地质与测量

基于断层模拟预测的煤与瓦斯突出防治技术

谢雄刚，李希建，江泽标
（贵州大学 矿业学院，贵州 贵阳 550004）

摘 要：为进一步查明井田开采区域内勘探空白区的断层情况，减少断层对瓦斯突出的影响，采用 Geostructure 软件模拟预测断层来降低矿井瓦斯突出风险。根据该软件在澳大利亚 North Goonyella 矿井和湖南裕民煤矿芋子田矿井的断层模拟预测结果，对比矿井开采过程中断层实际揭露情况，从断层数量、断层存在概率、瓦斯突出风险 3 方面论证了采用 Geostructure 软件模拟预测井田开采区域内断层从而防突的可行性，这为大幅降低矿井开采过程中的瓦斯突出风险提供了参考依据。

关键词：断层；模拟预测；煤与瓦斯突出；Geostructure 软件
中图分类号：TD713 文献标志码：A 文章编号：0253－2336（2011）09－0103－03

Prevention and Control Technology of Coal and Gas Outburst Based on Fault Simulation and Prediction

XIE Xiong-gang，LI Xi-jian，JIANG Ze-biao
（*School of Mining，Guizhou University，Guiyang* 550004，*China*）

Abstract: In order to further verify the fault conditions of the no exploration zone within the mining area of the minefield and to reduce the fault affected to the gas outburst，the Geostructure software was applied to simulate and predict the fault to reduce the risk of the mine gas outburst. According to the software applied to the fault simulation and prediction results of North Goonyella Mine in Australia and Yuzitian Mine Shaft of Hunan Yumin Mine in China，in comparison between the actual exposed conditions of the faults during the mining process in the mines，the fault numbers，the fault existing probability and the gas outburst risk was applied to verify the feasibility of the Geostructure software applied to simulate and predict the faults within the mining area of the minefield and to prevent the gas outburst，which could provide the references to highly reduce the gas outburst risk during the mining process.

Key words: fault; simulation and prediction; coal and gas outburst; Geostructure software

我国发生的大量煤与瓦斯突出事故都表明：断层等地质构造是导致煤与瓦斯突出的重要原因。北票矿务局 1974 年前发生的 951 次瓦斯突出事故中，有 747 次发生在地质构造带[1]。开滦矿区 60% 的突出发生在以断层为主的构造附近，四川芙蓉矿 47 次突出都发生在断层和褶皱构造附近，安徽淮南矿区 85% 的突出与断层等构造有关。湖南白沙红卫矿区发生的 70 次突出中，35 次都集中在褶皱和断层附近，该类突出次数多，突出强度大[2-3]。为了减少断层对瓦斯突出的影响，防止瓦斯突出事故，需要预知区域内断层的确切资料，并根据这些资料采用合理的防突方案、采掘作业方式和工作面布置，分析断层易突部位，调整防突措施参数，减少断层对工作面瓦斯突出的影响。目前，主要通过钻探、巷探、井下物探等地质勘探手段来查明矿井开采区域内的断层情况，其成本高、勘探密度十分有限。实际生产中通常都是在矿井区域内按一定密度、不连续取点进行勘探，导致开采区域内形成一些漏探的勘探空白区。因此，寻找经济、实用、准

收稿日期：2011－04－01 责任编辑：代艳玲
基金项目：贵州省教育厅自然科学重点资助项目［黔教科（2011）034 号］；贵州大学引进人才科研基金资助项目［贵大人基合字（2010）002 号］；贵州大学教育教学改革研究资助项目［gdjg（2010）032］；贵州省国际科技合作计划资助项目［黔科合外 G 字（2009）700111 号］
作者简介：谢雄刚（1971—），男，湖南郴州人，副教授，博士，从事煤矿安全开采技术、煤与瓦斯突出灾害防治等方面的研究工作。Tel：0851－4732733，E－mail：xxgchncz@163.com

