

全国电力技能人员培训用书



全国电力继续教育规划教材

变电运行 (超高压类)

全国电力继续教育规划教材编委会 组 编
张全元 李洪波 主 编
陈元建 李广渊 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力继续教育规划教材

变电运行 (超高压类)

			张全元	李洪波	主 编
			陈元建	李广渊	副主编
王永清	赵连政	寇太明	张希成	付连杰	
顾振江	尚润田	宋 巍	贺俊杰	张春江	编 写
周志茹	盖 晶	齐 赛	勾建军	郭 琦	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力继续教育规划教材。

全书共分十八章，主要内容包括基础知识、变压器、并联电抗器、串联电容器补偿装置、互感器、断路器、隔离开关、母线及接线方式、无功补偿、过电压及限制措施、站用电系统、典型保护配置、自动装置、“五防”系统、设备巡视、倒闸操作、事故处理和电气设备验收。本书最大的特点是专业内容理论简明、扼要，实际操作部分针对性强，所有操作项目紧密围绕现场实际。

本书不仅可作为新入职员工、转岗人员岗前培训教材，也可作为在职变电运行人员培训作业指导书。该书实用性强，通俗易懂，是变电运行技能培训理想的教材，同时还可作为电力工程类的大专院校现场技能学习的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电运行：超高压类/张全元，李洪波主编；全国电力继续教育规划教材编委会组编. —北京：中国电力出版社，2013.9

全国电力继续教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4515 - 7

I. ①变… II. ①张… ②李… ③全… III. ①高电压-变电所-电力系统运行-继续教育-教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 116805 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 9 月第一版 2013 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28 印张 683 千字 1 插页

定价 66.80 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

全国电力继续教育规划教材编委会

主任 赵建国

副主任 张薜鸿 刘广峰 陶 明 文海荣 董传敏 朱光辉

张炯明 辛志杰 陈明祥 罗福书 赵文建 赵 斌

杨建华 张全元 李洪波

秘书长 刘克兴

委员 王立新 陈华贵 丁树文 章志刚 黄益华 李吉鹏

张红飞 罗红星 余建华 李建华 赵连政 李晓峰

高虹亮 马振良 王志平 时伟光 肖艳萍 郭 敏

徐 明 郜勇琴 王 宇 黄陀臣 贺令辉 陈力耕

宋志明 霍永红 谢伟宏 孟应平 张永健 席晋鹏

常 湧 杨 龙 常 勇 周孝法 宋守信 王天君

李国胜 祝红伟

(排名不分先后)

出版说明

为贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》的精神，满足电力行业产业发展对高级管理人才、高技术技能型人才的需要，在中国电力企业联合会、国家电网公司的领导下，由中国电力出版社组织电力企业的资深专家、电力院校的知名教授、高级培训师，成立了全国电力继续教育规划教材编委会，启动了2010—2020年全国电力继续教育规划教材建设工作。通过统筹规划、专题研讨、集思广益、交流合作，经过两年时间的努力，完成了本套教材的编写工作。本套教材主要有以下特点：

（1）在内容设计上，以尽快培养宽口径复合型、技能型人才为原则，以使受训者拓宽、加深专业知识，了解技术与管理中的前沿内容，提升企业管理理念和技能；以专业理论为基础，国家专业技术规程、规范、标准为依据。涵盖电力专业技术、企业管理与执行、企业文化与团队建设、企业安全管理与监控等内容；突出新技术、新设备、新工艺、新方法，采用来自生产现场的第一手资料，并以理论与实践1:1的构架，形成了完整独特的培训教材体系。

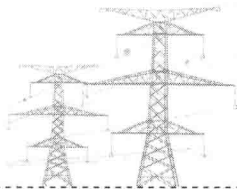
（2）在编写方式上，坚持少而精的原则，立足当前，着眼未来，内容的取舍取决于高技术技能型人才培养现在与未来的实际需求。做到结构清晰、重点突出，语言精练、术语规范和标准化。教材以章节进行划分，每节按内容的走向分段落，每个段落形成一个版块，包括教学目标、任务准备、操作过程、技术标准、安全防范等环节，以便实现“教、学、做”一体化的传授模式。

（3）在传授的特点上，本套教材具有知识的系统性、连贯性、针对性，机能的实用性和可操作性等，由浅入深，从理论到实际地进行叙述，因此是电力企业高技术技能型人才继续教育、转岗、轮岗和新入职大学毕业生上岗培训首选的教科书，也是非电类专业优选的课外读物，是在职员工拓展专业知识、提升专业技术水平中具有指导性的培训教材，也是管理者继续教育不可缺少的参考资料。

