DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.04.008
引用格式:陈哲锋,吴静,郭玉斌,等. 层次分析与模糊数学综合评价法在矿山环境评价中的应用[J]. 华东地质,2018,39(4):305-310.

层次分析与模糊数学综合评价法在矿山环境评价中的应用

陈哲锋,吴　静,郭玉斌,林　腾

(福建省地质测绘院,福州 350011)

摘要:采用遥感技术提取矿山环境评价因子,运用层次分析法与模糊数学法对三江成矿带南段矿山环境进行综合评价。层次分析法确定的矿山环境评价因子按权重排序,依次为植被覆盖率、土地利用、地形地貌、矿山地质灾害、水土流失和矿山开发占地;模糊数学法评价的区域矿山环境隶属第一等级"好"。通过 GIS 平台,按权重值对评价因子进行叠加、成图,实现了三江成矿带南段的矿山环境评价。层次分析与模糊数学综合评价法,不仅综合考虑矿山环境影响因子,且充分发挥了 2 种数学方法的优点,将动态与静态、定量与非定量等指标有机结合,发挥其因素和过程的模糊性,减少了专家人为评分的主观性,使评价结果更符合实际。

关键词:层次分析法;模糊数学法;矿山环境;三江成矿带南段

中图分类号:X14　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:2096-1871(2018)04-305-06

三江成矿带南段矿产资源极为丰富,是矿山开采面积较大的地区。矿山开采给该成矿带造成的破坏主要有水土流失、水土污染、崩塌和塌陷等,影响了区域经济和矿业的可持续发展。因此,对矿山环境进行评价十分必要。目前,矿山环境评价方法主要有灰色关联分析法、综合指数法、层次分析法(AHP)、模糊数学法及多学科综合评价法等。黄永泉等[1]采用灰色关联分析法对江西省矿山环境质量进行评价,认为该方法可正确处理各评价指标间的相互关系;黄俊宝[2]采用 MAPGIS 技术对福建省矿山地质环境进行综合评价,并总结出一套可行的且能反应矿山地质环境特性的综合评价法;马丽丽等[3]采用层次分析与模糊数学综合评判法对北京市昌平区建筑用砂矿区进行生态环境评价,认为运用该方法进行矿区生态评价是有效的。常规评价法存在专家打分、人为主观因素影响等弊端,且较少考虑评价因素之间的互相关联、互相制约等问题,而层次分析与模糊数学综合评价法考虑评价过程的模糊性,可减少主观因素,简洁且实用。

本文结合三江成矿带南段矿山环境特点,选取矿山开发占地、植被覆盖率、地形地貌、水土流失、矿山地质灾害和土地利用作为评价因子,运用层次分析与模糊数学综合评价法对三江成矿带南段矿山环境进行评价,发挥两种数学方法的优点,结合动态与静态、定量与非定量等指标,实现客观评价,为区域矿山开采监管及环境治理提供借鉴。

1　区域地质概况

研究区位于三江成矿带的南段,地理坐标为 97°31′35″～103°38′40″E,21°8′31″～29°13′32″N,面积约 27.85 万 km^2。该区位于云南省南部低纬度高原,地形地貌复杂,海拔一般为1 500～2 200 m。立体气候显著,年温差小,日温差大,干湿季节分明,气温随地势高低垂直变化明显。区内包含昆明—玉溪矿业经济区、个旧—文山矿业经济区、保山—镇康矿业经济区和澜沧—景洪矿业经济区。能源、

* **收稿日期**:2017-12-10　　**修订日期**:2018-03-26　　**责任编辑**:谭桂丽
基金项目:中国地质调查局"全国矿产资源开发环境遥感监测(编号:121201203000160009)"项目资助。
第一作者简介:陈哲锋,1983 年生,男,高级工程师,主要从事遥感技术研究与应用工作。

金属和非金属矿产丰富，分别占研究区采矿权矿产总量的 7.75%、19.50%和 72.75%。

2 评价因子的选取

遵循“差异性、代表性、综合性”原则[4-6]，剔除相关性大的因子。根据该区矿山环境地质特征，应用遥感技术选取矿山开发占地、植被覆盖率、地形地貌、水土流失、矿山地质灾害和土地利用作为评价因子(表 1)。

