

错层位综放开采采场覆岩结构 及大“O”形圈特性分析

张俊文^{1,2}, 王国龙¹, 王 鹏¹, 吴 波¹, 吕亚伟¹, 赵景礼¹

(1. 中国矿业大学 资源与安全工程学院, 北京 100083;

2. 黑龙江科技学院 资源与环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

摘 要:通过分析错层位开采采场覆岩结构特点得出,错层位开采采场覆岩结构按接续工作面开采前后可划分为开采前、开采时及开采后3个时期。开采前采场覆岩结构为“O”形,开采时为“L”形,开采后为大“O”形。在此基础上,进一步阐述了错层位开采大“O”形圈的形成原理及特性。通过相似模拟试验,验证了错层位开采相邻工作面之间的顶板垮落是一个连续的整体。研究表明,错层位开采能减少瓦斯抽采钻孔的布置数目并降低由于地表沉降带来的危害。

关键词:错层位开采;覆岩结构;大“O”形圈;相似模拟

中图分类号:TD823

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2011)04-0010-07

Structure of Overlying Strata in Fully Mechanized Sublevel Caving Faces with Stagger Arrangement and Characteristics of Large O-shaped Circle

ZHANG Junwen^{1,2}, WANG Guolong¹, WANG Peng¹, WU Bo¹, LV Yawei¹, ZHAO Jingli¹

(1. College of Resources and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;

2. College of Resources and Environmental Engineering, Heilongjiang Institute
of Science and Technology, Harbin, Heilongjiang 150027, China)

Abstract: It is thought that the structures of overlying strata in fully mechanized sublevel caving faces with stagger arrangement can be divided into three stages, i. e. before mining, in mining and after mining by analysis of mining with stagger arrangement. The structure of overlying strata before mining is O-shaped circle, in mining is L-shaped arch, and after mining is large O-shaped circle. On this basis, the forming principle and its features of large O-shaped circle induced by stagger mining were further expounded. Through the similarity simulation experiment, it was verified that the roof caving between nearby working faces was a continuous entirety. The results showed that stagger mining could reduce the numbers of gas drainage holes and the harms of surface subsidence

Key words: stagger arrangement mining; structure of overlying strata; large O-shaped circle; similarity simulation

错层位巷道布置采全厚采煤法^[1](简称错层位开采)是一种新型采煤方法,近年来,其工艺及技术不断发展。许多矿井的生产实践表明,该采煤法能够显著提高工作面回采率、降低掘进及维护成本、利于通风排放瓦斯、消除煤层自然发火隐患^[2]。同时,有很多矿区煤层条件适合采用错层位开采工艺技术,但由于没有成熟的错层位采场矿压理论支持且对采场覆岩结构等特点不甚了解,而推迟了对该项技术的应用。

收稿日期:2011-04-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51074068);黑龙江省教育厅基金重点项目(11551z013);黑龙江省教育厅基金项目(11553087)。

作者简介:张俊文(1977—),男,内蒙古凉城人,讲师,博士研究生,主要从事矿山压力与控制方面的研究。

E-mail: zhangjunwen1977@163.com.

传统开采方法在区段工作面之间需留设区段保护煤柱(包括宽煤柱和小煤柱)或采用充填材料形成柱墙,如图 1(a)所示。这一特性决定了传统的采场覆岩结构^[3]及相邻工作面间采动裂隙分布特点^[4]区别于错层位开采技术。错层位开采是将工作面区段进风巷和回风巷布置于厚煤层的不同层位,使其中一条区段平巷处于上一工作面开采后的稳定矸石中,取消了直接连接顶底板的煤柱,只留有少量的三角煤柱,如图 1(b)所示。这一开采方法必然会引起传统采场覆岩结构、矿压显现规律等一系列变化。鉴于此,本研究在错层位开采采场矿压观测的基础上,结合实验室相似模拟技术研究了错层位开采采场的覆岩结构特点及相邻工作面间采动裂隙分布特点,进而分析大“O”形圈形成机理及特性,为该项技术的进一步推广奠定理论基础。

