

AI智能安全管控在金属冶炼行业的运用

杨 彬

宝钢集团新疆八一钢铁有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：金属冶炼行业因高温高压特性，传统安全管控存在响应滞后、监测盲区等局限。AI智能安全管控通过实时风险监测、设备状态预警、人员行为识别及环境隐患防控四大核心场景，结合物联网、机器学习等多技术融合及专业人才培养，推动行业从被动响应向主动预防转型，提升生产安全系数与效率，降低设备故障率及人为失误概率，为高质量发展提供坚实技术保障，引领行业安全升级。

关键词：AI智能；安全管控；金属冶炼运用

引言：金属冶炼行业因高温、高压、高能耗特性，传统安全管控依赖人工巡检与经验判断，存在响应滞后、监测盲区等局限。随着AI技术突破，通过传感器网络、机器学习算法及视觉识别系统，实现冶炼过程动态风险评估、设备故障预测及人员行为规范监测，为行业安全管控提供智能化、精准化解决方案，推动生产模式革新。

1 AI智能安全管控在金属冶炼行业的应用重要性

金属冶炼行业因其高温、高压、高能耗的特性，对生产安全管控有着极高要求。传统安全管理模式依赖人工巡检与经验判断，存在响应滞后、监测盲区等局限，难以满足复杂工况下的精准管控需求。AI技术的引入，正逐步重构这一领域的安全管控逻辑。在冶炼过程中，AI通过实时采集炉温、压力、气体浓度等关键参数，结合机器学习算法构建动态预警模型，可提前识别异常波动趋势。例如，当熔炼炉内温度分布不均或冷却系统效率下降时，AI系统能快速定位潜在风险点，并生成优化建议，避免因热应力集中引发的设备开裂或泄漏事故。AI在视觉识别领域的突破，进一步拓展了安全管控的维度；通过部署工业摄像头与图像分析系统，AI可自动监测操作人员的安全防护装备佩戴情况、作业区域规范行为，以及设备表面的裂纹、腐蚀等隐性损伤。这种非接触式、全天候的监测方式，不仅降低了人工巡检的劳动强度，更减少了人为疏漏导致的安全隐患。此外，AI驱动的智能调度系统能够优化生产流程中的安全协同。通过对冶炼各环节数据的深度挖掘，系统可动态调整工艺参数，平衡生产效率与安全裕度，避免因过度追求产能而忽视安全边界。这种基于数据的决策模式，使安全管控从被动应对转为主动预防，显著提升了行业整体的安全系数^[1]。随着AI技术的持续迭代，金属冶炼行业的安全管控正朝着更智能、更精准的方向发展。这不仅是对传

统生产模式的革新，更是对作业人员生命安全与设备资产保护的重要保障，为行业高质量发展奠定了坚实基础。

2 AI智能安全管控在金属冶炼行业的核心应用场景

2.1 冶炼过程实时风险智能监测

AI智能安全管控在金属冶炼行业的核心应用场景中，冶炼过程实时风险智能监测发挥着至关重要的作用。该系统通过布置高精度传感器网络，对炉体温度、管道压力、阀门振动等关键参数进行全方位感知，捕捉温度梯度变化、压力波动等细微异常，结合历史数据模式识别提前预警设备故障风险。在熔炼工序中，智能液位传感器持续监测金属液面动态，通过机器学习算法分析液面波动规律，精准识别喷溅、泄漏等风险征兆。冷却水系统的流量、温度传感器与电气线路的电流、电压监测模块协同工作，实时检测过载、短路、泄漏等隐患，避免设备故障引发的次生灾害。针对有害气体排放问题，一氧化碳、二氧化硫等气体传感器阵列与智能算法深度融合，动态评估气体扩散趋势及爆炸风险，联动通风系统自动调节风量，维持作业环境安全阈值。该系统通过整合多维感知数据，构建动态风险评估模型，综合分析温度、压力、气体浓度等多因子关联性，提前识别复合型风险，为操作人员提供精准决策支持，实现安全隐患的早期发现与及时处置，确保冶炼全流程安全平稳运行，推动金属冶炼行业向智能化、安全化方向发展。

2.2 生产设备安全状态智能预警

AI智能安全管控在金属冶炼行业的生产设备安全状态智能预警中，通过振动、温度、声波、红外热成像等多维度传感器阵列，对炉体、电机、传动装置等关键设备实现全生命周期数据采集。这些传感器实时捕捉轴承润滑状态、转子偏心度、密封件老化等微观异常信号，结合边缘计算节点进行初步数据清洗与特征提取。系统基于深度学习算法构建设备健康指数模型，通过对比历

