

监测技术在排水管网运行管理中的应用及分析

赵冬泉¹, 王浩正¹, 陈吉宁², 盛 政¹

(1. 北京清华城市规划设计研究院 环境技术所, 北京 100085; 2. 清华大学 环境学院, 北京 100084)

摘 要: 针对排水管网溢流造成的城市污染问题, 对监测技术在城市排水管网运行管理过程中的应用模式进行了探讨和案例分析, 对监测数据的分析方法和监测数据支持下的模型动态模拟技术进行了研究。案例分析表明, 通过对监测数据的分析和模拟可全面掌握整个排水管网系统内各个管道的水力负荷和水质状况, 利用监测数据与模型的紧密集成使用的方法, 可提高模型预测的可靠性和城市排水管网管理的科学性与高效性。

关键词: 监测技术; 合流制管网溢流; 污水管网溢流; SWMM; GIS

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2012)08-0011-04

Application and Analysis of Monitoring Technology in Operation and Management of Urban Drainage Network

ZHAO Dong-quan¹, WANG Hao-zheng¹, CHEN Ji-ning², SHENG Zheng¹

(1. Department of Environment Technology, Beijing Tsinghua Urban Planning and Design Institute, Beijing 100085, China; 2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In view of the urban pollution caused by sewer overflow, the application of monitoring technology in urban drainage management is discussed and analyzed through a case study. The analysis methods of monitoring data and the dynamic simulation technique supported by monitoring data are investigated. The status of wastewater quantity and quality of each pipe in the system can be obtained through analysis and simulation of monitoring data. The combined use of field monitoring data and drainage network model can improve the reliability of model prediction, as well as the scientificity and efficiency of urban drainage network management.

Key words: monitoring technology; combined sewer overflow; sanitary sewer overflow; SWMM; GIS

为控制和改善污水管网溢流(SSO)或合流制排水系统污水溢流(CSO)污染,传统的方法是采取改进管道中的截污装置、增大原有管道的尺寸、增大污水厂的处理容量等措施来减少污水溢流量。但是,这种改造排水管道及处理设施的方法需要投入大量资金,不仅投入成本高,而且改造过程会对城市的正

常运行造成一定的影响。近些年来,随着监测技术的发展,利用大量排水管网监测仪表设备对城市排水系统的运行进行动态监测、实时管理的数字化管理模式逐渐形成,为解决城市排水管网的溢流问题提供了信息化手段^[1]。

近年来,我国也有部分城市开始了排水系统监

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07317-006)

测技术的研究和应用^[2,3],但是大部分地区的监测仅限于排水泵站的提升流量和蓄水池的液位等少数指标,监测方案不系统,监控硬件设备配备不全面;监测数据分析方法过于简单,未将监测数据与排水管网模型进行紧密结合,不能利用有限的监测数据为排水管网整体系统的运行管理提供决策信息。上述原因造成了目前国内排水系统“只监不控”和只能事后处理的局面。为此,结合实际案例对监测技术在城市排水管理中的应用模式进行研究与探讨。

