

西部风积沙区超大工作面开采土地损伤评价

李云鹏, 卞正富, 雷少刚, 刘英

(中国矿业大学 环境与测绘学院 江苏 徐州 221116)

摘要: 针对我国西部风积沙区超大工作面开采具有所处生态环境脆弱、开采强度大等显著特点,以神东地区大柳塔矿区为例,构建矿区土地质量指标体系和评价标准,将矿区土地质量分为 5 级,通过熵技术法确定评价指标的权重,采用改进的灰度关联法对矿区工作面土地损伤程度进行研究与评价。结果表明:影响矿区土地质量的主要因子是裂缝宽度、附加坡度、下沉深度及侵蚀模数,其次是有效 P、有效 K、植被覆盖度、有机质等因子;大柳塔矿区工作面土地质量为第 4 级,土地质量较差,损伤较为严重;改善矿区土地质量,应在采前预测土地损伤状况,采中优化开采技术,控制地形地貌改变,采后进行人工修复和生态环境的自我恢复。

关键词: 超大工作面; 风积沙区; 土地损伤评价; 改进灰度关联法; 熵技术

中图分类号: TD88 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2017)04-0188-07

Land damage evaluation in coal mining area with super-size mining face at western aeolian sandy area

Li Yunpeng, Bian Zhengfu, Lei Shaogang, Liu Ying

(School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: According to the distinctive characteristics of fragile ecological environment and strong mining intensity in the super-size mining face at western aeolian sandy area, the paper took Daliuta Mining Area in Shandong as a study case, established the land quality index system and evaluation standard which divided the land quality in mining area into five levels, determined the evaluation index weight based on the entropy technology, and evaluated the land damage degree in mining area by using the improved gray correlation method. The evaluation results show that the most important impact factors of the land quality in mining area include crack width, additional slope, sinking depth and erosion modulus; the second main impact factors include effective P, effective K, vegetation coverage, organic matter and others. The land quality of Daliuta Mining Area faces is in the fourth level, which indicates that the land damage is relatively serious leading to poor land quality, and the land condition needs to be improved. It is necessary to predict land damage circumstance before mining, optimize the mining technologies and control the topographic change in the mining process, and carry out the artificial restoration and self-recovery of ecological environment after mining to improve the land quality in mining area.

Key words: super-size mining face; aeolian sandy area; land damage evaluation; improved gray correlation method; entropy technology

0 引 言

土地环境直接影响着人类的生活,矿山开采造成的土地质量恶化是当前我国面临的生态环境问题

之一^[1-2]。煤矿的开采带来土壤肥力退化、水土流失、植被退化、地形地貌变化等诸多严重的土地损伤问题,加之我国许多大型煤矿位于西北干旱、半干旱生态环境脆弱区,矿区开采中,地表形成大量的地裂

收稿日期: 2016-08-08; 责任编辑: 代艳玲 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2017.04.033

基金项目: 国家自然科学基金煤炭联合基金重点资助项目(U1361214); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2013CB227904); 国家科技基础性工作专项资助项目(2014FY110800)

作者简介: 李云鹏(1992—),男,山东泰安人,硕士研究生。通讯作者: 卞正富,教授,博士生导师, Tel: 0516-83590159, E-mail: Zfbian@cumt.edu.cn

引用格式: 李云鹏, 卞正富, 雷少刚, 等. 西部风积沙区超大工作面开采土地损伤评价[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(4): 188-194.

Li Yunpeng, Bian Zhengfu, Lei Shaogang et al. Land damage evaluation in coal mining area with super-size mining face at western aeolian sandy area[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(4): 188-194.

