

# 雨水管网数值模型在城市内涝防治中的应用研究进展

姚江<sup>1</sup>, 王杰<sup>1</sup>, 卢涛<sup>1</sup>, 赵维嘉<sup>2</sup>

<sup>1</sup>扬州德道市政设计院有限公司, 江苏 扬州

<sup>2</sup>扬州市城市规划设计研究院有限责任公司, 江苏 扬州

收稿日期: 2023年2月8日; 录用日期: 2023年3月8日; 发布日期: 2023年3月20日

## 摘要

雨水管网数值模型模拟暴雨径流的行为, 可用于设计和优化暴雨管理系统, 评估降水模式和其他气候相关因素变化的影响, 并预测特定地区发生洪水的可能性。这些模型为了解雨水径流的行为和确定管理这一关键资源的最有效和最具成本效益的解决方案提供了一个宝贵的工具。通过模拟降水模式、土地使用和城市化变化的影响, 以及气候变化的影响, 这些模型可以用于减少城市洪水的风险和保护环境的决策。

## 关键词

雨水管网数值模型, 城市内涝, 研究进展

# Application Research Progress of Rainwater Pipe Network Numerical Model in Urban Water Logging Prevention and Control

Jiang Yao<sup>1</sup>, Jie Wang<sup>1</sup>, Tao Lu<sup>1</sup>, Weijia Zhao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yangzhou Dedao Municipal Design Institute Co., Ltd., Yangzhou Jiangsu

<sup>2</sup>Yangzhou Urban Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Yangzhou Jiangsu

Received: Feb. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 8<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 20<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Stormwater management models simulate the behavior of stormwater runoff and can be used to design and optimize stormwater management systems, assess the impact of changes in precipita-

tion patterns and other climate-related factors, and predict the likelihood of flooding in specific areas. These models provide a valuable tool for understanding the behavior of stormwater runoff and determining the most effective and cost-efficient solutions for managing this critical resource. By simulating the impact of changes in precipitation patterns, land use, and urbanization, as well as the effects of climate change, these models can help communities make informed decisions about how to reduce the risk of urban flooding and protect their communities and the environment.

## Keywords

Numerical Modeling of Stormwater Pipe Network, Urban Water Logging, Research Progress

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. 雨水管网数值模型简介

雨水管网数值模型是计算机模拟，旨在模拟城市地区暴雨事件中的水流，并评估洪水的潜力[1]。这些模型的主要目的是评估减少城市洪水的潜力，并提供早期预警信息。这些模型可以帮助城市规划者和工程师确定最容易受洪水影响的地区，设计有效的雨水管理系统，并评估不同缓解策略的有效性[2]。

该模型通常包括有关该地区的地形、建筑物、道路和其他基础设施的类型和位置的信息，以及有关当地气候和气象数据的信息。然后用计算机软件运行该模型，模拟暴雨事件中的水流。模拟的结果可以提供有关预计流经城市不同地区的水量、水流的速度和方向、以及潜在的洪水热点位置的信息[3]。

除了减少洪水灾害的风险，雨水收集数值模型也可以用来在风暴事件中提供早期预警信息。通过使用来自深 L 传感器和其他监测系统的实时数据，该模型可以实时更新，以提供有关潜在洪水的最新信息。然后，这些信息可以用来发布洪水警报，将人们从高风险地区疏散，并动员应急小组帮助减轻洪水的影响[4]。

总的来说，雨水收集数值模型在城市减洪和预警方面发挥着至关重要的作用，它为城市规划者和工程师提供了设计有效的雨水管理系统所需的信息，减少洪水破坏的风险，并在风暴事件中提供早期预警信息[5]。

## 2. 雨水管网数值模型在城市内涝防治中的应用进展

雨水管理数值模型可以成为协助城市防洪工作的有用工具。这些模型使用复杂的数学方程和计算机模拟来分析和预测雨水径流在给定区域的行为方式，这有助于识别有洪水风险的区域。

雨水管理数值模型可以帮助城市防洪减灾的一种方式帮助设计和优化雨水管理系统。例如，这些模型可用于模拟不同类型的雨水管理基础设施的性能，例如屋顶绿化、雨水花园或滞留池。这可以帮助工程师和城市规划者确定减轻特定区域洪水风险的最有效和高效的解决方案。

