

# 基于Infoworks ICM模型在内涝风险评估和海绵减控效果中的应用

卢文宝

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2023年5月17日; 录用日期: 2023年6月18日; 发布日期: 2023年6月28日

## 摘要

以中部城市A市海绵专项规划为例, 介绍了基于Infoworks ICM 模型在排水管网负荷评价、内涝风险评估以及海绵城市规划中的应用。新技术的应用为排水管网优化设计提供新的设计思路, 制定了内涝风险多要素的综合评价体系, 量化了海绵减控效果的分析。分析结果, 优化方案管网在满足设计要求 $P = 2a$ 重现期下能够适当超负荷压力运行, 充分发挥管网排水潜能; 多因素的综合评价体系划定了研究区域内涝风险等级和范围; 通过组合LID海绵措施在不同降雨强度下径流总量控制率达到67%~78%, 对冲刷污染物SS的控制率为64.2%, 较无LID措施开发情况下显著提高。

## 关键词

Infoworks ICM, 内涝风险评估, 海绵规划

# Application of Information on Waterlogging Risk Assessment and Sponge Reduction and Control Effect Based on Infoworks ICM Model

Wenbao Lu

Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd., Shanghai

Received: May 17<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 18<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Taking the sponge special planning of City A in the central city as an example, the application of the Infoworks ICM model in drainage pipe network load evaluation, waterlogging risk assessment and sponge city planning is introduced. The application of new technology provides new design ideas for the optimal design of drainage network, establishes a comprehensive evaluation system of multiple factors of waterlogging risk, and quantifies the analysis of sponge reduction and control effect. Simulation analysis results show that the pipeline network of the optimized scheme can operate at appropriate overload pressure under the recurrence period of  $P = 2a$  to meet the design requirements, and give full play to the drainage potential of the pipeline network; the multi-factor comprehensive evaluation system delineates the risk level and scope of waterlogging in the study area; Through the combination of LID sponge measures, the total runoff control rate under different rainfall intensities reaches 67% to 78%, and the control rate of the scouring pollutant SS is 64.2%, which is significantly improved compared with the development without LID measures.

## Keywords

Infoworks ICM, Waterlogging Risk Assessment, Sponge Planning

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着科学技术的发展,在规划设计当中模拟仿真技术手段的使用愈加成为趋势,在内涝风险评估和海绵城市规划设计当中尤其如此。据统计,2001~2020年我国因洪涝灾害每年平均遭受直接经济损失1678.6亿元,受灾人口10356.6万,对人类社会构成了巨大威胁[1],传统的设计方法中仅管网校核难以对内涝风险做出综合评估。内涝灾害风险评估常用的方法为基于指标体系的内涝灾害风险评估和基于水动力模型的情景模拟评估[2]。在规划设计阶段引入水动力模型和內涝风险评估指标体系,能够量化海绵规划中低影响开发措施对内涝防治和径流污染等控制目标积极作用,为优化管网设计、合理确定规模提供了科学依据。在国外一些先进的城市如新加坡、荷兰和澳大利亚等已将 Infoworks ICM 模型应用于城市规划和水资源管理中,相比之下国内相关应用仍处于初级阶段。笔者以中部城市 A 市海绵专项规划为例,较为全面的介绍了基于 Infoworks ICM 模型在排水管网负荷评价、内涝风险评估以及海绵城市规划中的应用。

## 2. 基础数据

### 1) 设计雨型

对于排水管网评估采用短历时降雨,根据暴雨强度公式推求芝加哥设计雨型。结合本次规划的雨水管渠系统设计标准(一般地区  $P = 2a$ ,重要地区  $P = 3\sim 5a$ ),A 市短历时重现期分别为  $P = 0.5a$ 、 $1a$ 、 $3a$  和  $5a$  的暴雨设计雨型,降雨历时均取 120 min,雨峰位置为 40%分位如图 1。

