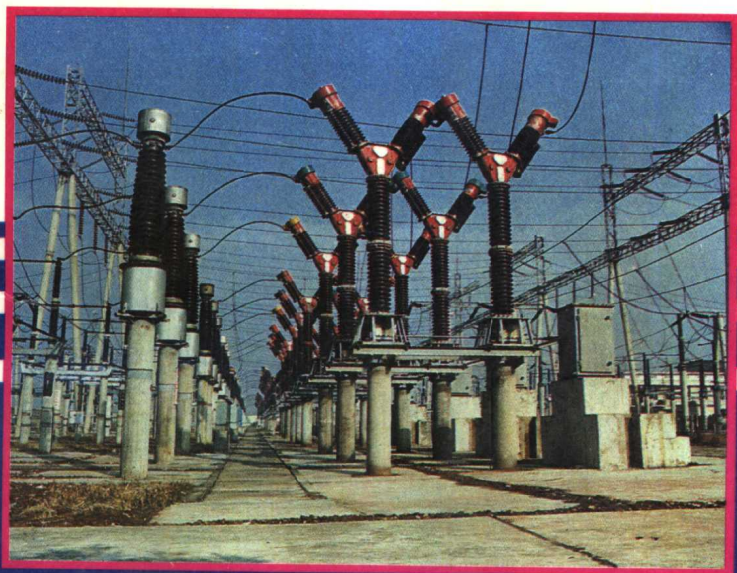


发电厂和变电所运行高级工培训教材

变电所电气设备及 运行

河南省电力工业局 编



中国电力出版社

发电厂和变电所运行高级工培训教材



变电所电气设备及运行

河南省电力工业局 编

中国电力出版社

图书在版编目(CIP)数据

变电所电气设备及运行/河南省电力工业局编.-北京:
中国电力出版社,1995
发电厂和变电所运行高级工培训教材
ISBN 7-80125-021-4

I. 变… II. 河… III. 变电所-电气设备-运行-技术培
训-教材 N. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 11538 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市京东印刷厂印刷
各地新华书店经售

1995 年 8 月第一版 1995 年 8 月北京第一次印刷
787×1092 毫米 32 开本 15.375 印张 339 千字
印数 00001—10070 册 定价 21.70 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

努力搞好教材建設
為提高電業職工
素質服務

史大楨
丁巳年春

出版说明

为满足高级工培训工作的需要，根据部颁《电力工人技术等级标准》的要求，我社组织出版了发电厂和变电所运行高级工培训教材。本套教材第一批共 9 种，是由河南省电力工业局和甘肃省电力工业局在其省内广为使用、多次办培训班所采用的运行高级工培训教材的基础上，根据教学中的经验和使用单位与读者的意见，对内容进行了增、删，结构上进行了调整，经重新修改而成，使之更适应运行高级工培训的要求。其中，火电厂运行高级工培训教材分为 4 种，即《火电厂电气设备及运行》、《火电厂继电保护及自动装置》、《锅炉设备运行技术》、《汽轮机设备运行技术》；变电所运行高级工培训教材分为 2 种，即《变电所电气设备及运行》、《变电所继电保护及自动装置》；水电厂运行高级工培训教材分为 2 种，即《水轮发电机组运行技术》、《水工观测技术》。另外，《电力系统运行及过电压保护（火电厂、水电厂和变电所共用）》为共用教材。本套教材供运行高级工培训及自学用，也可供相关专业的工人及技术人员参考。

