

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.06.001

太湖流域 2016 年、1991 年大洪水对比分析

王磊之^{1,2}, 胡庆芳¹, 王银堂¹, 林荷娟³, 崔婷婷¹, 朱晓庆⁴

- (1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;
2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;
3. 太湖流域管理局水文局信息中心, 上海 200434; 4. 深圳市水务局, 广东 深圳 518000)

摘要:采用数理统计方法比较分析太湖流域 2016 年、1991 年 2 场大洪水对应的降水、水位、洪水蓄泄及工程调控情况, 结果表明: (a) 这 2 个年份致洪降水发生日期和降水总量十分接近, 但在时程分布上差异明显, 2016 年致洪性降水较 1991 年对流域防洪更为不利; (b) 受降水影响, 1991 年洪水期太湖水位具有 2 次明显上涨过程, 而 2016 年太湖水位系连续上涨; (c) 在 2016 年洪水期, 作为太湖水量主要来源的湖西、浙西入湖水量明显超过 1991 年, 且湖区降水量也明显大于 1991 年, 这是导致太湖最高水位超过 1991 年的重要原因; (d) 因治理太湖骨干工程的建成, 2016 年流域洪灾损失占 GDP 的比重远低于 1991 年。

关键词:太湖流域; 洪水; 降水; 水位; 洪水调度; 数理统计方法

中图分类号:TV212 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2018)06-0471-08

Comparison of the two flood events occurred in 2016 and 1991 in the Taihu Lake Basin

WANG Leizhi^{1,2}, HU Qingfang¹, WANG Yintang¹, LIN Hejuan³, CUI Tingting¹, ZHU Xiaoqing⁴

- (1. State Key laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering & Science, Nanjing 210029, China;
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Hydrology Bureau, Taihu Basin Administration, Shanghai 200434, China;
4. Water Resources Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen 518000, China)

Abstract: In this study, we comprehensively compared the rainfall, water level, flood discharge & storage and water project regulation of two flood events occurred in 2016 and 1991 for the Taihu Lake Basin with the method of mathematical statistic. Results show that: (a) Rainfalls leading to floods of these two events were similar in amount and occurring date, but different in temporal distribution, and rainfall in 2016 was severer to flood control than 1991; (b) Influenced by rainfalls, two obvious rising periods of the Taihu water level were observed in 1991, while a continuous rise was observed in 2016; (c) During the flood period of 2016, the water quantity into the Taihu Lake from the Huxi area and the Zhexi area, which are main sources of water into the Taihu Lake, significantly exceeded that of 1991. Besides, the rainfall over the lake area in 2016 also took over that in 1991, which could mostly account for the highest water level of Taihu Lake in 2016 exceeding that in 1991; (d) Fundamental changes have occurred in the drainage pattern of 2016 due to the construction of water projects in the Taihu Lake Basin and methods for regulation also became mature in 2016, resulting in much lower damage accounting for the proportion of GDP caused by floods than 1991.

Key words: the Taihu Lake Basin; flood; rainfall; water level; flood regulation; mathematical statistic

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0400902);水利部公益性行业科研专项(201501014);中央级公益性科研院所基本科研业务费(Y516034,Y517007);国家自然科学基金(51509157);江苏省水利科技项目(2017022,2017038)

作者简介:王磊之(1991—),男,博士研究生,主要从事水文水资源研究。E-mail:wanglz@nhri.cn

通信作者:胡庆芳,高级工程师。E-mail:hqf_work@163.com

引用本文:王磊之,胡庆芳,王银堂,等.太湖流域 2016 年、1991 年大洪水对比分析[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(6):471-478.

WANG Leizhi, HU Qingfang, WANG Yintang, et al. Comparison of the two flood events occurred in 2016 and 1991 in the Taihu Lake Basin[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2018, 46(6): 471-478.

在流域设计洪水计算中,典型洪水的选取对象主要是具有代表性的、对防洪不利的大洪水,因此典型暴雨及洪水的研究对流域防洪治涝工作具有重要现实意义。Zhang 等^[1]采用长系列暴雨洪水资料,根据不同洪水演变阶段特征对典型区若干场暴雨洪水进行分类,并定性分析了暴雨洪水的天气成因。杨传国等^[2]则以卫星降水数据为驱动资料,利用分布式陆面-水文模型模拟了淮河流域典型洪水年(2003 年)的流量过程。贾锁宝等^[3]采用太湖流域实测水位、水量等对比方法研究了太湖流域 1999 年、1991 年、1954 年的洪水特征。沈浒英等^[4]则从气候背景和大尺度环流角度对比分析了 2010 年、1998 年长江流域大洪水的异同点。

太湖流域位于长江三角洲南翼,面积 36 895 km²,流域三面滨江临海,属亚热带季风气候区,洪涝灾害频发,加之流域内社会经济十分发达,洪灾损失十分巨大。流域各水利分区的位置及流域内地形见图 1。现状太湖流域典型暴雨洪水主要为 1991 年型和 1999 年型 2 种,这 2 个年份典型暴雨在时空分布上具有显著差异,相应水位和洪水蓄泄格局也不尽相同,因此不同典型年的暴雨洪水对流域和各分区防洪除涝标准、工程布局 and 调度方式的需求各有不同。2016 年 6—7 月,受超强厄尔尼诺现象等影响,太湖流域发生了 21 世纪以来的第一次流域性特大洪水,表征流域洪涝情势的基本水情因子——太湖水位一度达 4.87 m,为 1954 年以来第二高。在此期间,全流域 13 个站点水位一度大幅度超过保证水位并创历史新高^[5-6]。

