

柳州市积涝过程模拟及灾害风险评估

郑传新¹ 米浦强² 陈剑兵² 刘 梅²

(1. 广西桂林市气象局, 541001; 2. 广西柳州市气象局)

提 要: 利用柳州市暴雨积涝灾害仿真模型, 对不同类型降水过程造成的积涝灾害进行了数值模拟, 并对柳州市积涝灾害风险进行了初步的量化评估。结果表明: 大暴雨以下降水, 积涝灾害风险以 I 级和 II 级为主, 降水量级达大暴雨以上时, 出现 III 级的积涝灾害达 25% 以上, 当降水量 $R > 150\text{mm}$ 时, III 级达 37%。积水深度实测值与模拟值绝对误差主要分布在 20cm 以内, 大暴雨以下降水, 误差值主要分布在 10cm 以内, 随着降水强度增加, 绝对误差值也随之增大。每年第一场暴雨造成的积涝灾害往往比模拟结果严重, 而久晴转暴雨过程则相反。此模型对拓展城市灾害预报服务领域, 开展城市暴雨积涝灾害风险量化评估具有一定的参考作用。

关键词: 暴雨积涝 数值模拟 风险评估

Numerical Simulation and Risk Evaluation of Rainfall Water Logging in Liuzhou City

Zheng Chuanxin¹ Mi Puqiang² Chen Jianbing² Liu Mei²

(1. Guilin Meteorological Office, Guangxi Zhuang Autonomous Region, 541001;
2. Liuzhou Meteorological Office, Guangxi Zhuang Autonomous Region)

Abstract: The water logging disasters caused by the different types of rain are simulated with the water logging simulation model. The risks caused by the water logging are also primarily estimated. The results show that the water logging disasters are almost grade I or II when the rainfall is below 100mm. When the rainfall is above 100mm and 150mm the water logging disasters of grade III reach 25% and 37%, respectively. The absolute errors between water logging values and simulated values are within 20cm, but the absolute errors increase up with rainfall intensity. The water logging disaster caused by the first heavy rain is more serious than the simulated result. But the case is quite the contrary that the heavy rain occurs after long and continuous fine weather, for example lasting 19 days. The above results can provide some references for expanding forecast and service field of urban disasters as well as risk estimation of water logging disaster.

Key Words: water logging disaster numerical simulation analysis of the disaster

引 言

暴雨积涝灾害是由于雨量过多,地势低洼,积水不能及时排除而形成的自然灾害。暴雨积涝灾害的风险分析通常包括灾害的风险辨识、风险估算与风险评价三个步骤。风险辨识是在大量调查研究的基础上,了解可能构成城市暴雨积涝灾害的致灾因子与影响因素。风险估算致力于定量描述暴雨积涝事件的成因、发生的概率、影响的范围与强度,不同规模强度的暴雨积涝可能产生的后果。风险评价则是对暴雨积涝事件的后果进行影响分析,明确风险是否超出社会的承受能力,为制定避免风险或削减风险的对策提供科学的依据。通过风险评估分析,并应用评估分析结果,可以进一步探讨积涝灾害风险管理模式和预防措施,可以有针对性地控制灾害,减轻积涝灾害造成的损失。

早在 1980 年代后期,美、英等国的水文气象学家就开始对城市的积涝问题进行了研究,Hall. M. J 等人^[1]的研究结果表明,城市积涝的发生与城市“雨岛”效应的产生和加强密不可分;Scofield, R. A. 等人^[2]利用 4 维同化变分技术建立了城市积涝和排水的决策系统,并建立了城市积涝的数值模式。我国在 1990 年代的中后期也开始了城市积涝的研究,谭术魁、陶家元等^[3-4]对武汉市的积涝灾害及治理策略进行了研究,认为暴雨多,地势低洼,暴雨强度超过了排水标准等是积涝出现的最主要原因。解以扬^[5]等运用 GIS 下的暴雨内涝灾害仿真模型,从降雨的角度对暴雨积涝灾害的风险进行评估,目前在国内处于先进行列。

1 资料与方法

降水资料来源于柳州市气象局常规地面

气象观测站 1951—2005 年的观测资料,积涝资料是根据市政设施维护处提供的 2004—2006 年共 18 次积涝灾害实地勘测资料。柳州市暴雨积涝气象预警系统应用天津大学和天津气科所联合开发的城市暴雨渍涝数学模型,结合柳州城市地型、地貌以及汇流条件等多种因素开发而成。该系统是以城市地表与明渠河道水流运动为模拟对象,基本控制方程以二维非恒定流的基本方程为骨架,并考虑城市不透水面积与排水系统的影响,同时针对城市特点,对小于离散化网格尺度的排水明渠采用了一维非恒定流方程的算法。应用柳州市暴雨积涝气象预警系统对柳州市不同类型的降水过程引发的积涝灾害进行了模拟分析,将模拟结果和柳州市政设施维护处提供的实测积水深度资料进行了对比分析,并对柳州市积涝灾害风险进行了初步的量化评估。

