

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2021.05.15

引用格式: 李复勇,唐尧,张成信,等. 矿山地质环境影响评价及修复研究——以汶川某废弃露天矿山为例[J]. 中国地质调查,2021,8(5): 122-128. (Li F Y, Tang Y, Zhang C X, et al. Research on geological environmental impact assessment and rehabilitation of the mine: Taking an abandoned open pit mine in Wenchuan as an example[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(5): 122-128.)

# 矿山地质环境影响评价及修复研究

## ——以汶川某废弃露天矿山为例

李复勇<sup>1</sup>, 唐尧<sup>2,3</sup>, 张成信<sup>4</sup>, 杨力<sup>1</sup>, 范冬丽<sup>2,3</sup>

(1. 四川省地质矿产勘查开发局207地质队, 四川乐山 614000; 2. 四川省安全科学技术研究院, 四川成都 610045; 3. 四川安信科创科技有限公司, 四川成都 610045; 4. 中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101)

**摘要:** 矿山正常的生产经营活动势必形成一定的矿山地质环境问题。为全面贯彻生态文明思想,牢固树立“绿水青山就是金山银山”的理念,按照恢复生态、兼顾景观总体要求,因地制宜、多措并举,扎实开展废弃露天矿山地质环境修复。依据矿山地质环境保护与恢复的相关规范与要求,以汶川某废弃露天矿山为例,从矿山环境角度介绍了矿山地质环境的影响因素,开展矿山斜坡整体稳定性、采场边坡稳定性、弃渣堆稳定性及地形地貌景观破坏等地质环境影响评价,划分治理重点、次重点和一般3个基本的矿山地质环境保护与恢复防治区。结果表明: 矿山斜坡及弃渣堆现状基本稳定、采场边坡稳定性较差、地形地貌景观影响和破坏程度中等; 研究区矿山地质环境保护与恢复治理可划分为一般防治区和较严重防治区,其中一般防治区面积约554 m<sup>2</sup>(矿区无因采矿活动诱发的地质灾害,影响区内无居民居住,无威胁对象,矿区及周围地表水体未漏失,矿业活动对水土环境影响程度为影响程度小,未影响到矿区及周围生活供水)、较严重防治区面积186 m<sup>2</sup>(矿区与影响区地质灾害发生可能性小,地形地貌景观影响和破坏程度较严重)。针对评价结果提出的“坡面浮石清理+清除建筑垃圾、块石+植被重建”等修复建议,为同类型矿山绿色开采及地质环境保护措施提供了的重要技术参考依据。

**关键词:** 地质环境; 矿山环境; 影响评价; 生态修复; 废弃矿山

中图分类号: P694; X14

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2021)05-0122-07

## 0 引言

矿山开采活动在带来巨大经济效益的同时,也产生了一系列矿山地质环境问题,如植被破坏、土地裸露、地面塌陷及滑坡等<sup>[1-2]</sup>。这些矿山环境问题严重影响着矿区当地居民的生存环境,成为构建和谐社会的一大瓶颈<sup>[1,3]</sup>。矿山环境修复的主要目的是消除崩塌、滑坡、地裂缝等地质灾害,防治水土流失,恢复植被,在保证地质环境稳定的基础上,修

复和提升土地资源利用价值,结合植被恢复和山体修复,最大限度减少裸露地面,增加绿化面积<sup>[2,4-5]</sup>。矿山地质环境调查通常包括土地压占与毁损调查、地形地貌景观改变与影响调查、矿山地质灾害调查、矿山地质环境综合治理情况调查及矿山固体废弃物调查等<sup>[1,4]</sup>。本文从矿山环境角度介绍了矿山生态环境的影响因素,开展矿山斜坡整体稳定性、采场边坡稳定性、弃渣堆稳定性及地形地貌景观破坏等生态环境影响评价,划分生态环境保护与恢复防治分区,同时针对评价结果提出相应的修复建议,为矿山地质环境保护与生态恢复治理提

收稿日期: 2020-11-05; 修订日期: 2021-09-16。

基金项目: 四川省科技厅计划项目“川西高山峡谷地区地震与地质灾害态势感知与应急救援研究(编号: 2020YFS0387)”、四川省科技厅基本科研业务费项目“区域自然灾害综合风险研判与预警方法研究(编号: 2021JDKY0009-1)”资助。

