

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

张鑫¹, 丁志宏², 谢国权³, 白淑娟⁴

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 海河水利委员会, 天津 300170;
3. 二滩水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051; 4. 杭州萧山水利建筑工程有限公司, 浙江 杭州 311215)

摘要: 水流是河流生物环境的主要决定因素之一, 影响生物群落组成及其多样性。水利工程会改变河流天然径流过程, 研究河流的水文情势具有十分重要的意义。基于龙门镇水文站实测流量数据, 采用 IHA 法就陆浑水库运用对伊河径流过程的影响进行了评价。结果表明, 陆浑水库的运用对龙门镇水文站水文年极值出现时间变化的影响不大, 而对月流量、年极值、频率、延时和变化率指标改变显著, 明显改变了下游河道水文情势, 对下游河道内的水生态环境产生了较大影响。

关键词: 伊河; 陆浑水库; 水文指标; IHA 法

中图分类号: TV11

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)02—0079—05

Evaluation for Effect of Reservoir Operation on Hydrological Regime of River Based on IHA Method ——Taking Luhun Reservoir in Yihe River for Example

ZHANG Xin¹, DING Zhi-hong², XIE Guo-quan³, BAI Shu-juan⁴

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;

2. Haihe Water Conservancy Commission, Tianjin 300170, China;

3. Ertan Hydropower Development Company, LTD., Chengdu, Sichuan 610051, China;

4. Hangzhou Xiaoshan Water Conservancy Construction Engineering Company, LTD., Hangzhou, Zhejiang 311215, China)

Abstract: The flow regime is recognized as a key factor for determining biological and physical processes and characteristics in a river. But water projects can substantially change the natural flow regimes of water bodies, so the study of the hydrological regime has very important significance. Based on the measured data of flow, the IHA method is used in this paper to evaluate the effect of Luhun Dam on the hydrologic regime of Yihe River by using the historical flow records before and after the building of the dam. The results show that the effect of Luhun Dam on the change in the time of extreme value of the hydrologic year in Longmen Hydrological Station is small, but on the month flow, yearly extreme value, frequency, time delay and the rate of change, there has significant influence, and finally, apparently changing the downstream river's hydrological situation and producing the great influence on lower water's ecological environment.

Keywords: Yihe River; Luhun Reservoir; hydrological characteristics; IHA method

水流影响的生态环境决定河流中物种的生存条件, 而各种不同持续动态变化的河流生物环境又是由年内和年际水流条件决定的。水流条件改变同时也会在不同时空尺度上影响栖息地条件, 进而对物种的分布和丰度产生影响, 从而改变生物群落的组成和多样性^[1-3]。在长期的河流生态环境转变过程

中, 河流中的物种已基本适应了河流水流变化过程, 并依据这种自然条件的变化而适应相应的生活环境条件。由于修建水坝, 使流量变化不再单一的被季节性降水和天然状态下的极值流量所影响, 人为造成的河流水文情势^[4]的改变与伊河鲤鱼数量的急剧下降有一定的因果联系。

伊洛河是黄河中游的支流,河水清澈、水流平缓、水草茂盛、沙壤底质、环境清静,优越的自然环境条件使它成为了全国最大的黄河鲤鱼天然繁殖场^[4]。水库运用改变了河流水文情势对河流自然流态产生了一定程度的破坏。而原来的部分河流生境也相应发生了根本性变化,对黄河鲤鱼等水生生物的生存带来了一定影响,破坏了物种的多样性,打破了原伊河水域的生态平衡。

Richter 等 1996 年提出水文变化指标(Indicator-sof Hydrologic Alteration, IHA)法^[5-6],根据河流的日测水文资料,对流量大小、时间、历时、频率以及变化率等方面计算 32 个影响生态环境的关键水文特征

值。IHA 法比较适合用于计算受人类活动影响的河流,对影响前和影响后进行分析。

1 IHA 法的基本原理

IHA 法是依据河流的日测水文流量资料,计算 32 个影响生态环境意义的关键水文特征值,并计算集中量数(如中位数、平均值)和离散量数(如标准偏差、变异系数),以对受人类活动影响的河流进行干扰前和干扰后的对比分析。32 个水文关键值可以分为 5 组,分别反映大小、发生时间、频率、持续时间和变化率等水文特征。IHA 各组参数以及对生态系统的影响如表 1 所示^[7]。

