

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2017.03.001

基于改进RVA法的水利工程对塔里木河 生态水文情势影响评估

薛联青^{1,2,3}, 张 卉¹, 张洛晨⁴, 迟艺侠^{1,3}, 孙 超⁴

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832003;
3. 河海大学文天学院, 安徽 马鞍山 243031; 4. 新疆塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000)

摘要: 采用水文变异指标及变化范围法(IHA/RVA)定量评估塔里木河上游水库运行后,干流代表站的水文指标改变程度及其生态影响。研究表明:水库运行导致塔里木河干流水文情势发生高度改变,改变度高达60%以上;指标体系中3月和6月平均流量,最小1d和3d流量、最大30d和90d流量,年发生低流量次数及逆转次数等指标发生严重变异。水库运行对塔里木河周边生态系统影响较大,迫切需要对河流的流量进行适时调控,实现区域经济和生态环境保护的协调发展。
关键词: 塔里木河流域;IHA/RVA方法;水文指标改变程度;生态水文情势;水利工程影响;定量评估

中图分类号: TV6;P33 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2017)03-0189-08

Impact of water conservancy projects on eco-hydrological regime of Tarim River based on improved RVA method

XUE Lianqing^{1,2,3}, ZHANG Hui¹, ZHANG Luochen⁴, CHI Yixia^{1,3}, SUN Chao⁴

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China;
3. Wentian College, Hohai University Ma'anshan 243031, China;
4. Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla 841000, China)

Abstract: The method of indicators of hydrologic alteration and range of variability approach (IHA/RVA) was used to quantitatively evaluate the change degree of hydrological parameters at representative stations in the mainstream of the Tarim River and ecological effects caused by the operation of reservoirs in the upper reaches of the Tarim River. The results show that the operation of the reservoirs caused a significant change of the eco-hydrological regime of the Tarim River, and the change degrees were all higher than 60%. Significant changes occurred on the average flows in March and June, the annual 1-day and 3-day minimum discharges, the annual 30-day and 90-day maximum discharges, the number of low pulses, and the number of reversals. Reservoir operation significantly affected the ecosystem around the Tarim River. It is urgent to regulate the discharge of the river, in order to achieve the harmonious development of regional economy and ecological environmental protection.

Key words: Tarim River Basin; IHA/RVA method; change degree of hydrological parameters; eco-hydrological regime; impact of water conservancy projects; quantitative evaluation

收稿日期: 2016-06-21

基金项目: 国家自然科学基金(41371052, U1203282); 水利部公益性行业科研专项(201501059); 江苏省“青蓝”工程项目([2014]4); 江苏省高校优秀青年教师和校长境外研修项目(苏教师[2015]35); 江苏省博士后科研资助计划(1401095C)

作者简介: 薛联青(1973—), 女, 新疆石河子人, 教授, 博士, 主要从事环境水文及生态水文研究。E-mail: lqxue@hhu.edu.cn

随着区域经济发展和社会的进步,人类对水资源的开发利用程度不断提高,改变了河流天然的水文情势,其中水利工程对受控河流水文情势的改变最为显著,且改变程度随着河流开发利用程度的增加而逐渐累积,并由此产生一系列生态水文效应^[1]。塔里木河干流上游修建平原水库,大量拦蓄河水用于灌溉,使河川径流量减少,改变了河流原有的水文条件,打破了流域内生态系统的平衡。研究塔里木河干流代表站32个水文指标的变化,探讨平原水库运行对下游水文情势的影响,逐步建立河道水量和生态系统的响应机制,为政府决策提供科学依据。有关河流水文情势的评价工作,国内外学者已进行了大量的研究。黎云云等^[2]将层次分析法和熵权法结合赋予各水文指标生态权重,用以评价渭河关中段林家村、咸阳和华县3个重要控制断面的水文情势综合改变度,所得研究成果更加贴近渭河河道实际情况。段唯鑫等^[3]利用 *M-K* 秩次相关检验法对长江宜昌站的径流序列进行显著性分析,根据长江上游已建成的14座大型水库群的调度实况划分径流序列,采用 *IHA/RVA* 方法分析得出宜昌站的水文情势在2000年后发生了中等程度的改变,随着三峡水库等上游大型水库群的相继建成运行,长江下游河道的水文情势将会进一步改变。张洪波等^[4]在总结国内外水文情势指标研究成果的基础上,构建了适宜表征黄河河流生态水文情势的50个指标,并将该指标体系应用于兰州断面的生态水文评估。Mwedzi 等^[5]利用津巴布韦境内 Manyame 流域9个水文站的实测径流资料,分析其建坝后不同断面的水文指标改变程度,发现径流特性在距离大坝10 km 范围内变化显著,11~20 km 范围内发生低度改变,超过20 km 后大坝对河流的影响完全消失。Suen^[6]利用台湾23个水位站的日流量数据计算水文改变度及其对淡水系统的潜在影响,发现与1961—1990年相比,1991年以后的旱涝灾害更为严重。本文以受人类活动影响较大的塔里木河流域为研究对象,在时间上考虑平原水库建库运行和扩库运行2个阶段,在空间上考虑阿拉尔站和新渠满站2个断面的水文情势较自然状态的改变程度,采用改进的 *RVA* 方法,定量分析水库兴建对下游河流水文情势的影响,为流域构建适宜的生态水文条件及水资源综合利用提供参考依据。

