

Technology and Application of Microgrids

微电网技术及应用

王成山 许洪华 等 著

 科学出版社

微电网技术及应用

Technology and Application of Microgrids

王成山 许洪华 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

微电网技术近年来发展很快,本书旨在从实用化角度对微电网相关的技术和应用问题加以阐述。全书共7章:第1章阐述分布式发电和微电网的概念以及发展微电网的必要性和现实意义;第2章概要介绍微电网的一些关键技术,包括微电网控制、微电网保护、运行优化与能量管理、优化规划设计等;第3章介绍微电网中常用的关键电力电子设备原理及控制策略;第4章分析独立型微电网的系统组成、配置原则以及运行策略等;第5章介绍联网型微电网的配置原则、成本与费用分析以及对配电网的影响等;第6章和第7章给出几种不同微电网的方案案例和实际工程案例,分析了其运行模式和经济性等。

本书适合微电网系统研究、设备研发、工程建设和运行管理等相关领域的科技工作者阅读,也可供高等院校分布式能源与微电网相关专业的教师、研究生和高年级本科生参考。

图书在版编目(CIP)数据

微电网技术及应用=Technology and Application of Microgrids/王成山等著. —北京:科学出版社,2016

ISBN 978-7-03-047728-6

I. ①微… II. ①王… III. ①电网-电气工程-研究 IV. TM 727

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 050592 号

责任编辑:范运年 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张倩 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年3月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:280 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

电力作为重要的二次能源,具有清洁、高效、方便使用的优点,是能源利用的有效形式。作为集中式发电的有效补充,近年来分布式发电技术日趋成熟,其应用日益受到关注。分布式发电是指利用各种分散存在的能源,包括可再生能源(太阳能、生物质能、小型风能、小型水能、波浪能等)和本地可方便获取的化石类燃料(如天然气)进行发电供能的技术。灵活、经济与环保是分布式发电技术的主要优势,但一些可再生能源的间歇性和随机性的特点,使得这些电源仅依靠自身的调节能力满足负荷的功率平衡比较困难,通常还需要其他电源(内部或外部)的配合。为了更好地实现分布式发电技术的灵活高效应用,解决数量庞大、形式多样的分布式电源的可靠运行问题,以智能电网技术为支撑的“因地制宜、多能互补、灵活配置、经济高效”的微电网,作为一种新兴技术,近年来受到了广泛关注。

微电网可以被看作小型的电力系统,它具备完整的发电和配电功能,既可以与外部电网并网运行,也可以独立运行,在满足网内用户电能需求的同时,还可满足网内用户冷/热需求。从微观看,微电网可以被看作小型电力系统,可以实现局部的功率平衡与能量优化;从宏观看,微电网又可被认为是配电系统中的一个“虚拟”的电源或负荷。将分布式电源以微电网形式接入电网中并网运行,与电网互为支撑,是发挥分布式电源效能的有效方式。作为微电网的一种特例,非并网型微电网也有很好的应用前景,可以解决海岛、边远地区等常规电网难以供电地区的供电问题,通过充分利用当地的风能、太阳能、水能等资源,提高向用户提供电能的能力,一定程度解决传统单纯依靠柴油发电机供电导致的供电成本高和环境污染等问题。

为贯彻落实《可再生能源中长期发展规划》,促进微电网在我国的推广应用,由国家能源局委托,能源基金会支持,中国科学院电工研究所联合天津大学、中国电力科学研究院、中国电子工程设计院等单位的专家合作开展了“分布式发电智能微电网(一期)”课题研究(2011~2012年),课题组基于对国内外典型微电网实验与示范工程的调研,全面细致地梳理了微电网技术的装备现状和发展趋势,并根据我国国情,因地制宜的提出了“十二五”期间微电网示范工程实施方案和激励政策建议。2013年,国家能源局又委托课题组在该课题的基础上继续深入推进,开展“分布式发电智能微电网(二期)”课题研究工作。根据国家能源局“十二五”新能源微电网示范工程建设目标,按照具有示范和推广效应的原则,拟首先选择国内典型区域开展不同技术类型微电网先导示范项目的方案研究,旨在探索可再生能源高比

