

绿色矿山建设碳减排现状及创新路径探析

高 扬

(河北经贸大学管理科学与信息工程学院)

摘要:在全球积极应对气候变化、大力推进碳减排的大背景下,绿色矿山建设碳减排成为矿业领域可持续发展的重要途径。总结分析了绿色矿山建设碳排放现状及减排措施与成效,重点阐述了绿色矿山建设碳减排的创新路径,包括高效采选技术与装备升级、新能源综合利用、负碳技术探索应用、“精准矿业”技术探索、循环经济发展模式与碳管理体系建设等。绿色矿山建设碳减排需多路径协同推进,技术创新与体系优化是关键,未来应加强政策支持与技术研发,推动矿业向低碳化、智能化、循环化方向发展。研究为绿色矿山建设碳减排提供参考,助力矿业高质量发展。

关键词:绿色矿山;碳减排;可持续发展;技术创新;装备升级;新能源利用

中图分类号:TD-9

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)08-0099-05

doi:10.11792/hj20250818

引 言

在全球气候变化的严峻挑战下,减少温室气体排放、实现“碳达峰”“碳中和”已成为国际社会的广泛共识。中国于2020年明确提出“二氧化碳排放力争于2030年达到峰值,努力争取2060年实现碳中和”的“双碳”目标,这意味着各行各业都需加速向低碳、绿色转型^[1]。矿业作为国民经济的基础性产业,在为社会提供大量矿产资源的同时,也是能源消耗和碳排放的大户^[2]。绿色矿山建设旨在通过采取先进的生产技术、工艺和管理手段,最大限度减少矿山开发对环境的负面影响,实现矿山的高质量发展。在此过程中,碳减排是关键任务之一,它不仅有助于应对气候变化,还能降低矿山生产成本,提高资源利用效率,增强企业竞争力,同时改善矿区及周边环境,保护身心健康,促进社会可持续发展。深入研究绿色矿山建设中的碳减排问题,探索切实可行的减排路径与策略具有深远的现实意义,能够为矿业绿色转型提供有力支撑^[3-4]。

1 绿色矿山建设内涵

绿色矿山基于可持续发展理念,强调在矿产资源开采与利用过程中,将矿区及周边生态环境扰动精准控制在可承受范畴内,力求实现开采活动与自然生态的和谐共生,建设环境生态化、开采方式科学化、资源利用高效化、管理信息数字化、矿区社区和谐化的现代化矿山。其核心要素涵盖生态、资源、经济与社会等多个层面,且各要素相互关联、协同促进,共同构筑

绿色矿山的有机整体^[5-6]。

1)资源利用层面。绿色矿山建设首先体现在其资源开发的高效性上,追求高效化与循环化是绿色矿山的显著特征。科技创新为绿色矿山建设注入强大动力,促进矿山开采、加工、管理等环节向智能化、数字化转型。借助物联网、大数据、人工智能等前沿技术,构建矿山智能管控系统,实现对设备运行状态、能源消耗、生产流程的实时监测与精准调控,优化生产决策,提升资源配置效率,以科技创新赋能绿色矿山建设提质增效。

2)管理层面。绿色矿山建设强调规范化与精细化。矿山企业需建立健全涵盖环境管理、资源管理、安全生产管理、人力资源管理等在内的全方位制度体系,明确各部门、各岗位的职责权限,加强内部监督与考核,确保绿色矿山建设各项要求落地生根,实现矿山运营的有序高效。

3)社会责任层面。绿色矿山建设要积极融入当地社会发展,与周边居民构建和谐共生关系。及时公开矿山生产信息,回应群众关切问题,吸纳当地劳动力就业,参与社区公益事业建设;同时,注重员工职业健康与安全保障,加强安全培训与防护设施投入,营造良好的企业发展环境。

