



“十二五”“十三五”国家重点图书出版规划项目

新能源发电并网技术丛书

Operation and Control of Micro-grid

周邝飞 赫卫国 汪春等 编著

微电网运行 与控制技术

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

“十二五” “十三五” 国家重点图书出版规划项目
新 能 源 发 电 并 网 技 术 丛 书

周邺飞 赫卫国 汪春等 编著

微电网运行 与控制技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书为《新能源发电并网技术丛书》之一,对微电网运行与控制所涉及的电力电子控制、协调控制、能量管理、保护、信息建模与通信技术等内容进行了较为全面的分析和研究。分析了国内外不同国家在微电网领域的技术研究与实践现状,提出了微电网的定义与特征,并对微电网的典型结构以及分类进行了阐述。微电网系统的运行控制依赖于底层分布式电源的控制,首先介绍了微电网中常见分布式电源的发电原理和控制策略;在此基础上对微电网并网、离网运行控制及状态切换策略给出了较为详细的控制逻辑;针对微电网能量优化管理,介绍了微电网内分布式发电功率预测与负荷预测的原理、方法与应用,建立了各种分布式能源的能量管理模型,详细介绍了微电网能量优化计划原理。分析了微电网中分布式电源的故障特性及其对配电网保护的影响,重点对微电网网络化保护方案进行了阐述,并介绍了各种交、直流微电网安全接地形式。微电网中设备和子系统众多,重点介绍了微电网信息统一建模技术及相关标准,并对微电网通信结构以及可能应用到的各种通信方式进行了介绍和分析。本书最后结合微电网各种典型应用场景对国内一些微电网工程实际案例及其应用效果进行了介绍和分析,同时对尚处于前沿研究的直流微电网技术以及直流微电网实验室建设方面所取得的进展进行介绍。

本书对从事微电网研究等方面工作的技术人员具有一定的参考价值,也可供新能源领域的工程技术人员借鉴参考。

图书在版编目(CIP)数据

微电网运行与控制技术 / 周邺飞等编著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2017. 8
(新能源发电并网技术丛书)
ISBN 978-7-5170-5840-3

I. ①微… II. ①周… III. ①电网—电力系统运行
IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第230302号

书 名	新能源发电并网技术丛书 微电网运行与控制技术 WEIDIANWANG YUNXING YU KONGZHI JISHU
作 者	周邺飞 赫卫国 汪春 等 编著
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
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 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
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15印张 328千字
版 次	2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	59.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

丛书编委会

主任 丁杰

副主任 朱凌志 吴福保

委员 (按姓氏拼音排序)

陈宁 崔方 赫卫国 秦筱迪

陶以彬 许晓慧 杨波 叶季蕾

张军军 周海 周邝飞

本书编委会

主 编 周邺飞

副主编 赫卫国 汪 春

参编人员（按姓氏拼音排序）

曹 潇 陈 然 冯鑫振 胡汝伟

华光辉 江星星 孔爱良 李官军

栗 峰 梁 硕 刘海璇 彭佩佩

邱腾飞 孙檬檬 陶 琼 夏俊荣

许晓慧 姚虹春 叶荣波 张祥文

赵上林 周 昶



随着全球应对气候变化呼声的日益高涨以及能源短缺、能源供应安全形势的日趋严峻，风能、太阳能、生物质能、海洋能等新能源以其清洁、安全、可再生的特点，在各国能源战略中的地位不断提高。其中风能、太阳能相对而言成本较低、技术较成熟、可靠性较高，近年来发展迅猛，并开始能源供应中发挥重要作用。我国于2006年颁布了《中华人民共和国可再生能源法》，政府部门通过特许权招标，制定风电、光伏分区上网电价，出台光伏电价补贴机制等一系列措施，逐步建立了支持新能源开发利用的补贴和政策体系。至此，我国风电进入快速发展阶段，连续5年实现增长率超100%，并于2012年6月装机容量超过美国，成为世界第一风电大国。截至2014年年底，全国光伏发电装机容量达到2805万kW，成为仅次于德国的世界光伏装机第二大国。

