

闸坝对沙颍河自然水文情势的影响研究

李志¹ 葛金金²

1 安徽省长江河道工程有限责任公司, 安徽 芜湖 241000

2 中国水利水电科学研究院, 北京 100038

[摘要]在河流水文过程中, 流量量级、历时、出现时间、频率及变化率等特征要素是河流水生生物生存及其多样性发生改变的关键因素。为维持干流全部河段水生态健康, 在时空尺度内对多站点代表的河流水文情势变动特征进行识别, 已成为目前河流水文过程影响精细化研究的新趋势。文章以沙颍河研究区域, 基于 WEP 水文模型还原的自然流量过程数据, 采用 IHA 法和 RVA 法, 识别了沙颍河干流在建闸前后水文指标变动规律, 并提出了生态流量调度相关建议。结果表明: ①在闸坝建设后, 沙颍河干流高度改变的 IHA 指标数量在上游最多, 中游最少; ②沙颍河干流的 IHA 整体改变度变化趋势: 为上游高度变化, 中、下游中度变化; ③表征低流量状态的 IHA 指标改变度在干流各断面均处于较高变化水平, 生态流量调度中需要综合考虑低流量指标改变度的削减。

[关键词]沙颍河; 流域干流; 闸坝影响; 水文情势变化; 河流生态

DOI: 10.33142/hst.v4i5.4654

中图分类号: X522

文献标识码: A

Study on the Influence of Gate and Dam on the Natural Hydrological Situation of Shaying River

LI Zhi, GE Jinjin

Anhui Yangtze River Engineering Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241000, China

China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, 100038, China

Abstract: In the process of river hydrology, the characteristic elements such as flow magnitude, duration, occurrence time, frequency and change rate are the key factors for the change of river aquatic life survival and diversity. In order to maintain the water ecological health of all reaches of the main stream, it has become a new trend to identify the variation characteristics of river hydrological situation represented by multiple stations in the time-space scale. Based on the natural flow process data restored by wep hydrological model in the study area of Shaying River, this paper uses IHA method and RVA method to identify the variation law of hydrological indexes before and after the construction of sluice in the main stream of Shaying River, and puts forward relevant suggestions on ecological flow regulation. The results show that: ① After the construction of gate and dam, the number of IHA indexes of height change in the main stream of Shaying River is the most in the upstream and the least in the middle reaches; ② The overall change trend of IHA in the main stream of Shaying River: it is the change of upstream height and moderate change in the middle and lower reaches; ③ The change degree of IHA index representing the low flow state is at a high change level in each section of the main stream. The reduction of the change degree of low flow index needs to be comprehensively considered in ecological flow regulation.

Keywords: Shaying River; main stream of the basin; gate dam impact; hydrological regime change; river ecology

引言

水文情势是河流生态的内在驱动力之一, 决定并影响着河流生态系统的物质循环、能量过程、物理栖息地状况和生物作用^[1-2]。闸坝作为处理人水关系的重要工程措施, 在调蓄水资源、降低洪灾、利用水能资源等方面发挥了重要作用, 但是闸坝工程同样改变了河流的自然水文情势, 进而改变了河流生态系统的生态功能, 我国是世界上筑坝最多的国家之一^[3], 如何定量分析闸坝调度对河流自然水文情势的影响一直是我国生态流量管理研究的热点问题。

针对水文情势变动的评估, 1996年, Richter等^[4]提出 IHA 法, 用 33 个水文指标从流量量级、历时、出现时间、频率、变化率五个方面定量评估水文指标, 并给出定性的生态影响。1997年, Richter等^[5]在 IHA 法的基础上提出变化范围法 (RVA 法), 通过对 IHA 指标分类, 量化不同时期的水文指标变化, RVA 法由于其快速、方便、易操作, 具有生态学意义, 被广泛应用于闸坝对河流水文情势的影响评估中^[6-7]。

近几十年来, 闸坝引起的水文变化问题备受关注, 国内外学者在 RVA 法的基础上, 做了大量研究, Mezger等^[8]利用 RVA 方法, 分析了西班牙 22 条河流的自然水文情势变化, 发现所有河流在流量的大小和时间上均发生了显著变化, 其中在干旱区域, 年均流量和年极值流量下降最多。郭文献等^[9]立足于三峡水库闸坝调度现状, 通过 RVA 方法发现长江

