

急倾斜煤层开采对地表构筑物影响的预计

高明中¹,王列平²

(1. 安徽理工大学能源与安全学院,安徽淮南 232001; 2. 安徽理工大学地球与环境学院,安徽淮南 232001)

[摘要] 针对淮南某矿急倾斜煤层开采复杂的采矿地质条件,运用概率积分法对优化后的开采方案所引起的地表沉陷进行研究,总结出急倾斜煤层开采重复采动所引起的厚冲积层地表沉陷的相关参数。所得结果对现场开采及地表沉陷治理具有一定的指导作用,对于同类地质和开采条件的矿区具有重要参考价值。

[关键词] 急倾斜煤层;地表移动与变形;概率积分法;预计

[中图分类号] TD325 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)11-0142-05

急倾斜煤层在我国可采煤层中占的比例稍大于14%,主要分布在全国20余个矿区。然而,随着煤矿开采强度和深度的增大,急倾斜煤层开采问题也日益突出。在急倾斜煤层条件下开采,引起地表形成塌陷槽和大量的地表沉陷、开裂破坏,严重时出现突陷,造成区内大批的建筑物等设施遭到严重破坏,使脆弱的生态环境更加恶化,严重影响了矿区经济的可持续发展。此外,在不同的地质采矿条件下,急倾斜煤层开采所引起的地表移动与变形特征差别较大。目前,国内外对于厚冲积层下急倾斜煤层群重复开采条件下的地表移动与变形预计还没有统一的模式。因此,研究急倾斜煤层开采的采动损害问题,对于我国煤炭工业的健康持续发展,实现经济发展、社会稳定和生态环境保护协调统一,建设绿色矿区,显得十分必要和迫切。

1 研究基础

1.1 开采条件

淮南新集三矿西三采区主要可采煤层有3层,分别为13-1,11-2和8-1煤层,煤层平均厚度分别为5,1.5,3.2 m,煤层倾角平均为60°。间距平均为65 m和85 m。采用伪倾斜柔性掩护支架采煤法。采区新生界地层由第四系和第三系组成,厚度为143~167 m,属于厚冲积层。矿井地面标高平均+20 m,采区开采范围为-200~-340 m。采区范围

为地面某河流堤坝保护煤柱圈定范围,走向长为700 m。

1.2 开采方案优化的数值分析

为探讨不同开采方案下的地表移动规律,针对以上开采条件,进行了数值模拟^[1]。开采方案分别为:分煤层开采;分区段开采;各煤层区段间正台阶顺序开采;煤层区段间倒台阶顺序开采。经综合分析认为:煤层区段间正台阶顺序开采较为有利。一是开采初期,堤坝的维护工程量小,开采中后期的加固工程量也不大;二是以主采煤层13煤为主,兼顾其它煤层的开采;三是区段间相互影响小,有利于巷道布置和生产接替。

1.3 岩移基本规律的模型试验

为了分析优化方案条件下的岩层与地表移动规律,针对以上开采条件,进行了相似材料模型试验^[2]。模型试验表明:急倾斜煤层开采顶板是沿煤层法线方向垮落充填采空区的。在倾斜方向没有出现充分采动的现象。急倾斜煤层开采时,地表沉陷的分布由初期的基本对称发展到后期的不对称。地表移动非充分采动且向下山方向影响长度远大于上山方向的影响长度范围。急倾斜煤层开采,地表移动盆地向下山方向扩展更远。厚冲积层的影响主要体现在地表处出现了水平移动的“指向异化”,而岩层土与表土层界面处出现了水平移动“指向同化”,产生指向上山方向的水平移动。

[收稿日期] 2007-01-12;修回日期 2007-09-29

[基金项目] 安徽省自然科学基金资助项目(070414169);安徽省教育厅自然科学基金资助项目(KJ2007A116ZC)

[作者简介] 高明中(1957-),男,安徽淮南人,安徽理工大学教授、博士生导师。主要从事于矿山压力和岩体移动方面的研究。E-mail: mzgao@aust.edu.cn

