

自然保护地废弃石场生态修复*

——以广东罗浮山省级自然保护区湖洋石场为例

李纪友¹ 徐期瑚¹ 朱利永² 郭盛才¹

(1. 广东省林业调查规划院, 广东广州 510520; 2. 广东省岭南院勘察设计有限公司, 广东广州 510599)

摘要 自然保护地废弃石场生态修复可以改善生态环境, 保全生物多样性, 提升景观质量, 促进人与自然和谐共生, 生态修复设计是实现废弃石场生态修复的关键环节。基于自然保护地保护生态和生物多样性的目的, 以广东罗浮山省级自然保护区湖洋石场为例, 调查和分析试验地内存在的主要生态问题, 采用生态修复分区的方法, 提出自然保护地废弃石场生态修复设计的主要内容, 包括边坡修复、土壤修复、植被修复和景观修复。各项修复充分考虑地质、地形地貌、植被等多种因素, 通过稳定性、美观性、生态性和多样性等多方面比选确定最优的生态修复设计方案, 工程措施和生物措施相结合, 综合治理, 使废弃石场生态环境和生物多样性得到改善。

关键词 自然保护地; 废弃石场; 生态修复

中图分类号: S719 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2022) 06-0197-06

Ecological Restoration of Abandoned Stone Field in Natural Protected Areas

—A Case Study of Huyang Stone Field in Guangdong Luofu Mountain Provincial Nature Reserve

LI Jiyou¹ XU Qihu¹ ZHU Liyong² GUO Shengcai¹

(1. Guangdong Forestry Survey and Planning Institute, Guangzhou, Guangdong 510520, China; 2. Guangdong Lingnanyuan Exploration and Design Co., Ltd, Guangzhou, Guangdong 510599, China)

Abstract The ecological restoration of abandoned stone field in natural protected areas can improve the ecological environment, protect biodiversity, enhance the landscape quality, promote the harmonious coexistence of man and nature, and ecological restoration design is the key to realizing the ecological restoration of abandoned stone fields. Based on the purpose of protecting ecology and biodiversity in natural protected areas, this paper investigated and analyzed the main ecological problems existing in the test site, adopted the method of ecological restoration zoning, and proposed the main content of ecological restoration design of abandoned stone field in naturally protected areas, taking Huyang Stone field in Guangdong Luofu Mountain Provincial Nature Reserve for example, including slope ecological restoration, soil ecological restoration, vegetation ecological restoration design and landscape ecological restoration design. Various restoration factors, such as geology, topography, and vegetation, are fully considered, and the optimal ecological restoration design scheme is determined through

* 基金项目: 广东省 2020 年生态林业建设专项 (20301)。

第一作者: 李纪友 (1976-), 男, 高级工程师, 主要从事林业调查规划设计和自然保护地调查监测等, E-mail: 1321085669@qq.com。

comparison and selection of stability, aesthetics, ecology and diversity, etc. The combination of engineering measures and biological measures is integrated to improve the ecological environment and biodiversity of the abandoned stone field.

Key words Natural protected area; abandoned stone field; ecological restoration

自然保护区是国际公认的保护生物多样性、提供优质生态产品与服务、维系生态系统健康最重要和最有效的途径^[1]。广东省有各种类型自然保护区共计1359处,约占全国自然保护区数量的13%,总面积294.52万 hm^2 ,约占全国自然保护区面积的1.7%^[2],是全省生态系统最完整、生物多样性最丰富、珍稀野生动植物分布最集中的区域。但由于历史原因,自然保护区内仍存在部分生态受损的废弃石场等。据广东省自然保护区生态治理与生态修复专项摸底调查数据,自然保护区内废弃石场有25处共计118.5 hm^2 。废弃石场通常地表裸露,植被残缺,存在边坡塌方和水土流失等地质灾害,破坏了自然保护区的生态和野生动植物生境,危及自然保护区生物多样性。对废弃石场进行生态修复,可以改善自然保护区生态环境,提升自然保护区景观质量,促进人与自然和谐共生。本文以广东罗浮山省级自然保护区湖洋石场为试验地,分析试验地的主要生态问题,采用修复分区的方法,提出自然保护区废弃石场生态修复设计的主要内容,包括边坡修复、土壤修复、植被修复和景观修复。各项修复充分考虑地质、地形地貌、植被等多种因素,通过稳定性、美观性、生态性和多样性等多方面比选确定最优的生态修复设计方案,工程措施和生物措施相结合,综合治理,使废弃石场生态环境和生物多样性得到改善。

