

配电系统及其 自动化技术

陈 堂 赵祖康 陈星莺 胡大良 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

配电系统及其 自动化技术

陈 堂 赵祖康 陈星莺 胡大良 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书重点讨论配电系统及其自动化技术,全书共分9章,主要包括概述、配电网与一次设备、配电网自动化及其实现方式、配电自动化通信系统、配电网自动化远方终端技术、配电网 SCADA 系统、配电管理自动化系统、配电管理自动化系统的设计与实现、配电自动化工程实例。

本书不仅对国内配电系统的最新技术内容进行了介绍,而且跟踪介绍了国外配电系统的最新技术,是一本理论联系实际、实用性很强的工具书。

本书不仅可作为广大从事配电系统工作的技术人员参考书,也可作为高等院校相关专业的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电系统及其自动化技术/陈堂等编著. -- 北京:中国电力出版社, 2002

ISBN 7-5083-1206-6

I. 配… II. 陈… III. 配电系统-自动化技术 IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 059534 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

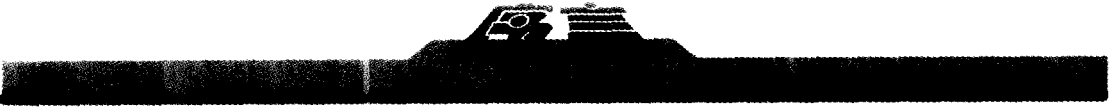
2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13.75 印张 326 千字

印数 0001—3000 册 定价 25.00 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)



国家电力调度通信中心 辛耀中

自 1998 年开始, 国家对全国城乡电网投入了巨额资金进行空前规模的建设与改造。城乡电网改造 3 年多的时间里, 已经取得了很大成效。电网运行指标明显提高, 2000 年全国 287 个城市电网统计平均供电可靠率达到 99.889%, 部分城市达到 99.96%; 电压合格率提高, 线损失率下降。这些成果的取得与配电网的加强与完善、配电自动化的开发与投入分不开的。但是要达到国家电力公司提出的供电可靠率 99.9% ~ 99.99%, 电压合格率 > 98% 的指标, 今后在配电系统方面还有大量的工作要做。

本书作者配合上述形势编著了《配电系统及其自动化技术》一书, 对配电系统网络接线、一次设备、配电自动化的实现、通信及 FTU 技术均作了详细阐述。作者还对配电 SCADA 系统、AM/FM/GIS 以及基于 AM/FM/GIS 的配电管理自动化系统的理论和编程技术作了具体的探讨, 而且还详细介绍了两个实际的配电自动化工程项目, 这对从事配电自动化工作的工程设计和技术开发人员很有参考价值。

由于本书作者均系多年从事电力系统自动化、配电系统自动化的科研和教学人员, 有丰富的工程实践经验, 因此本书的出版, 对从事配电自动化领域的运行、调度、设计、科研、管理工作的领导和专业人员均会有所裨益。同时本书亦可以作为高等院校有关专业师生的参考书籍和技术培训班的辅助教材。

本书从基础知识到实际应用, 深入浅出、图文并茂、内容充实, 希望从事配电自动化工作的人员均能一读。



配电系统是电力系统电能发、变、输、供、配中面向广大用户的一个重要环节。随着全国范围内城乡电网建设与改造的深入进行，配电网改造和配电系统自动化工作在全国范围内也已经深入开展，并逐步由试点和积累经验的阶段走向实用。在这个过程中，许多新技术得到了应用，许多新方法也被提出。

为了帮助科研设计单位从事配电系统及其自动化方面设计和产品开发工作的科技人员，以及供电企业从事配电系统和配电自动化系统运行和维护工作的技术和管理人员全面地了解配电系统及其自动化的基本概念和最新知识、最新技术，我们编写了本书。

本书作者长期从事电力系统及其自动化的规划设计、产品开发和工程实施以及科研和教学工作，同时也是我国已经实施的众多配电自动化工程项目直接参与者，这些工程项目包括上海沪南配电自动化规划、苏州新区配电网自动化试点工程、江苏淮阴市区 10kV 配电馈线自动化系统工程、扬州市区配电网管理系统工程、天津华苑产业区配电网自动化系统工程等等。作者在总结自己工程经验的基础上，结合自己的教学和科研成果，并参考了国内外大量文献编写成本书，希望能对我国配电系统自动化的发展起到一定推动作用。

本书第一、二、三章由赵祖康教授高工执笔，第四、六、九章由陈堂高级工程师执笔，第七、八章由陈星莺教授执笔，第五章由胡大良工程师执笔，吴烈峰教授高工编写了第四章的部分内容。陈堂负责全书的统稿和最后定稿工作。

本书能顺利出版，要感谢中国电力出版社有关同志的大力支持，特别是电力编辑室的肖兰主任为本书的出版倾注了大量的精力。国家电力调度通信中心的辛耀中总工程师对本书非常关心，在百忙中为本书写了序言，在此致以诚挚的感谢。

