

施工现场电气设备故障诊断与维护技术研究

田秋帅

北京志轩创鑫机械维修有限公司，北京市通州区，101121；

摘要：围绕施工现场电气设备的安全运行与持续供能目标，提出以机理认知与证据积累为基础的故障诊断与维护技术框架。研究从对象划分、症状特征、诊断流程、作业标准与风险约束等维度构建可执行路径，通过症状编码、因果链建模与验证闭环，将经验规则转化为可复用知识项，并以预防策略与预测策略的协同降低停机与返工。配套组织机制与信息化支撑，形成任务触发、工单流转与结果归档的一体化体系，为复杂工序穿插与多专业协同条件下的稳定供电与控制提供方法基础。

关键词：施工现场电气设备；故障诊断；维护技术；风险控制；可靠性

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.072

引言

施工现场电气设备覆盖临时供配电、动力与照明、起重与运输控制、测量与监测等环节，设备种类多、环境波动大、负荷冲击强，对故障诊断与维护提出更高要求。常见问题集中在接触劣化、绝缘下降、散热受限、保护失配与误操作等方面，且受粉尘、潮汽与震动等外界因素叠加影响，症状呈现易被噪声掩盖。单纯依赖经验往往难以在时间窗内定位根因，需要以机理与数据并行的方式提升诊断命中率与维护效率。本文给出对象与环境约束的系统刻画，构建面向现场的诊断模型与流程，并将维护策略与组织与平台能力结合，力求在不引入具体案例与数据的前提下，给出具有可迁移性的技术框架。该框架关注可达性与可验证性，强调每一步骤均有清晰输入与输出，诊断结论可被复核，维护动作可被追溯，风险在边界内受控。

1 诊断与维护的对象与环境约束

1.1 设备类型与故障特性

施工现场常见设备可按功能划分为配电装置与动力设备与控制装置三类，并与电缆与接插件与接地与防雷等基础要素构成整体。配电装置的薄弱环节集中在导体接触面与散热部位，端子压接不良与螺纹松动会引起接触电阻上升与局部温升，继而导致绝缘老化与变形^[1]。动力设备多见绕组绝缘退化与轴承磨损与冷却风道堵塞，表现为电流上扬与温升加快与噪声与振动增强，长时间负荷波动会加剧磨损。控制装置容易发生信号链路漂移与供电稳态波动与继电器触点烧蚀，轻则产生误报

警与误动作，重则引发停机。典型症状包含外壳发热与异味与变色，接线部位发黑与熔痕，仪表指示异常与跳闸记录频发，启动迟滞与停止不稳等。诊断宜以失效机理为主线建立映射，接触劣化可推导出压降升高与热像亮斑与紧固件位移，绝缘下降可推导出泄漏电流增大与试验值偏离，散热障碍可推导出温升曲线爬升与风量不足。症状采集应采用温度巡检与红外成像与声学听检与振动监测与电参量抓取的组合方式，配合同步记录与工况标注，避免时间漂移与负荷变化掩盖真实趋势。考虑临时性与移动性特点，测试用具应快速连接并具备绝缘与防护能力，采集点位与标识应在调试阶段一次性固化，便于重复比对。对带有电子控制功能的装置需要关注电源纹波与接地质量与屏蔽连续性，减少干扰引发的伪故障。对采用变频与软启动的动力链路，应评估谐波对继电保护与仪表指示的影响，并通过滤波与隔离与合理布线加以抑制。新投运阶段可增加复检频次，确认端子回拧与温升稳态与绝缘恢复是否达到期望。

1.2 施工环境与约束条件

施工环境对诊断与维护具有多重约束。空间拥挤与高空作业与交叉作业使隔离与测试难以完全到位，雨雪与潮湿与粉尘提升短路与腐蚀与污染概率，临时道路与吊装路径影响设备与工具到位速度^[2]。由此需要在计划阶段设定时间窗与工作面边界，并把无电确认与挂牌上锁与围挡隔离作为前置条件。临时供电通常采用分段供电与分级保护，若整定与分配不匹配会出现误动或拒动，应以负荷特性与短路容量进行匹配校核。移动设备需要电缆收放与滑触导体的专门点检规则，防止多次弯

