

云南省历史遗留矿山生态修复现存问题分析与优化建议

朱文武, 吴俊延, 张超

(云南地质工程第二勘察院有限公司, 云南昆明 650218)

[摘要] 矿山生态修复是生态文明建设的重要组成部分。本文通过深入分析云南省3个典型矿山生态修复实践案例,揭示了云南省历史遗留矿山生态修复工作中存在的突出问题,包括修复设计措施针对性不足、设计依据科学性欠缺、后续管理机制不完善等。针对这些问题,提出以下改进建议:在理念层面深化生态思维,实现从传统“工程思维”向“生态思维”的转变,并引入基于自然的解决方案理论指导修复设计;在管理层面明确修复后的责任主体,探索生态价值转化机制,完善设计依据体系;在技术层面,建议优化技术标准体系,强化全过程管理,推动生态修复工作的持续改进与动态更新。这些建议的实施为提升矿山生态修复质量、推进生态文明建设提供有力的技术支撑和制度保障。

[关键词] 废弃矿山;生态修复;生态价值;修复措施;管理机制;生态文明

[中图分类号] X171.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2025)05-0014-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.05.003

0 引言

历史遗留矿山是我国社会经济粗放式增长和发展带来的环境产物,废弃矿山采区裸露造成的生态破坏、安全隐患、土地损毁等环境问题亟需解决^[1]。云南省作为我国西南生态安全屏障和长江保护的源头,生态责任重大,为贯彻落实中央生态文明建设的战略要求,践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念,保证历史遗留矿山生态修复工作及时开展和顺利实施,根据中央部委相关要求,云南省相继出台了《云南省历史遗留矿山生态修复项目暂行管理办

法》《云南省自然资源厅关于统筹推进历史遗留矿山生态修复工作的通知》《云南省历史遗留废弃露天矿山生态修复工程实施方案编制技术指引(试行)》等规定,以积极推进和指导历史遗留矿山生态修复。长期以来,由于云南省矿产资源丰富,开采后历史遗留矿山数量较多,立体气候特征明显,自然环境差异较大,造成修复区生态系统重建或修复困难。通过对已核销图斑的历史遗留矿山进行调查,发现多数矿山生态修复效果参差不齐、执行的修复标准不统一,图斑核销后修复区没有真正实现自我修复,存在过度修复或系统不足的情况^[2-3]。

为提高矿山生态修复质量,通过总结实践中修复模式、修复措施、修复技术、管理机制等存在的问题和不足,分析造成矿山生态修复质量低、速度慢、效果不明显、后续管理缺失等问题的深层原因,追本溯源,从设计理念转变和完善技术标准体系这一源头开始解决。本文分析了3个典型历史遗留废弃矿山生态修复设计现存问题,提出解决相关问题的思路和建议,为类似矿山生态修复治理提供借鉴经验。

1 云南省历史遗留矿山生态修复案例

1.1 昭通市昭阳区历史遗留矿山生态修复

以昭通市昭阳区西绕城高速永丰镇取料点废弃矿山为例,该修复点2022年5月在外业调查和遥感

[收稿日期] 2025-03-05

[作者简介] 朱文武(1986—),男,云南宣威人,高级工程师,硕士,主要从事水土保持与生态修复工作。

[通信作者] 张超(1991—),男,云南嵩明人,工程师,本科,主要从事工程地质与地灾防治、空间规划与土地整治等工作。

[引用格式] 朱文武,吴俊延,张超.云南省历史遗留矿山生态修复现存问题分析与优化建议[J].绿色矿冶,2025,41(5):14-19.

ZHU Wenwu, WU Junyan, ZHANG Chao. Analysis of the existing problems and optimization proposals for ecological restoration of historical legacy mines in Yunnan province[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(5): 14-19.

