

# 太湖流域设计暴雨修订

胡 艳,林荷娟,刘 敏

(太湖流域管理局水文局(信息中心),上海 200434)

**摘 要:**太湖流域属平原河网地区,河网密布、水流流向往复不定,不存在流域出口控制断面,太湖流域设计洪水一般根据设计暴雨采用流域产汇流模型间接推求。因此,设计暴雨成果将直接影响流域防洪规划、工程设计、风险图编制等多项工作,其可靠性关系到流域的防洪安全,是一项十分重要的基础工作。开展了太湖流域设计暴雨修订计算,与太湖流域防洪规划设计暴雨成果对比分析,并针对设计暴雨过程推求采用的不同空间分配方法,进行成果的合理性评估。

**关键词:**太湖流域;设计暴雨;修订

中图分类号:P333.2 文献标识码:A 文章编号:1000-0852(2016)05-0050-04

## 1 研究背景

太湖流域属平原河网地区,河网密布、水流流向往复不定,不存在流域出口控制断面,太湖流域设计洪水一般根据设计暴雨采用流域产汇流模型间接推求。因此,设计暴雨成果将直接影响流域防洪规划、工程设计、风险图编制等多项工作,其可靠性关系到流域的防洪安全,是一项十分重要的基础工作。20世纪80年代以来,太湖流域管理局先后组织编制了《太湖流域综合治理总体规划方案》、《太湖流域防洪规划》、《太湖流域综合规划》等,对流域设计暴雨、设计洪水等做过多次分析,但是,随着全球气候变化,降水强度和频次均有不同程度的改变,对太湖流域设计暴雨成果进行修订十分必要。

通常确定单站设计暴雨的方法是在实测雨量序列中,每年选一个一定历时的最大值,根据该最大值序列进行频率计算,求出所需频率的设计暴雨值,以此作为该站整个汛期设计暴雨值。由于太湖流域暴雨时空分布的复杂性,太湖流域设计暴雨计算时采用了暴雨分区划分,在各分区暴雨频率计算的基础上考虑多时段、多空间类型暴雨,本次太湖流域设计暴雨修订主要完善了分区降雨代表站,并对设计暴雨过程推求的不同方法进行了合理性分析,更加符合流域实际。

## 2 水利分区和暴雨分区

太湖流域北抵长江,东临东海,南滨钱塘江,西以天目山、茅山等山区为界,流域行政区划分属江苏省、浙江省、上海市和安徽省三省一市,总面积36895km<sup>2</sup>。太湖流域西部为山区,中东部为平原河网洼地,以太湖为中心分上游水系和下游水系两个部分,上游主要为西部山丘区独立水系,在洪水季节,上游山区大量的洪水进入太湖,下游主要为平原河网水系,河道比降仅为1/10万~1/20万,水流流速缓慢,一般仅为0.1~0.3m/s,河流水系纵横交错,十分复杂。流域属亚热带季风气候区,多年平均降雨量1187.6mm,其中60%集中在汛期(5~9月)。太湖流域的洪涝灾害主要由梅雨和台风雨造成。入梅时间和梅雨季长短与副热带高压的位置和强弱密切相关。一般入梅时间在6月上旬,出梅时间在7月上旬,多年平均梅雨期降雨量占全年降雨量的18.5%。另外,影响太湖流域的台风频繁,局部地区成灾严重,大多出现在7~9月,平均每年2~3次。

太湖流域洪涝治理主要在平原地区,自然情况下太湖洪水和地区涝水在平原地区交混,通过河网扩散,造成较大范围的洪涝灾害。为了提高治理效果,减少洪涝灾害损失,根据流域河道水系分布、地形高差变化及洪涝特点等,将流域分成7个水利分区,分别为湖西

收稿日期:2015-03-10

作者简介:胡艳(1980-),女,安徽绩溪人,高级工程师,硕士,主要从事水文分析、情报预报相关工作。E-mail:hytty@tba.gov.cn

区、浙西区、太湖区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区、杭嘉湖区、浦东浦西区。其中湖西区、浙西区和太湖区组成流域上游区,其它各区组成流域下游区。

太湖流域暴雨分区划分的原则主要考虑特大暴雨的区域分布规律和空间尺度,流域产流和汇流特征,水系的相对闭合性,流域工程现状和规划状况,传统分区习惯等因素,据此,太湖流域划也分为湖西、武澄锡虞、阳澄淀泖、太湖区、杭嘉湖、浙西、浦东浦西等 7 个暴雨分区,与水利分区一致,见图 1 所示。



