

殷利华, 赵程亚菲, 彭楚月, 等. 基于三生功能融合的露天生产矿山生态修复景观模式研究: 以黄石铜山口矿山为例[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(6): 182-190. DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.06.017

基于三生功能融合的露天生产矿山生态修复景观模式研究: 以黄石铜山口矿山为例

殷利华^{1,2}, 赵程亚菲¹, 彭楚月¹, 姚忠勇³, 任少波⁴, 夏鹏⁵

1. 华中科技大学建筑与城市规划学院, 武汉 430074; 2. 湖北省城镇化工程技术研究中心, 武汉 430074;
3. 武汉林业集团, 武汉 430056; 4. 黄石市应急管理局, 黄石 435004; 5. 黄石市文物保护中心, 黄石 435002

摘要 国土空间治理与绿色发展的宏观背景下, 针对露天生产矿山的生态修复工作虽已广泛开展, 但探索多途径利用方式与构建可持续景观模式的综合研究仍显不足。为探索露天生产矿山绿色发展目标下所适配的典型生态修复景观构建模式, 通过系统梳理露天矿山生态修复领域的研究进展, 结合文本分析、实地田野调研以及归纳演绎等研究方法, 从生产、生活、生态三大功能深度融合的角度出发, 提出露天生产矿山的生态修复与可持续利用相结合的3种代表性新景观模式: 文化休闲型利用模式、商旅产业型利用模式以及农林生产型利用模式, 并详细阐述了每种模式核心理念、独特点以及国内外相关的成功案例。同时, 以黄石市铜山口矿山为例, 提出针对该矿山绿色发展与转型利用的策略建议: 生态修复过程有效融入地方特色, 促进经济多元化发展和可持续利用景观结合。

关键词 露天矿山; 生态修复; 可持续发展; 景观提升; 全生命周期管理

中图分类号 X171.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)06-0182-09

2023年12月,《中共中央国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》中明确提出“全面推进绿色矿山建设”, 表明国家对矿山生态修复高度关注, 并提出了全新要求。矿山根据开采时序可分为废弃矿山、生产矿山与拟建矿山^[1]。根据开采方式可分为露天矿山和地下矿山两类, 其中露天生产矿山带来的地表破坏、水土流失、水土污染、扬尘、噪声等生态环境破坏尤为突出, 也是国内外矿山治理的重点对象。已废弃的露天矿山大多通过综合运用土壤改良^[2-3]、边坡稳固^[4]、工程绿化^[5-6]、植物优化^[7]等一系列技术手段开展生态修复并取得相关成果^[8]。露天生产矿山积极响应“边采边复”的新绿色矿山建设管理要求^[9], 逐渐形成多层次的标准规范体系, 但多数聚焦于生产开采、修复、监测等环节, 缺乏系统管理和高质量发展目标定位与规划。2024年5月, 自然资源部发布4项矿山生态修复国家标准, 对生产矿山“边开采、边修复”提出了具体要求, 通过减缓保护、预防控制与复垦修复等多种措施, 推动矿山生态修复与矿

产资源开采统一规划、统筹实施。多名学者从不同视角探讨自然、人工、混合修复模式, 或从未来利用方式不同提出生态工程、土地整治等模式, 或从矿山生态功能不同提出环境封存型、自然恢复型等模式。在此背景下, 探讨露天生产矿山生态修复兼顾社会、经济、生态的可持续利用景观模式具有新的时代意义和迫切需求。

20世纪80年代末到90年代是国外露天矿山生态修复理论研究、工程技术实践以及法规管理的高峰期^[10-11]。理论方面, 露天生产矿山修复早期属于“末端治理”, 环境破坏严重, 后期治理难度高。“采矿-复垦一体化技术”^[12-13]证明了露天矿山在生产同时进行复垦能够有效扼制污染进一步扩散, 并缩短矿山复垦周期。边采边复修复方式有其必要性和可行性并得到推广^[14]。风景园林理论方法^[15], 基于自然的解决方案理念与方法融入矿山废弃地的重建与景观化营造中, 以期提升矿山生态系统的服务功能, 实现生态可持续发展^[16]。澳大利亚学者将恢复生态

收稿日期: 2024-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(52278064); 湖北省自然科学基金创新发展联合基金项目(2023AFD005)

殷利华, E-mail: 370621325@qq.com

通信作者: 夏鹏, E-mail: 22829236@qq.com

学运用到矿山废弃地修复中^[17],并同步采用先进仪器设备对实施效果进行长期监测^[18],为露天矿山生态修复提供新思路。技术与实践方面,发达国家采用多元且精细化的治理策略,实现了开采后矿区的综合整治与高效转型利用。墨西哥在露天矿山修复同时开发了乡村旅游、有机农业等矿区生态产业^[19]。法国通过覆土、移植草本植物,使其逐渐恢复达到农用地标准,形成农田或景区^[20]。法国Biville采石场,巧妙保留工业遗迹,并将其转化为特色鲜明的新景观结构,彰显对历史文脉的尊重;日本国营明石海峡公园以恢复自然状态、打造宜人游憩空间为目标,建设面向未来的休闲场所,展现出对未来生态的深刻洞见(https://www.sohu.com/a/472555731_121124646,2021-06-17)。我国通过分阶段实施植物修复技术实现了矿区生态重塑与景观再生^[21-22],基于3S技术进行矿山生态敏感度分析和持续监测规划,保证修复后的生态系统及景观的稳定性。管理方面,1950年德国颁布了第一部土地复垦法规,对土地复垦的程序、内容、操作步骤都做了详尽的规定^[23]。1977年美国颁布了《露天采矿管理与复垦法》,使露天采矿管理和土地复垦步入法制化轨道^[24]。20世纪中后期英国陆续出台一系列矿业法规^[25-26],也取得了显著的成效。1989年我国国务院颁布《土地复垦规定》《中华人民共和国环境保护法》,将露天矿山生态修复工作纳入法制范畴,各省市也相继出台政策要求边开采边治理。在《关于加快建设绿色矿山的实施意见》印发后,我国露天生产矿山生态修复研究与实践整体呈现多元化和可持续发展状态^[27-28]。

