

doi: 10.6046/zrzyyg.2023167

引用格式: 赵玉灵, 杨金中, 孙卫东, 等. 伊犁河谷矿山地质环境评价分析与生态恢复治理对策[J]. 自然资源遥感, 2024, 36(4): 23-30. (Zhao Y L, Yang J Z, Sun W D, et al. Evaluation and analysis of geological environment of mines in the Ili Valley and countermeasures for ecological restoration and management[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2024, 36(4): 23-30.)

伊犁河谷矿山地质环境评价分析与生态恢复治理对策

赵玉灵¹, 杨金中¹, 孙卫东², 于浩², 邢宇¹, 陈栋¹, 马新营¹, 王体鑫¹, 王聪¹

(1. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 2. 新疆维吾尔自治区地质矿产
勘查开发局信息中心, 乌鲁木齐 830000)

摘要: 为进行伊犁河谷矿山地质环境评价分析与生态恢复治理对策研究, 该文基于遥感影像提取的伊犁河谷矿山开发状况与矿山地质环境遥感调查结果, 结合多源地质资料、人文数据和气象资料, 运用层次分析法, 构建层次结构模型, 对伊犁河谷矿山环境进行了分析评价。结果显示, 伊犁河谷严重区分布较为集中, 占伊犁河谷总面积的4.61%; 较严重区与一般严重区呈现连片分布, 且互为交叉, 界线不太分明; 一般严重区主要分布在极高山区、中高山区及低山丘陵区; 无影响区主要分布在伊犁河谷中部冲积平原区和昭苏盆地平原区。生态承载力高的地区主要集中在中部, 除去昭苏县和特克斯县的南部、尼勒克县的东部边缘地带与霍尔果斯的北部地区, 其他地区生态承载力相对较高。研究结果可为伊犁河谷生态环境可持续发展及矿山资源的合理开发提供基础数据和技术支撑, 亦可为干旱半干旱区矿山地质环境监测评价提供范例。

关键词: 伊犁河谷; 遥感调查与监测; 层次分析法; 矿山地质环境; 生态恢复治理

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2024)04-00023-08

0 引言

生态文明建设是统筹推进“五位一体”总体布局 and 协调推进“四个全面”战略布局的重要内容。在矿业活动中, 深入学习贯彻习近平生态文明思想, 贯彻资源与环境并重的国策, 坚持协调发展、可持续发展, 发展绿色矿业, 已经成为社会共识。开展矿山开发全流程监管, 快速查明矿山开发损毁土地情况、矿山生态保护修复情况, 有效评估矿山开发引发的生态环境风险和资产价值变化情况, 及时提出矿山环境保护修复的对策建议, 是当前国家矿产资源开发监管工作的迫切需求。当前, 我国已初步建成全天候全天时矿山环境遥感监测技术体系, 应用同一的技术标准、技术流程, 完成了自2016年以来的全国矿山地质环境遥感监测工作, 初步满足了国家矿山地质环境监管工作的需求。如何根据不同景观区的特点, 开展重点区域的全过程、全要素矿山地质环境监测评估, 进一步形成全域共性同一、地方个性明显的全国矿山地质环境监测评估体系是当前遥感技

术研究的热点, 也是落实“源头严防、过程严管、后果严惩”全流程监管要求的重要举措。

新疆伊犁河谷具有多种多样的成矿地质条件, 是我国少数已发现矿产品种比较齐全的地区之一。该区矿山资源开发历史悠久。长期的矿业活动, 为伊犁的经济和社会发展做出了重大贡献, 但同时也产生了一些负面影响, 如改变或破坏了矿山及其周边原有的自然地形地貌, 带来了景观破坏、土地损毁、生物多样性降低等多种矿山地质环境问题。以伊犁河谷为研究区, 开展干旱半干旱区矿山地质环境监测评估, 对于丰富和发展全国矿山地质环境监测评估体系具有重要意义。本文以区域遥感监测成果和多源人文、经济、地理、地质等资料为基础, 综合利用遥感技术、GIS技术和层次分析法, 开展伊犁河谷矿山地质环境评价研究, 探讨分析伊犁河谷矿山地质环境修复治理措施, 希冀为矿山地质环境监测评估研究建立西部干旱半干旱区案例, 并为区域矿山环境综合治理、生态伊犁建设、矿山经济可持续发展等提供基础数据和技术支撑^[1-4]。

收稿日期: 2023-06-09; 修订日期: 2023-09-12

基金项目: 中国地质调查局项目“全国矿山开发及重点地区生态空间遥感监测”(编号: 202012000000210017)和“伊犁谷地矿山生态修复适宜性遥感调查与评估”(编号: XGMB202255)共同资助。

第一作者: 赵玉灵(1971-), 女, 博士, 教授级高工, 主要从事遥感地质、生态环境地质、矿山开发遥感调查与监测等方面的研究。
Email: 1398991855@qq.com。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