图 1 太湖流域暴雨分区示意图  
Fig.1 The storm areas of the Taihu basin

### 3 设计暴雨频率分析

本次在太湖流域防洪规划设计暴雨的基础上,将降雨系列延长至 2010 年,即采用 1951~2010 年降雨系列资料,进一步补充完善了流域各水利分区降雨代表站,最终选定 106 个降雨代表站作为计算分区平均雨量的依据;开展了全流域、上游区、下游区、北部区、南部区和七大水利分区最大 1d、3d、7d、15d、30d、45d、60d、90d 的设计暴雨频率分析。由暴雨频率分析曲线可知,随着降雨历时增长,雨量均值增大, $C_v$  及  $C_s/C_v$  值减小,符合暴雨参数的变化趋势和降雨特性的,且各时段上游雨量均值高于下游,其中以浙西区雨量均值最大,下游平原区雨量均值相近,符合降雨分布随地面高程抬升而增大的地理规律。

通过与太湖流域防洪规划设计暴雨频率分析成果对比可知,本次计算与防洪规划相比,全流域、上游区、下游区 1~90d 时段降雨量频率统计参数结果差别很小,均值最大不超过 2.3%, $C_v$  差别最大为 0.02, $C_s/C_v$  差别最大为 0.5,其中 30~90d 均值最大差别不超过

1.0%, $C_v$  差别最大仅为 0.01, $C_s/C_v$  差别最大为 0.5;防洪规划 1~90d 时段降雨 50~300a 重现期降雨量设计值与本次计算结果的最大差别为 2.6%,其中,50a 重现期 30~90d 降雨量设计值与本次计算结果的最大差别为 1.2%,100a 重现期 30~90d 降雨量设计值与本次计算结果的最大差别为 1.1%,300a 重现期 30~90d 降雨量设计值与本次计算结果的最大差别为 1.2%。本次计算的 7 大水利分区降雨量频率参数与防洪规划相比也较接近,1~90d 时段降雨量均值的差别不超过 6.9%,50~300a 重现期 1~90d 时段降雨量设计值与本次计算结果的最大差别为 3.1%,其中,30~90d 降雨量均值最大差别不超过 3.8%,发生在武澄锡虞区;50a 重现期 30~90d 降雨量设计值与本次计算结果的最大差别为 1.1%,发生在武澄锡虞区,100a 重现期 30~90d 降雨设计值差别最大的是太湖区,为 1.0%,300a 重现期 30~90d 降雨设计值的最大差别为 1.4%,发生在阳澄淀泖区和浦东浦西区。

本次暴雨频率计算成果与太湖流域防洪规划设计暴雨频率计算结果总体较接近,但略偏小,经分析,这与降雨系列延长导致均值减小,以及参数的变化有关。为此,本次设计暴雨修订成果与太湖流域防洪规划成果具有很好的一致性。

## 4 设计暴雨过程推求

### 4.1 推求方法

设计暴雨过程计算包括推求设计条件下暴雨的时间分布和空间分布。设计暴雨的时间分布是指设计暴雨总量在时间上的分配,总量相等的暴雨可有不同的雨量过程,应选择既满足规划要求、又符合太湖流域暴雨特性的雨量过程作为设计暴雨的时程分配,供推求设计洪水过程线之用。

设计暴雨的空间分布是指设计暴雨总量在流域或地区上的分布,总量相等的暴雨可有不同的地区分布,应拟定既满足规划要求又符合太湖流域暴雨特性的设计暴雨地区分布,供推求设计洪水过程线之用,一般是选择典型暴雨图,并把它放置在流域的适当位置,然后按设计雨量把典型暴雨图放大而求得。当流域内有较长期暴雨资料时,可选本流域内对防洪安全不利的实测大暴雨等值线图作为典型暴雨图。

新中国成立以来,太湖流域发生了 1954 年、1991 年、1999 年三次长历时大暴雨,太湖流域普遍遭受严重的洪涝灾害,暴雨的时空分布各有其特点,基本反映

了流域暴雨时空分布特征,但考虑到太湖流域规划工程实施后,1954年型暴雨不会给流域造成大的洪涝灾害,另外,2000年之后太湖流域未发生流域性的典型大暴雨,因此,本次设计暴雨推求仍沿用太湖流域防洪规划采用的1991、1999年暴雨典型。根据太湖流域典型洪水太湖造峰时间,本次设计暴雨时间分布采用同频率缩放方法推求,即在全流域发生设计频率暴雨的情况下,以1991年和1999年最大90d暴雨过程为典型,控制最大30、60、90d降雨为同频率;空间分布按照1991、1999年典型暴雨的实际分布情况,拟定91北部型和99南部型,同时考虑对太湖防洪不利的91上游型。

