

水力模型在合流制调蓄池进水管改造中的应用

赵美玲¹, 朱滔², 冯江¹, 王海玲², 郭婷¹

(1. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083; 2. 昆明滇池投资有限责任公司, 云南昆明 650000)

摘要: 针对某市某排水片区中调蓄池进水不畅的问题,采用城市排水管网模拟系统(DigitalWater Simulation)构建了该片区的排水模型,利用模型评估区域内两座调蓄池的运行现状、分析其进水不畅的原因、制定相应的改造方案,并对改造方案的效果进行评估。结果表明,改造后调蓄池的最大利用效率可提高至100%,说明改造方案是合理、可行的。水力模型在合流制调蓄池进水管改造中的应用方法,可为其他地区合流制调蓄池的改造提供参考。

关键词: 合流制调蓄池; 水力模型; 进水管改造

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)07-0118-05

Application of Hydraulic Model in Inlet Pipe Reconstruction of Combined Storage Tank

ZHAO Mei-ling¹, ZHU Tao², FENG Jiang¹, WANG Hai-ling², GUO Ting¹

(1. Beijing Tsinghua Holding Human Settlement Environment Institute Limited Company, Beijing 100083, China; 2. Kunming Dianchi Investment Co. Ltd., Kunming 650000, China)

Abstract: A hydraulic model of a drainage area in a city was constructed by DigitalWater Simulation system to solve the problem of poor water intake in the storage tank. The model was used to evaluate the operational status of the two storage tanks in the area, analyze the reasons for the poor water intake, formulate the corresponding reconstruction plan and evaluate the effect of the reconstruction plan. The utilization efficiency of the storage tanks was increased to 100% after reconstruction, indicating that the reconstruction plan was reasonable and feasible. The application of the drainage network hydraulic model in the inlet pipe reconstruction of the combined storage tank could provide a reference for the reconstruction of combined storage tank in other areas.

Key words: combined storage tank; hydraulic model; reconstruction of inlet pipe

目前,我国大多数旧城区仍采用的是截流式合流排水体制。合流制排水体制存在的雨季溢流污染问题十分突出,如上海黄浦江、苏州河的合流制溢流(CSO)污染问题,北京、广州、武汉等许多城市也屡屡发生CSO污染事件,CSO污染会造成水体富营养化,制约城市的可持续发展^[1-2]。合流制调蓄池是

控制CSO的一项关键技术,近年来已在国内外广泛应用。合理设计调蓄池结构在实现调蓄池利用效率最大化方面起着重要作用。

1 研究区域概况

某市主城区地形北高南低,区域内的河渠基本自北向南流入某河道,该河道成为城市雨污水的最

终受纳水体。目前在老城区内设置了多座调蓄池,以求大幅减少合流管道溢流河道的次数,达到削减入河污染负荷的目标。

以该市某排水片区为研究区域,区域面积约为60 km²。片区内河道较多,水系较为发达,有2座污水处理厂、4座泵站、5座调蓄池、5处污水溢流口,管道总长为217.2 km。本文研究对象为区域内的2座合流制调蓄池,旱季时合流污水直接排放至下游污水厂,雨季时超出污水厂处理量的合流污水则通过开启闸门进入调蓄池,待雨停后由泵站提升至下游污水厂。其中,调蓄池A有2根进水管、1个进水闸门,总储蓄量为12 000 m³,服务面积为1.66 km²;调蓄池B有1根进水管、1个进水闸门,总储蓄量为13 000 m³,服务面积为2.14 km²。两座调蓄池与管网的连接关系如图1所示。

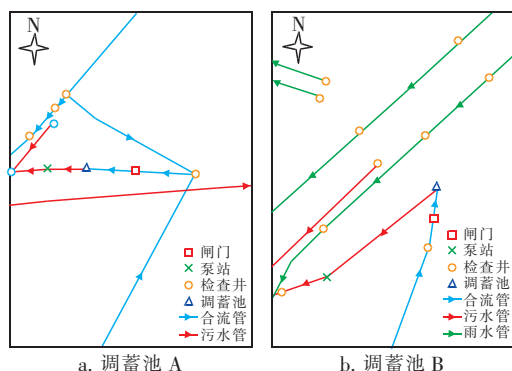


图1 调蓄池与管网的连接关系

Fig. 1 Connection of storage tank and pipe network

2 模型构建

本研究采用城市排水管网模拟系统(DigitalWater Simulation)构建研究区排水模型,该系统可实现管渠一维水动力和地表二维漫流之间的水量交换和动态演进仿真^[3]。同时,利用该平台可建立排水管网与河道耦合模型,实现排水管网与内部河道的动态耦合模拟计算^[4]。

