

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.03.11

改进脆弱性指数法在煤矿底板突水评价中的应用

陈建平, 李金柱, 王雪冬, 刘 垚

(辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 针对传统的 AHP 型脆弱性指数法在权重确定方面的不足, 采用熵权法对其改进, 将熵权法计算的客观权重与 AHP 法计算的主观权重进行加权平均, 综合确定各主控因素诱发突水的权重比例。在综合分析长平煤矿水文地质资料的基础上, 应用 GIS 建立主控因素专题图并进行归一化处理, 运用基于 GIS 的改进 AHP 型脆弱性指数法确定各主控因素权重, 建立井田西部 3 号煤底板奥灰突水危险性评价模型。利用自然间断点分级法确定了分区阈值, 将研究区按突水危险性的相对大小分为 5 个区域。评价结果符合实际, 对煤矿安全生产具有重要的现实意义。

关键词: 煤层底板突水; 脆弱性指数法; GIS; 改进的 AHP 法; 突水危险性分区

中图分类号: TD745

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)03-0067-08

Improved vulnerability index method for evaluating water inrush from the floor of coal seam

CHEN Jianping, LI Jinzhu, WANG Xuedong, LIU Yao

(College of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China)

Abstract: Entropy weight method is used aiming at improving the traditional AHP vulnerability index method in weight-determination process. The objective weight value calculated by the entropy weight method and the subjective weight value calculated by the AHP (Analytic Hierarchy Process) method are weighted average. The weight proportion of each main control factor inducing water inrush is determined synthetically. Using GIS (Geographic Information System) to establish and normalize the thematic maps of main control factors, after the comprehensive hydrogeological data analysis of Changping coal mine was carried out. The weight of each main control factor is determined using the improved AHP vulnerability index method based on GIS. The risk assessment model of Ordovician limestone water inrush in No. 3 coal seam of the West Mine is established. The threshold is determined by natural breaks classification method, and the study area is divided into 5 regions according to the relative size of water-inrush risk. The evaluation results are consistent with actual situation and have important practical significance for coal-mine safety production.

Keywords: water outburst from coal seam floor; vulnerable index method; GIS; improved AHP method; water-inrush hazard zone

0 引言

煤炭资源的开发利用, 对国家经济和社会发展起

着重要的推动作用。然而复杂的煤田水文地质条件制约着煤炭资源的安全开采, 随着开采深度的增加, 煤矿面临的深部开采水害问题日益严重^[1-2]。近年来, 国

收稿日期: 2018-10-26; 修订日期: 2018-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51604140)

第一作者: 陈建平(1972-), 男, 山西保德人, 副教授, 博士, 主要从事矿山水文地质等方面的教学和科研工作。E-mail: chenjianp@tom.com

内外学者围绕煤层底板突水进行了深入研究。刘德旺^[3]采用突水系数法评价回坡底煤矿奥灰突水危险性。武强等^[4]首次提出了脆弱性指数法,而后基于 GIS 平台,又开发了一系列新型实用方法,包括基于 GIS 的 ANN 型脆弱性指数法^[5]、基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法等^[6],在煤层底板突水评价中得到广泛应用。李建林等^[7]利用分形理论对基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法进行改进,用断层分形维数代替断层性质使主控因素减少了三项。付萍杰等^[8]利用多因素模糊聚类分析法对新安煤矿底板突水危险性进行了分区,指导煤矿开采。

在评价煤层底板突水危险性的众多方法中,脆弱性指数法综合考虑了控制底板突水的多个主控因素,反映了底板突水过程的非线性动力学特性,而且计算方便、操作便利,近年来得到广泛应用。但该方法采用 AHP 法确定主控因素权重,是通过人为判断给出权重值,主观性较强,使得评价结果与实际情况存在一定偏差。鉴此,论文采用熵权法对传统 AHP 型脆弱性指数法进行改进,将 AHP 法的主观权重和熵权法的客观权重相结合,综合确定各主控因素的权重,而后应用基于 GIS 的改进 AHP 型脆弱性指数法,建立长平煤矿 3 号煤底板突水危险性评价模型,并进行突水危险性评价,为煤矿针对性的制定防治水措施、保障煤矿安全生产提供了理论依据。

1 研究区概况

长平煤矿位于高平市寺庄镇一带,沁水煤田中段东部。区内地势西高东低,整个地层为一走向 NNE、倾向 NWW 的单斜构造,地层倾角 $3^{\circ} \sim 12^{\circ}$,宽缓褶曲比较发育。

