



国网江苏营销培训系列教材

第2版(9787)目录附录等

Distributed Resources Photovoltaic Power Generation

分布式电源 光伏发电

主任：张义新

副主任：郑利平

编委：张义新

编委：王 荣

周长华 史利强

邵明涛 肖 蓉

王 荣 高 颖

童巧英 主编

本书编写组

编委：张义新

编委：王 荣

编委：周长华

编委：史利强

编委：邵明涛

编委：肖 蓉

编委：王 荣

编委：高 颖

编委：张义新

编委：王 荣

编委：周长华

编委：史利强

上海财经大学出版社

国网江苏营销培训系列教材

编委会

主任：张义奇

副主任：解利平

编委：宋桂华 周长华 史利强 陶建
徐瑶 邵明静 黄蓉 徐司聪
施泉生 王荣 高晓萍

本书编写组

主编：童巧英

参编人员：陈杰 陈以明 郭晓俐 胡天云
(按姓名拼音 陆建华 潘卫国 仇成群 钱东波
顺序排列) 施文娟 唐梅 王洪胜 王荣
王晓华 谢海青 朱成云 朱丽娟
朱利萍

总 序

中国电力行业正面临着深刻的宏观环境变化。新时代中国电力行业发展呈现出电力供应宽松化、电力交易市场化、电力生产和消费绿色化的特征。

首先,中国电力供应总体上呈现过剩的态势。自2012年以来,中国经济结束了高速增长的时代,经济增速放缓至8%以下。2014年,中央政府对中国的经济形势做出了准确判断,认为中国经济发展处于经济增长速度换挡期、结构调整阵痛期、前期刺激政策消化期的三期叠加时期,并提出了中国经济发展新常态的概念。伴随着经济发展进入新常态,中国电力需求增速也随之降低。2012年全社会用电量增速放缓至5.9%,6000千瓦及以上电厂发电设备利用小时出现下降;到2016年6000千瓦及以上电厂发电设备利用小时仅为3785小时;发电企业出现大面积亏损。

其次,电力市场化改革进入实质性阶段,2015年3月15日《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发〔2015〕9号)下发,标志着新一轮电力体制改革的开启。新电改按照“管住中间、放开两头”的体制架构,实行“三放开,一独立,三强化”。随之各省改革试点方案密集出台,售电公司如雨后春笋般涌现。据不完全统计,截至2017年底全国各地成立的售电公司上万家,其中已经公示的有近3000家。大量售电公司参与电力市场交易,供电公司一家独大局面将不复存在。

再次,电力行业开始了低碳绿色转型发展。习近平总书记在十九大报告中指出,必须坚定不移地贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念,对能源电力走绿色发展道路提出了新要求;国家《电力发展“十三五”规划》等一系列文件,



提出要构建全球能源互联网,优化能源电力结构,着力提高能源效率,发展清洁能源等能源电力发展方向。实现能源开发上的清洁替代和能源消费上的电能替代(两个替代),根本上是实现能源结构从以化石能源为主向以清洁能源为主的转变。电力生产和消费的绿色化,既带来了相关新技术应用,又给电力公司带来新业务,如电能替代市场如何开拓、源网荷如何互动等。

电力公司的经营环境发生了深刻变化,原有的电力营销理念、营销模式、营销方法已经不再适宜目前的经营环境和业务。如何对电力公司营销部门员工进行营销技能培训,让其尽快适应新的环境、熟悉新的业务、掌握新的技能,是摆在电力公司人力资源部门面前的一大难题。目前,现有的电力营销教材偏重营销的理论和方法,与实际电力营销一线员工需要掌握的知识和技能不符,因此迫切需要一套有针对性、接地气、强技能的电力营销培训教材,以切实提升电力公司营销部门员工的业务和技能水平,继续保持电力公司在未来市场竞争中的优势。