测量基础上,主要开展了1:500地形测绘工作,确定修复方案。通过土地复垦适宜性评价确定修复方向和修复分区,分区分为:A₁区9 844.29 m²、A₂区9 352.42 m²、B₁区12 650.92 m²、B₂区6 072.05 m²;主要修复措施包括:坡面整理+挂网喷播+爬藤栽植+场地平整+覆土+乔木栽植+草籽撒播。

(1)A区地形较缓,主要采用场地平整+覆土+乔木栽植+草籽撒播修复措施。该复垦区地形较缓,坡度介于3°~15°,进行平整后形成缓坡平台,覆土50 cm,然后以乔、灌、草混合种植恢复成林地,乔木种植侧柏、间距2 m,灌木选用戟叶酸模,草本选用黑麦草和山野豌豆进行撒播种植,种植密度20 g/m²;沿遗留边坡底部种植爬山虎(间距1 m),所有苗木量均含10%补植绿;A₁区和A₂区中间修筑排水沟。

(2)B区坡度较陡,主要采用坡面整理、挂网喷播进行生态修复治理。修复区南侧、北侧、西侧均为开采遗留岩质边坡,坡度为40°~80°,主要进行挂网喷播,治理面积约24 777.24 m²。依次实施:坡面处理→挂网→局部铺设植物垫→喷射底基层→喷射种子层→加盖无纺布。

采石场现有土源不足,需向取土点东侧约800 m处取土;建设单位考虑采用洒水车运水管护,设计后期管护2年。两侧采场入口和边坡处设置安全警示牌。工程措施费338.73万元,其他费用44.33万元,不可预见费用11.49万元。

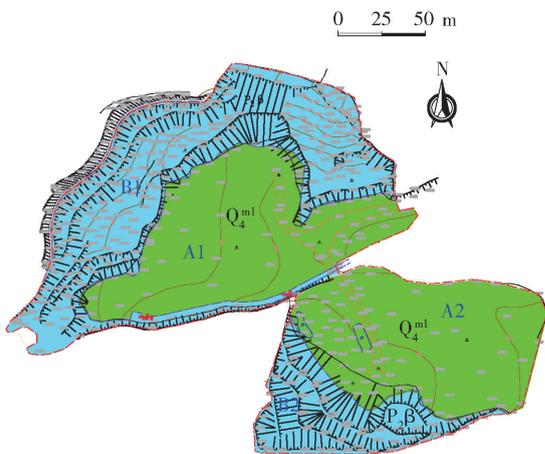


图1 昭阳西绕城高速永丰镇取料点废弃矿山生态修复平面设计图

1.2 文山州麻栗坡县历史遗留矿山生态修复

该修复点位于云南省文山州麻栗坡县董干镇,2022年9月首先完成了外业调查和无人机测量,在现场调查过程中主要进行矿山地质环境、土地损毁情况、开采历史,地质灾害隐患等方面的调查,没有

进行表土分布、地表水源情况调查,缺少与当地居民的询问调查(即当地民俗文化、耕种难度、农作物经济价值等),重点进行了生态修复适宜性评价并确定修复方式(包括自然修复、生态重建、辅助再生等)和修复方向(包括旱地、林地、草地、特殊用地等),从植物物种选择、修复方向、修复技术等方面进行深入分析,主要采用:场地清理+客土回填+土壤改良+拦挡工程相组合的方式进行地貌重塑、危岩清理和植被重建,以2#图斑为例,设计成果如下。

1.2.1 治理范围与分区

根据核查划定治理边界和范围,恢复治理面积约为7 619.12 m²。主要采用的治理措施包括:构筑物拆除、危岩清理、场地清理、客土回填、土地复垦、造穴覆土、爬藤复绿等治理施工方案;根据地形地质条件和采用的治理措施不同,划分为采空治理区4个(A₁、A₂、B₁₋₁、B₁₋₂),自然恢复区1个(D)。