1 试验地概况

广东罗浮山省级自然保护区位于珠江三角洲东北部,东临惠州市,南部与东莞市交界,西北部则分别与广州市增城区和龙门县接壤。自然保护区地形复杂,地势以主峰飞云顶为中心向四周倾斜,坡度介于 $10^\circ\sim 45^\circ$ 之间;海拔500 m以上的南坡多是大片裸露岩石。自然保护区属于亚热带季风气候,日照充足,年均气温 21.9°C ;雨量充沛,年均降水量1 800~1 900 mm,多集中在4-9月;每年均受到台风侵害。自然保护区植被为

南亚热带季风常绿阔叶林,森林覆盖率97.43%。试验地湖洋石场位于保护区的实验区内,目前早已关闭,废弃多年。试验地范围海拔在70~145 m之间,地势呈西北高东南低的趋势;土壤为赤红壤;石场范围内植被大部分为草本,少量为山乌柏 *Triadica cochinchinensis*、朱缨花 *Calliandra ematocephala* 等,植被景观效果较差。试验地位置如图1所示。

20世纪70年代试验地采用露天斜坡式开采(图2),山体被大量开挖,形成了约3.35 hm^2 的废弃地,与周边茂密的天然植被形成极大反差,如同自然保护区的一道“疤痕”,保护区自然景观遭到严重破坏。试验地山体岩石大面积裸露,原有植被和植被生长所需的土壤被破坏,附近动物栖息地受到干扰,野生动植物生境质量下降,生物多样性降低。试验地左侧为塌方边坡,面积4 456 m^2 ;边坡坡度较大,最大高度45 m,土质松散,存在滑移带,滑移带最长处78 m。在汛期或遇暴雨等,有山体滑坡、泥石流等地质安全隐患,对自然保护区野生动植物生存和周边居民生活形成较大威胁。

生态修复设计之前,根据试验地破坏状况、地质、地形地貌和植被等因素,将试验地分为5个生态修复区(图2)。试验地生态修复分区详见表1。

2 试验设计

2.1 边坡修复设计

2021年1月开展修复,边坡修复设计前进行详细勘查,准确掌握地质、地形等各项数据,再根据边坡的土质、稳定性和坡度等对边坡进行分类,确定边坡修复设计方案。试验地内边坡分类及生态修复设计方案见表2。

2.1.1 塌方边坡(I区)采用格构锚固结构+喷播植草技术,格构锚固结构稳定耐久,既能保证深层加固又可兼顾浅层护坡^[3],可以最大限度的消除地质安全隐患。格构锚固结构采用锚杆+钢

