

文章编号: 1001-1986(2012)05-0047-04

GIS 的 AHP 型脆弱性指数法在李雅庄矿底板突水评价中的应用

罗 成

(中国煤炭地质总局第四水文地质队, 河北 邯郸 056001)

摘要: 山西霍州矿区李雅庄煤矿石炭系太原组 K_2 灰岩岩溶发育, 加之区内断裂构造发育, 水文地质条件较为复杂。为解决上组 2 号煤底板太灰突水评价难题, 采用 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法, 首先建立煤层底板突水主控因素体系, 并通过 GIS 对主控因素数据进行采集及归一化处理, 建立专题图层, 然后运用 AHP 法确定各主控因素的权重比例, 提出煤层底板突水脆弱性的分区方案。与传统突水系数法相比, 脆弱性指数法能较为全面地反映不同区域的相对脆弱关系, 其评价结果更实际、可靠。

关 键 词: 脆弱性指数法; 煤层底板突水; 归一化; GIS; AHP; 突水系数法

中图分类号: TD741 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.05.012

The water inrush evaluation based on AHP vulnerability index method in Liyazhuang mining area

LUO Cheng

(The Fourth Hydrogeological Team, China National Administration of Coal Geology, Handan 056001, China)

Abstract: The kast and fault development in limestone K_2 of Carboniferous Taiyuan formation has induced complex hydrogeological conditions in Liyazhuang mining area.. In order to solve the problem of water inrush evaluation in the floor of the second seam in the limestone of upper Taiyuan formation, we used the AHP vulnerability index method of GIS. Compared with the traditional water inrush coefficient method, the vulnerability index method reflects more comprehensive relative fragile relationship of different areas and the result is more practical and reliable.

Key words: vulnerability index method; water inrush from floor of coal seam; normalization; GIS; AHP; water inrush coefficient method

霍州矿区李雅庄煤矿位于山西省中南部, 霍西煤田中部。井田处于汾河以东的郭庄泉岩溶水径流区, 以低山和黄土丘陵地貌为主, 地形北高南低, 海拔标高 500~1 300 m。区内河流均属黄河支流汾河水系。

1 地质概况

1.1 地层

井田地层属华北型含煤建造, 主要地层包括奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、新近系和第四系。含煤地层为二叠系下统山西组和石炭系上统太原组。其中, 2 号煤层是上组煤主采煤层。

1.2 构造

1.2.1 褶皱

井田内北部发育有两对紧密相连的北北东向褶

皱, 即冯南垣向斜和东庄背斜, 陈家洼村东向斜和下白道背斜, 南部亦有一对北西向背、向斜构造。区内尚有数条近东西向的小型背、向斜构造, 其性质不同, 特征各异。

1.2.2 断裂

断层是本区的主要构造, 断层多为走向 NE, 倾向 NW 的阶梯正断层。目前井田发现断层 263 条, 落差大于 50 m 的断层共 4 条; 20~50 m 的 17 条, 5~20 m 的 40 条, 小于 5 m 的 202 条。

1.2.3 陷落柱

该矿在开采 2 号煤层时, 共揭露陷落柱 234 个, 平均密度为 $69 \text{ 个}/\text{km}^2$, 柱内填充物岩性复杂, 次序紊乱。陷落柱塌陷角度 $65^\circ\sim85^\circ$, 其长轴最大者 120 m, 最小者 6 m, 一般 30 m 左右。陷落柱长轴方向主要为 NNW-SSE, 与地层倾向大体一致。

2 水文地质特征

井田主要含水层划分为四类：第四系松散岩类孔隙潜水含水层；二叠系碎屑岩类裂隙承压水含水层；石炭系碎屑岩夹碳酸盐岩类岩溶裂隙承压水含水层；奥陶系碳酸盐岩类岩溶裂隙承压水含水层。

a. 太原组灰岩含水层

该含水层主要位于太原组中段，以二段(C_3t^2)所夹几层生物碎屑灰岩(K_4-K_2)为主，灰岩累计厚度平均 18 m，其中 K_2 灰岩岩溶发育且沉积稳定。通过分析计算，太灰水压 0~2 MPa，单位涌水量 0.011 5~1.471 L/(s·m)，渗透系数为 0.102 7~9.840 5 m/d，水化学类型以 HCO_3-Na 型为主，矿化度 0.834~1.028 g/L。

b. 奥灰峰峰组岩溶裂隙含水层

该含水层以二段(O_2f^2)灰岩为主，厚度一般为 20~50 m，平均厚度 29 m。单位涌水量 0.001 9~0.127 L/(s·m)，渗透系数 0.042~1.921 m/d。水化学类型以 HCO_3-SO_4-Na 型为主，矿化度 0.903~2.218 g/L。