表 1 IHA 指标总结以及对生态系统的影响

IHA 指数组参数	水文指数特征指标	生态系统影响状况
1、月流量(包括 12 个指数)	每月平均值或中值	水生有机物的栖息地效用性 植物的土壤湿度效用性 陆生动物的水资源效用性以及水供应的合理性 哺乳动物的食物/覆盖效用性 食肉动物筑巢的生活条件 影响水中的水温、氧的含量、光合作用
2、年极端水文条件指标值及持续时间(包括 11 个指数)	年最小平均流量 年最小连续 3 日平均流量 年最小连续 7 日平均流量 年最小连续 30 日平均流量 年最小连续 90 日平均流量 年最大平均流量 年最大连续 3 日平均流量 年最大连续 7 日平均流量 年最大连续 30 日平均流量 年最大连续 90 日平均流量 基流	为植物的种植产生场所形 成水生生态系统 形成河道地形与天然的栖息地条件 土地温度对植物压力造成的动物脱水 造成植物的厌氧压力 河道与河滩之间的营养物交换量 给水生物产生压力,如低氧及浓缩的化学的水生生态环境 湖、池塘与漫滩上的动植物群落分布 处理河道沉积物、保持使产卵河床维持通风的高流量
3、年极端水文条件出现时间(包括 2 个指数)	每年的 1 d 最大平均流量的出现日 每年的 1 d 最小平均流量的出现日	得到特定的栖息地 为迁移的鱼类提供产卵的机会
4、高流量及低流量发生的频率和持续时间(包括 4 个指数)	每一水文年中的低脉冲发生次数	植物土壤压力的量及发生频率 植物的厌氧压力的频率及产生持续时间 漫滩栖息地对水生有机物的生存条件的有效性
4、高流量及低流量的发生频率和持续时间(包括 4 个指数)	低脉冲的平均持续时间或中值的持续时间(d) 每一水文年中的高脉冲次数 高脉冲的平均持续时间或中值的持续时间(d)	河道与漫滩间的营养与有机物的交换 土壤矿物效用性 获得水鸟的喂养、休眠及繁殖场所的效用性 影响水流带来的泥沙运输,河床沉积物结构及底部干扰的持续时间(高脉冲)
5、水文条件变化的发生速率及频率(包括 3 个指数)	日间流量平均增加率 日流量平均减少率 流量过程转换的次数	植物的干旱压力(下降条件时) 孤岛、漫滩的有机物的截留(上涨条件时) 对低流动性的河床边缘(不同区)有机物的干燥压力的效用性

Poff^[8]认为在当计算分析的水文数据的时间序列大于 20 a 时,年际气候变化条件的改进对水文指标计算结果的影响,基本上能够减少或消除。因此,用 IHA 法计算分析水文数据的时间序列一般不应

少于 20 a。

2 陆浑水库 IHA 法计算结果及分析

陆浑水库位于河南省洛阳市嵩县田湖镇陆浑村

附近,黄河二级支流伊河上,距洛阳市 67 km,控制流域面积 3 492 km²,占伊河流域面积 57.9%。由于陆浑水库是伊河上的“龙头”电站,具有防洪、灌溉发电和供水等综合效益。陆浑水库蓄水以后,在较大程度上改变了河流的原始水文条件,对流域内的生态系统产生了一定影响。因此,研究陆浑水库对伊河径流情势的影响具有重要的意义。本文选取的龙门水文站水文资料采用 1952 ~ 1997 共 46 a 的长系列实测径流资料,并用 IHA 法计算分析陆浑水库蓄水前后对该站径流特征值的影响,进而评价陆浑水库对伊河水文条件的影响。

陆浑水库于 1959 年 12 月开始兴建,1965 年 8 月底建成。灌溉发电洞 1972 年 2 月开始增建,1974 年 7 月建成。为了对比分析陆浑水库修建前后伊河径流特征值的变化,以水库下闸蓄水的时间点为分界点,划分研究时段,即修建前的时段为 1952 ~ 1968 年,干扰前的资料系列长度为 17 a,小于 IHA 法要求的 20 a,但在此认为对建坝后的影响不大;干扰后的时段为 1969 ~ 1997 年,共 29 a。

