

# 运营高速公路下煤矿采深、采厚对路基的破坏影响分析

张普纲<sup>1</sup>, 沈力广<sup>2</sup>

(1. 山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 山西 太原 030006;

2. 山东华宁矿业集团有限公司, 山东 泰安 271401)

**摘要:**对于下伏煤炭资源的高速公路而言,必须及时掌握煤矿地下开采对其运营安全的影响。在分析一般公路下煤炭开采影响公路路基相关因素的基础上,综合研究采深、采厚因素对路基的影响,重点通过数值模拟手段分析采深采厚比对高速公路路基的影响,得出采深采厚比大于180:1时,地下采煤所引起的地表变形对路基结构的破坏变形远小于一级保护建筑物容许的极限变形值,从而得出可以在高速公路下试采,最终全采的结论。

**关键词:**采深;采厚;高速公路路基;数值模拟;破坏

中图分类号:TD325.3

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)06-0063-06

## Effect of Underground Mining Depth and Mining Height on the Damage of Expressway Roadbed

Zhang Pugang<sup>1</sup>, Shen Liguang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Highway Construction & Maintenance Technology in Loess Region,

Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan, Shanxi 030006, China;

2. Shandong Huaning Mining Group Co. Ltd, Taian, Shandong 271401, China)

**Abstract:** For coal mining under expressways, the effect of the underground coal mining on expressway construction and operation safety is of great importance. This paper analyzed the general influencing factors of underground coal mining on expressway roadbed. The effect of mining depth and mining height on the damage of expressway roadbed was discussed through the numerical simulation method. The effect of underground mining on roadbed was minimal when the ratio of mining depth and thickness was greater than 180 : 1. The surface deformation value caused by underground mining was much less than a certain limit deformation value of first grade state protection buildings. The results show that pilot production and clean mining can be carried out under expressways.

**Key words:** mining depth; mining height; roadbed of highway; numerical simulation; damage

运营高速公路路基结构的安全与可靠性是运营安全的重要保证,对于下伏煤炭资源的高速公路而言,地下开采将引发地表变形,从而对上覆路基结构产生影响,其中采深、采厚因素对路基结构的影响尤为重要<sup>[1]</sup>。开采沉陷的分布规律以及对地面附属建(构)筑物的影响破坏程度取决于地质和采矿因素的综合影响。公路是延伸性建筑物,如果某一区段出现了破坏,必然会影响整个路段的正常通车。不同地质采矿条件,如采区地层岩性、煤层倾角、断层、褶皱、节理、裂隙的发育情况等,与采深、采厚、采深采厚比(R)、采煤方法及顶板管理方法等采矿条件的影响,表现出不同的岩移和沉陷特征<sup>[2]</sup>,分析各种因素对地表移动规律的影响,有助于分析研究地表的建筑群、公路、铁路、地面水系的抗变形破坏能力,确保这些构

收稿日期:2014-06-15

基金项目:山西省交通厅科技计划项目(07-05)

作者简介:张普纲(1970—),男,山西平遥人,高级工程师,主要从事公路下采煤、地质灾害治理方面的研究。

E-mail:353526149@qq.com

建筑物的安全使用。

近年来,高速公路逐渐向煤炭资源分布区延伸,很多运营中高速公路下压煤炭资源,受建设期当时技术水平及经济文化方面的影响,留设保护煤柱时,设计偏于保守,浪费了煤炭资源。因而,在保证公路安全的情况下采出部分煤炭资源,是目前公路行业与煤炭行业共同关注的课题。一般而言,公路下采煤时,不同煤层开采因素引起的地表移动、破坏的形式和程度也不尽相同。煤层开采深度与厚度对穿过矿区的公路有重要影响<sup>[3]</sup>,研究采深、采厚因素对公路路基的影响规律,对指导运营高速公路下采出部分煤炭资源,并确保高速公路正常运行无疑是必要的。

