

近距离煤层同采巷道混合布置参数分析

鲁岩^{1,2}, 刘长友^{1,2}

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 深部煤炭资源开采教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要:为探讨近距离煤层同采时回采巷道的布置方式与参数,分析了近距离煤层回采巷道不同布置方式的优缺点及适用条件,根据泉店煤矿东翼11采区的地质赋存条件及矿井生产现状,确定其近距离煤层回采巷道采用混合布置方式。依据上煤层开采后采空区边缘与下煤层巷道之间的弹塑性分布区与应力梯度分布状况,以及巷道围岩表面变形量,分别确定下煤层上巷相对上煤层上巷向上平错20 m,下煤层下巷相对上煤层下巷向上平错10 m。在泉店煤矿东翼11采区首采面进行近距离煤层同采巷道混合布置的应用与实测,现场实测表明巷道变形量得到有效控制,说明其同采巷道布置合理。

关键词:近距离煤层;同采;混合布置;弹塑性分布区;应力梯度

中图分类号:TD823.83

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)03-0068-10

Mixed Layout Parameters of Simultaneous Mining Roadways in Close Multiple-seam

Lu Yan^{1,2}, Liu Changyou^{1,2}

(1. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;

2. Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining of Ministry of Education, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: In order to get reasonable layouts and parameters of simultaneous mining gateroads in close multiple-seam, advantages, disadvantages and application conditions of different gateroad layouts in close multiple-seam were analyzed in this study. Setting the east wing No. 11 mining section of Quandian Mine as the analytical goal, this paper shows that mixed layout methods in its close multiple-seam should be applied based on its geological conditions and production situations. According to the elastic-plastic distribution area and the stress gradient between gob edge in upper seam and gateroads in lower seam as well as the surrounding rock deformation of the roadways, it was determined that the tailgate in lower seam should have a horizontal heave of 20 m upward in relation to tailgate in upper seam, and headgate in lower seam should have a horizontal heave of 10 m upward in relation to headgate in upper seam. Field application and measurement of mixed-layout gateroads were also conducted at the first mining panel in east wing No. 11 section of Quandian Mine. The results show that the deformation of gateroads is effectively controlled, testifying the reasonability of the layout of simultaneous mining gateroads.

Key words: close multiple-seam; simultaneous mining; mixed layout; elastic-plastic contribution area; stress gradient

我国赋存的近距离煤层相当普遍,回采时常采用联合布置^[1-3],可采用“分层分采”与“分层同采”两种开

收稿日期:2014-12-12

基金项目:国家自然科学基金项目(51174192);江苏省“333 高层次人才培养工程”专项资助;江苏高校优势学科建设工程资助项目

作者简介:鲁岩(1980—),男,江苏徐州人,副教授,博士,主要从事矿山压力及其控制方面的研究。

E-mail: luyancumtgz@126.com

采方式;在上薄下厚煤层群赋存条件下,考虑到矿井的生产能力与工作面的接替,常采用“分层同采”的联合开采方式^[4-5]。由于煤层间距小,近距离煤层群同采时,开采引起的本煤层以及煤层之间的复杂应力场和位移场将导致巷道失稳、工作面顶板冒矸、支架折损等问题^[6-9]。布置在下煤层中的回采巷道,由于受到多次动压影响,变形量大,特别是当巷道布置与各煤层开采的时空关系不合理时尤其严重,维护困难,一定程度上影响了矿井的安全生产和经济效益^[10-11]。

本研究针对近距离煤层同采巷道布置,以泉店煤矿东翼 11 采区为工程地质背景,总结了不同开采方式、不同巷道布置的优缺点,分析了同采巷道混合布置的合理时空关系,并现场实测了巷道的围岩变形规律,为近距离煤层同采巷道的混合布置提供理论依据与工程示范。

1 近距离煤层回采巷道布置方式

1.1 回采巷道布置方式及其特点

近距离煤层无论是采用分层分采还是分层同采,回采巷道布置方式是制约成功开采的关键。尤其是近距离煤层同采,布置在下煤层中的回采巷道受到多次采掘影响,如何最大程度地减小或避开采掘动压影响,巷道布置对巷道稳定性控制起到至关重要的作用。因此本研究针对神火集团泉店煤矿的具体地质条件,寻求合理的巷道布置方式,以达到开采的安全性及高效性。

近距离煤层不同开采方式的回采巷道布置有以下三种形式:①外错布置;②内错布置;③混合布置。不同回采巷道布置方式的主要区别,在于下煤层回采空间与上煤层回采空间之间的相对位置。对于不同的布置方式,回采巷道在掘进与回采过程中,受到的矿山压力各不相同,巷道的矿山压力显现有较大区别,需采用不同的巷道支护措施。回采过程中留设的区段煤柱宽度有很多差别,影响着采区的煤炭采出率和生产效益。表 1 从矿山压力、采区采出率等角度总结了它们的特点。

