

区域性废弃矿山生态修复实践与思考

■ 于辉胜

(湖南省核工业地质局三〇三大队, 长沙 410119)

摘要：文章回顾了我国矿山生态修复取得的成绩及存在的主要问题，以长株潭城市群绿心区龟坡生态修复工程为例，介绍了在厚层基材喷播技术、乔灌草蔓植物系统应用技术、数字化智能管理技术的实践应用，以及工程取得的生态效益、社会效益和经济效益。基于案例工程取得的经验提出提升区域性废弃矿山生态修复效果的建议：(1)源头管控要“全方位”，严把实施方案关；(2)过程管理要“精细化”，严控工程质量、盯紧工作进度、严格资金支出、强化现场监管；(3)后期管护要“立体化”落实，建立完善追责机制，实行动态监管、加强信用监管；(4)行业发展要“多样化”协同。

关键词：区域性废弃矿山；生态修复；工程实践

中图分类号：F407.1；F062.1 文献标识码：A 文章编号：1672-6995 (2021) 06-0084-06

DOI：10.19676/j.cnki.1672-6995.000608

Practice and Thinking of Eco-Restoration of Regional Abandoned Mines

YU Huisheng

(303 Brigade of Hunan Nuclear Industry Geology, Changsha 410119, China)

Abstract: This article reviews the achievements and main problems in the eco-restoration of mines in China, taking the Guipo Eco-Restoration Project in the Green Heart District of Chang-Zhu-Tan Urban Agglomeration as an example, it introduces the spray-seeding technology of thick-layer substrates, the application technology of arbor shrub grass and vine, digital intelligent management technology, and the ecological, social and economic benefits obtained by the project. Based on the experience gained from the case project, suggestions are put forward to improve the eco-restoration effect of regional abandoned mines: (1) The source control should be "all-round", and the implementation plan should be strictly controlled; (2) The process management should be "refined" and project quality should be strictly controlled, keep a close eye on work progress, strict capital expenditures, and strengthen on-site supervision; (3) Later management and protection should be implemented in a "three-dimensional" manner, and a perfect accountability mechanism should be established and improved, dynamic supervision should be implemented and credit supervision should be strengthened; (4) Industry development should be "diversified" and coordinated.

Key words: regional abandoned mines; eco-restoration; engineering practice

我国矿产资源开发由来已久，长期高强度、大规模的开发活动带来的矿山地质环境问题遍及全国各地。2015年至今，全国已关闭矿山近5万座，其中多以小型砂石非金属矿山为主。由于我国废弃矿山历史欠账多、问题积累多、现实矛盾多，“旧账”未还，又欠“新账”，加之矿山环境保护

工作起步晚、基础薄弱，责任主体不清晰，治理难度大，导致废弃矿山存在大量的安全隐患。众多小型矿山矿区废弃地环境破坏现象十分严重，依靠自然恢复生态修复率几乎为零，如果不采取有效的治理手段，我国矿区废弃地的生态修复率在总体上难以提高，甚至对区域生态系统产生严重影响。

收稿日期：2021-03-06；修回日期：2021-04-14

▲ 基金项目：中国地质调查局地质调查项目“全国矿山水质环境综合调查与评价”（DD20190701）

▲ 作者简介：于辉胜（1974—），男，江西省鹰潭市人，湖南省核工业地质局三〇三大队高级经济师，管理硕士，主要从事地质勘查、生态修复与管理工作。

1 近年来我国矿山生态修复情况

1.1 国内矿山生态修复基本情况

2015年,《关于加快推进生态文明建设的意见》将“坚持把节约优先、保护优先、自然恢复作为基本方针”,从国家层面对生态文明建设进行了全面部署;2016年,《关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见》明确了加强矿山地质环境恢复和综合治理的总体要求、主要任务和保障措施;2019年,《重点生态保护修复治理资金管理暂行办法》提出以“谁破坏、谁治理,谁投资、谁受益”为原则,支持开展历史遗留废弃工矿土地整治,加大对矿山生态修复工程的投资力度。

