

综采工作面沿空留墙无煤柱开采技术

王涛*, 赵曦, 宋宇鹏

(山西煤炭运销集团 长治有限公司, 山西 长治 046000)

摘要:为解决王庄煤矿3[#]煤开采采掘衔接紧张的问题,提高煤层的资源回收率,降低煤炭生产成本,提高矿井综合效益,提出了沿空留墙无煤柱开采的技术原理.通过对该技术的理论分析,结合3503工作面的开采条件,制定了具体的支护设计方案,并在现场进行了工程应用,取得了令人满意的技术经济效果.该技术为有效解决矿井采掘衔接紧张,避免资源浪费,提供了科学依据,具有良好的推广应用前景.

关键词:沿空留墙;无煤柱开采;巷道支护;柔模混凝土墙

中图分类号:TD353 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)02-0007-07

Gob-side Bricklaying Wall Mining without Pillar Technology in Fully Mechanized Coal Face

Wang Tao, Zhao Xi, Song Yupeng

(Changzhi Ltd. Company of Shanxi Coal Transportation and Marketing Group, Changzhi 046000, China)

Abstract: In order to solve the excavation and mining link tension of 3[#] coal mining in Wangzhuang Mine, improve the recovery rate of coal mining, reduce production costs, and improve the mine comprehensive benefits, this paper proposes the technology principle of gob-side bricklaying wall mining without pillar. Based on the principle of the theoretical analysis, it formulates the supporting design scheme of concrete by taking the mining condition of 3503 work face into consideration. Finally, the engineering application in the field has achieved the satisfactorily technical and economical effect. The technology has provided a scientific basis for effective solution to the excavation and mining link tension, which can avoid waste of resource and have a good prospect of popularization and application.

Keywords: gob-side bricklaying wall; mining without pillar; roadway support; flexible model concrete wall

我国井工开采煤矿的回采工作面主要采用双巷布置形式,即工作面两侧布置进风和回风两条巷道,两个工作面之间留设一定宽度的区段保护煤柱^[1-3].这种回采方式导致工作面之间的区段煤柱资源丢失,回采率比较低,不仅造成巨大的资源浪费,也影响了正常的采掘衔接,缩短了煤矿的生命周期^[4-10].因此,研究出一种经济合理且技术可行的巷道支护方法,实现回采工作面的无煤柱开采,对于缓解采掘衔接紧张局面,减少开采损失,提高资源回收率,降低煤炭生产成本具有非常重要的意义.

王庄煤矿是山西晋能集团下属的一家现代化矿井,主采煤层为山西组3[#]煤,根据矿井采掘衔接,3[#]煤目前仅剩2个储量较大的采煤工作面,可采储量不足800万t,3[#]煤服务年限仅剩3年左右.为延长3[#]煤的可采期,急需通过无煤柱开采技术回收区段煤柱.王庄煤矿在3[#]煤开采完毕后,将转向15[#]高硫煤开采,通过在目前效益较好的3[#]煤中试验无煤柱开采技术,研究出一种更加合理的开采模式及巷道支护技术,并在15[#]煤的开采中推广应用,以减少15[#]煤的掘进工程量,提高资源回收率,确保矿井经济效益.

1 工程概况

3503 工作面的运输巷道担负着 3503 工作面的进风、行人和原煤运输任务,3503 工作面地面标高 1 224~1 365 m,井下标高 976~1 004 m,巷道北侧为 3503 工作面实体煤,南侧为接续的 3505 工作面,西侧为 35 采区的 3 条采区巷道,东侧为井田边界。

3503 工作面开采煤层为 3[#]煤,赋存于下二叠系山西组地层,参照工作面临近巷道掘进揭露情况和矿井地质资料,3[#]煤层厚度 4.20~6.07 m,平均厚度 5 m,煤层倾角平均 5°。3503 工作面的运输巷道为沿煤层顶底板掘进的全煤巷道,基本顶为中细粒砂岩和砂质泥岩,平均厚度 17.35 m,直接顶为泥岩,平均厚度 6.45 m,煤层和直接顶之间存在一层厚度 0.1~0.5 m 的炭质泥岩伪顶;直接底为砂岩和泥岩互层,平均厚度 1.47 m,基本底为砂质泥岩和中细粒砂岩,平均厚度 19.76 m。

