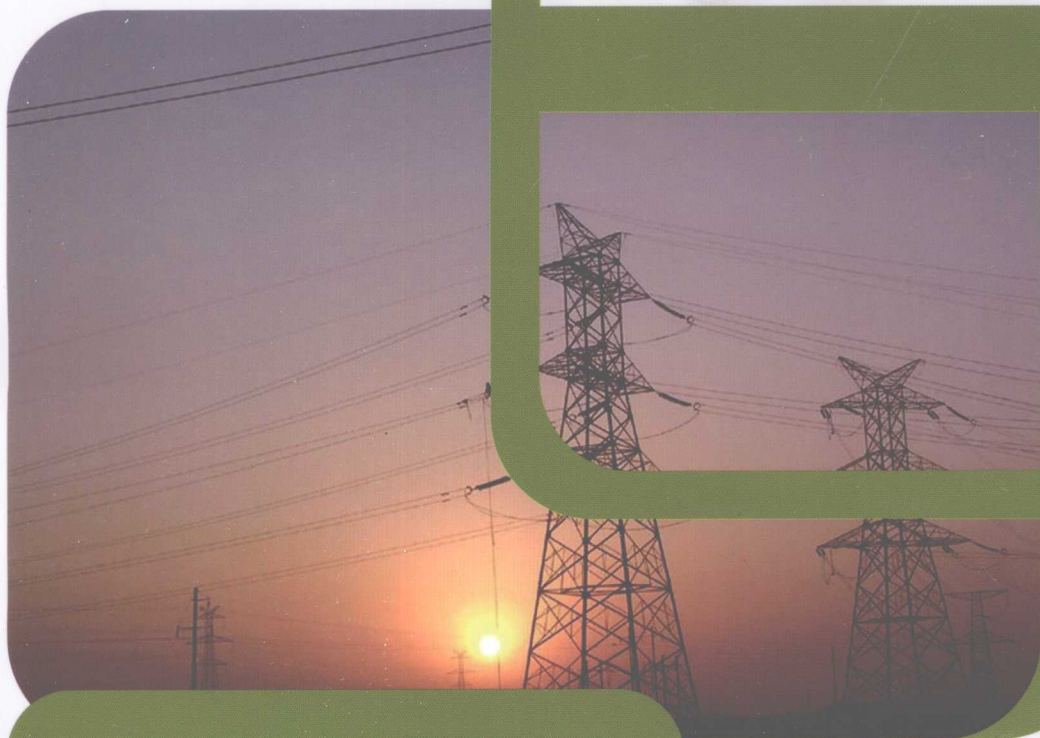


PEIDIANWANG
ZONGHE ZIDONGHUA JISHU

配电网 综合自动化技术

龚静 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



PLANNING AND DESIGN

PLANNING AND DESIGN

配电网

综合自动化技术

· · ·



PLANNING AND DESIGN



配电网综合自动化技术

主编：龚 静

参编：彭红海

朱 琛

主审：周有庆



机械工业出版社

本书是按照配电自动化系统的构成从底层往上层来编写的。在介绍配电自动化的一些基本概念的基础上,首先介绍了配电终端 FTU、TTU、DTU、RTU 等,然后介绍通信系统,最后介绍配电自动化主站系统。在章节安排上同时穿插馈线自动化、配电网的故障选线、SCADA、电能计费、AM/FM/GIS、LM、工程实例等内容。

本书理论结合实际,同时融入一些相关专业基础知识,使内容前后贯通,并辅以思考题和自测题,使读者易于掌握,因为技术新,配套实验的开设正处于积极探索阶段,本书首次给出了配套实验。

本书可作为本科电气工程类专业的教材,同时也可作为配电领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电网综合自动化技术/龚静主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 7
ISBN 978-7-111-24161-4

I. 配… II. 龚… III. 配电系统—自动化技术 IV. TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 116161 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:靳平 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣
封面设计:鞠杨 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷 (北京樱花印刷厂装订)
2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 23.75 印张 · 585 千字
0 001—4 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-24161-4
定价: 47.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379767
封面无防伪标均为盗版

前 言

配电网综合自动化技术是近年来随着通信、计算机技术的发展而发展起来的一门新型学科，它对于提高供电可靠性、扩大供电能力、降低线路损耗和减轻劳动强度具有重要意义。日本早在 20 世纪 80 年代已经实现了配电自动化，而我国 20 世纪 90 年代才开始起步，近年来发展非常迅速，随着对供电可靠性要求的不断提高，实施配电自动化的呼声越来越高。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和改造，主要建设改造从低压 380V 到高压 110kV 的配电网，以便提高配电网的供电能力和安全经济运行水平，改善人民生活，为国民经济持续发展提供强大的动力。

本书介绍了配电网自动化新技术，并将相关专业基础知识融入，使内容前后贯通，便于读者理解和每章最后都按照“了解、掌握、重点”三个层次给出相应的知识要点，并辅以思考题和自测题。本书理论联系实际，既有由浅入深的理论分析，又结合大量实例进一步说明，讲究实用。因为技术新，配套实验的开设正处于积极探索阶段，本书首次给出了配套实验。

