

全国电力技能人员培训用书



全国电力继续教育规划教材

配电网及其自动化技术

全国电力继续教育规划教材编委会 组 编
常 湧 杨 龙 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

014062451

TM76
66



全国电力继续教育规划教材

配电网及其自动化技术

全国电力继续教育规划教材编委会				组编
				常湧 杨龙 主编
黄瑞	张小牧	王乐炎	袁中祥	罗明祥 编写
				张全元 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

TM76/66



北航

C1749569

123456789

内 容 提 要

本书为全国电力继续教育规划教材。

本书系统地介绍了配电自动化的基本概念、理论及实现的方法与技术。全书共分九章，主要包括配电网一、二次系统，配电自动化的实现方式，配电自动化通信系统，配电 SCADA 系统，配电网馈线自动化，GIS 及需求侧管理系统，配电自动化工程实例。配电自动化最新技术实例等。书中融入了作者多年来的教学心得、科研成果及工程经验，力求使读者能够较快掌握和应用配电自动化技术。本书从理论和实例两个方面介绍了配电自动化相关知识，叙述由浅入深，便于掌握。

本书可作为供电企业从事配电网和配电自动化系统运行与维护的技术及管理人員的培训教材，还可供从事配电网调度、设计、试验等工作的技术人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电网及其自动化技术/常湧, 杨龙主编; 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, 2014.9

全国电力继续教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 5586 - 6

I. ①配… II. ①常…②杨…③全… III. ①配电系统-自动化技术-继续教育-教材 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 035633 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

*

2014 年 9 月第一版 2014 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 268 千字

定价 23.00 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 张薛鸿 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 李建强

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

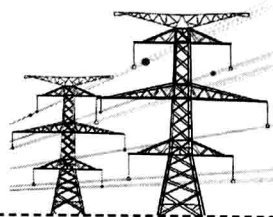
王 宇 黄院臣 贺令辉 陈力耕 宋志明

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)



前 言

20 世纪末至 21 世纪初, 国家在城市电网与农村电网的改造建设中大力投资, 有步骤、有规划地在每个省、市进行了配电网的改造升级, 逐步对配电网进行了馈电线路、分段开关、联络开关、环网柜、开闭所、变压器、通信网络等配电设备方面的改造, 铺设了光纤通信系统, 大大提高了配电自动化系统的可靠性、稳定性和安全性, 使得我国配电网得到了长足的发展。

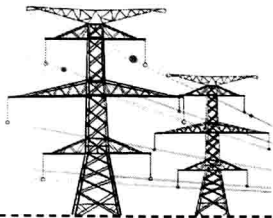
随着城市电网改造的不断深入和配电自动化试点工程的不断投运, 全国范围内越来越多的城市供电企业实施了各具特色的配电自动化系统, 取得了初步的成绩, 但同时也存在许多亟待解决的问题。

本书是为配合配电自动化大发展的形势而编写的。本书先全面介绍配电网及其自动化系统的基本概念、最新知识、最新技术后, 选取了全国范围内的工程实例, 编写体系合理, 内容组织上突出实践性, 注重将基本概念与工程实例相结合, 理论介绍和上岗操作相结合, 体现了技术探索和工程应用的有机交融。

本书第 1~4 章由常湧编写, 第 5、6 章由袁中祥编写, 第 7 章由罗明祥编写, 第 8、9 章由杨龙编写。常湧负责全书的统稿和定稿工作, 黄瑞、张小牧、王乐炎参加了部分资料的收集与整理工作。本书由湖北超高压武汉输电中心张全元主审, 提出了宝贵的修改意见, 在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 疏漏和不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编 者
2014 年 5 月



目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 配电自动化的发展现状与趋势	2
1.3 配电自动化系统组成及规划要点	4
1.4 配电自动化的实施步骤	6
第 2 章 配电网一次系统	8
2.1 配电网一次系统常用电气设备	8
2.2 配电网的一次回路	12
2.3 接地与电气安全	15
2.4 配电网负荷	19
第 3 章 配电网二次系统	25
3.1 继电保护概述	25
3.2 配电网的继电保护	27
3.3 配电网的二次回路和自动重合闸装置	28
第 4 章 配电自动化的实现方式	32
4.1 配电自动化的相关概念与功能	32
4.2 配电自动化概述	34
4.3 配电终端	42
4.4 远动装置	52
第 5 章 配电自动化通信系统	55
5.1 通信系统的组成与分类	55
5.2 配电自动化通信系统的层次和要求	57
5.3 配电自动化通信方式	60
5.4 配电网光纤通信系统	63
第 6 章 配电 SCADA 系统	73
6.1 配电 SCADA 系统的基本组织模式	73
6.2 配电 SCADA 系统硬件	77
6.3 配电 SCADA 系统软件	83
6.4 配网 SCADA 系统通信规约	93
第 7 章 配电网馈线自动化、GIS 及需求侧管理	98
7.1 馈线自动化	98
7.2 配电网地理信息系统 (GIS)	102
7.3 电力需求侧管理	106

