

文章编号: 1673-3363-(2016)01-0056-07

# 沿空留巷围岩受力变形特征及支护对策

姜鹏飞<sup>1,2</sup>, 张剑<sup>1,2</sup>, 胡滨<sup>1,2</sup>

(1. 天地科技股份有限公司开采设计事业部, 北京 100013; 2. 煤炭科学研究总院开采设计研究分院, 北京 100013)

**摘要** 以贺西煤矿3311工作面沿空留巷为背景, 采用FLAC<sup>3D</sup>有限差分程序计算分析了不同工作面回采阶段沿空留巷围岩、充填墙体及煤柱中的应力、变形分布特征, 提出了沿空留巷合理的支护对策。研究表明: 沿空留巷直接顶内的垂直应力和水平应力变化剧烈程度明显大于基本顶; 围岩及充填墙体受力变化受3311工作面回采滞后采动应力作用明显, 且主要对垂直应力的变化产生影响; 3313工作面二次采动阶段, 巷道围岩的变形受采动影响的敏感性远大于受力, 即在充填墙体和巷道围岩应力增加很小的情况下, 巷道变形增幅却相对较大, 且主要表现为底鼓和两帮移近。井下试验表明, 采用锚杆锚索与充填墙体联合支护后, 通过优化现场施工工艺, 沿空留巷满足了回采工作面的通风需求, 降低了巷道掘进成本, 实现了回采工作面快速推进。

**关键词** 沿空留巷; 充填墙体; 联合支护; 数值模拟

中图分类号 TD 353 文献标志码 A DOI 10.13545/j.cnki.jmse.2016.01.009

## Mechanical and deformation characteristics of gob-side entry retaining surrounding rock and support methods

JIANG Pengfei<sup>1,2</sup>, ZHANG Jian<sup>1,2</sup>, HU Bin<sup>1,2</sup>

(1. Mining and Design Department, Tiandi Science and Technology Company Limited, Beijing 100013, China;  
2. Coal Mining and Design Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract** Taking the gob-side entry retaining at the working face 3311 at Hexi coal mine as the background and using FLAC<sup>3D</sup> finite difference program, this paper has calculated and analyzed the distribution characteristics of stress and deformation in the gob-side entry retaining surrounding rock, filled wall and coal pillars, and proposed reasonable support methods for the gob-side entry retaining. The research results have shown that: the fierce degree of the vertical stress and horizontal stress change in the immediate roof is obviously bigger than that in the main roof for the gob-side entry retaining; the mechanical change of the surrounding rock and filled wall is obviously influenced by the hysteresis mining-induced stress after the mining of the working face 3311 and the main impact is on the vertical stress change; at the second mining phase of the working face 3313, the deformation of the roadway surrounding rock caused by the mining influence at this phase is much more sensitive to the influence of the stress, which means after the action of the second mining stress, while the stress in the filled wall and the roadway surrounding rock increases moderately, the roadway deformation increases relatively significantly and is mainly in the form of convergence of floor heave and ribs. The underground test has

收稿日期: 2014-07-12

责任编辑: 王江涛

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51304119); 天地科技公司研发项目(KJ-2013-TDKC-05); 天地科技开采设计事业部生产力转化基金项目(KCSJ-SCLZH-2012-01)

作者简介: 姜鹏飞(1984—), 男, 四川省三台县人, 硕士, 从事岩石力学与巷道支护技术等方面的研究。

E-mail: jiangpengfei@tdkcsj.com

Tel: 13488684058

indicated that with the combined support of the bolt, cable bolt and filled wall and optimized onsite construction, gob-side entry retaining has met the ventilation requirement of the mining face, reduced the cost of the roadway exaction and realized the rapid advancement of the mining face.

