维普资讯 http://www.cqvip.com

16卷3期 自然灾害学报 Vol. 16, No. 3
2007年6月 JOURNAL OF NATURAL DISASTERS Jun., 2007

文章编号:1004-4574(2007)03-0081-05

陕西韩城矿区地表沉降变形研究

栾长青[1],唐益群[1],赵法锁[2],崔振东[1]

(1. 同济大学 地下建筑与工程系,上海 200092; 2. 长安大学 工程地质研究所,陕西 西安 710054)

摘要:陕西韩城市地质灾害类型比较单一,主要是由于对煤炭资源的不合理开采而引起的地裂缝、地面沉降,他们是影响当地经济发展和城乡建设的一个主要因素。对韩城市受灾区的地裂缝特征从天然和人为因素两方面进行了研究,在了解地下预留煤柱分布图后,对地裂缝的形成机理做了理论推导,认识到随着对煤炭资源掠夺式开采的加剧,地裂缝在空间上的分布与煤炭开采的方位有关,地裂缝的发展和开采速度等的关系也很密切。研究结果对韩城矿区的地下采矿有一定的借鉴意义。

关键词:地质灾害; 预留煤柱; 地裂缝;形成机理

中图分类号:P642.26 **文献标识码**:A

Study on surface subsidence and deformation in mineral region in Hancheng City, Shaanxi Province

LUAN Chang-qing[1], TANG Yi-qun[1], ZHAO Fa-suo[2], CUI Zhen-dong[1]

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Institute of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: The type of geological hazard is simplex in Hancheng City, Shaanxi Province, i. e. unreasonable exploitation of coal resources has resulted in subsidence and ground fissures hazards, which have hindered the development of economy and construction of local areas. On the basis of studying on ground fissures from natural background and man-made action and understanding the distribution of prearranging pillars, this article analyzes formation mechanics of ground fissures and realizes that with extensive exploitation of mine resources, the spatial distribution of the ground fissures is connected with the mining location and the development of ground fissures is related to the mining speed. The results of the article give a reference to ining in Hancheng City and other place.

Keywords: geological disaster; prearranged pillar; ground fissure; cause mechanics

煤炭开发诱发的地质灾害(这里主要指采空区影响范围的地面沉降和地面裂缝)对矿区的工业民用设施造成了很大的危害,使地面建筑物破坏。如1875年德国的约翰·载梅尔矿区,由于地表塌陷使铁路钢轨悬空,严重影响铁路运行。在德国的波希米亚,同样因为地下开挖而发生了严重的事故,致使31间房屋被毁和12名人员伤亡。在陕西省韩城市,因为煤矿开采的地表沉陷而导致当地居民房屋破坏和良田被毁(赵法锁等.陕西省韩城市地质灾害调查与区划报告),因此引起了矿山企业与当地居民之间的民事纠纷。开展矿区采空区沉陷机理研究,通过对现场观测资料和所建模型的比较,作出了沉降变形曲线,更深刻认识到地裂缝等各种变形的机理,对煤矿的安全生产和防灾预灾有重要的指导意义。

收稿日期:2007-04-20; 修订日期:2007-06-20

基金项目:中国地质调查局2003地质灾害预警工程资助项目(20031600026)

作者简介:栾长青(1977-),男,博士研究生,主要从事岩土工程与地下工程研究. E-mail: 0610020056@smail.tongji.edu.cn

维普资讯 http://www.cqvip.com

1 地表沉降变形灾害特征与孕灾环境

韩城市煤矿资源很丰富,形成了很多矿区。近年来,随着经济的发展,煤矿的规模也越来越大,以下峪口煤矿和张家坪煤矿为中心向周边延伸,一方面给当地的经济带来了很大的发展,另一方面也造成了许多地面的大范围沉降[1]。韩城境内地质构造复杂,地势西北高,东南低,由西北向东南,横跨四个自然地貌单元。依次为剥蚀中山高岭、剥蚀低山丘陵、堆积侵蚀黄土台塬和侵蚀堆积河谷。剥蚀中山区属于主体在延安市境内的黄龙山系,为石质中山地貌类型。地层主要由二叠系、三叠系砂岩、页岩以及含煤岩系构成,在韩城境内的西北部山区,海拔1 000~1 783m。低山丘陵区位于中山林缘线与山原断层线之间,地表物质以冲积、风积、坡积、洪积物质为主,属于黄河的高阶地类型[2]。

