

露天矿区碳中和路径规划与碳汇核算方法

赵顺荣

永兴特种材料科技股份有限公司 浙江湖州

【摘要】露天矿区在资源开发过程中排放大量温室气体，实现碳中和已成为可持续发展的关键目标。本文以矿区碳中和路径规划为主线，构建低碳能源替代、绿色工艺优化与生态修复协同推进的系统框架。在路径设计中引入碳排放清单与减排情景模拟，形成可操作的分阶段实施方案。针对碳汇核算，提出基于矿区植被恢复、土壤碳储量与区域生态系统功能的综合测算方法，实现碳排与碳汇的平衡评估。研究表明，该方法不仅能提高碳中和路径的科学性与可行性，还为矿区绿色转型提供定量化依据。

【关键词】露天矿区；碳中和路径；碳汇核算；生态修复

【收稿日期】2025 年 8 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250191

Carbon neutral path planning and carbon sink accounting method for open pit mining

Shunrong Zhao

Yongxing Special Materials Technology Co., Ltd, Huzhou, Zhejiang

【Abstract】 Open-pit mining areas emit substantial greenhouse gases during resource extraction, making carbon neutrality a critical objective for sustainable development. This study establishes a systematic framework integrating low-carbon energy substitution, green process optimization, and ecological restoration to guide carbon-neutral pathway planning in mining regions. The design incorporates carbon emission inventories and emission reduction scenario simulations to develop actionable phased implementation plans. For carbon sink accounting, we propose a comprehensive methodology that evaluates vegetation recovery, soil carbon storage, and regional ecosystem functions to achieve balanced carbon emission-sink assessments. Research demonstrates that this approach not only enhances the scientific rigor and feasibility of carbon neutrality pathways but also provides quantitative evidence for green transformation in mining areas.

【Keywords】 Open-pit mining; Carbon neutrality pathways; Carbon sink accounting; Ecological restoration

引言

露天矿区在推动社会能源与原材料供给的同时，也面临高碳排放与生态破坏的双重挑战。随着全球碳减排目标的推进，矿区如何实现绿色转型与碳中和路径设计已成为亟待解决的前沿问题。科学的路径规划能够为能源替代、减排技术应用与生态修复提供明确方向，而精准的碳汇核算则为目标实现提供量化支撑。通过对排放与吸收的系统研究，构建起可操作的协调机制，不仅有助于矿区减轻环境负荷，也为区域低碳发展探索新的实践模式。

1 露天矿区碳排放现状与中和挑战

露天矿区作为能源和矿产资源的重要供给地，在开采与运输环节普遍存在高强度能源消耗与温室

气体排放。由于开采作业需要大量燃油机械、爆破作业及矿石运输车辆，二氧化碳、甲烷和氮氧化物等污染物在整个流程中不断积累，使矿区成为区域内的碳排放集中源。再加上部分矿区长期依赖传统能源结构，缺乏清洁能源利用与节能技术的系统引入，排放总量呈现刚性上升趋势^[1]。这种特征不仅导致矿区生态环境承受巨大压力，还直接影响区域碳达峰与碳中和目标的实现。由于露天开采具有规模大、周期长的特点，碳排放治理的难度明显高于其他工业领域，形成了能源消耗集中、排放难以削减的突出矛盾。

在碳中和目标约束下，露天矿区面临的挑战不仅仅局限于减排压力，还包括碳汇潜力挖掘不足和

核算体系不完善的问题。传统的碳排放统计往往依赖单一能源消耗数据,忽视了运输链条、辅助设施以及矿区生态扰动带来的间接排放,导致核算结果存在较大偏差。在碳汇方面,虽然植被恢复与土地修复被视为主要途径,但由于矿区生态破坏程度高,土壤结构遭到严重扰动,植被群落恢复速度缓慢,短期内形成有效碳汇的能力有限。不同区域的气候条件、土壤类型与植被适应性差异,使碳汇测算复杂性显著增加。如果缺乏统一的评价标准与科学的测算模型,碳中和路径规划很难实现精确落地。

应对这些挑战,需要在路径设计中实现减排与碳汇的动态平衡。露天矿区在排放治理上必须加快低碳技术替代,例如推广新能源运输车辆、引入清洁能源供电系统和优化爆破能效,以降低直接排放强度^[2]。要在矿区修复中科学配置植物群落,构建能够增强土壤有机碳积累和植被长期固碳能力的生态系统结构,推动碳汇功能稳定提升。唯有在源头控制排放、过程降低强度、末端提升碳汇的全链条体系中形成合力,露天矿区才能突破高排放与低碳汇之间的矛盾,实现可操作的碳中和路径规划。

