

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^{*}

郝兴明¹ 李卫红¹ 陈亚宁^{1**} 李 聪²

1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆气候中心, 乌鲁木齐 830002

摘要 如何区分人类活动和气候变化对径流的影响, 一直以来受到研究者的广泛关注. 文中以塔里木河流域近 50 年来实测径流资料以及塔里木河干流区气象资料为研究对象, 采用非参数的 Spearman 秩次检验和 Mann-Kendall 检验对干流径流和气象因子时间序列变化趋势进行分析, 并在此基础上对二者的突变点进行检验. 结果表明, 在人类活动影响下干流阿拉尔、新渠满、英巴扎和卡拉水文站年径流量发生突变的年份分别为 1970, 1972, 1974 和 1974 年; 而气候变化发生突变的年份则为 1993 年. 人类活动对塔里木河干流(以卡拉水文站计)年径流量减少的影响在 20 世纪 70—90 年代和 2000—2005 年分别为 41.96%, 74.73%, 76.45% 和 67.18%; 气候变化对干流年径流量减少的影响在 20 世纪 90 年代和 2000—2005 年分别为 1.67% 和 2.95%. 人类活动是影响干流径流变化的最主要因子.

关键词 径流 人类活动 气候变化 塔里木河干流

环境问题是全球变化研究的主题^[1]. 生态系统或自然环境处于气候变化和人类活动的共同作用和影响之下^[2-4]. 气候变化导致全球变暖以及降水模式发生变化, 其中最显著的后果之一就是区域水循环系统的改变^[5-6]. 在干旱环境下, 地表径流对气候变化的响应尤其敏感. 降水和温度的轻微变化都会引起地表径流系统的明显改变. 除了气候变化外, 人类活动同样显著的影响着水资源的变化^[3,4,7]. 人类活动越是改变、支配甚至是取代自然生态系统, 就越会增加气候和环境变化的脆弱性^[8], 尤其对中国西部生态脆弱区而言, 人类活动对生态与环境的影响作用则更加突出和明显^[9]. 塔里木河地处我国西北干旱区, 是中国最长的内陆河. 在过去 50 年里, 塔里木河流域在资源开发和经济发展的同时, 生态与环境发生了显著变化, 尤其表现为水资源开发过程中生态与经济的矛盾日益

突出. 扩大耕地、开垦草地、过度放牧、兴修工程等改变了水文过程, 打破了生态系统原有的平衡状态, 人工绿洲不断扩大的同时, 水域湿地面积锐减, 荒漠生态系统受损, 塔里木河上游 3 大源流(阿克苏河、叶尔羌河、和田河)向干流输水及干流上游向下游输水减少, 塔里木河下游 321 km 河道断流, 地下水大幅度下降, 靠地下水维系生存的天然植被大面积衰败和死亡, 沙漠化扩张, 生态系统退化, 生物多样性严重受损^[10].

显然, 塔里木河干流年径流量可能同样受气候变化的影响. 同时, 人类活动对径流的影响也是影响干流径流变化的最主要因素. 然而, 人类活动与气候变化因素的作用时间段以及二者的大致影响量目前仍不清楚. 本文以近 50 年来塔里木河干流水文情势和气候因子为主线, 通过对塔里木河干流年径流和气候时间序列的分析, 希望能够对此问题给

2008-03-05 收稿, 2008-06-04 收修改稿

^{*} 中国科学院重要方向项目(批准号: kzcx 2-yw-127)和国家自然科学基金(批准号: 40701011, 90502004)资助项目

^{**} 通信作者, E-mail: chenyn@ms.xib.ac.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

出答案. 为塔里木河流域水资源管理和配置, 提供决策参考.

1 研究区域概况

新疆塔里木河流域是环塔里木盆地九大水系 114 条河流的总称, 流域面积为 $102 \times 10^4 \text{ km}^2$, 多

年平均地表水天然径流量 $3.98 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 主要由高山区冰雪融水和降水补给. 从水文学角度讲, 塔里木河流域是一个封闭的集水区, 是一个在空间上靠近中国最大沙漠—塔克拉玛干沙漠的独特的淡水生态系统(图 1).

