

# 常州市城市防洪水文水利计算研究

岳晓红, 杨钟凯, 李灿灿, 唐 仁

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215128)

**摘要:** 近年来城市洪涝灾害频繁发生, 合理确定防洪设计洪水位是确保城市安全和人民生命财产安全, 实现经济可持续发展、社会稳定的重要因素。在区域规划骨干工程治理和城市发展基础上, 通过设计暴雨推求, 运用太湖流域产汇流和水文水动力学模型进行模拟计算, 综合拟定常州市城市防洪设计水位, 对指导城市防洪治理、工程建设和保障城市安全具有重要意义。

**关键词:** 城市防洪; 设计暴雨; 水位; 常州市

中图分类号: TV133.4 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2017)02-0004-05

## Research on hydrological computation of urban flood control in Changzhou

YUE Xiaohong, YANG Zhongkai, LI Cancan, TANG Ren

(*Taihu Lake Water Conservancy Design and Research Institute in Jiangsu Province, Suzhou 215128, Jiangsu*)

**Abstract:** In recent years, urban flood disasters occurred frequently, reasonably determining the design flood control water level is the important factor of ensuring the city security, people's life and property safety, realizing sustainable economic development and social stability. In this paper, based on regional backbone engineering improvement planning and urban development, through the design storm volume, simulation calculation by Taihu Lake basin runoff and hydrological hydrodynamics model is carried out. The urban flood control design water level is comprehensively drawn up, which has important significance for guiding the urban flood control management, project construction and ensuring the safety of city.

**Key words:** urban flood control; design storm; water level; Changzhou

## 1 概述

常州市区位于江苏省常州市东北部, 太湖流域湖西区和武澄锡虞区的交界处, 面积 1862 km<sup>2</sup>, 其中中心城区面积约 728 km<sup>2</sup>[1]。市内河道纵横交错, 主要河道包括京杭大运河、德胜河、澡港河、北塘河、横塘河、丁塘港、三山港、采菱港和武进港等 [2]。常州市多年平均降水量为 1100 mm, 多年

平均蒸发量 916 mm<sup>[3]</sup>。大运河常州水文站 1931 年最高水位 5.59 m (镇江吴淞基面, 下同), 1991 年最高水位 5.52 m, 2015 年实际最高水位达到 6.08 m, 历史最低水位为 2.29 m (1935 年), 多年平均水位为 3.41 m。市区以大运河为中轴, 地势西高东低, 内部高低相间, 低地分布零散, 地面高程一般在 5 ~ 7 m, 最低处仅 3 m 多。市区南北受太湖洪水和长江洪水威胁, 西部承泄湖西区上游山区

收稿日期: 2016-10-18

作者简介: 岳晓红 (1983-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水利规划等工作。

和高亢平原来水,历史上洪水灾害频繁。近年来,常州又经历特大水年2年(1954、1991年)、大水年6年(1969、1974、1983、1987、1999、2003年),2015年再次经受历史罕见洪涝灾害。

目前,常州市已建成中心城区的运北片大包围,防洪标准为200年一遇,中心城区内除运北片以外的区域为50~100年一遇<sup>[4]</sup>。

## 2 设计暴雨分析计算

根据平原水网地区的洪涝特点,城市仅是流域、区域内防洪保护的重要对象,城市防洪主要防御区域及流域性外部洪水<sup>[5]</sup>,因此不再对城市市区范围单独进行暴雨分片,主要按城市设防要求,以区域为对象研究设计暴雨方案。常州市中心城区在湖西区内面积占比较小,大部分属武澄锡虞区范围内,城区主要采用所在武澄锡虞区设计暴雨方案,其余小部分片区采用所在湖西区设计暴雨方案。

### 2.1 暴雨频率分析

根据武澄锡虞区和湖西区水文站网现状雨量站点分布及雨量观测资料条件,武澄锡虞区选取常州、白茆山、焦溪、横林、洛社、无锡等20个雨量代表站、湖西区选取小河新闻、丹阳、谏壁

闸、九里铺、珥陵等42个雨量代表站进行面雨量计算,站网密度平均约180 km<sup>2</sup>设一站,各站资料均在30年及以上。利用相关线展延多站平均雨量作为区域面雨量,由此得到各分区一致性较好的1951~2012年同步面雨量系列,供频率分析计算之用。

根据1951~2012年共62年时段雨量同步系列,采用现行配线法对降雨系列进行排序统计,考虑特大值的处理,计算经验频率,然后通过P-III型曲线进行适线并调整参数,由此推求各保证率的设计雨量。

经验频率计算采用期望公式来估算:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

式中:

$P$ —等于和大于水文要素的经验频率;

$m$ —水文要素由大到小排列的序号;

$n$ —样本容量,即资料系列的总项数。

根据最终适线结果,点绘各区域及各分区最大1、3、7、15、30、45、60、90天雨量频率曲线。各区域暴雨频率计算以最大1、3、7、15及30日暴雨为主,对最大60和90日暴雨一并进行分析,详见表1、表2。

