



移动扫码阅读

陈 凯.东胜矿区浅埋煤层综采条件下岩移参数规律研究[J].煤炭科学技术,2019,47(3):188-194.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.03.028

CHEN Kai.Study on laws of overburden movement parameters under fully-mechanized mining conditions in shallow coal seam of Dongsheng Mining Area[J].Coal Science and Technology,2019,47(3):188-194.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.03.028

## 东胜矿区浅埋煤层综采条件下岩移参数规律研究

陈 凯<sup>1,2</sup>

(1.煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院,北京 100013;2.煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室,北京 100013)

**摘 要:**为了研究东胜矿区地表移动参数与地质采矿条件之间的关系及其特点,基于已获得的东胜矿区内12个工作面地表移动规律研究基础上,利用Matlab与SPSS的回归分析方法,研究了东胜矿区煤层开采引起的地表移动变形角值参数和概率积分法地表移动变形的计算参数与地质采矿条件之间的关系,建立了东胜矿区地表移动参数与相关地质采矿条件的关系式。研究表明:边界角、移动角、裂缝角与基岩厚度和采厚的比值相关性较大;下沉系数与采厚和基岩厚度相关性较好;水平移动系数与松散层厚度和基岩厚度相关性较好;主要影响角正切与采厚和基岩厚度相关性较好;而拐点偏移系数与地质采矿条件无显著关系,但存在变化范围为0.04~0.37,对东胜矿区煤层开采地表移动参数可以进行预计。

**关键词:**东胜矿区;地表移动参数;地质采矿条件;回归分析

中图分类号:TD325.4

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)03-0188-07

## Study on laws of overburden movement parameters under fully-mechanized mining conditions in shallow coal seam of Dongsheng Mining Area

CHEN Kai<sup>1,2</sup>

(1. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to study the relationships and characteristics between the surface movement parameters and geological mining conditions of Dongsheng Mining Area, based on the study results of the surface movement law of 12 working faces in Dongsheng Mining Area, the regression analysis method of Matlab and SPSS were used to study the relationships between the surface moving deformation angle parameters caused by coal seam mining in Dongsheng Mining Area and the calculation parameters of surface displacement deformation by probability integral method. The relationships between surface movement parameters and related geological mining conditions in Dongsheng Mining Area was thus established. The results show that boundary angle, displacement angle and crack angle are highly correlated with the ratio of bedrock thickness and mining thickness; the subsidence coefficient has a good correlation with coal seam thickness and bedrock thickness; the horizontal movement coefficient is correlated with loose layer thickness and bedrock thickness; the main influence angle tangent is well correlated with the height of the mining and the thickness of the bedrock; and the offset coefficient of the inflection point has no significant relationship with the geological mining conditions, but the variation range is within 0.04~0.37, which can be used for the prediction of surface movement parameters in Dongsheng Mining Area.

**Key words:** Dongsheng Mining Area; surface movement parameters; geological mining conditions; regression analysis

## 0 引 言

由于地下煤炭资源的开采,采动影响通过上覆

岩层波及到地表,使地表产生变形和破坏。研究不同矿区岩数参数的规律,对该区域煤层开采引起的地表变形和破坏进行预计和分析,能有效地减少开

收稿日期:2018-11-22;责任编辑:曾康生

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51404139)

