

# 煤矿开采对公路的影响及开采方案研究

温建生

(山西汾西柳湾煤矿有限责任公司,山西 吕梁 032300)

**摘要:**在公路下煤炭开采中,保证煤炭采出率,并降低地面公路受开采扰动影响而产生损害是目前采矿工作面对的难题。梧西公路经过柳湾煤矿61107工作面地表,为了确保开采过程中公路安全运营,提出限厚开采措施,采用煤矿开采地表移动变形预计系统对放顶煤全采和限厚开采两种方案进行地表移动变形预计,并在公路两侧布设监测点进行预计分析。结果表明:限厚开采方案可以有效降低公路损害程度,其沿线地表最大倾斜值为3.50 mm/m,最大水平压缩变形值为1.14 mm/m,最大负曲率为0.04 mm/m。开采过程中结合常规地表监测技术进行防范,可以保证公路的正常运营。

**关键词:**限厚开采;开采扰动;变形预计;公路损害

中图分类号:TD325

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Influence of Coal Mining on Highways and Mining Plan

WEN Jiansheng

(Liuwan Coal Industry Co., Ltd., Shanxi Fenxi Mining Group, Lvliang 032300, China)

**Abstract:** Ensuring coal recovery rate and reducing the damage caused by mining disturbances on highways are major issues in mining under highways. Wuxi Highway passes through the surface of the 61107 working face of Liuwan Coal Mine. In order to guarantee the safe operation of the highway during mining, limited thickness mining measures were proposed. Surface movement and deformation of two mining plans, top-coal mining and limited thickness mining, are predicted, and monitoring points are arranged on both sides of the highway for prediction and analysis. The results show that the limited thickness mining can effectively reduce the road damage, with the maximum slope value of the ground along the line being 3.50 mm/m, the maximum horizontal compression deformation 1.14 mm/m, and the maximum negative curvature 0.04 mm/m. Precautions combined with conventional surface monitoring technology can ensure the normal operation of the highway in the mining process.

**Key words:** limited thickness mining; mining disturbance; deformation prediction; highway damage

随着我国道路建设和煤炭工业的不断发展,我国煤炭资源赋存的广泛性与日益复杂的交通网产生的矛盾主要分为两类:在工作面上设计公路和在公路下布置新的工作面。为了保证公路的安全性,专家学者进行了很多相关的研究,邹友平<sup>[1]</sup>分析

了山西某矿南一采区开采对地面公路桥的损害程度,其预计变形值高于规范规定的允许变形值,故认为采动影响将对公路桥产生一定破坏。侯春来等<sup>[2]</sup>提出预留100 m保护煤柱和采用嗣后充填采矿法两大保护措施,对高速公路受开采扰动的影响进行

\* 收稿日期:2020-03-24

作者简介:温建生(1968—),男,山西平遥人,本科,工程师,从事煤矿地测防治水工作,E-mail:526589635@qq.com。

控制,数值模拟表明该方案可以保证公路的安全运营。韩森等<sup>[3]</sup>为了保证矿山公路的安全性,构建了矿区沉陷模拟的精细化三维模型,开展了煤炭开采过程中公路沉降特性及安全性的数值模拟研究,认为公路的局部区域存在安全隐患。邓伟男等<sup>[4]</sup>采用相似模型试验方法,分析高速公路下开采对路基与路面的移动变形破坏规律,解释了高速公路受开采扰动破坏变形的机理。雷明等<sup>[5-6]</sup>对设计公路与地下煤层开采的相互影响进行分析评价,对项目的顺利推进提供了指导。以上文献研究了受开采扰动影响公路变形破坏的机理、开采沉陷对公路的安全性评价及对设计修建公路的预期影响,在工程实践中保证了公路的正常运营,也为交通建设提供了依据,但对矿物开发的利用率考虑较少。贾林刚<sup>[7]</sup>分析了充填开采和条带开采公路保护煤柱的可行性,在保证高速公路安全运营的情况下,采出部分保护煤柱的压煤,提高了公路下开采煤炭资源的利用率。