太湖流域 2016 年大洪水与 1991 年大洪水具有较明显的相似性:不仅两者对应降水量、河湖水位量级和暴雨洪水发生时段较为接近,而且均为“北部型”洪水,即降水中心均位于流域北部湖西区、武澄锡虞区一带(北部区域河网水位超保证幅度也最大)^[5-7]。然而,这 2 个年份对应的致洪降水特性存在较大差异,同时 20 世纪 90 年代以来太湖流域进入了快速城镇化时期^[8],降水条件发生较大改变^[9],流域下垫面显著变化,防洪工程体系不断优化^[10-12],洪水调度方式也持续调整^[13],故 2016 年大洪水对应的流域洪涝情势及灾情与 1991 年也具有明显不同。换言之,太湖流域新出现的 2016 年大洪水与 1991 年洪水相比具有明显不同的典型性,应引起流域管理机构的高度重视。

本文对 2016 年和 1991 年太湖流域大洪水进行全面比较,分析流域降水时空分布、河湖水位发展过程、洪水运动特征方面的异同,并对比这 2 个年份流域防洪除涝工程布局 and 调度运用情况,这对于深化极端条件下太湖流域防洪除涝的认识、优化流域设计暴雨计算、完善流域防洪工程调度运用均具有重要参考价值。

1 流域及分区降水对比

1.1 流域降水

1.1.1 主要降水过程

2016 年和 1991 年太湖流域汛期降水过程如图 2 所示。由图 2 可知,全流域汛期降水最集中的时段均为 6 月中旬到 7 月上旬,且该时段内降水量也较接近(分别为 430 mm、468.8 mm)。然而,这 2 个年份降水时程分布具有明显差异。2016 年 6 月中旬至 7 月上旬,各旬降水量依次为 122 mm、155 mm 和 154 mm,连续性较强;而 1991 年 6 月中旬至 7 月上旬期间分别为 230 mm、21 mm 和 217 mm,降水主要集中在 6 月中旬和 7 月上旬,6 月下旬较少。图 3 给出了这 2 个年份 6 月中旬至 7 月上旬太湖流域日降水过程。从图 3 可知,2016 年洪水期间流域降水在时程上是连续的,自 6 月中旬至 7 月上旬基本可视作一次降水过程,而 1991 年 6 月中旬至 7 月上旬太湖流域实际上发生了 2 次强降水过程,分别为 6 月 11—19 日、6 月 30 日至 7 月 10 日,其间具有 11 d 的无雨期。在降水量较为接近的情况下,2016 年大洪水期间太湖流域降水时程分布与流域防洪规划中“91 北部”设计雨型具有明显不同的典型性,若采用 2016 年新雨型作为设计暴雨将对流域设计洪水成果产生一定影响,应引起流域管理机构的重视。

1.1.2 极值降水量

2016 年和 1991 年 6—7 月太湖流域不同历时极值降水量及发生日期如图 4 所示。由图 4 可知,2016 年 6—7 月流域最大 1 d、最大 2 d、最大 3 d、最大 5 d、最大 7 d 和最大 30 d 降水量均小于 1991 年,最大 15 d 降水

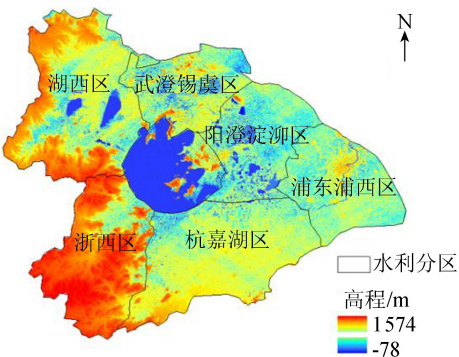


图 1 太湖流域水利分区及高程分布

Fig. 1 Distribution of hydraulic sub-areas and DEM of the Taihu Lake Basin

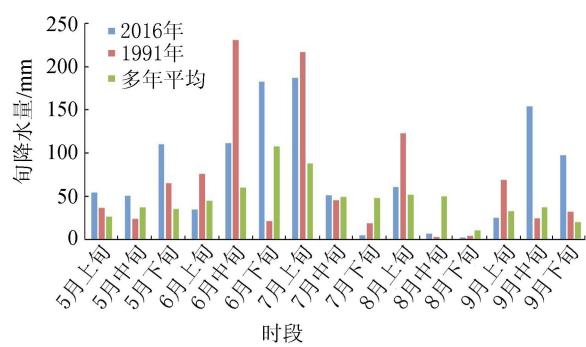


图 2 太湖流域汛期各旬降水量对比

Fig.2 Comparison of ten-day rainfall in the Taihu Lake Basin during the flood season

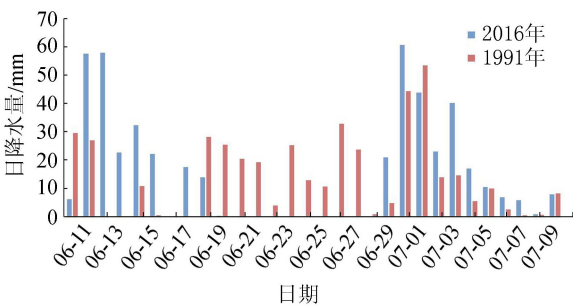


图 3 太湖流域日降水量对比

Fig.3 Comparison of daily rainfall in the Taihu Lake Basin

量大于1991 年。2016 年流域较短历时极值降水(最大 7 d 以内)均发生于 6 月下旬到 7 月上旬这一时段内,且较短历时极值降水发生时段均包含在较长历时极值降水的发生时段内;而1991 年则发生于 6 月中旬或 7 月上旬,长短历时极值降水量的发生时段并没有包含关系。

