

“无废矿区”理念下的固废循环利用模式与对策建议

叶佳鸿

国能神东大柳塔煤矿 陕西 榆林 719315

摘要：本文聚焦“无废矿区”理念下的固废循环利用，阐述其以“减量化、资源化、无害化”为核心的理论基础。分析井工矿区固废类型、环境影响与资源潜力，构建废石-尾矿资源化利用等四种循环利用模式，并给出实施路径。从技术升级、产业协同、政策保障、公众参与四方面提出对策建议，旨在推动井工矿区向绿色模式转型，实现资源高效利用与环境影响最小化，促进可持续发展。

关键词：无废矿区；固废循环利用；资源化；生态修复；可持续发展

引言：在资源开发与环境保护矛盾日益突出的当下，“无废矿区”理念应运而生。传统井工矿区“资源开采-废物排放”模式造成资源浪费与环境污染，而“无废矿区”以“减量化、资源化、无害化”为核心，借助系统性规划与技术创新，推动矿区向绿色模式转型。本文深入剖析其理论基础、固废情况，构建循环利用模式并提出对策，为井工矿区可持续发展提供参考。

1 “无废矿区”理念与理论基础

“无废矿区”理念以“减量化、资源化、无害化”为核心，旨在通过系统性规划与技术创新，实现井工矿区固体废物全生命周期管控，推动矿区从“资源开采-废物排放”的传统模式向“资源高效利用-循环再生”的绿色模式转型。其理论基础涵盖循环经济理论、工业生态学理论与可持续发展理论。循环经济理论提供“资源-产品-废弃物-再生资源”的闭环思路，指导固废从末端处置转向源头减量与过程再利用；工业生态学理论强调矿区系统内物质与能量的优化配置，构建共生耦合的产业生态网络；可持续发展理论则聚焦矿区经济发展、生态保护与社会福利的协同，确保矿产开发与生态安全的长期平衡^[1]。三者相互支撑，为“无废矿区”建设提供坚实的理论框架，推动井工矿区实现资源利用最大化与环境影响最小化。

2 矿区固废来源与分类分析

2.1 矿区固废的主要类型

井工矿区固废主要来源于矿产资源掘进、回采、选矿加工及配套生产过程，按产生环节与物质特性可分为四类。一是采矿废石，产生于井巷掘进与矿体回采过程中剥离的围岩与夹石，主要成分包括石英、长石、角闪石等硅酸盐矿物，产量占矿区固废总量的60%以上，常见于井筒掘进、巷道开拓与回采工作面排矸工序。二是选矿尾矿，为矿石经破碎、浮选等加工后剩余的细粒级残

渣，含有未完全回收的目标矿物与脉石矿物，粒度多在0.074mm以下，随选矿工艺不同成分差异显著。三是煤矸石，作为煤炭井工开采与洗选的伴生物，由岩石、煤屑及矿物杂质组成，按成因可分为掘进矸、回采矸与洗选矸。四是其他固废，包括矿井水治理污泥、废润滑油、废旧设备拆解残渣等，产量虽低但成分复杂，含有重金属或有害有机物。

2.2 固废的环境影响与资源潜力

井工矿区固废若处置不当将产生多重环境影响，地面矸石场堆存占用大量土地资源，破坏地表植被与土壤结构，引发水土流失与土地沙化。部分固废含硫化物等易溶成分，经雨水淋溶形成酸性废水，携带重金属离子渗入地下水或汇入地表水体，污染水资源并危害水生生态系统。煤矸石等固废堆积过程中易发生自燃，释放二氧化硫、一氧化碳等有害气体，加剧大气污染^[2]。井工矿区固废蕴含巨大资源潜力，采矿废石可作为建筑骨料用于道路铺设与混凝土制备，部分高品位废石可通过选矿回收伴生矿物。尾矿中常含有金、银、铜等稀贵金属，通过先进选矿技术可实现二次回收，且可用于制备微晶玻璃、陶瓷材料等。煤矸石可用于发电、生产矸石砖与水泥辅料，还可作为充填材料回填井下采空区。

3 “无废矿区”固废循环利用模式构建

3.1 模式设计原则

“无废矿区”固废循环利用模式设计需遵循四项核心原则。系统性原则要求统筹井工矿区掘进、回采、加工、运输等全流程，结合矿区资源禀赋、产业布局与生态条件，构建涵盖固废产生、收集、处理、利用的完整循环体系，避免单一环节优化导致的整体效率低下。因地制宜原则强调结合不同井工矿区的矿产类型、固废成分与地域特征设计模式，例如煤炭矿区侧重煤矸石发电与井下充填利用，金属矿区聚焦尾矿稀贵金属回收与建