目前,国内矿山生态修复模式的研究多从自然与人工在生态修复过程中做功占比^[29-30]的修复途径和矿山用地的未来利用模式的预期功能2个角度出发,提出如生态工程、景观再造等修复途径模式^[31],以及环境封存、自然恢复、地质安全保障、生态复绿、林草利用型等利用类型^[32]。王志芳等^[33]将国土空间生态保护修复范式划分为6大类,对露天生产矿山生态修复模式也具有参考价值。

尽管目前有关露天矿山生态修复模式的探讨具有一定的理论基础,我国修复现状仍以处理废弃矿山的生态“旧账”问题为主^[34]。生产矿山应制定全生命周期的安全开采、生态修复、规划建设方案,形成协调生产、生活、生态的可持续利用及景观模式,这更是现阶段经济高质量发展背景下,绿色矿山可持

续景观亟待解决的问题。本研究从景观视角,参考三生空间的内核与联系,探讨露天生产矿山生态修复、发展、管理的绿色新模式,为露天生产矿山全生命周期管理及高质量发展利用提供景观模式参考。

1 露天生产矿山生态修复绿色发展利用的三生功能型景观模式

露天生产矿山兼具生产功能和修复需求的同时,兼顾高质量发展面临更多挑战。为积极响应国家对绿色矿山新的建设目标要求,生产矿山应与全生命周期管理相契合,根据当地的社会、经济、文化、场地条件、国土规划要求,依据露天矿山的特性进行“采”“复”有机统筹,实现经济发展与资源环境相协调,经济效益与社会效益相统一。

随着矿产资源的枯竭和环境保护要求的提高,矿区产业转型成为必然趋势。从风景园林专业角度探析,实现这一转型的有效途径之一即以“绿水青山就是金山银山”为目标,通过科学规划、精细管理与技术创新,实现生态环境的有效修复与保护,融合观赏、游憩、商旅及现代农业等多重功能^[35],促进经济社会与生态环境的和谐共生。

以系统思维的角度对矿山未来发展方向进行规划布局,建立完善的生态修复及可持续利用的景观体系,有利于促进生产矿山的全生命周期管理。基于此,本文综合已有的矿山生态修复目标范式与利用模式,响应我国社会、人文、旅游、土地开发建设等新要求,参考国土空间中具有典型的生产、生活、生态3种利用功能(本文简称“三生功能”)的空间,尝试探讨该3项功能两两组合下,露天生产矿山生态修复绿色发展利用对应的3种代表景观模式,即融合生活、生态功能的文化休闲利用景观模式、生态与生产功能结合的农林安全生产利用景观模式、生产与生活功能结合的商旅产业开发利用景观模式(图1),并探讨这3种景观模式的实现建议。

1.1 兼顾生活与生态:文化休闲利用景观模式

文化休闲利用景观模式(以下简称“休闲模式”),突出露天生产矿山修复+“文化休闲”,兼顾生活与生态的人地关系特点,将已完成开采的空间优化提升,注重打造具有地方特色的文化景观和休闲设施,满足人们对绿色矿山建设独特的文化体验需求,彰显修复后国土空间的“文化服务”功能。该利用模式强调人和自然互动与可持续景观利用和发展。常见方式主要有矿山公园、风景名胜区、运动拓

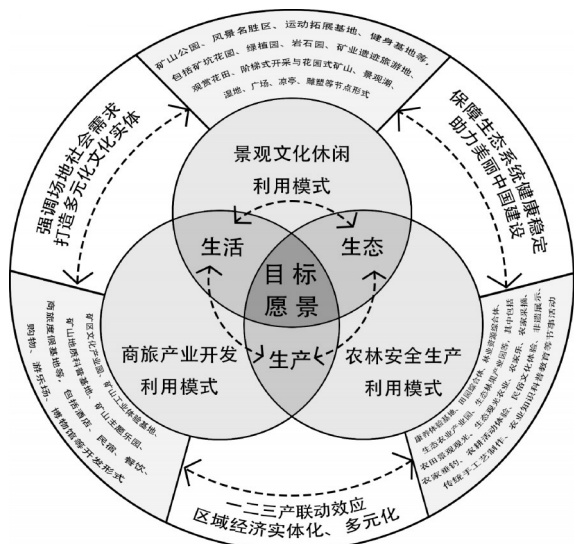


图1 露天生产矿山生态修复绿色发展模式示意图

Fig.1 Schematic diagram of the green development model for ecological restoration of open-pit mines

展基地、健身基地等,具体可包括矿坑花园、绿植园、岩石园、矿业遗迹旅游地、观赏花田、阶梯式开采与花园式矿山、景观湖、湿地、广场、凉亭、雕塑等文化休闲利用的场地和景观节点形式。

典型代表案例有湖北黄石国家矿山公园、南宁园博园、上海辰山植物园矿坑花园等(<https://mp.weixin.qq.com/s/krgD30hF9tvqS9Be-W3y5w>, 2023-11-15),其中,仍具有生产功能的湖北黄石国家矿山公园中,被誉为亚洲最大硬岩绿化复垦的生态刺槐林与矿业博览园,充分展示了矿业文化与复垦历史,为游客创造了独特的休闲观光体验,对推动我国露天生产矿山的景观文化休闲利用提供了示范性意义。

