

文章编号:1000-1964(2004)06-0651-05

综放沿空小断面留巷技术研究

曹胜根¹, 刘卫群²

(1. 中国矿业大学 能源与安全工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 理学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 随着开采强度的增加, 综放工作面的瓦斯超限问题日益突出. 以王庄煤矿 5201 综放面为例, 提出采用综放沿空小断面留巷技术, 布置 J 型通风系统, 治理综放工作面瓦斯超限. 由关键块的分析及数值模拟结果, 确定了综放沿空小断面留巷的断面形状, 给出了斜梁的合理支护设计. 矿压观测结果表明, 留巷小断面变形以及留巷煤帮深部位移有较好的收敛性, 能够满足工作面抽放瓦斯的需要.

关键词: 综放开采; 沿空小断面留巷; J 型通风; 矿压控制

中图分类号: TD 322 **文献标识码:** A

Technique of Small Section Entry Retaining Along Gob Side in Fully-Mechanized Top-Coal Caving Face

CAO Sheng-gen¹, LIU Wei-qun²

(1. School of Mineral and Safety Engineering, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, China;

2. School of Sciences, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: Due to the increasing of mining production, the problem of gas consistence exceeding normal value is becoming serious in fully-mechanized top-coal caving face. Taking 5201 face, Wangzhuang coal mine as an example, the measures of preventing gas consistence exceeding normal value were put forward, that is, applying small section entry retaining along gob side and layout of J-shape ventilation system. The entry section shape and the reasonable design of inclined beam were determined according to the analysis of key blocks and the results of numerical simulation. Results of ground pressure observations indicate that there are good convergence in the small section entry deformation and the rib internal displacement. These can ensure the needs of gas drainage in coal face.

Key words: fully-mechanized top-coal caving; small section entry retaining along gob side; J-shape ventilation system; ground pressure controlling

综合机械化放顶煤(简称综放)开采技术是采煤方法中一项新的开采工艺,是厚及特厚煤层采煤方法的新发展.在一定的条件下,它具有高产、高效、掘进率低、成本低、经济效益好等优点,但瓦斯涌出量是综放工作面安全生产的主要制约条件之一.综放工作面瓦斯超限有效防治技术是保证安全生产的前提,意义重大,对推动这一新工艺的健康

发展,特别是对在较高瓦斯煤层推广应用这一技术具有决定作用^[1-2].

潞安矿业集团王庄煤矿现进入二水平开采,5201综放工作面是进入二水平开采 52 采区的第一个回采工作面.由于开采强度增大,工作面回采初期(8 d 内)瓦斯涌出量都超过预测量,波动在 10.9~13.1 m³/min 之内,平均值为 11.9 m³/min,

收稿日期:2004-03-12

基金项目:国家杰出青年科学基金项目(50225414)

作者简介:曹胜根(1968-),男,江苏省泰州市人,中国矿业大学副教授,工学博士,从事矿山压力方面的研究.

超过预测值 34%；从第 9 天(工作面推进 32 m)起，瓦斯涌出量增大，特别是从第 13 天起(工作面推进 50 m)，瓦斯涌出量骤增，达 17.6 m³/min；第 15 天时，瓦斯涌出量达最高值(20.1 m³/min)，尽管供风量达到 1250 m³/min，工作面上隅角仍出现瓦斯超限现象，专用回风巷风量 140 m³/min，其瓦斯浓度也一度达到 3.0%。因此，研究治理王庄煤矿 52 采区综放工作面瓦斯超限关键技术迫在眉睫。

采用综放沿空小断面留巷技术，目的是为了布置 J 型通风系统，解决尾巷通风和排水问题。实现综放沿空小断面留巷技术的前提是全煤锚网支护技术，因为全煤锚网支护巷道开采垮落后会形成三角形“免压”区，只要简单维护便可成为通风(或排水)尾巷，因而支护成本十分低廉。这项研究对于高产高效综放开采治理工作面瓦斯超限具有十分重要的现实意义。

1 工作面概况

王庄煤矿 5201 工作面位于王庄矿井田的西北角，是 52 盘区的第一个工作面，东接 52 皮带与轨道，西部与南部均为村庄保护煤柱，北为实体煤，距风巷 180 m 布置有 5201 放水巷，通过放水斜巷与风巷沟通。