根据国家规划，我国风电装机2020年将达到2亿kW。华北、东北、西北等“三北”地区以及江苏、山东沿海地区的风电主要以大规模集中开发为主，装机规模约占全国风电开发规模的70%，将建成9个千万千瓦级风电基地；中部地区则以分散式开发为多。光伏发电装机预计2020年将达到1亿kW。与风电开发不同，我国光伏发电呈现“大规模开发，集中远距离输送”与“分散式开发，就地利用”并举的模式，太阳能资源丰富的西北、华北等地区适宜建设大型地面光伏电站，中东部发达地区则以分布式建筑光伏为主，我国新能源在未来一段时间仍将保持快速发展的态势。

然而，在快速发展的同时，我国新能源也遇到了一系列亟待解决的问题，其中新能源的并网问题已经成为了社会各界关注的焦点，如新能源并网接入问题、包含大规模新能源的系统安全稳定问题、新能源的消纳问题以及新能源分布式并网带来的配电网技术和管理问题等。

新能源并网技术已经得到了国家、地方、行业、企业以及全社会广泛关注。自“十一五”以来，国家科技部在新能源并网技术方面设立了多个“973”“863”以及科技支撑计划等重大科技项目，行业中诸多企业也在新能

源并网技术方面开展了大量研究和实践，在新能源的并网技术进步方面取得了丰硕的成果，有力地促进了新能源发电产业发展。

中国电力科学研究院作为国家电网公司直属科研单位，在新能源并网等方面主持和参与了多项的国家“973”“863”以及科技支撑计划和国家电网公司科技项目，开展了大量的与生产实践相关的针对性研究，主要涉及新能源并网的建模、仿真、分析、规划等基础理论和方法，新能源并网的实验、检测、评估、验证及装备研制等方面的技术研究和相关标准制定，风力、光伏发电功率预测及资源评估等气象技术研发应用，新能源并网的智能控制和调度运行技术研发应用，分布式电源、微电网以及储能的系统集成及运行控制技术的研究应用等。这些研发所形成的科研成果与现场应用，在我国新能源发电产业高速发展中起到了重要的作用。

本次编著的《新能源发电并网技术丛书》内容包括电力系统储能应用技术、风力发电和光伏发电预测技术、新能源发电建模与仿真技术、光伏发电并网试验检测技术、微电网运行与控制等多个方面。该丛书是中国电力科学研究院在新能源发电并网领域的探索、实践和在大量现场应用基础上的总结，是我国首套从多个角度系统化阐述大规模及分布式新能源并网技术研究与实践的著作。希望该丛书的出版，能够吸引更多国内外专家、学者以及有志从事新能源行业的专业人士，进一步深化开展新能源并网技术的研究及应用，为促进我国新能源发电产业的技术进步发挥更大的作用！

中国科学院院士、中国电力科学研究院名誉院长



2017年3月



微电网作为分布式清洁能源有效利用的一种形式，可以根据外部电网的峰谷时段，存储或释放能量，平抑峰谷差，实现削峰填谷、节能减排。微电网运行的灵活性、可控性不仅可以最大限度地利用清洁能源，给用户带来环保、经济的供能服务，也对电网的经济调度具有积极的意义。同时，微电网也代表了未来能源应用的一种发展趋势，是推进能源发展及经营管理方式变革的重要载体，对推进节能减排和实现能源可持续发展具有重要意义。

《国家能源局关于推进新能源微电网示范项目建设的指导意见》（国能新能〔2015〕265号）提出：“应充分认识推进新能源微电网建设的重要意义，积极组织推进新能源微电网示范项目建设，为新能源微电网的发展创造良好环境”。国家能源局2015年发布的《配电网建设改造行动计划（2015—2020年）》指出：“在城市供电可靠性要求较高的区域和偏远农村、海岛等不同地区，有序开展微电网示范应用，完善微电网技术标准体系建设，带动国内相关科研、设计、制造、建设等企业的技术创新”。近年来，国内外有关研究机构和企业开展了大量新能源微电网技术研究和应用探索，具备了大面积推广新能源微电网工程应用的条件。

