

废弃矿山地质环境恢复治理

——以凤台县凤台林场长溜山历史遗留矿山为例

石子立¹, 黄河¹, 黄岩², 牛浩荣¹

¹安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

²安徽省地质矿产勘查局312地质队, 安徽 蚌埠

收稿日期: 2024年7月16日; 录用日期: 2024年8月15日; 发布日期: 2024年8月23日

摘要

文章以凤台县凤台林场长溜山废弃矿山为例, 基于资料收集分析、现场调查、数值分析等, 对长溜山废弃矿山地质环境条件、主要地质环境问题及矿山地质环境主要治理措施等进行分析, 得到以下结论: 1) 长溜山废弃矿山存在的环境地质问题包括地质灾害隐患、地形地貌景观破坏、生态植被和土地资源损毁等, 地质环境破坏强烈; 2) 主要地质环境治理措施包括削坡和危岩清理工程、覆土整平工程、挖穴植树工程、截排水工程等, 通过治理可以较好地恢复矿山地质环境。

关键词

长溜山, 废弃矿山, 地质环境条件, 矿山地质环境治理

Geological Environment Restoration and Treatment of Abandoned Mines

—A Case Study of Changliu Mountain Historic Mine in Fengtai Forest Farm, Fengtai Country

Zili Shi¹, He Huang¹, Yan Huang², Haorong Niu¹

¹School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

²312 Geological Team of Geology and Mineral Resources Exploration Bureau in Anhui Province, Bengbu Anhui

Received: Jul. 16th, 2024; accepted: Aug. 15th, 2024; published: Aug. 23rd, 2024

Abstract

This paper conducts an analysis of the geological environmental conditions, main issues, and con-

文章引用: 石子立, 黄河, 黄岩, 牛浩荣. 废弃矿山地质环境恢复治理[J]. 环境保护前沿, 2024, 14(4): 983-991.

DOI: 10.12677/aep.2024.144129

control measures of the abandoned mine in Fengtai Forest Farm Changliu Mountain, Fengtai County through comprehensive data collection, field investigation, and rigorous numerical analysis. The findings are as follows: 1) The abandoned mines in Changliu Mountain exhibit significant environmental geological challenges such as latent hazards of geological disasters, topography and geomorphic landscape degradation, ecological vegetation and land resource deterioration. The extent of geological environment damage is substantial; 2) The primary control measures for the geological environment encompass slope cutting and hazardous rock cleaning engineering, soil covering and leveling engineering, excavation and reforestation engineering, as well as cutting-edge drainage solutions. These measures can effectively rehabilitate the mine's compromised geological environment.

Keywords

Changliu Mountain, Abandoned Mines, Geological Environmental Conditions, Mine Geological Environment Governance

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

长期以来, 由于矿山的不合理开采和采矿企业对生态环境保护的忽视, 导致实际开采活动对矿山及其周边地区造成严重污染, 并引发各种地质灾害。这些问题不仅破坏了矿区及周边生态环境, 也对当地居民的安全构成威胁。为了有效治理废弃矿山地质环境, 各地政府和相关部门积极开展了一系列的研究和实践工作。不少学者也对废弃矿山地质环境治理进行了深入研究, 提出了许多有价值的观点和方法。赵越、冉淑红等采用折线滑动法, 计算岩土体相关参数, 参照计算结果并针对矿山地质环境现状和特点, 进行了危岩清理及覆土绿化等修复工作[1]。徐彦君在对治理区地质环境条件进行详细分析的基础上, 提出场地平整、削坡及坡面绿化等治理措施[2]。王会韬、王东借助理正岩土 7.0 软件分析边坡稳定性并确定总体治理思路, 在保证消除隐患的前提下达到了较好的效果[3]。魏中凯选择郑州市矿区作为研究对象, 结合无人机遥感和野外实地调查等技术手段, 对研究区域的生态修复治理情况进行了详细调查, 为当地废弃矿山地质环境治理提供了宝贵的经验和建议[4]。姜丽丽、李少飞等指出, 当前历史遗留矿山存在存量较大、治理需求紧迫、土地复垦率低、施工难度大等问题, 并针对这些问题提出了相关的改进措施和建议[5]。本文以淮南市凤台县凤台林场长溜山历史遗留矿山为例, 结合当地矿山现状进行生态修复, 具体实践了习总书记提出的生态文明思想, 为淮南市废弃矿山地质环境治理提供了一定的依据和参考。

