

DOI: 10.13606/j.cnki.37-1205/td.2025.03.012.

# 太行山区近水平煤层开采地表移动规律分析

董浩浩

(山西新景矿煤业有限责任公司, 山西 阳泉 045000)

**摘要:**为解决煤矿开采过程中的地表沉陷问题,合理留设建筑物保护煤柱,获取煤矿开采中相关围岩及地表沉陷的科学数据,以新景煤矿 8123 回采工作面为工程背景,通过实地观测获取地表变形数据分析研究,获取了矿区地表移动变形规律及矿区开采沉陷参数。观测站地处山区,地形条件复杂,在工作面中布设了 3 条观测线,共进行了 16 次观测,取得了较好的观测成果。针对走向和倾向 3 条观测线的静态及动态观测成果,对随工作面推进过程中的地表移动变形规律进行分析,基本掌握了新景矿开采 8 号煤层的地表动态及静态变形规律。

**关键词:**山区开采;地表移动;开采沉陷

**中图分类号:**TD326 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-0797(2025)03-0059-05

## Analysis of surface movement law of near-horizontal coal seam mining in Taihang Mountainous Area

DONG Haohao

(Shanxi Xinjing Coal Industry Co., Ltd., Yangquan 045000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of surface subsidence in the process of coal mining, reasonably set up buildings to protect coal pillars, obtain scientific data of related surrounding rock and surface subsidence in coal mining, take the 8123 working face of Xinjing Coal Mine as the engineering background, Analysis and study of surface deformation data obtained by field observation, and obtain the surface movement and deformation law of the mining area and the mining subsidence parameters of the mining area through data analysis and comprehensive research, the observation station is located in the mountainous area, the terrain conditions are complex, three observation lines are laid in the working face, and a total of 16 observations are carried out, and good observation results have been obtained. According to the static and dynamic observation results of the three observation lines of strike and tendency, the surface movement and deformation law in the process of advancing with the working face were analyzed, and the surface dynamic and static deformation law of Xinjing MiningNo.8 coal seam were basically mastered.

**Key words:** mountain mining; surface movement; mining subsidence

## 0 引言

在“双碳”目标的大背景下,煤炭在我国一次能源生产结构和能源消费结构的占比逐年下降,但我国“多煤、贫油、少气”的能源赋存特征决定了煤炭在我国能源消费结构的主体地位不受动摇。阳泉矿区作为我国主要煤炭产地之一,长期大规模采煤活动造成了严重的地表沉陷与生态环境损害。长期以来,开采沉陷理论的研究重点主要集中于中东部平原矿区,针对山区煤矿开采沉陷的研究较少,而山区高低起伏的地表形态导致了其煤矿开采沉陷规律具有一定的特殊性。刘一龙<sup>[1]</sup>等综合应用 InSAR 动态观测、地表勘察、微震监测和数值模拟等方法分析了西山煤田多煤层下行开采地表变形特征;王启春<sup>[2]</sup>

等通过建立 FLAC<sup>3D</sup> 裸露基岩山区不同倾斜煤层开采数值模型,分析了煤层倾角对山区地表移动变形的影响规律;戴华阳<sup>[3]</sup>等通过建立相似模拟模型揭示了阳泉矿区山区地表移动与变形的特点和基本规律。受山区地质条件影响,地表移动规律不尽相同。本文以阳泉矿区新景煤矿 8123 工作面为工程背景,通过现场实测及数据分析揭示矿区地表移动变形规律。

## 1 工程概况

### 1.1 矿区概况

山西新景矿位于阳泉市市区西部,位于太行山北段西侧刘备山的南麓低中山区。地表地形高低起伏,沟谷纵横,最高点为海拔+1372.6 m 的井田西部担山,最低点为海拔+750.1 m 的东南部桃河河谷,

收稿日期:2024-05-17

作者简介:董浩浩(1989-),男,山西阳泉人,本科,工程师,从事矿山测量工作。

最大相对高差 622.5 m。

8123 工作面位于芦南 8 号煤采区北翼东部，东隔 600 m 为 525 水平大巷，南为 8122 工作面（已掘未采），西为 8 号煤芦南区北翼采区大巷，北为 8124 工作面（未掘）。

