

# 电力设备故障维修与预防技术研析

张黄河 赵龙

连云港市港圣开关制造有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17504

**[摘要]** 为提升电力设备运行可靠性、降低故障损失,本文以电力设备故障维修与预防技术为研究对象,分析故障模式与分类,涵盖机械、电气、热故障及环境与人为因素引发的故障,并剖析物理失效、化学失效等机理。在此基础上,阐述事后维修等四类维修策略、相关技术方法及工具,梳理设计至预防性维护计划四阶段的预防技术,最后提出全生命周期管理等协同优化路径。研究可为电力设备运维提供技术参考,助力实现设备安全运行与成本效益平衡。

**[关键词]** 电力设备; 故障维修; 故障预防; 协同优化

中图分类号: TM507 文献标识码: A

## Analysis of Power Equipment Fault Maintenance and Prevention Technologies

Huanghe Zhang Long Zhao

Lianyungang Gangsheng Switch Manufacturing Co., Ltd.

**[Abstract]** To enhance the operational reliability of power equipment and reduce fault-related losses, this paper takes power equipment fault maintenance and prevention technologies as the research subject. It analyzes fault modes and classifications, covering mechanical, electrical, thermal faults, as well as faults induced by environmental and human factors, and examines mechanisms such as physical and chemical failure. On this basis, the paper elaborates on four types of maintenance strategies, including reactive maintenance, along with related technical methods and tools, and outlines preventive technologies across four stages from design to preventive maintenance planning. Finally, collaborative optimization approaches such as full lifecycle management are proposed. This study provides technical references for the operation and maintenance of power equipment, contributing to achieving a balance between equipment safety and cost-effectiveness.

**[Key words]** Power Equipment; Fault Maintenance; Fault Prevention; Collaborative Optimization

### 引言

电力设备作为电力系统的核心构成,其运行状态直接关乎电力供应的质量与稳定性。在实际运行过程中,电力设备会受到机械磨损、电气老化、热效应以及复杂环境等多重因素的影响,进而产生各种故障。这些故障不仅会降低设备的性能和使用寿命,还可能引发严重的电力系统事故,造成巨大的经济损失和社会影响。因此,深入研究电力设备故障维修与预防技术具有重要的现实意义。

### 1 电力设备故障模式与分类

#### 1.1 常见故障类型

机械故障多表现为磨损、断裂和变形。设备运行时,运动部件长期摩擦导致表面材质逐渐损耗,磨损加剧会影响部件配合;高强度负载或频繁启停产生的冲击,可能使部件结构断裂;环境温度波动大或部件受力不均,还会造成形状改变,轴承和齿轮是机械故障的典型发生对象。电气故障主要包括短路、绝缘老化

和接触不良<sup>[1]</sup>。线路绝缘层因长期使用或外界损坏出现破损,会使电流异常导通形成短路;绝缘材料受温度、湿度影响性能逐渐衰退,导致绝缘效果下降;电气连接部位松动或氧化,会阻碍电流正常传输,电缆和开关常受这类故障影响。热故障以过热和散热失效为主要表现。设备运行产生的热量若因散热系统问题或负载超标无法及时散发,会导致局部温度异常升高;散热失效可能源于散热部件损坏或通道堵塞,变压器和电机较易出现热故障。环境与人为因素也会引发故障。潮湿、酸碱环境会腐蚀设备部件,破坏结构;粉尘、油污附着会影响设备散热和部件运转;操作人员未按规范操作,可能直接损坏设备。

#### 1.2 故障机理分析

物理失效与材料性能变化相关。部件长期承受周期性载荷会产生疲劳,强度逐渐下降最终损坏;环境中的水、化学物质与部件接触,会引发腐蚀改变部件外观和性能。化学失效由物质成分变化导致。金属部件与氧气接触发生氧化,形成氧化层影响性

能; 电解质环境中还可能出现电化学腐蚀, 加速部件损坏。电气应力是电气故障的重要原因。电网电压波动产生的过电压、设备负载异常导致的过电流, 都会超出设备耐受范围, 损伤电气部件。复合型故障由多种因素共同作用形成。机械结构损坏可能影响电气系统运行, 比如机械部件卡顿导致电机负载异常; 电气故障产生的异常热量, 也会加剧机械部件磨损或变形, 不同故障相互影响形成复杂状态。

## 2 电力设备故障维修技术

### 2.1 维修策略分类

事后维修是设备故障发生后开展的修复作业, 聚焦快速恢复设备功能, 无需提前规划监测与维护流程。这种方式适用于非关键设备, 此类设备停机不会对整体电力系统造成严重影响, 维修成本较低且不会浪费过多资源。定期维修以固定时间周期为依据, 按预设计划更换易损部件或全面检修。无论设备当前运行状态如何, 都将在预设时间节点执行维护操作, 通过主动干预降低故障发生概率, 适用于运行规律明确、磨损程度易预判的设备。状态维修依托实时监测数据掌握设备运行状态, 当监测指标出现异常趋势或接近故障阈值时启动维修流程, 实现按需维护, 既避免过度维修的资源浪费, 又能精准应对潜在风险。预测性维修借助数据分析挖掘设备运行数据中的故障征兆, 提前预判故障发生时间与部位, 为维修计划制定提供精准依据, 最大程度减少非计划停机对生产运营的影响。

