

微电网群能量管理系统架构设计与应用

闫承山¹, 邱明泉², 张立军², 张国瑞², 王春雷²

(1. 国网北京市电力公司, 北京 100051;

2. 国网北京通州供电公司, 北京 101101)

摘要: 针对区域大规模光伏建设和接入、现有分布式能源缺乏管控的问题, 提出了一种适应有源配电网的微电网群的能量管理架构及方法, 构建区域级核心区、协调控制单元、多类型微电网支撑的三层两阶段协同互动体系, 并对相关关键技术进行了研究和应用。结合北京某城区的实际情况进行了实际系统的建设, 完成了微电网群能量管理系统的构建, 并对协调控制单元的划分、分布式能源的集群调度、微电网特性分析、微电网间互济等问题进行了探索, 有效提高了有源配电网的弹性空间, 增加了电网调度对分布式能源的管控能力。

关键词: 分布式能源; 微电网; 协调控制单元; 有源配电网; 能量管理系统

中图分类号: TM28 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd24756

Architecture Design and Application of Energy Management System for Microgrid Group

YAN Chengshan¹, QIU Mingquan², ZHANG Lijun², ZHANG Guorui², WANG Chunlei²

(1. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100051, China;

2. State Grid Beijing Tongzhou Electric Power Supply Company, Beijing 101101, China)

Abstract: Aiming at the problems of regional large-scale photovoltaic construction and access, as well as the lack of control of existing distributed energy, the construction and operation control method of microgrid group were put forward, which extracted a three-level and two-stage coordination and interaction system supported by regional level core area, coordination control unit and multi-type microgrid, and the relevant key technologies were applied and studied. Combined with the actual situation of a certain urban area in Beijing, the actual system construction was carried out, and the construction of the energy management system of the microgrid group was completed. The division of coordination control units, the cluster scheduling of distributed energy, the analysis of microgrid characteristics, the mutual aid between microgrids and other issues were explored, which effectively improved the elastic space of the active distribution network, and increased the power grid scheduling's ability to control distributed energy.

Key words: distributed energy; microgrid; coordination control unit; active distribution network; energy management system

为响应国家“3060”双碳目标, 需要加快构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系, 推动以新能源为主体的新型电力系统的发展。以高弹性电网加速清洁能源优化配置, 促进多能互补, 加速水、光、生物质等清洁能源开发, 服务清洁能源就地消纳和汇集外送, 推进城乡领域减排脱碳^[1]。聚焦能源体制机制变革, 引领完善综合能效治理体系, 推动全社会能源生态共建、清洁低碳共享、节能减排成本共担, 实现低碳资源要素在更大范围、更高水平一体化配置。按照优势互补、资源

聚集的原则, 带动产业转型升级, 构建共治共赢的能源互联网生态圈^[2-3]。随着大规模分布式电源的接入, 配电网的分布式特性越来越显著, 使配电系统从放射状无源网络发展成以多种形态存在的有源网络^[4]。不合理的分布式电源的接入会导致配电网网损增加^[5]; 同时, 分布式能源接入的配电系统, 在规划方法、稳定性、选址和定容等方面也面临新的挑战^[6-8]。

微电网是由分布式电源、储能装置、能量变换装置、负荷、保护装置集中而成的小型系统。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFB1502904)

作者简介: 闫承山(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电网调控运维及新型电力系统, Email: 297386357@qq.com