1 研究区概况

塔里木河位于新疆维吾尔自治区南部,是我国最长的内流河,也是环塔里木盆地9大水系144条源流的总称,流域面积102万 km²。塔里木河干流西始于叶尔羌河、和田河、阿克苏河三河交汇处的肖夹克,东至尾间台特马湖,全长1321 km。2000年以来,为拯救下游绿色走廊,每年从博斯腾湖经孔雀河向干流下游进行生态输水,从而形成了塔里木河“四源一干”水系格局^[7]。多浪水库是塔北灌区唯一的灌溉调节水库,由阿克苏河塔里木拦河闸北岸分水闸引水入库,距阿拉尔市约40 km。1965年建库时库容为0.11亿 m³,1971年扩库后达0.43亿 m³,1995年在老库边建一新库,库容0.77亿 m³,新老水库相通后库容达1.2亿 m³^[8]。胜利水库位于阿克苏河、和田河、叶尔羌河三河交汇口东侧,距阿拉尔市约30 km。1969年8月建库,1970年8月蓄水,设计库容1.08亿 m³,为大型灌注式平原水库^[9]。

2 研究方法

2.1 水文改变指标法

目前在水文情势变化分析中最常用的指标是 Richter 等^[10]1998年提出的水文改变指标(*IHA*),包含33个参数,以水文情势的5种基本特征为依托来划分水文指标,从流量、时间、频率、延时和改变率等方面评价河流水文状态改变。考虑到阿拉尔和新渠满站在研究期内未出现日流量为零的情况,本文不考虑零流量天数,调整后的 *IHA* 参数见表1。

2.2 水文变化范围法

Richter 等^[11]1997年提出水文变化范围法(*RVA*),其核心是通过分析人类活动影响前后河道的日径流数据来评估水文指标变化的程度。通常以各指标的平均值加减标

表1 IHA 流量参数
Table 1 Flow parameters used in IHA method

组别	内 容	IHA 指标(32个)
1	各月流量(12个参数)	各月份流量的平均值
2	年极端流量(11个参数)	年最小(1 d,3 d,7 d,30 d,90 d)径流量,年最大(1 d,3 d,7 d,30 d,90 d)径流量,基流系数
3	年极端流量发生时间(2个参数)	年最小1日流量发生时间,年最大1日流量发生时间
4	高低流量的频率及延时(4个参数)	年发生低流量的次数,低流量平均延时,年发生高流量的次数,高流量平均延时
5	流量变化改变率及频率(3个参数)	流量平均减少率,流量平均增加率,每年流量逆转次数

准差或以频率为 75% 和 25% 作为 IHA 指标的上下限,称为 RVA 目标边界。

2.3 改进的河流水文变化程度分析方法

2.3.1 水文变量偏离度

Richter 等^[11]通过水文变量偏离度的概念定量分析水文变异程度。偏离度 P 主要用于衡量水利工程等人类活动引起水文指标变化相对于自然状态的偏离程度,计算公式如下:

$$P = \frac{V_{\text{post}} - V_{\text{pre}}}{V_{\text{pre}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: V_{pre} ——人类活动影响前的 IHA 指标值; V_{post} ——人类活动影响后的 IHA 指标值。

2.3.2 单个指标改变度

为量化 IHA 受影响后的改变程度,第 i 个 IHA 指标改变度计算方法如下:

$$D = \frac{N_o - N_e}{N_e} \times 100\% \quad (2)$$

其中

$$N_e = rN_T$$

式中: N_o ——人类活动影响后 IHA 指标值落入 RVA 目标范围内的实际年数; N_e ——人类活动影响后 IHA 指标值落入 RVA 目标范围内的预测年数; r ——人类活动影响前 IHA 落于 RVA 范围内年数的比例,本文 $r = 50\%$; N_T ——人类活动影响后水文系列的总年数^[12]。

为了客观地评价 IHA 的水文改变程度的严重性,Richter 等^[10-11]建议 $0 \leq D < 33\%$ 为未改变或低度改变; $33\% \leq D < 67\%$ 为中度改变; $67\% \leq D \leq 100\%$ 为高度改变。

