

基于水力模型的雨水排水系统改造方案

牟晋铭

(上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125)

摘 要: 利用 InfoWorks ICM 软件建立上海市某雨水排水系统模型, 根据模拟结果得知排水系统积水原因为排水系统下游总管输水能力不足, 上游管道顶托。据此确定系统改造方案, 并利用模型软件对方案做进一步优化和校核。另外, 与传统水力计算方法相比, 经模型优化后的改造方案具有更好的针对性和经济性, 可直观展示系统改造后的排水效果。

关键词: 雨水排水系统; 改造方案; 水力模型; InfoWorks ICM 软件

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)17-0129-04

Upgrading Scheme of Rainwater Drainage System Based on Hydraulic Model

MU Jin-ming

(Shanghai Urban Construction Design and Research Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: A rainwater drainage system model in Shanghai was established using InfoWorks ICM software. According to the simulation results, the surcharging of the drainage system was the consequence of the insufficient drainage capacity of the downstream sewers. The upgrading scheme was optimized and validated in the model. In comparison with the schemes derived from traditional hydraulic calculations, the upgrading scheme optimized by the hydraulic model was more pertinent and economical, and could intuitively demonstrate the effect of drainage after optimizing of the system.

Key words: rainwater drainage system; upgrading scheme; hydraulic model; InfoWorks ICM software

随着城市化的不断推进,不透水地面比例越来越高,导致地面径流量逐年增大。而市政配套设施发展缓慢,特别是已建排水管道设计标准较低难以满足排水需求。近年来,受极端天气影响,我国城市内涝灾害频发,造成了巨大的经济损失和人员伤亡,给城市排水系统运行管理带来巨大挑战。

由于传统的排水管道设计以恒定流水力公式计算,无法反映排水过程中水量随时间的变化过程,其计算结果与实际情况存在一定偏差。而水力模型软件可利用一维和二维水动力学计算模型,从整体上对城市排水系统进行动态模拟,实时反映系统排

水能力及管道负荷情况,准确分析已建排水系统的积水位置和积水原因,并能模拟系统改造后的排水效果,显著提高低标排水系统改造效率^[1-4]。笔者拟通过 InfoWorks ICM 水力模型软件,以上海市某雨水系统为例,评估其排水能力,优化排水系统提标改造设计方案,节约系统改造成本,旨在为水力模型软件在排水系统积水点改造设计中的应用提供参考。

1 工程概况

上海市某雨水排水系统汇水面积约为 3.44 km²,规划暴雨重现期 P 为 1 年,规划雨水泵站 1 座(规模为 18.5 m³/s)。由于该排水系统设计重现期

较低,部分已建雨水管道管径偏小,汛期积水问题严重,根据最新规范及标准,其设计暴雨重现期 P 拟调整为3年。本研究拟通过水力模型软件,确定积水位置,分析积水原因,优化改造方案,避免大规模拆建,降低改造成本。

2 水力模型构建过程

水力模型建立的关键在于基础资料收集和处理,基础资料越齐全则模拟结果越准确。水力建模需收集排水管道资料(管径、标高等)、地形资料、水文资料、用地性质、径流系数、排放口位置和降雨资料等。将收集的CAD图纸等资料转换为CSV、TIN及SHP等格式文件,将上述处理后的数据导入InfoWorks ICM软件,分别构建1D和2D管网水力模型,结合降雨资料,对排水系统的排水过程进行模拟。水力模型构建步骤见图1。构建的雨水排水系统模型见图2。

