

基于 GIS 的城市地下管线综合信息系统

杨斌^{1,2}, 顾秀梅³, 武锋强², 张文君²

1. 西南科技大学; 固体废弃物处理与资源化省部共建教育部重点实验室, 四川绵阳 621010
2. 西南科技大学环境与资源学院, 四川绵阳 621010
3. 西南科技大学保密办公室, 四川绵阳 621010

摘要 针对城市地下管线信息管理过程中涉及数据复杂、隐蔽等特点, 将 GIS 引入地下管线信息管理中, 搭建了基于组件式 GIS 的城市地下管线综合信息系统应用框架。分析了使用 ArcEngine 集成技术在城市地下管线综合应用过程中的优势, 探讨了利用 GIS 集成技术在城市地下管线数据集成、信息采集、信息处理及空间分析等一系列操作过程。系统采用 Visual C# 2005 与 ArcEngine 集成技术和 Oracle 9i 数据库平台, 运用 ArcSDE 空间数据库引擎综合应用开发, 不仅能够充分发挥 GIS 的矢量数据对城市地下管网分布情况的编辑、管理、分析等功能, 还能够对地下管网受损受害地点的快速、精确定位管理具有一定的应用参考价值。

关键词 地下管线; 系统集成; 综合管理; GIS

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.12.006

Integrated Information System for Urban Underground Pipelines Based on GIS

YANG Bin^{1,2}, GU Xiumei³, WU Fengqiang², ZHANG Wenjun²

1. Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Resource Recycle, Ministry of Education, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China
2. College of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China
3. Office of Confidential Documentation, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan Province, China

Abstract The urban underground pipeline information system is based on the technology of GIS, considering the pipeline characteristics with respect to the data complexity and hiding. The application framework is built on COMGIS, and the advantage of the information system for the urban underground pipelines based on ArcEngine is analyzed. The integration technology of GIS is used for the operating procedure in the data integration, information collection, information disposal and spatial analysis. The integration technology of Visual C# 2005 and ArcEngine is combined with the database of Oracle 9i database by applying ArcSDE. The system provides the function of spatial information extracting, processing, management, inquiry and statistical analysis, for professional information and spatial information with respect to underground pipelines, and for accurate positioning and dynamic management of underground pipeline data.

Keywords underground pipeline; system integration; integrated management; GIS

0 引言

城市地下管线是城市基础设施的重要组成部分, 随着经济发展和城市扩建, 城市物质流、能量流逐渐增大, 城市地下管线的密集度和空间分布也随之急剧增大^[1]。然而, 由于地下管线铺设历史悠久、数量较大, 一些废弃的地下管线占据地

下空间位置, 给日常管理带来极大不便^[2]。同时地下管线各个权属单位各司其职相互之间缺少沟通和默契, 给城市地下管线综合管理和施工建设带来一些不必要的麻烦, 从而导致在管线的日常维护和铺设时经常出现一些不应该出现的事故^[3]。另外, 原有的地下管线管理方法(如利用 CAD 辅助制图技术

收稿日期: 2010-12-01; 修回日期: 2011-04-06

基金项目: 西南科技大学博士基金项目(09zx7112); 四川省教育厅人文社科重点研究基地目民族文化研究中心科研项目(YZWH1030)

作者简介: 杨斌, 副教授, 研究方向为 GIS 与 RS 技术在国土资源、生态环境安全、城市规划等领域的应用, 电子信箱: xjgis@126.com

和计算机大容量存储数据)已严重制约了城市经济发展,对社会稳定带来了极大的不便^[4]。

随着 GIS 技术的不断发展,其具有对空间数据和属性数据高效维护、数据转换、拓扑分析以及空间分析等功能^[5]。将先进的 GIS 技术引入到城市地下管线管理应用中,势必能科学、完整、准确地描述城市地下管线的分布特征,为城市规划部门提供可靠的决策依据,实现城市地下管线现代化、信息化的建设和管理^[6]。城市地下管线综合管理信息系统即从组件式技术出发,采用 Visual C# 2005 与 ArcEngine 集成技术进行设计开发,能准确、快速地掌握城市地下管网分布与周边环境等情况,有助于对城市地下管网应急指挥方案及时做出正确的决策。

