

柳建新, 孙 娅, 童孝忠. MAPGIS在矿山地质环境监测中的应用. 地球物理学进展, 2009, 24(6): 2280~2286, DOI: 10.3969/j.issn.1004-2903.2009.06.050.

Liu J X, Sun Y, Tong X Z. Application of MAPGIS technology to monitoring geological environments of mines. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(6): 2280~2286, DOI: 10.3969/j.issn.1004-2903.2009.06.050.

## MAPGIS在矿山地质环境监测中的应用

柳建新<sup>1,2</sup>, 孙 娅<sup>1,2\*</sup>, 童孝忠<sup>1,2</sup>

(1. 中南大学信息物理工程学院, 长沙 410083; 2. “有色资源与地质灾害探查”湖南省重点实验室, 长沙 410083)

**摘 要** 由于传统的矿山资料的收集和数据的周期长、成本高、管理滞后, 很难对矿山地质灾害进行有效地、科学地、准确地预测、预报和防治。而 MAPGIS 作为一种新兴的交叉学科, 在数据的采集、整理、分析和输出方面, 具有空间性和动态性, 能够有效的满足矿山环境监测技术的要求。本文首先借助于 MAPGIS 的强大的数据管理、空间分析运算功能, 在矿山地质灾害原有数据类型的基础上建立地理空间数据库和属性数据库, 使得数图相结合。然后根据动态检测和模拟功能使得 MAPGIS 能够对各种矿山地质环境进行有效的动态监测和分析, 并且在耦合地面沉降模型的基础上, 实现对矿山环境灾害的模拟。其中动态监测采用了 GPS-RTK 技术, 使在原有矿山地质环境底图的基础上又增加了现有的地面沉降的动态数据, 实现新旧监测数据的对比。最后以湖南攸县兰村的几处矿点为例进行监测并提出了一些保护矿山环境的措施。

**关键词** MAPGIS, 环境监测, GPS—RTK, 攸县兰村

DOI: 10.3969/j.issn.1004-2903.2009.06.050

中图分类号 P631

文献标识码 A

## Application of MAPGIS technology to monitoring geological environments of mines

LIU Jian-xin<sup>1,2</sup>, SUN Ya<sup>1,2\*</sup>, TONG Xiao-zhong<sup>1,2</sup>

(1. The institute of Info-physics and Geometrics Engineer, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Key Laboratory of Non-ferrous Resources and Geological Hazard Detection, Changsha 410083, China)

**Abstract** As data collection and management are of cycle length, high costs, management lags behind in the traditional monitoring method, it is difficult to realize effective, scientific, accurate prediction and control to mine environment disasters. MAPGIS is a jumped-up cross-disciplinary, which has extensivity and movability in data collection, collation, analysis and output connection. It can be used to effectively meet the mine environment monitoring technology. Firstly geo-spatial database and attribute database can be set up with the mine environment monitoring original data type by using the MAPGIS powerful data management and spatial analysis capabilities. The date can combine with figures. And then with the dynamic testing and simulation feature, a variety of mine environmental dynamic monitoring and analysis are carried out effectively on MAPGIS, and the mine environmental disaster simulations are shaped on coupling ground subsidence professional models. GPS-RTK technology is used in the dynamic monitoring. The existing ground subsidence of dynamic data is added to the original mine geological environment base map, so the old and new monitoring data are contrasted. Finally the monitoring to several ore spots in Lancun, Youxian, Hunan province as an example is presented and some measures to protect the mine environment are proposed.

收稿日期 2009-03-09; 修回日期 2009-07-20.

基金项目 国家自然科学基金项目(60672042)资助.

