

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2020411

姚仕明,郭小虎,陈栋,等.2020年汛期长江中下游河道洪水过程及特性分析[J].中国防汛抗旱,2021,31(2):5-10.YAO Shiming, GUO Xiaohu, CHEN Dong, et al. Analysis of the flood process and characteristics in the middle and lower reaches of the Yangtze River during the 2020 flood season[J]. China Flood & Drought Management, 2021, 31(2): 5-10. (in Chinese)

2020年汛期长江中下游河道洪水过程及特性分析

姚仕明 郭小虎 陈 栋 刘心愿

(长江科学院 水利部江湖治理与防洪重点实验室,武汉 430010)

摘 要:受厄尔尼诺现象影响,2020年长江流域出现了历时长、范围广的强降雨过程,7月3日至8月17日,长江流域共发生5次编号洪水,长江中下游河道洪水过程及特性变化直接关系到长江流域的防洪安全。基于此,根据最新实测资料分析了2020年汛期长江中下游河道洪水过程及特性,并初步研究了三峡水库削峰对长江中下游防洪的影响,取得了一些新的认识,可为长江中下游江湖防洪的进一步深入研究提供基础和参考依据。

关键词:三峡工程;长江中下游;洪水过程

中图法分类号:TV147

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2021)02-05-06

0 引言

长江中下游宜昌站至大通站干流河段长约1 183.0 km,其中宜昌站至湖口站为中游河段,长约955.0 km,其间接纳清江、洞庭湖四水(湘、资、沅、澧)、汉江、鄱阳湖五河(赣、抚、信、饶、修)及其他支流入汇;宜昌站至枝城站河段长约60.8 km,属山区性河道向冲积平原河道过渡河道,枝城站至城陵矶河段(俗称荆江河段)全长约347.2 km,城陵矶至湖口站河段长约547.0 km;湖口站至大通站河段长约228.0 km,大通站受潮汐影响不大(图1)。2012年8月,国家防汛抗旱总指挥部批复了《2012年度长江上游水库群联合调度方案》,进行水库群联合调度;2019年,联合调度范围已扩展至全流域,包括40座控制性水库、46处蓄滞洪区、10座重点大型排涝泵站、4座引调水工程等在内的100座水工程,充分提高了武汉防洪调度的灵活性。

三峡工程蓄水运用以来,汛期水库拦洪削峰引起坝下游洪水过程发生一定的改变^[1-3],大量学者研究了三峡水库汛期调蓄对长江中下游防洪的影响,有的学者利用数学模

型计算了三峡水库不同调度方案对长江中下游洪水过程的影响^[4-6],也有部分学者采用还原计算方法分析了三峡水库汛期调蓄的防洪效益^[7-9]。尹志杰等^[10-11]以实时报汛数据为基础分析了长江“2012.7”“2017.7”暴雨洪水特性,认为三峡水库防洪效益十分明显。



图1 宜昌至大通河段示意图

1 雨情概况

根据长江水利委员会水文局统计的长江流域雨情概况(图2),2020年6—8月,长江流域累计面雨量636 mm,其中长江中下游面雨量735 mm,大部分地区降雨量超过800 mm,中游干流北部部分地区超过1 200 mm。6—7月,

收稿日期:2020-12-16

第一作者信息:姚仕明,男,河流研究所所长、正高级工程师,E-mail:yzhshymq@163.com。

基金项目:科技部重点研发专项(2016YFC0402310);湖南省重大水利科技项目(湘水科计[2017]230-16);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(CKSF2019525/HL)。

强降雨中心主要位于长江中下游干流附近及洞庭湖、鄱阳湖(以下简称两湖)水系北部,累计降雨量600 mm以上,其中武汉、澧水(洞庭湖)、饶河(鄱阳湖)、青弋江水阳江(皖南)地区累计降雨量800 mm以上,最大为饶河流域1 206 mm;8月,强降雨中心主要位于长江上游嘉陵江和岷江流域,嘉陵江和岷江流域月累计降雨量约290 mm,其中涪江529 mm、沱江477 mm。2020年汛期长江流域雨情总体呈现由东向西,从中下游向上游发展的过程。