2.1 模型骨架搭建

基于排水管网基础数据,采用 DigitalWater Simulation 搭建研究区排水系统模型,将排水管道、节点、泵站、调蓄池、溢流堰等设施的空间数据与属性数据导入模型系统,进行拓扑关系检查与修正,同时进行汇水区划分。

2.2 模型参数设定

排水模型中,需要对节点、管道、汇水区等要素

的相关属性进行设置。需要输入的模型参数可以分为以下几类^[5]:旱季入流参数,包括日入流量、入流变化曲线等;雨季入流参数,包括汇水区面积、坡度、不透水比例等;管网汇流参数,包括曼宁糙率系数、管道淤积厚度等;模型边界条件,包括下游边界条件,如泵站等调控措施的控制规则等。

2.3 模拟情景设置

本研究采用设计降雨对排水系统进行模拟分析,根据该市最新修编的暴雨强度公式,利用 DigitalWater Simulation 中的暴雨生成器生成重现期为2年、降雨历时为3 h的芝加哥雨型,其中,雨峰系数为0.35,时间间隔为1 min,降雨过程线见图2。

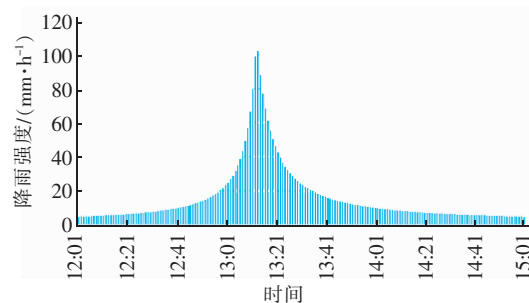


图2 2年一遇降雨过程线

Fig. 2 2-year rainfall process line

2.4 模型率定与验证

模型参数率定与验证采用蒙特卡罗方法(Monte Carlo),并采用 Nash-Sutcliffe 效率系数来评价模拟结果曲线与监测时间序列的吻合程度。在模型率定验证过程中,一般认为当 Nash-Sutcliffe 效率系数>0.7时就表示预测时间序列与监测时间序列达到了很好的吻合^[6]。

本研究选用2014年3月22日和23日两场实测降雨进行模型的率定,率定结果显示,Nash-Sutcliffe 效率系数分别为0.92、0.86;另选用2013年8月15日和9月4日两场实测降雨进行模型的验证,验证结果显示,Nash-Sutcliffe 效率系数分别为0.87、0.90。由模型率定和验证结果可知,模拟结果与实测值在变化趋势上有很好的 consistency。

3 调蓄池运行现状评估及问题分析

3.1 运行现状

使用 DigitalWater Simulation 的控制规则模块设置两座调蓄池开启的不同控制策略,模拟计算调蓄池的最大利用效率(实际蓄水量/设计总储蓄量),从而评估调蓄池的运行现状。调蓄池控制策略的设

置如下:降雨前1 h开(降雨前开)、降雨时开、降雨1 h后开(降雨中开)、降雨停止时开(降雨后开)。

调蓄池 A 的入流曲线及水深曲线见图 3。调蓄池 A 在降雨中和降雨后开启闸门进水的控制策略下,调蓄池的利用率较低。降雨前开和降雨时开的入流曲线和水深曲线重合,此时调蓄池的利用率最高,并且均在降雨 1 h 后才开始有雨水进入调蓄池,说明过早开启闸门也不能提高调蓄池的利用率。

