

“2D 城市洪涝与流域汛情风险 预警评估系统”应用探讨

谢放

(浙江省水利水电勘测设计院 杭州 310002)

摘要: 城市洪涝预警预报对保障城市正常运转意义重大。为有效地提升洪涝预警评估水平,有必要借鉴国外的先进方法与技术。“2D 城市洪涝与流域汛情风险预警评估系统(FRMFS)”在技术上属国际先进水平,浙江省引进后,结合实际进行消化、吸收、二次开发,从数据采集、预报模型等方面验证了其在中小城市中的适用性。实例成果表明该系统对有效提升城市防汛抗灾综合能力具有实际意义。

关键词: 城市洪涝; 风险预警; 预报评估; 引进开发

中图分类号: TV998.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-5485(2013)06-0027-04

近年来,极端气候事件频繁发生,城市化进程快速推进导致城市群的“热岛效应”,这些都加剧了城市的洪涝灾害^[1]。如北京等市的特大暴雨灾害,使得这一问题倍受关注。水利部门高度重视城市防洪问题,在实施“948”项目中推荐引进“2D 城市洪涝与流域汛情风险预警评估系统(FRMFS)”(以下简称 FRMFS)。本文简述了该系统引进、消化、吸收和二次开发等方面的经验,验证了系统在我国中小城市的适用性。

1 城市防洪现状

我国多数城市存在内涝现象,有的甚至相当严重,其原因首先是遭遇超过规划重现期设计标准的降雨强度,排洪设施无法及时排除暴雨产生的雨水。如杭州市城区一般能抵御约 36 mm/h 的短时强降雨,重点区域能抵御 46 mm/h,但是 2010 年的 10 号台风中,该市滨江短历时雨量为 80 mm/h,大大超过了设计标准,出现了严重的洪涝灾害。

其次是由于城区的不透水面积比重增大,下渗水量少,造成产流速度和产流量增加。

再者,城区防洪排涝基础设施存在设计标准低、容量小、管网建设不成体系、排水效率低、设施老化等问题,影响排涝实效^[2]。以浙江省为例,现有县级及以上 69 个城市的防洪工程体系已基本建成,防洪能力达到 50 a 一遇以上的占 38%;达到 20 a 一遇的占 36%。但城市排水管渠设计重现期多为

0.5~1 a 一遇,部分重点区域为 2~3 a 一遇。

其他原因还包括:城市扩张改变了原有的正常排水系,河道湖泊淤积,城区蓄洪能力不足;城市气温高,空气中粉尘大,容易出现城市雨岛效应等^[3]。

2 非工程措施的必要性

提高城市排涝能力是城市建设的迫切需求,但扩大现有排水和防洪工程的能力,不仅需要巨大投资,也会影响和干扰正常的城市运行秩序。以北京为例,按照其现行的暴雨强度公式和排涝设施建设估算标准,若把整个雨水排出系统的设计重现期从 1 a 分别提高到 2, 3, 5, 10 a,其排水管道的建设费用将分别增加大约 30%, 50%, 70% 和 100%。所以,应用非工程措施,通过科学管理和制定缜密的应急预案,全面提高城市抵御暴雨灾害的科学技术水平,已成为城市防汛的重要研究课题。

非工程措施已成为许多国家减少洪涝灾害的主要手段。美国工程师团将非工程措施分成 14 类,其中就有洪水预报警报系统和撤退计划。防洪工程措施着重于现有设施的保护,是在洪水威胁时采取的被动保护和事后补救措施,制约因素多,工程量和投资大;而非工程防洪措施主要着重于在可能造成重大洪灾损失之前,通过提高洪涝灾害预警预报的准确程度,避让或提高人和财产本身抗洪性能而采取的主动措施,制约因素少,事前决策灵活,费用较低。FRMFS 正是目前国际上这方面最先进的系统之一。

收稿日期:2012-10-19;修回日期:2012-11-15

基金项目:水利部 948 项目(200918)

作者简介:谢放(1956-),男,浙江杭州人,教授级高级工程师,主要从事水利水电工程和水利信息化设计、咨询与管理工作。(电话) 13906505042(电子信箱) xf@zjwater.gov.cn。

3 FRMFS

为迅速提高我国城市洪涝防治水平,水利部结合我国实际情况,推荐引进“2D 城市洪涝与流域汛情风险预警评估系统(FRMFS)”。在向全国推广之前,先由典型城市进行试用,浙江金华市是试点城市之一。参加项目的单位有:金华市防汛办、浙江省水利水电勘测设计院、河海大学等。金华市负责提供水情、雨情、工情、城市地理、地下管网等基础数据,其他单位进行试运行和系统调试修改升级。系统安装测试后,结合实际进行了二次开发,形成了适用于我国中小城市应用的汉化版系统。项目于 2011 年通过了验收。

