

文章编号: 1673-9469 (2019) 04-0106-07

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2019.04.017

秦岭北麓露天矿区地质环境评价

朱涛, 苏生瑞*, 王楷, 周阳

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了揭示秦岭北麓矿山开采对生态环境的影响, 利用现场调查和遥感解译相结合的方法开展了矿山地质环境问题调查。选取地质环境条件、地质灾害发育情况以及破坏治理现状为中间变量层, 各变量层分别包括微地貌、水文地质、地层岩性、崩塌灾害、泥石流灾害, 弃渣压占现状、土地复垦现状和灾害防治现状等影响指标层, 利用层次分析法 (AHP) 确定各影响因子的权重并结合 ArcGIS 的空间分析功能进行了矿山地质环境评价分区。结果表明: 研究区山地与台塬交接的山麓地带地层岩性较差、崩塌灾害严重, 东部 202 省道沿线地区废渣压占问题严重、泥石流灾害发育。矿山所在区域的地质环境综合评价多为中和差, 且 202 省道沿线的环境条件尤为恶劣, 这一评价结果与秦岭北麓的现场调查结果具有较好的一致性。评价结果可为政府等有关部门开展矿山地质环境恢复治理工作提供理论依据。

关键词: 矿山地质环境评价; 层次分析法 (AHP); ArcGIS; 秦岭北麓

中图分类号: X141

文献标识码: A

Geological Environment Evaluation of Open Pit Mining Area in North Piedmont of the Qinling Mountain

ZHU Tao, SU Shengrui*, WANG Kai, ZHOU Yang

(School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: In order to reveal the impact of mining in the north piedmont of Qinling Mountain on the ecological environment, combination of on-site investigation and remote sensing interpretation was used in this paper to investigate the geological environment of the mine. The geological environment conditions, the development of geological disasters and the present situation of damage control were selected as the intermediate variables. Each of intermediate variables includes microgeomorphology, hydrogeology, strata lithology, collapse disaster, debris flow disaster, waste slag pressure occupation status, land reclamation status and disaster prevention and control status. The effect of each impact factor was determined by analytic hierarchy process (AHP) and combined with the spatial analysis function of ArcGIS carrying out mine geological environment assessment and map division. The results show that the piedmont of the mountain where the mountain and the platform in the study area are in contact with each other is poor in stratigraphic lithology, and the collapse disaster is serious. The problem of waste slag in the area along the eastern province of 202 is serious and the debris flow disaster is developing. The comprehensive evaluation of the geological environment in the mine area is mostly medium or poor, and the environmental condition along the 202 provincial road is particularly bad. This evaluation result is in good agreement with the field investigation results of the north piedmont of the Qinling Mountain. The evaluation results can provide theoretical basis for the government and other relevant departments to carry

收稿日期: 2019-09-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (4167020392)

作者简介: 朱涛 (1994-), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要研究方向为地质灾害防治。* 通讯作者: 苏生瑞 (1963-), 男, 甘肃庆阳人, 博士, 教授, 主要从事地质灾害防治方向的研究。

out mine geological environment governance and restoration.

Key words: mine geological environment evaluation; analytic hierarchy process(ahp); arcgis; the north piedmont of the qinling mountain

秦岭北麓矿产资源十分丰富,矿产的开发利用极大地推动了当地经济和社会的发展。但矿产的开采也破坏了原有的地质构造和岩体完整性,同时大量矿渣的随意堆放为泥石流的形成提供了充足的物源,导致矿区及其附近的崩塌和泥石流灾害频发^[1-2],严重影响了当地社会和经济的可持续发展,对当地居民正常的生产生活、附近公路的正常运营及过往车辆的安全造成了隐患。近年来,矿山开采所造成日趋严重的问题引起了学者们对矿山地质环境评价的广泛研究。李小燕等^[3]通过 AHP 决策分析法和 ArcGIS 相结合的方法对云南省昆阳磷矿矿区进行了地质环境评价,并根据评价结果将矿区划分为地质环境影响严重区、较严重区、一般区和无影响区;刘勇等^[4]通过野外现场调查和极射赤平投影相结合的方法对安徽省某矿区地质环境现状及崩塌危岩体的稳定性进行了评价;王东旭等^[5]通过 Fisher 判别分析法对新疆地区 11 个非金属露天开采矿山地质环境进行了评价。这些评价多是针对单个矿区或对多个矿区各自进行评价,这种评价方式对于秦岭北麓矿山众多、空间分布范围广的情况并不适用。

