

塔里木河流域径流变化趋势分析及预测

木塔里甫·托乎提¹, 徐海量², 刘新华^{2,3}

(1. 塔里木河流域管理局, 新疆 库尔勒 841000; 2. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 结合塔里木河流域三源流各水文站及干流阿拉尔 52 年(1957 - 2008 年)的径流实测资料,运用时间序列周期方差分析外推、非参数检验和 R/S 分析等方法探讨了径流量的周期、跃变及未来的变化趋势。结果表明:阿克苏河两水系径流趋势增加显著并在未来的一段时间内将长期持续,其突变点皆在 1993 年;和田河同古孜洛克与乌鲁瓦提存在相反的径流趋势且突变不显著;叶尔羌河表现为微递增趋势并在 1993 年发生显著性突变,但在未来的一段时间这趋势将转变为减少;源、干流在突变、径流趋势、径流量等皆存在较大差异,这表明人类活动强烈干扰了干流的水文过程。

关键词: 径流变化; 径流突变; 非参数检验; 塔里木河流域

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)02-0077-06

Trend analysis and forecast of the runoff change in Tarim River basin

MTALIP · Tuohuti¹, XU Hailiang², LIU Xinhua^{2,3}

(1. Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla 841000, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, China)

Abstract: Based on the observed monthly runoff data for 52 years(1957 - 2008) in 5 hydrological stations in headstream areas and the Alar station in the mainstream areas, the paper studied the runoff periodicity, abrupt change and the coming period trends by using the methods as time series periodic variance analysis extrapolation, nonparametric test, and R/S analysis. The results showed that the jump points of the two streams in Aksu river happened in 1993 and its runoff held significant increasing trend and will last for a long time in the coming period. The annual runoff tendency of Tongguzlok and Uruwat was just the reverse without abrupt change. the Yarkant River expressed a slightly increasing trend and its jump point was in 1993, which will turn to decrease trend; Theses aspects, for example abrupt change, annual runoff trend, total annual runoff volume and so on, are not consistent in headstream and mainstream of the areas, which dictates that the annual runoff process is significantly affected by human activity.

Key words: runoff change; abrupt change of runoff; nonparametric test; Tarim River Basin

百年来全球气候增温显著,水循环加快,降水增加,受全球变化影响,中国西北干旱区气候也表现为向暖湿转变^[1-4]。塔里木河作为西北干旱区典型的纯耗散型内陆河,也是我国最大的内陆河流域,干流不产流,径流主要依靠源流山区降水与冰川融水补给,因此对气候变化的影响更为敏感^[5]。塔里木河流域自然资源丰富,生态环境脆弱,覆盖整个新疆南部,是环塔里木盆地九大水系 114 条河流的总称,流域面积 102 万 km²,干流全长 1 321 km,包括 5 个地州的 42 个县市和生产建设兵团的 55 个团场,以其重要的地理位置与鲜明的环境问题受到许多学者的

关注^[6-11]。近 50 a 来,由于塔里木河流域人口增加,人类活动日益增强,导致水资源消耗加剧,流域内土地沙化与土壤盐渍化加重,生物多样性减少,因此,在全球变化大背景下,探讨塔里木河流域源流水资源的变化状况及未来的变化趋势,对于该流域实现水资源的合理配置,减少因水文波动带来的一系列环境问题具有重要意义。本文基于塔里木河流域源流山区 5 个水文站近 50 a 的年均径流资料,结合参数、非参数检验,周期方差分析外推与 R/S 分析等方法,系统地探讨了塔里木河流域源流径流的演变状况以及未来一段时期的变化走势,以期对塔里

收稿日期:2011-12-12; 修回日期:2011-12-27

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB421308);水利部公益性行业科研专项(201101049);塔里木河干流生态需水量及恢复对策研究项目共同资助

作者简介:木塔里甫·托乎提(1975-),男,维吾尔族,新疆喀什人,本科,工程师,主要从事水资源管理方面的研究。

木河今后的生态治理提供科学依据。

1 资料与方法

本文收集了塔里木河流域源流山区 5 个水文站(表 1)1957-2008 年的实测径流资料(塔里木河流域管理局提供),利用非参数检验与周期方差分析外推揭示了径流的变化趋势、突变状况和周期,并根据 R/S 分析预测了径流在未来一段时间内的变化趋势。