史运行数据与实时参数趋势,识别电流谐波畸变、振动频谱偏移等早期故障征兆。当监测到电机轴承温度异常升高或振动加速度超过阈值时,系统自动触发三级预警机制:初级预警推送维护建议,中级预警启动备用设备切换,高级预警则强制停机并锁定故障区域。设备间关联性分析通过数字孪生技术构建动态拓扑网络,实时追踪冷却水流量波动对炉体温度的影响,或传动装置异常振动对生产线节拍的连锁反应。这种主动式智能预警体系将传统事后维修转变为预测性维护,使设备故障率降低30%以上,关键设备寿命延长20%,同时通过精准的分级响应机制,实现安全管控与生产效率的双重优化,为金属冶炼行业构建起坚实的智能安全防线。

2.3 作业人员安全行为智能识别

金属冶炼作业中,人员安全行为智能识别是防范人为风险的核心环节。通过工业摄像头与AI视觉分析系统,可实时追踪操作人员的装备佩戴状态(如安全帽、防护服、护目镜)、危险区域停留时长及设备操作规范性,构建全方位行为监测网络。深度学习算法通过持续学习优化,能精准识别人员姿态、动作轨迹及空间位置的细微变化。例如,系统可区分正常操作手势与误触危险设备的异常动作,或检测到人员在高温熔融金属区域未穿戴隔热装备时,立即触发声光预警并推送调整建议。该技术更注重群体协同场景的安全分析,通过追踪多人员交互时的位置关系、动作协同性及路径规划,系统可预判潜在冲突,如交叉作业区的人员路径重叠风险、多人同时操作同一设备导致的协作失误,或紧急撤离时的秩序混乱隐患,从而提前介入引导安全行为。非接触式、全天候的智能监测模式,将传统人工巡检的被动管理升级为主动预防体系^[2]。通过持续降低人为失误引发的安全事故概率,不仅提升了作业现场的安全系数,更推动了金属冶炼行业向智能化、本质安全型生产的转型进程。

2.4 生产环境安全隐患智能防控

金属冶炼生产环境中,安全隐患智能防控聚焦空间环境风险的动态管理。高温作业区域的热辐射控制需通过温湿度传感器阵列实现全域监测,系统可自动调节通风设备风量、冷却系统功率及遮热装置角度,避免局部过热引发火灾或人员中暑,同时优化能源分配效率,降低能耗成本。粉尘治理依托激光粉尘传感器与AI算法的深度融合,系统不仅能动态评估浓度变化趋势,还可根据粉尘粒径分布自动选择喷淋降尘或负压吸尘模式。例如,在原料破碎工序中,系统可预判粉尘爆炸风险并提前启动防护措施,同时通过气流导流装置减少粉尘扩散

范围。有害气体防控依赖多参数气体监测网络,实时追踪一氧化碳、硫化氢等气体浓度,结合三维气流模型预测扩散路径。系统可提前划定危险区域,通过声光报警引导人员规避,并联动应急设备自动启动净化程序,如活性炭吸附装置或化学洗涤塔,确保有害气体浓度快速降至安全阈值。通过物联网与AI技术的协同,生产环境安全隐患智能防控实现了从被动响应到主动预防的转型,有效降低环境因素引发的安全事故概率,提升冶炼作业的安全系数与作业舒适度,为行业可持续发展构筑起坚实的环境安全屏障。

3 金属冶炼行业 AI 智能安全管控的优化路径

3.1 强化多技术融合提升管控精准度

金属冶炼行业安全管控需通过多技术深度融合实现精准度提升。传感器网络作为数据采集的基础,需覆盖高温熔融金属流动、设备振动、气体浓度等关键参数,通过高精度传感器捕捉细微变化,为风险识别提供原始数据支撑。AI算法需与传感器数据深度结合,通过机器学习模型对历史数据进行分析,挖掘潜在风险模式。例如,通过训练模型识别设备运行中的异常振动频率,或预测高温区域热辐射扩散路径,提前预警可能的安全隐患。物联网技术则实现设备间的互联互通,使传感器、控制器、执行器形成闭环系统。当系统检测到异常参数时,可自动触发联动响应,如调整通风设备风量、启动降温程序或提醒操作人员调整行为,实现从数据采集到决策执行的全流程自动化。多技术融合还需注重数据整合与分析能力的提升。通过构建统一的数据平台,整合来自不同设备、不同时段的数据,利用大数据技术进行趋势分析和关联性研究,从而更准确地识别复合型风险,提升管控决策的科学性和前瞻性^[3]。这种技术融合模式不仅提升了风险识别的精准度,更推动了安全管控从被动响应向主动预防的转变,为金属冶炼行业的安全生产提供了更坚实的技术保障。

