

综放沿空留巷围岩变形特征的试验研究*

张东升¹ 茅献彪² 马文顶¹

(¹ 中国矿业大学能源科学与工程学院 徐州 221008) (² 中国矿业大学理学院 徐州 221008)

摘要 掌握综放沿空留巷围岩变形规律是进行沿空留巷合理支护设计的关键之一。采用相似材料模拟试验方法,对沿空留巷老顶破断位置与形状、不同支护方式对顶板活动的影响以及相关的巷旁充填技术参数进行了初步研究。

关键词 沿空留巷, 巷旁充填, 模拟试验

分类号 TD 313^{+.1}

文献标识码 A

文章编号 1000-6915(2002)03-0331-04

1 引言

综采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一项煤炭生产技术,其中有关的岩石力学问题已引起越来越多的学者的关注^[1~6]。随着综放工作面开采强度的不断增大,工作面瓦斯超限问题日益突出,而采用综放沿空留巷技术,实现工作面“Y”型通风,是解决上述难题的一条重要技术途径。综放沿空留巷技术目前在世界范围内尚属空白,开发此项技术的基础是要全面掌握综放沿空留巷围岩变形规律,尤其是要研究清楚老顶断裂的形状和位置,以及巷内支护和巷旁充填对顶板稳定性的影响。为此,针对潞安矿务局常村煤矿 S₂₋₆综放工作面的煤层具体条件,进行了相似材料模拟试验^[7]。

2 模拟方案设计

由于常村煤矿采掘安排限制,综放沿空留巷第一次现场工业性试验需安排在 S₂₋₆工作面运输顺槽内进行,该巷道现为工字钢梯形棚架支护。因此,模拟方案需设计2个,一个要针对 S₂₋₆工作面现在的工字钢梯形棚架支护,另一个可针对第一次支护就采用锚杆支护。常村煤矿 S₂₋₆工作面采深为310~335 m,主采3号煤层;煤层厚度为6.07 m,采煤高度为2.8 m;直接顶为粉砂岩,厚度为2.64 m;

老顶为中细砂岩,厚度为6.56 m;直接底为细砂岩,厚度为3.59 m。

模拟试验方案1,即模型1:上区段工作面运输顺槽为梯形断面,顶宽为4.0 m,底宽为4.6 m,高为2.8 m,原为工字钢梯形棚支护。沿空留巷前改为锚杆加锚索支护,留巷时采空侧进行2.0 m宽的巷旁充填。锚杆为 $\phi 22$ mm螺纹钢锚杆,顶板有6根锚杆,其中角锚杆长为2.6 m,其他锚杆长为2.4 m,锚杆间距为800 mm;每帮有4根锚杆,长为2.4 m,间距为800 mm,锚杆排距为800 mm;在巷道顶板两角各布置锚索1根,长为7.5 m,锚索排距为4 000 mm,与锚杆交错布置。

模拟试验方案二,即模型2:上区段工作面运输顺槽为矩形断面,宽为4.5 m,高为2.8 m,采用锚杆加锚索支护。沿空留巷时,在采空侧进行2.5 m宽的巷旁充填。锚杆为 $\phi 22$ mm螺纹钢锚杆,锚杆与锚索布置同模型1。

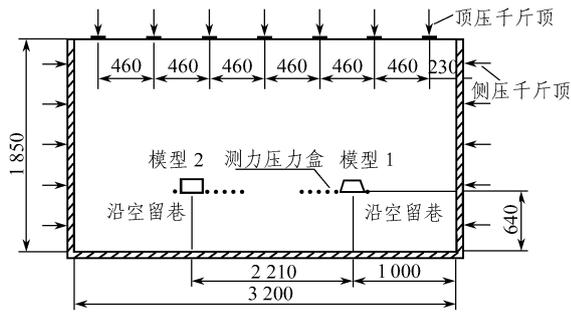
模拟试验在中国矿业大学岩控中心平面应变模型架上进行,模型架的几何尺寸为:长 \times 宽 \times 高=3.2 m \times 0.4 m \times 1.85 m。根据巷道几何尺寸和采深情况,模拟试验的几何比定为1:25。模型的几何状态、加载系统、巷道布置、测点布置情况见图1。

充填带的抗压强度在模型1中取 $\sigma_c = 4$ MPa,在模型2中取 $\sigma_c = 6$ MPa。模拟顶底板岩层时,采用砂子为骨料,以碳酸钙、石膏为胶结料。模拟煤层时在上述相似材料中加一定比例的粉煤灰。以岩石的抗压强度为主要相似基准,满足强度相似和外

2000年6月9日收到初稿,2000年7月28日收到修改稿。

* 国家自然科学基金重点项目(59734090)和国家技术创新资助项目。

作者 张东升 简介:男,33岁,1988年毕业于中国矿业大学采矿工程系采矿专业,现为博士、副教授,主要从事岩石力学在采矿中的应用及矿山开采系统工程方面的研究工作。