IHA 参数计算结果如表 2 所示,表中偏离量和变异系数的计算公式为公式(1)和公式(2),其中变异系数能够反映各参数的年际变化程度^[9]。

偏离量 (%) = $\frac{P_{\text{建坝后}} - P_{\text{建坝前}}}{P_{\text{建坝前}}}$

(1)

$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X_i - \bar{X})^2}}{\bar{X}}$

(2)

式中: P 为各 IHA 各相应参数; CV 为变异系数; σ 为标准偏差; n 为样本总数; X_i 为第 i 年的参数值; $\bar{X}$ 为 n 年参数的平均值。

由表 2 计算结果可知,陆浑水库建坝前后,下游水流情势变化有以下主要几点特征:

(1) 第一组水文参数的计算结果表明,陆浑水库运行后,月平均流量指标相比建库前,均明显减小,尤其是 4 ~ 5 月份和汛期 7 ~ 9 月份以及枯水期 11 ~ 1 月份均产生了显著改变,主要原因是水库在调度期内蓄水所造成的结果,月平均流量指标在 2 ~ 3 月份和 6 月份、10 月份较相比建库前,改变较小,7 月份流量低点的出现,影响了自然生物产卵、迁徙等活动,会增加水生生物包括鲤鱼的死亡率。径流年内分配的变化会造成河道形态的转变,进而会改变原有河流生态系统。

(2) 第二组水文参数计算的结果表明,建坝后

的年极端水文条件指标值改变较大,极小值和极大值均明显减小,导致河流生态系统的稳定性变差。

(3) 第三组水文参数计算的结果表明,建坝后的年最大日流量发生时间变大,年最小日流量发生时间减小,由于建库后极值年际波动较建库前显著,年际波动变大,会影响生物繁殖期内的行为过程和栖息环境。

(4) 第四组水文参数的计算结果表明,建坝后高流量的脉冲发生次数稍有减少,而低流量的脉冲发生次数稍有增大,高流量脉冲平均历时变小,低流量脉冲平均历时变大,然而高、低流量是构造河流生境不可或缺的因素,高、低流量的过大变化会对水生生物产生一定的影响。

(5) 第五组水文参数的计算结果表明,流量平均减少率和流量平均增加率变化较大,每年流量逆转次数有所增加,均高于建库前的水平,流量的逆转次数与河流生态环境的变化周期有着十分紧密的相关性,较大的流量逆转可能会对某些水生生物的生长造成较大的影响。选取图 1 ~ 图 4 分析计算结果,图中虚线分别是修建陆浑水库前和后各相应水文参数的平均值。

分析以上陆浑水库修建前后的水文情势变化情况,一方面,因为陆浑水库的主要任务是防洪、灌溉发电和供水,拦蓄和调节洪水能力有限,因此总体上陆浑水库对伊河天然径流过程的改变不大;另一方面,由于大坝的修建形成陆浑水库,造成上游水位的小幅度提升,其一定的削峰坦化作用有可能是造成建坝后流量平均上涨率和流量平均下降率一定程度上趋于缓和的原因;水库蓄水较多,而放水较少是造成高流量脉冲平均历时减小,低流量脉冲平均历时增大的原因。