#### 4.2 对比分析

设计暴雨雨量空间分配方法一般有两种,一种是采用各分区最大时段雨量多年均值比例对典型设计暴雨同频区域或相应区域内的分区雨量进行分配(以下简称“多年平均法”),另一种是采用各分区典型年最大时段降雨量比例对典型设计暴雨同频区域或相应区域内的分区雨量进行分配(以下简称“典型年法”),方法的差异会造成各分区设计值的明显差异。为了成果的可比性,本次仅选择与防洪规划设计暴雨相同典型年、相同缩放方法的设计暴雨进行比较,即对比降雨系列延长后暴雨频率设计值改变对设计暴雨过程的影响,为此,选择了91北部50年一遇、99南部50年一遇、99南部100年一遇按“典型年法”进行空间分配的设计暴雨过程与防洪规划成果对比。

由对比可知,对于“91北部”50年一遇设计暴雨过

程,与防洪规划成果相比,差别不大,其中30d、60d降雨量,浦东浦西区相差最大,分别达21.1mm和33.3mm,90d降雨量阳澄淀泖区相差最大,达21.4mm,各时段各分区降雨量与防洪规划相对差均在4.6%以内。

对于“99南部”50、100年一遇设计暴雨过程,与防洪规划成果相比,除浦东浦西区各时段降雨量和阳澄淀泖区90d降雨量相差相对较大,其他各区均较小,其中50年一遇设计暴雨,浦东浦西区30d、60d、90d降雨量分别比防洪规划成果大28.7mm、51.8mm、62.0mm,相对差在5.7%~7.4%;阳澄淀泖区90d降雨量比防洪规划成果小49.8mm,相对差5.7%,其他各区各时段降雨量相差基本在4%以内。“99南部”100年一遇设计暴雨也是浦东浦西区相差最大,30d、60d、90d降雨量分别比防洪规划成果大32.2mm、59.0mm、70.1mm,相对差在5.9%~7.8%;阳澄淀泖区90d降雨量比防洪规划成果小50.4mm,相对差5.4%,其他各区各时段降雨量相差基本在4.5%以内。

#### 4.3 合理性分析

与太湖流域防洪规划设计暴雨成果相比,本次设计暴雨推求计算的方法、系列长度、采用的雨量站点和雨量均发生了变化。太湖流域防洪规划在推求设计雨量时91北部方案和99南部方案采用“典型年法”对设计暴雨进行空间分配,而91上游方案则采用“多年平均法”对设计暴雨进行空间分配,为探讨两种方法的合理性,本文在太湖流域防洪规划的典型设计暴雨方案的基础上,补充用“多年平均法”对防洪规划91北部50年一遇设计暴雨方案进行空间分配,得到采用不同空间分布计算

表1 91北部50年一遇设计暴雨不同方法对比 (mm)  
Table1 The comparison between the different 50-year design storm methods for the 91north (mm)

		湖西	武澄锡虞	阳澄淀泖	太湖	杭嘉湖	浙西	浦东浦西	全流域
30d	设计值	559.2	546.1	550.1	563.3	534.4	636.7	531.0	514.8
	防洪规划 <sup>*1</sup>	548.7	523.5	601.0	546.1	447.6	456.3	532.5	514.8
	重现期/a	43	37	96	40	16	7	51	50
	多年平均 <sup>*2</sup>	544.8	532.1	470.4	490.3	482.8	585.1	468.4	514.8
	重现期/a	41	41	18	21	25	28	21	50
60d	设计值	762.2	745.5	746.4	765.3	741.9	900.2	723.7	727.7
	防洪规划	746.1	727.8	768.2	708.3	667.4	763.0	723.8	727.7
	重现期/a	42	41	63	28	22	15	50	50
	多年平均	745.5	729.2	672.0	692.2	699.0	848.1	662.3	727.7
	重现期/a	42	42	23	24	31	31	25	50
90d	设计值	960.0	941.6	926.2	961.4	938.7	1127.9	902.1	908.1
	防洪规划	943.3	921.0	946.3	881.1	820.1	964.9	889.8	908.1
	重现期/a	43	42	60	25	17	14	44	50
	多年平均	942.0	923.9	819.5	855.2	871.2	1065.6	811.5	908.1
	重现期/a	43	43	20	21	27	31	21	50

