

废弃石棉矿山生态修复路径探索

李云鹏¹, 李天虎²

(1. 成都市规划设计研究院, 四川 成都 610095; 2. 雅安市自然资源和规划局, 四川 雅安 625099)

[摘要] 某石棉矿经过多年开采形成了大量历史遗留废弃矿山,对周边生态系统和人居安全产生严重影响。本文分析了石棉矿废弃矿山的复杂地理条件及存在的生态修复问题,提出“规划引领-系统防治-质效提升-价值转化”的实践路径,开展“防治-修复”系统治理,以及针对危险固废石棉尾矿制定“分区、分类、分时”系统控制,打造特殊矿种修复示范;并在治理后通过“生态+”“文旅+”“大熊猫+”品牌建设实现多途径赋能,推动废弃矿山生态价值转化。通过突破传统矿山单一修复模式,为特殊矿种废弃矿山生态修复改造中遇到的困境与瓶颈提供新的解决思路。

[关键词] 废弃矿山;生态修复;大熊猫国家公园;生态价值转化;石棉矿

[中图分类号] X171.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2025)04-0043-05

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.04.007

0 引言

1950年10月,原西康省为支援国家建设和推动地方经济社会的发展,利用省内越西县储藏有大量石棉矿的优势,组建西康省越西县石棉矿矿务处,揭开了国有开采石棉矿的序幕,该石棉矿是紧随新中国成立而成立的国有大型矿山企业之一。经过50余年开采留下的废弃矿山以及矿山关停后遗留的大量工矿废弃地,成为当地亟待解决的生态问题。大量工矿废弃地的存在不仅占用和浪费土地资源,还易引发次生地质灾害和导致水土流失^[1]。同时,尾矿还给当地人民群众的生命财产安全造成威胁,影响当地社会经济的可持续发展。

本文结合石棉县大熊猫国家公园废弃矿山修复试点实践,分析研究复杂地理条件和特殊矿种石棉尾矿的生态修复问题,提出“规划引领-系统防治-质效提升-价值转化”的实践路径,实现国家公园边缘地区矿山生态环境修复、改善人居环境,获得显著

的生态效益与社会效益、文化效益。

1 石棉矿矿山现状

在“重资源利用,轻环境保护”的粗放式开发利用模式下,石棉县城周边形成了大量历史遗留废弃矿山。石棉矿遗留废弃矿山面积约1.9 km²,紧邻县城所在地新棉街道以及目前唯一的高速路通道,对周边生态系统和人居安全造成严重影响。

在矿山开采过程中,清除地表植被、挖毁原地貌、修建废石堆场等人工活动,导致矿区范围地貌破坏、基岩裸露,生态环境严重退化,土壤和植被固碳能力下降。石棉矿开采利用率较低,每26 t石棉原矿石大约仅能生产1 t石棉,剩余则成为石棉尾矿^[2]。大量尾矿弃渣堆放于山体坡地,压占大量土地资源,同时尾矿堆积处的地表更容易造成水土流失,并产生地表环境污染。

遗留废弃矿山废渣堆砌区内相对高差超过400 m,开采过程中产生的废渣多沿陡峭山坡堆放,未实施有效治理而形成了松散废渣滑坡。其地质构造不稳定,易产生泥石流、滑坡、崩塌等多种地质灾害隐患^[3]。同时,石棉粉尘飘浮,会对自然环境和人体健康造成严重危害。矿山关停后,大量富含石棉纤维的尾矿因大气扬尘作用仍然会进入居民活动区域,造成空气污染。

石棉矿开采对周边土地造成挖损,产生的废石、废渣及弃土等对土地造成压占损毁^[4]。根据《耕地后备资源调查与评价技术规程》(TD/T 1007—

[收稿日期] 2024-12-17

[作者简介] 李云鹏(1991—),本科,工程师,主要从事国土空间规划工作。

[引用格式] 李云鹏,李天虎.废弃石棉矿山生态修复路径探索[J].绿色矿冶,2025,41(4):43-47.

LI Yunpeng, LI Tianhu. Exploration on ecological restoration path of abandoned asbestos mine [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(4): 43-47.