煤矿目前正在开采 3 号煤。3 号煤位于山西组下部,煤层底板为砂质泥岩,深灰色粉砂岩和黑色泥岩,垂直分布呈平行复合结构,阻隔煤层与下部奥灰含水层间的直接水力联系,起层间隔水作用。煤矿水文地质概化模型如图 1 所示。井田东部 3 号煤已基本开采完毕,西部地区尚未开采。未来五年计划开采井田西部 3 号煤。

统计资料表明:

①研究区共发育断层 76 条,平面延伸长度在 25 ~ 5 090 m,落差在 0.5 ~ 23 m,以小落差断层为主。其中延伸长度小于 100 m 的 33 条、100 ~ 300 m 的 35 条、300 m 以上的 8 条。大部分为张性正断层且有一定的导水性,对 3 号煤开采存在一定影响。

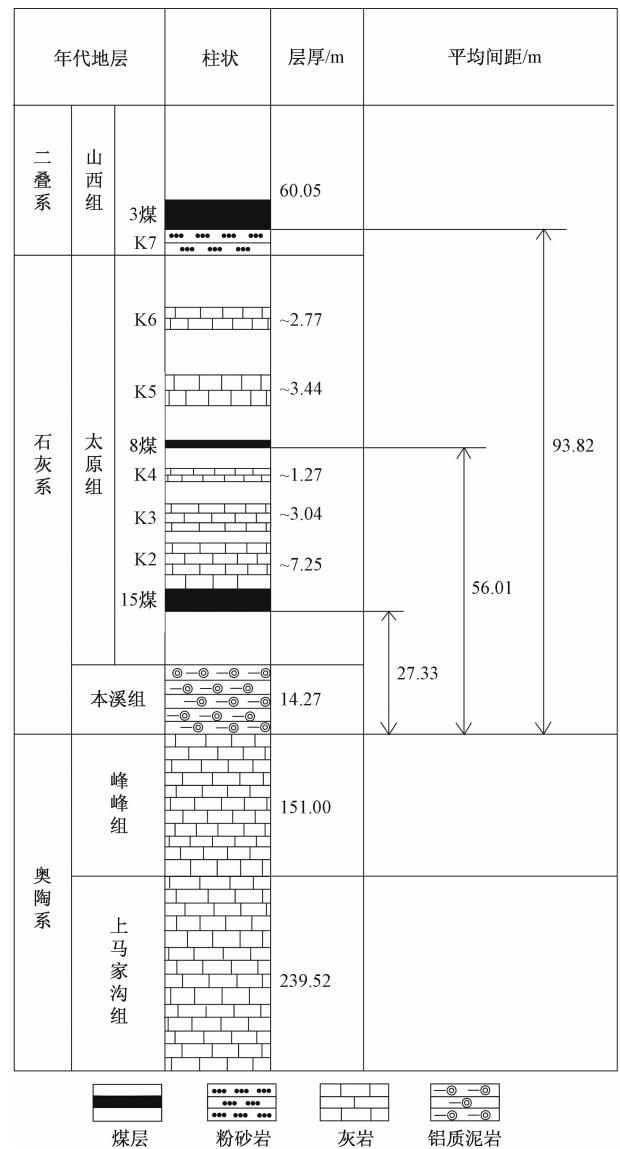


图 1 水文地质概化模型

Fig. 1 The hydrogeological generalization model

②研究区内陷落柱发育,勘探发现共 102 个,井下实见陷落柱规模均不大,大部分不导水或富水性较差,仅有少部分导水、富水陷落柱,主要以局部富水、层间导水为主,开采中若揭露大的陷落柱,可能导致底板突水,威胁 3 号煤的安全开采。

③奥陶系灰岩为研究区 3 号煤底板主要充水含水层,由石灰岩、泥质灰岩和白云岩等组成,含水层抽水试验涌水量为 $60 \sim 85 \text{ m}^3/\text{h}$,单位涌水量 $0.269 \sim 1.159 \text{ L/s.m}$,属富水性中等一强的含水层。水位标高在 603 ~ 635 m,3 号煤开采标高在 380 ~ 510 m,均小于奥灰水位标高,全区带压,受采动影响,底板薄弱地段易发生突水危险。

2 理论基础

2.1 基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法

该方法以多源信息集成理论为基础,以 GIS 为平台,分析确定诱发煤层底板突水的主控因素,通过 GIS 的空间信息处理与数据分析功能,对主控因素数据进行收集、编辑、量化及计算,生成对应的主控因素专题图。应用多源地学数据复合叠加原理,利用 AHP 法确定各主控因素的权重^[9],并进行归一化处理,将所有相关信息融合到一个存储层,建立评价模型。

