

# 综放沿空留巷围岩控制机理

谢文兵<sup>1</sup>, 笮建原<sup>2</sup>, 冯光明<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学 能源学院, 江苏 徐州, 221008; 2. 徐州矿务局, 江苏 徐州, 221000)

**摘要:** 采用适于分析岩层断裂和垮落的数值分析软件 UDEC 建立相应的数值分析模型, 分析了留巷前巷道支护形式、充填体宽度、充填方式、充填体强度和端头不放顶煤长度等对综放沿空留巷的作用和效果。研究表明: 留巷顶板下沉是老顶回转运动与围岩变形的综合反映; 充填体上方顶煤位移由老顶岩层运动引起, 由浮煤和充填体压缩变形以及充填体承载前预留变形量 3 部分组成; 留巷前巷道支护形式无法控制老顶回转量, 但锚网支护巷道留巷效果比架棚巷道好; 端头留设一定长度的顶煤不放, 有利于老顶回转触矸后形成具有自稳能力的承载结构。当采用综放沿空留巷时, 在保证顶煤及顶板稳定前提下, 合理利用围岩移动规律, 确定合理充填方式和充填体强度, 就能保证充填体稳定, 达到很好的留巷效果。

**关键词:** 综采放顶煤; 沿空留巷; 围岩控制; 机理

中图分类号: TD322

文献标识码: A

文章编号: 1672-7207(2004)04-0657-05

## Mechanism of controlling surrounding rock around gob-side entry retaining in top-coal caving mining face

XIE Wen-bing<sup>1</sup>, DA Jian-yuan<sup>2</sup>, FENG Guang-ming<sup>1</sup>

(1. College of Energy Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;  
2. Xuzhou Mining Bureau, Xuzhou 221000, China)

**Abstract:** By using numerical analyses software UDEC which is suitable for analyzing rock stratum rupture and collapse, the numerical models were set up to study the effect of support way, filling belt width, filling way, filling belt strength and top-coal length uncaved on the gob-side entry retained in top-coal caving mining face. The results indicate that the roof displacement of retained roadway is an integral effect of the rock deformation and the rotating movement of main roof. The displacement of top coal over the filling is caused by the main roof movement and consists of compression deformation of float coal and filling and residual deformation before bearing of filling. Before retaining the roadway, the roadway support is unable to control the rotating amount of main roof, but the better result of retained roadway can be obtained by using bolt-beam-mesh support. The top coals of a certain length retained in face end, which are uncaved, are favorable for formation of a bearing structure with self-stability capacity after rotating and contacting waste rock of main roof. On the premise of the stability of roof and top coal, the displacement regularity of surrounding rock must be rationally used to determine the reasonable filling pattern and filling strength in order to ensure the filling stability and a good result of retaining roadway.

**Key words:** top-coal caving mining; gob-side entry retained; controlling surrounding rock; mechanism

收稿日期: 2003-09-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(59734090)

作者简介: 谢文兵(1965-), 男, 安徽安庆人, 副教授, 博士, 从事巷道围岩控制、三下采煤以及数值模拟研究

论文联系人: 谢文兵, 男, 博士; 电话: 0516-3885779(O); E-mail: wenbxie@sohu.com

综合机械化放顶煤开采是我国煤矿实现高产高效并具有国际领先水平的生产技术。综放沿空留巷技术是采用“Y”形通风方式解决综放工作面瓦斯积聚与超限的关键技术,它可以实现往复式开采,并可以消除孤岛工作面。目前,通过对综放沿空留巷的矿压显现规律的研究<sup>[1-7]</sup>,分析了沿空留巷的主要参数及其适应性<sup>[8-10]</sup>,并根据实验结果分析了综放沿空留巷老顶 2 种破断位置及其对围岩变形的影响<sup>[11, 12]</sup>。