2 沿空留墙技术理论分析

2.1 技术原理

超前 3503 工作面切眼 300 m 的距离,在 3503 工作面的运输巷道副帮进行扩帮,并进行锚网(索)支护,然后预留 700 mm 的变形量在扩帮区域浇筑混凝土墙体。待 3503 工作面开始回采后,采空区岩层活动趋于稳定,紧贴混凝土墙体掘进 3505 工作面的回风巷道,从而实现工作面无煤柱开采。沿空留墙无煤柱开采的技术原理如图 1 所示。

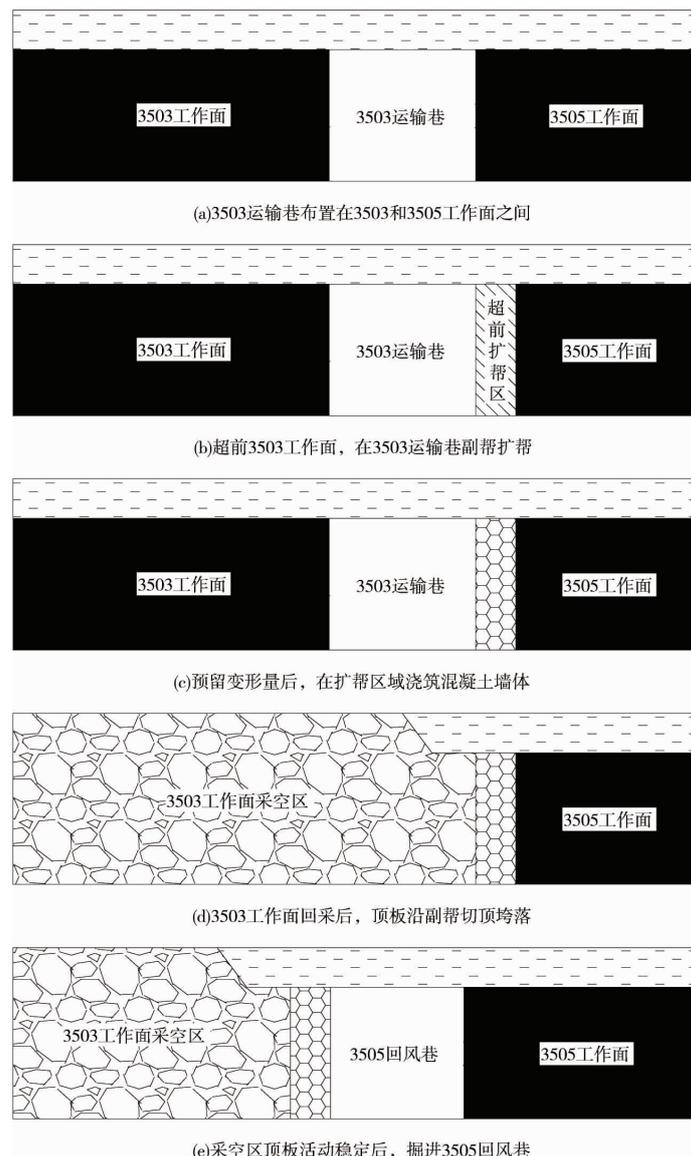


图 1 沿空留墙技术原理

2.2 沿空留墙围岩压力计算

沿空留墙墙体上方的压力分布,可采用“分离岩块法”进行计算.该理论认为,隔离墙处于未采动工作面的高应力区和已采工作面的采空区之间,工作面回采后,在沿空巷道和支护体上方一定范围内形成了分离岩块.工作面采空区为分离岩块提供了自由面,岩体在一定高度上产生离层,进一步导致岩块沿煤壁方向以 α 角断裂,断裂后形成的自由岩块成为墙体的载荷^[11].分离岩块法的力学模型见图2.

