

电气设备故障诊断与维护技术

王 超

山东太古飞机工程有限公司 山东 济南 250101

摘 要：本文系统梳理电气设备常见故障的形成机理与分类特征，从感官初筛、仪器量化检测到智能状态监测三个维度，构建覆盖显性故障排查与隐性隐患预判的全链条诊断技术体系，同步配套清洁运维、老化部件管控、参数定期校验三类常态化维护技术，形成从故障溯源到前置防控的完整技术框架，可为工业场景下电气设备运维人员提供标准化实操指引，有效降低非计划停运概率，延长设备全生命周期服役时长。

关键词：电气设备；故障诊断；设备维护；技术

引言：在工业生产与城市供能系统中，电气设备的稳定可靠运行是保障生产连续性与用电安全的核心基石。当前集成化、自动化电气系统的复杂度持续提升，传统“事后抢修”的运维模式已无法适配高可靠性运行要求。本文结合现场运维实践经验，系统拆解电气设备故障的累积演化规律，梳理不同层级的故障诊断技术路径与常态化维护规范，为构建主动式、预防性的现代电气运维体系提供可落地的技术参考。

1 电气设备常见故障类型及成因

电气设备故障的产生具有长期性、累积性特征，多数故障并非突发形成，而是元器件损耗、运行状态异常持续累积的结果。结合电气设备的运行原理与结构特点，可将常见故障分为电气故障、机械故障、绝缘故障三大类，各类故障的表现形式与形成机理存在明显差异。（1）电气故障直接作用于设备的电能传输与转换回路，核心诱因是电参数偏离额定运行区间。接触类故障多由接线端子长期受交变应力作用，接触面氧化膜逐步增厚，回路接触电阻持续上升，引发局部过热，进一步加速接触点劣化。绕组类故障多源于长期过载、谐波侵入或缺相运行，使导体电流密度超出设计允许值，焦耳热持续累积破坏绕组绝缘层。半导体、电容等元件的击穿故障，多由操作过电压、雷电过电压瞬时冲击引发，元件内部介质场强超过耐受阈值，直接造成回路导通或断路失效。（2）机械故障集中于设备的运动与支撑结构，轴承类故障多因润滑介质长期受高温、粉尘影响发生劣化，滚动体与滚道摩擦系数持续升高，引发振动烈度超标、运行异响，严重时出现卡涩停机。传动部件的啮合偏差多由长期交变载荷作用下的齿面磨损、配合间隙超标引发，直接降低传动精度，增大运行附加载荷。紧固件松动则是长期电磁振动与外部机械冲击共同作用的结果，预紧力逐步衰减，引发部件相对位移，扩大设

备运行偏差。（3）绝缘故障是引发设备非计划停运的核心诱因，绝缘材料在电场、温度、湿度多因素长期协同作用下，介电性能逐步劣化，绝缘电阻持续下降，介质损耗参数异常升高。若绝缘内部存在初始气隙缺陷，局部电场强度超过起始放电值，会引发持续性局部放电，逐步侵蚀绝缘结构，最终造成绝缘击穿，引发接地或短路事故^[1]。

2 电气设备主要故障类型

2.1 电气性能故障

电气性能故障是电气设备最常见的故障类型，主要指设备电路、电气参数、供电状态出现异常，导致设备无法正常工作。此类故障主要包括短路、断路、过载、电压电流异常、接触不良等问题。其中，短路故障多由线路绝缘层破损、元器件击穿、线路搭接异常导致，会造成回路电流瞬间激增，引发设备保护装置动作、设备停机；断路故障主要源于线路断裂、接线端子松动、元器件烧毁开路，直接导致设备回路不通，无法启动运行；过载故障多为设备长期超负荷运行、负载匹配不合理所致，会引发设备发热异常、元器件加速老化；接触不良故障集中出现在接线端子、开关触点、母线连接处，长期振动、氧化腐蚀会导致接触电阻增大，引发局部发热、电弧放电等异常现象^[2]。

2.2 机械结构故障

多数电气设备兼具电气控制与机械传动结构，断路器、接触器、电机、变压器等设备的机械结构故障频发，直接影响设备电气功能的正常实现。常见的机械故障包括传动卡滞、部件磨损、弹簧疲劳、转轴偏移、紧固松动等。设备长期运行产生的持续振动，会导致机械连接部位松动、零部件磨损变形；频繁启停作业会造成弹簧、卡扣、传动构件疲劳失效，引发设备动作卡顿、合闸分闸不到位、电机转轴偏心等问题。机械结构故障初期多为轻微

