

文章编号: 1673-3363-(2014)06-0950-07

含夹矸厚煤层沿空巷道围岩稳定性 及支护技术研究

裴孟松^{1,2}, 鲁岩¹, 郭卫彬¹, 王飞龙³, 赵占全¹

(1. 中国矿业大学矿业工程学院, 深部煤炭资源开采教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116;
2. 河内地矿大学采矿工程学院, 越南 河内 100803; 3. 西山煤电集团公司杜儿坪煤矿, 山西 太原 030022)

摘要 为保障含夹矸厚煤层综放沿空巷道的稳定性, 确保工作面的安全高效开采, 采用数值模拟分析了不同夹矸条件下沿空巷道围岩的应力分布、塑性区分布以及巷道围岩的位移。研究表明: 夹矸的存在破坏了巷道围岩的连续性, 使得围岩稳定性较差; 厚层夹矸条件下, 巷道围岩较稳定; 当夹矸硬度与煤层硬度相近以及夹矸位于巷道顶部时, 巷道围岩稳定性相对较好。在此基础上, 提出了合理围岩控制技术, 确定选用锚网索配合梯形钢带联合支护的方式, 并提出了合理的支护参数; 通过工程实践验证了含夹矸厚煤层沿空巷道围岩控制技术的合理性, 确保了工作面的安全高效生产。

关键词 含夹矸厚煤层; 沿空掘巷; 巷道变形; 围岩控制

中图分类号 TD 323

文献标志码 A

The research on stability and supporting technology of rock in gob-side entry in thick seam with parting

BUI Manhtung^{1,2}, LU Yan¹, GUO Weibin¹, WANG Feilong³, ZHAO Zhanquan¹

(1. School of Mines, Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining, Ministry of Education, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China; 2. Mining College, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi 100803, Vietnam; 3. Duerping Coal Mine, Xishan Coal Electricity Group CO. LTD, Taiyuan, Shanxi 030022, China)

Abstract In order to ensure the stability of the thick coal seam with parting in gob-side entry in long-wall top coal caving, and to increase the safety and effectiveness in mining, the numerical model has been employed to analyse the stress distribution of gob-side entry, plastic strain area distribution and movement of rocks under the different conditions of dirt bands. Result of research shows that the existence of band layers has destroyed the continuity of the surrounding rock, which causes the roads becoming unstable; while in the thick layers, surrounding rocks are relatively stable. When hardness of the layers and that of coal seam are the same, and these bands lay on the top of road, the rocks surrounding the roads are also relatively stable. And on this basis, an appropriate technique of surrounding rock control is proposed, in which a combination of rock bolting-wire mesh and steel rectangular shape support are chosen and the suitable parameters are identified. Engineering practice has proved the rationality of

收稿日期: 2014-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51174192); 中央高校基本科研业务费专项基金项目(2010QNA32); 江苏省研究生创新工程项目(CXZZ11-0310); 江苏省高校优势学科建设工程项目

作者简介: 裴孟松(1981—), 男, 越南河内市人, 博士, 从事矿山压力与岩层控制方面的研究。

通信作者: 鲁岩

E-mail: luyancumt@126.com

Tel: 13775987018

the proposed technique, ensuring the safety and effectiveness in long wall extraction.

Key words thick coal seam with parting; gob-side entry driving; deformation of entry; surrounding rock control

综放沿空掘巷技术能够有效提高煤炭资源回收率，同时减小巷道的维修量，在煤矿生产中得到广泛应用^[1-5]。随煤层开采厚度的增加，特厚煤层回采巷道多沿底板布置，巷道顶部锚杆完全锚固在较松软的煤体中，锚固效果难以保证，尤其当煤体节理裂隙较为发育时，巷道顶部围岩控制困难^[6-8]。随煤层结构的复杂程度增加，巷道围岩岩性差异性提高，巷道变形的非均匀性变形明显。在巷帮含有夹矸时，由于夹矸与煤层间的软弱结构面的存在，若不采取适当的措施，常形成整个巷道围岩支护结构体的薄弱部分，使巷帮围岩往往首先沿结构面滑动，进而造成整个巷道的失稳破坏。