隔离墙上方的载荷分布为

$$q = \frac{8ht \tan \alpha + 2(b+x+a)}{x} \times \frac{\gamma h(b+x+a) \cos \theta}{b+0.5x}.$$

(1)

式中: q 为隔离墙上方的载荷; b 为隔离墙内侧到相邻工作面煤壁的距离,取3505工作面的回风巷道宽度5 m; x 为隔离墙的宽度,取1.5 m; a 为隔离墙外侧悬顶距,取0.3 m; γ 为顶板岩块的容重,取25 kN/m³; h 为工作面的采高,取5 m; α 为剪切角,取26°; θ 为煤层倾角,取5°.

将以上数据代入式(1),计算可得隔离墙上方的载荷为

$$q = 3.25 \text{ MPa}.$$

回采工作面的动压系数取2,则采用分离岩块法计算隔离墙承受的围岩压力为

$$Q = 9\ 750 \text{ kN/m}.$$

根据分离岩块法的计算结果,隔离墙上方的围岩压力为9 750 kN/m.

2.3 沿空留墙承载能力验算

根据GB50010-2010《混凝土结构设计规范》^[12],由于隔离墙支承在巷道顶底板之间,属于具有弹性移动支座情形,因此取隔离墙计算长度 $l_0 = 1.5H$,式中 H 为墙的高度.墙体的正截面承载能力为

$$N = \varphi f_{cc} A_c.$$

式中: N 为墙体的承载能力; φ 为混凝土构件的稳定系数,当 $l_0/b = 1.5H/b = 1.5 \times 5 \text{ m}/1.5 \text{ m} = 5$ 时,查阅规范 φ 取0.97; f_{cc} 为混凝土轴心抗压强度设计值,墙体采用C35混凝土浇筑,取16.7 MPa; A_c 为墙体单位长度的正截面面积,取1.5 m²/m.

将以上数据代入式(2),可得混凝土隔离墙的承载能力为

$$N = \varphi f_{cc} A_c = 24.3 \text{ MN/m} = 24\ 300 \text{ kN/m}.$$

混凝土隔离墙的计算承载能力为24 300 kN/m,大于墙体上方的围岩压力9 750 kN/m,沿空留墙的支护强度满足安全要求.

3 支护设计

3503工作面的运输巷道的支护包括3个阶段:巷道掘进期间的基本支护、超前工作面回采的扩帮支护和巷内柔模混凝土墙体充填支护.

3.1 基本支护

巷道掘进期间的支护叫基本支护,3503工作面的运输巷道掘宽5.5 m,掘高5.0 m,掘进断面积27.5 m²,基本支护参数如下:

1) 顶板支护

巷道顶板每排采用8根 $\Phi 20 \text{ mm} \times 2\ 400 \text{ mm}$ 高强度螺纹钢锚杆支护,间距700 mm,排距1 000 mm,两

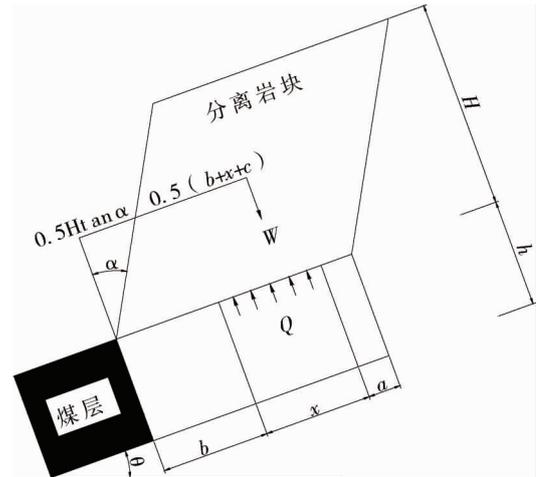


图2 分离岩块法的力学模型

边锚杆外斜 10° 布置,其余锚杆垂直顶板布置.顶板加强支护采用 $\Phi 18.9 \text{ mm} \times 6\,000 \text{ mm}$ 的锚索,间距 $2\,000 \text{ mm}$,排距 $1\,000 \text{ mm}$,“五花”型布置,垂直顶板打设.