1 系统总体结构设计

结合城市地下管线隐蔽性、复杂性、现势性等特点^[7],城市地下管线综合系统的结构设计采用了三层结构模式,即:以现状管线数据、基础地形数据、现状道路数据和规划成果数据等组成的基础数据层;以综合地下管线数据库、基础地形图库组成的数据管理层;以综合地下管线信息系统为平台的系统分析应用层(图 1)。在构建的三层体系结构中,基础数据层指明了数据的来源(数据的获取方式、分类建库情况等),数据管理层指明了数据的组织管理模式(属性数据存储还是基于空间数据引擎的空间数据存储),分析应用层则说明了系统功能的划分(构建系统核心模块)。在此体系构建下,数据管理层包括了综合地下管线数据管理模块,负责对基础地形图库的更新、调用与维护;分析应用层则包括基于综合地下管线综合应用系统平台的各种管线综合应用功能模块。这样的结构设计最大程度地突出了对现有数据的充分管理和使用,实现了组件式开发的思想,加强了对地下信息管线业务信息与空间信息的关联,增强了管线数据地动态管理。

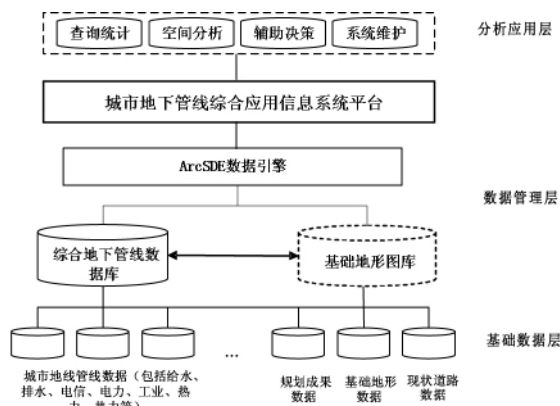


图 1 系统结构图
Fig. 1 Structure of the information system

2 系统数据库设计

城市综合地下管线信息系统是以各类管线数据为主要处

理对象,以地形图数据为定位底图的应用型地理信息系统^[8-9]。系统应提供真实准确的地下管线信息,能完成地下管线的自动化、科学化管理,以及实现地下管线的快速查询和分析。由此可见,数据库是构建该系统的基础,在本系统数据库设计过程中,遵循“数据和应用分离”的基本原则,即所有数据资源集中管理、集中维护,分布使用。这种方式的优点在于数据的更新与维护将更加方便、快捷和安全,便于网络数据共享与发布。因此,系统利用 Esri 公司的 ArcSDE 空间数据引擎提供的全新空间数据存储模型 Multi-user GeoDataBase 对空间数据进行集成管理与维护,在 Oracle 数据库平台下将提高数据集成管理能力。实验表明,将空间数据、非空间数据集中管理存储、分布使用,极大地方便管理人员的数据管理、更新、维护、信息共享,为其他相关数据库设计提供参考方案。

在系统数据库设计过程中,按照数据特点将其分为三大类,分别为地下管线数据、辅助数据和元数据。其中,地下管线数据分为规划管线数据、现状管线数据、历史管线数据三大类,对每类数据按管线类型再进一步分类,其中每一个管线类型均包含点和线两种实体模型^[10-11]。辅助数据包括道路数据、规划信息数据、基础地形数据和其他数据 4 种类型,其中道路数据按要素分为两层,即现状道路和规划道路;规划信息数据包括规划数据成果数据库、电子报批数据库等信息;基础地形数据主要包括行政区划、居民地、水系及基础设施、地貌、地名、测量控制点、植被等内容。元数据包括系统各数据库及数字产品有关的基本信息、空间数据表示信息、参照系统信息、数据质量信息、要素分层信息等。系统数据库的结构设计如图 2 所示。

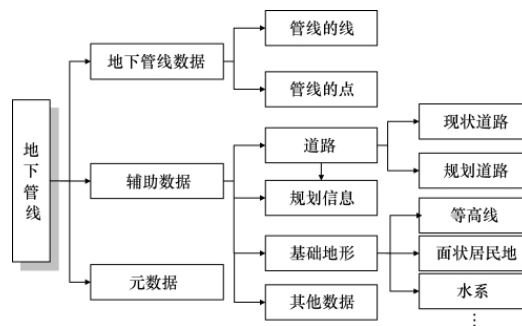


图 2 系统数据库结构图
Fig. 2 Structure chart of the system database

3 系统主要功能模块

系统的运行主要用于部门间的局域网,因此采用 Client/Server 开发模式。系统充分利用 ArcGIS 软件平台提供的全面、可伸缩、易集成的开发体系结构,实现了城市地下管线系统应有的数据更新、查询分析、信息统计、空间分析、信息输出等日常功能,还提供了城市地下管网爆管分析、纵横断面分析等功能^[12]。该系统的实现能够辅助设计和分析城市地下管线的空间分布情况,为相关部门管理者提供辅助决策支持

