

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.021

# 武汉市水城互动的流域水环境评估预警平台建设

吴思<sup>1</sup>, 周诚<sup>1</sup>, 石淼<sup>2</sup>, 王芳<sup>1</sup>

(1. 武汉市规划研究院<武汉市交通发展战略研究院>, 湖北 武汉 430014; 2. 武汉市测绘研究院, 湖北 武汉 430022)

**摘要:** 基于武汉城市仿真实验室,探索构建了水城互动的流域水环境评估预警平台。以武汉市南湖流域为试点,建立了涵盖水环境治理和城市发展相互关系的评估预警体系,构建了相应的指标体系和数据清单,采用公式法和SWMM模型评估法为基础,研发了七大核心功能,实现了与“人、地、房”等空间要素相关联的水环境量化计算与评估功能。

**关键词:** 水城互动; 预警平台; 流域水环境; 仿真模拟; 评估

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0124-05

## Research on the Construction of River Basin Water Environment Evaluation and Prediction Platform in Wuhan Based on the Relationship between Water Environment and Urban Development

WU Si<sup>1</sup>, ZHOU Cheng<sup>1</sup>, SHI Miao<sup>2</sup>, WANG Fang<sup>1</sup>

(1. Wuhan Planning & Design Institute <Wuhan Transportation Development Strategy Institute>, Wuhan 430014, China; 2. Wuhan Geomatics Institute, Wuhan 430022, China)

**Abstract:** The platform construction is based on Wuhan City Simulation Laboratory, and explores the construction of river basin water environment evaluation and prediction platform based on the relationship between water environment and urban development. Taking Nanhu basin of Wuhan as an example, an evaluation and prediction system covering the relationship between water environment governance and urban development has been established, and a corresponding indicator system and data list have been constructed. Based on the formula method and the SWMM model evaluation method, seven core functions have been developed, and the quantitative calculation and evaluation function of water environment related to spatial elements such as “people, land, and houses” are realized.

**Key words:** relationship between water environment and urban development; prediction platform; basin water environment; simulation; evaluation

武汉市水资源丰富、水环境问题复杂,近年来虽在污水系统建设与水环境治理方面取得了一定成效,但水环境改善仍面临巨大压力。为创新性地统筹多源、全流程的污水系统数据,对城市水环境问题和水城互动过程中的问题进行快速量化评估和预警,借助智慧化手段探索展示和管理独特水资源的方式,基于武汉城市仿真实验室,构建了水城互动的

流域水环境评估预警平台。

本次平台建设的框架和规则研究范围为武汉市域。鉴于水环境系统整体的复杂性以及资源整合的难度,选取南湖流域为试点,先进行平台建设,结合研究开展初期数据资料收集,探索平台建设的技术路线和实施路径,为后期应用推广做好技术储备和支撑。

1 建设目标及技术框架

1.1 总体目标

本次平台建设采用仿真量化分析手段,形成集一套数据、一组规则、一个平台“3个一”于一体的水环境开放平台,服务于规划、建设、管理全流程,实现规划、水务、环保的多源数据整合,建立涵盖水环境治理和城市发展相互关系的监测评估预警体系,统筹城市空间拓展与水环境治理协调发展,作为市级水环境治理决策管理支撑平台,指导全市及各区水环境治理工作。

1.2 技术框架

总体技术框架设计如图1所示。

平台按照数据资源与应用功能分离的原则,采用模块化分层体系架构,并研发统一、开放、标准的接口,实现各业务功能数据的衔接和调用,以便层内各功能耦合度达到最小,层间功能相对独立。主要包括基础设施层、数据层、模型层、支撑层、应用层。在支撑层与应用层间,采用分层框架进行服务管理。对各类服务从功能上进行细分,形成满足各个业务职责的基础服务,对于单一服务即可满足的功能,应用层单独调用基础服务;而对于需要多个基础服务组合完成的内容,采用基础服务关联、封装方式进行组合服务调用,同一类型的数据或者功

