

基于 SCADA 和 GIS 技术的市政管网管理系统

胡 瑜, 于宝堃, 许 国, 高相铭
(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

摘 要: 根据市政管网的特点和管理部门的需求, 开发一套可监控和管理市政管网的管理系统. 本系统以 GIS、SCADA 和数据库技术为基础, 将 GIS 应用平台和 SCADA 系统高度集成, 实现了空间数据和实时数据的一体化管理. 基于 ArcGIS 的 GIS 平台与 SCADA 技术相结合, 可对市政管网进行动态监控和集中管理, 为市政管网的安全运行和预警、防灾、减灾提供强有力的保障.

关键词: SCADA; GIS; ArcGIS; 市政管网; 管理系统

中图分类号: TP208

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2012)01-0066-05

Management System of Municipal Pipe Based on Technology of SCADA and GIS

HU Yu, YU Baokun, XU Guo, GAO Xiangming

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology,
Tianjin 300222, China)

Abstract: According to the characteristics of municipal pipe network and demands of management offices, a management system that can monitor and manage the network was developed. Based on GIS, SCADA and database technique, the application platform of GIS was combined with SCADA in the simulation system, and spatial data and real-time data were managed by means of integration. In combination with SCADA technology, the application platform of GIS, based on ArcGIS, can play an important role in dynamic monitoring and centralized management of the municipal pipe network, and provide a strong protection for its safe operation, early warning, disaster prevention and mitigation.

Key words: SCADA; GIS; ArcGIS; municipal pipe; management system

市政管网是城市基础设施的重要组成部分, 是城市规划、建设和管理的重要基础信息, 是城市的“生命线”. 近几年, 随着我国城市规模的迅猛发展, 市政管线密如蛛网, 数量、种类不断增加, 对其管理的难度日趋加大. 管网中各监测站的现场信息无法在同一平台中实时显示, 并且工作人员为了获得相关数据只能到实地观察, 增加了管理成本. 另一方面, 传统的手工管理和人工巡查方式效率低下, 已不能适应时代的发展需要. 因此, 应用现代科学技术对市政管网进行数据化和信息化管理已成当务之急. 地理信息系统 (GIS, geographic information system)^[1]作为获取、处理和分析地理空间数据的重要工具, 近年来得

到了广泛关注和迅猛发展, 本文将利用 GIS 平台, 并结合监测控制和数据采集 (SCADA, supervisory control and data acquisition)^[2]技术, 开发一套市政管网管理系统, 以便使管理部门能及时了解管网的动态和静态信息, 为人们的生产生活提供多元化服务.

1 管理系统的技术基础

系统以 SCADA、GIS 和数据库技术为基础, 将 GIS 应用平台与 SCADA 系统有机结合, 实现对空间数据和实时数据的一体化管理.

SCADA 系统集成计算机与网络技术、通信技术及

测量技术于一体,是以计算机为基础的监测控制与调度管理自动化系统.其特别适用于所监控的设备分布面广,采用有线方式难以传送信号的场所.由于市政管网点多线长,地理位置分散,因此,在市政管网管理系统中,利用 SCADA 系统对现场设备和管线进行监视,并通过 ZigBee 无线通信网络将现场的实时信息传送到监控中心的数据服务器中,从而实现对站点设备的控制、测量、参数调节以及各类信号报警等功能.

ArcGIS 是 ESRI^[3]开发的新一代软件,是一个全面的、完善的地理信息系统平台,其主要包括桌面 GIS、服务器 GIS、嵌入式 GIS 以及空间数据引擎 ArcSDE 等.其中,桌面 GIS 主要包括 ArcMap 和 ArcCatalog,前者具有基于地图的所有功能,在系统开发中用于编辑市政管网的管线和节点,绘制友好的地图界面;后者以数据为核心,用于定位、浏览和管理整个管理系统的空间数据. ArcGIS Engine 提供了嵌入式的 GIS 组件,管理系统利用 ArcGIS Engine,在 .NET 环境中,通过调用简单的接口将 GIS 功能集成到桌面应用程序中. ArcGIS Server^[4]是一个基于 Web 的企业级 GIS 解决方案,可用 .NET 来开发客户化应用,使用户通过浏览器即可访问 GIS 功能,为管理系统创建和管理基于 Web 服务器的 GIS 应用提供了一个高效的框架平台. ArcSDE 是数据库系统中管理地理数据库的接口,是管理系统的 GIS 平台与关系型数据库之间的通道.正是基于 ArcGIS 强大的功能和完善的体系结构,使用 ArcGIS 构建管理系统的 GIS 平台.