作者简介:陈 凯(1990—),男,江苏南京人,助理研究员。E-mail: kaychenkai@126.com

采破坏性<sup>[1-3]</sup>。国内的专家学者们一直在对不同矿区地表移动参数与地质采矿条件之间的关系进行研究,从20世纪50年代开始,阜新矿业学院就对北票矿区地表移动规律进行初步探讨,求取了北票矿区急倾斜煤层开采的地表移动和变形参数<sup>[4]</sup>;李凤明等<sup>[5]</sup>用数学方法分析了厚冲积层矿区地表移动与变形预计所用基本参数与地质采矿条件之间的关系;王来等<sup>[6]</sup>根据龙口矿区的实际地质条件建立了岩层的线弹性力学模型;葛家新<sup>[7]</sup>获得了兖州矿区预计参数的变化规律,提出了水平移动的修正方程;林育秀<sup>[8]</sup>对肥城矿区地表移动变形参数规律进行了研究;张铁民<sup>[9]</sup>求取了大屯矿区地质采矿条件下开采引起的岩层与地表移动变形参数;张文志等<sup>[10]</sup>揭示了开滦矿区厚松散层、岩层与地表移动的内在机理和规律;王勇<sup>[11]</sup>根据徐州矿区多个观测站的实测资料,分析求出了徐州矿区浅部开采、深部开采条件下地表移动参数;李培现等<sup>[12]</sup>建立了开采沉陷概率积分法参数与地质采矿条件之间的统计回归公式,且公式误差较小,各参数回归公式均具有较好的泛化性能;陈勇等<sup>[13]</sup>提出了利用Matlab中的非线性最小二乘法拟合函数求取概率积分法预计参数的方法,用此方法求取各个观测站的地表移动预计参数;郭文兵等<sup>[14]</sup>分析了条带开采地表移动参数的影响因素,并结合现场观测站实测数据和理论分析,建立了条带开采地表移动预计参数新的计算公式;余华中等<sup>[15]</sup>用数学方法分析了厚松散层放顶煤开采条件下地表移动参数的特点,并得出地表移动参数与地质采矿条件之间的函数关系式;李凤明<sup>[16]</sup>系统提出了厚冲积层矿区地表移动参数规律的特点,并给出了相应的数学计算公式;戴华阳等<sup>[17]</sup>采用相似材料模型试验方法,研究了特厚急倾斜煤层水平分层开采岩层移动机理和地表移动规律。可见国内的专家学者们已经取得了丰硕的成果,但是对东胜矿区的研究,国内并未见相关文献的探讨。

东胜矿区煤层埋藏浅,煤厚较大,地质条件简单,成为了国内最大的煤炭产地,通过对已取得的多个地表移动观测站的实测资料的分析与总结,研究各观测站参数与地质采矿条件之间的相关关系,建立不同地质采矿条件下各角量参数及概率积分法计算参数的经验公式具有重要的意义。经验公式的确立能对今后该矿区范围内开采工作面的地表移动参数起到预计作用,对地表破坏进行控制与治理,减少破坏性,为土地复垦与生态恢复提供依据,对我国煤炭工业绿色健康的发展、生态环境的保护、社会的

和谐稳定等具有重大的现实意义和深远的社会意义。

## 1 东胜矿区概况

东胜煤田北起黄河,南到陕西-内蒙古边界,西至侏罗系煤组6号煤层底板垂深800 m,东至该煤组地表露头。南北长155 km,东西宽83公里,含煤面积12 860 km<sup>2</sup>,探明地质储量2 236亿t,预测储量6 690亿t。东胜矿区因为其得天独厚的条件,即煤层埋藏浅,煤厚较大,地质条件简单,成为了国内最大的煤炭产出基地。东胜矿区2000年之前开采规模较小,多采用房柱式开采,2005年至2008年进行了技术改造,所有矿井基本采用综采或综放开采,开采规模大,采高较大,煤层埋深较浅,因此开采引起的覆岩破坏严重,波及到地表,使地表出现裂缝、塌陷坑等,对地面建筑物、公路、铁路、河流等造成严重破坏<sup>[18-20]</sup>。

## 2 观测站实测资料分析

从20世纪90年代至今,20多年间,东胜矿区在布尔台矿、寸草塔一矿和二矿、柳塔矿、杨家村矿、察哈素矿、大柳塔矿、乌兰木伦矿、韩家湾矿、补连塔矿、万利一矿等10多个煤矿内建立了地表移动观测站各矿井位置如图1所示,各矿观测站情况见表1。

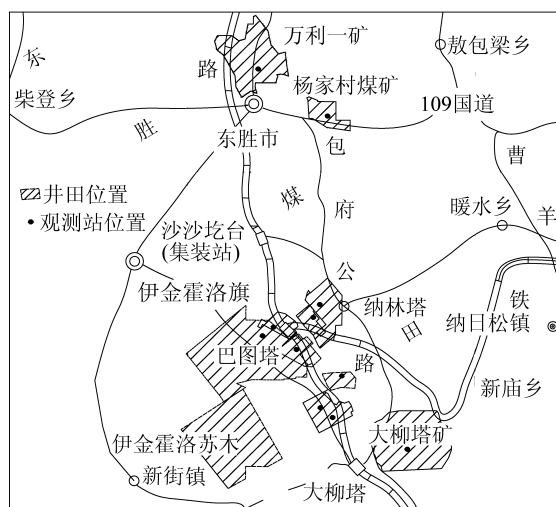


图1 东胜矿区各矿井位置

Fig. 1 Mines location of Dongsheng Mining Area

为了研究东胜矿区各矿的地表移动规律,通过丰富的实测资料,得出了各观测站的地表移动变形的角量参数,其结果见表2,各观测站的地表移动变形概率积分法预计参数,结果见表3。