表 1 矿山环境质量评价因子及信息来源

Table 1 Information sources of assessment factors of mine environment quality

因子	信息来源
矿山开发占地	利用高分辨率影像数据提取遥感信息，实地调查
植被覆盖率	利用 NDVI 反演，采用模型
地形地貌	利用区域 DEM 和水文图、影像解译
水土流失	利用土地利用、植被覆盖率、坡度进行三因子建模解译
矿山地质灾害	利用高分辨率影像数据提取遥感信息，实地调查
土地利用	采用土地利用数据库，结合最新影像进行变更

3 层次分析法

层次分析法(AHP)是一种简便、灵活、实用的多准则决策方法[7-11]。系统模型构建主要包括建立层次结构模型、构建判断矩阵、求解权重值和验证权重合理性。

3.1 建立层次结构模型

研究项目的目标、准则和决策对象，根据相互关系分为目标层、准则层和方案层，绘出层次结构图。目标层是决策的目的、要解决的问题，即实现对矿山环境的评价；准则层采取的方案、措施和规范，包括需考虑的因素、决策的准则，即选取矿山环境影响因子；方案层为实现目标可供选择的措施和方案，即质量的级别，可分为好、较好、一般和差。

3.2 构建判断矩阵

建立层次结构模型后，即可确定上、下层元素之间的隶属关系。

中间层元素为矿山开发占地、植被覆盖率、地形地貌、水土流失、矿山地质灾害和土地利用准则，所支配的下一层元素为矿山现状环境质量好、较好、一般和差，目的是按照准则层的相对重要性，赋予方案层相应的权重。判断矩阵代表本层因素对上一层某一因素的相对重要性，且成对比较的每层因素不宜超过 9 个。本次矿山环境质量评价判断矩阵见表 2。

表 2 矿山环境质量评价因子判断矩阵

Table 2 Judgement matrix of assessment factors of mine environment quality

	植被覆盖率	地形地貌	水土流失	矿山地质灾害	土地利用	矿山开发占地
植被覆盖率	1	2	5	3	4	7
地形地貌	1/2	1	3	2	1/3	5
水土流失	1/5	1/3	1	1/3	1/6	3
矿山地质灾害	1/3	1/2	3	1	1/4	2
土地利用	1/4	3	6	4	1	4
矿山开发占地	1/7	1/5	1/3	1/2	1/4	1

3.3 求解权重值

判断矩阵的特征向量和最大特征值一般采用和积法计算，计算步骤如下。

(1)对判断矩阵 A 进行列归一化(表 3)，得到列归一化矩阵 $\overline{A}$，

$$\overline{A}_{ij}=\frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}A_{ij}}(i,j=1,2,3,\cdots\cdots,n),$$

(2)对列归一化矩阵 $\overline{A}$ 按列求和，得到向量 W，

$$W_i=\sum_{j=1}^{n}\overline{A}_{ij}(i,j=1,2,3,\cdots\cdots,n),$$

$W=[2.231\ 03,0.979\ 34,0.379\ 28,0.597\ 00,1.574\ 57,0.238\ 77]^{\mathrm{T}}$。

(3)对向量 W 进行归一化，得到特征向量 $\overline{W}$，

$$\overline{W}_i=\frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n}W_i},$$

$\overline{W}=[0.371\ 84,0.163\ 22,0.063\ 21,0.099\ 50,0.262\ 43,0.039\ 80]^{\mathrm{T}}$，特征向量 $\overline{W}_i$ 为同一层次相

应的元素对上一层次某个因素相对重要性的排序　　权重。

表 3　评价因子判断矩阵列归一化

Table 3　Normalization ofjudgment matrix columns of assessment factors

	植被覆盖率	地形地貌	水土流失	矿山地质灾害	土地利用	矿山开发占地
植被覆盖率	0.412 17	0.284 36	0.272 73	0.276 92	0.666 67	0.318 18
地形地貌	0.206 08	0.142 18	0.163 64	0.184 62	0.055 56	0.227 27
水土流失	0.082 43	0.047 39	0.054 55	0.030 77	0.027 78	0.136 36
矿山地质灾害	0.137 39	0.071 09	0.163 64	0.092 31	0.041 67	0.090 91
土地利用	0.103 04	0.426 54	0.327 27	0.369 23	0.166 67	0.181 82
矿山开发占地	0.058 88	0.028 44	0.018 18	0.046 15	0.041 67	0.045 46

