

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.005

# 模型在城市内涝风险预警平台中的应用探索及思考

宁存鑫<sup>1</sup>, 汤 钟<sup>2</sup>, 桂发二<sup>1</sup>, 刘慧霞<sup>1</sup>, 方 伟<sup>1</sup>

(1. 浙江贵仁信息科技股份有限公司, 浙江 杭州 310051; 2. 深圳市城市规划设计研究院  
股份有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘 要:** 信息化技术在城市管理中发挥着重要作用,目前各类业务的管理平台不断涌现,城市内涝风险预警平台同样助力城市风险应对与应急管理,但常规预警平台依靠监测报警或人工上报灾情的形式在预见期及决策支持方面有其局限性。水文水动力模型作为人们认识自然水循环规律、研究特定情景下所关注问题的工具,在规划、设计中被广泛应用。由于模型具备基于已知历史情景预测评估未发生情景的特性,其在日常管理中的应用,即与平台结合可突破常规平台预见期瓶颈,提前准确“看到”风险从而提供决策支持方面的探索同样值得关注。简述了模型在城市内涝风险预警系统中应用的技术路线,提出了模型应用形式的三个发展阶段,介绍了模型计算内涝风险分析结果的四种可视化形式,并对模型与平台耦合应用未来发展进行了思考。

**关键词:** 模型; 内涝风险预警; 耦合; 可视化

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0029-06

## Exploration and Reflection on the Application of Model in Urban Waterlogging Risk Early Warning Platform

NING Cun-xin<sup>1</sup>, TANG Zhong<sup>2</sup>, GUI Fa-er<sup>1</sup>, LIU Hui-xia<sup>1</sup>, FANG Wei<sup>1</sup>

(1. Zhejiang Keep Soft Technology Co. Ltd., Hangzhou 310051, China; 2. Urban Planning & Design Institute of Shenzhen, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** Information technology is playing an increasingly important role in urban management. With the emergence of various business management platforms, urban waterlogging risk early warning platform also helps urban risk response and emergency management. However, the conventional early warning platform relies on monitoring alarm or manual reporting of disasters in the form of prediction and decision support has its limitations. As a tool for people to understand the law of natural water cycle and study the problems concerned in specific scenarios, hydrological hydrodynamic model is widely used in planning and design. Because the model has the characteristics of predicting and evaluating non-occurrence scenarios based on known historical scenarios, its application in daily management is combined with the platform to break through the bottleneck of conventional platform prediction. Moreover, the exploration of “seeing” risks in advance and providing decision support is also worthy of attention. This paper briefly describes the technical route of the application of the model in the urban waterlogging risk early warning system, puts forward three development stages of the model application form, and introduces four visual forms of the analysis results of the waterlogging risk analysis results calculated by

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0802507)

the model. Finally, the future development of the coupling application of the model and the platform is considered.

**Key words:** model; waterlogging risk early warning; coupling; visualization

近年来,随着我国城市化进程的迅速推进,传统开发模式的弊端日渐显现,尤其是内涝灾害频发,严重影响了市民的正常生产生活,造成了极大的经济损失。城市地面不透水率过高、雨水管网设计标准低等因素所造成的城市排水能力不足是内涝频发的重要原因<sup>[1]</sup>。低影响排水设施可进行降雨径流控制<sup>[2]</sup>,减小雨水管道的排水压力,有效降低城市内涝程度<sup>[3-5]</sup>。此外,改变局部地形重新组织地面径流、河道改造、排涝泵站修建等同样为应对内涝的有效工程措施。

在5G技术即将商用的今天,通过信息化技术构建城市内涝风险预警平台,提升风险发现能力、风险应对与管理能力、应急决策能力,从而有效降低生命财产损失,同样为不可忽视的非工程措施,并且与日常管理愈发深度的融合,将发挥日益重要的作用。

