

2013 年第 23 号“菲特”台风期间太湖流域洪水运动分析*

林荷娟, 甘月云**, 胡 艳, 武 剑, 吴 娟
(太湖流域管理局水文局(信息中心), 上海 200434)

摘 要: 2013 年“菲特”台风影响期间, 太湖流域普降暴雨, 10 月 6—8 日杭嘉湖区、浙西区和浦东浦西区过程降雨量均位列 1951 年以来第 1 位; 在强风、暴雨、高潮、洪水“四碰头”的影响下, 湖泊河网水位、沿江沿海潮位迅速上涨, 多个站点水位(潮位)超历史记录, 严重制约流域排洪和区域排涝。通过模型计算、统计分析等方法, 计算“菲特”台风造峰期的径流量、调蓄量、外排水量, 分析流域洪水运动规律, 并与降雨特性较为相似的 1999 年大水相比较, 提出流域防洪的蓄泄关系建议, 可为水利工程调度以及今后防洪工程布局设计提供参考依据。

关键词: “菲特”台风; 水量; 洪水运动; 太湖流域

Flood movement in Lake Taihu basin during Typhoon Fitow influence period in 2013

LIN Hejuan, GAN Yueyun, HU Yan, WU Jian & WU Juan
(Bureau of Hydrology (Information Center) of Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, P. R. China)

Abstract: Heavy precipitation occurred in Lake Taihu basin during Typhoon Fitow influence period, with maximum three-day precipitation from the 6th to the 8th in October in 2013, especially at the sub-areas of the Hangjiahu, Zhexi, Pudong and Puxi. Influenced by the strong wind, heavy precipitation, high tide and flood, the water level in major hydrological stations and tidal stations rose rapidly and reached to the highest record in history, which restricted draining of the basin and the region severely. Compared with the 1999 catastrophic flood, we calculated the runoff, flood storage and discharge during the typhoon influence period based on model computation and statistical analysis. A flood deployment plan is proposed in this paper, which may provide references for key projects management and flood control plan in the future.

Keywords: Typhoon Fitow; flow; flood movement; Lake Taihu basin

2013 年第 23 号“菲特”台风于 10 月 7 日 1 时 15 分前后在福建省福鼎市沙埕镇沿海登陆, 登陆时中心附近最大风力 14 级(42 m/s, 为强台风), 为 1949 年以来 10 月份登陆我国大陆最强的“秋台风”。受之影响, 太湖流域普降大暴雨、局部特大暴雨, 降雨强度之大、覆盖范围之广为历史罕见(图 1、2)。10 月 6—8 日(台风过程雨量), 太湖流域平均降雨量为 204.7 mm, 位列 1951 年以来最大 3 天降雨量第 2 位, 其中杭嘉湖区、浙西区、浦东浦西区过程降雨量均位列 1951 年以来第 1 位(表 1)^[1]。期间, 太湖水位过程涨幅达 0.60 m, 河网水位、沿江沿海潮位普遍超警戒, 黄浦江上游米市渡等多个站点水位(潮位)超历史记录。

本文拟通过“菲特”台风期间太湖流域大量的实测资料统计分析、产汇流模型计算、流域水量平衡计算等方法, 分析“菲特”台风造峰期的太湖流域径流量、调蓄量、外排水量, 从而阐述“菲特”台风期间的流域洪水运动规律, 并与降雨特性较为相似的太湖流域历史最大的梅雨洪水——1999 年大水的运动路径相比较, 提出流域防洪的蓄泄关系, 为水利工程调度以及今后防洪工程布局设计提供参考依据。

文中除径流量由太湖流域产汇流模型计算得到外, 其他数据均为“菲特”台风期间水文监测数据。

* 2014-05-20 收稿; 2014-10-28 收修改稿。林荷娟(1965~), 女, 教授级高级工程师; E-mail: hjlin@tba.gov.cn.