5201 工作面沿倾向布置，工作面长 251.1 m，运巷可采长 1 027 m，风巷可采长 1 055 m，平均 1 037 m；煤层平均厚度 6.63 m，共含夹矸 4 层，总厚 0.32 m；煤层倾角 1.5~6.5°，平均为 3.5°；工作面工业储量为 223.0 万 t，可采储量 207.4 万 t。

从整体上看，该工作面煤层为一向西南方向倾斜的单斜构造，倾向 225~242°，煤层埋深为 320~350 m。工作面西北侧有发育断层一条，编号 F114。从目前资料分析，工作面内未发现有影响回采的断层及无炭柱等地质构造。

5201 工作面围岩及其特征见表 1。

表 1 王庄煤矿 5201 工作面围岩及其特征
Table 1 Surrounding rocks and their characteristics in 5201 coal face

围岩名称	岩石名称	厚度/m	岩石描述
老顶	泥岩	1.3~4.05 2.37	灰黑色，致密，性脆，含植物化石，局部中粒砂岩
直接顶	砂岩	1.24~10.07 5.42	灰色，中粒，粉粒，成分石英，含云母片，局部泥岩
直接底	泥岩	0.62~8.79 5.82	灰黑色，质坚，性脆，含植物化石，局部中粒砂岩
老底	砂泥岩互层	2.31~6.60 4.46	砂岩与泥岩互层，局部为灰色细砂岩

5201 综放面采用一进两回(排)J 型通风系统，即运输平巷进风，回风平巷和采空区沿空留专用排瓦斯尾巷回风，如图 1 所示。工作面回风巷在进入采空区后继续留用，并改用适于采空区矿压的新型支护结构与材料，以保障可靠的专用回风巷通风的要求。沿空专用排瓦斯巷与 5201 放水巷相接，并在两巷道相接处设有密闭。5201 放水巷内安设有 KDZ-2×26 kW 型和 FSD-2×18.5 kW 型两台抽出式风机，作为专用排瓦斯巷的辅助通风动力；两台抽出式风机的负压端风筒穿过密闭进入专用排瓦斯巷，其正压端风筒一直延伸至 52 采区回风巷，将专用排瓦斯巷的较高瓦斯浓度风流直接排放到采区回风巷内。

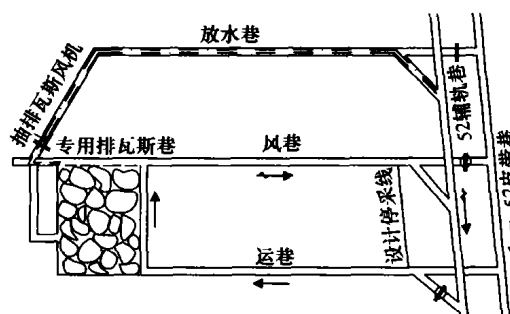


图 1 5201 综放面 J 型通风系统示意图
Fig. 1 J-shape ventilation system of 5201 coal face

2 综放沿空小断面留巷的合理形状与支护设计

2.1 综放沿空小断面留巷的合理形状

由关键块分析可知，当巷道内侧煤帮随工作面推进而割除后，巷道覆岩老顶(关键块)将垮塌，垮塌后的关键块一端由老塘矸石支承，另一端由外侧实体煤帮支承，成斜跨梁结构。而原巷道煤帮和顶板由于实施锚网支护，破坏前后能保持较好的完整性。因此，现场观测可以看到，受关键块斜跨支承掩护和锚网支护作用，综放老塘沿空垮落巷道存在一个三角形“免压区”或“低压区”^[3-7]。

为了能合理利用自然矿压规律，可选定综放沿空小断面留巷的巷道断面形状为直角三角形，在巷帮和底板的斜顶上加上一根斜梁，维护住一个较为稳定的通风断面，确保专用瓦排巷的畅通。

2.2 支护斜梁合理角度的数值分析

综放小断面留巷支护斜梁(见图 2)的角度要受到三方面因素的限制，即：受力状态、几何约束、支护成本。由于实施锚网支护的巷道围岩在垮落后如何对斜梁施加载荷难以确定，因此无法对斜梁载荷进行合理简化，只能采用数值模拟的方法来分析斜梁的合理角度。