3.1 系统功能

FRMFS 由英国 Wallingford 集团研制,试点项目主要测试验证的功能如下:

(1) 实时预警预报。系统可以实时链接水文与气象数据,集成需要的水文及水力模型,快速对城市洪涝灾害进行预报预警,并能结合地理信息,评估洪灾的风险影响范围和影响程度,帮助管理者快速准确地制定城市防汛调度应急措施。

(2) 损失自动评估。系统可以集成 1D 和 2D 地面洪水模拟引擎;可预测城市降雨(河道或地下排水系统)产生洪水的发生地点、淹没范围、流向及淹没水深;在全面结合地形地貌、构筑物、道路等相关设施的作用后,对洪涝风险和灾害进行评估。

(3) 快速决策发布。系统具有强大的网络发布与瘦客户端远程驱动功能,拥有权限的远程用户可通过网络浏览器远程驱动服务器进行水情预测,提高了不受地域限制的远程调度决策能力。

系统的主要计算流程和相关模型采用如图 1 所示。

3.2 技术先进性

FRMFS 技术上的先进性主要表现在:

它内嵌城市排水管网及河网的水力模拟引擎;采用分布式实时水文水动模型系统,方便模型的更新、升级和扩展;根据使用特征采用模块化设计,各模块可以根据需要拆分或组合使用;可以方便地与水情监测链接,实时模拟预测洪水风险。

FRMFS 支持多用户访问;远程用户能在线驱动水情预测模拟并发布决策信息,其他相关用户可以在权限范围内通过简单的 IE 操作界面参与实现远程调度;引入 2D 洪水演进过程计算引擎,真实准确地评估流域/城市洪水淹没和洪涝灾害的风险;具有

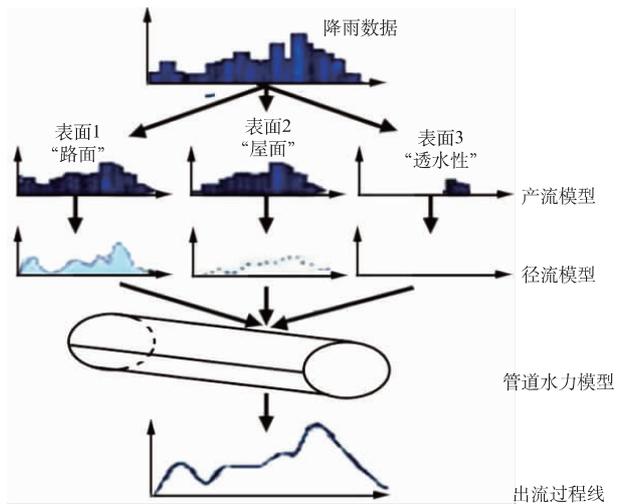


图 1 系统计算流程和相关模型采用示意图

Fig. 1 The process of system computation and the adoption of corresponding models

灵活的结果表现方式和丰富的成果报告。

3.3 解决的关键问题

FRMFS 在本项目的实施中解决了 2 个关键问题:

一是使 1D 和 2D 洪水引擎完美结合。系统采用 1D 水力模型(城市排水管网水力模型)确定洪水出现的位置,用 2D 引擎结合地形在更详细的局部范围内确定洪水的淹没范围、水深及流速,为洪水风险分析和灾害评估提供准确的评判依据,并能够根据需要与各类洪水灾害评估的模型进行整合。FRMFS 能真实地反映地形地貌要素,有机地结合地面高程模型 DEM/DTM、土地利用情况(不同的下垫面糙率系数)、城市地面建筑物(不同的透水程度)以及地形地貌(自动调节 2D 格网的大小),大幅度提高计算速度,也更准确、真实地确定洪水预报的各项要素。

二是风险预警效率高。FRMFS 的预警以气象观测和水文分析为基础,自动计算判断不同暴雨分布可能形成的内涝范围和严重程度,迅速全面分析各种不利因素,预测各种可能造成的后果信息,使用户在灾害发生初期迅速做出判断,及时发布警报范围、等级和应急措施。

