

煤矿固废资源化利用与土壤污染防控

袁嘉¹ 袁瑞君²

1.身份证号: 6127251990****0039

2.身份证号: 6127251989****003X

摘要: 煤矿开采、洗选及配套生产过程中会产生煤矸石、煤泥、粉煤灰、脱硫石膏等多类型固体废物。若长期露天堆存或处置方式不当, 不仅会占用大量土地资源, 还可能通过雨水淋滤、扬尘沉降、地表径流等途径向周边环境迁移, 对矿区及周边土壤造成持续影响, 进而引发重金属累积、盐分升高、酸碱失衡和土地退化等问题。推动煤矿固废资源化利用, 是煤炭行业绿色低碳转型的重要内容, 也是矿区土壤污染防控和生态修复的现实要求。本文围绕煤矿固废来源特征、污染风险及环境影响进行分析, 探讨建材化利用、井下充填利用和生态修复利用等主要路径, 并从全过程监管、风险评估、用途管控和协同治理等方面提出防控措施, 以期实现固废资源价值释放与土壤环境安全保障的协调统一。

关键词: 煤矿固废; 资源化利用; 土壤污染; 矿区治理; 绿色转型

Resource Utilization of Coal Mine Solid Waste and Soil Pollution Prevention

Yuan Jia¹, Yuan Ruijun²

1. ID Card Number: 6127251990****0039

2. ID Card Number: 6127251989****003X

Abstract: During coal mining, washing, and related production processes, various types of solid waste are generated, including coal gangue, coal sludge, fly ash, and desulfurization gypsum. If these wastes are stored or disposed of improperly over a long period, they not only occupy a lot of land but may also migrate to the surrounding environment through rainwater leaching, dust deposition, and surface runoff, continuously impacting the soil in mining areas and nearby regions. This can lead to issues such as heavy metal accumulation, increased salinity, pH imbalance, and land degradation. Promoting the resource utilization of coal mining solid waste is a key part of the coal industry's green and low-carbon transformation, as well as a practical requirement for soil pollution prevention and ecological restoration in mining areas. This paper analyzes the sources, pollution risks, and environmental impacts of coal mining solid waste, explores main approaches like use in building materials, underground backfilling, and ecological restoration, and proposes prevention and control measures from aspects like full-process supervision, risk assessment, usage management, and collaborative governance, aiming to achieve a balance between realizing the value of solid waste resources and ensuring soil environmental safety.

Keywords: Coal mining solid waste; Resource utilization; Soil pollution; Mining area management; Green transformation

0 引言

煤炭在我国能源结构中仍占据重要地位, 煤矿开采、洗选和配套生产过程中会产生大量煤矸石、煤泥、粉煤灰等固体废物。以往较为常见的堆存、填埋方式虽然处理简便, 但长期来看会占用土地资源, 增加企业运行管理压力, 并可能通过雨水淋滤、地表径流和扬尘沉降等途径影响周边土壤环境, 造成重金属累积、酸碱失衡和土地退化等问题。随着绿色矿山建设持续推进, 生态环境保护要求不断提高, 煤矿固废治理已不再局限于末端处置, 而是逐步转向减量化、资源化、无害化协同控制。如何在提升固废综合利用水平的同时, 有效识别并控制污染迁移风险, 成为

矿区生态修复、土壤环境保护和煤炭企业高质量发展中亟待解决的重要课题。

1 煤矿固废产生特征及土壤污染风险

1.1 煤矿固废来源与组成特点

煤矿固废的来源具有一定复杂性, 各个生产环节所形成的废物在性质方面呈现出显著差异。煤矸石主要源自井下掘进作业、采煤剥离工作、洗选分离环节, 其中包括黏土矿物、石英、黄铁矿、少量残余煤质成分, 属于产生量相对较大的固废类型。煤泥大多来源于洗煤废水沉降过程、压滤过程, 其粒径比较细小, 含水率较高, 倘若进行露天堆放则容易出现泥化外流现象。燃煤电厂、煤矿自备锅炉