折与拖拽造成护套破损与芯线断股。具有爆炸与高温与高粉尘特性的区域，检测方法与维护材料必须满足相容要求，选用低火花工具与阻燃耗材，防止新的点火源。现场通信与照明可能不稳定，应准备独立照明与离线记录方案，确保在断电或夜间也能完成关键操作。人员资质与协同也是重要约束，临时队伍流动性大，新老搭配不当会提升失误率，应以胜任力矩阵匹配任务难度，并以双人复核覆盖高风险环节。季节性因素需要前瞻性巡检，雨季关注密封与排水与防潮，寒潮关注加热与保温与防凝露，高温季节关注通风与散热与风道洁净度。连续运转的临时供电系统可引入节拍化巡检，高负荷时段上调监测频次，低负荷时段安排深度维护，以减少组织受扰。连锁与闭锁关系在施工期可能被临时更改，应建立变更登记与恢复清单，任何临时改动都要标识位置与原因与时限，并在窗口关闭前完成复归。噪声与粉尘条件下的听检与光学检测效果受限，可采用接触式传感与遮光罩等方式提升信噪比。外租设备入场应完成铭牌核对与保护功能试验，未达标不得投入使用。

2 诊断模型与流程方法

2.1 故障机理映射与症状编码

诊断模型的核心是将机理与症状建立稳定映射并以结构化形式表达。机理层面可将常见失效归入接触劣化与绝缘退化与热失控与电磁干扰与机械磨损等家族，为每个家族列出可观测症状与触发条件与演化路径^[3]。症状层面需要设计编码字典，覆盖部位与表现与强度与持续时间与伴随现象等要素，使不同人员的描述能够在同一语义下归并。基于字典可构建因果图与判据树，使诊断从粗到细逐步收敛，避免无效拆检与盲目更换。编码应支持不确定表达与权重分配，以便在证据不足时保持开放假设。为提升效率，设置快速排查路径，将高频高危的组合症状直接关联到优先检查点。对于复杂系统，引入状态量趋势比对，通过相同工况下的历史曲线识别漂移与突变。对电缆与接插件设定回路电阻与绝缘电阻与泄漏电流的参考区间，对电机设定温升与振动与空载电流的参考区间，对控制装置设定信号电平与动作时间与电源稳态的允许波动。阈值应根据设备等级与环境等级进行分档管理，避免一刀切带来过度维护或漏检。模型需要持续校正，新症状与新组合被确认后要纳入字典并在培训中发布，使组织记忆保持新鲜。为提升泛化能力，模型既包含规则项也包含统计项，规则项来自机理

推导，统计项来自历史证据的共现关系，两类证据相互印证以降低误判。为了处理多源症状并发的情形，可引入冲突消解策略，将权重分配给信息可靠性更高的证据，优先保留直接可操作线索。症状编码与作业卡之间要建立映射，编码命中即生成建议检查点与所需工具与预计工时，减少临场思考负担。对无法稳定复现的间歇性故障，应设计延时记录与触发捕获机制，保留瞬态细节。模型维护以版本管理方式进行，新增条目与修改条目均保留来源与生效时间，便于跨期追溯与教学复盘。

2.2 诊断流程与证据管理

流程以触发与隔离与检测与定位与验证与关闭为主线推进。触发来源包含监控告警与人员巡检与功能失败，隔离步骤要求无电确认与挂牌上锁与设置警示，检测步骤按外观检查与测温与电参量测量与功能试验的次序推进，定位阶段结合因果图与判据树收敛到可操作部位，验证阶段通过替代件试装与复测确认判断，关闭阶段完成记录归档与经验条目沉淀^[4]。关键节点应采集图像与数据与语音说明，并以时间戳与设备编码绑定，保证结论可复核。跨专业故障设置会诊机制，明确牵头与支援角色，避免重复劳动。流程中预置升级通道，当连续两轮验证未收敛或涉及高风险部位时，上浮到更高层级并配置资深人员与专用工具。证据管理强调结构化与可追溯，记录字段围绕症状编码与假设与验证与结论展开，减少无关叙述。为降低负担，表单提供模板与联想输入，高频条目可一键选择。收尾环节将故障树路径与采取动作同步写入知识库，下一次触发相同症状时系统给出参考路径。对临时绕接与替代方案设置时限与提醒，防止临时措施固化为常态。流程需要配套安全边界与质量边界，任何临时跳过步骤的情况都必须记录原因并在后续补做验证。针对易受环境影响的测量项目，应给出可接受误差与重复测量要求，通过两次以上一致性判断保证可信度。对需通电验证的环节设置带电观察与隔离保护，严格控制人员站位与工具长度与防护用品状态。流程绩效以定位时间与更换时间与恢复时间三项指标衡量，同时追踪返修率与复发率，若在短期内重复触发同一症状则自动启动深度复盘。知识库对高价值条目设置推荐权重与学习任务，定期推送给相关人员，使组织能力随时间累积而非衰减。

