

城市内涝监测与预警预报技术研究

田德林, 孔瑜, 李壮举

北京建筑大学智科学院, 北京 102600

DOI: 10.61369/VDE.2026030006

摘 要 : 城市内涝具有突发性、随机性、破坏性强等特点, 是影响城市可持续发展、威胁人民生命财产安全的重大民生与生态问题。城市内涝形成机理复杂, 构建高效、精确的城市内涝监测与预警预报体系, 是改善城市防洪排涝能力、削减内涝灾害损失的有效途径。基于此, 本文将结合城市内涝监测预警预报技术需求, 系统分析城市内涝监测技术与预警预报技术, 以期为城市内涝防治政策制定、监测预警系统建设提供一定理论参考。

关 键 词 : 城市内涝; 监测技术; 预警预报

Research on Urban Waterlogging Monitoring, Early Warning and Forecasting Technologies

Tian Delin, Kong Yu, Li Zhuangju

School of Intelligent Science, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600

Abstract : Urban waterlogging is characterized by suddenness, randomness and strong destructiveness. It is a major livelihood and ecological problem that affects urban sustainable development and endangers people's lives and property safety. The formation mechanism of urban waterlogging is complex. Establishing an efficient and accurate urban waterlogging monitoring, early warning and forecasting system is an effective way to improve urban flood control and drainage capacity and reduce disaster losses. Based on this, combined with the technical requirements of urban waterlogging monitoring, early warning and forecasting, this paper systematically analyzes the relevant technologies, so as to provide theoretical references for the formulation of urban waterlogging prevention policies and the construction of monitoring and early warning systems.

Keywords : urban waterlogging; monitoring technology; early warning and forecasting

城市内涝不但会破坏城市市政基础设施、堵塞交通、影响工业生产与商业活动, 还会造成次生灾害, 如地下管网破裂、水质污染、疫病传播等, 从而加重灾害损失。随着城市内涝形势日趋严峻, 传统的“被动应对”模式已经不能满足城市防洪排涝的实际需要, 亟需转变理念, 建立“主动预防、精准监测、科学预警、高效处置”的一体化防控体系, 而城市内涝监测与预警预报技术则是这个体系的关键支撑, 其发展水平直接决定着城市内涝防治的效果。

一、城市内涝监测预警预报技术需求

(一) 精准预警

城市内涝发生具有明显的时空差异, 不同区域的内涝风险、积水深度、发展速度有明显差别。因此, 城市内涝监测技术要能准确把握内涝的时空分布特点, 预警预报技术要能准确预估内涝的发生时间、地点、强度和影响范围, 为针对性防控措施的制定提供精准依据。比如, 相关工作人员通过积水深度等精准数据, 制定居民疏散、交通管制的具体方案; 根据内涝的发展趋势数据调度给排水泵站、调配应急物资。

(二) 实时快速

城市内涝具有突发性、发展快等特点, 在短时间内可以造成严重的积水, 危及人民生命财产安全。因此, 城市内涝监测技术要能实时采集、传输监测数据, 预警预报技术要能快速处理监测

数据和气象数据, 实时生成预警信息, 及时发布给相关部门和公众, 为应急处置争取时间。通过实时观测降雨强度和积水深度, 当达到预警阈值时, 马上发出预警, 通知有关单位进行排水、疏散等处理工作。

(三) 全面智能

城市内涝形成的原因很多, 只有尽可能多地采集多源监测数据, 才能为预警预报提供更全面的基础数据支持。预警预报要覆盖各个层次、各个地区, 既要关注整体城市的内涝风险, 又要关注低洼地段、地下通道、学校、医院等重点区域的内涝情况^[1]。此外, 随着人工智能、大数据、物联网等技术的发展, 城市内涝监测和预警预报技术应该向智能化方向发展。在实现监测数据的自动采集、分析、处理的同时, 能够自动生成预报信息并及时发出预警, 结合人工智能模型自动识别内涝隐患区, 预测内涝发展走向, 为应急处置工作提供智能化、可行性建议。

二、城市内涝监测技术

（一）地面监测技术

地面监测技术是城市内涝监测中应用最广、基础性最强的一种技术，主要是对城市重点区域进行布设监测设备，直接获取积水深度、降雨强度、地下水位等数据，具有监测精度高、响应速度快、数据可靠等特点，适合于城市低洼地段、地下通道、排水管网出口、泵站等重点区域的监测。积水深度监测属于地面监测的主要内容，常用的监测设备有超声波水位计、雷达水位计、压力式水位计等^[2]。例如，超声波水位计通过发射超声波，测量超声波从发射到反射的时间，计算积水深度，具有非接触式监测、不受水质影响、安装方便等特点，适合于露天积水区域的监测，一旦水位超过设定的警戒值，就会发出警报。此外，降雨强度监测也属于地面监测的一部分，常用的监测设备有雨量计、雨量传感器等。雨量计主要有翻斗式雨量计、虹吸式雨量计、称重式雨量计等，其中翻斗式雨量计由于结构简单、成本低、精度高而被广泛应用于城市内涝监测中。雨量传感器是通过收集雨水，再将其转换成脉冲信号，从而得到降雨量。准确的雨量监测数据是判断内涝风险的重要依据，短时间内出现的强降雨往往是造成内涝的直接原因。

