



## 基于沉陷预测的上下煤层协同开采工作面走向错距研究

任兴云 郝兵元 贺福帅 王宏伟 苗青旺

### 引用本文:

任兴云, 郝兵元, 贺福帅, 等. 基于沉陷预测的上下煤层协同开采工作面走向错距研究[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(12): 102–108.

REN Xingyun, HAO Bingyuan, HE Fushuai. Research on staggered distance of upper and lower coal seam cooperative mining face based on subsidence prediction[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(12): 102–108.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021-0403>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 济宁城市规划区开采沉陷概率积分法参数综合研究

Comprehensive study of parameters of probability integral method of mining subsidence in urban planning areas of Jining City  
煤炭科学技术. 2020, 48(10) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/1ed03392-10fe-468f-8a96-86d1e1729451>

#### 浅埋深煤层开采沉陷预测方法应用及研究

Application and research on prediction method for mining subsidence in shallow buried deep coal seam  
煤炭科学技术. 2019(5) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/343a3cef-e604-427d-8073-b7e6b59769f5>

#### 倾斜煤层开采地表移动变形等价计算方法研究

Study on equivalent calculation method of surface subsidence in inclined coal seam mining  
煤炭科学技术. 2020, 48(10) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/fe2b964f-ddd4-428b-b905-00e475b6d623>

#### 极近距离煤层错层位巷道布置方式及围岩控制技术研究

Study on the layout of staggered roadway and surrounding rock control technology for extremely close coal seams  
煤炭科学技术. 2021, 49(8): 88–95 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/83f316a6-8928-4cce-b93a-5de59f9352b2>

#### 浅埋深厚煤层高强度开采地表沉陷规律研究

Research on surface subsidence law in high-intensity mining of shallow buried with thick coal seam  
煤炭科学技术. 2023, 51(5): 11–20 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021-0821>

#### 基于SBAS-InSAR的矿区全盆地开采沉陷求参方法研究

Study on method of mining subsidence parameters calculating for whole basin of mining area based on SBAS-InSAR  
煤炭科学技术. 2021, 49(1): 312–318 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.01.029>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息



移动扫码阅读

任兴云, 郝兵元, 贺福帅, 等. 基于沉陷预测的上下煤层协同开采工作面走向错距研究[J]. 煤炭科学技术, 2022, 50(12): 102-108.

REN Xingyun, HAO Bingyuan, HE Fushuai, *et al.* Research on staggered distance of upper and lower coal seam cooperative mining face based on subsidence prediction[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(12): 102-108.

## 基于沉陷预测的上下煤层协同开采工作面走向错距研究

任兴云<sup>1</sup>, 郝兵元<sup>2</sup>, 贺福帅<sup>2</sup>, 王宏伟<sup>1</sup>, 苗青旺<sup>3</sup>

(1. 太原理工大学 安全与应急管理工程学院, 山西 太原 030024; 2. 太原理工大学 矿业工程学院, 山西 太原 030024;

3. 潞安集团蒲县伊田煤业有限公司, 山西 临汾 041200)

**摘要:** 为研究层间距离较大、不属于近距离煤层范畴的上下煤层同采工作面的安全走向错距, 以潞安集团伊田煤业 2 号煤层(上覆煤层)、11 号煤层(下伏煤层)协同开采工作面为工程背景, 基于下伏煤层采场顶板垮落特征及“竖三带”理论分析结果, 提出下行协同开采条件下需要解决的科学问题为下伏煤层的开采活动不能影响上覆煤层的安全生产。建立了概率积分法开采沉陷计算模型, 探究充分采动条件下, 下伏 11 号煤层工作面开采对上覆 2 号煤层底板的沉陷影响范围。将下沉 10 mm、倾角 3 mm/m、曲率  $0.08 \times 10^{-3} / \text{m}$  和水平变形 2 mm/m 作为下伏煤层开采对上覆煤层的安全影响阈值, 以上覆煤层工作面位于下伏煤层工作面开采沉陷影响范围之外为判据, 并考虑 1.5 倍的安全系数, 得出上下煤层同采工作面的合理走向错距为 96.2 m。两工作面协同开采过程中, 通过严格管控每班和每日的回采进度, 使其前后错距始终大于 96.2 m, 监测上覆 2 号煤层工作面及其回采巷道的矿压显现情况, 并与同类条件单层开采时的矿压规律进行对比分析。工程实践表明: 2 号煤层、11 号煤层协同开采过程中, 基于下伏 11 号煤层工作面充分采动条件下的开采沉陷范围, 确定的上下煤层同采工作面走向错距合理可靠, 上覆 2 号煤层工作面未受到下伏 11 号煤层工作面的开采沉陷影响, 可以实现安全协同生产。