本书着眼于目前国内外微电网技术的快速发展，同时结合微电网和新能源领域的研究和应用成果，系统介绍了微电网技术的发展、微电网类型与系统结构、分布式发电与储能控制技术、微电网系统控制技术、微电网能量管理技术、微电网保护技术、微电网监控技术和微电网的典型工程应用。

随着电力体制改革的不断深化和推进，微电网商业化推广和规模化应用存在巨大发展空间。本书仅对目前的微电网技术、系统集成和应用涉及的关键问题进行了系统地阐述。随着主动配电网技术的发展，交直流混合配电网的广泛应用，必将推动微电网相关技术快速更新。

本书在编写过程中参阅了很多前辈的工作成果，引用了大量标准和示范工程的运行数据，在此对中国电力企业联合会、天津大学、浙江省电力公司、青海省电力公司、冀北电力公司等单位表示特别感谢。本书在编写过程

中，中国电力科学研究院新能源研究中心的领导和专家王伟胜、丁杰、吴福保、朱凌志等给予了高度的重视和相关指导，顾锦汶教授亦给予了宝贵的意见，并得到了周海、程序、施涛等专家的技术咨询帮助，在此一并向他们致以衷心的感谢！在此一并向他们致以衷心的感谢！

限于作者水平和实践经验，书中难免有不足之处，恳请读者批评指正。

作者

2017年4月

本书引用的 IEC 标准

序号	标准名	标准号	年份
1	Telecontrol equipment and systems Part 5: Transmission protocols Section 101; Companion standard for basic telecontrol tasks (远动设备及系统 第 5-101 部分: 传输规约 基本远动任务配套标准)	IEC 60870-5-101	2002
2	Telecontrol equipment and systems Part 5: Transmission protocols Section 102; Companion standard for transmission of integrated totals in electric power systems (远动设备及系统 第 5-102 部分: 传输规约 电力系统电能累计量传输规约)	IEC 60870-5-102	1996
3	Telecontrol equipment and systems Part 5: Transmission protocols Section 103; Companion standard for the information interface of protection equipment (远动设备及系统 第 5-103 部分: 传输规约 继电保护设备信息接口配套标准)	IEC 60870-5-103	1997
4	Telecontrol equipment and systems Part 5: Transmission protocols Section 104; Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles (远动设备及系统 第 5-104 部分: 传输规约 采用标准传输集的 IEC 60870-5-101 网络访问)	IEC 60870-5-104	2000
5	Communication networks and systems for power utility automation (电力自动化通信网络和系统标准)	IEC 61850	2012
6	Communication networks and systems for power utility automation Part 1; Introduction and overview (电力自动化通信网络和系统 第 1 部分: 介绍和概述)	IEC 61850-1	2012
7	Communication networks and systems in substations Part 2; Glossary (电力自动化通信网络和系统 第 2 部分: 术语)	IEC 61850-2	2012

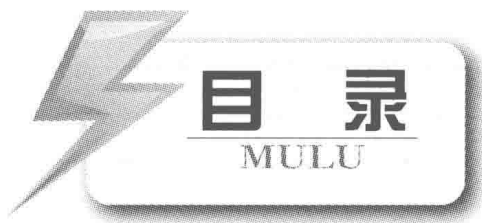
序号	标准名	标准号	年份
8	Communication networks and systems in substations Part 3: General requirements (电力自动化通信网络和系统 第3部分: 总体要求)	IEC 61850-3	2012
9	Communication networks and systems for power utility automation Part 4: System and project management (电力自动化通信网络和系统 第4部分: 系统和工程管理)	IEC 61850-4	2011
10	Communication networks and systems in substations Part 5: Communication requirements for functions and device models (电力自动化通信网络和系统 第5部分: 功能和设备模型的通信要求)	IEC 61850-5	2012
11	Communication networks and systems for power utility automation Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs (电力自动化通信网络和系统 第6部分: 与变电站有关的 IED 的通信配置描述语言)	IEC 61850-6	2009
12	Communication networks and systems for power utility automation Part 7-1: Basic communication structure Principles and models (电力自动化通信网络和系统 第7-1部分: 变电站和馈线设备基本通信结构原理和模型)	IEC 61850-7-1	2011
13	Communication networks and systems for power utility automation Part 7-2: Basic information and communication structure Abstract communication service interface (ACSI) [电力自动化通信网络和系统 第7-2部分: 变电站和馈线设备的基本通信结构抽象通信服务接口 (ACSI)]	IEC 61850-7-2	2010
14	Communication networks and systems for power utility automation Part 7-3: Basic communication structure-Common data classes (电力自动化通信网络和系统 第7-3部分: 变电站和馈线设备基本通信结构公共数据类)	IEC 61850-7-3	2010
15	Communication networks and systems for power utility automation Part 7-4: Basic communication structure Compatible logical node classes and data object classes (电力自动化通信网络和系统 第7-4部分: 变电站和馈线设备的基本通信结构兼容的逻辑节点类和数据类)	IEC 61850-7-4	2010

