

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250882

基于模型计算河道蓄容在雨水排水中的重要性

徐红仙

(上海市奉贤区水务局,上海市 201400)

摘要: 随着上海F新城A单元内X民生项目的建成投产,需要对该项目周边现有的排水系统进行改造升级,以消除区域易涝积水隐患,实现重点道路小时降雨58 mm时不积水,切实保障防汛排水安全。改造方案利用InfoWorks ICM(城市综合流域排水模型软件),论证了方案的合理性和可行性;另外,因河道水系作为区域雨水排水系统的输送或末端承载体,直接影响着排水系统方案的可行性,又采用HEC-RAS软件,分析了河道过流能力。
关键词: 模型计算;河道蓄容;雨水排水;重要性
中图分类号: TU992.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2026)02-0256-05

Importance of Calculating River Storage Capacity in Rainwater Drainage Based on Model

XU Hongxian

(Shanghai Fengxian District Water Bureau, Shanghai 201400, China)

Abstract: With the completion and operation of the X Livelihood Project in Unit A of F New Town in Shanghai, it is necessary to reconstruct and upgrade the existing drainage system around the project to eliminate the regional flood and waterlogging hazards, ensure that key roads are not waterlogged during hourly rainfall of 58 mm, and truly guarantee the flood control and drainage safety. The InfoWorks ICM (urban integrated catchment drainage modeling software) is adopted in the reconstruction scheme to demonstrate the rationality and feasibility of the scheme. Additionally, since the river system serves as the conveyance or terminal carrier of the regional rainwater drainage system, it directly affects the feasibility of the drainage system scheme. The HEC-RAS software is also used to analyze the flow capacity of rivers.
Keywords: model calculation; river storage capacity; rainwater drainage; importance

0 引言

上海F新城A单元雨水排水为自排模式,近年来频繁遭遇暴雨、台风等极端天气事件,导致区域城市排水防涝形势突显严峻复杂。主要原因有两方面:一是周边地形较为平缓,西河—北河—东河—南1河围合区域内规划河道均未实施至规划断面,现状河道的除涝能力有限,且水系间距较大,东河至西河间距2 260 m,南1河至北河间距1 300 m。暴雨时受河道水位顶托,雨水不能及时排放,易形成区域性的地表雨水径流,造成低洼处积水。二是单元内部分道路现状雨水管径偏小,尚未达到规划标准,管道收集和输送能力不足。

1 区域河道布局

X项目周边河道主要为西河、东河、北河、南1

河、南2河。项目区域距西河约1 400 m,距北河约740 m,距东河约860 m,距南1河约560 m,距南2河约1 020 m。雨水排水主要排向东河和南1河。

A单元周边现状河网图见图1。

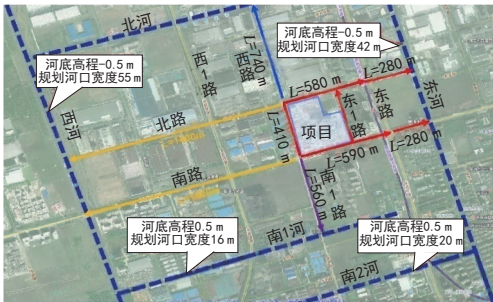


图1 A单元周边现状河网图

改造区域雨水排口位于东河和南1河。东河为南北走向,现状河道宽度20.7~22.0 m,河底标高0.58 m;常水位2.5~2.8 m,除涝最高水位3.75 m,预降最低水位2.0 m。南1河为东西走向,现状河道宽度9.3~11.5 m,河底标高1.00 m,西侧与西河联通,东侧现状未与其他河道联通,暂为断头,河口宽度也暂未按规划实施;常水位2.5~2.8 m,除涝最高水位