1.2.2 治理方案

主要措施为:构筑物及地坪拆除+场地清理+客土回填+土壤改良+土地复垦。A₁区拆除砖混结构废弃构筑物填至低洼处后进行客土回填,覆土厚度80 cm(土源外购);A₂区拟修复为旱地,B₁₋₁区和B₁₋₂区拟修复为林地(以乔、灌、草的配置模式进行造林),乔木选用旱冬瓜和杉木,灌木选用小叶女贞和火棘,均按照1:1配合种植,植树密度2 500株/hm²;草本选用光叶子花,撒播密度60 kg/hm²;D区为陡崖区主要采用危岩清理+爬藤种植+自然恢复措施进行修复。首先对边坡进行危岩清理,剔除坡面突出部分,平整坡面,保证边坡安全稳定,清理后的石方就地掩埋在低洼处;之后在边坡脚种植爬藤植物,选用爬山虎+常春藤,按30 cm×30 cm规格整地后,种植间距0.50 m,撒播草籽0.30 hm²(高羊茅+早熟禾+紫花苜蓿,1:1:1撒播);其余区域自然恢复;地势低洼段布设180 m排水沟,出口段与沟口与公路已有边沟相接;采场边界设置3个安全警示牌;不设水池,后期管护利用附近沟谷或村庄灌溉水。设计后期管护3年,工程措施费17.39万元,其他工程费3.56万元。

1.3 临沧市永德县历史遗留矿山生态修复

以临沧市永德县小勐统镇芒牛水村采石场为例,2024年6月在外业调查和测量基础上,主要进行了地质环境及地质灾害安全隐患的调查,国土空间规划查询(核对国土空间规划、林业一张图、“三区三线”等矢量化数据对比),没有进行表土、水源

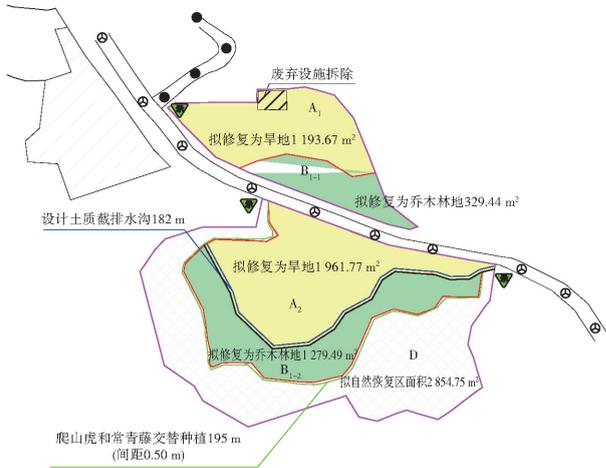


图2 麻栗坡县历史遗留矿山2#图斑生态修复设计图

点、当地风俗民情等方面的调查。进行生态修复适宜性评价后确定了修复方向,并完成了水土资源平衡分析,确定了主要的修复分区和主要修复措施;将修复区划分为:A区 $2\,019.51\text{ m}^2$, B_1 区 $2\,453.28\text{ m}^2$,D区 $4\,210.91\text{ m}^2$,E区 499.11 m^2 。

1)修复为旱地的区域A,主要措施为构筑物拆除+场地整平+客土回填+土壤培肥。拆除区内混凝土构筑物,破碎后就地掩埋至低缓区后进行场地平整,从矿山南侧村庄采购表土进行客土回填,覆土厚度 50 cm ,按每亩 350 kg 复合肥的用量拌入土壤中改良用,紫花苜蓿草籽按 15 g/m^2 撒播。

2)修复为林地的区域 B_1 ,主要措施为坡面整理+地表覆土+乔木种植+撒播灌草恢复。乔木选用核桃、水冬瓜(1:1混播),整地规格 60 cm ,种植间距 2.0 m ,植树密度 $2\,500\text{ 株/hm}^2$;灌草选马桑、山野豌豆、早熟禾、狗尾巴草,以同比例方式进行撒播,种子用量 10 g/m^2 。种植爬藤植物 216 m (爬山虎+常春藤),种植间距 1.0 m 。

