



普通高等教育电气工程与自动化(应用型)“十二五”规划教材

**Power Distribution  
Network and Automation System**

# 配电网和 配电自动化系统

© 董张卓 王清亮 黄国兵 编著



**机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十二五”规划教材

# 配电网和配电 自动化系统

董张卓 王清亮 黄国兵 编著

机械工业出版社

本书为普通高等教育电气工程与自动化类（应用型）“十二五”规划教材中的一本。本书系统地阐述了配电网和配电自动化系统的组成、功能以及工程应用知识。全书共分10章，主要内容包括：配电网的结构、主要一次设备、配电自动化的组成；智能测控单元的构成、工作原理；通信的基本概念和配电自动化系统常用的通信技术；馈线自动化系统；变电站自动化；调度主站系统的软硬件组成；需求侧管理支持系统等。

本书在描述配电网和配电自动化原理与技术的同时，力求紧密结合实际，紧跟新技术的发展，力争做到内容系统，理论联系实际。本书是一本具有较强系统性、先进性和实用性的教材，可作为高等学校电气工程及其自动化专业的专业课教材，也可供从事配电系统设计、开发、运行、维护等工作的技术人员参考。

## 图书在版编目（CIP）数据

配电网和配电自动化系统/董张卓，王清亮，黄国兵编著. —北京：机械工业出版社，2014.7

普通高等教育电气工程与自动化（应用型）“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-111-46740-3

I. ①配… II. ①董…②王…③黄… III. ①配电系统—自动化系统—高等学校—教材 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 101003 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）

策划编辑：王雅新 责任编辑：王雅新 吴冰

版式设计：赵颖喆 责任校对：张晓蓉

封面设计：张静 责任印制：刘岚

涿州市京南印刷厂印刷

2014年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23.25印张·563千字

标准书号：ISBN 978-7-111-46740-3

定价：45.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 普通高等教育电气工程与自动化 (应用型)“十二五”规划教材 编审委员会委员名单

主任委员：刘国荣

副主任委员：张德江 梁景凯 张元 袁德成 焦斌 吕进

胡国文 刘启中 汤天浩 黄家善 钱平 王保家

委员 (按姓氏笔画排序)：

丁元明 马修水 王再英 王军 叶树江 孙晓云

朱一纶 张立臣 李先允 李秀娟 李海富 杨宁

陈志新 周渊深 尚丽萍 罗文广 罗印升 罗兵

范立南 娄国焕 赵巧娥 项新建 徐建英 郭伟

高亮 韩成浩 蔡子亮 樊立萍 穆向阳

# 前 言

我国把电能安全提高到涉及国家安全的高度来认识。配电网是电力系统的一个重要环节，网架结构的合理性和自动化的程度，决定供电质量的高低及供电可靠性程度。随着经济的发展及智能电网研究和应用的深入，很多新的技术将要在配电网中得到应用，新一轮配电自动化研究和建设的高潮将兴起。

电气工程及其自动化专业的毕业生应适应未来电力系统发展的要求，对配电网构成和配电自动化的基础知识和理论有一定的认识。目前，电气工程及其自动化专业的教学体系，缺乏针对配电网、配电设备的教学内容，加之大部分的著作或教材，以配电网和配电设备为论述对象，或以配电自动化系统为对象。因此，编著者在教学过程中发现学生缺乏对配电设备和配电网的认识，在讲解配电自动化系统时，由于学生们缺少对配电网的认识，造成教学效果打折扣。本书以配电网和配电自动化为核心，使学生掌握配电网、配电设备及配电自动化系统的工作原理为目标，为学生毕业后从事相关领域的工作打好必要的基础。

配电网和配电自动化是一个涉及多种学科的综合技术，是一门快速发展中的技术，教学的目的是帮助学生打下一个良好的基础。因此，本书的编写原则是注重理论联系实际，在教授学生基础理论知识的基础上，引出配电网运行过程中存在的问题，给学生留下思考问题的空间并适当介绍一些前沿的配电网自动化知识。

在配电网和配电自动化系统中，配电网是对象，自动化系统是对配电网实施自动化。配电网是分布在一个地域范围内的系统，因此，配电自动化系统是一个分布式的自动化系统。本书第1章对配电网及配电自动化发展过程及概况进行了回顾，使读者能从中了解配电网及配电自动化技术的发展，了解配电自动化系统建设的难点。第2章对配电网中的一般电气设施构成、性能等进行汇总、描述。第3章给出目前常用配电网的电气主接线结构，以及配电网运行的特点，并对配电网运行过程中容易出现的问题进行了论述。第4章论述现代智能电子设备的组成及原理。第5章给出了通信的基本概念和通信原理。第6章给出了配电自动化常用的通信技术和组网方法，以及实现远程通信的通信协议。第7章在介绍了常用馈线开关设备功能和原理基础上，描述了就地模式的馈线自动化系统；在介绍了配电自动化终端设备的基础上，描述了远程控制模式的馈线自动化。第8章描述了常规的变电站自动化系统和数字化自动化系统。第9章介绍了配电自动化系统调度中心的计算机网络结构，和常规的调度中心软件结构。第10章对目前的需求侧管理理念和方法进行总结，给出了需求侧管理支持系统组成及其功能，以及系统中应用各类终端的结构和功能，结合需求侧管理系统通信组网的特点，对超短波数传电台及其组网和通用分组无线业务技术从应用角度进行了汇总；给出了一个企业内部实施需求侧管理支持系统的架构。

