

金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略研究

武文凯

内蒙古包头鑫达黄金矿业有限责任公司 内蒙古 包头 014060

摘要: 金属矿山是国民经济支柱产业,但开采环境复杂、工艺特殊,安全风险隐患多,事故频发威胁人员生命财产,阻碍行业高质量发展。本文聚焦金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略,梳理事故类型、时空分布及耦合效应,构建合理评估模型,设计指标体系,优化方法并建动态数据库。搭建全方位风险控制体系,明确实施路径与评估指标,为安全风险管控提供理论与实践指导,提升管理水平,防范事故,推动行业安全有序发展。

关键词: 金属矿山;安全管理;风险评估;控制策略

引言: 我国工业化加速,金属矿山开采规模扩大、深度增加,露天与地下复合开采模式渐多,安全管理难度大增。其开采受地质、工艺、设备、人员操作等多因素影响,安全风险复杂、隐蔽且突发,顶板冒落等事故频发,造成严重损失,制约行业可持续发展。当前安全管理存在风险识别不全、评估不科学、控制策略针对性弱等问题,难以满足新需求。故开展此研究,明确风险特征与规律,构建科学模型与控制体系意义重大。

1 金属矿山安全风险特征与分类

1.1 金属矿山事故类型与诱因

金属矿山事故主要分为地质环境类、设备设施类、人员操作类三大类。地质环境类事故以顶板冒落、边坡滑坡、水害、冲击地压为主,诱因包括地质条件突变、水文复杂、岩体不稳定、开采扰动等,具有隐蔽性强、破坏力大的特点。设备设施类事故主要有机械伤害、电气伤害及次生事故,诱因集中在设备老化失修、维护不到位、选型不合理、安装不规范,多发生在开采、破碎、运输环节。人员操作类事故以违章作业、操作失误引发的伤害为主,诱因是从业人员安全意识薄弱、技能不足、制度执行不力、培训流于形式,此类事故占比高且可预防。各类事故诱因相互关联,单一诱因可能引发多重事故,加剧危害。

1.2 风险时空分布规律

金属矿山安全风险的时空分布具有明显规律性。空间上,地下矿山风险集中在采掘工作面、巷道交叉口、通风盲区,易发生顶板冒落、瓦斯积聚等事故;露天矿山风险主要在边坡、爆破区域、运输道路沿线,以边坡滑坡、爆破伤害、机械伤害为主。生产环节中,开采环节风险最高,涵盖爆破、掘进等工序;破碎、运输环节次之,以设备伤害、物料坠落为主;选矿环节风险较低,多为电气伤害、粉尘危害。时间上,风险呈阶段性与季

节性,开采初期易发生地质灾害类风险,中期因设备老化、人员疲劳事故率偏高;冬季低温、夏季暴雨会加剧设备故障、边坡失稳等风险,导致事故率季节性上升^[1]。

1.3 风险耦合效应

金属矿山安全风险并非孤立存在,各类风险间存在明显耦合效应,即多种风险相互作用叠加,形成危害远超单一风险的叠加风险。耦合分为同类型与不同类型,同类型如顶板冒落与冲击地压风险耦合,会加剧岩体破坏;不同类型如设备设施与人员操作风险耦合,设备老化叠加违章操作,易引发机械、电气伤害。此外,风险耦合具有传导性与放大性,某一环节未管控的风险会传导至其他环节,形成连锁反应、放大危害。例如,巷道掘进中地质勘察不足导致的岩体不稳定风险,若未及时发现,会传导至回采环节,与设备操作风险耦合,引发叠加事故,这也是矿山事故难防控的重要原因。

2 金属矿山风险评估模型构建

2.1 评估指标体系设计

结合金属矿山安全风险特征与分类,遵循全面性、科学性、可操作性、针对性原则,构建“目标层-准则层-指标层”三级风险评估指标体系。目标层为金属矿山安全风险综合评估,核心是全面评价矿山整体安全风险水平。准则层分为地质环境风险、设备设施风险、人员操作风险、管理制度风险四大类,涵盖金属矿山安全风险的主要来源。指标层在准则层基础上,选取具体可量化、易获取的评估指标,其中地质环境风险指标包括岩体稳定性、水文地质条件、地质灾害发生率等;设备设施风险指标包括设备完好率、设备维护频率、设备故障发生率等;人员操作风险指标包括违章作业率、从业人员技能考核合格率、安全培训覆盖率等;管理制度风险指标包括安全管理制度完善度、制度执行率、安全监管力度等。各指标均明确量化标准与评分规则,采用百分制评分,根

