

红菱煤矿开采保护层对 煤岩体透气性的数值模拟

王 岩¹, 王路军¹, 齐建军², 李志强²

(1 煤炭科学研究总院 抚顺分院, 辽宁 沈阳 110011; 2 大同煤矿集团公司 轩岗煤电公司, 山西 原平 034115)

摘要: 以红菱煤矿保护层开采为工程实例, 通过开采 11[#]煤层, 对存在煤与瓦斯突出的 7[#]煤层和 12[#]煤层进行卸压, 利用 FLAC3D 数值模拟中小同步开挖的渗透率变化情况, 对保护层开采过程中煤岩体的渗透性进行了分析, 得出了煤岩体透气性变化规律。结果表明: 煤岩体的透气性随着工作面推进不断增强; 开采保护层上覆岩体的渗透率明显比底板岩体的渗透率大; 卸压效果越好, 渗透率越大。

关键词: 保护层; 煤岩透气性; 煤与瓦斯突出; 数值模拟

中图分类号: TD823.82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)02-0161-05

Numerical Simulation on Air Permeability of Mining Protection Layer in Hongling Coal Mine

WANG Yan¹, WANG Lu-jun¹, QI Jian-jun², LI Zhi-qiang²

(1 Fushun Branch, China Research Institute of Coal Sciences, Shenyang 110011, Liaoning, China;

2 Xuangang Coal Electric Corporation, Datong Coal Mine Group Company, Yuanping 034115, Shanxi, China)

Abstract The depressuring of No. 7 and No. 12 coal seams with outburst of coal and gas through mining No. 11 coal seam of Hongling Coal Mine in Shenyang was tested, the simulating of the variation of permeability with excavating was carried out by FLAC3D, the air permeability of coal during the mining of protection layer was studied. The result indicates that the air permeability of coal is continually strengthened as working surface impels, the permeability of overlying rock mass is obviously larger than that in underlying rock mass, and the more perfect of the pressure release is, the bigger the permeability is.

Key words: protection layer; permeability of coal; outburst of coal and gas; numerical simulation

0 引言

在煤矿井下开采过程中, 在很短的时间内从煤岩体内向采掘工作空间突然喷出大量煤、岩和瓦斯的动力现象称为煤与瓦斯突出。它与诸多因素有关, 其中煤岩体透气性就是因素之一。煤岩体透气性是评价煤岩体瓦斯抽放及煤层气开发难易程度的标志性参数。

研究表明, 瓦斯排放中, 煤岩体的透气性会发

生变化, 煤层瓦斯压力的降低会导致煤岩体中的瓦斯解吸而使煤岩体收缩变形, 煤岩体中的裂隙得到扩展, 煤岩体透气性会提高; 同时, 作用在煤岩体上的有效应力因瓦斯气体承担的压力减小而增加, 由于瓦斯渗流的主要通道是裂隙系统, 这个有效应力的增加会导致煤岩体裂隙的压缩, 减小流动通道的尺寸, 降低透气性。在煤岩体收缩量小于压缩量的区域, 煤岩体透气性随着瓦斯排放而降低, 在大于收缩量的区域, 煤岩体的透气性将会增大。此外,

收稿日期: 2007-10-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2005CB221502)

作者简介: 王 岩(1981-), 男, 辽宁沈阳人, 工程师, 从事矿山安全研究。E-mail: yanwang9191891@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

煤岩体透气性的大小与诸多因素有关,例如瓦斯压力、有效应力、煤岩体骨架结构的变化、吸附性、裂隙层理以及温度、水分含量等^[1-3]。因此,瓦斯排放过程中煤岩体透气性的变化情况非常复杂,准确掌握其变化规律对于瓦斯抽放和煤层气开发以及解决煤与瓦斯突出问题都具有十分重要的意义。笔者以沈阳煤矿集团红菱煤矿为例,通过开采保护层对存在煤与瓦斯突出问题的煤层进行卸压,从而改变煤岩体的透气性来解决煤与瓦斯突出问题。