工作面上方东部为三矿井田 3 号煤层未开采，西部为新景公司 3 号煤层芦南一区 71102、71104 和 71106 工作面均已开采。工作面下方仅距切巷 28 m 范围为 15 号煤层芦南一区 80113 工作面已开采。工作面平均标高约为 521 m，回采煤层为石炭系上统太原组 8 号煤层，厚 1.61 ~ 3.89 m，平均 2.91 m，煤层倾角 3° ~ 11°，平均 7°，工作面顶底板岩性见表 1。

### 1.2 测站布置

根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留

表 1 工作面顶底板岩性表

顶板名称	岩石名称	厚度 (m)	岩层性质
老顶	细粒砂岩	5.78	灰白色，成分以石英为主，长石次之，夹泥质条带，含云母和黑色矿物，硅质胶结。
直接顶	砂质泥岩	8.01	黑色，含植物化石，中部夹 1~2 层菱铁矿结核，厚度变化较大，下部含砂量小，常相变为黑色泥岩。
伪底	砂质泥岩	8.87	灰黑色，厚度变化大，局部增厚。

设与压煤开采规范》的有关规定，采用剖面线观测线的方式进行布置。观测站设计布置在整个工作面的范围内，共设计 3 条观测线，其中走向观测 1 条（A 观测线），倾向观测 2 条（B、C 观测线）。根据开采平均采深 435 m（大于 400 m），选用地表移动观测站点间距为 30 m，测站布置图如图 1 所示。

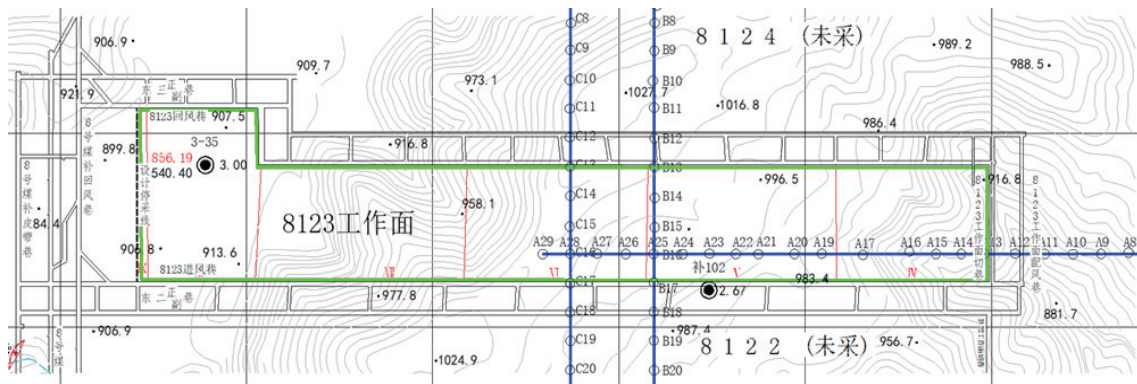


图 1 8123 工作面测站布置图

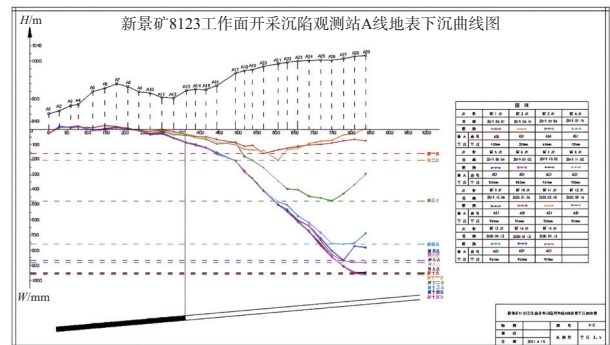
## 2 地表移动变形分析

8123 工作面地表移动观测站的首次观测日期为 2019 年 5 月 16 日，末次观测日期为 2020 年 9 月 12 日，共进行 16 次地表移动观测。根据工作面观测站历次观测求取的移动变形值绘制的移动变形曲线图，结合工作面开采条件可对工作面地表观测站沉陷变形作如下分析。

