

唐文. 基于高程模型和 2D 模型的城区自排系统提标改造方案[J]. 净水技术, 2024, 43(5):158–165, 181.

TANG W. Upgrading and reconstruction scheme of self-draining stormwater system in urban area based on elevation model and 2D model[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(5):158–165, 181.

## 基于高程模型和 2D 模型的城区自排系统提标改造方案

唐 文\*

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘 要** 近年来,已建城区自排系统的提标改造需求日益迫切,但对保留自排模式可行性进行定量分析,或增加分散调蓄设施实现市政系统提标的研究较少。文章以上海市某系统为研究对象,建立数字高程模型并耦合排水模型,通过竖向分析、内涝风险评估等进行定量分析,比选排水模式;并采用总体提标和局部内涝防治相结合的途径,实现系统排水能力达标。研究表明,研究范围内 90% 以上区域可结合城市更新达到自排标高要求;局部高风险积水区可采用“雨水溢流井-调蓄管道-一体化泵井”的分散提标调蓄设施,结合雨水管道翻排有效消除积水。研究可为已建城区自排系统的提标改造提供参考。

**关键词** 自排系统 提标改造 分散式调蓄设施 数字高程模型 InfoWorks 二维模型

中图分类号: TU992 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)05-0158-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.05.018

## Upgrading and Reconstruction Scheme of Self-Draining Stormwater System in Urban Area Based on Elevation Model and 2D Model

TANG Wen\*

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract** In recent years, there has been an increasingly urgent demand for upgrading and reconstructing self-draining systems in existing urban areas. However, there have been few researches on feasibility study of retaining self-draining mode based on quantitative analysis, or upgrading system capacity with decentralized storage facilities. Taking a stormwater system in Shanghai as an example, this research established a digital elevation model coupling with stormwater system model, and conducted quantitative analysis through elevation analysis and flood risk assessment, and compared and selected drainage patterns. Furthermore, in order to achieve system capacity improvement, this research adopted the method of combining overall system improvement and local flood control. The results indicated that over 90% of the research area was able to meet the self-drainage elevation requirements in combination with urban renewal. Besides, combined with stormwater pipe upgrade, the flood in high-risk area could be eliminated with the decentralized detention facilities consisting of overflow structure, detention pipe, and integrated pump well. This research can provide a reference for upgrading and reconstructing self-draining stormwater systems in existing urban areas.

**Keywords** self-draining system upgrading and reconstruction decentralized stormwater detention facility digital elevation model InfoWorks 2D model

近年来,随着全球气候变化及城市化程度提高,我国已建城区内涝现象及风险加剧,现状排水系统标准偏低,无法有效保障排水安全。其中,自排地区由于多随地块开发配套建设,系统布置及竖向高程

控制缺乏系统性,且受河道水位影响较大,更容易出现内涝问题,提标改造需求更加迫切。

《上海市城镇雨水排水规划(2020—2035 年)》(以下简称《雨水规划》),提出了“绿、灰、蓝、管”多措并举的提标思路。目前,已建城区自排系统的排水模式选择多基于对总体或最不利点现状高程的定性分析<sup>[1-3]</sup>,较少采用数字高程模型进行内涝风险分析及排水模式比选。数字高程模型多用于城市尺

[收稿日期] 2023-03-07

[通信作者] 唐文(1992—),女,硕士,工程师,研究方向为市政排水系统规划与设计, E-mail: wentangcareer@126.com。

度的内涝风险评估分析<sup>[4-5]</sup>,较少用于排水系统尺度的研究。采用绿色设施(分散式提标调蓄设施)进行提标的方式目前多应用于强排系统<sup>[6-7]</sup>或地块层级的自排系统<sup>[8-9]</sup>,较少应用于自排市政雨水系统的研究。

本文以上海市某已建城区自排系统为例,通过建立数字高程模型,结合城市更新计划,分析保留自排模式的可行性,并比选排水模式;通过灰绿结合的达标途径,采用雨水管道翻排结合分散式提标调蓄设施作为内涝防治手段。本文可为其他已建自排地区提标改造工程中排水模式比选的定量分析及提标方案的选择提供参考。

## 1 区域概况

本研究选取上海市某综合经济开发区的分流制自排排水系统为研究对象,服务范围约为 8.27 km<sup>2</sup>,区域路网及河网情况如图 1 所示。该开发区于 2003 年成立并启动建设,现状约 70% 建设用地为已建道路或地块,地势总体较低。现状雨水系统随区域建设同步推进,缺乏上位规划指导。现状雨水管径为 DN300~DN1200,管径偏小,实际排水能力低于 1 年一遇的原设计标准,且存在较多倒坡、堵塞、破损等问题,雨天存在多处常发性积水点。区域内近期将基本完成道路新改建及土地出让;部分已建地块规划保留,近期无地坪调整条件。