1 保护层开采理论

保护层开采后,周围的煤岩层向采空区移动,采空区上方岩体冒落并形成自然冒落拱,采空区下方岩体向采空区膨胀成裂隙,使得采空区上、下方煤岩体产生应力、透气性、瓦斯压力、位移等变化。其次序表述为:开采保护层—岩层移动—被保护层卸压—透气性增加、瓦斯解吸—煤(岩)层瓦斯排放能力增高—瓦斯排放、钻孔瓦斯流量增大—瓦斯压力降低—瓦斯含量减少—煤机械强度提高—应力进一步降低。

在由岩石卸压角所圈定的卸压带内,地层应力降低,垂直煤层层面方向呈现膨胀变形,在煤层和岩层内,不但产生新裂缝,原有裂缝也张开扩大,使得煤层透气性增高数十到数百倍,部分岩石裂缝是垂直层面的,在距保护层一定距离内,这些裂缝可彼此贯通,直至与保护层采空区连通,为解吸瓦斯涌入保护层采空区提供了条件。被保护层卸压提高了瓦斯排放能力,瓦斯的不断涌出引起瓦斯压力下降和煤的力学强度增高,突出危险性得以消除或降低,卸压作用是引起其他变化的依据,起决定性的作用。但在层间垂距很大时,对瓦斯排放作用不应忽视。因此,保护层开采常常配合瓦斯抽放^[4-5]。

开采保护层的一个关键问题是选择好首采层,因为首采层开采时瓦斯治理难度很大,也是保护层开采中最不安全的地点。因此,应选择瓦斯含量不高、不具有突出危险或突出危险性较小的煤层作为首采层,应注意首采层到其他煤层之间的层间距、层间岩层性质,并尽量考虑合理开采程序,不宜破坏邻近层又要使邻近层处于首采层的有效卸压范围内,尽量使开采一层保护多层或能够逐层卸压保护。还有一个重要因素是首采层开采期间如何合理抽放被卸压层的瓦斯,否则,首采层将无法推进。一般首采层采高大于 1.4 m 时,开采下保护层的卸

压高度大于 60 m;首采层采高大于 1.8 m 以上时,开采下保护层的卸压高度大于 100 m;开采上保护层的卸压深度一般在小于 60 m;下保护层的卸压角度通常超过法线角度。

当开采下保护层时,根据层间距情况确定顶板抽瓦斯巷内是否向上部煤层施工钻孔。如层间距不大,首采层采高较大,这时顶板抽放瓦斯巷会严重破坏,裂隙也会发展到上部煤层中,这时巷道内可以不施工穿层钻孔,封闭巷道即可直接抽放上部煤层中的瓦斯,这就是走向高位抽放巷,在阳泉等矿区得到广泛应用。如采高较小,层间距大,这时在顶板巷道内施工上向穿层钻孔进入煤层是必要的,这种方式在淮南等矿区应用取得显著效果。如果上部煤层不可采,顶板抽瓦斯巷的主要任务是控制开采层的瓦斯,这时可将巷道放入首采层的裂隙带内,巷道内不施工钻孔,并将巷道封闭抽放,巷道不但能够拦截抽放上部煤层流入的瓦斯,而且还能抽放开采层采空区的瓦斯,这就是顶板低位巷道抽瓦斯法,在淮南、新集等矿区得到应用。对顶板高位和低位巷道,如果以岩石水平长钻孔代替巷道,这就是顶板岩石水平长钻孔抽放上邻近层和采空区瓦斯的方式,在阳泉、淮南等矿区都得到广泛应用。当首采层为厚煤层时,为了不破坏上部煤层,可先开采厚煤层的上分层,这既能保护上部煤层,又能对上部煤层进行有效卸压,使其瓦斯缓慢流向开采层。这种方式在海石湾矿的设计中采用。开采上保护层时,底板抽放瓦斯巷道内通常应施工穿层钻孔进入煤层,巷道应尽量布置在煤层群底板,便于一条巷道为多层煤抽放瓦斯服务。上保护层开采在淮南、松藻、芙蓉等矿区都得到广泛应用。