例接入及安全可靠的微电网方案、技术经济性、商业模式、管理机制和激励政策,有效解决示范地区微电网的机制体制及经济性等问题,推动我国微电网的大范围应用。感到非常欣慰的是,就在本书完稿之际,依托上述两个课题的研究成果,国家能源局正式发布了《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》(国家能源局[2015]265号),对新能源微电网的建设意义、示范项目建设的目的和原则、建设内容及有关要求、组织实施步骤、新能源微电网技术条件、示范项目实施方案编制参考大纲等进行了明确的阐述。

本书主要阐述了分布式发电和微电网的概念及特征、发展微电网的必要性和现实意义以及国内外微电网研究的现状和前景;介绍了微电网的关键技术,包括微电网控制、微电网及含微电网的配电网保护、运行优化与能量管理、优化规划设计以及微电网的实验研究;讨论了微电网关键设备及其控制方法,介绍了微电网中关键电力电子设备的原理及控制策略;分析阐述了联网型微电网的发展现状、系统组成与配置原则、微电网接入系统设计与运行、微电网与配电网的相互影响、系统适用性分析以及系统经济性分析;介绍了独立型微电网的基本特征、系统组成、配置原则及优化配置方法,并分析了独立型微电网的系统适用性;最后,介绍了一些国内外典型的微电网案例,并针对城市、边远地区和海岛三种典型地区的微电网进行了需求和资源分析,选择典型示范点进行了系统方案设计、运行模式分析和经济性评价。

本书共7章,参加本书编写工作的有王成山、许洪华、王伟胜、王斯成、王一波、杨子龙、何国庆、伍春生、付勋波、Chris Marnay、冯威、李霞林、焦冰琦、张德举、刘一欣、吕芳、于金辉、张宏伟、张嘉、王胜利,全书由王成山统稿。在本书写作过程中,国家能源局梁志鹏、董秀芬,能源基金会芦红、王曼等给予了多方面的支持和鼓励,科学出版社编辑为本书的顺利出版做了大量细致而辛苦的工作,作者对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

本书的很多内容都针对微电网实际工程,作者希望本书能够达到抛砖引玉的效果,在写作过程中一直秉承实用性原则,希望对广大微电网实际工程建设者有一定的参考价值,能够对推动我国微电网的技术进步有所贡献。尽管作者把写好这本书视作一种责任,在写作过程中对体系的安排、素材的选取、文字的叙述试图精心构思和安排,但由于微电网的应用尚处于探索和起步阶段,一些内容还很不成熟,限于作者水平,内容可能还存在不妥之处,真诚地期待专家和读者对本书提出批评和指正。

作者

2015年7月

目 录

前言	
第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 分布式发电	1
1.3 微电网	2
1.4 微电网研究和发展现状	3
参考文献	5
第 2 章 微电网及其关键技术	7
2.1 引言	7
2.2 微电网典型结构	7
2.3 微电网控制	9
2.3.1 分布式电源基本控制方法	9
2.3.2 微电网综合控制策略	11
2.4 微电网保护	17
2.4.1 微电网孤岛检测技术	17
2.4.2 微电网保护方案	19
2.5 微电网能量管理系统	20
2.6 微电网规划设计	25
2.7 微电网仿真与实验	28
参考文献	29
第 3 章 微电网关键电力电子装置及其控制	31
3.1 引言	31
3.2 关键电力电子装置	31
3.3 DC-DC 变流器典型应用及控制	32
3.3.1 非隔离型 DC-DC 变流器	32
3.3.2 隔离型 DC-DC 变流器	37
3.4 DC-AC 变流器典型应用及控制	40
3.4.1 DC-AC 变流器	40
3.4.2 AC-DC-AC 变流器	48
3.5 静态开关	50

3.5.1	基于半控型器件的固态断路器	50
3.5.2	基于全控型器件的固态断路器	51
3.5.3	混合型断路器	52
	参考文献	52
第4章	独立型微电网系统	55
4.1	引言	55
4.2	系统组成与优化配置	56
4.2.1	典型系统组成	56
4.2.2	配置原则	56
4.2.3	优化配置	59
4.3	系统组网方式	63
4.3.1	可控型分布式电源组网	63
4.3.2	储能系统组网	65
4.3.3	可控分布式电源与储能系统交替组网	67
4.4	微电网运行策略	68
4.4.1	柴油发电机控制准则	69
4.4.2	蓄电池储能系统控制准则	74
4.4.3	分析说明	77
	参考文献	81
第5章	联网型微电网	83
5.1	引言	83
5.2	微电网的配置	83
5.3	微电网成本及费用分析	84
5.3.1	用户购电费用	86
5.3.2	分布式电源费用	87
5.3.3	供热费用	90
5.3.4	环境治理费用	90
5.3.5	停电损失费用	91
5.3.6	可再生能源发电补贴	92
5.3.7	网损费用	92
5.3.8	配电变压器费用	93
5.4	接入系统设计与运行	93
5.4.1	主要关注因素	93
5.4.2	接入系统方式	94
5.4.3	运行模式	95