缝和采空塌陷区,植被根系破坏且地表土壤物理化学性质改变,矿区水土流失等现象更为严重,进一步加剧了原有生态系统的恶化^[3-4]。因此,对矿区及周围的区域进行土地损伤评价是十分必要的。目前对于矿区环境评价方面主要集中在矿区土壤质量评价^[5-6]、矿区生态安全评价^[7-8]、矿区生态敏感性评价^[9]以及矿区生态演变评价^[2]等方面。前人对于矿区生态环境进行评价的方法主要有模糊评价法^[10-11]、主成分分析法^[12]、层次分析法^[13-14]、神经网络法、物元分析法^[2]、灰度关联法^[6]和景观生态评价方法^[15]等。大部分学者运用GIS技术,结合层次分析法、模糊评价法、物元分析法或者神经网络法,量化评价矿区环境质量,但对各指标权重的大小与赋值有所忽视,且对于运用熵技术法以及改进的灰度关联法对矿区煤炭开采导致的土地损伤方面的评价较少,特别是超大工作面开采矿区。鉴于上述研究的不足,为了定量评价风积沙区超大工作面煤炭开采的土地损伤状况,笔者在前人研究的基础上,从超大工作面开采煤矿区的基本土地质量要素出发,通过熵技术法确定各评价指标的权重,对灰度关联法进行改进,构建煤炭开采土地损伤评价模型,并以大柳塔矿区为例,在全面野外调查和室内化验分析以获得大量的土地质量相关信息的基础上,对矿区土地损伤状况进行综合评价,进而分析土地损伤的程度及矿区环境状况。

1 研究区概况

大柳塔矿区地处晋、陕、蒙三省(自治区)接壤处,位于毛乌素沙漠东部边缘,地理坐标为东经 $110^{\circ}05'00''$ — $110^{\circ}20'00''$,北纬 $39^{\circ}15'00''$ — $39^{\circ}27'00''$,面积约 376 km^2 。气候干燥少雨,年平均降雨量和蒸发量分别为 413.5 mm 和 $2\ 111.2\text{ mm}$,属于典型的干旱、半干旱的高原大陆性气候,植被稀少,以沙蒿、杨树等典型荒漠植被为主,土壤以风沙土为主,占矿区土壤的95%以上,结构疏松,抗蚀性差,极易遭受风蚀。煤层赋存条件呈现出浅埋深、厚煤层以及近水平等特点,地表被厚松散层覆盖,厚度达 $8\sim 35\text{ m}$,工作面长约 300 m ,推进长度达 $3\ 500\text{ m}$ 以上,煤层埋深 $190\sim 230\text{ m}$,煤厚 $4.9\sim 7.3\text{ m}$,深厚比 $30\sim 40$,采用长壁开采、垮落式管理顶板的开采方式,日推进速度可达 12 m 左右,属于典型的高强度、超大工作面开采的范畴。

2 矿区土地损伤评价模型构建

2.1 指标体系构建

由于矿区土地损伤的复杂性,通常很难将整个矿区土地系统全部度量分析,笔者从矿区土地因子关系变化中选取能全面、系统地表征出矿区土地损伤的本质特征,可以标度整个土地系统质的改变的参变量进行分析评价。评价指标的选取遵循全面性^[7]、针对性^[9]、优先性和实用性^[16-17]原则,依据以上原则,针对超大工作面煤炭开采过程中可能引发的主要土地损伤问题,经综合分析,从矿区土地的组成部分中选取土壤、植被、地形地貌3大方面的指标来反映矿区土地质量情况,并将这3个指标分解为具体指标,由此组成矿区土地生态环境质量的一个多层次多评价的指标体系。

对于各评价指标的选取,土壤和植被方面选取生态环境评价常用的指标。土壤方面选取与植被生长有直接关系的有机质、含水量、有效N、有效P、有效K,所选指标是直接影响土壤质量的关键因子。植被方面选取植被覆盖度和生物量,两者是干旱半干旱矿区环境健康与景观和谐最为重要的指示因子^[18]。植被覆盖度的高低与生物量的多少可直接反映土地的损伤状况。地形地貌方面横向上选取裂缝宽度,裂缝宽度的大小直接反映了土地拉伸损伤的程度,是矿区土地损伤的重要表现;纵向上选取下沉深度和附加坡度,下沉深度直接反映地表沉陷的程度,地表下沉不均匀产生了附加坡度,附加坡度则反映出开采前后地形的变化,两者在纵向上对矿区土地损伤产生了重要影响;侵蚀模数这一指标则能客观地反映矿区土地水土流失程度。各评价指标的选取能全面、系统地用于评价矿区土地损伤的状况。

