

文章编号:0253-9993(2011)08-1252-06

巨厚火成岩下采动应力演化规律与致灾机理

轩大洋^{1,2}, 许家林^{1,2}, 冯建超^{1,2}, 朱卫兵^{1,2}

(1. 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要:为确定海孜煤矿Ⅱ₁₀₂采区内煤与瓦斯突出灾害原因, 综合分析了采区地质开采条件、突出点瓦斯地质特征及突出特征, 采用 UDEC 软件模拟研究了均厚 140 m 火成岩下开采时的采动应力演化规律, 从采动应力影响范围的角度解释了此次动力灾害的原因。研究表明: 距煤层 170 m 的巨厚火成岩在累计采宽 370 m 时仍然不发生破断, 导致采动应力影响范围增大至 310 m, 为不存在火成岩时的 3 倍; 受火成岩影响, 采空区边界外 180 m 处应力集中系数高达 1.7, 在此处进行Ⅱ₁₀₂₆工作面机巷掘进时, 采动应力成为煤与瓦斯突出的一个主要动力源。

关键词:巨厚火成岩; 采动应力; 演化规律; 煤与瓦斯突出

中图分类号: TU452

文献标志码: A

Disaster and evolvement law of mining-induced stress under extremely thick igneous rock

XUAN Da-yang^{1,2}, XU Jia-lin^{1,2}, FENG Jian-chao^{1,2}, ZHU Wei-bing^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: To find out the reason why coal and gas outburst (CGO) occurred in the Ⅱ₁₀₂ mining area, the geological and mining conditions, gas geology and outburst characteristics were analyzed. A numerical model with universal distinct element code was built to study the evolvement law of mining-induced stress (MIS) under 140-m-thick extremely thick igneous rock (ETIR) with the purpose of explaining the occurrence of the disaster in the viewpoint of MIS coverage. The results indicate that the ETIR which is 170 m above the coal seam doesn't break in the span of 370 m, and the coverage of MIS increases to 310 m which is three times of that without ETIR. The factor of MIS increases to 1.7 in the roadway 180 m away from the goaf, which proves that MIS is the main power for the CGO when excavating in the roadway of Ⅱ₁₀₂₆ working face under ETIR.

Key words: extremely thick igneous rock; mining-induced stress; evolvement law; coal and gas outburst

理论研究和实践表明, 煤矿冲击矿压、煤与瓦斯突出等动力灾害的原因之一就是采动应力集中^[1-3]。掌握因煤层开采引起的应力演化规律, 尤其是特殊地质条件时(如巨厚硬岩层下开采), 可以为开采方案设计、煤岩动力灾害预测等提供理论依据, 对于安全生产而言意义重大。

巨厚硬岩层在我国多个煤矿区均有分布, 如华丰巨厚砾岩、焦坪巨厚砾岩、义马巨厚砾岩、济宁巨厚火

成岩等, 且曾经发生多次动力现象甚至灾害^[4], 故该类条件下的安全开采问题受到了广泛关注。关于厚硬岩层下开采的研究, 多侧重于岩层的破断失稳模式及运动特征、动力灾害防治^[5-7], 对于应力演化规律研究相对较少。文献[8-9]采用数值模拟方法研究了厚硬岩层下回采时煤岩体内的应力集中程度, 但没有分析应力影响范围、应力演化与动力灾害间的关系。一般认为^[10], 常规地质条件下, 回采工作面倾斜

方向的采动影响范围多在 15 ~ 40 m 之间, 应力峰值在 15 ~ 20 m 处。通常情况下, 超出以上范围进行采掘活动多数不受已采区域的影响; 但覆岩中存在巨厚硬岩层时, 采动应力影响范围会远远扩大, 造成本工作面回采对很远距离内的采掘活动产生影响, 甚至威胁其安全生产。如淮北海孜煤矿 II₁₀₂ 采区, 面临均厚 140 m 的火成岩下安全采煤问题。由于缺乏对该地质条件下应力演化规律的认识, 导致采掘过程中发生了动力突水^[1]和煤与瓦斯突出灾害。为此, 本文研究了在巨厚火成岩下开采时的应力演化规律, 并从采动应力影响范围的角度解释了动力灾害的原因。

