DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.251143

基于多源异构数据的城市内涝识别与分析

王鹏飞,周光建,戴志胜,张嘉诚
(广州市城市规划勘测设计研究院有限公司,广东 广州 510060)

摘　要: 在全球气候变化加剧导致极端降水天气频发和城市野蛮式扩张双重因素叠加影响下,城市内涝风险不断增加,给城市治理带来了巨大挑战。因此,必须研究有效策略,提前识别并治理潜在风险隐患点,以减轻城市内涝风险。考虑到单一数据源难以精确刻画地表地下协同致涝机制,提出了一种基于多源异构融合数据的城市内涝识别与水位模拟的方法。融合三维激光点云生成的高精度数字高程模型(DEM,0.05 m)与城市三维管网数据,结合暴雨强度模型,通过GIS空间分析精准提取道路微观洼地,并依据其与雨水箅子服务区的空间关系判定排水状态,未被任何箅子覆盖的洼地被识别为高风险区。本文以广州市南沙区某街道为研究对象,通过计算模拟与实际数据对比,表明本文方法能高效定位积水风险点,为市政部门提供一种数据驱动的高效风险评估工具,对城市减灾治理、未来规划具有重要实践意义。

关键词: 多源异构数据;城市内涝;数字高程模型;排水管网;风险识别
中图分类号: TU998.4　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)01-0015-04

Identification and Analysis of Urban Flooding Based on Multi-Source Heterogeneous Data

WANG Pengfei, ZHOU Guangjian, DAI Zhisheng, ZHANG Jiacheng
(Guangzhou Urban Planning and Design Survey Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract: Under the combined influence of the frequent occurrence of extreme precipitation due to the intensification of global climate change and the wild expansion of cities, the risk of urban waterlogging is constantly increasing, posing a huge challenge to urban governance. Therefore, it is necessary to study effective strategies to identify and address the potential risk points in advance to mitigate the risk of urban waterlogging. Considering that a single data source is difficult to accurately depict the surface and underground coordinated waterlogging mechanism, a method for urban waterlogging identification and water level simulation based on multi-source heterogeneous fusion data is proposed. By integrating the high-precision digital elevation model (DEM, 0. 05 m) generated from 3D laser point clouds with the 3D urban pipeline network data, and combined with the rainstorm intensity model, the micro-depressions of roads are accurately extracted through GIS spatial analysis. The drainage status is determined based on its spatial relationship with the rainwater grate service area. Depressions not covered by any grates are identified as high-risk areas. Taking a certain street in Nansha District, Guangzhou City as the research object, the comparison between computational simulation and actual data indicates that the method can efficiently locate the risk points of water accumulation, which provides a data-driven and efficient risk assessment tool for municipal departments, and is of great practical significance for urban disaster reduction governance and future planning.

Keywords: multi-source heterogeneous data; urban waterlogging; digital elevation model; drainage network; risk identification

0　引　言

随着全球气候变化和城市化进程的快速推进,极端降雨事件频发,城市“看海”现象已成为困扰世界各地大中城市的顽疾[1]。道路作为城市的血脉,其积水不仅导致交通瘫痪,造成巨大的经济损失,更危及人民生命财产安全[2]。传统的城市洪涝模拟方法多依赖于水文水力模型,如SWMM、MIKEFLOOD、InfoWorksICM等,这些模型虽然能够实现动态过程的精确模拟,但存在建模过程复杂、参数率定困难、计算资源消耗大、对基础数据质量依赖极高等突出问题[3-4],极大地限制了其在业务化、大范围快速筛查中的应用。因此,发展一种快速、高效、可靠的城市道路积水风险识别方法,对于市政部门的日常管理、防灾减灾规划与应急响应具有重大的现实意义[5]。

收稿日期:2025-09-11
作者简介:王鹏飞(1986—),男,硕士,高级工程师,从事工程测量、地理信息系统研发等工作。

近年来，国内外学者在城市洪涝模拟领域进行了大量探索，其技术路线主要可分为三类：(1)基于遥感的洪涝监测。利用SAR影像或光学遥感影像进行积水范围识别，但其属于事后监测，无法进行风险隐患预测，且易受建筑物遮挡影响，实际使用颇受局限[6]。(2)基于水力学的模型模拟。该模型是当前主流的研究方法，但其应用门槛高，多用于重点区域的精细评估，难以大范围推广应用[7]。(3)基于DEM的静态风险评估。利用DEM计算地形指数来标识易涝区[8]。该方法简单高效，但完全忽视了城市地下排水系统这一关键影响因素，导致结果精度有限，误报率高[9]。