从应用模式来看,微电网包括直流微电网和交流微电网。从运行方式来划分,存在离网运行和并网运行两种主要的模式,其对应的控制方式也有很大区别。在离网情况下,微电网要保证电压和频率在规定范围内,并且要保证发电和负荷的动态平衡;在并网情况下,微电网的控制主要是满足微电网覆盖范围内的有功和无功需求,并能够与外部电网进行交互,提高分布式能源的消纳比率。具体的控制策略包括主从控制、集中控制、分散控制、分层控制和下垂控制等^[9-14]。多微网是将一定区域内多个邻近的微电网互联,通过系统内的能量调度和互动响应,对各子微网进行管理。而微电网群是将地理位置相邻的微电网、分布式发电互联,构成微电网群集系统,可以通过群内微电网之间的能量调度与互济,增强供电可靠性,提高分布式电源的消纳^[15]。文献[16]建立了多时间尺度能量管理,结合功率预测数据确定日前发电计划,并在实时调度中对风、光的不确定性建立鲁棒优化模型,提升了能量管理的有效性;文献[17]构建了基于数据驱动的微电网电力市场优化调度框架,采用双层鲁棒优化调度,解决了风力发电不确定性对优化结果的影响,提高了新能源利用率;文献[18]针对大量分布式资源并网运行问题,设计了“集群自律—群间协调—输配协同”的主动配电网能量管理与运行调控的体系结构,并对主动配电网网络分析、分布式集群调控、有功及无功协调优化、输配电网分布式协调调度等关键技术进行介绍,具有较好的推广应用前景。

本文结合有源配电网及微电网的发展需求,站在电网公司的角度,研究微电网与主网及配网有效融合、协同优化的问题。通过微电网群能量管理架构设计,提出了微电网群的构建模式和方法,建立了由核心控制区、协调控制区、多类型微电网构成的三层两阶段协同互动的体系,并对其中的关键技术进行了研究,以发挥微电网在局部薄弱地区的支撑能力,为提升微电网群内的供电质量和对外调节能力提供了新思路。

1 微电网群能量管理架构设计

将微电网群与供配电网相结合,以县域或城区为覆盖范围,融合主网、配网相关数据和模型,将各种类型微电网作为有源配电网或电网层的调节对象和支撑点,自上而下采用分层调控的

方式,形成“主配微”三级协同的技术架构,实现电网侧对分布式电源、柔性负荷、储能等优化调度与控制。

1.1 系统架构设计

微电网群的系统架构如图1所示。微电网群由不同类型的微电网组成,为了发挥微电网的调节能力和对有源配电网的支撑作用,同时需要将微电网群融合到区域主网、配网中,综合考虑电网结构、网络拓扑、源荷平衡、优化调度等因素,提升内部调控能力,做到可观、可测、可调、可控。



图1 微电网群的系统架构

Fig.1 Diagram of system architecture for microgrid group

在微电网群系统架构中,能量管理系统处于微电网群的最上层,实现风光水储集中监控、微电网协调控制、源网荷储协同优化、负荷侧互动响应等功能。微电网群集中监控实现风电、光伏、水电站、储能等分布式资源的监视与管理;微电网协调控制具有动态分区与规划、区内调控能力评估、区间互济优化、运行方式优化等功能;源网荷储协同优化在功率预测、负荷预测的基础上实现日前、日内的两阶段滚动优化调度,并基于优化结果进行分层分级综合调控;负荷侧互动响应实现柔性负荷管理、微电网聚合分析、微电网交易决策、响应收益分摊等。

微电网群协调控制单元承上启下,在能量管理主站和多类型微电网之间建立紧密联系,实现微电网控制、运行场景识别、区内自治控制、离网运行控制等功能。协调控制单元的划分采用主配网协同的方式,对相关主网及配网的线路及馈线进行梳理,以区域联络线关口为源,采用网络拓扑分析的方法,设定源荷平衡匹配的规则,按照最短路径的方式进行搜索,自动进行平衡区的动态划分,支持平衡区的手工调整;协调控制主要由微网协调控制器来实现,其具备数据分布式采集、无线通信、控制策略图形化定制等能力。

多类型微电网支撑可以是水光微网、风光储微网、水光储微网、虚拟微电网等形式。微电网的建设和选址要综合考虑配电网的调控需求以及周边的电源及负荷情况,划分和定义的原则可以依据各类微网的外部特性和运行模式。

1.2 微电网群的控制过程

图2所示为微电网群的控制过程。由图2可以看出,区域微电网群能量管理系统处于整个系统的最上层,考虑电源、负荷的时空分布及平衡约束条件,合理规划和划分协调控制单元,并对所辖区域的若干个协调控制单元进行管理和控制。