配电网和配电自动化技术是一门涉及面宽泛的综合性技术，本书所述内容在给本科

生开课过程中，可根据学生的具体情况和该校的教学体系有所剪裁。第1、3、4、5、6、7章作为必修部分，其余部分酌情而定。

本书第3章由王清亮副教授编写，第4章由黄国兵副教授编写，其余由董张卓教授编写，并由董张卓完成了全书的统稿及定稿。

由于新技术总是在不断地发展，加之作者的水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请专家和读者批评指正。

**编著者**

# 目 录

## 前言

第1章 概述	1	2.3 中压开闭所	43
1.1 电力系统和配电系统	1	2.3.1 中压开闭所的功能和作用	44
1.1.1 电力系统的组成	1	2.3.2 10kV 开闭所的基本接线及 适用范围	45
1.1.2 配电系统的运行	3	2.3.3 开闭所设备	47
1.2 配电系统的发展和现状	5	2.3.4 开闭所的自动化装置	47
1.3 中压配电网特点	9	2.3.5 开闭所所用电源	48
1.4 配电自动化系统及其功能	11	2.4 电缆线路的开关设备 (环网柜)	49
1.4.1 配电自动化系统的架构	11	2.4.1 环网柜的作用与分类	49
1.4.2 配电终端	13	2.4.2 不同开关器件的环网柜	50
1.4.3 配电自动化系统的通信网	13	2.4.3 环网供电单元的一般形式	51
1.4.4 SCADA 系统	14	2.4.4 环网柜的基本组成元素	53
1.4.5 配电管理系统 (DMS)	15	2.4.5 环网柜中配备的主开关设备	54
1.4.6 调度员培训仿真系统 (DTS)	17	2.4.6 环网柜与配电自动化	61
1.4.7 客户呼叫系统	18	2.4.7 环网柜的发展方向	62
1.5 实施配电自动化的效益和难点	18	2.5 箱式变电站	62
1.5.1 实施配电自动化的效益	18	2.5.1 欧式箱变	64
1.5.2 建设配电自动系统的难点	19	2.5.2 美式箱变	66
1.5.3 实施配电自动化应科学规划、 分步实施	21	2.6 中压开关的操动机构	66
第2章 中压配电网中的设施和 设备	23	2.6.1 弹簧操动机构	67
2.1 电缆线路	23	2.6.2 永磁操动机构	70
2.1.1 电力电缆结构	23	第3章 配电网的结构和运行特性	73
2.1.2 电力电缆分类	28	3.1 配电网的接线方式	73
2.1.3 电力电缆的型号	28	3.1.1 高压配电网常用接线方式	73
2.1.4 终端和接头的选择	29	3.1.2 中压配电网常用接线方式	74
2.1.5 电缆敷设方式	32	3.2 配电网的运行特性	77
2.1.6 电缆线路与架空线路的比较	33	3.2.1 配电网的中性点运行方式	77
2.2 高压开关柜	34	3.2.2 非有效接地配电网的单相接地 故障分析	81
2.2.1 高压开关柜的类型	34	3.3 单相接地故障选线原理	84
2.2.2 高压开关柜的型号命名	35	3.3.1 单相接地故障选线的意义	85
2.2.3 高压开关柜的基本参数	36	3.3.2 非有效接地配电网单相接地的 主要特征	85
2.2.4 典型高压开关柜	37	3.3.3 利用稳态电气量的单相接地故障	
2.2.5 高压开关柜的“五防”	42		
2.2.6 高压开关设备的发展	43		