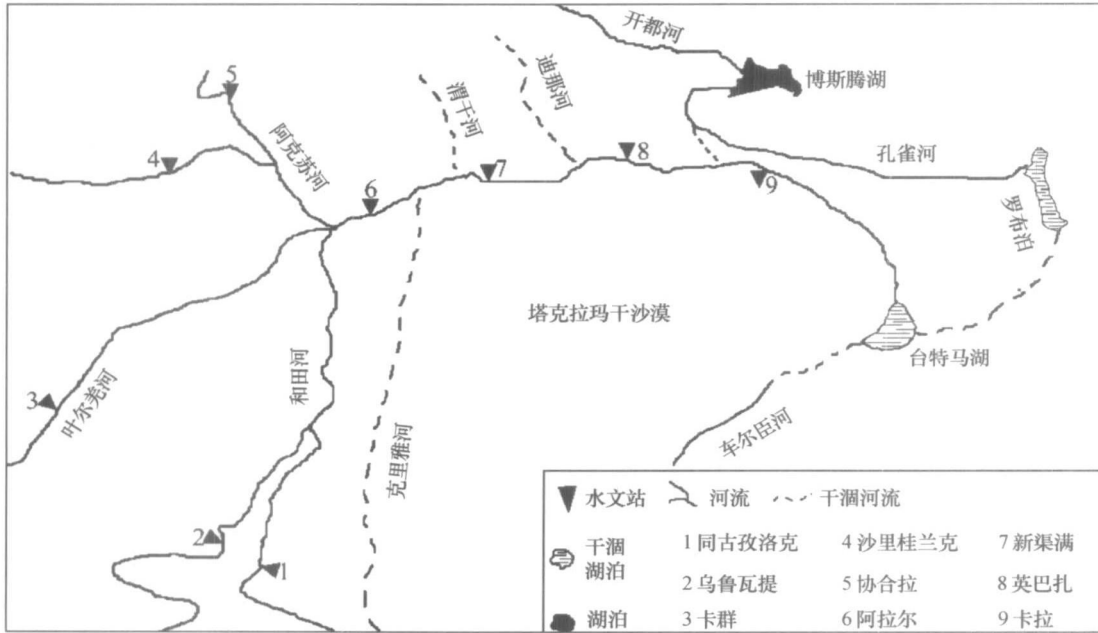


图 1 塔里木河流域示意图

塔里木河干流流经塔克拉玛干大沙漠北缘, 年均降水量只有 41.1 mm , 干旱指数(以年蒸发能力 E_0 和年降水量 P 的比值来表示, 干旱指数 > 1.0 , 说明年蒸发能力大于年降水量, 表明该地区的气候偏于干旱, 指数越大, 干旱程度就越严重)高达 $28-80$, 属极端干旱地带, 干流沿河两岸的国民经济发展和生态用水, 全靠三源流(阿克苏河、和田河、叶尔羌河)下泄水量维持. 历史上, 曾有九大水系汇入塔里木河干流, 包括阿克苏河、和田河、叶尔羌河、车尔臣河、克里雅河、迪纳河、喀什噶尔河等. 19 世纪末至 20 世纪 30 年代以前, 迪那河、渭干河、孔雀河及喀什噶尔等河还有余水汇入塔里木河, 后由于各河上游灌区引水增加, 上述河流消失于灌区中. 源于昆仑山北坡的克里雅河、车尔臣(且末)等河, 离塔里木河较远, 古代汛期可能有洪水汇入塔里木河, 后亦因灌溉引水, 早已消失

于灌区或沙漠中. 各河地下径流最后归宿点可能仍是罗布洼地. 因此, 塔里木盆地所有河流都属于塔里木水系. 目前, 和田河只在每年的 7—9 月洪水期才有水量进入塔里木河, 叶尔羌河 1986 至 2003 年 18 年中, 仅有一年(1994 年)在洪水期有水补给塔里木河, 其余 17 年均无地表水输入塔里木河干流. 目前, 在汇入塔里木河干流的三源流中, 阿克苏河是塔里木河干流水量的主要补给来源, 补给量占 73.2% , 和田河为 23.2% , 叶尔羌河只占 3.6% .

2 研究资料与方法

分析所用年径流量资料取自塔里木河源流站(乌鲁瓦提、同古孜洛克、卡群、协合拉、沙里桂兰克)和干流阿拉尔、新渠满、英巴扎、卡拉四个水文站 1957—2005 年监测数据. 由于塔里木河干流自身不产流, 年均降水量仅有 40 mm 左右, 因

此, 干流气候因素仅考虑温度和蒸发. 气象资料取自塔里木河干流区阿克苏、拜城、新和、沙雅、库车、轮台、和硕、焉耆、库尔勒、铁干里克、若羌 11 个气象站 1957—2005 年的年平均温度、1960—2005 年平均蒸发量时间序列. 对径流和气候(温度、蒸发)年时间序列的检验本文采用非参数的 Spearman 秩检验^[11, 12]和 Mann-Kendall 检验^[2]来完成. 对时间序列突变点采用 Mann-Kendall^[13]法进行辨识.

