

# 古尔图河气象水文要素变化特征与下游艾比湖生态的关系

邢坤, 雷晓云, 高凡, 刘思海

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 基于1974—2014年古尔图河新渠首水文站的水文气象数据, 运用累积距平法、Mann-Kendall突变检验法及小波分析法对气象水文要素的序列变化趋势、突变特征及周期变化规律进行综合分析, 并论证古尔图河气象水文要素与奎屯河、艾比湖之间的关系。结果表明: (1) 近40年来, 气温、降水、径流均呈现先降后升的变化趋势, 其年际变化率分别为7.95%、15.84%、6.68%; (2) 气温在1980s末期发生突变, 降水突变时间早于气温(1980s初期), 径流突变时间最晚(1990s末期); (3) 气象水文要素呈现多种不同尺度的振荡周期, 气温、降水和径流的年代际变化周期以25~28年、17~22年、4~6年最为常见; (4) 径流与气温之间存在良好的相关性, 与降水的关系较为复杂; (5) 奎屯河的径流变化趋势基本与古尔图河呈正相关关系, 20世纪70年代初期艾比湖生态环境恶化的主要驱动因素是人类的过度开发。

**关键词:** 气象水文; 累积距平法; Mann-Kendall; 小波分析; 古尔图河; 艾比湖

**中图分类号:** P339 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2017)04-0345-06

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.04.054

## Variation Characteristics of Meteorological and Hydrological Factors in Gurt River and the Relationship Between Ebinur Lake Downstream Ecology

XING Kun, LEI Xiaoyun, Gao Fan, LIU Sihai

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052)

**Abstract:** Based on meteorological and hydrological data of Xinqushou hydrological station in Gurt River in 1974—2014, the cumulative trend, mutation characteristics and cycle variation of meteorological and hydrological factors were analyzed by cumulative anomaly method, Mann-Kendall mutation test and wavelet analysis. Meanwhile, the relationship between the meteorological hydrological factors of the Gurt River and Kuitun River and Ebinur Lake was analyzed. The results showed that: (1) In the last 40 years, the temperature, precipitation and runoff showed a trend of decreasing first and then rising, and the inter-annual variability was 7.95%, 15.84% and 6.68%, respectively; (2) Sudden changes occurred in the late 1980s, and the abrupt precipitation change time was earlier than the temperature (the early 1980s), and the runoff mutation time was at latest (the end of the 1990s); (3) Meteorological and hydrological factors showed a variety of different periods of oscillation cycle, while the most common interdecadal change cycle of temperature, precipitation and runoff was 25~28 years, 17~22 years, 4~6 years, respectively; (4) Runoff had a good correlation with air temperature, and its relationship with precipitation was complicated; (5) The trend of the runoff in Kuitun River was basically positive correlated with the Gurt River, and the main driving factor of the deterioration of the ecological environment in Ebinur Lake in the early 1970s was the overdevelopment by mankind.

**Keywords:** meteorological and hydrological; cumulative anomaly; Mann-Kendall; wavelet analysis; Gurt River; Ebinur Lake

气候变化对水资源的形成与变化具有重要的影响作用, 降水和气温共同决定了区域气候的湿润与干燥程度。尤其对于干旱内陆地区而言, 上游河流水文气象要素的时空变化特征对下游河流分布、水资源持续利用, 甚至生态环境演变都有着密不可分的连锁反应。在流域气候和人类活动的双重影响下, 下游水系及尾间湖会呈

现出相应的动态变化<sup>[1]</sup>。作为奎屯河水系的上游支流, 古尔图河是典型的主要依靠高山冰雪融水和降雨混合补给的内陆河流。古尔图河的气象、水文要素变化影响奎屯河水系的径流形成和分布, 并影响奎屯河下游尾间湖——艾比湖的生态环境变化。

