

脆弱性指数法在百色煤矿突水危险性评价中的应用

陈智¹, 朱斌¹, 李本召², 高峰¹

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004; 2. 河南省有色金属地质矿产局第五地质大队, 河南 郑州 450042)

摘要: 为了对煤田矿井所受突水威胁作出科学合理的评价, 以广西百色煤田右江矿务局为例, 在详细分析研究区水文地质特征的基础上, 确定了影响矿井突水的 8 个主控因素, 运用层次分析法在处理存在不确定因素或一些主观信息问题方面的优势并利用 GIS 的强大空间信息处理和分析功能, 采用基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法对研究区内矿井突水脆弱性进行了评价。

关键词: 矿井突水; GIS; AHP; 脆弱性指数; 百色煤矿; 广西省

中图分类号: TD745

文献标识码: B

0 引言

百色煤田右江矿务局目前是广西最大的褐煤生产基地, 近几年来, 随着煤矿开采深度的不断增加, 被开拓的煤田水文地质条件越来越复杂, 突水的潜在危险性也随之加大。因此应用科学有效研究方法对右江矿务局各矿区的煤矿突水脆弱性进行研究和评价预测, 进而制定有效的防治水措施, 对于保证各矿井的安全生产、防范煤矿建设重特大突水事故的再次发生以及提高矿井经济效益具有重要意义。

脆弱性指数法真实地描述了煤层底板突水的矿井水文地质物理概念模型, 并突破煤层底板突水评价传统的突水系数法仅能考虑 2 个控制因素且无影响“权重”概念等重大缺陷的束缚, 能够反映煤层底板突水在各个主控因素的综合影响下的复杂的非线性突水过程机理, 是一种能将可确定底板突水多种主控因素权重系数的信息融合与具有强大空间信息分析处理功能的 GIS 耦合于一体的煤层底板水害评价方法^[1,2]。

1 研究区概况

研究区为广西百色煤田右江矿务局所辖各矿区

所在地, 位于百色盆地内。矿区内大部分属平原地带, 呈阶地形分布, 属亚热带季风气候, 年降水量为 1 172.3 mm, 右江河自西向东从研究区穿过, 年最大流量达 2 760 m³/s, 是对各矿区有直接影响的主要水系。研究区呈狭长形分布于田东县和田阳县范围内, 面积约 930 km²。其主要矿区有 23 个, 目前已投入生产建设的矿区 13 个, 筹建中的矿区有 10 个。

研究区域内大部分属平原地带, 呈阶地形分布, 地表主要为第四纪河床冲积层所覆盖。桂西“北西向构造带”为其主要地质构造背景, 它以三叠系为基地、呈 NWW—SEE 向不对称的古近纪内陆断拗向斜构造盆地, 盆地内沉积了厚度大于 3 400 m 的古近纪内陆湖-沼泽相地层, 盆地四周大多为中三叠世地层所环抱。

在这一构造背景下, 盆地沿轴向自西向东发育百色凹陷-四塘凸起-田阳凹陷-那百凸起(濠鄂凸起)及田东凹陷 5 个构造单元, 凹陷与凸起之间多以 NE 向断裂分割, 仅那百凸起与田东凹陷为渐变关系(图 1)。

区内大小断裂构造 38 条, 主要发育 NWW, NE, EW 向 3 组, 以位于向斜东北翼的 NWW 向断

* 收稿日期: 2012-03-29; 修订日期: 2012-05-10; 编辑: 曹丽丽

作者简介: 陈智(1985—), 男, 广西玉林人, 硕士研究生, 研究方向为地质工程; E-mail: 360030018@qq.com。

裂最为发育,代表性断层有 F9,F10,属张性正断裂,长度分别为 50.0 km,90.0 km,断距达 400.0~800.0 m。

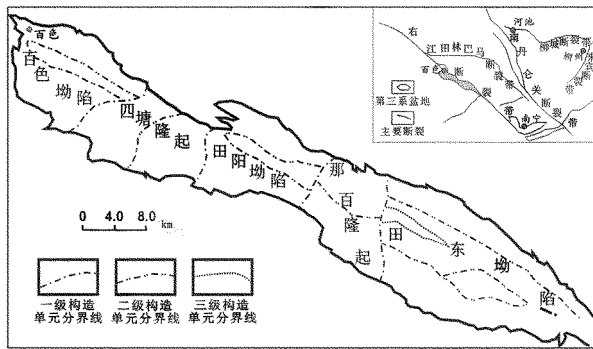


图 1 研究区构造略图

2 基于 GIS 的 AHP 型脆弱性指数法简述

基于地理信息系统(GIS)的层次分析法(AHP)型脆弱性指数法是在实际应用中发展起来的,也是现代综合评价技术发展的结果。它在地学研究领域的应用,使许多复杂问题能够在定性和定量的条件下得到很好的解决,其方法的基本思路^[3-5]:

(1)利用 GIS 软件(ArcGIS)采集、编辑、数据转换、概化及计算等基本功能对空间信息进行处理,建立 GIS 的空间数据库和属性数据库。

(2)建立层次结构模型,确定决策层的因素数量,构造判断矩阵,计算各因素对目标层的权重。

(3)最终结果用 GIS 的显示及制图功能表达,并用 GIS 的数据库存储。

3 研究区矿井突水脆弱性评价

3.1 矿井突水主控因素的确定

合理地选择影响矿井突水的主控因素,对于准确地建立层次分析法模型和得到评价结果起到至关重要的作用。研究表明,含煤地层砂岩含水层主要为含有透镜体的砂岩裂隙强含水层;断裂构造的发育、砂岩裂隙含水层富水性、导水性以及砂岩含水层之间的水力联系对煤井突水起了至关重要的作用;矿区附近老窑的分布及流经矿区的河流对矿井突水方面存在着巨大的隐患。根据以上考虑的情况综合分析选取以下 8 个因素作为研究区矿井突水预测的主控因素:含煤地层砂岩透镜体厚度;含煤地层砂岩

透镜体富水性;含煤地层砂岩透镜体导水性;断层分布密度;断层交点和端点的分布;断层规模指数;矿区周边老窑的分布范围;右江分布。

3.2 主控因素专题图的建立

(1)含煤地层砂岩透镜体的厚度。由于砂岩透镜体所含裂隙水补给条件差,为水量贫乏的含水层,对井巷的补给以静储量为主,因此含煤地层中砂岩透镜体的厚度决定矿井突(渗)水的最直接水源的规模。根据收集到的各矿区砂岩含水层的平均厚度^{①②},构造出 Voronoi 图并建立数据库,生成含煤地层砂岩透镜体含水层厚度专题图(图 2a)^[6]。

(2)含煤地层砂岩透镜体的富水性。作为井巷突(渗)水最直接的水源,受裂隙发育程度和成岩效果影响的砂岩透镜体含水层的富水性对矿井突(渗)水及其水量大小具有重要的控制作用。根据收集到的各矿区含煤地层砂岩透镜体含水层的单位涌水量^{①②},按照上述方法构造出 Voronoi 图并建立数据库,在此基础上生成砂岩透镜体含水层单位涌水量专题图(图 2b)。

(3)含煤地层砂岩透镜体的导水性。含水层导水性与渗透系数密切相关,渗透系数可以定量地反映岩层的渗透性能,渗透系数越大表明岩层的透水能力越强,反映到矿井突水上就是突渗水发生的越迅猛。本研究中根据收集到的各矿区砂岩含水层渗透系数值^{①②},以此作为构造 Voronoi 图的质心点的量化值,生成了研究区含煤地层砂岩透镜体含水层导水性的专题图(图 2c)。

(4)断层分布密度。断层裂隙结构面发育的地方往往是矿井易于发生突水的薄弱地带,断层构造不仅可能成为煤矿突水的水源赋存点,而且通过对隔水层的破坏,还能成为导通强含水层的通道。按照 500 m×500 m 的范围在 ArcGIS 中将研究区进行单元剖分,统计单元网格内部发育的断层条数作为网格单元中心的量化值,在统计过程中,跨越多个网格的同一条断层分别统计入不同的网格单元内。以这些单元中心的量化数据为基础,绘制断层分布密度等直线图,并绘制断层分布密度专题图(图

