

智能电网 关键技术研究与应用丛书

配电系统的 控制和自动化

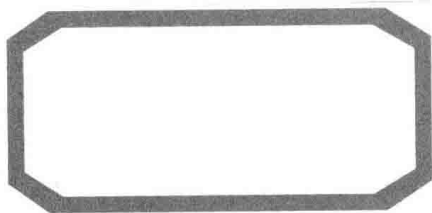
Control and Automation
of Electrical Power Distribution Systems

[瑞典] 詹姆斯·诺思科特·格伦 (James Northcote-Green)

[英] 罗伯特·威尔逊 (Robert Wilson)

著

郝全睿 译



智能电网关键技术研究与应用丛书

配电系统的控制和自动化

Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems

[瑞典] 詹姆斯·诺思科特·格伦 (James Northcote - Green)

[英] 罗伯特·威尔逊 (Robert Wilson)

著

郝全睿 译

机械工业出版社

Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems / by James Northcote - Green, Robert Wilson/ ISBN: 9780824726317

Copyright © 2007 by Taylor & Francis Group, LLC.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权机械工业出版社在中国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)出版与发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2019-0948 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

配电系统的控制和自动化/(瑞典)詹姆斯·诺思科特·格伦等著; 郝全睿译. —北京: 机械工业出版社, 2019. 7

(智能电网关键技术研究与应用丛书)

书名原文: Control and Automation of Electrical Power Distribution Systems
ISBN 978-7-111-63144-6

I. ①配… II. ①詹… ②郝… III. ①配电系统-自动控制系统
IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 131743 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: 付承桂 责任编辑: 李小平

责任校对: 王明欣 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2019 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 22.75 印张 · 469 千字

0 001—1 900 册

标准书号: ISBN 978-7-111-63144-6

定价: 119.00 元

电话服务

客服电话: 010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

机工教育服务网: www.cmpedu.com

本书对配电网自动化涉及的基本理论、相关硬件和合理性等进行了详细介绍，主要内容包括配电网自动化的控制系统和架构、网络设计和运行、相关硬件设备、保护和通信、性能评价和经济性分析等。

本书适合配电领域的技术人员，特别是正在从事配电网规划和设计的电力工程师以及高等学校电力系统的教师和学生阅读。

译者序

配电网自动化是将配电网的电网结构、设备、用户和故障投诉等信息进行企业内部的纵向和横向集成，旨在实现配电网运行监控和管理的自动化和信息化。配电网自动化的实现涉及通信、量测、计算机、电力系统、自动化等多种技术，是一项综合、复杂的工程。目前，国内的配电网自动化比例低于国际平均水平，改造空间很大。虽然已经有很多介绍配电网自动化的书籍，但是大多数都是从技术和设备角度来阐述，很少涉及配电网自动化的合理性分析及配电网自动化收益的经济性量化分析，同时针对具体配电网自动化案例的分析也偏少。

本书作者长期从事配电网的相关技术和市场工作，有着深厚的配电网自动化背景。他们从工业界最关心的角度——配电网自动化方案设计和合理性出发，对配电网自动化涉及的基本原理和控制形式、设计原则和方法、设备、通信方式、性能的改进以及收益的经济性量化等相关问题进行了详细论述。使用了大量例子详细地介绍了配电网自动化系统的相关设备、性能计算、合理性分析等，以简单易懂的方式使读者了解配电网自动化的设计和工作过程。本书的相关内容基本上代表了国外配电网自动化最新的发展现状，书中给出的配电网自动化合理性分析和经济性分析方法对国内配电网自动化的发展有着很强的借鉴意义，特别是书中最后例举说明了如何创建具体的配电网自动化商业案例。因此，译者历时一年将本书翻译出来，希望这部书对读者有所帮助。本书部分内容的表述与国内熟知的出入较大，在翻译过程中，译者尽量贴近原著进行表述，以更真实地表达作者思想和意图。