2 绿色矿山碳排放及减排措施

碳减排在绿色矿山建设中占据着重要地位,是实现绿色矿山可持续发展的核心任务之一。随着全球对气候变化问题关注度的不断提升,以及“双碳”目标的深入推进,绿色矿山建设中的碳减排已不仅仅是一

项环保要求,更是关乎矿山企业生存与发展、行业转型升级及生态环境保护的全局性战略举措。

2.1 碳排放现状与挑战

矿山碳排放源广泛分布于开采、选矿、运输、加工等各个环节,且由于工艺、设备、能源消耗类型的差异,呈现出不同的碳排放特征^[7]。深入剖析碳排放源的产生机制与影响因素,对精准制订碳减排策略具有关键意义。

1)开采环节的碳排放。开采环节作为矿山生产的起始阶段,其碳排放受多种因素影响。

(1)开采方式。地下开采面临复杂的地质条件,需要通风、供风、排水、供水、提升等辅助系统,能耗居高不下。深部矿体开采过程中,通风、排水和提升是主要能耗环节,相应产生大量碳排放。露天开采虽无需应对复杂地下环境,但大规模的穿孔、爆破、铲装、运输作业同样耗能巨大。

(2)采矿设备。老旧设备技术落后,能量转换效率低,与新型节能设备相比,在完成相同开采任务时,能耗有显著差距,导致碳排放大幅增加。例如:早期采用传统活塞式空压机,运行效率低,能源浪费严重,而新型螺杆式空压机通过优化结构与控制技术,节能效果显著,碳减排效果明显。

(3)采矿工艺。合理的开采顺序与矿块划分可减少不必要的矿石搬运与重复作业,降低能耗。相较于传统无序开采,采用分区开采、贫富兼采等工艺能有效提高资源回收率,减少废石排放,间接降低开采过程中的碳排放,实现资源开发与环境保护的良性互动。

2)选矿环节的碳排放。选矿环节涉及破碎、磨矿、浮选等多道工序,各工序能耗与碳排放密切相关。

(1)破碎工序。破碎作为选矿前端工序,需将大块矿石破碎至合适粒度,颚式破碎机、圆锥破碎机等设备运行中的电力消耗是主要碳排放源,且随着破碎比增大、处理量增加,能耗呈上升趋势。

(2)磨矿工序。磨矿工序能耗较高,通常占选矿总能耗的50%以上^[8],是选矿碳排放的关键环节。

(3)浮选工序。浮选是利用药剂与矿物表面特性差异实现分离,浮选药剂的添加、搅拌、充气等环节均消耗电能,部分药剂在生产、运输与使用过程中均产生碳排放。此外,尾矿若采用传统堆存方式处理,尾矿中的硫化物等在长期氧化过程中会缓慢释放温室气体,对周边环境造成潜在碳排放风险。

3)运输与加工环节的碳排放。矿产品从矿区到加工地及后续深加工过程中的运输与加工环节,碳排放不容忽视,而运输方式、距离及加工流程的差异显著影响碳排放水平。

(1)运输。公路运输灵活性强,但碳排放强度高。矿用卡车满载矿石行驶时,燃油消耗量大,尤其在山区道路等复杂路况下,频繁爬坡、刹车,油耗进一步增加,排放尾气含大量二氧化碳、氮氧化物等污染物。载质量50 t的矿用卡车,燃油消耗按5 L/km,年行驶10万 km计算,年碳排放可达数千吨。

(2)矿产品加工。矿石冶炼、提纯等深加工过程涉及高温熔炼等复杂工艺,能源消耗以煤炭、天然气等化石能源燃烧及电力消耗为主。加工工艺的先进性直接影响碳排放,先进的富氧熔炼技术、余热回收技术应用可显著提高能源利用效率,实现节能减排与经济效益提升双重目标。

2.2 现有碳减排措施成效与局限

近年来,为应对矿山碳排放问题,矿业领域积极采取多种碳减排措施,涵盖技术改进、管控系统优化及新能源应用等多个层面。这些措施在一定程度上推动了矿山碳减排进程,但同时也面临诸多技术瓶颈、成本压力及政策法规不完善等问题。