**关键词:** 开采沉陷; 上下煤层; 协同开采; 走向错距; 概率积分法

**中图分类号:** TD325      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0253-2336(2022)12-0102-07

### Research on staggered distance of upper and lower coal seam cooperative mining face based on subsidence prediction

REN Xingyun<sup>1</sup>, HAO Bingyuan<sup>2</sup>, HE Fushuai<sup>2</sup>, WANG Hongwei<sup>1</sup>, MIAO Qingwang<sup>3</sup>

(1. School of Safety and Emergency Management Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. School of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 3. Lu'an Group Pu County Yitian Coal Industry Co., Ltd., Linfen 041200, China)

**Abstract:** In order to study the safe staggered distance of the same mining face of the upper and lower coal seams, which does not belong to the category of contiguous coal seams, taking the collaborative mining face of Yitian Coal Industry No. 2 Coal Seam (overlying coal seam) and No. 11 Coal Seam (underlying coal seam) of Lu'an Group as the engineering background, based on the roof collapse characteristics of the underlying coal seam stope and the theoretical analysis results of “three vertical zones”, the scientific problem to be solved under the condition of downward cooperative mining is that the mining activities of the underlying coal seam can not affect the safety production of the overlying coal seam. A probability-integrated mining subsidence prediction model was established to explore the influence range of mining in the underlying No. 11 coal seam working face on the subsidence of the overlying No. 2 coal seam floor under full mining conditions. The subsidence of 10 mm, inclination of 3 mm/m, curvature of  $0.08 \times 10^{-3} / \text{m}$  and horizontal deformation of 2 mm/m were taken as the safety impact threshold of the mining of the underlying coal seam on the overlying coal seam. The criterion is that the working face of the overlying coal seam is located outside the mining subsidence range of the working face of the lower coal seam. Consider-

收稿日期: 2022-03-08      责任编辑: 朱恩光      DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2021-0403

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U1810104); 山西省自然科学基金资助项目(201901D111047)

作者简介: 任兴云(1990—), 男, 山西吕梁人, 博士研究生。E-mail: tyutrenxy@126.com

通讯作者: 郝兵元(1971—), 男, 山西昔阳人, 教授, 硕士生导师, 博士。E-mail: tyuthaoby@126.com

ing the safety factor of 1.5 times, it is concluded that the reasonable strike dislocation distance of upper and lower coal seams is 96.2 m, the ground pressure appearance of the overlying 2# coal seam working face and its mining roadway is monitored, and the ground pressure law is compared and analyzed with that of single layer mining under the same conditions. Engineering practice shows that during the coordinated mining process of No. 2 coal seam and No. 11 coal seam, based on the mining subsidence range caused by the full mining conditions of the No. 11 coal seam, the determined staggered distance of the same mining face in the upper and lower coal seams is reasonable and reliable. The overlying No. 2 coal seam working face has not been affected by the mining subsidence of the lower No.11 coal seam, which can achieve safe collaborative production.

**Key words:** mining subsidence; upper and lower coal seams; collaborative mining; staggered distance; probability integral method

## 0 引言

采空区顶板自然垮落情况下,为了保证工作面底板岩层的完整性及回采安全,多煤层赋存井田一般采用下行开采顺序<sup>[1]</sup>。定义空间位置处于上部的煤层称为上覆煤层,处于下部的煤层称为下伏煤层;上下煤层同采是指在同一平面范围内,上下两煤层的回采工作面重叠并沿走向错开一定距离,形成一前一后开采格局的现象。为了避免下伏煤层工作面开采对上覆煤层工作面底板岩层造成扰动破坏,进而影响上覆煤层工作面的安全性,上下煤层同采工作面之间需要留设合理的走向错距。

目前,对于同采工作面安全错距留设问题的研究对象多为近距离煤层,对层间距离较大、不属于近距离煤层范畴的上下煤层同采工作面安全错距留设方面的研究较少。文献[2-3]采用数值模拟计算和理论分析相结合的研究方法,建立了近距离煤层同采工作面稳压式和减压式布置模型,给出了2种布置方式的错距计算公式。马海峰等<sup>[4]</sup>采用理论分析、数值模拟和现场实测的方法,对邻近层同采工作面的不同错距进行了研究,得出走向错距不同时,邻近层工作面支承压峰值、围岩破坏范围和破坏程度不同。彭高友等<sup>[5]</sup>通过现场原位测试和理论计算,得出了近距离煤层群开采的底板破坏范围,对深部近距离煤层群的采动力学行为进行了研究。杨伟等<sup>[6]</sup>采用传统矿压、弹性半平面体理论的研究方法,对近距离煤层联合开采条件下的工作面合理错距留设问题进行了分析。已有的研究成果可概括为:将下伏煤层工作面布置在上覆煤层工作面采空区顶板岩层垮落压实、矿压显现稳定的范围为稳压区布置方式;将下伏煤层工作面布置在上覆煤层工作面基本顶未垮落的采空区范围为减压区布置方式。采空区基本顶岩层垮落通常会底板形成冲击地压,且支架后方采空区基本顶未垮落的范围一般较难控制和掌握,故减压区布置方式相对比较危险,对上下煤层回采工作面的推进速度协调管控难度也较大。现场生产过程中发现,当下伏煤层开采厚度较大、层间岩层岩