\*1:太湖流域防洪规划成果,即空间分布采用“典型年法”;\*2:设计暴雨空间分布采用“多年平均法”。

方法的设计暴雨过程,通过对比,分析各方法的合理性。

91 北部设计暴雨是指全流域和北部区域(湖西+武澄锡虞区)同频,其他区域相应,相应区域暴雨频率原则上应低于同频区域,但由表 1 可知,91 北部 50 年一遇设计暴雨“典型年法”成果(即防洪规划成果)中,相应区域的阳澄淀泖区 30d 暴雨重现期远高于同频区域的湖西区 and 武澄锡虞区,达到 96a,且高于流域 50 年一遇的设计频率,浦东浦西区 30d 暴雨重现期也达到 51a,高于流域设计频率;另外,相应区域中各分区重现期十分不均匀,最大为 96a,最小仅浙西区的 7a。同样,相应区域的阳澄淀泖区 60d、90d 暴雨重现期也高于同频区域的湖西区和武澄锡虞区,分别达到 63a 和 60a,高于流域 50 年一遇的设计频率;相应区域中各分区重现期分布不均,最大和最小相差 45~50a。由此可见,该方法所推求的成果不尽合理。

但是,采用“多年平均法”所得到的结果,同频区域的湖西区和武澄锡虞区 30~90d 暴雨重现期为 41~43a,相应区域各分区重现期为 18~31a,成果符合该典型暴雨的设计概念,相对较合理。

## 5 结语

(1)太湖流域防洪规划、水资源综合规划采用了不同降雨量代表站开展流域各分区平均降雨量计算,为统一站点,规范太湖流域设计暴雨分析工作,太湖流域综合规划在已有成果的基础上,进一步复核分析,最终选定 106 个降雨代表站作为计算分区平均雨量的依据。本次在太湖流域流域综合规划的基础上又进行了进一步的分析,认为 106 个代表站能够较好的代表流域各分区降雨量,所选择的 106 个降雨量代表站综合考虑了 1951 年以后各阶段降水量站分布的均匀性,涵

盖了主要的长系列降水量站,同时考虑了今后降水量资料收集的可靠性和可达性,计算结果总体上与太湖流域防洪规划比较接近。

(2)考虑到解放前降雨站点不多、资料不全,本次降雨系列选取 1951~2010 年。通过对全流域、上游区、下游区、南部区、北部区及七大降雨分区的最大 1、3、7、15、30、45、60、90d 降雨量进行频率计算和参数分析,不同分区、不同时段统计参数与太湖流域防洪规划相比基本接近,各分区 50a 重现期 30~90d 降雨量设计值与太湖流域防洪规划结果最大相差为 1.1%,100a 重现期 30~90d 降雨设计值最大相差 1.0%,300a 重现期 30~90d 降雨设计值最大相差 1.4%。因此,降雨系列延长后,对太湖流域及各分区暴雨设计值影响不大。

(3)在太湖流域防洪规划设计暴雨成果以后,太湖流域未发生流域性典型暴雨,本次流域设计暴雨推求仍沿用原防洪规划确定的 1991 年和 1999 年典型暴雨是可行的。通过不同方法对流域设计暴雨过程进行推求,并开展成果合理性分析,认为采用“多年平均法”推求的流域设计暴雨过程更符合流域水文特性,并与流域三种典型设计暴雨方案的概念一致。建议在今后流域规划前期、工程设计和相关研究等实际工作中,可结合实际情况,选择设计暴雨过程。

参考文献:

- [1] 董增川,徐向阳. 太湖流域设计暴雨分析计算[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000. (DONG Zengchuan, XU Xiangyang. Design Storm Calculation for Taihu Basin[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2000. (in Chinese))
- [2] 太湖流域管理局. 太湖流域防洪规划 [R]. 2013. (Taihu Basin Authority. Flood control planning for Taihu basin [R]. 2013. (in Chinese))

## Revision of Design Storm for Taihu Basin

HU Yan, LIN Hejuan, LIU Min

(1. Bureau of Hydrology (Information Center), Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, China)

**Abstract:** Belong to the plain river network area, There are interconnected waterways and the flow directions can not be determined in the Taihu Basin. There is no control section in the basin, and the design flood is obtained according to the runoff model which using the design storm to calculate indirectly. Therefore, the results of design would directly affect the flood control planning, engineering design, risk planning of the basin, which is a very important basic work. This paper carried out a revised design storm calculation of Taihu Basin, which was compared with the flood control planning. Besides, according to different space allocation of design storm, this paper carried out the rationality analysis of the results between the method.

**Key words:** Taihu Basin; design storm; revision