

中国与印度尼西亚铁合金矿热炉生产安全对比研究

邬骞, 沈星, 林飞, 牛子儒*

中钢武汉安全环保研究院股份有限公司, 湖北 武汉 430081

摘要 : 随着国家大力倡导“一带一路”战略方针以及印度尼西亚对镍矿的出口限制和镍铁价格的走低, 大量中资企业积极在印尼投资建厂, 有力地促进印尼经济发展, 其中铁合金行业成绩斐然, 但其安全事故也不断发生。由于国内外铁合金行业采用的工艺、安全要求、环保要求和政府监管要求均不相同, 本文章从国家意识形态、政府监管、法规标准、安全管理水平、设备设施本质安全等维度, 结合矿热炉的主要风险, 客观地对比分析国内与印度尼西亚铁合金行业发展情况, 结合两国铁合金企业安全管理和现场生产现状和特点, 通过现场隐患反应出的问题, 对造成此现状的原因进行简要的分析并提出几点意见, 希望能促进国内外相互交流吸收各自的优点, 保障人权, 减少事故的发生, 促进铁合金行业安全健康发展。

关键词 : 铁合金; 印度尼西亚; 矿热炉

A Comparative Investigation into the Production Safety of Ferroalloy Submerged Arc Furnaces in China and Indonesia

Wu Qian, Shen Xing, Lin Fei, Niu Zirui*

Sinosteel Wuhan Safety&Environmental Protection Esearch Institutecoo.,ltd, Wuhan, Hubei 430081

Abstract : With the active promotion of the “Belt and Road” strategy by the national government and Indonesia’s export restrictions on nickel ore, coupled with falling nickel iron prices, a significant number of Chinese enterprises have proactively invested in Indonesia to establish factories. This has effectively contributed to the economic development of Indonesia. Notably, the iron alloy industry has achieved remarkable results; however, safety accidents have been occurring frequently. Owing to differences in processes, safety requirements, environmental protection standards, and government regulations between domestic and foreign iron alloy industries, this article objectively compares and analyzes the development of both domestic and Indonesian iron alloy industries from perspectives including national ideology, government supervision, regulations and standards, safety management levels, inherent safety of equipment and facilities as well as primary risks associated with electric arc furnaces. Furthermore it combines an analysis of safety management practices along with on-site production status and characteristics within iron alloy enterprises in both countries to briefly examine underlying causes for the current situation while offering some suggestions. It is hoped that this will facilitate mutual exchange and learning regarding strengths and weaknesses between nations while safeguarding human rights through accident reduction measures aimed at promoting safe and healthy development within the iron alloy industry.

Keywords : iron alloy; indonesia; mineral furnace

引言

红土镍矿炼精制镍铁是目前生产镍铁合金的主流方法^[1]。印尼的镍储量达2100万吨, 据印尼能源及矿产资源部 (MODI) 统计, 印尼近一半的红土镍矿资源品位高于1.7%, 拥有较为明显的品位优势。根据中国与印尼达成的“一带一路”建设方针、印尼对镍矿出口的管制以及吸引外资入场提升本国冶炼工艺, 越来越多的中国企业选择在印尼当地建立冶炼厂。2024年镍矿产量预计达到2.4亿吨, 伴随着中资企业铁合金产能的不断提升, 作为镍铁冶炼主体设备的矿热炉其相关事故量也在增加。

基于上述情况, 本文针对中国和印尼铁合金矿热炉生产安全现状分析, 对国内外铁合金矿热炉生产现状简要分析描述, 为两国铁合金矿热炉安全生产和发展提出参考意见。

作者简介:

邬骞 (1971-), 男, 本科, 工程师, 注册安全工程师, 冶金、机械铸造安全技术咨询;

沈星 (1987-), 男, 硕士, 高级工程师, 注册安全工程师, 冶金安全技术咨询;

林飞 (1983-), 男, 本科, 工程师, 注册安全工程师, 冶金、机械铸造安全技术咨询;

通讯作者: 牛子儒 (1999-), 男, 硕士, 助理工程师, 金属冶炼安全。

一、矿热炉主要风险

矿热炉主要风险为穿炉、塌料爆炸、煤气中毒^[2]等。

(1) 穿炉：矿热炉出渣口和出铁口属于长期被高温熔体冲刷部位，其耐火层被不断腐蚀后，容易导致熔融金属烧穿与冷却系统中循环冷却水接触，进而发生爆炸事故。

(2) 塌料爆炸^[3]：指矿热炉出铁、出渣时，焦炭层与料层之间出现可燃气体空穴，从而发生覆盖料塌陷造成空穴中可燃气体与外部空气接触爆炸事故，因此对于矿热炉炉况实时监测至关重要。