本套教材的出版是贯彻落实国家人才队伍建设总体战略，实现电力企业高端管理和技能型人才培养的重要举措；是加快电力企业培训改革创新，全面提高培训质量的具体实践，必将对电力“一强三优”“一特四大”“三集五大”步伐起到积极的推动作用。

希望读者在使用这套教材的同时，能将教材中出现的不足和问题反馈给我们，以便进行完善和修订。

全国电力继续教育规划教材编委会



前 言

《变电运行（超高压类）》按照全国电力继续教育规划教材的八条指导原则进行编写。教材体现了“一比例、二结合、三特性和四创新”的原则，即理论知识和实践内容上的比例为1:1；编写分工采取了校企结合，执行双主编制；教材充分体现了理论和实际相结合，在编写的过程中要做到有针对性、可操作性和最大限度地保证其实用性；在教材的内容结构上体现了新技术、新设备、新工艺和新方法。

本书共十八章，其内容有基础知识、变压器、并联电抗器、串联电容器补偿装置、互感器、断路器、隔离开关、母线及接线方式、无功补偿、过电压及限制措施、站用电系统、典型保护配置、自动装置、“五防”系统、设备巡视、倒闸操作、事故处理和电气设备验收。

本书由全国电力继续教育教材编委会组织编写，由电力系统部分培训单位和部分电力企业生产单位承担具体编写任务。其中第一章基础知识、第七章隔离开关、第八章母线及接线方式由王永清编写；第二章变压器由李洪波、张全元编写；第三章并联电抗器、第十章过电压及限制措施、第十五章设备巡视、第十八章电气设备验收由张全元编写；第四章串联电容器补偿装置、第九章无功补偿、第十一章站用电系统、第十六章倒闸操作由李广渊编写；第五章互感器由寇太明编写；第六章断路器由赵连政编写；第十二章典型保护配置、第十三章自动装置、第十四章“五防”系统由陈元建编写；第十七章事故处理由张全元、陈元建编写。全书由湖北省电力公司检修分公司张全元统稿；其余编者参加了部分内容的编写。

本书最大的特点是专业理论简明、扼要，实际操作部分针对性强，所有操作项目紧密围绕现场实际。本书不仅可作为新入职员工、转岗人员的岗前培训教材，也是在职变电运行人员的培训作业指导书。该书实用性强，通俗易懂，是变电运行技能培训理想的教材，同时还可作为电力工程类的大专院校现场技能学习的参考书。

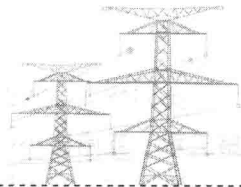
本书在编写过程中，得到了湖北省电力公司检修分公司、黑龙江省技能培训中心齐齐哈尔分部、冀北电力有限公司管理培训中心、辽宁省电力公司大连培训中心、冀北电力有限公司检修分公司、冀北电力有限公司廊坊供电公司、冀北电力有限公司承德供电公司的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

在编写本书时，参考了大量的相关书籍，在此对原作者表示深深的谢意！

由于编者经验和理论水平所限，书中难免出现错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2013年8月



目 录

出版说明

前言

第一章 基础知识	1
第一节 电力系统的发展.....	1
第二节 电力系统中性点的运行方式.....	4
第三节 电力系统事故.....	7
第四节 电能质量的调整及经济运行.....	15
第五节 电晕.....	21
第六节 电磁污染.....	23
第七节 静电感应.....	27
第二章 变压器	30
第一节 基础知识.....	30
第二节 基本结构.....	43
第三节 自耦变压器.....	64
第四节 干式变压器.....	68
第五节 运行维护.....	73
第三章 并联电抗器	80
第一节 超高压空载长线路电容效应.....	80
第二节 并联电抗器及中性点电抗器的作用.....	83
第三节 并联电抗器的分类及技术参数.....	87
第四节 并联电抗器的工作原理.....	94
第五节 并联电抗器结构.....	97
第六节 并联电抗器的运行规定.....	101
第四章 串联电容器补偿装置	103
第一节 串联电容器补偿装置的基础知识.....	103
第二节 固定串联电容器补偿装置的构成.....	106
第三节 可控串联电容器补偿装置的控制元件.....	112