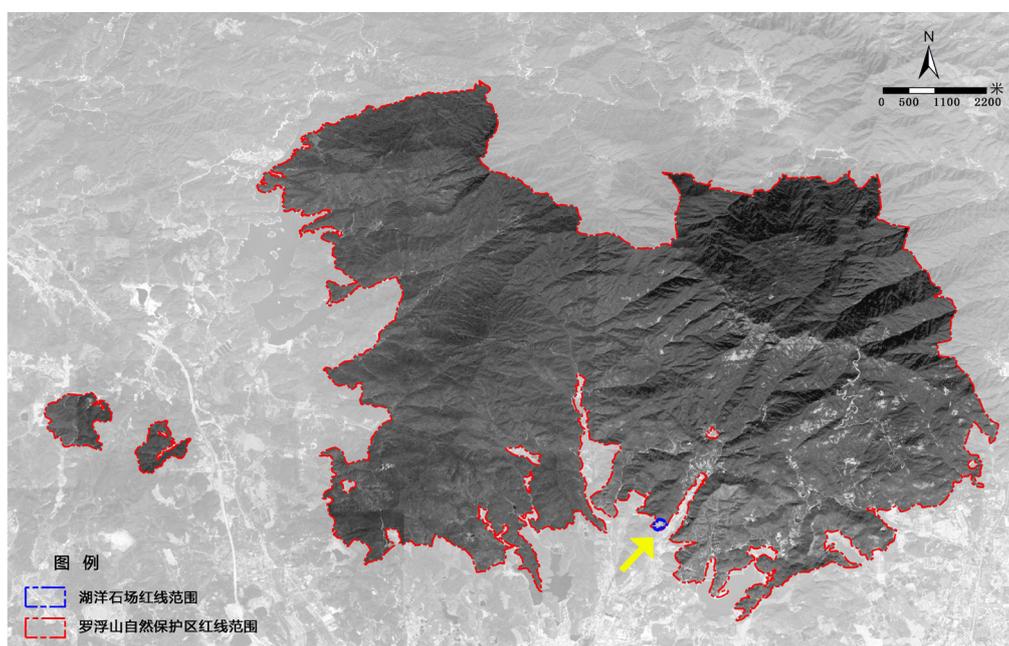


图 1 试验地位置

Fig. 1 Location of the test site

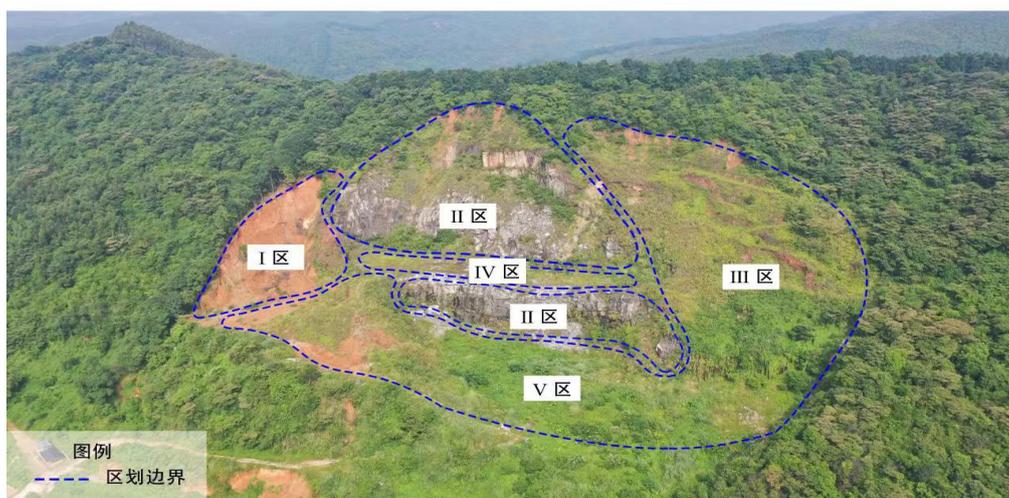


图 2 试验地现状及修复分区

Fig. 2 Current situation and restoration zoning of test site

表 1 试验地生态修复分区

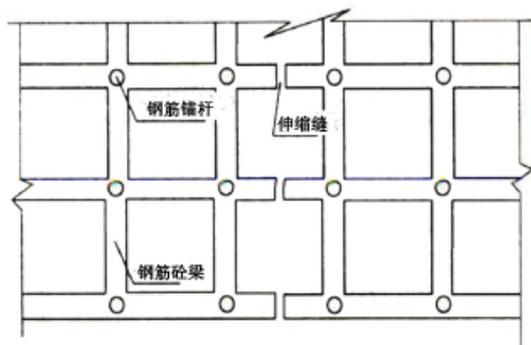
Table 1 Zoning of ecological restoration in the test site

生态修复分区 Ecological restoration zone	范围 Scope	存在问题 Existing problem	面积 /m ² Area
I 区塌方边坡修复区	位于石场左侧	有山体滑坡的迹象，地质灾害风险突出	4 456
II 区岩质边坡修复区	位于石场中上部和中下部	植被受到破坏，地表裸露	8 156
III 区土质边坡修复区	位于石场右侧	植被受到破坏，山体有水土流失隐患	9 855
IV 区岩质平台修复区	位于石场中部	土壤受到破坏，地表裸露，植被稀少	3 641
V 区土质平台修复区	位于石场下方	土壤受到破坏，植被生长不良	7 392

