

层次分析法(AHP)在矿山环境地质评价中的应用

王炳强, 沈智慧, 白喜庆, 李本军

(中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘查院, 河北 邯郸 056004)

摘要:通常矿山环境地质评价采用专家主观赋值的方法来确定影响因子的权重,但是矿山环境地质问题是多种因素综合作用的结果,每一种因素对适宜性的影响是复杂的,因素之间相互联系相互制约,所以人为因素影响较大。以晋陕蒙矿区矿山环境地质质量评价为例,详细论述了采用层次分析法(AHP)确定评价因子权重的过程,增加了赋值的科学性,降低了主观性,取得了满意的评价结果。

关键词:层次分析法;评价因子;矿山环境地质

中图分类号: O29:X141

文献标识码: A

层次分析法(Analytic Hierarchy Process,以下简称 AHP 法),是美国运筹学家 T.L.Saaty 教授于 20 世纪 70 年代初期提出的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法,此方法巧妙地把定性分析和定量分析结合了起来。因而在信息系统的分析中被广泛采用。本论文详细探讨了 AHP 法在矿山环境质量评价中的应用。

1 概况

晋陕蒙煤炭资源十分丰富,煤种齐全,煤质优良,是我国重要的产煤基地。然而该区地处干旱一半干旱地区,西南为毛乌素沙地,北为库布沙漠,东为黄土梁峁沟壑区和地球“癌症”的砒砂岩裸露区,基础环境十分脆弱,加上煤炭的大规模开采,更加速了生态环境的恶化。所以该区要开展针对性强的矿山环境地质评价,但是矿区环境地质问题是多种因素综合作用的结果,不仅每一种因素对适宜性的影响是复杂的,而且因素之间是相互联系相互制约。以往,通常用专家评分法等主观赋值法来确定它们各自的影响系

数(权重)。为了增加赋值的科学性,降低主观性,本次评价采用 AHP 法确定权重。取得了重要的价值成果,为该类项目的调查与评估提供了一种科学的、行之有效的方法。

2 评价因子的选取与评分标准

评价因子的选取遵循差异性、主导性、综合性的原则。相关性大的因子应当舍弃。根据本区的矿山环境地质特征,选取水土流失、土地沙漠化、地下水富水性、矿山开发作为本次评价的因子。

根据各评价因子的环境科学含义,结合工作成果,采用专家打分法给出评价因子的排序和评分值。因子的排序为水土流失、土地沙漠化、地下水富水性、矿山开发。各因子的评分值见表 1-4。

3 利用 AHP 法计算各因子的权重

3.1 建立递

阶层次结构模型

递阶层次结构模型一般分为三层,最上面为目标层,最下面为方案层,中间是准则层或指标层。这种自上而下的支配关系所形成的层次结构称之为递阶层次结构。如图 1。

3.1.1 最高层(目标层)

这一层次中只有一个元素,一般它是分析问题的预定目标或理想结果,即实现对矿山现状环境地质

质的评价。

3.1.2 中间层(准则层)

这一层次包括了为实现目标所涉及的中间环节,包括所需要考虑的准则,即环

表 1 水土流失评分表

Table 1 Data sheet of soil erosion

序号	土壤侵蚀强度	侵蚀模数/t·km ² ·a ⁻¹	评分值
1	极剧烈	>25 000	100
2	剧烈	15 000~25 000	80
3	极强度	8 000~15 000	60
4	强度	5 000~8 000	40
5	中度	2 500~5 000	30
6	轻度	500~2 500	20
7	不明显	<500	10

表 2 土地沙漠化评分表

Table 2 Data sheet of desertification of land

序号	土地沙漠化强度	评分值
1	强度沙漠化	100
2	中度沙漠化	80
3	轻度沙漠化	60
4	潜在沙漠化	40

表 3 地下水富水性评分表

Table 3 Data sheet of groundwater water yield property

序号	富水性级别	单井涌水量/m ³ ·d ⁻¹	评分值
1	强富水	>1 000	20
2	中等富水	100~1 000	50
3	弱富水	<100	70
4	疏干不含水	0	100

表 4 矿山开发评分表

Table 4 Data sheet of mine exploitation grading

序号	矿山开发程度	评分值
1	塌陷区	100
2	未塌陷区	70
3	未开发区	30

表 5 比例标度的含义

Table 5 Meaning of scale graduation

标度	含义
1	两个元素相比,具有相同的重要性
3	两个元素相比,前者比后者稍重要
5	两个元素相比,前者比后者明显重要
7	两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若 i 因素与 j 因素比较,得到判断值为 a_{ij} , 则 $a_{ji}=1/a_{ij}$