第四节	串联电容器补偿装置运行维护	114
第五章	互感器	119
第一节	互感器的基础知识	119
第二节	电流互感器	120
第三节	电压互感器	131
第四节	运行注意事项	145
第六章	断路器	150
第一节	基础知识	150
第二节	断路器的结构	155
第三节	SF ₆ 断路器	159
第四节	落地罐式断路器	164
第五节	GIS 组合电器	166
第六节	HGIS 复合电器	171
第七节	断路器的操动机构	175
第八节	运行注意事项	183
第七章	隔离开关	186
第一节	基础知识	186
第二节	结构	188
第三节	运行注意事项	193
第八章	母线及接线方式	196
第一节	变电站母线的知识	196
第二节	一次主接线及运行方式	204
第九章	无功补偿	206
第一节	基础知识	206
第二节	电容器	208
第三节	低压并联电抗器	214
第四节	电容器电抗器运行注意事项	215
第十章	过电压及限制措施	220
第一节	过电压基础知识	220
第二节	变电站防过电压措施	227
第三节	变电站接地装置	234
第四节	氧化锌避雷器的运行维护	239
第十一章	站用电系统	240
第一节	交流站用电系统	240
第二节	交流站用电系统的运行规定	243
第三节	直流系统	245

第四节	直流系统运行注意事项	249
第十二章	典型保护配置	252
第一节	500kV 变电站的特点和对继电保护的要求	252
第二节	输电线路保护配置	253
第三节	母线保护配置	265
第四节	变压器保护配置	273
第五节	并联电抗器保护配置	280
第六节	断路器保护配置	284
第七节	电容器保护配置	287
第八节	电抗器保护配置	291
第九节	站用变压器保护配置	293
第十三章	自动装置	297
第一节	故障录波器	297
第二节	安全稳定控制装置	303
第三节	备自投装置	310
第四节	同期装置	312
第十四章	“五防”系统	315
第一节	常规防误闭锁装置	315
第二节	微机防误闭锁装置	318
第三节	防误闭锁装置的运行管理	322
第十五章	设备巡视	325
第一节	设备巡视规定	325
第二节	设备巡视项目	327
第十六章	倒闸操作	351
第一节	基础知识	351
第二节	变电站倒闸操作	357
第十七章	事故处理	373
第一节	事故处理的原则	374
第二节	变电站典型案例分析	388
第十八章	电气设备验收	409
第一节	电气设备验收的规定	409
第二节	新设备验收	410
第三节	设备检修后验收	420
参考文献		433

第一章 基础知识

第一节 电力系统的发展

一、电力系统的构成及功能

在电力生产中，发电厂把其他形式的能量转换为电能，电能经过变压器和不同电压等级的输电线路被输送并分配给用户，再通过各种用电设备转换成适合用户需要的其他形式的能。这种由生产、输送、分配和使用电能的各种电气设备连接在一起而组成的整体，称为电力系统。如果把火电厂的汽轮机、锅炉、供热系统和热用户，水电厂的水轮机和水库，核电厂的反应堆和汽轮机等动力部分也包括进来，就称为动力系统。电力系统中输送和分配电能的部分称为电力网，它包括升降压变压器、换流站和各种电压等级的交直流输电线路。由输电线路和连接这些电力线路的变电站所组成的统一体，称为输电网，它的作用是将发电厂的电能送往负荷中心。由配电线路和配电站组成的统一体，称为配电网，它的作用是将负荷中心的电能分配到各配电站后，再将电能送往各用户。根据电压等级的高低，电力网分为特高压输电网、超高压输电网、高压输电网和配电网，其电压等级的划分情况如表 1-1 所示。

表 1-1 电力网电压等级的划分情况

输电网	电压等级 (kV)	配电网	电压等级 (kV)
特高压输电	1000、±800、±1100	高压配电	35、63 (66)
超高压输电	330、500、750、±500、±600	中压配电	3、6、10、20
高压输电	110、220	低压配电	0.380、0.220

