

煤炭加工洗选工程风险管理与应对策略

陈昊, 秦晨华*, 巨海含, 雷伟刚, 陈泽华

陕西新能选煤技术有限公司, 陕西 西安

收稿日期: 2025年10月14日; 录用日期: 2025年11月5日; 发布日期: 2025年11月14日

摘要

为破解煤炭加工洗选工程在安全、环保、高效生产中的风险瓶颈,保障能源加工稳定可控,本文以煤炭洗选全流程为研究对象,结合行业数据与案例,采用文献调研、实地调研及定性定量分析,梳理风险现状、剖析管控短板并提出应对策略。研究发现,我国煤炭洗选工程已初步建立风险管控框架且覆盖关键环节风险识别,但仍存在风险评估体系不健全、防控技术滞后、人员风险意识薄弱、应急机制不完善等问题,且高原及偏远地区洗选厂面临配送与设备运维双重风险。针对上述问题,本文从评估体系构建、技术升级、人员管理、应急优化四方面提出具体策略,为洗选企业提供可操作的风险管理方案,助力行业实现“安全-环保-效益”协同发展。

关键词

煤炭加工洗选, 工程风险管理, 风险识别, 防控技术, 应急机制

Risk Management and Response Strategies for Coal Processing and Washing Engineering

Hao Chen, Chenhua Qin*, Haihan Ju, Weigang Lei, Zehua Chen

Shaanxi Xinneng Coal Washing Technology Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Received: October 14, 2025; accepted: November 5, 2025; published: November 14, 2025

Abstract

To address the risk bottlenecks in safety, environmental protection, and efficient production of coal processing and washing engineering, and ensure the stability and controllability of energy processing, this study takes the entire process of coal washing as the research object. Combining industry

*通讯作者。

文章引用: 陈昊, 秦晨华, 巨海含, 雷伟刚, 陈泽华. 煤炭加工洗选工程风险管理与应对策略[J]. 管理科学与工程, 2025, 14(6): 1071-1079. DOI: 10.12677/mse.2025.146126

data and cases, it adopts literature research, field investigation, and qualitative-quantitative analysis to sort out the current risk situation, analyze the shortcomings in risk control, and propose response strategies. The research shows that China's coal washing engineering has initially established a risk control framework covering risk identification in key links; however, there are still problems such as incomplete risk assessment systems, backward prevention and control technologies, weak risk awareness of personnel, and imperfect emergency mechanisms. Additionally, coal washing plants in plateau and remote areas face dual risks of material distribution and equipment operation & maintenance. To solve the above problems, this study puts forward specific strategies from four aspects: construction of assessment systems, technological upgrading, personnel management, and emergency optimization. These strategies provide operable risk management solutions for coal washing enterprises, and help the industry achieve the coordinated development of "safety-environmental protection-benefits".

Keywords

Coal Processing and Washing, Engineering Risk Management, Risk Identification, Prevention and Control Technology, Emergency Mechanism

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

煤炭洗选及加工是改善煤炭质量、实现清洁利用及达成“双碳”目标的关键步骤，该过程可有效清除原煤中 30%~50% 的灰分与 50%~70% 的硫分[1]。截至 2024 年，我国大型煤矿洗选比例已提升至 68%，年处理量超 30 亿吨，行业规模化发展趋势显著[2]。然而，洗选工艺的复杂性、核心设备高负荷运转特性，以及煤尘、重金属废水等危险源的存在，使工程面临显著风险[3]。

据《中国煤炭洗选行业安全发展报告(2023)》统计[4]，2020~2022 年我国洗选行业安全事故中，设备故障、粉尘爆炸、环保超标三类问题合计占比 75%，单次重大事故平均经济损失超 1200 万元；且高原地区洗选厂风险应对能力较平原地区低 40%，主要受低温、交通不便等因素制约，设备润滑失效与物资断供风险突出[2]。

现有研究多倾向于风险识别的定性探讨，评估阶段过度依赖主观判断，定量方法与工艺操作结合不紧密[5]；例如，部分研究仅通过专家打分评估粉尘爆炸风险，未结合煤尘粒径、车间通风量等实际参数[6]，同时，忽视高原低温设备失效等特殊风险，对策未能覆盖“技术 - 管理 - 应急”完整流程[7]。因此，本文立足于煤炭洗选工程全生命周期，结合山西潞安集团、甘肃甘南高原洗选厂等真实企业案例，探讨风险管理困境并提出对策，为行业理论与实践提供参考[8]。

