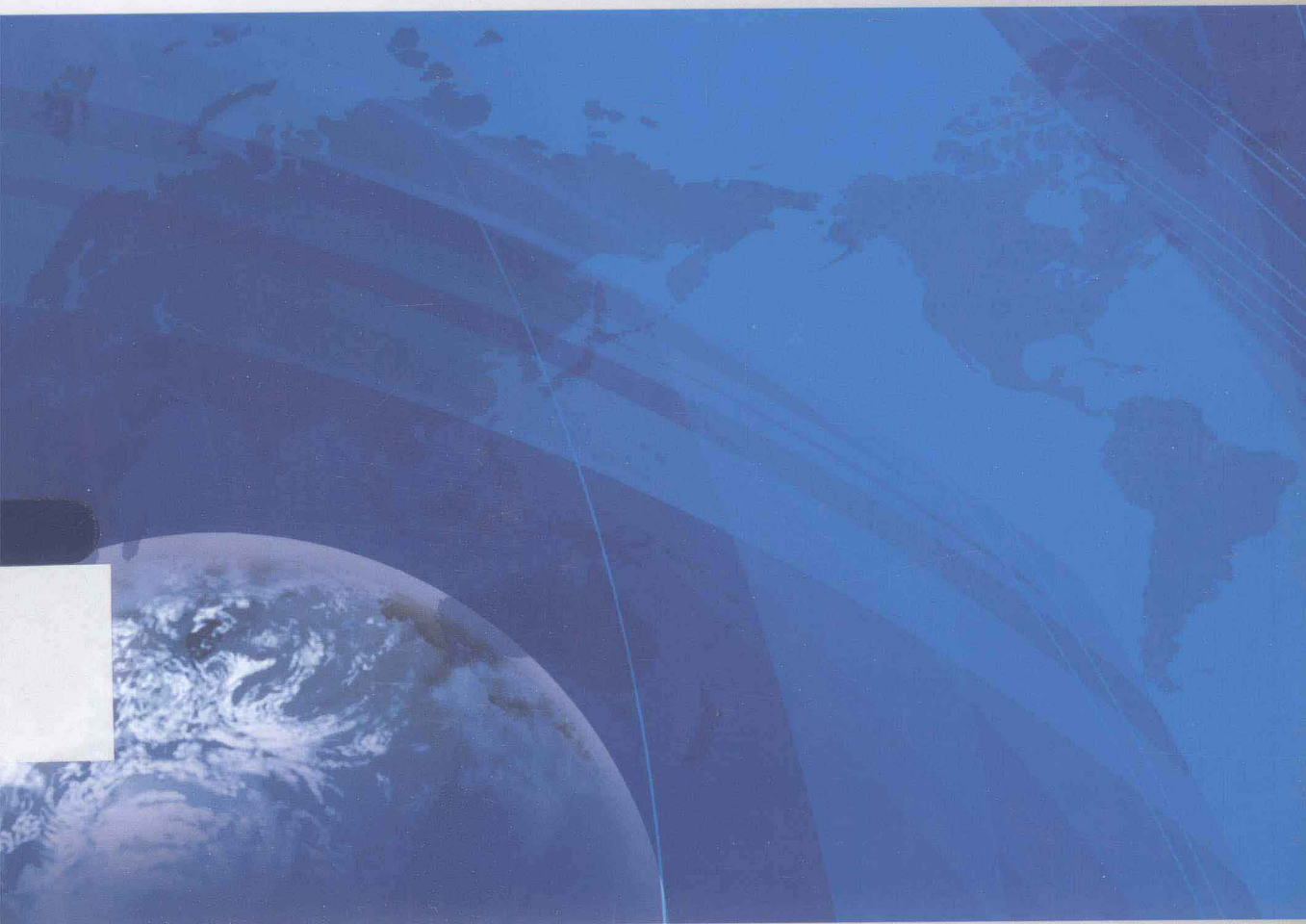


ZHINENG PEIDIANWANG

智能配电网

主 编 程利军

副主编 郭 江 唐 平 杨德先 万向阳

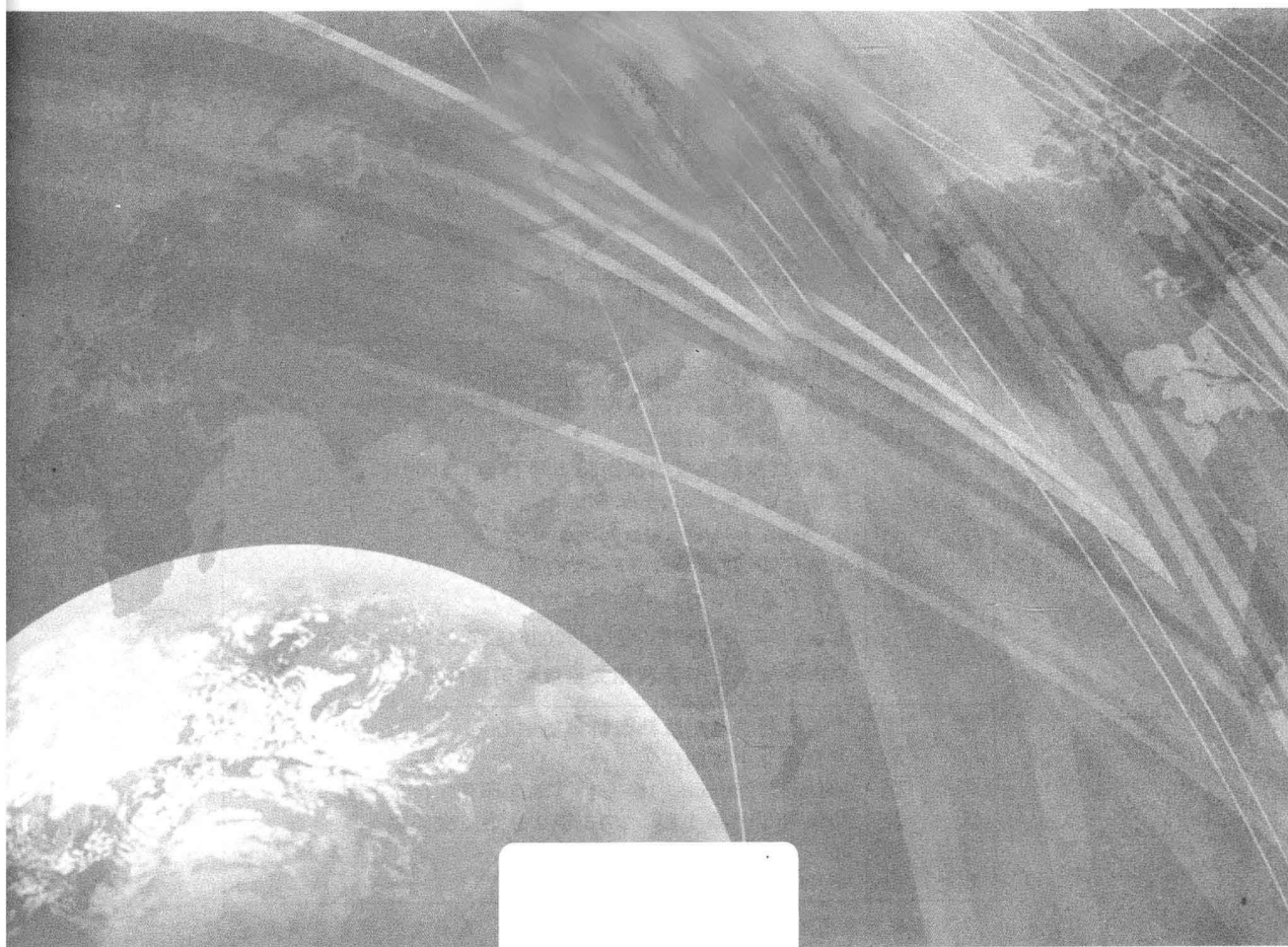


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

智能配电网

主 编 程利军

副主编 郭 江 唐 平 杨德先 万向阳



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

为实现在我国建设统一坚强智能电网的宏伟目标,建设智能配电网是其关键的一环。从配用电领域入手搭建智能电网,日益备受关注。本书较为全面地介绍了智能配电网理论及其新技术,内容新颖、前沿,既有理论知识,也有工程实践,既涵盖了国外的研究成果,也聚集了国内的最新发展。

本书共分九章,主要内容包括:智能配电网概论,配电网规划及主要技术原则,智能化开关技术,配电网通信技术,调、配一体化主站系统,智能配电装置,线路快速自愈方案,智能配电网工程实践,智能配电网其他相关技术等。

本书可供从事智能电网和智能配电网的研究、建设以及运行维护人员阅读,也可供电网企业、装备制造企业各级技术管理人员参考,还可供电气工程、自动控制等专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能配电网 / 程利军主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2013.9
ISBN 978-7-5170-1250-4