## 1 道路下采煤的一般性规律

在煤层倾角、煤层厚度相同的赋存条件下,当开采深度较大时,相同开采工艺情况下,覆岩内整体弯曲带所占比重很大,路基受弯曲带的支撑作用,随地表柔性下沉,地表移动变形对地面高速公路的路基、路面破坏较小,一般不会出现局部塌陷破坏<sup>[4]</sup>。但是,针对同一条公路,如果留设保护煤柱,煤层埋藏越深,煤柱留设尺寸越大,压滞的煤量越多,采出率越低,资源损失率越高。同样,在煤层倾角、煤层埋藏深度相同的条件下,煤层采厚不同,上覆岩层的垮落裂隙发育高度不同,厚煤层或煤层群开采后,垮落带裂隙带发育较高,地表移动变形相对较大,对高速公路等地面构筑物影响较大,薄煤层开采后,垮落带裂隙带高度发育较小,地表移动变形相对较小,相应地对地面构筑物影响较小。

对于铁路下采煤,《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》规定,薄及中厚煤层的采深采厚比( $R$ )大于或等于 150;厚煤层及煤层群的采深与分层采厚比大于或等于 200,允许采用全部垮落法在国家一级铁路下进行试采<sup>[5]</sup>。而对于高速公路下采煤,目前没有相关规定在什么条件下不允许开采,或者在什么条件下可进行全采。

采深和采厚是煤矿开采地表移动变形预计的重要参数,通常情况下,是以开采深度与厚度之比来研究煤层开采对地表移动变形及地面建筑物的影响,研究表明,运用正规的采煤方法开采且没有地质构造破坏,采深采厚比大于 25 时,地表一般出现连续变形。在采深采厚比小于 25,或虽大于 25 但地表覆盖土层很薄,且采用如高落式之类非正规采煤方法或上覆岩层有地质构造时,地表容易出现漏斗状塌陷坑,地堑状、台阶状破坏等非连续变形<sup>[6-10]</sup>。对于公路下采煤来说,非连续变形的危害较大。高速公路行车速度快,线路突然的、局部的陷落或者台阶状破坏,对安全行车危害极大,容易造成恶性交通事故。

## 2 高速公路下不同采深采厚比对路基影响的数值模拟与分析

高速公路下不同采深采厚比的煤层进行开采时对高速公路的路基路面的影响不同。为分析不同采深采厚比下高速公路的移动变形情况,以 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟软件为工具,建立不同采深采厚比的地质模型,对比在几种典型的数值模型采煤过程中地表移动变形对高速公路的影响,探索高速公路下煤层在何种采深采厚比的条件下,可采用全部垮落法进行开采,在什么条件下必须留设保护煤柱。

数值模拟模型的建立考虑到边界影响,模型  $X$  方向为  $-170 \sim 130$  m,共 300 m, $Y$  方向为高速公路延伸方向的一段,从  $0 \sim 100$  m,共 100 m, $Z$  方向分为高速公路、表土层、岩层、煤层和底板基岩 5 部分,从  $-210 \sim 0$  m,模型高度为 210 m,高速公路位于  $X$  向  $0 \sim 32$  m 处,高速公路路面宽度为 25 m,路基倾角约  $35^\circ$ 。所建模型的高速公路走向与煤层走向相同,共分 3 层煤,为了模拟计算采深采厚比为  $90 : 1, 120 : 1, 150 : 1$  和  $180 : 1$  四种情况下煤层开采对高速公路的影响,煤层埋深分布在 120, 150, 180 m 三个层位,煤层开采厚度为 1 m,建立模型时按水平煤层考虑,开采方式为走向长壁开采。最终建立如图 1 所示模型,该模型共有 65 980 个单元,72 261 个节点。

由于地质条件复杂多变,岩层岩性多样不一,地层情况千差万别,数值模拟计算中的岩体物理力学参数只能分别按高速公路路基、地表表土层、岩层、煤层和底部基岩五部分综合考虑选取。

煤层开采的充分度以及工作面与地表高速公路的相互位置不同,在煤层开采后,对高速公路将产生不同

的影响。为研究不同采深采厚比条件下,高速公路的受影响情况,首先确定 Y 向煤层走向与公路走向相同,是工作面的推进方向,长度较大,为超充分采动, X 向调整工作面的开采宽度,不论采深多大,工作面需达到充分采动;其次,开采工作面位于高速公路的一侧,工作面推进方向与高速公路走向一致,同时为了考查高速公路对变形的承受力,要使高速公路位于受采动影响最大处。通过分别对各煤层按照预定采深采厚比进行开采(其中,90:1 是在采深 180 m,采 2 m 煤层进行模拟),得到各种比值条件下的纵向位移云图如图 2 所示。