作者简介 柳建新, 男, 1962 年出生, 教授, 现为中南大学信息物理工程学院博士生导师、院长、湖南省有色资源与地质灾害探查重点实验室主任。主要从事应用地球物理理论及应用研究。(E-mail: ljx6666@126.com)

\* 通讯作者 孙娅, 女, 1984 年生, 地球探测与信息技术硕士研究生。(E-mail: sunya0624@163.com)

**Keywords** MAPGIS, environmental monitoring, GPS—RTK, Lancun Youxian

## 0 引言

一个国家的强盛只要看该国家的能源和资源占国民的生产总值,中国是一个地大物博的能源大国,这主要是依靠中国这些大大小小的矿山来支撑。所以矿山安全和矿山环境问题是我們最为关心的问题。由于工作环境的恶劣、技术水平的不足以及矿山行业的特殊性,进而引发的矿山地质灾害也特别严重。矿山资料的收集和地质灾害的管理目前还主要依赖于传统的手工模式,周期长、成本高、管理滞后,很难对矿山地质灾害进行有效、科学、准确的预测、预报和防治,严重危害了矿山的正常安全生产,制约了煤矿的可持续发展。

地理信息系统作为一门新兴的交叉学科,它是专门用于管理空间分布数据的计算机系统,是采集、储存、管理、分析和描述有关数据的空间信息系统,其强大之处在于它将空间信息的处理与属性信息完美结合起来,能够研究其在空间与时间上的变化,用现代计算机技术管理和分析空间数据,并将结果可视化,是监测矿山地质环境的很好工具,并为矿山地质灾害的预测、预报和管理提供了一种非常重要的技术手段<sup>[1~8]</sup>。

## 1 MAPGIS用于矿山地质环境监测上的突出优势

随着矿山生产的发展,开采规模的增大,各种地质灾害发生的频率也日益增大,加之对地质灾害的防治工作投入大,又没有直接的经济产出,导致了矿山在防灾、减灾方面缺少必要的技术支持。MAPGIS作为一种新兴的交叉学科,在数据的采集、整理、分析和输出方面,具有空间性和动态性,能够有效的满足矿山环境监测技术的要求<sup>[5~8]</sup>。

(1) 数据的组织与管理地质数据具有复杂性、空间性、动态性和多样性的特点,在对其组织、管理的过程中既有数据信息又有图形信息,信息量非常庞杂,运用传统的处理方式显得非常困难有时甚至无能为力,而借助于 MAPGIS 的强大的数据管理、空间分析运算功能则可以根据灾害数据类型建立地理空间数据库和属性数据库,使该问题迎刃而解。

(2) 空间分析功能 GIS 的空间分析功能是 MAPGIS 区别于其它计算机系统的主要标志。在矿山环境监测过程中,利用其距离分析、标量分析、网

格叠加分析等 GIS 众多的空间分析工具以及各种灾害模型库,能够详细、迅速地分析出矿山地质灾害的发生。

(3) 动态检测和模拟功能使得 MAPGIS 能够对各种矿山环境进行有效的动态监测和分析,并且在耦合各种专业模型的基础上,实现对矿山环境灾害的模拟。

## 2 攸县兰村矿山环境管理系统的构建

### 2.1 基础数据库的建立

矿山监测的基础数据系统是进行灾害分析的基础,一般包括矿区的周围表面环境,地质、采掘、测量、资源管理四个方面,虽然数据类型复杂,数据量也较大,但所要监测的数据总体来说可以抽象为以下三种基本的类型:

点源数据主要集中于每个矿区的编号,地理位置或者经纬度坐标,矿区的周围环境包括该矿区有无地质灾害,灾害类型,灾害的始发时间及每次所发生的时间,损失情况以及潜在危害的程度,防护措施,矿区负责人等,有些也要调查该矿区地下环境,包括地下钻孔综合成果资料:钻孔名称、钻孔标高、煤层底板标高、煤层底板厚度、钻孔级别、涌水量、瓦斯指标以及主井、副井、风井的井口标高和井所在的经纬度,煤层厚度、煤质煤岩类型等。

线源数据主要包括:

(1) 构造线:矿区界限,实测断层的煤交线,陷落柱、火成岩、古河床冲刷等。

(2) 界限:煤层露头、风氧化带、煤厚界线、煤层分叉线、勘探线、煤层底板等高线、各类永久煤柱线、矿井边界线、矿区边界线等。

(3) 井上地物线:主要是河流、堤坝、国家铁路、公路等。

(4) 其他线:方格网、采空区主要大巷、储量计算级别边界线、见煤钻孔煤层小柱状。

面源数据主要是矿区,矿山周围的工业广场、村庄、城镇、城市、水系以及各级别储量范围等可以构成多边形的地物。灾害数据具有多源性、时空性、多时相性、不确定性、相关性、多尺度、多分辨率性等特点,数据采集要兼顾各个领域、各种状态、各类煤质的特点,实施合理有效的采集和组合、迭加方案,保证系统中数据的质量和数量达到最优配置。

我们根据这些数据进行归纳汇总,形成库文件

也就是数据库文件,并对库文件中的每一项数据进行属性的编辑也就形成了属性文件,以便于我们以后对该文件查阅和管理。

2.2 系统编辑

由上可知,我们已经建立了完整的数据库,接下来我们就是将基础数据资料输入 MAPGIS 中的主控系统中,我们采用的是 1:50000 的攸县兰村的地质图作为地质底图,该地图的数据是法国 SPOT—5 和美国 Quick Bird2005 年、2006 年的遥感数据,精度以能准确查明矿山地质环境问题或地质灾害为准。调查工作遵循《矿山环境地质调查评价规范》执行,调查评价精度基本按 1:50000 精度控制。首先是先将各个矿区的经纬度以大地坐标的形式写成标字符的文档,在做投影变换的时候就将该点文件保存,然后就可以在文件里打开了。其次就是由设备初始化、图形矢量化、图形数据转换以及视屏操作等次级

模块组成。数据库模块包括基础数据资料、图例图符、基础图件和系统运行所需的系统文件库等次级模块,主要对图形数据和属性数据建立关联并进行管理。基础图形模块包括点、线、面、注记及符号等若干基本图形子模块和一系列具体图形生成等次级模块,主要是通过生成各种基础图形并将之有机组合来获得任意地图要素。数据编辑、处理模块根据需要对基础数据库模块和基础图形模块进行快速检索、编辑和更新,实现人机的交互编译。智能分析模块调用各级模块,根据具体的任务进行智能化、自动化的系统分析,并对结果进行评估和模拟,例如根据滑坡的可能性我们可以滑坡的程度进行模拟、预测和防治对策等功能。输出模块由图形输出、数据输出以及数据图形转换等子模块组成,实现信息的多介质、多类型的输出。其主要目的就是数据输入和图形输入,使数据与图形相结合,形成一个整体<sup>[9~14]</sup>。

