

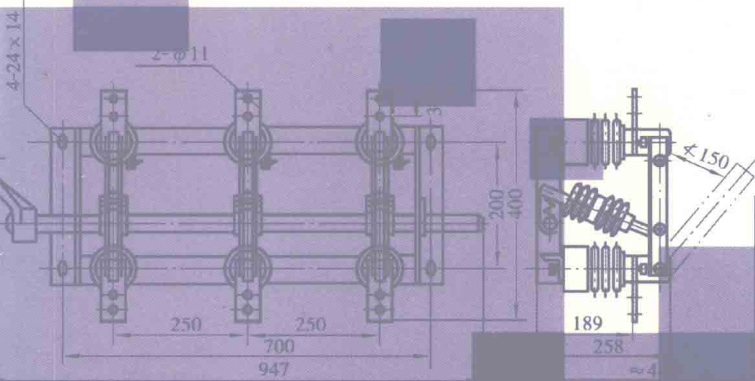
— 高职高专电气系列教材 —

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI XILIE JIAOCAI

# 发电厂 变电站电气设备

FaDianChang BianDianZhan DianQi SheBei

■ 主 编 黄益华  
■ 副主编 王朗珠 肖中华



重庆大学出版社

# 发电厂 变电站电气设备

主 编 黄益华  
副主编 王朗珠 肖中华

重庆大学出版社

## 内 容 简 介

本书着重讲述发电厂、变电站电气一次设备及电气主系统的各种形式,相应介绍了主要电器的基本工作原理和特性。内容包括:电气主接线和厂用电系统的构成及适用特点;电弧及载流导体的发热和电动力基本理论;导体和电器的基本结构及功能;配电装置的形式;发电厂、变电站直流部分;断路器的控制等。

本书可为发电厂、变电站及相关“电气”专业的教材,同时也可作为从事发电厂、变电站工作的电气运行人员的培训参考教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

发电厂变电站电气设备/黄益华主编. —重庆:重庆大学出版社,2005.1

(高职高专电气系列教材)

ISBN 7-5624-3312-7

I. 发... II. 黄... III. ①发电厂—电气设备—高等学校:技术学校—教材②变电所—电气设备—高等学校:技术学校—教材 IV. TM6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 141484 号

### 发电厂 变电站电气设备

主 编 黄益华

副主编 王朗珠

肖中华

责任编辑:彭 宁 何建云 版式设计:彭 宁

责任校对:邹 忌 责任印制:秦 梅

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:[fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:324千

2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-3312-7

定价:19.00元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换  
版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究。

# 前言

随着教育体制的改革深化和电力工业的发展,适应目前高职高专院校培养目标的教材颇为匮乏,针对目前高职高专教材需求状况,广泛的采集和征求各方面的意见,汇集多位长期从事高职高专教学,经验丰富的教师的讲义编写成本教材。

本教材结合现代电气设备的使用及运行状况,结合高职高专学生实际情况,采用较多的图例,来使读者建立对电气设备的初步认识;内容全面简要,结构层次清晰,努力克服理论知识“偏多、偏难、偏深”的倾向,基本理论与概念的介绍做到实用、够用。此外,为了帮助读者加深理解每章内容,附有一定数量的思考题,以供选做。

本教材紧密结合现场生产的要求,专业针对性强,浅显易懂。若加强理论与实践相结合进行学习与教学,效果较佳。

本书第1章、第6章和第11章由重庆电力高等专科学校王朗珠编写;第2章由重庆电力高等专科学校黄益华编写;第3章、第4章由贵州电力职业技术学院饶忠兰编写;第5章、第7章由广西柳州职业技术学院冯美英编写;第9章、第10章由广西水电职业技术学院肖中华编写;第12章由重庆电力高等专科学校何明芳编写。全书由黄益华统稿。