境因子(水土流失、土地沙漠化、地下水富水性、矿山开发)的选取。

3.1.3 最底层(方案层)

这一层次包括了为实现

表 6 评价因子权重矩阵表

Table 6 Weight of evaluating factor matrix

评价因子	水土流失	土地沙漠化	富水性	矿山开发	权重
水土流失	1	3	5	7	0.557 9
土地沙漠化	1/3	1	3	5	0.263 3
富水性	1/5	1/3	1	3	0.121 9
矿山开发	1/7	1/5	1/3	1	0.056 9

度,即水土流失比矿山开发强烈重要。

3.2.2 判断矩阵的特征值

求得判断矩阵的特征向量和最大特征值一般

采用和积法计算方法,计算步骤如下:

将判断矩阵的每一列归一化:

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i, j=1, 2, 3, \dots, n)$$

归一化后的矩阵按行相加:

$$W_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n)$$

对向量归一化,即为所求特征向量。

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

计算判断矩阵的最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A \bar{W})_i}{\bar{W}_i}$$

其中 $(A \bar{W})_i$ 为向量 $A \bar{W}$ 的第 i 个元素。

实际验算步骤如下:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\text{列归一化} \begin{pmatrix} 0.596 6 & 0.661 8 & 0.535 7 & 0.437 5 \\ 0.198 9 & 0.220 6 & 0.321 4 & 0.312 5 \\ 0.119 3 & 0.073 5 & 0.107 1 & 0.187 5 \\ 0.085 2 & 0.044 1 & 0.035 7 & 0.062 5 \end{pmatrix}$$

行求和: $W_i = (2.231 6, 1.053 4, 0.487 5, 0.227 6)^T$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 4$$

归一化: $\bar{W} = (0.557 9, 0.263 3, 0.121 9, 0.056 9)^T$

$$A \bar{W} = (2.355 5, 1.099 4, 0.491 9, 0.229 9)^T$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A \bar{W})_i}{\bar{W}_i} + \frac{1}{4}$$

$$\left[\frac{2.355 5}{0.557 9} + \frac{1.099 4}{0.263 3} + \frac{0.491 9}{0.121 9} + \frac{0.229 9}{0.056 9} \right] = 4.118 5$$

求出评价因子权重判断矩阵的最大特征值

λ_{\max} 及标准化(归一化)的特征向量 \bar{W} 。 \bar{W} 的向量为

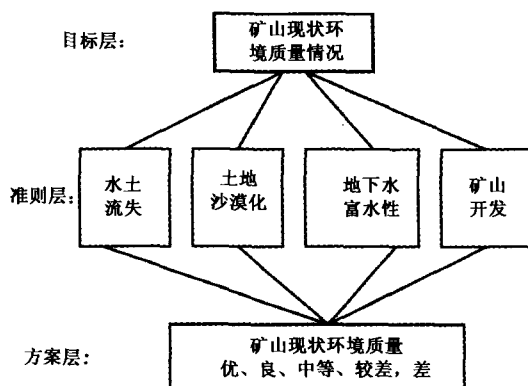


图 1 递阶层次结构模型

Figure 1 Step-up stratification structural model

目标可供选择的各种措施、决策方案等。即某一区域矿山环境地质质量的级别(优、良、中等、较差、差)。

3.2 构造成对比较矩阵并求特征向量(权重)和最大特征根

3.2.1 判断矩阵

在建立递阶层次结构以后,上下层元素间的隶属关系就被确定,中间层次元素以水土流失、土地沙漠化、地下水富水性、矿山开发为准则,所支配的下一层次元素为矿山现状环境地质质量优、良、中等、较差、差,目的是按照准则层的相对重要性赋予方案层中相应的权重。当准则层对于方案层的重要性可以直接定量表示时,它们相应的权重可以直接确定,但对于此类矿山环境地质评价问题,元素的权重不容易直接获得,这时就需要通过适当的方法导出它们的权重,AHP 所用的方法就是两两比较的方法。

在这一方法中,决策者要反复地回答问题,针对准则层,任意两个元素那一个更重要,重要程度如何?这一过程中可以利用专家评分的办法来得出各因子的重要程度,并按表 5 的比例标度对重要性程度赋值,表 5 列出了 1~9 标度的含义,这样对于准则层,元素通过两两比较构成一个判断矩阵 A (表 6)。