1.2 分区降水

1.2.1 主要降水过程

图 5 给出了 2016 年和 1991 年太湖流域各水利分区 6—7 月旬降水过程,表 1 给出了 2 个年份不同阶段降水量统计结果。由此可知,在 2 个年份,大洪水期间太湖流域降水中心均位于北部的湖西区、武澄锡虞区,各分区降水过程总体上与全流域类似,降水量均集中于 6 月中旬至 7 月上旬。在此期间,1991 年各分区发生了 2 次降水过程,其间具有明显间隔期,而 2016 年各分区主要降水过程比较连续。图 6 进一步给出了流域 3 个上游分区 6 月中旬至 7 月中旬日降水过程。结合图 6 和表 1 可知,湖西区2016 年洪水期降水量虽小于1991 年,但在时程分布上更为集中;而浙西区、湖区 2016 年洪水期降水量不仅较 1991 分布更集中,在总量上也高于 1991 年。由于浙西区、湖西区是太湖水量的主要来源地区,而湖区降水基本直接转化为太湖水量,因此 2016 年洪水期

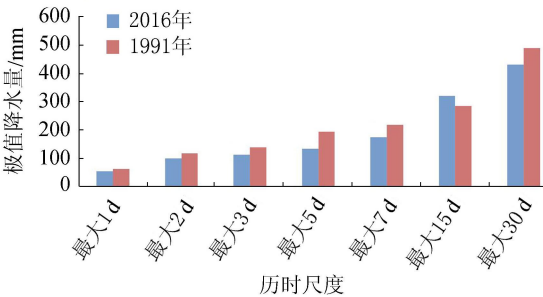


图 4 太湖流域极值降水量及发生日期

Fig.4 Extreme rainfall and its occurring date in the Taihu Lake Basin

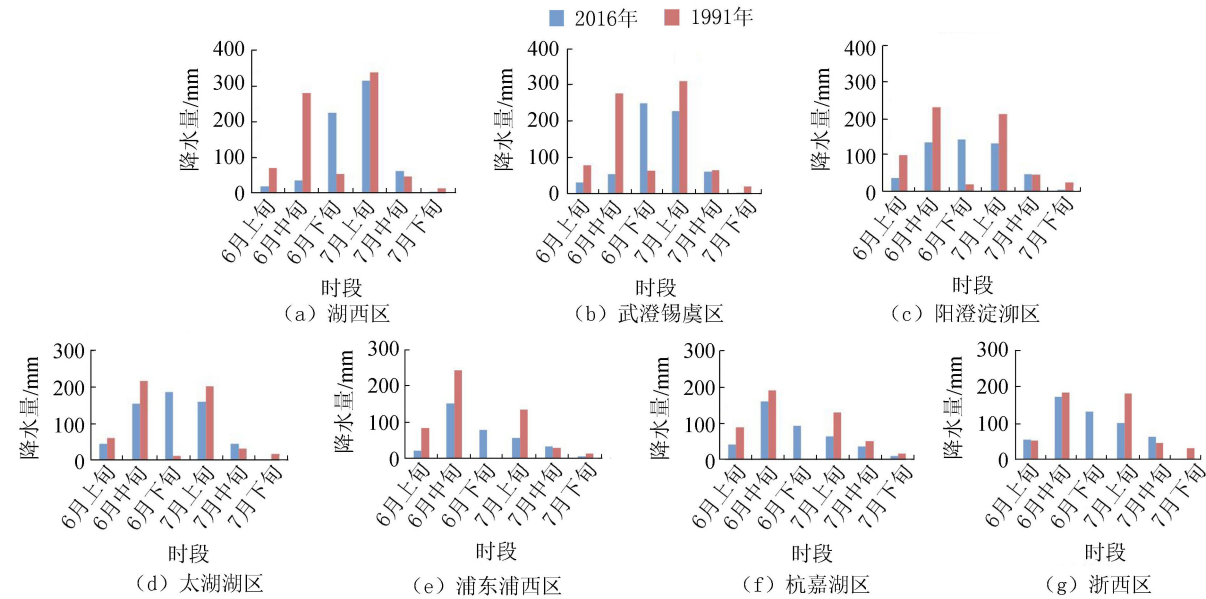


图 5 太湖流域各分区 2016 年和 1991 年 6—7 月各旬降水量

Fig.5 Ten-day rainfall of the 7 sub-areas within the Taihu Lake Basin during June and July of 2016 and 1991

太湖流域降水的这一空间分布特征有利于产生更多的入湖水量,这是导致该年太湖最高水位(4.87 m)超过1991年(4.78 m)的重要原因之一。

表1 太湖流域及各分区2016年和1991年6—7月时段降水量

Table 1 Rainfall during certain periods in sub-areas of the Taihu Lake Basin during June and July of 2016 and 1991									
分区	年份	降水量/mm			分区	年份	降水量/mm		
		6月	7月	6月中旬至7月上旬			6月	7月	6月中旬至7月上旬
湖西区	2016	280.0	380.9	576.4	浦东浦西区	2016	251.7	95.0	286.4
	1991	404.3	399.2	673.1		1991	327.3	176.8	377.9
武澄锡虞区	2016	332.9	289.5	530.6	杭嘉湖区	2016	296.2	111.7	319.0
	1991	417.3	395.0	651.4		1991	281.7	198.5	322.3
阳澄淀泖区	2016	309.8	180.1	405.9	浙西区	2016	357.8	163.8	403.3
	1991	346.1	279.9	459.2		1991	238.1	257.5	367.8
太湖湖区	2016	385.9	205.4	500.9	全流域	2016	311.5	208.0	430.0
	1991	288.3	251.2	430.1		1991	327.9	281.5	468.8