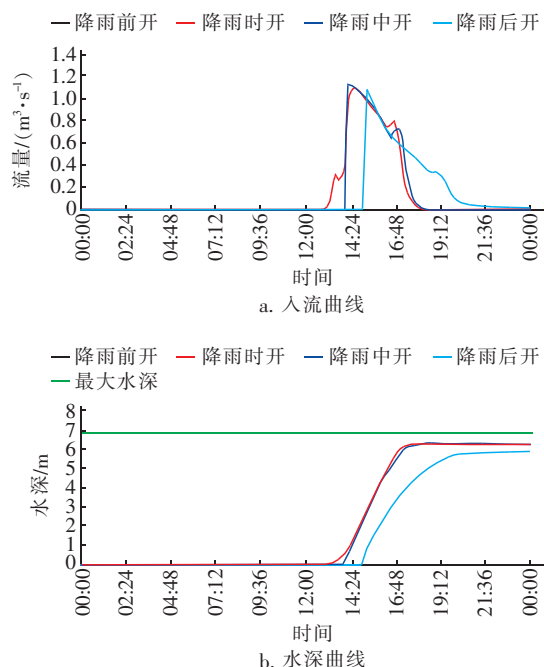


图3 调蓄池 A 的入流曲线及水深曲线

Fig. 3 Inflow curve and water depth curve of storage tank A

调蓄池 B 的入流曲线及水深曲线如图 4 所示。可以看出,调蓄池 B 的入流曲线及水深变化曲线与调蓄池 A 类似,在降雨中和降雨后开启闸门进水的控制策略下,调蓄池的利用率较低。降雨前开和降雨时开的入流曲线和水深曲线重合,此时调蓄池的利用率最高,并且均在降雨 45 min 后才开始有雨水进入调蓄池,说明过早开启闸门也不能提高调蓄池的利用率。

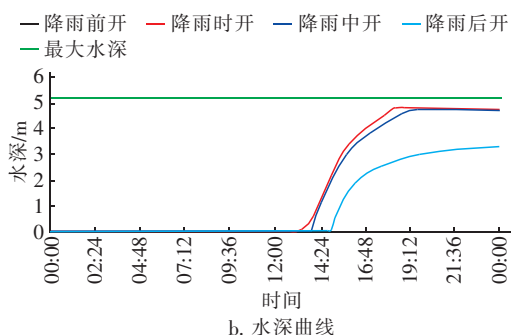
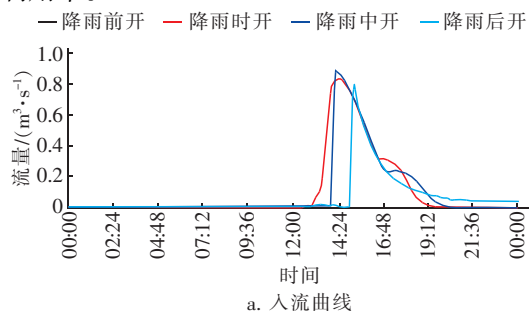


图4 调蓄池 B 的入流曲线及水深曲线

Fig. 4 Inflow curve and water depth curve of storage tank B

调蓄池 A 的最大蓄水量为 $10\,872\text{ m}^3$,最大利用效率为 90.6%;调蓄池 B 的最大蓄水量为 $11\,895\text{ m}^3$,最大利用效率为 91.5%。

3.2 问题分析

由模拟结果可知,在不同控制策略下,调蓄池 A 的最大进水规模为 $1.1\text{ m}^3/\text{s}$,小于其设计进水规模 ($3.33\text{ m}^3/\text{s}$);调蓄池 B 的最大进水规模为 $0.88\text{ m}^3/\text{s}$,亦小于其设计进水规模 ($3.61\text{ m}^3/\text{s}$)。而且两座调蓄池均未蓄满,调蓄池 A 的汇水范围为 1.66 km^2 ,调蓄池 B 的汇水范围为 2.14 km^2 ,这两座调蓄池不存在服务范围比设计服务范围小的问题,因此两座调蓄池未能蓄满的原因可能与管网结构有关。

通过对调蓄池 A 两根进水管的结构分析发现,其南侧进水管存在高位进水,而北侧进水管与连接的合流管道之间没有设置一定的高差,导致进水不畅,大部分合流污水沿着合流管道流走,因此调蓄池无法蓄满。通过对调蓄池 B 进水管的结构分析发现,其进水管与连接的合流管道之间没有设置一定的高差,导致进水不畅,大部分合流污水沿着合流管道流走,因此调蓄池无法蓄满。

