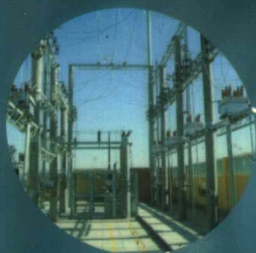


陈天翔 主编

农村电网变电运行职工 岗位知识与技能 培训教材



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

农村电网变电运行职工 岗位知识与技能 培训教材

主 编 陈天翔
副主编 张翰森
主 审 王 多
参 编 (按姓氏笔划排序)
万荣兴 王 玮 王政亭
王胜利 史振卿 刘军虎
闫玉昆 黑晓红



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 简 介

本书是根据农村电网变电运行工作的特点,适应农村电网变电运行工学习培训的要求而编写的。全书共 13 章,主要包括电网基本知识、变电站电气设备、继电保护基本原理及装置、综合自动化装置、变电站的运行及安全管理、倒闸操作、巡视检查、电气设备常见异常和事故的分析处理、县级调度及配网自动化系统、35kV 变电站的设计与安装。本书适应农村电网情况,突出基本知识与技能,力求通俗易懂全面实用。

本书适用于农村电网从事 110kV 及以下变电站变电运行和县级调度运行的职工作为岗位培训及技能鉴定培训教材使用,可供电力学校、电力技工学校作为变电专业学生学习教材和自学参考书,也可供工矿企业变电站值班员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

农村电网变电运行职工岗位知识与技能培训教材/陈天翔主编. —北京:中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-2915-5

I. 农... II. 陈... III. 农村配电-变电所-电力系统运行-技术培训-教材 IV. TM727.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 120126 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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 4 月第一版 2005 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22 印张 539 千字

印数 0001—5000 册 定价 36.00 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

1998 年国家实施农电“两改一同价”工作以来,农村电网得到了迅速的发展,1998 年至 2003 年,国家仅一、二期农村电网建设与改造工程投资就达 2900 亿元,超过了建国 50 多年来的投资总和。新建、改造了一大批农村电网输变电工程、县调自动化工程,配网自动化工程也得到了试点推广应用,农村电网变电站科技含量大幅度提高,农村电网的结构也日趋复杂,绝大多数农村电网 35kV 变电站采用了综合自动化装置。

我国促进农村发展、全面建设小康社会的宏伟目标,对农村电网安全生产、农电企业抓管理促发展的要求也越来越高,对农村电网变电站运行人员的技术素质也提出了更高的要求。总体来说,过去由政府分散管理的农电企业,特别是中西部地区的农电企业,其人员来源和组成相对复杂,人员冗多但熟练的专业技术人才、技能人才相对缺乏。现有农电干部职工的素质已严重影响到企业正常的安全生产活动,影响到农村电网改造工程的正常运行管理,也严重制约农电企业的发展。加强变电运行职工培训,培养一大批掌握电网知识,熟悉一次和二次电气设备,熟悉综合自动化、县级调度自动化系统,能熟练地承担变电运行工作的变电运行职工队伍是农电培训一项重要而又紧迫的工作。

农村电网变电站变电运行工作相对于城市电网而言,一是变电站电压等级较低,一般以 35kV 变电站为主;二是变电站规模较小,主接线相对简单(一般以单母线分段为主),电气设备数量不多;三是农村电网的主干供电网络和保护配置相对简单;四是大多数变电运行人员特别是中西部地区的人员对微机保护和综合自动化装置缺乏深入了解,缺乏运行经验,对运行中出现的问题,普遍依赖生产厂家;五是变电运行管理水平相对较低,缺乏经济调度的意识和手段。

为了适应农村电网变电运行工作特点,适合农村电网从事变电运行人员特别是中西部地区人员学习培训和技能鉴定的需要,特组织具有丰富现场实践经验和教学经验的同志编写了这本《农村电网变电运行职工岗位知识与技能培训教材》,突出地介绍了电气设备、继电保护、综合自动化、县级调度自动化(含配网自动化)等方面的知识与技能。

本书共分 13 章。第一章阐述了电网的组成、特点、变电站主接线、过电压及其保护、短路等电网基本知识,介绍了与变电运行有关的电网的“四率”(频率、电压合格率、供电可靠率、线损率)知识。第二章介绍了变电站变压器、互感器、断路器等主要电气设备的原理、结构与运行特性。第三章阐述了电网继电保护的基本原理。第四章介绍了电网安全自动装置及运行特点,简述了继电保护测试方法。第五章阐述了电力系统综合