2 矿区碳中和路径的规划框架与阶段设计

矿区碳中和路径的规划需要以能源结构调整、工艺流程优化与生态修复措施为核心要素,形成涵盖全生命周期的系统化框架。露天矿区的碳中和不仅是单纯的减排任务,更是产业链与生态系统的协同过程。在框架构建中,必须以碳排放源清单为基础,对开采、运输、加工及辅助环节的能源消耗进行系统核算,结合区域能源供给条件与技术可行性,明确高排放环节的治理重点^[3]。通过将清洁能源引入开采与运输环节,推动电动化与智能化装备应用,并在生产组织中强化能效管理,可以逐步降低单位产量的碳排放强度。该过程强调路径的阶段性递进和结构的动态优化,确保在保证矿产资源供应的同时,有效降低碳足迹。

路径规划的阶段设计应体现由易到难、由浅入深的渐进逻辑。在初始阶段,重点在于减排与控制,通过替换燃油设备、加强能效管控和减少无组织排放来实现快速减排。在中期阶段,技术革新与工艺优化逐渐成为核心,绿色矿山建设理念在此阶段得到全面落实,包括智能调度系统、节能爆破技术以及废弃物资源化利用,均能够显著减少碳排放总量。长期阶段则应强调碳汇与生态系统修复的全面融合,

通过大规模植被重建、边坡生态治理与水土保持措施,逐步形成稳定的碳汇体系。这一分阶段路径设计不仅能够帮助矿区逐步迈向碳中和目标,也为各阶段的政策实施与资金投入提供了现实依据。

在整体框架下,路径与阶段的结合体现了动态平衡与弹性调整的特征。露天矿区的碳排放具有显著的不均衡性,受到资源禀赋、技术水平与市场需求的三重影响,因此碳中和路径设计必须保留灵活调整的空间。通过建立基于情景模拟与预测分析的动态管理机制,可以在不同发展阶段对排放与碳汇进行实时监测与调整,保证路径实施的科学性和适应性^[4]。强化多主体协同机制,推动政府、企业与科研机构在政策引导、技术创新与数据支撑方面形成合力,有助于提升矿区碳中和路径的可操作性与稳定性。通过这种阶段化、系统化与动态化的设计,矿区能够在复杂多变的环境条件下稳步推进低碳转型,形成可推广的碳中和实践模式。

3 碳汇核算方法在植被恢复与土壤储碳中的应用

碳汇核算方法在露天矿区生态修复中具有关键作用,其中植被恢复被视为主要途径。矿区大面积裸露土地在植被覆盖率提升后,可以通过光合作用固定大气中的二氧化碳,并逐步形成稳定的有机碳库。在核算过程中,需要建立基于生物量测定的碳汇评价模型,将不同植物群落的生长速率、净初级生产力以及地上与地下生物量转化为碳固定量。矿区往往采用乡土树种、草本植物与灌木的混合种植模式,不同群落在碳汇贡献上存在差异,这要求在核算中采用分层分区的参数化方法,以反映生态恢复的实际情况^[5]。通过遥感监测、样地调查和模型模拟相结合,可以有效提高植被碳汇核算的精确度,为碳中和路径实施提供量化依据。

土壤储碳功能在矿区碳汇核算中同样不容忽视。由于采矿活动导致地表扰动严重,土壤有机质含量往往大幅下降,碳库功能遭到削弱。随着植被恢复和有机质不断积累,土壤逐步恢复固碳能力。土壤碳汇核算需要综合考虑土壤有机碳、无机碳、土壤微生物活性以及土壤结构稳定性等指标,建立分层采样与长期监测机制,才能准确反映土壤碳储量的动态变化。不同土层深度的碳储量存在明显差异,浅层更易受到外界扰动,而深层碳库则具有较强的稳定性。因此,在核算过程中应引入深层碳评估方法,保证整体碳汇核算结果的全面性和科学性。

在综合植被恢复与土壤储碳的碳汇核算时,需要构建一套完整的核算框架,实现不同碳汇要素之间的协同评估。矿区生态修复中的植被恢复能够促进枯落物输入与根系分泌物增加,进而推动土壤有机质积累,从而实现植被碳汇与土壤碳汇的联动效应。在核算体系中,应结合 IPCC 推荐方法、区域实测参数与模型校正,形成既符合国际标准又具有区域适应性的测算模式^[6]。通过建立动态数据库和长期监测网络,可以持续跟踪碳汇变化趋势,逐步形成标准化、精细化的核算体系。这不仅提升了矿区碳汇评估的科学性,也为碳中和路径实施提供了坚实的数据支撑。