目前，在沿空掘巷研究方面国内外学者做了大量研究^[8-12]，主要体现在合理煤柱留设、综放沿空掘巷矿压显现规律以及沿空掘巷围岩控制与支护技术等方面；在含夹矸厚煤层方面，国内外学者主要集中在研究了夹矸对顶煤冒放性影响规律^[13-15]。林超^[16]根据鲍店煤矿开始条件，采用理论分析、数值模拟和现场实测的手段，对夹矸下方动压煤巷的支护技术进行了研究，并提出了针对性的支护方案。

由此可见，目前国内对于含夹矸厚煤层沿空巷道的稳定研究相对较少。本文在前人研究的基础上，以兴隆庄煤矿十采区典型的含夹矸厚煤层综放沿空巷道为工程背景，分析夹矸对厚煤层综放沿空巷道围岩稳定性的影响规律，并提出相应的围岩控制技术。

1 工作面地质条件

兴隆庄煤矿十采区下部发育一不均匀夹矸，该夹矸厚度变化较大，岩性较脆，给采煤、工作面顶板控制和巷道掘进工作带来困难。该区的 10303 工作面煤层厚度为 7.70~9.30 m，平均 8.65 m，普氏硬度 $f=2.3$ ，为软-中等硬度煤层。

煤层结构复杂，煤层中存在夹矸，其厚度呈不均匀变化，从采区左边界到采区内部，夹矸厚度从 1.55 m 逐渐变薄直至消失。具体变化情况：从采区左边界往至采区约 210 m，夹矸厚度从 1.55 m 变薄至 0.5 m，至左边界 320 m 处厚度变为 0.3 m，至左边界 730 m 处，夹矸厚度从 0.3 m 均匀变薄至消失。

轨道平巷为沿煤层底板留小煤柱沿空掘巷，断

面为梯形，上宽、下宽、高分别为 4.8，5.4，3.5 m。在初期的含夹矸段巷道，采用一般支护参数，巷道顶部及帮部锚杆的间排距均为 0.9 m，帮锚杆垂直于巷道围岩，巷道两帮移近量较大，变形最严重的地方进行 2 次扩帮之后仍不能满足生产的要求。

2 含夹矸厚煤层沿空巷道围岩变形规律

2.1 模型的建立

根据现场地质条件，模型共取 7 个岩层，为方便建模，对各层厚度进行修正，修正后各岩层参数：老底中细砂岩 11.0 m，直接底粉砂岩 5.0 m，伪底泥岩 0.3 m，3 煤 8.7 m(含炭质泥岩夹矸)，直接顶粉砂岩 2.0 m，基本顶 32 m，包括细砂岩 12 m，中细砂岩互层 20 m。各层物理参数如表 1，各接触面的物理参数如表 2。

表 1 各岩层力学参数
Table 1 Mechanical parameters of every strata

岩性	体积模量/ GPa	剪切模量/ GPa	密度/ (kg·m ⁻³)	摩擦角/ (°)	黏聚力/ MPa	抗拉强度/ MPa
中细砂岩	6	3	2 600	35	4	2
粉砂岩	4	2	2 500	30	3	1.5
铝质泥岩	3	2	2 300	25	1.2	1
煤层	2	1.5	1 400	20	0.8	0.5
炭质泥岩	3	2	2 400	25	1.0	0.7
煤层	2	1.5	1 400	20	0.8	0.5
粉砂岩	4	2	2 500	30	3	2
细砂岩	8	5	2 500	30	4	2
中细砂岩	7	4	2 500	25	3	1.5

表 2 结构面的力学参数
Table 2 Mechanical parameters of every strata contact face

岩层之间	法向刚度/ GPa	切向刚度/ GPa	黏结力/ MPa	摩擦角/(°)	抗拉强度/ MPa
中砂岩~粉中砂岩	1	0.6	0.2	20	0
基本顶~直接顶	0.9	0.5	0.15	18	0
直接顶~煤	0.6	0.4	0.15	16	0
煤~夹矸	0.4	0.3	0.1	12	0
夹矸~煤	0.4	0.3	0.1	12	0
煤~伪底	0.6	0.4	0.15	16	0
伪底~直接底	1	0.6	0.2	20	0
直接底~老底	1	0.6	0.2	20	0

