

冶金行业安全风险致因分析与精准防控体系研究

李晓雪 王尚新 张 岩
鞍山钢铁劳研所科技有限公司 辽宁 鞍山 114001

摘 要：冶金生产流程连续耦合，高温、高压等特殊工况催生大量隐蔽性强、传导速度快的安全隐患，行业传统粗放管控模式已难以适配复杂场景的治理需求。本文从生产作业场景属性、工序分布特征与动态演化规律切入，拆解设备、环境、人员、管理四个维度的风险致因，搭建多层级、分类型、全联动的精准防控架构，配套常态化排查、岗位责任落地等运行支撑机制，为冶金行业安全治理提供可落地的实操路径。

关键词：冶金行业；安全风险；致因拆解；风险演化；精准防控

引言：冶金是支撑国民经济发展的核心基础产业，生产体系覆盖多类高温熔融介质处置、重型机械运转与高危介质输送环节，长期以来始终面临多重安全风险叠加的治理压力。过往管控多聚焦单点隐患的事后处置，未能贴合风险潜伏、累积、链式扩散的内在规律，难以从根源上阻断事故发生路径。结合冶金生产实际运行特征梳理风险演化逻辑，深挖不同维度的风险诱发根源，搭建适配性更强的精准防控体系，是当前行业安全提质增效的核心要务。

1 冶金行业安全风险基础特征与演化规律

1.1 冶金行业生产作业场景风险属性

冶金生产流程连续化程度高，工序耦合紧密，运行负荷长期维持高位，作业场景存在大量特殊工况条件，形成独有的安全风险属性。生产区域常年处于高温、高压、高热辐射状态，热量持续蓄积会打破环境稳态，催生各类不稳定隐患^[1]。生产运行期间会产生金属烟尘、高温气流与腐蚀性介质，各类环境因素持续侵蚀设备结构，干扰现场作业开展。厂区设备排布紧凑，物料输送线路纵横交错，作业活动可利用空间有限，为隐患传播提供便利条件。生产节拍固定且各环节联动紧密，局部出现的不稳定状态可以沿工序链路快速扩散。多重生产条件相互叠加，让冶金场景风险具备隐蔽潜伏、逐步累积、链式传导的典型特征。相较于普通工业生产，冶金场景工况动态波动幅度更大，风险无明显间歇缓冲周期，大幅提升了隐患预判和提前干预的治理难度。

1.2 冶金生产工序风险分布特点

冶金生产体系涵盖冶炼、压力加工、物料输送、辅助换热等多个核心环节，不同工序的作业模式、设备工况与介质条件存在差异，风险分布呈现显著的区段聚集特征。冶炼环节主要处理高温熔融物料，作业核心风险集中在高温腔体承压、熔融介质处置等环节，隐患多源

于热载荷冲击与介质理化特性变化。压力加工环节依托大型机械设备完成成型作业，机械传动结构、挤压受力部位易出现结构疲劳，诱发机械类隐患。物料输送环节负责原料与半成品持续转运，作业启停、通道通行、设备衔接等位置更容易滋生风险。各类辅助生产工序运行压力相对平缓，隐患发展速度缓慢，多以隐性累积形式存在，整体风险分布呈现主次清晰、分区聚集的格局。

1.3 冶金行业安全风险动态演化机理

冶金生产体系内部的安全风险具备动态变化属性，会伴随生产时长推进与工况状态改变持续演变。风险初期大多表现为细微结构缺陷、工况参数偏移或作业行为偏差，不会对生产运行造成明显影响。长期工况交变、环境侵蚀与持续载荷作用，会不断作用于初始隐患，推动缺陷持续扩张、问题逐步加重。单点隐患积累到一定程度，会突破结构与工况承载上限，引发局部生产异常。局部运行失衡会继续向周边工序蔓延，衍生出多位置、多类型的复合型隐患问题。完整的风险萌生、积累、扩张、蔓延递进过程，构成冶金行业安全风险动态演化机理，能够为后续风险致因挖掘与防控体系搭建提供理论支撑。

2 冶金行业安全风险多维致因拆解

2.1 设备设施维度风险致因

冶金生产设备长期承载高温、高压与交变载荷，运行工况严苛，极易滋生各类设备性隐患。核心冶炼腔体、轧制设备、输送装置长期连续运转，金属结构会逐步出现性能衰减，萌生疲劳损伤与微小缺陷。设备零部件磨损老化后，运行精度会逐步下降，运行稳定性持续降低，诱发卡顿、偏移、异常振动等工况问题。防护构件、监测配件、报警装置等配套设施出现性能衰减或功能失效，会削弱设备安全防护能力，无法及时预警异常状态。设备运维流程存在疏漏，缺陷未能及时处置，微

