

变电运行现场操作技术

天津市电力公司 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



电工电子编辑室

010-63416220

CEPP

○ 推荐书目

电气化铁道接触网
电力电缆及电线
电力控制理论及其应用
电力设备维修诊断与预防性试验
变电运行事故分析及处理
变电运行现场操作技术
有载分接开关的应用
实用电气二次回路200例
电力工程电气设计200例
微机型自动准同步装置的设计和应用
配电线路典型装置图集
10kV及以下电力电缆线路施工图集
变电站自动化工程图集
常用电气设备故障诊断技术手册
电力营销管理手册
农村配电设计手册
农村安全用电对话（配图本）
电气试验基础
节电技术与节电工程
英汉/汉英电力商务技术词典
供电企业安全生产实用手册
电力企业各级人员安全生产职责
电力企业线损管理工作标准
供电企业安全管理工作及考核标准
供电企业工作危险及其控制措施（一套9册）
大型火电厂生产技术人员培训系列教材（一套8册）
电力生产“1000个为什么”系列书（一套14册）

ISBN 7-5083-2436-6

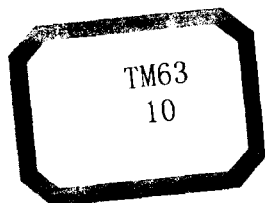


9 787508 324364 >

定价：40.00 元

销售分类建议：电力工程/变电运行

CHINA ELECTRIC POWER PRESS



变电运行现场操作技术

天津市电力公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是根据《变电站运行规程》、《变电运行岗位规范》和《中华人民共和国职业技能鉴定规范电力行业》的要求,结合变电运行现场操作技能培训和职业技能鉴定的实际需要编写的。

全书共三篇。第一篇倒闸操作,包括:电力系统基本知识;变电站倒闸操作。第二篇变电设备,包括:电力变压器;高压断路器与全封闭组合电器;隔离开关;高压熔断器和负荷开关;防雷及接地;无功补偿装置;高压互感器;消弧线圈和低电阻接地;变电站直流系统;继电保护和自动装置;变电站自动化与无人值班设备;二次回路基本知识与简易电工测量。第三篇安全防范,包括:防止误操作、误作业事故;变电站消防系统与电气火灾的扑救;变电站防止小动物短路事故;SF₆高压电器设备使用中的安全防护;提高变电运行人员整体处理事故的能力;变电站电气设备安全检查及标准。为方便培训学习在各章后均附有思考题。

本书既可作为变电运行现场操作技能培训的必读教材,也可作为变电运行人员职业技能鉴定培训的教材,同时也适用于电力工业学校、中等职业技术学校、大学与专科院校的有关专业课程的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

变电运行现场操作技术/天津市电力公司编. —北京:

中国电力出版社, 2004

ISBN 7-5083-2436-6

I. 变... II. 天... III. 变电所-电力系统
运行-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 105691 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年12月第一版 2006年2月北京第四次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 22.5印张 546千字

印数12001—16000册 定价 40.00 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)

《变电运行现场操作技术》

编 委 会

主 任：薛 锦

副主任：蒋亦兵 康健民

成 员：王守东 施学谦 刘 勇 刘志刚 张 健 高 捷
郭象吉 王少毅 殷 军 林锡考 杨 华 王 强
贾长珠

主 编：付艳华

参加编写人员：单大鹏 王宝珊 赵 琦 姚树海

序

随着电力系统不断发展,特别是近年来城乡电网建设与改造工程的实施,变电站新设备、新技术广泛采用,无人值班变电站大量投入运行,一线职工的综合素质远远不能适应科技进步和现代化管理的需要,提高运行人员的业务素质与技能水平,已成为当务之急。天津市电力公司生产技术部组织编写的《变电运行现场操作技术》一书,为一线职工的培训提供了一本很好的教材,推荐给大家使用。

该书具有以下特点:

(1) 针对性强,可谓该书的明显特点。该书由天津市电力公司《变电站运行规程》编写小组原班人员编写,以规程为主线,将规程编写的依据、解释以及搜集到的相关材料、汇集成书,与规程内容相吻合,是该规程的解读辅导教材。通过对该书的学习,无疑可以加深对规程的理解。天津市电力公司《变电站运行规程》还被中国电力企业联合会标准化中心采纳做为编写电力行业《变电站运行导则》的范本,在全行业推广。