山西晋城潞安常村煤矿成功地进行了综放沿空留巷工业性试验,试验达到了预期效果。试验在分析综放沿空留巷围岩活动规律基础上,采取了各种相应的技术措施。在此,作者对这些技术措施的作用及效果进行分析,为综放沿空留巷技术推广和应用提供理论指导和借鉴。

### 1 分析模型

S<sub>2-6</sub>综放工作面为主采 3 号煤层,埋藏深度为 330 m,煤层厚度为 6.07 m,割煤高度为 3.0 m,直接顶、老顶和直接底都为砂岩,厚度分别为 3 m, 6 m 和 5 m,工作面长度为 220 m,端头不放顶煤段长  $d_1$  为 8.0 m,充填体宽度  $d_2$  为 2.5 m。留巷宽为 4.0 m,巷高为 3.0 m,巷道原采用 12 号矿用工字钢支护。工作面超前 20 m,采用单体液压支柱(3.5 m)和木板架设一梁二柱抬棚加强支护。

根据潞安矿务局常村煤矿 S<sub>2-6</sub>综放沿空留巷的现场试验条件,采用适于分析岩层断裂和垮落的数值分析软件 UDEC<sup>[13]</sup>,建立相应的分析模型,如图 1 所示。已有研究结果表明<sup>[12]</sup>,S<sub>2-6</sub>综放工作面老顶块体长度  $l$  约为 20 m,超前断裂距  $l_1$  约为 4 m。模型中老顶断裂线位于煤壁内 5 m 处。

围岩物理力学性质根据常村矿 S<sub>2-6</sub>综放工作面实际岩体力学特性确定,如表 1 所示。考虑采动影响,采用屈服弱化模型。模型边界按岩层移动角和连续弯曲带高度确定。为了分析方便,在模型中顶煤下边界设置  $aa$  剖面线,如图 1 所示。

表 1 围岩力学性质

Table 1 Properties of surrounding rock

	体积模量/ MPa	剪切模量/ MPa	内聚力/ MPa	内摩擦角/ (°)	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )
煤	1 300	900	0.5	28	1 600
中砂岩	5 300	3 200	1.56	36	2 600
黑泥岩	2 300	1 200	1.0	30	2 400

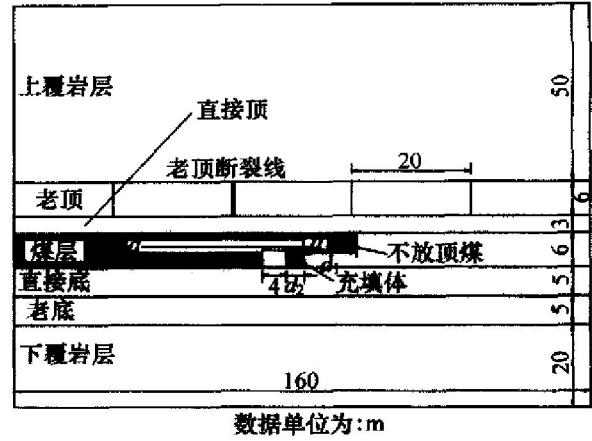


图 1 分析模型

Fig. 1 Analyses model

### 2 综放沿空留巷围岩位移规律

综放沿空留巷围岩位移不同于普通巷道的围岩位移,它的围岩位移明显受制于老顶岩层的回转运动,是老顶回转运动与围岩变形的综合反映。在剖面线  $aa$  上位移结果如图 2 所示。可以看出,留巷顶板下沉量  $u$  为:

$$u = u_0 + u_1 + u_2 \tag{1}$$

其中:  $u_0$  为煤壁附近实体煤的下沉量, mm;  $u_1$  为老顶回转引起的下沉量, mm;  $u_2$  为巷道围岩碎胀产生的变形量, mm。若将老顶回转引起的下沉量剔除,则留巷顶板下沉分布形态与一般采动影响巷道顶板下沉分布形态一致。

