

偏远地区微网结构探讨

周惟婧¹, 朱鑫², 刘俊勇², 向月², 闫占新², 张文涛¹

(1. 四川省电力公司电力经济技术研究院, 四川 成都 610065;

2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 典型微网网架结构是微网能量管理、控制、保护与稳定的基础。结合普通电网结构特点,参考当前国内外微网结构特点及其发展方向,依据典型偏远地区地理特点,将偏远地区的微网结构根据其人口分布的特点设计为人口极为稀疏的单户结构和偏远村落的多户结构,并对其运行的控制过程进行了说明。其中,重点介绍了在 multi-family 微网中采用的 Agent 控制方式。

关键词: 微网; 单户; 多户; 结构设计; Agent

Abstract: The typical framework of micro-grid is the basis of energy management, control, protection and stability of the micro-grid. Combining with the characteristics of the common grid structure and consulting the characteristics and development direction of the current micro-grid structure at home and abroad, the single-family structure in extremely sparse populated areas and the multi-family structures in remote villages are proposed according to the characteristics of its population distribution in the remote region. Besides, the control procedure is introduced, especially the Agent control mode used in multi-family micro-grid.

Key words: micro-grid; single-family; multi-family; structural design; Agent

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)02-0054-05

0 电网结构概述

电网结构是电力系统安全稳定运行的基础,从某种程度上看,世界上发生的大电网恶性事故其根本原因是电网结构不合理造成的,因此,电网结构是否合理对电网的安全有着及其重要的影响。随着技术的进步和人们生活水平的提高,在电网的规划和建设过程中对供电的可靠性、经济性以及环境保护等有了更高的要求。目前,中国电网迫切需要解决的问题有:资源配置不合理,电网网架结构薄弱以至于抵御事故风险的能力低;配电网建设滞后与当前用户对电能质量和安全可靠性的要求不断提高的矛盾日渐突出;用户多样化的用电需求使得配电网建设与节能降耗的压力巨大;农村负荷分布广、密度低、距离远,使得对远距离农村供电投资巨大且运行损耗大^[1]。

分布式发电及微网的出现为解决偏远地区的用电提供了一种较为经济的供电方式。微网在电力系统末端的分散负荷处引入微电源^[2],不仅有利于解

决用户的供电问题或者提高用户端的电能质量和供电可靠性,而且可以降低配电网电力损耗,节约电能,缓解电力紧张局面。但是微网的出现也使得输配电网的规划面临更大的不确定性,如负荷预测和变电站建设方案等,大大增加了规划的难度,必须充分考虑投资主体、微网容量、安装地点及接入时间等诸多因素的影响,提出具有高适应度的网架规划方案。

微网既可以看作是一个小型的电力系统,也可以看作是配电网中虚拟的一个延伸分支。总体而言,微网与配电网结构有一定相似性,配电网线路的结构多具有多分段、多连接的特点,而微网系统结构则相对灵活。在微网的设计过程中应该根据其地域特征、经济性等方面因素则设计不同结构。

1 常规配电网结构

配电网的网架结构是由无数条线路组成,可分成干线和分支线,或者经线、纬线和分支线。在干线中,为了能够适应负荷的发展和线路的分割,减少

故障时停电用户的数量,必须对并联或串联连接的线路进行必要的分段。对公用架空配电网进行分段和连接,可灵活运行配电线路,减少停电用户数,并使在线路工作或线路故障时受影响的用户最少。结合配电线路分段连接理论的成熟过程,配电线路已经从初期只是对配电线路进行环网,即两条 10 kV 线路连接,任意一条线路故障时由另外一条接带全部负荷,发展到当前配电线路发多分段、多连接的形式^[3]。

2 微网

微网是分散的、独立且较小规模电力系统,它采用大量的现代电力技术,将风电、光伏发电、燃气轮机、储能设备等一些分布式电源通过一定的电气连接方式并在一起,在用户侧直接接入。相对传统配电网而言,微网可以被看作为电网中的一个可控的补充单元。在需要时,它可以快速启动,满足外部输配电网络的需求^[4]。

