

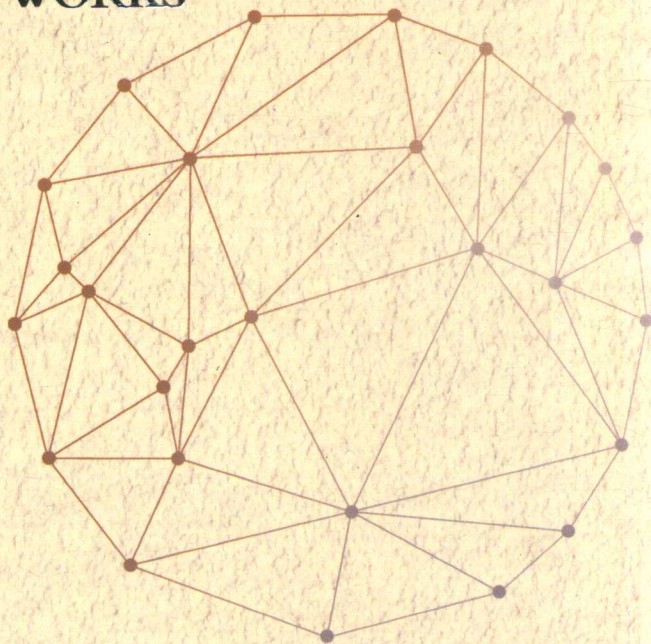


国家电网公司  
电力科技著作出版项目

# 配电网 继电保护与自动化

徐丙垠 等 编著

RELAYING PROTECTION  
AND AUTOMATION  
OF DISTRIBUTION NETWORKS



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



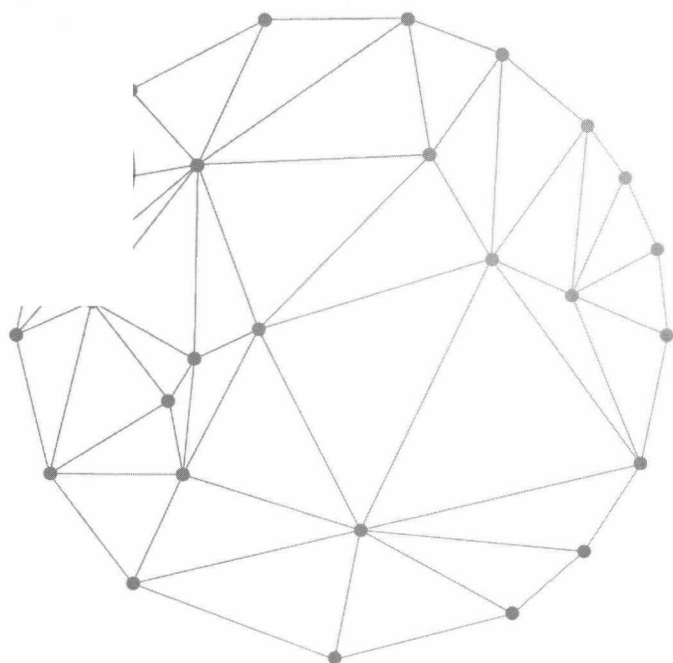
国家电网公司  
电力科技著作

# 配电网

# 继电保护与自动化

徐丙垠 李天友 薛永端 编著

RELAYING PROTECTION  
AND AUTOMATION  
OF DISTRIBUTION NETWORKS



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

继电保护与自动化是配电网的基础支撑技术，也是配电网实现智能化、主动化的关键技术。本书介绍配电网继电保护与自动化技术的基本概念、工作原理、实现技术、工程实践与发展方向。

全书内容分为三篇。第一篇为基础篇，包括两章，分别介绍配电系统基础知识与配电网故障分析。第二篇为配电网继电保护，包括五章，介绍配电网继电保护基本原理、配电网继电保护的配置与整定、有源配电网继电保护、配电网继电保护新方法与新技术以及小电流接地故障保护。第三篇为配电网自动化，包括七章，介绍配电自动化基础知识，配电网自动化系统的主站、终端与通信技术，馈线自动化、配电网自动化系统的规划设计以及配电网自动化工程案例。