1)技术改进。在技术改进与应用方面,矿山企业通过引入先进的节能设备与工艺,取得了显著的碳减排成效。例如,在露天开采时,对采矿作业中的钻孔设备进行升级,采用新型液压凿岩钻机替代传统风动凿岩机。新型钻机凭借精准的控制系统与高效的能量转换机制,在保证钻孔质量的前提下,单位进尺能耗降低约30%,相应的燃油碳排放减少近30%。

地下开采矿山,充填采矿技术的广泛应用带来了多重减碳效益。通过利用尾砂、废石等矿山固体废弃物制备充填材料,回填采空区,有效控制了地压活动,降低了地表塌陷风险,减少了因地表修复与维护产生的碳排放。而且充填体对围岩的支撑作用能有效降低矿石贫化率,意味着在相同资源需求下,可减少矿石开采量,进而降低开采过程中的能耗与碳排放,实现资源开发与碳减排的良性互动。

然而,部分先进技术在推广初期面临适应性难题。例如:一些新型采矿设备对矿山地质条件要求苛刻,设备故障率上升,维修成本增加,导致企业应用积极性受挫。高端技术装备的研发与引进成本高昂,对于中小矿山企业而言,资金压力巨大,限制了技术的大规模普及,使得技术减排潜力难以充分释放。

2)管控系统优化。管控系统作为矿山碳减排的重要抓手,在实践中发挥了关键作用,同时也暴露出一些亟待解决的问题。能源管理体系建设方面,诸多矿山企业建立了涵盖能源计量、统计、分析与考核的全过程管控机制。通过安装智能电表、流量计等监测设备,精准掌握各生产环节的能源消耗数据,为制订针对性节能措施提供依据。清洁生产审核促使矿山

企业全面排查生产流程,识别高耗能、高排放环节,实施工艺优化与设备升级,从源头削减污染与碳排放。碳排放监测体系建设也在稳步推进,部分矿山企业依据国家相关标准,搭建了涵盖采矿、选矿、运输等环节的碳排放监测网络,实时监测并核算碳排放数据,为企业碳减排目标设定与跟踪评估提供有力支撑。

尽管如此,管控系统实施过程中仍存在短板。例如:部分企业能源管理与清洁生产审核工作流于形式,未能深入挖掘节能降碳潜力,制度执行不到位,缺乏有效的内部监督与激励机制,员工参与积极性不高;碳排放监测体系建设面临技术精度不足、数据可靠性待提高等问题。尤其是在复杂矿山环境下,准确监测与核算甲烷等特殊温室气体排放仍存在困难,影响了碳减排策略的精准制订与实施效果。

3) 新能源应用。新能源在矿山领域的应用为碳减排开辟了新路径,展现出广阔前景。太阳能应用方面,一些矿山利用矿区闲置土地建设光伏电站,为矿山生产及生活供电。风能利用方面,位于风力资源丰富地区的矿山,安装风力发电机,将风能转化为电能,降低了对电网供电的依赖,减少了发电环节碳排放。水能应用方面,部分依山傍水的矿山,通过建设小型水电站,利用水流落差发电。然而,新能源应用和技术、应用成本、政策扶持等方面面临着诸多挑战。

3 绿色矿山建设碳减排技术创新路径

3.1 高效采选技术与装备升级

高效采选技术与装备升级是实现绿色矿山碳减排的核心驱动力之一,为矿山生产注入了新活力与效能,涵盖智能采矿、无人开采、高效选矿等多个前沿领域。新技术、新装备的应用将推动传统生产模式的根本性变革,通过减少人工干预、优化工艺流程、提升设备能效等关键举措,显著降低能源消耗与碳排放,为绿色矿山建设提供了可复制的技术路线,且具有极高的推广应用价值与深远的发展意义^[9-12]。

