

采煤塌陷地动态监测管理系统的设计

王少卿¹, 蔡德水², 李新举¹

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2. 济宁市国土资源局, 山东 济宁 272017)

摘要:随着矿产资源不断开采,采空区塌陷问题日益严重,对矿区人民生活 and 矿区环境带来极大危害。因此开发监测管理系统对维护矿区人民生命安全和保护矿区环境有重要意义。目前现有的部分系统有一些需要改进的地方:数据库中的数据更新不及时,存储的数据利用率不高;国土系统中各个部门存在大量孤立的系统,管理不方便。该系统选择 C#作为开发语言,基于 VisualStudio 为开发平台,结合 MS SQL Server 数据库设计了塌陷地监测管理系统,实现了动态监测、实时更新、项目管理、预测预警、统一管理、打印出图等功能,真正实现塌陷情况实时查询,监测数据实时更新,监管系统统一管理,提高了工作效率和系统信息化水平。

关键词:采煤塌陷地;实时更新;动态监测;实时查询;系统设计

中图分类号:TD325.4;P208

文献标识码:B

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2019.02.010

引文格式:王少卿,蔡德水,李新举.采煤塌陷地动态监测管理系统的设计[J].山东国土资源,2019,35(2):58-63.

WANG Shaoqing, CAI Deshui, LI Xinju. Design of Dynamic Monitoring and Management System in Coal Mining Subsidence Area[J]. Shandong Land and Resources, 2019, 35(2): 58-63.

0 引言

矿产资源作为一个国家或地区经济发展的重要储备资源,对推动城市化建设、基础设施建设和国防安全起着重要的作用^[1]。煤炭是我国的主要能源,占能源消耗的 70% 以上,在今后相当长的时期内煤炭仍将是我国的第一能源。2014 年调查国有与地方煤矿万吨采煤塌陷率为 0.24 hm²,由此可见矿山开采塌陷是十分严重的,地表沉降塌陷及矿区采空区变形观测迫在眉睫。这种由地下开采引起的损害已不仅仅是个环境问题,而且影响到矿区城市的社会稳定与可持续发展^[2]。目前我国的大部分矿山依然采用人工的监测手段,不仅周期长,其精度受人为因素影响较大,并且耗费大量的人力和物力,制约了矿山的生产和发展^[3]。

现有的塌陷地监管系统存在一些不足:系统功能较为单一,仅包括图像的显示、分析、校准和查询统计的功能^[4],或者单纯开发一个 GIS 应用程序^[5],地表沉降监测数据更新不及时;塌陷区土地

复垦项目没有一个统一的平台来进行管理,项目进度无从查看,严重拖慢项目进展,不利于矿区发展^[6];国土系统各市县、各部门中存在大量自有的,封闭式架构的监管系统,容易导致信息沟通不畅、部门业务无法协同、工作效率低下等问题^[7]。

针对上述不足,充分考虑塌陷地监管系统中的用户需求和系统功能^[8],设计一个塌陷地监测管理系统,利用 ArcGIS Engine 10.2 和 Visual Studio 2010 进行监测管理系统的开发,实现对矿区地表沉降数据的定时采集、自动快速传输、实时人工处理、监测信息可视化以及统一管理、项目全过程管理、塌陷预测警报的功能^[9],有利于相关部门和矿山企业科学、快速作出判断,有效减少发生事故的可能性^[3]。

1 系统开发环境的选择

ArcGIS Engine 是一个创建定制的 GIS 桌面应用程序的开发产品,可根据用户要求定制开发特定功能的 GIS 程序。该系统开发语言选择 .NET 平台下的 C# 语言, C# 语言简单易学,通用性好,而且目前

收稿日期:2018-06-01;修订日期:2018-09-13;编辑:陶卫卫

基金项目:国家自然科学基金(41771324),采煤塌陷地绿色综合治理与生态修复关键技术(2016ZDJS11A02);

