

# 南通市短历时暴雨强度变化趋势探析

吴艳鸣, 周 荣, 田 立, 黄智勇, 杨 逸, 郁 昱

(江苏省水文水资源勘测局南通分局, 江苏 南通 226000)

**摘要:** 利用南通市代表雨量站营船港闸站 1990—2020 年的数据资料, 采用年最大值法和 P-Ⅲ 型分布曲线拟合得到最新的暴雨强度公式, 精度满足《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》要求。将计算的历时 5、10、15、20、30、45、60、90、120、180 min, 重现期 2、3、5、10、20 a 的设计暴雨强度与 2011 年编制的暴雨强度公式的相应成果进行比较, 结果表明, 新公式总体上比 2011 年公式计算雨强偏大, 在此基础上对近年来气候变化条件下南通市短历时降雨特征进行了分析。

**关键词:** 暴雨强度; 短历时; 降雨特征; 南通市

中图分类号: TV122+.1

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2022)09-0027-0003

## Analysis on variation trend of short duration rainstorm intensity in Nantong City

WU Yanming, ZHOU Rong, TIAN Li, HUANG Zhiyong, YANG Yi, YU Yu

(Nantong Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau,  
Nantong 226000, China)

**Abstract:** Based on the data of Yingchuangang sluice station of Nantong Representative rainfall station from 1990 to 2020, the annual maximum method and P-Ⅲ distribution curve fitting are used to obtain the latest rainstorm intensity formula, and the accuracy meets the requirements of the technical guidelines for the preparation of urban rainstorm intensity formula and the determination of rainstorm type in design. The calculated design rainstorm intensity lasting for 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 and 180 min with return periods of 2, 3, 5, 10 and 20 years is compared with the corresponding results of the rainstorm intensity formula compiled in 2011. The results show that the rainfall intensity calculated by the new formula is higher than that calculated by the formula in 2011. On this basis, the characteristics of short duration rainfall in Nantong under the condition of climate change in recent years are analyzed.

**Key words:** rainstorm intensity; short duration; characteristics of rainfall; Nantong City

## 1 概 述

近年来, 城市暴雨内涝事件频发, 暴雨总量、强度、时间持续增长, 给城市排水管网系统乃至全社会的经济发展带来了严峻挑战。南通市位于长江入海口北侧, 东抵黄海, 南濒长江, 三面环水, 地势

低平, 河网密布, 暴雨灾害是南通市多发的气象灾害之一。

在城市排水除涝工程的规划设计中, 设计暴雨是雨水管道系统设计的基础, 直接影响排水工程的投资预算和安全。为对南通市城市暴雨雨型研究, 对城市排水、排涝设计提供可靠资料和技术支撑,

收稿日期: 2022-05-11

作者简介: 吴艳鸣(1998—), 女, 硕士, 主要从事水文学及水资源相关工作。E-mail: 1499464531@qq.com

2011年南通市编制了暴雨强度公式,采用主城区营船港闸站1990—2011年共计22 a的年最大暴雨样本,降雨历时5~120 min,重现期2~20 a。随着近年来气候变化,城市热岛效应日益增加,2011年编制的暴雨公式已经无法适应当前南通市的城市排水设计需求,因此本次取用相同站点1990—2020年共31 a的场次暴雨资料对南通市暴雨强度公式进行重新修编,并对新编暴雨强度公式和2011年暴雨强度公式进行对比,进一步分析气候变化对南通市短历时暴雨强度的影响。

## 2 基础数据与研究方法

### 2.1 数据来源

南通市区水文基本站点从西北到东南依次有九圩港、南通闸、营船港、新江海河等4个站点,九圩港和新江海河处于两端位置,南通闸和营船港闸站相对居中。营船港闸雨量站设于1961年,为省级水文基本站网,位于南通市新城区与开发区之间,其资料系列较长,观测场地及周边地貌稳定,其雨量资料能够代表该区域历年的降雨情况,且该观测站采用人工、自记同步观测,原始记录资料完整,经过真实性、准确性、可靠性检查与整编审核,资料可靠性较强。

2011年编制暴雨公式时间采用该站1981—2010年分钟降雨数据。1981—2004年分钟降雨数据为降雨自记纸信息化处理数据,通过对降雨自记纸图像的数字化转换处理获得逐分钟降雨资料;2004—2020年降雨资料为逐分钟自动观测数据。

此次编制最新暴雨公式取用该站1990—2020年分钟降雨资料,采用1 min滑动法摘录每年5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min共11个时段的降水量年最大值。

### 2.2 暴雨公式推求方法

推求暴雨公式时,首先对降雨资料进行选择,再利用暴雨频率分布曲线拟合适线建立*i*-*t*-lg*T<sub>M</sub>*关系,在此基础上采用优化算法求解暴雨公式参数,最后通过误差检验,得到暴雨强度公式。