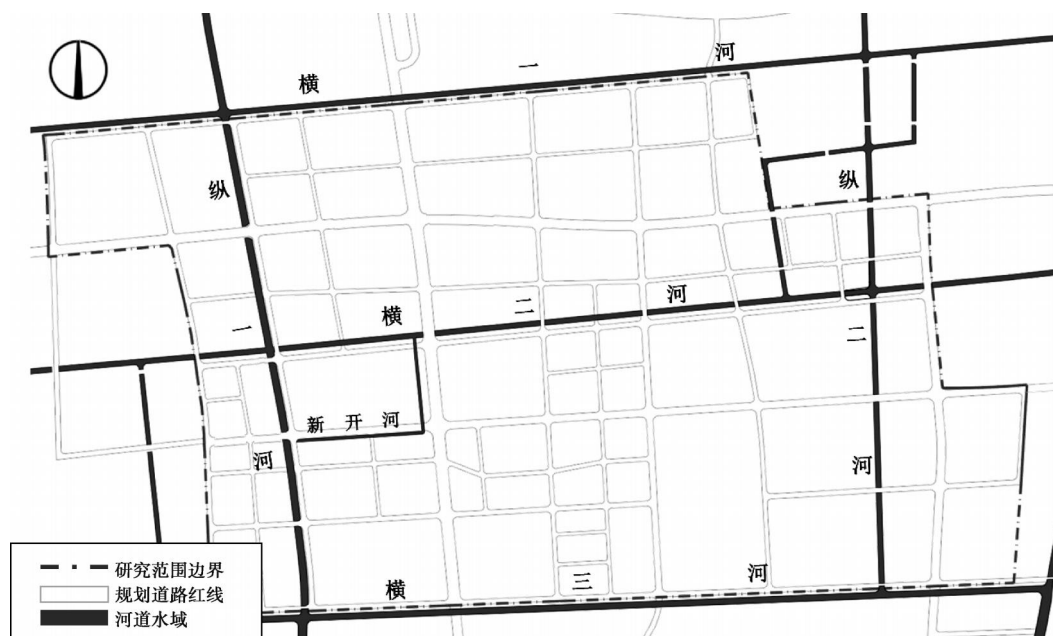


图 1 研究范围总体布局

Fig. 1 Overall Layout of Research Area

为解决区域现状积水问题,提升排水能力,为后续产业发展提供支撑,本研究结合实际情况及条件限制,对区域现状条件进行分析,比选分析不同方案,为该区域形成与其功能定位相匹配的雨水排水系统提供技术方案。

## 2 研究标准与技术路线

系统规划采用 5 年一遇的排水标准,规划综合径流系数为 0.6,接纳水体最高控制水位为 3.75 m。现状河网密度偏低,实际排水距离多处大于 800 m;现状地坪标高为 3.8~4.3 m,整体偏低且存在低洼点。根据《雨水规划》中的内涝风险等级划分标准,现状系统的设计重现期为 1 年一遇,地面与最高控

制水位高差小于 0.8 m,局部小于 0.4 m,属于中高风险区域。因此,系统保留自排模式可能无法完全确保排水安全,需结合竖向高程分析比选排水模式,并基于模型模拟进一步确定提标改造方案。技术路线如图 2 所示。

## 3 排水模式比选研究

采用地理信息系统(GIS)建立现状数字高程模型(图 3),在建地块采用场地设计标高。按照 5 年一遇雨水管道设计下的水力坡降及排水距离生成规划高程模型,并与现状高程模型叠加生成高差分析模型(图 4)。