充填体上方顶煤下边界位移由 3 部分组成,如图 2 所示。即充填体上方顶煤下沉量  $v$  为:

$$v = v_1 + v_2 + v_3 \tag{2}$$

其中:  $v_1$  为底板下沉量及浮煤压缩变形量, mm;  $v_2$  为充填体本身压缩变形量, mm;  $v_3$  为充填体承载前预留变形量, mm。

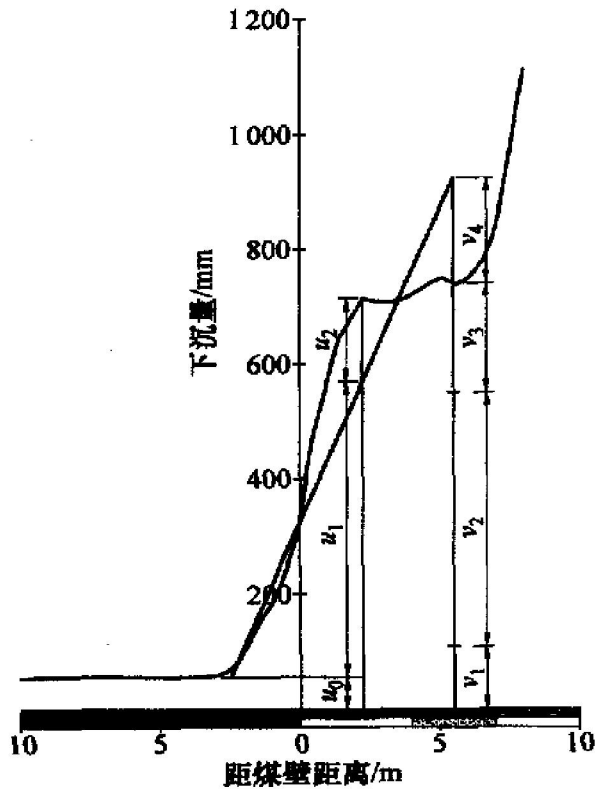
在充填体承载前,顶煤及顶板主要产生随老顶的回转运动,并在围岩形成自稳承载结构前一直受这种运动影响,导致留巷和充填体采空区侧顶板下沉都相应大于实体煤侧顶板下沉量。

在充填体承载后,随老顶进一步回转形成稳定的自稳结构。充填体上方顶煤回转变形迅速减小。在老顶、直接顶、充填体、底板的相互作用下,老顶回转触矸形成具有自稳能力的承载结构。