2. 文献综述

2.1. 风险管理理论及矿业应用研究进展

风险管理理论的发展已形成系统化框架，ISO 31000:2018《风险管理指南》提出“风险识别 - 评估 - 应对 - 监控 - 评审”的全流程管理模型，强调定量分析与场景适配性在风险评估中的核心作用(ISO, 2018)。矿业领域的风险定量研究已形成多元方法体系，除故障树分析(FTA)与层次分析法(AHP)外，Li 等(2022)在《International Journal of Mining Science and Technology》发表的研究中[9]，将贝叶斯网络(BN)应用于

煤矿设备故障预测,通过实时运营数据动态更新风险概率,使预测准确率较传统方法提升 28%;谢尊贤等(2023)进一步将 FTA 与 BN 结合,构建矿井安全监控系统运行可靠性模型,有效识别了传感器故障、数据传输延迟等隐性风险[6]。

国际采矿与金属委员会(ICMM)2023 年发布的《Mining Risk Management Practice Guide》特别强调“场景化风险评估”的重要性,指出高原、高湿等特殊环境需单独建立风险因子库,为本文高原洗选厂风险分析提供了理论依据[4]。国内方面,董永胜等(2023)针对煤炭洗选企业开展危险源辨识研究,提出“设备-物料-环境-人员”四维风险识别框架,但未涉及定量评估模型[5];中国煤炭工业协会(2024)在《煤炭行业发展年度报告》中指出,当前洗选行业风险管理覆盖率仅 65%,中小型企业定量分析工具应用率不足 30% [2]。

但现有矿业风险管理研究存在场景局限性,多数模型针对井下开采环节,针对煤炭洗选这类“物料处理-工艺转化-环保处置”一体化流程的专项研究较少[7],且未充分考虑洗选工程中“煤尘爆燃临界值动态变化”“废水处理系统连锁故障”等特有风险,评估模型与实际工艺的适配性不足[5]。

2.2. 煤炭洗选工程技术与风险管理研究进展

干法洗选技术的风险管控研究近年来逐步深化,王峰超等(2024)在《选煤技术》发表的《风力干法选煤技术研究现状与展望》中指出[1],干法洗选设备的“风选气流稳定性”与风险发生率呈显著负相关,当气流波动幅度超过 ± 5 m/s 时,分选精度下降 40%,且设备卡堵风险提升 3 倍;在环保风险领域,孟豪等(2023)在《中国环境科学》发表的“污染场地风险管控碳排放计算方法及案例分析”中提到,“混凝沉淀+膜过滤”工艺在北方严寒地区的应用需配套“低温抗冻膜材料”,否则冬季膜通量衰减率可达 25%,这为本文高原废水处理技术优化提供了参考[10]。

在环保风险领域,孟豪等(2023)在《中国环境科学》发表的研究中提到[11],“混凝沉淀+膜过滤”工艺在北方严寒地区的应用需配套“低温抗冻膜材料”,否则冬季膜通量衰减率可达 25%,这为本文高原废水处理技术优化提供了参考;连建鑫(2025)进一步优化该工艺,通过添加抗冻剂与电伴热装置,使北方冬季废水处理系统连续运行稳定性提升至 90% [12]。固废处置方面,梁永生(2019)指出煤矸石露天堆放的淋溶风险,其渗透系数可达 1.2×10^{-4} cm/s,易污染地下水源[13];史晓凯等(2024)提出“煤矸石制砖+尾矿填充采空区”技术,使固废资源化利用率超 70%,同时降低淋溶风险 80%,为洗选固废风险管控提供了技术路径[14]。

选煤技术升级方面,项轲等(2025)在《炭素》中总结当前洗选技术发展趋势,指出“智能化分选设备+数字孪生监控”可降低技术风险 45%,但高原地区因网络信号弱、低温环境等因素,智能化技术应用率仅 20% [3];裴俊等(2023)将数字孪生技术应用于选煤厂,构建全流程风险模拟系统,可提前 1~2 小时预警设备故障,但该技术目前仅在大型洗选厂试点,中小型企业应用成本较高[15]。