本书由北京建筑工程学院龚静任主编，负责全书的构思、编写组织和统稿工作。本书共 14 章，其中第 1~12 章、自测题及答案、附录均由龚静编写，第 13 章由湖南省电力公司长沙电业局朱琛编写，第 14 章由湖南大学彭红海编写。湖南大学周有庆教授对全书进行了审阅，提出了很多宝贵的意见。本书在编写过程中，得到河南思达公司、长沙同庆公司、北京四方华能公司的大力支持，本书的出版得到北京建筑工程学院教材建设项目基金的资助，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，不妥之处恳请读者和同行专家批评指正，联系 E-mail: gongjing5@yahoo.com.cn。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 电力系统的基本概念	1
1.1.1 电力系统的组成	1
1.1.2 电力系统的发展简史	2
1.1.3 我国电力系统的发展及现状	3
1.2 配电管理系统	4
1.2.1 配电管理系统的一些基本概念	4
1.2.2 当前配电管理系统存在的问题	6
1.3 配电网自动化系统的总体构成	7
1.3.1 小型配电自动化系统的构成	7
1.3.2 中型配电自动化系统的构成	7
1.3.3 大型配电自动化系统的构成	8
1.3.4 配电自动化系统的基本功能	9
1.4 实现配电自动化的意义	10
1.5 配电自动化的现状与发展情况	13
1.5.1 国外配电自动化发展及现状	13
1.5.2 我国配电自动化的发展现状	14
1.6 配电自动化的难点	16
1.7 配电自动化实施中的具体问题探讨	17
1.7.1 配电自动化实施的规划问题	17
1.7.2 配电自动化实施的经济投资问题	18
1.7.3 配电自动化实施对象的确定原则	18
1.8 要点掌握	19
思考题	20
第 2 章 配电网	21
2.1 配电网的特点	21
2.2 我国配电网建设情况及发展战略目标	22

2.2.1 建设情况	22
2.2.2 发展战略目标	23
2.3 配电网的中性点运行方式	24
2.3.1 中性点接地方式分类及比较	24
2.3.2 经消弧线圈接地系统的 3 种补偿方式	24
2.3.3 中性点经电阻接地方式	25
2.3.4 我国部分地区中性点接地方式实例	25
2.4 配电网涉及的一次设备——开关	26
2.4.1 开关设备的灭弧介质无油化历程	26
2.4.2 真空、SF ₆ 灭弧介质特点	27
2.4.3 典型开关设备介绍	27
2.5 配电网涉及的一次设备——环网柜	29
2.5.1 概述	29
2.5.2 环网柜的分类	30
2.5.3 环网柜接线应用实例	30
2.5.4 典型环网柜介绍	31
2.6 配电网涉及的一次设备——变压器	32
2.6.1 变压器的分类	32
2.6.2 国内外变压器的现状及发展	33
2.7 配电线路	34
2.7.1 架空线路	34
2.7.2 电缆线路	35
2.8 配电网网络拓扑形式及馈线故障处理	36
2.8.1 配电网网络的分类	36
2.8.2 辐射状接线馈线故障的处理	36
2.8.3 环网故障的处理	36
2.8.4 三电源点供电网络故障的处理	37
2.8.5 日本 3 分 4 连接线	38
2.9 要点掌握	38

思考题	39	4.1 DTU	67
第3章 配电终端——FTU	40	4.1.1 DTU 的概念及功能	67
3.1 FTU 的基本概念	40	4.1.2 DTU 备自投的实现	67
3.2 FTU 的功能	40	4.1.3 开闭所 DTU 与馈线终端 FTU 的 比较	68
3.3 SD-2210 型 FTU 的总体结构及 特点	42	4.1.4 环网柜 DTU 与开闭所 DTU 的 比较	69
3.3.1 SD-2210 型 FTU 的原理框图	42	4.1.5 开闭所 DTU 与变电站 RTU 的 比较	69
3.3.2 SD-2210 型 FTU 的总体特点	43	4.2 TTU	69
3.4 SD-2210 型 FTU 的 TMS320F206 DSP 硬件介绍	43	4.2.1 TTU 的概念及功能	69
3.4.1 TMS320F206 DSP 的主要特点	43	4.2.2 TTU 的无功补偿功能	70
3.4.2 TMS320F206 存储器映射	43	4.3 站控终端	71
3.4.3 TMS320F206 DSP 片上外设	45	4.3.1 站控终端的概念及功能	71
3.4.4 TMS320F206 DSP 外部中断	46	4.3.2 子站的设置	72
3.4.5 TMS320F206 DSP 命令寄存器	46	4.3.3 站控终端与 FTU、TTU、DTU 的 比较	72
3.4.6 TMS320F206 DSP 复位	46	4.4 要点掌握	73
3.4.7 SD-2210 型 FTU 模拟信号输入	47	思考题	73
3.4.8 SD-2210 型 FTU 数字量输入 输出	47	第5章 通信系统	74
3.4.9 SD-2210 型 FTU 异步串行通信	47	5.1 引言	74
3.5 直流采样和交流采样	48	5.1.1 远动的基本概念	74
3.5.1 直流采样	49	5.1.2 典型数据通信系统的组成	74
3.5.2 交流采样	49	5.1.3 并行传输和串行传输	76
3.5.3 变送器	49	5.1.4 数据传输的同步	76
3.6 开关量输入电路	50	5.1.5 通信工作方式	78
3.6.1 隔离电路	50	5.1.6 通信技术中的几个基本概念	78
3.6.2 去抖电路	51	5.2 调制解调	79
3.7 开关量输出电路	52	5.3 差错控制	81
3.8 模拟量输入电路	53	5.3.1 产生差错的原因	81
3.8.1 基于逐次逼近型 A/D 转换的模 拟量输入电路	53	5.3.2 抗干扰编码	82
3.8.2 2×4 通道 14 位高速 A/D 转换芯片 MAX125 及其应用	55	5.3.3 差错控制的几种方式	83
3.8.3 电压/频率变换	62	5.3.4 几种常用的抗干扰编码	85
3.9 模拟量输出电路	64	5.4 通信规约	90
3.10 傅里叶算法	65	5.4.1 通信规约的概念	90
3.11 要点掌握	66	5.4.2 循环式通信规约	90
思考题	66	5.4.3 问答式通信规约	95
第4章 其他配电终端	67	5.5 常用通信方式	98
		5.5.1 概述	98
		5.5.2 配电线载波通信	101
		5.5.3 光纤通信	104