2 积涝灾害模拟分析及风险评估

2.1 柳州市暴雨等级—频次分布

不同等级的降雨造成不同强度的积涝灾害,为此首先分析柳州市区的暴雨等级分布特征。暴雨以日降水量来划分等级。为研究方便,将大雨以上降水按 25mm 一个量级,划分成 7 个等级。对 1951—2005 年柳州市日降雨资料进行统计,得到大雨以上降水在不同等级内的出现次数(频次)。对频次取对数后,可以看出频次的对数与降水等级之间有较好的线性关系。这种线性关系可以用降水等级——频次分布经验式表示:

$$\ln(N) = 8.41886 - 0.9922D \quad (1)$$

式中 D 为降雨等级, N 为不同降雨等级的出现频数。降水的重现期通常为该等级降水出现概率 P 的倒数,即

$$T = 1/P \quad (2)$$

同样地,对柳州市区近最近 10 年的降水

资料,采取一元线性回归和相关分析方法,建立类似的降水等级——频次分布经验公式,然而计算结果与之不同。根据计算结果,计算经验公式为:

$$\ln(n) = 7.41776 - 0.9957d \quad (3)$$

根据式(1)、(3)分别计算柳州市各等级降水的平均重现周期(见图 1),可以看到,近 10 年柳州市强降水的周期较之全部 55 年来明显缩短。地表及河道径流量增大,从而城市积涝灾害也日渐明显。

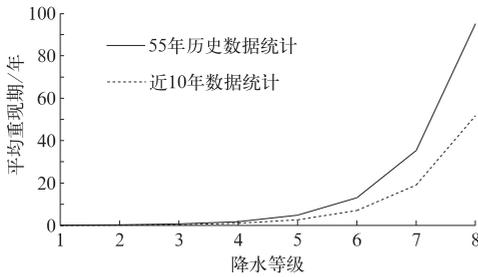


图 1 柳州市各等级降水的平均重现周期

2.2 不同等级降水的积涝灾害风险分布

根据市政设施维护处提供的积涝灾害实

地勘测资料,柳州市共有 19 处经常出现明显积涝区域,由此作为柳州市积涝灾害代表特征点,利用柳州市暴雨积涝灾害仿真模型,对 2004—2006 年期间 18 次不同等级降水引发的积涝灾害进行数值模拟,得出了不同等级降水的积涝灾害分布(表 1)。根据暴雨积涝灾害对交通的影响,将灾情按积水深度分为三个风险等级:≤30cm 为 I 级,此时汽车尚可行驶,但速度减慢;30~80cm 为 II 级,此时交通部分阻断;≥80cm 为 III 级,此时交通完全阻断^[3]。由表 1 可以看出,随着降水强度增加,积涝灾害风险会不同程度地加重,大暴雨以下降水,积涝灾害风险以 I 级和 II 级为主,占 95% 以上,降水量级达大暴雨以上时,出现 III 级的积涝灾害风险明显增大,达 25% 以上,当降水量 $R > 150\text{mm}$ 时,所有 19 处积涝区域灾害风险均达 II 级以上,其中 III 级占 37%,对城市交通和人民生活有一定影响,排涝减灾的任务较重。此外,对 18 次降水过程实测值与模拟值对比分析后发现,实测值大于模拟值的占 50.3%,实测值小于模拟值的占 49.7%(表略)。

表 1 柳州市不同等级降水的积涝灾害风险分布

降水量		25~49.9mm	50~99.9mm	100~149.9mm	150~199.9mm
平均重现期		1.2月(0.1年)	5.28月(0.44年)	38.4月(3.2年)	279.6月(23.3年)
灾情等级	I	29.4%	21%	21%	0
	II	70.6%	75%	53%	63%
	III	0	4%	26%	37%

2.3 不同等级降水的积水深度与模拟值误差分析

对积水区的积水深度实测值与模拟值进行了对比验证。验证方法为:

$$\text{积水深度模拟绝对误差} = |\text{实测积水深度} - \text{计算积水深度}| \quad (4)$$

对模拟误差的分布进行统计,得到不同误差所占的百分比(见表 2)。从表 2 可以看出:积水深度实测值与模拟值绝对误差主要

表 2 柳州市不同等级降水的积水深度与模拟值误差统计

降水量	25~49.9mm	50~99.9mm	100~149.9mm	150~199.9mm
平均重现期	1.2月(0.1年)	5.28月(0.44年)	38.4月(3.2年)	279.6月(23.3年)
绝对误差值				
≤10cm	84.2%	60.5%	52.6%	36.8%
10~20cm	15.8%	39.5%	47.4%	57.9%
>20cm	0	0%	0%	5.3%