选线方法 .....	86	输入通道 .....	133
3.3.4 利用暂态电气量的单相接地故障 选线方法 .....	88	4.5.3 事件顺序记录 .....	134
3.3.5 多种选线方法的融合 .....	90	4.5.4 开关量信号去抖动处理 .....	134
3.3.6 选线装置的起动方案 .....	91	4.5.5 开关量采集的算法和流程 .....	134
3.3.7 单相接地故障选线的难点 .....	91	4.6 遥控通道和信息处理 .....	136
3.4 配电网弧光过电压 .....	92	4.6.1 遥控过程 .....	136
3.4.1 弧光过电压的物理过程 .....	93	4.6.2 遥控出口通道的组成 .....	137
3.4.2 弧光过电压的危害 .....	94	4.6.3 设计案例:一种单受控对象遥控 出口通道 .....	138
3.4.3 弧光过电压的影响因素 .....	94	4.6.4 防遥控误出口的措施 .....	139
3.4.4 弧光过电压的消除与抑制 .....	95	<b>第5章 通信和数字通信</b> .....	142
3.4.5 消弧接地开关装置 .....	96	5.1 基本通信模型 .....	142
3.5 配电网谐振过电压 .....	97	5.1.1 信息、消息和电信号 .....	142
3.5.1 谐振过电压分类 .....	97	5.1.2 通信系统一般模型 .....	143
3.5.2 线性谐振过电压 .....	98	5.1.3 模拟通信系统模型 .....	144
3.5.3 铁磁谐振过电压 .....	100	5.1.4 数字通信系统模型 .....	144
<b>第4章 智能电子设备的基本原理</b> .....	106	5.1.5 数字通信系统和模拟通信系统 比较 .....	145
4.1 智能电子设备的结构和功能 .....	106	5.2 数字基带信号 .....	146
4.1.1 组成结构 .....	106	5.2.1 码元和码元序列 .....	146
4.1.2 主要功能 .....	106	5.2.2 数字基带信号和编码波形 .....	147
4.2 模拟量的采集与处理 .....	108	5.3 数字通信系统的主要性能 指标 .....	149
4.2.1 模拟量的采样原理 .....	108	5.4 香农定理 .....	150
4.2.2 IED 和电力系统连接 .....	117	5.4.1 信道带宽与香农定理 .....	150
4.2.3 交流信号采样通道的构成 .....	120	5.4.2 信道容量与香农定理 .....	150
4.2.4 设计案例:一种基于 ADS8365 的 三相四线交流信号采样通道 .....	121	5.5 数字通信系统的分类 .....	151
4.2.5 交流采样电路设计时需要注意的 关键技术 .....	124	5.6 数字通信同步 .....	153
4.3 常用交流采样算法 .....	124	5.7 数字通信系统的调制与解调 .....	156
4.3.1 一点采样算法 .....	125	5.8 差错控制措施 .....	160
4.3.2 两点采样算法 .....	125	5.8.1 差错控制方式 .....	161
4.3.3 方均根算法 .....	125	5.8.2 差错控制编码原理 .....	161
4.3.4 傅里叶算法 .....	126	5.8.3 差错控制编码的检错和纠错 能力 .....	163
4.3.5 现代交流采样算法 .....	126	5.8.4 常用的线性编码 .....	163
4.4 模拟量采样处理方法 .....	127	5.9 循环码 .....	167
4.4.1 越限判别及越限呆滞区 .....	127	5.9.1 循环码的定义和性质 .....	168
4.4.2 零漂抑制与越死区发送 .....	128	5.9.2 系统码形式的循环码和缩短 循环码、陪集码 .....	172
4.4.3 数字滤波 .....	128	5.9.3 用软件方法实现循环码的编码 .....	174
4.4.4 标度转换 .....	130	5.10 通信多路复用技术 .....	176
4.5 开关量采集与处理 .....	131		
4.5.1 开关量采集通道的构成 .....	131		
4.5.2 设计案例:一种八通道开关量			



<b>第 6 章 配电自动化系统通信和通信协议</b> .....	179	<b>7.3 就地模式的馈线故障隔离和恢复</b> .....	248
6.1 RS232C、RS485 接口 .....	179	7.4 配电自动化终端单元 .....	255
6.1.1 RS232C 串行接口 .....	179	7.4.1 馈线终端单元 .....	255
6.1.2 RS485 接口 .....	183	7.4.2 变压器终端单元 .....	260
6.1.3 通用异步收发器 .....	185	7.4.3 站所终端单元 .....	263
6.1.4 RS232C、RS485 接口的实现 .....	186	7.4.4 配电子站(区域站) .....	266
6.2 以太网 .....	187	7.5 集中控制馈线自动化系统 .....	268
6.2.1 介质访问子层和 CSMA/CD 原理 .....	187	7.6 两种馈线自动化模式的评价 .....	271
6.2.2 以太网的发展过程 .....	188	7.6.1 集中式智能馈线自动化 .....	271
6.2.3 交换机 .....	189	7.6.2 就地控制模式 .....	272
6.2.4 交换式以太网 .....	190	7.6.3 两种馈线自动化模式评价 .....	272
6.2.5 以太网的帧格式 .....	190	<b>第 8 章 变电站自动化系统</b> .....	274
6.3 现场总线 .....	191	8.1 变电站综合自动化系统 .....	274
6.3.1 现场总线概况 .....	191	8.1.1 传统变电站自动化系统 .....	274
6.3.2 控制局域网总线 .....	192	8.1.2 变电站综合自动化 .....	275
6.4 光纤通信 .....	193	8.1.3 变电站综合自动化的基本特征 .....	276
6.4.1 光纤通信系统的通信体系 .....	195	8.1.4 变电站综合自动化的功能 .....	277
6.4.2 SDH 的基本网元 .....	198	8.2 变电站综合自动化系统的结构 .....	281
6.4.3 SDH 通信组网 .....	200	8.2.1 变电站中压保护测控装置 .....	281
6.4.4 电力用特种光缆 .....	202	8.2.2 通信管理机(网关) .....	282
6.5 无源光以太网 .....	203	8.2.3 站控层 .....	284
6.5.1 EPON 网络的结构 .....	203	8.2.4 变电站综合自动化系统典型结构 .....	285
6.5.2 EPON 的工作原理 .....	204	8.2.5 变电站综合自动化系统的指标 .....	289
6.5.3 帧结构和工作过程 .....	205	8.3 电子式互感器及合并单元 .....	290
6.5.4 设备的基本功能和性能 .....	206	8.3.1 电子式互感器 .....	291
6.5.5 EPON 在配电自动化系统的应用 .....	207	8.3.2 合并单元 .....	294
6.6 电力自动化系统的通信协议 .....	208	8.4 IEC 61850 标准和变电站自动化模型 .....	296
6.6.1 循环式协议(CDT) .....	209	8.4.1 变电站自动化系统 .....	296
6.6.2 IEC 60870-5-101 远动通信协议 .....	215	8.4.2 IEC 61850 系列标准 .....	297
6.7 配电网自动化系统中的通信 .....	228	8.4.3 变电站自动化系统的逻辑结构 .....	299
<b>第 7 章 馈线开关设备及馈线自动化</b> .....	232	8.4.4 变电站自动化系统和变电站综合自动化系统的结构差异 .....	301
7.1 重合器 .....	232	8.4.5 数字化变电站的基本概念 .....	302
7.1.1 重合器及其特点 .....	232	8.4.6 智能 IED 设备的对象模型 .....	305
7.1.2 重合器的结构 .....	234	8.4.7 IED 通信模型 .....	305
7.1.3 重合器的基本技术参数 .....	234	8.4.8 配置信息的描述 .....	306
7.2 配电线路分段器 .....	241	<b>第 9 章 配电调度主站</b> .....	308
7.2.1 电压-时间型分段器 .....	241		
7.2.2 过电流脉冲计数型分段器 .....	243		
7.2.3 V-I-T 型自动分段器 .....	245		
7.2.4 用户分界负荷开关 .....	246		