2.2 夹矸硬度

为分析夹矸硬度对沿空巷道围岩稳定性的影响，确定 3 种夹矸硬度($f=1$ ， $f=2.5$ 和 $f=4$)对巷道围岩应力分布、塑性区分布以及位移量的影响规律。

图 1 为不同时期夹矸硬度对工作面煤体内应力

分布的影响规律,表 3 为不同时期煤柱内的最大应力随夹矸厚度的变化规律。

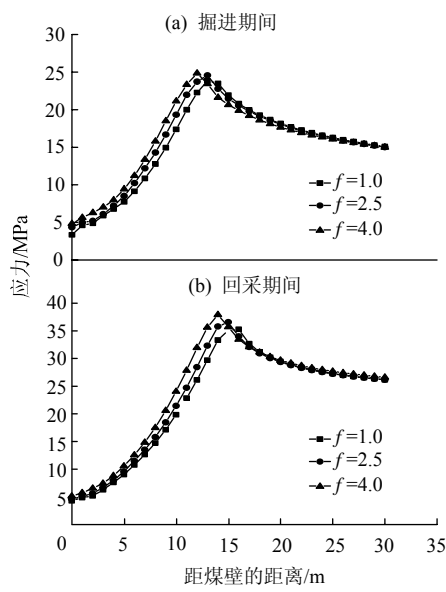


图 1 夹矸硬度对工作面煤体应力分布的影响
Fig.1 Effect of strength of band layers on stress distribution above the face

表 3 夹矸硬度对煤柱最大应力分布的影响
Table 3 Effect of band layers strength on abutment stress distribution of pillar

夹矸硬度 f	煤柱最大应力/MPa	
	掘进期间	回采期间
1	3.87	3.81
2.5	4.26	4.38
4	4.85	4.83

由图 1 和表 3 可知:随夹矸硬度的增大,工作面煤体应力峰值逐渐增大,峰值点与煤壁的距离逐渐减小;巷道沿空侧煤柱最大应力随夹矸硬度的增大而增大,这是由于煤层中的夹矸可认为是煤层的“骨架”,提高了巷道左帮煤柱的强度,增加了此处煤柱的承载能力。

表 4 为不同夹矸硬度时巷道围岩塑性区的分布情况。

表 4 夹矸硬度对工作面煤体塑性区宽度的影响
Table 4 Plastic strain distribution with various strength of dirty band

夹矸硬度 f	塑性区宽度/m	
	掘进期间	回采期间
1	17	18
2.5	16.5	17.5
4	16	16.5

由表 4 可知:随夹矸硬度的增大,工作面煤体中塑性区宽度相应减小,这是由于夹矸作为煤层中“骨架”,不仅提高了巷道左帮强度,而且也减小了巷道左帮的受力,使得巷道左帮塑性区较小。

图 2 为回采期间不同夹矸硬度下巷道围岩位移量。由图可知,夹矸硬度与煤体硬度($f=2.3$)相差不大时围岩位移量最小。这是由于当夹矸硬度等于煤体硬度时,巷道围岩受力较平均,使得巷道围岩位移量较均匀;而当夹矸硬度较小或较大时,巷道围岩受力不均匀,使得巷道围岩变形量相差较大,巷道围岩稳定性较差。夹矸硬度越大,稳定性越差,从图中也可看出顶板下沉量和底鼓量也随夹矸硬度的增大而增大。

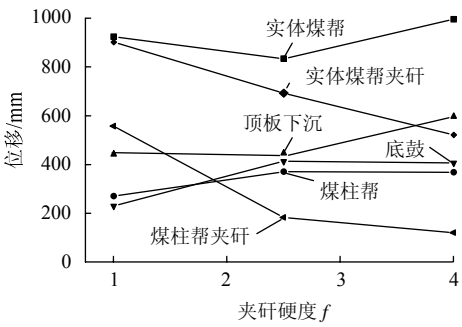


图 2 回采期间夹矸硬度对巷道位移量的影响
Fig.2 Effect of strength of band layers on rock movement in caving

综上所述,夹矸硬度与煤体硬度接近时巷道围岩稳定性最好,此时夹矸与煤体能够协同变形,当来压强烈时,二者以一定的塑性变形防止围岩发生更大范围的破坏,而且夹矸的存在使得围岩具有较高的残余强度。