电力系统中各类设备之间的连接状况，可以用电力系统接线图来表示，如图 1-1 所示。图 1-1 同时表明了动力系统、电力系统和电力网三者之间的关系。

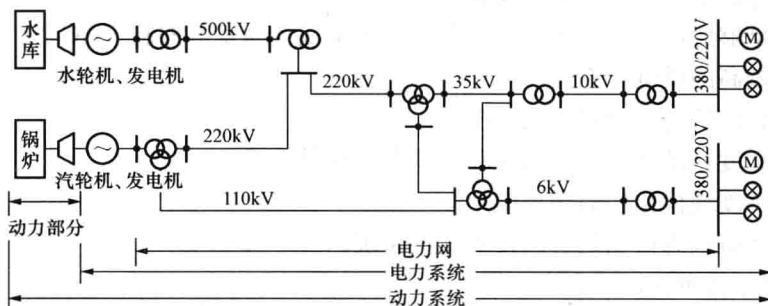


图 1-1 动力系统、电力系统和电力网

二、我国超高压输电线路的发展

我国超高压输电线路的建设和发展在借鉴国外经验的基础上，积极采用先进技术，在建

设规模和增长速度方面都得到较快的发展。1972年，我国第一条330kV超高压输电线路（刘天关线）投入运行，该线路从刘家峡水电站至汤峪变电站，全长534km，实现陕西、甘肃、青海三省联网。1978年，为满足武钢的用电需求，加强鄂豫两省电力联网，扩大电网容量，国家批准建设河南平顶山—湖北武昌500kV输变电工程。该工程于1979年11月开工建设，1981年12月建成投运，以此为标志，我国成为世界上第8个拥有500kV输电线路的国家。几乎同时，500kV元宝山—锦州—辽阳—海城输变电工程开工建设，采用国产500kV设备，于1985年全线建成。此后，500kV超高压输电线路逐渐成为除西北地区以外各省级及跨省大区电网的骨干网架。2003年9月，我国第一个750kV输变电示范工程（甘肃兰州东—青海官亭）在西北地区开工建设。2005年9月，这条世界上海拔最高的750kV输电线路正式建成投运。此后，兰州东—白银—银川东750kV输变电工程于2008年投运。2009年，新疆电网首批750kV输变电工程开工建设，2010年11月，新疆与西北主网联网750kV输变电工程投运。截至2011年底，我国330kV输电线路回路长度已达到21173km，公用变压器设备容量7063万kVA，500kV输电线路回路长度已达到134395km，公用变压器设备容量75608万kVA，750kV输电线路回路长度已达到9425km，公用变压器设备容量5530万kVA。2009年1月6日，晋东南—南阳—荆门1000kV特高压交流试验示范工程建成投运并保持安全运行，使中国成为当今世界交流输电电压等级最高的国家。同时，我国的直流输电线路也得到了快速发展，目前我国华北、华中、华东、东北和南方电网形成1000/500/220/110（66）/35/10/0.38kV交流电压等级序列，西北电网形成750/330（220）/110/35/10/0.38kV交流电压等级序列。1990年之前，我国各地区主网架为220kV；2000年之后，除西北等电网外，各省主网架基本为500kV，同时交直流500kV线路成为跨省跨区输电的重要线路。随着750kV输变电工程以及直流输电工程的建设，跨区联网逐步加强，特高压交直流输电线路将承担起更大范围、更大规模的输电任务。未来电网将朝着以交流特高压为骨干网架、各级电网协调发展、强交强直、智能化方向发展。

随着电网自动化程度的提高，现代大电网呈现出以下特点：

- (1) 主网架电压等级越来越高。
- (2) 各电网之间联系更强。
- (3) 电压等级简化和供电电压提高。
- (4) 具有足够的调峰、调频、调压容量，能实现自动发电控制（AGC）。
- (5) 具有较高的供电可靠性。
- (6) 具有相应的安全稳定控制系统。
- (7) 具有高度自动化的监控系统和电量自动计量系统。
- (8) 具有高度现代化的通信系统。
- (9) 具有适应电力市场运营的技术支持系统。
- (10) 有利于各种能源的合理利用。
- (11) 具有高素质的职工队伍。

三、变电站的作用

变电站是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的电力设施。它通过其变压器将各级电压的电网联系起来。在电力系统中，变电站是输电和配电的集

结点。超高压变电站的分类如下:

(1) 超高压变电站按照电压等级,分为 330/110/35kV、500/220/66 (35) kV 和 750/330/66kV 变电站。

(2) 超高压变电站按照在电力系统中的地位和作用,分为系统枢纽变电站和地区一次变电站。

(3) 超高压变电站按照安装位置,分为室外变电站和室内变电站。

(4) 超高压变电站按照自动化程度,分为常规变电站、综合自动化变电站和智能变电站。

(5) 超高压变电站按照值班方式,分为有人值班变电站、无人值班变电站和集控站。

随着技术的进步和人员素质的提升,变电站运维方式将向调控一体化方向发展。所谓调控一体化,即采取电网调度监控中心和运维操作站的管理模式,电网调度与变电监控一体化设置。调度监控中心主要承担电网调度、变电站监控及遥控操作等职责;运维操作站主要负责调度指令的分解、变电站倒闸操作、运行巡视等站内工作,两者各司其职又紧密配合。

