

金川二矿区地表岩移分析与稳定性预测技术

翟淑花¹, 高谦², 杨晓炳², 冉淑红¹

(1. 北京市地质研究所, 北京 100120; 2. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 为方便工程技术人员及时掌握金川二矿区地表岩移现状, 基于矿区 GPS 和光纤监测数据, 采用 C# 语言, 在 .NET 平台下, 开发了一套集数据管理、数据分析和可视化、神经网络预测和 FLAC^{3D} 预测功能于一体的金川二矿区岩移分析与预测系统。该系统具有数据容量较大, 功能齐全、便于操作等特点, 可为矿区安全生产提供技术支持。

关键词: 实时监测; 数据库; 可视化; 神经网络; FLAC^{3D}

中图分类号: TD325.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2015)03-0014-05

Research on the development technique for surface subsidence analysis and stability predicting system of Jinchuan No. 2 mine area

ZHAI Shuhua¹, GAO Qian², YANG Xiaobin², RAN Shuhong¹

(1. Beijing Institution of Geology, Beijing 100120, China;

2. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to facilitate the technical personnel to understand the situation of surface subsidence due to mining, based on the monitoring data for GPS and optical fibre, a surface subsidence analysis and predicting system is developed under the circumstance of C# language and NET platform, which can realize data management, data analysis and visual display, prediction with neural network and FLAC^{3D}. The system has such characteristics as large capability, perfect function, easy operation, which can offer technical support for safety production of mining area.

Key words: real-time monitoring; data base; visual display; neural network; FLAC^{3D}

金川矿山是我国最大的镍生产基地和铂族金属提炼中心, 以“深(矿体埋藏深, 均在 500(600 m 以下, 最大深度大于 1 000 m)、大(世界超大型硫化镍铜矿床)、富(矿石含镍品位高, 伴生金属品种多, 可回收的金属元素多)、碎(经过多次地质构造运动, 断层、节理和构造裂隙发育, 矿体和岩体破碎)”而著称。金川二矿区虽然采用了充填采矿法, 但由于不利的开采技术条件, 加之充填不接顶、留有巷道以及充填体收缩等客观因素的影响, 在经历了 20 多年的采矿后, 于 2000 年在地表发现了张裂缝和下沉的岩层移动现象。随着金川二矿区 I、II 号矿体开采深度的增加和开采面积的扩大, 岩层移动已发展到了地表, 影响范围在逐渐扩大, 变形速率也呈现日趋加剧的趋势。2005 年 3 月 9 日金川二矿区 14 行风井突然垮冒, 地表以下 178 m 范围内衬砌荡然无存, 以下井筒被冒落的毛石填实, 不仅给金川公司造成巨大的经济损失, 而且也给二矿区井下采场的正常通风和生产环境带来不利影响。针对上述问题, 众多学者采用不同的方法对金川二矿区的地表移动和竖井工程的变形进行了监测, 并对地表变形及破坏机理进行了详细的研究分析, 如马凤山^[1]等基于 GPS 对金川矿区地表开展了地表岩移监测和变形规律研究, 高谦^[2]等采用光纤技术对关键性

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(2010CB731501)

通信作者: 高谦(1956-), 男, 江苏徐州人, 教授, 研究方向: 岩土工程可靠度。E-mail: gaoqian@ces.ustb.edu.cn

竖井工程的变形进行了高精度监测,高直^[3]等通过裂缝区调查、测绘与槽探,揭示了地表裂缝区范围与特征;从沉降裂缝区的形成、岩体移动与变形规律及沉降裂缝发展趋势分析了金川二矿区地表裂缝沉降变形规律;由矿区地质构造、围岩应力分布出发,给合高强度采矿活动的影响,探讨了地表裂缝沉降的形成机制及影响因素;岳斌^[4]在现场踏勘的基础上,分析了地表 GPS 和地表裂缝计监测资料,初步研究了金川二矿区的地表变形规律和地表裂缝的产生原因,并利用数值模拟的方法,研究了金川二矿区开挖充填全过程中地表位移、位移场和应力场的变化特征,总结充填采矿法岩体移动和地表变形的规律;侯哲生^[5]等采用 FLAC 软件对二矿围岩及水平矿层在开采过程中的位移及变形特征进行了分析,结果显示:围岩移动主要集中在矿体的上盘和下盘,矿体上覆岩体的位移较小,围岩移动以水平移动为主;矿层对上下盘围岩有一定的支撑作用;矿层下凹状变形轮廓的最大下沉点位于离上盘较近的位置;矿层厚度为 32 m 之后围岩与矿层的变形出现明显增大.袁广祥^[6]采用 GM(1,1)灰色系统模型对金川二矿区开采过程中的地表岩移进行了较高精度的预测,结果表明该方法具有建模方便、计算简便等优点;翟淑花^[7]基于矿区 GPS 监测数据,开展了基于 FLAC^{3D}和进化算法的矿区“等效岩体参数”的智能识别研究.