序号	标准名	标准号	年份
16	Communication networks and systems for power utility automation Part 7 - 410; Hydroelectric power plants Communication for monitoring and control (电力自动化通信网络和系统 第 7 - 410 部分: 基本通信结构水力发电厂监视与控制用通信)	IEC 61850 - 7 - 410	2007
17	Communication networks and systems for power utility automation Part 7 - 420; Basic communication structure-Distributed energy resources logical nodes (电力自动化通信网络和系统 第 7 - 420 部分: 基本通信结构分布式能源逻辑节点)	IEC 61850 - 7 - 420	2009
18	Communication networks and systems for power utility automation Part 8 - 1; Specific Communication Service Mapping (SCSM) -Mappings to MMS (ISO 9506 - 1 and ISO 9506 - 2) and to ISO/IEC 8802 - 3 [电力自动化通信网络和系统 第 8 - 1 部分: 特定通信服务映射 (SCSM) 映射到 MMS (ISO 9506 第 1、2 部分) 和 ISO/IEC 8802 - 3]	IEC 61850 - 8 - 1	2011
19	Communication networks and systems in substations Part 901; Use of IEC 61850 for the communication between substations (电力自动化通信网络和系统 第 901 部分: IEC 61850 在变电站间通信中的应用)	IEC 61850 - 901	2010
20	Communication networks and systems in substations Part 9 - 2; Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802 - 3 [电力自动化通信网络和系统 第 9 - 2 部分: 特定通信服务映射 (SCSM) 通过 ISO/ IEC 8802 - 3 传输采样测量值]	IEC 61850 - 9 - 2	2011
21	Communication networks and systems in substations Part 10; Conformance testing (电力自动化通信网络和系统 第 10 部分: 一致性测试)	IEC 61850 - 10	2012
22	Wind turbine generator systems Part 25 - 1; Communications for monitoring and control of wind power plants -Overall description of principles and models (风力发电系统 第 25- 1 部分 风力发电场监控系统通信—原则与模式)	IEC 61400 - 25 - 1	2006
23	Wind turbine generator systems Part 25 - 2; Communications for monitoring and control of wind power plants—Information models (风力发电系统 第 25 - 2 部分 风力发电场监控系统通信—信息模型)	IEC 61400 - 25 - 2	2006

序号	标准名	标准号	年份
24	Wind turbine generator systems Part 25 - 3: Communications for monitoring and control of wind power plants— Information exchange models (风力发电系统 第 25 - 3 部分 风力发电场监控系统通信—信息交换模型)	IEC 61400 - 25 - 3	2006
25	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) (能量管理系统应用程序接口标准)	IEC 61970	2003
26	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 1: Guidelines and General Requirements [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 1 部分: 导则和基本要求]	IEC 61970 - 1	2003
27	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 2: Glossary [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 2 部分: 术语]	IEC 61970 - 2	2003
28	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 301: Common Information Model (CIM) Base [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 301 部分: 公共信息模型 (CIM) 基础]	IEC 61970 - 301	2003
29	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 302: Common Information Model (CIM) Financial, Energy Scheduling, and Reservations [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 302 部分: 公共信息模型 (CIM) 财务、能量计划和预定]	IEC 61970 - 302	2012
30	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 303: Common Information Model (CIM) - SCADA [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 303 部分: 公共信息模型 (CIM) - SCADA]	IEC 61970 - 303	2012
31	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 401: Component Interface Specification (CIS) Framework [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 401 部分: 组件接口规范 (CIS) 框架]	IEC 61970 - 401	2003