性变化较大时,基于稳压区理论单考虑上覆煤层底板应力对下伏煤层工作面开采影响确定的稳压区布置方式误差较大<sup>[7-8]</sup>。因此,现有的确定上下煤层协同开采安全错距的稳压区布置理论、减压区布置理论对于层间距离较大、不属于近距离煤层范畴的上下煤层同采工作面安全错距留设存在一定的局限性。

煤层采出后,采场顶板岩层会发生变形、破坏与移动,并由下向上发展,从而引起上覆岩层移动,这一过程和现象称为开采沉陷<sup>[9]</sup>。对于层间距离较大、不属于近距离煤层范畴的上下煤层同采工作面,其错距留设时考虑的重点问题是上覆煤层工作面不能受下伏煤层工作面的采动影响<sup>[10-11]</sup>。因此,在前人已有研究成果的基础上,基于开采沉陷计算,求取上覆煤层底板岩层受下伏煤层开采影响时的沉陷范围,从而以上覆煤层工作面位于下伏煤层工作面开采沉陷影响范围之外为判断准则,确定层间距离较大、不属于近距离煤层范畴的上下煤层同采工作面的合理走向错距,保证上覆煤层工作面的安全开采。

## 1 上下煤层工作面基本情况及空间位置关系

### 1.1 上下煤层工作面基本情况

潞安集团蒲县伊田煤业有限公司(以下简称“伊田煤业”)批准开采2号~11号煤层,属于低瓦斯矿井,布置两个开采水平,分别开采2号煤层和11号煤层,生产规模120万t/a。

1106工作面为2号煤层十一采区的第六个工作面,“U”型布置方式,使用综采工艺回采2号煤层,采煤厚度为2.5m,自然垮落法管理采空区顶板。该工作面地面标高为+1390~+1490m,工作面标高为+1175~+1210m,开切眼长度为182m,沿东西方向布置,由南向北方向推进,可采走向长度为766m。2号煤层位于山西组中下部,下距11号煤层79.37~95.38m,平均间距为87.75m;煤层倾角为3°~10°,结构简单,层位稳定。

2202工作面为11号煤层二二采区的第二个工作面,“U”型布置方式,使用综放工艺回采11号煤层,采煤厚度为3.5m,放煤厚度为3.6m,自然垮落

法管理采空区顶板。该工作面地面标高为+1 360~+1 490 m,工作面标高为+1 087~+1 119 m,开切眼长度为200 m,沿东西方向布置,由南向北方向推进,可采走向长度为1 091 m。11号煤层位于太原组下段顶部,煤层倾角平均为6°,含3~5层夹矸,顶板为K2石灰岩,底板为泥岩,结构稳定,赋存条件良好。

## 1.2 上下煤层工作面空间位置关系

由于采掘衔接及产能要求等因素,2号煤层1106工作面和11号煤层2202工作面同时回采且部

分重叠,2个工作面的平面位置关系如图1所示,空间位置关系如图2所示。1106工作面与2202工作面开切眼位于同一位置,倾向重叠部分宽度为147.5 m,走向重叠部分长度为766 m,层间距平均为87.75 m。

2号煤层1106综采工作面和11号煤层2202综放工作面为上下煤层协同开采工作面,其中定义1106综采工作面为上覆工作面,2202综放工作面为下伏工作面。2号煤层与11号煤层采用下行开采顺序,即2202工作面滞后于1106工作面回采,形成一前一后的协同开采格局。

