中国微网标准体系研究

韩 奕[1]，张东霞[1]，胡学浩[1]，梁才浩[1]，程军照[2]，梁惠施[1]
(1. 中国电力科学研究院，北京市 100192；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： 关于微网运行标准，国内外目前尚无正式版本发布。文中主要研究分析国外分布式电源并网标准，国内电能质量相关标准、配电网相关标准以及光伏和风电并网标准，根据微网的典型特征和运行特性，给出了建立国内微网标准体系的一些建议，供今后微网并网和孤岛运行参考。

关键词： 微网；分布式发电；储能装置；并网；孤岛运行；标准

0 引言

分布式发电(DG)是近年来发展较快的一种新型供电模式，大多利用可再生能源发电，发出的电能就近分配，并且减少对环境的污染，得到了越来越多的关注，但其对电网也会带来负面影响，如对系统电压波动的影响、对电能质量的影响等。微网技术是近年来兴起的一种新型电网模式，能充分发挥分布式电源(DR)的作用，提高供电可靠性，改善电能质量，已在美国、欧洲、日本等地有了较快发展。

目前国际上对微网的定义不尽相同，很多国家在微网技术相关研究方面取得了一些科研成果，国内也正在开展相关的课题研究，提出适合中国国情的微网定义，但尚处于起步阶段。

本文旨在规范微网并网要求，为微网并网、孤岛运行提供技术参考。

1 国外相关标准研究综述

目前国际上有关 DG 的标准仅有《IEEE 1547 分布式电源与电力系统互联系列标准》[1-2] 中的 1547.4 款涉及微网的内容，且尚为草案稿，没有正式出版。与微网相关的标准[3-4] 主要有各国 DR 并网运行标准、电能质量标准等。许多国家都有自己的 DR 并网标准，内容丰富。本节主要分析总结美国、英国[5-8] 和加拿大[9-10] 等国的 DR 标准。这几个国家标准主要在以下方面作出了规定：DR 接入的要求和规范，对配电网异常状态的反应，保护配置包括孤岛保护，电能质量，DR 的运行和安全，以及测试等。

DR 接入的要求和规范主要包括以下几个方面：电压调整、接地、同步、监控设备、隔离设备、安全性要求以及连接方面的要求(包括防止电磁干扰的能力、抵御过电压和过电流的能力，以及连接系统的并联装置应能承受 220%额定电压)等。几乎所有的标准均规定：当配电网失电时，DR 不能给配电网充电。

IEEE 1547 给出了并网运行的 DR 系统在配电网异常状态下对系统电压和频率的响应，规定了电压、频率异常情况下 DR 与系统解列的动作时间要求。同时，对 DR 的孤岛保护及 DR 与配电网重合闸之间的配合也提出了要求。

DR 与公共连接点(PCC)的保护配置，要求该保护系统应对配电网的正常频率和电压变化作出正确的反应，确保微电源接入后不对配电网的安全造成不利影响。一般应装设过/欠压保护、过/欠频保护、过电流保护、孤岛保护等。现在的标准中均不允许 DR 非计划地孤岛运行，孤岛保护的时间必须小于配电网侧自动重合闸的时间，且 DR 必须在配电网恢复供电且稳定之后才能重新向配电网供电。

电网希望 DR 接入后不影响正常供电，因此对 DR 接入后电网的电能质量有较详细的规定，主要规定了谐波、电压闪变、功率因数、三相电压不平衡、直流注入、谐振和自激等。

IEEE 1547 标准对 DR 的测试作出了详细的规定。2005 年 7 月颁布的 IEEE 1547.1 标准中规定了 DG 与电力系统互联一致性测试程序，对 DR 的设计测试、产品测试、试运行测试，以及定期的连接测试均提出了要求。

英国的标准中还对 DR 的运行和安全以及设备投运、退役和更换作出了规定。

综合美国、英国、加拿大等国有关 DR 并网的国家标准，考虑到微网是由电源和负荷组成的自治系统，DR 的并网标准在微网标准制定中可作为有益参考。

另外，英国 ER G75/1“20 kV 以上电压等级或

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”。

容量超过 5 MW 的嵌入式发电厂接入公共配电网的推荐标准”[7]明确了电力公司和电厂各自的责任，给出了基本运行参数，包括电压、频率、电网结构、短路电流、继电保护，分析了供电安全与可靠性，考虑了孤岛运行情况，分析了系统稳定性，是一个较为全面的规范，可作为大容量微网并网标准的参考。