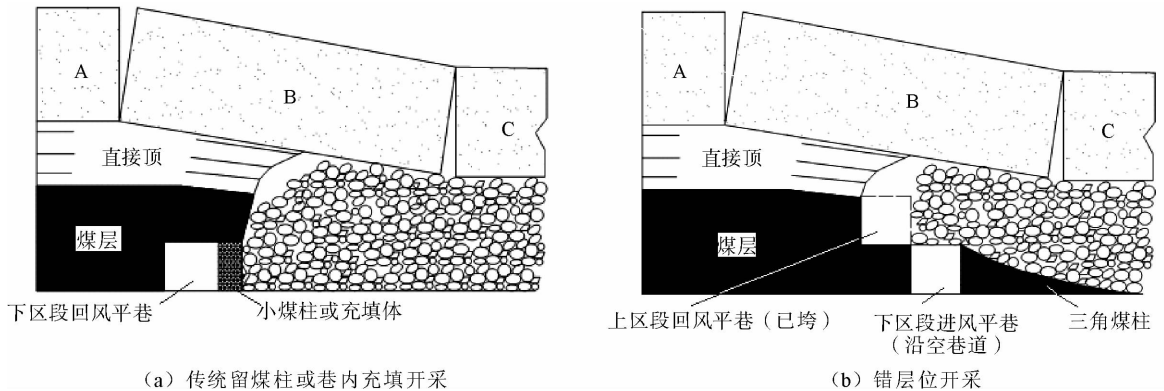


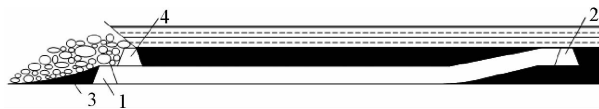
图 1 传统开采与错层位开采方法对比图

Fig. 1 The comparison of conventional mining and stagger arrangement mining

1 工程背景

1.1 工作面地质条件

山西省西山煤电股份有限公司镇城底矿 18111 工作面及接续工作面 18111-1,长度 120 m,煤层平均厚度 5 m,平均倾角 8°,煤层赋存稳定。直接顶为 1.79 m 的石灰岩,老顶为粉砂岩,厚度为 2.31 m;底板为 1.1 m 的细粒砂岩。工作面采用错层位巷道布置,如图 2 所示。18111 工作面进风巷沿煤层底板,回风巷沿顶板布置;18111-1 工作面为接续工作面,其进风巷布置于 18111 工作面回风巷靠近采空区一侧。



1. 18111-1 工作面区段进风巷;2. 18111-1 工作面区段回风巷;3. 三角煤柱;4. 18111 工作面区段回风巷(已垮)。

图 2 错层位开采巷道布置图

Fig. 2 The roadway layout of stagger arrangement mining

1.2 现场实测

在 18111-1 工作面内,沿倾斜方向(从进风巷至回风巷看)分别布置 3 个测区以观测支架工作阻力;在接续工作面 18111-1 进风巷布置深基钻孔记录顶板及两帮的位移量;两巷超前压力观测方法是在两巷超前段设置 5 个超前支承压力观测站,用装有圆图压力自记仪的单体液压支柱来记录两巷支承压力超前范围。经观测,将结果整理如图 3、图 4 所示。

现场观测结果表明,错层位采场矿压显现及两巷变形破坏具有如下特征:①沿工作面倾斜方向,工作面

支架初撑力、末阻力及加权平均阻力呈现递减趋势。即靠近上一工作面采空区侧顶板压力较大,中部较小,回风巷侧更小。②进风巷的超前支承压压力小于回风巷超前支承压压力。③进风巷的变形量稍大于回风巷。