国网江苏省电力公司盐城供电公司作为国家电网公司的电力营销技能培训单位,站在电力公司未来可持续发展的高度,深刻把握中国电力行业的发展趋势和特征,成立了电力营销系列培训教材编辑委员会,开发电力营销系列培训教材。该系列培训教材包含《电力需求侧管理》《岸电系统》《电动汽车充电桩》《源网荷友好互动》等 10 本,既包括比较传统的电力营销业务,也包括新出现的电力营销业务。为了保证本电力营销系列培训教材能够适合电力公司营销部门员工实际业务和技能需求,编辑委员会成员利用多年电力营销技能培训经验以及对学员的现实需求,深入调研,确定了“源于现实业务、面向现实需求、紧跟时代趋势、服务营销人员、提升营销技能”的编写原则,并针对教材编写形式、编写大纲、编写内容进行框定。为保证每本书的实用性,编写人员深入浙江、江苏、上海等地的电力公司营销部门,进行实地走访和调研,了解营销业务人员的现实需求,并对大纲进行了修订。此外,在编写过程中,还广泛征求了电力企业营销专家的意见和建议,以确保教材能够满足电力营销人员的需求。

该电力营销系列培训教材以电力营销业务体系进行区分和编写,每本书针对一项营销业务,在业务划分和选取方面广泛征求专家意见,充分考虑了业务之



间的典型性和相关性。为了做到教材通俗易懂、深入浅出,每本书的编写以营销业务及其流程为主线,注重实际操作,配有大量的图片,针对业务流程中需要重点关注的问题、难点进行阐述,并提供相应的思考与练习题,供学员巩固学习效果和考核使用。该系列培训教材能够培养电力营销业务人员的业务流程知识和操作技能,理解电力营销业务的内涵,掌握电力营销操作规则,发现并妥善处理电力营销中的疑难问题。编写者具有很高的理论水平和丰富的实践经验,该系列教材能够作为各地电力公司营销培训用书,也可用作科研院所、高校学生和教师的参考书。

华北电力大学 曾鸣教授

2018年1月

前言

近年来,以可再生能源为主的分布式发电技术得到了快速发展,成为大系统电能供应不可缺少的有益补充。集中式和分布式电源的有机结合是 21 世纪电力工业和能源产业的重要发展方向。分布式电源以其优良的环保性能和与大电网良好的互补性,成为世界能源系统发展的热点之一,也为可再生能源的利用开辟了新的方向。分布式电源易于实现模块化设计生产和灵活控制,启动和停运方便快捷,在以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展的智能电网中可以发挥相当重要的作用。

目前,介绍分布式电源(光伏发电)基本情况、相关政策、具体申请及安装流程的书籍还甚少。本书紧扣分布式电源培训的主线,围绕分布式电源的基本概念、构成、国家相关政策、并网关键技术的研究与实践和并网流程等内容进行介绍和分析,提高从事分布式电源规划、设计、运行和营销各岗位工作人员的技术水平,在确保电网安全稳定运行的同时,期待分布式电源更大规模的普及与发展。

本书共有九章。第一章,介绍分布式电源的基本概念和种类,阐述现今国内外分布式电源的发展趋势。第二章,解读国家对分布式电源的相关政策,包括补贴政策 and 扶贫政策,并对不同运营方式下不同用户的电价电费结算、效益等进行计算。第三章,介绍分布式电源的组成设备:光伏组件、逆变器、蓄电池、控制器、交流配电柜、直接汇流箱和保护接地系统等。第四章,主要包括分布式电源并网运行控制、监控系统、异常情况分析、继电保护配置和分布式电源并网标准与测试等。第五章,以江苏省盐城市为例,详细介绍分布式电源的并网流程,具



体说明申请并网所需各项材料及流程、时限等。第六章,介绍 380 V 和 110 kV 两种接入电压的典型方案。第七章,介绍分布式电源日常检查测试与运维。第八章,分别以 220 V 和 10 kV 为案例,介绍分布式电源项目的建设条件、主要设备、技术方案与效益分析。第九章是营销人员快速入门,简要介绍了分布式电源的定义、接入系统定义、并网流程和费用结算。

本书在编写过程中得到了中天伯乐达新能源电力有限公司的成品奇工程师、盐城师范学院尤源老师的热忱帮助,陈宣妍、黄倩妍、李冬等同学也在搜集资料方面做出了贡献,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中不妥或疏漏之处,敬请读者批评指正。