中下游自然水文情势在宜昌、汉口站发生高度改变，在大通水文站发生中度改变。林梦然等^[10]分析了建闸前后龙羊峡水库水文指标的变化，得出闸坝建设导致闸坝下河段自然水文情势发生高度改变。上述研究均表明闸坝会对河流自然水文情势产生重要影响，但是这些研究集中在单个闸坝建闸前后对自然水文情势扰动的基础上，忽视了同一河流中不同闸坝站点调度方式对自然水文情势影响的对比分析，不利于河流整体的闸坝调度管理。

文章以闸坝重度干扰河流沙颍河为研究对象，通过水文模型还原了河流不同站点建坝前的天然流量，利用 IHA 法、RVA 法和排序法辨识了多闸坝条件下沙颍河水文指标变动分布规律，对比分析了干流不同站点水文指标的主要干扰项，并以此为依据从流域整体角度给出了沙颍河生态流量调控需要重点关注的水文指标，以期为沙颍河今后水资源合理规划与管理提供决策依据。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

沙颍河(111° 56' -116° 31' E, 32° 29' -34° 57' N)位于河南、安徽 2 省境内，是淮河流域最大的支流，沙颍河干流长度为 561km，流域面积为 36651km² (不含黑茨河)^[11]。流域内由于降水年际变化较大，水患严重，为降低洪旱灾害，兴建了大量闸坝，其中干流分布大型闸坝 7 座，全河段受到闸坝调控(图 1)。本研究选取昭平台、白龟山、漯河、周口、槐店、界首、阜阳七个闸坝下游水文站 1996-2016 年日流量数据，对比分析建闸前后的自然水文情势的变化，其中昭平台、白龟山处于上游段，漯河、周口处于中游段、槐店、界首、阜阳处于下游段。

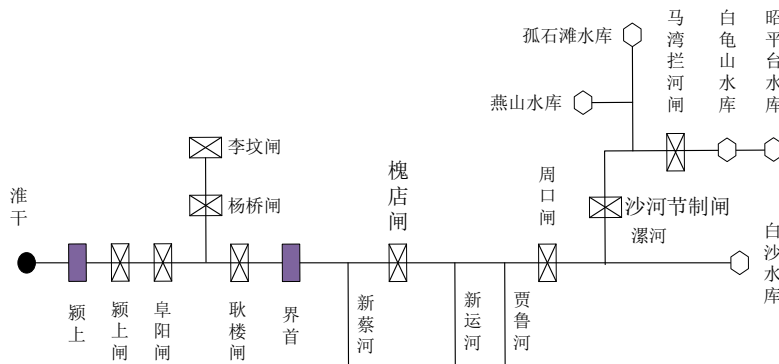


图 1 沙颍河干流闸坝分布

1.2 研究方法

(1) WEP-L 水文模型构建

WEP-L 分布式水文模型是我国自主研发的水文模型，具有计算快速，模拟精度高的优点，被广泛引用于流域水文模拟、流域水资源管理等方面。在建立沙颍河流域水文模型时，模拟时间长度为 40 年，采用多站点、多评价指标的参数率定思路对模型进行率定，率定期为 1961-1980 年，验证期为 1981-2000 年。模型参数率定公式为^[12]：

纳什效率系数 η ：

$$\eta = 1 - \frac{\sum(Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (1)$$

相对误差 δ ：

$$\delta = \frac{\sum(Q_{sim} - Q_{obs})}{\sum Q_{obs}} \times 100\% \quad (2)$$

式中， Q_{sim} 为模拟流量， Q_{obs} 为实测流量， $\overline{Q_{obs}}$ 为多年均值流量。

(2) IHA 法。IHA 法^[13]采用 33 个河流水文情势改变指标 (IHA) 表征具有生态学意义的水文特征值，IHA 法是建立在长系列日流量数据的基础上，IHA 指标的生态学意义见表 1。

