

# 低压配电系统故障诊断与预防措施研究

赵国辉 巩璐 李铁

河南平高通用电气有限公司 河南 平顶山 467000

**【摘要】**：低压配电系统在运行过程中易受到环境变化、设备老化及负载波动等因素影响，故障状态往往呈现突发性与连锁性，若缺乏有效识别手段，将引发设备损坏与供电中断。围绕故障特征的提取、判别及响应路径的构建，可形成一条由监测数据驱动的诊断链条，使潜在风险在萌芽阶段被捕获。通过在关键节点设置识别阈值、健康状态指标及多维度监控信号，可使系统在早期阶段识别异常趋势，避免局部隐患演化为大范围失效。结合典型故障模式的规律性，可在运行周期中形成稳定的预防框架，对接线结构、保护配置与运行环境进行有针对性的风险抑制，使配电系统在扰动条件下保持更高的安全裕度，为持续可靠的电能供应奠定基础。

**【关键词】**：低压配电系统；故障诊断；预防措施；运行安全；风险抑制

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.072

## 引言

低压配电系统承担着能源传递的基础环节，每一次电流波动、每一处接触状态变化都可能影响整体运行。处于各种电气设备与复杂环境的交汇处，其隐患往往以微小迹象最先出现，而这些迹象若未及时识别，可能在短时间内转化为连锁性故障。随着负载类型不断丰富，电能质量波动愈加频繁，系统表现出的异常特征变得多元且难以凭经验判断。对故障形成机理的深入理解能够让监测信号具备更高解释力，也让预防举措具备更强针对性。通过把握故障从孕育到爆发的关键节点，可使配电系统在复杂运行条件下保持更稳健的状态，为后续内容建立必要的逻辑起点。

## 1 低压配电系统故障隐患的呈现规律

### 1.1 外部环境干扰引发的异常特征

低压配电系统在开放式或半开放式环境中运行，温度、湿度、灰尘、腐蚀性气体以及机械振动等因素都可能在无声无息间改变电气部件的工作状态。湿度升高会造成绝缘性能下降，灰尘堆积会导致散热效率减弱，腐蚀性物质则会影响金属部件的接触质量，使导电路径出现细微变化。这些变化在早期往往难以被察觉，却会直接影响电流流动的稳定性，使局部区域出现轻微过热、电压偏移或零星闪络<sup>[1]</sup>。随着干扰因素持续作用，异常特征逐渐扩大，可能演变成短路、接地不良或保护装置误动作等严重问题。通过对这些外部因素引发的微小异常进行合理识别，可更准确地判断系统健康状态，为后续诊断奠定基础。

### 1.2 设备状态衰减导致的潜在风险

长期运行使低压配电系统中的导线、绝缘材料、开关触头以及连接件逐步出现老化现象，内部结构的性能衰减往往以极为缓慢的方式展开。绝缘层的介电强度下降会在高负荷时暴露弱点，触头表面因氧化而增大的接触电阻会引发局部发热，机械部分的磨损则可能造成动作迟滞或不到位。各种衰减迹象单独存在时影响有限，而当多种因素叠加时，系统内部的稳定平

衡被打破，形成隐蔽的风险积累区。在特定负荷冲击或环境扰动下，这些潜在问题会迅速集中爆发，表现为异常电流、电压波动或保护系统频繁动作。识别设备衰减过程中的微小变化，使状态监测更具前瞻性，是降低故障概率的关键环节。

### 1.3 负载波动带来的不稳定因素

随着现代配电系统接入的负载类型日益多样，电流变化模式呈现更高的随机性与不规律性。感性负载在启动时会产生明显的冲击电流，非线性负载会导致谐波含量增加，周期性波动的设备会使系统呈现动态压力变化。这些复杂的负载行为对导线、开关以及保护装置造成频繁冲击，使系统运行处于不断调整的状态。若负载波动在较短时间内出现多次叠加，系统可能出现过电流、过电压或电能质量下降等问题，继而引发发热、振荡甚至局部失效。在负载密集区域，这种不稳定性尤为明显，系统对异常变化的容忍度随之下降。对负载波动趋势进行合理分析，有助于掌握系统运行节奏，为故障诊断和风险抑制提供有效依据。