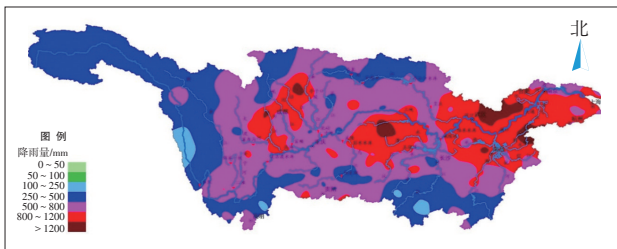


图2 2020年6—8月长江流域降雨量示意图

2 长江中下游洪水过程

2.1 三峡水库入库与出库洪水

图3为2020年汛期三峡水库入库与出库洪水及坝前水位变化过程。由图3分析可知,6—8月,三峡水库入库与出库流量可分为以下5个阶段:①第一阶段:6月1日至6月8日,三峡水库出库流量明显大于入库流量,库水位由149.52 m减小至145.00 m,以腾空库容来蓄纳洪水。②第二阶段:6月20日至7月20日,三峡水库出库流量明显小于入库流量,坝前水位由145.00 m增加至164.41 m,三峡水库水位增加19.41 m,7月18日日均削峰流量最大,约26 400 m³/s,蓄洪量约121亿m³。③第三阶段:7月21日至8月14日,整体而言三峡水库出库流量大于入库流量,坝前水位由163.67 m下降至153.16 m,腾出防洪库容约77亿m³;但在7月24日至7月29日水库进行洪水拦蓄,蓄洪量约36亿m³。④第四阶段:8月14日至8月22日,三峡水库出库流量明显小于入库流量,坝前水位由153.16 m增加至167.53 m,三峡水库水位增加14.37 m,8月20日日均削峰流量最大,约25 750 m³/s,在该期间蓄洪量约103亿m³,并且坝前水位167.53 m也为汛期的最高水位,此时库区总蓄洪量为155亿m³。⑤第五阶段:8月23日至8月31日,三峡

水库出库流量大于入库流量,库水位由166.67 m下降至160.94 m。

2020年汛期三峡水库调蓄发挥了巨大的防洪效益,把上游洪水拦蓄在库区,有效减轻长江中下游防洪压力,其中7月18日日均削峰流量最大,约26 400 m³/s,防止长江中下游干流河道水位快速增加,同时也为中下游防汛工作赢得更多的宝贵时间。

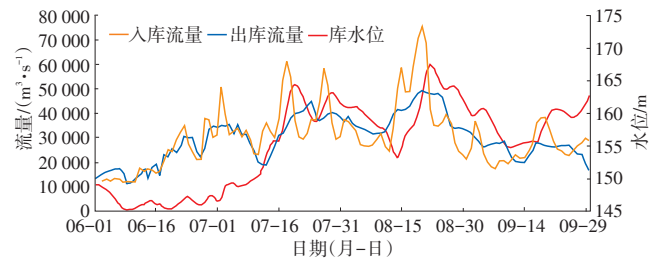


图3 2020年汛期三峡水库入库与出库洪水及坝前水位变化过程

2.2 洞庭湖与鄱阳湖洪水

图4为2020年汛期洞庭湖、鄱阳湖出湖洪水过程。由图4(a)分析,6月1日至7月12日,主要受洞庭湖四水来流的影响,洞庭湖出湖水位不断抬高,由24.95 m抬高至34.43 m,湖区水位增加9.48 m,根据已有成果^[12]拟合洞庭湖湖区容积与城陵矶七里山站水位之间的相关关系(相关系数 $R^2=0.998$),如下:

$$V=0.0589Z^3-3.7596Z^2+83.676Z-634.88 \quad (1)$$

式中: V 为洞庭湖湖区湖容,亿m³; Z 为城陵矶七里山站冻结吴淞水位,m。由式(1)通过简单计算得到6月1日至7月12日期间洞庭湖蓄洪量约165亿m³。

在该期间洞庭湖区蓄纳了约165亿m³洪水,汇入长江洪量仍呈波浪式递增趋势,其中7月12日出湖流量最大,为33 000 m³/s。

7月13日至7月31日,洞庭湖出湖水位变化不大,说明在洞庭湖区蓄洪能力达到极限后,湖区来多少流量排多少流量;7月12日至7月20日期间,出湖流量先快速减小,由31 300 m³/s减小至18 500 m³/s;7月21日至7月31日,出湖流量则有所增加。8月1日至8月20日期间,洞庭湖出湖水位呈缓慢减小趋势,水位由34.20 m下降至32.69 m,湖区水位下降1.51 m,相应的出湖流量由20 000 m³/s减小至11 000 m³/s;8月21日至8月31日,受荆江三口分流量增大

