

# 配电网重构方法对比与技术展望

邓美玲<sup>1</sup>, 黄玉琛<sup>2</sup>, 罗玉娇<sup>2</sup>

(1. 广东电网有限责任公司韶关仁化供电局, 广东 仁化 512300; 2. 广东电网有限责任公司韶关供电局, 广东 韶关 512000)

**摘要:** 在“碳达峰、碳中和”目标下, 配电系统正在演变为区域资源优化配置平台, 对我国能源供给与消费的低碳化转型起到关键支撑作用。如何突破网架拓扑与系统运行的紧耦合实现灵活组网运行, 以适应规模化分布式能源接入的配电系统柔性可控需求是现阶段研究重点。在此背景下, 首先从网络拓扑、系统负荷、分布式电源、优化目标、约束条件、重构算法等6个方面出发, 对配电网重构方法进行了总结, 然后对其面临的交直流配电网重构算法、双高下交直流配电网时空解耦和灵活量化等关键问题进行了分析和展望。

**关键词:** 拓扑重构; 配电网; 交直流系统; 分布式电源; 源荷互动

中图分类号: TM727

## Comparison and Technology Outlook of Distribution Network Reconfiguration Methods

DENG Meiling<sup>1</sup>, HUANG Yuchen<sup>2</sup>, LUO Yujiao<sup>2</sup>

(1. Shaoguan Renhua Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Renhua 512300, China;  
2. Shaoguan Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangdong Shaoguan 512000, China)

**Abstract:** Under the goal of "carbon peaking and carbon neutral", the power distribution system is evolving into a platform for the optimal allocation of regional resources. It will play a key role in supporting the low-carbon transformation of energy supply and consumption in China. At the present stage, the research focuses on how to break through the tight coupling of network topology and system operation to achieve flexible network operation, to adapt to the flexible and controllable demand of large-scale distributed energy access. In this context, this paper first summarizes the distribution network reconfiguration methods from six aspects, including network topology, system load, distributed power sources, optimization objectives, constraints, and reconfiguration algorithms. Then, it analyzes and outlooks the key issues faced by it, such as the AC-DC distribution network reconfiguration algorithm, spatial and temporal decoupling of AC-DC distribution network under double high, and quantification of flexibility.

**Keywords:** topology reconfiguration; distribution network; AC-DC system; distributed power; source-demand interaction

“双碳”目标背景下, 分布式新能源发电、分布式储能、电动汽车的广泛接入制使得传统配电系统逐渐演化为源-网-荷-储元素丰富的新型交直流配电系统。为实现能源电力资源的共享互济和优化配置, 国家发改委提出到2025年, 全国统一电力市场体系初步建成, 有利于新能源、储能等发展的市场交易和价格机制初步形成。在分布式新能源、再电气化负荷高速增长与电力市场机制逐步形成的背景下, 配电系统将演变为清洁低碳、安全可靠、灵活高效、智能友好、开放互动的具有高弹性、高适应

**基金项目:** 广东电网有限责任公司科技项目 (GDKJXM20200709)

**收稿日期:** 2022-12-05

性的区域资源优化配置平台。分布式新能源出力与增量负荷高度不确定性是限制配电系统发挥区域资源优化配置平台功能的主要因素。源荷高度不确定性与目前的网架结构和配电设备功能固化导致的“确定性”之间存在突出的适应性矛盾, 导致了新能源消纳水平低、设备利用率低、运行效率低、故障恢复能力差等问题。基于柔性电力电子变换器的交直流混合配电技术可实现电力资源时空经济配置和灵活互济, 依托分布式新能源直流并网的天然优势与电力电子装备柔性互联功能, 低压直流化、中压交直流混联化的区域自治配电系统是实现区域资源优化配置的理想技术路线。