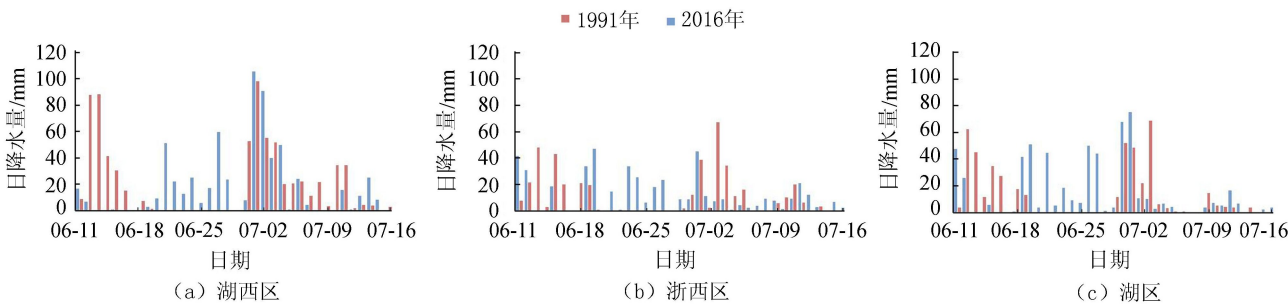


图6 2016年和1991年太湖流域上游分区6月中旬至7月中旬日降水量
Fig.6 Daily rainfall of the upstream sub-areas in the Taihu Lake Basin during June 11th and July 20th of 2016 and 1991

1.2.2 极值降水量

图7给出了2016年和1991年6—7月流域7个分区不同历时极值降水量及其发生日期。由此可知:2个年份湖西区、武澄锡虞区各历时极值降水量均大于其余分区,是洪水期流域降水中心,且极值降水发生时间与流域也比较同步。除最大30 d降水量外,2016年湖西区其他极值降水量均高于1991年,武澄锡虞区各极值降水则低于1991年,这是2016年湖西地区河网水位频繁刷新历史纪录的原因之一,而2016年北部地区极值降水的这一特征,和流域防洪规划中“91北部”典型暴雨在北部地区的空间分布具有显著不同,这将对流域北部分区的设计洪水成果产生一定影响;此外,2016年浙西区、湖区最大15 d、最大30 d极值降水量均超过1991年,特别是湖区超过幅度甚大;而2016年阳澄淀泖区、浦东浦西区和杭嘉湖区各极值降水量以低于1991年为主。

2 太湖与河网水位对比

2.1 太湖水位

图8给出了2016年和1991年4—7月太湖日均水位过程线以及太湖流域日降水过程。2个年份对应的6—7月太湖最高水位分别为4.87 m、4.78 m,平均水位分别为4.22 m和4.18 m,超警戒水位天数分别为51 d、47 d,超保证水位天数分别为14 d、13 d,太湖日均水位最大日涨幅分别为0.18 m和0.15 m。对比图8中2个年份的流域降水和太湖日均水位过程可知:

a. 由于前期雨量较大(2016年、1991年4月太湖流域降水量分别为191.2 mm、115.3 mm),2016年、1991年太湖均以高水位入汛(2个年份5月1日太湖平均水位分别为3.51 m和3.50 m,分列历史同期第1和第2)。2016年4月降水量显著高于1991年,因此尽管该年2—4月太湖流域管理局针对冬汛导致的太湖高水位采取了预降调度措施^[1](仅4月份就通过太浦闸、望亭水利枢纽及环湖口门排泄太湖水量6.83亿m³),已在较大程度上预降了太湖水位,但太湖入汛水位仍维持在3.51 m的水平。