9.1 配电调度主站概况 .....	308	10.2.1 电力用户的分类和管理方式 .....	334
9.1.1 配电调度主站组成 .....	308	10.2.2 用户用电信息采集系统的 架构 .....	343
9.1.2 配电调度主站的硬件 .....	309	10.2.3 负荷特性分析 .....	347
9.2 配电调度主站的支持软件 .....	314	10.2.4 系统技术指标 .....	348
9.2.1 操作系统 .....	314	10.3 数传电台 .....	348
9.2.2 关系式数据库系统 .....	316	10.4 GPRS 通信 .....	351
9.3 主站系统的应用软件 .....	317	10.4.1 GSM 和 GPRS 通信网的基本 组成 .....	351
9.3.1 前置机软件 .....	317	10.4.2 支持 GPRS 的用户终端 .....	353
9.3.2 人机界面软件 .....	319	10.4.3 GPRS 组网 .....	354
9.3.3 支持软件 .....	320	10.4.4 GPRS 网络传输安全性 .....	355
9.3.4 服务软件 .....	321	10.4.5 GPRS 通信实时性 .....	356
9.3.5 配电 GIS 子系统 .....	322	10.5 大、中型企业的 PDSM 和技术 支持系统 .....	356
9.3.6 计算分析软件 .....	323	10.5.1 应用 PDSM 技术的基本手段 .....	356
9.4 配电调度系统主要功能 .....	328	10.5.2 一个企业的用电管理系统 .....	357
9.4.1 配电网 SCADA 功能 .....	328	<b>参考文献</b> .....	360
9.4.2 应用软件功能 .....	329		
<b>第 10 章 电力需求侧管理支持系统</b> .....	330		
10.1 电力需求侧管理 .....	330		
10.2 电力用户用电信息采集系统 .....	334		

# 第 1 章 概 述

安全可靠、优质、经济地供电是现代社会对电力系统的基本要求。随着电力改革和电力市场的完善，电力作为一种特殊的商品，生产和消费过程受政府监督。现代高技术、高精密的装备对电能质量也提出了更高的要求。电力供应的中断要追究电力经营者的责任。

为了提高供电可靠性，配电网作为电力系统相对薄弱的环节，是电力经营者必须考虑的方面，提高配电网装备水平和自动化水平，是现代社会的需要。

配电自动化是采用现代计算机、通信、电子及软件技术与配电设备相结合，实施配电网在正常和事故状态下的运行监视、控制的综合自动化系统。国际上，众多先进国家开展配电系统自动化工作已有较长历史，我国从 20 世纪 90 年代末开展配电自动化系统的研究和应用。实践证明，采用配电自动化系统可以大大提高配电网的安全运行水平，提高供电质量，优化配电网的运行方式，降低线损。实施配电自动化是配电网发展的必然趋势。

## 1.1 电力系统和配电系统

### 1.1.1 电力系统的组成

电力系统是由发电厂、输电系统、配电系统和电力用户组成的整体，是将一次能源转换成电能并输送和分配到用户的统一系统。它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置转化成电能，再经输电网、配电网将电能输送到用户，通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量，完成电能从生产到使用的整个过程。电力系统还包括保证其安全可靠运行的继电保护装置、安全自动装置、调度自动化系统和电力通信等相应的辅助系统，这些辅助设备或系统称为二次设备或系统。

由于多数发电厂与负荷中心处于不同地区，而电能无法储存，故其生产、输送、分配和消费都必须在同一时间内完成。电能生产、输送、分配和消费的设施在一定地域内有机地组成一个整体，完成整个电能的生产、消费过程。电能生产必须时刻保持与消费平衡。

图 1-1 给出了一个电力系统结构示意图，实际电网要复杂得多。一般省级电网仅接入输电网的发电厂就达到数十座，变电站达到数百座；中等规模的县级配电网，包括数千公里的配电线路，数千台配电变压器。

#### 1. 发电厂

在电力系统中，电网按电压等级的高低分层。不同容量的发电厂和负荷应分别接入不同电压等级的电网。大容量主力发电厂应接入骨干主网，较大容量的发电厂应接入较高电压的输电网，容量较小的可接入较低电压的输（配）电网。