**Key words** gob-side entry retaining; filled wall; combined support; numerical simulation

沿空留巷是指在上区段推进的同时，在运输巷旁筑砌充填带(矸石或高水材料)或进行其他形式的巷旁支护以维护巷道作为下一区段的回风巷<sup>[1-4]</sup>。由于沿空留巷技术的优点非常突出，我国在沿空留巷基础研究方面做了大量的工作。目前已较为全面地分析了沿空留巷围岩应力状态以及“支护-围岩”相互作用关系<sup>[5-6]</sup>；在沿空留巷技术的应用方面也进行了多方面的探索，积累了丰富的经验，从薄煤层到厚煤层，从缓倾斜煤层到急倾斜煤层，都有沿空留巷的成功经验，并提出多种巷内巷旁支护方式<sup>[7-11]</sup>。

汾西矿业集团贺西煤矿是生产优质主焦煤的基地，矿井主要开采 3#煤和 4#煤，煤层瓦斯赋存高，为高瓦斯矿井。矿井采用 U 型通风方式，工作面两巷上隅角瓦斯超限时时有发生。为了消除瓦斯超限给矿井安全生产带来的隐患，通风方式调整为 Y 型，工作面巷道为了适应 Y 型通风方式，运输巷在本区段工作面回采期间必须保留下来，作为下区段工作面回风巷使用。本文以贺西煤矿三采区 3311 工作面为工程背景，研究沿空留巷巷道围岩及支护体的受力与变形特征，并提出围岩支护对策。

### 1 工程概况

贺西煤矿三采区 3311 工作面地表标高+942~+1089 m，平均盖山厚度 300 m，工作面标高+595~+630 m。3311 工作面开采系山西组 3#煤层，煤层平均厚度 1.9 m，煤层倾角 1°~4°。直接顶为泥岩，平均厚度 3.0 m，松软、易垮落，普氏硬度为 1.6；基本顶为细砂岩，平均厚度 7.5 m，坚硬，厚层状，普氏硬度为 4.0；直接底为砂质泥岩，厚度 5.0 m，较软，层理发育，普氏硬度为 2.19；煤体普氏硬度为 1~1.5。

3311 工作面水文地质条件较为简单，该工作面范围内基本没有对回采有影响的褶曲存在。根据相邻工作面回采期间瓦斯涌出量情况，预计 3311 工作面绝对瓦斯涌出量为 22 m<sup>3</sup>/min，相对瓦斯涌出量为 24.3 m<sup>3</sup>/t。煤尘有爆炸危险性，煤层自燃倾向性等级为Ⅲ类，不易自燃。

贺西煤矿三采区 3311 工作面运输巷留巷，作为 3313 工作面的回风巷使用，3311 工作面沿空留

巷示意图 1 所示。

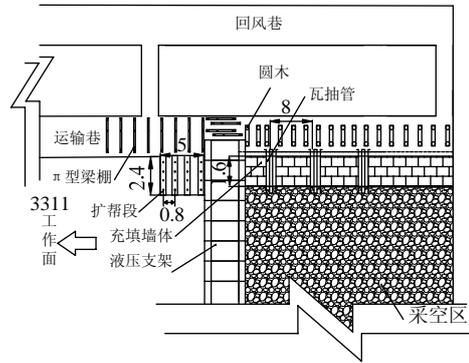


图 1 3311 工作面沿空留巷平面布置 (m)

Fig.1 Floor plan of the gob-side entry retaining at the working face 3311

### 2 数值模型及模拟方案

模型尺寸为 500 m×300 m×200 m，其中沿 3311，3313 这 2 个工作面长度方向为 500 m，沿工作面推进长度为 300 m，沿煤岩层高度方向 200 m，模型共划分 180 800 个单元、191 634 个节点。3311 工作面运输巷净断面为 4 m×2.4 m。

数值计算选用摩尔-库仑本构模型，三维模型的边界条件取为：四周采用铰支，底部采用固支，上部为自由边界。根据汾西矿区 3#煤及巷道围岩地质力学测试结果，确定数值模型应力条件为：垂直应力为 7.8 MPa，最大水平应力为 8 MPa，方向 N45°W。煤岩体物理力学参数如表 1 所列。

表 1 煤岩物理力学参数

Table 1 Physico-mechanical parameters for calculation

煤岩层	容重/ (kN·m <sup>-3</sup> )	弹性 模量/ GPa	泊松比	抗压 强度/ MPa	抗拉 强度/ MPa	黏聚 力/ MPa	摩擦 角/ (°)
煤	14	2.1	0.33	13.8	0.48	2.6	28.1
直接顶	24	4.2	0.30	37.0	1.80	4.4	33.0
基本顶	26	11.0	0.26	85.0	6.20	7.6	42.0
直接底	25	4.6	0.29	39.0	2.10	4.6	33.0
基本底	26	11.0	0.26	85.0	6.20	7.6	42.0

