



普通高等教育“十三五”系列教材

# 变电站电气部分

主编 王俊 王立舒



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



普通高等教育“十三五”系列教材

# 变电站电气部分

主编 王俊 王立舒



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

·北京·

## 内 容 提 要

全书共分为八章，主要内容包括：变电工程设计程序、开关电器和互感器的工作原理及性能分析、电气主接线设计原理、电气设备的发热和电动力计算、电气设备选择方法及配电装置、接地装置。

本书可作为各高校农业电气化与自动化、电气工程及其自动化专业的本科教材，也可作为高职高专院校相关教材和从事电气设计、安装、运行维护等专业人员的参考书。

### 图书在版编目（C I P）数据

变电站电气部分 / 王俊, 王立舒主编. -- 北京 :  
中国水利水电出版社, 2020.7  
普通高等教育“十三五”系列教材  
ISBN 978-7-5170-8660-4

I. ①变... II. ①王... ②王... III. ①变电所—电气  
设备—高等学校—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第110008号

书 名	普通高等教育“十三五”系列教材 <b>变电站电气部分</b> BIANDIANZHAN DIANQI BUFEN
作 者	主编 王 俊 王立舒
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11张 261千字
版 次	2020年7月第1版 2020年7月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	<b>38.00元</b>

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

本书是由全国高等农业院校电学科教材研究会组织编写的普通高等教育“十三五”系列教材之一，也是依据新时代全国高等学校本科教育工作会议精神，结合全国高等农业院校农业工程学科及农业电气化与自动化、电气工程及其自动化专业的规范而编写的。本书可作为本科院校相关专业教材和从事电气设计、安装、运行维护等专业人员的参考书。

本书总结吸收了各院校教学改革的有益经验，注重理论的系统性和实用性，着重介绍变电站一次系统设计方法及其主要电气设备。教材包括八章，主要介绍了发电厂和变电站、开关电器、互感器、电气主接线、电气设备的发热和电动力计算、电气设备选择、配电装置和接地装置等内容，并设置每章小结，尽量穿插实物图片，力求使所学知识与当前变电工程实际相结合。

参加本书编写的单位有：沈阳农业大学、东北农业大学、河北农业大学等院校。本书主编为王俊、王立舒，副主编为李东明、魏东辉、郭丹、吴秀华、王艳君，参编为任艳杰、刘永福、王延泽、张岩、李贺政。

本书由沈阳农业大学朴在林教授主审，并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。另外，在本书编写过程中参考了许多专家学者的有关著作，在此致以谢意。

限于编写者经验和水平，书中难免有不妥、疏漏之处，肯请广大读者批评指正。

# 目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 发电厂和变电站简介	1
第二节 变电站设计的程序、内容及要求	6
本章小结	10
思考题	10
第二章 开关电器	11
第一节 开关电器的用途和分类	11
第二节 开关电器中电弧的产生和熄灭	11
第三节 高压断路器的类型及操动机构	18
第四节 六氟化硫断路器	21
第五节 真空断路器	26
第六节 高压负荷隔离开关	30
第七节 隔离开关	32
第八节 重合器和分段器	33
第九节 熔断器	40
本章小结	42
思考题	43
第三章 互感器	44
第一节 概述	44
第二节 电流互感器	44
第三节 电压互感器	51
本章小结	57
思考题	57
第四章 电气主接线	58
第一节 电气主接线的基本要求和设计原则	58
第二节 单母线接线	61
第三节 双母线接线	64
第四节 桥形接线	66
第五节 多角形接线	67
第六节 单元接线	68
第七节 主接线典型方案举例	69
第八节 主接线方案的经济比较	75

本章小结 .....	76
思考题 .....	77
第五章 电气设备的发热和电动力计算 .....	79
第一节 电气设备的允许温度 .....	79
第二节 导体的长期发热计算 .....	81
第三节 导体短路时的发热计算 .....	83
第四节 导体短路时的电动力计算 .....	88
本章小结 .....	91
思考题 .....	92
第六章 电气设备选择 .....	93
第一节 电气设备选择的一般条件 .....	93
第二节 母线及电力电缆的选择 .....	95
第三节 断路器及隔离开关的选择 .....	105
第四节 熔断器的选择 .....	109
第五节 支柱绝缘子及穿墙套管的选择 .....	112
第六节 电压互感器的选择 .....	115
第七节 电流互感器的选择 .....	118
本章小结 .....	122
思考题 .....	123
第七章 配电装置 .....	124
第一节 屋内、外配电装置的安全净距 .....	124
第二节 屋内配电装置 .....	127
第三节 屋外配电装置 .....	130
第四节 成套配电装置 .....	135
本章小结 .....	140
思考题 .....	140
第八章 接地装置 .....	141
第一节 保护接地 .....	141
第二节 接地装置的接地电阻允许值 .....	144
第三节 接地装置的布置 .....	145
第四节 接地装置的计算 .....	147
第五节 导泄雷电流的接地装置 .....	156
第六节 电气安全 .....	159
本章小结 .....	166
思考题 .....	166
参考文献 .....	167

