

PEIXUN JIAOCAI

张滨生 主编

220~500kV

变电站仿真培训教材



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

PEIXUN JIAOCAI

220~500kV

变电站仿真培训教材

张滨生 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以电力行业各种技术规程为依据,着眼于电力新技术、新设备的应用,使学员在仿真培训时能够很好的掌握现场实际技能。

本书分三篇,共10章,主要内容有变电站仿真培训基础知识,变电站仿真培训系统及其范围、仿真程度和功能介绍,变电站仿真培训的具体内容介绍等。

本书可作为220、500kV变电站运行人员上岗的仿真培训教材,也可供供电企业生技部门的技术人员和管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

220~500kV 变电站仿真培训教材/张滨生主编. —北京:中国电力出版社,2006

ISBN 7-5083-4356-5

I. 2... II. 张... III. 变电所-电工-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 044507 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

冶金印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年8月第一版 2006年8月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 10.625印张 281千字

印数 0001—3000册 定价 20.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前 言

随着国民经济持续、高速发展，电力系统迎来了一个发展的新时代。超高压电网的运行及新技术、新设备的广泛应用，对电力系统运行队伍的素质提出了更高的要求。

为了迅速提高变电运行人员的技术素质，配合当前开展的变电站运行人员仿真培训工作，特编写了本书。

本书以电力行业各种技术规程为依据，着眼于电力新技术、新设备的应用，从打好基础出发，力求既有一定的专业理论知识，又有一定的现场实际技能，为参加仿真培训的 220~500kV 变电站运行人员提供一本较全面的学习用书。

本书第一篇第一章由邵勇琴同志执笔；第一篇的第二章由张滨生同志执笔；第一篇第三章、第四章，第三篇由裴印玓、张滨生同志执笔；第二篇由张学军同志执笔。全书由张滨生同志主编，郭林虎同志主审。

由于编写时间较短，作者的理论水平有限，书中难免有不妥之处，敬请批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

前 言

第一篇 变电站基础知识

■ 第一章	电力系统基本知识	1
第一节	电力网运行基本知识	1
第二节	变电站的类型	10
第三节	变电站的一次主接线	15
第四节	电力系统中性点的运行方式	25
第五节	系统电压调整和无功补偿	29
■ 第二章	超高压电力系统设备	41
第一节	主变压器	41
第二节	高压并联电抗器	77
第三节	高压断路器	81
第四节	配电装置	102
第五节	直流系统	116
第六节	220~500kV 线路保护	122
第七节	元件保护	126
第八节	变电站微机监控与综合自动化	140
■ 第三章	变电站倒闸操作	149
第一节	倒闸操作的基本概念及术语	149
第二节	倒闸操作的基本原则	154
第三节	倒闸操作的技术要求及注意事项	159
第四节	母线的倒闸操作	168
第五节	线路的倒闸操作	169
第六节	同期并列操作	172

第七节	主变压器的倒闸操作	177
第八节	站用电系统的倒闸操作	180
第九节	直流系统的倒闸操作	181
第十节	防止电气误操作的措施	185
■ 第四章	220~500kV 变电站事故处理	189
第一节	事故处理的基本原则	189
第二节	母线事故处理	192
第三节	断路器及出线的事故处理	194
第四节	变压器的异常运行与事故处理	205
第五节	站用交流电系统的事故处理	215
第六节	直流系统的事故处理	218

第二篇 变电站仿真培训系统

■ 第五章	变电站仿真培训系统概述	223
第一节	变电站仿真培训系统的类型	224
第二节	变电站仿真培训系统的硬件配置	225
第三节	变电站仿真培训系统的软件配置	228
■ 第六章	变电站仿真培训系统的仿真范围和仿真程度	232
第一节	电网的仿真范围和仿真程度	232
第二节	电气一次系统的仿真范围和仿真程度	232
第三节	电气二次系统的仿真范围和仿真程度	234
■ 第七章	变电站仿真培训系统的培训功能	236

第三篇 变电站仿真培训

■ 第八章	变电站仿真培训巡视检查	239
第一节	高压设备的巡视检查	239
第二节	常规变电站的巡视检查	242
第三节	综合自动化变电站的巡视检查	260
■ 第九章	变电站仿真培训典型倒闸操作	267
第一节	220kV 变电站典型倒闸操作	267