小损伤会持续发展为结构性隐患,成为生产风险的重要诱发来源^[2]。

2.2 作业环境维度风险成因

冶金现场复杂的作业环境,是催生和放大安全风险的重要外部条件。生产过程持续产生的高温热辐射、金属粉尘与腐蚀性介质,会持续作用于设备结构与作业区域,加速设备老化速度,压缩设备使用寿命。作业区域设备排布密集、通道狭窄,空间布局紧凑,隐患出现后具备快速扩散的空间条件。工况参数频繁波动会改变现场环境稳态,温度与压力的大幅波动会加剧隐患发育速度,打乱生产运行的稳定状态。恶劣的环境条件也会干扰作业视线与操作状态,间接提升隐患滋生概率,加剧生产运行的不稳定性。

2.3 人员行为维度风险成因

一线作业人员的操作状态与认知水平,直接影响现场风险的生成与发展。岗位认知储备不足,对工序风险特性与设备运行规律掌握不充分,容易出现操作偏差与处置失误。长期重复性作业会引发身心疲惫,作业专注度持续下降,对细微工况异常与设备隐患缺乏敏锐感知。作业操作流程落实不到位,习惯性简化标准作业步骤,会打破工序运行的稳定状态,人为催生各类生产隐患。异常工况处置经验匮乏,面对突发工况变化无法做出合理应对,会加速隐患扩张,放大风险危害程度。

2.4 生产管理维度风险成因

生产管理体系的不完善,是冶金行业安全风险滋生的深层次诱因。现场岗位管控标准细化不足,不同工序的作业约束不够清晰,作业开展缺乏精准规范指引。隐患排查管控不够细致,隐蔽性、渐进性缺陷难以被及时发现,隐患长期留存于生产环节。岗位衔接与工序交接管控存在短板,各作业环节管控存在断层,容易出现管控盲区。常态化管控流程落实不到位,无法形成稳定的风险约束机制,各类隐患问题反复滋生,持续影响冶金生产的安全稳定运行。

3 冶金行业精准防控体系整体架构搭建

3.1 精准防控体系的搭建思路

冶金生产工序耦合度高、运行负荷长期偏高,风险存在潜伏发育、链式扩散的特点,传统粗放式管控模式难以适配精细化安全治理需求。精准防控体系的搭建,依托前期风险成因分析与演化规律研究,以源头治理为核心切入点,针对设备、环境、人员、管理四个维度的风险短板建立针对性治理逻辑。体系建设跳出笼统统一的管控思维,结合冶金各工序作业属性与风险发育差异,区分不同隐患的诱发机制与扩散条件,设立适配性

更强的管控标准。充分考虑生产工况动态波动、设备性能逐步衰减、作业状态持续变化等客观因素,让防控策略可以跟随生产状态完成动态调整^[3]。整体搭建思路聚焦精细化、差异化、前置化治理,弱化传统管控的滞后性与片面性,构建能够适配冶金复杂生产场景的安全防控框架。

3.2 多维度精准防控层级设计

冶金风险分布存在明显的区段聚集与梯度演化特征,可通过多层级防控架构实现风险的分级治理与全域覆盖。基础防控层级聚焦日常生产中的常规隐患治理,规范岗位作业流程、落实设备基础养护、完成现场环境常态整治,筑牢生产运行的基础安全屏障,从源头减少一般性隐患滋生。专项防控层级面向高危工序与重点风险类型,针对设备结构疲劳、高温腐蚀环境、作业操作不规范等突出问题,定制专项治理手段,精准化解各类高危风险的发育条件。预警防控层级侧重隐患前置干预,紧盯隐患萌生、累积、扩展的关键阶段,依托状态监测捕捉异常变化,提前介入隐患治理,阻断风险持续演化。三层防控层级逐级延伸、相互支撑,形成覆盖风险全发育阶段的立体化防控格局。

3.3 分类型风险精准防控路径

不同类型冶金风险的发育条件、演变速度与危害形式各有不同,需要匹配针对性的防控路径,实现分类精准治理。设备风险治理围绕全周期运维管控开展,落实常态化状态监测与缺陷整改机制,及时处理结构磨损、性能衰减、功能异常等问题,降低设备隐患的发育概率。环境风险治理聚焦现场工况优化,通过环境整治、参数调控与作业空间优化,缓解高温、粉尘、腐蚀介质对生产系统的负面影响,改善风险滋生的外部条件。人员风险治理依托岗位能力培育与作业规范约束,强化岗位风险识别能力,规范操作行为,减少人为失误带来的安全隐患。管理风险治理从制度落地入手,细化工序管控标准,完善交接流程与隐患排查机制,补齐现场管控的薄弱环节。