(3) 水文改变评估方法 (RVA 法)。RVA 法建立在水文改变指标法 (IHA) 的基础上，该方法将 33 个水文指标划分成三个区间，[0, 25%) 为低改变度区间，[25%, 75%) 为目标区间，(75%, 100%) 为高改变度区间，可定量评价受人类干扰前后的水文情势变化，计算公式为^[15]：

$$D_i = \left| \frac{N_i - N_e}{N_e} \right| \times 100\% \quad (3)$$

其中, D_i 为第 i 个指标的水文改变度, D_i 在 $[0, 33\%)$ 为低度变化, $[33\%, 67\%]$ 为中度变化, $(67\%, 100\%]$ 为高度变化; N_i 为干扰后落入目标阈值范围的年数, N_e 为干扰前落入目标阈值范围的年数, N_e 为总年数的一半。

表 1 IHA 指标体系以及指标的生态学意义^[14]

IHA 指标组	水文指标 (33 个)	生态学意义
月平均流量	各月平均流量 (共 12 个指标)	水生生物的栖息地 陆生动物供水 毛皮兽的食物和遮蔽物 影响水体水温、溶解氧水平和光合作用 植物所需的土壤湿度 捕食者接近营巢地
年极值流量的大小	年 1 日、3 日、7 日、30 日、90 日平均最小流量 年 1 日、3 日、7 日、30 日、90 日平均最大流量 零流量天数 基流指数: 年均 7 日最小流量/年平均流量 (共 12 个指标)	创造植物定值的场所 动物体脱水 平衡竞争性、杂草性和耐受性生物体 通过生物和非生物因子构造水生生态系统 塑造河渠地形和栖息地物理条件 河流与河漫滩区的营养盐交换 持续紧迫条件, 如水生环境低氧和化学物质浓缩 湖泊、池塘和洪泛区植物群落的分布 持续高流量利于废弃物处理和沉积物中产卵场通风 植物土壤湿度压力 植物厌氧压力
年极值流量的出现时间	年最大流量出现时间 (罗马日) 年最大流量出现时间 (罗马日) (共 2 个指标)	与生物体的生活周期兼容 对生物体压力的可预见性与规避 生活史策略和行为机制的进化 鱼类迁徙和产卵信号
高、低流量的频率与持续时间	年低流量的谷底数 年低流量的平均持续时间 年高流量的洪峰数 年高流量的平均持续时间 (共 4 个指标)	植物土壤湿度压力的频率与大小 洪泛区水生生物栖息的可能性 河流与河漫滩营养物质和有机物的交换 土壤矿物质的可用性 水鸟摄食、栖息和繁殖场所的通道 影响床沙的输移、河道沉积物的结构 (大脉冲)
水流条件的变化历程与频率	涨水率: 连续日流量的增加量 落水率: 连续日流量的减少量 每年张落水次数 (共 3 个指标)	植物干旱的压力 (落水线) 生物体滞留在岛屿和河漫滩区上 (涨水线) 对河边低移动性生物体的脱水压力

2 结果及分析

2.1 水文模拟结果

结合全国二调干流各站月尺度还原流量数据, 代表性水文站的模拟流量结果验证见表 2, 评价指标纳什效率系数 η 的变化范围为 0.70-0.79, 高于 0.75, 相对误差 δ 的变化范围为 -9.23%-5.73%, 在 10% 以内, 模型整体模拟效果较好, 基于水文模型还原流量可克服不同站点建闸时间不一, 纵向难以比较的难题, 统一水文变化评价尺度, 更精确的估计水文变化的生态影响。

表 2 代表性水文站的模拟流量结果验证

站点	率定期		验证期	
	纳什系数	相对误差	纳什系数	相对误差
昭平台	0.71	0.43%	0.70	0.60%
白龟山	0.73	-2.26%	0.79	3.86%
周口	0.72	-8.42%	0.71	3.98%
阜阳	0.75	-9.23%	0.75	5.73%

