

王新,郝建,董洪青,等.坚硬顶板条件下无煤柱切顶成巷技术[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2020,35(4):10-16.  
doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.04.002

Wang X, Hao J, Dong H Q, et al. Study on Roof Forming Technology Without Coal Pillar Cutting Under the Condition of Hard Roof [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2020,35(4): 10-16. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2020.04.002

# 坚硬顶板条件下无煤柱切顶成巷技术

王新<sup>1</sup>,郝建<sup>1,2,3\*</sup>,董洪青<sup>4</sup>,朱怀志<sup>4</sup>,黄成军<sup>4</sup>,陈军<sup>1</sup>,程为佳<sup>1</sup>

(1.山东科技大学 能源与矿业工程学院,山东 青岛 266590;2.山东科技大学 矿山灾害预防控制国家重点实验室培育基地,山东 青岛 266590;  
3.山东华宁矿业集团有限公司,山东 泰安 271400;4.滕州市金达煤炭有限责任公司,山东 枣庄 277500)

**摘要:**传统煤柱护巷开采方式受资源浪费、作业不平衡等因素困扰严重,且煤柱留设造成应力集中易导致巷道变形失稳。为维护巷道稳定、缓解工作面采掘接续、提高煤矿效益,对金达煤矿16<sup>#</sup>煤16610工作面实施无煤柱切顶成巷技术。结合理论计算与现场实际,确定出合理的切缝及爆破参数;并在巷道超前支护、顶板预裂爆破、挡矸等工艺基础上进行柔帘设计密封采空区,指导金达煤矿在坚硬顶板条件下无煤柱切顶成巷技术的实施。分析工程效果可以得出:切顶成巷技术下巷道顶底板最大变形量为258 mm,两帮为172 mm,可节省359.37万元。

**关键词:**切顶成巷;巷道稳定;经济技术分析;工艺优化;矿压观测

**中图分类号:**TD823.4<sup>+</sup>8 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2020)04-0010-07

## Study on Roof Forming Technology Without Coal Pillar Cutting Under the Condition of Hard Roof

Wang Xin<sup>1</sup>, Hao Jian<sup>1,2,3</sup>, Dong Hongqing<sup>4</sup>, Zhu Huaizhi<sup>4</sup>, Huang Chengjun<sup>4</sup>, Chen Jun<sup>1</sup>, Cheng Weijia<sup>1</sup>

(1. College of Mining and Safety Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. National Key Laboratory for Mine Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

3. Shandong Huaning Mining Group, Taian 271400, China;4. Tengzhou Jinda Coal Co., LTD., Zaozhuang 277500, China)

**Abstract:** Under the traditional coal pillar roadway mining mode, it was seriously plagued by resources waste and unbalanced operations, and the stress concentration caused by the coal pillar retention was easy to cause the deformation of the roadway. In order to maintain the stability of the roadway, alleviate the mining and mining of the working face and improve the efficiency of the coal mine, Jinda Coal Mine implemented the technology of no coal pillar cutting and forming lanes for the 16<sup>#</sup> coal 16610 working face. Combining the theoretical calculation with the actual situation, the reasonable cutting seam and blasting parameters were determined. On the basis of the advance protection of the roadway, the pre-splitting blasting of the roof, and the smashing, etc., the soft curtain was designed to seal the goaf, and the hard roof condition of Jinda Coal Mine was guided, the implementation of the technology of cutting the roof without coal pillars. The results indicated that the maximum deformation of the roof and floor of the roadway under the roof cutting technology is 258 mm, and the two gangs

收稿日期:2019-03-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51804180);山东省重点研发计划资助项目(2018GSF116007);山东省自然科学基金博士基金资助项目(ZR2017BEE033);山东省博士后创新基金资助项目(201703076)

\*通信作者,E-mail: 985344267@qq.com

are 172 mm, which can save 3 593 700 yuan.