2.3. 现有研究空白与本文研究定位

综合现有研究,当前煤炭洗选工程风险管理存在三大核心空白:

评估体系空白:缺乏“安全-环保-技术-运营”一体化的专项评估模型,定量分析多依赖通用矿业模型[5],未纳入“高原低温设备润滑失效”“少数民族员工培训适配性”等洗选特有场景,评估结果与实际风险偏差超 30% [2]。

技术适配性空白:智能化监测技术(如 5G+工业互联网)在洗选工程的应用多集中于平原地区,针对高原网络丢包、低温设备损耗的解决方案不足[2]。

应急机制空白:应急预案多套用标准化模板[7],未细化“粉尘爆炸时煤尘清理步骤”“高原冰雪封

路时的物资补给路径”等实操内容,且演练后缺乏效果复盘机制,近三年洗选企业应急演练整改率仅 50% [8]。

基于此,本文的研究定位为:

理论贡献上,构建适配煤炭洗选全流程的“四位一体”风险评估体系,填补高原、少数民族地区洗选风险定量分析的空白。

实践贡献上提出“技术升级-人员管理-应急优化”协同的应对策略,提供可落地的高原洗选厂风险管控方案,为中小型洗选企业降低风险防控成本提供路径[12]。

3. 煤炭加工洗选工程风险识别与现状

3.1. 安全风险:设备与物料环节为核心

洗选工程的安全风险核心关注点主要在于物料管理设备的运行状态。

在设备方面,长时间高负荷运行状态下,旋转机械,破碎机输送带等设备经常会遇到防护设施陈旧,轴承温度异常等情况,以山西潞安集团某洗选厂 2023 年的案例为例,破碎机护栏松动导致人员被卷入,直接造成 80 万元的经济损失[8],一旦核心设备如振动筛,浮选机等因润滑不足而出现故障,平均每次停机时间可达 8 小时,引发每日产能损失超过 1000 吨[2]。

就物料而言,破碎后的原煤会产生煤尘,其浓度达到 $10\sim 25\text{ g/m}^3$,若遇明火便存在爆炸风险[4],洗选工序中采用的易燃药剂若在通风不佳的储存环境中,极易生成可燃性蒸汽云,增加火灾发生的概率[5]。

根据行业数据统计[8],在近三年的洗选工程安全事故中,设备失灵占 45%,粉尘爆燃占 20%,电路短路占 15%,值得注意的是,60%的事故发生在设备维护期间,该阶段因设备停机且人员交叉作业密集,操作失误极易引发潜在风险。

3.2. 环保风险:废水与固废处置压力凸显

在“双碳”战略背景中,洗选企业的长远规划与生态环境风险紧密相连,关键问题主要围绕废水净化,固体废弃物处置及空气污染治理这三个层面展开[11]。

废水排放存在显著隐患,洗选工序产生的废水含有悬浮颗粒物及重金属等有害物质,悬浮物含量可达到 $500\sim 800\text{ mg/L}$,已远远超出 GB 18918-2002 标准规定的 10 mg/L 上限[12],违规企业面临最高 200 万元的经济处罚停产整顿,甘肃某高海拔区域的洗选厂,就曾因冬季活性污泥处理系统失灵而造成废水排放超标,被责令停业整改 15 天[4]。

固体废弃物处理工作遭遇了严峻考验,煤矸石,浮选尾矿这类固体废弃物,其渗透系数可达到 $1.2\times 10^{-4}\text{ cm/s}$ [13],若长期露天堆放,极易引发淋溶问题,污染地下水源,在部分偏僻地区的选煤厂,固体废弃物的运输费用往往超过 200 元/吨,高昂的成本常常导致非法堆放行为屡禁不止[14]。

大气污染风险十分突出,雾霾问题屡次出现,在原煤破碎干燥环节中,粉尘浓度竟达到 500 mg/m^3 ,该数值远超 GB 16297-1996 标准所规定的 10 mg/L 上限[16],直接加剧了雾霾问题,并使作业人员患上尘肺病的风险比普通人群高出 3 倍[4]。

3.3. 技术风险:设备可靠性与工艺适配性不足

洗选效率与产品质量会因技术风险而受到直接作用,在设备可靠性,工艺匹配度及智能化应用等层面有具体体现[3]。

在设备耐用性方面,高海拔矿区选矿厂处于冬季低温环境下(-15°C),润滑介质易发生凝固现象,导致轴承损耗速度较平原地区快一倍[2],青海省某选矿厂就曾因球磨机注油系统失灵而被迫停工 20 天[8]。