** 通信作者; E-mail: yueyungan@126.com.

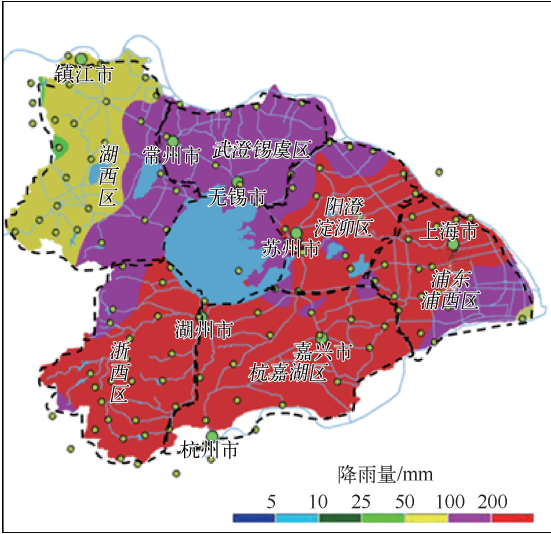


图 1 太湖流域“菲特”台风过程降雨量等值面图
Fig. 1 Precipitation distribution over Lake Taihu basin during Typhoon Fitow influence period

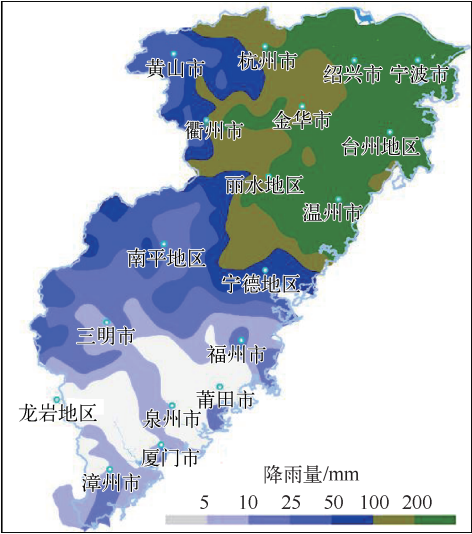


图 2 浙闽地区“菲特”台风过程降雨量等值面图
Fig. 2 Precipitation distribution in Zhejiang and Fujian regions during Typhoon Fitow influence period

表 1 1951 年以来太湖流域及各水利分区最大 3 天降雨量前 5 位

Tab. 1 Top five maximum three-day precipitation over Lake Taihu basin and its seven sub-areas since 1951

排序		流域 平均	湖西区	武澄 锡虞区	阳澄 淀泖区	太湖区	杭嘉 湖区	浙西区	浦东 浦西区
1	降雨量/mm	225.5	233.6	279.7	249.6	280.0	284.0	266.6	216.8
	年份	1962 年	1957 年	1962 年	1962 年	1962 年	2013 年	2013 年	2013 年
2	降雨量/mm	204.7	217.5	261.4	231.5	208.9	280.7	259.9	196.3
	年份	2013 年	1991 年	1991 年	1957 年	2001 年	1962 年	1963 年	1962 年
3	降雨量/mm	169.2	186.2	218.4	208.5	208.8	270.0	255.5	191.3
	年份	1957 年	1951 年	1957 年	1999 年	2013 年	1963 年	1984 年	1999 年
4	降雨量/mm	153.1	185.3	213.5	205.7	198.6	195.3	205.8	188.6
	年份	1990 年	1965 年	1970 年	1990 年	1960 年	1984 年	1990 年	2005 年
5	降雨量/mm	152.9	174.6	175.3	176.6	182.4	187.4	202.6	182.3
	年份	1999 年	1970 年	1961 年	2013 年	1985 年	1999 年	1962 年	1963 年

1 太湖流域降雨径流分析

利用太湖流域产汇流模型计算“菲特”台风期间流域的径流量,计算时段为太湖造峰期,即 10 月 6—14 日(下同).太湖流域产汇流模型是河海大学 1990s 开发的,长期以来一直应用于太湖流域防洪规划、水资源综合规划、太湖流域综合规划及实时洪水预报与调度等工作,并不断得到完善.流域下垫面等资料已更新至 2005 年.随着流域水利工程等情况的变化,模型基础资料也不断进行更新^[24].该模型在近年来太湖流域洪水预报中得到进一步验证,计算精度较高.