本书涉及配电系统及其自动化的许多新技术新方法，由于作者水平有限，疏漏和不足甚至于错误在所难免，希望读者批评指正。

作者

2002年10月于南京



序言
前言

第1章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 国内配电系统及其自动化的现状	4
1.3 国外配电系统及其自动化的发展	6
第2章 配电网络与一次设备	9
2.1 配电网络	9
2.1.1 配电网负荷分析	9
2.1.2 网络接线	10
2.2 变配电站	13
2.2.1 变配电站布置	13
2.2.2 变配电站的主接线	14
2.2.3 供电安全“N-1”准则	16
2.3 架空线与电缆线路	16
2.3.1 架空线路	17
2.3.2 电缆线路	17
2.4 中性点接地方式	19
2.5 配电网一次设备	20
2.5.1 分段器	20
2.5.2 重合分段器(自动配电开关)	21
2.5.3 重合器	22
2.5.4 负荷开关	25
2.5.5 高压熔断器	26
第3章 配网自动化及其实现方式	28
3.1 配网自动化的概念	28
3.1.1 配电系统自动化与配网自动化	28
3.1.2 配网自动化与其他自动化系统的关系	31
3.2 配网自动化的实施	31
3.3 变电站自动化	32
3.3.1 国内变电站自动化技术	32
3.3.2 国外变电站自动化技术	35

3.3.3	变电站与调度自动化系统的数据传输	36
3.3.4	变电站内部的数据通信	36
3.3.5	变电站运行数据上网 (Internet) 的探讨	38
3.3.6	变电站自动化中新技术的引入	39
3.4	馈线自动化	39
3.4.1	馈线自动化的实现方式	40
3.4.2	当地控制方式的馈线自动化	41
3.4.3	远方控制方式的馈线自动化	43
3.4.4	基于光纤数字保护的馈线自动化实现方式	45
3.5	基于馈线差动技术的馈线自动化方式	45
3.5.1	基于馈线差动技术的馈线自动化系统	46
3.5.2	馈线差动技术在城区配网中的应用	48
3.5.3	馈线差动技术应用中存在的问题	48
3.6	配电需求侧管理	49
第 4 章	配电自动化通信系统	50
4.1	配电自动化通信系统的层次	50
4.1.1	用户级通信	50
4.1.2	主站级通信	50
4.1.3	现场设备级通信	50
4.2	配电自动化对通信系统的要求	52
4.3	配电自动化主站级通信方式	52
4.3.1	无线通信	53
4.3.2	有线通信	54
4.3.3	小结	54
4.4	配电自动化现场设备级通信方式	54
4.4.1	现场总线	54
4.4.2	以太网通信技术	57
4.5	配车载波通信技术	57
4.6	配电网光纤通信系统	58
4.6.1	光纤链路的选择	59
4.6.2	配电网中光纤通信的应用	62
4.6.3	配电环网的光纤通信	64
4.6.4	光纤通信的可靠性	66
4.7	配电自动化系统通信方案	67
第 5 章	配电网自动化系统远方终端技术	68
5.1	概述	68
5.2	FTU 的功能及性能要求	69
5.3	FTU 的技术核心	71
5.4	FTU 的实现	72
5.4.1	FTU 的组成	72

5.4.2	远方终端控制器的实现	72
5.4.3	充电器的实现	77
5.5	FTU 软件功能	78
5.5.1	单元测控功能	78
5.5.2	故障检测功能	79
5.5.3	数据统计功能	81
5.5.4	故障电压判别功能	81
5.5.5	保护功能	82
5.5.6	备用电源自动投入功能	82
5.5.7	报文转发功能	82
5.6	环网柜 FTU 和开闭所 FTU	83
5.7	FTU 的安装及维护	83
5.7.1	FTU 的安装	83
5.7.2	馈线远方终端的维护	84
5.8	配电变压器远方终端 (TTU)	85
5.8.1	配变仪的基本功能	85
5.8.2	配变仪的构成	85
5.8.3	配变仪的软件功能	85
第 6 章	配电 SCADA 系统	88
6.1	配电 SCADA 的特点	88
6.2	配网 SCADA 的基本组织模式	89
6.2.1	配网 SCADA 的基本监控对象	89
6.2.2	配网 SCADA 系统的分层组织方式	89
6.2.3	配网 SCADA 主站的设置	91
6.2.4	配网 SCADA 子站的设置	91
6.3	配网 SCADA 的硬件系统	94
6.3.1	计算机后台系统	94
6.3.2	前置通信系统	96
6.4	配网 SCADA 的软件系统	100
6.4.1	SCADA 系统的软件层次模型	100
6.4.2	SCADA 系统的软件逻辑构成	101
6.4.3	SCADA 系统的 Client/Server 网络模型	102
6.4.4	Client/Server 结构的双服务器热备用系统	104
6.4.5	SCADA 系统软件结构	105
6.4.6	SCADA 数据库系统	107
6.4.7	网络服务系统	108
6.4.8	SCADA 系统核心软件模块	109
6.4.9	SCADA 图形软件	111
6.4.10	SCADA 报表软件	112
6.4.11	SCADA 前置机软件	112
6.5	配网 SCADA 系统通信规约	113