3.2 完善智能管控系统协同适配性

金属冶炼智能管控系统的协同适配性需从多维度优化。系统架构应采用模块化设计,各功能模块如风险监测、设备预警、行为识别等可独立运行又相互关联,确保在单一模块升级或故障时,整体系统仍能维持基本功能,避免因局部问题导致全局失效。硬件与软件的适配需兼顾兼容性与扩展性,传感器、控制器等硬件设备需支持标准化接口,便于与不同厂家的设备互联互通;软件平台则需具备开放性,可集成第三方算法或工具,如AI训练框架或数据分析模块,以适应不断变化的技术需求。系统运行逻辑需与生产流程深度契合,例如在熔

炼工序中,系统需实时同步炉温、液位、气体浓度等参数,并根据生产节拍自动调整监测频率与预警阈值,避免因过度监测或监测不足导致的安全隐患或效率损失。协同适配性还需考虑人机交互的流畅性。操作界面需简洁直观,使操作人员能快速获取关键信息并执行指令;同时,系统应支持多级权限管理,确保不同岗位人员仅能访问与其职责相关的功能模块,避免信息过载或误操作风险。通过提升系统协同适配性,金属冶炼智能安全管控将更贴近实际生产需求,实现技术性能与生产效率的双重优化。

3.3 加强专业技术人才队伍建设

金属冶炼行业智能化安全管控需依托专业技术人才的支撑,需构建多层次、多维度的人才培养体系。应聚焦实际操作与技术创新双重能力的培养,通过模拟真实冶炼环境的实训平台,提升技术人员对智能监测系统、预警算法及行为识别技术的掌握程度。例如,针对高温熔融金属流动监测、设备振动频谱分析等核心技能,设计专项训练模块,强化技术人员对异常数据识别、风险趋势预测的实操能力。同时,需推动跨领域技术融合,鼓励技术人员学习人工智能、大数据分析等交叉学科知识,培养既懂冶炼工艺又精通智能技术的复合型人才。通过定期举办技术交流会、案例研讨会,促进经验共享与问题共解,提升团队整体技术水平。在人才选拔与激励方面,应建立以能力为导向的评价机制,重点关注技术创新贡献与问题解决能力。通过设立专项奖励、提供职业发展通道,激发技术人员的主动性与创造力,形成“以老带新、以新促老”的良性循环,为智能安全管控体系的持续优化提供坚实的人才保障,推动金属冶炼行业向更高效、更安全的方向发展。

3.4 推动管控技术迭代与创新升级

金属冶炼行业安全管控技术的迭代需聚焦于提升监测精度与响应效率。应优化传感器阵列布局,采用耐高温、抗腐蚀的新型材料,增强在高温熔融金属环境下的数据采集稳定性。例如,研发可嵌入炉体内部的微型

传感器,实时追踪金属液流动状态与温度梯度变化,减少因外部干扰导致的数据失真。算法层面需引入自适应学习机制,使预警模型能够根据生产环境动态调整参数阈值;通过持续学习设备运行规律与异常模式,提升对潜在风险的早期识别能力。同时,融合边缘计算技术,在设备端实现初步数据处理,降低数据传输延迟,确保预警信息及时触达操作人员。在数据处理方面,需构建更高效的数据清洗与融合框架,整合多源异构数据,如温度、压力、气体浓度等,形成统一的安全态势感知图谱。通过可视化技术将复杂数据转化为直观的热力图、趋势线,辅助操作人员快速理解风险分布与演变趋势。技术迭代还需关注系统兼容性与可扩展性,采用模块化设计理念,使新功能模块能够无缝接入现有系统,避免因技术升级导致系统重构^[4]。通过持续的技术创新与迭代,推动金属冶炼安全管控体系向更智能、更可靠的方向演进,为行业安全生产提供坚实的技术支撑。

结束语:未来,AI算法优化与5G、物联网技术融合将推动金属冶炼行业构建全链条智能安全防控网络。通过高精度传感器实时采集多维数据,结合边缘计算实现秒级响应,精准识别热应力集中、气体泄漏等复合风险。智能防护装备与设备健康管理系统联动,预判人员操作失误及设备老化风险,降低事故率,推动生产模式向“零伤害”目标迈进,引领行业实现本质安全型生产转型。

参考文献

- [1]徐琳.人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用研究[J].绿色矿冶,2024,40(1):78-82.
- [2]徐伟,何坤,谷琳.人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用研究[J].绿色矿冶,2024,40(1):78-82.
- [3]蔡瑛芙.智能化技术在金属冶炼中的应用与挑战[J].世界有色金属,2024(12):40-42.
- [4]魏钢毅,刘胜利.智能控制系统在复杂金属矿电解冶炼工序中的应用研究[J].冶金与材料,2025,45(8):169-171.