太湖流域产流模型分 4 种下垫面计算,即水面、水田、旱地、城镇建设用地.水田产流按灌溉制度,由水量平衡计算得到;旱地产水采用新安江模型计算,建设用地产水采用径流系数法计算.模型中将平原分成 16 个分区,湖西山丘区、浙西山丘区各分成 10 个分区进行产流计算.太湖流域 4 类下垫面资料是根据中国科学院南京地理与湖泊研究所 2010 年卫片解译结果获得,将全流域划分成 1 km×1 km 的网格,由每个

网格的下垫面资料推求出产流计算分区的 4 类下垫面资料, 然后分别计算产流, 由下垫面面积加权法得到各分区的产流量.

根据模型计算结果, “菲特”台风造成的洪水过程, 其流域总径流量(洪量)为 $58.47 \times 10^8 \text{ m}^3$, 径流系数达 0.80. 各水利分区中, 杭嘉湖区径流量最大, 为 $17.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占流域总径流量的 29%; 武澄锡虞区径流量最小, 为 $3.87 \times 10^8 \text{ m}^3$, 仅占总流域径流量的 7%, 其余各水利分区径流量在 $4.97 \times 10^8 \sim 11.88 \times 10^8 \text{ m}^3$. 径流系数太湖区最大, 达 0.96, 湖西区最小, 为 0.68(表 2).

表 2 10 月 6—14 日太湖流域各水利分区径流量统计
Tab. 2 Runoff of Lake Taihu basin and its seven sub-areas from 6th to 14th in October

统计量	湖西区	武澄 锡虞区	阳澄 淀泖区	太湖区	杭嘉 湖区	浙西区	浦东 浦西区	累计
降雨量/mm	7.36	5.37	9.14	5.61	20.11	15.63	9.62	72.84
径流量/ $(\times 10^8 \text{ m}^3)$	4.97	3.87	7.40	5.37	17.09	11.88	7.89	58.47
径流系数	0.68	0.72	0.81	0.96	0.85	0.76	0.82	0.80
分区径流量占 全流域比例/%	9	7	13	9	29	20	13	100

2 洪水运动格局

2.1 太湖流域调蓄量(除下游的浦东浦西区,下同)

2.1.1 湖库河网调蓄量 太湖流域湖库河网调蓄量包括太湖、河网(除下游的浦东浦西区)及流域内 8 座大型水库的调蓄量. 根据时段始末的水位及调蓄面积, 计算得到 10 月 6 日 8:00 至 15 日 8:00 湖库河网调蓄量为 $25.27 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中, 太湖调蓄 $15.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, 8 座大型水库调蓄 $1.26 \times 10^8 \text{ m}^3$, 河网调蓄 $8.64 \times 10^8 \text{ m}^3$.

2.1.2 杭嘉湖区滞涝量 受“菲特”台风影响, 杭嘉湖区降雨强度和降雨量超过其承受能力^[5], 导致杭嘉湖区受灾严重, 50% 以上农田受淹, 其中海宁、海盐、平湖等区域淹没深度在 0.50~0.70 m 左右, 至 10 月 15 日 8:00, 仍有部分水量滞留在农田等低洼地区. 根据杭嘉湖区流量监测资料统计分析, 10 月 6—14 日, 入杭嘉湖区水量为 $1.20 \times 10^8 \text{ m}^3$, 出杭嘉湖区水量为 $9.75 \times 10^8 \text{ m}^3$, 杭嘉湖区径流量为 $17.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 河网调蓄量为 $2.45 \times 10^8 \text{ m}^3$, 由此可得到杭嘉湖区滞涝水量为 $6.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 3).

2.2 太湖流域北排长江水量

太湖流域北排长江水量主要指江苏段沿长江口门排入长江的水量, 不包括下游浦西区沿江口门的排水量. 北排长江是太湖流域排水出路的重要组成部分^[6], 10 月 6—14 日, 北排长江总水量为 $6.25 \times 10^8 \text{ m}^3$, 从长江引水 $0.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 净排水量 $5.95 \times 10^8 \text{ m}^3$. 排水量主要集中在苏州市沿江口门, 占总排水量的 76%, 其次为无锡市沿江口门, 占总排水量的 22%.