前人在气象水文序列及艾比湖生态环境演变方面

开展了大量工作<sup>[2-5]</sup>,但对古尔图河的气象水文要素变化特征的研究还鲜有报道<sup>[6-8]</sup>。古尔图河具有独特的地理位置,其气象水文要素的变化可引起奎屯河乃至艾比湖流域的生态环境发生改变,影响新疆地区生态经济发展,目前已成为迫切解决的区域性生态环境问题。因此,本文借助 1974—2014 年古尔图河新渠首水文气象数据,利用累积距平法、Mann-Kendall 突变检验法<sup>[9-10]</sup>及小波分析法<sup>[11]</sup>对其气象水文的序列变化趋势、突变特征及周期演变规律进行了系统研究,探索该流域气温、降水与径流的内在联系,阐明古尔图河与奎屯河水系、艾比湖之间的响应关系,为流域水资源合理开发利用及艾比湖生态环境保护提供科学参考。

## 1 研究区概况

古尔图河位于东经  $83^{\circ}40'$ — $83^{\circ}53'$ ,北纬  $44^{\circ}10'$ — $44^{\circ}51'$ 之间,发源于博罗克努山北坡莫松达坂,源头海拔 4 100 m,自西南流向东北出哈拉及山口后,向北于 124 团西北角汇入四棵树河,继而汇入奎屯河下游,全长 108 km,多年平均径流量为  $3.42 \times 10^8 \text{ km}^3$ 。古尔图河流源头有 164 条冰川,冰川面积达  $176.8 \text{ km}^2$ ,雪线以下 3 500~1 000 m 地区雨量充沛,夏季暴雨易形成洪水,是一条以冰雪融水与降水共同补给的内陆河流。古尔图河水系呈树杈状分布,主要支流为阿秀果勒河与东都果勒河,出山口新渠首处(水文监测断面)径流最大,山区集水面积为  $1\,053 \text{ km}^2$ 。该地区多年平均气温为  $7.4^{\circ}\text{C}$ ,其中 1 月最低平均气温为  $-12.0^{\circ}\text{C}$ ,7 月最高平均气温为  $22.8^{\circ}\text{C}$ 。多年平均降雨量为 193.7 mm,年最大降水量和最小降水量分别为 391.4 mm 和 105.3 mm。降水主要集中于夏

季,5—8 月的降水量占全年降水的 66%<sup>[12]</sup>。

## 2 资料与方法

本文以古尔图河新渠首 1974—2014 年径流日资料为基础,选取流域内及周边奎屯、十户滩、车牌子、123 团等多个气象站气温、降水的年、月资料。基于水文比拟法按气候和下垫面的相似性对站点观测序列缺失数据进行插补展延,还原气象水文时间序列,再将其统一进行归一化处理,避免因单位不同造成的运算误差。本文通过累积距平法分析古尔图河 40 年气温、降水、径流的变化趋势及其在不同阶段的演变规律;借助 Mann-Kendall 非参数秩检验法确定气温、降水、径流的突变时间,描述各要素趋势变化的显著程度;利用小波分析法分析气温、降水、径流的周期性变化,识别各要素变化主周期,揭示不同特征时间尺度下的变化规律,并探讨古尔图河与奎屯河、艾比湖之间的潜在关系。

## 3 结果与分析

### 3.1 趋势分析

3.1.1 气温 由图 1 可知,1974—2014 年古尔图河气温年际变化率为  $7.95\%$ ,线性倾向斜率为  $0.36^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ ;40 年气温变化过程大致分为“下降(1974—1994 年)—上升(1995—2014 年)”两个阶段,其年际变化率分别为  $7.69\%$ , $3.10\%$ ,说明气温在急剧下降后缓慢回升。其中,1994 年为气温转折点,当年累积距平值降至 40 年内最低值。在 40 年时间序列中,古尔图河气温变化存在 4 个明显的高低交替周期,即:1974—1983 年、1984—1991 年、1992—2009 年和 2010—2014 年。

