

文章编号:1671-8860(2013)02-0153-04

文献标志码:A

# 底板突水预测模型的影响因素分析

祁春燕<sup>1,2</sup> 邱国庆<sup>3</sup> 张海荣<sup>2</sup>

(1 武汉市住房保障和房屋管理局,武汉市高雄路166号,430015)

(2 中国矿业大学环境与测绘学院,徐州市大学路1号,221008)

(3 解放军理工大学工程兵工程学院,南京市海福港1号,210007)

**摘要:**通过复合分析方法建立煤矿底板突水模型,对突水模型的不确定性进行分析,衡量复合分析中各因素对底板突水危险性分区结果的影响,并通过灵敏度分析对引起分区面积变化的因素进行排序,实验得出等效厚度的计算是影响结果的主要因素,可以为矿山水害防治提供科学的决策依据。

**关键词:**不确定性;底板突水;复合分析;灵敏度分析

中图法分类号:P642; P208

煤矿水害是煤矿常见的一种灾害,由于其形成机理的复杂性和时空分布的不规则性,使其预测预报十分困难。

多元信息复合通常是指同一区域内遥感信息之间及与遥感信息相关的非遥感信息的集成、匹配。矿山地质数据需要综合分析各种互相关联的复杂信息<sup>[2]</sup>,因此,有效的信息复合能满足各种地学分析和专题研究的需要<sup>[3]</sup>,可用于矿山的灾害评估及矿山预报等各个方面。

模型是对过程或现象的简单抽象概括,这种概括导致模型计算结果与真实值之间存在着不同程度的偏差,即模型的不确定性<sup>[4-14]</sup>。目前对预测模型的研究,已由最初传统的单一方法预测模型研究,转变为复杂的不确定性系统预测理论与方法的研究<sup>[15-17]</sup>和组合预测<sup>[18-19]</sup>研究,但至今没有学者对模型的不确定性进行系统的研究。因此,本文运用复合分析的方法建立突水模型,在此基础上研究底板突水预测模型的不确定性。

## 1 底板突水因素分析及断层复杂程度定量评价

根据现场经验及有关理论分析可知,影响底板突水的因素主要是矿压、地质构造、隔水层和含水层4个方面,其中地质构造是煤矿开采过程中

突水的主导因素。引起突水的地质构造主要是断裂构造和岩溶陷落柱,断层的影响更为常见。据统计,由断层引起的底板突水占总突水事故的70%以上。

为了定量描述井田内某一范围断层构造、褶曲的复杂性,要求相应的评价指标既便于获取又具有客观性。定量描述分形结构不规则性的分维数可以作为定量评价断层网络复杂程度的一种指标,它比其他指标(如断层密度)更客观准确,也更能反映构造网络的复杂变化。一般来讲,维数越高,构造网络情况越复杂。本文采用相似维来描述断层的复杂程度,推演整个空间的变化规律。

## 2 底板突水模型的建立及其不确定性分析

基于复合分析方法对底板突水危险性进行预测,在常用突水系数计算法上加以改进来计算<sup>[3]</sup>:

$$T_s = P / ((Md - h_1 - h_2) \times \text{Fractal}) \quad (1)$$

式中, $T_s$  为突水系数,单位为 MPa/m; $P$  为隔水岩柱底板所承受的水压值,单位为 MPa; $Md$  为隔水岩柱的等效厚度,单位为 m; $h_1$  为煤层开采时矿压对底板的破坏深度,单位为 m; $h_2$  为岩溶水的原始导升高度,单位为 m; $\text{Fractal}$  为断裂破坏影响系数。

收稿日期:2012-12-02。

项目来源:江苏省资源环境信息工程重点实验室(中国矿业大学)开放基金资助项目(20080105)。

为确保能够给决策者提供可知的决策依据,有必要对模型参数对模型结果的影响进行分析、评价和度量,从而降低参数引起的不确定性。可以通过灵敏度分析来评价各个参数的不确定性对模型运行结果的影响。

复合分析可以看成是输出结果和输入参数的函数,其中每一个参数的变化都会引起结果的变化。煤矿突水危险性复合分析中参数的不确定性研究的是探讨在突水模型函数  $f$  下,参数  $a_i$  发生扰动时对输出结果  $Y$  的影响程度。

利用灵敏度指数  $S_i$  分别计算出在参数的变幅下所引起的结果的变幅<sup>[20]</sup>,如式(2):

$$S_i = R/R_i \quad (2)$$

其中, $R_i$ 为参数变化的幅度; $R$ 为此参数引起的结果的变化幅度。 $R_i$ 越小, $R$ 越大,即灵敏度指数越大,表明此参数的变化对结果的影响越大;反之,则越小。可以通过灵敏度分析,固定其他的参数值,对研究参数增加扰动来估算结果的变化幅度,从而衡量模型参数引起的不确定性。