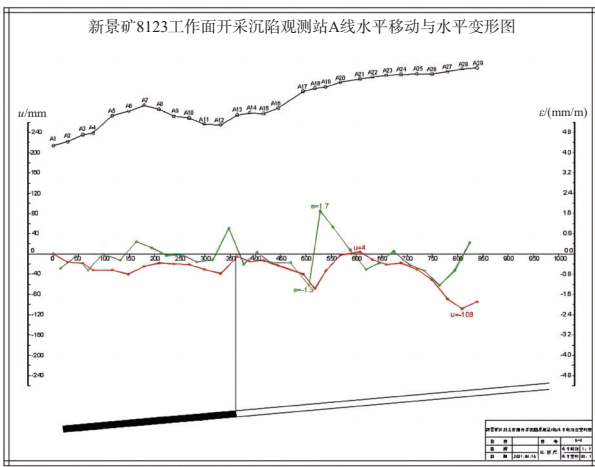
### 2.1 走向变形分析

走向观测 A 线位于工作面中部偏向下山 32 m，观测线最低点地面标高为 861 m，最高点地面标高为 1015 m，地形呈一面坡形式由低到高。由图 2 (a) 可以看出，开采下沉曲线整体表现为下沉值与距采空区中心距离成负相关关系，曲线形态及地表下沉规律整体符合开采下沉的一般规律。下沉初期走向观测线靠近采空区边开始逐渐下沉，最大下沉

点从最初的 A20 点随工作面的推进依次向前 A29 发展，最大下沉点在不断前移，工作面停采后最大下沉点发生在 A29 点，其观测最大下沉值为 959 mm。由于工作面沿走向方向布设了半条走向观测线，下沉盆地平地部位未能有效监测到，但 A28 和 A29 点最大下沉值接近，因此整体曲线符合沿走向方向的超充分采动开采下沉规律，观测效果较好。



(a) 下沉曲线



(b) 水平移动和水平变形曲线

图2 走向A线动态移动曲线

地表移动盆地内水平移动分布规律可从水平移动曲线中看出，下沉盆地内各点的水平移动方向都指向盆地中心。由图2(b)可看出：排除观测线个别点位影响，整体曲线表现为负值，最大值为-108 mm，最大正值实际出现在 A20 号点，最大值仅为 4 mm，表面上看不符合一般变形规律，结合地形可看出，观测站从东到西为上坡方向，受采动影响产生的附加水平移动指向下坡方向为负值，综合叠加影响分析可知这种现象是地表山区坡体形态下开采的综合影响结果。