5.4.4 运行控制	98
5.4.5 相关技术标准	100
5.5 微电网与配电网的相互影响	101
5.5.1 配电网规划方面	101
5.5.2 电能质量方面	102
5.5.3 继电保护方面	104
5.5.4 可靠性方面	107
5.6 适用性分析	108
5.7 运营与商业模式	109
参考文献	109
第6章 独立型微电网案例分析	111
6.1 案例一简介	111
6.2 案例一方案设计	112
6.2.1 需求分析	112
6.2.2 微电网中分布式电源容量设计	114
6.3 案例一系统运行策略	125
6.3.1 运行模式与运行状态	126
6.3.2 分布式电源运行策略	128
6.3.3 基于运行控制逻辑的能量管理方法	131
6.3.4 系统紧急控制策略	142
6.4 案例一系统仿真分析	144
6.4.1 典型运行场景设置	144
6.4.2 微电网稳态分析	144
6.5 青海玉树州水/光/储微电网发电工程	158
参考文献	165
第7章 联网型微电网案例分析	167
7.1 引言	167
7.2 城镇微电网示范案例分析	167
7.2.1 需求与资源分析	167
7.2.2 设计原则	169
7.2.3 设计方案	170
7.2.4 经济性分析	175
7.2.5 政策建议	177
7.3 边远地区微电网示范案例分析	178
7.3.1 需求与资源分析	178

7.3.2 设计原则	182
7.3.3 设计方案	182
7.3.4 经济性分析	189
7.4 新疆吐鲁番新能源城市微电网示范项目	192
7.5 美国圣塔丽塔监狱冷热电联供微电网	196
参考文献	202
附录 A 微电网方案配置相关参数	203
附录 B 微电网仿真分析相关参数	206
参考文献	212

第 1 章 概 述

1.1 引 言

当前,我国正处于经济与社会飞速发展的重要阶段,在实现工业化、信息化及城镇化的过程中,面临着多方面的挑战,例如,环境与资源对人类社会发展的制约;能源与环境同温室气体排放之间的矛盾;资源与能源在开发、利用效率上的平衡等等。一方面,作为世界上最大的发展中国家及全球第二大能源消费国,我国需要价格合理、长期稳定的能源供给以保证经济持续、快速的增长。另一方面,我国面临着严苛的环境问题,由于能源结构中煤炭的比例高达 70%,我国成为世界上最大的二氧化碳排放国,煤炭同时也是造成雾霾的主要因素之一^[1]。此外,水污染、土地荒漠化、水土流失、生物多样性破坏等问题也日趋严重。依靠传统的化石燃料已很难继续维持经济、社会的健康、协调与可持续发展。发展清洁、高效的可再生能源及相关的系统集成技术是能源工业发展的当务之急。

电力作为重要的二次能源,具有清洁、高效、方便使用的优点,是能源利用最有效的形式之一。通过电能的形式加以传输和利用是可再生能源开发的主要形式之一。当前,作为集中式发电的有效补充,分布式发电及其系统集成技术正日趋成熟,随着成本不断下降以及政策层面的有力支持,分布式发电技术正得到越来越广泛的应用。

1.2 分布式发电

分布式发电是指利用各种可用的分散存在的能源,包括可再生能源(太阳能、生物质能、风能、小型水能、波浪能等)和本地可方便获取的化石类燃料(主要是天然气)进行发电供能的技术^[2]。小型的分布式电源容量通常在几百千瓦以内,大型的分布式电源容量可达到数十兆瓦级。灵活、经济与环保是分布式发电技术的主要优势,但一些可再生能源具有的间歇性和随机性特点,使得这些电源仅依靠自身的调节能力满足负荷的功率平衡比较困难,通常还需要其他电源的配合。

