

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.03.007

塔里木灌区引水前后环境流特性变化

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:基于水文改变指标基本分析方法,筛选建立了环境流评价指标,着重分析了塔里木灌区引水对塔里木河干流阿拉尔和新渠满断面环境流变化的影响。结果表明:在灌区大量引水灌溉前后,干流两个主要水文站的环境流组成分别呈现出不同程度的变化,环境流组成趋于单一化;各水文站的流量事件以枯水流量事件为主;引水对特枯流量事件、高流量脉冲事件和大洪水事件的影响较大。结合环境流指标和生态系统响应关系,制定了面向生态的水资源优化调度方案,为流域生态治理和水量分配提供了参考。

关键词:平原水库;引水;环境流组成;环境流指标;塔里木灌区

中图分类号:X143 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)03-0031-07

Changes in characteristics of environmental flow in Tarim irrigation area before and after water diversion

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. Hohai University Wentian College, Maanshan 243031, China;
4. Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla 841000, China)

Abstract: Based on the indicators of hydrological alteration method, the environmental flow indicators were determined and used to analyze the influence of water diversion in the Tarim irrigation area on the change of environmental flow at the Alaer-Xinquman cross-section in the mainstream of the Tarim River. The results show that the environmental flow components of the two hydrological stations changed to different extents after the irrigation with diverted water; the composition of environmental flow exhibited a trend of simplification; the flow events at all the hydrological stations were mainly low flow events; and the water diversion project had a significant effect on extremely low flow events, high pulse flow events, and large flood events. According to the relationship between the environmental flow indicators and the ecosystem, an optimal water resources scheduling scheme for the ecological environment was established, providing references for ecological management and water allocation in the Tarim River Basin.

Key words: plain reservoir; water diversion; environmental flow components; environmental flow indicators; Tarim irrigation area

环境流是指维持淡水生态系统及其对人类提供的服务所必需的水流的水量、水质和时空分布^[1]。Dyson 等^[2]指出,环境流是河流、湿地或沿海区在用 水矛盾的情况下,为维持不同用水部门及生态系统之间利益的平衡,保证河流生态系统健康发展,恢复河流生态功能的一种水文情势过程。世界自然保护

基金项目:国家自然科学基金(41371052,U1203282);水利部公益性行业专项(201501059);江苏省“青蓝”工程及江苏省高校优秀中青年教师和校长境外研修项目;2014年度“江苏省博士后科研资助计划”(1401095C)
作者简介:薛联青(1973—),女,教授,博士生导师,主要从事环境水文及生态水文方面研究。E-mail: lqxue@hhu.edu.cn

联盟 (International Union for Conservation of Nature) 认为环境流是为了维系生态系统和人类利益而对河流、湖泊和盆地水源进行的一种重分配。2008 年世界自然基金会 (World Wildlife Fund) 在我国引入环境流的概念,指出环境流是维持河流的生态环境需求而保留在河道内的生态基本流量和过程^[3]。国内的环境流研究主要是对水量的研究,着眼于保障人民生活生活用水和维持生态平衡的过程^[4]。

随着“自然-人工”二元水循环的提出,社会-经济-河流生态系统的整体性特征不断加强^[5]。针对塔里木河干流开展环境流需求评估基础研究,有利于推进该地区社会、经济、生态环境等部门的交流与合作;提出面向生态的流域水资源优化配置方案,可为该地区管理部门构建适宜的生态环境条件提供决策依据。

1 研究区概况

新疆塔里木河是我国最长的内流河,流域面积 102 万 km²,自身不产流,其水资源主要来自源流和地下水的补给^[6]。塔里木灌区位于阿克苏河下游,以塔里木河为界分为塔南灌区和塔北灌区,灌区用水主要依靠河道引水和水库调节。多浪水库距阿拉尔市约 40 km,始建于 1965 年,竣工库容 0.45 亿 m³,是塔北灌区唯一的灌溉调节水库,通过塔里木拦河闸 (建于 1971 年)北岸分水闸引阿克苏河河水入库。胜利水库距阿拉尔市约 30 km,1970 年 8 月蓄水,设计库容 1.08 亿 m³^[7]。为满足塔里木河两岸灌区用水,阿拉尔-新渠满站间修建有若干引水口和生态闸,塔里木河干流上游段水库工程及引水口分布示意图见图 1。

2 资料与方法

2.1 资料来源

塔里木河干流环境流分析所用的水文数据来自阿拉尔和新渠满水文站 1957—2014 年近 60 年的逐日流量资料,由新疆塔里木河流域管理局提供。水库-观测站间取水资料包括多浪水库和胜利水库多年月均入库和出库流量资料,阿拉尔-新渠满段引