2.3.3 改进的整体水文改变度计算方法

整体改变度可以从宏观上考虑各项指标对河流水文情势的综合改变程度,能有效融合 32 个水文指标在评价河流改变度时的内涵^[2],用一个值直观地评价河流受人类活动影响前后的水文改变度。目前采用的整体水文改变度 D 计算方法是 Shiau 等^[13]提出的三等级法:

$$D = \sqrt{\frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} D_i^2} \quad (3)$$

式中 $0 \leq D < 33\%$ 为低度改变; $33\% \leq D < 67\%$ 为中度改变; $67\% \leq D \leq 100\%$ 为高度改变。

整体水文改变度 D 直接取均值容易忽略高度改变值对水文情势的影响,若单一指标改变度中有一项指标改变度 D_i 极高,而其他指标改变度 D_i 较低,会使整体水文改变度 D 偏低,高度改变指标带来的生态影响被缩小化。单个指标改变度的累加忽略了高度改变指标带来的重大生态影响。针对整体水文改变度计算方法的缺陷,结合内梅罗指数法考虑最大值影响且物理概念清晰的优点^[14],本文做出相应修正,以有效避免评价河川径流整体水文情势时易缩小其影响的不足。改进的整体水文改变度 D' 计算公式如下:

$$D' = \sqrt{\frac{D_{j\max}^2 + D_w^2}{2}} \quad (4)$$

其中

$$D_{j\max} = \frac{D_{j\max} + D_w}{2} \quad D_w = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

式中: $D_{j\max}$ ——单个指标改变度 D_i 的最大值; D_w ——单个指标改变度 D_i 的平均值。

根据 D 值划分河流水文情势改变程度的等级,考虑到原有的三等级划分标准不够细致,本文在计算得出改进的整体水文改变度 D' 的基础上,对其分级标准进行了细化,划分为 5 个等级。具体分级标准为: $0 \leq D < 20\%$ 为轻微改变(S), $20\% \leq D < 40\%$ 为低度改变(L), $40\% \leq D \leq 60\%$ 为中度改变(M), $60\% \leq D < 80\%$ 为高度改变(H), $80\% \leq D \leq 100\%$ 为严重改变(G)。

3 结果分析

3.1 日径流突变点诊断

20 世纪 70 年代左右,上游水库和多浪水库相继建成并引水入库运行,1995 年多浪水库扩大库容至 1.2 亿 m^3 。结合阿拉尔、新渠满站年径流量发生突变的年份分别为 1970 年和 1972 年^[15],本文以 1973 年作为塔里木河干流水文情势发生显著改变的起始年,1995 年作为水文情势变化加剧之年,对研究时段进行划分:第 1 阶段是自然状态段为 1960—1972 年,第 2 阶段是建库运行影响段为 1973—1994 年,第 3 阶段是多浪水库扩库运行影响段为 1995—2014 年。受径流资料收集限制,自然状态数据不足 20 a,虽不能完全反映河流水文情势的改变程度,但可以为水利工程对河流生态水文情势的影响评估提供一定的参考。

3.2 基于 IHA/RVA 的塔里木河干流水文情势计算结果与分析

选取阿拉尔站和新渠满站 55 a 的实测逐日径流资料,该段时间内人类活动主要包括水库运行和灌溉取水,由于上游水库和多浪水库均属于灌溉型平原水库,本文将灌溉取水对径流的影响包含在水库调节对径流的影响之中,主要探讨水库运行对径流的影响。采用 IHA/RVA 法评价塔里木河上游多浪、胜利两大平原水库蓄水运行和多浪水库扩库 2 种人类活动影响情形下,流量的 32 个水文指标改变情况。

3.2.1 水库运行前后水文指标改变度比较

计算阿拉尔、新渠满站在建库和扩库前后 32 个水文指标的改变度值,并绘制 3 个等级的水文指标改变度在 2 个水文站 2 种水库运行条件下所占比例图。如图 1 所示,受水库运行影响,2 个代表水文站监测的流量在改变度等级统计中发生低度改变的水文指标所占比例最高,在 4 种情况中的比例范围为 34% ~ 47%;发生中度改变指标所占比例次之,相应比例范围为 31% ~ 38%;发生高度改变指标所占比例最低,相应比例范围为 16% ~ 34%。在塔里木河干流 2 个水文站 2 种水库运行条件下,流量高度改变占有比例具有特定的变化规律,即距离平原水库越远,其发生高度改变的水文指标占有比例越小,阿拉尔、新渠满站依次为 31%、16%;多浪水库扩库运行后发生高度改变的水文指标增多,阿拉尔站高度改变指标比例由 31% 增至 34%,新渠满站发生高度改变的指标比例增加尤为显著,由 16% 增至 31%。

