

三峡水库蓄水对长江与洞庭湖 汇流区生态水文的影响

高芮¹ 吕殿青^{1, 2} 李景保¹¹

(1. 湖南师范大学 地理科学学院, 湖南 长沙 410081;

2. 江苏理工学院 化学与环境工程学院, 江苏 常州 213001)

【摘要】: 基于 1990~2019 年长江与洞庭湖汇流区的日流量数据, 运用水文变化指标体系和变化范围法评估三峡水库蓄水对江湖汇流区水文的改变程度及其对鱼类繁殖产生的影响。结果表明: (1) 汇流区整体的水文改变度为 36.79%, 呈现中度改变, 年均 1、3、7、30、90 日最小流量, 涨、落水率等水文指标改变程度较大, 呈现中度或高度改变; (2) 三峡水库蓄水改变了汇流区天然的生态水文过程, 与四大家鱼生长繁殖相敏感的水文指标发生变化, 使其产卵期推迟, 鱼类产卵繁殖的数量和质量也大幅降低。揭示了三峡水库蓄水对江湖汇流区生态水文情势的影响, 为该区域的生态保护提供有益参考。

【关键词】: IHA-RVA 法 水情变化 生态水文 三峡水库 汇流区

【中图分类号】: TV882.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)01-0093-11

三峡水库于 2003 年 6 月蓄水运行至今, 一方面在航运、灌溉、发电、防洪、抗旱等方面发挥了巨大的效益, 另一方面对江湖的水文特征也产生了一定影响, 并对其原本的生态环境造成一定干扰, 因为水库调蓄方式直接改变了长江中下游江湖水沙量在年内的分配规律, 使江湖自然状态的水沙过程发生改变, 从而对不同生活习性的动植物产生影响。国内外学者针对水利工程对生态水文效应的影响进行了大量的研究^[1,2], 其中生态水文指标变化范围法应用广泛^[3,4], 张飒等^[5]、于松延等^[6]、张爱静等^[7]利用该方法 and 相应的水位流量数据分别对汉江中游襄阳站和宜城站、渭河关中段、黄河河口段的生态水文情势改变度进行分析, 认为水利工程均对相关河段的水文情势造成不同程度的影响; 王俊娜等^[8]、郭文献等^[9]、李景保等^[10]采用该方法, 并结合 Mann-Kendall 突变检验法、累积距平法, 分别评估了在三峡水库蓄水后的葛洲坝下游河流、长江宜昌江段、长江荆南三口河系的生态水文指标变化, 发现三峡水库的运行对下游河流 32 项生态水文指标的影响中, 葛洲坝下游河流的年最小值流量过程、低流量的谷底数和平均持续时间, 宜昌河段流量的逆转次数, 荆南三口的年最小值流量过程等的改变程度均呈现高度改变。洞庭湖位于长江中游荆江河段以南, 是典型的通江型湖泊, 三峡水库蓄水后对洞庭湖区水文情势、泥沙冲淤、湿地等都造成了一定影响^[11,12,13], 进而产生一系列的生态效应。长江与洞庭湖汇流区是水情变化最敏感的地带, 那么, 三峡水库蓄水后江湖汇流区的生态水文特征如何? 对该汇流区的生态系统会产生怎样的影响呢? 鉴于此, 本文基于 1990~2019 年汇流区监利站、城陵矶站、螺山站的流量数据, 采用水文变化指标体系 (IHA, Indicators of Hydrology Alteration) 及变化范围法 (RVA, Range of Variability Approach), 分析三

作者简介: 高芮 (1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为生态水文学. E-mail: 1678282183@qq.com; 吕殿青 E-mail: ldianqing@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571100); 湖南省自然科学基金项目 (2019JJ40188); 湖南省教育厅项目 (16A129)

峡水库蓄水后江湖汇流区的生态水文特征，从而为优化三峡水库生态调度方案和生态水文系统修复重建方案提供理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

长江自湖北省枝城市至湖南省岳阳市城陵矶站的河段，习惯上称为荆江，洞庭湖接纳了来自荆江南岸的松滋河、虎渡河、藕池河以及湘、资、沅、澧四水，并于城陵矶站复注长江。长江与洞庭湖汇流区(以下简称江湖汇流区)是指长江干流的监利站、螺山站与洞庭湖出口城陵矶站所组成的水体汇合区域(图 1)。受人类活动和特定地理环境的共同影响，长江与洞庭湖相互作用、相互影响，形成了复杂的江湖水文关系，本文以江湖汇流区做为研究区域。

1.2 数据来源

1990~2019 年长江与洞庭湖汇流区的监利站、城陵矶站、螺山站流量资料来源于长江水利委员会(<http://www.cjw.gov.cn/>)、湖南省水利水电勘测设计研究总院(<http://www.hhpd.com/>)、湖南省水情日报表(<http://www.hnsw.com.cn/tabid/230/Default.aspx#6135>)、湖北省水利厅(<http://slt.hubei.gov.cn/>), 详见表 1。

1.3 研究方法

水文变化指标体系是由 Richter 等^[14]在 1996 年提出，并按水文情势的基本特征(流量、出现时间、持续时间、频率及变化率)及其潜在的生态效应，将水文指标分为 5 组^[15](表 2)，之后 Richter 等^[16]在 IHA 基础上提出变化范围法，统称为 IHA-RVA 法，用于评价大坝、水库等水利工程对天然径流水文情势的影响。具体计算步骤如下^[17]：

$$D_i = \frac{(N_o - N_e)}{N_e} \times 100\% \quad (1)$$

$$D_o = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{33} D_i^2} \quad (2)$$

$$N_e = r \times N_t \quad (3)$$

式中： D_i 为第 i 个 IHA 指标的水文改变度； N_o 和 N_e 分别为影响后 IHA 指标值落入 RVA 目标范围内的实际年数和期望年数； D_o 为流域整体的水文改变度； n 为 IHA 指标个数； r 为影响前 IHA 指标落入目标范围内的年数占影响前总年数的比例； N_t 为影响后水文序列的总年数。