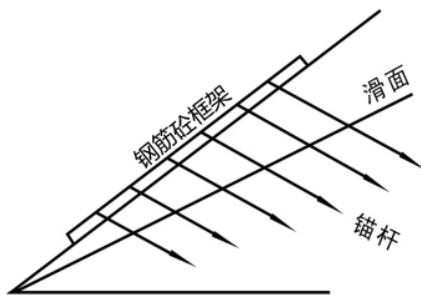
表2 边坡分类及生态修复设计方案
Table 2 Slope classification and ecological restoration design scheme

边坡类别 Slope type	稳定性 Stability	地基承载力/kpa Bearing capacity of foundation	坡度 Slope gradient	坡高/m Slope height	设计方案 Design scheme
塌方边坡(Ⅰ区)	不稳定	150	> 45°	45	格构锚固结构+喷播植草
土质边坡(Ⅲ区)	稳定	300	10°~30°	65	人工植苗
低矮石质边坡(Ⅱ区)	稳定	1 000	> 70°	12	垂直绿化
高陡石质边坡(Ⅱ区)	稳定	1 000	> 70°	54	飘台种植槽+垂直绿化

筋砼梁相连接形成复合抗滑护坡结构,锚杆立面间距2 m(水平)×2 m(竖直),锚杆布置在钢筋砼梁节点处(图3)。钢筋砼梁截面为矩形,梁高度的2/3以上埋在土里,以保证防护效果。试验地塌方边坡较高,因此设计时分台阶设置三级格构锚固结构。钢筋砼格构框架每隔10~20 m设置伸缩缝一道,伸缩缝位置与坡面纵向排水沟位置统一考虑以做到两者兼顾。在边坡顶外5 m处设置截水沟,在台阶和坡脚处修建排水沟,并通过坡面纵向排水沟进行连接,将坡面雨水汇集后统一排到沟渠中,以解决雨水引起地质灾害。为美化边坡,恢复受损的生态环境,待格构锚固结构施工完成后进行喷播植草绿化。



(a) 剖面图 Section



(b) 平面图 Plan

图3 格构锚固结构

Fig. 3 Lattice frame anchorage structure

2.1.2 土质边坡(Ⅲ区)采用人工植苗法,植穴沿等高线水平方向排列,上下两行植穴错位呈三角形布设,避免坡面雨水以直线形式下泄冲刷坡面,以利于水土保持。

2.1.3 低矮石质边坡(Ⅱ区)直接在坡顶、坡底砌筑水平种植带,凿穴种植藤本植物,利用藤本植物下爬上垂的方式进行垂直绿化。

2.1.4 高陡石质边坡(Ⅱ区)除在坡顶、坡底设置水平种植带外,还在边坡中间较平缓处设置3行飘台种植槽。高空飘台种植槽内回填种植土,再凿穴种植藤本植物,利用藤本植物下爬上垂的垂直绿化特性,逐渐覆盖绿化裸露岩质边坡。

2.2 土壤修复设计

试验地岩质平台(Ⅳ区),地势平坦,为裸露岩石,土层厚度0~4 cm,土层较薄植被难以生长;试验地土质平台(Ⅴ区),表面有一层较薄的冲积土,下面为岩石,植被生长不良。设计对这两个区域的土壤进行修复,以满足植被健康稳定生长。土壤修复有物理改良法、化学改良法和植物改良法等。土壤受损严重,土层过薄甚至完全没有土壤层,植被难以生长,常采用物理改良法中的客土法改良基质。化学改良法和植物改良法适用于地表有一定表土或者表面覆土经改良可以供植物生长的土壤。试验地内岩质平台土壤较薄,采用客土改良法和化学改良法相结合的综合修复设计,先在平台表面回填营养物质较丰富的客土,岩质平台客土厚度100 cm以上,土质平台客土厚度50 cm以上;再对客土添加有机肥进行适当拌和,使土壤的物理化学性质得到改良;最后挖穴进行人工植苗,种植穴在栽植前再施加有机肥2 kg/穴,同时加入复合肥(NPK含量≥45%)1 kg/穴,进一步改善土壤肥力,促进植被快速健康生长,使植被修复和土壤修复达到相互促进。