本书适合配电网继电保护与自动化领域的科研人员、运行管理人员、工程技术人员及设备制造人员阅读，亦可作为高等院校相关领域本科生与研究生的课程资料。

### 图书在版编目（CIP）数据

配电网继电保护与自动化 / 徐丙垠等编著. —北京：中国电力出版社，2017.2

ISBN 978-7-5198-0423-7

I. ①配… II. ①徐… III. ①配电系统—继电保护②配电自动化 IV. ① TM727 ② TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 032992 号

---

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街 19 号（邮政编码 100005）

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：韩雪姣（010-63412787）

责任校对：王开云

装帧设计：张俊霞 赵姗姗

责任印制：邹树群

---

印 刷：三河市万龙印装有限公司

版 次：2017 年 6 月第一版

印 次：2017 年 6 月北京第一次印刷

开 本：787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张：35.5

字 数：869 千字

印 数：0001—3000 册

定 价：168.00 元

---

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换



# 序

1995年前后，在查阅资料以及与国内外同行的交流过程中，我意识到配电网自动化是未来电力技术的热点，便开始研究配电网自动化技术，并组织山东理工大学（当时是山东工程学院）与山东科汇电力自动化股份有限公司（简称山东科汇，当时是淄博科汇电气有限公司）的科研人员研发配电网自动化设备，自此与配电技术结下了不解之缘。过去，电力业界存在“重发轻供不管用”的现象，高等院校电力系统课程的内容主要针对大电网，涉及配电网的内容非常有限；对配电技术的研究也很少，电力系统专业的研究生几乎没人选择配电方面的课题。在接触配电网自动化技术之前，我对配电网的认识也基本上停留在一个变电站线路出口断路器加上一条配电线路的概念上，因此在入门时花了不少功夫收集资料，学习重合器、负荷开关、分段开关、环网柜等配电设备的用途，体会供电可靠率、配电环网、手拉手线路、联络电源、供电半径等基本概念。这促使我产生了日后写一本书来介绍配电技术的想法，以便配电从业人员能够较快地掌握配电网基础知识。

1999年，我随中国电机工程学会代表团参加在法国尼斯举行的第15届国际供电会议（CIRED），结识了一起参会的原国家电力公司输配电处的金文龙处长、CIRED中国联络处秘书陈效杰先生、厦门电业局总工程师（现担任国网福建省电力有限公司安全总监）李天友先生、中国电力科学研究院范明天博士等国内配电领域的专家。大家被国际上重视配电网、研究配电新技术的氛围所感染，相比之下，都觉得国内的配电网太薄弱，配电技术未得到应有的重视，电力业界应转变观念，重视配电网的建设，加强对配电技术的研究。参加这次会议的另一个收获是了解到国际上正大力发展分布式发电（当时称为分散发电，dispersed generation），这将成为推动电力技术革命的重要力量。以前人们对配电网重要性的认识，主要是基于其对供电可靠性的影响，国内外统计数据都表明，用户平均停电时间中由配电网原因引起的近90%。分布式发电的接入，使配电网成为功率双向流动的有源配电网，给传统的配电网规划、保护控制与运行管理提出了新的挑战，这使我进一步体会到了配电网的重要性，认识到研究配电技术大有可为，坚定了把未来科研的主攻方向放在配电网自动化与保护控制上的决心。

在第15届CIRED会议期间，我就与金文龙、陈效杰、李天友等几位专家说起过想写一本配电技术的书。在2001年阿姆斯特丹举办的第16届CIRED会议之后，大家进一步感受到了国际上对配电技术的研究正在开展得如火如荼，新需求、新观念、新技术不断涌现，形势逼人，因此大家一致认为应尽快推动此书的出版，向电力同行系统地介绍配电网基础知识及其发展动态，为推动我国配电技术的发展做点实事。2002年，在中国电机工程学会城市供电专委会与中国电力出版社的支持下，由金文龙、陈效杰、李天友、李建胜（时任郑州供电局调度所主任）等组成的《配电技术》编委会成立，李天友担任主编，中国电力出版社原

副社长张克让先生亲自担任责任编辑，我也有幸参加了编写工作，主要负责配电网继电保护与配电网自动化方面的内容。《配电技术》一书在2008年3月出版，时任中国电机工程学会理事长陆延昌写序推荐。该书填补了国内配电领域书籍的空白，为普及配电网知识、推动我国配电技术的发展发挥了重要作用。

写作《配电技术》时，我边写边学习，在与李天友等专家的交流过程中，弥补了自己不熟悉实际配电工程与配电网运行管理实践的不足。书稿完成后，我对配电网与配电技术又有了更加系统、深入的认识，觉得自己没有把所负责的内容，特别是继电保护部分写全、写够、写透；但由于书稿要及时出版以及容量有限的原因，无法再对其做大的改动，因此就与李天友先生商定，《配电技术》出版后，尽快写一本专门介绍配电网继电保护与自动化的书。在书稿最终交给出版社后，我便着手《配电网继电保护与自动化》一书的准备工作，除收集资料外，还对国内外配电网继电保护整定配置情况进行了调研，对配电网继电保护与自动化的新技术做进一步的研究，以使新书的内容更加充实、更有新意。

