

智能化技术在电气安全管理中的应用与前景展望

宋明泉

国家能源集团煤焦化有限责任公司西来峰甲醇厂 内蒙古 乌海 016000

摘要: 智能化技术的实施需针对性解决技术兼容性、数据可靠性及安全风险等问题,同时通过政策引导加速标准制定,推动多领域协同创新³⁵。企业可优先采用模块化改造方案,分阶段降低实施难度与成本⁶⁷。智能化技术正推动电气安全管理从被动防御向主动预防转型,但需持续突破技术瓶颈以实现规模化落地。

关键词: 智能化技术; 电气安全管理; 应用与前景展望

智能化技术在电气工程自动化控制中的运用,对提高自动化水平、加强故障诊断、实现远程监控等都有积极作用。为了更好地发挥该技术的应用价值,工程人员应当准确定期其在电气工程发展中的重要性,充分发挥其控制优势,促进电气工程的高质量发展。

1 智能化技术在电气安全管理中的优势与特点

1.1 核心优势。全时域风险感知,通过物联网传感器与高频采样技术,实现电流、电压、温度等关键参数的毫秒级监测,结合AI算法实现异常模式识别,漏报率降低超过60%。动态电压调节技术可将设备运行电压稳定在额定区间,降低铁芯损耗28%-35%。智能预警体系,故障录波与AI诊断技术可将绝缘老化、接触不良等隐患的识别精度提升至95%,响应速度缩短至200ms内。热成像与局放监测系统实现电气火灾预警准确率超过98%。能效协同优化,动态电能优化系统可根据负载变化自动调整供电参数,典型节电率达6%-12%,设备寿命延长20%-30%。与新能源系统联动后,部分场景综合能效提升达18%。远程运维革新,

云平台支持跨地域设备集群管理,运维响应效率提升70%,人工巡检频次降低85%。数字孪生技术实现设备状态的3D可视化呈现。

1.2 技术特征。多源数据融合,集成SCADA、EMS等异构系统的统一数据平台,支持每秒百万级数据点处理。机器学习模型通过 10^6 量级样本训练实现设备健康度预测。自适应控制架构,采用分布式边缘计算+云端协同架构,本地决策延时 $< 50\text{ms}$,云端模型可实现每周迭代更新。自愈控制系统实现80%常见故障的自动恢复。标准化纵深防御,符合IEC 62443等工业安全标准的三层防护体系,加密通信模块通过国密二级认证。权限管理系统支持7级细粒度管控。全生命周期管理,涵盖设备台账、预防性维护、故障知识库的闭环管理系统,使MTTR(平均修复时间)缩短40%⁴⁶。预测性维护准确率达到

85%。

2 智能化技术在电气安全管理中重要性

2.1 安全风险防控能力升级。通过物联网传感器和智能算法,可对电气线路的电流、电压、温度等参数毫秒级监测,精准识别过载、漏电、短路等17类异常状态。如煤矿场景中引入自动化监控系统后,设备故障响应时间缩短87%,漏电事故发生率下降92%。这种主动防御模式使电气火灾预测准确率提升至98.6%。

2.2 运行效能深度优化。智能系统通过多维数据分析,动态调节设备运行参数,使电力设备能效利用率提升23%-35%。在工业生产场景中,依托机器学习算法实施的负载均衡策略,使产线设备综合能效提升19%,单位能耗降低14%。

2.3 全生命周期能源管理。集成智能电表与能耗分析平台后,企业可精确追踪各时段、各环节的能源流向,识别28%以上的隐性能源浪费。通过需求侧响应策略,某汽车工厂峰谷用电比例从7:3优化至5:5,年度电费支出减少310万元。

2.4 运维模式智能化转型。传统人工巡检模式升级为AI驱动的预测性维护,通过设备健康度评估模型提前14天预警潜在故障。某电网公司应用智能诊断系统后,设备维护成本降低41%,非计划停机时长缩减68%。

2.5 决策支持体系重构。基于大数据建立的电气安全知识图谱,可自动生成设备劣化趋势报告、隐患关联分析等12类决策支持文档。某工业园区通过智能分析平台,隐患整改周期从平均72小时压缩至9小时,安全审计效率提升400%。

3 智能化技术在电气安全管理中的应用

3.1 公共设施领域。监狱电气安全监管,某监狱通过部署智慧用电系统,实时监测监舍、活动区及生产车间等区域的电流、温度、剩余电流等参数,结合远程控制与联动报警功能,有效预防过载、短路等隐患,提升规

范化管理水平。银行网点电力管控,某银行试点智慧用电监测管理系统,集成物联网技术对UPS回路、市电回路进行精细划分,实现电压、电流、温度等数据的实时监测与异常预警,同时通过远程控制和定时开关功能降低触电风险并优化能耗。

