

地表沉陷预测评价模式的灵敏度分析

王 铮, 苗立永, 赵 蕾, 李玮娜

(西安科技大学 地质与环境工程系, 陕西 西安 710054)

摘 要: 针对矿区地表沉陷预测评价, 以缓倾斜中硬煤层为例分析了概率积分法模式的稳定性。该模型有较好的稳定性, 用于缓倾斜煤层的地表沉陷预测, 可以满足预测的精度要求。在煤层的倾角、厚度、埋深及综合评价系数中, 以综合评价系数的灵敏度最大, 是主要控制参数。

关键词: 煤炭开采; 地表沉陷预测; 概率积分法模型; 灵敏度

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2007)01-0105-03

中图分类号: TD327

Sensitive Analysis of Assessment Model for Surface Subsidence Prediction

WANG Zheng, MIAO Li-yong, ZHAO Lei, LI Wei-na

(Department of Geology and Environment Engineering,

Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

Abstract: Aiming at the surface subsidence prediction assessment in the mining areas, this paper took the secondary rigidity and gentle coal layer for an example, and analyzed the stability of probability function model. The result indicates that the model has a good stability, and satisfies the precision demands for prediction assessment. Thus, we can use it in surface subsidence prediction of the secondary rigidity and gentle coal layer. Among the coal stratum angel, thickness, depth and the synthetic evaluation factor, the sensitivity of the synthetic evaluation factor is the greatest, and the factor is the main control parameter.

Keywords: coal mining; surface subsidence prediction; probability function model; sensitive analysis

目前常用的地表沉陷预测方法和模式主要有经验公式法、剖面函数法、解析模型法和影响函数法。

经验公式法具有很高的精度, 但是它的导出需要大量的野外观测站的实测资料和地质与地下空间开采条件, 因此对于地表沉陷的预测评价不现实。

剖面函数的优点是使用方便且直观, 利用数学模式便于进行数学分析和使用计算机求解, 并且利用较少的实测资料就可以确定预报公式中的参数值, 其缺点是剖面函数不一定符合实际下沉盆地的形状, 特别是预报特征点变形时可能出现较大的偏差。

解析模型法可以预测任意地层的岩层与地表移动, 但是它需要根据事先采集的实际资料, 通过逆向分析获得开采空间岩层的特征参数, 不适合地表沉陷的预测评价。

概率积分法是以正态分布函数为影响函数, 用积分式表示地表下沉盆地的方法, 该方法不需要实测资料, 对于还没有建立地表移动观测站的矿区的地表沉陷的预测尤为实用, 因此, 它是目前煤矿开采地表沉陷预测评价所使用的主要方法^[1]。

本文以缓倾斜中硬煤层为例分析概率积分法预测模式的稳定性, 用于指导地表沉陷预测评价的参数选取, 提高预测评价的精度。

1 模式的建立

概率积分法预测模式, 走向主断面上地表移动与变形值如下。

$$\text{下沉: } W(x) = \int_0^{\infty} \frac{1}{r} \cdot e^{-\pi \frac{(\eta-x)^2}{r^2}} d\eta$$

$$\text{倾斜: } i(x) = \frac{W_{cm}}{r} e^{-\frac{\pi x^2}{y^2}}$$

$$\text{曲率: } K(x) = -\frac{2\pi \cdot W_{cm}}{r^2} \frac{x}{r} e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$$

$$\text{水平移动: } U(x) = U_{cm} \cdot e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$$

$$\text{水平变形: } \varepsilon(x) = -\frac{2\pi \cdot U_{cm}}{r^2} \frac{x}{r} e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$$

式中: x —— 计算点坐标(m), 坐标原点为计算边界(考虑拐点偏距)在地表的投影, 坐标轴指向采空区方向为正, 指向煤柱方向为负。走向主断面上地表移动和变形最大值及其位置如下。