目前在全国各地针对洪涝风险都有相应的预警平台出现,但常规预警平台依靠监测报警或人工上报灾情的形式在预见期及决策支持方面有其局限性。水文水动力模型作为人们认识自然水循环规律,研究特定情景下所关注问题的工具,在规划、设计中被广泛应用;由于模型具备基于已知历史情景预测评估未发生情景的特性,其在信息化背景下日常管理中的应用,即模型与平台结合从而突破常规平台预见期瓶颈,提前准确“看到”风险从而提供决策支持方面的探索同样值得关注。

## 1 平台架构及模型在平台中应用技术路线

### 1.1 平台应用架构

将内涝风险预警平台应用架构按照功能方向进行划分,可以分为风险发现、风险评估、风险应对。

#### ① 风险发现

风险发现用于嗅探内涝风险出现的可能性或者告知已经发生的内涝风险,通常最基本的包括气象功能模块,包含降雨预报、台风预警、卫星云图等应用,并随着气象预警的发布而发布预警。内涝的发生有外因和内因,外因为降雨或外江水位,内因

为研究区域下垫面、管网、河道、地形等本底情况;随着近年来海绵城市的建设,依靠在线监测设备“摸清本底”的工作也在各地展开,因此风险发现模块通常也包括在线监控功能,在以降雨、内涝点、管网、河道、LID设施、水利设施等其中一种或多种为监测对象的在线监测体系的支撑下,实现实时数据展示、历史数据查询等功能,在此基础上设定报警规则,如降雨强度、内涝点液位及持续时间,从而实现风险发现。此外,工作人员巡查发现及公众参与上报相应移动端功能也可归类为风险发现。

#### ② 风险评估

风险评估用于确认风险发现的成果,评估风险等级、危害程度,为风险应对提供决策支持。风险评估一般包含预案管理功能,工作人员可根据预案中描述的场景进行风险评估;若情况较为复杂且难以评判时,则需要与专家或相关部门会商确定,因此可包含专家系统、会商系统;随着大数据、机器学习技术的发展,依据历史数据结合监测与预报数据的风险评估技术也在快速形成与应用。

#### ③ 风险应对

风险应对是针对风险评估成果采取措施以最大限度地减少损失的管理决策体系。预案管理模块同样包含风险应对的内容,此外一般还包括物资管理、人员管理,专家系统、会商系统,同样可为风险应对提供支持。

### 1.2 模型在平台中应用的技术路线

模型在风险发现、风险评估、风险应对中均可发挥作用,可作为一项功能嵌入平台。在风险发现中,根据监测设备实时数据的报警及人员上报均不具备预见性;根据气象预报结合风险预案的预报,虽然具备了一定的预见期,但无法准确得知在即将到来的风险事件中具体的内涝区域与范围、内涝深度与持续时间,风险等级的划分更多依靠专业人员的经验,因此这种预见较为模糊;模型的引入则可以降低这种不确定性,使得预警条件更为精准。在风险评估中应用模型可使风险程度由定性发展为定量、概念化变为可视化,为风险的被动应对转变

为主动防御提供能力。传统的风险图模式通常为少数几种风险情景下的评估,与现实发生或预计将发生的风险场景匹配度较低,灵活性不够,将模型引入平台则可打破这种局限。在风险应对中应用模型,是在风险评估准确预见风险的基础上,尝试多种调度措施进行应对,如预降水位、临时抽排等,挖潜现有设施能力,并最终选出最优方案;如果内涝不可避免,也可根据风险情况采取交通管制以尽量避免人民生命财产损失。模型在平台中应用的技术路线简单描绘如图1所示。

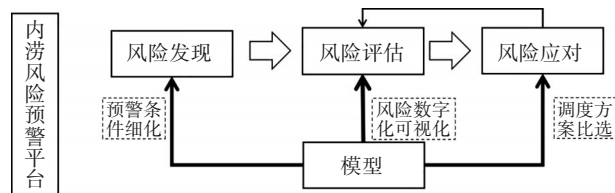


图1 模型在平台中应用的技术路线

Fig.1 Technical route of the application of the model in the platform

## 2 模型在平台中的应用形式

模型可以作为一项功能嵌入平台,这种功能的强度会影响模型在平台中的应用形式。根据实践经验,笔者将模型在平台中的应用划分为三种形式,也是三个阶段,即:方案库、模型云、智慧化。

