

基于 BIM 技术的城市内涝排水管网应急调控机制研究

文 / 赵 统 西安市排水管理中心
付 强 西安市排水管理中心
郑小龙 西安市排水管理中心

摘要：随着城市化进程的加速，城市内涝问题日益严重，对城市排水管网的应急调控提出更高要求。本文研究基于 BIM 技术的城市内涝排水管网应急调控机制，分析 BIM 技术的特点和优势，探讨其在排水管网建模、模拟分析、应急决策等方面的应用，构建基于 BIM 技术的应急调控机制框架，并结合实际案例验证该机制的有效性，为提升城市内涝应对能力提供了新的思路和方法。

关键词：BIM 技术；城市内涝排水管网；应急调控机制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.109

引言

近年来，全球气候变化导致极端降雨事件频繁发生，城市内涝问题愈发突出。城市排水管网作为城市防洪排涝的重要基础设施，其运行效率和应急调控能力直接关系到城市的安全和居民的生活质量。然而，传统的城市排水管网管理和应急调控手段存在诸多不足，如管网信息不全面、模拟分析能力有限、决策缺乏科学性等，难以有效应对日益复杂的城市内涝问题。引入 BIM 技术，构建科学、高效的排水管网应急调控机制，有利于提高城市排水管网的应急响应能力和调控水平，减少城市内涝造成的损失。

一、BIM 技术概述

BIM (Building Information Modeling) 技术，即建筑信息模型技术，是一种基于数字化三维模型的综合管理技术。它具有以下特点：1. 信息集成性，BIM 技术能集成建筑工程项目的各种信息，包括几何信息、物理信息、功能信息以及施工进度、成本等信息，形成一个完整的信息数据库；2. 可视化，结合三维模型将复杂的建筑信息以直观的方式展示出来，便于各方人员理解和沟通；3. 协同性，支持不同专业、不同部门之间的协同工作，提高项目的整体效率和质量；4. 模拟性，对建筑项目的各种性能进行模拟分析，如能耗模拟、结构力学模拟等，为项目决策提供科学依据^[1]。

二、BIM 技术在市政雨水排涝管道的应用现状

近年来，BIM 技术在市政雨水排涝管道方面的应用逐渐增多。在管网建模上，整合管道的各类信息，如管径、材质、走向等，构建出精准的三维模型，将原本复杂交错的管道系统直观呈现，便于工作人员理解与规划；在可视化管理环节，借助 BIM 技术，管理者可通过三维模型实时查看管道的运行状态，快速定位问题区域。当管

道出现堵塞或破损时，能及时发现并安排维修；在故障诊断方面，BIM 技术也发挥着重要作用。对模型数据的分析，结合实际监测信息，可准确判断管道故障的类型和位置。分析水流速度、压力等数据，判断管道是否存在淤积或泄漏情况^[2]。

然而，目前 BIM 技术在市政雨水排涝管道的应用仍存在一些局限。一方面，数据的准确性和完整性有待提高，部分老旧管道信息缺失或不准确，影响模型的质量；另一方面，专业人才的短缺也制约着其广泛应用，熟悉 BIM 技术和市政排水业务的复合型人才相对匮乏^[3]。

三、城市内涝排水管网现状及问题分析

(一) 城市内涝形成的原因

城市内涝的形成是多种因素交织的结果。全球气候变化致使极端降雨事件愈发频繁且强度增大，远超城市排水管网的设计排水能力，大量雨水短时间内积聚，为内涝埋下隐患。同时，城市化进程的快速推进，城市中大量不透水地面取代了原本的自然地表，雨水下渗量大幅减少，地表径流量急剧增加，给排水管网带来沉重压力。再者，部分城市在排水管网规划设计阶段，对城市未来发展规划和雨水排放需求预估不足，管网布局缺乏合理性，管径偏小，难以应对较大雨水量^[4]。此外，排水管网长期运行后，因泥沙淤积、管道破损等问题，排水能力逐渐下降，而维护管理又未能及时跟进，不能及时发现并解决这些问题，进一步加剧了城市内涝的发生风险。

(二) 城市排水管网应急调控存在的问题

城市排水管网应急调控面临诸多难题：在管网信息管理上，信息分散在不同部门，缺乏统一整合，导致信息不完整、不准确，应急时难以快速获取关键数据，影响调控决策；在模拟分析能力方面，现有模拟软件功能受限，精度欠佳，无法精准模拟内涝时管网的复杂运行