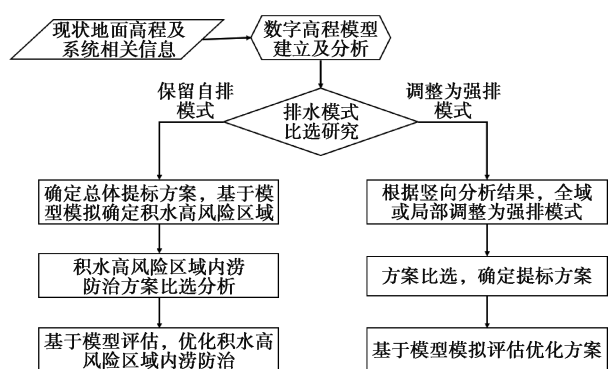


图2 技术路线

Fig. 2 Technical Route

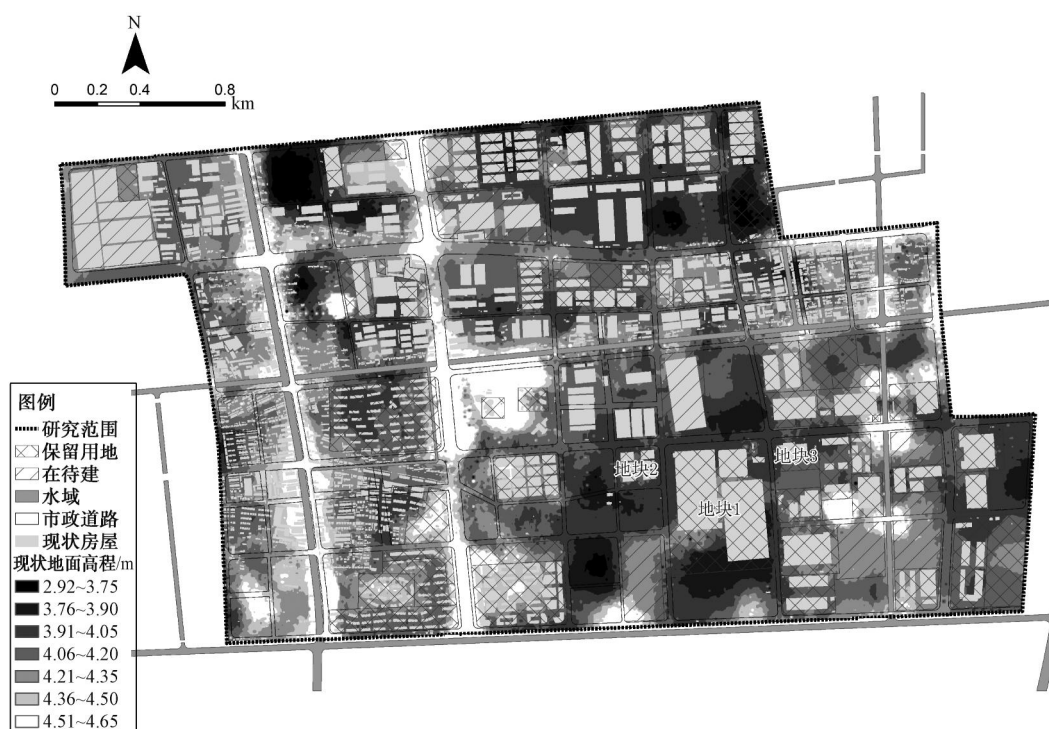


图3 研究范围内现状数字高程模型

Fig. 3 Digital Elevation Model of Current Situation within Research Area

较大,工程投资较高,后期运行维护费用较高;雨水泵站及总管需先行实施,较难与相关工程统筹实施,分期实施性较差。因此,经综合考虑,本研究仍维持自排模式,并针对积水高风险区域采取内涝防治手段。

#### 4 提标改造方案

基于自排排水模式确定系统提标改造方案,分为总体提标方案及高风险区域内涝防治方案:①现状雨水管管径偏小且破损严重,基本无法利用,总体提标方案为全域雨水管道翻排,结合道路工程近期先行完成;②基于总体提标方案,结合地块改建进

考虑到雨水系统设计中有一定余量,将现状标高低于规划高程 0.1 m 以内的区域仍判定为基本可达标。经统计,现状不满足自排模式下规划高程要求的地块占总建设用地面积约 23%,其中:①地块 1、2、3 均规划保留,无抬高条件,为积水高风险地块,占总建设面积约 6%;②其余地块可结合新建工程同步调整地坪标高。可见,研究范围内 90% 以上地块现状或规划可满足自排模式下的规划高程要求。

与自排模式相比,采用强排模式的优势为地块可维持基本现状标高,但需新建雨水泵站,用地需求

度,评估系统排水能力及内涝风险,针对积水高风险区域提出内涝防治方案。

#### 4.1 雨水管道翻排系统排水能力评估

##### 4.1.1 模型构建与率定

采用英国 Walingford 公司研发的 InfoWorks ICM 模型软件,建立一维二维耦合排水模型,服务面积约为 8.27 km<sup>2</sup>。模型主要用于评估雨水管道复核翻排后的系统积水风险,因此,模型构建主要依据翻排后雨水管网,管径为 DN1000~DN1650。同时,为评估地块内积水情况,基于现状管线资料设置街坊管及内部雨水管。模型依据规划用地情况及相关研



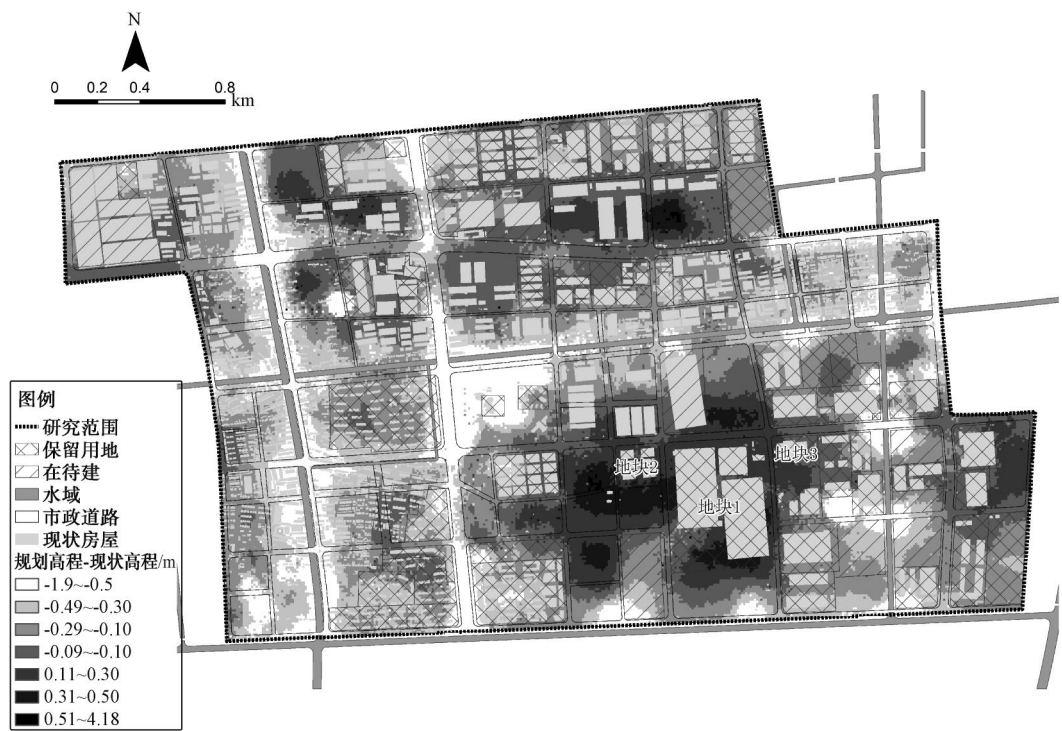


图 4 自排模式下规划高程与现状地形高差分析

Fig. 4 Difference Analysis between Current and Planned Elevation under Self-Draining Mode