依据。

基于 ArcGIS Engine 组件式 GIS 平台,采用 ArcSDE 数据引擎在 Oracle 9i 数据库中进行属性数据与空间数据综合管理,利用 Visual C# 2005 开发工具开发了一套适用于城市地下管线管理决策支持信息平台。系统按功能划分主要分为基本功能、工程管理、数据入库、查询统计、辅助设计和分析功能六大模块(图 3)。

(1) 基本功能。其主要是实现 GIS 的常用功能,针对于城市管网分布地图的管理与维护,包括地图缩放、平移、坐标定位、图形浏览、比例尺显示以及距离面积测量等。

(2) 工程管理。其主要是将用户感兴趣的区域进行统一工程文件管理,实现对保存地图信息进行快速定位,从而提高地图的使用效率,避免重复调用地图。系统在使用过程中可结合具体业务,利用工程概念对地图进行快速便捷管理。

(3) 数据入库。其主要是将外业管线数据导入系统数据库。外业管线数据的格式有文本格式、Excel 表格格式、AutoCAD 格式等,数据入库是将经检查无误的中间格式数据按照系统规定的管线数据组织方法,自动生成管线图库和属性数据库,并建立图数关联关系。这一系列过程通过 ArcEngine 接口程序将其数据写入 ArcGIS 相应的图层中实现。在数据入库之前,还需对入库数据进行检查,包括空间位置检查、属性检查等。

(4) 查询统计。其包括属性查询、管线常用查询和 SQL 查询三类。属性查询要求用户选择需要查询的管线或管点或地物后,即可显示选中的实体属性信息;管线常用查询根据选择查询的条件,以表格的形式显示数据库中所有指定类型管线或所有管线的情况,该功能常用于管径查询、材质查询、管线权属单位的查询和管线所在道路查询等;SQL 查询在配置查询对象和查询条件后,即可根据自动生成的 SQL 语句,在数据库中查询到结果。

(5) 辅助设计。该模块提供了多种标注功能以及标注编辑功能,包括坐标标注、距离标注、面积周长标注、管线与管点标注、删除与移动标注功能等。这些标注功能可为管理者提供动态灵活的图形信息辅助设计接口。

(6) 分析功能。其主要包括剖面分析、水平与垂直净距分析、碰撞分析和爆管分析。剖面分析分为横断面的生成与分析 and 纵断面的生成与分析两类;水平与垂直净距分析能使管理人员在查看和分析管线现状时更加直观和科学,为管线的设计提供理论依据;碰撞分析通过分析一条管线与其可能发生碰撞的管线之间的水平、垂直净距,并和国家标准做比较,得出是否有碰撞的结论;爆管分析能在事故发生后得到管线事故点埋深等信息,并给出需要关闭阀门的坐标、权属单位、所在道路等相关信息,为相关部门提供准确、快捷、可靠的决策支持方案。