6.5.1 配网 SCADA 系统数据传输的特点	113
6.5.2 DNP 3.0 规约	119
6.6 配网 SCADA 与 AM/FM/GIS 系统的集成	124
6.6.1 两种集成方式	124
6.6.2 SCADA 和 AM/FM/GIS 之间的数据交换	125
第 7 章 配电管理自动化系统	128
7.1 配电企业现状与特点	128
7.1.1 现有 MIS 系统建设中的问题	128
7.1.2 配电管理自动化系统概念	129
7.2 配电地理信息系统	130
7.2.1 地理信息系统	130
7.2.2 地理信息系统与电力系统的关系	130
7.2.3 AM/FM/GIS 系统功能	132
7.3 配电生产管理系统	132
7.3.1 显示管理	132
7.3.2 设备管理	133
7.3.3 查询统计	134
7.3.4 辅助作图	135
7.3.5 系统设置	135
7.4 配电运行管理	136
7.4.1 配电网运行	136
7.4.2 运行计划和优化	140
7.4.3 维修管理	141
7.4.4 用户接口管理及控制	141
7.5 配电生产管理	142
7.5.1 工作票管理	142
7.5.2 操作票管理	142
7.5.3 停电管理	143
7.6 配电网应用分析功能	143
7.6.1 网络建模	144
7.6.2 网络接线分析与动态着色	144
7.6.3 状态估计	145
7.6.4 配电网潮流计算	145
7.6.5 配电网重构	145
7.6.6 负荷预测	146
7.7 客户关系管理系统	146
7.7.1 客户信息系统	146
7.7.2 停电呼叫系统	147
7.8 系统的数据管理	147
7.8.1 数据分类	147
7.8.2 采集数据的来源和方法	148

第 8 章 配电管理自动化系统的设计和实现	149
8.1 系统建设目标与设计原则	149
8.1.1 系统建设目标	149
8.1.2 系统设计原则	149
8.2 配电管理自动化系统的体系结构	150
8.2.1 传统的配电管理自动化系统结构	150
8.2.2 配电管理自动化系统的组件化构架	150
8.2.3 配电管理自动化系统组件化结构的特点	151
8.3 GIS 平台的选型	152
8.3.1 操作系统	152
8.3.2 体系结构	153
8.3.3 图形和属性数据存储模式	154
8.3.4 其他	154
8.4 配网 GIS 设计	155
8.4.1 组件式 GIS 设计	155
8.4.2 网络 GIS 设计	155
8.5 设备管理设计	157
8.5.1 基于组件的符号库设计	157
8.5.2 基于规则引擎的设备管理	158
8.6 配电网络拓扑分析	158
8.7 配电应用分析程序的组件构架	159
8.8 报表组件设计	161
8.9 数据库设计	162
第 9 章 配电自动化工程实例	164
9.1 扬州市区配电网自动化工程	164
9.2 扬州工程的通信系统	168
9.3 扬州工程配网 SCADA 系统	170
9.4 扬州工程的馈线自动化功能	172
9.5 扬州工程的高级应用软件	175
9.6 天津华苑产业区配电网自动化工程	175
9.7 天津工程的通信系统	177
9.8 天津工程配电 SCADA 系统	179
9.9 天津工程馈线自动化功能	179
9.10 天津工程远方抄表系统	182
附录 1 关于加快城市电力网建设改造的若干意见	183
附录 2 城市中低压配电网改造技术导则	186
附录 3 配电系统自动化规划设计导则	191
参考文献	207

第 1 章

概 述

1.1 引言

电力系统是由发电、变电、输电、供电、配电、用电等设备和技術组成的一个将一次能源转换为电能的统一系统。众所周知，电能是清洁能源之一。当前，全球现代化的各行各业和社会经济、人民日常生活，已经将电能供应视为不可或缺的一个重要基础条件。然而电力系统有其自身特殊性。首先电能与其他能量不同，一般来讲电能是不能大量长期存储的，其生产和消费过程是在同一瞬间完成的，也就是说发电、变电、输电、供电、配电各环节和用电是同步进行的。其次现代的电力系统是一个在地域上分布辽阔而在电气上却是联成一体的大系统。如火电厂一般建于靠近集中负荷的城市周边地域或靠近一次能源的煤矿矿口，水力发电厂则建造于远离负荷中心的水力资源丰富的河流上，而核电厂、风力发电厂等则根据环保、地理条件等选择建厂地点。这些发电厂与受端变电站之间由大量长距离、高电压的输电线连接起来。我国目前运行的最高输电电压（交流和直流）为 500kV，更高一级输电电压 750kV 的技术和相关设备的研究工作正在开展中。受端变电站通过高压输电线接受来自发电厂的大量电力，经过降压用较低的电压向配电站和用户供电。如此形成一个多层次网络结构复杂、地区分布宽广的大系统。