### 2.1 方案库

方案库形式是对传统预案或风险图形式的强化。针对可能发生的风险场景提前进行大量的方案计算,全面覆盖中小雨及1、2、3、6、12、24 h等多种降雨历时,对于没有风险的场景则从方案库中取出。相对于模型云的应用形式,这是一种数量替代质量、空间换时间的解决方案。

有了大量方案计算的基础,对于风险发生条件的颗粒度可以把握得更加精细,当风险预警时,对风险评估的匹配程度更高;基于模型计算数据进行可视化后处理,也可以使评估结果更直观。对于风险场景,需采取措施进行应对;措施有多种,也可组合使用,因此对应一种风险场景会有多种调度场景,经过评估筛选最优方案,从而为调度决策提供支持。方案库的应用形式在鹤壁、常德、杭州等地进行了应用探索。

### 2.2 模型云

常见的用于城市降雨径流及内涝分析的模型工具如EPA-SWMM、MIKE URBAN、Infoworks ICM、

PC-SWMM、XP-SWMM等的运行环境均为个人电脑C/S形式,与平台的B/S形式存在兼容性方面的限制,计算能力也受限于电脑配置。方案库的形式场景数量虽多,但依然有限,当出现方案库未覆盖的风险情景时,则无法精准匹配。

模型云的应用形式则可突破上述限制,类似于个人PC时代进入互联网时代。模型云将模型进行云化,所有的模型计算在云端进行,摆脱个人电脑计算能力限制,且计算资源可动态配置;模型云的架构体系与平台应用天然适配,可以真正实现模型在平台中的应用耦合;在模型云能力的支持下,内涝风险预警平台的风险发现、评估、应对均可在线生成计算场景,结果动态反馈,模型应用与真实场景的匹配度进一步提升。模型云应用模式下内涝风险预警的精度、预见期的进一步提升受限于气象预报的精度。基于贵仁科技公司自主研发的模型体系及模型云应用平台,模型云的应用形式在贵安新区等地进行了应用探索。

### 2.3 智慧化

模型是对现实世界某种状态的概化,计算结果代表的意义均有其对应的边界条件,即模型输入与输出相互对应且有适用范围。比如同一片区域的同样一场降雨,在不同河道水位、土壤饱和度、管道充满度的情况下均会产生不同程度的内涝影响。在前述方案库、模型云应用形式下,模型的边界条件如河道水位均为假想状态,若使用河道常水位,进行内涝风险预警,则可能与当时河道真实水位不同,从而导致结果出现偏差。因此,智慧化阶段主要是针对模型概化的边界条件与预警时刻的真实情况不同而提出的。

智慧化应用是在模型云应用基础上的发展。有了在线监测体系的支撑,理论上只要把监测到的土壤参数、河道上下游边界流量、管网液位等数据输入模型,作为边界条件并运行稳定,然后在此本底条件下进行风险场景的计算则可得到高精度的预报结果;但由于模型是概化的,即使概化数据及边界条件准确,其运行稳定后的状态也可能与真实情况存在差别,这就带来了根据边界输入及状态结果反推运行过程参数,或者由于监测体系覆盖率不足,需推求边界问题的反解<sup>[6-11]</sup>,即另一种形式的参数率定;而一套参数是无法匹配所有场景的,这就对模型参数在线率定提出了要求。在这种状态下,

本应是模型输入条件的数据需要首先被作为结果率定准确,再进一步应用,由于对象及参数众多,此目标的实现还需要大量的研究工作。

### 3 模型在平台中的可视化形式

模型计算的结果是产生大量的数据,为了便于结果的理解与应用,需要模型数据后处理及可视化展示。笔者在工作中经历过的可视化形式主要有三角网格、区块统计、等值线、三维四种。