状态,无法为调控提供科学依据;同时,应急响应速度也有待提升,内涝发生时,信息传递流程繁琐,决策过程缓慢,不能及时采取有效调控措施,致使内涝影响扩大;而且,排水管网应急调控涉及多部门,如市政、水利等,各部门间协同机制不完善,职责划分不清晰,沟通不畅,在应急处理中易出现相互推诿、协调困难的情况,严重降低应急调控的效率^[5]。

四、BIM 技术在城市内涝排水管网应急调控中的应用优势

(一) 全面整合管网信息

BIM 技术将城市排水管网的各种信息,如管道位置、管径、材质、埋深、检查井位置等,进行全面整合,建立三维信息模型。结合该模型,能直观展示排水管网的整体布局和详细信息,为应急调控提供准确的数据支持。

(二) 精准模拟内涝过程

利用 BIM 技术的模拟分析功能,可结合气象数据、地形数据等,对城市内涝情况下排水管网的水流状态进行精准模拟。开展模拟分析,可预测内涝发生的时间、地点、范围以及积水深度等信息,为制定科学的应急调控策略提供依据。

(三) 实时监控与预警

基于 BIM 技术的排水管网管理系统可以实时采集管网的运行数据,如水位、流量、流速等,并通过与模型的对比分析,实现对管网运行状态的实时监控。当发现管网运行异常或可能发生内涝时,系统能够及时发出预警信息,提醒相关部门采取措施。

(四) 辅助应急决策

在城市内涝发生时,BIM 技术为应急决策提供可视化的支持。结合三维模型展示内涝现场的情况,结合模拟分析结果,决策者可直观了解内涝的发展态势,快速制定合理的应急调控方案,如开启排水泵站、调整阀门开度、疏导交通等。

(五) 促进部门协同

BIM 技术的协同性特点,打破部门之间的信息壁垒,实现市政、水利、交通等部门之间的信息共享和协同工作。在应急调控过程中,各部门基于同一个 BIM 模型进行沟通和协作,明确各自的职责和任务,提高应急处理的效率和效果。

五、基于 BIM 技术的城市内涝排水管网应急调控机制构建

(一) 应急调控机制框架设计

基于 BIM 技术的城市内涝排水管网应急调控机制框架主要包括数据采集与传输、BIM 模型构建、模拟分析、

应急决策、执行与反馈等环节,具体如下:1. 数据采集与传输。结合传感器、监测设备等采集城市排水管网的实时运行数据,如水位、流量、流速等,以及气象数据、地形数据等相关信息,并通过无线传输技术将数据传输到数据中心;2. BIM 模型构建。利用 BIM 软件,根据排水管网的设计图纸、竣工资料以及采集到的数据,建立三维信息模型,并对模型进行不断优化和更新,确保模型的准确性和完整性;3. 模拟分析。运用 BIM 技术的模拟分析功能,结合采集到的数据,对城市内涝情况下排水管网的运行状态进行模拟分析,预测内涝的发展趋势和影响范围;4. 应急决策。根据模拟分析结果,结合应急预案,制定科学合理的应急调控方案,包括排水泵站的运行调度、阀门的开关控制、交通疏导措施等;5. 执行与反馈。将应急调控方案下达给相关部门和人员进行执行,并实时监控执行效果。同时,根据执行过程中反馈的信息,对调控方案进行调整和优化。

(二) 数据采集与传输系统

选择合适的传感器和监测设备,如水位传感器、流量传感器、雨量传感器等,确保数据采集的准确性和可靠性;采用无线传输技术,如 4G、5G 等,搭建数据传输网络,实现数据的实时、稳定传输;建立数据中心,对采集到的数据进行存储、管理和分析,为 BIM 模型构建和模拟分析提供数据支持。

(三) BIM 模型构建与更新

模型构建流程包含:收集排水管网的设计图纸、竣工资料等基础信息;利用 BIM 软件进行三维建模,包括管道、检查井、泵站等设施的建模;对模型进行属性赋值,如管道材质、管径、埋深等信息;进行模型的整合和优化,确保模型的准确性和完整性。此外,建立模型更新机制,定期根据排水管网的实际运行情况和维护记录,对 BIM 模型进行更新,保证模型与实际情况相符。同时,当排水管网进行改造或扩建时,及时对模型进行调整和完善。

(四) 模拟分析方法与模型验证

采用水力学模型,如 SWMM (StormWaterManagementModel) 等,结合 BIM 技术,对城市内涝情况下排水管网的水流状态进行模拟分析。在模拟过程中,考虑降雨强度、降雨历时、地形地貌、管网布局等因素的影响。结合实际监测数据对模拟模型进行验证,对比模拟结果与实际监测数据的差异,对模型进行调整和优化,提高模拟模型的准确性和可靠性。