2008年前后，国内掀起了研究智能电网的热潮。2009年天津大学余贻鑫院士、王成山教授等组织了“智能电网研究论坛”，当时杨奇逊、韩英铎、黄其励、程时杰院士也参加了该论坛。我在会上做了“智能电网中的配电自动化技术”的报告，会后，时任《供用电》杂志主编朱良镠邀请我与李天友、金文龙、薛永端[中国石油大学（华东）教授]合作，写了《智能配电网讲座》系列文章，在《供用电》期刊上分为五期连载，重点介绍了智能配电网的概念、发展过程、高级配电自动化、分布式电源并网、柔性配电、高级量测与需求响应方面的内容。2011年，我参加《中国电力百科全书（第三版）配电与用电卷》的编写工作，担任配电网继电保护与自动化分支主编。2012年，在朱良镠老师的鼓励下，我根据手头上的资料与学习研究心得，又为《供用电》杂志撰写了六期《智能配电网建设中的继电保护问题》系列文章。以上两个讲座以及《中国电力百科全书（第三版）配电与用电卷》中配电网继电保护与自动化内容的写作，使我对配电网继电保护与自动化新技术的认识更为深入，对新书的章节框架以及具体内容也基本上心中有数了。

在写完《配电网继电保护讲座》后，我便正式开始了《配电网继电保护与自动化》一书的写作，并于2013年获得国家电网公司电力科技著作出版项目的资助。原计划能在2014年完成书稿的写作，却延误到了2016年。一方面是由于工作繁忙，主要是利用工作之余、节假日与出差路途上的时间写作；另一方面是对所写出的内容总不满意，多次与出版社的编辑沟通，征求有关专家的意见，前后四易其稿。这些年配电技术发展很快，智能配电网、主动配电网、配电网信息物理系统、柔性配电网、能源互联网等新概念不断涌现，客观上也给概念的叙述以及内容的取舍带来了困难。尽管现在书已经出版了，但还是觉得有很大的改进空间。人们常说“电影是门遗憾的艺术”，此话用到图书写作上也很恰当。

本书的另外两位作者是李天友与薛永端，我们长期合作研究配电网故障检测与自愈控制技术，建立了深厚的友谊。李总1986年调到厦门电业局工作后就一直从事配电网工程与运行管理工作，曾任厦门电业局总工程师、泉州电业局局长、厦门电业局局长，他结合本职工作研究配电技术，是知名的配电专家。我和李总最早相识于参加法国尼斯的CIRED会议时，当时我们住一个房间，一起交流研究配电技术的心得，谈的十分投机，可谓是“他乡遇故知”，自此开启了我们并肩探讨研究配电技术之旅。薛教授大学毕业后就职于山东科汇，1999年到西安交通大学攻读博士学位，后来调入了中国石油大学（华东）。薛教授在做博士

论文期间对小电流接地故障暂态过程以及故障选线技术进行了深入的研究，提出了利用特征频带内信号的故障选线方法。薛教授刚到山东科汇工作时，我们就一起开发变电站直流系统故障检测装置，在他读博士期间，又开始合作研究小电流接地故障检测与保护技术。2002年，我们三人合作承担了福建省电力有限公司的“小电流接地故障暂态选线技术的推广应用”科技项目，开发出 XJ-100 小电流接地故障选线与监测装置并在泉州电业局投入试运行，装置实际选线成功率超过 90%，实现了小电流接地故障保护技术的突破，后来我们又先后承接了国家电网公司的“配电网分布式故障自愈控制技术”、“提高配电网故障处理能力关键技术”、“基于配电自动化系统的配电网单相接地故障定位技术研究与应用”以及国家“863 计划”课题“配电网量测、通信与保护控制新技术”。其间，我们发挥各自优势，产学研用密切合作，取得了多项落地的研究成果，如小电流接地故障暂态选线定位技术、分布式馈线自动化技术、广域测控技术、IEC 61850 在配电网自动化中的应用等。这些研究成果都写入了本书，增加了其新颖性和实用性。

时光飞驰，自 1995 年研究配电网自动化技术起，一晃 20 多年过去了。如今，加强配电网建设，提高其供电质量与接纳分布式电源的能力，已成为政府与电力业界的共识，配电技术也从电力技术中一个不起眼的“配角”变成了一个受到广泛重视的热点技术。多年从事配电网继电保护与自动化新技术研发与推广应用工作，使我对配电技术产生了很深的感情。回顾走过的路，深为今天配电技术发展的大好形势感到高兴，也为自己能够为我国配电技术的发展做出力所能及的贡献感到欣慰！经过近十年的努力，《配电网继电保护与自动化》一书终于出版了，这书记载了我们三位作者学习与研究配电网继电保护与自动化技术的成果与心得，希望能对同行了解配电网继电保护与自动化的基础知识及其新技术有所帮助，同时抛砖引玉，让更多有识之士加入这一研究领域，为配电技术的发展做出贡献！