#### 2. 输电网

输电网是电力系统中最高电压等级的电网，是电力系统中的主要网络（简称主网），起

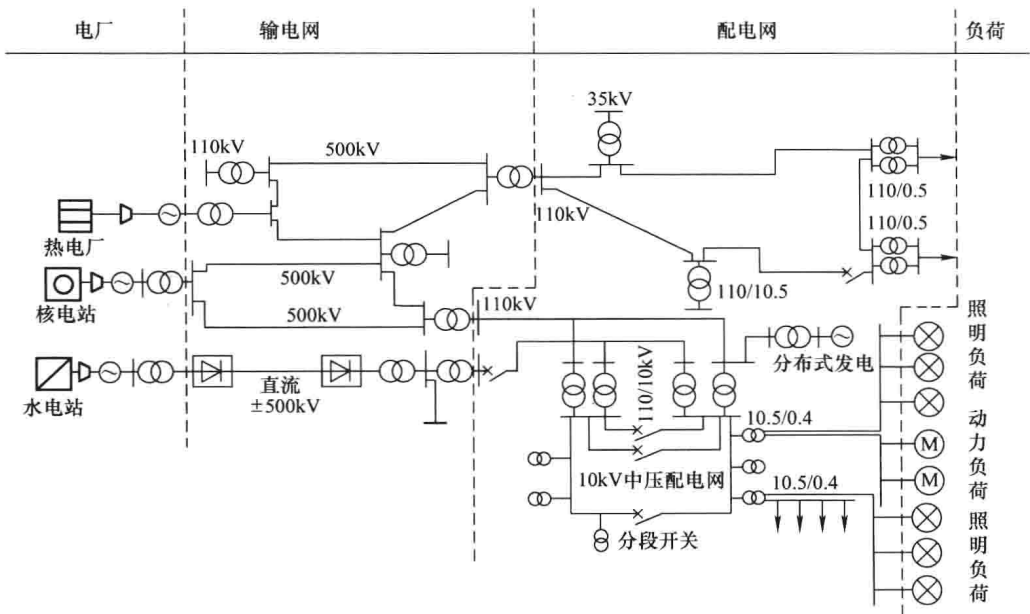


图 1-1 电力系统结构示意图

到电力系统骨架的作用，所以又称为主网架。在现代电力系统中，既有超高压交流输电，又有超高压直流输电，这种输电系统通常称为交、直流混合输电系统。输电网由厂站（发电厂升压站、变电站）和输电线路构成。厂站由变压器、开关、母线、刀开关及相关的二次设备等组成。厂站用以切断或接通、改变输电网络或者调整电压、变换电压并分配电能。

输电线路为输电通路的主要组成部分，输电网中的线路为架空电力线路。构成架空电力线路的主要部件有：导线、接闪线（简称地线）、金具、绝缘子、杆塔、拉线和基础、接地装置等。输电网中普遍采用高压架空线，从一个变电站连接到另一个变电站。

一般输电网的电压等级为 110kV 以上电压等级。目前我国西北地区输电网电压等级最高为 750kV，而东部地区采用 1000kV（500kV）作为输电的骨干电网电压等级。高压输电是为了实现低损耗长距离输电。我国资源与需求呈逆向分布，客观上需要实现能源的大范围转移。晋、陕、蒙、宁、新大型煤电基地和西南水电富集地区大型水电基地需要向能源匮乏的中东部地区远距离、大容量、低损耗输电。

输电网的功能如下：①更经济合理地利用一次能源，优化电能资源配置，实现水、火电资源的优势互补；②利用负荷的不同时性，提高发电机组的利用率，减少总的装机容量；③检修和紧急事故备用互助支援，减少备用发电容量；④提高电网运行的可靠性和供电质量。

输电系统中的变电站按电压等级分为升压变电站和降压变电站，按变电站在电网中的地位可以分为：

(1) 升压变电站 电力系统送电端变电站，将发电厂的电压升成高压，直接或通过输电线路接入输电网。

(2) 枢纽变电站 位于电力系统的枢纽点，它的电压是系统最高输电电压，目前电压等级有 220kV、500kV、330kV、750kV、1000kV。枢纽变电站和其他变电站连成环网，全站停电后，将引起系统解列，甚至整个系统瘫痪，因此对枢纽变电站的可靠性要求较高。枢纽变电站主变压器容量大，供电范围广。

(3) 中间变电站 一般汇集 2~3 个电源, 以交换潮流为主, 起到系统功率交换的作用, 或使长距离输电线路分段运行, 同时兼有降压给当地用户供电的作用(地区一次变电站), 这样的变电站全站失电压后, 将引起区域电网的解列, 造成大面积停电。

(4) 地区一次变电站 位于地区网络的枢纽点, 是与输电网相连的地区受电端变电站, 任务是直接从主网受电, 向本供电区域供电。全站停电后, 可能引起地区电网瓦解, 影响整个区域供电。电压等级一般采用 220kV、330kV、500kV、750kV 或 1000kV。地区一次变电站主变压器容量较大, 出线回路数较多, 对供电的可靠性要求也比较高。

### 3. 配电网

配电网是以地区一次变电站变压器的低压侧为分界, 将电能分配到用户的电网, 作用是将电力分配到配电变电站后再向用户供电, 也有一部分电力不经配电二次变电站, 直接分配到大用户, 由大用户的配电装置配电。

在我国配电系统中, 通常称 35~110kV 系统为高压配电系统, 6~20kV 系统为中压配电系统, 380V/220V 系统为低压配电系统。按供电区域的用电特性, 配电网可分为城市配电网、农村配电网和工厂配电网等。

