

岩层性质与坡度影响下的地表移动角研究

李涛

(阳泉煤业(集团)有限责任公司, 山西 阳泉 045000)

摘要:山区采动坡体滑移对地表建筑物具有极大的破坏,合理科学的进行保护煤柱留设对于山区安全开采具有重要的意义. 移动角作为保护煤柱留设的重要参数,受到岩层性质与地表坡度的影响. 应用基于滑移影响函数的山区地表移动预计模型,计算分析坚硬、中硬、软弱岩性条件下,地表坡度 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 变化时移动角的变化规律,提出了岩性与坡度影响下的移动角计算公式,并通过工程应用进行了验证,可靠性较好.

关键词:开采沉陷;移动角;岩层性质;坡度

中图分类号:TD325.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2015)03-0062-04

On angle of critical deformation of ground influenced by strata properties and surface slope

LI Tao

(Yangquan Coal Industry Group Co., Ltd., Yangquan 045000, China)

Abstract: The slip of mining slope on the surface has a great damage to buildings and structures in mountainous areas. It has a great significance for reasonable and scientific designing of the protecting pillar in mountainous areas. The angle of critical deformation, as one of the important parameters of protection coal pillar, has been influenced under rock properties and the surface slope. This paper, based on slip effect function of mountain surface movement prediction model, calculates and analyzes the angle of critical deformation rules in condition of strongly hard, medium hard, weak lithology, and the surface of the slope changes from 0° to 30° . The formula of angle of critical deformation is proposed, and the field data are verified, and the reliability is good.

Key words: mining subsidence; angle of critical deformation; strata properties; surface slope

我国有近三分之一的煤矿区位于山区,地下开采引起的坡体滑移对岩(土)体及地表建筑物造成了极大的破坏. 保护煤柱留设无疑是保护地表建筑物的重要方法之一,移动角作为保护煤柱留设的主要参数,其准确合理的确定,对于山区地表建筑物的保护具有重要的意义. 平坦地区采动岩层移动角主要受到岩性、煤层倾角等因素的影响;山区采动岩层移动角除上述因素影响外,地表坡度亦对其具有重要的影响. 很多学者对山区采动的地表移动规律、预计方法等进行了大量研究^[1-10],但仍然缺乏岩性与坡度对移动角的影响研究. 为此,本文应用滑移影响函数计算分析,研究坡度变化、岩性变化对采动岩层移动角的影响规律,为山区采动岩层移动角的定量选取提供科学的依据.

1 山区采动地表移动变形预计

1.1 滑移影响函数

虽然山区地表移动与变形比较复杂,但为简化起见,仍可近似地把移动盆地当作钟形概率曲面看待,

导出山区任意点、任意方向移动、变形预计公式^[1]:

$$W'(x,y) = W(x,y) + D_{x,y}P(x,y)W(x,y)tg^2\alpha'_{x,y}; \tag{1}$$

$$U'(x,y)_\varphi = U(x,y)_\varphi + D_{x,y}[P(x)\cos\psi_{x,y}\cos\varphi + P(y)\sin\psi_{x,y}\sin\varphi]W(x,y)tg\alpha'_{x,y}. \tag{2}$$

式中, $W'(x,y), U'(x,y)_\varphi$:山区地表任意点 (x,y) 的下沉值和任意点 (x,y) 沿方向 (φ) 的水平移动值; $\alpha'_{x,y}$: (x,y) 点的地形趋势面倾角,可按修匀后的地质剖面取值; $\psi_{x,y}$: (x,y) 点的地表倾斜方向角; φ :计算方向角, $\psi_{x,y}, \varphi$ 均由 x 轴正向逆时针方向计算; $D_{x,y}$: (x,y) 点的地表特性系数,可按表1取值.