2 煤岩体透气性的数值模拟

2.1 研究区域概况

红菱煤矿位于沈阳市苏家屯区红菱堡镇南红村,井田煤系地层为海陆交互相沉积,岩性组合以砂岩、泥岩互层夹煤 14 层,按沉积顺序自下而上分为两个含煤组,井田煤层平均倾角 30°。上石炭系太原组厚 85~100 m,含煤 7 层,其中 12[#]煤层为主要可采层;下二叠系山西组厚 100~110 m,含煤 7 层,其中 7[#]煤层为主要可采层;除 7[#]煤层和 12[#]煤层,其余煤层为局部可采的薄煤层。红菱煤矿为高瓦斯突出矿井,该矿 12[#]煤层是具有严重煤与瓦斯突出危险的煤层,该煤层到目前已发生突出 124

次, 而主要可采层 7[#]煤层也发生过突出危险, 该煤层共突出 10 次。由上可见两个主要可采层都是高瓦斯突出煤层, 而且随着开采深度的增加, 两个主采煤层瓦斯涌出量和煤层瓦斯压力逐渐增大, 煤与瓦斯突出越来越严重, 直接影响矿井的安全生产和经济效益。如何防治这两个煤层的煤与瓦斯突出, 已成为亟待解决的问题。

本次实验选择距 12[#]严重突出煤层最近的 11[#]煤层作为 12[#]煤层的上保护层, 同时作为 7[#]煤层的下保护层, 3 层煤的位置如图 1。开采 11[#]煤层, 保护 12[#]、7[#]煤层, 这样可以彻底根治红菱煤矿煤与瓦斯突出的现状。11[#]煤层采煤工作面为基本原型, 该煤层为保护层, 煤层平均倾角 30°, 煤层厚 0~0.7 m, 局部发育, 平均 0.3 m; 开采时煤岩一起采, 采高为 1.5 m, 工作面走向长度 60 m, 沿倾斜方

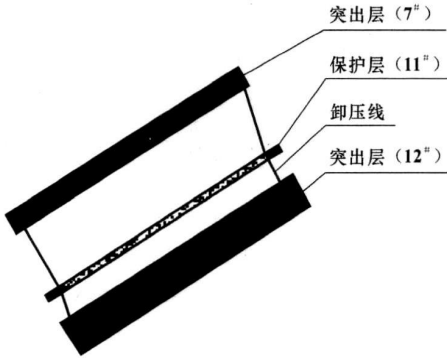


图 1 煤层布置
Fig. 1 Coal Seam Arrangement Plan

向推进 210 m。采用长壁冒落法, 模拟范围由 7[#]煤层到 12[#]煤层。

2.2 保护层开采后煤岩透气性分析

煤层开采后, 采场围岩所形成的采动裂隙带所包含的煤岩体的力学性能参数与断裂前相比有较大下降, 并且不是一个常数, 而是随着采动裂隙带的孔隙度以及其所承受的上覆岩层的压力而呈动态变化。而其裂隙充分发育, 渗透率和孔隙率已大大提高。通过上述影响因素分析可知, 应力是影响煤岩体透气性的主要因素, 因此主要从应力角度来分析保护层开采后煤岩体透气性变化规律。

2.2.1 数值模拟模型

数值模拟部分把红菱煤矿四区一 710 m 北石门 11[#]煤层首采面及其围岩作为研究对象, 建立三维力学模型。数值模型尺寸为走向 900 m, 倾斜 800 m, 埋深 850 m, 模型底部固定, 模型走向及倾向施加实测地应力, 初始载荷为模型自重, 各岩层的物理力学参数参见表 1, 计算中覆岩采用弹塑性本构模型, 屈服准则采用摩尔库仑准则, 网格划分单元 110 250 个, 节点 117 300 个, 力学模型如图 2。