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

确的方法查明开采区域内的断层情况，对于预防煤与瓦斯突出有重要的意义。

1　GeoStructure 软件

1.1　软件形成过程

从 20 世纪 80 年代以来，Heffer 澳大利亚地质学家通过对大量的断层资料进行统计表明：某一区域内某一方向组的断层（称为断层簇）具有如下的统计规律性[4-5]。

1）一定断层落差值 T 以上的累积总断层数量与落差值之间存在如下函数关系：

$$\lg N = \alpha - \beta \lg T \tag{1}$$

式中：α 为断层簇中断层密度的描述因子；β 为断层簇中大断层与小断层相对数量的描述因子；N 为落差大于 T 的累积断层数，条。

2）断层长度 L 与断层的最大落差 T_{max} 之间存在如下函数关系：

$$T_{max} = CL^n \tag{2}$$

其中 C、n 为常数。另外，Stoyan 等利用泊松过程理论和随机模拟来研究断层预测问题。随着计算机技术在矿业中的应用和随机模拟理论的发展，澳大利亚昆士兰 Bryan 研究中心在以上这些理论的基础上开发了断层预测 GeoStructure 软件。

1.2　GeoStructure 软件预测原理

GeoStructure 软件运用式（1）、式（2）和具有相关概率值的泊松过程，通过随机模拟算法对已查明区域内断层数据进行分析以确定公式中的参数 α、β 和 n，从而计算出给定区域内断层的空间分布图（断层走向、倾向、长度、落差和断层迹线等参数）、概率图和断层密度图，从而评定断层可能给矿井煤与瓦斯突出带来的风险。

2　GeoStructure 软件应用

以澳大利亚昆士兰 Bowen 盆地的 North Goonyella 矿井和湖南省裕民芋子田矿井为例，通过 GeoStructure 软件对该区域进行断层预测和瓦斯突出风险的定量评价[5-6]，对模拟预测结果和已知断层进行比较，以确定预测的准确度和评估该软件对矿井防突的实际指导意义。

2.1　断层模拟预测

1）断层数量。North Goonyella 矿井区域内的断层已全部揭露，总共有 231 条断层[5]（图 1）。从中随机抽样 50 条断层（这些断层相当于在建井和井下采掘中通过钻探、巷探和井下物探等地质勘探手段所获得的断层资料）。根据这些已知资料用 GeoStructure 软件对该区域内的断层进行模拟预测，可以得到区域内的断层模拟预测分布（图 2）。预测到该区域内总共有 207 条断层。其中，预测准确断层数为 186 条，断层数量预测准确率为 81%。

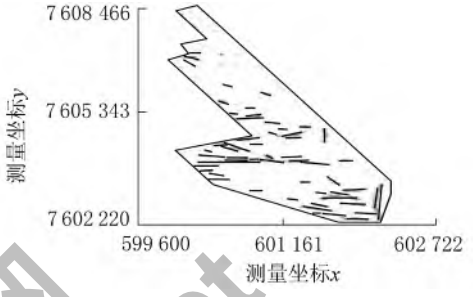


图 1　断层真实分布

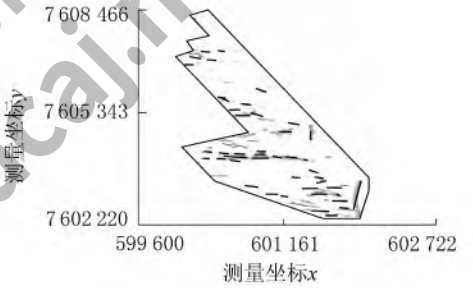


图 2　断层模拟分布

2）断层存在概率。通过模拟预测的断层和实际揭露的断层比较，得知用 GeoStructure 软件模拟预测断层的概率非常接近于实际揭露断层的真实概率，如图 3 和图 4 所示。

