DOI:10.12158/j.2096-3203.2019.03.003

家庭小区型多微网典型特征及工程设计

黄钰琪[1]，杨苹[1,2]，刘泽健[1]
（1. 华南理工大学电力学院，广东 广州 510640；
2. 广东省绿色能源技术重点实验室，广东 广州 511458）

摘　要：为实现多分布式发电接入和用户高效可靠供电，可将微网划分成多个计划性的子微网，以降低控制复杂度，形成多微网互联运行。随着分布式光伏发电系统在用户侧的规模化接入，家庭小区型多微网的应用场景逐渐增多。首先从源荷、结构、技术、运营四方面详细阐述家庭小区型多微网的典型特征；在此基础上，按照需求分析、电气设计、评估检验的路线，提出系统工程设计的一般流程，给出系统设计目标和配置、一二次侧电气设计要求。最后结合某小区实际情况，综合考虑安全性、经济性等需求，给出该多微网示范工程的初步设计方案，为家庭小区型多微网的推广提供参考价值。

关键词：多微网；家庭小区型；典型特征；工程设计
中图分类号：TM727　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**2096-3203(2019)03-0013-08

0　引言

随着化石能源日渐枯竭，环境污染日益严重，各国正逐步加大对清洁能源的开发与利用。微电网将分布式清洁能源、储能、负荷、监控保护设备等有机整合，利用运行控制与能量管理技术，最大限度地利用分布式清洁能源，被普遍认为是利用分布式清洁能源的有效方式之一[1—2]。但随着微网技术的成熟与发展，微网结构日趋复杂，需要从微网中获取的信息和测量设备越来越多，大型微电网进行数据分析和性能优化愈加困难。为降低控制复杂度，实现多分布式发电接入，提高微电网供电可靠性，将微网划分为多个计划性的子微网，通过多微网并联运行是微电网技术的发展方向[3—4]。

文献[5]对国内当前主流多微网系统的基本构成进行了详细梳理，并对多微网系统的关键技术进行了探讨与展望。文献[6]提出微网群一般规划设计流程：确定微电网群设计的需求，优化配置子微电网和群级设备，设计方案的评估和校验。文献[7]基于一种计及线路等效电阻影响的下垂优化控制方法，提出了多微网的并离网暂态控制策略。文献[8]基于多代理系统提出了多微网的分层控制方案，并验证了此方案实现能量协调控制的有效性。文献[9]考虑多微网的综合成本最小为目标，基于双向拍卖模型协调微网间的功率分配，实现多微网的协调优化调度。

在学术界开展多微网各方面的理论研究的同时，验证理论研究成果的多微网示范工程也在国内逐渐开展。文献[10]对国内外现有的多微网工程进行了归纳，给出了多微网的多种典型特征与 4 种应用场景，分别为偏远地区型、家庭小区型、办公楼宇型、工业园区型。文献[11—12]以鹿西岛示范工程为背景，阐述了单海岛群联型多微网系统的结构与分层控制设计，并用实践证明多微网能有效提高海岛的供电可靠性。文献[13]分析了工业园区多微网的典型特征，提出了适合此种多微网的设计流程，最后结合 2 个工程案例，为建设工业园区型多微网，提升园区供电可靠性提供了参考。

随着分布式光伏发电系统在用户侧的规模化接入，以家庭小区型为单元形成多微网的可能性大大增加。针对家庭小区型多微网典型拓扑，首先具体分析与阐述该类型多微网典型特征，然后基于特征分析，综合考虑家庭小区型多微网设计目标给出多微网工程设计的一般流程，并对设计流程中的储能配置和电气设计这 2 个关键部分进行分析。最后结合实际应用需求对某小区多微网工程进行初步设计，验证该设计流程的合理性。

1　家庭小区型多微网典型特征

家庭小区型多微网典型拓扑如图 1 所示。相比于风力发电方式，分布式光伏发电具有发电方式灵活、投资成本小、安装维护方便，可直接安装在家庭或楼宇屋顶而不占用额外空间等优点。此外，光伏建筑一体化(building integrated photovoltaics，BIPV)技术的不断成熟将进一步促进光伏应用。光伏输出功率受外界环境条件影响较大，导致可再生能源

收稿日期：2018-12-19；修回日期：2019-01-15
基金项目：广东省科技计划资助项目(2017B030314124)