最大下沉值(mm): $W_{max} = M \times q \times \cos \alpha$

最大倾斜值(mm): $I_{max} = W_{max} / r$

最大曲率值($10^{-3}/mm$): $K_{max} = 1.52 W_{max} / r^2$

最大水平移动值:(mm) $U_{max} = b \times W_{max}$

最大水平变形值: $\epsilon_{cm} = 1.52 \times b \times W_{max} / r$

式中: M —— 煤层开采厚度(mm); α —— 煤层倾角; q —— 下沉系数; b —— 水平移动系数; r —— 主要影响半径, $r = H / \text{tg} \beta$, H —— 煤层埋深。

地表移动和地表变型最大值是地表沉陷预测评价中最为关注的。模型中参数较多, 确定比较麻烦, 地表移动参数与覆岩性质及地质条件等有关^[2-7]。

2 模式稳定性分析

2.1 参数之间的关系

在地表沉陷预测当中各参数之间有着各种各样的关系, 以下是各参数之间的关系。

$$\text{综合评价系数: } p = \frac{\sum m_i Q_i^L}{\sum m_i}$$

$$\text{地表下沉系数: } q = 0.45 + \frac{p}{2}$$

$$\text{水平移动系数: } b = 0.3(1 + 0.0086\alpha)$$

主要影响角正切值:

$$\text{tg} \beta = (1 - 0.0038\alpha)(D - 0.0032H)$$

$$\text{开采影响传播角: } \theta = 90^\circ - 0.68\alpha$$

除了上述关系外, 在岩性影响系数 D 与综合评价系数 p 有一定的对应关系(见图 1)。

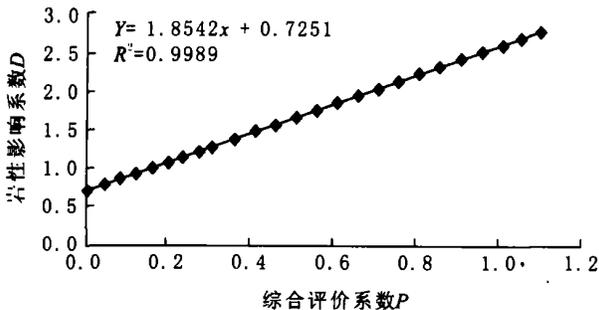


图 1 岩性影响系数与综合评价系数之间的关系

2.2 参数的灵敏度分析

在众多需要确定的参数中, 最原始的参数是: 煤层倾角、煤层埋深、煤层厚度和覆岩 i 分层的厚度和岩性评价系数。为便于讨论, 本文通过讨论预测结果对于岩性综合评价系数的灵敏度来反映预测结果对覆岩 i 分层的厚度和岩性评价系数的灵敏度。为了解这些参数变化对预测结果的影响即灵敏度, 本文将以陕西省榆林市金牛煤矿为例来分析。金牛煤矿的原始参数为: 煤层倾角 α 为 1° , 煤层埋深 H 为 120 m, 煤

层厚度 M 为 5.57 m, 综合评价系数 p 为 0.6。

2.2.1 煤层倾角 α 的灵敏度分析

灵敏度计算: $S_{\alpha}^{w_{max}} = \left[\frac{dw_{max}}{d\alpha} \right] \cdot \left[\frac{\alpha}{w_{max}} \right] = -\alpha \text{tg} \alpha$;

$S_{\alpha}^{I_{max}} = S_{\alpha}^{K_{max}} = S_{\alpha}^{U_{max}} = S_{\alpha}^{\epsilon_{cm}} = -\alpha \text{tg} \alpha$; 煤层倾角的灵敏度曲线见图 2。