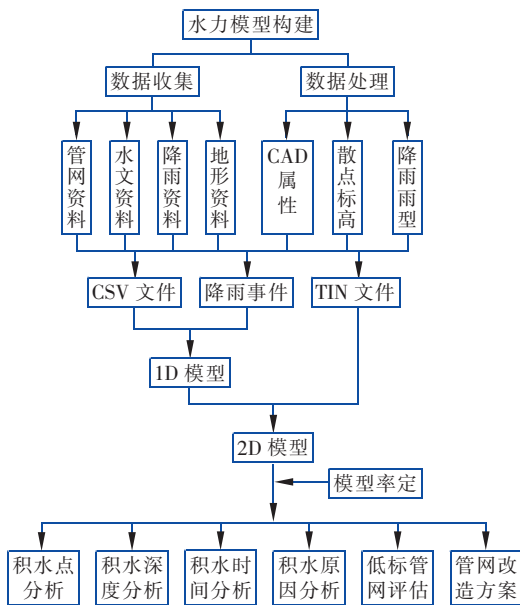


图1 水力模型构建步骤

Fig.1 Construction steps of hydraulic model

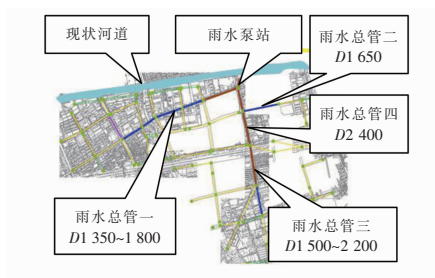


图2 雨水排水系统模型

Fig.2 Rainwater drainage system model

3 降雨事件构建

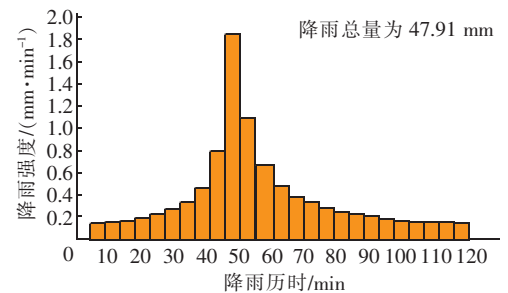
降雨过程线是以一定时段为单位所表示的降雨量在时间上的变化过程,可用曲线或直线图表示。降雨事件一般可根据实测降雨资料或者合成降雨模型等方法确定。但由于降雨资料缺乏,目前国内普遍采用芝加哥降雨过程线,可根据当地暴雨强度公式按不同降雨重现期、降雨历时和雨峰系数绘制降雨过程线^[5-6]。本研究降雨历时取120 min,合成的芝加哥雨型作为降雨事件用于InfoWorks ICM水力模型软件。

上海市设计暴雨强度公式为:

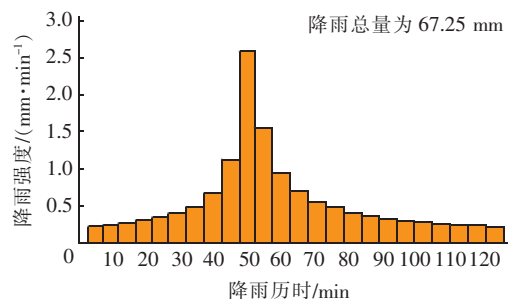
$$q = \frac{1\,600(1 + 0.846 \lg P)}{(t + 7.0)^{0.656}} \quad (1)$$

式中: q 为暴雨强度, $L/(s \cdot \text{hm}^2)$; P 为设计暴雨重现期,年; t 为降雨历时,min。

重现期为1年和3年的降雨过程线见图3。



a. 重现期 $P=1$ 年时降雨过程线



b. 重现期 $P=3$ 年时降雨过程线

图3 重现期为1年和3年时降雨过程线

Fig.3 Rainfall hydrograph with recurrence period of 1 year and 3 years

4 模拟结果与分析

4.1 积水原因分析

现状排水系统模拟结果见图4。如图4(a)所示,当重现期 $P=1$ 年、降雨历时为2 h、模拟径流时间为12 h时,该工况下,大部分雨水管道可满足排水要求,由于部分起始管道管径和坡度较小,出现管道过载情况。根据实际调研结果,该区域现状积水