伊犁河谷处于我国干旱半干旱气候带的西端,位于新疆天山山脉西部,呈喇叭型向西敞开,北、东、南三面环山;北面有 NW—SE 走向的科古琴山、婆罗科努山,南有 NE—SW 走向的哈克他乌山和那拉提山,中部有乌孙山、阿吾拉勒山等横亘,构成“三山夹两谷”的地貌轮廓。区域行政区划包括霍尔果斯市、霍城县、伊宁市、伊宁县、尼勒克县、察布查尔锡伯自治县、巩留县、新源县、昭苏县和特克斯县,面积约 5.5 万 km²^[5-13]。

伊犁河谷矿产资源十分丰富,发现 86 种矿藏,储量丰富。截至 2021 年底,伊犁区域内有效采矿权 148 宗,其中煤矿 9 宗,铁矿 2 宗,铜矿 3 宗,水泥用灰岩 9 宗,建筑用砂 45 宗,砖瓦用黏土 60 宗,其余资源 20 宗,开采矿种主要为煤矿、水泥用灰岩、建筑用砂、砖瓦用黏土等。新疆最大的金矿——阿希金矿和大型露天开采煤矿——新疆庆华煤矿与皮里青煤矿均集中分布于伊宁县。区域矿产资源开发历史悠久,开发方式多样,煤炭、金属、非金属矿产齐全,是开展干旱半干旱区矿山地质环境监测评估研究的有利区之一。

1.2 数据源

1.2.1 遥感数据

收集 2021 年土地变更调查遥感数据(空间分辨率优于 2.5 m),为本次研究的主要数据源。

1.2.2 专题信息数据

收集了草地、林地、湿地、地表水、荒漠化、构造、岩性组合、地灾、断裂等数据。

1.2.3 基础地理信息数据

收集整理了伊犁河谷数字高程模型(digital elevation model,DEM)、地貌、坡度、行政区划等数据。

1.2.4 统计数据

收集整理了人口、经济数据、降雨量、功能区划分、区域重要程度等数据。

2 矿山地质环境遥感调查

2.1 矿山地质环境遥感解译

以 2021 年土地变更调查遥感数据(空间分辨率优于 2.5 m)为主要数据源,根据遥感影像的光谱特征、纹理特征及空间位置建立矿山开发状况及修复治理情况的遥感解译标志;在 ArcGIS 平台上,提取了 2021 年伊犁河谷采矿占损土地、矿山恢复治理土

地及矿山地质灾害、矿山环境污染等矿山环境状况信息,同时完成了野外查证工作,解译正确率在 95%左右。

遥感解译和信息提取结果显示:2021 年,区域采矿占地总面积为 36 070.23 hm²,占研究区面积的 0.66%。其中,采矿损毁土地面积为 34 062.84 hm²,占比 94.43%;恢复治理土地面积为 2 007.39 hm²,占比 5.57%。在采矿损毁土地面积中,采场挖损土地 6 769.08 hm²,占研究区总面积的 0.12%;固体废弃物压占土地 2 631.42 hm²,占研究区总面积的 0.05%;中转场地压占土地 3 594.91 hm²,占研究区总面积的 0.07%;矿山建筑压占土地 1 272.94 hm²,占研究区总面积的 0.02%;采矿塌陷损毁土地 21 801.87 hm²,占研究区总面积的 0.40%。

2.2 区域主要矿山地质环境问题调查

2.2.1 矿山地质灾害

长期的矿业活动在区域形成了较为严重的矿山地质灾害。采空区地面塌陷是地下开采矿山常见的地质灾害。在伊犁河谷的现有采矿权中,涉及煤矿 14 个、铁矿 5 个、锰矿 1 个、铜矿 5 个、铅矿 6 个、镍矿 2 个、钼矿 2 个和金矿 2 个。区域大多数矿山的开采方式为井工开采。区域采矿塌陷面积为 21 801.87 hm²。采矿塌陷引发的问题比较突出,由采矿引发的地面塌陷,集中连片出现,触目惊心,急需恢复治理。在煤矿区内,由于采空范围过大,引发了一系列地质灾害,例如地面塌陷(图 1)、公路塌陷、建筑物开裂等,这些地质灾害已经严重影响区域经济社会发展,给周围居民的生活和生产带来负面影响。采矿掘进面高差大、边坡陡立的矿山,也时常发生崩塌、滑坡等地质灾害。



图 1 采矿引发的地面塌陷实地照片

Fig.1 Field photos of Earth's surface subsidence

2.2.2 景观破碎化

采矿活动(包括露天开采和地下开采)会造成地表景观的改变。露天矿山开发首先需要进行大量的表土剥离,在很大程度上破坏了原来稳定的土壤

和植被,容易造成水土流失,形成土地荒芜、岩石、弃石满地的矿业荒漠化现象。挖损土地,破坏地被,开采后的采矿地往往包括采矿点(面)、中转场(堆场)、固体废弃物(排土场、煤矸石、粉煤灰和冶炼渣、尾矿(库))。地下开采造成采空区,引发地面塌陷,地面塌陷坑使土地下陷,造成局部地形破坏,进而导致地面建筑物、管道、道路、桥梁等设施变形及破坏。土地面貌变得千疮百孔、支离破碎,直接影响景观的环境服务功能。