一个区域配电网不与邻近区域的配电网有直接横向联系, 而是通过输电网发生联系。配电网不同电压等级的纵向联系通过逐级降压形成。配电网要避免形成电磁环网。

配电网中的主要设施有: 地区一次变电站低压侧、地区二次变电站、终端变电站、为了延伸终端变电站母线的开闭所、配电线路、配电变压器、配电负荷开关、环网柜及配网中各种二次设备等。下面给出主要配电设施:

(1) 地区二次变电站 由一次变电站高压线路供电, 将电压由高压降为中压, 由中压线路直接向本地区负荷供电的变电站, 供电范围小, 主变压器的容量与台数根据电力负荷而定。

(2) 终端变电站 从一次或二次变电站得到电能, 直接向用户供电的变电站。全站停电后, 引起终端用户停电。

(3) 开闭所 为了延伸扩展上级变电站的母线, 设置在靠近供电负荷区域, 用于接收电能并能向周围的几个用电单位供出电能的电力设施。其特征是电源进线侧和出线侧的电压相同。中压电网中的开闭所一般用于 10kV 电力的接收与分配。

(4) 配电线路 将电能分配到用户的线路, 按结构分为架空配电线路和电缆配电线路, 中压配电线路按用途分为公网配电线路和直送用户配电线路。中压架空配电线路设置分段开关和分支开关, 连接配电变压器。中压电缆配电线路上有电缆分支箱、环网柜等。

## 1.1.2 配电系统的运行

### 1. 电能生产、输送、分配及使用的特点

电能是一种特殊的商品, 它在生产、传输、分配及使用方面和其他商品相比有其明显的特殊性, 主要体现在以下几个方面:

(1) 电能是现代社会的主要二次能源 由于电能具有便于大量生产、传输和控制, 以及与其他能量转换十分方便的特点, 因此电能得到了广泛的应用, 是现代社会的最主要二次能源。电能供应不足, 严重制约国防、国民经济的各个部门和人们的日常活动。供电中断, 会造成生产、生活的混乱。

(2) 暂态过程迅速 电能生产、传输及使用过程中涉及复杂的电气过程, 由于电磁变

化快的特性，电能传输及使用过程中，其通断、控制的过程十分快捷。在电力系统受到各种扰动时，例如：由于雷击或开关操作引起的过电压，其暂态过程只有微秒到毫秒数量级；从发生故障到电力系统失去稳定性通常也只有数秒的时间；因事故而使电力系统全面瓦解的过程，造成大面积停电一般也只以分钟计。

(3) 不能大量储存 电能的生产、输送、分配和使用是在同一时刻进行的。发电设备在任何时刻所产生的电能严格等于该时刻用电设备取用的电能和输、配电过程中电能损耗之总和。因此，在电力系统发生某些故障后，由于没有电能储存手段，将可能造成局部或大面积停电。

(4) 对质量有严格的要求 电能质量主要指频率、供电电压偏移和电压波形。我国电网的额定频率为50Hz，电网运行过程中，实际频率与额定频率的偏差，反映电能的供需平衡状态。当实际频率高于额定频率，反映机组出力大，有一次能源浪费；实际频率过低，反映负荷过大，系统可能失稳，使机组无法运行。供电电压与额定电压之间有较大的偏差时，容易损坏设备，或导致生产设备减少产量或生产出废品，或者产生电压崩溃。理想的电压波形为工频正弦波，由于现代电力电子设备的大量应用，以及存在诸如电弧炉、轧钢机、矿山绞车、电力机车等各种冲击性的负荷，造成电网电流波形严重变形，进而引起电压波形变形。电压波形畸变引起电压波动、闪变、谐波、三相不对称、电压跌落、凹陷和凸起等现象，影响设备，特别是精密的电子设备和仪器的正常运行，并造成不必要的电能浪费，减少设备的寿命。

## 2. 对配电系统的运行要求

配电网是电网的重要组成部分，是保障电力“配得下、用得上”的关键环节，直接面向终端用户。配电网的故障，会引起生产的电能无法输送到用户，进而引起用户供电的中断。它的运行基本要求是安全、可靠、优质、经济。配电网运行时，这四者之间的关系是在保证安全、可靠和合格电能质量的前提下，使配电网运行处于最经济状态。

(1) 配电网运行的安全性和可靠性 配电网运行的安全性和可靠性是指配电网保证对用户的持续供电、并保证系统本身设备的安全的能力。配电网运行的基本原则，是能将输电网传输的合格电能分配给各类电力用户，为用户提供电压、频率、波形符合标准并连续不间断的电能。在供电过程中，一旦出现电力供应的中断，轻则仅造成一定的经济损失，影响生产、生活质量，重则造成人身伤亡和重大经济损失。

为了提高配电网运行的可靠性，首先，配电网必须有合理的结构，由于受遮断容量和运行方式的限制，在配电网中，大都采用“闭环结构开环运行”的方式，即网络本身是环形的，但在正常运行情况下断开其中的一些线路，使它呈辐射形（即树形），而在发生故障后，通过开关操作将失去电源的负荷转移到其他线路上去，仍然能对用户继续供电，这样可以提高配电可靠性。配电网网架结构足够合理和可靠后，为了保证配电网在正常运行和故障情况下，能及时调整或恢复用户的供电，需要采用自动化系统，例如馈线自动化系统，快速实现故障的隔离和恢复。

