

低压配电系统故障诊断及运维优化策略

嵇仁君

扬州三新供电服务有限公司江都分公司 江苏 扬州 225000

摘要：低压配电系统连接电网与终端用电负荷，承担电能分配与供电职能，其运行稳定性影响生产生活，故障处置不及时会引发事故和损失。当前，受运行场景差异大、非线性负荷接入、传统运维模式滞后等因素影响，故障频发，需构建标准化故障诊断体系与科学运维优化机制。本文先分析其核心构成与运行特点，明确常见故障类型及诱因；接着提出故障诊断原则、准备、流程及实用化诊断方法；最后从预防性运维、设备全生命周期管理、运维操作标准化、系统参数与结构优化、台账管理与应急处置五个维度构建运维优化策略。研究成果可为故障管控、运维升级提供支撑与指导，提升系统供电可靠性与安全稳定性。

关键词：低压配电系统；故障诊断；运维优化；配电可靠性；故障管控

引言

低压配电系统指 10kV/0.4kV 配电变压器低压侧以下的配电网，是连接电网与终端用电负荷的纽带，广泛用于各类场景。它承担电能分配与终端供电职能，运行状态影响生产生活，故障处置不及时会造成损失和安全隐患^[1]。当前其运行场景差异大，不同环境下设备工况与故障规律有别，非线性负荷接入带来新挑战。传统运维模式难适配需求，亟需建立标准化故障诊断体系与预防性运维优化机制。本文围绕故障诊断与运维优化，结合实际工况，提出技术方法与管理策略，为系统安全稳定运行提供支撑。

1 低压配电系统常见故障类型及核心诱因

1.1 低压配电系统核心构成与运行特点

低压配电系统由低压进线柜、母线槽、馈线柜等构成，核心电压等级为交流 380V/220V，主流接地系统有 TN-S、TN-C-S、TT、IT 四种。其运行特点有四点：一是负荷类型复杂，启停频繁，短时冲击负荷占比高；二是设备点位分散，运维覆盖难；三是运行环境差异大，设备老化速度和故障概率不同；四是故障影响直接，会导致用户停电，敏感负荷场景下还会引发次生损失。

1.2 核心设备常见故障类型及诱因

低压配电系统核心设备故障频发影响系统稳定，各类设备故障类型及诱因有侧重。低压开关设备常见触头烧蚀等故障，多由操作频繁等引发；电缆及线路故障占比超 40%，包括短路等，诱因有机械损伤等；保护装置常见误动作等，多由谐波干扰等引发；无功补偿装置故障表现为电容器鼓包等，诱因有过电压等；母线及配电

柜故障易致大范围停电，有母线过热等，多由接头松动等导致。各类设备故障相互关联，元件老化等是共性诱因，需针对性管控，保障系统安全稳定运行^[2]。

1.3 系统级常见故障类型及诱因

除设备本体故障外，低压配电系统还存在系统级运行故障，此类故障隐蔽性强、影响广、易引发次生设备故障。一是三相不平衡故障，由单相负荷分配不均等导致，会造成中性线过流发热等，严重时烧毁中性线与单相用电设备；二是电压偏差故障，因系统负荷波动大等引起，使末端电压超出国标允许范围，电压偏低或偏高都会影响设备；三是谐波畸变故障，由于非线性负荷大量接入，致使电网谐波总畸变率超标，引发设备过热等问题；四是接地系统故障，因接地网腐蚀等原因，导致保护装置无法正确动作，引发人身触电与设备损坏风险^[3]。

2 低压配电系统故障标准化诊断流程与实用化诊断方法

2.1 故障诊断的基本原则与前置准备

低压配电系统故障诊断遵循四项原则，保障安全、准确、高效。一是安全优先，诊断前做好停电、验电等安全措施，特殊带电检测除外，严禁带电拆解设备，低压带电检测要防护并设专人监护；二是先系统后设备，先判断是系统级还是设备级故障，隔离故障区域；三是先简单后复杂，先排查直观常见故障，再做深层次检测；四是先断电后检测，除特定带电检测项目外，设备内部检测需断电进行。同时，诊断前要做好工具和资料准备，工具需在检定有效期内，资料要准备接线图、设