图 1-1 所示是电力系统各环节的示意图。本书重点讨论虚线框内有关配电系统及其自动

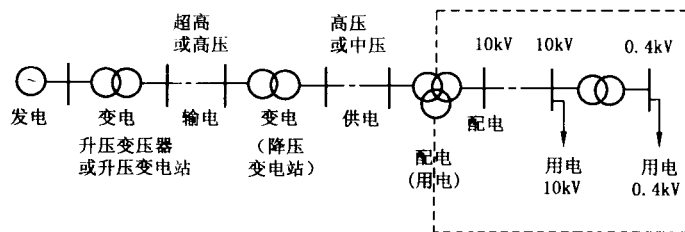


图 1-1 电力系统各环节的示意图

化技术。配电系统是电力系统的一部分。电力系统通过配电网直接向用户供电。从广义上讲 110kV 及以下电压的线路和设备构成的电力网均可称为配电网。国外一般将低于 1kV 的电压称为低压 (LV, Low Voltage); 1 ~ 36kV 的电压称为中压 (MV, Medium Voltage); 36kV 以上的电压称为高压 (HV, High Voltage); 300kV 以上的电压称为超高压 (EHV, Extra-High Voltage)。本书将低于 1kV 的电压称为低压, 在我国则具体指 380V (三相)、220V (单相)。35kV 及以下则称为中压, 具体指电压为 35kV、10kV 电压级。110kV 则称为高压。本书所称配电系统主要指 10kV 电压级的设备和线路构成的电力网。目前有人提议在某些电网中采用 20kV 来替代 10kV 电压级, 则该电压级的配电系统自动化技术亦属本书所述范畴之内。

由于整个电力系统在电磁上是互相联系的, 在网络结构上又是相互联通的, 因此电力系统任一点的故障均可能影响和波及整个系统, 甚至造成大面积的停电, 给社会经济和人民生活造成重大损失和严重后果。因此供电可靠性和电能质量是电力系统的两大考核指标。在 1998 年我国国家电力公司提出的目标是: 提高供电可靠性, 城市供电可靠率达到 99.9%, 大城市市中心区达到 99.99%; 提高供电质量, 使电压合格率 $\geq 98\%$ 。要达到上述指标, 必须采用现代化手段提高供电自动化水平, 即实施配电系统自动化。

众所周知, 电力系统技术现代化的过程, 亦是自动化程度不断提高和计算机应用日益发展的过程。这和国内外各行各业的技术发展历程是一致的。我国早期的电力系统调度是电话调度, 人工抄表。调度员通过电话, 命令各发电厂、变电站值班人员进行设备操作。而各发电厂、变电站则通过远动终端设备 (RTU, Remote Terminal Unit) 将设备运行数据经信道送至调度所, 在未设置 RTU 的厂站则由值班人员定时进行人工抄表报送调度端。直至 1978 年 8 月, 我国第一次在京、津、唐电网实现了采用国产计算机 (SD-176 型) 对电网进行实时安全监视。这种以计算机与彩色屏幕显示器为核心的实时监控系, 对提高电网安全运行水平发挥了很大的作用, 并逐渐成为调度人员不可或缺的运行手段。在这以后的 20 年中, 四大网 (华北、东北、华中、华东电网) 引进了英国西屋公司的具有 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 和 EMS (Energy Management System) 功能的调度自动化系统, 同时国内各单位也研制了各类电网调度自动化系统, 这些都大大提高了我国电网调度自动化的水平。目前我国电网采用五级调度管理, 即设国家电力调度中心 (简称国调)、大区电网调度中心 (简称网调)、省电网调度中心 (简称省调)、地市电网调度中心 (简称地调或市调) 以及县级电网调度机构 (简称县调)。其中前三级电网调度中心, 管理发电厂和超高压 (高压) 变电站, 对大区电网和省电网的电力交换进行调度。后两级电网调度机构则直接面向用户。目前, 在国家级电网调度中心下已经形成大区电网调度中心 6 个, 省级 (含直辖市) 电网调度中心 31 个, 地市级电网调度中心 280 个和县级电网调度机构 2400 个。2002 年 4 月, 国家电力公司确定了电力体制改革方案, 我国电力体制将实施厂网分开, 重组发电厂和电网企业; 实行竞价上网, 初步建立竞争、开发区域电力市场。在电网方面, 成立国家电网公司和南方电网公司, 由国家电网公司组建华北、东北、西北、华东和华中五个区域电网有限责任公司。因此, 原来意义上的五级调度管理, 也有可能随着电力体制改革的进行在职能上有所改变。

