

平岗煤矿 1202 工作面上覆岩层“三带”的判定

朱红青, 张民波, 申健, 王斐然, 胡瑞丽

中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083

摘要 为准确判定“三带”对于提高平岗煤矿高位孔和高抽巷的瓦斯抽放量, 采用理论计算、数值模拟、现场试验方法, 研究了平岗煤矿 1202 工作面采空区上覆岩层“三带”的判定问题。理论计算与数值模拟得到冒落带高度范围为 6.2~8.3m, 裂隙带高度范围为 23.0~28.2m; 现场测试结果与理论计算值基本一致。在裂隙带中实施瓦斯抽放, 瓦斯流量可达 1m³/min 以上。本文所提出的方法为高位孔终孔位置和高抽巷层位的确定提供了重要的参考依据, 能够有效降低工作面瓦斯超限事故的发生。

关键词 冒落带; 裂隙带; 数值模拟; 高位试验孔; 瓦斯抽采

中图分类号 TD712

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.23.007

Determining the "Three Zones" of Overlying Strata in 1202 Working Face of Pinggang Coal Mine

ZHU Hongqing, ZHANG Minbo, SHEN Jian, WANG Feiran, HU Ruili

School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

Abstract In order to accurately determine the "three zones" of overlying strata in 1202 working face of Pinggang coal mine, theoretical calculation, numerical simulation and experimental test in working environment have been applied to study the question of "three zones". And then the results of theoretical calculation and numerical simulation are that the range of caving zone and fracture zone are respectively 6.2—8.3m and 23.0—28.2m, which are consistent with the results of experimental test in working environment. With the aid of application of theoretical calculation and numerical simulation, it led to that the gas extraction flow rate is more than 1m³/min in the fracture zone. Thus, based on our method the precise heights of "three zones" are very helpful for improving the gas drainage quantity of high-level bore and high-level gas suction roadway in Pinggang coal mine. The methods and results of our research will be significant for guiding the practical production in the future.

Keywords caving zone; fracture zone; numerical simulation; high-level test hole; gas drainage

0 引言

近年来,随着煤矿开采强度的增大,采前预抽已经无法有效解决单一低透气性煤层开采过程中瓦斯超限的问题^[1-3]。因此,研究其他有效的瓦斯抽放技术已经迫在眉睫。理论研究表明,煤层开采后,采空区上覆岩层由于应力平衡遭到破坏将形成“三带”结构,即冒落带、裂隙带和弯曲下沉带^[4]。“三带”中的裂隙带由于裂隙比较发育而成为了卸压瓦斯运移的主要通道,也是瓦斯聚集的主要场所^[5]。高位孔和高抽巷等瓦斯抽放技术就是分别利用钻孔的终孔位置和巷道的层位布

置在“三带”中的裂隙带进行瓦斯抽放,以达到治理单一低透气性煤层工作面瓦斯超限的问题^[6,7]。然而,高位孔和高抽巷瓦斯抽放效果的关键在于准确判定“三带”的高度范围,否则将无法有效抽采裂隙带中的卸压瓦斯^[8,9]。

本文以平岗煤矿 1202 工作面为例,通过理论计算和数值模拟的方法对 1202 工作面采空区上覆岩层“三带”进行判定,最后通过现场打孔测试的方式对理论计算和数值模拟所得结果的正确性进行检验,以便为今后煤矿高位孔和高抽巷的瓦斯抽放设计提供合理的参考依据。

收稿日期: 2013-06-17; 修回日期: 2013-07-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51074168)

作者简介: 朱红青, 教授, 研究方向为煤矿瓦斯防治理论与技术, 电子信箱: zhq@cumt.edu.cn

1 试验工作面概况

鸡西矿业集团平岗煤矿东三采区中部 14# 煤层 1202 工作面结构单一,煤层倾角为 10~15°, 平均 12.5°, 煤层厚度 1.8~2.15m,下至东三采区 14# 左 0 巷,上至东三采区左一巷,左至采止线,右至开切眼,采高 1.9m,走向长 540m,倾向长 190m,工业储量 2.72×10⁸t,可采储量 2.59×10⁸t,工作面距离地表垂深 450~500m,工作面风量 1180m³/min;上巷风量 870m³/min,瓦斯浓度体积百分比为 0.7%,尾巷风量 310m³/min,瓦斯浓度体积百分比为 1.5%,回采速度 4.8m/d,工作面相对瓦斯含量为 25.1m³/t。煤层透气性系数为 0.023~0.026m²/(MPa²·d),属于较难抽放煤层。工作面无自然发火,煤尘爆炸指数为 44.3%,工作面顶底板以致密的细砂岩和粉砂岩为主。

