

冶金企业炼铁工艺煤气中毒风险分析与预防控制措施研究

王成利 兰鑫宇 李晓雪
鞍山钢铁劳研所科技有限公司
DOI:10.32629/jsse.v4i3.20978

[摘要] 冶金企业炼铁工艺过程中产生的高炉煤气含高浓度一氧化碳,该气体无色、无味、无刺激性,泄漏后难以被人体感官察觉,易在低洼地带、密闭空间及通风不良区域积聚,极易引发作业人员急性中毒事故,严重威胁生产安全与人员生命健康。本文结合炼铁工艺流程与设备运行特点,对煤气中毒的风险来源、致因机理进行系统剖析,以本质安全建设为核心,从工程技术防控、安全管理强化、个体防护保障、应急处置完善四个维度构建全流程、一体化防控体系,提出贴合生产实际、可落地、可执行的治理措施,为炼铁工艺降低煤气中毒事故、提升煤气安全管理水平提供理论支撑与实践方案。

[关键词] 炼铁工艺; 一氧化碳; 煤气中毒; 风险辨识; 防控措施

中图分类号: TF5 **文献标识码:** A

Study on Risk Analysis and Prevention and Control Measures of Gas Poisoning in Ironmaking Process

Chengli Wang Xinyu Lan Xiaoxue Li

Anshan Iron and Steel Labor Research Institute Technology Co.,Ltd.

[Abstract] Blast furnace gas produced during ironmaking contains high concentration of carbon monoxide. This gas is colorless, odorless and non-irritating, which is difficult to detect by human senses. It tends to accumulate in low-lying areas, enclosed spaces and poorly ventilated zones, easily causing acute poisoning accidents of operators, and seriously endangers production safety and life health of personnel. Combined with the field process flow and equipment operation characteristics of ironmaking plants, this paper systematically analyzes the risk sources and causation mechanism of gas poisoning. Taking intrinsic safety construction as the core, a full-process and integrated prevention and control system is constructed from four dimensions: engineering technology prevention and control, safety management strengthening, individual protection guarantee and emergency disposal improvement. Practical and implementable governance measures are proposed to provide theoretical support and practical schemes for ironmaking plants to reduce gas poisoning accidents and improve gas safety management.

[Key words] Ironmaking Plant; Carbon Monoxide; Gas Poisoning; Risk Identification; Prevention and Control Measures

1 引言

冶金产业是重要的基础产业,在国家经济中拥有重要地位。近年来,随着冶金行业的快速发展,其煤气安全管理方面暴露出诸多问题,如管理制度不完善、技术设备老旧、人员素质参差不齐等,导致煤气中毒安全事故频发,给企业和员工带来了巨大的损失和伤害。因此,研究冶金企业炼铁工艺煤气中毒问题并提出有效的解决对策显得尤为重要^[1]。

高炉炼铁是钢铁冶金生产的核心关键工序,冶炼过程会持续产生大量高炉煤气。高炉煤气作为钢铁企业重要的二次能源,回收利用率高、应用范围广,但同时属于高危险性有毒有害气

体。其中一氧化碳含量占比达到20%~30%,毒性强、隐蔽性高,是冶金行业高发中毒事故的主要诱因^[2]。随着现代高炉大型化发展,煤气管网不断延伸、设备布置更加密集,系统运行压力波动频繁,设备老化、密封失效、操作不当等隐患持续增多,煤气泄漏风险进一步加大。现阶段,多数冶金企业虽然建立了煤气安全管理制度,但现场设备运维不到位、人员操作不规范、风险辨识不全面、隐患治理不彻底等问题仍然普遍存在,煤气中毒事故未能得到完全遏制。因此,深入开展炼铁工艺煤气中毒风险辨识,全面分析各类风险诱因,建立源头防控、过程管控、应急兜底的完整管理模式,对保障炼铁车间安全生产