第二节	500kV 变电站典型倒闸操作	287
第十章	变电站仿真培训的事故处理实例	301
第一节	常规变电站的典型事故处理	301
第二节	综合自动化变电站的典型事故处理	307
附录	电力仿真培训管理制度	324
参考文献		333

第一篇 变电站基础知识

第一章

电力系统基本知识

第一节 电力网运行基本知识

一、电力网

1. 电力网与配电网

发电厂生产电能的目的是为了供给用户使用。为了把发电厂生产的电能输送到负荷中心,就需要建立升压变电站、高压输电线和降压变电站。使发电厂发出的电能经升压变电站升压后,由高压输电线输送到用户中心,再由降压变电站降压后分配给用户。现代高压输电技术已经有将 1000km 以上距离的发电厂和用户连接起来运行的能力。

电力系统是动力系统的一部分,把动力系统的热力、水力部分剥离,余下的部分就是电力系统。因此,电力系统包括发电设备,输变电一次设备、二次设备,调度通信自动化设备和用电设备。

电力网是电力系统的一部分,除去电力系统中的发电机和用电设备余下的就是电力网。所以电力网只包括变电站和各种不同电压等级的输电线路。

变电站的作用是把发电厂与发电厂连接起来,并列运行,把发电厂与用户连接起来,输送和分配电能。

为了研究和计算方便,通常将电力网络分为地方电网和区域网络。电压在 110kV 及以上、供电范围较广、输送功率较大的电网,称为区域电力网。电压在 110kV 以下,供电距离较短,

输电功率较少的电力网，称为地方电力网。一般，将电压在 6~10kV 的电力网，称为配电网。城市电网中 35kV 的配电网亦称为中压配电网。电压为 380/220V 的配电网，称为低压配电网。

但这种划分方式，其间并没有严格的界限。

根据电力网的结构方式，又分为开式电力网和闭式电力网。凡是用户只能从单方向得到电能的电力网，称为开式电力网；凡用户至少可以从两个或更多方向同时得到电能的电力网，称为闭式电力网。

2. 特高压电网

根据电压等级的高低，电力网还可分为低压、高压、超高压几种。通常把 1kV 以下的电力网称为低压电网，1~220kV 的电力网称为高压电网，330~750kV 称为超高压电网，750kV 以上称为特高压电网。

我国现有电网主要以 500kV 交流电和 ± 500 kV 直流系统为主，最远电力输送距离为 500km，在提高输送能力方面受到技术、环保、土地资源等多方面的制约。而特高压电网是以 1000kV 交流电和 800kV 直流系统为主，电力输送距离可达 1000~1500km，可以满足远距离大容量电力输送的需求，有利于大型电站群的开发和电力外送，与 500kV 电网相比，相同输送容量的特高压线路可以减少占地约二分之一，同时有利于减少设备资源损耗，并通过集约式开发减轻环保压力，促进区域协调发展。目前世界上只有日本和俄罗斯两国拥有 1000kV 特高压交流电网，且都是短距离输电。

根据“十一五”规划，国家电网公司晋东南—南阳—荆门 1000kV 交流电特高压试验示范工程可行性研究已完成，线路、变电站设计方案基本确定；南方电网计划建设云南—广东 2 个 ± 800 kV 直流输电工程，其中一个配合小湾、金安桥水电站电力送出，输电距离约 1500km，它将使云南澜沧江小湾、金安桥水电站等“西电东送”能源基地与广东相连接，输电容量 500 万

kW。另一个配合云南糯扎渡水电站建设，“十二五”建成投产，输电距离约 1500km，输电容量 500~600 万 kW。

第一条±800kV 云广特高压直流输电工程项目，日前已经通过有关部门审查，计划于 2006 年开工建设，2009 年单极投产。

3. 联合电力系统

把几个区域性电力网通过超高压甚至特高压输电线路连接起来，组成的更大的电力系统称为联合电力系统。

联合电力系统具有以下优越性：

根据电力系统运行的基本要求，将单一系统联合起来组成联合电力系统，不论是技术上还是经济上都有十分明显的优越性。主要表现在以下几个方面：

(1) 提高电力系统供电的可靠性。在电力系统中，大量运行着的设备都有发生故障的可能性，但系统中多个电厂同时发生事故的的概率远较单一电厂发生事故的的概率小得多，组成联合电力系统后，可使供电可靠性得到提高。

