

浅埋深高强度开采地表动态移动变形特征

陈俊杰 南 华 闫伟涛 郭文兵 邹友峰

(河南理工大学 河南 焦作 454003)

摘 要: 为了掌握浅埋深高强度开采条件下地表动态移动变形规律,以神东矿区哈拉沟煤矿 22407 工作面地表移动观测站实测数据为基础,阐述了地表动态移动变形的特性,得到了相关动态移动变形参数,并分析了该地质条件下动态移动变形呈现特殊规律的原因。研究表明:在浅埋深高强度开采条件下,地表下沉过程异常剧烈,移动变形更加集中,下沉盆地快速形成。在地表持续移动变形过程中,活跃阶段地表下沉量达到总下沉量的 81.4%,最大下沉速度系数为 1.73,最大下沉速度达 700.5 mm/d,超前影响距为 82 m,超前影响角为 57.8°,最大下沉速度滞后距为 57 m,最大下沉速度滞后角为 66.3°。

关键词: 地表移动变形; 浅埋深; 高强度开采; 神东矿区

中图分类号: TD325.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2016)03-0158-05

Features of surface dynamic movement and deformation caused by high intensity mining with shallow depth

Chen Junjie, Nan Hua, Yan Weitao, Guo Wenbing, Zou Youfeng

(Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: In order to grasp the laws of surface dynamic movement and deformation caused by high intensity mining with shallow depth, based on the observation data of the surface movement observation station in No.22407 mining face of Halagou Mine in Shendong Mining Area, the features of the surface dynamic movement and deformation, and relative dynamic parameters were clarified. Then the reason which surface dynamic movement and deformation appeared was analyzed under the condition of the geology. The results showed that under the condition of high intensity mining with shallow depth, the process of surface subsidence was exceptional fierce, the surface movement and deformation was more concentrated, and the subsidence basement was formed rapidly. In the process of surface movement duration, the subsidence value of active stage was 81.4% of total subsidence value, the maximum coefficient of the surface subsidence velocity was 1.73, the maximum of subsidence velocity reached to 700.5 mm/d, fore-influence distance and angle were 82 m and 57.8° respectively, the lagging distance and angle of the maximum subsidence velocity were 57 m and 66.3° respectively.

Key words: surface movement and deformation; shallow depth; high intensity mining; Shendong Mining Area

0 引 言

地处陕蒙交界的神府东胜矿区,煤炭资源储量约占全国总探明储量的 1/4。该地区煤层埋深浅、基岩薄、煤层赋存厚度大,地质条件简单。煤炭赋存条件易于实施机械化一次采全高,在开采过程中可以实现快速推进,符合高强度开采特点^[1-2]。目前,

神府东胜矿区已基本形成了高强度、高效率的地下开采模式,但在高强度开采条件下,地表移动变形剧烈,变形更加集中,直接影响着地表变形程度与分布规律。地下开采引起的地表移动变形是一个复杂的随时间和空间变化的四维问题,是空间和时间的连续函数。通常使用的稳定状态的地表沉陷变形规律,仅是地表沉陷变形终止的一个特例^[3]。因此为

收稿日期: 2015-10-17; 责任编辑: 代艳玲 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2016.03.030

基金项目: 国家自然科学基金委员会与神华集团有限责任公司联合资助项目(U1261206)

作者简介: 陈俊杰(1972—) 男,河南柘城人,教授。Tel: 13939100612, E-mail: chenjj@hpu.edu.cn

引用格式: 陈俊杰,南 华,闫伟涛,等.浅埋深高强度开采地表动态移动变形特征[J].煤炭科学技术,2016,44(3): 158-162.

Chen Junjie, Nan Hua, Yan Weitao, et al. Features of surface dynamic movement and deformation caused by high intensity mining with shallow depth[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(3): 158-162.

了发现地表移动变形分布规律,必须掌握地表沉陷动态变形的全过程。在地表动态变形规律研究方面,文献[4-9]分别根据不同的地质采矿条件,基于地表沉陷实测资料,借助于数值模拟等手段,总结分析了地表动态沉陷与变形规律,给出了相关地表动态移动变形不同阶段的变形特点。文献[10-16]在理论分析的基础上,在地表变形动态预测模型、预测方法、地表动态移动过程等方面做了大量的工作。上述研究文献根据不同地质采矿条件,在地表动态移动变形规律方面,取得了许多有价值的成果,有效地指导了现场开采实践。作者通过查阅相关文献,发现针对高强度开采条件下的地表移动变形动态规律方面的研究文献相对较少,特别是地表下沉及变形的动态参数方面的研究有待于进一步深入。基于此,笔者以神东矿区地表移动变形实测数据为基础,对浅埋深高强度开采条件下地表动态移动变形规律进行了研究与探索。