利用率较低,其经济效益无法充分发挥。将储能技术与光伏发电结合,利用储能系统功率调节作用,可平抑功率波动、提高系统能效和供电可靠性[14]。

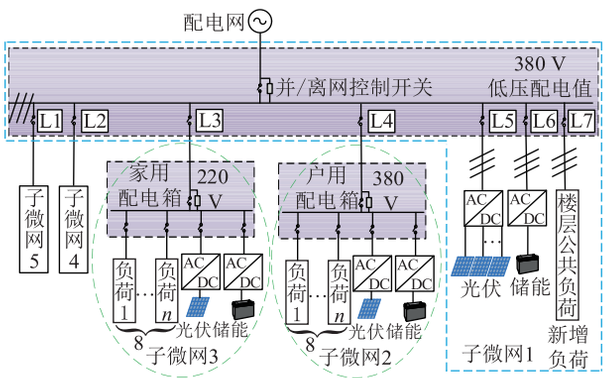


图 1 家庭小区型多微网典型拓扑

Fig.1 Typical topology of residential multi-microgrids

1.1 源荷特征

1.1.1 光伏及储能系统

家庭小区型多微网中光伏系统多采用固定式安装在住宅房顶,不同房顶的光伏系统因倾斜角度或所处方位不同,导致不同房顶光伏系统的发电峰值会出现在不同的时间段,各子微网内功率控制策略需根据光伏出力实际情况做出实时调整。

为减少光伏系统出力的随机波动性对微网系统的冲击,多采用储能系统与光伏系统结合使用,发挥储能系统的功率调节作用。多微网处于并网状态时,各子微网内光伏系统以最大功率出力,满足盈余部分电力除了向储能系统充电还可向电网售电。若光伏系统无法完全满足系统负荷需求,大电网作为主电源向负荷供电,储能系统不工作。多微网处于离网状态时,各子微网内光伏系统出力满足系统负荷外向储能系统充电。光伏系统出力无法完全满足系统负荷时,储能系统作为主电源向负荷供电。

1.1.2 负荷特性

以南方地区家庭小区为例,小区居民大多早出晚归,因此家庭小区型多微网日耗电量在一天 24 h 内变化较大,如图 2 所示。多微网日耗电量基本呈现白天处于负荷低谷、夜间处于用电高峰的规律,其中中午及傍晚分别出现用电小高峰。夏季日耗电量较高,春秋季节次之,冬季日耗电量最少。

多微网离网运行时由于储能系统容量限制及分布式电源出力的不确定性,难以实现功率实时平衡。若此时系统内出现供电不足的情况,则需通过切除负荷以实现功率平衡。进行多微网用电负荷需求侧管理,可减少中断负荷供电对用户造成的影响,保证切除负荷操作的安全性与可靠性,提高多微网运行的经济性[15—17]。

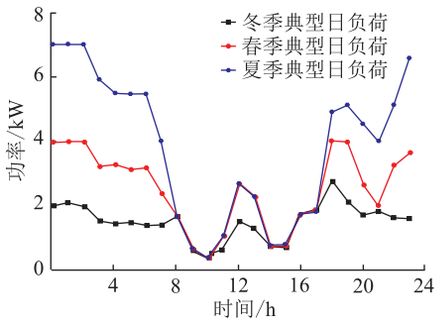


图 2 家庭小区型多微网典型日负荷特性

Fig.2 Typical daily-load characteristics of residential multi-microgrids

家庭小区型多微网用电负荷可按其对供电可靠性的要求分为:重要负荷、可切除负荷和可转移负荷。重要负荷主要为基础性用电设备,如照明用电、通信用电、监控用电、电梯等;可切除负荷为非必需用电设备,主要是普通家电,如洗衣机、电视机等;可转移负荷是指具有一定用电灵活性的负荷,可根据电价信息或电网运行调度的需要,灵活安排其用电时段,该类负荷主要有蓄冷空调、热水器、电动汽车等。多微网离网运行时,应优先保障重要负荷的持续供电,在供电不足时需综合考虑用电效益和停电损失等因素切除可中断负荷,同时灵活安排可转移负荷用电时段。

1.2 结构特征

多微网的结构特征分析是研究多微网控制策略、优化运行性能,提高供电可靠性的前提条件。多微网按各子微网互联运行方式可分为串联多微网和并联多微网[18]。如图 1 所示,子微网 2、3 之间形成并联结构,各子微网以并联形式通过并离网开关与上级微网连接,子微网 1 与子微网 2、3 形成两层串联结构的多微网。该多微网同时具有串联型与并联型结构特征,因此将家庭小区型多微网归类为混联型多微网。

如图 3 所示,各住户用电负荷可以每三户形成三相用电负荷,与三相光伏系统、三相储能系统共同构成三相子微网。若住户以一幢楼房为单位接入单相电能,则与单相光伏系统、单相储能系统共同形成单相子微网。由上述分析可得,家庭小区型多微网可归类为单/三相混联型多微网。