表 1 塔里木河源流区河川径流补给组成统计

源流	河流名称	水文站	集水面积	测站 高程	年均 径流量	径流组成		
						冰川融水	降水量	地下水
阿克苏河	昆马力克河	协合拉	12816	1427	48.940	52.4	30.4	17.2
	托什干河	沙里桂兰克	19166	1909	28.041	24.7	45.1	30.2
和田河	龙喀什河	同古孜洛克	14575	1650	22.398	64.9	17.0	18.1
	喀拉喀什河	乌鲁瓦提	19983	1800	21.651	54.1	22.1	23.8
叶尔羌河	叶尔羌河	卡群	50248	1370	66.300	64.0	13.4	22.6

1.2 方差分析外推

其基本原理与步骤为:设一时间序列为 $x(t)$, 将其按周期长度 n 分为 r 组,将组内平方和(Q_1)除以相应的自由度(f_1)得到组内均方,同理,将组间平方和除以其自由度得到组间均方,组间均方与组内均方的比值即为方差分析 F 值, F 值如果足够大,说明组间差异显著,即存在显著性的周期性。

1.3 R/S 分析

R/S 法是由 Hurst 在分析尼罗河水文资料时提出的一种分析方法^[12],近些年该方法在分形研究中得到了许多应用,是一种非线性的科学预测方法。根据计算所得的 Hurst 指数($0 < H < 1$),它揭示了时间序列的分形特征。对于不同的 H ,表示序列有不同的趋势变化:当 $H = 0.5$ 时,表明时间序列是完全独立的,没有相关性或只是短程相关;当 $0 < H < 0.5$ 时,意味着未来的变化状况与过去相反,即反持续性, H 越小,反持续性越强;当 $H > 0.5$ 时,意味着未来的变化状况与过去一致,这个过程具有持续性, H 越大持续性越强。

2 塔里木河三源流各水文站径流变化趋势分析

2.1 径流量突变状况分析

对塔里木河流域三源流 5 个水文站及出山口总径流量进行累积距平计算,得到其近 50 年的水文波

1.1 非参数检验

利用 Mann - Kendall 单调趋势检验与 Mann - Whitney 阶段转换检验对塔里木河径流量变化的增减趋势及突变状况进行了分析。在以上两种非参数检验中,原假设认为时间序列的变化趋势或者阶段转换的跳跃不明显;而备择性假设认为时间序列变化趋势或跳跃性突变显著。从检验能力上看,非参数检验要优于参数 t 检验,并且无须事先假定样本的统计分布^[5,7]。

动状况(图 1)。

在图 1 中,对于阿克苏河两水系,大体上 1957-1993 年径流量处于枯水期,只是沙里桂兰克在 1966-1970 年出现短暂的丰水期,但随后即迅速下降;在 1994-2008 年两站径流量皆发生增多的跃变。与阿克苏河相比,和田河源流山区两水文站径流的丰枯交替变化较为剧烈,总体来看,和田河两水系在 1957-1961 年径流量处于丰水期,1962-1965 年为枯水期,此后两水文站径流变化存在较大差异:1966-1978 年同古孜洛克呈现丰枯交替的高频振荡,这一时段可看作平水期,1979-1993 年累积距平线下降迅速,坡度也在整个时间序列达到最大,并在 1993 年发生一次大的增多跃变后,又呈现减少趋势,并且持续到 2000 年后进入丰水期;而位于同一源流的乌鲁瓦提在 1966-1976 年可看作平水期,1977-1984 年进入丰水期,1985-2000 年的累积距平过程线变化趋势与同古孜洛克大体一致,而在此后经过 4 年的丰枯交替波动后进入丰水期。叶尔羌河与源流总径流量在 1993 年之前皆呈周期性的波动下降,并在 1993 年后进入丰水期。总体看来,三源流各水文站及源流总来水量皆在 1993 年后发生了增多的跃变,但这是否就表示各水文站在整个时间序列的突变点就在 1993 年,突变是否显著?为此,可借助非参数 Mann - Whitney 阶段转换检验来诊断其跃变状况(图 2,表 2)。