根据水文改变程度将其划分为 3 个程度等级^[18]，能够客观的反映河流水文情势改变的严重程度，以此为依据对汇流区的水文改变程度进行量化判断。如表 3 所示，当水文改变属于中、高度改变时，表明人类活动(水利工程)的干扰已改变了天然径流的流量特征，且已经超过了天然生态系统可以承受的范围。

2 结果与分析

2.1 三峡水库蓄水江湖汇流区水文的改变程度

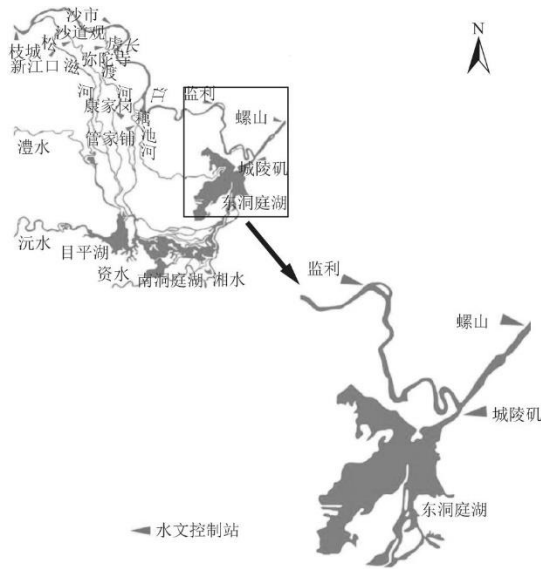


图 1 长江与洞庭湖汇流区平面图

为定量分析三峡水库蓄水对江湖汇流区水文过程产生的影响，运用前述的 IHA-RVA 法计算得到三峡水库蓄水对汇流区 3 个水文站点(监利站、城陵矶站、螺山站)流量系列的改变程度(表 4~表 6)。

表 1 长江与洞庭湖汇流区水文站数据及来源

水文站	经纬度	数据及时间	来源
监利站	(29° 42' N, 112° 38' E)	1990~2019 年流量数据	1. 长江水利委员会 2. 湖南省水利水电勘测设计研究总院 3. 湖南省水情日报表 4. 湖北省水利厅
城陵矶站	(29° 26' N, 113° 09' E)		
螺山站	(29° 40' N, 113° 22' E)		

表 2 水文改变指标及其对生态系统的影响

IHA 指标	水文参数	对生态系统的影响
月均流量	1~12 月份各月均流量	1. 水生生物的栖息地 2. 植被所需的土壤湿度 3. 陆地动物供水 4. 水体水温、溶解氧水平和光合作用
年极值流量	年均 1、3、7、30、90 日最小流量；年均 1、3、7、30、90 日最大流量；基流指数	1. 创造植物定植的场所 2. 平衡竞争性、杂草性和耐受性生物体 3. 湖泊和洪泛区植物群落的分布 4. 通过生物和非生物因子构造水生生态系统 4. 河流地貌和自然栖息地繁荣构建 5. 河流和洪泛平原的营养盐交换 6. 持续高流量利于废弃物处理和沉积物中产卵场通风
年极值流量出现的时间	年最小流量出现的时间；年最大流量出现的时间	1. 鱼类的洄游产卵和迁徙 2. 生物繁殖期的栖息地条件 3. 生命体的循环繁衍 4. 物种的进化

高、低脉冲的频率与持续时间	年高、低流量的次数；高、低流量的平均持续时间	1. 植物所需土壤湿度的频率和大小 2. 洪泛区水生生物栖息的可能性 3. 河流与洪泛平原营养物质和有机物的交换 4. 水鸟摄食、栖息和繁殖场所的通道 5. 泥沙运输、河道沉积物的结构
流量条件变化率及频率	年均日间涨水率、落水率；逆转次数	1. 植物干旱的压力(落水线) 2. 生物体滞留在岛屿和洪泛平原上(涨水线) 3. 河边低移动性生物体的脱水压力

表 3 水文指标程度等级

	低度改变 (%)	中度改变 (%)	高度改变 (%)
D _i	0~33	33~67	67~100
D _o	0~33	33~67	67~100

2.1.1 月均流量变化

结合图 2 可以看出，监利站 6~11 月月均流量均有所减少，7 月月均流量减少幅度最大，减小值为 2919.33m³/s，12 月到次年的 5 月月均流量有所增加，2 月月均流量增幅最大，增加值为 1469.84m³/s，属于高度改变(表 4)。城陵矶站 4 月月均流量稍低于蓄水前，其他月份月均流量均高于蓄水前，2 月、6 月和 12 月份月均流量的改变程度较大，均属于中度改变(表 5)。螺山站 6~11 月月均流量均有所减少，7 月月均流量减少幅度最大，减小值为 6736.43m³/s，12 月到次年的 3 月份，多年月均流量增加，1 月月均流量增幅最大，增加值为 1257.95m³/s，6 月月均流量的改变程度较大，属于中度改变(表 6)。由此可以看出，三峡水库蓄水减少了汇流区丰水期(6~9 月)的流量，稍增加了枯水期(12 月~次年 3 月)的流量。