# 第一章 概 述

## 第一节 发电厂和变电站简介

### 一、发电厂

发电厂是把各种一次能源（如燃料的化学能、水能、风能等）转换成电能的工厂。发电厂所生产的电能，一般还要由升压变压器升压，经高压输电线输送，再由变电站降压，才能供给各种不同用户使用。发电方式有火力、水力、原子能（核能）、风力、太阳能、潮汐、地热等多种不同类型。截至 2019 年，我国的火力、水力发电量占有发电方式发电量的 90%。

#### （一）火力发电厂

以煤炭、石油或天然气为燃料的发电厂称为火力发电厂。火力发电厂中的原动机一般为汽轮机，也有少数电厂采用柴油机和燃气轮机作为原动机。

##### 1. 火力发电厂分类

（1）按照燃料可分为：燃煤发电厂、燃油发电厂、燃气发电厂、余热发电厂。

（2）按输出能源可分为：凝汽式发电厂（只向外供应电能）、热电厂（同时向外供应电能和热能）。

（3）按发电厂总装机容量可分为：小容量发电厂（100MW 以下）、中容量发电厂（100~250MW）、大中容量发电厂（250~1000MW）、大容量发电厂（1000MW 及以上）。

（4）按蒸汽压力和温度可分为：

中低压发电厂，蒸汽压力 3.92MPa，温度 450℃，单机功率小于 25MW。

高压发电厂，蒸汽压力 9.9MPa，温度 540℃，单机功率小于 100MW。

超高压发电厂，蒸汽压力 13.83MPa，温度 540℃，单机功率小于 200MW。

亚临界压力发电厂，蒸汽压力 16.77MPa，温度 540℃，单机功率为 300~1000MW。

超临界压力发电厂，蒸汽压力大于 22.11MPa，温度 550℃，机组功率 600MW 以上或 800MW 以上。

##### 2. 火电厂的电能生产过程

（1）凝汽式火电厂。在这类电厂中，锅炉产生蒸汽，经管道送到汽轮机，带动发电机发电。已做过功的蒸汽，进入凝汽器内冷却成水，又重新送回锅炉使用。由于在凝汽器中，大量的热量被循环水带走，故一般凝汽式火电厂的效率都很低，即使是现代的高温高压或超高温高压的轻汽式火电厂，效率也只有 30%~40%。通常简称凝汽式火电厂为火电厂。图 1-1 为凝汽式火电厂的生产过程原理；图 1-2 为凝汽式火电厂的生产过程示意图。

先把燃煤用输煤带从煤场运至煤斗中。大型火电厂为提高燃煤效率都是燃烧煤粉。因此，煤斗中的原煤要先送至磨煤机内磨成煤粉。磨碎的煤粉由热空气携带经排粉机送入

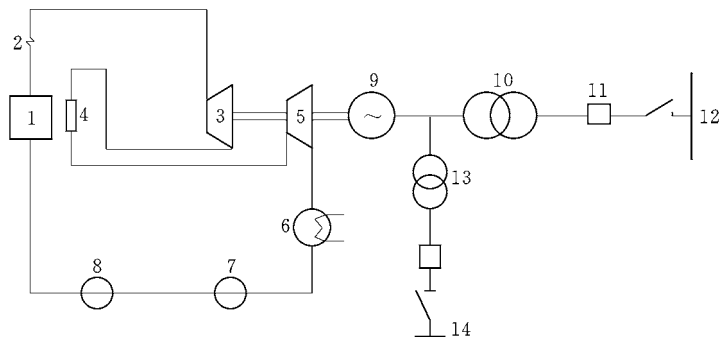


图 1-1 凝汽式火电厂的生产过程原理

- 1—锅炉；2—蒸汽过热器；3—汽轮机高压段；4—中间蒸汽过热器；  
 5—汽轮机低压段；6—凝汽器；7—凝结水泵；8—给水泵；  
 9—发电机；10—主变压器；11—断路器；12—主母线；  
 13—站用变压器；14—厂用电高压母线

