

煤矿安全生产信息系统的设计与实施

徐效波, 吴华玲, 王建强, 王胜平

(东华理工大学测绘工程学院, 抚州 344000)

摘要: 煤矿生产安全管理是一项复杂的系统工程, 安全生产管理中的生产条件合理评估, 应急情况下人员的避灾及救援是煤矿安全生产的研究热点。本文在分析国内煤矿安全生产现状的基础上, 对煤矿安全生产信息系统进行了总体设计, 探讨了系统的总体结构、数据组织, 详细设计了井下运输、矿井通风、井下给排水、井下供电、安全应急等煤矿安全生产的业务应用功能, 从技术实现的角度阐述了系统的开发环境、数据建库和系统集成等关键技术, 以某煤矿为例, 在 Supermap 平台上实现了避灾路径分析、运输网络、通风网络、供电网络、给排水网络分析等分析功能, 为煤矿管理与安全生产提供了科学的决策支持。

关键词: 煤矿安全; GIS; 网络分析

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00454

1 引言

煤炭资源是影响我国国民经济发展的主要资源, 煤矿的安全生产是一个关系到整个国计民生的政治、经济与技术课题, 尤其是近几年, 我国煤矿安全事故频发, 安全问题更显突出, 据统计 2011 年全国煤矿发生事故 1201 起、死亡 1973 人^[1-3]。煤矿安全管理是一项复杂的系统工程, 主要由环境、机械、设备、产品、原材料, 以及相关的人和环境等综合系统为管理对象, 最终的目的是保护人和生产资料的安全, 使煤矿安全生产有序进行, 安全生产管理中的生产条件合理评估, 应急情况下人员的避灾及救援是煤矿安全生产的研究热点^[4-6]。

针对位于地下空间的矿体、复杂的构造, 以及煤矿生产的采煤、掘进、通防、机电、运输 5 大系统的空间分布, 生产过程中瓦斯、一氧化碳、煤尘、涌水、机电、板顶和通风等诸多安全因素信息集成, 煤矿企业迫切需要一个能够为安全管理服务的、完整的、专业化的、可视化的地理信息系统。它不仅能够将现有的系统综合起来, 而且能够提供大量可视化的静态的和动态的安全信息, 为煤矿企业各级领导和安全管理人员提供指挥决策的依据^[7-9]。GIS 对空间信息及其他各类信息的有效管理, 利于提高

煤矿开采工作效率, 煤矿管理更加科学和准确, 辅助解决生产与安全问题^[3, 10-11]。

2 系统的总体设计

2.1 系统体系结构

系统总体框架(图 1)主要由 3 个主体部分构成: 数据库、模型库和煤矿安全生产 GIS 系统。数据主要包括空间库和属性库 2 部分; 模型库对各种煤矿安全与生产中的业务进行模拟、预测、分析、评价, 主要包括矿井风量计算、矿井生产条件计算、风路动态调整及模拟、避灾路径分析等模型; 系统包括井下运输、矿井通风、井下供电、安全应急等一系列功能模块。

2.2 系统数据库的设计

煤矿安全生产主要包括煤矿地质安全、煤矿勘探安全、井巷工程安全、煤矿开采安全和煤矿设备安全, 故其数据内容具有格式各异、数据海量、时空多维、异构分布和数据离散性等特点^[12]。煤矿安全生产系统既要存储和处理大量煤矿安全生产业务数据, 又要与空间关联, 存储海量的空间数据, 并且业务数据和空间数据又是紧密关联的。因

收稿日期: 2011-12-27; **修回日期:** 2012-07-28。

基金项目: 江西省数字国土重点实验室开放基金项目(DLLJ201108); 东华理工大学校长基金项目(DHXYK1118); 江西省教育厅青年科学基金项目(GJJ11146)。