### 3 实例分析

#### 3.1 断层分形特征描述的不确定性

本文以梁北煤矿作为研究区,梁北煤矿矿井底板突水水源主要来自寒武系岩溶裂隙水。地质构造以断裂为主,褶皱次之,对矿区的水文地质条件起着控制作用。

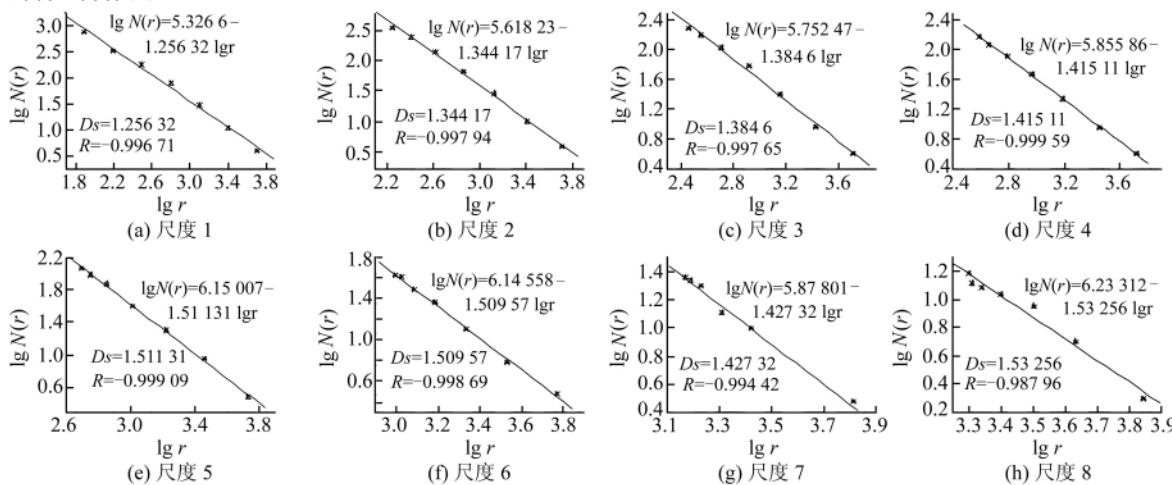


图2 不同尺度下分维值的计算

Fig. 2 Fractal Dimension Calculation in Different Scales

依次统计每组的平均尺度值与分维值,如表1所示。这是一个线性特征非常明显的实验模型,即拟合直线能够接近99%地解释、涵盖实测数据,具有很好的一般性,均能通过F显著性检验。从表中可以看出,相似维是表征各自不同尺度不变特征的

依据梁北煤矿二<sub>1</sub>煤层的地质图件和图表数据,在二<sub>1</sub>煤层底板等高线图的基础上,绘出煤矿断层网络迹线,利用ArcGIS生成网格,在断层迹线上覆盖不同网格进行分维值的计算。覆盖网格的尺寸不同以及选择划分的次数不同,计算得出的分维值不同,图1为不同尺寸网格覆盖下的断层迹线。本次研究分别在8组不同的尺寸下计算梁北煤矿断层的分维值并进行比较。

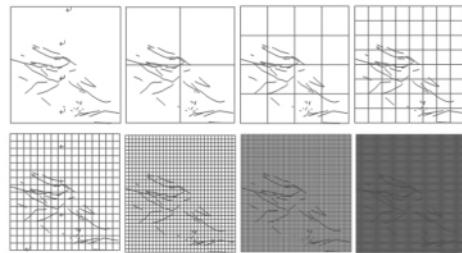
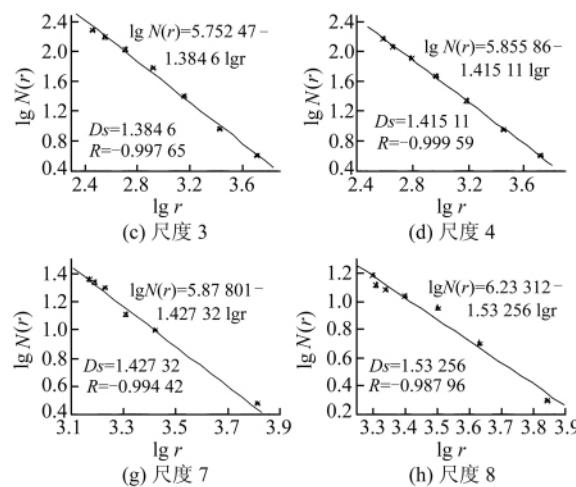