5.5.4 脉动控制	109	配合	132
5.5.5 工频控制	110	6.5.1 辐射状网的故障处理	132
5.5.6 电话专线	110	6.5.2 环状网的故障处理	136
5.5.7 现场总线	111	6.5.3 分段开关和联络开关的时限整 定	139
5.5.8 RS485 串行总线	111	6.6 重合器与过电流脉冲计数型分 段器配合	141
5.5.9 无线扩频	111	6.6.1 永久性故障的处理	141
5.5.10 甚高频通信(数传电台通信) ..	112	6.6.2 瞬时性故障的处理	142
5.5.11 特高频通信	113	6.7 基于 FTU 的馈线自动化	143
5.5.12 微波通信	113	6.7.1 基于 FTU 的馈线自动化系统 构成	143
5.5.13 卫星通信	114	6.7.2 基于 FTU 的馈线自动化系统的 功能	144
5.5.14 调幅广播	115	6.7.3 基于 FTU 的馈线自动化系统实 施的原则	144
5.5.15 调频辅助通信业务	115	6.7.4 馈线自动化的电源问题	145
5.6 要点掌握	116	6.8 两种馈线自动化的比较	147
思考题	116	6.8.1 基于重合器一分段器的就地控 制方案	147
第 6 章 馈线自动化	118	6.8.2 基于 FTU 和通信网络的远方 控制方案	147
6.1 概述	118	6.9 要点掌握	148
6.1.1 FA 的功能	118	思考题	149
6.1.2 FA 的类型	118	第 7 章 配电网单相接地故障选线	150
6.1.3 FA 的特点	119	7.1 概述	150
6.2 馈线自动化的发展历程	119	7.1.1 NUGS 单相接地故障选线的国外、 国内研究现状	150
6.2.1 第一阶段——不分段、不拉手 (传统模式) 阶段	119	7.1.2 利用电网稳态电气量特征提供的 故障信息构成的选线方法	151
6.2.2 第二阶段——馈线分段、拉手、 无自动化阶段	121	7.1.3 利用电网暂态电气量特征提供的 故障信息构成的选线方法	153
6.2.3 第三阶段——自动分段、馈线 自动化阶段	123	7.1.4 其他方法	153
6.3 重合器	125	7.1.5 研究前景	154
6.3.1 重合器的概念	125	7.1.6 意义	155
6.3.2 重合器的分类	125	7.2 NUGS 单相接地故障理论分 析	155
6.3.3 重合器与普通断路器的比较	126	7.2.1 NUGS 单相接地故障的稳态基波 分析	155
6.3.4 时间—电流特性曲线	127	7.2.2 NUGS 单相接地故障的稳态谐波 分析	160
6.3.5 重合器的选择	127		
6.3.6 重合器的应用场合	127		
6.3.7 重合器实例	128		
6.4 分段器	129		
6.4.1 概念	129		
6.4.2 分段器使用时的配合原则	130		
6.4.3 电压—时间型分段器原理接线 ..	130		
6.4.4 电压—时间型分段器的参数	131		
6.4.5 电流—时间型分段器	132		
6.5 重合器与电压—时间型分段器			