究<sup>[10]</sup>,对不透水表面采用固定径流系数法,透水表面采用 Horton 下渗模型,汇流模型采用暴雨管理模型(SWMM)非线性水库法。二维计算网格约为 13 万个,管段数约为 785 根,节点数约为 750 个。

模型主要用于验证规划方案,不具备采用实测数据进行模型参数率定及模拟结果校验的条

件,因此,本研究采用便捷校验方法,对模型可靠性进行分析<sup>[11]</sup>。1、2、3、5、10 年设计降雨(降雨历时为 2 h,模拟时长为 6 h)下,模型理论及模拟径流总量及径流系数如表 1 及图 5 所示,通过比较分析,相对误差在 -8.90% ~ 9.72%,在可接受范围内。

表 1 系统模拟及理论径流总量及径流系数对比

Tab. 1 Comparison of Simulated and Theoretical Total Runoff Volume and Runoff Coefficient

重现期/年	降雨量/mm	理论径流总量/m <sup>3</sup>	模拟径流总量/m <sup>3</sup>	理论径流系数	模拟径流系数	误差
1	48.09	23.86 万	21.74 万	0.60	0.55	-8.89%
2	60.34	29.93 万	27.89 万	0.60	0.56	-6.82%
3	67.50	33.49 万	32.51 万	0.60	0.58	-2.93%
5	76.53	37.97 万	38.99 万	0.60	0.62	+2.69%
10	88.77	44.04 万	48.32 万	0.60	0.66	+9.72%

4.1.2 总体提标方案评估

采用上海不同重现期下的设计降雨,对总体方案实施后的系统排水能力进行评估。模型采用芝加哥雨型,雨峰系数为 0.405,设计重现期为 1~5 年,降雨历时为 2 h;河道控制水位依据上位规划,采用 3.75 m。模拟结果如图 6 所示。

可见,地块维持现状地坪标高及建设状态时,系

统在 1、2、3、5 年设计降雨下均有多处积水,研究范围内总积水量可达 1.60 万、1.77 万、1.95 万、2.31 万 m<sup>3</sup>。积水区域主要为地势较低的现状待开发区域,空间分布与竖向高程分析结果基本吻合,最大积水深度分别为 0.61、0.62、0.64、0.68 m。由于现状待开发区域分布相对分散,对系统有一定滞蓄作用,也对周边已建地块排水能力提升有所帮助。

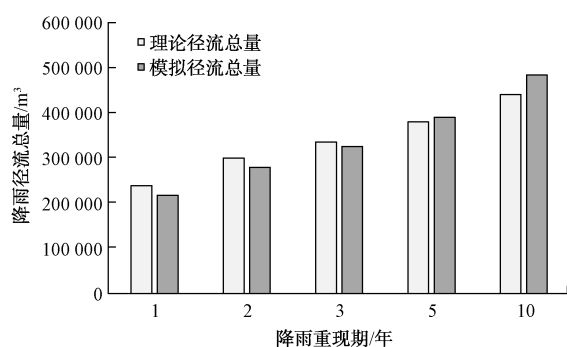


图5 不同设计降雨下模拟与理论径流总量比较

Fig. 5 Comparison of Simulated and Theoretical Total Runoff Volume under Different Design Storms

因此,积水高风险区域中,除地块 2 边缘区域有少量积水,地块 1、3 均无积水。

地块均按规划建成并调整竖向高程后,地块 1、2 成为系统内低洼地,在 5 年一遇降雨下产生积水。其中,地块 1 最大积水量及积水深度分别为  $351.64 \text{ m}^3$  及  $0.073 \text{ m}$ ;地块 2 最大积水量及积水深度分别为  $107.34 \text{ m}^3$  及  $0.10 \text{ m}$ ;地块 3 由于离河道较近,且周边雨水管道管径较大,未发生积水;其余区域无积水现象(图 7)。可见,该工况下,整个系统的最大积水量为  $458.98 \text{ m}^3$ ,最大积水深度为  $0.10 \text{ m}$ 。



图6 总体提标方案实施后系统在 1~5 年一遇设计降雨下积水

Fig. 6 Flood Area Map under 1-Year to 5-Year Design Storms after Overall Upgrading Plan Applied

可见,结合模型评估结果,确定积水高风险地块为地块 1、2,需针对其提出内涝防治方案,且可根据区域建设进展,待周边地块基本完成新改建后实施。

#### 4.2 积水高风险区域内涝防治方案

基于总体提标方案,积水高风险区域的内涝防治方案主要考虑:①缩短排水距离;②增加调蓄空间。同时,由于提标调蓄设施布局对其效果影响显著<sup>[12]</sup>,考虑布置在地块周边及地块内部两种方案。