尽管众多学者采用各种技术对地表岩移进行了分析与预测,但如何快速而有效的将已有监测数据为矿区工程技术人员所用,并根据实时监测数据预测后续矿体开采带来的岩移问题,是矿区亟待解决的技术难题之一,基于此,本文在矿区 GPS 位移监测和光纤实时监测数据的基础上,开发了一套集岩移数据查询、展示、对比为一体的岩移分析与预测评价系统,为矿区安全生产提供了技术支持.

1 金川二矿区岩移监测网络布设

1.1 GPS 监测点

自 2001 年起,中国科学院地质与地球物理研究所金川矿区建立了金川矿区地表沉降的 GPS 监测网,对地表岩移进行长期监测.监测网范围包括二矿区、龙首矿区及三矿区的岩移范围,并按行线布置的地表岩移监测点,对各矿区主要构筑物进行岩移监测.金川矿区整个地表监测点共计 848 个监测点,其中在二矿区布设 180 个监测点,金川二矿区 GPS 监测网测点布置见图 1.

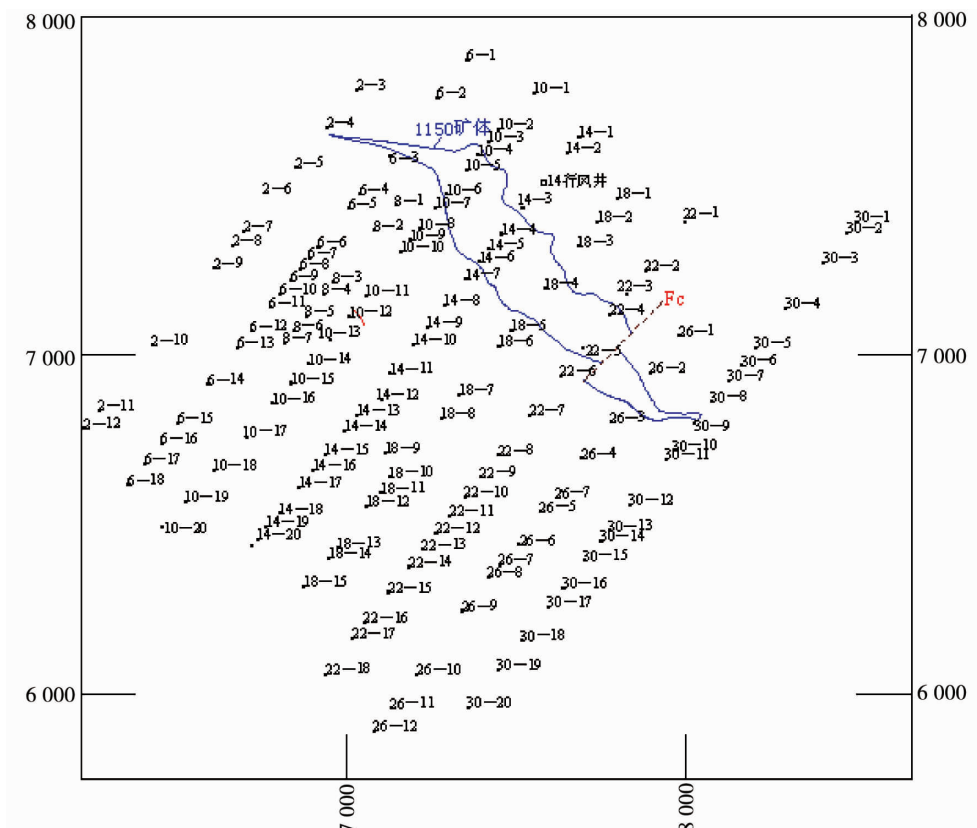


图 1 金川二矿区 GPS 变形监测网平面图

1.2 分布式光纤监测

根据 14 行风井的与采场的联络巷道的实际情况,确定了 5 条水平联络巷道和地表沟槽,共计 6 个标高的水平位移监测方案,分别为 1 000 m 水平、1 100 m 水平、1 150 m 水平、1 200 m 水平、1 250 m 水平和 14 行风井地表(表 1)。在地表和巷道分别挖 20 mm(30 mm)的沟槽(图 2),沟槽内埋上一层细沙,将沟槽铺平。每条沟槽埋设 2~3 根光纤,预防其中某根断了,而无法监测的后果,每根光纤处于自然不受力状态(图 3)。

表 1 二矿区 14 行风井水平位移光纤监测各中段监测长度

监测水平 /m	监测长度 /m	两根长度 /m
1 000	169.0	338
1 100	140.0	280
1 150	166.0	332
1 200	127.5	255
1 250	180.0	360