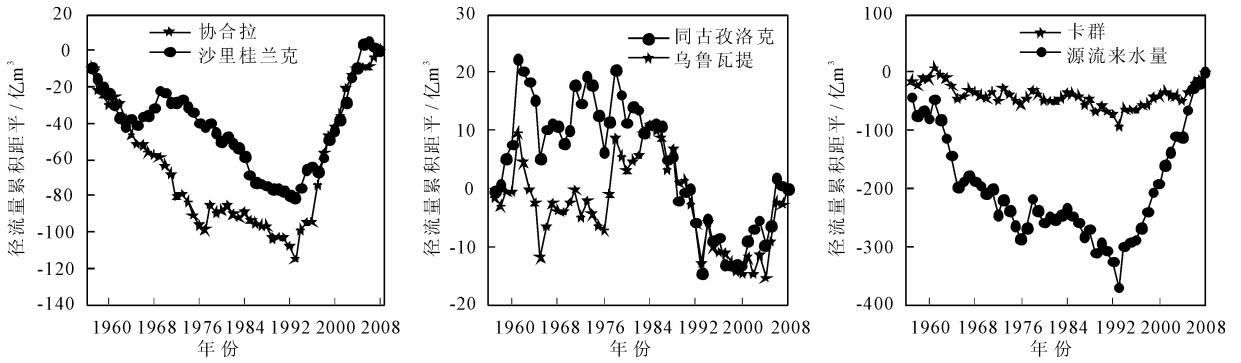


图 1 塔里木河流域源流区各水文站及总来水量累积距平

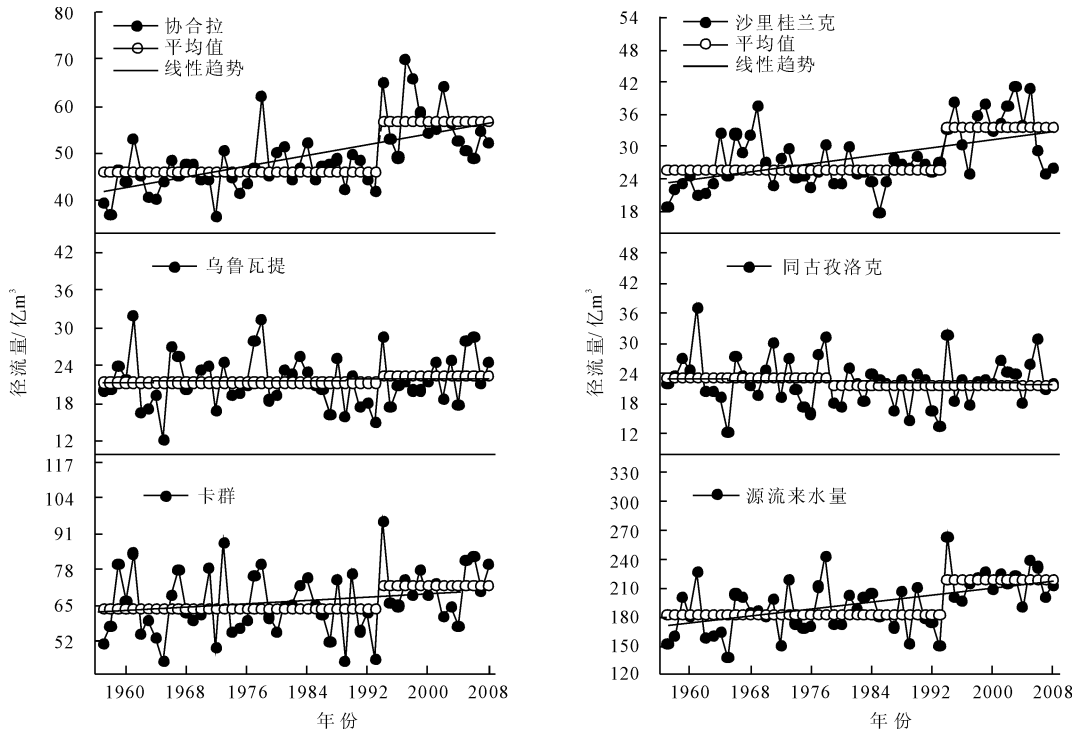


图 2 塔里木河源流区及源流总来水量年均变化及线性趋势

表 2 各水系及源流来水量 Mann - Whitney 阶段转换检验

阿克苏河		和田河		叶尔羌河		源流来水量					
协合拉	沙里桂兰克	同古孜洛克	乌鲁瓦提	卡群	检验结果						
$ Z_w $	H_0	$ Z_w $	H_0	$ Z_w $	H_0	$ Z_w $	H_0				
5.019	R	4.191	R	0.963	A	0.949	A	2.474	R	4.151	R