1) 智能采矿与无人开采技术。智能采矿与无人开采技术作为矿山领域的革命性突破,正引领行业迈向全新发展阶段。以远程操控、自动化采矿设备为典型代表,其借助先进的传感器技术、高精度定位系统及稳定可靠的通信网络,实现了对采矿作业的精准控制,同时将人工干预降至最低限度。在地下开采场景中,远程操控的凿岩台车可依据预设程序,自动完成钻孔定位、钻进深度控制等复杂操作,操作人员在远离井下危险区域的控制中心,通过实时监控画面与手柄操作,便能精准指挥设备运行。相较于传统人工凿岩,不仅作业效率提升数倍,而且因减少了井下人员

作业时间,极大降低了通风、照明等辅助系统的能耗,相应的碳排放也会降低。

自动化采矿设备在露天矿山同样大放异彩。智能卡车调度系统与无人驾驶矿用卡车协同作业,通过实时采集车辆位置、载质量、路况等信息,利用智能算法优化运输路线,实现矿岩的高效运输。无人驾驶矿用卡车凭借其精准的自动驾驶能力,避免了传统驾驶中的急加速、急刹车等耗能行为,燃油消耗相较于传统驾驶显著降低,从而减少了运输环节的碳排放。同时,智能采矿系统还能根据矿石品位分布、地质构造变化等信息,动态优化开采顺序,避免无效开采与资源浪费,从源头上降低了开采能耗,为矿山碳减排提供了坚实支撑。

2) 高效选矿技术与装备创新。选矿环节作为矿山生产的关键工序,其技术与装备的创新对于碳减排意义重大。新型破碎机、磨矿机、浮选机等设备为提高选矿回收率、降低能耗注入了强大动力。

新型破碎机在破碎工艺上实现了重大革新,例如:高压辊磨机采用层压破碎原理,对矿石施加高压使其内部产生裂纹,相较于传统颚式破碎机、圆锥破碎机的单颗粒破碎方式,不仅破碎效率大幅提升,而且能够有效降低入磨粒度,减少后续磨矿工序的负荷。磨矿环节,节能型球磨机通过优化筒体结构、采用新型衬板材料及智能给料控制系统,显著提高了磨矿效率,单位处理量电耗降低20%以上^[13]。同时,新型磨矿介质的研发应用,如高铬合金球、磁性衬板等,在保证磨矿效果的前提下,延长了介质使用寿命,减少了介质更换频次,降低了因介质制造、运输带来的碳排放。

浮选机领域,新型充气式浮选机通过改进气泡发生器与搅拌装置,浮选回收率显著提高。同时,优化的浮选槽结构减少了矿浆短路现象,降低了浮选药剂消耗,减少了药剂生产、使用过程中的碳排放。此外,智能浮选控制系统的应用,可根据矿石性质实时调整浮选工艺参数,确保浮选过程始终处于最佳状态,进一步提高了资源利用效率,降低了能耗与碳排放,助力绿色矿山建设稳步前行。

3.2 加大新能源综合利用

新能源在矿山的综合利用也是绿色矿山建设实现碳减排的关键路径之一,对于推动矿山行业可持续发展具有深远意义。随着全球对清洁能源需求的日益增长及环保要求的不断提高,太阳能、风能、地热能、生物质能等新能源凭借其清洁、可再生的特性,逐渐在矿山领域崭露头角,为解决矿山传统能源消耗带来的碳排放问题提供了创新解决方案。这些新能源

在矿山的应用场景涵盖采矿、选矿、运输、生活等各个环节,且不同新能源各具优势与适配条件,需结合矿山实际情况进行合理选择与优化配置。同时,配套储能技术的发展也为新能源在矿山的稳定供应提供了有力保障,进一步拓展了新能源的应用潜力。