例如表 6 的第二行的第五列“7”就是元素水土流失与矿山开发相对于准则层的重要性的比例标

同一层次中相应元素对于上一层次中某个因素相对重要性的排序权重。

3.3 计算判断矩阵一致性指标,并检验其一致性

在构造判断矩阵时,各层元素间两两比较时, A_{ij} 应有某种传递性质,即若水土流失因子比土地沙漠化因子重要,土地沙漠化因子比矿山开发因子重要,合理地应有水土流失因子比矿山开发因子更重要,即此矩阵具有一致性。但是由于客观事物的复杂性与人的认识的多样性,我们得到的判断矩阵常不具有传递性和一致性,但应该要求这些判断大体是一致的。于是找到一个数量标准来衡量此矩阵的不一致程度显得很必要。

为检验矩阵的一致性,定义 $C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$,当完全一致时, $C_I = 1$ 。 C_I 愈大,矩阵的一致性愈差。对 1~9 阶矩阵,平均随机一致性指标 R_I 见表 7。

当阶数 ≤ 2 时,矩阵总有完全一致性;当阶数 > 2 时, $C_R = \frac{C_I}{R_I}$ 称为矩阵的随机一致性比例。当 $C_R < 0.10$ 或在 0.1 左右时,矩阵具有满意的一致性,否则需重新调整矩阵。

进行一致性检验:

$$C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4.1184 - 4}{4 - 1} = 0.0395,$$

$$C_R = \frac{C_I}{R_I} = \frac{0.0395}{0.9} = 0.0439$$

即 $C_R < 0.10$,矩阵具有满意的一致性。

评价因子权重排序(降次)依次为水土流失、土地沙漠化、地下水富水性和矿山开发。

4 矿山环境地质综合评价

考虑到最大破坏原则,即当某种致灾因子已经达到某环境容量时,环境质量则急剧下降,采用筛选法,对具体的地理空间上的各种因素进行最大破坏因子的筛选。评价模型如图 2。

即当水土流失、土地沙漠化、富水性、矿山开发四因子中有一项达到环境容量时。

$$\text{则: } D_i = \max f(x_i, y_i)$$

$$\text{否则: } D_i = \sum_{i=1}^n f(x_i, y_i)$$

$$= S_{\text{tfs}} \cdot W_{\text{tfs}} + S_{\text{msh}} \cdot W_{\text{msh}} + F_{\text{sx}} \cdot W_{\text{fsx}} + K_{\text{skf}} \cdot W_{\text{kshf}}$$

其中: ass ——环境的破坏程度;

D_i ——环境质量;

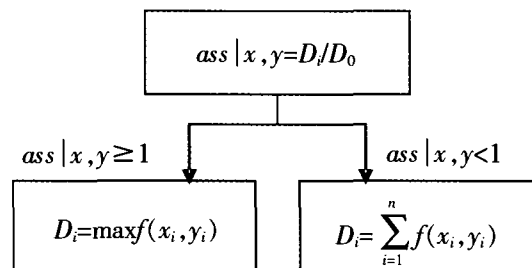


图 2 评价模型流程图

Figure 2 Flow chart of evaluation model

D_0 ——环境容量;
 S_{tfs} ——水土流失程度因子评分值;
 W_{tfs} ——水土流失因子权重;
 S_{msh} ——土地沙漠化程度因子评分值;
 W_{msh} ——土地沙漠化因子权重;
 F_{sx} ——富水性程度因子评分值;
 W_{fsx} ——富水性因子权重;
 K_{skf} ——矿山开发程度因子评分值;
 W_{kshf} ——矿山开发因子权重。

本次评价依据 AHP 法得到的各因子的权重,利用 GIS 空间叠加与分析运算功能,将矿山综合环境质量分为优、良、中等、较差、差五级,评价结果如下:

表 7 平均随机一致性指标

Table 7 Average and random consistency indicators

阶数	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45

表 8 矿山环境地质评价表

Table 8 Data sheet of mine environmental geological evaluation

级别	面积/km ²	%
优	1 505.1	21.6
良	351.1	5.1
中等	537.3	8.1
较差	1 867.3	26.5
差	2 723.2	38.7

5 结语

以《晋陕蒙能源基地(东胜、准格尔矿区)矿区环境地质问题专题调查》课题为基础,采用层次分析法,结合 GIS 空间叠加与分析运算,根据实际野外的调查验证,得到了最佳评价结果。使本次评价较好的反映了当地矿山环境地质综合实际情况。由此可见,矿区环境地质调查是多种因素综合作用的结果,层次分析法将这些定性复杂的决策问题变成了定量问题,使评价更加全面、科学、公正、准确,为下一步矿山开发和保护提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 傅耀军. 晋陕蒙能源基地环境地质问题及调查评价方法研究[R]. 邯郸:中国煤炭地质总局水文地质局, 2004.
- [2] 洪继华,宋依兰.层次分析法在水环境规划中的应用[J].环境科学与技术, 2000, (1).

