

冶金工程的机械设备安全管理研究

乔建辉

阿拉善盟应急管理局综合保障中心 内蒙古 阿拉善盟 750306

摘要: 随着冶金行业的持续发展与技术迭代,冶金工程机械设备的安全管理愈发关键。本文深入探究该领域,对冶金机械设备进行分类并剖析其特点,如高温高压重载设备的极端工况挑战、自动化智能化设备的高运维要求。详细分析常见安全风险类型与评估方法,结合实际案例评估风险。从设计、使用、应急等多方面提出管理策略,同时引入信息化智能化创新手段,为冶金设备安全管理提供新思路。

关键词: 冶金工程; 机械设备; 安全管理

引言: 冶金行业作为国民经济的重要支柱产业,其生产过程高度依赖各类机械设备。这些设备在高温、高压、重载以及强腐蚀等极端工况下运行,不仅面临着复杂的机械应力,还承受着严峻的化学侵蚀,安全风险极高。一旦发生设备故障或安全事故,不仅会造成巨大的人员伤亡和财产损失,还会严重影响企业的正常生产和行业的稳定发展。因此,深入研究冶金工程机械设备的安全管理,采取有效措施保障设备安全稳定运行,具有重要的现实意义。

1 冶金工程机械设备安全管理的理论基础

1.1 冶金机械设备分类与特点

(1) 高温、高压、重载设备: 此类设备是冶金熔炼、浇铸环节的关键设备,长期处于极端恶劣工况。高炉需承受1500℃以上高温和高压煤气冲刷,转炉在吹炼过程中面临高温钢水喷溅风险,连铸机则需持续承受钢水重载和高频振动,设备易出现耐材磨损、部件疲劳、腐蚀老化等问题,一旦发生故障,极易引发重大安全事故,是安全管理的重中之重,需重点监控设备损耗和运行参数变化。(2) 自动化与智能化设备: 随着冶金行业转型升级,此类设备广泛应用于物料搬运、精密操作、流程管控等环节。其核心特点是自动化程度高、操作精度高,可替代人工在高危环境作业,有效降低人为操作风险,但对设备稳定性和运维专业性要求极高。PLC控制系统作为设备“大脑”,若出现程序错误、信号中断,会导致设备误操作;工业机器人若出现机械故障、指令偏差,可能引发碰撞、伤人事故,间接影响生产安全^[1]。

1.2 安全管理核心理论

(1) 事故致因理论: 能量意外释放理论认为,事故的本质是能量失去控制、意外释放引发的伤害,冶金设备的高温、高压、电能等能量一旦泄漏,便会造成员工伤亡和设备损坏;轨迹交叉理论指出,人的不安全行为

与物的不安全状态相互交叉时,会引发安全事故,为设备安全检查、人员培训提供了明确方向,既要管控设备隐患,也要规范人员操作。(2) 风险矩阵评估法: 该方法通过评估冶金设备故障的发生概率和影响程度,划分高、中、低三个风险等级,明确管控优先级。针对不同类型设备的风险特点,精准识别高风险环节,为安全资源分配、防控措施制定提供科学依据,避免管理盲目性,提升安全管控的针对性和有效性。(3) 设备全生命周期管理理论: 该理论涵盖设备采购、安装、运行、维护、报废全流程,要求在各阶段均落实安全管控责任。采购时筛选符合冶金工况的安全型设备,从源头规避先天隐患;安装时严格遵循规范,确保设备安装合格;运行中定期巡检维护,及时排查故障;报废时规范处置,防止废旧设备引发安全隐患,实现设备安全长效管控。

2 冶金工程的机械设备安全风险识别与评估

2.1 常见风险类型分析

(1) 机械伤害: 此类风险最为常见,多发生于设备运行和检修环节。冶金设备中的旋转轴、齿轮、辊压机等旋转部件,以及连铸机、剪板机的挤压点,若防护装置缺失、老化或人员违规操作,易造成卷入、挤压、剪切等伤害,严重影响人员人身安全。(2) 电气故障: 冶金车间高温、潮湿、粉尘多的环境,易导致电气设备绝缘损坏,引发短路、漏电等故障。短路可能造成设备烧毁、引发火灾,漏电则可能导致人员触电伤亡,同时电气故障还可能间接影响设备正常运行,诱发次生安全隐患。(3) 高温灼烫与粉尘危害: 冶金生产核心环节需承受高温工况,高炉、转炉等设备的高温辐射、钢水喷溅,易造成人员灼烫;同时,原料破碎、冶炼过程中会产生大量冶金粉尘,长期接触会危害作业人员呼吸系统,且粉尘堆积还可能引发爆炸风险^[2]。(4) 控制系统失效: 自动化控制系统是冶金设备稳定运行的“大脑”,若PLC程