4 调蓄池改造方案及效果评估

针对调蓄池 A 和 B 进水不畅的问题,利用模型对这两座调蓄池的进水管进行改造,如图 5 和图 6 所示。

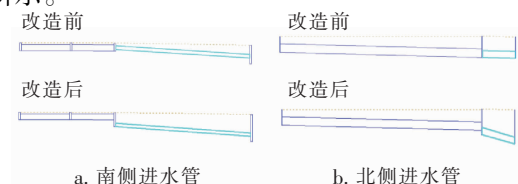


图5 调蓄池 A 进水管结构改造示意

Fig. 5 Inlet pipe structure reconstruction of storage tank A

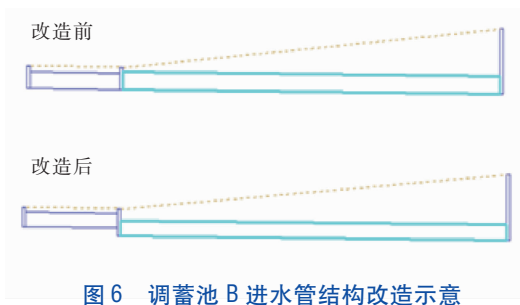
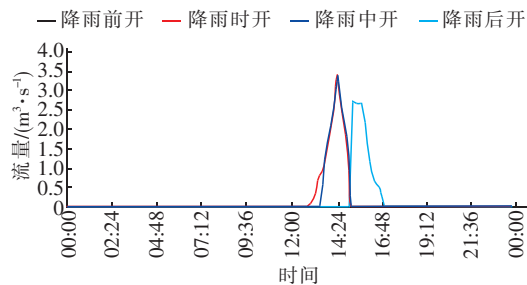


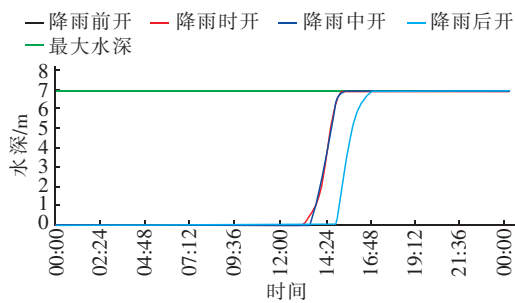
图6 调蓄池B进水管结构改造示意

Fig. 6 Inlet pipe structure reconstruction of storage tank B

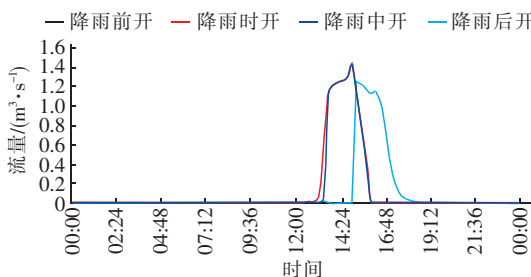
调蓄池改造后,同样模拟分析调蓄池A和B在3.1节中4种控制策略下入流及水深的变化情况,结果如图7所示。从图7(a)和(b)可以看出,调蓄池A在4种控制策略下均能蓄满,且最大进水规模能够达到其设计进水规模($3.33 \text{ m}^3/\text{s}$)。从图7(c)和(d)可以看出,除了降雨后开的策略,调蓄池B在其他3种控制策略下均能蓄满,且最大进水规模为 $1.43 \text{ m}^3/\text{s}$,较改造前有所提高。改造后,两座调蓄池的最大蓄水量均能达到设计蓄水量,最大利用效率均能达到100%。



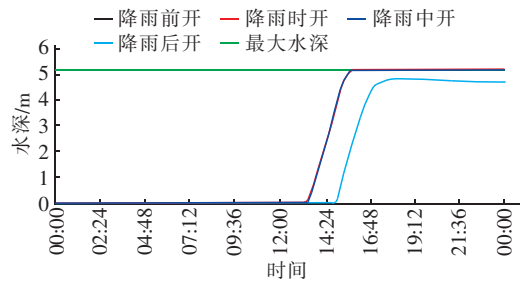
a. 调蓄池A的入流曲线



b. 调蓄池A的水深曲线



c. 调蓄池B的入流曲线



d. 调蓄池B的水深曲线

图7 调蓄池A和B的入流曲线及水深曲线

Fig. 7 Inflow curve and water depth curve of storage tank A and B

5 结论

利用 DigitalWater Simulation 构建了某排水片区的水力模型,分析了两座调蓄池进水管结构存在的问题,有针对性地提出了改造方案,并对改造前后两座调蓄池的利用效率进行评估,结果表明,改造后调蓄池的最大利用效率可提高至100%,说明改造方案合理。本研究中基于水力模型的调蓄池改造方法可为其他地区合流制调蓄池的改造设计提供参考。