I. ①智… II. ①程… III. ①智能控制—配电系统
IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第220853号

书 名	智能配电网
作 者	主编 程利军 副主编 郭江 唐平 杨德先 万向阳
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
刷 印	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 25.5印张 605千字
版 次	2013年9月第1版 2013年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	85.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前言

美国“未来能源联盟”在2003年的智能电网工作组报告中，为智能电网下的定义是：智能电网 SG (Smart Grid) 是集成了传统的和现代的电力工程技术、高级传感和监视技术、信息与通信技术的输配电系统，具有更为完善的性能，并且能够为用户提供一系列新型服务与增值服务。由此可见，智能电网是个筐，所有现代优秀的技术成果都可以装进去。智能电网覆盖了从发电到最终用户用电的整个能源转换链。智能电网把分散的大型和小型发电商和电力用户都整合到一个总体结构中。智能电网还具有很高的透明度和灵活性，允许最终用户作为产销合一的“生产消费者”参与能源市场的活动。智能配电网 SDG (Smart Distribution Grid) 是智能电网中的配电网部分，与传统的配电网相比，SDG 具有以下功能特征：①较强的自愈能力；②具有更高的安全性；③提供更高的电能质量；④支持 DER (Distributed Electric Resources) 的大量接入；⑤支持与用户互动；⑥对配电网及其设备进行可视化管理；⑦具有更高的资产利用率；⑧实现配电管理与用电管理的信息化。智能配电网的主要技术内容包括：①配电数据通信网络；②先进的传感测量技术，如光学或电子互感器、架空线路与电缆温度测量、电力设备状态在线监测、电能质量测量等技术；③先进的保护控制技术，包括广域保护、自适应保护、配电系统快速模拟仿真、网络重构等技术；④高级配电自动化；⑤高级量测体系 AMA (Advanced Metering Architecture) 是一个使用智能电表通过多种通信介质，按需或以设定的方式测量、收集并分析用户用电数据的系统；⑥DER 并网技术，包括 DER 在配电网的“即插即用”以及微网 MG (Micro Grid) 两部分技术内容；⑦DFACS 是柔性交流输电 (FACTS) 技术在配电网的延伸，包括电能质量与动态潮流控制两部分内容；⑧故障电流限制技术，指利用电力电子、高温超导技术限制短路电流的技术。

建设智能配电网 SDG 将使配电网从传统的供方主导、单向供电、基本依赖人工管理的运营模式向用户参与、潮流双向流动、高度自动化的方向转变。随着我国 DG 建设的进展，将产生越来越明显的经济效益与社会效益，主要表现在以下 3 个方面。

(1) 实现配电网的最优运行，达到经济高效。DG 应用先进的监控技术，

对运行状况进行实时监控并优化管理，降低系统容载比并提高其负荷率，使系统容量能够获得充分利用，从而可以延缓或减少电网一次设备的投资，产生显著的经济效益和社会效益。

(2) 提供优质可靠电能，保障现代社会经济的发展。SDG 在保证供电可靠性的同时，还能够为用户提供满足其特定需求的电能质量；不仅可以克服以往故障重合闸、倒闸操作引起的短暂供电中断，而且可以消除电压聚降、谐波、不平衡的影响，为各种高科技设备的正常运行、为现代社会与经济的发展提供可靠优质的电力保障。

(3) 推动新能源革命，促进环保与可持续发展。传统的配电网的规划设计、保护控制与运行管理方式基本上不考虑 SER 的接入，而且为不影响配电网的正常运行，现有的标准或运行导则对接入的 DER 的容量及其并网点的选择都做出了严格的限制，制约了分布式发电的推广应用。

SDG 具有很好地适应性，能够大量地接入 DER 并减少并网成本，极大地推动可再生能源发电的发展，大大降低化石燃料使用和碳排放量，在促进环保的同时，实现电力生产方式与能源结构的转变。

我国的配电网自动化系统建设还处于起步和探索阶段。建立一个具有可靠性、经济性、实用性、自愈性的智能配电系统是电力系统自动化技术发展的必然趋势。为促进我国智能配电网的建设发展，我们在总结国内外智能配电网技术的基础上，编写了《智能配电网》一书。本书共分九章，主要内容包括：智能配电网概论，配电网规划及主要技术原则，智能化开关技术，配电网通信技术，调、配一体化主站系统，智能配电装置，线路快速自愈方案，智能配电网工程实践，智能配电网其他相关技术等。本书可供从事智能电网和智能配电网的研究、建设以及运行维护人员阅读，也可供电网企业、装备制造企业各级技术管理人员参考，还可供电气工程、自动控制等专业的师生学习参考。