对于内涝风险评价采用长历时降雨,采用同频率分析法推求长历时设计暴雨雨型,24 小时历时的平均雨峰位置为 116/288 (约 40%分位)如图 2。

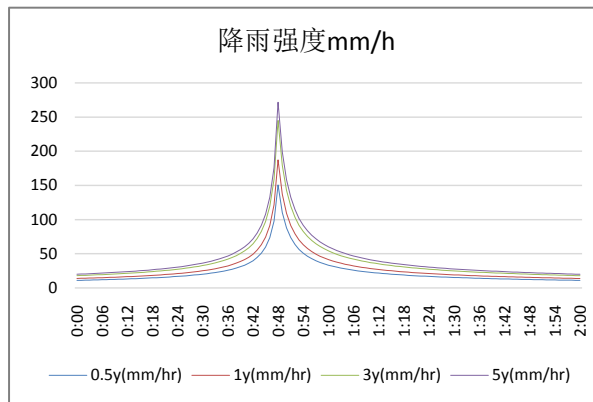


Figure 1. Short duration rainfall

图 1. 短历时降雨

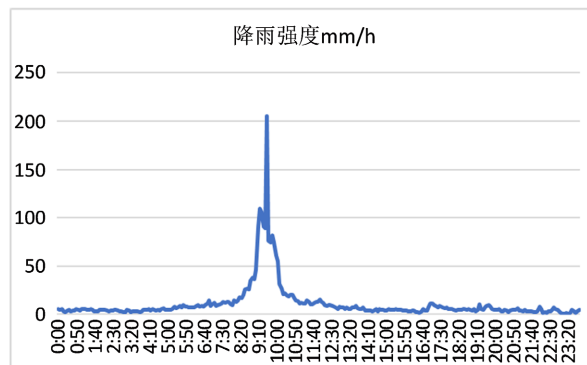


Figure 2. Long duration rainfall

图 2. 长历时降雨

2) 管网拓扑数据处理

将现状管网和规划管网导入模型，在模型中完善管网拓扑结构及相应管径、标高数据核查保证模型完整性，最终管网总长度 260 km，节点 1053 个。

3) 下垫面数据

区域面积约 3716 公顷。根据规划，将下垫面分为居住用地、商业用地、公共服务用地、科教用地、公用设施用地、绿地、广场、道路、水面和其他共计 10 种地块类型，各地块面积如图 3。

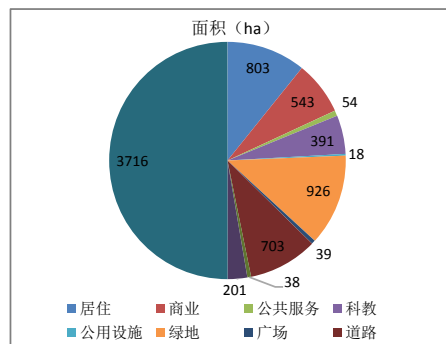


Figure 3. Statistics of plot types

图 3. 地块类型统计图

### 3. 模型建立

#### 1) 初期损失

初期损失是指降雨开始阶段的截流、填洼等不参与径流形成的部分降雨。根据径流表面不同，采用两种初损模型，绿地采用绝对初损模型(Abs)，初损参数取 0.0025，其他径流表面采用斜坡初损模型(Slope)，初损参数取 0.000071。

#### 2) 产流模型

产流模型描述的是在降雨量大于填洼量和截流的水量，并且降雨强度大于下渗速度的情况下，地面出现地表径流。本项目产流模型参数采用固定径流系数模型(Fixed)，产流模型参数即为下垫面的径流系数。各类用地的组成大致可分为屋顶、硬化地面、道路、绿地四大类，不考虑雨水的控制措施时，建筑屋顶的径流系数取 0.85；硬化铺装径流系数分建筑小区类硬化铺装(包括居住用地、公建类用地、商业服务业用地、绿化用地、市政道路的人行道)和其他类型的硬化铺装(包括工业用地、物流仓储用地、公用设施用地、交通场站用地和广场用地)，前者径流系数取 0.6，后者径流系数取值 0.90；道路取 0.95，绿地取 0.15。