第一作者简介: 李复勇(1985—),男,高级工程师,主要从事矿山地质环境保护方面的研究。Email: 99240787@qq.com。

通信作者简介: 唐尧(1985—),男,硕士,主要从事矿山地质环境保护与自然灾害遥感监测方面研究。Email: tangyao985@163.com。

供重要的科学依据,为矿业经济和社会经济的可持续发展服务。

## 1 研究区概况

研究区位于汶川县西南的某露天矿山,距汶川县城 55 km,行政区划隶属于汶川县漩口镇群益村,采矿区距国道 213 线约 200 km,为多年废弃矿山,经国道 213 线向北至汶川,向南至都江堰、成都,交通条件较好(图 1)。区内属于四川盆地亚热带湿润季风气候区,气候湿润,雨量充足,光照适宜,四季分明<sup>[5-6]</sup>。矿区范围内地表第四系覆盖薄,零星分布,陡坡地带大面积基岩出露,土地利用性质主要为工矿用地、林地、旱地、其他草地等,矿区范围内无居民居住,区内植被主要为自然植被类型,多由灌木及草本植物组成,夹杂大量柏树、青冈、松树,岩石裸露面积大。

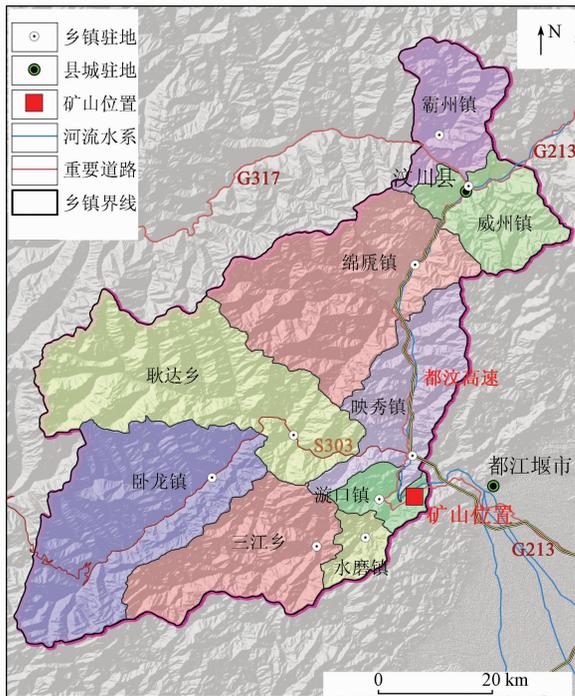


图 1 矿山地理位置

Fig. 1 Geographic location of the mine

## 2 矿山地质环境影响因素

### 2.1 地形地貌

矿山位于九顶山华夏系构造与青城山—青霞新华夏系构造之间,映秀断层南东侧,赵公山向斜北东侧,懒板凳—白石飞来峰中部,山脉总体呈

NE—SW 走向。属四川盆地西北部的中深切切割中低山山地地貌<sup>[6]</sup>,区内海拔标高一般为 1 028 ~ 1 121 m,相对高差近 93 m,地形南西高、东北低,地势相对较陡,自然坡度一般为 15° ~ 60°,局部形成陡崖<sup>[7]</sup>。矿区周围为林地、荒坡,植被发育,主要为柏树、灌木、杂草等,山体植被覆盖良好,矿区范围内由于开采面基岩裸露,工业场地碎石铺垫,植被难以生长。

### 2.2 地层岩性

区内地层系统属于龙门山分区与四川盆地分区结合部,主要出露地层为三叠系上统须家河组三段( $T_3x^3$ )。其下部韵律层厚 520 ~ 1 100 m,由灰、褐灰色中层—厚层细—中粒岩屑石英砂岩和黄灰、深灰色细砂岩、粉砂岩与灰、深灰色页岩夹煤线组成正向不等韵律式互层<sup>[2,6-7]</sup>。底部以灰、灰黄色块状砾岩为主,与下伏中段砂页岩呈突变接触。本韵律纵向上可再分为 2 ~ 4 个次一级韵律。每个次级韵律一般厚度 200 ~ 300 m,韵律层下部为细砾岩或砾状砂岩,发育大型缓流型单向斜层理,砂岩底面之下冲刷现象明显。上部韵律层厚 210 ~ 440 m,下部为黄灰、青灰色中层块状细—中粒岩屑石英砂岩,岩屑砂岩夹多层褐黄、黄灰色砾岩。砾岩成分以灰岩为主,次为石英岩、砂岩和少许燧石、煤块等。底部有时夹菱铁矿结核、透镜体。砾岩为薄层状,具不稳定的迁移型多层结构。