作者简介:王少卿(1994—),男,山东济南人,硕士研究生,主要从事塌陷地监测研究;E-mail:2068685176@qq.com

极其成熟的 .NET4.0Framework 为 C#语言增加了更多的功能^[10]。所以笔者选择的是 ArcGISEngine10.2 版本以及 VisualStudio2010 作为开发平台。Arc SDE 是 ArcGIS 的空间数据库引擎, Arc SDE 将空间数据和相关的属性数据统一放在工业标准的 DBMS 下进行管理,支持多用户并发访问操作^[11]。经过综合考虑, DBMS 选择微软的 SQL Server 数据库管理系统。SQL Server 经过多代发展,已经衍生出不同的版本,适合各类企业使用。因此,该系统采用 Arc SDE 作为空间数据库引擎, DBMS 选择与 Visual Studio 配套的 MS SQL Server2008。系统开发环境见图 1。

表 1 系统开发环境

类别	选用平台
数据库	SQL Server2008
空间数据库引擎	Arc SDE
系统基础开发平台	Visualstudio2010、ArcGISEngine10.2
客户端操作系统	主流 Windows 操作系统

2 系统总体结构

2.1 系统目标

该系统的设计要达到几个目标:①数据处理中心工作人员能高效地对塌陷地监测的数据进行日常管理,包括监测数据处理分析、更新;②系统能够实时查询塌陷情况,定时更新的数据以及存储的历史数据;③统计出图功能,生成各种沉降等值线图、塌陷地监测点分布图等图件^[11],并能自动生成各种统计报表;④能够对塌陷地整治项目进行全过程管理,随时查看项目进度,提高效率;⑤管理系统用户的功能,包括用户权限、用户角色管理的功能。

所以,设计的整个系统的功能有:GIS 基本的功能,数据管理功能,实时查询塌陷情况功能,项目全过程管理功能,预测预警功能,用户管理功能,出图功能,以及数据实时传输更新功能。

2.2 系统总体架构

系统总体分为①UI 界面(人机交互界面)。②基础软硬件层,提供硬件设施(服务器、电线、电缆、计算机等),基础软件(计算机操作系统、服务器操作系统、网络,以及相应基础应用软件)。③框架服务层(安全体系和标准规范体系等)。④监测系统层:基本功能模块,查询功能模块,用户管理模块(管理数据库,系统功能的添加删除)预测预警模

块,项目全过程管理模块,决策支持模块,统计出图模块。⑤数据支持层(提供数据支持,存储数据)。总体架构见图 1。

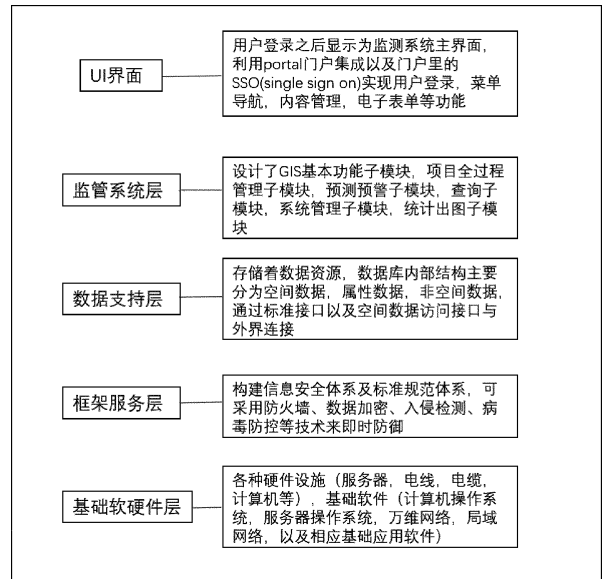


图 1 系统框架图

2.3 系统运行流程

(1)数据采集:采集实地监测站(点)等实时监测到的数据,人工下载相应的数据。

(2)数据处理:采集后的数据传输至数据管理中心,通过人工方式进行处理。

(3)数据入库:处理后的数据按照属性数据、空间数据、非空间数据分别录入相应数据库,进行更新操作。

(4)其他功能:监管部门、矿山企业用户通过人机交互界面使用监测管理系统,对塌陷情况进行查询,同时可以实现基本的 GIS 功能;如果想对任意监测站(点)进行塌陷情况分析预测,可使用预测预警模块进行预测,通过设置经验值的阈值实现预警功能^[12];管理员可通过管理员界面进入,对系统进行日常维护,对用户进行添加、删除、修改信息操作,通过项目全过程管理模块可以对各个项目情况进行随时查看,统计塌陷地面积,打印各种图表等可以通过统计出图模块进行操作(图 2)。