2. 矿区地质环境条件

2.1. 自然地理条件

淮南市凤台县凤台林场长溜山历史遗留矿山位于凤台县李冲回族乡毛冲村东南部 750 m, 距凤台县城东约 5 km。行政区划隶属淮南市凤台县。治理区中心地理坐标: 北纬 32°40'22.96", 东经 116°46'15.98"。治理区内石碛路、村村通道路与主干路相接, 市内铁路和公路通往合肥、阜阳、蚌埠等地, 淮河常年通航, 交通便利。矿山开采历史久远, 现为无主历史遗留矿山。

凤台县位于季风、暖温带半湿润气候区, 四季明显, 夏季炎热多雨, 冬季寒冷多风, 具有大陆性气

候的特点[6]。

区域水系属淮河水系，项目区 250°方向距离淮河 3.9 km，治理区及周边地表水系较不发育，见零星水塘。

矿区地处沿淮丘陵地带，地形总体趋势呈中部高四周低，地形起伏较大，最高处位于治理区东南部，高程+91.54 m；地势最低处位于治理区西北侧采坑底部，高程+41.50 m。受采矿活动影响，区内形成多处人工高陡边坡，坡高一般为 2.5 m~30.06 m，坡度总体呈 30°~50°，局部呈 70°~90°，地形较复杂。

2.2. 工程地质条件

2.2.1. 岩土体工程地质特征

根据基岩成因类型、岩性特征，矿区内岩体建造类型为沉积岩建造，根据其岩性可划分为较坚硬中厚层碳酸盐岩工程地质岩组、较软弱薄层碎屑岩工程地质岩组。

较坚硬中厚层碳酸盐岩工程地质岩组岩性为寒武系中统的灰岩。岩溶不发育，未见溶沟、溶槽、溶洞等溶蚀现象，多见有 60°、70°节理裂隙。岩石较坚硬，强度高，新鲜岩石抗压强度 45~171 MPa，耐崩解性指数 98.2%~89.9%，自由膨胀率轴向 0.00389%~0.0310%，径向 0.00486%~0.0562%。经统计 RQD 值为 65%~73%，岩石完整度中等。岩石质量系数为 0.1419，岩石质量中等。软化系数 0.35~0.93，岩组工程稳定性良好。

较软弱薄层碎屑岩工程地质岩组岩性为寒武系中统的紫红色泥岩。溶蚀裂隙一般，抗风化能力弱，岩石质地较软弱，新鲜岩石抗压强度 20~40 MPa，耐崩解性指数 95.8%~96.9%，自由膨胀率轴向 0.241%~0.38%，径向 0.00352%~0.114%。经统计 RQD 值为 30%~60%，岩石完整度较差。岩石质量系数为 0.0479，岩石质量差。软化系数 0.40~0.95。岩组工程稳定性差。

2.2.2. 结构面

矿区岩石结构面以层间结构面及裂隙为主，发育中等，其所处的部位不同，裂隙的发育方向有一定差异，可划分二个级别结构面——Ⅲ级、Ⅳ级。

Ⅲ级结构面主要为原生软弱层及层间错动带。软弱层主要由寒武系馒头组页岩、泥灰岩组成，分布于矿区全区，沿东西向延伸长数百米，倾向北东，产状 50°∠64°，与岩层产状基本一致，倾向垂深数十米，层厚 1~3 m。

Ⅳ级结构面主要为本区裂隙，发育中等，其所处的部位不同，裂隙的发育方向有一定差异，主要发育有：50°∠21°、358°∠36°、115°∠62°、38°∠40°、23°∠16°、25°∠57°等六组，裂隙长 0.6~2 m，最长可达 9 m，宽 0.5~10 cm，多被钙质、铁质、泥质充填、半充填，发育密度 1~3 条/m，这些结构面将岩体切割成为大小不等的菱形和楔形体，破坏了岩体的完整性，使得岩体局部稳定性降低，岩石整体完整性差~中等。

2.3. 水文地质条件

根据矿区及其附近区域地下水含水介质和赋存条件划分，地下水类型主要为碳酸盐岩裂隙岩溶含水岩组。

碳酸盐类夹碎屑岩类裂隙岩溶含水岩组依其分布与埋藏条件又可分为裸露型。裸露区地形切割明显，裂隙发育，储水条件一般，地下水资源相对缺乏。岩溶裂隙水主要通过降水渗入，径流较弱，主要通过侧向径流排泄。

