

辽宁省矿山地质环境综合评价

孙丽娜<sup>1,2</sup>, 李英华<sup>1</sup>, 姜莹<sup>3</sup>, 王洪<sup>1</sup>, 李玉双<sup>1</sup>

(1. 沈阳大学环境工程重点实验室, 沈阳 110044;  
2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 3. 辽宁省地质矿产研究院, 沈阳 110032)

摘要: 矿产资源开发所造成的土地资源与生态环境的严重破坏以及由此引起的经济和社会问题已引起了全球性的关注。辽宁省是我国重要的矿业大省和重工业基地, 矿山地质环境问题尤为突出。在现场勘察和资料收集的基础上, 运用层次分析方法对辽宁省 107 个典型矿山地质环境现状进行的综合评估。结果表明, 40% 的矿山地质环境质量很差, 53% 的矿山地质环境质量一般, 只有 7% 的矿山地质环境质量较好。

关键词: 矿山; 地质环境; 综合评价

中图分类号: X171.1; P617

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0249-03

Evaluation of the Mine Geo-environment of Liaoning Province

SUN Li-na<sup>1,2</sup>, LI Ying-hua<sup>1</sup>, JIANG Ying<sup>3</sup>, WANG Hong<sup>1</sup>, LI Yu-shuang<sup>1</sup>  
(1. Key Laboratory of Environmental Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044;  
2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016;  
3. Academy of Mineral Environment, Liaoning Province, Shenyang 110032, China)

Abstract: Exploitation of mineral resources has caused serious destruction to the land resources and environment, and the economic and social problems coming with it has aroused global attention. Liaoning Province, an important center of mineral and base of heavy industry of China, has more problems in mine geo-environment. Basing on the field perambulation and information collection, 107 typical mines in Liaoning Province were evaluated with Analytic Hierarchy Process. The results show that 40% mines' environment is bad, 53% is normal, while only 7% is delectable.

Key words: mines; mineral environment; evaluation

1 引言

人口、资源、环境是当代全球普遍关注的重大问题。矿产资源开发造成的生态环境问题已成为全球关注的焦点。辽宁省是我国重要的矿业大省和重工业基地, 采矿以及延续产业在国民经济中占有举足轻重的地位。截止 2002 年, 全省共发现各种矿产 110 多种, 产地 2000 多处, 其中大、中型产地 532 处, 平均每万平方公里国土面积 36 处, 远远高于全国平均值 15 处。其中能源、黑色金属、有色金属、化工原料和建材五大类的采选业及其后续产业产值之和分别占全省国民生产总值和工业总产值的 43.6% 和 24.3%, 已成为我省经济的重要组成部分<sup>[1,2]</sup>。然而, 辽宁省悠久的采矿历史和高强度、大规模的矿业开发特征形成了许多以矿产资源开采、加工为基础的矿业城市, 如钢都鞍山、煤都抚顺、煤铁之城本溪、石油之城盘锦、煤海阜新和北票、南票、海城、大石桥等矿业城镇和区县。长期以来矿业生产执行着多能耗、多污染、资源难以综合回收的路线, 重矿业开发, 轻治理, 矿业生态环境遭到严重的破坏。煤矿采空区大面积沉陷, 地表变形、地裂缝、滑坡、崩塌、尾矿和废弃石堆积破坏和占用大量土地; 矿山开采损毁植被, 破坏水的均衡系统, 导致区域地下水下降和水土流失, 土地荒漠化严重; 矿山企业三废的无

序排放, 导致水土环境的严重污染, 造成水土资源枯竭, 水土污染治理任务十分沉重, 积重难返。矿产资源开发所造成的土地资源与生态环境的严重破坏以及由此引起的经济问题和社会问题, 已严重的困扰了辽宁发展, 成为辽宁老工业基地的振兴和可持续发展的瓶颈之一。本研究对辽宁 107 个典型矿山生态环境现状进行了调查与分析, 采用了层次分析方法对矿山生态环境进行综合评价, 为矿山生态环境的治理提供了科学依据。