自动化装置的基本构成、微机在变电站中的应用、中小型变电站的微机监控系统,介绍了综合自动化系统运行注意事项及常见问题处理方法。第六、第七章分别介绍了变电站运行管理及安全管理的制度、措施和要求。第八章介绍了变电站倒闸操作的要求、步骤、倒闸操作票的填写与倒闸操作实例。第九章介绍了变电站电气设备巡视检查的一般规定及变电站一、二次电气设备巡视检查的内容及注意事项。第十章阐述了各类电气设备运行中出现的异常及分析处理方法。第十一章介绍了变电站事故处理的一般原则、常见事故的处理与预防,介绍了事故处理的案例。第十二章阐述了县级调度自动化主站、厂站系统的组成与功能,介绍了数据通信与通信规约,简述了县级调度自动化系统的日常运行维护及运行指标要求,简述了配网自动化技术的原理及应用。第十三章介绍了供变电运行人员验收和运行参考的35kV变电站设计与安装的主要原则与注意事项。

农村电网变电运行工作所涉及的知识领域十分广泛,本书力求通俗易懂全面实用地反映这些基本知识,不作复杂的理论及原理介绍,以便使读者能尽快掌握运用这些知识,提高工作技能水平。本书每章后附有复习思考题供读者学习参考、检验学习效果之用。本书章节前标有▲的供中、高级工学习,标有★的供高级工、技师学习。

本书由陈天翔高级工程师拟订提纲并组织编写工作,张翰森工程师负责各章初稿的修改、补充、统纂,最后由王多高级工程师审阅定稿。本书编写由以下人员完成:陈天翔高级工程师(第1章、第2章)、黑晓红高级讲师(第3章)、王政亭工程师(第4章)、闫玉昆工程师(第5章)、万荣兴高级工程师(第6章、第7章)、王胜利工程师(第8章、第9章)、张翰森工程师(第10章、第11章)、王玮高级工程师(第12章)、史振鄯高级工程师、刘军虎高级工程师(第13章)。本书初稿经宋玉斗、郭京仪、杨贤明、颀晓周高级工程师审阅,提出了许多宝贵意见。本书编写过程中还得到了甘肃省电力行业协会、兰州供电局、兰州电力技术学院等单位的指导与帮助,在此一并表示衷心感谢。

编写适合农村电网特点的变电运行培训教材对我们是一个新的尝试,限于作者水平所限,书中错误和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

2004年3月28日

前言

目 录

第一章 电网基本知识	1
第一节 电网概述	1
第二节 变电站主接线	7
第三节 ▲ 电力系统过电压及其保护	13
第四节 ▲ 电力系统的短路及限制短路电流的措施	17
复习思考题	19
第二章 变电站电气设备	20
第一节 概述	20
第二节 变压器	22
第三节 断路器	28
第四节 互感器	37
第五节 高压隔离开关、负荷开关	43
第六节 电抗器、消弧线圈、线路阻波器	49
第七节 并联电容器、滤波器、耦合电容器	52
第八节 避雷器	57
第九节 电力电缆	59
复习思考题	61
第三章 电网继电保护基本原理	63
第一节 概述	63
第二节 常用的电磁型继电器	67
第三节 电流保护的接线方式	70
第四节 输电线路保护	72
第五节 电力变压器保护	86
复习思考题	93
第四章 电网安全自动装置	95
第一节 ▲ 各电压等级的保护及自动装置的配置	95
第二节 三相自动重合闸	97
第三节 ▲ 低频减负荷装置	100
第四节 ★ 微机故障录波器	102
第五节 ★ 继电保护测试	104
复习思考题	111
第五章 电力系统综合自动化装置	112
第一节 电力系统自动控制概述	112
第二节 ▲ 电力系统自动监视和控制系统的的基本构成	113

第三节 ▲ 微机在变电站中的应用	121
第四节 ★ 中小型变电站 (35 ~ 110kV) 的微机监控系统	123
第五节 ▲ 运行注意事项及常见问题处理	134
复习思考题	138
第六章 变电站的运行管理	139
第一节 变电站各级人员的岗位职责	139
第二节 变电站的管理制度	142
第三节 变电站的运行管理	156
第四节 变电站的技术管理	159
复习思考题	162
第七章 变电站安全管理	163
第一节 变电站的安全管理制度	163
第二节 变电站的安全组织措施	169
第三节 变电站的安全技术措施	172
第四节 变电站工作中的具体安全措施	174
复习思考题	178
第八章 变电站设备的倒闸操作	180
第一节 变电站倒闸操作的要求与步骤	180
第二节 倒闸操作票的填写	189
第三节 倒闸操作举例	193
复习思考题	198
第九章 变电站电气设备的巡视检查	199
第一节 变电站电气设备巡视检查的一般规定	199
第二节 变电站电气设备的运行巡视检查	202
第三节 继电保护及自动装置的运行巡视检查	214
第四节 变电站直流系统的运行与巡视检查	216
复习思考题	220
第十章 电气设备异常分析及处理	221
第一节 概述	221
第二节 变压器	222
第三节 高压断路器及操作机构	227
第四节 隔离开关及熔断器	231
第五节 互感器	235
第六节 电力电容器	239
第七节 防雷保护及接地装置	241

