

开采沉陷

采煤塌陷区土地破坏面积和破坏程度的预测

胡海峰 何万龙 康建荣(太原理工大学)

摘要 文中在已有的山区地表移动规律研究成果和采煤塌陷区土地破坏面积调研的基础上,对采煤塌陷区土地破坏面积和破坏程度的预测方法作了研究,提出了一套塌陷区土地破坏面积和破坏程度的预测及分类方法。

关键词 采煤塌陷 土地破坏 变形值 移动角

采煤塌陷区土地破坏面积和破坏程度一般可用地表移动变形预计法和地表移动范围角量参数法进行预测。

1 应用地表移动变形预计法预测地表塌陷面积及破坏程度

采用山区地表移动预计软件进行预计,该软件对于平地即为平常的概率积分法,对于丘陵和山区则在概率积分法的基础上附加地形引起的采动滑移影响。在地形、地质和开采条件已知的情况下,可以预计开采影响范围内平地或山区地表任意点任意方向的下沉和水平移动及变形值。预计公式如下:

$$W'(x, y) = W(x, y) + D_{x, y} P(x, y) W(x, y) \operatorname{tg}^2 \alpha_{x, y} \quad (1)$$

$$U'(x, y) = U(x, y) + D_{x, y} [P(x) \cos \alpha_{x, y} \cos \alpha' + P(y) \sin \alpha_{x, y} \sin \alpha'] W(x, y) \operatorname{tg} \alpha_{x, y} \quad (2)$$

式中 $W'(x, y)$ 和 $U'(x, y)$ 分别为地表任意点 (x, y) 的下沉值和任意点、任意方向 (α') 的水平移动值。

$\alpha_{x, y}$ 为 (x, y) 点的地形趋势面倾角,可按修匀后的地形剖面取值。 $\alpha_{x, y}$ 为 (x, y) 点的地表倾斜方向角; α' 为计算方向角; $\alpha_{x, y}$ 、 α' 均由 x 轴正向逆时针方向计算。式中的 $D_{x, y}$ 为 (x, y) 点的地表特性系数,可按表1取值。式中的 $P(x)$ 、 $P(y)$ 和 $P(x, y)$ 分别为 X 、 Y 主剖面上 x 、 y 点和平面上 (x, y) 点的滑移影响函数,可按公式(3)-(5)计算:

$$P(x) = 1 + A \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{r} + P\right)^2\right] + W_m \exp\left[-t \left(\frac{x}{r} + P\right)^2\right] \quad (3)$$

$$P(y) = 1 + A \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{r} + P\right)^2\right] + W_m \exp\left[-t \left(\frac{y}{r} + P\right)^2\right] \quad (4)$$

$$P(x, y) = P(x) \cos^2 \alpha_{x, y} + P(y) \sin^2 \alpha_{x, y} + P(x)P(y) \cos^2 \alpha_{x, y} \sin^2 \alpha_{x, y} \operatorname{tg}^2 \alpha_{x, y} \quad (5)$$

表1 山区地表特性系数D

地表类型	表土层与地面植被特征	特性系数 D	
		凸形地貌	凹形地貌
	沙质粘土层,厚度0~2 m,地面有密集的灌木丛或树林	+0.3~+0.5	-0.2~-0.3
	沙质粘土层,厚度2~5 m,地面有密集的灌木丛和疏林的荒坡	+0.5~+1.0	-0.3~-0.5
	亚粘土或坡积物,厚度大于5 m,地面为果园或耕地	+1.0~+1.5	-0.5~-0.8
	具有垂直节理的湿陷性黄土或坡积物,厚度大于5 m,地面为耕地	+1.0~+1.5	-0.5~-0.8

上列各式中的 A 、 P 、 t 为滑移影响函数参数,可根据矿区地表移动观测资料按多元函数回归方法求取。山西有关矿区求得的 $A=2$, $P=2$, $t=$ 。上式中的 W_m 为该地质采矿条件下的最大下沉值 W_{\max} 以mm计。 $W(x)$ 、 $W(y)$ 和 $W(x, y)$ 分别为主剖面 X 、 Y 上 (x, y) 点和平面上 (x, y) 点因开采引起的地表的下沉值,可分别按概率积分法公式计算。