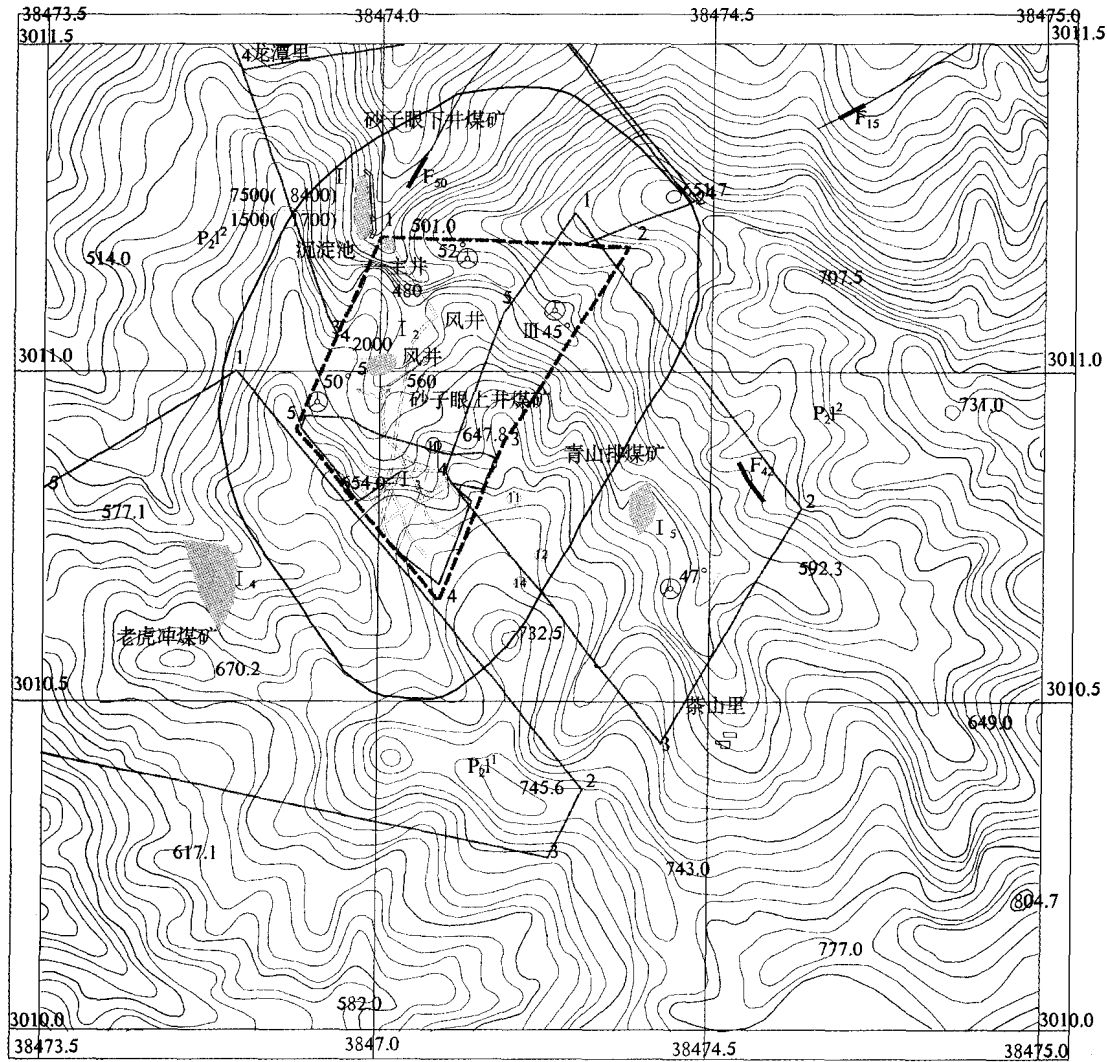


图1 湖南攸县兰村的几个矿点地质环境图

Fig.1 Map of several ore spots' mine environments in Lancun, Youxian, Hunan Province

我们将矿区呈发生过地质灾害的地区和有危险的地区圈出来,作为重点监测对象这时也就实现了矿上地质环境的数据管理系统,我们可以随时通过 MAPGIS 对库中的文件进行查看和修改,以达到对矿山环境的监测目的(图 1)。

3 矿区的监测原理及实现

我们从表面上知道矿区的地质灾害环境,但这种矿山地质灾害环境最终是由矿区地下采煤导致的地表沉陷所造成的,当然监测的原理应该在于矿区的地面沉降.于是我们就根据图 1 所示的地质灾害区进行地表沉降的监测.针对矿区地表沉陷信息采集由三个基本过程构成,这 3 个基本过程包括基准网三维测量、工作基准网三维测量、形变网三维测量.于是我们采用快速静态测量或动态测量(GPS-RTK)模式进行.同时实践证明,利用 GPS-RTK 技术监测矿区地表沉陷也是具有省工、省时、快速、高效、优质等诸多优点<sup>[14~20]</sup>。

若各形变点的首期监测三维坐标为 $(X_i, Y_i, H_i)$ ,某期监测三维坐标为 $(X'_i, Y'_i, H'_i)$ ,则各形变点的总三维空间位移量 $d_i$ 、平面总位移量 $D_i$ 、总沉陷量 $h_i$ 、平面总位移方位角 $\alpha_i$ 分别为

$$d_i^2 = (X_i - X'_i)^2 + (Y_i - Y'_i)^2 + (H_i - H'_i)^2, \tag{1}$$

$$D_i^2 = (X_i - X'_i)^2 + (Y_i - Y'_i)^2, \tag{2}$$

$$h_i^2 = (H_i - H'_i)^2, \tag{3}$$

$$\alpha_i = \arctan \frac{(Y'_i - Y_i)}{(X'_i - X_i)}. \tag{4}$$

通过以上式子我们就可以计算地面沉降的面积、位移以及沉降的方向,根据这些信息我们就可以判断矿区地表的环境情况了,还可以将其沉降方向用矢量图的形式表现出来,我们就可以将来的地面沉降的趋势,这样也就可以利用监测和保护矿区周边环境。

