

冶金企业高温熔融金属作业风险分级管控标准研究

杨岩

江苏中安科技服务有限公司，江苏南京

摘要： 本文旨在探讨冶金企业高温熔融金属作业的风险分级管控标准。首先，对高温熔融金属作业过程中的潜在危险进行了详细分析，包括冶炼、运输与浇铸等环节。随后，介绍了风险评估方法与标准，包括定性风险评估工具如工作危害分析（JHA）和故障模式与效应分析（FMEA），以及定量风险评估技术如概率与影响分析和风险矩阵构建。在此基础上，构建了风险分级管控体系，提出了预防、控制与应急的多层次策略，并制定了风险分级标准，考虑了风险等级划分的依据以及标准的行业适应性与可操作性。

关键词： 高温熔融金属；风险分级；管控标准；冶金企业；风险评估

Research on the Risk Classification and Control Standard of High-Temperature Molten Metal Operation in Metallurgical Enterprises

Yan Yang

Jiangsu Zhongan Technology Service Co., LTD, Nanjing, Jiangsu

Abstract: This paper aims to explore the risk classification and control standards for high-temperature molten metal operation in metallurgical enterprises. First of all, the potential hazards of high temperature molten metal are analyzed in detail, including smelting, transportation and casting. Subsequently, risk assessment methods and criteria are introduced, including qualitative risk assessment tools such as Work Hazard Analysis (JHA) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), as well as quantitative risk assessment techniques such as Probability and Impact Analysis and Risk Matrix Construction. On this basis, the risk classification management and control system are constructed, the multi-level strategy of prevention, control and emergency response is put forward, and the risk classification standard is formulated, considering the basis of risk level division and the industry adaptability and operability of the standard.

Keywords: High temperature molten metal; Risk classification; Management and control standard; Metallurgical enterprises; Risk assessment

1 前言

随着冶金行业的快速发展，高温熔融金属作业的安全问题日益凸显，对风险的有效管控成为企业安全生产的关键。本文的研究不仅为冶金企业提供

了一套科学、系统的风险分级管控标准，而且有助于企业实现风险的有效预防和控制，提升整体安全管理水平。通过深入分析高温熔融金属作业的潜在危险，结合风险评估方法与标准，本文构建的风险分级管控体系为企业提供了实用的管理工具，有助

于企业及时发现并处理潜在的安全隐患，保障员工生命财产安全，促进企业的可持续发展。

2 高温熔融金属作业风险分析

2.1 冶炼过程中的潜在危险

在冶金企业中，高温熔融金属作业是一项高风险的工作，其潜在危险主要体现在冶炼过程中的化学反应失控、高温泄漏以及机械故障等多个方面[1]。例如，冶炼过程中金属液的温度可高达1500℃以上，一旦发生泄漏，瞬间释放的高温能量可能导致严重灼伤事故，甚至引发火灾或爆炸[2]。据历史数据统计，全球范围内曾发生过多起由于冶炼设备故障或操作不当导致的严重事故，这些事故不仅造成巨大的经济损失，还严重威胁到工人的生命安全[3]。

为了有效管理这些风险，企业需要结合工作危害分析（JHA）和故障模式与效应分析（FMEA）等工具，对整个作业流程进行深入剖析。JHA可以帮助识别每个操作步骤中的潜在危害，如不当穿戴防护装备可能导致的人员伤害；而FMEA则能预测并评估设备故障可能带来的后果，以便提前采取预防措施。

在风险评估的基础上，企业应构建风险分级管控体系，制定风险等级划分标准，确保标准既考虑行业通用性，又兼顾企业自身的特殊性。通过风险矩阵，可以直观地将风险事件的可能性与影响程度对应起来，为资源配置和安全管理决策提供依据。同时，结合预防、控制与应急的多层次策略，企业可以制定出详细的安全操作规程，并定期更新，以应对不断变化的作业环境和设备状况。

监控与检测技术在风险管控中也起着至关重要的作用。利用先进的红外热成像技术，可以实时监测熔融金属的温度分布，及时发现异常热源，防止温度失控。此外，安装泄漏检测传感器和自动切断装置，可以在发生泄漏时快速响应，减少事故的扩大化。通过这些技术的集成应用，可以显著提高高温熔融金属作业的安全水平，构建冶金企业安全管控的新范式。