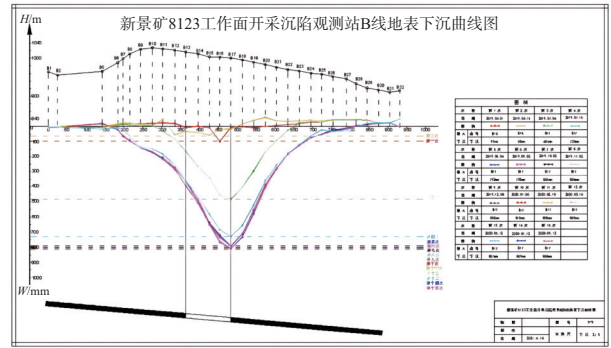
### 2.2 倾向变形分析

#### 2.2.1 倾向观测 B 线数据分析

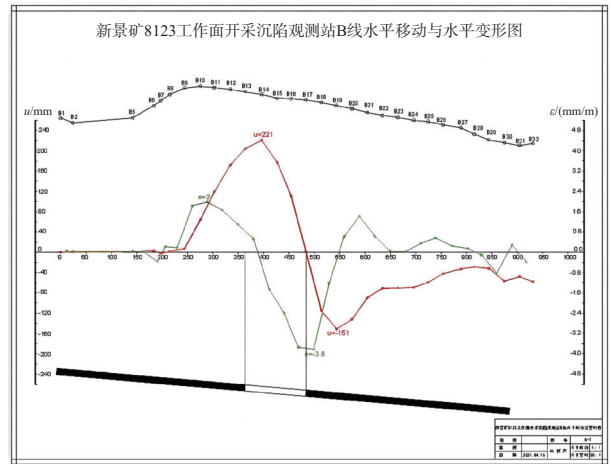
由图3(a)可以看出，观测线最低点地面标高为 911 m，最高点地面标高为 1028 m。下沉曲线整体上与采空区呈对称分布，呈现为漏斗形，由于煤层存在倾角，最大下沉点偏向于回采工作面下山方向，最大下沉点出现在 B17 号点，其下沉值为 808 mm。下沉曲线在 B5-B10 之间产生波动是由于这些点位处于坡体部分，受采动滑移的影响。

8123 工作面下山方向为 8122 工作面（未采），上山方向为 8124 工作面（未采），因此图3(a)下沉曲线形态不会受到临采影响，整体曲线形态符合非充分采动开采下沉规律，观测效果较好。

由图3(b)可看出，倾向观测 B 线上水平移动最大值出现的地方位于 B3 号点，最大正值为 221 mm，最大负值出现在 B18 号点为 -151 mm。曲线理论上应以采空区为中心呈反对称分布，实际由于煤层有倾角，导致下山方向范围小，观测结果基本符合此规律。另外由于坡体地形影响造成曲线最终



(a) 下沉曲线



(b) 水平移动和水平变形曲线

图3 倾向 B 线动态移动曲线

没有回到零值附近。

#### 2.2.2 倾向观测 C 线数据分析

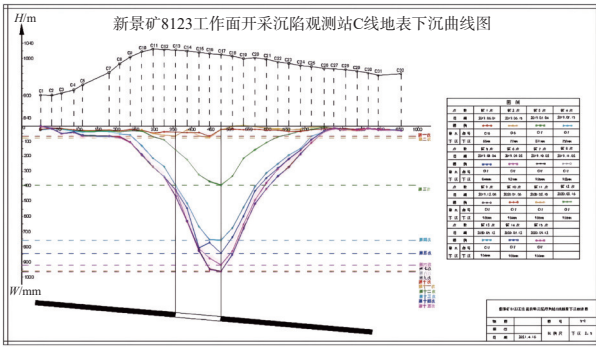
由图4(a)可看出，观测线最低点地面标高为 902 m，最高点地面标高为 1024 m。下沉曲线整体上与采空区呈近似对称，由于煤层倾角影响，下沉曲线偏向于下山方向，最大下沉点出现在 C17 号点，其最大下沉值为 966 mm。

由图4(b)可看出，倾向观测 C 线上水平移动最大值出现的地方位于 C13 号点，最大正值为 151 mm，最大负值出现在 C20 号点为 -212 mm。曲线理论上应以采空区为中心呈反对称分布，实际由于煤层有倾角，导致下山方向范围小，观测结果基本符合此规律。另外由于坡体地形影响造成曲线最终没有回到零值附近。

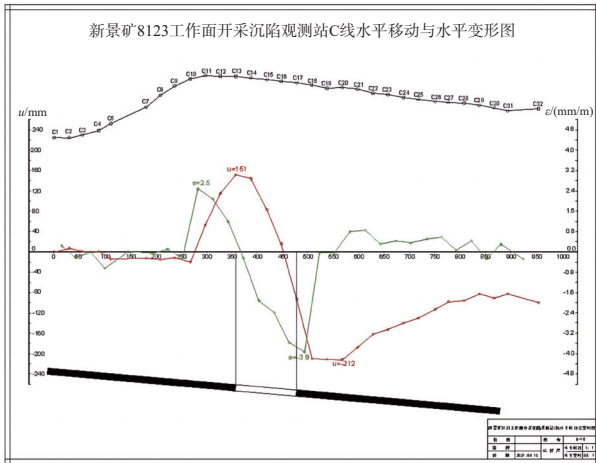
### 2.3 地表移动变形参数分析

#### 2.3.1 边界角、移动角和最大下沉角

按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》和矿山测量有关规程规定，应以观测线移动盆地边缘下沉 10 mm 的点与相邻工作面开采边界连线与水平线夹角确定移动盆地边界角。