2 矿山地质环境综合评价

2.1 矿山生态环境评价指标与评估原则

矿山环境评价指标体系是矿山环境综合评价的根本条件和理论基础, 是矿山环境质量评价的核心和关键环节。指标体系可以确定一个地区的主要环境问题, 通过其总体效应来刻画被评价矿区的生态环境质量的总体状况。

影响矿山环境的各种因素综合作用的结果集中体现在环境地质问题上。一个地区出现的环境地质问题多、强度大, 表明其地质环境质量差, 反之, 地质环境质量相对较好。因此, 选择地质环境评价的指标应该考虑矿山环境系统的结构、组成、相互作用和各种压力响应以及时空演化规律为基础, 选择的环境指标应覆盖适当的时空范围, 反映多环境因

y 收稿日期: 2005-06-26

基金项目: 国家自然科学基金(20477029); 国家 973 项目专题(2004CB418506); 国家重点基金项目(20337010); 沈阳环境工程重点实验室基金(0420)

作者简介: 孙丽娜(1960-), 教授, 硕士生导师, 主要从事资源与环境地球化学研究和污染生态研究。

素,指标提供的结果客观准确,反映的矿山环境信息的质、量最大化,所用的时间和成本最小化。具体遵循以下原则:

- (1) 代表性原则。指标体系中的指标应具有代表性和典型性,能够客观反映矿山环境的压力、状态和响应以及变化特征。
- (2) 适用性原则。指所选指标简单明了,易于理解。在实际调查和数据统计中容易以低廉的成本获取数据(如简单的现场测量和低廉的测试成本或遥感数据),使调查工作经济可行。
- (3) 独立性原则。指标体系中的指标应该互不相关,彼此独立,以便保持清晰的指标结构和合理的指标数量。
- (4) 可比性原则。所选的指标应该具有横向可比性和纵向的连续性,这有利于资料的积累和在更大的范围内进行矿山环境质量的研究与评价,掌握矿山环境质量的变化趋势。
- 根据矿山地质环境的特点和选择原则,结合辽宁省矿山环境信息资料的具体情况确定辽宁省矿山环境评价指标体系见表 1。

表 1 辽宁省矿山环境评价指标体系		
目标层	变量层	要素层
矿 山 环 境 综 合 指 数 (A)	三废排 放指数( B1)	废水年排放量( 万 t) C1
		废气年排放量( 万 t) C2
		废渣排 放量( 万 t) C3\ 废渣 年排放量 D1、废渣年堆存 量 D2\
	破坏与占用土地 指数( B2)	破坏与占用土地 面积( $\text{hm}^2$ ) C4
		三废 排放情况 C5
		人员伤亡( 人) C6
	地质灾 害指数( B4)	经济 损失( 万元) C7
		灾 害规模( $\text{hm}^2$ ) C8
		发生频率( 次) C9
	环境治 理指数( B5)	灾 害类型 C10
废水循环利 用率 C11		
废水年 处理率 C12		
	废 渣综合利 用率 C13	
	土地复垦率 C14	
	受 灾地区治 理率 C15	

### 2.2 评价标准的选择

评价标准是衡量评价结果优劣的尺度。由于评价参数的体系,量纲和衡量尺度差异较大,有些指标尚无统一的评价标准,因此,评价标准的选择采取以下几个原则:

- (1) 采用国家标准或国际标准;
- (2) 以国内外不同水平的相互比较来划分等级;
- (3) 对于缺乏定量数据的指标,采取定性描述、赋值并进行相对比较的方法。

具体的评价指标定性分析等级划分标准见辽宁省矿山地质环境综合评估报告书<sup>[1]</sup>。

### 2.3 评估方法

矿山环境综合评价指标体系的复杂性决定了其评价方法必须应用复杂大系统的理论和综合集成的方法。层次分析法是在结构模型的基础上,通过矩阵形式的演算,使定性分析与定量分析相结合的一种决策与评价方法。层次分析法通过系统分析把复杂的问题分解成有序的递阶层次结构,对各层的相关元素进行两两比较,判断各因素的相对重要性而给予定量,进行一致性检验,以确定评价指标的权重。因此层次分析法是能从不同的空间规模上获取具有生态环境意义信息的最有前景的方法,适用于一些很难完全用定量的数学模型解决的复杂系统的评价问题。根据辽宁省矿山地质环境研究程度和现实数据状况,我们采用层次分析法作为评价的基本方法,确定不同影响因子的权重,并以质量指数作为量化指标,建立矿山环境质量指数数学模型,进行矿山环境评价:

$$A = \sum_{j=1}^n \alpha^j \cdot N^j \tag{1}$$

式中: A ——矿山环境影响综合指数;  $\alpha^j$  ——矿山环境中第 j 种环境地质问题的权重;  $N^j$  ——矿山环境中第 j 种环境地质问题的强度指数<sup>[3]</sup>。