翻译过程中，我的学生张良一、谢蔚、季海宁和桂睿同学做了大量工作，对此深表感谢；也感谢我的妻子王淑颖对全书进行了校正；最后，感谢国家自然科学基金委对本书翻译工作的资助（51877125）。限于译者水平有限，书中难免存在用词不当或概念偏差之类的翻译错误，恳请广大读者予以批评指正。译者电子信箱：haoquanrui@sdu.edu.cn。

郝全睿
于山东大学电气工程学院

原书前言

本书涵盖了配电网自动化的方方面面，可以作为参考书和教程指南。配电网自动化广义上涵盖了从简单的远程控制，到自动化逻辑的应用，以及基于软件的决策工具等相关内容。

考虑自动化的电力公司必须意识到并解决一系列关键问题：首先，必须要评估向现有开关设备添加自动化的成本和可行性，与用更“自动化就绪”的设备替换现有设备的方案进行比较；其次，要评估控制基础设施的类型和希望考虑的自动化水平（中央或分布式、系统或本地、或者以上这些的组合）及其对通信系统可用性和实用性的影响；然后，要对希望或被迫（监管压力）达到的目标水平与谨慎的支出进行权衡，目标水平受必须达到的可靠性和运营经济性的影响，有必要寻找那些能够经济有效地提高性能却不会降低电力公司商业表现的关键功能；最后，为了实现自动化解决方案，必须通过创建商业案例证明其合理性，不同的商业环境会产生非常不同的评价，如在基于性能的罚款风险中运营的电力公司会将缺供电量看得比那些以传统电量成本核算的电量重要得多。

《配电系统的控制和自动化》解决了以上四个问题以及许多在应用配电网自动化时应该考虑的相关问题。对控制和自动化解决方案的基本原理进行了介绍，包括控制深度、控制责任边界、自动化阶段、自动化强度水平（AIL）、配电自动化（DA）、配电管理系统（DMS）、变电站自动化（SA）、馈线自动化（FA）和自动化设备准备度等概念，所有这些都将在第1章中进行了介绍。因为FA或扩展控制、一次变电站外的自动化是本书的主题，本书详细地探讨了这些概念。

第2章总结了SCADA、控制室运行管理、调度员决策支持工具等高级应用和停电管理（OM），介绍了DA解决方案中中央控制的作用。用一小节内容介绍了衡量实时系统性能的概念。配电网的连接性模型是所有DMS的基础元素，因此，数据和数据建模成了DMS实施的关键——潜在的实施者应该明白它的意义。数据模型的重要性及其对构建与GIS等其他应用接口的意义也一同进行了解释，目的是通过公共信息模型（CIM）进行标准化。

第3章介绍了配电设计、规划、本地控制、网络类型的比较以及网络结构，以协助选择一次设备和相关的控制。后者引出了网络复杂性因数的概念，本书后面的内容将会用到相关的关系式。

第4章介绍了配电一次设备、断路器、重合闸、分段器和不同类型传感器的基本知识，这些将成为DA方案的一部分，本书后面的章节将在此基础上提出馈线自



动化组成单元的概念。

第5章扩展了前面章节的基础工作，这些工作对开发FA组成单元而言很重要：对配电网基本的保护要求以及不同接地方式下需要考虑的相关内容进行了解释；详细介绍了故障指示器（FPI）及其应用；描述了适合一次设备自动化的各类智能电子设备（IED）及其可能的用途；最后，对自动开关电源、电池及其工作周期进行了解释。本章最后一节选择并收集了本章及之前章节中介绍的相关设备，提出了FA组成单元的概念，并特别关注了不同组件之间接口，这些接口必须经过设计和测试才能用来创建一个自动化就绪设备。

第6章讨论了如何计算配电网的性能，以及选择的自动化策略和不同FA组成单元如何提高性能。本章总结了性能指标的计算、网络复杂性因数（NCF）和性能之间的关系以及不同的自动化策略。