2003)及相关技术资料评估,石棉片区损毁土地面积约 1.97 km²,绝大部分属于重度损毁土地。

由于粗放式开采破坏大量森林植被,约有 125 hm² 林草地转变为废弃工矿用地。按全国草地调查统一分类法,结合《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估》(HJ 1173—2021)中不同植被覆盖等级划分,石棉片区相对植被低覆盖区域(植被覆盖度低于 10%)的面积达到 123.65 hm²。大量区域地表裸露,使得土壤在雨水和地表水的冲刷下被带走,进入河流,造成下游水体污染。

2 问题及挑战

2.1 存在多处地质灾害隐患影响修复

根据实地勘察,石棉片区内地势陡峭,且有多处裸露岩石区域,在降雨、地震等工况下发生失稳破坏的可能性较大,严重制约生态修复开展。同时,该区域还是泥石流易发区域。自 1950 年以来,该地发生过一次规模较大的泥石流和多次小规模泥石流。2014 年,为减少灾害影响,已修建拦水坝、排导槽和格宾石笼挡墙,目前可参与泥石流活动的物源量较小,但部分地区矿渣滑坡后进入排导槽造成堵塞,遇到集中暴雨时易引发泥石流,对下方施工区及高速公路产生灾害风险。

2.2 治理后综合利用效益难以保证

废弃矿山区处于高山峡谷地区,最高海拔约 2 050 m,长期土壤裸露使得生态系统比较敏感和脆弱,植被及土壤的自我修复速率特别缓慢。如果未

对区域自然环境气候和生态格局进行整体研究规划,仅通过单一的生态环境综合整治,难以保证改善生态环境的效果。从项目建设投入角度来看,如果缺少后期运营的提前规划,只靠一次性项目建设投入,难以形成良性的生态价值转化,生态修复的综合效益将大打折扣。

2.3 多方治理需求迫切

待治理矿山位于大熊猫国家公园边界周缘地区,对助力保护世界珍稀物种栖息地,促进生物多样性保护、探索生态文明建设新模式具有十分重大的意义。随着居民日益增长的生活品质需求以及高发展对于土地资源的集约利用,废弃矿山与人居环境提升和土地资源平衡冲突逐渐凸显,居民对于改善矿区生态环境和城乡环境需求迫切。

3 生态修复实施路径探索

3.1 明确顶层规划引领

为扎实推进生态文明建设,将生态修复落到空间实处,通过编制《石棉县国土空间生态修复规划(2021—2035 年)》向上衔接国土空间规划,向下夯实修复工作目标,发挥规划引领统筹全域的作用。

3.1.1 合理确定修复重点区域

结合石棉县域高山峡谷复杂地形、大熊猫国家公园保护优先以及森林覆盖率高特征,对县域层面生态服务功能、生态环境质量等开展系统分析,综合研判石棉县生态修复整体情况,识别重点问题和区域(图 1)。

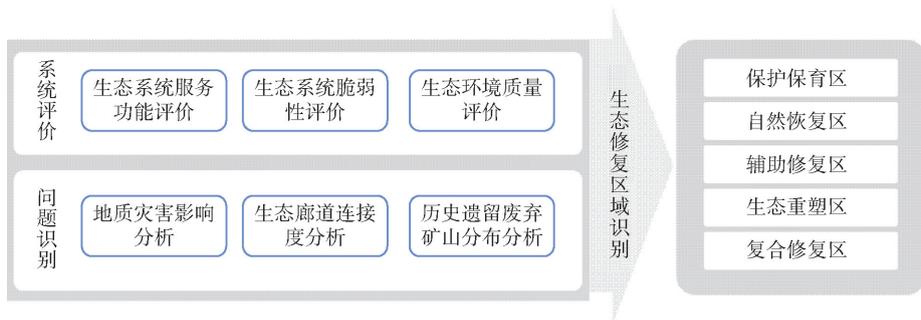


图 1 生态修复重点区域识别分析路径

建立“评价分析-重点识别-指标监测”的流程框架(图 2),识别出重点问题及区域后,引导构建全域生态修复安全格局。对于不同修复区域因地制宜制定修复手段,并通过构建生态保护指标、生态品质指标、生态修复指标三大类 15 项目标体系(表 1),以指标量化的方式为后续生态修复效果提供明确评

定标准。
3.1.2 明确修复目标与措施
传导落实省、市级国土空间生态修复规划生态安全格局,落实岷山-大渡河水源涵养与生物多样性保护修复区管控要求,开展该区域内石棉矿等历史遗留工矿废弃地的地形重塑及生态环境修复。重