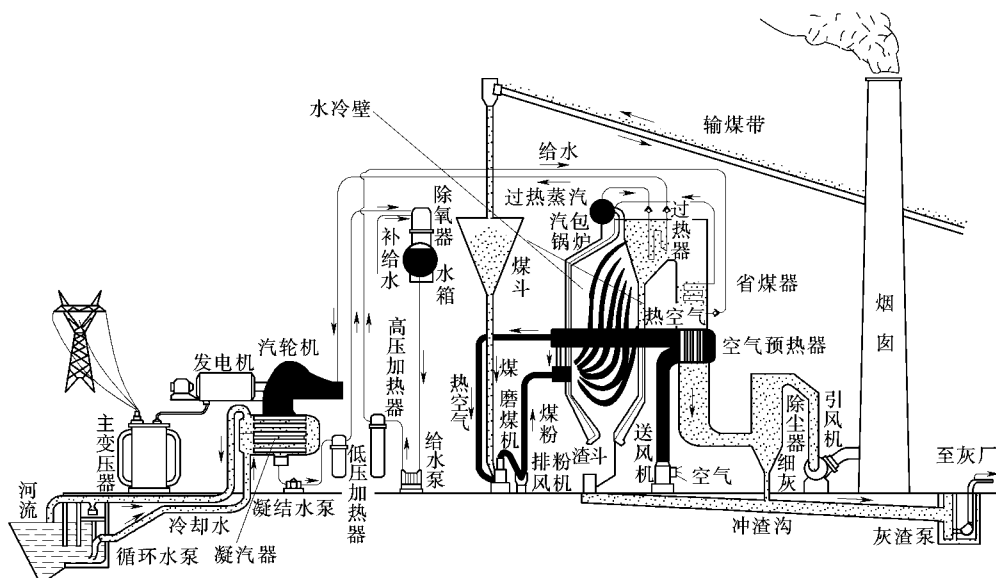


图 1-2 凝汽式火发电厂的生产过程示意图

锅炉的炉膛内燃烧。煤粉燃烧后形成的热烟气沿锅炉的水平烟道和尾部烟道流动，放出热量，最后进入除尘器，将燃烧后的煤灰分离出来。洁净的烟气在引风机的作用下通过烟囱排入大气。助燃用的空气由送风机送入装设在尾部烟道上的空气预热器内，利用热烟气加热空气。这样，一方面使进入锅炉的空气温度提高，易于煤粉的着火和燃烧外；另一方面也可以降低排烟温度，提高热能的利用率。从空气预热器排出的热空气分为两股：一股去磨煤机干燥和输送煤粉，另一股直接送入炉膛助燃。燃煤燃尽的灰渣落入炉膛下面的渣斗内，与从除尘器分离出的细灰一起用水冲至灰渣泵房内，再由灰浆泵送至灰场。在除氧器水箱内的水经过给水泵升压后通过高压加热器送入省煤器。在省煤器内，水受到热烟气的

加热，然后进入锅炉顶部的汽包内。在锅炉炉膛四周密布着水管，称为水冷壁。水冷壁水管的上、下两端均通过连箱与汽包连通，汽包内的水经由水冷壁不断循环，吸收着煤燃烧过程中放出的热量。部分水在水冷壁中被加热沸腾后汽化成水蒸气，这些饱和蒸汽由汽包上部流出进入过热器中。饱和蒸汽在过热器中继续吸热，成为过热蒸汽。过热蒸汽有很高的压力和温度，因此有很大的热势能。具有热势能的过热蒸汽经管道引入汽轮机后，便将热势能转变成动能。高速流动的蒸汽推动汽轮机转子转动，形成机械能。汽轮机的转子与发电机的转子通过联轴器连在一起。当汽轮机转子转动时便带动发电机转子转动。在发电机转子的另一端带着一个小型直流发电机，这个小型直流发电机称为励磁机。励磁机发出的直流电送至发电机的转子线圈中，使转子成为电磁铁，周围产生磁场。当发电机转子旋转时，磁场也是旋转的，发电机定子内的导线就会切割磁力线感应产生电流。这样，发电机便把汽轮机的机械能转变为电能。电能经变压器将电压升压后，由输电线送至电用户。

释放出热势能的蒸汽从汽轮机下部的排汽口排出，称为乏汽。乏汽在凝汽器内被循环水泵送入凝汽器的冷却水冷却，重新凝结成水，此水称为凝结水。凝结水由凝结水泵送入低压加热器并最终回到除氧器内，完成一个循环。在循环过程中难免有汽水的泄漏，即汽水损失，因此要适量地向循环系统内补给一些水，以保证循环的正常进行。高、低压加热器是为提高循环的热效率所采用的装置，除氧器是为了除去水含的氧气以减少对设备及管道的腐蚀。