1 工作面概况

哈拉沟煤矿 22407 工作面上方全部被风积沙所覆盖,总体上地表起伏不大。工作面走向长 3 224 m,倾斜长 284 m。煤层平均埋深 130 m,基岩厚度 35~99 m,松散层厚 40~69 m。煤层厚度 5.4 m,倾角 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$,属近水平稳定型煤层。煤层基本顶为粉细砂岩,成分以石英、长石为主,波状层理。直接顶为中细砂岩,成分以石英、长石为主,泥质胶结。在基岩中存在主关键层和亚关键层 2 层关键层,主关键层位于垮落带之上,主要成分为细粒砂岩和石英中粒砂岩,亚关键层为基本顶粉砂岩层^[17]。根据 22407 工作面地质采矿条件和相关钻孔柱状图资料,计算出覆岩综合评价系数 $P=0.648$,参照文献[18],可知该工作面上覆岩层岩性综合评定为中硬偏软岩层。22407 为大采高、长距离、高强度综采工作面,采用单一长壁后退式全部垮落综合机械自动化采煤方法。推进速度约为 15 m/d,顶板管理采用全部垮落法。

2 地表观测站布置

22407 工作面地表移动观测站于 2013 年 11 月 1 日建立,走向观测线长度为 348 m,观测点 24 个,编号顺序为 A0—A23;倾斜观测线长度 308 m,观测点 20 个,编号顺序为 B1—B20;2 条观测线相交于 A21 观测点(图 1^[1])。另外在采动影响范围外设置

了 6 个控制点。

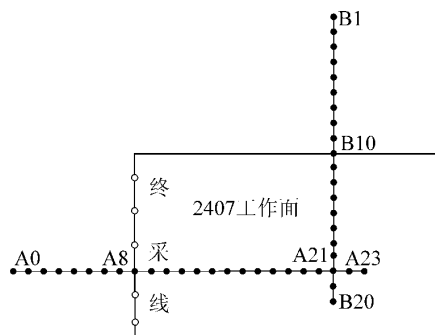


图 1 地表移动观测站布设示意

Fig. 1 Diagrammatic sketch of the surface movement observation station

22407 地表移动观测站设置完成后,根据工作面的实际开采情况,22407 综采工作面在 2014 年 5 月 11 日回采至终采线,整个工作面回采工作结束。在 2013 年 11 月 11 日开始进行初始观测,获得了地表移动观测站各个观测点的初始资料。按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》要求,整个观测工作自 2013 年 11 月 11 日开始至 2014 年 9 月 27 日结束,在此期间对地表移动观测站共进行了 11 次全面观测。在观测站观测期间,不仅记录观测点平面与高程,而且还记录了地表裂缝及塌陷坑、陷落柱的位置、长度、产状、大小等特征,同时记录了井下工作面回采位置、生产情况、矿压观测情况。在观测过程中,通过对比 2014 年 9 月 27 日第 11 次观测数据与第 10 次观测数据,根据文献[18],可知地表移动已趋于稳定。因此将第 11 次外业观测结果作为地表移动变形的最终数据。

3 地表移动变形动态特征与规律分析

3.1 地表下沉特性分析

22407 工作面地表移动观测站不同时期地表下沉曲线如图 2 所示。

由图 2 可知,在高强度开采条件下,随着工作面的推进,各观测点的地表下沉量持续增大,地表下沉盆地的范围越来越大,最终地表达达到最大下沉量 3 500 mm。其中 2014 年 1 月 5 日至 13 日共 9 d 时间,为地表受开采影响活跃期中最为剧烈的时间段(剧烈期按地表下沉速度大于 30 mm/d 标准计算),下沉量达到 2 848 mm,占地表总下沉量的 81.4%。较普通综放开采而言,此地表移动变形剧烈程度在矿山开采沉陷动态变形规律中较为罕见。在移动变形的剧烈期过后,随着工作面推进,地表下沉量仍在