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	地表特系数 D	
		凹形地貌	凸形地貌
I	风化基岩;或厚度小于2 m,地表生长密集的灌木丛或树林的砂质粘土荒坡.	-0.1 ~ -0.2	+0.2 ~ +0.3
II	风化坡积物或砂质粘土层,厚度2~5 m,地面有灌木丛和疏林的荒坡.	-0.2 ~ -0.3	+0.3 ~ +0.6
III	风化坡积物;亚粘土质红、黄土层,底部有钙质结核或砾石层,厚度大于5m,地面为耕地或果园.	-0.3 ~ -0.4	+0.6 ~ +1.0
IV	具有垂直节理的湿陷性轻亚粘土或坡积物,底部有钙质结核或砾石层,厚度大于5m,地面为耕地.	-0.4 ~ -0.5	+1.0 ~ +1.5

附注:在凹形地貌和凸形地貌之间的变换部位, D 取零值.

式中, $P(x), P(y), P(x,y)$: X, Y 主剖面上 x, y 点和平面上 (x,y) 点的滑移影响函数,可按下列公式计算:

$$P(x) = 1 + A\exp[-\frac{1}{2}(\frac{x}{r} + P)^2] + W_{\max}\exp[-t(\frac{x}{r} + P)^2]; \tag{3}$$

$$P(y) = 1 + A\exp[-\frac{1}{2}(\frac{y}{r} + P)^2] + W_{\max}\exp[-t(\frac{y}{r} + P)^2]; \tag{4}$$

$$P(x,y) = P(x)\cos^2\psi_{x,y} + P(y)\sin^2\psi_{x,y} + P(x)P(y)\cos^2\psi_{x,y}\sin^2\psi_{x,y}tg^2\alpha'_{x,y}. \tag{5}$$

式中, A, P, t :滑移影响函数参数,可根据项目区地表移动观测资料按多元函数回归方法求取,根据山西有关矿区资料分析求得滑移影响参数为 $A = 2\pi; P = 2; t = \pi; W_{\max} = Mq\cos\alpha, W(x), W(y)$ 和 $W(x,y)$:主剖面上 x, y 点和平面上 (x,y) 点因开采引起的地表下沉值.

1.2 岩层性质与坡度对移动角的影响计算方案

以山西某矿的地质采矿条件下为基础,设置如图1所示的计算方案,采深 $H = 300$ m,采厚 $M = 5$ m,煤层倾角 0° ,工作面采宽 250 m,地表坡度 $0^\circ \sim 30^\circ$,坡底位于工作面中心上方.应用山区采动地表移动变形预计方法探讨水平煤层采动形成的下山移动角 β 的受坡度及岩性的影响.围绕坡底点间隔 5° 分别设置 $0^\circ \sim 30^\circ, 7$ 种地表坡度方案的地形变化情况.由于山区地表移动变形预计模型的滑移影响函数适用于 30° 以下的坡体,因此本文研究坡体坡度均小于 30° .

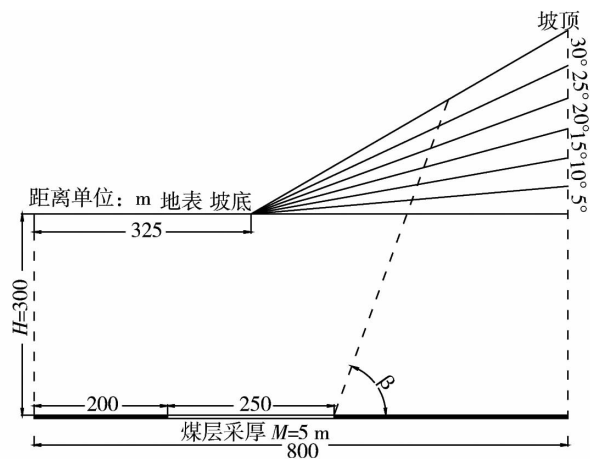


图1 地表坡度变化的开采位置剖面

岩层性质对应的概率积分预计法参数,坚硬:下沉系数 $q = 0.4$,主要影响角正切 $\tan\beta = 1.6$,拐点偏移系数 $S/H = 0.3$;中硬: $q = 0.7, \tan\beta = 2.2, S/H = 0.1$;软弱: $q = 0.9, \tan\beta = 3.0, S/H = 0.03$.水平煤层的开采影响传播角 $\theta = 90^\circ$,水平移动系数 $b = 0.3$.