本段整合于中段之上,厚 709 ~ 1 430 m。

### 2.3 地质构造

开采区位于九顶山华夏系构造与青城山—青霞新华夏系构造之间,映秀断层南东侧,赵公山向斜北东侧,懒板凳—白石飞来峰中部,区内地层产出不完整<sup>[6,8]</sup>,成层性差,大致测量地层产状约为 175° ∠ 18°,在区内见有明显断裂及褶皱形迹,总体构造较复杂。

2008 年 5 月 12 日汶川发生里氏 8.0 级特大地震,属地震影响区,为目前记录最大震级地震;据国家地震活动区划表(1:300 万),该区地震基本烈度为Ⅷ度<sup>[2,6,8-9]</sup>。区内新构造运动表现为区域性地壳急剧上升并伴随断裂活动,在上升中有短暂间歇,上升幅度随时间推移递减。区域地质构造复杂,地震活动较为频繁,地震基本烈度为Ⅷ度,地震动峰值加速度为 0.20 g,地震反应谱特征周期 0.40 g。

### 2.4 水文地质

矿区属中低山浅切割地貌,位于岷江东南侧,

矿区地势总体西南高、东北低,地形以斜坡为主,地表坡度一般  $15^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,局部地段为陡坎,地形有利于地表水的排泄<sup>[6,9]</sup>。开采区范围内地表无水体,矿区北侧有一季节性河流,受季节影响大,局部河段表现为干谷,调查时河流水面标高为 865 m,流速为  $0.5 \sim 1 \text{ m/s}$ ,最高洪水位 867 m,高于河床 2 m,河流坡降比约 13%,向东汇遇岷江河,属岷江水系。

矿区主要含水层为三叠系上统须家河组三段 ( $T_3x^3$ ) 砂岩含水层、裂隙水含水层;地层表现为单斜构造,裂隙较发育,导致区内地下水赋存条件差,富水性弱,地下水补给以大气降水为主,其径流特征是沿裂隙和层面运移,地下水主要流向为北西,地下水类型为裂隙水。矿区出露于当地最低侵蚀准面(858 m)之上,由于地形斜坡,地形有利于地表水的排泄,在矿区内无法富集<sup>[6,9-10]</sup>。综上所述,矿区水文地质条件相对简单。

### 2.5 工程地质

矿区为中深切割中低山区斜坡地貌,斜坡类型为斜交型斜坡,斜坡整体稳定性较好,不良地质现象少<sup>[9,11]</sup>。根据区内分布的岩土类型及特征分析认为,区内岩土体可划分为第四系松散堆积物和坚硬基岩岩组。第四系松散堆积物主要包含第四系人工堆积物、残坡积物等成因的松散堆积层,该套岩组力学强度较低,承载力较低,分布不均匀,可压缩性大<sup>[12]</sup>。半坚硬基岩岩组为区内砂岩、粉砂岩、页岩,岩体较破碎,根据岩质坚硬程度和完整程度,岩体基本质量等级为 IV 级,出现大规模顺层滑坡灾害可能性较小,但受采矿活动影响,采场局部地带形成的人工边坡超度较大,边坡下部形成凹腔,使岩体处于悬空状态,出现小规模滑塌破坏可能性较大。

### 2.6 周边人类工程活动

矿山为小型生产规模矿山,矿区及其周边区域工业企业有一定基础,以矿产资源开发为主,主要为黏土矿物,根据矿石品质、杂质含量,区内页岩矿是烧制机砖的优质原料<sup>[2,4,6]</sup>。矿区范围内目前不存在矿权设置,为废弃露天矿山,现状破坏损毁面积  $169.82 \text{ m}^2$ ,矿区属于贫困山区,采矿活动区所在的斜坡无居民住户及附属设施,矿区有简易公路相连,该矿山在公路可视范围内。开采区外有乡村公路,与村落相连,其居民居住较少,分布分散,人口在 200 人以下,居民主要从事农业。根据矿山以往开采情况,矿山开采爆破对其爆破安全距离范围内的交通和居民生活未产生影响。