各种分布式电源的并网发电对电力系统的安全稳定运行提出了新的挑战,一些分散的小容量分布式电源对于系统运行人员而言往往是“不可见”的,而一些集中的大型分布式电源又通常是“不可控”或“不易控”的。正像大容量风电场或大容

量光伏电站的接入会对输电网的安全稳定运行带来诸多影响一样,当中低压配电系统中的分布式电源容量达到较高的比例(即高渗透率)时,要实现配电系统的功率平衡与安全运行,并保证用户的供电可靠性和电能质量也会有一定困难^[2]。独自并网的分布式电源易影响周边用户的供电质量,分布式发电技术的多样性增加了并网运行的难度,同时实现能源的综合优化面临挑战,这些问题都制约着分布式发电技术的发展。阻碍分布式发电获得广泛应用的难点不仅仅是分布式发电本身的技术壁垒,现有的电网技术也还不能完全适应高比例分布式发电系统的接入要求。

1.3 微 电 网

微电网是指由分布式电源、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等汇集而成的小型发/配/用电系统,是一个能够实现自我控制和管理自治系统^[3]。微电网可以看作是小型的电力系统,它具备完整的发电、配电和用电功能,可以有效实现网内的能量优化。微电网有时在满足网内用户电能需求的同时,还需满足网内用户热能的需求,此时的微电网实际上是一个能源网。按照是否与常规电网连接,微电网可分为联网型微电网和独立型微电网。

联网型微电网:具有并网和独立两种运行模式。在并网工作模式下,一般与中、低压配电网并网运行,互为支撑,实现能量的双向交换。通过网内储能系统的充放电控制和分布式电源出力的协调控制,可以实现微电网的经济运行,并对电网发挥负荷移峰填谷的作用,也可实现微电网和常规电网间交换功率的定值或定范围控制,减少由于分布式可再生能源发电功率的波动对电网的影响。利用能量管理系统,可有效提高分布式电源的能源利用率。在外部电网故障的情况下,可转为独立运行模式,继续为微电网内重要负荷供电,提高重要负荷的供电可靠性。通过采取先进的控制策略和控制手段,可保证微电网高电能质量供电,也可以实现两种运行模式的无缝切换。

独立型微电网:不和常规电网相连接,利用自身的分布式电源满足微电网内负荷的长期供电需求^[4]。当网内存在可再生能源分布式电源时,常常需要配置储能系统以抑制这类电源的功率波动,同时在充分利用可再生能源的基础上,满足不同时段负荷的需求。这类微电网更加适合在海岛、边远地区等无电地区为用户供电。目前独立微电网一般采用交流母线技术实现分布式电源间的并联运行,便于微电网内分布式电源的接入和微电网扩容。

微电网技术的提出旨在中、低压层面上实现分布式发电技术的灵活、高效应用,解决数量庞大、形式多样的分布式电源并网运行时的主要问题,同时由于具备一定的能量管理功能,并尽可能维持功率的局部优化与平衡,可有效降低系统运行

人员的调度难度。特别地,联网型微电网的独立运行模式可以在外部电网故障时继续向系统中的关键负荷供电,提高了用电的安全性和可靠性。在未来,微电网技术是实现分布式发电系统大规模应用的关键技术之一。

从微观看,微电网是小型的电力系统,具备完整的发/输/配/用电功能,可以实现局部的功率平衡与能量优化;从宏观看,微电网又可以认为是配电系统中的一个“虚拟”的电源或负荷。现有研究和实践表明,将分布式电源以微电网形式接入到电网中并网运行,与电网互为支撑,是发挥分布式电源效能的有效方式^[5],具有巨大的社会与经济意义,体现在:①可大大提高分布式电源的利用率;②有助于电网灾变时向重要负荷持续供电;③避免间歇式电源对周围用户电能质量的直接影响;④有助于可再生能源优化利用和电网的节能降损、削峰填谷等。

为了满足不同的功能需求,微电网可以有多种结构。微电网的构成有时可以很简单,例如,仅利用光伏发电系统和储能系统一起就可以构成一个简单的由用户所有的微电网;有时其构成也可能十分复杂,例如,可能由风力发电系统、光伏发电系统、储能系统、以天然气为燃料的冷/热/电联供系统等分布式电源构成,一个微电网内还可以含有若干个子微电网。微电网可以是用户级,中压配电馈线级,也可以是变电站级,后两种一般属于配电公司所有,实际上是智能配电系统的重要组成部分^[3]。