在图 2 中,塔里木河三源流各水文站及源流来水量皆存在不同程度的单调趋势与跃变。对于阿克苏河两水文站的突变点皆在 1993 年,并依此为基点将其时间序列分为 1957 - 1993 与 1994 - 2008 年两个时间段。叶尔羌河与源流来水量跃变点与阿克苏河一致,而和田河有所不同。和田河的乌鲁瓦提在 1993 年发生较小的增多,而同古孜洛克则在 1978 年出现轻微的减少。根据表 2,阿克苏两水文站与源流来水量的检验统计量皆 $|Z_w| > Z_{0.01} = 2.58$,

在 0.01 水平下极显著,叶尔羌河($|Z_w| > Z_{0.05} = 1.96$)也通过了 0.05 水平下的显著性检验,即拒绝原假设,表明上述两源流各水文站及源流总来水量皆存在显著性跃变。而和田河两水文站则接受原假设($|Z_w| < 1.96$),这意味着其径流过程的跃变状况并不明显。塔里木河流域是一个封闭的集水区,自身不产流,径流的演变与流域气候变化存在着关联性,但三源流除阿克苏河外,皆与与气候变化趋势的一致性较差,对此徐海量^[5]等已给予充分证明。

同时根据已有研究成果^[9],塔里木河流域气候在1986年发生了显著性的跃变,这与三源流及出山口径流量的突变点存在着较大差异。因此,结合三源流5个水文站之间丰枯变化及突变状况的不一致性可知,塔里木河源流径流过程是一个复杂的线性、非线性系统,受气候变化、区域生态环境条件、地理位置等已知、未知因素的综合影响。

表3描述了源流5个水文站及径流总来水量在跃变前后的变异特征。阿克苏河的协合拉与沙里桂兰克在突变前后两个时段分别产生了10.758亿 m^3 和7.602亿 m^3 的突变跃度,并且分别在1972、1997年与1985、2003年出现极端枯、丰值,枯丰跃度为33.47亿 m^3 ,23.54亿 m^3 。与其它4站不同,同古孜洛克在1978年前后两个时段发生了1.601亿 m^3 轻微的减少跃变,而乌鲁瓦提表现为1.203亿 m^3 的较小增多跃变。

由于和田河两水文站在跃变之前存在高频振荡(图1),因此其变异系数(同古孜洛克:0.2393,乌鲁瓦提:0.2015)较其它水文站为大。叶尔羌河突变点在1993年,突变跃度为8.68亿 m^3 ,丰、枯极值分别在1994、1965年,相对于52a的多年平均径流量分别增加和减少了44.09%、32.61%,而丰枯跃度为54.85亿 m^3 。总体上,塔里木河三源流总来水量在1993年前后产生了34.67亿 m^3 的增多跃变,并且由于各径

流之间水文波动过程的相互抵消作用,使其突变前后的变异系数值总体上也相对较小。

表3 各水文站及源流来水量时间序列分析 亿 m^3

水文站	No.	时间序列	N	平均值	标准差	变异系数
协合拉	1	1957-1993	37	45.872	4.798	0.1046
	2	1994-2008	15	56.63	6.590	0.1164
沙里桂兰克	1	1957-1993	37	25.848	4.014	0.1553
	2	1994-2008	15	33.45	5.410	0.1617
同古孜洛克	1	1957-1978	22	23.32	5.580	0.2393
	2	1979-2008	30	21.719	4.189	0.1929
乌鲁瓦提	1	1957-1993	37	21.304	4.292	0.2015
	2	1994-2008	15	22.507	3.748	0.1665
卡群	1	1957-1993	37	63.8	11.41	0.1789
	2	1994-2008	15	72.48	9.810	0.1354
源流来水量	1	1957-1993	37	183.41	24.060	0.1312
	2	1994-2008	15	218.08	18.560	0.0851

2.2 径流量未来变化趋势分析

Mann-Kendall 单调趋势检验可以揭示径流量在一段时间内的变化趋势,而不能预测未来时间内的变化状况,而R/S分析恰好弥补了这一缺陷,两种方法综合应用可以对塔里木河各源流的径流量进行预测(表4)。