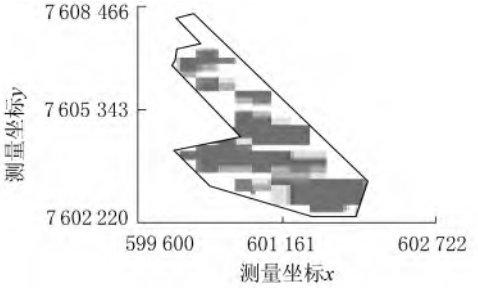


图 3　断层预测概率

2.2　煤与瓦斯突出风险

湖南省裕民煤矿芋子田矿井核定生产能力 21 万 t/a，矿井内 6 煤层为主采煤层，其直接顶为条带状粉砂岩，底板为灰白色细粒砂岩和粉砂岩。采煤工作面煤层厚度不稳定，倾角 17～19°，平均厚约 2.2 m，工作面采用走向长壁后退式采煤方法。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

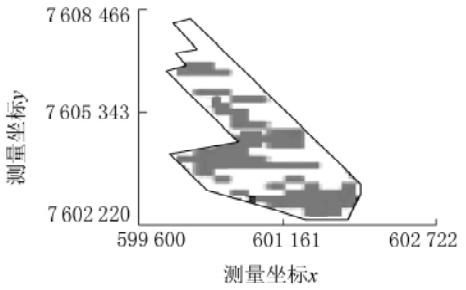


图 4　断层真实分布概率

该矿属于煤与瓦斯突出矿井，主采 6 煤层揭露的断层多为压扭性断层，对瓦斯具有较好的封闭条件，突出危险程度增加。该矿曾发生过的 40 多次瓦斯突出中，大部分均位于断层构造附近。矿井采用浅孔松动爆破和小直孔密集排放钻孔的防突措施。其中，松动爆破孔孔深 3 m，孔径 42 mm。小直孔密集排放钻孔孔深不小于 5 m，孔径 42 mm。

该矿井 12 采区和 22 采区均已采完，该区域断层全部揭露。其中，12 采区开采过程中，未使用 Geostructure 软件进行断层模拟预测，采区防突措施缺乏针对性，吨煤钻孔量大，共发生 12 次瓦斯突出事故。22 采区开采前，根据水平运输大巷、采区运输上山、采区轨道上山、区段平巷等巷道工程揭露的 11 条断层资料，取其作为预测样本，用 GeoStructure 软件对该区域的断层进行模拟预测，其模拟断层和实际揭露断层的位置和走向如图 5 所示。预测到该采区内总共有 32 条断层。其中预测

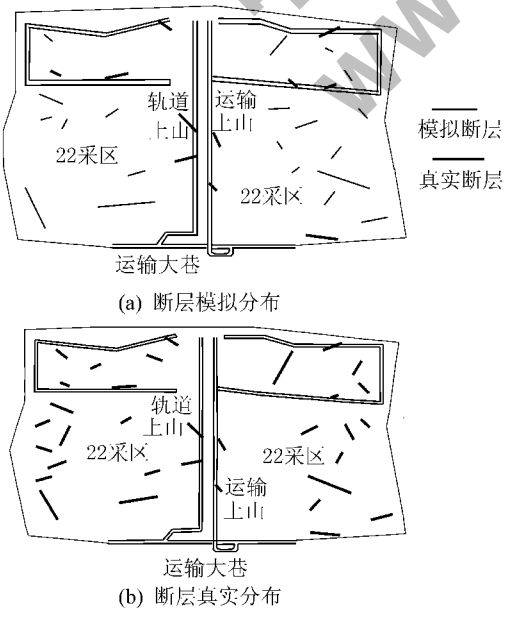


图 5　22 采区断层模拟预测与真实分布

准确断层数 27 条，断层数量预测准确程度 79%。

矿井 12 采区采用顺层密集钻孔瓦斯抽放防突措施，钻孔间距为 1 m，钻孔深度 3 m，钻孔直径 42 mm，无针对性防突措施揭穿断层。根据预测断层的类别、落差、走向、长度和瓦斯封闭条件等情况，22 采区制定以本煤层顺层抽采为主，结合邻近层穿层抽放的防突措施揭穿断层[7]。钻孔间距为 1.2 m，根据断层存在概率，低概率断层区钻孔深度 3 m，高概率断层区钻孔穿透断层，钻孔直径 42 mm。调整瓦斯抽放方案[8-9]后，瓦斯突出事故减少为 6 次，吨煤钻孔量减少为 0.063 m，两采区瓦斯突出风险对比情况见表 1。