2.1.2 年极值流量变化

监利站和螺山站年均 1、3、7、30 和 90 日最小流量在三峡水库蓄水后均有不同程度的增加，监利站的改变程度均呈高度改变(表 4)；螺山站除了年均 90 日最小流量的改变程度属于低度改变(表 6)，其余最小流量改变程度均呈现中度改变。城陵矶站年均 1、3、7 和 30 日最小流量比蓄水前均有不同程度的增加，年均 90 日最小流量低于蓄水前，年最小流量改变程度均呈低度改变(表 5)。以监利站最小流量变化为例，通过分析图 3 可知，三峡水库蓄水后，监利站年均 1 日最小流量在 2003~2011 年呈现明显的逐年增加趋势，2011 年之后年均 1 日最小流量趋于稳定，无较大波动，年均 90 日最小流量则一直表现为增加态势。

三站点的年均 1、3、7、30 和 90 日最大流量在水库蓄水后比蓄水前均有不同程度的减少，除了城陵矶站年均 1 日最大流量的改变程度属于中度改变之外，其余的改变程度均属于低度改变(表 4~表 6)。

表 4 监利站 IHA 参数计算结果

水文参数	蓄水前均值	蓄水后均值	水文改变度 (%)	改变程度	水文参数	蓄水前均值	蓄水后均值	水文改变度 (%)	改变程度
1 月月均	4961.19	6241.76	-45.38	M	90 日最小流量	4713.53	5983.23	-84.71	H

流量									
2月月均流量	4538.05	6007.89	-77.06	H	1日最大流量	36938.46	32070.59	-13.97	L
3月月均流量	5214.88	6604.61	-52.21	M	3日最大流量	35907.69	30898.04	-4.41	L
4月月均流量	6940.65	8143.16	-38.82	M	7日最大流量	34300.00	29566.39	-15.03	L
5月月均流量	11031.89	11900.76	20.17	L	30日最大流量	29462.56	25647.06	-30.48	L
6月月均流量	16164.62	15108.82	-8.24	L	90日最大流量	23424.87	20699.87	-30.48	L
7月月均流量	24651.12	21731.78	5.15	L	基流指数	0.33	0.47	-74.51	H
8月月均流量	21867.49	19316.64	27.45	L	最小流量出现时间	54.00	100.24	-13.97	L
9月月均流量	18570.51	17313.59	9.24	L	最大流量出现时间	213.77	219.12	-23.53	L
10月月均流量	15004.63	12260.79	-46.47	M	高流量的次数	6.92	5.94	-13.97	L
11月月均流量	9654.33	9321.86	9.24	L	高流量的平均持续时间	15.02	17.62	1.96	L
12月月均流量	6328.64	6596.15	-8.24	L	低流量的次数	4.85	6.18	-23.53	L
1日最小流量	3749.62	5335.29	-74.51	H	低流量的平均持续时间	21.56	15.97	7.06	L
3日最小流量	3830.90	5372.16	-74.51	H	涨水率	10.16	7.20	-61.76	M
7日最小流量	3920.00	5428.40	-71.32	H	落水率	-8.82	-6.38	-71.32	H
30日最小流量	4195.51	5633.22	-83.01	H	逆转次数	106.31	99.18	7.06	L

表 5 城陵矶站 IHA 参数计算结果

水文参数	蓄水前均值	蓄水后均值	水文改变度 (%)	改变程度	水文参数	蓄水前均值	蓄水后均值	水文改变度 (%)	改变程度
1 月月均流量	3278.68	3458.18	-10.78	L	90 日最小流量	2707.67	2584.82	14.71	L
2 月月均流量	4157.12	6007.89	42.02	M	1 日最大流量	30430.77	24652.94	-40.52	M
3 月月均流量	6370.60	6604.61	27.45	L	3 日最大流量	29558.97	24098.04	-23.53	L
4 月月均流量	8646.00	8143.16	-32.03	L	7 日最大流量	27929.67	22810.92	-32.03	L
5 月月均流量	11205.43	11900.76	-23.53	L	30 日最大流量	23324.87	18587.69	27.45	L
6 月月均流量	13699.46	15108.82	-49.02	M	90 日最大流量	18034.22	14815.26	9.24	L
7 月月均流量	19142.38	21731.78	-12.61	L	基流指数	0.19	0.24	-6.54	L
8 月月均流量	14977.49	19316.64	1.96	L	最小流量出现时间	164.62	181.29	52.94	M
9 月月均流量	10479.64	17313.59	24.26	L	最大流量出现时间	194.23	201.94	-4.41	L
10 月月均流量	7169.69	12260.79	-15.88	L	高流量的次数	8.77	7.24	63.87	M
11 月月均流量	4608.72	9321.86	-1.68	L	高流量的平均持续时间	11.65	13.15	63.87	M
12 月月均流量	3188.97	6596.15	43.38	M	低流量的次数	6.62	6.65	27.45	L
1 日最小流量	1538.46	1620.59	1.96	L	低流量的平均持续时间	17.38	15.24	22.35	L
3 日最小流量	1579.74	1702.35	14.71	L	涨水率	16.77	14.82	-61.76	M
7 日最小流量	1637.69	1798.57	31.09	L	落水率	-12.60	-11.41	-10.78	L
30 日最小流量	1862.18	2041.45	10.46	L	逆转次数	98.23	97.76	14.71	L