“十四五”期间,按照“分类推进、精准施策、协同治理、社会共治”的原则,持续推进生态环境保护工作,力争实现生态环境有效好转,生态环境质量继续改善,增强矿山生态修复的综合效果、系统效果、持续效果,我国矿山生态修复将进入一个新的发展阶段。

据2019年全国矿山环境遥感调查与监测数据,全国采矿损毁土地面积为361.05万 hm^2 ,约占全国陆域面积的0.37%,其中挖损土地面积为145.93万 hm^2 ,压占土地面积为130.67万 hm^2 ,塌陷土地面积为84.45万 hm^2 。在建生产矿山采矿损毁土地面积为134.04万 hm^2 ,废弃矿山采矿损毁土地面积为227.01万 hm^2 ,其中废弃矿山损毁土地占采矿损毁土地总面积的62.87%。全国累计矿山环境恢复治理土地面积为93.08万 hm^2 。2018年度,全国新增的采矿损毁土地面积为4.81万 hm^2 ,新增的矿山环境恢复治理土地面积为6.52万 hm^2 ,其中76.98%为工程治理修复,23.02%为自然恢复^[1]。矿产开发导致的环境问题主要包括崩塌、滑坡、泥石流、含水层破坏、塌陷、地表破坏等,以及尾矿和废石的大量堆存导致占地、扬尘、地下水渗漏污染等。截至2016年,全国共圈定矿山地质灾害6617处,其中采矿塌陷3907处、滑坡1314处、崩塌987处、泥石流409处。近十年,国家大力推进矿山生态修复工程建设,从中央到地方,支持矿山生态修复的力度不断加大。截至2017年底,全国用于矿山地质环境治理的资金超千

亿元,其中中央财政安排资金超过300亿元,地方财政和企业自筹资金合计近700亿元。2017年,全国新增矿山修复治理面积约为4.43万 hm^2 ,其中在建生产矿山修复治理面积约为2.82万 hm^2 ,废弃矿山治理面积约为1.61万 hm^2 。截至2017年全国总共治理矿山6268个,累计完成治理恢复土地面积约为92万 hm^2 ,治理率约为28.75%,矿山治理恢复工作取得阶段性成效^[2]。

1.2 区域性废弃矿山生态修复存在不足

受生态修复理念认知程度与生态修复技术方法局限性的影响,现有生态修复项目不可避免地要面临以下问题:对矿区的生态系统类型构成和特性、主要生态环境问题底数不清,导致工程方案的编报审查存在不足;地方配套资金不到位,导致工期拖延,财政资金投入引导性不足,社会资本投入积极性不高;“补助资金价值与生态价值”间的转化率较低,财政资金的使用效率亟待提高,资金问题成为矿山生态修复的制约瓶颈;目前缺少统一的矿山生态修复工程验收规范,能够用于验收的相关规范标准有待修订完善;监督管理体制不完善,规划实施管理过程缺乏开放度和透明度,导致工程实施效果大打折扣。

2 长株潭城市群生态绿心修复技术及实施效果

“守护一江碧水,建设生态湖南”。根据《湖南省人民政府办公厅关于全面推动矿业绿色发展的若干意见》《矿业转型绿色发展改革试点工作方案》《长株潭城市群生态绿心地区总体规划(2010—2030年)》等政策文件要求,湖南省大力推进湘江流域和洞庭湖山水林田湖草生态保护修复工程试点,对全省859个废弃露天矿山(点)进行了实地核查,从省级层面制定了生态修复实施方案。截至2020年12月底,湖南省已全面完成长江干流及湘江两岸10km范围内545座废弃露天矿山修复任务,合计修复面积达1911 hm^2 。为保护好长株潭生态绿心,针对绿心区域内历史废弃矿山矿坑情况,长沙市启动了雨花区跳马镇矿山矿坑整治和生态修复工作,对位于绿心区的18个废弃矿坑实施工

程修复，预计2025年前全面完成。保护好长株潭生态绿心，既能让三市人民享受到更优质的生活环境，又能促进全省绿色发展；从全国来看，长株潭生态绿心是目前国内唯一一个大型城市群绿心，保护好它，可为全国新型城镇化探索可复制、可推广的湖南经验；在全世界范围内，长株潭生态绿心是世界上最大的城市群绿心，保护好它，可以为全世界提供

发展中国家推进城市生态保护的“中国经验”。因此，本文以长沙市雨花区跳马镇龟坡废弃矿山边坡生态修复工程为例，系统阐述以“厚层基材喷播技术”“乔灌草蔓植物系统应用技术”“数字化智能管理技术”为主体的废弃矿山生态修复工程技术集合，并根据修复成效提出相应的对策建议，以期为推动长株潭城市群生态绿心区废弃矿山生态修复工作提供支撑^[3]。

2.1 项目区基本情况

龟坡废弃矿山位于湖南省长沙市长沙县跳马镇跳马洞村，距长沙县城25km，距跳马镇政府驻地5km，距洞株城际快速路约500m（图1）。项目区处于亚热带季风湿润气候区，年平均气温16.9℃，年平均降雨量为1400.6 mm。该矿山开发始于20世纪80年代末，于2004年闭坑，在营运期间为铁路及周边公路建设提供碎石，现已停产关闭多年。该废弃矿山地处丘陵地带，属砂岩，呈强风化~中风化状，节理裂隙发育。矿山采空区呈弦月状，北北东向或北北西向，丘顶海拔高程180~193.90m不等，下方为近3.5万m²的采石场，呈簸箕状。矿山边坡分台阶开挖，形成边坡平台，单级高度为20~45m，平台宽度为10~15m，边坡倾角大，大部分地段大于73°，并存在反向坡地段。采石场坡底为场内平台，平台最低处为120.10m，相对高差约为73m。该废弃矿山主要有以下几个特点：一是地理位置独特，地处长株潭城市群绿心地区重点防治区。二是矿山边坡为高陡岩石边坡，垂直高度约为70m，大

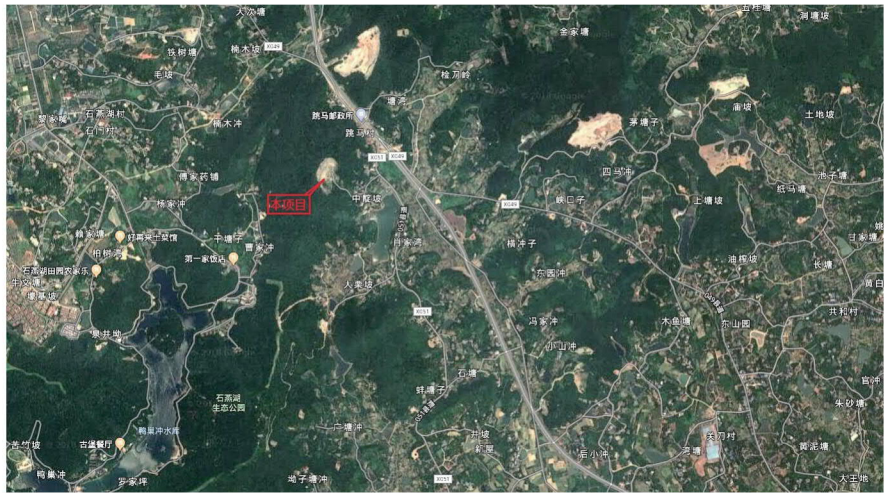


图1 项目地理位置

部分坡面超过73°，坡面少土或无土，少水，少养分，是绿心区内修复难度最大的工程项目之一。三是该工程项目为应急项目，受长沙市雨花区跳马镇人民政府委托，工程施工工期短，处置面积大，涉及的技术面广，学科交叉性强，且为高空岩面施工。

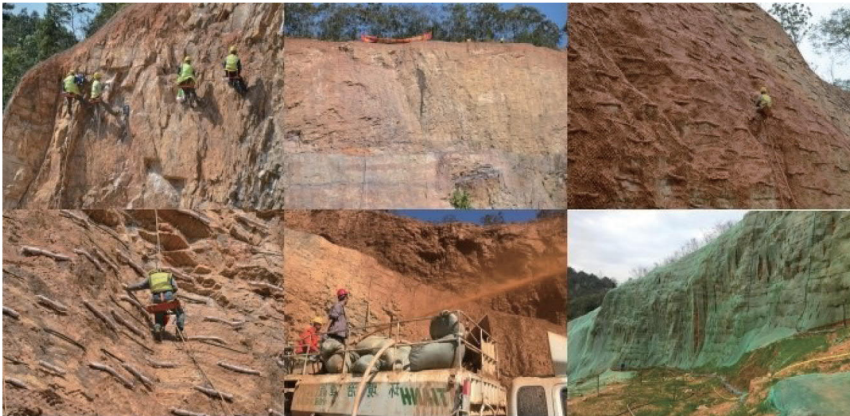
2.2 生态修复技术及特征

2.2.1 厚层基材喷播技术

厚层基材喷播技术是将土壤、肥料、粘合剂、保水剂等按一定比例调配均匀，通过喷播设备喷射到挂有底网的坡面上，形成一定厚度的有机基材层，植物长成后，发达的根系可穿过基材深入到岩体的节理和裂缝中，能够达到永久固坡和美化环境的双重目的。

厚层基材喷播施工流程如下：施工的预备工作→整理坡面→布置生态棒（高陡较平滑的岩面）→坡面和平台悬挂铁丝网→喷播厚层有机基材底层（不小于10cm）→喷播有机基材面层（种子层大约2cm）→坡面装配喷灌管线机制→掩盖无纺布→实施养护管理（图2）。

作为高陡岩质边坡快速强制绿化技术，厚层基材喷播技术兼具以下优点：适应于单级边坡高度大于20m、边坡坡度大于73°的岩质边坡；有机基材改良后抗雨水冲刷能力强，植被根系系统固土护坡效果好；有机基材具备仿生植物生长团粒土壤结构，能建植和谐稳定的植被生态系统；施工机械



施工流程：清坡→生态棒安置→挂网→锚固→喷播厚层基材→喷播种子层→系统施工→养护管理

图2 施工工序流程图

化、专业化、规模化程度高。

2.2.2 乔灌草蔓植物系统应用技术

乔灌草蔓植物系统应用技术是适应于南方高陡岩质边坡生态修复的一项技术，该技术的核心理念是优选乔灌草蔓植物，实现矿山高陡边坡覆绿，效果好、造价低、施工简便。龟坡废弃矿山边坡因开采裸露的岩石坡面较为陡倾，存在反向坡面，少土或无土，很难保留水分和养料，在进行修复的过程中，选择生长速度快、抗逆性强的乔灌草品种，即便是遇到较为极端的气候变化，也能保持较高的成活率，能够较快实现坡面微生态，提高覆绿效率（图3）；选择吸附类或缠绕类的爬蔓植物，利用其攀爬特性攀附在矿山边坡上，对边坡厚层基材起到一定的固定作用，能够较好实现反向坡地段的复绿^[4]。实践证明^[5]：紫薇、山桃、胡枝子、伞房决明、百喜草、高羊茅、五叶地锦、油麻藤等可作为



图3 乔灌草蔓植物系统应用技术施工前后效果对比图

常用的矿山边坡生态修复乔灌草蔓类型。

2.2.3 数字化智能管理技术

通过收集项目相关的现状数据、规划数据和监测数据，可建立智能、动态的矿山生态修复数字化管理平台，能够直接、鲜明地从空间位置上展示修复区生态本底、规划布局、实施进度和整治修复成效，同时为项目立项提供合规性分析，可为工程管理工作提供“全、准、活”的数据支撑。

矿山生态修复数据支撑预期成效如图4所示。

2.3 生态修复实施效果

2.3.1 生态效益

基于“以自然修复自然”的生态修复理念，项目区边坡安全稳定，业已形成了乔灌草蔓相结合的复合植被系统，植被覆盖率已达到95%以上，边坡四季常青，与周边环境和景观自然融合，并开始进入植被自然生态演替期（图5）。水源得到涵养，水土流失得到有效控制，抗自然灾害能力显著提高，更好地发挥了长株潭城市群绿心地区的生态屏障和生态服务功能，有效促进项目区生态环境的可持续发展^[6]。

2.3.2 社会效益

作为长沙市绿心核心区首个完工的矿坑生态修复项目，长沙市雨花区跳马镇龟坡废弃矿山边坡生

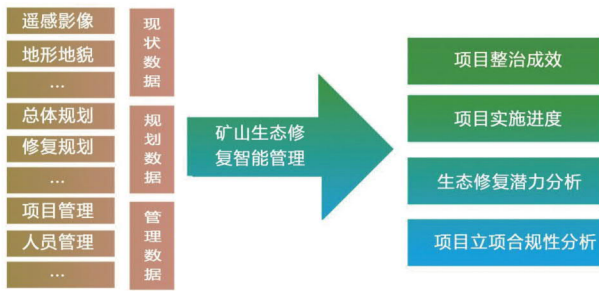


图4 矿山生态修复数据支撑预期成效图

态修复工程是湖南省地勘单位服务地方生态文明建设的样板工程，得到省市领导和多家媒体关注，湖南卫视、湖南经视、长沙新闻频道、红网、湖南日报、潇湘晨报等多家新闻媒体进行了专题报道，使“绿水青山就是金山银山”的理念更加深入人心，对全省生态修复起到了示范带动作用，为全省废弃矿山生态修复树立了典范。在全新的生态修复理念指导下，废弃矿山不仅可以成为一种可利用、可开发的资源，还能为地方政府的精准扶贫、乡村振兴、生态小镇、美丽乡村建设提供抓手，为地区生态文明建设提供示范引领。

2.3.3 经济效益

该项目于2018年9月开始施工，2019年1月完成主体工程，2019年10月通过竣工验收，生态恢复面积约3.5万m²。通过对边坡全部覆绿所需时间、边坡覆绿景观效果及边坡覆绿造价进行比较分析，该项目工程相比其他矿山边坡生态恢复工程效率更高、成本更低。同时，在原采矿区建成生态修复科研成果转化基地，通过工程项目实践反哺科研，承担多项厅局级科研项目，编制了《湖南省矿山边坡生态恢复技术规程》《湖南省矿山边坡生态恢复安全规程》等多个省级行业标准；通过总结矿山边坡生态

修复的经验和方法，摸索出一套既节约成本又效果明显的生态修复技术，可为今后长株潭城市群绿心区废弃矿山复绿和生态修复提供参考和借鉴。

3 提升修复效果的建议

矿山生态修复工程立足于区域的土地功能和资源禀赋，根据修复区域范围内的限制因素、优势条件、修复潜力等，综合采取优化、配套的工程技术措施，以充分发挥生态修复项目的多功能特征，包括方案拟定、可行性研究、规划设计、施工、后期管护等一系列内容，总体可划分为前期调查与评价，中期规划与设计、施工，后期监测、绩效评价等阶段。矿山生态修复工程管理的关键词为：工程实施的依据是方案，工程开展的保障是资金，工程质量的保证是验收^[7-8]。针对关键环节存在的问题，从以下几个方面提出对策建议。

3.1 源头管控要“全方位”加强

方案的拟定要立足于对区域特点的充分调查和评价，收集和调查各类有关自然基底条件、资源禀赋、经济基础、社会状况、生态环境现状、区位条件、修复紧迫程度等有效信息，准确把握好自然恢复与人工修复之间的关系，合理选择修复方式、技术体系；注重方案审查专家组成员的专业性和多学科性，合理配备各相关领域专家，严把方案质量；同时要整理搜集区域土地利用规划资料、相关部门规划及国家颁布的有关标准，为工程后续的有序开展做好基础保障。

