

城市污水系统仿真模型的设计与初步应用

龙 瀛¹ 贾海峰¹ 赵冬泉²

(1 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2 北京数字政通科技有限公司, 北京 100088)

摘要 在对城市污水系统分三个层次进行分析的基础上, 对其作了一定的简化、假设和相应的约定, 建立城市污水系统仿真模型, 采用 UML 对仿真模型的核心类进行设计, 提出了采用组件技术进行仿真模型开发的技术路线, 并对仿真模型的功能和优势进行介绍。同时给出了采用该套仿真模型开发城市污水系统仿真平台的技术要点和相应的开发实例。城市污水系统仿真模型可以作为城市污水系统仿真平台的核心组件, 提高其开发效率, 是城市污水系统仿真的便捷解决方案。

关键词 系统仿真 城市污水系统 模型 组件 COMGIS

Development and primary practice of simulation model for municipal wastewater system

Long Ying¹, Jia Hai-feng¹, Zhao Dong-quan²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Zhengtong Digital Scientific and Technical Corporation, Beijing 100088, China)

Abstract: The municipal wastewater system is studied in three levels and certain simplification, hypothesis and related stipulation have been done aiming to establish a simulation model for this system. The core system of simulation is designed by way of UML, and the developing method of simulation model is based on component (COM) technology. In this paper the functions and advantages of this simulation model have been described and the outline and practical examples of simulation platform developing for municipal wastewater are given. The municipal wastewater simulation model could be the core component of the simulation platform, which would be one efficiency solution for municipal wastewater system simulation.

Keywords: System simulation; Municipal wastewater system; Model; COM; COMGIS

0 引言

城市污水系统作为一个复杂的大系统, 是重要的市政基础设施, 它与城市建设发展的速度和城区的环境效益息息相关。对城市污水系统进行有效的管理, 可以为城市经济的发展提供充分的服务, 这一直是市政部门所关注的问题^[1,2]。

计算机技术近年来被广泛应用到城市污水系统的规划、管理等方面, 但现有的信息系统停留在基础信息管理系统, 初步的专家系统, 基本的设施管理系统这样的层次, 一般仅具备空间信息、属性信息的存储和初步的查询、分析、绘图和报表功能。在横向方

面, 一般仅具备水力、水量计算的功能。目前的信息系统, 还不能很好地解决城市污水系统这一复杂系统出现的问题, 如水质实时管理、水位模拟、应急事件处理、流态仿真等。

系统仿真技术出现于 20 世纪 60 年代, 近年来无论在实践还是在研究领域, 都已经得到越来越广泛的应用。同时城市污水输送、处理以及排放等方面, 已经有诸多较为实用的专业模型和理论, 为城市污水系统的仿真提供了较好的理论依据。对城市污水系统进行系统仿真, 可以从广度和深度上扩展城市污水信息系统的应用范围, 提升其功能定位。目

前国内外对城市污水系统进行系统仿真的研究较少。本文设计和开发了城市污水系统仿真模型,并在此基础上进行了城市污水系统仿真平台的建设,取得了预期的应用效果。

1 城市污水系统仿真

城市排水系统分为合流制排水系统和分流制排水系统。对于分流制排水系统,城市污水系统和城市雨水系统相互独立。本文的城市污水系统仿真模型以目前较为普遍的分流制排水系统中的污水系统为原型进行研究,同时不考虑室内污水管道系统。城市污水系统从结构上可以分为子系统、模块和单元三个层次,其中第一、二层次包括:①排放子系统含工业排放者,居民排放者等模块。②输送子系统含污水泵站,污水管(渠)道,检查井,排水流域等模块。③处理子系统含污水处理厂(或人工湿地,氧化塘等)模块。④受纳子系统含河流(或湖泊,海洋,土地,回用等)模块。

其中部分第二层次——模块的基本元素相对较为复杂,可以分解为第三层次——单元,如污水处理厂模块可以分解为格栅、曝气池和沉淀池等诸多单元^[3]。

城市污水系统仿真,是在污水系统设计参数、污水排放者水质水量等确定的情况下,对系统进行运行参数如水质、水位、流态和水量的模拟,其目的在于分析现有规划、设计或者建设中所存在的问题,以辅助进行系统改进或系统的管理。本文的城市污水系统仿真方案,建立在仿真模型基础上,利用基于相关理论的仿真模型,对实际的污水系统在某一层次进行模拟,对系统的运行参数进行计算。下面介绍城市污水系统仿真模型的设计与开发。