2.3 太湖流域南排杭州湾水量

太湖流域南排杭州湾水量主要指杭嘉湖南排工程和钱塘江沿线杭州段口门向杭州湾的排水量, 不包括下游浦东区沿海口门的排水量. 10 月 6—14 日, 杭嘉湖南排工程排水 $2.47 \times 10^8 \text{ m}^3$, 主要集中在长山闸、南台头闸、盐官枢纽, 其中长山闸排水 $0.89 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占排水总量的 36%; 南台头闸排水 $0.83 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占排水总量的 34%; 盐官枢纽排水 $0.57 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占排水总量的 23%.

另外, 钱塘江沿线杭州段口门向杭州湾排水 $0.04 \times 10^8 \text{ m}^3$, 引入入杭嘉湖区水量为 $0.10 \times 10^8 \text{ m}^3$, 因此, 杭嘉湖区净排入杭州湾水量为 $2.41 \times 10^8 \text{ m}^3$.

2.4 太湖流域东出黄浦江水量

根据 10 月 6—14 日太湖流域水量平衡分析, 除浦东浦西区外, 径流量为 $50.58 \times 10^8 \text{ m}^3$, 北排长江净排水量为 $5.95 \times 10^8 \text{ m}^3$, 南排净入杭州湾水量为 $2.41 \times 10^8 \text{ m}^3$, 湖库河网调蓄水量为 $25.27 \times 10^8 \text{ m}^3$, 杭嘉湖区滞涝水量为 $6.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, 由此推出流域东出黄浦江水量为 $10.86 \times 10^8 \text{ m}^3$.

2.5 洪水运动格局

“菲特”台风影响期间, 太湖流域过程雨量达 204.7 mm, 形成径流量(除浦东浦西区外, 下同)为 $50.58 \times$

10^8 m^3 . 太湖流域调蓄量为 $31.36 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占台风过程雨量形成径流量的 62%; 北排长江、南排杭州湾、东出黄浦江的排水总量共 $19.22 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占径流量的 38%. 调蓄量中, 太湖调蓄量为 $15.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占调蓄量的 49%. 流域排水总量中, 东出黄浦江的水量达到一半以上. 由此可知, “菲特”台风暴雨形成的径流量, 在太湖造峰期间, 蓄泄比为 6:4, 太湖与区域蓄水比为 5:5, 可见太湖的调蓄发挥了重要作用.

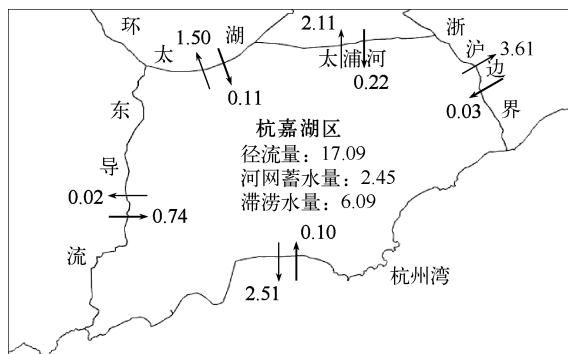


图3 10月6—14日杭嘉湖区洪水运动图($\times 10^8 \text{ m}^3$)

Fig. 3 Flood movement in Hangjiahua area from 6th to 14th in October

3 与典型洪水的比较

太湖流域“菲特”台风降雨分布南部大于北部, 其中杭嘉湖区、浙西区、浦东浦西区台风过程雨量(10月6—8日)均破1951年以来历史记录, 该雨型与1999年太湖流域大水相似^[7-8]. 1999年大水作为太湖流域20世纪有记录以来发生的最大一次洪水, “菲特”台风造峰期洪水运动与其相比(表3), 主要有以下几个特点:

1) 调蓄量占径流量比重增加, 但太湖调蓄比重基本不变.