1 巨厚火成岩下地质开采条件及动力灾害

1.1 采区地质开采条件

II₁₀₂ 采区开采 10 煤层, 为非突出煤层。煤层平均厚 2.5 m。采区总体为一单斜构造, 地层倾角平均 18°。采区对应地面标高 +27 m, 松散层平均厚 240 m, 与煤系地层呈不整合接触, 煤层埋深 587 ~ 737 m。

II₁₀₂ 采区走向长 2 000 ~ 2 670 m, 平均 2 340 m, 倾斜宽 280 ~ 900 m, 平均 700 m。采区布置为双翼采区, 西翼有 II₁₀₂₂、II₁₀₂₄、II₁₀₂₆ 等工作面, 其中, II₁₀₂₂、II₁₀₂₄ 均已回采完毕, 目前正在准备 II₁₀₂₆ 工作面。II₁₀₂₂ 工作面走向长 560 m, 倾向宽 210 m, 煤层底板标高 -540 ~ -620 m; II₁₀₂₄ 工作面走向长 560 m, 倾向宽 160 m, 煤层底板标高 -610 ~ -650 m。

采区岩性一般以中 ~ 细砂岩为主, 厚 5 ~ 30 m; 局部地段为粉砂岩或泥岩, 厚 1 ~ 5 m。煤层顶板上方 170 m 处沿 5 煤层被火成岩侵入。火成岩呈岩床分布, 沿走向覆盖整个采区; 厚度分布稳定, 最大达 170 m, 平均约 140 m。由于其单层厚度大、完整性强, 因此被称为巨厚火成岩。

1.2 巨厚火成岩物理力学特性及破断特征

II₁₀₂ 采区上覆巨厚火成岩以闪长玢岩为主, 浅灰色、绿灰色, 斑状结构、似斑状结构, 基质及斑晶成分以斜长石为主, 次为角闪石, 少量黑云母、石英、辉石。通过对现场进行取样, 在实验室测得其力学特性参数见表 1。

表 1 火成岩力学特性参数
Table 1 Mechanical parameters of ETIR

抗压强度/MPa	变形模量/GPa	泊松比	抗拉强度/MPa	岩石质量指标/%
139.97	32.4	0.256	35	90

II₁₀₂₂、II₁₀₂₄ 工作面开采后, 推进总长达 560 m, 累计采出宽度已达到 370 m。此时, 工作面充分采动程度: $560/622 \times 370/622 = 0.54$ 。根据淮北矿区类似地质条件下充分采动时下沉系数经验值 1.0 计算, 该区域的经验最大下沉值为 $2.5 \times 1.0 \times 0.54 = 1.35$ m。

II₁₀₂ 采区开采前在地面建立了 2 条沉陷观测线, 分别沿工作面走向和倾向。II₁₀₂₂、II₁₀₂₄ 工作面开采完毕 1 a 后, 实测地表下沉曲线如图 1 所示, 地表最大下沉值仅 535 mm, 远小于该区域经验最大下沉值 1 350 mm。