综上所述，研究区三站年均最小流量在蓄水后均有所增加，按改变程度绝对值进行排序，表现为监利站(77.61%)>螺山站(43.12%)>城陵矶站(14.59%)，年均最大流量在蓄水后均有所减小，且三站改变程度均较低，呈现城陵矶站(26.55%)>监利站(18.87%)>螺山站(7.38%)的特点。由此可见，三峡水库蓄水对汇流区年均最大、最小流量过程均产生了一定影响，年均最小流量的改变程度比年均最大流量的改变程度大，对该过程下的生态系统产生的影响可能也较大。

根据江湖汇流区基流指数变化可以看出(图4)，在三峡水库蓄水前，城陵矶站基流指数一直最低，蓄水后监利站、城陵矶站、螺山站的基流指数均有升高，改变程度最大的为监利站，为高度改变，螺山站次之，为中度改变，城陵矶站改变程度最小，为低度改变(表4~表6)。

表6 螺山站 IHA 参数计算结果

水文参数	蓄水前均值	蓄水后均值	水文改变度(%)	改变程度	水文参数	蓄水前均值	蓄水后均值	水文改变度(%)	改变程度
1月月均流量	8284.19	9542.14	-15.88	L	90日最小流量	8067.91	9022.62	-31.18	L
2月月均流量	8769.55	9542.88	1.96	L	1日最大流量	55192.31	45811.76	-1.68	L
3月月均流量	11396.50	12334.74	27.45	L	3日最大流量	54179.49	45301.96	9.24	L
4月月均流量	15722.28	15428.14	-6.54	L	7日最大流量	52827.47	44308.4	-4.41	L
5月月均流量	22030.02	22622.87	-8.24	L	30日最大流量	47784.36	39737.65	-15.03	L
6月月均流量	29474.10	28798.63	-40.52	M	90日最大流量	39249.06	33702.88	-6.54	L
7月月均流量	43006.45	36270.02	-15.03	L	基流指数	0.30	0.40	-52.21	M
8月月均流量	36288.59	30271.54	10.46	L	最小流量出现时间	136.15	177.82	-42.65	M
9月月均流量	28949.23	25471.37	24.26	L	最大流量出现时间	195.08	204.53	14.71	L
10月月均流量	21872.21	17363.76	-23.53	L	高流量的次数	4.77	5.00	52.90	M
11月月均流量	14384.33	13995.22	14.71	L	高流量的平均持续时间	22.24	20.02	52.94	M
12月月均	9472.95	9698.86	18.95	L	低流量的次数	3.77	3.88	7.06	L

流量									
1日最小流量	5780	7221.76	-49.02	M	低流量的平均持续时间	29.02	25.83	18.95	L
3日最小流量	5987.69	7475.29	-42.65	M	涨水率	6.86	5.30	-89.08	H
7日最小流量	6138.24	7650.00	-52.21	M	落水率	5.94	4.87	-61.76	M
30日最小流量	6678.67	8096.49	-40.52	M	逆转次数	70.23	74.35	-23.53	L

注：(1)表中计算结果为多年平均值；(2)偏离率=(蓄水后水文指标均值-蓄水前水文指标均值)/蓄水前水文指标均值；(3)基流指数=7日最小流量/年平均流量；(4)H:高度改变；M:中度改变；L:低度改变。

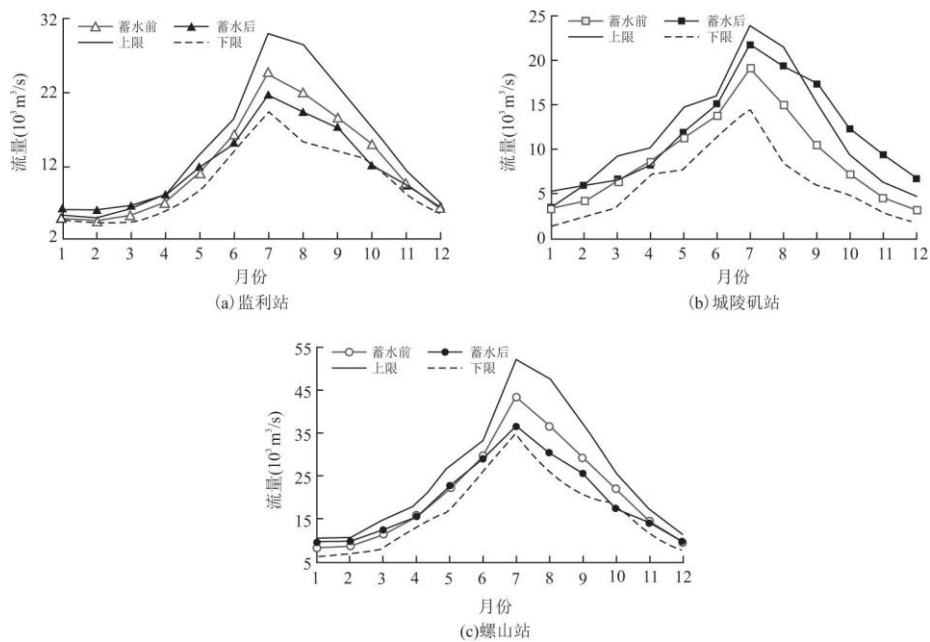


图2 三峡水库蓄水前后江湖汇流区月均流量过程和生态水文目标的上下限

2.1.3 年极值流量出现的时间

在三峡水库蓄水前，监利站最小流量主要发生在1月下旬~3月中旬(图5)，变幅控制在55d左右，最小流量出现时间较为稳定，指标趋势线没有明显上升和下降趋势，蓄水后年最小流量出现时间主要集中在12月上旬~3月中旬，出现时间比蓄水前提前50d左右，改变程度属于低度改变(表4)。最大流量在蓄水前发生时间主要集中在7月上旬~8月中旬，多分布在汛前期和汛末期，蓄水后最大流量出现时间仍以7月上旬~8月中旬为主，个别年份最大流量出现在9月份，呈现低度改变(表4)。