第八节 母线、绝缘子及其他	244
第九节 二次回路	246
第十节 操作电源	250
复习思考题	253
第十一章 变电站常见事故的处理	255
第一节 事故处理的一般原则	255
第二节 系统单相接地故障的处理	260
第三节 单线路跳闸故障的处理	263
第四节 ▲ 线路越级跳闸和母线故障的处理	265
第五节 全站停电及主变压器故障处理	269
第六节 变电站火灾及自然灾害事故处理	272
第七节 事故及案例分析	273
复习思考题	274
第十二章 县级调度与配网自动化系统	276
第一节 概述	276
第二节 ▲ 县级调度自动化主站系统	278
第三节 县级调度自动化厂站系统	282
第四节 ▲ 数据通信与通信规约	288
第五节 ▲ 县级调度自动化系统日常运行维护	292
第六节 县级调度自动化系统运行指标要求	293
第七节 ★ 配网自动化技术	295
复习思考题	303
第十三章 ▲ 35kV 变电站的设计与安装	304
第一节 概述	304
第二节 35kV 变电站的设计	305
第三节 35kV 变电站的安装与验收	308
复习思考题	317
附录 A 变电站远动设备缩写符对照表	318
附录 B 新投变电站自动化部分验收细则列表	321
附录 C 县级电网调度自动化功能规范 (DL/T 635—1997)	322
附录 D 西北电网调度术语	327
附录 E 35kV 变电站主接线、控制保护及计量原理示例图	338
参考文献	343

电网基本知识

第一节 电网概述

一、电网的组成与特点

传统的电力系统是指从发电、输电、变电、输配电线路直到用户等在电气上相互连接的整体，它包括了从发电、输电、变电、配电直到用电这样一个全过程。而把由输配电线路及由它所联系起来的各类变电站总称为电力网络，简称电网。电网按其在电力系统中的作用不同，又分为输电网络和配电网。输电网络是以高电压或超高压将发电厂、变电站及变电站之间通过联络线连接在一起的送电网络，所以又称为电力网中的主网架。直接将电能送到用户用电设备的网络称为配电网。配电网中根据用户用电设备需要的电压等级分为高压配电网（一般为35kV及以上电压等级）、中压配电网（一般指6~10kV电压等级）和低压配电网（220V和380V）。电网按其供电区域的不同，又可分为城市电网和农村电网。向城市（一般为地级市）及其郊区分配和供应电能的电力网该称为城市电网，简称城网；供应县（县级市）范围内的农村、乡镇、县城用电的电力网，叫做农村电网，简称农网。

图1-1为一个电力系统的构成结构图。

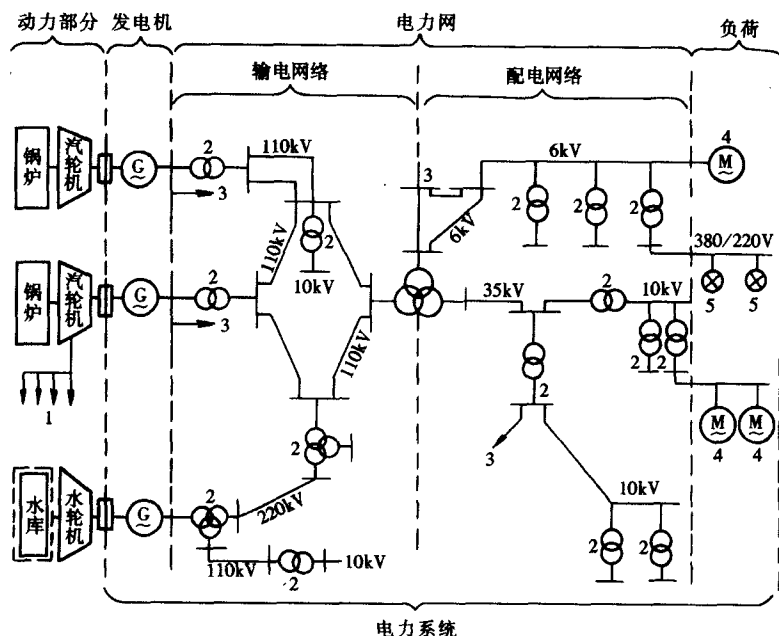


图1-1 电力系统的构成

1—热力网；2—变压器；3—负荷；4—电动机；5—电灯

实践证明，当各孤立运行的发电厂、变电站通过电网连接起来形成联网运行的电力系统后，将在技术经济上带来很多好处，主要如下：

1. 减少系统中的总装机容量

由于负荷特性、地理位置等的不同，电力系统中由各个孤立运行的发电厂变电站供电的最大负荷并不是同时出现的，因此系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时各最大负荷的总和。各孤立发电厂所供负荷的特征越不同，则系统综合负荷的降低将越显著。由于系统综合最大负荷的降低，相应地可减少系统中的总装机容量。