(2) 配电网的负荷 配电网的每个负荷点的负荷容量较小，各类负荷的负荷特性不同，有些负荷变化快且剧烈，与之配合的无功补偿设备投切就更频繁。

配电网用户明确，负荷变化随机性不强，因此停电检修、年校验、预试安排，要考虑到大用户的设备停运或检修。



虽然保证对用户的持续供电非常重要，但并不等于说所有的负荷都不能停电。一般按对供电可靠性的要求将负荷分为三级：

1) 一级负荷 对这一级负荷的中断供电，将可能造成生命危险、设备损坏，破坏生产过程，使大量产品报废，给国民经济造成重大损失，使市政、人民生活发生混乱等。

2) 二级负荷 对这一级负荷的中断供电，将造成大量减产、交通停顿，使城镇居民生活受到影响等。

3) 三级负荷 所有不属于一、二级的负荷，如工厂的附属车间、小城镇等负荷属于三级负荷。

对一级负荷要保证不间断供电；对二级负荷，如有可能，也要保证不间断供电。

(3) 配电网运行的经济性 配电网线路长、设备多，配电网的线损率达到4%~9%，通过合理安排配电网的运行方式，能够有效降低线损率。

通过无功优化，即通过无功补偿装置的设置改变网络中的无功分布，达到降低线损改善电压质量的目的。由于负荷变化的随机性，有条件可采用能分级调节或连续调节无功补偿装置，能取得更好的经济性。

改变变电站主变的运行方式，调整配电线路的配电变压器容量，使变压器运行在经济负荷区，能有效减少配电变压器的损耗。

在用户侧，开展需求侧管理，通过用户用电习惯的调整，达到电力需求在时序上的分布，转移电网的峰、谷负荷，能提高配电网运行的经济性。

(4) 用户电流波形的畸变对配电网的影响 配电网中的冲击性负荷、不对称负荷和非线性负荷是电能质量的污染源，如电弧炉、整流器、调频设备、大功率电动机等，对配电网的电压波形产生了影响，造成了电压波形的畸变。波形的畸变导致实际配电系统的运行状态偏离理想状态，供电系统的电压幅值不再保持恒定不变，三相电压出现不平衡，以及产生谐波等。

电压波形的畸变，会降低电力设备的利用率，并会加速设备绝缘老化，造成设备的损坏，以及易引起保护装置发生误动，电能计量误差过大等，造成大量的直接或间接经济损失。

## 1.2 配电系统的发展和现状

1949年，我国电网的总装机容量仅有1849MW，年发电量48亿kWh。截止2011年，全国发电装机达到10.56亿kW，其中火电7.65亿kW，水电2.3亿kW，风电4505万kW，核电1257万kW。全社会用电量达到4.69万亿kWh。比1949年装机容量增大了571倍，用电量增长977倍。除台湾外，实现了全国联网，形成了华北到华中、华东、东北、西北、南方五个主要同步电网。

作为电力系统组成部分的配电网，由于点多、面广的特点，和输电网相比，受投资和效益的影响，长期以来，配电网的发展相对滞后。城市和农村配电网在技术标准、装备水平及管理等方面存在差异，发展极度不平衡。

我国从1998年开始城乡电网以向用户提供优质可靠电能为目标的建设与改造。随着城乡电网建设与改造的完成，城乡配电网从配电网的结构、配电设备及配电自动化均有了很大的改善。城市配电网中重载线路和超载配变逐年减少，事故率大大降低，促进了城市的发

展。农村配电网也得到了快速的发展，在农村实行的户户通电和新农村电气化等民心工程广受赞誉。

配电网经过最近 10 年的建设与改造，配电网结构明显改善，供电可靠性显著提高，供电能力大幅提升，供电能力基本满足社会用电需求。部分地区进行了配电自动化的试点，到 1990 年开始城农网改造时，各个县级单位开始了县调自动化的建设。

从配电网网架、配电一次设备、配电自动化三个方面对发展过程进行总结如下：

### 1. 配电网的网架

1990 年以前，高压配电网中，除发达地区的二次变电站具备双电源联络，大部分为单电源供电，即一条高压 110kV 或 35kV 线路 T 接多座变电站。中压配电网普遍采用树形结构的架空线路，部分线路设置了油式分段开关，分支线路采用跌落式熔断器。

由于网架简陋和设备差，造成在负荷高峰时期，线路、变压器过载问题严重，事故率大大增加；出现事故需要人工去现场检修，一个简单的故障，需要检修数小时，才能恢复对用户的供电。

目前重要地区的配电二次变电站，实现了环网结构，即每一个二次变电站均有双电源供电。中压配电网根据规模、特点的不同，各配电网的规模结构也不尽相同，发展不平衡。目前城市配电网的重要负荷区域，中压配电线路通过分段器实现了馈线的分段，并实现了“手拉手”供电。农村配电网，形成多分段的辐射供电方式，个别区域实现了手拉手方式。

城市的中压配电网在繁华区域和新建区域采用电缆线路，即采用电缆线路供电。

### 2. 配电网的一次设备

一次配电设备，近 10 多年来在绝缘方式、制造工艺、设备可靠性等方面均有了质的飞跃。例如：开关设备的体积减少了 1/3 ~ 1/6；配电变压器采用非晶合金的低能耗变压器；城市架空导线普遍采用绝缘线；电缆头附件也由原现场绕包过渡到预制电缆头或冷缩工艺电缆头。