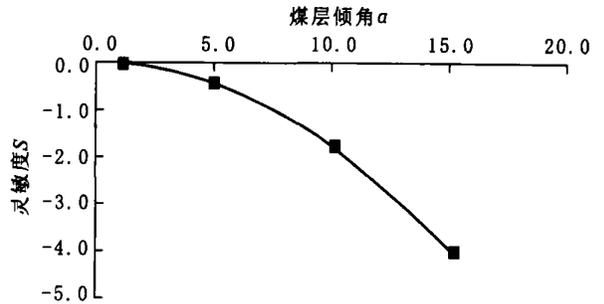


图 2 煤层倾角的灵敏度变化曲线图

可以看出煤层倾角对预测结果的影响一致, 随着煤层倾角的变大, 该模式灵敏度快速变大, 说明该模式不适用于急倾斜煤层的预测评价。

2.2.2 煤层埋深 H 的灵敏度分析

灵敏度计算:

$$S_H^{I_{max}} = \left[\frac{dI_{max}}{dH} \right] \cdot \left[\frac{H}{I_{max}} \right] = S_H^{\epsilon_{cm}} = \left[\frac{d\epsilon_{cm}}{dH} \right] \cdot \left[\frac{H}{\epsilon_{cm}} \right] = -\frac{1.82}{1.82 - 0.0032H};$$

$$S_H^{K_{max}} = \left[\frac{dK_{max}}{dH} \right] \cdot \left[\frac{H}{K_{max}} \right] = -\frac{3.64}{1.82 - 0.0032H};$$

$$S_H^{w_{max}} = S_H^{U_{max}} = 0;$$

煤层埋深的灵敏度变化曲线见图 3。

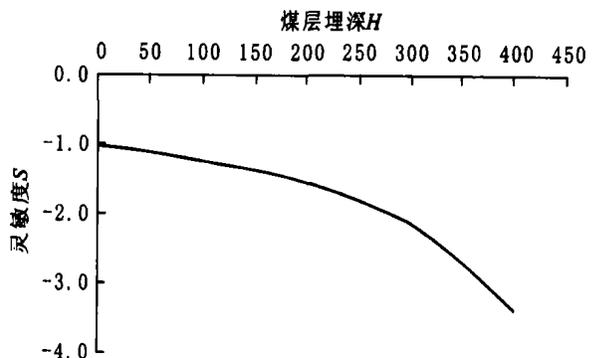


图 3 煤层埋深的灵敏度变化曲线图

由灵敏度计算和图 3 可以看出, 煤层埋深对最大下沉值和最大水平移动值无影响; 煤层埋深对最大水平变形值, 最大倾斜值和最大曲率值影响一致成反比, 随着煤层埋深的增加灵敏度变大, 但对后者的影响更强。

2.2.3 煤层厚度 M 的灵敏度分析

灵敏度计算:

$$S_M^{W_{\max}} = S_M^{J_{\max}} = S_M^{K_{\max}} = S_M^{U_{\max}} = S_M^{\varepsilon_{\text{cm}}} = 1$$

由以上计算可以看出, 煤层厚度对所有预测值的影响基本一样, 成正比变化, 其灵敏度值为 1。

2.2.4 综合评价系数 p 的灵敏度分析

灵敏度计算如下:

$$S_p^{w_{\max}} = \left[\frac{dw_{\max}}{dp} \right] \cdot \left[\frac{p}{w_{\max}} \right] = S_p^{U_{\max}} = \left[\frac{dU_{\max}}{dp} \right] \cdot \left[\frac{p}{U_{\max}} \right] = \frac{p}{p + 0.9}$$

$$S_p^{J_{\max}} = \left[\frac{dJ_{\max}}{dp} \right] \cdot \left[\frac{p}{J_{\max}} \right] = S_p^{\varepsilon_{\text{cm}}} = \left[\frac{d\varepsilon_{\text{cm}}}{dp} \right] \cdot \left[\frac{p}{\varepsilon_{\text{cm}}} \right] = \frac{1.86p^2 + p}{0.93p^2 + p + 0.15}$$

$$S_p^{K_{\max}} = \left[\frac{dK_{\max}}{dp} \right] \cdot \left[\frac{p}{K_{\max}} \right] = \frac{5.16p^3 + 3.36p^2 + 0.63p}{1.72p^3 + 1.68p^2 + 0.63p + 0.05}$$