作者简介: 徐效波(1983-), 男, 硕士, 讲师, 从事地理信息系统研究和教学工作。E-mail: xuxiaobo123@live.cn

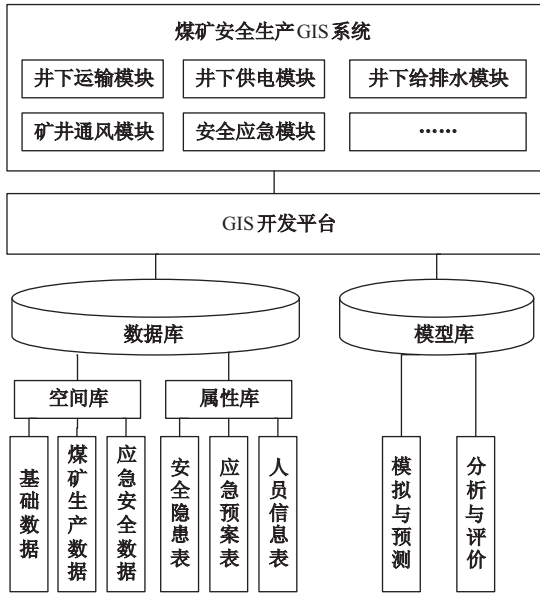


图1 系统总体框架

Fig. 1 General framework of the system

此,为统一管理这些数据,采用空间数据和属性数据一体化管理模式,统一存储在关系型数据库中进行集中管理,空间数据库采用流行的空间数据引擎技术 SDE 对空间数据进行“图属一体化”存储和管理^[13]。

2.2.1 空间数据的设计

空间数据存储在两个数据源中:一个 SDE 数据源,用于存储煤矿安全生产的空间数据;还有一个文件类型数据源,用于暂存分析过程产生的空间数据如网络分析过程中产生的路由路径和路由表数据等。空间数据库主要存储具有拓扑结构的图形数据,包括点数据集、线数据集、面数据集、网络数据集及文字标注实体等。煤矿安全生产系统的空间数据库主要包括运输网络图、通风网络图、给排水网络图、供电网络图、避灾线路网络图、危险源、救灾设施分布图等,如表 1 所示。

2.2.2 属性数据的设计

属性数据主要分两类,一类是跟图形关联的属性数据,直接存储到空间数据表中;另一类是煤矿安全生产业务数据和系统管理相关数据,以数据表的形式存储到数据库中。属性数据表主要有巷道属性信息表、矿井通风属性信息表、巷道周围设施属性信息表、危险源信息表、安全隐患属性表、应急预案表、人员信息表、用户类型表等,表 2 是巷道属性信息表的数据结构。

表 1 煤矿安全生产系统空间数据图层

Tab. 1 Spatial data layer of the coal mine safety production system

图层名称	图层代码	图层类别	说明
运输网络	YSWL	网络数据集	煤矿生产
通风网络	TFWL	网络数据集	煤矿生产
给排水网络	GPSWL	网络数据集	煤矿生产
供电网络	GDWL	网络数据集	煤矿生产
避灾线路网络	BZLXWL	网络数据集	应急安全
危险源	WXY	点数据集	应急安全
救灾设施分布	JZSSFB	点数据集	应急安全
道路	DL	线数据集	底图
河流	HL	线数据集	底图
居民地	JMD	面数据集	底图

表 2 巷道属性信息

Tab. 2 Attribute information of the coal mine roadway

字段名称	字段说明	字段类型	字段长度	字段约束
ID	编号	Long	4	Primary Key
Name	巷道名称	String	20	Not Null
BM	巷道编码	String	20	Not Null
Type	巷道类型	String	20	Not Null
Width	巷道宽度	Double	4	Null
Area	巷道断面积	Double	8	Null
Length	巷道长度	Double	4	Null
Angle	巷道倾角	Double	4	Null

2.3 系统功能的设计

(1)地图 GIS 基本操作。地图缩放、全图显示、点选、框选、漫游、鹰眼、图例、图层控制、地图裁剪与擦除、图片输出、距离量测、面积量测、清除高亮、输出图片、空间查询、属性查询等。

(2)井下运输。通过对井下运输路线网络的连通性与最优路径分析,为合理设计井下运输路线提供辅助决策支持。井下运输主要有道路动态管理、巷道连通性分析、最佳运输路径、动态调整运输路线等功能。道路动态管理:在做巷道的各种分析之前,先对巷道的通行性进行设置,设置不通行巷道、或者将以前不通行的巷道设置为可通行。巷道连通性分析:指定 2 条巷道,分析其是否能从一条巷道到达另一条巷道。最佳运输路径:指定起点、途经点和终点,生成最佳运输路线;动态调整运输路线:当最佳运输路径中某一段路线出现异常时,将异常路段设置为断点,再重新自动生成最佳路线。