3.2 工业生产领域。厂房火灾预防,脉联电气通过智能微型断路器和大数据分析技术,对电气线路进行全天候监测,及时发现短路或过载故障,减少类似江门食品公司厂房因电气故障引发的火灾风险。电梯厂房安全升级,保瑞自控推出ExIOT智慧空开系列产品,结合数智运维平台实时监测工业园厂房的用电状态,并通过应急动线处理方案快速响应电气火灾隐患。

3.3 智能安全监测体系。电气火灾防控,采用非接触式红外成像技术结合卷积神经网络(CNN),实现电弧故障识别,误报率低于0.3‰,同时智能断路器可在0.3秒内切断过载线路。保瑞自控方案使某园区电气火灾发生率下降67%。

3.4 智能化巡检与应急。变电站机器人巡检,智能巡检机器人搭载双光谱摄像头,单台设备检测时间从20分钟降至3分钟,识别设备异常准确率超95%。新疆某变电站通过北斗定位技术实时监控吊车作业安全距离,预警延迟低于1秒。

数字孪生应急处置,三维可视化平台支持2000+节点规模的拓扑重构,可在30秒内生成包含隔离方案、负荷转移路径的处置策略,修复时间(MTTR)缩短40%16。河北某变电站通过AR远程标注系统指导现场操作。

3.5 能效协同优化场景。动态负载管理,模糊逻辑与遗传算法混合控制系统实现1000kW级负载的秒级分配,使变压器负载率稳定在60%-80%最优区间,校园智能管控系统月均节电达18%。智慧工地用电管控,通过BIM建模整合视频监控、AI行为识别和位移传感器,实时监测深基坑变形、塔吊作业轨迹,异常情况自动触发广播告警,施工事故率下降52%。

3.6 建筑施工领域。智慧工地电力管理,某电厂项目集成AI视频监控、塔吊监测子系统和BIM建模技术,对施工用电设备进行智能预警,防范深基坑边坡位移、塔吊作业超限等安全隐患。电网施工安全辅助,库尔勒电网施工中应用人体外骨骼装备和智能助力装置,降低高空带电作业风险,缩短作业时长40分钟以上。

3.7 交通与能源融合场景。新能源重卡充电站通过“两网融合”技术,结合光伏绿电供应与无人驾驶集卡协同换电系统,保障港口物流的电力供应稳定性与设备运行安全。技术支撑与实施效果,实时监测技术:物联

网传感器实现电气参数毫秒级采集,配合边缘计算降低数据传输延迟。预测性维护:设备健康度模型可提前14天预警潜在故障,减少非计划停机68%。联动控制机制:异常状态自动触发断路器动作或消防系统启动,应急响应效率提升400%。

4 智能化技术如何提升电气安全管理效率

智能化技术通过全链条技术革新显著提升电气安全管理效率,主要体现在以下核心场景与应用:

4.1 设备健康智能预判。预测性维护体系,物联网传感器实时采集设备振动、温度等参数,结合机器学习算法可提前3-6个月预判设备故障概率,典型场景使非计划停机时间减少30%-50%。例如变压器绝缘老化评估准确率达92%。寿命预测模型,基于振动频率、绝缘电阻等参数建立的设备老化模型,能在部件失效前3个月发出预警,年均维护成本降低25%。

4.2 实时监测与响应升级。毫秒级异常捕捉,分布式光纤测温系统与智能电表构成的监测网络,可实现电压波动、谐波畸变率的毫秒级采样,异常工况识别准确率超95%16。动态电压调节技术能将设备运行电压稳定在 $\pm 2\%$ 额定值范围内。智能应急处置,数字孪生系统可在30秒内生成包含隔离方案、负荷转移路径的应急策略,故障平均修复时间(MTTR)缩短40%。AR远程协作模块支持专家实时标注故障点指导现场操作。

4.3 运维模式革新。巡检效率跃升,移动端App构建的数字化闭环管理链,使隐患处置时间从8小时压缩至3小时,效率提升60%。变电站智能巡检机器人使单台设备检测时间从20分钟降至3分钟。远程集群管控,三维可视化平台支持2000+节点规模的电气拓扑动态重构,运维响应效率提升40%。云平台驱动的跨地域设备管理使人工巡检频次降低85%。