通信系统是DA实施的关键部分，第7章深入介绍了该主题，以便DA实施者能够理解通信系统的复杂性。总结了不同的通信媒介后，对无线通信进行了介绍，内容涵盖了天线的结构管理到增益计算；无线通信之后，对配电线载波进行了全面介绍；总结了可能适合DA的通信类型及其优缺点；解释了协议的结构，最后介绍了对通信系统规格的要求。

第8章开发了证明DA合理性所必需的方法。一开始介绍了直接和间接收益的概念，二者可能是硬性或软性收益；解释了一般性收益、收益机会矩阵和收益流程图的思想；分析了DA功能对硬件的依赖性以及对共享收益进行重复计算的可能性；给出了计算由资本推迟、缺供电量、工时节省和人员出行时间节省CTS（通过Wilson's曲线）产生收益的方法；最后一节分析了对电量相关的收益进行量化时为其分配正确经济价值的重要性。本章结束时又回到收益的硬性和软性分类，将其总结为一种表示商业案例量化结果的方法。

第9章通过两个案例研究对本书进行了总结，这两个案例利用前面章节中的思想对不同的情况进行了说明，其中配电自动化正面的商业案例是成功的。

电力公司一直在通过改进配电网资产的管理来争取更好的经济性，而DA是他们可以利用的工具之一。本书的内容将为决策制定者在制定方案和论证其合理性的时候，提供一种针对所有需要进行研究和决策的问题的有用指导。

本书涵盖了一系列主题，如果没有我们同事的巨大付出，本书不可能完成。作者特别感谢以下专家对第7章做出的贡献：原来在ABB、现在Cipunet的Josef Lehmann，英国铁路行业的通信专家John Gardener，瑞典Radius通信的Anders Grahn和Hans Ottosson。Gunnar Bjorkmann和Carl-Gustav Lundqvist给出的建议和贡献极大地改进了第2章中SCADA、性能测量和数据建模部分。我们还要感谢Reinhard Kuessel和Ulrich Kaizer博士为第2章高级应用部分提供了宝贵的材料。本书的构思受Andrew Eriksson领导的ABB高级管理者的战略性思想的启发，Andrew Eriksson明确了重新审视馈线自动化的需求，而这种需求导致了对一项DA研究项目的资



助。感谢已故的英国电力行业高级会员和作者 Ted Holmes，感谢他的建议和审阅。作者还要感谢为该项目指派的 ABB 成员 David Hart 博士、Peter Dondi 博士、Arnie Svenne、Matti Heinonen、Tapani Tiitola、Erkki Antila、Jane Soderblom、Duncan Botting、Graeme McClure 和 Karl LaPlace，感谢他们在 FA 各方面所做的原创性工作，这些工作已经包含在本书中。ABB 电网管理部门一直允许引用重要的文献和技术专题，这种支持是无价的。我们还想感谢 Jay Margolis 和 Taylor & Francis 其他员工的参与和工作。最后同样重要的是，我们要谢谢我们多年的同事和搭档 Lee Willis 鼓励和督促我们写下我们所经历和了解的内容。