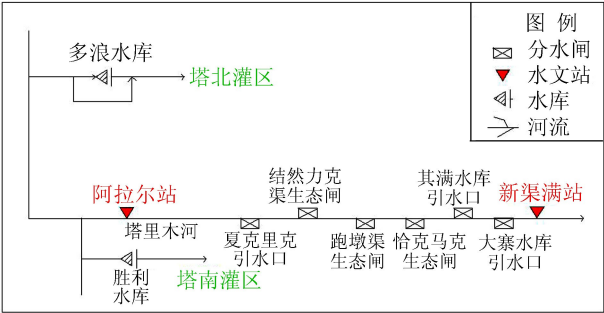


图 1 塔里木河干流上游段水库工程及引水口分布示意图

水口月均引水量资料。

2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 检验是一种常用于时间序列的趋势分析和突变点识别的方法,该方法作为一种非参数检验方法,与传统方法比较,它可以明确地指出时间序列变化的突变点,已在水文-气象要素的趋势分析中得到广泛应用^[8]。

2.2.2 环境流指标计算方法

环境流是维持河流生态环境所需的流量及其过程。环境流组成基于如下假设:河流的水文过程线可分为一系列的与生态有关的水位图模式^[9]。环境流组成涵盖枯水流量、特枯流量、高流量脉冲、小洪水和大洪水 5 种流量事件形式,代表了河流状态的全序列,环境流的稳定浮动对于维持河流生态完整性具有重要意义,其变化在一定程度上反应河流生态系统的受影响程度^[10]。组成环境流的 34 项指标及其主要生态意义见表 1。

采用水文变化指标分析软件,对阿拉尔和新渠满站实测逐日流量资料分人类活动干扰前后 2 个阶段统计 34 个环境流指标,包括人类活动干扰前后的各项指标中值、离散系数和偏差系数。

离散系数 C_D 反映各个指标与均值的偏离程度,计算公式为

$$C_D = (H - L) / M \tag{1}$$

式中: H 、 L 和 M 分别为人类活动干扰前后各水文序

表 1 环境流指标及其生态意义

组别	内容	环境流域指标	主要生态意义
组 1	枯水流量 (12 个参数)	各月枯水流量	维持一定的水温、溶解氧和水化学成分,为水生生物提供基本的生存条件
组 2	特枯流量 (4 个参数)	峰值、持续时间、发生时间及频率	维持洪泛区植物种类,减少外来物种入侵等
组 3	高流量脉冲 (6 个参数)	峰值、持续时间、发生时间、发生频率、上升率及下降率	维持洪泛区一定的地下水位及土壤水分,有利于周边植物生长,为水生生物提供合适的环境
组 4	小洪水 (6 个参数)	峰值、持续时间、发生时间、发生频率、上升率及下降率	有利于鱼类的洄游产卵;防止两岸植物侵占河道;维持河口盐分平衡等
组 5	大洪水 (6 个参数)	峰值、持续时间、发生时间、发生频率、上升率及下降率	塑造河道内的地形和滩区的自然环境;为鱼类提供产卵场;控制滩区植被分布;促进河流和河漫滩的物质交换等

列(由小到大排序)的第 75 百分位数、第 25 百分位数和第 50 百分位数^[3]。

偏差系数 F_D 表示人类活动干扰前后各项指标数值相对于天然时期的偏差,包括中值和离散系数的偏差,计算公式为

$$F_D = (D_{pre} - D_{post}) / D_{pre} \quad (2)$$

式中: D_{pre} 和 D_{post} 分别为人类活动干扰前、后的各项环境流指标的数值。

3 结果与分析

3.1 分离气候变化的潜在影响

河流水文情势的变化不仅受人类活动如水库建设、灌区引水等的影响,而且在一定程度上取决于气候条件的变化。在进行环境流指标计算之前,需要分离出气候变化对研究区内初始水文序列的潜在影响。一般来说,丰水年和枯水年作为气候变化的指示器,将分别导致高流量年和低流量年的发生。本文将分离出降水变化对河流水文变异的影响,进而客观评价塔里木灌区引水对塔里木河干流流域水文变异的影响。

利用泰森多边形法处理塔里木河上游源区 10 个雨量站 1960—2014 年逐日降雨资料,得到源区面平均年降雨量。根据丰平枯水定义,将塔里木河干流阿拉尔站和新渠满站的日流量资料划分为丰平枯 3 个时期。Yoo^[11] 建议以平均值±标准差 ($m \pm s$) 的区间范围作为正常降水年,某时期内若流域年降水量超过 P_{m+s} 为丰水年,流域年降水量少于 P_{m-s} 为枯水年,流域年降水量介于二者之间为平水年。本文采用图 2 确定的平水期内的水文资料进行环境流指标的计算与分析,可以有效分离出降水变化对水文情势的影响,由此评价灌区引水导致的河流水文情势时空变异更为合理。