相对电力系统而言,微网类似于一个独立的控制单元,其中每一个微电源都具有尖端的即拔即插功能。在并网运行模式下,微网与主网部分或全部连接,能与主网之间实现功率的双向流通。当主网有任何的扰动异常时,微网都能及时切换到孤岛运行模式,并能继续对优先负荷供电。为了防止微网与配电网解列时对微网内负荷的冲击,有些微网的配电结构需重新设计,将不重要的负荷接在同一条馈线上,重要或敏感的负荷接在另外馈线上。

典型的微网一般通过固态开关公共连接点与外部电网连接,按照规定的接口标准,一般连接在低压配网侧。通过断路器的开合实现整个微网与主网的断开或连接。各条馈线的通断可以分别通过操作断路器完成。微电源可包含多种形式,如光伏发电、风力发电等可再生能源,微型燃气轮机、燃料电池等高效能源。必要时应配备储能等电能质量调节装置满足重要负荷的需要。

目前,国内外根据自身发展需求的不同,微网结构也存在较大差异。

2.1 美国

美国电气可靠性技术解决方案联合会(CERTS)的微网设计理念是不采用快速电气控制、单点并网不上网、提供多样化的电能质量与供电可

靠性、随时可接入的 DG 等^[5]。CERTS 微网研究主要集中在对 DG 的设计和鲁棒控制;GE 微网则更多地关注在外部监控回路的研发上,以及对能量利用和运行成本的优化上。从美国电网现代化角度来看,微网发展的重点主要集中于提高重要负荷的供电可靠性、满足用户对多种电能质量的需求、降低成本、实现智能化等方面^[6]。

2.2 欧洲

在典型的欧盟微网结构中,小型风力发电机可以直接连接到微网,而光伏电源、燃料电池和微型燃气轮机则需要通过电力电子接口连接到微网,中心储能单元被安装在交流母线侧。微网系统采用分层控制策略,并且允许微网作为电网中分布式电源的一部分向大电网供电^[7]。欧洲电网具备灵活性、可接入性、可靠性、经济性等特点。基于此特点,欧洲提出要充分利用分布式能源、智能技术、先进电力电子等技术,实现集中供电与分布式发电的高效紧密结合,共同推进电网发展。欧洲微网的发展方向主要绕着可靠性、可接入性和灵活性 3 个方面来考虑。而电网的智能化、能量利用的多元化、环保性等将是欧洲未来电网的重要特点。

2.3 日本

日本将传统供电的独立电力系统也归入微网的研究范畴,扩展了对微网的定义。日本微网研究方向主要定位于负荷跟踪能力、电能质量监控、电力供需平衡、经济调度以及管道稳定运行等问题,利用灵活可靠性和智能能量供给系统以及 FACTS 控制器快速、灵活的性能,实现对配电网能源结构的优化以满足用户的需求,为小型配电系统及基于传统电源的较大规模独立系统提供了广阔的发展空间^[8]。

2.4 中国

中国对微网的研究起步比较晚,还没有形成对微网的统一定义,只在分布式发电和分布式储能上开展了相关的研究。在微网的容量方面需要根据中国国情进一步研究和实验,并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,将有助于微网建立和相关标准的制定。国家已将“分布式供能技术”列入了 2006—2020 年中长期科学和技术发展规划纲要,并且已有 863 和 973 计划支持微网领域的研究项目^[8]。

综上所述,各国微网的定义以及发展侧重点是根据自身发展需求而决定的,具体对比如表 1。

表1 各国微网研究对比

国家或区域	重点研究方向	影响因素及特点
美国	提高重要负荷的供电可靠性、满足用户定制、降低成本、实现智能化等。	电能质量和供电可靠性。
欧洲	可再生微型发电系统的控制策略和微网的规划、多微网管理运行优化工具的研发和技术、商业化规范的制定、示范性微网测试平台的推广、电力系统运行性能的综合评估等。	希望通过优化从电源到用户的价值链来推广分布式电源,以使用户、电力系统及环境受益。
日本	强调控制与电储能、能源供给多样化、减少污染、满足用户的个性化电力需求,强调控制、电储能、分布式电源的多样化。	日本本土资源匮乏、灾害频发。
中国	提高微网的包容性、灵活性、定制性、经济型、自治性。	中国电网结构相对薄弱,灾害抵抗能力有待提高。