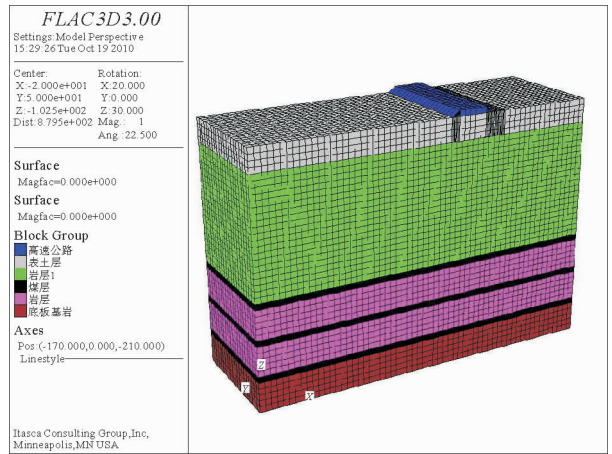


图 1 数值模拟模型

Fig. 1 The model of numerical simulation analysis

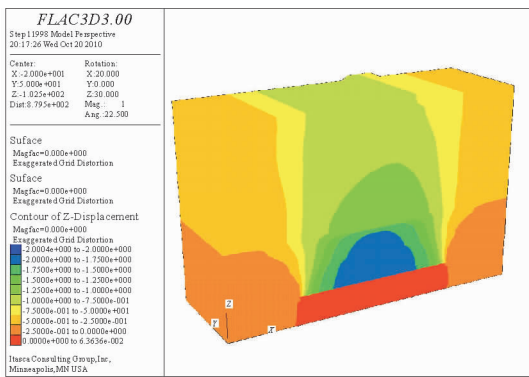
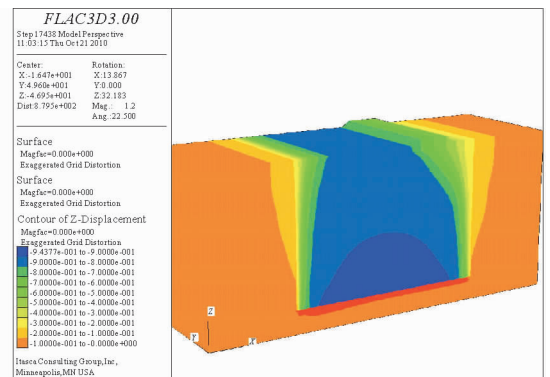
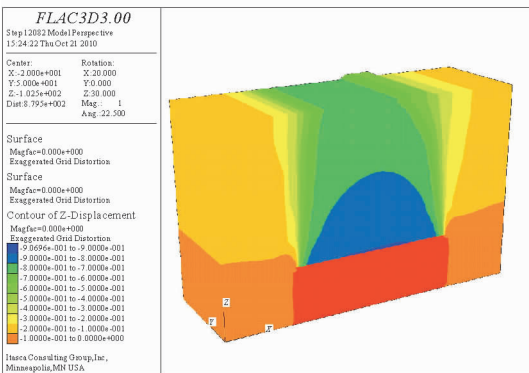
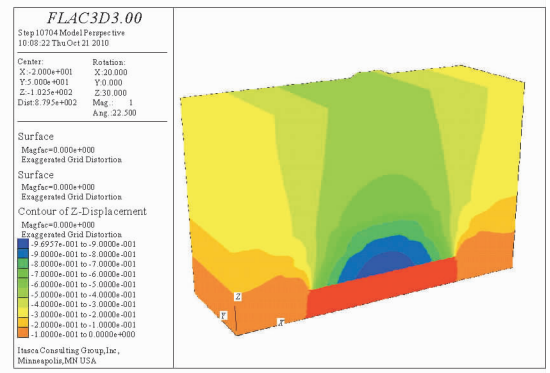
(a)  $R=90:1$ (b)  $R=120:1$ (c)  $R=150:1$ (d)  $R=180:1$ 

图 2 不同采深采厚比时的纵向位移图

Fig. 2 The lengthways displacement on the different ratio of mining depth and mining thickness

四种不同采深采厚比的纵向位移图显示,在煤层采出后,纵向位移图形态相似,顶板位移呈拱形显现,且从顶板到地表位移下沉值逐渐减小,在地表及上覆岩层中,从工作面两端位移等值线呈一定角度向上扩展,到地表沉降范围大于工作面尺寸,同一层位纵向位移从工作面中间向两侧减小。不同采深采厚比条件下,各岩层的位移值大小不同,随采深采厚比的增加,地面下沉值相对减小,但地表变形受影响的范围却有所增大;采深越小,采动期尤其是开采初期,地表移动与变形值越大,地表的蠕动变形在后期会较小,开采结束后模型