2.2.2 数值模拟结果分析

考虑到边界效应的影响, 模型的开采在三维模型内部进行, 为了清楚显示渗透率等物理量的变化规律和开采保护层的卸压效果, 在三维模型中取倾斜剖面进行分析。

煤岩体渗透率随有效应力增大而减小^[6-7], 关

表 1 各岩层的物理力学参数

Tab. 1 Physics Mechanical Parameters of Each Rock Stratum

岩性	弹性模量/ GPa	体积模量/ GPa	剪切模量/ GPa	抗压强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	泊松比	密度/ (g · cm ⁻³)	内聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)
上覆岩层	5.5	3.1	2.3	26.7	1.21	0.33	2.55	5.3	32
7 [#] 煤层	1.3	1.1	0.5	10.0	1.00	0.30	1.35	2.7	39
砂岩	8.8	5.8	3.5	68.0	8.50	0.25	2.65	8.9	35
泥岩	7.9	5.1	3.2	69.1	1.70	0.24	2.60	5.2	40
细、中砂岩	9.3	5.5	3.8	40.5	0.99	0.22	2.65	8.5	33
11 [#] 煤层	1.6	1.3	0.6	10.0	0.70	0.30	1.35	2.8	39
中粒砂岩	5.6	2.4	2.5	76.2	5.66	0.12	2.50	8.2	28
粉砂岩	9.8	9.6	3.7	85.2	3.00	0.20	2.7	7.9	40
泥岩	8.9	5.7	3.6	45.8	1.06	0.24	2.65	7.3	29
12 [#] 煤层	1.3	1.1	0.5	10.0	1.50	0.30	1.50	2.2	39
细砂岩	9.7	6.2	3.9	40.5	0.99	0.24	2.60	8.6	33
粘土质泥岩	5.0	3.3	2.0	29.7	1.17	0.25	2.50	5.8	35

系可用幂函数表示:

$$k = k_i e^{3c\sigma} \tag{1}$$

式中: k 为定应力条件下的渗透率; k_i 为原始渗透率; c 为煤岩体的孔隙压缩系数; σ 为某一状态下的应力值。

因此, 根据渗透率与应力函数关系式, 将应力转换成渗透率, 利用 FLAC 模拟出不同步开挖渗透率的变化规律, 根据实际情况, 沿倾斜剖面铅直方向取 11[#] 煤层开挖 20、60、100、140、180 m 时的渗透率变化(图 3~7)。

通过对图 3~7 分析, 可以得出如下结论:

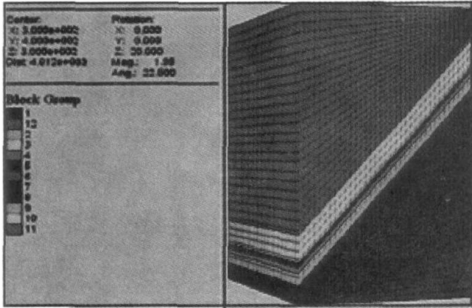


图 2 力学模型

Fig. 2 Mechanical Model

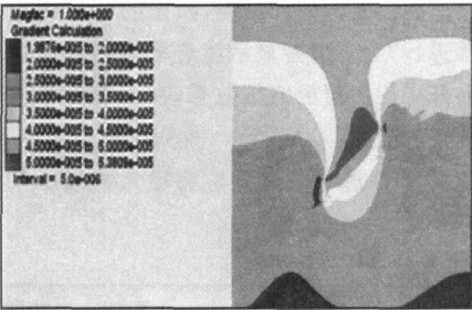


图 3 11[#]煤层开挖 20 m 时沿倾斜剖面渗透率变化情况
Fig. 3 When Excavate of 11[#] Coal Seam is 20 m, the Change Situation of Rate of Permeation Along Inclined Section