限于编者水平,书中难免存在一些疏漏和错误,希望广大读者给予指正。

编者

2004年12月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 我国电力工业发展概况 .....	1
1.2 未来中国电源发展战略 .....	2
1.3 发电厂和变电站的类型 .....	3
1.4 发电厂、变电站电气设备简述 .....	6
思考题 .....	7
第 2 章 开关电器 .....	8
2.1 开关电器的用途和分类 .....	8
2.2 开关电器的电弧产生及灭弧 .....	8
2.3 高压断路器 .....	10
2.4 隔离开关 .....	21
2.5 高压熔断器 .....	24
思考题 .....	27
第 3 章 互感器 .....	29
3.1 电压互感器 .....	29
3.2 电流互感器 .....	35
3.3 互感器的配置 .....	40
思考题 .....	42
第 4 章 母线、电缆、绝缘子 .....	43
4.1 母线 .....	43
4.2 电缆 .....	47
4.3 绝缘子 .....	52
思考题 .....	56
第 5 章 限流电器 .....	57
5.1 限流原理与措施 .....	57
5.2 电抗器 .....	59
5.3 分裂变压器 .....	61
5.4 限流电器的应用 .....	63
思考题 .....	64

<b>第 6 章 电气主接线</b> .....	65
6.1 对电气主接线的要求 .....	66
6.2 电气主接线的形式 .....	68
6.3 典型主接线的举例分析 .....	80
思考题.....	86
<b>第 7 章 自用电</b> .....	87
7.1 自用电负荷的分类 .....	87
7.2 发电厂的厂用电接线 .....	89
7.3 变电所的所用电 .....	94
7.4 自用电接线举例 .....	96
思考题 .....	100
<b>第 8 章 电气设备的发热和电动力计算</b> .....	101
8.1 电气设备的允许温度.....	101
8.2 导体的长期发热计算.....	103
8.3 导体短路时的发热计算.....	104
8.4 导体短路时的电动力计算.....	110
思考题 .....	113
<b>第 9 章 电气设备选择</b> .....	114
9.1 电气设备和载流导体选择的一般条件.....	114
9.2 单条矩形母线的选择.....	115
9.3 支持绝缘子的选择.....	120
9.4 高压断路器的选择与校验.....	122
9.5 高压隔离开关的选择.....	123
9.6 限流电抗器的选择.....	124
9.7 互感器的选择.....	129
思考题 .....	135
<b>第 10 章 配电装置</b> .....	138
10.1 概述 .....	138
10.2 屋内配电装置 .....	143
10.3 屋外配电装置 .....	145
10.4 成套配电装置 .....	150
思考题 .....	153
<b>第 11 章 发电厂、变电站的直流系统</b> .....	154
11.1 直流负荷和直流操作电源类型 .....	154
11.2 铅酸蓄电池的结构及工作特性 .....	155

11.3	固定型密封免维护铅酸蓄电池 .....	161
11.4	蓄电池组直流系统 .....	165
11.5	高频开关整流装置简介 .....	169
	思考题 .....	173
<b>第 12 章</b>	<b>发电厂、变电站二次电路及断路器控制 .....</b>	<b>174</b>
12.1	二次接线图及其表示方法 .....	174
12.2	断路器的控制 .....	178
12.3	变电所微机实时监控系统 .....	183
	思考题 .....	184
	<b>附录 .....</b>	<b>185</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>199</b>

# 第 1 章

## 绪 论

本章首先阐述我国目前电力工业的发展远景,而后介绍发电厂和变电站的各种类型及特点,以及主要配电设备的作用。最后指出学习本课程的目的、任务和方法。

### 1.1 我国电力工业发展概况

电力是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,它可简便地转换成另一种形式的能量。例如,电动机,是将电能转换成机械能,拖动各种机械;又如我们日常使用的电灯,是将电能转换为光能,满足照明需要。其次,电能经过高压输电线路,可输送很远的距离,供给远方使用。另外,许多生产部门利用电能进行控制,更容易实现自动化,提高产品质量和经济效益。

电力工业应满足国民经济发展的需要,因此,在国民经济中保持电力工业适度的超前发展是十分必要的。

中国经济的持续快速发展大大推动了电力行业的发展。“十五”(2001—2005年)后期至2020年,中国电力工业将进入一个新的发展时期,全国电力装机容量将会实现大幅增长。截至2003年底,中国电力装机容量达到3.8亿kW,预计到2005年将达到4.5亿kW以上,2010年将达到6.5亿kW左右,2020年将达到9.5亿kW左右。

