

文章编号: 1006-4354 (2008) 03-0006-04

基于 GIS 的西安城市强降水内涝预报预警系统

薛春芳, 王建鹏, 薛 荣, 金丽娜

(西安市气象局, 西安 710016)

摘 要: 介绍西安城市强降水内涝气象预警系统的技术路线、原理及业务流程。该系统基于本地化的城市内涝仿真模型, 以城区加密自动站、多普勒雷达降水估算、数值预报产品、主观预报等作为实况和模拟用的降雨边界条件, 并结合西安市地理地貌特征、城市规划、排水系统特征、排水规则、防洪工程等多方面的非气象资料建立而成, 具备一定的内涝动态监测预报能力, 对拓展城市灾害预报服务领域, 提高城市气象服务水平具有一定的作用。

关键词: 强降水; 城市内涝; 预警; 模拟

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

城市内涝灾害是由于短时强降水或过程雨量偏大而造成径流过多, 在地势低洼, 排水不畅等情况下形成积水的城市自然灾害, 影响因素主要是强降水和排水能力。内涝发生时, 交通受阻, 房屋进水, 甚至导致人员死亡, 严重影响了市民的工作与生活, 开发科学合理的内涝灾害预报预警方法就愈加迫切, 西安市气象局在引进天津市气象局的市内涝仿真系统基础上, 进行了本地化改进, 建立了西安城市强降水内涝预警系统。

1 国内外研究进展

全世界普遍关注城市水涝灾害问题, 许多国家都不同程度地开展了相关研究。发达国家城市化现象出现较早, 对城市水涝灾害风险特性和演变规律、城市水涝灾害综合防治对策研究起步较早, 已取得可借鉴的成果。如美国在城市降水径流模型及城市排水系统的数值计算模型的开发上取得显著成绩, 最有代表性的是城市暴雨雨水管理模型(SWMM), 对城市排水系统有很强的模拟计算功能。20 世纪 90 年代, 随着美国信息高速公路的建设与 GIS 技术的迅速发展, 水涝灾害风险分析中将网络环境和 GIS 技术用于提供信息更新及提高模型计算能力。将数值模拟方法用于水灾研究, 在我国虽然起步较晚, 但发展迅速。近

年来, 天津市气象科学研究所和天津大学联合开发了城市暴雨渍涝模型, 是将气象、水文、城市排涝多学科结合的具有动态预测性质的强降水内涝灾害排涝减灾决策系统^[1]。

2 城市强降水内涝预警系统的组成

城市强降水内涝预警系统充分利用自动雨量监测处理、数值天气预报、雷达雨量估算、城市强降水内涝数学仿真模拟以及地理信息系统、数据库等技术, 以 GIS 为支撑平台, 依托气象中尺度监测系统, 利用仿真模型模拟内涝灾害, 实现内涝灾害的预警。

系统主要由城市强降水内涝数学仿真模型、基于 ArcView GIS 的仿真系统数据库、基础信息前处理、模拟结果后处理以及气象数据加工等部分组成。系统的运行环境为: P III 500 以上型微机, 屏幕分辨率不低于 $1\ 024 \times 768$, 硬盘空间不低于 300 MB。软件: ArcView GIS 3.2、Fortran Power Station 4.0 以上、Visual Basic 6.0。

3 城市强降水内涝数学仿真模型简介

该模型涉及到气象学、水文学、水力学、河流动力学以及给排水工程等多学科的知识, 属于多学科交叉、具有系统工程特征的数学模型。模型以城市地表与明渠河道水流运动为主要模拟对

收稿日期: 2008-01-03

作者简介: 薛春芳 (1967-), 女, 陕西韩城人, 硕士, 高级工程师, 从事天气气候研究。

象,基本控制方程以平面二维非恒定流的基本方程为骨架。同时,针对小于离散网格尺度的排水渠涌或河道,在二维模型中结合采用了一维明渠非恒定流方程的算法。数学模型有以下三种运行模式。

