

2.2 城市洪涝形成机理与防治关键技术研究及示范

➤ 简要信息

【获奖类型】应用一等奖

【任务来源】水利部公益性行业科研专项，水利部重大课题，国家自然科学基金重点项目，吕梁市十二五重点项目

【课题编号】200701038，200801033，水重大 2011-4，50739003，资 0202292013

【课题起止时间】2007 年 11 月~2012 年 12 月

【完成单位】中国水利水电科学研究院

上海市防汛信息中心

【主要完成人】程晓陶、李娜、冯杰、杨志勇、王静、王艳艳、杜晓鹤、韩松、丁相毅、陈向东

➤ 立项背景

城市在聚集人口与财富的同时，也聚集了风险。保障城市防洪安全，是我国防洪体系建设中突出重要而又十分艰巨的任务。近年来，我国洪灾风险的构成与分布随着我国城镇化、工业化进程发生了显著变化。对于城市洪涝灾害的治理已引起党中央、国务院的高度重视。为了应对新时期城市洪涝灾害问题，为防治城市洪涝灾害提供技术支持，我国各级政府与相关部门加大了对城市洪涝防治应用基础研究与应用技术研发的支持力度。

本成果是在 2007 年以来我们围绕加强城市洪水风险管理与应急管理两条主线开展的相关研究项目基础上，具体包括水利部公益性行业科研专项经费项目“城市防汛预警与应急响应关键技术研究”（项目编号：200701038）和“城市突发强暴雨洪水形成机理及预报技术研究”（项目编号：200801033）、水利部重大课题“城市防洪工作现状、问题及其对策（课题编号：水重大 2011-4）”、国家自然科学基金重点项目“涝渍灾害产生机理与减灾方法研究”（基金编号：50739003），以及吕梁市十二五重点项目“吕梁市新城两山防洪工程规划及可行性研究”，对上述成果进行的集成和总结。

➤ 详细科学技术内容

基于洪水灾害系统与风险评估理论，阐明了迅猛城镇化背景下城市洪涝孕灾模式与风险演变的机理，研发了城市洪涝仿真模拟与灾害损失评估技术，建立了城市洪涝预警预报系统，提出了城市洪涝防治规划设计技术。具体科学技术内容包括：

(1) 从孕灾环境、致灾因子、承灾体与防灾力等四个方面系统论述了城市洪涝灾害及其风险随城镇化发展进程而演变的特征，指出了城市暴雨洪涝水文、水力学特征的变异性，城市雨洪的利害两重性及其转化特性，以及城市洪涝灾害的连锁性与突变性，深入探讨了我国城市水患频发的成因与治水方略的调整方向；

(2) 针对城市下垫面复杂、产汇流过程畸变、顺街行洪、洪涝（潮）组合叠加、地下空间与低洼地带积水、防洪排涝系统对行洪影响大等城市型洪涝灾害的突出特征，基于二维非恒定流水动力学方程，根据地形、地物特点，采用不规则网格技术，研发城市洪涝仿真模拟技术；

(3) 在分析我国城市资产密集、经济类型多元化、空间立体高度开发、生命线系统发达导致城市面对洪涝脆弱性凸显的基础上，针对城市洪涝的成灾机制与特点，建立了基于 GIS 技术、社会经济数据库和城市洪涝仿真模拟模型的洪涝灾情损失评估方法；

(4) 考虑到城市空间结构的高度异构性、降水时空分布的不确定性和气象预报的时效性、承灾体的脆弱性以及恢复能力的差异性，基于风险评估方法，按照分区、分时、分类、分级预警的思路，提出了城市防汛预警指标体系与评价阈值的设定方法；

(5) 遵循软件系统设计的原则和流程，以城市洪涝仿真模拟与损失评估方法为核心，基于实时水雨情和工情数据库，结合气象定量降水预估（QPE）和定量降水预报（QPF）信息，集成信息服务、洪涝灾害模拟、灾害损失评估、防汛预警信息生成与发布等技术，建立了具有自动触发、滚动计算、实时预警等功能的防汛预警平台；

(6) 按照风险管理与应急管理相结合的思路，提出了面向风险规避和减缓的城市规划设计理念，研发了具有缓洪滞涝功能的海绵型社区设计、综合考虑交通通达和防洪需求的三维道路设计、多功能行洪通道设计等技术，构建了城市洪涝防治规划设计技术体系。