2.4 数据源的选择

需要的塌陷地监测数据有:

实时数据:遥感数据, InSar 数据,外业观测数据(全站仪,水准仪),监测网络平差观测数据,监测网络移动变形值数据。

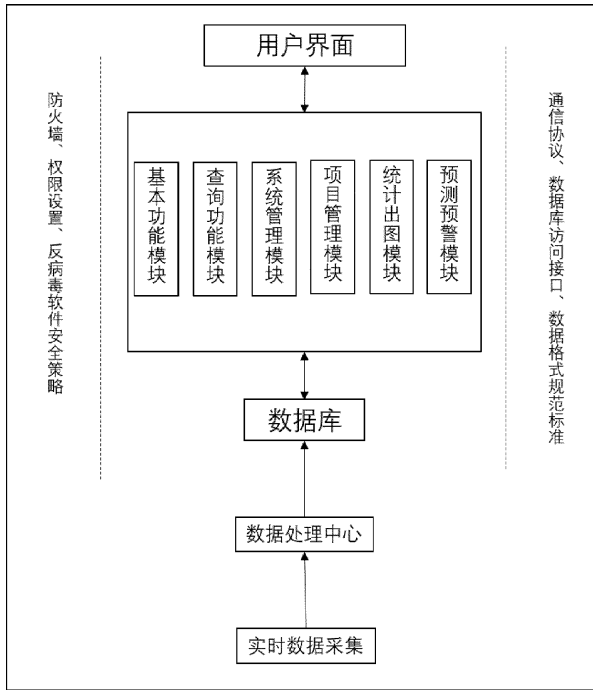


图 2 系统流程图

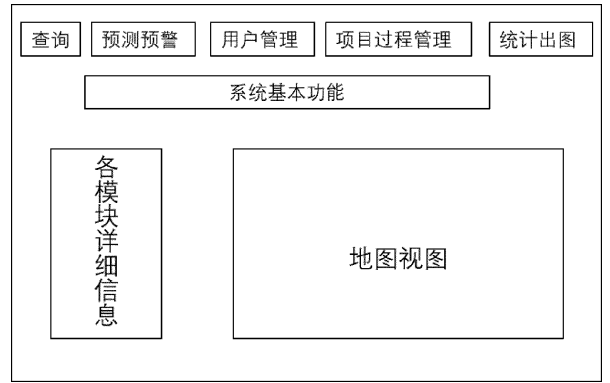


图 3 系统界面图

人工处理数据:表面位移分析数据,形变速率数据,断面变形分析数据,图形数据,InSar 数据,遥感数据。

历史数据:遥感数据,InSar 数据,外业观测数据,基本信息数据,系统操作日志数据,监测网络基本信息数据,地质开采资料^[7]。野外实地调查拍摄的塌陷区样片、国土资源局、各相关单位发布的年份统计资料等^[13]。

3 系统功能设计

3.1 监测系统界面

监测系统界面左侧是目录树,可以查看各个子模块里的详细信息,在系统界面最上方是各个系统子模块按钮,系统基本功能在各个系统子模块按钮下方;系统界面中部是地图视图,用来展示功能的详细信息。系统界面详见图 3。

3.2 基本功能模块

缩小、放大、平移、区域缩放、鹰眼。该模块目的是实现 GIS 基本功能,例如添加删除、放大、缩小、漫游等地图操作功能。鹰眼功能方便用户随时了解当前图形缩放区域在整个地图中的位置。