表 1 近距离煤层回采巷道不同布置方式特点

Tab. 1 Characteristics of different layouts of roadways in close seam

布置方式	开采方式	优点	缺点	适用条件
外错布置	分层分采	上、下煤层回采的相互采动影响较小	①上煤层的采出率较低 ②不利于工作面接替	①矿井的生产压力小 ②上煤层薄、价值低
	分层同采	上、下煤层回采的相互采动影响较小	上煤层的采出率较低	①矿井的生产压力大 ②上煤层薄、价值低
内错布置	分层分采	下煤层巷道布置于采空区下方,有利于巷道维护	①下煤层的采出率较低 ②不利于工作面接替	①矿井的生产压力小 ②下煤层薄、价值低
	分层同采	工作面接替容易	①下煤层的采出率较低 ②下煤层巷道受上煤层回采的动压影响	①矿井的生产压力大 ②下煤层薄、价值低
交错布置	分层分采	①上、下煤层的采出率都较高 ②下煤层巷道布置于采空区下方,有利于巷道维护	不利于工作面接替	①矿井的生产压力小 ②上、下煤层价值均高
	分层同采	①上、下煤层的采出率都较高 ②下煤层巷道一条布置于采空区下方,有利于巷道维护	下煤层巷道一条布置于上工作面下方,受上煤层回采的动压影响	①矿井的生产压力大 ②上、下煤层价值均高

1.2 泉店煤矿近距离煤层回采巷道布置方式

河南神火集团泉店煤矿东翼 11 采区,可采煤层为二₁煤层与二₃煤层。二₁煤层上部为二₃煤层,两层煤间距 4.0~11.6 m,平均 8 m。二₁煤层倾角 23°~27°,平均 25°;煤厚 4.2~9.3 m,平均 6.2 m;煤的坚固

性系数 $f=0.15$; 低瓦斯, 具有煤尘爆炸性, 不易自燃。二₃ 煤层倾角 $23^{\circ}\sim 27^{\circ}$, 平均 25° ; 煤厚 $0\sim 1.8\text{ m}$, 平均 1.5 m ; $f=0.15$; 低瓦斯, 具有煤尘爆炸性, 不易自燃。煤层顶底板综合柱状图见图 1。

柱状	岩石名称	真厚/m	岩性描述
— — — — —	泥岩	5	深灰色、略含铝土质、间夹薄层粉砂岩
...	细砂岩	9	浅灰-深灰色, 主要成分为石英、长石, 暗色矿物, 硅泥岩质胶结, 分选中等, 含深灰色泥质条带
— — — — — — — — — — — — — — —	泥岩	10	深灰-灰色, 含少量植物化石碎片, 夹薄层粉砂岩
...	细砂岩	6.5	灰色, 主要成分为石英、长石, 暗色矿物, 硅泥岩质胶结, 分选中等
— — — — —	泥岩	7	深灰色, 含少量植物化石及黄铁矿, 夹薄层粉砂岩
■	二 ₃ 煤层	1.5	灰黑色, 粉状, 以亮煤为主, 金属光泽, 呈光亮型
■	泥岩	1	黑灰色, 含少量植物化石
...	细砂岩	5	灰色, 主要成分为石英、长石, 硅泥岩质胶结
— — — — —	泥岩	2	黑灰色, 含大量植物化石
■	二 ₂ 煤层	6.2	黑色, 粉状, 以亮煤为主, 暗煤次之, 金属光泽, 呈光亮型
— — — — —	泥岩	2	黑灰色, 含植物化石及黄铁矿结核, 间夹薄层砂岩
...	细砂岩	8	深灰色, 主要成分为石英、长石, 暗色矿物, 硅泥岩质胶结, 分选中等。含泥岩包体。

图 1 煤层顶底板综合柱状图

Fig. 1 Comprehensive geological histogram of roof and floor of coal seam

11 采区设计上山布置于采区中部, 由于矿井生产压力大, 如果按设计掘进上山形成系统后, 再掘进回采巷道, 工作面难以接替, 因此在采区边界布置辅助上山。为了提高泉店煤矿 11 采区的采出率, 近距离煤层回采巷道布置时采用混合布置; 为解决工作面接替困难的局面, 11 采区先回采最下面一个工作面, 且二₃、二₁煤层同时回采。回采时加强下煤层工作面下巷的超前支护。

首采面同时开采二₁-11070、二₃-11070 工作面, 位于 11 采区下部, 东邻 11 采区三条上山, 西邻 11 采区三条辅助上山, 上邻 11030 工作面(未开采), 下邻 -540 水平胶带大巷, 地面标高 $+112.2\sim +113.4\text{ m}$ 。二₁-11070 采面井下标高在 $-465\sim -521\text{ m}$ 之间, 二₃-11070 采面井下标高在 $-444.2\sim -521.5\text{ m}$ 。

2 近距离煤层同采巷道混合布置参数优化研究

根据现场实际生产需要及以上分析, 泉店煤矿 11 采区先回采最下面一个工作面, 其工作面布置的立体示意图见图 2。

近距离煤层同采, 回采巷道混合布置时, 只要同采工作面的错距 L_c 合理, 则上煤层回采巷道易于维护。下煤层回采巷道因受到上工作面与本工作面两次采动影响, 维护较为困难, 为减小多次采动的叠加影响, 关键在于下煤层回采巷道与上煤层采空区边缘的平错距离, 即图 2 中的 L_{sx1} 与 L_{sx2} 。因此本研究采用 FLAC 数值模拟进行参数优化研究。