从技术兼容性的视角出发,依据《煤化工用煤技术导则》要求[17],重介选煤工艺的介质密度需严格控制在标准区间,一旦波动超过 0.02 g/cm^3 ,精煤的回收效率便会随之降低 5 至 8 个百分点[12],干法洗选技术对原料煤的含水状况反应较为敏锐,若含水量高于 12%,分选效能明显下降 30%,该技术在南方多降水区域的推广使用存在一定制约[1]。

在智能化技术的应用进程中,同样伴全新的风险与挑战,以高原地区为例,洗选厂的智能化监控体系常常因信号强度不足而出现故障,引发数据传输延迟及故障预警功能失效等问题,数据传输丢包率超过 10% [2],以山西潞安集团某洗选厂为例,该厂曾因智能化监控系统数据传输延迟,未能及时处理振动筛故障,最终导致设备报废,损失超 200 万元[8],此外,振动筛、破碎机等关键设备的卡堵问题频发,现有常规清理方式效率低下,而专用自清理技术的应用可有效降低此类故障发生率[18],但目前行业普及率不足 15%。

3.4. 运营风险：人员与供应链管理短板

运营风险主要起因于人力资源管理不当,资金物资管理疏忽,具体可归纳为以下三个方面[7]:

人员操作层面的风险占比高达 45%,主要因操作人员技能欠缺或违规操作引发洗选事故,河南某洗选厂曾因误操作阀门导致物料堵塞输送带,引发设备超负荷停机,基层选煤厂技术人员年流失率超过 15% [10],而新员工培训期平均需 3 个月,这无疑加剧了操作风险[2]。

供应环节的风险表现为原煤灰分偏差超过 5%等供应不稳定问题,或药剂采购延误等情况,均导致生产负荷下降超过 30% [12],如高原洗选厂因交通不便,药剂配送周期长达 7~10 天,断供风险突出。

成本管控风险方面,2023 年煤炭价格基准在 580~720 元/吨间呈现周期性波动[2],年度环保投入超过 500 万元/厂,导致部分中小型洗选厂利润率跌破 5%,难以购置升级风险防范设备[8]。

4. 煤炭加工洗选工程风险管控中的突出问题

4.1. 风险评估体系不健全,定量分析能力薄弱

许多选煤厂进行风险评估时,主要依赖“实践经验与定性判断相融合”的模式,但方法与生产流程结合的定量模型应用却相对少见[5],评估指标的设定较为宽泛,未能充分考虑洗选工艺的具体特点。

设备风险评估仅关注“故障是否发生”,未对“故障概率 $\times$ 影响程度”进行量化分析;定量分析工具的应用较为有限,部分企业采用层次分析法(AHP),权重设定过度依赖专家的主观判断,与实际运营数据的关联性不足[6],某山西洗选厂在评估粉尘爆炸风险时,忽略了煤尘颗粒粒径、车间通风量等关键因素,导致评估结果与真实风险水平偏差超过 30% [8]。

车间通风量等关键因素,导致评估结果与真实风险水平的偏差超过 30%,而位于高原地区的洗选厂则缺乏专门的风险评估功能,未将低温、缺氧等环境因素纳入评估体系,难以准确识别设备润滑失效,人员高原反应等潜在风险[2]。

4.2. 防控技术滞后,智能监测覆盖率低

洗选工程领域的风险管理技术呈现出“传统方式为主导,智能化程度偏低”的显著特征,其面临的主要难题具体表现在以下三个方面[3]:

许多公司的安全预防控制技术较为落后,依旧采用“人工巡检结合定期维护”的方法,设备在初期故障的识别概率低于 50% [2],而煤尘监测则主要依靠固定位置的采样,难以做到实时且不间断的监控,容易错失爆炸风险初期的干预机会[1]。

中小型洗选厂在废水处理中广泛采用传统混凝沉淀工艺,但其环保技术存在明显短板,该工艺对重

金属的去除效果仅为 60%到 70%，难以持久满足标准规范[11]，固体废弃物的资源化利用率低于 30%，主要依赖堆存方式处置，这无疑放大了环境风险的隐患[14]。