2. 合理利用动力资源，充分发挥水力发电厂的作用

如果没有电力系统，很多能源就难以得到充分利用。例如，水力发电厂的出力决定于河流的来水情况，而水流情况却是多变的，有时相差还极其悬殊，很难与电力负荷的需要相适应。对于孤立运行的水力发电厂，如果水库容积不大，则在枯水季节出力将不足，而在丰水季节却要弃水。当把水力发电厂并入电力系统以后，由于系统中有火力发电厂，它们的运行情况就可以相互配合、相互调剂。在丰水季节，可以让水力发电厂尽量多发电以减少火力发电厂的负荷、节约燃料；而在枯水季节则让水力发电厂担负尖峰负荷（即担负负荷的变化部分），火力发电厂则担负固定的基本负荷。这样既充分利用了水能资源，又提高了火力发电厂的运行效率，降低了煤耗，从而提高了整个系统的经济性。

3. 提高供电的可靠性

通常，孤立运行的发电厂、变电站必须单独装设一定的备用容量，以防止机组或变电站检修或事故时中断对用户的供电。但当连成电力系统后，如采用同样比例的备用容量，则备用机组台数较多，几台机组同时发生故障的机会很少，而且不同发电厂、变电站之间在事故时还可以相互支援，因而可靠性较高。

4. 提高运行的经济性

除了前述可以充分利用的动力资源外，在电力系统中还可以通过在各发电厂或变电站之间合理地分配负荷，使全系统的电能成本达到最小，这样就显著地提高了运行的经济性。

但是，由于电能生产本身所固有的特点及连成电力系统后所出现的新问题，决定了电能的生产、输送、分配和使用的过程与其他的工业部门有着许多完全不同的特点，其中主要有：

1. 电能的生产和消费是在同一时间实现的

这就是说电能是不能贮存的，每时每刻系统的发电量取决于同一时刻用户的用电量。这是电能生产的最大特点。在其他工业部门中，一般都可以将成品或半成品累积起来，从而使生产中各工序的相互依赖关系减少，产销关系易于调节平衡。但从电能不能贮存的这个特点出发，在运行时就要求经常保持电源和负荷之间的功率平衡；在规划设计时则要求确保电力先行，否则其他工厂即使建成也无法投产。再者，由于发电和用电同时实现，还使得电力系统的各个环节之间具有十分紧密的相互依赖关系，不论变换能量的电动机或发电机，或输送、分配电能的变压器、输配电线路及用电设备等，只要其中的任何一个元件故障，都将影响到电力系统的正常工作。例如，1965年美国东部电力系统曾发生过一次大面积的停电事故，给纽约等大城市的生产和生活带来了很大的影响，据报道这次事故是由于一个继电器的误动作而引起的。

2. 电能生产与国民经济各部门和人民生活有着极为密切的关系

现代工业、农业、交通运输业等都广泛用电作为动力来进行生产，可以把电力系统视为

各工业企业共同的“动力车间”。此外，在人民的日常生活中还广泛使用着各种电器用具。随着现代化的进展，各部门中电气化的程度将愈来愈高。因而，电能供应的中断或不足，不仅将直接影响各个部门的生产，造成人民生活紊乱，在某些情况下甚至会造成政治上的损失或极其严重的社会性灾难。例如，1977年7月美国所发生的第二次纽约大停电事故，就给国民经济带来了巨大的损失。据估计，停电所造成的直接经济损失为5500万美元，而间接经济损失竟达3亿美元左右。2003年美国、加拿大大停电事故造成的经济损失在300亿美元以上。

3. 过渡过程十分短暂

由于电是以光速传播的，所以运行情况发生变化所引起的电磁方面和机械-电气方面的变化过程十分迅速。电力系统中的正常操作，如变压器、输电线路的投入运行或切除都是在极短时间内完成；用户的电力设备如电动机、电热设备等的启用、停止或增减负荷的过程也很快；电力系统中出现的故障，如短路故障、发电机失去稳定等过程也是非常短暂的，在这些过程中往往要用 μs 或 ms 来计量时间。因此，不论是正常运行情况变化时所进行的调整和切换等操作，或者故障时的切除故障或为把故障限制在一定范围内以迅速恢复供电所进行的一系列调整和切换等操作，仅仅依靠人工操作是不能达到满意效果的，甚至是不可能的。必须采用各种自动装置来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。电力系统的这个特点给运行、操作带来了许多复杂的课题。

4. 电力系统是不断成长壮大的系统

由于工农业生产和人民生活的电气化程度日益提高，电力系统的容量势必逐年增大。前几年一些工业发达国家的年电能增长率平均为6%~7%，也就是说，十年左右可以翻一番。而个别发展速度最快的国家，年增长率甚至达到13%~14%。近年来，我国电力用电量增长均在10%以上，造成了电力供不应求的局面，也要求电力工业必须尽快发展。对此，在电力系统规划设计与运行管理时都必须予以充分注意并事先作出足够的估计，否则将不能适应形势的发展。