序错误、传感器故障或信号传输中断,会导致设备误操作、运行失控,如连铸机结晶器液位失控、高炉布料不均等,极易引发生产安全事故,造成重大财产损失和人员伤亡。

2.2 风险评估方法

(1) 定性评估:安全检查表(SCL)、预先危险性分析(PHA)。安全检查表(SCL)针对各类冶金设备,明确检查项目、标准和方法,逐一排查设备隐患,操作简便、适用性强,广泛应用于日常巡检;预先危险性分析(PHA)主要用于设备设计、安装阶段,提前识别潜在风险,划分风险等级,提前制定防控预案,规避源头隐患。(2) 定量评估:故障树分析(FTA)、事件树分析(ETA)。故障树分析(FTA)以具体事故为顶事件,逐层分析导致事故发生的设备、人员、环境因素,量化各因素影响程度,精准定位核心隐患;事件树分析(ETA)以设备故障为初始事件,分析事件发展的不同路径及后果,量化事故发生概率,为高风险环节管控提供数据支撑。

2.3 案例分析:某钢铁企业高炉设备风险评估

以某大型钢铁企业3200m³高炉为例,结合其高温、高压的运行特点,采用风险矩阵法开展风险评估,明确关键风险点及管控重点,为同类设备风险评估提供参考。(1) 风险矩阵构建与优先级排序:结合高炉设备运行实际,构建以“发生概率”为横轴、“影响程度”为纵轴的风险矩阵,将风险划分为高、中、低三个等级。通过现场巡检、数据统计,对高炉设备的12项潜在风险进行评估,最终将炉体耐材脱落、煤气泄漏、冷却壁破损列为高优先级风险,需立即落实管控措施;将阀门失效、仪表误差列为中优先级,定期开展排查维护。(2) 关键风险点识别:经评估,该高炉核心风险点主要为两项。一是炉体耐材脱落,高炉长期承受1500℃以上高温冲刷,耐材易出现磨损、剥落,若未及时发现,会导致炉体烧穿,引发钢水喷溅重大事故;二是煤气泄漏,高炉冶炼过程中产生大量煤气,若管道接口密封不严、阀门失效,煤气泄漏后易引发人员中毒、爆炸,危害范围广、后果严重。目前该企业已针对两项关键风险点,完善巡检制度、加装监测设备,实现风险动态管控。

3 冶金工程的机械设备安全管理策略与优化

3.1 设计阶段的安全管理

(1) 本质安全设计:本质安全设计核心是“从源头消除风险”,结合冶金设备高温、高压、重载的工况特点,针对性设置安全防护装置和冗余系统。对于旋转部件、挤压点等易引发机械伤害的部位,设计固定、可靠的防护栏、防护罩,防止人员意外接触;对于高炉、转

炉等核心设备,设置压力、温度、液位等关键参数的冗余监测系统,当主系统出现故障时,备用系统可立即启动,避免参数失控引发事故。同时,优化设备结构设计,选用耐高温、耐腐蚀、抗疲劳的优质材料,提升设备自身安全稳定性,减少故障隐患^[1]。(2) 人机工程学应用:结合冶金设备操作流程,融入人机工程学理念,优化操作界面与操作流程,减少人为操作失误。合理设计操作控制台,将常用操作按钮、监测仪表集中布置在人员易观察、易操作的区域,避免操作混乱;优化操作流程,简化复杂操作步骤,减少不必要的人工干预,降低操作失误概率;同时,考虑操作人员作业环境,合理设置作业空间,规避高温、粉尘对操作的影响,配备舒适的操作座椅,缓解操作人员疲劳,进一步减少因疲劳导致的操作失误,提升操作安全性。

3.2 使用阶段的安全管理

(1) 维护保养制度:建立健全设备全流程维护保养制度,实行“定期检修+日常巡检+专项排查”相结合的模式,明确检修标准、周期和责任人员。针对不同类型设备制定差异化检修计划,高炉、转炉等高温重载设备定期检查耐材磨损、管道密封等情况,及时更换老化部件;连铸机、辊压机等设备加强润滑管理,定期添加、更换润滑油,避免因润滑不足导致部件磨损、卡涩,引发设备故障。同时,建立维护保养台账,详细记录检修内容、时间、人员及设备运行状态,实现运维过程可追溯,及时发现并整改潜在隐患。(2) 操作人员培训与资质认证:操作人员的专业能力和安全意识是设备安全使用的关键,严格落实操作人员培训与资质认证制度。建立分层分类培训体系,新员工需经过岗前安全培训、设备操作培训和实操演练,考核合格取得相应资质后,方可上岗作业;老员工定期开展安全知识更新培训和技能提升培训,重点培训设备操作规范、安全隐患识别方法和应急处置技能,强化安全意识。同时,实行资质动态管理,定期对操作人员资质进行审核,对违规操作、考核不合格的人员,暂停上岗并重新培训,确保操作人员具备专业操作能力和安全管控意识。(3) 智能监控系统:引入智能监控系统,实现设备运行状态实时监测、异常预警,提升使用阶段安全管理的智能化水平。在关键设备上安装振动传感器、温度传感器、压力传感器等设备,实时采集设备振动、温度、压力等运行参数,通过数据传输模块上传至监控平台;监控平台对数据进行实时分析,当参数超出安全阈值时,自动发出声光预警,提醒工作人员及时排查处理。例如,通过振动分析可及时发现设备轴承磨损、部件松动等隐患,通过温度监测可防范设