2 地表移动的预计

为了掌握堤坝受开采影响的移动与变形规律,为堤坝沉降后的治理提供科学依据,实现安全、经济、合理的开采,根据堤下煤层群开采优选的最佳方案,按优化开采方案的不同时期对堤坝和地表盆地的移动与变形进行了动态叠加预计。

根据文献[1],堤下煤层群开采优选的最佳方案结论为:初期开采 13#-1 和 11#-1 工作面,中期开采 13#-2,8#-1,13#-3,11#-2,11#-3 和 8#-2 工作面,后期开采 13#-4,8#-3,11#-4 和 8#-4 工作面。

2.1 地表移动盆地预计数学模型的选取

根据原国家煤炭工业局 2000 年颁布的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中提供的典型曲线法、负指数函数法和概率积分法,以及目前国内外常用的威布尔分布法,参照类似矿区地质采矿条件的研究成果^[3],结合本矿井地表移动与变形观测资料的结果分析,最终选取概率积分法作为本次预计的数学模型。为了验证本次预计方法和参数的可靠性,对西一、西二采区进行了预计,分初期、中期和后期三个时期对堤坝和地表盆地的移动与变形分别进行叠加预计。

2.2 地表移动盆地预计数学模型的建立

2.2.1 与走向主断面平行剖面的数学模型

$$\begin{cases} W(x, y_0) = C_y W^0(x) \\ U(x, y_0, 0) = C_y U^0(x) \end{cases} \quad (1)$$

2.2.2 与倾向主断面平行剖面的数学模型

$$\begin{cases} W(x_0, y) = C_x W^0(y) \\ U(x_0, y, 90^\circ) = C_x U^0(y) \end{cases} \quad (2)$$

其中, $C_x = W^0(x_0)/W_0$; $C_y = W^0(y_0)/W_0$; $W_0 = q \times m \times \cos \alpha$; $W^0(x) = [W(x) - W(x-l)]$; $U^0(x) = [U(x) - U(x-l)]$; $W^0(y) = [W(y) - W(y-L)]$; $U^0(y) = [U(y) - U(y-L)]$; $W(x) = \{\operatorname{erf}[\pi^{(1/2)} x/r] + 1\} W_0/2$; $U(x) = b \times r \times i(x)$; $W(y) = \{\operatorname{erf}[\pi^{(1/2)} y/r_1] + 1\} W_0/2$; $U(y) = b_1 \times W_0 \cdot \exp(-\pi y^2/r_1^2) + W(y) \times \cot \theta_0$; $W(y-L) = \{\operatorname{erf}[\pi^{(1/2)} (y-L)/r_2] + 1\} W_0/2$; $U(y-L) = b_2 W_0 \exp[-\pi(y-L)^2/r_2^2] + W(y-L) \times \cot \theta_0$ 。

以上公式中, q 为下沉系数; m 为煤层法线开采厚; θ_0 为开采影响传播角; α 为煤层倾角; C_x 为走向方向的采动程度系数; C_y 为倾斜方向的采动程度系

数; b, b_1, b_2 分别为走向、下上方向、上山方向的水平移动系数; $\tan \beta, \tan \beta_1, \tan \beta_2$ 分别为走向、下上方向、上山方向的主要影响角正切; r, r_1, r_2 分别为走向主断面上采空区走向边界、倾斜主断面上采空区下边界、上边界的主要影响半径; L, l 分别为采空区倾斜投影和走向计算长度。

2.2.3 沿堤坝中线方向预计数学

$$\begin{cases} W(x, y) = C_x C_y W_0, \\ U(x, y, \varphi) = C_y U^0(x) \cos \varphi + C_x U^0(y) \sin \varphi \end{cases} \quad (3)$$