本文以秦岭北麓矿山分布区的野外现场调查资料和遥感解译数据为基础,选取适宜的评价指标构建评价模型对矿山分布区的地质环境现状进行评价,

通过 ArcGIS 的空间分析功能对评价结果进行处理,从而得出秦岭北麓矿山分布区的区域性地质环境现状评价结果。该评价结果可为政府等有关部门有针对性地制定和开展秦岭北麓矿山地质环境恢复治理工作提供依据,同时对区域性矿山地质环境评价方法的发展完善具有一定的意义。

1 研究区概况

研究区地处关中平原秦岭山地与北部黄土台原的交接地带,含部分渭河阶地区。地势南高北低,具有明显的起伏,区域上呈现为台阶状。研究区海拔最高 2 030 m,最低 336 m。区内矿产主要为片麻岩矿、花岗岩矿等非金属矿产,研究区面积约 705 km²,横跨临渭区、华州区和华阴市三个区市,矿山数量众多、规模大小不一、空间分布范围广,如图 1。

研究区内出露的地层主要为太古界太华群、第四系上更新统风积黄土、第四系全新统冲洪积层、第四系全新统残坡积层和第四系全新统人工杂填土。区内地下水类型包括两种,即赋存于太古界太华群片麻岩中的基岩裂隙水和赋存于第四系松散层中的孔隙水。其中基岩裂隙含水性极差,富水性极弱,

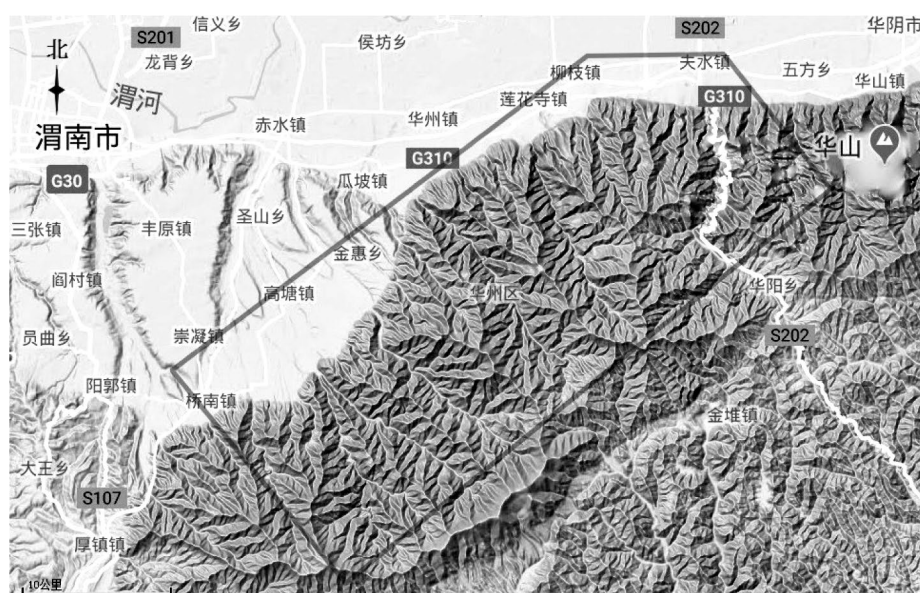


图 1 研究区地理位置图

Fig.1 Location map of the study area

一般矿山开采深度内无水位;第四系松散层孔隙水主要赋存于调查区河流阶地、山前洪积扇区,埋深较浅,富水性强。

研究区位于秦岭太华台拱与汾渭断陷的结合部位,太华台拱与汾渭断陷的长期升降形成了高差悬殊的地貌和构造单元。研究区附近大的断裂活动带为秦岭山前断裂,该断裂为多期次活动正断层组,走向NE~SW向,倾向NNW向,倾角 70° ~ 80° 。断层北为第四系松散堆积层,南为太古界太华群片麻岩及中生代侵入岩,南侧秦岭山脉具有强烈的间歇性抬升,山麓冲洪积扇群叠覆,渭河断陷持续下降、河流长期遭受剥蚀夷平,具有多旋回性和多阶段性,新构造运动较为强烈。