矿区基岩裸露，岩溶和裂隙发育适中，地下水主要受大气降水补给。地下水径流方向与地表地形基本一致，沿着山坡向隐伏区流动，呈现较陡的水力坡度。排泄主要为地表蒸发，部分则以散流状下降泉

的形式，就近排泄到低洼的山间谷地[7]。

3. 矿山地质环境问题分析

3.1. 地质安全隐患

治理区内主要开采底盘有 3 个，治理区内多见高陡的岩质边坡，矿山开采严重破坏了原有的地质环境，对边坡的稳定性有较大影响，岩石节理、裂隙发育，局部存在采矿遗留的危岩体，弃渣顺坡堆放，无任何防治措施，局部形成了危岩体崩塌、滑坡隐患(见图 1)。



Figure 1. Current status of slope BP7

图 1. 边坡 BP7 现状照片

3.2. 采矿活动造成土地资源破坏与占用

根据现场调查，矿区内土堆凌乱堆积，造成土地资源较严重的浪费；采场底盘及边坡底部存在多处废石废渣堆放，造成了对土地资源的占用。

3.3. 植被破坏

矿区地貌类型属低丘，一般标高+46.40~+61.66 m，治理区大部分为基岩裸露区，主要岩性为灰岩等。由于长期矿山开采，整个浑圆山体遭受严重破坏，原始地形已经被改变。曾经地势平缓、植被茂密的山丘，如今出现了深浅不一的采矿坑，地表裸露，碎石铺满、植被稀疏，对治理区地貌景观造成了严重破坏，形成了较严重视觉污染。

3.4. 边坡稳定性分析

采矿活动改变地形地貌和生态地质环境的同时，开采宕口形成了大量规模不等的高陡边坡，岩层产状陡直、岩石节理发育，边坡岩石普遍较破碎，易形成崩塌等地质灾害。对各形态边坡段采用极射赤平投影法对各边坡稳定性进行评价。具体判定依据如表 1。

Table 1. Stereographic projection judgment basis table**表 1.** 赤平投影判定依据表

稳定结构	结构面或结构面交线的倾向与坡面倾向相反时
基本稳定结构	结构面或结构面交线的倾向与坡面倾向基本一致，但其倾角大于坡角
不稳定结构	结构面或结构面交线的倾向与坡面倾向之间夹角小于 45° 且倾角小于坡角

根据现场调查成果和边坡稳定性分析结果，治理区内 13 个边坡段均为岩质边坡，其中 5 个较稳定边坡、4 个较不稳定边坡、4 个不稳定边坡。选取不稳定边坡 BP7 为典型，采用赤平极射投影法对该坡段进行稳定性分析，具体分析评价结果见表 2。

Table 2. Slope stability analysis statistics**表 2.** 边坡稳定性分析统计表

边坡段编号	赤平投影图	稳定性分析
BP7		<p>该边坡高 26.21~30.06 m，属岩质边坡；坡面倾向与岩层倾向相同，岩层倾向不利于坡面稳定，坡角小于岩层倾角，岩层在坡面上有支撑点，岩层倾角有利于坡面稳定；产状与裂隙 1、裂隙 2 相交于坡面内侧，不利于边坡稳定性。综上，边坡属不稳定边坡。受机械或爆破采石作业，导致坡面局部存在危岩块及裂缝，局部稳定性较差。</p>

4. 矿山地质环境综合治理

根据矿山地质环境和生态地质环境现状，结合现场调查，拟按照矿山地质环境和生态地质环境问题的分布特征和破坏形式，将矿区划分为四个治理区：即 I 区为露采边坡削坡清理区；II 区为露采边坡危岩清理区；III 区为场地平整复绿区；IV 区为现状保留补种区。各治理分区分布情况及治理措施如图 2 所示。

治理过程中，需遵循“自然恢复为主、人工修复为辅，以水定绿、量水而行”原则，确保生态安全、突出生态功能、尊重自然风貌，宜林则林、宜保则保、宜乔则乔、宜灌则灌、宜草则草、宜湿则湿。保证安全可靠、技术可行、经济合理[8]。基于现状，因地制宜，尽量减少新增破坏。统筹矿山土地综合利用，盘活矿山土地资源，让废地复活变发展新高地。提高土地开发利用效率，提升用地保障能力，坚持经济效益、社会效益、环境效益相统一[9]。