式中 φ 为从 x 轴的正向逆时针计算到指定方向的角值,其余各符号含义同上。

角值参数主要依据本矿西一、西二采区的实测资料,并参照了类似矿区地质采矿条件的研究成果,经过数据分析处理后得到的。用最小二乘法原理和回归分析方法确定了回采段高小于 40 m 的概率积分预计参数。具体角值参数和概率积分预计参数:最大下沉角 $\theta = 83^\circ$;底板边界角 $\lambda_0 = 45^\circ \sim 50^\circ$;顶板边界角 $\beta_0 = 41^\circ \sim 45^\circ$;走向边界角 $\delta_0 = 42^\circ \sim 45^\circ$;松散层移动角 $\varphi = 42^\circ$;下沉系数 $q = 0.4 \sim 0.44$;主要影响角正切 $\tan \beta = 1.7, \tan \beta_1 = 1.02, \tan \beta_2 = 1.14$;水平移动系数 $b = 0.35 \sim 0.4$;拐点移动距 $S_E = -10 \text{ m}; S_E = -10 \text{ m}; S_L = 0.2 H_L; S_F = 0.2 h_F$ 。

2.3 预计结果

2.3.1 堤坝中线方向移动与变形预计 初、中、后期堤坝移动与变形动态特征预计成果如表 1 所示。移动与变形动态过程如图 1 至图 4 所示。

图 1 至图 4 中曲线 1 代表初期、曲线 2 代表初中期、曲线 3 代表初中后期。堤坝中线方向移动与变形预计表明:

1) 各工作面开采所引起的堤坝中线方向的下沉曲线为非对称的瓢形,各开采时期叠加下沉曲线呈连续渐变基本对称的碗状。

2) 厚冲积层下急倾斜煤层群重复开采,由下沉曲线的形状决定了边缘部分收敛缓慢。初期、初中期和初中后期的堤坝中线方向的最大下沉点分别位于 27, 26, 26 预计点号上,其对应的最大下沉值分别为 0.49 m, 1.81 m 和 2.66 m。最大下沉值较小,但影响范围较大,最终堤坝中线方向的影响长度约为 1 020 m。

3) 曲率变形较小,在堤坝中线方向的最大曲率变形仅为 $+0.051 \text{ mm/m}^2$,说明在堤坝中线方向倾斜的变化程度较小,在较小的正负曲率作用下,堤坝不

表 1 初、中、后期堤坝移动与变形动态特征

Table 1 Dynamic characteristics of movement and deformation in dyke during different periods

阶段	初期	中期	初中期	后期	初中后期	
影响堤长/m	680	940	940	1 020	1 020	
最大下沉	点号 27	26	26	26	26	
极值	W_m/mm	-492	-1 326	-1 816	-852	-2 668
倾斜极值	顶板方向点号	22	19	20	17	19
	$i_m/mm \cdot m^{-1}$	2.94	6.11	8.65	2.96	11.21
	底板方向点号	32	37	32	36	34
	$i_m/mm \cdot m^{-1}$	-2.99	-4.62	-6.98	-3.32	-9.76
水平移动	顶板方向点号	22	20	21	18	20
	U_m/mm	317	823	1 109	493	1 573
	底板方向点号	33	39	38	38	38
极值	U_m/mm	-135	-214	-257	-212	-469
水平拉伸	顶板方向点号	18	15	16	11	15
	$\epsilon_m/mm \cdot m^{-1}$	2.17	4.30	5.83	2.07	7.13
	底板方向点号	36	43	42	43	43
变形极值	$\epsilon_m/mm \cdot m^{-1}$	1.06	1.62	1.73	1.37	3.10
上凸曲率	顶板方向点号	18	14	16	9	14
	$K_m/mm \cdot m^{-2}$	0.021	0.032	0.044	0.012	0.051
	底板方向点号	36	42	42	42	42
极值	$K_m/mm \cdot m^{-2}$	0.021	0.029	0.032	0.016	0.048