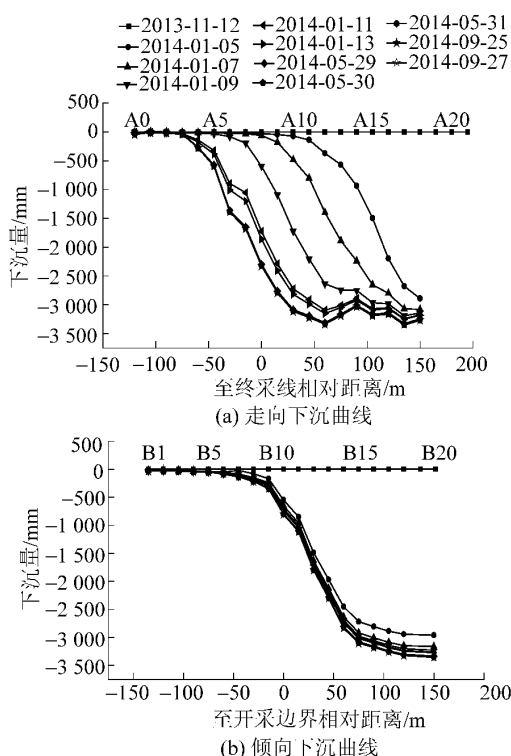


图2 地表走向与倾向下沉曲线

Fig. 2 Strike subsidence curves and slope subsidence curves

增大,但总体上增幅不太明显,这一特点在倾向方向上表现得更为充分。在倾向方向上,地表下沉盆地快速形成后,经历了近9个月的时间,地表总下沉量只有450 mm,这是因为在倾向方向上已达充分采动状态,地表整体下沉已较为充分。

3.2 工作面推进过程中地表下沉速度分析

下沉速度是衡量地表移动剧烈程度的重要指标之一,它取决于煤层开采厚度、开采深度、煤层倾角、工作面开采尺寸、推进速度、采煤方法和顶板管理方法、覆岩性质等地质采矿条件。在高强度开采条件下,随着22407工作面的不断推进,地表下沉速度曲线形状基本保持不变,均经历一个由小到大再到小的动态变化过程。地表点的下沉量与下沉速度急剧增大,变形异常集中,地表下沉盆地更为陡峭。在活跃期内地表下沉速度曲线如图3所示。

由图3可知,地表最大下沉速度点为A14,该点在2014年1月6日到8日2 d内下沉量为1 401 mm,其最大下沉速度 V_{\max} 达700.5 mm/d。由此得地表最大下沉速度系数 K 为^[19]:

$$K = V_{\max} H_0 / (C W_{\max}) \quad (1)$$

其中 H_0 为平均采深,取130 m; C 为工作面推进速度,取15 m/d; W_{\max} 为最大下沉量,取3 500

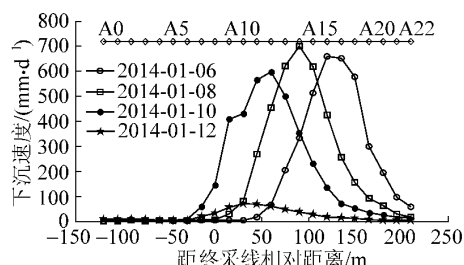


图3 各个观测点的下沉速度曲线

Fig. 3 Subsidence velocity curves of different observation points

mm。经计算,22407工作面推进过程中,地表最大下沉速度系数 $K=1.73$ 。

由以上分析可知,与普通综放开采条件相比,在高强度开采条件下地表最大下沉速度系数较大,反映了在高强度开采条件下地表下沉速度较大。

3.3 地表移动变形持续时间分析

根据开采沉陷的相关理论,地表动态移动变形随时间发展的过程可以分为3个阶段,即地表移动变形的开始阶段、活跃阶段和衰退阶段。由图4可知,地表移动变形的开始阶段时间较短,只持续了7 d左右。然后变形加速,进入了活跃期阶段,持续了约150 d,但在该阶段内的下沉量异常集中,历时仅9 d左右,地表点的下沉量达到总下沉量的81.4%。进入衰退期后,该阶段的地表移动变形持续时间较长,持续时间约为1年。

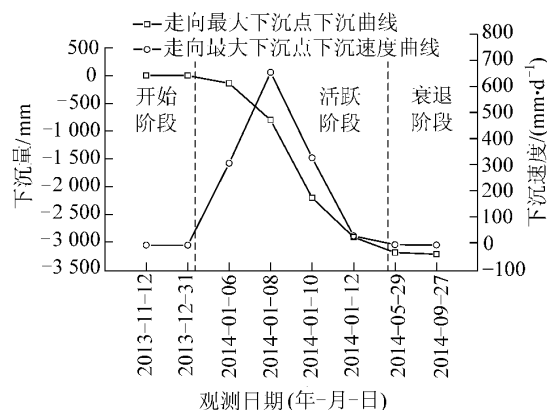


图4 地表下沉持续时间

Fig. 4 Duration of the surface subsidence

由以上分析可知,在高强度开采条件下,地表下沉开始阶段、活跃阶段持续时间很短,而衰退阶段持续时间与普通综放开采持续时间基本相当。

3.4 超前影响距及超前影响角分析

超前影响距是指在工作面推进过程中,工作面前方的地表受采动影响而下沉,开始移动的点到工

作面的水平距离。在下沉曲线图上,求取工作面前方地表开始移动下沉 10 mm 的点,按照现场 3 次观测结果,2014-01-05、2014-01-07、2014-01-09 观测得到的超前影响距分别为 95、83、67 m,则超前影响距平均值为 82 m。与传统综放开采条件相比,超前影响距偏小。