自1996年,韩城下峪口煤矿对刘家岭地区的煤层开采以来,给当地的经济带来了很大发展。虽然为防止采空区沉陷、地裂缝等地质灾害的出现作了相应的措施,如预留煤柱、迁移当地居民等,但是由于其开采过程中存在的不科学性和地质条件复杂性,给当地居民的房屋及耕地造成了很大的破坏。其破坏形式在地表主要表现为地面沉陷和地裂缝[3-4]。地裂缝形态平面上大多发育呈折线型,竖直方向发育呈V字型。例如下峪口刘家岭地裂缝(图1),位置E110°33′34″,N35°38′23″。发育特征为多条裂缝平行排列,宽度为28~40 m,阶步指向350°,单缝长约3~4 km,宽0.3~4 m不等,面积为约0.1 km^2,1999年4月开始于山顶石灰岩中,盛发于2002年至2003年,目前仍不稳定。威胁30口人,50万元资产。已毁房2户4间,损失5万元。

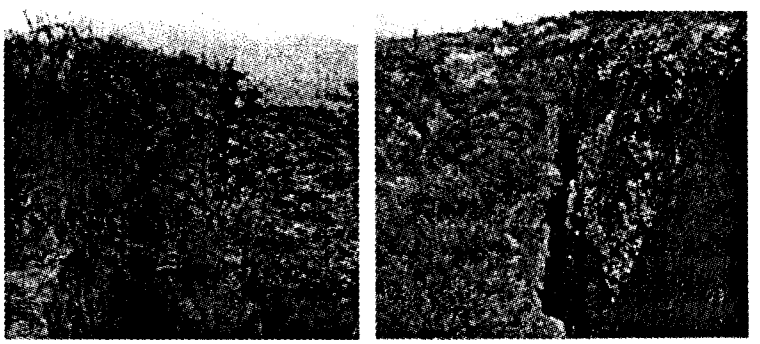


图1 刘家岭地裂缝

Fig. 1 Ground fissures in Liuerling

刘家岭地裂缝分布在该村的北东侧山坡上,其突出的特点是地裂缝平行展布,且和地下采空区展布有很好的一致性。另外一个特点就是地裂缝很发育,由南西至北东分别为F_1,F_2,F_3三条平行展布的地裂缝,F_1总体走向300°,倾角为80°左右,北东一侧下错,错距较小,裂缝最大宽度40 cm;F_2总体走向295°,倾角为80°左右,北东一侧下错,错距为50~120 cm,裂缝最大宽度30~120 cm,长度约为200 m,其与F_1的距离为6 m;F_3总体走向298°,倾角为80°左右,南西一侧下错,错距为50 cm。地裂缝的变形速度也是有规律的,总体说来在刚开采的几个月,沉降变形大,然后,地表的变形速率逐渐减缓,直至稳定。

2 成因分析

刘家岭位于韩城市东北的剥蚀低山丘陵地貌上,且处于韩城大断裂东南部,地壳活动相对比较强烈。该地区地形高差较大,是典型的黄土梁、茆地形,该村位于黄土梁的南侧洼地,最高海拔875 m,最低海拔770 m。村的北、西、东三面环山,南侧为一东西向冲沟。这些特殊地形地貌综合作用结果就成了灾害形成的地质背景。

刘家岭村地裂缝的成因机制分析,主要是下峪口煤矿采空区的影响,地下局部矿体采出后,在岩体内部形成一个空间,其周围原有的应力平衡条件受到破坏,引起应力的重新分布,直到达到新的平衡,这一个复杂的物理力学变化过程,也是岩层与地表移动和破坏的过程[5]。当采空区面积扩大到一定的范围后,岩层移动就有可能发展到地表,使地表产生位移和变形。继而引起上部建筑物遭受到附加应力的作用,当此作用力超出建筑物的极限强度,房屋将出现变形和裂缝,甚至引起建筑物的倒塌[6]。

流变的思想分析整个地裂缝形成、发展到稳定的过程,可以将整个过程分成两个阶段。第一个阶段,回采工作面推进后,一般为4~8m,垂直位移急剧增加,下沉速率加快。此时由于覆岩由下向上的各层的位移速度逐渐变小,覆岩移动的宏观表现形式为离层现象。如果把上覆一定范围的岩层看作一个连续整体,由于开采空间的尺寸的变大,覆岩的承载支撑不断变化,实际可以认为是一种载荷逐级变化的阶梯蠕变。该阶段