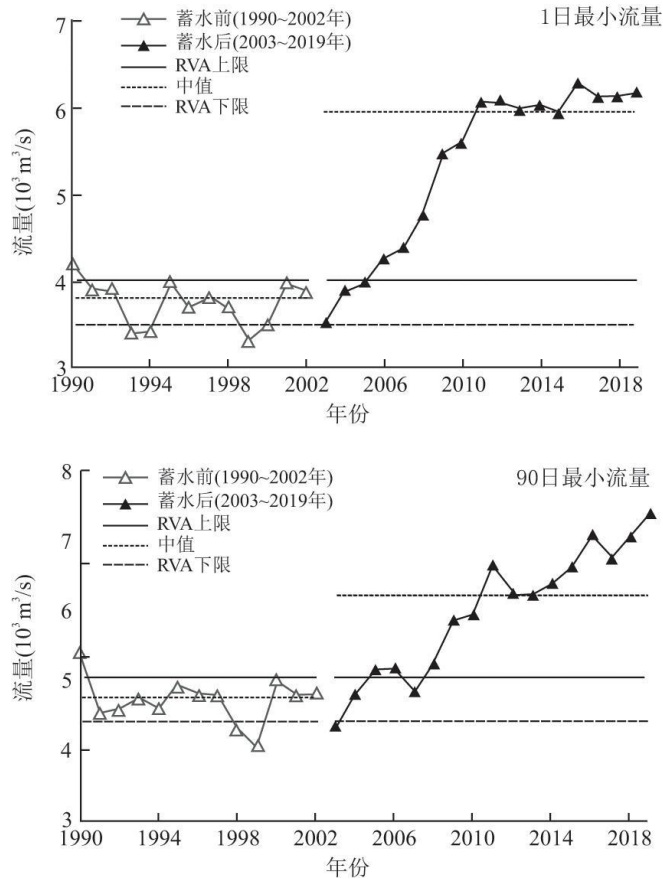


图3 三峡水库蓄水前后监利站年均极小值流量变化情况

城陵矶站年最小流量发生时间趋于双线化(图6), 蓄水前年最小流量发生时间主要分布在12月中下旬和次年1月上旬, 变幅控制在30d左右, 蓄水后年最小流量出现时间提前2个月左右, 9~10月份是三峡水库汛末蓄水调度期, 进入长江中下游的水量减少, 荆江三口分流比下降, 所以进入洞庭湖的水量进一步减少, 枯水期提前, 呈现中度改变(表5), 表明水库蓄水对年均最小流量出现时间产生的影响较大。年最大流量发生时间在蓄水前后均主要集中在7月份, 发生时间有向后推移的趋势, 但该趋势并不显著, 呈现低度改变, 表明三峡水库蓄水对年最大流量出现时间产生的影响较小。

螺山站年最小流量发生的时间也呈现双线化(图7), 蓄水前最小流量主要集中发生在12月下旬、次年1月下旬~2月上旬, 蓄水后年最小流量在12月下旬和1月上旬出现的居多, 出现的时间比蓄水前提前了30~40d, 表现为中度改变(表6)。三峡水库蓄水对年最大流量出现的时间影响不大, 在蓄水前后发生时间均主要集中在7月份, 呈现低度改变。

2.1.4 高低流量的频率与持续时间

在三峡水库蓄水后, 监利站、城陵矶站高流量的发生次数均减小, 分别从6.92降为5.94次, 从8.77降为7.24次, 持续时间均有延长, 分别从15延至18d左右、从12延至13d左右。螺山站高流量的发生次数略有增加, 持续时间缩短。监利站、城陵矶站、螺山站的低流量发生次数均有增加, 分别从4.85延至6.18次、从6.62延至6.65次、从3.77次延至3.88次, 持续时间均缩短, 从22缩短至16d左右、从17缩短至15d左右、从29缩短至26d左右(表4~表6)。