以上分析虽然较为繁杂，但从能量转换的角度看却很简单，即燃料的化学能→蒸汽的热能→机械能→电能。在锅炉中，燃料的化学能转变为蒸汽的热能；在汽轮机中，蒸汽的热能转变为轮子旋转的机械能；在发电机中机械能转变为电能。炉、机、电是火电厂中的主要设备，亦称三大主机。与三大主机相辅工作的设备称为辅助设备或称辅机。主机与辅机及其相连的管道、线路等称为系统。火电厂的主要系统有燃烧系统、汽水系统、电气系统等。除了上述的主要系统外，火电厂还有其他一些辅助生产系统，如燃煤的输送系统、水的化学处理系统、灰浆的排放系统等。这些系统与主系统协调工作，它们相互配合完成电能的生产任务。大型火电厂为了保证这些设备的正常运转，安装有大量的仪表，用来监视这些设备的运行状况，同时还设置有自动控制装置，以便及时地对主、辅设备进行调节。现代化的火电厂，已采用了先进的计算机分散控制系统。这些控制系统可以对整个生产过程进行控制和自动调节，根据不同情况协调各设备的工作状况，使整个火电厂的自动化水平达到了新的高度。自动控制装置及系统已成为火电厂中不可缺少的部分。

(2) 供热式发电厂（热电厂）。它与凝汽式火电厂不同之处主要在于汽轮机中一部分做过功的蒸汽，在中间段被抽出来供给热用户使用，或经热交换器将水加热后，供给用户热水。热电厂通常都建在热用户附近，它除发电外，还向用户供热，这样可以减少被循环水带走的热量损失，提高总效率。现代热电厂的总效率可高达 60%~70%。

另外，重要的大型厂矿企业往往建设专用电厂作为自备电源，这类电厂的原动机一般为小型汽轮机或柴油机。单独来看，这种发电厂的生产往往不经济，但它可起到后备保障作用，若能和其他能源供应结合起来综合利用，其经济效益将有所提高。

## (二) 水力发电厂

水力发电厂是把水的位能和动能转变为电能的工厂。它的能量来源是水。根据水力枢

布置的不同，水力发电厂又可分为堤坝式水电厂、引水式水电厂等。

(1) 堤坝式水电厂。在河床上游修建拦河坝，将水积聚起来，抬高上游水位形成发电水头，进行发电，这种水电厂称为堤坝式水电厂。通常，堤坝式水电厂又细分为坝后式水电厂和河床式水电厂两种。

坝后式水电厂——这种水电厂的厂房建在坝的后面，全部水头压力由坝体承受，水库的水由压力水管引入厂内推动水轮发电机组发电。坝后式水电厂适合于高、中水头的场合。

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，由于厂房就修建在河床中，故称河床式。河床式水电厂的水头一般较低，大都在 20~30m 范围内。图 1-3 为水电站。



(a)

(b)

图 1-3 水电站

(a) 长江三峡水电站；(b) 金沙江溪洛渡水电站

(2) 引水式水电厂。这种水电厂建筑在山区水流湍急的河道上或河床坡度陡峭的地段，由引水渠道提供水头，且一般不需要修筑堤坝，只修低堰即可。

水电站通常均建有水库以便于蓄积水量和调节水的消耗以保证水资源的最佳利用。水电站的运行方式应保证系统中其他热电站、原子能电站等消耗燃料为最小。因此，一般在丰水期满载运行以免弃水，在枯水期承担尖峰负荷。效益最佳的运行方式往往取决于多种因素并由相应的优化计算来确定。水机组的特点是能快速启动与停运，并能在运行中由空载到满载大幅度地改变负荷。水轮发电机的轴较汽轮发电机短，因此其热变形也较小，使之能适应负荷的快速变化。在水轮发电机自动化设备的控制与调节下，水轮发电机组从启动到带满负荷仅需几分钟。

与火力发电厂相比，水力发电厂的生产过程较简单，易于实现生产过程的自动化，因此所需运行和检修人员较火力发电厂少得多。由于水力发电厂在运行中不消耗燃料，其他运行支出也不多，所以年运行费用很少，因此凡是有条件的地方，应积极发展水电。