2.2.3 表层土壤破坏严重

伊犁河谷表土层比较薄,水分的缺乏导致天然植被一旦破坏,自然景观恢复难度巨大。砂石矿和河谷采矿区的地表破坏严重,不仅改变了地形地貌,且留下大大小小的采面和矿坑和大量的粗砾石,植被无法生长。矿坑覆土工程量巨大,缺土区域覆土难度大。土地丧失了农业和牧业利用价值,生态环境退化严重。景观破碎化,表层土壤破坏严重,加剧了土地荒漠化的程度(图 2),生态环境退化严重。



图 2 建筑用砂开采造成土地荒漠化程度加剧实地照片
Fig.2 Field photos of increased desertification caused by sand mining for construction

3 评价研究方法

3.1 层次分析法

层次分析法是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂于 20 世纪 70 年代初提出的一种层次权重决策分析方法。该方法将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统,将目标分解为多个目标或准则,进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次,通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序,以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法^[3,4,14-19]。计算步骤分为:①建立层次结构模型;②构造判断(成对比较)矩阵;③层次单排序及其一致性检验(层次单排序随机一致性比例<0.10 时,可

认为评价指标重要性分配合理、判断矩阵具有满意的一致性,经层次分析法确定的权重分配合理;若一致性比例 ≥ 0.10 时,应继续调整判断矩阵中评价指标重要性分配,直到得到判断矩阵具有满意的一致性为止);④层次总排序及其一致性检验。

3.2 矿山地质环境评价方法体系

矿山地质环境是由采矿活动引发的、损害或影响矿区及其周边的岩石、土地、水、大气、生态组成的复杂环境。矿山地质环境评价的目的是为政府有关部门监管、规划与治理矿山地质环境,评估采矿活动、矿山生态修复活动等对矿区及周边环境的影响程度,为矿山生态保护修复等提供参考依据。本文依据中华人民共和国地质矿产行业标准《矿产资源开发遥感监测技术规范(DZ/T 0266—2014)》中所确定的矿山地质环境评价体系,在矿山地质环境调查研究的基础上,采用专家打分与层次分析法相结合的方法,确定评价单元,建立评价体系,对伊犁河谷矿山地质环境质量优劣做出评判和等级划分,为政府提供决策依据,其中,采用的评价网格大小为 1 km $\times$ 1 km。

3.3 评价因子选择及层次结构模型构建

矿山环境不是受到单一因素的影响,而是多种因素综合作用的结果。根据伊犁河谷矿山环境特征,矿山地质环境评价需遵循客观性、实用性和科学性,评价目的具有明确性、切实性和针对性的原则。本文选定了自然地理、基础地质、资源损毁和地质环境等 4 个评价要素。评价因子选定为地形地貌、降雨量、植被覆盖度、区域重要程度、构造、岩性组合、边坡结构、开采矿山密度、开采强度、主要开采方式、主要矿种、占用土地比例、地质灾害、地灾隐患、污染、生态环境恢复治理等 16 个。通过评价目标层、评价要素层和评价因子层 3 个层次,建立层次结构模型,包括目标层 A(决策层)、要素层 C(准则层)和因子层 P(方案层)^[3,4,14-19](图 3)。

3.4 矿山地质环境质量综合评分与评价等级计算

3.4.1 矿山地质环境质量综合评分

根据权重矩阵及因子层的分值,计算矿山地质环境质量综合评分,计算公式为

$$A = \sum_{i=1}^m \omega_i P_i \quad (1)$$

式中: A 为评价因子单元综合得分; P_i 为评价因子标准化值; ω_i 为评价因子的相应权重值; i 为相应评价因子的序号; m 为评价因子总数^[3-4]。

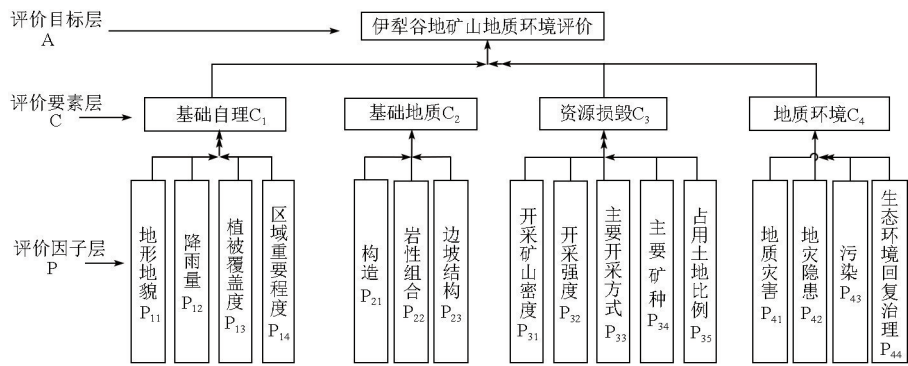


图 3 伊犁河谷矿山地质环境评价结构

Fig.3 Evaluation structure of mine geo-environment in Ili Valley

3.4.2 评价等级值计算

为了使最终的矿山地质环境评价结果具有可比性,必须建立评价等级标准值。本文根据专家经验及相关的标准,建立矿山地质环境综合评定等级分为 4 级,即 0 级,无影响区, [0,40]; 1 级,一般影响区, (40,50]; 2 级,较严重影响区, (50,60]; 3 级,严重影响区, (60,100] [3-4]。