地表	220.0	440
合计	1 002.5	2 005



图 2 巷道 20 mm × 30 mm 沟槽



图 3 现场光纤铺设

2 系统的总体架构

2.1 开发平台

.NET 是微软公司推出的一种面向网络、支持各种终端的开发平台环境。利用 .NET 开发的系统具有界面友好、执行速度快、易维护和升级等优点。但在工程计算方面,.NET 与其他软件相比则显得复杂很多。如果能将各软件优点结合起来,必将提高软件开发效率,使其具有更高的性能和更大的应用范围。为此本文采用针对 .NET 平台专门设计的、语法简单、完全面向对象的 C#语言,在 .NET 中实现对其他控件及工具箱的调用^[8-11],具体如下:

- 1) 采用 Microsoft SQL Server 2005 数据库;
- 2) 调用 Teechart 控件绘制曲线;
- 3) 采用 Surfer 实现三维图形显示;
- 4) 基于 Matlab 神经网络工具箱进行地表岩移预测;
- 5) 基于 FLAC^{3D}等效模型进行地表岩移预测。

2.2 总体架构

本系统由 5 部分组成:系统管理、数据管理、数据处理、三维显示及安全预测。其中安全预测部分包括基于神经网络安全预测和基于 FLAC^{3D}等效模型预测 2 部分。系统的总体框架如图 4 所示。

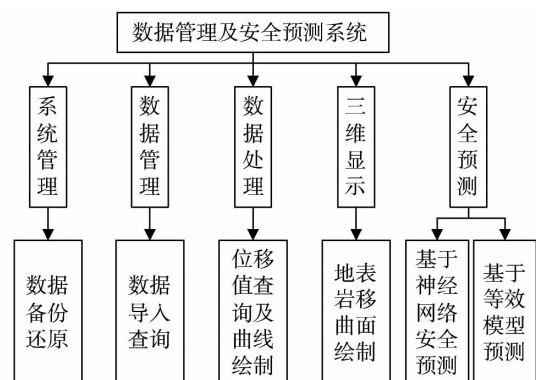


图 4 岩移分析预测系统总体框架图

3 系统功能概述

3.1 数据存储和展示功能

该系统的监测数据存储和展示功能主要体现在以下几个方面:文件管理、数据管理、数据处理、三维显

示.其中文件管理主要实现数据备份、数据恢复、用户管理等功能(图 5),数据管理则主要实现监测数据的导入和查询,其界面如图 6 所示,数据处理(图 7)和三维显示功能(图 8)主要涉及位移曲线的绘制(图 9)、最大位移速率的查询以及矿区沉降和矿井变形的三维形态(图 10)展示.

