

# 城区防洪排涝模型在镇江市的应用

高焕芝<sup>1</sup>,洪 涛<sup>1</sup>,陈 凯<sup>2</sup>,秦建平<sup>1</sup>

(1. 镇江市工程勘测设计研究院,江苏 镇江 212003; 2. 南京慧水软件科技有限公司,江苏 南京 210000)

**摘要:**镇江城市防洪排涝管理中引入城区防洪排涝模型,综合介绍了城区防洪排涝模型及其在镇江城市典型片区的应用。依托数字流域系统应用开发软件,将已建成的镇江城市水文水动力模型与城市雨洪模型的耦合,建立城区防洪排涝模型,对城区排水系统情况进行模拟,从而为城区排水、防洪系统的规划设计与改造以及城市防洪排涝管理提供技术支持。

**关键词:**防洪排涝; 防洪排涝模型; 模型耦合; 镇江市

中图分类号:TV211

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)03-0041-0005

## Application of urban Flood control and drainage model in Zhenjiang city

GAO Huanzhi<sup>1</sup>, HONG Tao<sup>1</sup>, CHEN Kai<sup>2</sup>, QIN Jianping<sup>2</sup>

(1. Zhenjiang Engineering Investigation, Design and Research Institute, Zhenjiang 212003, China;

2. Nanjing Huishui Software Technology Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

**Abstract:** The urban flood control and drainage model is introduced into the urban flood control and drainage management of Zhenjiang, and the urban flood control and drainage model and its application in typical urban areas of Zhenjiang are comprehensively introduced. Based on the application development software of digital watershed system, the urban flood control and drainage model is established by coupling the urban hydrological and hydrodynamic model of Zhenjiang with the urban rain and flood model. With this model, the urban drainage system was simulated. By this way, some technical supports can be provided for the planning, design and transformation of urban drainage and flood control system, as well as urban flood control and drainage management.

**Key words:** flood control and drainage; flood control and drainage model; model couple; Zhenjiang City

## 0 引 言

在城区管道排水数字化模拟方面,国内外目前已有许多较为成熟软件,如SWMM、STORM、MOUSE、HydroWorks等,大量地应用于实际的城市排水系统模拟中。有学者利用RisUrSim模型模拟了德国Kaiserslautern的城市排水,利用MOUSE模型模拟了曼谷Sukhumvit小流域的城市排水<sup>[1]</sup>,Drew Mihoeko等<sup>[2]</sup>建立了费城城区的排水管理系统。但在模拟城市大范围排水管网或地表积水等情况的实际应用时,这些软件都因无法实现区域淹没可视化而显得不够完美。解以扬等<sup>[3]</sup>创建了城市暴雨内涝数学模型,并通过天津、南京、南昌3个城市的暴雨

过程进行验证。仇劲卫等<sup>[4]</sup>将城市洪涝模拟与气象预报监测结合,对天津市暴雨内涝情景进行了模拟验证。耿艳芬<sup>[5]</sup>将地表径流模型和排水管网模型相联系,形成一、二维相耦合的城市雨洪模型,但对排水地下管网与城市防洪大河网水系之间关联关系重视不够。本文着重对此加以改进,将镇江市城市水文水动力模型与城市雨洪模型进行耦合,建立城区防洪排涝模型,并应用于镇江城市典型片区江滨片区。

## 1 城区防洪排涝模型介绍

### 1.1 城区汇水零维区域及积水模拟

城市水文单元,作为一个独立的城市汇水区

收稿日期:2021-10-21

基金项目:江苏省水利科技项目(2014072、2017021)

作者简介:高焕芝(1980—),女,高级工程师,博士,主要从事水利规划设计工作。E-mail:1806943129@qq.com。

域,其间地形起伏不平,在地势低洼的地方易形成积水。这种水文特点和众多内部河道的存在,使城市水文单元自身具有对降雨产流进行再次调蓄的能力。因此,可以将城区产流在进入雨水井之前的阶段概化为经过零维区域调蓄的过程。