目前中国百万千瓦以上的水、火、核电站的总数已达到107座,比2000年初增加27座。中国已形成以大型发电厂和高效大容量发电机组为骨干的电力生产体系。进入21世纪的中国电力工业发展已步入了大电网、大机组、高参数、超高压和自动化、信息化及全国联网的新阶段。

火电站中装机容量最大的为福建漳州后石电厂,为360万kW。水电站装机容量最大的是在建的三峡水电站,为1820万kW。核电站中装机容量最大的为广东岭澳核电站,为198万kW。新能源的开发方面,中国电力企业联合会的统计显示,经过近10年以年均55%的快速增长后,至2003年底,中国内地已建成的风力电厂达40个,风力发电机组达1042台,累计装机总容量为56.7万kW。300MW火力机组已成为我国主力发电机组,目前我国已具备600MW级及以上容量火力发电机组的设备制造能力,单机容量为600MW机组的电厂目前已开始相继投建。



中国风能资源非常丰富,尤其是西北、东北和沿海地区。为此,中国有关部门已作出规划,到2005年中国风力发电装机总量将达到100万kW,到2010年将达到400万kW,到2020年将达到2000万kW,届时在全国电力能源结构中的比例将占到2%。

我国各地资源分布和经济发展很不平衡:从一次能源分布看,水能资源主要集中于西部和西南部地区,可开发容量占全国83%,煤炭资源集中于华北和西北部地区,占全国80%;从各地区发展和电力消费水平看,中部和东部沿海地区经济总量占全国82%,电力消费占78%,而西部地区则分别只占18%和22%。这种资源和经济发展的不平衡客观上要求必须加快全国联网,推动西电东送和南北互供,以促进全国范围内的资源优化配置。早在1989年,就已形成了7个跨省电网:东北电网、华北电网、华东电网、华中电网、西北电网、西南电网、南方互联电网(含香港电网和澳门电网)。在经历了从省网发展到大区电网的积累后,跨大区电网互联工程大步推进。1989年9月,华中华东电网之间的 $\pm 500$  kV超高压直流输电工程(1.2 GW)投入运行,在中国首次实现非同步跨大区联网。“十五”期间全国联网取得实质性进展。2005年前后,将以三峡工程为中心,以华中电网为依托,向东西南北四个方向辐射,建设四个方向的联网和输电线路,同时不断扩大北中南三个主要西电东送通道规模。届时,除新疆、西藏、海南、台湾外,全国互联电网格局基本形成。

## 1.2 未来中国电源发展战略

中国能源资源的格局决定国内目前及未来电力行业发展的基本格局。中国未来电源发展的策略体现在以下几方面。

### 1.2.1 优化发展火电

不断优化火电的机组结构、技术结构和地区结构,实现火电技术的产业升级和更新。新建的燃煤电厂主要采用单机容量30万kW及以上的高参数、高效率、调峰性能好的机组。在山西、陕西、内蒙和西南等能源基地建设矿区、坑口电厂,向东部及沿海缺能地区送电,促进更大范围的资源优化配置,推动全国联网。积极引进和发展超临界机组,推进循环硫化床等洁净煤发电示范工程。通过引进、消化、吸收国外先进的技术,加快循环硫化床锅炉和脱硫设备的国产化步伐。

### 1.2.2 积极发展水电

重点开发长江中上游及其干支流、红水河、澜沧江中下游、乌江和黄河上游等流域的水电资源。调峰能力不足、系统峰谷差大的电网,在对各种调峰手段进行充分论证的基础上,选择技术经济性较好的站址,适当建设抽水蓄能电站。

### 1.2.3 适量建设天然气电站

在沿海缺能地区及大城市,根据国内天然气资源开发、西气东输工程的进展,以及国际天然气市场的情况,因地制宜地适量发展燃气蒸汽联合循环机组,促进国内天然气资源的开发利用,增加电网调峰能力。