图2 崩塌隐患点

Fig.2 Collapse hidden point



图3 泥石流隐患点

Fig.3 Debris flow hidden point

2 矿山地质环境问题

2.1 崩塌灾害

研究区内矿山开采历史悠久,由于在早期矿山开采过程中开采技术落后、开采方式不合理(主要以人工爆破、机械切割为主),使区内的微地貌类

型发生了改变,产生了大量的高陡边坡,坡度集中在 65° ~ 85° ,最大高差约137 m,如图2。边坡高度和角度的增大改变了坡体的应力状态,坡肩处会形成较大的拉应力区、坡脚处会产生剪应力集中区。在两种应力的组合作用下,易在坡肩附近形成较大的拉张裂缝、坡脚处形成剪切裂缝,从而对岩体结构产生进一步破坏。其次,爆破和机械切割活动不仅会使岩体原有的结构面开裂,还会产生大量新的结构面,同时对边坡岩体施加的瞬时巨大作用力会造成岩体失稳和边坡的变形破坏,继而诱发崩塌灾害。

2.2 泥石流灾害

花岗岩矿开采过程中形成了大量的矿渣,这些矿渣被随意堆放于附近的沟道中,如图3,为泥石流的发育提供了丰富的松散物储量(最大松散物储量约 $1\ 060 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^2$,加之沟道的纵坡比降较大(最大主沟纵坡降约469‰),在暴雨、大量冰雪融水等条件下矿渣随水流沿沟道而下形成泥石流地质灾害。

2.3 地形地貌破坏

矿山开采中挖损山体,破坏了山体表层植被,同时开采形成的大量矿渣难以及时清运,往往采取就近堆放的方法来处理,长此以往造成废渣压占大量的土地(矿渣压占土地最大达 11.58 hm^2),如图4所示。此外,沿山坡从高处排下的矿渣在滑落过程中破坏了坡体上的植被,形成了大量的裸露岩体。

3 矿山地质环境评价方法

3.1 研究区矿山地质环境评价原理



图4 废渣压占土地

Fig.4 Waste residue occupied land

为使评价结果更加科学合理，本次研究采用矿山分布区现场调查和 1：50 000 遥感图像解译相结合的方法来获取研究区的相关基础资料。根据现场调查结果，本文从地质环境问题、地质灾害发育情况和矿区破坏治理现状三个方面对秦岭北麓矿山分布区的地质环境进行评价。本研究采用层次权重决策分析法 (AHP)，将研究区划分为 0.75 km×0.75 km 的单元格，在地质环境问题、地质灾害发育情况和矿区破坏治理现状三个系统中根据现场调查实际情况选取具有代表性的评价指标，并根据实地调查所取得的指标影响程度进行指标分级^[2]。运用层次分析法计算各系统和各评价指标的权重，将各系统和评价指标的权重与其对应影响程度量化值乘积叠加得到每个评价单元的矿山地质环境评价指数，通过自然断点法确定矿山环境评价等级阈值，依据评价指数和等级阈值进行评价从而得到秦岭北麓矿山分布区的地质环境的评价结果。

3.2 评价指标的确定

由于矿山地质环境的影响因素数量众多，这些影响因素之间的关系错综复杂且相互影响，因而在评价指标的选取时，首先要对研究区的矿山地质环境现状进行充分的调查分析，依据针对性、简明性、普适性及数据易取得、指标可量化、动态指标与静态指标相结合等原则来进行筛选^[6]。