由于 1202 工作面在回采过程中绝对瓦斯涌出量高达 40m³/min 以上,为防止工作面瓦斯超限,同时采用高位钻孔和高抽巷等瓦斯抽放技术进行处理。然而,平岗煤矿 1202 工作面高位孔和高抽巷的抽放效果并不理想。主要原因是高位孔和高抽巷的设计缺乏对上覆岩层“三带”高度的科学判断,导致高位孔终孔位置和抽放巷合理层位的布置不合理。为此,本文通过理论分析、数值模拟和现场试验的方式对 1202 工作面上覆岩层“三带”范围进行了判定。

2 “三带”的理论计算及数值分析

2.1 理论计算

根据矿压理论,工作面回采后,采空区上覆岩层将会冒落充满采空区形成冒落带,冒落带上方的岩层逐渐进入裂隙带,而在确定冒落带和裂隙带理论高度时,由于式(1)和式(2)所得计算结果误差较小而得到了广泛的应用。

冒落带理论高度 H_m 计算公式^[1]:

$$H_m = \frac{100h}{6.2h+10.0} \pm 2.5 \quad (1)$$

式中, h 为采高, m。

裂隙带理论高度 H_l 计算公式^[1]:

$$H_l = \frac{100h}{ah+b} \pm c \quad (2)$$

式中, a 、 b 、 c 为待定常数,需依据煤矿设计规范确定,见表 1。

表 1 a 、 b 、 c 待定常数取值表

Table 1 Undetermined constant value table of a , b , c

岩性	a	b	c
坚硬岩石	1.2	2.0	8.9
中硬岩石	1.6	3.6	5.6
软弱岩石	3.1	5.0	4.0
极软弱岩石	5.0	8.0	3.0

结合平岗煤矿 1202 工作面的实际情况,采高为 1.9m,顶底板岩石以中硬的砂岩为主,待定常数 a 、 b 、 c 按照表 1 取值^[1],将

各参数代入式(1)和式(2)可得:冒落带顶部理论高度范围为 6.2~11.2m;裂隙带顶部理论高度范围为 23.0~34.2m。根据现场实际应用经验可知,“三带”理论计算结果一般偏大,因此,需要结合数值模拟结果进一步确定。

2.2 数值分析

2.2.1 建立计算模型

FLAC3D 软件在模拟计算地质材料和岩土工程领域的广泛应用,采用该软件模拟计算了平岗煤矿 1202 工作面回采时,采空区上覆岩层的力学演化过程。14# 煤层 1202 工作面综合柱状图见图 1,工作面模拟计算模型如图 2 所示。



图 1 综合柱状图

Fig. 1 Synthesis column map

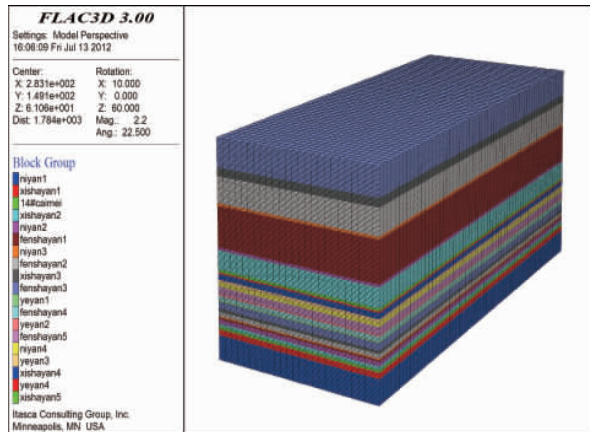


图 2 工作面模拟计算模型

Fig. 2 Simulation calculation model of the 1202 face

模型走向长 600m,倾向长 250m,岩层厚度 168m,煤层和顶底板岩石物理力学参数取值见表 2。表 2 中数据是根据平岗煤矿现场实测以及地质资料所得。

表 2 1202 工作面顶底板岩石物理力学参数

Table 2 Physical and mechanical parameters of rock on the 1202 face roof and floor