徐丙垠

于山东理工大学稷下园

2016 年 11 月 8 日

# 前言

配电网直接面向用户，是保证供电质量、提高电力系统运行效率与可再生能源接纳能力的关键环节。继电保护与自动化是配电网的基础支撑技术，也是配电网实现智能化、主动化的关键技术。从减少配电网故障停电时间的角度来说，加强配电设备的运行与检修管理、减少故障发生率是第一道防线；继电保护是第二道防线，在防止事故扩大、保证电网运行安全的同时，可以尽量减少故障停电范围；而配电网自动化是第三道防线，在故障切除后，对继电保护的无选择性动作进行纠正性操作，实现配电网故障的定位、隔离以及非故障区段的恢复供电，进一步减少故障停电范围。相对于配电网自动化，继电保护基于就地测量信息动作，具有不依赖于通信通道、动作速度快、可靠性高、投资少的优点，应是优先考虑的减少故障停电时间的技术措施。因此，在建设智能配电网的过程中，应将配电网继电保护与自动化作为一个完整的系统对待，在完善配电网保护配置与整定的基础上，建设配电网自动化系统，从而优化配电网二次系统的功能配置与结构，使供电可靠性改进效果以及投资收益达到最大化。

中国对配电网自动化技术的研究始于 20 世纪 90 年代中期，至今已有多本关于配电网自动化的书籍出版，对普及配电网自动化知识、推动配电网技术的发展起到了重要作用。目前，业界对配电网自动化的概念、作用、实现技术以及建设方案，基本形成了共识。相比之下，配电网继电保护问题还没有引起业界足够的重视，相关的研究比较少。现有的电力系统继电保护技术规程，仅对变电站内线路出口断路器的配置与整定做出了规定，并没有涉及配电线路上的分段断路器、分支线路断路器与配电变压器保护。目前，各地配电网继电保护的配置与整定方法差异比较大，继电保护动作的选择性没有保证，普遍存在配电变压器、分支线路故障引起出口断路器越级跳闸的现象，将减少故障停电范围的任务压给了配电网自动化系统。这样，除没有将故障对用户的影响降到最小外，还加大了整个二次系统的投资，增加了管理维护的复杂性。本书系统地介绍配电网继电保护与自动化的基础知识、实现技术、工程实践与新技术、新发展；在内容的安排上，注意将配电网继电保护与配电网自动化统筹考虑，强调二者之间的协调与配合，希望能够推动对配电网继电保护与配电网自动化配合问题的研究，促进我国配电网继电保护与自动化技术及其应用水平的提高。

本书内容分为三篇。前 2 章是基础篇，第 3~7 章是配电网继电保护篇，第 8~14 章是配电网自动化篇。

第 1 章为配电系统概论，除介绍配电网与配电设备的基础知识外，还着重介绍了供电质量、配电网接地方式与智能配电网、有源配电网与主动配电网的概念。配电网继电保护与自动化方案对供电质量有着决定性的影响，而在研究配电网继电保护与自动化问题时，必须考虑用户的供电质量损失，否则难以对一个具体解决方案的技术经济可行性进行准确、合理地

论证。目前国内对供电质量损失的研究还不够，能够找到的资料也比较少，因此，安排了1.2节介绍供电质量的基本概念以及供电质量损失估算方法。配电网的接地方式对供电质量以及继电保护与自动化的方案有着根本性的影响，而对于配电网中性点应该采用什么样的接地方式，目前业界还没有完全形成共识，为此在1.4节介绍了配电网中性点接地的基础知识以及中性点接地方式选择的原则。近年来，随着分布式电源大量接入，配电网正在经历着一场深刻的变革，本章最后介绍智能配电网、有源配电网、主动配电网以及配电网故障自愈的基本概念，供读者了解配电技术的发展方向，同时作为后续章节介绍配电网继电保护与自动化新技术的铺垫。

第2章为配电网故障分析，主要介绍配电网故障的特点、故障电流的特征及其计算方法，作为研究分析配电网继电保护以及故障检测与定位技术的基础知识。2.2节介绍配电线路短路电流的近似计算方法，使用本节给出的近似计算公式，人们可以方便地估算配电线路短路电流，掌握短路电流的幅度与分布特征。2.3节介绍分布式电源短路电流的特点，作为第5章介绍有源配电网继电保护的基础知识。2.4节介绍了应用端口补偿法计算短路故障的方法，相对于传统的对称分量法，该方法除了可以考虑配电线路三相参数的不对称、负荷不平衡外，还可以利用配电线路多放射状的特点，减少计算工作量。最后介绍小电流接地故障的稳态与暂态分析方法、故障信号的特征，作为第7章介绍小电流接地故障保护技术的基础知识。

第3章为配电网继电保护基本原理，总结梳理了配电网电流保护、方向电流保护、零序电流保护、熔断器保护、纵联保护以及重合闸的基本原理，作为后续介绍配电网继电保护配置与整定以及有源配电网保护的基础知识。