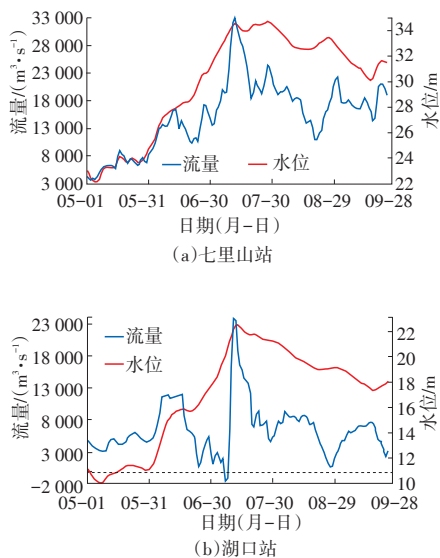


图4 2020年汛期洞庭湖、鄱阳湖出湖洪水过程

的影响,出湖水位呈缓慢增加,出湖流量由11 100 m³/s增大至22 300 m³/s。

由图4(b)分析,6月1日至7月13日,主要受鄱阳湖五河来流的影响,鄱阳湖出湖水位不断抬高,由11.30 m抬高至22.43 m,湖区水位增加11.13 m,根据已有成果^[13]拟合鄱阳湖湖区容积与湖口站水位之间的相关关系(相关系数 $R^2 = 0.996$),如下:

$$V = 0.0875Z^3 - 1.6112Z^2 + 9.2978Z - 11.686 \quad (2)$$

式中: V 为鄱阳湖湖区容积,亿m³; Z 为湖口站冻结吴淞水位, m。由式(2)通过简单计算得到6月1日至7月13日期间鄱阳湖蓄洪量约360亿m³。

6月1日至6月16日,随着鄱阳湖五河与长江干流水位同步抬高,鄱阳湖出湖流量变化不大,出流基本维持在12 000 m³/s左右;6月17日至7月8日,随着长江干流来流偏大,水位抬高,出湖流量持续减小,甚至在7月7日、7月8日出现长江倒灌鄱阳湖的现象,倒灌最大流量为1 700 m³/s;在7月9日至7月13日,随着五河来流偏大,鄱阳湖水位持续抬高,即使鄱阳湖蓄纳大量洪水,出湖流量急剧增加,至7月11日出流流量高达23 900 m³/s。

7月14日至8月31日,鄱阳湖出湖水位持续降落,水位由22.31 m下降至19.01 m,下降3.30 m,出湖流量出现阶梯形下降趋势,其中出湖流量由7月14日的16 500 m³/s减

小至8月28日的800 m³/s。

由于6月、7月雨情主要集中在长江流域中下游区域,洞庭湖与鄱阳湖区发挥巨大的蓄洪场所的作用,其中6月1日至7月12日洞庭湖蓄洪量约165亿m³,6月1日至7月13日鄱阳湖蓄洪量约360亿m³,为减轻长江干流河道防洪压力做出巨大贡献,但随着两湖蓄洪能力接近极限,出湖流量陡增,洞庭湖与鄱阳湖分别在7月12日、7月11日出湖流量为33 000 m³/s和23 900 m³/s。

2.3 长江中下游干流洪水

长江中下游干流河道以城陵矶为界,宜昌站至城陵矶河段洪水过程除下荆江受城陵矶顶托影响外,主要受三峡水库出库流量的影响,汉口站至大通站河段还受两湖及沿程支流入汇等影响,因此宜昌站至城陵矶、城陵矶至大通站河段洪水过程特性存在差异性。下面宜昌站至城陵矶河段以枝城站、沙市站为代表,城陵矶至大通站河段以螺山站、汉口站、大通站为代表,分别分析其洪水过程,如图5所示。