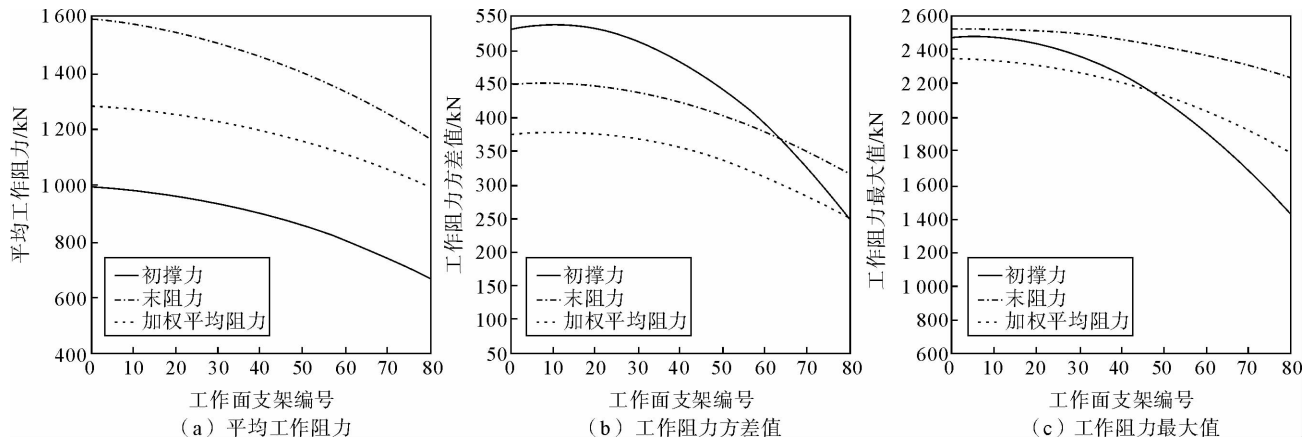


图3 18111-1工作面支架工作阻力图

Fig. 3 The working resistance of supports in face No. 18111-1

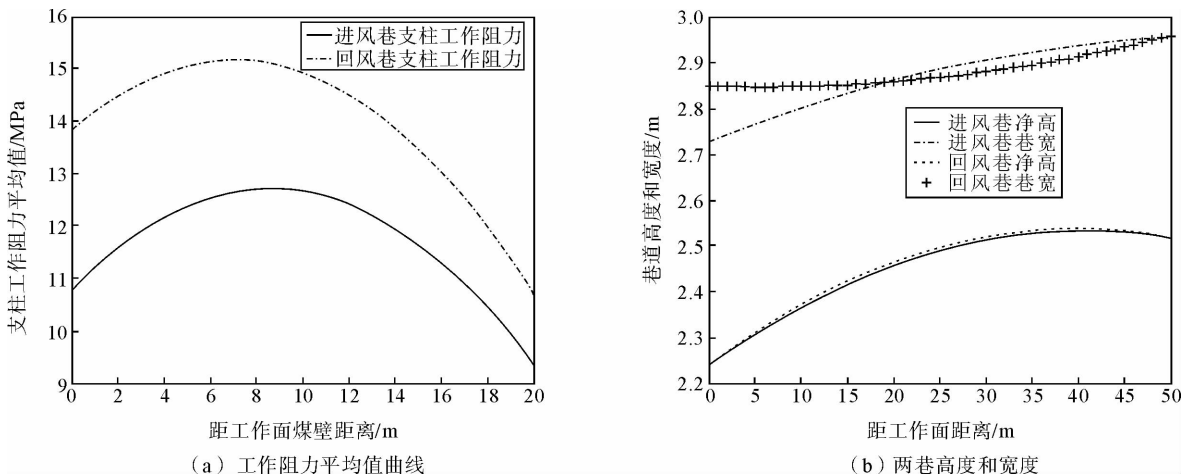


图4 18111-1工作面两巷工作阻力及变形图

Fig. 4 The working resistance of two roadways and deformation in face No. 18111-1

2 采场覆岩结构特点

2.1 传统开采采场覆岩结构

传统开采方法在区段工作面之间需留设区段保护煤柱(包括宽煤柱和小煤柱)或采用充填材料形成柱墙。小煤柱护巷工作面较为典型的空结构为“S”形^[3],该结构在老顶初次垮落后形成,一端架在工作面煤壁和侧向实体煤上方(以岩层断裂线为界),另一端架在采空区矸石上(触矸线)。宽煤柱护巷的工作面形成“O”形空结构。由充填材料构成柱墙的空结构与小煤柱类似,仍为“S”形。不论是哪种工作面护巷方式,其柱墙均对上覆岩层起承载作用,老顶岩层以柱墙为支撑点发生回转变形^[5-9]。因此,柱墙的稳定性的也就成了传统开采方法研究的难题。在综放开采时,为防止充填体上方顶煤抽顶,要在端头处有一段距离不放顶煤(不小于6 m)和垮落带顶板岩层一起在采空区一侧形成碎胀空间,作为老顶断裂岩块的支撑体,还可使老顶回转后能尽快触矸,形成具有自稳能力的承载结构^[10]。煤柱支撑时有类似结果:随着工作面的推进,柱墙