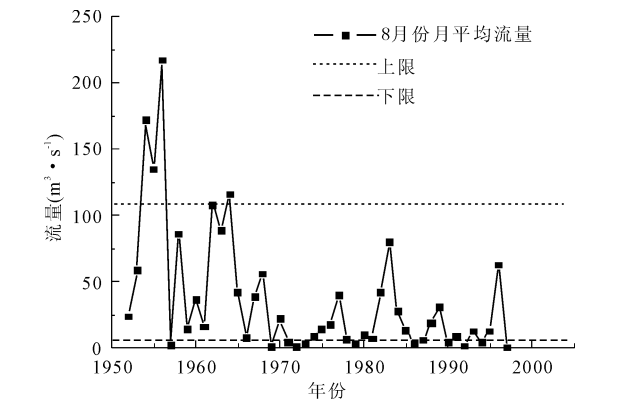


图 1 建库前后龙门站 8 月平均流量变化图

表 2 龙门站 IHA 参数统计表

IHA 参数组	平均			变异系数 CV		
	流量/(m³·s⁻¹)		偏离量/%	建坝前	建坝后	偏离量/%
	建坝前	建坝后				
第一组:月流量						
1 月平均流量	336.72	204.96	− 39.13	0.02	0.03	50
2 月平均流量	264.08	204.07	− 22.72	0.02	0.03	50
3 月平均流量	421.85	313.84	− 25.60	0.02	0.03	50
4 月平均流量	741.53	319.36	− 56.93	0.04	0.04	0
5 月平均流量	922.97	433.88	− 52.99	0.05	0.05	0
6 月平均流量	722.57	584.89	− 19.05	0.07	0.06	− 14.29
7 月平均流量	2712.78	1108.60	− 59.13	0.07	0.08	14.29
8 月平均流量	3289.07	1424.28	− 56.70	0.06	0.10	66.67
9 月平均流量	1809.72	741.30	− 59.04	0.04	0.08	100
10 月平均流量	1395.61	990.17	− 29.05	0.03	0.07	133.33
11 月平均流量	1003.76	468.45	− 53.33	0.03	0.04	33.33
12 月平均流量	657.52	226.94	− 65.49	0.03	0.03	0
组平均值			− 44.93			40.28
第二组:年水文极值大小及持续时间						
最小 1 日平均流量	1.49	0.86	− 42.28	1.25	0.83	− 33.60
最大 1 日平均流量	828.00	392.59	− 52.59	1.15	1.09	− 5.22
最小 3 日平均流量	1.63	0.94	− 42.33	1.18	0.84	− 28.81
最大 3 日平均流量	550.04	319.97	− 41.83	1.05	1.20	14.29
最小 7 日平均流量	1.89	1.02	− 46.03	1.14	0.83	− 27.19
最大 7 日平均流量	364.51	225.87	− 38.03	0.91	1.18	29.67
最小 30 日平均流量	3.72	2.29	− 38.44	0.89	1.08	21.35
最大 30 日平均流量	177.39	94.33	− 46.82	0.75	0.95	26.67
最小 90 日平均流量	8.41	4.57	− 45.66	0.73	0.96	31.51
最大 90 日平均流量	94.82	46.43	− 51.03	0.65	0.77	18.46
基流指数	0.05	0.07	0.4	0.79	0.95	20.25
组平均值			− 40.39			0.18
第三组:年水文极值发生时间						
年最大日流量发生时间	210.94	225.52	6.91	0.19	0.19	0
年最小日流量发生时间	181.45	148.24	− 18.3	0.53	0.5	− 5.66
组平均值			− 5.70			− 2.83
第四组:高低脉冲频率及持续时间						
年高流量脉冲发生次数	7.24	6.34	− 12.43	0.34	0.58	70.59
年低流量脉冲发生次数	6.82	10.31	51.17	0.75	0.48	− 36
高流量脉冲平均历时(d)	6.24	3.81	− 38.94	0.50	1.07	114
低流量脉冲平均历时(d)	7.15	9.55	33.57	0.75	0.86	14.67
组平均值			9.69			40.82
第五组:水情变化率及变化次数						
涨幅率	2.33	1.24	− 46.78	0.54	0.59	9.26
降幅率	− 2.06	− 1.12	− 45.63	− 0.53	− 0.50	− 5.66
变换次数	94.25	109.46	16.14	0.20	0.18	− 10
组平均值			5			− 6.4