7.4	与相关系统的关系及应用	113
第8章	配电自动化工程实例	115
8.1	A市城区配电自动化工程实例	115
8.2	华北某市配电自动化工程实例	126
8.3	西南地区某高新经济开发区配电自动化工程实例	133
8.4	A县配电自动化系统的规划设计	140
8.5	某城区供电公司配电自动化研究	149
第9章	配电自动化最新技术实例	158
9.1	实用供电公司配电自动化系统的规划设计案例	158
9.2	南方某核心城市B供电公司配电自动化系统通信传输技术	161
9.3	C城供电公司市区配电网AM/FM/GIS的建立与应用	166
参考文献	170

第 1 章 概 述

1.1 引 言

随着电力工业的高速发展，城市建设和经济发展越来越离不开电力，电能需求量日益增大，城区 10kV 配电网也不断扩大，网架结构越来越复杂，对电压质量要求越来越高，而且电力管理逐步走向商品化、市场化，因此供电企业面临着严峻的考验。如何适应市场提高供电可靠性、保证电压质量、减少线损，已经成为供电企业重点研究的课题。只有提高电能质量，才能占有电力市场，创造更大的经济效益。因此，可靠的 10kV/380V 配电网及配电自动化对可靠供电极具重要性，认真地规划配电网，完善网架结构，逐步应用新的技术，建立配电自动化系统，提高配电网的自动化水平，是提高电能质量的重要手段。

电力系统稳定可靠地供应电力，是电力系统自身发展和社会发展的要求。电网按职能可分为输电网和配电网。输电网承担大容量、远距离电力输送的任务，为了保障其安全、可靠地输送电力，供电企业在输电网上投入了大量的技术装备，一整套基本完备的自动控制系统、继电保护系统和通信系统，构成了输电网的自动化。因此可以说，输电网是相对安全、可靠的。相对于输电网，配电网则是薄弱的，其自动化管理和控制的程度远远低于输电网，这主要是电网企业在计划经济时代“重发、轻供、不管用”所导致的，在配电网上留下了大量历史欠账。这主要表现在两个方面：一是配电网的网络结构薄弱，且不合理；二是配电网的自动化管理水平极低，缺少自动化技术手段实现管理，造成负荷不均衡和停限电现象严重。

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高以及供电企业自身市场发展的要求，供电企业大规模地开展了对配电系统的改造，积极研究和运用配电自动化相关技术，目的是提高配电网现有设备的管理水平、改进供电质量、减少停电时间、提高供电可靠性、降低运行费用、为用户提供高质量的服务。

配电自动化包括配电网数据采集与监控、变电站自动化、馈线的故障定位和隔离、自动恢复供电、负荷控制、最低网损、电压无功优化、地理信息系统、变电配电和综合用电管理系统、负荷管理、远方自动读表、计费自动化、网络分析和优化、工作管理系统和配电投资系统等。配电自动化的确切定义为：“利用现代电子、计算机、通信及网络技术，将配电网在线数据和离线数据、电网结构和地理图形进行数据集成，构成完整的自动化系统，实现配电网及其设备正常运行及事故状态下的检测、保护、控制、用电和配电管理的现代化”。配电自动化系统作为一个庞大复杂的、综合性很高的系统性工程，涉及供电企业与配电网相关的全部功能数据流以及对这些数据的控制；同时，配电自动化系统也涉及计算机、通信、电子、网络、地理信息、开关、电源等多个领域，各个领域的发展都会影响到配电网自动化的发展。

配电自动化运用计算机技术、自动控制技术、电子技术、通信技术及新的高性能的配电

设备等技术手段，对配电网进行离线与在线的智能化监控管理，使配电网始终处于安全、可靠、优质、经济、高效的最优运行状态。通过实现配电自动化，可以减少发现和检修故障的时间，降低设备的运行维护成本，减少新建变电站，控制线路的投资，最大限度地减少停电对用户的影响，提高运行效率，在保障供电可靠性的前提下最大限度地发挥电网的供配电能

力，从而推迟新的一次设备的投资。

配电自动化系统不断发展，元件不断增多，系统逐渐复杂，但是基本的系统结构并未改变。配电自动化系统结构如图 1.1 所示。

本书从配电网一次系统、配电网二次系统、配电自动化实现方式、配电自动化通信系统、配电 SCADA 系统等多个方面，结合部分配电自动化工作实例，分析探讨配电自动化在实施过程中遇到的实际问题，希望能对广大读者有所帮助。