达到稳定时所需要的时间较短。在开采煤层时产生的工作面采场空间,必然会引起原始应力在周围岩层中产生变化,这种变化形成的附加应力可能大于或小于原始应力,当附加应力大于原始应力时,形成高应力区或集中应力区,在煤层顶板中,当应力超过其强度极限时,岩层产生位移、开裂和垮落,当垮落的岩体由于自身的碎胀性,对上覆岩层造成一定的支撑作用,同时也由于垮落的岩体本身呈拱形,形成一种拱形力学结构,阻止了上伏岩层继续垮落,从而形成一定高度的垮落带;在垮落带上方,破坏的岩层不止是垮落下来的岩体,形成裂缝的开裂岩体在岩层中继续向上蔓延,从而形成了范围比垮落带更大的裂缝带;煤层的采出和上覆部分岩层的垮落,在空间中形成一定的空隙,上覆岩层在重力和附加应力的作用下向下移动,形成了弯曲带,如果采深较小,上覆岩层形成的裂隙带没有直达地面时,在地表可形成比较明显的下沉盆地。从以上四种比例的采深采厚比可以看出,随着采深采厚比的增加,煤层开采对地面的影响越来越小。根据地表模型节点在开采后位移的变化,取 Y 向 50 m 处, X 向从模型的一 170~130 m 所有单元的下沉值和水平移动值,绘出模型的地表下沉曲线和水平移动曲线如图 3 和图 4 所示。

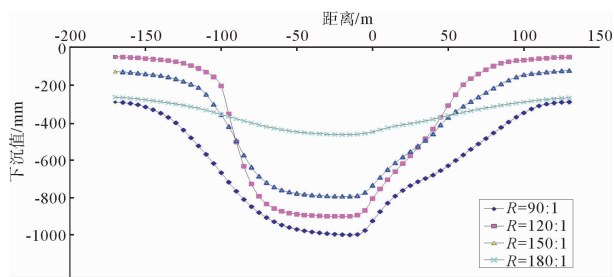


图 3 不同采深采厚比的地表沉降曲线

Fig. 3 The surface subsidence curve of different coal mining depth and thickness ratio

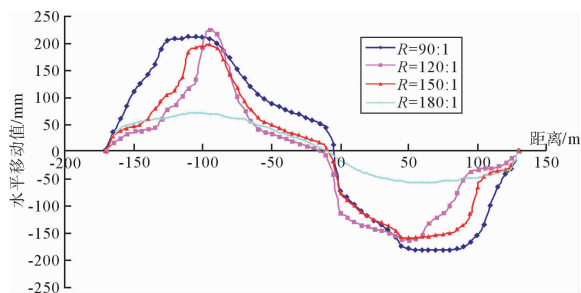


图 4 不同采深采厚比的水平移动曲线

Fig. 4 The horizontal shift curve of different coal mining depth and thickness's ratio

模拟计算模型在  $R$  分别为 90 : 1, 120 : 1, 150 : 1, 180 : 1 四种条件下,采厚为 1 m 时,地表最大下沉值分别为 980.42, 883.78, 779.18, 456.17 mm,最大水平移动值为 209.19, 223.22, 192.56 和 68 mm。在同样的采厚条件下,采深采厚比越小,地表下沉越大,在相同采深条件下,采厚越大,地表下沉越大。同理,水平移动值也随着采深采厚比的增大而减小。图 3 地表下沉曲线显示,地表下沉曲线为下凹弧线形体,采深采厚比越大,地表下沉曲线越平缓,采深采厚比越小,地面凹兜形越明显。图 4 水平移动曲线显示,不同采深采厚比条件下,地表水平移动曲线基本呈正弦曲线,整体看,在采深采厚比为 90 : 1, 120 : 1, 150 : 1 时,部分段曲线形态不规整,说明有些点水平位移较大,采深采厚比为 180 : 1 时,地表水平移动曲线呈现较完整连续光滑的正弦曲线。根据模拟结果分析,采深采厚比较小时,地表可能出现不连续变形,采深采厚比达到 180 : 1 时,无论是下沉还是水平移动,其沉降变形值均较小,且曲线形态连续。浅煤层条件下,如果表土层较厚或者在山区丘陵地带,地下煤层开采的垮落带或裂缝带会直接达到地表,在地面形成台阶状的突然沉降破坏,这种形式的破坏会对地面的高速公路造成很大的损害<sup>[9]</sup>。