本书由程利军任主编，由郭江、唐平、杨德先、万向阳任副主编，参加本书编著的还有：王晋生、徐凯、马雷、岳蕾、黄玮、曾杰、江忠耀、李正天、黄光林、熊建军、华雄飞、张宏、邹庆富、马云、夏文杰、尹章专、胡相武、覃荆伟、陈慧、尹吉会、朱可桢、陈服军、王晓晨、曹玮、李承东、黄燕、安仲仁、姜子龙、原震东、张杰、王妍、于鲁宁、孟建军、张静、杜阿秋、张志华、乔卫斌、李小龙、雷亮、赵黎明、王占清、李振华、秦继伟、王磊、付志远、韩磊、李万祥、高学臣、周岩生等。全书由武汉大学袁荣湘教授主审。

为本书提供资料并参与图表制作的还有：王政、周小云、古丽华、张强、张方、高水、石峰、王卫东、石威杰、贺和平、任旭印、潘利杰、程宾、张倩、张娜、李俊华、石宝香、成冲、张明星、郭荣立、王峰、李新歌、尹建华、苏跃华、刘海龙、李小方、李爱丽、胡兰、王志玲、李自雄、陈海龙、李亮、韩国民、刘力侨、任翠兰、张洋、吕洋、任华、李翱翔、孙雅欣、李红、王岩、李景、赵振国、任芳、魏红、薛军、吴爽、李勇高、王慧、杜涛涛、李启明、郭会霞、霍胜木、邢烟、李青丽、谢成康、杨虎、马荣花、张贺丽、薛金梅、李荣芳、马良、孙洋洋、胡毫、余小冬、丁爱荣、王文举、冯娇、徐文华、陈东、毛玲、李键、孙运生、尚丽、王敏州、杨国伟、刘红军、白春东、林博、魏健良、周凤春、黄杰、董小玫、郭贞、吕会勤、王爱枝、孙金力、孙建华、孙志红、孙东生、王彬、王惊、李丽丽、吴孟月、闫冬梅、孙金梅、张丹丹、李东利、王奎淘、吕万辉等。

本书在编写过程中参阅了大量技术文献和技术成果，特向其作者表示感谢。在编写过程中得到南京磐能电力科技股份有限公司的大力协助，在此表示感谢。

由于作者的水平有限，错误和缺点难免，望广大读者批评指正。

作者

2013年8月



目录

前言

第一章 智能配电网概论	1
第一节 配电网自动化现状	1
一、国外配电网自动化现状	1
二、国内配电网自动化现状	2
三、馈线自动化技术	3
四、故障指示器技术	4
五、配网自动化系统方式	4
六、配电网自动化系统	7
第二节 智能电网及智能配电网	10
一、智能电网的概念	10
二、智能电网的发展	11
三、智能配电网及其发展	13
四、智能电网用户端系统	17
第三节 分布式电源系统	22
第四节 配网自动化建设	25
一、配网自动化试点工程	25
二、配网自动化建设经验教训	26
三、结论	30
第二章 配电网规划及主要技术原则	32
第一节 概述	32
一、配电和配电网	32
二、配电网的结构和设备	32
第二节 配电网规划	33
一、规划年限和规划内容	33
二、规划编制审批与规划实施修编	34
三、配电网规划的经济评价	34
四、节能与环保	35
第三节 配电网设计	36
一、配电网的供电电源	36
二、配电网络	37

第四节 配电网一次架构	42
一、网络接线的一般原则	42
二、高压配电网	42
三、中压配电网	46
四、低压配电网	49
第五节 配电线路和配电设备实施方案	49
一、高压配电线路	49
二、高压变电站	54
三、中压配电线路	57
四、中压配电设施	61
五、中压配电设备	62
六、低压配电线路	63
七、低压配电系统接地型式	65
八、低压配电设备	66
九、中低压配电线路和配电设施的过电压保护和接地	67
第六节 配电网二次部分	67
一、继电保护和自动装置	67
二、变电站自动化	69
三、配电自动化	71
四、配电网通信	72
五、电能计量	73
第七节 用户供电	75
一、用电负荷分级和居民供电负荷计算	75
二、用户供电电压选择和供电方式选择	76
三、对特殊电力用户供电的技术要求	77
第八节 20kV 配电网技术	78
一、20kV 配电网新建工程	78
二、10kV 配电网升压到 20kV 改造工程	78
第九节 分布式电源接入配电网技术	79
一、分布式电源的分类及其特点	79
二、配电网规划应充分考虑对分布式电源的吸纳	80
三、分布式光伏电源接入配电网技术	81
第十节 主动（有源）智能配电网	85
一、主动（有源）智能配电网的含义	85
二、虚拟发电厂管理与提高分布式电源渗透率	86
三、分布式电源参与配电网调压调频	87
四、需求侧主动管理与控制模式	87
五、新型负荷与新能源协调利用、多种运行模式共存	88

