

冶金气体泄漏安全风险评估与管控方法探讨

夏 鹏 刘逢生

新疆昆玉钢铁有限公司 新疆 伊犁 833200

摘 要:冶金生产中氧气、可燃及惰性气体的泄漏风险精准评估与有效管控, 直接关系到车间安全运行与人员生命保障。本文围绕冶金气体泄漏风险, 从涉气介质特性、全流程工序、输送系统构造及泄漏发生条件四个维度展开基础认知梳理, 继而从硬件损耗、人为操作、工艺波动与环境干扰四类成因入手进行分类解析。在此基础上, 提出风险评估的维度筛选、要素体系搭建、层级划分与实施流程, 并给出设施长效运维、作业行为规范、智能监测预警及动态应急处置四项专项管控策略, 为冶金企业气体泄漏风险的系统治理提供技术路径参考。

关键词:冶金气体泄漏; 风险评估; 安全管控; 智能监测; 应急处置

引言:冶金行业属于典型的高温高压连续化生产领域, 生产流程中大量使用一氧化碳、氢气、氮气、氩气、氧气等工业气体, 介质种类繁多且理化特性差异显著。一旦气体泄漏, 轻则造成生产中断与物料损耗, 重则引发中毒、燃爆等严重安全事故。当前冶金企业气体输送系统长期处于高负荷运转状态, 设备老化、工况波动与现场环境侵蚀等多重因素叠加, 使得泄漏风险呈现隐蔽性强、演化速度快、危害范围广的特点。传统依赖人工巡检的管控模式已难以适应复杂多变的生产场景, 急需构建一套覆盖风险识别、评估分级与专项管控的完整技术框架。

1 冶金行业气体泄漏风险基础认知

1.1 冶金生产典型涉气介质特性分析

冶金生产各类冶炼与能量转换环节, 会搭载多种工业气体介质完成生产流程, 不同气体介质拥有独有的理化特质与工业应用特质^[1]。不同介质在燃烧传播、空间扩散、毒性危害等方面表现出显著差异, 泄漏引发的危险演变形式会随介质特质产生明显区别。冶金生产整体运行工况维持高温高压状态, 气体介质的分子活跃程度会跟随工况变动产生改变。细致剖析各类涉气介质的固有特质, 可以搭建稳定的风险研判思维逻辑, 为冶金气体泄漏风险的前置防控提供基础理论支撑。

1.2 冶金全流程涉气作业工序梳理

冶金工业化生产包含原料预处理、高炉熔炼、转炉精炼、钢材轧制、余热回收等连贯的生产环节, 多数生产环节均会开展气体输入、工艺反应与尾气排放相关作业。不同生产环节对气体输送压力、作业温度、介质供给体量设置差异化运行标准, 生产状态的动态变动会持

续调整涉气系统的整体运行负荷。系统梳理全流程涉气作业内容, 能够精准锁定气体集中输送与使用的关键生产区段, 清晰界定泄漏风险高度聚集的作业范围。

1.3 气体输送系统构造与运行特征

冶金气体输送整体体系依托输送管路、压力调节构件、密封配件、介质储存设备及调控组件组合搭建而成, 各类结构单元协同配合形成完整的介质输送闭环体系。整套设备体系保持长期连续运行模式, 构件性能需要适配厂区高温、震动频繁的复杂生产环境。生产工序不断切换会带动内部介质压力持续波动, 管路连接位置和密封构件长期承受交变荷载冲刷。特殊的运行模式与复杂的现场工况, 造就冶金气体输送体系独特的运行状态与结构损耗特点。

1.4 气体泄漏潜在发生条件梳理

冶金场景内部出现气体泄漏问题, 依托设备性能、作业工况、现场环境多重条件的共同作用。输送结构出现性能衰减、运行工况偏离常规区间、现场环境持续腐蚀设备结构, 都会提升泄漏问题的发生概率。生产工序的频繁切换会扰动系统内部压力平衡, 加速设备薄弱结构的老化与损耗。细致梳理各类能够诱发泄漏的前置条件, 可以深度拆解泄漏问题的形成逻辑, 帮助行业实现各类潜在安全隐患的前置识别与有效把控。

2 冶金气体泄漏风险成因分类解析

2.1 硬件设施损耗类泄漏成因

冶金工业涉气系统依托各类金属管路、承压罐体、阀门组件及密封结构完成气体输送与储存工作。整套设施长期处于连续服役状态, 内壁会持续受到工艺气体的

冲刷侵蚀,金属结构逐步产生疲劳损伤^[2]。各类密封垫片、填料及柔性密封构件长期承受高压载荷,材质性能会随运行时长逐步衰减,结构弹性与密封贴合能力持续下降。管路焊接位置、法兰对接部位、阀门衔接端口属于设备薄弱结构,容易出现细微形变与缝隙扩张。设备表层锈蚀、内壁磨损、结构变形以及密封构件老化,都会逐步破坏输送体系的密闭性能,让原本封闭的气体通道产生渗漏通道,逐步诱发不同程度的气体泄漏问题。