#### 3) 汇流模型

汇流模型主要描述的是产生的径流是以什么速度从集水区进入管网系统。本模型采用 SWMM 汇流模型，对应的汇流参数即为各个下垫面的粗糙系数，市政道路取值 0.013，公园、街头绿地和防护绿地等以绿地为主的用地取值 0.2，建筑与小区取值 0.02。

#### 4) suds 模块

suds 控制是为捕获地表径流，提供滞留、渗入和蒸发作用的源头控制措施，这些设施可以在集水区中进行设置，通过模拟下凹式绿地、透水铺装、绿色屋顶来分析 LID 措施对污染负荷的消减作用。

### 4. 管网负荷评估

结合 A 市相关规划确定中心城区的雨水管网设计重现期取  $P = 2$  年。通过模型计算分析和反馈，优化管网布置确定合理的雨水管道布置方案。对计算结果做管道超负荷状态分析，模型中管道负荷状态  $< 1$ ，表示该管段雨水管道内水流没有充满管道；管道负荷状态  $= 1$ ，表示雨水管道被充满，并且是由下游管道排水能力不足造成；管道负荷状态  $= 2$ ，表示雨水管道被充满是由本段管道排水能力不足造成。对比结果如图 4。

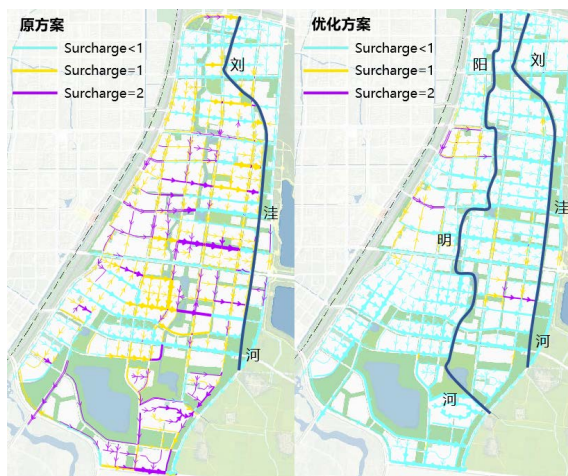


Figure 4. Pipeline network load comparison  
图 4. 管网负荷对比图

通过模拟发现原方案雨水主要排向刘洼河，排水分区划分不合理，雨水干管汇水面积较大，造成排水拥堵。优化方案通过引入阳明河承担部分雨水管网的排出通道及对部分管径调整后，超负荷管段由原42%，减少为9%，在重现期  $P = 2$  的降雨强度下新建管线均能达到设计要求，局部未能满足设计要求的管段主要为老城区现状管道，后续采取管网改造和海绵措施，减小该部分的影响。

对优化方案进行评估分析，管网总长度 260.30 km，如表 1 重现期小于 0.5 年的管道总长度为 4.21 km，重现期小于 1 年的管道总长度为 12.71 km，重现期小于 2 年的管道总长度为 16.74 km，重现期小于 3 年的管道总长度为 22.57 km，重现期小于 5 年的管道总长度为 39.56 km。其中不满足 2 年重现期的管道主要集中于老城区现状管网，新规划设计管网均能满足要求。

**Table 1.** Statistical table of pipe network load status

**表 1.** 管网负荷状态统计表

重现期	超负荷状态	管网长度(km)	占比
P = 0.5	<1 (未滿)	237.50	91%
	=1 (滿流)	18.58	7%
	=2 (压力流)	4.21	2%
P = 1	<1 (未滿)	218.19	84%
	=1 (滿流)	29.40	11%
	=2 (压力流)	12.71	5%
P = 2	<1 (未滿)	205.94	79%
	=1 (滿流)	37.62	14%
	=2 (压力流)	16.74	6%
P = 3	<1 (未滿)	191.83	74%
	=1 (滿流)	45.89	18%
	=2 (压力流)	22.57	9%
P = 5	<1 (未滿)	164.72	63%
	=1 (滿流)	56.01	22%
	=2 (压力流)	39.56	15%

