



国际电气工程先进技术译丛

WILEY


# 微电网——架构与控制

**Microgrids: Architectures and Control**

[希] 尼科斯·哈兹阿伊里乌 (Nikos Hatziargyriou) 等著

陶顺 陈萌 杨洋 译



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

# 微电网——架构与控制

[希] 尼科斯·哈兹阿伊里乌 (Nikos Hatziargyriou) 等著  
陶 顺 陈 萌 杨 洋 译



机械工业出版社

Copyright © 2014 John Wiley and Sons Ltd.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled <Microgrids: Architectures and Control>, ISBN <978- 1- 118- 72068- 4 >, by <Nikos Hatziaargyriou >, 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.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社出版, 未经出版者书面允许, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01- 2014- 3873 号。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

微电网: 架构与控制/(希)哈兹阿伊里乌(Hatziaargyriou, N.)等著;陶顺,陈萌,杨洋译. —北京:机械工业出版社, 2015. 7

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Microgrids: Architectures and Control

ISBN 978-7-111-50711-6

I. ①微… II. ①哈…②陶…③陈…④杨… III. ①电网-电力工程-研究 IV. ①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 145380 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: 刘星宁 责任编辑: 朱林

版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

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 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 19.5 印张 · 400 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-50711-6

定价: 89.00 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

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

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

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

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

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

微电网是当今电力行业中最具创新性的领域。未来微电网既可以作为配电网的能量平衡单元，又可以作为独立电网为社区供电。

本书权威性地展示了微电网的诸多内容：详细探讨了微电网的运行原理、控制和包括多微电网在内的先进构架；系统地概括了微电网运行目标和技术内涵，讨论了其给电力系统运行带来的社会、经济和环境效益。同时，还陈述了包括微电网保护在内的微电网设计和控制方面的问题，并阐释了集中和分散控制策略的实施方法。

本书主要特点如下：

1) 由相关领域的国际知名学者编写，具有原创性，并且代表了微电网的最新发展水平；

2) 以欧洲、美国、日本和中国的实际试点工程作为研究案例；

3) 检验了微电网的市场和监管环境，并给出了标准测试条件下的评价结果；

4) 从专家的角度给出了微电网的未来展望——讨论了使分布式电源效益最大化的技术解决方案以及开发微电网商务和监管框架的原则和条件；

5) 可以从合作网站 ([www.wiley.com/go/hatziargyriou\\_microgrids](http://www.wiley.com/go/hatziargyriou_microgrids)) 上获得本书所有图片的彩色版本。

本书所涵盖的内容全面且均衡，可以作为熟悉中低压配电系统的电气工程师、微电网运营商和电力系统研究人员及学者了解微电网的切入点，也可作为系统规划人员、调度人员、生产商、电网运营商、政府监管人员及电力系统研究生的参考资料。

# 译 者 序

由于化石燃料的日益枯竭、地球环境的不断恶化以及人类社会对能源依赖性的增长，新能源的就地开发和分布式发电的利用已成为各国政府节能减排、发展绿色能源的重要手段。当地的分布式电源一般会接入配电网，这将促使配电网逐步由“被动”发展到“主动”。“主动”配电网易于兼容分布式发电技术（尤其针对可再生能源）、需求侧集成技术和储能技术，为新型装备和服务创造机会。实现主动配电网需要实施全新的系统概念。“微电网”也称为“智能电网的积木”，是一种新颖的配电网结构，它能充分发挥分布式能源的应用潜力，已成为未来智能电网的重要组成部分。

本书的内容源于欧盟长达6年的欧洲微电网项目的研究成果，编写作者均来自参与了这些研究的装备制造公司、电力公司和来自12个欧盟国家的各学术研究团队。本书为专业和非专业人士提供了非常有价值的信息。

