

工业自动化中的电气安全问题及对策

刘作鹏

四川久远环保安全咨询有限公司 四川 绵阳 621000

摘要: 工业自动化进程中, 电气安全问题成为制约其稳定发展的关键因素。基于此, 本文从工业自动化中存在的电气安全问题出发, 对于技术层面的问题、管理层面的问题、环境层面的问题进行了探讨, 并针对这些问题提出了相应的应对措施, 旨在降低电气事故发生率, 保障工业自动化系统的安全稳定运行。

关键词: 工业自动化; 电气安全问题; 对策

引言

工业自动化作为现代制造业的核心驱动力, 然而, 随着设备复杂度与网络化程度的提升, 电气安全问题日益凸显。据相关资料统计, 工业领域中约40%的生产中断事故由电气故障引发, 涉及设备损坏、人员伤亡及数据泄露等严重后果。在此背景下, 如何通过技术创新与制度优化构建主动防御体系, 成为工业自动化领域亟待解决的核心问题。

1 工业自动化中存在的电气安全问题

1.1 技术层面的问题

技术层面的问题是工业自动化电气安全的核心挑战, 其根源在于设备质量缺陷、安装调试失当及维护管理滞后, 这些因素相互作用可能引发触电、火灾、爆炸等严重事故, 直接威胁人员生命安全与生产连续性。(1) 从设备质量来看, 部分制造商为降低成本采用劣质材料或简化工艺, 导致设备先天存在安全隐患。例如, 接线盒若未采用密封结构设计或密封材料耐候性不足, 在粉尘、潮湿或腐蚀性环境中易被侵入, 造成内部线路短路或绝缘性能下降; 接触器触点若选用铜合金纯度不足的材料, 长期通断大电流时易产生电弧烧蚀, 导致触点粘连或接触电阻增大, 引发设备过热甚至火灾。此外, 设备选型不当也是常见问题, 如在易燃易爆场所选用非防爆型电机, 其运行时产生的电弧或高温可能引燃周围可燃气体, 造成爆炸事故; 在潮湿环境中使用普通开关, 水汽侵入会导致绝缘失效, 引发漏电风险。(2) 配电线路若未建立定期巡检制度, 老化破损的绝缘层可能长期未被发现, 尤其是在埋地或穿管敷设的线路中, 隐患更难察觉^[1]。同时, 设备清洁若未纳入维护计划, 粉尘堆积在散热风扇或散热片上会降低散热效率, 使设备长期处于高温运行状态, 加速绝缘材料老化; 而未定期清理接触器触点的氧化层, 会导致接触电阻增大, 引发触点发热甚至熔焊。(3) 技术更新滞后也是重要问题, 部分企业仍使用传统热继电器

进行过载保护, 其动作延迟长(通常需数秒), 无法快速切断故障电流; 而现代智能电机保护器可实时监测电流、电压及温度参数, 在0.1秒内切断电源, 显著降低事故风险。

1.2 管理层面的问题

(1) 从安全意识层面看, 部分作业人员对电气危险缺乏敬畏心理, 存在侥幸心理, 如在未切断电源的情况下直接拆卸电机端盖, 认为“短暂操作不会出事”, 却忽视电容残留电荷可能引发电击; 或未佩戴绝缘手套、护目镜等防护装备进行带电作业, 仅因“感觉麻烦”而省略关键步骤, 导致触电风险骤增。这种意识的缺失源于企业安全教育的形式化, 许多企业虽定期组织安全培训, 但内容多停留在理论层面, 缺乏案例分析、实操演练及互动讨论, 导致作业人员对“高压危险”“禁止合闸”等警示标识的理解仅停留在文字表面, 未能真正内化为行为准则。(2) 工业自动化设备涉及高压配电、变频控制、PLC编程等复杂技术, 要求作业人员具备扎实的专业知识和熟练的操作技能。然而, 部分企业为降低成本, 雇佣非专业人员或临时工从事电气作业, 这些人员未经系统培训, 对设备原理、故障现象及处理方法知之甚少, 容易因操作失误引发事故。(3) 部分企业虽制定了电气安全操作规程, 但执行流于形式, 比如带电作业许可制度要求“作业前需提交作业票、经安全主管审批”, 但实际中常因“赶工期”被简化, 操作人员仅通过口头汇报即开始作业, 安全主管未到现场核查便签字批准, 导致防护措施缺失。

1.3 环境层面的问题

(1) 雷电作为最具破坏力的气象灾害之一, 其通过直击雷、感应雷或雷电波侵入三种方式对电气系统造成危害。直击雷可能击穿建筑物屋顶或户外设备外壳, 瞬间释放的数百万伏电压和数十千安电流会直接熔毁电路板、烧毁电机绕组, 甚至引发火灾; 感应雷则通过电磁