据指标实际情况赋予对应分值,确保评估指标体系的科学性与可操作性,为风险评估提供坚实基础。

2.2 评估方法选择与优化

结合金属矿山风险复杂性、耦合性特点,综合对比常用风险评估方法的优缺点与适配性,选取层次分析法与模糊综合评价法相结合的综合评估方法,并进行针对性优化。层次分析法主要用于确定各级评估指标的权重,通过构建判断矩阵、专家打分、一致性检验,明确各指标在风险评估中的重要程度,突出重大风险指标的权重占比,解决单一方法权重分配不合理的问题。模糊综合评价法用于对各指标进行定量与定性综合评价,针对金属矿山部分风险指标难以精准量化的特点,引入模糊数学理论,将模糊性指标转化为可量化评价结果,避免定性评价的主观性偏差。同时,对两种方法进行优化,简化层次分析法判断矩阵构建流程,提高计算效率;优化模糊综合评价法的隶属度函数,提升评价结果的准确性,最终构建兼顾科学性与可操作性的金属矿山安全风险综合评估模型,实现对矿山安全风险的精准评估与等级判定。

2.3 动态风险数据库建设

为实现金属矿山风险的动态评估与管控,结合风险评估模型与评估指标体系,建设金属矿山动态风险数据库。数据库涵盖数据采集、数据存储、数据处理、数据更新四大功能模块,数据采集范围包括矿山地质勘察数据、设备运行数据、人员操作数据、事故统计数据、安全检查数据等,通过现场监测、设备联网、人工上报等多种方式,实现数据全面、实时采集。数据存储采用云端与本地双重存储模式,确保数据安全性与完整性,同时搭建数据共享平台,实现各部门数据互联互通。数据处理模块对采集到的数据进行清洗、分类、分析,结合风险评估模型,自动计算风险评分与风险等级,生成风险评估报告^[2]。动态更新模块根据矿山生产进度、地质条件变化、设备更新、人员变动等情况,定期更新数据库数据,调整评估指标与权重,确保风险评估的动态适应性,为风险控制策略制定提供实时、准确的数据支撑。

3 金属矿山风险控制策略体系

3.1 工程技术控制

工程技术控制是金属矿山风险控制的核心手段,主要针对地质环境、设备设施等客观风险,通过技术改造、工程治理等方式,从源头降低风险发生概率与危害程度。针对地质环境类风险,采用边坡加固、顶板支护、疏水排水、瓦斯抽采等工程技术,提升岩体稳定性,减少地质灾害发生;例如,露天矿山边坡采用锚杆支护、喷浆加固等技术,地下矿山采掘工作面采用U型钢支护、锚网喷

支护等技术,有效防范边坡滑坡、顶板冒落风险。针对设备设施类风险,推广应用先进、安全、高效的生产设备,淘汰老化、落后、不符合安全标准的设备;加强设备技术改造,完善设备安全防护装置,提升设备运行安全性;例如,在掘进、运输设备上安装紧急停止装置、过载保护装置,在电气设备上安装漏电保护、防雷接地装置,从技术层面防范设备故障引发的安全事故。同时,优化生产工艺,采用绿色、安全的开采技术,减少生产环节风险点。

3.2 管理控制措施

管理控制措施是金属矿山风险控制的重要保障,通过完善管理制度、强化监管考核,规范生产行为,实现风险常态化管控。完善金属矿山安全管理制度,制定涵盖风险识别、评估、控制、应急处置等全流程的管理制度,明确各部门、各岗位的安全职责,确保安全管理有章可循。强化安全监管力度,成立专项安全监管小组,采用现场检查、定期排查、专项督查等方式,全面排查各类安全风险隐患,建立隐患台账,明确整改责任、整改措施与整改时限,实行闭环管理,确保隐患及时整改到位。建立健全风险分级管控机制,根据风险评估结果,将风险分为重大、较大、一般、低风险四级,实行分级管控、分级负责,突出重大风险的重点管控。加强安全管理考核,将安全风险管控成效纳入各部门、各岗位绩效考核,建立奖惩机制,倒逼安全管理责任落实到位^[3]。

3.3 人员行为控制

人员行为控制是防范人员操作类风险的关键,通过加强教育培训、强化行为监管,提升从业人员安全意识与操作技能,规范从业人员操作行为。加强从业人员安全培训,制定针对性的培训计划,涵盖安全规章制度、操作规程、风险识别方法、应急处置技能等内容,采用理论教学与实操训练相结合的方式,定期开展培训,确保从业人员熟练掌握安全知识与操作技能;对新入职人员实行岗前培训与考核,考核合格后方可上岗,对在岗人员实行定期复训与技能提升培训。强化人员行为监管,在生产现场安装监控设备,加强现场巡查,及时发现并纠正违章作业、操作失误等行为,加大违章作业处罚力度,形成震慑效应。培育安全文化,通过安全宣传、安全讲座、事故案例警示教育等方式,提升从业人员安全意识,树立“安全第一、预防为主”的理念,引导从业人员自觉遵守规章制度,规范操作行为。