图1 不同尺寸网格覆盖下的断层迹线图

Fig. 1 Faultage Trace in Different Scales

断层分维值计算的不确定性主要考虑同一比例尺下断层的分维值随尺度的变化规律。分别将每组按其尺度和个数取对数制作散点图,并应用最小二乘法对散点图进行回归分析,可以得到每组尺度计算出的分维值,如图2所示。其中, $r$ 为覆盖梁北断层迹线的正方形网格的边长; $N(r)$ 为相应的覆盖有断层迹线的正方形网格的数目; $R$ 为相关系数;式中斜率的绝对值即为断层的分维值。



良好参数,即使计算分维值的尺度不同,但断层的分形性质是不因尺度的变化而变化的。随着平均尺度的变化,分维值的数值出现一定的变化,说明在不同的尺度范围内计算的分维值是不同的,分维值呈现出随研究尺度变化的规律。

表1 平均尺度值与分维值

Tab. 1 Average Scales and Fractal Dimension Values

尺度	平均尺度/m	分维值	相关系数
1	1 417.411	1.256 32	-0.996 71
2	1 517.411	1.344 17	-0.997 94
3	1 618.696	1.384 60	-0.997 65
4	1 718.696	1.415 11	-0.999 59
5	1 818.696	1.511 31	-0.999 09
6	2 318.696	1.509 57	-0.998 69
7	2 818.696	1.427 32	-0.994 42
8	3 304.411	1.532 56	-0.987 96

断层的分形性质具有尺度不变性,但分维值的计算是一个相对的值。因此,利用分形理论描述某一现象时,不能忽略尺度因素的考虑。

### 3.2 基于GIS的底板突水危险性分区预测及其不确定性

根据之前建立的模型,按上述步骤进行煤矿底板突水预测分析:①将梁北煤矿二<sub>1</sub>煤层底板的等高线与水位等值线栅格化,计算出压强值。②根据梁北煤矿多个钻孔的岩石物理力学性质实验结果,统计计算出不同类型的岩石抗压强度的平均值,其结果作为岩石强度系数。③根据岩石强度系数和钻孔中底板岩性的厚度计算出底板的抗压厚度。④将抗压厚度值应用 Kriging 插值。⑤模拟矿压对底板破坏的深度和原始导升高度并栅格化,获得 $h_1$ 、 $h_2$ ,实际中将原始导升高

度推算按5 m来计算,破坏深度按18 m来计算。

⑥绘出断层网络迹线并计算分维值 Fractal,用之前计算过的分维值进行插值,得到整个区域的分维值。⑦按照模型,在ArcGIS中进行图层复合,按照部分矿区临界突水系数经验值(单位为Mpa/m),取临界突水系数值为0.060~0.150来进行突水危险性分区,可以得到底板突水危险性分区评价专题图。在梁北煤矿2007年1月水位高度条件下进行复合分析,分别以不同颜色区分安全区、较危险区和危险区,结果如图3所示。