3)陡崖、陡坡D区栽植长度 216 m ,设置护栏 150 m ;E区进行自然修复,植物措施管护期为3年,区内不设水池,后期管护植被灌溉从矿山附近村庄用水车送水,运距约 5 km ;采场西侧入场道路一带安装工程告示牌、安全警示牌各1块。工程措施费 13.81 万元 ,其他工程费 0.36 万元 。

2 基于案例的问题分析

生态修复是指利用自然生态系统具备或构建的调节能力,使其朝着相对有利的方向进行演替,但上述案例生态修复设计没有考虑修复后的生态系统自我调节能力、生态系统稳定性、生态效益等问题。参

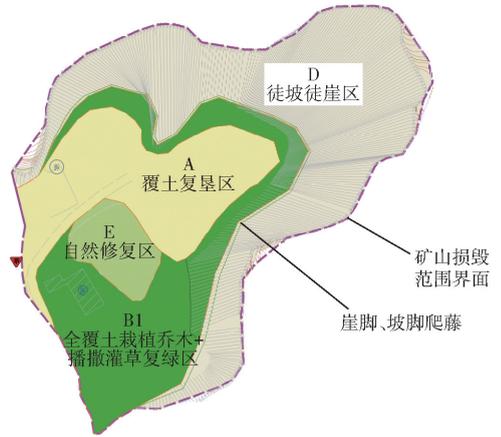


图3 永德县小勐统镇芒牛水村采石场生态修复设计

照基于自然的解决方案理论(NbS),完整的生态修复应从问题识别、修复对象调查评估、修复方案确定、修复实施、修复成效监测评估、自然资源管理等方面逐层递进^[4-6]。结合文中3个案例对现存问题进行分析,相关情况见表1。

2.1 生态修复措施针对性不足

从上述案例可以看出,现阶段的生态修复均是在投资为主导情况下开展的生态修复,修复效果和标准没有严格的界定,易造成生态修复资金投入混乱,所采用的修复措施价格可高、可低,修复景观化和工程化的现象比较明显。3个案例中所采取的修复手段过于单一,没有尝试采用新方法和新手段,基本以植物措施为主,地貌重塑、土壤修复、自然修复的措施过于传统,应鼓励采用新技术、新方法因地制宜地开展生态修复,以促进行业良性循环。案例1中乔木种植选用侧柏,草本选用戟叶酸模,这两种植物均是干热河谷植被恢复的先锋物种,在昭阳区不适宜;案例2中在河谷地区的麻栗坡造林选用杉木,草本选用光叶子花,没有结合当地气候特征选择植物物种,且忽略了乡土物种的推广和使用,与自然重构生态系统的理论相悖。因此,修复工程实施后是否能实现生态系统重建、加快植被演替,生态效益能否发挥等问题,在设计阶段均没有科学考虑。

2.2 生态修复设计依据不充分

3个案例设计的覆土厚度不一致,造林设计中藤本种植间距、草籽撒播密度等均存在差异,只有案例3进行了国土空间规划查询从而指导生态修复,避免以设计人员或主要承建单位的意见为导向进行修复,属于规范和进步的体现。从工程投资的角度,