留巷前，3311 工作面运输巷顶板采用锚杆与锚索联合支护方式。锚杆规格为 Φ20 mm×L2000 mm 左旋螺纹钢，间排距为 950 mm×900 mm；顶板两侧与垂直方向成 15°夹角布置 2 根角锚杆，规格为 Φ20

mm×L2200 mm 左旋螺纹钢; 顶板锚杆配套  $\Phi 14$ -60-3800-5 钢筋托梁及菱形金属网支护; 锚固方式为树脂加长锚固, 锚固力不低于 100 kN。顶板锚索规格为  $\Phi 15.24$  mm×L6300 mm, 每排布置 3 根锚索, 间排距为 1100 mm×2700 mm, 锚固力不低于 200 kN。巷道两帮采用  $\Phi 16$  mm×L1600 mm 圆钢锚杆, 间排距为 800 mm×900 mm, 锚固力不低于 200 kN。3311 工作面运输巷锚杆锚索支护布置方式见图 2。

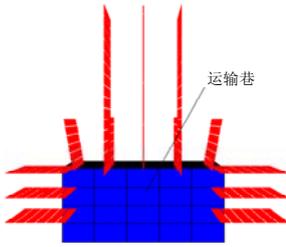


图 2 3311 运输巷支护布置

Fig.2 Layout of support in the haulage roadway 3311

根据贺西煤矿地质条件, 为了方便充填墙体的施工, 同时为沿空留巷预留一定的变形量, 巷道扩帮宽度和高度均为 2.4 m。为了节约充填留巷的成本, 提高工作面回采效率, 在原支护方案基础上, 模拟中采用锚杆锚索与充填墙体对扩帮段进行联合支护。扩帮段锚杆与锚索采用间隔布置方式, 锚杆规格为  $\Phi 20$  mm×L2000 mm 左旋螺纹钢; 锚索规格为  $\Phi 17.8$  mm×L6300 mm, 间排距为 600 mm×800 mm。沿空留巷扩帮段支护结构布置见图 3。模拟中选择充填墙体宽度为 1.6 m、高度为 2.4 m, 充填混凝土强度为 C25。以此为基础分别模拟 3311 工作面回采阶段以及 3313 工作面回采阶段沿空留巷围岩及支护体受力和破坏特征。

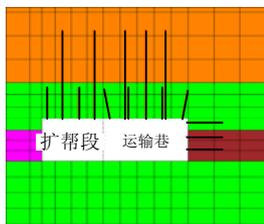


图 3 扩帮段支护结构布置

Fig.3 Layout of the support structures at the expanding rib section

### 3 沿空留巷受力变形特征分析

#### 3.1 3311 工作面回采滞后采动应力作用分析

3311 工作面回采后沿空留巷充填墙体、煤柱及巷道围岩应力和塑性破坏区分布特征如图 4, 5。

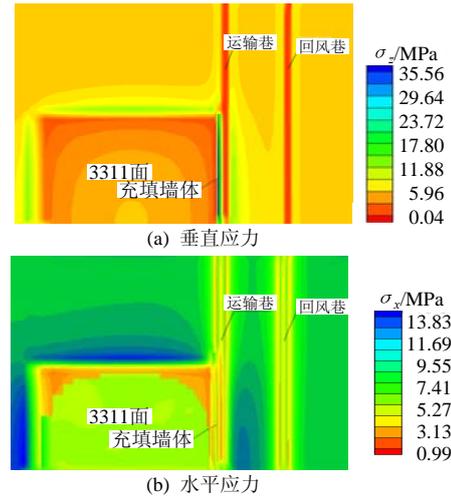


图 4 3311 工作面回采后充填墙体及巷道围岩应力分布  
Fig.4 Distribution of stress in the filled wall and roadway surrounding rock after mining at the working face 3311