因此,积水高风险区域内涝防治方案考虑:①增设市政排水明渠方案;②增设市政雨水调蓄方案;③增设地块内部调蓄方案。各方案示意如图 8 所示。

##### 4.2.1 方案一:增设市政排水明渠方案

沿相关道路在红线范围内新开排水明渠,贯通南北两侧河道,可提升高风险区域排水安全,并缩短

周边区域排水距离,降低竖向标高控制要求。采用  $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  钢筋混凝土敞口明渠,总长约为  $1.4 \text{ km}$ ,根据高风险区域位置就近布置在道路一侧  $14 \sim 20 \text{ m}$  宽规划绿化带内;沿线经过 4 个现状路口及 4 个地块出入口,过路段均采用暗埋箱涵,并对现状管线等设施进行改造。

##### 4.2.2 方案二:增设市政雨水调蓄方案

分散式提标调蓄设施占地小,布置灵活,在高度建设地区适用性高<sup>[7]</sup>。与传统调蓄池相比,管道满流后开始调蓄的智能型调蓄设施削峰效果显著提高<sup>[13]</sup>,更适合自排地区雨水管处于满流状态的运行情况。

经综合考虑,分散式提标调蓄设施采用“雨水溢流井-调蓄管道-一体化泵井”的形式,调蓄市政



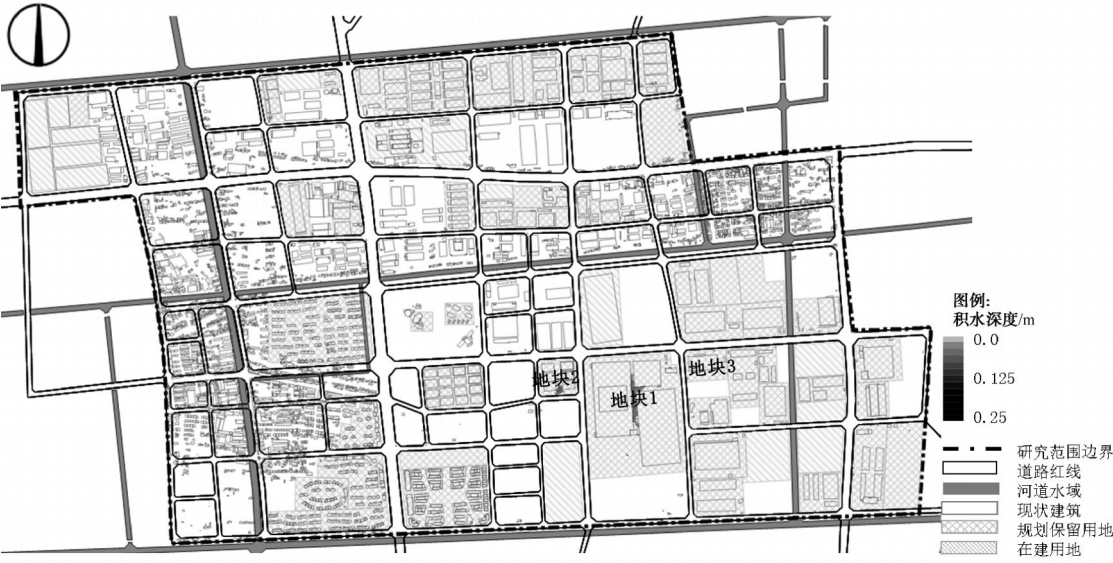


图 7 区域按规划建成后系统在 5 年一遇设计降雨下积水  
Fig. 7 Flood Area Map under 5-Year Design Storm after Research Area Constructed as Planned