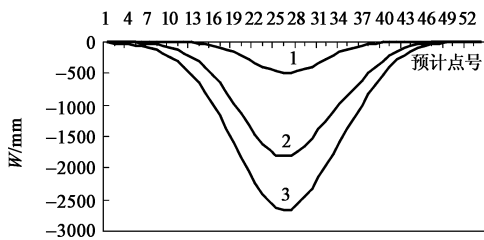


图 1 堤坝动态下沉曲线

Fig.1 Dynamic subsidence curve of dyke

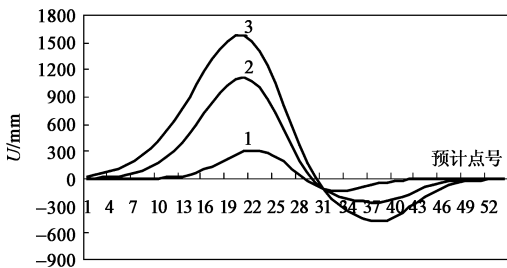


图 2 堤坝动态水平移动曲线

Fig.2 Dynamic horizontal movement curve of dyke

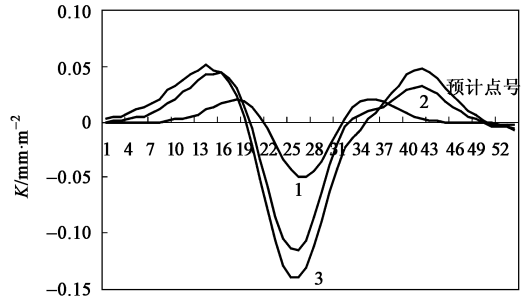


图 3 堤坝动态曲率变形曲线

Fig.3 Dynamic curvature deformation curve of dyke

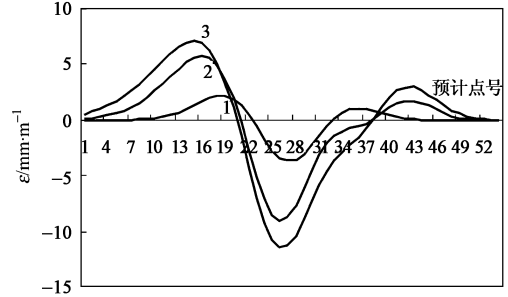


图 4 堤坝动态水平变形曲线

Fig.4 Dynamic horizontal deformation curve of dyke

易产生裂缝,这对于堤坝的治理十分有利。

4)基岩的水平移动均指向煤层上山方向。在厚冲积层条件下,指向煤层上山方向的水平移动增大了,而指向煤层下山方向的水平移动减少了。因此,在初期、初中期和初中后期阶段,堤坝中线方向指向煤层下山方向的最小水平移动值分别为-135 mm, -257 mm和-469 mm,而指向煤层上山方向的最大水平移动值分别为+317 mm, +1 109 mm和+1 573 mm,在开采中、后期指向煤层上山方向的水平移动比指向煤层下山方向的水平移动范围多 200 m,这反映出新集三矿厚冲积层急倾斜煤层群重复开采时地表水平移动的特性。

5)堤坝中线方向的水平变形较小,初期、初中期和初中后期在顶板方向的最大拉伸变形分别为+2.17 mm/m, +5.83 mm/m和+7.13 mm/m,其对应的点号分别为 18、16和 15号预计点,在底板方向的最大拉伸变形分别为+1.06 mm/m, +1.73 mm/m和+3.10 mm/m,其对应的点号分别为 36、42和 43号预计点。

根据类似矿区地质采矿条件的研究成果表明^[3],当水平变形小于+4 mm/m时,地表不出现明显的裂缝,当水平变形值位于+4 mm/m和+10

mm/m之间时,地表出现明显的裂缝,但不出现台阶,当水平变形大于+10 mm/m时,地表出现较大的裂缝,并且出现台阶。考虑到条件的复杂性,取可能产

生裂缝和台阶的临界变形值分别为+3 mm/m和+8 mm/m。各时期堤坝下沉范围及堤坝中线方向产生裂缝的预计结果见表2和表3。

表2 各时期堤坝下沉范围预计

Table 2 Prediction on subsidence range of dyke during different periods

时期	小于1 m		1 m至2 m之间		大于2 m	
	位置(点号)	长度/m	位置(点号)	长度/m	位置(点号)	长度/m
初期	9~43	680				
初中期	2~19+34~49	640	19~34	300		
初中后期	1~16+38~52	580	16~20+32~38	200	20~32	240