实例中 FRMFS 解决的关键技术有:迅速精确地获取洪涝淹没区域和洪水水深分布;快速处理巨量空间和属性数据;洪涝汛情风险预警评估的模型规划、建立和实现。

4 城市洪水预报

FRMFS 发挥效益的关键是其预报的精度和速

度。城市地区下垫面情况复杂,大量的道路、建筑及排水管网改变了原有暴雨径流和产汇流条件,从而使其水文要素和水文过程发生明显改变,城市洪水预报^[4]是针对城市化地区的水文预报,其预报对象是城市河流洪水及城市内涝情况。

4.1 预报步骤

本项目应用 FRMFS 分析预报的主要步骤为:

(1) 确定预报范围。实例范围根据地形及城市排水管网的情况划分。其中假设城市排水系统完全由管网和排水河网组成,设定产生的暴雨洪水先排入管网,然后排入河网,参考河道和地下排水管网的布局划分集水区域。

(2) 确定透水垫层。通过实测的现状地形图确定不透水的面积,实例中将楼房、校区、工厂、单层建筑、河流、湖泊、绿地等划分为7个基本计算区域,以其面积与相应的不透水面积系数相乘,再相加得到总的不透水面积。

(3) 链接分析实时水雨情数据。城市雨洪过程完成时间比较短,实例中全部使用实时遥测雨量数据。金华全市水雨量站密集,设备先进,水雨情分析软件计算精度和运行效率都很高。

(4) 选择确定模型,迭代比较分析,并自动纠错调整,计算输出成果数据,如水位、径流量、洪峰流量、峰现时间、洪水过程、积水深度及积水时间等。

4.2 预报模型

根据 FRMFS 的原有模型,结合浙江省的实际情况,在本项目中采用产流、汇流及管网汇流等各相关的洪水预报模型。其中主要有洪水产流、汇流计算。

洪水产流计算:城市汇水区面积小,不透水面积比重大,下渗较少,产流计算侧重于地表径流量分析。采用的产流模型有固定径流比例模型(不透水面采用)、Wallingford 固定径流模型、新英国(可变)径流模型、美国 SCS 方法、Green-Ampt 模型、Horton 模型(透水面采用)。

洪水汇流计算:把城市雨水汇流分成地面、管网、河网等汇流。采用模型主要有双线性水库(Wallingford)模型、Desbordes 模型(法国标准汇流模型)、SPRINT 汇流模型(单线性水库模型)、SWMM 汇流模型(非线性水库+运动波方程)、大型贡献面积汇流模型。

5 应用实例

5.1 实例基本情况

金华市是浙江省中西部中心城市,市区面积

2 044 km²,人口92万,台风、暴雨等自然灾害影响严重。例如“罗莎”台风时,市区积水有1 m多深,30条道路无法通行,大量汽车浸泡水中。金华市洪涝灾害频发的主要原因有:

(1) 自然因素。市区地面高程与周围的河道水位相差不多,容易积水。外围山地坡度陡,暴雨形成的山洪汇流快,迅速进入主城区河道。城市周围河流出现洪水时,水位迅速抬高,造成内河的排涝闸不能排出涝水。

(2) 蓄洪能力弱。由于城区不断增大,市郊大批农田消失,雨水无法下渗;部分河道被占用,原有蓄滞洪能力减小。

(3) 排涝不畅。城市排涝标准设计偏低,河道和地下管道过水能力不足,一些早期的排洪通道被填堵,没有配套建设有足够排泄能力的新排洪通道,导致市区排水不畅。

从以上情况看,金华城区的状况与国内许多城市相似。

5.2 试用介绍

在试用初期,计算成果并不理想,主要原因是约束条件多,系统自带模型不适合实际应用等。所以项目组与英国 Wallingford 集团合作进行了二次开发,主要工作有:

(1) 对系统进行了全面汉化,使各类用户都能读懂、理解和应用系统。

(2) 进行系统简化,删除了在我国不必要的功能,减少了冗余,提高了系统的运行速度和效率。

(3) 嵌入了适合浙江省实际的产汇流和预报模型,特别是一些经验公式,提高了系统适用性。

(4) 修改了约束条件,让系统的适应能力大幅度增加。

在二次开发的同时,对数据原有格式进行了调整和格式化。经过2 a多的反复试算和修改,最终的成果满足了精度和可靠性的要求。表1是5组实例的典型暴雨洪水验算结果,计算数据与实测数据基本吻合。