3.2.2 水库运行前后水文变量偏离度比较

水库修建运行后,下游水文站多数月份的月均流量呈负偏离状态,因为修建平原水库后河流引水率高达 75% 以上,大量地表水引入灌区,使得干流月均流量减少^[15];年最小 1 d、3 d、7 d、30 d 流量均值显著增大;年最小 1 d 流量发生时间略微推后,年最大 1 d 流量发生时间有所提前;年发生高、低流量次数均增加,说明极端流量出现频率变高。32 个水文变量偏离度分 5 组,具体分析如下。

3.2.2.1 月平均流量变化

由图 2 可知多浪、胜利水库的运行显著影响了下游河川的月径流特性:(a)在非汛期,新渠满站的月均流量发生大幅度下降,其中 3 月份减少量最大,减少 22.5 m^3/s ,多浪水库承担农一师塔北灌区枯水期调节灌溉供水任务^[16],可能 3 月水量多用于上游灌区灌溉,对下游的补给相对减少。(b)在汛期,建库后的月均流量发生不同程度的减少,其中 6—8 月河流径流量受影响最大,最高月均流量由 8 月份的 657 m^3/s 减少到 522 m^3/s ,说明水库的削峰拦洪措施对汛期径流的削减作用影响很大。每年 6—8 月天山冰雪融化,塔里木河形成洪水期,为家鱼自然产卵提供洄游通道,但建库后汛期流量的减少对水生生物繁殖具有不利影响。

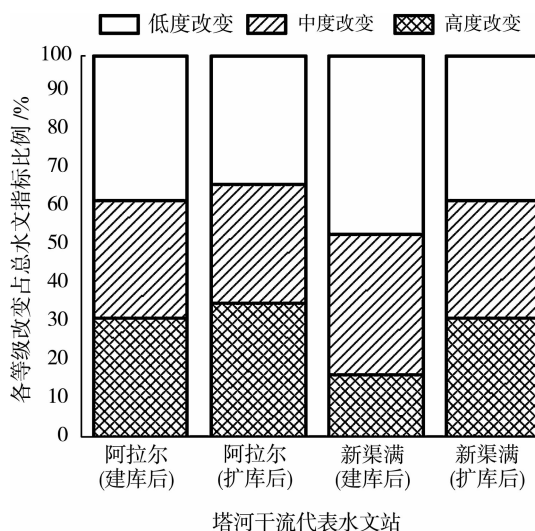


图1 塔里木河干流代表站流量不同等级变化度所占比例

Fig.1 Proportions of discharge alteration degrees in different levels at representative stations in mainstream of Tarim River

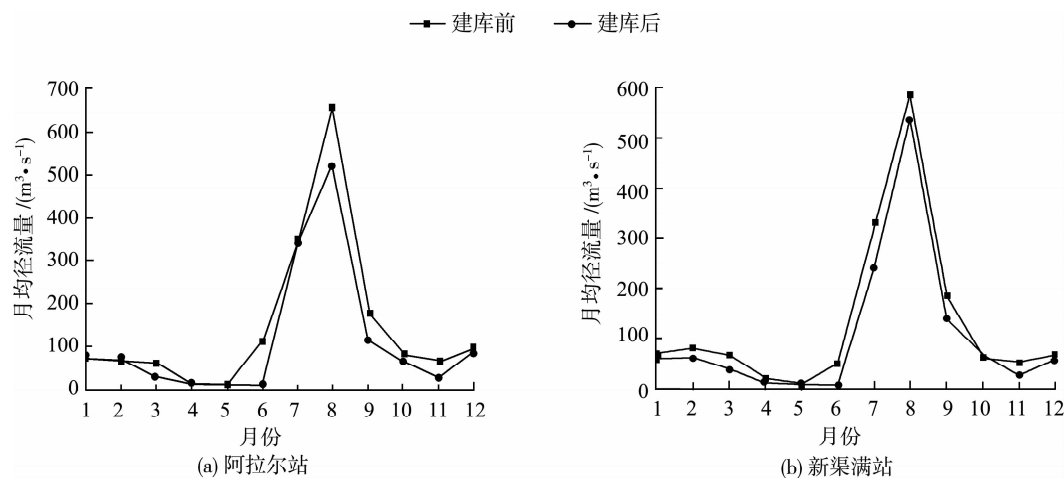


图2 建库前后不同水文站月均径流量

Fig.2 Monthly average runoff values at different hydrological stations before and after construction of reservoir