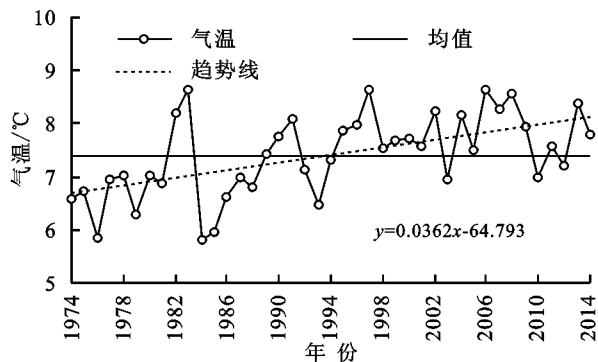


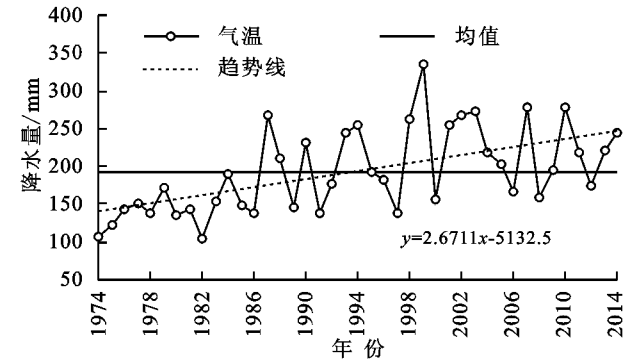
图 1 气温年际变化过程曲线与累积距平曲线

3.1.2 降水 由图 2 可知,1974—2014 年古尔图河多年平均降水量为 193.7 mm,线性倾向斜率为  $26.7 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,高于北疆降水增加的平均水平( $12.6 \text{ mm}/10 \text{ a}$ );降水变化过程大致分为“减少(1974—1986 年)—增加(1987—2014 年)”两个阶段,其年际变化率分别为  $3.54\%$ , $11.34\%$ ,降水后期增速明显快于前期降速。其中,1986 年为转折点,达到降水量累积距平最低值。1986 年前降水处于持续减少状态,

1986 年后降水量开始增长但并不明显,自 1997 年降水进入显著增长阶段。在 40 年时间序列中,古尔图河降水存在 3 个明显的干湿交替周期,即:1974—1988 年、1989—1994 年和 1990—2014 年。

3.1.3 径流 由图 3 可知,1974—2014 年古尔图河径流年际变化率为  $6.68\%$ ,线性倾向斜率为  $0.18 \text{ mm} \times 10^8 \text{ km}^3/10 \text{ a}$ ;径流变化过程大致分为“减少(1974—1996 年)—增加(1997—2014 年)”两个阶段,

其年际变化率分别为 3.43%,4.50%,说明径流在前期平稳减少,后期比前期增加趋势略快。其中,1996 年为转折点,当年径流累积距平降至最低值。在 40 年的时间序列中,古尔图河径流存在两个明显的枯丰交替周期,即:1974—1982 年和 1983—2014 年。第一个径流周期气温与降水均处于较低水平,径流受其影响持续减少,该阶段气候属于典型的干旱大陆性气



候;当径流进入第二周期后期时,气温与降水均有不同程度回升,径流量相应增长,气候逐渐向干湿过渡。鉴于适宜的气候环境,该流域人口及开发活动相应增多,过度开垦及过度放牧现象相继出现,加剧了沙地草地生态系统植被的退化,年均沙尘日数与日俱增<sup>[13]</sup>,综合上述因素影响,该流域的大陆性干旱气候并未得到明显改变。