2.2 指标量化分级

矿区土地质量量化分级是进行评价的基础,采用五级划分,将土地质量等级^[4,18-20]分为优(I)、良(II)、中(III)、较差(IV)、差(V),其特征描述见表1,包括土地受损伤程度及生态系统的恢复程度。在此基础上对影响矿区生态环境的因子进行量化分级。根据上述提出的指标建立了矿区土地损伤指标的分级标准,见表2。在参考已有标准并结合西部矿区自身背景的前提下,将每个指标分为五级,等级越高,损伤程度越严重,反之越轻微。指标取值代表采煤后的土地质量状况,考虑到不同矿区各个评价指标的取值差别较大,因此分级标准包括范围较广。

表1 矿区土地质量等级特征

Table 1 Description of mining area land quality level characters

等级	表征状态	等级特征
I	优	土地环境基本未受干扰破坏,功能较强,受采煤影响后系统恢复再生能力强,不存在显著的生态问题,土地损伤少,土壤肥力好
II	良	土地环境较少受破坏,生态系统结构尚完整,功能尚好,受采煤影响后系统可自我恢复,恢复力较好,土壤肥力较好
III	中	土地环境受到一定破坏,土地系统结构有变化,但尚可维持基本功能,受采煤影响后易恶化,生态系统恢复有一定困难,土地损伤问题显著,生态灾害时有发生
IV	较差	土地环境受到较大破坏,土地系统结构变化较大,功能不全,受采煤影响后系统恢复困难,自我调节能力受很大影响,生态问题较大,生态灾害较多
V	差	土地环境受到很大破坏,土地系统结构残缺不全,功能低下,系统恢复与重建很困难,无法进行系统的自我调节,生态环境问题很大且变成生态灾害

表2 矿区土地损伤指标分级标准

Table 2 Classification standard of mining area land damage indexes

土地质量等级	I	II	III	IV	V
有机质含量/% ^[6]	>1.00	0.75~1.00	0.5~0.75	0.25~0.50	<0.25
含水量/% ^[20]	>20	15~20	10~15	5~10	<5
有效N含量/(mg·kg ⁻¹) ^[21]	>150	120~150	90~120	60~90	<60
有效P含量/(mg·kg ⁻¹) ^[21]	>40	20~40	10~20	5~10	<5
有效K含量/(mg·kg ⁻¹) ^[21]	>200	150~200	100~150	50~100	<50
植被覆盖度/% ^[6,20]	>80	50~80	30~50	15~30	<15
生物量/(kg·hm ⁻²) ^[6,20]	>3 000	2 000~3 000	1 500~2 000	1 000~1 500	<1 000
裂缝宽度/cm ^[2,22]	<0.1	0.1~1.0	1~10	10~30	>30
附加坡度/(°) ^[2,22]	<0.1	0.1~1.0	1~3	3~7	>7
下沉深度/m ^[2]	<0.1	0.1~0.5	0.5~1.5	1.5~3.0	>3.0
侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹) ^[6]	<200	2 00~2 500	2 500~5 000	5 000~8 000	>8 000

2.3 评价模型构建

灰度关联法基于生态环境质量与评价因子之间存在一定的关联关系,能全面反映评价指标的综合信息,其基本思想是根据序列曲线的相似程度来判断其联系是否紧密,曲线越接近,形状越相似,相应序列之间的关联就越大^[5]。由于评价标准并非具体数值,而是一个区间,显然,应用传统的灰度关联法不能有效反映评价信息,故采用改进灰度关联法进行超大工作面开采煤矿区土地损伤的评价,其步骤如下:

1) 确定参考数列和标准数列。设各评价指标实际值 $X_0 = \{x_0(k) | k=1, 2, \dots, n\}$ 为参考数列,各级标准值 $X_i = \{x_i(k) | k=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, m\}$ 为标准数列,其中 n 为评价指标数量; m 为评价等级数量。

2) 计算关联系数 ξ 。为了消除指标量纲和量纲单位不同而带来的不可公度性,需要对指标进行初值化处理,笔者采用归一化处理方法^[23],公式如下:

$$x_i'(k) = \frac{x_i(k)}{x_0(k)} \quad (1)$$

参考数列 X_0 与标准数列 X_i 的关联系数通过式(2)求得:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)} \quad (2)$$