1) 地热能与生物质能的开发。地热能与生物质能作为具有独特优势的新能源,在矿山领域亦展现出巨大的开发潜力,为矿山能源转型与碳减排开辟了新方向。对于地热资源丰富地区的矿山,尤其是北方冬季供暖需求较大的矿区,开发地热能用于供暖具有显著的节能与环保效益。生物质能应用潜力同样不容小觑。在一些林业废弃物或农产品加工废弃物丰富的矿区周边,可充分利用生物质能将矿山废弃物转化为能源,实现资源的循环利用与碳减排双赢。

2) 新能源储能技术的配套应用。随着新能源发电在矿山的广泛应用,新能源储能技术作为保障新能源在矿山稳定供应、优化能源结构的关键环节,其重要性愈发凸显。储能电池技术是当前应用最为广泛的储能方式之一。在配备太阳能或风能发电系统的矿山,锂离子电池储能系统常被用于存储多余电能,平抑发电功率波动,确保电力稳定供应,同时降低因停电导致的生产中断与设备损坏风险,节省生产成本。抽水蓄能技术作为一种大规模储能手段,在具备合适地形条件的矿山具有广阔应用前景。对于一些地形高差较大、水资源相对丰富的矿区,建设抽水蓄能电站可实现电能的高效存储与灵活调度。在用电高峰时放水发电,补充矿山电力需求,有效调节了矿山用电峰谷差,提高了新能源电力在矿山能源结构中的占比,进一步增强了矿山能源供应的稳定性与抗风险能力,为矿山大规模应用新能源奠定了坚实基础,助力绿色矿山建设迈向更高水平。

3.3 负碳技术探索应用

负碳,作为实现碳中和的未来解药,是一种具有革命性和高效能的碳治理方式,近年来备受关注。所谓负碳,就是把大气中超标的二氧化碳移除并进行稳定储存,甚至进行功能性转化的技术^[14-16]。绿色矿山建设过程中,负碳技术目前主要有2个方向:

一是对矿山生态环境进行保护和修复,实现基于生态系统的光合作用,将空气中的二氧化碳转化为自然碳汇。对因采矿活动而被破坏的土地,通过平整、覆土等工程措施,恢复其用于农业、林业、畜牧业等。针对矿山开采导致的土壤污染和退化问题,采用物理、化学和生物等方法进行土壤改良,如添加土壤改良剂、种植绿肥植物等,提高土壤肥力和保水能力,促进植被生长,更好吸收空气中的二氧化碳进行光合作用,并将其固定在植物和土壤中。主要针对闭库的尾矿库、堆积的矸石山、闭坑的露天采坑、塌陷坑的治理

修复。

二是碳捕集、利用与封存(CCUS)技术。CCUS技术作为应对气候变化、实现碳减排的前沿性战略举措,在绿色矿山建设领域具有显著的应用价值。该技术通过创新性地捕集矿山开采、加工等环节产生的二氧化碳,并对其进行资源化利用或安全封存,打破了传统碳排放的单向模式,开启了碳循环利用的新篇章^[17-18]。CCUS技术在绿色矿山建设中的发展聚焦于以下几点:高效低成本捕集技术研发,针对矿山高浓度CO₂排放源(如通风瓦斯、煅烧尾气等),开发新型吸附剂和吸收液系统,提升捕集效率,降低能耗;矿化固碳技术创新,重点突破矸石矿化充填技术,实现采空区充填与CO₂封存协同;地质封存潜力评估,系统研究废弃矿洞封存CO₂的可行性,建立封存容量评估方法与安全监测体系;资源化利用路径拓展,开发CO₂驱油驱气、制备化工原料等高效利用技术,提升经济效益。CCUS技术通过“捕集—利用—封存”的闭环模式,将成为矿山深度脱碳的关键支撑。