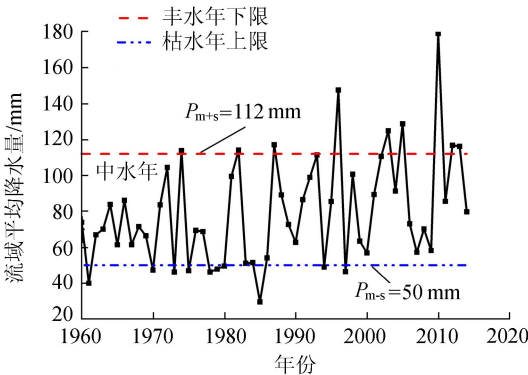


图 2 塔里木河上游源区平均降水量

3.2 径流趋势演变及突变点分析

图 3 反映了阿拉尔站和新渠满站年均径流量的演变趋势和变异特征。由图 3 可见,20 世纪 70 年代以后,塔里木河干流年径流量呈下降趋势,其中新

渠满站流量下降趋势更为显著,干流阿拉尔、新渠满水文站年径流量发生突变的年份分别为 1972 和 1973 年。通常径流序列突变点的发生时间与同期人类活动的剧烈变化密切相关,资料显示 20 世纪 70 年代左右,位于阿拉尔站上游的多浪水库和胜利水库相继建成并引水入库运行,同期塔河干流沿岸农牧业发展迅速,引水量增多,说明径流的变化可能与水库投入运行及引水口引水有关。郝兴明等^[12] 的研究表明 1970—1972 年间,塔河干流修建平原水库后各河流的引水率高达 75%,水库蒸发渗漏损失达 50%~60%,水资源利用效率很低,使得河川径流量大幅减少,与研究区实际情况吻合。依据两大平原水库蓄水运行的发生时间,并结合径流序列突变点检验,本文将径流序列分为受人类活动干扰前时期(1960—1972 年)和干扰后时期(1973—2014 年)。

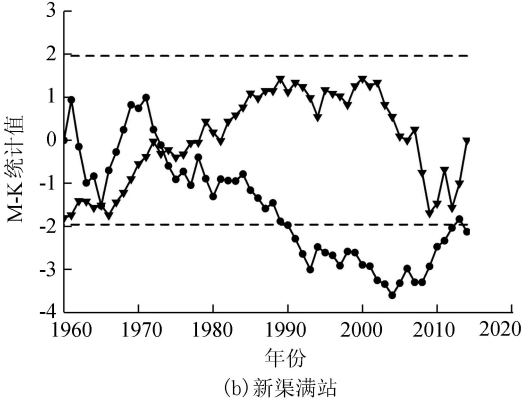
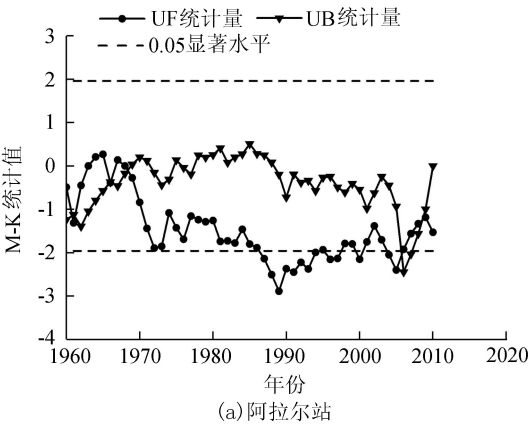


图 3 塔里木河干流代表水文站径流量 M-K 检验统计量曲线

3.3 环境流指标计算结果与分析

选取阿拉尔和新渠满水文站 1957—2014 年中平水年的实测逐日径流资料,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,分阶段统计 34 个环境流指标(表 2、表 3),从而分析水库运行和沿岸引水口引水对塔里木河干流环境流的影响。