收稿日期: 2025-09-05
作者简介: 徐红仙(1974—),女,本科,高级工程师,从事水务建设管理工作。

3.75 m, 预降最低水位 2.0 m。

各河道规模表见表 1。

表 1 各河道规模表							单位:m
河道名称	起点	讫点	长度	河底底宽	河口宽度	河底底高	两侧陆域控制线宽度
西河	北河	上海绕城高速	5 610	28	55	0.5	10
东河	F 新城北边界	上海绕城高速	7 855	10	32	-0.5	10
北河	西河	东河	2 207	8	24	0	6
南 1 河	西河	南 2 河	2 309	2	16	0.5	6
南 2 河	西河	新城四季生态园湖	3 402	6	20	0.5	6

2 区域雨水排水布局

2.1 雨水排水管网现状

现状排水体制基本为雨污分流制。X 项目周边现状雨水管道管径为 DN400 ~ DN1000, 雨水收集后就近排入北河、南 1 河、东河等河道。现状雨水管道仅能满足暴雨重现期 1 ~ 2 a, 雨水系统排水防涝风险较高, 部分区域存在积水现象。项目周边南路机动车道由于翻修, 路面有抬高, 导致项目南路出口处场地标高比路面标高低, 最低处约低于路面 0.6 m, 容易导致市政道路雨水漫流至项目门口。周边道路(如西路、南路)在翻修过程中路面不断加高, 原来设计的立式雨水口逐渐被堵塞, 导致排水困难。

项目周边现状雨水管网分布图见图 2。



图 2 项目周边现状雨水管网分布图

2.2 雨水排水规划情况

2.2.1 设计标准

根据 F 区水利规划, 除涝标准为 20 a 一遇, 采用 1963 年雨型, 24 h 最大面雨量为 201.1 mm。F 区位于上海市水利分片综合治理的“浦东片”南部区域, 区域除涝最高控制平均水位为 3.75 m, 局部最高控制水位为 3.80 m。堤顶高程以抵御 3.75 m 最高水位设防, 根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013), 3 级堤防工程安全加高值为 0.40 m; 同时参照沿线已建护岸墙后堤顶高程及墙后现有地面高程, 最终确定项目堤顶高程不小于 4.30 m。雨水管网按照设计重现期 5 a 一遇的标准。

2.2.2 设计方案

北路(西路—东路)废弃南侧现状 DN300~DN80 雨水管, 按规划新建 DN1500~DN2000 雨水管道, 总长度约 487 m(不含微顶段), 管内底标高为 1.13 ~ 0.54 m, 由西向东采用微型顶管穿越东路后, 接入东侧规划市政道路新建 2 根 DN1600 雨水管道, 最终排入东河。

西路(北路—南路)废弃东侧现状 DN600 雨水管, 按规划新建 DN1000~DN1200 雨水管道, 总长度约 408 m, 管内底标高为 1.93 ~ 1.56 m, 由南向北接入北路新建雨水管中, 最终排入东河; 同时在南端起点与南路雨水管道连通。在南端南路侧与南路以及西路(南路—南 1 河)段连通, 该路口雨水管道局部倒虹, 采用微顶管方式分 2 段施工。第 1 段是从西路(X 项目雨水排口)至南路新建 DN1000 雨水管汇合点处, 采用 DN1000 球墨铸铁管, 长度约 36 m, 管内底标高为 -3.60~-3.64 m; 第 2 段是从南路新建 DN1000 雨水管汇合点处至西路南侧, 采用 DN1200 球墨铸铁管, 长度约 70 m, 管内底标高为 -3.84~-3.89 m。

西路(南路—南 1 河)废弃东侧现状 DN800 雨水管, 新建 DN1350 ~ DN1650 雨水管道, 总长度约 518 m, 管内底标高为 1.33 ~ 0.80 m, 由北向南排入南 1 河, 现状 DN800 雨水管保留利用, 采用开槽埋管方式施工。其中西路(张翁庙路—近南 1 河处)185 m 分 2 段采用微顶工艺实施, 第 1 段自张翁庙路北侧向南, 长约 92 m, DN1500 球墨铸铁管管内底标高 -3.66 ~ -3.71 m; 第 2 段自张翁庙路北侧至现状河塘处, DN1600 球墨铸铁管, 长度约 93 m, 管内底标高 -3.71 ~ -3.76 m。