➤ 发明及创新点

本成果在理论方法、技术应用等方面取得了重大突破，取得了三项主要的创新性成果：

(1) 城市洪涝仿真模拟及损失评估模型

针对快速城镇化阶段城市洪涝特性的变化，自主研发了城市洪涝仿真模拟模型 UFSM (Urban Flood Simulation Model)，适用于多类型防洪排涝设施、多尺度导水/阻水通道、不同城市用地类型的内涝、洪水、风暴潮组合模拟，创造性地提出了“GSP”(Grid & Special Passage, 网格+特殊通道)技术来反映城市下垫面亚网格结构对行洪的影响，有效解决了计算速度和模拟尺度之间的矛盾，实现了城市洪涝大范围、快速、高精度仿真模拟；将城市精细化的资产分类损失评估与 GIS 技术结合，创新性地提出了适合于我国国情的城市洪涝损失快速精细化评估模型。

(2) 城市洪涝预警预报技术集成及示范

在城市下垫面急剧变化条件下，经验型的城市水文预报方法因缺乏物理机制而失效，通常的水动力学模型虽有物理机制但计算时间过长、难以满足预警预报的时效性要求。本研究基于既具有物理机制、又能满足预警时效性要求的 UFSM 模型，集成 QPE、QPF 等多源数据和 WebGIS、Flex、数据库等技术，首次实现了分区、分时、分类、分级的城市洪涝快速预警，研发了具有自主知识产权的城市洪涝预警预报系统，在我国上海、济南、佛山等多个城市进行了示范应用。

(3) 城市洪涝防治规划设计技术及示范

现代城市建设对防洪排涝标准提出了更高要求，但是高标准的城市防洪排涝设施不仅前期投资大，而且挤占宝贵的城市空间，其主要是针对小概率极端洪水事件，利用率往往很低。本研究基于风险管理理论和人与洪水共享城市空间的新理念，创造性地提出了三维道路、地下空间多重功能利用等城市规划设计技术，实现了城市防洪排涝设施的防洪功能与经济社会功能的有机结合。相关技术已经在吕梁新城两山防洪工程规划中得到了应用，该工程可行性研究已经获得批复。

委托水利部信息研究所进行的查新结果表明，这三项成果在国内外公开文献中均未见相同的文献报道。

➤ 与当前国内外同类研究、同类技术的综合比较

与国内外同类技术比较，本成果在城市洪涝仿真模拟与灾害损失评估技术、城市防汛预警系统、城市洪涝防治规划设计技术方面具有显著优越性，具体表现为：

（1）城市洪涝仿真模拟模型

研发的城市洪涝仿真模拟模型可以模拟城市暴雨积水以及遭遇河道洪水泛滥，可以根据具体的建筑物进行计算单元合理分布，模拟主要类型的水工建筑物（堰、闸等），具有模拟暴雨顺街行洪的功能。与国外的商业软件（比如 HEC、Wallingford、Mike、Delft 等系列软件）相比，具有如下优势：①通过自主创新的 GSP 技术，既保持了水力学模型的计算精度，又使城市尺度二维水动力学模型达到了为应急管理实时计算的速度要求；②模拟耦合了雷达测雨数据，增强了模型的实时性；③根据我国城市地下管网信息不完备的国情，针对性地开发了地下水库及等效管网模块，提高了模型的实用性。

（2）城市洪涝灾害损失评估技术

研发的城市暴雨洪涝灾害损失评估技术与国内外同类技术相比，具有以下显著优势：①模型在设定资产分类及社会经济数据结构方面，与国家统计年鉴数据内容紧密结合，解决了数据及时更新的问题；国外用于损失评估的社会经济数据来源多样，有的来自于专门调查，有的来自于相关政府部门或者保险公司，不利于更新；②本研究基于 GIS 空间分析技术开发洪灾损失评估模型软件，能够和城市洪水仿真模型、社会经济数据库等动态连接，快速实时评估城市洪涝灾情和损失的大小以及分布，能够为城市防汛预警预报等提供基础信息；国外的损失评估模型多服务于防洪效益分析，服务于城市防汛预警的成果较为少见；③本研究研发的洪灾损失评估模型在我国多个城市进行了验证和实际应用，能够反映我国城市洪涝灾害损失的特征。