能服务在平台PC端和移动端都可以使用。

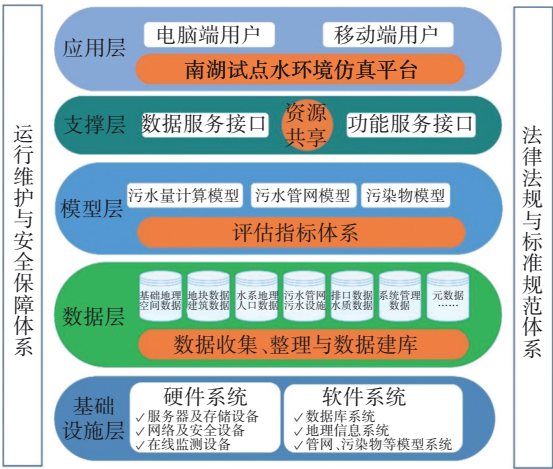


图1 技术框架

Fig.1 Technical framework

2 指标体系及数据清单

2.1 指标体系

本次平台建设构建了2大类6小类15项指标的指标体系,具体包括设施建设运行指标和水环境指标,可综合反映流域内从地块污水收集到管网、泵站转输再到污水厂处理,以及对水环境影响的全流程问题,实现快速量化评估和及时预警。

水环境平台指标体系见表1。

表1 水环境平台指标体系

Tab.1 Water environment platform index system

序号	大类	小类	指标	预警方向
1	设施建设运行	污水厂	污水处理厂处理水量负荷率	超负荷情况
2			污水处理厂扩建需求度	
3			污水处理厂进厂BOD <sub>5</sub> 浓度	进水浓度不达标情况
4		污水泵站	污水泵站处理水量负荷率	超负荷情况
5			污水泵站扩建需求度	
6		污水管网	污水管网扩建需求度	污水管道超载预警,判断溢流风险
7			污水管网清淤需求度	污水管道淤积预警
8			管网混错接度	污水管道混错接情况
9			管网健康度	污水管网缺陷情况
10			管网覆盖率	污水管网建设情况
11		地块	地块空白区面积占比	污水系统建设不完善预警
12			地块污水收集处理率	污水系统建设不完善预警
13			地块混错接度	地块混错接情况
14	水环境	水体水环境	水质达标率	水质不达标水体预警
15		建成区	建成区占比	反映水环境所面临的城市建设压力

2.2 数据清单

根据指标体系、模型构建以及平台模块开发的

数据要求,形成需要收集的数据清单,涉及的数据包括5大类29小类,分别是:基础地理信息数据(地

形高程点、下垫面、现状地块、规划地块、建筑信息、地名地址、规划道路、行政区划、湖泊蓝线),水系统分区基础数据(一级流域分区、二级流域分区、污水系统分区、排口汇水区),水环境监测数据(设施进水水质、设施水量、水体水位、水体水质),其他专题数据(人口、水功能区划),水环境静态数据(雨水管点、污水管点、雨水管线、污水管线、混错接点、管网隐患点、排口、雨水泵站、污水泵站、污水处理厂)。

数据处理流程:首先进行数据收集,然后进行数据检查,数据检查内容包括坐标投影和坐标系、数据表分层、属性表结构、属性值域规范性、拓扑关系等。若数据检查合格,则进行数据建库工作,若数据不合格则重新进行数据收集或者数据整理;数据建库完成以后,根据模型建模的需要,进行数据的概化提取,建立模型数据库,便于下步建模使用。

### 3 主要功能实现

本次平台建设主要研发了7大核心功能,包括多源信息查询统计、任意空间下的量化计算、污水系统空白区识别、污染风险点及影响范围分析、污水系统承载力评估、污水收集与处理条件评估和环境影响空间评估。其中,多源信息查询统计是每个平台的必备功能,可实现单一要素、任意范围、统计图表、序列曲线、热力分布等多种方式的统计查询,是日常使用较多的功能之一,在此不做详述。此处重点介绍与“人、地、房”等空间要素相关联的污水系统量化计算与评估功能。