此外，雨水管理数值模型可用于预测不同类型的风暴事件对城市地区的影响。通过分析降雨强度、持续时间和频率等因素，这些模型可以估计将产生的径流量和给定区域的潜在洪水风险。这些信息随后可用于制定应急响应计划或为有关土地使用规划和开发的决策提供信息。

总体而言，雨水管理数值模型是协助城市防洪工作的宝贵工具，因为它们可以对雨水径流进行详细分析和模拟，并有助于为有关雨水基础设施设计和应急响应规划的决策提供信息。雨水管理数值模型可以通过帮助理解和预测雨水径流的行为，以下是这些模型可以在减少城市洪水方面发挥关键作用。

## 2.1. 洪水风险的预测分析

暴雨管理模型可以用来预测特定地区发生洪水的可能性，通过模拟暴雨径流对不同降雨事件和土地利用变化的反应行为。通过考虑降水模式、地形、土地利用和雨水管理系统的能力等因素，这些模型可以生成水如何流经特定区域的模拟，并确定哪里和何时可能发生洪水[4]。

使用暴雨管理模型进行预测分析的主要好处之一是，它们可以用来评估不同情况下的潜在后果。例如，模型可以用来模拟新的发展、土地利用的变化或绿色基础设施解决方案的实施对雨水径流和洪水风险的影响。这些信息可以用来做出关于如何减少洪水风险和保护社区和环境的明智决定[6]。

这些模型的另一个重要用途是帮助识别特别容易受洪水影响的地区。例如，地势低洼、发展严重或基础设施老化的地区可能有更高的洪灾风险。通过识别这些地区，社区可以采取减少他们面临的洪水风险，如实施绿色基础设施解决方案，改善雨水管理系统，或更新土地使用政策[7]。

总的来说，暴雨管理模型是预测特定地区发生洪水的可能性和评估不同情况下的潜在后果的宝贵工具。通过提供对暴雨径流行为的全面了解，这些模型可以帮助社区做出关于如何减少城市洪水风险和保护社区和环境的明智决定。

## 2.2. 径流量预测

径流量预测是用于协助城市防洪减灾的雨水管理数值模型的一个重要方面。模型的这一方面有助于估计暴雨事件期间给定区域可能产生的径流量。然后可以使用此信息来设计雨水基础设施，以处理预期的径流量并降低洪水风险[8]。

径流量的估算基于许多因素，包括降雨量和强度、风暴事件的持续时间、该地区的土壤类型和土地利用。该模型综合考虑了这些因素，以模拟风暴期间流入雨水系统或其他水体的水量。

雨水管理数值模型使用一系列数学方程和计算机模拟来计算给定区域产生的径流量。这些模型还可以考虑该地区的地形、存在的植被类型以及地表区域的不透水程度，以进一步完善估计。

此信息可用于设计雨水基础设施，例如蓄水池、滞留池或渗透系统，以处理预期径流并降低洪水风险。这些模型可以帮助城市规划者和工程师确定特定区域所需的雨水基础设施的适当规模和容量，以有效管理雨水径流。

通过准确预测径流量，雨水管理数值模型还有助于为土地利用规划和开发决策提供信息。例如，这些模型可以识别开发可能会增加洪水风险的区域，或者可以使用雨水花园或生物沼泽等绿色基础设施来管理雨水径流和降低洪水风险的区域。

总之，径流量预测是雨水管理数值模型的一个重要方面。通过估算给定区域产生的径流量，这些模型可以为雨水基础设施的设计提供信息，并有助于降低城市地区发生洪水的风险。

## 2.3. 雨水管理系统的设计

雨水管理模型可用于设计和优化雨水管理系统，如蓄水池、滞留池和透水铺装系统，以减少洪水的风险。这些模型模拟了雨水径流的行为，可以用来确定管理和处理雨水的最有效和最具成本效益的解决方案。例如，暴雨管理模型可用于评估不同类型的滞留和拘留系统的有效性，如滞留池和拘留池，以减少洪水的风险。通过模拟暴雨径流在不同降雨事件中的行为，这些模型可以帮助确定这些系统的最佳尺寸、位置和设计，以达到理想的防洪水平。