7.2.3	NUGS 单相接地故障的暂态分析	162	8.5.3	远程自动抄表系统典型案例	211
7.2.4	NUGS 单相接地故障选段研究	163	8.5.4	利用远程自动抄表技术实现防窃电	213
7.3	NUGS 单相接地故障实验研究——选线方案确定	164	8.5.5	自动抄表与预付费的比较	214
7.3.1	动态模型的建立	164	8.6	要点掌握	214
7.3.2	稳态实验记录及分析	166	思考题	215	
7.3.3	暂态实验记录及分析	168	第 9 章 主站系统	216	
7.3.4	NUS 选线方案的确定	170	9.1	主站系统的功能及要求	216
7.3.5	NES 选线方案的确定	171	9.2	主站系统的设计原则	216
7.4	软件设计	173	9.3	主站系统的硬件构成	217
7.4.1	开发语言和工具介绍	173	9.3.1	较小规模主站系统配置	217
7.4.2	NUS 系统选线下位机软件设计	180	9.3.2	较大规模主站系统配置	219
7.4.3	NUS 系统选线上位机软件设计	182	9.4	主站系统的软件构成	222
7.4.4	NES 系统选线下位机软件设计	185	9.4.1	操作系统软件	222
7.4.5	NES 系统选线上位机软件设计	186	9.4.2	支撑软件	223
7.5	NUGS 选线方案验证实验	189	9.4.3	高级应用软件	228
7.5.1	优化模型	189	9.5	全球卫星定位系统介绍	231
7.5.2	NUS 的选线验证实验	189	9.6	要点掌握	236
7.5.3	NES 的选线验证实验	193	思考题	236	
7.6	要点掌握	197	第 10 章 配电网 SCADA 系统	237	
思考题	199	10.1	配电网 SCADA 系统的特点	237	
第 8 章 远方抄表与电能计费系统	200	10.2	配电网 SCADA 系统组织的基本方式	238	
8.1	电能表的发展和现状	200	10.2.1	配电网 SCADA 系统测控对象	238
8.2	抄表计费的几种方式	201	10.2.2	区域站的设置方法	238
8.3	预付费电能计费方式	202	10.2.3	体系结构	239
8.3.1	预付费电能表的种类及特点	202	10.3	配电网 SCADA 系统的功能	240
8.3.2	采用 IC 卡电能表的预付费电能计费系统	203	10.4	要点掌握	245
8.4	自动抄表技术——本地自动抄表	206	思考题	246	
8.4.1	本地自动抄表的两种数据采集方式	206	第 11 章 配电网 GIS 地理信息系统	247	
8.4.2	抄表机简介	207	11.1	概述	247
8.4.3	国内主流抄表机型实例——振中 TP900 系列抄表机	207	11.2	GIS 的发展	247
8.5	自动抄表技术——远程自动抄表	208	11.3	GIS 在电力行业的应用现状及难点	249
8.5.1	远程自动抄表的含义及发展	208	11.4	GIS 的组成	250
8.5.2	远程自动抄表系统的组成	208	11.5	GIS 功能的实现方法	252
			11.5.1	国内 GIS 软件介绍	252

11.5.2 国外 GIS 软件介绍	254	13.3 配电自动化系统体系结构	280
11.6 AM/FM/GIS 的离线、在线实际应用	255	13.4 配电自动化 SCADA 系统	282
11.6.1 AM/FM/GIS 在配电网中离线方面的应用	256	13.4.1 网络安全方案	282
11.6.2 AM/FM/GIS 在配电网中在线方面的应用	257	13.4.2 系统硬件配置	282
11.7 GIS 的功能演示案例	257	13.4.3 软件系统结构	283
11.8 要点掌握	261	13.4.4 配电 SCADA 功能	284
思考题	262	13.5 配电自动化通信系统	286
第 12 章 负荷控制和管理系统	263	13.6 馈线自动化解决方案	288
12.1 负荷控制和管理的概念及经济效益	263	13.7 配电地理信息管理功能	291
12.2 负荷特性优化的主要措施	264	13.8 配电自动化高级应用软件	294
12.2.1 经济措施	264	13.9 视频监控系統	295
12.2.2 行政措施	265	13.9.1 系统配置	295
12.2.3 宣传措施	266	13.9.2 系统说明	296
12.2.4 技术措施	266	第 14 章 实验部分	298
12.3 负荷管理系统的发展过程	268	14.1 电力系统综合实验方案一	298
12.4 负荷控制系统的基本结构和功能	269	14.1.1 实验系统简介	298
12.4.1 负荷控制终端	269	14.1.2 单台实验系统的实验	299
12.4.2 负荷控制中心	272	14.1.3 多台实验系统联网的实验	306
12.5 各种负荷控制系统原理及比较	273	14.1.4 设备清单	312
12.5.1 负荷控制系统的分类	273	14.2 电力系统综合实验方案二 (供电部分)	314
12.5.2 GSM/GPRS 公用通信电力负荷控制系统	273	14.2.1 实验系统简介	314
12.5.3 无线电电力负荷控制系统	274	14.2.2 实验系统外观	314
12.5.4 音频电力负荷控制系统	277	14.2.3 单台实验系统的实验	316
12.5.5 配电线载波电力负荷控制系统	277	14.2.4 多台实验系统联网的实验	317
12.5.6 工频电力负荷控制系统	277	14.2.5 设备清单	321
12.5.7 有线电话电力负荷控制系统	278	14.3 电力系统综合实验方案三 (电力系统综合自动化部分)	323
12.6 要点掌握	278	14.3.1 系统简介	323
思考题	278	14.3.2 系统组成	324
第 13 章 配电自动化的实际案例	279	14.3.3 实验内容	325
13.1 概述	279	14.4 应用实例——TQGD-Ⅱ工厂供电及配电自动化实验培训系统	326
13.2 配电自动化的主要功能	280	14.4.1 概述	326
		14.4.2 系统组成	327
		14.4.3 实验模式	329
		14.4.4 实验项目	331
		14.4.5 实验系统中主要设备的技术指标	333