开关设备的灭弧方式，由多油断路器发展到少油断路器，进而到目前的真空、SF<sub>6</sub> 气体灭弧断路器。开断短路电流的能力由几次达到了几十次。开关操动机构，由电磁式操动机构、发展到弹簧式操动机构，以及永磁式操动机构。操动机构的性能、可靠性得到了极大的提高。多功能真空开关、智能开关逐步得到应用。

配电变压器，也随着铁磁材料由热轧硅钢片到有取向冷轧硅钢片，变压器单位损耗大大降低，产品由全部油式绝缘的产品过渡到油式和复合绝缘。干式变压器的生产比例逐年提高；油式配电变压器，20 多年来，产品已经过 4 次升级换代（S7、S9、S11、S13 系列），其空载损耗率、单耗均得到了数倍的减少，例如 1000kVA 变压器的空载损耗由 S7 系列的 4960W 降低到目前 S13 系列的 340W；冷却形式由储油柜、管式散热装置，发展到目前采用膨胀式的散热装置，体积、重量、运行时的噪声、可靠性得到了大大的提高。

目前，10kV 架空配电线路，按照全绝缘、全防护的原则进行建设。城市电力架空路线逐渐被电缆替代，城市无杆化将成为城建工作的重要组成部分。

### 3. 配电自动化

配电网的运行管理由 20 世纪 90 年代前，配电系统通过电话、完全人工方式的调度，发展到目前采用自动化技术实现配电系统的三遥监控，部分配电网实现故障自动隔离和恢复，以及调度中心采用具有地理信息系统（Geographic Information System, GIS）和配电管理系统（Distribution Management System, DMS）功能的配电调度自动化系统。配电网中的变电站



(开闭所)也已普遍采用变电站综合自动化技术,达到了无人值班的水平。

### (1) 变电站自动化发展

变电站普遍采用了变电站自动化技术,实现了从有人值班到无人值班变电站的过渡。

“变电站自动化”是将变电站中的微机保护、微机监控等装置通过计算机网络和现代通信技术集成为一体化的自动化系统。我国的变电站自动化技术,经过了四个发展阶段。

第一阶段,以 RTU 为核心的变电站自动化系统。20 世纪 80 年代以前,变电站的二次回路由继电保护、当地监控、远动装置、故障录波和测距、直流系统与绝缘监视及通信等装置组成独立的系统。各装置独立运行,缺乏协调,装置之间功能相互覆盖,部件重复配置,耗用大量的电缆。

20 世纪 80 年代,由于微机技术的发展,远动终端、当地监控、故障录波等装置相继更新换代,实现了微机化。这些微机化的设备虽然功能各异,但其数据采集、输入输出回路等硬件结构大体相似,因而统一考虑变电站二次回路各种功能的集成化自动化系统,自然受到人们的青睐。为了实现调度自动化,在各个变电站安装了 RTU。因此当时的变电站自动化系统是在 RTU 基础上加上一台以微机为中心的当地监控系统,如图 1-2 所示,这种监控系统不但未涉及继电保护,就连原有的控制屏、台仍予保留。

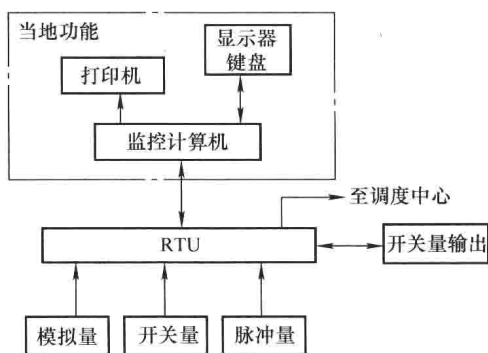


图 1-2 以 RTU 为基础的变电站自动化系统

第二阶段,20 世纪 90 年代微机保护的广泛应用。变电站自动化取得实质性的进展,研制出的变电站自动化系统以四遥主机为核心,四遥主机除完成 RTU 的功能,采集数据和发出控制命令外,通过总线和微机保护相连接,接收保护装置的各种信息和参数,投/停保护装置。这种变电站自动化系统结构如图 1-3 所示。

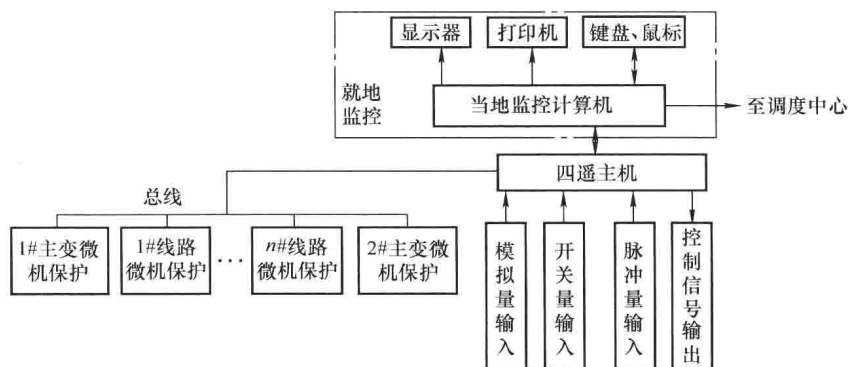


图 1-3 变电站综合自动化系统的集中式结构示意图

第三阶段,分散式变电站自动化系统的应用。20 世纪 90 年代中期,随着计算机技术、网络技术及通信技术的飞速发展,同时结合变电站的实际情况,各类以间隔为对象的微机式测控单元、保护单元或保护测控二合一装置大量研发成功,分散式变电站自动化系统纷纷投入运行。