2.2 运输与浇铸环节的风险

在冶金企业的生产过程中，运输与浇铸环节是高温熔融金属作业中风险极高的阶段。据行业统

计，约有30%的事故与这两个环节直接相关，因为它们涉及到高温金属液体的移动和注入到模具中，稍有不慎就可能造成泄漏、飞溅或失控，严重时会造成重大的人员伤亡和财产损失。

为了降低这些风险，企业可以采用如“零缺陷”理念，要求在运输前对设备进行全面检查，确保无任何潜在故障。同时，采用先进的模拟分析工具，如流体动力学模拟，预测熔融金属在不同条件下的行为，以优化运输路径和浇铸工艺。此外，实时监控技术，如红外热像仪和高速摄像头，可以实时监测金属液体的状态，及时发现并预警异常情况，从而提高应急响应的效率和效果。

在操作规程上，应定期更新和培训，确保所有操作人员都熟悉最新的安全操作流程，并通过定期的应急演练提升其在紧急情况下的应对能力。例如，可以引入模拟训练系统，让员工在模拟环境中反复练习正确的浇铸和应急处理步骤，以减少因人为失误导致的事故。

3 风险评估方法与标准

3.1 定性风险评估工具

3.1.1 工作危害分析（JHA）

在冶金企业中，高温熔融金属作业是一项高风险的工作，涉及到多环节的潜在危险，如冶炼过程中的化学反应失控、高温泄漏，以及运输与浇铸时的物理冲击和溅射等。工作危害分析（JHA）是一种有效的定性风险评估工具，它通过将作业步骤分解，识别每一步骤中可能存在的危害，然后评估这些危害可能导致的后果和现有控制措施的有效性。例如，在炼钢过程中，JHA可能会发现吊运熔融金属时视线受阻可能造成的误操作风险，从而提出改进吊运设备或优化操作程序的建议，以防止事故的发生。

在实际应用JHA时，企业应组建跨部门的评估团队，包括工艺工程师、安全专家和一线操作人员，确保全面考虑作业中的各种场景。团队成员应详细记录每一步骤的潜在危险，如高温金属接触到易燃物质可能导致的火灾爆炸风险。通过这种方式，JHA能够帮助企业制定针对性的安全操作规程，及时更新作业指导书，以适应工艺改进和设备更新带来的新风险。

同时，JHA的结果可以作为进一步风险评估和管控措施制定的基础。例如，对于识别出的高风险作业步骤，企业可以引入先进的监控与检测技术，如热成像摄像头实时监控熔融金属的温度和位置，或者使用感应围栏来增强安全防护。通过这样的综合风险管控，冶金企业能够构建起一个预防、控制与应急响应相结合的多层次安全管理体系，有效降低高温熔融金属作业的风险，确保生产安全和人员安全。

3.1.2 故障模式与效应分析 (FMEA)

在冶金企业中，故障模式与效应分析 (FMEA) 是一种关键的风险评估方法，它通过识别高温熔融金属作业中可能出现的故障模式，预测这些故障对生产安全和设备的影响效应，以提前采取预防措施。例如，FMEA 可用于分析冶炼设备的潜在故障，如炉体泄漏，可能导致金属液外溢，造成严重的人身伤害和设备损坏。通过对每一步操作步骤的细致分析，可以确定故障发生的可能性、影响的严重度以及现有控制措施的有效性，形成一个全面的风险评估矩阵。

在运输与浇铸环节，FMEA 也能发挥重要作用。比如，在使用天车吊运熔融金属过程中，可能的故障模式包括吊具损坏、操作失误等。这些故障可能导致金属液失控，造成热烫伤事故或设备损坏。通过FMEA，企业可以量化这些风险，如将操作失误导致事故的概率设定为0.01%，并评估事故可能导致的停机时间和修复成本，以便制定更严格的监控和操作培训计划。