3.4 全流程风险防控联动架构

冶金生产整体链路连续性强,各工序相互关联,单点隐患极易沿生产链路扩散蔓延,单一模块的独立治理无法保障整体安全状态。全流程联动架构打通各工序、各防控模块的独立壁垒,构建一体化的风险治理模式。串联风险识别、隐患治理、状态监测、策略优化等关键环节,形成闭环完整的防控工作链路。打通设备运维、环境整治、人员管控与现场管理的关联通道,让各类防控工作相互衔接、互为补充。有效应对风险跨区域、跨

工序的传播特征,遏制隐患扩散带来的连锁问题,实现冶金生产风险的全域化、精准化治理,提升整体安全管控的系统性。

4 冶金行业精准防控体系运行支撑机制

4.1 常态化风险排查运行机制

常态化排查是精准防控体系稳定运转的基础保障,能够持续捕捉冶金生产场景中不断变化的风险状态。结合冶金工序连续生产、隐患渐进发育的特点,建立分时段、分区域的排查模式,覆盖生产主线工序与辅助作业区域。针对设备隐性缺陷、环境缓慢劣化、岗位操作偏差等不易察觉的隐患,设定针对性排查频次与检查重点。细化不同作业环节的排查内容,聚焦高温承压设备、物料转运区域、受限作业空间等关键点位,杜绝排查盲区与疏漏^[4]。排查工作聚焦隐患早期识别,对萌生阶段的微小问题及时处置,阻止隐患持续累积与扩张。规范化的排查流程可以维持风险管控的长效性,让隐患治理始终适配生产运行的动态变化。

4.2 岗位化防控责任落地机制

安全防控效果的稳定输出,依托清晰明确的岗位责任划分与落地执行。结合冶金生产岗位分工与工序衔接特点,将风险防控内容拆解适配至各个岗位,形成逐级落实的责任格局。明确一线操作岗位、设备运维岗位、现场管控岗位的防控职责,细化各岗位对应的风险管控内容与执行标准。梳理工序交接、岗位衔接过程中的责任边界,规避管控断层引发的治理空白。建立岗位履职对应的管控标准,约束岗位作业行为,推动防控要求融入日常生产操作。责任落地机制可以压实各岗位的安全管控职能,让精准防控的各项要求落实到生产运行的每一处环节。通过建立一岗一责、层层追责的责任体系,彻底解决安全责任虚化、落实不到位、推诿扯皮等现场管控难题。

4.3 防控资源统筹配置机制

冶金行业风险类型多元、防控环节繁杂,资源分配不均衡会直接影响防控体系运行质量。防控资源统筹配置围绕风险等级与工序重要程度展开,合理调配人力、设备、技术物资等防控资源。高危作业工序与风险聚集区域倾斜更多运维力量与监测资源,强化重点区域的风

险治理能力。常规作业区域保持基础资源供给,维持常态化防控的基本运转条件。整合检测设备、防护物资、技术支撑等各类防控要素,统筹对接隐患排查、缺陷治理、现场防护等工作需求。科学的资源调配方式可以提升资源利用效率,解决资源闲置或供给不足的问题,最大化支撑精准防控工作有序推进。

4.4 防控体系动态优化机制

冶金生产工况、设备状态、作业模式会随生产周期持续变化,固定的防控体系无法长期适配现场管控需求。动态优化机制依托生产运行状态变化,持续更新防控体系的管控内容与实施标准。结合设备性能衰减规律、工况波动特征、作业人员结构变化,调整排查重点与防控举措。总结日常防控工作中暴露的管控短板,针对治理薄弱环节优化管控流程与层级架构。吸纳适配冶金生产的新型防控思路与治理方式,迭代更新现有防控模式,补齐体系运行短板^[5]。持续的动态调整可以让防控体系适配生产场景的持续变化,维持精准防控工作的科学性与有效性。

结束语

这套适配冶金复杂生产场景的精准防控逻辑,跳出了传统笼统管控的局限,通过分层分类的治理路径与全流程联动的运行机制,实现了风险从源头到扩散全阶段的有效约束。各环节管控举措紧密贴合冶金工序运行的实际特点,能够逐步补齐现场管控的各类薄弱短板,推动行业安全治理从被动应对转向主动前置,持续夯实冶金生产全链路的安全运行根基。

参考文献

- [1]白艳峰.冶金行业安全风险致因分析与精准防控体系研究[J].冶金与材料,2026,46(2):187-189.
- [2]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.
- [3]王永良,张宝雷.冶金企业新建项目安全风险探究[J].中国金属通报,2022(7):210-212.
- [4]郭军,陈焕建,郭倩然.冶金连铸流程安全风险实时监测技术分析[J].世界有色金属,2026(5):13-15.
- [5]王丽欣.冶金高炉设备本质安全改造与检修风险管控研究[J].冶金设备管理与维修,2026,44(2):63-66.