### 2.4 评价结果与分析

表 2 为辽宁省矿山地质环境综合指数。

表 2 辽宁省矿山地质环境综合指数				
矿区名称		总指数	矿区名称	总指数
沈北煤矿		0.1952	大石桥市 吕王金矿	0.0592
沈南煤矿		0.2429	大石桥市黄土岭镇永 润沟金矿	0.0592
康平小康 煤矿		0.2753	阜新海洲 露天煤矿	0.0283
法库包 家屯矿区		0.1599	建平县宋 杖子铁矿	0.0593
大连市周 边石灰石 矿区	0.0653	建平县凌 浑铁矿	0.0592	
	瓦房店 华铜矿区	0.1794	建平县锅 底山铁矿	0.0061
瓦房店金 铜石		0.0528	建平县蓝 盾铁矿	0.0593
大连复州湾 粘土矿		0.1616	建平县赤 峰山第二 铁矿	0.0592
海 城菱镁滑 石矿区		0.3292	建平县信 丰铁矿	0.0592
海 城金家堡 子矿区		0.0658	喀 左县铁矿	0.0594
海城祝 家菱铁矿		0.0598	喀左县中 三家金矿 懿 鼻子坑口	0.0594
鞍山周 边铁矿区		0.4643	喀左县小 水道坑口	0.0594
海 城桦子峪 菱铁矿		0.1896	喀左县中 三家镇金 矿华子 汤坑口	0.0593
海城英落 水泉滑石 矿		0.2935	喀左县中 三家镇金 矿三林 西坑口	0.0594
岫岩王家 堡子铁矿 区		0.0617	未 达标喀左 县 中三镇 金矿大西 沟 坑	0.0593
抚顺西 露天矿区		0.3554	凌源市王 家乡煤矿	0.0592
抚顺老 虎台矿区		0.2024	凌源市鑫 源铁矿	0.0592
抚顺煤 田		0.5135	凌源市毛 家店金矿	0.0593
抚顺红 透山铜区		0.071	大石桥市 官屯镇众 鑫金矿	0.0592
桓仁二棚甸子 铜锌矿区		0.2218	大石桥市 官屯金矿	0.0592
本钢石 灰石矿区		0.2723	盖州市卧 龙 泉萤石 英 矿	0.0592
南芬露 天铁矿区		0.1087	营 口 锅底山 铁矿	0.0593
本溪煤 田		0.3537	丹东青 城子矿业 公司喜鹊 沟 铅矿	0.0593
本 溪歪头山 铁矿区		0.2751	矿洞 沟宏利金 矿	0.0593
张家沟 硫铁矿区		0.1855	盖州市鑫 龙 矿业责任 有限公司	0.06
宽 甸杨木杆 磁矿区		0.1604	盖州市矿 洞 沟福田金 矿	0.06
宽甸二 龙沟一 条 家沟磁 矿区	0.0581	盖州市卧 龙 泉 镇金厂 沟 金矿	0.0595	
	万宝金 铜矿区	0.1622	盖州市矿 洞 沟庙后 沟金沟	0.0592
五 龙 金 矿 区		0.2708	宽甸县 灌水满 林 川场兴 林 煤/八 井	0.0592
赛 马 一 垅 阳 煤 矿 区		0.4611	宽甸满 族自治 县金 铜 石 矿 业 开 发 公 司	0.003
宽甸滑 石 矿 区		0.2541	宽 甸满族 自治 县西岔 镇 公营 沟 铁 矿	0.0612
大石桥 菱铁矿区		0.0164	宽 甸 满 族 大 西 岔 镇 白 菜 地 村 福 利 磁 铁 矿	- 0.0264
盖州王家 磨子金矿 区		0.1614	丹东新开 煤矿一井	- 0.0119
凌海市小 凌河煤矿 区		0.1735	丹东新开 煤矿二井	0.0592
义 县高台子 煤矿区		0.0718	凤城市昂 兑 山 铁 矿	0.0592
义 县泥河子 煤矿区		0.1786	清河门 煤 矿 区	0.3512
黑山县八 道壕煤矿 区		0.1781	辽宁排山 楼金矿区	- 0.0568
凌海市娘 娘宫金矿 区		0.0662	阜新煤 田	0.4972
朝阳市 双塔区薛 台子煤矿 区		0.2279	辽 阳弓长岭 露天铁矿 区	0.2534
朝阳市 凤凰山周 边采石矿 区		0.0599	开原关门 山铅锌区	0.0618
建平县 哈拉道口 乡四家子 玄武岩区		0.1604	北票煤矿 区	0.2749
杨家杖子 钼矿区		0.1887	凌源万店 小铁矿区	0.06
葫芦岛八 家子铅锌 矿区		0.1546	沈阳市苇 塘煤矿	0.0029
南票煤矿 区		0.3184	海州五龙 煤矿区	0.313
兰家沟钼 矿区		0.2698	朝阳新华 钼矿区	0.0624
铁法煤田		0.2314	大石桥市 官屯镇南 山金矿	0.0592
沈本 高速公路及本 醒公路沿线		0.0572	瓦 房店头道 沟金铜石 矿区 50 号	- 0.0705
可视区内 的三小矿 山			岩管 金铜石 矿 山	
青城子 铅锌矿区		0.0482		