1.2 融合生活与生产:商旅产业开发利用景观模式

商旅产业开发利用景观模式(以下简称“商旅模式”),突出露天生产矿山修复+“商业经济”,融合生活与生产的人地关系。本模式强调露天生产矿山生态修复中纳入高附加经济收益的“产业/商业”利用与转化,强调提供吃、住、行、游、购、娱类的商业建筑和服务设施,满足游客的特色体验,提高游客的满意度和体验质量,具有明显经济目标与社会效益。要求开发建设单位深入剖析矿区周边发展优势与挑战,有机融合生态修复与多元产业发展,实现联动矿山修复后的周边经济全面复兴。该利用模式的生态修复途径需要大量人工干预,期望实现场地的可持续发展。具体形式主要包括矿区文化产业园、矿山

工业体验基地、矿山地质科普基地、矿山主题乐园、商旅度假基地等,包括酒店、民宿、餐饮、购物、游乐场、博物馆等开发形式。

商旅模式下的典型代表有北京市房山区百瑞谷景区、上海佘山世茂深坑洲际酒店。深坑洲际酒店原为废弃采石场,经生态修复与改造,成为世界海拔最低的五星级酒店,并进一步完善周边商业配套设施,形成集休闲、娱乐、购物于一体的商业区,为区域经济发展注入新活力。以上废弃矿山的商业利用案例,对生产矿山中已停止生产部分的开发利用,在满足评估条件后同样具有参考价值。

1.3 彰显生产与生态:农林安全生产利用景观模式

农林安全生产利用景观模式(以下简称“农林模式”),突出优化利用修复后的露天矿山土地资源,实现安全、高效、可持续的农林生产活动,并致力于生态环境的持续改善与保护。从三生空间的角度出发,农林模式致力于优化生产空间的布局和管理,保护生态空间的稳定与平衡。作为一种融合生态修复与农业生产、林业经营的土地利用策略,强调自然做功,对露天生产矿山的生态修复提出更为严苛的要求,除了恢复基本的生态功能,还需重构矿山原有的土壤结构,并提升土壤肥力以满足农业生产需求,若涉及水产养殖等产业规划,则必须对相应区域进行严格的污染防治,避免重金属等污染富集现象。典型的利用途径有渔、牧、林、耕等生产型农业利用,常见的载体形式主要有康养体验基地、田园综合体、林业资源综合体、生态农业产业园、生态林果产业园等,包括农田景观观光、生态观光农业、农家乐、农家采摘、农家垂钓、农耕活动体验、非遗展示、传统手工艺制作、农业知识科普教育等节点或节事活动。

农林模式下的典型代表有内蒙古自治区鄂尔多斯市的生态农业示范基地、万亩沙棘千亩枣园示范区、西山区的团结鑫苹果庄园、金山店镇车桥村金桥生态园、榆林市白舍牛滩村田园综合体等。白舍牛滩村成功构建了一个将现代农业、休闲旅游和田园社区融合于一体的综合性田园项目,推动了矿区土地、生态环境与资源的高效利用和循环发展,树立了一个生态繁荣、资源互惠、村民共荣的全新典范。

1.4 露天矿山绿色景观模式实现建议

生态修复干预程度和呈现的结果形式各具特

色,上述3种模式相互呼应,均以实现矿山绿色高质量利用和发展为终极目标愿景:商旅模式中,人工构筑占比最大,农林模式则表现为自然做功占比更大。具体模式的利用宜结合场地条件、社会、经济、文化特征灵活应用。

基于“生产”功能,商旅模式和农林模式在核心理念上具有共通性,均致力于产业的联动、协同效应,推动区域露天矿山修复后朝经济实体化、多元化发展利用。商旅模式强化服务业的支撑作用,提升当地旅游吸引力;农林模式则侧重于通过科技创新、生态保护等手段,提高农业、林业等第一产业的生产效率与产品质量,推动当地加工制造业的发展。

基于“生态”服务,景观模式和农林模式均期望在保障生态系统健康稳定的基础上,寻求合理且可持续的发展路径,助力美丽中国建设。休闲模式注重将自然景观与文化元素相结合,打造独具特色的文化休闲空间,提供矿山修复后的休闲娱乐场所,提升公众对生态保护的认知与重视,促进生态文明理念的普及与实践。农林模式则侧重于通过先进的农业生产技术和林业管理方法,实现矿山修复后农业与林业的可持续发展,维护生态平衡、保护生物多样性。

基于“生活”空间,休闲模式和商旅模式均以高品质生活为需求载体,强调矿山修复利用的社会需求。休闲模式注重场所的公共性与开放性,鼓励人与自然和谐共生,提升地域文化软实力。商旅模式则侧重于提供丰富多样的旅游体验,满足游客旅行中各种需求,提供全方位、高品质的服务,推动矿山修复后新旅游业的发展,带动相关产业的繁荣,促进地区经济的增长与转型升级。

2 黄石铜山口矿区生态修复高质量利用景观思考

2.1 矿山概况

黄石铜山口矿区是有色金属矿铜矿的露天生产矿山,地处东经 $114^{\circ}49'25''$ 至 $114^{\circ}50'33''$,北纬 $29^{\circ}59'34''$ 至 $30^{\circ}00'27''$,属亚热带大陆性季风气候,位于湖北省黄石市大冶市西南18 km处陈贵镇,总面积 2.88 km^2 。该镇年降雨量 $1\,382.6\text{ mm}$,地貌特征为低山丘陵,地势东南高、西北低。周边旅游资源丰富,包括黄石园博园、雷山风景区等,特产有金柯辣椒、保安狗血桃等,民俗文化独具特色,如大冶布烙