表1 典型案例相关问题对照

分项	昭阳区	麻栗坡	永德县
地理位置及特性	位于云南省东北部, 坐标: E103°37'46.4", N27°17'14.4"	位于云南省东南部, 坐标: E105°9'31.18", N23°18'7.06"	位于云南省西南部, 坐标: E99°14'44", N24°21'18"
自然环境特征	平均海拔2 122 m, 高原季风立体气候, 平均气温12℃, 年均降雨750 mm, 分布砖红壤; 位于地下水的补给、径流区	平均海拔1 677 m, 亚热带湿润区气候, 平均气温18.5℃, 年均降雨1 057 mm, 分布石灰土; 孔隙水广泛分布	平均海拔1 564 m, 亚热带季风气候, 平均气温18.2℃, 年均降雨1 270.50 mm, 分布黄壤; 没有地下水补给
采矿损毁特征	开采之前为林地, 以机械开采为主, 没有爆破行为, 治理区开采立面较陡, 开采立面岩体节理裂隙发育, 在风化强烈外力作用下, 易发生局部坍塌	开采之前为林地, 以机械开采为主, 有爆破行为, 地表水和地下水都不会对采场造成充水影响, 采矿活动对含水层结构造成破坏、影响程度小; 修复场地条件稳定	开采之前为旱地, 以机械开采为主, 有爆破行为, 地表水和地下水都不会对采场造成充水影响, 边坡及底部基岩裸露, 易侵蚀下切
生态修复措施	平台进行场地平整+覆土+乔木栽植+草籽撒播, 边坡采用坡面整理、挂网喷播进行生态修复治理	构筑物及地坪拆除+场地清理+客土回填+土壤改良+土地复垦/植物种植	坡面整理+地表覆土+乔木种植+撒播灌草恢复
造林密度	乔木、灌木: 2 500 株/hm ² ; 撒播种子: 20 g/m ² ; 藤本种植间距1 m	乔木、灌木: 2 500 株/hm ² ; 撒播种子: 6 g/m ² ; 藤本种植间距0.50 m	乔木、灌木: 2 500 株/hm ² ; 撒播种子: 10 g/m ² ; 藤本种植间距0.50 m
国土空间规划查询	无	无	有
资金投入比例	6.24 万元/666.67 m ²	1.84 万元/666.67 m ²	1.03 万元/666.67 m ²
成果提交时间	2022年10月	2023年1月	2024年7月

3个案例中后两个以最节约的资金成本进行修复, 投入资金相差甚大, 应科学规范地制定标准, 使生态修复的投入与实际需求匹配, 审计和概算有充分依据; 另外, 还需按照国土空间规划的要求进行地类查询, 按照矿山规模进行标准设定, 不同类型、不同开采方式、不同区位的矿山, 所执行的修复标准应有所差异。应根据开采之前的矿山属于中型、小型、大型, 非金属矿、金属矿等进行分类管理, 结合场地条件设计与之对应的修复标准(例如林草工程造林等级、土地复垦等别、水体水质、土壤污染控制标准等)。

上述案例对于前期的调查和勘测规范不够完善, 对于补给水源或备用水源、表土资源、回填土土壤粒径及养分要求、地方民俗文化等缺少调查要求, 没有对修复对象进行全面的调查评估, 水量平衡分析、表土平衡分析和生态适宜性评价等存在不足, 应进一步完善设计标准体系, 统一参照执行。

2.3 后续管理缺失

以上3个设计案例中均缺少植被抚育的内容设计与费用计列, 造成植被栽植结束后基本的养护都没有得到保障, 栽植植被成活率低, 生态修复效果不明显。前期设计阶段应有备用设施和资金保障植被抚育管理。从长江经济带生态修复矿山修复效果来看, 生态修复的核心是自然管理, 可以理解为过程管理和施工后的抚育管理, 这一核心内容在上述三个

案例的设计中均被忽略, 总是“重工程、轻效果”, 实施完成后急于进行验收和工程结算, 对于抚育管理没有预留经费和保障措施, 造成植被补植、病虫害防治、灌溉用水等没有费用支出来源, 从而导致修复后期出现生态系统退化的现象。

从时间上, 生态修复是一个持续的过程, 需要特定周期, 必须加强后期管理和维护, 施工期结束后的工程验收仅核定工程量, 没有修复效果验收, 用工程管理的思维认为施工结束即生态修复结束, 会导致生态修复的效益不持续、不显著。因此, 在设计思路和设计成果中应以“过程”的思维对待生态修复, 给生态修复时间, 不能像土建工程一样要求生态修复效果“立竿见影”^[7-9]。