往往破坏失稳,但失稳后的柱墙仍以某种结构形式支撑着上覆岩层,加之端头一段不放顶煤垮落后仍以松散体结构存在,使得此处上覆岩层的下沉量要小于其他位置处的下沉量。假设顶煤厚度为 h ,顶煤碎涨系数为 K ,则煤柱处与非煤柱处的顶板下沉量差别至少为 $K \times h$ 。

2.2 错层位开采采场覆岩结构

根据镇城底矿 18111-1 工作面开采的矿压显现及两巷变形破坏特征分析结果,将错层位采场覆岩结构按接续工作面开采前后可划分为 3 个时期,分别为开采前、开采时及开采后。开采前老顶的破断特征及覆岩结构(图 5)仍符合“O—X”形破断规律及砌体梁理论,老顶破断后形成“O”形空间结构。当接续工作面与上一工作面形成错层位搭接并进行开采时,随着工作面的推进,上一工作面的弧形三角板发生铰接下沉,即相邻工作面顶板之间呈现连续的垮落铰接结构,如图 6 所示。需要注意的是,接续工作面进风巷道是在上一工作面采空区内冒落矸石稳定的条件下开掘的,这种巷道布置属于完全沿空巷道形式,区别于传统留小煤柱沿空巷道。此时的顶板从初次垮落前的三边固支发展到了初次垮落后的两边固支,两固支端分别为工作面前方实体煤和工作面回风巷一侧的实体煤,靠近上一工作面采空区侧为非固支端,老顶垮落后形成“L”形空间结构,这种空间结构也就是现场观测结果特征第一条的原因所在。另外,该巷道顶部为直接顶垮落矸石,其上为形成铰接结构的老顶,老顶的应力通过压力拱的作用向两侧拱脚传递。当接续工作面开采结束后,相邻工作面之间顶板垮落铰接结构呈连续状,类似于超长工作面^[11]。其长度为两个工作面的倾斜长,采场覆岩空间结构为大“O”形。对比传统留煤柱或充填开采,由于错层位开采将顶煤采出,煤柱处顶板下沉量增加 $K \times h$ 。

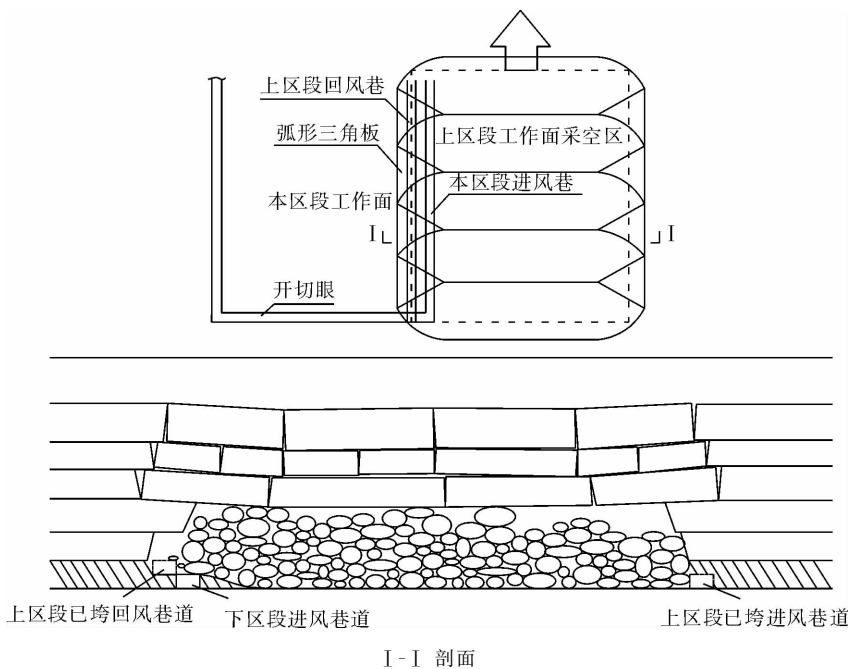


图 5 接续工作面开采前覆岩结构示意图

Fig. 5 The structural sketch of overlying strata before mining of following face

3 大“O”形圈特性分析

采动裂隙“O”形圈^[4]由采空区上方的离层裂隙形成,且离层区主要分布在工作面四周煤柱侧。“O”形圈是瓦斯流动的通道和贮存空间,在此空间内进行瓦斯抽采可达到预期的效果,这也在淮南矿区的生产实践中得到了证明^[12]。传统开采方法由于留设区段保护煤柱,致使每一工作面均存在独立的“O”形圈,在煤柱两侧的离层裂隙中分别布置瓦斯抽采钻孔也就成为必然。错层位开采两相邻工作面之间由于形成了搭接,即首

