

## 2.1 巷道顶板下沉控制

在掘巷阶段,巷内基本支护可以控制回采巷道顶板下沉.二次回采阶段留巷顶板下沉的控制工作,大部分已经在首次回采时通过加强支护、巷旁支护完成.所以,沿空留巷顶板变形控制工作主要集中在上区段工作面后方留巷的加强支护和巷旁支护.

首次回采时,受工作面回采影响,巷道直接顶有与基本顶离层,发生冒落的趋势,因此,需要对工作面后方留巷进行加强支护.同时,随着工作面的推进,还要适时构筑巷旁支护,保证巷道基本顶岩梁三铰接结构稳定,实现对巷道顶板下沉的控制.但是,沿空留巷的支护不可能对基本顶运动的最终位态加以限制,应对基本顶采取给定变形的工作状态<sup>[4]</sup>.

为了确定最佳的巷旁支护时机,需要预测留巷顶板运动的最终位置状态.由式(1)知,留巷顶板最终下沉量与基本顶岩梁在实体煤一侧的断裂位置有关.工作面回采后,基本顶通常在巷道侧向支承压力峰值处断裂,则巷道中线到岩梁端部断裂线水平距离  $C$ ,可由巷道宽度和实体煤帮极限平衡区宽度确定.取  $C = X_0 + b/2$ ,则巷道顶板最终下沉量  $\Delta h$  为

$$\Delta h = \frac{X_0 + \frac{b}{2}}{L} [h - m_z(K_A - 1)]. \quad (2)$$

式中: $X_0$  为巷帮极限平衡区宽度,  $m$ ;  $b$  为巷道宽度,  $m$ .

通过实时监测留巷顶板下沉量,结合式(2)判断基本顶岩梁触矸情况,从而确定巷旁支护的最佳时机.因此,对巷道顶板下沉的控制,要利用加强支护在短期内保证直接顶不冒落,利用巷旁支护确保基本顶触矸后顶板稳定.

## 2.2 巷道煤帮挤出控制

掘巷阶段巷道两帮和首次回采阶段工作面前方巷道两帮都是煤体,而首次回采阶段工作面后方留巷和二次回采阶段工作面前方留巷都是一侧为煤体,另一侧为巷旁支护.随着上区段工作面的回采,采空区上覆岩层的载荷通过三铰接梁结构向留巷煤体一侧转移,留巷煤体一侧的支承压力进一步增加.当支承压力的峰值大于基本顶强度时,基本顶断裂,并在上覆岩层载荷的作用下产生旋转下沉运动,进而导致巷道煤体挤出.

为控制巷道煤帮挤出,防止出现片帮,需要量化因基本顶下沉引起的巷帮挤出,假设巷道煤帮在挤出的过程中体积没有发生变化,则挤出量  $\zeta$  为<sup>[6]</sup>

$$\zeta = \left( X_0 + \frac{b}{2} \right) \frac{h}{\Delta h} - X_0 + \sqrt{\left[ \left( X_0 + \frac{b}{2} \right) \frac{h}{\Delta h} \right]^2 - 2X_0 \left( X_0 + \frac{b}{2} \right) \frac{h}{\Delta h}}. \quad (3)$$

由式(3)可知,当巷宽和采高一定时,  $\zeta$  主要受  $\Delta h$  影响,因此,可以通过控制顶板下沉实现对煤帮挤出的控制.利用及时加强支护和适时巷旁支护控制顶板下沉,进而控制巷帮挤出.此外,通过实时监测煤帮的变形情况,结合式(3)可以判断巷道围岩变形的控制效果.

# 3 巷旁支护技术与工艺

## 3.1 巷旁支护技术

巷旁支护可以有效维持留巷基本顶的三铰接梁结构,控制顶板最终下沉位置,防止顶板出现离层,从而缓解巷内支护的负担,确保留巷的稳定性<sup>[7]</sup>.目前,巷旁支护已经基本解决了沿空留巷支护和密闭采空区的问题<sup>[8]</sup>,从巷旁支护的发展历程可以看出,巷旁支护应满足3点要求:(1)有足够的支护强度,为顶板提供足够的支护阻力;(2)有一定的可缩量,能满足顶板的给定变形运动;(3)技术经济指标最优.