(单位: m)

图1 模型设计布置

Fig.1 Layout of model design

力相似^[6]。根据相似比而换算得到的具体几何和强度参数见表1, 试验加载控制系统如图2所示。

表1 模拟顶底板岩层的原型参数与模型参数

Table 1 Parameters of prototype and model for simulating roof and floor rocks

岩层	实际厚度 /m	模型厚度 /cm	原岩抗压强度 /MPa	模拟强度 /kPa
粉砂岩	14.67	58.86	60~80	1 530
中细砂岩	6.56	26.24	80~90	2 300
粉砂岩	2.64	10.56	60~70	1 530
3号煤	6.07	24.28	20~30	440
细砂岩	3.59	14.36	50~60	1 480
粉砂岩	4.35	17.40	60~80	1 530
粉砂岩	8.12	32.48	60~80	1 530

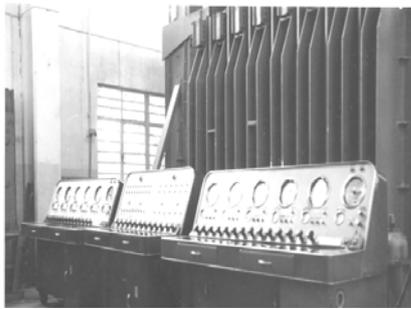


图2 试验加载控制系统

Fig.2 Controlling system for test loading

模拟锚杆采用 $\phi 1.5$ mm、拉断力为55 N的铝丝, 模拟锚杆的拉伸($P-\Delta$)特性如图3所示。模拟锚索采用 $\phi 1.8$ mm、拉断力为65 N的铝丝, 模拟锚索的拉伸($P-\Delta$)特性如图4所示。

3 模拟试验

3.1 模型1试验

针对模拟试验方案1, 即模型1, 首先将模型按设计要求铺好, 待干燥以后, 按照巷道的位置和尺

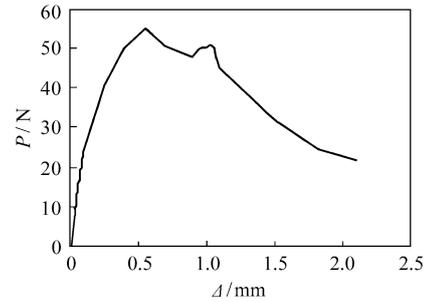


图3 $\phi 1.5$ mm 模拟锚杆受拉特性

Fig.3 The curve of $P-\Delta$ for $\phi 1.5$ mm bolt of model test

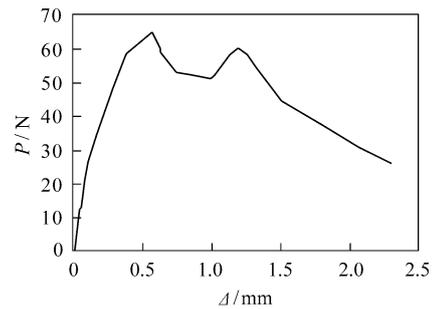


图4 $\phi 1.8$ mm 模拟锚索受拉特性

Fig.4 The curve of $P-\Delta$ for $\phi 1.8$ mm cable of model test

寸开挖上区段的运输平巷, 并对其用工字钢进行支护。然后合上模型模板进行第一次加载, 载荷的量级为原始应力水平, 稳定一段时间后, 打开模型的前模板, 开始对巷道进行二次支护, 二次支护的形式是用锚杆加锚索代替工字钢梯形棚。每断面打锚杆12根, 其中煤壁帮4根, 顶角各1根, 顶板上6根, 按照锚杆的排距800 mm计, 模拟巷道共打150根锚杆。锚索是在铺模型时预埋进去, 共4根。再干燥后, 在模型的右侧进行上区段工作面的开采。回采时, 在运输平巷的采空区一侧上方留设7.5 m的顶煤不放, 并在巷道的采空侧留设的顶煤下进行巷旁充填, 充填带宽度为2.0 m。

二次加载时, 首先在垂直应力方向加到原始应力水平状态, 即在模型上方应力为0.21 MPa, 换算成试验台的控制压力为2.9 MPa。水平方向的应力为垂直方向的三分之一, 也由加载台加压控制。根据模型1所定的应力集中系数再对模型进行模拟开采加载, 即试验台的控制压力为8.6 MPa。加载步骤为: 第一步加载至原始应力状态, 载荷量级 n 为1, 2, 2.9 MPa。第二步模拟峰值应力开始加载, 如图1所示, 从右边的第三个千斤顶开始依次向前推进, 载荷量级 n 为4, 5, 6, 8.6 MPa。每加载一次, 等待0.5 h后测量一次巷道的变形。