4 伊犁河谷矿山地质环境评价分析

4.1 构建判断矩阵及一致性检验

4.1.1 构建判断矩阵

采用 Saaty 提出的一致矩阵法(1~9 标度法),即不把所有的因素放在一起比较,而是将矿山环境因子两两进行重要性比较;采用相对尺度,将比较结果以重要性标度值 1~9(及其倒数)来表示,即得到判断矩阵[3]。一般用 a_{ij} 表示,意思是要素 i 与要素 j 重要性的比较结果(表 1)。在同一目标层下,对各个指标层中的指标相互比较,并按照准确程度评定等级。计算权重,则需要首先计算矩阵特征向量值,得到最大特征根值,用于下一步的一致性检验。最大特征根 λ_{max} 的特征向量归一化后可作为权重向量 ω_i 。判断矩阵中得到的权重分配是否合理,还需要对判断矩阵进行一致性检验,计算一致性比例 CR ,计算公式为:

$$CR = CI/RI \quad , \quad (2)$$

式中: RI 为平均随机一致性指标; CI 为偏离完全一致性指标,判断矩阵越接近完全一致性,其值越小。当一致性比例 $CR<0.10$ 时,表示判断矩阵的一致性符合要求。否则需要检查是否存在逻辑问题等,调整判断矩阵来重新获得一致性比例[3-4,14-19]。表 1 中权重矩阵的 CR 为 0.049 5 (<0.1,一致性可以接受),对“环境评价”的权重为 0.043 0, λ_{max} 为 4.132 3。

表 1 自然地理因子 C_1 -P 权重矩阵①

Tab.1 Weights of standard layer matrix of C_1 -P

自然地理	地形地貌	降雨量	植被覆盖度	区域重要程度	ω_i
地形地貌	1.00	4	0.500 0	2	0.315 1
降雨量	0.25	1	0.333 3	1	0.118 2
植被覆盖度	2.00	3	1.000 0	2	0.412 7
区域重要程度	0.50	1	0.500 0	1	0.153 9

4.1.2 计算因子权重

视各准则层和指标层对矿山地质环境影响的程度,主要采用专家打分和层次分析法相结合的方法来确定。计算出了各准则层对目标层的排序的权重(表 2)和指标层各因子及权重(表 3) [3]。

表 2 准则层对目标层权重(A-C)

Tab.2 Weights of standard layer (A-C)

准则层	自然地理 C_1	基础地质 C_2	资源损毁 C_3	地质环境 C_4
权重	0.043 0	0.283 9	0.551 8	0.121 3

表 3 指标层评价因子及权重

Tab.3 Weights of indicator layer

评价因子	地形地貌	降雨量	植被覆盖度	区域重要程度	构造	岩性组合	边坡结构	开采矿山密度
权重	0.013 6	0.005 1	0.017 8	0.006 6	0.333 3	0.174 4	0.076 2	0.057 2
评价因子	开采强度	开采方式	主采矿种	占用土地比例	地质灾害	地灾隐患	污染	生态环境恢复治理
权重	0.190 8	0.208 6	0.038 5	0.056 7	0.073 3	0.006 1	0.024 8	0.017 2

4.2 矿山地质环境综合评价

依据表 3 指标层各评价因子的权重及各因子标

准化分值,利用空间叠置分析功能,得到区域矿山地质环境综合评价结果(图 4)。

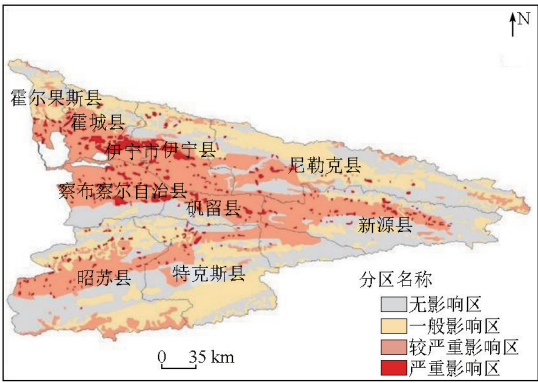


图 4 2021 年伊犁河谷矿山地质环境综合评价结果

Fig.4 Geo-environment assessment result of mines in Ili Valley in 2021

伊犁河谷矿山地质环境严重影响区面积为 2 514.65 km²,占全区面积的 4.61%;较严重影响区面积为 18 143.14 km²,占全区面积的 33.24%;一般影响区面积为 15 874.99 km²,占全区面积的 29.08%;无影响区面积为 18 051.66 km²,占全区面积的 33.07%(表 4)。

表 4 伊犁河谷矿山环境分区面积统计
Tab.4 Statistics of area of mine environmental zoning in Ili Valley