而巷旁支护不仅要合适以满足上述3点要求,还需要适时以适应巷道围岩变形.由于基本顶岩梁运动的最终状态影响巷道顶板的下沉量,巷旁支护时机必须适应三铰接岩梁的运动情况,在监测顶板下沉量的基础上,根据式(2)判断基本顶的触矸情况,确定进行巷旁支护的最佳时机.当顶板下沉量未达到最终下沉

量  $\Delta h$  时,基本顶岩梁还未完成旋转下沉,不适宜进行巷旁支护.

### 3.2 巷旁支护工艺

巷旁支护是支撑沿空留巷顶板的主要承载体,若巷旁支护构筑完成时,基本顶岩梁没有触矸,则三铰接梁结构没有最终稳定,巷旁支护不能有效限制顶板的继续下沉,支护效果不佳;若基本顶岩梁触矸稳定后,巷旁支护没有及时构筑完成,顶板仍有可能出现离层,造成直接顶冒落事故<sup>[6]</sup>.

巷旁支护施工工艺如图2所示,在进行充填体构筑之前,要进行加强支护,以确保巷旁支护时巷道结构稳定,保证安全施工.在进行巷旁充填时,充填体要在顶板下沉量达到一定数值之后再封顶完成构筑,巷旁支护完成构筑,充填体的承压时,基本顶应完成旋转下沉运动并触矸稳定.巷旁支护采用给定变形支护(让压支护)时<sup>[9]</sup>,更符合沿空留巷的实际支护需要,可以在控制巷道围岩变形的同时,维持巷道围岩的完整性.

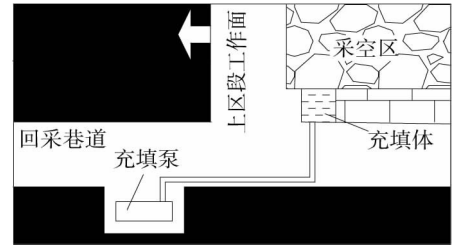


图2 沿空留巷巷旁支护工艺示意图

## 4 工程实例分析

结合某矿运输顺槽沿空留巷的实际情况,利用数值分析软件 FLAC<sup>3D</sup>模拟巷道围岩应力变化情况,判断沿空留巷巷旁支护的效果.

### 4.1 矿井地质情况

煤层为3 m的近水平煤层,埋深为800 m左右,运输顺槽尺寸为5 m×3 m,日进尺4.8 m,工作面各主要岩层物理力学参数如表1所示<sup>[10-12]</sup>.

表1 主要岩层物理力学参数

位置	名称	厚度/m	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	切变模量/GPa	体积模量/GPa	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/MPa
基本顶	粉砂岩	7.2	2 700	10.5	15.5	3.5	32	5.1
	中粒砂岩	7.6	2 600	4.5	6.2	1.1	30	2.9
直接顶	砂质泥岩	3.2	2 460	2.0	3.1	1.0	19	2.1
煤层	煤	3.0	1 400	1.5	2.7	1.2	21	2.3
底板	粉砂岩	13.0	2 650	10.5	15.2	3.5	32	5.0
充填体	充填体	—	2 500	12.2	20.3	4.4	45	9.0

### 4.2 模型建立及结果分析

数值模拟模型如图3所示,模型的尺寸为56 m×100 m×35 m( $X \times Y \times Z$ ),共有节点201 495个,单元体190 400个.模型上部边界向下垂直加载21 MPa,模拟上覆岩层的压力.原岩应力平衡后开挖巷道,然后回采上区段工作面,并进行巷旁支护,工作面日进尺取整为5 m.

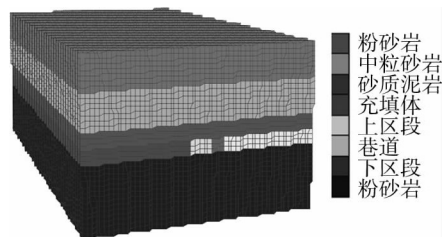


图3 数值模拟模型图

掘巷后巷道围岩垂直应力分布情况如图4所示,上区段工作面回采时,工作面后方25 m处的巷道围岩垂直应力分布情况如图5,充填体在工作面后方25 m处的主应力分布情况如图6所示.