3 偏远地区典型微网结构设计

目前中国在微网的设计上仍处于探索阶段,并无微网结构设计的固定模式,由于中国微网供电主要强调其灵活性、定制性、经济型、自治性,以及根据不同地区复杂的地理环境设计可靠性高、经济性好、能够适应典型地区居民需要的微网^[9,10]。

3.1 偏远地区特点

国内各省市偏远地区的具体情况不同,但造成部分地区无电的原因主要集中以下几个方面。

- 1) 地理位置的偏远造成电力建设的造价相对较大,而单位投资获得的效益不明显;
- 2) 运行维护困难,无电地区地理位置偏僻,地形地质条件复杂,交通极其不便,造成输电线路、电源等设备运行维护成本高;
- 3) 体制机制性障碍未完全消除,偏远地区电力建设投入机制、运营机制、激励机制有待进一步建立和完善。

以四川省甘孜偏远无电地区为例,该地区地域辽阔、人口稀少、交通不便、气候恶劣。无电居民分布也主要分为离主网较近无电地区、单户游牧家庭、牧民聚集点、单户村民和偏远村落5种类型。因此,该地区地理特点及居民分布特点使得在该地区单一依靠大电网建设往往投资巨大且施工环境异常恶劣。

值得注意的是,甘孜地区水能、太阳能、风能和生物质能资源十分丰富,其中,太阳能资源丰富,太阳能资源总量和密度大,属全国高光能地区之一,具有发展生态能源产业十分优越的资源条件,因而可以考虑对该地区采用微网供电模式,直接有效利用

当地资源。

根据居民聚居的稀疏程度可在该地区的微网规划过程将人口分布极为稀疏的地区的电网设计为简单的单户结构,而将具有一定居民聚居的村落的电网设计成较为复杂的多户结构。

3.2 单户

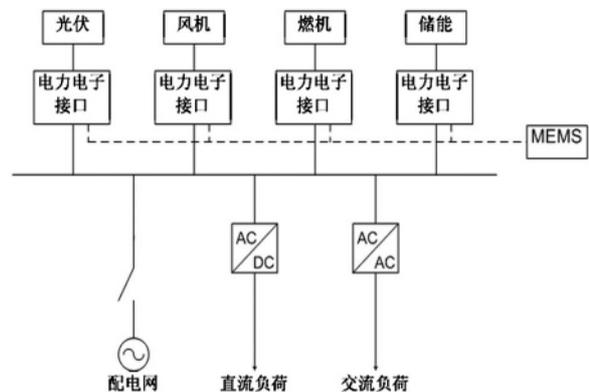


图1 单户微网结构

如图1所示,考虑到甘孜地区风能较为充沛,也有具有可利用价值的太阳能,同时,单用户用电量较低且负荷种类较为单一,故在单户的微网设计中装设风能发电机组和太阳能发电机组^[11]。为了保证供电的可靠性,可增装燃机发电机组和储能装置,各种微源通过电力电子设备接口与配电网保留可能相连的交流母线连接,同时,微网能量管理系统(MEMS)根据负荷情况通过电力电子接口对各微源进行协调控制^[12]。

偏远单户微网结构简单、投资较小,也适用于其他偏远山区、海岛等地区供电。但由于缺少外电网的支撑,电能质量不高。在不具备一定容量旋转电源的地区,不直接接入对电能质量要求高的负荷。

3.3 多户

综合各种基本结构,对于多用户,诸如村落形式

的等含多种 DG 和储能装置构成的微网,其典型结构如图 2 所示。

从图 2^[13]可以看出,该微网是由分布式电源和各种储能装置组成,主要展示是村落这一级的网络结构。各种村落级的微网包含各种以可再生能源为基础和燃机为辅助的分布式电源。所有的村落不一定具备各种可再生能源形式的分布式电源。储能装置被放置在指定的村落里以保证满足不同等级负荷的需求。如此的微网结构最适合农村社区的能源需求,以及未来扩展与主电网的连接运用各种可再生能源如风能、光能、小水电、微型燃气轮机的小型分布式电源机组和当地的各种储能单元以及当地负荷组成基础单一微网结构。