表4 塔里木河源流径流量 Mann-Kendall 单调趋势检验和 R/S 分析

水文站	趋势项 $N(t)$	变异系数	Z_c	H_0	趋势	H 值
协合拉	41.503 + 0.282 t	0.148	4.6952	R	递增	0.8308
沙里桂兰克	23.144 + 0.1848 t	0.200	3.9534	R	递增	0.7930
同古孜洛克	22.936 - 0.0203 t	0.216	-0.2131	A	微递减	0.5581
乌鲁瓦提	21.328 + 0.0122 t	0.191	0.2999	A	微递增	0.5627
卡群	61.643 + 0.1757 t	0.175	1.8860	A	微递增	0.4857
源流来水量	170.08 + 0.8804 t	0.142	3.6378	R	递增	0.6523

在表4中,阿克苏河源流区与三源流总来水量的 $Z_c > 2.58$,说明其径流量总体上是增加的,尤其对于昆马力克河(协合拉) $Z_c = 4.6952$,大于其它水系的检验统计量,径流以0.282亿 m^3/a 的速率上升,增加趋势最为显著。阿克苏河源流区是塔里木河干流水量的主要补给来源,补给量占73.2%,其两水系中的昆马力克河以冰川补给为主,占总径流量的52.4%,而沙里桂兰克所在的托什干河主要以雨雪补给为主,占总径流量的45.1%。近年来温度的持续升高致使冰川消融,大量积雪融水在6-8月份稳定地注入昆马力克河也令其径流量年际变化较

小,变异系数仅为0.148,而托什干河由于受降水与气温的综合影响,汛期在5-9月,历时较长,降水量的丰枯变化使其变异系数高于昆马力克河。通过R/S分析,昆马力克河与托什干河的赫斯特指数 H 值分别为0.8308、0.793,大于0.5,具有较强的持续性,这意味着阿克苏河源流区两水系的径流量在未来的一段时间内仍将保持增加走势。和田河占塔里木河干流水量补给来源的23.2%,是目前惟一穿越塔克拉玛干沙漠的河流,共分东西两支流,东支为玉龙喀什河(同古孜洛克站),西支为喀拉喀什河(乌鲁瓦提站),径流主要依靠冰川融水补给,一般集中

在6-9月。根据Mann-Kendall单趋势检验,玉龙喀什河与喀拉喀什河的 $|Z_c| < 1.96$,皆接受原假设,径流不存在明显的变化,且分别呈微递减、微递增趋势,而玉龙喀什河递减速率为 $0.0203 \text{ 亿 m}^3/\text{a}$,大于喀拉喀什河的年增加速率,因此和田河径流总体表现为减少的趋势。同时,两水系的赫斯特指数 H 值皆大于 0.5 ,分别为 0.5581 、 0.5672 ,具有一定的持续性,表明玉龙喀什河在未来一段时间仍将保持减少趋势,而喀拉喀什河将维持增加走势。叶尔羌河是塔里木河源流最长的河流,高山区的冰川融水占径流组成的 64% ,是径流补给的主要来源。受气候变化影响,其径流呈微递增趋势,在 0.05 水平下并不显著($Z_c < 1.96$),其 H 值为 0.4857 ,小于 0.5 ,具有反持续性,说明在未来一段时间内,叶尔羌河径流量将呈减少的变化趋势。总体来看,三源流总来水量在未来的一段时间内也将保持增加走势(H 值为 $0.6523 > 0.5$),并且各水系变异系数不大,皆小于 0.25 ,远小于中国东部同纬度的大部分河流^[13],表明主要依靠高山冰雪融水与降水补给的塔里木河三源流各水系径流的年际变化较小,水文过程呈现较好的稳定性。在干旱区内陆河流域,各水系径流的变化趋势及对未来变化的预测是同流域气候与冰川的变化紧密相连的。在塔里木河源流区,对于阿克苏河、和田河近年来前进冰川较多,而退却冰川阿克苏河仅为其冰川总面积的 7.9% ,叶尔羌河却已高达 81.2% ,除阿克苏河退却冰川规模较小外,叶尔羌河等其它支流皆呈大规模的整体退缩状态^[14],并且随着温度的持续升高将会进一步加剧冰川消融,因此在阿克苏河各水系径流量仍将保持增加趋势,叶尔羌河各水系将表现为减少,而和田河由于两水系一增一减,其未来趋势整体变化如何仍带探讨,这也证明了利用R/S分析方法进行径流趋势预测的准确性和可行性。