分布在 20cm 以内,大暴雨以下降水,误差值主要分布在 10cm 以内,随着降水强度增加,绝对误差值也随之增大。

2.4 不同类型降水过程积涝模拟结果及实测资料对比分析

对 5 种不同类型的降水过程积涝实例进

行了分析:大雨过程(降水量 25mm)、暴雨过程(降水量 53.8mm)、大暴雨过程(降水量 184mm)、第一场暴雨过程(降水量 64mm)、久晴转暴雨过程(降水量 84mm、前 19 天无雨),表 3 列出的是这 5 次典型积涝灾害的积涝模拟结果和实测积水深度对比资料。

分析以上 5 次不同类型降水过程模拟结

表 3 柳州市不同类型降水过程积涝模拟结果及实测资料

降水量/mm	25 大雨		53.8 暴雨		184 大暴雨		64 第一场暴雨		84 久晴转暴雨	
	重现期	1.2月(0.1年)	3月(0.25年)	396月(33年)	3月(0.25年)	8月(0.67年)	实测值	模拟值	实测值	模拟值
Δh /mm	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值	实测值	模拟值
冷柜厂	280	307	400	454	450	450	490	486	400	454
西环路车队	450	380	800	752	950	950	920	834	800	752
$\Delta h > 0$ 比例	52.6%		47.4%		57.9%		68.4%		36.8%	
$\Delta h < 0$ 比例	47.4%		52.6%		42.1%		31.6%		63.2%	

(Δh 表示实测积水深与模拟值的差值)

果:大雨过程、暴雨过程、大暴雨过程, $\Delta h > 0$ 和 $\Delta h < 0$ 所占比例接近平均值(18 次过程平均分别为 50.3%和 49.7%),而第一场暴雨过程 $\Delta h > 0$ 占 68.4%(平均为 50.3%), $\Delta h < 0$ 占 31.6%(平均为 49.7%),这说明 19 处积涝区域中,实测值大于模拟值占多数有 13 处,而实测值小于模拟值的区域只有 6 处,主要原因是冬天的落叶造成排水管道不同程度堵塞,影响了积水排放,而第一场暴雨之前又没有大的降水清淤,因此每年的第一场暴雨造成的积涝灾害往往比模拟结果严重。

分析久晴转暴雨过程(降水量 84mm、前 19 天无雨)发现, $\Delta h > 0$ 和 $\Delta h < 0$ 所占比例分别为 36.8%和 63.2%,与每年第一场暴雨过程相反,主要原因是久晴后地面干燥,降雨落到路面后被下垫面吸收,减少了地面径流,因此久晴转暴雨过程造成的积涝灾害没有模拟结果严重。

3 结 论

(1) 利用柳州市暴雨积涝灾害仿真模型,对不同类型降水过程造成的积涝灾害进行数值模拟,大暴雨以下降水,积涝灾害风险以 I 级

和 II 级为主,降水量级达大暴雨以上时,出现 III 级的积涝灾害风险明显增大,达 25%以上,当降水量 $R > 150\text{mm}$ 时,III 级达 37%。

(2) 积水深度实测值与模拟值绝对误差主要分布在 20cm 以内,大暴雨以下降水,误差值主要分布在 10cm 以内,随着降水强度增加,绝对误差值也随之增大。

(3) 通过对积水实测值与模拟值对比分析后发现,每年第一场暴雨造成的积涝灾害往往比模拟结果严重,而对于久晴转暴雨过程则相反,这两类特例在今后进行积涝灾害风险评估时要引起注意。

参考文献

- [1] Hall, M. J. Urban Hydrology[M]. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers Ltd, 1984: 19-25, 163-214.
- [2] Scofield, R. A., The ESDIS operational convective precipitation estimation technique [J]. Mon. Wea. Rev. 115(8):1773-1792.
- [3] 谭术魁,伍维周. 武汉市渍涝灾害及治理策略研究 [J]. 湖北大学学报, 1995, 17(2): 220-226.
- [4] 陶家元,李新民. 武汉市渍涝灾害防治的战略研究 [J]. 华中师范大学学报, 1998, 32(2): 223-228.
- [5] 解以扬,韩素芹,由立宏,等. 天津市暴雨积涝灾害风险分析 [J]. 气象科学, 2004, 24(3): 42.