2.2 闸坝对单个 IHA 指标变动的影响

为定量揭示沙颍河干流自然水文情势的变化，以 1997 年为突变年份，采用水文模型计算的 1977-1996 年的还原流量，1997-2016 年的实测流量作为时间序列，利用 IHA 法结合 RVA 法计算闸坝调度扰动后自然水文情势指标变动，计算结果见干流主要控制断面建闸前后的 33 个 IHA 指标变动图（图 3 至 5），可以看出，IHA 指标变动为 100%的个数呈现空间分布特征，上游最多，下游次之，中游最小。上游两个断面昭平台断面和白龟山断面 IHA 指标改变度达到 100%的个数分别为 15 个、12 个，各占指标总数的 45.45%、36.36%，中游漯河断面、周口断面 IHA 指标改变度达到 1 的个数分别为 4 个和 2 个，各占指标总数的 12.12%、6.06%，下游槐店断面、界首断面、阜阳断面改变度达到 1 的个数分别为 7 个、6 个和 3 个，各占指标总数的 45.45%、36.36%。闸坝调度对上游断面自然水文情势的所有方面均产生影响，改变度为 0 的断面主要分布在中游周口断面，下游槐店断面和界首断面。周口断面改变度为 0 的 IHA 指标分别为 6 月平均流量和 7 月平均流量，槐店断面改变度为 0 的 IHA 指标分别为 11 月平均流量和极大流量出现时间，界首断面改变度为 0 的 IHA 指标分别为 7 月平均流量和 10 月平均流量，同时比较周口、槐店、界首断面 6 月、7 月、11 月平均流量、极大流量出现时间的改变度发现，均低于 25%，为低度变化，表明三个断面现有的闸坝调度方式对 6 月、7 月、11 月平均流量以及最大流量出现时间影响较小。