（二）遥感监测技术

遥感监测技术属于一种非接触式监测手段，依靠卫星、无人机这些遥感平台，获取城市地表的影像数据以及地理信息，借助图像处理技术，从中提取出内涝积水区域、积水范围、积水深度等信息，具备监测范围广、覆盖面积大、可以完成大范围快速监测等优点，适合于城市全域内涝监测，尤其适合于大范围暴雨造成的内涝监测。

卫星遥感监测是遥感监测技术的主要形式之一，卫星搭载可见光、红外、微波等传感器，获取城市地表影像数据，用图像处理技术识别积水区域和积水范围。可见光遥感通过获取地表反射的可见光来区分水体和其他地物，可以快速发现积水区，但是受到天气的影响比较大，在暴雨、阴天等天气条件下，监测精度会受到影响；红外遥感通过获取地表的热辐射信号，利用水体和其他地物的热辐射差异来识别积水区域，不受天气的影响，在暴雨、阴天等恶劣天气下也可以正常使用^[3]。而无人机遥感监测属于近些年迅速发展起来的遥感监测技术，具备灵活多变、机动性强、监测精度高、可以近距离进行监测等优点，适合于城市局部区域的内涝监测，尤其适合于地面监测设备不能到达的区域。无人机搭载高清摄像头、红外传感器、雷达传感器等设备，可以快速获取监测区域的影像数据，及时得到积水范围、积水深度、受淹建筑物等信息，给应急处置提供准确的现场数据支持^[4]。无人机依靠灵活、机动性强的特点成为内涝监测的“急先锋”，一旦发生内涝，可以迅速到达现场进行低空拍摄、监测，使用专业的设备获得详细的地面信息，给救援决策提供有力的支持。

（三）水文监测技术

水文监测技术主要是对城市水文过程进行监测，即地表径流、地下径流、河道流量等数据的监测，了解城市水文变化规

律，为内涝预警预报提供水文基础数据。水文监测技术与地面监测、遥感监测技术相互配合，形成完备的城市内涝监测系统^[5]。

地表径流监测属于水文监测的主要内容，主要依靠布设径流监测站来获取地表径流的流量、流速等数据，进而认识降雨后汇流的过程及径流的变化规律。常用的径流监测方法有流速面积法、浮标法、电磁流量计法等，电磁流量计法由于精度高、响应快，被广泛用于城市地表径流监测。利用地表径流监测可以得到城市各个区域的径流系数、汇流时间等参数，给内涝预警预报模型的建立提供基础数据。地下径流监测主要是设置地下径流监测井，获取地下水位、地下水流速等数据，了解地下径流的变化规律，分析地下水位升高给城市内涝造成的影响^[6]。地下径流监测对于地下通道、地下车库等地下空间的内涝防治有着重要意义，可预估地下水位上升趋势，迅速落实防控手段。而河道流量监测主要针对城市内河、护城河等河道，通过布设河道流量监测站，采集河道的流量、水位等数据，了解河道的行洪能力，判断河道是否存在水位过高、水流不畅等问题，为河道疏浚、防洪调度提供依据。

三、城市内涝预警预报技术研究

（一）气象预报技术

城市内涝的发生与降雨有密切联系，准确的气象预报是开展内涝精准预警预报的前提。目前，城市气象预报技术主要有数值天气预报技术、雷达回波预报技术和卫星云图预报技术。数值天气预报技术依靠创建气象数值模型，用超级计算机对大气运动实时模拟，预估未来一段时间内气象要素的变动情况，包括降雨、气温、风速等，具备预报范围广阔、预报精确度高、预报时漫长等特点，是当下城市气象预报的主要技术。数值天气预报技术可以准确地预知暴雨发生的时间、地点和强度，给内涝预警预报提供气象上的支持。

气象预报技术的发展给城市内涝预警预报提供准确的气象数据支持，但是短时暴雨预报精度还存在不足，极端天气预报也存在不确定性，需要与其他技术相结合来提高预警预报的精度。目前主流的城市内涝风险预报系统常常只使用一种降雨产品驱动模型，不能同时考虑降雨估计精度和空间变异性描述，造成风险预报结果存在较大不确定性^[7]。雨滴谱仪、雨量计等降雨观测产品可以得到准确的点降雨数据，但是不能考虑降雨的空间变异性；天气雷达可以精细化描述降雨的空间分布，但是受到地形遮挡、信号衰减等影响，在降雨定量估计的准确性上仍然存在不足。