#### 3.1 三角网格展示形式

模型模拟区域的地形通常是通过三角网格剖分,并为每个三角网格节点赋予高程从而模拟概化,如图2所示。

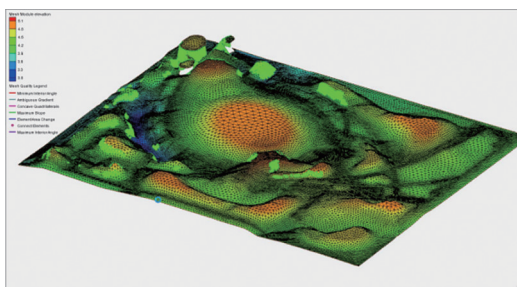


图2 三角网格剖分概化地形示意

Fig.2 Outline terrain of triangulation

基于三角网格的二维地面水漫流计算结果即内涝风险结果,是每个三角网格顶点或形心,每个输出时间步长时刻积水深度及速度矢量数据;如有10万个网格,每5 min输出一个结果,模拟2 h,则有24帧结果,以三角网格形心来表示,则每帧有10万行数据,对应每个网格,每行数据包含水深等参数。三角网格展示形式即直接把网格铺到平台上,根据每一帧数据对网格进行颜色渲染,根据水深划分若干等级,如图3所示,网格范围可根据展示需求选择,多帧数据顺序播放可展示内涝技术动态过程。



图3 三角网格展示形式示意

Fig.3 Display form of triangular mesh

根据项目区域大小及精度要求不同,三角网格的数量可能有数百数千至百万级别不等,若数量较多,则结果数据量极大,给平台渲染带来较大压力。

#### 3.2 区块统计展示形式

区块统计展示形式是在三角网格数据基础上,以控规地块、路段为单位,对区域范围内三角网格数据进行一定的统计后进行展示。以路口至路口的一段道路为例,内部包含若干网格,可以统计最大积水深度、平均积水深度、积水超过一定深度的网格面积占路段的总面积等,将统计后的数据再进行渲染;也可根据一定的判定规则,对区块风险等级进行划分。区块统计展示形式如图4所示,多帧数据顺序播放同样具备动态效果。经过二次统计分析的结果,与具体对象关联性更强,可以为城市管理提供便利。



图4 区块统计展示形式示意

Fig.4 Statistical display form of block

#### 3.3 等值线展示形式

等值线形式是以三角网格顶点或形心为散点,基于每一帧计算结果进行等值线的绘制,如图5所示。此种展示形式视觉效果较好,且渲染压力较小,同样可进行动态播放与风险等级或损失统计。