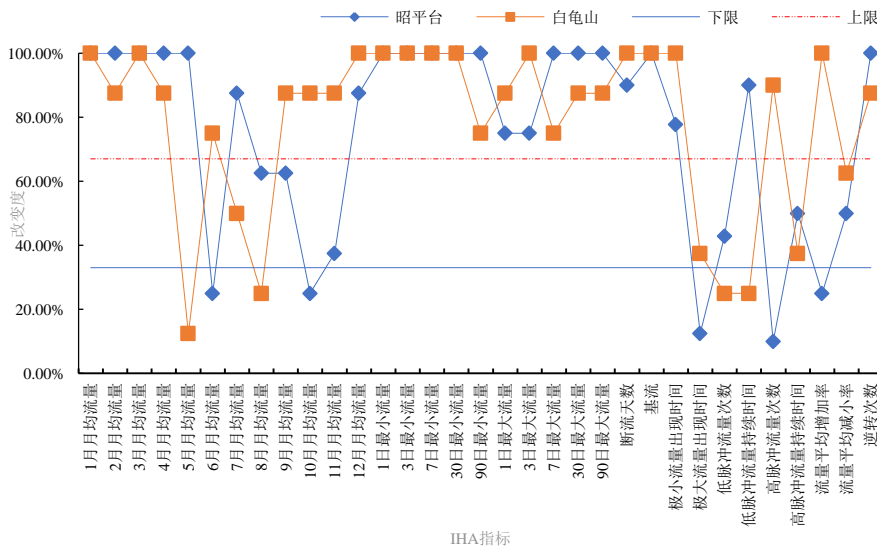


图 2 沙颍河干流上游主要控制断面建闸前后的 33 个 IHA 指标变动

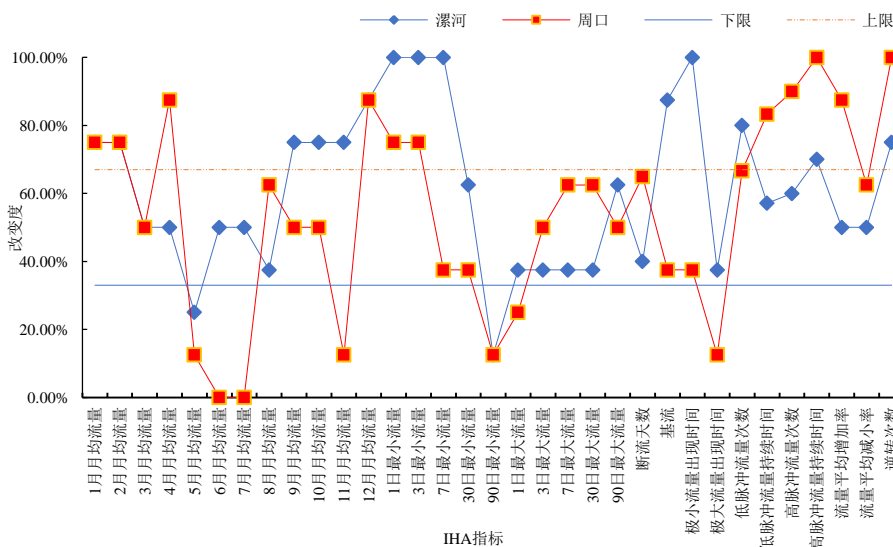


图 3 沙颍河干流中游主要控制断面建闸前后的 33 个 IHA 指标变动

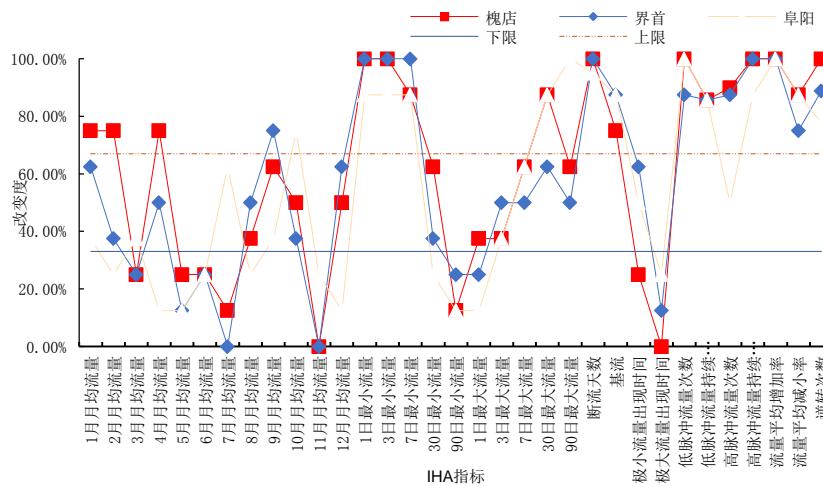


图4 沙颍河干流下游主要控制断面建闸前后的33个IHA指标变动

2.3 闸坝对 IHA 组分变动的的影响

从干流建闸前后7个断面IHA指标总体变化和组分变化热点图(图5)可以看出,干流闸坝对自然水文情势总体改变度较大,上游为高度变化,中游和下游为中度变化,IHA指标总体变幅范围为54.32%~78.11%,最大值为白龟山断面,最小值为周口断面,白龟山断面位于上游,较少支流汇入,闸坝建设对其自然水文情势影响最大,周口断面位于中游存在支流汇入,抵消部分人为干扰造成的自然水文情势变动,但是,闸坝对自然水文情势的变动并未呈现闸坝的数量增多而降低趋势,因此,在实际调度中需统筹分析干支流、上下游的调度。分析组间变化发现,组间波动范围最大的断面为槐店断面,波动范围为12.50%~95.83%,波动范围最小的断面为漯河断面,波动范围为58.33%~68.75%,组间最大值和最小值均出现在槐店断面。

组1(月平均流量组)改变度呈现上游高,中下游略低的趋势,其中上游断面均为高度变化,中游断面均为中度变化,下游除阜阳断面为低度变化,其他断面均为重度变化,表明现有调度方式对自然月均流量影响较大,上游最大,中游次之,下游最小,可能会对河渠地形构造、生物体耐受平衡产生一定影响^[16];组2(年极端值变化组)改变度变化规律与组1类似,上游远高于中游和下游,上游改变度均高于90%,均为高度变化,中游均为中度变化,下游除槐店断面为高度变化,其他均为中度变化,表明现有闸坝削峰填谷的调度方式对自然水文情势变化的影响不容忽视,可能会对水生生物栖息地需水、植被土壤需水等产生一定影响^[17];组3(年极值出现时间组)变化度未呈现明显空间变化趋势,上游白龟山断面、中游漯河断面为高度变化,上游昭平台断面、下游界首断面、阜阳断面为中度变化,中游周口断面、槐店断面和阜阳断面为低度变化,可能会对沙颍河生物繁衍、物种进化、鱼类洄游产生一定影响^[18];组4(高低流量发生频率及延时组)呈现上游低,中下游高的趋势,上游均为中度变化,中游和下游均为高度变化,可能会对泥沙运输、水鸟栖息地产生一定影响^[19];组5(流量的改变率及频率组)未发现明显空间变化趋势,除上游昭平台断面为低度变化,中游漯河断面为中度变化,其余断面均为高度变化,可能会对有机物沉积、洪泛区水生生物栖息的可能性产生一定影响^[20]。