“菲特”台风造峰期, 太湖、河网、水库调蓄及杭嘉湖区滞滞水量为 $31.36 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占径流量的 62%, 其中太湖调蓄量占径流量的 30%; 1999年大水太湖造峰期, 调蓄量为 $79.73 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占径流量的 52%, 其中太湖调蓄量占径流量的 31%. 与后者相比, 前者调蓄量所占比重有所增加, 太湖调蓄比重基本不变, 主要是本次台风期间杭嘉湖区受淹严重, 导致区域调蓄量明显增加.

2) 排水总量占径流量比重减少, 但东出黄浦江水比重变化不大.

“菲特”台风造峰期, 太湖流域外排(含北排长江、南排杭州湾)以及东出黄浦江的排水总量为 $19.22 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占径流量的 38%, 其中东出黄浦江水占径流量的 21%; 1999年大水造峰期, 排水总量为 $72.58 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占径流量的 48%, 其中东出黄浦江水占径流量的 19%. 与后者相比, 前者排水总量所占比重有所减少, 但东出黄浦江比重变化不大, 这主要是因为“菲特”台风造峰期正值农历九月初二至初十(全年仅次于八月十五的大潮汛), 北排长江、南排杭州湾受大潮顶托, 排水受阻所致; 而1999年大水造峰期为农历四月二十四至五月二十四, 处于全年相对较小的潮汛, 有利于排水. 据实测资料显示, 2013年“菲特”台风洪水造峰期与1999年大水造峰期相比, 长江口、杭州湾潮位要高 0.5~0.6 m 左右.

3) 黄浦江泄流量占流域外排水量比重增加明显.

“菲特”台风造峰期, 东出黄浦江水量为 $10.86 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占流域排水总量的 57%, 日均东出水量达 $1.21 \times 10^8 \text{ m}^3$, 大于1999年大水造峰期所占比重和日均东出水量. 期间, 松浦大桥最大泄流量达 $2025 \text{ m}^3/\text{s}$ (10月12日), 比1999年大水最大泄流量($1920 \text{ m}^3/\text{s}$, 7月1日)增大 $105 \text{ m}^3/\text{s}$ ^[9-10]. 尽管东出黄浦江水也受吴淞口潮位影响, 但由于松浦大桥离吴淞口 80 多千米, 因此受吴淞口潮位影响相对较小, 而受上游洪水影响明显.

4) 若造峰期流域不滞滞, 两场洪水蓄泄比、太湖与河网调蓄比均基本相当.

如果流域外排能力进一步提高, 假定在洪水造峰期, 即当太湖达到最高水位时, 区域涝水能全部排出, 那么区域滞滞水量应计入流域外排水量中, 而流域调蓄量中应扣除区域滞滞量, 则“菲特”台风洪水造峰期流域调蓄 $25.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中太湖调蓄 $15.37 \times 10^8 \text{ m}^3$, 河网调蓄 $9.9 \times 10^8 \text{ m}^3$), 外排水量 $25.31 \times 10^8 \text{ m}^3$, 流域调蓄与外排的蓄泄比为 1:1, 太湖与河网的调蓄比例为 61:39; 1999年大水造峰期流域调蓄为 $76.28 \times 10^8 \text{ m}^3$ (其中太湖调蓄 $47.44 \times 10^8 \text{ m}^3$, 河网调蓄 $28.84 \times 10^8 \text{ m}^3$), 外排水量 $76.03 \times 10^8 \text{ m}^3$, 流域调蓄与外排的蓄泄比为 1:1, 太湖与河网的调蓄比例为 62:38, 两场洪水基本相当.