童巧英

2018年1月

| | | |
|---------------------------|----------------|-----|
| 第九章 | 营销人员快速入门 | 174 |
| 第一节 | 分布式电源定义 | 174 |
| 第二节 | 分布式电源接入系统接入定义 | 174 |
| 第三节 | 分布式电源并网条件 | 176 |
| 第四节 | 分布式电源并网流程 | 179 |
| 第五节 | 分布式电源并网技术要求 | 179 |
| 第六节 | 分布式电源并网安全规定 | 179 |
| 第七节 | 分布式电源并网验收及并网手续 | 179 |
| 第八节 | 分布式电源并网运行管理 | 179 |
| 第九节 | 分布式电源并网运行考核 | 179 |
| 第十节 | 分布式电源并网运行维护 | 179 |
| 第十一节 | 分布式电源并网运行故障处理 | 179 |
| 第十二节 | 分布式电源并网运行安全 | 179 |
| 第十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第二十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第三十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第四十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第五十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第六十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第七十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第八十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十一节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十二节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十三节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十四节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十五节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十六节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十七节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十八节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第九十九节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 第一百节 | 分布式电源并网运行其他规定 | 179 |
| 总序 | | 1 |
| 前言 | | 1 |
| 第一章 绪论 | | 1 |
| 第一节 分布式电源的基本概念 | | 2 |
| 第二节 分布式电源的种类 | | 4 |
| 第三节 国内外分布式电源(光伏发电)发展状况与趋势 | | 21 |
| 思考与练习 | | 26 |
| 第二章 分布式电源产业相关政策及电价补贴、电费结算 | | 27 |
| 第一节 分布式电源产业相关政策 | | 27 |
| 第二节 分布式电源产业电价补贴及电费结算 | | 43 |
| 思考与练习 | | 50 |
| 第三章 分布式电源构成 | | 51 |
| 第一节 光伏电池组件 | | 51 |
| 第二节 逆变器 | | 54 |
| 第三节 蓄电池 | | 60 |
| 第四节 控制器 | | 62 |
| 第五节 交流配电柜 | | 67 |
| 第六节 直流汇流箱 | | 69 |
| 第七节 保护接地系统 | | 72 |



| | |
|---------------------------------|------------|
| 思考与练习 | 75 |
| 第四章 分布式电源并网 | 76 |
| 第一节 分布式电源并网运行控制 | 76 |
| 第二节 分布式电源并网监控系统 | 81 |
| 第三节 分布式电源并网运行异常情况分析 | 85 |
| 第四节 分布式电源继电保护配置 | 88 |
| 第五节 分布式电源并网标准与测试 | 94 |
| 思考与练习 | 112 |
| 第五章 分布式电源并网流程 | 113 |
| 第一节 分布式电源并网一般原则 | 113 |
| 第二节 分布式电源并网流程 | 114 |
| 思考与练习 | 122 |
| 第六章 分布式电源接入系统方案 | 124 |
| 第一节 接入电压 380 V 的典型方案 | 124 |
| 第二节 接入电压 10 kV 的典型方案 | 130 |
| 思考与练习 | 136 |
| 第七章 分布式电源日常检查测试与维护 | 137 |
| 第一节 分布式电源的检查 | 137 |
| 第二节 分布式电源的测试 | 140 |
| 第三节 分布式电源的运维 | 143 |
| 思考与练习 | 150 |
| 第八章 分布式电源接入案例 | 152 |
| 第一节 分布式电源 220 V 接入案例 | 152 |
| 第二节 分布式电源 10 kV 接入案例 | 161 |
| 思考与练习 | 173 |



| | |
|------------------------|-----|
| 第九章 营销人员快速入门..... | 174 |
| 第一节 分布式电源定义..... | 174 |
| 第二节 分布式电源接入系统相关定义..... | 175 |
| 第三节 分布式电源并网流程..... | 176 |
| 第四节 分布式电源并网费用结算..... | 179 |
| 第五节 分布式电源电费结算..... | 179 |
| 思考与练习..... | 179 |
| 附件..... | 181 |
| 参考文献..... | 219 |