模型对于管网的规划的作用主要体现在 1) 确定合理的管径，在满足设计排水要求的同时达到经济最优；2) 指导设计人员优化管网布置，合理划分排水分区；3) 实现精确控制，随着降雨全过程中对管道负荷状态的了解，精确找到管网瓶颈管段并针对性调整，实现全局的掌控。

### 5. 内涝风险评估

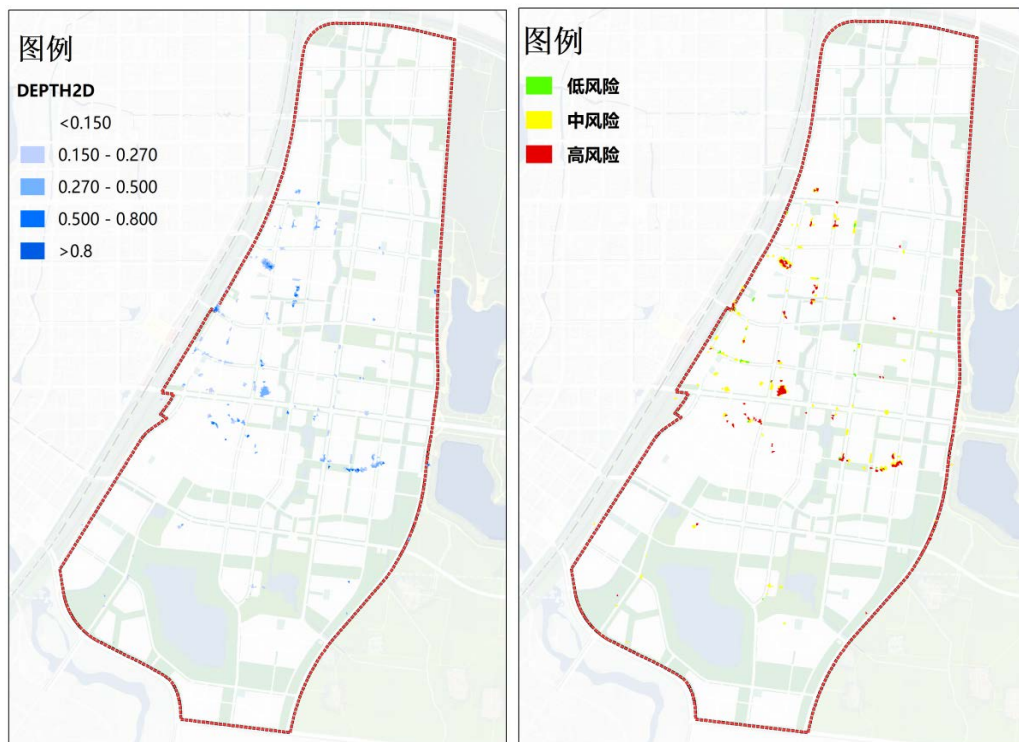
采用基于 Infoworks ICM 模型的情景模拟评估法绘制项目区域内涝风险分析图。参考《城镇内涝防治技术规范》(GB51222-2017)地面积水设计标准以和内涝防治设计重现期[3]，确定以 24 小时降雨，30 年一遇降雨进行内涝风险评估。结合 A 市当地实际情况，采取积水深度和积水时间综合评价方式对内涝风险的划分为 3 个等级，如表 2 所示。

**Table 2.** Waterlogging risk classification

**表 2.** 内涝风险等级划分表

积水深度	积水时间	0~30 min	30~60 min	>60 min
	0.15~0.27 m	低风险	中风险	中风险
0.27~0.5 m	中风险	高风险	高风险	
>0.5 m	高风险	高风险	高风险	





**Figure 5.** Waterlogging risk map  
**图 5.** 内涝风险图

由图 5 模拟分析结果得到总体规划范围内局部区域最大积水深度可达 0.96 m，主要为老城区地势低洼处，区域中积水深度大于 0.15 m 范围面积为 27.97 公顷。其中内涝高风险区域面积为 11.62 公顷；内涝中风险区域面积为 14.74 公顷；内涝低风险区域面积 1.62 公顷，新规划区域在 30 年一遇的降雨工况下无内涝积水点。