2.1 模型建立及参数选取

根据现场地质状况建立数值分析模型如图 3。

结合泉店煤矿地质报告与巷道围岩地质力学测试研究报告等相关资料, 可以得到模拟所需的物理力学参数。最终得到的巷道围岩的物理力学参数如表 2 所示。

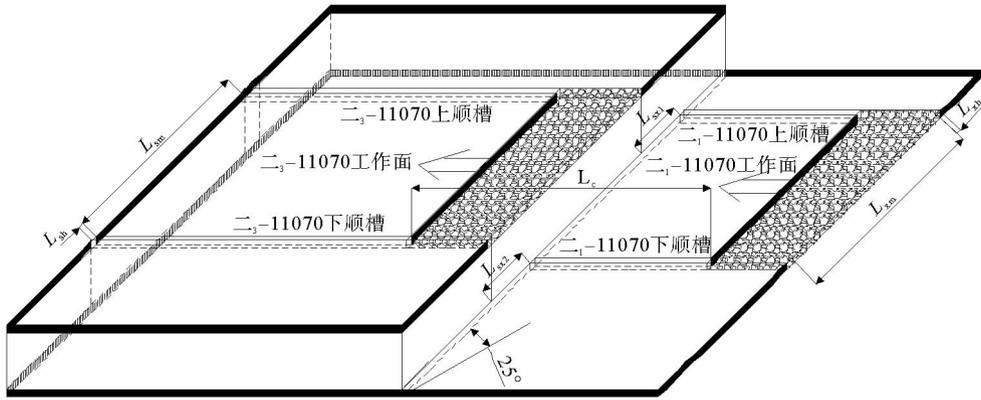
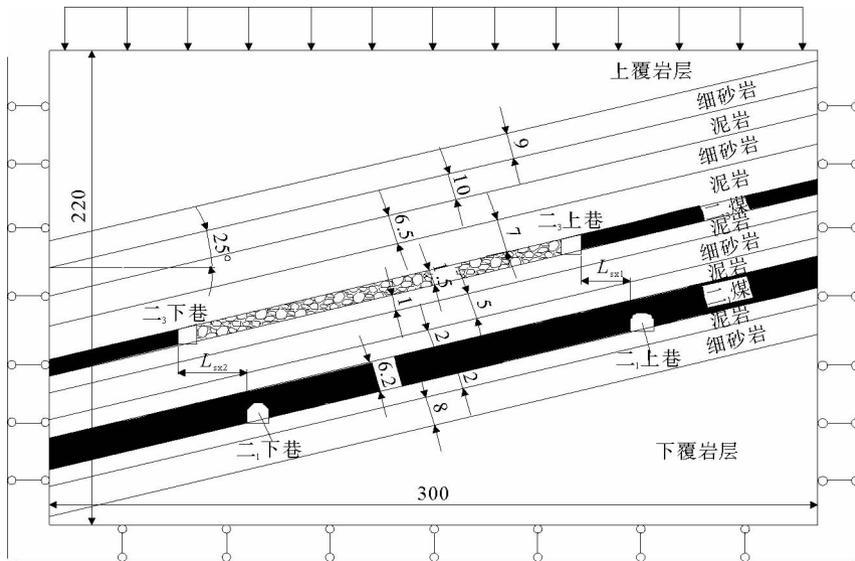


图2 泉店煤矿11采区首采面布置示意图

Fig. 2 Layout of the first panel in No. 11 mining section of Quandian Mine



单位:m

图3 数值模拟的物理模型示意图

Fig. 3 Numerical simulation of the physical model

表2 岩体的物理力学参数

Tab. 2 Physical and mechanical parameters of rock strata

岩层	体积模量 K/GPa	剪切模量 G/GPa	密度 $d/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	粘结力 C/MPa	抗拉强度 t/MPa
上覆岩层	15.0	10.0	2 300	35	4.0	4.0
细砂岩	17.0	10.0	2 500	30	3.5	3.0
泥岩	6.0	3.6	2 400	27	0.9	0.7
细砂岩	16.0	9.6	2 500	30	2.5	2.5
泥岩	7.0	4.0	2 400	27	0.9	0.7
二 ₃ 煤	0.3	0.2	1 430	10	0.1	0.1
泥岩	7.0	4.0	2 400	26	0.8	0.8
细砂岩	16.0	9.6	2 500	30	2.5	2.5
泥岩	7.0	4.0	2 400	27	0.9	0.7
二 ₁ 煤	0.3	0.2	1 420	10	0.1	0.1
泥岩	7.0	4.0	2 300	28	1.0	0.9
细砂岩	17.0	10.0	2 500	30	3.5	3.0
下覆岩层	15.0	10.0	2 500	35	4.0	4.0