老顶回转引起下沉量与充填体上方顶煤位移的差  $v_4$  主要反映了顶煤的压缩变形。图 2 中  $v_1, v_2,$

$v_3$  和  $v_4$  分别为 120, 420, 200 和 180 mm。

别较小。

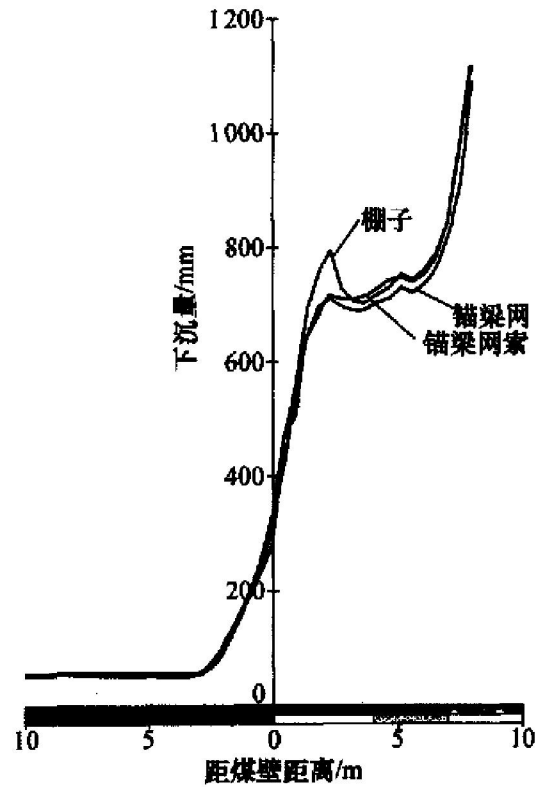


$d = 8 \text{ m}, d_2 = 3 \text{ m},$

采用锚梁网索支护和第 4 种充填方法

图 2 位移规律分析

Fig. 2 Displacement regularity analysis



$d_1 = 8 \text{ m}, d_2 = 3 \text{ m},$  采用第 4 种充填方式

图 3 支护作用分析

Fig. 3 Support analysis

### 3 综放沿空留巷围岩控制机理

根据综放沿空留巷围岩移动规律, 为了促成老顶回转触矸后尽快形成具有自稳能力的承载结构, 现场工业性试验采取了如下主要技术措施: 在留巷前, 用锚梁网索对巷道进行加固<sup>[14, 15]</sup>; 设计和确定充填体宽度、充填体强度以及充填方式; 确定在端头约留设 8 m 顶煤不放。

#### 3.1 留巷前巷道支护作用分析

有效地维护好原巷道, 是综放沿空留巷的前提, 否则综放沿空留巷无法实施。为此, 作者对采用不同支护形式对综放沿空留巷的影响进行了研究。采用架棚支护、锚网支护、锚梁网索支护时顶煤 *aa* 剖面线上垂直位移情况如图 3 所示。位移结果表明, 当分别采用 3 种不同支护形式时, 老顶回转下沉量相当。也就是说留巷前巷道支护形式无法控制老顶回转量, 但锚梁网(索)支护的巷道留巷效果较好, 而架棚支护巷道留巷后顶板位移约大于 100 mm。对于充填体上方顶煤下沉量, 采用 3 种支护形式的差

#### 3.2 充填体宽度影响分析

当充填体宽高比大于 0.8 时, 有利于充填体本身稳定。充填体稳定对于老顶回转过程中围岩形成自稳的承载结构很重要, 同时也决定留巷效果。充填体宽度分别为 2.0, 2.5, 3.0 和 3.5 m 4 种情况下剖面线 *aa* 上垂直位移情况如图 4 所示。位移结果表明, 当充填体宽度为 2 m 时, 充填体产生自左上角至右下角斜剪切屈服带, 充填体随老顶回转而屈服失稳, 不能有效控制老顶回转促成老顶形成具有自稳能力的承载结构。当充填体宽度大于 2.5 m 时, 老顶能有效地控制顶板回转, 但随充填体宽度的变化, 在充填体右上角形成不同宽度的斜剪切屈服带。因此, 在设计充填体时, 在加大充填体宽度以提高充填体稳定性同时, 可以根据老顶回转角度, 把充填体上边界设计成比老顶回转角度稍小的斜边界 *AB*, 如图 4 所示。