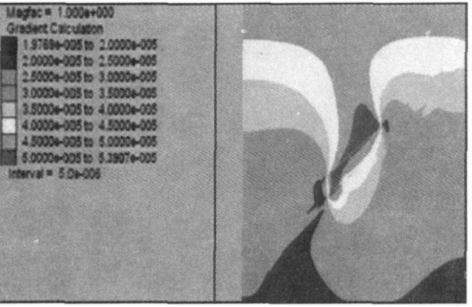


图 4 11[#]煤层开挖 60 m 时沿倾斜剖面渗透率变化情况
Fig. 4 When Excavate of 11[#] Coal Seam is 60 m, the Change Situation of Rate of Permeation Along Inclined Section

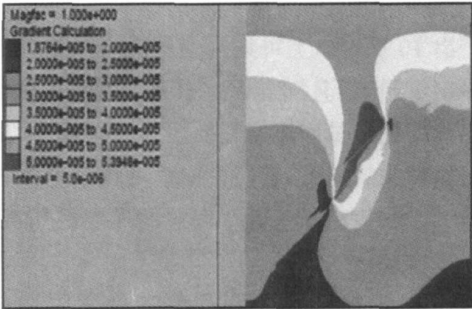


图 5 11[#]煤层开挖 100 m 时沿倾斜剖面渗透率变化情况

Fig. 5 When Excavate of 11[#] Coal Seam is 100 m the Change Situation of Rate of Permeation Along Inclined Section

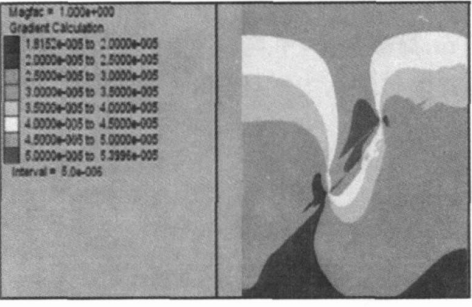


图 6 11[#]煤层开挖 140 m 时沿倾斜剖面渗透率变化情况

Fig. 6 When Excavate of 11[#] Coal Seam is 140 m the Change Situation of Rate of Permeation Along Inclined Section

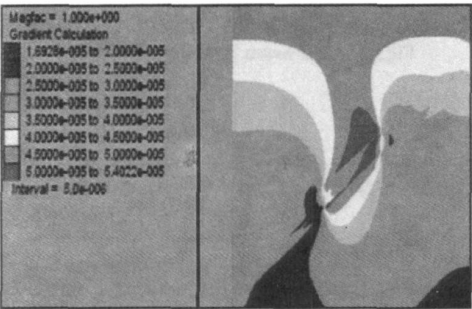


图 7 11[#]煤层开挖 180 m 时沿倾斜剖面渗透率变化情况

Fig. 7 When Excavate of 11[#] Coal Seam is 180 m the Change Situation of Rate of Permeation Along Inclined Section

- (1)从开采保护层周围煤岩体的渗透率值可以看出, 随着工作面的推进, 煤岩体的渗透率有增加的趋势, 煤岩体的透气性随着开挖不断增强。
- (2)对于开采保护层其上覆岩体的渗透率明显比底板岩体的渗透率大, 从图中可以看出, 卸压效果越好, 渗透率越大。
- (3)在保护层顶板附近由于产生冒落带、裂隙

带,煤岩体的渗透率只能定性分析,因此该位置的煤岩体渗透率远远超过原岩体的渗透率。

对保护层开采后煤岩透气性分析表明,煤岩体的透气性随着工作面推进不断增强;开采保护层上覆岩体的渗透率明显比底板岩体的渗透率大,卸压效果越好,渗透率越大;定量给出开采保护层后围岩透气性的时空分布规律是评价被保护层卸压增透增流效应好坏的有效方法。