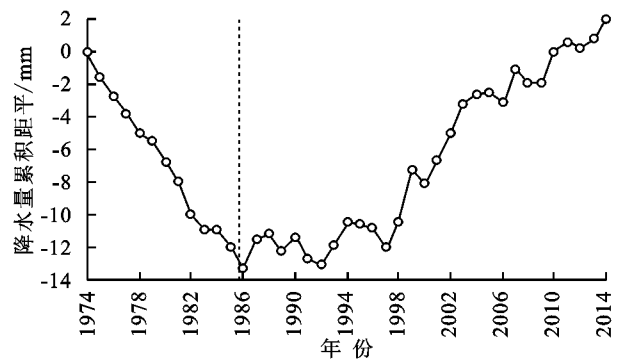


图 2 降水年际变化过程曲线与累积距平曲线

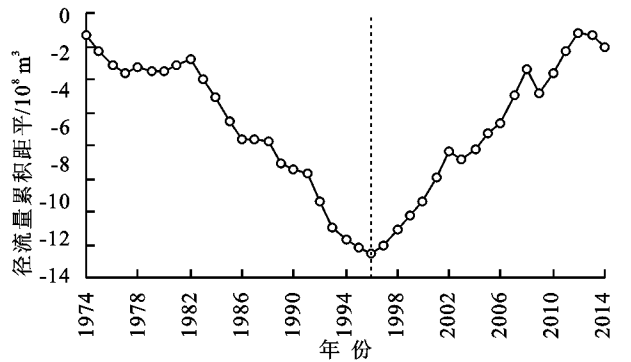
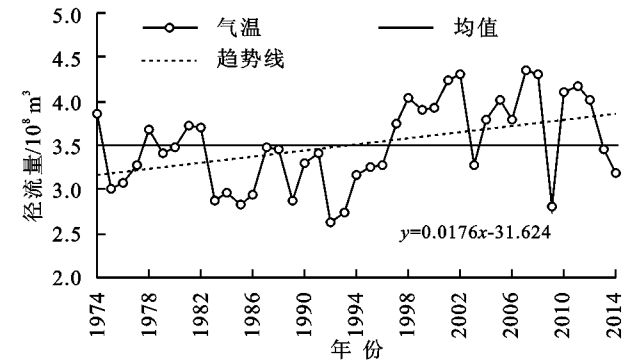


图 3 径流年际变化过程曲线与累积距平曲线

为明确古尔图河 40 年气象水文要素整体变化趋势及其显著程度,利用 Mann-Kendall 非参数秩次检验法对其进行趋势检验,结果见表 1。对表 1 分析可知,古尔图河 40 年内气温、降水、径流均呈上升趋势。需要说明,虽然三者均通过  $\alpha=0.05$  显著性检验,但由于数据资料有限,进行分析的气象水文序列不够长,由趋势分析可知,气象水文要素均只在 1990s 后表现出明显的增加趋势,在样本偏少的情况下,这种局部的显著性变化对整个序列的趋势变化影响较大。因此,单纯认为古尔图河 40 年内气温、降水、径流均呈显著增加趋势,并不客观。

表 1 古尔图河水文气象要素 Mann-Kendall 趋势检验					
要素	年际 变化率/%	M 值	趋势	$M_{\alpha}=0.05$	显著性
气温	7.95	2.46	增加	$\pm 1.96$	显著
降水	15.84	2.91	增加	$\pm 1.96$	显著
径流	6.68	2.04	增加	$\pm 1.96$	显著

3.2 突变分析

利用 Mann-Kendall 突变检验法分析古尔图河

40 年气象水文序列在不同时段内的变化趋势及突变时间见图 4。为避免因置信区间不同造成的分析误差,同时也使计算结果具有可比性,本文统一将各气象水文要素在突变分析中的显著性水平设置为  $\alpha=0.05$ ,临界值  $U_{\alpha}=\pm 1.96$ 。

3.2.1 气温 由图 4(a)可知,气温  $UF$  统计曲线大多落在 0 线之上,进一步说明气温整体呈上升趋势。1974—1995 年  $UF$  统计曲线在  $U_{\alpha}$  范围内变化,该时期气温上升缓慢。其中,1976 年  $UF$  统计变量小于 0,当年气温出现回落;1990 年  $UF$ 、 $UB$  统计曲线相交,当年气温发生突变。1996 年  $UF$  统计变量通过  $\alpha=0.05$  显著性检验,达到显著升温水平,之后气温呈持续显著上升趋势。

3.2.2 降水 由图 4(b)可知,降水  $UF$  统计变量均为正值,说明降水在 40 年内呈明显的增加趋势。1974—1987 年降水处于平稳增加状态,其中,1977 年、1979 年增加趋势达到显著水平;1984—1986 年降水由多到少发生突变。自 1988 年  $UF$  统计变量通过  $\alpha=0.05$  显著性检验后,持续保持显著增加趋势直至 2014 年。