顶板金属网采用 $10^\#$ 铅丝焊接而成的矿用经纬网,网孔尺寸 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$,网片宽 $1\,050 \text{ mm}$;顶钢带采用 $\Phi 14 \text{ mm}$ 圆钢焊制加工的钢筋梯子梁.

2) 两帮支护

巷道两帮每排各采用 6 根 $\Phi 18 \text{ mm} \times 2\,200 \text{ mm}$ 高强度螺纹钢锚杆支护,间距 800 mm ,排距 $1\,000 \text{ mm}$,最上部锚杆距顶板 300 mm ,上斜 10° 布置,其余锚杆水平布置.

两帮金属网和钢带的材质及规格同顶钢带和顶网.

3503 工作面的运输巷道掘进期间的基本支护见图 3.

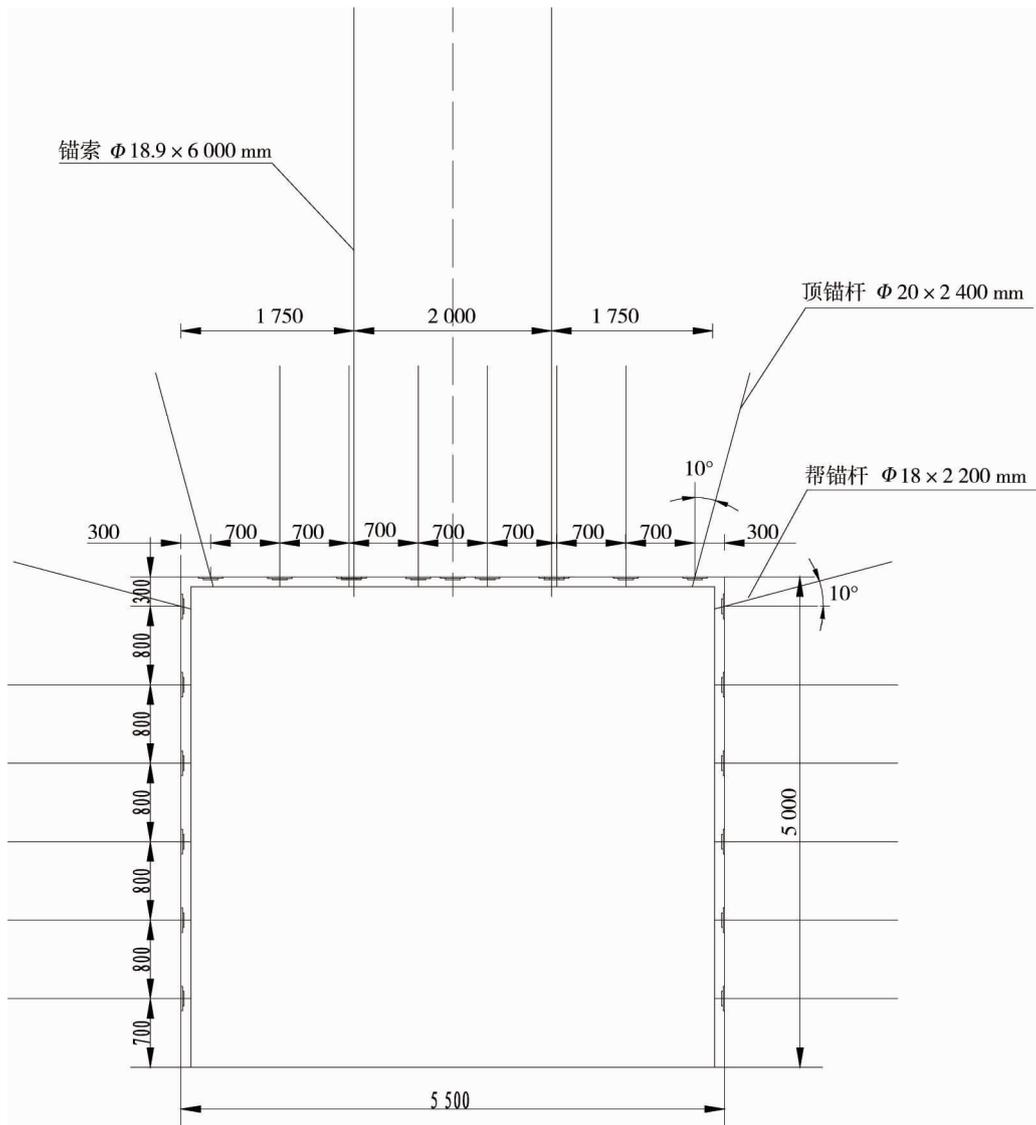


图 3 3503 工作面的运输巷道基本支护断面

3.2 超前扩帮支护

1) 扩帮位置及断面

从 3503 工作面切眼位置开始向停采线方向进行扩帮,扩帮宽度 2.2 m ,高度 5 m .

2) 扩帮区顶板支护