第一种:历史过程模拟,效果验证。历史降雨过程资料—历史排水管道、泵站、闸门工作状态—仿真模型计算—计算结果后处理—效果检验误差订正。

第二种:实况积水模拟。实时监测计算—降雨实时监测信息—即时排水管道、泵站、闸门工作状态—仿真模型计算—计算结果后处理—用户服务系统。

第三种:积水预报。预报计算—降雨数值预报结果—预设排水管道、泵站、闸门工作状态—仿真模型计算—计算结果后处理—用户服务系统。

4 西安市内涝预警系统所需资料

第1类:购置的数字化城市地理信息。从省测绘局购置带有地形高程的电子地图(由10幅小图组成),比例尺1:10 000,包含地形高程、下垫面属性、行政区域、地名、桥梁、铁路、高速公路等。

第2类:合作部门提供的城建信息。包含:城市内河道地形信息、工程设施信息(排水管道、泵站、闸门等)、城市化信息、防涝调度信息、城市积水信息(积水区、各次暴雨天气的积水情况)。这些信息由城市防汛办、市防汛办、市规划局提供。其中数字化了城市防汛办提供的全市排水管网图。

第3类:收集的气象信息。包含降水监测信息、雨量估算信息、降水预报信息等。

对上述基础空间信息的管理,在ArcView GIS环境下实现。

5 城区地形地貌的概化

西安市总的轮廓是东南高西北低^[2]。历史积水区主要南北分布在陕师大以北张家堡以南,东西在万寿路、汉城路之间,结合所购置的地理信息范围,内涝模型主要研究区域定为:未央、莲湖、新城、碑林、雁塔区、灞桥6个主城区,呈

“品”字型,计算面积共计266.4 km²。由于西安为内陆城市,虽然市区的河道、湖泊相比沿海城市尺度较小,但仍把浐河、团结水库作为一级河道,将其划分为若干河道型网格;将兴庆湖定为一个湖泊型网格,莲湖公园、劳动公园、旧动物园内的湖泊因尺度小而忽略,未作为湖泊型网格;护城河、皂河、漕运明渠、沣惠渠、沣惠三渠作为特殊通道;其余根据地形、街道走向、河流走向、建筑物分布以及积水区分布分别划分成面积不等的三边形、四边形、五边形等不规则陆地形网格。对城市中心地区以及容易积水地区按照对发生内涝的关心程度,采用较密的网格,而对城市边缘或不易发生内涝的地区采用较稀疏的网格,较好地反映实际的地形、地貌。全部计算区域共划分1 060个不规则网格,计算通道2 301个,节点1 241个。

6 西安市排水系统的概化

城市排水系统,包括排水管网、泵、闸等,对城市内涝现象有很大的影响。城市排水管网纵横复杂,对实际排水管网的网格单元进行合理的概化,以减少模型的计算难度,同时,可以使排水管网水流的计算和地面网格单元的计算结合起来同步进行。将网格单元分为含管网和不含管网两种。对于含管网的网格单元,将管道均概化为经过单元形心,管道经过单元周边通道的中点与相邻的含管道的网格单元相连。概化的管道在网格单元中布置有:“I”型、“T”型、十字型、五角型4种标准形式。

根据西安具体排水系统以上特征,模型中划分了21个主要的独立管网。西安市的泵站主要有:①向二级河道(特殊通道)抽排地面和管道内的积水(通道在二级河道沿岸,含有泵站,用于排陆地或陆地管道内的积水),共有9个;②将陆地积水排入管道内(陆地泵,通道在陆地,并含有泵站,用于将陆地积水排入管道),共有4个;③将一个网格的管道中的水体排入另一个网格的管道中(提升泵,通道在陆地),共有2个;④在计算区域边界的泵站,通道在一级河道沿岸,含有泵站(用于排陆地或陆地管道内的水),共有1个。共有闸门6个,全分布在护城河内,积水多