从表 2 可以看出, 40% 的矿山地质环境质量很差, 53% 的矿山地质环境质量一般, 只有 7% 的矿山地质环境质量较好。矿山地质环境极差与差的矿区在空间上分布于辽宁省的东、西部地区 and 北部、南部的部分地区, 主要与大中型煤矿、铁矿、菱镁矿、滑石矿、有色贵金属矿和部分石灰岩、花岗岩矿石的开发活动有关, 如抚顺煤田、阜新煤田、赛马—绥阳煤矿区、海州五龙煤矿区、清河门煤矿区、抚顺西露天矿区、本溪煤田、南票煤矿区等煤矿区和鞍山周边铁矿区、辽阳弓长岭露天铁矿区本溪歪头山铁矿区。该类矿山规模大、开采时间长、以露天开采为主, 主要的地质环境问题为矿山活动引起的滑坡、崩塌和采矿塌陷以及由此引起的泥石流地质灾害、采矿破坏与占用的土地面积和三废排放引起的环境污染。

矿山地质环境较差的地区主要为小型的有色贵金属矿区和一些小型的煤矿区、铁矿区以及非金属矿区。地质环境问题主要为三废排放引起的环境污染和矿产的开采对土地资源的破坏。矿山地质环境一般的矿区为排山楼金矿、青城子铅锌矿、大石桥菱镁矿、瓦房电金刚石矿和宽甸福利硼铁矿等 10 个矿区, 矿区的三废排放引起的环境污染是主要的地质环境问题。

### 3 矿山地质环境发展趋势与保护

我省因矿而兴的城镇较多, 这些城镇随着矿山开采规

模、强度的不断扩大, 不可避免的会扩大对环境影响的地域, 产生新的环境问题, 加重已有环境问题的危害程度。有资料表明, 80 年代省内矿山地质灾害主要有崩塌、滑坡、地面塌陷、矿震、矿坑突水等几种, 并集中发生在几个大型露天煤矿。进入 90 年代, 在上述灾害日趋严重的同时, 泥石流、水土流失、大气污染、岩爆、海水入侵等地质灾害也相继出现并时有发生。地面塌陷灾害由采煤矿山扩展至有色金属、滑石、硼、石膏等多个矿种。由三废排放引起的大气污染、地下水、地表水、土壤污染的程度必将日趋加重, 特别是非金属、建材矿山和各种矿产群采区具有点多、面广的特点, 其影响范围几乎涉及城乡各地。

