

三峡水库调洪调度对江湖汇流区洪水相互顶托的影响

刘玉, 李景保, 李欢, 杨波, 刘雯

(湖南师范大学资源与环境科学学院, 湖南长沙 410081)

摘要: 三峡工程是长江干流重要的控制性工程, 自水库蓄水以来, 下游河段的水情发生了较大变化。基于1990-2017年长江与洞庭湖汇流区的监利、城陵矶、螺山3个水文站7-8月水位及流量资料, 运用相关分析、对比分析、汇流比等方法系统研究三峡水库调洪调度运行期(7-8月)对江湖汇流区水情的影响。结果表明: 监利站下泄流量占来水总量的比重由58.81%增加到60.53%, 洞庭湖湖口城陵矶站出流的比重由43.19%减少至37.68%。监利与城陵矶的汇流比由1.36增加到1.61; 监利、城陵矶、螺山3站的流量、水位均有所下降, 其中减少或下降幅度最大的是螺山站, 7-8月平均流量减少6401.39 m³/s, 水位下降了1.32 m; 监利、城陵矶、螺山3站之间的水文相关程度有所下降, 其中螺山站的流量与监利站的水位相关性较强, 其相关系数为0.9219; 在不同量级流量水位下, 江湖洪水相互顶托强度均有不同程度的减弱, 但其顶托作用仍然存在, 其中以螺山站高洪水位对城陵矶和监利站泄洪的顶托作用较强。

关键词: 调洪调度; 水文情势; 相互顶托; 江湖汇流区; 三峡水库

中图分类号: TV12; P333.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)02-0114-08

Effect of the Three Gorges Reservoir operation on flood inter-jacking in the confluence section of rivers and lakes

LIU Yu, LI Jingbao, LI Huan, YANG Bo, LIU Wen

(College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: As the major control engineering on the main stream of the Yangtze River, the impoundment of the Three Gorges Project has resulted in significant hydrological changes of the downstream. Based on the data of water level and flow in July and August collected from three hydrometric stations on the Yangtze River and the Dongting Lake (Jianli, Chenglingji, and Luoshan Stations) during 1990 and 2017, this paper employs methods of correlation analysis, contrastive analysis and discharge ratio to study the effect of operation of the Three Gorges Reservoir in July and August on the hydrology of confluence section of the downstream rivers and lakes. The results showed that: the percentage of outflow discharge account for the total inflow discharge at Jianli Station increased from 58.81% to 60.53%, whereas that of the Chenglingji Station decreased from 43.19% to 37.68%. The discharge ratio of Jianli and Chenglingji Stations raised from 1.36 to 1.61. The water level at all of the three stations decreased, especially at the Luoshan Station where the mean water flow and water level in July and August decreased by 6401.39 m³/s and 1.32 m, respectively. The hydrological correlation between the three stations decreased; however, a relatively stronger correlation (correlation coefficient is 0.9219) exists between the water flow in Luoshan Station and the water level in Jianli Station. The inter-jacking influence, though decreased at all rivers and lakes with different magnitude of water level/flow, still exist, especially prominent in the effect of the high-water level at Luoshan Station on the outflow discharge at Chenglingji and Jianli Stations.

Key words: reservoir operation; hydrology regime; inter-jacking; confluence section of rivers and lakes; the Three Gorges Reservoir

收稿日期: 2018-08-08; 修回日期: 2018-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571100); 湖南省重点学科(地理学)建设项目

作者简介: 刘玉(1997-), 女, 湖南桃江人, 在读硕士研究生, 主要从事生态需水研究。

通讯作者: 李景保(1951-), 男, 湖南桂阳人, 教授, 主要从事水文水资源教学与研究工作。

1 研究背景

长江水与洞庭湖水互相干扰、相互制约,使汇流区水情特别复杂。下荆江三处裁弯以及葛洲坝截流后,使原来的江湖相互制约关系进入了一个新的调整阶段;三峡水库运行后,江湖水情制约关系又发生了新的变化^[1]。国内众多相关学者围绕三峡水库对江湖关系的影响这一重大课题,用不同研究方法,从不同视角对长江中游河段水位、荆江三口分流分沙、河道冲刷、城陵矶水位以及洞庭湖水情等方面展开了较深入的研究^[2-8]。结果表明,以三峡水库全程调度而言,长江干流监利站同流量下水位降低,城陵矶站同流量下水位有所抬升^[9-12];长江上游来沙量大幅度减少,引起长江中游河道全线冲刷,导致三口分流分沙减少以及洞庭湖淤积减少^[13-15];受其综合影响,长江枝城站同流量下监利站泄流量受洞庭湖口出流顶托强度有所减弱,洞庭湖出流受荆江下泄水量的顶托强度也有所减弱^[16-18]。众所周知,三峡水库最主要的功能之一是调洪削峰,那么在三峡水库调洪削峰调度期,江湖汇流区的水文情势如何?江湖洪水相互顶托作用是增强还是削弱了呢?鉴于此,本文基于汇流区监利、城陵矶、螺山控制站的水文关系,从平均流量、平均水位,最大流量、最高水位,最小流量、最低水位的视角,探究三峡水库调洪期(7-8月份)对江湖汇流区水情的影响程度,为江湖地区防洪减灾、河湖水系连通工程建设以及优化三峡水库调度方案等方面提供理论参考。

2 研究区域及数据处理

2.1 研究区域概况

长江干流上起湖北省枝城、下至湖南省城陵矶,全长347.2 km,素有“九曲回肠”之称,习惯上称荆江。长江(荆江)与洞庭湖水沙交汇区系指荆江的监利至螺山与洞庭湖出口城陵矶之间的水量汇合区域(图1)。区内水文控制站包括莲花塘站(位于江湖交汇处)、监利站(汇流点上游约80 km)、螺山站(汇流点下游约30 km)和城陵矶站(汇流点上游约5 km),长江与洞庭湖相互影响、相互制约的关系构成了江湖交汇区的复杂水文情势。

