

## 特约主编寄语

可再生能源的开发利用及分布式供电大有燎原之势,即将进入快速发展阶段。为保障这一新的发电方式可靠入网、有效利用,国家电网公司“十一五”期间安排了一批重点攻关项目。“微网技术体系研究”作为其中的重点项目之一,组织了国内多所著名高校及科研机构的学者、专家共同研究。着重于对中国微网的定义及其发展的动因、目的,微网核心技术框架,高渗透率下大电网应对微网的策略体系,微网的政策管理问题,微网技术标准体系,微网相关前瞻性外延技术及要求等6个方面开展深入分析,为后续的分布式供电技术、可再生能源发电及并网等多个技术领域提供技术支撑。本专题搜集的论文,部分为上述攻关项目的研究成果,也有部分是与之相关的技术成果。在此,一并奉献给读者,以推动微网技术研究的进一步深入。

国网电力科学研究院 李澍森教授级高级工程师

## 中国发展微网的目的 方向 前景

袁越<sup>1</sup>, 李振杰<sup>1</sup>, 冯宇<sup>2</sup>, 左文霞<sup>2</sup>

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏省南京市 210098;

2. 国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司(武汉院区), 湖北省武汉市 430074)

**摘要:**从中国能源利用和电网建设的背景出发,针对分布式电源接入、可再生能源利用、农村电气化、用户电能质量需求、电力系统抗灾能力以及与智能电网的关系等6个问题阐述了中国发展微网的目的。分析了发展微网应以包容性、灵活性、定制性、经济性、自治性作为基本方向。指出了在建设坚强智能电网的战略框架下,微网在中国具有广阔的技术前景和应用前景。

**关键词:**微网; 发展目的; 方向; 前景; 可再生能源; 分布式发电

### 0 引言

微网概念的兴起主要是解决分布式电源并网带来的技术、市场和政策上的问题。为了最大限度地发挥分布式发电技术在经济、能源和环境中的优势,很多国家都将微网纳入未来电网发展的日程中<sup>[1-4]</sup>。欧洲以及美国、日本等国家都针对本国实际提出了微网的概念并积极开展研究,到目前为止,微网在理论与应用上都取得了丰硕的成果。与国外相比,中国发展微网应具备中国特色,微网的建设要将能源

建设和电网建设紧密结合,实现经济、社会的可持续发展。

本文以中国能源和电网的现状为建设背景,阐述了中国发展微网的目的、方向和前景。

### 1 发展目的

#### 1.1 最大化接纳分布式电源

中国目前除少数地区的风能、太阳能、生物质能等能源可大规模集中利用外,大部分可再生能源都是以分布式电源出现的。由于这些分布式电源具有明显的随机性、间歇性和布局分散性的特征,因此随着分布式发电越来越多地与大电网联合运行,将会给电力系统的运行和控制带来不利影响。

微网的最大优点在于将原来分散的分布式电源进行整合,集中接入同一个物理网络中,并利用储能装置和控制保护装置实时调节以平滑系统的波动,维持网络内部的发电和负荷的平衡,保证电压和频率的稳定。当微网并网运行时,它作为灵活调度的负荷,能根据主网的需要迅速作出响应,满足电力系

收稿日期: 2009-09-27。

国家电网公司科技项目“微网技术体系研究”。

[编者按]微网技术是全球电力界热点讨论的课题“智能电网”的重要组成部分,为可再生能源和分布式发电的可靠并网和充分利用提供技术支持。感谢国网电力科学研究院李澍森教授级高级工程师作为特约主编,组织、审阅了11篇有关研究论文,形成了“智能电网研究——微网技术专题”,以飨读者。本刊将继续重点关注“智能电网”各方面的研究成果,期待广大专家、学者踊跃投稿。

统安全性的要求;当微网独立运行时,又能利用储能环节和控制保护环节维持自身的稳定运行。所以,微网独特的组网形式能够有效克服分布式电源随机性和间歇性的缺点,解决分布式电源的接入问题。

### 1.2 节能降耗,提高能效

中国在能源建设利用方面取得了令人瞩目的成就。一是能源利用效率大幅度提高,二是取得了相当大的环境效益。但中国目前的能源利用效率依然严重偏低,环境污染问题未得到根本控制,并且长期存在能源结构不合理等问题<sup>[5]</sup>。

可再生能源逐渐得到国家重视,中国已出台《可再生能源法》,“十一五”规划也将可再生能源发展作为重点发展战略之一。因此,如何经济、高效地利用可再生能源是目前面临的一个严峻课题。