#### 3.1 任意空间下的量化计算

量化计算主要包括污水设施的规模计算、状态计算和污染负荷计算三方面,主要采用SWMM模型计算法,并将SWMM模型嵌入平台,便于计算和展示。同时,设施规模计算也可采用公式法<sup>[1]</sup>,根据人口或建筑量、用地分类或地理国情分类,以及相应的用水定额等指标综合计算,开发计算污水量的小工具,可在平台中实现任意空间的污水量快速计算。

##### 3.1.1 SWMM模型理论

SWMM模型是一个对城市区域排水系统的水量和水质变化规律进行综合模拟分析的计算机模型,将城市排水管网系统中的水文和水力要素概化为管线、节点和汇水区三种类型。用非线性水库模型模拟地表径流,用圣维南方程演算管网的输送过

程,用累积-冲刷模式模拟地表径流的污染。具体来说,地表产流由无洼蓄的不透水区、有洼蓄的不透水区 and 透水区3部分组成,每个汇水区根据这3部分地表类型分别进行径流演算,然后通过面积加权获得该汇水子区域的径流出流过程线,最终将各子区域的出流进行叠加;地表汇流计算方法采用非线性的水库模型,它将子区域视为一个水深很浅的水库,降雨是该水库的入流,土壤入渗和地表径流是水库的出流;管网汇流通过LINK-NODE的方式用圣维南方程组求解管道中的流速和水深,即对连续方程和动量方程联立求解来模拟渐变非恒定流<sup>[2]</sup>。

##### 3.1.2 模型数据处理及概化

考虑到南湖流域管网存在混错接情况,模拟时将雨污水管网同时加入模型进行计算,以提高模拟结果的精度。根据南湖流域实测排水管线GIS数据,并结合南湖流域水环境综合治理规划雨污水系统图,对排水管网进行概化整理,添加泵站等设施,梳理管网拓扑结构。根据南湖流域排口汇水区,结合雨水检查井等节点数据,按照泰森多边形原则对排水分区进行划分,对划分后的结果按照实际情况进行细化,得到子汇水区划分结果。梳理南湖流域现有620个地块,同时结合影像及用地信息,补充缺失地块的范围并添加地块用地类型,最终得到730个地块数据,结合实测管线数据,划分子污水服务区,并与SWMM模型中对应的检查井进行关联,同时将对应的检查井编号信息录入地块中。

##### 3.1.3 模拟结果

结合污水排放曲线等参数设置进行模型模拟,选取1d的模拟时长,每5min一个模拟时段,总共288个时段,实现了对污水管网水量和水质情况的模拟分析,从而模拟出污水管网和节点的运行状态,并将SWMM模型集成到平台,实现平台的结果展示。

#### 3.2 污水系统空白区识别

污水系统空白区可从路段和地块两个方面评估,最终实现空白区的分级评估,以指导分散设施的布局,以及协调管网建设与土地出让时序,指导城建计划的制定。

##### 3.2.1 路段空白区评估

路段空白区评估以道路路段为评估单元,首先判断道路是否有污水管网,若有管网或本段无需污



水管则达标;若没有污水管网,则根据缺失污水管网等级,以及周边地块的开发情况进行分级预警,具体分为5个等级(见图2)。

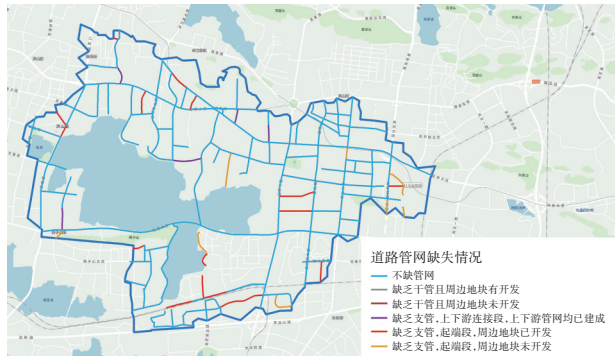


图2 路段空白区分级预警结果

Fig.2 Schematic diagram of graded prediction results in blank areas of road sections

根据问题的严重性依次为:缺乏干管且周边地块有开发、缺乏干管但周边地块未开发、缺乏支管(上下游连接段,上下游管网均已建成)、缺乏支管(起端段,周边地块已开发)、缺乏支管(起端段,周边地块未开发)。前4种情况均预警反馈至水务、城建部门,进行年度城建计划的制定建设;第5种情况预警反馈至水务、城建、规划部门,随地块开发建设污水支管。