1.3 技术特征

多微网是由一定区域内多个邻近微网通过互联运行形成,不同于独立微电网运行控制,多微网控制不仅要维持各子微网稳定运行,还需保证各子

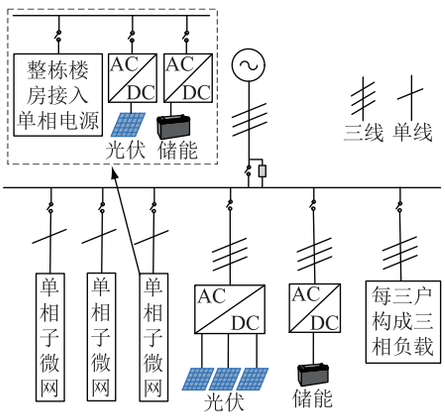


图 3 家庭小区型多微网的单/三相结构

Fig.3 Single/three phase structure of residential multi-microgrids

微网间协调运行,共同实现多微网可靠运行。各子微网内部控制系统应具备功率预测、能量优化调度、保护与控制等算法与逻辑,通过对各子微网中分布式电源、可控负荷、开关状态、回路状态的监测,实现对各子微网的毫秒级控制,运行状态的实时优化,优化调度与管理子微网系统,确保各用户用电的安全性与可靠性。多微网控制系统应着重实现各子微网协调稳定运行,其中联络线功率控制、并离网模式切换、三相功率平衡是多微网控制系统必须解决的问题。

家庭小区型多微网属于单/三相混联型多微网,构成三相多微网的各相子微网之间若存在三相功率严重不平衡现象,三相电压会严重不平衡,系统电压和频率无法稳定,从而导致多微网系统崩溃。多微网三相功率无法实现完全平衡,若各项功率差值均小于某一限制值,则可认为该多微网三相功率基本平衡。为实现家庭小区型多微网三相功率平衡,多微网配置时应考虑负荷均匀,即各相子微网上所连接负荷应保持平衡,不造成某相负荷偏多。系统合理配置是多微网三相平衡的基本条件,多微网控制系统的合理策略是调节多微网三相平衡的补充手段。在三相平衡调节过程中可通过功率计算限制光伏出力或对储能充放电进行限制来实现功率平衡。

1.4 运营特征

针对家庭小区型多微网,其运营特征可从用户、多微网运营方、电网公司三方面进行描述。家庭小区内用户因住宅面积和所处区域而异,对多微网建设的贡献大小不尽相同,这种贡献应体现在用户的阶梯电价上。多微网运营方在多微网运营中扮演着重要角色,运营方不仅需要维护整个多微网系统稳定运行,为用户提供可靠的供电服务,还要配合电网的调度指令来优化电网的运行,如参与移峰填谷,紧急情况下为电网重要负荷供电等。运营方基于合理的运营模式,采用公平的费用分摊和收益共享机制,与大电网、用户之间实现利益均衡,促进相关主体的互利共赢和此类新能源系统在我国的持续发展。家庭小区型多微网的参与主体与其之间的关系如图 4 所示。

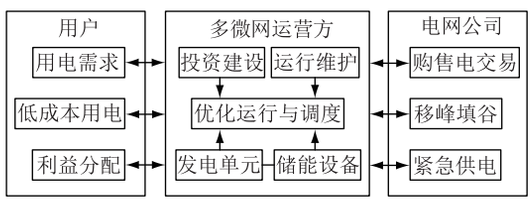


图 4 家庭小区型多微网的参与主体与其之间的关系

Fig.4 Main roles in residential multi-microgrids and their relationships

微电网的投资运营方可以是家庭用户,电网公司,或第三方运营商。由于储能成本和微电网建设成本高,收益率低,对家庭用户的投资吸引力不大。第三方运营模式下对第三方的要求较高,不仅要具备一定的专业素质,还要在居民间建立信任关系,并且与电力公司保持良好的合作与竞争关系。因此家庭小区型多微网工程一般由电网公司负责投资和运营,运营的主要目标是优化大电网的运行,并通过降低电价,共享部分利益等措施来提高用户使用微电网的积极性。

2 家庭小区型多微网系统工程设计

多微网系统由一定区域内多个邻近微网形成。与单一微电网的规划设计相比,多微网工程设计需考虑微网间协调运行,设计内容更为复杂,其设计流程如图 5 所示。

2.1 家庭小区型多微网设计目标

随着分布式光伏发电系统在用户侧的规模化接入,家庭小区型多微网逐渐得到发展。与工业园区相比,家庭小区内负荷总量较小,不存在大幅度波动,电价承受能力强。家庭小区内用电设备除基础性用电设备外,多为家用电器,供电可靠性要求较低。但家庭小区型用户日耗电量在一天 24 h 内变化较大,峰谷规律明显,增加电网调峰难度,给电网运行稳定带来挑战。考虑到家庭小区的基本特征,提出家庭小区型多微网工程的设计目标。

(1) 提高能源利用效率和最大化利用可再生能源。应用先进的控制策略和通信技术,实现光伏发电的安全接入和协调控制,通过多微网运行控制策略,尽量减少弃光、限光,提高能源利用效率,实现