微网将多种具有可互补性的分散型能源集中在同一物理网络中,通过多个能量转换环节,实现一次能源到二次能源的转化,有效提高对一次能源的利用效率;再者,目前大多数分布式能源的热电转换效率还不高,微网作为一个整体供能系统,在满足用户供电需要的同时,还能满足供热、制冷、湿度控制和生活用水等多种需求,显著提高了能源的利用效率;此外,储能单元的参与,有利于对系统内部的能量进行调节控制,高效、合理地利用能量。

### 1.3 实现农村电气化

“建设社会主义新农村”是中国现代化进程中的重大历史任务。中国目前农村电气化水平还非常低,“十一五”初期农村用电量只占全国总用电量的18%<sup>[6]</sup>,尤其是中、西部农村地区,远低于东部农村的平均水平,因此大力发展农村电气化事业具有重大的现实意义。

随着国家西部大开发政策的持续扶持及城市化对农村的影响,农村用电量将得到快速的增长,这必将给中国的能源形势增加更多的压力,在中国农村大力倡导和发展可再生能源是行之有效的出路。预计到2020年,将利用可再生能源累计解决无电地区约1000万人口的基本用电问题,改善约1亿户农村居民的生活用能条件<sup>[7]</sup>。为了能够更经济地利用可再生能源,采用微网的形式是一种比较有效的途径。

在中国农村适合的地区,应以户、村为单元组成不同规模的微网,根据当地的实际情况采用合适的分布式电源。例如:在水利资源丰富的地区,应大力开发农村水电,以小水电作为微网的主力电源;在风能资源充足的地区,应合理开发中小型风电场,发展家用风电;在太阳光照充足的地区,应发挥太阳能光伏适宜分散供电的优势,推广使用户用光伏发电系

统或建设小型光伏电站,推进光伏系统和建筑一体化。通过因地制宜地组建各种形式、规模的微网,从而解决农村无电和缺电人口的供电问题,逐步实现社会主义新农村的电气化。

### 1.4 提高供电可靠性,满足多用户电能质量需求

随着社会对电力和能源的需求日益增加,对供电的质量与安全可靠也提出了越来越高的要求。

微网能够提高对内部负荷供电的可靠性。微网具备实时在线监控的预警能力。通过在并网点加装传感器,实时监测大电网的运行状态。如果大电网发生失步、低压、振荡等异常情况,微网能够在控制和保护的配合下,迅速通过主分开关从并网点解列进入“孤岛”运行,保证其内部负荷的供电不受影响。

微网能够满足不同用户的电能质量需求。随着用电设备数字化程度的提高,其对电能质量也越来越敏感。尤其是政府、医院、矿山、广播电视、通信、交通枢纽等重要负荷,电能质量问题可以导致终端系统故障甚至瘫痪,给社会、经济发展带来重大损失。根据用户对供电质量的不同需求,微网将负荷进行分级。对于重要负荷,微网可通过多电源向其供电;对于可中断负荷,微网可将其共同支接在同一条电力馈线上,当微网遭受异常情况时,可通过切除连接可中断负荷的馈线来维持自身的正常运行。

### 1.5 提高电网整体抗灾能力和灾后应急供电能力

电力工业是国民经济的重要基础产业。2008年中国先后遭受了2起重大自然灾害,造成电力设施大面积损毁,给经济、社会发展和人民群众生活造成严重影响。为保障能源安全和经济正常运行,必须采取有效措施,加强电力系统抗灾能力建设。

国家发改委、电监会在《关于加强电力系统抗灾能力建设的若干意见》中明确提出:鼓励以清洁高效为前提,因地制宜、有序开发建设小型水力、风力、太阳能、生物质能等电站,适当加强分布式电站规划建设,提高就地供电能力<sup>[8]</sup>。

微网对提高电网整体抗灾能力和灾后应急供电能力注入了一种新的思路。首先,作为大电网的一种补充形式,在特殊情况下(例如发生地震、暴风雪、洪水、飓风等意外灾害情况),微网可作为备用电源向受端电网提供支撑;同时,微网能够独立运行,可以迅速与大电网解列形成“孤网”,从而保证重要用户的不间断供电;另外,在自然灾害多发地区,通过组建不同形式和规模的微网,能够在发生灾害后迅速就地恢复对重要负荷的供电,具有“黑启动”的能力。

## 1.6 智能电网的有机组成部分

智能电网的概念最早是美国为了解决日益老化的电网而提出的一种解决方案,旨在通过升级改造原有电网的发电、输电、配电和用电环节达到更加环保、高效、互动的现代化电力系统。智能电网的主要特征是自愈、互动、安全、兼容、经济和优质<sup>[1-2,9-11]</sup>。