b. 2016年5月下旬的强降水促使太湖水位明显上涨,而1991年则没有发生这一情况。2016年5月,

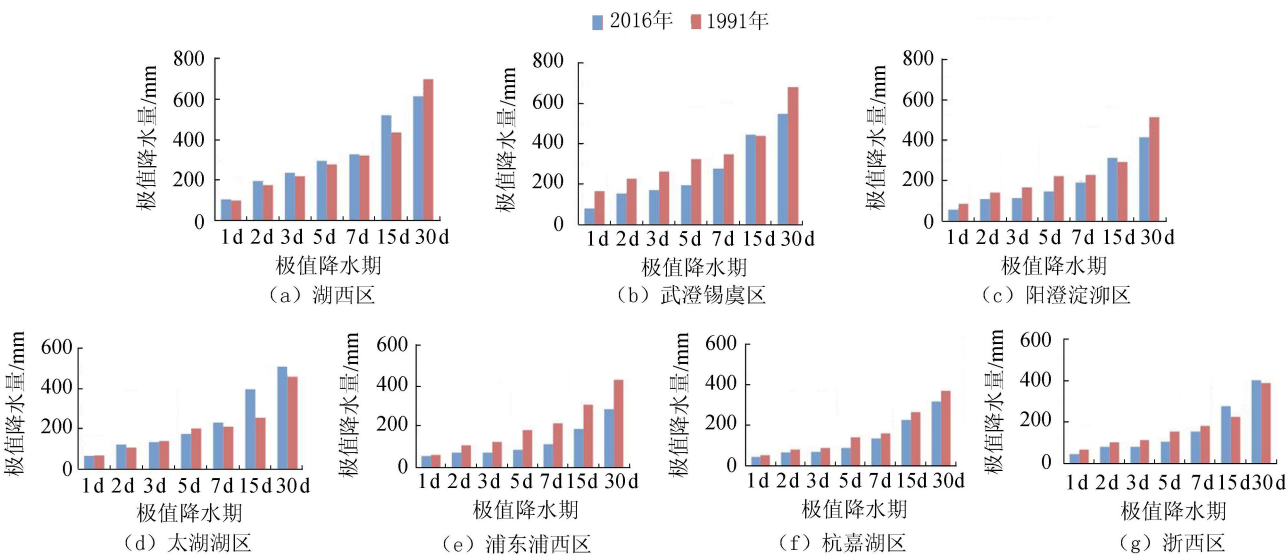


图 7 2016 年、1991 年太湖流域各分区 6—7 月极值降水量及发生日期

Fig. 7 Extreme rainfall and occurring dates of the 7 sub-areas in the Taihu Lake Basin during June and July of 2016 and 1991

太湖流域平均降水量明显高于 1991 年,特别是 5 月下旬的强降水过程,使得太湖水位在 6 月 3 日达到警戒水位(3.80 m),并一直维持至 6 月 20 日左右。而在 1991 年,虽然太湖水位以 3.50 m 入汛,但 5 月上旬至 6 月上旬流域降水较少,太湖水位并未出现明显上涨。

c. 2016 年和 1991 年由于造峰期对应降水过程不同,因此太湖水位变化过程具有明显差异。2016 年太湖流域自 6 月中旬至 7 月上旬降水不断,总量高达 430 mm,太湖水位从 3.78 m 一直上涨至最高的 4.87 m (7 月 9 日)。而 1991 年,太湖流域在造峰期发生了 2 场强降水过程,6 月中旬第一场强降水(累积雨量 230 mm)使太湖水位从 3.44 m 涨至 4.27 m,但由于 6 月下旬流域降水量很小,太湖水位一度下降至 4.09 m(7 月 1 日);此后 7 月上旬第 2 场流域性强降水(累积雨量 218 mm)将太湖水位再次抬升,并于 7 月 15 日达到年内最高的 4.78 m。因此,尽管 1991 年 6 月中旬至 7 月中旬流域总雨量略高于 2016 年,但 2 场强降水之间的时间间隔为太湖洪水调度提供了缓冲时间,而 2016 年的强降水是连续且集中的,对太湖洪水调度的压力更大。

d. 2016 年太湖洪水外排能力明显强于 1991 年,使后期太湖水位消退速率更快。以 2016 年、1991 年太湖达最高水位后的 15 d 作为统计时段(分别为 7 月 9—24 日、7 月 15—30 日),2016 年太湖水位由 4.87 m 消退至 4.33 m,1991 年由 4.78 m 消退至 4.26 m,平均消退速率分别为 3.6 cm/d、2.8 cm/d。这主要得益于自 1991 年大洪水之后望虞河、太浦河等行洪通道的强化,使太湖洪水外排能力显著提升。

2.2 河网代表站水位

表 2 给出了 2016 年、1991 年洪水期太湖流域各主要水利分区河网代表站最高水位及其出现日期和超保证幅度。由表 2 可知,除嘉兴站外,2 个年份各分区代表站最高水位均发生于 7 月上旬,这与流域及区域强降水过程发生时间相一致。同时,2 个年份地区代表站高水位以湖西区 and 武澄锡虞区最为突出,2016 年和 1991 年,湖西区常州站最高水位分别超出保证水位 1.49 m、0.73 m,王母观站分别超出 0.93 m、0.52 m;武澄锡虞区无锡站和青阳站也较大幅度超过保证水位;而阳澄淀泖区和杭嘉湖区代表站超保证幅度明显较小,这一情况与流域降水空间分布特征一致。

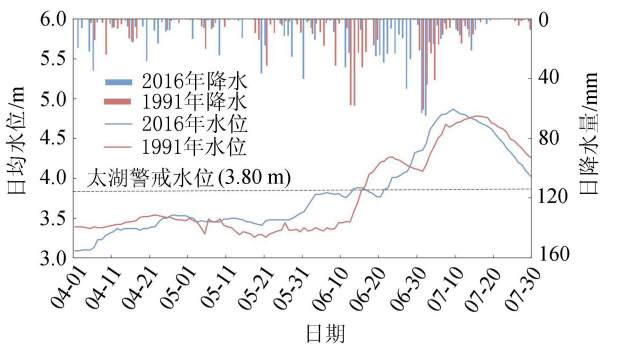


图 8 2016 年、1991 年 4—7 月太湖日均水位过程及流域日降水量

Fig. 8 Daily water level of the Taihu Lake and daily rainfall over the Taihu Lake Basin during April and July of 2016 and 1991

表 2 2016 年、1991 年太湖流域典型分区代表站最高水位情况

Table 2 Maximum water level of the representative gauges of various sub-areas in the Taihu Lake Basin