由于柳湾煤矿开采煤层较厚,结合 61107 工作面工程地质条件,本文采用限厚开采方案,在保证梧西公路安全运营的前提下,安全有效地提高了煤炭采出率。

## 1 工程概况

柳湾煤矿 61107 工作面上方梧西公路由西向东与工作面约 12° 的方向斜交通过(如图 1 所示),其相邻工作面 61105 工作面和 61109 工作面均已回采完成,其中 61105 工作面回采时曾发生过公路南侧边坡滑塌灾害;61109 工作面回采时发生公路隧道垮塌的灾害,致使公路交通中断。工作面位于柳湾煤矿六盘区,所采煤层为太原组 11# 煤层,含 4 层以上夹矸,夹矸厚 0.02~0.20 m,11# 煤由 4.50 m 向北逐渐变薄为 4.20 m,平均 4.35 m,煤层倾角 2°~5°,平均 3° 左右,属近水平煤层。工作面开采基本参数:工作面长度 1 624 m,宽度 180 m,平均采高 4.35 m,平均采深 185 m,开采深厚比为 42,开采宽深比为 0.97。

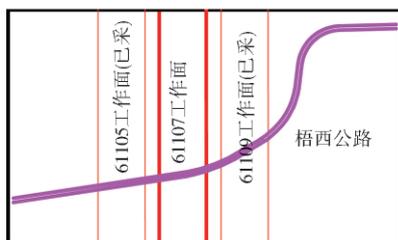


图 1 工作面与公路位置关系图

Fig. 1 Position relation of working faces and the highway

## 2 地表移动变形计算参数

本矿区没有实测的地表移动变形参数,因而根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》<sup>[8]</sup>中推荐的中硬覆岩地表移动变形参数,结合本矿区内的地质、采矿特征和上覆岩层性质,类比近邻煤矿实际观测参数,取其概率积分法地表移动变形预计参数:下沉系数  $q=0.85$ ,主要影响正切  $\tan\beta=1.8$ ,水平移动系数  $b$  为 0.3,拐点偏移距  $S=0.1h$  ( $h$  为采深),影响传播角  $\theta=88^\circ$ ,山区滑移影响系数  $A=2\pi, P=2, T=\pi$ 。

## 3 公路影响区域限厚开采方案

### 3.1 影响区域的确定

采用垂线法留设保护煤柱的方法对受护对象梧西公路留设警戒线。根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》规定,基岩倾斜剖面移动角和垂线长度计算公式为:

$$\cot\beta' = \sqrt{\cot^2\beta \times \cos^2\theta + \cot^2\delta \times \sin^2\theta} \quad (1)$$

$$\cot\gamma'' = \sqrt{\cot^2\gamma' \times \cos^2\theta + \cot^2\delta \times \sin^2\theta} \quad (2)$$

上山方向垂线长度:

$$q = \frac{(h_0 - h) \times \cot\beta'}{1 + \cot\beta' \times \tan\alpha \times \cos\theta} \quad (3)$$

下山方向垂线长度:

$$l = \frac{(h_0 - h) \times \cot\gamma''}{1 + \cot\gamma'' \times \tan\alpha \times \cos\theta} \quad (4)$$

式(1)~式(4)中: $\theta$  为公路影响边界与煤层走向夹角, ( $^\circ$ );  $\delta$  为走向方向的基岩移动角, ( $^\circ$ );  $\beta'$  为上山方向的基岩移动角, ( $^\circ$ );  $\gamma''$  为下山方向的基岩移动角, ( $^\circ$ );  $\alpha$  为煤层倾角, ( $^\circ$ );  $h_0$  为煤层到地表的垂深, m;  $h$  为松散层厚度, m。