维普资讯 http://www.cqvip.com

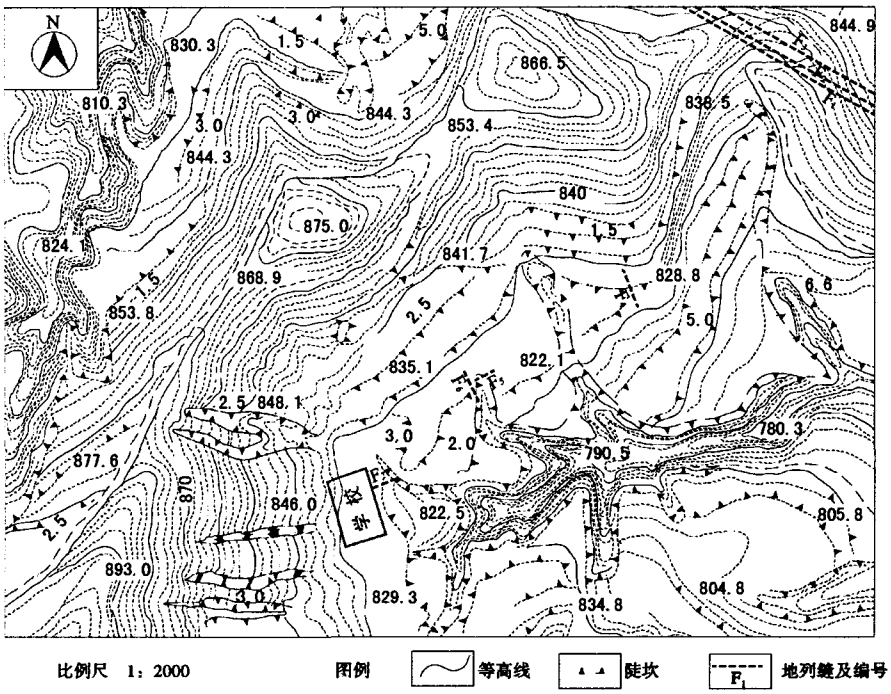


图 2　刘家岭地裂缝分布图

Fig. 2　Distribution of ground fissure in Liujialing

的流变机制的原因是覆岩的断裂损伤和裂缝的扩展滑移。第二个阶段,断裂的岩层重新受到已冒落矸石支撑,覆岩上下各层的位移速率逐渐变小,岩层进入相互的压实过程,考虑时间趋于无限,其过程相当于一个衰减蠕变过程。通过对地裂缝形成阶段的详细分析以及运用实际观测的资料的拟合分析发现,Kelvin 体能很好反映地裂缝形成阶段的变形特征,理论上说运用多个简单的 Kelvin 体串联,更能精确的反映整个阶段的变形特征,但是要确定的参数也会增加,所以在保证实际工程精度要求的条件下,选用 2 个 Kelvin 体串联,此时需要确定的参数一共 4 个。

3　沉降变形分析

3.1　模型的建立

通过对地裂缝的整个形成、发展到稳定的过程的研究,我们可以用两个 Kelvin 体和一个弹簧串联的广义 Kelvin 体模拟地裂缝形成的第一阶段(图 3)。

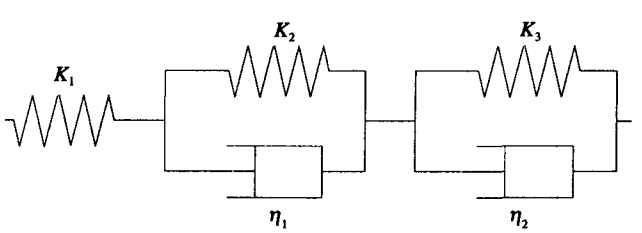


图 3　广义开尔文流变体模型

Fig. 3　Generalized Kelvin rheological body model

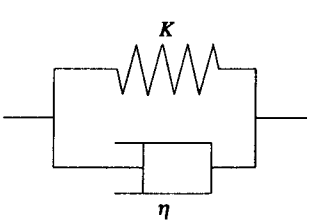


图 4　开尔文流变体模型

Fig. 4　Kelvin rheological body model

蠕变方程为

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{K_1} + \frac{\sigma_0}{K_2}\left(1 - e^{-\frac{K_2 t}{\eta_1}}\right) + \frac{\sigma_0}{K_3}\left(1 - e^{-\frac{K_3 t}{\eta_2}}\right) \tag{1}$$

$$= J_k(t)\sigma_0 \tag{2}$$

$J_k(t)\sigma_0$ 为 Kelvin 模型的蠕变模量,

维普资讯 http://www.cqvip.com

$$J_k(t) = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}(1 - e^{-\frac{K_2 t}{\eta_1}}) + \frac{1}{K_3}(1 - e^{-\frac{K_3 t}{\eta_2}}) \tag{3}$$