① 广西壮族自治区第二地质队六分队,百色煤田田东探区初步勘探地质报告,1981年。

② 广西壮族自治区第二地质队六分队,广西百色田阳探区初步勘探地质报告,1982年。

2d)。

(5)断层端点和交点的分布。断层在空间和平面上的展布交叉形成了具有一定发育规律的尖灭点和交叉点,是地应力较为集中的地带。在断层与断层的交叉处、主干断层与分支断层的交接处以及断层的端点处,对隔水层的破坏程度更强,岩体裂隙发育,导水性能增强,成为突水点密集区,易引起突水。因此,断层端点和交点的分布密度同样对矿井突水产生重要的影响。按照 500 m×500 m 的范围将研究区进行单元剖分,统计单元网格内断层端点和交点的数量作为网格单元中心的量化值,生成断层端点和交点分布密度等直线后,绘制出分布密度专题图(图 2e)。

(6)断层规模指数。断层规模指数是指单位面积内所有断层的落差和长度乘积之和,断层规模指数能够综合反映断层的规模和发育程度,断层规模指数越大表明断层的规模越大,发育程度越好,对地层的切割破坏作用越强烈,该区域的矿井受突水威胁的程度也就越大。按照 500 m×500 m 的范围将研究区进行单元剖分,统计单元网格内各个断层的落差及对应的走向长度,计算其断层规模指数作为网格中心点的量化值,以此为基础绘制出断层规模指数等直线并绘制出断层规模指数专题图(图 2f)。

(7)矿区周边老窑的分布范围。矿区周边老窑的存在对矿井突水产生了巨大影响。在研究过程中,综合整理了有关老窑井口分布位置的资料图件,圈划出老窑井口分布范围,研究区内老窑开拓范围一般都在 200 m 以内,因此,在老窑井口分布范围的基础上向外沿扩大 200 m,并以每 100 m 做为一个缓冲带,在 ArcGIS 中分别对这 3 种区域赋值为 1, 0.5, 0.3,从而生成老窑分布专题图(图 2g)。

(8)右江分布。右江河水是老窑积水的一个重要来源,将对临近井巷产生突水威胁。根据收集到的图件资料,确定右江的流经范围,考虑到雨季洪水期到来后河水的上涨以及在确定右江流经范围时误差的存在,在制作专题图的过程中将右江分布范围分别向两岸扩大 100 m,并以每 50 m 作为一个缓冲带,在建立属性数据库时,分别赋值为 1, 0.7, 0.5;从而生成右江分布专题图(图 2h)。

3.3 脆弱性评价模型的建立

在以上分析制作的各主控因素的专题图基础上,利用 GIS 软件强大的功能对各主控因素进行属

性数据库的建立、量化值的归一化以及归一化专题图的叠加,并运用层次分析法得出了 8 个主控因素相对于矿井突水的权重值,分别为 $W_1=0.0056, W_2=0.0644, W_3=0.0246, W_4=0.0901, W_5=0.0568, W_6=0.0715, W_7=0.5340, W_8=0.1023$ 。由此可以得出研究区域煤矿突水脆弱性评价模型为:

$$VI = \sum_{k=1}^n W_k \cdot f_k(x, y) = 0.0056 f_1(x, y) + 0.0644 f_2(x, y) + 0.0246 f_3(x, y) + 0.0901 f_4(x, y) + 0.0568 f_5(x, y) + 0.0715 f_6(x, y) + 0.5340 f_7(x, y) + 0.1023 f_8(x, y) \quad (1)$$

式中:VI 为脆弱性指数; W_k 为主控因素权重; $f_k(x, y)$ 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。

3.4 煤矿突水脆弱性评价分区

应用脆弱性评价模型公式对数据库数据进行计算,得出矿区脆弱性指数值,统计分析做出矿井突水脆弱性指数累计统计直方图(图 3),从而确定出分区阈值为:0.06, 0.12, 0.23, 0.48。根据分区阈值将研究区域划分为 5 个区域(图 4)。

$VI > 0.48$	矿井突水脆弱区
$0.23 < VI < 0.48$	矿井突水较脆弱区
$0.12 < VI < 0.23$	矿井突水过渡区
$0.06 < VI < 0.12$	矿井突水较安全区
$VI < 0.06$	矿井突水安全区

