降压和联络变电所等；按变电所在电力系统中的

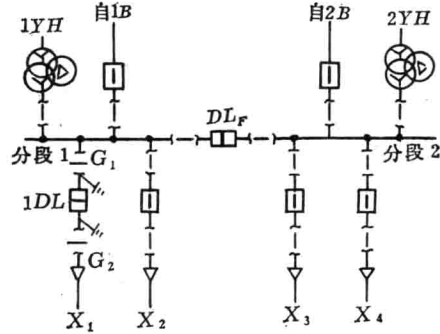


图 1-3 电气主接线（模拟图）

地位、容量大小和供电范围，可分为区域变电所、地方变电所等

五、输电线路的电压和功率损耗

下面以图 1-4 所示的输电线路为例来分析线路上的电压、功率损耗情况。若已知线路等值阻抗 $Z=R+jX$ 、末端有功负荷 P_2 、无功负荷 Q_2 、电压 U_2 ，则可求得线路上的电压损耗和功率损耗。其简化电路如图 1-4 (a) 所示。当由电源通过线路向负荷输送功率时，电压变化的向量图如图 1-4 (b) 所示。始末两端电压的向量差称为线路电压降落，可由下式表示。

$$d\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

或

$$\dot{U}_1 = (U_2 + \Delta U) + j\delta U \quad (1-4)$$

式中 电压纵分量 $\Delta U = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2}$;

电压横分量 $\delta U = \frac{P_2 X - Q_2 R}{U_2}$ (其值很小可略去)。

则始端电压值:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + \delta U^2} \approx U_2 + \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} \quad (1-5)$$

线路始、末端电压数值之差称为电压损耗，即

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2}$$

当 U_1 为一定时，若线路上的电压损耗 ΔU 愈大，则用户的端电压 U_2 就愈低。通常，把线路末端电压与额定电压 U_e 之差，即 $U_2 - U_e$ 称为末端电压偏移。

线路上的功率损耗简称线损，它包括有功损耗 ΔP 和无功损耗 ΔQ 两部分，可用下式计算

$$\Delta Q = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} X \times 10^{-3} \text{ (千乏)} \quad (1-6)$$

$$\Delta P = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} R \times 10^{-3} \text{ (千瓦)} \quad (1-7)$$

线路上损耗的电能与线路始端输入电能的比值称为线损率，线损率常以百分值表示。当供电线路的始、末端都装有电度表时，线损率可按下式计算

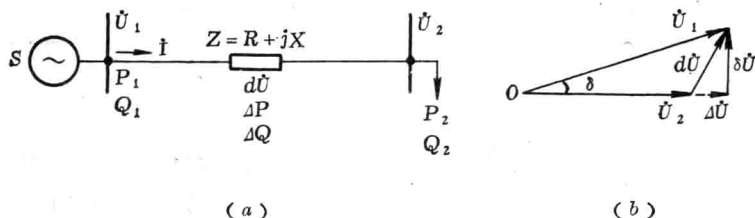


图 1-4 输电线路电压变化向量图

(a) 输电线路简化电路; (b) 电压向量图

$$\Delta W\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1-8)$$

式中 W_1 ——计算时间内供电端电度表走过的电度数；

W_2 ——计算时间内用电端电度表走过的电度数。

综上所述，当输电功率、距离为一定时，线路上的电压损耗与输电电压成反比，功率损耗与输电电压的平方成反比。因此提高输电电压可减少功率损耗，减少有色金属材料用量，同时可提高用户的电压质量，这也是远距离输电需要升高电压的原因之一。

1-4 电气设备的额定值

一、额定电压及应用范围

国家根据国民经济发展的需要、技术经济的合理性、制造能力和产品系列性等各种因素所规定的电气设备的标准电压等级，如表1-1和表1-2所示。因此，电气设备应在它的额定电压下工作，此时既安全也最经济。

(一) 我国的额定电压分类

1. 第一类 额定电压在100伏以下，主要用于安全照明、蓄电池及开关设备的直流操作电压。直流为6、12、24、48伏；交流为单相12、36伏，三相（线电压）36伏。

2. 第二类 额定电压见表1-1，主要用于动力和照明设备。

3. 第三类 额定电压为3千伏及以上的高压（见表1-2），主要用于发电机、变压器、送电线路及用电设备。

表 1-1 第 二 类 额 定 电 压（伏）

用 电 设 备			发 电 机		变 压 器				备 注
直 流	三 相 交 流 (伏)		直 流	三 相 交 流 (线电压)	三 相 交 流		单 相 交 流		
	线 电 压	相 电 压			一 次 线 圈	二 次 线 圈	一 次 线 圈	二 次 线 圈	
110	(127)		115	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)	括号内 电压用于 矿井或保 安条件要 求较高的 场所
220	220	127	230	230	220	230	220	230	
	380	220		400	380	400	380	—	
440			460						

(二) 各种电气设备额定电压之间的关系及应用

表1-2为第三类额定电压。我国用电设备额定电压与电力网（线路）的额定电压是相等的，有0.22、0.38、3、6、10、35、63、110、220、330、500、750千伏等。但是表中供电设备的额定电压与用电设备的额定电压并不一致，这可用图1-5电力网络中的电压分布说明如下：