宜昌站至城陵矶河段流量汛期主要受三峡水库出库流量的影响,由于三峡水库调蓄,本河段洪水流量并不大,例如枝城站最大日均流量为8月21日51 300 m³/s,相应的沙市站日均水位为43.19 m,超警戒水位仅0.19 m;在三峡水库调蓄作用下宜昌站至城陵矶河段除下荆江受城陵矶顶托影响洪水水位较高外,其他河段防洪压力并不大。

由于汛期汉江汇入洪水流量不大,城陵矶至汉口站河段螺山站、汉口站流量与水位变化过程均较为类似,6月1日至7月12日,城陵矶至汉口站河段流量快速增加,水位急剧抬高,7月12日汉口站日均水位最高28.67 m,超警戒水位1.37 m,流量57 900 m³/s。7月13日至7月31日,流量先减少后增加,螺山站水位缓慢抬高,汉口站水位缓慢降落;7月28日汉口站日均洪峰流量最大为61 200 m³/s,水位为28.47 m,超警戒水位1.17 m。8月1日至9月30日流量呈波浪式减小趋势,其水位也表现类似的变化规律。

6月1日至7月13日,九江站至大通站河段流量快速增加,水位急剧抬高,7月13日九江站日均流量为65 200 m³/s,日均水位最高22.75 m,超警戒水位2.75 m,大通站日均流量最大,为83 000 m³/s,日均水位最高16.20 m,超警戒水位1.80 m。7月14日至7月31日,九江站流量无明显变化趋势,水位呈降落趋势,大通站流量呈减小趋势,水位也呈类似的变化规律。

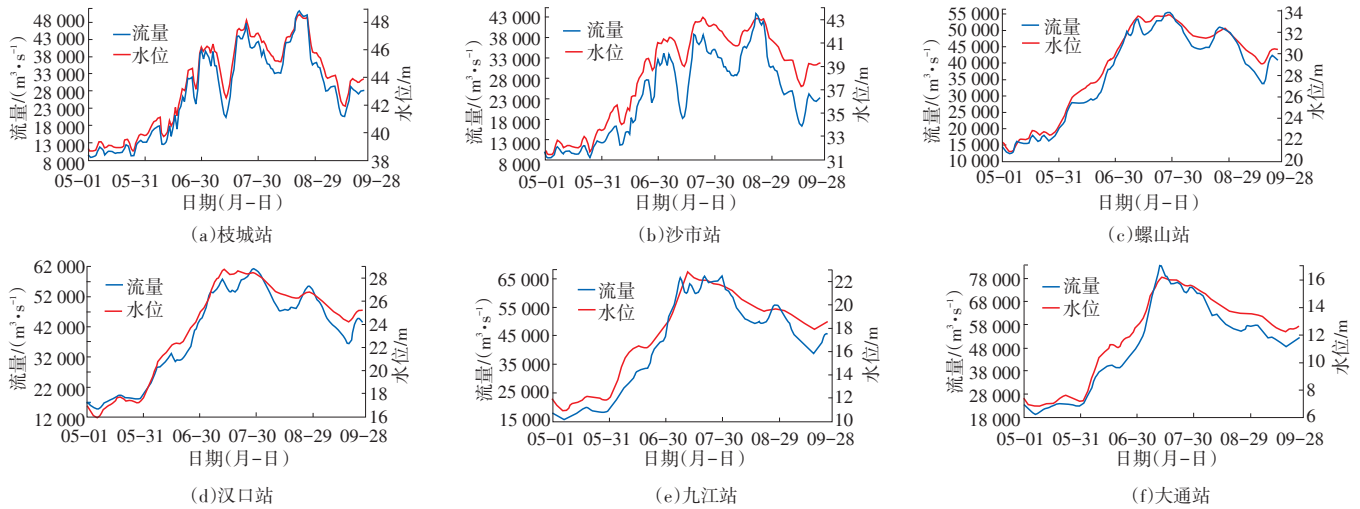


图5 2020年汛期长江中下游干流河段洪水过程

3 长江中下游河道洪量与水位变化特征

3.1 长江中下游干流河道最大30 d洪量分析

由长江中下游最大30 d洪量对比(图6)可知,与多年平均(1955—2002年)相比,2020年汛期长江中下游最大30 d

洪量偏大13.6%~29.8%,其中大通站洪量增幅最大,汉口站次之,宜昌站最小。与1998年汛期相比,2020年汛期长江中下游最大30 d洪量偏小13.4%~23.7%,宜昌站洪量偏小幅度最大。与1954年汛期相比,2020年汛期长江中下游最大30日洪量偏小24.1%~32.4%,汉口站洪量偏小幅度最大。

