

## 下组煤层底板奥灰突水脆弱性评价分析

王 飞

(山西保利合盛煤业有限公司, 山西 灵石 031300)

**摘 要:** 为解决保利合盛煤业公司某矿带压开采过程中, 面临下组煤层底板奥灰突水的潜在威胁问题, 通过对矿井煤层地质条件和水文地质条件的分析, 确定选取影响下组煤层底板奥灰突水脆弱性评价的 9 个因素作为主控因素, 应用 GIS 对主控因素数据进行采集并归入化处理, 建立主控因素图层, 然后运用层次分析法(AHP) 确定各主控因素的权重比例后, 对指数进行频率直方图统计分析, 按照相应的阈值将矿井划分成突水安全区、较安全区、过渡区、较脆弱区和脆弱区等 5 个区域。研究结果表明: 在矿区范围内 10 号、11 号煤层底板奥灰突水区域呈西向东由较安全区、过渡区过渡至较脆弱区, 局部构造区域为突水脆弱区。

**关键词:** 煤层底板; 突水系数法; 脆弱性指数法; GIS; AHP 法

中图分类号: TD745

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2014)04-0097-04

### Evaluation Analysis on Floor Water Inrush Vulnerability of Ordovician Limestone in Down Group Seams

WANG Fei

(Shanxi Poly Hesheng Coal Industry Company Limited, Lingshi 031300, China)

**Abstract:** In order to solve the potential danger problem of the water inrush from the Ordovician limestone in the down group seam floor during the pressurized coal mining process in a mine of Poly Hesheng Coal Industry Company Limited, with the analysis on the geological condition and hydraulically condition of the seams in the mine, there were nine factors affected to the vulnerability evaluation of the water inrush from the Ordovician limestone in the down group seam floor determined and selected as the main control factors. GIS was applied to establish a subplot figure layer after the classification treatment conducted on the data of the main control factors. Then the AHP method was applied to determine the weighting proportion of each main control factor and then a statistic analysis of the frequency histogram was conducted on the data. According to the relevant threshold value, the mine was divided into a water inrush safety area, quite safety area, transition area, quite vulnerable area and vulnerable area. The study results showed that in the scope of the mining area, the water inrush area from the Ordovician limestone in the combined seam floor of No. 10 seam and No. 11 seam would be a quite safety area from west to east, the transition area to the quite vulnerable area and the local structure area would be a water inrush vulnerable area.

**Key words:** seam floor; water inrush coefficient method; vulnerability index method; GIS; AHP method

## 0 引 言

我国煤矿地质、水文地质条件十分复杂, 受水害威胁的煤炭储量约占探明储量的 27%, 仅华北地区受底板承压水威胁的煤炭储量就达 160 亿 t。由此可见, 煤矿水害已成为影响煤炭安全生产的重大问题之一, 对其进行防治具有重要意义。我国在 20 世

纪 60 年代初期才开始在焦作、峰峰、淄博等矿区开始研究矿井底板突水课题, 主要形成了突水系数法为理论进行的评价方法; 尽管后来不断改进修正, 但由于是已知突水资料的经验统计值, 并且主要反映的是断裂薄弱带的突水条件, 用其来预测正常块段的底板突水通常偏于保守, 对预测深部开采具有束缚和限制作用, 这就为煤层底板突水研究提出了更

收稿日期: 2013-12-03; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.04.025

作者简介: 王 飞(1981—), 男, 山西大同人, 硕士, 工程师, 国家注册安全工程师。Tel: 15935630247 E-mail: wangf010@sohu.com

引用格式: 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.

高更迫切的要求。武强早在20世纪90年代末就致力于煤层底板突水研究,提出了脆弱性指数评价法<sup>[1-5]</sup>,并且得到全国很多矿井的现场验证<sup>[6-10]</sup>,取得了很好的应用效果。正是在这种背景下,为解决保利能源某矿下组煤(10+11号合并煤)煤层带压开采突水威胁,应用脆弱性指数评价法对下组煤层奥灰突水脆弱性进行评价,为矿井水防治提出相应的对策措施与建议。