我们对湖南省攸县兰村调查了四所煤矿,分别是砂子眼上井煤矿、砂子眼下井煤矿、青山排煤矿和老虎冲煤矿.我们把周围环境情况大致可分为三种:一种是已经发生过地质灾害的区域,如图 1 中的 $I_1$ 、 $I_2$ ,该种地质灾害包括泥石流、崩塌、滑坡、岩溶塌陷、地裂缝、固体废气污染等.一种是未来将要被踩空的区域如 $I_3$ .再一种就是迹象表明该处将会发生地质灾害,但还未发生的区域,如图(1)中 $I_4$ 、 $I_5$ 的.很明显 $I_3$ 、 $I_4$ 、 $I_5$ 是监测的重点区域,但并不是说已发生过地质灾害的区域不需要监测,相

反我们应该先对那些已发生过地质灾害的地方进行修复再监测,监测的内容也就是以上所提到的灾害的类型和灾害区域的面积.根据实地调查地表情况(表 1)。

表 1 各个监测区的地质情况对比表  
Table 1 Comparison of geological conditions  
in all monitored areas

监测区	五年前占 总面积比 例(%)	地表情况	现在占总 面积比例 (%)	地表情况
$I_1$	2.1	表面有少许滑坡现象,地表有植被覆盖地面开始塌陷,有十多间居民房	3.4	已产生过滑坡造成房屋倒塌数间,地面塌陷少许,植被覆盖减少了很多
$I_2$	0.1	表面有少许滑坡现象,地表有植被覆盖,地面塌陷少许,有几户居民和民房	2.9	已产生过滑坡造成房屋倒塌数间,地面塌陷严重,几乎无植被覆盖现已无居民
$I_3$	3.9	表面土壤完好,地表有很多,植被覆盖,有十多间居民房	13.4	有滑坡迹象土壤松动,植被减少,地面有下降趋势
$I_4$	0.5	表面土壤完好,地表有很多,植被覆盖,有十多间居民房地面塌陷少许	3.4	有滑坡迹象,土壤松动,房屋开始有倒塌趋势,地面开始有大面积的塌陷
$I_5$	0.5	表面有少许滑坡现象,地表植被覆盖完好,地面塌陷少许,有十多间居民房地	3.6	开始滑坡迹象,房屋开始有倒塌趋势,植被覆盖也开始减少

4 检索查询

检索查询在监测过程中起到了非常重要的作用,正是通过 MAPGIS 的检索查询,我们才能够在以后的工作中实现直接监测的目的.它有以下两种功能:

(1)图形-属性双向查询功能

MAPGIS 平台系统已有相应的功能来实现图形-属性双向查询.但是在地质工作程度数据中,图元之间往往存在相互重叠、覆盖现象,同时工程文件中多个图层的叠加显示也造成图元在视觉上的叠盖.就比如图 1 中的煤矿和煤矿区域之间也存在着叠盖现象,在叠盖图元的情况下,MAPGIS 的查询方法显得很笨拙,因此需要设计一种适合叠盖图元快速信息查询的方法,于是采用了“目录式”的分步