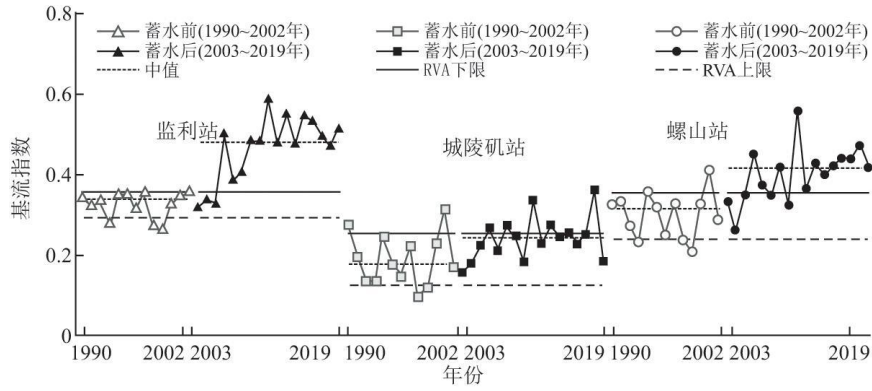


图4 三峡水库蓄水前后江湖汇流区各水文站基流指数变化情况

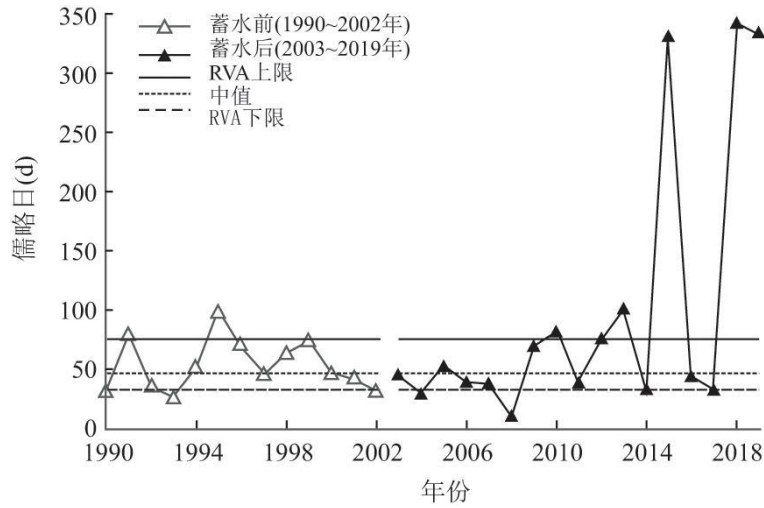


图5 监利站年极小值流量出现时间变化情况

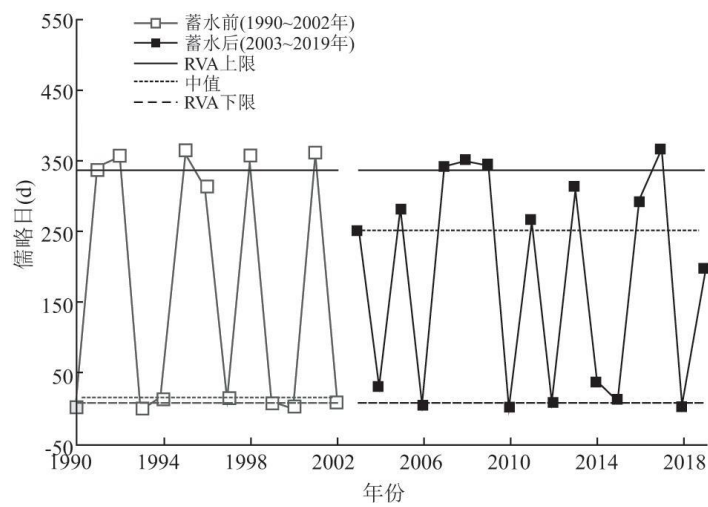


图6 城陵矶站年极小值流量出现时间变化情况

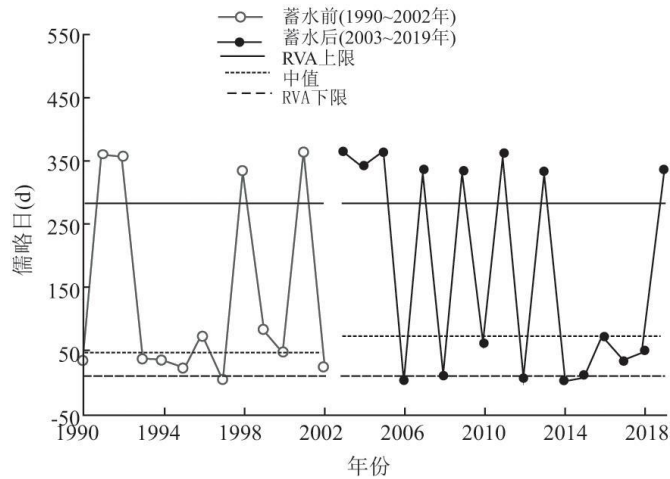


图7 螺山站极小值流量出现时间变化情况

在三站点高低流量的发生次数和持续时间的改变程度上，城陵矶站、螺山站高流量的频率与持续时间的改变程度均为中度改变，其余水文指标的改变程度均为低度改变。

总体而言，在三峡水库蓄水后江湖汇流区高、低流量各自的发生次数和持续时间表现出相反的变化，即发生次数减少，则相应的持续时间延长，反之亦然。监利站和城陵矶站高流量的发生次数及持续时间表现一致，分别为下降和上升态势，螺山站高流量的发生次数和持续时间分别为上升和下降的态势，汇流区三站点低流量的发生次数和持续时间均表现一致，分别为上升和下降态势。由此表明，三峡水库蓄水后在一定程度上削弱了汇流区高流量过程的洪峰数，延长了该过程下的流水持续时间，同时，增加了低流量过程的水量，缩短了该过程下的流水持续时间，使得汇流区的流水过程平坦化。

2.1.5 流量条件变化率及频率

三峡水库蓄水后江湖汇流区监利站、城陵矶站、螺山站的涨水率和落水率均发生较大的改变，均呈现降低的趋势。结合表4~表6可以看出，监利站涨、落水率的改变程度分别呈现中度、高度改变；城陵矶站涨、落水率的改变程度呈现中度，低度改变；螺山站涨、落水率的改变程度分别呈现高度、中度改变。

监利站和城陵矶站的逆转次数在三峡水库蓄水后均有所减少，分别从106.31减少至99.18次，从98.23减少至97.76次，螺山站的逆转次数在蓄水后有所增加，从70.23增加至74.35次，江湖汇流区逆转次数在三峡水库蓄水后的改变程度均呈现低度改变。

2.1.6 汇流区整体水文改变程度

如图8所示，监利站高度、中度、低度改变指标分别有8、5、19个，所占比例分别为25%、15.63%、59.38%，整体水文改变度为44.89%，呈现中度改变。城陵矶站中度、低度改变指标分别有8、24个，无高度改变指标，所占比例分别为25%、75%，整体水文指标改变度为31.11%，呈现低度改变。螺山站高度、中度、低度改变指标分别有1、10、21个，所占比例分别为3.13%、31.25%、65.63%，呈现中度改变。