**Keywords:** roof cutting pressure relief; roadway stability; economic and technical analysis; process optimization; ground pressure observation

坚硬顶板条件下煤炭资源储量丰富,但开采所面临的威胁因素众多<sup>[1]</sup>,如巷道围岩变形、冲击地压、悬顶、采空区有害气体等.伴随着采深的加大,坚硬顶板条件下煤炭资源开采所受到的冲击地压等灾害更为显著,严重威胁煤矿企业的安全生产<sup>[2]</sup>.

在宋振骥院士实用矿山压力的理论指导<sup>[3-4]</sup>下,相关学者对冲击地压等灾害的研究逐渐深入,这些研究不断地丰富无煤柱沿空留巷体系.其中,又以何满潮院士所提出的无煤柱切顶成巷技术最为适用.切顶成巷技术是指按照设计参数在工作面前方进行超前预裂爆破<sup>[5]</sup>,强制放顶.何满潮<sup>[6]</sup>提出切缝对工作面矿压有一定的影响范围;孙晓明等<sup>[7]</sup>认为切缝向采空区偏转一定角度能有效地控制应力传递;华心祝等<sup>[8]</sup>对沿空留巷支护技术进行研究;马资敏等<sup>[9-10]</sup>对切顶后巷道围岩稳定时空特征进行分析;王巨光等<sup>[11]</sup>对切顶成巷为煤矿带来的经济及社会效益进行分析.以上研究大都是基于对切顶卸压效果及矿压显现方面<sup>[12]</sup>,对切顶卸压工艺优化的研究较少,且研究对象属低瓦斯矿井,而对坚硬顶板条件下实施切顶卸压对采空区有害气体处理工艺上的应用则更少.

笔者针对金达煤矿坚硬顶板的实际条件进行无煤柱切顶成巷及相关技术研究,对该煤矿实施切顶卸压技术的工艺流程进行改进完善,利用所研发的柔帘装置对采空区密封,在缓解巷道围岩变形的同时能有效地防止采空区有害气体的溢出,对相同地质条件下实施切顶成巷技术具有重要的现实意义和理论意义.

## 1 技术原理及特点

### 1.1 无煤柱切顶成巷原理

无煤柱切顶成巷技术是指在工作面下顺槽采空区侧对顶板超前一定距离预裂爆破,将巷道顶板与采空区上覆岩层之间的力学联系切断,使受切缝影响的上覆岩层在工作面来压之际受矿山压力<sup>[13]</sup>作用垮落形成矸石充满采空区,伴随工作面回采逐渐压实,在挡矸支护装置下形成巷帮,实现由长臂梁向短臂梁的转变,增强结构稳定性,从根本上改变受采动影响下沿空巷道围岩的应力分布规律<sup>[14]</sup>.图1为切顶成巷原理图.

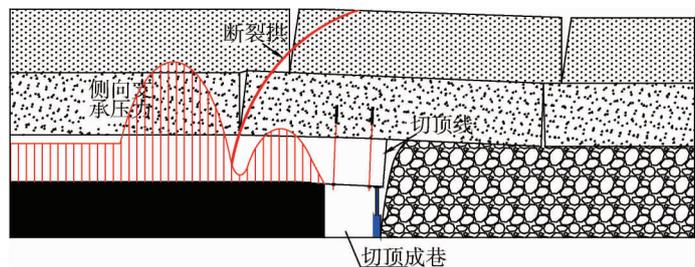


图1 切顶成巷原理

### 1.2 无煤柱切顶成巷的特点

1) 切断应力传递.采用聚能管预裂爆破技术使工作面顶板与巷道顶板分离,切断岩层应力传递.同时,破碎矸石具有碎胀性,充实采空区,为老顶回转触矸提供缓冲,维护巷道稳定.

2) 节约资源.切顶成巷技术的优点是将工作面之间区段煤柱消除,减少资源浪费,提高煤炭回收率,缓解采掘接续紧张,同时,能有效地避免因煤柱留设造成应力集中而引发的冲击地压灾害.