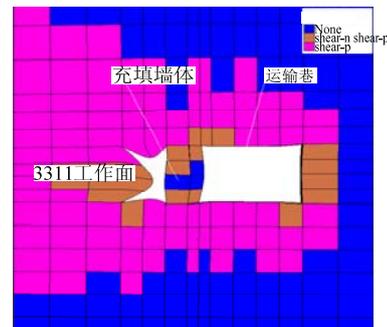


图 5 3311 工作面回采后充填墙体及巷道围岩塑性区分布  
Fig.5 Distribution of plastic zone in the filled wall and roadway surrounding rock after mining at the working face 3311

3311 工作面回采后, 由于其滞后采动应力作用影响, 沿空留巷围岩及煤柱应力与塑性破坏区分布状态发生了显著变化。3311 工作面回采后, 充填墙体中的垂直应力增加非常明显, 充填墙体内最大垂直应力为 35.56 MPa, 是初始垂直应力的 4.3 倍。煤柱在靠近 3311 工作面附近位置也出现明显的垂直应力集中现象, 煤柱最大垂直应力约为 24 MPa。采空区及巷道内垂直应力则显著降低。3311 工作面回采对水平应力分布影响不大, 工作面回采后, 最大水平应力为 13.83 MPa, 仅为初始水平应力的 1.7 倍, 水平应力集中区域主要分布在工作面前方及两侧煤壁附近煤岩体。从塑性破坏区分布来看, 3311 工作面回采后, 工作面上方岩体破坏区域较大, 充填墙体中间存在一定的弹性核区, 巷道顶底板破坏范围在 3 m 左右。模拟结果表明, 受 3311 工作面回采滞后采动应力对沿空留巷围岩及充填墙体垂

直应力变化的影响远大于对水平应力变化的影响。

图 6, 7 为直接顶和基本顶在距离采空区不同位置处应力分布曲线。

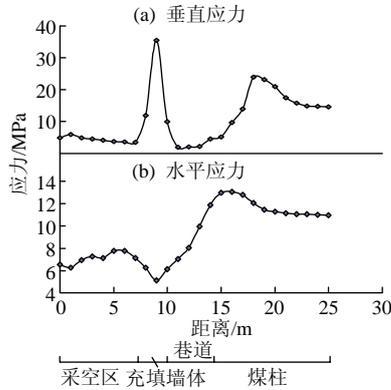


图 6 直接顶应力分布随距离变化曲线(巷顶上部 2 m)

Fig.6 Variation curve of the stress distribution in the immediate roof according to distance (above roadway 2 m)

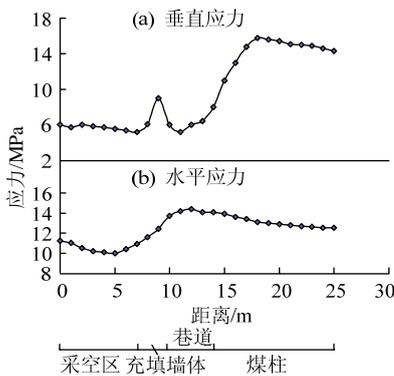


图 7 基本顶应力分布随距离变化曲线(巷顶上部 10 m)

Fig.7 Variation curve of the stress distribution in the main roof according to distance (above roadway 10 m)

图中横坐标 0~8 m 范围是指采空区, 8~9.6 m 范围为充填墙体, 9.6~13.8 m 范围为沿空留巷, 13.8~25 m 范围为煤柱。根据计算结果, 直接顶在充填墙体上方垂直应力最大, 约为 35.56 MPa; 在煤柱内部靠近 3311 运输巷巷帮 5 m 位置附近垂直应力也较大, 约为 24 MPa。从水平应力分布曲线来看: 充填墙体上方直接顶水平应力最小, 仅为 5.2 MPa 左右; 在煤柱靠近 3311 运输巷侧壁上方直接顶水平应力最大, 约为 13 MPa。从基本顶距离采空区不同位置处岩体应力分布情况来看: 基本顶在煤柱内部靠近 3311 运输巷巷帮 5 m 位置上方垂直应力也最大, 约为 15.6 MPa。从基本顶水平应力分布曲线来看, 采空区、充填墙体、巷道及煤柱上方基本顶水平应力值范围在 10~14.5 MPa 之间。巷道上方基本顶水平应力最大, 约为 14.5 MPa。采空区上