(2) 该书注重贴近现实,结合设备及其运行管理要求,满足变电运行岗位技能培训的需要,实用性强。全书共分三篇二十章,适用于35~500kV变电站,包括变电运行岗位应知应会的基础技能,符合变电运行技能鉴定的基本要求,是变电运行人员提高岗位技能的基础教材。

(3) 该书内容的编排强调系统性,力求将理论知识与实际技能有机的结合。循序渐进深入浅出地讲解,尽量避开不必要的数学公式、推导和抽象的理论表述,同时也摆脱了以往辅导教材多以问答、试题库形式就事论事的格局。书中既能找出常见典型疑难问题的答案,又能作为不同层次的运行和管理人员全面、系统、深入、提高专业技能的通用教材。

(4) 该书初稿的形成,经过天津市电力公司相关专业人员的审核把关,多次修改,又经天津市电力科技咨询服务中心组织有关专家审查定稿出版。因此具有一定的权威性。

几位从事变电运行工作的同志,在繁忙工作之余,以自己的工作感受、多年积累的运行经验以及收集各个方面的文献资料,编辑出版,是一件十分有益的工作,必将对变电运行专业技能培训,安全运行、管理水平的提高起到良好的推动作用。

天津市电力公司副总经理、总工程师:

2004年2月

— 前 言 —

随着电力系统的快速发展，特别是近几年城乡电网建设和改造工程的实施，变电站设备的科技含量不断提高。大量新技术、新设备的使用，对电力生产运行人员的专业技术素质提出了更高的要求，特别是对变电运行专业人员，提出的要求更高。为提高变电运行人员的技术素质和业务素质，适应现代化管理需要，以便更好地保证电网设备的安全、可靠运行，天津市电力公司生产技术部组织编写了这本《变电运行现场操作技术》。

本书共分三篇二十章，涉及内容为电网系统基本知识、倒闸操作技术要领和要求；变电站一、二次设备的运行维护、事故处理；直流、远动、微机监控无人值班站的运行；变电站安全防护、反事故技术措施等。本书实用性强，侧重讲解变电站现场工作的实际技能，力求解决变电站生产中的实际问题。本书针对性强，主要面向从事变电站运行、维护、管理等工作的一线工作人员，针对变电站现场工作特点，删繁就简，语言通俗易懂。书中所涉及的内容，基本涵盖了变电运行岗位应知应会的基础技能，满足部颁《电力行业职业技能鉴定规范》和《变电运行岗位规范》的要求，是变电运行人员提高岗位技能的基础培训教材。

本书由付艳华同志主编，单大鹏、王宝珊、赵琦、姚树海共同编写。在编写过程中，得到华北电网有限公司生产技术部、天津市电力公司众多技术专家的大力支持和帮助，提出了许多宝贵意见，在此一并表示深切的谢意。

由于新技术总在不断发展，加之编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳请专家和读者批评指正。

编者
2004年8月

目 录

序
前言

第一篇 倒 闸 操 作

第一章 电力系统基本知识	1
第一节 电力网、电力系统和动力系统	1
第二节 电气设备的操作原则	5
第三节 变电站的类型和电气主接线	11
第四节 电力系统中性点的运行方式	14
第五节 系统电压调整和无功补偿	18
思考题	30
第二章 变电站倒闸操作	31
第一节 倒闸操作的基本概念	31
第二节 倒闸操作的技术要求	32
第三节 倒闸操作的注意事项及专用术语	39
第四节 无人值班变电站的运行操作	44
第五节 倒闸操作六项把关制度	46
第六节 防误闭锁装置及其管理	47
思考题	53

第二篇 变 电 设 备

第三章 电力变压器	54
第一节 概述	54
第二节 变压器的工作原理、结构和主要参数	54
第三节 三绕组变压器与自耦变压器	59
第四节 有载调压变压器	63
第五节 几种新型变压器	68
第六节 变压器的并列与经济运行	71
第七节 油浸变压器的运行	74
第八节 变压器运行中的异常和故障处理	83
思考题	89
第四章 高压断路器与全封闭组合电器	91
第一节 概述	91
第二节 真空断路器	95