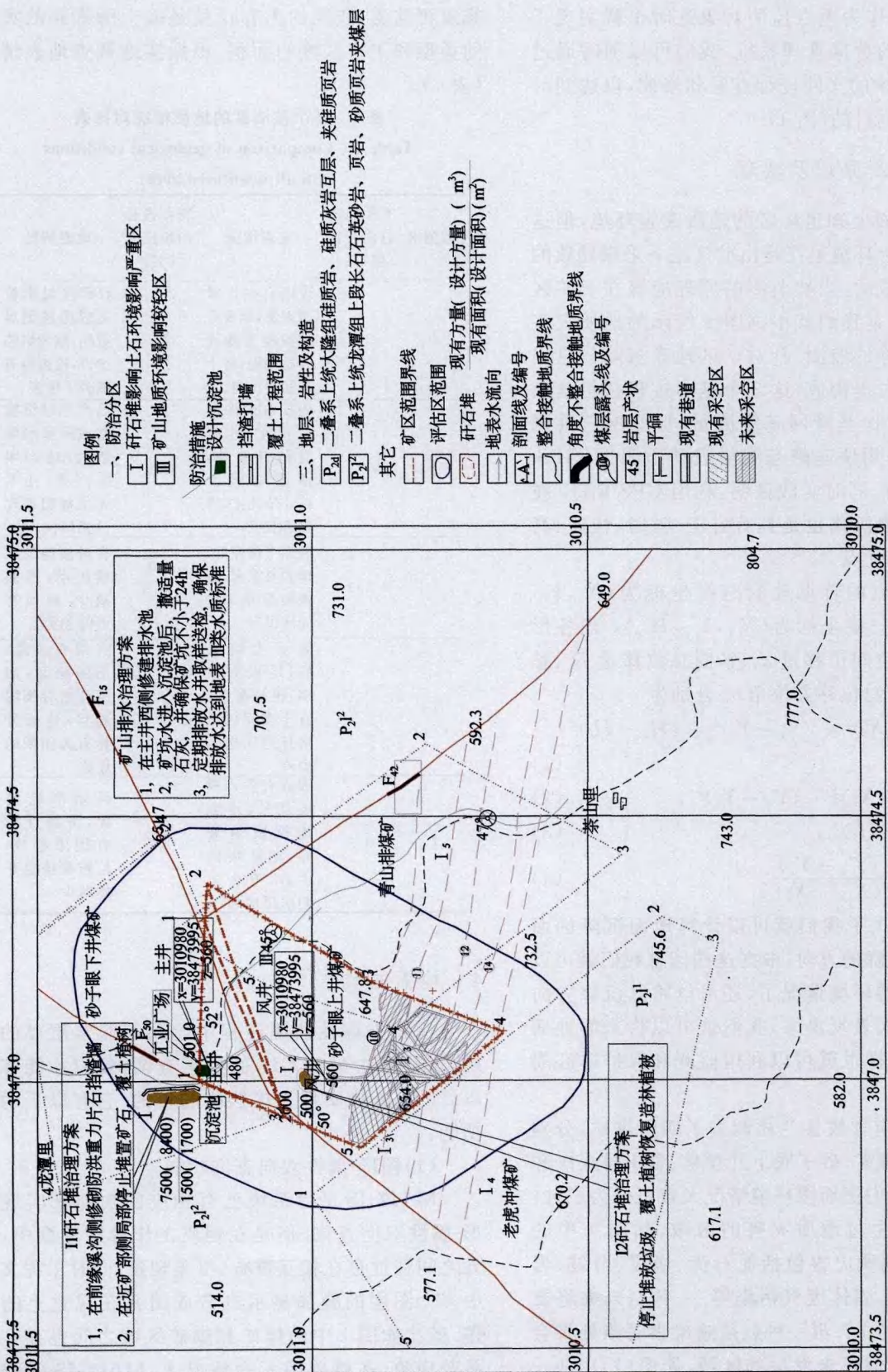


图 2 湖南省攸县兰村砂子眼上井煤矿矸石堆地质环境保护方案图

Fig. 2 Diagram of geological environmental protection program of the coal mine at Sangjin, Shazhiyanm Youxian, Hunan province

查询策略,即在依据图元空间位置进行查询时,先汇总图元基本信息并显示于列表中,同时建立列表各个项目与图元之间的空间索引,再基于列表项目进行图元个体信息的详细查询。

## (2)统计功能

提供单属性字段与多属性字段的分段(分类)方式的计数与累计统计方法,可直观地用图形(直方图、拼图、曲线图等)来显示,还可生成统计报表。

## 5 环境保护

对矿山环境的监测并不是主要目的,我们主要的目的在于如何去治理那些已经发生过地质灾害的区域和如何保护一些将要发生灾害的地区。本文就砂子眼上井煤矿中的地质灾害区提出了一些治理方案(图2)。