2.2 上巷之间的合理距离

在上煤层开采后,随下煤层上巷距上煤层采空区边缘的距离 L_{sx1} 变化时,下煤层上巷围岩塑性区分布见图 4,巷道表面最大位移矢量数值变化见图 5。

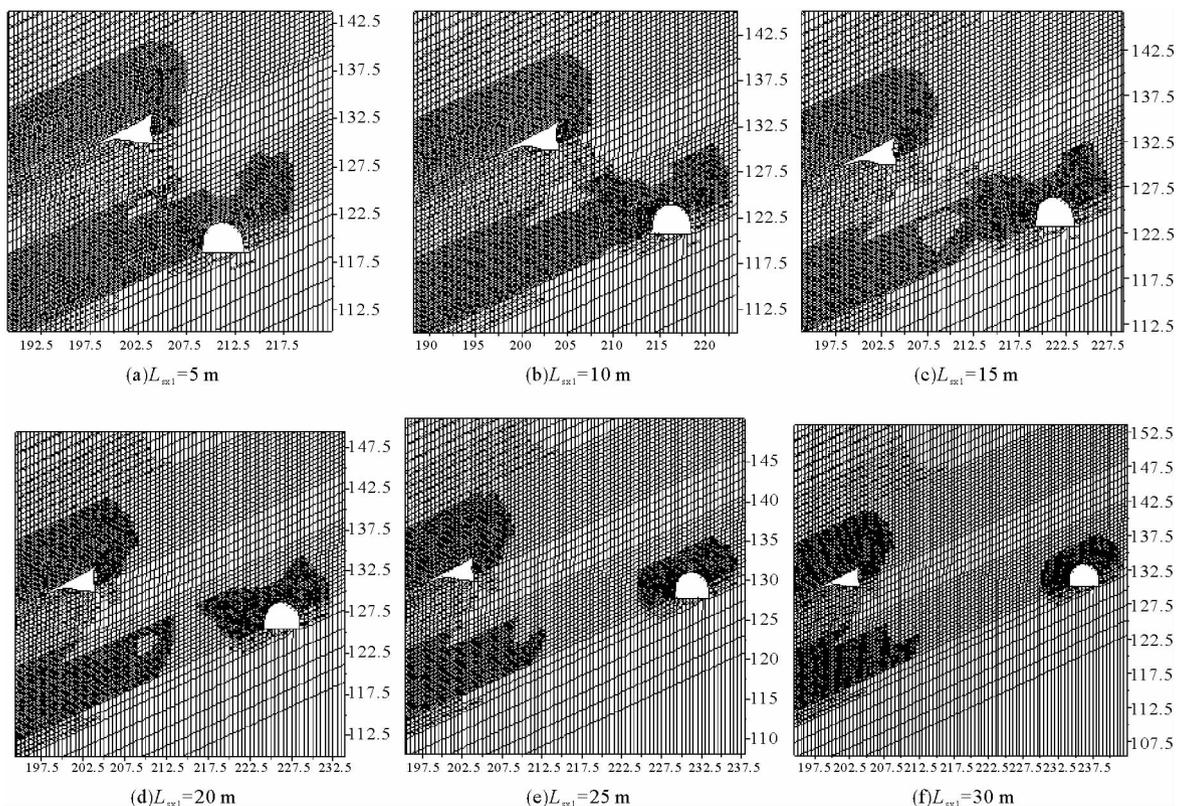


图 4 距上煤层采空区不同距离时下煤层上巷围岩塑性区范围

Fig. 4 The plastic area of tailgate surrounding rock in lower seam at different distances from gob in upper seam

从图 4 可见,随下煤层上巷距上煤层采空区边缘的距离 L_{sx1} 增大,巷道围岩塑性区逐渐变化,当 $L_{sx1} < 20$ m 时,巷道围岩塑性区与上煤层采动形成的底板塑性区连成一片;当 $L_{sx1} \geq 20$ m 时,巷道围岩塑性区与上煤层采动形成的底板塑性区之间存在一定距离的弹性区,并且随 L_{sx1} 增大,弹性区范围逐渐增大。

由图 5 可见,随下煤层上巷距上煤层采空区边缘的距离 L_{sx1} 增大,巷道表面最大位移矢量数值逐渐减小,并且在 $L_{sx1} = 20$ m 时存在拐点。

综上所述,下煤层上巷距上煤层采空区边缘的距离 L_{sx1} 取 20 m。

2.3 下巷之间的合理距离

巷道顶板在受到非均匀应力时,巷道顶板内的应力分布不均匀,易导致顶板局部应力太大而首先产生破

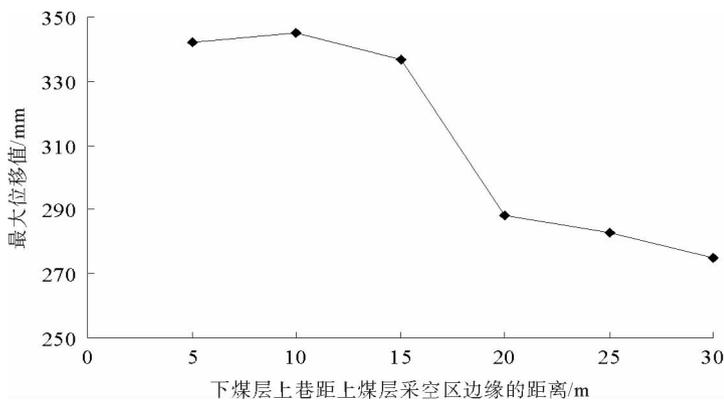


图 5 距上煤层采空区不同距离时下煤层上巷表面最大位移矢量数值变化
Fig. 5 The maximum displacement vector of tailgate roof surface in lower seam at different distances from gob in upper seam