目 录

译者序	
原书前言	
第1章 输配电系统控制和自动化	1
1.1 引言	1
1.2 为什么需要配电自动化	1
1.2.1 渐进式实施	3
1.2.2 电力行业对配电自动化的接受程度	4
1.3 输配电系统	6
1.4 控制层级	7
1.5 什么是配电自动化	9
1.6 配电自动化系统	10
1.6.1 自动化决策树	11
1.6.2 自动化阶段	12
1.6.3 自动化强度水平	13
1.7 配电自动化的基本架构和实施策略	14
1.7.1 基本架构	14
1.7.2 创建配电自动化解决方案	15
1.7.3 配电网结构	17
1.8 自动化设备准备度的定义	17
1.9 总结	19
参考文献	19
第2章 中央控制和管理	20
2.1 引言	20
2.1.1 为什么要控制电力系统	20
2.2 电力系统运行	20
2.3 配电网运行环境	22
2.4 配电管理系统的演变	22
2.5 配电管理系统的基本功能	25
2.6 实时控制系统的基础	28
2.6.1 数据采集	29
2.6.2 监测和事件处理	30
2.6.3 控制功能	32
2.6.4 数据存储、归档和分析	32
2.6.5 硬件系统配置	33
2.6.6 SCADA 系统原理	34
2.6.7 轮询原理	35
2.7 停电管理	37
2.7.1 基于故障投诉的停电管理	38
2.7.2 基于高级应用的停电管理	42
2.7.3 以 GIS 为中心和以 SCADA 为中心	44
2.8 决策支持应用	44
2.8.1 调度员潮流	45
2.8.2 故障计算	47
2.8.3 损耗最小化	48
2.8.4 VAR 控制	48
2.8.5 电压控制	49
2.8.6 数据依赖性	49
2.9 子系统	52
2.9.1 变电站自动化	52



2.9.2 变电站就地自动化	53	成本	105
2.10 扩展控制馈线自动化	57	3.2.14 电网建成后的拥有成本	106
2.11 性能测量和响应时间	57	3.3 低压配电网	106
2.11.1 场景定义	57	3.3.1 地下低压配电网	106
2.11.2 DA 响应时间的计算	60	3.3.2 架空低压配电网	107
2.11.3 响应时间	62	3.4 低压网络和配电变电站的开关设备	108
2.12 数据库结构和接口	63	3.5 低压网络和配电变电站的扩展控制	110
2.12.1 网络数据模型表示	63	3.6 总结	111
2.12.2 SCADA 数据模型	64	参考文献	111
2.12.3 DMS 数据需求、来源和接口	65	第4章 配电系统的硬件	112
2.12.4 数据模型标准	68	4.1 开关设备简介	112
2.12.5 数据接口标准	74	4.2 一次开关设备	116
2.13 总结	74	4.2.1 变电站断路器	116
附录2A 综合 CIM 结构样本	75	4.2.2 变电站隔离开关	119
参考文献	75	4.3 落地式变电站	120
第3章 配电系统和		4.3.1 环网柜	120
中压网络的		4.3.2 基座式开关设备	123
设计、建造和运行	77	4.4 更大的配电/紧凑型变电站	124
3.1 引言	77	4.5 封闭式柱上开关	126
3.2 配电网的设计	79	4.6 柱上重合器	128
3.2.1 电压选择	80	4.6.1 单罐式设计	128
3.2.2 架空和地下网络	80	4.6.2 单支柱式设计	129
3.2.3 配电变电站的容量	81	4.7 柱上隔离开关与负荷隔离开关	130
3.2.4 接入中压网络(上游结构)	83	4.8 操作和执行机构	131
3.2.5 配电网所需的性能	86	4.8.1 电动执行机构	131
3.2.6 网络复杂性因数	87	4.8.2 磁力执行机构	132
3.2.7 电压控制	89	4.9 电流和电压测量装置	133
3.2.8 电流负荷	95	4.9.1 电磁式电流互感器	135
3.2.9 负荷增长	96	4.9.2 电磁式 VT	137
3.2.10 接地	98	4.10 仪用互感器的扩展控制	137
3.2.11 损失的电量	99		
3.2.12 英国和美国配电网的比较	102		
3.2.13 所选设计的安装			