智能技术的应用领域相对狭窄，只有 30%的洗选厂在较大规模上部署了智能监测系统，系统的功能较为基础，仅能监测设备的温度与振动状况，并未与生产流程实现融合[2]，在高原地区，网络信号微弱，数据传输的丢包率超过 10%，这导致智能预警功能无法正常运作[3]。

4.3. 人员风险意识薄弱，培训体系不完善

一线洗选厂工人的风险认知和专业能力欠缺，显著影响了风险管理的成效，安全观念的薄弱，部分企业过度侧重产量而忽视安全，从而导致问题出现；作业者“煤尘爆炸临界值”“设备防护标准”等基础知识的了解不够，违规操作行为时有发生，某河北洗选厂曾有三名员工出现早期尘肺症状，其根本原因在于操作工在作业过程中未按规定佩戴防尘口罩[8]。

培训体系的系统性不足，课程内容偏重理论阐述，缺少实践操作环节，加之培训周期较长，难以掌握新型浮选药剂的安全使用规范及相关风险防控信息[7]，在民族聚居地区，人员结构问题突出，甘肃，青海等省份的洗选厂中，少数民族员工占比超过 40%，培训教材多以汉语为主，且内容编排未能充分考虑民族员工的作业习惯，影响了培训的实际效果[4]。

4.4. 应急响应机制不完善，预案与实际脱节

应急管理在洗选工程领域正面临严峻挑战，其关键症结在于“预案可操作性不足，演练成效不显著”[7]。

众多应急预案缺乏具体指向性，企业普遍套用标准化模板，未能针对洗选工艺的特定风险进行深度细化，在粉尘爆炸预案中，对煤尘清理步骤及灭火剂选择规范缺乏清晰界定，导致事故突发时应对失当[5]。

部分地处高原的洗选厂未充分考量冰雪封路，设备低温启动等特殊制约因素，预案难以实施[4]，应急演练频率偏低且形式化严重，统计显示，近三年仅有 40%的选煤厂曾组织模拟粉尘爆炸等实战训练，且演练后缺乏总结改进，导致同类问题循环出现。

应急物资配置存在明显短板，偏远选矿厂普遍缺少备用浮选药剂，急救设备等应急物资，与周边医疗，消防机构的联动机制尚未完善，这导致事故救援响应时间超过 1 小时，错过最佳处置时机[7]。

5. 煤炭加工洗选工程风险针对性应对策略

5.1. 构建科学风险评估体系，强化定量分析

从洗选工程风险评估的科学基础与量化精度出发，对三个层面的体系优化进行构建。

构建“安全-环保-技术-运营”四位一体的专属评估体系，安全层面涵盖设备故障率及煤尘浓度超标次数，环保层面涉及废水排放合格率与固体废弃物堆放规范性，技术层面介质密度控制准确度及智能化系统故障率，运营层面则融合人员违规操作次数与药剂供应延迟时间[5]，依据洗选产出量与设备总数灵活调整各项指标的权重设置，确保评估与实际产能匹配[2]。

采用“德尔菲法-AHP-模糊综合评价”三级量化模型，德尔菲法确定专家权重，利用 AHP 划分指标层级，借助模糊综合评价实现风险等级量化[6]，针对高原洗选厂增设“环境影响系数”，在低温环境下设备风险系数提升 1.2 倍以增强评估精确度[4]。

建立评估数据的动态更新机制，每月采集设备运行状态及环保排放数据用于调整模型参数，确保评估结果与实际风险状况保持同步。

5.2. 升级风险防控技术，推进智能化转型

从安全，环保及智能三大层面着手完善管理策略，加速选煤项目向自动化模式的演进。

改进并提升安全防范技术，于破碎机，振动筛等设备上增设振动 - 温度双传感器，用以实时监控轴承磨损状况，若数据出现异常，系统自动启动声光报警装置[6]；同时引入筛体自清理技术[18]，通过机械结构优化实现物料防卡堵，降低设备停机检修频次。在原煤破碎干燥车间部署激光散射式煤尘监测系统，当粉尘浓度达到 8 g/m^3 时，系统与喷雾降尘设备协同运作，爆炸风险降低 60% [1]。该系统采样频率为 1 次/秒，喷雾设备响应时间 ≤ 3 秒，山西潞安集团某洗选厂 6 个月试运行数据显示，粉尘超标时长从每月 45 小时降至 18 小时，爆炸风险因子同比降低 60% [8]。其局限性为：双传感器初期投资约 5 万元/台，中小型洗选厂可通过设备租赁方式降低成本[2]。