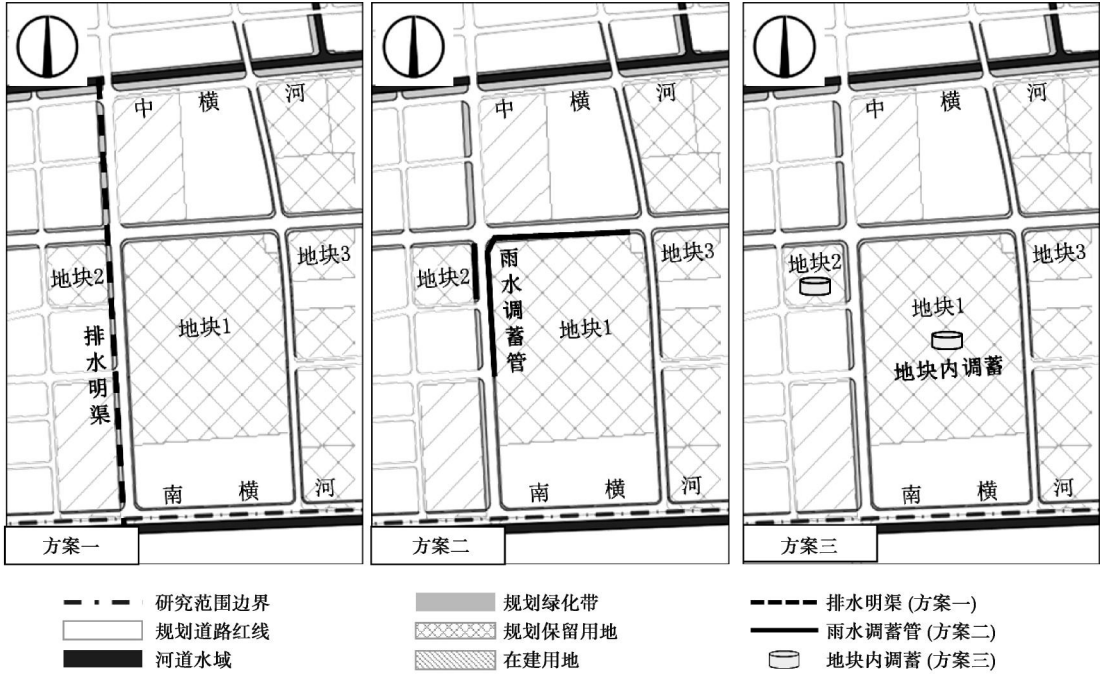


图 8 积水高风险区域内涝防治方案  
Fig. 8 Flood Control Solutions for High Risk Flood Area

系统中的溢流雨水,并在降雨强度减小后将调蓄雨水提升排入市政雨水管道。溢流井设置在地块街坊管接入市政系统处,溢流水位高于河道水位。调蓄设施按《雨水规划》中 1.2 万  $\text{m}^3/\text{km}^2$  的标准配置(表 2),布置在地块 1、2 周边规划绿化带中。设施主要服务积水高风险地块,但对周边地区也有一定

改善作用。  
4.2.3 方案三:增设地块内部调蓄方案  
分别在地块 1、2 内部临近积水点处增设分散式提标调蓄设施,规模与方案二中一致,设施形式可根据地块内情况调整。由于建设及运维主体为地块内企业,该方案需与地块内企业进行沟通并获得支持。

**表 2** 积水高风险地块雨水调蓄设施及规模汇总  
Tab. 2 Summary of Detention Scales and Facilities for High-Risk Areas

积水高风险地块	所需调蓄规模/ $\text{m}^3$	调蓄管管径	调蓄管长度/ $\text{m}$
地块 1	480	DN2000	150
地块 2	3 600	DN2700	700

**表 3** 方案对比分析  
Tab. 3 Comparison and Analysis of Schemes

影响因素		方案一	方案二	方案三
工程效益	排水安全提升	显著,且能降低周边地块抬高要求	显著	显著
工程难度	新增用地需求	无	无	无
	分期建设可行性	较低	较高	较高
	现状设施改造量	较高	较低	较低
	工程协调难度	较高	较低	中等
	后期运维难度	较低	中等	较高
	工程投资	较高	较低	较低
工程影响	社会影响	较大	中等	较小
	施工周期	较长	较短	较短

(2)工程难度方面,各方案新增设施均可布置在规划绿化带或地块内部,对用地规划影响较小。方案一中,排水明渠需先行实施,无法与相关工程统筹考虑;涉及到大量现状管线等设施改造,工程投资及协调难度均较高,但后期运维难度较低。方案二、三均可与雨水管道翻排同步实施,工程投资较低;方案三的实施及运维主体均为企业,协调难度高于方案二。

(3)工程影响方面,方案一涉及大量现状设施改造,施工周期长,对地区交通、环境、企业运行影响大;方案二、三施工周期较短,影响范围较小,其中方案三施工仅影响所涉及地块。

因此,经综合考虑,推荐根据所涉及地块的实际情况,选择方案二或方案三。

#### 4.2.5 高风险区域内涝防治方案效果评估

通过模型模拟对方案二、三进行评估,边界条件同 4.1.2 节“总体提标方案评估”,评估结果如图 9 所示。

可见,5 年一遇降雨下,方案二和三均可明显改善高风险区域积水情况。采用方案二时,地块 1 内部仍有积水,最大积水量及积水深度分别为  $204.47 \text{ m}^3$  及  $0.057 \text{ m}$ 。与不采取高风险区域内涝防治方案相比,方案二对地块 1 的最大积水量削减率约为 41.9%;地块 2 中积水可完全消除,最大积水量削减

#### 4.2.4 方案比选

从工程效益、难度及影响等方面进行方案比选,具体如表 3 所示。

(1)工程效益方面,各方案均可实现排水系统提标。此外,方案一可缩短周边区域排水距离,降低竖向标高控制要求,工程效益略高于方案二、三。

率约为 100%。采用方案三时,地块 1 及地块 2 内部均无积水,最大积水量削减率均为 100%。对于系统整体,采用方案二和三时的最大积水量削减率分别为 55.5% 和 100%。

经分析,方案二中溢流井位于地块雨水系统末端,无法消除内部低洼处内涝问题,需配套施工调整措施,通过设置行泄通道等方式将内部涝水引入雨水调蓄设施。方案三设置溢流井在积水点临近位置,在相同的设施规模下,能更高效改善地块内涝问题。考虑到方案二、三实施主体不同,在与地块内企业及相关单位能够有效沟通并获得支持的情况下,推荐采用方案三;如实施条件暂不成熟,建议采用方案二并配套其他施工调整措施。

## 5 结语

本文以某已建城区自排系统为例,建立数字高程模型及排水模型,分析比选排水模式,并结合分散式提标调蓄设施实现系统提标改造,可为其他已建城区自排系统的提标改造方案提供参考。