表 1 东胜矿区各矿采矿因素与地表移动观测站情况

Table 1 Mining factors and surface movement observations of Dongsheng Mining Area

参数	柳塔煤矿 12106	布尔台煤矿 22103-1	寸草塔煤矿 22111	寸草塔二矿 22111	杨家村 222201	察哈素 3101
开采煤层	1 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	3 <sup>-1</sup> 煤
采深/m	128~175	157~324	136~261	284~327	118~152	382~455
采高/m	6.9	3.4	2.8	2.9	5.0	4.5
走向长度/m	633	4250	2085	3648	1600	2503.74
倾向长度/m	246.8	360	224	300	240	300.58
倾角/(°)	1~3	1~4	1~3	1~3	1~4	1~3
松散层厚度/m	0~60	3~34	0~32	0~32	0~20	0~28
推进速度/(m·d <sup>-1</sup> )	5.0	8.3	9.7	7.2	5.1	8.9
采煤方法	综放	综采	综采	综采	综采	综采
顶板管理方法	全陷	全陷	全陷	全陷	全陷	全陷

参数	大柳塔矿 1203	乌兰木伦矿 2207	韩家湾矿 2304	补连塔矿 32301	补连塔 2211	万利一矿 31305
开采煤层	1 <sup>-2</sup> 煤	1 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	2 <sup>-2</sup> 煤	3 <sup>-1</sup> 煤
采深/m	61	102	130	260	110	100~190
采高/m	4.03	2.20	4.10	6.10	4.00	4.90
走向长度/m	938	892	1800	5220	1367	2706
倾向长度/m	150	158	268	301	185	300
倾角/(°)	1~3	0~1	2~4	1~3	1~3	1.5~5.0
松散层厚度/m	20~30	20~40	50~65	30~55	5~50	0~10
推进速度/(m·d <sup>-1</sup> )	2.4	2.8	8	9.2	—	10
采煤方法	综采	综采	综采	综采	综采	综采
顶板管理方法	全陷	全陷	全陷	全陷	全陷	全陷

表 2 东胜矿区各矿地表移动变形角量参数情况

Table 2 Surface movement deformation angle parameters of Dongsheng Mining Area

工作面名称	采深 $H$ /m	采高 $m$ /m	松散层 厚度 $h$ /m	走向边界 角/(°)	下(上)山边界 角/(°)	走向移动 角/(°)	下(上)山移动 角/(°)	走向裂缝 角/(°)
柳塔矿 12106	150	6.9	30	48.3	66.2	66.5	66.3	73
布尔台矿 22103-1	295	3.4	20	—	49.1	—	74	66
寸草塔矿 22111	250	2.8	20	48.0	52.1	76	77.2	—
寸草塔二矿 22111	310	2.9	20	—	54.2	—	76.2	—
杨家村矿 222201	133	5	10	56	56	71	71	74
察哈素矿 3101	418	4.5	28	62	53	70	—	70
大柳塔矿 1203	61	4.03	26	64	66	69	71	78
乌兰木伦矿 2207	102	2.2	30	52	60.5	70	72	70
韩家湾矿 2304	130	4.1	65	58.5	—	64	—	80
补连塔矿 32301	260	6.1	55	—	—	—	—	—
补连塔矿 2211	110	4	20	61	60	—	—	—
万利一矿 31305	170	4.9	10	60	—	71	—	70

表 3 东胜矿区各矿地表移动变形概率积分法预计参数情况  
Table 3 Predicted parameters of probability integral of Dongsheng Mining Area