14.4.6 设备实物图	334	附录 A 谐振接地系统单相接地故障选 线新方法	350
14.5 电力系统自动化及多功能继电 保护教学实验系统	336	附录 B 基于对称分量法的小电流接地系 统单相接地故障选线研究	355
自测题 1	342	附录 C 巧用小波包分解系数实现配电网 单相接地故障选线	358
自测题 2	343	附录 D 程序节选	365
自测题 1 答案	345	参考文献	368
自测题 2 答案	348		
附录	350		

第1章 绪 论

1.1 电力系统的基本概念

1.1.1 电力系统的组成

电能是现代社会的主要能源，它在国民经济和日常生活中起着极其重要的作用。一个完整的电力系统由各种不同类型的发电厂、变电站、输电线路及电力用户组成。在发电机中机械能转化为电能，变压器、电力线路输送分配电能，电动机、电炉、电灯等用电设备消费电能，在这些用电设备中，电能转化为机械能、热能、光能等。这些生产、输送、分配、消费电能的发电机、变压器、电力线路、各种用电设备联系在一起组成的统一整体就是电力系统。

1. 发电厂

发电厂将一次能源转换成电能，根据一次能源的不同，有火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂。此外，还有风力发电厂、地热发电厂和潮汐发电厂等。

火力发电厂将煤、天然气、石油的化学能转换为电能。我国火力发电厂燃料以煤炭为主，随着西气东输，将逐步扩大天然气燃料的比例。火力发电的原理是：燃料在锅炉中充分燃烧，将锅炉中的水转换为高温高压蒸汽，蒸汽推动汽轮机转动，带动发电机旋转发出电能，如图 1-1 所示。

水力发电厂将水的位能转换成电能。其原理是水流驱动水轮机转动，带动发电机旋转发电。按提高水位的方法，水力发电厂有堤坝式水电厂、引水式水电厂和混合式水电厂 3 类。堤坝式水电厂是在河流上落差较大的适宜地段拦河建坝，形成水库，抬高

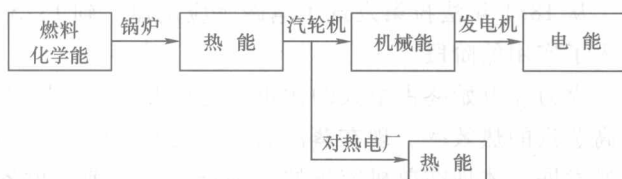


图 1-1 火力发电原理示意

上游的水位，利用上、下游形成水位差进行发电。引水式水电厂则是由引水系统将天然河道的落差集中进行发电，一般不需修坝或者只需要修低堰。水电厂建设的初期投资较大，但发电成本低，仅为火力发电成本的 $1/3 \sim 1/4$ ，并且水电属于清洁、可再生能源，利于环保，还兼有防洪、灌溉、水产养殖功能，因此，综合效益好。

核能发电厂利用原子核的核能生产电能。核燃料在原子反应堆裂变释放核能，将水转换成高温高压的蒸汽，其生产过程与火电厂基本相同。

风力发电的原理是风的动能作用在叶片上，转化为机械能推动风机风轮转动。

太阳能发电分为太阳光能发电和太阳热能发电。太阳光能发电是利用光电转换元件，如光电池直接将太阳光能转换成电能。太阳热能发电分直接转换和间接转换两种。直接转换有温差发电、热离子发电等，间接转换原理与火力发电相似。

2. 变电站

变电站的功能是接受电能、变换电压和分配电能。为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户，需将发电机电压进行多次电压变换，这个任务由变电站完成。变电站由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电站的性质和任务不同，可分为升压变电站和降压变电站。按变电站的地位和作用不同，又分为枢纽变电站、区域变电站和用户变电站，枢纽变电站在整个电力系统中起纽带连接作用，区域变电站将枢纽变电站来的电能进行再次降压处理，用户变电站接受区域变电站的电能，进行再次降压，合理分配给各个用户设备。

3. 电力线路

电力线路将发电厂、变电站和电能用户连接起来，完成输送电能和分配电能的任务。电力线路有各种不同的电压等级，通常将 220kV 及以上的电力线路称为输电线路，110kV 及以下的电力线路称为配电线路。配电线路又分为高压配电线路（110kV）、中压配电线路（35~6kV）和低压配电线路（380V/220V），前者一般作为城市配电网骨架和特大型企业供电线路，中者为城市主要配网和大中型工厂供电线路，后者一般为城市和企业的低压配网。