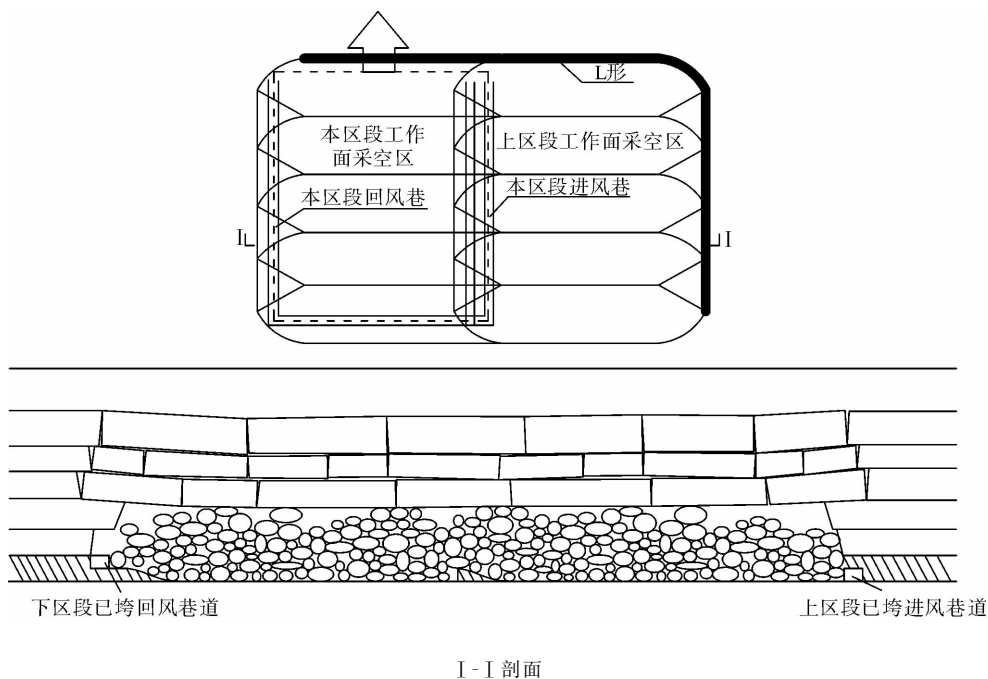


图 6 接续工作面开采时覆岩结构示意图

Fig. 6 The structure sketch of overlying strata in mining of following face

采工作面的离层裂隙为下一相邻工作面所共用,首采工作面结束后形成的“O”形圈在下一相邻工作面开采时,在经过采空区垮落矸石重新压实后,变成了沿煤层倾斜方向不断扩大的“O”形圈,相邻工作面开采结束后,又形成了范围达两个工作面倾斜长度的大“O”形圈,如图 7 所示。这种开采方法明显减少了瓦斯抽采钻孔的布置数目。如前所述,大“O”形圈的形成与顶板的连续垮落铰接有关,而顶板的连续垮落在开采沉陷中属于充分采动。充分采动下的地表表现为平底状,不像有煤柱条件下的地表呈波浪状,这种情况又降低了由于开采沉陷而引起的危害。

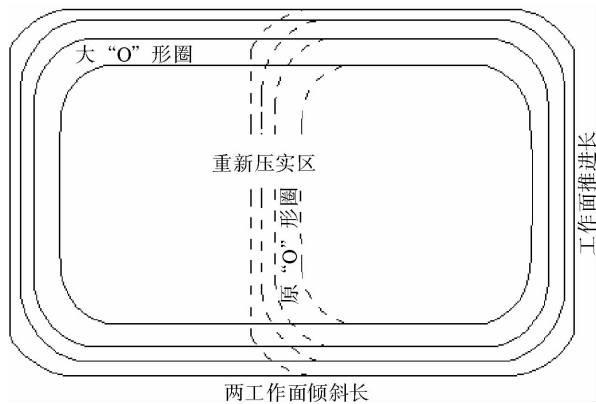


图 7 大“O”形圈示意图

Fig. 7 The sketch of large O-shaped circle

4 相似材料模拟

4.1 模型设计

根据煤层赋存条件及实际巷道尺寸,模型几何相似比为 100 : 1,密度比为 1.5 : 1,试验采用平面应力模型。模型尺寸(长×宽×高)为 1.6 m×0.16 m×1.3 m,上覆岩层的作用采用外力补偿法来实现。模拟岩层的密度及强度如表 1 所示,工作面布置如图 8 所示。