脆弱性指数计算公式为:

$$VI = \sum_{k=1}^n W_k \times f_k(x, y) \quad (1)$$

式中: VI——脆弱性指数;

n ——主控因素个数;

k ——因素序号;

W_k ——第 k 个因素的权重;

$f_k(x, y)$ ——第 k 个元素归一化后的值,其中 x, y 为地理坐标。

2.2 权重确定的改进

评价煤层底板突水危险性时,主控因素权重的确定十分重要,直接决定了评价结果的准确性。传统的基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法在确定主控因素权重时采用 AHP 法。AHP 法在计算权重值时,是通过专家打分法得出的,是一种主观权重。评价人员在分析判断各评价指标的重要性时,由于未知的因素较多,因而得到的经验判断值受人为主观影响较大,与实际存在一定偏差。为减小主观因素对权重的影响,采用熵权法计算客观权重,将客观权重与 AHP 法得出的主观权重进行加权取平均值,得到更为客观合理的综合权重。

在评估和决策过程中,占有的信息量的多少可决定评价精度和可靠性。熵是衡量系统无序化程度的指标,表明了数据所提供的有效信息量^[10]。当某项评价指标的数值变化幅度较大时,熵值较小,在评价中所提供的有效信息量越多,所占权重越大,反之亦然。因此熵权法能客观的计算权重,有效反映出指标间的内在联系,对 AHP 法进行修正。在煤层底板突水危险性评价中,各主控因素的信息熵值客观代表了其在突水过程中所占的权重比例,不受人为因素干扰。熵权法计算步骤如下^[11]:

①建立原始数据矩阵 X : 假设有 n 个评价指标, m 个评价对象,则:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

② X 矩阵标准化。对于越小越优型指标,公式为:

$$y_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (3)$$

对于越大越优型指标,公式为:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (4)$$

标准化后得到

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

③确定评价因子的熵 H_i , 公式为:

$$H_i = \frac{-\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}}{\ln m} \quad (6)$$

注意到,当 $f_{ij} = 0$ 时, $\ln f_{ij}$ 无意义,为保证 $\ln f_{ij}$ 有意义,将 f_{ij} 的公式定义为:

$$f_{ij} = (1 + y_{ij}) / \sum_{j=1}^m (1 + y_{ij}) \quad (7)$$

④确定评价因子的熵权,公式为:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i} \quad (8)$$

最终,将 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_n)$ 作为评价指标的客观权重,两种权重加权平均,综合确定各主控因素诱发突水的权重比例,削弱了专家打分时主观因素对权重的影响。

3 煤层底板突水危险性分区与评价

3.1 主控因素的确定

通过分析总结影响底板突水的主要因素,结合长平井田水文地质资料,确定了煤层底板含水层、隔水层和构造三大要素共同控制着底板突水过程。基于以上三点,最终选取以下 7 个因素作为评价的主控因素:奥灰含水层水压;奥灰含水层富水性;底板隔水层厚度;隔水层脆性岩石厚度;断层端点与交点分布;断层分布;陷落柱分布。

3.2 主控因素的量化及专题图的建立

此次选取的 7 个主控因素中,能够直接量化的有奥灰含水层水压、奥灰含水层富水性、底板隔水层厚度和隔水层脆性岩石厚度。这 4 个因素可利用 GIS 的空

间分析功能对数据进行插值分析生成各因素的主控因素专题图。其余 3 个因素无法直接量化,可根据其影响突水危险性的机理和程度,按照一定规则进行量化分析。

在建立断层端点与交点分布、断层和陷落柱分布专题图时,很多学者采用密度分析的方法^[6,9,12-13]。分析时将研究区以一定规模划分为若干个大小相等的正方形单元格,统计单元格内所包含的断层和陷落柱数量,当断层或陷落柱规模较大占据多个网格时,分别计入不同网格中,然后提取单元格中心点的坐标,绘制密度等值线图,建立断层端点与交点分布、断层和陷落柱分布的专题图。这种方法人为的对断层和陷落柱的位置进行了移动,没有断层和陷落柱的空白区域在划分单元格时也被包含进单元格中,当单元格被赋值后,就表明空白的区域也存在断层或陷落柱了,造成了很大的误差。而且在划分单元格规模方面,也没有具体的划分标准,划分的单元格面积越大,造成的误差也就越大,影响了评价的准确性。基于此,论文在建立断层端点与交点分布图时,首先在 GIS 里断层面转线,然后基于 GIS 的网络分析功能,建立网络数据集,得到断层的端点与交点,利用断层端点与交点进行点密度分析。建立断层和陷落柱分布图时,采用缓冲区分析的方法,不划分单元格,不改变断层和陷落柱所在位置,以断层和陷落柱大小及其影响区域为依据,考虑安全性等因素,将所有断层和陷落柱统一量化赋值。将断层和陷落柱的直接影响区域赋值为 1.0,将两者 50 m 以内的影响区域赋值为 0.7,其余部分赋值为 0。应用 GIS 的缓冲区分析功能,建立断层分布和陷落柱分布专题图。主控因素专题图如图 2 所示(以奥灰含水层富水性和陷落柱缓冲区分析为例)。