当城区河网水位高于内部地表,管道出口淹没于河道水位之下,城区强排能力不足,会产生河网水位对于管网系统水位的顶托作用。此时管道发生满溢,认为溢出的流量汇入区域零维要素中,根据零维要素的水量变化推断城区的对应水位。

零维区域模拟积水技术过程见图1,零维调蓄填洼示意图2。

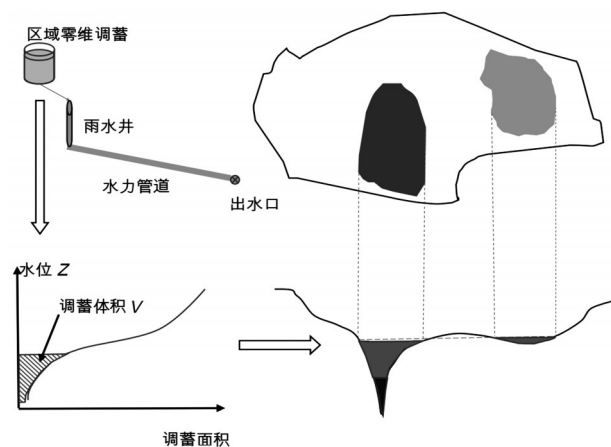


图1 零维区域模拟积水技术过程

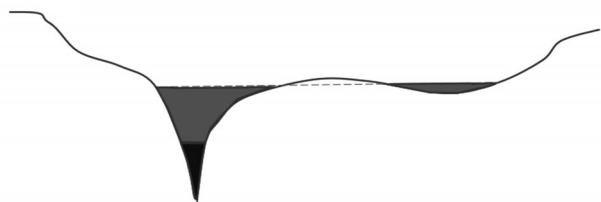


图2 零维调蓄填洼示意

## 1.2 雨水井概化和连通

(1)对于雨水井的通过流量,采用雨水井流量计算公式:

$$\text{当篦前水深较浅,即 } H_0 < 1.33 \left( \frac{W_{\text{pew}}}{L_{\text{pew}}} \right) \text{ 时,} \\ Q_{\text{pew}} = 1.55 \times L_{\text{pew}} \times H^{1.5} \quad (1)$$

$$\text{当篦面布满水,即 } H_0 > 1.33 \left( \frac{W_{\text{pew}}}{L_{\text{pew}}} \right) \text{ 时,} \\ Q_{\text{pew}} = 2 \times W_{\text{pew}} \times H^{0.5} \quad (2)$$

式中:  $H_0 = H + \frac{\alpha v^2}{2g}$ ;  $H$  为篦前街沟水深;  $v$  为水流至篦时的流速, m/s;  $\alpha$  为 *Kopuowc* 系数;  $W_{\text{pew}}$  为雨篦孔

口面积,  $\text{m}^2$ ;  $L_{\text{pew}}$  为进水的篦边长(即  $2B+C$ ), m。

(2)对于通过雨水井进入管道的流量,可以采用如下通用公式计算:

$$Q = \varphi^n H_s^n B \sqrt{2g(Z_{N1}^n - Z_{L1}^n)} \quad (3)$$

线性化后得到雨水井汇入流量为

$$Q_{\text{fall}} = \varphi^n H_s^n B \sqrt{\frac{2g}{Z_{N1}^n - Z_{L1}^n}} (Z_{N1} - Z_{L1}) \quad (4)$$