典型分区	代表站	保证水位/m	1991 年			2016 年		
			最高水位/m	超保证幅度/m	日期	最高水位/m	超保证幅度/m	日期
湖西区	王母观	5.60	6.12	0.52	1991-07-04	6.53	0.93	2016-07-05
	常州(三)	4.80	5.53	0.73	1991-07-02	6.29	1.49	2016-07-05
武澄锡虞区	无锡	4.53	4.88	0.35	1991-07-01	5.25	0.72	2016-07-03
	青阳	4.85	5.12	0.27	1991-07-03	5.33	0.48	2016-07-03
阳澄淀泖区	苏州	4.20	4.31	0.11	1991-07-05	4.70	0.50	2016-07-03
	湘城	4.00	4.19	0.09	1991-07-05	3.98		2016-07-03
	陈墓	4.00	3.77		1991-07-06	3.84		2016-07-04
杭嘉湖区	王江泾	3.55	3.77	0.22	1991-07-06	3.86	0.31	2016-07-06
	嘉兴	3.70	4.05	0.35	1991-07-06	3.79	0.09	2016-06-21

在 2016 年 6 月中旬至 7 月上旬,湖西区和武澄锡虞区对应的致洪降水量要低于 1991 年(表 2),但这 2 个分区代表站最高水位明显高于 1991 年。其可能原因包括:(a)2016 年致洪降水的连续性较 1991 年强;(b)流域下垫面、水利工程条件以及洪水运动路径和方式发生较大变化,特别是大运河沿线城市大包围集中排涝加剧了运河沿线水位上涨幅度,并在一定程度上抬升了无锡等城市周边水位;(c)太湖水位较 1991 年更高,加剧了上游环湖地区排水难度。

3 流域洪水蓄泄对比

2016 年、1991 年 5—7 月太湖流域环湖入湖、出湖水量以及沿长江、沿杭州湾洪水外排情况如图 9 所示。由图 9(a)可知,在 2 个年份湖西区和浙西区均为太湖入湖水量主要来源地区,其入湖水量之和分别占总入湖水量的 96.4% 和 87.1%。而在这 2 个分区,又由于降水中心均集中于湖西区一带,因此湖西区入湖水量远超浙西区。此外,2016 年 5—7 月湖西和浙西入湖水量远超 1991 年(合计比 1991 年多 17 亿 m³),加之同期湖区降水量明显大于 1991 年,这也是 2016 年太湖最高水位超过 1991 年的主要原因之一。

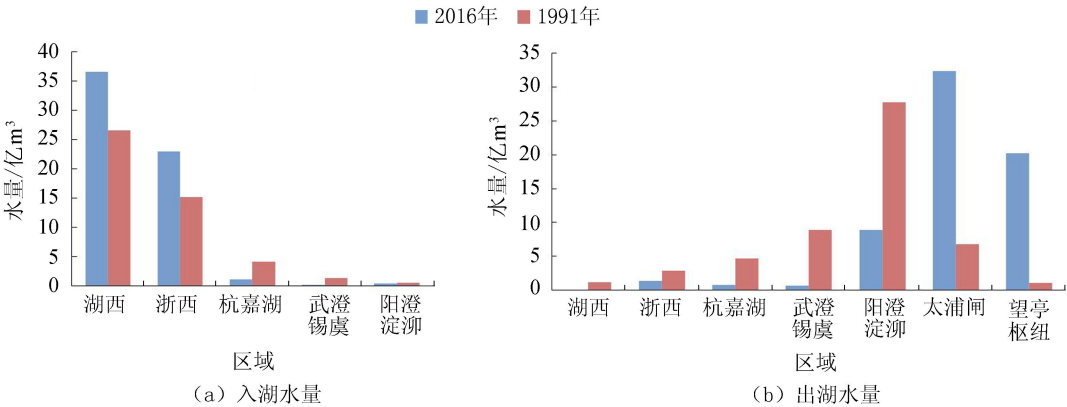


图 9 2016 年、1991 年 5—7 月各区域和枢纽入湖、出湖水量

Fig.9 Water quantity of each region and water projects in and out of the Taihu Lake between May and July of 2016 and 1991

由图 9(b),2016 年太湖出湖水量格局较 1991 年发生了巨大变化。1991 年,太浦河工程仍处于有闸无河阶段,望虞河工程亦尚未完工,阳澄淀泖区承泄的太湖洪水占出湖水量一半以上(52%),其次为武澄锡虞区。当年不得不采取开启太浦闸及东太湖闸门、望虞河炸坝等紧急分洪措施,以减轻太湖高水位压力。而在 2016 年,太浦河和望虞河已成为太湖洪水外排主要通道,两河在 5—7 月累积排泄太湖洪水 51 亿 m³,占同期太湖总出湖水量的 80% 以上,各分区出湖水量所占比例很小。

除太湖入湖水量格局外,全流域洪水外排格局也有较大变化。1991 年流域洪水外排主要依靠北部沿江口门(5—7 月外排水量高达 59.71 亿 m³),杭嘉湖南排仅为 8.84 亿 m³;随着近年来杭嘉湖南排工程有所完善,2016 年 5—7 月杭嘉湖南排水量达 20.2 亿 m³,北部沿江口门外排水量为 34.16 亿 m³。杭嘉湖南排工程减轻了流域洪水通过太浦河东出黄浦江的压力,对流域防洪治涝具有积极作用。

