

冶金熔融金属作业安全风险防范分析

王 强 李正忠

内蒙古霍煤鸿骏铝电有限责任公司扎哈淖尔分公司 内蒙 通辽 028000

摘 要：冶金熔融金属作业属于冶金生产中的高危工序，现场工况复杂、风险集中，极易发生泄漏喷爆、气体中毒、设备伤害等安全事故，是企业安全管控的重点难点。本文梳理作业工艺流程、现场环境和设备设施基本特征，系统识别金属泄漏、粉尘爆炸、电气及起重伤害等各类安全风险。结合现场生产实际，采用科学评估方法完成风险分级研判，从技术防控和现场管理两个维度制定针对性风险防范措施。

关键词：熔融金属作业；安全风险识别与评估；安全技术防控；安全管理；防范措施

引言：随着冶金行业规模化、连续化生产水平不断提升，熔融金属熔炼、浇铸等工序的作业负荷持续增大，现场安全隐患呈现多样化、复杂化特征。高温高压、粉尘毒气、重型设备密集的作业场景，导致各类安全事故频发，不仅威胁作业人员人身安全，也严重影响企业生产稳定。基于此，本文结合现场作业实际，系统开展熔融金属作业安全风险分析，精准排查隐患、分级评估风险，配套完善技术与管理防控措施，助力企业筑牢安全生产防线。

1 冶金熔融金属作业概述

1.1 作业流程与工艺特点

冶金熔融金属作业涵盖原料准备、熔炼、精炼、浇铸四大核心工序，各环节工艺特性差异较大，安全操作要求各不相同。原料准备阶段主要完成矿石、焦炭、合金辅料的配比与输送，物料堆放、输送上料的规范性直接影响后续工序安全。熔炼阶段依托高温设备将固体原料熔化为液态金属，炉内温度可达上千摄氏度，是高温风险集中的核心环节。精炼阶段主要去除熔融金属中的杂质、调整金属成分，作业中需精准控制温度与辅料投放量，规避成分波动引发的作业隐患。浇铸阶段为成品成型关键工序，需把控熔融金属流速、温度，防止金属液滞留、溢出。

1.2 作业环境特性

冶金熔融金属作业整体作业环境复杂恶劣，具备高风险、高干扰的显著特征。作业区域长期处于高温状态，设备散热、熔融金属热辐射会持续升高现场温度，易造成作业人员体能下降、操作失误。生产过程中会持续产生金属粉尘、炉烟及一氧化碳等有毒有害气体，若通风不畅，易引发粉尘堆积、气体集聚，存在中毒、爆炸隐患。熔炼、浇筑设备运行会产生持续性强噪声，长期干扰作业人员听觉判断，影响现场沟通与应急反应能

力，间接增加作业安全风险。

1.3 作业设备与设施构成

熔融金属作业核心设备主要包含高炉、转炉、电炉及配套浇铸设备，是保障生产开展的基础，也是安全防控的重点对象。高炉、转炉、电炉为核心熔炼设备，依靠高温腔体完成金属熔化，设备炉体、内衬、密封结构为关键安全部件，其完好性直接杜绝金属泄漏风险。浇铸设备负责液态金属输送与成型，导流槽、温控装置、防护挡板是核心安全设施^[1]。

2 冶金熔融金属作业安全风险识别与风险评估

2.1 冶金熔融金属作业安全风险识别

结合冶金熔融金属现场实际工况，从设备、环境、操作多维度开展风险识别，梳理现场主要高危风险及危害如下：（1）高温熔融金属泄漏风险。熔炼、浇铸工序炉体内衬长期高温灼烧易开裂脱落，管道老化、密封失效及浇铸操作偏差，均会引发熔融金属泄漏。高温金属液接触积水和潮湿设备易发生蒸汽喷爆，可直接造成人员重度灼伤，引燃周边可燃物引发火灾，是冶炼作业最主要的高危风险。（2）有毒有害气体中毒风险。冶炼过程中原料高温反应会生成一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等有毒气体。通风设备故障、受限空间通风不畅时，有害气体极易积聚超标，造成人员头晕、窒息、中毒。（3）粉尘爆炸与职业尘肺风险。原料破碎、熔炼、浇铸工序会产生大量金属与矿物粉尘。粉尘浓度超标时，遇静电、高温明火易引发粉尘爆炸；作业人员长期吸入细微粉尘，会造成肺部不可逆损伤，诱发尘肺病，属于重点防控的职业健康风险。（4）机械与起重伤害风险。车间各类输送、冶炼机械设备防护装置缺损时，易造成人员卷入、挤压伤害。钢包吊运作业中，吊具磨损、钢丝绳老化、操作对位偏差，易导致吊物晃动、坠落，引发设备损毁和人员伤亡事故。（5）电气触电风险。作业

区域高温、高湿、多粉尘环境会加速电气绝缘层老化破损,诱发漏电、短路、起火问题。现场电气设备密集、临时线路多,违规操作和设备失修易造成人员触电,且电气火花可引燃可燃粉尘、气体,诱发次生爆炸、火灾事故^[2]。