坏;同时非均匀应力也会使巷道两帮变形不协调,导致变形较大的帮先失稳。因此本节首先分析了非均匀应力条件下巷道顶板受力状态,然后根据数值模拟的垂直应力梯度与巷道变形量确定下巷之间的合理距离。

2.3.1 非均匀应力条件下巷道顶板受力分析

上位煤层的开采破坏了原岩应力平衡状态,使应力重新分布,在煤体下方产生应力集中的同时,也造成下位煤层顶板应力呈现出明显的非均匀分布特征。不均匀受压容易产生横向拉应力,当横向拉应力达到或超过巷道周边围岩体的抗拉强度时,巷道发生破坏。

以矩形或梯形巷道为例,把巷道顶板简化成两端固支的梁,构建如图6所示的力学模型,分别对巷道在均匀压力和非均匀压力下进行分析。

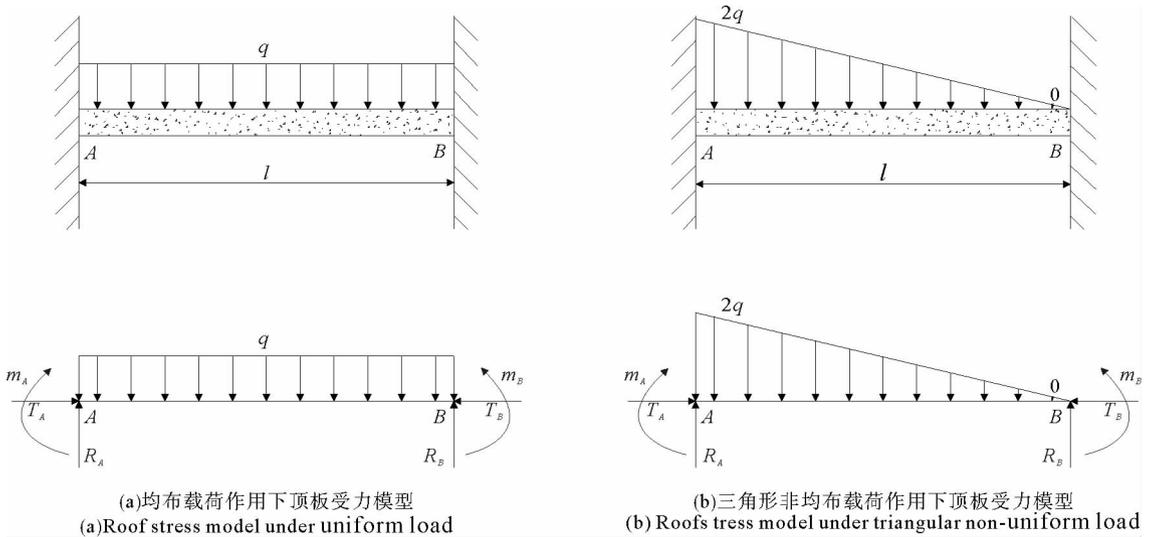


图6 巷道顶板受力分析模型

Fig. 6 Roof stress analysis model of roadway

图6(a)中巷道顶板受到均布载荷 q 的作用,顶板受到的合力为 ql ;图6(b)中巷道顶板受到的三角形非均布载荷的作用,顶板受到的合力也为 ql 。 l 为巷道顶梁长度, m_A, m_B 为巷道两帮受到的力矩, T_A, T_B 为巷道两帮受到的水平力, R_A, R_B 为巷道两帮对顶板的作用力, W 为梁的抗弯截面模量。

根据超静定问题求解方法,可列平衡方程得:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x = 0, \sum F_y = 0 \\ \sum M_A = 0, \sum M_B = 0 \\ \sum v_A = 0, \sum v_B = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

图6(a)两端受均布载荷作用的固支梁,根据式(1)可得 $R_A = R_B = \frac{1}{2}ql$, $m_A = m_B = -\frac{1}{12}ql^2$ 。然后根据截面法可得最大弯矩发生在梁的两端, $M_{\max} = -\frac{1}{12}ql^2$ 。因此,受均布载荷作用的固支梁最大拉应力发生在梁的两端,其值为: $\sigma_{\max} = -\frac{1}{12W}ql^2$ 。

对于图6(b)两端受三角形非均布载荷作用的固支梁,根据式(1)可得 $R_A = \frac{7}{10}ql$, $R_B = \frac{3}{10}ql$, $m_A = -\frac{1}{10}ql^2$, $m_B = -\frac{1}{15}ql^2$ 。然后根据截面法可得最大弯矩发生在梁的A端, $M_{\max} = -\frac{1}{10}ql^2$ 。因此,受三角形

非均布载荷作用的固支梁最大拉应力发生在梁的 A 端,其值为: $\sigma_{\max} = -\frac{1}{10W}ql^2$ 。

从上述计算可以看出,在总荷载相同的情况下,巷道顶板在非均布荷载作用下产生的拉应力大于均布荷载条件下产生的拉应力,所以巷道顶板在非均布荷载作用下产生的拉应力更容易达到该处的抗拉强度极限,巷道顶板将在该处拉裂。不仅如此,在非均布荷载作用下,巷道两帮受到的顶板压力也明显不同,易造成巷道两帮的不均匀变形。因此,在非均布荷载作用下,巷道很容易出现局部拉应力过大以及局部过载变形较大而破坏,进而引起巷道整体失稳。