感应金属导体（如电缆、信号线）上产生过电压，若设备未安装浪涌保护器（SPD），过电压会击穿半导体器件，导致控制模块瘫痪；雷电波侵入则通过架空线路或金属管道将雷电能量引入室内，对配电柜、变频器等设备造成冲击。（2）静电作为另一类自然因素，其积累与释放过程虽能量较小，但在易燃易爆环境中可能引发灾难性后果。在化工、制药、粮食加工等行业，物料在输送、搅拌或过滤过程中因摩擦产生静电，若设备未采取防静电接地措施，静电电荷会在设备表面或管道内积聚，当电位差超过空气击穿场强（约30kV/cm）时，会产生静电火花^[2]。此外，静电吸附作用还会导致粉尘堆积在设备散热片或传感器表面，影响散热效率或测量精度，间接威胁电气安全。（3）非自然因素中，电磁辐射对电气安全的影响日益凸显，随着工业自动化设备的广泛应用，其产生的谐波电流和电磁干扰（EMI）可能通过传导或辐射方式影响周围设备。传导干扰通过电源线或信号线传播，导致控制回路误动作、仪表显示失真；辐射干扰则通过空间电磁场耦合，影响无线通信设备的稳定性，甚至干扰心脏起搏器等医疗设备。

2 工业自动化中的电气安全管理措施

2.1 技术层面管理措施

一方面，需严格遵循设备选型与安装标准，优先选用符合IEC、GB等国际国内标准的电气元件，如防爆电机、阻燃电缆及具备过载、短路保护功能的断路器，确保设备本质安全；同时，采用双重绝缘或加强绝缘设计，对关键设备实施独立接地，接地电阻需 $\leq 4\Omega$ ，并定期检测接地系统完整性，防止因接地失效引发电击或设备损坏。另一方面，针对自动化生产线中的移动设备（如AGV小车、机械臂），需加装漏电保护装置，动作电流 $\leq 30\text{mA}$ 、动作时间 $\leq 0.1\text{s}$ ，确保在发生漏电时快速切断电源；对高压设备（如10kV配电柜）配置绝缘监测装置，实时监测绝缘状态，当绝缘电阻降至预警值时自动报警并连锁停机，避免电弧故障扩大。此外，利用物联网技术部署智能传感器网络，对设备温度、电流、振动等参数进行实时监测，通过边缘计算分析数据趋势，当参数偏离正常范围时触发预警，实现从“事后维修”向“预测性维护”转型，例如通过监测电机轴承温度预测润滑失效风险，提前更换润滑油，避免因轴承卡死引发设备停机或火灾。

2.2 制度规范管理措施

制度规范是电气安全管理的基石，需建立覆盖设备全生命周期的管理体系。（1）制定电气安全操作规程，明确设备启动、运行、停机及维护的标准流程，如操作

高压设备前需执行“停电-验电-挂接地线-悬挂警示牌”四步法，严禁带负荷拉合隔离开关；对自动化控制系统的操作权限进行分级管理，普通操作员仅能执行预设程序，参数修改需由工程师授权，防止误操作导致系统崩溃。（2）立严格的作业票审批流程：作业前，负责人需填写作业票，明确作业内容、时间、地点、参与人员及安全措施，并附上风险评估报告；安全主管需到现场核查作业条件，确认无误后签字批准，严禁“先作业后补票”或“口头审批”。作业过程中，需配备专职监护人，其职责包括监督操作人员执行规程、及时纠正违章行为、在紧急情况下启动应急预案；同时，通过执法记录仪或摄像头全程录像，记录操作步骤、安全措施落实情况及异常事件，为事故调查提供证据。（3）台账需记录设备基本信息、技术参数、安装位置及关联设备，为设备管理提供基础数据；维护档案则需详细记录每次维修的时间、内容、更换的备件及维修人员姓名，通过分析维修历史可识别设备薄弱环节。此外，需结合设备制造商推荐的维护周期制定维护计划，并通过信息化系统自动推送维护任务，避免漏检或过期维护。

2.3 人员培训管理

人员培训管理作为电气安全管理的核心驱动力，需构建“分层分类、理论实操结合、持续改进”的培训体系，通过针对性提升不同岗位人员的安全意识与技能水平，形成“全员懂安全、岗位能应急、管理善防控”的安全文化，从源头降低人为失误引发的电气事故风险。（1）针对一线操作人员，作为设备直接接触者，其安全素养是保障作业安全的基础，需开展基础安全培训。培训内容需聚焦日常操作场景中的核心风险点：触电急救培训需系统讲解心肺复苏术的操作规范，包括判断意识与呼吸、胸外按压的定位、频率（100-120次/分钟）与深度、人工呼吸的吹气量及按压与吹气的比例，确保操作人员能在黄金4分钟内实施有效救援；灭火器操作培训需结合电气火灾特性，强调优先选用干粉灭火器或二氧化碳灭火器，详细演示“提拔握压”的操作步骤，并明确禁止使用水或泡沫灭火器的场景，防止触电或火势蔓延。（2）电气维护人员作为设备健康管理的主体，其专业技能水平直接影响设备运行的稳定性，需开展涵盖电路原理、故障诊断、工具使用的系统化培训。电路图识读培训需从基础电气符号的表示方法入手，逐步过渡到复杂电路的分析，重点讲解电路中各元件的连接方式、信号流向及功能作用，培养维护人员通过电路图定位故障点的能力；故障诊断培训需结合设备运行参数的异常特征，总结常见故障模式。（3）定期组织安全演练是检验培训