动作异常,无明显电气参数变化,隐蔽性较强,长期累积会引发电气联动故障,造成设备整体失效。

2.3 绝缘性能故障

绝缘性能是保障电气设备安全运行的基础,绝缘故障属于高危隐性故障,对电气设备运行安全影响极大。电气设备的线路、绕组、壳体均配备绝缘介质,长期运行过程中,受高温烘烤、潮湿侵蚀、粉尘堆积、老化氧化等因素影响,绝缘介质会出现硬化、开裂、受潮、漏电等问题,导致绝缘电阻下降、绝缘强度降低。轻微绝缘故障会引发设备轻微漏电、局部放电,严重时会造成绝缘击穿、设备短路、对地放电,不仅损坏设备元器件,还会破坏整个电气回路的运行稳定性。绝缘故障发展过程缓慢,常规外观检查难以识别,是电气设备隐患排查的重点与难点^[3]。

3 电气设备常用故障诊断技术

3.1 感官诊断技术

感官诊断技术是电气设备运维体系中应用最广泛的基础排查手段,完全依托运维人员的五感经验完成非介入式状态筛查,无需额外搭载精密检测设备,可在不中断设备常规运行的前提下完成初步巡检,是日常周期性运维、突发故障初判环节的核心操作方法。在实际应用中,视觉诊断除基础外观排查外,还可同步识别仪表指针偏移、状态指示灯异常亮灭、绝缘介质渗漏变色、熔丝熔断形态差异等细节特征,通过熔丝的熔断状态快速区分过载、短路、虚接等不同故障诱因;听觉诊断可借助螺丝刀、金属探杆等简易工具传导振动信号,精准区分正常均匀运转声与局部放电、轴承磨损、铁芯松动、绕组匝间短路等异常声响,结合负载变化、温升波动进一步锁定异响来源;触觉诊断严格遵循安全操作规范,仅在设备断电或保持安全距离的前提下,感知接线端子、电机壳体的温升与振动幅度,快速识别接触不良、轴承卡滞等隐性早期隐患;嗅觉诊断可精准捕捉绝缘材料受热分解、元器件击穿产生的特殊焦糊气味,在故障萌芽阶段预判过热烧损风险^[4]。

3.2 仪器检测诊断技术

仪器检测诊断技术是电气设备从“经验判断”转向“量化溯源”的核心支撑手段,依托标准化专业检测设备对设备的电气特性、物理状态开展非介入或微介入式采集,可精准捕捉感官诊断无法识别的潜伏性、早期隐性故障,是当前工业电气运维体系中故障定位的核心技术路径。当前主流应用的专业检测仪器覆盖多维度检测场景:兆欧表可输出不同等级的测试电压,精准获取电机、电缆、变压器等高压设备的绝缘电阻值,定量判定

绝缘介质的老化程度、受潮状态与局部破损缺陷,为绝缘性能劣化趋势预判提供数据支撑;万用表可完成交直流电压、电流、电阻等基础电参数的高精度采集,快速锁定回路中的短路、断路、虚接、参数偏移等常规电气故障,是现场运维中覆盖场景最广的基础检测工具;示波器可实时捕捉电信号的波形、幅度与频率变化,精准识别电路中的信号畸变、瞬态脉冲干扰等隐性异常,广泛应用于精密电子控制回路的故障排查;红外测温仪依托红外热辐射原理实现非接触式测温,在不触碰带电设备的前提下精准捕捉接线端子、触头、母线排等部位的局部过热隐患;谐波测试仪可采集电网中的谐波分量,精准定位非线性负载引发的电能质量异常,避免谐波长期侵蚀引发的绝缘击穿故障。

3.3 状态监测诊断技术

状态监测诊断技术是面向现代工业自动化、集成化电气系统的新一代智能运维技术,彻底突破传统定期巡检的时间间隔限制,可实现设备全生命周期运行状态的连续感知与故障前置预判,是当前高价值关键电气设备运维体系的核心升级方向。该技术通过在电机轴承、高压开关柜触头、变压器绕组、母线连接点等核心关键部位,针对性部署温度、振动、电流互感器、局部放电等不同类型的高精度传感器,以毫秒级采样频率实时采集设备运行过程中的全维度特征数据,通过边缘计算节点完成初步信号降噪与特征提取后,将有效数据上传至专属监测终端。系统内置的标准工况基线模型可对实时数据进行动态对比与趋势推演,当设备运行参数出现渐进式偏移、未达到显性故障阈值的早期劣化特征时,即可自动触发分级预警,精准定位隐患发生的具体部位与劣化程度。这套技术体系无需运维人员现场实时值守,可实现24小时不间断的无人化在线监测,能够精准捕捉人工巡检极易遗漏的早期轻微异常,将传统“事后抢修”的被动运维模式升级为“事前预判”的主动运维模式,从根源上避免小隐患逐步扩大为停机事故,目前已广泛应用于发电机组、变配电主系统、大型流水线驱动单元等核心关键电气设备的常态化运维场景。