为增加管理系统的使用多样性,提高其灵活性,采用浏览器/服务器(B/S, Browser/Server)和客户端/服务器(C/S, Client/Server)双重模式在 .NET 平台下对系统进行开发. .NET 平台是由一组用于建立 Web 服务应用程序和 Windows 桌面应用程序的软件组件构成的.两种模式下所使用的开发语言均为 .NET 平台首选的编程语言 C#. 为了构建 B/S 模式,利用 ArcGIS Server 结合 ASP.NET 技术进行开发,使用户能够通过浏览器来操作管理系统.同时,在 .NET 框架下,利用 ArcGIS Engine 组件库开发基于 C/S 模式的桌面应用程序.两种模式相结合的开发方式可满足用户的定制需求,极大地提高系统的应用范围.

2 市政管网的基本结构

管理系统主要监控供水管网、燃气管网和供热管

网.虽然这 3 种管网功能不同,但结构和布置方式存在共性,因此可使用同一种结构模型对其进行描述,这种描述将管网看作由管点和管线所组成的系统^[5].管网按照管线的布置方式分为环状管网和树状管网,前者主要位于中心城区或管网主干线上,后者一般位于街道两侧分散用户以及居民区内,市政管网一般以树状管网的形式延伸至用户.为了准确地描述管网结构,同时便于进行网络分析,管理系统的管线主要以环状分布.管网在环状管线的接口处与用户接入点之间以树状形式存在,并忽略管线在用户内的详细分布,可将这部分管线抽象成管点.管点包括源点、中间点和终点.源点为管网提供资源,如热力站、自来水厂等.中间点为管线之间的连接点,如水表井、阀门等.终点为终端用户,是针对某个地区的抽象概括,例如学校、医院、居民小区,而不是具体的家庭用户.利用管点和管线的概念可将市政管网的结构和拓扑关系进行抽象概括,将分析模型与实际结构有效地结合起来.

3 市政管网管理系统的架构设计

3.1 管理系统总体架构

管理系统主要由两部分组成:SCADA 系统和 GIS 应用平台.在通常情况下,二者相对独立,无法协同工作;为了解决这一问题,仿真系统采用统一数据格式、共享资源库的方式,将二者紧密结合起来,其中 SCADA 系统负责采集、传输实时数据,GIS 平台利用自身强大的数据组织能力将这些实时数据与市政管网的空间数据及属性数据有机地组织在一起,在此基础上对数据进行 GIS 处理,并以可视化的方式进行显示.

为了确保管网实时数据的安全性,对信息安全有较强的控制能力,SCADA 系统与 GIS 平台集成部分,即系统管理平台采用 C/S 模式开发,以满足管理部门的内部要求.同时,为了满足外部用户对资料查询、浏览的需求,利用 B/S 模式对 GIS 平台的架构和功能进行补充.

3.2 SCADA 系统设计

SCADA 系统采用 C/S 模式进行设计,如图 1 所示,主要由 3 部分组成:(1)设在调度指挥室的监控中心,由多台 PC 机工作站/SCADA 服务器构成局域网,利用桌面程序,处理人机接口命令,进行各种数据处理,实现数据共享;(2)传输通道,由 ZigBee 网

络组成,是连接监控中心和各个监测站点的媒介;
(3)RTU,为设在各监测站点的远程终端单元,一方面将采集到的数据传输到监控中心的 SCADA 服务器中,另一方面执行监控中心的控制命令。