根据层次分析法的原理，将评价指标体系的结构划分为目标层、中间变量层和影响指标层三个层次。本次评价中目标层以矿山地质环境综合影响指数来表征，中间变量层从地质环境条件、地质灾害发育情况和矿区破坏治理现状三个方面对秦岭北麓矿山分布区的地质环境进行评价，影响指标层根据

秦岭北麓现场调查的结果综合选用该地区具有代表性的评价指标。根据秦岭北麓调查结果分析并参考前人在研究中对评价指标的选用^[7-9]，本次评价将地质环境问题进一步细分为微地貌特征、水文地质条件、地层岩性三个方面的评价指标，将地质灾害问题进一步分为崩塌灾害隐患和泥石流灾害隐患两个评价指标，将破坏治理现状细分为废渣压占现状、土地复垦现状和灾害防治现状三个评价指标（具体分层如表 1 所示）。

表 1 评价体系结构表
Tab.1 Evaluation architecture table

目标层	中间变量层	影响指标层
综合评价指数 (A ₁)	地质环境条件 (B ₁)	微地貌特征 (C ₁)
		水文地质条件 (C ₂)
		地层岩性 (C ₃)
	地质灾害发育 情况 (B ₂)	崩塌灾害 (C ₄)
		泥石流灾害 (C ₅)
	破坏治理现状 (B ₃)	废渣压占现状 (C ₆)
		土地复垦现状 (C ₇)
		灾害防治现状 (C ₈)

3.3 评价指标分级

秦岭北麓矿山地质环境影响因素复杂，需要用层次分析法的模糊数学原理对评价指标分级赋值从而减弱评价指标的模糊性和不确定性^[10]。本文根据秦岭北麓矿山地质环境的现场调查情况并结合《矿山地质环境调查评价规范》(DD2014-05)^[11]的相关规定，得出秦岭北麓矿山地质环境评价指标的分级情况（表 2）。

表 2 矿山地质环境评价指标分级表
Tab.2 Classification table of mine geological environment evaluation index

评价指标分级赋值	好 (1)	中等 (2)	差 (3)
微地貌特征	坡高小于 50 m	坡高大于 50 m 小于 100 m	坡高大于 100 m
	坡度小于 60°	坡度大于 60° 小于 75°	坡度大于 75°
水文地质	多年平均降雨量小于 500 mm	多年平均降雨量大于 500 mm 小于 600 mm	多年平均降雨量大于 600 mm
地层岩性	花岗岩	完整性较好的片麻岩	岩体破碎的片麻岩
崩塌灾害	小型，稳定性好	中型，稳定性较好	规模中等，稳定性差
泥石流灾害	小型，纵坡降小于 150‰	中型，纵坡降小于 280‰ 大于 150‰	中型，纵坡降大于 280‰
废渣压占现状	小于破坏面积的 5%	大于破坏面积的 5% 小于破坏面积的 20%	大于破坏面积的 20%
土地复垦现状	大于破坏面积的 70%	大于破坏面积的 50% 小于破坏面积的 70%	小于破坏面积的 50%
灾害防治现状	治理工程措施齐全，治理效果好	有少量的治理工程措施，效果一般	无任何治理措施

3.4 权重确定

根据表1评价体系的结构和研究区各影响指标的相对重要程度构造判断矩阵,从而计算出各指标的权重值。

对研究区中间变量层的地质环境条件(B1)构造判断矩阵如表3所示。

表3 地质环境条件判断矩阵

Tab.3 Judgment matrix of geological environment condition

评价指标	C1	C2	C3
C1	1	1	2/3
C2	1	1	2/3
C3	3/2	3/2	1

该判断矩阵的阶数 $n=3$, 通过 MATLAB 软件对判断矩阵进行计算得出最大特征值 $\lambda=3$, 一致性指标 $CI=(\lambda-n)/(n-1)=0$, 所以该矩阵为一致性矩阵。B₁ 指标的权重向量为