从图 4 可以看出,脆弱区和较脆弱区主要分布于研究区的西部与东南角,断裂构造发育,断层密度大,断层规模指数大,含煤地层中砂岩含量高,富水性和导水能力强,有废弃老窑存在,且有右江河流经,在采掘过程中发生突水的可能性很大,因此在开采前,必须编制探放水设计,制定多种突水事故应急预案及具体防范措施。

较脆弱区主要分布于研究区北部边界沿线及右江流经区域,这些区域断层较发育,断层规模指数较大,含煤地层中砂岩含量较高,有右江河的流经,矿井涌水量较大,建议应加强渗水量的观测,特别是在降雨时和降雨后,及时观测井下涌水量变化情况,制定雨季防治水措施。

过渡区广泛分布于西北部以及右江流经区域,含煤地层砂岩透镜体含水层厚度较大,富水性及导水性大,存在突水可能,也应加强防范。

其余为较安全区和安全区,这些区域断层不发育,含煤地层砂岩含量较少,透镜体含水层的富水性和导水性较差,暂没有发现老窑的分布且距离右江

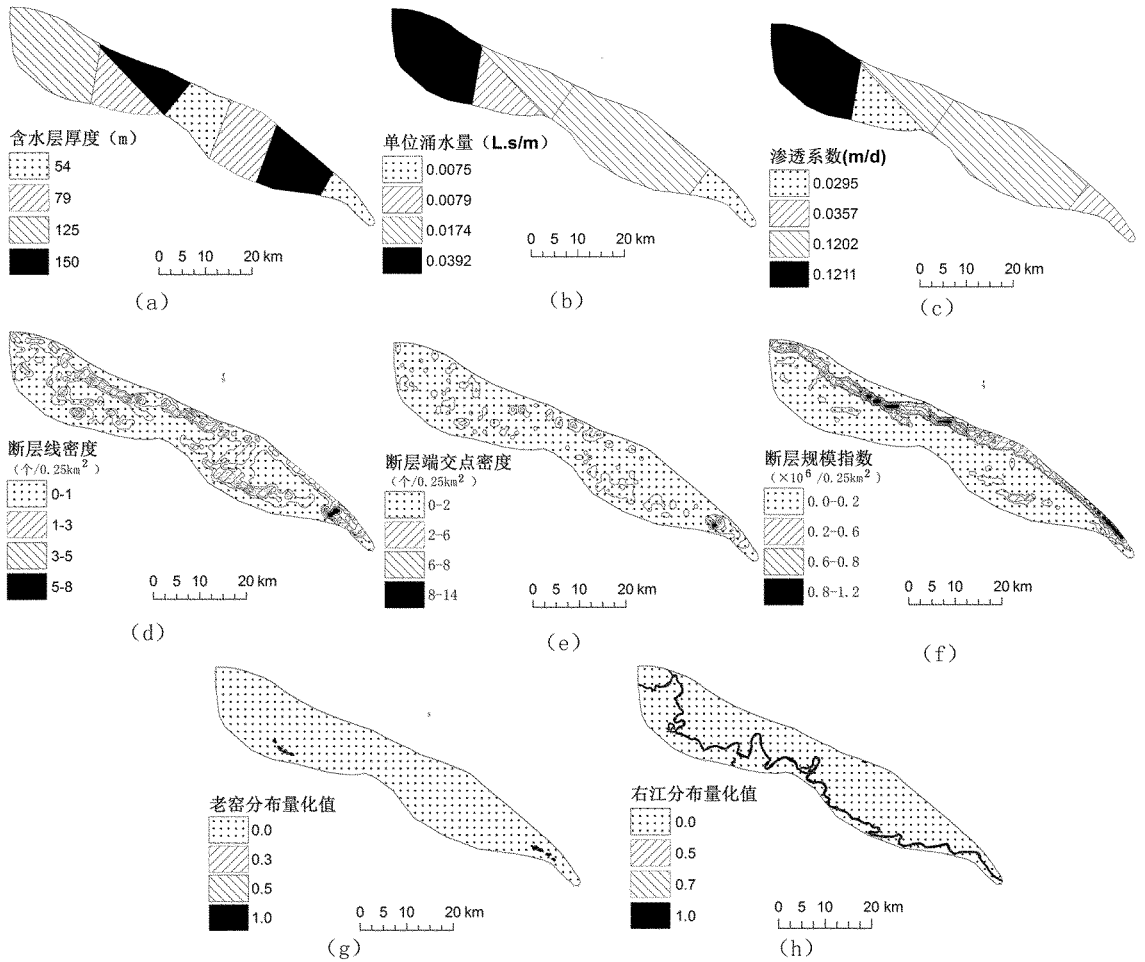


图 2 各主控因素专题层图

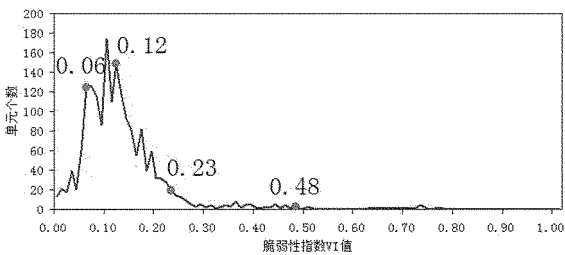


图 3 脆弱性指数统计图

较远, 分布于这些区域的矿井一般不会发生突水, 矿井正常开采时的涌水量较小。

3.5 模型的拟合