材加工。经济性原则注重平衡循环利用的投入与产出，通过技术优化降低固废处理成本，培育固废利用产业链，实现环境效益与经济效益双赢，避免脱离经济可行性的模式设计。生态优先原则要求将生态保护贯穿模式设计全过程，固废利用过程需符合环保标准，优先采用对生态环境影响小的技术路径，确保循环利用与矿区生态修复协同推进，实现矿区生态系统的良性循环。

3.1.1 模式一：废石-尾矿资源化利用

该模式以“分级利用、梯次回收”为核心构建多路径体系。废石按粒度分级，粗粒级直接用于井下采空区回填，降低地表沉陷风险与地面运输成本；中粒级破碎筛分后作路基材料，替代天然砂石；细粒级磨细作水泥混合材或混凝土掺合料。尾矿先通过生物冶金或智能分选技术回收稀贵金属与有用矿物，回收后的尾矿渣改性制备新型建材，或用于地面塌陷区复绿土壤改良。此模式通过精准分级与梯次利用，实现废石与尾矿全量消纳，减轻地面固废堆存压力，提升资源利用效率。

3.1.2 模式二：煤矸石综合利用

该模式构建“能源回收-材料利用-井下充填”三维体系。能源回收方面，热值高的煤矸石采用循环流化床燃烧技术发电，发电产生的灰渣可回收用于建材生产；部分煤矸石经干馏提取矸石油，剩余矸石焦作燃料或还原剂。材料利用上，低热值煤矸石生产墙体材料，替代黏土砖，或作为地面工程路基填料等。井下充填中，煤矸石破碎后通过管道输送至井下采空区进行充填，有效控制顶板下沉与地表沉陷，为矿区安全生产与地面生态保护创造条件，实现资源化与生态改善双重目标。

3.1.3 模式三：矿区生态修复协同利用

此模式以“固废消纳与生态重建同步推进”为核心，构建井工矿区一体化修复体系。矿山地面塌陷区治理中，采用废石、煤矸石等固废分层回填压实，之上覆盖客土种植乡土耐旱植物，提升水土保持能力。井工矿区矸石场复垦时，用尾矿渣改良土壤理化性质，种植经济林与牧草，实现固废消纳与经济价值提升。井下巷道修复时，将细粒级固废与胶凝材料混合制备充填胶结料，用于巷道支护与围岩加固。

3.1.4 模式四：多产业耦合循环链

多产业耦合循环链模式以井工矿区固废为核心纽带，联动建材、能源、农业等相关产业，构建“矿区-建材厂-电厂-农业基地”的跨产业循环体系。矿区产生的废石、尾矿输送至建材厂，经加工生产水泥、陶瓷、新型墙体材料等产品；煤矸石等热值较高的固废送往电厂发电，发电产生的灰渣返回建材厂作为生产原料，形成

“固废-能源-建材”的闭环链条。建材厂生产过程中产生的工业废水经处理后，用于矿区井下降尘、地面绿化及农业灌溉等，实现水资源循环利用。矿区周边农业基地利用电厂余热进行温室大棚种植，利用固废改良后的塌陷区土壤种植农作物与牧草，农作物秸秆可作为电厂燃料或生物质肥料，形成“能源-农业-矿区”的协同链条。构建信息共享平台，统筹各产业固废产生与需求信息，优化物质流与能量流配置，提升整个循环链的运行效率，实现多产业互利共赢与可持续发展^[3]。

3.2 模式实施路径

“无废矿区”固废循环利用模式实施需遵循“规划引领-技术支撑-试点示范-全面推广”的四步走路径。首先，开展井工矿区固废普查，摸清掘进、回采等各环节固废产生量、成分、堆放位置等基础信息，结合矿区发展规划与区域产业布局，编制“无废矿区”建设专项规划，明确各阶段目标、重点任务与责任主体。其次，搭建技术支撑体系，与科研院校合作建立产学研创新平台，重点攻关固废高效分选、有价元素回收、井下充填材料研发等关键技术，推广成熟适用技术与装备，提升模式实施的技术可行性。然后，选取典型井工矿区开展试点示范，根据矿区类型选择对应循环利用模式，建立完善的监测评估体系，跟踪模式实施效果，总结经验教训，优化模式设计与运行参数。