备过热、耐材脱落等风险,实现“早发现、早预警、早处置”,降低事故发生概率^[4]。

3.3 应急管理 with 事故预防

(1) 应急预案制定与演练:结合冶金设备常见安全风险和可能发生的事故类型,制定针对性、可操作性强的应急预案,涵盖机械伤害、电气故障、高温灼烫、煤气泄漏等各类事故的应急处置流程、责任分工、救援措施和物资保障。明确应急指挥体系,划分各部门、各岗位的应急职责,确保事故发生时能够快速响应、协同处置;同时,配备充足的应急救援物资,如灭火器、急救箱、堵漏设备、应急电源等,定期检查物资完好情况,确保能够正常使用。定期开展应急演练,模拟各类事故场景,提升操作人员的应急处置技能和各部门的协同配合能力,及时发现应急预案中的不足并优化完善。(2) 事故根因分析(RCA)与改进措施:建立事故根因分析机制,对于发生的各类安全事故,采用RCA分析法,深入排查事故发生的根本原因,而非仅停留在表面现象。通过询问“为什么”,层层追溯,明确事故发生的设备因素、人员因素、管理因素和环境因素,找准根本症结;针对根因制定切实可行的改进措施,优化设备运维流程、强化人员培训、完善管理制度,堵塞安全漏洞。同时,建立事故案例库,汇总事故案例、根因分析结果和改进措施,开展全员警示教育,防范同类事故重复发生,实现“事故一次发生、全员共同提升”的管理目标。

3.4 信息化与智能化管理创新

(1) 数字孪生技术:引入数字孪生技术,构建冶金设备数字孪生模型,实现设备物理实体与数字模型的实时联动。通过数字模型实时模拟设备运行状态,精准还原设备的结构、参数和运行工况,可直观呈现设备内部损耗、关键部件运行状态等难以直接观察的信息;同时,结合实时监测数据,通过数字模型开展模拟仿真分析,预测设备可能出现的故障,提前制定防控措施。此外,可通过数字孪生模型开展操作人员培训和应急演练,模拟各类复

杂事故场景,提升培训效果和应急处置能力,降低培训成本和安全风险^[5]。(2) AI驱动的预测性维护:依托AI技术和大数据分析,构建AI驱动的预测性维护体系,实现设备维护从“定期检修”向“预测性维护”转变。收集设备长期运行数据、故障数据和维护数据,通过机器学习算法对数据进行深度分析,挖掘数据背后的关联规律,构建故障预警模型;模型可根据设备实时运行数据,精准预测设备可能出现的故障类型、故障部位和发生时间,提前发出预警信号,并推荐针对性的维护措施。通过预测性维护,可有效减少不必要的检修工作,降低运维成本,同时避免因设备突发故障引发的安全事故,提升设备安全运行稳定性和使用寿命。

结束语

冶金工程机械设备安全管理是一项复杂且意义重大的系统工程。通过对其理论基础、风险识别评估、管理策略等多方面的研究,我们明确了保障设备安全运行的要点与方法。尽管在信息化智能化管理创新上取得了一定进展,但面对不断变化的行业环境与设备状况,仍需持续探索。未来,应进一步强化各环节管理,提升人员素质,融合先进技术,构建更完善的安全管理体系,为冶金行业稳定发展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]张辉.冶金工程的机械设备安全管理及其发展探析[J].冶金与材料,2022,42(2):73-74.
- [2]陈煜.冶金工程中机械设备的安装施工及维护[J].冶金与材料,2022,42(6):134-136.
- [3]郭靖.简析冶金工程中机械设备的安装施工及维护[J].冶金与材料,2021,41(04):89-90.
- [4]李佩林,张海东.冶金工程的机械设备安全管理和发展[J].中国金属通报,2021,(09):193-194.
- [5]宋俊.冶金工程的机械设备安全管理及其发展分析[J].中国金属通报,2021,(07):54-56.