微电网的出现改变了配电系统的结构和运行特性。许多与输电系统安全性、保护与控制等相类似的问题也同样需要关注,但由于二者在功能、结构和运行方式上的不同,关注的重点与研究方法也不同。微电网的理想化目标是实现各种分布式电源的方便接入和高效利用,尽可能使用户感受不到网络中分布式电源运行状态改变(并网或退出运行)及出力的变化而引起的波动,表现为用户侧的电能质量完全满足用户要求。实现这一目标关系到微电网运行时的一系列复杂问题,包括:①微电网的规划设计;②微电网的保护与控制;③微电网能量优化管理;④微电网仿真分析等。这些技术问题目前大多处于研究示范阶段,也是当前能源领域的研究热点^[5]。

1.4 微电网研究和发展现状

目前,国际上已对微电网相关技术开展了较为深入的研究工作,结合理论和技术研究的开展,很多国家建设了相关的实验示范系统,有的已经投入了市场化运营。

美国学者最早提出了微电网的概念^[6],并对其组网方式、控制策略、能量管理技术、电能质量改善措施等专题进行了长期深入研究。2003年,美国总统布什提出了“电网现代化(grid modernization)”的目标^[7],即将信息技术、通信技术引入电

力系统以实现电网的智能化。在随后出台的“Grid 2030”发展战略中,美国能源部制定了以微电网为其重要组成部分的美国电力系统未来几十年的研究与发展规划^[8]。由美国北部电力系统承建的 Mad River 微电网^[8,9]是美国第一个用于检验微电网的建模和仿真方法、保护和控制策略以及经济效益等的微电网示范工程。此后,在美国建成了包括一些大学校园微电网在内的数十个实际微电网工程。

加拿大政府针对微电网研究启动了 ICES(Integrated Community Energy Solutions)研究计划,重点关注微电网技术在各类社区供能环节的应用,特别强调各类分布式能源的集成利用和与社区公共设施(交通、医疗、通讯等)的相互支撑。在 ICES 项目资助下,加拿大先后建立了包括 Kasabonika 微电网、Bella Coola 微电网、Ramea 微电网、Nemiah 微电网、Quebec 微电网、Utility 微电网、Hydro Boston Bar 微电网和 Calgary 微电网等在内的诸多示范工程^[10]。

欧洲对微电网的发展和研究,主要目的是满足能源用户对电能质量的多样性要求、满足电力市场的需求以及欧洲电网的稳定和环保要求等。2005 年,欧洲提出“Smart Power Networks”概念^[11],并在 2006 年出台了该计划的技术实现方略作为未来的电力发展方向。在欧盟第五框架计划(5th Framework Program, FP5)^[12]中,专门开展了针对微电网的研究工作,在分布式电源建模方法、可用于对逆变器控制的低压非对称微电网的静态和动态仿真工具、孤岛和互联的运行理念、基于代理的控制策略、本地黑启动策略、接地和保护的方案、可靠性的定量分析、实验室微电网平台的理论验证等方面取得了重要研究成果。目前,欧洲一些国家已经建成了多个微电网示范工程^[13],例如,位于西班牙巴斯克地区毕尔巴鄂市的 Labein 微电网,位于意大利米兰市的 CESI 微电网,由德国 SMA 公司与希腊雅典国立大学通讯与信息研究所(ICCS/NTUA)合作建造的位于希腊爱琴海基克拉迪群岛上的 Kythnos 微电网,位于德国曼海姆市的 MVV 微电网等。欧洲的微电网研究计划主要围绕着系统可靠性、分布式电源可接入性、微电网运行灵活性开展研究,目的是解决未来大量分布式电源的有效接入问题。

日本资源匮乏,能源紧缺,对可再生能源的发展给予了高度重视。目前日本在微电网示范工程的建设方面处于世界领先水平。由日本新能源开发机构(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)2003 年支持的“可再生能源区域电网(Regional Power Grid with Renewable Energy Resources Project)”项目中,建成了多个先进的微电网示范工程^[14],如 Archi 微电网、Kyoto 微电网、Hachinohe 微电网、Tokyo gas 微电网等。

目前,中国微电网的发展方兴未艾,国内的高校、相关科研机构及企业对微电网相关技术展开了积极的研究和探索。在理论研究、实验室建设和示范工程建设方面取得了一系列的成果。例如,2009 年,由天津大学联合其他七家大学和电网公司一起承担的国家 973 计划项目“分布式发电供能系统相关基础研究”^[5],在微