四、电磁环网的特点

两条或两条以上不同电压等级的输电线路通过变压器的磁回路或电与磁的回路连接而构成的环网,叫做电磁环网。电磁环网对电网运行有如下影响:

(1) 易造成系统热稳定破坏。如果在主要的受端负荷中心,用高低压电磁环网供电而又带重负荷时,当高一级电压线路断开后,所有原来带的全部负荷将通过低一级电压线路(虽然可能不止一回)输送,容易出现超过导线热稳定电流的问题。

(2) 易造成系统动稳定破坏。正常情况下,两侧系统间的联络阻抗将略小于高压线路的阻抗。而一旦高压线路因故障断开,系统间的联络阻抗将突然显著地增大(突变为两端变压器阻抗与低压线路阻抗之和,而线路阻抗的标幺值又与运行电压的平方成正比),因而极易超过该联络线的暂态稳定极限,可能发生系统振荡。

(3) 不利于经济运行。例如,500kV 与 220kV 输电线路的自然功率值相差极大,同时 500kV 线路的电阻值也远小于 220kV 线路的电阻值。在 500/220kV 环网运行情况下,许多系统潮流分配难于达到最经济。

(4) 需要装设高压线路因故障停运后联锁切机、切负荷等安全自动装置。但实践证明,若安全自动装置本身拒动、误动将影响电网的安全运行。

一般情况下,往往在高一级电压线路投入运行初期,由于高一级电压网络尚未形成或网络尚不坚强,需要保证输电能力或为保重要负荷而不得不采用电磁环网运行。随着电网的快速发展,已基本实现电磁解环。

五、系统的运行方式

电网实行统一调度、分级管理。电网运行的组织、指挥、指导和协调由电力调度机构负责。各级电网调度机构的值班调度员在其值班期间是电网运行和操作的指挥人员,变电值班员对操作的正确性负责。当设备投运、检修、改造或改变接线后,系统需要通过并列、解列、解环和合环等操作实现系统的运行方式改变,以保证电力系统的安全、稳定和经济运行。

1. 系统的解、并列操作

一个电力系统分裂为两个或多个孤立运行系统的过程或操作称为解列。电网解列既可能

是一种周密计划的紧急措施，也可能是自动保护或调节作用的结果，或是人为错误造成的。系统解列操作时，应调整有功功率和无功功率使解列点处电流指示降到最小值，并使解列后各部分频率和电压在允许范围内；直接接地系统解列成几片运行时，应使各部分均有适当数量的主变压器中性点接地。

电力系统或发电设备按规定的技术要求，相互连接在一起进行同步运行的操作称为并列。并列时，必须投入同期装置，并满足所属电网调度管理规程的要求。

(1) 相序、相位必须相同。

(2) 频率相等或接近。

(3) 电压相等或接近。

2. 系统的解、合环操作

将电力系统中的发电厂、变电站间的输电线路从环式运行转换为辐射运行或断开环式连接的操作称为解环，在 3/2 断路器接线中也指断路器串构成的闭合网络开断运行的操作。系统解环应使用断路器进行操作，在 3/2 断路器串解环时，在满足规定的安全条件下，可使用隔离开关进行解环操作。

将电力系统中的发电厂、变电站间的输电线路从辐射运行转换为环式运行或形成环式连接操作成为合环。新设备首次合环时，必须进行核相，相角差在规程允许范围内；合环前，应调整电压在正常范围内，使合环点两端电压差在规程允许范围内。

解、合环操作前，必须考虑解、合环后电网的继电保护和自动装置使用情况，潮流应不超过稳定极限、设备不过负荷、电压在正常范围内。

第二节 电力系统中性点的运行方式

电力系统中性点是指三相绕组作星形连接的变压器和发电机的中性点。电力系统中性点与大地间的电气连接方式，称为电力系统中性点接地方式（或中性点运行方式）。

中性点接地方式可划分为两大类：一类为大电流接地方式，包括中性点直接接地和中性点经低阻接地；另一类为小电流接地方式，包括中性点不接地、经高阻接地、经消弧线圈接地。本节介绍中性点不接地和中性点直接接地系统。