3.4 应急控制体系

应急控制体系是金属矿山风险控制的最后一道防线,通过完善应急预案、强化应急保障,提升事故应急处置

能力,减少事故损失。结合金属矿山常见事故类型,制定针对性的应急救援预案,涵盖顶板冒落、瓦斯爆炸、水害、机械伤害等各类事故的应急处置流程、救援措施、责任分工等内容,确保应急处置有章可循;定期组织应急演练,模拟各类事故场景,提升应急救援队伍的处置能力与各部门的协同配合能力,及时发现并完善预案存在的不足。强化应急保障能力,组建专业应急救援队伍,配备齐全的应急救援设备与物资,如急救器材、灭火设备、排水设备、通讯设备等,定期对设备物资进行维护、检修与更新,确保应急时能够正常使用。建立应急联动机制,加强与当地应急管理部门、医疗机构、消防部门的沟通协作,形成应急联动合力,提升重大事故的应急处置能力。

4 实施保障与效果评估

4.1 实施路径设计

为确保金属矿山风险评估与控制策略体系顺利实施,结合矿山生产实际,设计“前期准备-分步实施-巩固提升-长效运行”的四阶段实施路径。前期准备阶段,成立专项实施小组,明确小组职责与分工;开展全员培训,解读风险评估模型与控制策略,提升从业人员认知度与参与度;完成动态风险数据库初始数据采集与录入,调试评估模型,确保各项工作有序启动。分步实施阶段,第一阶段开展全面风险识别与评估,运用构建的评估模型,完成矿山安全风险等级判定,明确风险管控重点;第二阶段推进各项控制策略落地,针对不同风险类型,逐步落实工程技术、管理、人员行为、应急控制等各项措施;第三阶段完善动态风险数据库,实现数据实时更新与风险动态评估。巩固提升阶段,开展实施效果自查,排查实施过程中存在的问题,优化完善评估模型与控制策略;总结实施经验,形成可复制、可推广的实施方法。长效运行阶段,建立风险管控长效机制,将风险评估与控制纳入日常安全管理,定期开展效果评估与策略优化,实现风险管控常态化、规范化^[4]。

4.2 效果评估指标

为科学评价金属矿山风险评估与控制策略的实施效果,构建涵盖安全、管理、经济三大维度的效果评估指

标体系,确保评估结果全面、客观、准确。安全维度指标是核心评估指标,主要包括安全事故发生率、重大风险隐患整改率、风险等级下降幅度、从业人员伤亡人数等,重点评价风险控制策略对事故防范与风险降低的效果,其中安全事故发生率、从业人员伤亡人数越低,重大风险隐患整改率、风险等级下降幅度越高,表明实施效果越好。管理维度指标主要包括安全管理制度完善度、制度执行率、安全培训覆盖率、从业人员技能考核合格率等,评价风险管控过程中管理措施的落实成效与管理水平的提升情况。经济维度指标主要包括安全投入产出比、事故损失减少金额、设备完好率提升幅度等,评价风险控制策略实施的经济性,实现安全效益与经济效益的协同提升。各指标明确量化标准,采用定量与定性相结合的方式进行评估,形成效果评估报告,为后续策略优化提供依据。

结束语

本文聚焦金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略,结合生产实际,梳理事故类型、时空规律及耦合效应,明确风险特征与管控难点。构建科学评估模型,设计三级指标体系,优化方法并建动态数据库。搭建全方位风险控制体系,明确实施路径与评估指标,形成完整管控闭环。成果可解决现有问题,提供理论实践指导。后续可依不同矿山情况优化,推动风险管控智能化、精细化,提升安全管理水平。

参考文献

- [1]谢道雄.新时期金属矿山基建期的安全管理策略[J].中国金属通报,2025(2):206-208.DOI:10.3969/j.issn.1672-1667.2025.02.069.
- [2]张国文.基于智能化技术的金属非金属矿山事故隐患治理对策研究[J].中国金属通报,2024(2):88-90.
- [3]蓝伟锋.金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略研究[J].世界有色金属,2024(17):217-219.
- [4]王明家,吴琼.金属矿山安全管理中的风险评估与控制策略研究[J].中国金属通报,2024(08):215-217.