3) 降低安全隐患.切顶成巷技术采用“Y”型通风,解决了上隅角瓦斯积聚的问题,有效地降低工作面发生爆炸危险的隐患.

## 2 工程概况

金达煤矿位于枣庄市滕州市,16610工作面采16<sup>#</sup>煤,16<sup>#</sup>煤层较稳定,走向长度为741.1 m,位于太原组下部,十<sub>下</sub>灰岩之下,平均厚度为0.86 m;煤岩层走向为北西30°~40°,倾角在3°~8°;矿井瓦斯相对涌出量为0.79 m<sup>3</sup>/t,为低瓦斯矿井;CO<sub>2</sub>相对涌出量为1.38 m<sup>3</sup>/t;煤尘爆炸指数为44.54%,有煤尘爆炸危险;煤的最短自然发火期为94 d;煤层自燃倾向等级Ⅱ类;直接顶为5.31 m石灰岩,属坚硬顶板;底板为

6.93 m泥岩.留巷地点为16610下材料道,综合柱状图与采掘平面图如图2和图3所示.

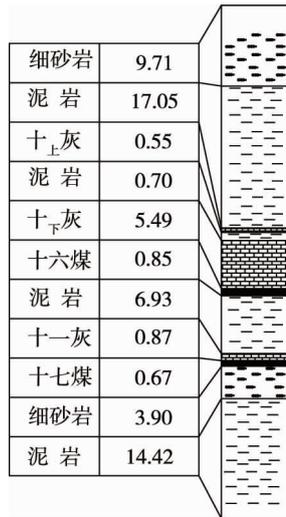


图2 综合柱状图

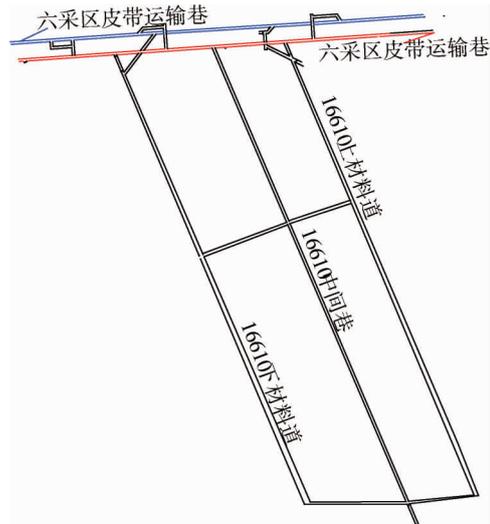


图3 采掘平面

### 3 切顶成巷工艺

切顶成巷工艺流程为超前支护设计、切缝参数及爆破参数设计、挡矸支护设计和密封设计,成巷后的支护是在超前支护的基础上减少一排单体液压支柱即可实现留巷.

#### 3.1 超前支护

超前支护设计以16610工作面原支护为基础,超前支护方式为锚杆+锚索+金属网+工字钢梁+三排单体支柱联合支护<sup>[15]</sup>;支柱沿巷道走向布置,必须连锁防止超前支柱歪倒伤人;超前支护范围距工作面0~20 m.成巷后根据矿压观测效果,在超前支护的基础上对滞后段挡矸处的一排支柱回撤<sup>[16]</sup>.

#### 3.2 切缝参数确定

##### 3.2.1 切缝深度

切缝深度的公式如式(1)所示.

$$H_{\text{缝}} = (H_{\text{采煤}} - \Delta H_1 - \Delta H_2) / (K - 1). \quad (1)$$

式中: $H_{\text{缝}}$ 为切缝长度,m; $H_{\text{采煤}}$ 为开采煤层厚度,m; $\Delta H_1$ 为顶板下沉量,m; $\Delta H_2$ 为底鼓量,m; $K$ 为碎胀系数,取1.3.

$K$ 取1.3,煤厚1.2 m,底鼓及顶板下沉忽略不计的情况下临界切缝深度4.0 m.由于工作面基本顶为5.31 m石灰岩,考虑到煤矿实际的同时,为保证切顶后顶板破碎垮落充分,将切缝深度确定为4.5 m.