第4章介绍配电网短路故障继电保护的配置与整定，是本书的一个重点内容，经反复修改后定稿。4.1节主要介绍配电网继电保护配置与整定的基本原则。4.2节介绍冷启动电流的特点，作为后面介绍电流保护整定与熔断器选型的铺垫。4.3介绍国内外配电网继电保护配置与整定现状，分析中国配电网继电保护配置与整定存在的问题。4.4~4.7节根据保证电网安全、尽量减少故障停电范围的原则，介绍了配电网继电保护配置与整定的系统解决方案，包括配电变压器保护、出口断路器保护、分段断路器保护以及分支线路保护。4.9节介绍低压配电网保护的配置与整定。4.10节分析配电网继电保护方案对供电质量的影响，提出评价继电保护方案对供电质量影响的量化指标及其计算方法。最后用表格的形式汇总了配电网继电保护配置与整定方案，并给出了典型的架空线路、电缆网络以及开闭所线路保护的配置与整定示例。

第5章介绍有源配电网继电保护。首先介绍有源配电网故障电流特征，重点分析了分布式电源提供的短路电流对故障电流幅度及其分布的影响，在此基础上介绍分布式电源对配电网继电保护的影响，给出分布式电源对配电网继电保护影响的简化评估方法，提出适应分布式电源接入的配电网继电保护改进措施。5.5节介绍对分布式电源并网开关保护的要求，并介绍内部电源侧故障与外部系统侧故障继电保护的配置与整定。5.6节在介绍电压保护、频率保护、矢量偏移保护、主动式保护等现有的反孤岛保护技术的基础上，提出了基于分布式控制的反孤岛保护新方法。

第6章介绍配电网短路故障继电保护新方法与新技术。首先介绍广域保护与分布式保护的基本概念，在此基础上，介绍分布式电流保护与分布式电流差动保护。配电网导线坠地危



害人身安全，引起了社会与供电企业的极大关注。导线坠地是一种高阻接地故障，因此，安排了 6.4 节介绍配电线路高阻故障的特点以及保护方法。6.5 节介绍脉冲重合闸技术，通过控制配电开关的合闸相角，减少短路电流的幅值；快速检测故障并在电流第一次过零时切除故障，将短路电流的持续时间控制在半个周波内。6.6 节介绍配电线路故障测距技术，包括基于测量阻抗与故障行波信号的故障测距技术。

第 7 章介绍小电流接地故障保护，是本书的另一个重点内容。由于故障电流小、间歇性与高阻故障比例高等原因，小电流接地故障的检测比较困难。中国变电站选线装置实际动作的准确率不到 50%，成为困扰供电企业的难题。本章首先介绍小电流接地故障保护的必要性、遇到的困难、技术现状、存在的问题和发展方向；然后综述了利用稳态电气量的小电流接地故障选线技术；在此基础上介绍了利用暂态电气量的选线方法，包括检测暂态零模电流与暂态无功功率方向的选线方法、比较暂态零模电流幅值与极性的选线方法。7.4 节介绍小电流接地故障定位技术，重点介绍了比较暂态零模电流方向与波形相似性的故障区段定位方法以及行波测距方法。7.6 节介绍自动切除小电流接地故障的必要性、应用情况与实施方法。最后两节介绍该领域还需要关注的其他两个重要问题：小电流接地配电网高阻接地故障检测和利用瞬时性接地故障信号实现线路绝缘的监测。

第 8 章为配电自动化概论。首先介绍配电自动化的定义、技术内容与功能，把配电自动化作为一个描述配电网实时运行自动化与离线管理信息化内容的总概念，而将配电网自动化作为描述配电网运行自动化的术语，包括数据采集与监控（SCADA）、电压无功控制以及故障自动定位、隔离与恢复供电等。8.3 节介绍配电网运行自动化系统（简称配电网自动化系统）的构成、特点以及与其他自动化系统之间的关系。在此基础上，安排了 8.4 节介绍配电自动化的作用，8.5 节介绍代表未来配电自动化发展方向的高级配电自动化，8.6 节介绍集高级配电网自动化、配电网保护控制应用于一体的广域测控系统。最后介绍配电自动化的发展历程、国内外配电自动化应用情况、下一步配电自动化建设需要解决的问题，以及对配电自动化技术发展的展望。

第 9 章介绍配电网自动化主站系统。首先介绍配电网自动化主站系统的硬件系统与软件系统，主站的建设模式，包括分区建设与集中建设、是否与调度自动化系统共用平台，以及与配电地理信息系统（GIS）、配电生产管理系统（DPMS）集成的问题。9.3 节介绍配电网自动化主站的关键技术，包括数据模型、软总线、图库模一体化以及可缩放矢量图形（SVG）技术。9.4 节介绍配电网数据采集与监控（DSCADA）功能。9.5 节介绍配电网自动化高级应用功能，包括馈线自动化、故障信息管理、网络拓扑、合环操作与状态估计。9.6 节介绍配电网自动化主站与调度自动化系统、配电 GIS、DPMS 与电力营销管理系统的集成技术。最后介绍配电网自动化系统的安全防护技术。