## 1 矿井概况

保利合盛煤业有限公司某煤矿位于山西省灵石县,属霍西煤田。井田位于阳泉曲—汾西盆状复向斜的北部偏东,井田内总体构造为一开阔的背、向斜构造,中南部为背斜构造,北部为向斜构造,轴向走向近东西,背斜的北翼为向斜的南翼,倾向NE,倾角 $5^{\circ}$ ,而南翼倾向SE,倾角达 $8^{\circ}$ 左右,北部向斜北翼地层倾向SE,倾角 $5^{\circ}$ 。井田的发育1条向斜及1条背斜,2条正断层及3个滑坡,矿井在开拓中揭露有50余条断层,大多为断距较小的正断层。该煤矿处于郭庄泉岩溶水系统的径流区,井田中TX<sub>3</sub>孔揭示奥陶统(O<sub>2</sub>)峰峰组岩溶水位标高+535.78 m,10、11号合并煤层至底板奥陶系峰峰组灰岩平均距离26.43 m,该矿下组煤都在岩溶水位下,属带压开采。

## 2 脆弱性指数法评价模型的建立和应用

脆弱性指数法是将可确定底板突水多种主控因素权重系数的信息融合方法,与具有强大空间信息分析处理功能的地理信息系统(GIS)耦合于一体的煤层底板突水评价预测方法。层次分析法(Analytic Hierarchy Process,简称AHP法)是将评价系统有关

方案的各要素分解成若干层次,以上一层要求为准则,对同一层次的要素进行两两的判断比较和计算,求出各要素的权重。根据综合权重按最大权重原则确定最优方案。

### 2.1 主控因素确定及分析

通过对现有地质条件、水文地质条件及生产经验资料的研究和对突水因素的分析,主要选取9个因素作为下组煤层奥灰突水脆弱性评价的主控因素:①奥陶系峰峰组含水层水压;②奥陶系峰峰组含水层富水性;③有效隔水层等效厚度;④矿压破坏带以下脆性岩的厚度;⑤含水层顶部的古风化壳厚度;⑥断层褶皱的分布;⑦断层褶皱交点和端点的分布;⑧断层规模指数;⑨矿压破坏带深度。

### 2.2 主控因素指标量化及专题图建立

通过收集资料,对9个主控因素指标进行了量化分析。有2个能够直接量化的可根据其对应指标值进行量化,利用GIS将数据进行插值分析生成等值线分布图,建立对应主控因素图。其余7个主控因素不能直接量化,应根据其特征分析对突水的影响,按照一定规则进行量化分析,然后利用GIS将其分布及属性表达出来,生成对应主控因素图(图1)。

### 2.3 各主控因素影响权重确定的AHP法

1) 建立层次结构模型。根据影响底板突水主控因素分析,将研究对象划分为3个递阶层次(图2)。底板突水脆弱性评价模型由目标层(A层次)、准则层(B层次)和决策层(C层次)组成;其中准则层中,承压含水层( $B_1$ )、底板隔水层( $B_2$ )、地质构造( $B_3$ )、矿压破坏带( $B_4$ )决定了突水的可能性,但其影响方式需通过与其相关的具体主控因素来体现,各具体主控因素指标构成了本模型的决策层(C层