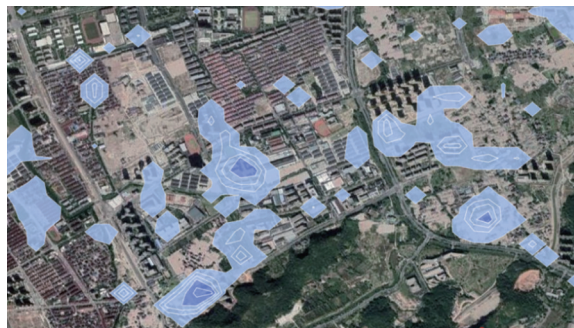


图5 等值线展示形式示意

Fig.5 Schematic form of isoline display

### 3.4 三维展示形式

三维展示形式是将模型二维计算结果在三维场景中进行可视化展示。三维场景的构建通常有人工建模与倾斜摄影建模两种方式。三维展示形式相比二维更为直观,如图6所示。

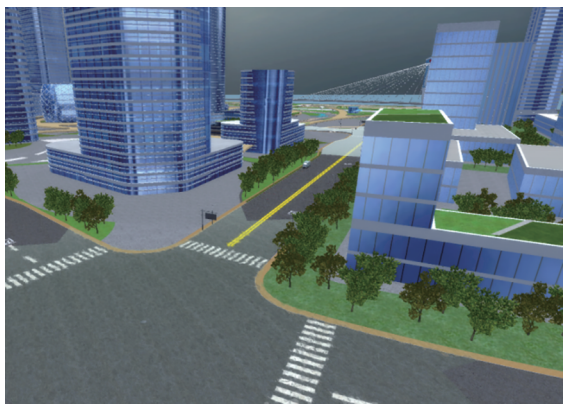


图6 三维展示形式示意

Fig.6 Schematic diagram of three-dimensional display form

## 4 总结与思考

在模型与内涝风险预警平台耦合应用实践过程中,对存在的问题及未来发展方面进行了思考,主要有以下几个方面:

### ① 专业性与普适性的平衡

模型是一种专业工具,其合理的应用需要专业知识的支撑;而平台的使用者大多为非专业人员,这就要求模型的使用过程更加便捷,更多的参数或条件设定为默认或自动匹配;便捷化的同时会使模型灵活性下降,因此这之间的平衡还需要不断的探索。

### ② 模型基础数据的更新

模型的搭建过程即前处理在整个模型工作中占据了很大的工作量,模型的概化是否合理直接影响结果的准确性与计算效率。目前,模型前处理通常为建模人员借助多种工具对原始数据进行人工处理,数据来源、格式多种多样,数据质量参差不齐,给建模人员带来较繁重的工作。而城市发展极为迅速,下垫面改变、河道管网改造等使得建好的模型变得不再适用,而模型基础数据更新更多依靠线下修改。因此,模型数据格式的统一、前处理工具的发展、平台中模型数据的批量或局部更新等方面都有着巨大的发展潜力。为此,提出一种平台中模型数据更新的可能的的方式,即模块化替换:将模

型进行区块划分及图层划分,定义原始数据格式,如有局部数据需替换,则将局部所属的区块数据整体取出,通过工具局部替换后再嵌入整体模型。

### ③ 降雨分布不均

在分析城市内涝问题时,应用的模型多为分布式水文模型与水动力模型的耦合;虽然分布式水文模型允许降雨空间上分布不均匀,但实现起来会有些困难;实现方式为划分较多的子汇水区并各自关联独立的雨量计,以体现空间上的差异,而每个雨量计使用不同的降雨序列以体现降雨时间上的差异。但在城市中子汇水区一般数量众多,为每个子汇水区均分配雨量计及时间序列工作量较大,且现实中雨量观测站密度较低,实际应用很难反映真实降雨分布情况,在内涝预警领域应用时由于场景的多变性则更为困难。因此,提出设想:通过信息化手段,基于降雨等值面进行模型中雨量的分配;即改变雨量计与子汇水区的形式而以构成雨量等值面的若干个数据序列作为降雨数据,子汇水区自动根据空间匹配关系获取降雨。

### ④ 三维应用场景

三维场景由于数据量较大导致平台化的应用加载时间较长,而5G技术突破了网络传输的瓶颈,因此三维应用场景将会大大扩展;比如用户行走在街上,收到了风险预警,通过移动端可直接环视四周可视化地看到水深的动态变化。

## 参考文献:

- [1] 苗小波,吕谋,梁风超,等. 低影响开发城市内涝及水质调控模拟分析[J]. 中国农村水利水电, 2019(1): 87-91, 96.  
MIAO Xiaobo, LÜ Mou, LIANG Fengchao, et al. An analysis of urban water logging and water quality control simulation in low-impact development (LTD)[J]. China Rural Water and Hydropower, 2019 (1): 87-91, 96 (in Chinese).
- [2] 马萌华,李家科,邓陈宁. 基于SWMM模型的城市内涝与面源污染的模拟分析[J]. 水力发电学报, 2017, 36(11): 62-72.  
MA Menghua, LI Jiake, DENG Chenning. Analysis of urban waterlogging and pollution load based on SWMM model [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2017, 36 (11): 62-72 (in Chinese).
- [3] 沈才华,王浩越,褚明生. 构建内涝势冲量的海绵城市