岩石种类	体积模量/GPa	剪切模量/GPa	内摩擦角/(°)	黏聚力/MPa	抗拉强度/MPa	密度/(kg·m ⁻³)
粉砂岩	2.020	1.709	33	4.1	0.86	2400
中砂岩	5.833	4.375	38	5.0	0.97	2610
煤	1.190	0.368	25	2.0	0.03	1400
泥岩	1.613	1.260	34	3.5	0.06	2100
细砂岩	5.914	4.622	38	5.0	1.03	2660

在数值模拟中,边界条件定义为速度边界。通过模型边界节点的速度来控制边界条件。具体思路是在模拟模型形成初始地应力场过程中,不设速度边界条件,而是在模型表面根据地应力场施加相应的应力边界条件并达到平衡。模型表面施加的应力边界可认为是模型最外层单元受到的应力,进而转化成作用在模型外层节点上的节点力。模型中地应力计算公式如下^[2]:

$$\sigma_z = \gamma H \quad (3)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \lambda \sigma_z \quad (4)$$

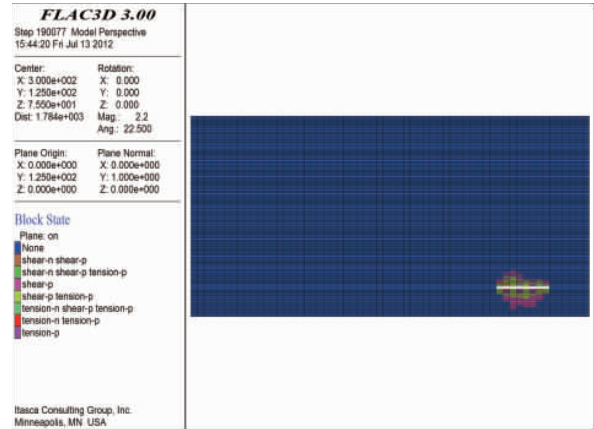
式中, γ 为上覆岩层平均容重, kN/m^3 ; H 为埋深, m ; λ 为侧向应力系数, 为 1.2。

根据平岗煤矿地质资料可知,工作面距离地表埋深平均 475m,上覆岩层平均容重 26.8kN/m^3 ,模型中竖直方向应力设置为 12.73MPa ,水平方向应力为 15.28MPa 。