效果、提升应急能力的关键手段,需模拟真实事故场景,强化人员协同与实战能力。演练后需召开复盘会,分析响应时间、操作规范性、协同效率等问题,制定改进措施并纳入下次演练,形成“演练-评估-改进”的闭环,确保人员具备“快速响应-科学处置-协同救援”的应急能力。通过分层分类的培训体系与常态化演练机制,企业可构建“操作人员懂防护、维护人员能修复、管理人员善管控、全员会应急”的电气安全人才梯队,为生产安全提供坚实保障。

2.4 环境控制与应急响应

(1) 对于电气室、控制柜等核心设备集中区域,需建立温湿度动态监控系统,通过传感器实时采集环境数据,并将温度严格控制在 $5\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\leq 70\%$ 的范围内。当温度接近上限时,系统自动启动空调或通风设备进行降温;当湿度超标时,除湿机立即介入,防止因高温导致设备内部元件过热老化,或因湿度过高引发绝缘材料吸潮、绝缘电阻下降,进而造成短路或漏电事故。(2) 针对存在易燃易爆物质的特殊区域(如化工车间、油气储运场所),电气设备必须选用符合防爆标准的型号,其外壳具备足够的强度和密封性,能够承受内部爆炸压力并阻止火焰向外传播;同时,需在该区域配置高灵敏度可燃气体探测器,探测器需覆盖所有可能泄漏的点位,并与电气控制系统形成连锁机制。当气体浓度达到爆炸下限的20%时,系统立即自动切断非防爆设备电源,启动防爆排风机进行强制通风,降低气体浓度至安全范围,并通过声光报警装置提醒人员撤离,从源头消除爆炸风险。(3) 对于户外电气设备,需考虑防雷、防雨、防尘等防护措施,如安装避雷针、设置防雨罩、采用IP54及以上防护等级的外壳,确保设备在恶劣天气下仍能正常运行。

2.5 新技术的应用

工业自动化中的电气安全管理正经历技术深度融合与范式革新,其核心在于通过智能化、网络化、平台化手段构建主动防御体系,实现从被动响应到风险预控的转变。(1) 在感知层,多模态传感器技术实现了对电气系统状态的全方位监测。新型传感器不再局限于单一参

数测量,而是集成温度、振动、局部放电、气体成分等多维度数据采集能力,通过多物理场耦合分析,可精准识别设备早期故障特征。例如,采用光纤传感技术的电缆温度监测系统,能够沿电缆全程布置检测点,实时感知温度分布变化,及时发现局部过热隐患。(2) 人工智能算法通过机器学习从海量历史数据中提取故障模式特征,构建动态风险评估模型,实现对电气系统健康状态的实时评分。边缘计算节点则将数据分析能力下沉至现场层级,在数据产生的源头进行预处理和初步决策,大幅降低云端依赖。这种架构使系统能够在毫秒级时间内完成故障定位与保护动作触发,较传统保护装置响应速度提升一个数量级。更值得关注的是,数字孪生技术的引入为电气安全分析开辟了新维度,通过构建物理设备的虚拟镜像,可在虚拟空间中模拟极端工况下的电气应力分布,提前验证保护策略的有效性。(3) 传统电气保护装置采用固定阈值触发机制,难以适应复杂多变的工况需求。而新一代智能保护系统引入自适应控制算法,能够根据设备运行状态、环境条件等因素动态调整保护参数,实现精准保护。如在新能源并网场景中,智能保护装置可实时计算分布式电源波动对过流保护的影响,自动修正动作特性,避免保护误动或拒动。

结语

综上所述,工业自动化电气安全问题的解决需以技术创新为引擎,以制度完善为保障,形成“技术-管理-人员”三位一体的防护体系。未来,随着5G、人工智能与工业互联网的深度融合,电气安全将向预测性、自适应与可持续方向演进。企业需持续投入研发资源,推动安全技术与业务场景的深度融合,同时加强与监管机构、科研院所的协同创新,共同构建开放共享的工业安全生态。

参考文献:

- [1]梁振,吴庆华.视觉识别技术在工业电气自动化控制中的运用分析[J].中国高科技,2021,(23):47-48.
- [2]张润宇.电气系统及其自动化技术存在的问题及对策[J].大众用电,2021,36(09):37-38.