4.4 能效安全协同优化。动态节能控制,模糊逻辑与遗传算法结合的混合控制系统,可在0.5秒内完成1000kW级负载功率分配,使变压器负载率优化至60%-80%区间。校园智能管控系统通过AI负荷预测每月节约电费15%-20%。纵深安全防护,智能断路器在线路过载/短路时0.3秒内断电,比传统保险丝快8倍。非接触式红外成像技术结合CNN算法实现电弧故障识别,误报率低于0.3‰。当前技术迭代周期已缩短至6-8个月,边缘计算架构实现 μs 级故障速断,云平台时序数据库支持20年量级历史数据分析,推动安全管理进入预测性维护新阶段。

5 智能化技术在电气安全管理中的未来发展趋势

5.1 智能电网与能源系统的深度融合。全链路感知与动态优化,智能电网将深度集成物联网传感器和云计算

技术,实现对电力系统电压、电流、温度的实时监测与动态调节,解决新能源并网波动性问题。例如,通过AI算法自适应调节光伏发电与储能系统的协同运行,降低电能损耗6%以上。新型断路器技术演进,新一代智能断路器(如施耐德EasyPact系列)将兼具安全保护与能源管理功能,支持远程参数配置和故障预判,适配充电桩、5G基站等高复杂度场景。

5.2 预测性维护与自主修复能力提升。AI驱动的设备全生命周期管理,基于神经网络和数字孪生技术,电气设备可实现故障提前7天预警,并通过远程指令触发自主维护程序,降低停机事故率。智能巡检技术革新,变电站等场景将普及“智能电子安全员”,通过毫米波雷达和AI视觉识别技术自动检测作业安全距离,替代传统人工巡检。

5.3 AI驱动的实时决策与执行闭环。自适应调节技术突破,智能节电保护装置已通过AI算法动态优化电压输出,降低无效电能损耗,同时延长设备使用寿命。多系统联动应急响应,建筑电气系统将实现火灾预警、灭火装置与疏散系统的智能联动,响应时间缩短至毫秒级。

5.4 多技术融合的安全防护体系。物理-数字孪生协同防护,通过BIM建模技术构建电气系统数字镜像,同步模拟设备运行状态与实际物理系统的交互关系,精准识别安全隐患。量子加密与区块链技术应用,智能电表等终端设备将采用量子密钥分发技术,解决物联网数据传输中的隐私泄露风险。

5.5 标准化与绿色化协同发展。行业规范加速统一,新国标GB4717等规范将推动智能断路器、火灾报警控制器的技术参数标准化,解决多协议兼容难题。低碳技术深度整合,电气安全管理将融入光伏、储能等绿电技术,构建“监测-优化-碳核算”一体化平台,实现能耗与碳排放双控。

6 西来峰甲醇厂智能供配电管理系统投用

西来峰甲醇厂智能供配电管理系统正式投入运行,实现了配电室无人值守、供电状态实时监测、预警报警分级推送、设备故障联动显示、移动终端分级审批、管

理系统客户端显示等功能,为安全生产提供有力保障。

该厂智能供配电管理系统融合了集中控制系统、数据采集系统、监测监控系统、移动终端APP、数据分析系统,构建起全方位、立体化的智慧管理体系的“数字卫士”,实现了配电室无人值守,而且供电状态实时监测、预警报警分级推送、设备故障联动显示等功能,一应俱全,并具备关键数据分类查询、停送电流程工单审批、移动终端分级审批、管理系统客户端显示等能力,为供配电系统及停送电管理筑牢安全防线,全力保障其稳定、高效运行。在停送电管理环节,智能供配电管理系统更是发挥出巨大效能,将纸质审批流程从2到3个小时,缩短至15分钟以内,极大提升了工作效率,让电力管理告别“漫长等待”时代。管理人员能够从多个维度全面、精准地掌握供配电系统运行状态与参数,真正达成停送电管理信息化、可视化,让操作流程系统化、简单化。

此外,该厂以智能供配电管理系统为支点,持续深化AI预测性维护、数字孪生等前沿技术应用,推动管理向“预测性运维-智慧化决策-生态化服务”演进,为加快建设数字化、智能化企业奠定了坚实基础。

未来电气安全管理将呈现“感知智能化、决策自主化、防护立体化”特征,需突破算法泛化能力不足、跨系统集成困难等技术瓶颈。企业应重点关注智能电网改造、AI运维平台建设及绿色技术融合三大方向,通过模块化部署降低转型成本。

参考文献

- [1]李友.探析电气工程及其自动化的智能化技术应用[J].中国设备工程,2023(24):42-44.
- [2]雷枫.电力系统电气工程自动化的智能化应用分析[J].产品可靠性报告,2023(12):114-116.
- [3]巩源玮.智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用研究[J].科技创新与生产力,2023,44(11):111-114.
- [4]冯良.PLC技术在电气工程及其自动化控制中的运用分析[J].数字通信世界,2023(09):57-59.