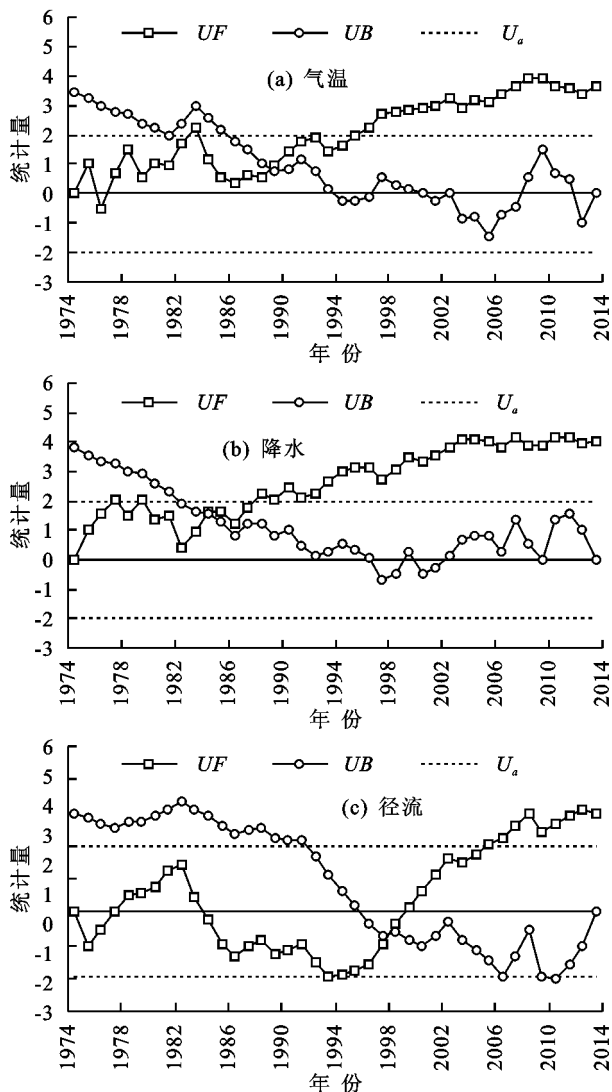
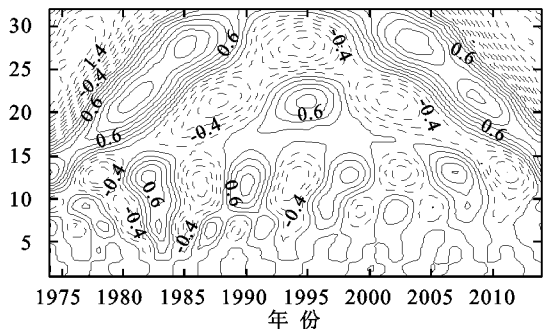


图 4 气象水文要素 Mann-Kendall 突变检验

3.2.3 径流 由图 4(c)可知,径流 UF 统计曲线出现枯、丰交替的变化趋势。1974—1976 年、1984—1998 年径流缓慢减少,1977—1983 年、1999—2004 年缓慢增加。其中,1998 年径流发生由枯到丰的突变,2005 年 UF 统计变量通过  $\alpha=0.05$  显著性检验,



之后始终保持显著增加趋势。

### 3.3 周期分析

采用 Morlet 小波对古尔图河 40 年气象水文要素进行周期演变分析,利用小波系数等值线的高低值区反映各气象水文要素不同的振荡周期,并通过小波方差出现极值的时间尺度来确定气象水文周期的时间尺度,气温、降水、径流结果分别见图 5、图 6 和图 7。

3.3.1 气温 由图 5(a)可知,在气温演变过程中存在 25~32 年,16~24 年,9~15 年及 5~8 年 4 类特征尺度的周期变化规律。其中,在 25~32 年、16~24 年尺度上分别出现了低—高交替的准两次、准三次震荡(实线表示偏高,虚线表示偏低);9~15 年尺度上存在准四次震荡且高低交替非常频繁,以上 3 个尺度的周期变化在整个分析时段内表现的非常稳定,并完整贯穿整个气温序列;在 5~8 年的特征尺度下,1990s 后的周期特征没有体现。对照图 5(b)发现,流域径流存在 4 个较明显的峰值,依次对应 28 年、22 年、13 年和 7 年的时间尺度。其中,最大峰值对应 28 年时间尺度,说明 28 年左右的周期震荡最强,为气温变化的第一主周期;其余 3 个时间尺度依次为气温变化的第二至第四主周期。上述 4 个周期的波动控制着气温在整个时间域内的变化特征。