3.4　验证权重合理性

在构建判断矩阵时，各层元素两两比较，判别矩阵 A 应具有某种传递性，若植被覆盖率比地形地貌因子重要，地形地貌因子比矿山地质灾害因子重要，则植被覆盖率因子比矿山地质灾害因子更重要，则该矩阵具有一致性。为了保持判读思维的一致性，确保评价结果可靠，引入一致性验证。

最大特征根 $\lambda_{\max}=\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\dfrac{(A\overline{W})_i}{\overline{W}_i}$，

$\lambda_{\max}=6.55\ 390$，

一致性指标 $CI=\dfrac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$，$CI=0.110\ 780\ 64$，

一致性比率 $CR=\dfrac{CI}{RI}$，$CR=0.087\ 921\ 14$。

RI 为判断矩阵的平均随机一致性指标，由大量实验给出，6 阶为 1.26[3]。当 $CR<0.10$ 或约为 0.1 时，判断矩阵具有可接受的一致性，否则需适当修改矩阵。本文 CR 为0.087 92，<0.10，矩阵具有满意的一致性，评价因子权重排序依次为植被覆盖率（CR 为0.371 84）、土地利用（CR 为0.262 43）、地形地貌（CR 为0.163 22）、矿山地质灾害（CR 为0.099 50）、水土流失（CR 为0.063 21）和矿山开发占地（CR 为0.039 80）。

4　模糊数学法

模糊数学又称 Fuzzy 数学，是研究和处理模糊性现象的一种数学理论和方法[12-16]，主要过程有因子集的建立、评价集的建立和隶属度的建立。

4.1　因子集的建立

根据选择的评价指标因素建立因子集，通常表示为 $U=\{U_1,U_2,\cdots\cdots,U_n\}$。区域矿山环境评价 U={植被覆盖率，地形地貌，水土流失，矿山地质灾害，土地利用，矿山开发占地}。

4.2　评价集的建立

评价集是评价者对评价对象可能存在的各种评价集合，通常表示为 $V=\{V_1,V_2,\cdots,V_n\}$。级别越靠前，环境越优。本次矿山环境评价的评价集为 $V=$｛好，较好，一般，差｝。

4.3　隶属度的建立

隶属度函数表示评价指标权重值的模糊集合，代表某元素对某模糊集合的隶属度程度。在模糊评价中，只要自始至终使用同一个隶属函数，且指标实际测量点的选择不带有主观性，评价结果即公正可信。

隶属度为“好”的函数公式

$$U_{11}=\begin{cases}1 & x_i\leqslant S_{i1}\\ \dfrac{I_{i1}-x_i}{I_{i1}-S_{i1}} & S_{i1}<x_i<I_{i1}\\ 0 & x_i\geqslant I_{i1}\end{cases},$$

隶属度为“一般”的函数公式

$$U_{12}=\begin{cases}\dfrac{x_i-S_{i1}}{I_{i1}-S_{i1}} & S_{i1}<x_i<I_{i1}\\ 1 & I_{i1}\leqslant x_i\leqslant S_{i2}\\ \dfrac{I_{i2}-x_i}{I_{i2}-S_{i2}} & S_{i2}<x_i<I_{i2}\\ 0 & x_i\geqslant I_{i2},x_i\leqslant S_{i1}\end{cases},$$

隶属度为“较差”的函数公式

$$U_{13}=\begin{cases}\dfrac{x_i-S_{i2}}{I_{i2}-S_{i2}} & S_{i2}<x_i<I_{i2}\\ 1 & I_{i2}\leqslant x_i\leqslant S_{i3}\\ \dfrac{I_{i3}-x_i}{I_{i3}-S_{i3}} & S_{i3}<x_i<I_{i3}\\ 0 & x_i\geqslant I_{i3},x_i\leqslant S_{i3}\end{cases},$$

隶属度为“差”的函数公式

$$U_{14}=\begin{cases}0 & x_i \leqslant S_{i3}\\ \dfrac{x_i-I_{i3}}{I_{i3}-S_{i3}} & S_{i3}<x_i<I_{i3}\\ 1 & x_i \geqslant I_{i3}\end{cases}。$$