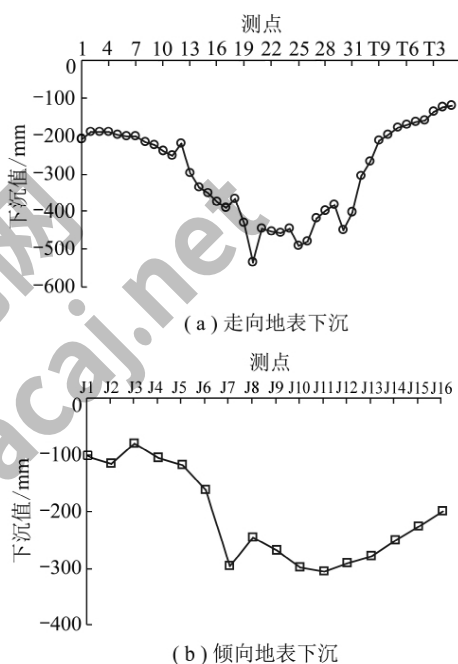


图 1 II₁₀₂ 采区地表下沉曲线

Fig. 1 Subsidence curves of the ground surface in the mining area II₁₀₂

关键层理论的研究成果^[12-13]表明, 覆岩主关键层对地表移动的动态过程起控制作用, 主关键层的初次破断将引起地表的快速下沉; 通过对 II₁₀₂ 采区内 21B₃ 钻孔柱状进行关键层判别^[14], 得出巨厚火成岩为覆岩内的主关键层。结合沉陷观测曲线可以推断: II₁₀₂₂、II₁₀₂₄ 工作面开采后, 巨厚火成岩并没有发生破断, 其承受住了上部岩层直至地表的载荷, 才导致近充分采动时地表下沉小于经验值。

1.3 巨厚火成岩下动力灾害特征

采区内距 II₁₀₂₄ 工作面回采边界 180 m 处的 II₁₀₂₆ 工作面机巷 2009-04-25 凌晨掘进至 520 m 处发生了煤与瓦斯突出灾害。

突出点瓦斯地质特征如下: 突出点煤厚 2.8 m, 煤层倾角 9°, 距地表垂深 670.9 m; 突出点附近无地质构造影响, 附近岩石较完整, 煤层较为破碎。煤层

为块状、粉末和条带状结构,黑色条痕;断口参差,质软;以暗煤和光亮型煤为主。底板为泥岩,厚为 0 ~ 2.0 m,深灰或灰黑色,性脆,富含植物化石。伪顶为炭质泥岩,厚 0 ~ 0.3 m,黑色,薄层状,质软,染手。直接顶板为泥岩,厚 0 ~ 1.5 m,岩性与底板相同。

突出特征如下:累计喷出煤岩石量 656 t,喷出煤为细小颗粒,分选较差;煤喷距离为 74.7 m,堆积坡度为 11°,造成 74 m 巷道被堵塞;突出瓦斯涌出量为 13 090 m³。

突出前有效风量 600 m³/min;正常瓦斯浓度 0.4%;绝对瓦斯涌出量 2.4 m³/min;突出前瓦斯压力为 0.55 MPa。突出前有如下动力现象:顶板出现响声,煤壁下帮出现掉渣、外臃,而后煤尘逐渐增大。

Ⅱ₁₀₂₆机巷在掘进过程中进行了突出危险性预测,从开始施工至 2009-04-24 之间,瓦斯浓度为 0.1% ~ 0.7%, K_1 值为 0 ~ 0.09 mL/(g · min^{1/2}), Δh_2 为 60 ~ 140 Pa, $S_{\max}$ 为 1.2 ~ 3.8 kg/m。其中 4 月 24 日瓦斯浓度为 0.55%, K_1 值为 0.08 mL/(g · min^{1/2}), Δh_2 为 120 Pa, $S_{\max}$ 为 2.8 kg/m。上述指标均未达到《防治煤与瓦斯突出规定》临界值,属于低指标突出。

由上述突出区域瓦斯地质特征及突出过程可初步确定:此次突出,以应力为主导,瓦斯为次要作用。突出区域处于火成岩厚度变化影响带,因火成岩侵入厚度不同产生的构造应力一定程度参与了突出的发生;但由于沿采区倾向火成岩厚度变化率很小,每 100 m 跨度时厚度最大变化仅为 7.7 m,故其影响作用有限。由于突出点埋深达 670.9 m,故自重应力较高;同时由于巨厚火成岩的存在及其厚度与强度的特殊性,其对采动应力场必然产生影响,导致突出区域应力异常集中,对突出的发生有一定促使作用。