3.3.2 降水 由图 6(a)可知,在降水演变过程中存在 22~32 年,15~21 年及 3~12 年 3 类特征尺度的周期变化规律。其中,在 22~32 年、15~21 年尺度上分别出现少—多交替的准两次、准三次震荡(实线表示偏多,虚线表示偏少);在 3~12 年尺度上存在非常频繁的高低交替现象,2000s 前后分别表现为 5 年、6 年左右的时间尺度。对照图 6(b)发现,径流存在 4 个明显的峰值,分别为 28 年、6 年、18 年和 12 年的时间尺度,依次对应降水变化的第一至第四主周期。上述 4 个周期的波动控制着降水在整个时间域内的变化特征。

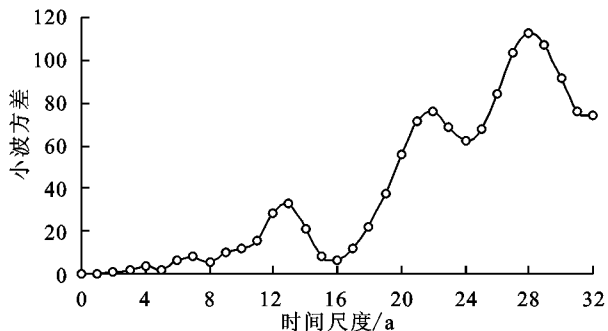


图 5 气温小波系数实部分布(a)与小波方差(b)

3.3.3 径流 由图 7(a)可知,在径流演变过程中存在 15~32 年,8~14 年及 3~7 年 3 类特征尺度的周期变化规律。在 15~32 年,8~14 年尺度上分别出现枯—丰交替的准两次、准四次震荡(实线表示偏丰,虚线表示偏枯),以上两个尺度的周期变化在整个分析时段内具有

全域性;3~7 年尺度的周期变化在 2000s 后表现的较为稳定。对照图 7(b)发现,径流存在 4 个较明显的峰值,分别为 27 年、17 年、12 年和 7 年的时间尺度,依次对应径流变化的第一至第四主周期。上述 4 个周期的波动控制着流域径流在整个时间域内的变化特征。

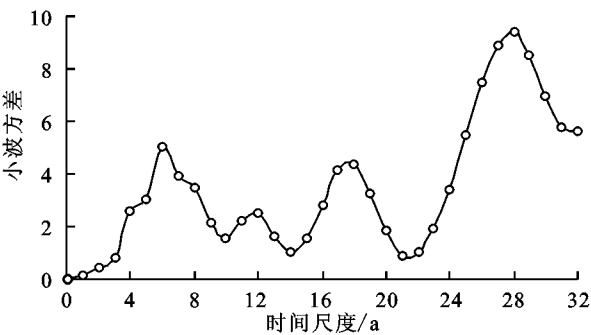
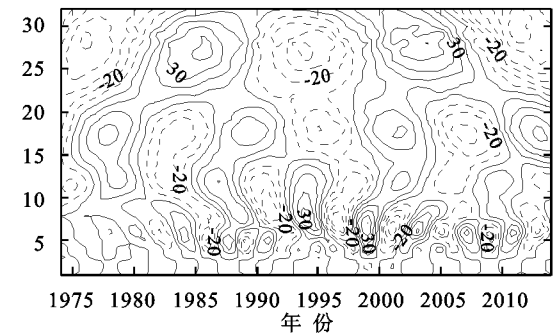


图 6 降水小波系数实部分布(a)与小波方差(b)