3 基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法

利用 GIS 强大的空间信息处理能力^[1]，对图形信息进行量化；运用 AHP 对各因素进行评价^[2]，计算出各因素对总目标的影响权重。再应用 GIS 的空间复合叠加功能对 AHP 的计算结果进行处理。

层次分析法(Analytical Hierarchy Process)简称 AHP^[3]，对于存在不确定因素及一些主观信息的问题有很强的优势。煤层底板突水问题具有控制因素多、条件不精确的特点，运用 AHP 能够对控制突水的因素全面分析，然后综合各种因素的影响，对煤层底板突水作出合理评价。

本文层次分析法步骤包括：建立层次分析模型；分层次构造判断矩阵；层次单排序及一致性检验；层次总排序及一致性检验。

3.1 2 号煤层底板太灰突水主控因素的确定

根据对区内地质及水文地质条件等方面的研究和突水因素分析，确定 2 号煤层底板太灰含水层突水危险性评价的主控因素有 8 个：太原组灰岩含水层水压；太原组灰岩含水层富水性；有效隔水层等效厚度；矿压破坏带下脆性岩层厚度；陷落柱分布；断层与褶皱的分布；断层规模指数；断层与褶皱交点和端点的分布。

3.2 2 号煤底板太灰突水脆弱性评价专题图建立

利用李雅庄煤矿 2 号煤层底板太灰突水主控因素原始数据进行插值计算处理，进而生成数据库，建立各主控因素专题图。

3.3 属性数据库的建立

利用 GIS 对空间数据的管理功能，将主控因素的属性数据(量化值)输入到计算机中生成属性数据库，并建立图形与属性数据库之间的关系。各个主控因素的专题图和它们各自的属性数据表是进行底板脆弱性评价的基础，属性数据库的建立，便于各主控因素专题图复合叠加、数据的统计和查询。

3.4 层次分析法(AHP)模型设计

a. 建立层及结构分析模型

根据影响底板突水的主要控制因素，将研究对象划分为 3 个层次。底板突水脆弱性评价是这一问题的最终目的^[4]，作为模型的目标层(A 层次)；承压含水层、底板隔水层、地质构造决定了突水的可能性，但其影响方式还需通过与其相关的具体因素来体现，是解决问题的中间环节，亦即模型的准则层(B 层次)；各个具体的主控因素指标构成了本模型的决策层(C 层次)。通过对该层次问题的决策，即可最终达到求解的目标(图 1)。

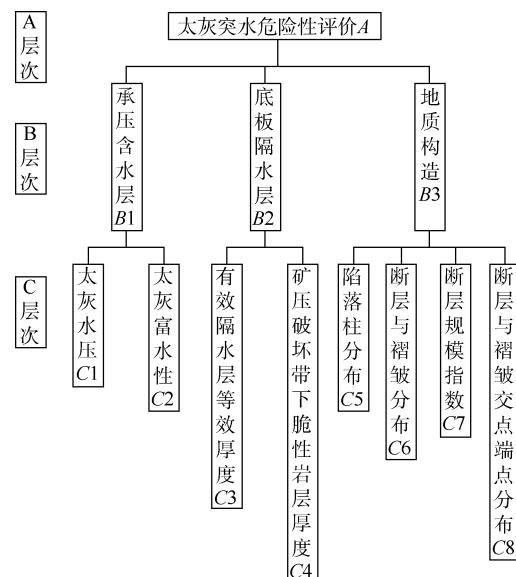


图 1 层次分析法模型设计图

Fig. 1 AHP model design

b. 构造判断矩阵

运用“征集专家评分”的方法，对每个突水因素所起作用的大小进行相对重要性评价，给出每个因素的量化分值，根据最后累计得分情况，进行各因素间的总分比较，形成专家对各影响因素的评判集，由此构建该区 2 号煤层的底板突水 AHP 评价的判断矩阵(表 1—表 4)。

c. 层次总排序

各指标 C_i 对总目标的权重(表 5)，即指标层各指标 C_i 经过 B_i 层对目标层 A 的权重结果，符号 A/C_i

表1 判断矩阵 $A-B_i$ ($i=1,2,3$)Table 1 Judgment matrix $A-B_i$ ($i=1,2,3$)

A	B_1	B_2	B_3	W
B_1	1	1	1	0.333 3
B_2	1	1	1	0.333 3
B_3	1	1	1	0.333 3

$\lambda_{\max}=3.053 6$, $CI_1=0.026 8$, $RI_1=0.58$, $CR=0.046 2$

表2 判断矩阵 B_1-C_i ($i=1,2$)Table 2 Judgment matrix B_1-C_i ($i=1,2$)

