

数字化技术在电气二次设备检修措施中的应用

王皓旻

包头东华热电有限公司 内蒙古 包头 014040

摘要: 电气二次设备检修是指为确保电力系统中继电保护、自动控制等辅助设备的安全可靠运行,对其进行的系统性维护、检测与修复工作。电气二次设备在电力数字化系统中扮演着重要的角色,是保障电力系统正常运行不可或缺的一部分。然而,由于电气二次设备的使用环境和复杂性,经常会出现各种故障和问题,因此对其进行检修和维护就显得尤为重要。

关键词: 数字化技术; 电气二次设备检修; 应用

电气二次设备传统检修方法及流程以预防性维护为核心,无损检测技术正推动电气二次设备检修从“定期停运排查”转向“全时域主动防控”,成为智能运检体系的核心支撑。

1 电气二次设备传统检修方法及流程

1.1 检修前准备。工作票与风险预控,根据设备缺陷记录及运行状态,办理工作票并分析危险点(如误碰运行设备、TA开路等),明确隔离范围和安全措施。图纸与资料核对,核对二次回路图纸、定值单及历史校验报告,确保与现场设备一致。

1.2 安全隔离措施。检修状态投退,投入装置“检修状态”硬压板,利用GOOSE报文检修机制隔离通信,防止检修设备误发信号干扰运行系统。断开出口回路,退出保护跳闸、合闸等出口压板,断开相关操作电源,确保一次设备不被误动。

1.3 检修核心流程。(1)外观与接线检查,检查端子排紧固性、插件接触可靠性,排除接线松动或腐蚀问题。观察继电器线圈、触点有无烧蚀痕迹,核对装置指示灯状态。(2)功能测试与校验,静态测试(设备不通电),使用万用表测量回路通断,校验熔断器、按钮、切换开关的机械性能。动态测试(设备通电),精度校验:通过调试仪注入电流/电压模拟量,验证保护装置采样精度(如误差 $\leq 5\%$)。逻辑验证:模拟短路、过载等故障,检查保护动作行为是否符合定值要求(如过流保护动作时间)。(3)二次回路验证,执行传动试验:模拟保护动作信号,验证从装置出口到断路器操作机构的全程回路正确性。检查信号回路:确保告警信号、中央信号屏指示准确对应。(4)绝缘性能测试,使用500V兆欧表测量直流回路、交流回路对地及绕组间绝缘电阻,要求 $\geq 1\text{M}\Omega$ 。

1.4 收尾与恢复。压板与电源恢复,恢复检修前退出

的压板,按“先负极后正极”顺序装回直流熔断器。传动试验复核,进行整组传动试验,确认设备功能及联动一次设备动作无误。

2 电气设备维护及检修的流程

2.1 检修前准备。风险评估与计划制定,审查设备历史缺陷记录,分析危险点(如误触带电设备、TA开路等),制定检修方案。核对二次回路图纸、定值单及历史报告,确保与现场设备一致。办理工作票,明确隔离范围和人员分工。安全措施配置,断开设备电源,取下熔断器或断开电源空开,悬挂“禁止合闸”警示牌。投入装置“检修状态”硬压板,隔离GOOSE/SV通信,防止误动作。退出保护跳闸、合闸出口压板,断开操作电源。

2.2 维护与检修实施。(1)外观与基础检查,检查端子排紧固性、插件接触状况,排除接线松动或腐蚀。清洁设备表面及内部灰尘,避免导电粉尘引发故障。(2)专项检测。绝缘测试:使用500V兆欧表测量回路对地绝缘电阻,要求 $\geq 1\text{M}\Omega$ 。传动试验:模拟保护动作,验证从装置出口到断路器操作回路的正确性。

2.3 收尾与验收。恢复与测试,按“先负极后正极”顺序恢复直流电源,装回熔断器。执行整组传动试验,确认设备联动一次设备无误。记录与复盘,填写检修报告,记录测试数据、更换部件及遗留问题。清点工具、清理现场,防止遗留杂物引发事故。

2.4 事故预防要点,错停线路:工作人员误报停电线路编号,登杆后触电身亡(需双重确认停电范围)。安全距离不足:紧线作业中导线接近带电线路放电致人死亡(交叉跨越点必须停电)。接地失效:接地电阻过大导致线路放电,造成伤亡(接地线需定期检测有效性)。

3 数字化技术如何变革电气二次设备检修

3.1 数字化技术如何实现电气二次设备的数据共享与资源整合。数字化技术通过构建统一的数据架构与智

能平台,实现电气二次设备的数据共享与资源整合,统一数据架构打通信息孤岛,标准化数据模型,采用IEC 61850标准建立设备统一数据模型(如SCL描述文件),消除装置间的通信协议差异,实现保护装置、测控单元等二次设备的数据互操作性。部署合并单元(MU)对多源电气量(电流/电压)进行同步采集与数字化转换,为各系统提供标准化输入。分层式通信网络,搭建过程层(设备层)、间隔层(控制层)、站控层三层网络架构,通过光纤以太网替代传统电缆,实现毫秒级实时数据交互。过程层采用GOOSE/SV协议传输跳闸指令和采样值,支持多设备协同控制。数据共享的核心技术支撑。智能终端集成,在断路器、变压器等一次设备嵌入智能终端,就地完成状态监测与数据预处理,通过光纤上传至平台,智能断路器实现分合闸状态实时反馈,边缘计算节点,在设备侧部署边缘计算模块,过滤无效数据并提取关键特征(如过流波形畸变),降低主站负载。风电设备故障预诊断响应速度提升40%。工业互联网平台,构建统一数据中台,集成DCS、MES等系统,支持API接口跨系统调用二次设备数据。