### 3 可以试采的情形研究

从图 5 模拟采深采厚比 180 : 1 的塑性分布图(各塑性分布图相似)可以看到,煤层顶板被拉伸破坏,在拉伸破坏区的上部和两侧是剪切塑性区,表明上覆岩层处于拉剪状态,高速公路路基处于拉伸和剪切塑性区。在煤矿开采影响范围内的高速公路,如果路基及路面的强度大于由煤层开采引起的拉伸剪切应力,路基路面不被破坏,如果路基路面强度较小,路面最终将产生裂缝等破坏,影响行车安全。

煤层开采产生的剪切应力使路面产生水平和垂直位移。通过计算,地面和路基路面产生的水平变形值较小,地面最大水平变形值发生在采深采厚比为 90 : 1 时,最大变形值为 2.69 mm/m,相对来说,倾斜变形值较大,出于安全考虑,以倾斜值作为分析路基路面安全性的指标。高速公路路基路面的倾斜变形,一

方面对路面本身产生破坏;另一方面,在公路延伸方向,如果倾斜量值较大,改变原来公路的坡度,容易使行车速度加快,遇突发事件,不易控制车速,易引起交通事故,在公路横向倾斜太大,使行车产生侧向向心力,使行车向一侧移动,影响其他车道同向行驶的车辆,甚至可导致车辆侧翻。采深采厚比分别为 90 : 1,120 : 1,150 : 1,180 : 1 时,作为路基的各单元体路面最大倾斜值分别为 12.4,9.05,7.92 和 2.03 mm/m。采深采厚比越大,路面最大倾斜值越小。参照文献 [10] 相关规定可见,采深采厚比达到 180 : 1 时,路面最大倾斜值已很小,即地下采煤所引起的地表变形对路基结构的破坏变形远小于一级保护建筑物容许的极限变形值,不会威胁行车安全。

高速公路和铁路一样是延伸状建筑物,铁路行车有间歇性,利用这段时间可以通过垫高路基来消除采煤带来的路基下沉不均产生的变形影响。而高速公路的维修养护比较困难,所以采煤要确保路基路面不破坏。模拟计算表明,在采深采厚比大于 180 : 1 时,地面倾斜变形已不明显,变形对高速公路路基路面产生的危害性影响很小,所以在采深采厚比大于 180 : 1 时的煤层,可以采用垮落法在高速公路下进行完全开采的试采工作。厚煤层或煤层群,在采深采厚比大于 180 : 1 时,在下分层或下一层开采时,其裂缝垮落带高度不超过第一分层或最上层煤开采时的裂缝垮落带高度时,可以进行试采,试采成功后可进行全采。过高速公路的工作面,在煤层开采预计影响高速公路范围内,不应采用放顶煤进行开采,以免顶板上覆岩层垮落裂缝带高度过大,影响到路基路面 [7-8]。

#### 4 结论与建议

1) 数值模拟分析中,从整体变形曲线看,在采深采厚比为 90 : 1,120 : 1,150 : 1 时,部分段曲线形态不规整,说明有些点水平位移较大,采深采厚比为 180 : 1 时,地表水平移动曲线呈现为较完整连续光滑的正弦曲线。

2) 研究表明,在已运营的高速公路下开采煤炭资源时,采深、采厚因素对路基结构的破坏影响较大,采深采厚比较小时,地表可能出现不连续变形,随采深采厚比的增大,路面最大倾斜值减小,且曲线形态连续,对路基结构的破坏趋小,采深采厚比达到 180 : 1 时,无论是下沉还是水平移动,其沉降变形已不明显,对高速公路路基路面产生的危害性影响很小。而采深采厚比小于 180 : 1 时采煤,会对高速公路路基产生一定的影响,浅煤层条件下,如果表土层较厚,或者在山区丘陵地带,地下煤层开采的垮落带或裂缝带会直接达到地表,在地面形成台阶状的突然沉降破坏,这种形式的破坏可能会对地面的高速公路造成很大的损害。

#### 参考文献:

[1] 靳晓光, 王建华, 康勇, 等. 高速公路压煤区安全煤柱留设及其对路基稳定性的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(1): 93-98.  
Jin Xiaoguang, Wang Jianhua, Kang Yong, et al. Study on safe coal pillar design and subgrade stability of free way in unexploited coal zone[J]. The Chinese Journal of Geological Hazards and Control, 2005, 16(1): 93-98.