传统配电系统优化运行中，配电系统运行拓扑结构除了线路检修、工况切换或偶发故障外，通常相对固定，灵活切换能力不足。在固定网架拓扑结构下，已有相关研究考虑了灵活性资源对配电系统优化运行影响<sup>[1]</sup>。在不影响电网运行安全性的前提下，考虑对网络拓扑进行优化，可进一步提高系统灵活性资源利用率，提升系统运行特性。网架拓扑随分布式电源、负荷变化自适应动态调整，可有效提升系统运行特性。但基于电力电子变换器运行状态不同，同一规划态拓扑下运行态拓扑复杂多样，子集寻优计算难度大，计算效率低<sup>[2]</sup>。灵活组网是适应源荷高度不确定性下配电系统安全稳定运行的关键，如何突破网架拓扑与系统运行的紧耦合，以适应规模化分布式能源接入的配电系统柔性可控需求。

相较传统配电系统，交直流混合配电系统中电源出力特性更加复杂，规模化可再生能源和互动性用电负荷增加。国内外针对规模化可调资源接入交直流电网的优化运行开展了大量研究<sup>[3-5]</sup>。此外，多类型的电源和负荷具有不同时空分布特性，利用源荷协同优化并考虑其灵活互动潜力能够为配电系统提供更多调节空间，从“源-网-荷”多环节上应对可再生能源消纳问题。然而，交直流混合配电系统中存在多个决策主体，多方博弈下影响用户侧需求，加之不同类型源/荷的能量时移特性与灵活性调节能力不同，在交直流混合配电系统考虑源荷灵活性协调调度研究对于促进供需高效匹配具有重要意义。配电系统网络重构是指通过分接开关和联络开关的开合状态改变，实现潮流分布的调整，以达到降低网损、平衡负载等目的。自适应组网策略不仅包括网络重构，还包括电力电子变换器及交直流混联装置的功能随运行需求的重新定义。运行阶段，通过开关和分接开关的切换、软开关、电力电子变换器等电力电子设备的柔性调节，实现网架动态拓扑切换，这个过程即系统运行中的动态拓扑演变。

梳理了配电网重构模型在网络拓扑、系统负荷、分布式电源、目标函数、约束条件、重构算法等方面的相关研究内容，然后凝练了双碳目标下交直流配电网重构面临的关键问题，最后提出了技术发展方向及其建议。

## 1 配电网重构模型及方法对比

配电网重构是通过切换联络开关、分段开关状态与电力电子变换器而实现某些目标的多约束非线性组合。其研究内容主要包括：网络拓扑、系统负荷、分布式电源、目标函数、约束条件、重构算法。图1为配电网重构模型的输入输出结构，通过目标函数、约束条件构建配电网重构模型，输入网络拓扑、该时段内系统负荷情况、分布式电源出力情况，通过重构算法求解配电网拓扑模型，输出运行时配电网网络拓扑与时段内开关动作序列，实现配电网自适应重构。

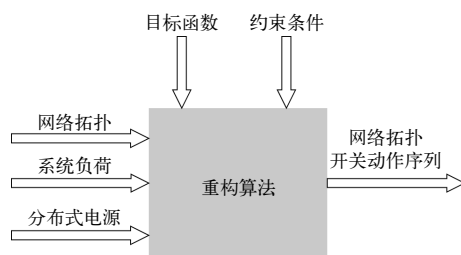


图1 配电网重构模型的输入输出结构

### 1.1 网络拓扑

传统交流配电系统通过改变分段开关和联络开关改变系统拓扑。由于电力电子变压器、柔性联络开关的存在，交直流配电网的拓扑模型建模将有别于传统交流配电网，文献[6]进行了交直流配电网拓扑建模，建立换流站运行模型，采用定有功功率与无功功率的控制方式，充分考虑换流站无功调节能力，控制改变潮流流动。交直流混联配电系统多形态拓扑主要指满足源荷灵活接入的多种系统拓扑，如交流单环网或双环网向交流负荷供电、同时通过多层级变换器与直流配电网相连向直流负荷供电等拓扑形态。拓扑演变就是指在规划阶段不同交直流混联系统拓扑之间的灵活变换。