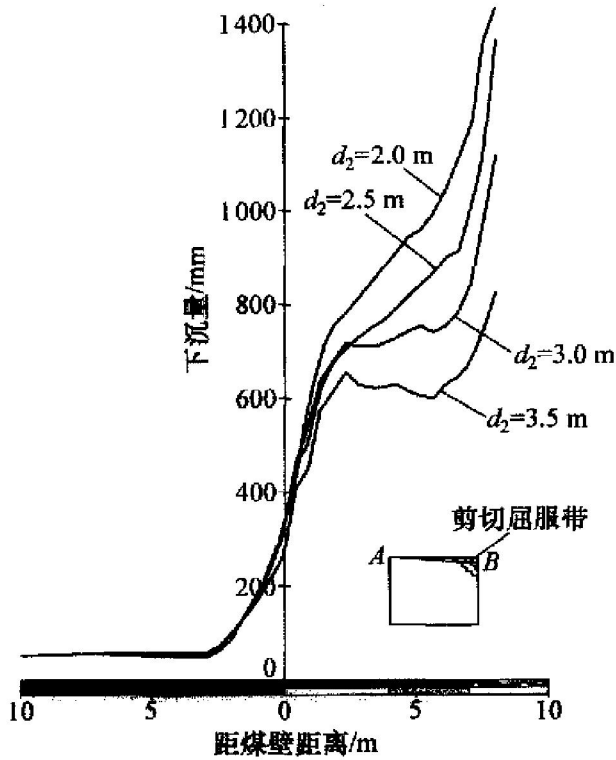
#### 3.3 充填方式及充填体强度分析

充填方式及充填体强度考虑 4 种情况:

第 1 种: 充填空间为 100%, 充填体强度为 6 MPa<sup>[9, 10]</sup>;

第 2 种: 充填空间为 100%, 充填体强度为 6 MPa, 并考虑充填体下方浮煤影响;

结果。围岩位移结果表明, 当充填体外侧不留顶煤时, 留巷上方顶煤及顶板承受的围岩应力完全作用于煤壁和充填体上, 导致煤帮和充填体侧向变形较



$d_1 = 8\text{ m}$ , 锚梁网索支护, 采用第 4 种充填方式

图 4 充填体宽度分析

Fig. 4 Analysis of filling belt width

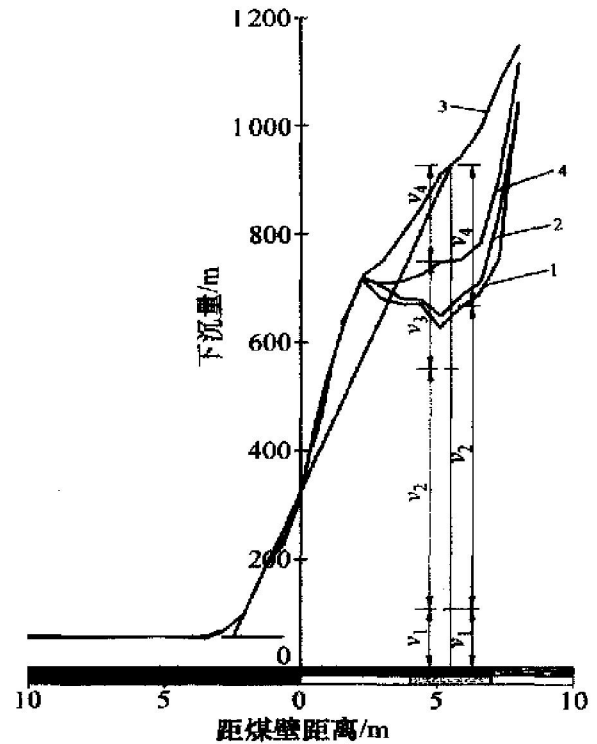
第 3 种: 在充填体承载前, 顶煤随老顶回转下沉的量大约为 0.2 m, 充填体强度为 4 MPa, 并考虑充填体下方浮煤影响;

第 4 种: 其他条件同第 3 种, 不同点在于充填体强度为 6 MPa。

采用不同充填方式及充填体强度时  $a-a$  剖面线上垂直位移情况如图 5 所示。位移结果表明, 当工作面开采后, 立即进行第 1 种和第 2 种情况的 100% 充填( $v_3 = 0$ ) 时, 顶煤垂直位移稍小, 但老顶回转引起的变形主要由充填体和顶煤承担, 造成充填体变形量  $v_2$  过大, 充填体右侧形成较大的斜剪切屈服带。第 3 种情况虽考虑了预留变形量  $v_3$ , 但由于充填体强度较低, 不能有效控制顶板回转, 造成充填体随老顶回转而屈服变形对于第 4 种情况, 虽然充填体上方顶煤位移大于前 2 种情况的位移, 但顶煤下沉量中含有充填体承载前随老顶回转下沉量  $v_3$ , 充填体本身变形量  $v_2$  较小。从工程实践来看, 由于充填体必须滞后工作面实施, 充填空间不可能进行 100% 充填, 实际情况只能是后 2 种情况。因此, 充填体本身必须具有一定强度。