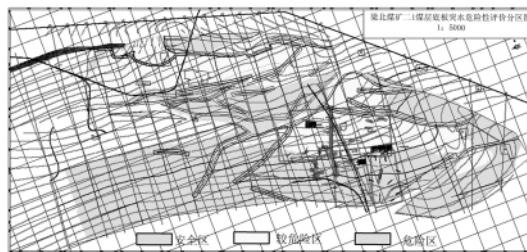


图3 底板突水危险性分区图

Fig. 3 Risk Zoning Diagram of Floor Water Invasion

选取各个参数减小和增加1%的扰动来对模型进行敏感性分析,为了更直观地展现分析结果,表2列出参数值增加和减少5%和10%时对结果的影响。

表2 复合分析中参数灵敏度分析

Tab. 2 Parameters Sensitivity Analysis of Compound Analysis

输入参数	参数变化值/变幅			结果变化值/变幅	
	变化值	变幅	安全区域面积/(m <sup>2</sup> /变幅)	较危险区域面积/(m <sup>2</sup> /变幅)	危险区域面积/(m <sup>2</sup> /变幅)
分维值 $D_s$	[0.169, 1.341]	-10%	2 026.217/-42.19%	176 226.082/-29.15%	591 162.387/+14.31%
	[0.179, 1.415]	-5%	2 738.131/-21.87%	210 562.240/-15.35%	556 114.316/+7.53%
	[0.188, 1.490]	0	3 504.807	248 731.780	517 178.099
	[0.198, 1.564]	5%	4 216.721/+20.31%	283 779.851/+14.09%	480 218.140/-7.15%
	[0.207, 1.639]	10%	4 873.872/+39.06%	318 608.871/+28.09%	445 931.942/-13.78%
压强值 $P$	[0.179, 7.856]	-10%	5 366.736/+53.13%	325 892.299/+31.02%	438 155.651/-15.28%
	[0.189, 8.293]	-5%	4 381.009/+25%	286 737.032/+15.28%	478 296.645/-7.52%
	[0.199, 8.729]	0	3 504.807	248 731.780	517 178.099
	[0.209, 9.166]	5%	2 957.181/-15.62%	212 533.694/-14.55%	553 923.811/+7.11%
	[0.219, 9.602]	10%	2 245.267/-35.94%	183 180.934/-26.35%	583 988.485/+12.92%
等效厚度 $Md$	[29.7, 51.3]	-10%	1 642.878/-53.12%	101 146.543/-59.31%	667 282.416/+29.02%
	[31.35, 54.15]	-5%	2 902.418/-17.19%	205 250.266/-17.48%	561 919.152/+8.65%
	[33.57]	0	3 504.807	248 731.780	517 178.099
	[34.65, 59.85]	5%	5 038.160/+43.75%	328 247.091/+31.97%	436 786.586/-15.54%
	[36.3, 62.7]	10%	10 678.709/+204%	396 755.117/+59.51%	362 638.011/-29.88%

通过灵敏度分析,得到各参数的灵敏度指数分别为:

$$S_{Ds} = 2.8265; S_P = 2.8735; S_{Md} = 5.8667$$

因此,参数灵敏度大小的排序为  $S_{Ds} < S_P < S_{Md}$ ,说明等效厚度的变化对突水值计算的影响最大,压强次之,分维值最小。

进一步研究各参数对各分区面积的影响,通过实验发现,随着分维值的增加,安全区域和较危险区域的面积明显增大,危险区域的面积变化较小。因此,随着分维值也就是研究尺度的增大,对于危险区域面积的预测范围偏大。对于压强值变化对分区区域大小的影响来看,安全区域大小随

着压强值变化幅度较大,对于等效厚度变化对各分区区域大小的影响,整体来看,各个分区的大小变幅要明显高于前两者。

实验和计算结果表明,每个参数对结果的影响程度不一样。等效厚度计算是最主要的不确定性参数,因此,在实际突水预测中,要严格把握等效厚度计算的准确性。对于安全区域和较危险区域,基本上结果的变化幅度都大于参数的变化幅度,说明这两个区域对参数变化具有较高的灵敏性;对于危险区域,结果的变化幅度基本上与参数的变幅相近,灵敏度不高。因此,安全区域和较危险区域较容易受参数误差的影响,转变为危险区域,对这两个区域要注意防范,以免水害事故的发生。

由梁北煤矿近年来底板突水情况的统计情况来看,这种分析与实际情况较为接近,因此可以利用这种分析方法,对预测结果进行定量评价,从而为研究煤矿底板突水危险性评价的不确定性提供依据,进一步保障矿山安全。