基岩移动角:  $\delta = \gamma = 65^\circ; \beta = \delta - 0.6\alpha$

松散层移动角:  $\varphi = 45^\circ$

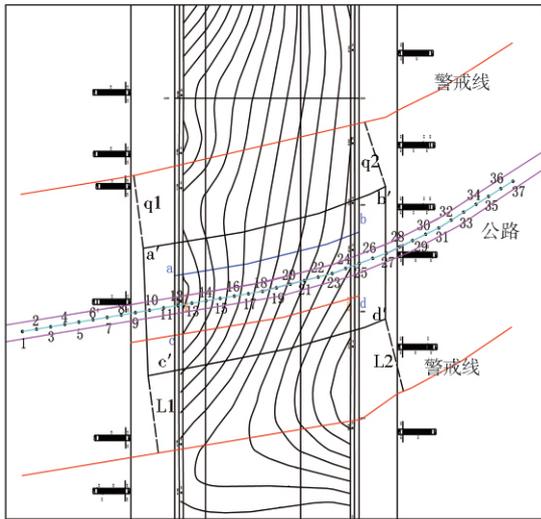
根据计算结果,距该段公路南侧 128 m 设警戒线,距公路北侧 123 m 设警戒线,警戒线两侧范围内共计 251 m,限厚开采区域见图 2。

### 3.2 限厚开采方案

1) 61107 工作面运巷推进至距公路 123 m,材巷回采与运巷平行时开始进行不放顶煤回采作业,并由地测科用红油漆标定出井下相应位置,采高控制在 2.2 m。

2) 61107 工作面材巷过梧西公路 128 m,运巷回采与材巷平行后开始逐步调整工作面采高,并由地测科用红油漆标定出井下相应位置,进行正规循

环作业,恢复放顶煤开采。



注:ab,cd 线为围护带线;a'b',c'd'为松散层范围线  
图 2 限厚开采区域图

Fig. 2 Limited thickness mining area

表 1 柳湾煤矿 61107 工作面全采后地表移动变形最大值

Table 1 Maximum surface movement and deformation after full mining in 61107 face of Liuwan Coal Mine

下沉/mm	水平移动/mm		倾斜/(mm·m <sup>-1</sup> )		负曲率/(mm·m <sup>-1</sup> )		水平变形/(mm·m <sup>-1</sup> )	
	-	+	-	+	-	+	-	+
3 414	1 164	1 074	37.70	37.20	0.59	0.82	17.94	24.02

表 2 柳湾煤矿 61107 工作面限厚开采后影响区域内地表移动变形最大值

Table 2 The maximum surface movement and deformation in the influenced area of 61107 working face of Liuwan Coal Mine

下沉/mm	水平移动/mm		倾斜/(mm·m <sup>-1</sup> )		负曲率/(mm·m <sup>-1</sup> )		水平变形/(mm·m <sup>-1</sup> )	
	-	+	-	+	-	+	-	+
1 628	579	509	17.60	17.00	0.37	0.42	11.21	13.38

根据预计结果绘制限厚开采方案下地表移动变形等值线,结果表明:限厚开采后发生在公路两侧区域内的移动变形量有明显的减少,大约为全采移动变形量的一半,从移动变形的量值看,最大拉伸变形值达到 11.21 mm/m,最大水平压缩变形为 13.38 mm/m。由于压缩变形会在公路上产生较多的隆起变形,同时公路受拉伸变形影响会产生裂缝。公路两侧坡体(工作面上方公路南侧的土体边坡、05 和 09 工作面

## 4 地表移动变形预计结果及分析

### 4.1 全盆地地表移动变形预计

1)放顶煤全采方案。61107 工作面全部采用放顶煤开采,平均开采厚度为 4.35 m,该方案的采动地表移动变形最大值如表 1 所示。

结合工程实践和预计结果进行分析:地表塑性大的黏土,一般在拉伸变形超过 6~10 mm/m 发生裂缝;塑性小的砂质黏土,拉伸变形达到 2~3 mm/m 时发生裂缝,其延展深度为 5~10 m。61107 工作面按放顶煤开采产生的拉伸变形量达 17.94 mm/m,远远超过地表松散层极限值,不仅在公路上产生裂缝,对公路本身产生较大的影响,而且也会在周边的土体边坡(工作面上方公路南侧的土体边坡、05 和 09 工作面上方已发生滑坡的区域)产生较大的拉张裂缝,造成边坡土体破碎,且易发生土体崩塌及滑坡。