#### 2.2.1 降雨资料选择

对暴雨资料进行选择是暴雨雨型分析的基础和前提,主要有年最大值法、年超大值选择法、超定量选择法、年多个样法等<sup>[1-2]</sup>。本次研究根据《室外排水设计规范》推荐使用的年最大值法,即从营船港闸雨量站每年不同历时各挑选1个最大值,各历时年最大雨量除以历时,得到逐年各历时最大时段

平均降雨强度。

#### 2.2.2 理论分布线型选择

目前,P-Ⅲ型、耿贝尔型、指数型等3种分布线型在城市暴雨强度公式的统计中应用较为广泛<sup>[3-4]</sup>。根据区域水文统计规律,本次主要采用P-Ⅲ型分布曲线进行暴雨强度频率分析。

#### 2.2.3 暴雨强度公式率定

根据《室外排水设计规范》,设计暴雨强度公式为

$$q = \frac{167A_1(1 + C \lg T_M)}{(t + b)^n} \quad (1)$$

式中:*q*为设计暴雨强度,L/(s·hm<sup>2</sup>);*t*为降雨历时,min;*T<sub>M</sub>*为设计重现期,a;*A<sub>1</sub>*、*C*、*b*、*n*为待定参数。

当取式(1)中*q*的单位为mm/min时,暴雨强度公式变为

$$i = \frac{A_1(1 + C \lg T_M)}{(t + b)^n} \quad (2)$$

式中:*i*为设计暴雨强度,mm/min;其他符号含义同前。

采用“高斯—牛顿法”求解式(2)中的待解参数。其中,样本采用P-Ⅲ型分布得出的不同历时的暴雨频率计算成果,率定得到营船港闸雨量站的暴雨公式参数。

考虑到目前南通市排水管道的设计标准以低于20年居多,按照规范要求,在率定重现期2~100 a范围的暴雨强度公式时,重点关注重现期2~20 a数据的拟合精度。

根据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》(2014年),采用绝对均方根误差(暴雨强度公式计算得到的雨强与频率计算得到的雨强的误差平方和的平均数的开方)来衡量暴雨强度公式的拟合精度。

## 3 新旧暴雨公式计算结果及对比

利用营船港闸站数据资料,优选方法和结果,分别采用年最大值法和P-Ⅲ型分布曲线拟合出新暴雨强度公式,即:

$$i = \frac{9.972(1 + 1.004 \lg T_M)}{(t + 12.0)^{0.657}} \quad (3)$$

经检验,对于短历时下2~20 a共5种重现期的暴雨强度,计算得到的新暴雨公式拟合绝对均方根误差为0.042 mm/min,符合《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》的要求。

2011年编制的旧暴雨公式为

$$i = \frac{10.349(1 + 1.012 \lg T_M)}{(t + 12.5)^{0.661}} \quad (4)$$

将营船港闸站本次短历时暴雨强度公式计算的历时5、10、15、20、30、45、60、90、120、180 min,重现期2、3、5、10、20 a的设计暴雨强度与2011年编制的暴雨强度公式的相应成果进行比较,结果见表1。

可见,新编暴雨强度公式与2011年暴雨强度公式相比,总体上比2011年公式雨强偏大19.5%,其中5~120 min雨强偏大17.6%,5~180 min雨强偏大从8.6%依次递增到29.2%,150~180 min雨强偏大接近30%。

表1 新编暴雨强度公式与旧暴雨强度公式的雨强差值比率

历时/min	差值比率/%					平均差值比率/%
	重现期2 a	重现期3 a	重现期5 a	重现期10 a	重现期20 a	
5	2.80	5.60	8.60	11.70	14.10	8.60
10	5.40	8.30	11.40	14.50	17.00	11.30
15	7.30	10.30	13.40	16.60	19.10	13.30
20	8.80	11.90	15.00	18.30	20.80	15.00
30	11.10	14.20	17.40	20.70	23.30	17.30
45	13.50	16.70	19.90	23.30	26.00	19.90
60	15.30	18.50	21.80	25.30	28.00	21.80
90	17.80	21.10	24.50	28.00	30.80	24.40
120	19.60	23.00	26.40	30.00	32.80	26.40

4 短历时最大降水量年际变化

城市内涝与暴雨情况息息相关,而极端降水的变化情况决定着城市排水管网的设计标准。对南通市营船港闸站1981—2020年30、60、90、120 min逐年各历时下的降水量变化情况进行分析可知,随年份推移各历时降水量均呈增大趋势,其中各历时降水量极值均出现在2015年后,尤其是2016年以及2018年达到历史降水量最大值。其中,1981—2020年各历时年最大降水量的气候倾向率为每10 a 0.55~1.19 mm,变化趋势不明显;1981—2011年各历年最大降水量的气候倾向率为每10 a 2.53~3.03 mm,其中90 min历时下的年最大降水量气候倾向率最小;而1990—2020年各历年最大降水量的气候