地表任意点的下沉和水平移动 $W'(x, y)$ 和

$U'(x, y)$ 求出后,其任意点垂直变形包括倾斜 $i'(x, y)$ 、曲率 $K(x, y)$ 和水平变形 $u'(x, y)$ 可按给定的点间水平距离 d ,按数值导数规则计算点间的平均垂直变形与水平变形。设相邻点编号为 i 、 j 、 k ,则有:

$$\text{倾斜 } i'(x, y)_{ij} = \frac{W'(x, y)_j - W'(x, y)_i}{d_{ij}} \quad (\text{mm/m}) \quad (6)$$

$$\text{曲率 } K'(x, y)_{ij} = \frac{i'(x, y)_{jk} - i'(x, y)_{ij}}{0.5(d_{ij} + d_{jk})} \quad (10^3/m) \quad (7)$$

$$\text{水平变形 } U'(x, y)_{ij} = \frac{U'(x, y)_j - U'(x, y)_i}{d_{ij}} \quad (\text{mm/m}) \quad (8)$$

依此类推，即可算出所有点和点间的垂直与水平变形。按点间水平距离 d 计算变形值时，应由表2按采深 H 选取 d 值。

预计参数应以工作面为单元输入，按矿区部分观测资料和类比法求得的预计参数如表3。

表2 按数值求导规则计算地表变形值的点间平距 d

开采深度 H , m	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	300 ~ 400	400 ~ 500	>500
点间水平距离 d , m	5	7.5	10	15	20	25	30

表3 矿区地表移动预计参数

参数名称及代号	参数取值表达式
下沉系数 q	$q = 0.8 \pm 0.1$
水平移动系数 b	$b = 0.33 \pm 0.08$
主要影响角正切 tg	$tg = 2.0 \pm 0.4$
拐点偏移距 S_i	$S_i = (0.1 \pm 0.05) \times H_i$
开采影响传播角	$= 90^\circ - \quad (< 3^\circ)$ $= 90^\circ - 0.6 \quad (> 3^\circ)$

由开采沉陷学可知，对于平地一般单一开采的缓倾斜矩形工作面，产生一个略偏于下山方向的槽形盆地，其地表移动边界和下沉等值线近似于长椭圆形。当多个工作面连续开采时，地表将呈现连续的槽形塌陷盆地和连续的长椭圆形移动边界。在槽形盆地接壤的边界部位，将产生正曲率(k)和拉伸变形(+)叠加区，叠加后的正曲率和水平拉伸变形可能大于半无限开采相应的最大变形值(但最多不会超过一倍)。当单一工作面倾向开采不充分，其槽形盆地中心倾向主断面上的负曲率($-k$)和压缩变形(-)绝对值可能大于半无限开采相应的变形最大值，但最多也不会超过最大值的一倍。上述半无限开采的最大变形值可按下列公式计算：

最大倾斜 $i_{max} = \pm \frac{W_{max}}{r}$; (在 $x = 0$ 处)

最大曲率 $k_{max} = \pm 1.52 \frac{W_{max}}{r^2}$; (在 $x = \pm 0.4r$ 处)

最大水平移动 $U_{max} = \pm bW_{max}$; (在 $x = 0$ 处)

最大水平变形 $U'_{max} = \pm 1.52b \frac{W_{max}}{r}$; (在 $x = \pm 0.4r$ 处)

式中 W_{max} 为最大下沉值; r 为主要影响半径，见式(10); b 为水平移动系数。取中硬覆岩条件下长壁大冒顶开采的地表移动参数：下沉系数 $q =$

0.85 ~ 0.90，水平移动系数 $b = 0.33$ ，主要影响角正切 $tg = 2.2 \sim 2.4$ ，拐点偏移 $S_i = 0.1H_i$ ，可算出不同采深、采厚的水平煤层开采平地的最大移动变形值如表4。

以上计算都是按平地的预计结果。山区由于受地形和采动滑移附加移动变形的影响，其移动变形值较平地可能有所不同，概括起来可能有以下特点：

山区采动滑移方向总是指向坡体的下坡方向，因而下坡方向的水平移动量将增加，而上坡方向的水平移动量将减小。

在凸形地貌和凸形变坡部位，地表因受附加拉应力影响而产生附加下沉和水平拉伸，使地表的下沉和水平拉伸变形值增大，同时还可能产生较大的正、负曲率变形，从而使土地的破坏程度有所加重。