参考文献:

- [1] 赵泽坤,车伍,赵杨,等. 美国合流制溢流污染控制灰绿设施结合的经验[J]. 中国给水排水,2018,34(20):36-41.
Zhao Zekun, Che Wu, Zhao Yang, *et al.* Experiences of combination of gray-green infrastructure for combined sewer overflow control in the United States[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(20): 36 - 41 (in Chinese).
- [2] 贾楠,王文亮,车伍,等. 美国合流制溢流控制标准分析及对我国的启示[J]. 中国给水排水,2019,35(7):121-127.
Jia Nan, Wang Wenliang, Che Wu, *et al.* Analysis of combined sewer overflow control standards of the United States and its enlightenment to China[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(7): 121 - 127 (in Chinese).
- [3] 陈小龙,赵思东,赵冬泉,等. 城市排水管网模拟系统介绍[J]. 中国给水排水,2015,31(1):104-108.
Chen Xiaolong, Zhao Sidong, Zhao Dongquan, *et al.* Introduction of DigitalWater Simulation system[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(1): 104 - 108 (in Chinese).
- [4] 陆露,赵冬泉,陈小龙,等. 城市排水管网与内部河道耦合模拟研究[J]. 给水排水,2014,40(10):103-

107.

Lu Lu, Zhao Dongquan, Chen Xiaolong, *et al.* Simulation study on coupling of urban drainage pipe network and internal river channel [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2014, 40(10): 103–107 (in Chinese).

- [5] 陈滨, 刘小梅, 赵宝康, 等. 镇江市排水设施规划管理系统设计与应用[J]. *中国给水排水*, 2014, 30(24): 42–45.

Chen Bin, Liu Xiaomei, Zhao Baokang, *et al.* Design and development of Zhenjiang drainage planning management system[J]. *China Water & Wastewater*, 2014, 30(24): 42–45 (in Chinese).

- [6] 赵冬泉, 佟庆远, 王浩正, 等. SWMM 模型在城市雨水排除系统分析中的应用[J]. *给水排水*, 2009, 35(5): 198–201.

Zhao Dongquan, Tong Qingyuan, Wang Haozheng, *et al.* Application of SWMM in urban storm drainage network modeling[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2009, 35

(5): 198–201 (in Chinese).



作者简介: 赵美玲(1989–), 女, 天津人, 硕士, 环境保护中级职称、信息系统项目管理高级职称, 主要从事排水模型及在线监测等相关研究。

E-mail: 675376135@qq.com

收稿日期: 2019–08–08

(上接第 117 页)

短历时设计暴雨, 降雨雨型为单峰雨型; 借鉴美国方法, 设计径流过程线可基于合理法计算确定, 该方法符合合理法的径流汇流计算原理, 计算的关键是根据集水时间计算“移动平均降雨强度”, 可进一步结合实测数据进行验证后在我国推广使用。

参考文献:

- [1] USWSCM. Urban Storm Drainage Design and Criteria, Volume 1, 2, and 3 [M]. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Co., 2010.
- [2] GB 51174—2017, 城镇雨水调蓄工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- GB 51174 – 2017, Technical Code for Urban Stormwater Detention and Retention Engineering[S]. Beijing: China Planning Press, 2017 (in Chinese).
- [3] DB11/T 969—2016, 城市雨水系统规划设计暴雨径流计算标准[S]. 北京: 北京市规划和国土资源管理委员会, 2016.
- DB11/T 969 – 2016, Standard of Rainstorm Runoff Calculation for Urban Storm Drainage System Planning and Design[S]. Beijing: Beijing Municipal Commission

of Planning and Natural Resources, 2016 (in Chinese).

- [4] Guo J C Y. Rational hydrograph method for small urban watersheds[J]. *J Hydrol Eng*, 2001, 6(4): 352–356.
- [5] Guo J C Y. Hydrology-based approach to stormwater detention basin design using new routing schemes [J]. *J Hydrol Eng*, 2004, 9(4): 333–336.



作者简介: 朱一文(1991–), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 研究方向为城市规划。

E-mail: 516424282@qq.com

收稿日期: 2020–01–07