微网与智能电网的关系密不可分。首先,微网和智能电网都包含系统的配电和用电环节;第二,微网自治运行的特点与智能电网的自愈相类似;第三,微网和智能电网都需要根据用户的信息进行动态调整,实现供需平衡和优化运行;第四,微网是智能电网安全防御和抵御自然灾害体系的重要组成部分;第五,微网和智能电网都能够满足未来用户需求的电能质量;第六,微网和智能电网都允许接入多种发电和储能单元<sup>[12]</sup>。总之,随着电网配电和用电环节逐步实现智能化,微网将作为智能电网的有机组成部分发挥更大作用。

## 2 发展方向

国家电网公司已于2009年明确提出智能电网的发展计划,即加快建设以特高压电网为骨干网架,各级电网协调发展,具有信息化、自动化和互动化特征的统一的坚强智能电网。在此背景下,微网作为智能电网的有机组成部分,应当积极贯彻中国建设坚强智能电网的发展战略。同时又需要结合自身特点,着眼中国实际国情,将包容性、灵活性、定制性、经济性和自治性作为微网发展的基本方向,积极推进微网在中国的发展和应用。

### 2.1 包容性

包容是微网发展的重要方向。微网的包容性主要体现在以下几个方面:

1)微网能够有效接纳分布式电源。通过引入储能技术和智能控制技术,可有效改善分布式电源的波动性及间歇性影响。

2)微网与大电网相兼容作为补充单元参与并网运行。

3)微网能够包容先进的电力技术,例如快速仿真计算、电源优化控制、分布式储能、先进的能量管理以及高级计量等技术。

4)微网可根据自身发展需要,允许更多小型模块化的装置接入,易于扩展规模,且可即插即用。

### 2.2 灵活性

充分发挥微网小型化、模块化、分散式的特点来弥补大电网的不足。

1)微网具有单一可控、灵活调度的特点,可作为

备用电源。在大电网异常情况下,确保重要负荷的供电。

2)微网运行模式的灵活切换可以保证在紧急情况下能够从大电网解列,实现独立运行,提高所辖负荷的供电可靠性;同时具备“黑启动”能力,能够提高灾后应急能力。

3)微网可以实现偏远地区供电。其灵活组网的特点能适用在偏远农村地区,通过因地制宜地组建不同形式和规模的微网,解决偏远地区用电难的问题。

### 2.3 定制性

微网的定制性体现在用户对电力的需求。

1)微网可以组建在中心城区,通过对负荷分级,提供分级供电,满足不同用户的电能质量需求,实现灵活供电。

2)微网通过利用电力电子装置、固态控制器、快速故障解除开关、储能系统等元件,向电能质量敏感的用户提供所需的可靠性水平和电能质量水平。

### 2.4 经济性

微网融合了电能的生产、交换、分配、消费等环节,不仅涉及发电商和用户的利益,还与整个电网的经济利益密切相关。

1)有利于微网内部用户的利益。在外部电网出现故障时能够保证用户的用电质量,尤其是减少商业用户因停电带来的经济损失;同时可以引导用户根据自身需求消费电能,节约电力消费。

2)有利于微网内发电商的利益。微网孤网运行的特点能够为其内部的发电商延长能量出售,从而提供额外的经济效益。

3)有利于整个电网的经济利益。微网通过与大电网的协调控制,能够综合优化能量利用、运行效率和环境排放,对市场交易和资产配置统一管理,延缓电网的投资,实现整个电网的经济高效运行。

### 2.5 自治性

自治运行是微网基本特点。作为小型能源网络,自治要求微网能够实时维持自身的能量平衡,可脱离主网独立运行。

1)基于实时通信、快速控制和储能单元,微网能够在稳态和暂态过程中实现功率平衡和电压/频率的稳定。

2)通过实时监控及时预警故障前兆,降低故障概率,并能对已发生的故障自动采取措施进行控制和纠正,使系统迅速恢复到正常运行状态,确保微网安全可靠运行。

### 3 发展前景

#### 3.1 技术前景

世界上发达国家已经将微网的技术水平从理论层面过渡到应用层面,通过进一步开发应用,实现微网的生产力。中国应发展适合中国特色的微网,大力挖掘技术潜力,积极攻克技术壁垒,实现技术创新,从而为微网的广泛应用奠定坚实的技术基础。

1)微网发展的初期,在基础理论研究、核心技术突破、关键装备开发等方面有巨大的技术需求,如微网/含微网电力系统的快速仿真技术、规划设计理论、计算理论、电源技术、保护与控制技术、微网的运行与能量管理、信息与通信技术、先期评估和后期评价体系等。同时要积极研制分布式电源并网装置、分布式储能装置、控制和保护装置、微网快速分离开关、接地网、计量装置、能量管理系统以及通信系统。