在近 20 年, 我国在大力发展电网调度自动化的同时, 发电厂 (包括水电厂、火电厂等) 和变电站的自动化系统亦有了很大的进展。我国配电系统自动化技术起步较晚, 在 20 世纪 90 年代, 一些地、市的供电部门分别以小区、开发区或配电网的一部分开展了配电自动化

工作的试点。这些工作先后获得了成功，并取得了一定的运行经验。从前阶段的工作来看，主要偏重于配电系统的实时监控和馈线运行自动化。由于我国电力工业过去长期以来存在重发（发电）轻供（供电）不管用（用电）的情况，因此我国配电网设备陈旧，自动化程度差，网架结构薄弱等现象比比皆是。根据作者近几年来从事配电网自动化工作的体会，配电网自动化和调度自动化相比，有突出的不同点，必须予以重视。如调度自动化是在电网调度范围内的各发电厂，重要高压变电站和各关口线路处设置远动终端设备（RTU），通过通道（可以是载波、微波、光纤、专用线、无线等）与调度所联络，传送远方厂站设备和线路的遥测（YC）、遥信（YX）信息，接受调度端的遥控（YK）、遥调（YT）命令。对从事调度自动化系统的研制人员，主要是配置调度自动化系统主站系统，开发 SCADA 和 EMS 软件，配置各厂站端 RTU 和相关通道。对调度自动化系统所涉及调度范围的一次接线系统，无需给予更多的关注。但是配电自动化工作则不同，配电自动化尤其是馈线自动化与配电系统的一次网络接线有密切的关联。这可以从以下的例子来充分说明。

图 1-2 是典型树状网络，从变电站以 10kV 出线以树状方式供电给柱上变压器和高压用户。由于在主干线上未设置分段开关，在分支线上亦未设置分支开关，当线路上任一点发生永久性故障时，均将造成全线路停电。很明显，在实施配电自动化时，这类线路必须根据供电重要程度确定配电自动化方式和进行网络结构优化改造，增设分段开关和分支开关。这些开关还需具备遥控条件。如不对此类配电网进行优化改造，实施配电自动化后，亦不能提高供电可靠性。

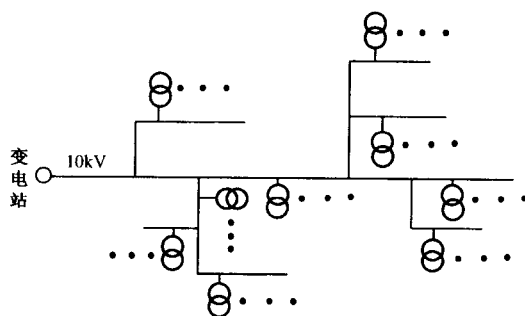


图 1-2 典型树状网络

图 1-3 是一个多个电源点联网的配电网，它具有四个电源点，五条配电线路。这类网络，采用调度员调度方式时，若在变电站 4 至分段开关 5 之间线路发生永久故障，由于具有多电源，调度员可灵活地根据当时负荷情况，选择合上分段开关 2、3 或 4 的方案，对分段

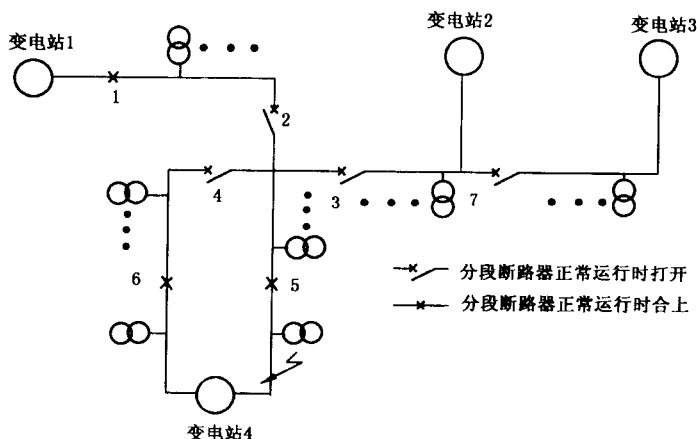


图 1-3 多个电源点联网的配电网

开关 5 非故障段一侧线路恢复供电。但是当设置配电自动化主站系统运行时，由于可变条件多而增加了馈线自动化软件运算的时间和复杂性，因此这类网络就需要进行网络简化。

由上述二个例子可以看出，若不对网络进行优化改造，仅在原有网络上实施配电自动化是不现实的。

综上所述，可以清楚看到配电自动化与网络结构之间存在密切关系。同时由于目前实际配电网络存在着多样性和无序化。因此在开展配电网自动化工作时，必须进行配电网的优化改造和配电网自动化的规划设计。