运行、防范群体性中毒事故、落实企业安全生产主体责任具有重要意义。

2 炼铁工艺煤气中毒概述

2.1 炼铁厂煤气类型及成分

炼铁系统产生的危险煤气以高炉煤气为主,也是炼铁区域分布最广、接触人员最多的有毒有害介质。高炉煤气主要成分为一氧化碳、氮气、二氧化碳及少量杂质气体,其中一氧化碳为核心有毒组分,具有无色、无味、无刺激的典型特征,泄漏后无任何预警特征,隐蔽危害极大^[3]。依据《工业企业煤气安全规范》GB6222-2025相关要求,高炉煤气比重略高于空气,自然扩散能力弱,易在地下室、管廊、阀门井、除尘设备内部、泵房等低洼密闭区域聚集。受限空间内空气流通不畅,微量持续性泄漏就会快速造成一氧化碳浓度超标,长期滞留极易诱发人员中毒,是炼铁现场重点管控的重大危险介质^[4]。

2.2 煤气中毒机理及危害

一氧化碳中毒主要为全身性缺氧性损伤。一氧化碳经人体呼吸道进入血液循环后,与血红蛋白结合能力远高于氧气,快速生成碳氧血红蛋白,直接抑制血液携氧与供氧功能,造成心、脑、肾脏等重要器官缺氧损伤。按照接触浓度和暴露时间,中毒可分为三个等级:轻度中毒表现为头晕、头痛、恶心、四肢无力;中度中毒出现意识模糊、行走不稳、呕吐胸闷;重度中毒会发生昏迷、抽搐、呼吸循环障碍,救治不及时极易造成死亡。人体大脑对缺氧极为敏感,缺氧超过4~6分钟即可造成中枢神经不可逆损伤,即便抢救成功,也会遗留神经系统后遗症,严重影响从业人员身体健康^[5]。

3 炼铁工艺煤气中毒风险分析

3.1 主要风险来源

3.1.1 设备设施风险

设备隐患是煤气泄漏的根本来源。煤气设施泄漏可归纳为4大影响因素:一是外部环境;二是内部运行的介质;三是煤气设施的制造质量,如煤气设施本体母材、焊缝、防腐涂层等;四是违章操作^[6]。炼铁现场长期处于高温、高湿、多粉尘、强腐蚀环境,煤气管线、阀门、补偿器、密封元件长期受介质腐蚀、温度应力与机械振动影响,老化失效速度加快。煤气设施制造质量包括母材(含密封填料)的选用和焊缝质量。防腐涂层质量包括除锈工艺及质量。煤气设施质量的好坏管道焊缝、法兰、弯头、变径等薄弱部位易出现裂纹、砂眼和密封破损;管道支架沉降、振动松动,会造成接口缝隙增大,形成持续性煤气泄漏。阀门、盲板阀、眼镜阀等隔断装置长期使用易出现阀杆卡涩、密封面磨损、关闭不严等缺陷,设备检修和停送煤气作业中无法实现可靠切断,残余煤气外泄风险突出。排水器是炼铁现场最常见的泄漏点位,水封高度不足、内部堵塞、隔板腐蚀、冬季结冰冻裂,都会导致水封失效,煤气直接冲破水封扩散至作业区域。高炉本体、热风炉、除尘器、煤气柜、加压机等大型设备密封老化、壳体破损、耐火材料脱落窜气,以及仪表接口、放空阀、人孔、检修门密封不严,都会形成分散式隐蔽泄漏点,日常巡检难以发

现,长期积聚形成重大安全隐患。

3.1.2 工艺操作风险

人为违章操作是煤气中毒事故的直接诱因。炼铁生产中带煤气抽堵盲板、管道焊补、阀门更换、排水器清理、设备检修等高危作业风险集中,若作业方案不完善、安全交底缺失、气体检测不到位、现场监护缺失,极易造成作业人员直接接触高浓度一氧化碳。部分作业人员安全意识薄弱,违反“先通风、再检测、后作业、持续监测”安全原则,未携带便携式检测仪、未落实通风措施,盲目进入煤气区域及受限空间作业。单人作业、跨范围作业、抢工期简化操作流程等违规行为,进一步加大中毒风险。煤气系统调节不及时,或系统产供严重不平衡,导致煤气系统管网压力突增,煤气系统排水器击穿,引发排水器泄漏煤气;煤气高炉休风复风、煤气柜升降、加压机切换、管网压力调节等关键操作中,压力调节过快、操作配合不当,易引发管网压力剧烈波动,造成煤气倒灌、水封击穿、管道冲击破裂。设备检修置换吹扫不规范,惰性气体用量不足、吹扫存在死角,设备内部残留煤气,检修期间缓慢释放,诱发隐蔽中毒事故。