## 二、变电站

电力系统的变电站可分为两大类：①发电厂的变电站，称为发电厂的升压变电站，其作用是将发电厂发出的有功功率及无功功率送入电力网，因此其使用的变压器选升压型，低压为发电机额定电压，高、中压主分接头电压为电网额定电压的 110%；②电力网的变

电站，一般选用降压型变压器，即作为功率受端的高压主分接头电压为电网额定电压，功率送端中、低压主分接头电压为电网额定电压的 110% 或 105%。具体选择应根据电力网电压调节计算来确定。变电站在电力系统中位置示意如图 1-4 所示，外观如图 1-5 所示。

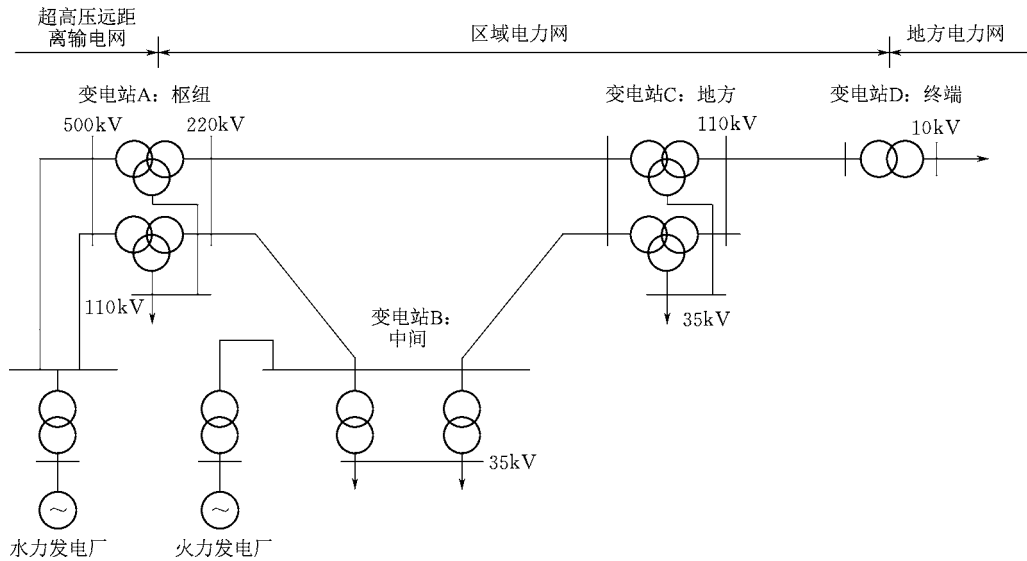


图 1-4 变电站在电力系统中的位置示意图



图 1-5 变电站外观图  
(a) 变电站全景图；(b) 变电站局部图

电力网的变电站可分为三种：

(1) 枢纽变电站。其主要作用是联络本电力系统中的各大电厂与大区域或大容量的重要用户，并实施与远方其他电力系统的联络，是实现联合发、输、配电的枢纽，因此其电压最高，容量最大，是电力系统的最上层变电站。

(2) 区域变电站。其主要作用是对一个大区域供电，因此其高压进线来自枢纽变电站或附近的大型发电厂，其中、低压对多个小区域负荷供电，并可能接入一些中、小型电

厂。区域变电站是电力系统的中层变电站。

(3) 配电变电站(所)。其主要作用是对一个小区域或较大容量的工厂供电,是电力系统最下层的变电站。其低压出线分布于该小区,沿途接入小容量变压器,降压供给小容量的生产和生活用电。工厂内则下设车间变电站对各车间供电。

重要的工厂可能设自备电厂。该电厂也接入配电变电站的低压母线。正常运行时自备电厂除供给本厂负荷外还可能有剩余功率对外输出,这时该变电站实际上为自备电厂的升压变电站。当自备电厂停运时,外部电力系统经该变电站将功率送入,这时该变电站为一降压变电站,因此常称此种变电站为工厂与电力系统的联络变电站,考虑功率的双向传送,其变压器可按需要选用有载调压变压器。

#### 1. 变电站一次电气设备

一次设备主要包括:①改变电压的设备,如变压器;②接通或断开电路的开关电器,如断路器、隔离开关、自动空气开关、接触器、熔断器、刀闸开关等,它们的作用是在正常运行或发生事故时,将电路闭合或断开,以满足生产运行和操作的要求;③限制故障电流和防御过电压的电器,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还是各种安全保护接地,在发电厂和变电站中均采用金属接地体埋入地中或连接成接地网组成接地装置;⑤载流导体,如母线、电力电缆等。它们按设计要求,将有关电气设备连接起来。