4.11 电流和电压传感器·····	138	的连接·····	161
4.11.1 电流传感器·····	138	5.10.1 采用电流互感器的连接	
4.11.2 电阻分压器·····	139	方式·····	161
4.11.3 组合传感器和传感器		5.10.2 地下网络中采用 CT	
封装·····	139	的连接方式·····	161
参考文献·····	140	5.10.3 架空网络中采用 CT	
第5章 保护和控制 ·····	141	的连接方式·····	162
5.1 引言·····	141	5.10.4 架空网络中无 CT 的	
5.2 采用继电器的保护·····	141	连接方式(临近)·····	163
5.2.1 基于时间的判别·····	142	5.11 配电系统接地及故障	
5.2.2 基于电流的判别·····	142	指示·····	165
5.2.3 基于时间和电流的		5.11.1 稳态故障情况下的	
判别·····	143	检测·····	166
5.3 灵敏接地故障和瞬时保护		5.11.2 暂态故障情况下的	
方案·····	144	检测·····	166
5.4 采用熔断器的保护·····	145	5.11.3 灵敏型接地故障	
5.5 直接接地/经电阻接地网络		指示·····	167
的接地故障和过电流		5.12 自动重合闸与故障	
保护·····	148	指示器·····	167
5.6 补偿网络中的接地故障···	149	5.13 相间故障和接地故障之间	
5.7 不接地网络中的接地		的指示选择·····	167
故障·····	152	5.14 故障指示器的重置·····	168
5.8 一种用于补偿网络和不接地		5.15 故障指示器的配合·····	168
网络的接地故障继电器···	153	5.16 选择故障指示器·····	169
5.9 故障指示器·····	156	5.17 智能电子设备·····	169
5.9.1 手动控制的配电网对		5.17.1 远程终端单元·····	170
故障指示器的需求···	156	5.17.2 保护智能电子	
5.9.2 什么是故障指示器···	157	设备·····	172
5.9.3 采用扩展控制或自动化		5.18 扩展控制的电源·····	173
的配电网对故障指示器		5.19 自动化就绪开关设备——	
的需求·····	159	FA 组成单元·····	176
5.9.4 闭环网络中使用的故障		5.19.1 开关的选择·····	178
指示器·····	159	5.19.2 驱动(执行机构)的	
5.9.5 方向性故障指示器的其		选择·····	178
他应用·····	161	5.19.3 RTU 的选择·····	179
5.10 故障指示器与配电网导线		5.19.4 CT/VT 的选择·····	179



5.19.5	通信系统的选择	179	6.2	配电系统性能和基本的 可靠性计算	195
5.19.6	FPI 的选择	179	6.2.1	系统指标	196
5.19.7	电池的选择	179	6.2.2	电网可靠性指标的 计算	196
5.19.8	组成单元中的 接口	179	6.2.3	持续停电时间 (SAIDI) 的计算 (参见表 6.4)	198
5.20	组成单元举例	181	6.2.4	持续停电频率 (SAIFI) 的计算 (参见表 6.4)	199
5.21	组成单元的典型输入和 输出	182	6.2.5	瞬时停电频率 (MAIFI) 的计算 (参见表 6.4)	199
5.21.1	分段开关 (无测量 功能, 见图 5.40)	182	6.2.6	计算结果的总结	200
5.21.2	分段开关 (有测量 功能, 见图 5.41)	182	6.2.7	计算扩展控制的 影响	202
5.21.3	架空系统中的保护用 重合闸	183	6.2.8	网络复杂性因数函数的 指标	202
5.22	控制单元及其改进	183	6.2.9	在没有自动化情况下 改善性能	203
5.23	控制逻辑	184	6.3	提高地下网络的可靠性	206
5.23.1	方案 1: 线路 A 有 1.5 个开关自动化、FPI 和 开关远程控制	184	6.3.1	设计方法 1: 添加手动 分段开关	206
5.23.2	方案 2: 线路 B 有 2.5 个开关自动化、FPI 和 开关远程控制	185	6.3.2	设计方法 2: 添加手动 切换的备用电源	207
5.23.3	方案 3 和方案 4: 没有 FPI	186	6.3.3	设计方法 3: 添加自动 线路保护	208
5.23.4	方案 5 和方案 7: 只有 本地控制	186	6.3.4	设计方法 4: 添加连续 备用电源	209
5.23.5	方案 6 和方案 8: 只有 本地控制	187	6.4	提高架空网络的可靠性 (设计方法 5 ~ 方法 7)	211
5.23.6	特殊情况: 多重重合闸 和自动分段开关	187	6.5	通过自动化提高性能	213
第 6 章	配电系统的性能	190	6.6	通过综合设计方法 1 ~ 方法 4 和方法 8 改进地下 线路	214
6.1	配电网的故障	190			
6.1.1	故障类型	190			
6.1.2	故障的影响	192			
6.1.3	瞬时故障、重合闸和 补偿网络	193			