1.2 国内配电系统及其自动化的现状

我国配电网架的结构，在城市电网中一般采用在城郊区建立超高压（500kV）或高压（220kV）变电站，接受来自发电厂或电网的大量电力，经过降压后向建于市区负荷集中点的变电站供电。图 1-4 (a) 和 1-4 (b) 分别为国内某城市 500kV 电网规划方案图和香港大埔输电系统发展接线图，从中可以看出配电网的结构和布局。当然，香港由于历史的原因，输配电网采用的电压等级和内地不同。以往建于负荷中心的降压变电站一般为 110kV 或 35kV，近年来随着负荷迅速增长，尤其在大城市以 110kV 电压线路伸入市区已不能满足负荷增长的需要，从而开始改用 220kV 电压线路伸入市区，在市内建立 220kV 降压变电站。通过降压变电站再次降压后以 10kV 或 0.4kV 电压向用户供电。用 10kV 供电的工业用户或大用户，一般称为高压用户。个别大用户亦有直接以 110kV 或 35kV 电压级供电的，由用户自行建设 110kV 或 35kV 电压级的用户变电站，由用户自行管理。在城市配电网中，10kV 馈线自变电站或配电站（开闭所）引出后，以往采用裸导线（钢芯铝绞线）沿城市街道（马路）架空架设，再引至柱上变压器降压至 0.4kV 向千家万户供电。现在则采用绝缘导线来代替裸导线，以提高运行可靠性和安全性。目前城市配电线路绝缘化率平均已达到 60% 以上。架空线杆

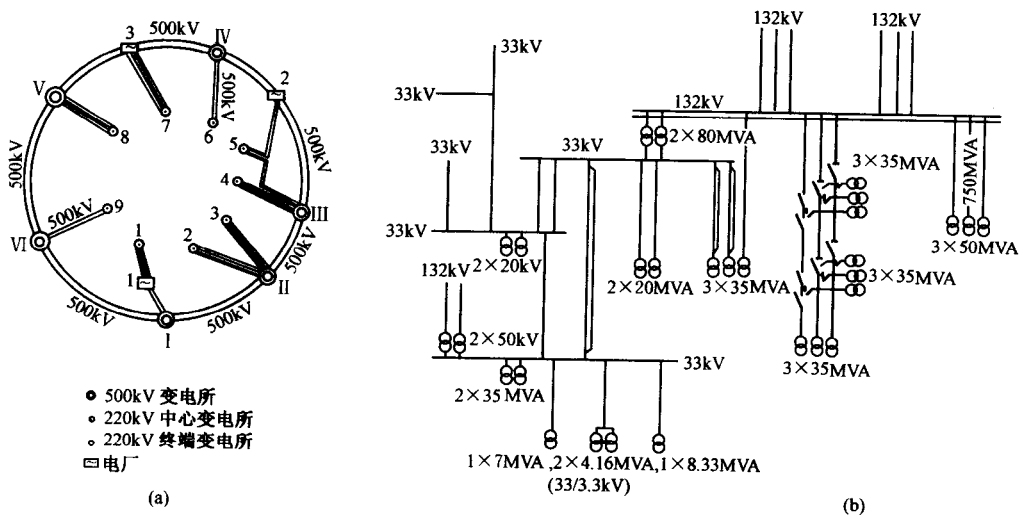


图 1-4 配电网的结构和布局

(a) 某市 500kV 电网规划方案；(b) 香港大埔输电系统发展接线

型以往多数为木质电杆,现在则以预制钢筋水泥杆为主。当市区房屋集中地段设配电站(开闭所)出线走廊困难时,亦有采用以10kV电缆出线引至马路旁电线杆再上杆转为架空线的。随着市政建设现代化进程的加快,10kV架空线转入地下,已成为近几年配电网改造的一个热点。目前北京、天津、上海等城市市区电缆入地率已达50%~70%。因10kV架空线改为电缆转入地下,过去的大量柱上变压器已为箱式变和环网柜所替代。在农村配电网中,是由设置在农村的110kV或35kV变电站降压后以10kV线路引至各村负荷集中点,通过柱上变压器降压至0.4/0.23kV电压向各农户提供农业加工和生活用电等,目前,农村配电网虽经改造,但结构尚无根本性改变。关于配电网结线等内容将在第二章内详述。

配电网的规模是随着负荷的逐步增长而不断扩建和发展的。早期的配电网规划经常因无法确切预见到今后的负荷和市政建设前景,因此形成配电网建设的无序化和不合理性是难免的。对此,我国国家电力公司从1998年起对全国城乡电网开始进行大规模的建设与改造,计划用3年多时间,投入2800亿元资金,主要建设、改造从低压380V到高压110kV(部分220kV)的配电网。到2000年度城市高压配电网整体供电能力增长了40%~50%,中低压配电网供电能力增长了25%。