第三章 智能化开关技术	89
第一节 开关现状及发展趋势	89
一、智能一次开关的定义和功能	89
二、智能一次设备实现方案	90
三、智能开关设备研发及应用现状	91
第二节 智能化开关	91
一、同步开断技术	92
二、故障电流限制技术	92
三、主动配电网技术	92
四、即插即用技术	93
五、智能配电网将涌现出一批新的装备	93
第三节 电力开关设备智能化功能的界定	94
一、智能化电力开关设备应具备的功能和特征	94
二、智能化电力开关设备的设计原则	95
三、电动底盘车	95
四、电动接地刀闸	96
五、温度测量技术	96
六、断路器智能化的发展方向	97
七、其他方面	97
八、智能电力开关设备发展趋势和建议	98
第四节 电子式互感器	99
一、电子式互感器的研发进程	99
二、电子式互感器校验仪	100
第五节 12kV 柱上开关技术要求	101
一、柱上开关配置要求	101
二、柱上开关结构技术要求	101
三、柱上开关环境条件、技术参数和性能要求	102
四、控制箱单元的技术要求	103
五、电源变压器 (PT) 技术要求	104
六、控制箱电源要求	104
七、控制器要求	104
八、12kV 柱上开关主要元件	105
第四章 配电网通信技术	107
第一节 概述	107
一、电力生产各个环节对通信的要求	107
二、配网自动化通信系统的作用和特点	107
三、配网自动化通信系统应满足的要求	108

第二节 配电网常用通信方式	110
一、配电网常用通信方式比较	110
二、光纤通信	114
三、电力线载波通信	118
四、GPRS 通信	120
五、微功率无线组网通信	122
六、电力无线专网蜂窝组网	123
第三节 配电自动化对通信系统的要求	124
一、智能电网背景下的配电网通信系统的基本要求	124
二、配电自动化通信系统规划设计要求	124
三、骨干层通信网络与接入层通信网络的通信方式选择	124
四、10kV 通信接入网通信方式选择	125
第四节 多种配电通信方式的综合应用	126
一、多种配电通信方式综合应用典型案例	126
二、微功率无线通信	128
三、光纤专网（EPON）	128
四、光纤专网（工业以太网）	131
五、配电线载波通信组网	134
六、GPRS 通信组网	136
七、230MHz 电力无线宽带通信系统	138
第五节 通信系统配置原则及设计方案	139
一、配电网通信系统设计原则	139
二、配电网通信方式选择原则	140
三、配电网通信的层次结构	141
四、配电网通信遵循的标准及规范	141
五、配电网通信举例	142
第六节 二次系统安全防护建设	145
一、横向系统通信安全防护建设	145
二、纵向系统通信安全防护建设	146
第七节 工程实践	147
一、光缆线路熔接	147
二、光纤及光纤连接注意事项	148
三、EPON 工程实践	149
第五章 调、配一体化主站系统	155
第一节 配电主站系统	155
一、配电主站系统建设应遵循的技术原则	155
二、配电主站系统结构	156

三、系统功能	157
四、软、硬件配置	170
五、系统性能指标	175
第二节 综合数据平台	176
一、综合数据平台在集成中的作用	176
三、数据交互	177
三、综合数据平台的运行框架	178
第三节 配网指挥系统	181
一、概述	181
二、整体架构	183
三、配网指挥系统发展特点	185
四、配网指挥系统实例	185
第四节 调控一体化系统方案	188
一、国家电网公司调控一体化系统	188
二、调控一体化系统分析	190
三、配网调控一体化管理建设	191
四、配网调控一体化标准制度建设	192
第五节 配网自动化系统验收测试方案	192
一、配网自动化系统测试内容	192
二、配网自动化系统工厂验收测试方案	199
三、配网自动化系统现场验收测试方案	200
第六章 智能配电装置	202
第一节 配电终端	202
一、概述	202
二、配电终端的基本要求和基本功能	202
三、配电终端模块化设计的总体技术要求	202
四、配电自动化测控终端的主要特色	204
五、配电终端安装方式	206
六、配电终端的通信接入方式	207
第二节 智能终端单元模块及基本功能要求	207
一、智能终端单元模块	207
二、智能终端基本功能要求	209
三、智能终端基本性能指标	213
四、配网无线采集设备类型及性能要求	215
第三节 各种智能终端举例	216
一、开闭所/环网柜/电缆分支箱	216
二、开闭所/环网柜馈线监控单元 DTU	219