1 研究区域概况及降雨监测数据分析

1.1 研究区域概况

选取某市一片流域面积约为4 hm²的合流制排水管网作为研究对象,该管网共有104根管道,总长为1 329 m。研究区域管网分布见图1。

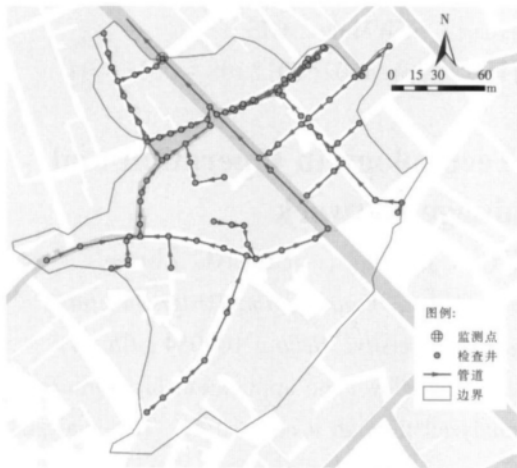


图1 研究区域污水管网分布

Fig. 1 Combined sewer system layout plan in study area

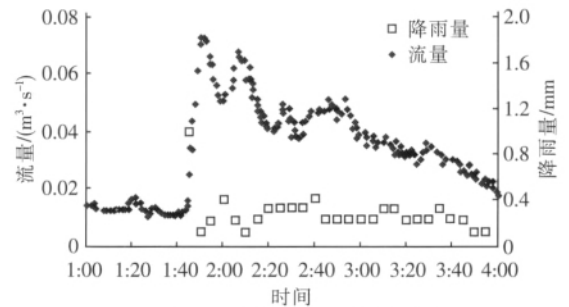
1.2 监测和采样分析

在流域出口布置监测点(见图1),在监测点安装自动监测设备对降雨量、流量进行实时监测,并对管道内的污水进行自动采样。水质分析样品的采集使用ISCO 6712自动采样器,在降雨开始的60 min内5~10 min采集一个样品,60 min以后则30 min采集一个样品。降雨量监测采用ISCO 674雨量模块,1 min记录一次数据,仪器测量精度为0.1 mm。流量监测采用ISCO 750模块,1 min采集一个数据,仪器测量精度为0.001 m³/s。

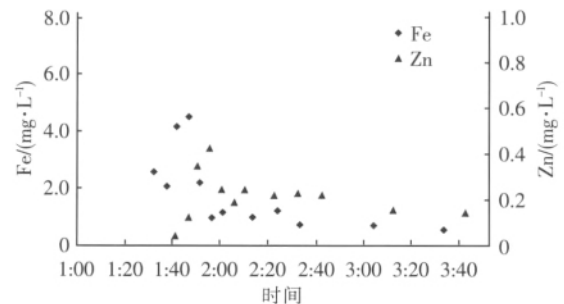
水质样品从降雨初始开始采集,通过雨量模块自动控制,采样后运回实验室,采用APHA标准方法分析,分析指标包括pH值、浊度、总悬浮颗粒物(TSS)、COD、TN、Fe和Zn。

1.3 监测数据

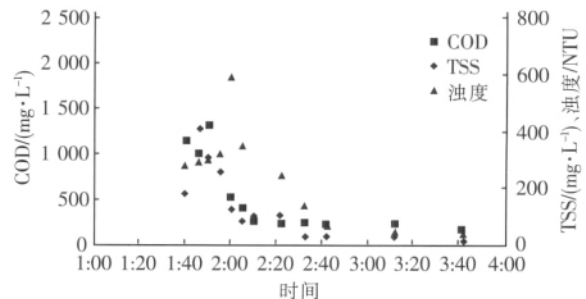
选取2006年8月10日1:00—4:00的连续监测数据进行分析。该次降雨从1:41开始,1:45流量开始明显增加,总降雨量为6.9 mm。降雨量与管道流量及水质的变化见图2。



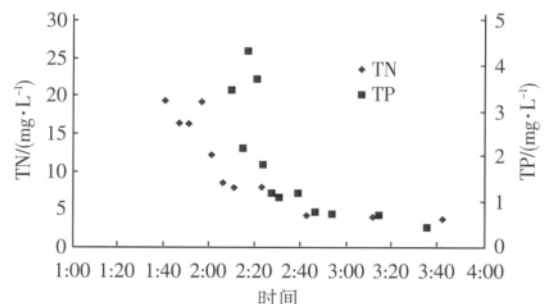
a. 研究区流量和降雨量监测数据



b. Fe和Zn浓度的变化



c. TSS、COD和浊度的变化



d. TN和TP浓度的变化

图2 研究区降雨量、流量及各污染物浓度的变化

Fig. 2 Monitoring data of rainfall, pipe flow and pollutants in study area

由图2可知,降雨造成了管道流量的明显增加,

在降雨开始的 40 min 内监测点平均流量为 $0.013 \text{ m}^3/\text{s}$ 标准偏差为 $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ 。低流量和低偏差主要是由于分析时间为凌晨,居民生活用水量和用水变化都很小所致。由水质变化过程分析可知,在降雨开始的 20 min 内各类污染物浓度相对较高,而此后都有明显降低。在实际运行过程中,可以根据流量和污染物浓度的变化规律,确定降雨初期雨洪截留的污染物浓度限值或时间,并为截流设施的设计、改造和运行调度提供数据参考。