2.2 数据来源与研究方法

水位是流量大小的反映,流量是河道泄水输沙能力大小的体现,两者从本质上可表征水文情势。本文用水位、流量表征江湖汇流区的水文情势。基于江湖汇流区的水文关系,分别采集汇流区监利、城

陵矶、螺山3个水文站1990-2002年(三峡水库调洪前)和2003-2017年(三峡水库调洪后)与三峡水库调洪削峰调度时段(7-8月)相对应的平均流量、平均水位;最大流量、最高水位;最小流量、最低水位。其数据来源于湖南省水文水资源勘测局、湖南省水情综合日报表和湖南省水利水电勘测设计研究总院。

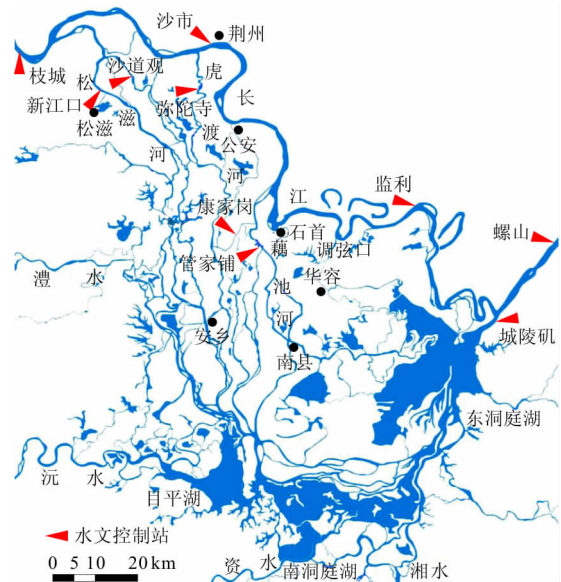


图1 荆江与洞庭湖关系及江湖汇流区水文控制站

研究方法为:相关分析、对比分析、汇流比等方法。其中,汇流比计算公式为:

$$R = Q_1 / Q_2 \quad (1)$$

式中: R 为汇流比,不考虑河断面冲淤、附加比降等因素,主要考虑来水量; Q_1 、 Q_2 为两个不同水文站在同一时刻的流量, m^3/s 。

3 三峡水库调洪调度对江湖汇流区水情的影响

3.1 三峡水库调洪调度运行后江湖汇流区来水组成变化

江湖汇流区的来水组成包括长江干流(荆江)下泄流量与洞庭湖出湖流量。据统计分析1990-2017年7-8月平均流量表明:三峡水库调洪前(1990-2002年)江湖汇流区多年平均来水总量为 $36\,510.51 \text{ m}^3/\text{s}$,其中监利站 $21\,700.07 \text{ m}^3/\text{s}$,城陵矶站为 $14\,810.44 \text{ m}^3/\text{s}$,分别占汇流区来水总量的59.44%、40.56%左右。

三峡水库调洪调度后(2003-2017年),汇流区来水组成有所变化(表1)。其中荆江监利站下泄流量占来水总量的比重由58.81%增加到60.53%,

即增加了1.72%。而洞庭湖湖口城陵矶站出流的比重由43.19%减少至37.68%，即减少了5.51%。监利与城陵矶的汇流比由1.36增加到1.61。导致江湖汇流区来水组成变化的主要原因是三峡水库蓄

水后大坝“清水”下泄，长江中游河道全线冲刷，河床下切，水位下降，荆江三口（松池、虎度、藕池）分泄长江入湖水量有所减少，而长江监利下泄水量有所增大。

表1 三峡水库调洪调度(7-8月)运行前后汇流区来水组成变化

时段	螺山		监利		城陵矶		江湖 汇流比
	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	比重/%	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	比重/%	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	比重/%	
蓄水前	39613.96	100	23297.58	58.81	17107.81	43.19	1.36
蓄水后	33212.57	100	20102.57	60.53	12513.07	37.68	1.61

3.2 三峡水库调洪调度运行后汇流区多年平均水位流量变化

三峡水库调洪调度运行前后监利、城陵矶和螺山站水情变化见表2~4。通过对比分析表2~4得到如下几点认识：(1)三峡水库调洪期荆江监利站不同流量、不同水位均有所减少或下降(表2)。其中，监利站平均流量减小3195.01 m^3/s ，平均水位下降1.07 m；最大流量减小8213.00 m^3/s ，最高水位下降2.51 m；最小流量减小1905.00 m^3/s ，最低水位下降1.01 m。比较而言，三峡水库调洪期(7-8月)监利站的最大流量和最高水位减少或下降幅度最大，这正是2003年以来江湖地区未发生大或特大洪涝灾害的原因，显然是三峡水库调洪削峰的最大贡献之一。

(2)三峡水库调洪调度期，由于荆江三口入湖

洪量减少，洞庭湖出口城陵矶不同流量与不同水位均有所减少或下降(表3)。其中平均流量减小4594.74 m^3/s ，平均水位下降1.13 m；最大流量减小3519.00 m^3/s ，最高水位下降1.79 m；最小流量减少96.00 m^3/s ，最低水位下降1.42 m。值得指出的是城陵矶的这种水情变化除了受三峡水库调洪削峰影响外，还与湖南四水及区间入湖水量减少(三峡水库调洪期湖南四水主汛期5-6月已过)有关。

(3)三峡水库调洪调度期，长江干流螺山站不同量级流量与不同水位均有所减少或下降(表4)。其中平均流量减少6401.39 m^3/s ，平均水位下降1.32 m；最大流量减小15796.00 m^3/s ，最高水位下降2.36 m；最小流量减小7790.00 m^3/s ，最低水位下降2.05 m，其主要原因是三峡水库调洪运行后，调节了洪峰流量，城陵矶出流对监利泄流的顶托作用有所减弱。