式(2)为非线性方程,对其按泰勒公式展开成以 t 为变量的常规三次多项式,

$$J(t) = \frac{1}{K_1} + \frac{t}{\eta_1} - \frac{K_2 t^2}{2\eta_1^2} + \frac{t}{\eta_2} - \frac{K_3 t^2}{2\eta_2^2} + \frac{K_2^2 t^3}{6\eta_1^3} + \frac{K_3^2 t^3}{6\eta_2^3} =$$

$$\frac{1}{K_1} + \left(\frac{1}{\eta_1} + \frac{1}{\eta_2}\right)t - \left(\frac{K_2}{2\eta_1^2} + \frac{K_3}{2\eta_2^2}\right)t^2 + \left(\frac{K_2^2}{6\eta_1^3} + \frac{K_3^2}{6\eta_2^3}\right)t^3 \tag{4}$$

当 $t = 0$ 的时候有,

$$J(t)\Big|_{t=0} = \frac{1}{K_1} \tag{5}$$

由式(5)很容易得到 K_1,所以式(4)实际有 K_2,K_3,η_1,η_2 四个参数需要确定。在数学上,有许多方法可以确定,如高斯—牛顿法或麦夸脱法等,这些方法都是根据最小二乘法原理对非线性函数进行曲线拟合,从而确定参数。

第二个阶段,断裂的岩层重新受到已冒落矸石支撑,覆岩上下层的位移速率逐渐变小,可以用简单开尔文流变体模型模拟地裂缝后期阶段(图4)。

蠕变方程为

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{K}(1 - e^{-\frac{K t}{\eta}}) \tag{6}$$

由物理模型写出地表沉降的初始条件

$$t = 0 \qquad w(t) = 0$$

$$t \to \infty \qquad w(t) = w_\infty = m \cdot q \cdot \cos\alpha = \frac{\sigma_0}{k} \tag{7}$$

式中,$w(t)$为 t 时刻地表的下沉量,mm; m 为煤层高度,mm; q 为下沉系数; α 为煤层倾角,(°)。

设在空号为 K321 的开采深度为 600 m,工作面 120 m,煤层高度为 2.8 ~ 3.1 m,开采后地表开始下沉,从2000年停采至今,每隔一段时间观察,地表开始沉降的速度为 7 ~ 8 mm/d,以后速度变小,沉降趋于稳定。运用前面的模型计算,其结果以及野外实际观测的数据均列于表 1 中。

表 1 下沉速度和下沉量的理论值和实测值

Table 1 Theoretical and testing value of subsidence and its velocity

观测时间	下沉速度/(mm·d⁻¹)		下沉量/mm	
	实测值	理论值	实测值	理论值
08 - 10	2	2.65	8	6.6
09 - 03	7.2	7.32	85	139
09 - 15	8.34	8.01	262	231
10 - 04	7.91	7.82	426	402
11 - 01	6.8	6.3	605	489
12 - 01	4.9	2.87	754	714
03 - 12	1.1	0.96	865	845
06 - 09	0.16	0.35	880	863
07 - 16	0.1	0.24	884	867