参考文献	218	7.8 配电自动化通信用户接口	268
第7章 用于控制和自动化的通信系统	219	7.9 配电自动化通信选择的一些考虑	268
7.1 引言	219	7.10 确定通信信道规格的要求	269
7.2 通信与配电自动化	220	7.10.1 确认和未确认的通信	269
7.3 配电自动化通信物理链路选项	221	7.10.2 通信系统的特征	270
7.4 无线通信	222	7.10.3 通信模型	271
7.4.1 未许可的扩频无线电	222	7.10.4 反应或响应时间的计算	271
7.4.2 VHF、UHF 窄带分组数据无线电 (许可/未许可)	222	第8章 创建商业案例	273
7.4.3 无线网络理论	222	8.1 简介	273
7.4.4 集群系统 (公共分组交换无线电)	229	8.2 变电站自动化为行业带来的潜在收益	274
7.4.5 蜂窝	229	8.2.1 变电站控制和自动化的集成及其功能收益	274
7.4.6 寻呼技术	229	8.2.2 SCADA 与 SA	275
7.4.7 卫星通信——近地轨道	229	8.2.3 行业声称的经济收益	276
7.5 有线通信	230	8.3 馈线自动化为行业带来的潜在收益	277
7.5.1 电话线	230	8.4 一般性收益	278
7.5.2 光纤	230	8.5 收益机会矩阵	280
7.5.3 配电线载波	230	8.6 收益流程图	282
7.5.4 通信方式总结	252	8.7 依赖性以及共享和专有收益	283
7.6 配电自动化通信协议	253	8.7.1 依赖性	283
7.6.1 MODBUS	254	8.7.2 共享收益	284
7.6.2 DNP 3.0	257	8.7.3 主要 DA 功能产生的专有收益	286
7.6.3 IEC 60870-5-101	262	8.7.4 收益总结	289
7.6.4 UCA 2.0, IEC 61850	264	8.8 资本推迟、释放或替换	290
7.7 配电自动化通信架构	265	8.8.1 一次变电站资本投资的推迟	290
7.7.1 中央 DMS 通信	265		
7.7.2 异常轮询和报告	267		
7.7.3 智能节点控制器/网关	267		
7.7.4 异构协议的互连	268		



8.8.2	配电网容量的释放 ...	295	8.11.3	改进的用户关系管理	313
8.8.3	上游网络和系统容量的释放	296	8.12	配电自动化功能和收益总结	315
8.8.4	用自动化替换传统设备	297	8.13	经济价值 - 成本	315
8.9	人力节省	297	8.13.1	电力公司成本	316
8.9.1	降低变电站/控制中心的运行水平	297	8.13.2	用户成本	322
8.9.2	减少巡视	297	8.13.3	经济价值	323
8.9.3	人员时间节省	298	8.14	结论	326
8.9.4	与投资和运行节省相关的人员时间节省的计算	307	参考文献	328	
8.9.5	为 CLPU 更改继电器设置减少的人员时间和工作量	308	第9章 案例研究	330	
8.10	与电量相关的节省	308	9.1	简介	330
8.10.1	因更快的恢复而减少供电量产生的节省	308	9.2	案例 1: 长的农村馈线 ...	330
8.10.2	受控负荷减小导致的电量收益减少	309	9.2.1	性能评估	330
8.10.3	因技术性损耗减少产生的电量节省	310	9.2.2	人员时间节省	331
8.11	其他运营收益	312	9.2.3	网络性能和罚款	332
8.11.1	维修和维护收益	312	9.3	案例 2: 大型城市网络 ...	334
8.11.2	更好的信息产生的收益	312	9.3.1	预备分析: 人员时间节省	335
			9.3.2	预备分析: 网络性能	337
			9.3.3	成本节省的总结	343
			9.3.4	SCADA/DMS 的成本	343
			9.3.5	成本收益和回收期 ...	344
			9.3.6	结论	345
			词汇表	346	