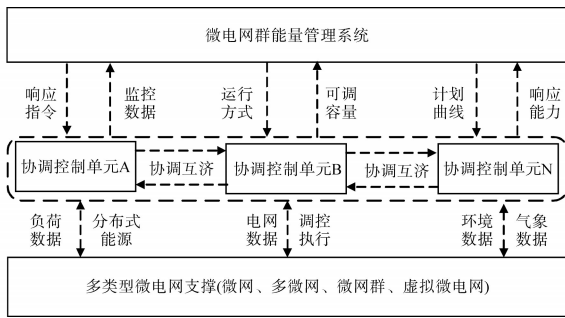


图2 微电网群的控制过程

Fig.2 Control process for microgrid group

监控数据、可调容量、响应能力等信息由协调控制单元上送,并接受能量管理系统的响应指令、运行方式、计划曲线等控制信息;协调控制单元接受能量管理系统调度,通过联络线功率控制技术实现能源互济、本区域调控能力评估和区内自律控制,并对核心水电站、光伏、柔性负荷等进行调控;多类型微电网的建设是微电网群的基础,根据分布式光伏、储能、台区微电网、柔性负荷、辖区水电资源的分布和调节能力,进行微电网群支撑点的选取。多类型微电网的量测数据、控制命令通过协调控制单元进行采集和下发,并负责上送给能量管理系统。

2 关键技术分析

2.1 区间协同互济

区域绿电供应和协调控制单元间互济的本质是要对各区之间的联络线功率进行实时控制。可用的调节手段包括:有库容电站提前蓄水、可控负荷计划限电、储能充放电、运行方式改变、其他区域提供绿电支援等。区间协同互济是建立在平衡区的基础上,平衡区的划分根据区域电网结构、核心可调资源的分布位置、区内电源与负

荷的匹配关系。在配电网中建设的微电网,包括台区微电网、馈线微电网等,要根据配网调控要求合理选择并网点,以发挥微电网的调节能力。

为了提高区域绿电供应率,建立以关键线路为控制点的灵敏度分析体系,通过电源变化与线路有功的灵敏度分析,来确定末端不同类型的电源,对关口控制线路的有功贡献度,据此来制定区域与平衡区之间的协同互济计划。

图3为联络线功率控制。由图3可以看出,其具体实现过程由计算实验、评估分析、控制策略执行、多源数据计算、管理与控制约束这5个主要环节构成。其中,由计算实验、评估分析、控制策略执行、多源数据计算构成的外反馈环节,实现有功功率的计算和越限预警功能;由计算实验、评估分析、管理与控制约束构成的内反馈环节,结合各个关口的功率变化趋势和历史数据对各个关口的功率越限值进行不断地优化计算。

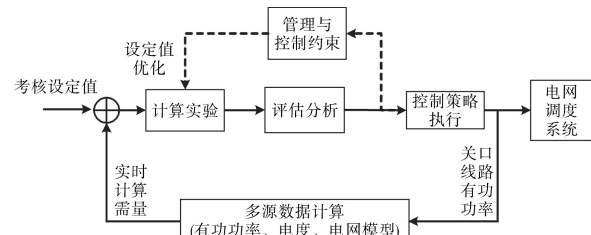


图3 联络线功率控制

Fig.3 Power control of tie-line

评估分析利用电网调度系统提供的状态估计、调度员潮流和灵敏度计算功能,利用状态估计的实时电网断面和调度员潮流的基态潮流计算生成评估分析的场景。灵敏度计算用来计算线路有功功率对母线注入有功的灵敏度、母线注入功率、支路功率和母线电压之间的互相影响程度的灵敏度,并可以形成相应的灵敏度矩阵。