本书共分7章，其中：

第1章陈述了微电网的概念，尤其澄清了微电网与传统有源配电网和虚拟发电厂概念的区别，阐述了微电网在运行、控制以及电力市场上的特点。

第2~5章讨论了微电网的控制与保护问题。首先，第2章提出了单个微电网的分层控制框架以及集中和分散控制的方法；第3章论述了微电网中智能本地控制器的功能，尤其是基于逆变器接口的电压和频率控制以及离、并网方法；第4章结合配电网中接入分布式电源的特殊性，讨论了微电网的保护系统配置及其自适应整定实现方法；第5章阐述了多微电网之间的协调控制以及黑启动与动态等值问题。每章的论述均结合实际配电网给出了仿真案例分析。

第6章具体介绍了来自欧洲、美国、日本、中国和智利的微电网项目，从这些项目中分析了应吸取的教训、面临的挑战、待解决的问题和重点问题。

第7章以欧盟国家典型配电网案例为基础，定性定量地分析了微电网的技术、经济、环境与社会效益问题。

本书既注重理论分析和方法建模，又紧密结合仿真案例和示范工程分析，适合于所有从事有源配电网分析、规划与设计、运行与控制的电气工程师、电网运维人员和电力系统研究者及研究生，也适合于微电网控制与保护技术的供应商和制造商。

在本书的翻译和校订过程中，我们的导师肖湘宁教授给予了大力的支持和严谨的指导，在此致以衷心的感谢。在翻译和图文处理过程中，骆晨、陈昱、赵晨雪、宋梦琪、李璐和杨光等同学做了大量工作，对他们付出的辛劳和智慧表示感谢。

#### IV 微电网——架构与控制

由于时间紧迫，又限于译者水平，书中难免有错误和不妥之处，请读者批评指正。

译者联系方式：[taoshun@ncepu.edu.cn](mailto:taoshun@ncepu.edu.cn)

译 者

2015年3月于北京华北电力大学

# 原 书 序

微电网虽然不是一个新概念，但是它可以作为一项新技术来消纳更多的可再生能源，并且可以联合电力电子装置的灵活性，形成更高效的发电方式。为了促进微电网技术的发展，微电网领域正在形成新型产业，可为电网和分布式电源业主带来最大的效益。早在15年以前，能源部就发起了微电网的早期基础性研究，并深度挖掘了这种技术的优势，其中一个关键方面就是解决近年来日益关注的环境问题。如今微电网的概念已得到深入研究，包括用各种不同架构来组织各类能源形成一个协调的能源实体，使其价值远大于能源个体。因此，微电网的复杂性增加了。正是在微电网革新的背景下，这本书的出版会备受欢迎，它可为专业和非专业人士提供非常有价值的信息。

第1章从不同实现形式到潜在的经济、环境和技术效益，为微电网概念提供了一个很好的思想观点。它定位了微电网在配电系统转变过程中所充当的角色，并且详细阐述了微电网作为组织实体接入配电系统的构成，简要说明了实现微电网所需的电力电子技术、通信技术和可再生能源技术。本章还简要地讨论了微电网降低温室气体排放、帮助电网平衡负荷、调节电压和援助电力市场的能力。同时，本章也认识到微电网参与到电力市场会受到容量限制，因此还讨论了通过集成或开创其他新观念来使微电网实现资产市场化的可行途径。

本书以4章的篇幅主要阐述了微电网的两大问题：控制与保护，其中3章（第2、3、5章）内容讲述控制，1章内容讨论保护（第4章），微电网的各种控制问题及其复杂性均阐述得非常清晰明了。微电网包含许多通过电力电子接口接入的电源，本书提供的组织形式是分层控制架构，包括控制和保护实际电源的本地控制器，执行源荷管理和孤岛运行的外环控制器，互联协调的上游控制器以及电力系统控制中心。本书较好地综述了状态估计在微电网控制与运行中的作用与方法；除了传统的控制方法外，还讨论了最新的智能控制方法。同时本书还清晰地论述了微电网控制中的具体问题与挑战。例如，微电网中有许多经逆变器接入的电源，这可能因逆变器控制相互作用而触发振荡问题。随后又讨论了一些易于实现的解决这些问题的办法。作者还清晰地认识到，一个系统内可能存在多个微电网，从微源的管理和通过微源协调为电网提供服务的角度来看，微电网间的协调控制是个很重要的问题。微电网可以实现大型系统已实现的许多典型服务，例如频率控制、电压控制、功率平衡和容量备用等。在本书的分层控制架构中包含了多微电网系统层的控制运行。