3.4 “精准矿业”技术探索

通过应用地理信息系统、三维激光扫描技术、无人机遥感、地质三维建模等现代化技术手段,实现对矿山资源的精准评估和高效开发,避免资源浪费。通过矿山井下通风自动化控制与监测、安全与环境自动化监测、井下人员定位系统、开采自动化、提升运输自动化、井下排水自动化、选矿自动化技术的广泛应用,有效减少人为因素产生的能耗与排放,促进清洁能源的应用,提高能源利用效率。通过动态监控生态环境变化及其对碳排放的二次影响,实现生态修复与矿山绿色开发的深度融合^[19-20]。

3.5 循环经济发展模式与碳管理体系建设

矿山循环经济发展模式亮点突出,通过构建“资源—产品—废弃物—再生资源”闭环产业链,实现利用循环化、增长合理化、污染最小化的和谐发展模式^[21]。例如:尾矿资源综合利用,研发尾矿砂制砖、尾矿微粉制备高性能混凝土等技术;矸石用于矿井采空区的回填和复垦采矿塌陷区,也可作为建材制品的原料;瓦斯用于发电;矿井水用于井下生产、选矿,净化处理后作为矿区生活用水或农业灌溉水;对选矿、冶炼等环节产生的余热进行集中收集,用于矿区供暖、洗浴及周边居民供热,替代传统燃煤锅炉,实现能源梯级利用与节能减排协同发展。

碳管理体系建设成效显著,企业建立涵盖碳排放核算、监测、目标设定与考核的全流程管理机制^[22]。依据国家标准,结合矿山生产实际,精准核算各环节碳排放,搭建实时监测网络,利用大数据分析挖掘节能降碳潜力。制订阶段性碳减排目标,并纳入绩效考核,激励员工积极参与碳减排行动,确保企业碳减排

工作有序推进。

4 结论与展望

绿色矿山建设的核心目标之一是实现碳减排,其内涵与标准已逐步明确,并与资源高效利用、生态保护等任务协同推进。通过政策引导与技术革新,碳减排指标已细化至矿山采矿、选矿、运输等关键环节,为矿山低碳转型提供了可量化依据。未来绿色矿山碳减排重点从以下方向推进:

1)深化技术创新与应用,加快智能矿山、无人化装备的规模化应用,推动5G、AI技术与矿山开发深度融合,推广新能源(如光伏、氢能)与储能技术,提升能源利用效率;加快推进CCUS技术在矿山的示范项目,突破成本与封存瓶颈,探索矿区碳汇潜力。

2)构建全生命周期碳管理体系,实施碳足迹核算与动态监测,推广“零废弃矿山”模式,强化尾矿、废石、矿井水等资源的循环利用,推动数字化能源管理,促进清洁生产与循环经济模式落地。

3)加强政策与市场协同,完善“双碳”政策与地方细则衔接,优化绿色金融工具,降低企业减排成本;加强国际合作,借鉴国际先进矿山减排经验,参与全球矿业低碳标准制定,共享技术与经验。

绿色矿山建设碳减排是一项长期系统性工程,既是挑战,更是行业转型机遇。未来应以技术创新为核心,政策激励为保障,市场机制为驱动,推动矿业向低碳化、智能化、循环化转型,与生态环境协调发展,为全球“双碳”目标实现贡献行业力量。