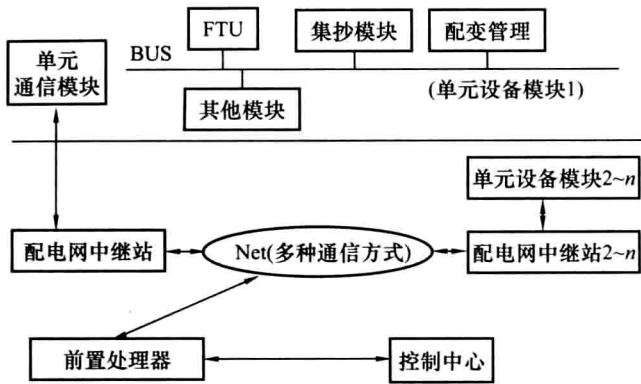


图 1.1 配电自动化系统结构图

1.2 配电自动化的发展现状与趋势

1.2.1 现状

配电自动化是为满足城市建设规模变化、用电负荷迅速增长以及供电可靠性要求而提出的，由于城市规划与电力行业的条块分割，形成了不相适应的管理模式，使得配电网规划及发展与需求不相适应，突出表现在以下几点：

(1) 配电网缺乏规划。改革开放以来，城市建设速度大大加快，负荷增长率高，但电力配套建设没有及时跟进，导致供电半径小，线路长，“卡脖子”现象严重，电能输送不出去，往往由此而引起停电事故。由于缺乏完好的电力规划，发电厂电能的输出走廊受到城市建筑物的影响，与城市规划不相适应。早期建设的线路导线截面小、年久失修，高能耗设备多，线损率高，个别地区配电网损耗达到 30%，一般地区也在 15%~20%，造成能源浪费和环境污染。

(2) 配电网设备技术性能差，自动化水平低。当前配电网的建设与实际需要相差较远，设备的技术性能不满足电网运行的要求，直接影响了供电质量和可靠性。至今在很多城市仍有相当多的配电设备采用柱上油断路器，无法实现配电自动化功能；开关设备因开断容量不够而引起火灾、喷油等；设备老化和技术性能低劣，往往由一点故障引发全线甚至大面积停电事故，造成城市繁华地段或重要场所用户停电，严重影响社会治安和市场经济秩序。

(3) 电力市场缺乏有力的技术支持。由于我国电力的管理体制存在问题，科研与应用并没有统一的管理，没有相应的合理体制对电力应用研究进行有效管理，对应用装备的研究不够深入，一般性研究跟不上世界发展的潮流步伐，产品技术处于较低水平。

(4) 产品结构不合理，市场机制不健全。电力市场的改革和自动化技术的迅速发展，对电力设备的要求不断提高，配电设备也不是简单的替代和改造。这需要一次设备和自动化系统以及系统软件的完美结合，并且能满足运行部门和调度系统的功能要求。而目前我们的配

电网产品结构不合理,相当多的生产企业缺乏综合技术能力,低水平的重复生产和盲目竞争形成恶性循环。尤其是小规模经营企业,为了使产品满足市场需求采用低价倾销,致使实际应用中出现不协调,影响正常电力运行。

目前,我国不少地区的供电企业都意识到配电自动化的重要性,正在逐步进行配电自动化建设。他们根据各自的实际情况和管理模式,采用了符合自身要求的配电自动化系统。下面简单介绍一些地区在这方面的情况。

(1) 华东某城市在市内某小区采用国内公司研制的主站系统,小区内全电缆线路,子站采用国外公司生产的环网开关和 FTU,实现了 SCADA、故障隔离、网络重组等功能,运行可靠性高,但投资大。

(2) 山东某地采用国内某公司的主站系统和子站系统,采用了 FTU、TTU(配变终端)和专线通信方式,实现了配电、调度自动化一体化,具有 SCADA、DAS 功能。

(3) 东北地区某城市在市内两区进行了配电自动化的改造,一区以地理电缆为主,另一区以架空线为主,采用 DF9000 配电自动化系统,实现了 SCADA、DA、DAS、GIS 等功能,通信方式采用无线通信和电话拨号通信。

(4) 西北某城市采用 DF9000 配电自动化系统,应用了 FTU、TTU,以光纤、双绞线通信,实现了 SCADA、DA、DAS、GIS 等功能。

(5) 山东某地采用 DA-2000 配电自动化系统,应用了柱上真空断路器和 FDR、FTU,以重合闸的方式实现故障隔离、快速恢复供电的功能。

1.2.2 趋势

虽然我国目前的配电自动化存在比较多的问题,但也应该看到我们的技术取得了可喜的发展:①SCADA 系统已达到国外同类系统水平,推出的新一代开放式系统,具有全图形显示,可放大、缩小、滚动、漫游、分层和导航等功能,可将原有的事故追忆等功能移植到新系统中,前置系统可接入不同的 RTU,在汉字显示和人机联系功能及满足用户特殊要求方面,国内开发的系统具有一定的优势。②变电站的自动化水平已经进入了变电站综合自动化阶段,由集中式向分散式的方向发展,其性能、功能及可靠性不断提高。③地理信息系统(GIS)也由孤立的静态设备管理系统逐步转向动态实时地理信息系统,将 SCADA 系统和 GIS 有机地统一起来,如采用配电网 SCADA、AM/FM/GIS 和高级应用的一体化集成,现场总线、低压载波、光纤多种通信方式协调工作,具有用电营业管理、负荷控制、MIS、SCADA、AM/FM/GIS 系统接口,并采用馈线差动技术,可实现故障瞬时隔离、非故障区不停电。