3.3.1 阿拉尔站

3.3.1.1 环境流组成分析

由于多浪和胜利水库位于阿拉尔站附近,水库-

表 2 阿拉尔、新渠满站干扰前后各月枯水流量计算结果

月份	阿拉尔						新渠满					
	中值/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		离散系数		偏差系数		中值/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		离散系数		偏差系数	
	干扰前	干扰后	干扰前	干扰后	中值	离散系数	干扰前	干扰后	干扰前	干扰后	中值	离散系数
1	71.2	57.3	0.10	0.86	0.19	7.85	61.8	36.9	0.22	1.01	0.40	3.54
2	71.5	48.3	0.41	0.77	0.32	0.89	69.2	34.9	0.33	1.01	0.50	2.01
3	60.2	35.0	0.34	0.62	0.42	0.82	57.9	26.9	0.38	0.79	0.54	1.09
4	24.8	21.8	0.56	0.54	0.12	0.03	21	14	0.51	0.77	0.33	0.51
5	33.7	26.3	0.79	1.36	0.22	0.71	12.2	17.6	0.76	1.29	0.44	0.70
6	52.4	51.9	1.08	0.84	0.01	0.22	42.8	26.1	0.82	1.17	0.39	0.43
7	75.8	57.0	0.94	0.50	0.25	0.46	77.6	42.4	0.67	0.87	0.45	0.29
8	63.3	75.3	0.32	1.01	0.19	2.16	71.3	44.1	0.54	1.13	0.38	1.09
9	84.7	75.0	0.81	0.62	0.11	0.23	73.3	47.7	0.37	0.86	0.35	1.32
10	65.5	60.5	0.36	0.77	0.08	1.16	52.8	41	0.26	0.89	0.22	2.41
11	58.3	28.1	0.37	0.83	0.52	1.25	46.9	19	0.30	1.10	0.59	2.63
12	90.6	43.4	0.18	1.28	0.52	6.05	58.8	31.8	0.39	1.08	0.46	1.77

表 3 阿拉尔、新渠满站干扰前后环境流指标计算结果

流量事件	环境流指标	阿拉尔						新渠满					
		中值		离散系数		偏差系数		中值		离散系数		偏差系数	
		干扰前	干扰后	干扰前	干扰后	中值	离散系数	干扰前	干扰后	干扰前	干扰后	中值	离散系数
特枯流量	极小值/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	6.8	11.2	0.68	0.38	0.65	0.43	3.4	5	1.11	0.50	0.48	0.55
	平均历时/d	15	13.5	1.27	1.10	0.10	0.13	20	16	0.70	1.16	0.20	0.65
	极小值出现时间/d	134	159.0	0.07	0.10	0.14	0.42	155	158.5	0.07	0.07	0.02	0.04
	极小值出现次数/次	2	2.0	1.00	1.50	0.00	0.50	2	2	1.00	1.50	0.00	0.50
高流量脉冲	极大值/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	196.3	226.0	1.25	0.75	0.15	0.39	178.0	199.4	0.89	0.94	0.12	0.05
	平均历时/d	7.3	5.0	1.05	1.03	0.31	0.03	9	6.5	0.67	1.08	0.28	0.62
	极大值出现时间/d	256.5	213.0	0.39	0.27	0.24	0.30	72.5	230.5	0.44	0.27	0.86	0.37
	极大值出现次数/次	3	2.0	1.17	1.50	0.33	0.29	2	1.5	1.50	2.00	0.25	0.33
	上升率/%	30.6	43.1	1.51	1.32	0.41	0.12	23.8	38.9	0.94	1.26	0.64	0.35
	下降率/%	-21.1	-39.6	-1.92	-0.85	0.88	0.56	-15.3	-27.8	-1.15	-1.00	0.82	0.13
小洪水	极大值/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	1315	1300	0.22	0.16	0.01	0.27	1110	1110	0.13	0.14	0.00	0.03
	平均历时/d	77.0	63.0	0.24	0.25	0.18	0.06	89.5	65.0	0.26	0.52	0.27	0.98
	极大值出现时间/d	221.5	220.0	0.07	0.06	0.01	0.15	236.5	221.0	0.07	0.05	0.08	0.25
	极大值出现次数/次	0	0.0	0	0			0	0	0	0		
	上升率/%	25.0	40.0	0.71	1.14	0.60	0.61	20.3	39.4	0.54	0.91	0.94	0.70
	下降率/%	-31.7	-33.4	-0.66	-0.50	0.06	0.25	-23.8	-29	-0.90	-0.60	0.22	0.34
大洪水	极大值/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	1500	1755		0.23	0.17		1550	1555		0.16	0.00	
	平均历时/d	89	66.5		0.32	0.25		73.0	79.0		0.30	0.08	
	极大值出现时间/d	229	216.5		0.06	0.07		225.0	218.5		0.01	0.04	
	极大值出现次数/次	0	0	0	0			0	0	0	0		
	上升率/%	28.7	73.5		0.76	1.56		44.2	70.3		0.33	0.59	
	下降率/%	-33.3	-44.9		-0.73	0.35		-36.2	-26.3		-0.53	0.27	