2.2 分阶段优化调度

建立可再生能源发电与传统电源协调优化的滚动调度模型,第一阶段优化目标为最大化平衡区内可再生能源消纳率:

$$\text{Max}(J_1) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{PV}^{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_i^{\text{PV}}(t) + \sum_{i=1}^{N_{WT}^{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_i^{\text{WT}}(t)}{\sum_{i=1}^{N_{PV}^{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_i^{\text{PV}0}(t) + \sum_{i=1}^{N_{WT}^{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_i^{\text{WT}0}(t)} \quad (1)$$

式中: N_{PV}^{area} 为区域内光伏的数量; T 为优化的时段; $P_i^{\text{PV}}(t)$ 为第*i*个光伏在时段*t*的出力; $P_i^{\text{PV}0}(t)$ 为第*i*个光伏在时段*t*的预测最大出力; N_{WT}^{area} 为区

域内水电机组的数量; $P_i^{WT}(t)$ 为第*i*台水电机组在时段*t*的出力; $P_i^{WTO}(t)$ 为第*i*台水电机组在时段*t*的预测最大出力。

当平衡区内优化未达到最优时,第二层优化目标为最大化所有平衡区的多时段可再生能源的发电利用率:

$$\text{Max}(J_2) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_{ij}^{\text{PV}}(t) + \sum_{i=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_{ij}^{\text{WT}}(t)}{\sum_{i=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_{ij}^{\text{PV0}}(t) + \sum_{i=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{t=1}^T P_{ij}^{\text{WTO}}(t)} \quad (2)$$

式中: N_{area} 为平衡区的个数。

当平衡区内优化已到最优时,要尽量减少电网的下网功率,第二层优化目标为

$$\text{Min}(J_2) = \sum_{i=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{area}}} \sum_{t=1}^T g_{ij}^{\text{grid}} [-P_{ij}^{\text{grid}}(t)] \Delta T \quad (3)$$

式中: g_{ij}^{grid} 为区域*i*向电网购电的成交价格函数; $P_{ij}^{\text{grid}}(t)$ 为区域*i*在时段*t*电网接入点的输入功率; ΔT 为优化的时间间隔。

除此,分层优化调度模型的约束条件包括能量平衡约束、光伏发电约束、水电发电约束、储能运行约束等。

2.3 分布式协调优化

分布式协调优化模型如图4所示。分布式可再生能源的大量接入,使得输配电网之间的割裂情况日趋严重。由于无法有效协调配电网不同区域的资源,会导致配电网局部功率不平衡、电压越限问题,引发安全风险。在微电网群中,由于存在若干个微电网或微电网群,它们通过联络线连接起来,在协调优化的时候需要以输配电网全局发电成本为目标,考虑输电网、配电网、微电网边界的功率匹配约束。图4中, FCE 为馈线的有功功率控制偏差, ΔP_c 为分布式设备控制器输出的有功功率的增量。

分布式协调优化运行的难点在于输配边界耦合变量的协调。输电网、配电网、微电网之间具备典型的上下级特征。在微电网群中将调度问题分解到各级进行分析,考虑输电网、配电网的交流潮流模型以及微电网群的协调控制单元间的联络和控制,实现分布式协调优化运行调度。基于馈线分区控制策略对分布式能源、储能等可控资源进行实时闭环调节,修正实际运行状态与全局优化控制的理想运行状态的偏差,实现配电网在全局优化运行点邻域内运行,达到新能