在配电自动化技术方面,我国主要实现了以下突破:

(1) 智能化装置(IED):应用微机技术实现了对一次设备的远方控制,为分布实时的网络结构的引入和实现创造了条件。

(2) 自动重组:配电环网开关采用电动操作式负荷开关,并用微机故障识别、监控的保护方式代替了传统的继电保护,可方便地实现配电网的故障隔离、恢复供电和网络优化等功能。

(3) 开放的、分布式的实时网络结构:实现了微机就地监控和远方通信系统功能的分离,为配电网的调度、运行、管理、控制、通信及地理信息系统等提供了良好的界面。

当代的配电自动化正从“多岛自动化”走向系统集成,同时它也受到电力市场发展的影响。国内近年来对馈线自动化系统的引进和开发做了大量的工作,但仍然存在问题:全盘引

进,不合国情,价格昂贵;利用重合器,动作频繁,与保护配合难,且价格高;寻找短路故障时间较长,不能寻找接地故障区段,没有寻找断线故障功能,变电站出线断路器需要改造等。配电系统“多岛自动化”包括 SCADA-DMS 系统、负荷控制系统、电量计费系统、地理信息系统、管理信息系统、变电站自动化系统、环网故障定位、隔离和恢复供电系统等一些单项自动化系统。这些单项自动化系统以信息专用、功能单一和互不相连为特征。早期这种单项自动化不多时,问题还不突出。随着这种单项自动化系统的自行发展以及其数量不断增加,这势必会带来功能相互重叠、信息无法共享、通道不能共用等问题。当然,有些单项自动化系统利用计算机通信和网络技术,通过接口和数据的转换可以实现系统的无缝集成,就像过去一些调度中心把在线运行的 SCADA 和离线管理的 MIS 通过网络通信关联在一起那样,但这种无缝集成系统参与信息共享时的运行效率、使用水平和方便性将有所降低。

与多岛自动化系统信息专用、功能单一和互不相连不同,配电自动化以信息共享、功能综合和无缝集成为特点,它不仅包括有关系统的互联还包括对信息共享、功能互补、通道公用等功能的实现。

配电自动化系统是配电网未来的发展趋势,但实施配电自动化过程中仍面临一些技术性难题:配电自动化系统的站端设备极多,既给系统的组织管理带来较大困难,又给主站系统的软硬件提出了很高的要求,如户外使用的终端设备的抗气压环境、抗电磁环境能力,配电自动化系统中需要频繁进行远方控制的站端设备的可靠性,不同配电网层次之间的多种通信方式、通信规约的协调,边远现场 RTU 停电时的控制电源和工作电源的可靠性等。

配电自动化是一种先进的理念,有别于调度自动化,目前国内外都在这个方向进行研究和探讨。每个地方的实际情况和发展方向不同,配电自动化的模式也自然不同,因此应该追求配电自动化系统的可行性、实用性和先进性的同时,逐步扩展和完善相关理念,从发展的角度看,配电自动化将与调度自动化相结合,成为一体化配电自动化系统。

1.3 配电自动化系统组成及规划要点

1.3.1 配电自动化系统的组成

对配电自动化系统应有一个长期规划,分阶段实施,纵向、横向交叉进行。配电自动化系统由调度主站系统、变电站子站系统、通信系统和配电房终端装置四部分组成。其中配电调度主站、子站和配电房终端装置组成三层结构的系统。配电房终端装置装设于环网线路上,通过通信系统以现场总线或其他通信方式与变电站子站系统连接,在线路故障(已失电)的情况下,连接于此线路上各节点的配电终端 FTU (Feeder Terminal Unit) 向子站报告遥信状态,子站系统根据配电网的拓扑关系及采集到的信息作出判断,并隔离故障点,恢复供电。各子站系统采集各自管辖区内终端装置送出的数据,经过处理后,通过网络把数据传送给调度主站系统,综合所有子站送来的数据,根据网络拓扑进行潮流分析,作出负荷调配、网络重组、无功优化等方案,并自动对系统进行调整。因此配电自动化系统对遥信正确性、通信质量的要求相当高。