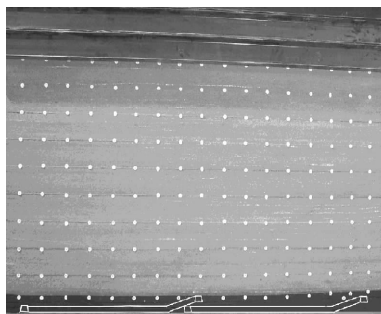


图 8 错层位开采工作面布置图

Fig. 8 The layout of working face with stagger arrangement

表 1 相似模拟试验岩层参数表

Tab. 1 The parameters of strata in the similarity simulation experiment

层位	岩性	原型厚度/m	原型抗压强度/MPa	原型容重/(g/cm ³)	模拟抗压强度/MPa	模拟容重/(g/cm ³)
1	石灰岩	8.86	53.1	2.50	0.354	1.67
2	7#煤	0.93	23.0	1.45	0.153	0.97
3	泥岩	2.10	21.3	2.52	0.142	1.68
4	石灰岩	3.00	53.1	2.50	0.354	1.67
5	砂质泥岩	6.41	52.2	2.76	0.348	1.84
6	粉砂岩	3.66	41.0	2.55	0.273	1.70
7	砂质泥岩	1.43	52.2	2.76	0.348	1.84
8	7#下煤	2.33	21.0	1.45	0.140	0.97
9	粉砂岩	2.31	41.0	2.55	0.273	1.70
10	石灰岩	1.79	53.1	2.50	0.354	1.67
11	8#煤	5.00	18.0	1.37	0.120	0.91
12	细粒砂岩	2.53	73.6	2.72	0.490	1.81

4.2 试验结果及分析

由图 9(a)可看出,首采工作面开采结束后,顶板垮落呈砌体梁结构,工作面两巷处上覆垮落岩层产生离层裂隙,这一离层裂隙与开切眼及工作面后方顶板垮落裂隙构成“O”形圈,与传统开采方法相同。随着接续工作面的开采到侧向顶板垮落后(图 9(b)),两个工作面的顶板成为一个连续的垮落结构,原离层裂隙不断向前发展,形成一个不断扩大的“O”形圈,工作面继续推进,采空区垮落带高度增加,连续的垮落结构仍继续形成,即工作面搭接处顶板同样破坏(图 9(c)),当工作面沿倾斜方向开采完所有的区段后,不断扩展的离层裂隙最终形成一个大“O”形圈。错层位采场相邻工作面之间无如图 10 所示的传统开采方法覆岩结构形式,即煤柱上方顶板基本保持完整,各工作面之间相对独立。

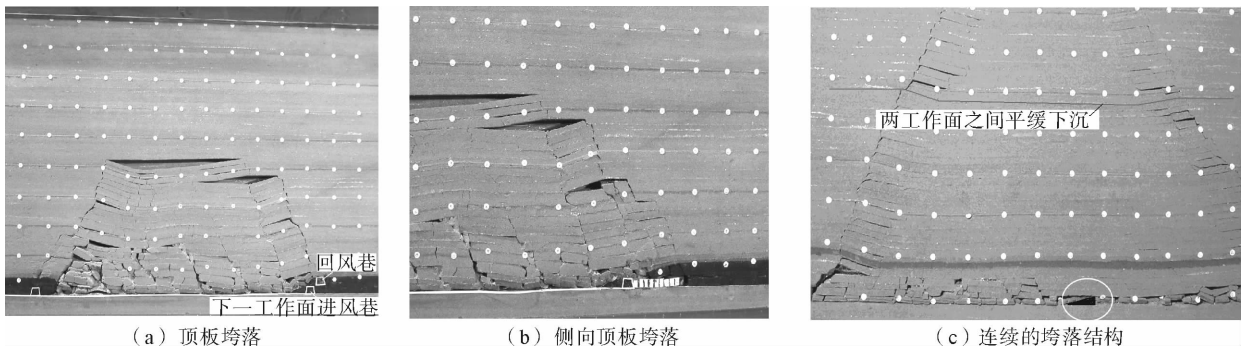


图 9 错层位开采采场上覆岩层结构图

Fig. 9 The structure of overlying strata in stagger arrangement mining

5 结论

1) 错层位采场矿压显现及两巷变形破坏具有 3 个特征:①沿工作面倾斜方向,靠近上一工作面采空区侧顶板压力较大,中部较小,回风巷侧更小;②进风巷的超前支承压力小于回风巷超前支承压力;③进风巷的变形量一般稍大于回风巷。