扩帮区顶板每排采用 3 根 $\Phi 20 \text{ mm} \times 2\,200 \text{ mm}$ 高强度螺纹钢锚杆支护,间距 750 mm ,排距 $1\,000 \text{ mm}$,

中间2根锚杆垂直顶板布置,最外侧锚杆距巷帮350 mm,外斜 10° 布置.

顶钢带宽80 mm,长1 800 mm,采用 $\Phi 14$ mm圆钢焊接而成;顶板金属网的网孔规格50 mm \times 50 mm,网片长2 200 mm,宽1 050 mm,由10#铅丝制成.

顶板加强支护采用 $\Phi 18.9$ mm \times 6 000 mm的锚索,排距2 000 mm,迈步式交错布置,相邻两排锚索分别距离巷帮500 mm和2 000 mm,锚索垂直顶板打设.

3) 扩帮区煤帮支护

扩帮区巷帮每排采用4根 $\Phi 18$ mm \times 2 000 mm玻璃钢锚杆进行支护,间距1 100 mm,排距1 500 mm,最上部锚杆距顶板500 mm,上斜 10° 布置,其余锚杆水平布置.

帮网采用长3 500 mm宽1 050 mm的塑料网,网孔尺寸50 mm \times 50 mm.3503工作面的运输巷道扩帮后支护方式见图4.