本文研究基于这样一个科学假设, 即: 干流年径流量受到人类活动和气候变化的共同影响. 因此, 首先对干流径流和气候因子(温度、蒸发)时间序列的突变点进行分析; 然后根据径流时间序列和气候因子时间序列突变点的差异从而确定人类活动和气候变化对干流年径流量影响的时间段, 并在此基础上对二者的影响进行定量评估.

3 结果分析

3.1 径流变化趋势

对塔里木河 3 源流 1957—2005 年, 共 49 年的年径流量数据分析(图 2), 发现 3 源流近 50 年来径流变化趋势并不一致. 阿克苏河、叶尔羌河年径流表现出增加趋势, 尤其以阿克苏河的径流增加趋势最为明显; 而和田河径流变化则呈现出略微下降的趋势.

塔里木河干流阿拉尔、新其满、英巴扎和卡拉水文站 1957—2005 年实测的年径流变化趋势的分

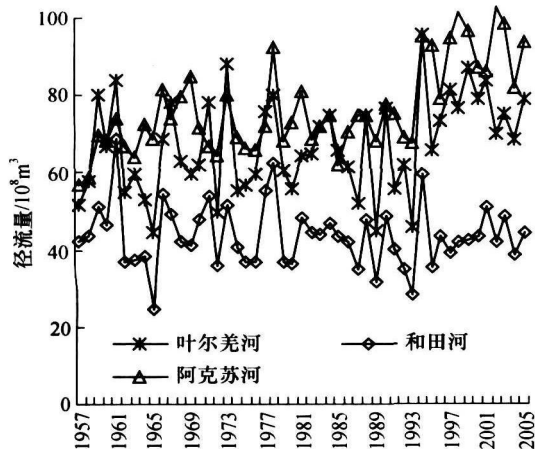


图 2 塔里木河三源流年径流量变化趋势

析(图 3), 显示干流沿河道自上而下, 不同水文站的年径流量在过去的 50 年中均表现出递减的变化趋势. 而且, 在阿拉尔、新其满和英巴扎水文站, 年径流量变化趋势具有很强的一致性, 曲线变化趋势吻合度很高; 而卡拉水文站年径流变化曲线, 则对以上 3 个水文站年径流量变化曲线的吻合不是很好, 并且其径流量值远远低于英巴扎水文站. 这也说明干流越往下, 外界因素对径流的干扰也越大. 干流各水文站 20 世纪 90 年代径流量与 80, 70 和 60 年代相比均有大幅度下降, 尤其以卡拉水文站最为明显, 降幅分别达到 3.82%, 60.79% 和 79.00%.

对塔里木河源、干流各水文站年径流量数据的非参数检验结果(表 1)显示: 阿克苏河年径流量的增长趋势明显, 置信度水平达 95%. 叶尔羌河也表现为增加趋势, 而和田河的年径流却呈轻微下降的

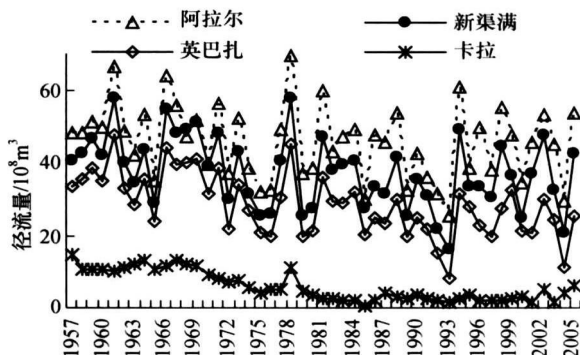


图 3 塔里木河干流各水文站年径流量变化趋势

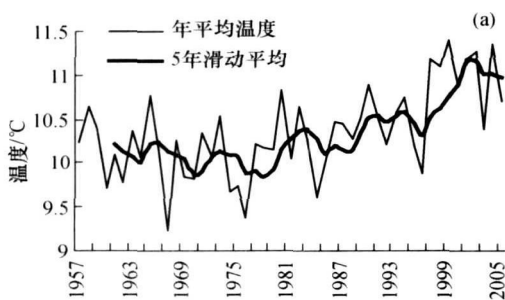
表 1 塔里木河干流年径流量变化趋势检验结果

河流	Spearman 检验		Mann-Kendall 检验				趋势	
	Spearman 统计量	临界值	H_0 ^{a)}	M-K 检验统计量 Z_c	β	临界值		
阿克苏河	-3.132	2.01	C	3.327	0.37	1.96	C	↑
叶尔羌河	-1.948	2.01	S	0.649	0.111	1.96	S	/
和田河	0.5778	2.01	S	-1.301	-0.112	1.96	S	/
三源流总和	-2.36	2.01	C	2.669	0.79	1.96	C	↑
阿拉尔	2.078	2.01	C	-1.986	-0.164	1.96	C	↓
新其满	2.278	2.01	C	-2.21	-0.248	1.96	C	↓
英巴扎	3.056	2.01	C	-3.466	-0.311	1.96	C	↓
卡拉	3.04	2.01	C	-5.625	-0.375	1.96	C	↓

a) C: 拒绝; S: 支持; 置信度 $p=95\%$.