观测站	下沉系数 $q$	主要影响 角正切 $\tan \beta$	水平移动 系数 $b$	拐点偏移距			
				$S_1$ (左)	$S_2$ (右)	$S_3$ (上)	$S_4$ (下)
柳塔煤矿 12106	0.766	2.37	0.43	0.04H	—	0.06H	0.05H
布尔台煤矿 22103-1(走向)	0.637	1.92	0.21	—	—	0.13H	0.06H
布尔台煤矿 22103-1(倾向)	0.638	2.07	0.21	—	—	0.13H	0.06H
寸草塔煤矿 22111(走向)	0.678	1.86	0.38	0.14H	—	—	—
寸草塔煤矿 22111(倾向)	0.675	2.47	0.38	—	—	0.16H	0.17H
寸草塔二矿 22111(走向)	0.683	1.78	0.39	0.01H	0.06H	0.06H	0.04H
寸草塔二矿 22111(倾向)	0.674	2.47	0.39	—	—	0.06H	0.04H
杨家村 222201	0.700	2.40	0.47	0.37H	0.34H	—	0.19H
察哈素 3101	0.800	3.88	0.24	0.12H	0.11H	0.16H	0.15H
大柳塔 1203	0.590	2.65	0.29	0.36H	0.34H	0.10H	0.31H
乌兰木伦 2207	0.780	1.87	0.443	0.21H	—	—	—
韩家湾 2304	0.560	1.97	0.28	0.15H	—	—	—
补连塔 32301	0.780	2.60	0.25	0.31H	—	—	—
补连塔 2211	0.650	2.40	0.37	0.36H	—	—	—
万利一矿 31305	0.710	3.65	0.40	0.07H	0.37H	—	—

3 地表移动角量参数规律

根据表 2,利用多元回归分析,总结得出各角量参数与采厚  $m$ 、采深  $H$  和松散层厚度  $h$  之间关系如下。

1)走向边界角,即有

$$\delta_0 = - 0.198(H - h)/m + 63.41$$

此时,回归方程的相关系数  $R = 0.881\ 6$ ,取置信水平  $\alpha = 0.05$ ,则 7 个样本空间的相关系数临界值  $r$ ,查表得  $r_{0.05,5} = 0.754\ 5$ ,因  $R > r$ ,说明其在  $\alpha$  水平上相关显著,此时,其相关关系如图 2 所示。

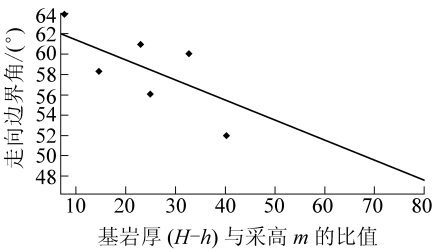


图 2 走向边界角与  $(H-h)/m$  的关系

Fig. 2 Correlation of trending boundary angle and  $(H-h)/m$

2)下(上)山边界角关系,即有

$$\beta_0 = \gamma_0 = - 0.141\ 9(H - h)/m + 64.79$$

此时  $R = 0.8315 > r_{0.05,7} = 0.666\ 4$ ,该回归方程的相关系数大于其临界值,说明其在该置信水平  $\alpha$  上相关显著,此时,其相关关系如图 3 所示。

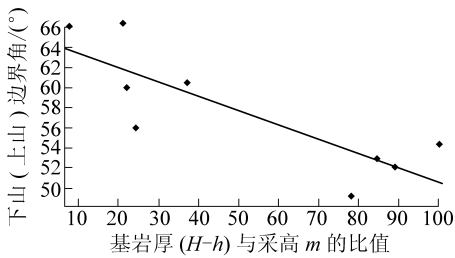


图 3 下(上)山边界角与  $(H-h)/m$  的关系

Fig. 3 Correlation of boundary angle and  $(H-h)/m$

3)走向移动角关系,即有

$$\delta = 0.121\ 6(H - h)/m + 65.557$$

此时  $R = 0.888\ 3 > r_{0.05,5} = 0.754\ 5$ ,即该关系式  $\alpha = 0.05$  水平上相关显著,其相关关系如图 4 所示。