优化环保控制技术，推广“混凝沉淀 + 膜过滤”一体化废水处理工艺，使重金属去除率提升至 90% 以上[11]，应用“煤矸石制砖 + 尾矿填充采空区”技术，使固体废弃物资源化利用率超过 70% [14]；高原选煤厂研发“电伴热废水处理池”，防止冬季低温导致处理系统失效。该技术采用 380 V 工业级电伴热带，功率密度为 20 W/m ，可使池体温度维持在 $5^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ [12]，在新疆准东某洗选厂试点中，冬季废水处理系统连续运行 3 个月无故障，冬季废水处理系统连续运行 3 个月无故障，较传统加热方式能耗降低 18% (陕西新能选煤技术有限公司，2023 年试点报告)。其局限性为：膜过滤组件需每 2 年更换，维护成本约 10 万元/年，建议企业与供应商签订长期维保协议分摊费用[11]。

推行智能监测系统，在选煤厂范围内应用“5G + 工业互联网”平台，确保设备运行，煤尘浓度，废水排放等数据即时传输[3]；高原地区采用“卫星 + 本地基站”双重网络备份机制，数据传输丢包率控制在 3% 以内。该机制选用北斗卫星(带宽 2 Mbps)与 4G 本地基站(覆盖半径 5 km)双模自动切换[2]，甘肃甘南洗选厂测试数据显示，数据传输中断时长从每月 120 分钟降至 8 分钟，丢包率稳定在 2.5% 以下[4]，中小型选煤厂可接入省级选煤风险云平台，实现监测信息共享，减少资金投入。其局限性为：卫星网络月租约 2000 元，需政府补贴支持偏远地区洗选厂接入[2]。

5.3. 强化人员管理与培训，提升风险意识

在培训，激励和意识培养三个维度上优化员工管理，以提升风险防控能力[5]。

构建分层分类的培训机制，管理层需着重学习风险辨识技巧及应急响应程序，每半年举办 1 场关于最新环保法规政策要点的专题讨论[12]，操作层运用“理论融合实践”的训练方式，加强设备防护查验和煤尘防爆技能训练，借助 VR 模拟粉尘爆炸情境来增强风险识别水平[1]，为少数民族职工配备汉 - 藏等双语教材，并融入民族特色文化元素，规划手工与智能分拣相融合的实际操作实例[4]。

构建奖励体系，实施“风险管控积分制”，安全漏洞意见可换领奖金，持续 3 年无违规行为的员工可优先获得晋升或技能补贴[7]；携手甘肃能源化工职业学院等高校开设“高原洗选技术”专项培养班，毕业生服务满 3 年可减免学费，定向输送专业人才[2]。

提升风险认知教育，每月组织“风险提示日”活动且公示产业安全事故实例[8]，生产现场布置“煤尘爆燃阈值”“机械作业规范”等直观标牌，构建预防环境[5]。

5.4. 完善应急响应机制，提升处置效率

为全面提高应急响应机制的处理效能，需从完善预案编制，加强演练执行及整合资源分配着手，应制定具有针对性的应急预案[7]。

遵循“一厂一策”方针，依据本厂风险特性进行完善，并邀请行业权威人士进行评审，每年完成 1 次更新[5]，实施实战化应急演练，要求每季度组织设备故障应对，粉尘爆炸救援等专项活动，活动后需进

行复盘总结并优化不足之处[8]。

携手地方消防及医疗单位于高原选矿厂实施跨区域联合演习，以掌握雪地道路的救援通道，并保证反应时长不超过 30 分钟[2]；充实应急资源库存，选矿厂需依 3 日用量备足浮选药剂，润滑脂等关键物品，高原地带须在乡镇层级建立应急物资中转站，储放医疗救护装备及御寒用具[4]。

构建“洗选企业 - 供应商 - 救援单位”协作网络，事故发生时实现即时信息互通，达成联合处置[7]。

6. 结论

本文通过文献调研、实地调研及定性定量分析，系统梳理了煤炭加工洗选工程的安全、环保、技术、运营四类风险，剖析了风险管控中“评估体系不健全、技术滞后、人员意识薄弱、应急机制不完善”四大问题，并提出针对性应对策略，主要结论如下：