微源提供的短路电流有限，使微电网的保护面临严峻的挑战。微电网中主系统

提供的短路电流很大，而微源提供的短路电流非常有限，这使得故障检测成为最大难题。本书给出了能够提供充分保护功能的一些有效的方法，例如采用自适应保护方案，增加附加设备以提供较大短路电流来保证保护继电器正确动作，增大逆变器容量以提供短路电流等。尽管本书提供了上述方法，但可以看出，要确保可靠地保护微电网，仍有大量的研究工作需要开展。

微电网设计、控制和保护的基本方法也融入了本书介绍的全球试点工程与项目中，这描绘了微电网设计的发展进程，总结了实施的经验教训。本书具体介绍了来自欧洲、美国、日本、中国和智利的微电网项目，基于这些项目分析了应吸取的教训、面临的挑战、待解决的问题和重点问题。项目中既有极小容量的微电网，也有大型微电网；既有并网的微电网，又有独立或孤岛运行的微电网。这些信息均极具价值。

本书的最后一章定性定量地详尽阐述了微电网的技术、经济、环境与社会效益问题，其中量化描述取决于微电网实施的具体地区等条件，而定性讨论则适合于全球任何地方的微电网。在越来越依赖电能的当代社会中，本书的这些讨论让集合大量可再生能源的微电网成为解决当前所面临的环境、经济和社会问题的重要方式，而配电系统向分布的微电网转变，在技术上是可行的。本书将为伴随可再生能源部署的微电网的繁荣发展提供基础性的参考。

关注微电网设计与运行、可再生能源电网接入的专家一定会对此书爱不释手。

**Sakis Meliopoulos**

美国佐治亚州电力杰出教授

美国佐治亚州亚特兰大市佐治亚理工学院电气与计算机工程学院



# 原 书 前 言

这是一本理解、分析和评价微电网的书籍。微电网是一种新颖的配电网结构，它能充分发挥分布式能源的应用潜力，已成为未来智能电网的重要组成部分。在本书中，微电网定义为，包含分布式电源、储能装置和可控负荷的配电系统，以协调控制的方式既可并入主电网运行，又可孤岛运行。微电网区别于其他含分布式电源的简单配电馈线的主要特征是对分布式电源的协调控制，尤其是通过发电和用电优化实现效益最大化是微电网高效能源管理的关键。然而，有关微电网设计、运行和控制等技术的挑战也出现了。考虑当前电力市场环境的微电网经济评价和从所有者角度出发的效益量化评估也成为同等重要的问题。

虽然人们早已意识到微电网对岛屿和偏远、离网系统所带来的好处，但对于微电网的讨论从2000年初才开始。现如今，微电网被推荐为关键基础设施、校园、偏远通信基站、军队设施和公用电网的重要供电解决方案，具有稳定增长的市场前景。本书将满足熟悉中低压配电系统的电气工程师、电网运行人员、电力系统研究者和学术人士研究微电网技术的需求，也是系统规划人员、电网调度人员、技术供应商和制造商、政府监管人员和电力系统研究生的重要参考书籍。

本书陈述的成果源自欧盟两个研究项目框架下长达6年的欧洲合作研究工作。这两个项目是，由第5框架项目（1998~2002年）资助的“微电网：大规模微源接入低压电网”，以及随后的由第6框架项目（2002~2006年）资助的“多微电网：多微电网的先进架构与控制”。本书主编协调组织了这个研究联合团队，包括工业伙伴、电力公司和来自12个欧盟国家的各学术研究团队，书中的一些重要信息和实践结论均来自这两个研究项目。本书尝试阐述综合性电力系统结构下微电网的地位，聚焦微电网、多微电网的底层和第二层控制管理中的重要发现，也从经济、环境、运行和社会角度提供微电网效益的量化评估结果。除了欧盟项目，本书还提供了包括美国、日本、中国和智利在内的微电网试点项目的综述与分析。