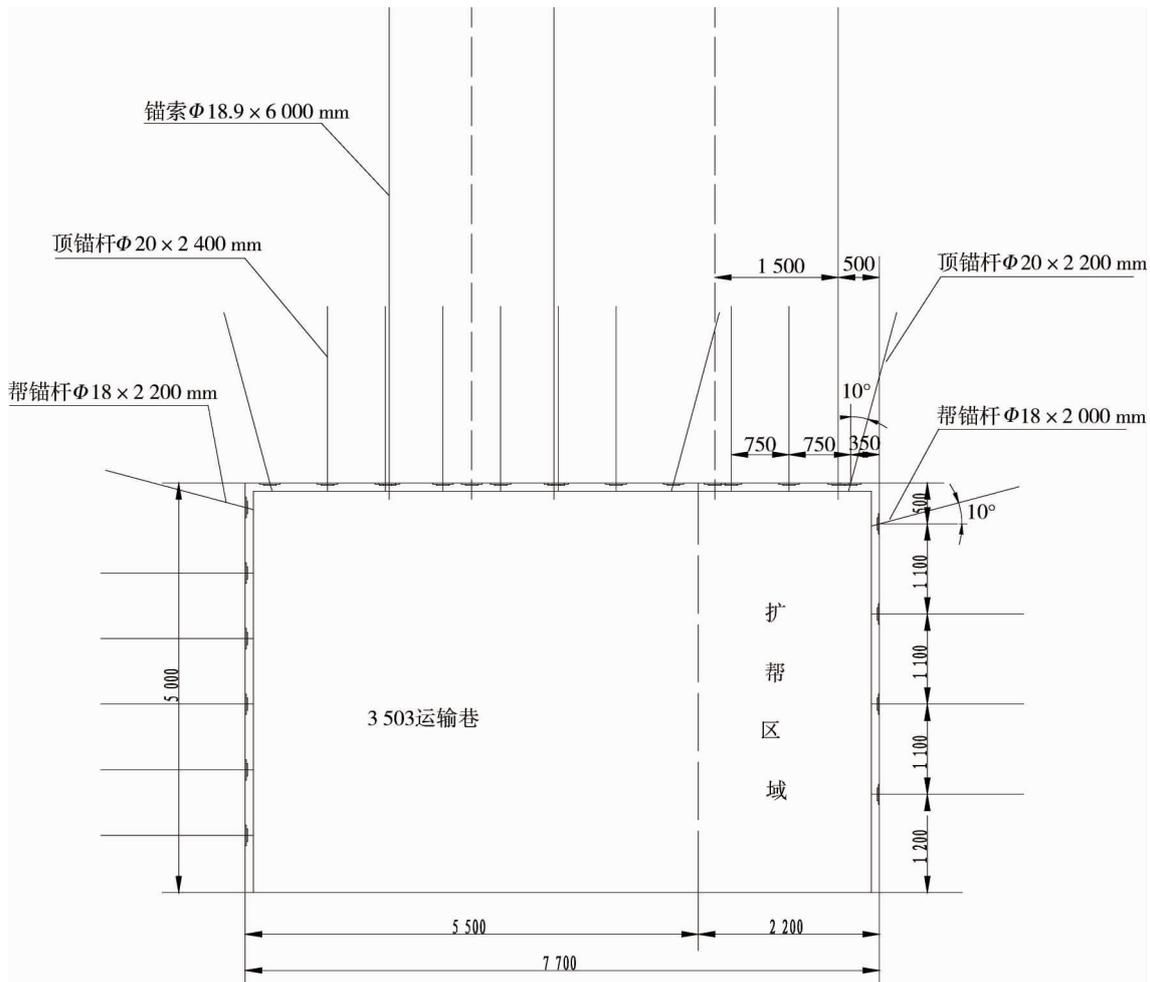


图4 扩帮区巷道支护断面

3.3 隔离墙支护设计

施工混凝土隔离墙的墙体时,在煤帮侧预留变形量500 mm,巷道侧预留变形量200 mm,墙体厚度1 500 mm,使用C35混凝土和矿用柔性模板浇筑.混凝土墙体自上而下每排布置6根螺栓,间距800 mm,排距750 mm.锚栓的规格为 $\Phi 18$ mm \times 1 650 mm的高强螺纹钢,杆体两端设有丝扣,各配一套高强度托板、调心球形垫和尼龙垫圈;墙体两侧采用钢筋梁将每排锚栓组合为整体,钢筋梁宽80 mm,长4 400 mm.墙体浇筑成型3天后,给锚栓施加预紧力,扭矩不小于150 N \cdot m.3503工作面的运输巷道隔离墙支护见图5.