##### 3.2.2 切缝角度

切顶后上覆岩层在下沉过程中会与巷道顶板发生摩擦,巷道顶板容易受到挤压发生变形.因此,结合现场经验,为减小摩擦获得较好的垮落效果,应在切缝时向采空区侧偏转一定角度.结合以往工程经验确定切缝角度为 $15^\circ$ ,并在切缝前进行恒阻锚索顶板加固.钻孔、切顶效果图如图4和图5所示.



图4 钻孔效果



图5 切顶效果

### 3.3 爆破参数确定

通过上述分析,确定切缝深度 4.5 m、切缝角度  $15^\circ$ ,在巷道与采空区顶板夹角处施工;炮孔直径  $D=42$  mm、间距 500 mm;炸药单耗  $q$  根据石灰岩岩性,选在  $0.2\sim 0.3$   $\text{kg}/\text{m}^3$ .装药线密度公式<sup>[17]</sup>如式(2)所示.

$$q_x = 2.75 \left( \frac{\sigma_\gamma}{10^5} \right)^{0.53} \left( \frac{D}{2} \right)^{0.38}. \quad (2)$$

式中: $q_x$  为装药线密度; $\sigma_\gamma$  为岩石极限抗压强度,石灰岩抗压强度取 90 MPa.

计算得

$$q_x = 2.75 \times 900^{0.53} \times 21^{0.38} = 322 \text{ g/m}. \quad (3)$$

按照上述装药线密度,将炸药均匀地装入聚能管,装药的结构图如图 6 所示.

### 3.4 挡矸支护

为防止采空区矸石流入巷道,进行挡矸处理:

1)采空区侧挂金属网背帮,双节 U29 型钢搭接 1 m,顶部焊接 1 m 长度的锚杆,插入切顶钻孔,底部埋入底板 20 cm.

2)选用直径 6.5 mm,长 2 000 mm,宽 1 000 mm,网格为 100 mm 的焊接钢筋网;水平方向网与网间搭接 10 cm.竖向两片网垂直搭接,搭接长度 10 cm 以上,留底部 60 cm 并弯曲  $90^\circ$ .

3)将网片铺平整实,用铅丝连接牢固.网的上部与下部紧贴顶底板,金属网要在顺巷棚外侧悬挂,且外露长度最小为 100 mm.

### 3.5 密封设计

超前支护已采用锚杆+锚索+金属网+工字钢梁+三排单体支柱联合支护,伴随工作面回采超前支护不断向前延伸,单体液压支柱拆除一排进行循环使用,此时,采空区后方的支护方式为锚杆+锚索+金属网+工字钢梁+二排单体支柱,因此在这种情况下,巷旁仅做挡矸密闭处理便可实现留巷.为防止 16610 采空区未冒实前有害气体溢出及自燃发火,采用所研发的柔帘将其密封,柔帘装置如图 7 和图 8 所示.