### 1.2 系统负荷

新型配电系统的负荷模型研究内容主要针对电动汽车、数据中心等进行建模，须考虑应用需求侧响应对配电网重构的影响。随着技术不断发展，电力负荷不断增长，逐渐出现新型负荷，当其比重增加到一定程度则可以进行负荷转移参与需求侧响应。用电设备中，传统照明灯具正逐渐被LED替代，空

调、水泵等电机设备也更多考虑变频的需求,此外还有各式各样的数字设备,都是直流负载。建筑内部改用直流配用电网,可以取消直流设备与配电网之间的交直变换环节,同时放开配用电系统对电压和频率的限制,从而展现出能效提升、可靠性提高、变换器成本降低、设备并离网和电力平衡控制更加简单等诸多优势。建筑设备往往具有可中断、可调节的特性。例如空调和供热系统可以利用建筑围护结构的蓄热特性和人对温度波动的适应性来进行短期负荷功率调节,为电力系统提供一定程度的灵活性;洗衣机、热水器等家用电器等也都具有延时启动、错峰工作的功能。寻找建筑用户体验和电网灵活性需求二者之间的平衡,建筑设备的可调节性也能够为电力系统所用,成为一种潜在的灵活性资源。

需求侧管理和响应都是将需求侧用户作为资源,对电力系统进行另一个方向的管理和优化<sup>[7]</sup>。通过需求侧响应的分类、应用和效果展开对需求侧响应的描述。美国联邦能源调解委员会根据终端消费者不同的响应原因,将需求侧响应分为2类,基于价格的需求响应和基于激励的需求响应。对离网型微网和分布式能源系统而言,多能互补优化配置常用的需求侧管理方法类似基于计划的激励项目,通过负荷的可动性进行优化配置<sup>[8]</sup>。与基于计划的激励项目不同,所控制的负荷为微网内部负荷,此时的需求侧管理并无激励收益。对并网型微网和分布式能源系统而言,多能互补优化配置常用的需求侧响应通常为基于价格的需求响应。

利用需求侧响应,在以年为时间尺度的电力系统多能互补优化配置中,通过预测负荷曲线,规划负荷行为,预测发电端发电曲线,使得在模拟过程中,负荷端实时曲线尽可能贴近发电端曲线,从而达到能效的利用率和电网运行的可靠性。

### 1.3 分布式电源

分布式发电是在用户侧或附近互连的小型发电单元(即10 MW或更小)<sup>[9]</sup>。分布式发电技术基于往复式发动机、光伏发电、风力发电机、燃料电池、燃气涡轮机、微型涡轮机、生物质发电、水电和柴油发电机等。随着分布式发电的发展,微网技术随之兴起。微网基本上传统配电网的小规模版本<sup>[10]</sup>。新型配电系统的太阳辐照、风速具有强不确定性,

导致光伏、风机等分布式电源出力存在强不确定性,图2、图3为某地区全年逐时太阳辐射、风速密度函数分布图。分布式电源模型主要研究其不确定性,分布式电源处理不确定性产生将大量复杂运行场景,增加配电网优化运行决策复杂度。

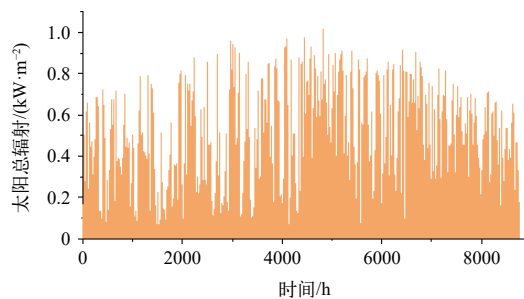


图2 某地区全年逐时太阳辐射

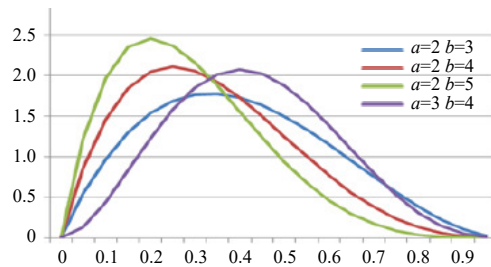


图3 某地区风速 $\beta$ 分布概率密度函数

文献[11]采用模糊优化处理分布式电源的不确定性,通过模糊分析方法结合启发式寻优算法对模型求解,然而优化结果很大程度上依赖决策者对模糊隶属度函数选取,存在较强的主观性。文献[12-13]提出仿射-线性优化区间潮流算法,考虑节点注入功率不确定场景下的潮流分布,从而解决节点注入功率不确定性对配电网运行的影响。文献[14]采用信息熵进行风光功率不确定性建模,进行拓扑重构时段划分。