(3) 煤气中毒：生产硅铁、镍铁矿热炉多为半封闭式矿热炉，生产过程矿热炉炉内会产生煤气，目前矿热炉的炉况仍需人工通过观察口进行观察控制，增加了人员中毒的风险。

二、中国与印尼铁合金企业对比

(一) 安全管理对比分析

1. 印尼安全管理情况

印尼企业的安全管理主要以职业安全与健康管理体系为主^[4]，同时参照部分通用性的安全技术标准（例如 Keselamatan Mesin - Perlengkapan Listrik dari Mesin - Bagian 1: Persyaratan Umum 安全机器 - 机器的电源 - 第1部分：一般要求：SNIIEC 60204-1-2009, Peraturan khusus keselamatan dan kesehatan kerja 职业健康和安全的有关规定：SNI 19-1961-1990, Kegiatan konstruksi, Keselamatan dan kesehatan kerja 施工活动 职业安全卫生：SNI19-0231-1987）等；但是未制定铁合金或矿热炉的针对性的安全生产标准，难以形成成套的安全生产标准化管理体系，企业管理能力仅依靠自觉性和集团内部要求得以提升。

印尼管理制度多是由企业或集团参照国内法律法规相关要求制定后引入，政府对于生产安全的监管薄弱，主要采用企业自查等方式监管，且企业对于管理制度的执行不够。安全管理机构的设立以及安全管理人员的设置未做具体要求，整体呈现粗放式发展模式。

2. 国内铁合金企业安全管理情况

安全法律法规、标准依据体系建设。我国建立了完善的安全生产法律法规标准体系，颁布实施了《安全生产法》《冶金企业和有色金属企业安全生产规定》《冶金企业安全生产标准化评定标准（铁合金）》等法律法规及部门规章文件，同时还制定了专业的技术标准，例如《铁合金生产安全规程》（AQ 2024—2010）、《半封闭矿热炉炉料热装热送技术规范》（GB/T 32973-2016）、《电热装置的试验方法 第11部分：埋弧炉》（GB/T 10066.11-2016）、《电热装置基本技术条件 第2部分：电弧加热装置》（GB/T 10067.2-2005）等，进一步细化指导铁合金行业安全生产。同时，对于场所布置、设备本质化安全、“三新”员工的培训、安全管理人员的设置等也在相关法规标准中提出详细要求。

安全监督管理体系运行。我国安全监管主要依靠行政监管，其监管层次为：中华人民共和国应急管理部——省级应急管理

部门——市（县）级应急管理部门；同时采用国家应急管理管理部门安全监管“两手抓”的方式，促进引导企业安全生产。此外铁合金生产企业按照《国民经济行业分类》（GB/T 4754-2017），划归为冶金行业，由应急管理部执法工贸局及下属各省市应急管理部门负责对其安全生产进行监督管理。

行业准入条件门槛。为强化行业管理，国家发展改革委颁布实施了《铁合金行业准入条件》办法，推进铁合金工业结构升级，促进企业工艺和装备的提升。

国家安全意识形态。国内各部门高度重视生产安全，近些年先后制定国家安全生产月、全国安全生产专项整治三年行动计划、安全生产治本攻坚三年行动等举措；同时，国内将金属冶炼企业纳入高危行业监管。铁合金行业监管力度对比印尼更为严格。

3. 共性问题分析

员工安全意识较为薄弱，教育培训不到位。岗位人员缺乏对隐患的辨识和判断能力，对岗位风险评估不到位，且未制定针对性安全管控措施。

安全管理制度、岗位操作规程不健全。例如缺少矿热炉开炉眼岗位安全操作规程、设备控制标准、应急预案编制和演练以及日常检查维护标准等。企业的管理较为薄弱急需提升。

(二) 现场设备设施与作业对比分析

1. 印尼企业生产现场情况

1) 矿热炉本质安全水平较低。印尼矿热炉冷却方式多采用炉身外部打水冷却、炉基风冷搭配出铁口和出渣口冷却壁冷却方式^[5]，当发生喷爆和烧穿事故时，熔融金属和熔渣遇水容易造成群死群伤事故。

2) 对6类人员聚集场所设置安全风险认知不足。在矿热炉熔融金属泄漏和喷溅影响范围以及煤粉制备厂房内设置操作室等问题普遍存在，企业对《工贸企业重大事故隐患判定标准》认知不足，对人员聚集场所设置在危险场所可能造成群死群伤事故的风险未识别。

3) 熔融金属吊运和转运区域存在非生产性积水、煤气区域缺少煤气监测报警装置等重大隐患问题普遍存在。相比国内，印尼雨水更为充沛，这也为生产区域非生产性积水的防护和及时清理提出了更高的要求，而印尼对现场管理较为松散，从而导致非生产性积水问题普遍存在，增加了安全风险。