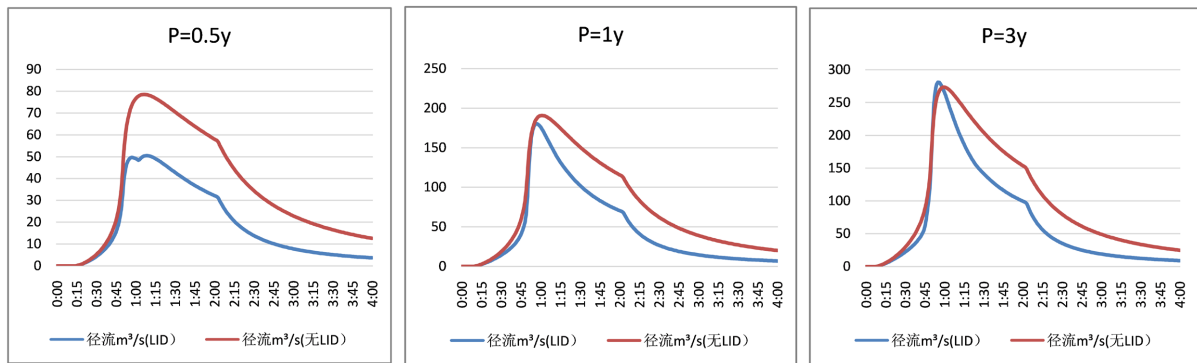
通过模型的运用能够科学量化分析积水范围、深度和时间并进行内涝风险等级多因子的综合评价体系，能够直观的展示研究区域风险等级为管理决策部门制定相应应急预案提供决策支撑依据。

## 6. 海绵减控效果分析

Omar [4]利用 SWMM 模型分析低影响措施在城市密集区域的雨水径流减控效果。陆小蕾等[5]基于 SWMM 模型研究，指出当下凹绿地深度达到 5~10 cm 能够有效削减雨水径流。陈韬等[6]以嘉兴市南湖区世合小镇为例，应用 Tree 模型评估了低影响开发措施水量水质控制效果。王文亮等[7]应用 SWMM 模型模拟雨水花园、植被浅沟和透水铺装 3 种措施对场地雨水径流的影响，结果表明场地 LID 措施可将峰值流量及年径流外排率恢复到开发前状态。

LID 措施对污染物的消减作用主要通过促进雨水下渗和蓄存减少径流量进而降低雨水携带的污染物进入排放水体。研究发现，采取 LID 措施对降雨径流和峰值流量都具有滞留消减作用，组合布设 LID 措施对径流消减最为明显[8]。按照 DB11/ 6825-2013《雨水控制与利用工程设计规范》[9]，通过建立模型评估组合海绵措施中下沉式绿地、透水铺装和绿色屋顶所占面积。

对于不同重现期  $P = 0.5$ ， $P = 1$ ， $P = 3$  的 2 h 场降雨情况下，LID 措施对径流量的控制效果分析主要体现如图 6 和表 3 所示，增加海绵措施后径流控制率分别为 78%，70%和 67%，较无 LID 措施显著提高径流控制率。同时，随着降雨强度的增大，LID 措施对峰值流量和径流总量的控制作用逐渐降低。