#### 2. 变电站二次电气设备

在发电厂与变电站中,除上述一次设备外,还有一些辅助设备,它们的任务是对一次设备进行测量、控制、监视和保护等,这些设备称为二次设备。

二次设备主要包括:①仪用互感器,如电压互感器和电流互感器,它们将一次电路中的电压和电流降至较低的值,供给仪表和保护装置使用;②测量仪表,如电压表、电流表、功率表、功率因数表等,它们用于测量一次电路中的运行参数值;③继电保护及自动装置,它们用以迅速反映电气故障或不正常运行情况,并根据要求进行切除故障或作相应的调节;④直流设备,如直流发电机组、蓄电池、整流装置等,它们供给保护、操作、信号及事故照明等设备的直流用电;⑤信号设备及控制电缆等,信号设备给出信号或显示运行状态标志,控制电缆用于连接二次设备。

## 第二节 变电站设计的程序、内容及要求

### 一、设计的程序

电力设计部门承接设计任务,主要以上一级电力部门的设计任务书作为依据。按规定,只有接到计划任务书以后,设计部门才能开始设计。投资较多、工程技术难度较大的项目要由国家电力公司甚至国家发展改革委下达设计任务书,投资较小的项目则由地方电力部门或计划部门下达设计任务书。

设计部门接到计划任务书以后就开始组织设计,首先是搜集必要的原始资料,同时要 和供电部门商定有关的原则问题。搜集的资料应当包括以下内容:

(1) 地质、气象资料。土质;地形;水文;气温、气压;风向、风速;冻结深度;降

雨量；雷电活动情况。

(2) 电力系统的资料。电源的分布；附近系统的接线；系统的电压等级；系统的容量；网络的参数；中性点的接地方式；电源的数目；进线方向。

(3) 负荷资料。新建变电站的供电负荷类型及供电半径；近期 5~10 年发展负荷的资料；负荷的总容量；进、出线电压等级及进出线数目。

(4) 对扩建变电站还必须了解原有的设计、运行安装及设备情况。

在了解以上资料的基础上，要进行所址选择，变电站的所址应符合下列要求：

(1) 接近负荷中心。

(2) 不占或少占农田。

(3) 便于各级电压线路的引入和引出，架空线走廊与所址同时确定。

(4) 交通运输方便，工程量小。

(5) 具有适宜的地质条件（如避开断层、滑陷区、溶洞地带等），如果所址选在有矿藏的地区，应征得有关部门的同意，避开有危岩和易发生滚石的场所。

(6) 尽量不设在空气污秽地区，否则应采取防污措施或设在污源的上风侧。

(7) 变电站的所址标高宜在 50 年一遇的高水位之上，否则应有防护设施。

(8) 所址不应为积水淹没，山区变电站的防洪设施应满足泄洪要求。

(9) 具有生产和生活用水的可靠水源。

(10) 适当考虑职工生活上的方便。

(11) 确定所址时应考虑对邻近设施的影响。

在许多情况下设计任务书已经规定了变电站的位置、类型、系统供电方式，供电电压以至主变压器容量等。有些情况下设计人员还要求必须深入现场会同供电部门一起进行实地调查并一起讨论确定一些原则性问题：

(1) 按选所条件审定变电站所址是否合理。

(2) 变电站的供电电压是否合理，是否符合网络发展规划。

(3) 变压器容量及进、出线数目。

(4) 变电站扩建的可能性，分期建设的年限。

(5) 运行上的要求。

(6) 设备的选择以及货源的方向。

在确定以上这些问题的基础上，按规定，设计分两个阶段进行，设计的第一阶段叫做初步设计，第二阶段叫做施工图设计，只有当初步设计经过规定的上一级部门批准以后，才能着手进行施工图设计。

## 二、设计的内容

### (一) 初步设计的内容

初步设计的主要任务是确定方案，并为订货提供数据。按规定，只有当初步设计被批准以后才能向供应部门提出订货要求。电力设备的订货是通过订货会议或招标的形式进行的，举办订货会议或招标的条件之一是具有被批准了的初步设计。

由于初步设计只解决方案问题，所以也就不要求做得很详细，主要是通过初步设计证明所提方案是可行的，即占地面积小、投资少、便于运行检修和施工。

一座变电站的初步设计大致包括以下几部分内容。

### 1. 说明书

要用简明的文字说明设计的依据，建设的必要性及规模，占地面积和建筑面积的大小，主接线方案的特点，短路电流大小及选用设备情况，所用电、直流系统配电装置，通信系统及保护方面的新技术等。