3.3 查询功能模块

实时查询塌陷情况,查询历史塌陷情况、属性和

空间查询。通过与实地监测设备的连接(井下传感器、水准仪、全站仪),或者从指定网址下载的 InSar 数据,遥感数据进行人工处理分析传输至数据库,监测系统通过数据库访问实时监测数据或者历史数据,能够实时查询塌陷地的塌陷情况,分为省、市、县(区)3 个级别,点击界面上的相应级别图标,就可以显示相应的信息,如监测站(点)位置、编号、实时监测的数据等。

3.4 预测预警模块

该模块分为以下几部分:预测参数管理、预测结果显示、预警警报。

(1)预测参数管理:预测参数管理是由管理员实现的,可以对参数进行添加、删除、编辑,这几个按钮在系统界面下方。

(2)预测结果显示:在预测模型的选择上,该系统采用吴侃的开采沉陷时序一体化计算机实施模型(以下沉为例),设某一工作面在 t_s 时刻起开始回采,到 t_e 时刻结束,开采速度为 v ,要预计地表点 P 在 t 时刻的下沉。则 P 点在 t 时刻的下沉 $w_{pt}(x, y)$,采用叠加的方法求得:

$$W_{pt}(x, y) = \sum w_{i}(x, y) = \sum w_{i0}(x, y)(1 - e^{g_i(t-t_i)})$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

式中: m 为切分的平行于工作面的小矩形工作面数目; t_i 为第 i 个小矩形工作面的开采时刻; g_i 为采深,同理可求得其他移动变形值^[14]。输入参数之后各个监测点的塌陷预测结果;在预测预警模块中通过调用提前编写好的概率积分法的模型,选择相应的监测站点,输入参数,用计算机进行运算得到开采沉陷的下沉等曲线图。选择的参数有:控制数据(工作面个数、预计点个数等),工作面数据(开采时间数据、采厚、回采速度等)、预计点数据(预计点坐

标、预计方向)^[14]。

(3) 预警警报: 预警警报由塌陷地监测系统对变形位移信息分析, 根据地表位移信息之间响应关系的经验值进行决策预警。通过设置经验值的阈值, 可以设置多级阈值, 多级阈值对应不同解决措施: 正常施工, 采取加固措施, 停止施工并立即警报^[15]。报警时间可以设置警报持续时间^[15], 可以手动取消报警, 也可以自动取消报警。警报子系统根据预报分析软件可以自动通过无线网络、手机、广播等手段向煤矿企业、当地政府等发布危险警报信息^[12]。

3.5 项目全过程管理模块

每个项目下都有5个步骤: 分别是项目踏勘, 项目可行性研究分析^[16], 土地复垦规划设计^[17]、施工、竣工验收。

(1) 项目踏勘: 土地破坏程度(塌陷类型、积水状况), 土地稳定性(地形坡度、地下水埋深), 土地质量(灌排条件、土层厚度、土壤质地、土壤盐分), 工程适宜性(道路通达性、田地平整度)^[18]。

(2) 可行性研究分析: 项目概况(要求包括名称、建设地点、报告编制单位、项目建设背景、规模、范围、内容、目标、周期), 项目建设地概况(自然资源、社会经济条件, 土地利用、基础设施情况), 资金状况(投资估算、投资规模、资金来源、财务分析), 效益分析(经济、社会、生态环境)^[19]。

(3) 规划设计: 井下开采范围与地质条件, 确定规划区域范围; 确定规划时间; 选择土地利用方向与复垦工程措施; 制定分类、分区、分期复垦方案; 复垦规划方案的优化论证; 投资效益预测; 关于影响复垦工程实施的相关问题与解决方法说明。

(4) 施工: 制定实施方案、公告, 同时对施工质量, 施工进度进行监督。

(5) 竣工验收: 项目承担人竣工验收要写出自查报告并提交初验申请至初验部门, 初验部门在经过实地初验后写出初验意见, 合格的转交给终验部门, 由终验部门进行终验, 终验合格的, 颁发合格证或下发批准文件。该模块包括自查报告提交, 初验申请提交, 初验合格, 终验合格。