第1章的标题是“微电网的概念”，合作作者是Christine Schwaegerl和Liang Tao。本章阐述了微电网的特征，重点描述了区别于其他诸如虚拟发电厂的分布式电源结构的重要特点。这些特点与运行控制、市场模型和监管设置的影响有关，为欧洲微电网的发展提供了典型的路线图。

第2章的标题是“微电网控制”，合作作者是Aris Dimeas、Antonis Tsikalakis、George Kariniotakis和George Korres。本章主要讨论了微电网的一个关键特征，即能源管理，给出了微电网运行中划分的控制层级，讨论了集中控制和分散控制的原理与主要功能，包括功率预测和状态估计。然后以实践中的案例为基础分析了集中控

制的功能，最后回顾了多代理的基本概念及其在微电网分散控制中的应用。

第3章的标题是“智能本地控制器”，合作作者是 Thomas Degner、Nikos Soultanis、Alfred Engler 和 Asier Gil de Muro。本章给出了分布式电源控制器的基本控制能力，重点是并网模式下的辅助服务和调频调压功能、离网运行模式以及两种模式转换的暂态过程；强调了低压微电网的典型特点——高电阻/电抗比；提供了能够克服相关问题的基于虚拟阻抗的控制算法和典型的仿真结果。

第4章的标题是“微电网保护”，合作作者是 Alexandre Oudalov、Thomas Degner、Frank van Overbeeke 和 José Miguel Yarza。本章主要讨论了微电网有效的保护方法，其中大部分挑战在于分布式电源多变的运行条件、分布式电源电力电子接口的短路电流抑制及偶然出现的短路水平增加等。本书提出了基于超前计算和在线计算整定的两种自适应保护技术，也讨论了由专门的设备增加短路电流水平的技术和短路电流限制的可能途径。

第5章的标题是“多微电网的协调运行”，合作作者是 João Abel Peças Lopes、André Madureira、Nuno Gil 和 Fernanda Resende。本章研究了配电系统中多个低压微电网的运行及其与中压系统的发电机与可控负荷的协调控制，提出了分层管理架构，分析了无功电压协调控制和频率协调控制，基于实际的配电网开展了仿真研究，并为微电网的黑启动能力提供了自恢复导则，最后还讨论了动态研究中的微电网等值方法。

第6章的标题是“典型试点：成功案例与经验教训”，提供了实际的、离网运行的、不同容量的试点工程的微电网概况。这些资料按照地理位置来组织，其中 George Kariniotakis、Aris Dimeas 和 Frank van Overbeeke 合作描述了欧洲微电网项目的试点工程；John Romankiewicz 和 Chris Marnay 提供了美国微电网工程的综述；Satoshi Morozumi 给出了日本微电网项目的综述；Meiqin Mao 描述了中国的微电网工程；Rodrigo Palma Behnke 和 Guillermo Jiménez-Estévez 详细介绍了智利的一个离网微电网。当然微电网建设工程在不断增加，这些项目虽然只是些标志性的工程，但也能够描绘出该领域持续发展的概况。

第7章的标题是“微电网的技术、经济、环境与社会效益量化”，合作作者是 Christine Schwaegerl 和 Liang Tao。在对欧洲典型配电系统 2020 年、2030 年和 2040 年不同分布式电源渗透率、市场条件、价格和成本发展的假设条件下，本章试图量化微电网的运行效益，还分析了效益的敏感性。尽管所量化效益的准确度在不同假设前提下存在很大的不确定性，但从所有研究案例中均能观察出微电网运行的积极效果。