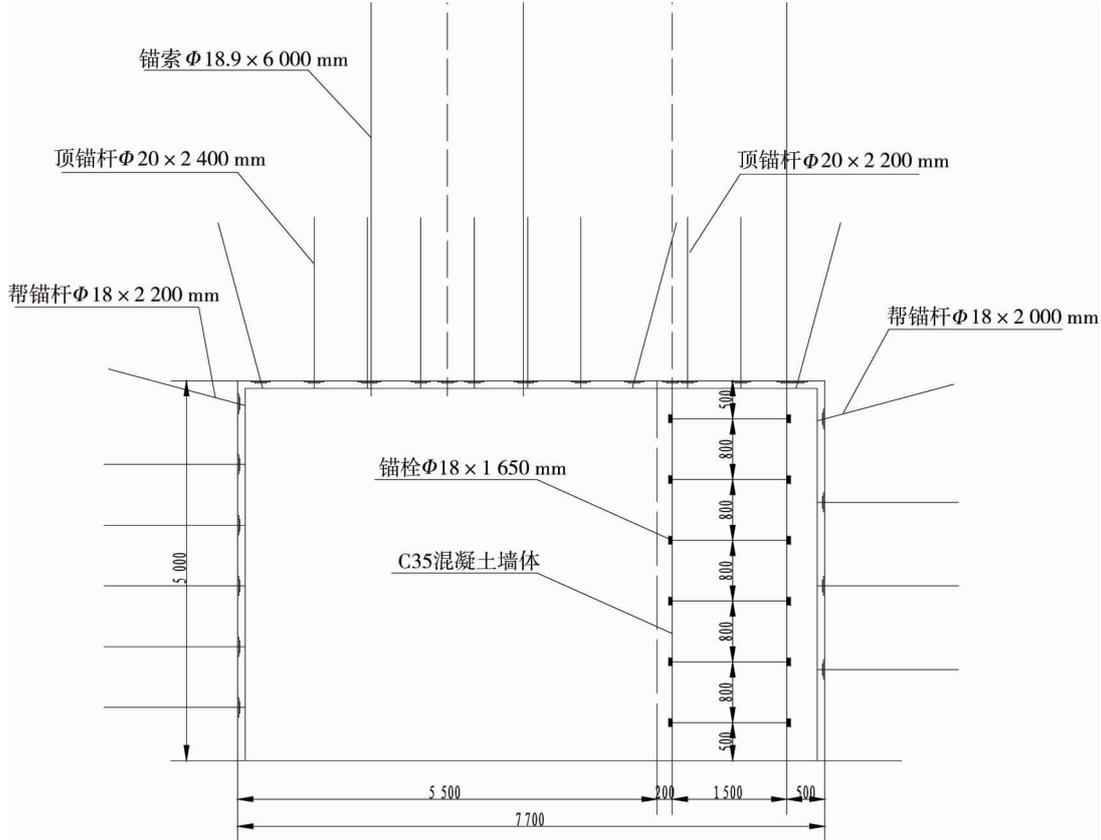


图5 隔离墙支护断面

4 工程效益

4.1 支护效果

3503工作面的运输巷道在扩帮和浇筑隔离墙期间,根据矿压观测结果,巷道和墙体均未发生明显变形,顶板岩层深基点和浅基点的离层量均为0 mm,巷道支护满足掘进期间的安全生产要求。

目前3503工作面已经开始回采,根据安装在隔离墙墙体中的YH-60型围岩载荷压力计的观测结果:距离3503工作面20 m以外,墙体承受的压力较小且基本稳定;距离工作面20 m以内,墙体承受的压力明显增大,且距离越小压力增加越快。

3503工作面的运输巷道在工作面回采期间两帮最大位移量达到190 mm,顶底板最大位移量达到110 mm,两帮位移量大于顶底板位移量,回采过程中巷道断面面积保持在 25 m^2 以上,巷道变形量在合理范围内,能够满足矿井的安全生产需要。3503工作面的运输巷道沿空留墙支护效果见图6。

4.2 经济效益

1) 回收煤柱资源,提高煤炭采出率

3503工作面沿空留墙长度1830 m,煤层平均厚度5 m,密度 1.4 t/m^3 ,工作面采出率93%,按区段煤柱宽20 m计算,可多回收煤炭资源 $23.8 \times 10^4 \text{ t}$ 。王庄煤矿2016年底的煤炭价格约400元/t,原煤完全成本约200元/t,则回收煤柱可以创造经济效益4760万元。