2.3.2 下巷之间的合理距离

上煤层开采后,下煤层内垂直应力分布见图 7,下煤层下巷表面最大位移矢量数值变化见图 8。

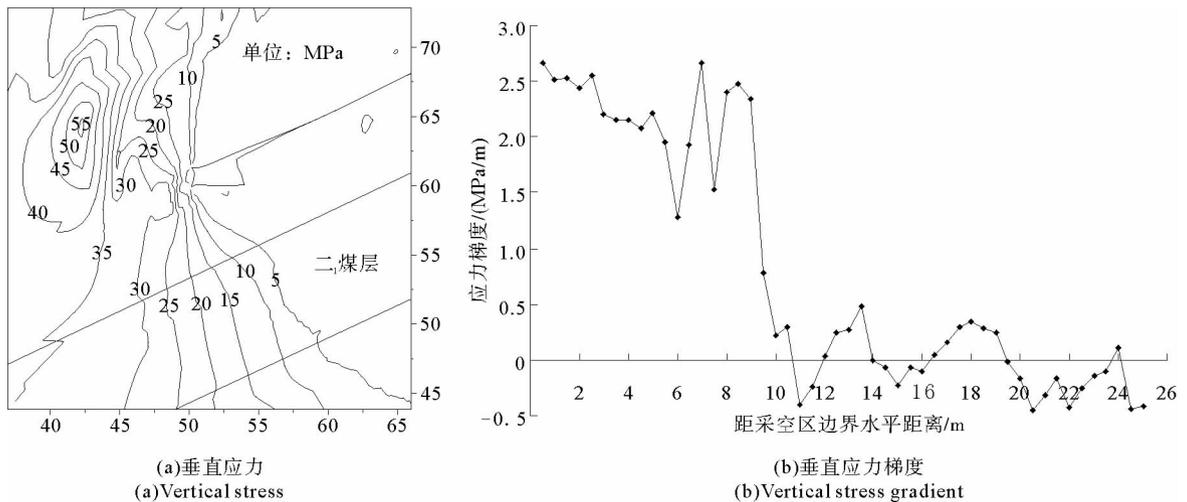


图 7 下煤层内垂直应力分布

Fig. 7 Vertical stress distribution in lower seam

从图 7 可见,随下煤层上巷距上煤层采空区边缘的距离 L_{sx2} 增大,下煤层内垂直应力、垂直应力梯度均逐渐减小,当 $L_{sx2} < 10$ m 时,垂直应力大于 5 MPa,垂直应力梯度在 2 MPa/m 左右;当 $L_{sx2} \geq 10$ m 时,垂直应力小于 5 MPa,垂直应力梯度在 0.5 MPa/m 以下。

从图 8 可见,随下煤层下巷距上煤层采空区边缘的距离 L_{sx2} 增大,巷道表面最大位移矢量数值逐渐减小,并且在 $L_{sx2} = 10$ m 时存在拐点。

综上所述,下煤层下巷距上煤层下部采空区边缘的距离 L_{sx2} 取 10 m。

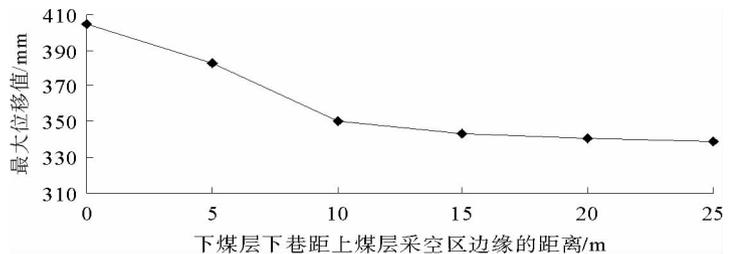


图 8 距上煤层采空区不同距离时下煤层下巷表面最大位移矢量数值变化

Fig. 8 The maximum displacement vector of headgate floor surface in lower seam at different distances from gob in upper seam

3 近距离煤层同采巷道混合布置的现场应用

3.1 现场布置方式与参数

根据以上的计算与分析,泉店煤矿 11 采区首采工作面回采巷道采用混合布置,二₁ 煤层工作面上顺槽布置于二₃ 煤层实体煤下方,距二₃ 煤层工作面采空区边缘距离为 20 m,二₁ 煤层工作面下顺槽布置于二₃ 煤层工作面采空区下方,距二₃ 煤层工作面采空区边缘距离为 10 m。具体布置方式与参数见图 9。