2.2 人工作业行为类泄漏成因

冶金涉气系统的运维检修、设备拆装、管路紧固、工况调节等工作均依靠人工操作完成。作业人员对设备操作标准掌握不够熟练,会造成管路紧固力度失衡、阀门调控幅度偏差、设备复位状态不符规范等问题。检修作业开展过程中,拆装密封构件的操作手法不够精细,容易造成密封面贴合度不足,留存细微缝隙。日常巡检工作落实不够细致,无法及时捕捉设备隐蔽位置出现的细微隐患。作业流程执行不够严谨、操作标准落实不到位、精细化作业意识薄弱,都会对涉气设备的密闭结构造成隐性损伤,逐步积累形成安全隐患,提升气体泄漏的发生概率。

2.3 工艺运行波动类泄漏成因

冶金生产保持连续化运行模式,冶炼工况会根据生产任务产生动态调整。炉体内部温度变化、介质输送体量增减、生产负荷切换等生产行为,都会引发管路内部气压的不稳定变化。气压频繁波动会对管路、阀门及承压罐体形成交变冲击,持续扰动密封结构的稳定状态。生产启停频次过多、工序切换节奏过快,会让设备结构长期处在不稳定受力状态,加速密封结构性能退化。工艺参数偏离常规运行状态后,设备承受的运行负荷超出常规承载范围,结构耐受性能逐步下降,会让气体输送体系的密闭稳定性持续弱化,催生各类泄漏隐患。

2.4 现场环境干扰类泄漏成因

冶金生产车间整体工况环境复杂多变,各类环境因素持续对涉气设备形成侵蚀与干扰。生产运行产生的高温热源会持续辐射设备表层,加速密封材料老化变质,弱化柔性密封结构的贴合性能。生产过程飘散的工业粉尘会持续堆积在设备活动缝隙与密封接触面,造成构件活动卡顿与密封面磨损。车间内部潮湿空气与腐蚀性介质会缓慢侵蚀金属管路与焊接结构,引发锈蚀穿孔与结构变薄等问题。各类环境因素长期累积作用,会持续破坏涉气设施的结构完整性与密闭性能,催生大量隐蔽性较高的泄漏隐患,增加现场风险管控的难度。

3 冶金气体泄漏风险评估实施路径

3.1 风险评估维度筛选标准

冶金气体泄漏风险评估工作需要依托科学的筛选规则划定评估维度,适配冶金生产场景的复杂运行特征^[3]。维度筛选需要贴合涉气系统的运行特点,围绕设备运行状态、生产工况变化、现场环境条件、人为作业状态等核心层面开展甄别工作。筛选工作需要摒弃片面化的研判角度,侧重选取能够覆盖泄漏隐患源头与演化过程的评估方向。结合冶金生产连续运行、工况多变、设备长期负荷运转的行业特质,筛选具备实际研判价值的评估维度。规避通用性评估维度带来的适配性不足问题,聚焦冶金涉气系统专属的风险特征完成维度筛选,让评估工作能够精准覆盖各类泄漏隐患的产生源头与影响范围。

3.2 风险评估要素体系搭建

科学完整的要素体系是开展冶金气体泄漏风险评估的核心基础,能够支撑评估工作有序落地。要素体系搭建需要结合前文梳理的泄漏成因,对应硬件设施、作业行为、工艺工况、现场环境四大风险来源细化具体评估内容。针对设备运行状态设置结构完好程度、密封性能、损耗程度等相关评估要素。针对生产作业设置操作规范程度、运维精细程度、作业管控力度等评估要素。针对工艺运行设置参数稳定程度、工况波动幅度、工序衔接状态等评估要素。针对现场环境设置温度状态、粉尘堆积程度、腐蚀影响程度等评估要素。多类别要素相互搭配,构建层次清晰、覆盖全面的评估体系,支撑风险研判工作系统化推进。

3.3 风险层级划分标准设定

冶金气体泄漏风险存在强弱差异与影响范围区别,需要配套完善的层级划分标准完成风险分类管控。层级划分工作依托隐患影响范围、隐患演化速度、隐患危害程度等核心内容开展。结合冶金车间生产布局与涉气设备分布特点,区分局部隐患与大范围隐患的层级区别。依据设备损耗程度与工况异常状态,界定隐患的发展态势,区分静态潜伏隐患与动态发展隐患。结合生产运行的重要程度,划定不同隐患对生产系统的影响深浅,搭建梯度化的风险层级框架。标准化的层级划分模式可以细化风险管控优先级,为差异化的风险治理工作提供清晰依据。