2 岩层性质与坡度对移动角的影响规律

坚硬、中硬、软弱3种覆岩性质条件下,地表坡度 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ 时,采动地表下沉与水平移动变形曲线见

图 2 和图 3. 岩层性质的变化对下沉与水平移动的最大移动量具有显著的影响,岩性越软,移动量越大;岩层性质对下沉与水平移动的范围影响较小. 地表坡度对坡体的移动量具有较为显著的影响,随坡度的增大,上坡方向采空区边界上方移动量与影响范围均有一定程度的增加. 移动变形量具有向山顶方向增大的趋势,从而使得地表的危险移动边界向外移动.

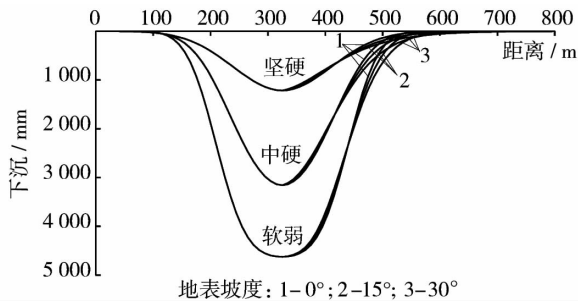


图 2 岩性与坡度影响下的地表下沉曲线

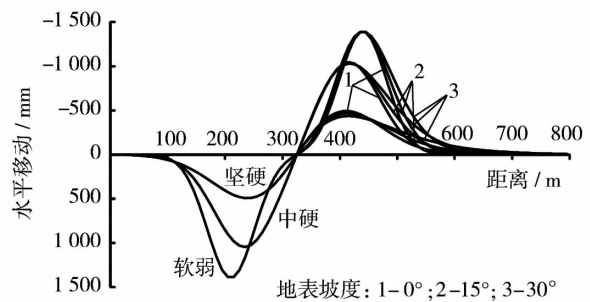


图 3 岩性与坡度影响下的地表水平移动曲线

移动角划定的依据,在充分采动或接近充分采动条件下,利用地表移动盆地的主断面上实测倾斜曲线、曲率曲线和水平变形曲线,分别求出移动盆地外边界 $i = 3 \text{ mm/m}$, $K = 0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, $\epsilon = 2 \text{ mm/m}$,取其中最外边的一个点至采空区边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角,为移动角^[1].

上述计算方案的 3 种岩层性质条件下,地表坡度变化时,按照移动角的划定依据,获取各工况条件下的移动角见表 2,并将其结果绘制于图 4,可见,当岩层性质变化时,移动角的变化具有较为显著的规律,坚硬岩层移动角整体偏大,中硬岩层移动角居中,软弱岩层移动角偏小. 随着坡度的增大,各岩性条件下的移动角具有减小趋势,回归分析可得各岩性条件下移动角与坡度的线性关系. 图 4 以下山移动角受坡度与岩性的影响规律为例进行分析,由于水平煤层开采的走向移动角、下山移动角、上山移动角相等,该规律亦适用于其它两个方向移动角. 综合分析可得移动角关于坡度的计算公式:

$$\delta = \beta = \gamma = \begin{cases} (75 \sim 80^\circ) - 0.16\alpha', & \text{坚硬;} \\ (70 \sim 75^\circ) - 0.31\alpha', & \text{中硬;} \\ (60 \sim 70^\circ) - 0.34\alpha', & \text{软弱.} \end{cases} \quad (6)$$

式中, δ : 走向移动角; β : 下山移动角; γ : 上山移动角; α' : 地表坡度 ($\alpha \leq 30^\circ$).