所产生的粉煤灰、炉渣和脱硫石膏，通常也会被纳入矿区固废协同治理范畴。鉴于各类固废在矿物组成、可燃物含量、重金属背景值、酸碱特征等方面存在差异，其资源化利用方式无法简单地采用统一模式，而是需要在进行检测分析之后进行分类处置。

1.2 堆存处置引发的土壤污染问题

煤矿固废若长期露天堆存，会对周边土壤产生持续压力。当雨水进入矸石山或者灰渣堆之后，有可能会溶出硫酸盐、铁、锰、部分重金属元素，并且会随着地表径流或者渗滤液迁移到低洼农田、沟谷和地下水补给区。含硫矿物氧化以后会造成局部酸化，进而加速金属元素释放，从而改变土壤的理化性质。在干旱、大风的条件下，细颗粒固废容易形成扬尘沉降，致使表层土壤中的灰分和污染物含量提高。要是堆场防渗、截排水、覆土措施没有做到位，污染风险便会在较长的时间内不断累积，治理难度也会显著增加。

1.3 资源化利用中的二次风险

固废资源化并非等于毫无风险的利用。像部分煤矸石、粉煤灰、脱硫石膏，能够被用于建材生产、井下充填或者土地复垦当中，然而要是没有充分知晓其有害组分的含量、环境行为，就有可能导致污染转移。要是用于复垦土壤改良的材料盐分偏高，或者重金属浸出浓度超过标准，亦或是酸碱度不合适，那么就会对植物生长产生影响，进而改变土壤微生物环境。井下充填材料倘若配比不合理，也可能对矿井水水质造成影响。建材化利用虽然可以固化一部分污染物，可是在生产、运输、堆放等环节依旧需要对粉尘逸散进行控制。所以，资源化利用必须坚守环境安全这条底线，在利用前、利用过程中和利用之后展开全过程的风险识别。

2 煤矿固废资源化利用的主要路径

2.1 建材化利用提升固废消纳能力

建材化利用属于煤矿固废规模化消纳的关键重要方向。经过破碎处理、煅烧处理或者活化处理之后的煤矸石，能够用以生产烧结砖、轻骨料、水泥混合材、道路基层材料，粉煤灰具备一定的火山灰活性，能够当作水泥掺合料、混凝土矿物掺合料、墙体材料原料。这样的利用方式可以减少天然黏土、砂石、水泥熟料的消耗，具备比较不错的资源替代价值。在工艺设计过程中需要重点把控原料均化、烧结温度、细度、掺量比例，防止因固废成分出现波动而对产品质量产生影响。对于含硫量比较高或者重金属浸出风险比较大的固废，应该通过稳定化、固化或者限制用途等方式来降低环境风险。

2.2 井下充填与采空区治理协同推进

井下充填利用可以把煤矿固废的消纳同采空区治理相结合，适用于有充填条件的矿井。把煤矸石、粉煤灰、胶结材料、水按照一定比例制成充填浆体，能够用来回填采空区，减轻地表的沉陷情况，减少地面堆存方面的压力。此路径的优势是运输距离比较短，固废消纳量比较大，还能够改善矿山开采的安全条件。充填材料要满足流动性、凝结时间、早期强度、长期稳定性等要求，不可以只追求低成本的配比。对于含有可溶性盐类或者潜在污染物的固废，需要进行浸出试验、矿井水影响分析，避免污染物在地下空间出现迁移。

2.3 生态修复与土地复垦利用

有些经过无害化处理的煤矿固废能够用于矿区生态修复。比如煤矸石经过破碎筛分后，能够当作地形重塑、复垦基底的材料，粉煤灰、煤泥还有有机改良材料，在一定条件下能参与到人工土壤的建立之中。这种利用方式对恢复塌陷地、排矸场、废弃工业场地的生态功能有帮助，不过对材料的安全性有着较高要求。在复垦工程里，要依据目标土地的用途来确定材料的选择、覆土的厚度，因为农用地、林草地和建设用地对于污染控制的要求并不一样。固废材料不适宜直接当作表层种植土来使用，应当和客土、有机质、保水材料进行合理配比，并且通过植物监测、土壤检测来评价修复的效果。