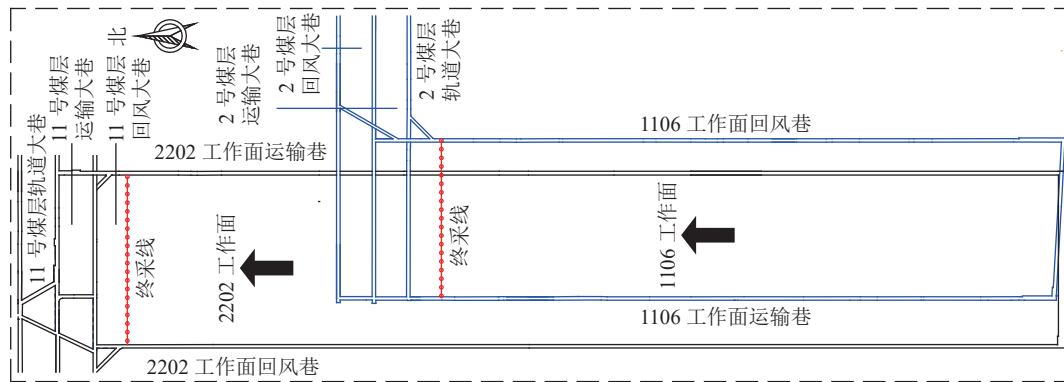


图1 上下煤层工作面平面位置关系

Fig.1 Relationship between upper and lower coal seam

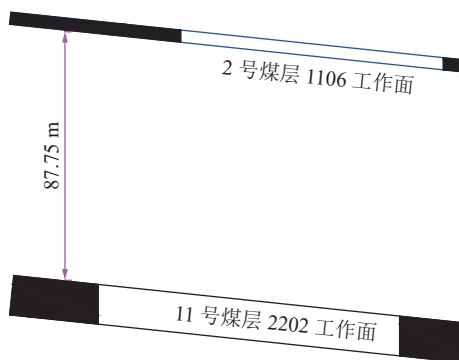


图2 上下煤层工作面空间位置关系

Fig.2 Spatial relationship of upper and lower coal seam

## 2 下伏煤层采场顶板垮落特征及“竖三带”高度

下行协同开采条件下,从科学研究及现场工程管理角度出发,需要解决的重点问题为下伏煤层的开采活动不能影响上覆煤层的安全生产。已有的研究成果及工程经验证实,煤层采出后,采场上覆岩层的移动和破坏具有明显的分带性,自下而上会形成垮落带、断裂带和弯曲下沉带三部分,简称“竖三带”<sup>[12-13]</sup>。

采场垮落带高度  $H_1$  的经验计算公式为:

$$H_1 = \frac{M}{(k-1)\cos\alpha} = \frac{7.1}{(1.3-1)\cos 6^\circ} = 23.8 \text{ m}$$

其中:  $H_1$  为采场垮落带高度, m;  $M$  为煤层厚度, 7.1 m;  $k$  为岩层碎胀系数, 取 1.3;  $\alpha$  为煤层倾角, 6°。因此, 计算得出下伏煤层(11号煤层)的采场垮落带高度  $H_1$  为 23.8 m。

断裂带高度与顶板岩性有关, 根据地质柱状图掌握下伏煤层(11号煤层)的顶板岩性为石灰岩、细粒砂岩、砂质泥岩和泥岩互层, 属于中硬岩层结构。因此, 其采场断裂带的高度  $H_2$  可按照近水平煤层中硬岩层结构条件下的的经验公式计算:

$$H_2 = 20\sqrt{M} + 10 = 20\sqrt{7.1} + 10 = 63.3 \text{ m}$$

断裂带之上到地表的顶板岩层结构为弯曲下沉带, 上覆2号煤层与下伏11号煤层的层间距为87.75 m, 大于采场断裂带的高度63.3 m。因此, 上覆2号煤层位于下伏11号煤层采场顶板“竖三带”结构的弯曲下沉带。

由于伊田矿业11号煤层2202综放工作面和2号煤层1106综采工作面在空间位置上处于同一区域并存在较大的重叠范围, 下伏11号煤层2202工

工作面开采会对上覆 2 号煤层 1106 工作面产生影响。为了避免出现上覆煤层回采前,因为下伏煤层开采引发顶板岩层沉陷或移动变形,导致上覆煤层工作面底板被破坏而引发安全生产事故,需要进行基于开采沉陷计算的协同开采合理错距研究。

### 3 下伏煤层充分采动时顶板岩层沉陷范围

#### 3.1 开采沉陷计算模型及参数求取

采场弯曲下沉带某一岩层位置的下沉值较难实测,因此通过数值计算和图像显示的方法,达到对下伏煤层(11 号煤层)采场顶板岩层移动与沉陷分析的研究目的<sup>[14]</sup>。

概率积分法是我国目前较为成熟,应用最为广泛的岩层移动变形预计方法,也是《建筑物、水体、

$$W(x,y) = W_{\max} \iint_{\Omega} W_e(x,y) dV = W_{\max} \iint_{\Omega} \frac{1}{r^2} e^{-\pi \frac{(x-s)^2 + (y-s)^2}{r^2}} dx dy$$

岩层倾斜:

$$i(x,y,\phi) = \frac{\partial W(x,y)}{\partial x} \cos \phi + \frac{\partial W(x,y)}{\partial y} \sin \phi = -2\pi W_{\max} \iint_{\Omega} \frac{1}{r^4} \left\{ [(x-s) \cos \phi + (y-s) \sin \phi] e^{-\pi \frac{(x-s)^2 + (y-s)^2}{r^2}} \right\} dx dy$$

岩层曲率:

$$K(x,y,\phi) = \frac{\partial i(x,y,\phi)}{\partial x} \cos \phi + \frac{\partial i(x,y,\phi)}{\partial y} \sin \phi - 2\pi W_{\max} \iint_{\Omega} \frac{1}{r^4} \left\{ \left[ 1 - \frac{2\pi}{r^2} [(x-s) \cos \phi + (y-s) \sin \phi]^2 \right] e^{-\pi \frac{(x-s)^2 + (y-s)^2}{r^2}} \right\} dx dy$$