第 1 章

输配电系统控制和自动化

1.1 引言

电力公司一直竭诚作为有效率的企业以提供质量尚可的电力。放松管制的出现极大地改变了这种商业环境。作为放松管制、开放获取和私有化的结果，这种商业目标的根本性转变发生在很多国家的电力公司中，正引起一场对电网设计和运行实践的重新认识。随之产生的发电、大容量输电、配电和计量业务分离突显了这些组织各自的关注重点。特别是，无论是直接通过监管者还是间接通过新的费率结构或消费者意识，电网可靠性、电能质量（Power Quality, PQ）都被要求得到改善和提高；配电网的所有者也同样被要求通过改进监测和分析手段最大化地利用资产并延长其寿命，这些都是他们需要负责的重要问题。在此发展过程中，电网控制和自动化将发挥关键作用，帮助配电网所有者适应不断变化的形势和机遇并实现他们的商业目标，同时确保股东们享有适当的回报。该书的目的即总结配电网自动化所用到的组件和系统，定义工业自动化中用到的某些公式，并且介绍有助于实现控制自动化的新思路和解决方案。

1.2 为什么需要配电自动化

实现配电自动化（Distribution Automation, DA）的配电公司正在很多方面获益。例如，DA 可以快速提高可靠性，使整个操作功能更加高效；或者只是简单地延长资产寿命。受过去收益 - 成本比的限制，整个配电行业对配电自动化的接纳程度并不一致。过去的管理层认为更有效率的配电网控制既不必要，也没有投资价值。基于放松管制和对新型、更具成本效益的控制系统的行业经验，这种观念正在改变：自动化首先在最高控制层实现，最高控制层的功能整合可以提高整个企业的效率；下游自动化系统的实现则需要更复杂的论证，并且通常针对那些改进后会产生可观收益的特定区域。变电站自动化带来的好处正在延伸到变电站外的馈线装置



甚至仪表上。实施配电自动化的电力公司已经有了成功的商业案例^①，大量与各自运营环境相适应的实际收益支持了这些案例。表 1.1 总结了根据控制层^②划分的主要自动化收益类别。

表 1.1 根据控制层分类的主要的自动化收益

控制层级	降低运维成本	推迟扩容工程	提高可靠性	新型用户服务	电能质量	改善的工程和规划信息
公司	√			√		√
电网	√	√	√		√	√
变电站	√	√	√		√	√
配电	√	√	√		√	√
用户	√	√	√	√	√	√

(1) 降低运行维护成本。无论是从公司层面改进的信息化管理，还是从电网层面由配电管理系统（DMS）带来的切换计划自动化，自动化都降低了整个公司的运行成本。在变电站和配电网层面，故障快速定位大大降低了巡线时间，因为工作人员可以被直接指派到电网的故障区域。传统费时的故障定位需要进行巡线，同时需要在一次变电站现场操作手动开关与馈线断路器进行配合，这种操作方式已经被废除。如果负荷特性允许，通过定期远程切换常开联络开关（NOP）以及动态地控制电压，自动化可以用来降低损耗。

通过实时数据及资产管理系统，对电网设备的状态监测可以实现基于状态和可靠性的维护工作。维护工作经过优化，可以减小对用户的影响。

(2) 推迟扩容工程。改进后的电网运行信息允许现有电网以更小的安全裕度运行，因此可以释放一部分事故备用容量。实时负荷分析将针对运行需求优化设备寿命。在许多情况下，一次变电站之间的联络开关自动化将避免增加对其他变电站变压器的容量需求，因为可以通过远程控制将短期负荷转移到相邻变电站来维持电力供应而几乎不减少设备寿命。