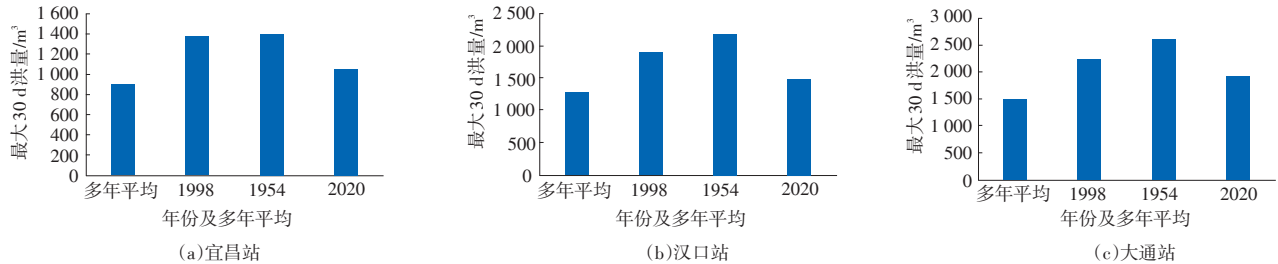


图6 长江中下游主要控制站最大30 d洪量对比

3.2 主要控制站洪峰水位特征值

根据实测资料统计了长江中下游主要站点洪峰特征值及超警戒水位天数(表1),2020年汛期长江中下游主要控制站全部超警戒水位,除监利、莲花塘站超保证水位外,其他站点水位均未超保证水位。并从水位历史排序可知,受三峡水库调蓄的影响,宜昌、沙市站最高水位仅列第40、31位,监利站主要受洞庭湖出流顶托的影响,水位列第3位,而螺山站、汉口站、九江站及大通站最高水位分别列第5、4、2、3位,也说明宜昌站至城陵矶河段除监利站受洞庭湖出流顶托作用水位较高外,其他站点最高水位排名并不靠前,而城陵矶至大通站河段各主要控制站最高水位均列前5位;超警戒水位天数也说明类似变化规律,宜昌

站至城陵矶河段除监利站受洞庭湖出流顶托作用超警戒水位51 d外,宜昌站、沙市站超警戒水位天数分别为5 d、8 d;城陵矶至大通站河段各主要控制站超警戒天数一般在

表1 2020年长江中下游主要控制站洪峰特征值及超警戒水位天数统计

站名	时间 (月-日T时)	水位/m	超警/超保 幅度/m	历史排序	超警天数/d
宜昌	08-21T13	53.51	0.51	40	5
沙市	07-24T16	43.36	0.36	31	8
监利	07-24T21	37.30	1.80/0.07	3	51
莲花塘	07-28T12	34.59	2.09/0.19	5	50
螺山	07-28T16	33.63	1.63	5	38
汉口	07-12T23	28.77	1.47	4	31
九江	07-12T18	22.81	2.81	2	41
大通	07-13T21	16.24	1.84	3	35

31~50 d,受三峡及上游梯级水库群汛期削峰的影响,长江上游洪水的威胁大幅下降,宜昌站至城陵矶河段防洪压力大大减轻,而城陵矶至大通站河段还受两湖及沿程支流等来水的影响,防洪形势依然严峻,这也是2020年汛期长江中下游城陵矶至大通站干流河段水位偏高的主要原因。

3.3 三峡水库削峰对长江中下游河道防洪的影响探讨

6月1日至7月13日,长江中下游尤其两湖地区发生较大范围的降雨,引起城陵矶至大通站河段流量与水位不断增加,同时两湖的蓄洪量也基本接近于极值,至7月12日洞庭湖蓄洪量约165亿 m^3 ,至7月13日鄱阳湖蓄洪量约360亿 m^3 ;三峡水库也从6月20日开始拦蓄洪水,至7月13日水库已拦蓄洪水约50亿 m^3 ;两湖与三峡水库调蓄洪水约575亿 m^3 ,长江中下游螺山站、汉口站、九江站及大通站日均最高水位分别为33.44 m、28.67 m、22.76 m、16.20 m,分别超警戒水位1.44 m、1.37 m、2.76 m、1.80 m,其中三峡水库在24 d拦蓄洪水50亿 m^3 ,在该期间,三峡水库出库流量平均减少约2 410 m^3/s ,荆江三口(松滋口、太平口、藕池口)汛期分流比约为25%,其中约610 m^3/s 的流量分泄进入洞庭湖湖