4. 电能用户

所有消耗电能的用电设备或用电单位称为电能用户。电能用户按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户等。

在上述介绍的电力系统中，属于配电电压等级的电力线路及相应的变电站组成的统一整体，就称为配电网（Distribution Network），也即电力系统中二次变电站低压侧直接或降压后向用户供电的网络，配电网由架空配电线路、电缆配电线路、变电站、开闭所、降压变压器等构成。配电网也正是本书的研究对象。

1.1.2 电力系统的发展简史

从 1831 年法拉第发现了电磁感应定律，到 1875 年巴黎北火车站发电厂的建立，电真正进入了实用的阶段。

火力发电始终占最大的比重。它按照热力学原理，用不断提高蒸汽温度和压力的途径来提高蒸汽的热效率。现在蒸汽温度已达 650℃，蒸汽压力已达 352atm[⊖]。汽轮发电机制造技术的发展，体现在单机容量的不断增大。目前，世界上最大的汽轮发电机是瑞士 BBC 公司为美国制造的 130 万 kW 机组，是 1972 年投入运行的。最大的火力发电厂是俄罗斯的苏尔古特第二发电厂，其中安装了 6 台 80 万 kW 的汽轮发电机组。

水电的发展是水能开发的结果，早期一般都是小型水电站，随着用电需要的增长和水电建设技术的提高，逐步向中型和大型发展。近二三十年来，由于超高压输电技术和水轮发电机制造水平的提高，水电站的建设规模越来越大。目前，世界上最大的水轮发电机组是最早安装在美国大古力水电站三厂的 70 万 kW 机组，最大的水电站是巴西巴拉那河上的伊泰普水电站，装有 18 台 70 万 kW 机组，总容量为 1260 万 kW。我国正在建设的三峡水电站设计装机 26 台 70 万 kW 机组，总容量 1820 万 kW，年发电量近 900 亿 kW·h，将是世界上最大的水电站。另外，装机 6 台 70 万 kW 的三峡地下电站也在计划中。全部完工后，三峡水电站的总装机容量将达 2240 万 kW。

⊖ 1atm = 101325Pa。

核电的发展大致可分为 3 个阶段:

20 世纪 50 年代中期到 60 年代初期为试验阶段 (1954 ~ 1960 年), 这一阶段主要是反应堆选型。通过试验研究, 从 20 多种堆型中遴选出几种技术经济优越的堆型。世界上第一台核电机组于 1954 年 4 月在莫斯科市近郊奥勃宁斯克核电厂投入运行。

在第二阶段 (1961 ~ 1968 年), 核电的经济性已可以与常规火电竞争, 进入商业实用阶段。

1969 年后, 核电进入工业推广阶段, 不但工业发达国家大力建设核电厂, 许多发展中国家也开始发展核动力。至 2000 年底, 世界上共有 438 座核电站, 共装机 351GW, 发电量达 2447TW · h。最大核电站是日本福岛第一沸水堆核电站, 总装机 454.6 万 kW。

1.1.3 我国电力系统的发展及现状

1882 年 7 月 26 日上海电气公司一台 12kW 的蒸汽发电机组发电, 点亮了上海南京路上 15 盏弧光灯。这是我国的第一座发电厂, 是我国电力工业的开端。

到中华人民共和国成立前夕全国发电装机容量只有 185 万 kW, 年发电量 43 亿 kW · h, 人均年用电量只有 9kW · h。

到 1978 年, 在不到 30 年的时间里, 全国发电装机容量达到 5712 万 kW, 年发电量达到 2566 亿 kW · h, 发电装机容量和发电量分别跃居世界第 8 位和第 7 位。

目前我国的电力系统已基本形成大电网、大机组、高电压输电和大区互联的格局。2004 年底发电装机容量达 4.407 亿 kW。其中, 水电 1.0826 亿 kW, 火电 3.249 亿 kW, 核电 678 万 kW, 风电 76 万 kW。发电量完成 21870 亿 kW · h, 其中, 水电 3280 亿 kW · h, 火电 18073 亿 kW · h。在发电量和装机容量方面, 从建国初期的全球第 25 位和第 21 位, 已在 2002 年均跃居为第 2 位 (仅次于美国)。另一方面, 我国电力网络的建设也取得了快速发展, 各电网中 500kV (包括 330kV) 主网架逐步形成和壮大。到 2002 年底, 500kV 线路 34939km, 330kV 线路 9723km, 220kV 线路 141889km, 35kV 及以上线路总长度为 80 万 km。

1990 年我国第一条从葛洲坝水电站至上海南桥换流站的 500kV 直流输电线路实现双极运行, 使华中和华东两大区电网实现非同期联网。从此, 我国大区电网的互联工作正逐步展开。目前, 东北与华北联网工程已基本建成; 华东与福建通过两回 500kV 高压线路实现互联; 川渝电网已正式并入华中电网; 山东电网与华北实现互联; 华北与华中、华中与西北、西北与川渝联网项目的前期工作按计划进行。到三峡建成以后, 它将向华中、华东和华南电网送电, 促进全国联网的实现。