### 1.4 配电网重构目标函数

配电网重构模型中优化目标常考虑经济性、可靠性、环保性及电能质量等因素,计算不同类别下各指标,设立配电网综合量化评价体系对配电网运行状态进行评估。在不同工况下,可以基于软件定义方法实现不同目标切换。配电网重构模型常见指标类别与指标如表1所示。

确立各指标量化模型后,须确立各指标的权重,进一步建立配电网运行评估模型。目前确定指标权重的方法大多是在层次分析法、熵权法的基础上进

表 1 配电网重构模型常见指标

| 指标类别    | 指标       |
|---------|----------|
| 经济性     | 运行成本     |
|         | 购电费用     |
|         | 损耗       |
|         | 开关动作成本   |
|         | 投资回报率    |
| 可靠性（韧性） | 供电不足概率   |
|         | 恢复负荷量    |
|         | 重要负荷恢复时间 |
| 环保性     | 分布式电源消纳量 |
|         | 分布式电源消纳比 |
|         | 污染物排放量   |
| 电能质量    | 三相电流不平衡度 |
|         | 平均电压偏差   |
|         | 负荷均衡化    |

行改进。层次分析法是一种多目标决策分析方法，根据内部的系统化、层次化的逻辑关系，将评价指标组合成有序的层次结构，然后利用专家的专业知识和经验对同一层次的指标进行两两比较，并按照规定标度值构造判别矩阵。其具体分析步骤：建立层次结构模型、判断矩阵的构造、层次的单排序及其一致性检验、层次总排序及其一致性检验。熵权法是测量信息不确定性的一种方法，其原理是将物理学中“熵”的概念引入信息论，即熵值越大指标的权重越小，信息越无效，无序度越强；熵值越小指标的权重越大，信息越有效，排序越强。理想点法又称优劣解距离法，是一种逼近于理想解的排序法。该方法是基于原始数据，将数据归一化，找出评估对象中的最优解和最劣解，然后获得某一对象与最优解和最劣解间的距离，从而得出该方案与最优解的接近程度，并以此作为评价各方案优劣的依据。优点是可以简洁形成直接供参考的决策信息；缺点是采用一维定性方式确定指标权重，多因素分析情况下，指标权重确定难度较大。其基本步骤：建立标准化决策矩阵；建立加权标准化决策矩阵；确定最优解与最劣解；计算备选方案与最优解、最劣解距离；计算备选方案相对贴近程度；依据相对贴近程度对备选方案进行排序，确定最优方案。

1.5 配电网重构约束条件

配电网重构是通过切换联络开关、分段开关状态与电力电子变换器而实现某些目标的多约束非线性组合。表 2 为配电网重构模型中常见约束条件，其中，开关约束出现在动态拓扑重构中，静态拓扑重构中不考虑此约束，分别考虑所有开关的总动作次数和单个开关的动作次数。研究人员还针对不同应用场景，提出特定约束条件。由于大规模电动汽车接入导致三相不平衡度增加，文献 [15] 增设了三相潮流约束。文献 [16] 研究台风期间的配电网重构问题，增设通信系统断电可持续工作时间限制和配电网中断功能可用性限制，计及配电终端信息物理功能可用性限制和灾难导致的停电范围变化，以准确刻画通信、控制以及开关等设备模型。