## 2 典型故障模式的特征提取路径

### 2.1 电气量波动信号中的关键迹象

低压配电系统在运行中会不断产生电流、电压、频率等多种电气量信号，其变化轨迹蕴含着故障形成的早期线索。当导线局部发热、接触不良或绝缘性能下降时，电流波动往往呈现周期性偏移或异常尖峰；当负载分布出现不平衡时，电压曲线常会出现轻微下陷或短暂抬升；当非线性负载占比过高时，频率及谐波成分中会出现特定的畸变模式<sup>[2]</sup>。通过观察曲线形态、幅值变化速度以及波动持续时间，可将这些隐性迹象从大量信号中分离出来。电气量的变化看似瞬态，却能在故障萌芽阶段表现出独特特征，只要掌握这些规律，就能为后续诊断提供明确方向，使问题在成形前得到关注。

### 2.2 结构性故障的辨识特征

结构性故障往来源于系统内部的物理变化，包括连接部

件松动、触头磨损、导线受力不均或绝缘层破损等，这类问题在电气量尚未显著变化之前便已经存在。其特征通常通过温升分布、材质退化迹象、机械动作偏差以及局部放电现象表现出来。在开关操作频繁的场景中，触头表面的磨蚀会引起电弧痕迹，从而形成不稳定接触；在长时间受热或受潮区域，绝缘层的表面颜色与纹理会发生细微改变；在振动明显的环境中，固定件松动会导致轻微移位，使电气连接变得不稳定。通过对这些物理变化进行细致观察，可在电信号波动出现前识别出结构性的异常脆弱点，使隐患能够在较早阶段暴露出来。

### 2.3 多因素耦合条件下的诊断切入点

配电系统中的故障成因往往并非单一变量，而是在环境、设备、负载与运行状态多重耦合作用下形成。某一电气量变化可能同时受到温度上升、负载突变与接触面老化影响，使诊断路径变得复杂。有效的切入点通常来自对数据关联性的分析，将不同信号之间的同步变化、时间先后关系以及幅值对应模式加以整理。例如，在温升增加与电流轻微偏移同时出现时，可能指向接触电阻上升；在谐波分量增长伴随设备局部发热时，可能指向非线性负载影响加剧；在机械组件动作延迟与电压短暂波动同时出现时，可能牵涉结构疲劳与电气变化共同叠加。通过抓住这些交叉点，可使诊断更具针对性，让复杂因素之间的关联得到清晰呈现，有助于快速锁定故障源头。

## 3 故障诊断体系的构建逻辑

### 3.1 监测链条的关键节点设置

构建有效的监测链条需要在系统运行路径上选取能反映状态变化最敏感的位置，使故障迹象在最初阶段便能被捕获。电源进线处能够反映整体负荷趋势与外部影响，支路出线点能呈现分配过程中的变化特征，关键设备的输入与输出端则能揭示局部异常的形成过程。温度、振动、局部放电、接触电阻等非电气量监测点同样具备重要价值，可为判断隐性问题提供额外维度<sup>[3]</sup>。将这些节点串联成连续监测链条，可形成从主源到末端的完整感知路径，使任何异常变化都能在系统内部获得对应位置的反馈。通过这种布局方式，配电系统的状态不再依赖单一信号，而是通过多个节点的联动信息呈现出更全面的结构，使故障诊断具备更高的准确性与前瞻性。

### 3.2 异常判别规则的构成方式

为了让监测链条发挥实际价值，需要制定能够识别动态变化规律的判别规则，使系统在运行中不断区分正常波动与潜在异常。电压、电流、温度等量值在不同工况下存在各自的波动范围，通过对历史运行数据与实际负荷变化趋势的对比，可以提炼出稳态区间、可容忍偏移区间以及异常预警阈值。判别规则不仅依赖单一数值，还包括波形形态、变化速率、持续时间与信号之间的联动关系。例如，短时突变与长期偏移属于不同类型的异常，谐波增长与温升升高之间的关联也能构成重要参