2)微网有助于促进电力行业相关技术发展。一方面,微网提供了多种新技术应用的平台,能够将新能源发电技术、新型储能技术、冷热电三联供技术、轻型直流输电技术、智能用电技术、安全防御技术和新型电力市场机制等技术,与微网相结合;另一方面,微网与各种新技术的融合,能够发现微网实际应用中的技术障碍,衍生出新的技术问题,需要新方法、新思路去解决,从而加快技术的创新,促进技术的发展。

3)微网技术能够广泛应用在其他领域。例如在铁路行业,微网的智能计量装置有利于电气化铁路电力需求参与电力市场竞争,快速分离开关以及电能质量监测系统的开发有助于减轻冲击负荷对电网的影响。此外,微网技术还能作为军事备用,通过在舰船电力系统的应用,能够显著提高军事作战能力。不仅如此,微网技术在通信、能源、交通、机械、医疗、教育等行业和领域都能得到广泛应用。

#### 3.2 应用前景

1)微网要积极利用可再生能源发电,发挥可再生能源优势。可再生能源发电在中国发展迅速。2008年,中国风电已达到10 GW,预计到2015年将达到50 GW;中国已经成为全球最大的光伏电池生产基地。预计“十二五”期间,光伏发电将以年均40%的速度增长,有望在2020年达到10 GW<sup>[13]</sup>。发展可再生能源要做到灵活多样,不仅需要大型化、规模化的开发,也要注重能源中小型化的利用,例如家用风电、屋顶光伏。但是,可再生能源分布广、能量密度较低,特别是具有随机性和间歇性,如何使可再生能源发电融入现代电力系统,是推动可再生能源开发利用的一项重要任务。微网的最大优点是

原来布局分散的可再生能源进行整合,并通过储能装置和控制保护装置实时平滑功率波动,维持供需平衡和系统稳定。因此,作为可再生能源发电的有效载体,是微网应用的重要前景。

2)微网要积极与中小型热电联产相结合,发挥综合利用优势,提高能效、降低消耗、减少排放。提高热能利用效率的根本方向是实现“温度对口、梯级利用、能质匹配”。提高化石燃料使用效率的根本途径是减少不同能源形态的转换,做到供热发电同时进行<sup>[13]</sup>。热电联产目前主要以大型、集中供热为主,但是只强调大机组,会阻碍热电联产的发展,影响热电联产机组效益的发挥。因此,应当根据热负荷来确定机组的大小和机型,同时与微网结合,满足用户供电、供热、制冷、湿度控制和生活用水等多种需求,从而显著提高能源利用效率,优化能源结构,减少污染排放,实现节能降耗的目标。

3)微网能解决偏远地区用电问题,改善农村生活用能条件。中国农村有丰富的水资源,尤其是小水电,数量众多,分布广泛,在可再生能源中能量密度最高。2005年,全国农村小水电装机容量已达43.09 GW,占全国水电装机容量的37%,发电量占全国水电量的34.3%。预计到2020年,全国小水电装机容量将达到75 GW,占全国水电装机总容量的25%<sup>[13]</sup>,因此小水电是中国重要的分布式能源。在这些水资源丰富的地区,应优先开发小水电,将其作为组建微网的主力电源。在缺乏小水电的地区,应因地制宜推广使用小风电、户用光伏发电、风光互补发电,并结合户用沼气、生物质能发电组建微网,从而改善农村生活条件,提高农民生活质量,实现农村电气化。

4)微网能够提高电力系统防御能力。在灾害多发地区组建微网,有助于电力企业根据本地区灾害特点,建立健全的电力抗灾预警系统,形成与气象、防汛、地质灾害预防等部门的信息沟通和应急联动机制;有助于电网企业针对灾害可能造成的电网大面积停电、电网解列、“孤网”运行等情况,制定和完善电网“黑启动”等应急预案;有助于电力企业执行抢险救灾任务,做好灾后重建工作;还有助于保证医院、矿山、学校、广播电视、通信、铁路、交通枢纽、供水供气供热、金融机构等重要用户和居民的电力供应。