在凹形地貌和凹形变坡部位，地表因受地形附加压应力影响而产生附加上升和水平压缩变形，使地表的下沉值略有减小;裂缝宽度和密度也略有减小，因而土地的破坏程度略有减轻。

预计地区的地表移动与变形值算出后，即可参照表5的移动变形指标和地形开采条件参数确定地表塌陷的面积和破坏等级。表5的指标是根据山西省塌陷区土地破坏等级的有关裂缝指数，以及矿区地表变形与土地裂缝的相关规律确定的。

2 应用矿区地表移动角量参数预测地表塌陷面积与破坏程度

2.1 地表塌陷范围和塌陷面积的确定

矿区地表塌陷范围可按矿区地表移动角量参数中的边界角、移动角或裂缝角圈定。

移动边界角是在主断面上按地表移动边界下沉为10mm的点至开采边界连线在煤柱一侧与水平线所夹角度，煤层走向以 α 表示，下山和上山分别

表4 不同采深采厚半无限开采地表最大移动变形值

序号	采厚 M (m)	采深 H (m)	最大下沉 W _{max} (mm)	最大平移 U _{max} (mm)	最大倾斜 i _{max} (10 ⁻³)	最大曲率 k _{max} (10 ⁻³ /m)	最大水平变形 max (10 ⁻³)	土地破坏程度
1	2.3	100	1955	645	43.0	1.44	21.6	中~重
2	2.6	200	2210	729	24.3	0.41	12.2	轻~中
3	3.5	100	2975	982	65.4	2.19	32.8	中~重
4	3.7	250	3145	1038	28.9	0.40	14.5	轻~中
5	4.6	150	3910	1290	60.0	1.40	30.1	中~重
6	4.6	250	3910	1290	35.9	0.50	18.0	中
7	5.5	200	4590	1633	56.9	1.00	28.5	中
8	6.5	100	5525	1823	121.5	4.06	60.9	重
9	6.8	150	6120	2020	97.9	2.38	49.1	重
10	6.5	200	5525	1823	60.8	1.02	30.5	中~重
11	6.5	300	5525	1823	40.5	0.45	20.3	中
12	7.8	300	7020	2317	56.2	0.68	28.2	中~重
13	6.5	400	5525	1823	30.4	0.25	15.2	轻~中
14	6.5	500	5525	1823	24.3	0.16	12.2	轻
15	8.5	500	7650	2524	33.7	0.22	16.9	轻~中

表5 矿区地表移动变形值与土地破坏等级对照表

破坏等级	地表变形值			深厚比 H/M	宽深比 L/H	微地貌
	水平拉伸变形 (mm/m)	倾斜i (mm/m)	曲率K (10 ⁻³ /m)			
级(轻度)	2~10	3~20	0.2~0.5	>45	<0.6	平地 and 凹形地貌
级(中度)	10~20	20~40	0.5~1.0	35~45	0.6~1.0	平地 and 坡地
级(重度)	>20	>40	>1.0	<50	>1.0	平地、坡地 and 凸形地貌

以 α_0 和 β_0 表示。地表综合移动角 (不分基岩与表土层) 是在主断面上按临界变形值 $i_0 = 3$ (mm/m)、 $K_0 = 0.2(10^{-3}/m)$ 、 $\alpha_0 = 2$ (mm/m) 确定的点至开采边界的连线在煤柱一侧与水平线所夹角度, 走向为 α_0 , 下山和上山分别为 α_0 和 β_0 。地表裂缝角是在主断面上地表塌陷最外边缘的地表裂缝位置与开采边界连线在煤柱一侧与水平线所夹角度, 走向为 α_0 , 下山和上山分别为 α_0 和 β_0 。山西除大同以外的石炭二迭纪煤田中硬覆岩矿区采厚 2~6 m 的上述角量参数大致如表 6。

目前国内划定地表塌陷范围有的按边界角, 有的按移动角, 对于低潜水位地区以移动角或裂缝角划定地表塌陷范围较为合适。因为这些矿区已利用土地的表层大多为黄土所覆盖。现场观测表明, 黄土在水平拉伸变形达到 2mm/m 左右即可出现微小的裂缝, 故一般黄土覆盖的平坦地区应按移动角划定

表6 山西石炭二迭纪煤层开采地表移动角量参数参考值

开采深度 H(m)	边界角 °	移动角 '	裂缝角 "	松散层移动角		
				厚度 (m)	干燥	含水
<100	60	65	70	<40	50	45
100~200	60~65	65~70	70~75	40~60	55	50
200~300	65~70	70~75	75~78	>60	60	55
300~400	70~75	75~78	78~80			
400~500	75~76	78~80	80~85			
备注	1. <50时, = = 2. >50时, = -0.6, =。					