综合评价系数的灵敏度变化曲线如图 4 所示。

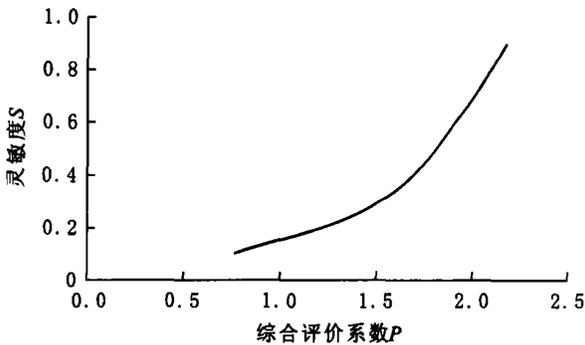


图 4 综合评价系数的灵敏度变化曲线

由灵敏度计算和图 4 可以看出, 岩性综合评价系数对所有预测值的影响都比较大, 都成正比变化。本文仅做出了综合评价系数对最大曲率值的灵敏度曲线, 其它曲线趋势与此类似, 但影响相对较小。可见, 岩性综合评价系数的灵敏度较高, 它的选取将对预测结果产生较大的影响, 是提高预测精度的关键参数。

总体来说概率积分法稳定性较好, 可以满足地表沉陷预测评价的要求。

3 模式的发展和自动化

鉴于该模式相对比较稳定, 可以开发适用于矿区环境影响评价的预测软件。软件可以搜集现有矿区

的地表移动观测资料, 开发数据库, 为新建矿区的预测评价提供参考, 同时还可以将预测结果与实际情况进行比较, 进一步修正模式, 以更好地为矿区环境影响预测评价服务。

4 结论

(1) 在目前常用的地表沉陷预测方法中, 概率积分法是适用于缓倾斜煤层矿区地表沉陷预测评价的较好的方法。

(2) 概率积分法模式总体稳定性较好。煤层倾角灵敏度随煤层倾角的变大成增大趋势, 但对于缓倾斜煤层来说灵敏度较低; 煤层厚度对所有预测值的影响灵敏度值为 1; 煤层埋深对最大下沉值和最大水平移动值无影响, 对最大水平变形值、最大倾斜值和最大曲率值影响一致, 随着煤层埋深的增加灵敏度增高, 对后者的影响更大; 岩性综合评价系数灵敏度较大, 是主要控制参数, 因此要确定好上覆各岩层的厚度和岩性影响系数以计算出更接近实际的岩性综合评价系数是预测的关键。

(3) 根据现有矿井的地表沉陷观测数据建立数据库, 开发基于概率积分法的地表沉陷预测评价软件, 可实现预测的计算机化, 更好地为矿区服务。

[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]. 北京: 煤炭工业出版社, 2000. 103—107.
- [2] 余学义, 张恩强. 开采损害学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004. 82—88.
- [3] 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001. 45—48.
- [4] Sheorey P R, Loui J P, Singh K B, Singh S K. Ground subsidence observations and a modified influence function method for complete subsidence prediction [J]. Solids and Structures, 2002, 35(2): 214—221.
- [5] Dai Dingxian, Xie Wenliang. A Genetic Analysis of Surface Subsidence in Huqiujiailuo Village, Jiandou Township, Anxi County [J]. Coal Geology of China, 2004, 21(2): 253—260.
- [6] 高明中, 余忠林. 急倾斜煤层开采对地表沉陷影响的数值模拟[J]. 煤炭学报, 2003, 23(60): 56—60.
- [7] 慎乃齐, 杨建伟, 郑惜平. 基于神经网络的采空塌陷预测[J]. 煤田地质与勘探, 2001, 29(3): 42—44.