| | |
|-----------|-----|
| 参考文献..... | 219 |
|-----------|-----|

随着全球经济的快速发展，能源需求日益增长，石油作为世界最大的能源，其储量正在迅速消耗。据国际能源署（IEA）最新发布的《世界能源展望2016》报告指出，全球石油储量大约为1.8万亿桶，按目前的开采速度，世界石油还可开采46年，半个世纪后将耗竭。地球上石油、天然气的开采量，200年后将无煤可采。在中国，这一说法并不夸张。据统计，2015年，我国煤炭消费39.1亿吨，下降2%，占一次能源消费比重由64%降至62.5%，石油消费9.56亿吨，增长2.8%，占一次能源消费比重为18.1%，与2015年持平，石油净进口量2.56亿吨，对外依存度达64%；天然气消费2040亿立方米，增长4.5%，占一次能源消费比重升至6.2%。据中国能源研究会等机构发布的《中国能源发展报告2016》指出，化石能源在开采、运输和使用过程中都会对空气和人类生存环境造成严重的污染，同时大量温室气体排放导致全球表面温度逐年上升。如果不控制CO₂排放量，到2100年，全球平均气温将上升1.5~4.5℃，海平面将上升0.6~1.1米，届时全球将有一半的人口生活在海平面以下。因此，在能源日益短缺、环境污染严重的今天，世界各国纷纷开始注重环保、高效和灵活的发电方式——分布式电源（Distributed Generation, DG, 或 Distributed Resources, DR）。分布式电源的发展不仅能减少能源消耗，降低环境污染，还能提高现有电力系统的效率，可靠性和电能质量，减轻输电约束，减少输电成本。

因此，在能源日益短缺、环境污染严重的今天，世界各国纷纷开始注重环保、高效和灵活的发电方式——分布式电源（Distributed Generation, DG, 或 Distributed Resources, DR）。分布式电源的发展不仅能减少能源消耗，降低环境污染，还能提高现有电力系统的效率，可靠性和电能质量，减轻输电约束，减少输电成本。

本章主要介绍分布式电源的基本概念及种类，着重介绍分布式电源中燃气

第一章 绪 论

能源是国民经济发展和人民生活所必需的重要物质基础,也是推动社会经济发展和提高人们生活水平的动力。然而,随着社会的发展,人类对能源需求的日益增加,一次能源的储量正日趋枯竭。瑞士银行近期发布报告指出,全世界石油储量大约 1.8 万亿桶,按现在的石油消费水平,世界石油还可开采 46 年,半个世纪后,地球上的石油、天然气将开采殆尽,200 年后将无煤可采。在中国,这一情况也不容乐观。据统计,2016 年,我国煤炭消费 39.1 亿吨(t),下降 2%,占一次能源消费比重由 64% 降至 62.4%;石油表观消费 5.56 亿吨(t),增长 2.8%,占一次能源消费比重为 18.1%,与 2015 年持平,石油净进口量 3.56 亿吨(t),对外依存度达 64%;天然气消费 2 040 亿立方米(m^3),增长 6.5%,占一次能源消费比重升至 6.2%。根据中国能源研究会等业界机构的相关研究预测,中国煤炭消费量的峰值将在 2020 年左右到来,天然气的需求量将达到 4 000 亿立方米(m^3)。化石能源在开采、运输和使用过程中都会对空气和人类生存环境造成严重的污染,同时大规模温室气体的排放使得地球表面温度逐年上升。如果全球不控制 CO_2 排放量,温室效应将会使南、北极的冰山融化,造成海平面上升,人类 1/4 的生活空间由此受到极大威胁。

因此,在一次能源日益短缺,环境污染严重的今天,世界各国纷纷开始关注环保、高效和灵活的发电方式——分布式电源(Distributed Generation/Generator, DG; 或 Distributed Resources, DR)。分布式电源的发展不仅能减少能源短缺,降低环境污染,还能提高现有电力系统的效率、可靠性和电能质量,减轻系统约束,减少输电成本。

本章主要介绍分布式电源的基本概念及种类,着重介绍分布式电源中的光



光伏发电系统,同时讲述国内外光伏发展状况与趋势。

第一节 分布式电源的基本概念

分布式电源这个概念是1978年由美国《公共事业管理法》(PURRA)公布,之后被广泛应用。由于各国政策不同,不同国家、甚至是同一国家的不同地区对分布式电源的理解和定义都不尽相同,因此到目前为止,分布式电源并没有一个统一的、严格的定义。关于分布式电源的最大容量、接入方式、电压等级、电源性质等相关界定标准方面,国际上还没有通用的权威定义。

国际能源署(International Energy Agency, IEA)对分布式电源的定义为服务于当地用户或当地电网的发电站,包括内燃机、小型或微型燃气轮机、燃气电池和光伏发电系统,以及能进行能量控制及需求侧管理的能源综合利用系统。美国电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)对分布式电源的定义为接入当地配电网的发电设备或储能装置。德国对分布式电源的定义为位于用户附近,接入中低压配电网的电源,主要为光伏发电和风电。