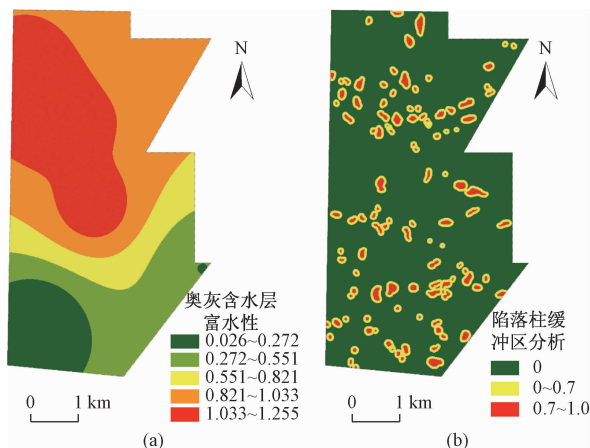


图 2 主控因素专题图

Fig. 2 The thematic maps of main control factors

3.3 改进 AHP 型脆弱性指数法确定主控因素权重

3.3.1 AHP 法计算主观权重

①建立层次结构模型

依据选取的 7 个主控因素,建立模型结构如图 3 所示。

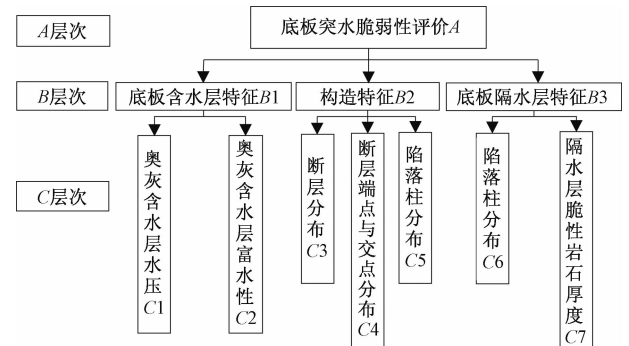


图 3 层次结构模型

Fig. 3 The hierarchical model

②确定权重及一致性检验

结合研究区基本资料,邀请相关专家、高校科研人员以及工程技术人员按 1~9 级标度对各因素重要程度进行评价,建立判断矩阵,进行一致性检验,最终得到不同因素的主观权重。判断矩阵如表 1、表 2、表 3、表 4 所示。