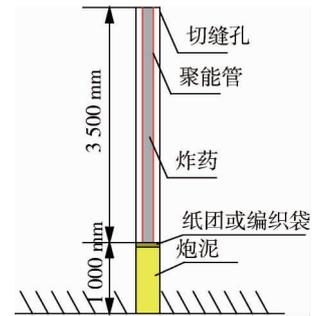


图 6 装药结构

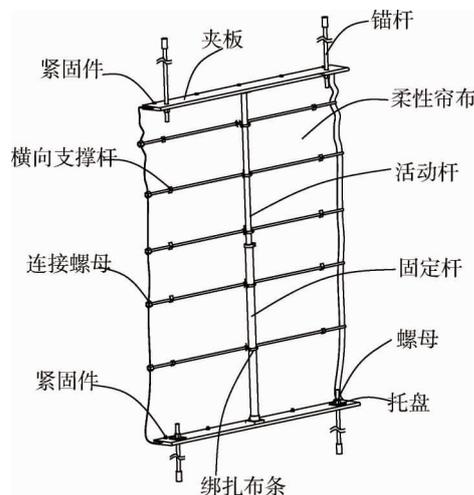


图 7 柔帘立体图

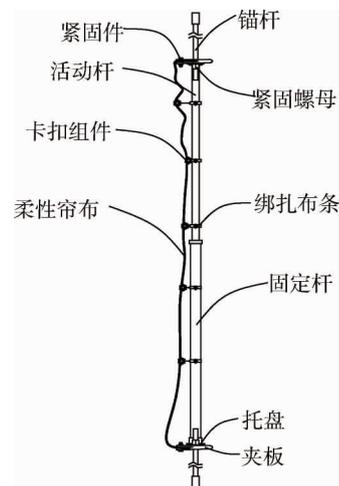


图 8 柔帘侧视图

1)工作面开采前,在顺槽巷道顶板和底板安装锚杆(索),并使夹板平行于顶板倾向,沿巷道边缘固定于锚杆上,托盘通过紧固螺母将夹板分别贴近巷道顶板和底板.

2)安装柔性帘布,通过螺栓螺母紧固件将柔性帘布紧贴固定至夹板夹槽.

3)安装支撑机构,将横向支撑杆穿过帘布自下而上依次安装,沿平行巷道长度方向布置,绑扎布条固定;然后将固定杆安装在下夹板的中间位置,固定杆下部注入乳化液,使活动杆的顶端安装在上夹板的中间位置,之后通过第一卡箍和第二卡箍连接横向支撑杆与固定杆、活动杆.

4) 对上夹板上端面及下夹板底端面进行喷浆,夹板紧贴巷道顶底板,保证密封效果.

5) 按步骤1~步骤4依次安装其余密封机构和支撑机构,相邻两组密封机构柔性帘布间通过万能粘贴扣连接,相邻两组支撑机构横向支撑杆通过连接螺栓、螺母连接.柔帘连接、密封图如图9和图10所示.

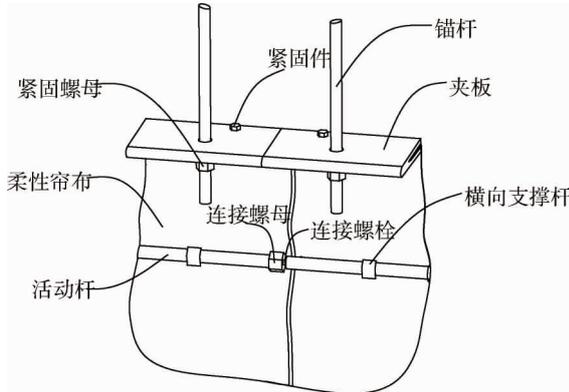


图9 柔帘连接

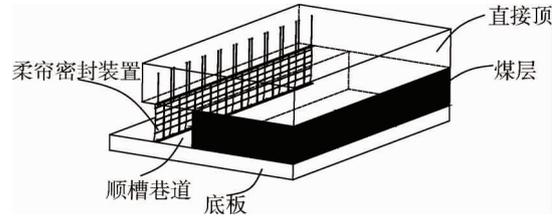


图10 采空区密封

柔帘各部件间严格密封连接,阻隔采空区有害气体,且柔帘固定杆与活动杆刚度较小,克服刚性墙体带来的巷帮破坏、底板起鼓,实现柔性让压,柔帘各部件均可回收,节省密封成本.

### 4 工程效果

#### 4.1 围岩变形效果

为检验坚硬顶板条件下切顶成巷技术的合理性,进行矿压观测<sup>[18]</sup>.自留巷起点开始布置测点,采用十字布点法在每个监测断面布置4个标记点.每天用米尺测量上下,左右的距离,记录顶底板、两帮移近量情况.测点图、围岩移近量图与巷道规格图如图11~图13所示.