源充分消纳、保障电网运行安全的目的。

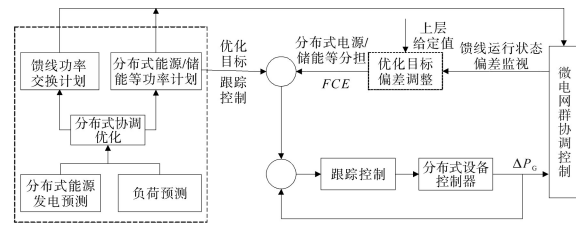


图4 分布式协调优化

Fig.4 Distributed coordinated optimization

2.4 分布式资源聚合分析

带库容小水电具有数量多、分布广、容量小等特点,通过对不同时空尺度下小水电在调节能力、充放电控制与库容管理等方面的差异分析,建立小水电库容模型和聚合特征指标;分析多类型需求响应资源的调节潜力,根据单一分布式小水电库容模型,考虑电网拓扑结构、分布式电源互补特性、多元储能运行约束等因素,研究多类型灵活性资源的聚合运行特征,实现对灵活性资源聚合集群的响应潜力评估分析;将微电网中的分布式电源及设备作为一个整体,统一接受上级微电网群能量管理,并建立等值模型,参与群间异步协调调度。在负荷侧,结合负荷容量、调节能力、响应速度、供能方式、收费方式、负荷重要度等级等因素,在充分考虑内外部不确定因素的前提下,实现对被调控设备互动能力的分析。

3 工程应用

3.1 能量管理实施方案

微电网群能量管理系统要以区域调度自动化为基础,结合县域多类型微电网的实际及山区型有源配电网的建设和调控要求,进行总体设计和工程实践,其总体方案如图5所示。

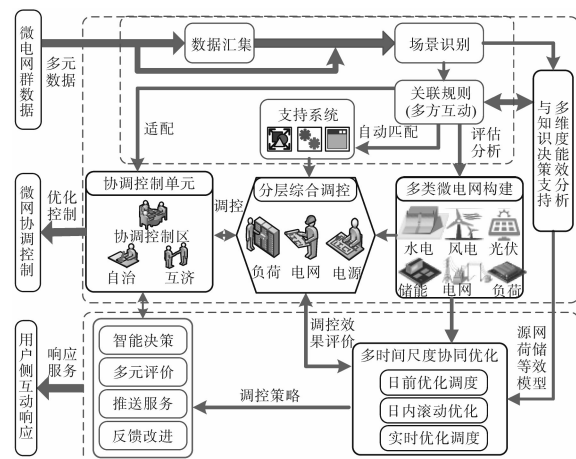


图5 能量管理系统方案

Fig.5 Scheme of energy management system

能量管理系统首先要实现相关数据的汇集、场景识别,通过预定关联规则进行多维度能效分析与知识决策支持,对辖区主要供电负荷进行建模和分析。知识决策支持依据启发式专家规则,充分利用水电、风电、光伏、储能、电网、负荷等资源的特性,结合分布式电源及柔性负荷的调控能力,进行多类型微电网的构建,为区域微电网群的运行和调控提供支撑。

微电网群的协调控制主要由协调控制区设置的协调控制装置来实现,一方面实现控制区内各个微电网的自治控制,另一方面要根据能量管理系统协同优化的结果,接受分层综合调控的联络线控制指令,进行区间的协调控制,达到全域紧急情况下的协同互济。同时,用户侧互动响应结合多时间尺度协同优化、分层综合调控、协调控制单元的信息和调节效果,对用户侧进行智能决策、多元评价、推送服务和反馈改进等,提高对负荷侧的管理和实时响应。

3.2 协调控制

协调控制单元之间通过 35 kV 及 10 kV 线路相连接,通过区域微电网群能量管理系统实现区间电力供应的互济。每个协调控制单元负责区域内一个或多个微电网的控制,并根据本区内的实际运行状态进行实时调控,实现区内自治和可靠稳定供电。协调控制单元间的联络关系及核心调控的配置,要从电网调度系统及配电调度系统获取,包括区内的负荷情况、联络线开关位置、平衡区的外部特征信息等。因此,需要从输配协同的角度来对微电网群的协调控制区域进行划分。协调控制单元方案如图 6 所示。

