



国际电气工程先进技术译丛

WILEY

# 配电系统

Electric Distribution Systems

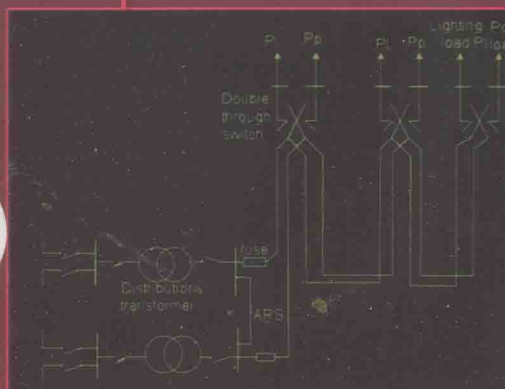
[埃及] Abdelhay A. Sallam 编著

[印度] Om P. Malik

中国电力科学研究院配电研究所 译



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

# 配 电 系 统

[埃及] Abdelhay A. Sallam

编著

[印度] Om P. Malik

中国电力科学研究院配电研究所 译



机械工业出版社

Copyright © 2011 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Electric Distribution Systems, ISBN9780470276822, by ABDELHAY A. SALLAM · OM P. MALIK, Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书原版由 Wiley 公司出版, 并经授权翻译出版。

版权所有, 侵权必究。

本书中文简体翻译出版授权机械工业出版社独家出版, 并限定在中国大陆地区销售。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。

本书封面贴有 Wiley 公司的防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01-2013-1426 号。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

配电系统/(埃及)撒拉姆(Sallam, A. A.), (印)马力克(Malik, O. P.) 编著; 中国电力科学研究院配电研究所译. —北京: 机械工业出版社, 2014. 12

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Electric distribution systems

ISBN 978-7-111-48107-2

I. ①配… II. ①撒…②马…③中… III. ①配电系统 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 224487 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: 赵玲丽 责任编辑: 赵玲丽 版式设计: 霍永明

责任校对: 刘怡丹 封面设计: 马精明 责任印制: 李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 27.75 印张 · 591 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48107-2

定价: 98.00 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

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

本书是配电系统规划设计、建设安装与优化运行领域理论与实践的完美融合。它从经典理论与工程实践两个不同维度详细介绍了配电系统的规划设计、建设、运行与管理等方面的必备知识。读者不仅能够全面掌握基础理论与概念，同时能够利用这些知识技能解决实际问题。在本书内容中，作者具体阐释了用于配电系统设计与运行的各种分析工具与技术，并辅以相关的实际案例，同时配有数百张清晰的图表。

《配电系统》(全书)共分为5个部分。第1部分介绍配电系统理论的基本概念，接下来4个部分分别从保护和配电开关、电能质量、管理与自动化、分布式发电4个方面进行介绍。通过将配电系统领域的传统与新兴课题进行有机融合，本书有益于提高读者以下几个方面的能力：

- 规划设计能够满足特殊负荷、城市以及区域用电需求的配电系统。
- 识别并快速处理系统运行过程中可能出现的问题。
- 采用经济适用的配电自动化及监测技术改善配电系统的运行水平。

本书所有章节均附有参考文献，读者可以追溯相关的原始文献，有助于在更深层面探索一些独立的课题。

本书对于相关专业的学生、研究人员以及配电系统专业规划与运行人员是一本非常实用的读物。通过对本书的学习，读者可以掌握配电系统规划设计、建设安装、安全高效运行等方面的知识与技能。

# 译 者 序

本书中的内容既包括配电系统的理论，也涉及了配电系统实际应用方面的案例，这些内容对于电力行业，以及从事配电系统工作的人员来说是有益的。

本书译者多年从事配电系统方面的工作，在理论研究及工程实践方面均具有丰富的经验。由于我国与北美的配电系统之间毕竟存在着一些差异，原著中有些概念难以用我国所熟知的术语一一对应翻译，因此，在翻译的过程中，一方面尽量遵循原著，尽可能准确地传达原著作者的观点，另一方面对原著又不生搬硬套，尽量按照中国的电力系统的术语和表达方式进行阐述。

本书共分为五部分内容：第1部分为基本概念，包括配电系统的基本概念以及负荷预测周期及预测方法。第2部分为保护及配电开关设备，从接地、保护系统和配电开关设备三个方面进行了介绍。第3部分为电能质量，包括电压质量、功率因数和谐波。第4部分为管理及自动化，从需求侧管理及SCADA系统两个方面进行了介绍。第5部分为对分布式电源的介绍。本书对从事配电系统工作的配网运行人员或电力工程师有参考价值，也可作为电力专业本科生和研究生学习配电系统的参考用书。