（3）城市防汛预警预报系统

研发的城市洪涝预警预报系统与国内外同类技术相比，具有以下显著优势：①系统以 UFSM 模型为核心，以 QPE、QPF、实时水雨情和工情等多源数据作为输入，与 6min 间隔预见期为 3h 的 1km*1km 雷达定量降雨预报数据实时对接，进行快速滚动计算，实现了对城市河道水位与断面流量、洪水淹没（积水）范围、水深、淹没历时和流速等淹没特征的预测，在预警预报精度、预见期和滚动计算速度上具有显著优势；②采用 WebGIS、Flex、数据库等技术，系统考虑了我国

外洪致涝、暴雨致涝、风暴潮等主要城市洪水问题，在现代信息技术的支撑下，综合利用现代气象预测预报技术、雨水情监测技术、洪涝仿真模拟与灾害评估技术等，提供了包括信息服务、洪涝灾害模拟、灾害损失评估、防汛预警信息生成与发布等内容主要功能。在功能设计上具有很好的针对性和扩展性，便于在我国推广。

（4）城市洪涝防治规划设计技术

研发的洪涝防治规划设计技术与国内外同类技术相比，具有以下显著优势：①在风险管理的理念下，在城市规划中纳入了洪涝仿真模拟、洪涝风险评估等成果，将城市洪涝高风险区的减灾避灾作为规划设计的重要考虑因素，扩展了传统城市规划的思路，为规划阶段城市洪涝防治提供了理论基础；②提出了海绵型社区、三维道路、地下空间多重功能利用等设计技术，将城市洪涝防治工程设计与工程日常应用有机结合，相比传统的以排蓄系统为主的洪涝防治具有显著优势。

综上，与国内外同类技术比较来看，本成果在城市洪涝仿真模拟与灾害损失评估技术、城市防汛预警系统、城市洪涝防治规划设计技术方面均具有较为显著的优势，相关成果在国内 16 个大中城市的成功应用也证明了成果的先进性和实用性，表明成果具有重要的科学意义和应用价值。

委托水利部信息研究所，对国内外科技文献检索和查新结果表明：基于 UFSM 模型和 GSP 技术的城市洪涝仿真模拟及损失评估模型、基于 UFSM 模型和 QPE/QPF 多源数据的城市洪涝预警预报技术集成及示范和基于人与洪水共享城市空间的洪涝防治规划设计技术及示范等成果具有新颖性。

➤ 成果应用情况及社会效益

（1）基于本研究成果编制的《Framework of Urban Flood Risk Management》和《Decision Support System for Urban Flood Risk Management》已汇入《Guideline on Urban Flood Risk Management》，被联合国亚太经社会-世界气象组织（UNESCAP-WMO）台风委员会（TC）在全球范围内发行，成为国际城市洪涝防治的指导性技术手册；

（2）基于本研究成果编制的《城市防洪应急预案管理办法》（办汛四[2013]31号），已被国家防汛抗旱总指挥部办公室采纳；

（3）基于本成果编制的洪水风险图已经在 FM Global 公司的洪水保险业务

中得到应用，成为千余家在华企业的洪水保险费率制定和投保企业的洪水风险管控的重要依据，具有显著的经济效益和社会效益；

(4) 成果建立了城市洪涝仿真模拟与灾害损失评估模型，并在此基础上构建了城市洪涝预警预报系统，已在北京、济南、佛山等城市的洪涝风险图绘制、城市洪涝风险预警预报、城市排水系统优化等方面得到了应用，有效地降低了城市洪涝灾害损失，取得了巨大的经济效益和社会效益；

(5) 基于本成果编制的上海市洪水风险图，已在上海市水务公共信息平台上公开发布，为上海世博园洪水风险评价和应急预案编制提供了技术支撑，具有显著的社会效益；

(6) 成果提出的城市洪涝灾害防治规划设计技术，在吕梁新城两山防洪工程规划中得到了具体应用，相关规划理念和设计技术的应用在控制城市洪涝风险的同时，减少了土地占用和排水设施投资，具有显著的经济效益和社会效益。相关理念与技术在中国城市规划设计研究院承担的北京市总体规划中也得到了应用。



图1 城市洪涝仿真模型分析结果查询



图2 城市内涝预警系统