(2) 减少系统备用容量的比重。电力系统的备用容量，是为机组的事故停电及由于设备检修停电时而又不得不中断对用户供电而设置的。在联合电力系统中，各子系统的备用容量是可通用的，这样系统容量大，备用容量占总装机容量的百分比就愈小。

(3) 可采用高效率的大容量机组。联合电力系统的容量很大，个别机组的开停甚至故障，对系统的影响相对较小。这样一来，就为大容量高效率机组的使用创造了条件。大容量机组效率高，节省材料，占地少，运行经济。

(4) 可减少总负荷的峰值。在联合电力系统中，通过合理的调配用电，可以降低电力的最大负荷，减少总的装机容量。由于不同地区用电负荷间、生产、生活及时差条件的差异，使联合后的电力系统的最大负荷小于联合前子系统最大负荷之和。

(5) 可以充分利用水电厂的水能资源。联合电力系统的形成，可以合理的调度负荷在水、火电厂间的分配，充分利用水

能,减少煤耗量。同时,水电厂担负电力系统的调频任务时,进行负荷的增减也较容易。

为了充分利用我国各地的能源,将形成地区间互联的联合电力系统。这些互联的电力系统功率将双向流动,起互相补偿、调节作用。著名的三峡水利发电工程,是形成联合电力系统的前提,因为它处于联合电力系统的中心。

我国的联合电力系统的现状:现由东北电网、华北电网、华中电网、华东电网、南方电网和西北电网六大电网组成。

我国的联合电力系统的未来将按地理位置分片形成北、中、南3个跨区互联电网,三网再进行有限的互联,以建成全国统一的联合电网。

北部电网:包括东北、华北、山东及西北电网。

中部电网:包括华东、华中、川渝和福建电网,随着三峡工程的竣工,建成三峡电力系统。

南部电网:包括广东、广西、贵州、云南、海南及港、澳电网。

我国计划在2005年实现北、中网三点互联(川渝与西北,华北与华中,山东与华东),2010年通过华中、湖南与广西联网而实现互联,届时,基本形成全国统一的联合电力系统。

二、电能生产的技术特点及对电力网运行的要求

电能的生产、传送、分配和使用有着与其他工业生产完全不同的特点:

(1) 电能是不能存储的。电能的生产、传送、分配和使用是在同一时刻完成的,也就是说在电力系统中,任何时刻所产生的功率必须等于在同一时刻所消耗的功率,即电力系统中的功率在每时每刻都是平衡的。因此电力系统中生产电能的发电机、传送和分配电能的变压器、输电线路、配电线路和用电设备都是互相紧密联系的,无论哪一个元件损坏(环节故障),都将影响电力系统的正常运行。

(2) 在电力系统中,运行情况发生变化而引起的电磁、机

械、电气几方面变化的过程是十分快的。

电力系统中的正常操作，如变压器、输电线的投入运行或退出运行，都是在较短的时间里完成的。用户的电力设备，如电动机、电热设备等启用、停止、增减负荷的过程也是很快的。电力系统中出现的故障，如线路故障，电力系统中的发电厂失去了并联运行的稳定性，这些过程也是非常短暂的。因此，不论是在正常情况下，当运行情况发生变化时而进行的调整和操作；或者是发生故障时要切除故障的操作，仅仅依靠人工是远远不能达到良好效果的，因此在电力系统中采用了大量的自动装置。

(3) 电力与经济建设 and 人民生活关系密切。在工农业的各部门都广泛地使用电能作为动力的来源，人民生活中也广泛地使用电能，电能供应不足或中断，就会影响到工农业生产；同时也会给人民的生活带来很大的不便，甚至造成严重的后果。因此要求电力系统运行高度可靠，同时还要尽可能地经济。

由于以上特点，对电网的运行提出了以下基本要求：

(1) 供电可靠性要求高。电力系统运行的第一个基本要求就是要保证不间断地向用户供给电能。但是在实际运行中由于种种原因造成电力系统出现故障，导致供电中断。造成对电力用户供电中断的原因很多：