表 1 判断矩阵 $A - B_i (i = 1 \sim 3)$

Table 1 The judgment matrix $A - B_i (i = 1 \sim 3)$

A	B1	B2	B3	$W(A/B_i)$
B1	1	3/2	2	0.461
B2	2/3	1	4/3	0.308
B3	1/2	3/4	1	0.231

$$\lambda_{\max} = 3.000 \quad CR = 0 < 0.1$$

表 2 判断矩阵 $B1 - C_i (i = 1 \sim 2)$

Table 2 The judgment matrix $B1 - C_i (i = 1 \sim 2)$

B1	C1	C2	$W(B1/C_i)$
C1	1	3/2	0.600
C2	2/3	1	0.400

$$\lambda_{\max} = 2.000 \quad CR = 0 < 0.1$$

表 3 判断矩阵 $B2 - C_i (i = 3 \sim 5)$

Table 3 The judgment matrix $B2 - C_i (i = 3 \sim 5)$

B2	C3	C4	C5	$W(B2/C_i)$
C3	1	3/2	1	0.375
C4	2/3	1	2/3	0.250
C5	1	3/2	1	0.375

$$\lambda_{\max} = 3.000 \quad CR = 0 < 0.1$$

3.3.2 熵权法计算客观权重

采用熵权法计算各主控因素权重时,首先按经纬

表 4 判断矩阵 $B3 - Ci(i = 6 \sim 7)$

Table 4 The judgment matrix $B3 - Ci(i = 6 \sim 7)$

$B3$	$C6$	$C7$	$W(B3/Ci)$
$C6$	1	3/2	0.600
$C7$	2/3	1	0.400

$\lambda_{\max} = 2.000 \quad CR = 0 < 0.1$

网方向把整个研究区分为 22 个 $1\,000\text{ m} \times 1\,000\text{ m}$ 的单元(图 4),即评价对象 $m = 22$,选取 7 个主控因素为评价指标,即 $n = 7$,建立原始数据矩阵。其中,每个单元的奥灰含水层水压、奥灰含水层富水性、底板隔水层厚度和隔水层脆性岩石厚度 4 个因素的数值通过该单元的 4 个顶点和中心点的算术平均值计算得到,断层端点与交点分布、断层分布、陷落柱分布分别通过统计每个单元中的断层端点和交点数、断层长度、陷落柱面积来表示。具体的数值见表 5。

建立原始数据矩阵后,按式(3)~(8)计算各主控因素的客观权重,然后将两种方法所计算的权重加权平均综合确定各主控因素诱发突水的权重比例(表 6)。

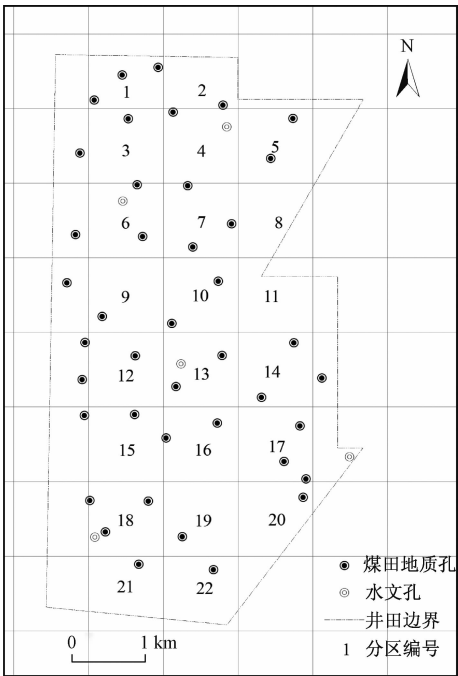


图 4 熵权法分区单元图

Fig. 4 The unit diagram of entropy weight method

表 5 熵权法分区单元数据表

Table 5 Entropy weight method for partitioning unit data tables

分区 编号	奥灰含水层 水压/MPa	奥灰含水层富水性/ ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)	底板隔水层 厚度/m	隔水层脆性 岩石厚度/m	断层端点与 交点个数/个	陷落柱 面积/ km^2	断层 长度/km
1	5.71	1.05	98.05	39.58	0	0.014	0.132
2	5.37	0.99	92.15	33.43	2	0.050	0.460
3	5.52	1.15	100.51	48.98	6	0.030	1.439
4	5.25	0.98	92.50	34.66	1	0.037	1.333
5	5.24	0.95	106.42	42.39	2	0.020	2.238
6	5.38	1.25	99.61	34.32	9	0.079	1.038
7	5.10	1.05	92.12	30.22	5	0.046	0.430
8	5.12	0.93	96.34	35.36	0	0.047	0
9	5.12	1.09	100.11	35.02	4	0.021	0.286
10	4.93	1.08	95.38	32.11	6	0.016	0.852
11	4.45	0.90	91.55	31.97	6	0.022	0.222
12	4.61	1.01	98.05	33.67	4	0.043	0.523
13	4.25	1.08	94.54	32.04	6	0.026	0.394
14	4.31	0.82	88.33	33.36	6	0.056	0.200
15	4.28	0.61	96.77	31.40	2	0.017	0.067
16	4.12	0.84	95.36	32.84	1	0.025	0.501
17	3.81	0.52	86.21	28.35	2	0.034	0.107
18	4.04	0.09	94.89	28.86	11	0.080	1.231
19	3.87	0.44	93.62	30.32	1	0.062	0.050
20	3.61	0.42	78.06	23.29	2	0.025	0.349
21	3.73	0.15	89.51	28.83	14	0.029	2.028
22	3.48	0.33	83.94	30.76	8	0.064	0.651

表 6 各主控因素权重表

Table 6 The weight table of main control factors

主控因素	奥灰含水层水压	奥灰含水层富水性	底板隔水层厚度	隔水层脆性岩石厚度	断层端点与交点分布	断层分布	陷落柱分布
AHP 法主观权重	0.277	0.184	0.139	0.092	0.077	0.116	0.116
熵权法客观权重	0.198	0.194	0.094	0.093	0.119	0.138	0.165
综合权重	0.351	0.228	0.084	0.055	0.059	0.102	0.122