### 3.2.2 地块空白区评估

地块空白区评估以规划地块作为评估单元,四周规划道路上均无污水管网的视为地块空白区。在溯源功能基础上,设置一定距离作为污水管网缓冲区,如地块与缓冲区有重叠则不是空白区,反之则为空白区。

### 3.3 污染风险点及影响范围分析

通过梳理管网拓扑结构,建立排水系统上下游连接关系,借助上下游及拓扑关联分析工具,实现“厂-站-网-地块”溯源分析功能,快速定位由混错接、缺陷点、淤积点以及突发事件导致的空间影响范围。可统计空间影响范围内涉及的人口、建筑量等,指导混错接等问题节点整治工程的建设时序。

### 3.4 污水系统承载力评估

采用SWMM模型模拟,实现管网承载力分级评估。管网最大充满度和最大流速时的模拟结果分别见图3、4。当管道最大充满度为1时进行超载预警;当管道最大流速 $<0.2 \text{ m/s}$ 时进行淤积预警。另外,通过对厂站处理水量负荷率的计算对超负荷厂

站进行预警。

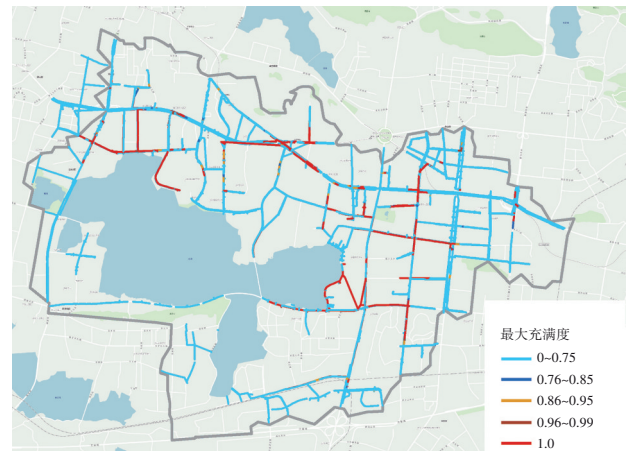


图3 管网最大充满度时的模拟结果

Fig.3 Simulation results of maximum filling degree of pipe network

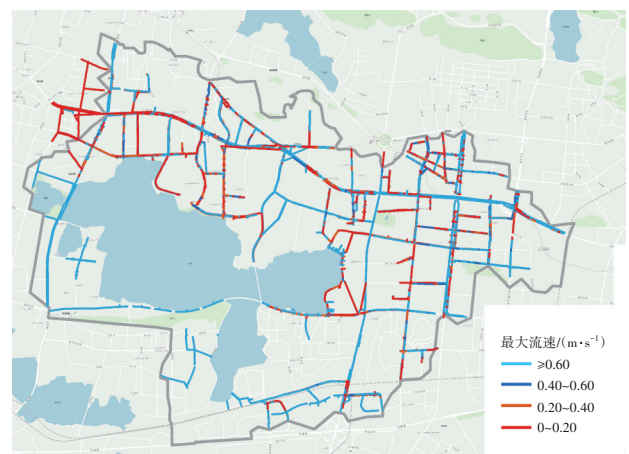


图4 管网最大流速时的模拟结果

Fig.4 Simulation results of maximum flow velocity in pipe network

### 3.5 污水收集与处理条件评估

综合地块空白区评估和“厂-站-网-地块”溯源分析,以地块为单元,分级反映污水收集与处理条件,协调污水设施建设与土地出让的时序。污水收集与处理条件分为无管道空白区、地块污水能进支管不能进厂、地块污水能进干管或泵站不能进厂和地块污水能进厂4个等级。