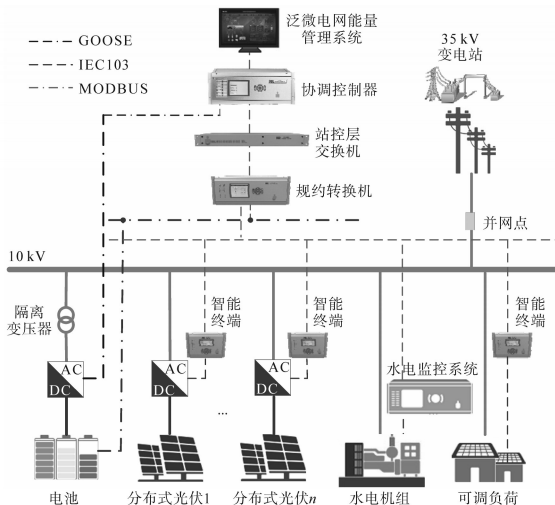


图6 协调控制单元方案

Fig.6 Scheme of coordinated control unit

由图6可以看出,协调控制单元由储能、分布式光伏、水电机组和可调负荷构成了一个“水-光-储”微电网。其中,分布式光伏、可调负荷通过智能终端装置接入协调控制器,采集光伏逆变器、可调负荷的状态信息,并支持有线、无线传输方式与协调控制装置通信。协调控制装置根据上送信息及上级指令进行逻辑运算处理,同时具备通信管理功能,可向微电网能量管理系统和区域能源平台上送数据信息。协调控制器通过与水电机组监控系统、分布式发电智能终端、储能变流器、可调负荷终端等进行通信,感知内部“源-荷”状态,并向上级能量管理系统上送信息,同时接收能量管理系统下发的调节指令,实现协调控制单元内部的控制。

并网运行时,协调控制器接收上级调节指令,协调内部的水电机组、分布式光伏、储能、可调负荷等资源,实现微电网系统并网点处的功率跟踪控制,使得微电网系统友好接入区域电网。离网运行时,水电机组作为微电网黑启动电源,提供稳定电压和频率支撑,自动跟随负荷变化,实现微电网系统的独立运行。同时,要充分考虑分布式电源出力波动以及负荷变化对频率电压的影响。由于分布式电源出力波动大,而水电机组功率爬坡速度慢,难以快速平抑分布式光伏的功率波动,通过配置一定规模的储能作为补充。通过协调控制器控制光伏、储能系统功率输出,弥补水电机组调频能力不足,保障微电网离网运行时系统的安全稳定运行。

3.3 指标体系

微电网群能量管理旨在提升区域绿电供应率,增强自身的分布式能源的消纳能力,需要通过建立指标体系进行量化,如表1所示。

表1 指标体系

Tab.1 Table of index system

区域指标	微电网群指标	微网指标
绿电供应率	有功可调裕度	黑启动时间
清洁能源消纳率	无功可调裕度	有功支撑能力
供电碳排放强度	群自给率	电压稳定调节范围
供电碳排放总量	群波动率	频率稳定调节范围

区域指标包括绿电供应率、清洁能源消纳率、供电碳排放强度及供电碳排放总量;微网群指标包括有功可调裕度、无功可调裕度、群自给率及群波动率;微网指标包括黑启动时间、有功支撑能力、电压稳定调节范围和频率稳定调节范围。

绿电供应率是根据本区域与外部电网交换功率及电量进行统计,覆盖年、月、日、时各个时间维度;供电碳排放强度及总量都是根据电力供应进行统计,没有考虑其他能源的碳排放;群自给率、群波动率是根据相邻群间互济线路的功率交换情况进行统计,对群内的平衡能力和稳定性进行评估;通过对有功可调裕度、无功可调裕度的统计,确定微电网群是功率受入型还是输出型,并对其对外支撑能力进行分析。

3.4 工程实践

本文所提出的微电网群能量管理架构及实现方法,依托北京通州有源配电网新型电力监控平台建设项目,开展区域级微电网群能量管理系统建设及工程示范。根据地理位置及电气连接关系,在配电网的调控能力薄弱地区,建设4个微电网群,实现了主网、配网及分布式发电的数据贯通,做到了可观、可测、可控、可调;从系统层面实现“主-配-微”三级调度、“图-模-库”一体化、集群等值、群间协调、联合调度等联合调试和场景验证,为有源配电网的建设提供强有力的支撑。