2.3 塔里木河径流量周期性分析

径流的水文波动既有趋势性又具有一定的周期性,基于塔里木河52 a的径流数据,结合方差分析外推的方法,得到三源流各水系及源流总来水量的周期变化(表5)。

表5 塔里木河源流及源流总径流量周期性分析

河流	水文站	周期	F值	置信度	相关系数
阿克苏河	协合拉	24	1.0318	0.53511	0.84682
	沙里桂兰克	26	1.3057	0.74824	0.83694
和田河	同古孜洛克	5	4.3270	0.9953	0.52287
	乌鲁瓦提	23	2.4793	0.98778	0.81288
叶尔羌河	卡群	17	2.1546	0.9704	0.8353
源流出口来水量		17	1.5570	0.86375	0.83983

根据表5分析结果,阿克苏河的协合拉与沙里桂兰克具有24、26 a的稳定周期;而和田河的同古孜洛克与乌鲁瓦提分别呈5、23 a的周期变化,叶尔羌河及源流总来水量具有17 a的稳定周期,这些周期性变化主要受气候因子的影响,是气温、降水与蒸发周期性叠加和抵消的结果,同时人类活动、太阳活动等对流域的水文波动也产生了一定影响,多种因素的耦合决定了塔里木河源流各水系的周期性变化^[12,15-16]。

3 塔里木河干流径流变化趋势分析

塔里木河三源流汇流形成塔里木河干流,阿拉尔为干流的第一个测站。理论上讲,排除人类干扰,干流的变化趋势应与源流保持一致或差异较小,但假设是否成立?图3a中,塔里木河干流在1957-1973年为丰水期,1974-1988、1994-2008年为丰枯交替的水平波动,1989-1993年累积距平几乎呈直线下降趋势,进入枯水期,而源流总径流量总体表现为:以1993年为基准把前后时间序列分为枯、丰两个阶段。

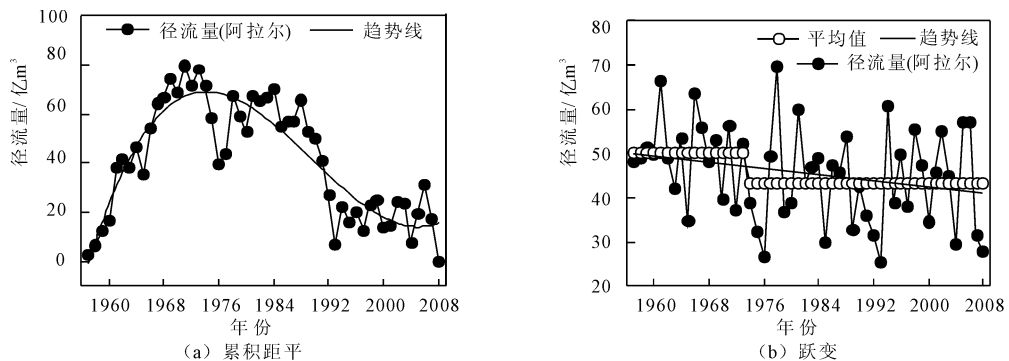


图3 塔里木河干流径流量与累积距平、跃变关系

表6 塔里木河干流径流变化趋势分析 亿 m³

名称	Mann - Kendall		Mann - Whitney		平均值	变异系数
	单调趋势检验		阶段转换检验			
	Z _c	H ₀	Z _w	H ₀		
阿拉尔	-1.8702	A	2.273	R	45.39	0.2363

通过 Mann - Whitney 阶段转换检验(图 3b、表 6),干流径流量在 1973 年发生了显著性的减少跃变(检验统计量 $|Z_w| = 2.273 > 1.96$),突变跃度为 6.834 亿 m³,而径流趋势总体表现为轻微的递减趋势($Z_c = -1.8702 > -1.96$)。从 52 年的多年平均径流量可以看出,从源流出山口到阿拉尔水文站,径流量损耗掉 172.69 亿 m³。源、干流径流量的巨大差异以及径流趋势、突变的不一,表明人类活动强烈干扰了干流的水文演变过程。造成这种差异的主要原因是源流区用水量的增加,根据徐海量等研究结果^[17],塔里木河源流近 10 年补给干流的水量占总来水量的比例是逐渐减少的,现已有近 92% 的源流来水量在源区被利用和消耗掉。