画、阳新采茶戏等。矿区有公路与大冶市城区、蕲嘉高速出入口相连,交通便利(图2)。

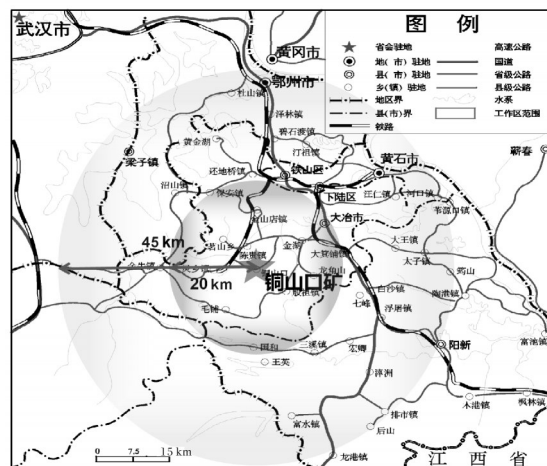


图2 铜山口矿区交通区位图

Fig.2 Traffic location map of Tongshankou Mining area

该矿1985年开始露天开采,现存表内资源储量160万t,露采坑边坡呈南高北低的台阶状,台阶高度12 m,总坡高50~154.63 m,占地面积约 49.57 hm^2 。目前矿区面临的主要地质环境问题包括露采坑边坡地质灾害风险、土地植被破坏以及含水层受损。2019年11月起,铜山口矿启动边产边复工作。矿山南保留为生产开采区,北部治理区域被划分为Ⅰ区、Ⅱ区、Ⅲ区、Ⅳ区(图3)。

目前,铜山口矿生态修复措施主要为:坡面削清方、排水沟工程、马道封边墙绿化工程、坡面爬藤绿化、高次团粒喷播、植树绿化、后期监测。主要对Ⅰ至Ⅳ区进行边邦危岩清除,其中Ⅰ-6区自2022年开始修复,近乎垂直的岩质边坡难覆土、水流失严重,植物生存难度大,修复成本高。坡面悬挂爬藤网栽植攀缘植物绿化坡面,Ⅲ区进行植生孔绿化、Ⅱ区和Ⅳ区清方坡面进行高次团粒喷播绿化,马道采用封边墙覆土绿化,修复治理现状不佳(图4)。

2.2 铜山口矿山生态修复绿色发展模式思考

由于铜山口矿山边坡类型属于高陡岩质边坡,坡面高差近100 m,难适应商旅模式的建筑建设需求;同时边坡土壤基础条件薄弱,采前忽略地表土壤保留,难有效满足农林模式的种植要求。结合当地文化资源,休闲模式存在更多可能。

1)主题定位。黄石市矿产丰富,多数矿坑复绿或建设矿山公园,如黄石国家矿山公园。为避免同质化,结合黄石铜山口矿山的交通区位和未来发展定位,可考虑“运动攀岩”为主的体验式矿山公园,与