分区级别	面积/km ²	占区域土地面积百分比/%
严重影响区	2 514.65	4.61
较严重影响区	18 143.14	33.24
一般严重区	15 874.99	29.08
无影响区	18 051.66	33.07

除严重区分布较为集中外,较严重区与一般严重区呈现连片分布,且互为交叉,界线不太分明。严重影响区主要分布在伊宁市、伊宁县、巩留县、霍城县和察布查尔锡伯自治县的冲积平原上。按行政区划统计,严重影响区主要分布在霍城县东南部、伊宁市中西部、伊宁县中西部、察布查尔锡伯自治县中部及东南部、巩留县中部及东部、特克斯县西北部。野外检查验证表明,6 个严重区与实际验证情况吻合度很高,建议关注伊宁市、霍城县、伊宁县、察布查尔西伯自治县的矿山地质环境问题。较严重影响区主要分布在察布查尔西伯自治县北部、伊宁市中部南部、伊宁县南部、巩留县南部、新源县中部西部。一般严重区主要分布在极高山区、中高山区及低山丘陵区。无影响区主要分布在伊犁河谷中部冲积平原区和昭苏盆地平原区。

运用生态足迹法对伊犁河谷生态承载力进行模拟计算,结果显示,在伊犁河谷地区,相对而言,生态承载力高的地区主要集中在中部,除去昭苏县和特克斯县的南部、尼勒克县的东部边缘地带与霍尔果斯的北部地区,其他地区生态承载力相对比较

高^[3-4,8-12]。

5 恢复治理措施及保护对策建议

5.1 做好矿山生态修复规划,分区分类分级开展矿山地质环境恢复治理

全面贯彻落实“尊重自然、顺应自然、保护自然”的理念,加强规划,按照不同矿种、不同地貌单元以及与人类生活生产关系密切程度等,针对不同类型生态治理区提出分区分类的生态修复治理建议。以采矿区为基本单元,综合考虑采矿点及周边地质环境以及因采矿活动引发的矿山地质环境问题等,对于具有自然恢复条件的矿山,充分发挥生态系统自身修复能力,增强矿山自我修复功能,促进植被有效恢复;对较难自然恢复的矿山,开展工程治理,通过加速修复进程、提升修复效能、植被重建等措施,引导区域生态系统逐步修复。区域地广人稀,加之治理资金有限,可以划分为重点治理区和一般治理区。靠近高速路、国道、省道、村庄和周边人类活动频繁的矿区,宜作为重点治理区,进行全场地修复治理;位置偏远或人类活动不太频繁的矿区可以作为一般治理区,应在消除地质灾害风险的基础上,采取有限工程措施,进行适度治理^[11-12]。

针对采取工程治理的矿坑、渣山,可采用“削坡+有机肥+泥页岩+混播+无纺布覆盖”土壤重构、植被复绿的技术模式,即削坡使边坡角小于 25°并压实,将牲畜粪便与粉碎后的泥页岩按质量比 1:3 混合覆盖 30 cm;选取当地优质的适宜高海拔地区生长的多年生禾本牧草,按照一定比例进行混播;播种后压实、覆盖无纺布,促进种子萌发。在表土替代的选择上,可利用粉煤灰、煤矸石、亚黏土等材料制作表土,进行土壤重构;亦可利用牧区充足的牲畜粪便,采用渣山风化的泥岩和粉砂粉末混合牲畜粪便等有机肥,代替土壤。要加强乡土植物,尤其是适应采矿废弃地的、具有强忍耐性和可塑性的自然定居的乡土植被的利用。

为了减轻人为灾害,改善矿区生态环境,平安文明生产,对采空塌陷区必须综合治理。采空塌陷区综合治理应该采取预防为主、防治结合的原则。牧业在伊犁河谷地区占据着相当重要的地位。草地承担着区域重要的经济保障功能。采空塌陷破坏了大片的草地,导致牧民生产力水平下降。因此,采空塌陷的防治和治理尤为重要。在开采设计时,应充分考虑塌陷防治措施,并在开采过程中认真实施,包括在采矿过程中所采用减塌、防塌技术和措施,如充填采矿法、条带采矿法,多煤层、多工作面协调采矿法

和井下支护及岩层加固技术。对未塌陷区进行塌陷危害性评价,圈定危险区域,做好预防工作;对塌陷区应做好搬迁安置工作。对于塌陷深度较浅的区域,可以采取工程和生物等综合治理措施,恢复草地或耕地;对于塌陷较深的区域,大致平整后可做光伏基地^[20-24]。

5.2 加强固体废弃物综合利用

随着矿山资源的开采,大量的固体废弃物不仅压占土地,破坏地貌、植被、生态环境变化,更潜存山体崩塌、滑坡、垮坝等地质灾害。固体废弃物综合利用,既可减少环境污染,又可提高资源利用率,最重要的是改善人们的生活环境。废石和尾矿的无害化处理与综合利用,要遵循循环经济发展模式、走可持续发展之路,是一种必不可少的生态文明建设的重要环节。科技创新是解决问题的重要的内在动力,提高现有的采选矿技术,采用新工艺、新技术,更新、改造旧设备,减轻“三废”污染^[7];主要的方法有重-磁-浮法、溶剂萃取法、电极回收法、电解气浮法、微生物浸出法。伊犁境内的矿业开发尚处于初级阶段,大多数矿山直接售卖原材料,经济效益较低。要加强废石和尾矿的再利用,推进和加强废石废渣的井下充填工作,回填采空区;废石、尾矿可作为建筑材料,可制成砖瓦、水泥、玻璃、铸石、玻璃陶瓷(建筑微晶玻璃),可作为混凝土的骨料和铺路材料;金属尾矿可制成空气或泡沫制品,用作建筑隔砌块或充填材料及结构材料等。