除了各章的合作作者外，还有许多其他研究人员在微电网项目多次技术性会议期间为此书的出版贡献了他们的才智、研究和合作成果，在此我深表感激。我还想逐一对一些人员致以衷心感谢，其中有些人员的姓名我可能忘记了，首先致以歉意。我想从英国的 Nick Jenkins 和 Goran Strbac 开始，当与他们一起工作时，我受

益匪浅，与他们的讨论让本书中的微电网概念更加清晰。我感谢来自德国的 Britta Buchholz、Christian Hardt、Roland Pickhan、Mariam Khattabi、Michel Vandenberg、Martin Braun、Dominik Geibel 和 Boris Valov；来自英国的 Mikes Barnes、Olimpo Anaya-Lara、Janaka Ekanayake、Pierluigi Mancarella、Danny Pudjianto 和 Tony Lakin；来自西班牙的 Jose Maria Oyarzabal、Joseba Jimeno 和 Iñigo Cobelo；来自葡萄牙的 Nuno Melo 和 António Amorim；荷兰的 Sjef Cobben；丹麦的 John Eli Nielsen；意大利的 Perego Omar 和 Michelangeli Chiara；来自马其顿的 Aleksandra Krkoleva、Natasa Markovska 和 Ivan Kungulovski；波兰的 Grzegorz Jagoda 和 Jerszy Zielinski；感谢我在希腊雅典国立技术大学的同事 Stavros Papathanassiou 和 Evangelos Dyalynas；来自希腊的 Stathis Tselepis、Kostas Elmasides、Fotis Psomadellis、Iliana Papadogoula、Manolis Voumvoulakis、Anestis Anastasiadis、Fotis Kanellos、Spyros Chadjivassiliadis 和 Maria Lorentzou。我对我的博士研究生和合作者们表示感谢，他们是 Georgia Asimakopoulou、John Karakitsios、Evangelos Karfopoulos、Vassilis Kleftakis、Panos Kotsampoulos、Despina Koukoula、Jason Kouveliatis-Lysicatos、Alexandros Rigas、Nassos Vasiliakis、Panayiotis Moutis、Christina Papadimitriou 和 Dimitris Trakas，他们审阅了本书各章节内容并提出了宝贵的意见。最后，我想感谢 ECDG 研究与创新团队为本书研究提供的资助与支持，尤其是办公室的 Manuel Sanchez Jimenez 和 Patrick Van Hove。

**Nikos Hatziargyriou**

# 作者简介

**Nikos Hatziaargyriou**, 主编, 希腊雅典国立技术大学电气与计算机工程学院电气部教授。从2007年开始担任希腊公用电力公司(PPC)副总裁, 负责输配电网、岛屿配电网运营和测试研发中心管理; 国际大电网会议(CIGRE)组织会员, 电力系统动态性能委员会前任主席, 欧电联(EURELECTRIC)会员, 欧盟智能电网技术平台顾问委员会联合主席。主要研究方向是智能电网、分布式能源、微电网、可再生能源和电力系统安全分析。

**Thomas Degner**, 德国卡塞尔弗劳恩霍夫风能与能源系统技术研究所(IWES)网络技术与集成部主任, 毕业于奥尔登堡大学, 获物理学博士学位。主要研究方向包括微电网、分布式电源的互联要求和测试程序, 以及高可再生能源渗透率下电力系统孤岛和并网运行的稳定与控制。

**Aris Dimeas**, 毕业于雅典国立技术大学(NTUA), 获电气与计算机工程专业博士学位, 现为NTUA电气与计算机工程学院高级研究员。主要研究方向包括分布式发电, 电力系统中的人工智能技术以及自由能源市场下的计算机应用。

**Alfred Engler**, 先后于不伦瑞克技术大学和卡塞尔大学获得工学硕士和博士学位。曾任 ISET e. V. 电网团队和电力电子团队负责人, 研究内容包括逆变器控制、岛屿电网、微电网、电能质量和风电并网。现任利布赫尔电子股份有限公司前沿发展部主管。