### 3.4 端头不放顶煤长度分析

根据综放沿空留巷围岩移动规律, 为了使老顶回转尽快触研形成具有自稳能力的承载结构, 需要在充填体外侧留设一定长度顶煤不放。图 6 所示为在不同端头不放顶煤长度时, 剖面线  $aa$  上垂直位移

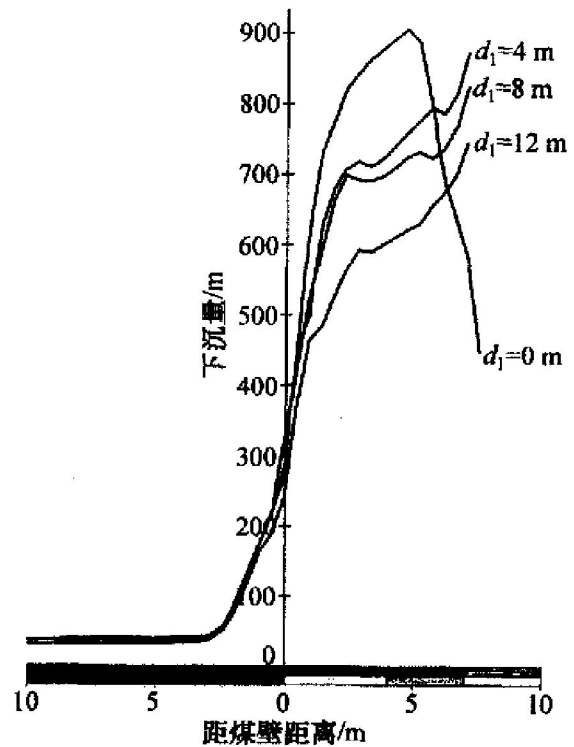


$d_1 = 8\text{ m}$ ,  $d_2 = 3\text{ m}$ , 锚梁网索支护;

1—第 1 种方式; 2—第 2 种方式; 3—第 3 种方式; 4—第 4 种方式

图 5 充填方式时的垂直位移

Fig. 5 Vertical displacement of different filling way



$d_2 = 3\text{ m}$ , 锚梁网索支护, 第 4 种充填方式

图 6 不同端头的不放顶煤长度分析

Fig. 6 Uncaved top-coal length of different edges

大,充填体向留巷侧失稳变形。当端头不放顶煤长度为4 m时,与端头不放顶煤长度为8 m时相比,虽然充填体变形差别较小,但后者充填体是稳定的,前者充填体垂直变形大于后者充填体垂直变形,而且充填体右侧形成较宽剪切屈服带。当端头不放顶煤长度为12 m时,虽然充填体垂直变形的减小量较大,但留设过多顶煤,造成资源损失较大。