透水路面系统是雨水管理的另一个重要组成部分，可以使用这些模型进行设计和优化。这些系统允许雨水渗入地下，减少径流并改善水质。模型可以用来确定不同类型的景观和降雨模式的最有效的透水路面设计和配置。雨水管理的另一个重要方面是绿色基础设施，可以使用这些模型进行设计和优化。绿

色基础设施解决方案，如绿色屋顶、雨水花园和生物沟，可以被模拟和评估，以确定其在减少径流和改善水质方面的有效性[9]。

总之，雨水管理模型可用于设计和优化雨水管理系统，如蓄水池、滞留池、透水铺装系统和绿色基础设施，以减少洪水的风险。这些模型提供了一个强大的工具，以了解雨水径流的行为，并确定管理这一关键资源的最有效和最具成本效益的解决方案。

## 2.4. 评估气候变化的影响

雨水管理模型可用于评估降水模式的变化和其他与气候有关的因素对雨水径流和洪水风险的影响。这些模型模拟暴雨径流在不同降雨事件中的行为，可用于了解降水模式的变化，如降雨事件的强度和频率增加，如何影响洪水风险。例如，暴雨管理模型可用于评估降水模式的变化对现有暴雨管理系统(如蓄水池、滞留池和透水铺装系统)能力的影响。通过模拟暴雨径流在不同降雨事件中的行为，这些模型可以帮助识别可能需要额外容量的区域或现有系统可能被淹没的地方。

这些模型的另一个重要用途是评估土地利用和城市化变化对雨水径流和洪水风险的影响。例如，模型可以用来模拟新的发展、土地利用的变化或绿色基础设施解决方案的实施对雨水径流和洪水风险的影响。此外，雨水管理模型可用于评估气候变化对雨水径流和洪水风险的影响。例如，模型可用于模拟温度和海平面上升、降水模式变化、极端天气事件频率和强度增加对雨水径流和洪水风险的影响。

总的来说，暴雨管理模型为评估降水模式的变化和其他气候相关因素对暴雨径流和洪水风险的影响提供了宝贵的工具。通过全面了解暴雨径流在不同条件下的表现，这些模型可以帮助社区就如何减少城市洪水风险和保护社区和环境做出明智的决定。

## 2.5. 应急响应规划

应急响应规划是用于协助城市防洪减灾的雨水管理数值模型的另一个重要方面。该模型的这一方面有助于预测不同类型风暴事件对城市地区的影响，提供可用于制定洪水事件应急响应计划的关键信息。

雨水管理数值模型可以根据降雨强度、持续时间和频率以及周围土地的特征等多种因素预测各种风暴事件对特定城市地区的影响。这些模型使用数学方程和计算机模拟来估计不同风暴事件期间雨水径流的体积和流量[10]。

这些模型生成的信息随后可用于制定洪水事件的应急响应计划。应急响应计划通常包括有关如何准备和响应洪水事件的详细信息，例如疏散计划、警报系统和应急资源分配。利用雨水管理数值模型提供的信息，应急响应计划可以更精确、更有效地减轻洪水事件的影响。

例如，雨水管理数值模型可以提供有关最有可能受到洪水影响的区域、预计的雨水径流量以及这些区域的洪水深度的信息。此信息可用于制定应急计划，以解决与每种类型的洪水事件相关的特定风险。例如，应急响应计划可能会指定减轻低洼地区洪水或疏散洪水易发地区居民所需的资源和基础设施。

此外，这些模型可以模拟和评估可用于减轻洪水影响的不同策略和干预措施，例如安装防洪屏障、使用雨水蓄水池或实施绿色基础设施实践。

总之，雨水管理数值模型可以在城市防洪应急响应规划中发挥关键作用。通过预测不同类型的风暴事件的影响，这些模型提供了可用于制定有效的应急响应计划的关键信息，从而降低了洪水事件期间损坏和伤害的风险[11]。

## 2.6. 雨水管理设施优化

雨水管理是指用于管理和减轻降雨和雨水径流影响的做法和基础设施。有效的雨水管理对于降低洪水风险、改善水质以及保护公众健康和安全非常重要。雨水管理系统可以包括各种基础设施组件，例如