阿拉尔站间沿岸取水量较小,其影响程度远小于两大平原水库的调节作用,因此可认为人类活动对阿拉尔站径流的影响主要由水库调节造成。图 4 反映的是人类活动干扰前后不同流量事件的分布情况。有图 4 可以看出,相较于干扰前,干扰后特枯流量事件、大洪水事件的量值均呈现不同程度的增加,尤其以大洪水事件极大值增大显著。说明平原水库的运行对于大洪水洪峰的消减作用并不明显,水库的汛期调度作用仍需加强。大多数流量过程都划入枯水流量事件的模式,表明流量的变化范围显著变窄。

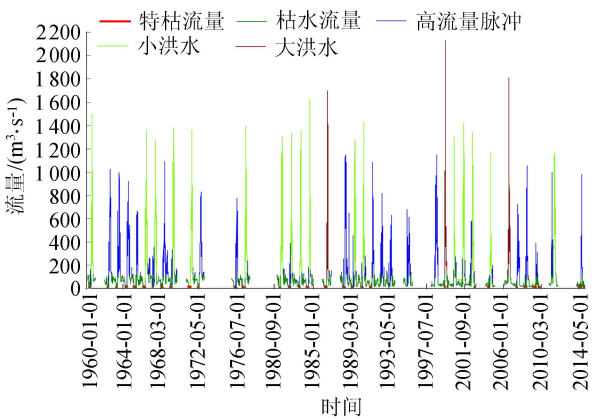


图 4 阿拉尔站不同流量事件分布

3.3.1.2 环境流指标分析

人类活动干扰前后 34 个环境流指标的改变情况见表 2 和表 3。由各个指标中值计算结果可得：相对于建库运行前,多浪、胜利水库蓄水运行后,除 8 月份枯水流量中值由 $63.3\text{m}^3/\text{s}$ 增加到 $75.3\text{m}^3/\text{s}$ 外,各月枯水流量均发生不同程度的减少,尤以 11 月、12 月、2 月枯水流量中值变化最为显著,说明水库运行对非汛期的枯水流量影响更大,这与水库工程等人类活动在非汛期引水灌溉,满足塔里木河上游灌区农业基本需水密切相关。除小洪水事件外,特枯流量、高流量脉冲、大洪水事件的极值均增大。除特枯流量事件外,高流量脉冲、小洪水、大洪水事件的极值出现时间均有所提前,特枯流量极小值出现时间由建库前的 4 月中旬推迟到 5 月上旬,高流量脉冲极大值出现时间由 8 月中旬提前到 7 月上旬。变化较为明显的环境流指标按照受建库影响程度的大小排序依次为:大洪水上升率、高流量脉冲下降率、11 月和 12 月枯水流量、特枯流量极小值、小洪水上升率等。受影响较大的流量事件是大洪水事件和高流量脉冲事件。

由离散系数计算结果可知,相较于建库运行前,水库运行后各流量事件的中值呈更为离散化的趋势,其中,特枯流量事件和各月枯水流量事件变化最大。离散程度变化大的环境流指标包括 1 月、8 月、10 月、11 月和 12 月枯水流量,特枯流量极小值出现次数、高流量脉冲下降率和小洪水上升率 8 个指标。

3.3.2 新渠满站

3.3.2.1 环境流组成分析

阿拉尔-新渠满站间引水口和生态闸全年引水量较大,因此新渠满站的径流变化受上游平原水库调蓄和沿程区间引水共同影响。由图 5 可以看出,相较人类活动干扰前,干扰后特枯流量事件增多。20 世纪七八十年代流量过程全部划入枯水流量和小洪水事件,说明水库运行初期其“蓄丰补枯”作用显著,在汛期削减洪峰流量,使得大洪水事件完全消失,在非汛期泄水增加河道枯水流量,使得特枯流量事件基本消失。2000 年以后,大洪水事件和特枯流量事件的发生次数增多,可见随着塔里木河上游流域灌溉需水的增多,平原水库在“蓄丰补枯”的调度作用减弱,且阿拉尔-新渠满段修建大量引水口无序引水灌溉,导致区间取水量加大,特枯流量发生频率增大。大多数流量过程都划入枯水流量事件模式,表明流量的变化范围显著变窄,流量模式趋向于单一化。