2.3 夹矸位置

为分析夹矸位置对沿空巷道围岩稳定性的影响,根据地质条件确定 4 种实验方案(巷道顶部、上部、中部以及下部)对巷道围岩应力、塑性区以及位移量的影响规律。

图 3 为工作面回采期间,夹矸位置对工作面煤体中的应力分布的影响规律,表 5 为不同时期煤柱内的最大应力随夹矸位置的变化规律。由图 3 和表 5 可知:夹矸在巷道中部和下部时对围岩应力分布影响较大,夹矸位置从巷道顶部变化到下部时煤体中应力峰值点向巷道移近,围岩应力大小也随之增加。巷道围岩应力普遍小于原岩应力,应力集中系数较小约为 0.34~0.42,夹矸在巷道下部时煤柱中应力最大。

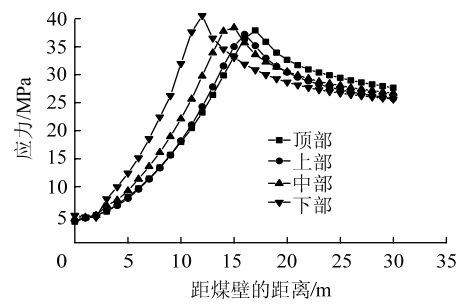


图 3 夹矸位置对工作面煤体应力分布的影响
Fig.3 Effect of the position of band layers on stress distribution at face.

表 5 夹矸位置对煤柱内最大应力分布的影响
Table 5 Effect of band layers position on abutment stress distribution at pillar

夹矸位置	煤柱最大应力/MPa	
	掘进期间	回采期间
顶部	3.77	3.85
上部	3.92	3.71
中部	3.87	4.21
下部	3.96	4.44

表 6 为夹矸不同位置条件下巷道围岩塑性区分布情况。由表 6 可知：当夹矸位于巷道顶部时，巷道围岩塑性区范围最大；位于巷道下部时，巷道围岩塑性区最小。当夹矸位于在巷道顶部和上部时，巷道围岩采空区侧受拉应力破坏范围最大，巷道围岩稳定性较差。此外，当夹矸与顶煤组成复合顶板时，夹矸与煤层之间的接触面为弱面，夹矸易产生向采空区方向运动的趋势，对巷道围岩产生附加水平应力，进而加剧煤柱的变形失稳。

表 6 夹矸位置对巷道煤体侧塑性区宽度的影响
Table 6 Plastic strain distribution with various position of band layers

夹矸位置	塑性区宽度/m	
	掘进期间	回采期间
顶部	19	20.5
上部	17.5	19
中部	15	16.5
下部	12	12.5

图 4 为回采期间夹矸不同位置对巷道围岩位移的影响规律。由图 4 可知：夹矸位于巷道顶部时，巷道围岩位移量最大；当夹矸位于巷道底部时，巷道围岩位移量最小。这表明，当夹矸位于巷道底部时，巷道稳定较好。

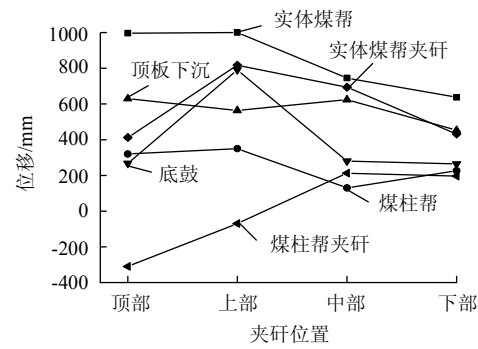


图 4 回采期间夹矸不同位置对巷道位移量的影响
Fig.4 The deformation of surrounding rock during mining work face

2.4 夹矸厚度

为分析夹矸厚度对沿空巷道围岩稳定性的影响，根据地质条件确定共分析 6 种(0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 m)不同夹矸厚度对巷道的围岩应力、塑性区以及位移量的影响规律。

图 5 为工作面回采期间，夹矸厚度对工作面煤体中的应力分布的影响规律，表 7 为不同时期煤柱内最大应力随夹矸厚度的变化规律，表 8 为夹矸厚度对巷道围岩塑性区的影响规律。