表1 煤矿固废资源化利用方式与环境控制要点

固废类型	主要利用方向	潜在环境风险	防控要点
煤矸石	建材原料、井下充填、道路基层	酸性淋滤、重金属释放、扬尘	分类检测、控水防渗、破碎降尘
粉煤灰	水泥掺合料、混凝土材料、复垦基质	细颗粒扩散、盐分累积、浸出风险	密闭运输、掺量控制、浸出评价
煤泥	燃料回收、土壤改良辅助材料	含水率高、泥化外流、有机物腐败	脱水处理、稳定化处置、限制用途
脱硫石膏	建材制品、土壤改良材料	盐分偏高、硫酸盐迁移	纯度检测、用量控制、跟踪监测

3 土壤污染防治的关键技术措施

3.1 加强源头分类与固废性质识别

土壤污染防治工作应当从固废产生的源头开启。煤矿企业有必要建立固废分类管理制度，针对不同来源、不同批次的煤矸石、粉煤灰和煤泥实施理化性质检测，着重把控含水率、粒径、pH 值、硫含量、重金属总量、浸出浓度等指标。对于那些污染风险相对较高的固废，应当单独进行堆存并且专门予以处置，防止与普通固废混合之后致使管理范围扩大。源头分类越是精细，后续资源化路径就

会越清晰,污染控制成本也能够更易掌控。检测结果还应当与利用方向相关联,形成“性质识别—风险判断—用途选择”这样的管理链条,从而让资源化利用建立在可靠的数据基础之上。

3.2 完善堆场防渗与径流控制

在煤矿固废还没有实现资源化利用的时候,堆存场地依旧是土壤污染防治的关键所在。规范化堆场建设需要依据地形、水文地质条件、固废污染特征来进行设计工作,合理地设置防渗层、截排水沟、渗滤液收集池、沉淀处理设施、雨污分流系统,以此减少降雨进入堆体之后形成污染淋滤液。对于历史形成的矸石山、灰渣堆、煤泥堆场,要进行稳定性和环境风险排查,按照边坡坡度、堆体高度、排水条件、周边土地利用情况,实施削坡整形、压实覆土、植被恢复、边坡排水治理,从而降低滑塌、扬尘扩散、污染物迁移风险。破碎筛分、装卸转运、运输道路是粉尘外逸比较集中的环节,应当采用封闭输送、喷雾降尘、车辆冲洗、道路硬化等措施,防止细颗粒沉降进入周边土壤。堆场外围还应当布设土壤、地表水和地下水监测点,持续跟踪 pH 值、盐分、重金属、悬浮物的变化,为污染预警、治理调整、责任认定提供依据。

3.3 实施风险评估与用途管控

煤矿固废资源化利用要基于场地风险评估、用途管控来进行,不能仅把消纳量当作评价标准。不同土地利用类型对土壤环境质量的要求有显著差异,像工业场地回填、道路基层、井下充填、生态复垦、农用地恢复,它们对应的风险控制重点不一样。用于工业回填和道路工程的固废材料,要着重评价结构稳定性、浸出风险、长期水文作用下污染释放的可能性,用于生态修复和土地复垦的材料,还得留意盐分累积、酸碱变化、植物生长安全、土壤微生物环境影响。对于打算恢复为农用地或者与农田水系相邻的区域,要严格限制固废材料进入表层土壤,避免污染物通过作物吸收、径流扩散或者地下水迁移进入生态链。风险评估不应只在项目实施前进行,利用过程中和利用完成后也需要进行阶段性监测。要是发现土壤 pH 值、含盐量或者重金属含量异常升高,要及时采取阻隔覆盖、客土置换、稳定化处理、植物修复或者用途调整等措施,保证资源化利用不会变成新的土壤污染源。