岩层水平移动:

$$U(x,y,\phi) = bri(x,y,\phi)$$

岩层水平变形:

$$\varepsilon(x,y,\phi) = brK(x,y,\phi)$$

式中:  $W_{\max}$  为该采矿地质条件对应弯曲下沉带内某一岩层的最大下沉值, mm;  $r$  为开采沉陷主要影响半径, m;  $\phi$  为开采煤层的倾角, °;  $b$  为水平移动系数;  $s$  为下沉系数;  $(x,y)$  为弯曲下沉带内某一点的平面坐标;  $\Omega$  为所计算的开采区域, 即考虑拐点偏移距后的开采区域, 在开采平面上一般为多边形。

计算模型参数选取参考《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南》中, 伊田煤业所处的临汾地区大型煤矿的实测开采沉陷基本参数, 确定的地表移动变形计算参数如下:

下沉系数	0.68
水平移动系数	0.3
主要影响角正切	2.1
开采影响传播角	90-0.7 $\phi$
拐点偏移距	9

3.2 下伏煤层充分采动时上覆煤层底板沉陷范围计算  
结合生产实际情况, 主要探究 11 号煤层 2202

铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》中推荐的地表移动变形预计方法<sup>[15-16]</sup>。因此, 计算选用概率积分法模型, 探究下伏煤层开采对上覆煤层回采工作面的影响。基于概率积分法原理, 使用专业性较强的《山区煤矿开采地表移动变形预计系统》软件, 对伊田煤业 11 号煤层 2202 综放工作面的开采沉陷规律及其影响范围进行分析。根据 2 号煤层 1106 工作面不能位于 11 号煤层 2202 综放工作面的开采沉陷范围内, 同时考虑一定的安全系数, 综合得出上下煤层 2 个协同开采工作面的合理走向错距。

基于概率积分法开采沉陷预测模型, 弯曲下沉带内某一岩层的移动变形值按如下公式计算:

岩层下沉:

工作面在充分采动条件下, 对 2 号煤层 1106 工作面底板的影响情况。为更全面了解 2202 工作面采动对 1106 工作面底板的影响, 建立数值模型时, 在 1106 工作面底板沿走向主断面布设 47 个线状监测点, 布点间距为 10 m, 布设长度为 460 m, 编号依次为 Z1 ~ Z47; 在 1106 工作面底板范围均匀布设 2 601 个面域监测点, 模拟 2202 工作面回采推进 300 m, 充分采动条件下对 1106 工作面底板的影响情况<sup>[17]</sup>, 线状监测点的布置方式如图 3 所示。

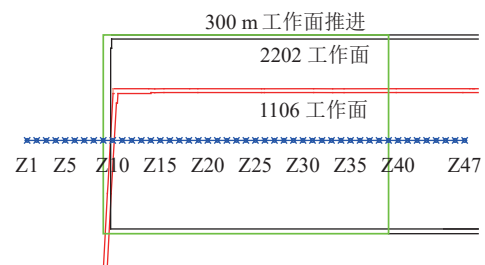


图 3 线状监测点布置方式示意

Fig.3 Layout of linear monitoring points

根据已有的采矿地质及工作面资料, 将 2202 工作面、1106 工作面及监测点布置坐标, 结合概率积分法参数导入《山区煤矿开采地表移动变形预计系

统》中进行数值计算。模拟计算完成后,将走向主断面 Z1~Z47 各监测点的监测结果绘制为如图4—图6所示的1106工作面底板下沉曲线、底板倾斜与曲率曲线、底板水平变形曲线。