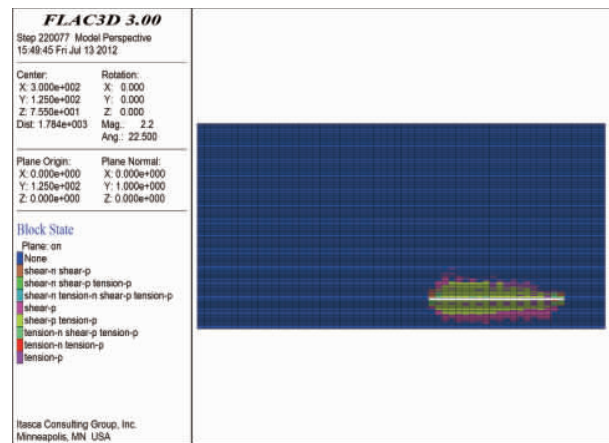
2.2.2 模拟结果及分析

模拟过程为^[3],生成模型→计算原岩应力→开采煤层→计算稳定→各步计算平衡→输出计算结果。1202 工作面实行

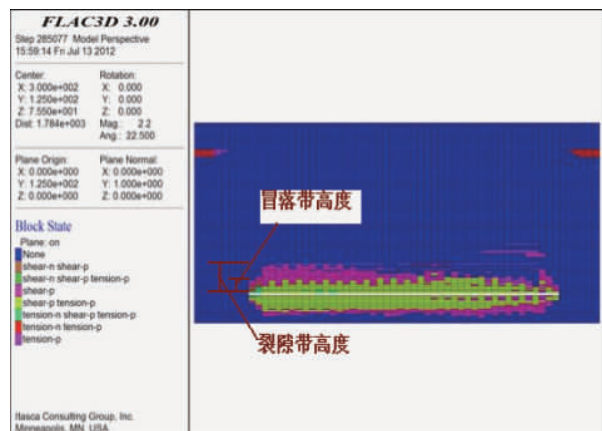
分步开采,开完切眼后,采一步放一步,循环 24 步,每步 20m,开挖至 480m 后结束。图 3 是开挖至 80、200 和 480m 时的模拟结果。



(a) 80m

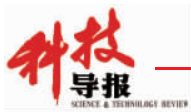


(b) 200m



(c) 480m

图 3 模型单元状态
Fig. 3 Model status



由图3数值模拟结果图可以看出:工作面回采后,采空区上方首先出现的是已经发生过的拉剪破坏区,拉剪破坏区的岩体由于受到拉伸应力和剪切应力的双重作用而产生断裂,所以主要形成冒落带;其次出现的是已经发生过的剪切破坏区,剪切破坏区的岩体由于主要受到剪应力的作用而产生横向或者竖直方向的裂纹,该区是瓦斯运移的主要通道,称为裂隙区;最后是没有发生拉剪破坏或者剪切破坏的区域,此区的岩体只是产生可恢复弹性变形,因此该区称为弯曲下沉带。由于上覆岩层受力的复杂性,在模拟计算过程中局部地区也会产生拉剪破坏或者剪切破坏^[4]。同时,由模拟结果图可知工作面回采至80m时,采空区上覆岩层裂隙带开始明显出现;工作面回采至200m时,采空区上覆岩层裂隙带发育趋于稳定;工作面回采至480m结束时,采空区上覆岩层冒落带顶部高度8.3m,裂隙带顶部高度28.2m,这2个值与计算值基本一致。

由于理论计算结果通常比实际情况偏大,因此,结合数值模拟结果可将冒落带高度范围和裂隙带高度范围分别暂定为6.2~8.3m和23.0~28.2m,此范围的合理性有待进一步现场验证。

3 现场试验

为了检验理论计算与数值模拟所得“三带”范围的正确性,以便为平岗煤矿14#煤层高位孔和高抽巷瓦斯抽放设计提供合理的参数。在1202工作面回风巷5#仰角钻场布置3个直径为113mm的高位试验孔,通过考察单孔瓦斯抽放量与工作面推进关系得到“三带”范围,从而验证理论计算与数值模拟结果的正确性。各高位试验孔现场布孔参数见表3,各试验孔现场布置图见图4,各试验孔瓦斯抽放纯量随工作面变化关系见图5。

表3 各试验孔现场布置参数

Table 3 Field layout parameters of each test hole

孔号	与巷帮夹角/(°)	仰角/(°)	终孔长度/m	巷道方向投影长度/m	终孔位置高度/m
1	23	28.4	74.1	60	35.2
2	28	27.6	76.7	60	35.5
3	33	26.8	80.1	60	36.1

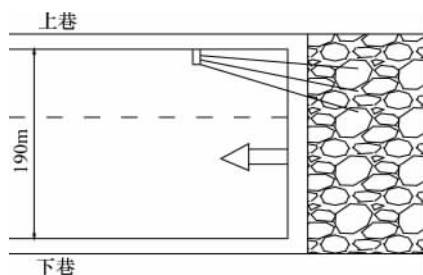


图4 各试验孔平面布置

Fig. 4 Layout of testing holes

由图5可得,随着工作面的推进,各试验孔瓦斯抽采纯量变化趋势基本形态为抛物线,具有明显的瓦斯抽采量增大范围,这是因为随着工作面的推进,各试验孔终孔位置进入到裂隙带。经过一段时间的稳定抽放后开始下降,这是因为各试验孔终孔位置进入到冒落带抽入空气^[15]。