1. 调度主站系统

调度主站系统是配电自动化系统的核心,管理着各子站系统,既具备信息处理、事件顺序记录(SOE)处理、事故追忆(PDR)、数据标识和人工置数、网络拓扑着色、事件/报警

处理、各类表格及打印、运行控制及操作等 SCADA 功能，又具有自动故障诊断、故障隔离、故障线路重构等 DA 功能，同时它还具有综合网络分析、潮流计算、网络重组、负荷管理、电压/无功优化、安全性/可靠性分析等功能。系统采用分布式环境支撑软件、通用性强的商用数据库、客户/服务器技术，应用软总线进行数据交换，给用户开放式应用程序接口和数据库接口，可与 MIS 系统、调度自动化系统连接，实现数据共享，并逐步与地理信息系统（GIS）有机地结合，使对配电设备的运行管理进入一个全新阶段。

2. 变电站子站系统

变电站子站系统采用实时多任务操作系统作为基础软件平台，该平台具有突出优点：实时性好、可靠性高，可远程维护，易于扩展。系统除了完成基本的 SCADA 功能外，还应具有故障检测，故障定位，自动隔离、恢复的功能。由于配电网中监控设备点多面广，不可能把所有的终端设备直接连到调度主站上，所以应对站端系统进行分级分层，在调度主站和终端设备之间需增设中间一级配电子站，由其管理所辖线路上的配电终端监控设备，完成“数据集中器”的功能，实现信息上传下达，并实现线路故障的就地隔离、定位和恢复。但负荷转移必须通过调度主站 DMS 分析软件计算后才能完成此功能，有效地避免负荷转移的盲目性，同时也分担了主站系统的工作任务，有效解决了配电自动化系统信息量大造成的信息瓶颈问题，提高系统完成任务的速度，缩短恢复供电的时间。

3. 通信系统

目前应用于城网配电自动化的通信方式有光纤通信、无线通信和数字载波通信。

光纤通信的特点是通信质量好、容量大、数据传输速率高、可靠性强、抗电磁干扰性高。在配电自动化系统中用到多模光纤和单模光纤，适合高质量、长距离通信。光纤与环网线路一起组成光纤环形网，结构简单，工作稳定，具有“自愈”功能。对配电网通信网络而言，采用光纤通信网最为理想，但需要构筑信道，投资成本大，对光纤耦合器的技术要求高，接口设备造价高，同时也存在信道拓展性差、灵活性差等问题。因为配电自动化工程是逐步完成的，完成所需周期较长，网络经常改动，结构变化大、变化快，所以光纤网应与配电网一起统一规划，需要长期、全面地考虑。此种通信方式主要是在国内城网配电自动化及小区配电自动化中应用，总体反应良好。

无线通信包括高速数传电台和无线扩频，其以自由空间为信息传输信道，传输速率高，安装简单方便，可节省敷设信道的费用，具有一定的绕射能力，组网快捷灵活，在性能价格比上，比较适合配电网使用，但易受外界因素（如建筑物阻挡、天气差等）的影响，通信可靠性比光纤差。

数字载波通信类似于用于高频保护通信的 PLC 通信，称为 DLC 通信。其适用于架空线或架空线与电缆线混合的电网结构，利用现成的电力线路组成通信局域网，在高压线路上无中继传输可达 10 km，传输速率和距离都可满足 DMS 的要求。扩频 DLC 通信频宽大，可减小信号电平的损耗，通信能力强，网络配置类似 Internet，网卡具有自适应整网的特性，采用 IP 多地址方式查询、巡检，并自动根据巡检情况确定中继点。其缺点在于载波设备挂接在配电网线路上，这给配电运行带来多个危险点，而且天气、线路上的设备（如配电变压器、电容器等）及运行中多种不稳定的因素等都会对载波信号造成衰耗和干扰，影响通信质量。应用数字载波通信方式增强了配电自动化系统线路故障监测、故障定点的功能，充分利用了配电网的网络资源，为供电企业节省了投资。

综上所述,根据各种通信方式的特点,综合考虑配电网的实际情况及配电自动化的要求,可应用一种或几种通信方式的组合。光纤通信可靠性高、抗干扰能力强,更好地满足了配电自动化的要求,可与电力电缆线路同沟敷设,适合应用于城区配电自动化;而无线通信和数字载波通信则适合于距离长、要求不高的农村配电网。

4. 配电房终端装置

对配电房终端装置的要求包括:具有遥测、遥信、遥控功能;自检、严格校验功能;模块化设计,功能可自由组合;体积小,防尘、防潮,抗干扰能力强,可靠性高;稳定性要求高,运行温度在 $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$ 范围内;能记录运行工况,能利用软件补偿精度,接口灵活,支持多种通信规约;人机界面直观,可操作性强,易于维护;备用电源需非常可靠及在高温下保证稳定。对 FTU 的要求主要包括:可靠、使用和灵活;对配电房的一次设备同样也要求其可靠、稳定;对开关机构则主要要求其功耗小、可靠性高。配电房终端装置还包括光纤互感器故障检测设备,它能检测出线路上多种故障,具有录波功能,能准确地反映故障点的实际情况。