2 巨厚火成岩下采动应力演化规律

2.1 数值模拟方案

采用 UDEC 软件模拟研究巨厚火成岩下煤层开

采导致的采动应力演化规律。

为了定性说明问题,对Ⅱ₁₀₂采区地质条件进行适当简化后建模。模型取自采区倾向剖面。不考虑地层倾角的影响,采用水平模型。模型长度 1 600 m,高度 600 m。采用位移固定边界,其中左右边界为水平单向约束,底部边界为双向约束。模型仅受重力作用,采用摩尔-库仑材料模型。

为了揭示巨厚火成岩对采动应力的影响,建立两个模型进行对比:模型 1 中存在一层 140 m 的火成岩;模型 2 中将火成岩替换成厚度均匀的多层岩层,其它岩层条件保持不变。模型 1、2 示意如图 2 所示。模型中主要岩层岩性、厚度参照采区内 21B₃ 钻孔柱状并进行一定简化,取值见表 2。

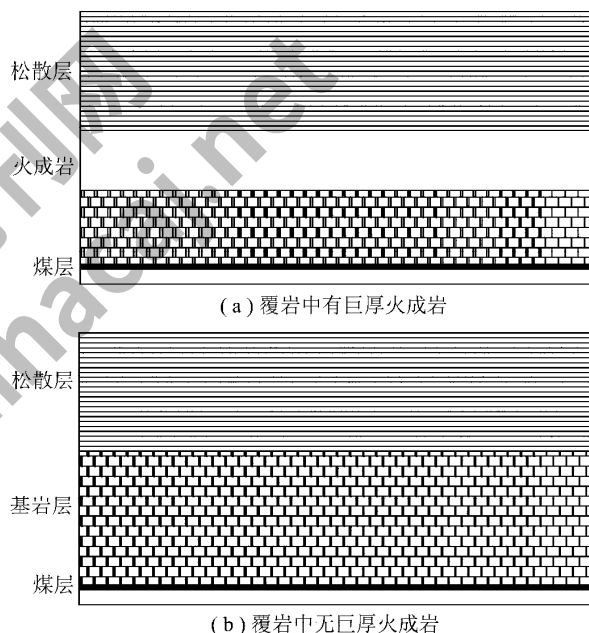


图 2 数值模型 1 和模型 2 示意

Fig. 2 Sketches of numerical model 1 and model 2

2.2 Ⅱ₁₀₂采区数值模拟结果

为研究巨厚火成岩的存在对Ⅱ₁₀₂采区开采的影响,模拟计算模型 1 先后采出Ⅱ₁₀₂₂、Ⅱ₁₀₂₄工作面后采空区两侧煤体上的应力集中系数和影响范围,并与模型 2(覆岩中不存在巨厚火成岩)进行对比。定义应

表 2 数值模型中岩层力学特性参数

Table 2 Mechanical parameters of rock strata in numerical models

岩层	密度/ (kg · m ⁻³)	内摩擦 角/(°)	黏聚 力/MPa	剪切模 量/GPa	体积模 量/GPa	抗拉强 度/MPa	节理法向刚 度/GPa	节理切向刚 度/GPa
松散层	2 000	10	0.12	0.09	0.12	0.07	0.3	0.02
基岩层	2 500	30	2.50	4.50	7.50	1.30	2.1	0.18
火成岩	2 500	45	43.00	47.00	75.00	25.00	35.0	1.80
煤层	1 400	28	2.20	3.50	5.00	1.00	1.3	0.10

力影响范围边界为应力值高于原岩应力 5% 处。模型 1、2 开挖步骤如下: 先模拟 II_{1022} 采出 210 m, 令其充分平衡; 然后模拟 II_{1024} 采出 160 m, 令其充分平衡。计算得出 II_{1022} 、 II_{1024} 工作面分别开采后采空区两侧煤体上的应力分布如图 3 所示。