(3)矿井通风。通过对矿井通风专业算法的实

现,提供矿井通风主要有矿井风量计算、矿井生产条件计算、风路动态调整及模拟等功能。矿井风量计算:根据巷道的参数分析采煤工作面需风量、备采工作面需风量、掘进工作面需风量、硐室需风量、其他井巷需风量,计算巷井总风量,并提供在生产矿井风量计算、新建矿井风量计算、及延伸矿井风量计算等功能。矿井生产条件计算:根据测风站等手段已知的风量,计算矿井能容纳的工作人数、瓦斯浓度限额、巷道适宜风速、适宜温度等矿井生产条件参数。风路动态调整及模拟:在通风网络图上,调整风机的风量和风向,则与该巷道风量合风向有关系的巷道会自动调整风量和风向,并在通风网络图上动态模拟。

(4)井下给排水。通过对井下给水、排水网络的最优路径分析,为合理设计井下给水、排水路径提供辅助决策支持。井下给排水主要有给水路径分析、排水路径分析功能。给水路径分析:由于每个需水点的用水量不同,可以供水的水管有不同的供水限制,根据水量的供需关系选择合适的供水管并以最佳方式为需水点提供路径。排水路径分析:寻找最佳开挖排水沟的路径,为排水点寻找沿下坡路走的最近的已有排水沟。

(5)井下供电。通过对井下供电网络的最优路径分析,为铺设电缆工作选择最近变电所,合理设计井下供电线路等提供辅助决策支持。

(6)安全应急。通过对矿井灾害进行动态网络分析,为人员避灾提供及时准确的路径信息,指导其迅速避灾,并为决策者提供安全事故预案模板及历史预案参考。安全应急主要有避灾路径分析、应急预案、事故处理及分析报告、危险源管理等功能。避灾路径分析:在事故点生成事故缓冲区,指导事故避灾,并可进行人工干预调整避灾路线。应急预案:主要是煤矿事故典例预案和通风应急预案等预案资料,在应急演练和事故救援中使用。

(7)人员管理。主要有人员查询、人员维护等功能。查询煤矿人员的相关信息,发生应急事故时,配合空间分析模块,对井下人员进行监测和调度。

(8)法律法规。以电子文档的形式提供煤矿安全生产适用的各项法律法规和相关的规章制度。法律法规模块包括法律法规数据库、国家煤矿安全规程、本省煤矿安全规程、本矿煤矿安全规程、法律法规维护等功能^[14-15]。主要提供各类法律法规的

多种形式的检索功能,以及法律法规的增加、修改、删除等维护功能。

(9)数据维护。主要是增加巷道、删除巷道、编辑属性来对数据进行更新。增加巷道:提供手工添加巷道、导入巷道坐标点文件等方式。编辑属性:属性正确与否及其准确度会影响到网络分析的准确程度,巷道在采煤过后,可能会改变用途,比如原来的掘进巷道可能会变成运输巷道、通风巷道;巷道的有效通风面积、形状可能会跟随工程发生改变。

3 系统的开发集成

3.1 开发平台

SuperMap Objects 是超图公司研制开发的大型全组件式 GIS 开发平台,适用于各种应用系统建设和专业 GIS 产品开发。它以 ActiveX 控件的形式提供全套的 GIS 功能,可以在流行的面向对象开发环境中使用,能有效地降低 GIS 应用系统开发的难度,提高开发效率,适用于快速开发专业级应用系统,能够将 GIS 的功能融入业务应用系统,使业务应用系统具备空间数据采集、入库、显示、编辑、查询、分析、制图输出、三维显示等 GIS 核心功能;它除了具备一般组件式 GIS 的优点外,还支持全关系型数据库,统一管理空间数据和属性数据,内置海量空间数据库引擎,实现稳定的企业级数据管理。基于 SuperMap Objects 的开发,可实现 GIS 功能和环境管理应用之间的无缝连接^[4,10]。

GIS 平台选择超图公司的 SuperMap Objects (COM)6,它提供系统开发所需的 GIS 组件。

数据库平台,根据性能稳定、价格适中、整个系统兼容性好的特点选用微软公司的 SQL Server 2008。SuperMap 软件的 SDX+ for SQL Sever 引擎是一个架构在关系型数据库环境上高性能、对象化且具 C/S 架构的空间数据库服务器,它将业务数据和空间数据都集中存储在 SQL Server 数据库中。

开发语言平台选择微软公司的 Visual Studio 2008。

3.2 数据建库与系统集成

(1)空间数据库的建立,需要根据不同数据源采用相应的方式进行空间数据处理。如果已经有

工程设计或施工过程中的电子资料,在满足要求的前提下,使用 GIS 软件进行数据转换、编辑、符号化等数据处理过程,使数据达到要求;对于没有资料的空间数据,就需要根据其比例尺的要求进行实测、编辑、入库、符号化等数字化建库的工作。