3 煤岩透气性变化实例

先采11[#]煤层对12[#]煤层有卸压作用,煤岩透气性变化的现场实例。

(1)在11[#]煤层采空区下的12[#]煤层的卸压区,煤层钻孔流量增加十几倍。

-780 m北石门南12[#]煤层下顺槽掘进前,为预防突出在12[#]煤层顶板法距5 m掘进并竣工一条平行于下顺槽的顶板岩巷,在该岩巷开凿4个钻场,钻场间距15 m左右,每个钻场向12[#]煤层打6个直径90 mm穿层钻孔。11[#]煤层开采后,这24个钻孔在对应位置煤巷掘进期间的抽采纯瓦斯量为1.0~1.2 m³/min,连续抽采4个月以后瓦斯抽采量降至0.7 m³/min,即平均单孔瓦斯流量由40~50 m³/min降到约30 m³/min或百米钻孔瓦斯流量由0.56~0.7 m³/min降到0.4 m³/min。

此前抚顺煤科分院测得12[#]煤层原始状态百米钻孔初始瓦斯流量为0.03~0.06 m³/min,与这一数据相比,在11[#]煤层采后的12[#]煤层卸压区百米钻孔初始卸压瓦斯流量增加到0.56~0.7 m³/min,即增加10倍以上。

(2)在11[#]煤层采空区下的12[#]煤层卸压区,煤层钻孔瓦斯流量衰减变缓。

根据钻孔瓦斯流量随时间而变化的统计方程

$$q_t = q_0 e^{-\beta t} \quad (2)$$

式中: q_t 为抽采瓦斯时间为 t 日时的钻孔瓦斯流量; q_0 为抽采瓦斯初始期钻孔瓦斯流量; β 为抽采瓦斯流量衰减系数。可得出12[#]煤层卸压区钻孔抽采瓦斯流量衰减系数 $\beta=0.004$ 。

计算结果表明,12[#]煤层卸压区钻孔瓦斯流量衰减变缓,变为可以抽放煤层(钻孔瓦斯流量衰减系数0.003~0.05。表明在12[#]煤层的卸压区煤层透气性系数增大,这些都有利于卸压瓦斯抽采和利用钻孔预抽卸压瓦斯,加大保护效果,以便彻底消除12[#]煤层的突出危险。

(3)在11[#]煤层采空区下的12[#]煤层卸压区,煤层掘进突出危险性降低,掘后巷道维护容易-780 m北石门南12[#]煤层下顺槽长约400 m,采用顶板岩巷(与煤层垂距5 m)打穿层钻孔抽放措施后顺利地掘完,而且竣工后的巷道维护容易,表明在11[#]煤层采空区下方12[#]煤层的对应区煤层卸压,其突出危险性降低;但相邻的-780 m中石门南12[#]煤层下顺槽当进入11[#]煤层煤柱区采用底板岩巷(与煤层垂距23 m)打穿层钻孔抽放措施后,在掘进工作面打防突钻孔时发生了大型突出。

(4)在11[#]煤层煤柱下的12[#]煤层区,其集中应力大,突出危险性剧增,突出频繁、突出强度大。

在11[#]煤层开采过程中,由于遇到断层、煤层薄化、火成岩、煤自然发火等多种原因而留有煤柱,在11[#]煤层煤柱下的12[#]煤层对应区,形成高集中应力、高瓦斯压力、特低透气性区,煤层突出危险性剧增。这里,不仅突出点密集而且突出强度巨大,据抽样取出6张突出卡片,将其突出点标注到11[#]煤层开采工程图上,明显得出它们都位于11[#]煤层开采留下的煤柱内或煤柱边缘,红菱煤矿发生的3次特大型突出全部都在7[#]煤层煤柱内。这些事例从另一个侧面证明11[#]煤层的开采对12[#]煤层的突出危险性有重大作用。

4 结语

(1)以沈煤集团红菱煤矿保护层开采为例,通过开采11[#]煤层,对存在煤与瓦斯突出的7[#]和12[#]煤层进行卸压,增加7[#]和12[#]煤层的透气性。

(2)利用FLAC数值模拟,对保护层开采后其周围煤岩体的透气性进行分析,得出了煤岩体透气性变化规律,对合理布置抽放钻孔位置和确定瓦斯抽采参数有重要的指导作用。

(3)通过现场钻孔实测瓦斯流量等,证明煤岩体渗透性不断增强。可根据渗透率变化规律和特征布置瓦斯抽放钻孔,解决了煤与瓦斯突出问题。

(4)通过研究煤岩体透气性既可实现煤层瓦斯抽放及煤层气开发,又可解决煤与瓦斯突出问题。

参考文献:

- [1] 唐书恒.煤储层渗透性影响因素探讨[J].中国煤田地质,2001,35(1):28-30.
- [2] 叶建平,史保生.中国煤储层渗透性及其主要影响因素[J].煤炭学报,1999,24(2):118-123.