2 排水管网模型模拟结果与分析

2.1 模型构建和参数动态识别模式

采用数字排水平台构建研究区域的排水管网模型,具体步骤如下:①导入节点和管线数据;②管线拓扑关系检查;③采用泰森多边形法划分汇水区;④输入模型参数;⑤输入模型边界条件,包括导入降雨量时间序列数据并根据监测数据输入旱季污水入流量;⑥模型参数率定^[4-5]。其中,模型参数率定使得模拟结果与监测数据尽可能一致,以保证模型模拟分析的可靠性。

采用数字排水平台中的模型参数率定模块进行模型水量相关参数率定,选取的率定参数为汇水区面积、坡度、宽度、不透水区比例、不透水区曼宁系数和管道粗糙度。通过 SWMM 帮助文档和文献报道的经验值^[6-7]以及研究区域地表特征进行参数的初始值计算和取值范围的确定。率定过程采用拉丁超立方方法(Latin Hypercube Sampling)进行采样,参数的先验分布为均匀分布,模型运行 5 000 次。采用水文模型领域常用的 Nash-Sutcliffe 效率系数作为评判模拟结果与监测数据之间似然度的准则^[8]。Nash-Sutcliffe 效率系数越接近于 1,说明模拟结果与监测曲线的吻合程度越高。通常认为 Nash-Sutcliffe 效率系数 >0.7 ,模型就达到了较好的模拟效果^[9]。本研究中 Nash-Sutcliffe 效率系数最高为 0.78,满足模型模拟可靠性的要求。

由于模型率定通常需要进行大量的采样,耗时间较多,在后续的实时监测过程中,可采用前次率定获取的参数后验分布作为下一次率定的先验分布,以提高模型率定的计算效率,并采用将最新监测数据作为验证数据的模型参数动态率定模式,以保证模型的参数能尽可能地反映排水管网的最新状态,提高模型预测分析的可靠性和现势性,从而满足排水管网溢流分析的应急管理需求。

2.2 预案制定与分析模式

城市排水管网管理过程中经常需要快速做出决策,这就需要制订相应的应急预案,管理人员应了解区域内管网承受暴雨的能力和溢流事故的易发点。在本研究中,利用数字排水平台的暴雨生成器模块根据当地暴雨强度公式自动生成了一场重现期为 10 年、历时为 3 h 的暴雨,利用经过监测数据验证的模型模拟研究区域排水管网在 10 年一遇的降雨条件下的水力状态(见图 3)。

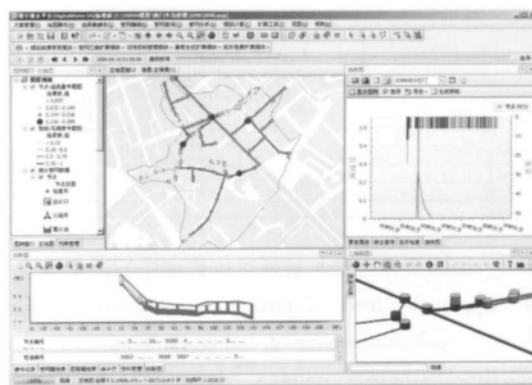


图 3 10 年重现期降雨情景下模型模拟结果

Fig. 3 Modeling results under 10-year return period condition

模拟结果表明,在设计暴雨情景下,研究区域内很多管道都会过载,甚至达到满管状态(图 3 主地图中管道颜色越深表示管道充满度越大)。研究区域内有 4 个检查井会发生比较严重的溢流,这些点应是较大强度降雨过程应急预案中重点防护的对象。图 3 右侧的曲线图显示了研究区检查井的溢流量变化情况,该数据可以为应急预案中抽水泵扬程、流量、抽水开始时间的设定提供数据支持。通过在现有模型中增加应急设施,并设定设施的运行策略,就可以利用模型模拟的方法对应急预案进行评估和优化调整,制定科学合理的应急预案。

3 监测技术的运行模式讨论

将在线监测技术应用于模型模拟过程,辅助进行排水管网运行管理的应用模式可分为离线模式和在线模式。本案例介绍了离线运行的应用模式,即直接利用监测数据通过图表直观分析径流时间和降雨对管道的影响,利用经过验证的模型进行动态模拟管网排水规律和状态的变化过程,分析区域内可能出现溢流的管道位置、溢流时间和溢流量,能够为研究区排水管网溢流应急预案的制定提供数据支持。同时,GIS 技术为监测数据和排水管网模型模