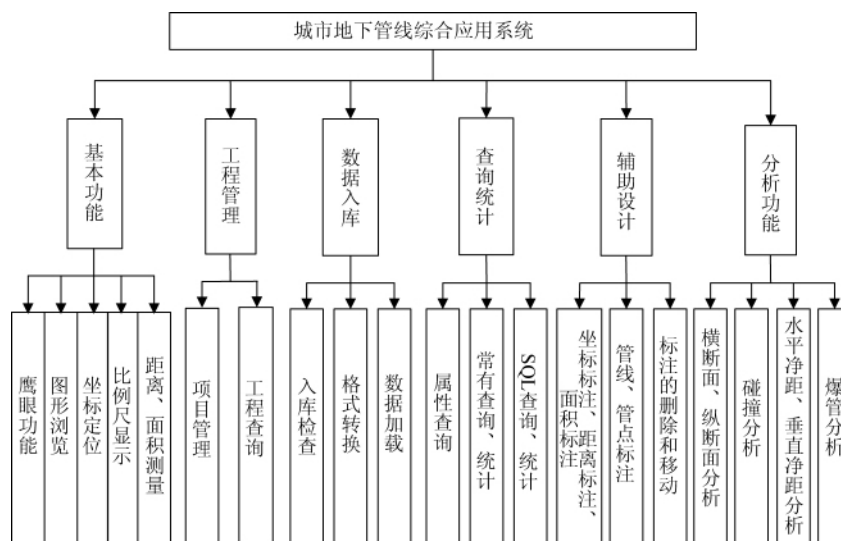


图 3 系统主要功能框架

Fig. 3 Framework of main functions in the system

4 系统主要功能的实现

4.1 空间数据库引擎技术的应用

空间数据库引擎技术是在面向对象的关系数据库管理系统(RDBMS)基础上发展而来的,系统采用空间数据库引擎技术实现了在 RDBMS 中存储空间数据的目的,还能有效改善空间数据结构化查询和分析,更加有利于空间数据网络共享。

目前常通过以下两种方式进行空间数据优化:一是在 GIS 软件中通过算法实现;二是通过拓扑关系描述字段实现,即通过一个字符串表示实体地拓扑关系。在系统开发过程中,采用第二种方式标示空间数据,以便于数据的空间分析与维护。

系统采用 Esri 公司的 ArcSDE 空间数据库引擎技术实现对城市地下管线空间数据的管理与应用,可利用其多层体系

结构进行数据存储与提取。其中,ArcSDE 数据的存储和提取由存储层(DBMS)实现,高端的数据整合和数据处理功能由应用层提供。ArcSDE 使得空间数据可以存储于多种 DBMS 中,并能高效地存储、索引和访问维护在 DBMS 中的矢量、栅格、元数据及其他空间数据。使用 ArcSDE 空间数据库引擎技术,用户在 DBMS 中即可有效管理其地理数据资源,且 ArcSDE 也提供了开放的客户端开发接口(C-API 和 Java API),可通过这些接口定制应用程序访问底层的空间数据表。由此可见,这是一种灵活、开放、可伸缩性的空间数据访问解决方案。ArcSDE 技术在系统应用中的方式如图 4 所示。

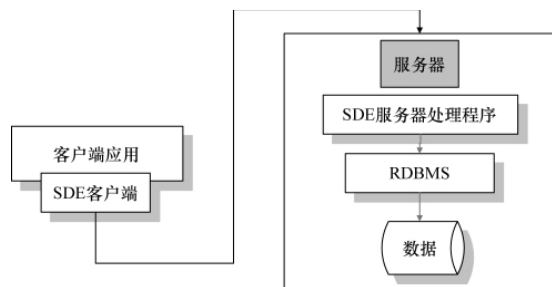
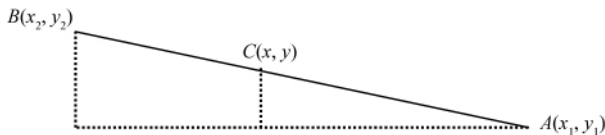


图 4 ArcSDE 体系应用结构
Fig. 4 Application structure of ArcSDE

4.2 横剖面分析功能的实现

横剖面是指垂直于管线位置的一个截面,在截面中可以直观地了解管线直径、空间分布以及相邻管线的空间位置关系,获取地面高程信息、横比、距离等信息,为施工提供决策依据;管线横剖面图的生成是建立在程序语言编程和图形对象与其属性交互运用的基础上,通过数学计算和计算机图形功能实现,其在画线位置由天空向地面方向进行垂直切面,得到切面情况。此过程可分为 3 个模块,即用户交互模块、数据处理模块和数据输出模块。其具体技术流程如图 5 所示。

在管线断面、投影的分析与实现过程中,断面位置数据的交叉运算和埋深信息重算等问题是该功能实现的重点与难点。断面线与管线相交的交点信息(包括该点的地面高程、埋深、管高程)是生成横断面图的关键。首先,将每条管线中的“起点物探号”和“终点物探号”字段确定管线对应的管点,实现将每根管线的起点和终点转换为相应的管点信息。在 ArcEngine 开发中确定管线起点和终点信息后,可用 IFeatureClass 接口的中 CreatFeature 生成 Feature,然后再通过要素图层比例法求取断面线与管线相交的交点信息。