一、中性点不接地系统

1. 正常运行情况

中性点不接地又叫做中性点对地绝缘。在中性点不接地系统中，中性点对地的电位是不固定的，在不同的情况下，它可能具有不同的数值。中性点对地的电位偏移称为中性点位移。

电力系统正常运行时，三相导线之间和各相导线对地之间，沿导线的全长存在分布电容，各相导线间的电容及其所引起的电容电流较小，故可以不予考虑。各相导线对地之间的分布电容，分别用集中的等效电容 C_A 、 C_B 、 C_C 表示，如图 1-2 (a) 所示。电力系统正常运行时，若三相导线经过完全换位，一般认为三相系统是对称的，则各相的对地电容相等，即三相电路对称，中性点没有位移，电位为零。各相的对地电压分别为电源各相的相电压，各相对地电容电流的有效值也相等，即

$$I_{CA} = I_{CB} = I_{CC} = \omega C U_{ph} \quad (1-1)$$

式中, U_{ph} 为电源的相电压; ω 为角频率; C 为相对地电容。

在对称电压的作用下, 各相的对地电容电流大小相等、相位相差 120° , 如图 1-2 (b) 所示。各相对地电容电流的相量和为零, 所以大地中没有电容电流流过。此时各相电流为各相负荷电流与相对应的对地电容电流的相量和, 如图 1-2 (c) 所示, 图中仅画出 A 相的情况。

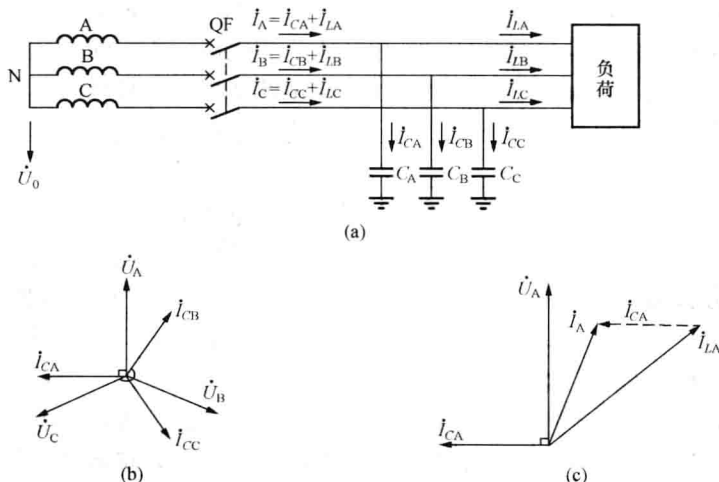


图 1-2 中性点不接地系统正常运行情况

(a) 电路图; (b)、(c) 相量图

2. 单相接地故障

中性点不接地的电力系统中, 当由于某种原因发生单相接地故障时, 情况将发生明显变化。如图 1-3 所示, 当 A 相发生完全接地, 接地处的电阻等于零时, 故障相的对地电压降为零。中性点对地电压与接地相的相电压大小相等、方向相反, 中性点对地的电压由零升高为相电压, 非故障相的对地电压由相电压升高到线电压, 即为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 其相位差由 120° 变为 60° ; 线间电压保持不变。

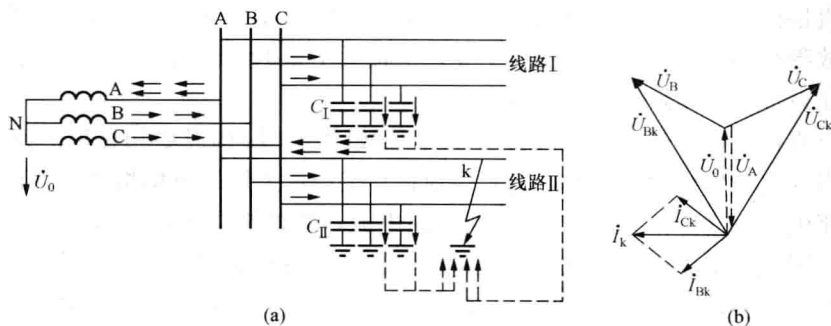


图 1-3 中性点不接地系统发生单相接地时电容电流的分布和相量图

(a) 单相接地时电容电流的分布; (b) 相量图

当 A 相发生完全接地故障时, 该相对地电容被短接, A 相对地电容电流为零, 由于非故障 B、C 两相对地电压升高为线电压, 则非故障相对地的电容电流也相应增大 $\sqrt{3}$ 倍, 分别