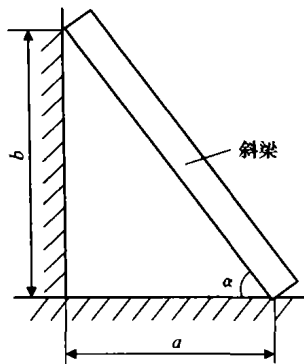
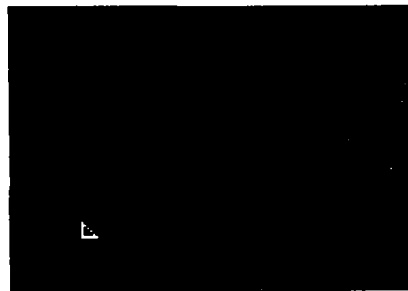
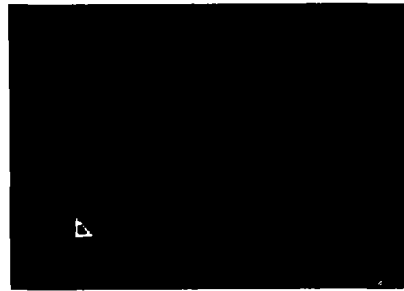


图 2 小断面留巷的支护斜梁
Fig. 2 Inclined beam in small section entry retaining along gob side



(a)



(b)

图 3 $b/a=0.5, S=1 \text{ m}^2$ 时的围岩状态

Fig. 3 Surrounding rocks situation ($b/a=0.5, S=1 \text{ m}^2$)

表 2 斜梁内承受的最大弯曲应力 σ_{\max} MPa
Table 2 Maximum bending stress in inclined beam

b/a	S/m^2			
	1	2	3	4
0.5	11.93	14.62	16.49	16.99
1.0	8.12	10.11	12.16	13.04
1.5	7.94	8.19	11.89	12.56
2.0	5.12	5.66	6.87	7.06

鉴于表 2 的计算结果,综合考虑巷道的几何约束和支护成本,斜梁的合理角度应选在 b/a 为 1.5~2.0 的范围内。

2.3 综放沿空小断面留巷的支护设计

随工作面回采,留设 2 m^2 左右的通风断面,以保证瓦斯排放。选取 b/a 为 1.5,支护斜梁选用梯形棚架回收后的废工字钢,型号为 11#,长 3 m,则计算得 b 和 a 分别为 2.5 m 和 1.7 m。

为防斜梁的弯曲变形和增加其稳定性,在横梁和巷道帮角之间加设一条支腿,支腿选用约 80 mm 左右的圆木。支腿的两个支点分别为巷道帮角和斜梁从下至上三分之一处。为防斜梁与斜梁之间巷道顶板破碎下落及保持相邻斜梁之间的稳定性,在斜梁中部铺设半圆横椽。为防巷道顶板碎石垮落和增加斜梁和巷道顶板的稳定性,在斜梁上部加铺一层塑料编织网,在原巷道顶板上预拉两根钢丝绳。此外,为防金属支护接触之间由于滑动摩擦而

以王庄煤矿 5201 综放工作面回风巷的采矿地质条件为基础,运用岩石破裂过程分析软件 (RFPA2D) 分析围岩破裂垮落的随机过程,考虑到留巷支护的成本和巷道几何约束条件,以斜梁角度 α 变化(转化为 b/a 比值变化)将数值模拟的方案分为 4 组,其 4 组 b/a 比值分别为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0。每组中根据留巷断面积 $S = \frac{1}{2}ab$ 的不同,又分别计算了 1, 2, 3, 4 m^2 等情况。

数值模拟结果见图 3 和表 2。表 2 中分别给出了 16 个计算模型所得的斜梁内最大弯曲应力 σ_{\max} 。

产生火花,在支护设计中不使用金属与金属的连接。

因为可选用矿上废料作为综放小断面留巷支护材料,例如废工字钢和废钢丝绳,以及废木料等,所以支护材料成本较低。

3 综放沿空小断面留巷矿压规律及控制

3.1 矿压观测

对综放小断面留巷围岩变形布置了两组观测站:其一为深部围岩位移测站;其二为巷道表面位移测站。

1) 深部围岩位移测站

利用锚杆支护矿压监测测站布置在巷道外侧煤帮上的两个深基点位移观测孔。此孔分别设置在离开切眼为 40 m 和 80 m 处,测孔直径为 43 mm,长度为 5 000 mm,可读取离巷道表面不同深度处围岩水平移动量。分别编号为测点 I 和测点 II。

2) 巷道表面位移测站

离开切眼 40 m 处起,每间隔 40 m 连续布置 3 个测站,分别观测留巷直墙高度 b 和三角形断面腰线长度 c 的变化量 Δb 和 Δc ,编号分别为断面 I, II 和 III。