属性数据库的建立,如果是以电子文档资料的形式保存的,则可以通过 GIS 的数据转换和批量处理的功能转入 GIS 属性库;如果是纸质资料,则需通过人工录入的方式入库;若是实地的属性信息,则需要人工现场采集和入库。

(2)该系统对数据库集中式、一体化管理,通过 SuperMap Objects 进行各种操作和分析,并以 SuperMap SDX+作为中间层的空间数据引擎,将空间数据的操作与 SQL Server 数据库的 SQL 引擎进行交互;ADO(ActiveX Data Objects)则进行属性数据的操作;矿井风量计算、矿井生产条件计算等功能通过高级语言编制成的业务模型组件来实现。

在 Visual Studio 2008 中,集成 SuperMap 组件、业务模型组件与第三方组件对象,实现整个应用系统。系统集成方案如图 2 所示。

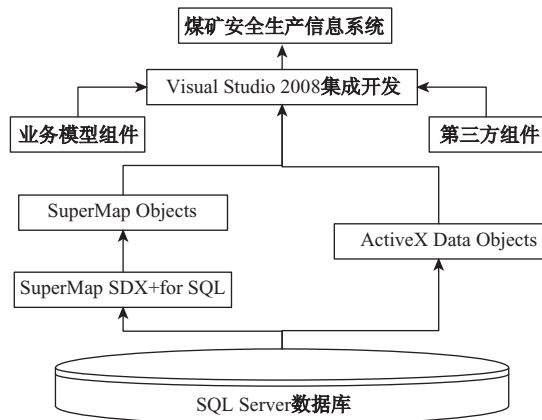


图 2 系统集成方案

Fig. 2 Scheme of system integration

4 系统的应用实例分析

以某煤矿为例,在数据库、网络、超图桌面软件及元数据等技术支持下,建立煤矿基础数据库和业务专题数据库。结合煤矿安全生产管理的实际需求,在 GIS、数据库、ADO 及 .NET 等技术支持下,建立煤矿安全生产信息系统,实现井下运输、矿井通风、井下给排水、井下供电、安全应急等模块。下面以避灾路径分析和按风量计算生产条件为例分

析系统的应用。

4.1 避灾路径的分析

针对煤矿井下灾变发生后(如瓦斯爆炸,火灾,有毒有害气体溢出等),部分地点会受事故影响而不可通行,井下工作人员须在最快时间撤离到安全区域,结合井下运输网络图、矿井通风网络图,设置事故点、断障碍点、障碍弧段,系统生成事故缓冲区,在缓冲区范围内的路线不可通行,并根据实际情况手动人工干预来调整路线,以网络路径分析为指导,找出避灾的最佳路径,为事故发生区域的人员提供及时准确的信息指导和迅速避灾,并可以根据需要生成事故处理报告等。如图 3 显示的是避灾路径分析图。



图 3 避灾路径分析

Fig. 3 Analysis of the escape routes

4.2 按风量计算生产条件

矿井通风是矿井生产环节中最基本的一环,它在矿井建设和生产期间始终占有非常重要的地位。在额定通风条件下,还必须保证矿井工作人数、瓦斯浓度限额等生产条件在安全的范围,针对矿井的安全需求,依照安全生产规范,计算安全的生产条件。针对具体需求,在系统巷道图上选择相应的巷道,根据实测的风量、生产条件计算模型等计算能容纳的工作人数、瓦斯浓度限额、风量相适应的工作温度等。下图 4 显示的是计算生产条件图。