### 2.2 维修技术方法

机械维修核心包括更换磨损件、表面处理和动平衡调整。针对长期运行导致的部件磨损, 直接更换性能衰退的零件恢复设备机械功能; 通过打磨、喷涂等表面处理方式修复部件腐蚀或损伤部位, 延长使用寿命; 对旋转部件进行动平衡调整, 消除运行过程中的振动异常, 确保设备平稳运转。电气维修主要涉及绝缘修复、接触点清洁和参数校准。当设备绝缘性能下降时, 采用缠绕绝缘带、更换绝缘部件等方式恢复绝缘效果; 清理电气连接部位的氧化层和污渍, 提升接触导电性, 避免接触不良引发故障; 通过专业仪器调整设备电气参数, 使其符合运行标准, 保障电气系统正常工作。热管理维修聚焦散热系统优化和冷却介质更换。检查散热装置运行状态, 清理散热通道堵塞物, 优化散热结构提升散热效率; 定期更换老化、变质的冷却介质, 保证冷却系统换热效果, 防止设备因过热导致性能下降或故障。综合维修强调多学科协同作业, 针对复合型故障, 整合机械、电气等专业技术力量, 开展联合调试和维修。通过各专业协同配合, 全面排查故障根源, 制定综合维修方案, 确保设备各系统协调恢复正常功能。

### 2.3 维修工具与设备

维修工具与设备是维修工作的重要支撑。便携式检测仪器如红外测温仪可快速检测设备表面温度分布, 及时发现过热隐患; 振动分析仪能够捕捉设备振动信号, 判断机械部件运行状态, 为故障定位提供数据支持。在线监测系统通过部署传感器收集设备电压、电流、温度等参数, 借助数据传输网络将信息上传至

监控平台, 工作人员可远程实时掌握设备运行情况, 及时发现异常。专用维修工具中液压拉马可安全高效拆卸轴承、齿轮等紧配合部件, 避免暴力拆卸对部件造成二次损伤。高压试验设备能够对电气设备绝缘性能进行检测, 精准判断设备绝缘状况, 为后续维修提供可靠依据<sup>[2]</sup>。还有万用表能精确测量电压、电流等参数, 助力维修人员精准定位电气故障点, 起子等常用工具可快速完成部件拆装, 保障维修准确性与高效性。

## 3 电力设备故障预防技术

### 3.1 设计阶段预防

冗余设计通过设置双回路或备用模块提升设备可靠性, 备用系统切换响应时间控制在毫秒级, 当主回路或核心模块出现异常时, 可快速投入运行, 避免整体设备因单一部件失效而停机。材料选型优先选用耐腐蚀、高绝缘性能的材质, 这类材料能抵御环境中酸碱物质侵蚀, 耐受-40℃至80℃的温度波动, 减少电气绝缘层老化速度, 从源头降低故障发生概率。结构优化重点完善散热通道和应力分散设计, 合理规划设备内部散热路径, 搭配铝制散热片或散热风扇等高效散热元件加快热量排出, 通过调整结构布局分散部件受力点, 避免局部应力集中导致的机械损伤。

### 3.2 制造与安装阶段预防

工艺控制严格把控焊接质量和装配精度, 焊接过程中采用超声波检测等专业手段确保焊缝饱满、无虚焊, 焊接强度需达到母材强度的较高水平, 满足设备长期运行的结构承载需求, 避免因焊接缺陷引发结构松动; 装配时借助千分尺、百分表等精密仪器精准控制部件配合间隙, 误差不超过0.02mm, 保证设备运行时各部件协同运转<sup>[3]</sup>。环境适应性测试模拟不同温湿度、振动条件下设备运行状态, 持续监测电压、电流等关键参数变化, 检验设备在极端环境中的稳定性, 提前发现可能因环境因素导致的故障隐患。标准化安装流程规范接地和布线操作, 按照统一标准完成接地连接, 使用接地电阻测试仪检测确保接地电阻符合要求, 同时合理规划线路布局, 避免线路杂乱引发的短路或信号干扰问题。

### 3.3 运行阶段预防

状态监测技术包含振动分析、油液分析和局部放电检测。振动分析通过监测轴承、齿轮等旋转部件的振动频率和幅值, 结合历史数据对比判断部件是否存在磨损或松动; 油液分析检测油液中磨损颗粒的数量和尺寸, 搭配油液黏度、酸值等理化指标分析掌握设备内部部件磨损程度; 局部放电检测可及时发现绝缘层局部击穿隐患, 评估设备绝缘状态。环境控制注重温湿度调节和清洁维护, 通过恒温恒湿设备或通风系统控制运行环境温湿度, 将相对湿度稳定在40%至60%之间, 防止凝露对电气部件造成腐蚀; 定期使用高压空气喷枪、无尘布等专用清洁工具清理设备表面及内部粉尘、污垢, 避免污染物影响设备散热和电气性能。操作规范优化涵盖负载管理和启停策略, 根据设备额定参数合理分配负载, 确保实际负载处于额定值范围内且留有安全余量, 避免长期过载运行; 采用软启动和梯度加载方式