(下转第171页)

表 2 地下空间资源评价结果

Tab. 2 Evaluation Results of Underground Space Resource		
质量等级	面积/ km ²	总面积率/ %
I	135. 83	40. 55
II	139. 32	41. 59
III	30. 15	9. 00
IV	29. 68	8. 86

6 结 语

GIS 模糊综合评判克服了资源质量等级人为划分的缺陷, 为地下空间资源开发提供了较为可靠的依据。然而, 地下空间资源的开发利用涉及经济、环境、技术水平等诸多方面, 本次评价仅分析了影响地下空间开发利用的自然因素, 因此评价结果有待于实际工作的验证。

参考文献:

[1] 陈 述, 许敬红. 地下空间未来城市发展的趋势[J] . 地下空间, 1998, 18(1): 15-16.
[2] 关宝树, 杨其新. 地下工程概论[M] . 成都: 西南交通大学出版社, 2001.
[3] 童林旭. 地下建筑学[M] . 济南: 山东科学技术出版社, 1994.

[4] 北京市规划委员会. 北京地下空间规划[M] . 北京: 清华大学出版社, 2006.
[5] 黄玉田. 北京市中心区地下空间资源评估探讨[J] . 北京工业大学学报, 1995, 21(4): 93-99.
[6] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M] . 第 3 版. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
[7] 杨天亮. 基于 GIS 的陕南公路地质灾害数据库建立及危险性研究[D] . 西安: 长安大学, 2005.
[8] 韩文峰, 谏文武, 宋 畅. 城市地下空间开发利用的工程地质与岩土工程[J] . 天津城市建设学院学报, 2003, 6(1): 1-5.
[9] 曹灿鑫, 过静君, 祝文君. 航空遥感技术应用新领域——在浅层地下空间资源调查中应用的探讨[J] . 国土资源遥感, 1994, 20(2): 34-39.
[10] 姜 云, 吴立新, 杜立群. 城市地下空间开发利用容量评估指标体系的研究[J] . 城市发展研究, 2005, 12(4): 47-51.
[11] 孙 叶. 区域地壳稳定性定量评价[M] . 北京: 地质出版社, 1998.
[12] 李亚兰, 陈志新, 王佳运. 多级模糊模式识别模型在地质环境质量评价中的应用[J] . 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 90-93.
[13] 许传华, 任青文. 地下工程围岩稳定性的模糊综合评判法[J] . 岩石力学与工程学报, 2004, 23(11): 1852-1855.
[14] 吴立新, 姜 云, 车德福, 等. 城市地下空间资源质量模糊综合评估与 3D 可视化[J] . 中国矿业大学学报, 2007, 36(1): 97-98.

(上接第 165 页)

[3] 张广洋. 煤的瓦斯渗透性影响因素的探讨[J] . 重庆大学学报: 自然科学版, 1995, 18(3): 27-30.
[4] 肖代兵, 刘 林. 突出煤层保护层开采保护方法的考察[J] . 陕西煤炭技术, 1999, 48(3): 2-5.
[5] 刘德贵. 急倾斜近距离复杂煤层保护层开采的实践[J] . 矿业

安全与环保, 2005, 12(1): 66-67.
[6] 贺玉龙, 杨立中. 温度和有效应力对砂岩渗透性影响的试验研究[J] . 煤田地质与勘探, 2004, 25(2): 36-38.
[7] 张国华, 梁 冰. 煤岩渗透率与煤与瓦斯突出关系理论探讨[J] . 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2002, 21(4): 414-417.