

Research on overload active defense and reconfiguration visualization strategy of distribution station area for distributed energy access

Xiaopeng Tian Di Ge Hongtao Zhang Lekang Liu Bo Liu

Xuchang Power Supply Company Of State Grid Henan Electric Power Company, Xuchang, Henan, 461000, China

Abstract

with a large number of distributed energy connected to the distribution station area, its output fluctuation is easy to cause the overload problem in the station area, endangering the reliability of power supply, so it is urgent to take targeted treatment measures. Firstly, this paper expounds the basic theory of distribution area and distributed energy access, which paves the way for subsequent research; Then it analyzes the overload active defense, studies the early warning mechanism, real-time control strategy and analyzes the performance evaluation index; Then, the fundamental principle of network reconfiguration, the creation of constraints and optimization model, and the classification and performance comparison of reconfiguration optimization algorithms are discussed; Finally, the visualization strategy of overload defense and reconfiguration is studied, and the requirements, key technologies and implementation paths are analyzed combined with typical cases, in order to provide theoretical support for overload control and efficient and safe operation in the distribution area.

Keywords

distributed energy access; Overload in distribution area; Active defense; Reconfiguration visualization strategy

分布式能源接入的配电台区过载主动防御与重配可视化策略研究

田晓鹏 戈狄 张洪涛 刘乐康 刘博

国网河南省电力公司许昌供电公司, 中国·河南许昌 461000

摘 要

伴随分布式能源大量接入配电台区, 其出力波动性容易引发台区过载问题, 危及供电的可靠性, 急需拿出针对性的治理措施。本文先阐述配电台区与分布式能源接入的基础理论, 为后续研究做好铺垫; 接着针对过载主动防御进行分析, 研究预警机制、实时调控策略并分析性能评估指标; 之后探讨网络重配的根本原理、约束条件与优化模型的创建, 以及重配优化算法的分类形式和性能对比; 最后针对过载防御与重配的可视化策略展开研究, 结合典型案例分析需求、关键技术以及实现的路径, 旨在为配电台区的过载治理及高效安全运行提供理论支撑。

关键词

分布式能源接入; 配电台区过载; 主动防御; 重配可视化策略

1 引言

基于“双碳”目标的驱动, 分布式光伏、风电等新能源成规模接入配电台区, 助力台区由传统无源网络向源荷协同的有源网络过渡。然而分布式能源出力存在随机性、波动性, 结合居民用电负荷的峰谷差异, 导致台区线路、变压器的过载问题频繁出现, 传统治理模式的缺陷已较为明显, 当下过载防御多靠被动跳闸和事后检修来进行, 难以预先估计风险; 网络重配可实现负荷分布的优化, 却依赖人工经验去

拟订方案, 存在优化精度欠佳等问题; 而且防御及重配的实施过程缺乏直观的可视化工具, 致使调度人员难以实时掌握台区运行状况、迅速做出决策, 降低了供电可靠性。基于此, 针对配电台区过载治理暴露出的“被动应对方式、经验化治理手段、非可视化状况”短板, 实施过载主动防御与重配可视化策略的研究, 是化解当前台区运行困境的关键要点, 也是带动配电网从“事后抢修”朝着“事前防御”升级的重要支撑点。本文将从基础理论起步, 系统建设成主动防御体系、优化重配对策、开发可视化模块, 为台区安全高效运行给予技术保障。

【作者简介】田晓鹏(1987-), 男, 中国河南许昌人, 硕士, 工程师, 从事输配电线路运维检修研究。

2 配电台区与分布式能源接入的基础理论

配电台区是配电网的末端核心单元，一头与 10kV 配电的变电站相连，一端直接针对低压用户，主要承担分配电能、调节电压以及保障用户用电的功能，传统模式按无源网络形态运转，潮流方向单一，负荷特性相对平稳。分布式能源接入完毕后，台区过渡为有源网络，其出力受诸如光照、风速等自然条件的影响，体现出十分显著的随机与波动，同时有着就近发电、就近消纳的特质，可降低输电的损耗程度，但同样改变了传统台区潮流分布的规律，也许会出现逆向潮流、电压超出标准范围等情况。分布式能源与台区负荷时空特性所形成的耦合，可能减轻台区供电压力，也可能因为出力的骤增骤减，造成线路、变压器过载的风险，这一交互机制是后续针对过载防御与网络重配策略研究的核心理论基石^[1]。

