

Safety Risk Analysis and Prevention Strategies for Electrical Automation Equipment

Zihui Yuan

Guangxi Occupational Safety Technology Development Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract

The widespread application of electrical automation equipment in industrial systems has promoted the improvement of production efficiency, but its accompanying safety risks cannot be ignored. High voltage environment, complex control logic, device aging and human operation errors during long-term operation may all induce equipment failures or safety accidents. In response to these risk characteristics, it is urgent to establish a systematic identification mechanism and a scientific prevention and control system. Multi-dimensional collaborative control should be carried out from technical structure, management process, and operational behavior to strengthen equipment protection and operational environment guarantee. By integrating multi-level dynamic evaluation, standardized operating procedures, and advanced protective technologies, the incidence of accidents can be effectively reduced, the overall safety level of the system can be improved, and the sustainable and stable operation of electrical automation equipment can be achieved.

Keywords

electrical automation equipment; Security risks; Operational hazards; Protective technology; management system

电气自动化设备的安全风险分析与防范策略

袁子惠

广西职安科技发展有限公司, 中国·广西 南宁 530000

摘要

电气自动化设备在工业系统中的广泛应用推动了生产效率的提升,但其伴随的安全风险亦不容忽视。高压环境、复杂控制逻辑以及长期运行过程中的器件老化和人为操作失误,均可能诱发设备故障或安全事故。针对这些风险特征,亟需建立系统化的识别机制和科学的防控体系,从技术结构、管理流程和操作行为等多维度协同控制,强化设备本体防护与运行环境保障。通过多层次的动态评估、标准化操作规程和先进防护技术的集成应用,可有效降低事故发生率,提升系统整体安全水平,实现电气自动化设备运行的可持续与稳定。

关键词

电气自动化设备; 安全风险; 运行隐患; 防护技术; 管理体系

1 引言

随着智能制造和工业数字化的不断推进,电气自动化设备在各类生产系统中的应用规模持续扩大。这类设备集成了复杂的电力驱动与逻辑控制功能,运行过程对稳定性与安全性的要求极高。然而,在高强度、长周期的工况条件下,设备容易受到环境干扰、结构疲劳及人为操作偏差的影响,从而引发电气故障或系统停机等风险事件。安全问题不仅影响生产进度和设备寿命,更可能造成重大人身与财产损失。因此,有必要从系统层面对电气自动化设备的安全风险进行深入剖析,探索可操作的防范路径,以实现设备安全与生产效能的协同提升。

【作者简介】袁子惠(1985-),中国黑龙江牡丹江人,硕士,工程师,从事安全生产咨询、安全评价研究。

2 电气自动化设备运行中的主要安全风险类型

2.1 高压电击与短路事故的成因与特征

电气自动化设备在运行中长期处于高压状态,电压等级达到380伏及以上时若绝缘性能下降或防护措施不到位,极易引发电击事故。在潮湿环境或电缆破损时,漏电电流可能达到10毫安以上,对操作人员构成致命威胁。短路事故多发生于回路负载突增、电缆绝缘破损或导线间距不当等场景,瞬间电流可升至额定值的10倍以上,造成接线端烧毁、设备爆炸或电气火灾。高压系统中接触器、变压器、断路器若选型不当或长期超负荷运行,也会因温升过高导致内部击穿。电弧产生和接地不良亦可能诱发回路不稳定现象,进而引起连续故障,扩大事故范围。

2.2 设备老化与接线松动引发的隐患问题

电气自动化设备运行年限超过5年后,内部元件如电容、电感、电机绕组等逐渐出现性能衰退,绝缘电阻降低至5兆

欧以下，导致局部放电、发热与设备间歇性故障。接线端子在长期高频振动、电热交替作用下产生松动，接触电阻升高至1欧以上时会引起导体发热，进而烧蚀端头或引起塑壳碳化。控制柜内若未定期清理积尘或检修，接线松动区域可能积聚碳化颗粒并形成短路路径。

2.3 系统控制失灵与误操作带来的安全威胁

电气自动化设备依赖 PLC、继电器保护装置及远程控制系统进行运行协调，一旦程序逻辑中存在条件跳转错误或信号交互混乱，会导致错误执行。控制失灵时常表现为输出延迟、反馈中断或自锁失效，可能造成设备无预警启停、运动机构卡滞或机械臂突发运动。误操作行为包括参数设定不当、启停顺序颠倒、手动操作未断电等，尤其在无操作互锁和权限管理的环境下，错误指令容易直接传输到执行单元。