备台账等。

2.2 故障标准化诊断流程

建立标准化流程可提升故障定位效率，低压配电系统故障诊断遵循六步闭环流程。第一步，采集故障信息并初步判定；第二步，隔离与缩小故障范围，避免全线停电排查；第三步，直观排查与外观检测；第四步，仪器检测与精准定位；第五步，确认故障原因并修复验证；第六步，故障记录与闭环管理，为预防性运维提供数据支撑^[4]。

2.3 不同类型故障的实用化诊断方法

2.3.1 短路故障诊断方法

短路故障典型特征有上级断路器速断保护跳闸、熔断器熔体熔断等，严重时会引起电气火灾。诊断方法：一是断电后用 500V 绝缘电阻测试仪测故障回路相间、相对地绝缘电阻，接近 $0\text{M}\Omega$ 的为短路故障回路；二是长距离电缆线路用分段测量法定位故障点；三是检查开关柜内母线等有无碳化、烧蚀痕迹，排查相间有无异物；四是受潮引发的间歇性短路故障，用 500V 绝缘电阻测试仪持续测绝缘电阻，配合红外热像仪检测局部低温点定位故障^[5]。

2.3.2 接地故障与保护装置异常诊断方法

接地故障典型特征是剩余电流动作保护器跳闸等，保护装置异常表现为 RCD 误动与拒动。诊断方法：一是排查 RCD 误动，先断开负荷侧出线开关，合 RCD 本体，若不跳闸，故障在负荷侧；逐一合出线回路，跳闸的回路有接地泄漏故障，用钳形电流表测剩余电流确认；二是排查 RCD 拒动，断电后检查接线、脱扣机构，按试验按钮，保护器不动作则更换本体元件；三是定位接地故障，用接地电阻测试仪测接地极接地电阻，线路接地故障采用分段断电法，电阻显著偏低的为故障段。

2.3.3 过热故障诊断方法

过热故障是低压配电系统隐性故障，是短路、电气火灾主要诱因，典型特征是接线端子变色等，严重时线路熔断。诊断方法：一是带电红外测温检测，系统满负荷运行时，用红外热像仪对设备全面测温，超 20K 的为异常发热点；二是断电后接触电阻检测，测发热接头接触电阻，偏大的为接触不良故障点；三是过负荷过热排查，用钳形电流表测回路负荷电流，确认是否过负荷，检查电缆敷设环境^[6]。

2.3.4 三相不平衡故障诊断方法

三相不平衡故障典型特征是中性线发热等，长期运

行会损坏设备。诊断方法：一是用钳形电流表测三相相线负荷电流，计算三相电流不平衡度，超 15% 为严重不平衡；二是测中性线电流，超过相线额定电流 25% 可确认严重不平衡；三是末端电压测量，用万用表测配电系统末端三相相电压，偏差超 $\pm 7\%$ 为电压异常。

2.3.5 谐波畸变故障诊断方法

谐波畸变故障典型特征是设备异常过热等。诊断方法：一是用电能质量分析仪测系统谐波总畸变率，低压公用电网 THD 超 5% 即谐波超标；二是分频段测各次谐波含量，确定主要谐波源位置；三是检测电容器回路，用钳形电流表测运行电流，若电流远超额定值且设备异响、过热，确认谐波致电容器过载。

2.3.6 开关设备拒分/拒合故障诊断方法

该故障典型特征是断路器无法正常分合闸，会致故障无法隔离。诊断方法：一是排查二次回路，用万用表测分合闸线圈控制电压，确认相关情况；二是排查操动机构，断电后手动操作，检查是否卡涩等，对卡涩部位清洁润滑，更换疲劳变形部件；三是排查本体故障，若手动操作无法分合闸，说明断路器触头熔焊等，需解体设备处理。

3 低压配电系统运维优化策略

3.1 基于故障规律的预防性运维体系优化

传统以故障后抢修为主的运维模式难以降低故障发生率，需建立基于故障规律的差异化预防性运维体系，实现从“被动抢修”到“主动预防”转变。一是差异化定制运维周期，根据设备负荷重要性、运行环境、故障历史、运行年限制定不同的运维周期与巡检频次，如不同负荷设备、恶劣环境设备、故障多发及接近使用年限设备有不同的巡检和检修安排。二是标准化定制预防性试验项目，针对不同类型设备制定明确必做试验项目与试验周期，贴合设备运行需求，避免无效试验，如各类设备都有各自必做试验。三是优化状态巡检核心要点，明确核心管控项，避免巡检形式化，带电巡检和停电检修有各自要点，接线螺栓紧固按规范执行并做好标记。