3 配电台区过载主动防御策略

3.1 过载预警机制：主动防御的前提

过载预警机制是提前识别配电台区过载危险的核心要点，其有效性直接关乎主动防御的响应效率。该机制依托实时数据采集展开，凭借安放在台区线路、变压器及分布式能源接入点的传感设备，实时获取负荷的电流、电压、功率因数以及光伏/风电的出力数据，同时把历史负荷曲线和气象预测信息进行融合，构建多维度数据集。在数据处理层面，采用时间序列分析模型或改进后的阈值算法，实时对台区运行状态作出研判，针对分布式能源出力的波动特征，制定动态的预警临界值，好比峰时段，变压器负载率阈值采用 85%，谷时段把阈值放宽至 90%，防止因固定阈值产生的误报或漏报问题。预警输出采用分级架构，一级预警（负载率超 90%）启动紧急响应程序，二级预警（负载率 80%-90%）开启预调控准备工作，给后续主动干预预留时间，达成从“被动应付”到“预先判断”的转变。

3.2 主动调控策略：过载的实时化解

主动调控策略把过载发生时的快速处理作为焦点，要结合台区源荷特点搭建多维度调控体系。从分布式能源这一侧看，依靠与光伏逆变器、风电控制器的通信互动，在保障用户自身用电需求达成的基础上，短期内降低出力水平，就把光伏出力从 100kW 调整为 80kW，优先降低功率尖峰；若新能源可实现调控的空间不足，便开始启动负荷侧需求响应，对工业可中断负荷、商业柔性负荷发布调节命令，就像引导工厂把生产负荷从 14:00 到 16:00（用电高峰时候）转移至 22:00-第二天凌晨 0 点（用电低谷），同时驱动台区储能系统开展充放电配合活动，用电高峰时段放电弥补供电缺口，于低谷时段充电储存电力，构建“源-荷-储”协同调控的闭环体系，保障在不影响用户日常用电的基础上，实时应对过载难题。

3.3 主动防御策略的性能评估指标

为科学衡量主动防御策略的实际效果，应设立多维度

评估指标体系。从预警实现的效果方面考量，核心指标含有预警准确率（正确进行预警的次数/总预警的次数，目标值要 $\geq 95\%$ ）、误报率（误报次数对比总预警次数，目标值小于 $\leq 3\%$ ）与提前预警的时间（从发出预警到预计出现过载的时间间距，目标值要求是 ≥ 15 分钟），保证预警信息既具有可靠性又有实效性。就调控效果而言，关键指标包括过载化解成功率、调控响应时间及调控成本，兼顾技术效果与经济效益，还应纳入供电质量相关指标，如电压偏差（调控前后的电压波动区间，要符合 GB/T 12325-2008 标准里的要求，也就是偏差为 $\pm 7\%$ 幅度）、频率偏差（ $\leq \pm 0.2\text{Hz}$ ），保证主动防御策略在消除过载现象的同时，不破坏台区供电的稳定性^[2]。

4 配电台区网络重配策略

4.1 网络重配的基础原理与约束条件

网络重配的核心原理是借助调整配电台区内分段开关、联络开关的通断状态，调整电网的拓扑结构，达成负荷于不同线路与变压器间的重新分派，进而缓和过载问题并改善运行效率。处于分布式能源接入场景的状态下，重配需同时顾及新能源出力的随机性，就像光伏出力随光照情况变动而波动时，需要通过拓扑调整把高出力区域的负荷移至邻近低负载线路，防止局部功率集中堆积。约束条件主要归为两类：一是技术范畴的约束，需保证线路电流不超过额定的标准值，节点电压维持在 GB/T 12325-2008 规定的 $\pm 7\%$ 范围中，同时防止在重配过程中出现孤网或者供电中断情形；二是运行相关的约束，应将开关操作次数控制在设备寿命可承受的范围内，而且单次重配这一操作的时间需小于 5 分钟，防止长时间的拓扑调整影响到供电可靠性。

4.2 网络重配的优化模型构建

网络重配优化模型把“多目标协同优化”作为核心，需兼顾处理过载情况、降低网损和把控运行开支。目标函数一般由三个维度组成：一要实现变压器负载率方差的最小化，通过算出各变压器实际负载率与平均负载率的偏差差值，判定负荷的均衡水平，应把目标值控制在 10% 以内；二是争取把网络有功损耗降至最小，以节点功率平衡方程为基础，把线路电阻、电流等参数引入损耗计算；三是把开关操作次数降至最低限度，避免频繁操作引起设备损耗及运维成本增加。把决策变量设定成开关状态，同时需要嵌入分布式能源出力的相关约束，以场景分析法生成多组光伏/风电的出力场景，把其作为模型输入方面的参数，保证优化结果在各种出力工况当中均有效，模型求解期间需采用混合整数规划方法，把离散的开关状态变量与连续的功率、电压变量协同优化，同时借助松弛技术简化运算，加大求解的效率^[3]。