3.6 系统管理模块

该模块分为以下几部分: 用户管理、角色管理、系统菜单管理、密码修改、操作日志管理。

(1) 用户管理: 系统的使用者是国土资源部门用户和矿山企业用户。国土资源用户分为厅级用户、部门用户、办公室用户以及个人用户。矿山企业用户分为部门用户、办公室用户和个人用户。用户管理模块实现的是添加、删除用户, 编辑、查询用户信息。

(2) 角色管理: 通过对不同层次用户操作权限的分配, 可以保证不同角色拥有不同权限的操作; 这几个按钮在界面下方, 该模块只能由各级管理员实现。纵向上部门可以修改自己下属办公室的信息, 但在横向上, 不同部门, 不同办公室无权修改其他部门以及其下属办公室的用户内容; 录入的个人信息至少要包含以下信息: 姓名、性别、出生年月、所属部门/办公室; 部门的录入信息只要名称即可, 办公室录入的基本信息要求有所属部门、办公室名称。

(3) 其他功能: 包括菜单管理、密码修改、操作日志管理。菜单管理是对系统功能进行添加、删除, 查询各个模块的子功能, 该模块只能由管理员实现; 密码修改是所有用户都可以实现的。系统操作日志管理功能, 用于保存系统日常运行时的操作日志数据, 以便系统发生故障时维修人员查看, 快速修复系统, 另外, 还可以增加、删除预测模型的参数类型。

3.7 统计出图模块

(1) 统计功能: 该模块统计塌陷地面积, 以及通过对比塌陷前的遥感影像图, 识别出塌陷区域塌陷前土地类型。可以省、市、县为单位, 统计省级塌陷地面积, 市级塌陷地面积, 县级塌陷地面积。

(2) 出图功能: 沉降等值线图、塌陷预测图、塌陷区域塌陷前土地类型、塌陷历史数据。塌陷地土地复垦项目基本信息等数据进行出图打印, 打印出图功能可以导出图片, CAD 文件, Excel 表格并且可以实现地图裁剪功能^[20]。

3.8 数据实时采集更新功能

为实现动态更新数据库数据信息, 设计了符合工业标准的数据传输模式。整个流程分为数据采集—数据传输—数据处理分析—数据入库4部分。

(1) 数据采集: InSar 数据, 遥感数据, 地面监测数据[水准仪、全站仪监测数据(高程、高差数据、监测点水平移动值、监测沉降值等)], 矿井下传感器监测数据(岩移数据等), InSar 数据, 遥感影像数据从相应网站下载, GPS 接收机负责定位监测点。

传感器:GPS 接收机, GPS 大地测量型天线, 井下传感器。在数据传输部分, 采用无线数据传输和有线数据传输 2 种方法来实现数据的传输: ①无线传输, 每个地表监测点为一个数据采集点, 将监测点对应的井下传感器数据进行打包传递给串口服务器, 通过无线网桥的方式把打包的数据传递给数据中继中心, 数据中继中心再把各个监测点采集的数据传递给数据处理中心处理分析^[21]。②有线传输, 传感器接收到的数据通过地表监测点打包, 通过光缆传输, 串口服务器进行信号转换, 转换成网络信号并通过网口传输至数据处理中心进行处理分析^[21]。

(2) 数据处理: (原始数据采集后处理、数据检验、数据分析、预警) 变形监测软件处理 GPS 数据, 先由变形监测软件实时处理监测点和基准站观测数据解算出各监测点与基准站之间的相对空间位移变形量。

数据采集后处理: 通过矿区井内布设的传感器, 矿区井上设置的水准仪, 全站仪实时传输数据, 在相关网站下载 InSar 数据、遥感数据, 通过人工方式进行原始数据采集后处理, 实现对实时采集的数据进行初步转换处理; 数据检验, 主要对采集数据进行逻辑合理性判读和筛选, 对明显错误的数据进行删除, 以免影响数据分析的结果; 数据分析, 主要功能有表面位移分析、形变速率分析、断面变形分析等^[21]。