国内配电自动化起步于20世纪90年代,较国外发达国家约滞后20年。主要开展了两方面的工作:①建立配电系统的实时监控系统(相当于电网调度自动化中的SCADA系统),即在配电网调度中心建立主站系统,在各变电站、开闭所设置RTU、FTU(Feeder Terminal Unit)馈线远方终端,通过通信通道联系,从而达到实时监控的功能。②实施了各种类型馈线自动化(FA, Feeder Automation),以缩短线路故障后的停电时间,加快恢复供电,提高供电可靠率。

下面我们对馈线自动化的几种形式简要介绍如下。

(1) 在10kV辐射式线路或树状式线路上采用重合器、分段器实现馈线自动化。这种方式由于不需要配置通道和主站系统,依靠重合器和分段器自身的功能进行线路故障时的故障隔离和恢复供电,因而实施比较容易,投资亦较节省。但对用户来说,在线路故障时需要承受多次重合冲击,因此一般只用于城郊区或农村的配电网。当然,亦有某些网络在重合器、分段器上配置了馈线远方终端,架设通道,设置主站系统,依靠信息来缩短故障定位时间,加快恢复供电并解决多次重合的缺点。但这样一来,其投资亦相应增加。

(2) 在10kV环形电缆配电网中采用重合器,配合环网柜实现馈线自动化。这种方式以分散的环网柜结合美式箱变而构成环形电缆配电网,替代了建设集中的配电站,节省了占地面积。采用这种方式时,中美式箱变的高压熔丝保护和环网柜的限流熔断器必须相互配合,同时重合器的保护曲线和10kV网络的接地方式亦有密切关系。

(3) 在10kV环形电缆配电网中采用环网柜加装FTU和设置配电自动化系统是实现馈线自动化的又一种方式。环网柜可以是户外式,亦可以是户内式。环网柜一般有两路进线和两路出线,两路进线分别接入环网两侧,两路出线则通过降压变降压后向低压用户供电。数个环网柜连成一个供电环网。在各环网柜上的FTU通过通道(一般采用光纤)与配电自动化主站或子站系统相连。网络出现故障时,主站或子站根据FTU送来的信息,经过软件运算定位故障,并向环网柜的负荷开关自动发遥控命令,以达到隔离故障和恢复供电的目的。这种方式在上海浦东金藤开发区和苏州西区均被采用,并取得成功。能在发生故障后1min内,隔离故障,恢复对非故障段的供电。

(4) 国内配电网中大多数是由沿城市街道敷设的架空绝缘导线构成的 10kV 配电网。针对这种配电网，实现馈线自动化方式首先是对网络进行优化改造，形成多个环网或“手拉手”线路，使每一用户有二个电源。然后将网络中的环网开关或线路上的分段器按自动化要求改造为可遥控的负荷开关，每个开关配置 FTU，建立通信通道并和配电自动化主站系统相连。当线路发生故障时，主站系统依靠 FTU 的信息操作负荷开关，进行故障隔离和恢复对非故障段的供电。江苏省扬州市区配电自动化系统采用的就是这种方式。

(5) 在上述各种馈线自动化方式下，故障时均会对部分用户造成短时间的停电。对供电可靠性要求高的用户的馈线，可以在第三种配电自动化方式的基础上进行改进，即将环网柜中的负荷开关改成断路器，在每段线路上加装具有故障电流方向判别元件的简化型差动保护。当某一区段发生故障时，可在毫秒级的时段内进行故障定位和故障隔离，从而可使非故障段不停电，不影响其用户供电。这种方式要求相邻 FTU 之间能通过高速通信通道（如光纤通道）进行数据通信，FTU 除了常规的功能之外还必须具有保护功能。这种方式最早是在天津华苑工业区采用，系统能保证非故障区段不停电，使供电可靠率达到了国际先进水平。

上述五种馈线自动化方式，以第三、四种方式采用较多，第三种多用于新区和开发区，而第四种则为大多数城市配电网进行配电自动化改造的首选方式。第五种方式是馈线自动化的新模式，很有发展前途。上述几种馈线自动化方式将在第三章内进一步探讨。

国内配电自动化技术开发除了开展了上述两方面的工作外，对下列功能亦进行了不同程度的开发和研制工作，其中有的项目已投入实际应用。如配电管理系统（DMS, Distribution Management System），包括负荷管理（LM, Load Management）、自动绘图（AM, Automated Mapping）、设备管理（FM, Facilities Management）和地理信息系统（GIS, Geographic Information System），还有如需方用电管理（DSM, Demand Side Management）、变电站自动化系统（Substation Automation System）和远方抄表系统（AMR, Automatic Meter Reading）等。