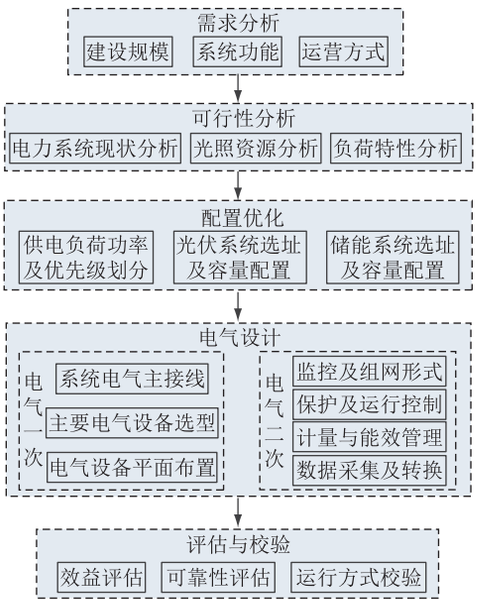


图 5　家庭小区型多微网工程设计流程

Fig.5　Designing procedure of residential multi-microgrids project

可再生能源利用最大化和排放量最小化，真正实现资源节约型和环境友好型供电。

（2）提升供电可靠性和用电经济性。多微网运行中，在故障状态下中断部分可切除负荷的供电，保障重要负荷的连续供电，以达到降低经济损失，提升供电可靠性的目的。控制可转移负荷，实现削峰填谷，降低电网调峰难度，获取峰谷电价差收益。通过多微网能量管理控制策略，优化用户用电行为，提高用电的经济性。

（3）智能化、自动化运行。实现多微网的智能化和自动化运行，依靠先进的通信技术、信息技术和控制技术，实现实时监视和控制、优化运行以及多种分布式能源和用电负荷的协调控制，实现系统中重要电气设备的遥信、遥测、遥控和遥视，全面提高智能微网的运行管理水平。

2.2　家庭小区型多微网配置原则

家庭小区型多微网中通过分布式光伏发电、储能系统的优化配置，实现能源的优化互补。储能系统的合理选址和容量配置将直接关系到系统对有功、无功功率的补偿效果、能源利用率和电网的经济效益。家庭小区型多微网工程建议采用技术性和经济性优良的锂电池为储能载体。锂电池的能量转化效率能保证在 95% 以上，放电深度可达 0.8，循环寿命普遍是铅酸电池的两倍以上，成本也在不断下降[19]。此外，由于家庭楼宇面积和承重量有限，占地小、质量轻的锂电池是家庭小区型多微网工程的最佳选择。储能系统合理配置需满足以下原则。

（1）负荷持续供电原则。为减少因供电故障引起重要负荷停运带来经济损失，提高家庭小区的供电可靠性，储能需要有单独支撑重要负荷独立运行一定时间的能力。因此，可根据光储用户需要保障持续供电的负荷总量 Q_1，并考虑储能电池放电深度 D_{OD} 和使用效率 η 来合理配置储能容量 E_B，如下：

$$E_B = \frac{Q_1}{\eta D_{OD}} \tag{1}$$

根据 JGJ 242—2011《住宅建筑电气设计规范》条款，住宅型光储用户的重要负荷一般为 4 kW。供电故障时储能持续供电时间可根据历史年均用户停电时间和当地供电可靠性指标确定，一般为 0.5 h。

（2）促进光伏就地消纳最大化原则。家庭小区型用户日耗电量基本呈现白天处于负荷低谷、夜间处于用电高峰，而光伏发电系统发电高峰在中午时刻，夜间不发电，与负荷规律恰好互补。因此可配置一定容量的储能，将白天光伏系统发出的电能存储起来，在晚上为负荷供电。考虑光伏消纳的储能容量计算方法如下：

$$E_B = (E_{PV} - E_{SC}) R_{EPV} (\eta / D_{OD}) + E_S \tag{2}$$

式中：E_{PV} 为光伏发电量；R_{EPV} 为预期达到的光伏消纳率；E_{SC} 为负荷已经消纳的光伏电能；E_S 为固定储能容量，可根据工程具体要求或式(1)确定。

（3）经济效益原则。储能电池容量增加，可为负荷提供的电能增加，从而减少购电费用。但是，由于储能电池和逆变器成本昂贵，随着储能电池容量的增加，储能电池和逆变器贴现成本也大幅度增长，储能电池带来的纯收益亏损越来越大。因此，在满足需求的情况下，尽可能减少储能容量。

2.3　家庭小区型多微网电气设计

2.3.1　一次侧拓扑设计

家庭小区型多微网电气设计中，应尽量减少对原有电力系统的影响，通过新增电气设备，将原有电气线路与光伏系统、储能系统连接形成各级子微网接入多微网中。新增电气设备一般包括配电箱、静态开关，其中静态开关负责监控市电情况，当市电侧因故障或其他原因失压时，开关自动转换为断开状态，通过远程控制市电侧的通断，实现子微网的孤岛运行模式。其他电气一次设备则利用该家庭住户原有设备。