4 煤矿固废资源化与污染防治协同机制

4.1 建立全过程监管体系

煤矿固废治理涉及产生、分类、暂存、运输、加工、利用、后期监测等诸多环节,只要其中有一个环节的管控

不够到位,就很有可能使资源化利用的效果受到削弱,同时让土壤污染风险被放大。企业需要建立起一套完整的固废管理台账,针对固废的来源、产生数量、成分检测结果、暂存位置、转移去向、利用方式、环境监测数据展开连续记录,以此形成能够核查、可以追溯的管理链条。监管部门能够借助信息化平台,把矸石山、灰渣堆场、资源化利用项目、潜在污染风险点纳入动态监管范围,及时了解固废的流向、环境变化状况。对于那些进行跨区域转移利用的固废,要严格审核接收单位的资质、利用工艺、最终用途,避免出现以资源化之名进行违规堆放或者变相倾倒的情况。对全过程进行监管,不但能够提高固废利用的透明度,还能为污染风险预警、责任认定提供依据。

4.2 推动技术协同与产业链延伸

煤矿固废资源化利用具备比较明显的技术关联性,单个煤矿企业通常很难独自完成材料研发、产品检测、工程应用、市场消纳等一系列工作。需要推动煤炭企业同建材企业、环保企业、道路施工单位、生态修复机构、科研院所建立协同机制,促使固废处理从末端处置转变为产业化利用。煤矸石、粉煤灰等材料能够依据水泥、混凝土、道路基层、充填工程的需求来进行定向开发,以此提高利用的稳定性、产品的适配性。在技术方面应当强化低碳胶凝材料、胶结充填材料、固废基复垦基质、污染物稳定化技术的研究,这样既能提高固废的利用价值,又能降低有害组分迁移的风险。产业链的延伸可以减少长期堆存的压力,让煤矿固废从环境负担逐渐转化为能够进行管理、可以加以利用的资源单元,推动矿区治理与绿色产业发展相互支持。

4.3 健全生态补偿与责任机制

煤矿固废治理具备长期性、外部性特点,仅仅依靠企业进行短期投入是难以建立起稳定治理格局的。地方政府能够结合绿色矿山建设、资源综合利用、土地复垦还有生态修复项目,去建立差异化支持机制,针对环境风险可控、消纳效果明确并且产品质量稳定的资源化利用项目给予政策方面的引导、适度的激励。煤矿企业需要承担固废产生、暂存、利用、污染防治的主体责任,把固废治理费用纳入生产成本与环保投入计划当中,防止将环境风险转移到周边土地、后续治理环节。对于历史遗留堆场、责任主体不清晰或者治理难度比较大的区域,可以采用政府统筹、企业参与、第三方治理、公众监督相结合的方式推进修复。只有责任边界清晰、补偿机制合理、监督约束有力,资源化利用与土壤污染防治才可以形成持续有效的治理闭环。

5 结语

煤矿固废资源化利用、土壤污染防治并非彼此毫无关联的两项工作，实际上是矿区绿色治理工作里的统一进程。煤矸石、粉煤灰、煤泥还有脱硫石膏等这类固废具备一定的利用价值，不过其存在的环境风险必须依靠分类检测、规范堆存、用途管控、跟踪监测等方式来加以控制。在实际操作过程当中，需要依据固废的性质来选择建材化、充填化、生态修复利用等路径，防止仅仅单纯追求利用率而忽略了污染迁移的问题。未来煤矿企业有必要加强全过程管理，推动技术协同、制度保障，从而让固废利用能够切实服务于资源节约、土地修复、生态安全等方面。

参考文献：

[1] 陈婷婷. 探析煤矿固废资源化利用经济价值[J]. 环

境与发展, 2020,32(6):255-256.

[2] 贾盛磊. 榆林煤矿固废资源化利用关键凝胶材料研发. 陕西省, 榆林优特新新材料有限公司, 2023-12-01.

[3] 张峰玮, 曾琳. 煤矿固废资源化利用经济价值研究探讨[J]. 煤炭经济研究, 2019,39(1):45-51.

[4] 张海涛, 王如松, 胡聘等. 煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例[J]. 生态学报, 2011, 31(19):5638-5645.

[5] 任佳. 煤炭产业转型升级中的固废综合利用[J]. 能源新观察, 2026(1):73-74.

作者简介：袁嘉（1990.10-），男，汉族，陕西靖边人，本科学历，助理工程师，研究方向：主要从事危险化学品行业安全监管工作。