5. 电力系统的地区性特点较强

由于各个电力系统的电源结构与资源分布情况有关，而负荷结构却与工农业布局、城乡规划、电气化水平等有关，输电线路的电压等级、线路配置等则与电源与负荷间的距离、负荷的集中程度等有关，因而各个电力系统的组成情况将不尽相同，甚至可能很不一样。例如，有的系统是以水力发电厂为主，电源与负荷相距远，联系弱；而有的系统则是以火力发电厂为主（或完全没有水力发电厂），电源与负荷距离近、联系紧密等等。因而，在作系统规划设计与实施运行管理时，必须针对本系统特点从实际出发来进行，如果盲目搬用外地或外国的一些经验而不加以具体分析，则必将违反客观规律，酿成错误。

二、电网安全供电的基本要求

1. 最大限度地满足用电客户的用电需要，为国民经济发展和人民生活水平提高提供充足的电力

为此，首先要按照电力先行的原则做好电网发展的规划与设计工作，尽早掌握本地区电力负荷发展对电网的要求，适度超前建设电网设施，竭力避免因缺电而影响区域经济的发展和人民生活水平的提高。一般35kV变电站的容载比（即系统变电容量与负荷之比）应达到1.8~2.5。农村配电变压器容载比应取1.5~2.0。其次，还要加强现有电网设备的维护与改

造，以充分发挥现有电网设备潜力，防止事故发生。

2. 保证供应电能的良好质量

电能的质量主要由电能的频率和电压波动衡量。电能质量国家标准要求如表 1-1 所示。

表 1-1 电能质量国家标准

标准编号	标准名称	允许限值	说 明
GB12325—1990	供电电压 允许偏差	1. 35kV 及以上为正负偏差绝对值之和不超 过 10% 2. 10kV 及以下三相供电为 $\pm 7\%$ 3. 220V 单相供电为 $+7\%$ ， -10%	衡量点供电产权分界处或电 能计量点
GB/T14549—1993	公用电 网谐波	各级电网谐波电压限值 (%) 电压 (kV) 总谐波畸变率 奇次 偶次 0.38 5 4.0 2.0 6 ~ 10 4 3.2 1.6 35 ~ 66 3 2.4 1.2 110 2 1.6 0.8 (220kV 电网参照 110kV 执行)	衡量点为电网公共连点 (Pcc)， 取实测 95% 概率值
GB/T15543—1995	三相电压 允许不平衡 度	1. 正常允许 2%，短时不超过 4% 2. 每个用户一般不得超过 1.3%	1. 各级电压要求一样 2. 衡量点为电网公共连点 (Pcc)，取实测 95% 概率值或日 累计超标不超过 72min，且每 30min 中超标不超过 5min
GB/T15945—1995	电力系统 频率允许偏 差	1. 正常允许 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，根据系统容量可以放 宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 2. 用户冲击引起的频率变动一般不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$	系统母线或供电产权分界点

(1) 电压偏差是衡量电压质量的一个参数，在某一时间段内，某一测量点电压实际值 U 与额定值 U_N 之差 ΔU 除以额定电压 U_N ，其值以百分值 $\Delta U\%$ 表示，即

$$\Delta U\% = (U - U_N) / U_N \times 100\%。$$

实际运行系统中，往往选择变电站 35kV 母线、10kV 母线、10kV 配变台区，某 220V 或 380V 用户侧装设专门的电压监测仪测量电压合格率来衡量电压的偏差。

$$\text{电压合格率} = \frac{\text{全部用电时间} - \text{电压超出规定偏差时间}}{\text{全部用电时间}} \times 100\% \quad (1-1)$$

电压合格率越高，说明电压超出规定偏差时间越少，电压质量也越好。电网一般要求 35kV 系统的电压合格率应达到 98% 以上，10kV 系统 95% 以上，220/380V 系统 90% 以上。

(2) 频率偏差常用实际频率值 f 与额定频率值 f_N 之差 Δf 来表示，即： $\Delta f = f - f_N$ 。

电力系统的频率允许偏差如表 1-1 所示。

(3) 电网电压的波形质量要求。电力系统的电压应是标准正弦波。但是由于冶金、电气化铁路、电车等采用的整流设备及一些非线性用电设备的增加，致使大量的谐波注入电网，造成电网正弦波形畸变，给一些波形质量要求高的用户（如自动化系统的计算机、通信、精密测量）用电设备带来严重危害，还会带来较严重的计量误差。为保证电能质量，保证电网

和用电客户用电设备安全经济运行，必须对各种非线性用电设备（主要是整流设备）注入电网的谐波电流加以限制。公用电网谐波限值如表 1-1 所示。

对于带有整流用电设备的用电客户，应请专业技术人员定期测试谐波，谐波超标应要求用电客户采取治理谐波措施。

3. 保证供电的可靠性

保证供电的可靠性是电力系统运行的一项极为重要而又经常的任务。如前所述，供电的中断可能造成的后果往往是较为严重的，而造成供电中断的原因很多，例如可能是由于电力系统中某些元件发生事故（如绝缘击穿所致的短路、雷击、误操作等），也可能是系统中各发电厂之间并联运行的稳定性遭到破坏而引起系统运行的全面瓦解。运行经验表明，电力系统中的整体性事故往往是由于局部性事故扩大而造成的。所以，为保证供电可靠性，首先要保证系统各元件的工作可靠性，这就需要搞好设备的正常运行维护和定期检修试验；其次要提高运行水平，防止误操作的发生，在事故发生后应尽量采取措施以防止事故扩大等等。