5 结 语

(1)塔里木河三源流各水系丰枯变化存在较大差异。通过 Mann - Whitney 阶段转换检验,除和田河的同古孜洛克在 1978 年发生了突变外,其它皆发生在 1993 年,并且和田河两水系在 0.05 检验水平下不显著。

(2)经过 Mann - Kendall 单调趋势检验,和田河同古孜洛克径流量呈轻微的减少趋势,而其他水系皆表现为增加走势,并且除阿克苏河两水系及出山口总径流量达到极显著水平外,其他水系皆不显著。各水系变异系数不大,也反映了冰川融水性河流具有年际变化较小的特性。根据 R/S 分析,阿克苏河与源流总来水量的 H 值皆大于 0.5,具有持续性,意味着其径流变化在未来的一段时间将保持原来走势,而叶尔羌河赫斯特指数小于 0.5,具有反持续性,预示着其径流量在未来将呈减少趋势,这种变化趋势与各源流冰川的变化是一致的。

(3)由于各水系受地理位置、区域及大尺度的气流循环等因素影响,导致其周期性具有较大差异,具体:阿克苏河的协合拉与沙里桂兰克具有 24、26 年的稳定周期;而和田河的同古孜洛克与乌鲁瓦提分别呈 5、23 年的周期变化,叶尔羌河及源流总来水量具有 17 年的稳定周期。

(4)塔里木河干流表现为轻微的递减趋势,并

在 1973 年发生显著性的减少跃变。源流、干流的丰枯变化、突变、径流趋势、径流量等皆存在较大差异,从而也说明了 50 年来塔里木河流域干流区受人类干扰较强。

参考文献:

- [1] 魏娜,巩远发,王霄. 基于小波变换的陕西夏季降水量变化特征研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1080 - 1084.
- [2] 李鸣骥,石培基. 黑河流域张掖市近 38 a 以来气候变化特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1048 - 1054.
- [3] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119 - 125.
- [4] 时兴合,李生辰,李栋梁. 青海湖周边年代际气候振动及其对青海高原气候变化的响应[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 239 - 248.
- [5] 徐海量,叶茂,宋郁东. 塔里木河源流区气候变化和年径流量关系初探[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 219 - 224.
- [6] 孟丽红,陈亚宁,李卫红. 新疆塔里木河流域水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 185 - 190.
- [7] 徐长春,陈亚宁,李卫红,等. 45 a 来塔里木河流域气温、降水变化及其对积雪面积的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 183 - 190.
- [8] 高前兆,王润,Ernst Giese. 气候变化对塔里木河来自天山的地表径流影响[J]. 冰川冻土, 2008, 30(1): 1 - 11.
- [9] 陈亚宁,徐长春,郝兴明,等. 新疆塔里木河流域近 50a 气候变化及其对径流的影响[J]. 冰川冻土, 2008, 30(6): 921 - 929.
- [10] 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.
- [11] 徐海量,宋郁东,陈亚宁. 塔里木河下游生态输水后地下水变化规律研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(2): 223 - 226.
- [12] XU Jianhua, CHEN Yaning, LI Weihong, et al. Long-term trend and fractal of annual runoff process in mainstream of Tarim river[J]. Chinese Geographical Science, 2008, 18(1): 77 - 84.
- [13] 蒋艳,周成虎,程维明. 新疆阿克苏河流域年径流时序特征分析[J]. 地理科学进展, 2005, 24(1): 87 - 96.
- [14] 刘时银,丁永建,张勇,等. 塔里木河流域冰川变化及其对水资源影响[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 482 - 490.
- [15] 张晓伟,沈冰,黄领梅. 和田河年径流变化规律研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 974 - 979.
- [16] 蒋艳,夏军. 塔里木河流域径流变化特征及其对气候变化的响应[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 63 - 68.
- [17] 徐海量,叶茂,宋郁东,等. 塔里木河流域水资源变化的特点与趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 487 - 494.