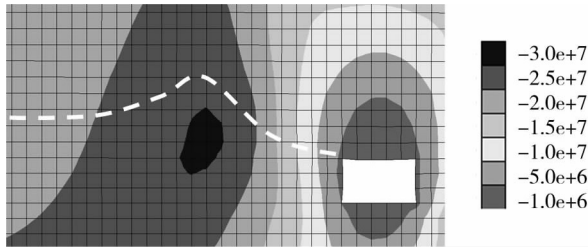


图4 回采巷道围岩垂直应力分布图

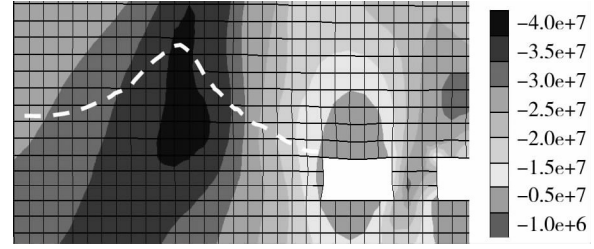


图5 留巷围岩垂直应力分布图

从图4可以看出回采巷道侧向支承压力峰值出现在煤帮内部10 m处,大小约为30 MPa,应力集中系数为1.4,分布情况符合图1中虚线所示的规律.而对于工作面后方的留巷,从图5可以看出侧向支承压力峰值同样出现在巷帮10 m深处,大小约为40 MPa,应力集中系数为2,分布情况不符合图1中实线所示的规律.这是因为FLAC<sup>3D</sup>无法模拟基本顶断裂,导致没有出现

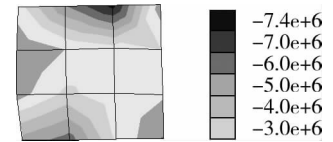


图6 充填体主应力分布图

内应力场和支承压力峰值内移的现象.但随着应力峰值的增加,基本顶必定会形成图1中的三铰接梁结构.由图6可知充填体的最大主应力为7.4 MPa,主要分布在充填体的顶部和底部.

## 5 结论

1) 沿空留巷围岩变形机理体现在,巷道围岩在掘巷阶段变形量较小,上区段工作面回采后,留巷顶板将在侧向形成三铰接梁结构,煤帮的挤出量主要受顶板下沉量的影响.

2) 预测沿空留巷围岩变形范围和巷旁支护的合适时机,对有效控制围岩变形的至关重要,巷旁支护过早会造成支护材料浪费,支护体过早承压;巷旁支护不及时则会引起巷道围岩失稳,造成冒顶事故.

3) 巷旁支护作为沿空留巷围岩控制的关键技术,合适的巷旁支护时机可以充分发挥巷旁充填体的支护性能,使现有充填材料达到最佳的支护效果.

## 参考文献:

- [1] 石建军,马念杰,白忠胜.沿空留巷顶板断裂位置分析及支护技术[J].煤炭科学技术,2013,41(7):35-37.
- [2] 卢小雨,华心祝,赵明强.沿空留巷顶板下沉量计算及分析[J].采矿与安全工程学报,2011,28(1):34-38.
- [3] 黄万朋,高延法,文志杰,等.钢管混凝土支柱巷旁支护沿空留巷技术研究[J].中国矿业大学学报,2015,44(4):604-611.
- [4] 谭云亮,吴士良,尹增德,等.矿山压力与岩层控制[M].北京:煤炭工业出版社,2008:219-221,230-231.
- [5] 陈勇,柏建彪,王襄禹,等.沿空留巷巷内支护技术研究与应用[J].煤炭学报,2012,37(6):903-910.
- [6] 赵健,张鹏.沿空留巷围岩给定变形及巷旁支护时机研究[J].煤炭工程,2017,49(2):68-71.
- [7] 马念杰,白忠胜.无人工巷旁充填沿空留巷支护技术与工艺研究[J].煤矿开采,2010,15(4):51-56.
- [8] 王渭明,徐飞,秦文露.高瓦斯煤矿矸石充填沿空留巷支护技术[J].煤炭科学技术,2013,41(12):1-3.
- [9] 文志杰,蒋宇静,宋振骥,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.
- [10] 余伟健,朱川曲.沿空掘巷围岩稳定性可控因素的敏感度及稳定性分析[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2011,26(1):21-27.
- [11] 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.
- [12] 朱永建,朱二磊,陈鑫源,等.深井高地应力巷道围岩弱化规律及控制技术[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2015,30(1):15-21.