4 矿区碳中和路径与碳汇核算的综合协同机制

矿区碳中和路径与碳汇核算之间的关系并非相互独立,而是需要在同一系统框架下实现紧密协同。碳中和路径强调能源结构优化、生产工艺改造与低碳技术应用,而碳汇核算则关注通过植被恢复与土壤储碳实现碳吸收功能,两者在目标上高度一致,必须在规划阶段实现同步衔接^[7]。若路径设计缺乏科学的碳汇核算支撑,减排成效将难以量化,政策实施与资源配置的精准性也会大打折扣。通过构建减排与碳汇一体化的评价指标体系,可以将碳中和目标细化为可量化的阶段性成果,使不同阶段的措施既能反映排放控制效果,又能体现生态修复贡献。

协同机制的建立需要兼顾动态性与区域差异性。矿区碳排放与碳汇过程受到资源禀赋、气候条件及生态恢复进度的多重影响,单一固定指标难以全面反映实际情况。在实践中,碳中和路径的推进应与碳汇核算体系保持互动,通过周期性监测与数据反馈实现路径动态修正。在新能源车辆推广降低运输环节排放的同时,应实时监测植被生物量和土壤有机碳含量的变化,并将核算结果纳入碳平衡模型中,从而确保减排与增汇形成互补效应。这种基于数据驱动的循环反馈机制,有助于增强碳中和路径实施的灵活性和适应性。

在综合协同机制中,还需要强化跨学科融合与多主体参与。矿区碳中和路径的推进涉及能源工程、生态学、环境科学和管理学等多个领域,而碳汇核算则依赖精确的测定与模型分析。通过建立政府、企业和科研机构共同参与的协作平台,可以在政策引导、技术创新和监测体系方面实现资源整合,推动多维度的协同治理^[8]。应将碳中和路径与碳汇核

算的成果纳入区域低碳发展战略,形成从矿区到区域再到国家层面的联动效应。通过这种系统化、协同化的机制设计,矿区不仅能够实现碳排放与碳汇的动态平衡,还能为绿色矿业转型提供具有推广价值的实践模式。

5 结语

露天矿区碳中和路径的研究体现了资源开发与生态修复之间的协调关系。碳排放治理与碳汇提升在动态平衡中相互作用,形成低碳转型的关键支撑。科学的路径规划不仅能够优化能源结构和工艺流程,还能在分阶段推进中实现碳减排与生态恢复的有机统一。碳汇核算方法的应用,为植被恢复与土壤储碳提供了精细化的量化工具,使中和目标具备操作性与可验证性。碳中和路径与碳汇核算的综合协同机制进一步强化了科学性与系统性,为矿区绿色发展开辟了实践路径。

参考文献

- [1] 田春晓,张贤哲. 碳中和目标下企业碳会计体系构建与实践路径探析[J].商业观察,2025,11(23):94-97.
- [2] 朱献军,庄杨,肖向阳,等. 基于灌溉管理调控的稻田碳汇核算方法学构建及区域减排潜力评估[J/OL].节水灌溉,1-14[2025-08-19].
- [3] 牟芬芳,张艺苇,朱金宇,等. “双碳”政策下生态环境监测助力碳汇核算的路径探索[J].皮革制作与环保科技,2025,6(14):40-42.
- [4] 杨明东,王胜,杨博允,等. 非煤矿山企业安全生产风险监测预警系统在宝塔山露天矿区的应用[J].中国资源综合利用,2025,43(07):57-61.
- [5] 韩延鹏,万玲玉. 基于科学碳目标的企业碳达峰碳中和路径规划研究[J].机械制造,2025,63(07):9-12.
- [6] 孙文武,白中科,官炎俊,等. 露天矿区生态修复的实践逻辑与响应策略[J].中国土地,2025,(05):38-41.
- [7] 雷志勇,刘慧辉,陆梦楠,等. 露天矿区碳汇监测分析系统研发与应用[J/OL].金属矿山,1-11[2025-08-19].
- [8] 李辉,李高亮,鲁叶江,等. 植物废弃物发酵基质对露天矿区排土场土壤改良研究[J].中国矿业,2024,33(11):130-138.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS