

废弃露天矿山生态治理修复研究——以桥山南麓富平段历史遗留废弃矿山为例

殷显阳

中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101

[摘要] 以桥山南麓富平段 33 个历史遗留废弃矿山的生态修复设计方案为研究对象, 系统分析了该区域因矿山开发引发的地质环境问题及其潜在危害, 归纳总结了研究区内通用有效的修复治理措施, 并归纳了区域矿山生态环境问题与工程设计部署之间的对应关系及其优势。生态修复项目的实施效果表明, 所采用的技术措施能够有效消除废弃矿山的地质环境隐患, 显著提升土地利用效率, 改善桥山南麓的生态环境质量, 从而为保障黄河流域的生态环境安全提供重要支撑。此外, 该项目的成功经验可为区域内其他矿山地质环境修复方案的设计与实施提供参考和实践借鉴。

[关键词] 废弃石灰岩矿山; 矿山地质环境; 生态环境问题; 生态修复

DOI: 10.33142/ucp.v2i2.16254

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

Research on ecological restoration and remediation of abandoned open-pit mines — Using the Historical Abandoned Mines in the Fuping section at the southern foothills of the Qiaoshan Mountains as an Example

YIN Xianyang

Geological Institute of China Chemical Geology AND MINE BUREAU, Beijing, 100101, China

Abstract: Taking the ecological restoration design schemes for 33 historically abandoned mines located in the Fuping section of the southern slope of Qiaoshan Mountain as the research focus, this study systematically analyzes the geological environmental issues and potential hazards arising from mine development in this region. It summarizes universally applicable and effective restoration and remediation measures within the study area, and outlines the correspondence and advantages between regional mine ecological environmental problems and engineering design deployments. The outcomes of implementing the ecological restoration projects demonstrate that the technical measures employed can effectively mitigate geological environmental risks associated with abandoned mines, markedly enhance land use efficiency, and improve the ecological environment quality of the southern slope of Qiaoshan Mountain, thereby providing crucial support for safeguarding ecological environment security in the Yellow River basin. Furthermore, the successful experience of this project can serve as a valuable reference and practical model for the design and implementation of ecological restoration schemes for other mine geological environments within the region.

Keywords: abandoned marble mine; Mining geological environment; Ecological Environmental Problems; Ecological Restoration

引言

桥山南麓富平段地处陕西省关中平原和陕北高原的过渡地带, 区位优势。因蕴藏着丰富的石灰岩矿, 在我国改革初期发展阶段因过去不科学、低效能的开采方式影响, 形成大面积连片的挖损破坏区和渣土堆占区, 致使区域山体、植被破坏严重, 水土流失程度加重, 对生态环境造成严重影响^[1]。近年来, 随着我国倡导推进生态文明理念, 落实黄河生态保护和高质量发展的重大战略, 当地政府高度重视桥山生态环境问题, 加大了对桥山南麓富平段历史遗留废弃矿山生态修复治理工作的投入, 改善项目区的生态环境条件, 修复甚至重构植被所需的土壤条件, 提高了土地利用效率, 提升了区域水源涵养能力和水土保持功能, 保障黄河流域生态环境安全。本文以桥山南麓富平段北部山区 33 个历史遗留矿山修复设计方案为研究对象, 通过分析区域修复前主要的生态环境问题, 总结该地区的

工程部署设计修复经验和遇到的问题, 总结研究区成熟常见的生态修复治理措施并归纳出一套科学可行生态环境问题与工程设计部署对应关系, 可以为相类似的生态修复项目修复方案提供一定借鉴^[2]。

1 国内外研究现状综述

1.1 国外研究现状

在矿山生态修复领域方面国外起步较早, 在 20 世纪初期因工业发展需求, 资源掠夺加剧, 盲目追求短期效益而忽视环境后果, 导致地表塌陷、土地荒废、水土污染严重等环境问题层出不穷。20 世纪中期各国开始意识到采矿破坏带来的危害, 其中早在 1939 年美国西弗吉尼亚州颁布了第一个管理采矿的法律《复垦法》, 其对土地复垦提出了苛刻的标准和要求, 要求土地复垦成为采矿过程的一部分, 从法律的角度强制矿企开采后恢复原来状态^[3]。英国于 1944 年《城乡规划法》实施起, 规定地方政府有

权要求矿企恢复荒芜的土地。1962 年苏联各加盟共和国通过的《自然保护法》中都明确地要求进行土地复垦。1977 年,美国国会通过颁布《露天采矿管理与复垦法》首次在全美建立统一的露天矿管理和复垦标准^[4]。

1.2 国内研究现状

我国于 20 世纪中期开始进行矿山生态环境的相关研究,与国外矿山发展修复历程相似,因建设国家初期需求以发展为主,而忽视环境影响,国内个别矿山自行开展了矿区复垦工作,其中 50 年代海南岛田独铁矿被驻军接管后开展复垦工作,70 年代徐州夹河煤矿开展土地复垦,恢复良田 300 亩等等,但该阶段还是侧重于矿山安全的防护并非真正意义上的矿山生态修复,生态环境问题逐步积累。至 20 世纪 80 年代,矿山生态修复发展初期我国逐步颁布的《土地管理法》(1986)、《中华人民共和国矿产资源法》(1986)、《土地复垦规定》(1988)、《环境保护法》(1989)、修订的《矿产资源法》(1996)将矿山生态修复已经被纳入法律规制的范围内,明确了坑复垦责任,催生复垦技术研究^[5]。其中上世纪 90 年代,白中科以山西平朔煤矿为研究区探索了土地复垦新技术的应用和煤矿废弃地的生态环境重建研究^[6],胡振琪等研究者对矿山复垦中土壤重构技术方法进行总结研究^[7]。进入 21 世纪后,国家重视矿山环境治理成效,不断完善矿山修复政策《关于全面整顿和规范矿产资源开发秩序的通知》(国发[2005]28 号)提出“加快废弃矿山和老矿山的治理和恢复”,还提出了通过市场化方式进行矿山生态修复资金多渠道探索的意见,白中科等国内专家在北京结合修复案例探讨生态修复技术措施。而随着两山理念的提出,矿山生态修复治理模式进入了新的高度,研究成果也更趋向系统化、规模化、生态化模式^[8]。资源部印发《关于印发历史遗留工矿废弃地复垦利用试点管理办法》的通知(国土资规[2015]1 号),明确规定要遵循生态优先,切实保护耕地,节约集约用地的原则。2019 年自然资源部、生态环境部联合下发《加快推进露天矿山综合整治工作实施意见的函》,要求秉持“谁治理、谁受益”的原则,合理划分了露天矿山生态修复主体责任,要求当地政府及矿企重视保护自然环境。而随着 2011 年国土资源部关于发布《矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范》(DZ/T 0223-2011),2022 年自然资源部组织有关单位制修订了《矿山生态修复技术规范 第 1 部分:通则》等 6 项行业标准,标志着矿山生态修复规范体系的进一步完善,科学系统化的指导矿山生态修复工作^[9]。白中科教授通过剖析美国的法制化探究中国土地修复管理的法制化道路,姜杉钰等人从系统的角度研究矿山生态修复关键技术体系构建建设模型^[10]。至此我国矿山生态修复研究历经 70 余年发展,已经形成了“政策引领—技术创新—实践验证”的闭环体系。

2 研究区概况

研究区所在的桥山南麓富平段位于关中平原于渭北黄土高原之间的低山丘陵地区,隶属于陕西省中部的渭南市富平县,本文研究以桥山南麓富平段近年内已治理修复的 33 个历史遗留废弃矿山为目标,矿山治理修复面积合计 384.98hm²^[11]。研究区涉及富平县北部庄里镇、齐村、宫里镇、曹村、薛镇、美原镇、老庙镇 7 个乡镇,均为石灰岩露天矿山,修复矿山详见图 1。其中 2021 年完成 17 个历史遗留矿山生态修复,修复土地面积 243.5hm²;2022 年完成 4 个历史遗留矿山生态修复,修复土地面积 76.28hm²;2023 年完成 12 个历史遗留矿山生态修复,修复土地面积 65.2hm²;



图 1 研究区位置图

3 主要生态环境问题分析

经现场调查分析桥山南麓富平段历史遗留矿山主要的生态环境问题为三个方面:一、地质环境安全隐患问题,因不科学的采矿作业方式形成高陡岩质边坡,岩质边坡顶部边缘浮石危岩在机械震动和降雨影响下容易崩塌坠落,威胁下方人民财产安全^[12]。渣土边坡因开挖坡脚造成的边坡失稳,边坡顶部形成横向张裂隙,在大气降水冲刷作用下,容易垮塌形成滑坡;二、矿山地形地貌景观破坏严重,采石厂沿着山沟形成珠串状连片挖损区,挖损区内表土剥离,灰白、灰黄色原岩裸露、植被稀少,造成矿区与周边自然环境地貌极不协调;三、弃渣压占土地资源,废弃矿山内灰黑色、灰黄色渣石堆随处堆放,压占了土地资源并影响周边环境,因研究区渣堆主要由碎石、块石组成缺少植被所需的土壤条件,边坡和平台抗冲刷能力差,雨季水土流失严重,形成边坡竖状冲沟,形成地表汇流影响平台道路安全^[13]。区域生态环境问题见图 2。

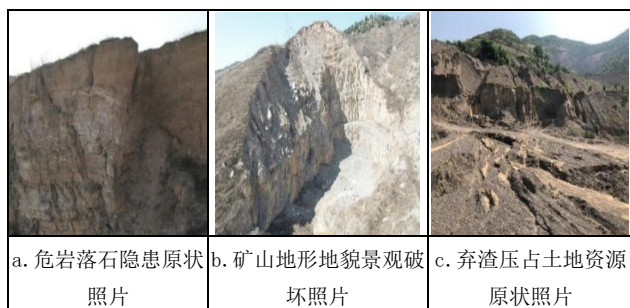


图2 研究区地质环境问题典型照片

4 研究区生态修复治理方案

4.1 遵循的修复原则

本研究区的治理工程目的消除地质环境安全隐患,地形地貌景观修复及土地整理复垦,减小项目区水土流失程度,增加土地可利用面积及土地质量,根据领域研究资料汇总结合研究区情况^[14-17],区域设计遵循以下原则:

(1) 坚持安全可靠，以人为本原则。通过对历史遗留矿山生态修复首要目标是保障居民生命财产和施工作业安全，通过危岩浮石清理，边坡削方减载、分台阶放坡降低边坡度，保障修复作业场地安全，消除或最大限度地减少矿山地质环境安全隐患问题；

(2) 坚持景观相似，因地制宜原则。参照周边自然景观情况，采用“宜林择林，宜草择草，宜耕择耕”的思路改善和恢复治理区矿山地质环境。设计部署应坚持减少人工干预，以自然恢复为主因地制宜的原则，尊重生态系统演替规律，自然恢复与人工修复相结合，人工修复为自然恢复创造条件，最大限度发挥自然修复能力，避免过度工程治理。

(3) 坚持统筹规划, 综合治理原则。设计应结合当地政府规划方向, 在符合相关法律法规的前提下有目的的进行土地复垦部署设计, 储备后备土地资源, 为后期产业导入、区域可持续发展提供基础条件。牢固树立“山水林田湖草沙是一个生命共同体”的治理理念, 将矿山修复与涉及的河流、林地生态修复相结合, 统筹地貌重塑、土壤重构、植被重建、配套工程等综合修复措施的应用。

（4）坚持科学经济、注重成效原则

科技引领,注重实效坚持科学性、前瞻性和实用性相统一的原则,提高修复措施和工程部署的科学性和针对性,尽可能减少土石方开挖倒运,避免对区域造成二次破坏,广泛应用新技术、新方法,就地取材用料,降低修复成本。统一系统性的解决区域地质环境问题,提升土地复垦效果,提高矿山地质环境保护和恢复治理成效和水平。

4.2 研究区生态修复治理措施

(1) 消除地质环境安全隐患。对高陡边坡上的小型危岩、浮石主要采用人工清除,崩塌体进行削方卸荷、锚固挂网的方式进行护坡作业,清理产生的石方在坡脚前缘场地进行堆填整理并设置警示牌种植乔木围挡作为落石

缓冲区。不稳定的渣石斜坡进行分台阶放坡,减低边坡坡度,坡脚设置挡土墙。

(2) 地形地貌整治。对区内挖损边坡进行削坡整形放坡或回填续坡, 修整后坡面平整、自然美观。一般放坡台阶坡度角不大于 30° , 当边坡高差大于 10m 时, 为方便机械施工和后期养护在中部设置马道。在自然汇水区、渣坡平台边缘设置截水渠, 在边坡坡脚、道路内侧或沟谷底部设置排水渠, 部署矿区截排水系统, 减少地表径流对渣体的冲蚀作用, 保障道路安全, 水渠规格材料结合区域集水面积、降雨强度等因素计算设计, 根据需求和场地条件设置蓄水池; 矿区内散乱分布采坑和挖损平台进行渣石整理回填, 恢复破坏的地形地貌, 与矿区周边地形地貌相协调。

(3) 土地恢复。在地形地貌整治修复的基础上, 依据废弃矿区位置、周边环境条件、土地类型及未来规划, 进行有目的性的土地恢复, 根据栽植植被需求进行不同程度覆土, 根据土地贫瘠情况进行松土施肥, 栽植植被后进行养护作业, 达到生态保护和美化环境的目的。

(4) 警示宣传工程。在治理区域陡崖边坡、绿化缓冲带边缘处和蓄水池周边设置警示牌和刺网围挡,防止无关人员进入治理区域内发生危险,同时对过往人员起警示避让作用,防止人员误入造成危险。

(5) 其他工程。实施道路修复，为保障养护和后期产业需求，对矿区进场道路进行道路修复；为保障修复工程治理质量，对修复工程进行监测，监测包括原地貌地表状况监测、土地损毁情况监测及复垦效果监测。

4.3 研究区治理修复要素区划分表

为更好地进行说明和剖析矿区的地质环境问题和治理工程部署情况,结合研究区矿山内各组成部分空间位置关系、生态环境问题和工程部署措施差异特征,将矿区修复工程划分成陡立岩质边坡、缓坡堆渣区和平台区 3 类,详细见表 1,图 3。

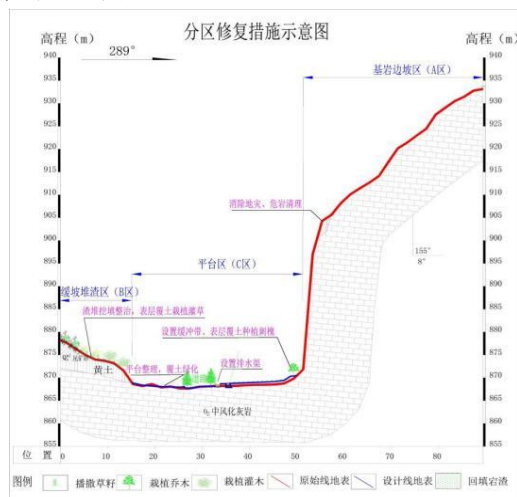


图3 分区修复措施空间位置关系剖面示意图

表 1 地质环境问题与工程部署措施要素分区对应表

分区名称	要素现状特征及地质环境问题	设计目标	主要工程部署措施
陡立岩质边坡区 (A区)	为该区主要为高耸陡立石灰岩岩质边坡位于矿区地势海拔较高位置,边坡边坡坡度大于 65°,灰白色基岩裸露岩体节理裂隙强烈发育,局部形成护坡残岩,岩质边坡顶部大多为厚度不一的黄土层,局部存在危岩体和浮石,植被稀少。	清理浮石、危岩,消除崩塌落石安全隐患	常用采用人工机械相结合的方式对危岩体和浮石清理、坡脚根据岩质边坡高度坡脚底部堆积落石缓冲带,缓冲带表层覆土挖坑种植耐旱耐旱乔木树苗,缓冲带外边缘设置刺网警示牌。人类活动密集区边坡设置加固措施,采用锚固、支撑、挂网等措施。
缓坡堆渣区 (B区)	该区通常位于高陡边坡坡脚、分级平台中间或入口废渣堆积场等地势起伏较缓海拔相对较低地区,黑灰色、灰色碎石沿坡堆积形成规模不一片状渣石压占区,渣体因含土量较低,表层植被稀少,表层具有条状冲蚀痕迹特征,局部边坡因坡脚挖损地表水冲蚀、坡度较陡,坡顶形成横向张裂隙甚至滑坡壁,形成不稳定边坡。	边坡修整、保障边坡稳定,提升保水固土能力	通过挖高填低的方式对挖损边坡等不稳定边坡进行分台阶放坡或回填续坡,修复重塑了边坡形态降低了边坡坡度,并为表层覆土提供了基础条件,坡脚根据现状情况设置挡土墙工程进一步保障边坡稳定性,表层根据自然情况和政府规划种植本土植被,提高边坡抗冲刷能力,通过设置截排水系统减少大气降水对边坡的影响。
平台区 (C区)	区域地势较平坦一般位于相对地势较低处,局部原为半环状、条带状作业平台位于岩质挖损面中部,挖损平台表层一般凹凸不平基岩裸露,局部低洼处形成积水塘,地表残留渣堆残岩,堆积平台地势起伏较小土层较薄,植被稀少。	平整场地、复垦绿化、提升土地利用效率	平台进行挖填平整,考虑到研究区位于山区区域气候降雨不均的特性,平台应结合周边地形设置成外高里低的小角度反坡平台,并根据当地规划和种植植被需求进行覆土复垦,外侧设置挡墙或土埂以达到保水固土特征。窄条平台结合运输养护成本整理后可采用挖坑换土进行栽植耐寒耐旱植被。

通过这种划分方式可以快速简明阐述平台、岩质边坡和渣堆的位置关系和对应其主要的工程治理措施,也可以清晰指导施工方明确治理任务和治理重点,尤其针对多个采坑形成的复杂的矿区条件,可以快速抓住新的项目治理重点和目标脉络,明确各个分区的工程量及工程措施,达到提高施工效率,缩减成本,提高治理效果的目的^[18]。

5 结语

通过桥山南麓富平段历史遗留废弃矿山生态修复项目(2021-2023 年度)的实施,可以有效改善黄河、渭河流域水土生态环境,消除各类矿山生态环境问题对人民群众的威胁,恢复重建了开采区域地貌景观,增强了当地百

姓、矿山企业的地质环境保护与生态修复意识,修复效果较优异详见图 4;提供了优质的土地资源,促进当地经济发展,响应国家乡村振兴政策。传承富平城市文化,助力富平营造“林秀鸟自来”的投资环境,提升地区品牌形象和市场竞争力的^[17-18]。

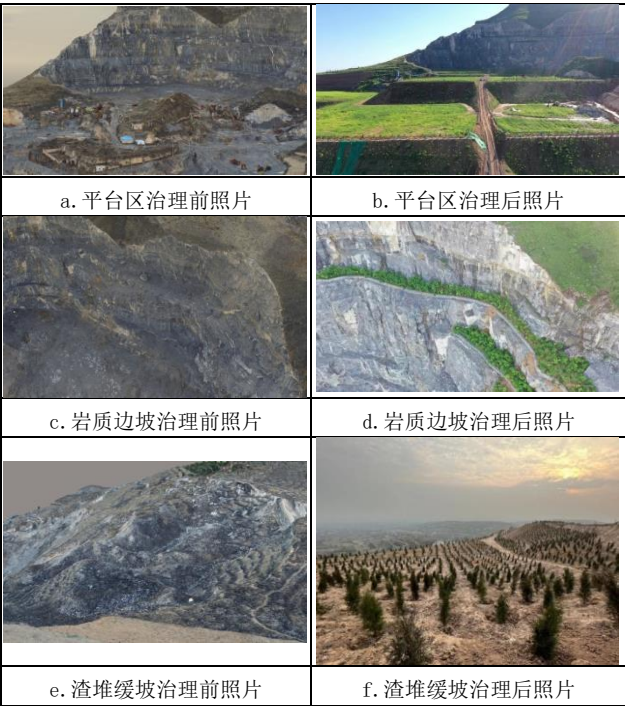


图 4 研究区治理前后对比图集

基金项目:“十四五”国家重点研发计划课题“西部干旱区煤能源基地生态保护与资源综合利用及技术示范”项目(2022YFF1303305)资助。

【参考文献】

[1]孙协龙,廖海萍.桥山南麓(渭南段)废弃露采矿山地质环境恢复治理初探[J].内蒙古煤炭经济,2020(3):214.
[2]米娜丝,洪丽.废弃矿山生态环境修复现状及治理对策[J].现代园艺,2025,48(4):162-164.
[3]白中科.美国土地复垦的法制化之路[J].资源导刊,2010(8):44-45.
[4]刘朵朵.历史遗留废弃矿山生态修复治理研究——以茂名市历史遗留废弃矿山为例[J].绿色矿冶,2024,40(5):81-86.
[5]汪维恭.国内外矿山土地复垦概况[J].自然资源,1988(2):25-27.
[6]白中科,鄢文聚.矿区土地复垦与复垦土地的再利用——以平朔矿区为例[J].资源与产业,2008(5):32-37.
[7]胡振琪.我国土地复垦与生态修复 30 年:回顾、反思与展望[J].煤炭科学技术,2019,47(1):25-35.
[8]王金满,白中科,罗明,等.基于专业序列的中国多层次土地复垦标准体系[J].农业工程学

报, 2010, 26(5): 312-315.

[9] 杜群, 都仲秋. 我国土地复垦治理法制体系的发展和完善[J]. 中国土地, 2023(11): 9-13.

[10] 姜杉钰, 张凤仪, 莫楠. 矿山生态修复治理模式研究与对策建议——以北京市为例[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2022(5): 59-62.

[11] 苏静. 关中地区奶山羊产业发展研究——以富平县奶山羊养殖为例[J]. 黑龙江粮食, 2023(10): 104-106.

[12] 刘海龙. 金昌市龙景村某矿山地质环境问题及生态修复治理[J]. 冶金与材料, 2024, 44(4): 175-177.

[13] 李天珍. 甘肃省某金矿矿山地质环境问题及生态修复治理[J]. 冶金与材料, 2024, 44(4): 172-174.

[14] 白中科, 周伟, 王金满, 等. 再论矿区生态系统恢复重

建[J]. 中国土地科学, 2018, 32(11): 1-9.

[15] 姜杉钰, 谭丽萍, 冯聪, 等. 系统观下的矿山生态修复关键技术体系构建[J]. 环境科学, 2025, 46(1): 489-497.

[16] 姚琦. 华亭市安口某矿山地质环境问题及生态修复治理[J]. 冶金与材料, 2024, 44(4): 154-156.

[17] 妙超, 王焘, 孙羽, 等. 废弃露天矿山生态问题评价及修复治理研究——以洛南县 7 处历史遗留矿山为例[J]. 四川地质学报, 2024, 44(1): 108-112.

[18] 王敬世, 张望南. 小上峪石灰岩矿露天边坡治理与绿化复垦技术探索[J]. 水泥, 2024(1): 84-86.

作者简介: 殷显阳(1989—), 男, 辽宁鞍山人, 工程师, 硕士研究生, 研究方向: 地质遥感及矿山地质环境生态修复。