走向,但两者的趋势都不明显.同样对 3 源流年总径流量进行检验,发现源流总来水量也呈现出显著的增加趋势.塔里木河干流各水文站年径流量均具有明显的变化趋势,而且沿河道自上而下,随着 Mann-Kendall 检验的统计量 Z_c 和 β 值绝对值的逐渐增大,径流减少的趋势也是越来越明显.

塔里木河流域源、干流径流变化趋势最显著的特点就是:源流区来水量呈增加趋势,干流区年径流量却表现为下降趋势.造成干流径流下降的主要原因可能为人类活动,当然也不能排除干流区气候变化所造成的影响.



3.2 气候因子变化趋势

干流区 1957—2005 年均温度时间序列和 1960—2005 年蒸发量时间序列的分析(图 4)表明,干流区年均温度和年蒸发量表现为振荡上升的趋势,且 20 世纪 90 年代后上升趋势趋于明显.

年平均温度和年蒸发量时间序列的 Spearman 秩次相关检验,证实在过去 50 年中年平均温度和年蒸发量具有很明显的变化趋势.年平均温度和年蒸发量的 Mann-Kendall 检验表明,二者具有明显的变化趋势,且 β 值大于零,表明这种变化趋势是随时间推移而增加的.

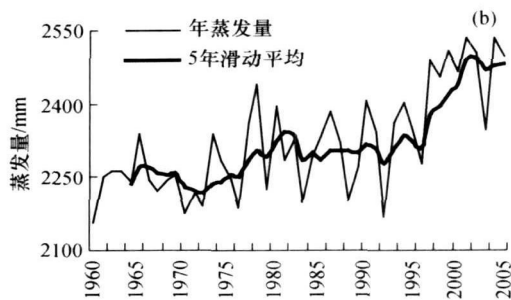


图 4 塔里木河干流区年均温度、年蒸发量变化趋势

(a) 年均温度; (b) 年蒸发量

表 2 塔里木河干流年均温度、年蒸发量变化趋势检验结果

序列	Spearmen 检验		Mann-Kendall 检验				趋势
	Spearman 统计量	临界值 $H_0^{a)}$	M-K 检验统计量 Z_c	β	临界值	$H_0^{a)}$	
温度	-2.74	2.01	C	2.67	0.02	1.96	C ↓
蒸发	-3.23	2.01	C	4.96	5.25	1.96	C ↓

a) C: 拒绝; S: 支持; 置信度 $p=95\%$.

3.3 径流与气候因子的突变点分析

为了区分人类活动和气候变化的影响,我们分别对干流区年平均温度、年蒸发量时间序列和干流各水文站年径流量的突变点进行分析.图 5 的分析结果显示:沿干流自上而下,在阿拉尔、新渠满、英巴扎和卡拉水文站年径流量发生突变的年份分别为 1970, 1972, 1974 和 1974 年,突变年份的这种推移也反映了干扰因素自上而下的传递过程.图 6 分析结果表明,塔里木河干流年平均温度与年蒸发量发生突变的年份为 1993 年.塔里木河干流年径流量发生突变的时间和年平均温度以及年蒸发量发生突变的时间存在明显的差异.这一结果证实了年

径流量受人类活动和气候变化的双重影响,但二者的作用时段不同.人类活动对干流年径流量的影响时段(年份)在阿拉尔、新渠满、英巴扎和卡拉分别为:1970—2005, 1972—2005, 1974—2005 和 1974—2005;而气候变化(温度升高)对干流年径流量的影响时段应该为 1993—2005.

3.4 人类活动、气候因子对径流影响量的估算

分析人类活动、气候变化对塔里木河干流年径流量影响量估算的基本思路为:首先,利用干流各站年径流量突变点前的数据建立源流出口与干流各水文站年径流量的回归方程.然后,依据回归方程计算干流各水文站在突变点后的年径流量.计算所得突变点后径流量与实测径流量的差值即为人类活动与气候变化所产生的影响量.其中分析的难点之一就是如何区分 1993 年后人类活动和气候变化对径流的影响量.对此,本文拟先估算 1993—2005 年度干流蒸发耗水,然后再间接计算同时期人类活动的影响量.