表 2 配电网重构模型常见约束条件

| 指标类别 | 指标            |
|------|---------------|
| 潮流约束 | 功率平衡约束        |
|      | 节点电压约束        |
|      | 线路传输容量约束      |
| 发电约束 | 可再生能源出力约束     |
| 拓扑约束 | 辐射状约束         |
|      | 连通性约束（是否允许孤岛） |
| 开关约束 | 开关操作次数约束      |
|      | 无功补偿电容器投切次数约束 |

1.6 重构算法

表 3 为常见重构算法，目前最常用的是基于理论的改进人工智能算法。人工智能算法最重要的是利用图论思想对基础算法进行改进，实现个体编码。

表 3 配电网重构常用算法

| 算法类别   | 算法                       |
|--------|--------------------------|
| 数学规划算法 | 分支定界法                    |
|        | 二阶锥松弛技术 <sup>[11]</sup>  |
| 人工智能算法 | 粒子群算法                    |
|        | 遗传算法 <sup>[22-24]</sup>  |
|        | 免疫算法 <sup>[25-26]</sup>  |
|        | 禁忌搜索算法 <sup>[27]</sup>   |
|        | 帝国主义竞争算法 <sup>[15]</sup> |

在迭代过程中尽量压缩搜索空间、避免不可行解。常见编码方式有十进制编码、二进制编码，二进制编码编码过程简单，但算法占用内存增加<sup>[11]</sup>；十进制编码可缩短编码长度可简化搜索策略，降低算法求解内存，提高算法求解速度<sup>[17]</sup>。

## 2 双碳目标下配电网重构研究中的关键问题

国内外学者围绕配电网重构开展了广泛的研究，随着分布式可再生能源发电并网比例进一步提高，面对交直流配电系统规划中源荷的强不确定性与空间耦合性、电力电子设备规模化接入、交直流电网混联网络等问题，配电网重构还须要重点考虑以下3个关键问题<sup>[18-21]</sup>。

### 2.1 交直流配电网拓扑结构复杂，电力电子变换器接入配电网分层分区运行，须要进行交直流配电网典型拓扑分析，并提出相对应的拓扑重构求解算法

传统交流配电网以满足最大负荷供电和可靠性水平需求为目标，网络结构追求清晰和简单可靠，多为单双环网、多分段多联络等典型架构，闭环设计开环运行。预期在现有较为成熟的交流配电网典型网架基础上，结合不确定性源荷需求和电力电子混联装置，以可靠经济灵活为目标，闭环设计，可编程开环运行或闭环运行，形成交直流混合配电网网络架构，促进分布式能源高效消纳。目前交流配电系统网络重构是指通过分接开关和联络开关的开合状态改变，实现潮流分布的调整，以达到降低网损、平衡负载等目的；而交直流混联配电系统除了分接开关、联络开关以外，还包括具有灵活功能可调的电力电子变换器及交直流互联装置，通过软件定义既可实现网架结构重构，也可通过变换器功能的重新定义，支持交流潮流和直流潮流的灵活调控与优化，有效提高配电系统的灵活性。

综上，如何处理重构前后拓扑结构始终保持辐射状约束和连通性、如何处理分布式电源接入、如何提高算法快速寻优能力并尽量压缩搜索空间，以减少重复计算，须结合图论知识进行交直流配电网拓扑分析，提出相应重构算法是关键。

### 2.2 分布式电源出力、新型负荷需求均存在不确定性，且存在与系统拓扑不同程度的时间尺度、空间尺度的耦合，须要研究三者之间的解耦

时间尺度耦合体现在分布式电源出力、新型

负荷需求本身存在时间延续性，下一时刻的出力情况与上一时刻存在一定关联，风电出力、光伏出力存在时间尺度的互补，图4显示了分布式电源出力存在时序相关性，风电出力、光伏出力互补，光伏白天存在出力且中午出力较高，夜晚出力为0，而风电在夜晚出力较高，白天出力较低。空间尺度耦合体现在相近分布式电源出力存在空间相关性，拓扑改变会改变不同支路的分布式电源分布、负荷分布。此外，源荷互动也会增加交直流电网的时空耦合。