第三节 SF ₆ 断路器	102
第四节 油断路器	111
第五节 高压断路器的操动机构	112
第六节 高压断路器事故处理	124
第七节 SF ₆ 全封闭组合电器 (GIS)	128
思考题	136
第五章 隔离开关	138
第一节 概述	138
第二节 隔离开关的结构形式	139
第三节 常用隔离开关及其操动机构主要技术数据	140
第四节 隔离开关的运行与检修	145
第五节 导体接头发热的鉴别与监测	147
思考题	148
第六章 高压熔断器和负荷开关	149
第一节 高压熔断器	149
第二节 高压熔断器的选择与配合	156
第三节 高压负荷开关	161
思考题	162
第七章 防雷及接地	163
第一节 概述	163
第二节 变电站的防雷保护	163
第三节 变电站微机装置和信息传输系统的防雷	165
第四节 避雷器	167
第五节 变电站接地	170
第六节 电力设备接地的反事故措施	174
思考题	175
第八章 无功补偿装置	176
第一节 无功补偿	176
第二节 电力电容器	178
第三节 变电站的电压调整	182
思考题	184
第九章 高压互感器	185
第一节 电压互感器	185
第二节 电流互感器	192
第三节 互感器运行中应注意的问题	199
第四节 互感器常见故障及处理办法	202
思考题	202

第十章 消弧线圈和低电阻接地	204
第一节 消弧线圈	204
第二节 配电网中性点运行方式与低电阻接地	209
思考题	211
第十一章 变电站直流系统	212
第一节 概述	212
第二节 变电站直流供电回路	213
第三节 直流充电装置	221
第四节 变电站常用蓄电池	226
第五节 蓄电池的充放电	232
思考题	235
第十二章 继电保护和自动装置	237
第一节 概述	237
第二节 输电线路的电流保护	239
第三节 输电线路的距离保护	240
第四节 输电线路的纵联保护	245
第五节 变压器保护	257
第六节 母线差动保护	264
第七节 断路器保护	269
第八节 并联电力电容器保护	272
第九节 短引线保护简介	275
第十节 备用电源自动投入装置	275
第十一节 故障录波器	277
第十二节 微机继电保护和自动装置的运行和维护	278
思考题	280
第十三章 变电站自动化与无人值班设备	282
第一节 变电站综合自动化与无人值班的基本概念	282
第二节 电力系统远方终端(RTU)	284
第三节 变电站综合自动化系统	285
第四节 GPS 时钟系统在变电站中的应用	290
思考题	291
第十四章 二次回路基本知识与简易电工测量	292
第一节 二次识图基本方法	292
第二节 变电站二次回路工作基本知识	299
第三节 简易电工测量基础知识	302
第四节 数字式万用表的使用	302
第五节 兆欧表的使用	304

第六节 钳形电流表	306
思考题	306

第三篇 安全防 范

第十五章 防止误操作、误作业事故	308
第一节 电气误操作事故实例	308
第二节 误操作事故发生的原因和防止对策	310
第三节 刹住习惯性违章	313
思考题	314
第十六章 变电站消防系统与电气火灾的扑救	315
第一节 变电站消防系统	315
第二节 电气火灾的扑救	319
思考题	321
第十七章 变电站防止小动物短路事故	322
思考题	323
第十八章 SF₆ 高压电器设备使用中的安全防护	324
思考题	325
第十九章 提高变电运行人员整体处理事故的能力	326
思考题	327
第二十章 变电站电气设备安全检查标准及危险点分析和控制	328
第一节 安全检查标准	328
第二节 危险点分析和控制	346
参考文献	348

倒 闸 操 作

第一章

电力系统基本知识

第一节 电力网、电力系统和动力系统

一、电力网

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给大工业中心、大城市、商业用户……，就需要建立升压变电站、高压输电线和降压站。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一千公里以上距离的发电厂和用户都连接起来运行的能力。国家电网公司在未来的 5 年内要形成大区电网互联的基本格局，在这个基础上到 2015 年建成全国的联合电网。目前我国已经形成了东北、华北、西北、华东、华中、南方四省、川渝 7 个跨省电网和山东、福建、海南、新疆、西藏 5 个独立的省（自治区）电网。全国联网是以三峡电站为中心，建设东、西、南、北四个方向的联网和输电线路，并在条件成熟的电网间实现周边联网。

图 1-1 为动力系统示意图。该系统是由水电站、热力发电厂、用户组成输配电网络。从大的概念上分为动力系统、电力系统和电力网。

动力系统水电站 a，它生产的电能经升压变压器升压为 220kV、110kV 高压输送给用户，同时与其他发电厂并列运行。火力发电厂 b、d 生产的电能通过变压器升压为 110kV 输送给用户并与其他发电厂并列运行。热电厂已建设在用户中心，它用热力网向热力用户供热，它所产生的电能除了供给附近用户的使用外，还用 110kV 线路与其他发电厂联系起来。