巷道围岩变形状况如图 5(a)所示。巷道的变形(两帮收敛 U , 顶底板收敛 V)随加载量级 n 的变化如图 6(a)所示。在此模型中, 沿空所留巷道的两帮移近量为 19.8 mm、顶底平均移近量为 11.6 mm, 且巷道顶板下沉不均匀, 靠近采空区一侧的下沉量较大, 两侧差值为 14 mm。

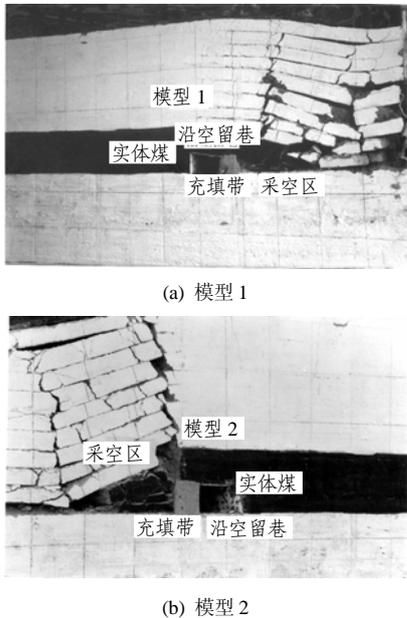


图 5 沿空所留巷道及充填带的破坏状况

Fig.5 Breakage state of gob-side roadway and filled zone

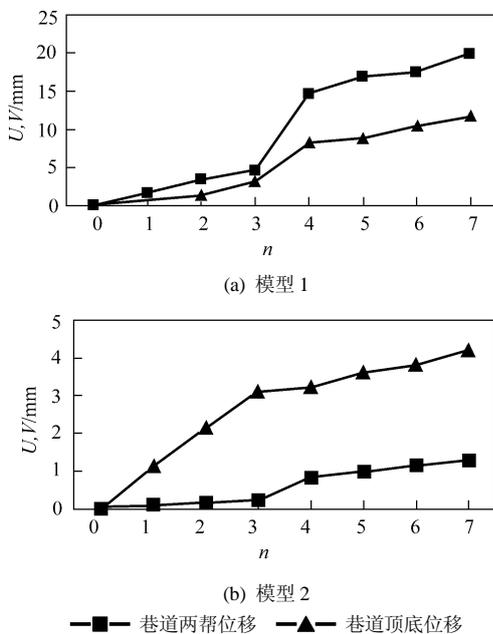


图 6 巷道变形与加载量级 n 的变化曲线

Fig.6 The curve of roadway deformation and loading level n

3.2 模型 2 试验

铺模型的过程均同模型 1。干燥后, 开始开挖

巷道, 然后打锚杆, 每断面 13 根, 其中煤壁帮 4 根, 顶角各 1 根, 顶板上 7 根。巷道长 400 mm, 相当于实际 10 m 的巷道长度, 按照锚杆的排距 800 mm 计, 模拟巷道共打 160 根锚杆。锚索是在铺模型时预埋进去, 共 4 根。再干燥后, 在模型的左侧进行上区段工作面的开采。回采时, 在运输平巷的采空区一侧上方留设 7.5 m 的顶煤不放, 并在巷道的采空侧留设的顶煤下进行巷旁充填, 充填带宽度为 2.5 m。模型加载过程和巷道位移测量方法同模型 1。

经过试验, 所留巷道和充填带均保持较完好的状态, 试验后, 巷道及充填带的状况如图 5(b)所示。在此模型中, 巷道的两帮移近量为 1.24 mm, 顶底移近量为 4.2 mm, 巷道内顶板下沉不均匀, 靠采空侧的下沉量较大, 差值为 2.4 mm。巷道的变形(两帮收敛 U , 顶底板收敛 V)随加载量级 n 的变化如图 6(b)所示。

4 模拟结果分析

针对模型 1 和模型 2 试验结果, 对比分析如下:

(1) 老顶断裂线位置

由模型 1 和模型 2 试验结果可知, 老顶破断的块度和结构形态变化不大, 但老顶的断裂线位置却不同, 其与沿空留巷的维护状况及围岩的稳定性有很大关系。模型 1 中的巷道, 由于原始支护为棚架支护, 围岩已经有一定范围的松动, 巷道煤帮侧的支承应力峰值已向煤层深部转移, 虽然在沿巷前巷道围岩已用锚杆(索)加固, 但在受到采动及工作面周期来压影响时, 老顶断裂线仍位于留巷实体煤一侧内, 即基本上沿煤体松动区的边界。模型 2 中的巷道在掘进时, 就用锚杆(索)网联合支护, 以提高围岩(尤其是煤帮)的强度, 并充分发挥顶板岩层的自承能力。在留巷时, 加大充填材料的强度和充填体宽度, 则老顶在充填体采空区侧被切断, 并产生滑动失稳。