(a) 下沉曲线



(b) 水平移动和水平变形曲线

图4 倾向C线动态移动曲线

观测站3条观测线分为走向观测线A线和倾向观测线B、C线,开采沿开切眼方向开采,煤层倾向平均倾角为7°。根据已有数据松散层厚度为0~38m之间,平均20m,松散层移动角取 $\phi=45^\circ$ ,根据实测数据所绘制移动变形图上量取得到地表移动范围角量参数见表2,由于受地形影响,部分角值未能获得。

表2 地表边界角和基岩移动角值

观测线	边界角(°)	基岩移动角(°)
A线	走向左 $\delta_0=70.7^\circ$	—
B线	下山 $\beta_0=58^\circ$	下山 $\beta'=65.7^\circ$
	上山 $\gamma_0=70.4^\circ$	上山 $\gamma'=72.4^\circ$
C线	下山 $\beta_0=59.9^\circ$	下山 $\beta'=68.1^\circ$
	上山 $\gamma_0=56.5^\circ$	上山 $\gamma'=72.2^\circ$
备注	松散层移动角 $\phi=45^\circ$	

根据倾向观测B线和C线的观测结果,通过作图的方式可分别确定: $\theta=82^\circ$ (B观测线), $\theta=81^\circ$ (C观测线),见表3。

表3 地表最大下沉角

观测线	最大下沉角(°)	平均最大下沉角(°)
B线	$\theta=82^\circ$	$\theta=81.5^\circ$
C线	$\theta=81^\circ$	

### 2.3.2 最大下沉速度、地表移动持续时间和滞后角

根据实测数据分析,走向观测线最大下沉点为A29,因此将A29号点做为下沉速度计算点位,计算A29号点16次测量数据的下沉速度,并绘制下沉速度图,如图5所示。

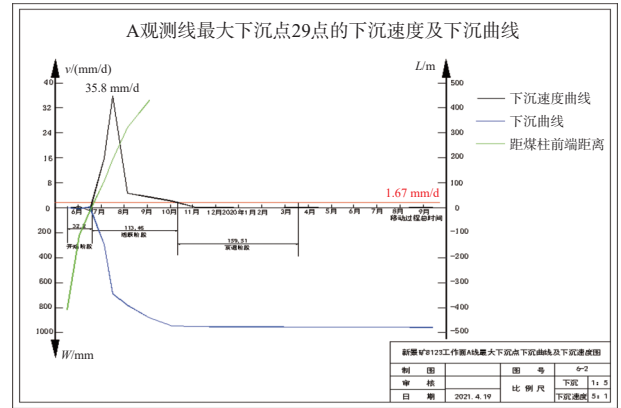


图5 地表最大下沉点下沉速度及下沉曲线

由图5可知,2019年7~8月,A29号点下沉速度达到最大,此期间该点平均最大下沉速度为35.8 mm/d,此时回采工作面已通过该点下方,距该点点位的水平距离为194 m。此点为移动总延续时间 $T_z=305$  d。A29号点在下沉过程速度最大值为35.8 mm/d,此时工作面开采位置距离A29号点194 m,按照开采深度500 m计算可得地表最大下沉速度滞后角 $\phi$ 为:

$$\phi = \arctan \frac{194}{500} = 68.8^\circ$$

按A29号点在移动期内的最大下沉值 $W_{\max}=959$  mm;最大下沉速度 $V_{\max}=35.8$  mm/d;采深(H)为 $H=500$  m;在此期间工作面的平均推进速度为: $C=6.0$  m/d。

由此求得最大下沉速度经验计算公式中的系数:

$$K_V = \frac{V_{\max} H}{W_{\max} C} = 3.11$$

即最大下沉速度经验计算公式为:

$$V_{\max} = 3.11 \frac{W_{\max} C}{H} (\text{mm/d})$$

式中: $C$ 为工作面推进速度, m/d; $H$ 为开采深度, m; $W_{\max}$ 为最大下沉值, mm。

### 3 地表移动变形预计参数模拟分析

模拟求参的方法是根据观测站采矿地质条件和实测结果,选定模拟参数,对比分析计算结果与实测值的差异情况,然后对预计参数进行相应调整直到获得最佳模拟效果,其预计参数即为最优模拟参数<sup>[4]</sup>。