式中: ρ 为分辨系数,取值为0~1,值越小,分辨能力越强,一般取0.5; $\Delta_i(k)$ 为第 k 个指标 $x_0'(k)$ 与 $x_i'(k)$ 的绝对差。

这里定义 $x_i'(k) \in [a_i'(k), b_i'(k)] \Delta_i(k)$ 的

计算式为

$$\Delta_i(k) = \begin{cases} a_i'(k) - x_0'(k) & x_0'(k) < a_i'(k) \\ 0 & a_i'(k) \leq x_0'(k) \leq b_i'(k) \\ x_0'(k) - b_i'(k) & b_i'(k) < x_0'(k) \end{cases} \quad (3)$$

式中: $a_i'(k)$ 、 $b_i'(k)$ 分别为指标 k 第 i 个级别的下限值与上限值。

3) 计算标准数列对应于参考数列的关联度。关联度的计算一般用平均值 r_i , 计算式如下:

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \omega(k) \xi_i(k) \quad (4)$$

式中: $\omega(k)$ 为指标 k 的权重值。

4) 关联度大小排序。关联度越大, 比较数列与参考数列的关系越密切。

5) 权重的确定。由于生态环境的复杂性和模糊性, 以及生态环境中各评价因子对生态质量贡献大小不同, 故需要确定权重。权重确定的恰当与否直接决定了评价结果的准确性, 对不同的评价目标来讲, 采取适宜的权重方法是评价结果可信的关键。笔者运用熵技术^[24-25]确定各指标的权重。熵技术法是一种在综合考虑各因素所提供信息量的基础上, 计算一个综合指标的数学方法。它主要是根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定其权数, 避免主观性^[26], 其计算步骤如下:

1) 构建 m 个事物 n 个评价指标的判断矩阵 R :

$$R = (r_{ij})_{mn} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

2) 将判断矩阵归一化处理, 得到归一化判断矩阵 B :

$$B = (b_{ij})_{mn} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

式中: x_{\min} 、 x_{\max} 分别为同指标下不同事物中最小值和最大值。

3) 根据熵的定义, m 个事物 n 个评价指标, 可以确定评价指标的熵值为

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) \quad (7)$$

$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

为使 $\ln f_{ij}$ 有意义, 需进行修正, 将其定义为

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1 + b_{ij})} \quad (8)$$

4) 计算评价指标的熵权, 第 j 个指标的熵权 W_j 为

$$W_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad \text{且满足} \quad \sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad (9)$$

($j = 1, 2, \dots, n$)

3 大柳塔矿区土地损伤程度评价

3.1 数据采集

2013 年 4 月进行现场调查与采样, 分析研究区土壤养分特征。由于研究区属于典型的干旱、半干旱的高原大陆性气候, 冬季土体太硬无法取样, 因此取样调查主要安排在 4—9 月, 根据实际情况在 4 月、6 月及 8 月份分别在研究区进行了取样调查。土壤样品采用“S”型取样法进行采集, 共采集了研究区土壤样本 75 个, 并测定了多项指标值, 统计了开采后工作面上方样点的有机质、含水率、有效 N、有效 P 及有效 K 等指标, 取各指标 3 次取样结果的平均值: 有机质含量 0.652%, 含水率 3.68%, 有效 N 含量 72.114 mg/kg, 有效 P 含量 6.787 mg/kg, 有效 K 含量 29.39 mg/kg。

在大柳塔矿采区上方沙地区域, 采用样方法调查, 样方面积为 10 m×10 m。在每一调查区的坡顶、坡中、沟底分别随机设置 5 个样方; 每一样方中再随机设 3 个 1 m×1 m 的小样方。分别调查每样方内的植物种类、每种植物的植株高度、密度、频度和盖度等。之后计算每一调查区的物种丰富度、分盖度、植被总盖度、主要建群种的天然高度等。调查结果显示: 该区域的植被覆盖度为 54.70%。为提高数据准确性, 又对研究区同一时期的 SPOT6 影像采用像元二分模型进行植被覆盖度遥感测算, 植被覆盖度测算结果为 50.85%, 取 2 种结果的平均值 52.775% 为研究区的植被覆盖度。同时, 通过调查估算该区域生物量为 1 871 kg/hm², 侵蚀模数为 7 500 t/(km²·a)。