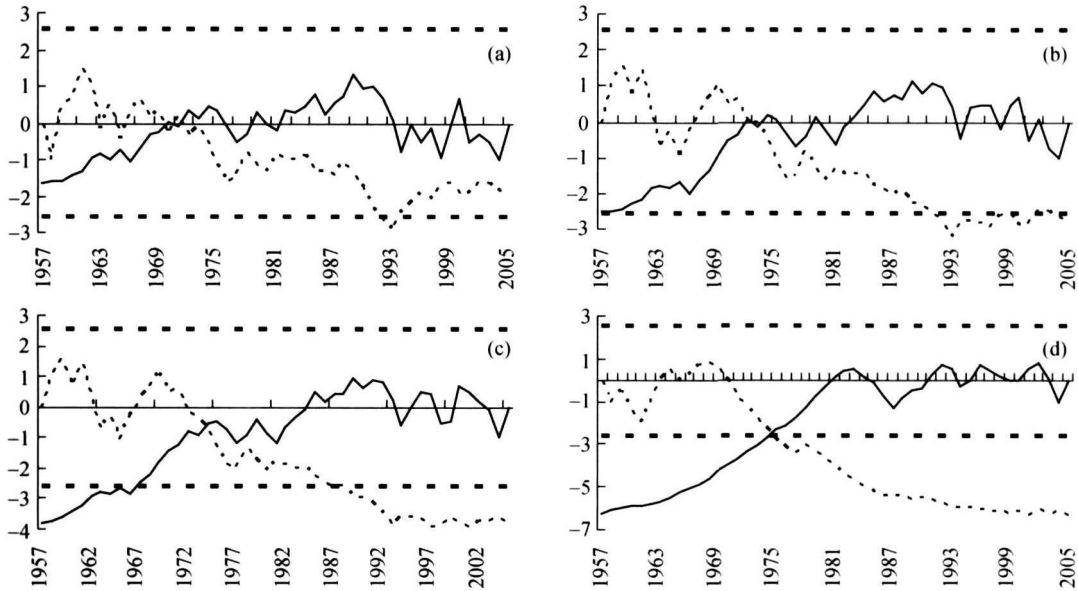


图5 1957—2003年塔里木河干流年径流量突变点检验

(a) 阿拉尔; (b) 新渠满; (c) 英巴扎; (d) 卡拉

—— UF, UB, - - - - 信度线

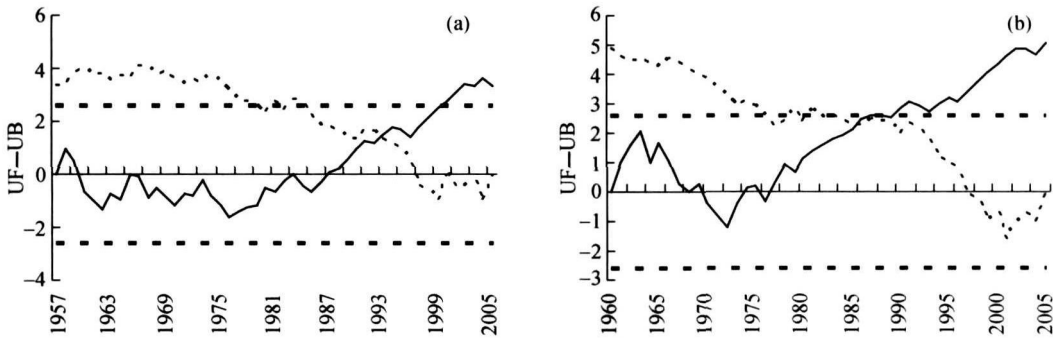


图6 塔里木河干流温度、年蒸发量时间序列突变点检验

(a): 温度时间序列; (b) 蒸发时间序列

—— UF, UB, - - - - 信度线

依据干流各站年径流发生的突变时间, 以干流各水文站年径流量累计值为因变量(y), 源流出口年径流总量累计值为自变量(x)分别建立干流年径流量累计值与源流年径流量累计值之间的回归方程。其中, 干流阿拉尔水文站建立回归方程的时间序列为1957—1970; 新渠满为1957—1972; 英巴扎为1957—1974; 卡拉为1957—1974。所建立回归方程如下:

阿拉尔: $y = 0.2825x + 6.8193 \quad (R^2 = 0.9995)$

新渠满: $y = 0.2454x + 3.5694 \quad (R^2 = 0.9998)$

英巴扎: $y = 0.1962x + 9.9398 \quad (R^2 = 0.9988)$

卡拉: $y = 0.0558x + 8.1783 \quad (R^2 = 0.9962)$

然后, 由年蒸发量时间序列数据, 可得突变点后年蒸发量相对于突变点前多年平均值的增加值, 而蒸发量的增加值与河道水域面积的乘积则为气候变化(蒸发量时间序列发生突变后)对径流减少的影响量。由于缺乏干流河道水域面积的影像和实测资料, 因此, 本文对干流河道水域面积采用间接估算获得。估算的数据指标和参数标见表3。依据河道水域面积并最终获得1994—2005年间干流的蒸发