**Nuno Gil**, 于科英布拉大学获得电气工程专业学士学位, 于波尔图大学获得硕士和博士学位。现为波尔图国立计算机与系统工程研究所电力系统部研究员, 葡萄牙莱利亚理工学院助理教授。研究方向包括配电网中分布式发电和储能设备的集合, 以及孤岛运行和频率控制。

**Guillermo Jiménez-Estévez**, 于波哥大哥伦比亚工程学院获得电气工程专业学士学位, 于智利大学获得硕士和博士学位。现任智利大学物理和数学科学学院能源中心主任助理。

**George Kariniotakis**, 于希腊克里特技术大学获得学士和硕士学位, 于巴黎高等矿业学院获得博士学位。现任巴黎高等矿业学院工艺、可再生能源和能源系统中心 (PERSEE) 高级科学家, 可再生能源和智能电网小组组长。研究方向包括可再生能源、预测和智能电网。

**George Korres**, 毕业于雅典国立技术大学, 获得电气与计算机工程专业博士学位。现为 NTUA 电气与计算机工程学院教授。研究方面为电力系统状态估计、电力系统保护和工业自动化。

**André Madureira**, 于波尔图大学工程系获得电气工程专业学士、硕士和博士学位。现为波尔图国立计算机与系统工程研究所电力系统部高级研究员/顾问。研究方向包括配电网中分布式发电和微型发电的集合, 电压和频率控制, 智能电网部署。

**茆美琴**, 合肥工业大学教育部光伏系统工程研究中心教授。自 1993 年开始, 一直致力于可再生能源发电的研究。研究方向包括微电网优化运行和能量管理, 电力电子在可再生能源系统中的应用。

**Chris Marnay**, 自 20 世纪 90 年代开始, 一直致力于微电网的研究。研究方向为微电网设备选择和运行的经济、环境优化。先后 9 次主持一年一度的国际微电网学术研讨会。

**Satoshi Morozumi**, 于北海道大学修完博士课程。加入三菱综合研究所后, 在过去的 20 年中一直致力于电力系统研究。现任日本新能源产业技术综合开发机构 (NEDO) 智能社区部主任, 负责国际智能社区试点工程。

**Asier Gil de Muro**, 于西班牙毕尔巴鄂巴斯克地区大学工程学院获得电气工程专业硕士学位。自 1999 年开始, 任 TECNALIA 能源部研究员和项目经理, 负责与电力电子设备、并网电力设备的设计和开发、微电网和主动配电网相关的项目。

**Alexandre Oudalov**, 2003 年毕业于瑞士洛桑联邦理工学院 (EPFL), 获得电气工程专业博士学位。2004 年加入 ABB 瑞士有限责任公司研究中心, 现任电网技术解决组首席科学家。研究方向包括输电和配电自动化, 分布式电源整合和管理, 微电网控制和保护。

Frank van Overbeeke, 毕业于代尔夫特理工大学电气工程专业, 于屯特大学获得应用物理专业博士学位。他是专门从事配电网中电力电子应用的咨询业务的 EM-force 公司创始人和所有人, 是荷兰多个主要电网储能项目的系统设计者。

Rodrigo Palma Behnke, 于智利天主教大学获得电气工程专业学士和硕士学位, 于德国多特蒙德大学获得博士学位。现任智利物理和数学科学学院能源中心和太阳能研究中心主任, 智利大学电气工程系副教授。

João Abel Peças Lopes, 波尔图大学工程系教授, 波尔图国立计算机与系统工程研究所董事会成员。

Fernanda Resende, 于蒙特斯与奥拓杜罗大学获得电气工程专业学士学位, 与波尔图大学工程系获得硕士和博士学位。现为波尔图国立计算机与系统工程研究所电力系统部高级研究员, 波尔图 Losófono 大学助理教授。研究方向包括分布式电源集合, 电力系统建模、控制和小信号稳定。

John Romankiewicz, 伯克利国家实验室高级研究助理, 致力于分布式发电和能效政策。过去的 7 年中一直在美国和中国的能源部门工作, 目前在加州大学伯克利分校攻读能源与资源和公共政策双硕士学位。