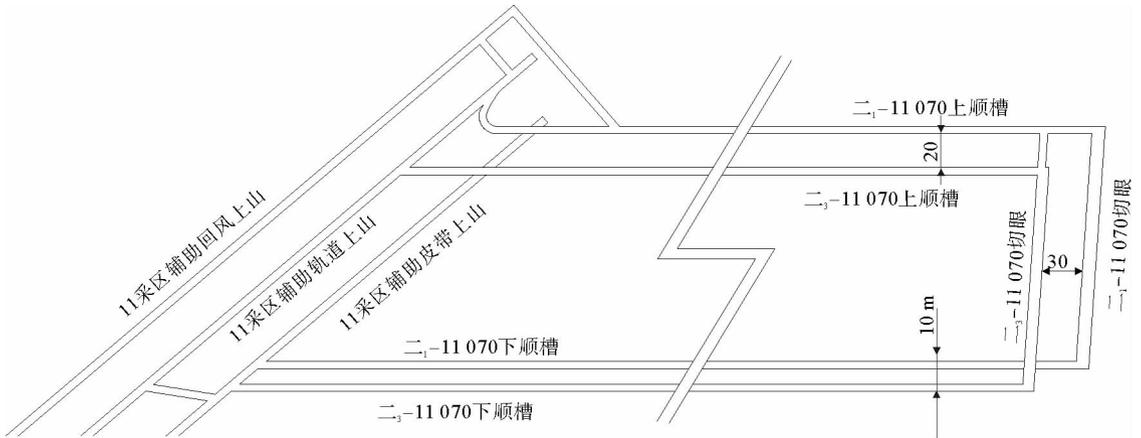


图9 泉店矿11采区近距离煤层首采面布置方式与参数

Fig. 9 The first panel layout and parameters in No. 11 section of the close seam of Quandian Mine

3.2 下煤层巷道变形实测

近距离煤层同采期间,二₁煤工作面上、下巷表面位移的变形规律如图10~11所示。由图10可知,二₁煤上巷的变形规律:①两帮变形量大于顶底板移近量,两帮累计变形量204 mm,顶底板变形移近量178 mm;②两帮最大变形速度位于采面前方2 m处,为23 mm/d;顶底板最大变形速度位于采面前方10 m处,为18.5 mm/d。

由图11可以看出,二₁煤下巷变形规律为:①两帮变形量大于顶底板移近量,两帮累计变形量297 mm,顶底板变形移近量238 mm;②两帮最大变形速度位于采面前方2 m处,为31 mm/d;顶底板最大变形速度位于采面前方2 m处,为28 mm/d;③巷道下帮的变形量大于上帮的变形量,下帮累计变形量189 mm,上帮累计变形量108 mm。

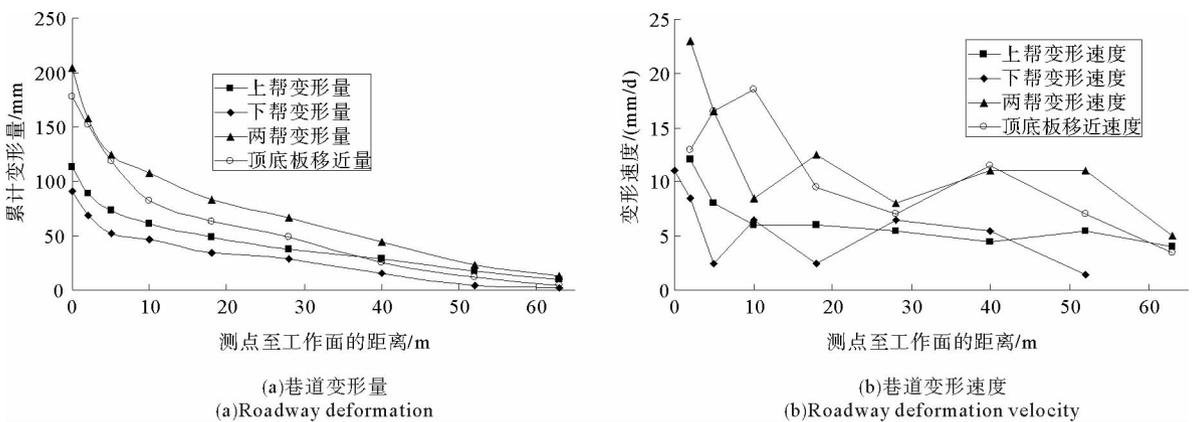


图10 二₁煤上巷变形曲线

Fig. 10 Deformation curve of tailgate in 2₁ seam

根据以上监测结果可见:二₁煤回采巷道在工作面回采期间,巷道的变形量控制在200~300 mm,巷道基本上不需要扩修,巷道变形量得到有效控制,说明泉店煤矿11采区近距离煤层同采巷道布置合理。