1) 可能是电力系统中的元件损坏，如发电机、变压器、输电线的绝缘老化击穿而出现了短路；

2) 可能是自然灾害，如雷击、鸟害而发生故障或运行中误操作等，这些元件的事故都可能造成局部范围的停电；

3) 也可能是电力系统中各发电厂之间并列运行的稳定性遭到破坏。所谓并列运行的稳定性遭到破坏，就是有的发电机甩掉所带的负荷，有的发电机则因带的负荷过重而减速旋转，这两种发电机就不能同步并联运行。稳定破坏后，电力系统解列成几个部分，有的部分负荷很重而发电机的容量不够，有的部分发电机容量有富裕，但无法送到别的部分去，造成大面积的停电，这就是大面积停电事故。

事实证明,电力系统中大面积停电事故总是由个别元件的故障而诱发的。所以为了保证对用户供电的可靠性,首先要保证电力系统中各元件(发电机、变压器、线路等)运行的可靠性,需要经常地监视维护,定期检修试验。其次要提高运行人员的水平,尽量不发生误操作;要做好反事故演习和事故预想,一旦发生了事故,能够妥善处理。

电力用户对供电可靠性的要求也是不一样的。供电中断后有的会造成恶劣的政治影响,有的会影响人身安全,有的会造成严重的经济损失,有的则影响不大。区别对待这些不同的用户,在任何情况下都保证重要用户供电。

通常将电力系统中的负荷分为三类:

第一类负荷:如果对这类负荷停止供电,就会带来人身危险、设备损坏,产生大量废品,生产秩序长期不能恢复,给国民经济带来巨大的损失,城市人民生活发生混乱等。

第二类负荷:如果对这类负荷停止供电,就会造成大量减产,工人窝工,城市人民生活受到影响等。

第三类负荷:所有不属于第一、二类负荷的其他负荷,如附属车间,小城市和农村的公用电等。

(2) 保证电能的良好质量。所谓电能质量是指电力系统中的频率和系统中的各点电压应保持在一定的允许变动的范围之内。频率的变化会严重地影响电力用户的正常工作。频率降低将使电动机的转速降低,降低劳动生产率,甚至严重影响电动机的寿命;频率升高又会使电动机转速上升,增加功率消耗。频率的升高或降低,会使一些对转速要求严格的生产部门增加废品,如纺织厂。

(3) 电力系统运行的经济性。电能生产、传送、分配的过程中损耗少、效率高、尽可能降低电能生产的成本。电力系统的经济性主要反映在降低发电厂的煤耗率(或热耗率、水耗率)、厂用电率、电力网的电能损耗率上。在电力系统的基本建设和运行中,为了达到供电的可靠性、电能的良好质量、运行经济等要

求, 需要进行许多方面的技术经济计算和分析, 这些计算和分析主要有:

1) 电能损耗计算。在基本建设中, 为了合理地选择导线和电缆的截面, 经济地建设电力网络, 在电力系统的运行中降低电能损耗, 提高运行的经济性, 都要进行电能损耗的分析计算。

2) 电压损耗计算。无论在基本建设和运行中, 都要计算和分析电力系统中各点的电压状况, 采取电压调整的措施, 以保证电压质量。

3) 电力系统稳定计算。为了研究在电力系统中发生短路故障或其他运行情况变化时, 各发电厂的机组能否稳定并列运行, 需要进行电力系统稳定分析计算。

4) 短路电流计算。

三、电能质量的基本要求

三相交流电能是不可储存的, 其功率因数也是由负荷性质来决定的。负荷需要多少, 发电厂就发多少。

考核电能质量的标准是电压、频率和谐波。

1. 供电电压允许偏差

(1) 35kV 及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%。

(2) 10kV 及以下供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 7%。

(3) 220V 单相供电电压正负偏差为额定电压的 7%~10%。

电压偏差 = $[(\text{实测电压} - \text{额定电压}) / \text{额定电压}] \times 100\%$

2. 电力系统频率允许偏差

正常频率偏差允许值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。

当系统容量较小时, 偏差值可以放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

用户冲击负荷引起的系统频率变动不得超过 $\pm 0.1\text{Hz}$, 根据冲击负荷性质、大小及系统的条件也可以适当变动限值, 但应保证电力网、发电机组和用户的安全稳定以及正常供电。

3. 谐波电压、谐波电流及电压波动允许值

谐波电压允许值见表 1-1, 谐波电流允许值见表 1-2。由冲击负荷产生的电压波动允许值见表 1-3。

表 1-1 谐波电压允许值

标称电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各次谐波电压含有率	
		奇 次	偶 次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10	4.0	3.2	1.6
35	3.0	2.4	1.2
66	3.0	2.4	1.2
110	2.0	1.6	0.8