居民用电负荷均为单相负荷，各单相负荷按所在楼层或所在区域接入该归属配电箱，并与光伏系统、储能系统连接形成单相子微网接入该多微网中。而公共照明、监控用电、电梯等属于三相负荷，

多形成三相子微网接入多微网中。家庭小区型多微网电气一次拓扑如图 6 所示。

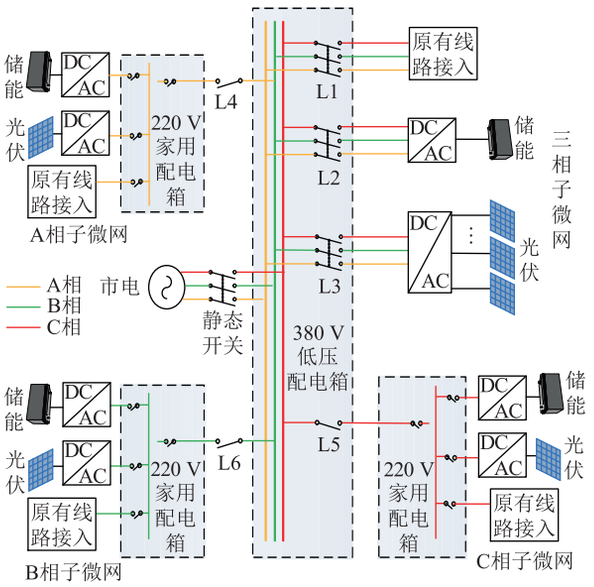


图 6 家庭小区型多微网电气一次拓扑

Fig.6 Primary side topology of residential multi-microgrids

2.3.2 二次侧监控设备拓扑设计

多微网控制与能量管理系统是整个系统智能化、自动化运行的核心,为保证系统电压频率稳定、供电的可靠性、运行的经济性和系统的自动化运行,需要在二次侧安装监控设备,来实现系统监控、系统管理、保护信息监视、配网自动化、计量自动化、视频及环境监控、综合能量管理等功能。多微网二次侧监控设备拓扑如图 7 所示。

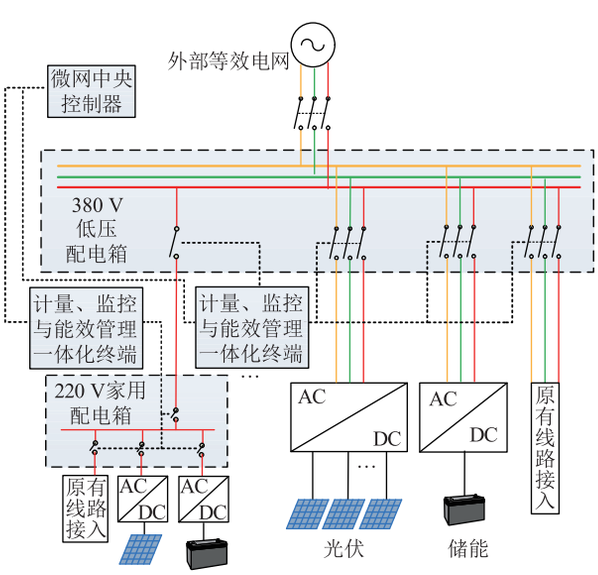


图 7 家庭小区型多微网电气二次侧监控设备拓扑

Fig.7 Secondary side surveillance and control devices topology of residential multi-microgrids

系统二次侧可分为两层架构,上层为微网中央控制器,通过通信总线与计量、监控与能效管理一体化终端连接,获取系统设备运行参数并下发调度指令;下层为计量、监控与能效管理一体化终端,其输入端与光伏、储能等微源及用户配电箱相连,收集终端装置上传的实时电气量和开关状态,其输出端与设备开关及装置控制终端相连,实时接收微网中央控制器下发的调度指令,实现微网的智能化调度。设备间一般通过以太网、RS232、RS485 等接口,基于 Modbus、DL/T645 等协议进行通信[20—22],可根据现场已有监控设备支持的通讯方式,选择合适的新增监控设备。

3 工程实例

广东某小区建筑以美式别墅为主,属于典型的家庭住宅/小区型用电用户,拟在其建设家庭小区型多微网示范工程。该多微网工程需设计 4 个子微网系统和一个分布式发电系统,各子微网均可以实现并/离网运行,分布式光伏发电系统只能并网运行,整体架构如图 8 所示。结合该小区实际情况,综合考虑安全性、经济性等需求,给出该多微网工程的初步设计方案。

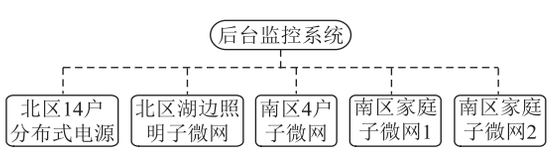


图 8 某小区多微网系统整体架构

Fig.8 The overall architecture of residential multi-microgrids in a certain district