2)限厚开采方案。限厚开采方案的地表移动变形最大值如表 2 所示。

上方已发生滑坡的区域)产生拉张裂缝,造成边坡土体破碎,但破坏程度比全部放顶开采要小得多。

### 4.2 公路沿线地表移动变形预计

为了定量分析两种开采方案对公路的采动影响,沿公路线每隔 15 m 布设监测点进行计算,共布置 37 个点,两种开采方案下对监测点进行地表移动变形预计的最大变形值如表 3 所示。

表 3 61107 工作面开采公路沿线预计点变形最大值

Table 3 The maximum deformation of the predicted points along the highway of 61107 mining face

方案	下沉/mm	水平移动/mm		倾斜/(mm·m <sup>-1</sup> )		负曲率/(mm·m <sup>-1</sup> )		水平变形/(mm·m <sup>-1</sup> )	
		-	+	-	+	-	+	-	+
全采 (点号)	3 219 (18)	195 (13)	234 (22-23)	7.00 (14)	6.80 (23)	0.01 (7-11,25-30)	0.08 (18-19)	0.51 (26-27)	2.48 (18)
限厚 (点号)	1 628 (18)	98 (13)	118 (22-23)	3.50 (13)	3.40 (24)	0.01 (8-9,26-28)	0.04 (18-19)	0.29 (27)	1.14 (18)

1)放顶煤全采方案。对照 61107 工作面开采后公路上各点产生的地表移动变形值和《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中规定的采动损害程度标准,开采后地表最大倾斜值为

7.00 mm/m,最大水平压缩变形值为 2.48 mm/m,最大负曲率为 0.08 mm/m,因此 61107 工作面全部放顶煤开采会对梧西公路造成严重损害。

2)限厚开采方案。图 3 为限厚开采方案下公路

沿线预计点地表移动变形曲线,图中 X 坐标为各预计点相对于初始预计点的平面距离。对照 61107 工作面限厚开采后地表任意点产生的地表移动变形值,以对公路采动损害程度评价标准,限厚开采后公

路沿线地表最大倾斜值为 3.50 mm/m,最大水平压缩变形值为 1.14 mm/m,最大负曲率为 0.04 mm/m,对公路造成轻度损害,因此 61107 工作面在警戒区内限厚开采对梧西公路的采动损害较轻。