4 对策建议

4.1 技术升级路径

技术升级需聚焦“源头减量-过程高效利用-末端协同处置”全链条，构建多层次技术创新体系。推广智能化井工开采技术，采用精准爆破、高效掘进、膏体充填采煤等工艺，减少废石产生量；优化选矿工艺参数，提升矿石回收率，降低尾矿产出率，从源头控制固废总量。重点突破固废高效分选技术，开发智能分选装备，提升有用矿物回收效率；研发固废改性增值技术，优化尾矿制备建材、煤矸石发电等技术工艺，提升产品质量与附加值；发展生物冶金技术，利用微生物高效回收尾矿中的稀贵金属，降低资源浪费。研发固废协同处置技术，实现井工矿区固废与其他工业固废、生活垃圾的协同处理；推广生态化处置技术，确保无法资源化的固废处置符合生态环保要求。

4.2 产业协同机制

构建产业协同机制需搭建“政府引导、企业主体、市场运作”的协同平台，推动井工矿区与上下游产业深度融合。建立跨产业协调机构，由政府牵头，统筹矿区企业、建材企业、能源企业、农业企业等多方主体，定

期召开协调会议，解决协同过程中的利益分配、资源配置等问题。培育龙头企业，支持矿区企业与大型建材、能源企业组建产业联盟，整合资源优势，共同开展固废利用技术研发与产业链建设，提升产业协同的规模化与集约化水平。完善利益联结机制，通过股权合作、收益分成等方式，明确各主体在循环产业链中的利益分配比例，保障中小企业与农户的合法权益，激发各方参与积极性。搭建信息共享平台，整合固废产生、需求、技术等信息资源，实现各产业信息实时共享，优化物质流与能量流配置，提升产业协同效率。另外，举办产业对接活动，促进供需双方精准对接，推动形成稳定的协同合作关系。

4.3 政策保障体系

政策保障体系需从“激励-约束-监管”三个维度发力，为“无废矿区”建设提供有力支撑。激励政策方面，加大财政投入，设立“无废矿区”建设专项基金，对固废利用项目给予资金补贴与税收减免；推行绿色信贷政策，鼓励金融机构为循环利用项目提供低息贷款，支持企业发行绿色债券；建立固废利用奖惩机制，对固废资源化利用率高的企业给予表彰与资金奖励，激发企业积极性。约束政策方面，完善固废污染防治法律法规，明确企业固废处置主体责任，严格控制地面矸石场堆存标准，对违法排放、处置固废的企业加大处罚力度；制定固废资源化利用强制性标准，明确不同类型固废的利用要求与技术规范。监管政策方面，建立全流程监管体系，利用物联网、大数据等技术，对固废产生、运输、处理、利用全过程进行实时监测；加强环保执法检查，定期开展“无废矿区”建设专项督查，确保政策落地见效；建立第三方评估机制，对矿区固废利用效果进行客观评估，为政策调整提供依据。

4.4 公众参与模式

构建公众参与模式需搭建“认知-参与-监督”全流程参与体系，提升公众对“无废矿区”建设的参与度与支

持度。通过政府官网、社交媒体、地方电视台等平台，宣传“无废矿区”理念、固废利用知识与井工矿区建设成效；开展“无废矿区”主题宣传活动，走进矿区社区、周边学校、乡村，通过讲座、展览、科普手册等形式，普及固废资源化利用的重要意义，消除公众对固废利用的认知误区^[4]。建立公众参与平台，设立意见征集热线与邮箱，鼓励公众为“无废矿区”建设建言献策；招募志愿者参与固废分类宣传、矿区生态修复等志愿活动，提升公众参与的实践性；推动社区与矿区企业合作，开展固废回收利用试点，引导公众参与日常生活中的固废分类与回收。建立公众监督平台，公开“无废矿区”建设进展、固废处置情况等信息，接受公众监督；鼓励公众通过举报电话、网络举报等方式，举报固废违法处置行为，对查实的举报给予奖励，形成全社会共同监督的良好氛围。

结束语

“无废矿区”建设是井工矿区可持续发展的必由之路。通过构建多种固废循环利用模式，并从技术、产业、政策、公众等多维度发力，能实现井工矿区固废的高效利用与生态环境的改善。未来，需持续探索创新，不断完善模式与对策，推动“无废矿区”建设向纵深发展，让井工矿区在资源开发与生态保护间找到平衡，实现经济效益、社会效益与生态效益的有机统一。

参考文献

- [1]侯意生.基于循环经济的冶金固废综合利用模式探索[J].佛山陶瓷, 2023, 33(12):90-92.
- [2]吕忠梅.构建废弃物循环利用体系的法典化理路[J].法学杂志, 2025, 46(3):1-18.
- [3]李炳蓉,于虎,林清泉,等.循环经济模式下铜尾矿资源综合利用研究进展[J].铜业工程, 2025(3):93-105.
- [4]张华,温宗国,胡宇鹏,等.我国废弃物循环利用体系建设路径与发展建议[J].中国工程科学,2024,26(6):210-222.