根据辽宁省矿业资源的特点和矿山地质环境问题的实际, 矿山地质环境的治理与保护的基本原则应以 21 世纪辽宁矿业经济发展总体布局—“一中心、一带、三区”, “四个开采规划区”为基础, 坚持“矿产资源开发与矿山生态环境保护并重, 预防为主, 防治结合”和“全面规划、合理开发、化害为利、变废为宝”以及“谁开发、谁污染、谁治理; 谁破坏、谁恢复; 谁使用、谁补偿”和新办矿山与现有矿山区别对待的方针, 建立和完善矿山生态环境保护与恢复治理的政策法规和规划体系和矿山生态环境与地质灾害动态监测体系, 开展矿山生态环境和地质灾害调查评价。通过建立和执行环境

(下转第 254 页)

(上接第 248 页)

(3) 水能资源利用率  $u_3$ , 水能资源利用率随装机容量增加而增加很快, 而当增加到一定容量时水能增加很慢, 故隶属函数选为升半岭型:

$$u(u_3)=\begin{cases} 1 & u_3 \leq 50 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (u_3 - \frac{a_1 + a_2}{2}) & 50 < u_3 \leq 96 \\ 0 & u_3 > 96 \end{cases}$$

(4) 投资收益率  $u_4$ , 投资收益指标每增加一点对方案评价十分敏感, 隶属度增加较快, 即当大到一定值时, 其敏感性会下降, 故隶属函数选为升半型分布:

$$u(u_4)=\begin{cases} 0 & 0 \leq u_4 \leq 10 \\ 1 - e^{-\frac{(u_4 - 10)}{4}} & u_4 > 10 \end{cases}$$

(5) 选定工程量  $u_5$  的隶属函数为:

$$u(u_5)=\begin{cases} 1 - \frac{u_5}{5} & 0 \leq u_5 \leq 5 \\ 0 & u_5 > 5 \end{cases}$$

(6) 选定工期  $u_6$  的隶属函数为:

$$u(u_6)=\begin{cases} \frac{3 - u_6}{3 - 1} & 1 \leq u_6 \leq 3 \\ 0 & u_6 > 3 \end{cases}$$

选定各因素指标的隶属函数之后, 于是各方案所对应的被评价因素的隶属度  $\mu(u_i)$  便构成以下模糊关系矩阵 R:

$$R = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.28 & 0.63 & 0.66 \\ 0.16 & 0.17 & 0.38 & 0.45 \\ 0.49 & 0.50 & 0.51 & 0.50 \\ 0.88 & 0.89 & 0.97 & 0.96 \\ 0.38 & 0.36 & 0.32 & 0.30 \\ 0.75 & 0.75 & 0.50 & 0.25 \end{bmatrix}$$

参考文献:

[1] 李荧. 农村电气化规划指南[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.  
[2] 王铭文, 等. 模糊数学讲义[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 1988.  
[3] 张振良. 应用模糊数学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.

对上述六个指标进行分析并结合生产单位的具体要求经专家考虑, 赋予以下权向量, 并满足归一化 $\sum_{i=1}^6$ 的条件, 得:

$$C = (0.16, 0.23, 0.26, 0.15, 0.09, 0.11)$$

通过模糊线性变换, 即:

$$B = CR = (0.4529, 0.4623, 0.5501, 0.5376)$$

由此可见,  $b_3 = 0.5501 \max$  所对应的方案 3×800 kW 为最优方案。

### 3 结 论

经过计算上述六种方法选择装机容量差异是较大的结果见表 4。

表 4 六种方法计算结果对比表

方 法	倍比系数法	年利用小时法	投资收益率法	年运行费值法	目标函数法	模糊数学法
装机容量/kW	1700	1550 kW	3×800	2×800	3×800	3×800
说 明	通常作电能		在形式上虽			
	C 的选取任		然考虑了水			
	意性很大, 再根据年利		考虑了众多			
	用小时在曲		能资源利用			
	粗略		因素影响比			
	意性大		情况, 但其较客观、人			
又考虑了投		从成本考		能资源利用		
资收益的惟		虑、比较保		因素影响比		
一条		守一些		情况, 但其较客观、人		
线上选取随				实质还是打		
				为, 随机性		
				了一点折扣		
				较少, 比较		
				而巳的投资		
				科学		
				收益因素		