超前影响角是工作面前方地表开始移动(即下沉 10 mm)的点与当时工作面的连线与水平线在煤柱一侧的夹角。影响超前影响角 ω 大小的因素与采动程度、工作面推进速度、以及采动次数有关。当工作面回采结束后,超前影响角 ω 与边界角相等,计算式为^[19]:

$$\omega = \arccot \frac{l}{H_0} \quad (2)$$

其中: l 为超前影响距,取 82 m。经计算得超前影响角为 57.8°。

在浅埋深高强度开采条件下,采动程度较为充分,工作面推进速度快,高达 15 m/d。同时,由于工作面埋深浅、基岩薄、采厚大,上覆岩层中不存在弯曲下沉带,随着主关键层的垮断,出现上覆岩层与地表同步垮落现象,导致超前影响距偏小。值得注意的是,由于开采的高强度,大幅缩短了地下开采到地表显现的时间差距,形成了一种“今日地下采、明日地表陷”的独有现象。

3.5 最大下沉速度滞后距与滞后角分析

在工作面推进过程中,当地表达到充分采动后,地下下沉速度曲线上最大下沉速度点总是滞后回采工作面一段固定距离,称为最大下沉速度滞后距。地表最大下沉速度点与相应的回采工作面连线和煤层(水平线)在采空区一侧的夹角,称为最大下沉速度滞后角 Φ ^[20],其计算式如下:

$$\Phi = \arccot \frac{L}{H_0} \quad (3)$$

式中: L 为最大下沉速度滞后距, m。

根据现场实地观测,最大下沉速度滞后距为 57 m,工作面平均开采深度 H_0 为 130 m。由式(3)计算得最大下沉速度滞后角为 66.3°。

与传统综放开采条件相比,高强度开采条件下的最大下沉速度滞后角偏小,其主要原因是,在高强度开采条件下,采深较小,煤层厚,深厚比相对较小。同时,综合机械化一次采全高、工作面尺寸大,工作面推进速度快,造成了最大下沉速度滞后角相对偏小。

4 结 论

1) 受高强度开采的影响,在活跃期的 9 d 时间内,哈拉沟煤矿 22407 高强度开采工作面上方地表移动变形异常剧烈,地表下沉量占总下沉量的 81.4%,地表下沉盆地快速形成。这一特点尤其是倾向方向上地表下沉曲线表现得更为充分。

2) 浅埋深高强度开采条件下地表移动变形 3 个阶段持续时间呈现显著特点,22407 工作面地表移动变形初始阶段持续时间很短,只持续了 7 d 左右便进入活跃期。活跃期持续时间相对较长,历时约 150 d,但剧烈期持续时间很短,历时仅 9 d 左右。在衰退期阶段,地表移动变形持续时间较长,持续约 1 年时间。

3) 哈拉沟煤矿 22407 高强度开采工作面地表移动动态参数计算结果为:地表最大下沉速度系数为 1.73,最大下沉速度达 700.5 mm/d,超前影响距为 82 m,超前影响角为 57.8°,最大下沉速度滞后距为 57 m,最大下沉速度滞后角为 66.3°。

参考文献(References):

- [1] 黄庆享.浅埋煤层的矿压特征与浅埋煤层定义[J].煤炭学报, 2002, 21(8): 1174-1177.
Huang Qingxiang. Ground pressure behavior and definition of shallow seams[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 21(8): 1174-1177.
- [2] 王金安,赵志宏,侯志鹰.浅埋坚硬覆岩下开采地表塌陷机理研究[J].煤炭学报, 2007, 32(10): 1051-1056.
Wang Jin'an, Zhao Zhihong, Hou Zhiying. Study on catastrophic collapse of surface land induced by mining under a shallow and hard strata[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(10): 1051-1056.
- [3] 黄乐亭.地表动态沉陷变形的三个阶段与规律[J].矿山测量, 2003(3): 18-20.
Huang Leting. Three stages and laws of the surface dynamic subsidence deformation[J]. Mine Surveying, 2003(3): 18-20.
- [4] 李德海,许国胜,余华中.厚松散层煤层开采地表动态移动变形特征研究[J].煤炭科学技术, 2014, 42(7): 103-106.
Li Dehai, Xu Guosheng, Yu Huazhong. Study on features of surface dynamic movement and deformation caused by coal mining under thick alluvium[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(7): 103-106.
- [5] 黄乐亭,王金庄.地表动态沉陷变形规律与计算方法研究[J].中国矿业大学学报, 2008, 37(2): 211-215.
Huang Leting, Wang Jinzhuang. Research on laws and computational methods of dynamic surface subsidence deformation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2008, 37(2): 211-