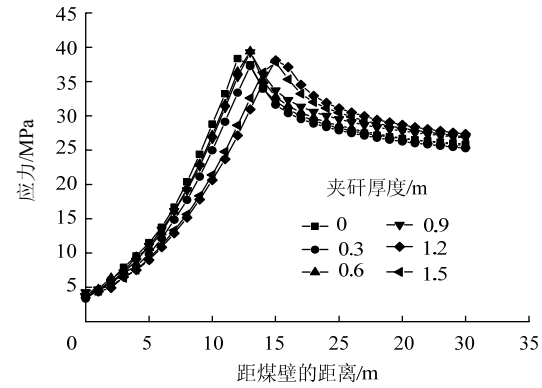


图 5 夹矸厚度对工作面煤体应力分布的影响
Fig.5 Effect of thickness of band layers on stress distribution at face

表 7 夹矸厚度对煤柱最大应力分布的影响
Table 7 Effect of thickness of band layers on abutment stress distribution at pillar

夹矸厚度/m	煤柱最大应力/MPa		夹矸厚度/m	煤柱最大应力/MPa	
	掘进期间	回采期间		掘进期间	回采期间
0	3.90	4.41	0.9	4.26	4.52
0.3	4.41	4.50	1.2	4.34	4.55
0.6	4.37	4.76	1.5	4.39	4.53

表 8 夹矸厚度对巷道围岩塑性区宽度的影响

Table 8 Effect of band layer thickness on plastic strain area distribution

夹矸厚度/m	塑性区宽度/m		夹矸厚度/m	塑性区宽度/m	
	掘进期间	回采期间		掘进期间	回采期间
0	12	12.5	0.9	14.5	15.5
0.3	14	14.5	1.2	14	14.5
0.6	13	13.5	1.5	15	16

由图 5 及表 7、8 可知：工作面煤体内的应力及塑性区范围随夹矸厚度增加呈现先减小后增大的趋势，应力峰值点向煤体深部转移。这是由于当夹矸较薄时，夹矸相当于在煤层中增加的弱面，降低了煤体的强度，使巷道围岩的承载能力下降；当夹矸较厚时，可认为夹矸作为煤体的“骨架”，提高了煤体的强度，增加了巷道围岩的承载能力。

图 6 为回采期间夹矸厚度对巷道围岩位移的影响规律。由图可知：巷道两帮变形随夹矸厚度增大而先增大后减小，但是夹矸存在时的巷道两帮位移仍比无夹矸时巷道两帮的位移大；而巷道顶底板的位移则随夹矸的厚度增大而增大。由此可知，当煤层中不含夹矸时，沿空巷道围岩稳定性较好；而含厚层夹矸比含薄层夹矸时稳定。

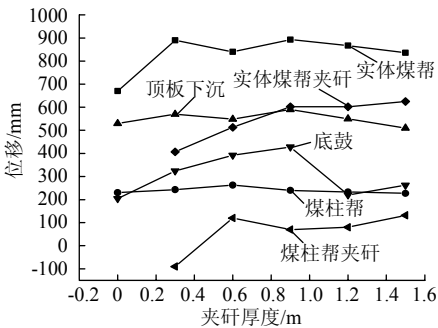


图 6 回采期间夹矸厚度对巷道围岩位移量的影响

Fig.6 Effect of band layers thickness on rock movement when caving

3 含夹矸厚煤层沿空巷道围岩支护技术

根据上述研究结果并结合兴隆庄煤矿的生产技术，确定选用 T 型螺帽型单向左旋无纵筋螺纹钢树脂锚杆、金属网、锚索配合梯形钢带进行联合支护；帮部采用 T 型螺帽型全螺纹钢树脂锚杆、金属网进行联合支护。相应的支护参数：

1) 增大支护密度，确定顶部锚杆排距为 0.8 m，间距平均为 0.75 m；两帮部锚杆排距从顶板往下依次为 0.2，0.9，1.6，2.3，3.0，3.7 m 布置，间距均为 0.7 m；两帮底角锚杆距离底板最大距离不超过