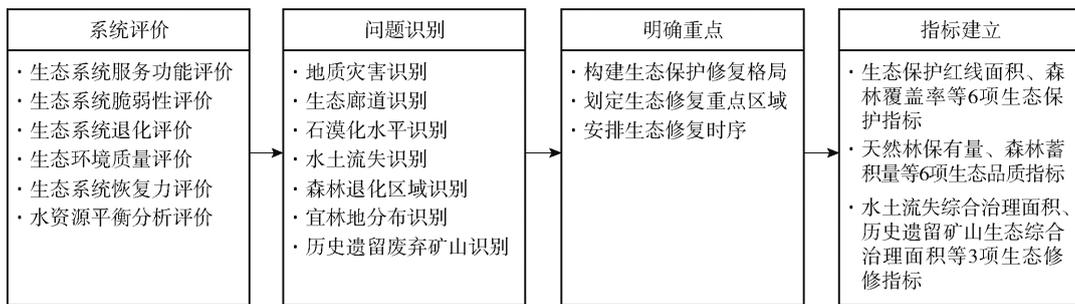


图2 “评价分析-重点识别-指标监测”的流程框架示意图

表1 生态修复效果绩效评价指标体系

指标类型	具体指标
生态保护指标	生态保护红线面积
	自然保护地占比
	森林覆盖率
	国家重点保护物种及四川特有物种有效保护比例
生态品质指标	重要河湖自然岸线保有率
	耕地保有量
	天然林保有量
	森林蓄积量
	县城城市绿地率
生态修复指标	人均公园绿地面积
	城乡集中式饮用水水源地水质达标率
	河湖水质达标率
	水土流失综合治理面积
	历史遗留矿山生态综合治理面积
	河湖水系生态岸线

点恢复矿区植被和动植物栖息地、减少水土流失、防止土地沙化和消除地质灾害,开展废弃矿山治理工程,逐步提升生态系统质量和稳定性。通过人工辅助和生态重塑措施,实施地形重塑、土壤重构、植被重建,消除矿山地质灾害隐患,提升矿山生态系统服务功能。

3.2 推动“防治-修复”系统治理

3.2.1 根据生态问题重要程度明确修复手段

针对石棉矿废弃矿山区域复杂的现实情况,从矿山地质安全隐患、地形地貌破坏程度、土地损毁、植被破坏等方面对矿山生态问题进行分析识别,按照矿山生态问题的分布、规模、特征、严重程度和危害等维度综合评定,划分出重要程度三级分区(表2),进而确定矿山生态修复方式。

表2 矿山生态问题分级及修复方式

生态问题 分级	场地条件	矿山生态 修复方式	修复手段
I级	场地存在重大地质安全隐患,地质条件不稳定,或场地存在具有影响环境安全的重大水土污染问题,或存在严重土地损毁、水资源破坏,地表植被生境受到严重影响,生态退化严重	生态重建	通过乔灌草混种、种植攀爬植物、三维网喷播植草等手段,重新引入其所有或大部分的理想生物群落,以尽可能地恢复到参照生态系统的状态
II级	场地存在一定的地质安全隐患,地质稳定性较差,或场地局部存在水土污染,存在一定程度土地损毁、水资源破坏,部分植被盖度与质量受到影响。物种生境条件较为稳定,生态系统结构与功能较为完好	辅助再生	通过改善土壤环境、参照本地生态系统引入适宜物种等方式,实现生态系统的自然恢复
III级	场地不存在地质安全隐患和水土污染,地质稳定性与水土质量良好,地表仅存在少量土地损毁或水资源破坏,仅局部植被盖度与质量受到影响,物种生境条件稳定,生态系统结构与功能完好	自然恢复	通过消除切断污染源、禁止植被损毁,采取封山育林方式,依靠生态系统的自我调节和自我组织能力实现生态修复

根据现场调查,将存在滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害,危险性较大,且土地损毁严重、生态退化严重的地区纳入I级分区,其矿山生态修复方式为生态重建。将存在一定程度土地损毁、部分植被盖度与质量受到影响,但物种生境条件较为稳定、生态系统结构与功能较为完好的斑块划为II级分区,其矿山生态修复方式为辅助再生。

按照“先急后缓,因害设防,保护优先,自然恢复为主”的原则,以保护修复石棉片区大熊猫生存环境、生态功能为核心,突出地质灾害治理、生物多样性保护功能和实现遗留废弃矿山生态恢复,达到消除区内大熊猫栖息地外延区域生态安全隐患、保护和恢复区内生态环境的目的。针对区内需要修复治理废弃矿山存在的地质安全隐患、水土环境破坏