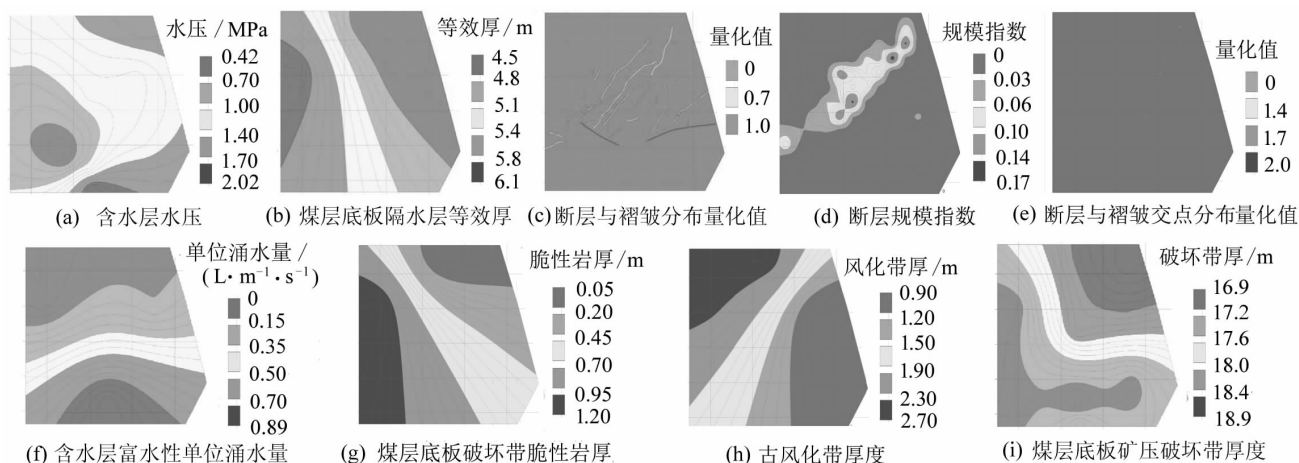


图1 底板突水的各主控因素专题

次) 通过对该层次问题的决策, 即可最终达到所要求解的目标, 也就是决策层各主控因素在煤层底板突水脆弱性评价目标层中的影响权重。

2) 构造比较判断矩阵。递阶层次结构模型建立后, 上下层次元素之间的隶属关系就确定了。在底板突水脆弱性评价这一目标下, 构造各准则层中的  $B_i$  (其中  $i=1, 2, \dots, 4$ ) 与目标层  $A$  的两两比较判断矩阵 ( $A \sim B_i$ ) 及特征向量。运用 MATLAB 强大的计算功能计算判断矩阵各因素的权重, 进而进行层次排序及一致性检验。

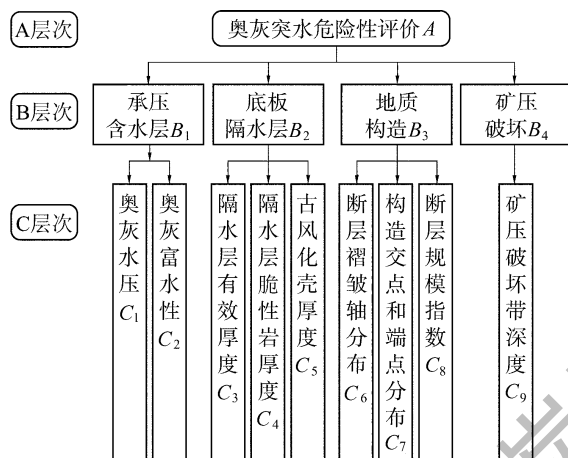


图2 煤层底板突水脆弱性评价层次分析结构模型

在准则层下, 构造准则层 (B) 与决策层 (C) 两两比较判断矩阵 ( $B_i \sim C$ ), 求出最大特征根及特征向量。B 准则层对下一层次元素  $C_j$  (其中  $j=1, 2, \dots, 9$ ) 有支配关系, 目的是在准则层中各  $B_i$  按各自相对重要性赋予  $C_1, C_2, \dots, C_9$  相应的权重。赋予权重所用的是两两比较方法, 即可得到 9 个评价因素之间的两两比较的相对值的判断矩阵  $B_i \sim (C_{jk})_{9 \times 9}$  (其中  $k=1, 2, \dots, 9$ ) 和特征向量, 并进行一致性检验, 如果不满足, 则重新建立判断矩阵。

为得到层次结构的最低层中 9 个元素 ( $C_j$ ) 与总目标评价指标 ( $A$ ) 的相对权重, 需要把上述前 2 步计算结果进行组合并得出权重特征向量  $W_k (A/C_j)$ , 并进行总的判断一致性检验。

3) 确定主控因素的权重。通过判断矩阵计算与分析, 最终确定 9 个主控因素的影响权重: 含水层水压  $W_1 = 0.196\ 92$ , 含水层富水性  $W_2 = 0.098\ 46$ , 有效隔水层等效厚度  $W_3 = 0.223\ 58$ , 隔水层脆性岩厚度  $W_4 = 0.074\ 53$ , 古风化壳厚度  $W_5 = 0.074\ 53$ , 断层褶皱分布  $W_6 = 0.155\ 71$ , 构造交点和端点分布  $W_7 = 0.047\ 15$ , 断层规模  $W_8 = 0.042\ 86$ , 矿压破坏带