3 安全风险形成的技术与管理因素分析

3.1 控制系统设计缺陷对设备稳定性的影响

电气自动化系统控制架构若未充分考虑冗余设计与容错机制，将导致在局部故障条件下系统整体失控。PLC 编程中若存在未闭合的逻辑路径或信号优先级冲突，在实际运行中会引起输出行为与预期不符。传感器布设不合理、采样频率过低或干扰滤波措施不足，可能使控制系统无法及时捕捉关键参数变化。控制电路设计中若未设置过流保护、电压隔离或应急停机功能，一旦负载异常增长，将迅速影响主控模块的响应能力。此外，过度依赖单一控制节点，缺乏分布式控制支持，也会在发生突发情况时使设备失去快速恢复能力，造成非计划性停机或损毁。

3.2 运行维护机制不完善引发的安全漏洞

电气自动化设备的运行维护依赖于周期性检修、预防性检测和记录管理的闭环体系，一旦流程存在断点，将导致隐患无法及时发现。部分企业未建立月度电气巡检制度或未进行绝缘测试、电缆拉力复查等必要工序，使设备在运行中积累故障风险。缺少标准化的维保记录，易导致重复性问题追溯困难。维保作业流程中若未规范断电挂牌制度，检修人员易在带电状态下操作，增加人身风险。临时性维修手段如跳线、短接、绕开保护模块虽可短期恢复运行，但易形成结构性安全隐患。长期缺失检测的环境参数如湿度、电磁干扰水平等亦可能对控制设备产生慢性干扰。

3.3 人员操作规范缺失与培训机制不健全

操作人员在面对电气自动化设备时需具备准确识别信号状态、理解控制逻辑、掌握应急处理的能力，若培训不到位，将显著增加事故概率。部分企业未设置岗位准入门槛，非专业人员参与设备操作，在参数设定、负载切换和应急处理中常出现误操作。缺乏岗前培训、日常演练与年度复训制度，导致员工对系统故障报警、跳闸逻辑与安全互锁机制了解不足，无法快速响应异常状况。值班记录流于形式，交接班环节中信息传递不畅，使隐性故障延续运行。语言不清的

操作手册、非图形化界面、无在线帮助系统均可能影响人员对复杂系统的掌控能力，从而埋下事故风险。

4 重点环节的风险识别与动态评估机制分析

4.1 关键节点电气回路的连续监测策略

电气自动化设备运行过程中，电流、电压和温度等关键参数的异常波动往往是安全风险的早期信号。为实现对回路状态的动态掌控，可在配电系统中部署具备实时上传功能的传感器，对每一个节点进行24小时不间断数据采集。监测周期设置为10秒，单日可产生8640组数据，配合分析系统进行连续性评估。在一条额定负载为16安培的控制回路中，当电流持续超过18安培长达60秒，即触发预警机制，并通过短信和监控平台同步推送报警信息。温度监测模块设定阈值为65℃，一旦超过即启用强制通风装置与断电保护。红外热像仪在一次检测中可扫描128个节点温升图像，通过图像识别技术判定发热点位置与强度变化趋势，提前介入处理。对于接线端子、电缆头等易出故障区域，使用红外测温与电流互感器配合，实现对单一节点每小时平均值、峰值与波动幅度的持续记录，构建趋势数据库。通过历史数据回溯与现值对比，评估设备在不同工况下的稳定性，实现对潜在失效模式的定量识别与预先预警。

4.2 PLC 控制逻辑与反馈系统的风险建模方法

PLC 系统的稳定性直接决定了电气自动化设备的运行安全水平。在构建风险模型过程中，需对输入输出信号路径进行离散化处理并建立布尔代数逻辑矩阵。在一个典型工业装配线中，PLC 系统包含24个输入节点与16个输出端口，共生成384种逻辑联动路径，其中存在72种路径具备交叉执行风险。通过逻辑推演分析发现，反馈响应延迟超过120毫秒时，易产生误触发或自锁失效，造成系统误动作。应用故障树分析方法将384条路径分解为32个主要故障源，通过概率赋值计算得出触发概率大于0.05的高风险点12个。为加强控制稳态，应在每一个逻辑输出点配置反馈确认信号，当反馈丢失超过3次即标记为非正常状态。嵌入反逻辑验证模块后，系统在运行模拟测试中将误动作发生率从4.2%降低至0.7%。对输出延迟大于150毫秒的路径进行分段隔离处理，使逻辑链条在故障条件下具备自我中断与信息回流能力。通过模拟120小时设备连续运行场景，建立动态变化曲线并评估控制指令响应一致性，有效提高故障应对策略的实效性系统与容错能力。

4.3 故障数据采集与预警信号的智能分析应用

在电气自动化系统中，构建以时间序列为基础的数据采集机制是实现智能预警的关键步骤。采集频率设定为每3秒一次，每日可获得28800组数据，涵盖电压、电流、频率、相角、功率因数、温度、谐波等16个参数。系统接入变电站级 SCADA 平台后，日均数据存储量可达2.5GB，借助数据仓库对近180天的历史数据进行聚类分析，提取15种典