B_1	C_1	C_2	W
C_1	1	2	0.666 7
C_2	1/2	1	0.333 3

$\lambda_{\max}=2$, $CI_{21}=0$, $RI_{21}=0$, $CR=0$

表3 判断矩阵 B_2-C_i ($i=3,4$)Table 3 Judgment matrix B_2-C_i ($i=3,4$)

B_2	C_3	C_4	W
C_3	1	3	0.75
C_4	1/3	1	0.25

$\lambda_{\max}=2$, $CI_{22}=0$, $CR_{22}=0$, $RI=0$, $CR=0$

表4 判断矩阵 B_3-C_i ($i=5-8$)Table 4 Judgment matrix B_3-C_i ($i=5-8$)

B_3	C_5	C_6	C_7	C_8	W
C_5	1	2	3	4	0.449 1
C_6	1/2	1	3	4	0.318 2
C_7	1/3	1/3	1	3	0.155 3
C_8	1/4	1/4	1/3	1	0.077 5

$\lambda_{\max}=4.144 0$, $CI_{23}=0.004 8$, $RI_{23}=0.9$, $CR=0.053 3$

表5 各指标对总目标的权重

Table 5 The weight for each index of the total target

	$B_1/0.333 3$	$B_2/0.333 3$	$B_3/0.333 4$	$W_{A/Ci}$
C_1	0.666 7			0.222 2
C_2	0.333 3			0.111 1
C_3		0.75		0.250 0
C_4		0.25		0.083 3
C_5		0.449 1		0.149 7
C_6		0.318 2		0.106 1
C_7		0.155 3		0.051 8
C_8		0.077 5		0.025 8

表示各指标 C_i 相对于总目标 A , $W_{A/Ci}$ 为各指标 C_i 对总目标 A 的权重。

$W_{A/Ci}$ 则作为最终决策依据, 从而确定 8 个影响煤层底板突水的主要控制因素的权重值(表 6)。

3.5 脆弱性指数法评价的工作方法

a. 数据归一化 为了消除主控因素不同量纲的数据对评价结果的影响, 需要对数据进行归一化处理, 归一化的目的是相对化, 使数据具有可比性、

表6 影响底板突水各主控因素的权重

Table 6 The weight of the major influence factors controlling water inrush in floor

影响因素	权重 W_i	影响因素	权重 W_i
含水层水压 W_1	0.222 2	陷落柱 W_5	0.149 7
含水层富水性 W_2	0.111 1	断层褶皱分布 W_6	0.106 1
有效隔水层等效厚度 W_3	0.250 0	断层规模指数 W_7	0.051 8
隔水层脆性岩层厚度 W_4	0.083 3	构造交点和端点分布 W_8	0.025 8

有统计意义, 便于系统分析^[5]。

b. 单因素归一化专题图 单因素数据经过归一化处理后, 即可建立各单因素属性数据库。运用 GIS 处理归一化数据, 编制各单因素归一化专题图。

c. 专题图叠加过程 在进行多因素拟合分析之前, 首先必须进行复合叠加处理, 把各个有关因素的信息存储层复合成一个信息存储层, 使所生成的信息存储层中包含所有相关因素的信息。复合叠加处理就是把各单因素消除量纲后的归一化专题图, 配准合成一个新的图形, 并重建拓扑形成新的拓扑关系属性表。

d. 模型的建立 建立煤层底板突水脆弱性模型, 实际上就是建立一个表明各影响因素作用的数学模型, 此模型所得出的计算值能反映出某一地理位置煤层底板突水的危险程度。初始模型的建立必须以地质条件分析、突水因素分析及各因素对突水的贡献机理为基础。

为此引入脆弱性指数 VI (Vulnerability Index)的初始模型来对煤层底板突水脆弱性进行评价。

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

式中 VI 为脆弱性指数; W_k 为影响因素权重; $f_k(x, y)$ 为单因素影响值函数; x, y 为地理坐标; n 为影响因素的个数。

在煤层底板突水脆弱性评价中, $f_k(x, y)$ 是第 k 个主控因素量化值的归一化值。

李雅庄煤矿 2 号煤层底板太灰突水脆弱性评价中各影响因素权重值见表 6。由此得出李雅庄煤矿 2 号煤层底板太灰含水层突水脆弱性评价模型公式为:

$$\begin{aligned} VI &= \sum_{k=1}^n W_k \cdot f_k(x, y) \\ &= 0.222 2f_1(x, y) + 0.111 1f_2(x, y) + 0.250 0f_3(x, y) + \\ &\quad 0.083 3f_4(x, y) + 0.149 7f_5(x, y) + 0.106 1f_6(x, y) + \\ &\quad 0.051 8f_7(x, y) + 0.025 8f_8(x, y) \end{aligned}$$

e. 煤层底板突水脆弱性评价分区 对井田范围内 2 号煤底板太灰突水脆弱性指数值进行统计分析, 编制其频数统计图。然后, 运用分级地图上常

用的 Natural Breaks(Jenks)(自然分级法)对其进行分级。自然分级法又名最佳差异度法(GVF)，将需要分级的脆弱性指数的出现频数作为研究对象，通过这些数据的统计学意义来确定分级，即基于数据内部的内在联系进行自然分组。此法的目的就是求得一种最佳的分级，使得每级组内差异最小，组间差异最大。