### 3.6 环境影响空间评估

由SWMM水质模型模拟结果综合分析形成排口污染负荷分区预警(见图5)。

实现用地污染负荷分级,指导水环境治理分片推进的近远期安排,实现“建成一片,见效一片”的污染治理目标。

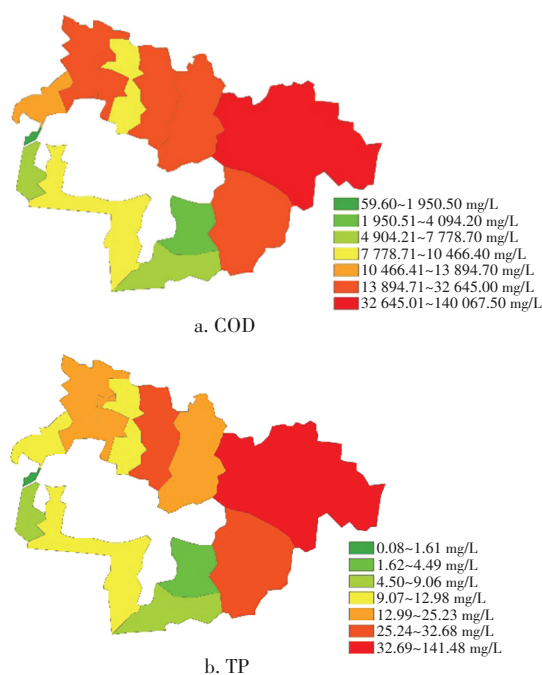


图5 COD和TP污染负荷分区预警

Fig.5 COD and TP pollution load zoning warning

#### 4 平台展示

平台展示分为两个版本,即桌面版和移动版,既能实现快速整体查看,又能展示完整评估预警内容。其中桌面版包括地图基本功能、查询、统计、评估预警、系统管理等功能模块,主要对南湖流域进行水环境平台建设;移动版包括地图基本功能、水质速览、设施速览、评估速览、系统管理等功能模块,便于快速、整体查看全市水体水质和污水设施的情况,以及污水模块评估预警的结果,具体如图6所示。

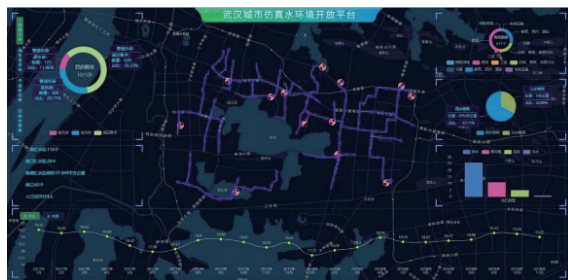


图6 平台界面展示

Fig.6 Platform interface display

#### 5 结论

① 本次平台建设探索建立了涵盖水环境治理和城市发展相互关系的评估预警体系,采用模块化分层架构,实现了水环境的仿真量化分析。

② 本次平台建设构建了2大类6小类15项指标的指标体系,包括设施建设运行指标和水环境指标,并形成了5大类29小类的数据清单,为实现快速量化评估和及时预警奠定了良好的基础。

③ 本次平台建设主要研发了7大核心功能,包括多源信息查询统计、任意空间下的量化计算、污水系统空白区识别、污染风险点及影响范围分析、污水系统承载力评估、污水收集与处理条件评估和环境影响空间评估。采用公式法和SWMM模型评估法,实现了与“人、地、房”等空间要素相关联的污水系统量化计算与评估功能。

④ 平台展示分为两个版本,即桌面版和移动版,既实现了快速整体查看,又能展示完整评估预警内容。

#### 参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 室外排水设计标准: GB 50014—2021 [S]. 北京:中国计划出版社,2021.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Design of Outdoor Wastewater Engineering: GB 50014—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021 (in Chinese).
- [2] 傅新忠. SWMM在城市雨洪模拟中的应用研究——以金华市城北某区块为例[D]. 金华:浙江师范大学,2012:31-36.  
FU Xinzong. A Study of the Application of SWMM on Urban Storm Water Simulation [D]. Jinhua: Zhejiang Normal University, 2012:31-36 (in Chinese).

作者简介:吴思(1986—),女,天津人,硕士,高级工程师,主要从事城市水及相关市政基础设施的规划与研究工作。

E-mail:287714842@qq.com

收稿日期:2022-01-21

修回日期:2022-05-05

(编辑:衣春敏)