时直接开闸门泄流。

7 业务运行流程

7.1 启动条件

整个系统的总体框架如图 1。系统启动条件是：当预报员预报 12 h 内有中雨以上降水过程或自动雨量站出现 10 mm/h 的降水即开始启动。

降水实况监测数据用于降水发生时实际的内涝积水监测；降水预报产品用于未来天气造成的内涝积水深度预报；降水历史资料在模型建立时用于确定模型参数，一旦模型建立后，用于历史发生的内涝灾害的风险评估。

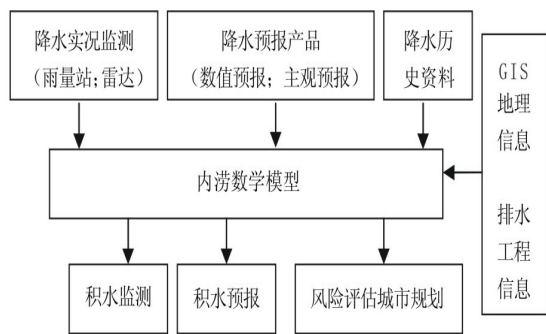


图 1 预报预警系统总体框架

7.2 业务运行

业务运行界面,包括各类降水资料的采集、面雨量计算、仿真模型计算和调试、模型资料的前处理、模型计算结果在地理信息平台的显示以及其他内容(如暴雨气候背景分析、灾情评估)的接口。

数据处理流程分为 4 步。(1) GIS 建模(前处理):处理城市地理信息、排水工程信息,生成仿真模型计算用的数据格式。建模成功后,再随后的预报中一般不再执行本步。(2) 气象信息采集:用 VB 等语言实现,包括雨量站、雷达、数值预报产品、主观预报等。直接从西安城区自动站资料库读取各站雨量实况或把 T213 降水格点预报产品插值到城区自动站上或预报员给出城区各站的降水预报量,生成站点降水资料后,再转换为泰森或曲面面雨量(通过程序把雷达 1 h 降水估算产品插值到所划分的每个网格,已经是面雨量),生成模型计算用的降水资料 FORTRAN 数据格

式和 GIS 显示用的 DBF、SHP、SHX 文件。(3) 执行内涝数学模型(hydr-a.exe),生成计算结果文件(.DAT)和供地理信息平台显示用的最大积水、过程积水的 DBF、SHP、SHX 文件。(4) 模型后处理,生成文本或图形服务产品。

7.3 灾害等级划分

灾害等级划分为 4 级。1 级(无积涝),城区路面积水 3 cm 以下;2 级(轻度积涝),城区有微量积水,路面积水 3~10 cm 之间,对交通、生产、生活影响不大;3 级(中度积涝),城区有积水,路面积水 10~25 cm 之间,对交通、生活造成一定影响,行人通行困难,对生产基本无影响;4 级(重度积涝),城区积水严重,路面积水平均大于 25 cm,引起车辆熄火、交通堵塞,有工厂、商店、居民家庭进水现象发生,对生产、生活造成严重影响。

7.4 产品形式

预警系统可以提供以下产品:①仿真监测或预测的强降水过程的最大积水分布情况;②达到或超过某一水深值的地区占全市的面积和位置;③城市中各部位逐小时积水过程演进情况;④针对重点区域,系统可以给出选择区域积水最大值随时间的变化图;⑤当某区域超警戒水位时给出区域的排水对策和区域简介。

8 历史内涝个例模拟

2006 年 6 月 3 日,西安市区普降大到暴雨。从 03—15 时,降水历时 12 h,其中在 05 时出现了短时暴雨(西安站本小时降雨 28.8 mm),造成了严重的内涝灾害。应用本系统对这次内涝进行了模拟,积水实况及模拟结果如图 2。从图 2 可以看出,模拟积水区域与实际积水区域基本相同,积水网格数比实际积水区域多是因为实际积水区域人工观测地点有限,不能观测到整个市区范围。

9 结语

系统建成后,在 2007 年进行了业务试运行,在 8 次内涝天气过程中进行验证,验证结果表明:系统的模拟和预报结果是较可信的,具有良好的适应性。该系统还将在实际应用中不断调试、完善。