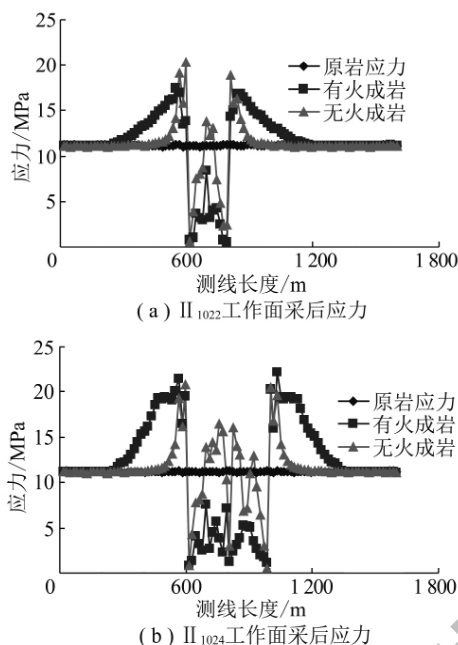


图 3 II_{1022} 、 II_{1024} 工作面采后煤层内部的垂直应力分布曲线

Fig. 3 Curves of vertical stress in the coal seam after excavating II_{1022} and II_{1024} working face

通过对模拟结果分析得出模型 1、2 中两工作面开采后的应力影响范围和应力峰值, 见表 3。

表 3 工作面开采后的采动应力演化规律

Table 3 Law of MIS after excavating II_{1022} and

II_{1024} working face

工作面	模型	应力影响范围/m	应力峰值/MPa	最大应力集中系数
II_{1022}	1	310	17.4	1.6
	2	115	20.3	1.8
II_{1024}	1	310	22.1	2.0
	2	115	20.8	1.9

由图 3 和表 3 可以看出:

(1) 覆岩中存在巨厚火成岩时, II_{1022} 、 II_{1024} 两工作面开采后, 煤体内应力影响范围为 310 m, 应力峰值为 22.1 MPa, 最大应力集中系数为 2.0, 距 II_{1024} 工作面机巷 180 m 处即 II_{1026} 工作面机巷所处位置, 垂直应力由原岩应力 11.1 MPa 增大至 19.2 MPa, 应力集中系数达 1.7。

(2) 覆岩中不存在巨厚火成岩时, II_{1022} 、 II_{1024} 两工作面开采后, 煤层内的应力影响范围仅 115 m, 应

力峰值 20.8 MPa, 最大应力集中系数为 1.9, II_{1026} 工作面机巷所在位置的垂直应力由原岩应力 11.1 MPa 变为 11.7 MPa, 基本没有发生变化, 即该区域仍处于原岩应力区。

通过以上两个模型对比得出: 两工作面采出后, 覆岩中存在巨厚火成岩比不存在巨厚火成岩时, 采动应力影响范围增加了 170%, 应力峰值增大了 6%, 应力集中系数升高 5%, II_{1026} 机巷处应力集中系数升高了 62%。可见, 正是由于巨厚火成岩的影响, 导致了采动应力具有较大的影响范围, 使得原本不受采动影响的 II_{1026} 机巷变成了应力增高区。

2.3 不同采宽时的应力演化规律

为了研究巨厚火成岩下开采时的应力演化规律, 模拟研究模型 1 不同采出宽度时工作面两侧煤体上的应力集中系数和影响范围, 并与模型 2 进行对比。设计采出宽度分别为: 50、75、100、125、150、175、200、250、300、350、400、450、500、550、600 m。开采方案: 首先采出 50 m, 令其充分平衡; 而后在其基础上依次增加至设计方案中的采宽并分别进行平衡。模拟结果如图 4 所示。