### 1.2.4 适当发展核电

适当建设核电国产化驱动项目,逐步实现核电自主设计、制造、建设和运营的目标。

### 1.2.5 因地制宜发展新能源发电

加快以风力发电为主的新能源发电项目的建设,在新疆、内蒙、东北、华北和东南沿海地区开发规模较大的风力发电场。继续开发利用太阳能、地热能等新能源发电。

## 1.3 发电厂和变电站的类型

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。为了便于了解电能的生产,下面首先简要叙述发电厂和变电所的类型。

### 1.3.1 发电厂类型

#### (1) 火力发电厂

火力发电厂是指用煤(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,排入凝汽器中冷却成水,又重新送回锅炉。在凝汽器中,大量的热量被循环水带走,因此凝汽式火电厂的效率较低,只有30%~40%。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。

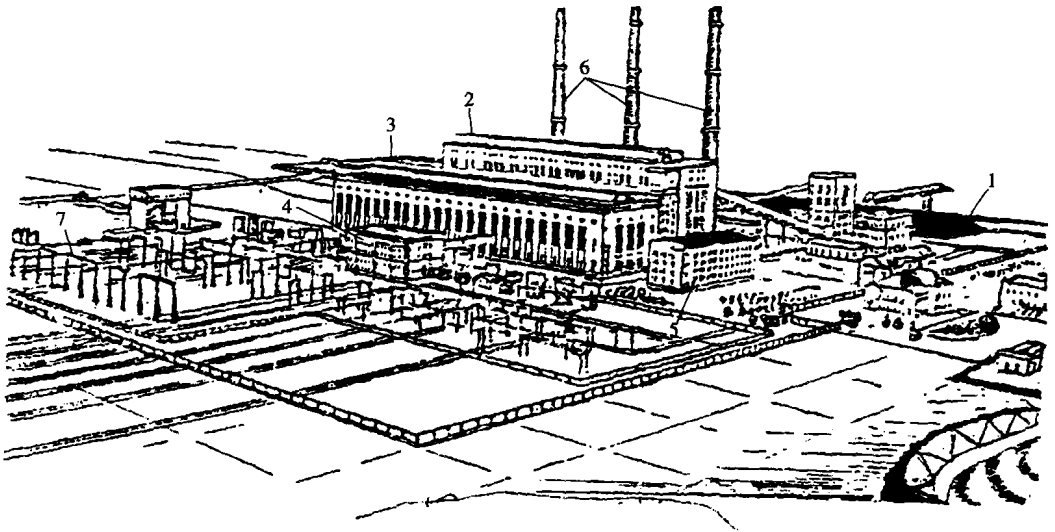


图 1.1 火电厂布置图

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的不同之处在于:汽轮机中一部分作过功的蒸汽,从中段抽出供给用户,或经热交换器将水加热后,再把热水供给用户。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

水力发电厂把水的位能和动能转变成电能,通常简称水电厂或水电站。根据水力枢纽布置的不同,水电厂又可分为堤坝式、引水式等。

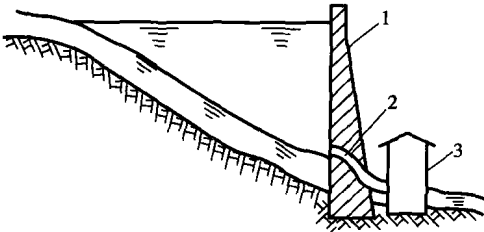


图 1.2 坝后式水电厂  
1—坝;2—压力水管;3—厂房

1) 堤坝式水电厂: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,这种开发模式称为堤坝式。堤坝式水电厂又可分为坝后式和河床式 2 种。

① 坝后式水电厂:这种水电厂的厂房建筑在坝的后面,全部水压由坝体承受。水库的水由主压力水管引入厂房,转动水轮发电机发电。坝后式水电厂适合于中、高水头的情况,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连成一体,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 30 m 以下,如图 1.3 所示。