通过自然分级法对底板脆弱性指数进行处理，可以得到最佳的五级分级结果。各级阈值分别为 0.27、0.37、0.46、0.54。脆弱性指数越大，突水的可能性也就越大。

根据分级阈值将研究区域划分为五个区域：
 $VI > 0.54$ 为煤层底板突水脆弱区； $0.46 < VI \leq 0.54$ 为煤层底板突水较脆弱区； $0.37 < VI \leq 0.46$ 为煤层底板突水过渡区； $0.27 < VI \leq 0.37$ 为煤层底板突水较安全区； $VI \leq 0.27$ 为煤层底板突水相对安全区。

通过对 2 号煤层底板各个因素的综合分析，编制 2 号煤层底板太灰突水脆弱性评价成果图(图 2)。从中可以看出：过渡区分布中东部，有效隔水层等效厚度偏小(14.5~24.5 m)，易造成底板承压水涌入；较脆弱区分布在东部以及过渡区内构造发育区，这些区域太灰含水层水压较大(1.65~2.25 MPa)，有效隔水层等效厚度相对较薄(14.5~19.5 m)，矿压破坏带下脆性岩层厚度减小(3.5~9.5 m)；以 LK9、L-70 钻孔附近，太灰含水层水压较大(2.25 ~ 2.85 MPa)，富水性也较强(1.15~1.471 L/(s·m))，而有效隔水层等效厚度较小(10.5~14.5 m)，突水脆弱性比周围区域高，为脆弱区。

4 结 论

a. 通过 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法对李雅庄矿 2 号煤层底板太灰突水情况综合分析与评价，圈定了 LK5 钻孔以东地区有效隔水层等效厚度较薄，易造成底板承压水涌入，属过渡区；LK9、L-70 钻孔附近有效隔水层等效厚度偏小，太灰含水层水

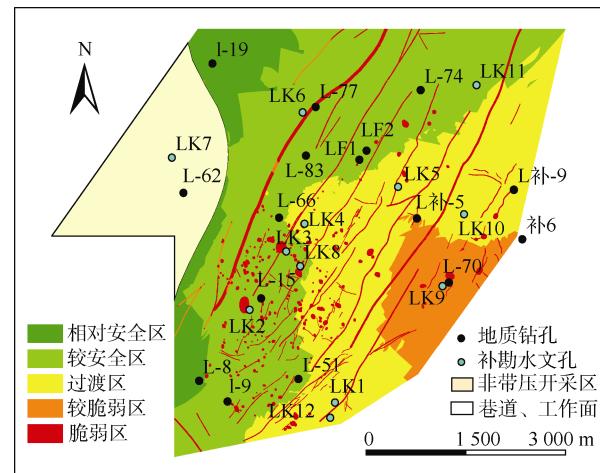


图 2 2号煤层底板太灰突水脆弱性评价图
Fig. 2 Vulnerability evaluation of water inrush from floor of seam No 2

压却较大，属脆弱区；中西部地区有效隔水层等效厚度相对较大，富水性较弱，属相对安全区。

b. 脆弱性指数法评价结果具有缓慢变化的趋势。相对于传统突水系数法仅考虑两个因素，脆弱性指数法则考虑更全面，其结果更为实际、可靠。

参考文献

- [1] 王玉芹. 煤层底板突水机理分析与预测分区[J]. 煤炭科技 , 2000(2) : 16-17.
 - [2] 武强 , 张志龙 , 张生元 , 等. 煤层底板突水评价的新型实用方法 : 脆弱性指数法 [J]. 煤炭学报 , 2007 , 32(11) : 1121-1126.
 - [3] 武强 , 王金华 , 刘东海 , 等. 煤层底板突水评价的新型实用方法 : 基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法应用 [J]. 煤炭学报 , 2009 , 34(2) : 233-238.
 - [4] 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]. 中国煤炭地质 , 2010 , 36(6) : 15-19.
 - [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 : 基于 GIS 的 ANN 型脆弱性指数法应用 [J]. 煤炭学报 , 2007 , 32(12) : 1301-1306.