深度  $W_9 = 0.086\ 26$ 。

## 2.4 煤层底板突水脆弱性评价分区

### 2.4.1 数据归一化

为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后, 即可建立各单因素属性数据库。

### 2.4.2 脆弱性模型的建立

根据计算得出下组煤层奥灰突水脆弱性评价模型, 即

$$VI = \sum_{k=1}^9 W_k f_k(X, Y) = 0.196\ 92 f_1(X, Y) + 0.098\ 46 f_2(X, Y) + 0.223\ 58 f_3(X, Y) + 0.074\ 53 f_4(X, Y) + 0.074\ 53 f_5(X, Y) + 0.155\ 71 f_6(X, Y) + 0.047\ 15 f_7(X, Y) + 0.042\ 86 f_8(X, Y) + 0.086\ 26 f_9(X, Y) \quad (1)$$

式中:  $VI$  为脆弱性指数;  $W_k$  为各影响因素权重;  $f_k(X, Y)$  为单因素影响值函数,  $X, Y$  为北京五四大地坐标系。

### 2.4.3 煤层底板突水脆弱性评价分区

根据评价模型, 对所有区块内脆弱性指数进行频率直方图统计分析, 从而确定分区阈值分别为 0.24、0.36、0.48、0.60, 如图 3 所示。根据分区阈值将研究区域划分为 5 个区域: ①  $VI > 0.60$  时, 煤层底板突水为脆弱区 (I 区); ②  $0.48 < VI \leq 0.60$  时, 煤层底板突水较脆弱区 (II 区); ③  $0.36 < VI \leq 0.48$  时, 煤层底板突水为过渡区 (III 区); ④  $0.24 < VI \leq 0.36$  时, 煤层底板突水较安全区 (IV 区); ⑤  $VI \leq 0.24$  时, 煤层底板突水相对安全区 (V 区)。

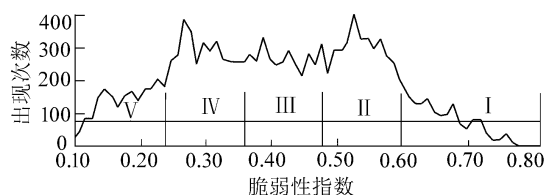


图3 不同区域脆性指数分布

脆弱性指数越大, 突水的可能性也就越大。根据上面分析结果, 得出下组煤层底板奥灰突水脆弱性评价结果 (图 4)。

### 2.4.4 脆弱性评价结果分析

从图 4 可知, 矿区范围内整体呈南北条带状, 共分为西部浅色区、中西部浅白色区、东部较深色区和东南部及地质构造分布区域深色区等区域。

结合图 1 数据分析, ①在矿区西部浅色区域内, 即钻孔 TX<sub>3</sub> 的西南部, 该区域 10 + 11 号煤层底板有

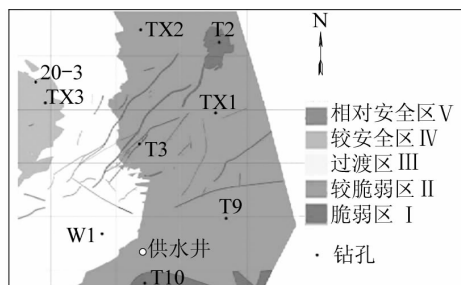


图4 10+11号合并煤层突水脆弱性评价

效隔水层等效厚度相对较厚(5.80~6.10 m),隔水层承受奥灰水压较小(0.42~0.70 MPa);矿压破坏带发育深度相对较小(16.93~17.20 m),古风化壳、富水性影响不甚显著,总体导致奥灰水突水的可能性不大,属较安全区。②在矿区中西部的浅白色区域内,奥灰水压力几乎没有发生变化(1.0~1.4 MPa),但古风化壳从西向东逐渐变薄(0.9~1.9 m),底板有效隔水层厚度逐步减小(4.8~5.8 m),富水性影响不甚显著,综合分析将此区域划分为较安全区到较脆弱区的过渡区。③在矿区东部较深色区域内,隔水层承受水压较大(1.00~2.02 MPa),尤其是在矿区的东南和东北两区域隔水层承受水压较大,有效隔水层等效厚度也相对较薄(4.5~5.1 m),脆弱性岩厚度也相应减小为0.05~0.45 m,古风化壳有效厚度也相应减小为0.9~1.5 m,导致此区域处于有发生突水可能性的较脆弱区。④在矿区东南部和钻孔、断层和褶皱等构造的深色区域内,由于这些构造的存在破坏了隔水地层的连续性,它们可能会作为导水通道直接或间接把奥灰水引入工作面造成严重后果,故确定为脆弱区。