3.2 留巷围岩变形规律

3.2.1 留巷断面收敛变形

3 个巷道断面表面位移测站的观测结果见图 特点:

4. 从图 4 中可见,综放小断面留巷断面变形有如下

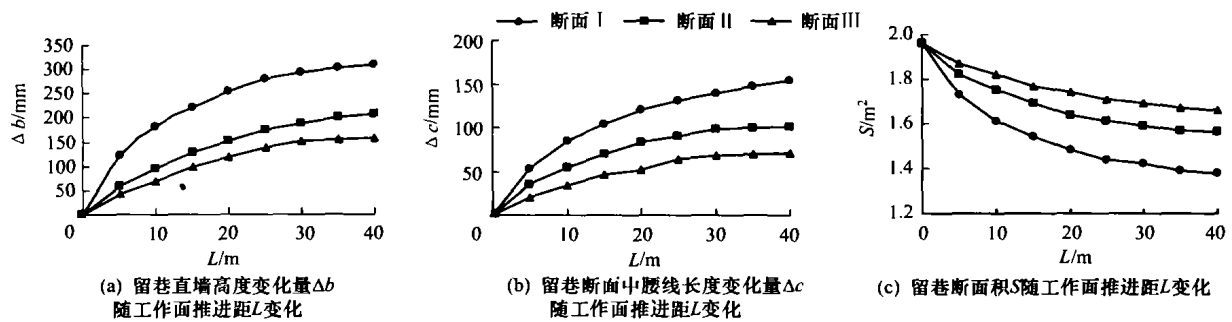


图 4 Δb , Δc 和 S 随工作面推进距 L 的变化曲线

Fig. 4 The relationship curves of Δb , Δc and S with the change of mining distance L

1) 断面变形有较好的收敛性. 在工作面推进过 0~20 m 范围内, 变形十分显著, 占整个收敛变形的 80% 左右. 在工作面推进 30~40 m 范围内, 变形已趋于收敛, 占整个收敛变形的 5% 左右.

2) 结合现场实际观察, 留巷断面收敛变形量主要来自支护斜梁上下端部插底和嵌墙, 以及煤帮鼓出.

3) 由于及时采取抗变形措施, 从断面 I 至断面 III 留巷断面收敛变形量依次显著降低得到了具体验证.

3.2.2 留巷煤帮深部位移

留巷煤帮深基点位移测点观测结果见图 5, 从中可见, 留巷煤帮深部位移也具有较好的收敛性.

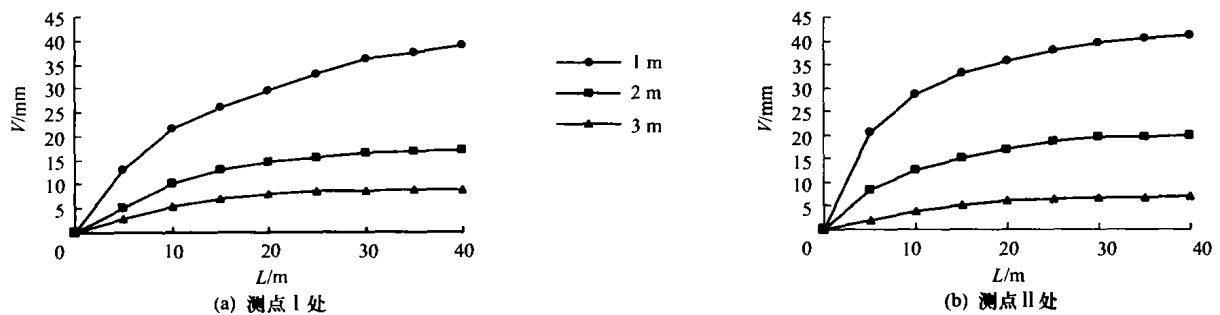


图 5 测点 I, II 处煤帮深部位移

Fig. 5 Rib internal displacement in monument I and II

3.3 巷道矿压控制

综放沿空小断面留巷是一项全新的设计, 完善其矿压控制技术需要一个长期的发展过程. 在王庄煤矿 5201 综放面沿空留巷实践中, 我们采取了如下措施:

1) 高强度支护斜梁及其结构抗变形加固技术

支护斜梁是整个支护中的关键结构, 采用矿用废旧工字钢不仅能满足支护强度和刚度要求, 而且成本较低. 为了进一步加强斜梁的抗弯曲变形能力, 设计中还加设了中部支腿. 实践表明, 斜梁无明显弯曲变形. 另外, 在实践中很快发现, 斜梁上下两端由于与底板和煤墙接触处产生嵌入, 使留巷断面产生很大变形. 因此, 我们及时采取了抗嵌入措施, 一是变尖点接触为平面接触, 二是在接触处加设木制平板垫块. 从巷道收敛变形实测情况中可以见到其产生的显著支护效果.