3.2.2.2 年极端流量变化

年极端流量统计结果:(a)水库建库前后,阿拉尔站年最小流量变化显著,除年最小90 d流量略减小外,其余最小流量均增加,尤以最小1 d流量增加显著,由建库前的 $5.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 增至建库后的 $7.3 \text{ m}^3/\text{s}$,又增至扩库后的 $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (图3(a));(b)建库后,新渠满站年最大流量均显著减小,以最大3 d流量减少最为显著,由建库前的 $1008 \text{ m}^3/\text{s}$ 减至建库后的 $828 \text{ m}^3/\text{s}$;(c)多浪水库扩库后,阿拉尔站涉及年最小流量的指标均显著增加且产生了中高度改变,而年最大流量相关的4个指标有所减少且为低度改变,说明1995年多浪水库建立新库后,水库的丰蓄枯补作用加强,使阿拉尔站流量极小值增大、极大值减小。可见水库的建设运行严重改变了河流原有的极值变化过程,特别是枯水流量增大,而对于年最大1、3、7日流量的影响则相对较小。

3.2.2.3 年极端流量发生时间

年极端流量发生时间用以衡量外界环境影响导致的天然径流季节性波动。年极端流量发生时间:(a)阿拉尔站年最小1 d流量出现日期从每年4月下旬推迟到5月上旬(图3(b)),年最大1 d流量出现日期变化较小,仅提前3~6 d。(b)虽然极端流量发生时间的范围变宽,最小1 d流量允许发生范围增至178 d,但2000年以后,仍有不少年份极端流量发生时间波动强烈,超过RVA边界,呈跳跃式改变。塔里木河干流河段径流极小值出现时间的推后,会严重威胁到河道内生物的栖息环境,影响河流生态系统的稳定性;而鱼类一般在汛期涨水时段产卵,并且需要相应的温度条件^[17],径流极大值发生时间的提前,在一定程度上会改变塔里木河干流鱼类的产卵时间和繁殖期内的行为过程。

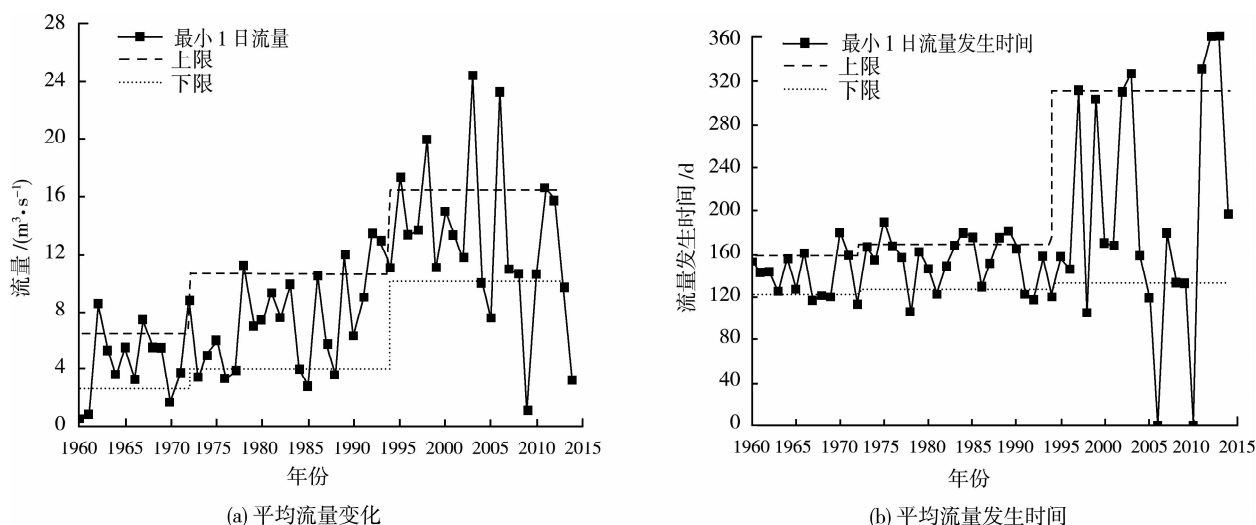


图3 阿拉尔站最小1日平均流量变化及发生时间

Fig.3 Changes of annual minimum 1-day average discharge and occurrence time at Alar Station

3.2.2.4 高低流量的频率及延时

高低流量频率及延时是构造河流生境必不可少的要素,是维持河流生态系统健康至关重要的参数。从以上分析可知,平原水库运行后,新渠满站年发生低流量次数较蓄水前增加了 50%,同时持续时间增加了 172% (蓄水前为 9 d,蓄水后为 24.5 d);年发生高流量次数减少 17%,但持续时间增加 57%。阿拉尔、新渠满水文站低流量脉冲次数的增加,会使塔里木河干流部分河滩呈现干湿反复交替的现象,影响河漫滩生态的自然发展^[18]。高流量平均延时的适度增加又给河岸生态系统发展带来了福音,因为高流量延时的增加给生活在河岸边的动植物,尤其是胡杨林带来了足够的养分,也许会对沿岸的生物发展起到积极推动作用。