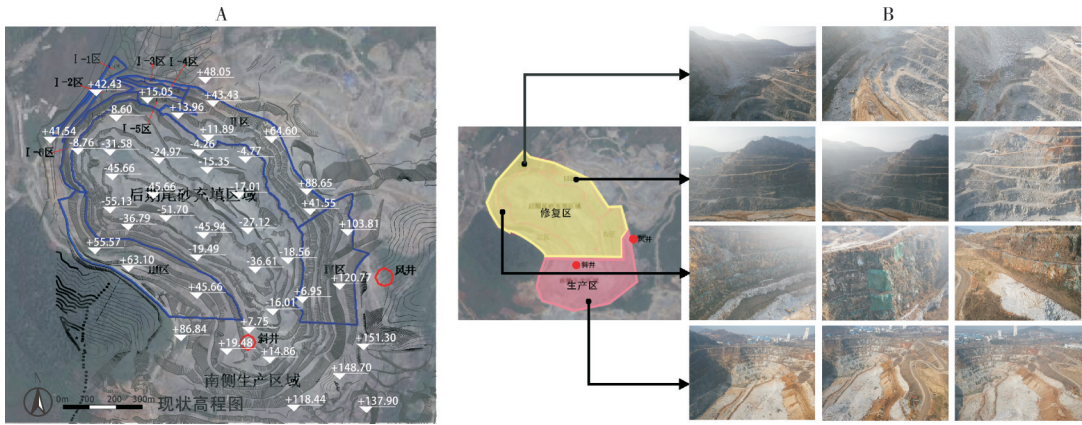


图3 治理范围分区图
Fig.3 Zoning map of the treatment area

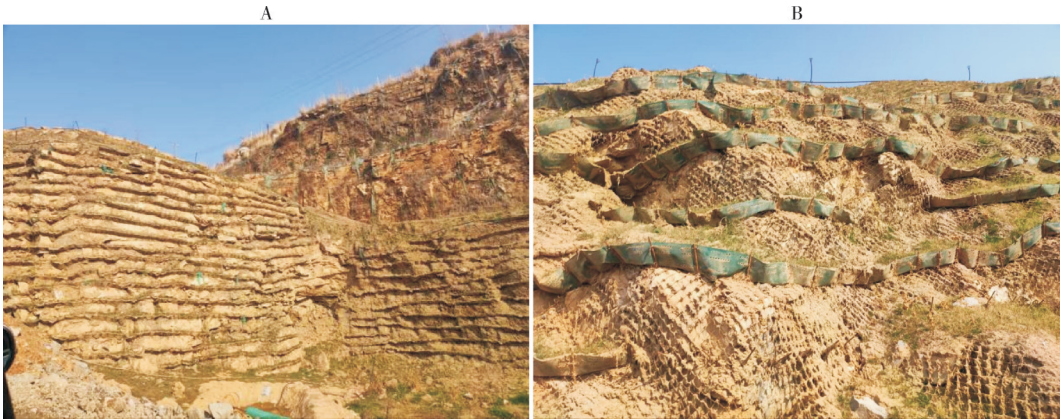


图4 修复 I 区治理现状
Fig.4 Current status of treatment in restoration area I

陈贵镇周边旅游资源互补,形成运动休闲结合旅游观光的周末短途休闲度假利用模式(图5)。

2)景观分区与技术。将北侧修复区分为飞拉达攀岩修复区、露营休闲修复区、基础修复区和坑底回

填区4部分,南侧生产区依旧继续进行开采作业,待完成矿山开采工作后再着手进行修复。攀岩区需边坡放缓和工程支档,削坡清除不稳定的危岩体,减小岩体边坡坡度,增强边坡稳定性。必须配备完善的

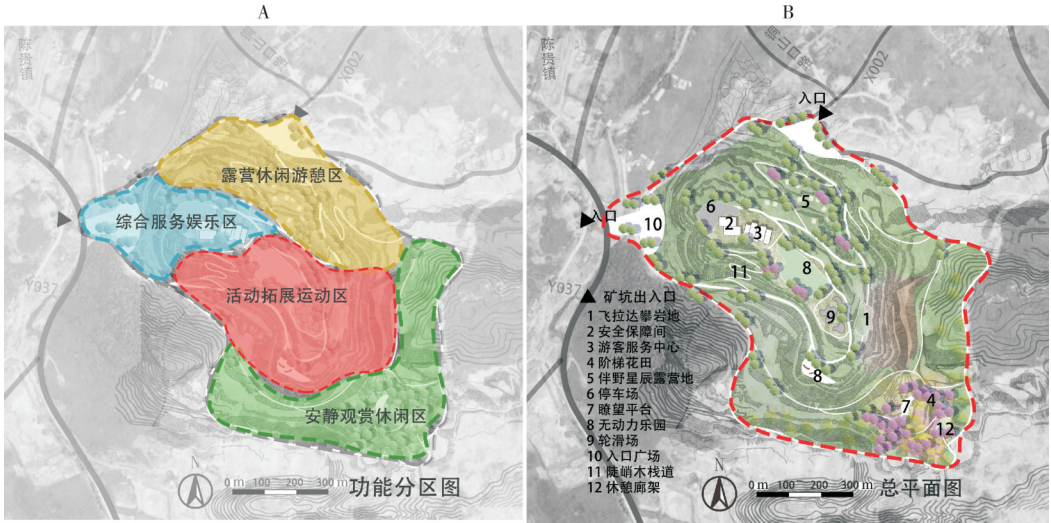


图5 铜山口矿山休闲利用规划总平面图
Fig.5 Overall plan and thoughts on leisure utilization planning for Tongshankou Mining area

安全措施和设施,包括安全绳索、防护网、救援设备等以应对可能的突发情况。构造攀岩路径施工时需注意岩石表面的技术处理,调整其表面的粗糙度和平滑度,清除表面松散物质,确保体验者的安全。植被选择以简单粗犷的植物景观为主,突出岩壁的险峻与荒芜(图6)。攀岩区在保证安全的前提下,彰显

攀岩者的挑战精神和克服困难的勇气。露营地以恢复自然环境、营造景观效果为主,进行高陡岩石边坡植生环境构建。一方面通过生态基材营造植物根系可良好生存的立地环境;另一方面通过抗冲刷措施,最大程度保护基材不被破坏,长期满足植物生长所需水分和养分(图7)。

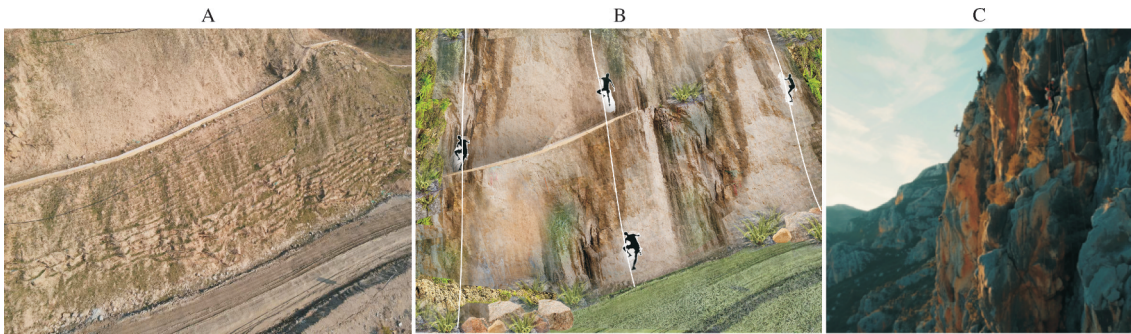


图6 攀岩区修复前(A)和修复后(B)对比及景观AIGC效果示意(C)



图7 露营区修复前(A)和修复后(B)对比
Fig.7 Comparison of the camping area before(A) and after(B) restoration