表2 三峡水库调洪调度(7-8月)运行前后监利站水情变化

时段	平均流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	平均水位/m	最大流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最高水位/m	最小流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最低水位/m
调洪前	23297.58	33.58	38119.00	37.79	11175.00	30.19
调洪后	20102.57	32.51	29906.00	35.28	9270.00	29.18
差值	-3195.01	-1.07	-8213.00	-2.51	-1905.00	-1.01

表3 三峡水库调洪调度(7-8月)运行前后城陵矶站水情变化

时段	平均流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	平均水位/m	最大流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最高水位/m	最小流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最低水位/m
调洪前	17107.81	30.64	27900.00	35.44	66830.00	26.45
调洪后	12513.07	29.51	24381.00	33.65	66734.00	25.03
差值	-4594.74	-1.13	-3519.00	-1.79	-96.00	-1.42

表4 三峡水库调洪调度(7-8月)运行前后螺山站水情变化

时段	平均流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	平均水位/m	最大流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最高水位/m	最小流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最低水位/m
调洪前	39613.96	29.75	61177.00	34.47	24455.00	25.93
调洪后	33212.57	28.43	45381.00	32.11	16665.00	23.88
差值	-6401.39	-1.32	-15796.00	-2.36	-7790.00	-2.05

3.3 三峡水库调洪调度运行后汇流区逐年水位和流量的变化

为揭示三峡水库调洪调度期,江湖汇流区逐年来水量变化特征,分别绘制监利、城陵矶、螺山3站1990-2017年(7-8月)平均流量、平均水位;最大流量、最高水位;最小流量、最低水位变化过程,见图2~7。

通过对比分析图2~7表明,江湖汇流区监利、

城陵矶、螺山3个水文站平均水位、最高水位、最低水位;平均流量、最大流量、最小流量虽均呈波动性变化,但从整体上看不同量级水位和流量均呈同步下降或减少趋势,其中以三峡水库调洪调度后的下降或减少幅度最大,与监利、城陵矶、螺山多年(7-8月)平均来水量变化规律完全一致。这一水情态势对削弱主汛期江湖洪水相互顶托强度和减轻洪涝灾害风险具有重大的实际意义。