2 仿真模型设计与开发

城市污水系统仿真模型(M-MWSS, Model of Municipal Wastewater System Simulation),采用基于组件技术的方式进行开发。组件技术是一种新的软件工程技术,它是面向对象技术的延伸,它使面向对象技术进入更成熟的实用化阶段^[4]。目前主流的组件技术主要有三种,CORBA, Java Beans 和 COM。这三种组件技术各具优势,本文以 COM 为例进行 M-MWSS 的开发。

2.1 系统假设和简化

为了便于对城市污水系统进行建模,总体上本研究作了如下的假设:M-MWSS 不进行第三层次的模拟,仅考虑到模块这一层次;不考虑污水再生利用,认为污水处理厂出水都排入河流这一受纳水体;只考虑污水处理厂这一污水处理设施。

系统内各模块都考虑了相应的高程属性,用于描述各模块的高程,以用于水位、水质等方面的模拟。同时针对各模块间的联系,在设计过程中考虑了关联和域这两种规则约束模型。对于 M-MWSS 在水质、水位、流态和水量等方面,分别做了如下假定和简化:

(1)水质模拟约定:只进行单一状态的模拟,非连续模拟;只进行 BOD、DO 两项水质参数的模拟,其模拟方法具有一定的代表性,易于扩展到其他水质参数。

(2)水位模拟约定:参考相关水力计算经验公式及理论,在不同的水量情况下模拟系统各模块的水位分布,污水管道内水位分布是本模型模拟的重点。

(3)流态模拟约定:根据颗粒比(污水内颗粒直径与污水管道内径比)及容器几何尺寸、流量等参数,模拟断面的速度场及压力场分布。

(4)水量模拟约定:近似认为系统密闭,仅在污水处理厂内部消耗一部分污水。

对于 M-MWSS 中的各模块,在设计过程中做了以下的假定和简化:

(1)检查井约定:作为污水管道的连接点,是管径、管材等设施基本参数变化的节点;考虑跌水井和水封井这两种特殊检查井。

(2)污水管道约定:其水量可由排水区域内的排水用户计算,也可按排水区域的排水系数乘流域面积计算;认为污水管道两端各有一个检查井;不考虑倒虹管。

(3)污水提升泵站约定:上下各有一检查井,连接污水管道。

(4)排水区域约定:排水区域可包括多个排水用户。

2.2 模型设计

城市污水系统仿真模型各模块,采用 UML 进行设计,以便于采用 CASE 方法生成模型系统类

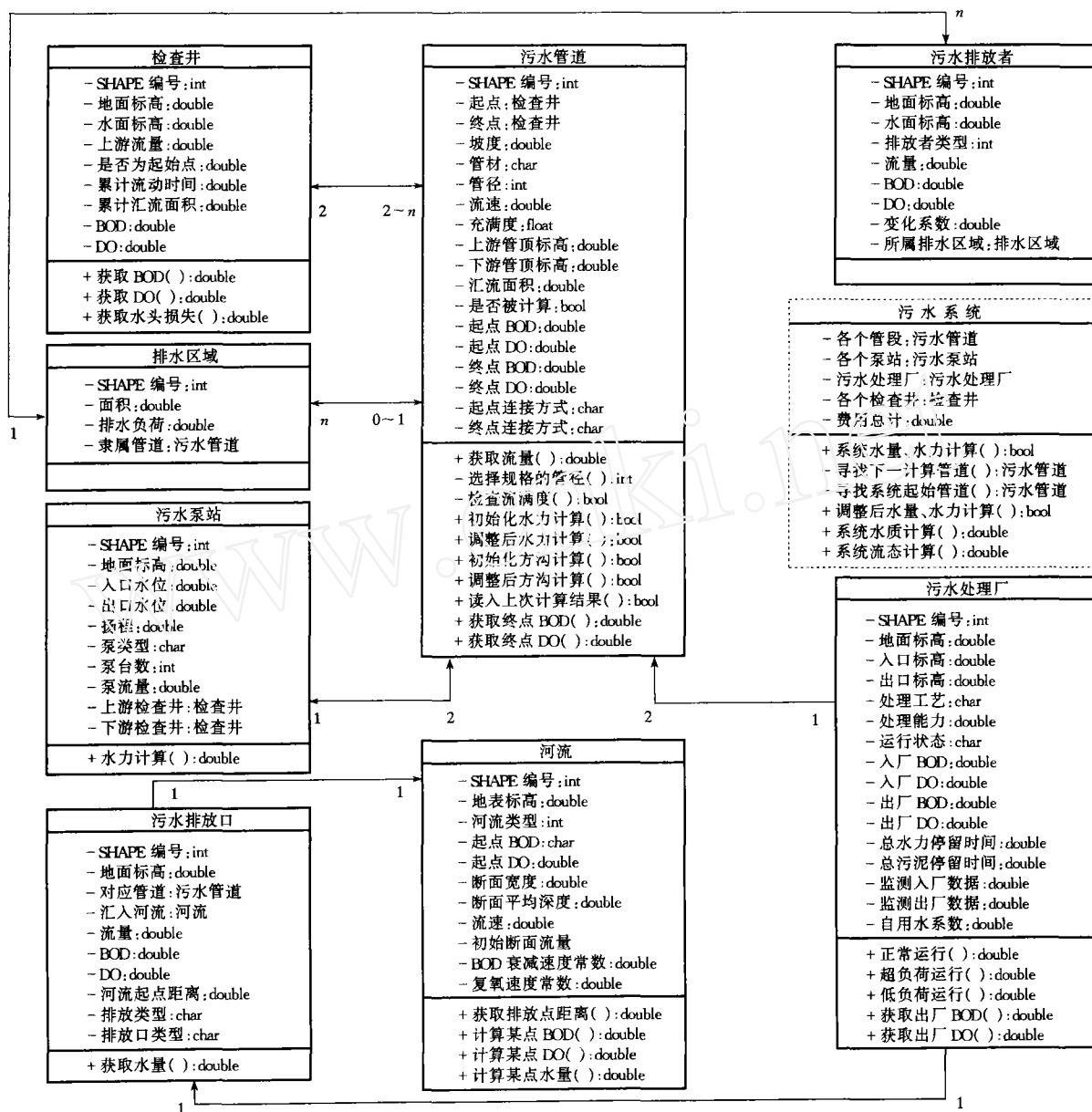


图1 城市污水系统各模块仿真模型 UML 类结构关系

结构的源代码^[5]。

各模块的类图见图1,其中设计了污水排放者、检查井、污水管道、排水区域、污水泵站、污水排放口、污水处理厂、河流和污水系统9个类。污水系统类用于组织其他8个类,以此形成一完善的城市污水系统,实现城市污水系统的仿真。类图中类与类之间的连线表示类之间的关联,如检查井类和污水管道类的关联,表示一个污水管道对应两个检查井,一个检查井至少对应两条管道。在模型中类与类之间的关联规则模型以及域规则模型也以类的形式存

在。

M-MWSS对城市污水系统从水量、水质、流态和液位四个仿真要素进行了模拟,根据实际情况,表1表示各类需要考虑的仿真要素,N/A表示该类不进行对应的仿真要素的模拟或该项要素数值不变,即该仿真要素在该模块前后可认为没有变化,如污水管道就不进行水质模拟,认为水质参数在单一污水管道中没有变化。

2.3 模型开发

在进行城市污水系统仿真模型UML类图设计

表 1 城市污水系统仿真模型概要

模块	水量模拟	水质模拟	流态模拟	水位模拟
污水排放者	N/A	N/A	N/A	N/A
检查井	进水(或出水)的所有管道的流量之和	根据污染物总和和恒定的原则进行计算	根据检查井的类型、尺寸及接口管道的尺寸、标高确定	根据入管、出管高程、管径及检查井设计参数等确定
污水管道	N/A(参考树状管网水量计算理论,但单一管道水质不变)	N/A	根据水量、水质和管道尺寸模拟速度场及压力场分布	参考非满流水力计算公式
排水区域	该区域的污水排放者产生水量之和,也可按排水系数乘面积的方法计算	N/A	N/A	N/A
污水泵站	根据入口流量及其自用水系数确定	N/A	N/A	根据泵扬程或泵站前后管道标高确定
污水处理厂	根据入口流量及自用水系数确定	参考其设计参数及监测数据	N/A	根据入水管、出水管标高确定
污水排放口	N/A	N/A	参考 Delft3D 模型的研究方法 ^[6]	N/A
河流	根据排污口和支流等确定	河流一维水质模拟 ^[7]	N/A	根据河流流量、坡度、流速等参数计算