电力系统是动力系统的一部分，把动力系统中的热力、水力部分和发电厂消耗的热力、水力部分除外，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，把电力系统中的发电机和用电设备除外就是电力网。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。

电力网又可以分为“地方电力网”、“区域电力网”和“远距离输电线”等。

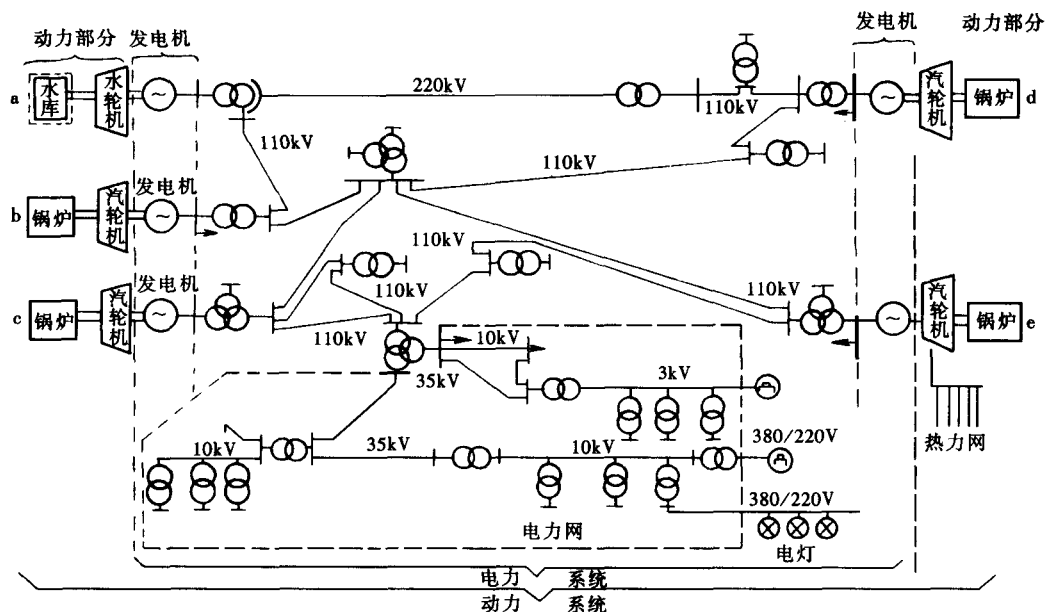


图 1-1 某动力系统示意图

“地方电力网”是指 35kV 及以下电压等级的电力网，供电区域不大。

“区域电力网”是指 110kV 及以上电压等级的电力网，供电区域较大。

“远距离输电线”是指 220kV 及以上电压等级的输电线路，距离大于 500km 的输电线又称为“超高压输电”系统。

二、电能生产的技术特点

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、传递、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方面、机械方面、电气方面变化的过程是十分迅速的。这就是指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好的效果的，因而在电力系统中采用了大量的自动装置。

(3) 电力与经济建设和人民生活关系密切。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，就会影响到工农业各部门的生产；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。



三、电力系统运行的基本要求

1. 供电可靠性高

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：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；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；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，电力系统解列成好几个部分，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事故而诱发的，所以要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，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。因此，就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级：

第一级负荷：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。

第二级负荷：如果对这类负荷停止供电，会造成大量减产，工人窝工，城市人民生活受到影响等。

第三级负荷：所有不属于第一级、第二级的其他负荷，如附属车间，小城市和农村的公用用电等。

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各点的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，这就会降低劳动生产率，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（或热耗率或水耗率）、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、运行经济等项要求，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）电能损耗的计算。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) 电压损耗的计算。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) 电力系统稳定的计算。为了研究在电力系统中发生了短路故障或其他运行情况的变化,各发电厂的机组能否稳定的并列运行,就需要进行电力系统稳定的分析计算。

其他如短路电流的计算,继电保护和自动装置的分析研究则是专题讨论的内容。

四、电力系统的基本要求

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

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 $\pm 10\%$ 。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 $\pm 7\%$ 。220kV 单相供电电压正负偏差为额定电压的 $7\% \sim 10\%$ 。

$$\text{电压偏差} = \frac{\text{实测电压} - \text{额定电压}}{\text{额定电压}} \times 100\%$$

2. 电力系统频率允许偏差

正常频率偏差允许值为正负 0.2Hz;当系统容量较小时,偏差值可以放宽到正负 0.5Hz;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。