应当指出，在目前要绝对阻止事故的发生是不可能的，而各种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，有的会影响人身和设备安全，有的则影响较小。因此，必须根据实际情况区别对待这些不同类型的用户。对于某些重要用户（如某些矿井、连续生产的化工厂、冶炼厂等），当停电会带来人身危险、设备损坏和产生大量废品等后果时，则在任何情况下都必须保证供电不发生中断（计划停电除外）。对于其他用户则可以容许不同程度的短时停电。通常，根据用户对可靠性的要求，可以将用户分为下列三类：

(1) 一类用户。如果对这类用户停止供电，就会带来人身危险，设备损坏，产生大量废品，长期破坏生产秩序，给国民经济带来巨大的损失。

(2) 二类用户。如果对这类用户停止供电，就会造成大量减产，工人窝工，城市公用事业和人民生活受到影响等。

(3) 三类用户。三类用户是指不属于第一类、第二类的其他用户，短时停电不会带来严重后果，如工厂附属车间用电，小城镇、农村的用电等。

当系统发生事故，出现供电不足的情况时，就应当首先切除三类用户的用电，以保证一、二类用户的用电。通常，对每一类用户都设置有两个或两个以上的独立电源，以便在任一电源故障时，对用户的供电都不致中断。

供电可靠性是以供电可靠率指标来衡量。

供电可靠率是在某一统计时段内（一般为月、季、年），以给用电客户的实际供电小时户数与统计期内应供电全部小时户数之比的百分数表示，即

$$\text{供电可靠率} = \frac{\text{应供电时间} \times \text{用户数} - \sum_{i=1}^n \text{已停电时间} \times \text{停电户数}}{\text{应供电时间} \times \text{用户数}} \quad (1-2)$$

停电时间包括：事故停电、计划检修及临时性停电时间。

4. 保证电网运行的经济性

保证电网运行的经济性主要靠降低电网线损，线损以线损率指标来衡量。

$$\text{线损率} = \frac{\text{供电量} - \text{售电量}}{\text{供电量}} \times 100\% \quad (1-3)$$

供电量减售电量得到线损电量，线损电量中有一部分是在输送和分配电能过程中无法避免的，这部分称为技术线损，它可以通过理论计算得出，又称为理论线损；另一部分是不明损耗，称为管理线损。降低线损除了要进行变电站、输配电线路合理的规划设计建设降低理论线损，在供电侧加强线损管理，防止偷漏电外，还需要加强变电站及线路的经济运行、经济调度。农网改造以后，高中压配电网综合线损率（含配电变压器损耗应不大于 10%，低压配电网线损率应不大于 12%）。

变电运行工作中降低线损的主要措施有：

(1) 选择合理的运行方式。通过计算比较，合理确定环网的闭环或开环运行方式，或改变环网的断开点位置。避免近电远供或迂回供电。确定比较安全和经济合理的接线方式。

(2) 合理安排电气设备、线路检修周期或时间，尽量实行带电检修。正常的运行方式往往是经济合理的，设备检修时改变的接线方式和运行方式往往是不安全不经济的，会使线损电量大量增加。

(3) 搞好电网的无功功率平衡，合理确定电网的电压水平，提高功率因数。系统的无功平衡是电力系统运行时的一个重要问题。所谓无功平衡就是指在运行的每一时刻系统中各无功电源所发出的无功功率要等于用户所消耗的无功功率（即无功负荷）和系统中各环节上无功功率损耗之和。系统的无功电源主要是发电机、同步补偿机（调相机）、电力电容器、并联电抗器及高压线路的充电功率等。至于电力系统的无功负荷，则主要是异步电动机、变压器等所消耗的激磁功率，再有就是线路、变压器内的无功功率损耗。据统计，电力系统用户所消耗的无功功率大约是其所消耗的有功功率的 50% ~ 100%。另外，电力系统中的无功功率损耗也很大，这是由于在电能输送过程中要多次通过变压器的缘故。据统计，在变压器内所损耗掉的总无功功率可达用户消耗的总无功功率的 75%。此外，在输电线路上所损耗掉的总无功功率约为用户总无功功率的 25%。因此，需要由系统中各类无功电源所供给的无功功率最多时可达到系统总无功负荷的两倍左右。

要想维持某一处的电压水平就必须供应相应于这个电压水平的无功功率。所以从根本上说，要维持整个系统的电压水平就必须有足够的无功电源。在一般情况下，电压水平的高低直接反应了电力系统无功电源配置的程度。由于电压是衡量电能质量的重要指标之一，所以维持电力系统的无功平衡也和维持系统的有功平衡一样，是电力系统运行时的一项重要任务。