- 内涝程度评价方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(3): 193-200.
- SHEN Caihua, WANG Haoyue, CHU Mingsheng. Construction of evaluation method of intrinsic degree of sponge city based on the momentum of waterlogging potential energy [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2019, 51 (3): 193-200(in Chinese).
- [4] 潘银, 邵振峰, 程涛, 等. 利用深度学习模型进行城市内涝影响分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(1): 132-138.
- PAN Yin, SHAO Zhenfeng, CHENG Tao, *et al.* Analysis of urban waterlogging influence based on deep learning model [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2019, 44 (1): 132-138 (in Chinese).
- [5] 邓金运, 刘聪聪. 不同土地利用类型下城市内涝风险及损失评估[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(6): 2293-2299.
- DENG Jinyun, LIU Congcong. Assessment of the disaster risk and the loss brought about by the urban water-logging under different land use modes [J]. Journal of Safety and Environment, 2018, 18 (6): 2293-2299(in Chinese).
- [6] 金利姣. 基于GIS与物联网的智慧排水综合管理系统建设[J]. 能源与环保, 2018(12): 154-156, 161.
- JIN Lijiao. Construction of intelligent drainage integrated management system based on GIS and Internet of Things [J]. China Energy and Environmental Protection, 2018 (12): 154-156, 161(in Chinese).
- [7] 丁相毅, 刘家宏, 杨志勇, 等. 基于生态海绵流域视角的河湖联控方案研究——以湖南省凤凰县为例[J]. 水利水电技术, 2017, 48(9): 35-40, 103.
- DING Xiangyi, LIU Jiahong, YANG Zhiyong, *et al.* Viewpoint of eco-sponge watershed based-study on river-lake system joint-control scheme—a case study of Fenghuang County in Hunan Province [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48 (9): 35-40, 103(in Chinese).
- [8] 牛洪刚. 智慧海绵城市监测系统与平台设计及研究[J]. 铁道建筑技术, 2018(4): 37-40.
- NIU Honggang. Design and research of intelligent sponge city monitoring system and platform [J]. Railway Construction Technology, 2018 (4): 37-40 (in Chinese).
- [9] 刘晓东, 杨党锋, 蒋雅丽, 等. 西安小寨海绵城市智慧管控系统研究与应用[J]. 人民长江, 2018, 49(s2): 300-303, 311.
- LIU Xiaodong, YANG Dangfeng, JIANG Yali, *et al.* Research and application of intelligent management and control system for sponge city: case of Xiaozhai in Xi'an City [J]. Yangtze River, 2018, 49 (s2): 300-303, 311 (in Chinese).
- [10] 姜仁贵, 杨思雨, 解建仓, 等. 城市内涝三维可视化应急管理信息系统研究[J]. 计算机工程, 2019, 45(10): 46-51.
- JIANG Rengui, YANG Siyu, XIE Jiancang, *et al.* Three-dimensional visualization emergency management information system of urban waterlogging [J]. Computer Engineering, 2019, 45(10): 46-51(in Chinese).
- [11] 由阳, 朱玲, 朱淑兰. 模型法海绵城市建设效果评估——以贵州省贵安新区中心区为例[J]. 给水排水, 2018, 44(1): 36-43.
- YOU Yang, ZHU Ling, ZHU Shulan. Evaluation of sponge city construction effect by model method—a case study of the central district of Gui'an new district, Guizhou Province [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44 (1): 36-43(in Chinese).
- 作者简介: 宁存鑫(1991-), 男, 山东鄄城人, 硕士, 工程师, 从事水文学动力模型及海绵城市、智慧水务平台相关工作。
- E-mail: 765208770@qq.com
- 收稿日期: 2019-08-20
- 修回日期: 2019-11-15

(编辑: 丁彩娟)