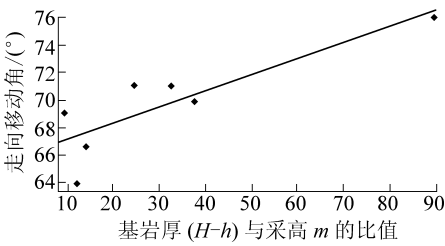


图 4 走向移动角与  $(H-h)/m$  的关系

Fig. 4 Correlation of trending displacement angle and  $(H-h)/m$

4)下(上)山移动角。东胜煤田煤层为近水平煤层,煤层倾角变化较小,即可以认为上山移动角  $\gamma$

与下山移动角 $\beta$ 相等,即 $\beta = \gamma$ 。下(上)山移动角和基岩厚度与采高的比值经回归分析得到关系式为

$$\beta = \gamma = 0.0858(H-h)/m + 68.21$$

此时 $R = 0.8832 > r_{0.05,5} = 0.7545$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关显著,其相关关系如图5所示。

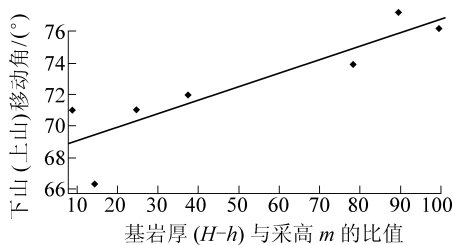


图5 下(上)山移动角与 $(H-h)/m$ 的关系

Fig. 5 Correlation of dip displacement angle and  $(H-h)/m$

5) 走向裂缝角关系,即有

$$\delta' = -0.1238(H-h)/m + 77.11$$

此时 $R = 0.7996 > r_{0.05,6} = 0.7067$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关显著,其相关关系如图6所示。

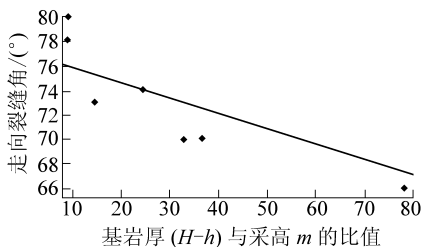


图6 走向裂缝角与 $(H-h)/m$ 的关系

Fig. 6 Correlation of trending crack angle and  $(H-h)/m$

## 4 地表移动计算参数

各观测站概率积分法预计参数见表3,利用多元回归分析,总结得出各概率积分法计算参数与采厚 $m$ 、采深 $H$ 和松散层厚度 $h$ 之间关系如下:

1) 下沉系数关系,即有

$$q = 0.018m - 7.646/(H-h) + 0.730$$

此时 $R = 0.702 > r_{0.05,10} = 0.5760$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关显著,回归标准化残差的标准概率图如图7所示。

2) 水平移动系数关系,即有

$$b = -1.1272 \left( \frac{h}{H-h} \right)^2 + 1.0156 \frac{h}{H-h} + 0.1947$$

此时 $R = 0.8781 > r_{0.05,10} = 0.5760$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关显著,其相关关系如图8所示。

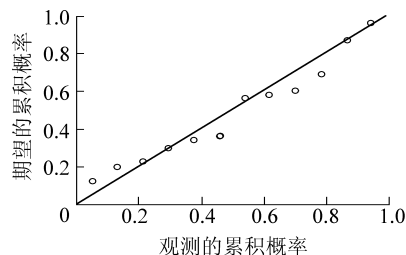


图7 下沉系数回归标准化残差的标准关系

Fig. 7 Regression standardization residuals of subsidence coefficient

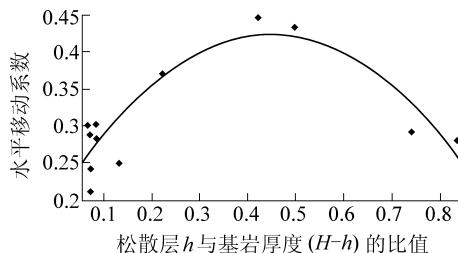


图8 水平移动系数与 $h/(H-h)$ 的关系

Fig. 8 Correlation of horizontal movement factor and  $h/(H-h)$

3) 主要影响角正切 $\tan \beta$ 关系,有

$$\tan \beta = 1.333 + 0.163m + 0.003(H-h)$$

此时 $R = 0.6550 > r_{0.05,10} = 0.5760$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关显著。回归标准化残差的概率关系如图9所示。