我国的发电技术制造水平近年来得到提高, 国内已经可以批量生产 30 万 kW 和 60 万 kW 机组, 60 万 kW 超临界机组也正在合作制造, 合作建造 25MPa/600℃ 超临界 100 万 kW 机组的技术方案已经确定。

1991 年投产的秦山核电厂的第一台 30 万 kW 的核电机组是我国自己设计和建造的, 它结束了中国内地无核电的历史。随后, 秦山第二核电厂、秦山第三核电厂、大亚湾核电厂和岭澳核电厂相继投产, 至 2004 年底, 核电机组的总容量已达 700 万 kW。

我国的电源开发方针是大力开发水电, 优化发展煤电, 积极发展核电, 适度发展天然气发电, 加快新能源发电。2005 年全国发电装机容量已达到 5 亿 kW, 到 2020 年将超过 10 亿

kW。

我国水能资源居世界首位，理论蕴藏量 6.76 亿 kW，年发电量 5.92 万亿 kW·h，其中可开发装机容量 3.78 亿 kW，年发电量 1.92 万亿 kW·h，居世界首位。但能源分布极不均匀，水能资源大部分集中在西南、中南和西北地区，仅四川和云南两省的可开发装机容量就达 1.6 亿 kW，约占全国的 43%。煤炭能源集中在华北和西北地区，而能源消耗却相对集中在经济发达的东部沿海地区，仅上海、江苏、广东等 7 个省、直辖市的电力消费就占全国电力消费总量的 37%。因此“西电东送、南北互供、全国联网”是我国电网的发展战略。

1.2 配电管理系统

1.2.1 配电管理系统的一些基本概念

现代电力系统大致可以分为发电、输出、配电三大部分。在电力系统的各环节中，配电网作为末端直接和用户相连，具有的特点：深入城市和居民密集点；传输功率和距离一般不大；供电容量、用户性质、供出质量和可靠性各不相同。配电网能敏锐地反映用户在安全、优质、经济等方面的要求。据统计全国发电量的 85% 是通过 35 ~ 110kV 配电网输送给用户的，配电网按供电区可分为城市配电网、农村配电网等。城市配电网容量较大，大约 200 ~ 300MV·A，供电负荷相对集中，供电环境比较好；而农村配电网容量较小，一般在 100 ~ 200MV·A，供电范围大，线路基础条件较差，影响供电可靠性和安全性的不利因素较多。

中国电机工程学会城市供电专业委员会起草的《配电系统自动化规划设计导则》给配电系统自动化作了比较明确的定义：所谓配电系统自动化，是利用现代电子、计算机、通信及网络技术，将配电网在线数据和离线数据、配电网数据和用户数据、电网结构和地理图形进行信息集成，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监测、保护、控制、用电和配电管理的现代化。

配电自动化系统中涉及的一些基本概念如下：

(1) 配电管理系统

配电管理系统 (Distribution Management System, DMS) 是变电、配电到用电过程的监视、控制和管理的综合自动化系统。其内容包括配电网数据采集和监控 (SCADA)、配电地理信息 (GIS)、需方管理 (DSM)、高级应用、调度员仿真调度、故障呼叫服务系统和工作管理系统几个部分。

(2) 配电自动化系统

配电自动化系统 (Distribution Automation System, DAS) 是在远方以实时方式监视、协调和操作配电设备的自动化系统。其内容包括配电网数据采集和监控 (SCADA)、配电地理信息系统 (GIS) 和需方管理 (DSM) 几个部分。

(3) 配电网数据采集和监控

配电网数据采集和监控 (Supervisor Control And Data Acquisition, SCADA) 系统采集安装在各个配电设备处的终端单元上报的实时数据，并使调度员能够在控制中心遥控现场设

备,它一般包括数据库管理、数据采集、数据处理、远方监控、报警处理、历史数据管理以及报表生成等功能。SCADA包括配电网进线监控、配电变电站自动化、馈线自动化和配变巡检及低压无功补偿四个组成部分。

配电网进线监控一般完成对供电线路(主变电站向配电网)的开关位置、保护动作信号、母线电压、线路电流、有功和无功功率以及电能量的监控。这些数据通常可以采用转发的方式从地调度或市区调度自动化系统中获得。

配电所变电站自动化(Substation Automation, SA):包括配电所、开闭所自动化。它是利用现代计算机技术、通信技术将变电站的二次设备(包括测量仪表、信号系统、继电保护、自动装置和运动装置等)经过功能组合和优化设计,利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信号处理技术,实现对全变电站的主要设备和输、配电线路的自动监视、测量、自动控制和微机保护,以及与调度通信等综合性的自动化功能。实现变电站的自动化就取消了常规的监视和测量仪表控制屏。