$$W_1=[0.285\ 7, 0.285\ 7, 0.428\ 6]^T。$$

对研究区地质灾害发育情况(B₂)构建判断矩阵如表4所示。

表4 地质灾害发育情况判断矩阵

Tab.4 Judgment matrix of geological disaster development

评价指标	C4	C5
C4	1	1/2
C5	2	1

该判断矩阵的阶数 $n=2$, 通过 MATLAB 软件对判断矩阵进行计算得出最大特征值 $\lambda=2$, 一致性指标 $CI=(\lambda-n)/(n-1)=0$, 所以该矩阵为一致性矩阵。B₂ 指标的权重向量为

$$W_2=[0.333\ 3, 0.666\ 7]^T。$$

对研究区破坏治理现状(B₃)构建判断矩阵如表5所示。

表5 破坏治理现状判断矩阵

Tab.5 Judgment matrix of destruction governance status

评价指标	C6	C7	C8
C6	1	1	2/3
C7	1	1	2/3
C8	3/2	3/2	1

该判断矩阵的阶数 $n=3$, 通过 MATLAB 软件对判断矩阵进行计算得出最大特征值 $\lambda=3$, 一致性指标 $CI=(\lambda-n)/(n-1)=0$, 所以该矩阵为一致性矩阵。B₃

指标的权重向量为

$$W_3=[0.250\ 0, 0.250\ 0, 0.500\ 0]^T。$$

对目标层A构建判断矩阵如表6所示。

表6 目标层判断矩阵

Tab.6 Judgment matrix of target layer

评价指标	B1	B2	B3
B1	1	1/2	1/3
B2	2	1	2/3
B3	3	3/2	1

该判断矩阵的阶数 $n=3$, 通过 MATLAB 软件对判断矩阵进行计算得出最大特征值 $\lambda=3$, 一致性指标 $CI=(\lambda-n)/(n-1)=0$, 所以该矩阵为一致性矩阵。A 指标的权重向量为

$$W=[0.166\ 7, 0.333\ 3, 0.500\ 0]^T。$$

将影响指标层各指标的权重与对应中间要素层的权重的乘积即为该评价方法层次总排序的权重值, 详见表7。

表7 各指标层次总排序权重值表

Tab.7 Total index weight value table for each indicator level

指标	层次总排序权重
微地貌特征(C ₁)	0.047 6
水文地质条件(C ₂)	0.047 6
地层岩性(C ₃)	0.071 4
崩塌灾害(C ₄)	0.111 1
泥石流灾害(C ₅)	0.222 2
废渣压占现状(C ₆)	0.125 0
土地复垦现状(C ₇)	0.125 0
灾害防治现状(C ₈)	0.250 0

4 评价结果与分析

根据矿山地质环境评价指标分级表(表2)对矿山分布区的每个单元格进行评价指标赋值, 借助 ArcGIS 的空间分析工具, 运用反距离权重插值(IDW)方法将各指标按赋值结果相应地分为好、中等、差三个单指标评价区域, 评价分区结果见图5。图5中依次为微地貌特征、水文地质条件、地层岩性条件、崩塌灾害、泥石流灾害、废渣压占现状、土地复垦现状和灾害防治现状评价分区结果。

根据各指标的评价结果和研究区遥感影像图(图6)可以看出, 各指标的影响严重区多位于矿山集中区。其中, 微地貌影响严重区、地层岩性较差

区和崩塌灾害严重区多位于山地与台塬的交接地带, 该地区主要为岩体较为破碎的片麻岩矿; 水文地质条件分区图三个与秦岭山脉走向一致的条带, 表明从山脚到秦岭内部降雨量逐渐增多; 图5表明, 东部202省道沿线地区废渣占压问题严重、泥石流灾害发育, 且只有个别矿山采取了治理措施, 治理效果差。

将影响指标层各评价指标的层次总排序权重值与分级赋值的乘积累加, 其值即为各评价单元的矿山地质环境评价指数, 计算得出各评价单元格的评价指数介于1.3~2.625之间。通过自然断点法将评价指数划分为1.3~1.631、1.631~1.961、1.961~2.291、2.291~2.625四个指数区间, 并相应地将矿山分布区的地质环境评价结果划分为优、良、中、