3 优化建议

3.1 强化生态理念

现阶段多数的历史遗留矿山生态修复追求最节约的修复方案, 没有参照生态系统指导修复, 只是机械式地进行成本控制, 没有充分体现“生态”的理念; 其次, 生态修复没有形成自我调节能力, 生态修复的主要作用是人工干预或重建已经受损的生态系统, 生态修复设计应考虑修复后生态系统恢复能力是否完善、是否需要辅助, 借鉴基于自然的解决方案理论(NbS), 应加强修复对象问题识别、调查评估、

方案制定和自然管理等;继续深化生态理念,注重自然管理,参照生态系统的结构组成进行生态修复。例如,对照参照生态系统,进行植被物种选择、种植密度设计、覆土厚度或土壤改良等,引进不同的动物或微生物,促进生态系统演替,加快顶级群落形成。

3.2 完善机制及技术标准

目前历史遗留矿山修复后,矿山的责任主体没有明确,修复之后的土地地类转换、耕地指标腾退、国土空间规划调整等没有明晰的规定和操作规程,可能存在废弃矿山落地修复后的林地暂未形成郁闭,地类已经被系统调整为林地或耕地等问题,造成实际生产过程中的矛盾,因此,规范历史遗留废弃矿山的责任主体、验收移交、地类指标调整等均应有据可依。

目前,云南省境内的历史遗留矿山大部分由政府出资进行修复,所以应继续探索“政府主导-企业担责-社会参与”的管理机制,充分发挥历史遗留矿山的生态价值,多元化探索生态补偿、绿色债券、PPP模式的资金渠道。2024年,云南省水利厅完成了全国首单水土保持碳汇交易,实现了小流域生态治理项目生态价值的转换。现有的历史遗留矿山生态修复应突破现有的空间利用、土地指标转换、景观提升、耕地保障等价值,尝试将修复后的矿山进行碳交易,以充分发挥矿山生态修复后的价值转换^[10-14]。

生态修复作为国家生态文件建设的重要手段,是多政府部门重叠的业务,尤其林草、水利、生态环境和自然资源部门之间应互相借鉴建立相对完善的技术标准或规程,以规范生态修复设计,管理过程中应明确主导单位权责,互相监督,在国土空间规划的指引下各司其职做好矿山生态修复工作,尽快构建完善的标准体系。例如,为便于后续进行生态价值交换,促进矿山生态价值评定和过程监督,矿山生态修复效益评估和监测应包含修复后场地的水土保持率、水土流失治理度、土壤流失控制比、植被恢复率、成活率、郁闭度、碳储量等评价指标;结合实际参考不同行业的技术标准,统一工程造价定额和取费标准,完善设计规程,重点补充完善自然管理的内容和方法,提升后续抚育管理水平。

3.3 优化设计手段

尝试使用人工智能、开发新技术,尤其是生物修复中的动物修复和微生物修复技术。尽管目前这两项技术多数处于科研试验阶段,但作为技术规范应以结果为导向在效果方面进行引导,鼓励有条件的场地在土壤中引入蚯蚓,在树林中引入鸟类、鼠类、

家禽等动物,促进生态系统稳定、加快恢复;鼓励通过添加肥料或微生物来改善土壤质量。另外,目前对于修复空间的利用尝试性不够,应进一步探索对于修复场地价值的叠加和转换,鼓励大力发展绿色产业。例如,通过鲜花种植或生态果园种植,尽量把污染因子消耗在种植过程中,高效整合和利用资源;通过建设生态农业基地,进行耕作后逐步消除土壤重金属污染;通过建立湿地公园更换水体植被实现污染物消除;利用裸露岩体进行娱乐场地建设、创造文旅景观价值,因地制宜提升废弃地景观和进行生物养殖,探索多渠道的重叠价值利用。

现阶段的生态修复养护措施及配套设施不够齐全,应加大对于综合配套工程的投资。农水设施、排水工程和灌溉管网等对于植被的生长,农作物耕作至关重要,应转变“重工程、轻生态”“重短期、轻长期”的理念,加强配套设施和管理措施设计,完善修复后的保障,促进修复场地生态系统迅速实现自我调节。系统性优化需统筹协调,设计理念和技术应不断优化,持续性完善更新,充分发挥系统的自我调节功能。