以B线为例,实测下沉曲线结果与模拟下沉曲线结果对比如图6所示。从图中可看出第3次模拟曲线与实测曲线拟合程度较高。

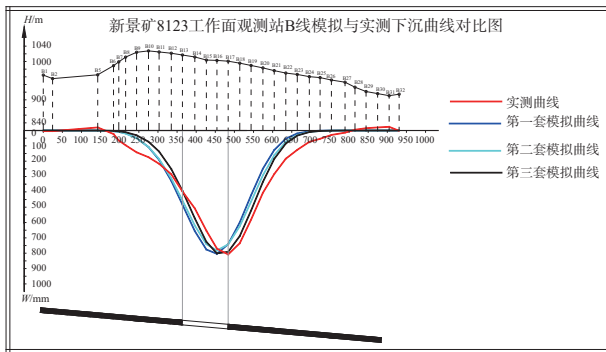


图6 8123工作面B线实测与模拟下沉曲线结果对比

通过对观测站ABC测线实测移动变形数据进行拟合求参,最终取得以下结果:下沉系数:0.85、主要影响角正切:2.5;水平移动系数:0.22;开采

影响传播角:  $82^\circ$ 、拐点偏移距:  $S_i = 0.05 \times H_i$ 。

### 4 总结

1) 结合新景矿8号煤层特征及8123工作面采矿地质条件,通过布设测线获取了较完整的沉陷观测数据,为后续研究提供了数据支撑。

2) 分析了工作面回采的地表移动变形特点及静动态变形分布规律并对主要参数进行了计算。

3) 通过对实测移动变形数据拟合分析,求取了概率积分法预计参数并针对回采工作面进行了预计计算,预计结果与实测数据拟合程度较高,证明了模拟参数的准确性和可靠性。

#### 参考文献:

(上接第58页)

- [7] 谭星宇,赵刚,史键波,等.基于Ventsim的复杂通风系统薄弱环节预警技术[J].采矿技术,2023,23(6): 81-87.
- [8] 赵兴东,赵思宇,李昂,等.深部通风三维仿真模拟研究[J].矿业工程,2024,22(3): 69-74.
- [9] 陈国芳,谭熙通,支学艺,等.基于Ventsim系统的矿山多中段通风系统改造研究[J].有色金属科学与工程,2019,10(4): 94-99.
- [10] 卢辉,袁树杰,马瑞峰,等.基于Ventsim的南山煤矿孤岛工作面均压通风方案研究[J].中国安全生产科学技术,

- [1] 刘一龙,杨天鸿,叶强,等.山区多煤层重复采动下地表变形特征[J].采矿与安全工程学报,2022,39(3): 507-516.
- [2] 王启春,李天和,郭广礼.基岩裸露山区煤层倾角对地表移动规律的影响研究[J].煤炭科学技术,2016,44(9): 155-160.
- [3] 戴华阳,翟厥成,胡友健.山区地表移动的相似模拟实验研究[J].岩石力学与工程学报,2000(4): 501-504.
- [4] 赵博,梁乃森,吴初,等.基于MATLAB的山区急倾斜煤层开采沉陷预计系统[J].金属矿山,2020(3): 159-167.

2020,16(8): 125-130.

- [11] 程志楷,程磊,王泽华,等.基于Ventsim的赵固二矿通风系统调整优化研究[J].煤炭技术,2023,42(5): 117-120.
- [12] 孙永平.Ventsim解算系统在复杂通风网络中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2020(3): 197.
- [13] 曹怀轩.基于Ventsim的复杂通风系统优化及监测预警研究[D].山东科技大学,2020.
- [14] 辛嵩,侯传彬,金晓娜,等.基于Ventsim模型的矿井单翼通风系统优化研究[J].矿业安全与环保,2019,46(6): 84-88.