(五) 应急决策支持系统

根据城市内涝的特点和排水管网的实际情况,制定

详细的应急预案，明确应急响应级别、各部门的职责和任务、应急调控措施等内容；同时，建立基于BIM技术的应急决策支持模型，结合模拟分析结果和应急预案，为决策者提供多种应急调控方案，并对方案的效果进行评估和预测，帮助决策者选择最优方案；此外，建设可视化决策平台，将BIM模型、模拟分析结果、应急调控方案等信息以直观的方式展示给决策者，方便决策者进行分析和决策。

（六）执行与反馈机制

一方面，明确应急调控方案的执行机构和人员，划分各部门和人员的职责和任务，确保应急调控措施得到有效执行；另一方面，BIM技术和数据采集系统，实时监控应急调控措施的执行情况，如排水泵站的运行状态、阀门的开关情况等；此外，建立反馈机制，及时收集执行过程中出现的问题和反馈信息，对应急调控方案进行调整和优化，确保应急调控效果的最大化。

六、案例分析

（一）案例背景

选取某城市的一个典型区域作为研究案例，该区域近年来频繁发生城市内涝，给居民的的生活和工作带来了严重影响。该区域的排水管网存在规划不合理、管径偏小、老化破损等问题，同时，缺乏有效的应急调控机制。

（二）基于BIM技术的应急调控机制应用过程

在该区域的排水管网中安装了水位传感器、流量传感器等监测设备，实时采集管网的运行数据，并利用4G网络将数据传输到数据中心；构建BIM模型构建，收集该区域排水管网的设计图纸、竣工资料等信息，利用BIM软件建立了三维信息模型，并对模型进行了属性赋值和优化；运用SWMM模型结合BIM技术，对该区域在不同降雨强度下的内涝情况进行了模拟分析，预测了内涝发生的时间、地点和积水深度等信息；根据模拟分析结果，结合应急预案，制定了相应的应急调控方案，包括开启排水泵站、调整阀门开度、疏导交通等措施；将应急调控方案下达给相关部门和人员进行执行，并运用BIM技术和数据采集系统实时监控执行效果。根据执行过程中反馈的信息，对调控方案进行调整和优化。

（三）应用效果分析

应用基于BIM技术的城市内涝排水管网应急调控机制，该区域在应对城市内涝时取得显著的效果。在一次强降雨过程中，提前开启排水泵站、合理调整阀门开度等措施，有效降低了积水深度和积水时间，减少了内涝造成的损失。同时，对执行效果的反馈和调整，进一步优化应急调控方案，提高应急调控的效率和效果。

表1 应用前后积水深度和积水时间对比

对比项目	应用前	应用后
积水深度 (cm)	平均 50	平均 30
积水时间 (小时)	平均 8	平均 4

表2 应用前后经济损失对比

经济损失项目	应用前 (万元)	应用后 (万元)
财产损失	500	200
交通延误损失	300	100

从表1和表2可以看出，应用基于BIM技术的应急调控机制后，该区域的积水深度和积水时间明显减少，经济损失也大幅降低，表明该机制在城市内涝排水管网应急调控中具有良好的应用效果。

结语

基于BIM技术的城市内涝排水管网应急调控机制研究，为解决城市内涝难题提供了新路径。研究表明，BIM技术凭借其信息集成、可视化模拟等特性，能有效整合管网信息，精准模拟内涝过程，辅助应急决策并促进部门协同。通过构建基于BIM技术的应急调控机制，可显著提升城市排水管网的应急响应速度和调控效率，减少内涝造成的损失。然而，目前该技术在实际应用中仍面临一些挑战，如数据安全保障和模型精度优化等问题。未来，需进一步深化研究，加强技术创新与应用实践，不断完善基于BIM技术的应急调控机制，使其更好地服务于城市内涝防治工作，为城市的安全稳定和可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 丁晓欣, 苏旭菁, 高静思, 等. BIM技术在城市供排水管网中的应用研究 [J]. 海河水利 2023(2): 63-66.
- [2] 陈卫. 市政给排水管网设计的主要问题及对策 [J]. 全面腐蚀控制 2024, 38(7): 95-98.
- [3] 邱兆瑞, 赵序国, 卜鹤, 等. BIM+GIS地空联合集成应用技术在城市排水管网改造工程中的应用研究 [J]. 百科论坛电子杂志 2023(20): 94-96.
- [4] 张传锋. 浅谈基于BIM技术的市政给排水设计及应用 [J]. 砖瓦世界 2024(21): 91-93.
- [5] 胡文亮. BIM技术在市政给排水管线设计中的应用 [J]. 科学与信息化 2024(8): 55-57.