3.3.2.2 环境流指标分析

从人类活动干扰前后环境流指标的中值变化来看(表 2 和表 3),枯水流量事件变化较大,除 5 月份

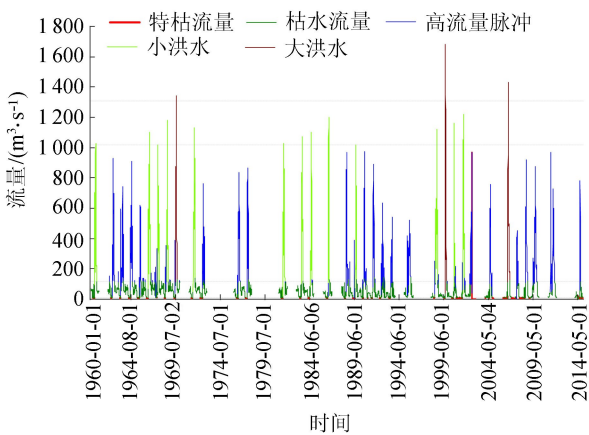


图 5 新渠满站不同流量事件分布

的枯水流量略微上升外,其他月份流量均明显下降;特枯流量事件的极小值增大;高流量脉冲事件极大值增大,且出现时间大幅滞后;小洪水事件平均历时缩短;大洪水事件的极大值增大且历时变长,其上升率由影响前的 44.2% 增加到影响后的 70.3%。受影响较大的环境流指标包括 2 月、3 月和 11 月枯水流量,高流量脉冲事件极大值出现时间、上升率和下降率、小洪水事件上升率及大洪水事件上升率等 8 个指标;受影响较大的流量事件是各月枯水流量事件和高流量脉冲事件。

由离散系数计算结果可得:相较于人类活动干扰前,干扰后各月枯水流量更为离散,尤以各月枯水流量事件和小洪水事件变化明显。变化较大的环境流指标包括 1 月、2 月、3 月、8 月、9 月、10 月、11 月和 12 月枯水流量,特枯流量平均历时、高流量脉冲平均历时、小洪水平均历时和上升率等 12 个指标。

3.4 基于环境流研究的塔河干流水资源调度措施

平原水库至新渠满段塔里木河干流的水量损失与塔里木灌区用水密切相关,水资源主要通过水库调节和塔河干流分水闸引水两种方式供给灌区。由表 4 可知,丰水期 7—9 月份两水文站间通过引水闸引水灌溉量较大,与表 2 中新渠满站对应月份的枯水流量下降显著相一致。自 20 世纪 70 年代初起,塔河干流大量修建平原水库和分水闸,塔里木灌区开始从塔河干流引水用于作物灌溉。对塔河干流上游两大平原水库(多浪水库和胜利水库)多年月均入库和出库水量进行分析发现,多浪水库入库水量多直接供给灌区,所以各月入库水量均大于出库水量。建库前后,阿拉尔站 12 月至次年 2 月枯水流量大幅下降,结合两大平原水库各月总调蓄水量知,枯水期水库的出库流量很小,例如 12 月份,水库入库流量之和为 $37\text{m}^3/\text{s}$,出库流量之和仅为 $2.07\text{m}^3/\text{s}$ 。这与两水库的功能密切相关,胜利水库和多浪水库是以灌溉为主的平原水库,枯水期入库水量多用于塔里木

表 4 塔里木河干流上游段水库工程及引水口月均流量

m³/s

月份	平原水库-阿拉尔段					阿拉尔-新渠满段						
	多浪水库		胜利水库		总和 调蓄量	引水口			生态闸			总引水量
	入库量	出库量	入库量	出库量		夏克里克	其满水库	大寨水库	结然力克渠	跑墩渠	恰克马克	
1	19.0	0.22	17.3	1.3	34.7	0.3	0.4	0.9	2.0	2.1	0.9	6.5
2	27.3	17.1	40.2	31.8	18.6	0.2	0.4	0.9	2.1	1.1	1.1	5.3
3	11.1	3.7	5.6	15.7	-2.7	0	0.2	1.2	3.0	1.3	1.7	7.5
4	8.1	0.9	0	15.4	-8.2	0	0.1	0.4	1.9	0.3	1.1	3.6
5	5.2	4.70	21.5	9.4	12.6	0	0	0	3.2	0.7	1.2	5.3
6	3.4	0	41.0	46.0	-1.5	0	0.1	0.5	1.6	0.7	1.5	4.2
7	1.9	0	86.6	79.2	9.3	0.5	0.9	2.1	5.5	5.2	3.7	17.9
8	1.9	0	89.8	83.5	8.2	0.8	1.3	2.4	13.4	10.1	6.6	34.6
9	3.1	0	67.5	57.1	13.5	0.1	0.4	1.1	3.4	3.7	1.4	9.8
10	5.5	3.6	57.5	17.7	41.6	0.1	0	0	0.3	2.6	0.5	3.6
11	11.4	2.9	6.2	5.12	9.5	0.1	0.2	0	1.2	1.6	0.3	3.2
12	18.7	0.03	18.3	2.04	35.0	0.2	0.3	0	1.7	1.7	0.1	4.1

