电力系统配网可靠性评估与优化策略研究

梁梓豪
广东电网有限责任公司佛山供电局　广东　佛山　528000

摘　要：本文以配电网可靠性的全链条管控体系为核心研究对象，首先明确配电网可靠性的核心定义、覆盖维度与差异化技术特征，从网架结构、设备运行、运维管控三个维度深度拆解影响配电网可靠性的核心诱因。在此基础上，系统梳理配电网可靠性评估的核心指标体系，对比解析法与模拟法两类主流评估方法的技术优势、适用局限与选用原则，最终针对性提出网架结构优化、设备全生命周期管控、精细化智能运维三类分层落地的可靠性提升策略。研究形成的技术框架可直接适配不同规模、不同拓扑复杂度的配电网可靠性评估与升级工作，为配电网运行效能的系统性提升提供标准化的专业技术支撑。

关键词：配电网；可靠性评估；运行优化；策略

引言：配电网作为连接主网与终端电力用户的最后一环，其运行可靠性直接决定了终端供电服务的质量与电力系统整体的运行效能。随着国内终端用电负荷的持续增长、用户对供电连续性要求的不断提升，传统配电网的架构冗余不足、设备老化严重、运维模式粗放等短板逐步凸显，局部区域的故障散发性、随机性特征持续增强，已无法适配新时期的供电服务需求。当前行业内针对配电网可靠性的优化多聚焦于单点设备改造，尚未形成覆盖“评估-分析-优化”全链路的系统性技术框架，可靠性提升的投入产出比难以达到预期。在此背景下，系统性梳理配电网可靠性的核心影响因素，构建科学适配的评估体系与分层级优化策略，对补齐配电网运行管控短板、全域提升供电服务水平具备重要的工程指导意义[1]。

1 配电网可靠性核心概述

配电网可靠性指配电网在既定运行环境与指定周期内，持续输出合格标准电能、保障终端用户供电连续性的系统性运行能力，核心覆盖供电连续性、电能质量合规性、系统运行稳定性三大维度。其研究范畴不仅包含架空线路、电缆、配电变压器、开关设备等一二次设备的全生命周期运行状态，还延伸至网架布局合理性、负荷分配均衡性、故障场景自愈响应与负荷转移能力等系统性运行特征，是衡量配电网供电服务水平的核心技术指标。

相较于输电系统可靠性管控逻辑，配电网可靠性具备鲜明差异化特征：其终端节点分布密集、线路分支层级多、底层设备基数庞大，故障呈现强随机性、空间散发性特点，单点设备故障若隔离不及时易引发连片供电异常。同时配网运行状态易受终端负荷波动、设备自然老化、极端环境扰动等多因素耦合影响，整体运行稳定性偏弱，不同时段、区域的可靠性指标波动幅度大，难以通过单一固定管控规则实现全域覆盖。开展配电网可靠性研究的核心目标，是通过标准化量化分析精准识别系统隐性短板与高风险点位，依托技术升级、网架调整、运维优化等路径，从源头降低故障概率、压缩故障影响范围、缩短故障修复时长，全面提升配电网整体运行效能与终端供电稳定性。

2 配电网可靠性影响因素分析

2.1 网架结构因素

网架结构是决定配电网基础可靠性的核心要素，其布局形式、架构冗余度、线路连接方式，直接影响配网故障传导范围、负荷转移能力与系统容错水平。当前配电网普遍存在结构形式单一、线路联络度偏低、环网架构覆盖率不足的问题，多数配电区域以辐射型网架为主体架构。该架构结构简单、组网成本低，但系统容错性能极差，单一线路、单一节点或单台设备发生故障时，无备用供电通道支撑，会直接造成对应供电区域整体停电。同时，部分配网存在供电半径过长、节点布局疏密失衡、网架冗余资源不足等问题，不仅会增加电能传输损耗、降低电能输出质量，还会大幅提升线路过载、发热、跳闸的故障概率，且故障发生后无法快速完成负荷转供，进一步扩大停电影响范围。此外，网架结构与区域负荷密度适配性不足，高负荷区域网架承载容量不足，低负荷区域网架资源冗余浪费，负荷分配与网架承载力不匹配，也是造成配电网整体可靠性偏低的重要原因[2]。

2.2 设备运行因素

配电设备是电能传输、转换、分配的核心载体，设备运行工况与性能状态是决定配电网稳定运行的硬件基础。配网设备长期处于连续运行状态，且多数户外设备暴露在

复杂自然环境中，长期运行过程中会持续出现机械损耗、电气性能衰减、绝缘能力下降等问题。变压器、断路器、隔离开关、电力电缆、架空线路等核心配电设备，运行年限越长，性能衰减越明显，随机故障发生概率显著提升，是引发配网供电异常的主要内因。同时，设备选型与实际运行工况不匹配、设备安装施工工艺不规范等问题，会导致设备长期处于过载、超工况运行状态，加速设备老化损耗，缩短设备使用寿命。部分性能落后、适配性较差的老旧设备未及时更新替换，设备抗过载、抗干扰、抗老化能力薄弱，无法适配复杂动态的负荷运行工况，进一步制约配电网可靠性水平的提升。