要促进由矿产品原材料生产向深加工产品转变。建筑用砂矿在开采后,可以与商砼一起,既可减少原材料的运输和中转场地的使用,也可增加经济效益;煤矿开采后,可以开展“煤直接液化”“煤制乙二醇”“煤制气”等深加工^[19-25]。

5.3 调整产业结构,优化工业布局

综合考虑当地的地形、地貌、土地类型、矿山分布、经济发展状况等多种因素,根据伊犁河谷矿山地质环境评价图和生态承载力分析图中严重影响区、较严重影响区和一般影响区的分布,合理规划布局,以减少或杜绝掠夺式经营和破坏生态环境的事件再次发生,确保当地经济可持续发展^[12-18]。要根据当地的地质环境特点,按照经济发展与环境保护相协调的要求,在资源开发利用中实行生态环境优先的政策,遵循自然规律,按照不同区域的资源禀赋和环境功能,划定优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发区域,确定适宜的发展方向和政策,优化产业结构和工业布局。按照集约型的增长方式合理采矿,杜绝私挖乱采,坚决取缔小煤窑、小矿点。

5.4 加强自然资源开发全过程监管

按照“谁损毁,谁治理”的原则,由采矿权人承担矿山生态修复责任,其矿山生态修复责任不因采矿权终止而免除;未取得采矿许可证擅自采矿的或者超越批准的矿区范围采矿的,非法开采行为除依法承担法律责任外,还应承担生态修复责任。切实加强矿山地质环境保护工作,防止地质灾害;加强矿山开采的事前、事中、事后监管,利用3S技术,建立矿山地质环境动态数据库,实现矿山环境的动态监测;依法依规,督促矿山企业按期开展矿山地质环境治理和土地复垦工作。伊犁河谷生态环境比较脆弱,表土层比较薄,水分的缺乏导致天然植被一旦破坏,自然恢复难度巨大,应加大矿山地质环境治理和土地复垦方案审查和实施情况监督。有些矿山采场暂停或者关闭后,并没有做任何修复平整工作,任由采场千疮百孔、大片的草地被毁坏;部分矿山存在无证开采、越界开采等现象,说明相关管理部门存在监管不力、履行职责不到位,甚至执法不严、违法不究的现象。宜加大监管、处罚力度,依法严厉查处各类环境违法行为,坚决杜绝行政不作为现象。

6 结论

1)运用层次分析法,构建层次结构模型,可有效开展以伊犁河谷为代表的干旱半干旱区矿山地质环境分析评价。本文选用4个评价要素、16个评价因子,构建了包含目标层(决策层)、要素层(准则层)和因子层(方案层)的层次结构模型,实现了伊犁河谷矿山地质环境遥感评估。野外验证证明了方法的有效性。

2)长期的矿业活动导致伊犁河谷矿山地质环境现状不佳。区域矿山地质环境严重影响区、较严重影响区和一般影响区占全区面积的66.93%;无影响区仅占33.07%。严重影响区主要分布在伊宁市、伊宁县、巩留县、霍城县、察布查尔锡伯自治县的冲积平原上。建议关注伊宁市、霍城县、伊宁县、察布查尔西伯自治县的矿山地质环境问题。

3)建议做好矿山生态修复规划,分区分类分级开展矿山地质环境恢复治理,加强固体废弃物综合利用,调整产业结构,优化工业布局,加强自然资源开发全过程监管,多举措加强和推进矿山地质环境恢复治理工作。

志谢:在本项目实施过程中,得到了中国自然资源航空物探遥感中心安娜、李相宜、汪洁、姚维岭、刘琼、王昊、蒋存浩、周英杰、王海庆、刘小杨、孙娅

琴、安翠娟、刘采、鞠星等,新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局信息中心关维娜、常玲、李云鹏等,伊宁县国土资源执法监察大队阿布都黑利力·吉力力,伊犁庆华能源开发有限公司王曰成、曾鹏,新疆天华矿业有限责任公司常慕远,阿希金矿刘俊平,皮里青煤矿张晓、姚小义等多位同志的大力支持和帮助,在此谨表谢忱。

参考文献 (References):

[1] 中华人民共和国国土资源部.DZ/T 0266—2014 标准矿产资源开发遥感监测技术规范[S].北京:中国标准出版社,2014.
Ministry of Land and Resources.DZ/T 0266—2014 Regulation on remote sensing monitoring of mining exploration[S]. Beijing: Standards Press of China,2014.