中国电力出版社

1995 年 7 月

前 言

为了适应电力生产建设迅速发展的需要,提高工人队伍技术业务素质,并对技术工人晋升进行严格考核,原能源部颁发了《电力工人技术等级标准》。在贯彻执行该标准时,全国电力系统均积极开展技术工人培训工作。为了使从事发电厂、变电所电气运行的高级技术工人能按等级标准进行正规化和系统化的培训,特组织编写了发电厂和变电所电气运行高级工培训教材,共包括《火电厂电气设备及运行》、《火电厂继电保护及自动装置》、《变电所电气设备及运行》、《变电所继电保护及自动装置》、《电力系统运行及过电压保护(火电厂、水电厂和变电所共用)》五本书,除作为发电厂、变电所电气运行高级工的培训教材,也可供发电厂、变电所电气试验及检修高级工培训时参考。

这五种教材由河南电力工业局组织郑州电力高等专科学校的高级讲师、讲师分工编写。在编写过程中,考虑了发电厂、变电所电气运行高级工的专业需要,并力求在保证教材完整性、系统性的同时,注重职工培训的特点,深入浅出,密切联系生产实际,反映现场新技术。

本书主要讲述变电所中电气设备、电气接线及电气装置的工作原理、基本知识和运行分析。

本书共分两篇十四章。第一篇第一章至第三章由李薇薇编写;第二篇第四章至第八章由胡学鹏编写;第二篇第九章至第十四章由张英奇编写。

本书的编写,得到了郑州电力高等专科学校于长顺老师的大力帮助,为此表示衷心地感谢。

由于编写时间仓促,教材中有不足之处,敬请读者指正。

编 者

1995年6月

目 录

出版说明

前言

第一篇 变 压 器

第一章 绪论	1
第一节 发电厂和变电所的类型	1
第二节 变电所电气设备概述	6
第三节 电气设备的额定电压和额定电流	9
复习题	14
第二章 变压器的基本理论	16
第一节 基本原理及分类	16
第二节 结构简介	17
第三节 变压器的空载运行	23
第四节 变压器的负荷运行	28
第五节 变压器的参数测定和标么值	35
第六节 变压器的电压变化率及效率	41
第七节 三相变压器的磁路、绕组连接组判断及作图	44
第八节 三相变压器磁路系统和绕组连接对电动势波形的影响	51
第九节 自耦变压器、三绕组变压器及分裂变压器	54
第十节 变压器的额定参数与铭牌	65
复习题	69
第三章 变压器的操作和运行	73
第一节 变压器的调压装置	73
第二节 变压器的冷却	79

第三节	变压器的操作	82
第四节	变压器的并联运行	87
第五节	变压器的经济运行	94
第六节	变压器的过负荷运行	99
第七节	变压器的不对称运行	102
第八节	变压器的不正常运行和事故处理	111
第九节	变压器的检修与试验	114
复习题		122

第二篇 电气设备及运行

第四章	电力系统中性点的运行	125
第一节	中性点非直接接地的三相系统	125
第二节	中性点直接接地的三相系统	135
第三节	中性点接地方式的选择	137
第四节	消弧线圈的运行和事故处理	140
复习题		150
第五章	短路电流的计算	153
第一节	概述	153
第二节	标么制	158
第三节	电力系统各主要元件的电抗	164
第四节	计算电路图和等值电路的化简	168
第五节	三相短路电流的计算	179
第六节	不对称短路时短路电流的计算	201
复习题		213
第六章	开关电器的灭弧	218
第一节	电弧的形成和特性	218
第二节	直流电弧的熄灭	225
第三节	交流电弧的熄灭	228
第四节	熄灭交流电弧的基本方法	231

复习题	237
第七章 开关电器及运行	240
第一节 概述	240
第二节 高压断路器的基本技术参数	251
第三节 少油断路器	254
第四节 六氟化硫断路器	262
第五节 断路器的操动机构	268
第六节 高压断路器的运行与事故处理	275
第七节 隔离开关及运行	284
复习题	294
第八章 互感器及运行	297
第一节 互感器的作用	297
第二节 电流互感器	298
第三节 电压互感器	310
第四节 互感器的运行与事故处理	322
复习题	326
第九章 电气主接线及运行方式	329
第一节 对电气主接线的基本要求	329
第二节 单母线接线	331
第三节 双母线接线	336
第四节 桥形接线	341
第五节 变电所电气主接线举例	343
第六节 运行方式编制原则	346
复习题	348
第十章 电气设备的倒闸操作	351
第一节 倒闸操作及其操作票	351
第二节 倒闸操作的基本原则和要求	353
第三节 倒闸操作的实例分析	359
复习题	366