根据最大几率的规则, 发生突水事故的位置应该是在脆弱性指数值最大的区域, 据此, 对矿井突水脆弱性模型的拟合可以采取历史上发生过突水事故的突水点位置与研究区脆弱性指数评价分区图进行拟合叠加, 计算出突水点位置落在突水脆弱区和

较脆弱区的百分率, 当百分率大于 90% 时, 则应当认为所得模型较为合理, 否则需要调整参数, 重新拟合, 直到拟合百分率能够达到要求为止^[7-9]。

为此, 研究中引入脆弱性拟合率 VFP (Vulnerability Fitting Percentage) 进行检验, 其公式为:

$$VFP = \frac{DF}{DS} \times 100\%$$

式中: VFP —脆弱性拟合率; DF —落在脆弱区或较脆弱区的突水点个数; DS —研究区内突水点总数。

将公婆井以及另外 2 次突水事故的突水点用来进行脆弱性拟合分析; 同时, 将断层不发育, 含煤地层中砂岩含量较少, 透镜体含水层富水性和导水能力较差, 距离右江有一定距离且没有发现老窑分布的小龙矿、塘内矿以及周景矿、林逢矿区、水埠矿区以及林场矿区作为较安全点及安全点进行脆弱性拟合(图 4)。

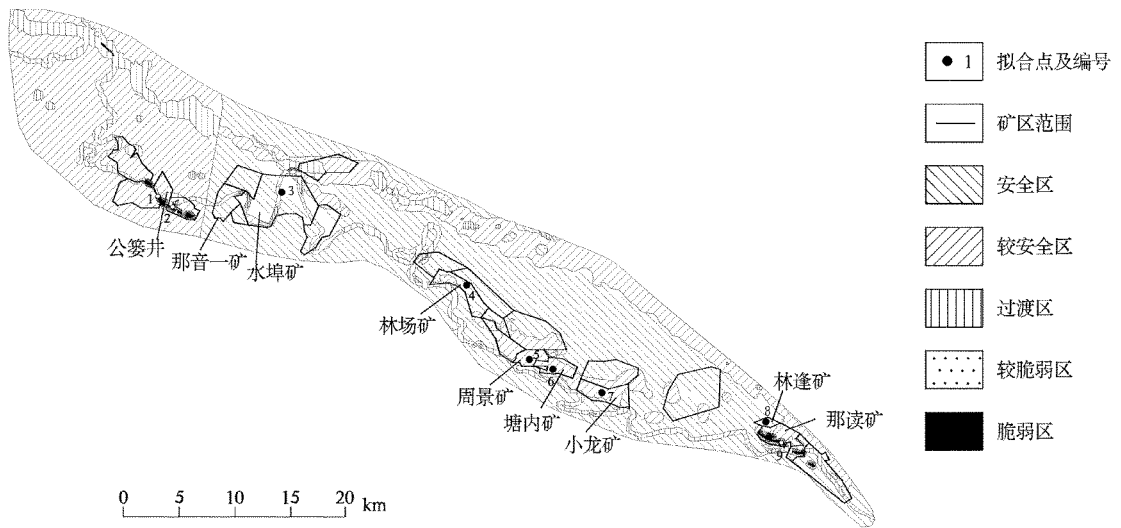


图 4 脆弱性指数法评价分区图

从拟合图上可得出结论,脆弱性拟合率 VFP 达到 100%,表明之前建立的脆弱性指数模型符合客观实际,能够满足评价精度要求,可以作为最终模型进行研究区内矿井突水脆弱性评价分区,评价结果较理想。