## 3 矿山地质环境影响评价

依据《矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范》(DZ/T 0223—2011)<sup>[13]</sup>、《土地复垦技术标准(试行)》<sup>[14]</sup>、原国土资源部颁布的《矿山地质环境保护与土地复垦方案编制指南》<sup>[15]</sup>和《中华人民共和国土地管理法》<sup>[16]</sup>等相关要求,矿山地质环境影响评价主要包括矿山土地占损现状与环境影响评价,前者涵盖矿山土地占损包括生产挖损、土地压占范围、面积和程度调查等,土地占损程度评价因素及标准如表 1 所示。土地占损程度分为一级(轻度损毁)、二级(中度损毁)和三级(重度损毁);后者涉及矿山斜坡的稳定性分析、采场边坡的稳定性分析、生产建筑区的稳定性分析及地形地貌景观破坏等,目前矿山无弃渣堆,矿区内生产建筑物已撤除,撤除的建筑垃圾已清运;生产场地内堆放少量黏土矿,目前正在清理中;矿山未进行土地修复。本文废弃露天矿山地质环境影响主要包括矿山所处斜坡的稳定性分析、采场边坡的稳定性分析、生产建筑区的稳定性分析及地形地貌景观破坏等几方面。

表 1 土地占损程度评价因素及标准  
Tab.1 Factors and criteria for evaluating the degree of land occupation

评价因素	评价因子	评价等级		
		轻度损毁	中度损毁	重度损毁
地表变形	挖掘深度/m	<4	[4,6)	≥6
	挖掘面积/hm <sup>2</sup>	<20	[20,50)	≥50
	压占面积/hm <sup>2</sup>	<2	[2,3)	≥3
	废渣弃土高度/m	<3	[3,5)	≥5

注:  $1 \text{ hm}^2 = 0.01 \text{ km}^2$ 。

### 3.1 斜坡整体稳定性

矿山所处位置总体为斜坡地形,方位  $348^{\circ}$ ,坡度  $15^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ,基岩为须家河组页岩、砂岩等,产状  $175^{\circ} \angle 18^{\circ}$ ,斜坡类型为斜交边坡,地表土层覆盖较薄,部分地表基岩裸露,附近有少量断层通过,基岩局部见褶皱,岩石节理裂隙发育,总体岩层较为稳定。本次调查在勘查范围内未发现滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害现状,属稳定岩质斜坡类型。斜坡局部岩体受开采影响,可能产生小规模的滑塌、剥落掉块等不良地质现象,但斜坡整体结构较完整,现状基本稳定,发生地质灾害的可能性小,危害程度小,危险性小。

### 3.2 采场边坡稳定性

矿山采用露天开采,共2个开采面,经调查,现采场形成的边坡横向长约70 m,高为13~26 m,整体坡向348°,总体坡度约50°,地形较缓,局部陡峭,岩层产状 $175^\circ \angle 18^\circ$ ,岩体节理裂隙发育,在矿山采矿区域未见明显因采矿活动引发或者诱发的滑坡、大面积崩塌垮塌、地面沉降、地裂缝及泥石流等地质灾害,总体上采场边坡处于较稳定状态,但矿山采场边坡顶部和坡壁中存在小块危岩和浮石,常有小块碎石顺坡向下滚动、崩落现象,稳定性较差,目前矿山处于关闭状态,人员活动较少,危害程度和危险性小。

### 3.3 弃渣堆稳定性

矿山废渣主要堆积于场地南侧,主采面平台前缘。弃渣堆呈近扇形状,主要由矿渣碎石夹少量土组成,边坡坡度 $55^\circ$ 左右,长约45 m、宽约27 m,厚约4 m,高度为1~30 m,弃渣方量约4 956 m<sup>3</sup>,坡面整体坡度为 $30^\circ$ 。经调查,其为小块碎石受雨水冲刷堆积于坡脚而成,坡体受雨水冲刷,局部出现溜滑、垮塌现象,垮塌弃渣基本已被流水带走,现阶段弃渣堆处于基本稳定状态,整体稳定性较好。

### 3.4 地形地貌景观破坏

矿山开采方式为露采,用途为砖瓦用页岩,其特有的开采方式与用途对矿山及周边地形地貌景观破坏甚为严重,区内有地表绿植被人为砍伐移除情况,山丘成坑、弃渣成堆极大地改变了地形,造成山体破损、植被破坏等自然景观破坏的现象<sup>[2,4,6]</sup>。目前矿山开采多年,形成2处采场边坡,坡度约 $50^\circ$ ,矿山公路、开采区等占用了小部分土地,破坏了植被资源,现状条件下矿业活动对土地的损毁以及植被资源的破坏较小,对原生的地形地貌景观影响和破坏程度较小,矿山所处位置附近无自然保护区、人文景观、地质遗迹及风景旅游区,采矿活动对原生的地形地貌景观影响和破坏程度中等。