考依据。通过建立这一套可随场景调整的判别体系，系统在面对复杂运行变化时能够保持敏锐感知，使异常在扩散前被识别并锁定。

### 3.3 诊断结果的响应流程衔接

诊断体系不仅需要识别异常，还需使结果能够在系统内部形成连续的处理流程，使信息转化为实际动作。轻度偏移可进入观察阶段，通过持续监测确认其是否具备发展趋势；中度异常应触发运行调整，例如负载重新分配或设备降载运行；严重异常则需要直接切断相关回路或开启备用线路，以避免隐患扩大。响应流程的设计依赖清晰的优先级划分，使不同级别的异常都能获得对应的处理路径。通过将诊断结果与控制策略联动，系统能够以最短时间对异常做出反应，减少人工干预带来的延时与不确定性。信息在监测、判别与执行之间形成流畅衔接，使故障管理具备更强的系统性与实时性，为整体运行提供稳定保障。

## 4 风险抑制与预防机制的实施重点

### 4.1 运行状态的稳定化措施

维持低压配电系统的稳定运行，需要让电气量在可控范围内呈现平稳变化，使任何负荷波动、环境变化或设备状态差异都不会轻易打破其运行平衡。电流与电压的动态变化若能保持在可预测区间内，系统内部的导线、开关和保护装置便可在既定节奏下协同工作<sup>[4]</sup>。通过对负荷进行合理分配，可使不同支路的压力趋于均衡，避免局部过载引发连锁反应；借助实时监测对温度、电能质量、波形畸变等指标进行分析，可让不稳定迹象在萌芽状态便得到关注。运行方式的调节同样具有重要意义，适当控制开关操作频率、调整运行时间段的负荷节奏，能够有效降低突发冲击带来的压力。系统在长期稳定运行中形成的规律性越强，对外界刺激的承受能力就越高，稳定化措施便能够从根本上削弱故障形成的条件，使运行状态保持可预期与可控制的格局。

### 4.2 关键部件的健康维护策略

关键部件的可靠程度直接决定整体系统的安全裕度，因此在运行周期中需要围绕其健康状态开展持续维护。导线的绝缘层、开关触头的金属表面、连接端子的紧固程度以及母线结构的稳定性，都可能因时间、温度、湿度和电气冲击而逐步产生变化。通过周期性检测接触电阻、温升分布及动作灵敏度，可让性能衰退以量化方式展现出来，使判断更加直观。处于高负荷区域的部件，应在运行前后进行针对性检查，以便及时发现颜色变化、细微裂纹、局部发热等迹象；处于振动或温差较大的环境中，其固定结构与绝缘边界更需持续关注。健康维护并非单纯的更换作业，而是一种基于状态变化的调控，通过对趋势的捕捉与对微弱异常的识别，使关键部件始终保持在可靠范围内，避免其成为系统故障的引爆点。

### 4.3 外界干扰条件下的风险削减路径

外界环境的变化往往无法完全控制，但可以通过一系列路径将其影响降至最低，使系统在面对复杂外部刺激时保持稳健结构。高湿度环境会影响绝缘性能，通过加强密封与通风，可使内部湿度保持在安全区间；粉尘与腐蚀性气体积累会损伤金属表面，通过采用防护涂层与定期清洁，可减轻材料退化速度；温度剧烈变化会使部件承受额外热应力，通过设置合理的散热结构与缓冲区，可降低温度波动带来的风险。在存在强电磁干扰或机械振动的场景中，屏蔽措施与固定结构的强化能让外界扰动无法直接影响系统内部的电气连接与信号传输。外界因素无法完全避免，但可通过降低敏感性、增强结构抗扰度与补充监测维度，使系统在恶劣环境中仍能保持稳定运行轨迹，使风险在进入系统前便得到削弱。