地表塌陷范围。对于其它丘陵地区, 一般可按裂缝角划定地表塌陷范围。

丘陵山区因为高差变化较大, 故在井上下对照图上按移动角或裂缝角划定地表塌陷范围时, 应用趋近法进行, 如图 1 所示。先按开采边界在井上下

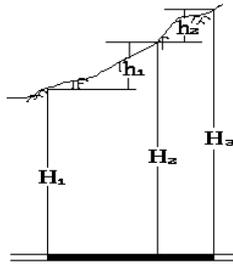


图1 开采边界至塌陷边界水平距离D计算示意

对照图上划出主剖面线X和Y，然后按各主剖面边界的开采深度 H_0 和移动角分别按下列趋近公式确定开采边界至塌陷边界的水平距离D:

下山: $D = (H_0 + h_1 + h_2 + \dots + h_n) \text{ctg} \quad ;$

上山: $D = (H_0 + h_1 + h_2 + \dots + h_n) \text{ctg} \quad ;$

走向: $D = (H_0 + h_1 + h_2 + \dots + h_n) \text{ctg} \quad ;$

式中

$$h_1 = H_1 - H_0; \quad h_2 = H_2 - H_0;$$

$$h_n = H_n - H_0.$$

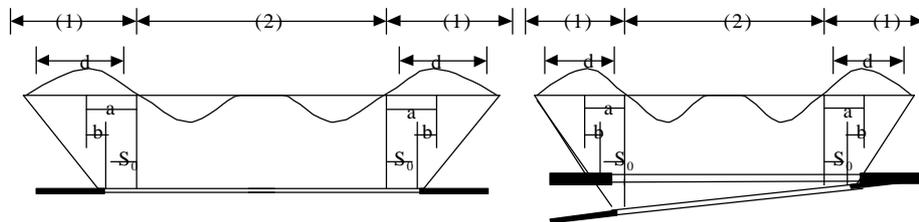
求得D之后，由各主断面的开采边界向外量取各D值，即可得各主断面的塌陷边界点位置，然后将各边界点连结起来即得到地表塌陷边界。

凹形地貌部位（沟谷内）由于附加压缩变形的影响，其地表塌陷范围划定后，即可用求积仪计算塌陷范围的面积。每一图斑的面积应量取二次，二次面积互差在允许范围内时，可取平均值作为最后的结果。

2.2 地表塌陷土地破坏程度的确定

山区地表塌陷破坏主要取决于地表裂缝的宽度、落差和密度状况，而地表裂缝状况则与地质采矿条件及微地貌形态有关。当一个矿区的覆岩和地表岩土性质基本相同且不存在特殊断裂构造的情况下，水平~缓倾斜煤层单一矩形工作面开采引起的地表永久性静态裂缝主要分布在地表移动水平拉伸变形区，如图2所示。如不考虑地形和地貌影响，则在充分或接近充分开采时，地表最大水平拉伸变形距拐点的水平距离a为： $a_i = 0.4r_i$ 。在一般情况下，中硬覆岩矿区的主要影响角正切 $\text{tg} = 2.2 \pm 0.2$ ；拐点偏距 $s_i = 0.1H_i$ ，因而最大水平拉伸变形距开采边界外侧的水平距离 b_i 应为：

$$b_i = a_i + S_i = \frac{0.4H_i}{\text{tg}} + 0.1H_i = (0.082 \pm 0.2)H_i$$



(1)永久性裂缝 (d)永久性裂缝发育区 (2)动态裂缝区

图2 塌陷区地表裂缝区划分示意

矿区地表移动观测资料分析和现场调查表明，在一定开采条件下，地表永久性裂缝充分发育区域一般是从拐点O至开采边界的中点起，向煤柱一侧扩展 $2.5b$ 的范围，其水平宽度 d 大致可按下列公式计算： $d_i = 2.5b_i = (0.2 \pm 0.02)H_i$

虽然总的永久性拉伸或裂缝范围应从拐点位置O起算，至按裂缝角确定的裂缝边界点为止，但两拐点之间的部分则应视为开采引起的动态变形拉伸区。如果是平地，动态拉伸区的裂缝可能在开采沉陷稳定后逐渐自行闭合，但在丘陵和山区，由于附加水平拉伸的影响，位于凸形地貌和凸形变坡部位（山顶和梁脊的边缘）的动态裂缝不但不能闭合，相反其宽度、密度和落差可能会变得更大，而