[2] 朱广轶. 地表曲率变形对高速公路影响的研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2003, 22(2): 186-187.  
Zhu Guangyi. Study on influence of curvature deformation of ground surface in coal mine on free way[J]. Journal of Liaoning Technical University, 2003, 22(2): 186-187.

[3] 张志沛, 王芝银, 刘旭. 高速公路与下伏煤矿采空区的长期稳定性分析[J]. 西安科技大学学报, 2005, 25(4): 415-419.  
Zhang Zhipai, Wang Zhiyin, Liu Xu. Long term stability between free way and gob of coal mine[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2005, 25(4): 415-419.

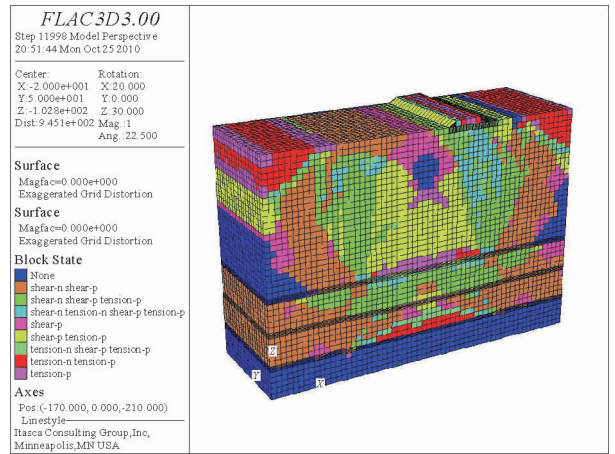


图 5 塑性分布图

Fig. 5 The moulding distribution

- [4]张普纲. 高速公路下压煤开采方法的选择[J]. 山西交通科技, 2011(1):7-8.  
Zhang Pugang. The choosing of mining method under the expressway[J]. Shanxi Science & Technology of Communications, 2011(1):7-8.
- [5]余学义. 采动区地表剩余变形对高等级公路影响预计分析[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(4):9-12.  
Yu Xueyi. Prediction analysis of high class highway influenced by surface residual deformation in mining zones[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2001, 21(4):9-12.
- [6]贾林刚. 高速公路保护煤柱留设及压煤开采研究[J]. 煤矿开采, 2013, 18(4):91-93.  
Jia Lingang. Evaluation of mining under expressway and design of protective coal-pillar[J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(4):91-93.
- [7]张普纲. 采空区高速公路路基破坏的数值模拟分析[J]. 煤矿开采, 2012, 17(3):74-76.  
Zhang Pugang. Numerical simulation of expressway roadbed over mined gob[J]. Coal Mining Technology, 2012, 17(3):74-76.
- [8]郭彦. 不同地质采矿条件对公路路基的影响分析[J]. 黑龙江交通科技, 2013(10):45-47.  
Guo Yan. The analysis about different geological and mining conditions influencing roadbed of highway[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2013(10):45-47.
- [9]张华兴. 减少采动损害的工程技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2004:1-36.
- [10]国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京:煤炭工业出版社, 2000.  
(责任编辑:吕海亮)

## “矿山灾害预防与控制”研究专栏征稿

### 征稿范围:

- ◇ 矿山岩层控制
- ◇ 采动岩体力学
- ◇ 资源规划与绿色开采
- ◇ 矿井瓦斯与火灾治理
- ◇ 矿山震动与冲击地压
- ◇ 煤炭科学开采理论、方法与技术
- ◇ 安全监测监控与信息化
- ◇ 井下充填开采
- ◇ 现代化矿井生产技术
- ◇ 瓦斯的抽采与利用

欢迎相关领域专家学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“矿山灾害预防与控制”专栏。稿件通过专家评审后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: [http://xuebao.sdust.edu.cn/index\\_z.asp](http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp)

电子邮箱: [zkchem@sdust.edu.cn](mailto:zkchem@sdust.edu.cn)

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部