3.2 数字化技术如何提高电气二次设备的系统可靠性。硬件与通信架构革新。统一数据模型标准化,采用IEC 61850标准建立设备统一模型(如SCL描述文件),消除协议差异,确保保护装置、测控单元等设备的数据互联互通,减少通信冲突风险。电子式互感器替代传统电磁式互感器,精度提升至0.2级,避免磁饱和导致的采样失真。(1)在线监测与故障预警,多源数据融合分析:实时采集电流/电压波形、通信状态等参数,通过边缘计算识别异常(如采样丢包、链路中断)。AI缺陷决策辅助:利用计算机视觉识别风机叶片裂纹、光伏组件热斑,故障预测准确率达92%。NLP技术分析运维语音/图片记录,自动生成处理方案(如辽宁电网平台缩短90%故障定位时间)。(2)仿真测试闭环验证,虚拟调试技术:在RTDS实验室模拟故障场景(如CT饱和、定值失配),提前验证保护逻辑正确性,减少现场试验风险。动态定值调整:基于负荷预测自动优化保护阈值,高峰时段启动过载保护联动切负荷策略。安全防御机制强化。检修状态隔离,投入“检修硬压板”标记检修设备,隔离GOOSE/SV通信,防止误动运行系统。网络纵深防护,站控层部署入侵检测系统,实时阻断恶意访问(如篡改定值指令)。

3.3 数字化技术如何提升电气二次设备的经济效应。数字化技术通过优化生产流程、重构运维模式及创新价值链条,显著提升电气二次设备的经济效益,运维模式

革新:从被动抢修到主动预防,预测性维护替代定期检修,在线监测绝缘老化、通信状态,减少冗余维护810→维修成本下降25-50%,边缘计算预判故障(如过流波形畸变),避免非计划停机损失。远程协同运维,施耐德电气ETAP系统实现跨国专家远程诊断,人力成本降低40%,ATEN宏正方案秒级响应地铁设备故障,运维效率提升60%。全生命周期价值延伸,设备资产增值,数字孪生构建设备健康模型,延长使用寿命(寿命预测误差 $\pm 5\%$)。

4 数字化技术在电气二次设备检修中的应用

4.1 红外热成像检测在电气二次设备检修中的应用。红外热成像检测技术通过非接触式测温与智能分析,在电气二次设备检修中实现精准隐患定位和状态评估,核心应用场景,端子排与继电器触点检测,接触不良诊断:检测端子排螺栓松动、触点氧化导致的接触电阻异常,温差超 0.05°C 即可触发预警(如发现发电机出口开关端子质量问题)。检修后质量验证:新投运设备接线后扫描端子温度,识别紧固未牢的隐患(如磨煤机CT端子),避免保护误动作。保护屏与插件过热监控,插件异常发热:捕捉微机保护板卡元器件过热(如电容鼓包、芯片故障),温差 $> 5^{\circ}\text{C}$ 判定为严重缺陷。屏柜内部热分布:戈壁滩变电站采用环形红外阵列监测保护屏整体温度,识别局部过热区域,缺陷发现率提升60%。室外端子箱与电缆接头,环境适应性检测:在 -40°C 至 70°C 宽温环境下,识别箱体密封不良导致的凝露发热(如电缆头进水氧化)。大负荷专项巡检:迎峰度夏期间对配电柜引流板、连接器扫描,提前发现过载发热热点。无人机搭载双光热像仪巡航山区线路,10米/秒高速识别绝缘子破损,效率提升20倍。智能诊断与闭环管理,缺陷分级预警,轻微缺陷($\Delta T < 20^{\circ}\text{C}$):标记观察,下次检修处理;严重缺陷($\Delta T > 50^{\circ}\text{C}$):72小时内消缺(如某变压器泄露电流致热点 90°C)。

4.2 无损检测技术如何应用于电气二次设备检修。无损检测技术通过非接触、非破坏的方式对电气二次设备进行状态评估和缺陷识别,在保障设备安全的同时显著提升检修效率与经济性,带电检测技术,声振检测,机械缺陷定位:声纹成像技术融合声学定位与模式识别,精准识别继电器机械松动、端子排振动异常,定位精度达 $\pm 2\text{cm}$ 。放电故障诊断:超声检测捕捉GIS设备盆式绝缘子内部局部放电信号,同步生成声学成像图谱,缺陷识别准确率超90%。红外热成像,接触不良诊断:扫描端子排触点温差($> 0.05^{\circ}\text{C}$ 预警),识别螺栓松动或氧化导致的过热点。插件异常监测:检测保护板卡电容鼓包、芯