式中:针对河网公式与雨水井地表水位  $Z_{N1}$  及出水口河道水位  $Z_{N2}$  建立关系:

$$\begin{cases} Q_i = \alpha'_i + \beta'_i Z_i + \zeta'_i Z_{N2} \\ Q_i = \theta_i + \eta'_i Z_i + \gamma'_i Z_{N1} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $\theta'_i = \left( 1 - \frac{\gamma_i}{\varphi' + \gamma_i} \right) \theta_i$

$$\eta'_i = \left( 1 - \frac{\gamma_i}{\varphi' + \gamma_i} \right) \eta_i$$

$$\gamma'_i = \frac{\gamma_i}{\varphi' + \gamma_i} \varphi'$$

$$\alpha'_i = \left( 1 + \frac{\zeta_i}{\varphi'' - \zeta_i} \right) \alpha_i$$

$$\beta'_i = \left( 1 + \frac{\zeta_i}{\varphi'' - \zeta_i} \right) \beta_i$$

$$\zeta'_i = \frac{\zeta_i}{\varphi'' - \zeta_i} \varphi''$$

$$\varphi' = \varphi^n H_s^n B \sqrt{\frac{2g}{Z_{N1}^n - Z_{L1}^n}}, \text{ 为雨水井过堰流量系数,}$$

其中分为淹没与自由出流而不同。正常情况下落差大,为自由出流系数居多,满溢时可能为淹没出流。

$$\varphi'' = \varphi^n A_s \sqrt{\frac{2g}{Z_{L2}^n - Z_{L2}^n}}, \text{ 为与河道衔接出水口流量}$$

系数,其中  $\varphi''$  分为孔流与管嘴出流而不同。

## 1.3 管网与河网耦合

采用如下简化四点线性隐格式方法对圣维南方程进行差分离散。

### 1.3.1 明渠和有压管流

两组圣维南方程组形式上的区别在于摩阻项,最终二者形式上可统一写作:

$$f \cdot \text{sgn}(u) = g \frac{Q|Q|}{AC^2 R} \quad (6)$$

式中:  $C$  为谢才系数;  $A$  为当量面积;  $R$  为水力半径;  $Q$  为通过断面的流量。

### 1.3.2 管渠的明满过渡流方程

考虑了当量压缩模数,并统一了摩阻项和水面宽度(当量宽度)的表达式后,明渠、满管流、明满过渡流三者统一方程组为

$$\begin{cases} B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Qu)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{AC^2 R} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

## 2 应用实例

### 2.1 自然地理条件

镇江城市北靠长江,南倚宁镇山脉,地理位置优越,是重要的交通、港口和新型产业聚集中心,长江经济带上联动南北的区域中心城市。2019年,镇江市户籍人口为102.97万人,地区生产总值达到1 856.02亿元。镇江市水系发达,共有87条重要河道、27座在册水库及31处重要城市水域,城市生态良好,2015年入选国家首批海绵城市建设试点城市。主城区位于市区北部沿江,现状建成区面积约140 km<sup>2</sup>。镇江北部长江流域洪水绕城而下,南部山洪短时间内穿城入江,城市腹背皆受洪水威胁,城市防洪任务复杂艰巨。

典型研究区域位于镇江城市建成区的京口区,北临金山湖,南至东吴路,西从滨水路,东至虹桥港,总面积约2.1 km<sup>2</sup>。片区内分布有居民小区、商业店铺、文化广场等设施。

### 2.2 模型概化

#### 2.2.1 雨水井及汇水区的概化与连通

城区产生的地面径流在汇入零维要素之后,再通过雨水井进入管道中。雨水井的水力学要素可以通过雨水篦子数据获得。国家标准的雨水口篦子,尺寸为750 mm×450 mm,外框尺寸是872 mm×572 mm,净空402 mm×702 mm,适用于380 mm×680 mm或400 mm×700 mm的雨水口使用。

本次研究收集了镇江江滨片区研究区域内的雨篦子信息,并加以分析整理成模型规范格式,导入系统中,如图4所示,共计858个雨水口,总净面积83.25 m<sup>2</sup>,平均面积为0.097 m<sup>2</sup>。