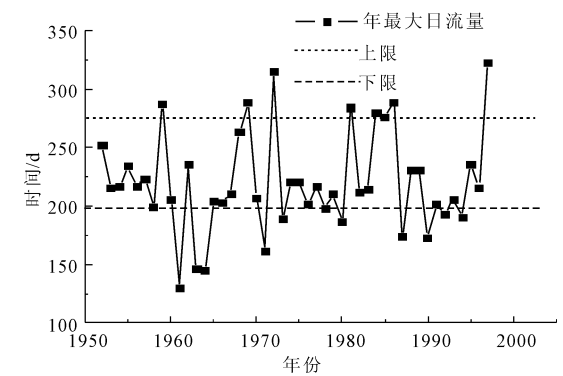


图 2 建库前后龙门站年最大日流量发生时间变化图

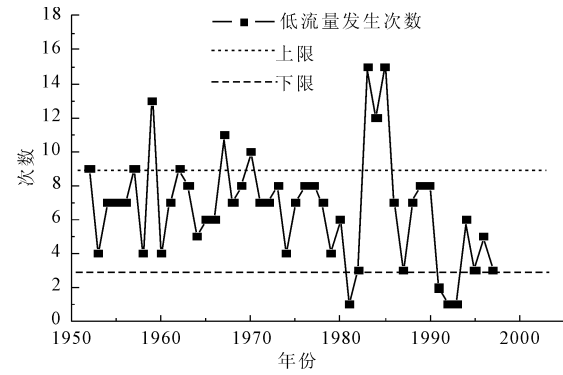


图 3 建库前后龙门站低流量脉冲发生次数变化图

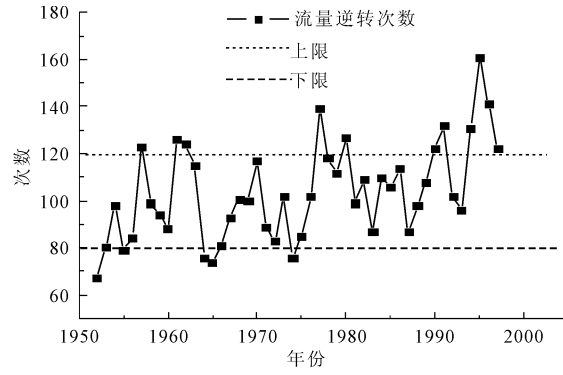


图 4 建库前后龙门站流量逆转次数变化图

3 结 语

本文采用 IHA 法对陆浑水库的运行对伊河径流过程的影响进行了评价,结果说明陆浑水库的修建在一定程度上改变了下游河流的水文情势,打破了

伊河原水域的生态系统,对其生态结构产生一定影响。陆浑水库运行后,汛期高流量降低,且发生高流量的次数也减少,高流量的平均延时也随之降低,说明陆浑水库在汛期防洪调蓄作用很强。这种模式会使伊河龙门断面的生态水文情势的改变程度较大,尤其是在汛期,造成伊河流量的急剧减少及高低流量逆转次数的急剧增加,将对伊河水生生物的生存环境造成一定程度的破坏,会对河流生物的生物量和多样性产生较大影响,继而危害水生生物的繁殖和生存,同时也造成了鲤鱼数量的急剧减少。因此,对于人类活动改变水文情势的河流,根据 IHA 法对其历史水文资料进行研究分析,并结合相应的生态监测资料,为指导河流生态修复提供理论依据。

参考文献:

[1] 汪恕诚.再谈人与自然和谐相处—兼论大坝与生态[J]. 中国水利,2004,(8):6-14.

[2] Josh Korman, Stephen M Wiele, Margaret Torizzo. Modelling effects of discharge on habitat quality and dispersal of juvenile humpback chub in the Colorado river,Grand Canyon[J]. River Research and Applications,2004,20(4):379-400.

[3] Converse Y K, Hawkins C P, Valdez R A. Habitat relationships of subadult humpback chub in the Colorado River through Grand Canyon: spatial variability and implications of flow regulation[J]. Regulated Rivers – Research & Management,1998,14(3):267-284.

[4] 武会先,王万战,宋学东,译.河流生命:为人类和自然管理水[M].郑州:黄河水利出版社,2005:1-254.

[5] Brian D Richter, Jeffrey V Baumgartner, Jennifer Powell, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems[J]. Conservation Biology,1996,10(4):1163-1174.

[6] Brian D Richter. How much water does a river need[J]. Freshwater Biology,1997,37(2):231-249.

[7] 吴玲玲,蒋亚萍,陈余道.用变化范围法(RVA)确定河流环境流量[J].广西水利水电,2007,(3):10-11.

[8] Poff N L. A hydrogeography of unregulated streams in the United States and an examination of scale – dependence in some hydrological descriptors[J]. Fresh water Biology,1996,(36):71-91.

[9] 陈启慧,郝振纯,夏自强,等.葛洲坝对长江径流过程的影响[J].长江流域资源与环境,2006,15(4):523-524.