3.4 底板水害危险性分区

3.4.1 数据归一化

主控因素与突水危险性存在正相关和负相关两种关系,因此在归一化处理上采用不同公式,正相关(9)和负相关(10)的归一化公式如下:

$$x_i^* = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (9)$$

$$x_i^* = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (10)$$

式中: x_i 、 x_i^* ——数据归一化前后的值;

$x_{\min}$ ——主控因素量化值的最小值;

$x_{\max}$ ——主控因素量化值的最大值。

3.4.2 信息融合及脆弱性指数法模型的建立

利用 GIS 的信息融合及数据处理功能,将多因素进行复合处理,将所有相关信息融合到一个信息存储层,以叠加图的形式显示出来。根据式(1)中脆弱性指数法的定义,建立研究区 3 号煤脆弱性指数法模型。模型表达式为:

$$VI = \sum_{k=1}^n W_k \times f_k(x, y) = 0.351 \times f_1(x, y) + 0.228 \times f_2(x, y) + 0.084 \times f_3(x, y) + 0.055 \times f_4(x, y) + 0.059 \times f_5(x, y) + 0.102 \times f_6(x, y) + 0.122 \times f_7(x, y)$$

3.4.3 3 号煤底板突水危险性评价分区

以煤层底板脆弱性评价模型为基础,对研究区范围内的脆弱性指数进行统计分析,采用自然间断点分级法,确定了分区的阈值为 0.27、0.38、0.47、0.56,根据 3 号煤底板突水危险性的相对大小,将长平井田西部划分为 5 个区域,即: $VI > 0.56$ 为突水危险区; $0.47 < VI \leq 0.56$ 为突水较危险区; $0.38 < VI \leq 0.47$ 为突水过渡区; $0.27 < VI \leq 0.38$ 为突水相对安全区; $VI \leq 0.27$ 为突水安全区。利用 GIS 生成 3 号煤底板突水危险性评价分区图(图 5)。

3.5 改进 AHP 型脆弱性指数法与传统 AHP 型脆弱性指数法的对比

依据研究区钻孔数据,利用传统 AHP 型脆弱性指数法得到 3 号煤底板突水危险性评价分区图(图 6)。

对比图 5 与图 6 可知:

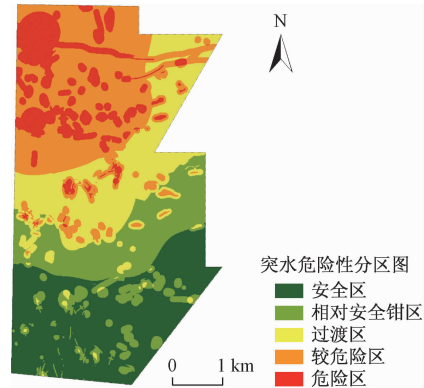


图 5 3 号煤底板突水危险性评价分区图

Fig. 5 The zoning map for waterinrush risk assessment of No. 3 coal seam floor

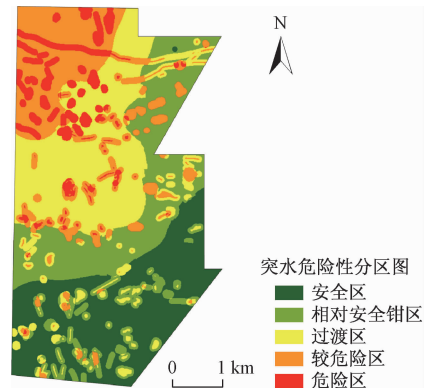


图 6 传统 AHP 型脆弱性指数法评价分区图

Fig. 6 The zoning maps derived by traditional AHP vulnerability index method

两种方法得到的研究区 3 号煤底板突水性都呈现由西北到东南逐渐减小的变化趋势,整体上具有一致性,进一步验证了改进 AHP 型脆弱性指数法的正确性,但局部区域存在差异。

研究区东北角发育两条大型断层,经探查两条断层均为张性正断层,落差在 20 m 以上,是井田范围内的主要断层,具有一定的导水性,开采时如若揭露造成突水的可能性较大。传统 AHP 型脆弱性指数法将这两条断层带划分为过渡区,将断层周围影响带划分为相对安全区,与实际产生偏差。产生偏差的主要原因是传统 AHP 型脆弱性指数法计算出的主观权重中,隔