表 4 显示, 虽然在其具体值上不同的方法有相同的结果, 但其本质的物理意义和处理问题的角度有根本的不同。对于一些受众多因素影响而难以裁决问题的解决时, 模糊数学方法是可行的, 不失其客观性、科学性和合理性。该方法所得结果是否与客观差异最小, 隶属函数的选取以及各影响因素的权重分配是最为关键的。

各类型之间的比较和综合评价指标指数的计算,同时在纵向和横向比较方面都简便易行。对于数值越大生态效益越大的指标: $X_{无量纲化} = X_{实际}/X_{农地}$ ;对于数值越小生态效益越大的指标: $X_{无量纲化} = (X_{实际}/X_{农地})^{-1}$ ,其中, $X_{实际}$ ——各生态类型的实际调查值; $X_{农地}$ ——农地的实际调查值。

表 2 退耕还林生态类型综合生态效益指标的标准数量化值

评价指标	$W_i$ (权重)	农地	天然荒草地	天然灌丛	退耕地	天然云杉林
风速	0.0388	0.0388	0.0354	0.0467	0.0483	0.0530
温度	0.0613	0.0613	0.0634	0.0543	0.0512	0.0489
全磷	0.0563	0.0563	0.0361	0.0543	0.0501	0.0500
全氮	0.0659	0.0659	0.0769	0.0595	0.0713	0.0991
湿度	0.0669	0.0669	0.0590	0.0831	0.0981	0.1068
土壤有机质	0.0818	0.0818	0.0785	0.1089	0.1045	0.1118
全钾	0.0740	0.0740	0.0634	0.0666	0.0738	0.0656
土壤容重	0.0971	0.0971	0.1019	0.0927	0.1041	0.0970
地表径流	0.0789	0.0789	0.0600	0.0692	0.0864	0.1036
生物多样性	0.1155	0.1155	0.1695	0.1765	0.1952	0.1934
土壤侵蚀	0.1300	0.1300	0.0971	0.1406	0.1378	0.3055
植被覆盖率	0.1335	0.1335	0.0857	0.1242	0.1217	0.2698

3.6 综合生态效益分析

表 3 各种退耕还林生态类型综合生态效益指数						
评价指标	$W_i$	农地	天然荒草地	天然灌丛	退耕地	天然云杉林
风速	0.0388	0.0388	0.0354	0.0467	0.0483	0.0530
温度	0.0613	0.0613	0.0634	0.0543	0.0512	0.0489
全磷	0.0563	0.0563	0.0361	0.0543	0.0501	0.0500
全氮	0.0659	0.0659	0.0769	0.0595	0.0713	0.0991
湿度	0.0669	0.0669	0.0590	0.0831	0.0981	0.1068
土壤有机质	0.0818	0.0818	0.0785	0.1089	0.1045	0.1118
全钾	0.0740	0.0740	0.0634	0.0666	0.0738	0.0656
土壤容重	0.0971	0.0971	0.1019	0.0927	0.1041	0.0970
地表径流	0.0789	0.0789	0.0600	0.0692	0.0864	0.1036
生物多样性	0.1155	0.1155	0.1695	0.1765	0.1952	0.1934
土壤侵蚀	0.1200	0.1300	0.0971	0.1406	0.1378	0.3055
植被覆盖率	0.1335	0.1335	0.0857	0.1242	0.1217	0.2698
综合生态效益指数		1.0000	0.9270	1.0766	1.1426	1.5045

(1) 各种植被类型的生物效益、土壤效益、小气候效益、水文效益和它们对综合生态效益的贡献率不一样(表 4,图 2)

参考文献:

[1] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津大学出版社, 1986.

[2] 古丽努尔, 等. 塔里木河中下游退耕还林还草综合生态效益评价[J]. 干旱区研究, 2004, 21(2): 161- 165.

[3] 周维博, 李佩成. 干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系研究[J]. 自然资源学报, 2003 (18): 288- 292.