在 IEEE 1547.4 中计及了微网的内容[11]，IEEE 1547.4 是 DR 孤立运行时的设计、运行及整合的标准，主要有以下几方面内容：

1)DR 孤立运行功能。在该运行模式下的负荷和发电管理、电压和频率控制、稳态和动态稳定性、保护配置、冷负荷启动、监测和通信、孤岛设计和操作过程等。

2)电网相关内容。配电网设计需考虑兼容性、负荷潮流、短路电流、运行实践、并联接口设置等。运行和管理方面包括电力调度、通信和信息交换、实时运行、孤岛的持续时间等。配电网保护方面包括电网的保护协调、非同相重合闸等。该标准还规定了可放宽配电网相关执行标准(如电压、频率)、黑启动能力、需求侧响应、实现积极主动的配电网等内容。

3)主要技术。包括通信和监测、配电系统自动化、发电机相关技术、控制系统、负荷控制、有计划孤岛技术以及保护策略等。

4)微网。主要有微网的设计和控制、微电源的模型、电压和频率控制等。

IEEE 1547.4 在 DR 孤岛运行模式以及微网并网和孤岛运行模式的设计、运行方面作出了较详细的规定，对国内微网标准的制定提供了很好的参考作用。由于各国对微网的定义不尽相同，微网标准的制定应该立足于本国对微网的定义和诠释，同时详尽地研究微网与配电网相互作用的机理，了解微网给电网将带来哪些方面的影响。

2　国内相关标准研究综述

国内关于 DG 与微网的研究仍在起步阶段，尚无 DR 并网标准。目前国内与微网相关的主要标准有：电能质量标准、光伏和风电的并网标准以及配电网相关标准。

国内标准中与电能质量相关的标准[12-18]对于微网并网均有借鉴作用，其参数或直接引用，或根据微网的具体影响有所变动。光伏并网标准[19-21]中关于电能质量以及安全与保护方面的要求，如过/欠压、过/欠频、防孤岛效应、恢复并网、防雷和接地、短路保护、隔离和开关等规定可以借鉴，逆向功率保护的设置可根据电网的情况待定。由于风电[22]的自身特性与微网有很大差别，这 2 种电源并网运行带来的影响有很大不同，其并网规范考虑的重点不太相同，风电的并网标准可以作为参考。

由于微网直接并入配电网，配电网的现有标准[23-26]中可能需要修改部分内容以适应微网接入。微网并网运行可以是一种供电电源，也可以是负荷，配电网中相关部分应考虑微网的影响。微网接入后，微网的接地方式应与配电网的接地方式相配合。微网接入后与配电网之间也有通信，原有通信规范应考虑微网的影响。微网的有功和无功功率可单独进行控制，配电网的功率控制需考虑这种情况。配电网原有的电能计量装置均是单向的，微网接入后需要双向的计量装置。《继电保护和安全自动装置技术规程》[24]中关于发电机保护的内容是针对同步电机的，由于微电源的种类较多，且大部分是经电力电子装置并网发电的，需增加相关内容。由于微网的接入使配电网原有的单电源辐射状网变成多电源网络，原有的线路保护配置不再适用，需设置新型保护配置。原有配电网的保护与重合闸之间的配合协调关系在微网接入后也不再适用，需重新设置。配电网相关标准中涉及 DR 并网原则以及 DR 接入电网在规划设计方面的要求，微网均可借鉴，具体参数可以根据微网的具体影响有所变动。由于微网是电源与负荷的整合体，需要考虑的问题较 DR 多，因此内容上将更加丰富。

3　国内微网标准体系探讨

国内目前还没有微网的统一定义，但基本特征与国外的定义是相同的，如微网是 DG 的一种形式，是集微电源、储能装置、负荷、保护与控制系统为一体的自治系统等。在微网的容量方面还有待于根据中国国情进一步研究。