1.3.2 配电网规划的要点

配电网规划需要正确预测地区负荷的增长速度、负荷点的分布及容量大小,合理安排电源点,合理设计网架结构,这对供电设备的选型具有重要的意义。配电网规划的要点如下:

(1) 根据地区的负荷分布,把电源点(指变电站)建设在负荷中心或接近负荷中心处,电源点的冗余容量视所在地区负荷的增长速度而定。

(2) 根据负荷点的地理位置合理安排配电电源点(指配电房),保证有两个以上的电源供电。两个电源由变电站不同母线的馈电线组成,另外最好再外加一路邻近变电站的馈电线组成三个电源,并合理调配负荷,使各条配电线路都具备互供能力。

(3) 以“3-1”的方式环网供电,缩短供电半径,根据负荷和无功,合理设定开环点。

(4) 整个配电网分片或分段设立节点,点点相连,形成网状结构。

(5) 逐步安装配电终端 FTU,建立配电自动化系统,实时准确地记录配电网潮流情况,掌握运行数据,指导配电网改造。

(6) 优化配电网的无功潮流,改造线径小的线路段,合理选定开环点及电容补偿,降低线损,提高电压质量。

(7) 加强配电网设备,应用可靠性高、自动化程度高的负荷开关,选择功耗小的开关操动机构。

1.4 配电自动化的实施步骤

1. 进行配电自动化的整体规划

在当地电网的改进与完善处于较为合理的状态后,对配电网的自动化进行整体规划。要实现配电自动化的整体规划,要以所在地区的经济发展水平为基础,按当地的经济承受能力进行相应的操作,通过分步投资和实施,发展配电自动化。

2. 对于配电网的结构进行相应的改造

为了满足配电自动化的需要,要对配电网的结构进行相应的改造,这就需要严格地规划和优化配电网。首先要增加配电网的主干线线径,以符合城市发展,并符合网络重构和负

荷转移的需求；其次，将网络进行分段，尽可能地缩短配电系统故障所涉及的范围；最后，通过采取环网式的结构，提高整个配电网的可靠性和稳定性。

3. 与现有系统结合好，避免重复建设

由于调度自动化系统和变电站自动化系统之间已有成型的光纤主干网，因此，配电自动化的变电站子站可以建立在变电站内，通过配电自动化系统和调度之间的紧密配合，实现网络和自动化故障隔离之间的重构，使调度自动化系统有效地操作变电站的设备，避免重复建设。

4. 采取分区试点的模式

在条件相对成熟的地区率先进行配电自动化系统建设，这就需要考虑系统的网架结构和相关的各子系统技术的长远性和先进性，对主站的建设尽量做到一步到位，为系统打下良好的基础，同时还需对配电自动化系统的软硬件进行定期检查，确保其可靠性和安全性。对于一些偏远地区，相关的通信设备不方便利用，可在配电网改造之后，利用自动开关，对馈线自动化进行监测和控制，为今后配电网系统留下通信接口。

配电自动化的实施与建设是一个比较长期的系统工程，从供电企业的经济效益角度来看，要不断地完善和提高供电企业的管理水平，优化配电的管理设备和系统，严格按照规范实施配电自动化系统，同时，在实践中不断地对配电自动化的实施方法和技巧进行探索和改善，以提高供电的整体水平和配电自动化管理水平。

第2章 配电网一次系统

配电网按作用不同可分为一次系统和二次系统，一次系统是承担电能的输送和电能分配任务的高压系统，一次系统中所有电气设备统称为一次电气设备。本章将对配电网一次系统中的电气设备、接线方式、接地安全防护及一次系统负荷计算等内容进行介绍。

2.1 配电网一次系统常用电气设备

配电网一次系统常用的电气设备主要包括电力线路、变压器、高压断路器、隔离开关、高压负荷开关、高压熔断器、互感器、低压开关设备、高低压开关柜与组合电器等；除此之外，还有中压开关柜、环网柜、分控箱、箱式变电站等设备。

2.1.1 电力线路

电力线路是配电网中电能输送的重要通道，分为架空线路和电缆线路。其中架空线路由于建造费用低、施工短、容易维护等原因比电缆线路应用更加广泛。

2.1.1.1 架空线路

架空线路由导线、杆塔、避雷线、绝缘子串和金具等组成。其中导线主要用于传导电能。杆塔用来支撑导线和绝缘装置并保持导线间的安全距离。避雷线用来将雷击电流引入地面，对线路起到防雷保护作用。绝缘子用来保持导线和杆塔、导线与导线间的绝缘状态。金具起到连接、悬挂和固定架空线路的主要元件的作用。