3.2 设备全生命周期运维管理优化

低压配电系统超 80% 故障源于全生命周期管控缺失，需建立覆盖设备选型、采购、安装、验收、运行、检修、报废的全生命周期运维管理体系以降低故障概率。一是设备选型与采购质量管控，设备选型要贴合现场环境、满足额定电流等要求，严禁采购无 3C 认证等低价设备，建立合格供应商名录并抽检。二是安装与验收标准化管控，电缆敷设、终端头和中间接头制作、配电

柜安装等要符合规范,验收开展交接试验,不合格严禁投运并留存记录报告。三是运行与报废动态管控,建立设备台账实现全生命周期可追溯,根据设计使用寿命制定更换计划,接近寿命或故障频发设备及时更换,严禁带病运行。

3.3 运维操作标准化与安全管控优化

低压配电系统超 30% 故障源于运维人员操作不规范、误操作,需建立标准化运维操作体系与全流程安全管控机制,规范操作行为,避免人为故障与事故。一是制定运维操作标准化作业指导书(SOP),针对所有运维操作制定标准化流程,明确步骤、安全要求和质量标准,如停电、送电、RCD 测试、螺栓紧固等操作都有规范流程。二是管控运维人员技能与资质,从事低压配电运维人员须持低压电工特种作业操作证,定期开展运维技能培训并考核,定期复盘故障案例。三是优化运维安全管控体系,严格执行“两票三制”,低压带电作业遵守规范,运维现场设安全围栏与警示标识,做好防触电、防电弧灼伤措施。

3.4 配电系统运行参数与结构优化

针对系统级运行故障,需从配电系统结构、运行参数、运行环境等方面优化,消除故障诱因,提升系统稳定性。一是三相负荷平衡优化,重新梳理分配现有配电系统三相负荷,控制不平衡度在 15% 以内;规划新增单相负荷均匀接入三相;为特定回路加装中性线过流保护装置。二是无功补偿与谐波治理优化,合理配置无功补偿装置,使系统功率因数稳定在 0.9 以上;为特定系统加装滤波器,控制谐波总畸变率在 5% 以内;电容器回路串联电抗器。三是系统结构与保护配合优化,优化配电系统层级结构,减少配电级数;完善保护配置,做好定值配合;为重要负荷加装双电源自动切换装置。四是运行环境优化,配电柜、配电箱安装场所要干燥、通风,户外做好防水防潮;为易凝露柜内加装除湿设备;定期清理柜内杂物。

3.5 运维台账与应急处置能力优化

一是数字化运维台账管理,建立标准化数字化运维台账,录入设备信息,实现可追溯管理;动态更新台账信息,确保准确及时;定期统计分析,为预防性运维计划调整提供数据支撑。二是应急处置能力优化,制定完善应急预案,明确流程、职责和时限;定期开展应急演练,提升人员应急与协同能力;配备充足应急物资并定期维护;建立故障快速响应机制,明确上报流程与处置时限,缩短停电时间,降低故障损失。

4 结语

综上所述,低压配电系统安全稳定运行是保障用电可靠性的基础,其故障诊断精准性与运维管理科学性决定系统运行效率与故障管控能力。本文构建诊断流程与方法,提出全流程运维策略,解决传统运维模式适配性差等问题,实现精准管控,推动运维管理转型。未来,随智能电网等技术发展,运维模式将升级。后续可结合物联网等技术搭建平台,实现实时监测与预警;持续优化算法与策略,完善差异化方案,提升系统可靠性等,为终端用电提供保障,助力电力系统发展。

参考文献

- [1] 张世坤,张磊,洪建.基于故障特征分析的低压配电系统剩余电流保护整定优化[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):119-122.
- [2] 程妍丽,毕旋宏.基于物联网的城市低压配电网自动化智能监测与故障诊断系统研究[J].今日自动化,2025(7):150-151+177.
- [3] 黄晟.配电系统故障诊断中电气自动化技术应用研究[J].信息产业报道,2026(1):0230-0232.
- [4] 薛渊源,栾萌.配电自动化系统中智能断路器的故障诊断与维护[J].消费电子,2026(1):152-154.
- [5] 张穆,王晶,赵仑.供配电系统设备运行状态监测与故障诊断技术探析[J].电力设备管理,2026(4):38-40.
- [6] 魏迪.基于人工智能的配电网故障快速定位与诊断系统研究[J].信息与电脑,2026,38(2):62-64.