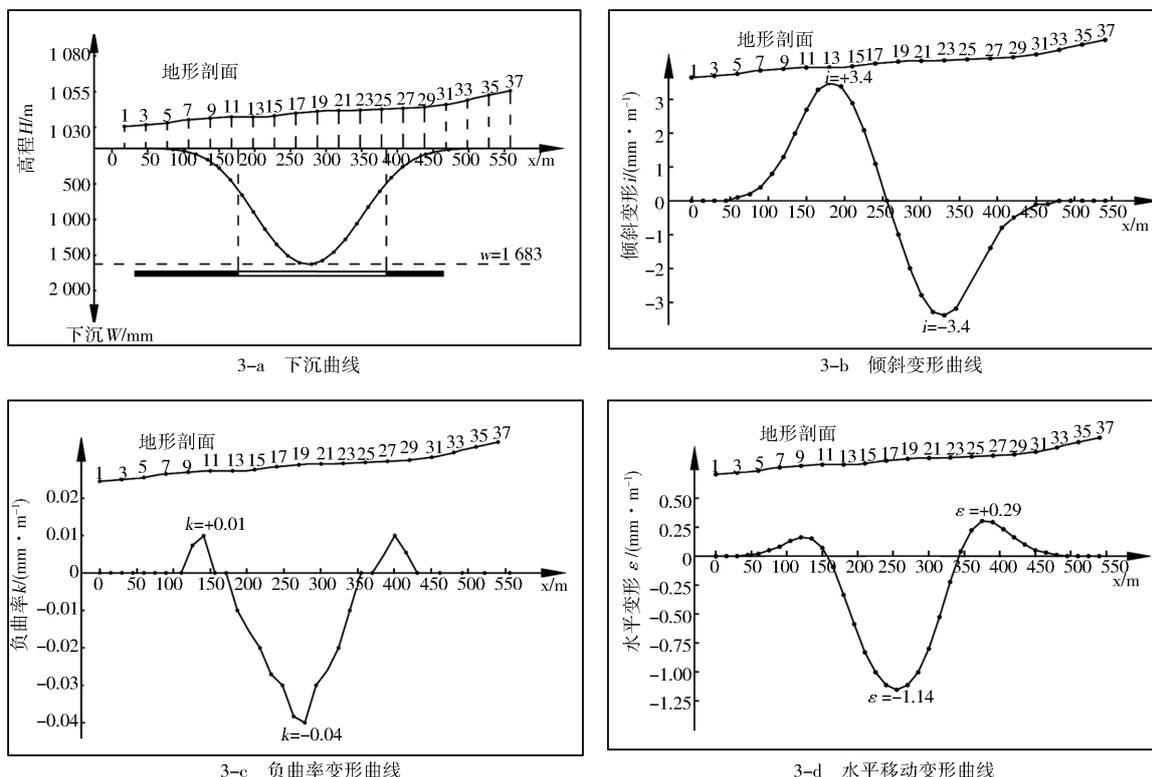


图 3 公路沿线预计点移动变形曲线

Fig. 3 Movement and deformation curves of predicted points along the highway

### 4.3 地表移动变形时间及滞后距

1)移动变形总时间。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》附录四中推荐的公式,计算地表点的移动变形持续时间,其地表最大下沉点移动延续总时间(t)可按下列经验公式估算:

$$t = 2.5 h_m \quad (5)$$

式中: $h_m$  为平均采深, m。

将 61107 工作面平均采深 185 m 代入式(5),计算得到  $t=462$  d,即回采结束后 462 d 地表移动变形达到稳定,故在此移动变形时间内都应进行变形监测。

2)最大下沉速度滞后距。根据柳湾煤矿 61107 工作面 11# 煤的顶板岩性特征,结合《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》中的观测数据,综合类比确定其最大下沉速度滞后角为  $75^\circ$ ,计算可知:最大下沉速度滞后距为 50 m,即公路可能在工作面推过公路 50 m 后产生最大移动变

形,移动破坏最为剧烈,之后逐渐减弱。故在工作面回采推进过公路 50 m 左右距离时,应加大监测力度,避免公路产生较大损害。

## 5 结论

1)相较于放顶煤全采方案,本文采用的限厚开采方案极大地降低了梧西公路受采动影响产生的变形损害,但受水平移动变形的影响,公路上仍会产生较多的隆起和裂缝。故在工作面回采工作中,应定期组织人员巡查公路损害情况,当梧西公路出现裂缝及隆起变形破坏时,采用灌浆处理采动裂缝,调整超限的坡度,及时修理不平整的路面和损坏的涵洞。

2)根据计算得到的 61107 工作面地表移动变形总时间及最大下沉速度滞后距,梧西公路受影响时间约为 15 个月,在移动变形时间内都应进行变形监测,且在工作面开采推过公路 50 m 左右时,应加大监测力度,确保梧西公路的正常运营。