### 3 结 论

1) 通过对地质条件和水文地质条件等资料的分析,确定出影响下组煤层底板奥灰突水的主要控制因素:奥陶系峰峰组含水层水压、奥陶系峰峰组含水层富水性、有效隔水层等效厚度、矿压破坏带以下脆性岩的厚度、含水层顶部的古风化壳厚度、断层褶皱的分布、断层褶皱交点和端点的分布、断层规模指数、矿压破坏带深度。利用层次分析法确定出对应各主控因素的权重。

2) 建立了下组煤层底板奥灰突水的脆弱性评价模型,统一确定了底板奥灰突水脆弱性分区阈值;通过拟合验证,得出10+11号煤层底板奥灰突水脆弱性评价分区图,并确立了矿井突水威胁的相对安全区、较安全区、过渡区、较脆弱区和脆弱区等区域。

3) 通过评价结果分析,建议采掘施工前必须做好水害预测预报工作,坚持“预测预报、有掘必探、先探后掘、先治后采”的原则,做好水害排查制度,加强日常管理工作,完善矿井现有排水系统;利用物探、钻探等手段查明构造具体富水性,进一步完善地下水动态观测网等,特别是在接近构造等区域时,要引起高度重视和采取必要措施。

### 参考文献:

- [1] 武强,张志龙,马积福.煤层底板突水评价的新型实用方法I:主控指标体系的建设[J].煤炭学报,2007,32(1):42-47.
- [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II:脆弱性指数法[J].煤炭学报,2007,32(11):1121-1126.
- [3] 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,2007,32(12):1301-1306.
- [4] 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.
- [5] 武强,庞炜,戴迎春.等.煤层底板突水脆弱性评价的GIS与ANN耦合技术[J].煤炭学报,2006,31(3):314-319.
- [6] 李沛涛,武强,崔芳朋.等.煤层底板突水定量预测评价研究[J].煤炭科学技术,2011,39(10):121-124.
- [7] 武强,杨柳,朱斌.等.“脆弱性指数法”在赵各庄矿底板突水评价中的应用[J].中国煤炭地质,2009,21(6):40-44.
- [8] 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):16-22.
- [9] 武强,王志强,赵增敏.等.油气田区承压含水层地下水污染机理及其脆弱性评价[J].水利学报,2006,37(7):851-857.
- [10] 王凌鹤,李进朋,王建忠.脆弱性指数法在沙曲矿上组煤突水性预测评价中的应用[J].中国煤炭,2011,37(8):42-45.

### (上接第91页)

- [10] 刘天放,陈斌,付金生.地震反射煤厚的谱距法及其应用[C]//煤田地球物理岩性勘探技术文集.北京:煤炭工业出版社,1996:147-151.
- [11] 戚敬华.由地震剖面直接反演煤层厚度的方法[C]//煤田地球物理岩性勘探技术文集.北京:煤炭工业出版社,1996:126-134.
- [12] 程增庆,吴奕峰,赵忠清.等.地震反射波定量解释煤层厚度的方法[J].地球物理学报,1991,34(5):657-663.
- [13] 董守华,马彦良,周明.煤层厚度与振幅、频率地震属性的正演模拟[J].中国矿业大学学报,2004,33(1):32-35.
- [14] 赵海波,王秀明,王东.等.完全匹配层吸收边界在孔隙介质弹性波模拟中的应用[J].地球物理学报,2007,50(1):581-591.
- [15] 戴国强,余震虹,高磊.等.时域有限差分方法的研究[J].现代电子技术,2013(1):140-143.
- [16] 孙成禹,宫同举,张玉亮.等.波动方程有限差分法中的频散与假频分析[J].石油地球物理勘探,2009,44(1):43-48.