(3) 数据入库: 存储进设计好的数据库。

4 讨论

矿区塌陷地监测管理系统初步设计完成, 但是系统的建设是一个庞大且复杂的过程, 该系统初步设计之后还有几个需要讨论的问题:

4.1 数据传输方案有待讨论

虽然设计了数据传输方案, 但是目前只有矿区内传感器可以实现实时自动传输数据, 矿区内其余监测设备如水准仪、全站仪, 目前还必须要人工进行数据采集, 势必会影响监测管理系统的使用。数据的传输方案中具体的事项还未敲定, 例如传感器布置, 无线传输与有线传输如何分配, 该采用何种通讯协议, 数据采集传输网络需要的硬件设施, 传输软件的设计等。

4.2 数据的备份与恢复

该系统中系统管理模块为提高系统的安全性,

设置了不同的访问权限, 保证了系统纵向和横向上各层次信息不会被随意修改, 并且建立安全体系, 有效防止对该系统的恶意攻击。但是, 针对一些决策失误, 操作不当等引起的意外如误删数据, 还没有建立一个有效的数据备份恢复功能。

4.3 预测模型的参数选择

关于参数的选择, 要根据塌陷地的实际情况来决定, 例如拐点偏移距 L 、影响角正切 $\text{tg}\alpha$ 、沉陷系数 p 、影响半径 r 及水平移动系数 i 等这些预计参数, 需要矿体地质赋存条件、岩体力学参数和采矿方法、影响半径 r 、地表监测点最大下沉值 X_{\max} 、矿体垂线采厚 m 在竖直方向投影长度、水平移动最大值 Z_0 、下沉最大值 X_0 等参数来计算^[22], 应该依据精度要求来进行预计参数的选择。

4.4 与现有单位基础设施的对接

该文设计的是一个独立的系统, 与目标企事业单位的基础设施的对接必不可少。建设好的系统封装为标准的服务在现有的服务总线上注册即可供其他业务系统调用, 建好的系统就可以使用在服务总线上注册的数据存储更新等服务。所以, 在系统发展过程中, 要与目标单位沟通, 使用何种服务总线、软件架构、开发平台。

5 结论

此次采煤塌陷地监测管理系统主要实现了以下功能和目标:

(1) 管理层能高效地对矿井塌陷情况进行日常管理, 主要包括塌陷地监测数据录入、浏览、查询、编辑、更新。

(2) 系统能从空间上对塌陷地数据进行可视化, 实现空间数据库与属性库的自由访问。

(3) 生成各种沉降等值线图、塌陷地监测点分布图等图件, 并能自动生成各种统计报表并输出, 例如塌陷地土地复垦项目相关文件打印, 及时更新潜在塌陷安全隐患监测数据及危险源实时传输的监控数据以及处理后的监控数据。

(4) 能够对采煤塌陷地沉陷情况进行预测, 并设计预警功能, 设置不同阈值, 对应不同解决措施。

(5) 塌陷地监测数据实时数据采集传输的设计, 采用无线和有线混合使用的方式, 因地制宜。

(6) 对塌陷地土地复垦项目进行全过程管理,

随时查询项目进度,提高项目进展速度。

(7)实现了用户管理,权限管理,系统菜单管理的功能,一定程度上保证了系统的安全性。

参考文献:

- [1] 李永平,谈树成,赵晓燕.云南省北部地区矿产资源违法开采遥感动态监测研究[J].山东国土资源,2018,34(2):49-53.
- [2] 姜岩,高均海.合成孔径雷达干涉测量技术在矿山开采地表沉降监测中的应用[J].矿山测量,2003(1):5-7.
- [3] 葛文杰,郭宇辉.基于 GIS 的矿山重大安全隐患决策支持系统探讨[J].有色金属科学与工程,2007,21(2):40-41.
- [4] 国巧真,鲁明星,王红新,等.采煤塌陷区动态监测系统的研制及应用[J].矿业安全与环保,2005,32(3):5-7.
- [5] 孙丽,高飞,胡小华,等.ArcEngine 插件式 GIS 二次开发框架的设计与实现[J].测绘科学,2011,36(5):214-216.
- [6] 雷朝锋.基于 GIS 的信息系统在金属矿区塌陷监测中的应用研究[J].西部探矿工程,2012,24(11):167-170.
- [7] 曹永锋.协同开发环境中采煤塌陷地动态监测监管系统设计与实现[J].山东国土资源,2018,34(2):70-74.
- [8] 刘耀林.地理信息系统[M].北京:中国农业出版社,2004:193-196.
- [9] 李亚玲.GPS 和 GIS 在金堆城露天矿边坡监测预警系统中的应用[J].中国铝业,2014(4):29-31.
- [10] 赵静.ArcGIS Engine 在林种区划专家支持系统中的应用[J].西北林学院学报,2013,28(3):187-189.

- [11] 王斌,张硕新,雷瑞德,等.基于 ArcGIS Engine 的土地变更调查管理系统设计与实现[J].农业工程学报,2006,22(10):109-112.
- [12] 王桃,卢才武,冯治东.基于 WiFi 的煤矿井下生产环境监测系统[J].金属矿山,2012,41(9):139-142.
- [13] 倪杰.济宁市采煤塌陷区动态监测与综合治理研究[D].济南:山东师范大学,2017:12-15.
- [14] 刘国志.组件式 GIS 在矿区开采沉降系统中的开发研究[J].信息系统工程,2012(8):33-34.
- [15] 陈红.西安地铁施工沉降监测系统的应用研究[D].西安:西安科技大学,2012:21-22.
- [16] 王煜斋.企业工业项目可行性研究现状和建议[J].现代矿业,2004,20(3):1-3.
- [17] 周复旦,赵长胜,丁佩,等.开采沉降预计在矿区土地复垦中的应用[J].金属矿山,2010,39(10):146-150.
- [18] 王慎敏,金晓斌,周寅康,等.基于 GIS 的采煤塌陷区土地复垦项目规划设计研究[J].地理科学,2008,28(2):195-199.
- [19] 陈胜华,胡振琪.试论土地复垦可行性研究的涵义与方法[J].能源环境保护,2000,14(3):11-14.
- [20] 何刚林.基于 ArcGIS Engine 二次开发的国土建设用地图息管理系统的开发及应用[D].济南:山东师范大学,2012:39-40.
- [21] 任月龙,李如仁,张信.基于多传感器网的露天矿边坡形变监测[J].煤炭学报,2014,39(5):868-873.
- [22] 王瑞.基于 GIS 矿山地表沉降预警信息系统研究[D].赣州:江西理工大学,2015:16-19.

Design of Dynamic Monitoring and Management System in Coal Mining Subsidence Area

WANG Shaoqing¹, CAI Deshui², LI Xinju¹

(1.Resource and Environment College of Shandong Agricultural University, Shandong Tai'an 271000, China; 2. Jinan Bureau of Land and Resources, Shandong Jinan 272017, China)

Abstract: Accompanying with continuous mining of mineral resources, subsidence in goafs of many mines in China have become increasingly prominent, which has caused great harm to the people's life and the environment in the mining areas. Thus, the development, monitoring and management system is of great significance. There are some deficiency in the existing system, such as delayed data update and low utilization of stored data. Meanwhile, a large number of isolated systems existed in each department of land and resources are hard to manage. By using C# language based on visual studio development platform, combining with MS SQL Server database, dynamic monitoring and management system for coal mining subsidence areas have been designed. Dynamic monitoring, real-time updating, project management, forecasting and early warning, unified management and printout of graphs can be realized. Real-time query of the collapsed situation, real-time updating of monitoring data, and unified management of the supervision system can be really realized. It will improve work efficiency and system informatization level.

Key words: Coal mine subsidence area; updated in real time; query real time; design of system