## 4 矿山环境修复区划及建议

### 4.1 矿山环境修复区划

依据《矿山地质环境保护与治理恢复方案编制规范》(DZ/T 0223—2011)及《国土资源部办公厅关于做好矿山地质环境保护与土地复垦方案编报有关工作的通知》(国土资规[2016]21号)等相关规范与通知<sup>[13-15]</sup>要求,开展矿山地质环境保护与

恢复治理区划分,按矿山地质环境影响程度轻重级别划分矿山环境保护与恢复治理区,然后按环境问题的差异划分恢复治理亚区,再按防治区分布的自然地段划分矿山环境恢复治理地段。矿山地质环境影响程度可分为严重、较严重和较轻3个基本级别(图2,表2),分别对应划分为矿山地质环境保护与恢复治理重点区、次重点区和一般防治区。

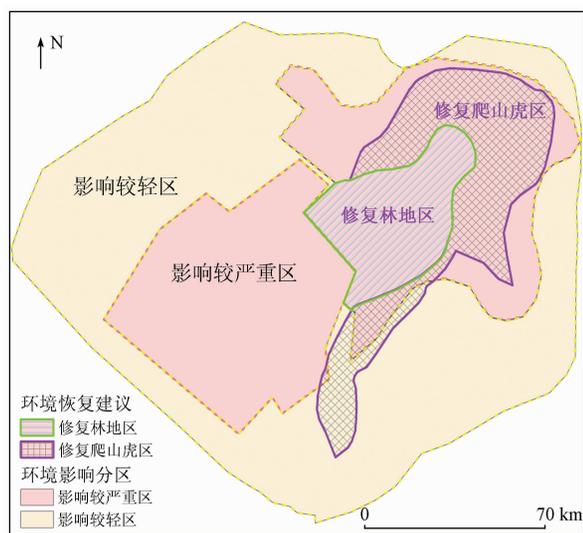


图2 矿山地质环境影响分区及修复建议区划

Fig. 2 Mining geological and environmental impact zoning and restoration suggestion zoning

表2 矿山地质环境影响程度分级

Tab. 2 Classification for the degree of the impact on the geological environment of the mine

影响程度	影响描述
严重	1. 对原生的地形地貌景观影响和破坏程度大 2. 对各类自然保护区、人文景观、风景旅游区、城市周围、主要交通干线两侧可视范围内地形地貌景观影响严重
较严重	1. 对原生的地形地貌景观影响和破坏程度较大 2. 对各类自然保护区、人文景观、风景旅游区、城市周围、主要交通干线两侧可视范围内地形地貌景观影响较重
较轻	1. 对原生的地形地貌景观影响和破坏程度小 2. 对各类自然保护区、人文景观、风景旅游区、城市周围、主要交通干线两侧可视范围内地形地貌景观影响较轻

研究区矿山地质环境保护与恢复治理总区划面积约739.5 m<sup>2</sup>。据采矿活动矿山对地质灾害、含水层、地形地貌景观(地质遗迹、水文景观)、水土环境等方面的影响程度,将该区划分为矿山地质环境保护与恢复治理一般防治区和较严重防治区。其中,一般防治区面积553.73 m<sup>2</sup>,区内无因采矿活动引发或者诱发的滑坡、崩塌、地面沉降、地裂缝及泥

石流等地质灾害,灾害发生的可能性小,采场影响区内无居民居住,无威胁对象,矿区及周围地表水体未漏失,矿业活动对水土环境影响程度为影响程度小,未影响到矿区及周围生活供水;较严重防治区面积 185.77 m<sup>2</sup>,矿区及其影响区不发育滑坡、崩塌、泥石流灾害,区内对原生地形地貌景观影响和破坏程度较严重,破坏旱地 34.55 m<sup>2</sup>,有林地 9.62 m<sup>2</sup>,采矿用地 60.34 m<sup>2</sup>,农村宅基地 141.6 m<sup>2</sup>,可视范围内地形地貌景观影响较严重,将其划分为矿山地质环境保护与恢复治理较严重防治区。

#### 4.2 矿山地质修复措施建议

矿山存在的地质环境问题拟采用“坡面浮石清理+清除建筑垃圾、块石+植被重建”工程,对矿山进行地质治理修复。对矿山开采过程中挖损、压占、损毁及地表土壤和农作物被破坏,结合当地村社群众的意见及周边植被特点,建议修复方向为林地,修复土地主要包括矿山损毁土地和永久性建设用地,矿山拟修复现状地类占比如表 3 所示。