第十一章 变电所电气部分设计的基本知识	368
第一节 主变压器的选择	368
第二节 电气主接线设计原则	369
第三节 短路电流的效应	370
第四节 电气设备选择	380
复习题	390
第十二章 配电装置	392
第一节 概述	392
第二节 配电装置的安全净距	392
第三节 屋内配电装置	395
第四节 屋外配电装置	401
第五节 成套配电装置	413
复习题	416
第十三章 接地装置	418
第一节 保护接地的基本概念	418
第二节 对接地电阻值的要求	423
复习题	425
第十四章 二次回路基本知识	427
第一节 二次接线图	427
第二节 断路器的控制	439
第三节 中央信号	451
第四节 绝缘监察装置	459
第五节 同期装置	463
复习题	472
附录 短路电流运算曲线	476
参考文献	481

第一篇 变 压 器

第一章 绪 论

电力工业在社会主义现代化建设中占有十分重要的地位，因为电能与其它能源相比具有显著的优越性，它可以方便地与其它能量互相转换，可以经济地远距离输送，且在使用时易于操作和控制。所以在现代化生产和人民生活中，电能得到日益广泛的应用。世界上许多国家已把电力工业的发展水平，作为衡量一个国家现代化水平的标志之一。

本课程主要使学生掌握发电厂和变电所电气部分中的各种电气设备和一、二次系统的接线和装置的基本知识，通过学习并通过相应的实践教学环节，培养学生有关的基本技能。

本章主要从电力系统开始，对发电厂和变电所的电气部分进行概括介绍，为本课程以后各章内容的学习做好准备。

第一节 发电厂和变电所的类型

一、电力系统及电力网

由于电能不能大量储存，其生产、输送、分配和消费必须在同一时刻完成。因此，各个环节必须连接成一个整体。由发电机、配电装置、升压和降压变电所、电力线路及电能用户所组成的整体称为电力系统，其中由各级电压的输配电线路和变电所组成的部分称为电力网。