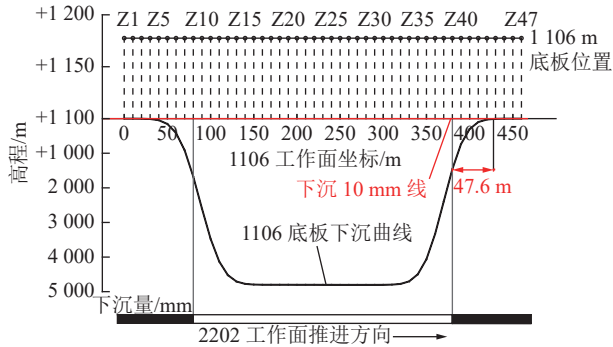


图4 1106工作面底板下沉曲线

Fig.4 The sinking curve of floor strata of No.1106 working face

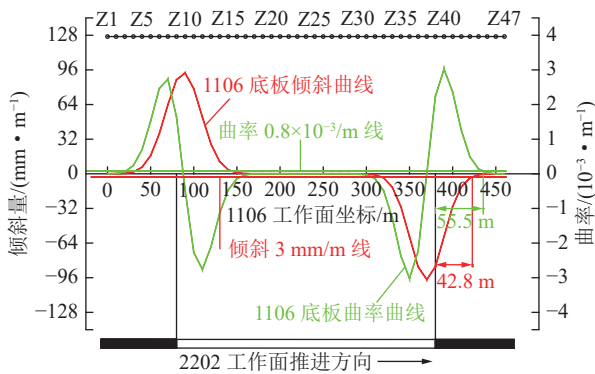


图5 1106工作面底板倾斜与曲率曲线

Fig.5 Curve of inclination and curvature of floor strata of No.1106 working face

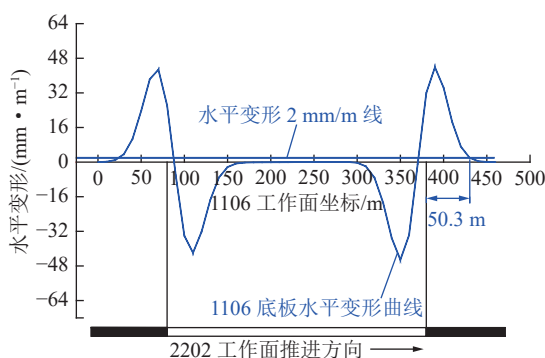


图6 1106工作面底板水平变形曲线

Fig.6 Horizontal deformation curve of floor strata of No.1106 working face

分析图4可知,以下沉10 mm为标准,2202工作面充分采动条件下对1106工作面底板的超前影响范围为47.6 m。分析图5所示的1106工作面底板倾斜与曲率曲线可知,以倾斜3 mm/m和曲率 $0.08 \times 10^{-3} / \text{m}$ 为标准,2202工作面充分采动条件下

对1106工作面底板的超前影响范围分别为42.8 m和55.5 m。分析图6所示的1106工作面底板水平变形曲线可知,以水平变形2 mm/m为标准,2202工作面充分采动条件下对1106工作面底板的超前影响范围为50.3 m。

根据数值模型中1106工作面底板区域均匀布设的2601个面域监测点计算结果,绘制得到1106工作面底板的变形等值线分布如图7所示。

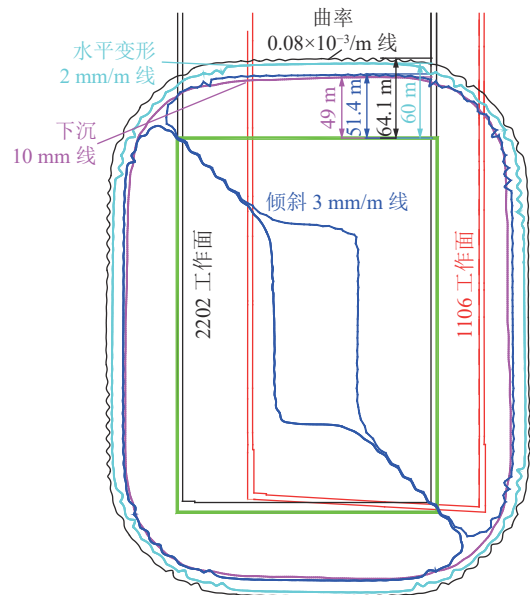


图7 1106工作面底板变形等值线

Fig.7 Deformation contour of floor strata of No.1106 working face

分析图7所示的1106工作面底板变形等值线可知,以下沉10 mm、倾斜3 mm/m、曲率 $0.08 \times 10^{-3} / \text{m}$ 和水平变形2 mm/m为标准,2202工作面充分采动条件下对1106工作面底板的超前影响范围分别为49、51.4、64.1、60 m。

线状布点和面域布点监测得到的2202工作面充分采动条件下对1106工作面底板的超前影响范围统计结果见表1,面域布点得到的超前影响范围均

表1 2202工作面充分采动条件下对1106工作面底板的超前影响范围统计结果

Table 1 Advanced influence range of floor of No.1106 mining face under full mining of No.2202 mining face

底板参数	超前影响距离/m	
	线状布点	面域布点
下沉10 mm	47.6	49
倾斜量3 mm/m	42.8	51.4
曲率 $0.08 \times 10^{-3} / \text{m}$	55.5	64.1
水平变形2 mm/m	50.3	60

大于线状布点得到的超前影响范围。面域布点方式由于监测点数多、监测点全模型均匀分布,计算结果更具有代表性,出于安全考虑选表1中的最大值64.1 m为合理值。

#### 4 同采工作面错距留设及工程应用效果分析

根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》中规定的允许和极限变形值,将下沉10 mm、倾斜3 mm/m、曲率 $0.08 \times 10^{-3}$  /m和水平变形2 mm/m作为下伏煤层开采对上覆煤层的安全影响阈值。同时考虑11号煤层厚度与其顶板岩层厚度可能存在一定变化,以及其他可变因素影响<sup>[18]</sup>,取安全系数1.5,综合确定上下煤层两个同采工作面的安全走向错距值。

$$L = l\gamma = 64.1 \text{ m} \times 1.5 = 96.2 \text{ m}$$

式中: $L$ 为上下煤层2个同采工作面的合理走向错距值,m; $l$ 为表1中所列2202工作面充分采动条件下对1106工作面底板超前影响范围的最大值,64.1 m; $\gamma$ 为安全系数,取1.5。