## 4 结 论

**a.** 留巷顶板围岩位移受制于老顶岩层的回转运动,是老顶回转运动与围岩变形的综合反映。充填体上方顶煤位移由老顶岩层运动引起,由浮煤和充填体压缩变形以及充填体承载前预留变形量3部分组成。

**b.** 采用留巷前巷道支护形式无法控制老顶回转量,但采用锚梁网(索)支护巷道留巷效果比架棚巷道好。

**c.** 对常村矿 $S_{2-6}$ 综放工作面,当充填体宽度大于2.5 m时,能有效控制老顶回转。在设计充填体时,可把充填体上边界设计成比老顶回转角度稍小的斜边界 $AB$ 。

**d.** 当采用综放沿空留巷时,在保证顶煤及顶板稳定的前提下,合理利用围岩移动规律,确定合理充填方式和充填体强度,既能保证充填体稳定,又能达到很好的留巷效果。

**e.** 端头留设一定长度的顶煤不放,有利于老顶回转触矸后形成具有自稳能力的承载结构。

## 参考文献:

- [1] 陈炎光,陆士良.中国煤矿巷道围岩控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994.  
CHEN Yan guang, LU Shi liang. Strata control around coal mine roadways in China [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1994.
- [2] 陈炎光,钱鸣高.中国煤矿采场围岩控制[M].北京:煤炭工业出版社,1994.  
CHEN Yan guang, QIAN Ming gao. Strata control around coal face in China [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1994.
- [3] 陆士良.无煤柱护巷的矿压显现[M].北京:煤炭工业出版社,1984.  
LU Shi liang. Mechanical behavior of roadway maintenance without pillar [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1984.
- [4] 马念杰,侯朝炯.采准巷道矿压理论及应用[M].北京:煤炭工业出版社,1995.  
MA Nian jie, HOU Chao jiong. The underground pressure of sectional roadways and its control [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1994.
- [5] 钱鸣高,刘听成.矿山压力及其控制[M].北京:煤炭工业出版社,1992.  
QIAN Ming gao, LIU Ting cheng. Structural behaviours of rocks and strata control [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1992.
- [6] 钱鸣高,缪协兴,何富连.采场“砌体梁”结构的关键块分析[J].煤炭学报,1994,19(6):557-563.  
QIAN Ming gao, MIAO Xie xing, HE Fu lian. Analysis of key block in the structure of voussoir beam in longwall mining [J]. Journal of China Coal Society, 1994, 19(6): 557-563.
- [7] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等.岩层控制的关键层理论[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.  
QIAN Ming gao, MIAO Xie xing, XU Jia lin, et al. Key strata theory in ground control [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2000.
- [8] 漆泰岳.沿空留巷整体浇注护巷带主要参数及其适应性[J].中国矿业大学学报,1999,28(2):122-125.  
QI Tai yue. Main parameters of pack-filling for retained gob-side entry and its adaptability [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1999, 28(2): 122-125.
- [9] 郭育光,柏建彪,侯朝炯.沿空留巷巷旁充填体主要参数的研究[J].中国矿业大学学报,1992,21(2):1-11.  
GUO Yu guang, BAI Jian biao, HOU Chao jiong. The study of main parameters of filling for retained gob-side entry [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1992, 23(2): 1-11.
- [10] 孙恒虎,赵炳利.沿空留巷的理论与实践[M].北京:煤炭工业出版社,1993.  
SUN Heng hu, ZHAO Bing li. The theory and practice of retained gob-side entry [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1993.
- [11] 张东升,茅献彪,马文顶.综放沿空留巷围岩变形特征的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(3):331-334.  
ZHANG Dong sheng, MAO Xian biao, MA Wen ding. Testing study on deformation features of surrounding rocks of gob-side entry retaining in fully-mechanized coal face with top coal caving [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(3): 331-334.
- [12] 张东升,缪协兴,茅献彪.综放沿空留巷顶板活动规律的模拟分析[J].中国矿业大学学报,2001,30(3):261-264.  
ZHANG Dong sheng, MIAO Xie xing, MAO Xian biao. Simulation on roof activities of gob-side entry retaining in fully-mechanized top coal caving faces [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2001, 30(3): 261-264.
- [13] 王泳嘉,邢纪波.离散单元法及其在岩土力学中的应用[M].东北工学院出版社,1991.  
WANG Yong jia, XING Ji bo. Universal distinct element method and its application in geomechanics [M]. East-North Industry College Press, 1991.
- [14] 陆士良,汤雷,杨新安.锚杆锚固力与锚固技术[M].北京:煤炭工业出版社,1998.  
LU Shi liang, TANG Lei, YANG Xin an. Anchorage force and bolting technique [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1998.
- [15] 侯朝炯,郭励生,勾攀峰,等.煤巷锚杆支护[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.  
HOU Chao jiong, GUO Li sheng, GOU Pan feng, et al. Bolt-ing support of coal roadways [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1999.