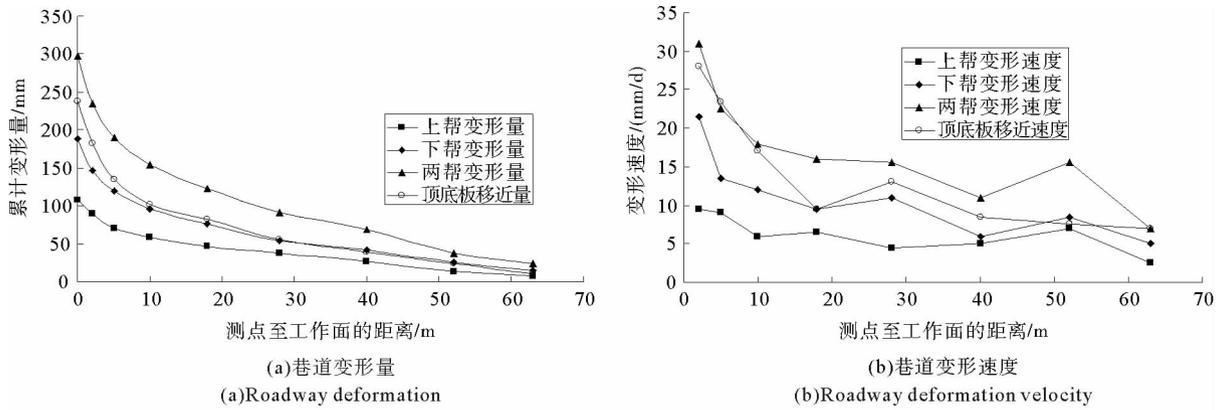


图 11 二₁煤下巷变形曲线

Fig. 11 Deformation curve of headgate in 2₁ seam

4 结论

- 1) 根据泉店煤矿 11 采区的地质条件,及矿井目前生产中存在的难题,确定了泉店煤矿 11 采区近距离煤层巷道布置时采用混合布置,先回采最下面一个工作面,且二₃、二₁煤层同时回采。
- 2) 根据理论计算与数值模拟,确定泉店煤矿 11 采区近距离煤层下煤层上巷相对上煤层上巷向上平错 20 m,下煤层下巷相对上煤层下巷向上平错 10 m。
- 3) 现场实测表明巷道变形量得到有效的控制,说明泉店煤矿 11 采区近距离煤层同采巷道布置合理。

参考文献:

- [1]潘国平,贾帅. 近距离煤层联合开采下层煤回采巷道合理布置[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(S): 11-13.
Pan Guoping, Jia Shuai. Roadway reasonable arrangement in lower coal seam of contiguous seams mining[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(S): 11-13.
- [2]鲁岩,高杰,刘长友,等. 近距煤层同采巷道优化布置研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(6): 797-801.
Lu Yan, Gao Jie, Liu Changyou, et al. Study on the optimal layout of roadways of contiguous seams by simultaneous mining [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(6): 797-801.
- [3]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.
- [4]康健,孙广义,董长吉. 极近距离薄煤层同采工作面覆岩移动规律研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(1): 51-56.
Kang Jian, Sun Guangyi, Dong Changji. Overlying strata movement law of ultra-close thin coal seam adopting simultaneous mining face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(1): 51-56.
- [5]郭敏. 近距离煤层群同采工作面合理错距研究[J]. 煤矿安全, 2012, 43(10): 28-30.
Guo Min. Rational malposition research of simultaneous mining working faces in close distance seam group[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(10): 28-30.
- [6]沈荣喜,王恩元,刘贞堂,等. 近距离下保护层开采防冲机理及技术研究[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S1): 63-67.
Shen Rongxi, Wang Enyuan, Liu Zhentang, et al. Rockburst prevention mechanism and technique of close-distance lower protective seam mining [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1): 63-67.
- [7]孙春东,杨本生,刘超. 1.0 m 极近距离煤层联合开采矿压规律[J]. 煤炭学报, 2011, 36(9): 1423-1428.
Sun Chundong, Yang Bensheng, Liu Chao. Strata behavior regularity of 1.0 m very contiguous seams combined mining[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(9): 1423-1428.
- [8]杨敬轩,刘长友,杨宇,等. 浅埋近距离煤层房柱采空区下顶板承载及房柱尺寸[J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42(2): 161-168.

Yang Jingxuan, Liu Changyou, Yang Yu, et al. Study of the bearing mechanism of the coal roof and the dimension selection of the room and pillar in the shallow and close distance coal seam[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2013, 42(2):161-168.

[9] 蒲志强, 车明, 张磊, 等. 极近距离采空区下交错开采顶板灾害防治[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 2009, 28(4): 73-76.

Pu Zhiqiang, Che Ming, Zhang Lei, et al. Prevention and control of roof disasters in staggered mining under the goaf ultra-close to seam being mined[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2009, 28(4): 73-76.

[10] 方新秋, 郭敏江, 吕志强. 近距离煤层群回采巷道失稳机制及其防治[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(10): 2059-2067.
Fang Xinqiu, Guo Minjiang, Lv Zhiqiang. Instability mechanism and prevention of roadway under close-distance seam group mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(10): 2059-2067.

[11] 张炜, 张东升, 陈建本, 等. 极近距离煤层回采巷道合理位置确定[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(2): 182-188.
Zhang Wei, Zhang Dongsheng, Chen Jianben, et al. Determining the optimum gateway location for extremely close coal seams[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(2): 182-188.

(责任编辑: 吕海亮)

“矿山灾害预防与控制”研究专栏征稿

征稿范围:

- ◇ 矿山岩层控制
- ◇ 采动岩体力学
- ◇ 资源规划与绿色开采
- ◇ 矿井瓦斯与火灾治理
- ◇ 矿山震动与冲击地压
- ◇ 煤炭科学开采理论、方法与技术
- ◇ 安全监测监控与信息化
- ◇ 井下充填开采
- ◇ 现代化矿井生产技术
- ◇ 瓦斯的抽采与利用

欢迎相关领域专家学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“矿山灾害预防与控制”专栏。稿件通过专家评审后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp

电子邮箱: zkchem@sdust.edu.cn

联系电话: 0532-86057859

山东科技大学学报(自然科学版)编辑部