本书由中国电力科学研究院配电研究所组织翻译。第1章由吴俊玲翻译，第2章由赵明欣翻译，第3章由侯义明翻译，第4章由惠慧翻译，第5章由张国宾翻译，第6章前半部分由张伟翻译、后半部分由陈海翻译，第7章由张伟翻译，第8章由崔艳妍翻译，第9章、第10章由韦涛翻译，第11章由刘伟翻译，第12章由周莉梅翻译，第13章由刘苑红翻译，第14章由马丽翻译。侯义明教授对各章的术语以及内容进行了审校，完成了全书的校核及最终的定稿工作。

谨此对在本书翻译的过程中给予支持和帮助的人员表示诚挚的谢意！在本书翻译的过程中，张东霞博士对译稿提出了很好的修改建议，在此一并表示感谢。由于本书翻译时间有限，如有疏误之处，敬请广大读者批评指正。

译 者  
2014年5月

# 原 书 序

作为连接输电系统与用户的纽带，配电系统的主要作用是以一种安全、高效的方式，为终端用户提供充足的电能。与输电系统仅有少量的线路不同，配电系统中线路众多，分布在不同的位置，就近向用户供电，需适应各类用户的不同用电需求。

此外，配电系统的发展、可再生能源发电（通常是分布式发电）的接入、大规模电力电子设备的使用、智能电网技术中需求侧响应技术的应用等，增加了配电系统分析、规划、设计和运行的复杂性。

由于用户数量庞大且需求各异，配电系统涉及的内容非常广泛。本书的内容既包含配电系统的相关理论，也包含配电系统实际应用案例。这些内容对于从事配电系统运行规划的技术人员以及其他从事配电系统研究的专家和学者都是有益的。

配电系统的规划，以研究和了解配电系统的结构为基础，以满足现在及未来的用电需求为目的。配电系统的保护和配电开关设备的设计应基于短路电流计算结果和接地系统特性。电能质量、系统管理、自动化以及分布式电源等内容也很重要，它们对现代配电系统运行的影响越来越大。

本书共分为五个部分。

## 第1部分：基本概念

第1章阐述配电系统的主要概念，介绍了配电系统规划时应考虑的主要因素和规划的关键步骤。本章还分析了小城市和大城市配电系统的布局特点，以及中低压配电系统结构方面的应用案例。

配电系统最基本的功能是满足电力需求，因此，确定规划期内的现状负荷及预计负荷增速是必要的。第2章讲解了负荷预测周期及预测方法，并给出了案例。

## 第2部分：保护和配电开关

第2部分包括接地、保护系统和配电开关设备等内容。接地是保护系统的基础，配电系统接地是个值得研究的重要课题。第3章和第5章分别介绍了配电系统中的各种接地方式和保护方式。第4章介绍了保护系统设计中短路电流的计算方法。

配电系统的自动化和测量设备一般安装在（户内或户外）开关设备中，有关开关设备和影响开关站设计的主要因素在第6章介绍。

### 第3部分：电能质量

满足负荷需求，并具有足够的可靠性，这是配电网规划应满足的基本要求，此外，电能质量也是至关重要的，对敏感性负荷供电时这一点尤为重要。第7~11章介绍了供电质量（电压质量、功率因数和谐波）的关键要素及其提升方法。

### 第4部分：管理及自动化

配电系统规划时，在满足技术要求的同时，还需要兼顾经济性。也就是说，在满足技术要求的条件下，应尽可能降低成本和投资。第12章通过DSM（需求侧管理）和能效政策的应用案例，说明如何去提高配电网的经济性。

如何应用监控技术提升配电系统的性能也是重要的一环。这一部分介绍了通过诸如配电自动化和监控等手段，降低系统停电次数、提高可靠性、提升配电系统性能的原理、技术和案例。

监控可为及时决策提供依据。借助SCADA（数据采集与监视控制）系统，本章用图解的方式介绍了系统自动化与监控的区别。第13章给出了SCADA系统的定义、组成和体系结构以及SCADA系统应用不同结构的条件。配电自动化和SCADA系统是实现智能电网愿景的重要措施。