# 村庄煤柱下矸石充填开采工艺技术应用

李书博<sup>1\*</sup>, 钱坤<sup>2</sup>

(1. 陕西延长石油集团魏墙煤业有限公司, 陕西 横山 719100; 2. 中国有色金属建设股份有限公司, 北京 100029)

**摘要:**结合东部某矿7606工作面实际条件,对矸石与粉煤灰充填开采投料系统进行了设计,对充填开采液压支架及夯实设备进行了研制,对充填开采输送机进行了改造;通过对充填体压力和地表岩层移动进行现场观测,得出充填体最大压力为5.5 MPa,距离7606充填工作面东侧约37 m处的矿用铁路沿线最大下沉值为16 mm.采用设计矸石与粉煤灰充填开采工艺技术,有效降低了地表移动变形对建筑物的影响,延长了矿井服务年限,对解决同类地质条件下建筑物下开采有着参考价值.

**关键词:**矸石与粉煤灰;充填开采;充填体压力;岩层移动

**中图分类号:**TD823      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2017)02-0025-04

## Research on Application of Gangue Backfill Mining Technology Under Village Coal Pillar Condition

Li Shubo<sup>1</sup>, Qian Kun<sup>2</sup>

(1. Weiqiang Coal Industry Group, Shaanxi Yanchang Petroleum Co., Ltd., Hengshan 719100, China;

2. China Nonferrous Metal Mining Group Co. Ltd, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Gangue and fly ash combined with mining technology is the direct filling of the gangue and fly ash to the surface by the feed delivered to the face well, and then filling is in gob areas, while ensuring under the premise of the safe use of surface buildings subjects to the normal maximum level for achieving coal mining under the buildings. In the paper, gangue and fly ash on the exploitation of the feed system are designed for filling and compaction equipment. The hydraulic mining is developed on the backfill mining, the conveyor is modified, and the gangue and fly ash mining technology are designed. As the result, the filling rate and surface subsidence are controlled effectively, the service life of the mine is extended, and the good economic and social benefits are achieved.

**Keywords:** gangue and fly ash; backfill mining; hydraulic ram-type filling; backfill mining technology

“三下”压煤和煤矿生产中产生的矸石等复杂难题,早已成为现在中大型煤矿急需去处理的技术难题之一<sup>[1]</sup>.充填开采是以矸石、砂、碎石等物料在采空区进行充填,达到控制岩层运动和地表沉陷的目的<sup>[2-4]</sup>.为了提高以矸石为主要成分的充填材料的强度和刚度,需给矸石中加入一定量的黏合剂,以实现充填材料的作用<sup>[5]</sup>.但是黏合剂与矸石混合后会在充填体的表面产生黄铁矿,最终形成新的不溶解混合物<sup>[6,7]</sup>,影响以矸石为主要成分的充填材料的强度.翻阅大量国内外关于对煤矿井田内,村庄煤柱下矸石充填开采工艺技术研究相关文献,可以看出以矸石为主要成分的充填材料,再加入一定量的黏合剂等化学材料进行充填,大量文献已证明以矸石为主要成分的充填材料在加入一定量的化学黏合剂充填方法在煤矿充填方面成本较高,随着时间的变化大多数煤矿会采用矸石直接充填,当然这也是未来国内外大量专家研究的方向.因此,煤炭企业急需对矸石直接充填法开采技术进行研究.