表 2 地表坡度与岩性影响的移动角变化

地表坡度/ $(^\circ)$	移动角/ $(^\circ)$		
	坚硬	中硬	软弱
0	78.4	70.7	65.7
5	77.3	69.0	64.9
10	75.9	68.2	62.6
15	75.4	67.4	62.6
20	74.2	66.8	61.4
25	74.8	63.2	59.1
30	73.1	62.7	56.7

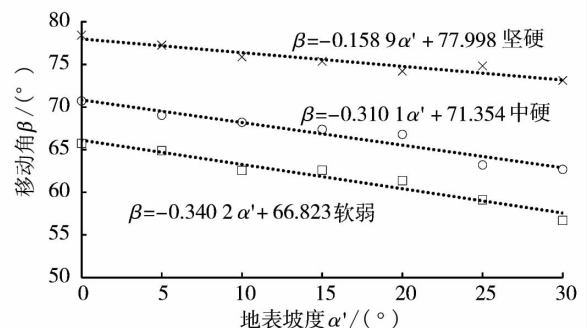


图 4 岩性与坡度影响下的综合移动角

3 工程应用

山西某矿 8 号煤层开采对地面寺庙的保护煤柱设计实例,工作面位于坡底的下方,地表坡度约 17° ,见图 5. 平均采深 195 m,其中黄土层的厚度约 45 m,开采厚度 2.9 m,煤层倾角 3° ,按照文献[1],由于地表平均倾角大于 15° ,建筑物的上坡方向的移动角应较小 $5^\circ \sim 10^\circ$. 开采工作面上覆岩层以细砂岩为主,属于中硬岩层,按照式(6),计算得上坡方向的影响角应减小 $0.31 \times 17^\circ = 5.27^\circ$,与文献[1]的规定具有较

好的一致性.



图5 寺庙附近地形

4 结论

1) 坚硬、中硬、软弱岩层条件下,地表坡度 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 变化时,山区地表的下沉与水平移动,结果显示,岩性越软,移动量越大,随地表坡度增大,上坡方向移动量增大.

2) 岩性越软,移动角越小;坡度越大,移动角越小,且坡度与移动角成线性关系.提出了不同岩性条件下,受坡度影响的移动角计算公式.

参考文献:

- [1] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 煤炭工业出版社,2000.
- [2] 杜中雨,孙涛. 神经网络在地表移动与变形分析中的应用[J]. 矿业工程研究,2012,33(2):20-22.
- [3] 田秀国,戴华阳,郭俊廷. 唐山马家沟矿急倾斜煤层开采地表非连续变形规律[J]. 矿业工程研究,2011,31(2):8-12.
- [4] 郭俊廷,阎跃观等. 基于FLAC^{3D}的非充分采动地表移动求参方法[J]. 矿业工程研究,2010,30(4):43-46.
- [5] 韩奎峰,康建荣,王正帅,等. 山区采动滑移模型的统一预测参数研究[J]. 采矿与安全工程学报,2013,30(1):107-111.
- [6] 韩奎峰,康建荣,王正帅,等. 山区采动地表裂缝预测方法研究[J]. 采矿与安全工程学报,2014,31(6):896-900.
- [7] 李俊芳,胡海峰,李威. 山区采动滑移对地表移动变形的影响分析[J]. 煤矿安全,2014,45(6):204-207.
- [8] 康建荣. 山区采动裂缝对地表移动变形的影响分析[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(1):59-64.
- [9] 马超,何万龙,康建荣. 山区采动滑移向量模型中参数的多元线性回归分析[J]. 矿山测量,2000,28(4):32-35.
- [10] 蓝航,张华兴,姚建国,等. 山区地表采动沉陷预计的数值模拟[J]. 煤炭学报,2007,44(9):912-916.