问题与模拟结果基本一致。

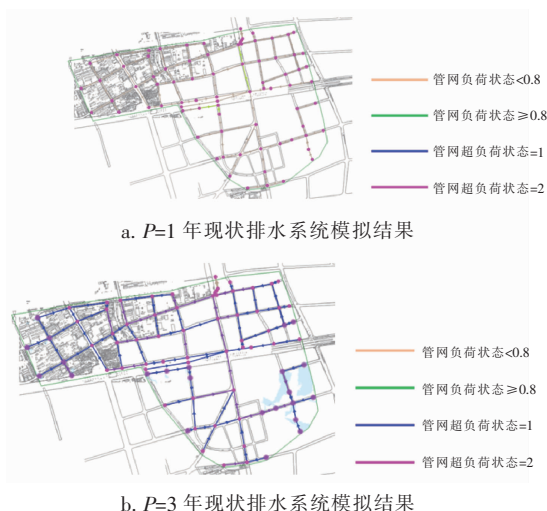


图4 现状排水系统模拟结果

Fig. 4 Simulation results of current drainage system

如图4(b)所示,当重现期 $P=3$ 年、降雨历时为2 h、模拟径流时间为12 h时,该工况下,雨水系统出现大面积积水情况,重现期提高后,由于该系统雨水管道管径过小,不能满足排水要求,导致雨水外溢;另有部分上游管道管径及标高可满足提标后排水需求,但由于下游雨水总管管径过小,导致上游管道积水不能及时排出,出现雨水顶托或外溢。

根据模拟结果,该排水系统在重现期 $P=1$ 年时部分管道已经出现积水问题,且模拟结果的积水位置与实际积水情况基本相符;当重现期 $P=3$ 年时,现状系统无法满足雨水排放要求,且出现大规模积水问题。造成该系统积水的主要原因为雨水管道管径及坡度无法满足雨水排放要求。从节省投资的角度考虑,提标改造方案应以减少改造工程量为原则,合理划分汇水面积,充分利用现有管道,该系统提标改造方案重点在雨水总管。

4.2 优化改造方案

根据InfoWorks ICM软件模拟结果,该排水系统主要积水原因为雨水总管过流断面不满足排水需求。因此,改造方案以提高雨水总管排放能力为基础,合理划分汇水面积,校核上游管道管径及坡度,对满足排水要求的现状排水管道保留、利用。

具体改造方案如下:①将雨水总管一的管径由 $D1\ 350 \sim 1\ 800$ mm调整为 $D1\ 350 \sim 2\ 400$ mm;②将雨水总管二的管径由 $D1\ 650$ mm调整为 $D1\ 800$ mm;③将雨水总管三的管径由 $D1\ 500 \sim 2\ 200$ mm

调整为 $D2\ 000 \sim 2\ 800$ mm;④将雨水泵站规模由 $18.5\ \text{m}^3/\text{s}$ 调整为 $20.4\ \text{m}^3/\text{s}$ 。部分上游雨水管道管径(如雨水总管四)及标高可满足提标后的排水要求,建议予以保留和利用。

根据排水系统改造方案构建水力模型,并在下述条件下对系统排水能力进行评价:重现期 $P=3$ 年、降雨历时为2 h、模拟径流时间为12 h。模拟结果见图5。在该工况下,由于雨水总管四($D2\ 400$ mm)管径较小,无法满足上游雨水排放需求,致使上游管道出现大面积积水情况,需要对雨水总管四($D2\ 400$ mm)管径进行重新核算,将雨水总管四的管径由 $D2\ 400$ mm调整为 $D2\ 800$ mm。

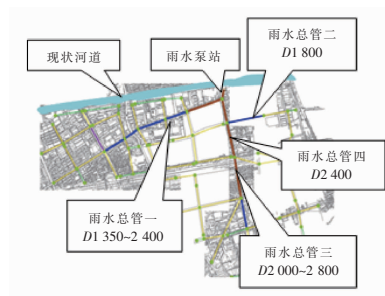


图5 雨水排水系统改造设计方案

Fig. 5 Upgrading scheme of rainwater drainage system

4.3 校核优化改造方案

对优化调整后的改造方案进行重新建模模拟,结果如图6所示。在重现期调整为 $P=3$ 年的条件下,整个排水系统无明显积水点,雨水总管过水能力满足要求,管网几乎无过载情况。