3.1 源荷分析

该小区地处沿海,海洋性气候特征显著,光照资源累年平均日照总数为 1 095 h,月日照小时数统计如表 1 所示。

表 1 某小区累年各月平均日照时间

Table 1 The average month sunshine hours of cumulative annual in a district h

月份	日照时间	月份	日照时间
1	79.9	7	128.0
2	52.4	8	114.6
3	49.9	9	110.0
4	57.6	10	118.0
5	85.6	11	107.4
6	92.4	12	100.0

该小区用户住宅建筑面积平均为 350 m^2,按照居民小区推荐负荷密度 50 W/m^2计算,考虑用户用电行为的实用率及同时率因子取为 0.7,可得用户平均负荷容量为 50×350×0.7 = 12.25 kW。

3.2 光储系统配置

家庭小区型多微网系统中储能系统多用于减少光伏系统出力的随机波动性对微网系统的冲击，维持系统内部功率平衡，保障重要负荷供电，放电时间较长（数十分钟至数小时），因此该小区可选用能量型储能系统，如锂电池储能、铅酸电池储能和铅碳电池储能。考虑到能量转换效率、性能价格、工程应用经验，本工程选择磷酸铁锂电池作为储能载体。

储能电池选型和定容规划区域包括南区家庭型子微网 1 和 2、南区 4 户子微网、北区照明子微网。以南区 4 户子微网为例，运用 2.2 节中储能配置原则进行储能和变流器选型和定容。

根据负荷持续供电原则，需保证南区 4 户子微网在供电故障时 10 kW 负荷可孤网运行 1 h，考虑到储能电池 0.8 的放电深度和 0.96 的效率，理论上需要配置固定储能容量 13.02 kW·h。南区 4 户子微网光伏装机 11.2 kW，典型日光伏出力与负荷曲线见图 9，估算光伏发电量为 67.57 kW·h，负荷消纳电量为 6.72 kW·h，若预期就地消纳 60%的多余光伏发电量，理论上需要配置储能容量 56.83 kW·h。

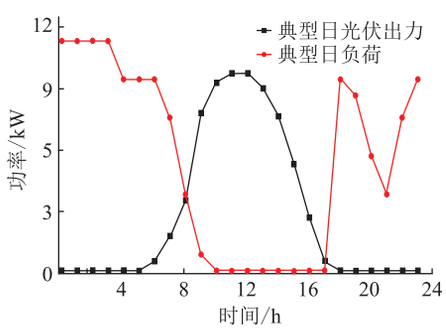


图 9 南区 4 户子微网的典型日光伏出力与负荷曲线

Fig.9 Typical PV and load curve of southern sub-microgrids consisting of four families

综合储能配置原则以及设备的市场规格，北区照明子微网中配置 60 kW·h 储能系统，10 kW 储能变流器。该小区内各子微网光储配置情况见表 2。

表 2 某小区多微网系统光储配置

Table 2 The photovoltaic/battery configuration of residential multi-microgrids in a district

参数	南区家庭型子微网 1 和 2	南区 4 户子微网	北区照明子微网
光伏容量/kW	5	11.2	5
光伏逆变器/kW	5	12	5
储能电池容量/kW	5	60	30
储能变流器/kW	5	10	5

3.3 效益评估

在多微网发展初期，多采用电网投资+电网收益。在该运营模式下，电网公司运营成本包括光伏投资、储能投资、变流器投资；运行收益包括光伏收益以及供电让利，其中光伏收益又包括光伏发电补贴收益和光伏供电收益。

南区 4 户子微网典型日光伏发电量为 67.57 kW·h，政府按 0.42 元/（kW·h）的标准进行发电补贴，发电量中约 41.77 kW·h 自用节省电费，按 0.91 元/（kW·h）估算，白天 25.56 kW·h 上网获取售电收益，按 0.56 元/（kW·h）估算，则一个典型日的总收益为 80.7 元。若按年均 250 个相似日，光伏组件寿命按 15 a 计算，则年收益 2.017 5 万元，全生命周期的收益为30.262 5万元。光伏发电系统按 12 元/W、储能电池按 2 000 元/（kW·h）、且寿命 7.5 a 计算，10 kW 储能变流器成本约 1.5 万元，则固定资产投资总成本为 37.44 万元。固定资产按 15 a、残值率 5%进行折旧，设备维修费用按固定资产投资成本的 1%进行估算，可得年运营费用为 2.746 万元，与年收益 2.017 5 万元对比可知，每年亏损 0.728 5 万元。

由上述效益评估过程可得：南区 4 户子微网全寿命周期亏损为 10.927 5 万元，北区照明子微网全寿命周期亏损为 4.035 5 万元，南区家庭型子微网 1、2 全寿命周期亏损为 1.617 万元，北区 14 户每户光伏接入型用户的全寿命周期盈利为 3.894 万元。