等安全类生态环境问题,通过矿山地质灾害治理、水土环境综合治理工程等手段修复消除区内地质灾害隐患点、治理区内碎石边坡;针对区内土地损毁、林业发展不足、效益不高等功能类生态环境问题,通过实施土地损毁综合治理工程,进行土地修复;针对区内植被景观破坏问题,通过植被重建等方式恢复区植被及地形重塑;针对区内植被覆盖率高的资源优势尚未有效转变为产业优势和经济优势,林业发展不足、效益不高等问题,采取以自然恢复为主的修复模式,辅以幼林抚育、彩叶林种植 5 000 hm² 进行改善提升。

3.2.2 “分区、分类、分时”推进特殊矿种修复示范

石棉是世界公认的有害物,其尾矿属于危险固废。石棉自身不具有浸出毒性危险特性,但当石棉纤维通过摄入和吸入两种途径进入人体后,不易被排出,会造成永久性损伤。因此,本次石棉纤维防治以切断石棉纤维的环境暴露为基本点,通过阻隔入水、阻隔入气的方式,“分区、分类、分时”系统控制废弃石棉矿山恢复治理过程中的风险,为在建石棉矿山和关闭石棉矿山的生态修复提供示范。

3.2.2.1 分区治理

该石棉矿废弃矿山紧邻大渡河河道及城镇聚居区,直接威胁大渡河及周边居民。待恢复矿区相对高差达 1 150 m,存在垂直分层差异;且部分区域原有已建截水、排导工程,阻隔条件较好。综合考虑生态保育和实际功能需求,采取分区分策方式治理。对于距离水系和聚居区较远的斑块,主要采取覆土阻隔的方式治理石棉纤维污染;对于影响较大区域,重点开展整治和修复。

3.2.2.2 分类治理

通过现场调研核实,区内废弃矿山图斑主要包含原石棉矿开采形成的厂区、采场和裸露边坡、尾矿库等。

1) 厂区,包括原矿山开采遗留的办公生活房屋、厂房等建(构)筑物及拆除后的废墟。这部分区域几乎不产生石棉纤维,通过定期检测,对这些区域进行保留,后期改造提升。

2) 采场和裸露边坡,主要是原露天开采形成的采坑、平台、边坡。原矿山开采已剥离并转运了区内的石棉矿石,遗留原地的多为不含石棉纤维的围岩基岩,对这些区域进行场地整治,覆土复绿并定期检测。

3) 尾矿库。尾矿库堆积有原矿山开采遗留的石棉矿尾,污染源包括石棉粉尘和重质尾石两部分。对含石棉纤维的粉尘通过设置排导槽、截排水

沟等设施,防止石棉纤维冲刷进入水体环境,并采用客土覆盖、喷播植草等措施,防止石棉纤维进入大气环境。重质尾石不具备浸出毒性,也不易产生石棉纤维,因此可作为含石棉纤维的粉尘第一次覆盖物,再在之上进行表土覆盖和植被恢复。

3.2.2.3 分时治理

对含有石棉纤维的尾矿库区域在不同时序、时间采用不同方法进行生态环境治理和石棉纤维危害控制。

治理前,首先调查石棉纤维对周边空气、水体的危害现状,并提前做好截排水、排导槽、临时沉淀过滤、设置警示标识等措施,防止施工过程中雨水冲刷石棉纤维污染水体和土壤;之后对尾矿区全面洒水和化学覆盖,防止施工扬尘产生;制定大风、暴雨等极端天气的紧急处置预案。

治理过程中,进行定期洒水和化学覆盖,防止扬尘产生,施工人员做好个人防护措施,并定期对影响区做好水体、土壤、空气质量监测。

治理完成后,开展跟踪监测调查,定期检查石棉尾矿隔绝封闭完整性,及时修补破损处,必要时设围墙或围栏等隔离设施确保防尘效果。

3.3 推进矿山修复助力国家公园保护

石棉县位于大熊猫国家公园腹地,本次修复废弃矿山图斑范围大多位于大熊猫国家公园周缘地区。废弃矿山修复可改善大熊猫栖息地环境质量,提升生态系统服务功能,推进形成生态保护和修复新格局,为区域动物迁徙和遗传信息交流创造有利条件,保护生物多样性,为其他国家公园周缘地区矿山生态修复提供示范。