[4] 李朝洪, 郝爱民. 中国森林资源可持续发展描述指标体系框架的构建[J]. 东北林业大学学报, 2000, 28(5): 122- 124.

[5] 刘黎明, 谢花林, 赵英伟. 我国草地资源可持续利用评价指标体系的研究[J]. 中国土地科学, 2001, 15(4): 43- 46.

[6] 朱瑜馨, 赵军, 曹静. 祁连山山地生态系统稳定性评估模型[J]. 干旱区研究, 2002, 19(4): 33- 37.

[7] 蒙古军, 刘家明. 绿洲土地利用评价[J]. 中国土地科学, 1998, 12(5): 13- 17.

[8] 岳健, 杨发相, 罗格平, 等. 农用地评价参评因子的权重问题[J]. 干旱区研究, 2004, 21(1): 55- 58.

[9] 李孝芳. 土地资源评价的基本原理和方法[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1989, 79- 90, 112- 121.

[10] 王铁成, 周生路, 王杰臣, 等. 基于 GIS 的农用地质量综合评价方法研究- 以无锡市马山区为例[J]. 干旱区地理, 2001, 24(2): 118- 122.

[11] 赵雪雁. 绿洲持续利用评价[J]. 干旱区地理, 2001, 24(1): 86- 89.

[12] 刘玉平. 干旱区土地退化生态系统的评价方法[J]. 干旱区研究, 1996, 13(1): 72- 75.

(上接第 251 页)

影响评价制度、“三同时”制度、土地复垦和排污收费制度和矿山环境保护与土地复垦履约保证金制度加强新建矿山生态环境保护;通过加强监督检查,控制“三废”排放,增加矿山环境保护投入加强现有矿山生态环境保护;通过加强闭坑矿

参考文献:

[1] 辽宁省地质局. 区域水文地质普查报告[R]. (1: 200000). K- 51- [32](归州幅)和 K- 51- [33](营口县幅). 1979. 8.

[2] 辽宁省地质局. 区域地质矿产普查报告[R]. (1: 200000). K- 51- [32](归州幅)和 K- 51- [33](营口县幅). 1979. 8.

[3] 赵弘颖. 矿区地质环境评价探讨[J]. 山西科技, 2003, 2(5): 38- 39.

表 4 各种生态类型综合生态效益指数

效益类型	农地	天然荒草地	天然灌丛	退耕地	天然云杉林
小气候效益	0.1670	0.1578	0.1841	0.1977	0.2087
土壤养分效益	0.2217	0.2188	0.2350	0.2496	0.2765
水文效益	0.3060	0.2590	0.3025	0.3284	0.5061
生物效益	0.5550	0.5143	0.6032	0.6453	0.9693

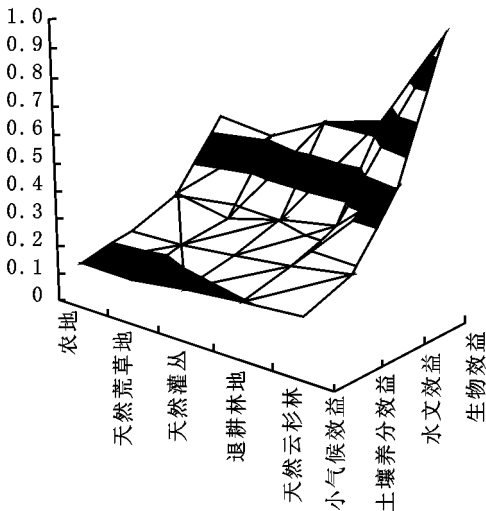


图 2 不同植被类型与生态效益三维动态图

(2) 从分析结果可以看出,退耕后林草地不同类型的综合生态效益指数除天然灌丛外,均大于农田生态系统,其综合生态效益指数排列顺序为天然云杉林>退耕地>天然灌丛>农地>天然荒草地。天然云杉林的综合生态效益为农田生态系统的 1.50 倍;退耕还林地为农田生态系统的 1.14 倍;天然灌丛为农田生态系统的 1.08 倍。充分说明,大通退耕还林还草对提高林草覆盖率、维护生物多样性、改善土壤理化性质、调节气候、减少径流、降低土壤侵蚀等方面具有明显的生态效益。