3.2 过程管理要“精细化”渗透

可充分利用现有的基础信息，结合3S技术、物联网和计算机技术、大数据和人工智能技术，实



图5 施工前后生态修复效果对比图

现对矿山生态修复工程全生命周期的精细化管理。

一是严控工程质量。监理单位和施工单位均要通过公开招标的方式择优选用；要从采购环节入手，严格把控设备及原材料采购的各个流程，确保采购的设备及原材料的规格和质量达到工程所要求的标准；施工单位必须在项目现场设质检部门，对于施工所用的设备、材料，包括有机质、酸碱调节剂、网片等，均应在施工前由质检人员按现行有关规定的检验方法和标准，对其规格、品种、数量、有效期等进行验收。二是紧盯工程进度。加强各级项目组之间的工作协调与信息交流工作；监理单位现场工作人员要督促施工单位依据项目总工程量和施工特点，并考虑当地气候天气条件，合理安排工作进度，提高施工效率，并设专人监督，确保施工计划和进度能够如期进行。三是严格资金支出。实行专款专用，采用独立的财务核算对项目资金实行分级授权管理，依据财务管理制度加强对项目各类预结算款项的管理，对项目实施工程中各个环节的验收和报账进行实时跟踪，动态管理，严格控制工程款拨付盲点，严格把控工程验收手续及清单，对于不确定、不达标的工程验收不予受理，对于不符合项目标准要求的账目不批不报。四是强化现场监管。工程部门要以安全、卫生、高效、不扰民为主要目标，为施工单位和有关现场工作人员制定施工现场管理制度和行为规范，加强对现场施工人员的行为约束，确保安全、高效施工；考虑项目当地实际情况，要最大限度地减少对周边环境造成影响，施工过程中要严格控制噪音排放量，将对周边居民的影响降到最低。施工单位需要编制专项施工安全组织设计，且施工现场需由专业施工员、安全员、质量员指导、督查各项工艺按规范操作，加强施工过程的安全管理，确保施工全过程的安全。

3.3 后期管护要“立体化”落实

一是建立完善追责机制。建立健全的管理制度、严格的责任管理体制，一旦工程项目验收完成后在一定时期内出现问题，不仅要施工单位进行追责，还要根据问题认定结果，对验收的专家进行追责。二是实行动态监管，项目实施效果的绩效评价要涉及生态效益、社会效益、经济效益等多重方

面，包括对土壤质量、耕地质量等级、区域生态环境监测，以及对所形成的新型业态项目的进展和可持续性监测等。三是加强信用监管，建立面对公众的矿山生态修复信息发布平台，应进一步优化社会监督环境，提高公众参与和监督力度。

3.4 行业发展要“多样化”协同

一是要把相关从业单位、当地政府、当地居民、社会资本等紧密联系，构建废弃矿山生态修复产业链，进行跨界融合，共同推动区域性废弃矿山生态修复工作；二是要开展生态修复技术方法集成创新研究，开展山水林田湖草资源生态系统保护设计技术、修复技术、规划与质量控制技术体系创新研究，推动生态系统保护修复高点定位、高水平推进、高质量建设，为生态整体保护、系统修复和综合治理提供先进技术保障；三是要健全全省乃至全国数据共享与管理平台，重视应用现代信息技术手段，动态监测自然恢复与工程措施修复生态系统的区位差异，为有效设计生态修复方案和客观制定相关规范标准奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 杨金中,许文佳,姚维岭,等.全国采矿损毁土地分布与治理状况及存在问题[J/OL].地学前缘:1-8[2021-03-06].<https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2020.10.8>.
- [2] 张宇,王圣殿,王依,等.对加快推进我国矿山生态修复的思考[J].中国环境管理,2019,11(5):42-46.
- [3] 戴亮,郭慧,王华龙.郴州市废弃采石场复绿技术初探:以苏仙区沙江村采石场复绿工程为例[J].绿色科技,2020(14):183-184.
- [4] 李斌,陈月华,童方平,等.采矿废弃地植被恢复与可持续景观营造研究:以湖南冷水江锑矿区为例[J].中国农学通报,2010,26(9):273-276.
- [5] 郝桂枝,祝浩翔,秦坤蓉,等.重庆市石灰岩废弃矿山生态修复植物的筛选与应用[J].林业调查规划,2019,44(2):77-81.
- [6] 叶珊珊,张进德,潘莉,等.基于“绿色矿山”的矿区生态环境成本核算:以华北平原某矿区为例[J].金属矿山,2019(4):168-174.
- [7] 刘向敏,马宗奎,张超宇,等.矿山生态修复工程管理现状、问题与对策建议[J].中国国土资源经济,2020,33(4):23-28.
- [8] 张进德,郗富瑞.我国废弃矿山生态修复研究[J].生态学报,2020,40(21):7921-7930.