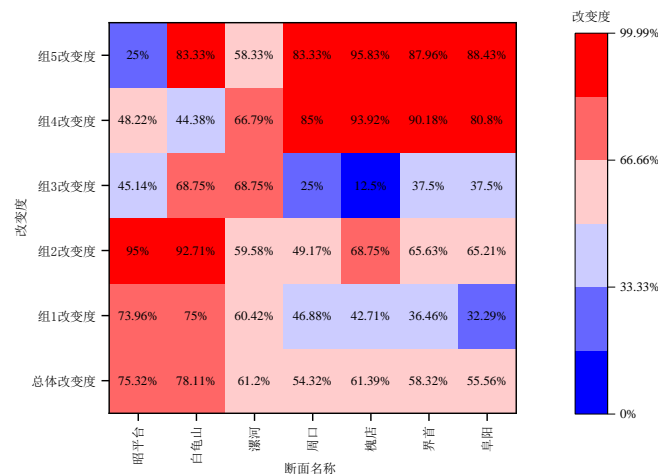


图5 干流建闸前后7个断面IHA指标总体变化和组分变化热点图

2.4 沙颍河生态流量调度建议

从干流 IHA 指标均值排序图(图 6)可知,处于高度变化的 IHA 指标个数为 17 个,占比为 51.51%,其中 11 个指标与低流量表征指标相关,中度变化的个数为 13 个,占比为 39.39,低度变化的个数仅为 3 个,占比 9.09%,低度改变的 IHA 指标分别为 6 月月均流量、5 月的月均流量和极大流量出现时间与高流量表征指标相关。IHA 均值指标表明在整个干流中,现有调度方式使年内分配更加均化,但是对低流量表征指标改变显著高于对高流量表征指标的改变,沙颍河闸坝建设后,有水无流成为常态,断流事件发生频繁,沙颍河历史上分布有 48 种鱼类,2013 年鱼类已经下降至 35 种,降低 27.08%,对水流敏感的珍惜保护鱼类和特有鱼类种类和数量下降显著,表明现有的调度方式可能不利于对流水型鱼类繁殖^[21-22],同时河流中的静水物种逐渐成为优势类群,河流呈现静水湖泊特征,表明现有调度方式可能对河流的动水生境产生了不利影响。因此,恢复河流现有生态流量调度中考虑与低流量相关的指标很有必要^[23-24]。

河流流量变异特征与控水闸坝的建设密切相关,7 个断面的 IHA 指标均值中,改变度最高的 5 个指标分别为 1 日最小流量、3 日最小流量、逆转次数、7 日最小流量和断流天数,改变度均大于 0.84,均与低流量相关,降低过高改变度的指标是沙颍河现状生态流量调度应重点关注的问题,对动水生境恢复和生物多样性提高具有重要意义。结合各断面 IHA 指标计算结果,考虑各个断面改变度的差异,各断面闸坝调度建议指标及阈值范围见表 3,1 日最小流量、3 日最小流量、逆转次数是干流全部断面均需控制的指标,断流天数在漯河断面改变度仅为 40%,不属于高度改变,采用剩余低流量表征指标排序方法,该断面选用 12 月月均流量替代,周口断面 7 月最小流量、基流改变度均为 37.5%,选用 12 月月均流量和低流量持续时间替代,12 月月均流量在阜阳断面改变度为 12.5%,属于低度改变,该断面调度不予考虑该指标,低脉冲流量持续时间在白龟山断面改变度为 25%,该断面调度不予考虑该指标。