本研究旨在融合前两类方法的优势，并克服其缺点，提出一种介于简单地形分析和复杂水力模拟之间的“中间路径”模型。其核心思想是，城市道路积水与否，本质上取决于地表洼地的存水能力与地下排水设施的排水能力之间的时空匹配关系。即一个洼地是否会积水，不仅因为它低，更因为它“排不出去”[10]。

1　技术路线

本研究技术路线如图1所示，分为四个阶段。第一阶段：多源异构数据采集与处理；第二阶段：特征提取。利用三维点云数据生成高精度DEM，并提取道路区域的微观洼地，并处理城市排水管网数据，提取雨水箅子点位及其潜在服务范围；第三阶段：分析模拟。构建基于空间叠加分析的风险识别模型，判定每个洼地的排水状态；第四阶段：结果验证与输出。生成道路积水风险分布图，并利用历史积水点数据进行验证与评估。

图1　工作技术路线

2　研究区与数据处理

2.1　研究区概况

为验证本文方法可靠性，本研究选取了广州市南沙区南沙街为研究对象，南沙区年平均降雨量约1 600~2 000 mm，降雨主要集中在4—9月，在汛期面临较大的强降雨和城市内涝风险。如图2所示，南沙街位于广州市南沙区中心城区，大致呈东南—西北走向，面积约44.97 km^2，人口居住密度大，街道绿化率约71%，市政道路总长约300 km。在强降雨期

间，该道路曾多次发生严重积水，相关报道频见报端，是研究城市道路积水的典型区域。

（a）高分辨率遥感影像图　（b）高分辨率DEM成果图

图2　研究区概况图

2.2　数据来源与预处理

2.2.1　点云数据

本研究采用华测导航 LT800 系列手持激光扫描仪获取研究区的高精度三维点云数据。该设备作为一款先进的移动测绘系统，集成了高性能激光雷达、高精度惯导 IMU 与全景相机，能够快速、灵活地采集道路及其周边设施的毫米级点云数据，特别适合于立交桥、隧道、复杂路口等 GNSS 信号遮挡环境的精细化测量[10]。数据采集工作于 2025 年 6 月进行，沿南沙街主要城市道路往返扫描，确保点云覆盖的完整性与重叠度。

采集的原始数据通过 CHCNAV CoPre 三维数据智能解算软件进行处理。处理流程主要包括：点云与 POS 数据融合解算、自动点云去噪、精度优化，最终生成高精度的三维激光点云。如图 2 所示，基于解算后的点云，通过地面点滤波与分类，生成分辨率为 0.1 m 的数字高程模型，其高程精度优于 3 cm，足以精确捕捉路缘石、井盖、路面轻微坑洼等微观地形特征，为后续的积水风险分析提供了可靠的地形数据基础。

2.2.2　排水管网数据

排水管网数据格式为 dwg 格式，包含管段和检查井、雨水口两个图层。本研究主要利用雨水口点层数据，其属性表包含编号、经纬度坐标、类型、箅子材质、所属道路等关键信息。如图 3 所示，其他数据还包含道路网数据，该数据用于从整个 DEM 中裁剪出道路区域，以及历史积水点记录，该数据来源于市政热线报告和新闻媒体报道，用于模型验证。在使用前，需对数据进行拓扑检查，以确保数据的完整性和准确性。

3　研究方法

本研究的方法论核心是水文连通性分析，即通过空间分析手段，判断地表洼地与地下排水设施之间是否存在有效的“连接”[11]。整个模型通过 Python 语言，调用 geopandas，rasterio，scipy 等库实现。

图3　排水管网数据示意图

3.1　道路微观洼地提取

基于高精度数字高程模型数据，采用填洼-差值法提取道路中的洼地[12]。填洼-差值法是水文分析中用于处理数字高程模型中洼地问题的重要方法，该方法比简单的汇水区分析更能捕捉小尺度的地形凹陷。其核心思想是识别数字高程模型中周围像元高程均高于自身的低洼区域，将洼地高程提升至其最低出口点的高程，确保水流连续流出，避免虚假积水。

3.2　雨水箅子服务区构建

雨水箅子的地表服务范围并非一个标准的圆形，但考虑到模型的简洁性与通用性，本研究采用缓冲区分析法为每个箅子构建一个固定的服务范围。参考市政工程经验，本研究将缓冲区半径设置为 5 m。