3.4 实施修复改善人居环境

国内已有大量矿山生态修复的实例和研究,根据经验,矿山生态修复与城市建设项目相结合具有较高的可持续性;而仅进行生态修复的矿山项目则存在投入高、周期长、经济效益不明显”的问题^[5]。因此,为实现矿山修复生态价值良性转化,应更加紧密结合县域经济发展和当地居民实际诉求,与城镇实现耦合发展才能实现可持续利用。

3.4.1 建设居民休闲地

现状废弃矿山周边城乡环境杂乱,暂无集中的城镇公共休闲设施场地。在保证生态修复及地质安全的前提下,充分发挥矿山生态修复成果的科普教育价值,融合域内民族特色、大熊猫元素、红色文化,打造集生态环境保护警示教育、石棉矿及其开发历

史文化体验于一体的自然资源科普教育点。

3.4.2 建设文旅景区

以地质遗迹景观为主体,利用小火车轨道还原工人进入矿区情景,引进高科技VR互动影院、互动人体感应设备等高科技设备,利用高清激光投影机以及其他光电效果,打造沉浸式矿洞探索场景,带给游客更加真实的石棉矿区体验。在海拔更高的区域打造以“慢呼吸+轻运动”为主的山地公园休闲区,布置插花式观景台,形成轻享运动与览山观城的综合性打卡点。

3.4.3 建设大熊猫品牌生态圈

做好与大熊猫国家公园科考研学旅游线路的有机衔接,积极融入大熊猫公园建设“大熊猫+”产业品牌,提升产业附加价值。结合修复的海子山区域地形特征,开展立体型、多层次、集约化的山地园艺型农业,加入大熊猫科技化趣味形象,将科普展示搬到大自然中。采用生态园模式将园内农业的布局和生产,将农业活动、自然风光、科技示范、休闲娱乐、环境保护等融为一体,实现生态效益、经济效益与社会效益的统一。

4 结束语

中国是矿产资源利用大国,历史遗留废弃矿山

会造成环境污染、地灾隐患和水土流失等一系列问题,历史遗留废弃矿山生态修复是我国生态文明建设的重要方面。特别是对于现状问题复杂且矿种特殊的历史遗留矿山,目前单一的生态修复模式不能满足矿山修复的要求,对于后续利用也缺乏更有效的对策。因此,应该按照“先急后缓,因害设防,保护优先,自然恢复为主”的原则,通过多途径施策破解修复难点。充分利用当地特色资源,树立生态效益、经济效益与社会效益相统一的发展理念,推动废弃矿山变为绿水青山和金山银山。

[参考文献]

- [1] 刘慧琳. 硫磺矿废弃地复垦土壤重金属含量特征分析[D]. 淮南:安徽理工大学, 2019.
- [2] 李小川. 石棉尾矿路用混凝土试验研究[D]. 长沙:中南大学, 2008.
- [3] 王佳运,张茂省,张成航,等. 玉树7.1级地震地质灾害发展趋势分析[J]. 灾害学, 2013,28(4):61-66.
- [4] 赵磊,裴立东. 辽宁省矿山损毁土地复垦和生态修复对策建议[J]. 国土资源, 2019(7):48-49.
- [5] 许金华,杨磊,满璐玥,等. 区域统筹视角下多矿山联合生态修复的规划思路探讨——以珠海市斗门区为例[J]. 《规划师》论丛,2022,(00):305-314.

Exploration on Ecological Restoration Path of Abandoned Asbestos Mine

LI Yunpeng¹, LI Tianhu²

(1. Chengdu Institute of Planning & Design, Chengdu 610095, China;

2. Ya'an Natural Resources and Planning Bureau, Ya'an 625099, China)

Abstract: After years of mining, a large number of historical abandoned mines have been formed in the original asbestos mine in Sichuan Province, which has a serious impact on the surrounding ecosystem and human settlements safety. This paper analyzed the complex geographical conditions of abandoned asbestos mines and the ecological restoration problems, and put forward the practical path of “planning guidance-systematic prevention and control-quality and efficiency improvement-value transformation”, carried out “prevention and control-restoration” systematic governance, and formulates “zoning, classification and time-sharing” system control for dangerous solid waste asbestos tailings to create a demonstration of special mineral restoration. After remediation, through band building such as “ecological +”, “cultural tourism +”, “giant panda +” to achieve multi-channel empowerment and promote the transformation of its ecological value. By breaking through the traditional mine single restoration mode, it is expected to provide new solutions to the difficulties and bottlenecks in the ecological restoration and transformation of abandoned mines with special minerals.

Key words: abandoned mine; ecological restoration; giant panda national park; ecological value transformation; asbestos mine