综合发达国家、行业组织界定标准和我国电网特点,分布式电源一般可定义为:利用分散式资源,装机规模小,位于用户附近,接入10(35)kV及以下电压等级的可再生能源,实现资源综合利用和能量梯级利用的多联供发电设施,并且可独立输出电能,这些电源由电力部门、电力用户或第三方机构所有,用以满足电力系统和用户特定的需求。主要包括风能、太阳能、生物质能、水能、潮汐能、海洋能等可再生能源发电,以及余热、余压和废气利用发电和小型天然气冷热电多联供等。

根据苏电营〔2014〕365号文件,有以下两种类型的分布式电源(不含小水电):

- (1) 10 kV 及以下电压等级接入,且单个并网节点总装机容量不超过 6 MW 的分布式电源。
- (2) 35 kV 电压等级接入,年自发自用电量比例大于 50% 的分布式电源;或 10 kV 电压等级接入且单个并网节点总装机容量超过 6 MW,年自发自用电量比例大于 50% 的分布式电源。



在以上“苏电营”定义中,对于既有用户,自发自用电量比例 = 上一年该用户的总用电量(分布式电源额定出力 × 当地上一年分布式电源的年平均发电小时数);对于新装用户,自发自用电量比例 = 该用户报装负荷折算的年用电量(分布式电源额定出力 × 当地上一年分布式电源的年平均发电小时数)。

近年来,分布式电源得到越来越广泛的应用,对其研究也越来越广泛。国内外对分布式电源的研究报告有很多,这些报告总结了分布式电源的特点和评价准则,具体包括以下几个方面:

(1) 经济适应性好。规模不大,装置容量小,占地面积小,初始投资少,降低了远距离输送损失和相应的输配系统投资,可以满足特殊场合的需求。分布式电源按需就近设置,尽可能与用户配合,与集中式发电相比,没有远距离输电引起的输配损失,节省输配系统投资,为终端用户提供灵活、节能、经济的送电服务。对不适宜铺设电网的西部偏远地区,分散的用户可利用余压、余热、可燃性废气发电,发展分布式发电具有非常重要的意义。

(2) 提高用户供电可靠性,弥补大电网在安全性、稳定性方面的不足。近几年世界范围内发生的几次大停电事故,如 2011 年日本“311 大地震”引起核电站相继关停,造成了重大的经济损失,反映了以集中供电模式为主的供电系统并不完全可靠。在用户近旁安装分布式电源,与大电网配合发电,遇到电网崩溃或发生意外灾害(如地震、暴风雪、人为破坏、战争)时,仍可维持重要用户供电,大大提高供电的可靠性。

(3) 能源利用效率高,具有非常好的节能效应。常规集中供电方式相对单一,仅通过供电难以满足能量的梯级利用,如供热、供冷等。分布式电源规模小、灵活性强,通过不同循环的有机整合,可实现在满足用户需求的同时,克服冷、热无法远距离输送的困难,实现能量的梯级利用,大大提高发电厂的发电效率。

(4) 保护环境,为可再生能源利用开辟了新方向。分布式电源一般采用清洁能源做能源,以其高效率提高环保效益。按照美国能源部“CCHP2020 纲领”的描述,部分新建筑采用冷、热、电三联产后,美国 CO_2 量可以减排 19%。相对化石能源,可再生能源能量密度较低、分散,且目前利用规模小、能源利用率低,无法实现集中供电手段,因此,分布式电源适合与可再生能源相结合。



第二节 分布式电源的种类

分布式电源一般采取与配电系统并联运行或采用独立小电网运行,这种方式并非是一种全新的发电形式。一些工厂或大型电力用户,当自备的一些发电机组的系统电源停供时,分布式电源作为一种临时电源,可提高整体的供电可靠性,可视为分布式电源发展的初期阶段,这种方式在国外发达国家已得到很大程度的应用。类似作为紧急备用电源使用的小型柴油发电机组和我国早期的燃煤自备小热电厂,虽属于分布式发电的范畴,但由于其技术性差、效率低下,对环保有影响,已逐渐被淘汰。