区,城陵矶至大通站河段流量减小约1 800 m^3/s ,若三峡水库不拦蓄,根据各控制站水位—流量关系初步推算,长江中下游螺山站、汉口站、九江站及大通站日均最高水位分别进一步增加约0.12 m、0.11 m、0.09 m及0.08 m。

8月14日至8月22日,长江上游入库流量较大,其中8月20日入库流量最大为74 800 m^3/s ,三峡水库进行拦蓄削峰约25 800 m^3/s ,出库流量为49 000 m^3/s ,三峡水库9 d拦蓄洪量103亿 m^3 ,下面初步计算了有、无三峡水库拦蓄条件下流量为74 800 m^3/s 时宜昌站、枝城站及沙市站洪峰流量与水位变化,见表2。

由表2分析可知,若三峡水库不拦蓄,进入长江中游河道洪峰流量按照74 800 m^3/s 计,则宜昌站、枝城站及沙市站日均流量分别增加约25 800 m^3/s 、25 800 m^3/s 、19 600 m^3/s ,根据各控制站水位—流量关系初步推算相应的日均水位分别抬高1.64 m、2.28 m、2.55 m,沙市站水位将超保证水位0.74 m,按照蓄滞洪区运用规则,荆江分蓄洪区将投入使用,防洪形势也将十分严峻,正因为有了三峡水库汛期调蓄作用,沙市站日均水位仅超警戒水位0.19 m,防洪效益巨大。

表2 有、无三峡水库拦蓄条件下宜昌站至城陵矶河段典型控制站流量水位变化

工况	出库流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	宜昌站		枝城站		沙市站	
		流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	水位/m	流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	水位/m	流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	水位/m
有	49 000	50 400	53.30	51 300	48.59	43 600	43.19
无	74 800	76 200	54.94	77 100	50.87	63 200	45.74

4 结 语

(1)6—7月,强降雨中心主要位于长江中下游干流附近及两湖水系;8月,强降雨中心主要位于长江上游流域,2020年汛期长江流域雨情总体呈现由东向西,从中下游向上游发展的过程。

(2)7月13日前,长江中下游发生较大洪水,城陵矶至大通站河段洪水流量快速增加,水位急剧抬高,同时两湖的蓄洪量基本接近于极值,三峡水库从6月20日开始拦蓄洪水,至7月13日水库已拦蓄洪量约50亿 m^3 ,宜昌站至城陵矶河段宜昌站、枝城站及沙市站均未超警戒水位,而城陵矶至大通站河段汉口站、九江站及大通站水位均达到最高,明显超警戒水位;随着雨情逐步向上游发展,8月20日入库流量最大74 800 m^3/s ,三峡水库拦蓄削峰约25 800 m^3/s ,出库流量49 000 m^3/s ,宜昌站至城陵矶河段水位均明显抬

高,仅局部天数超警戒水位,而城陵矶至大通站河段水位仅局部时段有所增高外,整体仍以降落为主。

(3)对比长江中下游最大30 d洪量,与多年平均(1955—2002年)相比,2020年汛期长江中下游最大30 d洪量偏大13.6%~29.8%,大通站洪量增幅最大,汉口站次之,宜昌站最小;受三峡水库调蓄的影响,宜昌站至城陵矶河段由于监利站受洞庭湖出流顶托的影响,最高水位排第3位,其他站点水位排名并不靠前,而城陵矶至大通站河段各典型水文站最高水位基本位于前5位,超警戒水位天数也说明类似变化规律,宜昌站至城陵矶河段除监利站超警戒水位51 d外,宜昌站、沙市站超警戒水位仅为5 d、8 d;城陵矶至大通站河段各主要控制站超警戒水位天数一般在31~50 d。