2.2 冶金熔融金属作业安全风险评估

结合熔融金属作业连续化、高风险、工况复杂的特点,建立专项评估体系,对各类风险进行量化分级研判。(1)风险评估指标体系构建。依托风险识别成果,从人、机、环、管四大维度,选取风险发生频率、事故影响范围、人员损伤程度、设备损毁等级、管控水平等核心指标,构建科学实用的评估体系,从发生概率与危害程度两方面覆盖全部作业风险。(2)风险评估方法选择与应用。结合冶金作业风险的复杂性与模糊性,采用层次分析法与模糊综合评价相结合的评估方式,替代传统单一定性分析。通过量化各项风险指标权重,对各类隐患风险分级打分、判定危险等级,为现场精准防控、差异化治理安全隐患提供可靠的数据支撑。

3 冶金熔融金属作业安全风险防范技术措施

3.1 高温防护与熔融金属管控技术

针对冶金熔融金属作业高温热辐射、金属泄漏喷溅等核心隐患,依托专项防护与智能监测技术,构建全过程熔融金属安全管控体系。(1)高温隔热防护方面,在炉体、钢包、浇筑工位等高温设备表面铺设耐高温复合隔热衬层与保温材料,降低设备表面热辐射温度。作业通道、操作平台设置隔热围挡,从源头改善作业高温环境,减少人员长期高温暴露引发的操作失稳问题。同时配套耐高温阻燃工作服、隔热面罩、防烫手套等专用个体防护装备,筑牢人员个体安全防线。(2)熔融金属泄漏防控方面,在熔炼炉、转接管道、浇铸系统加装温度、应力、形变在线监测装置,实时采集炉体衬里损耗、设备形变等数据,提前预判壳体开裂、密封失效等隐患。现场配备耐高温应急堵漏工装、导流应急槽,针对轻微泄漏隐患可快速处置,规避熔融金属外流引发的灼伤、爆炸事故。

3.2 有毒有害气体监测与净化技术

结合冶炼作业一氧化碳、二氧化硫等有毒气体弥散、局部积聚的特点,采用监测预警与源头净化相结合的技术防控模式。(1)智能监测预警方面,在炉口、烟道、受限作业空间等高危点位布设高精度气体传感器,搭建24小时实时监测系统,实现气体浓度超标自动声光报警、数据实时上传,精准定位气体泄漏区域,解决有毒气体隐蔽性强、难以预判的问题。(2)废气净化治理

方面,对冶炼工序产生的工艺废气采用密闭集气方式收集,通过脱硫、脱硝、一氧化碳催化处理设备进行无害化净化,降低无组织气体排放。同时优化车间整体通风系统,搭配局部强力排风装置,快速稀释局部区域超标有害气体,彻底消除人员中毒、窒息安全隐患^[3]。

3.3 粉尘治理与防爆技术

针对冶金作业粉尘产生量大、兼具爆炸风险与职业危害的特性,实施源头控尘、过程除尘、防爆防护一体化技术措施。(1)常态化粉尘治理方面,对原料输送、配料、熔炼等产尘点位实施全密闭改造,杜绝粉尘无组织扩散。全面推广湿式作业工艺,搭配布袋除尘、脉冲除尘设备,高效捕捉悬浮粉尘,持续控制作业区域粉尘浓度达标,从源头降低尘肺病职业危害。(2)粉尘防爆防控方面,车间设备严格配置防静电装置、泄爆装置与隔爆设施,杜绝静电积攒、明火接触粉尘云。定期对除尘管道、设备内部积尘进行清理,防止粉尘堆积自燃,彻底规避粉尘爆炸安全事故。

3.4 机械与起重设备安全防护技术

围绕冶炼大型机械设备、起重吊运设备的运行风险,通过硬件防护升级与智能限位管控,实现设备本质安全提升。(1)机械设备防护改造,对辊道、传动设备、搅拌装置等运转部位加装封闭式防护栏、隔离挡板,设备启停系统增设安全联锁、紧急制动装置,作业人员误操作、违规靠近时可自动停机,杜绝卷入、挤压、碰撞等机械伤害。(2)起重设备技术防控,钢包吊运行车全部配备超载限制器、高低限位器、防脱钩装置,实时管控吊运重量与作业范围。定期对钢丝绳、吊具、吊钩进行无损探伤检测,及时更换老化、磨损配件,杜绝吊具失效、重物坠落等起重安全事故。

3.5 电气安全保障技术

针对冶金现场高温、高湿、多粉尘导致的电气设备老化、漏电、短路问题,全方位优化电气安全技术防护体系。(1)设备选型与安装优化,作业区域全部选用防爆、防潮、防尘型电气设备与开关,线路采用阻燃绝缘线缆,做好穿管防护处理,避免粉尘、水汽侵蚀造成绝缘破损。(2)安全防护系统升级,完善车间电气接地、接零保护系统,全面加装漏电保护器、过压过载保护装置,实现电气故障自动断电。常态化开展电气设备绝缘检测、线路隐患排查,及时整改老化、破损线路,杜绝触电、电气火灾及电火花引发的次生安全事故^[4]。