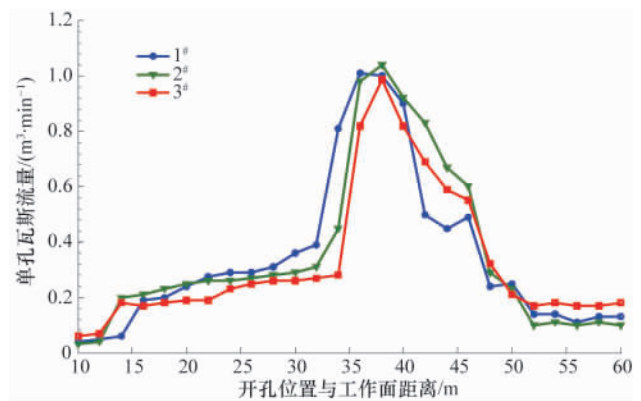


图5 试验孔单孔瓦斯流量随工作面推进变化曲线
Fig. 5 Curve of gas flow of the test single hole with working face advance

根据单孔瓦斯抽放流量的变化,各试验孔所对应的裂隙带高度以及冒落带高度见表4。表4中抽放量增大阶段和抽放量急剧减少位置为试验孔开孔位置距离工作面距离。各高位钻孔参数的关系如图6所示,将各试验孔现场布孔参数和瓦斯抽放量变化阶段对应位置参数代入式(5),式(6)和式(7)计算,可得到相应的冒落带和裂隙带高度范围。

由表4可得,各试验孔现场考察结果与理论计算和数值

表4 各试验孔对应裂隙带与冒落带高度

Table 4 Height of fracture zone and caving zone corresponding to each test hole

孔号	抽放量增大阶段/m	裂隙带高度范围/m	抽放量急剧减少位置/m	冒落带高度/m
1	35~46	20.5~27.0	14	8.2
2	36~47	21.3~27.8	12	7.1
3	36~46	21.7~27.7	13	7.8

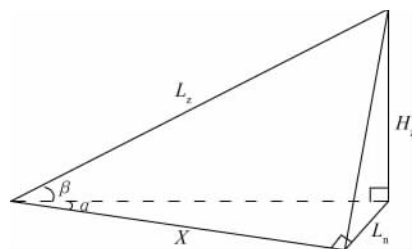
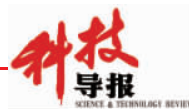


图6 高位钻孔主要参数关系

Fig. 6 Main parameters of high-level borehole



模拟所得结果基本相符,可见通过理论计算结合数值模拟的方法确定裂隙带高度范围与冒落带高度的方法所得结果是正确的,可以应用于现场实践。

由图 6 可计算高位钻孔的主要参数如下:

$$X=L_z \cos \beta \cos \alpha \quad (5)$$

$$L_n=L_z \cos \beta \sin \alpha \quad (6)$$

$$H_z=\frac{X \tan \beta}{\cos \alpha} \quad (7)$$

式中, X 为钻孔轴线在巷道方向的投影长度,为 60m; L_z 为钻孔总长度,m; β 为钻孔仰角, $(^\circ)$; α 为钻孔水平投影与巷道夹角, $(^\circ)$; L_n 为钻孔的倾向控制范围,m; H_z 为钻孔垂直高度,m。

4 结论

为利用高位孔和高抽巷瓦斯抽放技术有效抽采裂隙带中的卸压瓦斯,需要准确判定“三带”的高度范围。因此,本文提出采用理论计算与 FLAC3D 数值模拟相结合的方法确定采空区上覆岩层冒落带和裂隙带高度范围,并以平岗煤矿 1202 工作面为例进行现场试验,验证了该方法的合理性,所得主要结论如下。

(1) 理论计算与 FLAC3D 数值模拟得到平岗煤矿 1202 工作面冒落带高度范围为 6.2~8.3m,裂隙带高度范围为 23.0~28.2m;现场试验得到冒落带高度范围为 7.1~8.2m,裂隙带高度范围为 20.5~27.8m;二者范围基本一致,可见理论计算与数值模拟所得结果是基本符合现场实际的。

(2) 通过考察单孔瓦斯抽放纯量与工作面推进关系可知,裂隙带区域单孔瓦斯抽放流量高达 1m³/min 左右,明显高于其他区域,可见将高位孔终孔位置和高抽巷合理层位布置在裂隙带中的合理性。

(3) 本文提出的确定冒落带与裂隙带的方法为高位孔终孔位置和高抽巷层位的确定提供了重要的参考依据,能够有效降低工作面瓦斯超限事故的发生,从而创造经济效益。

参考文献 (References)

[1] 于不凡. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005: 332-335.
 Yu Bufan. The manual of coal mine gas disaster prevention and utilization technique[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2005: 332-335.