第 10 章介绍配电网自动化远方终端。首先介绍配电网终端的技术特点、分类、功能、工作原理与基本构成。10.4 节介绍配电网终端的故障检测技术，包括短路故障以及小电流接地故障的检测。基于配电网终端之间对等交换实时数据的分布式控制技术，具有动作速度快、能够利用广域信息、控制性能优化的优点，是配电网控制技术研究的热点内容，为此安排了 10.5 节介绍该技术，包括分布式控制的基本概念，以及应用分布式控制技术需要解决的两项关键技术：网络拓扑识别技术与实时控制数据的快速传输技术。10.6 节介绍替代传统电压与电流互感器的配电网电压与电流传感器技术，包括电磁型、非接触式以及光电式电压与电流传感

器。在此基础上安排了 10.7 节,介绍了故障指示器的作用、构成及其采用的故障检测方法。

第 11 章介绍配电网自动化通信系统。在介绍配电网通信的特点、基本要求的基础上,介绍目前常用的配电网通信通道技术,包括光纤、无线专网、无线公网与配电线路载波技术。11.5 节介绍用于汇集、转发配电网终端数据并对小区内配电网进行监控的配电子站技术。在此基础上安排了 11.6 节,介绍配电网自动化通信网络的结构及其骨干通信网与接入层通信网的组网技术。本章的另外一个内容是配电网通信协议。在介绍了配电网基本概念以及 IEC 60870-101/104 与 DNP3.0 协议后,重点介绍了 IEC 61850 在配电网自动化系统中的应用,包括 IEC 61850 标准的主要内容及其发展方向,用于配电网自动化系统中需要解决的信息模型、通信服务映射、配置与即插即用问题。

第 12 章为馈线自动化,介绍中压配电线路的自动故障定位、隔离与供电恢复 (FLISR) 技术。在介绍了馈线自动化的必要性与作用后,重点介绍了就地控制型、集中控制型与分布式控制型这三种型式的馈线自动化技术。此外,还介绍了开闭所故障的隔离方式。最后对各种型式的馈线自动化的技术特点与优缺点进行了对比。

第 13 章介绍配电网自动化系统的规划设计。首先介绍配电网自动化系统规划的必要性、主要内容、配电网自动化建设条件分析以及配电网建设目标的制定;然后介绍如何根据供电可靠性改进目标制定配电网故障处理方案,包括配电网继电保护配置与整定方案、馈线自动化方案以及二者之间的配合;在此基础上介绍配电网自动化系统站点监控、通信与主站技术方案;最后介绍配电网自动化经济效益评估的方法,供对配电网自动化建设方案进行技术经济性评估。

第 14 章介绍部分国内外配电网自动化工程案例,供读者深入了解配电网自动化系统的功能与构成,并借鉴其成功的模式与经验实践,包括国内的绍兴、厦门、杭州、成都以及香港中华电力的配电网自动化工程,国外的英国伦敦电网公司,日本东京、关西电力公司,美国的 Oncor 与 Alabama 电力公司以及加拿大卑诗省 (Hydro BC) 的配电网自动化工程实践。

本书力求全面、系统地介绍配电网继电保护与自动化技术,在此基础上重点介绍新观点、新技术、新应用以及作者在该领域的研究成果。本书在写作时注重技术性、学术性与实用性相结合,技术问题以讲解物理概念与应用为主,避免繁琐的、重复性(教科书中已有)的数学推导;理论结合实际,用事实、数据说话,避免空泛的、一般概念化的叙述;文字力求深入浅出、通俗易懂、贴近实际。

本书由山东理工大学徐丙垠教授主要完成,国网福建省电力有限公司李天友高工参与了全书的策划与审查修改,中国石油大学(华东)薛永端教授参与了第 7 章内容的写作。

尽管四易其稿,但由于作者的认识与经验的局限,以及时间和精力有限,书中难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编著者

2016 年 11 月

## 致 谢

本书承蒙陕西电力科学研究院刘健博士、上海交通大学刘东教授、山东大学高厚磊教授、山东理工大学咸日常教授审阅并提出修改意见。

作者曾先后和南网广州供电局调度中心、国网山东省电力公司调控中心合作开展了配电网继电保护规划、整定与配置方法的研究，部分研究成果写入了本书。广州供电局的刘育权、熊文、王莉高工以及山东省电力公司的刘伟生、刘远龙、王安宁、王玥婷、王黎高工与林霞博士，作为课题主要参与人员对本书部分内容的写作做出了重要贡献。