表 1　两采区瓦斯突出风险情况

地点	模拟软件使用	瓦斯突出次数	总钻孔量/m	吨煤钻孔量/m	实际断层数/条
12 采区	未使用	12	10 800	0.076	41
22 采区	使用	6	9 000	0.063	34

注：22 采区预测断层数和预测准确断层数分别为 32、27 条。

3　结　论

据 Geostructure 软件在 North Goonyella 矿井和裕民煤矿芋子田矿井的断层模拟预测结果，对比分析两矿井采掘过程中断层实际揭露情况，从断层数量、断层存在概率等方面，论证了用 Geostructure 软件来模拟预测断层的可行性。根据模拟预测断层的类别、落差、走向、长度和瓦斯封闭条件等情况，通过 3D－GIS 技术将模拟预测出的断层的空间位置用三维坐标在井田开采区域内表示出来，动态调整矿井瓦斯抽放方案，将极大地降低矿井开采过程中的瓦斯突出风险。通过对裕民煤矿芋子田矿井瓦斯突出风险的实例分析，表明 Geostructure 软件可模拟预测断层从而起到防突的作用。

参考文献：

[1] 王捷帆，李文俊．中国煤矿事故暨专家点评集（上册）[M]．北京：煤炭工业出版社，2002：1295－1431.

[2] 张铁岗．矿井瓦斯综合治理技术 [M]．北京：煤炭工业出版社，2003：80－150.

[3] 杨荣丰，刘新华，曹运江，等．影响红卫矿区煤与瓦斯突出的地质因素 [J]．煤炭科学技术，2006，34（11）：72－74.

（下转第 109 页）

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

甲烷为主，湿气含量减小，小于 3%，甲烷累积达到最大，主要是早期产物的裂解形成的。

总而言之，层状藻类体的生烃模式有以下特点：①生烃能力很强，原始有机质的成烃转化率高；②生油带很宽，即 $R_0 = 0.4\% \sim 1.3\%$；③成熟阶段以生成液态烃为主，并且生成的液态烃随着成熟度的增加，其密度逐渐变小；④排烃率随着成熟度的增加也逐渐增加；⑤排烃高峰晚于生烃高峰；⑥可以生成未熟或者低成熟原油；⑦高成熟－过成熟阶段的生气量是最高的；⑧其生油峰期 $R_0 = 0.95\%$ 较晚。

5　结　　语

通过热模拟试验、荧光试验等方法对山西浑源煤中层状藻类体的生烃潜力、生烃特征和生烃模式进行了研究，结果表明：该区的层状藻类体的生烃能力强，能生成一定量的液态烃和气态烃，并得出了生油窗的温度范围以及生烃的峰值，对该区寻找油气田有一定的指导意义。浑源地区煤层中的层状藻类体的存在，对该地区的煤成烃作用有重大影响。但是，有机质的演化同时受到温度、压力、时间矿物组成、含水量以及介质 Eh、pH 值等多种因素的影响。因此，模拟试验结果与层状藻类体自然演化过程之间的差异性还有待于进一步深入探索。

参考文献：

[1] 程克明，苏艾国，赵长毅，等．吐哈盆地油气生成 [M]．北京：石油工业出版社，1994：20－123.

[2] 赵长毅，何忠华，程克明，等．吐哈盆地煤中基质镜质体生烃潜力与特征 [J]．科学通报，1994，39（21）：1979－1981.