三、实现“三遥”功能的开关房/综合房标准配置	220
四、实现“两遥”功能的开关房/综合房标准配置	220
五、机柜式终端配置要求	221
六、柱上开关 FTU	223
七、数字化配电房	226
第四节 智能配电终端的选型	231
一、智能配电终端选型的原则	231
二、根据配电网络自动化基本模式及网络结构合理选取智能配电终端	231
三、配电网建设或改造时对一次设备及智能终端的具体要求	232
四、配电设备自动化配置要求	233
第五节 智能配电终端的测试	234
一、“三遥”馈线终端 (FTU) 测试要求	234
二、“三遥”站、所终端 (DTU) 测试要求	238
第六节 智能配电终端研究	242
一、智能配电终端研究目的和研究内容	242
二、未来配电自动化终端的发展方向	242
第七章 线路快速自愈方案	244
第一节 就地式馈线自动化	245
一、就地式馈线自动化方式	245
二、故障处理策略	248
三、多级保护配合方案	250
第二节 集中型全自动馈线自动化	251
一、集中型全自动馈线自动化原理	251
二、典型案例	252
第三节 智能分布式馈线自动化	253
一、智能分布式馈线自动化原理	253
二、智能分布式馈线自动化技术要求	254
三、典型案例	254
第四节 集中型+智能分布式馈线自动化	255
一、集中型+智能分布式馈线自动化原理	255
二、集中型+智能分布式馈线自动化技术要求	255
三、典型案例	256
第五节 分布式自愈控制的配电网故障处理技术	257
一、分布式自愈控制的基本原理	257
二、智能配电终端主要功能指标要求	258
三、典型案例	260
四、分布式智能保护及控制是解决故障时谁先跳闸问题的最优方案	262

第六节 广域网络式保护技术	262
一、广域网络式保护的原理	262
二、防火墙功能	263
三、广域网络式保护的实现	264
第八章 智能配电网工程实践	270
第一节 大城市中心城区智能配电网工程案例	270
一、青岛配电自动化试点工程实施方案概况	270
二、西安配电自动化试点工程建设实施方案概况	275
三、杭州配电自动化试点工程实施方案概况	281
四、广州配电自动化试点工程实施方案概况	281
五、厦门配电自动化试点工程实施方案概况	283
第二节 县城中心区配电自动化实施方案	287
一、县城中心区配电自动化实施方案基本要求	287
二、县城中心区配电自动化实施方案组成部分	288
三、县城中心区配电自动化实施方案关键点	301
第三节 微电网	303
一、问题的提出	303
二、微电网的优点	304
三、微电网的结构	305
四、微电网的控制	306
五、微电网的能量管理	307
六、微电网并网对配电网继电保护的影响	308
七、对微电网继电保护的要求	308
八、微电网的发展态势和建议	308
第四节 风光储互补智能微电网示范系统	309
一、项目总体方案	309
二、系统设计	311
三、方案建设	316
四、效益分析	324
第九章 智能配电网其他相关技术	326
第一节 配网自动化的相关标准	326
一、配网自动化标准的发布现状	326
二、国家电网公司配网自动化标准体系	326
第二节 配电自动化通信规约 (IEC 60870—5—104)	328
一、帧格式说明	328
二、数据类型	330
三、信息体地址分配	330

四、《IEC 60870—5—104：2000》继电保护事件扩展	331
第三节 智能配电网系统的标准应用	342
一、IEC 61850 标准产生的背景	342
二、IEC 61850 标准分析	343
三、IEC 61850 标准在配网自动化中的应用	345
四、IEC 61850—80—1 标准在配网自动化中的应用	346
五、适用于分布式能源（微电网）的 IEC 61850 信息模型	348
第四节 光伏变电站接入配电网的接线方式	353
第五节 交直流微电网动态模拟实验室系统	357
一、实验室建设目标	357
二、系统基本构成	358
三、各个子系统的功能	358
四、微电网运行控制	361
五、一次网架结构	362
六、交直流微电网动态模拟实验室控制系统	364
附录 A FTU 设备配置及要求	370
附录 B DTU 设备配置及要求	377
附录 C 智能配电站（开关房）二次部分设备配置及要求	387
参考文献	391