2) 防落渣措施

由于原巷道顶网在顶板垮落过程中破损严重, 因而留巷斜顶部破碎顶煤极易出现落渣现象, 所以我们在实践中及时采用了加铺塑料顶网的措施, 消除了斜顶落渣现象.

3) 巷道顶板整体稳定性控制

为了控制巷道顶板和斜梁沿轴向的整体稳定性, 在支护设计之初就加设了两项措施, 其一是在原巷道顶网上加拉两条钢丝绳, 其二是在支护斜梁中部铺设一根半圆木横椽, 实践中收到了十分理想的效果.

4) 巷道煤帮鼓出变形控制

由于巷道斜梁的支撑作用, 留巷后巷道煤帮的横向鼓出变形得到了十分有效的控制, 深基点位移观测表明, 留巷动压引起的变形量与采场超前支承压力引起的变形量基本相当. 如希望进一步控制巷道煤帮的鼓出变形, 还可采用加打强力锚杆等措施.

4 结 论

1) J型通风系统的专用排瓦斯巷,巧妙利用其覆岩关键块结构和全煤锚网支护垮落共同形成的“免压区”做掩护,实施沿空小断面留巷(不掘新巷道)。巷道维护容易,服务期间通风断面收缩小,可靠地保障了其排瓦斯功能;支护结构合理、安全性能好;施工工艺简单、工时短、工程量小、使用废旧钢材、工程费用低。

2) 由关键块分析,确定综放沿空小断面留巷的巷道断面形状为直角三角形,在巷帮和底板的斜顶上加上一根斜梁,维护住一个较为稳定的通风断面,确保专用瓦排巷的畅通。

3) 综放小断面留巷支护斜梁的角度要受到三方面因素的限制,即:受力状态、几何约束、支护成本。采用数值模拟的方法来分析斜梁的合理角度,综合考虑巷道的几何约束和支护成本,斜梁的合理角度应选在 b/a 为1.5~2.0的范围内。

4) 矿压观测结果表明,综放小断面留巷断面变形有较好的收敛性,留巷断面收敛变形量主要来自支护斜梁上下端部插底和嵌墙,以及煤帮鼓出。留巷煤帮深部位移也具有良好的收敛性。

5) 在综放沿空小断面留巷的控制过程中已采取高强度支护斜梁及其结构抗变形加固技术、防落渣措施、巷道顶板整体稳定性控制技术、巷道煤帮鼓出变形控制技术等控制巷道的变形,效果显著。

参考文献:

- [1] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1992.
- [2] 戴广龙.“品”字型巷道系统综放工作面瓦斯涌出规律研究[J]. 中国煤炭,2000,26(7): 23-26.
Dai G L. Gas emission regularity in fully-mechanized top-coal caving face using “品” shape entry-distribution system[J]. China Coal, 2000,26(7):23-26.
- [3] 钱鸣高,缪协兴,许家林,等. 岩层控制的关键层理论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2000.
- [4] 钱鸣高,缪协兴,许家林. 岩层控制中的关键层理论研究[J]. 煤炭学报,1996,21(3): 225-230.
Qian M G, Miao X X, Xu J L. Theoretical study of key stratum in ground control[J]. Journal of China Coal Society, 1996,21(3): 225-230.
- [5] 缪协兴. 砌体梁结构分析与应用[D]. 徐州:中国矿业大学理学院,1996.
- [6] 缪协兴,钱鸣高. 采场围岩整体结构与砌体梁力学模型[J]. 矿山压力与顶板管理,1995(3,4):3-12.
Miao X X, Qian M G. Solid structure and voussoir beam model of face surrounding rock [J]. Ground Pressure and Strata Control, 1995(3,4):3-12.
- [7] 钱鸣高,缪协兴. 采场矿山压力理论研究的新进展[J]. 矿山压力与顶板管理,1996(2):17-20.
Qian M G, Miao X X. New development of face underground pressure theory [J]. Ground Pressure and Strata Control, 1996(2):17-20.

(责任编辑 陈其泰)