研究区裂缝宽度、附加坡度及下沉深度指标的取值根据 2012—2013 年矿区代表性工作面实际监测数据选择, 见表 3。

表3 实测大柳塔矿区工作面参数
Table 3 Parameters of measured mining faces in Daliuta Mining Area

工作面	22201	52304
走向长度/m	643	4 547
倾向长度/m	349	301
采深/m	72.5	235.0
采厚/m	3.95	6.94
下沉深度最大值/mm	2 833	4 403
裂缝宽度最大值/cm	42	42
倾斜最大值/(mm·m ⁻¹)	65.6	59.0

根据表3数据,各指标取最大值表征矿区土地损伤状况,裂缝宽度取42 cm,下沉深度取4 403 mm,附加坡度是由于地下开采引起地表下沉不均匀而引起的,根据公式

$$S = \arctan\left(\frac{i'}{1\ 000}\right) \times \frac{180}{\pi} \approx \frac{i'}{18} \quad (11)$$

其中:S为附加坡度,i'为倾斜值,取倾斜最大值65.6 mm/m,附加坡度即3.644°。

由此可以得到大柳塔矿区各评价指标的取值,见表4。

表4 大柳塔矿区各评价指标取值
Table 4 Value of evaluation indicators in Daliuta Mining Area

有机质含量/ %	含水量/ %	有效N含量/ (mg·kg ⁻¹)	有效P含量/ (mg·kg ⁻¹)	有效K含量/ (mg·kg ⁻¹)	植被覆盖度/ %	生物量/ (kg·hm ⁻²)	裂缝宽度/ cm	附加坡度/ (°)	下沉深度/ m	侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)
0.652	3.68	72.114	6.787	29.39	52.775	1.871	42	3.644	4.403	7.500

3.2 改进灰度关联法计算结果

由表4可知,各评价指标差距很大,从表4只能看出某一指标的所属等级,并不能从总体上把握土地损伤状况属于哪一级别,为此,采用改进灰度关联法对矿区土地损伤进行综合分析。

1) 数据初始化处理。为了便于进行关联度分

析,首先需将各评价指标和各级评价标准值进行归一化,转化为无量纲。其方法为:以该指标所有值中最大值为1,余者均除以该最大值,归一化结果见表5。

2) 计算绝对差。将表5中的数据代入式(3),可得绝对差计算结果。

表5 各指标标准值归一化处理与标准值绝对差计算结果

Table 5 Normalized processing results of indicators for standard values and absolute difference calculation results

指标	归一值	I	II	III	IV	V	绝对差 Δ ₁	绝对差 Δ ₂	绝对差 Δ ₃	绝对差 Δ ₄	绝对差 Δ ₅
有机质含量	0.652	1	0.75~1.00	0.5~0.75	0.25~0.50	0~0.25	0.348	0.098	0	0.152	0.402
含水量	0.184	1	0.75~1.00	0.5~0.75	0.25~0.50	0~0.25	0.816	0.566	0.316	0.066	0
有效N含量	0.481	1	0.80~1.00	0.60~0.80	0.40~0.60	0~0.40	0.519	0.319	0.119	0	0.081
有效P含量	0.170	1	0.50~1.00	0.25~0.50	0.125~0.25	0~0.125	0.83	0.330	0.080	0	0.045
有效K含量	0.147	1	0.75~1.00	0.50~0.75	0.25~0.50	0~0.25	0.853	0.603	0.353	0.103	0
植被覆盖度	0.660	1	0.625~1.000	0.375~0.625	0.188~0.375	0~0.188	0.340	0	0.035	0.285	0.472
生物量	0.624	1	0.667~1.000	0.500~0.667	0.333~0.500	0~0.333	0.376	0.043	0	0.124	0.291
裂缝宽度	1.000	0~0.003	0.003~0.033	0.033~0.333	0.333~1.000	1.000	0.997	0.967	0.667	0	0
附加坡度	0.521	0~0.014	0.014~0.143	0.143~0.429	0.429~1.000	1.000	0.507	0.378	0.092	0	0.479
下沉深度	1.000	0~0.033	0.033~0.167	0.167~0.500	0.500~1.000	1.000	0.967	0.833	0.500	0	0
侵蚀模数	0.938	0~0.025	0.025~0.313	0.313~0.625	0.625~1.000	1.000	0.062	0.625	0.313	0	0.062