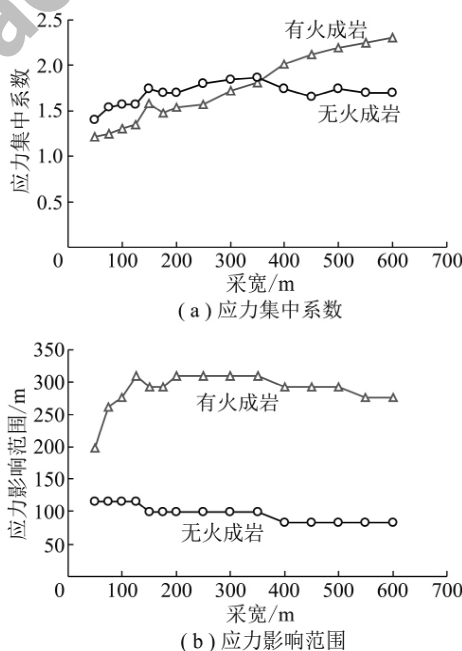


图 4 模型 1 和模型 2 不同采宽时的应力集中系数和应力影响范围

Fig. 4 Curves of factor and coverage of MIS with varied extraction widths in model 1 and model 2

从上述结果可以看出, 采动应力集中系数有如下规律:

(1) 覆岩中存在巨厚火成岩时, 应力集中系数 K 随采宽 L 增加而增加。

(2) 覆岩中不存在火成岩时, K 随 L 先增加后稳

定。当 L 增加至 350 m 时 K 达到最大; 此后, 随着 L 的继续增加, K 变化不大, 基本上达到稳定。

(3) 覆岩中存在火成岩与不存在火成岩时相比, K 值变化规律如下: $L < 350$ m 时, $k_1 > k_2$; 采宽 $L > 350$ m 时, $k_1 < k_2$ 。(k_1 、 k_2 分别为覆岩中存在火成岩与不存在火成岩时的应力集中系数)。

采动应力影响范围有如下规律:

(1) 覆岩中存在巨厚火成岩时, 采动应力影响范围初始随采宽增加而增大; 当采宽 $L > 125$ m 时, 采动应力影响范围趋于稳定。

(2) 覆岩中不存在火成岩时, 采动应力影响范围随采宽增加未发生明显变化, 甚至出现减小的现象, 其原因是随采宽增加, 采空区承载性逐渐增强。

(3) 覆岩中存在巨厚火成岩时, 其采动应力影响范围异常增大, 影响距离可达 310 m, 约为不存在火成岩时的 3 倍。

3 采动应力诱发动力灾害

根据数值模拟结果可知: 由于巨厚火成岩的存在, II₁₀₂₂、II₁₀₂₄ 工作面采出后, 采空区两侧煤体内形成严重的应力集中现象, 且其影响范围高达 310 m。此时, II₁₀₂₆ 工作面机巷位于采动应力集中区内, 其应力大小为 19.2 MPa, 集中系数为 1.7。在此高应力集中区域进行巷道掘进时, 煤岩动力灾害的威胁性增大。

研究表明: 地应力和瓦斯压力是引起煤与瓦斯突出的主要作用力^[15-16]。在仅考虑自重应力场时, 采动应力增大, 一定程度上相当于采深的加大, 而瓦斯压力随采深增加呈升高趋势。故采动应力集中, 有可能导致煤层瓦斯压力升高。

实践表明^[17]: 在采动应力作用下, 煤层瓦斯压力有增高现象。如北票矿务局冠山矿二井 - 540 m 水平西 1 石门 54 煤层, 由于受采动集中应力的影响, 所测瓦斯压力高达 13.6 MPa。而根据冠山矿煤层瓦斯压力与赋存深度之间的回归公式^[18], 该位置处原岩应力状态下的瓦斯压力值为 5.7 MPa。可见, 受采动应力影响, 瓦斯压力升高了 7.9 MPa, 增幅达 139%。

因此, 在 II₁₀₂₆ 工作面机巷掘进过程中, 受采动应力与瓦斯压力共同作用, 有可能使非突出煤层发生煤与瓦斯突出, 从而转化成突出煤层。由于没有认识到巨厚火成岩下开采时采动应力演化的特殊规律, 导致了“4·25”煤与瓦斯突出灾害的发生。