第一章 智能配电网概论

第一节 配电网自动化现状

电力系统是由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统，配电网在电力网中起着分配电能的作用，进而满足社会经济及人民群众生活的需要。

配电网自动化也称配电自动化，是以一次网架和设备为基础，以配电自动化系统为核心，综合利用多种通信方式，实现对配电系统的监测与控制，并通过与相关应用系统的信息集成，实现配电系统的科学管理。其主要目标是提高供电可靠性、改善电能质量和提高运行管理水平及经济效率。

通常意义上，配电网自动化系统是指对 10（20）kV 及以下配电网进行监视、控制和管理的自动化系统，一般由主站、子站、远方终端设备、通道构成。配电网自动化系统的终端装置，一般称为配电自动化终端或配网自动化终端，用于中压配电网中的开闭所、重合器、柱上分段开关、环网柜、配电变压器、线路调压器、无功补偿电容器的监视与控制，与配网自动化主站通信，提供配电网运行控制及管理所需的数据，执行主站给出的对配网设备进行调节控制的指令。智能配电终端是配网自动化系统的基本组成单元，其性能与可靠性直接影响到整个系统能否有效地发挥作用。

配电自动化是指利用现代电子技术、通信技术、计算机及网络技术与电力设备相结合，将配电网在正常及事故情况下的监测、保护、控制、计量和供电部门的工作管理有机地融合在一起，改进供电质量，与用户建立更密切更负责的关系，以合理的价格满足用户要求的多样性，追求更好的经济性和更高的企业管理效率。从保证用户供电质量、提高服务水平、减少运行费用方面来看，配电自动化系统是一个统一的整体，包括馈线自动化、配变自动化、配电管理、需求侧管理。配电系统故障检测和处理是配电自动化系统的核心内容。配电故障检测和处理在配电自动化中有两类表现方式：一类是以馈线自动化为基础的方法，另一类是以故障指示器为基础的方法。

一、国外配电自动化现状

国外配电自动化技术起源于 20 世纪 70 年代，欧美发达国家最先开始的配电自动化是为了缩短馈线停电时间。如美国，在开展配电自动化工作的初期，采用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 线路上任一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(根据美国事故统计标准,对用户停电达到或超过5min就是停电事故),并因此获得IEEE/DSM大奖。配电自动化整个系统的形成大致经历了3个阶段:第一阶段使线路运行达到能自动分段;第二阶段建立通信通道实现SCADA(监控和数据采集)功能;第三阶段实施非故障段的自动恢复供电。日本配电网自动化的发展途径和美、英等国不同,它首先是在配电线路上安装具有判别故障及按时限顺序合闸的柱上开关,并与安装在线路上的重合器、分段器及变电站馈线开关的保护相配合,当线路发生故障经过二次合闸,重合器、分段器能自动判别故障,自动隔离线路故障段,使线路非故障段恢复供电;在上述基础上又进一步增设通信功能,将柱上自动配电开关的信息送至中央控制室,由配电自动化系统对配电网进行监控,其功能包括SCADA、AM/FM/GIS、负荷控制(LC)等。日本在20世纪50年代送配电损耗约为25%,到80年代已降到5%。日本九州电力每户平均停电时间从6min下降到1min,均是依赖配电自动化实现的。

综上所述,国外的配电自动化的实现,大致是先实施馈线自动化(Feeder Automation, FA),然后建立通信通道和配电自动化主站系统,再完善各项功能。然而,在这过程中留有大量的有待开发的自动化功能和一些已开发的功能之间的重叠。配电自动化的发展经历了各种单功能的自动化罗列,号称“多岛自动化”的配电系统,向开放式、一体化和集成化的综合自动化方向发展的过程,目前已具有相当的规模,并从提高配电网运行可靠性和效率、提高供电质量、降低劳动强度、充分利用现有设备的能力、缩短停电时间和减少停电面积等方面,带来了可观的经济效益和社会效益。