3.2.2.5 流量变化改变率及频率

河道流量的增加率和减少率的大小对河道水生生物种群具有一定影响,就区域自然生态系统而言,二者数值大小保持一个合理范围比较有利。分析流量改变率及频率可知:(a)平原水库蓄水运行后,阿拉尔站年内流量上涨幅度减少 35%,下降幅度减少 29%,流量逆转次数由年均 74 次增加到 86 次;(b)多浪水库扩库以后,由新渠满站流量的平均减少率(图 4)可知,流量减少率在 2009—2012 年间呈显著增加趋势,且超出 RVA 下边界。生物承受外界变化的能力有限,流量允许变动范围的减小会对原本脆弱的河岸带植物和有机物生长产生不利影响,而频繁的流量波动会破坏动植物生境的稳定性,阻碍水生生物生长^[19]。尤其是 2005 年以后,流量平均减少率超出 RVA 目标范围的年份增多,需要引起水资源管理单位的重视,防止出现进一步的恶化。

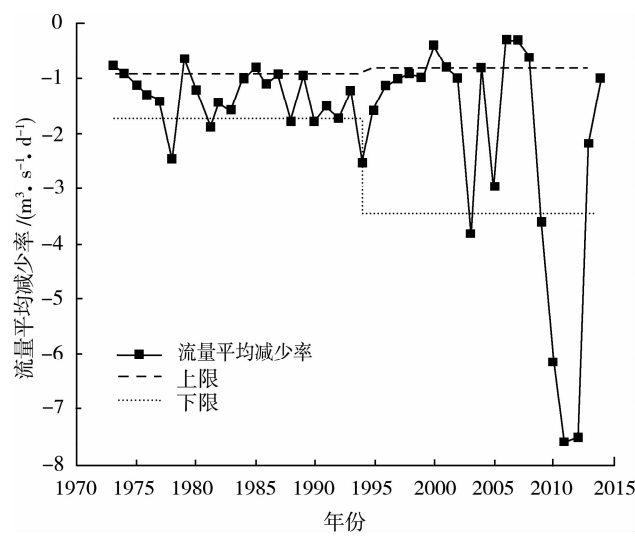


图 4 新渠满站 1973—2014 年流量平均减少率
Fig.4 Average reduction rate of discharge at Xinquman Station during 1973 to 2014

3.2.3 整体水文改变度分析

基于 IHA/RVA 法分析得到水文站点整体改变度,如表 2 所示。建库前后,阿拉尔站第 1 组水文指标改变度最大(为 67.1%),第 5 组指标次之(为 64.6%),均属于高度改变;多浪水库扩库前后阿拉尔站和新渠满站受影响最大的水文指标均为第 1 组,说明水库运行对月均流量的改变度最高,属于高度改变。

表 2 塔里木河干流代表站改进的整体水文改变度
Table 2 Overall change degree of hydrological indices at representative stations in mainstream of Tarim River

时期	水文站点	各组水文改变度/%					整体水文改变度	改进的整体水文改变度
		第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组		
建库前后	阿拉尔	67.1	54.6	36.5	53.4	64.6	54.1(M)	62.7(H)
	新渠满	63.8	37.2	53.3	60.6	64.7	49.6(M)	58.3(M)
扩库前后	阿拉尔	75.4	60.6	45.8	29.0	57.7	59.0(M)	66.0(H)
	新渠满	77.2	40.9	71.0	35.8	60.9	56.3(M)	65.3(H)

比较改进前后整体水文改变度的评价结果得出:不同水库运行方式下不同水文站点的水文改变度评价结果均为中度改变。而改进的整体水文改变度计算值增大,塔里木河干流评价结果由大到小分别为:阿拉尔(扩库后 66%)、新渠满(扩库后 65.3%)、阿拉尔(建库后 62.7%)和新渠满(建库后 58.3%),除建库前后新渠满站发生中度改变外,其余均发生高度改变。多浪扩库后对塔里木河流域生态系统的影响加剧,新渠满由于距离两大平原水库较远,受区间来水的影响,其水文变异较阿拉尔水文站偏小。说明应用改进的整体水文改变度评价方法,得到水库运行对河流水文情势的影响加剧,更不利于周边生态系统的可持续发展。

有研究表明,为了保证农业生产的适时灌溉,沿塔里木河修建了大量平原水库,造成塔里木河中下游来水量逐年减少,从而导致河道内生物多样性锐减,河流断流、湖泊干涸、地下水位持续下降,大面积胡杨林和天然植被衰败和死亡^[20]。王智超等^[21]对塔里木河上游优势土著鱼类之一叶尔羌高原鳅研究表明,近些年叶尔羌高原鳅的繁殖受到了一定程度的影响,种群数量有降低趋势,这与阿拉尔河段水域环境的恶化密切

