

文章编号: 1001-1986(2012)03-0059-03

基于概率积分模型的开采沉陷预计系统设计与实现

徐 翀, 黄 晖

(淮南矿业(集团)有限责任公司, 安徽 淮南 232001)

摘要: 为了能最大限度的减少由于开采沉陷而造成的损失, 采用概率积分模型针对淮南矿区进行了沉陷预计系统的设计和实现, 结合数字矿山专业 GIS 平台 Irgis3.0 绘制出各种移动变形等值线图, 直观准确地反应了预计区域的变形情况。

关键词: 概率积分; 开采沉陷; 预计; 系统

中图分类号: X141 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2012.03.014

Design and realization of mining subsidence prediction system based on the probability integral model

XU Chong, HUANG Hui

(Huainan Mining(Group) Co., Ltd, Huainan 232001, China)

Abstract: As an important element in the process of mining today, deformation monitoring of mining subsidence has become a serious problem which can not be ignored. In order to minimize the damage caused by mining subsidence, we use the probability integration model to realize system design and implementation for Huainan mining area, in combination with professional GIS platform Irgis 3.0 for digital mine a variety of contours of movement and deformation were mapped out, intuitively and accurately reflecting the expected deformation of the region.

Key words: probability integration; mining subsidence; prediction; system

对一个计划进行开采的矿区, 在开采之前, 根据地质采矿条件和选用的预计函数参数, 预先计算出受开采影响的岩层和(或)地表的移动及变形的工作, 称为开采沉陷预计, 也称岩层和(或)地表移动预计和(或)计算, 简称“预计”^[1]。

开采沉陷预计的基本目的是能够对开采沉陷及其对环境产生的影响做出合理的评价。国内外学者为此做出了许多的努力^[2], 提出了不少预测方法和沉陷模型, 大致可以分为经验方法(如典型曲线法)、剖面函数法(如负指数函数法、威布尔分布法、双曲函数型剖面函数等)、影响函数法(如概率积分法)、理论模型、物理模型 5 类。

地表沉陷预计系统的研究最常涉及到的是预计理论和软件设计的研究。本文着重于研究地表沉陷预计系统的设计, 以概率积分法和地表移动预计的基本原理为基础, 将图形学、软件工程、计算机编程技术等学科与地表移动研究交叉与综合, 设计并实现开采沉陷预计系统, 并运用实例检验系统的正确性和可推广性。

1 概率积分法原理

概率积分法是因其所用的移动和变形预计公式

中含有概率积分(或其倒数)而得名。由于此方法的理论基础是随机介质理论, 所以又叫随机介质理论方法。随机介质理论首先由波兰学者李特威尼申于 20 世纪 50 年代引入岩层移动研究, 后由我国学者刘宝琛、廖国华等发展为概率积分法^[3]。经过我国开采沉陷工作者不断的研究, 目前已成为我国较成熟的、应用最为广泛的预计方法之一。

概率积分法的依据是非连续介质力学理论, 将岩体看成是由无穷多个单元堆积而成, 从单元随机移动出发研究岩体的移动过程, 把岩体看成完全的松散单元, 又假设小单元性质与岩体无关, 从而将覆岩和地表移动与岩体本身的固有属性分离。其理论模型如图 1 所示。该理论模型认为, 介质是由类似于砂粒或相对来说很小的岩块这样的介质颗粒组成的。颗粒之间完全失去联系, 可以相对运动。颗粒介质的运动用颗粒的随机移动来表征, 并将大量的颗粒介质的移动看作是随机过程。模型中某个方格内的小球被移走, 由于重力作用, 此方格上一层的相邻方格中的哪一个小球滚入被移走方格完全是随机的, 并具有相同的 $1/2$ 概率^[4]。

概率积分法计算走向主断面内地表下沉为^[5-8]:

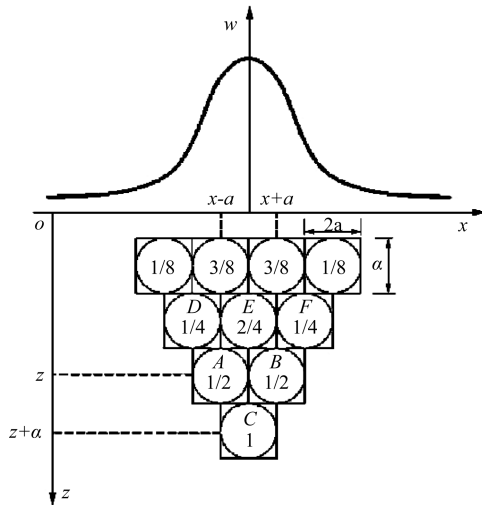


图 1 概率积分法理论模型

Fig. 1 Theoretical model of probability integration method

$$W(x) = W_0 \int_0^D \frac{1}{r} \exp\left(-\pi \frac{(x-s)^2}{r^2}\right) ds \quad (1)$$

式中 W_0 为充分采动条件下最大下沉 $W_0 = q \times m \times \cos \alpha$, q 为下沉系数, m 为开采厚度; D 为开采长度; s 为拐点偏移距; r 为主要影响半径。

式(1)所示的单元开采引起的下沉值, $t \rightarrow \infty$ 时, 表示开采单元体积在地表点所形成的最终稳定单元下沉盆地方程:

$$W_{ek}(x, y) = \frac{1}{r^2(z)} \exp\left[-\pi \frac{(x^2 + y^2)}{r^2(z)}\right] \quad (2)$$

据式(2)可推导大范围开采时的地表移动与变形预计公式。

a. 地表下沉:

$$W(x, y) = \frac{1}{W_{\max}} \int_{-s_0}^{s_0} \frac{W_{\max}}{r} \exp\left[-\pi \frac{(x-s)^2}{r^2}\right] ds \times \int_{-q_0}^{q_0} \frac{W_{\max}}{r} \exp\left[-\pi \frac{(y-q)^2}{r^2}\right] dq \quad (3)$$

式中 $W_{\max}$ 为充分开采时的最大地表下沉值; r 为地表主要影响半径; $2s_0$ 为沿走向方向开采宽度; $2q_0$ 为沿倾斜向 y 方向的开采宽度的水平投影值。

b. 沿 x 、 y 方向及任意方向的水平移动:

$$U_f(x, y) = U_x \cdot \cos \varphi + U_y \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

式中 φ 为任意方向 f 与走向 x 轴的夹角。

c. 沿 x 、 y 、 z 方向水平变形为 ε_x 、 ε_y 、 ε_z , 最大水平变形 $\varepsilon_{\max}$ 为:

$$\varepsilon_{\max}(x, y) = \frac{1}{2} [\varepsilon_x + \varepsilon_y \pm (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + r_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

d. 地表点倾斜:

$$T_x(x, y) = \frac{1}{br} U_x(x, y) \quad (6)$$

$$T_y(x, y) = \frac{1}{br} U_y(x, y) \quad (7)$$

$$T_{\max}(x, y) = (T_x^2 + T_y^2)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$T_f(x, y) = T_x \cos \varphi + T_y \sin \varphi \quad (9)$$

e. 地表点曲率:

$$K_x(x, y) = \frac{1}{br} \varepsilon_x(x, y) \quad (10)$$

$$K_y(x, y) = \frac{1}{br} \varepsilon_y(x, y) \quad (11)$$

2 开采沉陷预计系统设计与实现

2.1 系统结构设计

系统采用概率积分法建立沉陷预计模型, 实现对地表沉陷区域移动、变形的计算和可视化表达, 完成移动角、裂缝角、边界角、充分采动角和最大下沉角等实测参数的计算以及地表移动变形盆地中任意点的移动^[5]和变形预计等功能。

系统整体结构采用分层的逻辑设计, 自下而上分为四层逻辑架构, 即数据层、中间件、业务层、用户层, 如图 2 所示。

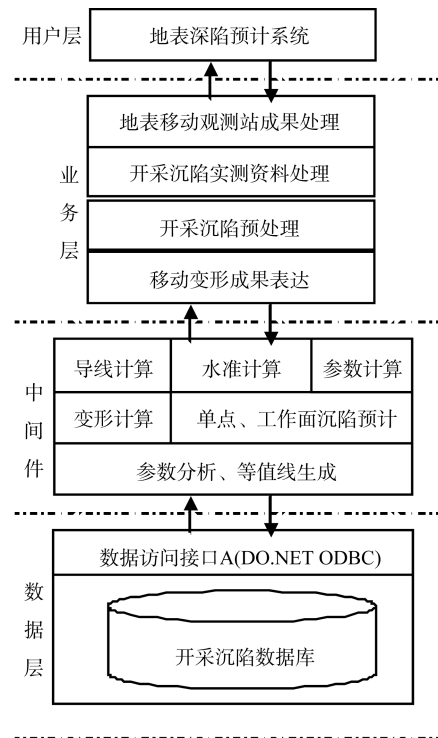


图 2 系统整体结构图

Fig. 2 Overall system diagram

2.2 系统功能模块设计

根据系统的整体架构, 将系统的功能模块进行了如下划分, 如图 3 所示。

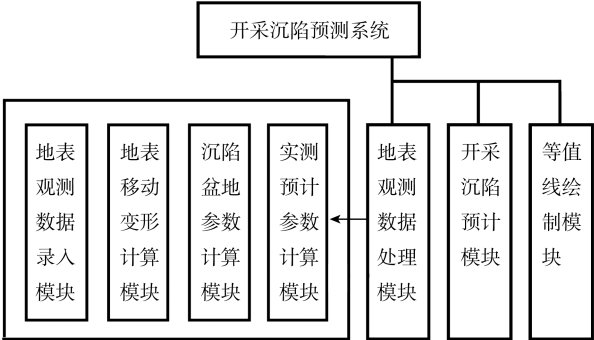


图 3 系统整体功能模块图

Fig. 3 Overall system functional block diagram

2.2.1 地表观测数据处理模块

a. 地表移动观测站观测数据处理模块，实现地表移动观测站连接测量、全面观测及日常观测资料的录入、存储、计算和检索。

b. 地表移动变形计算模块，实现各观测站点下沉量、下沉速度、倾斜、曲率、水平移动和水平变形等移动变形参数的计算。

c. 沉陷盆地参数计算模块，工作面推进过程中，移动盆地起距、超前影响距、超前影响角、最大下沉速度滞后距、最大下沉速度滞后角、地表持续移动时间等计算。沉陷稳定后，移动角、裂缝角、边界角、充分采动角、最大下沉角计算。

d. 根据各个观测站的实测资料，采用曲线拟和的方法计算实测参数，即各种预计方法中的所需参数。

2.2.2 开采沉陷预计模块

根据选定工作面基本参数、预计参数或实测参数计算任意点移动、变形预计值。参加预计的工作面可选单一工作面，亦可多选若干工作面进行预计参数的求解。

单点预计功能根据已有的概率积分参数实现对单点的下沉量、下沉速度、倾斜、曲率、水平移动和水平变形参数的计算、打印等功能。

多(单)工作面预计功能根据输入的概率积分参数实现对多(单)工作面的整体预计，如果在参数选择中选择了多个工作面进行预计，可在界面中自动显示添加预计的工作面。也可以输入预计范围进行预计，计算后即可利用 Irgis3.0 实现对各等值线的绘制。

2.2.3 等值线绘制模块

结合 Irgis3.0 平台，调用预计工作面区域的开采沉陷参数，预计计算结果，并进行各预计结果(单点、多(单)工作面预计、选定范围预计)等值线绘制。

2.3 实例

以淮南矿区潘北矿首采面(1111(3)工作面)为例，说明系统预计结果的实用性。潘北矿首采面位于东一采区 13-1 煤层第一阶段，采高 3.3 m，倾角

24°，采深 $H_{\pm}422$ m，采深 $H_{\mp}487$ m，平均采深 454 m，工作面采宽 160 m，采长 1 300 m，松散层厚度 323.23 m，平均煤厚 2.6 m，移动角 $\gamma=68^{\circ}$ ， $\beta=65^{\circ}$ ， $\delta=69^{\circ}$ ，最大下沉角 $\theta=86^{\circ}$ ，松散层移动角 $\varphi=49^{\circ}$ 。

a. 单点沉陷预计 本功能实现对沉陷区内任意点的下沉、倾斜、曲率、水平移动和水平变形等数据的计算。以倾向方向上若干个点为例，根据上述参数进行预计计算，得到结果如表 1 所示。

表 1 沉陷区单点预计计算结果表

Table 1 Single-point calculation result in subsidence area

点名	横坐标	纵坐标	方位角 /(°)	下沉 /mm
217	35 166.146	83 475.791	15.515	4
218	35 191.473	83 482.712	15.531	11
219	35 218.231	83 490.191	15.521	27
220	35 240.227	83 496.558	15.470	53
221	35 268.147	83 504.383	15.441	111
222	35 292.894	83 511.158	15.445	194
223	35 321.123	83 518.835	15.472	326
224	35 347.565	83 526.125	15.471	479
225	35 372.031	83 532.862	15.473	627

点名	倾斜 /(mm·m ⁻¹)	水平移动 /mm	水平变形 /(mm·m ⁻¹)	曲率
217	0.16	9	0.33	0.006
218	0.38	22	0.70	0.012
219	0.84	50	1.31	0.022
220	1.47	87	1.93	0.033
221	2.62	153	2.62	0.046
222	3.87	223	2.74	0.050
223	5.20	293	1.86	0.038
224	5.89	319	-0.1	0.010
225	5.67	286	-2.5	-0.027

b. 多(单)工作面沉陷预计 选取潘北矿首采面(1111(3)工作面)结合预计参数和预计模型进行计算，利用 Irgis3.0 设置等值线属性，绘制出下沉等值线图(图 4)。它反映了在潘北矿地质采矿条件下地表移动盆地的范围和空间状态，体现的基本规律和实际监测结果具有良好的吻合程度。其他变形曲线(倾斜、曲率、水平移动、水平变形等)绘制方法同下沉曲线。

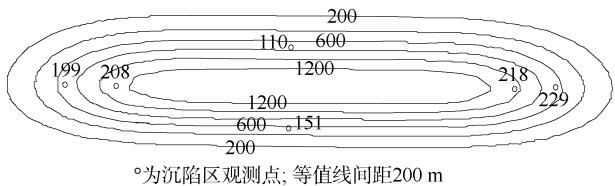


图 4 1111(3)工作面下沉等值线示意图

Fig. 4 Subsidence contours of working face1111(3)

(下转第 65 页)