拟结果提供了直观丰富的展示手段,降低了复杂模拟结果数据的分析难度。

但是,利用离线模式不能根据实时监测数据快速分析当前的排水管网运行状态,现势性较差,时间有效性不强,不能有效支持应急决策,只能满足事后评估分析与方案优化的需求。为此提出如图4所示的在线应用模式。

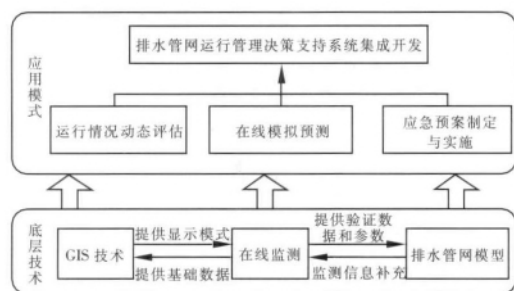


图4 监测技术在排水管网运行管理中的应用模式

Fig.4 Application mode of monitoring technique in operation and management of drainage system

该模式以在线监测技术为核心,结合排水管网模拟计算模型和GIS技术,对排水管网的水力负荷和污染状况进行动态评估计算。GIS与在线监测系统实时的数据交互,实现基础数据的动态与可视化地图显示;利用模型参数自动识别功能,根据最新监测数据动态及时地调整模型参数,使得模型能比较客观地反映真实的排水规律,并根据当前的气象预报、排水时间预测等条件,利用动态优化的模型进行在线模拟预测,从而为排水管网运行管理的动态决策提供科学的数据依据。在线模式实现了监测技术、排水管网模型和GIS技术协同工作,能比较可靠地预测分析复杂管网系统的运行状态,包括管网运行状态、溢流点空间分布、管道溢流污染水平等,并可以有效地支持事故应急预案的制定与实施。在实际管理应用中,为了减少模型人为操作环节,提高管理分析的效率,可以根据当地实际情况、监测数据和业务流程开发本地化的决策支持系统。

国内外相关研究证明,对城市排水系统进行监测和模型评估是可行的、高效的。将整个城市排水系统纳入实时监测与动态管理体系,结合排水管网模型及时、全面、系统地分析排水管网的整体负荷状态,及时对管网进行调度,可充分利用已有排水设施的排水能力,最大程度地降低管网溢流频率和流量,提升排水资产设施的科学管理水平。

4 结语

近年来,随着城市信息化的进程,城市排水系统管理领域已逐步开展数字化管理技术的研究和应用。监测技术可用于排水管网关键节点水力负荷和污染特征的获取,结合排水管网模型可对管网溢流等事件进行预测分析。通过案例分析,对监测技术在城市排水管网管理中的应用进行了分析和探讨,结果表明对城市排水系统进行包括降雨、管道液位、水量和水质等的监测是必要的,也是可行的。结合排水管网模型的参数自动率定和动态模拟分析方法,可提高城市排水管网管理的有效性、科学性和高效性。

参考文献:

- [1] 向军. 建立城市排水监测/管理网络系统的设想[J]. 市政技术, 2005, 21(3): 181-183.
- [2] 赵晨红, 彭永臻, 魏齐. 城市污水系统的实时控制技术[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2007, 23(2): 158-161.
- [3] 李双双, 汪雄海. 多机泵协调排水控制问题及对策[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2009, 8(1): 67-71.
- [4] 赵冬泉, 陈吉宁, 佟庆远, 等. 基于GIS构建SWMM城市排水管网模型[J]. 中国给水排水, 2008, 24(7): 88-91.
- [5] 赵冬泉, 陈吉宁, 佟庆远, 等. 基于GIS的城市排水管网模型拓扑规则检查和处理[J]. 给水排水, 2008, 34(5): 106-109.
- [6] Zaghoul N A, Abu Kiefa M A. Neural network solution of inverse parameters used in the sensitivity-calibration analyses of the SWMM model simulations[J]. Adv Eng Software, 2001, 32(7): 587-595.
- [7] Tsihrintzis V A, Hamid R. Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM[J]. Hydrol Process, 1998, 12(2): 311-329.
- [8] 赵冬泉, 王浩正, 陈吉宁, 等. 城市暴雨径流模拟的参数不确定性研究[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 45-50.
- [9] Bennis S, Crobeddu E. New runoff simulation model for small urban catchments[J]. J Hydrol Eng, 2007, 12(5): 540-544.

E-mail: zdq@digitalwater.cn

收稿日期: 2011-11-13