0.3 m。

2) 顶部靠帮第 1 条锚杆与垂直线成 15°，其他锚杆均与巷道顶帮轮廓线垂直布置，误差不超过 ±5°，防止夹矸与煤层间的错动。

3) 顶部锚杆锚固力不小于 150 kN，帮部锚杆锚固力不小于 100 kN。

4) 顶板锚索间排距均为 1.6 m，帮部锚索排距 1.6 m。

在施工过程中，若因地质构造变化而造成原支护参数无法适应巷道支护，根据矿压观测资料及顶板状况，及时对原支护参数做相应修改，确保巷道支护安全。

锚网索支护断面示意图如图 7 所示。

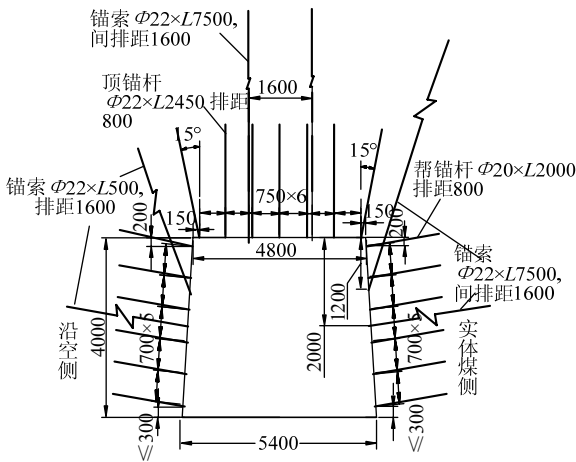


图 7 巷道支护断面图 (mm)

Fig.7 Bolt-net-cable support sectional drawing

4 工程实践

为验证含夹矸厚煤层沿空巷道围岩控制技术的合理性，采用“十”字布点法及顶板离层仪，监测 10303 工作面轨道平巷掘进期间及回采期间围岩的变形。

4.1 掘进期间巷道变形规律

在掘进期间，共设 6 个测站，第 1 个测站设在距 10303 轨道平巷与 10302 联络巷贯通点 120 m 处，测站滞后掘进面 10 m 开始布置，随掘进面推进，每隔 70 m 设 1 个测站。在测站布置范围内，夹矸厚度较稳定，约为 0.1~0.2 m。

在观测过程中，除 5 号测站顶板测点损坏，各测站统计观测数据统计如表 9 所示。由表 9 可知：在巷道掘进过程中，距迎头 0~70 m 范围内围岩变形比较明显，巷道掘进的 7 d 内属于围岩运动活动期(按照 10 m/d 的掘进速度)，而在 80 m 范围以外

顶板下沉和两帮移进均趋于缓慢。巷道的顶板下沉量、底鼓量和两帮移近量均较小，属于围岩变形稳定的巷道，说明巷道支护方式及支护参数均符合现场要求，较好地控制了围岩变形。

表 9 10303 轨道平巷下段围岩变形量
Table 9 Surrounding rock deformation
of 10303 tail entry lower part

测站	顶板			两帮		
	下沉量/ mm	平均下沉速度/ (mm·d ⁻¹)	最大下沉速度/ (mm·d ⁻¹)	移近量/ mm	平均移近速度/ (mm·d ⁻¹)	最大移近速度/ (mm·d ⁻¹)
1	35	1.75	4	111	5.55	11.00
2	9	0.45	1.67	103	5.15	15.50
3	36	1.09	6	87	2.63	9.25
4	25	0.78	3	160	5.00	11.00
5	0	0	0	73	3.32	5.67
6	12	0.48	2.5	126	5.04	9.25
平均	19.5	0.76		110	4.45	

4.2 回采期间巷道变形规律

根据现场夹矸分布情况，按夹矸厚度变化设测站。在工作面轨道平巷 6[#](1.1 m)、12[#](0.8 m)、19[#](0.5 m)、25[#](0.3 m)点位置各设 1 个测站(括号内为该处测站对应夹矸厚度)。