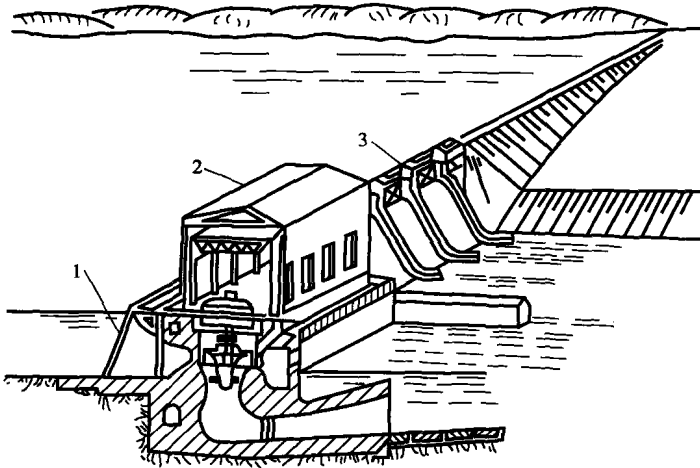


图 1.3 河床式水电厂  
1—进水口;2—厂房;3—溢流坝

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。

电厂是专主供发电用的。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。后者是当电力系统处于低负荷时,系统尚有多余电力,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,机组便按水轮机-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,抽水蓄能电厂还可作调频、调相、系统备用容量

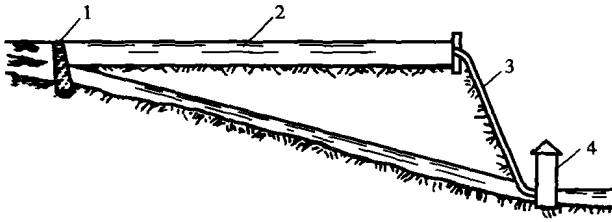


图 1.4 引水式水电站

1—堰;2—引水渠;3—压力水管;4—厂房

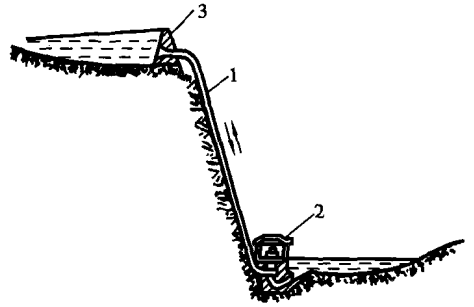


图 1.5 抽水蓄能电厂

1—压力水管;2—厂房;3—坝

和生产季节性电能等多种用途。

抽水蓄能电厂的机组常用形式有 2 种:三机式——同步电机、水轮机和水泵三者联成一套同轴机组;二机式——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。

前述水电站的布置形式,无论是堤坝式还是引水式,同样都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,将热能转换为电能,它的原子核反应堆相当于锅炉。核反应堆中,除装有核燃料外,还以重水或高压水作为慢化剂和冷却剂,因此,核反应堆又可分为重水堆、压水堆等。图 1.6 为压水堆核电厂发电方式示意图。

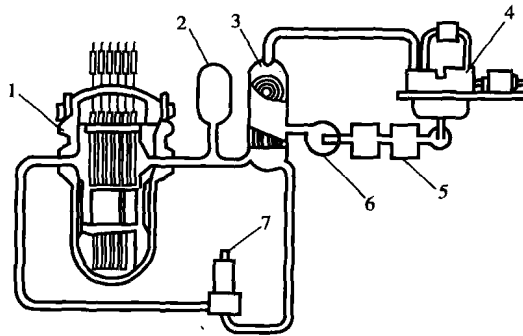


图 1.6 压水堆核电厂发电方式示意图

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

核反应堆内铀-235 在中子撞击下,使原子核发生裂变,产生的巨大能量主要是以热能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。

1 kg 铀-235 所发出的电力与 2 700 t 标准煤所发出的电力几乎同样多。

### (4) 其他发电方式

利用其他一次能源发电的,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。

#### 1.3.2 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,水电厂发出的电力经过 500 kV 超高压输电线路送至枢纽变电所去。220 kV 的电力网构成环形,可提高供电可靠性。