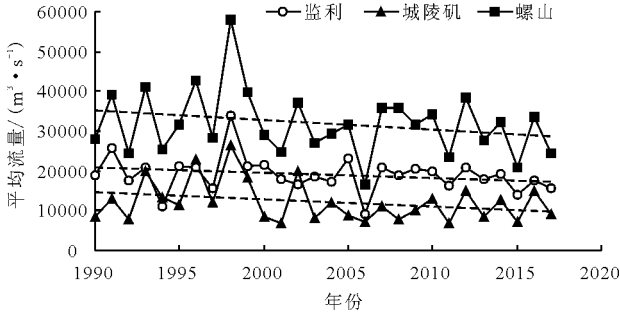


图2 监利、城陵矶、螺山站1990-2017年平均流量变化过程

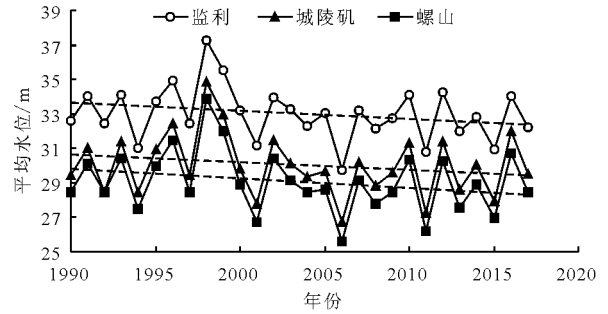


图3 监利、城陵矶、螺山站1990-2017年平均水位变化过程

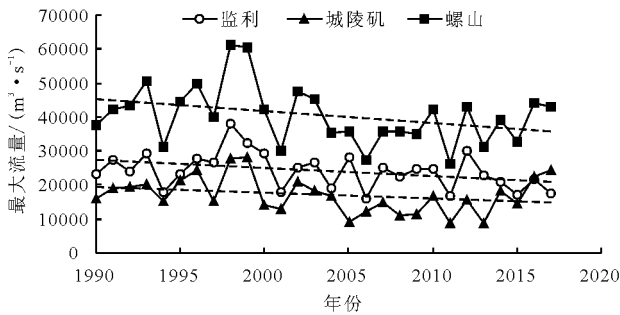


图4 监利、城陵矶、螺山站1990-2017年最大流量变化过程

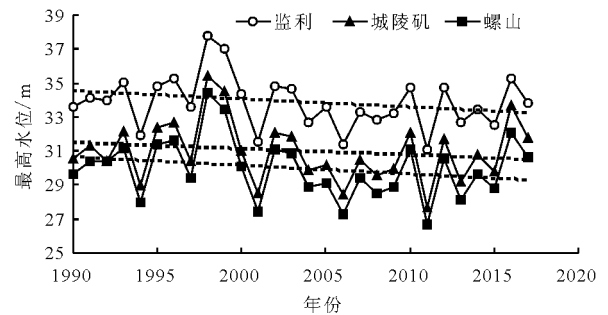


图5 监利、城陵矶、螺山站1990-2017年最高水位变化过程

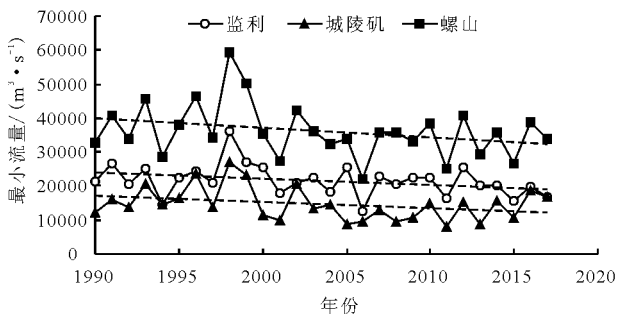


图6 监利、城陵矶、螺山站1990-2017年最小流量变化过程

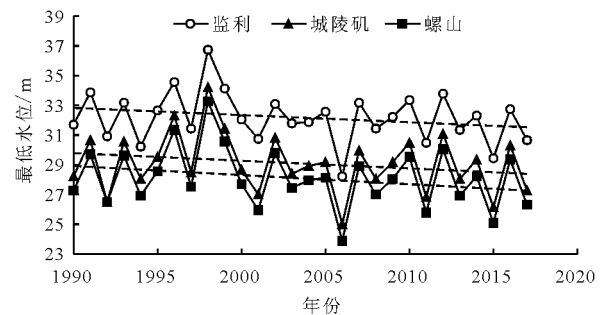


图7 监利、城陵矶、螺山站1990-2017年最低水位变化过程

4 三峡水库调洪调度对江湖洪水相互顶托的影响

长江与洞庭湖汇流区之所以水情特别复杂是由于江、湖水存在相互影响、相互顶托的关系。当荆江三口入湖水量减少,下荆江监利站泄流量加大,则对洞庭湖口城陵矶出流顶托作用增强;当洞庭湖出流增加,对下荆江出流顶托作用加强;当螺山水位抬

高则对下荆江出流和洞庭湖口泄流同时产生叠加顶托作用,导致监利站和城陵矶站水位抬高,洪峰流量相应增加,进而增大江湖地区的洪灾风险。

4.1 三峡水库调洪期长江监利站流量对洞庭湖出流的顶托影响

为系统分析三峡水库调洪期(7-8月),长江对湖口泄流顶托的影响程度,首先绘制三峡水库调洪前后监利站流量与城陵矶站水位的散点图,见图8。

通过分析图 8 可知,三峡水库调洪前监利站流量与城陵矶站水位之间的相关性较为显著,其相关系数达 0.7192,调洪后相关系数只有 0.4916。这说明三峡水库运行前,长江监利站流量对湖口泄流的顶托作用很强,导致湖口城陵矶出流减慢且水位迅速上升,增大了江湖地区的洪灾风险。三峡水库调洪调度后,由于三峡水库调节了下泄洪峰流量,削弱了长江监利泄流对湖口出流的顶托强度,因而监利流量与城陵矶水位的相关程度有所变小。

为了验证三峡水库调洪长江对洞庭湖出流顶托强度的减弱程度:(1)基于前述的汇流比公式,分别计算三峡水库调洪前后 7-8 月监利站不同级流量下监利与城陵矶的汇流比(表 5)。由表 5 分析可知,在平均流量下监利站平均洪峰流量与城陵矶站平均洪峰流量的汇流比由 0.73 减小到 0.62,这说明监利出流对城陵矶泄流的影响程度削弱了,也只是在主汛期 7-8 月监利出流对城陵矶泄流的顶托强度有所削弱,而在最大流量与最小流量下的汇流比却有所增大,这意味着即便是三峡水库具有调洪削峰作用,但长江出流对洞庭湖泄流的顶托作用仍然存在,只是顶托强度有所减弱,其主要是三峡水库运行以来,三口分流量减少,大坝下游河道全线冲刷,河床比降增大,下泄流量加快的缘故。

(2)监利站在不同流量下城陵矶流量-水位关系程度并不一致(图 9)。当监利站流量为 20 000、30 000 m^3/s 时,城陵矶站水位随流量增大而上升;当监利站流量为 25 000 m^3/s 时,城陵矶站水位随流量增大而下降。监利站流量每增加约 5 000 m^3/s ,城陵矶站水位上升 2.00 m。

(3)监利站在不同水位下城陵矶站流量-水位关系程度差异不大(图 10)。当监利站水位为 33.00、35.00 m 时,城陵矶站的水位随流量增大而上升。城陵矶在同一流量下,监利站水位越高,城陵矶的水位也越高。由此认为,三峡水库调洪以来长江洪水对洞庭湖泄量仍然产生了不同程度的顶托作用,但其顶托强度有所减弱。

表 5 三峡水库调洪前后监利在不同量级流量下
监利与城陵矶汇流比

时段	平均流量	最大流量	最小流量
调洪前	0.73	0.73	0.60
调洪后	0.62	0.82	0.74

4.2 三峡水库调洪期洞庭湖城陵矶站流量对长江泄流的顶托影响

洞庭湖口城陵矶站流量与长江监利站水位之间

的相关性较为显著(图 11),三峡水库调洪前两者的相关系数为 0.795,调洪后的相关系数只有 0.398。这说明三峡水库调洪前,城陵矶站流量对监利站的水位影响较大,随着城陵矶流量的增加,其对长江干流泄流的顶托作用加强,从而减小了监利的出流量,导致监利的水位随之上升。而三峡水库调洪后,因调节了监利站洪峰流量,削弱了长江干流监利站对洞庭湖湖口出流的顶托作用,进而加大了湖口出流量,反过来由于湖口出流量加大,对长江监利出流产生顶托作用。与此同时,监利出流还受到螺山高水位的顶托影响。因而,三峡水库调洪后城陵矶流量与长江监利水位关系显得较为复杂(相关程度减弱),但总体上看,由于水库调节了下泄洪量,荆江三口入湖洪量减少,洞庭湖泄洪对长江泄洪的顶托强度有所减弱。

为进一步验证三峡水库调洪削峰期,洞庭湖出流对长江洪水顶托强度的减弱程度:(1)分析三峡水库调洪前后城陵矶不同量级流量下城陵矶站与监利站汇流比(表 6)的变化特点,结果表明,城陵矶与监利的汇流比在三峡水库调洪后发生了一定的变化,即在平均流量下汇流比从 1.36 增大到 1.61,而在最大流量与最小流量下两汇流比均有所减小,说明三峡水库调洪后,监利对城陵矶的顶托强度要比城陵矶对监利的顶托强度降低得更多。从总体上看,自三峡水库调洪调度以来,湖口城陵矶出流对长江监利站泄流的影响程度有所削弱,也只是在主汛期城陵矶出流对监利站泄流的顶托强度有所减弱。(2)城陵矶在不同流量下监利站的流量-水位关系程度存在一定的差异(图 12)。根据图 12 分析可知,城陵矶在不同流量下监利站的水位随流量增大而上升,城陵矶站的流量越大,导致监利站的水位越高,下泄流量减小,这正是城陵矶泄流对监利泄流顶托作用的结果。(3)城陵矶在不同水位下监利的流量-水位关系程度差异不大(图 13)。当城陵矶水位为 28.00、30.00、32.00、34.00 m 时,监利的水位随流量的增大而上升。监利站在同一流量下,城陵矶水位越高,监利站的水位也越高。由此表明,三峡水库调洪以来洞庭湖对长江洪水泄量仍然产生了不同程度的顶托作用,但其顶托强度有所减弱。