坑底回填区需提前铺设防渗层、开挖排水沟,并均匀回填压实、整平坑底。在全部场地开采完成后进行回填防渗,地势较为平坦,适宜在此建造安全设

施屋及游客服务中心等服务保障点。在基础修复区,当生产区的矿山开采工作完成后,修复区的修复工作已进入尾声,为尽快达到一体化目标,生产区结合地形特点设计高陡绿墙式景观花台。筛选适宜的爬藤植物与花卉,如狗牙根、黑麦草、紫花苜蓿、非洲菊、波斯菊等草本;以及黄花槐、多花木兰、红叶石楠、红果冬青、小叶女贞、夹竹桃等兼具观赏价值与生态效益的乔灌木植物作为基础修复区。阶梯花田采用“块状种植”和“带状种植”相结合的方式,形成优美的图案或花带。岩石观景平台选择在矿山边坡的重要位置,让游客能够俯瞰整个花境休闲景观(图8)。

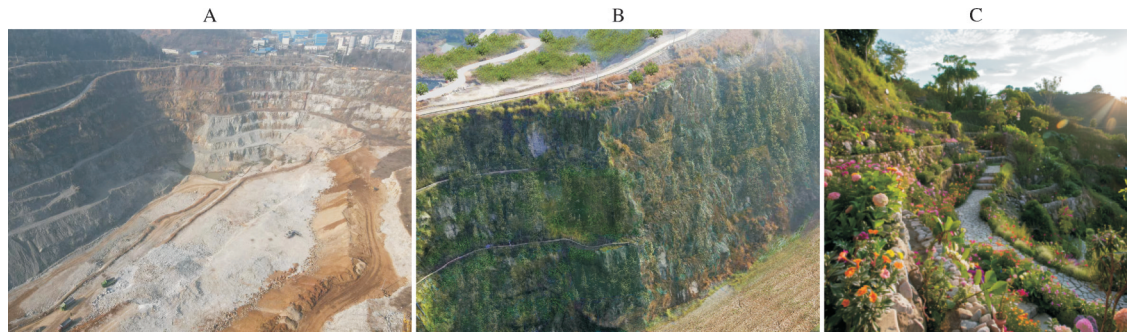


图8 基础修复区修复前(A)和修复后(B)对比及景观AIGC效果示意(C)

Fig.8 Comparison of the basic restoration area before(A) and after(B) restoration and AIGC landscape rendering (C)

3 结 语

绿色发展理念是我国五大发展理念的核心之一,露天生产矿山生态修复的有效推进不仅是保障矿区绿色发展的重要基石,也是构建绿色矿山的必

由之路。本研究从生产、生活、生态的功能视角,推演出休闲利用、商旅利用、农林利用3种具体典型应用模式,并提出建议要点,面向生态修复与经济发展相协同目标,对露天生产矿山生态修复提出了绿色

发展与转型利用的粗浅思考。本文从露天生产矿山生态修复的人地关系提出的3种模式有待科学评估、量化分析和在地实证,尤其是对矿区国土空间生态修复及综合利用规划、可持续发展、高质量管理等内容研究稍显不足。在理论深度、文献解析,以及模式推演存在一定的局限性,对生态修复技术也缺少系统梳理。露天生产矿山全面建设“绿色矿山”还有诸多议题有待广泛拓展与深入探讨,如联合政府部门、建设、管理单位开展生态修复全生命周期评估与可持续发展统筹安排,如何更高效利用先进生态修复技术方法等。关注国土空间中露天生产矿山的生态修复与三生功能需求结合,有助于推动我国绿色矿山良性、有序的综合建设,助力国土生态修复和美丽中国建设。