为了提高供电的可靠性和经济性，目前广泛地将许多发电厂用电力网连接起来，并联在同一电力系统中工作。图 1-1 所示为一电力系统电路图。

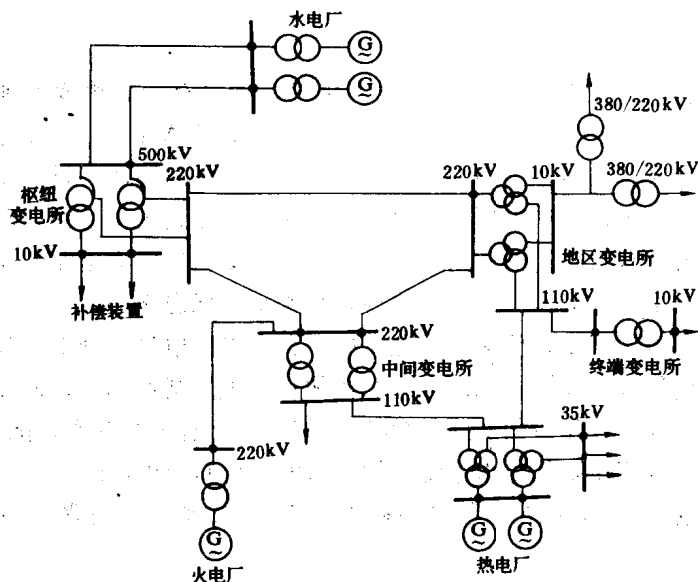


图 1-1 电力系统电路图

电力系统运行必须保证：

(1) 安全可靠地、连续地对电力用户供电，完成年发电量计划。

(2) 电能质量，即电压的偏移值不得超过额定值的 $\pm 5\%$ ，频率不超过 $50 \pm 0.5\text{Hz}$ ，波形为正弦波形。

(3) 电力系统运行的经济性，即在电能生产和输送过程中，应尽量消耗少、效率高、成本低；

把许多发电厂并联起来，建立电力系统，可充分发挥其优越性：

- (1) 提高运行的可靠性；
- (2) 保证供电的质量；
- (3) 提高设备的利用率，减少备用机组的总容量；
- (4) 提高整个电力系统的经济性，充分利用自然能源，发挥各类电厂的特点；
- (5) 为使用高效率大容量的机组创造了有利条件。

二、发电厂的类型

发电厂是把其它形式的能量，如燃料的化学能、水流的位能和动能、核能等，转换成电能的工厂。目前我国电力系统中的发电厂，按使用的能源不同，主要有以下三种：

1. 火力发电厂

火力发电厂简称火电厂，它将燃料所蕴藏的化学能转变为电能。燃料在锅炉中燃烧时释放出热能，将水加热成一定温度和压力的蒸汽，然后利用蒸汽推动汽轮机旋转，带动发电机发电，使一部分热能转换为电能。在汽轮机中作过功的蒸汽，通过凝汽器冷却凝结成水，再送入锅炉。目前我国电力系统中仍以火电厂为主，所占比例约为 70%。

火电厂所用的燃料主要是煤、石油和天然气三种，我国火电厂的燃料大多数是煤，并且尽量燃用劣质煤。

2. 水力发电厂

水力发电厂简称水电厂，是利用江河的水从上游流到下游时位能的变化，将水能变为电能。水电厂中发电机的原动机是水轮机，河水冲动水轮机旋转，带动发电机发电。水电厂的出力，与水的流量和上下游水位落差的乘积成正比。

3. 核能发电厂

核能发电厂与一般火电厂的基本原理相同，发电设备仍为普通的汽轮机和发电机，不同的是在核电厂中用核反应堆和蒸汽发生器代替火电厂的锅炉设备。核电厂可建成凝汽式电厂或热电厂。我国已在煤炭和火力资源较少的沿海地区，如浙江和广东建设了核电厂。

三、变电所的类型

变电所是电力系统中重要的中间环节，它的作用是变换电能电压，接受和分配电能。根据变电所在系统中的地位和作用分为系统枢纽变电所、地区重要变电所和一般变电所三大类。

(一) 系统枢纽变电所

1. 特点

系统枢纽变电所汇集多个大电源和大容量联络线，在系统中处于枢纽地位，高压侧交换系统间巨大的功率潮流，并向中压侧输送大量电能。全所停电后，将使系统稳定破坏，电网瓦解，造成大面积停电。

2. 电压等级

枢纽变电所的电压等级为 330kV 及 500kV 的超高压。

3. 主变压器台（组）数及型式

(1) 一般装设两台（组）主变压器，根据负荷增长的需要分期投运，经过技术经济比较认为合理时，也可装设 3~4 台（组）主变压器。

(2) 具有三种电压的变压器，如通过主变压器各侧绕组的功率达到该变压器额定容量 15% 以上，或低压侧虽无负荷，但需装设无功设备时，主变压器一般选用三绕组变压器。