表 1-2 谐波电流允许值

标称电压 (kV)	基准 短路 容量 (MVA)	谐波次数及谐波允许电流值(A)															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	
35	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	4.3	5.9	2.7	5	2.3	2.6	2.0	
66	750	12	9.6	6	9.6	4	6.8	3	3.2	3.2	2.4	2	3.7	1.7	1.9	1.5	

表 1-3 由冲击负荷产生的电压波动允许值

额定电压 (kV)	电压波动允许值 (%)
10 及以下	2.5
35~110	2
220 及以上	1.6

四、电力调度管理

电网必须实行统一调度。按照设备电压等级不同和变电站在网络中的重要程度, 调度部门一般实行分级管理, 以保证合理的

运行方式、正确的倒闸操作和安全可靠地供电。

调度术语是电力系统倒闸操作过程中下令人与操作人之间共同约定并严格遵守的“专业用语”，十分严密、准确和严肃。

调度命令是由值班调度员对其管辖范围的设备进行状态调整、变更接线方式等所发布的操作命令。调度命令分为两种：逐项令、综合令。任何人员都不得随意改变设备的运行方式。“自管”范围内的设备在操作前也必须经过调度许可方能操作。“自管”的设备范围有：低压侧总断路器、站用变压器运行方式的改变，电力电容器的投退。

五、电力系统的并、解列

在电网内，网间联络线掉闸造成某电网与主网解列时，变电站值班人员应将断路器掉闸的时间、继电保护自动化装置的动作情况、所在电网的频率等情况，立即报告网调值班调度员，由网调值班调度员负责指挥处理。

在处于环网之内或连接发电厂的变电站都应装设同期并列装置，并列操作时应按调度命令执行。在自动并列装置失灵时，可以进行手动并列。手动并列的条件是：

- 1) 相位相同，相角差小于 15° 。
- 2) 频率相同，差值不超过 0.03Hz 。
- 3) 电压相同， 110 、 220kV 不超过 15% ； 500kV 不超过 5% 。

要将两个电网的电压和频率调整至接近值，变电站内没有调整的手段，要靠调度通知发电厂调整并达到规定值。变电站内依靠同期鉴定表监视两个电网的相位是否同步，在接近同步前 $10^\circ \sim 15^\circ$ 时，进行合闸操作，实现并列。

除因故障由继电保护装置将电网解列外，任何解列操作亦应按照调度命令执行。解列操作按电网最佳运行方式或某种原因确定。并列装置应定期校验，随时处于完好状态。

变电站的值班人员应了解、掌握并列装置的特性，要求主值及以上人员都会进行并列操作。

第二节 变电站的类型

一、变电站的作用及类型

变电站是电力系统的重要组成部分，变电站在系统中起着传输能量、变换电压、控制系统运行的作用。我国现今变电站的最高电压为 500kV。

变电站在电力系统中的地位和作用是确定变电站类型的主要标志。变电站可以分为以下六种类型：

(1) 枢纽变电站。枢纽变电站连接电力系统的高压和中压的几个部分，汇集多个大电源和大容量联络线，在系统中处于枢纽地位，电压等级高、变电容量大、出线回路数多。

(2) 中间变电站。除去起系统功率交换作用，使长距离输电线路分段外，还有降压供电给当地负荷的作用。

(3) 地区变电站。地区变电站是一个地区或中等城市的主要变电站，供电电压等级一般为 220kV，容量为 200~300MVA。

(4) 企业变电站。是工矿企业的专用变电站，大型企业的变电站供电电压为 220kV，一般企业变电站供电电压为 110kV。

(5) 终端变电站。终端变电站在供电负荷附近，由 1~2 回电源线路供电，接线相对比较简单，供电电压为 110kV 及以下。

(6) 开闭所站。开闭所一般是为了系统稳定性要求而设置的中间站，其作用是将长距离的输电线路分段，以降低工频过电压幅值，减少线路故障面，提高系统运行稳定度。开闭所站一般设在长线路的中段或 1/3 处。

二、综合自动化变电站

现有的变电站有三种形式：第一种是传统的变电站；第二种是部分实现微机管理，具有一定自动化水平的变电站；第三种是全面微机化的综合自动化变电站。

1. 常规变电站自动化的缺点

(1) 常规变电站中的二次设备、继电保护、自动装置、远动