方基本顶水平应力最小, 最小值约为 10 MPa。从结果可看出, 直接顶内的垂直应力和水平应力变化剧烈程度明显大于基本顶。

### 3.2 3313 工作面回采巷道围岩应力分析

进一步针对 3313 工作面回采对充填墙体、煤柱内部及 3313 工作面前方煤岩体应力分布及变化情况进行分析, 如图 8。

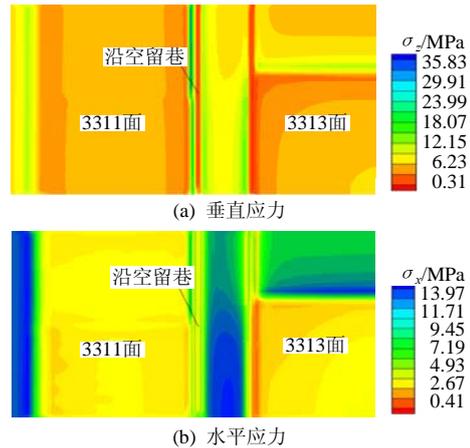


图 8 3313 工作面回采后沿空留巷围岩及煤柱应力分布

Fig.8 Distribution of stress in the gob-side entry retaining surrounding rock and coal pillar after mining at the working face 3313

相比 3311 工作面回采滞后采动应力影响, 3313 工作面回采超前支承压对沿空留巷围岩的应力影响较小, 2 次采动影响后沿空留巷围岩的垂直应力仅有少量增加, 充填墙体内部最大垂直应力为 35.83 MPa, 较 3311 工作面回采后仅增加 0.27 MPa。煤柱内部应力由 3311 工作面回采后的 24 MPa 增至 26 MPa 左右, 煤柱中垂直应力分布呈现“马鞍”形分布特征。与 3311 工作面回采类似, 3313 工作面回采对沿空留巷围岩、煤柱及采场煤岩体水平应力影响较小, 煤柱内最大水平应力为 13.97 MPa, 远低于最大垂直应力。

### 3.3 沿空留巷围岩及充填墙体变形全过程分析

分别绘出巷道掘进及 2 次采动影响下的巷道顶底板和两帮的位移变化曲线、充填墙体的下沉位移曲线, 如图 9~11。

巷道掘进、3311 工作面回采及 3313 工作面回采 3 个阶段巷道的变形均有一个明显的变化过程。巷道掘进阶段, 围岩和两帮变形量较小, 且很快达到稳定状态, 掘进期间顶板最大下沉量约为 47 mm, 底鼓量约为 42 mm, 顶底板总移近量为 89 mm, 巷道侧帮水平位移量约为 45 mm。沿空留巷变形最大

的阶段发生在 3311 工作面回采阶段, 该阶段也是巷道围岩及充填墙体受力增加最显著的阶段, 期间沿空留巷顶板最大下沉量增加至 170 mm, 底鼓量增加至 180 mm, 顶底板总移近量为 350 mm, 靠近煤柱一侧巷帮变形量约为 230 mm, 充填墙体侧向变形量为 140 mm, 留巷后巷道两帮总移近量达到 370 mm。3313 工作面回采阶段, 受超前支承压力的作用, 沿空留巷围岩变形有一定程度的增加, 该阶段巷道围岩的变形受工作面回采影响的敏感性远大于受力, 即第 2 次采动应力作用后, 在充填墙体和巷道围岩应力增加很小的情况下, 巷道变形量却增幅相对较大。巷道顶板最大下沉量增加至 210 mm, 底鼓量增加至 215 mm, 顶底板总移近量为 425 mm, 靠近煤柱一侧巷帮变形量约为 295 mm, 充填墙体侧向变形量为 190 mm, 留巷后巷道两帮总移近量达到 485 mm。