表 3 矿山拟修复现状地类占比

Tab.3 Percentages of current land types to be rehabilitated in the mine

一级地类		二级地类		
编码	名称	编码	名称	面积占比/%
01	耕地	013	旱地	18.6
03	林地	031	有林地	5.2
06	工矿仓储用地	062	采矿用地	76.2

对矿山已关闭,但前期未对表土进行剥离堆放的地段,建议以拆除及清理工程、坑穴回填工程、土地培肥工程、植被重建工程等方法实现矿山环境修复。具体包括:露天采场、矿山道路修复方向为乔木林地;陡坡陡坎地带由于坡度较陡,在陡坡顶部或底部种植爬山虎等藤蔓类植物进行护坡和自然复绿,修复方向为其他林地。乔木林地植树面积约 1.87 hm<sup>2</sup>,种植树种为柏树,株行距按 1.5 m×1.5 m 设置,采用穴状整地方式造林,整地规格为 50 cm×50 cm×50 cm,经概算需要栽种树苗约 1 734 株;对弃渣堆在洪水位以上区域,建议种植爬山虎等藤蔓类植物辅助其自然复绿,设计种植间距 50 cm,爬山虎藤径 1 cm 左右。针对矿山修复区降雨量大雨需水量,考虑在修复植被幼苗期生长初期和干旱少雨季节,为保证幼苗存活,可利用矿山西侧的河流进行灌溉,灌溉方式为提桶;同时以现有低洼平台处修建蓄水池,以满足修复植被季

节性缺水难题。

#### 4.3 矿山环境修复监测建议

通过运用各种技术手段与方法,对影响矿山环境修复过程与结果的各类现状参数进行监测,是准确掌握矿山地质环境动态变化及修复措施效果的重要手段和基础性工作。本文监测的重点是对矿山环境修复影响最大的矿区崩塌地质灾害监测与土地修复监测等内容。

## 5 结论

通过对汶川某废弃露天矿山开展地质环境影响评价与修复研究,分析矿山斜坡整体稳定性、采场边坡稳定性、弃渣堆稳定性及地形地貌景观破坏等,划分防治区划,主要取得以下几点结论。

(1)从地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、工程地质及周边人类工程活动等角度,分析露天矿山地质环境影响因素,研究区废弃露天矿山现状破坏损毁面积 169.82 m<sup>2</sup>,矿山开采爆破对其爆破安全距离范围内交通、居民生活未产生影响。

(2)从矿山斜坡、采场边坡、弃渣堆、地形地貌景观等角度分析其稳定性,开展矿山地质环境影响评价,矿山所处位置总体为斜坡地形,斜坡局部岩体受开采影响现状基本稳定,发生地质灾害的可能性小,危害程度小,危险性小;总体上采场边坡处于较稳定状态,但矿山采场边坡顶部和坡壁中存在小块危岩和浮石,危害程度小,危险性小;弃渣堆现阶段处于基本稳定状态,整体稳定性较好;采矿活动对原生的地形地貌景观影响和破坏程度中等。

(3)依据《矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范》等规范,将研究区矿山地质环境保护与恢复治理防治区划分为治理重点、次重点与一般等 3 个等级,其中一般防治区面积约 554 m<sup>2</sup>(矿区无因采矿活动诱发的地质灾害,影响区内无居民居住,无威胁对象,矿区及周围地表水体未漏失,矿业活动对水土环境影响程度为影响程度小,未影响到矿区及周围生活供水)、较严重防治区面积 186 m<sup>2</sup>(矿区与影响区地质灾害发生可能性小,地形地貌景观影响和破坏程度较严重)。

(4)矿山地质环境影响评价结果表明:矿山所在斜坡整体稳定性较好,未出现明显变形破坏迹象;采场边坡整体稳定,未出现明显变形破坏;矿山弃渣边坡整体未出现明显变化破坏,仅局部在地表集中水流冲刷及洪水作用下有溜滑现象。在地

质灾害方面,矿区及影响区不发育滑坡、崩塌、泥石流灾害。在地形地貌景观方面,矿山生产活动对原地形地貌产生了一定的改造,破坏了原地表的植被,使地表裸露,矿区生产活动没有造成地质遗迹、人文景观等破坏现象,周边也没有风景名胜、地质遗迹、人文景观保护区。

(5) 矿山地质修复区主要涵盖矿山开采区、弃渣堆、加工场和矿区道路等区域,建议重点对矿山地质环境破坏区开展土地修复,具体为对矿山采场的平缓台地、矿区道路等区域修复方向为种植方竹,露天采场(陡坡陡坎)单元在采场边坡底部种植爬山虎等藤蔓类植物进行护坡和自然复绿,矿渣堆在洪水位以上种植爬山虎等藤蔓类植物进行护坡和自然复绿。尽快开展该矿山的地质修复工程,消除地质灾害隐患,恢复矿山地质环境,且施工过程中加强监测,保障施工安全。