（二）水文模拟技术

概念性模型以水文循环的物理过程为基础，简化水文过程中的复杂机制，建立概念性的数学模型来模拟降雨、下渗、汇流等水文过程，具有较强的适应性以及较高的计算精度，适合于中等复杂程度的城市区域内涝预报。常用的模型有SCS模型、新安江模型等，在城市内涝模拟中被广泛使用。

分布式模型依靠地理信息系统（GIS）、遥感（RS）技术把城市区域划分成若干个网格单元，每个网格单元拥有自身的水文

参数,模拟每一个网格单元的水文过程,然后借助网格单元之间的水文联系,模拟整个城市区域的内涝形成过程,具备模拟精度高、能体现内涝的时空差别等优势,适合于复杂城市区域的内涝预报。随着城市水文水动力模型及耦合技术的发展,以物理模型为基础的洪涝预报技术越来越成熟,已有学者用气象站降雨数据驱动城市内涝水动力模型来建立城市内涝风险预警系统。

水文模拟技术优势是能准确模拟内涝产生过程、预测内涝发展趋势,但也有不足之处,模型参数率定繁杂、计算量大、对基础数据需求高,需要大量监测数据和地理信息数据做支撑,难以应用于部分城市^[8]。城市水文水动力模型结构和参数的不确定因素也会对预报结果造成影响,在有良好的降雨驱动数据的情况下,洪涝风险预警依然可能会失效。

（三）人工智能预警技术

随着人工智能、大数据、物联网等技术的发展,人工智能预警技术在城市内涝预警预报中得到了广泛的应用,也成了内涝预警预报技术的发展方向。人工智能预警技术依靠多源监测数据,用机器学习、深度学习等算法创建内涝预警预报模型,达到内涝精准预警预报的目的,具备自适应能力较强、预测准确率较高、计算速度快等优点^[9]。

机器学习预警技术属于人工智能预警技术的基础,利用决策树、随机森林、支持向量机等机器学习算法对历史监测数据(降雨数据、积水数据、水文数据等)进行训练,得到降雨和内涝之间的映射关系,从而实现内涝的预测。机器学习算法可以自动从历史数据中学习规律,适应不同的城市环境和气象条件,具有很强的适应性,适合于各种规模的城市内涝预警预报^[10]。以智能物联网技术对城市积水实况信息进行监测为基础,再利用机器学习方法对未来1小时最大积水深度进行预报,取得较好的效果,但是基础数据较少会严重限制机器学习模型的表现,造成预测精度不高。

四、结语

综上所述,城市内涝监测与预警预报技术正朝着精确化、智能化、协同一体化的方向发展。未来,城市内涝监测与预警预报技术将会与人工智能、大数据、物联网、5G、数字孪生等数智技术深度融合,开发出更好的监测设备和预警预报模型,从而提高监测预警的准确性和速度,有效提升城市内涝防控的总体水平。

参考文献

[1] 李素敏. 城市内涝原因及治理预防研究 [J]. 水上安全, 2025, (24): 109-111.
[2] 肖江, 常杉, 姚懿真, 等. 城市内涝治理方案编制的要点及方法 [J]. 广西水利水电, 2025, (05): 147-150.
[3] 任高翔, 王蔚卿, 李彤, 等. 基于过程风险控制城市内涝防治模拟研究 [J]. 徐州工程学院学报 (自然科学版), 2025, 40(03): 20-28.
[4] 梁鲁生. 智慧水务模型在城市内涝预警与应急响应中的应用及效能评估 [J]. 中国高新科技, 2025, (17): 146-148.
[5] 查富成, 黄煥祺. 城市内涝治理的多维路径与前沿挑战研究 [J]. 新城建科技, 2025, 34(07): 1-3.
[6] 樊荣. 城市内涝监测解决方案的构建与探索 [J]. 中国安防, 2025, (07): 71-74.
[7] 杨尚帅, 王永龙, 罗北. 城市内涝监测预警系统研究 [J]. 测绘标准化, 2024, 40(02): 123-128.
[8] 杨彪, 钱原铭, 陈良志, 等. 城市内涝监测预警系统研发与应用 [J]. 中国给水排水, 2024, 40(14): 107-112.
[9] 初亚奇, 王曦, 曹晓妍, 等. 城市内涝风险模拟与预警研究进展及展望 [J]. 沈阳建筑大学学报 (社会科学版), 2023, 25(02): 180-185.
[10] 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(01): 136-140.