4 结 论

(1) 根据巨厚火成岩的物理力学特性, 并结合地

表沉陷特征分析得出: 在累计采宽达到 370 m、推进总长达 560 m 情况下, 火成岩仍然保持了完整性而不发生破断, 该破断特征使得采动应力演化规律呈现了特殊性。

(2) 数值模拟结果表明, 覆岩中存在巨厚火成岩时, 随着采宽的增加, 采空区两侧煤体上的应力集中系数大致呈线性增加而很难稳定, 而不存在火成岩时, 应力集中系数很快趋于定值; 覆岩中存在巨厚火成岩时, 采动应力影响范围明显增大, 影响距离可达 310 m, 约为不存在火成岩时的 3 倍。

(3) 通过对突出地点的瓦斯地质特征和突出特征分析, 并结合数值模拟结果, 判断此次突出以应力为主导, 且应力异常区域的形成与上覆火成岩存在必然联系。受巨厚火成岩影响, II₁₀₂₆ 工作面机巷出现采动应力集中, 该采动应力成为煤与瓦斯突出的一个主要动力源。

参考文献:

- [1] 钱鸣高, 缪协兴. 采动岩体力学研究——一门新的应用力学研究分支学科 [J]. 科技导报, 1997(3): 29-32.
Qian Minggao, Miao Xiexing. New subdiscipline of applied mechanics: mining induced rock mechanics [J]. Science & Technology Review, 1997(3): 29-32.
- [2] 陆菜平, 窦林名, 曹安业, 等. 深部高应力集中区域矿震活动规律研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2 302-2 308.
Lu Caiping, Dou Linming, Cao Anye, et al. Research on microseismic activity rules in deep high-stress concentration district [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(11): 2 302-2 308.
- [3] 窦林名, 许家林, 陆菜平, 等. 离层注浆控制冲击矿压危险机理探讨 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(2): 145-149.
Dou Linming, Xu Jialin, Lu Caiping, et al. Study of controlling rock burst with grouting bed separation [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(2): 145-149.
- [4] 郭惟嘉, 刘利民, 郭炳正, 等. 巨厚坚硬覆盖层矿井开采灾害与防治措施的研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994, 5(2): 37-42.
Guo Weijia, Liu Limin, Guo Bingzheng, et al. Study on the mining hazards and countermeasures in extra-thick and solid covering strata [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1994, 5(2): 37-42.
- [5] 王金安, 尚新春, 刘 红, 等. 采空区坚硬顶板破断机理与灾变塌陷研究 [J]. 煤炭学报, 2008, 33(8): 850-855.
Wang Jin'an, Shang Xinchun, Liu Hong, et al. Study on fracture mechanism and catastrophic collapse of strong roof strata above the mined area [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(8): 850-855.
- [6] 王金安, 刘 红, 纪洪广. 地下开采上覆巨厚岩层断裂机制研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1): 2 815-2 823.
Wang Jin'an, Liu Hong, Ji Hongguang. Study on fracture mechanism