序号	标准名	标准号	年份
32	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 402: Common Services [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 402 部分: 公共服务]	IEC 61970 - 402	2008
33	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 403: Generic Data Access (GDA) [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 403 部分: 通用数据访问 (GDA)]	IEC 61970 - 403	2008
34	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 404: High Speed Data Access (HSDA) [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 404 部分: 高速数据访问 (HSDA)]	IEC 61970 - 404	2007
35	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 405: Generic Eventing and Subscription (GES) [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 405 部分: 通用事件和订阅 (GES)]	IEC 61970 - 405	2007
36	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 450: CIS Information Exchange Model Specification Guide [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 450 部分: 信息交换模型]	IEC 61970 - 450	2003
37	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 451: CIS Information Exchange Model Specification Guide [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 451 部分: CIS 信息交换模型]	IEC 61970 - 451	2003
38	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 452: CIM Model Exchange Specification [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 452 部分: CIM 模型交换服务]	IEC 61970 - 452	2003
39	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 501: CIM RDF Schema [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 501 部分: CIM 资源描述框架 (RDF) 模式]	IEC 61970 - 501	2004

序号	标准名	标准号	年份
40	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 502: CDA CORBA Mapping [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 502 部分: CDA CORBA 映射]	IEC 61970 - 502	2004
41	Energy Management System Application Program Interface (EMS - API) Part 503: CIM XML Model Exchange Format [能量管理系统应用程序接口 (EMS - API) 第 503 部分: CIM XML 模型交换格式]	IEC 61970 - 503	2004



序

前言

本书引用的 IEC 标准

第 1 章 微电网发展概述	1
1.1 微电网产生背景	1
1.2 微电网发展现状	2
1.3 微电网发展前景与挑战	9
参考文献	12
第 2 章 微电网的概念	14
2.1 微电网定义、特征与结构	14
2.2 微电网分类	20
2.3 微电网应用场景	23
2.4 微电网运行控制关键技术	24
参考文献	27
第 3 章 分布式电源控制技术	29
3.1 光伏发电	29
3.2 风力发电	37
3.3 微燃气轮机发电	41
3.4 燃料电池	43
3.5 分布式储能	46
参考文献	52
第 4 章 微电网控制技术	55
4.1 微电网主从控制模式	55
4.2 微电网对等控制模式	56
4.3 微电网并网运行控制策略	57
4.4 微电网离网运行控制策略	63
4.5 微电网运行状态切换控制策略	66

参考文献	84
第5章 微电网能量管理技术	85
5.1 概述	85
5.2 分布式发电功率预测	89
5.3 负荷预测	92
5.4 能量管理元件模型	98
5.5 能量优化计划	101
参考文献	108
第6章 微电网保护技术	109
6.1 分布式电源故障特性	109
6.2 微电网对配电网保护的影响	114
6.3 网络化微电网保护	122
6.4 微电网安全接地	136
参考文献	139
第7章 微电网信息建模与通信技术	141
7.1 信息建模原理	141
7.2 监控系统信息建模	147
7.3 能量管理系统信息建模	159
7.4 微电网通信组网	166
参考文献	175
第8章 微电网典型工程应用	176
8.1 偏远农牧地区微电网	176
8.2 商业楼宇微电网	185
8.3 工业园区微电网	200
8.4 海岛微电网	203
8.5 直流微电网	206
参考文献	212
附录 国内外微电网实验室及试点工程开展情况	213
附表1 美国典型微电网实验室	213
附表2 美国典型微电网试点工程	214
附表3 欧洲典型微电网实验室	215
附表4 欧洲典型微电网试点工程	216
附表5 日本典型微电网试点工程	217
附表6 国内典型微电网试点工程	218