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

标准电压 (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	
66	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	
110	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	



由冲击负荷产生的电压波动允许值见表 1-3。

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

五、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。“自行”范围内的设备在操作前也必须经过调度许可方能操作。“自行”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，电力电容器组的拉、合。

六、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°~15°时，进行合闸操作，实现并列。

除因故障由继电保护装置将某电网解列外，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，要求正值值班员及以上人员都会进行并列的操作。

第二节 电气设备的操作原则

电气设备的操作要严格按照运行操作规程执行，以确保倒闸操作的正确。即使是操作中发生事故，也要把事故影响控制在最小范围。

一、设备停、送电操作

- (1) 电气设备停、送电操作的顺序是：停电操作时，先停一次设备，后停保护、自动装

置；送电操作时，先加入保护、自动设置，后投入一次设备。保护及自动设置在一次设备操作过程中要始终加入。

(2) 设备停电时，先断开该设备各侧断路器，然后拉开各断路器两侧隔离开关；设备送电时，先合上该设备各断路器两侧隔离开关，最后合上该设备断路器。其目的是为了有效地防止带负荷拉、合隔离开关。

(3) 设备送电时，合隔离开关及断路器的顺序是从电源逐步送向负荷侧；设备停电时，与设备送电时的顺序相反。

二、变压器的操作

变压器是电力系统重要的电气设备。投入或退出运行对系统影响较大，操作变压器要考虑以下几个问题。

(1) 变压器并列运行必须满足下列条件：连接组别必须分别相同；变比相等，允许相差 5%；短路电压相等，允许相差 10%。

在变比和短路电压不相等时，如经过计算在任何一台变压器不会过负荷的情况下，允许并列运行。

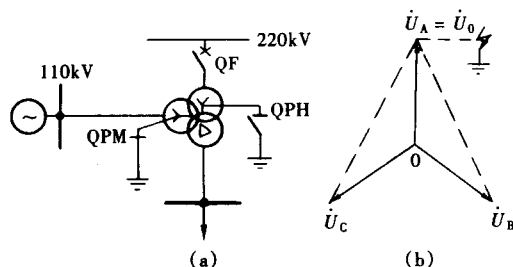


图 1-2 变压器中性点接地

(a) QPH 拉开时中压侧运行示意图；

(b) a 相对地短路时的相量图

(2) 变压器在充电状态下及停、送电操作时，必须将其中性点接地开关合上。中性点接地刀闸合上的主要目的是防止单相接地产生过电压和避免产生某些操作过电压。如图 1-2 (a) 所示，变压器接线组别为 YN, yn0, d11，中压侧运行，高压侧断路器 QF 断开。当高压侧中性点接地开关 QPH 拉开，高压侧 $\dot{U}_A$ 相绕组出线端发生单相接地故障时，无短路电流，则变压器差动保护、零序电流保护均不能动作，

这时高压侧中性点电压为相电压 $\dot{U}_0$ ， $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$

相对地电压为线电压，如图 1-2 (b) 所示，在此过电压作用下，变压器可能因绝缘击穿而损坏。当 QPH 接地开关合上时，若发生单相接地，一方面不会产生过电压，另一方面因有故障电流，使变压器差动保护和零序电流保护动作，将故障点切除，所以变压器在充电状态下必须合上中性点接地开关。

(3) 变压器送电时，先合电源侧断路器，停电时先断开负荷侧断路器。500kV 联络变压器，一般在 220kV 侧停（送）电，在 500kV 侧解（合）环。

按上述顺序停送电，可以防止变压器反充电。如图 1-3 所示，变压器 T1 带负荷运行，T2 停电待送。变压器保护及后备保护大部分装在电源侧，当变压器 T2 从负荷侧充电，且其内部有故障时，变压器 T2 部分保护（如过流保护）将不能动作。另外，从负荷侧送电加重了变压器 T1 的负担，当变压器 T1 处满负荷时，从负荷侧充电将导致 T1 过负荷。而从电源侧对变压器 T2 充电，遇有故障时，对负荷侧运行设备影响较小，变压器保护均可动作。

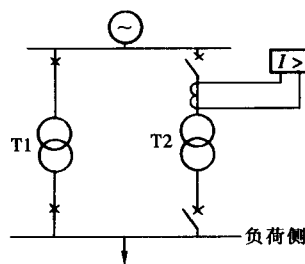


图 1-3 变压器 T1 带负荷运行，T2 停电待送示意图