对于 $I_1$ 区处由于滑坡所形成的矸石堆前缘溪沟侧修砌防洪重力片石挡渣墙,再在近矿部侧局部停止堆置矿石,覆土植树。对于 $I_2$ 区的矸石堆应停止堆置,覆土植树恢复植被。在砂子眼上井的主井口西北侧修砌沉淀池,矿坑水进入沉淀池后,撒适量石灰,并确保矿坑沉淀池不小于24h。定期对排放水取样送检,确保排放水达到地表Ⅲ类水质标准。对于 $I_3$ 区是未来的采空区,所以应组织居民搬迁此地,当然也不能放任该处任由塌陷,我们要尽快植树,在周围修建防护栏以防形成滑坡。

## 6 结论与讨论

利用MAPGIS强大的数据管理功能、空间分析功能和可视化功能,能够最大限度的实现信息处理过程的自动化。它不光使监测区的情况以清晰的图形展现给大家,还借助MAPGIS及其耦合的地面塌陷模型可以实现地质灾害监测的多因素、多目标和多维方向发展,从而实现区域监测与管理决策的一体化,提高矿山地质环境监测的准确性和决策的科学性。但是监测并不是主要目的,我们只是通过监测区进一步了解该矿区在今后的发展和环境保护。

该文章只是对矿山地质环境进行了面积上的监测,这对于今后的地质发展还不够,我们要将矿山地质环境的监测推广到三维模型上去,还要将地下钻井的地质情况通过MAPGIS三维模型表现出来,不但实现对地质灾害的面积上的监测还要有地下的真实情况有个更为形象的描述,这是本文的不足之处,有待以提高。

## 参 考 文 献 (References):

- [1] 黄杏元,马劲松,汤勤. 地理信息系统概论(修订版)[M]. 北京:高等教育出版社,2001  
Huang X Y, Ma J S, Tang Q. Introduction to Geographic Information System (revised edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [2] 李庆谋,刘少华,梁光和. GIS环境下对地球物理与地球化学资料奇异性的各向异性估算及其在矿物勘探中的应用[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4): 1015~1020.  
Li Q M, Liu S H, Liang G H. Anisotropic singularity and application for mineral potential mapping in GIS environments [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(4): 1015~1020.
- [3] 崔三元,崔若飞. 基于GIS的煤矿水害多源信息预测方法研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1309~1313.  
Cui S Y, Cui R F. Study of forecast method of multi-source information of coal mine water disaster based on GIS [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(4): 1309~1313.
- [4] 李庆谋,成秋明,刘少华. Walsh列率空间中地球物理信号的多维分形特征以及在GIS环境中的应用[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1884~1893.  
Li Q M, Cheng Q M, Liu S H. Multiracial properties of geophysical data in the Walsh domain and some applications in a GIS environment [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(6): 1884~1893.
- [5] 王全,徐建刚,徐闻闻. 基于GIS的城市用地适宜性评价——以南京高淳新区为例[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 877~880.  
Wang Q, Xu J G, Xu W W. A GIS approach to the urban land suitability evaluation [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(3): 877~880.
- [6] 吴兴荣. 煤矿冲击矿压监测与防治的实践与研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 1011~1018.  
Wu X R. The research on monitoring and prevention practice of rock burst in coal mines [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(3): 1011~1018.
- [7] 周科平. GPS和GIS在矿山工程地质灾害监测方面的应用[J]. 采矿技术, 2003, 3(2): 5~9.  
Zhou K P. Applications of GPS and GIS to monitoring mining engineering geological disaster [J]. Mining technology, 2003, 3(2): 5~9.
- [8] 张以文,樊雷,付明勇,李桂森,马义华. 基于GIS的矿山地质灾害管理系统构想[J]. 岩土工程界, 2008.  
Zhang Y W, Fan L, Fu M Y, Li Gui-sen, MA Yi-hua. A GIS approach to the geological concept of disaster management system [J]. Geotechnical Engineering World, 2008.
- [9] 张进德,田磊,赵慧. 我国矿山地质环境监测工作方法初探[J]. 水文地质工程地质, 2008, 2: 1~4.  
Zhang J D, Tian L, Zhao H. the working methods of monitoring the geological environment in china's mines [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 2: 1~4.