(1)基于高程数字模型的竖向分析可用于排水模式研究比选,并确定易涝区域分布,但系统排水能力及规划方案评估仍需耦合排水管网模型。

(2)区域建设情况对系统排水能力及易涝点空间分布有较大影响,因此,在确定排水模式比选、提

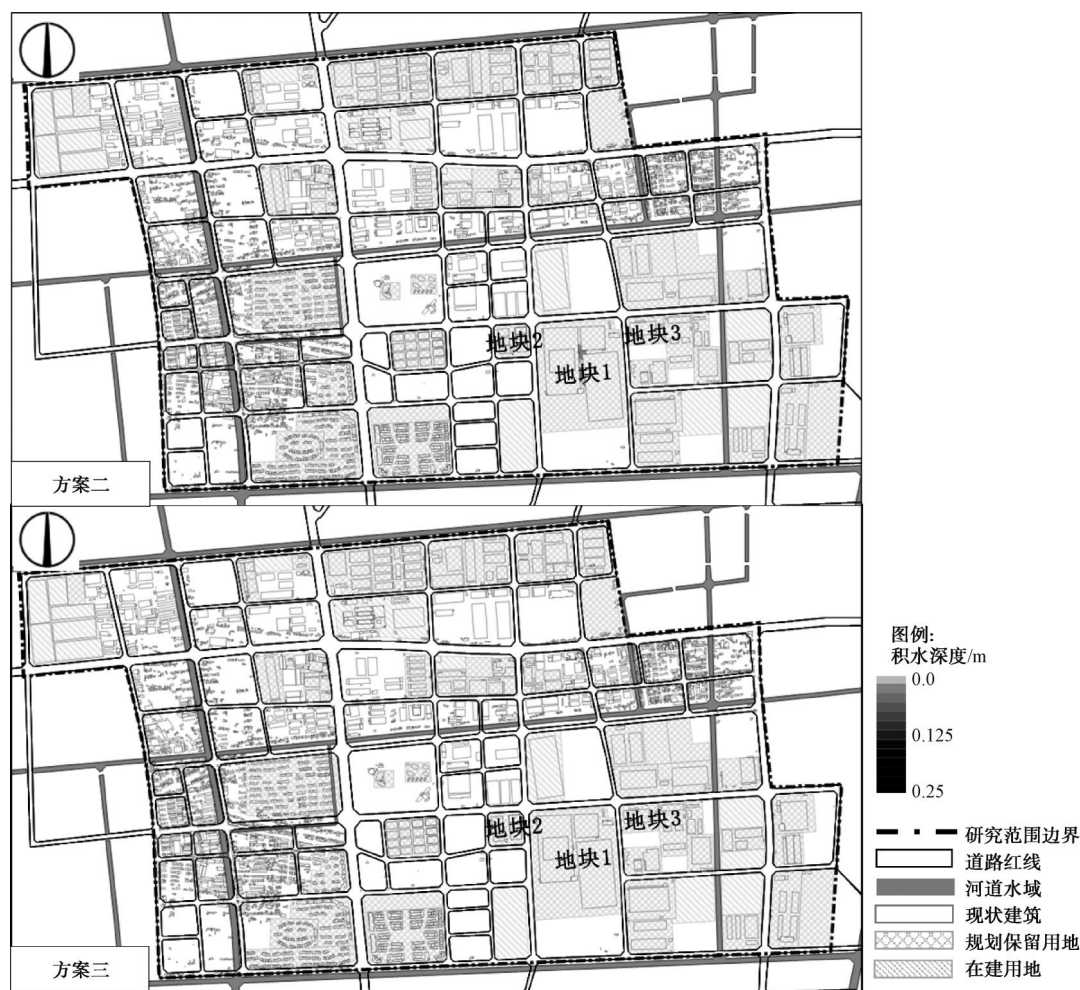


图9 采用方案二及方案三时系统在5年一遇设计降雨下积水

Fig. 9 Waterlogging Area under 5-Year Design Storm with Plan 2 and 3 Applied

标方案及建设时序时建议统筹考虑。

(3) 基于本研究成果,分散式提标调蓄设施可结合雨水管道新改建,有效实现自排系统提标。可采用“雨水溢流井-调蓄管道-一体化泵井”的形式。

### 参考文献

- [1] 梁飞鹏. 老城区雨水排水系统改造工程设计案例[J]. 净水技术, 2021, 40(1): 140-145, 154.  
LIANG F P. An engineering design case of renovation of rainwater drainage system in old urban district [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(1): 140-145, 154.
- [2] 朋四海, 徐连军, 胡昊. 自排雨水排水系统强排改造技术研究[J]. 中国市政工程, 2021(2): 42-45.  
PENG S H, XU L J, HU H. Research on forced drainage reform technology of self-draining rainwater drainage system [J]. China Municipal Engineering, 2021(2): 42-45.
- [3] 董亚萍. 上海市某镇雨水排水系统提标改造规划方案研究[J]. 建材与装饰, 2019(14): 106-107.

DONG Y P. A study case of planning scheme for upgrading and reconstructing a rainwater drainage system in a town in Shanghai [J]. Construction Materials & Decoration, 2019(14): 106-107.

- [4] 徐艺扬, 李昆, 谢玉静, 等. 基于GIS的城市内涝影响因素及多元回归模型研究——以上海为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2018, 57(2): 182-198.  
XU Y Y, LI K, XIE Y J, et al. Studies on the influencing factors and multiple regression model of urban waterlogging based on GIS——A case of Shanghai, China [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2018, 57(2): 182-198.
- [5] 周倩倩, 王和平, 许苗苗, 等. 基于GIS的栅格水文建模法快速评估内涝风险[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 109-113.  
ZHOU Q Q, WANG H P, XU M M, et al. A simplified GIS-based hydrological modeling approach for rapid flood risk assessment [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21): 109-113.