3.1.3 环境条件风险

作业环境缺陷会放大煤气泄漏的危害后果。炼铁厂区地下管廊、阀门井、密闭泵房、除尘箱体、封闭走廊等区域自然通风条件极差,属于典型受限空间。煤气泄漏后受自重影响下沉堆积,无法及时扩散稀释,短时间内浓度快速超标。冬季生产期间,车间门窗封闭、通风设施关停,室内空气流通性大幅下降;静风、低气压等气象条件下,露天区域泄漏煤气扩散缓慢,易在作业面长期滞留,增加巡检及现场作业人员接触风险。

3.1.4 安全管理风险

管理漏洞是煤气中毒事故发生的深层原因。部分企业煤气安全管理制度不完善,岗位操作规程不细化,煤气安全责任未层层分解落实,现场管控约束力不足。安全管理机构不健全,专职管理人员配备不足,专业能力欠缺,各管理部门职责不明确,安全管理存在推诿扯皮和盲区漏洞;操作人员安全培训教育不到位,对安全操作规程不掌握,对岗位危险有害因素和风险点不清楚,管控措施得不到落实;特殊作业许可制度执行不严,高危作业票证审批流于形式,风险分析、安全确认、防护措施落实不到位。现场监督检查不到位,存在的问题隐患得不到及时发现和消除。一氧化碳在线监测设备布设不足、定期校验维护不及时,报警设备失效、失灵问题多发,泄漏预警滞后。隐患排查治理不闭环,隐蔽性泄漏隐患长期遗留,最终诱发安全事故。

3.2 风险致因分析

炼铁煤气中毒事故属于人、机、环、管多因素耦合结果。设备不安全状态构成泄漏物质条件,人员不安全行为作为直接触发因素,密闭通风不良的环境加速煤气积聚,管理体系缺陷导致隐患长期得不到治理。四大因素相互叠加,形成泄漏—积聚—人员接触的完整事故链条,造成煤气中毒事故具备突发性、隐蔽性、群体性、高致死性的特点。只有全方位统筹管控四类风险,才能从根本上遏制中毒事故发生。

4 炼铁工艺煤气中毒预防控制措施

4.1 工程技术防控

以本质安全为核心,从源头降低煤气泄漏概率。优化煤气管网设计与选材,腐蚀严重区段选用耐腐蚀管材,严格控制焊接施工质量,定期开展管道壁厚检测、气密性试验,及时更换老化腐蚀管线及破损密封件。关键隔断位置采用双阀加盲板双重隔离结构,保证气源切断可靠。加强排水器专项治理,统一规范水封标准,加装防冻伴热、液位监测装置,定期清理疏通,杜绝堵塞、冻裂、水封失效问题。完善全厂一氧化碳监测预警体系,在高炉平台、管廊、阀门组、密闭空间等关键区域安装固定式在线检测报警器,中控室24小时实时监控;为巡检及作业人员配备便携式检测仪,实现全程动态监测。高风险密闭区域加装防爆强制通风设备,合理优化通风布局,提升空气置换效率。设备检修严格执行氮气、蒸汽置换吹扫流程,多点位取样检测,一氧化碳浓度、氧含量达标后方可作业,杜绝残余煤气中毒风险。推动监测报警系统与通风、声光预警联动,实现泄漏早期自动预警、快速处置。