表1 武澄锡虞区暴雨频率分析成果

参数	1日	3日	7日	15日	30日	45日	60日	90日
Ex	77.69	117.44	153.57	212.58	282.37	346.76	409.43	532.97
Cv	0.45	0.42	0.42	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30
Cs/Cv	4.00	4.00	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
P(20)	146.96	214.63	279.16	368.41	477.43	571.76	658.00	834.46
P(50)	177.28	255.94	329.79	428.95	551.81	655.92	749.18	942.87
P(100)	200.03	286.79	367.24	473.45	606.29	717.34	815.48	1021.40
P(200)	222.67	317.39	404.17	517.13	659.64	777.36	880.10	1097.74

表2 湖西区暴雨频率分析成果

参数	1日	3日	7日	15日	30日	60日	90日
Ex	75.8	116.1	154.0	215.2	288.8	421.3	548.4
Cv	0.44	0.40	0.39	0.37	0.36	0.32	0.30
Cs/Cv	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
P(20)	141.1	206.2	270.2	368.3	488.3	677.0	858.7
P(50)	167.8	241.8	315.7	427.3	564.4	770.9	970.2
P(100)	187.7	268.1	349.2	470.6	620.1	839.1	1051.0

## 2.2 设计典型年和时段

建国后,武澄锡虞区发生的主要暴雨有1954、1957、1962、1991、1999年,湖西区发生的主要暴雨有1954、1957、1969、1991、1999年。

对上述各典型年,根据《江苏省太湖地区区域及城市防洪设计暴雨专题报告》分析成果,1991年主雨期降雨总量大、强度高、雨型恶劣,在现有的流域工程条件下,最不利于常州市城市防洪,降雨特性较为接近设计暴雨条件,因此选择1991年为常州市降雨设计典型年。各区通过水利计算

区设计时段7天内,采用湖西区与武澄锡虞区最大7天降雨50年一遇同频率控制;区域设计时段7天外,按全流域面平均最大30天、60天和90天降雨量分时段与流域北部地区相应时段降雨量50年一遇同频率控制,其它分区相似<sup>[6]</sup>。湖西区100年一遇暴雨方案参照50年一遇标准组合方案执行。

## 2.4 设计暴雨过程推求

采用同频率法进行典型年缩放计算确定各区域不同标准的设计暴雨过程,详见表3、表4。

表3 武澄锡虞区1991年型50~200年一遇最大7日设计暴雨过程

日期	6月30日	7月1日	7月2日	7月3日	7月4日	7月5日	7月6日	合计
50年一遇雨量(mm)	46.4	177.3	32.2	42.3	10.9	8.8	11.8	329.8
100年一遇雨量(mm)	51.2	200.0	35.6	46.1	11.9	9.5	12.9	367.2
200年一遇雨量(mm)	55.9	222.7	38.8	49.8	12.8	10.3	13.9	404.2

表4 湖西区1991年型50~100年一遇最大7日设计暴雨过程

日期	6月30日	7月1日	7月2日	7月3日	7月4日	7月5日	7月6日	合计
50年一遇雨量(mm)	50.1	101.4	53.7	49.8	21.1	18.8	20.7	315.7
100年一遇雨量(mm)	55.4	112.2	59.4	55.1	23.4	20.8	22.9	349.2

分析比选,1991年不同设计时段暴雨推算出的武澄锡虞区和湖西区控制点水位均最高,最大7天以外的降雨不再抬高区域最高洪水位。因此,对武澄锡虞区和湖西区规划50年一遇及以上设计标准的暴雨,采用最不利的1991年型作为典型年,设计时段为7天,暴雨起讫时间为6月30日至7月6日。

## 2.3 设计暴雨地区组成

根据各区域与区域外围及流域暴雨的相关性,针对区域设计典型年的实况暴雨特点,并与流域规划成果相衔接,拟定设计区域在设计时段降雨达不同设计标准时外围其它区域或流域相应组合。

武澄锡虞区50年一遇设计暴雨组合方案为:武澄锡虞区设计时段7天内,采用武澄锡虞区与湖西区最大7天降雨50年一遇同频率控制;区域设计时段7天外,按全流域面平均最大30天、60天和90天降雨量分时段与流域北部地区相应时段降雨量50年一遇同频率控制,其它分区相似<sup>[6]</sup>。武澄锡虞区100年一遇和200年一遇暴雨方案参照50年一遇标准组合方案执行。

湖西区50年一遇设计暴雨组合方案为:湖西

## 3 水利计算方法

本次研究采用流域与区域防洪规划中常用且比较成熟的太湖流域产汇流和水文水动力学模型进行模拟计算。计算范围为整个太湖流域,面积36895 km<sup>2</sup>。整套模型分为降雨产汇流模型和河网水文水动力模型两部分<sup>[7]</sup>。

### 3.1 降雨产汇流模型

根据设计暴雨,按照水利分区和核查后的流域下垫面资料,针对流域不同分区的产水特点,分别计算水面、水田、旱地和城镇道路四类产水量,按平原区、湖西丘陵区及浙西山区等分别设计产汇流模型,推算分区产水量。