水层厚度所占权重比例高于构造,此区域是整个研究区隔水层厚度最大的区域,在100 m以上。研究区内煤层底板隔水层较厚,均在70 m以上,正常地段发生突水危险性不大,但如果构造破坏了隔水层的完整性,降低了隔水层的抗、隔水性能,发生突水的几率会大大增加,因此构造对煤层底板突水起着决定性作用,所占权重比例应高于隔水层厚度。改进AHP型脆弱性指数法利用熵权法对AHP法进行改进,既融合了专家和技术人员的判断,又有效减少了人为因素对指标内在体系的干扰,两种权重值相互补充修正,得到构造所占权重比例高于隔水层厚度。评价结果为:断层带划分为较危险区,断层周围影响带划分为过渡区,使评价结果最大限度的接近实际情况。

图6中,危险区、较危险区面积与图5相比有明显减小。井田中上部奥灰富水性强,水压大,陷落柱、断层发育密集,隔水层稳定性遭到破坏,开采时揭露导水构造而导致奥灰突水的可能性较大,按《煤矿防治水细则》中所要求的“就高不就低”的划分原则,此区域应划分为突水危险区或较危险区。传统AHP型脆弱性指数法将此区域划分为过渡区,而改进AHP型脆弱性指数法将此区域包含在突水较危险区中,评价结果更接近实际。

传统AHP型脆弱性指数法评价结果中,突水较危险区在整个研究区范围内均有分布,突水安全区、相对安全区中也夹杂有少量突水较危险区域,区域一致性较差,不利于煤矿开采和防治水工作的开展。井田东南部奥灰含水层水压和富水性为全区最小,隔水层较厚,改进AHP型脆弱性指数法将此区域整体划分为安全区和较安全区,有利于煤矿开采方案的制定。

3.6 评价结果分析

(1)研究区范围内3号煤底板突水危险性整体呈条带状分布,由西北向东南逐渐减小,整体上突水危险性不大。

(2)突水危险区、较危险区主要集中在研究区西北部,危险区密集分布于该区域的断层和陷落柱发育地段及其周围影响地区,与较危险区在区域上显示出很高的一致性。研究区西北部奥灰水水压大,富水性强,主要阻水作用的隔水层厚度和脆性岩石厚度相对较小,断层和陷落柱的分布相对较密集,大规模断层发育,隔水层稳定性遭到破坏,开采时揭露导水构造而导致奥灰突水的可能性较大,突水危险性最大。开采该区域时要加强水文地质条件的探查。

(3)过渡区主要分布在研究区中部,奥灰水水压

和富水性依然很大,但隔水层厚度和脆性岩石厚度较大,起到了良好的隔水作用;过渡区中间区域由于断层、陷落柱分布较密集,有可能破坏隔水层的完整性,存在局部突水较危险区域,开采至附近时应加强构造的探查与监测。

(4)安全区与相对安全区主要分布在研究区东南部,奥灰含水层水压和富水性为全区最小,底板隔水层和脆性岩石受构造破坏程度较小,隔水层隔水性能良好,因此发生突水的几率最小。

(5)依据分区评价结果,建议煤矿在开采井田西部3号煤时,首先开采东南部突水威胁最小的区域,按照由东南到西北的顺序依次布设工作面逐次开采,并在开采过程中收集完善井田西部井上下水文地质资料,为突水危险区和较危险区3号煤的安全开采奠定基础。

4 结论

(1)采用熵权法对传统AHP型脆弱性指数法进行改进,将客观权重与AHP法得出的主观权重进行加权平均,得到更为客观合理的综合权重,有效削弱了主观因素对指标体系间内在联系的干扰,降低了人为因素对权重值的影响,使权重确定更加准确,评价结果更为合理。

(2)采用点密度分析的方法,基于GIS的网络分析功能,建立断层端点与交点分布专题图;采用缓冲区分析的方法,将所有断层和陷落柱统一进行量化赋值,建立断层和陷落柱分布专题图,两种方法避免了传统的分布密度分析法带来的误差,提高了评价结果的准确性。

(3)确定了诱发煤层底板突水的7个主控因素,并利用改进后的AHP模型得出了各个主控因素权重,应用GIS建立了各主控因素的专题图并进行归一化处理,生成复合叠加图,建立评价模型。

(4)研究区范围内煤层底板突水危险性由西北向东南逐渐减小,按突水危险性的相对大小将研究区依次划分为5个区域,与传统AHP型脆弱性指数法的比较验证了评价结果的准确性,评价精度较高,评价效果理想,为指导煤矿安全生产,针对性的制定防治水措施提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 张党育. 深部开采矿井水害区域治理关键技术研究及发展[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(8): 8-12.