模型汇水区的划分充分考虑雨水管网实际汇流方式,采用片区实测DEM高程、道路及雨水口位置等信息概化而成,模型生成各雨水井的汇水区域如图3、图4所示。

#### 2.2.2 管道概化

本次研究收集江滨片区管道共计366段,根据所收集的每段管道信息,经过整合连接概化管道共计21条。

#### 2.2.3 管网与河网耦合

江滨片区内地形南高北低,内部无河道,片区

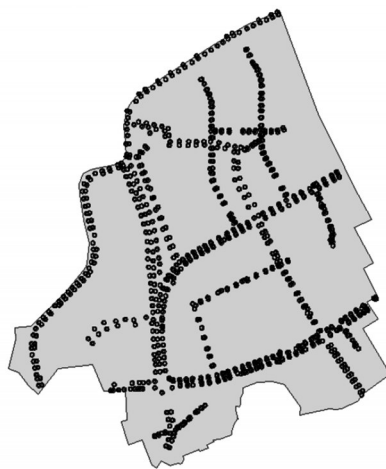


图3 城区雨水井概化图

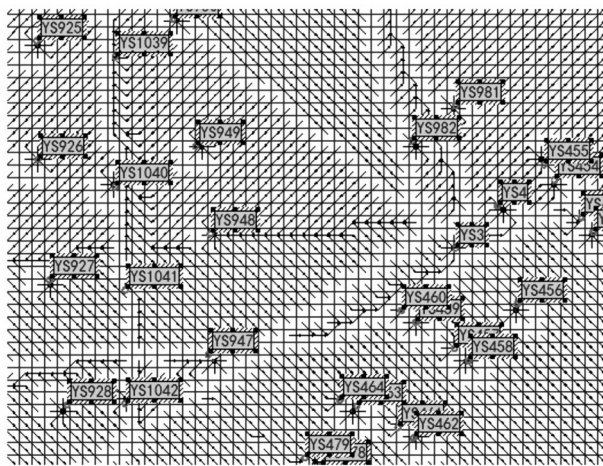


图4 城区雨水井汇水区域概化图

雨水由地下雨水管网搜集,排入金山湖。江滨片区的管网入金山湖共设置了5个出水口。

### 2.3 模型率定

本次模型概化了镇江江滨片区范围内的管网和河网,并将其进行耦合,由于管网对象的特殊性,管道内部水位流量情况无法获知,因此针对管网模型的率定只能从设计暴雨下江滨片区地面的现状积水情况方面进行考虑。模型采用2015年6月2日14:00至16:30实测降雨水位进行江滨片区管网的率定工作。基于镇江市城市防洪规划已经建立的模型相关参数,结合本次率定结果,共率定城区糙率、洼地最大拦蓄量等13项参数。

模型多次调试后,模拟成果显示该场降雨下,江滨片区地面有明显的积水,其中江滨路、梦溪路、东吴路以及古城路包围区域积水相对严重,积水深度集中分布在5~25 cm范围内,小范围地区积水深度超过50 cm。与现场调研了解到2015年6月2日



降雨江滨片区地面积水情况基本一致。

## 2.4 模拟成果

### 2.4.1 设计方案

本次研究重点考虑管网1年、2年、3年、5年一遇设计暴雨情况下的管道排水及地面积水情况,选取1年、2年、3年和5年一遇作为本次计算方案,河网边界条件采用金山湖常水位5.8 m和持续高水位7.5 m两种情况,共组合为8种设计方案。

### 2.4.2 计算成果

经计算分析,江滨片区管道满足1年一遇设计标准的约占64.55%,积水面积0.175 km<sup>2</sup>,约占总面积的8.37%;满足2年一遇设计标准的约占59.09%,积水面积0.234 km<sup>2</sup>,约占总面积的11.20%;满足3年一遇设计标准的约占52.73%,积水面积0.259 km<sup>2</sup>,约占总面积的12.39%;满足5年一遇设计标准约占41.18%,积水面积0.324 km<sup>2</sup>,约占总面积的15.50%。