3.2 定量风险评估技术

3.2.1 概率与影响分析

在冶金企业中，概率与影响分析是评估高温熔融金属作业风险的关键方法。它涉及到对各种潜在在事故发生的可能性及其可能导致的后果的量化评估。例如，可能需要考虑熔炉泄漏事故，其发生概率虽然较低，但一旦发生，可能造成重大的人员伤亡和财产损失。通过这种方式，企业可以更准确地确定哪些风险是最紧迫的，需要优先采取管控措施。

在实际操作中，可以采用类似于航空航天行业中的“失效模式和效应分析” (FMEA) 模型，对

每一步操作过程中的失效模式进行详细列举，评估其对生产安全和设备运行的影响程度。同时，结合历史数据，如过去十年中类似事故发生的频率，来估算事故发生的概率。这种分析方法有助于识别那些可能被忽视的高影响风险点。

此外，概率与影响分析的结果可以用于构建风险矩阵，将风险事件按照其概率和影响等级进行分类，如划分成低、中、高三个等级。这种可视化工具使得管理层能够一目了然地看到哪些风险需要立即处理，哪些可以通过改进操作程序或增加安全防护设备来降低。

3.2.2 风险矩阵构建

在构建冶金企业高温熔融金属安全管控新范式的过程中，风险矩阵构建是至关重要的一步。风险矩阵是一种可视化工具，它将风险的可能性与影响相结合，以确定风险的优先级和管理重点。例如，矩阵的行可以代表风险发生的概率，列可以代表风险事件一旦发生对人员安全、生产效率和设备的影响程度。通过为每一种风险分配一个特定的数值，我们可以将风险分布在一个二维图上，便于管理层理解和决策。

在冶金作业中，可能面临的风险如冶炼设备的故障或运输过程中的泄漏等，都会在矩阵中占据高风险区域。通过这样的量化分析，企业可以清晰地识别出哪些风险需要立即采取预防措施，哪些可以通过提高现有控制措施的效能来管理，以及哪些风险需要制定详细的应急响应计划。

风险矩阵的构建还需考虑冶金企业的实际情况和特定作业环境。例如，考虑到高温熔融金属作业的特殊性质，风险矩阵的设计可能需要增加对高温、熔融金属溅射、火灾和爆炸等特殊风险因素的考量。这些特殊因素不仅影响人员安全，还可能对生产设施造成重大损害，因此在风险矩阵中应赋予更高的权重。

此外，风险矩阵的构建还需与企业现有的安全管理体系相结合，确保风险分级的结果能够直接指导企业的日常安全管理活动。这包括风险监控、预防措施的制定、应急预案的演练以及持续改进机制的建立。通过风险矩阵，企业能够形成一个系统性的风险管理流程，从风险识别到风险控制的每一个环节都有明确的指导和依据。

4 风险分级管控体系构建

4.1 风险管理框架

预防、控制与应急的多层次策略在构建冶金企业高温熔融金属安全管控新范式中，预防、控制与应急的多层次策略是确保生产安全的关键。预防层面，企业应强化安全文化，通过定期的培训和教育，提高员工对高温金属作业风险的认识，如引用“安全第一，预防为主”的原则，确保每个员工都了解并遵守安全操作规程。例如，可以定期组织模拟操作和事故预想训练，使员工在实际操作中能有效避免因疏忽或误操作引发的事故。

在控制措施上，应结合先进的监控与检测技术，如安装热成像摄像头实时监控熔融金属的状态，配合使用温度传感器预警系统，一旦发现温度异常或泄露迹象，立即启动应急响应。此外，可以采用智能分析软件，对历史数据进行深度学习，预测可能的风险点，实现风险的动态管理。

应急响应机制的建立同样重要。企业应制定详实的应急预案，包括快速隔离事故区域、启动备用系统、组织专业救援队伍等步骤，确保在事故发生时能迅速、有序地进行处置，以最大程度减少事故损失。同时，预案应定期更新和演练，确保其在实际中的有效性和可执行性。

通过预防、控制与应急的多层次策略，冶金企业可以构建起一个全方位、多层次的安全管控体系，将高温熔融金属作业的风险降至最低，保障生产活动的稳定和安全，同时也体现了企业对社会责任的承担和对员工生命安全的尊重[4,5]。