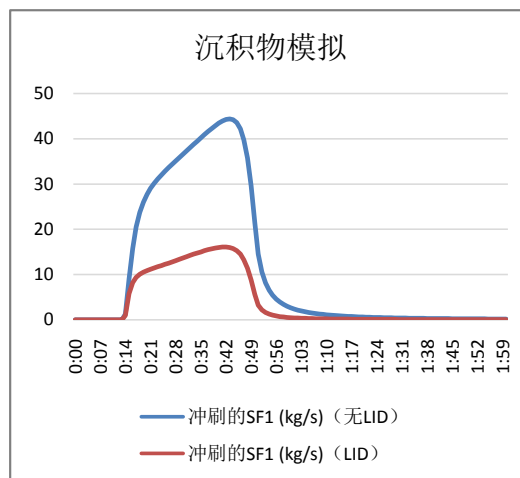


**Figure 6.** Runoff situation comparison  
**图 6.** 径流量情况对比图

**Table 3.** Runoff analysis comparison  
**表 3.** 径流量分析对比表

重现期	降雨量 mm	总面积 ha	降雨总量 m <sup>3</sup>	无 LID 措施		有 LID 措施	
				径流量 m <sup>3</sup>	综合径流系数	径流量 m <sup>3</sup>	综合径流系数
P = 0.5	32.86	3716	1221078	504308.4	0.41	272994	0.22
P = 1	61.43	3716	2282739	1059091	0.46	687600	0.30
P = 3	80.36	3716	2986178	1437278	0.48	991008	0.33

城市径流污染物中，SS 往往与其他污染物指标具有一定的相关性[10]。通过建立地表冲刷模型，模拟分析在 0.5 y 降雨强度下，组合 LID 措施对冲刷污染物 SS 的控制率为 64.2%，模拟结果如图 7 所示。



**Figure 7.** Comparison chart of sediment simulation analysis  
**图 7.** 沉积物模拟分析对比图

模型在海绵规划设计作用体现在能够直观的分析不同降雨强度对径流总量控制率的影响，分析不同 LID 措施对径流量和地表污染物消减的作用，并依据分析结果和管控指标确定各设施规模的调整。

## 7. 结论

在管网规划上，传统设计方法上工况校核较为单一难以全面评估设计方案。基于 Infoworks ICM 模

型的辅助设计, 确定中心城区 P = 2 年管网设计方案, 更合理的优化了管网布置, 并对极端工况下的多种管网运行状况进行定量评估, 同时验证了在设计要求重现期标准下设计方案能适当的超负荷运行。

在内涝风险评估上, 通常由管理部门记录历史积涝点进行风险标记难以全面的掌握内涝风险点。采用模型分析构建了积水时间和积水深度的多因子评价体系, 绘制了较为科学的内涝风险图作为海绵措施的规划布置以及防汛措施的制定提供了依据。

在海绵措施效果评价上, 利用模型分析了对不同降雨强度下的径流总量控制率以及增加海绵措施后对径流总量冲刷污染物的消减的量化, 确定组合海绵措施规模, 方案的实施能够达到海绵城市的建设要求标准。

## 参考文献

- [1] 李莹, 赵珊珊. 2001-2020 年中国洪涝灾害损失与致灾危险性研究[J]. 气候变化研究进展, 2022, 18(2): 154-165.
- [2] 徐宗学, 陈浩, 任梅芳, 等. 中国城市洪涝致灾机理与风险评估研究进展[J]. 水科学进展, 2020, 31(5): 713-724.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB51222-2017 城镇内涝防治技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [4] Khader, O. and Montalto, F.A. (2008) Development and Calibration of a High Resolution SWMM Model for Simulating the Effects of LID Retrofits on the Outflow Hydrograph of a Dense Urban Watershed[J]. *Low Impact Development*, 36, 1-9.
- [5] 陆小蕾, 赵然杭, 郝玉伟. 基于 SWMM 的下凹式绿地对城市径流的影响分析[C]//中国水利学会水资源专业委员会, 2009: 642-648.
- [6] 陈韬, 曹凯琳, 邹子介. 基于 i-Tree 模型的 LID 技术在降雨径流控制效果评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2016, 34(3): 6-10.
- [7] 王文亮, 李俊奇, 宫永伟, 等. 基于 SWMM 模型的低影响开发雨洪控制效果模拟[J]. 中国给水排水, 2012, 28(21): 42-44.
- [8] 段明印, 李传奇, 韩典乘, 等. 基于暴雨管理模型(SWMM)的水生态小区低影响开发(LID)技术效果模拟及评估[J]. 净水技术, 2018, 37(2): 31-37.
- [9] 北京市规划委员会, 北京市质量技术监督局. DB11/ 685-2013 雨水控制与利用工程设计规范[S]. 北京: 北京市城乡规划标准化办公室.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 12.