形成中国微网定义，了解微网的运行和暂态特性以及微网与电力系统的相互作用与影响，将有助于微网相关标准的制定。

考虑微网的基本特征，微网标准体系可以由一系列标准组成，如图 1 所示。

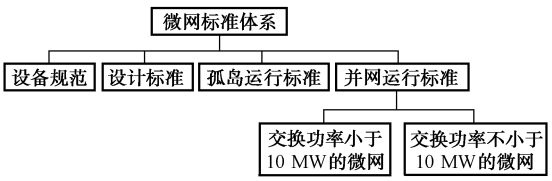

图 1　微网标准体系
Fig. 1　Microgrid standard system

从设备和运行状态上来看，主要可分为：微网的

设备规范、设计标准、孤岛运行标准、并网运行标准等。本节主要分析微网标准的制定中应该具有哪些内容,不给出具体的参数,仅对今后制定标准提供参考。

3.1 微网的设备规范

该规范是基于微网的,内容主要包括微电源、储能装置、逆变器、负荷(敏感负荷、不敏感负荷、热负荷)、静态开关、保护设置等方面的规定。

3.2 微网设计标准

该规范是基于微网的,内容主要包括对微网的组成、微电源的类型和控制方式、储能装置的安装位置和容量、微网的能量管理和控制、负荷控制、保护设置、通信设备等方面的规定。

3.3 微网孤岛运行标准

该规范是基于微网的,内容主要包括对负荷和发电管理、电压和频率控制、稳定性、安全和保护与控制、冷负荷启动、监测和通信、电能质量、安装和测试等方面的规定。

3.4 微网并网运行标准

并网运行的标准按微网与配电网的交换功率不同可分为小于 10 MW 和不小于 10 MW 这 2 部分。该规范是基于配电网的,由电网公司制定并执行。微网并网运行结构如图 2 所示。

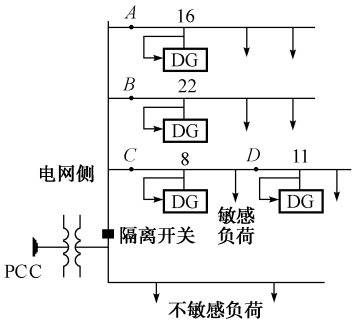

图 2 微网并网结构

Fig. 2 Grid-connected microgrid architecture

3.4.1 交换功率小于 10 MW 的微网并网标准

可以参照《IEEE 1547 分布式电源与电力系统互联标准》[1]、《BS EN 50438 微电源接入低压配电网的规定》[5]、《CSA-C22.2-257 基于逆变器的分布式微电源与配电系统的互联标准》[9]以及《CA.C22.3-9 分布式电力供应系统互联标准》[10]中的相关规定。内容主要包括:并网形式和并网条件、正常运行时应满足的要求、电能质量的要求、安全和保护与控制、微网 2 种模式转换时的要求和规范、通信、测试。

1)并网形式和并网条件。主要包括:微网的接入方式,是单点接入还是多点接入;规定隔离开关必须能一次性切断微网中所有电源;微网与配电网互联的变压器的绕组配置会影响继电保护的选型和系统故障的检测,需经过电力公司同意;微网和互联变压器的接地方式应遵从电力公司和设备生产商的建议;变压器在配电网侧的接地方式必须符合电力公司的要求,且不得引起电压扰动或破坏配电系统接地故障保护的协调性;微网并网前必须在频率、电压和相序上与电网一致;微网与配电网的连接点处应有防止电磁干扰的措施;微网具备抵御过/欠电压和电流电涌的能力等。

2)正常运行时应满足的要求。微网的加入对配电网电压的影响在规定的范围内,微网不参与连接点处的调压;在微网并网的 PCC 处装设监控设备,以监测连接状态、有功输出、无功输出、电压、电流、频率以及谐波等;并网的微网对 PCC 的电压波动也需给出限值;接地配置不应引起过电压,也不会造成配电网接地保护的配合混乱;应考虑潜在的谐振对系统的影响。

3)电能质量的要求。主要包括谐波、电压波动和闪变、电压不平衡以及电压偏差等,标准限值可参照中国电能质量相关标准的规定;另外,微网对电网的直流注入也应给出限制。

4)安全、保护与控制。包括应装设具备哪些保护功能、装设哪些保护装置、对控制的要求以及采取哪些控制方式等。

5)微网 2 种模式转换时的要求和规范。微网有 2 种过渡状态:一种是微网与主网解列的过渡状态;另一种是孤岛运行的微网再并网的过渡状态。这 2 种状态相互转换过程中主要有以下几个方面的要求:网侧故障时微网侧的响应、微网侧故障时对该侧保护的要求以及电能质量的要求等。

3.4.2 交换功率不小于 10 MW 的微网并网标准

可以参照《IEEE 1547 分布式电源与电力系统互联标准》、《BS EN 50438 微电源接入低压配电网的规定》、《CSA-C22.2-257 基于逆变器的分布式微电源与配电系统的互联标准》、《CA.C22.3-9 分布式电力供应系统互联标准》以及《ER G75/1 20 kV 以上电压等级或容量超过 5 MW 的嵌入式发电厂接入公共配电网的推荐标准》中的相关规定。

该标准的主要内容与交换功率小于 10 MW 的微网并网标准类似,主要包括并网形式和并网条件、正常运行时应满足的要求、电能质量的要求、安全和保护与控制、供电的安全性和可靠性、系统稳定性、配电网规划设计、通信、测试方面的要求。