### 4 结论

1)针对中国能源建设和电网建设的多种需求,微网在实现中国可再生能源利用、节能降耗、农村电

气化、供电可靠性、电能质量以及防震减灾中扮演着重要的角色。

2)微网的发展不仅要立足自身特点,还要与国家发展战略紧密结合。将包容性、灵活性、定制性、经济性、自治性作为微网发展的基本方向,能积极推进微网在中国的发展和应用。

3)微网的研究在中国还处于起步阶段,离实现商业化还有不小的距离。但随着智能电网发展战略的实施,微网将获得巨大的发展机遇。在结合中国实际需求的基础上,微网只有充分发挥自身特色,挖掘自身发展潜力,立足技术的开发与创新,将实用化、商业化作为目标,才能使其在实现中国现代化的进程中发挥更大潜力。

## 参 考 文 献

- [1] European Commission. European smartgrids technology platform-vision and strategy for Europe's electricity networks of the future [R/OL]. [2009-08-04]. <http://www.eurosfairerprd.fr/7pc/bibliotheque/consulter.php?id=296>.
- [2] European Commission. European smartgrids technology platform-strategic research agenda for Europe's electricity networks of the future [R/OL]. [2009-08-05]. <http://cordis.europa.eu/technology-platform/pdf/smartgrids.pdf>.
- [3] LASSETER R H, AKHIL A, MARNAY C, et al. The CERTS microgrid concept [R/OL]. [2009-08-07]. <http://www.pserc.org/cgi-pserc/getbig/researchdo/certsdocumo/certspubli/certsmicrogridwhitepaper.pdf>.
- [4] U. S. Department of Energy Office of Electric Transmission and Distribution. Grid2030: a national vision for electricity's second 100 years [R/OL]. [2009-08-08]. <http://www.climatevision.gov/sectors/electricpower/pdfs/electric-vision.pdf>.
- [5] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国的能源状况与政策 [R/OL]. [2009-08-21]. <http://www.creincn.org/2007image/pdf>.
- [6] 马胜红,董文娟.我国农村大力发展可再生能源电力的必要性和建议.中国能源,2008,30(2):27-34.
- [7] 国家发展和改革委员会.可再生能源中长期发展规划[R/OL]. [2009-08-20]. <http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2007tongzhi/W020070904607346044110.pdf>.
- [8] 国家发展和改革委员会,电监会.关于加强电力系统抗灾能力建设的若干意见[EB/OL]. [2009-07-02]. [http://www.gov.cn/zwgk/2008-07/01/content\\_1032277.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2008-07/01/content_1032277.htm).
- [9] EPRI. Power delivery system and electricity markets of the future. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2003.
- [10] EPRI. Profiling and mapping of intelligent grid R&D programs [R/OL]. [2009-08-29]. <http://www.Electricitydeliveryforum.orr.gov/2007/pdfs/EPRI-Report-1-07.pdf>.
- [11] 肖世杰.构建中国智能电网技术思考.电力系统自动化,2009,33(9):1-4.  
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4.
- [12] 李振杰,袁越.智能微网——未来智能配电网新的组织形式.电力系统自动化,2009,33(17):42-48.  
LI Zhenjie, YUAN Yue. Smart microgrid: a novel organization form of smart distribution grid in the future. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 42-48.
- [13] 周小谦.关于“十二五”电力科学发展若干问题的探讨.电网与清洁能源,2009,25(5):1-4.  
ZHOU Xiaoqian. Research on scientific development of power system in the 12th five-year plan of China. Power System and Clean Energy, 2009, 25(5): 1-4.

袁 越(1966—),男,通信作者,博士,教授,博士生导师,主要研究方向:可再生能源发电技术、分布式发电与供电技术、微型电网、智能电网。E-mail: yyuan@hhu.edu.cn

李振杰(1984—),男,博士研究生,主要研究方向:新能源发电与微网技术。E-mail: lzj3690hust@163.com

冯 宇(1978—),男,博士,工程师,主要研究方向:电力电子及电能质量。E-mail: Fengyu@sgepri.com

## Development Purposes, Orientations and Prospects of Microgrid in China

YUAN Yue<sup>1</sup>, LI Zhenjie<sup>1</sup>, FENG Yu<sup>2</sup>, ZUO Wenxia<sup>2</sup>

(1. Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. State Grid Electric Power Research Institute (Wuhan), Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Proceeding from the background of energy use and power system construction in China, the development purposes of the microgrid are expounded in view of six aspects, namely, the distributed power access, regenerative energy utilization, rural electrification, user demands for power quality, power system disaster fighting capability as well as the relationship with the smart grid. This paper holds that the compatibility, flexibility, customization, economy, and autonomy should be taken as the development orientations of the microgrid and points out that in the strategic frame of building a strong smart grid, the microgrid has broad prospects for technological development and application in China.

This work is supported by State Grid Corporation of China.

**Key words:** microgrid; development purposes; orientations; prospects; regenerative energy; distributed generation