4 电气设备常态化维护技术

4.1 设备清洁维护

设备清洁维护是电气设备常态化运维的基础保障性工作,粉尘、油污、湿气的长期堆积是诱发各类隐性电气故障的核心源头性因素。电气设备长期在工业车间、户外场站等复杂工况下运行,外壳缝隙、散热风道、接线端子、元器件引脚等隐蔽部位会逐步堆积导电粉尘、纤维絮状物与工业油污,这类污染物会直接堵塞散热通

道,大幅降低设备热交换效率,加速绕组、触头部位的局部过热老化;同时还会持续吸附环境潮气与腐蚀性介质,在绝缘表面形成弱导电通路,降低绝缘闪络电压,极易诱发沿面放电、漏电击穿等恶性故障。日常维护需结合现场工况粉尘等级制定差异化清洁周期,采用防静电毛刷、干燥压缩空气吹扫、无水乙醇擦拭等合规工艺,对设备关键部位开展精细化除尘除污作业,全程避免硬刮硬擦损伤绝缘层与金属镀层。针对地下配电室、户外箱变等潮湿场景的设备,需同步开展定向除湿作业,清除内部隐蔽凝露,从源头切断污染物诱发故障的传导路径。

4.2 老化部件防护与更换

老化部件防护与更换是电气设备常态化运维中阻断性能劣化传导链条的核心环节,设备内部的金属导电构件、高分子绝缘介质、弹性储能元件均存在明确的使用寿命阈值,长期受交变电场应力、周期性热冲击、持续机械振动的多场耦合叠加作用,会出现渐进式自然老化与性能不可逆衰减,是引发无征兆突发性故障的核心内在诱因。日常维护中需针对线路交联聚乙烯绝缘层、断路器动静触点、操作机构储能弹簧、柜体密封胶圈、电机定子绕组等高频易损部件,建立专属状态排查台账,重点识别绝缘层龟裂发脆、触点电弧烧蚀氧化麻点、弹簧自由长度形变超标、密封件老化失弹、绕组绝缘漆剥落露铜等常规巡检极易遗漏的早期劣化特征。针对老化程度尚浅、性能仍在允许区间内的部件,可通过触点金相砂纸打磨除锈、螺栓连接副按标准扭矩复紧、硅橡胶自粘带包覆加固等工艺开展防护处理,大幅延缓劣化进程;对老化程度超标、性能无法通过常规手段恢复、已接近设计使用寿命阈值的部件,需严格执行预防性更换,从根源上避免部件突发失效引发的连锁停机故障,在全生命周期维度有效降低整体运维成本^[5]。

4.3 设备参数定期校验

设备参数定期校验是保障电气设备运行精度与保护可靠性的核心运维环节,设备长期受电应力冲击、机械

振动扰动、环境温湿度交变的持续作用,运行参数与继电保护定值会出现渐进式偏移,直接导致设备运行精度失准、保护逻辑误动或拒动,是极易被忽略的隐性故障诱因。该项维护工作依托经计量校准合格的专业仪器,针对设备的工作电压、负载电流、回路阻抗、绝缘电阻等基础运行参数开展全维度检测,将偏离标准阈值的参数精准回调至设计允许区间。同时对断路器、继电保护装置、智能控制器的动作阈值、触发时延、返回系数开展逐点校验,修正因元器件老化产生的动作特性漂移,确保设备在过载、短路、漏电等异常工况下可精准触发保护动作。常态化的参数校验可将全系统的运行误差控制在合规范围内,从根源上规避参数偏移引发的保护失效、运行失稳类隐性故障,保障全链路电气系统始终处于标准运行状态。

结束语

电气设备的故障诊断与常态化维护是一项兼具专业性与系统性的长期工作,绝非单一技术的孤立应用,而是经验判断、量化检测与智能监测的深度协同。建立“早识别、早干预、早处置”的全周期运维机制,既能精准阻断故障从萌芽到爆发的演化路径,也能在保障运行安全的前提下最大化挖掘设备服役潜力,最终实现电气系统从“被动抢修”向“主动健康管理”的核心升级,为各类工业场景的稳定运行筑牢电气安全防线。

参考文献

- [1]李洋.电气工程视角下电气设备故障诊断与维护技术研究[J].湖北画报(下半月),2024,(2):147-148.
- [2]彭龙生.电气设备故障诊断与预测维护技术优化策略[J].大众标准化,2026,(9):46-48.
- [3]郝蒙.低压电气设备故障诊断与维护技术研究[J].电力研究,2026,9(5):85-87.
- [4]陈志.电气设备的智能维护与故障预测技术研究[J].科学发展与研究,2026,6(2):94-96.
- [5]孙彦坤.发电厂电气设备在线监测与故障诊断技术[J].智能物联技术,2026,58(6):97-101.