### 3.2 河网水文水动力模型

以产汇流模型计算得到的山丘区流量、圩内外净雨深,结合典型年实测潮位边界,在河网概化的基础上模拟水流运动。模型包括湖荡等零维模型和河网一维模型。其中河网一维非恒定流动基本方程组为圣维南方程组:

$$\begin{cases} B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = qV_x \end{cases}$$

式中:

$q$ —旁侧入流;

$Q$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $Z$ —河道断面流量、过水面积、河宽和水位;

$V_x$ —旁侧入流流速在水流方向上的分量,近似为零;

$K$ —流量模数,反映河道的实际过流能力;

$\alpha$ —动量校正系数,反映河道断面流速分布的均匀性。

模型采用四点线性隐式格式进行离散求解。

## 4 防洪设计水位拟定

### 4.1 设计洪水位推求

近年来,随着流域、区域骨干工程的实施,区域防洪能力不断提高,本地区外围防洪条件总体有较大改善。本次城市最高洪水位推算,在流域、区域现状工情的基础上,考虑近期流域、各区域及交通部门已完成或正在实施的工程情况,运北大包围实施优化调度方案,新沟河、新孟河拓浚延伸工程、澡港河江边枢纽扩容工程实施完成,武澄锡低片完成锡澄运河扩大北排、白屈港整治、新桃花港整治、老桃花港整治工程,湖西区实施德胜河航道提升、魏村枢纽改扩建、扁担河整治工程。

通过太湖流域河网水文水动力学模型模拟分析计算,区域在不同标准降雨条件下区内各控制点最高水位见表5、表6。

表5 武澄锡虞区遇1991年型不同频率暴雨各控制点最高水位表

统计项目(6.30-7.6)	50年一遇	100年一遇	200年一遇
九里铺		5.64	5.81
新闸外	5.33	5.54	5.70
钟楼闸上	5.33	5.54	5.70
钟楼闸下	5.05	5.12	5.29
运河大通河口		5.12	5.27
最高水位			
(m)			
运河采菱港口		5.11	5.26
老运河新运河口		5.09	5.25
丁堰	4.94	5.09	5.25
青龙	4.88	5.01	5.14
澡港河澡港东支	4.77	4.92	5.05
德胜河十里横河		5.49	5.63
无锡	4.84	5.02	5.19
青阳	4.78		

表6 湖西区遇1991年型不同频率暴雨各控制点最高水位表

统计项目(6.30-7.6)	100年一遇
九里铺	5.76
新闸外	5.62
钟楼闸上	5.63
最高水位(m)	
钟楼闸下	5.21
德胜河十里横河	5.53
扁担河孟津河	5.68

### 4.2 已有规划防洪水位成果

根据《常州市城市防洪规划修编(2007~2020年)》防洪水位研究成果,常州城市防洪设计水位200年一遇采用5.95 m,100年一遇采用5.80 m。按照大运河常州站实测洪水位排频分析,常州站200年一遇洪水位为5.94 m,100年一遇洪水位5.81 m。

### 4.3 城市防洪设计水位拟定

根据河网水动力学模型模拟分析,在规划工情下,发生200年一遇区域性洪水时,常州钟楼闸上水位为5.70 m,钟楼闸内大运河沿线瞬时最高水位为5.25~5.29 m,丁塘港沿线水位5.05~5.25 m;发生100年一遇洪水时,钟楼闸上水位5.54 m,钟楼闸内大运河沿线瞬时最高水位为5.09~5.12 m,位于湖西区德胜河十里横河口、扁担河孟津河口分别为5.53 m、5.68 m。由于近年来流域、区域骨干工程的实施,区域防洪能力不断提高,特别是新沟河、新孟河相继实施,本地区外围防洪条件总体有较大改善,常州市中心城区防洪设计水位可考虑适当降低,但目前丁塘港西岸堤防已按原常州市城市防洪200年一遇洪水位5.95 m、东岸按原100年一遇洪水位5.80 m实施,戚墅堰段大运河堤防也已按100年一遇洪水位5.80 m(堤顶高程6.5 m)设计,新沟河工程沿线堤防设计堤顶高程亦为6.5 m。

## 5 结语

(1)经计算分析,综合考虑工程建设标准一致性,拟定常州市200年一遇防洪设计水位为5.95 m,100年一遇防洪设计水位为5.80 m,总体是偏安全的。

(2)根据武澄锡虞区50年一遇防洪水利计

算,代表站青阳站水位为 4.78 m,满足区域规划设定的防洪设计水位 4.80 m 的要求。

### 参考文献:

- [1] 水利部太湖流域管理局.太湖流域防洪规划[R].2007.
- [2] 中国河湖大典[M].北京:中国水利水电出版社,2010.
- [3] 常州市水利局.常州市水资源公报[R].2014.
- [4] 常州市人民政府.常州市城市总体规划[R].2011.
- [5] 李继业,林洪孝.洪水设计与防洪减灾[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [6] 水利部太湖流域管理局.太湖流域防洪规划设计暴雨及产流计算[S].2007.
- [7] 程文辉,王船海,朱琰.太湖流域模型[M].南京:河海大学出版社,2006.

(责任编辑:徐丽娜)