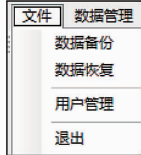


图 5 文件栏图

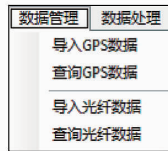


图 6 数据管理栏

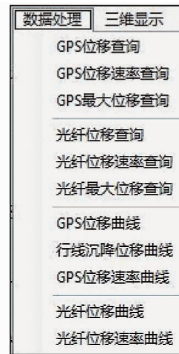


图 7 数据处理栏图

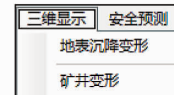


图 8 三维显示栏图

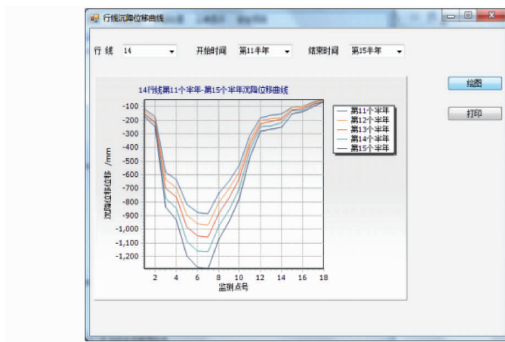


图 9 各行线沉降位移曲线

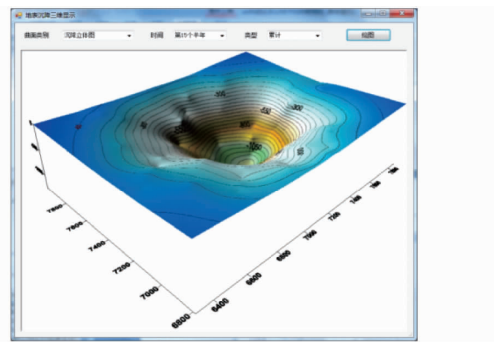


图 10 地表沉降三维显示图

3.2 地表岩移预测

该系统的安全预测包括神经网络预测子系统和基于 FLAC^{3D}等效模型预测子系统(图 11).



图 11 安全预测栏

3.2.1 神经网络预测子系统

Matlab 是一款具有极其强大的矩阵计算以及仿真能力的科学及工程计算软件.其平台上有专门针对神经网络计算的神经网络工具箱,内含大量可用于设计神经网络的工具函数,而且 Matlab 代码非常简单、易懂、易学,可以大大缩短软件开发周期.

本系统通过调用 Matlab 引擎实现所需功能,其界面如图 12 所示,界面分为样本训练和安全预测两部分.建立神经网络时,通过设置中间层数目、目标误差、最大训练次数、学习率 4 个参数得到合理的预测网络.依据检验数据的误差,判断预测网络是否合理.如果网络训练成功后,点击保存结果按钮保存训练网络.安全预测部分包括 GPS 单点、GPS 整体、光纤单点、光纤整体预测 4 个方面.选择预测内容后点击运行,程序将自动寻找训练好的网络进行预测,如未进行网络训练,将弹出进行网络训练的提示框,图 13 为神经网络预测结果展示.

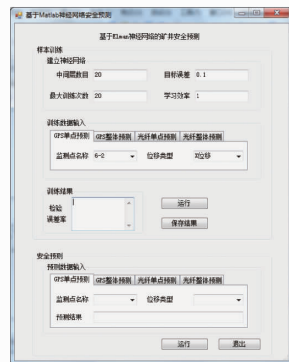


图 12 神经网络安全预测界面

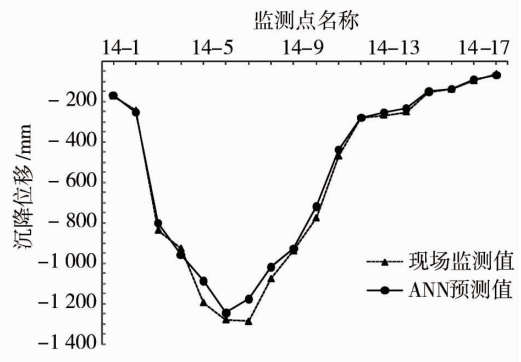


图 13 14 行累计沉降位移监测值与 ANN 预测值对比

3.2.2 FLAC^{3D}等效模型预测子系统

FLAC^{3D}是二维的有限差分程序 FLAC^{2D}的拓展,能够进行土质、岩石和其它材料的三维结构受力特性模拟和塑性流动分析.通过调整三维网格中的多面体单元来拟合实际的结构.单元材料可采用线性或非线性本构模型,在外力作用下,当材料发生屈服流动后,网格能够相应发生变形和移动(大变形模式).FLAC^{3D}采用了显式拉格朗日算法和混合-离散分区技术,能够非常准确地模拟材料的塑性破坏和流动.由于无须形成刚度矩阵,FLAC^{3D}在较小内存空间就能够求解大范围的三维问题,因此,该数值模拟软件被广泛应用于开采等动态因素下的地表岩移分析与预测中,并取得了与监测实际较为吻合的成果.