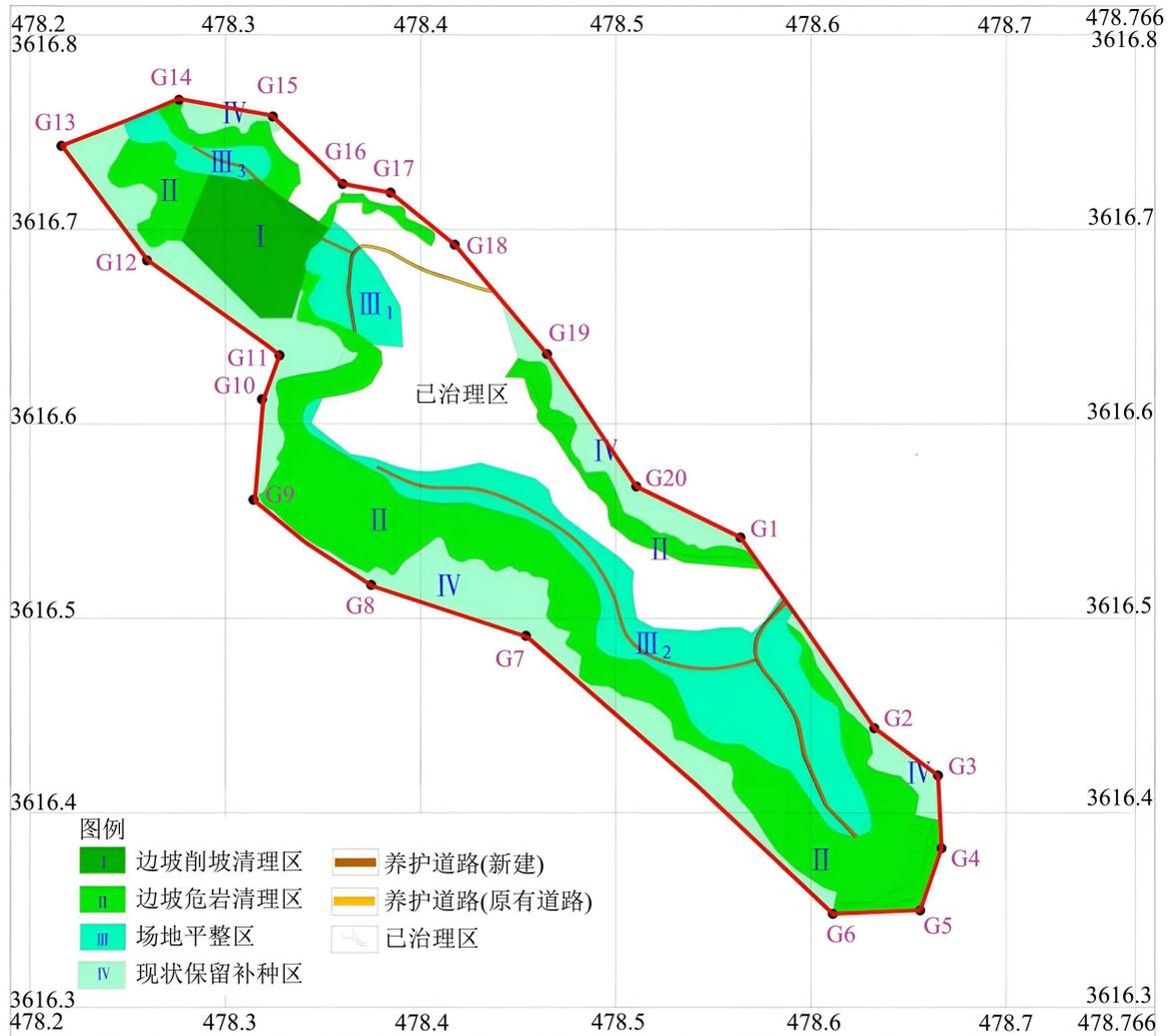


Figure 2. Zoning map of the governance project
图 2. 治理工程分区图

4.1. 边坡削坡清理工程

I区拟设计对治理区西北部采坑边坡区域采用机械破碎的方式由上而下进行削坡清理工程治理, 削坡工程参照《工程地质手册》(第五版)表 8-4-9 提供的岩质边坡坡率允许值(见表 3), 属微风化至中等风化、节理发育岩质边坡, 结合赤平投影分析结果和现场施工条件, 设计按 50°边坡角对边坡进行削坡清理, 边坡高度控制在 30 m 以内。