超前相应的相对地电压 90° , 此时三相对地电容电流之和不为零, 大地中有电容电流流过, 并通过接地点形成回路。流过接地点的电流为所有线路 (包括故障线路和非故障线路) 的接地电容电流总和, 并超前零序电压 90° , 短路点接地电流的有效值为

$$I_k = I_{C\Sigma} = 3\omega(C_{I} + C_{II})U_{ph} \quad (1-2)$$

式中, U_{ph} 为电源的相电压; ω 为角频率; C_{I} 、 C_{II} 分别为线路 I 和线路 II 的相对地电容。

以上分析的是完全接地时的情况。当发生不完全接地时, 接地电阻不为零, 故障相对地电压大于零而小于相电压, 非故障相的对地电压大于相电压而小于线电压, 中性点电压大于零而小于相电压, 线电压仍保持不变, 此时的接地电流要比完全接地时小一些。

由于发生完全接地时, 非故障相对地电压升高为线电压, 因此, 电力系统的绝缘水平需要按线电压考虑, 从而增加了投资。

单相接地故障时, 由于线电压保持不变, 对接于线电压的用电设备的工作并无影响, 用户可继续运行, 提高了供电可靠性。理论上长期带单相接地故障运行不会危及电网绝缘, 实际上是不允许过分长期带单相接地运行的, 为了防止事故扩大, 在绝缘监察装置发出信号后, 运行人员应尽快查清并消除故障, 并重点监视消弧线圈、电压互感器、避雷器等设备, 一般允许带一点接地故障运行不超过 2h。

单相接地时, 在接地处有接地电流流过, 会引起电弧, 此电弧的强弱与接地电流的大小成正比。当接地电流不大时, 交流电流过零时电弧将自行熄灭, 接地故障随之消失, 电网即可恢复正常运行; 当接地电流超过一定值时, 如: 10kV 电网中接地电流大于 30A, 将会产生稳定的电弧, 形成持续的电弧接地, 高温的电弧可能损坏设备, 甚至可能导致相间短路; 接地电流小于 30A 而大于 5~10A 时, 有可能产生一种周期性熄灭与复燃的间歇性电弧, 间歇电弧将可能使电网中的电感和电容形成振荡回路而产生弧光过电压, 从而危及电气设备绝缘。当接地电流超过规定值时, 通常采用中性点经消弧线圈接地或直接接地的运行方式。

二、中性点直接接地系统

超高压变电站的主变压器基本采用自耦变压器, 其中性点均为直接接地系统且变电站内多台主变压器中性点均直接接地运行。

中性点直接接地时, 中性点与大地之间的电位相同, 发生单相短路时, 故障相的对地电压为零, 非故障相的对地电压基本保持不变, 仍接近于相电压。因此, 电气设备的对地绝缘可以按相电压设计, 从而降低电气设备造价。

在中性点直接接地系统中, 当发生一点接地故障时, 即构成单相接地短路, 如图 1-4 (a) 所示。当发生单相接地故障时, 由于接地相直接经过大地形成单相短路回路, 这时所产生的单相短路电流 I_k 很大, 为了迅速切断短路电流, 装设继电保护装置, 使断路器立即动作断开电源。因此, 不会产生间歇性电弧, 但中断了对用户的供电, 降低了供电可靠性。目前, 在中性点直接接地系统的线路上, 广泛装设自动重合闸装置克服这一缺点, 据有关资料统计, 采用一次重合闸的成功率在 70% 以上。

随着电力系统容量的不断扩大, 电气设备不断增多, 往往会有单相接地电流大于三相短路电流的情况出现。为了进一步限制单相接地时的短路电流的数值, 可在该系统变压器的中性点上采用经小电抗器 (限流) 的接地方式, 如图 1-4 (b) 所示。这种小电抗器的阻抗值较小, 只起到限制单相接地短路电流的作用, 该系统仍保持着中性点直接接地的特点。

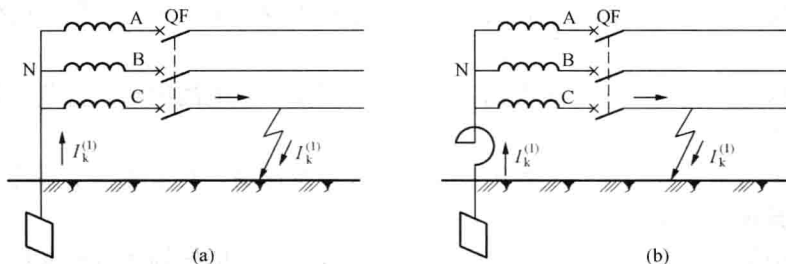


图 1-4 中性点直接接地系统单相接地原理图
(a) 中性点直接接地；(b) 中性点经小电抗器接地

第三节 电力系统事故

一、电力系统事故的原因

产生电力系统事故的原因主要有：

(1) 电气设备绝缘发生破坏，如电气设备年久失修、绝缘老化、内部受潮以及设备本身的固有缺陷等。

(2) 输变电设备遭受外力破坏而造成的短路故障。

(3) 输变电设备遭受雷电、暴风、冰冻和雾闪等自然灾害。

(4) 运行人员的误操作。

从上述产生电力系统事故的原因可以看出，其故障原因既有主观的，也有客观的。对于客观原因造成的电力系统事故，只要对设备加强维护，做好预防措施，是可以减少或避免的。对于误操作事故，只要严格认真执行各项规章制度，同样也是可以杜绝的。