[3] 周经才．准噶尔盆地南缘侏罗系沉积相研究 [J]．新疆石油地质，1989，10（1）：39－51.

[4] 杨　斌，李建新．准噶尔盆地侏罗系生烃组分生油岩评价 [R]．乌鲁木齐：新疆石油管理局勘探开发研究院，1991：66－88.

[5] 魏　辉，金奎励，姚素平．准噶尔盆地侏罗系生烃特征有机岩石学研究 [J]．煤田地质与勘探，1998，26（3）：18－22.

[6] 魏　辉，金奎励．准噶尔盆地侏罗纪煤层显微煤岩特征 [J]．煤田地质与勘探，1994，22（6）：26－29.

[7] 孙万禄．中国煤层气盆地 [M]．北京：地质出版社，2005：121－247.

[8] Taylor G H Teichmüller M. Observation on Fluorinate and Fluorescent Vitrinite with the Transmission Electron Microscope [J]. Int J Coal Geol，1992，22（5）：61－82.

[9] 孙旭光，秦胜飞，金奎励．贵州水城晚二叠世含树皮体煤成烃特性研究 [J]．地球化学，1998，28（6）：605－611.

[10] 孙旭光，王关玉，金奎励．贵州水城煤中基质镜质体生烃潜力、烃类组成及生烃模式 [J]．沉积学报，2000，18（4）：590－594.

[11] Bertrand P. Geochemical and Petrographic Characterization of Humic Coal Considered As Possible Oil Source Rocks [J]. Org Geochem，1983，6（5）：481－488.

[12] Teichmüller，M，Wolf M. Application of Fluorescence Microcopy in Coal Petrology and Oil Exploration [J]. J Microsc，1977，109（1）：49－73.

[13] Robert P. Classification of Organic Matter by Means of Fluorescence：Application to Hydrocarbon Source Rock [J]. Int J Coal Geol，1992，6（5）：101－137.

[14] 李太仁，张军营．山西浑源藻煤、烛煤、腐植煤共生煤层成因分析 [J]．煤炭学报，1993，18（3）：85－93.

[15] 杨　起，韩德馨．中国煤田地质学（上册） [M]．北京：煤炭工业出版社，1984：20－51.

[16] 秦建中．中国烃源岩 [M]．北京：科学出版社，2005：40－109.

[17] 韩德馨，任德贻．中国煤岩学 [M]．徐州：中国矿业大学出版社，1996：169－196.

[18] 李树枝，金奎励．无定形体的离子探针研究 [J]．石油与天然气地质，1990，11（4）：370－375.

（上接第 105 页）

[4] Li Shu－xing，Roussos Dimitrakopoulos. Quantify of Fault Uncertainty and Risk Management in Underground Longwall Coal Mining [R]. ACARP Project C7025 Report，Volume II. Australia：Queensland University Press，2003.

[5] Li Shu－xing，Roussos Dimitrak. Quantificational Analysis and Forecasting of Fault Amount in Underground Longwall Coal Mining Based on Random Simulation [R]. ACARP Project C7025 Report，Volume I. Australia：Queensland University Press，1999.

[6] 谢和平，姜耀东．计算机在矿业中的应用 [C] //第 29 届计算机在矿业中的应用国际研讨会论文集．北京：煤炭工业出版社，2001.

[7] 陈国宝，黄长辉．地质构造特征及其对矿井瓦斯突出的影响 [J]．煤炭技术，2002，21（9）：24－27.

[8] 于宝海，凌志迁，刘国忠．本煤层瓦斯抽放钻孔布置间距的优化方法 [J]．煤矿安全，2009，40（3）：25－28.

[10] 谢雄刚，冯　涛，王　永，等．煤与瓦斯突出过程中能量动态平衡的研究 [J]．煤炭学报，2010，35（7）：1120－1124.

[11] 谢雄刚．石门揭煤过程煤与瓦斯突出的注液冻结防治理论及技术研究 [D]．长沙：中南大学，2010.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net