3) 指标权重确立。根据熵技术法的计算过程,构建归一化矩阵,并通过式(7)得到各个评价指标

的熵值,由熵值H_j和式(9)可计算出各评价指标的熵权W_j,见表6。

表6 各评价指标熵及熵权

Table 6 Entropy data and entropy proportion of evaluation indicators

指标	有机质含量	含水量	有效N含量	有效P含量	有效K含量	植被覆盖度	生物量	裂缝宽度	附加坡度	下沉深度	侵蚀模数
熵值 H _j	0.982	0.982	0.984	0.980	0.982	0.982	0.984	0.974	0.977	0.977	0.976
熵权 W _j	0.082	0.082	0.073	0.091	0.082	0.082	0.073	0.118	0.104	0.104	0.109

4) 关联系数计算。由表 5 绝对差计算结果可知, $\min_i \min_k \Delta_i(k) = 0$, $\max_i \max_k \Delta_i(k) = 0.997$ 取 $\rho = 0.5$ 并将表 5 中的数据代入式(2)可得到关联系数 ξ_i :

$$\xi_1 = \{0.589, 0.379, 0.490, 0.375, 0.369, 0.595, 0.570, 0.333, 0.496, 0.340, 0.889\}$$

$$\xi_2 = \{0.836, 0.468, 0.610, 0.602, 0.453, 1, 0.921, 0.340, 0.569, 0.374, 0.444\}$$

$$\xi_3 = \{1, 0.612, 0.807, 0.862, 0.585, 0.934, 1, 0.428, 0.844, 0.499, 0.614\}$$

$$\xi_4 = \{0.766, 0.883, 1, 1, 0.829, 0.636, 0.801, 1, 1, 1, 1\}$$

$$\xi_5 = \{0.554, 1, 0.860, 0.917, 1, 0.514, 0.631, 1, 0.510, 1, 0.889\}$$

5) 关联度计算及排序。将计算得到的关联系数与权重代入式(4)可得 5 个土地质量评价等级关联度 $\gamma_1 = 0.045$, $\gamma_2 = 0.053$, $\gamma_3 = 0.066$, $\gamma_4 = 0.083$, $\gamma_5 = 0.074$ 。根据关联度最大原则, γ_4 最大, 说明神东地区大柳塔矿区的土地损伤程度为 IV 级。

3.3 土地损伤程度评价

1) 大柳塔矿区的土地损伤程度为 IV 级, 由表 1 可知, 该区域土地质量状况属于较差状态。土地环境受到较大破坏, 土地系统结构变化较大, 功能不全, 受干扰后恢复困难, 生态问题较大, 生态灾害较多。

2) 由表 6 可知, 影响矿区土地质量的主要因子是裂缝宽度、附加坡度、下沉深度及侵蚀模数, 其次是有效 P 含量、有效 K 含量、植被覆盖度、有机质等因子。因此, 要想使矿区土地质量得到改善, 应控制地形地貌的改变, 减少水土流失, 其次要从提高植被覆盖度, 涵养水源, 改良土壤等方面着手。

4 结 论

以神东大柳塔矿区为例, 从超大工作面煤炭开采的角度出发, 对矿区土地损伤状况进行了研究。鉴于矿区土地质量评价方面并没有统一的指标体系和评价标准, 从土壤、植被以及地形地貌 3 个方面, 选取有机质、植被覆盖度、附加坡度等 11 个指标, 进行了合理的量化分级, 并构建了一套矿区土地质量评价体系。通过熵技术法客观地确定各评价指标的权重, 采用改进灰度关联法对大柳塔矿区工作面的土地损伤状况进行研究, 并按照建立的标准作出了评价。