- ZHANG Danguy. Research and development of key techniques for regional water disaster control in deep mining Mine [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45 (8): 8-12.
- [2] 武强. 我国矿井水防控与资源化利用的研究进展、问题和展望[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 795-805.
- WU Qiang. Progress, problems and prospects of prevention and control technology of mine water and reutilization in China [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(5): 795-805.
- [3] 刘德旺. 突水系数法在回坡底煤矿奥灰突水危险性评价中的应用与研究[J]. 中国煤炭, 2016, 42(5): 118-120, 125.
- LIU Dewang. Application and research of water inrush coefficient method in the risk assessment of ordovician ash water inrush in Huipodi Coal Mine [J]. Chinese Coal, 2016, 42(5): 118-120, 125.
- [4] 武强, 张志龙, 张生元, 等. 煤层底板突水评价的新型实用方法 II—脆弱性指数法 [J]. 煤炭学报, 2007, 32(11): 1121-1126.
- WU Qiang, ZHANG Zhilong, ZHANG Shengyuan, et al. A new practical methodology of the coal floor water bursting evaluating II: the vulnerable index method [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(11): 1121-1126.
- [5] 武强, 解淑寒, 裴振江, 等. 煤层底板突水评价的新型实用方法 III—基于 GIS 的 ANN 型脆弱性指数法应用 [J]. 煤炭学报, 2007(12): 1301-1306.
- WU Qiang, XIE Shuhan, PEI Zhenjiang, et al. A new practical methodology of the coal floor water bursting evaluating III: the application of ANN vulnerable index method based on GIS [J]. Journal of China Coal Society, 2007(12): 1301-1306.
- [6] 武强, 王金华, 刘东海, 等. 煤层底板突水评价的新型实用方法 IV: 基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法应用 [J]. 煤炭学报, 2009, 34(2): 233-238.
- WU Qiang, WANG Jinhua, LIU Donghai, et al. A new practical methodology of the coal floor water bursting evaluating IV: the application of AHP vulnerable index method based on GIS [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(2): 233-238.
- [7] 李建林, 张洪云, 王心义, 等. 脆弱性指数法在煤层底板突水预测中的应用与建议 [J]. 煤炭学报, 2014, 39(4): 725-730.
- LI Jianlin, ZHANG Hongyun, WANG Xinyi, et al. Application and suggestion on vulnerable index method of coal seam floor water burst evaluation [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(4): 725-730.
- [8] 付萍杰, 魏久传, 谢道雷, 等. 基于多因素模糊聚类分析法的底板突水危险性评价 [J]. 煤炭技术, 2015, 34(1): 163-166.
- FU Pingjie, WEI Jiuchuan, XIE Daolei, et al. Risk assessment of water inrush from floor plate based on multi-factor fuzzy cluster analysis [J]. Coal Technology, 2015, 34(1): 163-166.
- [9] 武强, 刘守强, 贾国凯. 脆弱性指数法在煤层底板突水评价中的应用 [J]. 中国煤炭, 2010, 36(6): 15-19, 22.
- WU Qiang, LIU Shouqiang, JIA Guokai. Application of vulnerability index method in water inrush evaluation of coal seam floor [J]. Chinese Coal, 2010, 36(6): 15-19, 22.
- [10] 谢非, 张永祥, 任仲宇, 等. 改进的模糊综合评价法在地下水水质评价中的应用 [J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(3): 125-128, 132.
- XIE Fei, ZHANG Yongxiang, REN Zhongyu, et al. Application of method of improved fuzzy comprehensive evaluation in assessment of groundwater quality [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2014, 25(3): 125-128, 132.
- [11] 范立民, 马雄德, 蒋辉, 等. 西部生态脆弱矿区矿井突水溃沙危险性分区 [J]. 煤炭学报, 2016, 41(3): 531-536.
- FAN Limin, MA Xiongde, JIANG Hui, et al. Dangerous zonation of mine water and sand bursting in ecological vulnerable mining area of western China [J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(3): 531-536.
- [12] 邱梅, 施龙青, 滕超, 等. 赵官井田 10 煤层底板突水危险性评价 [J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(3): 61-65.
- QIU Mei, SHI Longqing, TENG Chao, et al. Evaluation of water inrush risk for No. 10 coal seam floor of Zhaoguan mine field [J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(3): 61-65.
- [13] 王飞. 下组煤层底板奥灰突水脆弱性评价分析 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(4): 97-100.
- WANG Fei. Evaluation analysis on floor water inrush vulnerability of ordovician limestone in down group seams [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 97-100.