电网系统规划设计、运行控制与能量管理、建模与仿真等方面取得了大量研究成果。天津大学、合肥工业大学、杭州电子科技大学、中国电力科学研究院、浙江省电力科学研究院、中科院电工所、上海电气集团等多家高校、科研单位和企业建设了高水平的微电网实验系统。浙江东福山岛微电网、珠海东澳岛微电网、蒙东太平林场微电网、内蒙古陈巴尔虎旗微电网、天津中新生态城微电网、江苏盐城大丰微电网、青海玉树微电网等一批实际微电网工程已经投运,目前还有一批微电网工程正在建设中。

需要指出的是,现阶段的微电网仍然处于技术发展阶段,距离大规模商业化的应用还有相当长的路要走。尽管如此,微电网的发展前景依然十分乐观,这源于多方面因素:①微电网是智能电网的重要组成部分,微电网中电力电子变换器、电力电子变压器、直流配电、自愈控制、能量高效管理等同时也是智能配电网的核心技术;②微电网是智能能源网的重要组成部分,微电网中冷/热/电联供、能源梯级利用、能源替代优化、能源综合高效利用等都是能源互联网领域的核心技术;③微电网是能源互联网概念实现的基础,微电网自我管理与管理自我控制的特征、既可并网又可独立运行的特点、与电网可实现双向能量灵活交换的能力,使能源用户自由平等地实现能源的交易成为可能。微电网技术有可能成为我国未来能源应用模式变革的重要推动力。

参 考 文 献

- [1] 张小曳,孙俊英,王亚强,等.我国雾霾成因及其治理的思考[J].科学通报(中文版),2013,58(13): 1178-1187.
- [2] 王成山,李鹏.分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J].电力系统自动化,2010,34(2):10-14.
- [3] 王成山,武震,李鹏.微电网关键技术研究[J].电工技术学报,2014,29(2):1-12.
- [4] 郭力,富晓鹏,李霞林,等.独立交流微网中电池储能与柴油发电机的协调控制[J].中国电机工程学报,2012,32(25):70-78.
- [5] 王成山,王守相.分布式发电供电系统若干问题研究[J].电力系统自动化,2008,32(20):1-4.
- [6] Lasseter R H. Microgrids[C]//Proceedings of 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. New York:IEEE,2001:146-149.
- [7] DOE, USA. Modern Grid V1. 0: The modern grid initiative[R]. Washington DC: Department of Energy,2006.
- [8] Klinger A. Northern power system's microgrid power network to address risk of power outages [EB/OL]. [2007-05-07]. <http://www.northernpower.com>.
- [9] Lynch J. Northern power system update on Mad River microgrid and related activities [EB/OL]. [2006-11-17]. http://der. |b|. gov/new_site/2005microgrids_files/presentation_pdfs/CERTS-Lynch.pdf.
- [10] Canizares C. Remote microgrids in Canada[C]//Santiago 2013 Symposium on Microgrid,2013.
- [11] European Commission. European smart grids technology platform [EB/OL]. [2007-5-1]. http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf.
- [12] European Commission. Strategic research agenda for Europe's electricity networks of the future [EB/

OL], [2007-5-1], http://www.smartgrids.eu/documents/sra/sra_finalversion.pdf.

[13] 王成山. 微电网专题介绍[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 1.

[14] Morozumi S. Micro-grid demonstration projects in Japan[C]//Power Conversion Conference. Nagoya: IEEE, 2007: 635-642.

第 2 章 微电网及其关键技术

2.1 引言

微电网内可包含多种类型的分布式电源和储能装置,需要满足用户多种负荷(冷/热/电)的需求,系统内电源或负荷的功率变化常常具有很强的随机性。无论是联网型微电网还是独立型微电网,由于其电源构成、结构方式、运行模式等与常规电网都有很大的不同,这使得其在规划与设计、控制与保护、运行优化与能量管理、仿真分析等方面都有自己的特点,需要专门研究解决,以保证微电网经济、可靠、高效等运行目标的实现^[1-2]。微电网相关的关键技术涉及多个方面,本章重点围绕微电网典型结构、控制与保护、运行优化、规划设计、仿真分析等技术进行概括性介绍。