馈线自动化(Feeder Automation, FA)包括故障自动隔离和恢复供电系统,馈线数据检测和电压、无功控制系统。主要是在正常情况下,远方实时监视馈线分段开关与联络开关的状态及馈线电流、电压情况,并实现线路开关的远方分合闸操作,以优化配电网的运行方式,从而达到充分发挥现有设备容量的目的;在线路故障时,能自动记录故障信息、自动判别和隔离馈线故障区段以及恢复对未故障区段的供电,从而达到减小停电面积和缩短停电时间的目的。

配变巡检及低压无功补偿是指对配电网中箱式变电站、变台等的参数进行远方监控和低压补偿电容器的自动投切和远方投切等,从而达到提高供电质量的目的。

(4) 需求侧管理

需求侧管理(Demand Side Management, DSM)是指在政府法规和政策的支持下,采取有效的激励措施和引导措施以及适宜的运作方式,通过发电公司、电网公司、能源服务公司、社会中介组织、产品供应商、电力用户等共同协作,提高终端用电效率和改变用电方式,在满足同样用电功能的同时,减少电量消耗和电力需求,达到节约资源和保护环境的目的,实现社会效益最好、各方受益、最低成本能源服务所进行的管理活动。

配电自动化系统中,所涉及的内容主要包括负荷监控与管理(Load Control&Management, LCM)和远方抄表与计费自动化(Automatic Meter Reading, AMR)。

LCM是根据电力系统的负荷特性,以某种方式削减、转移电网负荷高峰期的用电或增加电网负荷低谷期的用电,以达到改变电力需求在时序上的分布,减少日或季节性的电网高峰负荷,以期提高电网运行的可靠性和经济性。对规划中的电网主要是减少新增装机容量和电力建设投资,从而降低预期的供电成本。

AMR是一种不需要人员到达现场就能完成抄表的新型抄表方式。它是利用公共电话网络、负荷控制信道或低压配电线载波等通信方式,将电能表的数据自动采集到计算机电能计费管理中心进行处理。它不仅适用于工业用户,也可用于居民用户。应用于远程自动抄表系统的电能表是在普通电能表内增加一个自动抄表单元,其中包含电量采集发送装置和通信模块。

(5) 配电网地理信息系统

配电网地理信息系统(AM/FM/GIS)是自动绘图(Automatic Mapping, AM)、设备

管理 (Facilities Management, FM)、地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 的总称,它是配电系统自动化的基础。

AM 一般是用数字化仪器将以城市街区地图为背景的配电网接线图及供电区域,按一定的规定输入到计算机中,形成一种由数据支持的可检索的配电网地理位置数字地图。

FM 是利用数字化地图及其数据库,进行配电设备的管理。

GIS 是为了获取、存储、检索、分析与显示空间定位数据而建立的计算机数据库管理系统。

(6) 其他系统包括高级应用,如网络分析和优化 (Network Analysis, NA) 以及调度员培训模拟系统 (Dispatcher Training System, DTS),工作管理系统 (Work Management System, WMS)。

1.2.2 当前配电管理系统存在的问题

当前配电管理系统存在的问题主要有:

(1) 配电网基础数据缺乏完整性、及时性和共享性

由于配电网接线复杂,变化频繁,配电设备数量多,覆盖面广,基础数据的信息量非常庞大。近年来计算机技术已大量应用于各个领域,这都需要将这些数据集成为基础数据,以便综合应用。但现行系统只对部分数据进行管理,还有许多没有参与到配电管理系统中去,应用数据缺乏完整性。另外,随着城市的飞速发展和客户的业务扩大增容,配电网不断扩大,使得这些变动数据的收集和更新困难,导致数据的现实性不强,从而限制了配电网综合管理决策功能的正常发挥。

现行配电管理系统大多数都是孤立的系统,没有形成网络共享数据,其功能比较单一,有的甚至重复建立数据库,这样造成了数据准确性低,冗余大,易导致数据的不一致,数据处理和传递的速度慢,存储和查询不便,费时费力,工作效率低,无法深加工(数据挖掘)。

(2) 与地理信息系统相结合有待发展

配电网直接联系着用户,配电网的线路、设备都与所在的地理环境密切相关。配电地理信息是 GIS 在配电网管理方面的应用,是在二维或三维地理图上对配电网的变电站、配电站站内设备及配电网设备上设备(如断路器、隔离开关、变压器等)进行综合管理及实时监控的系统,从而将网络拓扑和配电网信息相结合,使之更形象直观、更便于运行管理。目前,GIS 在配电网中的应用范围虽在拓宽,但在辅助调度决策、实时信息处理及高级应用分析等方面还需要加大研究和开发力度。

(3) 缺乏计算机辅助决策的功能

由于数据缺乏完整性、一致性、及时性和共享性,从而影响了系统信息集成和综合管理。限制了系统综合管理和支持决策功能的正常发挥,因此多源信息的综合处理能力比较差,不能更好地达到计算机管理辅助决策的目的。

总之,要满足系统的要求,必须逐步解决存在的问题。配电管理系统必须是由计算机网络、大型数据库、地理信息系统、配电网管理应用软件组成的一个分布式的、开放式的、模块化可扩充的系统。