型故障前兆特征。例如，在变频控制系统中，电流波动频率超过每分钟 25 次即为高频扰动信号，与散热风扇效率下降高度相关。预警系统设定故障判断条件为参数波动持续超过设定标准 3 分钟且变幅大于 15%，即自动触发等级报警。报警信息通过内部局域网推送至维护终端并同步短信通知值班人员，平均响应时间控制在 8 秒以内。在历史数据分析中，突发短路事件发生前 20 分钟内均可观测到电流值的明显波动和相位差偏移达 8 度以上。通过引入基于卷积神经网络的预测模型，对报警数据进行精准分类和趋势回归，实现对高风险故障的提前 24 小时预警覆盖率达到 91%。结合数据挖掘技术与反馈闭环机制，可持续提升系统风险应对的主动性与智能化水平。

5 电气自动化设备的安全风险的有效防范策略

5.1 安全规程落实，强化标准操作流程

电气自动化设备在运行过程中安全规程的规范化程度直接决定了事故发生的可能性，制定覆盖安装、调试、运行、检修、停机的全流程操作手册，可有效统一作业标准。规范操作流程要求操作人员在执行启停操作、电气切换、参数调整前进行双人核查和记录留档，杜绝无依据操作行为。作业现场设置明显的安全标识、断电挂牌提示与风险区域隔离设施，提升可视化安全意识。在操作台设定多级权限机制，设定不同工种和级别的操作权限，防止误操作干扰系统正常运行。推行班前风险交底、事中监督、事后复盘机制，将经验固化为标准文本并定期修订，保证规程与设备更新同步。通过设立专项监督小组对操作流程执行情况进行抽检考评，形成闭环管理体系，切实推动规范执行。

5.2 技术防护升级，推进智能保护装置应用

随着电气自动化设备复杂度的不断提升，传统被动防护手段已难以应对多样化风险源。引入智能断路器、剩余电流动作保护器、电弧抑制装置等先进防护元件，可对过载、短路、接地等故障实现毫秒级切断。将设备状态信息实时采集并接入 SCADA 或 DCS 平台，构建运行状态可视化体系，使管理者能够实时掌握负载、温升、电流波动等关键数据。采用具备自诊断功能的保护模块，如过热报警继电器、相序监测器等，增强故障定位与自主恢复能力。在大型控制系统中增设逻辑连锁与断电隔离层级，确保在任一保护点动作后

系统可快速中断危险源并阻止联级蔓延。结合 UPS 与浪涌保护系统减少电网波动干扰，保障设备稳定运行，全面提升电气系统的主动防御能力。

5.3 运维体系完善，构建全周期监测机制

构建覆盖设计、施工、运行、维保与报废全过程的电气设备运维管理体系，可有效提升风险防控的系统性与前瞻性。在设备安装阶段引入电气测试及标准化验收流程，对绝缘电阻、电压等级、接地电阻等进行量化验收，形成数字档案。在运行阶段采用带有数据记录功能的智能监测模块，对电压、电流、频率、温升等参数进行周期采集与异常预警分析。通过设立月度维护、季度检测、年度评估机制，对关键部位如断路器、接触器、母排系统开展热成像、红外扫描、泄露电流测试等专项检查。在运维系统中嵌入设备寿命评估模型，实现备件更换预测与计划性检修管理。系统发生异常时通过自动生成维修工单并联动调度响应，实现从预警到处置的快速闭环，提高全周期风险识别与干预效率。

6 结语

电气自动化设备在提升生产效能与控制精度的同时，也伴随着多元化的安全风险。通过系统分析高压电击、设备老化、控制失灵等典型隐患，可为后续风险识别与防范提供明确方向。从设计优化、运维管理到操作规范，多维度构建风险防控体系已成为保障设备安全运行的核心策略。结合先进监测技术与智能防护装置的集成应用，能够实现风险源的动态追踪与实时干预，提升整体系统的稳定性与安全性。未来在电气自动化快速发展的进程中，持续优化安全机制将是保障高质量运行的重要支撑。

参考文献

- [1] 杜斌,郝敬密.建筑电气安装过程中的安全风险管理与防范技术研究[J].建筑工人,2025,46(07):25-27.
- [2] 廖德辉,黄鹏飞,刁德森,梁松清,黄超,李海勇.深化安全风险管控体系落地,推进二次远程运维模式优化[J].云南电业,2025,(01):26-30.
- [3] 李德明,肖俊.电力工程照明设备安装的安全管理与风险控制研究[J].中国照明电器,2025,(01):143-145.
- [4] 夏丽丽,周卫.探析化学类研发实验的安全风险管控[J].现代职业安全,2025,(01):91-93.