## 参考文献(References):

- [1] 谭绿贵,陆三明,王本伟,等. 矿山生态环境破坏与生态修复——以六安市矿山为例[J]. 皖西学院学报,2004,20(2): 45-48.  
Tan L G, Lu S M, Wang B W, et al. Mine ecological environment destruction and ecological restoration: Taking the mines of Lu'an as an example[J]. J West Anhui Univ, 2004, 20(2): 45-48.
- [2] 周永章,付善明,张澄博,等. 华南地区含硫化物金属矿山生态环境中的重金属元素地球化学迁移模型——重点对粤北大宝山铁铜多金属矿山的观察[J]. 地学前缘,2008,15(5): 248-255.  
Zhou Y Z, Fu S M, Zhang C B, et al. Geochemical migration model of heavy metallic elements in eco-environmental system of sulfide-bearing metallic mines in South China—with specific discussion on Dabaoshan Fe-Cu-polymetallic mine, Guangdong Province[J]. Earth Sci Front, 2008, 15(5): 248-255.
- [3] 魏风华,梁振杰,张樑. 解决矿山生态环境保护问题的对策建议[J]. 中国国土资源经济,2005,18(2): 25-27,35,47.  
Wei F H, Liang Z J, Zhang L. Suggestions for resolving mine ecological environmental protection[J]. Nat Res Econ China, 2005, 18(2): 25-27, 35, 47.
- [4] 唐尧,王立娟,李复勇. 基于“高分+”的矿山生态环境调查与恢复治理应用研究[J]. 国土资源信息化,2020(5): 19-24.  
Tang Y, Wang L J, Li F Y. Research on mine ecological environment investigation and restoration governance based on “High Resolution+”[J]. Land Res Inform, 2020(5): 19-24.
- [5] 张志,杨金中,张高华,等. 生态文明视角下的湖北省东部矿山地质环境遥感调查与分析[J]. 中国地质调查,2016,3(5): 21-27.  
Zhang Z, Yang J Z, Zhang G H, et al. Remote sensing survey and analysis of mine geological environment in eastern Hubei Province under the perspective of ecological civilization[J]. Geol Surv China, 2016, 3(5): 21-27.
- [6] 唐尧. 基于3S的震后汶川潜在泥石流危险性评价研究[D]. 成都:成都理工大学,2011.  
Tang Y. Hazard Assessment on Potential Debris Flows in Wenchuan County after Wenchuan Earthquake Based on RS, GIS & GPS[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.
- [7] 武雄,韩兵,管清花,等. 北京市固体矿山生态环境现状及修复对策[J]. 地学前缘,2008,15(5): 324-329.  
Wu X, Han B, Guan Q H, et al. The current status and reclamation measures of the solid mine ecological environment in Beijing[J]. Earth Sci Front, 2008, 15(5): 324-329.
- [8] 唐尧,王立娟,赵娟,等. 遥感技术在“6·17”丹巴堵江泥石流灾害链灾区应急救援抢险决策中的应用[J]. 中国地质调查,2020,7(5): 114-122.  
Tang Y, Wang L J, Zhao J, et al. Application of remote sensing technology in emergency rescue decision about “6·17” Danba River debris flow disaster chain[J]. Geol Surv China, 2020, 7(5): 114-122.
- [9] 杨金燕,杨锴,田丽燕,等. 我国矿山生态环境现状及治理措施[J]. 环境科学与技术,2012,35(S2): 182-188.  
Yang J Y, Yang K, Tian L Y, et al. Environmental impacts of mining activities in China and the corresponding management and remediation strategies: an overview[J]. Environ Sci Technol, 2012, 35(S2): 182-188.
- [10] 陈秀娟,初禹,李继红. 基于RS与AHP的鹤岗煤矿区矿山生态环境评价[J]. 森林工程,2012,28(4): 26-30.  
Chen X J, Chu Y, Li J H. Assessment of the ecological environment in Hegang mining area based on RS and AHP[J]. Forest Eng, 2012, 28(4): 26-30.
- [11] 鱼磊,李应真,高俊华,等. 基于高分卫星遥感数据的冀东地区矿山开发现状及环境问题研究[J]. 中国地质调查,2018,5(4): 90-98.  
Yu L, Li Y Z, Gao J H, et al. Research on the current situation of mine exploitation and environmental problems based on the satellite remote sensing data in Eastern Hebei[J]. Geol Surv China, 2018, 5(4): 90-98.
- [12] 王波,叶新才,程从坤,等. 铜陵地区矿山生态环境综合治理途径[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(5): 494-498.  
Wang B, Ye X C, Cheng C K, et al. Comprehensive approach to solve the eco-environmental problem in the mining area of Tongling city, Anhui Province[J]. Res Environ Yangtze Basin, 2004, 13(5): 494-498.
- [13] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0223—2011 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范[S]. 北京:中国标准出版社,2011.  
Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0223-2011 Compiling Code on the Project of Mining Geo-environmental Protection and Integrated Renovation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [14] 国土资源部地质环境司. 国土资源部办公厅关于做好矿山地质环境保护与土地复垦方案编报有关工作的通知[EB/OL].