[2] 付江伟, 傅雪海, 蒋玉玺. 单一低透气性煤层卸压带瓦斯抽采的基础研究[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(1): 4-7.
 Fu Jiangwei, Fu Xuehai, Jiang Yuxi. Mining Safety & Environmental Protection, 2012, 39(1): 4-7.

[3] 马旭东. 单一高瓦斯低透气煤层采空区瓦斯抽放技术[J]. 煤炭技术, 2011, 30(3): 114-115.
 Ma Xudong. Coal Technology, 2011, 30(3): 114-115.

[4] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 177-184.
 Qian Minggao, Shi Pingwu. Ground pressure and strata control [M]. Xuzhou: China University of Mining Press, 2003: 177-184.

[5] 朱红青, 张民波, 冯世梁, 等. 高位孔抽采上被保护层卸压瓦斯的研究

及其应用[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(2): 92-96.
 Zhu Hongqing, Zhang Minbo, Feng Shiliang, et al. China Safety Science Journal, 2013, 23(2): 92-96.

[6] 袁亮, 刘泽功. 淮南矿区开采煤层顶板抽放瓦斯技术的研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28(2): 149-152.
 Yuan Liang, Liu Zegong. 2003, 28(2): 149-152.

[7] 朱红青, 张民波, 王宁, 等. Y 型通风高位钻孔抽采被保护层卸压瓦斯研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(2): 56-59.
 Zhu Hongqing, Zhang Minbo, Wang Ning, et al. Coal Science and Technology, 2013, 41(2): 56-59.

[8] 涂敏. 潘谢矿区采动岩体裂隙发育高度的研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(6): 641-645.
 Tu Min. Journal of China Coal Society, 2004, 29(6): 641-645.

[9] 梁运培, 文光才. 顶板岩层“三带”划分的综合分析法[J]. 煤炭科学技术, 2000, 28(5): 39-42.
 Liang Yunpei, Wen Guangcai. Coal Science and Technology, 2000, 28(5): 39-42.

[10] 侯凤才, 张国华. 高位钻孔瓦斯抽放参数的确定[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(4): 259-261.
 Hou Fengcai, Zhang Guohua. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2008, 18(4): 259-261.

[11] 王海东, 李旭, 吴晓民, 等. 永安煤矿高瓦斯综放工作面高位钻孔抽放参数确定[J]. 煤矿安全, 2008, 39(12): 26-28.
 Wang Haidong, Li Xu, Wu Xiaomin, et al. Safety in Coal Mines, 2008, 39(12): 26-28.

[12] 王渭明, 杨更社, 张向东, 等. 岩石力学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009: 150-167.
 Wang Weiming, Yang Gengshe, Zhang Xiangdong, et al. Rock mechanics[M]. Xuzhou: China University of Mining Press, 2009: 150-167.

[13] 陈育民, 徐鼎平. FLAC/FLAC3D 基础与工程实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 21-31.
 Chen Yumin, Xu Dingping. FLAC/FLAC3D foundation and project examples[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009: 21-31.

[14] 黄志安, 童海方, 张英华, 等. 采空区上覆岩层“三带”的界定准则和仿真确定[J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(7): 609-612.
 Huang Zhian, Tong Haifang, Zhang Yinghua, et al. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 28(7): 609-612.

[15] 王福厚. 高位钻孔抽放瓦斯冒落带及裂隙带高度确定方法[J]. 煤炭技术, 2008, 27(8): 75-76.
 Wang Fuhou. Coal Technology, 2008, 27(8): 75-76.

(责任编辑 季超)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。