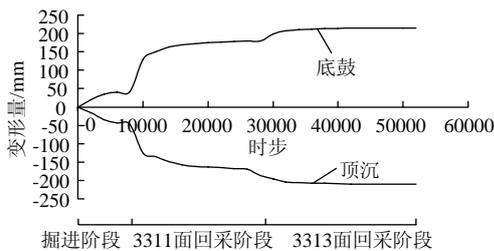


图 9 沿空留巷受 2 次采动影响全过程顶底板变形曲线  
Fig.9 Deformation curve of roof and floor under the twice mining influence during the gob-side entry retaining

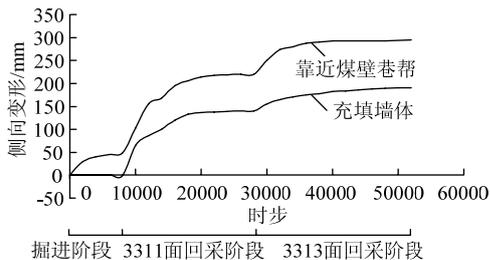


图 10 充填墙体及靠近煤壁巷帮侧向变形曲线  
Fig.10 Deformation curve of the filled wall and rib close to the coal wall

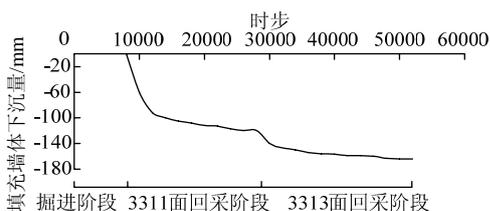


图 11 受 2 次采动影响后充填墙体下沉曲线  
Fig.11 Subsidence curve of the filled wall after suffering twice dynamic pressure

从充填墙体在服务期间的变形过程来看(图 11), 充填墙体受 3311 工作面滞后采动应力作用, 在该阶段发生了较大的下沉, 下沉量为 120 mm。在受到 3313 工作面回采第 2 次采动影响后, 充填墙体最大下沉量为 164 mm。总体来看, 3311 工作面回采滞后采动应力作用下的充填墙体变形量占到其整个服务阶段变形量的 73.17%, 是充填墙体的主要变形阶段。

#### 3.4 沿空留巷巷道有效断面变化分析

根据以上分析, 巷道在受到 2 次采动影响下, 伴随着超前支承压力的影响, 巷道的断面再次发生明显的收缩。根据以上数据, 可以计算出巷道在受到 2 次采动影响后有效断面面积, 同时可以与巷道初始设计断面面积进行对比, 计算对比结果如下: 巷道初始断面有效面积为  $4 \times 2.4 = 9.6 \text{ m}^2$ ; 受巷道掘进及 2 次采动影响后巷道断面有效面积为  $(4 - 0.49) \times (2.4 - 0.43) = 6.91 \text{ m}^2$ 。2 次采动影响后巷道断面有效面积与初始设计巷道断面有效面积比值为 71.98%。

总体来看, 受 2 次采动影响, 锚杆锚索及充填墙体对沿空留巷起到了一定的支护作用, 巷道断面基本能够满足通风需求。但在第 2 次采动影响下, 虽然应力增加不大, 但巷道及充填墙体仍发生较大的变形。尤其对于充填墙体, 由于在留巷阶段已经有了较大的变形, 在超前支承压力的作用下, 充填墙体在发生下沉和侧向变形的同时, 整个墙体的外层发生部分破坏。因此, 在施工过程中, 应保证充填墙体及锚杆与锚索的施工质量, 同时采用其他辅助措施, 确保留巷的稳定, 从而实现回采工作面的快速推进和高产高效。

#### 4 井下应用

3311 工作面运巷留巷前首先扩巷处理, 以便为巷旁支护提供空间。3311 工作面运输巷扩帮支护方式见图 12。

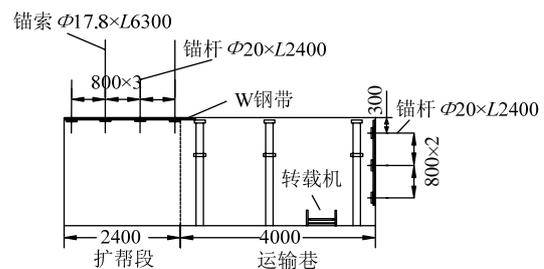


图 12 3311 工作面运输巷扩帮支护方式 (mm)  
Fig.12 Support method for expanding ribs in the haulage roadway at the working face 3311