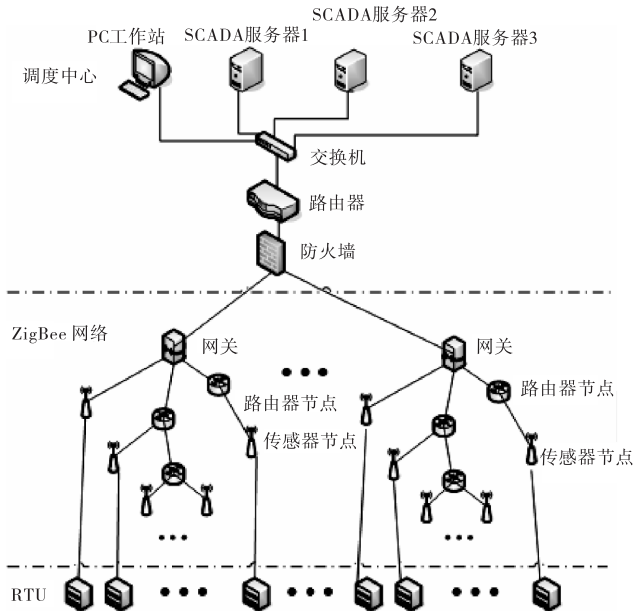


图1 SCADA系统架构
Fig.1 Architecture of SCADA

3.3 GIS平台的设计

系统的GIS平台采用基于B/S模式和C/S模式的混合4层结构^[6],这种体系结构分工明确,4个层次可分别用于实现不同的功能,以达到地理信息资源的充分利用。GIS平台是以各类管线数据为主要处理对象,以地图数据作为定位底图的应用型地理信息系统,主要包括供水管网、燃气管网和供暖管网。服务器端使用ASP.NET技术开发,并利用ArcGIS提供的AO组件库开发系统的主要功能,最终通过ArcGIS Server来创建和配置GIS应用程序和服务的框架。GIS应用平台结构如图2所示,包括客户端、Web服务层、GIS服务层、数据服务层。

客户端是用户与GIS系统进行交互的中介,由于GIS系统采用两种模式进行开发,因此,用户可通过浏览器或桌面程序两种方式浏览系统信息。其主要功能有完成地图的显示、响应用户的操作、向服务器发送查询请求并将请求结果展现给用户。

Web服务层采用Apache作为Web服务器,同时部署了使用ArcGIS Server for.NET中的Web ADF开发的网络应用系统。该层负责接收客户端发送的要求,同时负责除GIS分析处理功能之外的非空间数据处理等功能,并通过远程对象访问技术来实现相应

的GIS处理功能,并最终将处理结果返回给客户端。

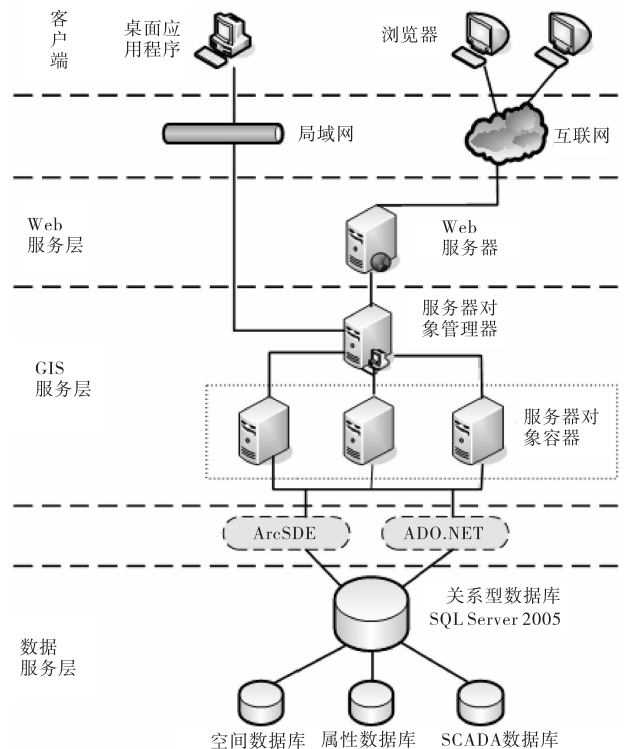


图2 GIS平台结构
Fig.2 Architecture of GIS

GIS服务层是整个GIS应用平台的核心,使用ArcGIS Server平台进行开发。管理系统内部所有GIS数据的分析、处理及空间数据的调用都是通过该层来完成的,并将处理结果返回给Web服务层。

数据服务层负责管理系统的数据存取工作,其设计质量的好坏直接影响整个系统的运行效率。

3.4 数据库的设计

管理系统的数据库采用面向对象的数据模型法进行设计,将市政管线抽象为管段和管点,并采用对象-关系型数据库SQL Server2005进行搭建,主要包括空间数据库^[7]、属性数据库和SCADA数据库,如图3所示。

空间数据库是整个数据库的核心部分,以层的形式进行管理,用于存储城市地形层以及3种市政管网的管线层与管点层的空间数据。以管点层为例,供水网管点层包括阀门、连通点、水源等元素,燃气网管点层包括气源、连通、阀门、调压站等元素,供暖网管点层包括阀门、变径、连通、锅炉房、热力站等元素。ArcSDE通过层表、特征表、空间索引表在RDBMS中存储和管理这些空间数据,以获得可视化的地图界面。