当金山湖水位达到7.5 m时,边界水位发生倒灌,江滨片区管道满足1年一遇设计标准的约占39.09%,积水面积0.317 km<sup>2</sup>,约占总面积的15.17%;满足2年一遇设计标准的约占38.18%,积水面积0.353 km<sup>2</sup>,约占总面积的16.89%;满足3年一遇设计标准的约占36.36%,积水面积0.379 km<sup>2</sup>,约占总面积的18.13%;满足5年一遇设计标准约占34.55%,积水面积0.424 km<sup>2</sup>,约占总面积的20.29%。

不同设计工况城区管网排水模拟成果统计见表1。

### 2.4.3 成果分析

根据前述江滨片区城区排水雨洪模型模拟计算分析成果,为改善江滨片区排水条件,保护江滨片区内重要基础设施安全,建议采取以下措施。

(1)尽快落实地下排水管道提标改造计划,结合模型模拟成果可明确针对性改造片区和位置。建设与城市发展进程相匹配的城市排水体系,提高

片区管道排水能力。江滨片区人口集中,商业发达,防洪排涝保障需求高,而目前该片区管网排水能力达到1年一遇设计标准的仅为64.55%,尚有超过1/3的排水管网过流能力不足1年一遇。建议城市实施管网建设时,优先考虑江滨片区,优先改造增大或扩充不满足设计标准区域的管道。

(2)建议江滨片区位于镇江市海绵城市建设试点区范围内,并在该片区内积极推广采用LID技术,因地制宜建设或改造绿色屋顶、下凹式绿地、透水铺面等海绵城市相关措施,保持和增强雨水的渗透,合理利用城市空间对暴雨径流进行源头控制,降低片区内雨水管网的排水压力。

(3)加强片区内排水管理,结合模型模拟成果可预测不同强度降雨可能造成的积水情况。及时关注本地暴雨、金山湖水位情况,及早预知暴雨到来,根据模型结果参照预测暴雨可能造成的积水范围和程度,提前通知积水影响区域居民做好防护措施,必要时组织居民提前撤出,实行交通管制。

(4)加强城市排水与城市防洪管理部门之间的沟通,在保障城市外围防洪安全的前提下,尽可能降低城区内部特别是金山湖水位,为城市涝水外排提供顺畅条件。

(5)城市其他排水管网区域可参照江滨片区,构建城区排水雨洪模型,模拟分析计算现状管网的实际排水能力,诊断排水能力较低的管网具体位置,明确暴雨时排水管理和防御重点区域与城区管网优先改造计划。

## 3 结 语

运用模型可以探明片区管网总体排水能力,识别片区内管网各条排水管道具体过流能力;运用模型可以探明片区城市排水风险区域,识别雨后风险区域的具体位置、范围和可能积水深度;运用模型可以探明外排条件对片区管网总体排水状况的影

表1 不同设计工况城区管网排水模拟成果统计

工况	外河常水位(金山湖5.8 m)				外河高水位(金山湖7.5 m)			
	长度/m	长度占比/%	积水面积/km <sup>2</sup>	面积占比/%	长度/m	长度占比/%	积水面积/km <sup>2</sup>	面积占比/%
1年一遇	4 277	35.45	0.175	8.37	7 349	60.91	0.317	15.17
2年一遇	4 936	40.91	0.234	11.20	7 459	61.82	0.353	16.89
3年一遇	5 703	47.27	0.259	12.39	7 678	63.64	0.379	18.13
5年一遇	7 097	58.82	0.324	15.50	7 897	65.45	0.424	20.29

响,当外排条件较为恶劣,金山湖水位达到城市防洪最高控制水位 7.5 m,该片区遭遇不同设计雨型的降雨可能造成的积水情况。根据江滨片区城区排水雨洪模型模拟计算分析成果,可为镇江城市防洪排涝管理提供技术支撑。

#### 参考文献:

- [1] BOONYA-ARONNET S, WEESAKUL S, MARK O. Modeling of urban flooding in Bangkok[C]//Global solutions for urban drainage virginia. New York: ASCE publication, 2002.