耗水量。结合所建立的源干流年径流量回归方程, 本文对人类活动和气候变化对干流径流减少量进行估算(表 4)。

表 3 塔里木河干流河道水域面积估算参数及指标^{a)}

水文站	阿拉尔	新渠满	英巴扎	卡拉
河道长度/km	48	237	495	893
河道宽度/m	600—1200	100—300—500	150—170	60—120
本文采用宽度/m	900	300	160	90
河道水域面积/km ²	43.2	99.9	141.18	177

a) 1. 河道宽度为各水文站测量值; 2. 河道长度为肖夹克分别至各水文站的河道长

如果以相同时间段来衡量, 则从阿拉尔至卡拉, 随着河道自上而下的沿程变化, 人类活动的影响量是逐步增强的; 气候变化对径流影响量也表现出同样的变化趋势。这表明越往下游, 外界干扰对径流量的影响也越强烈。如果以某一水文站点来衡量人类活动、气候变化对径流影响量的时间变化趋势, 则人类活动对年径流量的影响在阿拉尔、新渠满和英巴扎均表现出 20 世纪 80 年代减小, 90 年代和 2000 年以来又增加的趋势, 并在 2000—2005 年时段达到最大值; 而在卡拉水文站, 人类活动对径流影响则表现为从 20 世纪 70 年代到 90 年代递增, 但在 2000—2005 年间小幅度下降。综合而言, 人类活动对整个塔里木河干流(以卡拉水文站计)年径流量减少的影响在 20 世纪 70 年代至 90 年代和 2000—2005 年分别为 41.96%, 74.73%, 76.45%和 67.18%; 气候变化对干流年径流量减少的影响在 20 世纪 90 年代和 2000—2005 年分别为 1.67%和 2.95%。

4 讨论与结论

事实上, 在干流径流发生突变前(1970 年代以前), 人类活动和气候因素都对径流产生一定影响。而本文所分析人类活动对径流影响则是指人类活动剧烈变化后对径流影响的增量(增量为负值), 研究的空间尺度为从源流出山口分别至干流各水文站之间的区间范围。由于塔里木河干流自身不产流, 完全依靠源流补给, 因此, 对干流径流具有影响的气候因子为温度变化而引起的蒸发量的变化。本文所分析气候对径流影响的空间尺度为干流肖夹克至以下各水文站的区间范围。

表 4 人类活动、气候变化对塔里木河干流径流量减少的影响

站名	时段	实测径流		人类活动		气候变化	
		累积值 /10 ⁸ m ³	计算径流 累积值 /10 ⁸ m ³	影响量 /10 ⁸ m ³	占理论 值/%	影响量 /10 ⁸ m ³	占理论 值/%
阿拉尔	1957— 1969	661.73	/	/	/	/	/
	1970— 1979	444.4	520.5	76.1	14.62	/	/
	1980— 1989	447.61	500.74	53.13	10.61	/	/
	1990— 1992	110.1	152.9	42.8	27.99	/	/
	1993— 1999	350.25	468.13	117.55	25.11	0.33	0.07
	2000— 2005	261.79	360.52	98.22	27.24	0.51	0.14
新渠满	1957— 1971	667.27	/	/	/	/	/
	1972— 1979	279.71	358.75	79.04	22.03	/	/
	1980— 1989	352.13	434.98	82.85	19.05	/	/
	1990— 1992	88.44	132.82	44.38	33.41	/	/
	1993— 2000	243.56	355.14	110.82	31.20	0.76	0.21
	2000— 2005	205.28	313.17	106.71	34.07	1.18	0.38
英巴扎	1957— 1973	601.8	/	/	/	/	/
	1974— 1979	162.7	214.21	51.51	24.05	/	/
	1980— 1989	265.9	347.77	81.87	23.54	/	/
	1990— 1992	61.6	106.19	44.59	41.99	/	/
	1993— 2000	169.76	283.93	113.09	39.83	1.08	0.38
	2000— 2005	133.31	250.38	115.4	46.09	1.67	0.67
卡拉	1957— 1973	184.68	/	/	/	/	/
	1974— 1979	35.36	60.92	25.56	41.96	/	/
	1980— 1989	24.99	98.91	73.92	74.73	/	/
	1990— 1992	8.7	30.2	21.5	71.19	/	/
	1993— 2000	16.08	80.75	63.32	78.41	1.35	1.67
	2000— 2005	21.27	71.21	47.84	67.18	2.10	2.95