3.4 风险评估实施完整流程

冶金气体泄漏风险评估需要遵循标准化的实施流程,保障评估工作规范有序开展。流程启动初期需要完

成现场基础信息的全面摸排,收集涉气设备运行状态、近期工况变化、现场环境状态、作业开展情况等基础数据。依托搭建的评估要素体系完成各类风险要素的逐项研判,甄别现场存在的各类泄漏隐患。结合预设的风险层级标准完成各类隐患的等级归类,明确不同隐患的管控优先级。完成隐患研判与分级后,梳理各类风险的分布位置与存在形式,形成完整的风险评估内容。整套实施流程层层递进,贴合冶金生产现场的实际管控需求,保障风险评估工作具备较强的实操性与系统性。

4 冶金气体泄漏风险专项管控策略

4.1 设施设备长效运维管控

冶金涉气设备的稳定运行是阻断气体泄漏隐患的核心抓手,常态化运维管理能够持续维系气体输送体系的密闭性能^[4]。结合冶金设备长期高负荷运转的运行特点,建立适配生产工况的周期性养护机制,针对管路、密封配件、调压阀门、承压罐体等关键设备制定针对性养护方案。重点关注设备磨损、结构老化、密封失效等高频问题,对管路衔接位置、活动阀门结构、承压设备密封面开展常态化养护作业。根据设备运行损耗规律调整养护频次,对老化磨损的零部件开展及时更替,延缓设备结构性能衰减速度。细化设备巡检工作内容,细化不同设备的巡检重点,精准捕捉设备运行过程中出现的细微性能变化,从硬件层面筑牢气体泄漏风险的防控基础。

4.2 现场作业行为规范管控

冶金涉气区域的各类作业行为直接影响气体输送系统的运行稳定性,规范作业流程能够大幅减少人为因素诱发的泄漏隐患。针对涉气设备检修、管路拆装、工序切换、设备调试等关键作业内容,完善标准化作业准则,统一各环节的操作标准与作业要求。强化作业人员的专业操作能力,规范涉气设备的启闭操作、紧固安装、复位调试等实操环节,杜绝不规范操作对设备密闭结构造成损伤。细化作业前期准备与后期核查工作内容,规范作业界面的检查流程,及时排查作业过程中遗留的隐性隐患。依托标准化作业约束现场操作模式,弱化人为操作偏差带来的安全风险,维持涉气系统结构与运行状态的稳定性。

4.3 智能监测预警体系搭建

依托现代化智能技术搭建的监测体系,能够提升冶金气体泄漏风险管控的主动性与精准度,弥补传统人工巡检模式的管控短板。结合冶金车间设备分布与气体扩散规律,合理布设智能感知设备,覆盖气体输送管路、

储存设备、工艺作业区域等关键点位。依托传感识别、数据传输、智能分析技术,搭建全覆盖的气体状态监测网络,实时捕捉区域内气体浓度变化与设备运行异常状态。搭建专属的数据分析模块,对监测获取的现场数据开展动态分析,精准识别异常波动状态。依托智能化预警机制传递异常信息,推动隐患问题的早识别与早处置,提升风险管控的精细化水平。

4.4 动态防控与应急处置优化

冶金生产工况的动态变化决定气体泄漏风险具备不确定性,常态化动态防控模式可以适配现场复杂的风险变动规律。结合生产负荷调整、工序切换、环境变化等动态因素,灵活调整风险防控重点,针对性强化高风险时段与高风险区域的防控力度。梳理不同泄漏隐患的演化特征,优化现场防控布局,完善区域隔离、通风管控、隐患封堵等常态化防控手段^[5]。结合冶金气体泄漏的危害特征优化应急处置框架,细化隐患排查、现场管控、隐患治理的完整处置流程。优化应急处置资源的配置布局,保障各类防护设备与处置物资可以快速投入隐患治理工作,持续提升现场应对突发泄漏问题的处置能力。

结束语

冶金气体泄漏风险管控是一项涉及设备运维、人员操作、工艺调控与环境治理的系统性工程。硬件损耗、人为行为、工艺波动与环境干扰四类成因相互交织,要求风险评估与管控工作必须打破单一维度的局限,构建多要素联动的综合框架。设施长效运维与作业行为规范从源头压降泄漏概率,智能监测预警体系提升风险感知的时效性,动态防控与应急处置优化则为突发状况提供兜底保障。将各类管控手段嵌入日常生产管理流程,方能持续巩固冶金车间气体安全防线,守住安全生产底线。

参考文献

- [1] 董锁堂,张琦,张京亮.冶金生产安全事故易发因素与精准防范研究[J].冶金与材料,2025,45(6):169-171.
- [2] 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.
- [3] 杨智伟,夏振飞.冶金煤气柜构成重大危险源的安全管理问题探析[J].湖南有色金属,2024,40(4):85-88.
- [4] 张玉彪.冶金企业生产的危险有害因素辨识与风险管控[J].甘肃冶金,2022,44(5):129-132.
- [5] 阳银权.基于智能化技术的冶金行业安全生产管控模式优化[J].中国公共安全,2025(3):31-33.