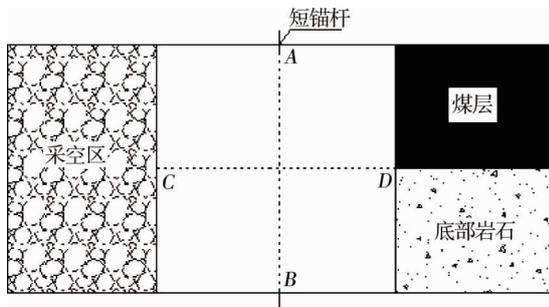


图11 测点布置

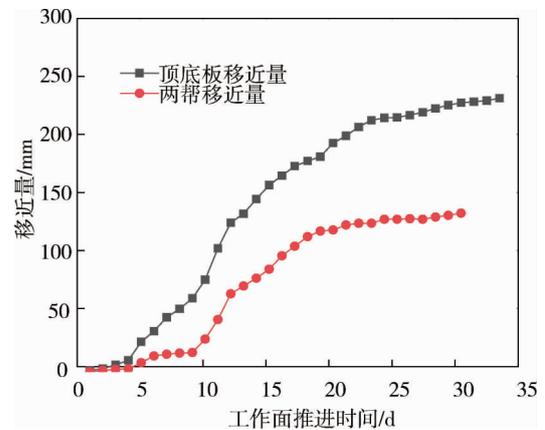


图12 距留巷起点60m监测点围岩移近量变化曲线

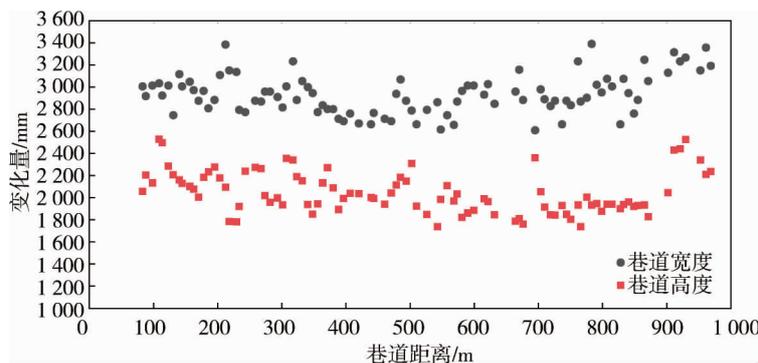


图13 巷道规格散点

1) 根据矿压观测,巷道顶底板最大移近量为 258 mm,其中顶板最大下沉量 155 mm,底鼓量最大 146 mm,两帮最大移近量 172 mm.

2) 留巷前巷道平均高 2 300 mm,宽 3 100 mm,巷道稳定后平均高 2 076 mm,宽 2 946 mm.巷道两帮平均移进量约 224 mm、顶底板平均移进量约 154 mm.留巷效果图如图 14 所示.



图 14 留巷效果

## 4.2 经济效果

按 2019 年初市场价格,将切顶成巷与煤柱护巷成本进行比较.

### 4.2.1 煤柱置换效益

回采工作面端头全采后按原方案 10 m 煤柱,折成每米平均效益 4 469.85 元/m;切顶人工材料费 546 元/m;切顶施工人工费 248 元/m;整修巷道成本费按 734 元/m 计算,以 16620 材料道整修作为参考:520 m 掘进时间 1.5 个月,平均每月 347 m;切顶成巷平均每米可创效益 941.85 元/m;新掘巷道成本费 1 398 元/m.

### 4.2.2 效益计算

按 16610 材料巷道维修 700 m 计算,可置换煤柱效益 312.889 5 万元;减少掘进距离 700 m,节约资金 97.86 万元;维修巷道费用 51.38 万元.

整修进度按 350 m/月,掘进进度按 210 m/月计算,节省掘进时间 2 个月,可新掘进巷道 420 m;切顶成巷技术与煤柱护巷相比节省资金 359.37 万元,节约时间 60 d,可新掘巷道 420 m.