山东理工大学范开俊博士、张新慧教授、陈羽博士、彭克博士、王玮讲师，山东科汇电力自动化股份有限公司张海台、王敬华高工与 Tony Yip 博士，齐鲁工业大学韩国政教授，青岛科技大学高孟友博士，山东大学博士生朱正谊，以及山东理工大学硕士研究生张良、陈晓杰、刘娜、刘国栋、王志、梁栋等帮助进行了书稿的整理。

作者徐丙垠的妻子、山东理工大学教授赵婷婷对本书的写作给予了极大的支持，帮助查阅资料、绘图、校订书稿，做了大量的工作。

本书的写作还得到了许多专家学者的鼓励与帮助，他们是：西安交通大学葛耀中教授，天津大学余贻鑫院士，山东理工大学张新义、吕传毅、张存山教授，昆明理工大学束洪春教授与董俊博士，原中国电力出版社朱良镭高级编审，原国家电力公司输配电处金文龙高工，中国电力科学研究院赵江河高工，国网成都供电公司郑毅高工，国网厦门供电公司李伟新高工，国网泉州供电公司朱毅勇高工，国网淄博供电公司孙学峰高工，山东计保电气有限公司荣博高工，英国曼彻斯特大学 Peter Crossley 教授，电力咨询专家 Philip Gale 博士，瑞士电力自动化专家、IEEE 会士 (fellow) Christopher Brunner，法国施耐德公司标准化专家 Laurent Guise，芬兰 Alatto 大学 Matti Lehtonen 教授。

作者承担了多项涉及配电网继电保护与自动化内容的科研项目，其研究成果极大地充实了本书的内容。这些项目得到了国家高技术研究发展计划（863 计划）、国家自然科学基金委员会、国家电网公司与山东省科技厅的资助。

在此，对以上所有为本书的写作提供帮助、支持的各界人士表示衷心的感谢！同时，对中国电力出版社为本书提出宝贵修改意见的编辑们表示感谢！

# 目 录

序  
前言  
致谢

<b>第一篇 基础篇</b> .....	1
<b>第 1 章 配电系统概论</b> .....	3
1.1 配电系统基本概念 .....	3
1.2 供电质量 .....	5
1.3 配电网接线方式及其主要设备 .....	21
1.4 配电网中性点接地方式 .....	34
1.5 有源配电网 .....	44
1.6 智能配电网与主动配电网 .....	51
参考文献 .....	61
<b>第 2 章 配电网故障分析</b> .....	64
2.1 配电网故障 .....	64
2.2 配电线路短路电流近似计算 .....	69
2.3 分布式电源短路电流 .....	75
2.4 计算机计算配电网故障的方法 .....	79
2.5 小电流接地故障分析 .....	88
参考文献 .....	95
<b>第二篇 配电网继电保护</b> .....	97
<b>第 3 章 配电网继电保护基本原理</b> .....	99
3.1 概述 .....	99
3.2 放射式线路相间短路的电流保护 .....	104
3.3 双侧电源线路相间短路的方向电流保护 .....	112
3.4 接地短路的零序电流保护 .....	117
3.5 熔断器保护 .....	119
3.6 配电线路的纵联保护 .....	131
3.7 自动重合闸 .....	135
参考文献 .....	138