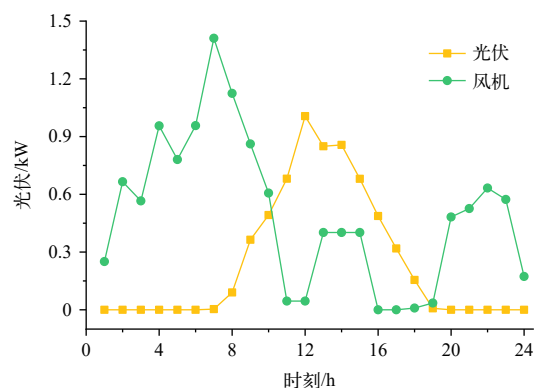


图4 分布式电源出力时序相关性

综上，须将在充分考虑电力电子装置功能的基础上，结合不确定性源荷接入后的时空分布特性，通过日、月和年的时序潮流分析等手段，细化分析和聚合典型场景，进行时空解耦，简化交直流配电网拓扑重构模型。

### 2.3 灵活性资源影响交直流配电系统运行特性，须要配电网灵活性量化问题，提出满足供电要求的灵活性、面向电压问题、时空灵活性（季节性负荷、季节性出力）的灵活组网运行技术

配电系统灵活性指：在一定时间尺度下，配电系统通过柔性控制和拓扑灵活变换，以经济可靠的方式快速响应分布式电源及负荷不确定性变化的能力。面对源荷不确定性，以网损最小为目标，在保证系统可靠性和电能质量等约束条件下，发挥电力电子变换器装置功率调节和灵活变换的能力，以软件定义的方式在线调节变换器装置控制策略和配电网开关状态，可以实现交直流配电网运行拓扑的灵活切换或交直流潮流优化，提高系统灵活性和运行效率。为实现这一目标，就须要通过软件定义在线灵活改变变换器的控制策略、以软件定义的方式

实现系统运行拓扑的灵活组网、以及软件定义系统的运行策略。综上，如何量化拓扑的灵活变换、如何实现综合评价体系的客观性，是灵活组网运行的关键。

### 3 研究展望

本文的研究内容理论及实践依据来源于近年来配电网重构的关键技术与应用研究。在理论研究方面，已有相关研究以负荷特性数字化建模、需求侧管理及需求侧响应、综合评价体系展开研究，其理论和技术在其他领域已存在一定研究基础，可进行借鉴至交直流配电网自适应重构运行领域。在工程实践方面，已有研究已有交直流微电网应用探索，包括张北柔性变电站及交直流配电网科技示范工程、苏州同里新能源小镇能源变革示范项目工程、广东珠海多端交直流混合柔性配网互联工程等示范工程，为从实际案例中摸索经验、完善该系统方式提供了重要参照。现阶段电力电子化配电装置的研发主要关注于实现某一具体而固定的功能，灵活组网要求配电装置具备通用化特征，以实现各类灵活组网模式的切换。当然，现有案例还多处于探索阶段，仍须要更多案例来支撑未来交直流配电网重构相关关键技术的深入研究和工程的规模化应用。

### 参考文献

- [1] 吴界辰, 艾欣, 胡俊杰, 等. 计及不确定因素的需求侧灵活性资源优化调度[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(14): 73-80+89.
- [2] 武忠山, 秦超, 余贻鑫. 考虑网络动态重构的配电系统两阶段灵活性提升优化调度方法[J]. 电网技术, 2020, 44(12): 4644-4653.
- [3] 王文超, 庞丹, 成龙, 等. 考虑电价型需求响应的交直流混合配电网优化调度[J]. 电网技术, 2019, 43(05): 1675-1682.
- [4] 刘晓林, 王旭, 蒋传文, 等. 计及VSC运行约束的交直流混合配电网分布式优化调度方法[J]. 电网技术, 2021, 45(03): 1089-1101.
- [5] FU Y, ZHANG Z, LI Z, et al. Energy Management for Hybrid AC/DC Distribution System With Microgrid Clusters Using Non-Cooperative Game Theory and Robust Optimization[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2020.
- [6] 张旭, 么莉, 陈晨, 等. 交直流混合配电网网络重构与无功优化协同的两阶段鲁棒优化模型[J]. 电网技术, 2022, (03): 1149-1162.
- [7] 赵波, 汪湘晋, 张雪松, 等. 考虑需求侧响应及不确定性的微电网双层优化配置方法[J]. 电工技术学报, 2018, 33(14): 3284-3295.