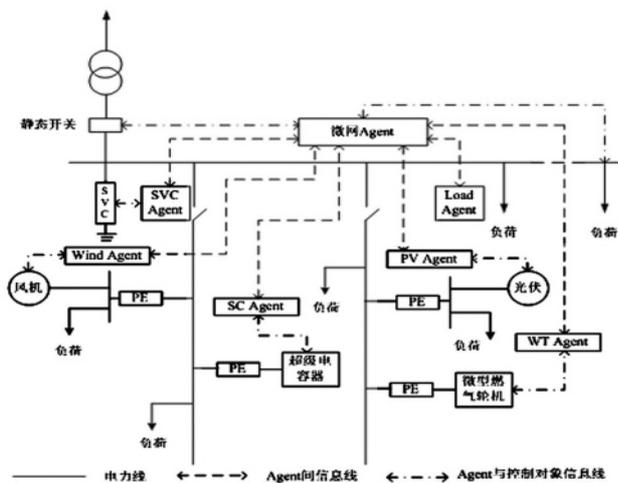


图 2 多户微网典型结构

微网监控系统^[8]的控制方式根据控制器不同的决策方式可以划分为集中式控制和分散式控制^[14]。其中微网的集中式控制与常规电力系统中分层控制的思想近似,实现过程也相对较为简单,因此当前的很多研究是通过该思想进行的。在集中式控制方式中,由微网中央控制器进行优化管理,协调控制各个层次控制系统,主要实现系统的经济性、安全性等,以通过优化各微源的发电量及其与主网间的功率交换使微网得到最大化利用为目标。此外,从多用户微网系统控制的角度考虑,采用统一集中调度方式由于本身的分布式特性及海量控制数据等原因难以实现灵活有效控制,需要将控制权分散到各元件上实现控制、通信、协作。分散式的控制思想是想要最大程度地实现微网内分布式发电单元和负荷的自治,但实现较为复杂。其中,Agent 技术具有分布、自治和快速处理复杂问题的能力,在微网控制

中得到应用^[15]。在嵌入了 Agent 的微网电压控制系统后,微网被分成微网层(由微网 Agent 控制)和元件层(由执行级 Agent 控制)。其工作过程如下所述^[16]。

(1) 微网 Agent 一方面接收上层网络命令开断静态开关以确定微网处于并网或孤网运行状态,另一方面接收各微源 Agent 返回的信息,通过测量微网内部电气参数,把握全局信息,协调控制。

(2) 一般意义上的微网可以实现并网和孤网运行。在并网运行时,微网可以看作是主网的一条低压配线,此时微网的频率、电压由主网控制。而微网孤网运行时需要结合各 Agent 间配合、分层协调实现系统的安全稳定运行。以电压调节过程为例。

微网 Agent 定期对系统内电压整定,整定后将此电压值发送给此系统内各微源 Agent。微源 Agent 在接收到微网 Agent 发送的整定值后对该值进行评估,判定执行该电压整定值是否会对本控制区域造成危害。若不会,微源 Agent 会将该电压整定值发送给相应的微源,微源会调节无功输出使其控制区域的电压维持在该整定值。在一个整定周期内,微源 Agent 会根据本控制区域内负荷的变化对电压整定值进行微调,以优化本区域内的电压质量;若评估表明执行该整定值会对本区域造成危害,则微源 Agent 拒绝执行该调压命令,此时微源实行自治。

当馈线输出的无功不能满足负荷需求时,PV Agent 向微网 Agent 发出的协调调压请求,由于超级电容器启动快但容量有限,而 SVC 的启动速度较慢但却能提供连续无功,微网 Agent 将选定 SC Agent 和 SVC Agent 进行协调调压。即首先由超级电容器为馈线提供短时无功功率,以延缓电压继续下降,然后由 SVC 为馈线提供持续的无功以维持电压稳定。