## 参考文献:

- [1] 邹友平. 煤矿开采对公路桥的安全影响现状评价[J]. 煤矿开采, 2018, 23(1): 43-45.  
ZOU Youping. Status Evaluation of Safety Influence of Coal Mining to Highway Bridge[J]. Coal Mining Technology, 2018, 23(1): 43-45.
- [2] 侯春来, 吴爱祥, 王晗明. 高速公路下开采的地表沉降控制与预测[J]. 矿业研究与开发, 2016, 36(5): 23-27.  
HOU Chunlai, WU Aixiang, WANG Yiming. Control and Prediction on Surface Subsidence for Mining Under Highway[J]. Mining Research and Development, 2016, 36(5): 23-27.
- [3] 韩森, 张钦礼, 刘泽洲, 等. 近塌陷区矿山公路开采沉降规律及安全性研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(8): 126-131.  
HAN Sen, ZHANG Qinli, LIU Zezhou, et al. Settlement Property and Safety of Mine Road Near Subsidence Area Under Mining Disturbance[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(8): 126-131.
- [4] 邓伟男, 张华兴, 贾林刚. 开采沉陷影响下高速公路变形破坏的试验研究[J]. 金属矿山, 2015(4): 31-35.  
DENG Weinan, ZHANG Huaxing, JIA Lingang. Experimental Research on Deformation and Failure of Expressway Influenced by Coal Mining Subsidence[J]. Metal Mine, 2015(4): 31-35.
- [5] 雷明, 潘东, 刘杰. 某矿地下开采对地表公路安全影响分析[J]. 金属矿山, 2017(11): 152-155.  
LEI Ming, PAN Dong, LIU Jie. Safety Impact Analysis of Underground Mining in a Mine on the Surface Highway[J]. Metal Mine, 2017(11): 152-155.
- [6] 王乐杰. 地下开采对高速公路隧道的影响研究[J]. 金属矿山, 2013(7): 27-30.  
WANG Lejie. Effect of Underground Mining on the Expressway Tunnel[J]. Metal Mine, 2013(7): 27-30.
- [7] 贾林刚. 高速公路保护煤柱留设及压煤开采评价[J]. 煤矿开采, 2013, 18(4): 91-93.  
JIA Lingang. Evaluation of Mining Under Expressway and Design of Protective Coal-pillar[J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(4): 91-93.
- [8] 国家安全监管总局, 国家煤矿安全监察局, 国家能源局, 国家铁路局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000.

(编辑: 樊 敏)

## (上接第 91 页)

- [4] 常静怡. 西沙海槽 XH-W03B-16 站位粉砂质泥岩中条带状黄铁矿产出特征及成因浅析[C]//中国矿物岩石地球化学学会. 中国矿物岩石地球化学学会第 17 届学术年会论文摘要集. 杭州: 中国矿物岩石地球化学学会, 2019.
- [5] 胡斌, 杨连超, 胡磊, 等. 山西陵川地区上石炭统—下二叠统太原组 15# 煤层成煤环境分析[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(2): 4-11, 31.  
HU Bin, YANG Lianchao, HU Lei, et al. Analysis of Upper Carboniferous-lower Permian Taiyuan Formation Coal Seam No. 15 Coal-forming Environment in Lingchuan Area, Shanxi[J]. Coal Geology of China, 2013, 25(2): 4-11, 31.
- [6] 邵龙义, 肖正辉, 汪浩, 等. 沁水盆地石炭—二叠纪含煤岩系高分辨率层序地层及聚煤模式[J]. 地质科学, 2008(4): 777-791.  
SHAO Longyi, XIAO Zhenghui, WANG Hao, et al. Permo-carboniferous Coal Measures in The Qinshui Basin: High-resolution Sequence Stratigraphy and Coal Accumulating Models[J]. Chinese Journal of Geology, 2008(4): 777-791.
- [7] 杨克兵, 严德天, 郭建东, 等. 沁水盆地南部煤系地层层序及聚煤控制因素[J]. 天然气勘探与开发, 2014, 37(3): 24-27, 51.  
YANG Kebin, YAN Detian, GUO Jiandong, et al. Sequence and Factors Affecting Accumulation in Coal Series, Southern Qinshui Basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2014, 37(3): 24-27, 51.
- [8] 黄晶晶, 孙粉锦, 王勃, 等. 沁水盆地南部石炭—二叠系层序地层划分与聚煤作用[J]. 中国煤层气, 2015, 12(2): 17-22.  
HUANG Jingjing, SUN Fenjin, WANG Bo, et al. Permo-carboniferous Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation in South Qinshui Basin[J]. China Coalbed Methane, 2015, 12(2): 17-22.
- [9] 丁恋. 沁水盆地西南缘石炭—二叠纪含煤岩系层序地层及聚煤特征[J]. 中国煤炭地质, 2019, 31(4): 8-12, 22.  
DING Lian. Permo-carboniferous Coal Measures Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation Features in Southwestern Qinshui Basin[J]. Coal Geology of China, 2019, 31(4): 8-12, 22.
- [10] 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1997.

(编辑: 薄小玲)