20 世纪 50 年代至今, 是塔里木河干流域人工河道引水和水库调节灌溉高度发展时期. 这一时期塔里木河流域地区灌溉面积增加了 2.42 倍, 其中塔里木河中下游灌溉面积增加最大, 为 5.86 倍. 为了使耕地得到灌溉, 在塔里木河干流 1321 km 的河道上, 共修建了 8 座平原水库, 其中有 5 座修建于 1970—1972 年间(表 5). 修建平原水库后各河流的引水率达到 75.0% 以上, 远超过国际上河流引水率低于 50% 的要求, 使生态用水不足 20%—30%. 并且, 由于灌区配套工程跟不上, 灌溉技术落后, 灌溉管理不严, 使得水资源利用效益很低. 水库蒸发渗漏损失达 50%—60%, 渠系利率只有 0.35—0.4, 每千克粮食耗水量达 3.0—5.0 m³, 每千克棉花耗水达 20 m³ 以上, 水资源利用效益很低^[14]. 同时, 把大量地表水引入灌区, 强烈地改变了地表水的时空分配, 干流下游卡拉径流量由 20 世纪的 50 年代的 13.5 × 10⁸ m³ 减少为 20 世纪 90 年代的 2.7 × 10⁸ m³, 大西海子以下 320 km 河道断流, 造成台特玛湖和罗布泊干涸. 因此, 对年径流量突变点的分析得出结论为: 在人类活动影响下, 干流阿拉尔、新渠满、英巴扎和卡拉水文站年径流量发生突变的年份分别为 1970, 1972, 1974 和 1974 年. 突变点的时间与同期人类活动剧烈变化是紧密相关的.

表 5 塔里木干流上中游主要水库和灌区^{a)}

水库名	完成修建年代	灌溉面积 / ha	有效库容 / 10 ⁴ m ³	所处位置
大寨水库	1970	5887	2100	上游灌区
帕满水库	1972	11225	4560	
其满水库	/	2582	3200	
结然力克水库	/	3240	5930	
喀尔曲尔水库	1972	1485	1680	中游灌区
塔里木水库	1971	5522	2500	
卡拉水库	卡拉 1 库 卡拉 2 库	6667 3333	11500	
河灌区	/	22895	/	上、中游灌区
泵灌区	/	8573	/	

a) 表中数据来自“塔里木河干流上中游灌区节水改造五年实施方案”, 2001 年

人类活动对整个塔里木河干流(以卡拉水文站计)年径流量减少的影响在 20 世纪 70, 80, 90 年代和 2000—2005 年分别为 41.96%, 74.73%, 76.45% 和 67.18%; 气候变化对干流年径流量减少

的影响在 20 世纪 90 年代和 2000—2005 年分别为 1.67% 和 2.95%. 人类活动是影响干流径流变化的最主要因子. 另外, 气候变化对年径流量的影响也反映出, 2000—2005 年间温度和蒸发量的上升幅度较 1993—1999 年间要大. 也就是说, 2000 年以来, 气候变化更趋于明显.

在径流变化趋势的分析中, 发现 1970 年以前卡拉水文站年径流量与其他干流水文站年径流量变化过程存在明显差异, 即卡拉水文站径流变化趋势与其他各站变化趋势吻合性不是很好. 造成这种现象的原因则可能是, 干流卡拉水库(表 5)蓄水后对径流起到调节作用; 同时, 塔里木河上中游的河灌区(直接引河水灌溉)和泵灌区(从河道泵水灌溉)在不同时间段的大量引水也对径流产生显著影响. 同时, 这也可能表明, 卡拉站径流在记载数据之前(1957 年)就受到了人类活动的显著干扰. 但由于缺乏 1957 年前数据, 不能对这一观点进行有效验证和定量评估.

虽然分析结论认为, 温度升高所引起的蒸发量的增加对塔里木河干流径流产生不利影响. 然而, 就整个流域来看, 这一结论并不完全成立. 因为, 塔里木河流域是以高山冰雪和季节性积雪融水补给为主的河流. 从源流产流的角度分析, 温度的升高会使源流来水量增加. 相关研究^[2, 15] 也表明, 气候变化使塔里木河源流出山口径流量增加, 流域水文情势向有利于开发利用的方向发展. 因此, 如果要全面评估气候变化对流域水文水资源的影响, 就必须同时考察气候变化因素对源流(产流区)和干流(耗散区)径流的不同作用效果.