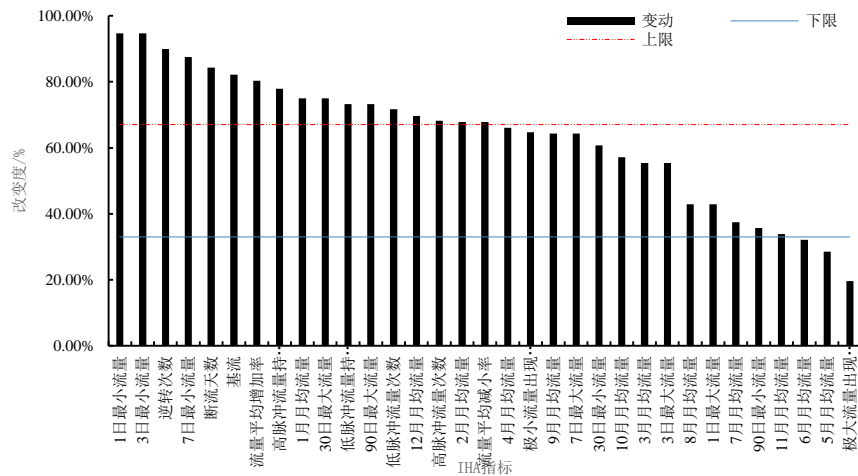


图 6 干流 IHA 指标均值变动的关键因子排序

表 3 干流不同断面水量调度的参考 IHA 指标阈值

站点	界限	1日最小流量	3日最小流量	逆转次数	7日最小流量	断流天数	基流	12月月均流量	低脉冲流量持续时间
昭平台	上限	1.03	1.15	80	1.41	0	0.09	4.43	7.14
	下限	0.52	0.62	67	0.99	0	0.05	3.88	4
白龟山	上限	0.72	0.75	90	0.89	0	0.06	6.90	-
	下限	0.34	0.36	83	0.41	0	0.01	4.09	-
漯河	上限	7.85	7.93	76	8.70	-	0.11	31.69	18.6
	下限	5.14	5.62	70	6.63	-	0.08	22.43	5.6
周口	上限	5.69	5.84	57	-	0	-	28.13	16
	下限	2.29	2.41	52	-	0	-	13.64	8
槐店	上限	7.26	7.54	55	10.75	0	0.1	33.39	17.4
	下限	3.49	3.59	46	4.08	0	0.04	17.5	8.6
界首	上限	8.82	9.25	63	11.43	0	0.08	37.75	22.6
	下限	4.27	4.46	58	4.79	0	0.03	19.14	7.6
阜阳	上限	17.95	19.96	58	24.11	0	0.14	-	21.06
	下限	8.96	9.01	50	9.19	0	0.07	-	8.88

3 结论

文章基于水文模型还原了沙颍河建闸前的自然流量过程,结合长序列日尺度流量数据,分析了闸坝对沙颍河干流多闸坝扰动下的自然水文情势扰动规律,结果表明:

(1) 沙颍河闸坝建设导致由上游至下游不同断面的 33 个 IHA 指标发生不同程度变化,改变度超过 100%的个数呈现空间分布特征,上游最高,下游次之,中游最低,处于高度改变的 IHA 指标个数呈现上游高于中下游,中下游个数相似的规律。

(2) 闸坝建设对沙颍河由上游至下游不同断面水文情势总体改变度呈现上游为高度变化,中游和下游为中度变化规律,同时不同断面的量级、历时、出现时间、频率、变化率组分均发生了不同程度变化,对河流的生态环境产生重要影响。

(4) 沙颍河 IHA 指标均值排序前五的指标分别为 1 日最小流量、3 日最小流量、逆转次数、7 日最小流量和断流天数,均与低流量指标相关,过高的低流量指标改变度致使河流呈现静水湖泊特征,在生态流量调度控制不同断面过高的相关指标对保护沙颍河动水生态系统,以及增强沙颍河生物多样性保护具有重要意义。

[参考文献]