Christine Schwaegerl, 毕业于埃朗根大学电气工程专业, 于德国德累斯顿工业大学获得博士学位。2000 年加入西门子公司, 负责了多个关于输电、配电网的国家和国际研究和开发活动。2011 年以来担任奥格斯堡应用技术大学教授。

Nikos Soutlanis, 1989 年毕业于雅典国立技术大学 (NTUA) 电气工程系, 作为独立顾问负责了多个项目。先后于曼彻斯特理工大学 (UMIST) 和 NTUA 获得硕士和博士学位。目前工作于希腊 TSO 调度中心, 并担任 NTUA 副研究员, 研究方向为分布式发电应用和电力系统分析。

Liang Tao, 德国西门子 PTI 技术顾问。主要研究方向包括可再生能源随机模型, 储能装置规格和运行方法, 含多类型电源智能电网的最优潮流和最优规划。

Antonis Tsikalakis, 毕业于 NTUA, 获得电气和计算机工程专业博士学位。现为克里特理工大学 (TUC) 电子与计算机工程学院特邀讲师, 克里特技术教育学院助理研究员, NTUA 博士后。研究方向为分布式发电、储能、高可再生能源渗透率下

电力系统的自治运行。

José Miguel Yarza, 于巴斯克地区大学获得电气工程和电能传输质量与安全专业、电力系统保护专业双硕士学位, 于卡斯提尔商学院获得高级工商管理硕士学位。CG Automation 公司首席技术官。AENOR SC57 (西班牙标准化组织), IEC TC57 以及 CIGRE 成员。

# 目 录

译者序  
原书序  
原书前言  
作者简介

第 1 章 微电网的概念	1
1.1 引言	1
1.2 微电网是分布式电源接入的工具	3
1.3 微电网含义的澄清	3
1.3.1 什么是微电网	3
1.3.2 什么不是微电网	4
1.3.3 微电网与虚拟发电厂	7
1.4 微电网的运行与控制	8
1.4.1 微电网中的可控元素	8
1.4.2 微电网的运行策略	10
1.5 微电网的市场模型	11
1.5.1 简介	11
1.5.2 微电网的内部市场与商务模型	14
1.5.3 微电网的外部市场与监管	17
1.6 微电网的应用现状与展望	20
参考文献	22
第 2 章 微电网控制	23
2.1 引言	23
2.2 控制功能	23
2.3 信息与通信技术的作用	24
2.4 微电网控制架构	26
2.4.1 分层控制	26
2.4.2 微电网运营商	27
2.5 集中控制与分散控制	29
2.6 预测	33



2.6.1	简介	33
2.6.2	负荷预测	34
2.6.3	风电与光伏发电预测	35
2.6.4	热需求预测	35
2.6.5	电价预测	36
2.6.6	预测的不确定性评价	37
2.7	集中控制	37
2.7.1	经济运行	38
2.7.2	电能市场的参与	38
2.7.3	数学模型	41
2.7.4	求解方法	42
2.7.5	研究案例	43
2.7.6	案例结果	43
2.8	分散控制	47
2.8.1	多代理系统理论	48
2.8.2	代理通信与发展	50
2.8.3	代理通信语言	55
2.8.4	代理本体与数据模型	55
2.8.5	微电网控制的协调算法	56
2.8.6	博弈论与市场规则的算法	63
2.8.7	可扩展性与先进架构	64
2.9	状态估计	66
2.9.1	简介	66
2.9.2	微电网状态估计	67
2.9.3	模糊状态估计	68
2.10	小结	70
附录 2.A	微电网案例研究	70
	参考文献	72
<b>第 3 章</b>	<b>智能本地控制器</b>	<b>75</b>
3.1	引言	75
3.2	微电网逆变器控制	75
3.2.1	有功功率控制	75
3.2.2	电压调节	76
3.3	多逆变器的控制策略	76
3.3.1	主从控制	76