4 结论

本文提出了“微电网群核心区”与“多类型微电网支撑”的微电网群架构体系,并通过协调控制单元实现微电网、微电网群的控制,与高弹电网的理念相融合,可有效提高有源配电网的优化调度与调控。从区间协同互济、分阶段优化调度、分布式协调优化、分布式聚合分析4个方面,对相关关键问题及技术进行分析,保证微电网群能量管理系统的先进性和适用性。为了提升微电网群能量管理的工程实施能力,结合实际项目对工程实施进行了详述,包括能量管理实施方案、协调控制和指标体系构建3个部分,以期为实现微电网群高效协同互动,建立自上而下的调控策略,突出特色、因地制宜,提升核心平衡区的全时域清洁能源供电。

参考文献

- [1] 周兵凯,杨晓峰,李继成,等. 多元融合高弹性电网关键技术综述[J]. 浙江电力, 2020, 39(12): 35-43.
ZHOU Bingkai, YANG Xiaofeng, LI Jicheng, et al. Review on key technologies of multi-integration highly-resilient power grid[J]. Zhejiang Electric Power, 2020, 39(12): 35-43.
- [2] 孙宏斌,郭庆来,潘昭光. 能源互联网:理念、架构与前沿展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(19): 1-8.
SUN Hongbin, GUO Qinglai, PAN Zhaoguang. Energy internet: concept, architecture and frontier outlook[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(19): 1-8.
- [3] 尹积军,夏清. 能源互联网形态下多元融合高弹性电网的概念设计与探索[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(2): 486-495.
YIN Jijun, XIA Qing. Conceptual design and exploration of multi-factor integrated high-elastic power grid in energy internet[J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(2): 486-495.
- [4] 林昶咏,吴桂联,张林垚,等. 分布式电源接入配电系统优化规划方案[J]. 现代电力, 2019, 36(6): 82-87.
LIN Changyong, WU Guilian, ZHANG Linyao, et al. Planning scheme optimization for distributed generation accessed in distribution system[J]. Modern Electric Power, 2019, 36(6): 82-87.
- [5] HU Bo, WANG He, YAO Sen. Optimal economic operation of isolated community microgrid incorporation temperature controlling devices[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(1): 70-80.
- [6] WANG C S, NEHRI M H. Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power system[J]. IEEE Transaction on Power System, 2004, 19(4): 2068-2076.
- [7] 刘健,张志华,黄炜,等. 分布式电源接入对配电网故障定位及电压质量的影响分析[J]. 电力建设, 2015, 36(1): 115-121.
LIU Jian, ZHANG Zhihua, HUANG Wei, et al. Influence of distributed generation on fault location and voltage quality of distribution network[J]. Electric Power Construction, 2015, 36(1): 115-121.
- [8] 刘波,张焰,杨娜. 改进的粒子群优化算法在分布式电源选址和定容中的应用[J]. 电工技术学报, 2008, 23(2): 103-108.
LIU Bo, ZHANG Yan, YANG Na. Improved particle swarm optimization method and its application in the siting and sizing distributed generation planning[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(2): 103-108.
- [9] 刘观起,曹扬. 分布式发电并联接入微网的控制技术综述[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(5): 40-46.
LIU Guanqi, CAO Yang. Review of control methods for distributed generation in connection with microgrid[J]. Power System and Clean Energy, 2011, 27(5): 40-46.
- [10] 许守平,侯朝勇,王坤洋,等. 分层控制在微网中的应用研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(6): 39-45.
XU Shouping, HOU Chaoyong, WANG Kunyang, et al. Application research of hierarchical control in microgrid[J]. Power System and Clean Energy, 2013, 29(6): 39-45.
- [11] 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, 34(1): 57-70.
YANG Xinfu, SU Jiang, LÜ Zhipeng, et al. Overview on microgrid technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(1): 57-70.
- [12] 许志荣,杨苹,何婷,等. 多微网典型特征及应用分析[J]. 现