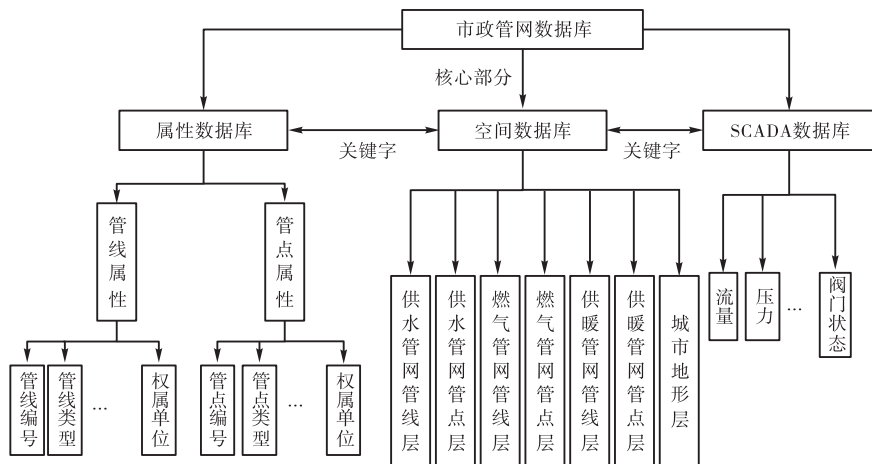


图 3 系统数据库的结构

Fig.3 Architecture of system database

属性数据库用于存储与空间信息密切相关的管线属性和管点属性,如管线编号、材质、类型、管径、和管点的权属单位等。

SCADA 数据库用于存储管网的流量、压力等信息,通过该数据库用户不仅可及时查询管网的现状,并对可能发生的故障进行预测,还可以查看管网的历史数据。通过 ADO.NET 技术可获取属性数据库和 SCADA 数据库中的数据。利用关键字,可将 3 个数据库关联起来,实现对多种数据的一体化管理,进而形成一个统一的整体,最终完成 GIS 与 SCADA 的集成。

库。系统可将实时数据以曲线的形式进行显示,并将历史数据以报表的形式进行打印。



图 4 监测站点试验运行界面

Fig.4 Interface of monitoring point for test

4 管理系统的主要功能

根据塘沽尚北地区市政管网的特点和实际需求,本管理系统完成了 SCADA 系统和 GIS 系统的设计,针对其供水管网管理系统进行了试验运行。其中,SCADA 系统具有底层监控功能,GIS 系统具有包括地图浏览、信息查询、爆管分析、爆管诊断等功能。利用这些功能,可实时监测各站点的运行情况,并从宏观角度,对市政管网进行集中监管。

4.1 SCADA 系统功能

(1) 实时监测和控制:在试验运行过程中,监管人员可以实时监测站点设备的运行情况,并对其工作状态进行控制,图 4 为监测站点的试验运行界面。

(2) 数据采集和传输:可以采集站点设备的测量数据,并通过 ZigBee 网络传输到监控中心。

(3) 管理实时和历史数据:在试验运行过程中,系统将采集到的实时数据存储于历史数据库中,以实现数据的备份,根据设置的权限可以随时访问该数据

4.2 地图浏览功能

使用 AO 组件库提供的 ICommand 接口可实现地图浏览功能,主要包括放大、缩小、移动、全图、刷新等功能,方便操作人员观察目标和快速定位,实现对地图的基本操作。

4.3 查询功能

查询功能包括点击查询和选择查询。点击查询是指,在地图中管理员只需点击相应的节点或管线就可以查询该节点或管线的地理属性和实时数据。如图 5 所示,在浏览器中,点击相应管线即可获得其管号、长度,以及管线流量等信息。通过 IIdentifyDialog 接口即可实现地理属性的点击查询,但为了显示实时数据,需将实时数据表与地理属性表通过相关字段进行关联。选择查询是指,在实现选择查询时需根据输入条件并通过 IQueryFilter 查询过滤接口,生成一个查询过滤器,再利用 IFeatureSelection 要素选择集接