因此,基于开采沉陷数值模拟计算结果以及考虑1.5倍安全系数,得到的2号煤层1106工作面和11号煤层2202工作面协同开采安全走向错距为96.2 m。

如图8所示,2号煤层1106工作面和11号煤层2202工作面协同开采过程中,严格协调管控两工作面的推进速度,使其走向错距始终大于96.2 m,监测2号煤层1106工作面及其回采巷道的矿压显现情况,并与同类条件下2号煤层单层开采时的矿压规律进行对比,从而分析本研究确定走向错距的合理性<sup>[19-20]</sup>。

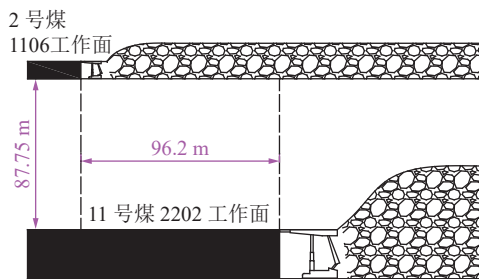


图8 上下煤层同采工作面走向错距留设

Fig.8 Stroke staggered layout of the synergetic mining face

当2号煤层1106工作面回采推进97 m时,下伏11号煤层2202工作面开始回采。两工作面协同开采过程中,通过严格管控每班和每日的回采进度,使其前后错距始终大于96.2 m。经过近90 d的回采实践,下伏11号煤层2202工作面回采推进320 m,

上覆2号煤层1106工作面回采推进428 m。上述开采实践过程中,2号煤层1106工作面的来压步距及来压强度、回采巷道变形等矿压显现情况均与同类条件下2号煤层单层开采时的矿压规律类似,可实现正常安全生产。因此,判断在此错距条件下,下伏11号煤层工作面生产并没有影响上覆2号煤层工作面的正常安全生产。

#### 5 结 论

1)根据采场“竖三带”理论计算得出下伏11号煤层工作面采场的垮落带高度为23.8 m,断裂带高度为63.3 m,该值小于上下两煤层的层间距87.75 m,即上覆2号煤层底板位于下伏11号煤层采场的弯曲下沉带。

2)确保上覆2号煤层工作面安全开采的条件为下伏11号煤层开采引发的顶板岩层沉陷或移动变形范围不能波及到2号煤层工作面底板。

3)选用概率积分法和《山区煤矿开采地表移动变形预计系统》建立计算模型,并在模型中2号煤层底板布置线状和面域监测点,以下沉10 mm、倾斜3 mm/m、曲率 $0.08 \times 10^{-3}$  /m和水平变形2 mm/m为标准,得到11号煤层2202工作面充分采动条件下对2号煤层1106工作面底板的超前影响范围最大值为64.1 m。

4)为安全起见,取安全系数1.5,确定2号煤层1106工作面和11号煤层2202工作面协同开采过程中,走向错距值始终大于96.2 m。工程实践证明,本研究所确定的上下煤层同采工作面走向错距值安全可靠,可实现上下煤层正常生产。

#### 参考文献(References):

- [1] 张春雷. 近距离煤层群上行开采覆岩垮落及运移规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(8): 1-7.  
ZHANG Chunlei. Study on overlying strata caving and movement regularity of ascending mining in contiguous seams[J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(8): 1-7.
- [2] 杜君武, 黄庆享. 浅埋煤层群同采工作面合理走向错距研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 122-127.  
DU Junwu, HUANG Qingxiang. Research on reasonable staggered distance along strike of simultaneous mining faces in shallow seams[J]. *Coal Science and Technology*, 2017, 45(9): 122-127.
- [3] 黄庆享, 贺雁鹏, 周海丰. 榆家梁煤矿多煤层开采矿压显现规律研究[J]. 西安科技大学学报, 2017, 37(1): 21-25.  
HUANG Qingxiang, HE Yanpeng, ZHOU Haifeng. Roof pressure of multiple coal seams mining in Yujialiang mines[J]. *Journal of Xi, an University of Science and Technology*, 2017, 37(1): 21-25.
- [4] 马海峰, 殷志强, 李传明, 等. 邻近层同采工作面动压巷道失稳机