表1 典型暴雨洪水实测与计算数据成果比较

Table 1 Comparison between measured and calculated data of typical storm flood

统计数据	最大1 h降雨/mm	模型中检查井总数/个	淹没检查井比例/%	积水排出时间/h	最大洪水量/万 m ³	各排水口最大出流/(m ³ ·s ⁻¹)
实测值	47.6	2 877	16	1.9	3.2	59.9
	40.0	2 877	9	1.6	1.2	47.5
计算值	50.0	2 877	18	2.1	3.7	61.3
	60.0	2 877	30	3.1	7.5	69.4
	70.0	2 877	42	4.2	12.8	76.6

5.3 成果评价

FRMFS 的实施解决了金华市防汛工作的瓶颈,使全市洪涝汛情风险预警评估成果的质量大幅度提高,提升了城市洪涝汛情风险预警评估应用的科学性、合理性、可操作性。项目最终评审结论:

(1) 针对我国城市防洪排涝的特点,通过模块和参数优选,提高了系统运行速度与效率,同时提出该模型的 2D 模块主要适用于城市重点区或易涝区。

(2) 系统包含了城市空间基础信息、灾情分析与评估、实时水雨情、工情等数据库以及分区域、分专题的综合信息管理,是一个综合性的一体化管理方案。

(3) 系统根据降雨/水深模型,组合数据高程模型分析洪水影响范围,计算输出分析成果,并据此绘制洪水风险示意图,直观形象地展示可能发生的雨涝淹没范围、淹没水深等;系统定量地分析和输出防汛决策所需要的大部分汛情风险预警评估专用数据,预测区域洪水量及损失程度,成果信息量丰富,图文并茂。

图 2 是众多输出图中的一幅,显示计算区域各关键结点(检查井)溢出最大洪水量。

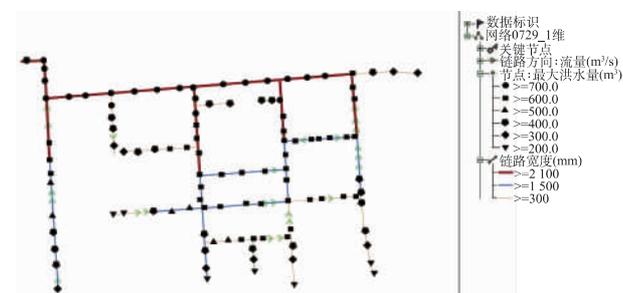


图 2 城市区域关键结点(检查井)溢出最大洪水量图

Fig.2 Maximum overflow flood in key nodes (inspection wells)

(4) 在进行灾情现势性分析和灾情预测后,列出可能的排涝方案(如图 2 显示了洪水量的分布,指导用户开启最合适的排涝泵闸;图中也显示排水通道(链路)的宽度和流量,用户可以据此设计最佳排涝方案)。代入方案后,得到排涝调度之后的现势性分析成果,显示输出已淹没范围、可能会淹没范围、预测淹没后可能产生的损失,方便确定最优解决方案。例如,系统输出淹没范围(水深)图,预测区域内道路哪些会被淹没,以利于用户确定最佳撤退线路;系统预测损失信息,可用于指挥把有限的人力和物力投入到最需要的地方;特别是对将要淹没和已淹没区域的精确分析,指引避开危险区域,迅速把

人员财产转移到安全地带。

金华市实施 FRMFS,比原计划自行开发系统节省了 3/4 ~ 4/5 的投资,开发时间缩短 5 倍,为经济可持续发展提供了保障。金华市经济发达,人口稠密,市内各流域是独流入海,山区性、平原河网交错,故有其特殊性,但 FRMFS 应用研究的大部分内容能为其他城市所引用。

FRMFS 实施的难点是:基础资料收集困难,边界条件约束较多,对水雨情、工情、地理信息等数据的完整性要求较高。

6 结 语

城市是地区政治、经济和文化的中心,是交通、信息和网络的枢纽。城市洪涝灾害威胁着人民群众生命财产的安全,影响了人与自然的和谐发展。非工程防洪排涝措施的成本低,实施方便。它对于降低洪涝灾害的损失,调整洪涝的影响过程和程度,最大限度地减少洪水的负面作用意义重大。目前,我国城市洪涝汛情风险预警评估系统研究和应用相对落后,借鉴国外先进的方法与技术是改变这种落后局面的捷径之一。作为先进的非工程措施,FRMFS 的实施为城市洪涝汛情风险预警评估系统建设提供了经验。对提高我国中小城市防洪排涝预警预报能力和防汛工作的综合水平起到积极作用。

参考文献:

- [1] 关彦斌,李景庆,赵光明,等.透水性路面与城市生态环境[J].城市问题,2006,(6):50-53.(GUAN Yan-bin, LI Jing-qing, ZHAO Guang-ming, et al. Water Penetrated Pavement and Urban Ecological Environment [J]. Urban Problems, 2006, (6): 50-53. (in Chinese))
- [2] 李月明,郑雄伟.浙江省城市防洪排涝问题与对策[J].水利规划与设计,2012,(3):1-3.(LI Yue-ming, ZHENG Xiong-wei. Issue and Countermeasure of Urban Flood and Drainage in Zhejiang [J]. Water Resources Planning and Design in Zhejiang, 2012, (3): 1-3. (in Chinese))
- [3] 戴慎志,曹凯.我国城市防洪排涝对策研究[J].现代城市研究,2012,(1):21-23.(DAI Shen-zhi, CAO Kai. Countermeasure of Urban Flood and Drainage in China [J]. Modern Urban Research, 2012, (1): 21-23. (in Chinese))
- [4] 钟登华,李文颖.城市洪水预报及分析模型研究[J].河北水利水电技术,2001,(2):8-9.(ZHONG Deng-hua, LI Wen-ying. Urban Flood Prediction and Analytical Modeling Research [J]. Hebei Water Resources and Hydropower Engineering, 2001, (2): 8-9. (in Chinese))

(编辑:姜小兰)
(下转第 42 页)

- 望[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(4): 44-63. (XU Xi-ao-rong, LIU De-fu, WANG Hong-bo, *et al.* Culvert Fishway Design: Status and Prospects [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(4): 44-63. (in Chinese))
- [43] KATOPODIS C, WILLIAMS J G. The Development of Fish Passage Research in a Historical Context [J]. Ecological Engineering, 2012, 48: 8-18.
- [44] 黄明海, 周 赤, 张亚利, 等. 竖缝-潜孔组合式鱼道进鱼口渠段三维紊流数值模拟研究 [C]//水力学与水利信息学大会, 中国西安 2009 年 10 月 10-12 日, 2009: 212-218. (HUANG Ming-hai, ZHOU Chi, ZHANG Ya-li, *et al.* Three-dimensional Turbulent Numerical Simulation of the Entrance Segment in the Vertical Slot-DTH Joint Fishway [C]//Proceedings of the Conference of Hydraulics and Water Information Advances, Xi'an, October 10-12, 2009: 212-218. (in Chinese))

(编辑: 刘运飞)

Research Progress of Fishway's Hydraulic Characteristics in China and Abroad

YAN Bin, WANG Tie-liang, LIU Tong-bo

(School of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: The research progress of the hydraulic characteristics of vertical slot fishway, pool-weir fishway, culvert fishway, Denil fishway and combination fishway in China and abroad were reviewed. The flow pattern, characteristics of velocity field, relationship between discharge and water depth, turbulence characteristics, and energy dissipation rate of various fishways were compared and analyzed respectively. The linear relationship between dimensionless discharge and relative water depth in vertical slot fishway was summarized, and the formula expressing the relationship between discharge and water depth in pool-weir fishway was listed. It was pointed out that turbulent kinetic energy, turbulent intensity and turbulence structure would have great impact on the hydraulic characteristics of fishways, the habitat selection and the passage of fish. The research hotspot of fishways is expected to be focused on turbulence characteristics and numerical simulations, especially on the study of turbulence structure. In addition, the influence of hydraulic condition within the fishways on fish passage and its improvements will also be one of the research hotspots in the near future.

Key words: fishway; hydraulic characteristics; vertical slot type; pool-weir type; culvert type

~~~~~  
(上接第 30 页)

## Investigation and Application of Risk Pre-warning Assessment System for 2-D Urban Flood and Drainage Area Flood

XIE Fang

(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hangzhou 310002, China)

**Abstract:** Prediction and pre-warning of urban flood is of great importance to secure the normal operation of a city. In order to efficiently improve the ability of risk pre-warning assessment for urban flood, it is necessary to utilize the advanced method and technique from overseas. The risk pre-warning assessment ability system for 2-D urban flood and flood situation of drainage area (FRMFS) which was introduced into Zhejiang province was at advanced international level. In line with the actual situation of China, this technique was absorbed, assimilated and redeveloped. It's applicability for towns, mid-sized and small cities are verified from the aspects of data acquisition, prediction model, and results display. The achievement of some real cases indicates that this system can efficiently improve the ability of risk pre-warning assessment for urban flood.

**Key words:** urban flood; risk pre-warning; forecast assessment; introduction and development