1) 大柳塔矿区工作面土地损伤程度为 IV 级, 土地质量状况属于较差状态。土地环境受到较大破坏, 土地结构发生较大变化, 受外界干扰程度较为严重, 生态灾害较多。煤炭开采造成的矿区土地损伤现象显著, 应采取一定措施进行改善。

2) 影响矿区土地质量的主要因子是裂缝宽度, 附加坡度、下沉深度及侵蚀模数, 其次是有效 P 含量、有效 K 含量、植被覆盖度、有机质等因子。熵技术法确定的各评价指标权重表明, 裂缝宽度权重为 11.8%, 对土地损伤影响最为关键, 侵蚀模数权重为 10.9%, 水土流失较为严重, 下沉深度和附加坡度权重均为 10.4%, 同样对矿区土地损伤影响较大。因此, 改善矿区土地质量, 应控制地形地貌的改变, 减少水土流失。

3) 从采前、采中、采后 3 个阶段分别采取措施改善矿区土地生态环境, 提高土地质量。采前加强煤炭开采对环境系统影响的预测与控制模型研究, 采中优化煤炭开采技术, 减轻开采的环境影响损伤, 采后采取生态恢复措施, 通过人工修复和生态环境的自我恢复逐步提高土地质量, 降低矿区土地损伤程度。

参考文献(References):

- [1] 王广成, 闫旭霁. 矿区生态系统健康评价指标体系研究[J]. 煤炭学报, 2005, 30(4): 534-538.
Wang Guangcheng, Yan Xuqian. Study on indicator system of ecosystem health assessment in a typical mine area[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(4): 534-538.
- [2] 王新静, 胡振琪, 胡青峰, 等. 风沙区超大工作面开采土地损伤的演变与自修复特征[J]. 煤炭学报, 2015, 40(9): 2166-2172.
Wang Xinjing, Hu Zhenqi, Hu Qingfeng et al. Evolution and self-healing characteristic of land ecological environment due to super-large coalface mining in windy and sandy region[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(9): 2166-2172.
- [3] 郗晨龙, 卞正富, 杨德军, 等. 鄂尔多斯煤田高强度井工煤矿开采对土壤物理性质的扰动[J]. 煤炭学报, 2015, 40(6): 1448-1456.
Qie Chenlong, Bian Zhengfu, Yang Dejun et al. Effect of high-intensity underground coal mining disturbance on soil physical properties[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(6): 1448-1456.
- [4] 卞正富, 雷少刚, 刘 辉, 等. 风积沙区超大工作面开采生态环境破坏过程与恢复对策[J]. 采矿与安全工程学报, 2016, 33(2): 305-310.
Bian Zhengfu, Lei Shaogang, Liu Hui et al. The process and countermeasures for ecological damage and restoration in coal mining area with super-size mining face at aeolian sandy site[J]. Journal