相关。水利工程修建引起水文指标参数的趋弊变化,使水生生物繁殖受阻,陆生动植物栖息地范围减小和破碎化,塔里木河干流水文情势发生高度改变,打破了其原本就脆弱的生态系统平衡,验证了本研究结论。综上分析,基于改进的整体水文改变度公式得到的塔里木河干流水文情势改变度的评价结果符合客观事实,更有助于人们定性地了解平原水库的修建运行对河川径流的影响。

4 结 语

以IHA指标体系为基础,采用改进的RVA法评估水利工程对塔里木河干流生态水文情势的影响,发现两大平原水库建设运行后对塔里木河干流径流产生较大影响:多数月份的月均流量减少,尤以3、6、8月份减少显著;阿拉尔站最小1d流量发生时间从4月下旬推迟到5月上旬;年发生低流量的次数均较之前增加;新渠满站流量逆转次数增加。这些水文节律的变化将减少陆生动植物水资源的可得性,影响洪泛区内胡杨林的生长,并且对下游河道水生生物的栖息环境、洄游及产卵等产生不利影响。建库后,阿拉尔和新渠满站水文指标的整体改变度依次为62.7%和58.3%,且随着多浪水库的扩建,发生高度改变的水文指标增多,其对河流的控制程度增大,阿拉尔和新渠满站的水文情势整体改变度也逐渐增大。

虽然以上研究可以为塔里木河干流水资源优化配置和河流生态调度提供一定的参考,但是由于生态系统监测资料匮乏,水文指标和生态系统响应关系的定量实证分析略有不足,应进一步搜集水文情势变化前后的生态资料,深入分析其响应机制。

参考文献:

- [1] 陈栋为,陈晓宏,李翀,等. 基于RVA法的水利工程对河流水文情势改变的累积效应研究:以东江流域为例[J]. 水文, 2011, 31(2): 54-57. (CHEN Dongwei, CHEN Xiaohong, LI Chong, et al. Research on accumulated effect of hydraulic structures on river regime alteration based on RAV method: a case study of Dongjiang River Basin [J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(2): 54-57. (in Chinese))
- [2] 黎云云,畅建霞,雷江群. 改进RVA法在河流水文情势评价中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 211-218. (LI Yunyun, CHANG Jianxia, LEI Jiangqun. Application of improved RVA method in assessment of river hydrological regime [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Sciences), 2015, 43(10): 211-218. (in Chinese))
- [3] 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. (DUAN Weixin, GUO Shenglian, WANG Jun. Impact of upper Yangtze River large-scale cascade reservoirs on flow regime at Yichang Station [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(1): 120-130. (in Chinese))
- [4] 张洪波,黄强,彭少明,等. 黄河生态水文评估指标体系构建及案例研究[J]. 水利学报, 2012, 43(6): 675-683. (ZHANG Hongbo, HUANG Qiang, PENG Shaoming, et al. An eco-hydrologic index system and its application on the Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(6): 675-683. (in Chinese))
- [5] MWEDZI T, KATIYO L, MUGABE F T, et al. A spatial assessment of stream-flow characteristics and hydrologic alterations, post dam construction in the Manyame catchment, Zimbabwe [J]. Water S A, 2016, 42(2): 194-202.
- [6] SUEN J P. Potential impacts to freshwater ecosystems caused by flow regime alteration under changing climate conditions [J]. Hydrobiologia, 2010, 649: 115-128.
- [7] 刘新华,徐海量,凌红波,等. 塔里木河干流河道生态需水量研究[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 984-991. (LIU Xinhua, XU Hailiang, LING Hongbo, et al. Study on ecological water requirements along the mainstream channel of the Tarim River [J]. Arid Zone Research, 2012, 29(6): 984-991. (in Chinese))
- [8] 李中荣,纪军,柴建江. 浅议多浪水库库外引洪工程的应用效果[J]. 中国农村水利水电, 2001, 19(2): 126-127. (LI Zhongrong, JI Jun, CHAI Jianjiang. Discussion on the application effect of the external flood diversion project of Duolang Reservoir [J]. China Rural Water and Hydropower, 2001, 19(2): 126-127. (in Chinese))
- [9] 邓铭江. 塔里木河流域未来的水资源管理[J]. 水资源管理, 2004(17): 20-23. (Deng Mingjiang. Water resources management of the Tarim River Basin in future [J]. Water Resources Management, 2004(17): 20-23. (in Chinese))
- [10] RICHARD B D, BAUMGARTNER J V, BRAUN D P, et al. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network [J]. Regulated Rivers: Research and Management, 1998, 14(4): 329-340.
- [11] RICHARD B D, BAUMGARTNER J V, WIGINGTON R, et al. How much water does a river need? [J]. Freshwater Biology, 1997, 37(2): 231-249.
- [12] 李兴拼,黄国如,江涛. RVA法评估枫树坝水库对径流的影响[J]. 水电能源科学, 2009, 27(3): 18-21. (LI Xingpin, HUANG Guoru, JIANG Tao, et al. Evaluating alterations of runoff after Fenshuba Reservoir construction based on RVA method