边坡上部坡度较陡且岩石破碎, 稳定性较差, 存在崩塌及滑坡隐患。拟设计对其采用液压岩石破碎机的方式, 对坡面进行破碎清理。设计边坡角为 50°, 坡顶平台与自然山体呈缓坡相连。

4.2. 危岩清理工程

II区拟设计对治理区中北部采坑边坡区域采用机械破碎的方式进行危岩清理工程治理, 属微风化至中等风化、节理发育岩质边坡, 结合赤平投影分析结果和现场施工条件, 对边坡进行危岩清理。边坡上部坡度较陡且岩石破碎, 稳定性较差, 存在崩塌及滑坡隐患。拟设计对其采用液压岩石破碎机的方式, 对坡面进行破碎清理。

Table 3. Allowable values of rock slope slope
表 3. 岩质边坡坡率允许值

岩石种类及特征	岩石风化程度	岩石破碎程度	边坡坡度与高度值			
			高 15 m 以内	换算角度	高 30 m 以内	换算角度
白云岩、燧质、 硅质、泥质、 铁质石灰岩、 磷灰岩或互层薄层、 中层致密	微风化至 中等风化	节理很少	1:0.2~1:0.3	78.7~73.3	1:0.3~1:0.4	73.3~68.2
		节理发育	1:0.3~1:0.4	73.3~68.2	1:0.4~1:0.6	68.2~59.0
		节理极发育	1:0.4~1:0.5	68.2~63.4	1:0.6	59.0
	强风化	节理很少，至节理较多	1:0.3~1:0.5	68.2~63.4	1:0.5	63.4
		节理发育	1:0.5	63.4	1:0.75	53.1
		节理极发育	1:0.75	53.1	1:1	

4.3. 场地整平工程

本次设计拟对采坑底盘进行挖高垫低，就势整平，复垦为林草地，总面积为 12374.7 m²，具体工程设计如下：

III1 区位于治理区西北部，底盘坑洼不平，存在多处土丘及多处废石堆，设计对孤峰和废石堆进行清除并就势整平，整平标高+46 m~+49 m。

III2 区位于治理区东南部，地势较平坦，局部坑洼不平，地势总体西高东低，东侧存在多处废石渣堆，设计对废石堆进行清运及小规模采坑回填垫底，然后场地依地势就势整平，形成一整体缓势底盘，整平标高+56~+61 m。

III3 区位于治理区西北部，地势较平坦，局部坑洼不平，地势总体东高西低，存在多处废石渣堆，设计对废石堆进行清运及小规模采坑回填垫底，然后场地依地势就势整平，整平标高+40~+45 m。治理后的 BP7 设计剖面图见图 3。