南路(西路—东路)保留南侧现状 DN400 ~ DN800 雨水管道, 在北侧东 1 路路口东侧新建 DN1000 雨水管道, 总长度约 560 m, 管内底标高为 2.29 ~ 1.89 m, 自东向西汇至西路新建 DN1200 ~ DN1650 雨水管内, 最终排入南 1 河。其中, 在东 1 路路口与南 1 路、北侧现状雨水管道连通。

雨水排水管网设计布置图见图3。

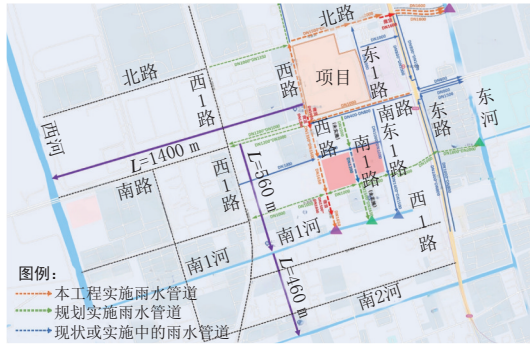


图3 雨水排水管网设计布置图

3 模型论证

方案利用 InfoWorks ICM 对城市雨水系统展开研究,全面分析评估其排水能力,找出管网系统存在的局限。借助一维、二维水动力学计算模型,达成对城市雨水系统的整体、动态模拟,从而为区域雨洪管理提供及时且可靠的决策参考^[1]。

3.1 模型算法

3.1.1 明渠非恒定流

模型计算明渠流的基础公式是圣维南方程组,它由质量守恒和动量守恒的等式构成。假定排水管网里的水流属于不可压缩、无空隙的液体,依据质量守恒定律,在特定时段内,入流断面的流入水量与出流断面的流出水量之差等同于水体体积的增量,由此可得到连续方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

式中: Q 为流量; A 为过水断面面积; x 为管渠长度; t 为时间; q 为旁侧入流量。

通过分析上下游过流断面间各类力所做的功,能够推导出上下断面的动量方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2)$$

式中: g 为重力加速度; Z 为水位; S_f 为摩阻坡度。

Infoworks 模型对圣维南方程组求解,其解为圣维南方程组全解,通常成为动力波解,也就是动力波法^[2],用该方法进行动态模拟的精度高且适用范围广。

3.1.2 压力流

对于超负荷(压力流)的模拟,Infoworks 模型采用 Preissmann Slot 的隐式差分方法,能够仿真各种复杂的水力状况,例如模拟水泵、孔口、堰流等处的出流情况^[2],如式(3)、(4)所示。

$$Q_{j+1} - Q_j + C_j Z_{j+1}^{n+1} + C_j Z_j^{n+1} = D_j \quad (3)$$

$$E_j Q_j + G_j Q_{j+1} + F_j Z_{j+1} - F_j Z_j = \Phi_j \quad (4)$$

其中各参数的计算式为:

$$C_j = \frac{B_{j+\frac{1}{2}}^n \Delta x_j}{2\Delta t \theta} \quad (5)$$

$$D_j = \frac{q_{j+\frac{1}{2}}^n \Delta x_j}{\theta} - \frac{1-\theta}{\theta} (Q_{j+1}^n - Q_j^n) + C_j (Z_{j+1}^n + Z_j^n) \quad (6)$$

$$E_j = \frac{\Delta x_j}{2\theta \Delta t} - (\partial u)_j^n + \left(\frac{g|u|}{2\theta C^2 R} \right)_{j+1}^n \Delta x_j \quad (7)$$

$$G_j = \frac{\Delta x_j}{2\theta \Delta t} - (\partial u)_{j+1}^n + \left(\frac{g|u|}{2\theta C^2 R} \right)_{j+1}^n \Delta x_j \quad (8)$$

$$F_j = (gA)_{j+\frac{1}{2}}^n \quad (9)$$

$$\Phi_j = \frac{\Delta x_j}{2\theta \Delta t} (Q_{j+1}^n + Q_j^n) - \frac{1-\theta}{\theta} \left((\partial u Q)_{j+1}^n - (\partial u Q)_j^n \right) - \frac{1-\theta}{\theta} (gA)_{j+\frac{1}{2}}^n (Z_{j+1}^n - Z_j^n) \quad (10)$$