4 冶金熔融金属作业安全风险防范管理措施

4.1 安全管理制度与责任体系构建

结合冶金熔融金属作业高风险、连续性、工序衔接

紧密的生产特点,建立适配现场工况的安全管理制度与层级责任体系,从制度层面压实安全管控基础。(1)完善专项管理制度,针对熔炼、精炼、浇铸、钢包吊运等关键高危工序,制定专项安全管理规程、设备巡检制度、隐患排查治理制度,补齐通用安全制度的短板,实现全工序、全时段制度化管控。同时结合车间生产工况动态更新制度,杜绝制度与现场脱节、执行流于形式等问题。(2)搭建全员责任体系,落实安全生产责任制,划分企业管理层、车间班组、一线岗位三级安全责任区域,明确各岗位安全职责、管控范围与考核标准。将熔融金属作业安全指标纳入岗位绩效考核,层层压实安全责任,杜绝责任悬空、管理盲区等问题。

4.2 人员安全培训与资质管理

熔融金属作业人为失误是引发安全事故的主要诱因,通过常态化培训与严格资质管控,全面提升作业人员专业能力与安全素养。(1)开展分层专项培训,摒弃统一化、形式化培训模式,针对新员工、在岗员工、管理人员开展差异化培训。培训内容聚焦现场实际,重点讲解熔融金属泄漏、气体中毒、起重伤害等风险隐患,以及岗位操作规程、禁忌操作、应急处置方法。定期开展岗位实操培训,纠正不规范操作行为,强化人员风险辨识和自我防护能力。(2)严格岗位资质管控,对熔炼、浇铸、起重、电气等特种岗位人员实行持证上岗制度,严格审核人员资质证书有效期与作业适配性。建立人员资质台账,定期组织资质复审与技能考核,对考核不合格、资质过期人员坚决调离高危岗位。

4.3 作业现场安全管控与标准化作业

聚焦作业现场违章行为、环境隐患、操作不规范等问题,推行现场常态化管控与标准化作业模式,规范现场生产秩序。(1)强化现场动态管控,落实班组日常巡查、车间专项检查、企业定期督查的三级巡查机制,重点排查炉体运行、气体监测、起重设备、电气线路等关键点位。在高温作业区、有毒气体区域、吊运作业区域设置醒目警示标识,划定安全作业禁区,严禁无关人员进入作业现场,及时制止违章操作、违章指挥、违规进入等危险行为。(2)推行岗位标准化作业,结合各工序作业特点,制定标准化操作流程,细化每一步操作的

安全规范、操作参数和禁忌要求。规范物料堆放、设备启停、工序衔接等作业行为,杜绝凭经验盲目操作的行为,从管理层面减少人为操作失误,实现现场作业规范化、常态化、标准化。

4.4 应急管理与事故处置预案

针对熔融金属作业事故突发性强、危害范围广、处置难度大的特点,构建全覆盖、可落地的应急管理体系,提升事故处置能力。(1)完善专项应急预案,结合现场常见事故类型,编制熔融金属泄漏喷爆、有毒气体中毒、粉尘爆炸、起重坠落等专项应急预案,明确事故预警、现场处置、人员疏散、抢险救援、事后处置等流程,细化各岗位应急职责,确保事故发生后处置有章可循。(2)落实常态化应急演练,摒弃剧本化演练模式,定期开展实战化应急演练,模拟突发泄漏、气体超标、火灾等真实场景,锻炼作业人员应急响应、初期处置和自救互救能力。演练后及时复盘总结,整改应急处置短板,优化预案流程,配齐应急物资与救援设备^[5]。

结束语:本文通过梳理冶金熔融金属作业工况特点,全面识别作业全过程存在的各类安全风险,完成风险等级量化评估,明确了现场主要高危隐患及致害机理。结合生产实际,从设备技术防护、环境治理、人员管理、现场管控和应急处置等方面建立全方位风险防范体系,形成适配熔融金属高危作业的防控方案。研究表明,熔融金属作业事故多由设备隐患、环境缺陷和人为违章叠加引发,只有坚持技术升级与制度管控并重,才能从源头降低事故发生率。

参考文献

- [1]单俊昊,单正竹.高温熔融金属作业安全管理研究[J].一重技术,2026(2):71-73.
- [2]王亮.冶金企业安全风险评估体系的构建与优化[J].中国金属通报,2025(9):13-15.
- [3]陶明光.冶金高温熔融金属作业风险机理与安全技术研究[J].冶金与材料,2025,45(11):151-153.
- [4]吴皎月.基于风险管控的冶金安全生产方法研究[J].河北安全生产,2026(2):79-81.
- [5]单俊昊.高温熔融金属作业安全管理研究[J].冶金标准化与质量,2025,63(4):7-9+27.