4 结论

分析了家庭小区型多微网拓扑及其荷、结构、技术、运营等 4 个方面的典型特征，提出了多微网系统工程设计的一般性流程：需求分析、可行性分析、配置原则、电气设计、评估与校验，并结合某小区实际情况，给出该多微网示范工程的初步设计方案。基于工程实例结果，可得出以下结论：

（1）所提出的负荷持续供电与促进光伏就地消纳等配置原则能够促进资源优化配置，显著提高能源利用效率和多微网的经济性；

（2）所述多微网二次侧监控系统拓扑能够满足实时监测、优化调度、并离网切换等主流能量管理与调度需求；

（3）文中提出的多微网系统工程设计的一般性流程具有适用性强、可行性高等特点，涵盖家庭小区型多微网工程建设的多方位需求，具备良好的借鉴价值。

参考文献：

[1] HATZIARGYRIOU N, ASANO H, IRAVANI R, et al. Microgrids [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5 (4): 78-94.

[2] 杨新法，苏剑，吕志鹏，等. 微电网技术综述[J]. 中国电机工

程学报,2014(1):57-70.
YANG Xinfa, SU Jian, LYU Zhipeng, et al. Overview on micro-grid technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2014(1): 57-70.

[3] 张丹,王杰. 国内微电网项目建设及发展趋势研究[J]. 电网技术,2016,40(2):451-458.
ZHANG Dan, WANG Jie. Research on construction and development trend of micro-grid in China[J]. Power System Technology, 2016,40(2):451-458.

[4] NG E J, El-SHATSHAT R A. Multi-microgrid control systems (MMCS)[C]// Power & Energy Society General Meeting. 2010.

[5] 许志荣,杨苹,赵卓立,等. 中国多微网系统发展分析[J]. 电力系统自动化,2016,40(17):224-231.
XU Zhirong, YANG Ping, ZHAO Zhuoli, et al. Analysis on the development of multi-microgrid in China[J]. Automation of Electric Power Systems,2016,40(17):224-231.

[6] 赵敏,陈颖,沈沉,等. 微电网群特征分析及示范工程设计[J]. 电网技术,2015,39(6):1469-1476.
ZHAO Min, CHEN Ying, SHEN Chen, et al. Characteristic analysis of multi-microgridss and a pilot project design[J]. Power System Technology, 2015, 39(6): 1469-1476.

[7] 杨刚,杨奇逊,张涛, 等. 基于分层控制的多微网并网/解列运行控制策略[J]. 电力系统自动化,2016,40(5):96-101.
YANG Gang, YANG Qixun, ZHANG Tao, et al. A control strategy for multi-microgrid connection/disconnection operation based on hierarchical control[J]. Automation of Electric Power Systems,2016,40(5):96-101.

[8] 丁明,马凯,毕锐. 基于多代理系统的多微网能量协调控制[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(24):1-8.
DING Ming, MA Kai, BI Rui. Energy coordination control of multi-microgrid based on multi-agent system[J]. Power System Protection and Control, 2013,41(24):1-8.

[9] 伍雨柔,程杉,魏荣宗. 基于双向拍卖的多微电网协调优化调度[J/OL]. 电力系统及其自动化学报:1-7[2019-03-26]. https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000154.
WU Yurou, CHENG Bin, WEI Rongzong. Coordinated optimization scheduling of multi-microgrid based on double auction[J/OL]. Proceedings of the CSU-EPSA: 1-7[2019-03-26]. https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.000154.

[10] 许志荣,杨苹,何婷,等. 多微网典型特征及应用分析[J]. 现代电力,2017,34(6):9-15.
XU Zhirong, YANG Ping, HE Ting, et al. Typical characteristics and application analysis of multi-microgrid[J]. Modern Electric Power,2017,34(6):9-15.

[11] 郝雨辰,江叶峰,仇晨光,等. 基于多代理系统的直流微电网分区域式稳定控制方法研究[J]. 电力工程技术,2017,36(5):15-20.
HAO Yuchen, JIANG Yefeng, QIU Chenguang, et al. Research on sub-regional stability control of DC microgrid based on multi-agent system[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(5):15-20.

[12] 李鹏,张雪松,赵波,等. 多微网多并网点结构微网设计和模式切换控制策略[J]. 电力系统自动化,2015,39(9):172-178.
LI Peng, ZHANG Xuesong, ZHAO Bo, et al. Structural design and mode switching control strategies of multi-microgrid with several PCCs[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015,39(9):172-178.

[13] 杨苹,宋嗣博,张育嘉,等. 工业园区多微网特征分析及工程设计[J]. 电力系统及其自动化学报,2017,29(12):21-27.
YANG Ping, SONG Sibo, ZHANG Yujia, et al. Feature analysis and engineering design of multi-microgrid in an industrial park[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(12): 21-27.