2.2 微电网典型结构

1. 交流型微电网

目前,交流型微电网仍然是微电网的主要形式,在交流型微电网中,分布式电源、储能装置等均通过电力电子装置连接至交流母线,如图 2.1 所示系统,通过对公共联结点(point of common coupling, PCC)处开关的控制,可实现微电网并网运行与孤岛运行模式的转换。

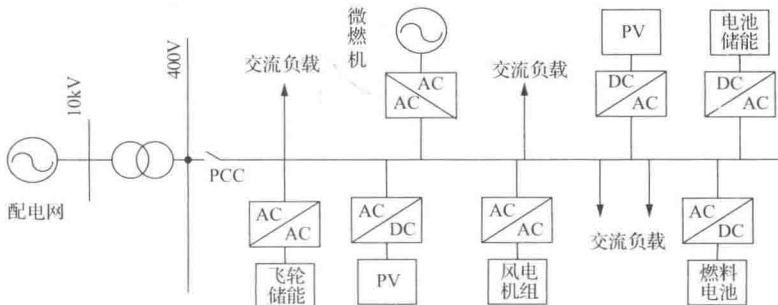


图 2.1 交流型微电网典型结构

2. 直流型微电网

直流型微电网的特征是系统中的分布式电源、储能装置、负荷等均连接至直流

母线,直流网络再通过电力电子逆变装置连接至外部交流电网,结构形式如图 2.2 所示。直流微电网通过电力电子变换装置可以向不同电压等级的交流、直流负荷提供电能,分布式电源和负荷的波动可由储能装置在直流侧调节。

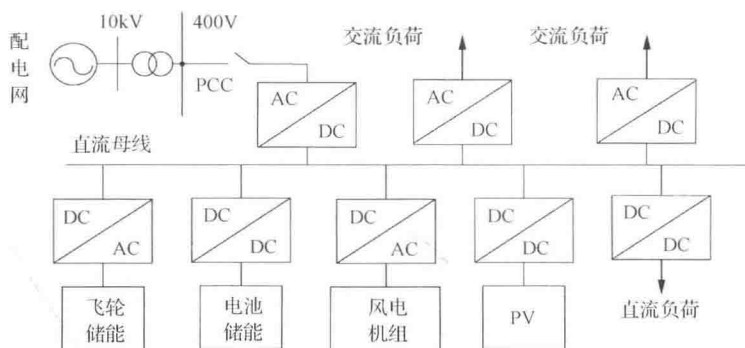


图 2.2 直流型微电网典型结构

同交流型微电网相比,直流型微电网无需考虑各分布式电源之间的同步问题,更多需要关注的是电压控制与不同分布式电源间的环流抑制控制。

3. 交直流混合型微电网

如图 2.3 所示,在这一微电网中,既含有交流母线又含有直流母线,既可以直

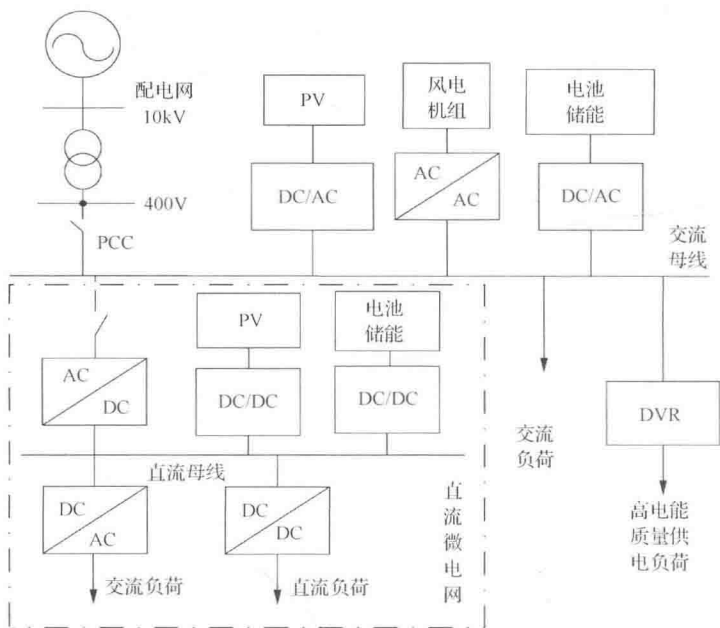


图 2.3 交直流混合型微电网典型结构