(2) 充填体强度对顶板破断的影响

由模型 2 可知, 当充填体强度为 4 MPa, 宽度为 2.0 m 时, 能切断顶煤和直接顶, 但切断老顶, 充填体变形较大。而当充填体强度为 6 MPa, 宽度为 2.5 m 时, 则顶煤、直接顶及老顶都被切断, 有利于沿空留巷围岩的稳定。

(3) 工作面端头放煤对顶板稳定性的影响

模型 1 中充填体破坏较为严重的一个主要原因就是工作面端头只有 4 架支架不放顶煤, 因而老顶

回转下沉量较大,不利于老顶尽快形成平衡结构和充填体的稳定。两个模型结果表明,端头不放顶煤支架应定为6~7架,可保证老顶断裂后很快触矸自稳。

(4) 沿空留巷围岩变形特征

综放开采沿空留巷处于采场支承压力降低区,其承受的压力来自上方顶煤和直接顶的自重,以及采空区老顶回转引起的压力。综放沿空留巷围岩,由于承受两次采动压力的影响,故从巷道成形到上下工作面开采结束这一过程,巷道围岩的变形较大。在留巷后,巷道的顶板下沉量较大,且下沉不均匀,靠采空区一侧的顶板下沉量较实体煤一侧大。对于棚架巷道沿空留巷来说,两帮变形较大,由于煤体较破碎,故采用锚杆(索)网联合加固极为必要,可有效地控制煤帮的大变形。巷内锚杆和锚索的支护作用主要是防止顶煤的离层、错位以及局部冒顶,联合巷旁充填保持顶板的稳定。

(5) 顶板活动对充填体的作用

随着综放工作面的推进,沿空留巷老顶的破断与下沉是不可抗拒的,其变形量需由直接顶、顶煤、充填体及底板共同承担。采空侧的充填带要适应“给定变形”^[5]的特点,既要有一定的强度,又要有一定的抗变形能力。从试验结果看,模型1中的充填体纵向变形率达到22%,超过了充填体的抗变形能力,据此,充填带宽度须低于2.5 m,充填材料的抗压强度不能低于4 MPa。

5 主要结论

(1) 综放沿空留巷的不同支护方式可影响老顶的破断线位置。留巷前对巷道预锚固,有利于沿空留巷的顶板稳定。

(2) 充填体强度对顶板破断影响较大。充填体强度越大,越易切断顶板,从而更易保证沿空留巷的围岩稳定。

(3) 综放工作面端头合理的不放顶煤距离,可使老顶断裂后很快触矸自稳,有利于充填体及顶板的稳定。

(4) 采用锚索联合支护,可有效地控制综放沿空留巷围岩的大变形。

(5) 巷旁充填体既要有一定的强度,又要有一定的抗变形能力。

参 考 文 献

- 1 陈忠辉,谢和平.综放采场支承压力分析的损伤力学分析[J].岩石力学与工程学报,2000,19(4):436~439
- 2 曹胜根,钱鸣高,缪协兴等.综放开采端面板稳定性的数值模拟研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(4):472~475
- 3 李树刚,钱鸣高,石平五.综放开采覆岩离层裂隙变化及空隙渗流特性研究[J].岩石力学与工程学报,2000,19(5):604~607
- 4 王卫军,侯朝炯,熊仁钦.急倾斜煤层放顶煤分段高度的合理确定[J].岩石力学与工程学报,2001,20(3):355~358
- 5 白义如,白世伟,靳钟铭等.特厚煤层分层放顶煤相似材料模拟试验研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(3):365~369
- 6 钱鸣高,何富连.再论采场矿山压力理论[J].中国矿业大学学报,1994,23(3):1~9
- 7 顾大钊.相似材料和相似模型[M].徐州:中国矿业大学出版社,1995,6~56

TESTING STUDY ON DEFORMATION FEATURES OF SURROUNDING ROCKS OF GOB-SIDE ENTRY RETAINING IN FULLY-MECHANIZED COAL FACE WITH TOP-COAL CAVING

Zhang Dongsheng¹, Mao Xianbiao², Ma Wending¹

⁽¹⁾ School of Energy Resources and Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008 China

⁽²⁾ School of Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008 China

Abstract The technique of gob-side entry retaining in fully-mechanized coal face with top-coal caving is the key measure with which the Y type ventilation manner can be used to solve the problem of face gas accumulation. According to the given conditions of Changchun Coal Mine, Luan Bureau, the equivalent material simulation testing is made, and the broken situation and shape of main roof, the influence of different support on roof activity are analysed. The study results provide scientific basis for the determination of the support of gob-side entry and the parameters of roadside filling.

Key words gob-side entry retaining, roadside filling, simulation testing