该系统可以实现基于 FLAC^{3D}等效模型的安全预测,具体为基于正交数值分析,回归分析,建立岩层移动指标与各影响因素以及某些难以准确确定的待定参数之间的函数关系,然后通过监测的岩体移动的反馈信息,确定模型的“等效岩体参数”.通过监测数据反演得到等效力学参数,进行矿山地表岩移预测.界面分为围岩等效参数的非线性规划、等效参数合理性测试及安全预测 3 部分,分别实现等效参数的获得、测试及基于等效模型的安全预测,具体界面见图 14,图 15 为系统调用的 FLAC^{3D}所建立的三维地质模型,图 16 为矿区沉降预测范围展示.

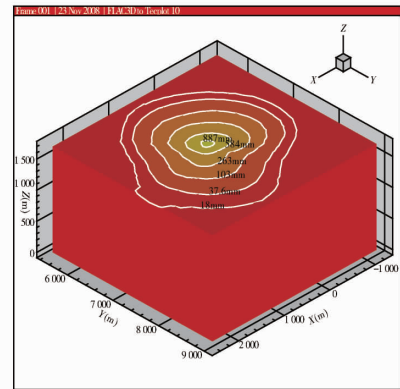
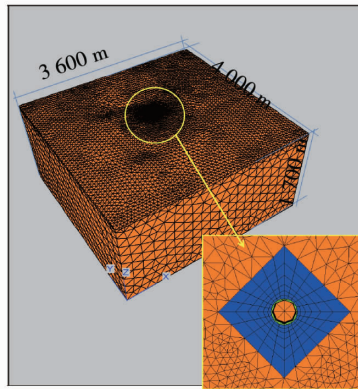


图 14 FLAC^{3D}等效模型的安全预测界面 图 15 二矿区 14 行风井及 1 号矿体模型 图 16 模拟的二矿区模拟沉降盆地

4 结论

1) 采用 C#语言,在 .NET 平台下开发的岩移分析系统,可以有效集成矿区不同监测手段的实时监测数据,实现了海量监测数据的管理分析,提高了工作效率.

2) 基于 BP 神经网络的岩移预测系统,实现了地表岩移的非线性预测.

3) 基于监测数据的数值模拟“等效参数”识别,提高了数值模拟的精度,实现了后续开采引起的岩移预测.

4) 该系统不仅可以实现模型的参数计算和模型精度校验,还可以以拟合图的形式展示模型拟合及预测效果,具有简便易操作性,为矿区安全生产提供技术保障.

参考文献:

- [1] 马凤山.《金川矿区地表岩移的 GPS 监测及变形规律研究》阶段成果报告[R]. 中科院地质与地球物理研究所,2005.
- [2] 杨晓炳.金川二矿区关键工程变形监测与安全预测系统研究开发[M].北京:北京科技大学出版社,2011.
- [3] 高直,张海军,崔宏亮,等.金川二矿区地表裂缝沉降变化规律及形成机制分析[J].有色金属(矿山部分),2009,61(1): 28-31.
- [4] 岳斌.金川镍矿充填法开采引起的移动和地表变形研究[M].昆明:昆明理工大学出版社,2005.
- [5] 侯哲生,李晓.金川二矿开采过程中的位移及变形特征分析[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008,27(2): 215-217.
- [6] 袁广祥,赵海军.金属矿山开采地表岩移的灰色预测模型[J].地下空间与工程学报,2011,7(1):70-76.
- [7] 翟淑花,高谦.基于进化算法的岩体参数智能识别[J].煤炭学报,2011,36(1):34-38.
- [8] 张菊清,张勤,李斌,等.沉降监测数据管理与分析系统的研制[J].西安工程学院报.2001,23(1):75-78.
- [9] 李安渝,杜小勇.数据库管理系统现状和发展方向[J].中国计算机报,2006(5):31-33.
- [10] 王宝山.煤矿虚拟现实系统三维数据模型和可视化技术与算法研究[D].郑州:中国人民解放军信息工程大学,2006.
- [11] 林勇.公路隧道监控量测数据管理系统的开发[J].公路交通技术,2003(1):54-57.