参考文献 References

- [1] 李笑冰.露天开采矿山生态环境治理的方法探讨[J].区域治理,2017(7):44-46.LI X B.Discussion on the method of ecological environment management in open-pit mining mines[J].Regional governance,2017(7):44-46(in Chinese).
- [2] 李绍财.废弃露天矿山生态环境污染修复技术研究[J].环境科学与管理,2023,48(8):78-83.LI S C.Study on remediation technology of ecological pollution in abandoned open-pit mines[J].Environmental science and management,2023,48(8):78-83(in Chinese with English abstract).
- [3] SHEORAN V,SHEORAN A S,POONIA P.Phytomining: a review[J].Minerals engineering,2009,22(12):1007-1019.
- [4] 王振宇.焦作市区北部灰岩矿岩石边坡复绿方法探讨[J].水土保持应用技术,2013(6):15-16.WANG Z Y.Discussion on greening method of rock slope in limestone mine in northern Jiaozuo City[J].Technology of soil and water conservation,2013(6):15-16(in Chinese).
- [5] 高云峰,徐友宁,陈华清.露天矿硬岩边坡复绿技术现状及存在问题[J].中国矿业,2019,28(2):60-65.GAO Y F,XU Y N,CHEN H Q.Situation and existing problems of vegetation restoration technology of hard rock slope in open-pit mining area[J].China mining magazine,2019,28(2):60-65(in Chinese with English abstract).
- [6] 方超.常用矿山修复技术的应用实例及评价[J].有色冶金设计与研究,2018,39(6):126-127.FANG C.Application examples and evaluation of conventional mine restoration technology[J].Nonferrous metals engineering & research,2018,39(6):126-127(in Chinese with English abstract).
- [7] 李永庚,蒋高明.矿山废弃地生态重建研究进展[J].生态学报,2004,24(1):95-100.LI Y G,JIANG G M.Ecological restoration of mining wasteland in both China and abroad: an over review[J].Acta ecologica sinica,2004,24(1):95-100(in Chinese with English abstract).
- [8] 邢宇,王静雅,杨金中,等.全国废弃露天矿山采用地分布状况与存在问题[J].自然资源遥感,2024,36(2):21-26.XING Y,WANG J Y,YANG J Z,et al.Distributions and existing problems of mining land of abandoned open-pit mines in China[J].Remote sensing for natural resources,2024,36(2):21-26(in Chinese with English abstract).
- [9] 孟文文,李鹏,李颂.我国绿色矿山建设制度规范体系及发展趋势研究[J].中国矿业,2024,33(10):1-9.MENG W W,LIP,LI S. Research on institutional and standard system and development trend of green mine construction in China[J].China mining magazine,2024,33(10):1-9(in Chinese with English abstract).
- [10] 梅振然,赵中秋,杨侨,等.我国金属矿山废弃地生态修复研究进展及趋势分析[J].中国矿业,2024,33(10):102-118.MEI Z R,ZHAO Z Q,YANG Q,et al.Research progress and trend analysis of ecological restoration of metal mine wasteland in China[J].China mining magazine,2024,33(10):102-118(in Chinese with English abstract).
- [11] 王莉,张和生.国内外矿区土地复垦研究进展[J].水土保持研究,2013,20(1):294-300.WANG L,ZHANG H S.The research progress of land reclamation in mining area in domestic and abroad[J].Research of soil and water conservation,2013,20(1):294-300(in Chinese with English abstract).
- [12] 赵继新,孙兆学.剥离—采矿—复垦一体化新工艺开创矿山土地复垦新局面[J].有色金属工业,1995(7):51-53.ZHAO J X,SUN Z X.The new process of stripping-mining-reclamation integration creates a new situation of mine land reclamation[J].China nonferrous metals industry,1995(7):51-53(in Chinese).
- [13] 马从安,才庆祥,韩可琦,等.基于SD的露天矿生产与生态重建一体化系统模型[J].中国矿业,2004,13(4):45-47.MA C A,CAI Q X,HAN K Q,et al.The SD-based model of unification system of open-pit mine production and its ecological reconstruction[J].China mining magazine,2004,13(4):45-47(in Chinese with English abstract).
- [14] 胡振琪,肖武.矿山土地复垦的新理念与新技术:边采边复[J].煤炭科学技术,2013,41(9):178-181.HU Z Q,XIAO W. New idea and new technology of mine land reclamation: concurrent mining and reclamation[J].Coal science and technology,2013,41(9):178-181(in Chinese with English abstract).
- [15] 关军洪,郝培尧,董丽,等.矿山废弃地生态修复研究进展[J].生态科学,2017,36(2):193-200.GUAN J H,HAO P Y,DONG L,et al. Review on ecological restoration of mine wasteland[J].Ecological science,2017,36(2):193-200(in Chinese with English abstract).
- [16] 贾梦旋,王金满,李禹凝,等.基于自然解决方案的矿山生态修复研究进展[J].煤炭科学技术,2024,52(8):209-221.JIA M X,WANG J M,LI Y N,et al.Ecological restoration of mines based on nature-based solution: a review[J].Coal science and technology,2024,52(8):209-221(in Chinese with English abstract).