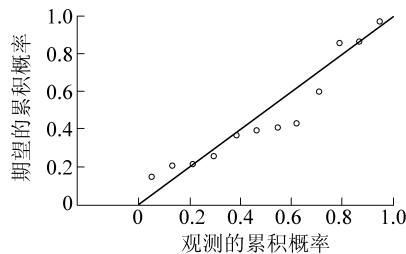


图9 主要影响角正切回归标准化残差的概率关系

Fig. 9 Regression standardization residuals of main effecting angle tangent

4) 拐点偏移系数 $S$ ;首先,拐点偏移系数 $S$ 与采高 $m$ 的相关关系式为

$$S = 0.0117m + 0.1403, R = 0.1329$$

此时 $R = 0.1329 < r_{0.05,10} = 0.5760$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关性不显著,即拐点偏移系数与采厚没有关系。

其次,拐点偏移系数 $S$ 与基岩厚度 $H-h$ 的关系拟合得到回归关系式为

$$S = -0.0005(H-h) + 0.2759$$

此时 $R = 0.4748 < r_{0.05,10} = 0.5760$ ,即该相关关系式在 $\alpha = 0.05$ 水平上相关性不显著,即拐点偏移系数与基岩厚度相关性不大。

因此,对东胜煤田开采引起的地表移动变形拐



点偏移系数与地质采矿因素进行回归分析可知,拐点偏移系数与地质采矿因素间无显著关系,其变化范围为0.04~0.37。

## 5 结 论

在获得东胜煤田11个矿井12个工作面的地表移动规律的基础上,对已取得的各参数进行汇总分析,利用MATLAB与SPSS进行回归分析,研究了东胜煤田煤层开采引起的岩层与地表移动变形角量参数以及概率积分法计算参数与地质采矿条件之间的相关关系,建立了东胜煤田内各变形参数与地质采矿条件的经验公式。

1)边界角、移动角、裂缝角与基岩厚度和采厚的比值相关性较大。且采厚越大,危险移动范围越大,各角量参数越小;基岩厚度减小,松散层厚度增大,使地表移动量增大,导致地表移动范围增大,各角量参数减小。

2)概率积分法计算参数中,下沉系数与采厚和基岩厚度相关性较好;水平移动系数与松散层厚度与基岩厚度相关性较好;主要影响角正切与采厚和基岩厚度相关性较好,采厚越大基岩厚度越大,主要影响角正切值越大;而拐点偏移系数与地质采矿条件无显著关系,但存在变化范围为0.04~0.37。

3)应用得出的各角量参数以及概率积分法计算参数的经验公式,对今后东胜矿区范围内煤层开采地表移动参数进行预计,能有效地减少地表破坏性,为土地复垦与生态恢复提供依据。

## 参考文献(References):

- [1] 何国清,杨伦,凌赓娣,等.矿山开采沉陷学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994.
- [2] 中华人民共和国行业标准编写组.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2017.
- [3] 煤炭科学研究院北京开采所.煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M].北京:煤炭工业出版社,1981.
- [4] 阜新矿业学院科研所,北票矿务局地测处.北票矿区地表移动规律初步探讨[J].阜新矿业学院学报,1985,4(1):15-26.  
Research Institute of Fuxin Mining Institute, Geological Survey Department of Beipiao Mining Bureau. Preliminary study on surface movement rules of Beipiao mining area[J]. Journal of Fuxin Mining Institute, 1985, 4(1): 15-26.
- [5] 李凤明,梁京华.厚冲积层矿区地表移动参数与地质采矿条件之间的关系及其特点[J].煤炭科学技术,1996,24(3):29-33.  
LI Fengming, LIANG Jinghua. Relationship and characteristics of surface movement parameters and geological mining conditions in thick alluvium mining area[J]. Coal Science and Technology, 1996, 24(3): 29-33.