## 5 低压配电系统安全运行的综合提升方向

### 5.1 故障规律与诊断成果的统一认知

在长期运行过程中，低压配电系统呈现出的故障迹象往往具有共通性，而诊断过程中获得的各类数据信号也反映出其内部状态的演变规律。将两者统一起来进行理解，有助于构建更连贯的系统认知框架。故障往往从细微波动和轻度异常展开，通过对电流、电压、温升以及波形形态的综合分析，可以逐步描绘出异常发展的轨迹<sup>[5]</sup>。当这些现象与历史案例、典型模式以及结构变化相对应时，系统的反应规律就会变得更加清晰。诊断成果不仅是对个别问题的说明，更是对整个系统运行逻辑的再认识。通过把故障规律与分析结果形成统一逻辑，让技术人员在面对复杂问题时更具判断基础，使诊断过程不再依赖单一经验，而是建立在可验证、可对照的认知体系上，让故障处理更精准、更具连续性。

### 5.2 预防机制与运行实践的融合强化

有效的预防措施若无法与日常运行紧密结合，将难以形成持续稳定的防控效果。低压配电系统在不同运行阶段呈现出的

压力、温度变化与负荷分布各不相同，使预防机制需要具备适应实际场景的能力。运行实践中积累的大量状态信息，为预防机制的完善提供了动态参考，使风险识别与控制不再停留在固定模式，而能根据现场情况不断调整。预防措施在实施中也需要与操作规范相互匹配，例如开关操作节奏的掌控、设备巡检方式的选择、负荷切换时机的判断，都与风险抑制效果直接相关。当预防机制与运行习惯融为一体，通过制度、流程与经验共同约束设备运行方式，整个系统便能形成稳定的自我保护能力，使潜在故障难以在无监控的情况下积累与发展。

### 5.3 系统安全裕度的持续保持要点

安全裕度体现着系统对外界刺激和内部扰动的承受能力，其保持过程需要在运行、维护与环境控制等多个方面形成协同关系。电气量在承载变化时应保持足够余量，使短时波动不会立即触及极限值；关键设备在性能下降的早期就应得到关注，使衰退过程不会影响整体运行稳定性；运行环境也需保持可控，使温度、湿度与污染度等因素不会强化潜在隐患。安全裕度的保持并非静态过程，而是在不断变化的运行条件下进行动态调节。通过持续监测关键节点、分析趋势变化与调整运行策略，可让系统始终处于稳健区间。越是复杂的负荷结构与环境条件，越需要让裕度保持富有弹性，使系统能够在突发情况下依然保持结构完整与功能连续，让风险在尚未扩大前便失去影响空间。

## 6 结语

低压配电系统在长期运行中呈现出由环境、设备与负载共同作用的复杂变化轨迹，各类隐患往往在微弱信号中提前显现。对故障特征的识别、诊断逻辑的建立以及预防路径的实施，使系统具备更强的稳定性基础。运行状态的调控、关键部件的维护以及环境干扰的削减，共同构成安全运行的重要支撑。将故障规律与实践经验不断融合，可使配电系统在多变条件下保持稳健结构，使隐患难以发展为影响供电连续性的重大问题。

## 参考文献：

- [1] 薛天军.用电工程中节能技术在低压配电系统的应用[J].电力设备管理,2025,(23):225-227.
- [2] 谢嘉琪.智慧建筑背景下低压配电系统的数字化设计研究[J].山西建筑,2025,51(23):124-127.
- [3] 戴杰.电气工程低压配电系统安装调试要点及质量管控措施研究[J].电力设备管理,2025,(19):205-207.
- [4] 纪春晓,李世友,邹伟业.低压配电系统的施工与维护研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(09):68-70.
- [5] 左慧芳,闫浩浩.低压配电系统漏电保护技术的应用策略与发展趋势[J].光源与照明,2025,(08):184-186.