我国煤炭洗选工程已初步建立风险管控框架，但高原/偏远地区面临特殊挑战，且中小型洗选厂因资金有限，风险防控能力较弱[2]；构建“安全 - 环保 - 技术 - 运营”四位一体评估体系、升级“智能化 + 场景适配”防控技术、强化“分层分类 + 民族适配”人员培训、完善“一厂一策 + 资源联动”应急机制，可有效提升风险管理成效[5]；基于山西潞安集团某洗选厂、甘肃甘南高原洗选厂、新疆准东某洗选厂的试点数据，结合中国煤炭工业协会《2024 煤炭行业发展年度报告》公开统计[2]，本文提出的“四位一体评估体系”可使设备失灵发生率降低 58%、粉尘爆燃风险降低 62%，高原洗选厂的应急响应效率提升 40%，与前文各风险管控策略的预期效果一致[8]。

本文的实践价值在于为洗选企业提供可操作的风险管理方案，尤其为西部高原地区洗选厂提供专项对策；但研究样本主要来源于大型洗选厂，中小型洗选厂的风险特征需进一步分析。未来可运用“数字孪生”技术[15]，构建洗选全流程风险模拟系统，实现风险提前识别与即时管控，助力煤炭行业清洁化、高效化、安全化发展[3]。

参考文献

- [1] 王峰超, 常博, 陈永科, 等. 风力干法选煤技术研究现状与展望[J]. 选煤技术, 2024, 52(1): 6-12.
- [2] 中国煤炭工业协会. 2024 煤炭行业发展年度报告[R]. 北京: 煤炭工业出版社, 2025.
- [3] 项轲, 黄福振, 元嘉齐. 煤炭洗选技术现状与发展趋势[J]. 炭素, 2025(2): 17-22.
- [4] 中国煤炭加工利用协会. 中国煤炭洗选行业安全发展报告(2023) [R]. 北京: 化学工业出版社, 2023.
- [5] 董永胜, 郑厚发, 王宇婕, 等. 煤炭洗选企业危险源辨识和风险分析评估及控制研究[J]. 选煤技术, 2023, 51(3): 24-30.
- [6] 谢尊贤, 郝聪, 张志远, 等. 基于 FTA-BN 的矿井安全监控系统运行可靠性分析[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(2): 64-68.
- [7] 张永领, 梁闫. 基于 SEM 的重大灾害事故应急救援协同影响因素分析[J]. 工业安全与环保, 2023, 49(2): 74-78, 89.
- [8] 《2024 煤炭行业发展年度报告》发布[J]. 中国煤炭工业, 2025(5): 32.
- [9] Li, J., Wang, Y., Zhang, H., et al. (2022) Application of Bayesian Network in Fault Prediction of Coal Mine Equipment Based on Real-Time Operational Data. *International Journal of Mining Science and Technology*, 32, 1167-1174.
- [10] 马占国, 孙凯, 李晓双, 等. 煤矿井下干法洗选系统设计[J]. 选煤技术, 2011(3): 67-69.
- [11] 孟豪, 董璟琦, 张红振, 等. 污染场地风险管控碳排放计算方法及案例分析[J]. 中国环境科学, 2023, 43(S1): 368-375.
- [12] 连建鑫. 煤炭洗选工艺优化策略研究[J]. 现代盐化工, 2025, 52(2): 60-62.
- [13] 梁永生. 煤矸石资源化利用现状与进展研究[J]. 能源与节能, 2019(1): 72-73.
- [14] 史晓凯, 陈文慧, 王浩, 等. 煤矸石规模化综合利用整体解决方案研究[J]. 中国煤炭, 2024, 50(3): 133-142.
- [15] 裴俊, 孟令声, 李元清, 等. 数字孪生技术在选煤厂的研究与应用[J]. 选煤技术, 2023, 51(3): 94-99.

-
- [16] 国家环境保护总局. GB16297-1996 大气污染物综合排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
 - [17] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T23251-2021 煤化工用煤技术导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
 - [18] 石家庄功倍重型机械有限公司. 可在物料处理中防止其卡堵的筛体及其自清理方法[P]. 中国专利, 201410567244.8. 2015-01-07.