4 结束语

通过分析云南省内生态修复的3个案例,总结了矿山生态修复中的主要问题,针对现存问题结合经验,提出了强化生态理念、完善管理机制及技术标准、优化设计手段、加强后续管理等优化建议。总之,矿山生态修复是系统工程,需从理念、机制、技术和管理等多层面优化,为实现生态文明和可持续发展提供支撑和依据。

[参考文献]

- [1] 王婷婷,刘伯元,孔萌. 浅析矿山生态修复治理存在问题及治理方向[J]. 世界有色金属,2024(14):102-104.
- [2] 张晓颜. 对云南省国土空间生态修复实践的思考与认识[J]. 自然资源情报,2023(12):7-12.
- [3] 钟立. 历史遗留废弃矿山生态修复与综合开发利用模式探讨[J]. 西部资源,2021(6):44-45,48.
- [4] 金宜瑞. 生态修复技术在水土保持工程中的应用研究[J]. 农业灾害研究,2023,13(8):283-285.
- [5] 郭楠,农宇,杨校辉,等. 矿产资源型区域生态脆弱性评价及其驱动机制[J]. 环境科学,2025,46(9):5895-5906.
- [6] 胡育文,贾剑波,申新山,等. 乌海市煤矸石边坡不同修复技术及其效果评价[J]. 《中国水土保持科学(中英文)》,2024,22(6):1-15.

- [7] 姜丽丽,李少飞,徐洪伟. 历史遗留废弃矿山生态修复现状及治理对策研究[J]. 自然资源情报,2023(1): 22-27.
- [8] 王旭东,尹峰. 废弃矿山市场化生态修复实践与探索——以安徽省为例[J]. 中国国土资源经济,2021, 34(8):57-63.
- [9] 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.
- [10] 贾静. 矿区环境生态修复与土地再开发利用浅[J]. 华北自然资源,2024(3):127-129.
- [11] 高昕场,王庆永,秦奎. 滑坡地质灾害治理及生态修复措施分析[J]. 科技与创新,2024(12):127-129.
- [12] 董阳,张昌翌,蒲凯超,等. 露天采石场历史遗留矿山生态修复措施研究[J]. 中国水土保持,2025(1): 51-56.
- [13] 许铭宇,郑吉鸿,麦子程. 历史遗留废弃矿山国土空间生态修复策略研究[J]. 热带雨林,2024,52(4): 105-108.
- [14] 杜越天. 国外矿山生态修复管理经验借鉴与启示[J]. 中国国土资源经济,2024,37(12):19-25.

Analysis of the Existing Problems and Optimization Proposals for Ecological Restoration of Historical Legacy Mines in Yunnan Province

ZHU Wenwu, WU Junyan, ZHANG Chao

(Yunnan Geological Engineering Second Investigation Institute Co., Ltd., Kunming 650218, China)

Abstract: Mine ecological restoration is an important part of ecological civilization construction. Through in-depth analysis of three typical practical cases, this study revealed the prominent problems existing in the ecological restoration of historical legacy mines in Yunnan province, including insufficiently targeted restoration design measures, lack of scientific basis for design, and incomplete follow-up management mechanisms. In response to these issues, this paper proposed the following improvement suggestions: at the conceptual level, deepen ecological thinking, achieve the transformation from traditional “engineering thinking” to “ecological thinking”, and introduce the theory of nature-based solutions to guide restoration design; at the management level, clarify the responsible entity after restoration, explore the mechanism for converting ecological value, and improve the design basis system; at the technical level, it is suggested to optimize the technical standard system, strengthen the whole-process management, and promote the continuous improvement and dynamic update of ecological restoration work. The implementation of these suggestions provides strong technical support and institutional guarantee for improving the quality of mine ecological restoration and promoting ecological civilization construction.

Key words: abandoned mine; ecological restoration; ecological value; ecological restoration; management mechanism; ecological civilization