灌区的农作物生长需水,向河道下放水量急剧减少。

塔河干流水资源开发利用程度较高,河道枯水流量减少使得周边生态环境不断恶化,急需结合环境流研究制定相应的水资源调度措施,以保障塔河干流中下游生态系统健康发展。阿拉尔、新渠满站为塔河上游代表水文站,为保证塔河下游不断流,本文水资源调度目标为保证一定量的阿拉尔、新渠满断面下泄流量。阿拉尔、新渠满断面 4、5 月份枯水流量值很小,主要因为多浪水库引蓄塔河冬闲水,承担塔里木灌区 3—5 月枯水期调节灌溉任务,使得下泄到阿拉尔断面的流量减少,而塔河干流来水主要集中在汛期,建议塔河在汛期(6—9 月)实施生态调度,适当加大多浪水库入库水量,存蓄一部分水量用于非汛期。由于多浪水库和胜利水库均属于平原灌注式水库,水库各月蒸发渗漏损失较大,因此,建议塔里木河灌区通过引水渠自河道引水,引水尽量从库外走水,水库则主要承担“余蓄亏补”的作用。有些引水口处于无闸门控制状态,阿拉尔-新渠满段引水无度现象明显,造成区间低效耗水,需改建引水口为生态闸门,进行引水量的测量,适时控制引水量。

4 结 论

塔里木河干流阿拉尔、新渠满两个水文站的环境流组成在人类活动主要是塔里木灌区引水后呈现不同程度的变化。大多数流量过程划入枯水流量事件和高流量脉冲事件的模式,说明受人类活动的干扰,流量的变化范围显著变窄,流量模式趋向于单一化。受影响较大的流量事件是特枯流量事件。相较于干扰前,干扰后各月枯水流量更为离散,尤以各月枯水流量事件变化明显。环境流指标中值变化较为明显的是 11 月和 12 月枯水流量、高流量脉冲下降率、小洪水事件上升率及大洪水事件上升率等。具

体而言,各月枯水流量显著减少,特枯流量事件和高流量脉冲事件的极值均有所增大,高流量脉冲事件、小洪水事件和大洪水事件上升率大幅提升,小洪水事件和大洪水事件极大值出现时间略有提前。

从环境流指标的生态含义分析,枯水流量的减少会对枯水期河道生态环境带来负面影响,难以满足水生生物和周边植被的生存需要,在河流生态保护过程中需要重点关注枯水流量事件。本文根据现有的水库调度和分水闸引水月均流量资料,结合环境流研究,提出了基础的塔河干流水资源调度建议,但由于生态资料有限,如何提出详细的且适应于塔里木河流域生态现状的水资源科学调度规则,还有待于进一步深入研究。

参考文献:

[1] 王浩. 环境流既是技术名词,又是管理概念,更是一项系统工程[N]. 中国水利报, 2011-06-30(05).

[2] DYSON M, BERGKAMP G, SCANLON J. Flow: the essential of environmental flow [M]. Gland: IUCN, 2003 :25-30.

[3] 马晓超. 基于生态水文特征的渭河中下游生态环境需水研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.

[4] 李云霞. 黄河下游环境流研究:以艾山以下河段为例[D]. 济南:山东师范大学, 2015.

[5] 赵利. 环境流二元特性及其表征研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2015.

[6] 邓铭江. 塔里木河下游应急输水的水生态环境响应[J]. 水科学进展, 2005, 16 (4): 586-591. (DENG Mingjiang. Eco-environmental responses of the lower reaches of Tarim River to the emergency water deliveries [J]. Advances in Water Science, 2005, 16 (4): 586-591. (in Chinese))

[7] 邓铭江. 塔里木河流域未来的水资源管理[J]. 中国水利, 2004 (17): 20-23. (DENG Mingjiang. Water resources management of Tarim River Basin in the future

- [J]. China Water Resources, 2004 (17): 20-23. (in Chinese))
- [8] AZIZ O I A, BURN D H. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin [J]. Journal of Hydrology, 2006, 319(1/4): 282-294.
- [9] 王学雷,姜刘志. 三峡工程蓄水前后长江中下游环境流特征变化研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2015, 49(5): 798-804. (WANG Xuelei, JIANG Liuzhi. Study on environmental flow change in the middle-lower Yangtze River before and after the impoundment of the Three Gorges Dam [J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2015, 49(5): 798-804. (in Chinese))
- [10] 付晓花,董增川,山成菊,等. 人类活动干扰下的滦河河流生态径流变化分析[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(2): 263-267. (FU Xiaohua, DONG Zengchuan, SHAN Chengju, et al. Analysis of ecological
- instream runoff of Luanhe River under the interference of human activities[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(2): 263-267. (in Chinese))
- [11] YOO C. Long term analysis of wet and dry years in Seoul, Korea [J]. Journal of Hydrology, 2006, 318(1/2/3/4): 24-36.
- [12] 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 identification of human activity and climate change on annual runoff variation in the Tarim River Basin [J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(12): 1409-1416. (in Chinese))