### 第5部分：分布式电源

分布式发电是指那些安装在本地的电站或机组（包括小容量的可再生能源），以就近向本地负荷供电，或以作为备用电源为目的。分布式电源在容量分布上从1~10kW不等，有时为几百千瓦。随着电力需求的持续增长，由于配电系统和输电系统的建设需要投入大量资金，利用私人发电和分布式能源去满足负荷需求成为一种重要的补充，这是分布式电源在欧美得到迅速发展的客观原因之一。第14章描述了分布式电源的不同类型，以及分布式电源接入配电系统后所带来的益处。

配电系统内容广泛，为了将本书篇幅控制在合理的范围内，部分内容并未完全展开。感兴趣的读者可从参考文献清单中获取更多细节，便于进一步的学习和研究。

**Abdelhay A. Sallam**

**Om P. Malik**

## 致 谢

作者在此首先要感谢来自方方面面的无私帮助。可以说，如果没有如下人员和机构的帮助，本书难以成稿：

感谢埃及施耐德电力公司的 Hany Shaloot 先生，他为本书提供了大量的相关文献和公司在配电系统方面的实践案例。在他的协助下，本书被允许利用 Square D 公司 Accusina 产品信息。

感谢 Square D 公司允许使用产品图片。

感谢埃及 ABB 公司技术和销售部门的员工，他们提供了描述公司实践案例和本书中大量图片的手册。

感谢 Azza Eldesoky 博士为本书中负荷预测部分提供了相关素材，以及 Ahmed Daoud 博士为本书中相关图片所做的编辑工作。

感谢加拿大 Optimal Technologies 公司的 Tamer Melik 博士，他为本书第 14 章提供了部分相关资料。

感谢欧盟、共同体智能电网技术平台为本书第 13 章提供了部分相关资料。

此外，我们还要向其他方面给予本书帮助的机构和个人致以诚挚的谢意。

所有这些工作都需要家庭的精神支持。将本书献给我们的妻子——Hanzada Salam 女士和 Margareta Malik 女士。

A. A. S

O. P. M



# 目 录

译者序  
原书序  
致谢

## 第1部分 基本概念

第1章 配电系统的主要概念	3
1.1 简介及背景	3
1.2 配电规划工程师的主要工作	5
1.3 影响规划过程的因素	8
1.3.1 负荷需求预测	8
1.3.2 规划准则	8
1.3.3 状态监测	8
1.3.4 规划的可靠性准则	10
1.3.5 用户可靠性水平的分类	10
1.4 规划目标	11
1.4.1 负荷预测	11
1.4.2 供电质量	11
1.4.3 遵循的标准	12
1.4.4 投资	12
1.4.5 配电损耗	13
1.4.6 损失负荷量	14
1.5 满足负荷需求预测的方案	16
1.5.1 电网方案	16
1.5.2 非电网方案	16
1.6 配电网	17
1.6.1 配电电压等级	17
1.6.2 配电网结构	18
第2章 负荷需求预测	29
2.1 引言	29
2.2 影响预测的重要因素	30
2.3 预测方法	30

## VIII 配电系统

2.3.1	外推法	31
2.3.2	相关系数法	31
2.3.3	最小二乘法	32
2.3.4	短期负荷预测技术 (STLF)	35
2.3.5	中长期负荷预测方法	41
2.4	空间负荷预测	41
2.4.1	空间负荷预测的主要方面	41
2.4.2	分析要求	42
2.4.3	负荷、同时性与分散系数	44
2.4.4	测量和记录负荷行为	46
2.5	终端消费模型	47
2.6	空间负荷预测方法	48
2.6.1	趋势法	48

## 第 2 部分 保护和配电开关

第 3 章	配电系统接地	57
3.1	基本概念	57
3.2	电力设备的接地	57
3.2.1	一般方法	57
3.2.2	变电站接地	61
3.3	系统接地	71
3.3.1	不接地系统	72
3.3.2	接地系统	72
3.3.3	系统接地的目的	73
3.3.4	相关术语	73
3.3.5	系统中性点接地方式	74
3.3.6	中性点的接地方法	76
3.4	中压配电网接地系统	77
3.4.1	中压接地系统的作用	79
3.4.2	国际上使用的中压接地系统	80
3.5	低压配电网的接地系统	80
3.5.1	IT 接地系统	80
3.5.2	TT 接地系统	81
3.5.3	TN 接地系统	82
3.5.4	国际上使用的低压接地系统	83
第 4 章	配电系统短路	85
4.1	引言	85