表3 各时期堤坝中线方向产生裂缝预计

Table 3 Prediction of fracture on middle line direction of dyke during different periods

初期		中期		初中期		后期		初中后期	
位置(点号)	距离/m	位置(点号)	距离/m	位置(点号)	距离/m	位置(点号)	距离/m	位置(点号)	距离/m
		11~18	140	10~20	200			7~20+41~44	320

由此可以推断,初期开采后,堤坝既不会出现裂缝也不会出现台阶;到中期开采结束后,堤坝在10号点与20号点之间的200 m范围内出现裂缝,但不出现台阶;到后期开采结束后,堤坝在7号点到20号点之间的260 m范围内和在41号点到44号点之间的60 m范围内出现裂缝,但不出现台阶。

计算。地表下沉盆地后期的下沉等值线和水平变形等值线图如图5至图6所示(图中横纵坐标表示地理坐标)。

3 主要结论

1) 参照类似地质采矿条件矿区的研究成果,结合本矿井地表移动与变形观测资料的结果分析,采用概率积分法作为预计的数学模型较为适宜。角值参数走向边界角为 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$,顶板边界角为 $38^{\circ}\sim$

2.3.2 地表下沉盆地开采沉陷分布特征

对地表影响范围内间距为30 m的2 030个点,按开采次序的12个工作面进行了移动与变形编程

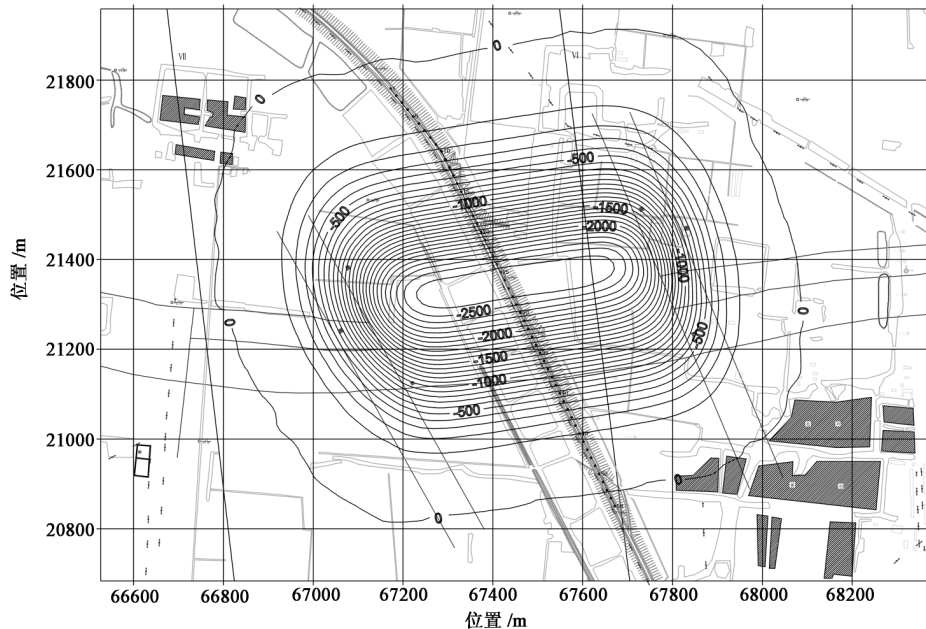


图5 初中后期开采后地表下沉盆地地下沉等值线图

Fig.5 Isogram curve of subsidence basin during different periods

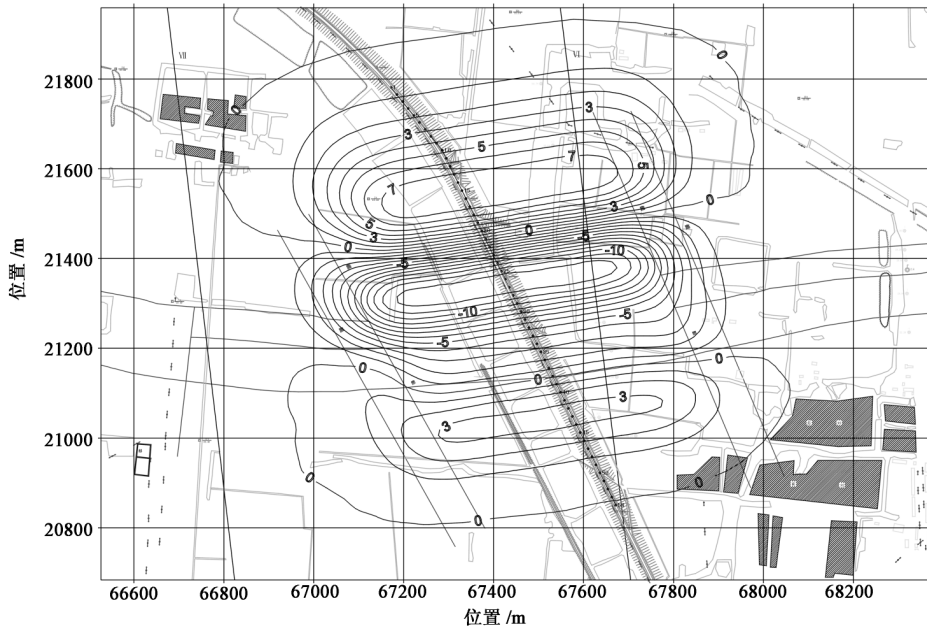


图6 初中后期开采后地表下沉盆地沿倾向方向水平变形等值线图

Fig.6 Isogram curve of horizontal deformation basin along the direction of tendency direction during different periods

45°,底板边界角为45°~50°,可作为类似条件下进行地表下沉预计提供参考。

2) 根据预测结果推断,厚冲积层的影响主要体现在以下三个方面:一是自身弯曲变形较大,地表处出现了水平移动的“指向异化”,而岩层土与表土层界面处出现了水平移动“指向同化”,这从机理上解释了急倾斜煤层开采地表移动的形态;二是界面处的水平移动在厚表土层内得以弱化;三是重复采动时由于厚冲积层的缓冲作用,出现连续变形。