3.3　水文连通性分析与风险判别

本文方法的核心创新点是通过空间叠置分析，结合降雨强度、历时等动态因素，判断每个洼地多边形是否与任何一个箅子服务区多边形相交，对道路区域进行风险评估[13]。如果一个洼地位于某个箅子的服务区内，且在强降雨天气情况下，该区域的积水速率小于排水速率，则认为该洼地与排水系统建立了有效的“水文连通”，降雨积水可顺利排走，风险低。如果一个洼地位于某个箅子的服务区内，但在强降雨天气情况下，该区域的积水速率大于排水速率，虽然该洼地与排水系统建立了有效的“水文连通”，但在降雨强度较大的天气情况下积水在短时间内也无法及时排走，存在中度风险隐患。如果一个洼地未被任何箅子服务区覆盖，则认为其是“孤立”的，缺乏排水路径，强降雨时极易发生积水，风险最高。

4　结果与分析

最终输出的道路积水风险空间分布如图 4 所示，

该地图直观地展示了所有识别出的道路洼地，并根据其与排水系统的连通性，将其划分为（a）低风险、（b）中风险、（c）高风险 3 个等级。以丰泽路这个知名积水点为例图 5（c），本文成功将其识别为“高风险”，经倾斜摄影测量生成的实景三维模型验证，其成因清晰可见，该路口存在一个面积约 100 m^2 的低洼区域，而最近的雨水箅子位于其东南侧 35 m 开外，远远超出了其有效服务半径。该洼地与排水系统完全“失联”，因此每逢强降雨，必发生严重积水。

图 4　道路积水风险分布图

本研究提出的快速识别模型，具有高效便捷、概念清晰、结果直观、数据驱动等显著优势。整个分析过程可在数小时内完成，远超传统水力模型数周甚至数月的建模周期，通过引入“水文连通性”这一地理信息科学的核心概念，逻辑严密，易于理解。同时，本研究也存在一些局限性，如未考虑降雨强度、历时等动态因素，是一种“最坏情况”下的风险评估。将箅子服务区简化为圆形缓冲区，未能精确模拟地表水流路径。未来本研究将引入 DEM 水文学方法进行优化。

5　结　语

本研究成功构建了一种不依赖于水力模拟的城市道路积水风险快速识别模型。该模型通过融合高精度 LiDARDEM 和排水管网数据，通过水文连通性空间分析，高效地实现了对道路积水高风险点的筛查。在广州市南沙区南沙街道的案例研究表明，模型识别精度高，与现场实际积水记录高度吻合，证明了该方法的有效性和实用性。模型输出结果是一张可直接用于业务化工作的风险地图，能够帮助市政管理部门快速定位排水设施的“盲区”，为道路积水治理提供精准的决策支持。

参考文献：

[1] 江春波，周琦，申言霞，等. 城市街道分水口对洪水流态转换过程影响研究[J]. 水力发电学报，2021，40（8）：34-42.
[2] 王化齐，张戈，李林，等. 城市内涝风险识别、预警与韧性评估研究进展[J]. 灾害学，2023，38（1）：136-140.
[3] 乔文宝. 基于 SWMM 模型的城市内涝及规划方案模拟研究[D]. 郑州：华北水利水电大学，2024.
[4] 王兆礼，陈昱宏，赖成光. 基于 TELEMAC-2D 和 SWMM 模型的城市内涝数值模拟[J]. 水资源保护，2022，38（1）：117-124.
[5] 徐美，刘舒，孙杨，等. 利用洪涝模型进行城市内涝风险快速识别与预警[J]. 武汉大学学报（信息科学版），2020，45:1185-1194.
[6] 张成才，黄河，朱祖乐，等. 基于高精度 DEM 的城市道路积水淹没计算方法研究[J]. 水利水电技术，2017，48（12）：1-6.
[7] 吕金燕，沈旭，赵梦阳. 基于 SWMM 模型的城市排水能力与内涝风险评估[J]. 市政技术，2022，40（7）：237-241.
[8] 赵思健，陈志远，熊利亚. 利用空间分析建立简化的城市内涝模型[J]. 自然灾害学报，2004，13（6）：8-14.
[9] 任伯帜，周赛军，邓仁建. 城市地表产流特性与计算方法分析[J]. 南华大学学报（自然科学版），2006（1）：8-12.
[10] 蔡石. 移动三维激光扫描技术在城市测量中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息，2024，47（201）：279-281；284.
[11] 冀永鹏，张洪兴，王运涛，等. 基于二维浅水方程的城市地面洪水演进数值模拟研究[J]. 水资源与水工程学报，2020，31（2）：42-49；56.
[12] 陈洋，杨文泰，李庆国，等. 基于损失函数的城市洪涝灾害弹性演化规律研究[J]. 防灾减灾工程学报，2024，44（4）：800-808.
[13] 牛凤娇，潘成忠，崔永生，等. 晋西黄土区土地利用对降雨入渗产流模式和优先流分布的影响试验研究[J]. 生态学报，2023，43（10）：4154-4166.