- [17] 付战勇,马一丁,罗明,等.生态保护与修复理论和技术国外研究进展[J].生态学报,2019,39(23):9008-9021.FU Z Y, MA Y D, LUO M, et al. Research progress on the theory and technology of ecological protection and restoration abroad [J]. Acta ecologica sinica, 2019, 39 (23) : 9008-9021 (in Chinese with English abstract).
- [18] BAKR N, WEINDORF D C, BAHNASSY M H, et al. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data [J]. Applied geography, 2010, 30(4):592-605.
- [19] MARROQUIN-CASTILLO J J, ALANIS-RODRIGUEZ E, JIMENEZ-PEREZ J, et al. Effect of post-mining restoration of the xerophytic scrub community, in Nuevo Leon, Mexico [J]. Acta botanica Mexicana, 2017, 35(2):52-60.
- [20] 周连碧,王琼,杨越晴.典型金属矿区污染土壤生态修复研究与实践进展[J].有色金属(冶炼部分),2021(3):10-18. ZHOU L B, WANG Q, YANG Y Q. Progress in research and practice of ecological restoration of contaminated soil in typical metal mining areas [J]. Nonferrous metals (extractive metallurgy), 2021(3):10-18(in Chinese with English abstract).
- [21] 钟慧敏,王渝萱,梁平平,等.风景园林视角下爱梅矿山开采与时序性景观规划[J].中国园林,2023,39(8):96-101. ZHONG H M, WANG Y X, LIANG P P, et al. Mining and time-sequence landscape planning of aimei mine from the perspective of landscape architecture [J]. Chinese landscape architecture, 2023, 39 (8) : 96-101 (in Chinese with English abstract).
- [22] 高坤,蔺莎,孙雯,等.基于生态技术美学视角的矿区生态修复探索:以白云鄂博矿山公园为例[J].风景园林,2017,24(8):66-69. GAO K, LIN S, SUN W, et al. Exploration of ecological restoration on mining wasteland from the viewpoint of eco-technological aesthetics: taking Bayan Obo Mining Park as an example [J]. Landscape architecture, 2017, 24(8):66-69(in Chinese with English abstract).
- [23] 乔雪园,吴海斌,王殿常,等.长江经济带矿山生态治理的实施成效、问题与对策[J].中国矿业,2022,31(8):36-43. QIAO X Y, WU H B, WANG D C, et al. Achievements, problems and suggestions of mine ecological governance in the Yangtze River Economic Belt [J]. China mining magazine, 2022, 31(8):36-43(in Chinese with English abstract).
- [24] HEMENWAY Y, DAVID S. Surface mining [M]. Baltimore, Maryland: Port City Press, 1990: 1056-1058.
- [25] MENDEZ M O, MAIER R M. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments: an emerging remediation technology [J]. Environmental health perspectives, 2008, 116(3):278-283.
- [26] 王林,曹珂,车轩,等.矿山废弃地生态修复研究进展[J].现代矿业,2013,29(12):170-172. WANG L, CAO K, CHE X, et al. Research progress on ecological restoration of mine wasteland [J]. Modern mining, 2013, 29(12):170-172(in Chinese).
- [27] 司芾,张应红,刘立,等.新时代我国绿色矿山建设与发展的思考[J].中国矿业,2020,29(2):59-64. SI X, ZHANG Y H, LIU L, et al. Thoughts on the construction and development of green mine in China in the new era [J]. China mining magazine, 2020, 29(2):59-64(in Chinese with English abstract).
- [28] 田其云,张明君.“双碳”目标下矿山修复规划制度的创新[J].中国人口·资源与环境,2022,32(12):41-51. TIAN Q Y, ZHANG M J. Innovation of mine rehabilitation planning system in the context of achieving the ‘dual carbon’ goals [J]. China population, resources and environment, 2022, 32 (12) : 41-51 (in Chinese with English abstract).
- [29] 孙晓玲,韦宝玺.废弃矿山生态修复模式探讨[J].环境生态学,2020,2(10):55-58. SUN X L, WEI B X. Discussion on ecological restoration model of abandoned mines [J]. Environmental ecology, 2020, 2 (10) : 55-58 (in Chinese with English abstract).
- [30] 罗金妹.废弃矿山生态修复模式及关键技术研究[J].能源与节能,2024(4):212-214. LUO J M. Ecological restoration model and key technology of abandoned mines [J]. Energy and energy conservation, 2024(4):212-214(in Chinese with English abstract).
- [31] 万佳俊,夏银枫,邵勇,等.长江沿线废弃露天矿山生态修复模式研究[J].高校地质学报,2024,30(1):110-117. WAN J J, XIA Y F, SHAO Y, et al. Research on ecological restoration mode of abandoned open pit mines along the Yangtze River [J]. Geological journal of China universities, 2024, 30(1):110-117(in Chinese with English abstract).
- [32] 雷少刚,卞正富,杨永均.论引导型矿山生态修复[J].煤炭学报,2022,47(2):915-921. LEI S G, BIAN Z F, YANG Y J. Discussion on the guided restoration for mine ecosystem [J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47 (2) : 915-921 (in Chinese with English abstract).
- [33] 王志芳,高世昌,苗利梅,等.国土空间生态保护修复范式研究[J].中国土地科学,2020,34(3):1-8. WANG Z F, GAO S C, MIAO L M, et al. Paradigm research for territorial ecological protection and restoration [J]. China land science, 2020, 34 (3) : 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [34] 姜杉钰,李小雨.我国矿山生态修复标准规范体系建设研究[J].上海国土资源,2024,45(2):36-40. JIANG S Y, LI X Y. Research on the system and policy of mine ecological protection and restoration in China [J]. Shanghai land & resources, 2024, 45(2):36-40(in Chinese with English abstract).
- [35] 尚晓丽,雷海倩,肖芷竣,等.生态旅游赋能矿山修复开发适宜性评价及影响因素[J].中南林业科技大学学报,2024,44(4):180-188. SHANG X L, LEI H Q, XIAO Z J, et al. Eco-tourism empowers the suitability assessment and influencing factors of mine restoration and development [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2024, 44(4):180-188(in Chinese with English abstract).

Research on ecological restoration landscape models for open-pit mines based on integration of production-living-ecological functions: a case study of Tongshankou Mine in Huangshi, Hubei Province, China

YIN Lihua^{1,2}, ZHAO Chengyafei¹, PENG Chuyue¹, YAO Zhongyong³, REN Shaobo⁴, XIA Peng⁵

1.School of Architecture and Urban Planning, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2.Hubei Province Urbanization Engineering Technology Research Center, Wuhan 430074, China;

3. Wuhan Forestry Group, Wuhan 430056, China;

4.Huangshi Emergency Management Bureau, Huangshi 435004, China;

5.Huangshi Municipal Cultural Relics Protection Center, Huangshi 435002, China

Abstract Under the macro background of territorial space governance and green development, although the ecological restoration work for open-pit production mines has been widely carried out, the comprehensive research on exploring the multi-way utilization mode and the construction of sustainable landscape mode is still insufficient. This study aims to explore the typical ecological restoration landscape construction model adapted under the green development goal of open-pit production mines. Through systematically combing the research progress in the field of ecological restoration, combined with text analysis, field research and inductive research methods, such as production, life, ecology, from the perspective of three function depth fusion, put forward the ecological restoration of open production mine and sustainable utilization of the combination of three representative new landscape pattern: cultural leisure utilization mode, business industry utilization mode and agriculture and forestry production utilization mode. The core concept, unique points and relevant successful cases at home and abroad are elaborated in detail, aiming to provide theoretical support and application reference for subsequent practice. At the same time, in Huangshi City Tongshankou Mine, for example, try to put forward for the mine green development and transformation utilization strategy suggestions: ecological restoration process effectively into local characteristics, promote the diversified economic development and sustainable use of landscape, for similar mine ecological restoration and sustainable development path to provide useful reference and reference.

Keywords open-pit mines; ecological restoration; sustainable development; landscape enhancement; full life cycle management

(责任编辑:陆文昌)