其中,A、B 两点分别为管线的起点和终点,C 点为待求截断点,x、x₁ 和 x₂ 分别为三点的 x 坐标,y、y₁、y₂ 分别为三点的高程信息(根据所求的数据不同,可以分别代表地面高程,管高程等)。因此,A、B 两点的信息(包括地面高程、埋深、管高

程和 x,y 坐标值)可以从点表中获得,而 C 点的 x 坐标可以根据求道路与截断线的交点的方法来求得,C 点的 y 值可以根据公式求出:

$$y = \frac{(y_2 - y_1)(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

通过以上分析,可以获取管线与横断面的交点信息,然后在 ArcEngine 中提供的 PageLayout 控件进行绘制横断面图(图 6)。这种开发方式通过自己的编程思想,借助于 ArcEngine 提供的绘图控件综合完成剖面图分析功能,大幅降低内存消耗,提高绘制效率。

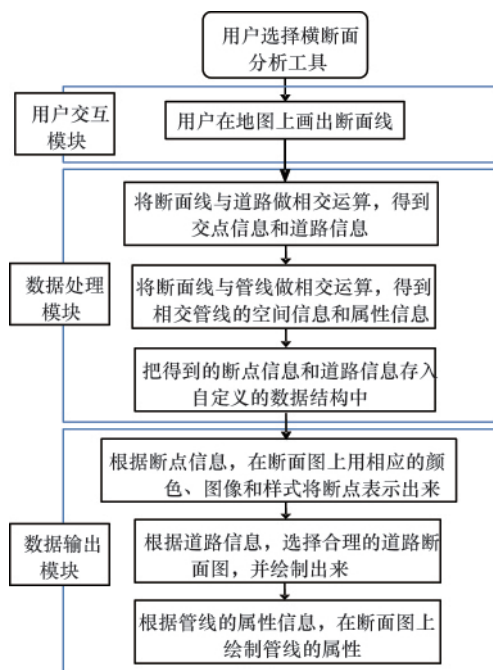


图 5 横断面技术流程
Fig. 5 Technique flow chart of horizontal section

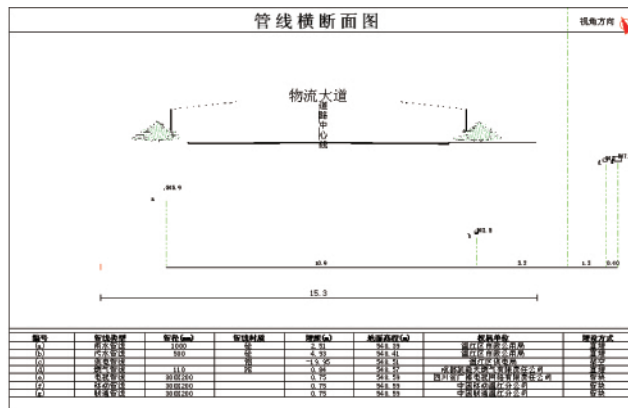


图 6 横断面绘制结果
Fig. 6 Results of horizontal section

4.3 碰撞分析功能的实现

碰撞分析功能是在对管线之间的水平、垂直净距分析计算的基础上实现的。在实际应用过程中,碰撞分析是管线设

计中常遇到的问题,也能帮助施工单位快速了解管线之间的水平和垂直距离,避免在建筑施工中挖断管线,方便管理人员进行决策。

在进行管线之间碰撞分析时,首先要确定管线与管线之间的关系,判断两两管线的空间位置是否相交。如果空间位置相交则计算其垂直净距,否则计算其水平净距;并通过计算得出一定区域内管线与管线之间的空间位置关系。在系统开发实现过程中,主要用到的 ArcEngine 接口有 ISpatialFilter、ITopologicalOperator、IEnumLayer、IFeatureLayer 和 IGeometry 等,其分析技术流程如图 7 所示,分析应用示例如图 8 所示。