[2] 自然资源部.DZ/T 0392—2022 中华人民共和国地质矿产行业标准 矿山环境遥感监测技术规范[S].北京:自然资源部,2022.
Ministry of Natural Resources.DZ/T 0392—2022 Technical specification for mine environment remote sensing monitoring[S]. Beijing: Ministry of Natural Resources,2022.

[3] 赵玉灵.基于层次分析法的矿山环境评价方法研究——以海南岛为例[J].国土资源遥感,2020,32(1):148-153. doi: 10.6046/gtzyyg.2020.01.20.
Zhao Y L.Study and application of analytic hierarchy process of mine geological environment: A case study in Hainan Island[J]. Remote Sensing for Land and Resource,2020,32(1):148-153. doi:10.6046/gtzyyg.2020.01.20.

[4] 赵玉灵,杨金中,邢宇,等.伊犁谷地矿山生态修复适宜性遥感调查与评估成果报告[R].北京:中国自然资源航空物探遥感中心,2023.
Zhao Y L,Yang J Z,Xing Y,et al.Report on remote sensing investigation and evaluation of the suitability for ecological restoration of mines in the Ili Valley[R].Beijing: China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources,2023.

[5] 俞帅一,弓小平,齐锐.伊犁谷矿山地质环境质量评价分析[J].世界有色金属,2018(9):218-219.
Yu S Y,Gong X P,Qi R.Analysis of geological environment quality evaluation in Ili Valley[J].World Nonferrous Metals,2018(9): 218-219.

[6] 徐俏,徐海量,夏国柱,等.新疆矿山生态修复的认识及思考[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2022,41(3):29-34.
Xu Q,Xu H L,Xia G Z,et al.Cognition and consideration on ecological restoration of mines in Xinjiang[J].Journal of Xinjiang Normal University(Natural Sciences Edition),2022,41(3):29-34.

[7] 余中元,帕拉提·阿不都卡迪尔,吴现兴,等.新疆矿山地质环境问题及其治理对策[J].自然灾害学报,2007,16(4):66-69.
Yu Z Y,Parati A,Wu X X,et al.Environmental geology hazard of mine in Xinjiang and its control strategy[J].Journal of Natural Disasters,2007,16(4):66-69.

[8] 陈晨,张哲,王文杰,等.基于GIS的伊犁河谷地区生态承载力研究[J].环境工程技术学报,2013,3(6):532-539.
Chen C,Zhang Z,Wang W J,et al.Study on Yili River valley area ecological carrying capacity based on GIS[J].Journal of Environmental Engineering Technology,2013,3(6):532-539.

[9] 傅茜,杨德刚,张新焕,等.伊犁河谷县域相对资源承载力时空分异[J].中国科学院大学学报,2016,33(2):170-177.

Fu Q,Yang D G,Zhang X H,et al.Time and space differentiation of relative carrying capacity of resources in Ili based on improved model[J].Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2016,33(2):170-177.

[10] 姚付龙.伊犁河谷经济与资源、环境耦合研究[J].伊犁师范学院学报(自然科学版),2013,7(3):63-67.
Yao F L.Study on economic and resource-environment coupling in Yili valley[J].Journal of Yili Normal University (Natural Science Edition),2013,7(3):63-67.

[11] 强建华,于浩.新疆矿山环境遥感监测成果综述[J].中国地质调查,2016,3(5):28-34.
Qiang J H,Yu H.Review on remote sensing monitoring results of mine geological environment in Xinjiang[J].Geological Survey of China,2016,3(5):28-34.

[12] 强建华.遥感技术在新疆南部地区矿山环境调查及生态修复中的应用[J].西北地质,2021,54(3):253-258.
Qiang J H.Application of remote sensing techniques in mine environment investigation and ecological restoration in southern Xinjiang[J].Northwestern Geology,2021,54(3):253-258.

[13] 郑贵元,张文太,李建贵,等.伊犁河谷不同植被类型的水土保持效果[J].安徽农业科学,2017,45(1):64-66,78.
Zheng G Y,Zhang W T,Li J G,et al.Effect of several types of vegetation on soil and water conservation in Ili River Valley[J].Journal of Anhui Agricultural Sciences,2017,45(1):64-66,78.

[14] 赵建,李振武.基于AHP及模糊数学综合评判的铜陵市矿山地质环境影响评价[J].现代矿业,2023,39(3):36-41.
Zhao J,Li Z W.Geological environment impact assessment of mine in Tongling based on AHP and fuzzy mathematics comprehensive evaluation[J].Modern Mining,2023,39(3):36-41.

[15] 乔旭俊.层次分析法在矿山地质环境影响评价中的应用[J].山西建筑,2012,38(11):66-67.
Qiao X J.The application of hierarchy analysis method in the impact assessment of mine geological environment[J].Shanxi Architecture,2012,38(11):66-67.

[16] 李丽,孙娅琴,李菁,等.基于层次分析法的江苏矿山地质环境综合评价[J].资源节约与环保,2020(5):10-12.
Li L,Sun Y Q,Li J,et al.Comprehensive evaluation of mine geological environment in Jiangsu Province based on analytic hierarchy process[J].Resources Economization and Environmental Protection,2020(5):10-12.