由于急倾斜煤层开采引起的地表移动与变形规

律比较复杂,国内外现阶段对于这方面的研究成果还比较少,因此,本文的研究方法和结果尚需要更多的现场实例进行检验和改进。

参考文献

- [1] 高命中.急倾斜煤层开采岩移基本规律的模型试验[J].岩石力学与工程学报,2004,24(9):441~445
- [2] 高命中,余忠林.急倾斜煤层开采对地表沉陷的数值模拟[J].煤炭学报,2003,28(6):578~582
- [3] 杨宗震,王吉才,陆飞伟.淮南煤矿进行“三下”采煤的技术对策[J].煤炭学报,1994,19(1):5~14

Research on the Impact of Mining in Steep Seam on Ground Structure

Gao Mingzhong¹, Wang Lieping²

(1. School of Energy and Security Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China; 2. School of Earth and Environment Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China)

[Abstract] According to the complex geologic condition of deep excavation in Huainan, probability-integral method is employed to study the for surface displacement due to coal extraction by optimization mining layouts. Correlation parameters about subsidence under thick loose overburden and duplication mining are obtained. The results obtained may provide guidance for the subsidence- administrating. It is valuable of this paper to other coal mines which have similar geological and mining conditions.

[Key words] steep seam; surface movement and deformation; probability-integral method; predictions