东部某矿剩余可采储量  $2\ 212.6 \times 10^4\ \text{t}$ , 其中  $2^\#$  煤  $1\ 286.6 \times 10^4\ \text{t}$ ,  $5^\#$  煤  $810 \times 10^4\ \text{t}$ , 而矿井范围内的村庄及工业广场建筑物、冲积层下、断层却压有大量的煤炭资源, 据统计  $2^\#, 4$  下 $^\#, 5^\#$  煤层中压煤量共计  $5\ 823 \times 10^4\ \text{t}$ , 约为剩余可采储量的 2.6 倍, 严重制约矿井的生产. 现矿区堆放的矸石约  $380 \times 10^4\ \text{m}^3$ , 而且每年洗煤厂产生的矸石约  $30 \times 10^4\ \text{m}^3$ , 电厂产生的粉煤灰约  $37 \times 10^4\ \text{m}^3$ . 为了减少煤矿在“三下”压煤开采时对环境污染问题, 提出村庄煤柱下矸石充填开采工艺技术.

### 1 地质概况

某矿工业广场西北部 7606 充填工作面正上方是矿机修厂电器间, 矿机修厂电器间距 7606 充填工作面水平位移大约在 80~140 m, 地面标高为 +85 m, 7606 充填工作面标高为 -210~-250 m. 7606 充填工作面位于东翼六采区工业广场保护煤柱线内. 7606 充填工作面长度约为 50 m, 推进长度为 460 m, 7606 充填工作面开采煤层是  $2^\#$  煤, 该煤结构比较复杂, 7606 煤层倾角为  $7^\circ \sim 10^\circ$ ,  $2^\#$  平均倾角约为  $9^\circ$ , 煤的容重  $1.8\ \text{t}/\text{m}^3$ , 7606 充填工作面煤层平均厚度大约为 5.79 m. 7606 充填工作面  $2^\#$  煤层中夹杂着 0.4 m 的矸石, 该工作面顶底板情况如图 1 和图 2 所示.

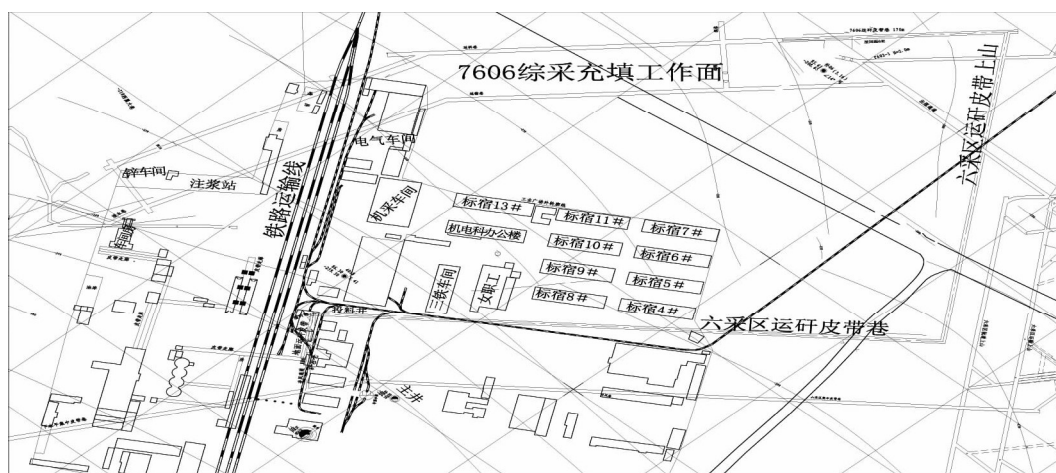


图 1 7606 充填开采工作面井上下对照图

状柱	厚度 /m	岩石名称及描述
	$\frac{1.1 \sim 15.03}{2.8}$	细砂岩
	$\frac{1.8 \sim 5.3}{4.5}$	砂质页岩, 以泥质为主
	$\frac{5.19 \sim 6.12}{5.79}$	黑色粉末, 厚度约 0.4 m. 其中上分层平均厚度为 2.79 m, 下分层平均厚度为 2.6 m
	$\frac{4.6 \sim 7.08}{6.69}$	砂质页岩, 底部微受挤压
	$\frac{7.2 \sim 13.6}{9.25}$	中细砂岩

图 2 顶底板岩层情况

### 2 矸石与粉煤灰投料系统设计

地面上的矸石骨料和粉末状煤灰主要是为了保障建筑物下充填, 采用垂直投料的方式进行料井输送, 由于投料落差高度为 350 m 左右, 因此需要对投料井的孔径、料仓、防冲击及料管的耐磨性等方面进行优化设计.