(英文下转第 76 页)

2.3 应急水源适宜性

我国大多数城市依山傍水,沿大江大河湖泊而建。从水文地质条件看,古河道赋存的地下承压水是理想的公共饮用水应急水源。城市公共饮用水应急水源以地下承压水为宜。主要理由,一是上有较厚的覆盖层、隔水层,易于保护水源不受污染;二是城市已有一定数量的供水深井且水质较好,适合饮用;三是可根据需要,控制开采量,适宜多点开采;四是施工简单,对周围环境影响小;五是一次性投资少,设备便于维护,经济合理;六是一井可以多用,既可作为供水井,又可作为地下水位、地面沉降、地震监测等观测井。

3 结语

从浙江长兴雉城镇公共饮用水应急水源勘查实践看,用不到百万的资金就能较好解决其 18 万人口公共饮用水应急问题,效果明显。随着社会经济的高速发展,作为一项“未雨绸缪”,保障公共安全的应急预案工程,城市地下水公共饮用水应急水源的勘查建设应引起政府有关部门的高度重视。

参考文献:

- [1] 浙江煤炭地质局. 浙江省长兴县雉城镇供水水文地质详查报告
[R]. 浙江:浙江煤炭地质局, 2006.

Urban Public Drinking Water Emergency Source Prospecting and Its Significance

—A Case Study of Zhicheng Township Emergency Water Source Prospecting, Changxing, Zhejiang

Yan Hongming

(Zhejiang Bureau of Coal Geological Exploration, Hangzhou, Zhejiang 310021)

Abstract: Through the case study of Zhicheng Township public drinking water emergency source prospecting, considered that to take full advantage of existed groundwater supply wells combined with selectively to construct water supply deep wells in groundwater resource abundant and population concentrated communities as public drinking water emergency source is scientific, economic and feasible. As a commonweal urban capital construction, government is in duty bound to ensure public drinking water safe, as soon as possible to establish and consummate urban public drinking water conjuncture emergency water supply measures worked out in anticipation.

Keywords: emergency water source; public safety; water source prospecting

(上接第 53 页)

Water Environmental Status Quo and Prediction in Representative Area, Dongsheng Mining Area

Li Benjun, Cao Jianguang and Zhang Licai

(Hydrogeological, Engineering Geological and Environmental Geological Exploration Institute, CNACG, Handan, Hebei 056004)

Abstract: Based on the part of representative area, Dongsheng mining area water environment surveying and evaluation in research project of "Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia Energy Base (Dongsheng-Jungar Mining Area) Environment Geological Problems Ad Hoc Surveying", discussed water body quality evaluation methodology and train of thought, found out river, groundwater pollution status quo in the representative area and revealed coal mining impact to water environment. A mass of basic data acquired during the investigation provided a valuable basis to analyze regional water environmental quality and set down protection measures, guiding value in mine water environment quality investigation and development trend analysis.

Keywords: Dongsheng mining area; water environment; research; evaluation

(上接第 59 页)

Application of AHP in Mine Environmental Geological Evaluation

Wang Bingqiang, Shen Zhihui, Bai Xiqing and Li Benjun

(Hydrogeological, Engineering Geological and Environmental Geological Exploration Institute, CNACG, Handan, Hebei 056004)

Abstract: Usually in mine environmental geological evaluation, expert subjective value assignment is used to determine weight of influencing factors. But problems of environmental geology in mines are affected by many factors, every factor's impact to suitability is complicated and relations between factors are interrelated and mutually checked, thus personal factors may have major influences. To take the evaluation of mine environmental geological quality in Shanxi, Shaanxi and Inner Mongolia mining area as an example, discussed in detail the process to determine weight of evaluating factors by the use of analytic hierarchy process (AHP), it will increase scientific nature of value assignment, reduce subjectivity and obtain satisfied evaluation results.

Keywords: analytic hierarchy process (AHP); evaluating factor; mine environmental geology