### 2. 计算书

一般包括以下几部分：

- (1) 短路电流计算及电气设备选择。
- (2) 配电装置尺寸的确定和校验。
- (3) 架构受力的计算。
- (4) 直流设备及通信系统的选择。

以上4项中，第(1)项是每一个变电站设计都不可缺少的，其他3项则根据具体情况确定是否要有这些内容。例如，基本上是参考典型设计的配电装置，则不需论证尺寸，如果提出的是一种新颖布置，又因无过去的设计可借鉴，就要求对配电装置的尺寸进行论证。

### 3. 图纸

(1) 主接线图。这是最重要的一张图纸，是所有其他图纸的依据。主接线图除了要表明各种电气设备有相互联系以外，还应表明设备的规范、防侵入电波及感应雷的措施、中性点接地方式、电压互感器及电流互感器的配置等。

主接线图应反映本期工程和远景的区别，一般用实线表示本期工程，用虚线表示远景工程。

(2) 总平面布置接线图。总平面布置接线图上应清晰地标明各种电气设备的相互距离，其中包括纵向尺寸和横向尺寸两种。纵向尺寸反映从围墙起经各种设备、道路、变压器、室内配电装置、出线构架，直到另一围墙为止的距离。横向尺寸表达各并列间隔内部以及间隔和间隔之间的距离等。

总平面布置接线图只能在各种间隔尺寸确定以后才能着手绘图，这是与主接线图不同之处。总平面布置接线图虽然要在断面图初步给出以后才能着手绘制，但断面图却要在总平面布置以后按照间隔的排列顺序，接线确定的基础上才能形成。

总平面布置接线图的图纸比例应该合适。比例过大，图纸幅面小，图画不清晰，细节问题不能表达清楚，这就要用更多的局部平面图来补充，结果反而增加了工作量。比例一般是户外配电装置部分应该由总平面布置接线图表达清楚，不应再用局部平面布置接线图补充。通常用的比例是  $M1:100$  或  $M1:200$ 。

(3) 断面图。根据主接线和总平面布置方式的不同，应有相应的断面图，一般包括出线间隔、进线（即变压器回路）间隔、母联间隔、分段间隔、电压互感器及避雷器间隔、所用电间隔等。

通过断面图主要明确布置方案能否成立，对运行、检修是否方便，安装是否有困难。断面图中一定要把设备的定位尺寸标注清楚，一般用纵向尺寸和安装高度来表达。隔离开关和断路器的操作机构在设备的哪一侧也要在断面图中表示出来，这就要求在绘投影图时

把操作机构的投影表达清楚。

(4) 主控制室及 10kV 配电装置平面布置图。由于总平面图的比例不能选得过小，这就不能把主控制室及 10kV 配电装置表达清楚，需要用更小比例图纸来补充。

(5) 主要设备材料汇总表。这是给设备订货招标直接提供依据的一份资料，它是根据主接线图及其他图纸制定出来的，要求主要设备准确，没有遗漏。

#### 4. 工程概算

一般由概算人员完成，要对工程的费用有个近似估计。

#### (二) 施工设计的内容

初步设计经上级审核批准后可以着手进行施工设计。施工设计应以初步设计为依据，但并不是说初步设计所确定的方案就一点儿也不能更改。在施工设计阶段，往往是因为情况有了变化，认识有了提高，而对初步设计做些局部的方案修改，使设计更加合理和完善。

施工设计是施工的依据，重点要表达施工情况，因为通过审核后都要有些修改，所以初步设计中的图纸在施工设计阶段还要重新绘出，并要达到施工设计的要求，详细注明尺寸和所用设备、材料。除了这些图纸以外，还应有设备安装图，它是各种设备安装的依据。在施工中如遇到非定型产品时，只能通过各级加工的办法解决，要绘制设备加工图。

由于施工设计的图纸较多，应适当分卷。如 110kV 变电站包括：总的部分、110kV 配电装置部分、35kV 配电装置部分、10kV 配电装置部分、主变安装部分、防雷接地部分、电缆敷设部分等。

在初步设计中不讨论防直击雷保护和接地网部分，因为两者都不影响方案，在施工设计中才讨论这两个问题，并绘出相应的图纸。

变电站如果要装设补偿电容器时，初步设计中只在主接线图中表示其连接关系，并在总平面布置接线图中留一安装位置，这一部分的具体施工图也在施工设计阶段解决。

如果说初步设计只要求提出主要设备和材料汇总表，在施工设计阶段就要求提出全部设备材料清单，一般在每张图纸上都应附有设备材料表，在每一个部分应有该部分的设备材料汇总表，在总的部分应有设备总表。