- of Mining & Safety Engineering 2016, 33(2): 305-310.
- [5] 王新静, 杨耀淇, 高杨. 风沙区采煤沉陷土壤质量演变时效评价[J]. 煤炭工程, 2013(1): 89-92.
Wang Xinjing, Yang Yaoqi, Gao Yang. Evaluation on evolution time effect of soil quality in mining subsidence ground of windy desert area[J]. Coal Engineering, 2013(1): 89-92.
- [6] 刘志斌, 齐志超, 郝连臣. 召富露天矿区生态环境质量评价[J]. 环境工程, 2010(S1): 298-302.
Liu Zhibin, Qi Zhichao, Zheng Lianchen. Ecological environment quality assessment in opencast coal mine area of Zhaofu[J]. Environment Engineering, 2010(S1): 298-302.
- [7] 齐朔风. 矿山生态安全的BP神经网络评价方法与应用研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2013.
- [8] 刘勇, 邢育刚, 李晋昌. 土地生态风险评价的理论基础及模型构建[J]. 中国土地科学, 2012(6): 20-25.
Liu Yong, Xing Yugang, Li Jinchang. Theoretical basis and model development for land ecological risk assessment[J]. China Land Sciences, 2012(6): 20-25.
- [9] 王占军, 张悦国, 石嵩云, 等. 基于理想点法的矿区生态环境敏感性评价[J]. 水土保持通报, 2015, 35(2): 225-230.
Wang Zhanjun, Zhang Yueguo, Shi Songyun, et al. Eco-environment sensitivity evaluation of mining areas based on Topsis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2015, 35(2): 225-230.
- [10] 王丽丽. 模糊数学法结合层次分析法用于清洁生产潜力评估研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [11] 王颖, 彭省临, 刘峰. 模糊数学理论及其在大气环境测评中的应用[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(3): 139-143.
Wang Ying, Peng Shenglin, Liu Feng. Fuzzy mathematical theory and its application to the quality evaluation of atmospheric environment[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2008, 28(3): 139-143.
- [12] 鲍艳, 胡振琪, 柏玉, 等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 87-90.
Bao Yan, Hu Zhenqi, Bai Yu, et al. Application of principal component analysis and cluster analysis to evaluating ecological safety of land use[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(8): 87-90.
- [13] 张万红, 陈振斌. 基于层次分析法的和谐矿区评价体系研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(6): 848-852.
Zhang Wanhong, Chen Zhenbin. Assessment system of harmonious mining area based on Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(6): 848-852.
- [14] 马丽丽, 田淑芳, 王娜. 基于层次分析与模糊数学综合评判法的矿区生态环境评价[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 165-170.
Ma Lili, Tian Shufang, Wang Na. Ecological environment evaluation of the mining area based on AHP and fuzzy mathematics[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(3): 165-170.
- [15] 王启瑞, 才庆祥, 马从安. 景观生态评价方法在胜利露天煤矿环境评价中的应用[J]. 煤炭工程, 2007(5): 89-92.
Wang Qirui, Cai Qingxiang, Ma Congan. The applied of landscape ecological assessment method in environment assessment of Shengli opencast mine area[J]. Coal Engineering, 2007(5): 89-92.
- [16] 李雪. 基于RS和GIS的贾汪矿区生态环境质量综合评价研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [17] 刘晓. 煤炭矿区生态系统健康评价研究: 以神府矿区为例[D]. 西安: 西安科技大学, 2009.
- [18] 雷少刚, 卞正富. 西部干旱区煤炭开采环境影响研究[J]. 生态学报, 2014, 34(11): 2837-2843.
Lei Shaogang, Bian Zhengfu. Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2837-2843.
- [19] 胡振琪, 龙精华, 王新静. 论煤矿区生态环境的自修复、自然修复和人工修复[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1751-1757.
Hu Zhenqi, Long Jinghua, Wang Xinjing. Self-healing, natural restoration and artificial restoration of ecological environment for coal mining[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1751-1757.
- [20] HJ 192—2015 生态环境状况评价技术规范[S].
- [21] 中国土壤调查办公室. 全国第二次土壤普查养分分级标准[Z]. 1979.
- [22] 王新静. 风沙区高强度开采土地损伤的监测及演变与自修复特征[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2014.
- [23] 李美娟, 陈国宏, 陈衍泰. 综合评价中指标标准化方法研究[J]. 中国管理科学, 2004(6): 45-48.
Li Meijuan, Chen Guohong, Chen Yantai. The study on target standardization method of comprehensive evaluation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2004(6): 45-48.
- [24] 魏敏, 罗俊杰, 张仁陟. 熵技术在酒泉小流域治理效益评价中的应用[J]. 干旱区研究, 2009, 26(6): 799-803.
Wei Min, Luo Junjie, Zhang Renzhi. Application of entropy technology in assessing the benefits of improving the Gaoquan small drainage basin[J]. Arid Zone Research, 2009, 26(6): 799-803.
- [25] 徐嘉兴, 李钢, 陈国良, 等. 矿区土地生态质量评价及动态变化[J]. 煤炭学报, 2013, 38(S1): 180-186.
Xu Jiaying, Li Gang, Cheng Guoliang, et al. Dynamic changes and evaluation of land ecological quality in coal mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S1): 180-186.
- [26] 焦金鱼, 贵立德, 贾国江. 基于熵技术的半干旱地区土壤水分差异性分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(5): 826-831.
Jiao Jinyu, Gui Lide, Jia Guojiang. Difference of soil moisture content in semiarid area based on Entropy Technology[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(5): 826-831.