4.2 安全管理防控

结合冶金企业自身生产实际和管理现状,按照法律法规、标准规范要求,建立煤气设备及管线运行状态的动态监测系统,根据其运行状况,进行预防性的检查、检修;更换零部件,密封填料等消除煤气泄漏。按照法律法规规定,依法设置安全生产管理机构或配备专职安全生产管理人员,充分发挥各职能部门、各岗位员工的职能职责^[1]。严格执行高危作业许可审批制度,带煤气作业、受限空间作业、动火作业、停送煤气作业必须办理作业票,落实风险辨识、安全交底、气体检测、专人监护等措施,严禁无票作业、违章作业。建立安全风险管控清单,严格落实各项管控措施,确保安全风险始终可控。按照把风险控制在隐患形成之前、把隐患消灭在事故前面的管理理念,进一步强化隐患排查治理,对照安全风险管控清单,逐项检查各项管控措施落实情况,及时查找和发现问题隐患,并落实整改,实现闭环管理。常态化开展煤气安全培训与事故案例警示教育,普及煤气特性、风险辨识、规范操作、防护使用知识,定期组织煤气中毒应急演练,提升员工自救互救与协同处置能力。采用管理及技术措施,加强煤气动态平衡管理,确保煤气管网压力稳定,杜绝压力波动过大导致的煤气泄漏。

4.3 个体防护措施

个体防护是人员安全最后一道防线。依据岗位风险等级合理配置防护用品,带煤气作业、受限空间作业必须配备正压式空气呼吸器,常规煤气区域作业配备合格过滤式防毒面具。建立防护器材台账,定期检查、校验、更换,杜绝使用过期、破损、失效防护用品。加强防护装备使用培训,确保作业人员熟练掌握佩戴、检查、操作方法。明确煤气区域作业管理要求,进入煤气区域必须携带检测设备、规范佩戴防护用品,坚持双人同行、相互监护,杜绝单人冒险作业,最大限度降低人员暴露风险。

4.4 应急处置保障

要加强对各类应急管理人员、救援人员的应急培训,包括应急预案、应急处置专业知识、应急装备器材使用、自救互救知识等,按照规范要求,定期组织相关人员开展应急演练,检验预案的实用性和有效性,检验装备器材的完好性,提升应急救援人员的应急处置能力^[1]。修订完善煤气中毒专项应急预案,明确应急组织机构、处置流程、警戒范围、疏散路线、救援措施。在煤气集中区域就近配置应急物资柜,存放空气呼吸器、检测仪器、急救用品、堵漏工具及警戒器材,保障应急物资完好可用。加强应急人员技能培训,坚持“无防护不救援”原则,杜绝盲目施救引发次生事故。发生煤气泄漏时,第一时间切断气源、设置警戒、疏散人员至上风口区域,启动强制通风加速气体扩散。发现中毒人员立即转移至空气新鲜区域,保持呼吸道通畅,重度中毒人员及时实施心肺复苏并快速送医救治,最大限度降低事故伤害。

5 结论

综上所述,炼铁工艺煤气中毒风险诱因复杂,设备老化泄漏、操作行为不规范、作业环境密闭积聚、安全管理缺失是主要问题。高炉煤气一氧化碳毒性强、泄漏隐蔽、扩散聚集性强,极易引发多人中毒事故,直接制约冶金企业安全生产稳定运行。通过落实工程技术改造、强化现场安全管理、规范个体防护使用、完善应急处置体系,构建四位一体全流程防控模式,能够有效管控煤气泄漏风险,规范现场作业行为,提升预警与应急能力,显著降低炼铁工序煤气中毒事故发生率。企业需持续推进煤气本质安全化升级,强化精细化管控,全面提升炼铁煤气安全管理水平,保障冶金行业安全稳定长效发展。

【参考文献】

- [1] 张海澎,马晓芹.关于冶金企业煤气安全管理的研究[J].冶金管理,2025,(09):28-30+59.
- [2] 危中良,吕俊.工业企业煤气泄漏原因及预防措施的探讨[J].南方金属,2023,(01):40-42+46.
- [3] 丁伟.高炉煤气泄漏成因分析与系统治理策略研究[C]//中国金属学会,中冶京诚工程技术有限公司.第十五届中国钢铁年会论文集—29.冶金安全.河南亚新钢铁集团有限公司,2025:145-151.
- [4] 王海涛.冶金企业煤气系统本质安全提升路径探讨[J].冶金动力,2025(1):65-69.
- [5] 中华人民共和国国家标准.《工业企业煤气安全规范》(GB 6222-2025)[S].北京:中国标准出版社,2025.
- [6] 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(05):129-132.

作者简介:

王成利(1982--),男,汉族,辽宁康平县人,硕士研究生,高级工程师,研究方向为安全评价、应急预案编制、标准化评审以及安全隐患排查。