变电站一般均装有补偿电容器、功率因数表、变压器，变压器一般均有可改变电压的无载或有载两种调压方式。调度和运行人员应随时注意供电的电压和负荷的功率因数变化情况，根据负荷功率因数和电压情况投切补偿电容器或调压。保证电压合格和提高功率因数始终有益于降低线损。对部分功率因数达不到要求的线路应建议上级或用电客户在线路上和用户侧投入无功就地补偿装置。农村电网无功补偿应全面规划、合理布局、分级补偿、就地平衡。应集中补偿与分散补偿结合，以分散就地补偿为主；高压补偿与低压补偿相结合以低压补偿为主；调压与降损相结合，以降损为主。如在非排灌季节，农村电网的电压一般偏高，应当调整 35kV 主变压器分接头位置来降低 10kV 农网配电线路的电压水平，以减少变压器的空载损耗。农村电网对功率因数的要求一般为：35kV 系统应达到 0.95 以上，变电站 10kV 侧应达到 0.95 以上，变压器容量为 100kVA 以上的电力用户不低于 0.9；农村公用变压器不低于 0.85。

(4) 调整 and 平衡线路和变压器的负荷, 调整双电源用户的负荷分配, 平衡三相负荷。一般电网运行许可条件下, 尽量使线路和变压器运行在最佳负荷状态, 尽量使三相负荷均等, 避免过负荷或“大马拉小车”的情况发生, 三相负荷均等可以减少中性线电流和三相电压不平衡造成的线损。

(5) 变压器的经济运行。

一般情况下变电站均安装有两台或两台以上变压器, 确保一台变压器发生故障或检修时, 仍可由另一台或其余的变压器保持供电。在轻负荷时, 若并联运行的变压器台数不变, 则变压器绕组中的电阻损耗(负载损耗)很小, 而铁芯损耗(空载损耗)在总损耗中所占的比例较大, 这时应在不使其他变压器过负荷的情况下, 把一台变压器退出运行, 以减少变压器的总损耗。如果经过计算, 停运变压器所减少的空载损耗不超过其他变压器增加的负载损耗, 则切除一台或多台变压器在经济上是不合理的。因此变电站投运时调度专业人员就应计算确定变压器的经济负荷分配, 确定一台变压器投停的临界负荷(电流), 指导调度工作和变电运行工作。

(6) 加强设备清扫和计量装置管理。

定期清扫线路、变压器、断路器等绝缘瓷瓶脏污, 清除鸟巢、树枝等外物。注意导线接头, 隔离开关接头是否有过热现象。对计量设备(互感器、电度表)加强巡视、定时记录, 注意输入电量与输出电量是否平衡, 异常时应立即找清原因。

总之, 保证给用电客户提供充足、安全、可靠、优质而又经济的电力是电网的基本任务。

第二节 变电站主接线

变电站是连接电力系统和供电负荷的中间环节, 用以汇集电源、升降电压、分配电力负荷。变电站主要由主变压器、高低压配电装置、载流导体、主控制室和相应的生产生活辅助建筑物等组成。

一、变电站主接线的组成和基本要求

变电站主接线是变电站电气部分的主体, 它是把电源线路、主变压器、断路器、隔离开关等各种电气设备通过母线或载流导体(导线、电缆)连接为一个整体并配置相应的互感器、避雷器、继电保护、测量仪表等, 构成变电站汇集和分配电能的一个完整系统的连接方式。

变电站的主接线图是由各种电气设备的图形符号和连接线所组成的表示接受和分配电能的电路图。为了清楚地绘制主接线图, 国家对电气设备都有统一规定的符号如表 1-2 所示。主接线的选择正确与否, 对电气设备的选择、配电装置的布置、运行的安全性和经济性都有重大的影响。对变电站主接线的基本要求是安全、可靠、灵活、经济。

(1) 安全包括设备安全和人身安全。要满足这一点, 必须按照国家标准和规定, 正确选择电气设备, 正常情况下能监视系统的运行状态, 故障情况下保护系统能可靠动作切除故障, 要考虑到各种保证人身安全的技术措施和组织措施。

(2) 可靠就是变电站的接线应满足不同类型负荷不中断供电的要求。例如, 可将电力装置分成几部分, 正常时并联运行, 当电力装置一部分发生故障时, 它就自动被切除, 而非故

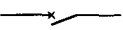
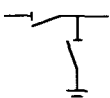
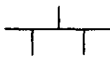
障部分仍正常运行。为了使装置可靠，接线应力求简单清晰，电气元件少。

(3) 灵活是利用最少切换来适应不同的运行方式。例如负荷不均衡时，能自动切除不需要的变压器，而在最大负荷时，又能方便地投入变压器，以利于经济运行。检修时操作简单，不致中断供电。

(4) 经济是在满足以上要求的条件下，保证需要的建设投资最少。但投资最少的设计方案不一定为最佳方案，因为有时投资额最小的方案可能会影响到可靠性和灵活性，以致引起停电，造成更大的经济损失。确定主接线方式还应考虑满足现在和将来发展的需要。