2.3 植被修复设计

植被修复是废弃石场生态修复的关键环节,边坡修复与裸露土壤修复都须进行植被修复,通过植被修复来改善生态环境和野生动植物栖息地。植被修复设计遵循适地适树和乔灌草相结合的原则:塌方边坡(I区)种植灌木和草本,岩质边坡(II区)种植藤本植物,土质边坡(III区)乔灌草混合种植。植被修复设计中,树种选择是决定植被修复成功的关键之一。树种应具备适应性强、抗逆性好、有改良土壤能力、根系发达,有较高的生长速度、播种栽植较容易和成活率高等特性^[4]。根据现场立地条件、气候和保护区保护对象等因素,试验地内植被修复设计乔木选用枫香 *Liquidambar formosana*、山杜英 *Elaeocarpus sylvestris*、罗浮栲 *Castanopsis fabri*、木荷 *Schima superba*、山乌柏 *Triadica cochinchinensis* 等;灌木选用山毛豆 *Tephrosia candida*、朱缨花 *Calliandra haematocephala*、女贞 *Ligustrum lucidum*、叶子花 *Bougainvillea spectabilis*、银合欢 *Leucaena leucocephala* 等;草本选用黑莎草 *Gahnia tristis*、狗牙根 *Cynodon dactylon*、虻蜞菊 *Sphagneticola calendulacea* 等;藤本选用爬山虎 *Parthenocissus tricuspidata*、牵牛花 *Pharbitis nil*、炮仗花 *Pyrostegia venusta*、常春油麻藤 *Mucuna sempervirens* 等。树种的配置采用多树种混交,组成树种5种以上。采取株间随机混交的方式,相邻同一树种不超过3株,使改造后林分结构更接近自然林,景观更具有观赏性,形成生物多样性丰富、生长稳定、生态高效的生物群落。植被修复设计时,乔木苗种选用生长健壮、树形优美、苗高2 m以上和土球直径40 cm以上的假植苗;灌木选用高80~100 cm的营养袋苗;藤本选用2.5 kg袋苗,长度50~80 cm。乔木种植密度1 335株/hm²,株行距3 m×2.5 m;灌木种植密度4 444株/hm²,株行距1.5 m×1.5 m;藤本间距0.2 m/株;草本植物覆盖率一般不小于80%。为了保证植被修复的效果,植被修复需做好后期抚育管护。

2.4 景观修复设计

石场开采严重破坏了原有的自然景观,采用景观重构法进行修复设计:对废弃石场原有地貌进行利用、重塑与改造,充分利用人工地形地貌的有利特征进行景观设计^[5],同时将景观修复设计贯穿于边坡修复、土壤修复和植被修复全过程中,

各项修复设计充分考虑景观的协调性和可观赏性。具体做法是根据废弃石场地形、地貌特点,通过配置景观植物来设计多个景观节点和营造多重景观空间。试验地内塌方边坡(I区)配置开花灌木为主,形成赏花区;岩质边坡(II区)配置绿色藤本植物为主,形成观叶区;稳定的土质边坡(III区)和平台(IV区、V区),则合理搭配乔、灌、草不同层次的植被,既建立稳定的植物群落,又营造良好的植物景观效果。各修复设计中的人工设施通过植被修复设计进行装饰和掩盖,与周围景观环境融为一体;植被的选择借鉴邻近未受干扰植物群落组成、结构特征和演替规律^[6],优先采用乡土树种,充分注意植物色彩相搭配,增强景观层次和丰富度,打造多树种、多色彩、多层次、多功能的阔叶混交林。

3 结果与分析

3.1 生态效益

截至2022年6月,试验地通过人工辅助措施消除了边坡水土流失和地质灾害,改变了试验地原来恶劣的地质环境,使试验地生态环境得到改善;试验地生态修复选择了适合当地条件的多种乡土树种,初步构建了较稳定的近自然植物群落生态系统,植被更加丰富,景观更加优美,试验地内植被覆盖率明显提高,从治理前的51%提高到100%,增加乔木林面积20 889 m²。增加和修复后的林地可以更好地调节区域气候,保持水土,涵养水源,固碳释氧,净化空气,增加生物多样性,从各个方面改善了试验地生态环境质量。