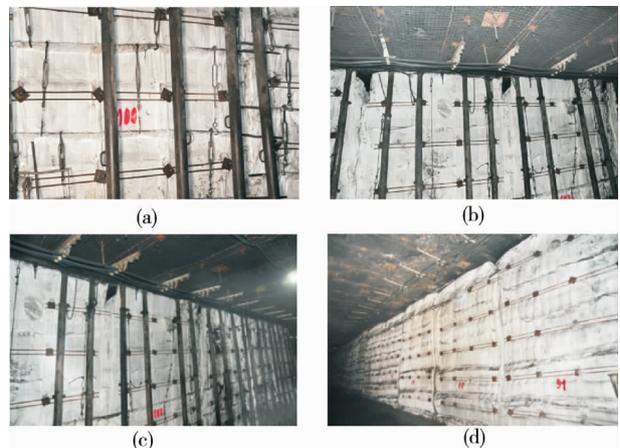


图6 沿空留墙支护效果

2) 节省相邻3505工作面回风巷道的支护费用

3503工作面的运输巷道采用浇筑隔离墙人造帮以后,3505工作面的回风巷道掘进期间副帮不必支护。根据王庄煤矿的工作面回风巷道支护标准,每米巷道可节省6根帮锚杆和锚固剂,1根帮钢带和5 m²金属网,降低支护成本约200元/m,合计可节省支护材料费用约36.6万元。

综合分析,3503工作面的运输巷道采用沿空留墙技术后可创造经济效益4 796.6万元,减去施工沿空留墙的工程费用约1 372.5万元,实际创造利润3 424.1万元,经济效益显著。

5 结论

1)通过“分离岩块法”计算出沿空留墙上方的载荷为3.25 MPa,墙体承受的围岩压力为9 750 kN/m,对混凝土隔离墙的承载能力进行验算,理论承载能力为24 300 kN/m,远大于墙体上方的围岩压力,支护强度满足安全要求。

2)设计了沿空留墙巷道的具体支护参数,巷道掘进期间基本支护和工作面回采期间超前扩帮支护均采用锚杆(索)+钢筋梁+网片联合支护方式,隔离墙采用矿用柔性模板+C35混凝土浇筑,墙体厚度1.5 m,高度5 m,两侧采用锚栓和钢筋梁配套成整体。

3)沿空留墙支护技术在3503工作面进行了成功的应用,巷道支护满足安全生产要求,多回收了煤柱资源23.8×10⁴ t,并节省了相邻3505工作面的回风巷道掘进期间的副帮支护,取得了令人满意的技术经济效益,具有良好的推广应用前景。

4)存在问题和改进方向:3503大采高工作面回采期间矿压显现剧烈,个别混凝土柔模出现了变形和劈裂现象,在工作面回采期间必须加强矿压观测,根据观测结果及时对巷道和墙体进行补强支护。关于墙体的施工工艺和施工人员组织可进一步优化,以加快沿空留墙的施工进度,提高工程质量。

参考文献:

- [1] 杜计平,孟宪锐. 采矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009:54-56.
- [2] 王茂林. 综采工作面实用技术[M].北京:煤炭工业出版社,2012:48-54.
- [3] 钱鸣高,石平五. 矿山压力与岩层控制[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003:109-110.
- [4] 杨俊彩. 浅埋深厚煤层柔模混凝土沿空留巷矿压规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2015(s2):29-32.
- [5] 段伟. 上湾煤矿大采高综采工作面沿空留巷技术[J]. 能源技术与管理, 2015, 40(6):100-102.
- [6] 魏吉祥. 金凤煤矿柔模泵注混凝土全断面沿空留巷技术的应用[J]. 煤矿现代化, 2014(5):60-62.
- [7] 陈志平. 大采高综采面大断面沿空留巷技术研究应用[J]. 煤炭与化工, 2013, 36(9):4-6.
- [8] 周金城. 柔性模板泵注混凝土在沿空留巷支护中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2012(s1):36-39.
- [9] 田臣,刘英杰. 神东矿区沿空留巷应用技术研究[J]. 煤炭工程, 2016(s1):50-53.
- [10] 崔亚仲. 神东矿区快速沿空留巷技术研究及应用[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1):129-133.
- [11] 张智强. 双突矿井中柔模混凝土沿空留巷应用研究[D]. 西安:西安科技大学, 2012.
- [12] 国家标准化委员会.GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国标准出版社,2010.