差四个评价等级。

根据 ArcGIS 的反距离权重插值 (IDW) 方法和四个评价指数等级, 将秦岭北麓矿山地质环境分为优、良、中、差四个区域, 详见图7。

从图7可以看出, 秦岭北麓矿山评价分区呈明显的条带状分布。研究区西部评价分区条带呈NE~SW向展布, 东部评价分区呈近南北向展布; 这种条带状与矿区的分布有关, 而矿山开采中为了便于矿石的开采和运输, 矿山的分布多沿山地与台塬交接的山麓地带及道路沿线分布, 形成了研究区西部矿区沿山麓一带分布、东部矿区沿202省道分布的现状。

根据图7矿山地质环境分区评价结果, 西部桥南镇的矿山及其附近的地质环境为良, 这一结果与

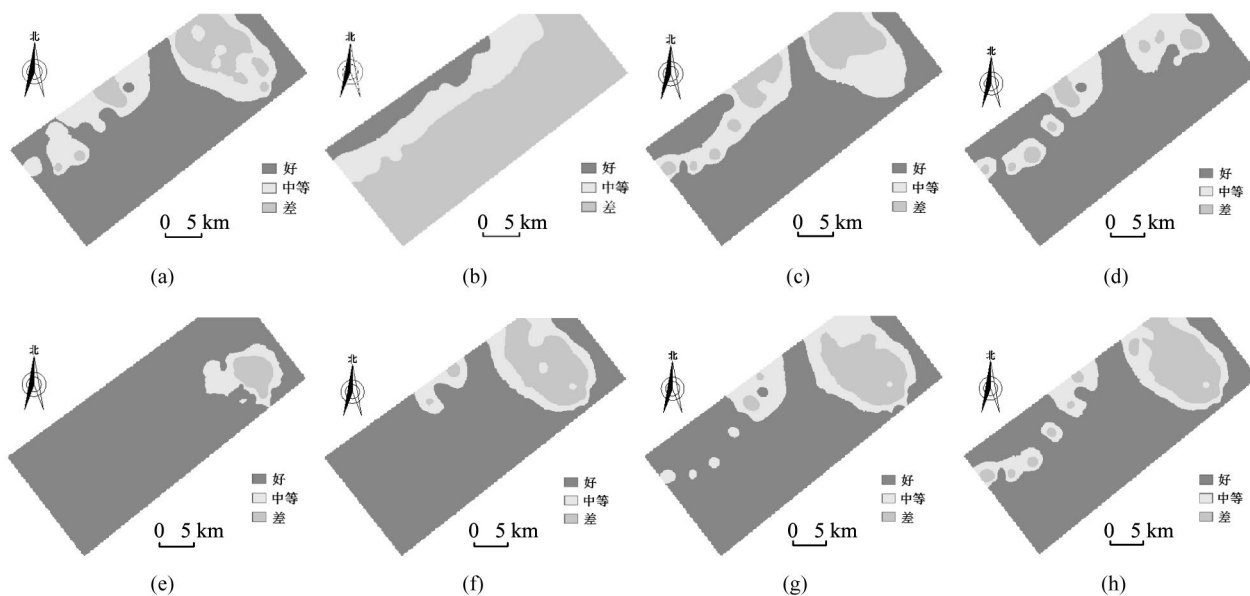


图5 评价分区结果图

Fig.5 Evaluation zoning result map

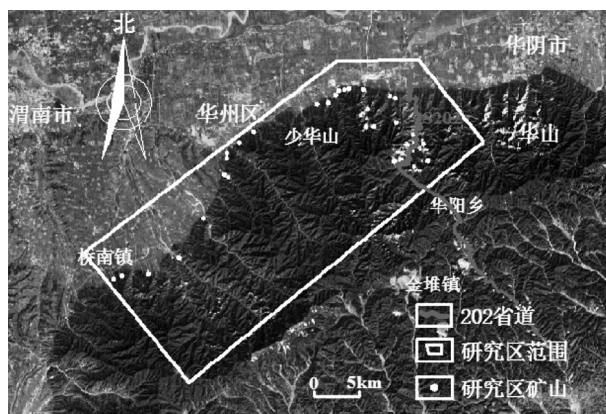


图6 研究区遥感影像图

Fig.6 Remote sensing image map of the study area

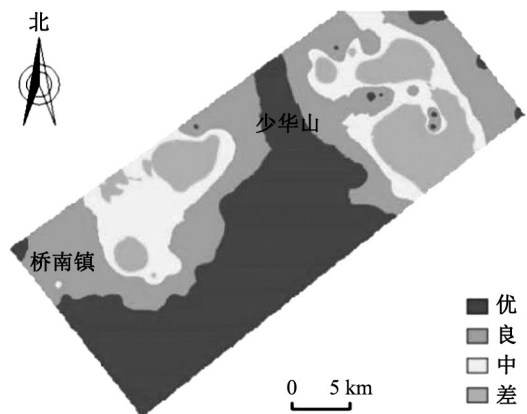


图7 地质环境评价分区图

Fig.7 Geological environment assessment partition map

桥南镇矿区采取了堆渣清运、覆土、植树绿化等治理措施且取得良好的治理效果有关;图7中部华州区附近地质环境评价结果为优和良,根据现场调查,该区域为少华山国家森林公园,有专门的环境保护人员和环保措施,区域内无矿山分布。

对图6、图7进行综合分析可以得出,矿山所在区域的环境评价结果多为中和差,且202省道沿线的环境条件尤为恶劣,这一评价结果与秦岭北麓的现场调查结果具有较好的一致性。

5 结论

1) 研究区山地与台塬交接的山麓地带地层岩性较差、崩塌灾害严重,该地区主要为片麻岩矿开采区;研究区东部202省道沿线地区废渣占压问题严重、泥石流灾害发育,且治理措施少、治理效果差。