3.6 矿井涌水量与脆弱性评价分区对比分析

为进一步验证对研究区矿井突水脆弱性评价分区的合理性,收集了对井下涌水量进行系统、详细记录的小龙、塘内、林场等 7 个矿区多年来的观测资料,提取出各矿区最大涌水量并与各自矿区目前开采范围内矿井突水脆弱性的最高级别进行对比,结果见表 1。

表 1 涌水量与脆弱性分区对比

矿区	最高脆弱性级别	最大正常涌水量 (m ³ /h)	观测时间	统计区间
公婆井	脆弱区	淹井		
那读矿	脆弱区	突水	2008.7.21	
小龙矿	较安全区	102.9	2008.7	2008.1—2010.7
塘内矿	较安全区	73.6	2008.1.2	2007.11—2010.7
林场矿	安全区	53.7	2010.3.28	2008.8—2010.4
水埠矿	安全区	5.2	2005.1.10	2005.1—2010.7
那音一矿	安全区	1.4	2010.4.5	2010.4—2010.7

从表中可以看出矿区开采范围内矿井突水脆弱性级别越高,其矿井涌水量也越大,矿区开采范围内突水脆弱性级别越低,矿井涌水量也越小。对比结果与上述推论一致,进一步验证了突水脆弱性评价

分区结果的合理性。

4 结论

(1)通过有效地整合分析所收集到的有关资料,综合确定了 8 个影响矿井突水的主要控制因素,并运用层次分析法得出了 8 个主控因素相对于矿井突水的权重值;建立了矿井突水脆弱性评价模型,最终生成研究区矿井突水脆弱性评价分区图,将研究区矿井突水脆弱性程度分 4 类:脆弱区、较脆弱区、过渡区以及安全区。

(2)将最先应用于评价煤矿底板突水的方法首次运用于评价整个煤矿矿床范围,将影响矿床突水的更多因素考虑进来,最大程度地利用了层次分析法和地理信息系统的各自优越特点。通过实际预测效果证明:该方法不仅能用于评价煤矿底板突水脆弱性,将评价范围扩大到整个矿床范围后仍然能取得良好的评价效果。

参考文献:

[1] 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.
 [2] 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.
 [3] 武强,姜振泉,李云龙.山西断陷盆地地裂缝灾害研究[M]. 北京:地质出版社,2003.
 [4] Wu Qiang, Dong Donglin, et al. Study on simulation of earth-fissures development and prediction based on GIS[J]. Science

in China Series D: Earth Sciences, 2001, 44(1): 77 - 84.

- [5] 刘守强. 大同燕子山矿底板突水特征及脆弱性评价方法研究 [D]. 中国矿业大学(北京), 2008.
- [6] 周培德. 计算几何——算法分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 88 - 100.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] Wu Qiang, Wang Mingyu. An framework for risk assessment on soil erosion by water using an integrated and systematic approach[J]. Journal of Hydrology, 2007(1 - 2): 11 - 21.

Application of Vulnerability Index for Predication and Assessment of Coal Water Bursting in Baise Coalfield

CHEN Zhi¹, ZHU Bin¹, LI Benzha², GAO Feng¹

(1. Earth Sciences College of Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541004, China; 2. No. 5 Geological Team of Nonferrous Metals Geology and Mineral Resources Bureau in Henan Province, Henan Zhengzhou 450042, China)

Abstract: In order to predicate and evaluate the threat of water flood suffered by the mines in the study area, setting Youjiang bureau of mines in Baise coalfield as an example, on the basis of analyzing hydrogeological characteristics of the study area, eight main controlling factors which will influence floorwater bursting have been determined. By using AHP method, advantages in dealing with uncertain factors or subjective information, taking advantages of powerful function on the spatial information processing and analysis of GIS, the vulnerabilities of coal water bursting have been evaluated in the study area.

Key words: Coal water bursting; GIS; AHP; vulnerability index; Baise coal mine; Guangxi province