4.3 重配优化算法的分类与性能对比

重配优化算法主要分为三类：常规智能算法、深度强化学习算法与启发式算法。传统智能算法中，代表类型有

遗传算法、粒子群优化算法,优势是全局搜索能力十分强,可在多种约束条件下找出较优的解,适用于非实时的离线规划场景,但存在计算用时偏长的问题,单次求解约10-15分钟,难以契合实时重配工作的需求。深度强化学习算法凭借构建台区运行环境模型,让智能体在交互中学习最优的重配策略,响应速度极快,单次决策所花时间 ≤ 1 秒,能动态应对分布式能源的出力波动,但对训练所用到的数据量要求偏高,在极端工况下整体的鲁棒性欠佳。启发式算法按照“从局部最优推导出整体最优”的思路,计算速度最快(≤ 30 秒),但易陷入局部最优解,仅适用于负荷分布均衡性较好的简单台区。

5 过载防御与重配的可视化策略

5.1 可视化需求分析:从“监控”到“决策支持”

传统台区可视化多停留在“数据监控”层面,只是展示电流、电压等基础参数,无法满足过载防御及重配的决策诉求。随着分布式能源接入该体系,需求已升级至“主动决策支持”层面:实时状态全景式呈现需求,需把光伏/风电出力、用户负荷、储能状态的数据进行汇总整合,借助动态图表直观呈现出台区的拓扑形态及过载风险点,避免因数据分散引起判断的滞后;对预警信息进行分级的需求,要把过载预警按照风险等级,同时结合历史数据标注出风险成因,像“光伏出力急剧增长+居民用电的高峰阶段”,辅助调度员迅速定位难题;重配方案对比呈现需求,要把不同重配方案的效果差异做可视化呈现,如调整开关之后负荷分布的改变情况、网损率的对比结果、操作耗费的时间,而不只是输出文字形式呈现的结果,让调度员不用具备专业算法知识就可挑选最优方案,切实达成从“查看数据”到“利用数据实施决策”的转变。

5.2 可视化关键技术与实现路径

核心技术应围绕“数据整合-直观呈现-决策辅助”搭建体系:一为多源数据融合技术,依靠边缘计算网关实现与传感设备、新能源控制器、SCADA系统的对接,实现数据格式一致,处理源荷数据的异构难题;二为地理信息系统(GIS)跟实时渲染技术,把台区的线路、变压器等设备投影至电子地图中,采用WebGL达成负载率热力图、开关状态动态更新,如闭合为绿色显示,断开为红色显示,保证拓扑变化实时清晰可见;三是决策支撑的可视化模块技术,把重配算法结果进行嵌入,采用柱状图对不同方案的过载解决率和网损降低情况作对比,用流程图展示各项操作步骤,如

“断开开关1→闭合联络开关2→储能放电补能”。实现路径分三步:先完成台区设备数据采集点的布置,每2公里线路至少有1个监测点;再搭建Web端可视化平台,分成“状态监测-预警通知-重配方案”三大模块;最后开展联合调试测验,保证数据更新的延迟 ≤ 1 秒,适配调度员借助移动端操作的需求。

5.3 典型案例分析

以某县域工业园区配电台区(有20MW光伏与5MW风电接入)为例,该配电台区曾因新能源出力波动频繁引起线路过载,采用可视化策略后成效可观:平台把15个监测点的数据做了整合,GIS地图把3条主干线路和6台变压器位置清晰地标明,过载预警借助红色闪烁的手段标记风险设备,还以弹窗形式提示“光伏出力12MW加上工业负荷18MW引发线路3过载”;重配方案模块同步拿出2种方案:方案一“调整联络开关4,转移30%负荷至线路2”,方案二“采用储能放电5MW加开关调整”,方案二过载化解时间缩短至2分钟,网损率降低4.2%,调度员借助可视化对比,直接选择方案二,执行后实时热力图呈现出线路3负载率从92%降低至75%,而且在整个执行期间无需人工核算数据,确认了可视化策略在实际场景下的实用性,尤其适配分布式能源波动阶段的快速决策需求^[4]。

6 结语

综上所述,本文针对分布式能源接入引发的配电台区过载这一问题,以破除传统治理短板为目标,先筑牢配电台区与分布式能源接入的基础理论根基,随后打造有预警机制、实时调控与性能评估的过载主动防御体系,同时对网络重配的模型及算法开展优化工作,最后塑造兼具监控与决策支持属性的可视化模块。研究为台区消除过载威胁、保障安全高效运行提供了技术渠道,同样为“双碳”目标下配电网从“事后抢修”到“事前防御”的智能化升级提供了实践借鉴,后续能进一步结合多源数据融合提升策略的适配性。

参考文献

- [1] 史宇辉.智能配电网中分布式能源接入对输配电系统的影响分析[J].信息与电脑,2025,37(16):130-132.
- [2] 周晨.考虑负荷特性的配网供电可靠性提升方法及其在新能源接入中的应用[J].电工技术,2025,(S1):601-603.
- [3] 谭贝贝,白锦强.智能电网中分布式能源接入与微电网协调控制技术[J].自动化应用,2025,66(11):141-144.
- [4] 张建昌,杜清岭,孙希德,等.化工园区电力系统中分布式能源接入的设计优化与经济性分析[J].石化技术,2025,32(06):370-372.