184.2	短路电流分析	86
184.2.1	短路电流特性	87
184.2.2	短路电流计算	93
<b>第5章</b>	<b>配电系统保护</b>	<b>127</b>
5.1	序言	127
5.1.1	保护系统定义	127
5.2	各种类型继电器的结构	129
5.2.1	电磁式继电器	129
5.2.2	静态继电器	129
5.2.3	数字继电器	129
5.3	过电流保护	132
5.3.1	过电流继电器	132
5.3.2	过电流保护的配合	135
5.3.3	接地保护	143
5.4	重合器、分段器和熔断器	144
5.4.1	重合器	144
5.4.2	分段器	146
5.4.3	熔断器	149
5.4.4	重合器、分段器和熔断器之间的配合	152
5.5	方向保护	153
5.5.1	方向过电流保护	153
5.5.2	方向保护特性	154
5.5.3	方向性接地保护	156
5.6	差动保护	157
5.6.1	电动机差动保护	161
5.6.2	发电机差动保护	161
5.6.3	变压器差动保护	162
5.6.4	母线差动保护	164
5.6.5	电缆和线路差动保护	164
5.7	热保护	166
5.8	过电压保护	168
5.8.1	过电压类型	168
5.8.2	过电压保护	174
<b>第6章</b>	<b>配电开关</b>	<b>179</b>
6.1	开关设备	179
6.2	开关设备布局	181

## X 配电系统

6.2.1	环境需求	181
6.2.2	开关设备的安装	182
6.3	开关设备选型	183
6.3.1	绝缘等级	183
6.3.2	绝缘配合	183
6.3.3	母线的短路机械强度	184
6.3.4	电缆和电缆接头的短路机械应力	186
6.3.5	热稳定计算	186
6.3.6	额定电流的选择	190
6.4	土建施工要求	191
6.4.1	室内安装	192
6.4.2	室外安装	192
6.4.3	变压器安装	192
6.4.4	开关设备通风装置的安装	193
6.5	中压开关设备	197
6.5.1	定义	197
6.5.2	隔离刀闸	198
6.5.3	负荷开关	198
6.5.4	接地开关	199
6.5.5	断路器	199
6.6	低压开关设备	203
6.6.1	隔离开关	203
6.6.2	负荷开关	203
6.6.3	接触器	204
6.6.4	熔断式开关	204
6.6.5	低压断路器	206
6.7	保护等级	208
6.8	接地规范与实施	209
6.9	设施安全和防护	210
6.10	开关设备评价	211
6.11	开关设备安装步骤	213
6.12	电弧闪络危害	213
6.12.1	引起电弧事故的原因	213
6.12.2	电弧闪络造成的危害	214
6.12.3	限制电弧闪络的方法	215
6.12.4	个人防护设备安全等级	216

6.12.5	计算方法	217
6.12.6	计算方法选取	221
6.12.7	降低电弧危害的措施	222

### 第3部分 电能质量

<b>第7章</b>	<b>电能质量</b>	<b>227</b>
7.1	综述	227
7.2	电能质量问题	227
7.2.1	典型电能质量问题	231
7.2.2	案例研究	232
7.3	电能质量成本	233
7.3.1	供电质量	234
7.3.2	质量成本 (QC)	234
7.3.3	经济效益	235
7.3.4	案例研究	235
7.4	电能质量问题的解决方案	238
7.4.1	电能质量设备示例	239
7.5	电能质量问题的解决周期	244
<b>第8章</b>	<b>电压波动</b>	<b>246</b>
8.1	电压质量	246
8.1.1	电压跌落	246
8.1.2	电压暂降	247
8.1.3	闪变	251
8.1.4	电压暂升	252
8.1.5	暂时过电压	253
8.2	减少电压降的方法	253
8.2.1	串联电容器的应用	253
8.2.2	增加新的线路	261
8.2.3	电压调整	261
8.2.4	应用并联电容器	263
8.3	电压暂降计算	267
8.3.1	采样率	267
8.3.2	电压暂降的幅度	267
8.3.3	电压暂降的持续时间	268
8.3.4	电压暂降相角变化	269
8.3.5	举例说明	269