- 215.
- [6] 彭小沾, 崔希民, 臧永强, 等. 时间函数与地表动态移动变形规律[J]. 北京科技大学学报, 2004, 26(4): 341-344.
Peng Xiaozhan, Cui Ximin, Zang Yongqiang, et al. Time function and prediction of progressive surface movements and deformations [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2004, 26(4): 341-344.
- [7] 宁永香, 崔建国. 影响地表动态移动和变形的因素[J]. 黑龙江科技学院学报, 2006, 16(1): 19-21.
Ning Yongxiang, Cui Jianguo. Progress movement and deformation under different influence factors [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science & Technology, 2006, 16(1): 19-21.
- [8] 郭文兵, 黄成飞, 陈俊杰. 厚湿陷黄土层下综放开采动态地表移动特征[J]. 煤炭学报, 2010, 35(2): 38-43.
Guo Wenbing, Huang Chengfei, Chen Junjie. The dynamic surface movement characteristics of fully mechanized caving mining under thick hydrous collapsed loess [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(2): 38-43.
- [9] 唐君, 王金安, 王磊. 薄冲积层下开采地表动态移动规律与特征[J]. 岩土力学, 2014, 35(10): 2958-2968.
Tang Jun, Wang Jin'an, Wang Lei. Dynamic laws and characteristics of surface movement induced by mining under thin alluvium [J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(10): 2958-2968.
- [10] 朱广轶, 沈红霞, 王立国. 地表动态移动变形预测函数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(9): 1889-1895.
Zhu Guangyi, Shen Hongxia, Wang Ligu. Study of dynamic prediction function of surface movement and deformation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(9): 1889-1895.
- [11] Yan Yueguan, Dai Huayang, Ge Linlin, et al. Numerical simulation of dynamic surface deformation based on D-InSAR monitoring [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2014 (24): 1248-1254.
- [12] 刘吉波, 廉旭刚, 戴华阳. 基于 UDEC 的岩层与地表移动动态模拟研究[J]. 煤矿开采, 2014, 19(3): 104-106.
Liu Jibo, Lian Xugang, Dai Huayang, et al. Dynamical simulation of rock strata and surface movement based on UDEC [J]. Coal Mining Technology, 2014, 19(3): 104-106.
- [13] 张顺峰, 胡瑞林, 武雄. 浅埋厚煤层开采地表变形动态预测与排水设计[J]. 煤炭学报, 2012, 37(2): 301-306.
Zhang Shunfeng, Hu Ruilin, Wu Xiong. Dynamic prediction of ground deformation and drainage design for shallow thick coal seam mining [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(2): 301-306.
- [14] 余学义, 党天虎, 潘宏宇, 等. 采动地表动态沉陷的流变特性[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(2): 131-134.
Yu Xueyi, Dang Tianhu, Pan Hongyu, et al. Rheological characteristics of surface dynamic subsidence by mining [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2003, 23(2): 131-134.
- [15] 崔希民, 缪协兴, 赵英利, 等. 论地表移动过程的时间函数[J]. 煤炭学报, 1999, 24(5): 453-456.
Cui Ximin, Miao Xiexing, Zhao Yingli, et al. Discussion on the time function of time dependent surface movement [J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(5): 453-456.
- [16] 王正帅, 邓喀中. 采动区地表动态沉降预测的 Richards 模型[J]. 岩石力学, 2011, 32(6): 1664-1668.
Wang Zhengshuai, Deng Kazhong. Richards Model of surface dynamic subsidence prediction in mining area [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(6): 1664-1668.
- [17] 李圣军. 哈拉沟煤矿高强度开采覆岩与地表破坏特征研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2015: 52-54.
- [18] 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, 1991: 88-89.
- [19] 邹友峰, 邓喀中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003: 45-46.
- [20] 郭文兵, 谭志祥, 陈俊杰, 等. 煤矿开采损害与保护[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2013: 27-28.