- 理及错距优化研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2016, 33(2): 278-283.
- MA Haifeng, YIN Zhiqiang, LI Chuangming, *et al.* Instability mechanism of dynamic pressure roadway and staggered distance optimization in nearby-layer simultaneous working faces[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2016, 33(2): 278-283.
- [5] 彭高友, 高明忠, 吕有厂, 等. 深部近距离煤层群采动力学行为探索[J]. 煤炭学报, 2019, 44(7): 1971-1980.
- PENG Gaoyou, GAO Mingzhong, LYU Youchang, *et al.* Investigation on mining mechanics behavior of deep close distance seam group[J]. *Journal of China Coal Society*, 2019, 44(7): 1971-1980.
- [6] 杨伟, 刘长友, 杨宇. 层间应力影响下近距离煤层工作面合理错距留设问题研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(S1): 2965-2972.
- YANG Wei, LIU Changyou, YANG Yu. Reasonable malposition setting in close distance coal seams under influence of interlaminar stresses [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2012, 31(S1): 2965-2972.
- [7] 杨伟, 刘长友, 黄炳香, 等. 近距离煤层联合开采条件下工作面合理错距确定[J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29(1): 101-105.
- YANG Wei, LIU Changyou, HUANG Bingxiang, *et al.* Determination on reasonable malposition of combined mining in close-distance coal seams[J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2012, 29(1): 101-105.
- [8] 金珠鹏. 沙坪矿近距离煤层开采覆岩运动规律及围岩变形机理研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2018.
- JIN Zhupeng. Study on overburden strata movement law and deformation mechanism of surrounding rock in short distance coal seam mining in Shaping Coal Mine[D]. Beijing: China University of Mining & Technology-Beijing, 2018.
- [9] 胡海峰. 不同土岩比复合介质地表沉降规律及预测研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- HU Haifeng. Research on surface subsidence regularity and prediction under composite mediums with different thickness ratios of loose and bedrock[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2012.
- [10] 李树清, 龙祖根, 罗卫东, 等. 煤层群下保护层开采保护范围的数值模拟[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(6): 34-40.
- LI Shuqing, LONG Zugen, LUO Weidong, *et al.* Numerical simulation of protection scope when lower-protective layer mined in coal seams[J]. *China Safety Science Journal*, 2012, 22(6): 34-40.
- [11] 梁冰, 石占山, 姜福利, 等. 远距离薄煤上保护层开采方案保护有效性论证[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(4): 17-22.
- LIANG Bing, SHI Zhanshan, JIANG Fuli, *et al.* Research on protection result of extra-thin protective coal seam mining[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(4): 17-22.
- [12] 钱鸣高, 石平五, 许家林. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2011.
- QIAN Minggao, SHI Pingwu, XU Jialin. Mining pressure and strata control[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2011.
- [13] 韩丹丹, 胡胜勇, 张 昇, 等. 采空区垮落岩体空隙率分布规律及其形成机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(11): 113-120.
- HAN Dandan, HU Shengyong, ZHANG Ao, *et al.* Study on voidage distribution regulation and formation mechanism of crushed rock mass in gob[J]. *Coal Science and Technology*, 2020, 48(11): 113-120.
- [14] 刘玉成, 戴华阳. 近水平煤层开采沉降预计的双曲线剖面函数法[J]. 中国矿业大学学报, 2019, 48(3): 676-681.
- LIU Yucheng, DAI Huayang. Hyperbolic function model for predicting the main section surface deformation curve due to approximate horizontal coal seam underground longwall mining[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*. 2019, 48(3): 676-681.
- [15] 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采指南[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- Guide for the retention and compression of coal pillars for buildings, water bodies, railways, and main roadways[M]. Beijing: China Coal Industry Press, 2017.
- [16] 胡炳南, 张华兴, 申宝宏. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.
- HU Bingnan, ZHANG Huaxing, SHEN Baohong. Code for coal pillar retaining and coal mining in buildings, water bodies, railways and main roadways [M]. Beijing: China Coal Industry Press, 2017.
- [17] 柴敬, 杨玉玉, 欧阳一博, 等. 采场覆岩变形破坏模拟试验的光测方法对比[J]. 煤炭学报, 2021, 46(1): 154-163.
- CHAI Jing, YANG Yuyu, OUYANG Yibo, *et al.* Comparison of optical measurement methods for deformation and failure simulation test of overburden in working face[J]. *Journal of China Coal Society*, 2021, 46(1): 154-163.
- [18] 戴文祥, 潘卫东, 李 猛, 等. 近距离煤层强扰动巷道布置与支护技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(12): 61-67.
- DAI Wenxiang, PAN Weidong, LI Meng, *et al.* Study on layout and support technology of strongly disturbed roadway in contiguous coal seam[J]. *Coal Science and Technology*, 2020, 48(12): 61-67.
- [19] 张平松, 许时昂, 郭立全, 等. 采场围岩变形与破坏监测技术研究进展及展望[J]. 煤炭科学技术, 2020, 48(3): 14-35.
- ZHANG Pingsong, XU Shiang, GUO Liqian, *et al.* Prospect and progress of deformation and failure monitoring technology of surrounding rock in stope[J]. *Coal Science and Technology*, 2020, 48(3): 14-35.
- [20] 杨仁树, 朱 晔, 李永亮, 等. 采动影响巷道弱胶结层状底板稳定性分析与控制对策[J]. 煤炭学报, 2020, 45(7): 2667-2680.
- YANG Renshu, ZHU Ye, LI Yongliang, *et al.* Stability analysis and control strategy of weakly cemented layered floor in minimally affected roadway[J]. *Journal of China Coal Society*, 2020, 45(7): 2667-2680.