式中 i 对应于评价因子个数，S_{i1}—S_{i4}分别表示评价集 4 个等级的标准值，x_i 为选取的随机点实测值，本次选择 8 个网格提取实测值；I_{i1}—I_{i3}为评价集中间过渡区间的上限值，$I_{i1}=S_{i1}+a\ (S_{i2}-S_{i1})$，$I_{i2}=S_{i2}+a(S_{i3}-S_{i2})$，$I_{i3}=S_{i3}+a(S_{i4}-S_{i3})$，由于规范区间长度较小，$a$ 取 0.5。

在获得实测值的前提下，从 1 个单因素指标出发，建立隶属度函数，以确定某因素对评价集中各元素的隶属度，因素集中第 1 个元素对评价中第 j 个元素的隶属度表示为 R_{ij}，结果表示为一个模糊集合，得到单因素评价矩阵为，

$$R=\begin{bmatrix}R_{11},R_{12},\cdots\cdots,R_{1n}\\ R_{21},R_{22},\cdots\cdots,R_{2n}\\ \cdots\cdots\\ R_{n1},R_{n2},\cdots\cdots,R_{nn}\end{bmatrix}。$$

5 综合评价

考虑评价指标对环境评价结果的影响，在单因素评价的基础上进行模糊综合评价[3]，将层次分析法得到的权重值与模糊数学法得到的模糊集合相乘，公式如下。

$$B=W\times R=[0.634\ 266,0.226\ 438,$$
$$0.099\ 500,0.039\ 796]$$

评价结果显示，隶属度最大为0.634 266，隶属度好，区域模糊评价结果为第一等级“好”。

根据层次分析法得到的各因子权重，利用 GIS 空间叠加与分析运算功能，初步评价区域环境质量（表 4）。评价结果显示，该区环境总体良好，主要为第一等级“好”，约占 65.20%；其次为第二等级“较好”，约占 23.54%，主要分布于矿山活动少、人类破坏小的区域；评价最差一级为“差”，仅占 0.82%，主要分布于区域矿山开采区，如昆明市西山区、安宁市，楚雄彝族自治州南华县，大理白族自治州宾川县，保山市隆阳区、施甸县和腾冲县（图 1），评价结果符合实际。

表 4 研究区矿山环境评价等级比重

Table 4 Statistics of mine environment assessment in the study area

评价等级	面积/km²	区域比重/%
好	181 786.15	65.20
较好	65 619.43	23.54
一般	29 117.62	10.44
差	2 280.34	0.82

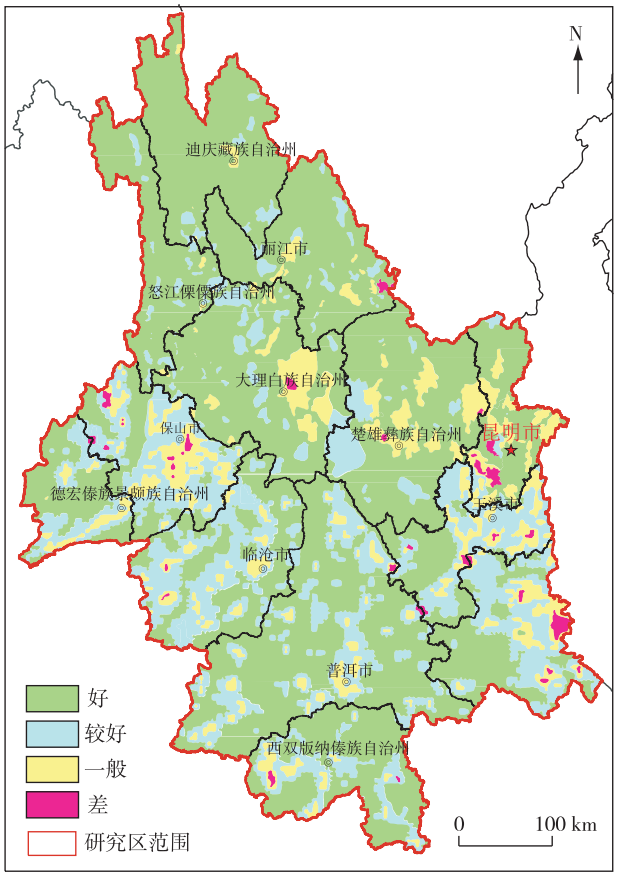


图 1 研究区矿山环境评价等级分布图

Fig. 1 Map showing grade distribution of mine environmental assessment in the study area