(4)通过还原初步推算了三峡水库调蓄作用对长江中下游干流水位的影响,三峡水库从6月20日开始拦蓄洪水

至7月13日水库已拦蓄约50亿 m^3 ,长江中下游螺山站、汉口站、九江站及大通站日均最高水位分别下降约0.12 m、0.11 m、0.09 m及0.08 m;8月20日入库流量最大为74 800 m^3/s ,三峡水库拦蓄削峰约25 800 m^3/s ,出库流量为49 000 m^3/s ,使得宜昌站至城陵矶河段宜昌站、枝城站及沙市站水位分别下降1.64 m、2.28 m、2.55 m,避免了沙市站日均水位超保证水位0.74 m,极大缓解荆江河段防洪压力,产生了巨大防洪效益。

参考文献

- [1] Domingues R B, Barbosa A B, Sommer U, et al. Phytoplankton composition, growth and production in the Guadiana Estuary (SW Iberia): Unraveling changes induced after dam construction[J]. Science of the Total Environment, 2012, 416:300-313.
- [2] Zhang Q, Singh V P, Chen X. Influence of Three Gorges Dam on streamflow and sediment load of the middle Yangtze River, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2012, 26(4): 569-579.
- [3] 黄峰, 吴瑶, 曾天山, 等. 三峡水库运行后鄱阳湖水文情势变化特征[J]. 水电能源科学, 2017, 35(6):35-37.
- [4] 谭培伦, 仲志余, 宁磊. 三峡工程对1998年洪水防洪作用分析[J]. 人民长江, 1999, 30(2):36-37.
- [5] 顾庆福, 王建华. 三峡工程对洞庭湖典型洪水的防洪作用分析[J]. 人民长江, 2004, 35(2):9-10.
- [6] 李明新, 程海云, 葛守西. 从1998年洪水看三峡水库的防洪作用[J]. 人民长江, 1999, 30(2):3-5.
- [7] 邹冰玉, 李玉荣, 冯宝飞. 三峡水库运用对长江中下游干流水位影响分析—以2010年7月洪水为例[J]. 人民长江, 2011, 42(6):80-82.
- [8] 邢龙, 张冬冬, 李帅. 三峡水库运行对长江中下游洪水情势的影响[J]. 水电能源科学, 2019, 37(9):44-46.
- [9] 张俊, 陈力. 2016年长江第1号洪水预报及调度影响分析[J]. 人民长江, 2017, 48(4):13-15.
- [10] 尹志杰, 王容, 李磊, 等. 长江流域“2017·07”暴雨洪水分析[J]. 水文, 2019, 39(2):86-91.
- [11] 尹志杰, 刘晓音, 张海燕. 长江流域“2012·07”暴雨洪水分析[J]. 水文, 2014, 34(5):81-87.
- [12] 易波琳, 李晓斌, 梅金华. 洞庭湖面积容积与水位关系及调蓄能力评估[J]. 湖南地质, 2012, 19(4):267-270.
- [13] 李国文, 喻中文, 陈家霖. 鄱阳湖动态水位~面积, 水位~容积关系研究[J]. 江西水利科技, 2015, 41(1):21-26.

Analysis of the flood process and characteristics in the middle and lower reaches of the Yangtze River during the 2020 flood season

YAO Shiming, GUO Xiaohu, CHEN Dong, LIU Xinyuan

(Key Laboratory of River and Lake Regulation and Flood Control, Ministry of Water Resources, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract: Affected by the El Nino phenomenon, a long-duration and wide-ranging process of heavy rainfall occurred in the Yangtze River Basin in 2020. From July 3 to August 17, a total of 5 numbered floods occurred in the Yangtze River Basin. The flood process and characteristic change in the middle and lower reaches of the Yangtze River are directly related to the flood prevention safety of the Yangtze River Basin. According to the latest measured data, the flood process and characteristics of the middle and lower reaches of the Yangtze River during the 2020 flood season are analyzed, and the impact of the peak reduction of the Three Gorges Reservoir on the flood prevention of the middle and lower reaches of the Yangtze River has been preliminarily studied, and some new preliminary understandings have been obtained, which provides a basis and reference for further study of flood prevention in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Keywords: Three Gorges Project; middle and lower reaches of Yangtze River; flood process

责任编辑 马 喙