表 1-2

电气主接线图中的代表符号及其功用

序 号	设备名称	图 号	主要 功用
1	双绕组变压器		变换电压
2	三绕组变压器		同时可以变换三种电压
3	中性点接地的变压器		变换电压
4	断路器		1. 正常开合电路 2. 发生短路故障时，切断短路电流
5	隔离开关		1. 检修断路器和电器设备时使其与电源隔离 2. 用来切断电压互感器的负载电流
6	带接地刃的隔离开关		1. 功用同隔离开关 2. 隔离开关断开时，接地刃可以合上，使与接地刃相连的一段线路直接接地
7	电压互感器		1. 测量高压母线电压 2. 监察电力网有无单相接地故障
8	电流互感器		1. 测量高压线路电流 2. 反应线路短路故障
9	母 线		汇集和分配各回路电能
10	避雷器		将雷电波引入地下，以保护重要电气设备
11	电抗器		形成集中电抗，以限制线路的短路电流

二、农村电网变电站常见的主接线方式

(一) 单母线接线

发电厂和变电站的主接线的基本环节是电源（发电机或变压器）和引出线。母线（又称汇流排）是中间环节，它起着汇总和分配电能的作用。由于多数情况下引出线数目要比电源数目多好几倍，故在二者之间采用母线连接既有利于电能交换，还可使接线简单明显和运行方便，整个装置也易于扩建。有母线的缺点是：使配电装置复杂，并且当母线故障时将使供电中断。

只有一组母线的接线称为单母线接线，图 1-2 是典型的单母线接线图。这种接线的特点是电源和供电线路都连接在同一组母线上。为了便于投入或切除任何一条引线（包括进、出引线），在每条引线上都装有可以切除负荷电流和故障电流的断路器（如图中的 QF_1 、 QF_2 等）。当需要检修断路器而又要保证其他线路正常供电时，则应使被检修的断路器和电源隔离。为此，又在每个断路器的两侧装有隔离开关（ $QS_1 \sim QS_4$ 等）。它的作用只是保证检修断路器时和电源隔离，而不能用来切除电路中的电流。从图 1-2 可以看出，如果不设置隔离开关 QS_3 和 QS_4 ，在检修断路器 QF_2 时必须使母线完全停电，这显然是不合理的。

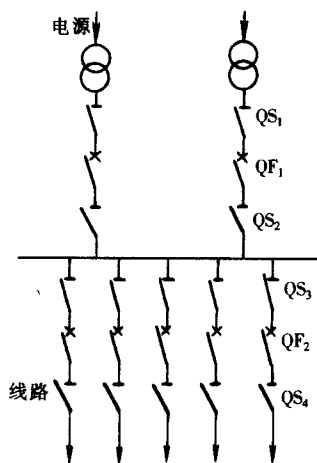


图 1-2 单母线接线

单母线接线的主要优点是简单、明显、采用设备少、操作方便、投资少、便于扩建。其主要缺点是当母线或母线隔离开关发生故障或检修时必须断开全部电源，造成整个装置停电。此外，当出线断路器检修时，也必须在整个检修期间停止该回路的工作。由于上述缺点的存在，使得单母线接线无法满足对重要用户供电的需要。

单母线接线的缺点可以通过分段的办法来加以克服，如图 1-3 所示。当在母线的中间装设一个断路器 QF_3 后，即把母线分为两段，这样对重要用户可以由两条线路供电，只要这两条输电线路分别从两段母线上引出，则当任一段母线故障时都不至于使重要用户停电。另外，对两段母线可以分别进行清扫和检修而不致对用户停电。

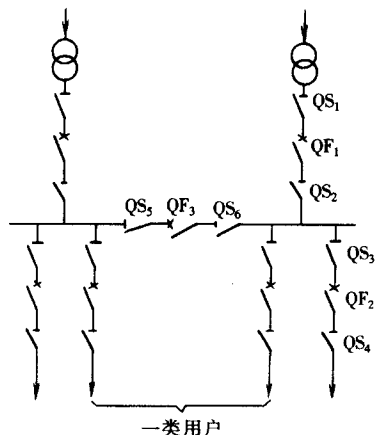


图 1-3 单母线分段接线

由于单母线分段接线既保留了单母线接线本身的简单、经济、方便等基本优点，又在一定程度上克服了它的缺点，故这种接线目前仍被广泛应用。特别对中小型发电厂及出线数目不多的 35 ~ 110kV 变电站，这种接线方式采用较多。

但是单母线分段接线也有较显著的缺点，这就是当一段母线或任一母线隔离开关发生故障或检修时，该段母线上所连接的全部引线都要在检修期间长期停电。显然，对于大容量发电厂和枢纽变电站来说，这都是不能容许的。为此，就出现了双母线接线。

(二) 双母线接线

双母线接线方式是针对单母线分段接线的缺点而