- of overlying super-thick rock stratum in underground mining [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28 (S1): 2 815 - 2 823.
- [7] 史红, 姜福兴. 采场上覆大厚度坚硬岩层破断规律的力学分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (18): 3 066 - 3 069.
Shi Hong, Jiang Fuxing. Mechanical analysis of rupture regularity of hard and massive overlying strata of longwall face [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23 (18): 3 066 - 3 069.
- [8] 潘俊锋, 齐庆新, 毛德兵, 等. 冲击性顶板运动及其应力演化特征的 3DEC 模拟研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26 (S1): 3 546 - 3 552.
Pan Junfeng, Qi Qingxin, Mao Debing, et al. Study on movement and stress evolutionary process of impacted roof with 3DEC [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26 (S1): 3 546 - 3 552.
- [9] 谭吉世, 纪洪广, 姚志贤. 巨厚岩浆岩下开采覆岩移动规律及采场压力变异性分析 [J]. 煤炭技术, 2007, 26 (3): 34 - 37.
Tan Jishi, Ji Hongguang, Yao Zhixian. Variability analysis of overlying strata movement rule and mining field pressure under super-thick magmatic rock [J]. Coal Technology, 2007, 26 (3): 34 - 37.
- [10] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [11] 朱卫兵, 王晓振, 孔翔, 等. 覆岩离层区积水引发的采场突水机制研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28 (2): 306 - 311.
Zhu Weibing, Wang Xiaozhen, Kong Xiang, et al. Study of mechanism of stope water inrush caused by water accumulation in overburden separation areas [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28 (2): 306 - 311.
- [12] 许家林, 钱鸣高, 朱卫兵. 覆岩主关键层对地表下沉动态的影响研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (5): 787 - 791.
Xu Jialin, Qian Minggao, Zhu Weibing. Study on influences of primary key stratum on surface dynamic subsidence [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24 (5): 787 - 791.
- [13] 钱鸣高, 缪协兴, 许家林. 岩层控制的关键层理论 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [14] 许家林, 钱鸣高. 覆岩关键层位置的判别方法 [J]. 中国矿业大学学报, 2000, 29 (5): 463 - 467.
Xu Jialin, Qian Minggao. Method to distinguish key strata in overburden [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29 (5): 463 - 467.
- [15] 邱贤德, 庄乾城. 采场应力和煤结构与煤和瓦斯突出关系的浅析 [J]. 煤炭科学技术, 1998, 22 (8): 2 - 6.
Qiu Xiande, Zhuang Qiancheng. Brief discussion on relationship between stress and coal structure in mining section and coal/gas outburst [J]. Coal Science and Technology, 1998, 22 (8): 2 - 6.
- [16] 林柏泉, 崔恒信. 矿井瓦斯防治理论与技术 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998.
- [17] 周世宁, 林柏泉. 煤层瓦斯赋存与流动理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [18] 刘安. 现代煤矿常见灾害事故现场救护新技术实用手册 (第 2 卷) [M]. 吉林: 吉林大学电子出版社, 2005: 525 - 526.

2011 年《煤炭学报》征订启事

《煤炭学报》是中国煤炭学会主办的、向国内外发行的煤炭科学技术方面的综合性学术刊物。主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科学研究成果论著和学术论文, 以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结, 也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯。

《煤炭学报》刊载的论文具有较高的学术价值和文献收藏价值, 被 Ei、IEA Coal Abstract CD-ROM、中国科学引文数据库、科学技术文摘速报 (日本)、Coal Highlights、中国学术期刊文摘等国内外 20 多种重要文摘检索系统所收录。1992 年荣获首届全国优秀科技期刊评比二等奖, 获中国科学技术协会优秀学术期刊二等奖, 获北京市新闻出版局、北京市科学技术期刊编辑学会全优期刊奖。1996 年荣获第二届全国优秀科技期刊评比一等奖, 获中国科学技术协会优秀科技期刊一等奖。1999 年荣获首届国家期刊奖。2004, 2007, 2010 年分别入选第三、第六和第九届百种中国杰出学术期刊。2008 年荣获“中国精品科技期刊”称号。2009 年荣获“新中国 60 年有影响力的期刊”称号。

《煤炭学报》深受广大作者、读者的爱护和支持, 也受到各级部门的重视, 在学术水平上具有较高的地位, 很多单位都将在《煤炭学报》发表的论文作为作者学术水平考核指标之一。

《煤炭学报》为月刊, 每期 176 页, 每册订价 58 元, 全年共收费 696 元。欲订者可直接与本编辑部联系, 编辑部随时办理订阅手续。

本刊地址: 北京市和平里煤炭科学研究总院内《煤炭学报》编辑部 邮政编码: 100013

联系电话: (010) 84262930 联系人: 毕永华

E-mail: mtxbbyh@126.com