若馈线内发生故障,则该条线路上的断路器断开。此时,该馈线实际上形成一个更小的微网,微源 Agent 将起到原微网 Agent 的作用,它将根据控制区域内负荷变化自动计算电压整定值,之后微源依据该电压整定值调整无功输出,是本馈线内的电压维持稳定。若微源输出小于所需的电压值,微源将向 SC Agent 发出调压请求。但是超级电容器只能提供短时无功支持,若无功负荷持续增加,则必须切掉一部分负荷以保持稳定的电压。

5 结 语

微网具有节约能源、提高电能质量、供电可靠性、优化电网性能、降低发电成本等优点,为达到引入微网的预期目的,在微网的设计过程中要依据该地区地域特征、经济性、负荷特性、DG特性等基本元素对微网结构进行设计和选择^[17]。在微网的运行过程中应注意保持微网内能量守恒,即在并网运行时微网内各微源容量和配电网提供能量之和应与微网内总负荷相等,而在微网孤岛运行时,微网内微源容量能满足负荷的需求。

前面介绍了当前国内外微网的发展概况及各个国家未来发展的方向。根据中国在微网设计上的侧重点,对甘孜偏远地区微网的设计过程中根据人口的疏密程度将该地区的供电网络分为单户结构和多户结构,并对其控制方式进行了说明。伴随着人们对能源的需求和节能意识的提高,微网不仅将适用于解决偏远地区的用电问题也将向城镇居民提供多样化的电能需求。未来微网的结构设计应以其需求用途为基础,考虑基本元素对其结构的影响,并兼顾运行的经济性、可扩展性、安全性以及易维护性对微网进行结构的“定制”设计。

参考文献

- [1] 梅生伟,王莹莹. 输电网-配电网-微电网三级电网规划的若干基础问题[J]. 电力科学与技术学报, 2009, 24(2): 3-10.
- [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] 孙赛,杨瑞丽. 城市配电网结构分析[J]. 内蒙古电力技术, 2006, 24(1): 54-57.
- [4] 曲峰. 基于B/S模式的微电网能量管理软件的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.
- [5] Geert Deconinck, Tom Rigole, Hakem Beitollahi, et al. Robust Overlay Networks for Microgrid Control Systems [EB/OL]. 2007. http://www.esat.kuleuven.be/electa/publications/fulltexts/pub_1678.pdf.
- [6] Chris Marnay Owen C. Bailey. The CERTS Microgrid

and the Future of the Macrogrid [EB/OL]. 2004. <http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-55281>.

- [7] 荣延泽. 分布式电源建模与微电网控制及保护[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2012.
- [8] 李鹏,张玲,王伟,等. 微网技术应用与分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 109-114.
- [9] 康龙云,郭红霞,吴捷,等. 分布式电源及其接入电力系统时若干研究课题综述[J]. 电网技术, 2011, 34(11): 43-47.
- [10] 刘学平,刘天琪,李兴源. 混合独立发电系统功率协调策略与仿真[J]. 电网技术, 2010, 34(9): 202-205.
- [11] Zhang Haiyang Li Shande. Research on Micro-grid [C]//2011The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, 2011: 595-598.
- [12] Balazs Rakos, Peter Stumpf, Istvan Nagy. Energy from Biogas, Renewables for Supplying Telecommunications in Remote, Rural Areas [C]//Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 2011 IEEE 33rd International, 2011: 1-7.
- [13] Tewodros Tesfaye Erbato, Thomas Hartkopf. Smarter Micro Grid for Energy Solution to Rural Ethiopia [C]// Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012 IEEE PES: 1-7.
- [14] 张颖媛. 微网系统的运行优化与能量管理研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2011.
- [15] Zhang Jian, Ai Qian, Jiang Chuanwen, et al. The Application of Multi Agent System in Microgrid Coordination Control [C]. Sustainable Power Generation and Supply, SUPERGEN, International Conference on, 2009: 1-6.
- [16] 谢清华. 基于 Multi-Agent 的微网电压控制技术研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2009.
- [17] 汪少勇. 基于分布式电源的微网的设计与运行 [J]. 电力自动化设备, 2011, 31(4): 120-123.

作者简介:

周惟婧(1982),女,工程师,研究方向为电力系统稳定分析;

朱鑫(1989),男,硕士研究生,研究方向为分布式发电与微电网运行控制。

(收稿日期:2012-12-03)

欢迎订阅《四川电力技术》