【参考文献】

- [1] 徐晋涛.中国绿色低碳转型的几个关键问题[J].新金融,2024(12):22-27.
- [2] 夏源,涂光远,廖骥,等.黄金矿山生态修复:现状、挑战与展望[J].黄金,2024,45(12):1-7.
- [3] 刘招平,郭云清,蒋颖,等.“双碳”战略目标下矿山企业减排增汇路径分析[J].中国矿业,2024,33(增刊2):6-9.
- [4] 孟宪伟,葛仲义,范茹红,等.标准化助力黄金行业绿色低碳发展[J].黄金,2023,44(9):1-4.
- [5] 张丽颖,赵爽.基于层次分析法的黄金行业绿色矿山评价体系研究[J].黄金,2024,45(9):96-100.
- [6] 周文略,湛景震,范才兵,等.科技创新赋能绿色矿山建设研究与实践[J/OL].金属矿山,1-11[2025-01-12].<https://kns-cnki-net.webvpn.hueb.edu.cn/kcms/detail/34.1055.TD.20241231.0930.002.html>.
- [7] 邓惠中,陈铁军,万军营,等.典型铁矿山全工序碳排放核算研究[J].烧结球团,2024,49(6):120-128,154.
- [8] 甘德清,高峰,陈超.我国铁矿山采选工序节能降耗潜力与现状分析[J].矿业研究与开发,2017,37(5):112-118.
- [9] 李高峰.绿色采矿理念在矿产资源开发中的实践与探索[J].能源与节能,2024(11):67-69.
- [10] 李建华,孙立民.新时代下可持续发展的绿色矿山开采技术分析[J].世界有色金属,2024(21):124-126.
- [11] 鲁伟.采矿工程中的智能化技术应用与发展趋势研究[J].中国矿业,2024,33(增刊1):199-202.
- [12] 沈政昌,李仕亮,史帅星,等.低碳选矿技术发展现状及发展策略研究[J].绿色矿山,2023,1(1):48-55.
- [13] 吴照银,唐新民.节能型球磨机节能的探讨[J].矿山机械,2006(4):54-56.
- [14] 吴奎斌,吴昊,李瑞华.“双碳”战略下煤矿减碳实施路径研究[J].中国煤炭,2024,50(5):13-17.
- [15] 余旭辉,李振江,周福钱,等.碳中和目标下四川梭罗沟金矿铁镁质尾矿固碳潜力评估[J].黄金,2023,44(6):90-93.
- [16] 田野,万翔,高婕妤,等.负碳技术中地质碳汇的贡献及湖北工作路径建议[J].资源环境与工程,2022,36(6):766-772.
- [17] 向国育,申长俊,陆诗建,等.二氧化碳捕集、利用与封存示范工程进展[J].低碳化学与化工,2025,50(3):113-122.
- [18] 陈曦,黄新,郭本帅,等.碳捕获、利用与封存未来发展趋势与挑战[J].中国投资(中英文),2023(27):85-86.
- [19] 崔文瑞,郑海平,赵小五,等.中国绿色矿山建设进展研究及思考[J].能源与节能,2024(5):57-60.
- [20] 王月.数字矿山和矿山信息化建设的现状与发展策略[J].当代化工研究,2023(13):185-187.
- [21] 李晋云.我国矿区循环经济技术发展研究[J].山西煤炭,2015,35(3):89-92.
- [22] 李登凤.煤炭企业发展循环经济应对行业困局的路径探究[J].新余学院学报,2016,21(3):28-30.

Current status and innovative pathways of carbon emission reduction in green mine development

Gao Yang

(School of Management Science and Information Engineering, Hebei University of Economics and Business)

Abstract: Against the backdrop of global efforts to combat climate change and promote carbon emission reduction, carbon emission reduction in the construction of green mines has become a key pathway toward sustainable development in the mining sector. This paper summarizes and analyzes the current status of carbon emissions in green mine development, along with reduction measures and their effectiveness. It highlights innovative approaches to carbon emission reduction, including the upgrading of high-efficiency mining and processing technologies and equipment, integrated utilization of new energy sources, application of negative-carbon technologies, exploration of "precision mining" technologies, development of circular economy models, and establishment of carbon management systems. Carbon emission reduction in green mine development requires a multi-path synergistic approach, in which technological innovation and system optimization play a central role. In the future, greater policy support and technological R&D are needed to advance the mining industry toward low-carbon, intelligent, and circular development. This study provides a reference for carbon reduction in green mine construction and supports the high-quality development of the mining sector.

Keywords: green mine; carbon emission reduction; sustainable development; technological innovation; equipment upgrading; new energy utilization