控制设备启停,减少启停过程中电流、电压波动对设备的冲击损伤。

### 3.4 预防性维护计划

定期巡检与测试包含绝缘电阻和接地电阻检测,按照固定周期使用绝缘电阻测试仪、接地摇表等专业仪器检查设备绝缘性能和接地系统可靠性,记录检测数据并与标准值比对,及时发现绝缘老化或接地不良问题。易损件周期性更换针对滤网、密封件等使用寿命较短的部件,根据设备运行时长和环境条件确定更换周期,滤网每3个月更换一次,密封件每6个月检查更换,提前更换性能衰退部件,避免因易损件失效引发连锁故障。数据驱动的维护周期调整通过收集设备运行数据和维护记录,运用大数据分析工具挖掘设备实际损耗规律,动态调整维护时间间隔,使维护计划更贴合设备实际运行状况,提升预防效果。

## 4 维修与预防技术的协同优化

### 4.1 全生命周期管理

全生命周期管理贯穿设备从设计到报废的完整流程,重点实现各阶段维护策略的紧密衔接。设计阶段确定的预防方案需与后续制造、运行、维修环节的技术要求相匹配,避免因前期设计与后期维护脱节导致故障隐患。例如设计阶段选用的特殊材质,需在运维阶段制定对应的检测与维护方法,确保材质性能长期稳定。成本-效益分析是全生命周期管理的核心环节,需综合评估维修投入与故障损失的关系,涵盖备件采购、人工成本、停机损失等多方面因素。通过合理分配预防维护资源,在保障设备可靠运行的前提下,控制维护成本,避免过度投入造成资源浪费,同时减少因故障停机带来的生产损失,实现经济与技术效益的平衡。

### 4.2 智能化技术应用

人工智能技术为维修与预防协同提供高效支撑,可实现故障模式识别与剩余寿命预测。通过训练算法学习大量设备故障数据,能够快速识别设备运行中的异常特征,精准判断故障类型;基于设备实时运行参数与历史损耗规律,可预测部件剩余使用寿命,为预防性维修提供精准时间依据,尤其适用于大型变压器、高压电机等关键设备。数字孪生技术通过构建虚拟设备模型,对设备运行状态进行仿真模拟。虚拟模型可同步反映实体设备的参数变化,提前模拟不同工况下可能出现的故障,辅助制定

针对性预防方案,同时可在虚拟环境中测试维修方案的有效性,降低实体设备维修风险<sup>[4]</sup>。大数据分析技术聚焦历史故障模式挖掘,通过整合设备长期运行数据、维护记录、故障案例等信息,挖掘故障发生的潜在规律与影响因素,为优化预防策略、调整维修周期提供数据支撑,提升技术协同的科学性。

### 4.3 人员与组织管理

维修人员技能培训需注重多学科交叉能力培养,采用理论授课与实操演练相结合的方式,由于设备故障常涉及机械、电气、热管理等多个领域,维修人员需掌握跨学科技术知识,能够综合分析故障成因并实施协同维修。培训内容可结合实际案例,强化人员对维修与预防技术结合应用的理解,提升解决复杂故障的能力。跨部门协作机制是技术协同的组织保障,需建立设计、运维、采购部门的联动体系,定期召开协同会议共享信息。设计部门需及时向运维部门传递设备设计细节与潜在风险点,运维部门反馈设备运行中的故障信息,为设计优化提供依据;采购部门则需根据设计与运维需求,选择符合质量标准的部件与材料,确保各环节技术要求一致,形成维修与预防技术协同的闭环管理。

## 5 结束语

电力设备故障维修与预防技术的研究,对于保障电力系统的稳定运行具有不可替代的作用。通过全面且深入地分析故障模式与机理,能够为维修和预防工作提供坚实的理论基础。合理运用各类维修策略、技术方法以及预防技术,并结合全生命周期管理、智能化技术应用和人员与组织管理等协同优化措施,可以有效降低电力设备的故障发生率,延长设备的使用寿命,提高电力系统的运行效率和可靠性,从而推动电力行业的持续健康发展。

### [参考文献]

- [1]李奇峰.电力设备故障维修预防技术研究[J].电力设备管理,2023(9):283-285.
- [2]王盛厅,维育宏.配电网电力设备故障维修技术[J].中国科技信息,2022,(01):54-55.
- [3]徐盛,温积群.电力设备故障维修与预防技术研究[J].中国设备工程,2022(20):87-89.
- [4]王熙.配电网的常见故障及维修措施探析[J].电力系统装备,2024(4):136-138.