4) 现场联锁缺失严重，自动化程度较低。存在例如设置了煤粉仓氧气含量实时监测，但并未与氮气自动喷吹联锁；外部喷淋打水系统未设置出水温度、进水流量检测报警系统，未与电机断电进行联锁，冷却水系统靠人工现场手动操作等问题。各种联锁缺失严重，控制系统较为落后，部分控制系统需要人工开启，当出现紧急情况时，可能会造成事故的扩大。

5) 仪器仪表缺少检验。印尼仪器仪表的检验较为困难，所需天数、时间和花费的精力、成本远高于国内，导致现场使用的仪器仪表大多超检验周期使用。

6) 特种作业人员的管控不够。人员证件缺失、印尼对特种作业人员的培训考核、持证上岗等与国内存在差异，现场无证人员作业的情况普遍存在。

2. 国内铁合金企业生产现场情况

1) 矿热炉本质安全水平相对较高。在国内法规的引导下,国内矿热炉炉身多已采用冷却壁冷却方式,安全性较高,从而减少穿炉情况的发生。小型矿热炉仍有采用无冷却水的风冷方式。国内伴随钢铁企业快速发展的耐火材料产品,具有种类丰富、技术先进等优点,给与国内矿热炉耐材更多的尝试和发展,在炉体不同部位针对其特点选用耐火材料,使得国内矿热炉的寿命得到提高。

2) 国内安全连锁措施较为完善,自动化、智能化水平较高^[6]。内蒙古和青海为国内铁合金企业分布主要省份,内蒙古铁合金矿热炉和青海省铁合金2WKVA及以上矿热炉已基本实现非人工开眼,占铁合金矿热炉80%左右,青海省2WKVA以下矿热炉仍采用人工开眼。部分铁合金生产企业开堵铁口、加料等已实现远程监控操作,从而减少人与危险源的接触,降低生产风险。

3) 国内铁合金企业众多,部分生产企业在炉龄末期、安全防护破损严重、生产环境恶劣情况下继续生产,从而导致矿热炉炉口腐蚀情况加剧、耐火炉衬在使用寿命期限内提前报废^[7]、炉体运行情况检查不到位,从而导致事故的发生,四川省兴晟铁合金冶炼有限公司“5·25”一般灼烫事故为此现状典型事故案例。

4) 矿热炉的安全风险与其生产产品和生产工艺相关^[8],造成不同铁合金企业其生产现场工况差异性较大。存在部分铁合金企业在炉身漏水、出铁口侵蚀严重、矿热炉煤气泄漏严重的情况下仍在生产。这种情况多出现在工艺较为落后,建厂时间较长的企业当中。

3. 共同问题

1) 生产现场“5S”建设较差,现场生产条件较为恶劣,劳动保护不到位。铁合金企业现场存放杂物、设备设施腐蚀严重、炉前作业人员劳动保护不到位等情况严重,现场缺少安全防护和警示标识的情况普遍存在。

2) 对粉尘爆炸场所设备选型,消防安全认知不足。部分企业出现矿热炉控制室、水泵房等火灾危险区域火灾报警器缺失,煤粉制备工序温度监测报警缺失等。在煤粉制备、储存所用电器为非防爆型电器,煤粉仓泄爆装置缺失等问题普遍存在。

3) 对于矿热炉产生煤气危险性认知不足。矿热炉生产过程中会产生煤气,然而炉身操作平台区域未按要求设置或未设置固定式一氧化碳监测报警仪、人员进入矿热炉工作平台和炉顶工作未携带便携式一氧化碳监测报警仪等情况却普遍存在。

4. 中国与印尼铁合金企业对比简述

表一 中国与印尼铁合金生产“人物环管”对比表

序号	类别	国内	印尼
1	监管	行政监管为主	企业自主监管为主,行政监管为辅
2	管理体系	在国内完善法律、法规、法令、标准体系指导下发展	国内引进,缺少安全目标、责任制等
3	安全管理人员对比	按照金属冶炼企业1%,部分省份达到2%-3%	缺少专职安全管理人员,但向着管理人员职业化和专业化发展

序号	类别	国内	印尼
4	设备本质化安全水平	投入生产时间不同、工艺不同的主体设备本质化水平差异较大	多数企业投入生产时间较短,但设备本质化基础薄弱,连锁缺失严重
5	矿热炉冷却方式	空冷(小型炉)、炉身冷却壁冷却搭配炉基空冷	炉身外部打水冷却、出铁口和出渣口冷却壁冷却、炉基风冷三者搭配
6	布局方式	小型企业较为紧凑,其余相对宽松	紧凑
7	控制方式	远程控制为主	现场集中控制为主
8	炉前作业每班人员数量	3-5人	7-10人
9	现场重大隐患数量	部分存在	大量存在