3 维护策略与保障技术

3.1 预防性与预测性维护的融合

维护策略要在稳态安全与资源效率之间取得平衡。预防性维护通过计划点检与定期更换控制失效概率，预测性维护通过状态监测与趋势分析延长部件可用寿命。两类策略并行时以风险等级驱动策略强度，高风险设备保持较高点检频次并配置在线监测，中低风险设备采用抽检与周期复核。状态监测可从温度与电流与振动与接地连续性等量着手，在关键部位增设便携接口以缩短连接时间。易耗件以寿命模型管理更换窗口，使更换落在性能下行前的合理区间。保护装置需定检与整定复核，使动作特性与短路容量与负荷特性一致。维护计划采用滚动机制，近端窗口锁定任务与资源，远端窗口进行依赖澄清与备件准备。为压缩停机时间，引入并行作业与标准工装，使用预制线缆与端子模块与标识套件提升复位效率。资源侧建立共享池与应急清单，典型备件与工具常备以支撑高频故障的快速响应。策略评估以可用率与故障间隔与恢复时间与维护费用结构等指标为依据，结合趋势判断收益与代价，避免频次堆叠带来边际递减。对季节性风险设置专项维护包，在入夏与入冬前完成散热与保温与防潮等项的复核与修整。为应对资源受限的现实约束，维护窗口宜采用多工序并行的搭接组织，将功能相互独立的任务放入同一时间窗，通过工位布置与人员分组降低干扰。对跨区域的临时供电回路应用分段停电策略与备用电源切换策略，确保关键负荷不断供。巡检路线采用固定顺序与固定时刻，形成可预测的节拍，异常更易被察觉。对高价值设备设置备机与旁路方案，重大节点前完成健康度确认与预热运行，减少临界时刻的不确定。将维护结果转化为可计量的改善项并纳入例会，推动每一次停机都换来可见收益。

3.2 组织与信息化支撑

诊断与维护的有效实施离不开组织与平台的支撑。组织层面要明确角色边界，设立任务受理与分派与现场执行与复核与归档与分析的闭环，节点给出输入与输出并对延误负责。建立胜任力矩阵与授权等级，使高风险任务由具备相应资格的人员承担。例会聚焦问题清单与约束状态与改进项，所有讨论以证据为基础。信息化平台承载台账与工单与点检与备件与知识库等模块，移动端支持扫码识别与拍照记录与离线填报，保证在通信不佳时也能完成上报。平台内置症状字典与判据树与推荐路径，减少重复判断时间。数据治理以主数据一致与口

径一致为原则，实现设备编码唯一与部件命名统一与版本可追溯。外协与供应方通过服务等级约定与接口规范纳入统一管控，确保到货与响应与质量与文档满足标准。安全与合规要求在平台中显性化，带电作业审批与动火许可与临时交接登记必须在线留痕。绩效评价与激励与约束围绕任务准时与复检通过与记录完整度展开，鼓励稳定节拍与规范操作。长期看，以培训包与实操演练提升组织的肌肉记忆，使能力在人员更替中保持稳定，并以标准作业卡与便携工具箱配置清单支撑跨项目复用。协同机制要贯穿现场与后方，现场以任务看板展示里程碑与缓冲余量与风险项，后方以专家库与备件库提供远程支持与资源保障。对插单与抢占设置清晰的升级通道与补偿规则，任何变更都在同一平台上留痕并自动同步至相关计划，减少口头指令造成的偏差。建立问题复盘制度与月度榜单，对优质诊断路径与优质维护解法进行表彰与推广，逐步接入在线监测与远程诊断，利用趋势数据与阈值策略构建提前预警，使维护由被动响应转向主动防护与计划窗口化安排。

4 结语

面向施工现场这一高波动与强约束的场景，故障诊断与维护需要以机理为轴与以证据为尺与以流程为桥，把直觉经验转化为可验证的路径。研究从对象与环境入手，建立机理映射与症状编码，再以流程与证据管理固化诊断动作，并以预防策略与预测策略的融合与组织与平台的支撑保障持续改进。该思路能够在多专业交叉与资源受限的条件下提升定位效率与修复质量，减少停机与返工，稳住供电与控制底盘。随着标准化与数据化程度提升，知识库与在线监测将进一步增强早期识别与快速决策的能力，使现场维护从被动救火迈向主动防护。

参考文献

- [1] 庞志华. 电气设备故障诊断及维护管理探讨[J]. 中国金属通报, 2022, (08): 141-143.
- [2] 叶辰之. 电气设备故障诊断和维护探析[J]. 科技展望, 2016, 26(12): 57.
- [3] 李雪锋, 洪安庆, 刘恒杰, 等. 升压汇集站电气设备故障诊断与预防性维护策略探讨[J]. 大众标准化, 2024, (20): 28-30.
- [4] 韩飞. 基于人工智能的煤矿地面电气设备故障诊断与智能维护[J]. 电气技术与经济, 2024, (07): 150-152.