目前所谓分布式电源更多的是指微型燃气轮机、燃料电池,或是风力、太阳能、生物质能等在内的可再生能源发电系统,如表 1.1 所示。实际应用时,分布式发电系统中往往还加入有各种储能装置,如蓄电池储能、超导储能、超级电容器储能和压缩空气储能等。目前我国与光伏发电系统配套使用的蓄电池主要是铅酸蓄电池和镉镍蓄电池。配套 200 Ah 以上的铅酸蓄电池,一般选用固定式或工业密封免维护铅酸蓄电池;配套 200 Ah 以下的铅酸蓄电池,一般选用小型密封免维护铅酸蓄电池。

表 1.1 分布式电源的主要类型

| 类 型 | 一 次 能 源 | 输 出 方 式 | 与系统接口 |
|--------|-----------|---------|-------|
| 微型燃气轮机 | 化石燃料 | AC | 直接连接 |
| 地热发电 | 可再生能源 | AC | 直接连接 |
| 水力发电 | 可再生能源 | AC | 直接连接 |
| 生物质能发电 | 可再生能源或废弃物 | AC | 直接连接 |
| 风力发电 | 可再生能源 | DC | 逆变器 |
| 燃料电池 | 化石燃料 | DC | 逆变器 |
| 光伏发电 | 可再生能源 | DC | 逆变器 |

一、风力发电

我国风能资源丰富,具有良好的开发前景。据国家能源局组织中国气象局



等单位开展的最新风能资源普查成果初步统计,我国陆地上距地面 10 m 高度的风能资源总储量约 43.5 亿 kW,其中技术可开发量为 2.97 亿 kW、技术可开发面积约 20 万 km^2 、潜在技术可开发量约 7 900 万 kW。另外,海上 10 m 高度可开发和利用的风能储量约 7.5 亿 kW,全国 10 m 高度可开发和利用的风能资源总储量超过 10 亿 kW。

风力发电是指把风的动能转化为电能,由风力发电机来实现,如图 1.1 所示。



图 1.1 风力发电机组

风力发电包含了由风能到机械能和由机械能到电能两个能量转换过程。

风力发电机组风轮叶片在气流作用下产生力矩驱动风轮转动,通过轮毂将扭矩输入到传动系统,发电机将传动系统传来的机械能利用电磁感应原理转换成电能。发电机有两种类型:异步发电机和同步发电机。

异步发电机的转速取决于电网的频率,只能在同步转速附近很小范围内变化。当风速增加,齿轮箱高速轴转速达到异步发电机同步转速时,机组并入电网,向电网送电,风速继续增加,发电机输出功率增加;当风速达到额定值时,发电机处于额定功率状态;当风速增加超过额定值,定桨矩风电机组的风轮叶片将处于“失速”状态,风轮转速保持恒定,输出功率则降低,发电机不会因超负荷而烧毁。变桨矩风电机组风轮叶片可根据风速的变化调整气流对叶片的攻角,当



风速超过额定值后,输出功率可稳定地保持在额定功率上。

普通异步发电机结构简单,可直接并入电网,无须同步调节装置,但风轮转速固定后效率变低,且在交变风速作用下要承受较大载荷。新型变速双馈异步发电机克服了上述不足之处,在变速恒频风电机组和兆瓦级风电机组上得到普遍应用。

同步发电机依靠大功率电子变流器实现交-直-交并网,属于变速恒频风电机组。其主要特点是发电机转速与风轮相同而且随着风速变化,风轮可以转换更多的风能。无齿轮箱直驱式同步发电机组采用风轮直接驱动同步多极发电机,减少了齿轮箱的转动损失,降低了发生故障的概率。

全球风能理事会于2017年4月25日在印度新德里出版了《全球风电报告:年度市场发展》,其中数据显示2016年全球风电新增装机容量超过54 GW,累计容量达到486.8 GW,累计装机容量增长12.6%,如图1.2所示。