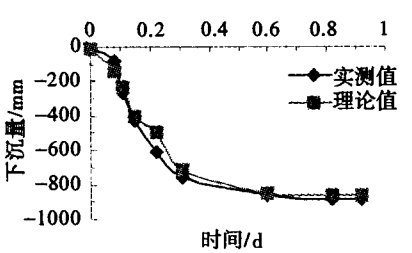


图5 下沉量的理论值和实测值曲线图

Fig. 5 Theoretical and measured curve of subsidence

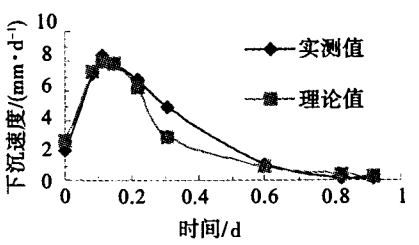


图6 下沉速度的理论值和实测值曲线

Fig. 6 Theoretical and measured curve of subsidence speed

维普资讯 http://www.cqvip.com

3.2 数值模拟

假定煤层为水平,覆岩中有一层坚硬岩层(因为其控制地表的变形,也称为关键层),且表土层直接覆盖在岩层上,关键层岩层分两种 10 m 和 5 m,上覆土层厚度为 30,50,100 m,煤层采高为 2.5 m,走向长度为 500 m。各种情况达到无限开采状态时,表土层与岩层的垂直位移的变化(即下沉曲线),其结果见图 7,可以看出随着表土层厚度的增大,地表下沉曲线趋于均化,其倾斜越来越接近于正态分布[8]。

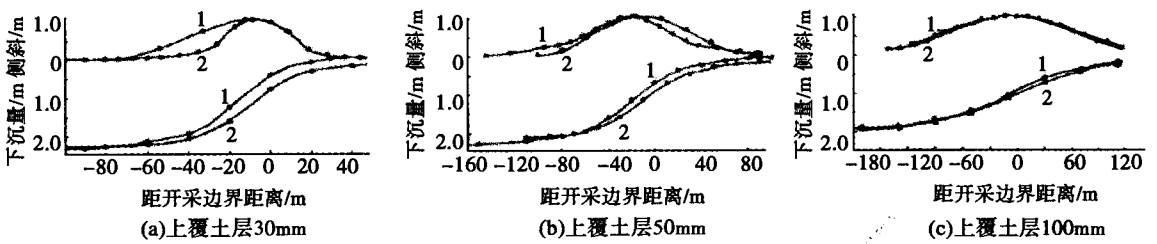


图 7　各种情况下下沉曲线模拟结果

Fig. 7　Simulation results of subsidence curve for all cases

由数值模拟结果可以得到:关键层破断块度越大,其对地表下沉曲线特征的影响越显著,相应地表下沉曲线的非正态分布特征越显著;另一方面,表土层起着消化关键层非均匀下沉的作用,表土层越薄,地表下沉的非均匀、非正态特征越显著,反之亦然. 当关键层破断块度较小或表土层厚度足够大时,关键层对地表下沉的影响已很小。但对于表土层较薄或覆岩中有典型的关键层的情况,地表下沉的预计必须考虑表土层与关键层的耦合关系。

4 结论

(1) 研究煤矿地表裂缝形态发育平面大多折线型,竖直方向呈 V 字型,其优势走向与采空区巷道走向一致,即大多平行于采空区巷道走向,时间上相对采矿活动有所滞后。

(2) 结合煤矿具体工程地质条件的复杂程度,将采空区顶板冒落问题及影响至地表的变形问题,简化成两种简单的计算模型,其计算结果和实际观测结果基本一致,证明了模型选择的正确性。

(3) 地表变形的剧烈程度,是和时间相关的,随时间逐渐衰减。地表下沉是地表土和覆岩运动耦合的结果,地表土和覆岩的厚度均影响下沉曲线的特征,当表土层较薄或有典型覆岩时,表土层不能"消化" 覆岩的非均匀下沉,此时应根据覆岩的破坏的下沉曲线来预计地表的下沉曲线。

参考文献:

[1] 栾长青. 采空区的沉陷机理及地表变形破坏的时空预测研究[D]. 西安:长安大学,2005.
[2] 林斌,赵法锁,石碧波. 陕西韩城市地质灾害空间分布规律与防治[J]. 灾害学,2004,19(4):35-39.
[3] 李忠生. 论西安次级地裂缝[J]. 自然灾害学报,2005,14(3):118-123.
[4] 王景明,等. 地裂缝及其灾害的理论分析与应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2000.
[5] 王景明,王春梅,刘科. 地裂缝及其灾害研究的新进展[J]. 地球科学进展,2001,16(3):303-313.
[6] 吴富春,方怡,宋立胜,等. 西安市地热水开采与地面沉降、地裂缝关系的分析[J]. 地震地质,2002,24(2):234-240.
[7] 何国清,杨伦,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991.
[8] 许家林,钱鸣高. 关键层运动对覆岩及地表移动影响的研究[J]. 煤炭学报,2000,25(2):122-126.