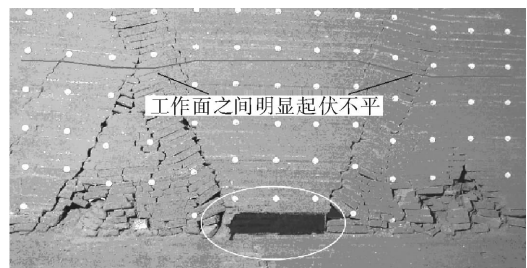


图 10 传统开采采场上覆岩层结构图

Fig. 10 The structure of overlying strata in traditional mining

2) 错层位开采采场覆岩结构按接续工作面开采前、开采时及开采后划分为3个时期。开采前采场覆岩结构为“O”形, 开采时为“L”形, 开采后为大“O”形。其中, “L”形空间结构是结论1)中第一条原因所在, 可提高综放端头顶煤的冒放性。

3) 错层位开采采动裂隙分布为大“O”形圈, 该开采方法可明显减少瓦斯抽采钻孔的布置数目。

4) 相似模拟试验进一步验证了错层位开采相邻工作面之间的顶板垮落是一个整体, 与现场观测及理论分析结果一致。

参考文献:

- [1] 赵景礼. 厚煤层错层位巷道布置采全厚采煤法[P]. 中国, ZL98100544. 6, 2002-01-23.
- [2] 赵景礼. 厚煤层全高开采新论[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [3] 姜福兴, 张兴民, 杨淑华, 等. 长壁采场覆岩空间结构探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 979-983.
JIANG Fuxin, ZHANG Xingmin, YANG Shuhua, et al. Discussion on overlying strata spatial structures of longwall in coal mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(5): 979-983.
- [4] 钱鸣高, 许家林. 覆岩采动裂隙分布的“O”形圈特征研究[J]. 煤炭学报, 1998, 23(5): 466-469.
QIAN Minggao, XU Jialin. Study on the “O-shape” circle distribution characteristics of mining induced fractures in the overlying strata[J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(5): 466-469.
- [5] 谢广祥, 杨科, 常聚才. 煤柱宽度对综放面围岩应力分布规律影响[J]. 北京科技大学学报, 2006, 28(11): 1005-1008.
XIE Guangxiang, YANG Ke, CHANG Jucui. 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): 1005-1008.
- [6] 李化敏. 沿空留巷顶板岩层控制设计[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 651-654.
LI Huamin. Control design of roof rocks for gob-side entry[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(5): 651-654.
- [7] 谢文兵. 综放沿空留巷围岩稳定性影响分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(18): 3059-3065.
XIE Wenbing. Influence factors on stability of surrounding rocks of gob-side entry retaining in top-coal caving mining face[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(18): 3059-3065.
- [8] 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.
- [9] 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(1): 1-6.
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(1): 1-6.
- [10] 张东升, 马立强, 缪协兴, 等. 综放沿空留巷围岩变形影响因素的分析[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(1): 11-6.
ZHANG Dongsheng, MA Liqiang, MIAO Xiexing, et al. Factor analysis on deformation of gob-side entry retaining with entry-in packing in top-coal caving mining face[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2006, 35(1): 1-6.
- [11] 缪协兴, 钱鸣高. 超长综放工作面覆岩关键层破碎特征及对采场矿压的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(1): 45-47.
MIAO Xiexing, QIAN Minggao. Broken feature of key strata and its influence on rock pressure in super-length fully mechanized coal face[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(1): 45-47.
- [12] 袁亮. 卸压开采抽采瓦斯理论与煤与瓦斯共采技术体系[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 1-8.
YUAN Liang. Theory of pressure-relieved gas extraction and technique system of integrated coal production and gas extraction[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(1): 1-8.