1. 导线

架空线路的导线长期暴露在空气中，要承受严寒酷暑、风吹雨淋甚至是覆冰等各种气候变化的影响，而且还要受到空气中有害气体的侵蚀，因此架空线路的导线除了要有良好的导电性以外，还要具有良好的机械强度和相对稳定的化学性质。

银和铜都具有良好的导电性，但是由于银的造价太高，铜的造价也相对较高且产量有限，因此在非特殊情况下，架空线路一般不采用银和铜做导线。相比铜来说，铝具有较低的价格，产量丰富，而且密度较小，因此通常用铝作为架空线路导线的主要材料。但金属铝的机械强度低、易拉断，而且容易受到酸、碱、盐等物质的腐蚀，因此在化工区和沿海地区不宜采用。为了解决铝机械强度低的缺点，可以在铝中加入硅、镁等元素制成强度较高的铝合金绞线，其抗张强度可以达到铝绞线的两倍，但由于耐振性差，在国内未能广泛应用。钢的机械强度较高，但其导电性较差，且钢的感抗较大，会产生显著的集肤效应，导致电阻增大加大损耗，因此一般不采用钢作为导线材料，只用其作为铝绞线的钢芯或者普通的避雷线。为了防止钢的氧化和腐蚀，一般钢线要进行镀锌处理。根据要求不同可采用不同的铝、钢截面比，一般地区可采用铝、钢比较高的钢芯铝绞线，重冰区和跨越距离较大的杆塔间宜采用铝、钢比较低的钢芯铝绞线。

2. 杆塔

杆塔按其用途可分为直线杆塔、耐张杆塔、终端杆塔、转角杆塔、跨越杆塔和换位杆等。

(1) 直线杆塔。直线杆塔也称中间杆塔，适用于直线走向的输电线路，主要作用是悬挂导线，直线杆塔的数量较多，约占杆塔总数的80%。

(2) 耐张杆塔。耐张杆塔的主要作用是承受张力，通常用于线路的首、末两端，长距离输电时一般间隔3~5km设置一个耐张杆塔。耐张杆塔可以有效承受正常和故障时沿线路方向的水平张力，限制故障的扩大发生，为维修和施工提供便利。

(3) 终端杆塔。终端杆塔是用于线路终端的耐张杆塔，可以承受最后一个耐张档距导线的单线拉力，如图2.1所示。

(4) 转角杆塔。转角杆塔位于线路转角处，可以承受线路方向的侧向拉力，如图2.2所示。

(5) 换位杆塔。如图2.3所示，为保持架空线路的三相对称性，需将三相导线在空间通过换位杆塔进行换位，以保证三相导线对地距离和导线间距离的近似相等，避免了三相不对称电流的产生。

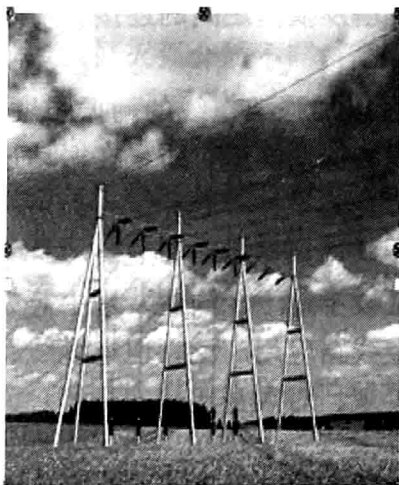


图 2.1 终端杆塔

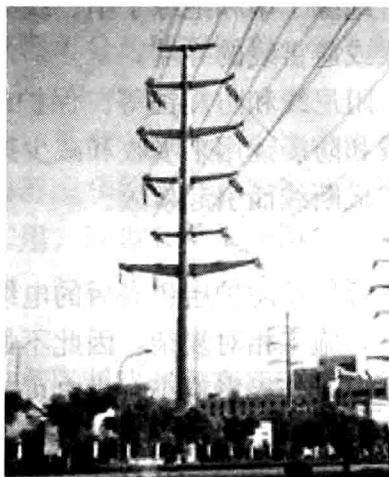


图 2.2 转角杆塔

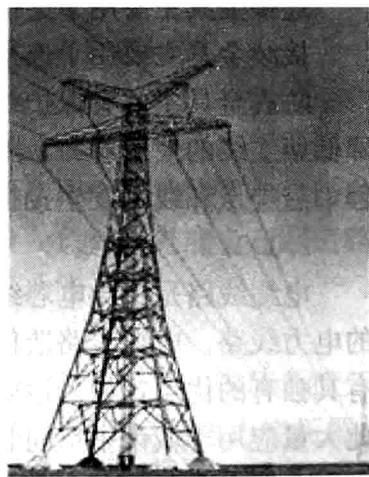


图 2.3 换位杆塔

按所用材料划分，杆塔可分为木杆、钢筋混凝土杆、铁塔三类。木杆质量轻、制造安装方便，广泛运用于林区，但由于木材消耗量大、易燃、易腐烂，现基本已被耐受力较强的钢筋混凝土杆所代替。目前大量应用的是预应力水泥杆，这种杆塔耐张力强、便于维护、使用寿命长，现已广泛应用于220kV及以下的架空线路中。铁塔的机械强度较高，使用寿命较长，但建造铁塔消耗的钢材量较大，造价较高，而且维护工作难度大，故一般只用作线路的转角、换位、跨越、耐张等特殊杆塔以及500kV及以上的超高压输电线路的杆塔。