1.3 国外配电系统及其自动化的发展

国外电力系统各环节的关系亦如同图 1-1 所示。国外配电系统典型接线如图 1-5 所示。国外城市电网一般亦是采取在城市外围建设超高压或高压变电站，将发电厂或电力系统通过超高压或高压输电线输送来的大量电力降压送入市区配电网。城市外围电网根据城市规模、负荷大小和负荷性质等分别采用单环网，双环网或双回路等电网结构。市区或农村的中压配电网分别采用辐射网、环网、网格式网、复式网和“4×6 网络”等（“4×6 网络”将在第二章内进一步介绍）。图 1-6 分别介绍了法国巴黎 400kV 双外环网、中压仿垂形电网接线和日本东京 500kV 轮式外环网接线。

国外中压配电网结构，在农村和城市郊区一般以采用架空网络为主，而在城区尤其是建筑物和街道密集区，则均采用沿主要街道敷设地下电缆方式。在采用架空网络时，则以柱上变压器或箱式变作为中压降压为低压的主要电气设备。柱上变压器根据变压器容量采用单杆架固定或双杆平台固定。过去柱上变压器采用中压熔断器作为保护方式，由于熔断器会在雷击或瞬间短路时动作，现倾向以小型断路器来代替熔断器。在采用地下电缆网络时，则在大楼地下室或建筑群中建造配电室或环网柜。美国等北美国家由于采用的低压标准电压较低，允许送电距离较短，故大量采用小容量降压变压器来供电。国外低压配电网有两种模式。一

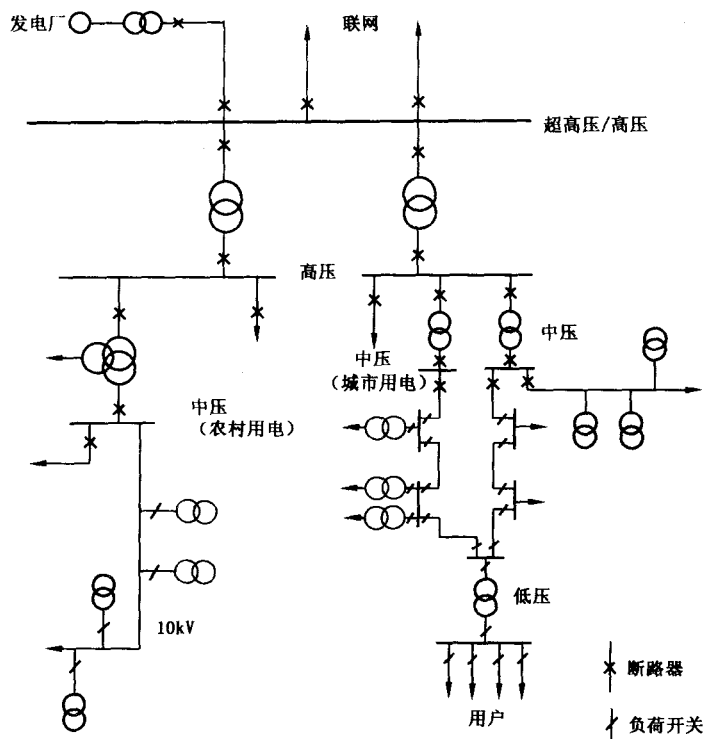


图 1-5 国外配电系统典型接线

是采用 230/400V 三相四线制，主要用于欧洲各国，这和我国低压配电网的运行模式是一致的。另一种是 120/240V 单相三线制，这主要用于美国等北美国家。尤其是对农村地区，因个别农户距离较远，而负荷较小，故采用单相线路供电，以节省线路费用。对于城市工商业用电和居民生活用电，仍采用三相三线制或三相四线制供电。

国外配电网自动化开始于 20 世纪 70 年代，欧美发达国家开展配电网自动化的早期目标是缩短馈线故障停电时间。如美国，在开展配电自动化工作的初期，采用在配电线路上装设多组重合器、分段器方式，使线路故障不影响变电站馈线供电。在纽约曼哈顿地区，27kV 线路一般都组成环网，由两个变电站供电，开环运行，线路分成 4 段，装 5 台真空重合器。任一线路故障时真空重合器和变电站内的断路器配合，经过小于 3 次的开合操作，自动隔离故障使非故障段恢复供电。1997 年全纽约的用户平均年停电时间（含检修，故障等各种因素停电时间）为 104min，而曼哈顿地区仅为 9min。

1994 年，美国长岛电力公司（LILCO）配电自动化系统采用 850 台 FTU 和无线数字电台组成了故障快速隔离和负荷转移的馈线自动化，在 4 年内避免了 59 万个用户的停电故障。整个系统，第一步使线路运行达到能自动分段；第二步建立通信通道实现 SCADA 功能；第三步实施非故障段的自动恢复供电。长岛电力公司在该系统投入运行后，又发现当多条线路同时出现故障时（如雷击）处理速度慢不能满足运行要求，于是为提高系统性能引入了前置机，由前置机采集各 FTU 的信息，大大减少了自动恢复供电的时间，使非故障段自动恢复供电时间在 1min 以内完成。