[14] 李鹏辉,陈建林,凌永志,等. 储能在光伏发电系统中的应用[J]. 电源技术,2019,43(2):279-282.
LI Penghui, CHEN Jianlin, LING Yongzhi, et al. Application of energy storage in photovoltaic power generation system[J]. Chinese Journal of Power Sources,2019,43(2):279-282.

[15] 唐巍,蔡永翔,徐鸥洋. 低压配电网高比例户用光伏消纳技术研究综述[J]. 供用电,2017,34(10):2-7.
TANG Wei,CAI Yongxiang,XU Ouyang. Review of accommodation strategies of high proportion residential photovoltaics in low voltage distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2017,34(10):2-7.

[16] 奚鑫泽,黄文焘,张茗沁,等. 大型光伏电站直流升压汇集接入系统协同控保体系与方案研究[J]. 供用电,2018,35(8):52-60.
XI Xinze,HUANG Wentao,ZHANG Mingqin,et al. Research on cooperative control and protection system and scheme of DC stepup collection system for large-scale photovoltaic power plants[J]. Distribution & Utilization,2018,35(8):52-60.

[17] 禹威威,刘世林,陈其工,等. 考虑需求侧管理的光伏微电网多目标优化调度方法[J]. 太阳能学报,2017,38(11):2972-2981.
YU Weiwei, LIU Shilin, CHEN Qigong, et al. Multi-pbjective optimization scheduling method for photovoltaic based microgrid considering demand side management[J]. ACTA Energiae Solaris Sinica,2017,38(11):2972-2981.

[18] 周念成,金明,王强钢,等. 串联和并联结构的多微网系统分层协调控制策略[J]. 电力系统自动化,2013,37(12):13-18,74.
ZHOU Niancheng, JIN Ming, WANG Qianggang, et al. Hierarchical coordination control strategy for multi-microgrid system with series and parallel structure[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(12):13-18,74.

[19] 周芳,刘思,侯敏. 锂电池技术在储能领域的应用与发展趋势[J]. 电源技术,2019,43(2):348-350.
ZHOU Fang, LIU Si, HOU Min. Application and development tendency of lithium battery technology in energy storage field [J]. Chinese Journal of Power Sources,2019,43(2):348-350.

[20] 麦卡,殷亮亮,李征. 基于虚拟储能的风光储家庭微电网的

并网运行能量优化管理[J]. 供用电,2017,34(4):12-18.
MAI Ka,YIN Liangliang,LI Zheng. Energy optimization management of grid-connected wind-solar-battery domestic microgrid based on virtual energy storage [J]. Distribution & Utilization,2017,34(4):12-18.

[21] 史林军,史江峰,杨启航,等. 基于分时电价的家庭智能用电设备的运行优化[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(24):88-95.
SHI Linjun, SHI Jiangfeng, YANG Qihang, et al. Operation optimization of household intelligent power equipment based on time-sharing tariff [J]. Power System Protection and Control, 2018, 46 (24): 88-95.

[22] 时远海,刘波,姚贤炯. 微电网通信体系架构及通信技术体制分析[J]. 电力信息与通信技术,2018,16(4):9-14.
SHI Yuanhai, LIU Bo, YAO Xianjiong. Analysis of microgrid communication architecture and communication technology [J]. Electric Power Information and Communication Technology,2018,16(4):9-14.

作者简介:


黄钰琪

黄钰琪(1995),男,硕士在读,研究方向为微电网和能源互联网(E-mail:epcaceros@ mail.scut.edu.cn);

杨苹(1967),女,博士,博士生导师,教授,研究方向为新能源并网技术与微电网;

刘泽健(1994),男,硕士在读,研究方向为园区综合能源服务。

Typical characteristics and engineering design of residential multi-microgrids

HUANG Yuqi[1], YANG Ping[1,2], LIU Zejian[1]

(1. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;
2. Guangdong Key Laboratory of Clean Energy Technology, Guangzhou 511458, China)

Abstract: In order to achieve the access of multi-distributed generation and efficient and reliable power supply, the microgrid can be divided into several planned sub-microgrids to reduce the complexity of control and form multi-microgrid interconnection operation. With the large-scale access of the distributed photovoltaic power generation system on the user side, the application scenario of residential multi-microgrid becomes more common. First, the typical characteristics of residential multi-microgrid from four aspects, source-load, structure, technology and operation are described. On this basis, according to the rough designing route consisting of requirement analysis, electrical design, evaluation and inspection, the general process of system engineering design is proposed. Finally, combined with the circumstances of a community, considering the requirements of security and economy, the preliminary design scheme of the multi-microgrid demonstration project is given, which provides reference value for the promotion of residential multi-microgrid.

Keywords: multi-microgrid; residential; typical characteristics; engineering design

(编辑　钱悦)