[17] 汪洁,刘小杨,杨金中,等.基于国产高空间分辨率卫星数据的浙江省矿山环境恢复治理典型模式分析[J].国土资源遥感,2020,32(3):216-221. doi: 10.6046/gtzyyg.2020.03.28.
Wang J,Liu X Y,Yang J Z,et al.Typical model analysis of mine geological environment restoration and management in Zhejiang Province based on domestic high-resolution satellite data[J].Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(3):216-221. doi: 10.6046/gtzyyg.2020.03.28.

[18] 刘林.层次分析法在露天矿山安全管理中的应用[J].湖南安全与防灾,2022(4):50-53.
Liu L.Application of analytic hierarchy process in safety management of open-pit mines[J].Hunan Safety and Disaster Prevention, 2022(4):50-53.

[19] 殷亚秋,蒋存浩,鞠星,等.海南岛2018年矿山地质环境遥感评价和生态修复对策[J].自然资源遥感,2022,34(2):194-202. doi: 10.6046/zrzyyg.2021136.
Yin Y Q,Jiang C H,Ju X,et al.Remote sensing evaluation of mine geological environment of Hainan Island in 2018 and ecological

restoration countermeasures [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(2): 194–202. doi: 10.6046/zrzyyg.2021136.

[20] 肖淑云, 刘芳, 王利霞. 浅议铁矿矿山生态环境恢复综合治理[J]. 科技风, 2018(3): 131.

Xiao S Y, Liu F, Wang L X. Discussion on comprehensive management of ecological environment restoration in iron mines [J]. Technology Wind, 2018(3): 131.

[21] 英树威. 铁矿矿山生态环境恢复治理方案研究[J]. 科技资讯, 2011, 9(13): 156.

Ying S W. Study on ecological environment restoration and treatment scheme of iron mine [J]. Science and Technology information, 2011, 9(13): 156.

[22] 刘海龙. 采矿废弃地的生态恢复与可持续景观设计[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 323–329.

Liu H L. Ecological restoration and sustainable landscape design of mining wastelands [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2): 323–329.

[23] 周微. 铜矿尾矿库生态修复技术实践[J]. 世界有色金属, 2019(18): 290, 292.

Zhou W. Practice of ecological restoration technology for copper mine tailings pond [J]. World Nonferrous Metals, 2019(18): 290, 292.

[24] 李向敏, 王薪清, 姜磊, 等. 尾矿治理中植物修复技术研究进展[J]. 环境科技, 2019, 32(5): 71–75.

Li X M, Wang X Y, Jiang L, et al. Advance of phytoremediation technology in tailings treatment [J]. Environmental Science and Technology, 2019, 32(5): 71–75.

[25] 新疆天华矿业有限责任公司. 新疆尼勒克县松湖铁矿矿山地质环境保护与土地复垦方案[R]. 伊犁: 新疆天华矿业有限责任公司, 2020.

Tian Hua Mine Co.Ltd. Geological environment protection and land reclamation plan for Songhu Iron Mine in Nileke Country [R]. Ili: Tian Hua Mine Co.Ltd., 2020.

Evaluation and analysis of geological environment of mines in the Ili Valley and countermeasures for ecological restoration and management

ZHAO Yuling¹, YANG Jinzhong¹, SUN Weidong², YU Hao², XING Yu¹, CHEN Dong¹,
MA Xinying¹, WANG Tixin¹, WANG Cong¹

(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China;
2. Information Center of Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang, Urumqi 830000, China)

Abstract: This study aims to evaluate and analyze the geology of mines in Ili Valley and investigate the countermeasures for ecological restoration therein. Utilizing the mining development status derived from remote sensing data and the remote sensing survey results of geological environment, as well as multi-source geological, socio-economic, and meteorological data, this study built a hierarchy structural model using analytic hierarchy process (AHP) and assessed the geological environment of mines in the Ili Valley. The results indicate that the severely affected areas are relatively concentrated, accounting for 4.61% of the total area of Ili Valley. The moderately severely affected areas present a continuous distribution. These areas overlap with each other, exhibiting indistinct boundaries. The generally affected areas are primarily distributed in extremely high mountain areas, medium to high mountain areas, and low mountain and hilly areas. The unaffected areas are primarily distributed in the alluvial plain area in the central part Ili River Valley and the plain area of the Zhaosu Basin. The areas with high ecological carrying capacity are mainly concentrated in the central region except for the south of Zhaosu County and Tekes County, the eastern edge of Nilka County, and the northern area of Khorgos. This study proposed corresponding ecological restoration and management measures and countermeasures against major geological issues. The findings of this study can provide basic data and technical support for the sustainable development of the ecology and the rational exploitation of mine resources in the Ili Valley. Additionally, these findings can serve as a case study for monitoring and assessing the geology of mines in arid and semi-arid areas.

Keywords: Ili Valley; remote sensing survey and monitoring; analytic hierarchy process (AHP); geology of mines; ecological restoration and management

(责任编辑: 陈昊旻)