3. 避雷线

避雷线通常是接地的，但绝缘避雷线在运行状态下是对地绝缘的。雷击时，雷电流可以通过避雷线引入大地，从而保护线路的正常运行。绝缘避雷线可以减少发生接地短路时的潜供电流，有利于快速准确地进行自动重合闸。此外，避雷线还可以用于架空线的融冰和用作载波通信的通道。

4. 绝缘子

架空线路的绝缘子可分为悬式绝缘子、针式绝缘子、棒式绝缘子和瓷横担绝缘子等。悬式绝缘子主要用于35kV及以上电压等级的线路上，而针式绝缘子主要用于电压不超过

35kV 并且导线压力不大的直线杆塔和小转角杆塔上。棒式绝缘子是用硬质材料做成的整体，过去采用陶瓷而目前采用高分子材料，因此又称合成绝缘子。瓷横担绝缘子是棒式绝缘子的另一种形式，它可以兼作横担。这种绝缘子强度较高，便于维护，已广泛应用于 110kV 及以下电压等级的线路上。

绝缘子串所需的绝缘子片数根据线路电压等级不同而不同，其数量见表 2.1。

表 2.1 直线杆塔上绝缘子串中绝缘子数量

系统标称电压 (kV)	35	63	110
每串绝缘子片数	3	5	7

5. 金具

金具是架空线路中所有金属部件的统称，金具种类繁多，主要有线夹、连接金具、接续金具和防震金具。

线夹是用来固定导线和避雷线的金具。在直线杆塔的悬垂串上应使用悬垂线夹，在耐张型杆塔的耐张串上应使用耐张线夹。

连接金具主要用于连接组合绝缘子串和绝缘子串、线夹、杆塔及横担之间的连接。

接续金具主要用于连接导线或避雷线的终端。

防震金具主要有保护线条、阻尼线和防震锤等。保护线条可以加强架空线的耐振强度，降低架空线的使用应力。阻尼线和防震锤用来吸收和减少架空线的振动能量，防止在振动过程中悬挂点和线路发生拗折，造成断线而引起事故。

2.1.1.2 电缆线路

电缆线路是将导电芯线用绝缘层及防护层包裹后的电缆，敷设于地下、沟道、水中等处的电力线路。电缆线路造价较高，施工相对复杂，因此不如架空线路应用广泛，但电缆线路有其独有的优点，如占地面积小、受外界影响小、供电可靠、美观、对人身比较安全等，因此大量应用于城市中空间紧缺的地段。

电缆主要由导体、绝缘层和保护层三个部分组成。导体大多由铝绞线和铜绞线构成。根据导体数目的不同，电缆可分为单芯、三芯和四芯电缆。不同种类的电缆中导体的形状也不同，有圆形导体，也有扇形和腰圆形导体。电缆的绝缘层用来保持导体之间以及导体与包皮之间的绝缘，通常分为芯绝缘层和带绝缘层两部分。芯绝缘层指的是包裹导体芯体的绝缘层。带绝缘层是指包裹全部导体的外绝缘层。二者之间空隙处要填以充填物，如橡胶、油浸纸、聚乙烯等。保护层可以使电缆经受较大外力而不损坏，可分为内保护层和外保护层。内保护层用铝或铅制成，用来提高电缆的抗压能力，并具有防水、防潮、防止绝缘油外渗等作用。外保护层由铠装层、衬垫层及外被层组成，用于防止电缆在运输、铺设和检修过程中受到机械损伤。

另外，电缆还有一系列的附件，如接头、电缆终端盒等，对于充油电缆还应包括供油系统和相应的密封装置。

2.1.2 变压器

变压器是一种交流电能的变换装置，能将某一数值的交流电压、电流转变为同频率的另一数值交流电压、电流，从而满足不同用户的用电要求，使电能传输、分配和使用安全经济。

电力变压器是电力系统中最常用的变压器，可分为升压变压器和降压变压器。

升压变压器多用于配电网的输电端，升压变压器的一次绕组匝数远小于二次绕组的，因此二次电压将大大提高，从而减少了长距离输电时电力线路上的损耗，使输送电的经济性得