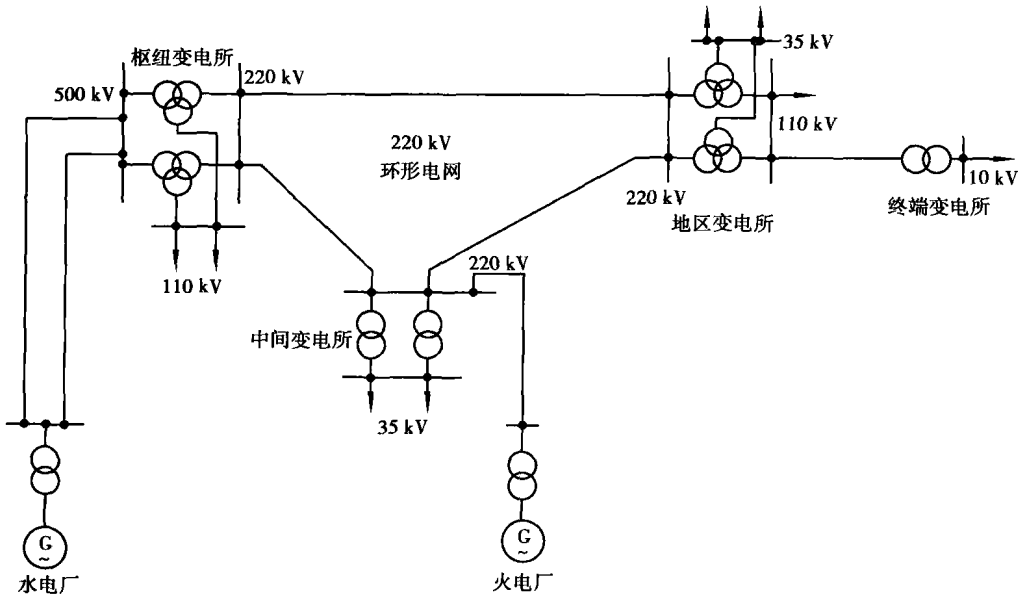


图 1.7 电力系统原理接线图

变电所根据它在系统中的地位,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 ~ 500 kV 的变电所,称为枢纽变电所。全部停电后,将引起系统解裂,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 ~ 330 kV,同时又降压供给当地用电,这样的变电所主要起中间环节的作用,因此称为中间变电所。全所停电后,将引起区域电网解裂。

(3) 地区变电所

地区变电所的高压侧电压一般为 110 ~ 220 kV,以向地区用户供电为主,这是一个地区或城市的主要变电所。全部停电后,仅使该地区中断供电。

(4) 终端变电所

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

## 1.4 发电厂、变电所电气设备简述

为满足生产需要,发电厂、变电所中安装有电气设备。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换成电能,电动机将电能转换成机械能,变压器将电压升高或降低,以满足输配电需要。这些都是发电厂中最重要的设备。

**(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,均同埋入地中的接地装置相连。

**(5) 载流导体**

如裸导体、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,能迅速反应不正常情况并进行监控和调节。例如,可用于断路器跳闸,将故障切除。

4) 直流电源设备,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。

## 思考题

1. 我国电力工业发展的方针是什么?
2. 发电厂、变电所的类型有哪些? 各有什么特点?
3. 哪些设备属于一次设备? 其功能是什么?

# 第 2 章

## 开关电器

---

### 2.1 开关电器的用途和分类

电力系统中,发电机、变压器以及线路等元件,由于改变运行方式或发生故障,需将它们接入或退出时,要求可靠而灵活地进行切换操作。例如:在电路发生故障情况下,须能迅速切断故障电流,把事故限制在局部地区并使未发生故障部分继续运行,以提高供电的可靠性;在检修设备时,隔离带电部分,保证工作人员的安全等。为了完成上述操作,在电力系统中必须装设开关电器。根据开关电器的不同性能,可将其分为以下几类:

①低压刀闸开关、接触器、高压负荷开关等开关电器,用来在正常工作情况下开断或闭合正常工作电流。

②熔断器,用来开断过负荷电流或短路电流。

③高压隔离开关,只用来在检修时隔离电源,不允许用其开断或闭合电流。

④自动分断器,用来在预定的记忆时间内根据选定的计数次数在无电流的瞬间自动分断故障线路。

⑤高压断路器、低压空气开关等开关电器,既用来开断或闭合正常工作电流,也用来开断或闭合过负荷电流或短路电流。

高压断路器根据安装地点,可分为户内式和户外式 2 种。依其采用的灭弧介质及工作原理不同又分为油断路器、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)断路器、真空断路器、空气断路器、自产气断路器等几种型式。

### 2.2 开关电器的电弧产生及灭弧

开关电器是通过动、静触头来接通或断开电气设备的。在触头接通或触头分离时,触头间可能出现电弧。电弧是一种气体放电,即气体在某种条件下,其分子分解成正、负离子而产生导电的现象。因此,开关的触头虽然已分开,但触头间只要有电弧存在,电路就没有断开,电流

仍然存在。电弧的温度极高,可能烧坏触头及触头附近的其他附件。如果电弧长久不能熄灭,将会引起电器被毁坏甚至爆炸,危及电力系统的安全运行,造成生命财产的极大损失。因此在切断电路时,必须尽快地使电弧熄灭。要使电弧能尽快熄灭,首先应了解电弧的形成过程。

### 2.2.1 电弧的产生

在断路器触头分离时,由于触头间接触压力不断下降,接触面积不断减小,使接触电阻迅速增大,接触处的温度将急剧升高。另一方面,触头开始分离时,由于触头间的距离很小,即使触头间的电压很低,只有几百伏甚至只有几十伏,但电场强度却很大。如间隙距离为  $1 \times 10^{-5}$  cm 时,电场强度可达  $1.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^7$  V/cm。由于上述两个原因,阴极表面就可能向外发射出电子,这种现象称为热电子发射或强电场发射。从阴极表面发射出来的电子,在电场力的作用下向阳极作加速运动,并不断与中性质点碰撞。如果电场足够强,电子所受的力足够大,而两次碰撞的自由行程足够大,电子积累的能量足够多,则发生碰撞时就可能使中性质点发生游离,产生新的自由电子和正离子,如图 2.1 所示。新产生的电子又和原来的电子一起以极高的速度向阳极运行,当它们和其他中性质点碰撞时,又会产生碰撞游离。碰撞游离连续不断地发生,使触头间充满了电子和正离子,介质中带电荷质点大量增加,使触头间形成很大的电导。在外加电压下,大量电子向阳极运行,形成电流,这就是所说的介质被击穿而产生的电弧。触头间形成电弧后,产生很大的热量,使介质温度急剧升高,在高温作用下中性质点由于高温而产生强烈的热运动。它们之间不断碰撞的结果,又可能发生游离,即热游离,使电弧得以维持和发展。

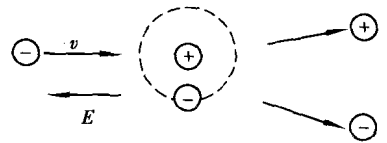


图 2.1 电场碰撞游离

### 2.2.2 电弧的熄灭

在电弧中,介质因游离而产生大量的带电粒子的同时,还发生带电粒子消失的相反过程,称为去游离。如果带电粒子消失的速度比产生的速度快,电弧电流将减小而使电弧熄灭。带电粒子的消失是因为复合和扩散两种物理现象造成的。