2.3 运行运维因素

常态化运行管控与标准化运维检修，是保障配电网长期稳定运行的重要支撑，运维管控的精细化程度直接决定配网故障防控能力。在日常运行管控过程中，部分配网存在运行数据采集覆盖不全、负荷状态监测精度不足的问题，无法实时精准掌握各线路、各节点的负荷动态变化，难以提前预判负荷失衡、线路过载等潜在运行隐患，易引发突发性供电故障。在运维检修环节，传统巡检模式存在覆盖盲区，微小隐患、隐性故障无法及时排查，长期累积后发展为系统性运行故障；同时，故障处置流程标准化程度不足，故障定位效率低、检修修复流程繁琐，会大幅延长供电中断时长。此外，传统运维模式人工依赖度较高，智能化、自动化水平不足，数据采集、隐患排查、故障处置的精准度与效率有限，无法适配复杂配电网的精细化运行管控需求，进一步降低了配电网整体供电可靠性。

3 配电网可靠性评估体系与方法

3.1 可靠性评估核心指标

配电网可靠性评估依托标准化量化指标体系开展，通过多维度指标数据，全面量化配网运行稳定水平与供电服务质量，核心指标可划分为故障频率指标、停电时长指标、综合供电质量指标三大类别。现阶段常用的核心评估指标包含系统平均停电频率、系统平均停电持续时间、用户平均停电频率、用户平均停电持续时间、供电可靠率等。其中，系统平均停电频率用于量化配电网整体故障发生的频繁程度，直观反映系统整体故障风险水平；系统平均停电持续时间用于表征配网故障排查与修复的整体效率，体现系统故障恢复能力；供电可靠率为综合性核心指标，可直观反映配网有效供电时长在整体运行时长中的占比。各类指标相互补充、相互印证，能够精准定位配电网薄弱区域、薄弱线路与薄弱设备，为后续可靠性优化方案的制定提供量化依据与数据支撑[3]。

3.2 典型可靠性评估方法

当前配电网可靠性评估已形成解析法、模拟法、指标统计评估法三类成熟通用技术方法，分别适配不同配网规模、拓扑复杂度与评估精度需求。解析法以故障模式及后果分析为核心原理，通过系统梳理配网全品类设备的故障类型、发生概率与影响范围，依托严谨数学推导完成可靠性指标计算。该方法逻辑闭环、精度可控、结果可溯源，适用于拓扑结构简单、设备规模有限的中小型配电网，可精准定位单一设备故障对系统整体的传导影响机制。模拟法以蒙特卡洛模拟为核心代表，依托计算机随机抽样算法，复现配电网长期运行中的随机故障、负荷波动与极端环境扰动场景，通过海量样本统计提取故障演化规律与可靠性参数。该方法可充分适配拓扑复杂、设备体量庞大、运行变量繁多的大型配电网，全面覆盖各类不确定运行因素，结果高度贴合实际运行状态，但其整体计算工作量大、运算周期偏长。指标统计评估法以配网历史运行台账、故障记录、运维数据为核心基础，通过标准化口径归集供电可靠率、用户平均停电时间等核心指标，结合区域历史基准值完成横纵向对标。该方法数据获取便捷、计算逻辑简便，可快速完成区域配网可靠性常态化批量核验，适配基层运维单位月度、季度常规评估场景，是当前配网日常运维中应用最广泛的基础评估方法。

3.3 评估方法对比与选用原则

解析法与模拟法具备各自的技术优势与适用局限，在可靠性评估工作中，需结合配电网实际结构特征与评估需求灵活选用。解析法的核心优势为计算精度高、原理清晰、指标数据精准，可精准溯源故障源头，适配中小型常规配电网的精细化定量评估；其局限性为对复杂多变量工况的适配性较差，无法精准模拟多因素耦合引发的复合型故障，复杂场景评估误差较大。模拟法的核心优势为兼容性强、适配场景广，可有效处理复杂拓扑、多随机变量的配网评估问题，能够高度还原真实运行场景下的故障分布规律；其局限性为计算成本较高，评估结果存在小幅随机性，需要通过扩大抽样样本量提升数据精度。在高精度评估工作中，可采用两类方法相结合的组合评估模式，兼顾评估精准度与场景适配性，实现配电网可靠性的全方位、精准化评估[4]。指标统计评估法为基层供电所常用评估方式，采取真实运行数据，不需要复杂网架仿真模型，依托现有运行台账即可开展；其局限性为只能评估现有发生的事件，不能预测未来网架改造后的可靠性，且高度依赖台账质量，如数据有异，指标直接失真。