(收稿日期:2016-12-06 编辑:徐娟)

(上接第7页)

- [38] 郑德文,张培震,万景林,等. 构造、气候与砾岩:以积石山和临夏盆地为例[J]. 第四纪研究,2006,26(1):63-69. (ZHENG Dewen, ZHANG Peizhen, WAN Jinglin, et al. Tectonic events, Climate and Congelomorate; example from Jishishan Mountain and Linxia basin [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(1): 63-69. (in Chinese))
- [39] 郑德文,张培震,万景林,等. 六盘山盆地热历史的裂变径迹证据[J]. 地球物理学报,2005,48(1):157-164. (ZHENG Dewen, ZHANG Peizhen, WAN Jinglin, et al. Apatite fission track evidence for the thermal history of the Liupanshan basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(1): 157-164. (in Chinese))
- [40] 承金,汪新文,王小牛. 山西沁水盆地热史演化特征[J]. 现代地质,2009,23(6):1093-1099. (CHENG Jin, WANG Xinwen, WANG Xiaoni. The theimal history of the Qinshui Basin in Shanxi Province [J]. Geoscience, 2009, 23(6): 1093-1099. (in Chinese))
- [41] 刘武生,秦明宽,漆富成,等. 运用磷灰石裂变径迹分析鄂尔多斯盆地周缘中新代沉降隆升史[J]. 铀矿地质, 2008, 24(4): 221-232. (LIU Wusheng, QIN Mingkuan, QI Fucheng, et al. Analysis on the Meso-Neozoic subsidence and uplift history of theperiphery of Ordos basin using apatite fission track [J]. UraniumGeology, 2008, 24(4): 221-232. (in Chinese))
- [42] HELLER F, LIU T. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China [J]. Nature, 1982, 300(5891): 431-433.
- [43] KENT D V. Apparent correlation of palaeomagnetic intensity and climatic records in deep-sea sediments[J]. Nature, 1982, 299(5883): 538-539
- [44] 陈建生,王婷,陈茜茜,等. 鄂尔多斯自流盆地地下水来源争议问题讨论[J]. 地质论评, 2013, 59(5): 900-908. (CHEN Jiansheng, WANG Ting, CHEN Qianqian, et al. Discussion on the origin of groundwater in the Orodos basin [J]. Geological Review, 2013, 59(5): 900-908. (in Chinese))
- [45] SHACKLETON N J, OPDYKE N D. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of pacific core V28-239 late pliocenotocene geol [J]. Geol Soc Amer Men, 1976, 145, 449-464.
- [46] 赵景波. 淀积理论与黄土高原环境演变[M]. 北京:科学出版社, 2002:19.
- [47] 孙建中,赵景波. 黄土高原第四纪[M]. 北京:科学出版社, 1991:122.
- [48] 陈建生,陈茜茜,王婷. 阿拉善沙漠湿沙层水分来源同位素示踪[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 196-206. (CHEN Jiansheng, CHEN Qianqian, WANG Ting. Isotopes tracer research of wet sand layer water sources in Alxa Desert [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(2): 196-206. (in Chinese))
- [49] TAPPONNIER P, ZHIQIN X, ROGER F, et al. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau [J]. Science, 2001, 294: 1671-1677.
- [50] WEI Wenbo, UNSWORTH M, JONES A G, et al. Detection of widespred fluids in the Tibetan crust by magnetotelluric studies [J]. Science, 2001, 292: 716-718.
- [51] LIU M, CUI X, LIU F. Cenozoic rifting and volcanism in eastern China; a mantle dynamic link to the Indo-Asian collision? [J]. Tectonophysics, 2004, 393(1/2/3/4): 29-42.
- [52] 潘爱芳,赫英. 鄂尔多斯盆地石油的稀土元素地球化学特征[J]. 中国稀土学报, 2008, 26(3): 374-380. (PAN Aifang, HE Ying. Rare earth element geochemical characteristics of oil in the Ordos basin [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2008, 26(3): 374-380. (in Chinese))

(收稿日期:2017-02-21 编辑:徐娟)