综上所述，江湖汇流区整体水文改变度为36.79%，属于中度改变，由此表明，三峡水库蓄水对江湖汇流区的水文情势产生了一定影响，水文改变程度呈现监利站>螺山站>城陵矶站的特点，其中水文情势改变最为显著的为监利站。

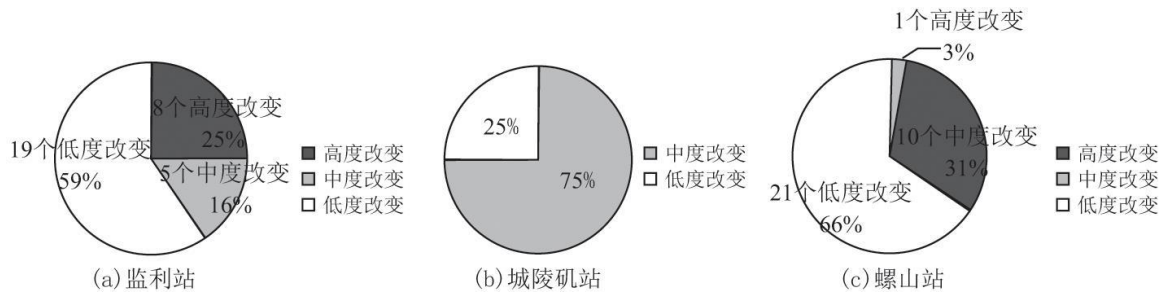


图8 江湖汇流区三站点改变度占比图

2.2 三峡水库蓄水江湖汇流区水文改变对鱼类的影响

四大家鱼(青鱼、草鱼、鲢鱼、鳙鱼)均属于江湖半洄游性鱼类,该类鱼需在江河中产卵,鱼苗及幼鱼在通江湖泊中生长肥育,待到性成熟后再入江繁殖^[19],就江湖洄游鱼类而言,在其入湖期间保持水文的自然连通有助于补充湖泊的鱼类资源,维持鱼类自然种群。三峡水库蓄水后使水库上游的八个“四大家鱼”的产卵场全部消失^[20],对生活在该流域的鱼类最直接的影响是鱼苗径流量的减少,其次是洄游性鱼类的洄游通道受阻,扰乱了鱼类有规律的行为特征,同时汇流区城陵矶站和螺山站高脉冲的频率及持续时间均发生较大的改变,可以消除鱼类产卵或洄游的路线,年均最大值流量的减小则不利于产卵场通风,这些变化均使鱼类基本的生命活动受到一定影响。

四大家鱼的产卵期主要在每年的4月下旬~7月下旬,此时鱼类由长江进入洞庭湖,三峡水库蓄水后产卵繁殖密集期由4月底~5月份推迟到5~6月份^[21],其敏感的水文指标是5~7月月均流量,高流量的洪峰数和持续时间,日间涨水率^[22]。三站点的5月月均流量均略有增加,均为低度改变(图9);监利站和螺山站6~7月月均流量均有所减小,螺山站6月月均流量改变度为中度改变,城陵矶站6~7月月均流量均增加,6月月均流量改变度为中度改变。四大家鱼为流水中产漂流性卵鱼类,其产卵受精需在持续涨水的刺激下进行,同时产出的卵需要在有一定流速的水流中使之悬浮于水中,顺水漂流孵化^[23],蓄水后汇流区监利站和城陵矶站年高流量的峰值被削弱,流水过程变得平坦,分别呈现低度、中度改变,螺山站洪峰数略有增加,呈现中度改变。同时,监利站和城陵矶站高流量的平均持续时间有所延长,均呈低度改变,螺山站高流量的平均持续时间缩短,且呈中度改变。加之三站点的年日间涨水率均降低,且改变程度均在中度改变及以上,导致家鱼受到持续性涨水时长和次数相对减少,使其产卵繁殖规模因环境的限制而减小。

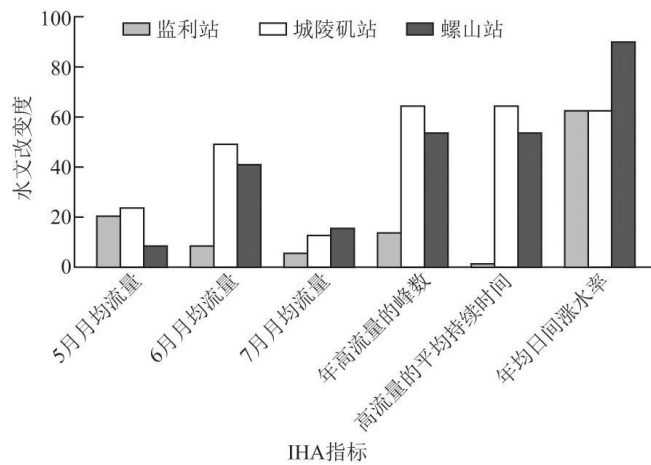


图9 四大家鱼产卵期敏感水文指标的改变度

由此可看,三峡水库蓄水后,汇流区鱼类洄游通道受阻,产卵场的数量减少,产卵时间推迟,产卵的数量和规模下降,需在鱼类的产卵繁殖期制定相关可行的生态补偿调度方案,如通过人造涨水过程的刺激等促进四大家鱼繁殖。近年来,通过不断实验,发现生态调度是可行的,并取得一定的成效^[24],如徐薇等^[25]通过探讨四大家鱼在较长时间自然繁殖的动态变化及其对三峡生态调度的响应,建立鱼类的繁殖规模与水文要素的定量关系模型,建议生态调度方案实施时间为5月下旬至6月下旬,且水温需在19℃以上,实施次数则以多次为宜,设置流量日增幅和水位日涨幅平均大于2000m³/s、0.5m,且与前一天洪峰的间隔时间在5d以上。