4 工程调度情况对比

1991 年大洪水期间,由于太湖环湖大堤不达标,防御和承受洪水的能力低,故在太湖形成高水位时,太湖周边地区防洪压力很大。同时,太浦河、望虞河仍处于建设阶段,尚不具备排泄太湖洪水的能力,流域洪水外排困难,因此太湖流域防汛抗旱总指挥部(简称太湖防总)相继采取了一系列应急调度措施以缓解太湖高水位的压力^[14](表 3)。通过紧急调度措施,太浦河、望虞河在汛期共排泄太湖洪水 11.5 亿 m³,杭嘉湖区累积分泄洪水 13 亿 m³。这些紧急调度措施减轻了太湖高水位压力,但由于下游河道工程尚未完工(如太浦河仅上段初通),主要行洪通道沿线更缺乏有效控制,因此宣泄的太湖洪水绝大部分侵入了望虞河和太浦河两岸地区,给苏锡常地区带来了严重水灾。此外,当时流域尚未出台系统性的洪水调度方案,仅规定在太湖水位高于 4.65 m 时启用太浦闸分泄洪水^[13]。据统计,1991 年洪水期间全流域直接经济损失 113.9 亿元,间接经济损失超过 200 亿元,直接经济损失占流域当年 GDP 的 6.8%。其中,受灾最严重的无锡市区 28% 的地面被淹,4000 多家企业处于停产和半停产,20 多万户居民家中进水,直接经济损失超过 34 亿元^[14-15]。

而在 2016 年,太湖流域防洪工程体系和流域调度能力与 1991 年已不可同日而语。其一,流域防洪工程体系大为完善。太湖环湖大堤基本建成大幅度提高了防御和承受太湖高水位的能力,因此尽管 2016 年太湖最高水位超过 1991 年,但环湖地区基本安然。同时,随着治太骨干工程全面建成,流域洪水出路发生了根本性变化,太湖洪水外排对区域和滨湖地区的不利影响大为降低。其二,流域洪水调度方案日益成熟。至 2016 年形成了以《太湖流域洪水水量调度方案》、《太湖超标准洪水应急处理预案》为核心的流域洪水调度方案,在发生特大洪水的情况下能有效统筹流域与区域洪水调度^[16]。首先,随着流域洪水预警预测技术的日益完善,太湖防总在应对洪水初期能做到早安排、早部署。在 2016 年初太湖水位受冬汛影响一度超过防洪控制水位的情况下,2—4 月太湖防总采取开启太浦闸等预降调度措施,使太湖水位在汛前得到最大限度控制。其次,在 7 月上旬流域遭受连续强降水袭击导致太湖和地区代表站突破保证水位之时,太湖防总依据《太湖超标准洪水应急处理预案》,于 7 月 8—27 日实施流域洪水超标准调度,在望虞河、太浦河、沿长江、沿杭州湾水利工程全力排水的同时,开启东太湖、东导流、淀浦河、蕴藻浜及望虞河、太浦河两岸口门分流排水^[6]。期间,东太湖瓜泾口累积分洪 1.8 亿 m³,东苕溪累积分洪 4.8 亿 m³,望虞河东西两岸累积分洪超 1 亿 m³,直接或间接多排出太湖洪水 8.5 亿 m³,相当于降低太湖水位 0.32 m。正是由于这些原因,2016 年太湖流域超标准暴雨洪涝造成全流域经济损失 75 亿元,但仅占流域当年 GDP 的 0.12%^[6],远低于 1991 年的 6.8%。洪水期间流域经济社会发展和人民群众生产生活基本未受大的影响,基本实现了大汛无大灾。

5 结 论

- a. 1991 年大洪水对应的致洪性降水分两场,2016 年致洪性降水则是连续的,对流域防洪更为不利,2016 年流域致洪性降水的时程分布与防洪规划中“91 北部”设计雨型具有明显不同的典型性,应引起流域管理机构的重视。
- b. 受降水影响,1991 年洪水期太湖水位具有 2 次明显上涨过程,而 2016 太湖水位系连续上涨,2016 年太湖后期水位消退速率较 1991 年更快。2 个年份地区河网代表站水位超保证幅度均以北部分区最为突出,由于 2016 年这 2 个分区致洪降水的连续性更强,加之运河沿线城市集中排涝和太湖水位顶托等原因,其代表站最高水位明显高于 1991 年。
- c. 在 1991 年和 2016 年,湖西区和浙西区均为太湖入湖水量主要来源地区,而湖西区入湖水量远超浙西区。由于 2016 年 5—7 月湖西、和浙西入湖水量远超 1991 年(合计比 1991 年多 17 亿 m³),加之同期湖区降水量明显大于 1991 年,这也是 2016 年太湖最高水位超过 1991 年的主要原因之一。
- d. 随着治太骨干工程相继建成和流域洪水调度方式的完善,洪水外排格局和调度方式发生了根本性变

表 3 1991 年汛期太湖流域应急调度措施

Table 3 Emergency schemes of the Taihu Lake Basin during the flood season of 1991

日期	调度对象	调度措施
1991-06-11	湖州东导流口门	利用杭嘉湖口门宣泄太湖洪水
1991-06-26	太浦闸、东太湖口门	太浦闸:100 m ³ /s;东太湖:50 m ³ /s
1991-07-05	红旗塘	打开红旗塘分洪
1991-07-08	太浦闸	分洪流量增至 150 m ³ /s
1991-07-10	望虞河沙墩坝	分洪流量为 40 ~ 80 m ³ /s
1991-07-25	太浦闸	分洪流量达到 400 m ³ /s

化,流域防御和承受太湖高水的能力大为提高;从1991年到2016年,望虞河和太浦河代替阳澄淀泖等下游区成为太湖洪水外排主要通道;2016年洪灾损失占GDP的比重远低于1991年。

参考文献:

[1] ZHANG Y, ZHOU H. Study on flood classification based on storm flood similarity analysis [J]. Water Resources and Power, 2012, 9: 50-54.