表 6 三峡水库调洪前后城陵矶不同量级
流量下城陵矶与监利汇流比

时段	平均流量	最大流量	最小流量
调洪前	1.36	1.37	1.66
调洪后	1.61	1.23	1.36

4.3 长江螺山站流量对湖口城陵矶站出流的影响

长江螺山站流量与洞庭湖口城陵矶站水位之间的相关性非常显著(图 14),根据图 14 分析可知,三峡水库调洪前两者的相关系数高达 0.9561,调洪后虽稍有下降,但仍为 0.8944。这表明三峡水库调洪前后螺山站洪水位对城陵矶泄洪的顶托作用均较强,三峡水库调洪后长江螺山只有在大洪峰流量或高洪水位时才会对洞庭湖湖口泄洪产生顶托作用,显然,这是三峡水库调洪作用的结果。

为验证三峡水库调洪后螺山洪水位对洞庭湖湖口泄洪的顶托强度稍有减弱的趋势;(1)分别计算螺山站不同流量下螺山站与城陵矶站的汇流比(表 7),通过分析表 7 可知,平均流量下的汇流比在调洪后有所减小,即从 0.43 减小到 0.38,这说明三峡水库调洪调度削弱了螺山洪峰流量对城陵矶泄流的顶托强度。在最大流量与最小流量下的汇流比调洪后有所增大,这就从另一方面表明,即便是三峡水库具有调洪削峰作用,但螺山洪峰流量对城陵矶泄流的顶托作用仍然存在,只是顶托强度有所减弱。

(2)螺山站在不同流量下城陵矶流量 - 水位关系程度存在一定差异性(图 15),当螺山站流量为 30 000、40 000、45 000 m^3/s 时,城陵矶站水位随流量增大而上升;当螺山流量为 35 000 m^3/s 时,城陵矶水位随流量增大而稍有下降。其中,水位上升幅度最大的是当螺山流量为 40 000、45 000 m^3/s 时,城陵矶流量每增加 5 000 m^3/s ,水位上升 1.50 m。由此表明,三峡水库调洪后螺山站在大流量情况下对洞庭湖泄洪的顶托作用仍然较强。(3)螺山不同水位下城陵矶流量 - 水位关系程度也有所差异(图 16),根据图 16 分析可知,当螺山水位为 28.00、30.00、32.00 m 时,城陵矶水位随流量的增大而上升,这一水情态势与螺山站不同流量下城陵矶流量 - 水位关系程度完全一致。

表 7 螺山不同流量下螺山站与城陵矶站的汇流比

时段	平均流量	最大流量	最小流量
调洪前	0.43	0.46	0.28
调洪后	0.38	0.54	0.41

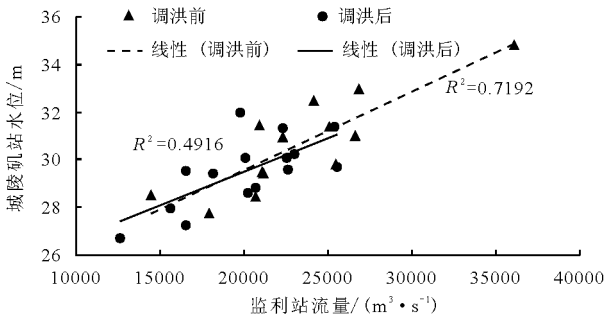


图 8 监利站流量与城陵矶站水位关系

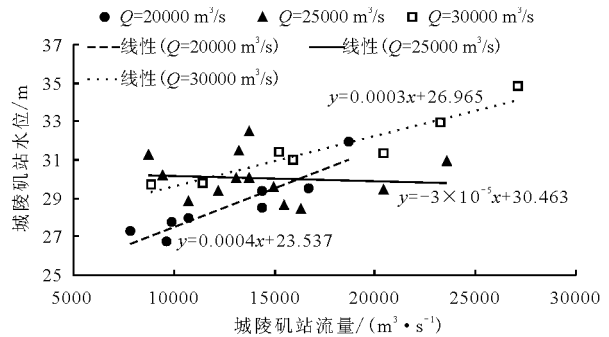


图 9 监利站在不同流量下城陵矶站流量与水位关系

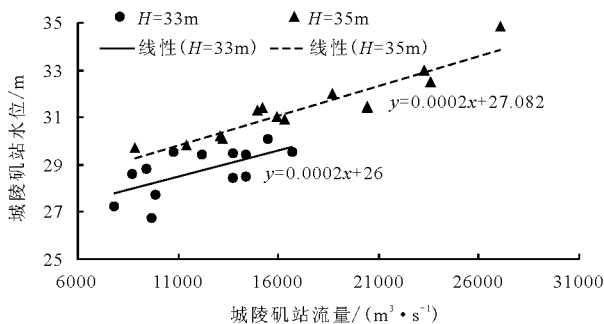


图 10 监利站在不同水位下城陵矶站的流量与水位关系

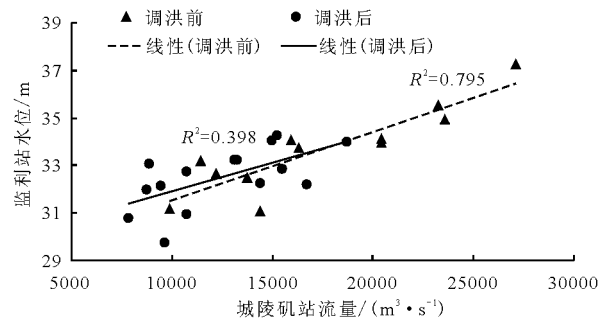


图 11 城陵矶站流量与监利站水位关系

4.4 长江螺山站流量对长江监利站出流的影响

江湖汇流区螺山站流量与监利站水位之间的相关性非常显著(图 17),由图 17 分析发现,三峡水库调洪调度前后螺山站流量与监利站水位的相关系数分别为 0.9683、0.9219,在江湖汇流区的 3 个水文控制站中其相关系数是最大的,这意味着在三峡水库调洪调度前后螺山洪峰水位对监利洪峰水位的顶