(3) 提高可靠性。虽然可靠性是电能质量问题，但通常单独进行考虑，因为故障统计是配电网运行中的一项重要指标。通过部署远程控制开关（如重合闸和负荷开关）和故障指示器（FPI），并结合控制室管理系统，可以改善整个区域的停电管理，大大减少停电时间和停电频率。无论间接地还是通过基于性能/罚款的费率，要求提高电网可靠性的用户需求和监管压力正在迫使电力公司管理层重新审视供电质量不合格区域的运行和设计实践。自动化提供了可以减少停电时间的最快方法。经验表明，通过实施自动化，大多数维护良好的架空馈线系统每年的平均停电持续时间可以减少 20% ~ 30%。如果只有当停电超过一定的时间才会被记录为

① 第 8 章涵盖了成本/收益分析和商业案例开发的全部领域。

② 如第 1.4 节所述。



一次停电的话，它甚至可以减少停电的次数^①。这种改善的前提是，由重合闸操作引起的瞬时停电是可以接受的。比较而言，例如更换为绝缘导线可以同时改善停电持续时间和停电频率，但需要更高的成本和时间代价，通常需要3~4年的实施期。

(4) 新型用户服务。通过远程读表实现用户层的自动化，使电力公司能够提供更灵活的收费机制并为用户用电提供更多的选择性和控制。这种最低控制层必须与最高控制层的用户信息系统相协调，才能成为一个有效的业务系统。这种最低层的自动化是分布式电源^②实用化的先决条件。

(5) 电能质量。除了以停电来衡量的可靠性外，电能质量还包括电压调整和不平衡、电压暂降、电压暂升和谐波含量。随着电力电子负荷渗透率的提高，这些特性正在受到越来越多的关注。配电网自动化越来越多地在智能装置中采集波形，从而实现真正的电能质量监测。自动化还可以通过对电容器组和电压调节器的远程控制实现电压调整的动态控制。

(6) 改善的工程和规划信息。由配电自动化而产生的实时数据大大增加，这为电网的规划和运行人员提供了更高的能见度。通信基础设施的优化是实现自动化的一个重要方面，它需要向相应的应用程序提供数据。这些数据是在不同商业目标下进行更好的规划和资产管理的基础，能够降低运营和资本投资。

1.2.1 渐进式实施

计算机化的控制和自动化系统的好处是随着每项功能的实施而体现的。实施策略是渐进式的，即每一项功能建立在前一阶段基础之上，因而成效随着时间而累积。图1.1显示了一个主要为农村地区供电的电力公司的例子，随着10年内各项功能的逐步实施，停电时间和工作人员水平都有所改善。这些改善对于电力公司而言具有经济价值，可以为其业务提供正的收益成本比。已实现的配电自动化(DA)功能有：

- 监控与数据采集(SCADA)；
- 变电站内继电器通信；
- 远程控制隔离开关；
- 集成故障定位功能的配电管理系统，故障定位功能由包含资产数据库和地图系统的企业网络信息系统提供支持。

虽然基于性能的处罚(PBR)机制的出台对配电自动化来说是一种强劲的经济驱动，但由于设备价格的大幅降低、配电自动化标准的出现以及提高资产利用率的商业压力，配电自动化在PBR尚未出现时就已呼之欲出。考虑到短期商业目标中

① 为了在公共或私有环境下国家评价标准机构或监管机构对电力公司表现进行评估的统计目的。停电仅在持续超过一定时间后算起，通常在1~5min之间，视国家而定。在24h内未处理的停电故障通常会招致对用户支付罚款。

② 分布式电源是指通常接入中压(MV)或低压(LV)电网的小型发电系统(微型燃气轮机、燃气发动机、风力机、光伏阵列等)。