[2] 杨传国, 余钟波, 郝振纯, 等. 淮河流域典型洪水年流量空间分布的季节特征[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(1):33-36. (YANG Chuanguo, YU Zhongbo, HAO Zhenchun, et al. Seasonal characteristics of spatial distribution of streamflow in a typical flood year in Huaihe Basin[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2012, 40(1):33-36. (in Chinese))

[3] 贾锁宝, 马蕴芬, 万晓凌. 1999年梅雨期太湖暴雨洪水分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, 30(增刊1):40-45. (JIA Suobao, MA Yunfen, WAN Xiaoling, et al. Storm and flood analysis of the Taihu Basin during plum rainy season of 1999[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2002, 30(Sup1):40-45. (in Chinese))

[4] 沈浒英, 匡奕煜, 瞿丽. 2010年长江暴雨洪水成因及与1998年洪水比较[J]. 人民长江, 2011, 42(6):11-14. (SHEN Huying, KUANG Yiyu, ZI Li, et al. Genesis of 2010 storm & flood in the Yangtze River Basin and its comparison with 1998 flood [J]. Yangtze River, 2011, 42(6):11-14. (in Chinese))

[5] 伍永年, 孙海涛, 冯大蔚, 等. 2016年太湖洪水调度实践及思考[J]. 中国水利, 2016(15):15-17. (WU Yongnian, SUN Haitao, FENG Dawei, et al. Practices and thoughts in the regulation of Taihu Lake flood in 2016[J]. China Water Resources, 2016(15):15-17. (in Chinese))

[6] 梅青, 李鹏, 金科, 等. 2016年太湖流域特大洪水防御工作及思考[J]. 中国防汛抗旱, 2016, 26(5):22-25. (MEI Qing, LI Peng, JIN Ke, et al. The flood control and thoughts at the Taihu Lake Basin in 2016[J]. China Flood & Drought Management, 2016, 26(5):22-25. (in Chinese))

[7] 屠清瑛. 太湖流域1991年洪涝灾害的原因分析与治理对策建议[J]. 自然灾害学报, 1992(1):66-74. (TU Qingying. Analysis on the reasons and countermeasures of the flood disasters at the Taihu Lake Basin in 1991 [J]. Journal of Natural Disasters, 1992(1):66-74. (in Chinese))

[8] DENG P, HU Q, WANG Y, et al. Use of the DMSP-OLS nighttime light data to study urbanization and its influence on NDVI in Taihu Basin, China[J]. Journal of Urban Planning & Development, 2016, 142(4):04016018.

[9] 金义蓉, 胡庆芳, 王银堂, 等. 快速城市化对上海代表站降水的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(3):204-210. (JIN Yirong, HU Qingfang, WANG Yintang, et al. Impacts of rapid urbanization precipitation at two representative rain gauges in Shanghai City[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(3):204-210. (in Chinese))

[10] 徐雪红. 太湖流域防洪形势及近期治理防洪标准探讨[J]. 湖泊科学, 2000, 12(3):199-204. (XU Xuehong. Analysis on the flood control of Taihu Basin and immediate flood control standards[J]. Journal of Lake Science, 2000, 12(3):199-204. (in Chinese))

[11] 杨洪林, 章杭惠, 龚政. 太湖流域防洪形势研究[J]. 水利规划与设计, 2008(2):14-16. (YANG Hongling, ZHANG Hhanghui, GONG Zheng. Flood control situation of the Taihu Lake Basin[J]. Water Resources Planning and Design, 2008(2):14-16. (in Chinese))

[12] 章杭惠, 李琛. 太湖流域防洪形势及对策分析[J]. 中国防汛抗旱, 2014(2):35-38. (ZHANG Hanghui, LI Chen. Flood control situation and countermeasures of the Taihu Lake Basin[J]. China Flood & Drought Management, 2014(2):35-38. (in Chinese))

[13] 梅青, 章杭惠. 太湖流域防洪与水资源调度实践与思考[J]. 中国水利, 2015(9):19-21. (MEI Qing, ZHANG Hanghui. Practice and thoughts of the flood control and regulation of water resources at the Taihu Lake Basin[J]. China Water Resources, 2015(9):19-21. (in Chinese))

[14] 吴浩云, 管惟庆. 1991年太湖流域洪水[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.

[15] 吴浩云. 太湖流域典型年梅雨洪涝灾害比较分析[J]. 水文, 2000, 20(4):54-57. (WU Haoyun. Comparison and analysis of the typical plum rains caused flood disaster in Taihu Lake Basin[J]. Hydrology, 2000, 20(4):54-57. (in Chinese))

[16] 吴浩云, 孙海涛. 太湖流域洪水与水量调度方案的制定和认识[J]. 中国防汛抗旱, 2012, 22(2):5-7. (WU Haoyun, SUN Haitao. Formulation and thoughts on the regulation schemes of floods and water resources at the Taihu Lake Basin[J]. China Flood & Drought Management, 2012, 22(2):5-7. (in Chinese))