片过热等缺陷（温差 $> 5^{\circ}\text{C}$ 判定严重故障）。离线无损检测，超声探伤，焊接缺陷检测：超声波穿透PCB板焊点及继电器外壳，识别虚焊、气孔等内部缺陷。复合材料评估：评估绝缘子胶接界面分层老化，定位精度达毫米级。射线检测，隐蔽结构探查：X射线透视继电器内部弹簧机构断裂、衔铁卡滞等机械故障。

4.3 机器学习在电气二次设备检修中的应用。机器学习技术在电气二次设备检修中通过智能诊断、预测性维护与决策优化，显著提升了检修精准性与运维效率，核心应用场景，故障预测与预警，设备状态退化预测：分析保护装置温度、振动、通信丢包率等时序数据，预测板卡元件老化趋势（如电容寿命缩短），准确率达92%。隐蔽缺陷预警：融合红外热成像与声纹数据（如端子排异响），提前4-6小时识别接触不良隐患。状态智能监测，多源数据融合诊断：实时解析GOOSE/SV报文、电流波形畸变特征，自动定位CT饱和或定值失配故障。图像识别缺陷：基于计算机视觉的无人机巡检系统，自动识别保护屏接线松动、绝缘子破损，效率提升20倍。智能诊断与决策，故障根因分析：构建历史缺陷知识库，匹配相似案例（如继电器线圈烧毁特征），生成处置方案响应速度提升60%。保护逻辑验证：知识图谱驱动保护装置自动测试，校验时间缩短50%。模型验证与优化，性能评估闭环，采用精确率（Precision）、召回率（Recall）评估分类模型可靠性；AUC-ROC曲线验证故障预测模型泛化能力（ > 0.85 判定有效）。

4.4 远程检修技术如何实现电气二次设备检修。远程检修技术通过数字化手段实现电气二次设备的远程监控、诊断与操作，大幅提升检修效率与安全性，技术实现架构，智能感知层，状态全息采集，部署传感器实时监测保护装置温度、振动、通信报文（如GOOSE/SV报文丢包率）等数据；固定式红外热像仪自动扫描端子排温差（ $> 0.05^{\circ}\text{C}$ 触发预警）。环境适配设计，5G工业网关实现变电站- 10°C 至 50°C 宽温环境下的数据稳定回传（时延 $< 20\text{ms}$ ）。远程操作层，智能安措布置，电磁锁闭系统远程控制二次屏柜门禁，安措布置时间从30分钟缩短至秒级；数字孪生平台模拟操作流程，校验逻辑正确性。AR辅助检修，现场人员佩戴AR眼镜，专家远程标注设备内部结构（如继电器弹簧机构），维修效率提升57%。分析决策层，故障智能诊断，AI分析振动频谱与电流波

形畸变特征，自动定位CT饱和故障（准确率 $> 92\%$ ）；知识图谱匹配历史缺陷案例，生成检修方案。预测性维护，机器学习预测板卡电容老化趋势，提前72小时预警。闭环管理机制，安全防护体系，联邦学习技术保障跨域数据隐私，支撑多厂站联合建模；操作指令双因子认证（人脸识别+动态密码）。知识沉淀应用，AR维修过程自动生成3D操作手册，故障处理经验沉淀效率提升40%；建立二次设备全生命周期数据库，优化检修周期决策。

5 远程检修技术在电气二次设备中的实际应用效果

5.1 检修效率显著提升。巡检时间压缩，应用远程巡检技术后，单站二次设备巡检时长从传统人工的1小时缩短至2分钟以内，实现分钟级全覆盖检测。定值校核自动化，通过远程“一键校核”功能，定值单下发及核验时间缩短至5分钟，避免人工录入错误，故障响应速度提升90%以上。

5.2 安全隔离机制优化。检修状态智能隔离，投入装置硬压板后，利用GOOSE报文检修机制自动隔离检修设备与运行系统通信，有效防止主变定检时误触发备自投等连锁故障。远程程序升级与参数调整，基于IEC61850规约，可直接对继电保护装置、测控设备进行远程程序升级和参数修改，减少现场带电操作风险。

5.3 运维模式深度变革。“无人化+集约化”运维，供电局实现二次设备从人工现场监视向“远程+智能”模式转型，通过保护信息管理系统智能告警分析功能，构建集约化运维体系。跨区域集中管控，建立覆盖25家电厂、18家电力用户的远程监督网络，实现对二次设备全生命周期状态的跨区域实时监控与诊断。

5.4 经济效益与可靠性增强。运维成本下降：远程检修推动运维成本降低25%-50%，设备可用率提升至99.8%以上。故障处理精准化：如东海风电场通过远程诊断精准定位故障录波装置定值设置问题，消除长期误报警隐患。

总之，电气二次设备检修技术可以为电力数字化系统的运行提供更加可靠的保障，保证电力系统的安全、稳定和高效运行。

参考文献

- [1]张伟.数字化技术在电气二次设备检修措施中的应用分析.2023.
- [2]赵海英,浅谈数字化技术在电气二次设备检修措施中的应用.2022.