二、电力系统事故现象

(1) 当电力系统发生事故时，电力系统将受到冲击，有较大的电气量变化，例如电流、电压、功率、频率等表计强烈摆动。

(2) 电力系统电压、频率有可能下降到极限值，导致电力系统发生振荡甚至系统瓦解，造成大面积停电。

(3) 电力系统用户的供电质量下降，部分用户供电中断。

(4) 短路事故在事故现场有较大的爆炸声，甚至燃烧，室内故障有较大的浓烟，注油设备出现喷油、变形、焦味、火灾等。

(5) 设备有故障痕迹，如绝缘子破损、绝缘损坏、断线、电弧烧伤、绝缘子闪络等痕迹。

(6) 继电保护及自动装置动作，故障录波器启动，相关断路器跳闸，告警信息表示并发出事故音响。

(7) 电力系统安全稳定装置动作，如联锁切机、低周波保护等。

(8) 发电厂的发电机组可能出现甩负荷或跳闸。

三、电力系统事故的危害

(1) 通过故障点的很大的短路电流和所燃起的电弧，使故障设备损坏。

(2) 短路电流通过非故障设备，由于发热和电动力的作用，使它们损坏或缩短它们的使用寿命。

(3) 由于供电质量下降，可能影响工厂产品的质量；供电的中断，将危及某些特殊行业用户的设备及人身安全。

(4) 破坏电力系统并列运行的稳定性，将引起系统振荡，甚至使整个系统瓦解。

四、电力系统振荡事故

电力系统中的电磁参量（电流、电压、功率、磁链等）的振幅和机械参量（功角、转速等）的大小随时间发生等幅、衰减或发散的周期性变化的现象称为电力系统振荡。当电力系统由于某种原因受到干扰使稳定破坏时，将引发系统振荡。

引起系统振荡的主要原因有：

(1) 输电线路输送功率超过极限值造成静态稳定破坏。

(2) 电网发生短路故障，切除大容量的发电、输电或变电设备，负荷瞬间发生较大突变等造成电力系统暂态稳定破坏。

(3) 环状系统（或并列双回线）突然开环，使两部分系统联系阻抗突然增大，引起动稳定破坏而失去同步。

(4) 大容量机组跳闸或失磁，使系统联络线负荷增大或使系统电压严重下降，造成联络线稳定极限降低，引起稳定破坏。

(5) 电源间发生非同步并列，系统未能拖入同步。

系统振荡时的一般现象为：

(1) 发电机、变压器、线路的电压表、电流表及功率表周期性地剧烈摆动。

(2) 连接失去同步的发电机或系统的联络线上的电流表和功率表摆动得最大。

(3) 电压振荡最激烈的地方是系统振荡中心，每一周期约降低至零值一次。

(4) 失去同期的电网，虽有电气联系，但仍有频率差出现，送端频率高，受端频率低，并略有摆动。

(5) 发电机和变压器发出有节奏的轰鸣声。

系统振荡使各电气设备无法在额定工况下工作，继电保护可能发生误动作，甚至引起系统崩溃瓦解。

五、各种短路故障的特点

所谓短路，是指相与相之间和相与地之间（或中性线）之间通过电弧或其他较小阻抗的一种非正常连接，在三相系统中，短路的基本类型有单相接地短路、两相短路、两相接地短路和三相短路。三相短路为对称短路，其他为不对称短路。

任一组不对称三相系统的一组相量（电流、电压或磁通等），都可以分解成相序各不相同的三组对称三相系统的相量，正序系统、负序系统和零序系统。正序即 A、B、C 三相按顺时针排序，用下标 1 表示；负序即 A、B、C 三相按逆时针排序，用下标 2 表示；零序即 A、B、C 三相同向，用下标 0 表示。

1. 单相接地短路

单相接地短路故障较为频繁。以 A 相短路为例进行分析。

(1) 短路点的边界条件为