施工设计也有说明书，主要说明经过施工设计，对初步设计所提方案又有哪些修改。在计算书中，如果短路电流和设备选择方面没有变化，在施工设计中就不必提出计算书，只对防雷保护和接地网设计与计算两部分提出计算书。

### 三、设计的要求

(1) 设计要符合各项技术经济政策。

(2) 设计要做到节约用地、不占良田、少占农田、技术先进、经济合理、安全可靠、确保质量。

(3) 要积极推广和采用经生产实践证明是行之有效的新技术、新设备，并尽量采用标准化构件和系列产品。

(4) 设计要考虑到发展的可能性，其规模应按 5~10 年远景来规划。为节省一次投资，可根据实际负荷增长的需要分期建设。

## 本章小结

(1) 发电厂为生产电能的工厂，把非电形式的能量转换成电能。发电的形式有火力、水力、风力、核电、太阳能、潮汐、地热等。变电站为转换能量、变换电压的场所。由电力变压器和配电装置组成。配电线路为输送和分配电能的线路。用电设备（电力用户/负荷）使用和消耗电能。

(2) 火力发电厂（简称火电厂），利用煤、石油或天然气作为燃料生产电能的工厂。能量转换过程：燃料的化学能→热能→机械能→电能。火力发电厂有凝汽式火力发电厂、热电厂和燃气轮机发电厂之分。

(3) 水力发电厂（简称水电站），把水的位能和动能转换成电能的工厂。发电过程：从河流较高处或水库内引水，利用水的压力或流速冲动水轮机旋转，将水能转变成机械能，然后由水轮机带动发电机旋转，将机械能转化成电能。

(4) 发电厂和变电站中所使用的电气设备可划分为一次设备和二次设备。一次设备直接生产和分配电能的设备（即设备内部通过一次电流的设备，通常指互感器高压侧的设备），包括生产和转换电能的设备、开关电器、限流电器、载流导体、补偿设备、仪用互感器、防御过电压设备、绝缘子和接地装置等。在发电厂与变电站中，除上述一次设备外，还有一些辅助设备，它们的任务是对一次设备进行测量、控制、监视和保护等，这些设备称为二次设备，包括测量表计、绝缘监察装置、控制和信号装置、继电保护及自动装置、直流电源设备和塞流线圈等。

(5) 变电站设计分两个阶段进行，设计的第一阶段叫作初步设计，第二阶段叫作施工图设计。初步设计的主要任务是确定方案，并为订货提供数据；初步设计经上级审核批准后可以着手进行施工图设计。

## 思考题

1. 按照使用能源，发电厂有哪些类型？
2. 简述火力发电厂、水电站分类。
3. 我国发电能源结构比例是什么情况？是否合理？可再生能源发电发展如何？
4. 变电站的类型有哪些？
5. 什么叫变电站的一次设备和二次设备？
6. 简述变电站的设计程序。
7. 变电站设计都有哪些要求？

## 第二章 开 关 电 器

### 第一节 开关电器的用途和分类

在电力系统中，发电机、变压器及线路等元件，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，在电路发生故障的情况下，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的部分继续运行，以提高电力系统运行的可靠性；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) 自动分段器，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段故障线路。

(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形式。

### 第二节 开关电器中电弧的产生和熄灭

高压开关电器在切断负荷电流或短路电流时，开关触头间隙（以下简称弧隙）中由于强电场或热游离的作用，将出现电弧。此时虽然开关电器的触头已经分开了，但是电流通过触头间的电弧仍然继续流通，一直到电弧熄灭后，电路才真正断开。因此，电弧在开关电器开断过程中几乎是不可避免的。电弧电流的主要特征是能量集中、温度高（弧柱温度高达上万摄氏度）。如果电弧不能及时熄灭，会烧坏触头，危及电器的绝缘部分，影响电力系统的安全运行。电弧是一种游离放电现象，实际上就是一种高温等离子体，它是固体、液体、气体之外的第四种物质形态。同时电弧也是一种气体放电现象。所谓气体放电是指当施加在气体间隙两端的电压足够高超过该气体的介质强度时，就会有电流通过该空气间隙。气体放电的本质是气体中存在自由带电粒子，使气体由良好的绝缘体变为电的导体。这时如在气体中安置两个电极并加上电压，就有电流通过气体。开关电器的开断性能，即指开关电器的灭弧能力。