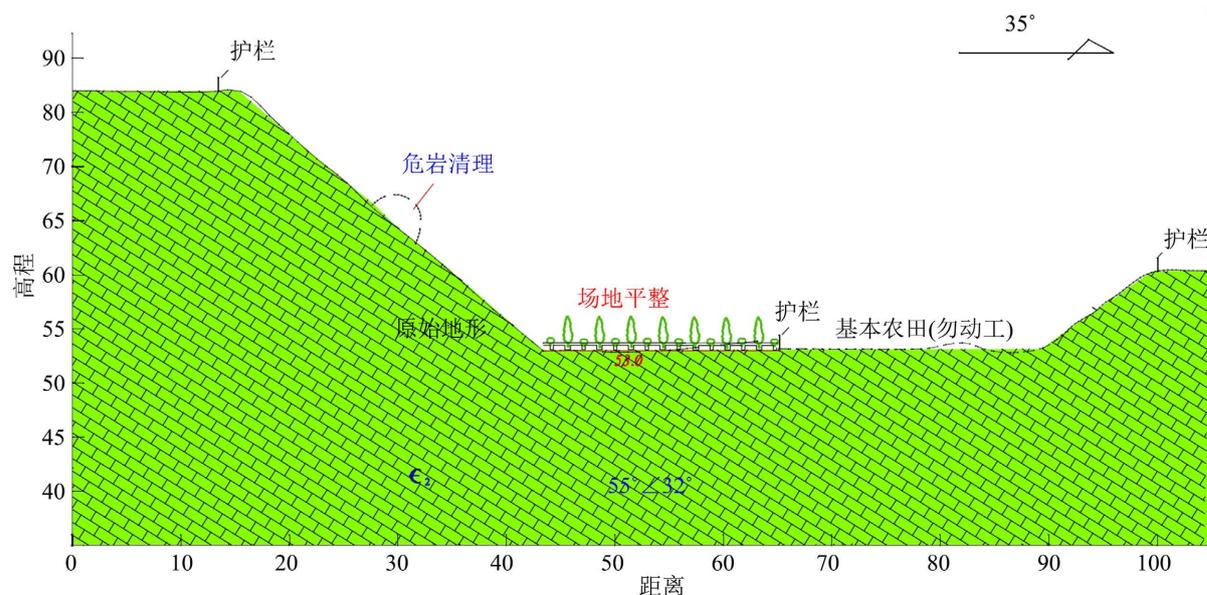


Figure 3. BP7 governance design profile
图 3. BP7 治理设计剖面图

针对治理后的边坡，选用 GeoStudio 软件进行计算分析。先利用 Auto CAD 绘制出边坡二维剖面图，在 Auto CAD 中利用 Boundary 命令创建边界，将剖面图转化成 Geostudio 软件可识别模式，然后导入到 GeoStudio 软件中，根据边坡大小建立坐标轴；建立矿山边坡材料，并对每个材料赋予相对应的参数，确定材料模型为 Mohr-Coulomb 本构模型，人为假定滑移面的进口和出口，选择 Morgenstern-Price 法进行稳定性计算。根据 Morgenstern-Price 法计算，得出的安全系数为 1.229，计算结果见图 4。治理后安全系数超过 1.2，表明治理后的边坡属于稳定状态。