- [10] 熊福文, 朱文耀. 长江三角洲地区地形变特征 GPS 监测和分析[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1719~1730.  
Xiong F W, Zhu W Y. Land deformation monitoring by GPS in the Yangtze Delta and the measurements analysis [J]. Chinese. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(6): 1719~1730.
- [11] 熊福文, 朱文耀, 李家权. GPS 技术在上海市地面沉降研究中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1352~1358.  
Xiong F W, Zhu W Y, Li J Q. The application of GPS in shanghai land subsidence research [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(4): 1352~1358.
- [12] 姜晨光, 钟建民, 贺勇, 等. 矿山地表沉降盆地的监测与数学模拟[J]. 矿业快报, 2003, 11(11): 4~7.  
Jiang C G, Zhong J M, He Y, *et al.* Monitoring and Mathematical Simulation of Ground subsidence Basin in Mining Area[J]. Express Information of Mining Industry, 2003, 11(11): 4~7.
- [13] 张清志, 陈智梁, 刘宇平等. 青藏高原及其东南前陆地壳运动的 GPS 监测[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 524~527.  
Zhang Q Z, Chen Z L, Liu Y P, *et al.* The Crustal movement in the Qinghai-Tibet plateau and its southeast foreland from GPS surveying[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(2): 524~527.
- [14] 冯巨恩, 吴超. 金属矿床采掘过程围岩失稳状态的声发射监测实践[J]. 地球物理学报, 2005, 48(6): 1460~1465.  
Feng J E, Wu C. Practice of monitoring country rock failure status during excavation in a metal mine by acoustic emission[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2005, 48(6): 1460~1465.
- [15] 叶叔华, 黄斌. 地下水变化的空间技术监测和预测[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(4): 1030~1034.  
Ye S H, Huang C. Space technique monitoring and prediction of ground water changes [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(4): 1030~1034.
- [16] 赵雪莲, 陈华丽. 基于 GIS 的洪灾遥感监测与损失风险评价系统[J]. 地质与资源, 2003, 12(1): 54~60.  
Zhao X L, Chen H L. The GIS-Based RS Monitoring and risk evaluating system for flood hazard [J]. Geology and Resources, 2003, 12(1): 54~60.
- [17] 施冬, 陈军, 朱庆. 基于 GIS 地油气层灰色综合评价研究[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 83~88.  
Shi D, Chen J, Zhu Q. GIS-based grey comprehensive evaluation on oil-gas reservoir [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(1): 83~88.
- [18] 陈国济, 单新建, Wooil M Moon 等. 基于 InSAR、GPS 形变场的长白山地区火山岩浆囊参数模拟研究[J]. 地球物理学报, 2008, 51(4): 1085~1092.  
Chen G H, Shan X J, Wooil M Moon, *et al.* A modeling of the magma chamber beneath the Changbai Mountains volcanic area constrained by InSAR and GPS derived deformation [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2008, 51(4): 1085~1092.
- [19] 郑文锋, 银正彤, 王绪本, 阚瑗珂, 李海蓉. 基于 OpenGIS 的地球探测信息综合解释平台[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(2): 605~611.  
Zheng W F, Yin Z T, Wang X B, Kan A K, Li H R. The integration explanation platform of Earth exploration information in OpenGIS environment [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2008, 23(2): 605~611.
- [20] 王育忠, 高谦, 王正辉. 采场坍塌空区地球物理探测及矿山恢复生产设计与安全评价[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(3): 903~908.  
Wang Y Z, Gao Q, Wang Z H. Detecting empty in the collapsed stope using geophysical on technology and design for production resume and safety evaluation of the mine [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2008, 23(3): 903~908.