托作用相对最强。也就是说三峡水库调洪前,随着螺山洪峰流量的增多,监利出流量减小,导致监利洪水位随之上升;而三峡水库调洪后,尽管调节了长江中游监利站的洪峰流量,但因受湖口城陵矶汇流的直接影响,使螺山段洪峰流量较大,进而对监利泄流仍然产生顶托作用,但主汛期洪水位顶托强度稍有减弱。

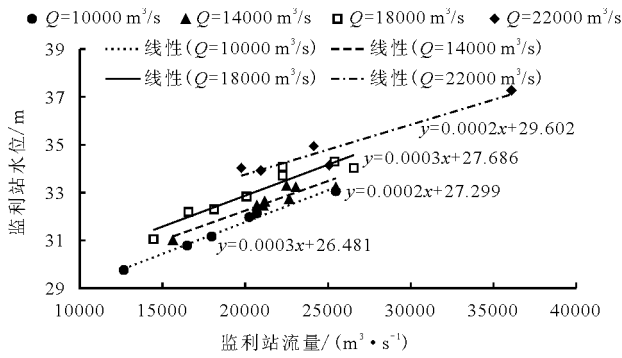


图 12 城陵矶站不同流量下的监利站流量与水位关系

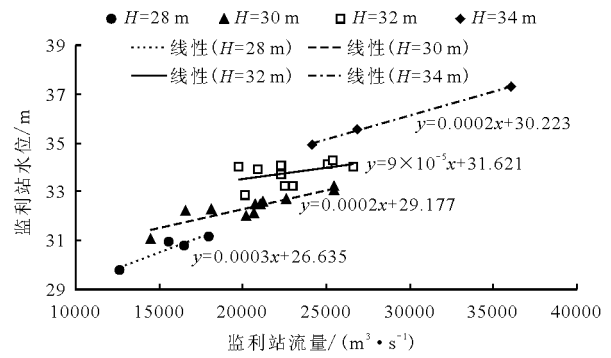


图 13 城陵矶站不同水位下监利站流量与水位关系

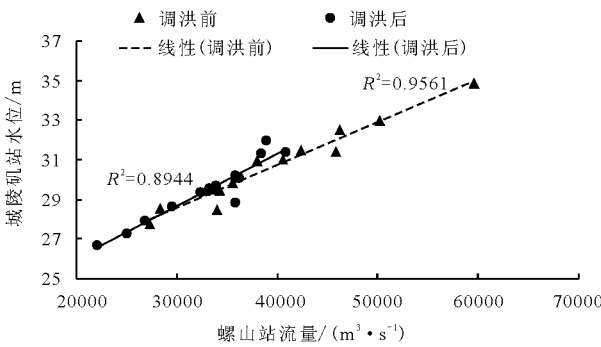


图 14 螺山站流量与城陵矶水位关系

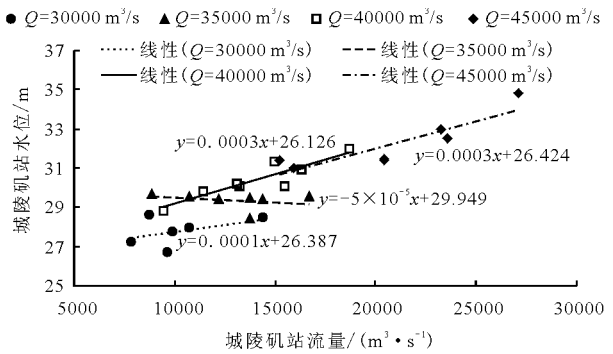


图 15 螺山站不同流量下城陵矶站流量与水位关系

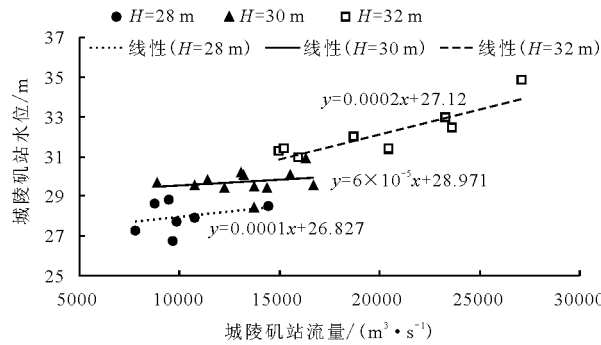


图 16 螺山站不同水位下城陵矶站流量与水位关系

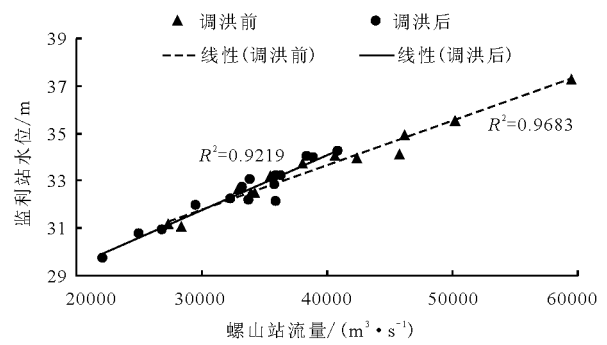


图 17 螺山流量与监利水位关系

为进一步验证三峡水库调洪后螺山洪水对监利泄洪的顶托强度稍有减弱的结论:

(1) 对比分析螺山站不同流量下螺山站与监利站的汇流比(表 8),由表 8 可知,三峡水库调洪调度期,在平均流量下汇流比从 0.59 增大到 0.61;在最大流量下汇流比由 0.62 增大至 0.66;在螺山最小流量下汇流比从 0.46 增大到 0.56,这意味着螺山对监利的顶托强度是随汇流比的增大而有所增强。在螺山不同流量下螺山与监利的汇流比均有所增大,这表明三峡水库调洪调度期螺山洪峰水位对监利泄流的顶托强度有所增强。

(2) 三峡水库调洪期,螺山站不同流量下监利流量-水位关系存在一定的差异(图 18)。当螺山站洪峰流量为 30 000、35 000、40 000、45 000 m³/s

时,监利站水位随流量增大而上升。其中,上升幅度最大的是螺山站流量为 30 000、45 000 m³/s,其对应的监利流量每增加 5 000 m³/s,水位上升约 1.00 m,当螺山站洪峰流量越小,监利的水位越低,表明螺山洪峰流量对监利站泄洪的顶托强度就较弱。

表 8 螺山站不同流量下螺山站与监利站的汇流比

时段	平均流量	最大流量	最小流量
调洪前	0.59	0.62	0.46
调洪后	0.61	0.66	0.56

(3) 螺山站在不同水位下监利站流量-水位关系程度也不一样(图 19),但不论螺山站的水位是升高还是下降,监利站的水位随流量的增大而上升,随

流量减少而降低,这与螺山站不同流量下监利站流量-水位关系程度差异完全相同,表明三峡水库调

洪调度运行在一定程度上削弱了螺山洪峰水位对监利泄流的顶托强度。

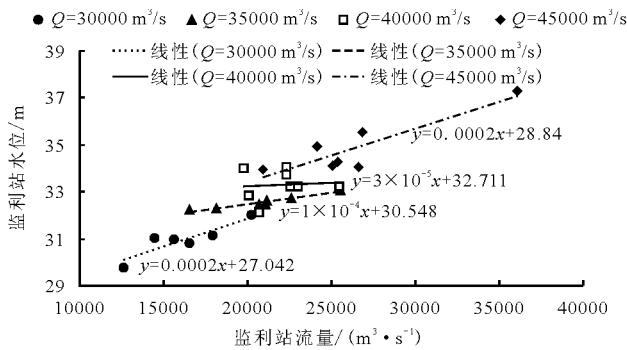


图 18 螺山站在不同流量下监利站流量与水位关系

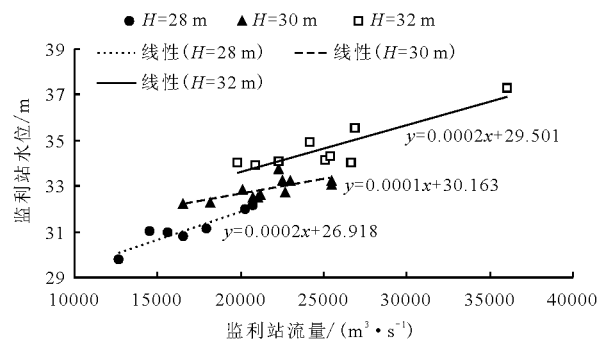


图 19 螺山站在不同水位下监利站流量与水位关系

综上所述,三峡水库调洪调度期(7-8月),江湖汇流区的水文情势及江湖洪水相互顶托强度均发生了不同程度的改变。具体表现在两个方面:一方面监利、城陵矶、螺山3站的洪峰流量、洪峰水位均有所减少或下降,不同水位不同流量下的流量与水位关系程度均有所降低,江湖洪水相互顶托强度均有所减弱。这一水文情势对减轻江湖地区主汛期的洪水压力以及减少洪涝灾害风险和发生频率具有重大意义;另一方面尽管在主汛期三峡水库调节了长江干流洪峰流量,削弱了江湖洪水相互顶托强度,但由于江湖关系调整过程的动力因素诸多,汇流区的水情态势较为复杂,江湖洪水相互影响、相互顶托的水情态势仍然存在,只是其顶托强度有所减弱,由此认为,在主汛期仍然需要加大汇流区防洪减灾的管理力度。

5 结论与讨论

(1)三峡水库调洪调度期,汇流区来水组成发生变化。监利与城陵矶的汇流比增大,由1.36增加到1.61。监利的流量比重从58.81%增加到60.53%。而城陵矶站的比重从43.19%减少为37.68%,其主要是由三口入湖水量减少,监利站下泄水量增加所致。

(2)三峡水库调洪调度期,监利、城陵矶、螺山3站的流量、水位均有所减少或下降,其中下降幅度最大的是螺山站,其平均流量减少了6401.39 m³/s,平均水位下降了1.32 m,这一水文情势有利于削弱螺山洪峰水位对湖口及监利泄洪的顶托作用。

(3)三峡水库调洪调度期,监利、城陵矶、螺山3个水文站之间有较强的相关性,其中螺山站流量与监利站水位相关性最强,调洪前后两者相关系数分

别为0.9683、0.9219,表明监利站高洪水位、最大洪峰流量的变化直接受到螺山站水情的影响。

(4)三峡水库调洪调度运行在一定程度上削弱了江湖洪水相互顶托强度,但其顶托作用仍然存在,其中以螺山高洪水位对城陵矶和监利泄洪的顶托作用较强,这是城陵矶泄洪和监利泄洪在汇流区叠加作用的结果。

(5)本文对江湖汇流区水文情势的研究,只考虑了三峡水库调洪对汇流区水情的影响,并未探讨气候因素(降水、蒸发等),特别是河断面冲淤、比降等因素的影响,这些均有待于作进一步的探讨。

参考文献:

- [1] 卢金友. 荆江三口分流分沙变化规律研究[J]. 泥沙研究, 1996, 21(4): 54-61.
- [2] 梅军亚, 夏薇, 毛北平, 等. 长江江湖汇流段河床演变分析[J]. 人民长江, 2006, 37(12): 68-71.
- [3] 段文忠, 郑亚慧, 刘建军. 长江城陵矶-螺山河段水位抬高及原因分析[J]. 水利学报, 2001, 32(2): 29-34.
- [4] 唐金武, 李义天, 孙昭华, 等. 三峡蓄水后城陵矶水位变化初步研究[J]. 应用基础与工程科学学报. 2010, 18(2): 273-280.
- [5] 郭小虎, 姚仕明, 晏黎明. 荆江三口分流分沙及洞庭湖出口水沙输移的变化规律[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(8): 80-86.
- [6] 李振林, 唐从胜. 洞庭湖顶托对下荆江泄洪量的影响[J]. 水文, 2000, 20(6): 27-28+31.
- [7] 许全喜, 胡功宇, 袁晶. 近50年来荆江三口分流分沙变化研究[J]. 泥沙研究, 2009, 34(5): 1-8.
- [8] 梅金焕. 试述城螺河段水位抬高的原因及荆江几个治理方案的利弊[J]. 湖南水利, 1988(增刊): 28-35.
- [9] 雷激. 洞庭湖口与长江交汇处的水情变化态势[J]. 湖南水利, 1999(2): 46-47. (下转第129页)

- [10] 赵军凯,蒋陈娟,祝明霞,等. 河湖关系与河湖水系连通研究[J]. 南水北调与水利科技,2015,13(6):1212-1217.
- [11] 符传君,陈成豪,李龙兵,等. 河湖水系连通内涵及评价指标体系研究[J]. 水力发电,2016,42(7):2-7.
- [12] 王妍,左其亭,史树洁. 河湖水系连通的和谐问题及研究途径[J]. 人民黄河,2018,40(5):49-53+57.
- [13] 王薇,李传奇. 河流廊道与生态修复[J]. 水利水电技术,2003,34(9):56-58.
- [14] 强盼盼. 河流廊道规划理论与应用研究[D]. 大连:大连理工大学,2011.
- [15] 刘茂松,张明娟. 景观生态学:原理与方法[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [16] 赵贤豹. 湿地生态系统水文连接度研究[D]. 南京:南京水利科学研究院,2008.
- [17] 张超,彭道黎. 基于遥感的水体信息提取技术研究进展[J]. 河南农业科学,2013,42(6):16-20.
- [18] 黄海军,程新文,李柏鹏,等. 基于 ENVI 的高分辨率遥感图像应用试验研究[J]. 地理空间信息,2007,5(3):41-43.
- [19] 岳辉,刘英,杨维涛,等. 近40年来中国西北内陆5个典型湖泊面积变化遥感分析[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(6):27-32.
- [20] MCFEETERS S K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(7):1425-1432.
- [21] 陈佳玲,王昶. 基于 ENVI 的遥感影像分类[J]. 北京测绘,2018,32(8):933-937.
- [22] 覃伟荣,秦亮曦. 基于 ENVI 的决策树技术遥感影像粗分类研究[J]. 钦州学院学报,2008,23(6):51-55.
- [23] 汪自胜. 基于 ArcGIS10 地形数据提取与分析[J]. 安徽林业科技,2015,41(2):76-79.
- [24] 李寿德,席凯. 基于 ArcGIS 的城市道路易积水区的提取方法[J]. 地矿测绘,2018,34(1):31-32+50.
- [25] 张哲,刘云鹤. 基于 TM 影像的水域提取方法研究[J]. 地下水,2011,33(5):166-167.
- [26] 窦明,靳梦,张彦,等. 基于城市水功能需求的水系连通指标阈值研究[J]. 水利学报,2015,46(9):1089-1096.
- [27] 靳梦,窦明. 城市化对水系连通功能影响评价研究——以郑州市为例[J]. 中国农村水利水电,2013(12):41-44+50.
- [28] 张苏江,许宗运. 数据统计分析软件 SPSS 的应用(一)[J]. 畜牧与兽医,2003,35(3):23-24.
- [29] 张景中,彭翕成. 函数作图软件的评价和选择[J]. 数学通报,2007,46(8):1-9.
- [30] 李丽,徐文,叶长青,等. 基于联系数的河湖水系连通等级评价模型[J]. 中国农村水利水电,2017(9):93-99+108.

(上接第121页)

- [10] 施修端,夏薇,杨彬,等. 城陵矶站水沙及水位流量关系变化分析[J]. 人民长江,2000,31(3):35-36+47.
- [11] 徐贵,黄云仙,黎昔春,等. 城陵矶洪水位抬高原因分析[J]. 水利学报,2004,35(8):33-37+45.
- [12] 韩其为. 江湖流量分配变化导致长江中游新的洪水形势[J]. 泥沙研究,1999,24(5):1-12.
- [13] 杨云平,张明进,孙昭华,等. 三峡大坝下游水位变化与河道形态调整关系研究[J]. 地理学报,2017,72(5):776-789.
- [14] 方春明,胡春宏,陈绪坚. 三峡水库运用对荆江三口分流及洞庭湖的影响[J]. 水利学报,2014,45(1):36-41.
- [15] 杨云平,张明进,李义天,等. 长江三峡水坝下游河道悬沙恢复和床沙补给机制[J]. 地理学报,2016,71(7):1241-1254.
- [16] 张细兵,卢金友,王敏,等. 三峡工程运用后洞庭湖水沙情势变化及其影响初步分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(6):640-643.
- [17] 樊咏阳,张为,韩剑桥,等. 三峡水库下游弯曲河型演变规律调整及其驱动机制[J]. 地理学报,2017,72(3):420-431.
- [18] 于丹丹,杨波,李景保,等. 近61年来长江荆南三口水系结构演变特征及其驱动因素分析[J]. 水资源与水利学报,2017,28(4):13-20.
- [19] 毛北平,吴忠明,梅军亚,等. 三峡工程蓄水以来长江与洞庭湖汇流关系变化[J]. 水力发电学报,2013,32(5):48-57.