该标准的部分内容可参照 3.4.1 节,但具体内容会有所变化。包括:规定微网可以在电力公司的允许下,在电网的调度范围内参与连接点处电压的

调整；在本地或附近发生扰动时，电力公司可以让微网中的微电源参与调频，以维持系统的频率稳定；规定对微网接入可能引起的短路电流的限制；有功、无功功率调节；配电网设计考虑与微网的兼容性，以及微网是否接受配电网统一调度等；还需考虑微网接入电网后会对系统产生什么样的影响，提出限定条件，以合同形式在电力公司与电厂之间达成协议，协议中将规定电厂以何种方式接入电网，以及微网接入后不应对整个电网的安全稳定造成不利影响，对微网和电网容量应作出合理选择；对接入微网的配电网还应进行静态、暂态稳定以及电压稳定分析等。

4　结语

目前国内对微网的研究尚处于起步阶段，随着今后对微网性能及其对电网影响研究的深入，微网运行和并网标准可精确制定。本文在这个领域进行了初步分析和探讨，为以后的工作提供参考。

参 考 文 献

[1] IEEE 1547—2003　Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. 2003.

[2] IEEE 1547.2—2008　Application guide for IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. 2008.

[3] KROPOSKI B, BASSO T, DEBLASIO R. Microgrid standards and technologies// Proceedings of 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA: 4p.

[4] 薛迎成，邰能灵. 国际上分布式电源的互联标准介绍. 南方电网技术，2008，2(6)：13-17.
XUE Yingcheng, TAI Nengling. Introduction to the existing DG interconnection standards worldwide. Southern Power System Technology, 2008, 2(6): 13-17.

[5] BS EN 50438: 2007　Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks. 2007.

[6] JARRETT K, HEDGECOCK J, GREDORY R, et al. Technical guide to the connection of generation to the distribution network (2003) [R/OL]. [2009-09-01]. http://www.energynetworks.org.

[7] ENA ER G75/1　Recommendations for the connection of embedded generating plant to public distribution systems above 20 kV or with outputs over 5 MW. 2002.

[8] ENA ER G59/1　Recommendations for the connection of embedded generating plant to the public electricity suppliers' distribution systems. 1991.

[9] CSA C22.2-257: 2006　Interconnecting inverter-based microdistributed resources to distribution systems. 2006.

[10] CSA C22.3-9: 2007　Interconnection of distributed resources and electricity supply systems. 2007.

[11] ABBEY C. IEEE P1547.4 draft guideline on DR island systems-overview [EB/OL]. [2009-09-01]. http:// www.powerconnect.ca.

[12] GB 14549—1993　电能质量 公用电网谐波. 1993.

[13] GB 15945—2008　电能质量 电力系统频率偏差. 2008.

[14] GB 12325—2008　电能质量 供电电压偏差. 2008.

[15] GB 12326—2008　电能质量 电压波动和闪变. 2008.

[16] GB 18481—2001　电能质量 暂时过电压和瞬态过电压. 2001.

[17] GB 15543—2008　电能质量 三相电压不平衡. 2008.

[18] GB 17625.6—2003　电磁兼容 限值 对额定电流大于 16 A 的设备在低压供电系统中产生的谐波电流的限制. 2003.

[19] GB 19939—2005　光伏系统并网技术要求. 2005.

[20] GB 20046—2006　光伏(PV)系统 电网接口特性. 2006.

[21] GB 19964—2005　光伏电站接入电力系统的技术规定. 2005.

[22] GB 19963—2005　风电场接入电力系统的技术规定. 2005.

[23] GB 50052—1995　供配电系统设计规范. 1995.

[24] GB 14285 E—2006　继电保护和安全自动装置技术规程. 2006.

[25] GB 50293—1999　城市电力规划规范. 1999.

[26] Q/GDW 156—2006　城市电力网规划设计导则. 2006.

韩　奕(1973—)，女，通信作者，博士研究生，主要研究方向：电力系统分析。E-mail: hanyi@epri.ac.cn

张东霞(1964—)，女，博士，主要研究方向：电力系统分析。

胡学浩(1946—)，男，教授级高级工程师，主要研究方向：电力系统规划和运行的模型研究和分析计算。

A Study on Microgrid Standard System in China

HAN Yi[1], *ZHANG Dongxia*[1], *HU Xuehao*[1], *LIANG Caihao*[1], *CHENG Junzhao*[2], *LIANG Huishi*[1]

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;
2. State Grid Electric Power Research Institute (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: Owing to the unavailability of official release on the microgrid standard as yet at home and abroad, this paper is intended to make some suggestions along these lines. An analysis is made of foreign standards for interconnecting distributed resources with the power system and those for power quality, distribution networks, PV or wind power in China. According to the typical and operation characteristics of the microgrid, a proposal for developing the microgrid standard system is presented for future research on the microgrid.

This work is supported by State Grid Corporation of China.

Key words: microgrid; distributed generation; energy storage; grid connection; islanding operation; standard