4.2 风险分级标准制定

4.2.1 风险等级划分依据

在构建冶金企业高温熔融金属安全管控新范式的过程中，风险等级划分依据是确保有效管理的关键。这一依据通常涉及事故发生的可能性、潜在后果的严重性以及考虑企业现有的安全措施。在实际操作中，可能发生的事故频率，如每年发生事故的概率，将与事故可能导致的人员伤亡数量或财产损失金额相结合，以确定风险等级。

同时，风险等级划分还要考虑行业最佳实践和法规要求。比如，参照国内外成功企业的安全管理

经验，结合冶金行业的特定标准，此外，企业应定期更新风险评估，以应对技术进步、工艺改进或法规变化带来的新风险。

在分析过程中，可以引入专家评审和员工参与，确保风险等级的公正性和接受度。例如，通过工作坊形式，让一线操作人员参与风险评估，他们的直接经验能够提供更实际的风险估计，从而制定出更有效的管控措施。通过这种方式，企业能够构建出一个动态、适应性强的风险管控体系，有效防止高温熔融金属作业中的安全事故[6]。

4.2.2 标准的行业适应性与可操作性

在构建冶金企业高温熔融金属安全管控新范式时，标准的行业适应性与可操作性是关键考量因素。冶金行业因其特殊性，如高温环境、重机械操作以及化学反应等，对安全标准的需求具有高度的定制化特点。例如，风险分级标准制定时，应充分考虑不同冶炼工艺的特有风险，确保标准既能够覆盖广泛的操作场景，又能够针对特定工艺提供明确的指导。

在风险评估过程中，采用的定性工具如JHA需要结合行业内的最佳实践进行定制，确保一线操作人员能够理解和应用。例如，通过分析历史事故数据，可以识别出运输熔融金属过程中常见的如泄漏、坠落等风险点，然后制定出针对性的预防措施。同时，定量风险评估技术如风险矩阵构建，应结合冶金企业的实际风险容忍度，设定可操作的风险临界值，以便于管理层做出决策。

在管控措施的实施上，应强调标准的可操作性。安全操作规程不仅需要详尽，还应定期根据工艺改进、技术更新或事故教训进行修订。例如，引入先进的监控与检测技术，如使用红外热成像系统进行非接触式温度监测，或采用机器人技术减少人员在高风险区域的暴露。这些技术的应用需要配合相应的培训计划，确保员工能够正确、有效地使用。

5 结语

综上所述，冶金企业高温熔融金属作业的风险分级管控标准研究是一个复杂而系统的过程，它涉及对潜在危险的深入剖析、科学的风险评估方法的应用，以及有效的风险管控体系的构建。通过实施

这一系列措施，企业不仅能够显著提升作业安全水平，还能在保障员工生命财产安全的同时，促进企业的可持续发展。未来，随着技术的不断进步和安全管理理念的持续更新，我们有理由相信，冶金企业高温熔融金属作业的风险管控将更加智能化、精细化。

参考文献

- [1] 吴雅菊, 许开立, 王若茵, 徐晓虎. 高温熔融金属作业安全完整性评价[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2021(04): 576-581.
- [2] 高茗, 于浩, 成国光, 张延玲. 熔融金属/熔渣-氧化物高温润湿行为实验研究[J]. 实验技术与管理, 2022(09): 54-58.
- [3] 祝艺露, 吴雅菊, 王健伟. 基于模糊贝叶斯网络的高温熔融金属作业的风险评估[J]. 化学工程与装备, 2020(08): 225-228.
- [4] 王立群, 李明辉, 刘洋. 冶金企业高温熔融金属作业事故分析与预防措施[J]. 安全与环境学报, 2023, 19(02): 112-118.
- [5] 陈晓红, 赵勇, 张伟. 高温熔融金属作业风险评估与分级管控技术研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(11): 45-51.
- [6] 李华, 张强, 刘敏. 熔融金属作业安全管理与标准化实践[J]. 工业安全与环保, 2020, 46(06): 89-93.