(下转第181页)



- China Water & Wastewater, 2015, 31(2): 62-65.
- [ 2 ] 胡松, 阜崑, 姜若菡, 等. 地下式污水处理厂 MBR 膜污染分析及应对策略[J]. 给水排水, 2021, 47(5): 45-51.  
HU S, FU W, JIANG R H, et al. Analysis and countermeasures of MBR membrane pollution in underground wastewater treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(5): 45-51.
- [ 3 ] 王雪, 戴仲怡, 张晓临, 等. A<sup>2</sup>/O+MBR 工艺用于集约化高排放标准半地下式污水厂 [J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 53-56.  
WANG X, DAI Z Y, ZHANG X L, et al. Application of A<sup>2</sup>/O+MBR process in intensive high discharge standard semi-underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 53-56.
- [ 4 ] 孟涛, 于小强, 宋永健. 青岛某全地下 MBR 污水处理厂的设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(12): 96-100.  
MENG T, YU X Q, SONG Y J. Design of an underground MBR wastewater treatment plant in Qingdao [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(12): 96-100.
- [ 5 ] 于翔, 李捷, 罗凡, 等. AAOA-MBR 工艺在工程中的应用分析[J]. 水处理技术, 2021, 47(3): 133-137.  
YU X, LI J, LUO F, et al. Applied analysis of AAOA-MBR process in actual wastewater treatment project[J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(3): 133-137.
- [ 6 ] 贾海涛, 周厚方, 贺佳杰, 等. 地下式 MBR 污水处理厂运行效果及能耗分析[J]. 给水排水, 2016, 42(8): 40-43.  
JIA H T, ZHOU H F, HE J J, et al. Analysis of operation effect and energy consumption of MBR in underground wastewater treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(8): 40-43.
- [ 7 ] 夏云峰, 赵皇, 周艳, 等. 武汉市某地下式污水处理厂工程设计实例[J]. 净水技术, 2022, 41(2): 56-61.  
XIA Y F, ZHAO H, ZHOU Y, et al. Engineering design case of an underground sewage treatment plant in Wuhan [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2): 56-61.
- [ 8 ] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程(下册)[M]. 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.  
ZHANG Z J, LIN R C, JIN R L. Drainage engineering (volume 2) [M]. 5th ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [ 9 ] 王琦, 樊耀波. 膜生物反应器在污水处理与回用中的能耗分析[J]. 膜科学与技术, 2012, 32(3): 95-103.  
WANG Q, FAN Y B. Analysis of energy consumption in membrane bioreactors for wastewater treatment and reuse [J]. Membrane Science and Technology, 2012, 32(3): 95-103.

## (上接第 165 页)

- [ 6 ] 谭琼, 李田, 张建频, 等. 调蓄池提高已建系统排水能力的水力模拟研究[J]. 给水排水, 2006, 32(9): 34-38.  
TAN Q, LI T, ZHANG J P, et al. Modeling of applying detention tanks to increase drainage capacity for existing sewer system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2006, 32(9): 34-38.
- [ 7 ] 韩松磊, 吕永鹏, 张楠. 海绵城市建设对上海中心城区雨水排水提标的效果研究[J]. 给水排水, 2022, 58(s1): 100-104.  
HAN S L, LÜ Y P, ZHANG N. Effect of sponge city construction to improve the drainage capacity in central Shanghai [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 58(s1): 100-104.
- [ 8 ] 孙铮, 王建龙, 张长鹤, 等. 基于 SWMM 模型的城市已建区排水防涝提标改造途径探讨[J]. 环境工程, 2022, 40(9): 199-207.  
SUN Z, WANG J L, ZHANG C H, et al. Discussion on pathways for capacity upgrading of stormwater drainage and flooding alleviation in developed urban areas based on SWMM [J]. Environmental Engineering, 2022, 40(9): 199-207.
- [ 9 ] 魏媛媛, 李玲, 阎轶婧, 等. 浅层调蓄设施对内涝提标改造贡献率的研究——以南湖小学改造工程为例[J]. 给水排水, 2018, 54(s2): 39-43.  
WEI Y Y, LI L, YAN Y J, et al. Research on contribution rate of shallow storage facilities to waterlogging relief: A case study of Hunan Primary School renovation project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 54(s2): 39-43.
- [ 10 ] 谭琼, 李田, 周永潮, 等. 城市雨水管网模型参数的率定与评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2008(1): 31-35.  
TAN Q, LI T, ZHOU Y C, et al. Calibration and assessment of stormwater system model for urban area [J]. Journal of Hunan University (Natural Science), 2008(1): 31-35.
- [ 11 ] 汉京超. 城市排水管网模型模拟结果准确性的便捷校验方法[J]. 给水排水, 2018, 54(11): 123-127.  
HAN J C. Convenient checkout method on simulation results of urban drainage pipe network model [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 54(11): 123-127.
- [ 12 ] 柯杭. 调蓄设施布局设计模型研究[J]. 城市道桥与防洪, 2022(3): 83-85, 89.  
KE H. Study on layout design model of storage facilities [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2022(3): 83-85, 89.
- [ 13 ] 莫祖澜, 王盼, 朱五星, 等. 海绵城市设施与雨水管道提标调蓄设施的容积换算方法研究[J]. 给水排水, 2022, 48(3): 29-34.  
MO Z L, WANG P, ZHU W X, et al. Volume conversion method for sponge city facilities and storage tank for improving the drainage capacity of stormwater conduit [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(3): 29-34.