(2017 - 01 - 03). [http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201701/t20170109\\_1992001.html](http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201701/t20170109_1992001.html).

Department of Geology and Environment, Ministry of Land and Resources. Notice of the General Office of the Ministry of Land and Resources on Doing a Good Job in the Preparation of Mine Geological Environmental Protection and Land Reclamation Plan[EB/OL]. (2017 - 01 - 03). [http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201701/t20170109\\_1992001.html](http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201701/t20170109_1992001.html).

[15] 国土资源部. 矿山地质环境保护与土地复垦方案编制指

南[R]. 2016.

Ministry of Land and Resources. Guidelines for the Preparation of Mine Geological Environmental Protection and Land Reclamation Plans[R]. 2016.

[16] 全国人民代表大会. 中华人民共和国土地管理法[M]. 5版. 北京:中国法制出版社,2020.

National People's Congress. Land Administration Law of the People's Republic of China[M]. 5th ed. Beijing:China Legal Publishing House,2020.

## Research on geological environmental impact assessment and rehabilitation of the mine: Taking an abandoned open pit mine in Wenchuan as an example

LI Fuyong<sup>1</sup>, TANG Yao<sup>2,3</sup>, ZHANG Chengxin<sup>4</sup>, YANG Li<sup>1</sup>, FAN Dongli<sup>2,3</sup>

(1. 207 Geological Brigade of Sichuan Bureau of Exploration & Development of Geology & Mineral Resources, Sichuan Leshan 614000, China; 2. Sichuan Academy of Safety Science and Technology, Sichuan Chengdu 610045, China; 3. Major Hazard Measurement and Control Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Chengdu 610045, China; 4. Geological Research Institute of Sinochem Geology and Mine Administration, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The normal production and operation activities of mines will inevitably create certain mine geological environmental problems. In order to fully implement the thoughts on ecological civilization and firmly establish the concept of “green water and green mountains are golden mountains and silver mountains”, the research should be based on local conditions and take multiple measures to carry out the restoration of the geological environment of abandoned open - pit mines, in accordance with the overall requirements of restoring the ecology and taking into account the landscape. According to the relevant specifications and requirements of mine geological environmental protection and restoration, the authors have taken an abandoned open - pit mine in Wenchuan as an example to introduce the factors affecting the mine geological environment from the perspective of the mine environment. Besides, the geological environment impact assessment of the stability of the stope slope, the site and the waste slag slope, the destruction of topography and landscape was also evaluated, and three basic mine geological environmental protection and restoration prevention areas were divided, namely the key, secondary and general. The results show that the stope slope and the waste slag slope are stable, the stability of the site is poor, and the impact of topography and landscape and the degree of damage are moderate. The mine geological environmental protection and restoration treatment in this area can be divided into general prevention and treatment area and more serious prevention and treatment area. The general prevention and treatment area is about 554 m<sup>2</sup>, where there were no mining geological disasters induced by activities, no residents in the affected area, no threatened objects, no leakage of surface water in the mining area and surrounding areas, and the impact of mining activities on the water and soil environment is small without effect on the living water supply in the mining area and surrounding areas. The more serious prevention and treatment area is 186 m<sup>2</sup>, where the possibility of geological disasters in the mining area and the affected area is small, and the topography and landscape impact and damage are serious. According to the evaluation results, the authors in this paper have put forward the repair suggestions such as “pumice removal + removal of construction waste, block stone + vegetation reconstruction”, which provide important technical basis for the green mining and geological environmental protection in the same type of mines.

**Keywords:** geological environment; mine environment; impact assessment; ecological restoration; abandoned mines