- [6] 王来,张力,王渭明.龙口矿区地表移动的参数识别与变形预报[J].岩土力学,2003,24(S2):375-378.  
WANG Lai, ZHANG Li, WANG Weiming. Identification of parameters and predication of displacements about round subsidence in Longkou mining area[J]. Rock and Soil Mechanics, 2003, 24(S2): 375-378.
- [7] 葛家新.兖州矿区地表移动规律及预测参数研究[J].地矿测绘,2004,20(1):7-8.  
GE Jiaxin. Research on surface movement rules and forecast parameters of Yanzhou mining district[J]. Surveying and Mapping Institute, 2004, 20(1): 7-8.
- [8] 林育秀.肥城矿区地表移动变形参数规律研究[D].青岛:山东科技大学,2007.
- [9] 张铁民.大屯矿区实测地表移动变形参数研究[J].矿山测量,2009(5):10-12,16.  
ZHANG Tieming. Study on Measured surface movement and deformation parameters in Datun Mining Area[J]. Mine Survey, 2009(5): 10-12, 16.
- [10] 张文志,任筱芳,邹友峰.开滦矿区厚松散层地表岩移参数规律研究[J].河南理工大学学报:自然科学版,2010,29(1):61-65.  
ZHANG Wenzhi, REN Xiaofang, ZOU Youfeng. Research on the law of surface rock movement parameter with thick unconsolidated layer in Kailuan Mining Area[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2010, 29(1): 61-65.
- [11] 王勇.徐州矿区地表移动观测与参数的求取[J].矿山测量,2013(4):79-81.  
WANG Yong. Surface movement observation and parameter calculation in Xuzhou mining area[J]. Mine Survey, 2013(4): 79-81.
- [12] 李培境,谭志祥,邓喀中.地表移动概率积分法计算参数的相关因素分析[J].煤矿开采,2011,16(6):14-18,5.  
LI Peixian, TAN Zhixiang, DENG Kazhong. Related factors analysis of calculation parameters of probability integral method for surface movement[J]. Coal Mining, 2011, 16(6): 14-18, 5.
- [13] 陈勇,郭文兵,文运平.基于MATLAB求取地表移动预计参数的方法研究[J].河南理工大学学报:自然科学版,2009,28(6):714-718.  
CHEN Yong, GUO Wenbing, WEN Yunping. Research on method of obtaining surface movement predicting parameters based on MATLAB[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2009, 28(6): 714-718.
- [14] 郭文兵,邓喀中,邹友峰.条带开采地表移动参数研究[J].煤炭学报,2005,30(2):182-186.  
GUO Wenbing, DENG Kazhong, ZOU Youfeng. Research on surface movement parameters of strip-partialmining[J]. Journal of China Coal Society, 2005, 30(2): 182-186.
- [15] 余华中,李德海,李明金.厚松散层放顶煤开采条件下地表移动参数研究[J].焦作工学院学报:自然科学版,2003,22(6):413-416.  
YU Huazhong, LI Dehai, LI Mingjin. Research on surface movement parameters under caving mining conditions of thick loose bedding[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology: Natural Science, 2003, 22(6): 413-416.

- [16] 李凤明.厚冲积层矿区地表移动参数的特点及数值模拟[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2001,20(4):535-537.  
LI Fengming.Characteristics and numerical simulation of surface movement parameters in thick alluvium mining area[J].Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2001, 20(4): 535-537.
- [17] 戴华阳,郭俊廷,易四海,等.特厚急倾斜煤层水平分层开采岩层及地表移动机理[J].煤炭学报,2013,38(7):1109-1115.  
DAI Huayang, GUO Juntin, YI Sihai, *et al.* The mechanism of strata and surface movements induced by extra-thick steeply inclined coal seam applied horizontal slice mining. [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(7): 1109-1115.
- [18] 陈凯,张俊英,贾新果,等.浅埋煤层综采工作面地表移动规律研究[J].煤炭科学技术,2015,43(4):127-130,70.  
CHEN Kai, ZHANG Junying, JIA Xinguo, *et al.* Study on surface ground movement law above fully-mechanized mining face in shallow depth seam [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(4): 127-130, 70.
- [19] 范钢伟,张东升,马立强.神东矿区浅埋煤层开采覆岩移动与裂隙分布特征[J].中国矿业大学学报,2011,42(2):196-201.  
FAN Gangwei, ZHANG Dongsheng, MA Liqiang. Overburden movement and fracture distribution induced by longwall mining of the shallow coal seam in the Shendong Coalfield. [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 42(2): 196-201.
- [20] 张俊英,李文,杨俊哲,等.神东矿区房采采空区安全隐患评估与治理技术[J].煤炭科学技术,2014,42(10):14-19.  
ZHANG Junying, LI Wen, YANG Junzhe, *et al.* Research on hazard assessment and control technology of room and pillar mining method goaf in shendong mining area. [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 14-19.