6 结 论

（1）三江成矿带南段矿山环境评价因子按权重排序，依次为植被覆盖率、土地利用、地形地貌、矿山地质灾害、水土流失和矿山开发占地。区域矿山环境评价隶属为第一等级“好”，区域矿山环境总体偏好，其各评价等级分布基本符合客观实际。

（2）层次分析与模糊数学综合评价法可充分发挥两种数学方法的优点，可充分考虑影响矿山环境评价的各种因子，将动态与静态、定量与非定量等指标有机结合，发挥其因素和过程的模糊性，减少专家人为评分的主观因素，使评价更符合客观实际。

参考文献

[1] 黄永泉，危超，何景媛. 基于灰色关联分析法的江西省矿山环境质量评价[J].资源调查与环境，2012，33(4)：268-273.

[2] 黄俊宝.基于 MAPGIS 的福建省矿山地质环境综合评价分析[J].资源调查与环境，2010，31(1)：60-65.

[3] 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.

[4] 唐朝晖，刘楠，柴波，等.合山市矿山地质环境影响评价研究[J].水文地质工程地质，2012，39(6)：124-130.

[5] 陈松宝.基于 RS 与 GIS 的土壤覆被变化及生态环境评价研究[D].南昌：江西理工大学，2017：37.

[6] 董斌，陈立平，钱国英.基于遥感的层次分析法和模糊数学模型综合评价森林资源生态适宜性[J].自然资源学报，2011，26(3)：468-476.

[7] 马丽丽.基于 GIS 与 RS 的不同矿区矿山地质环境评价方法对比研究[D].北京：中国地质大学(北京)，2013：20.

[8] 刘美玲.基于 GIS 和 RS 的矿产资源开发生态环境效应监测与评价——以云南省兰坪县铅锌矿为例[D].北京：中国地质大学(北京)，2006：40.

[9] 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.

[10] 张旭光，吴圣林，张海芳，等.山区煤矿矿山地质环境多层次灰色综合评价[J].水文地质工程地质，2012，39(4)：110-115.

[11] 郑长远.层次分析法在地质灾害调查评价中的应用——以青海省湟源县为例[D].北京：中国地质大学(北京)，2013：12.

[12] 付善明，肖方，宿文姬，等.基于模糊数学的广东大宝山矿横石河下游土壤重金属元素污染评价[J].地质通报，2014，33(8)：1140-1146.

[13] 刘彦广，柴波，郑晓明，等.合山市煤矿山地质环境质量模糊综合评价与分区[J].安全与环境工程，2012，19(5)：70-73.

[14] 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，2010：1-51.

[15] 李安贵，张志宏，孟艳，等.模糊数学及其应用[M].北京：冶金工业出版社，1994：2-15.

[16] 侯海海，邵龙义，唐跃，等.基于多层次模糊数学的中国低煤阶煤层气选区评价标准——以吐哈盆地为例[J].中国地质，2014，41(3)：1002-1009.

Application of AHP and fuzzy mathematics in comprehensive assessment of mine environment

CHEN Zhe-feng, WU Jing, GUO Yu-bin, LIN Teng

(*Fujian Institute of Geological Survey and Drawing*, *Fuzhou* 350011, *China*)

Abstract: In this paper, we used the Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy mathematics to carry out the comprehensive assessment of mine environment in the southern part of the Sanjiang metallogenic belt. The results show that the assessment factors of mine environment, defined by AHP and sorted according to weight values, are successively vegetation importance, land use, topography, mining geological hazards, soil erosion and mining development area. The comprehensive assessment results using fuzzy mathematics suggest that the regional mine environment can be classified into the first grade "good". The assessment factors were superimposed in the GIS platform to form diagrams based on their weight values, obtaining mine environment assessment data for mineral resources development zone in the south of the Sanjiang metallgoenic belt. Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy mathematics were employed to comprehensively assess regional mining environment, which considers not only the environmental impact factors of the mine but also the advantages of the two mathematical methods in the ways of dynamic and static, quantitative and non quantitative indicators. Therefore, this fuzziness of factors and process has not only reduced objectiveness of experts' assessment, but made the assessment results more practical, providing references for mining supervision and environmental treatment of regional mines.

Key words: AHP; fuzzy mathematics; mine environment; the southern part of the Sanjiang metallogenic belt