倾向率为每10 a 5.81~8.37 mm,在所有年份区间中区间值最大,这说明1990—2020年各历年最大降水量增加趋势最为显著,且随着降雨历时的增大越来越明显。

为进一步分析近年来南通市短历时降水量的变化,由各历时下降水量均值的对比(表2)可知,1990—2020年各历时的降水量对比1981—2011年均呈明显增大趋势,历时30、60、90、120 min前者比后者分别偏大20.15%、24.64%、25.67%、26.55%,1990—2020年120 min历时的平均降水量达到了62.65 mm。

5 结 论

为适应当前南通市的城市排水设计需求,利用

表2 各短历时下多年平均降水量

降雨历时/min	多年平均降水量/mm		
	1981—2020年	1981—2011年	1990—2020年
30	33.81	30.20	36.29
60	45.33	39.26	48.94
90	52.07	44.78	56.29
120	57.75	49.50	62.65

起涨时,长江潮位仅为8.17 m。

## 4 结 语

本文从暴雨发展过程及重现期、洪水发展特点、洪水成因等方面,对比分析了2016年7月洪水与2020年7月洪水。结果表明,2次滁河中下游暴雨洪水特征存在一定异同点,2场洪水的成因存在明显差异,尤其是红山窑闸站超历史高洪水位的明显不同。基于2场洪水的分析结果,后期有待对滁河中下游洪水进行还原分析和深入探讨,从而进一步揭示滁河中下游大洪水发生的暴雨洪水规律。

(1)滁河中下游流域大洪水主要受上游来水、区间暴雨径流和长江潮位顶托叠加影响,水利工程调度显得尤为重要。既要关注滁河干流上游来水,合理安排三汊湾闸启闭,注重上游水库调洪拦蓄错峰,又要根据长江上游来水和潮位预报提前预泄水位,腾出蓄水空间。

(2)关注前期降雨对雨水调蓄空间影响,从重现期来看,2016年7月洪水和2020年7月洪水降雨强度不大,但流域多个站点水位超高,其中一个重

要原因是前期降雨导致土壤饱和,产流系数增大,汇流加快,易形成较大洪水。

(3)分析滁河中下游流域洪水风险,应综合考虑不同重现期下不同频率区间降雨,长江潮位和上游来水的组合计算。

### 参考文献:

- [1] 周宏. 滁河中下游暴雨与长江潮位频率组合分析[J]. 人民长江, 2016, 47(14): 36-39.
- [2] 缪大红, 张晓峰. 南京城市防洪规划研究[J]. 中国水利, 2015(13): 16-19.
- [3] 柏正林. 滁河流域“2003.06”暴雨洪水分析[J]. 水文, 2009, 29(3): 88-90.
- [4] 杨文发, 訾丽, 张俊, 等. “20.8”与“81.7”长江上游暴雨洪水特征对比分析[J]. 人民长江, 2020, 51(12): 98-103.
- [5] 柏正林, 张志祥. 滁河襄河口闸上“07.7”暴雨洪水分析[J]. 江淮水利科技, 2008(2): 47-48.
- [6] 游中琼, 张彭兴. 滁河襄河口以上2020年洪水应对措施思考分析[J]. 人民长江, 2020, 51(12): 160-165.
- [7] 钟小燕, 李京兵, 史俊, 等. 2020年梅雨期长江流域安徽区域暴雨洪水过程及特性分析[J]. 水利水电快报, 2022, 43(4): 21-26.

(上接第29页)

南通市代表雨量站营船港闸站1990—2020年的数据资料,优选方法和结果,采用年最大值法和P-Ⅲ型分布曲线拟合得到最新的暴雨强度公式,精度满足导则要求,公式贴近近年来南通市降水量的实际情况。

将新暴雨强度公式与2011年采用相同站点1981—2011年数据资料编制的公式进行比较,发现新编公式总体上比2011年公式雨强偏大19.5%,且随着降雨历时的增加差值呈增大趋势,其中5~120 min雨强偏大17.6%,150~180 min雨强偏大接近30%。1990—2020年各历时年最大降水量增加趋势最为显著,且随着降雨历时的增大越来越明显。资料年

限同样为30年的情况下,1990—2020年各历时的降水量对比1981—2011年均呈明显增大趋势,历时120 min前者比后者偏大26.55%。

### 参考文献:

- [1] 刘占胜. 现代城市暴雨洪涝灾害对策研究[J]. 北方经济, 2022(2): 70-72.
- [2] 刘小勇, 郭丹妮, 林苗青. 1962—2020年南澳县暴雨的气候特征[J]. 广东气象, 2022, 44(1): 34-37.
- [3] 吕学梅. 城市暴雨局部内涝灾害风险评估方法研究[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(2): 175-178.
- [4] 李晨涛. 辽宁省暴雨时空特征及暴雨气象成因分析[J]. 水利规划与设计, 2021(12): 36-39.