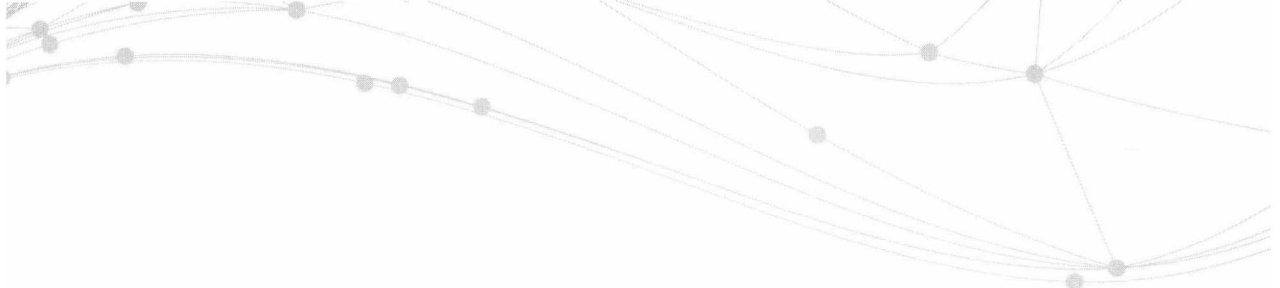
<b>第 4 章 配电网继电保护的配置与整定</b> .....	139
4.1 概述 .....	139
4.2 冷启动电流 .....	140
4.3 国内外配电网保护配置与整定概况 .....	144
4.4 配电变压器保护 .....	151
4.5 变电站线路出口断路器保护 .....	157
4.6 中间分段断路器保护 .....	170
4.7 分支线路保护 .....	173
4.8 配电所（开闭所）保护 .....	182
4.9 低压配电网保护 .....	183
4.10 配电网继电保护方案对供电质量与用户故障损失影响的评估 .....	187
4.11 总结与示例 .....	193
参考文献 .....	205
<b>第 5 章 有源配电网继电保护</b> .....	206
5.1 有源配电网故障电流特征分析 .....	206
5.2 分布式电源对配电网继电保护的影响与对策 .....	212
5.3 有源配电网电流差动保护 .....	219
5.4 有源配电网方向比较保护 .....	229
5.5 分布式电源并网保护 .....	230
5.6 反孤岛保护 .....	237
5.7 分布式电源并网保护总结与示例 .....	243
参考文献 .....	247
<b>第 6 章 配电网继电保护新方法与新技术</b> .....	249
6.1 广域保护与分布式保护 .....	249
6.2 分布式电流保护 .....	250
6.3 分布式电流差动保护 .....	254
6.4 高阻故障保护 .....	258
6.5 脉冲重合闸技术 .....	262
6.6 故障测距技术 .....	262
参考文献 .....	270
<b>第 7 章 小电流接地故障保护</b> .....	272
7.1 概述 .....	272
7.2 利用稳态量的小电流接地故障选线方法 .....	276
7.3 利用暂态量的小电流接地故障选线方法 .....	284
7.4 小电流接地故障定位方法 .....	293
7.5 小电流接地故障分界方法 .....	303
7.6 小电流接地故障的自动切除 .....	307
7.7 小电流接地配电网高阻接地保护 .....	309
7.8 利用瞬时性故障信号实现线路绝缘的在线监测 .....	311

参考文献	313
------	-----

### 第三篇 配电网自动化 317

第 8 章 配电自动化概论	319
8.1 配电自动化基本概念	319
8.2 配电自动化的功能	320
8.3 配电网自动化系统	321
8.4 配电自动化的作用	325
8.5 高级配电自动化	329
8.6 配电网广域测控系统	331
8.7 配电自动化技术的应用与展望	332
参考文献	336
第 9 章 配电网自动化主站系统	338
9.1 主站系统构成	338
9.2 主站系统建设模式	343
9.3 主站系统关键技术	345
9.4 配电网数据采集与监控	354
9.5 高级应用	357
9.6 配电网自动化主站系统与其他自动化系统的集成	363
9.7 配电网自动化系统网络安全防护技术	375
参考文献	377
第 10 章 配电网自动化远方终端	378
10.1 概述	378
10.2 配电网终端的功能	380
10.3 配电网终端的构成	384
10.4 配电网终端的故障检测技术	392
10.5 分布式控制技术	397
10.6 电流、电压传感器的应用	406
10.7 故障指示器	412
参考文献	418
第 11 章 配电网自动化通信系统	419
11.1 概述	419
11.2 光纤通信通道	421
11.3 无线通信通道	426
11.4 配电线路载波	434
11.5 配电子站	437
11.6 配电网自动化通信网络的构成	438
11.7 配电网自动化通信协议	440
11.8 IEC 61850 在配电网自动化系统中的应用	445

参考文献 .....	456
<b>第 12 章 馈线自动化</b> .....	458
12.1 概述 .....	458
12.2 就地控制型馈线自动化 .....	459
12.3 集中控制型馈线自动化 .....	465
12.4 分布式控制型馈线自动化 .....	476
12.5 开闭所故障隔离方式 .....	481
12.6 不同型式馈线自动化技术对比 .....	482
参考文献 .....	483
<b>第 13 章 配电网自动化系统的规划设计</b> .....	484
13.1 概述 .....	484
13.2 配电网故障处理方案 .....	490
13.3 配电网自动化系统建设技术方案 .....	496
13.4 配电网自动化系统效益评估 .....	502
参考文献 .....	505
<b>第 14 章 配电网自动化工程案例</b> .....	507
14.1 绍兴配电网自动化系统 .....	507
14.2 厦门配电网自动化系统 .....	509
14.3 杭州配电网自动化系统 .....	512
14.4 成都配电网自动化系统 .....	515
14.5 香港中华电力公司配电网自动化系统 .....	517
14.6 英国伦敦电力公司配电网自动化系统 .....	519
14.7 日本东京电力公司配电网自动化系统 .....	520
14.8 日本关西电力公司配电网自动化系统 .....	524
14.9 美国 Oncor 公司智能配电网项目 .....	526
14.10 美国 Alabama 电力公司综合配电管理系统 .....	527
14.11 加拿大卑诗省水电公司配电网自动化实践 .....	528
参考文献 .....	533
<b>附录 A 架空线、电缆参数表</b> .....	534
<b>索引</b> .....	535



第一篇

# 基础篇