- [J]. Water Resources and Power, 2009, 27(3): 18-21. (in Chinese))
- [13] SHIAU J T, WU F C. Feasible diversion and in stream flow release using range of variability approach[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2004, 130(5): 395-404.
- [14] 李亚松,张兆吉,费宇红,等. 内梅罗指数评价法的修正及其应用[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 48-50. (LI Yasong, ZHANG Zhaoji, FEI Yuhong, et al. Modification and application of Nemero index evaluation method[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(6): 48-50. (in Chinese))
- [15] 郝兴明,李卫红,陈亚宁,等. 塔里木河干流年径流量变化的人类活动和气候变化因子甄别[J]. 自然科学进展, 2008, 18(12): 1409-1416. (HAO Xingming, LI Weihong, CHEN Yaning, et al. Study on casuality analysis of human activity and climate change in Tarim River Basin [J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(12): 1409-1416. (in Chinese))
- [16] 蔡龙山. 塔里木灌区水库群优化调度研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2006.
- [17] 胡娜,林凯荣,何艳虎,等. 东江上游龙川站水文情势变化分析[J]. 水电能源科学, 2014, 32(5): 10-13. (HU Na, LIN Kairong, HE Yanhu, et al. Analysis of flow regime changes at Longchuan station of upper Dongjiang River [J]. Water Resources and Power, 2014, 32(5): 10-13. (in Chinese))
- [18] CHEN He. Assessment of hydrological alterations from 1961 to 2000 in the Yarlung Zangbo River, Tibet [J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2012, 12(2): 93-103.
- [19] 杜河清,王月华,高龙华,等. 水库对东江若干河段水文情势的影响[J]. 武汉大学学报(工学版), 2011, 44(4): 466-470. (DU Heqing, WANG Yuehua, GAO Longhua, et al. Effects of reservoirs on hydrological regimes in several reaches of East River [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2011, 44(4): 466-470. (in Chinese))
- [20] 刘志丽,马建文,陈嘻,等. 利用3S技术综合研究新疆塔里木河流域中下游11年生态环境变化与成因[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 146-152. (LIU Zhili, MA Jianwen, CHEN Xi, et al. The use of "3S" technology synthetically research on 11 years ecosystem changes in middle and lower region of Tarim River, Xinjiang, China [J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2): 146-152. (in Chinese))
- [21] 陈生熬,谢从新,王智超,等. 塔里木河阿拉尔段叶尔羌高原鳅群体特征分析[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(2): 143-145. (CHEN Shengao, XIE Congxin, WANG Zhichao, et al. Population characteristics of Triplophysa (Hedinichthys) yarkandensis (Day) in Tarim River of Alar section [J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(2): 143-145. (in Chinese))

· 简 讯 ·

全国水利工程领域专业学位研究生 教育协作组核心成员会在河海大学召开

2017年4月19日,全国水利工程领域专业学位研究生教育协作组核心成员会在河海大学召开。

全国工程教指委委员、水利工程领域协作组组长、河海大学副校长朱跃龙对参加会议的各位专家表示欢迎,对工程教指委、协作组核心成员单位所给予的大力支持表示感谢,并从课程与教材建设、教师培训、研究生实践能力及论文评价标准提升等4个方面对协作组下一阶段的工作做出了部署。他指出,目前水利工程领域专业学位研究生的培养已形成了稳态模式,培养质量明显提高,但与国家的水利事业发展需求还存在着较大差距,希望大家群策群力,共同把各项工作做实做好。

全国工程教指委秘书处主任沈岩传达了教指委近期工作安排和相关文件精神,并对协作组的工作给予了充分肯定,认为协作组长期开展的各项评优特色工作对领域内各联合培养单位、教育工作者和研究生起到了良好的激励和示范作用,同时建议进一步完善评优体系、优化评优方案、做好后续宣传,打造更多的特色与亮点。沈岩主任还围绕“全面育人观”对领域指导性培养方案重构提出了建议,并提出了服务“一带一路”战略,筹划全国水利工程领域工程专业学位证书项目方案。

会议就提升研究生实践能力、领域规划教材建设、评优办法、学位论文标准、领域指导性培养方案重构等主要工作进行了研讨,并对2017年协作组的各项工作进行了具体安排。

会议由全国工程教指委培养组成员、水利工程领域协作组副组长、河海大学研究生院常务副院长董增川主持。来自全国工程专业学位研究生教育指导委员会秘书处,以及清华大学、天津大学、华北水利水电大学、大连理工大学、吉林大学、河海大学、武汉大学、四川大学、西安理工大学、扬州大学等10个核心成员单位的18名专家参加了会议。

(本刊编辑部供稿)