上述式中: B 为水面宽度; θ 为计算参数,取值0~1; Δt 为模拟计算的时间步长; Δx 为模拟单元的管段长度; n 为时刻; j 为单元空间编号; u 为流速。

3.2 短历时设计雨型的选择

根据《上海市短历时暴雨强度公式修编与设计雨型研究》及上海地方标准《暴雨强度公式与设计雨型标准》(DB31/T-1043—2017),推荐采用芝加哥设计雨型作为上海市短历时设计雨型。120 min 雨型的雨峰位置系数 $r=0.405$,结合暴雨强度公式计算得到相应的 120 min 设计雨型,即为本研究的短历时设计雨型。

3.3 方案模拟参数

汇流模型采用 SWMM 模型,最高水位按 3.75 m,重现期按 5 a 一遇,汇流参数取 0.013。采用固定径流系数法计算雨水径流量,径流量类型为 Fixed,汇入南 1 河排口的子集水区径流系数采用 0.507,汇入东河排口的子集水区径流系数采用 0.554。

3.4 方案模拟研究

在排水管网一维模型的基础上,导入地形数据,建立二维(2D)地表漫流模型。建立 2D 区间并创建网格,将节点的“洪水类型”更改为“2D”,完成管网和 2D 模型的耦合^[3]。图 4 为 $P=5$ a 设计暴雨工况时,峰值条件下系统积水情况。

由图 4 可见,在峰值条件下系统管网大致处于满流状态,排水设施得到了有效利用,区域内西路与南路交叉口处出现短时局部积水点位,积水深度为 0.05 ~ 0.10 m,退水时间约 35 min,其余地方无积水。

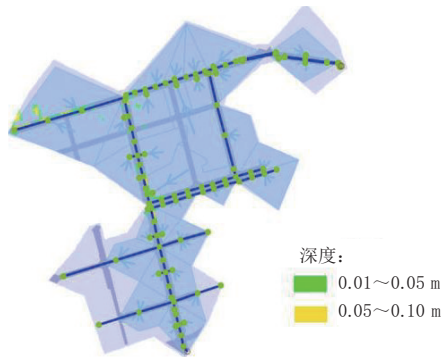


图 4 模型验证:5 a 一遇条件下无地面积水

现象,系统设计基本能达到标准。

4 河道承载能力分析

4.1 河道工程设计范围和内容

X 项目拟建东 1 路雨水排口和西路雨水排口,涉及 2 条河道,分别为东河和南 1 河。因南 1 河涉及区域的水系调整方案在同步编制中,本次工程现状河道护岸方案暂不考虑。本次河道工程设计内容仅为东河堤防护岸设计,同时复核南 1 河现状过流能力,提出相应处置措施等。

4.2 排涝分区

根据现状南 1 河排涝分区及西路、东 1 路、南 1 路等两侧地块的开发规划,分片计算各地块的设计排涝流量。根据各排口排入南 1 河位置,设置不同计算断面,分段计算各断面设计流量。

按照规划的地块开发程度,分为现状、近期规划、远期规划 3 种工况。

4.2.1 现状工况

汇水范围内仅北侧东 1 路、南 1 路管网建成排放,按目前地块开发成熟度,此工况排放量为现状西路及其他排口现状排放量与新建西路、东 1 路、南 1 路排口现状排放量之和。

4.2.2 近期规划工况

汇水范围内仅北侧东 1 路、南 1 路管网建成排放(地块开发到位)。此工况排放量为现状西路及其他排口现状排放量与新建西路、新建南 1 路、新建东 1 路规划排放量之和。