三、对策和建议

(一) 印尼建议

1) 以政府为主导建立安全监管体系。印尼政府应加快铁合金生产安全管理监管体系建立,成立必要的体系建设单位,明确职责和任务分工。在政府的领导下,制定总体建设方案,合理规划建设目标、建设阶段、重点工作、进度控制要求等。结合印尼生产现状,把握“一带一路”的机会,学习归纳中国乃至世界先进经验,建成紧密围绕国家总体战略布局的本国特色安全管理监管体系。

2) 加强特种设备及其安全附件全生命周期管理。一是加强特种设备全设计、制造、安装、验收、使用、维护、定期检验、报废等全生命后期管理;二是按照特种设备监察规程建立健全特种设备管理技术电子台账。确保特种设备全生命周期合法合规安全使用。

3) 加强特种作业人员合规性管理。《工贸企业重大事故隐患判定标准10号令》已经明确将特种作业人员持证上岗纳入重大事故隐患。一是梳理自身特种作业人员需求,建立台账,按计划开展取证工作;二是加强相关方特种作业人员核准、监督管理工作。确保特种作业人员依法持证上岗。

(二) 国内建议

1) 推动矿热炉机械、智能化转型^[9]。推动铁合金企业信息化智能化建设、加强铁合金安全标准化建设、不断提升安全管理能力。树立安全发展新理念落实企业主体责任,推动新建铁合金企业安全管理思路及安全生产标准化创建,建立铁合金新建项目安全管理交流平台,对典型铁合金企业安全风险进行分析加强安全管控要点^[10],及时对落后工艺和老旧设备进行淘汰和更换。

2) 持续推进标准化作业管理。通过行为观察法,不断完善、固化员工作业行为,并融入至岗位安全操作规程或安全操作卡中,以此降低人的不安全行为,减少人员违章造成安全事故。

3) 持续推进标准化体系建设。建议企业以安全生产标准化为抓手,持续推进、完善企业自身法律法规认识、安全管理机构、

应急管理、设备设施安全、作业行为安全等方面建设,促进企业安全生产管理综合水平再提高。

四、结语

安全生产是人权事业发展的重要成就,其本就是公民人身权力的一种保障。伴随印尼镍铁矿出口禁令和国内铁合金企业不断

涌向印尼,其安全管理缺失、安全监管薄弱和环保要求宽松为其带来国外资本投资的同时,也造成安全事故伤亡人数的增加和人权保障能力的考验。国内近期矿热炉事故的频繁发生也体现出国内铁合金行业仍然存在设备超产和炉龄末期监管缺失等问题。建议双方针对本国铁合金生产出现的不同问题,发挥政府监管职责,企业对相关问题引起重视,不断提升企业标准化创建和运行水平,推动铁合金行业安全发展。

参考文献

- [1] 李洋,柳晓东,陈超. 印尼“高架回转窑+矿热炉”镍铁冶炼项目技术研究[J]. 铁合金, 2016,47(05):5-9.
- [2] 储少军,曾世林,黄祖诚,等. 矿热炉塌料、爆炸事故的成因浅析[J]. 铁合金, 2009,40(02):13-17.
- [3] Contreras Serna, Jorge. Case studies in electric arc furnace Off-gases transport and steam explosion onset [D]. Itesm Campus Monterrey, 2018.
- [4] Scott, Ferguson and Zsomboky Nick. Electric Arc Furnace Explosions: A Deadly but Preventable Problem. Iron and Steel Technology 14 (2017): 35.
- [5] 曹培峰. 锰硅合金矿热炉炉底烧穿事故的原因探讨[J]. 第23届全国铁合金学术研讨会论文集(上), 2014.
- [6] 张志斌,王伟,刘招俊,等. 大型矿热炉电极事故原因分析与预防措施[J]. 铁合金, 2015(6):10-14.
- [7] 杨芳园. 半封闭锰硅矿热炉电极电爆安全风险与控制[J]. 第26届全国铁合金学术研讨会论文集(下册), 2018.
- [8] 杨芳园. 半封闭锰硅矿热炉电极电爆安全风险与控制[C] // 中国金属学会铁合金分会, 贵州省经济和信息化委员会, 贵州省科学技术协会, 黔西南州人民政府, 贵州省投资促进局. 第26届全国铁合金学术研讨会论文集(下册). 桂林康密劳铁合金有限公司; 2018:4.
- [9] Guoping J, Zhenhong W, Yiming D. Revamping design of an EAF automatic temperature measurement and sampling robot [J]. Baosteel Technical Research, 2023, 17(03):32-39.
- [10] Bojan V, Damiano P, Harald K, et al. EAF ECS versus Conventional Electric Arc Furnace: Environment Control versus Transformation Cost Control [C] // 中国金属学会(The Chinese Society for Metals). Proceedings of 2018 China Symposium on Sustainable Steelmaking Technology (CSST2018). Danieli Metallurgical Equipment & Service (China) Co., Ltd.; Danieli & C. Officine Meccaniche S.p.A; 2018:7.