口将满足条件的市政设备加入到集合中,并以高亮形式显示在地图中。

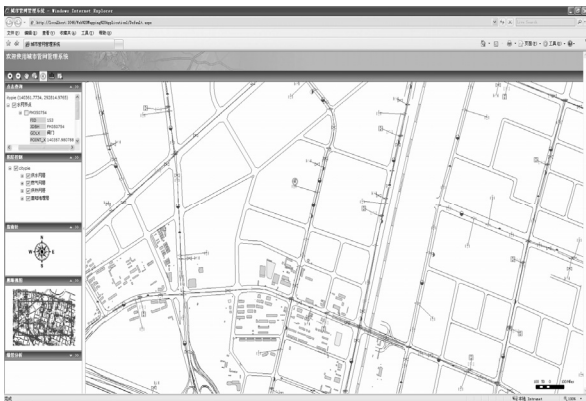


图5 查询结果
Fig.5 Query result

4.4 爆管分析

爆管事故在市政管网中极为普遍,为了减少抢修时间,缩小停水范围,将因爆管而造成的损失降为最小,系统支持爆管分析功能。在实现爆管分析时,需建立市政管网的逻辑网络模型,该模型根据市政管网的特点和图论的相关知识建立,并根据管点之间的网络关系将管点以邻接表形式存储。当管网中的某条管段发生故障时,利用图的广度优先搜索方法即可获得相关信息。在试验运行中,当某一管段发生爆裂,故障管线立即在图5所示界面中以高亮形式进行显示,爆管分析功能的准确性得到检验。当操作人员点击该管线后,系统运行爆管分析,所需关闭的阀门以高亮形式显示,图6所示对话框即刻显示出爆裂管线的地理位置、需关闭的阀门以及受影响用户的详细信息。

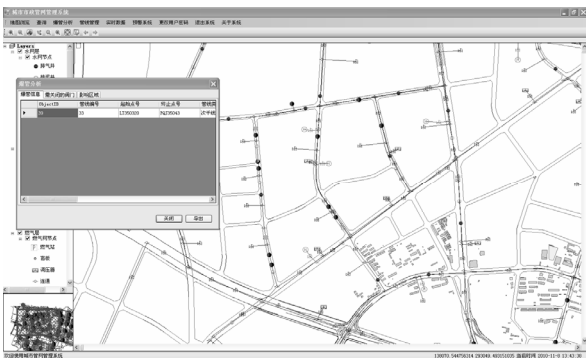


图6 爆管分析运行结果
Fig.6 Operation result of analysis of pipe burst

4.5 爆管诊断

系统具有爆管诊断功能^[8],能快速、有效地诊断

发生泄漏或爆裂的管网位置。在实现该功能时,需在供水管网中建立数个监测点,同时还需获得在管网正常工作时这些监测点的水压。在运行过程中,系统会不断地获得这些节点的实时水压,并以监测点的正常水压与实测水压的二乘误差最小作为目标函数,通过遗传算法优化管网中发生泄漏的位置以及泄漏量值,从而实现管网爆管位置和泄漏程度的诊断。

5 结 语

本文将 GIS、SCADA 系统和管网模型有机结合,并利用数据库技术实现两个系统的数据共享,从而建立二者的集成模型,以实现 GIS 和 SCADA 的一体化。利用本文系统可为市政管网系统的安全运行、防灾、减灾提供可靠的支持和保障,从而提高市政管网的管理水平,降低管理成本。通过本系统,管理部门还可以有效地控制市政管线的运营状况,随时了解管线的即时状态,全面掌握管线的安全隐患。发生突发事件时,系统可以提供高效、快速和准确的应急措施,以避免更大的损失。

本系统已在塘沽尚北地区实验运行,并且本文设计思路已经在重庆市某地区的中水管网建设中得到应用,取得了一定的示范效果。

参考文献:

- [1] 马慧. 基于 GIS 的天然气管网管理系统的设计与实现[D]. 西安:陕西师范大学,2007.
- [2] 李玉鲲. 深圳市水务集团排水泵站 SCADA 系统的项目管理案例研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2010.
- [3] 吴秀芹,张洪岩,李瑞改,等. ArcGIS 9 地理信息系统应用与实践[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [4] 刘光,唐大仕. Web GIS 开发:ArcGIS Server 与 .NET[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [5] 杨姗姗. 供水管网地理信息系统中爆管分析的设计与实现[D]. 武汉:武汉大学,2005.
- [6] 赵文明. 基于 ArcGIS Server 的 WebGIS 应用研究[J]. 科技广场,2009,12(11):113-117.
- [7] 王洪涛. 基于 ArcSDE 的空间数据库技术研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009.
- [8] 刘美侠. 城市供水管网监测点优化与爆管定位模型研究[D]. 保定:河北农业大学,2009.

责任编辑:常涛