4 提升配电网可靠性的优化策略

4.1 优化配网网架结构布局

网架结构优化是从根源上提升配电网容错能力与运行稳定性的核心举措，核心目标是完善网架架构、提升系统冗余、实现负荷与网架的精准适配。针对传统辐射型网架容错能力弱、无备用供电通道的短板，可通过完善环网架构、提升线路联络率的方式，实现相邻线路、相邻供电区域的负荷互通。当单一线路或设备出现故障时，系统可快速完成负荷转移，有效规避大范围停电问题。合理优化线路供电半径，对供电距离过长、损耗偏高、故障高发的老旧线路进行拆分与改造，缩短电能传输路径，降低线路运行负荷与故障风险。同时，结合区域负荷分布特征优化配电节点布局，针对高负荷密度区域，新增配电节点、扩容主干供电线路，提升网架承载上限；针对负荷分散、利用率偏低的区域，精简冗余架构，实现网架资源与负荷需求的精准匹配，全面提升配电网结构稳定性与抗扰动能力。

4.2 推进设备升级与状态管控

针对设备老化、性能不足、工况适配性较差引发的可靠性问题，需建立常态化设备更新机制与全生命周期状态管控体系，夯实配网硬件运行基础。对运行年限超标、性能严重衰减、故障频发的老旧变压器、电力电缆、开关设备等核心装置进行迭代替换，选用绝缘性能优良、抗干扰能力强、运行稳定性高的新型配电设备，从硬件层面降低设备故障发生概率。严格规范设备选型与安装调试流程，结合配网实际运行负荷、环境工况匹配对应型号设备，标准化设备安装、接线、调试全工序，规避施工与选型不当引发的设备隐性隐患。搭建设备全状态监测体系，实时采集设备运行温度、负荷电流、绝缘参数等核心运行数据，精准把控设备实时工况，提前预判设备老化、过载、绝缘衰减等潜在问题，实现隐患提前处置、故障提前防控，杜绝微小隐患演化成系统性故障。

4.3 完善精细化智能运维体系

依托智能化技术重构精细化运维体系，可有效弥补传统运维模式的短板，全面提升配网故障预判、隐患排查与故障处置能力。搭建全覆盖配网智能监测系统，实现线路、设备、负荷运行数据的实时采集、动态分析与异常预警，解决传统运维监测滞后、隐患发现不及时的问题。建立差异化巡检机制，结合设备故障规律、运行年限、工况状态划分设备风险等级，对故障高发设备、薄弱线路、重载区域提升巡检频次，实现隐患全方位、无死角排查。优化标准化故障处置流程，依托智能监测系统实现故障精准定位，大幅缩短故障排查耗时，建立规范化的故障检修、调试、复电流程，全面提升故障处置效率，最大限度压缩停电时长、缩小故障影响范围。通过智能化、精细化的全流程运维管控，有效降低配网故障发生率，持续提升配电网整体运行可靠性[5]。

结束语

配电网可靠性的提升并非单点改造即可完成的短期工作，而是一项覆盖网架架构、硬件设备、运维体系全维度的长期系统性工程，任何一个环节的管控疏漏都可能导致可靠性指标出现反复波动。当前配电网的运行环境仍处于动态变化状态，终端负荷的持续迭代、外部极端环境的频繁扰动，都对配电网的稳定运行提出了更高要求。只有摒弃传统的被动故障处置逻辑，将可靠性管控要求嵌入配电网规划、建设、运维的全生命周期流程中，才能从根源上压缩故障的发生空间，逐步构建高容错、高自愈、高稳定的现代化配电网体系，最终实现全域供电可靠性的持续稳步提升，为终端用户提供连续、稳定、优质的电力供应服务。

参考文献

[1]张栩睿,张威.电力系统配网可靠性评估与优化策略研究[J].电力设备管理,2026,(9):227-229.

[2]李超.光伏电力系统关键技术及优化策略研究[J/OL].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术,2026,(4):005-009

[3]朱军城.基于供电可靠性的配网不停电作业优先级策略研究[J].电气技术与经济,2026,(4):312-314.

[4]顾育滨,利业城,许智杰,等.能源转型背景下配电网可靠性提升研究[J].能源新观察,2026,(4):81-82.

[5]胡庆元,秦相博,周荣超.配网自动化在电力照明系统中的应用研究[J].中国照明电器,2026,(5):127-129.