表3 “菲特”台风与1999年大水流域调蓄及外排水量对比¹⁾

Tab. 3 Comparison of flood storage and discharge between Typhoon Fitow and the 1999 catastrophic flood

内容	造峰期/d	径流量/ ($\times 10^8 \text{ m}^3$)	调蓄量/($\times 10^8 \text{ m}^3$)		流域外排/($\times 10^8 \text{ m}^3$)			东出黄浦江/ ($\times 10^8 \text{ m}^3$)
			流域	其中太湖	入长江	入杭州湾	小计	
“菲特”台风	9	50.58	31.36 ²⁾	15.37	5.95	2.41	8.36	10.86
1999年大水	31	152.31	79.73 ³⁾	47.44	31.64	12.04	43.68	28.90

1) “菲特”台风造峰期为10月6日—10月14日,共9 d, 1999年大水造峰期为6月7日—7月7日,共31 d. 表中径流量、调蓄量、流域排水总量均未包括下游的浦东浦西区;2) “菲特”台风造峰期流域 $31.36 \times 10^8 \text{ m}^3$,调蓄量中含 $6.09 \times 10^8 \text{ m}^3$ 区域滞涝水量;3) 1999年大水造峰期流域 $79.73 \times 10^8 \text{ m}^3$,调蓄量中含 $3.45 \times 10^8 \text{ m}^3$ 区域滞涝水量.

4 结语

2013年“菲特”台风雨量大、范围广,流域片多项水文数据打破历史记录,太湖流域杭嘉湖区、浙西区、浦东浦西区台风过程雨量均位列1951年以来第1位,浙江省余姚等8个环杭州湾县区面雨量超历史记录,其中余姚接近百年一遇.受天文大潮汛、强降雨等共同影响,太湖流域米市渡、浙江沿海鳌江站等潮位(水位)超历史记录,其中米市渡站超历史最高潮位0.23 m,鳌江站超历史最高潮位0.42 m.

“菲特”台风影响期间,充分利用太湖调蓄,东导流上的德清大闸进行适时调控分洪,杭嘉湖南排工程及沿江口门全力候潮排涝,上游水库更是全力拦洪,通过拦、蓄、调、分、排等措施,各大水利工程在抗台救灾方面发挥了重要作用,取得了明显的减灾效益.同时,在本次抗台过程中也暴露出太湖流域外排能力明显不足的问题,如“菲特”台风造峰期,太湖流域日均径流量为 $5.62 \times 10^8 \text{ m}^3$,但北排长江、南排杭州湾日均水量仅为 $0.93 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅占日均径流量的16%,从而导致流域、特别是杭嘉湖区受灾程度比1999年大水还严重.因此,建议加快太湖流域二轮防洪规划的实施,对太湖调蓄、外排等方面进行科学调度^[11-12],一是进一步提高流域洪水外排能力,减少区域受淹程度,保证在洪水造峰期流域外排水量不少于调蓄量;二是充分利用太湖调蓄能力,太湖与河网的调蓄比应控制在6:4左右,以最大限度减轻洪涝灾害损失.

5 参考文献

[1] “菲特”台风期间太湖流域雨水情总结, 2013.

[2] 梁瑞驹,程文辉,蔡文祥等.太湖流域水文数学模型.湖泊科学,1993,5(2):99-107.

[3] 程文辉,王船海,朱 琰.太湖流域模型.南京:河海大学出版社,2006.

[4] 胡彩虹,王金星.流域产汇流模型及水文模型.郑州:黄河水利出版社,2010.

[5] 孙顺才,赵 锐,毛 锐等.1991年太湖地区洪涝灾害评估与人类活动的影响.湖泊科学,1993,5(2):108-117.

[6] 王同生.1993年太湖流域的洪涝灾害及水利工程的作用.湖泊科学,1994,6(3):193-200.

[7] 吴泰来.太湖流域1999年特大洪水和防洪规划的思考.湖泊科学,2000,12(1):6-11.

[8] 徐雪红.太湖流域防洪形势及近期治理防洪标准探讨.湖泊科学,2000,12(3):199-204.

[9] 吴浩云.1999年太湖流域洪水.北京:中国水利水电出版社,2001:73-91.

[10] 虞孝感,吴泰来,姜加虎等.关于1999年太湖流域洪水灾情、成因及流域整治的若干认识和建议.湖泊科学,2000,12(1):1-5.

[11] 毛 锐.建国以来太湖流域三次大洪水的比较及对今后治理洪涝的意见.湖泊科学,2000,12(1):12-18.

[12] 林泽新.太湖流域防洪工程建设及减灾对策.湖泊科学,2002,14(1):12-18.