## XII 配电系统

8.4 配电损耗估算	276
8.4.1 自上而下法	277
<b>第9章 改善功率因数</b>	<b>279</b>
9.1 背景	279
9.2 并联补偿	282
9.3 并联补偿需求	282
9.4 算例	285
9.5 如何确定补偿容量	286
<b>第10章 配电网中的谐波</b>	<b>291</b>
10.1 什么是谐波	291
10.2 谐波源	295
10.3 谐波造成的干扰	301
10.3.1 技术性问题	302
10.3.2 经济性问题	304
10.4 谐波畸变标别和量测	304
10.4.1 功率因数	304
10.4.2 有效值	305
10.4.3 峰值系数	305
10.4.4 功率和谐波	305
10.5 频谱和谐波含量	306
10.5.1 单次谐波畸变	306
10.5.2 总谐波畸变率	306
10.5.3 功率因数和总谐波畸变的关系	307
10.6 标准和建议	308
<b>第11章 减少谐波影响</b>	<b>310</b>
11.1 引言	310
11.2 第一类解决方案	310
11.2.1 从上游向负荷供电	310
11.2.2 干扰负荷分组	311
11.2.3 从不同的电源向负荷供电	311
11.3 第二类解决方案	311
11.3.1 使用特殊接线方式的变压器	311
11.3.2 使用电感器	311
11.3.3 系统接地方式的安排	311
11.3.4 使用六脉波换流器	312
11.4 第三类解决方案	312

11.4.1	无源滤波器	312
11.4.2	有源滤波器	313
11.4.3	混合滤波器	314
11.5	选用原则	315
11.6	案例分析	315
11.6.1	概述	315
11.6.2	对并联电容器的需求	315
11.6.3	用于调节功率因数的电容器的谐波影响	316
11.6.4	管道焊接工业功率因数改善	318
11.6.5	起重机应用——苏伊士运河集装箱码头	325
11.6.6	确定有源滤波器的原则	326
<b>第4部分 管理与监测</b>		
<b>第12章</b>	<b>需求侧管理与能源效率</b>	<b>335</b>
12.1	概述	335
12.2	DSM	336
12.3	DSM 的应用需求	337
12.4	DSM 项目的手段	338
12.5	DSM 的国际经验	340
12.6	DSM 的应用潜力	341
12.6.1	降低峰值负荷	341
12.6.2	能耗的节省	341
12.7	DSM 规划过程	342
12.8	DSM 的预期效益	345
12.9	能源效率	346
12.10	能效项目的应用方案	346
12.11	能效的经济效益	346
12.12	高效技术的应用	347
12.12.1	照明	347
12.12.2	电动机	351
12.12.3	加热	355
12.12.4	泵	356
<b>第13章</b>	<b>SCADA 系统和智能电网愿景</b>	<b>363</b>
13.1	概述	363
13.2	定义	366
13.2.1	SCADA 系统	366
13.2.2	遥测	366

## XIV 配电系统

13.2.3	数据采集	366
13.3	SCADA 的组成	367
13.3.1	监测仪表 (第一部分)	367
13.3.2	远程工作站 (第二部分)	367
13.3.3	通信网络 (第三部分)	368
13.3.4	MTU (第四部分)	369
13.4	SCADA 系统架构	370
13.4.1	硬件	370
13.4.2	软件	372
13.5	SCADA 的应用	375
13.5.1	变电站自动化	375
13.5.2	商业办公大楼 (楼宇自动化)	377
13.5.3	功率因数补偿 (无功补偿)	377
13.6	智能电网愿景	379
13.6.1	智能电网概述	380
13.6.2	智能电网概念	380
13.6.3	驱动力	382
<b>第 5 部分 分布式发电</b>		
<b>第 14 章</b>	<b>分布式发电</b>	<b>385</b>
14.1	电力系统和分布式发电 (DG)	385
14.2	分布式电源性能	389
14.2.1	微型燃气轮机	389
14.2.2	风力发电机	392
14.2.3	抽水蓄能系统	395
14.2.4	光伏	395
14.2.5	异步发电机	398
14.2.6	同步发电机	400
14.3	算例研究	402
14.3.1	分布式发电的驱动力	402
14.3.2	分布式电源在电力系统可靠性方面的潜在价值	403
14.3.3	DG 在减少需求峰值方面的潜在利益	408
14.3.4	DG 的辅助服务潜能	410
14.3.5	电能质量提升的价值	414
14.3.6	DG 及其与电网互连的技术细节	414
14.3.7	规划步骤	415
参考文献		416



# 第 1 部分 基本概念