2) 矿山地质环境评价分区图具有明显的条带状,并且条带的空间分布特点与矿山的空间分布特点十分吻合;矿山所在区域的地质环境综合评价多为中和差,且202省道沿线的环境条件尤为恶劣,这一评价结果也与秦岭北麓的现场调查结果具有较好的一致性。

3) 本文采用的评价方法能较好地适应秦岭北麓矿山数量众多、规模大小不一、空间分布范围较广的特点,可为政府等有关部门开展矿山地质环境恢复治理工作提供理论依据。

参考文献:

- [1] 王瑞丰,翟延亮,于军,等.承德武烈河流域矿山地质环境影响定量评价[J].中国地质灾害与防治学报,2017,28(2):124-130.
- [2] 郭秋,张红,刘贺春,等.宝鼎矿地质环境模糊层次分析法综合评价[J].金属矿山,2017,494:193-198.
- [3] 李小燕,谈树成,马国胤,等.云南省昆阳磷矿矿区矿山地质环境评价[J].中国矿业,2018,27(2):91-96.
- [4] 刘勇.安徽省某矿区地质环境评价及治理方案设计[D].绵阳:西南科技大学,2016.
- [5] 王东旭,张紫昭.新疆非金属露天开采矿山地质环境评价指标体系与模型建立[J].中国矿业,2018,27(3):93-99.
- [6] 党杰.基于GIS技术的六盘水市矿山地质环境评价[J].贵州地质,2018,35(1):49-54.
- [7] 陈俊奇.基于RS和GIS的矿山地质环境调查与评价[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
- [8] 王长琪.黑龙江省大中型煤矿矿山地质环境评价[D].长春:吉林大学,2015.
- [9] 席正.张家口市高新区露天群采矿区矿山地质环境评价与治理模式研究[D].石家庄:河北地质大学,2016.
- [10] 王念秦,李仁伟.陕西商南矿山地质环境质量评价[J].中国矿业,2018,27(12):83-87.
- [11] DD2014-05.矿山地质环境调查评价规范[S].

(责任编辑 李新)