动态裂缝将不能得到充分发育，其宽度、密度和落差将有所减小。

综上所述，按地质开采条件和微地貌形态确定塌陷区土地破坏等级时，应遵循下列原则：

(1) 初次采动永久性拉伸范围内一般平坦地区和凸形地貌耕地的裂缝发育区破坏等级可按地质采矿条件划分，其中深厚比和水平拉伸变形为主要指标，其它为参考指标。

(2) 裂缝发育区以外的永久性裂缝区和动态裂缝区的破坏等级应比裂缝发育区降低一级。

(3) 同一区域内凸形地貌变坡部位的破坏等级应比该区域的破坏等级提高一级；凹形地貌部位的破坏等级则应降低一级。（下转第37页）

时, 所测 β 角为已知方向线 ($ZY \sim JD$) 与任意方向线 ($ZY \sim P'_i$) 之间的夹角;

(b) 公式 (1) 中, δ 的计算式为:

$$\delta = \frac{L_i - L_{ZY}}{2R} \cdot \rho''$$

(c) 公式 (2), l_i 的计算式为:

$$l_i = 2R \cdot \sin \delta$$

其它同前。

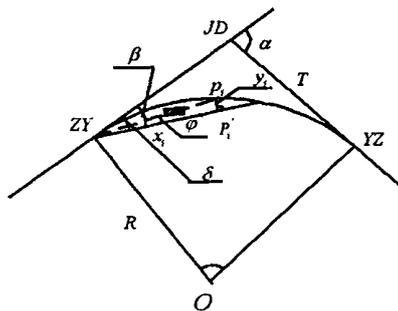


图2

3.1.2 放样点为YZ点

(a) 如图3所示, 给出任意方向线 ($YZ \sim P'_i$), 所测 γ 角为已知方向线 ($YZ \sim JD$) 与任意方向线 ($YZ \sim P'_i$) 之间的夹角, 则 $\beta = 360^\circ - \gamma$

(b) 公式 (1) 中, δ 的计算式为:

$$\delta = \frac{L_{ZY} - L_i}{2R} \cdot \rho''$$

其它同前。

3.2 线路左偏

(a) 放样点为ZY点

(上接第24页)

(4) 重复开采时, 破坏等级应比采深大致相同的初次采动的相应等级提高一级。

(5) 有植被的荒地或林地的破坏等级应比相应等级的耕地降低一级。

(6) 如果永久性裂缝发育区为马兰黄土耕地的凸形变坡部位, 或其它裂缝区马兰黄土耕地凸形变坡部位的地表倾角差值大于 40° , 且高差大于 30m; 或凸形变坡部位有断裂构造或为古滑坡地区时, 在

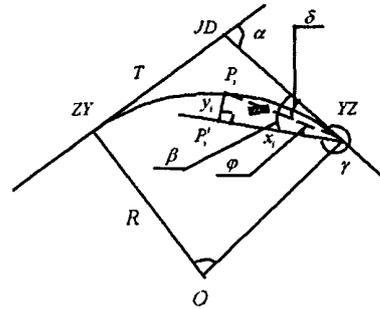


图3

计算公式与线路右偏, 放样点为YZ点时相似。

(b) 放样点为YZ点

计算公式与线路右偏, 放样点为ZY点时相似。

4 结束语

本文提出的任意方向线支距法, 计算公式简单、放样方法灵活, 可根据现场实际情况, 任意选取方向线 (该方向线既可位于圆曲线内侧, 也可位于其外侧) 进行放样。既可作为辅助手段, 与偏角法、切线支距法一同使用; 也可作为一种独立的方法, 单独进行使用。

参考文献

[1] 李青岳主编. 工程测量学. 北京: 测绘出版社, 1984

第一作者简介 王莉, 女, 32岁, 讲师。1991年毕业于西安矿业学院矿山测量专业, 现主要从事工程测量教学与矿山测量研究。

(收稿日期: 2001年3月29日)

开采影响范围内均有可能发生采动滑坡, 此时应预测采动滑坡及其影响范围, 上述范围均应划为灾害性严重破坏区。

参考文献

[1] 何万龙, 康建荣. 山区地表移动与变形规律的研究. 煤炭学报, 1992(4)

第一作者简介 胡海峰, 男, 硕士, 1965年生, 1986年毕业于阜新矿业学院, 曾在各类刊物上发表论文数篇。

(收稿日期: 2000年11月13日)