- [1]王鸿翔,查胡飞,卓志宇,等.基于 IHA-RVA 法四河流域水文情势变化评估[J].中国水利水电科学研究院学报,2019,17(3):169-177.
- [2]刘贵花,朱婧瑄,熊梦雅,等.基于变动范围法(RVA)的信江水文改变及生态流量研究[J].水文,2016,36(1):51-57.
- [3]黄强,刘东,魏晓婷,等.中国筑坝数量世界之最原因分析[J].水力发电学报,2021(6):22.
- [4]RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, POWELL J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems[J]. Conservation biology,1996,10(4):1163-1174.
- [5]RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, WIGINGTON R, et al. How much water does a river need[J]. Freshwater biology,1997,37(1):231-249.
- [6]程俊翔,徐力刚,姜加虎.水文改变指标体系在生态水文研究中的应用综述[J].水资源保护,2018,34(6):24-32.
- [7]ALI R, KURIQI A, ABUBAKER S, et al. Hydrologic alteration at the upper and middle part of the Yangtze river, China: towards sustainable water resource management under increasing water exploitation[J]. Sustainability,2019,11(19):5176.
- [8]MEZGER G, TANAGO D M G, DE S L. Environmental flows and the mitigation of hydrological alteration downstream from dams: The Spanish case[J]. Journal of Hydrology,2020(12):57.
- [9]郭文献,李越,卓志宇,等.三峡水库对长江中下游河流水文情势影响评估[J].水力发电,2019,45(5):26-31.
- [10]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):73-82.
- [11]HUANG Y, XIE X, ZHOU L J, et al. Multi-phase distribution and risk assessment of endocrine disrupting chemicals in the surface water of the Shaying River, -Huai River Basin, China[J]. Ecotoxicology and environmental safety,2019(173):45-53.
- [12]YANG Y, WENG B, YAN D, et al. Method for assigning hydrological computational units in alpine watersheds[J]. Journal of Hydrology: Regional Studies,2020(32):100.
- [13]赵汝鹏,孙荧杉,李庆国.白洋淀上游河流水文变化评价研究[J].海洋湖沼通报,2021,43(3):32-40.
- [14]唐玉兰,王雅峰,马甜甜,等.观音阁水库建设运行对太子河本溪段水文情势影响[J].水文,2020,40(2):92-96.
- [15]ZHANG W, JIA Y, GE J, et al. Multi-index data dimension reduction approach and its applicability in the calculation of indicators of hydrological alteration[J]. Hydrology Research,2019,50(1):231-243.
- [16]KURIQI A, PINHEIRO A N, SORDO A, et al. Influence of hydrologically based environmental flow methods on flow alteration and energy production in a run-of-river hydropower plant[J]. Journal of Cleaner Production,2019(232):1028-1042.
- [17]TALUKDAR S, PAL S. Effects of damming on the hydrological regime of Punarbhaba river basin wetlands[J]. Ecological Engineering,2019(135):61-74.
- [18]KIESEL J, GERICKE A, RATHJENS H, et al. Climate change impacts on ecologically relevant hydrological indicators in three catchments in three European ecoregions[J]. Ecological engineering,2019(127):404-416.

- [19]EUM H I, DIBIKE Y, Prowse T. Climate-induced alteration of hydrologic indicators in the Athabasca River Basin, Alberta, Canada[J]. Journal of hydrology,2016(544):327-342.
- [20]TIMPE K, KALPAN D. The changing hydrology of a dammed Amazon[J]. Science Advances,2017,3(11):170.
- [21]肖汐,张翔,刘建,等. 河流生态流量适应性管理模式及其应用研究[J]. 水资源研究,2021,10(2):157-167.
- [22]葛金金. 闸控河流的水文生态响应关系及应用研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,2019.
- [23]LI Q, HE P, HE Y, et al. Investigation to the relation between meteorological drought and hydrological drought in the upper Shaying River Basin using wavelet analysis[J]. Atmospheric Research,2020,234(10):43-47.
- [24]RAHMAN M A T M T, HOQUE S, SAADAT A H M. Selection of minimum indicators of hydrologic alteration of the Gorai river, Bangladesh using principal component analysis[J]. Sustainable Water Resources Management,2017,3(1):13-23.

作者简介:李志(1989.7-),毕业院校:河海大学文天学院,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:安徽省长江河道工程有限责任公司,职务:常务副总,职称级别:工程师;葛金金,女,工程师,博士,主要从事生态水文学及河流生态流量研究。

基金项目:国家重点研发技术(2018YFE0206400,2017YFC0404506);国家科技重大专项(2017ZX07301003);自然科学基金(51309253)。