## 参 考 文 献

- [1] 江东,王建华. GIS 软件支持下的煤矿水害预测研究[J]. 地质灾害与环境保护,1999,10(1):67-73
- [2] 张海荣,周荣福,郭达志,等. 基于 GIS 复合分析的煤矿顶板水害预测研究[J]. 中国矿业大学学报,2005,34(1):112-117
- [3] 郑世书,孙亚军,赵林. GIS 在殷庄微山湖下采区工作面涌水预测中的应用[J]. 中国矿业大学学报,1994,23(2):48-55
- [4] 牟伶俐. 农业旱情遥感监测指标的适应性与不确定性分析[D]. 北京:中国科学院遥感应用研究所,2006
- [5] 刘敏. 基于 RS 和 GIS 的陆地生态系统生产力估算及不确定性研究[D]. 南京:南京师范大学,2008
- [6] Alesheikh A A, Chapman M A, Blais J A R, et al. Uncertainty Models of GIS Objects[C]. The International Symposium on Spatial Data Quality, Hongkong, China, 1999
- [7] Goodchild M F, Sun G, Shiren Y. Development and Test of an Error Model for Categorical Data[J]. Int J Geographical Information Systems,1992,6:87-104
- [8] Rehman S, Ghori S G. Spatial Estimation of Global Solar Radiation Using Geostatistics [J]. RenewableEnergy, 2000,21:58-67
- [9] 刘春. GIS 属性数据的精度度量及质量控制的抽样原理与方法[D]. 上海:同济大学,2000
- [10] 刘文宝,邓敏,夏宗国. 矢量 GIS 中属性数据的不确定性研究[J]. 测绘学报,2000,29(1):76-81
- [11] 刘大杰,华慧. GIS 线要素不确定性模型的进一步探讨[J]. 测绘学报,1998,27(1):45-49
- [12] 张景雄,杜道生. 位置不确定性与属性不确定性的场模型[J]. 测绘学报,1999,28(3):244-250
- [13] 林宗坚,张永红. 遥感与地理信息系统数据的信息量及不确定性[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2006,31(7):569-572
- [14] 程涛,邓敏,李志林. 空间目标不确定性的表达方法及其在 GIS 中的应用分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2007,32(5):389-392
- [15] 李大军,刘波,程朋根,等. 模糊空间对象拓扑关系的 Rough 描述[J]. 测绘学报,2007,36(1):72-79
- [16] 张春华,刘泽功. 多变量灰色模型及其在钻孔瓦斯流量预测中的应用[J]. 中国安全科学学报,2006,16(6):50-54
- [17] 张正,黄泰松,左春. 基于 BP 神经网络的灾情预测模型[J]. 计算机工程,2005,31(1):212-213
- [18] 薛新华,姚晓东. 边坡稳定性预测的模糊神经网络模型[J]. 工程地质学报,2007,15(1):77-82
- [19] 陈继光,祝令德. 基于神经网络的马尔可夫预测模型[J]. 计算机工程与应用,2006,6:225-232
- [20] 朱光. GIS 叠加操作中的属性误差问题[J]. 工程勘察,1999,2:54-59

第一作者简介:祁春燕,硕士,主要从事空间分析与 GIS 数据不确定性的研究。

E-mail:qcy-2001@163.com

## Influencing Factors Analysis of Floor Water Invasion Prediction Model

QI Chunyan<sup>1,2</sup> QIU Guoqing<sup>3</sup> ZHANG Hairong<sup>2</sup>

(1 Wuhan Housing Security and Management Bureau, 166 Gaoxiong Road, Wuhan 430015, China)

(2 School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology,  
1 Daxue Road, Xuzhou 221008, China)

(3 Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology, 1 Haifu Alley, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** Floor water invasion is one of influences on mine safety. Water invasion models

(下转第 247 页)

- [6] Brakatsoulas S, Pfoser D, Salas R, et al. On Map-matching Vehicle Tracking Data[C]. The 31st International Conference on Very Large Data Bases, Norway, 2005
- [7] 张振辉, 崔铁军. 车辆导航系统中地图匹配算法的研究[J]. 地理信息世界, 2007, 2:55-59
- [8] 唐克双, 姚恩建. 日本ITS开发和运用的实例——名古屋基于浮动车信息的P-DRGS简介[J]. 城市交通, 2006, 3:74-76
- 
- 第一作者简介:李强,博士,讲师,研究方向为交通状态估计和探测车系统。  
E-mail: liqiang@sz.tsinghua.edu.cn

## Offline Map-matching for Archived Probe Vehicle Data

LI Qiang<sup>1</sup> CAO Peng<sup>1</sup> MIAO Lixin<sup>1</sup>

(1 Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, 2279 Lishui Road, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** Matching a trajectory of probe vehicle to the roads on the map is necessary to calculate link travel time from probe data. Based on existing offline map-matching algorithms, a map-matching algorithm aiming at archived probe vehicle data is developed. Idea of twice gridding is incorporated into the algorithm, which brings greatly decrease of counts for computing the distance from point to link. Experimental results show that the proposed algorithm significantly improves the efficiency and holds a relative high level accuracy for map-matching. This algorithm is capable of dealing with large-scale archived probe vehicle data having data-sending-rate of one point every 10-60 s.

**Key words:** probe vehicle; map matching; GPS; archived data

---

**About the first author:** LI Qiang, Ph.D, lecturer, majors in traffic performance estimation and probe vehicle system.

E-mail: liqiang@sz.tsinghua.edu.cn

---

(上接第156页)

were complicated and various, under different conditions, water invasion models were different leading to the analysis uncertain results. Floor water invasion model was built by compound analysis technology and its uncertainties were analyzed in this paper. The risk of floor water invasion was zoned and influencing factors were sorted by sensitive analysis technology. Experiment results show that equivalent thickness was the most important factor for reference to make decision of flooding prevention and cure.

**Key words:** uncertainty; floor water invasion; compound analysis; sensitive analysis

---

**About the first author:** QI Chunyan, master, majors in spatial analysis and uncertainty of GIS data.

E-mail: qcy-2001@163.com