扩巷处采用的加强支护参数如下：3311 工作面运输巷扩帮后呈矩形，其长×宽×高=5.0 m×2.4 m×2.4 m。锚杆和锚索采用间隔布置方式，锚杆杆体为左旋螺纹钢锚杆，直径 20 mm、长度 2 000 mm；锚索直径 17.8 mm，长度 6 300 mm，间排距 600 mm×800 mm；辅助构件采用 BWH-3-250-2000-4 型 W 钢带。

混凝土充填墙体宽 1 600 mm、高 2 400 mm。按照 C25 强度要求，混凝土所用水泥选用矿渣硅酸盐水泥，标号不低于 32.5<sup>#</sup>，细骨料采用坚硬的中砂或粗砂，粗骨料选用坚硬的中石子或碎石，其粒径为 10~20 mm。每立方米混凝土材料配合比见表 2。

表 2 混凝土充填材料配比  
Table 2 Concrete filling material mixture ratio

材料	质量/kg	百分比/%
水泥	500	21.00
砂	840	36.00
碎石	800	34.00
水	216	9.00
泵送剂	1	0.04
早强剂	5	0.20

现场施工工艺如下：

1) 提前在工作面 1<sup>#</sup>，2<sup>#</sup>，3<sup>#</sup> 支架前梁铺设双层菱形金属网，从运输巷煤帮侧向工作面方向铺设 5 m，网左端须与运输巷原有金属网连成一体。长边交错对接，短边搭接，搭接长度不小于 100 mm，金属网规格为 1 m×5 m 菱形网，采用隔一环联一扣方式联网，联网时网沿煤壁下垂至工作面采高的 1/2~2/3 以下。

2) 当支架尾部切顶线后控顶面积达到 900 mm<sup>2</sup> 后，及时在支架尾部打 2 排戴帽点柱，第 1 排点柱距煤柱侧 5 100 mm，点柱采用规格为 2500 mm×(180~220) mm 的圆木，棚板规格为 1200 mm×200 mm×80 mm，第 2 排点柱距煤柱侧 3 750 mm，点柱采用规格为 DW-25 型或 DW-28 型单体液压支柱，棚板规格为 1200 mm×200 mm×80 mm，2 根点柱间距为 1 350 mm。

3) 在每条回风联巷口与煤柱侧巷帮采用 2 根 2500 mm×(180~220) mm 的圆木配合 1200 mm×200 mm×80 mm 的棚板打 1 组戴帽点柱，棚板垂直巷帮架设，点柱距两帮的距离为 750 mm，点柱间距为 800 mm。

4) 为了保证混凝土的支护质量，在留巷内每隔

800 mm 使用单体液压支柱支设 1 架箱形梁，一梁两柱，支柱距梁两端 200 mm，留巷内的单体支柱和箱形梁距工作面煤壁 60 m 左右时，由里向外逐步进行回收。

5) 采用远距离泵运送混凝土充填技术，通过管路将混凝土膏体充填材料泵送到留巷内的圆木点柱与单体支柱间的充填模板内，固化后形成一道混凝土充填墙体，以增强留巷围岩的支护强度。

3313 工作面回采 600 m 后，在工作面前方 5 m 位置进行了沿空留巷巷道表面位移监测，顶板总下沉量为 178 mm，底鼓量为 236 mm，充填墙体侧向变形为 159 mm，靠近煤壁侧帮变形量为 277 mm。

现场实测受巷道掘进及 2 次采动影响后巷道断面有效面积为  $(4-0.41) \times (2.4-0.44) = 7.04 \text{ m}^2$ ；2 次采动影响后实测巷道断面有效面积与初始设计巷道断面有效面积比值为 73.33%。

根据现场监测结果，沿空留巷能够满足工作面正常的通风需求，降低了巷道掘进成本。

## 5 结 论

1) 由于贺西煤矿直接顶为泥岩，松软、易垮落，而基本顶岩石为细砂岩，较为坚硬，工作面回采阶段沿空留巷直接顶内的垂直应力和水平应力变化剧烈程度明显大于基本顶。

2) 沿空留巷围岩受力变化最为剧烈的阶段主要为 3311 工作面回采后滞后采动应力作用阶段，且主要对垂直应力的变化产生影响，该阶段充填墙体中最大垂直应力达到 35.56 MPa，是初始垂直应力的 4.3 倍，最大水平应力为 13.83 MPa，是初始水平应力的 1.7 倍。