(3) 与两种 110kV 及以上中性点直接接地系统连接的主变压器，可选用自耦变压器。当自耦变压器第三绕组有无功

补偿设备时，应根据无功功率潮流，校核公共绕组容量，以免在某种（如下例）运行方式下限制自耦变压器的输出功率。

例如：用作降压变压器时，在 220kV 及以上的枢纽变电所中，主变压器一般均选用自耦变压器，其送电方向主要是高压向中压，第三绕组一般接所用变压器、调相机或投、切并联电容器组。当这种自耦变压器第三绕组接有调相机和并联电容器组时，最常用的运行方式是高、低压侧同时向中压送电，输送容量往往也要受到公共绕组（电磁容量）的限制，如果中压侧与低压侧的传输容量达到电磁容量时，高压侧便不能向中压送电。有时可适当加大公共绕组容量来满足负荷的要求。一般在高压、低压侧及公共绕组上均装设过负荷保护。

4. 补偿装置

常设有调相机、静止补偿装置、高压并联电容器以及串并联补偿装置等。

在长距离输电系统中，还有带开关站性质的系统中间变电所，它主要是把长距离输电线分段，以降低工频和操作过电压，缩小线路故障范围，提高系统稳定性。在系统中间变电所内或在线路中间装设串联补偿装置，可提高长距离线路的输电容量。建在双回路、重负荷、长距离输电线上的系统中间变电所常采用出线为双断路器的变压器—母线接线，以保证长距离输电线路的供电可靠性。

（二）地区重要变电所

1. 特点

地区重要变电所位于地区网络的枢纽点上，高压侧以交换或接受功率为主，供电给地区的中压侧和附近的低压侧负荷。全所停电后，将引起地区电网瓦解，影响整个地区供电。

2. 电压等级

地区重要变电所的电压等级为 220kV 及 330kV。

3. 主变压器台数及型式

(1) 一般装设两台主变压器。

(2) 主变压器型式与系统枢纽变电所相当。

4. 补偿装置

常装设调相机或静止补偿装置。

此外，大型联合企业的总变电所，地位也较重要，它要保证大型联合企业中各个分厂的供电。

(三) 一般变电所

1. 特点

一般变电所多为终端或分支变电所，降压供电给附近用户或一个企业。全所停电后，只影响附近用户或一个企业供电。

2. 电压等级

一般变电所的电压等级多为 110kV，也有 220kV。

3. 主变压器台数及型式

(1) 一般为两台主变压器，当只有一个电源时，也可只装一台主变压器。

(2) 主变压器一般为双绕组或三绕组变压器。

4. 补偿装置

一般不装设调相机或静止补偿装置。有些企业变电所内装有以提高功率因数为目的的并联电容器补偿装置。

第二节 变电所电气设备概述

一、主要电气设备

变电所电气部分的主要工作，是根据负荷变化的要求，对

电路进行必要的切换，不断监视主要设备的工作；周期性地检查和维护主要设备；定期检修设备及迅速消除发生的故障等。根据上述要求，变电所中主要有下列各种电气设备。

(1) 变换电能的设备，如变换电能电压的变压器。

(2) 接通和断开电路的开关设备。如用于开闭和切换电路的断路器、隔离开关、空气自动开关、接触器等。

(3) 限制短路电流或过电压的设备。如限制短路电流的电抗器，限制过电压的避雷器。

(4) 保护电器。用于反映故障，并能迅速作用于开关设备以切除故障，如各种继电器等。

(5) 测量和监察设备。用于监视和测量电路中的电流、电压和功率等参数的各种测量仪表，给测量仪表供电的电流互感器和电压互感器等。

此外还有直流设备，如蓄电池、硅整流器、控制和信号设备等。

上述各种电气设备根据它们的功能，可分别称为一次设备和二次设备。

一次设备是直接生产和输配电能的设备，如发电机、变压器、开关电器、电力电缆等。

二次设备是对一次设备的工作进行监察测量、操作控制和保护等的辅助设备，如仪表、继电器、控制电缆、控制和信号设备等。

二、电气接线和装置

在发电厂中，各种电气设备根据工作的要求和它们的作用，按一定的顺序用导线连接成接受和分配电能的电路，称为电气接线。一次设备连成的电路称为一次电路，也称为主电路或电气主接线；二次设备连成的电路称为二次电路，或