- [8] 黄鸣宇, 张庆平, 张沈习, 等. 高比例清洁能源接入下计及需求响应的配电网重构[J]. 电力系统保护与控制, 2022, (01): 116-123.
- [9] CONTI S, NICOLOSI R, RIZZO S A. Generalized systematic approach to assess distribution system reliability with renewable[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2012, 27 (1): 261-270.
- [10] CALLANAN R, DAS M K, RYU S, et al. Guest editorial editorial special issue on power electronics for microgrids — Part I[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25 (12): 2885-2888.
- [11] 赵平, 赵期期, 艾小猛. 考虑极限场景的主动配电网重构与无功电压调整联合鲁棒优化[J]. 电工技术学报, 2021, (S2): 496-506.
- [12] 高纯, 于艾清, 丁雨. 基于改进递归有序聚类的有源配电网多时段动态重构[J]. 电力自动化设备, 2021, (02): 84-90.
- [13] 徐俊俊, 吴在军, 周力, 等. 考虑分布式电源不确定性的配电网鲁棒动态重构[J]. 中国电机工程学报, 2018, (16): 4715-4725.
- [14] 葛少云, 张有为, 刘洪, 等. 考虑网架动态重构的主动配电网双层扩展规划[J]. 电网技术, 2018, (5): 1526-1533.
- [15] 童方格, 谭阳红, 罗春辉. 基于融合时段划分的三相配电网动态重构[J]. 电力自动化设备, 2019, (11): 78-84.
- [16] 李博达, 熊宇峰, 任正伟, 等. 台风期间考虑配电终端功能可用性的配电网重构方法[J]. 电力系统自动化, 2021, (04): 38-44.
- [17] 李振坤, 路群, 符杨, 等. 有源配电网动态重构的状态分裂多目标动态规划算法[J]. 中国电机工程学报, 2019.
- [18] 赵静翔, 牛焕娜, 王钰竹. 基于信息熵时段划分的主动配电网动态重构[J]. 电网技术, 2017, (02): 402-408.
- [19] 文娟. 考虑时间尺度和拓扑特征的配电网动态重构[D]: 湖南大学, 2018.
- [20] 李哲超. 协同网络重构和需求侧响应的配电网优化运行方法研究[D]: 华中科技大学, 2018.
- [21] 朱俊澎. 主动配电网重构与孤岛划分研究[D]: 东南大学, 2018.
- [22] 孙孔明, 陈青, 赵普. 考虑环网检测的配电网拓扑重构遗传算法[J]. 电力系统自动化, 2018, (11): 64-71.
- [23] SHARIATZADEH F, VELLAITHURAI C B, BISWAS S S, et al. Real-time implementation of intelligent reconfiguration algorithm for microgrid[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2014, 5 (2): 598-607.
- [24] 刘佳等. 计及N-1安全准则的智能配电网多目标重构策略[J]. 电力系统自动化, 2016, (07): 9-15.
- [25] 蒙文川, 邱家驹. 基于免疫算法的配电网重构[J]. 中国电机工程学报, 2006, (17): 25-29.
- [26] 江东林, 刘天琪, 李樊. 采用时段动态划分和分层优化策略的配电网重构[J]. 电网技术, 2012, (02): 153-157.
- [27] 葛少云, 刘自发, 余贻鑫. 基于改进禁忌搜索的配电网重构[J]. 电网技术, 2004.

### 作者简介

邓美玲(1987—)女, 工程师, 研究方向: 从事配电网规划、自动化研究。

(责任编辑: 张峰亮)