3 结论

根据IHA/RVA法,分析三峡水库蓄水对长江与洞庭湖汇流区生态水文的影响情况得到:(1)在生态水文的指标中,2和6月月均流量,1、3、7、30、90日最小流量,高流量的发生次数和持续时间,涨、落水率等水文指标的改变程度较高,均呈中度或高度改变。(2)江湖汇流区的整体水文改变度为36.79%,属于中度改变,其中,监利站水文改变度最高,为44.89%,其次是螺山站,水文改变度为34.38%,城陵矶站水文改变度为31.11%。(3)三峡水库蓄水对江湖汇流区四大家鱼的生长繁殖也产生一系列影响,因与其生长密切相关的水文指标的变化,使其产卵繁殖的时间有所延迟,产卵的数量和质量也因环境的限制而降低。

影响江湖水文过程和生态特征的因素较多,情况也较为复杂,本文只考虑了三峡水库蓄水对长江与洞庭湖汇流区流量过程产生的影响,实际上江湖的生态水文情势还受到水位、流速、含沙量等多方面的影响,这些问题有待于今后做进一步探讨。

参考文献:

- [1]DO VASCO A N,AGUIAR NETTO A D,DA SILVA M G.The influence of dams on ecohydrological conditions in the Sao Francisco River Basin,Brazil[J].Ecohydrology & Hydrobiology,2019,19(4):556-565.
- [2]林梦然,董增川,贾一飞.龙羊峡水库对坝下河段生态水文情势影响研究[J].人民黄河,2019,41(3):69-74.
- [3]柏慕琛,班璇,DIPLAS Panayiotis,等.丹江口水库蓄水后汉江中下游水文时空变化的定量评估及其生态影响[J].长江流域资源与环境,2017,26(9):1476-1487.
- [4]段唯鑫,郭生练,王俊.长江上游大型水库群对宜昌站水文情势影响分析[J].长江流域资源与环境,2016,25(1):120-130.
- [5]张飒,班璇,黄强,等.基于变化范围法的汉江中游水文情势变化规律分析[J].水力发电学报,2016,35(7):34-43.
- [6]于松延,徐宗学,刘麟菲,等.渭河生态流势指标体系的构建与应用[J].北京师范大学学报(自然科学版),2016,52(3):259-264.
- [7]张爱静,董哲仁,赵进勇,等.黄河水量统一调度与调水调沙对河口的生态水文影响[J].水利学报,2013,44(8):987-993.
- [8]王俊娜,李翀,廖文根.三峡-葛洲坝梯级水库调度对坝下河流的生态水文影响[J].水力发电学报,2011,30(2):85-95.
- [9]郭文献,李越,王鸿翔,等.基于IHA-RVA法三峡水库下游河流生态水文情势评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(9):2014-2021.
- [10]李景保,罗中海,叶亚亚,等.三峡水库运行对长江荆南三口水文和生态的影响[J].应用生态学报,2016,27(4):1285-

1293.

- [11] 帅红, 李辉艳, 李赛, 等. 三峡工程对洞庭湖水环境的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(6):1315-1323.
- [12] 黄韬, 张俊宏, 邓志民, 等. 三峡水库蓄水前后洞庭湖区水环境演化过程研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(6):61-67.
- [13] 周永强, 李景保, 张运林, 等. 三峡水库运行下洞庭湖盆冲淤过程响应与水沙调控阈值[J]. 地理学报, 2014, 69(3):409-421.
- [14] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, POWELL J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems [J]. Conservation Biology, 1996, 10:1163-1174.
- [15] MATHEWS R, RICHTER B D. Application of the indicators of setting[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2007, 43:1400-1413.
- [16] RICHTER B D. How much water does a river need[J]. Freshwater Biology, 1997, 37:231-249.
- [17] 郭强, 孟元可, 樊龙凤, 等. 基于 IHA/RVA 法的近年来鄱阳湖生态水位变异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(7):1691-1701.
- [18] 张鑫, 丁志宏, 谢国权, 等. 水库运用对河流水文情势影响的 IHA 法评价——以伊河陆浑水库为例[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(2):79-83.
- [19] 潘明祥. 三峡水库生态调度目标研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.
- [20] 李成. 洞庭湖主要经济鱼类资源调查及其变化规律研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006.
- [21] 张国, 吴朗, 段明, 等. 长江中游不同江段四大家鱼幼鱼孵化日期和早期生长的比较研究[J]. 水生生物学报, 2013, 37(2):306-313.
- [22] BAN X, CHEN S, PAN B Z, et al. The eco-hydrologic influence of the Three Gorges Reservoir on the abundance of larval fish of four carp species in the Yangtze River, China[J]. Eco-hydrology, 2016, 1(10):1-10.
- [23] 段辛斌, 陈大庆, 李志华, 等. 三峡水库蓄水后长江中游产漂流性卵鱼类产卵场现状[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4):523-532.
- [24] XU W, QIAO Y, CHEN X J, et al. Spawning activity of the four major Chinese carps in the middle mainstream of the Yangtze River, during the Three Gorges Reservoir operation period, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2015, 31(5):846-854.
- [25] 徐薇, 杨志, 陈小娟, 等. 三峡水库生态调度试验对四大家鱼产卵的影响分析[J]. 环境科学研究, 2020, 33(5):1129-1139.