通过现场观测，测得了在采动影响下巷道 6[#]和 19[#]测站的巷道两帮位移、顶板下沉、底鼓数据，分析结果如图 8、9 所示。

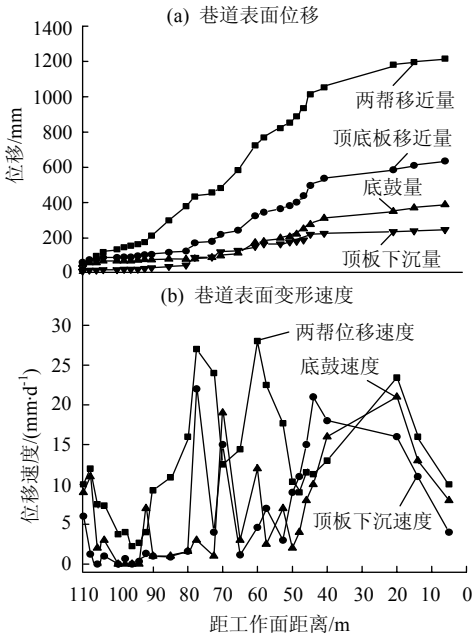


图 8 6[#]测站观测结果
Fig.8 Roadway surface displacement
and its velocity of observation station 6[#]

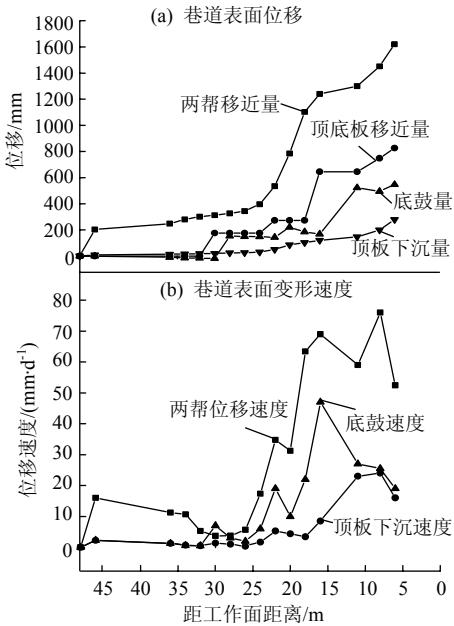


图 9 19[#]测站观测结果
Fig.9 Roadway surface displacement
and its velocity of observation station 19[#]

从图 8、9 可看出，回采期间巷道表面位移以两帮变形和底鼓为主，顶板下沉量较小。

6[#]测站围岩变形要小于 19[#]测站围岩变形，这与上述模拟结果一致。

19[#]测站处巷道初始高度 3.965 m，宽度 5.53 m，回采时巷道顶底板移近量最大值 793 mm，两帮最大移近量 1 621 mm；超前支架最小支撑高度 2.35 m，此时巷道高度 $H=3.965-0.826\approx 3.1\text{ m}>2.4\text{ m}$ ，巷道宽度 $B=5.53-1.621\approx 3.9\text{ m}>3\text{ m}$ ，可以满足通风、行人及运料要求，而且不需要返修。这表明制定的含夹矸厚煤层沿空巷道围岩控制技术较合理，能够保证工作面的安全高效生产。

5 结 论

- 1) 夹矸的存在破坏了巷道围岩的连续性，使得含夹矸厚煤层综放沿空巷道围岩变形量大于不含夹矸的沿空巷道围岩变形量；在含夹矸条件下，厚层夹矸有利于沿空巷道的围岩稳定性。
- 2) 在含夹矸厚煤层的条件下，当夹矸硬度与煤层硬度相近时，巷道围岩具有良好的稳定性，夹矸与煤体可协同变形，两者以一定的塑性变形防止围岩发生更大范围的破坏，而且夹矸的存在使得围岩又具有较高的残余强度。
- 3) 夹矸与巷道的相对位置也对巷道的稳定性产生影响，当夹矸位于巷道顶部时，巷道稳定性较差；当夹矸位于巷道底部时，巷道围岩稳定性较好。

4) 根据数值计算的结果并结合现场生产经验, 确定选用锚网索配合梯形钢带联合支护的方式; 并采用理论计算, 确定锚杆的合理长度、间排距以及锚固力等关键技术参数。

5) 通过现场观测, 巷道在掘进期间, 巷道变形量较小; 在回采期间, 巷道变形后能够满足工作面的正常生产, 确保了工作面的安全高效生产, 表明了含夹矸厚煤层沿空巷道围岩控制技术的合理性。

参考文献:

- [1] 柏建彪. 综放沿空掘巷围岩稳定性原理及控制技术研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2002.
- [2] 余忠林, 涂敏. 大采高工作面沿空掘巷合理位置模拟与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2006, 23(2): 197-200.
YU Zhonglin, TU Min. Simulation and application of suitable position of gob-side driving entry in large mining height face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006, 23(2): 197-200.
- [3] 王金安, 韦文兵, 冯锦艳. 综放异形煤柱沿空留巷围岩松动圈演化与控制[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(5): 42-45.
WANG Jin'an, WEI Wenbing, FENG Jinyan. Evolution and control of surrounding rock releasing ring in mine gateway of fully mechanized top coal caving mining face with irregular coal pillars retained for next sublevel[J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(5): 42-45.
- [4] 毕宣可, 战玉宝, 王玉. 护巷小煤柱留设的可行性研究[J]. 中国矿业, 2007, 16(9): 53-56.
BI Xuanke, ZHAN Yubao, WANG Yu. Feasibility study on reasonable pillar dimension to protected roadway[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(9): 53-56.
- [5] 柏建彪, 侯朝炯, 黄汉富. 沿空掘巷窄煤柱稳定性数值模拟研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(20): 3475-3479.
BAI Jianbiao, HOU Chaojiong, Huang Hanfu. Numerical simulation study on stability of narrow coal pillar of roadway driving along goaf[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(20): 3475-3479.
- [6] 吴立新, 王金庄, 刘延安, 等. 建(构)筑物下压煤条带开采理论与实践[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994: 18-42.
- [7] 谢广祥, 杨科, 常聚才. 煤柱宽度对综放面围岩垂直应力分布规律影响[J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(11): 1005-1013.
XIE Guangxiang, YANG Ke, CHANG Jucai. Effect of coal pillar width on the stress distribution law of surrounding rocks in fully mechanized top-coal caving mining face[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 28(11): 1005-1013.
- [8] 谢广祥, 杨科, 刘全明. 综放面倾向煤柱支撑压力分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(3): 545-549.
XIE Guangxiang, YANG Ke, LIU Quanming. Study on distribution laws of stress in inclined coal pillar for fully-mechanized top-coal caving face[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(3): 545-549.
- [9] 杨科, 谢广祥. 窄煤柱综放巷道围岩垂直应力场特征[J]. 采矿与安全工程学报, 2007, 24(3): 311-315.
YANG Ke, XIE Guangxiang. Stress field of surrounding rocks of fully mechanized top-coal caving gateway with small pillars[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007, 24(3): 311-315.
- [10] 侯朝炯, 李学华. 综放沿空掘巷围岩大、小结构的稳定性原理[J]. 煤炭学报, 2001, 26(2): 1-7.
HOU Chaojiong, LI Xuehua. Stability principle of big and small structures of rock surrounding roadway driven along goaf in fully mechanized top coal caving face[J]. Journal of China Coal Society, 2001, 26(2): 1-7.
- [11] 王卫军, 侯朝炯. 沿空巷道底鼓力学原理及控制技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(1): 69-74.
WANG Weijun, HOU Chaojiong. Study on mechanical principle and control technique of floor heave in roadway driven along next goaf[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(1): 69-74.
- [12] 石平五, 许少东, 陈治中. 综放沿空掘巷矿压显现规律研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 2004, 21(1): 32-33.
SHI Pingwu, XU Shaocong, CHEN Zhizhong. Analysis on strata behaviors of gob entry in fully-mechanized top coal caving face[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2004, 21(1): 32-33.
- [13] 宋选民, 康天合, 靳钟铭, 等. 顶煤冒放性影响因素研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 1995, 12(4): 85-88.
SONG Xuanmin, KANG Tianhe, JIN Zhongming, et al. Study on influence factors of top coal cavability[J]. Ground Pressure and Strata Control, 1995, 12(4): 85-88.
- [14] 贾光胜, 毛德兵. 综放开采顶煤冒放性的数值模拟研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 2004, 21(4): 5-7.
JIA Guangsheng, MAO Debing. Numerical modelling study of the top-coal caving and drawing capability in longwall top-coal caving mining[J]. Ground Pressure and Strata Control, 2004, 21(4): 5-7.
- [15] 靳文学, 靳钟铭. 综放合理工作面长度分析[J]. 太原理工大学学报, 2000, 31(5): 508-510.
JIN Wenxue, JIN Zhongming. Analysis of rational length for fully mechanised caving mining face[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2000, 31(5): 508-510.
- [16] 林超. 煤层分岔区夹矸下动压煤巷支护技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.