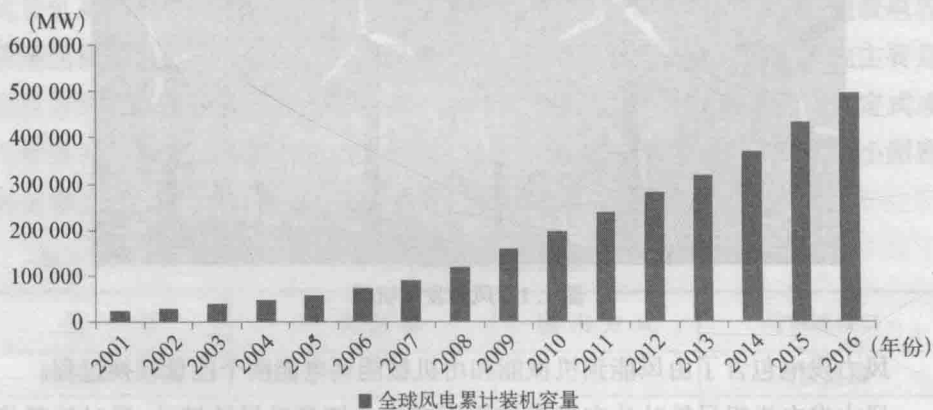


图 1.2 2001~2016 年全球风电累计装机容量

2016年中国风电累计并网装机容量和新增装机容量均居全球第一。2016年,我国风电累计并网装机容量达到1.49亿kW,2017年风电新增装机容量约1600万kW,累计装机容量约1.65亿kW,如图1.3所示。

随着风电产业的快速发展,近年来我国风力发电量实现了较快增长。2016年,全国6000千瓦及以上风电厂发电量2410亿kW·h,同比增长30%,增幅较上年提高约14个百分点,实现了连续两年发电增速的大幅度提升。2017年,在国家政策的大力支持和引导下,设备利用率逐步改善,风力发电量实现平稳较

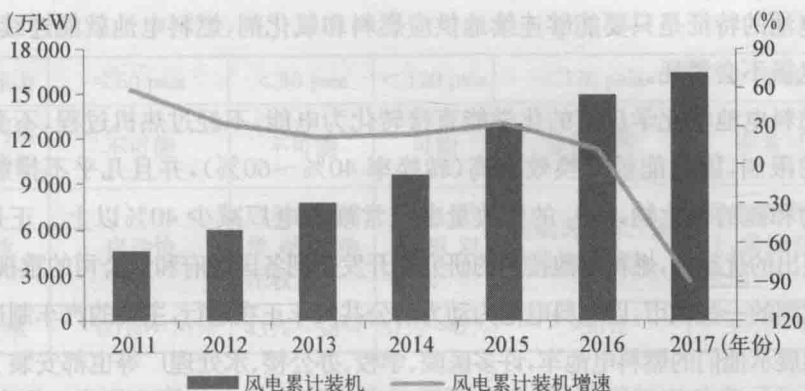


图 1.3 2010~2017 年我国风电累计装机容量及增速

快速增长。

根据“十三五”末非化石能源比重提高至 15% 的目标,未来五年年均新增风力发电量约 600 亿 kW·h。2017 年全国风力发电量约 3 060 亿 kW·h,同比增长近 27%,如图 1.4 所示。

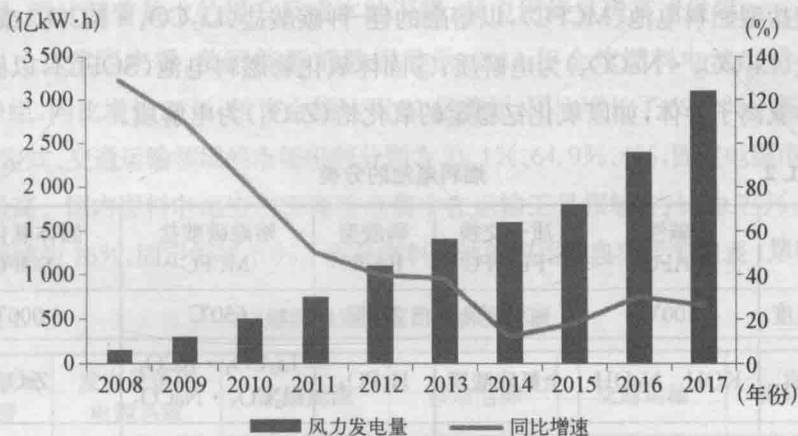


图 1.4 2008~2017 年我国风电发电量及增速

二、燃料电池

燃料电池是一种能量转换装置,并不储存能量。携带能量的燃料和氧化剂被源源不断地输入到燃料电池中,经电化学反应转换为电能,并不断排出产物,此过程燃料电池的电极并不发生变化,电池只是提供电化学反应的场所。因此,