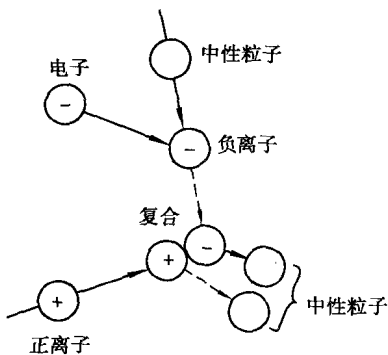


图 2.2 间接的空间复合过程

**复合:**异性带电质点的电荷彼此中和成为中性质点的现象称为复合。电子与正离子的速度相差太大,所以电子与正离子直接复合的几率小;通常是电子先附在原子形成负离子,再与正离子复合,如图 2.2 所示。

**扩散:**弧柱中的带电质点,由于热运动而从弧柱内部逸出,进入周围介质的现象称为扩散。

开关电器的灭弧原理就是在断路器触头分开的同时,利用液体或气体吹弧,或将电弧拉入绝缘冷壁做成的窄缝中,迅速地冷却电弧,减小离子的运动速度。同时,增加气体的压力和气体密度,使离子间的自由行程缩短,复合的几率增加,碰撞游离和热游离的几率减小。

另外,还可以使电弧中的高温离子密度大的空间向密度小、温度低的介质周围方向扩散,电弧和周围介质的温度及离子浓度差愈大,扩散作用愈强。扩散出来的离子,因冷却而相互结合成



为中性质点。总之,在断路器开断电路时,强迫冷却电弧的内部和表面,增强离子的复合速度,尽快恢复介质的绝缘强度,使电弧很快熄灭。

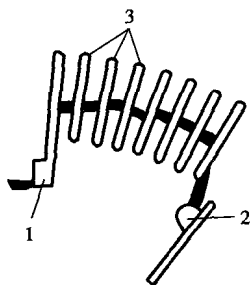
### 2.2.3 交流电弧的特性与熄灭

在交流电路中,电流的瞬时值不断地随时间变化,并且从一个半周到下一个半周过程中,电流要过零一次。在电流过零前的几百微秒,由于电流减小,输入弧隙的能量也减小,弧隙温度剧烈下降,弧隙的游离程度下降,介质绝缘能力恢复,弧隙电阻增大。当电流过零时,电源停止向弧隙输入能量,电弧熄灭。此时,由于弧隙不断散出热量,温度继续下降,去游离作用进一步加强,使弧隙介质强度逐渐恢复(介质绝缘能力恢复)。同时,电源加在断口上的恢复电压也在逐渐增加,当弧隙的介质强度的恢复速度大于电源恢复电压的速度时,电弧就会熄灭;反之,电弧就会重燃。

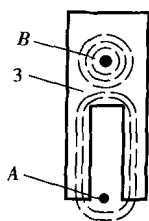
综上所述,在电流过零后,人为地采取有效措施加强弧隙的冷却,使弧隙介质强度恢复到不会被弧隙外施电压击穿的程度,则在过零后的下半周,电弧就不会重燃而最终熄灭。开关电器中的灭弧装置就是基于这一原理而产生的。加强弧隙的去游离使介质强度恢复速度加大,或减小弧隙上的电压恢复速度,都可以使电弧熄灭。为此,现代开关电器中广泛采用的灭弧方法,归纳起来有以下几种:

①利用油或气体吹动电弧。

②断口上加装并联电阻:降低了恢复电压的上升速度,同时分流也有利于熄弧。



(a)



(b)

图 2.3 电弧在灭弧栅内熄灭

③采用多断口灭弧:由于加在每个断口上的电压降低,使弧隙的恢复电压降低,因此灭弧性能更好。

④金属栅片灭弧装置:这种灭弧装置的构造原理如图 2.3 所示。灭弧室内装有很多由钢板冲成的金属灭弧栅片,栅片为磁性材料。当触头间发生电弧后,由于电弧电流产生的磁场与铁磁物质间产生的相互作用力,把电弧吸引到栅片内,将长弧分割成一串短弧,当电流过零时,每个短弧的阴极附近会立即出现 150 ~ 250 V 的介质强度。

如果作用于触头间的电压小于各个间隙介质强度的总和时,电弧必将熄灭。

## 2.3 高压断路器

### 2.3.1 高压断路器的基本要求和技术参数

高压断路器具有完善的灭弧装置和高速的传动机构,它能接通和断开各种状态下高压电路中的电流,用以完成运行方式的改变和尽快切除故障电路,因此它是发电厂和变电所中最重要的电气设备之一。