集水池、管道、池塘和湿地[12]。

优化雨水管理系统涉及评估不同基础设施组件和配置的性能，以确定对给定区域最有效和高效的方法。这可以通过使用模拟雨水径流行为和各种基础设施组件性能的数值模型来完成。

优化雨水管理系统的另一个关键方面是评估特定区域的洪水风险。这涉及对不同降雨情景下的雨水径流行为进行建模，并评估发生洪水的可能性。通过对不同雨水基础设施组件(例如管道和池塘)的性能进行建模，可以评估和优化不同管理策略的有效性，以降低洪水风险。

雨水管理优化的另一个重要方面是改善水质。雨水径流可以将沉积物、营养物和化学物质等污染物从城市和工业区带入溪流、河流和湖泊。通过模拟不同类型的雨水基础设施的性能，数值模型可以帮助确定捕获和处理污染物、改善水质和减少雨水径流对环境影响的最有效方法。

用于雨水管理优化的数值模型可以采用多种形式，例如水文模型、水力模型和水质模型。水文模型用于模拟降雨和雨水径流的行为，而水力模型则模拟水流通过雨水基础设施。水质模型模拟雨水径流中污染物的迁移和归宿，可用于评估不同方法的有效性。

总体而言，通过模拟不同类型的雨水基础设施的性能并评估给定区域的洪水风险，雨水管理数值模型可以帮助优化雨水管理系统，以降低洪水风险并改善水质。这可以导致更有效和可持续的雨水管理策略，保护公众健康和环境安全以及环境。

### 3. 雨水管网数值模型的未来发展

近年来，雨水管理数值模型有了很大的发展，并继续开发新的特征和功能，以更好地满足从业人员和决策者的需求。雨水管理数值模型未来会越来越关注雨水径流的质量，包括评估污染物，如化学品和沉积物，以及制定最佳管理措施(BMPs)以减少这些影响；模型正在纳入机器学习算法，以提高其准确性和效率，如纳入实时数据以改善预测和优化系统性能；模型越来越多地在云计算平台上运行，以提供更大的灵活性、可扩展性和成本效益。总的来说，暴雨管理数值模型会越来越广，会更好地满足从业人员和决策者在减少城市洪水风险和改善城市水资源管理方面的需求。

### 参考文献

- [1] 徐速. 城市雨水管网与地面流的一、二维集成模拟研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(9): 71-73+77.
- [2] 陈晓燕, 张娜, 吴芳芳, 贺兵. 雨洪管理模型 SWMM 的原理、参数和应用[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 4-7.
- [3] 赵冬泉, 佟庆远, 王浩正, 王浩昌, 王婧. SWMM 模型在城市雨水排除系统分析中的应用[J]. 给水排水, 2009, 45(5): 198-201.
- [4] 张小娜, 冯杰, 刘方贵. 城市雨水管网暴雨洪水计算模型研制及应用[J]. 水电能源科学, 2008(5): 40-42+103.
- [5] 周晓喜. 城市雨水管网模型参数优化及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
- [6] 李志丽, 姜明洁, 潘冉, 冀薪宇, 阎宇, 赵冬泉, 李萌. 北京市延庆区排水管网监测及运行状态分析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(20): 99-105.
- [7] 杨伟明, 刘子龙, 周玉文, 王中正, 高琳. 基于 CADTableConvert 和雨水管网设计计算表的自动 SWMM 水力模型构建方法研究[J]. 给水排水, 2016, 52(4): 124-127.
- [8] 周玉文, 赵洪宾. 城市雨水径流模型研究[J]. 中国给水排水, 1997(4): 4-6+2.
- [9] 蒋春博, 李家科, 高佳玉, 吕鹏, 姚雨彤, 李怀恩. 海绵城市建设雨水基础设施优化配置研究进展[J]. 水力发电学报, 2021, 40(3): 19-29.
- [10] 赵也, 娄明月, 杨艺. 基于多维水力模型法的机场雨水管网排水能力评估[J]. 中国给水排水, 2021, 37(23): 122-128.
- [11] 王瑜, 郭众一. 某工业园区降水径流模拟及雨水管网安全评估[J]. 山西建筑, 2022, 48(17): 154-156.
- [12] 李杨杨, 郭赞, 邓佑锋, 苏琼婵, 何昭菊, 赵诗琦. 城市雨水管网排水能力模型评估分析方法探究——以深圳市龙华区为例[J]. 水利水电技术, 2019, 50(10): 84-90.