3.2 经济效益

试验地内原有土地按照土地利用现状分类^[7],修复I区、II区和IV区为采矿用地,面积16 253 m²;修复III区和V区为灌木林地,面积17 248 m²(表1和图2)。通过生态修复治理,原有采矿用地(修复I区和II区)转化为灌木林地12 612 m²,原有采矿用地(修复IV区)转化为乔木林地3 641 m²,原有灌木林地转化为乔木林地17 248 m²,成功实现废弃石场土地资源用途转换,增加了生态用地,生态修复土地成效分析详见表3。对废弃石场如不进行修复,而采用征地办法来增加生态用地,则会挤占其他土地资源,改变土地利用类型,而且征地费用一般超过修复费用的几倍^[8],生态修复增加了生态用地大幅减少了土

表3 废弃石场生态修复土地成效分析

Table 3 Analysis table of land effect of abandoned stone field ecological restoration

地类 Land types	修复前面积 /m ² Area before restoration	修复后面积 /m ² Area after restoration	变化面积 /m ² Area of change	变化比例 /% Proportion of change
采矿用地	16 253	0	-16 253	-100
灌木林地	17 248	12 612	-4 636	-26.88
乔木林地	0	20 889	20 889	-

地成本。试验地生态修复同时增加了林地面积和森林面积,按平均每公顷森林蓄积量 60.57 m³[9] 计算,增加森林蓄积量 126.5 m³,出材率按 50% 计,单价按 1 000 元 /m³ 估算,可获得木材储备效益 6.3 万元。

3.3 社会效益

试验地原来存在 3.35 hm² 废弃地,通过生态修复成功转换为生态用地 3.35 hm²,增加了土地利用效率;通过生态修复消除了塌方、泥石流等地质灾害,保护了当地居民的生命财产安全;生态修复工作的实施,给当地提供了一定数量的工作岗位,增加了当地居民收入,对提高居民生活水平起到了积极作用;试验地位于罗浮山风景区内,其植被、空气、土壤等环境条件通过修复得到改善,可以促进当地旅游产业健康发展,提升当地居民的生活水平,助推乡村振兴。

4 结论与讨论

生态保护修复涉及环境治理、生态修复、生物多样性保护等方面,是一项需要多空间、多领域、多部门联动的复杂系统工程^[10]。本文基于自然保护区保护生态和生物多样性的目的,提出自然保护区废弃石场生态修复设计的新思路,优先重点对野生动植物的生境进行修复,包括边坡修复、土壤修复、植被修复,然后进行景观修复。在生态修复设计过程中,以边坡、土壤、植被等为修复对象,考虑地质、地形地貌和植被等多方面因素,通过稳定性、美观性、生态性和多样性等多方面比选确定最优的修复设计方案,工程措施和生物措施相结合,综合治理,确保废弃石场生态修复取得良好效果。

广东罗浮山省级自然保护区湖洋石场在面积大小、存在问题等方面具有典型性和代表性,湖洋石场生态修复设计对广东省自然保护区废弃石场生态修复具有示范指导作用。

参考文献

- [1] 唐小平, 蒋亚芳, 刘增力, 等. 中国自然保护区体系的顶层设计[J]. 林业资源管理, 2019(3): 1-7.
- [2] 樊晶, 杨志刚, 郭盛才, 等. 广东省自然保护区空间分布特征研究[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(6): 111-117.
- [3] 秦凤艳, 戈海玉. 格构锚固结构在安徽省高速公路边坡防护中的应用[J]. 地下水, 2009, 31(141): 156-157.
- [4] 杨修, 高林. 德兴铜矿矿山废弃土植被恢复与重建研究[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1932-1940.
- [5] 李洪浩. 基于生态修复理念的矿山废弃地景观重构设计研究: 以龟背潭矿山废弃地为例[J]. 萍乡学院学报, 2021, 38(3): 16-21.
- [6] 杨翠霞, 张成梁, 刘禹伯, 等. 矿区废弃地近自然生态修复规划设计[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 269-272.
- [7] 国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类: GB/T 21010-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [8] 周鹏飞, 张世文, 卜中原, 等. 矿业废弃地生态修复治理模式探讨: 以粤北南岭某金属矿废弃地为例[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(20): 146-149.
- [9] 王湘龙. 广东省第四次森林资源二类调查主要结果分析[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(1): 73-77.
- [10] 于辉胜, 翟世斌, 王力, 等. 废弃露天矿山生态保护修复实践研究: 以卡顶山矿区生态修复工程为例[J]. 国土资源情报, 2021(8): 50-56.