

无底柱分段崩落法开采沉陷预测研究^{*}

李春雷 蔡美峰 李晓璐

(北京科技大学土木与环境工程学院 · 北京 100083)

摘 要: 针对无底柱分段崩落法的采矿特点, 把概率积分法引入金属矿山开采沉陷预测中, 并通过模型修正提高预测精度。利用 GIS 强大的图形表现力和空间分析能力实现开采沉陷预测的可视化, 能够直观掌握开采沉陷对周围环境的影响程度及范围。通过将预测结果与地表观测数据及实际情况的对比分析, 验证了此预测方法的适用性。

关键词: 无底柱分段崩落法 开采沉陷 预测 概率积分法 地理信息系统 (GIS)

中图分类号: TD853.36⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4051(2006)12-0045-03

RESEARCH ON PREDICTING MINING SUBSIDENCE OF NONPILLAR SUBLEVEL CAVING METHOD

Li Chunlei Cai Meifeng Li Xiaolu

(School of Civil and Environment Engineering, University of
Science and Technology Beijing · Beijing 100083)

Abstract: In light of the characteristics of Nonpillar sublevel caving method, Probability integral method is used to predict mining subsidence and modified to improve predicting accuracy. By using the drawing tools and the effective spatial analytical function of GIS, the degree and scope of mining subsidence are intuitively shown. By a comparison with the observation data of the ground surface and actual situation, the proposed approach has been verified.

Key words: Nonpillar sublevel caving method Mining subsidence Prediction Probability integral method Geographic information system (GIS)

1 前言

无底柱分段崩落法是冶金地下矿山的主要采矿方法, 其产量约占全部产量的 80% 以上。无底柱分段崩落法因其工艺简单, 机械化程度高, 生产能力大, 采场布置灵活等特点, 多年来在我国普遍推广应用。

无底柱分段崩落采矿方法适用于覆岩易于冒落、地表允许陷落的矿床, 采空区被崩落的围岩所填充。为保证采场工作面的安全, 当覆岩顶板没有按计划冒落时, 采用中深孔爆破的方式使其冒落。

采用无底柱分段崩落法进行开采时, 围岩随着矿石的放出而逐渐崩落, 将引起移动角范围内地表大面积连续下沉, 对周围建筑及环境造成严重影响, 因此应对开采沉陷范围、危险区域及对周围环

境的影响程度进行预测。

北河铁矿隶属于邯邢冶金矿山局, 选用的采矿方法为无底分段崩落法, 结构参数为: 分段高度 15m, 进路间距 12m。该矿从 1997 年开始采用无底柱分段崩落法开采, 经过几年的开采, 开采沉陷引起岩层与地表的剧烈移动, 严重的影响了安全生产, 并对周边环境造成了不良的影响。北河铁矿离改道后的河道距离比较近, 如果对开采沉陷可能造成的危险不能进行可靠的预测, 这种近水体采矿常常会发生淹井事故, 引起灾难性的后果^[1]。

因此, 本文以北河铁矿为研究背景, 对采用无底柱分段崩落法的金属矿山开采沉陷预测进行研究, 为指导安全生产提供科学依据。

2 开采沉陷预测研究

2.1 工程背景特点

北河铁矿主矿体首采地段埋深达 300 多 m, 若简单的按照岩石力学理论并参考邯邢地区其它矿山地表塌陷的经验, 北河铁矿顶板冒落到地表的

^{*}基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2004BA615A-18)

收稿日期: 2006-07-04

作者简介: 李春雷 (1978-) 男 现为北京科技大学在读博士研究生 主要从事岩土及地理信息系统方面的研究工作

时间应在 10 年以后,而北河铁矿顶板围岩在开采后一年的时间内就冒落到地表。由地质勘探资料可知,由于受岩浆岩侵入及构造破坏影响,矿区岩层破碎,层间滑动剧烈,角砾岩层发育,闪长岩蚀变较强;又由于矿区位于北河河床之下,矿层埋藏在地下水位以下,受地下水溶蚀作用较强,所以矿层顶底板岩石稳固性较差;目前塌陷区附近的砾石层厚度为 100m 左右。经初步分析认为,产生塌陷的主要原因是由于顶板岩石稳固性较差,砾石层厚度较大,砾石直接跨落入空区并波及至地表^[2]。

2.2 预测模型选择

在我国,开采沉陷预测方法主要有典型曲线法、负指数函数法和概率积分法三种^[3]。其中,由于概率积分法算法简单,易于计算机实现,并且计算结果可靠,使用尤为广泛。

概率积分法是因其所用的移动和变形预测公式中含有概率积分而得名。由于这种方法的基础是随机介质理论,所以又叫随机介质理论法。概率积分法的理论模型采用的是非连续介质中的颗粒体游走模型。

北河铁矿覆层岩石完整性差,且采用无底柱分段崩落开采方法等特点,因此覆层的岩体中有大量的原生以及开采引起的裂隙面和其他非连续面,所以采用概率积分法(非连续介质模型)研究采用无底柱分段崩落法的金属矿山开采沉陷问题是适当的。

但是,由于概率积分法理论基础的局限,预计结果与实测结果之间存在一定的差异,需对概率积分法预测模型进行修正,以提高开采沉陷预测精度,更好的反映开采沉陷实际情况。

用采动程度系数对开采沉陷预测模型进行修正,采动程度系数(n)和下沉系数 y_w 之间的关系如图 1 所示。

图 1 采动程度和下沉系数之间的相关

2.3 预测可视化

概率积分法具有计算准确,速度快,针对性强等特点,但图形表现能力差,不能直观反映空间信

息及沉陷对周围环境的影响程度,因此,如何实现开采沉陷预测可视化,是我们亟待攻关的难题。

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的发展始于 20 世纪 60 年代,能够对复杂的地球空间数据进行采集、储存、分类、检索查询、分析建模,适时提供多种空间的和动态的地理信息,从而为我们研究开采沉陷,提供了一个不可多得的基础平台^[4]。

因此,本文将 GIS 与修正的概率积分法有机地结合起来,即能充分概率积分法针对性强、计算速度快等特点,又能利用 GIS 强大的空间分析和图形显示能力,进行开采沉陷的数据处理、信息管理、空间分析、反演预测、决策支持等。

预测系统整体构架如图 2 所示。

图 2 系统整体构架图

3 工程应用

3.1 GIS 数据库建立

要充分发挥 GIS 强大的空间分析功能,必须首先建立相应的 GIS 数据库,其主要步骤如下:

进行原始数据收集、整理及检验,剔除掉离群数据;地图数字化;在数据收集和整理的基础上,结合应用型地理信息系统的特点,进行数据库的规划和设计;针对不同数据特征和应用目的,建立相应的数据库,并使其具有良好的数据库性能,为实现数据查询、空间分析和建模、定量分析以及可视化提供良好的基础。北河铁矿三维 GIS 模型如图 3 所示。

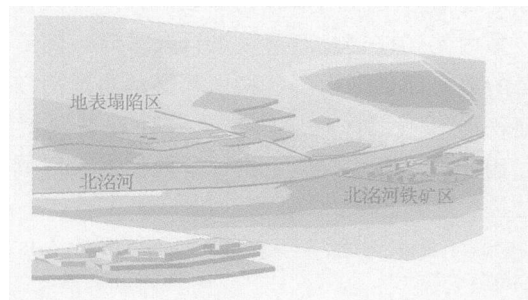


图 3 北河铁矿三维 GIS 模型

3.2 开采沉陷预测

对 - 50m 水平采场进行开采沉陷预测，最终稳态沉陷盆地如图 4 所示。

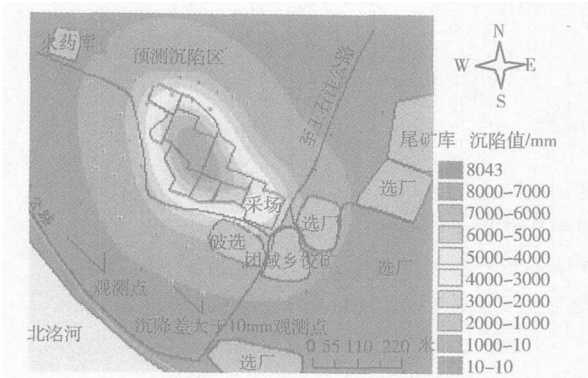


图 4 计算的地表沉陷图

从图 4 可以看出，基于 GIS 的开采沉陷预测系统，可以直观显示出地表沉陷的空间位置、范围大小及对地表建筑物的影响等等。通 GIS 的空间分析功能，可进一步得到开采沉陷的任意剖面、地表任意点的变形值、对地表建筑物的影响程度等信息。以地表沉降 10mm 为边界点，当 - 50m 水平采场全部采完后，最终稳态沉陷盆地范围波及到破选厂、团城乡铁矿、选厂和至玉石洼的公路，对应的地表的最大沉降差分别为 2545mm、1708mm、1065mm 和 2150mm，最大倾斜分别为 27 mm/ m、12 mm/ m、8mm/ m 和 14mm/ m，超过我国一般砖木结构的临界倾斜变形值 3mm/ m，说明均严重破坏。最大下沉位移出现在采场中心，最大值达到 8043mm，最终形成一个 810m ×565m 的沉陷盆地，沉陷面积达 35 万 m²。稳态沉陷盆地边界离河堤最近距离为 138m，河堤未受到开采沉陷影响。

现场实际情况为：原破选厂、铁矿厂、选厂及至玉石洼的公路，均因严重破坏而废弃不用，与开采沉陷预测结果相符。

3.3 预测结果与观测结果对比

用索爱公司出产的 SOKKIA SET22D 型全站仪，对北 河铁矿进行了地表沉降观测，从图 4 中可以看出，沉降差值大于 10mm 的观测点，绝大部分出现在预测沉陷盆地范围内，说明预测结果基本反映了北 河铁矿开采沉陷现状。

对某一开采阶段观测结果与对应的开采沉陷预测结果进行对比，对比结果见表 1。

从表 1 可以看出，实际观测值与开采沉陷预测结果相符性较好，最大相对误差为 5.59%，能满足对安全生产进行指导的精度需求。

表 1 观测值与预测值对比结果

观测点	第一次观测	第二次观测	沉降值 (m)	预测值 (m)	相对 误差 (%)
	高程值 (m)	高程值 (m)			
1	283.847	283.277	0.57	0.582	2.11
2	284.707	284.335	0.372	0.389	4.57
3	285.758	285.498	0.26	0.27	3.85
4	284.995	284.834	0.161	0.17	5.59
5	283.312	282.670	0.642	0.673	4.83
6	283.829	283.080	0.749	0.765	2.14
7	284.141	283.815	0.326	0.336	3.07
8	285.499	285.084	0.415	0.432	4.10

4 结语

针对无底柱分段崩落法的采矿特点，把概率积分法引入金属矿山开采沉陷预测中，并通过模型修正提高预测精度。利用 GIS 强大的图形表现力和空间分析能力，实现开采沉陷预测的可视化，能够直观掌握矿区建筑物、采场及周围环境的空间位置及相互关系；实现矿区相关信息的快速查询和定位；预测开采沉陷对周围环境的影响程度及范围。通过将预测结果与地表观测数据及实际情况的对比分析，验证了此预测方法的适用性。

参考文献

[1] 欧阳振华, 蔡美峰, 李长洪, 等. 北 河铁矿地表塌陷机理研究 [J]. 矿业研究与开发, 2005, 25 (1): 21 - 23.

[2] 连民杰, 陈国利. 北 河地表塌陷原因初探 [J]. 矿业工程, 2005, 3 (1): 20 - 24.

[3] 何国清, 杨 伦, 凌赓娣, 等. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994.

[4] MILLER H J, WENTZ E A. Representation and spatial analysis in geographic information systems [J]. Annals of the Association of American Geographers, 2003, 93 (3): 574 - 594.

[5] 杜培军, 郭达志, 方 涛, 等. GIS 在开采沉陷领域应用及与专业模型的结合 [J]. 武汉大学学报, 2003, 28 (4): 463 - 467.