的基础上,进行 M-MWSS 的具体开发工作,主要步骤为:①采用 UML 技术对城市污水系统进行系统类的详细设计,包括各类之间的关联、组合等关系,以及类成员变量的约束定义^[8]。②根据 CASE 方法,利用 Rational Rose 工具,将 UML 类图导出为 Visual C++ 的框架程序,编写城市污水系统基本模块类成员函数的具体程序代码。③编写污水系统类的具体实现,调用其他类的对象构件城市污水系统,用于整个城市污水系统的仿真,这是 M-MWSS 开发的核心工作。④在实现类的设计开发的基础上,利用 Visual C++ 编译环境,采用 ATL (Active Template Library) 将包括各类实现的 COM 组件编译成 DLL 文件^[9] (其中每个 DLL 可以包含多个类实现),完成 M-MWSS 的开发,为仿真系统提供底层的模型支持。

在 M-MWSS 开发的基础上,进行城市污水系统仿真平台的开发。为了便于实现污水系统的空间

信息表达、空间查询、空间分析等功能,仿真平台引入 GIS 构件以结合 M-MWSS 进行开发,弥补 M-MWSS 空间信息处理方面的不足。城市污水系统仿真平台的具体开发步骤如下:①对城市污水系统仿真平台进行需求分析,确定仿真平台的系统结构,其主要模块见图 2,以下依次进行各个模块的开发。②绘图模块:设计城市污水系统中不规则形状模块的符号库,以用于仿真平台的图形表达;采用 COMGIS 技术,对 GIS 组件进行二次开发,实现各污水系统模块的绘制、编辑、查询、分析和制图等基本功能(其绘制与编辑功能要考虑规则机制的约束)。③对象模块:开发根据 COMGIS 控件支持的空间数据文件的地理对象与 M-MWSS 相对应类的对象程序,为系统仿真提供底层数据支持。④规则模块:对对象模块的诸多污水系统模块的对象进行基于规则机制的数据检验,包括关系和域规则模型。⑤仿真模块:利用 M-MWSS 中的污水系统类和污水系统基本要素信息,构造城市污水仿真系统对象,实现城市污水系统的仿真。⑥接口模块:开发仿真平台与 CAD, GIS 平台的双向文件接口程序模块。⑦载入数据,进行系统测试,最终完成仿真平台的开发。

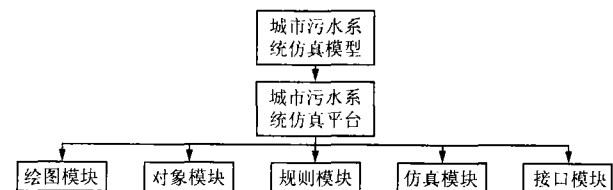


图 2 城市污水系统仿真平台结构

2.4 模型功能

城市污水系统仿真模型 M-MWSS 具有如下功能:

(1)对城市污水系统进行水量、水质、流态和水位等系统状态的模拟:这是本模型最为核心的功能,也是本系统仿真模型有别于现有的多数城市污水信息系统的功能。

(2)城市污水系统仿真平台的开发基础:基于组件技术开发的仿真模型,可以作为模块为污水系统仿真平台调用,提高其开发效率并降低了开发难度,系统升级简单易行。

(3)与 CAD, GIS 进行数据交换:可与 CAD, GIS

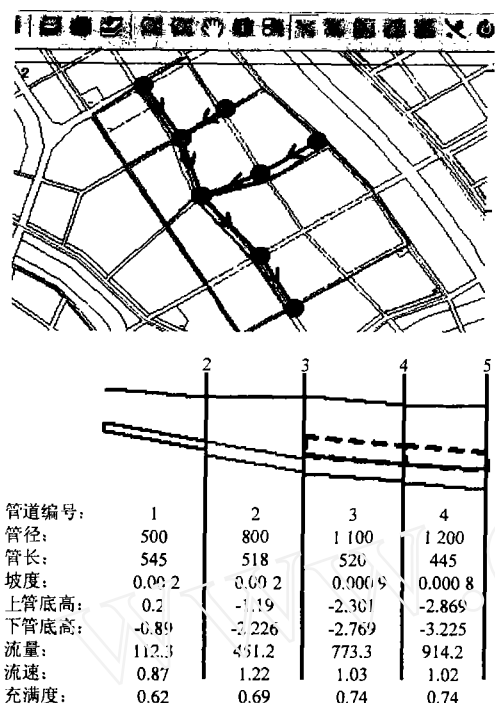


图3 PipeGIS 主界面及水位模拟界面

建立完善的接口,使得由 M-MWSS 开发的污水仿真平台的数据和 CAD/GIS 进行双向转换,以实现为仿真平台提供原始数据和仿真数据的输出处理。

(4)规则机制的建立:通过建立模型之间的关系模型以及模型的属性域模型,可以提高系统的自动维护能力,保证数据的完整性,降低仿真平台维护的工作量。

3 仿真模型初步应用

基于组件的 M-MWSS,其开发结果为一套模型库系统,包含众多以 DLL 形式存在的城市污水系统各模块的仿真模型。DLL 易于为 C++ 等高级编程语言调用,可以方便地进行城市污水系统的仿真。

笔者基于 M-MWSS 建立了城市污水管网仿真平台 PipeGIS。本平台目前仅对 M-MWSS 中的三个仿真模型——检查井、污水管道和排水区域进行了引用,用于城市污

水管网系统的水位和水量等运行状态的模拟,主要目的是辅助进行城市污水系统规划。PipeGIS 采用上文(2.3)所探讨的开发路线进行开发,其中 GIS 组件采用 ESRI (Environmental Systems Research Institute)推出的 MapObjects 2.1。PipeGIS 主界面及水位模拟界面见图 3。

PipeGIS 以 Shapefile 文件为空间数据格式,Access2000提供数据库支持,并利用 M-MWSS 仿真模型和规则模型(关系规则和域规则)为系统底层支持。M-MWSS 仿真模型作为一个独立的模块为 PipeGIS 调用,在开发过程中提高了 PipeGIS 的开发效率并降低了开发难度。

从系统功能角度看,PipeGIS 由三个主要应用模块构成,即管网绘制、管网计算、管网调整。PipeGIS 系统结构见图 4。其中系统底层与系统应用子模块之间的连线表明相应的系统应用模块是基于相应的系统底层模型开发,如“管网计算”模块的子模块“管网水量水力模拟”与“M-MWSS”模块之间的连线,表明“管网水量水力模拟”子模块的开发是基于 M-MWSS 仿真模型进行的。

PipeGIS 基本上实现了上文(2.4)所提及的功能:对污水管网系统进行水量、水位状态的模拟,与 CAD 和 GIS 进行数据交换,规则机制的建立以及基于仿真模型进行开发。从污水管网系统规划设计角度,其主要实现了以下具体功能:

(1)管网绘制。包括:①CAD 底图的加载和显示,正常显示标注文字与线条和区域颜色;②管道的

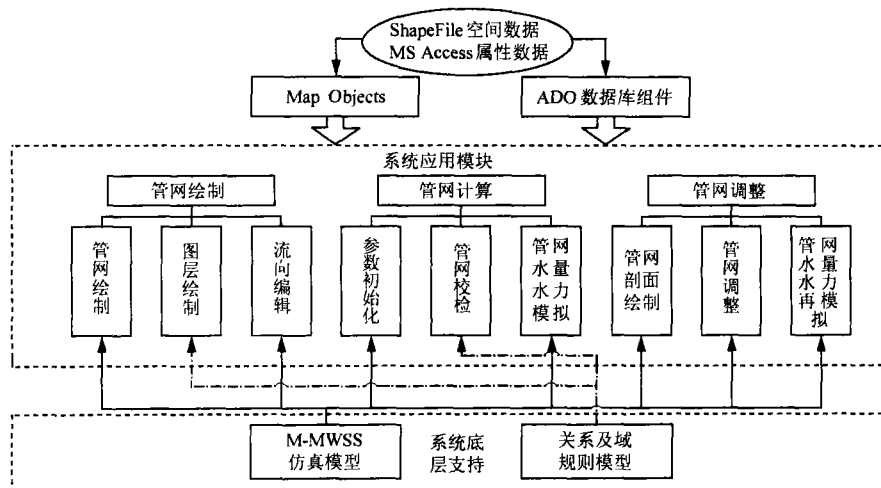


图4 PipeGIS 系统功能模块结构

绘制和编辑,管道长度的自动提取;③检查井的自动生成,检查井的插入、移动等操作;④检查井的地面高程、覆土深、集水时间等参数的设置;⑤管道中水流方向的显示和编辑;⑥排水区域的绘制、排水区域面积自动获取、排水系数的设定以及排水区域的拆分细化;⑦指定和显示管道与排水区域之间的对应关系。