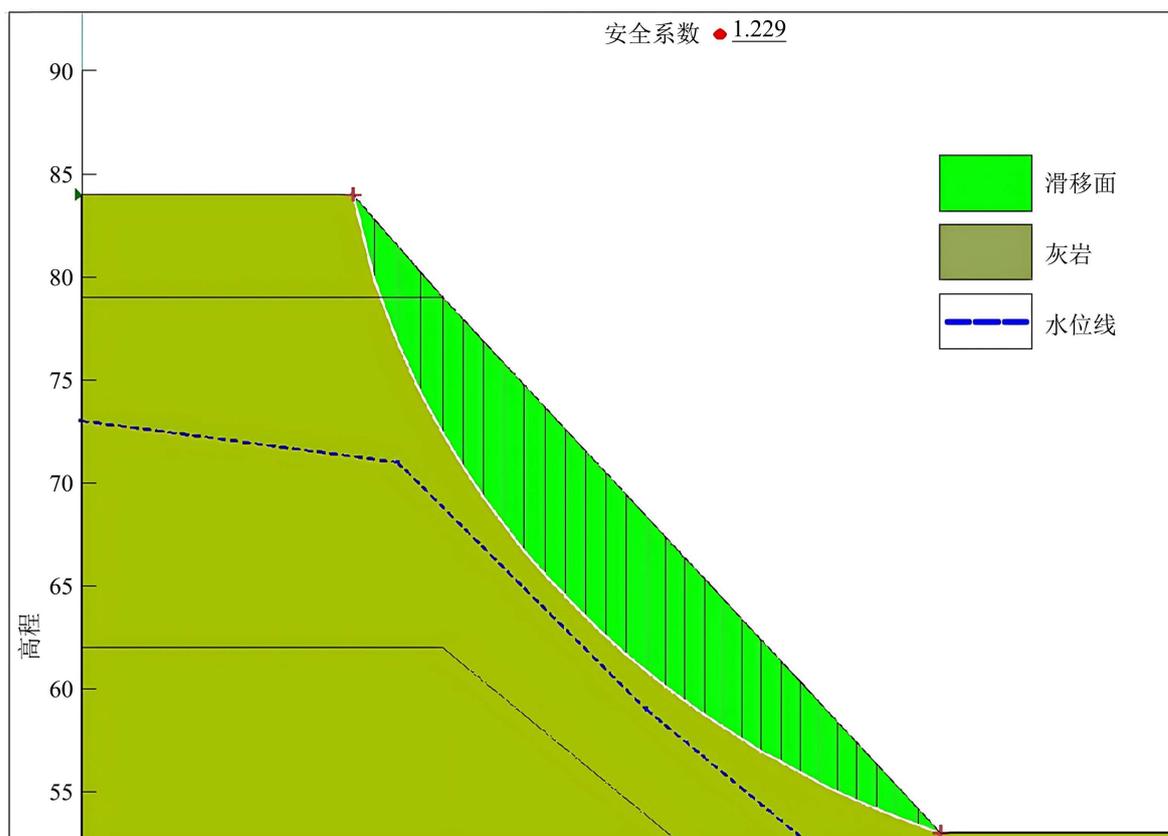


Figure 4. Morgenstern-Price calculation results after BP7 governance

图 4. BP7 治理后 Morgenstern-Price 法计算结果

4.4. 截排水工程

为了及时疏导坡面汇流，保障坡面排洪泄水需求，防止雨水冲击植被和土壤，减少水土流失，研究区计划设置截排导水工程与水塘相连通，形成统一的排水系统。

1) 截排水沟工程

在研究区边坡底部坡脚和平台修筑排水沟用于排泄边坡面和场地底面汇集的雨水。排水沟采用矩形断面，规格为 $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ ，结构采用厚 0.20 m 的 M7.5 浆砌石砌筑。

2) 涵管工程

为联通治理区内截排水沟，在养护道路局部采用开槽法施工钢筋混凝土排水管铺设，钢筋混凝土管规格采用管径 $\phi 700\text{ mm} \times$ 壁厚 $70\text{ mm} \times$ 管长 2000 mm II、III级刚性接头承口管，质量应符合国标 GB/T11836-2009。铺设基础采用砂石基础，材料可选用中粗砂或级配碎石、石屑(最大粒径不宜大于 25 mm)。

4.5. 其他工程措施

为了确保长溜山废弃矿山地质环境治理区后期安全防护和植被养护需要,在治理区内还应修建必要的道路工程、安全警示标牌及防护网工程等。养护道路路基宽 3.5 m,采用泥结石路面,宽 3 m。宕口边坡高陡,为防止行人牲畜坠入采坑或跌入水塘发生危险,设计在南北两侧坡顶靠近边坡 1.5 m 处安装护栏网,由于区内存在基本农田,故农田周围 1.0 m 处安装护栏网,防护围栏采用成品铁丝面网护栏。围栏由钢管立柱和铁丝面网组成,钢管总高度为 2.0 m,其中钢管立柱埋深为 0.3 m,地面上高度为 1.7 m,钢管立柱为镀锌钢管(外径 48.3 mm),铁丝面网为孔径 80 mm × 160 mm 浸塑铁丝面网。

5. 结语

凤台县凤台林场长溜山历史遗留矿山存在较大的安全隐患,同时存在严重的地形地貌及生态环境破坏,因此开展废弃矿山地质环境治理不仅是贯彻和落实生态文明建设思想的重要体现,也是推进淮南市生态文明建设和高质量发展的具体举措。针对长溜山实际地质环境破坏现状,本文通过现场调查、数值模拟、综合地质分析等,对矿山地质环境影响进行了分区,并提出了削坡、危岩清理、覆土复垦造林、截排水工程、安全警示工程等矿山地质环境治理措施。通过矿山地质环境治理的实施,可以较好地恢复矿区生态环境,消除安全隐患,增加林草地面积,营造良好的生态和社会环境。

参考文献

- [1] 赵越,冉淑红,史飞飞,等.北京市房山区废弃矿山地质环境问题及修复治理探讨[J].四川有色金属,2023(4):5-8.
- [2] 徐彦君.镇江市某废弃矿山地质环境问题及治理措施[J].冶金与材料,2023,43(11):109-111.
- [3] 王会韬,王东.山东临朐县废弃灰岩矿地质环境问题及治理方法研究[J].中国锰业,2023,41(4):43-48.
- [4] 魏中凯.废弃露天矿山生态修复治理现状及发展趋势研究[J].能源与环保,2023,45(1):45-51.
- [5] 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.
- [6] 余敏,黄远山.淮南市近 60 年气温和降水变化趋势和突变分析[C]//中国气象学会.第 35 届中国气象学会年会 S6 应对气候变化、低碳发展与生态文明建设.2018:8.
- [7] 王兵.淮南市凤台县地下水资源调查评价[J].地下水,2011,33(5):39-41.
- [8] 妙超,王焘,郑海军,等.宁陕县废弃矿山生态环境问题分析及修复治理对策[J].四川地质学报,2023,43(2):313-317.
- [9] 苏莲霞,姜兴州,赵瑛,等.三江源废弃砂金矿山地质环境问题及恢复治理研究[J].中国锰业,2023,41(5):80-84.