5 结束语

煤矿安全生产信息系统,系由数据库、GIS 平

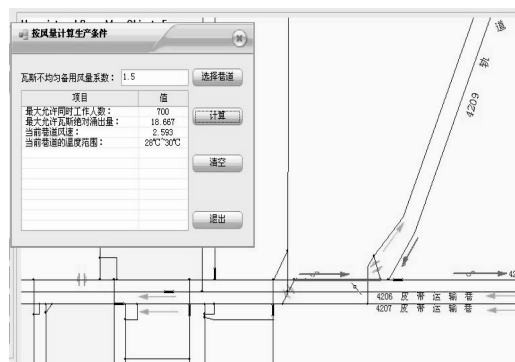


图4 计算生产条件

Fig. 4 Calculation of the production conditions

台和应用系统等组成。系统设计了井下运输、矿井通风、井下给排水、井下供电、安全应急等煤矿安全生产的业务应用功能;对煤矿安全生产信息系统进行了空间库和属性库的设计;结合业务模型组件,在组件式 GIS 平台 SuperMap Objects 提供的查询、分析等模块的支持下,进行系统的集成开发,实现了避灾路径分析、运输网络、通风网络、供电网络、给排水网络分析等一系列多功能分析,实现了煤矿安全生产技术的可视化,辅助解决煤矿通风、煤矿给排水等业务问题,为灾害预防和处理提供了强有力的技术支持,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 贺超. 煤矿安全管理信息系统模块结构研究[J]. 矿业安全与环保, 2006, 8(33): 75-79.
- [2] 刘惠德, 孙晓宇. 基于 GIS 的矿山安全生产管理信息系

统[J]. 中国矿业, 2008(12): 15-16.

- [3] 邵登陆, 岳宗红. 基于 GIS 的煤矿灾害应急救援管理信息系统研究[J]. 金属矿山, 2008(8): 113-117.
- [4] 常占强, 宫辉力. 矿区地面沉降预计方法与应用前景分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(2): 151-156.
- [5] 张正栋, 胡华科, 钟广锐, 等. SuperMap GIS 应用与开发教程[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.
- [6] 李希建, 林柏泉. 基于 GIS 的煤矿灾害应急救援系统的应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2008(9): 327-336.
- [7] 万善福, 蒋仲安, 董枫, 等. 基于 GIS 的矿井应急辅助决策支持系统的研究[J]. 中国矿业, 2007(5): 103-106.
- [8] 魏信, 乔玉良, 王鹏. 自然生态环境遥感动态监测与 GIS 分析评价——以山西“煤田之乡”的乡宁矿区为例[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 111-116.
- [9] 王成钢, 朱申红, 周盛世. 地理信息系统在矿山安全监测及管理中的应用[J]. 煤矿安全, 2000(4): 19-21.
- [10] 何勇, 辜寄蓉, 王勉, 等. 四川省矿区环境评价信息系统设计与应用[J]. 地球信息科学, 2007, 9(3): 10-16.
- [11] 刘雪萍, 王玲玲, 华秀菁, 等. 矿山环境侵蚀与堆积变化的 3D-GIS 分析——以大连市周边矿区为例[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 854-859.
- [12] 张玉柱, 杨建华. 基于 GIS 的矿山安全信息系统研究[J]. 煤炭工程, 2006(4): 93-94.
- [13] 李岫军, 徐效波. 基于 GIS 技术的环保信息系统设计[J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(1): 128-135.
- [14] 孙晓宇. 基于 GIS 的煤矿安全管理信息系统研究与开发[D]. 邯郸: 河北工程大学论文, 2010.
- [15] 杨建军, 王天保. WebGIS 在煤矿防救灾管理系统开发中的应用[J]. 煤矿安全, 2005(8): 29-32.

Development and Application of the Coal Mine Safety Production System Based on GIS

XU Xiaobo, WU Hualing, WANG Jianqiang and WANG Shengping

(Faculty of Geomatics, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

Abstract: The coal mine safety management is a complicated system engineering. In recent years, our coal mine safety accidents occur frequently, and the safety problem is very outstanding. Reasonable evaluation of the production condition in the production safety administration, and the personnel escape and rescue in emergency cases are the research focus of mine safety and production. The overall design of the coal mine safety production system is given based on GIS, the system structure and data organization is analysed. The application functions of the coal mine safety production are designed in detail, such as the underground transportation, the coal mine ventilation, the underground water supply and drainage, the underground power supply, the safety emergency, etc. The spatial database and property database of the coal

mine safety production system are designed. Combining with the business model, the system is developed in support of the inquiry, analysis, and other modules which provided by SuperMap. The analysis of escape routes, the network analysis of transportation, ventilation, power supply, supply and drainage and so on are implemented on SuperMap platform. The visualization technology of the coal mine safety production is realized, the business problems in coal mine ventilation and safety emergency and so on are solved. A strong technical support is provided for the prevention and treatment of disaster. The application of escape routes is analysed in detail combined with the underground transportation network and the ventilation network, in order to guide the underground staff evacuate to safety area the most quickly when the mine disaster happens. The application of computing the production conditions is analysed in detail to ensure the security of the production conditions. It provides scientific supports for the coal mine safety production management and has wide application prospects.

Key words: coal mine safety; GIS; network analysis