参 考 文 献

- 葛全胜, 方修琦, 张雪芹, 等. 20 世纪下半叶中国地理环境的巨大变化—关于全球环境变化区域研究的思考. 地理研究, 2005, 24(3): 345—356
- Chen YN, Xu ZX. Plausible impact of global climate change on water resources in the Tarim River Basin. Science in China Ser. D(Earth Sciences), 2005, 48(1), 65—73
- Lioubimtseva E, Cole R, Adams JM., et al. Impacts of climate and land-cover changes in Arid Lands of Central Asia. Journal of Arid Environments, 2005, 62: 285—308
- Zhang YK, Schilling KE. Increasing streamflow and baseflow in Mississippi River since the 1940s: Effect of land use change. Journal of Hydrology, 2006, 324: 412—422
- Xu CY. Modeling the effects of climate change on water re-

- sources in Central Sweden. *Water Resources Management*, 2000, 14(3): 177-189
- 6 Labat D, Godderis Y, Probst JL, et al. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advance in Water Resources*, 2004, 27: 631-642
- 7 Gregory KJ. The human role in changing river channels. *Geomorphology*, 2006, 79: 172-191
- 8 蔡运龙, 陆大道, 周一星, 等. 地理科学的中国进展与国际趋势. *地理学报*, 2004, 59(6): 803-810
- 9 王让会, 樊自立. 干旱区内陆河流域生态脆弱性评价—以新疆塔里木河流域为例. *生态学杂志*, 2001, 20(3): 63-68
- 10 陈亚宁, 崔旺诚, 李卫红, 等. 塔里木河的水资源利用与生态保护. *地理学报*, 2003, 58(2): 215-177
- 11 Chen HL, Rao AR. Testing hydrological time series for stationarity. *Journal of Hydrological Engineering*, 2002, 7(2): 129-136
- 12 Zbigniew W Kundzewicz, Dariusz Graczyk, et al. Trend detection in river series I. A annual maximum flow. *Hydrological Science Journal*, 2005, 50(5): 797-810
- 13 刘春玲, 许有鹏, 张强. 长江三角洲地区气候变化趋势及突变分析. *曲阜师范大学学报*, 2005, 31(1): 109-114
- 14 樊自立, 马英杰, 王让会. 历史时期西北干旱区生态环境演变过程和演变阶段. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 10-15
- 15 Xu CC, Chen YN, Li WH, et al. Climate change and hydrologic process response in the Tarim River Basin over the past 50 years. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(Supp. 1): 25-36

《自然科学进展》投稿须知

《自然科学进展》是国家自然科学基金委员会和中国科学院共同主办的综合性学术月刊, 刊登自然科学各学科领域的基础研究和应用基础研究方面的高水平、有创造性和重要意义的最新研究成果论文, 以促进国内外学术交流. 中文版由各地邮局公开发行, 英文版由 Elsevier 总代理, 在世界各地发行.

本刊中文版为《中国科技期刊引证报告》的源期刊, 并被《中文核心期刊要目总览》、“生物学文摘”等数据库和检索系统收录; 英文版(*Progress in Natural Science*)被 SCI Expanded, Chemical Abstracts (CA), Engineering Index (EI), 俄罗斯《文摘杂志》, 美国《数学评论》和日本《科技文献速报》等多种国际检索系统收录.

请直接登录本刊网站(<http://pub.nsf.gov.cn>)投稿. 请使用国标(GB3100~3102-93)规定的法定计量单位. 所含曲线图、示意图和照片要尽量精选, 原则上总数不超过6幅; 图题、图注和纵横坐标参数以及图内说明文字均用中文, 参数采用国标规定符号. 表格均采用三线表, 易引起含混时, 可加辅线, 对表中所列诸项需特殊说明时, 可在表下用 a), b) 等注示. 插图和表格排在正文提及后的适当处. 资助项目需在首页脚注中说明.

投稿时请提供如下材料和信息: (i) 申明稿件无泄密之处, 未曾正式发表过, 也未同时投往他刊; 所有作者都了解文章的内容, 并同意署名; 简要介绍研究工作的背景及成果的意义; 明确所投栏目及学科分类. (ii) 作者的所有联系方式. 通讯地址, 邮政编码, 电话, 传真及 E-mail 地址. (iii) 推荐 5-7 名非本单位的具有正高级职称同行评审专家及其单位、通讯地址, 也可提出要求回避的专家, 供稿件送审时参考.

稿件经同行专家评议后由编辑部做出取舍决定. 不拟刊登的来稿, 编辑部将及时通知作者, 论文刊出的当月同时上网, 并赠送 1 本样刊.

论文撰写格式请严格遵循本刊的相关要求. 所列文献按正文中引用的先后排序. 文献的作者不多于 3 位时, 需全部列出, 文献的作者多于 3 位时, 只列前 3 位作者, 其余用“等”或“et al.”代替.

联系地址: 100085 北京海淀区双清路 83 号 基金委《自然科学进展》编辑部

联系电话: (010) 62326952, 62327202; 传真: (010) 62326921;

本刊网址: <http://pub.nsf.gov.cn>; E-mail: progress@mail.nsf.gov.cn