二、国内配电自动化现状

国内配电终端的研究开发始于20世纪80年代中期,我国在20世纪90年代初开始研制配电终端。到1998年我国投资数千亿巨资对城市配电网进行大规模改造时,已有数个厂家的配电终端产品投放市场。经过10年不断的改进、完善,目前我国配电终端技术已趋于成熟,产品制造成本不断降低,其性能与可靠性完全能够满足工程应用要求。这期间,国内供电企业与配电自动化设备制造商积累了大量的产品选型设计、安装调试与管理维护经验,为合理地应用配电终端,提高整个配网自动化系统工程实用化水平创造了条件。未来,配电终端技术将进一步向高可靠性、多功能、组合式、小型化、低功耗、低成本、免维护或少维护发展。

国内配电自动化技术起源于20世纪90年代初,比国外发达国家晚了接近20年。尽管如此,由于近年来,全国规模的城乡电网改造以及智能配电网思想的产生,配电自动化的工作取得了长足的进步,众多科研机构与技术开发企业、制造商纷纷开发研制配电系统自动化技术,也有许多供电企业进行了不同层次、不同规模的试点,这些都为供电企业的供电可靠性、电能质量、设备安全、劳动生产率、现代管理水平的提高发挥了较大的作用,为我国配电系统自动化的发展积累了经验。

我国配电自动化的发展大致可以分为三个阶段。第一阶段,引进国外自动化开关设备,通过智能配电终端、开关设备之间的配合,实现故障定位、隔离和自动恢复供电的就地控制的馈线自动化模式。这种模式仅在故障处理时才起作用,且不能检测出中性点不接



地或经消弧线圈接地系统的单相接地故障。然而,在我国绝大多数城市中,故障停电占用户的停电时间比例很小,而引入的自动重合器、分段器和负荷开关价格昂贵,投入很大,收效甚微。第二阶段,实现配电层次的 SCADA 功能,在配电网调度中心建立主站系统,在各变电站、开闭所设置配电 RTU、FTU 等远方终端,通过通信通道联系,从而实现对配电网监控的功能。这种模式的故障处理时间大大缩短,而且在配电网正常运行时可以对配电网进行监控和运行管理,实现系统的优化运行。这也是近年来国内所采用的主要配电自动化的模式,但是这种模式需要借助通信系统,而且故障的处理依赖主站进行。第三阶段,通过多年的配电网的改造和各单项自动化(如负荷控制、远程抄表系统、配网管理系统等)的发展,借助现代计算机技术、网络技术和通信技术实现各子系统之间资源共享,达到配电系统分层分布式控制、保护。

三、馈线自动化技术

馈线自动化技术经历了从无通信通道到有通信通道,从适应于简单辐射型网架结构到复杂多电源的网架结构,从慢速的故障处理到快速故障处理的演变过程。馈线自动化技术先后出现了电压型、电流型和集中型三种形式。

1. 电压型

电压型即完全依靠控制器检测正常运行时电压的存在和故障时电压的消失为依据的故障检测技术,通过对电压的检测和延时重合的方法来进行故障的判断和处理,最早出现在 20 世纪 50 年代的日本。由电压型故障检测技术发展起来的馈线自动化是比较传统的馈线自动化模式,在发达国家的早期和我国得到了应用。

电压模式不需通信信道,但要更换变电站出线开关为重合器,并且要多次重合才能隔离故障。电压模式虽然实现了故障隔离、非故障区段供电恢复,整体减少了停电范围,缩短了停电时间,但故障判断、隔离、非故障供电恢复时间较长,而且电网受到多次冲击,并且不能远方遥控。尤其是环网网架结构,由于从另一个电源恢复供电时,停电面积大,对电网和用户的冲击大,影响了许多非故障区域。

2. 电流型

电流型以通过控制器检测正常运行时电流的存在和故障时电流超过一定限值为主据,辅助检测电压。当线路发生故障时,从电源点到故障点会流过故障电流,通过检测馈线各开关是否流过故障电流就可以判断出故障。电流型模式最早出现在 20 世纪 70 年代的美国,是一种集中控制模式。

电流型馈线自动化适合复杂结构的配网,可以对网络重构进行优化。该模式对于实现故障的处理,实现配网自动化是比较合适的。但该模式需要架设通信网络,馈线自动化要配电子站或主站参与,系统比较庞大,投资也比较大。

3. 集中型

集中控制方式的馈线自动化主要利用主站的智能算法,依赖 SCADA 系统提供的实时数据对已发生的故障进行处理。即现场的 FTU 将故障信息通过一定的通道送到控制中心,控制中心根据开关状态、故障检测信息、网络拓扑分析,判断故障区段,下发遥控命令,跳开故障区段两侧的开关,重合变电站开关和闭合联络开关,恢复非故障线路的供