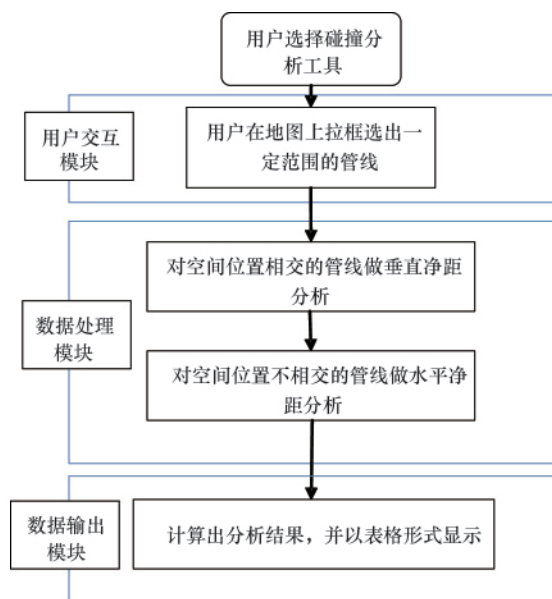


图 7 碰撞分析技术流程

Fig. 7 Technical flow chart of collision analysis



图 8 碰撞分析结果

Fig. 8 Analysis results of collision

5 结论

通过对城市地下管线综合应用系统的设计开发及关键

技术研究,实现了对地下管网数据的综合管理、利用、查询、分析等功能,还完成了对空间数据引擎技术、剖面图分析制作、碰撞分析功能的研究等深入剖析。结果表明,基于 ArcEngine 和 Visual C# 2005 的应用系统,不仅界面美观、功能强大,而且在数据库集成应用、数据更新管理等方面具有独特的应用特色。系统的实现将更好地服务于城市各种主干管网信息的管理、更新和维护,也可直观表征地下管线数据的准确性和现势性,为城市管理部门的综合宏观决策规划提供准确、实时的信息管理平台,亦可为城市相关部门进行防灾、抢险救灾提供强有力的决策支持服务。

参考文献 (References)

- [1] 李黎, 李剑. ArcGIS 在武汉市地下管线信息系统中的应用 [J]. 铁道勘察, 2006, 25(6): 21-23.
Li Li, Li Jian. *Railway Investigation and Surveying*, 2006, 25(6): 21-23.
- [2] 赵俊兰, 邵伦. 校园地下管线综合信息管理系统研究与开发 [J]. 测绘科学, 2007, 32(5): 117-120.
Zhao Junlan, Wu Lun. *Science of Surveying and Mapping*, 2007, 32(5): 117-120.
- [3] 房玉龙, 方允治, 殷晓征. 城市地下管线信息系统的研究与设计 [J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2004, 32(4): 265-268.
Fang Yulong, Fang Yunzhi, Yin Xiaozheng. *Journal of Jinan University: Science and Technology*, 2004, 32(4): 265-268.
- [4] 朱顺杰, 王颖, 李茂青. 基于 Geodatabase 的城市综合地下管线信息系统的设计与实现 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2006, 32(3): 25-28.
Zhu Shunzhi, Wang Ying, Li Maoqing. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2006, 32(3): 25-28.
- [5] Longley P A. The academic success of GIS in geography, problems and prospects [J]. *Journal of Geographical System*, 2000, 2(1): 37-42.
- [6] Greene R, Agbenowosi N, Loganathan G V. GIS-based approach to sewer system design [J]. *Journal of Surveying Engineering*, 1999, 125(1): 36-57.
- [7] 王乾, 李刚, 赵海民. ObjectARX 自定义实体的地下管线前端数据采集系统开发 [J]. 测绘科学, 2010, 35(5): 214-216.
Wang Qian, Li Gang, Zhao Haimin. *Science of Surveying and Mapping*, 2010, 35(5): 214-216.
- [8] 崔洋, 王华. 基于 GIS 的城市地下管线数据结构设计 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(36): 230-232.
Cui Yang, Wang Hua. *Computer Engineering and Applications*, 2005, 41(36): 230-232.
- [9] 金建华, 曾德飞, 杨晓芳. 城市污水管网地理信息系统设计 [J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2004, 26(5): 13-15.
Jin Jianhua, Zeng Defei, Yang Xiaofang. *Journal of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering*, 2004, 26(5): 13-15.
- [10] Harris M, Silvertand J. ArcSDE for oracle administration [C]. Twentieth Annual ESRI International User Conference, San Diego, California, June 26-30, 2000.
- [11] Matejcek L, Engst P, Janour Z. A GIS-based approach to spatial-temporal analysis of environmental pollution in urban areas: A case study of Prague's environment extended by LIDAR data [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 199(3): 261-277.
- [12] Derevich I V. Statistical modeling of particles relative motion in a turbulent gas flow [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2006, 49(23-24): 4290-4304.

(责任编辑 代丽)