4.2.3 远期规划工况

汇水范围内按规划全部实施到位(含地块开发到位)。此工况排放量为其他排口、新建西路、新建南 1 路、新建东 1 路规划排放量之和。

南 1 河各汇水分区流量和南 1 河各控制断面流量见表 2、表 3。

表 2 南 1 河各汇水分区流量

分区计算范围	汇水面积/hm ²	设计排涝流量/(m ³ ·s ⁻¹)
X 项目地块	36.00	4.0
规划东 1 路周边	9.98	1.1
规划南 1 路周边	8.34	1.0
规划西路周边	24.40	3.0
南 1 河干流周边	65.00	7.7

表 3 南 1 河各控制断面流量

控制断面位置	设计流量/(m ³ ·s ⁻¹)		
	现状	近期规划	远期规划
东 1 路排口	1.1	1.1	1.1
南 1 路排口	1.1	2.1	2.1
西路排口	1.1	2.1	8.1
西 1 路排口	4.1	5.1	11.1
汇入西河	5.7	7.7	12.8

4.3 南 1 河河道水力计算

为复核南 1 河的现状及疏浚工程后的河道过流能力,建立南 1 河总长 1 770 m 的现状河段河道水力模型。

4.3.1 计算原理及模型

采用 HEC-RAS 软件的一维河道水力模型,明渠恒定流计算模块,计算河道设计水面线。一维恒定流水面线可通过求解能量方程来获得,逐断面依次计算。表达式为^[4]:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (11)$$

式中:Y₁、Y₂为横断面处的水深,m;Z₁、Z₂为主河槽的高程,m;α₁、α₂为流速加权系数;v₁、v₂为平均速度(总流量/过流面积),m/s;g 为重力加速度,m/s²;h_e为水头损失,m。

4.3.2 计算成果分析

疏浚工程前后的各工况设计水位见表 4、表 5。

表 4 疏浚前各工况设计水位 单位:m

断面位置	现状	近期规划	远期规划	主槽顶高程	岸顶高程
东 1 路排口	3.84	4.24	5.12	3.10	4.60
南 1 路排口	3.83	4.23	5.11	3.05	4.55
西路排口	3.82	4.22	5.10	3.05	4.50
西 1 路排口	3.79	4.19	5.07	3.05	3.90
汇入西河	3.77	4.16	5.04	3.00	4.20

表 5 疏浚后各工况设计水位 单位:m

断面位置	现状	近期规划	远期规划	主槽顶高程	岸顶高程
东 1 路排口	3.17	3.59	4.64	3.10	4.60
南 1 路排口	3.16	3.58	4.63	3.05	4.55
西路排口	3.15	3.57	4.62	3.05	4.50
西 1 路排口	3.12	3.54	4.59	3.05	3.90
汇入西河	3.09	3.49	4.55	3.00	4.20

由表4可见:疏浚工程前,现状工况下的河道最高水位为3.77~3.84 m,已超过除涝最高控制水位3.75 m,说明现状河道的过流能力在疏浚工程前已不满足除涝要求。若保持现状,则远期规划工况下的河道水位达5 m左右,已远远超过河岸顶高程,河水将漫过岸顶到达路上,形成至少0.5 m积水,发生较严重的内涝。

由表5可见,疏浚工程后,河道过流能力稍有改善,现状工况下的河道最高水位为3.17~3.09 m,虽然未达到除涝最高控制水位,但也超过主槽顶高程和排水口高程,而这将造成雨水管网排水不畅,若持续时间较长,也存在内涝风险。且远期规划工况下的河道水位已超过4.6 m,略超过河岸顶高程,河水将漫过岸顶到达路上,形成至少0.1~0.5 m积水,发生较明显的内涝。

4.3.3 河道过流能力复核结果与建议

在不受下游河道水位顶托的情况下,南1河在不拓宽但疏浚后可基本满足当前情况下雨水排放的要求。随着西路、东1路、南1路两侧地块的逐步开发,现状南1河将无法满排水需求。结合复核结果,提出以下4条建议:

(1)尽快启动实施南1河的拓宽和连通工程。南1河现状过流能力十分有限,随着周边地块的开发成熟以及配套雨水管网的完善,雨水的排放需求将远远超过现状南1河的排放能力,因此亟需进行南1河的拓宽及其与淀港的连通。

(2)本区域内地块开发时建议地块控制标高不小于5.0 m,并结合海绵城市建设,增加绿色源头雨水调蓄设施,降低地块外排水水量和瞬时流量,从而降低区域内雨水管网和河道的排水压力。

(3)根据模型验证结果,在5 a一遇规划条件,并叠加河道高水位(除涝控制水位3.75 m)的情况下,西路(北路—南路)沿线低洼处有短期积水风险,建议后续道路在改建时,提升现状低洼处路面的标高(不小于4.65 m),以降低积水风险。同时建议本工程周边路网在将来改扩建时适当考虑海绵城市相关内容,以降低路面雨水径流量。

(4)方案采用的雨水设计重现期为5 a一遇,路段下设计管径较大,在大部分时间流量达不到5 a一遇条件时,管道淤积的可能性较高。为保证管网系统应对大雨及暴雨情况,建议增加管道养护疏通频率。

5 结 语

雨水排水系统直接影响着区域防汛除涝安全,需要统筹河道水网、统筹竖向标高、排水管网建设与养护、海绵措施等内容。尤其河道水网作为系统输送或末端承载体,在雨季是有序排泄水体,防止其泛滥淹没城镇和农田的天然通道,而河道两旁的湿地和植被能缓冲洪水流速,削弱洪水破坏力,保护生命财产与安全。总之,河道水网的布局与日常养护直接影响了雨水排水系统建设方案的可行性和建后正常运行。

参考文献:

- [1] 汉京超.城市雨水径流污染特征及排水系统模拟优化研究[D].上海:复旦大学,2013.
- [2] 陈云路,李鹏程,丁钰力.基于Infoworks模型的调蓄池效果评估研究——以中国南方某城市典型地区为例[J].四川环境,2021,40(6):29-34.
- [3] 薛蕊.基于Infoworks ICM模型的某排水系统洪涝模拟及改造方案研究[J].中国防汛抗旱,2024,34(增刊1):28-31.
- [4] 宋晨.HEC-RAS模型在南汀河防洪评价中的应用[J].甘肃水利水电技术,2013,49(8):26-30.
- [7] 黄云涌,邵腊庚,刘朝晖.沥青路面抗滑试验研究[J].公路交通科技,2002(3):5-8.
- [8] 蒋玮,沙爱民,肖晶晶,等.多孔沥青混合料PAC-13空隙率预估模型[J].武汉理工大学学报,2011(11):55-59.
- [9] 蒋玮,沙爱民,肖晶晶,等.透水沥青路面的储水渗透模型与效能[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(1):72-77.
- [10] 沙爱民.环保型路面材料与结构[M].北京:科学出版社,2012.
- [11] 15MR205 城市道路—环保型道路路面[S].
- [12] CJJ 169—2012 城镇道路路面设计规范[S].
- [13] DBJT 08-128—2019 海绵城市建设技术标准图集[S].
- [14] DG/TJ 08-2074—2016 道路排水性沥青路面技术规程[S].
- [15] CJJT 190—2012 透水沥青路面技术规程[S].

(上接第244页)

集水管管径来提升排水性沥青路面的径流控制水平。

参考文献:

- [1] 郭黎黎.大空隙排水性沥青路面耐久性研究[D].西安:长安大学,2010.
- [2] 文湘.透水性沥青混合料耐久性研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [3] DG/TJ 08-2298—2019 海绵城市建设技术规范[S].
- [4] 伍石生.低噪音沥青路面施工与养护[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [5] 赵文娇,李晓娟,韩森.排水性沥青混凝土路面空隙率研究[J].公路,2009(6):168-171.
- [6] 王琛,陈亚杰.OGFC沥青混合料级配对路用性能的影响[J].公路交通科技(应用技术版),2011,7(10):5-7.