3) 受 3313 工作面 2 次采动影响超前支承压力的作用，沿空留巷围岩变形有一定程度的增加，其变形量占巷道总变形量的 25% 左右，该阶段巷道围岩的变形受工作面回采影响的敏感性远大于受力，即第 2 次采动应力作用后，在充填墙体和巷道围岩应力增加很小的情况下，巷道变形量却增幅相对较大，且主要表现为底鼓和两帮移近。

4) 采用锚杆锚索与充填墙体联合支护后，通过优化现场施工，2 次采动影响后沿空留巷满足了回采工作面的通风需求，降低了巷道掘进成本，实现了回采工作面快速推进。

## 参考文献：

[1] 周建峰，崔巍. 两硬薄煤层沿空留巷巷旁充填支护技

- 术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(4): 19-26.
- ZHOU Jianfeng, CUI Wei. Technology of gob-side entry retaining and roadside filling support in hard roof and hard-thin coal seam[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(4): 19-26.
- [2] 张百胜, 杨双锁, 康立勋, 等. 极近距离煤层回采巷道合理位置确定方法探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 97-101.
- ZHANG Baisheng, YANG Shuangso, KANG Lixun, et al. Discussion on method for determining reasonable position of roadway for ultra-close multi-seam[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(1): 97-101.
- [3] 琚宜文, 王桂梁, 胡超. 海孜煤矿构造变形及其对煤层厚变化的控制作用[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(4): 374-379.
- JU Yiwen, WANG Guiliang, HU Chao. Tectonic deformation and its control over thickness of coal seams in Haizi coal mine[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2002, 31(4): 374-379.
- [4] 袁亮. 低透气煤层群首采关键层卸压开采采空侧瓦斯分布特征与抽采技术[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1362-1367.
- YUAN Liang. Gas distribution of the mined-out side and extraction technology of first mined key seam relief-mining in gassy multi-seams of low permeability[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(12): 1362-1367.
- [5] 张子飞, 贺安民. 浅埋煤层柔模混凝土沿空留巷支护及稳定性分析[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 24-28.
- ZHANG Zifei, HE Anmin. Analysis of surrounding support and stability on gob-side entry retaining with flexible-formwork concrete in shallow seam[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 24-28.
- [6] 华心祝. 我国沿空留巷支护技术发展现状及改进建议[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(12): 78-81.
- HUA Xinzhu. Development status and improved proposals on gob-side entry retaining support technology in China[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(12): 78-81.
- [7] 康红普, 牛多龙, 张镇, 等. 深部沿空留巷围岩变形特征与支护技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(10): 1978-1987.
- KANG Hongpu, NIU Duolong, ZHANG Zhen, et al. Deformation characteristics 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.
- [8] 阚甲广, 张农, 李宝玉, 等. 典型留巷顶板条件下巷旁充填体支护阻力分析[J]. 岩土力学, 2011, 32(9): 2779-2781.
- KAN Jianguang, ZHANG Nong, LI Baoyu, et al. Analysis of supporting resistance of backfilling wall for gob-side entry retaining under typical roof conditions[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(9): 2779-2781.
- [9] 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 Dongsheng, MAO Xianbiao, MA Wending. 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.
- [10] 唐建新, 邓月华, 涂兴东, 等. 锚网索联合支护沿空留巷顶板离层分析[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1827-1830.
- TANG Jianxin, DENG Yuehua, TU Xingdong, et al. Analysis of roof separation in gob-side entry retaining combined support with bolting wiremesh[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1827-1830.
- [11] 权景伟, 柏建彪, 种道雪, 等. 沿空留巷锚杆支护技术研究及应用[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(12): 60-61, 68.
- QUAN Jingwei, BAI Jianbiao, CHONG Daoxue, et al. Research and application of bolt support technology for gob-side entry retaining[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(12): 60-61, 68.