- [2] MIHOCHO D, MARENGO B, COLLIER G, et al. Decision support system and real-time control: Integrated tools for operation of large urban drainage network [C]//Global solutions for urban drainage virginia. New York: ASCE publication, 2002.
- [3] 解以扬,李大鸣,李培彦,等. 城市暴雨内涝数学模型的研究与应用[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 384-390.
- [4] 仇劲卫,李娜,程晓陶,等. 天津市城区暴雨沥涝仿真模拟[J]. 水利学报, 2000, 31(11): 34-42.
- [5] 耿艳芬. 城市雨洪的水动力耦合模型研究[D]. 大连: 大连理工大学出版社, 2006.

(上接第 25 页)

各市水利局分管局长为副局长的江苏省南水北调里下河水源调整工程建设局,统筹工程建设、协调工程实施,各市成立工程建设处,具体负责境内工程的组织实施。江苏省南水北调里下河水源调整工程建设局和各市建设处分工协作、分级负责、协调谋划、整体推进,合力完成工程建设任务,有效地保证了工程进度、质量和投资。

#### (2) 规划设计工作前置,确保设计质量

注重设计管理,开展优化设计是提高工程建设效益的有效手段<sup>[2]</sup>。为减少工程的变更,在初步设计和总体设计方案阶段,设计单位就重视对工程基础资料的采集工作,认真勘察现场,熟悉第一手资料,掌握工程建设的各种要求,及时与工程有关各方充分进行沟通,统一意见并形成书面材料备案。实施期间严格按程序办事,做到按基本建设程序要求,未经业主同意不随意变更设计。在分析初步设计遗留问题的基础上,通过实地调研,认真复核工程设计方案,为下一步的工程设计解决关键性问题,从而有效保证设计质量。

#### (3) 规避审计风险,保障施工方合法权益

水利队伍的稳定是水利工程施工的保障,本工程时间跨度长、管理要求高、施工矛盾多,很多时候工程做了,施工方却得不到应有的报酬,这就要求:①加强招标文件的审查,对不明确的费用加以详细条文说明,对工程量清单多召开审查会,避免漏项缺项,对方案加以推敲,减少设计变更<sup>[3]</sup>;②对材料价格波动充分考虑,不能让施工方承担,保证施

工单位有合理的利润,能够更好地促进项目管理;③让审计人员跟踪审计,达到一方面对变更、额外工程及时支付,另一方面减少审计费用的投入。

#### (4) 注重质量管理,确保优质工程

南水北调工程质量要求高,国务院南水北调工程建设委员会办公室的质量管理模式及要求均不同于以往水利工程,特别是本工程建设处于国务院南水北调工程建设委员会办公室质量集中整治阶段,各参建单位认真学习和理会国务院南水北调工程建设委员会办公室的相关文件要求,适应并遵循南水北调工程管理办法<sup>[4]</sup>。严格原材料管理,进场前监理进行抽样检查,禁止使用不符合要求的原材料,同时加强过程控制和工序管理,对模板、钢筋、止水及伸缩缝、混凝土浇筑等工序施工内在质量加大控制力度,确保混凝土工程各项技术指标符合设计及规范要求,此外重视工程的外观质量,提升工程的外观形象,从而保证工程施工质量优良。

#### 参考文献:

- [1] 曾春芬,马劲松,杨树滩,等. 南水北调东线江苏段水资源优化调度与配置研究新探[J]. 江苏水利, 2019(5): 43-46.
- [2] 李雪方. 浅谈优化设计与水利工程建设投资控制[J]. 水利经济, 2018(2): 1.
- [3] 徐秀娜. 探讨水利工程施工招标文件审查的基本原则和要点[J]. 中国科技投资, 2017(11): 43.
- [4] 任培强. 解析水利工程施工管理特点及质量控制措施[J]. 水电水利, 2020(5): 23-26.