16610 工作面切顶成巷项目实施对巷道稳定、围岩变形方面起到良好的控制作用<sup>[19]</sup>,为煤矿减少资源浪费的同时也创造了较大的经济社会效益,实现安全上可靠,技术上可行,经济上合理的目标.

## 5 结论

1) 结合理论计算与现场实际,切缝深度 4.5 m,切缝角度 15°的切缝参数与 322 g/m 的爆破参数合理,能够达到维护巷道稳定的效果.

2) 根据矿压观测结果,巷道顶板最大下沉量 155 mm,两帮最大移近量 172 mm,验证了坚硬顶板条件下切顶成巷技术的成熟性.

3) 切顶成巷技术的实施为煤矿节省资金 359.37 万元,节约时间 60 d,可新掘巷道 420 m,缓解了煤矿采掘接续紧张的问题.

4) 结合煤矿低瓦斯的实际,利用所研发的柔帘作为采空区密封设计的核心.该装置具有密封性好、成本低、防静电、不燃烧的优点,实现柔性让压的同时对采空区有害气体起到良好的阻隔效果,也为高瓦斯地区煤炭开采提供了研究思路.

## 参考文献:

- [1] 谭云亮,张明,徐强,等.坚硬顶板型冲击地压发生机理及监测预警研究[J].煤炭科学技术,2019,47(1):166-172.
- [2] 张国锋.切顶卸压沿空成巷机理及关键技术研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2010.

- [3] 宋振骐.实用矿山压力[M].徐州:中国矿业大学出版社,1988.
- [4] 文志杰,蒋宇静,宋振骐,等.沿空留巷围岩结构灾变系统及控制力学模型研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2011,26(3):12-16.
- [5] 张胜利,张昌锁,王银涛,等.定向断裂爆破在综放工作面初采切巷的应用[J].北京理工大学学报,2017,37(2):135-140.
- [6] 何满潮,高玉兵,杨军,等.无煤柱自成巷聚能切缝技术及其对围岩应力演化的影响研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(6):1314-1325.
- [7] 孙晓明,刘鑫,梁广峰,等.薄煤层切顶卸压沿空留巷关键参数研究[J].岩石力学与工程学报,2014,33(7):1449-1456.
- [8] 华心祝,赵少华,朱昊.沿空留巷综合支护技术研究[J].岩土力学,2006,27(12):2225-2228.
- [9] Huang Y L, Zhang J X, Ju F. Technology of roadside packing in gob-side entry re-taining and law of rock pressure[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2009, 29(5):515-520.
- [10] 马资敏,郭志飏,陈上元,等.深部中厚煤层切顶留巷围岩变形规律与控制研究[J].煤炭科学技术,2018,46(2):112-118.
- [11] 王巨光,王刚.切顶卸压沿空留巷技术探讨[J].煤炭工程,2012(1):24-26.
- [12] 栾恒杰,林东才,贾传洋,等.沿空留巷矿压显现周期性机制研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2014,33(3):60-64.
- [13] 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.
- [14] 刘宜平,董昌伟,郭标.祁东矿切顶卸压无煤柱开采矿压规律及围岩控制[J].煤矿安全,2019,50(1):165-169.
- [15] 欧懿,朱川曲,李青锋,等.沿空掘巷锚网梁索联合支护技术[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2015,30(2):14-19.
- [16] Kang H P, Niu D L, Zhang Z, et al. Deformation characteristic of surrounding rock and supporting technology of gob-side entry retaining in deep coal mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(10):1978-1987.
- [17] 高保彬,刘云鹏,王祖洸.不同耦合装药结构的爆破效果分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2014,29(3):10-14.
- [18] 杨森,周冰川,李迎富,等.无巷旁充填切顶卸压沿空留巷矿压显现规律及关键支护技术[J].煤矿安全,2018,49(8):222-225.
- [19] 王海洋.复合坚硬顶板变形破断特征及对矿压显现的影响规律[D].重庆:重庆大学,2017.