(2)管网计算。包括:①各地区污水管网系统相关计算参数的设置,污水管道费用表的设置;②检查规划平面图层之间的对应关系,进行管网校验,以保证正确、顺利地进行整个管网的计算;③从规划平面图层读取管网各要素的信息,并进行相关的水量、水力等模拟;④管道计算表、管道费用表的查看;⑤导出规划平面图层到 AutoCAD 以及规划平面图层的打印。

(3)管网调整。包括:①管网中各个管道纵断图的自动生成;②调整管道的管径和坡度,自动进行管道相关水力参数的计算;③调整管道的埋深,即对管道进行上下平移,自动判断管网中各个管道的上下管底高是否需要调整,并进行系统再模拟。

4 结论

利用 M-MWSS 可以对城市污水系统各模块进行水量、水位、水质和流态等运行状态的仿真,作为基于 COM 开发的仿真模型,基于 M-MWSS 开发的城市污水系统仿真平台具有较好的可移植性和代码

复制性,程序的可维护性也大大提高。M-MWSS 除了可以进行文中提及的城市污水系统仿真功能外,还可以应用于城市污水规划辅助系统、决策支持系统以及设施管理系统等,为其提供运算支持、模型支持和规则支持。同时这种城市污水系统仿真解决方案,易于移植到其他相关领域,如水资源管理、给水排水、城市基础设施体系等,具有较好的应用前景。

参考文献

- 1 镜雨霖,任周宇,等.城市给水排水.北京:中国建筑工业出版社,1986
- 2 戴慎志,陈践,等.城市给水排水工程规划.合肥:安徽科学技术出版社,1999
- 3 孙慧修.排水工程.北京:中国建筑工业出版社,1996
- 4 潘爱民.UGM 原理与应用.北京:清华大学出版社,1999
- 5 Martin Fowler, Kendall Scott 著. UML 精粹——标准对象建模语言简明指南.徐家福译.北京:清华大学出版社,2000
- 6 Delft hydraulics. Delft3D-Flow user manual. WL Delft hydraulics, 1999
- 7 孙启宏,乔琦,孙益民,等.利用动态分段技术进行河流一维水质扩散模拟.环境科学研究,1997,10(5):42~45
- 8 党安荣,贾海峰,易善桢,等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南.北京:清华大学出版社,2003
- 9 Armstrong Tom, Patton Ron. ATL 开发指南.董梁,丁杰,李长业,等译.北京:电子工业出版社,2001

★电话:(010) 62785610

E-mail:longying02@mails.tsinghua.edu.cn

收稿日期:2003-12-10

管道直饮水系统实现多点远程监控

2004年2月17日北京市科委组织了由北京嘉润恒水务投资有限公司开发研制的“具有远程监控管理功能的节水型管道直饮水系统”鉴定会。

具有远程监控管理功能的节水型管道直饮水系统集水处理、计算机、通信、机电、自动控制等多种先进技术于一体,成功地解决了传统市政自来水存在的二次污染、管道直饮水系统机房比较分散独立、无法实现规模化集中管理且维护成本过高等问题,保证了管道直饮水系统的可靠运行。

该系统在国内率先采用 GPRS(通用无线分组业务)作为管道直饮水系统监控管理的通讯方式,实现了管道直饮水系统多点远程监控的管理要求,并在先进的水处理工艺的基础上,采用了具有浓水回用技术的节水装置,提高了水资源利用率。GPRS 通讯方式与有线通讯、无线

集群通讯、GSM 短消息通讯、CDPD 和 Mobitex 等通讯方式比较,具有永远在线、快速登录、高速传输、按量收费和自由切换等优点。

该系统是 GPRS 无线移动数据技术在管道直饮水领域中成功的行业应用。系统可实现机房的监视与现场模拟、遥测与遥控、故障报警和定位、查询统计分析和辅助决策等功能,同时可将监控层的实时显示画面发布到 Internet 上,供相关人员查阅。该系统操作简便,运行安全可靠,提高了工作效率和设备利用率,大大降低了运营成本和工作人员的劳动强度,保障了直饮水生产安全。

GPRS 远程监控管理技术和浓水回用技术在国内管道直饮水系统中的应用居国内领先。GPRS 远程监控管理技术的应用填补了国内管道直饮水行业的空白。

(本刊)