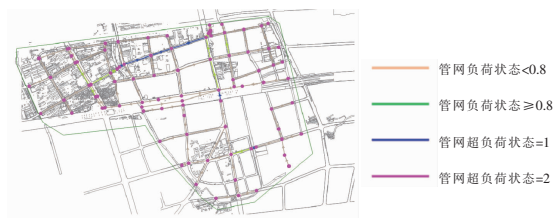


图6 优化方案的模拟结果

Fig. 6 Simulation results of optimization scheme

对于采用传统水力计算方法得到的排水系统改造方案,在重现期 $P=3$ 年时,由于汇水面积划分与汇流过程不符且汇流时间计算值较大,计算结果导致下游部分主管管径偏小而输水能力不足,造成上游顶托雨水不能及时排出,系统局部出现积水情况。而根据InfoWorks ICM软件模拟结果,该系统排水能力主要受限于雨水总管输水能力不足,通过合理地

划分汇水面积,更贴近实际的汇流过程,在充分利用现状达标排水管道的前提下,适当放大雨水系统总管管径,可更好地解决系统积水情况,改造方案比传统水力计算方法有更好的针对性和经济性。

5 结论

① 利用 InfoWorks ICM 软件建立上海某雨水排水系统管网模型,对降雨事件进行全程模拟,可以更好地贴近排水系统实际情况,使改造方案有更好的针对性,且较传统水力计算方法更加精确。

② 通过模拟不同工况的降雨事件,结合水力计算结果,该系统雨水总管管径放大后,部分上游管道管径及标高能够满足提标后排水需求,可予以保留和利用,节约工程投资。

③ InfoWorks ICM 软件可以直观展示排水系统按规划实施后的效果,增加了改造方案的可行性。

参考文献:

- [1] 叶灵. 水力模型在城市排水管网改造设计中的应用[J]. 城市建筑,2014(18):201.
Ye Ling. The application of hydraulic model in the urban drainage pipeline network reconstruction design [J]. Urbanism and Architecture,2014(18):201(in Chinese).
- [2] Elliott A,Trowsdale S. A review of models for low impact urban stormwater drainage[J]. Environmental Modelling & Software,2007,22(3):394-405.
- [3] 赵见,周玉文,李文涛,等. 水力模型在城市污水管网系统改造中的应用[J]. 河北工业科技,2014,31(4):321-325.
Zhao Jian,Zhou Yuwen,Li Wentao,et al. Application of hydraulic model in urban sewage network transformation [J]. Hebei Journal of Industrial Science & Technology, 2014,31(4):321-325(in Chinese).
- [4] 董鲁燕,周永潮,李田. 基于管网水力模型的管道瓶颈判定方法及其应用[J]. 中国给水排水,2009,25(16):46-49.
Dong Luyan,Zhou Yongchao,Li Tian. Diagnosis method of bottleneck pipes based upon hydraulic model of drainage system and its application[J]. China Water & Wastewater,2009,25(16):46-49(in Chinese).
- [5] 董欣,陈吉宁,赵冬泉. SWMM 模型在城市排水系统规划中的应用[J]. 给水排水,2006,32(5):106-109.
Dong Xin,Chen Jining,Zhao Dongquan. Application of SWMM model in urban drainage system planning [J]. Water & Wastewater Engineering, 2006, 32(5):106-109(in Chinese).
- [6] 周玉文,赵洪宾. 排水管网理论与计算[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
Zhou Yuwen,Zhao Hongbin. Theory and Calculation of Drainage Pipe Network [M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2000(in Chinese).



作者简介:牟晋铭(1988-),男,山东日照人,硕士,工程师,主要从事市政排水设计与研究工作。

E-mail:258033396@qq.com

收稿日期:2019-03-12

环境就是民生,青山就是美丽,蓝天也是幸福