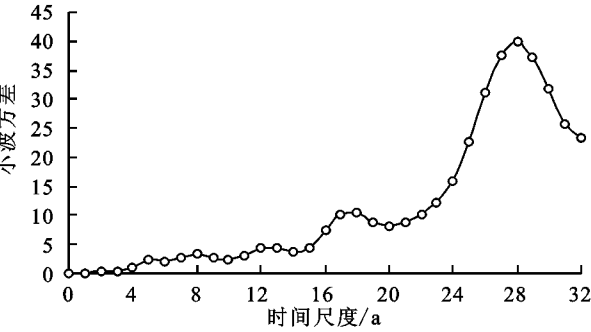
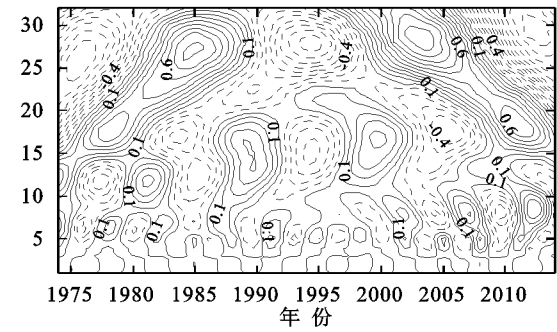


图 7 径流小波系数实部分布(a)与小波方差(b)

4 讨论

4.1 气温—降水—径流的变化关系

据上述可知,古尔图河年径流在 1998 年左右发生突变,故以 1998 年为界,计算突变前、后与 40 年间气温、降水与径流的偏相关系数,结果见表 2。分析可知,气温在 40 年时间序列中与径流呈正相关关系,且对径流的影响稍大于降水。径流发生突变前,气温对径流的影响更为密切。这符合干旱内陆河主要依靠冰雪融水补给、降水补给次之的天然水情。气温升高,高山区冰雪融水增多,从而使得径流量相应增大。当径流发生由枯到丰的突变后,气温处于持续升高水平,使得蒸发量增加,进而影响河流出口径流量。

降水在径流突变前与其呈负相关关系,突变后转为正相关。这是因为在径流突变前,气温始终处于低温水平,相对冷的年份使冰雪消融量减少从而影响径流量大小,且同期降水呈现减少趋势,致使降水与径流的关系变得复杂;径流发生突变后,降水呈现大幅上升趋势,在一定程度上弥补了前期因降水减少而引起的径流减少。

由表 2 可知,古尔图河在 40 年内气温、降水与径流之间的相关系数均未通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验,其相关性并不显著,这与干旱内陆河超渗产流的产流机制有关,干旱区降水稀少,土壤长期干燥下渗能力强,降水强度往往不能满足下渗能力,必然导致产流减少,影响降水与径流之间的相关性。另外,相关性较弱也与气象站点稀少,位置分散有关。

表 2 气温、降水与径流的偏相关系数

要素	1974—1998 年	1999—2014 年	1974—2014 年
气温—径流	0.259	0.125	0.391
降水—径流	−0.247	0.113	0.249

4.2 上游古尔图河人类活动对下游艾比湖生态的影响

古尔图河径流变化于 20 世纪 70 年代进入相对稳定期,径流量变化态势平稳,70 年代末至 90 年代中期为相对枯水期,进入 90 年代后,其上升趋势逐渐明显,并一直保持至今。参考相关文献[14-15]可知,奎屯河作为古尔图河下游水系,同期径流过程同处于相对稳定态势,但枯水期时间缩短至 80 年代,之后一直为上升趋势,即奎屯河径流变化过程是在震荡中持续上升。综上所述,奎屯河径流变化基本与古尔图河呈正相关态势。

内陆湖泊尤其是尾间湖泊,处于一个相对独立的内陆水分循环系统中,受人类活动影响巨大。艾比湖作为干旱地区尾间湖泊的典型代表,深居内陆且具有完全的封闭性,人类活动直接影响湖泊水量收支平衡,是湖泊面积、湖区生态变化的重要驱动因素。奎屯河原是艾比湖水量最大、流程最长的补给河流。随着人类大规模围垦农田、大量修建水库等不科学、不节制的环境开发活动,最终导致奎屯河于 20 世纪 70 年代末出现断流<sup>[16-18]</sup>。同时期奎屯河径流变化态势基本稳定,未出现明显的枯水期或水量剧减情况,因此,造成奎屯河断流的主要因素是人类活动加剧。

目前,入湖河流只剩精河与博尔塔拉河。入湖地表水量的剧减引发了下游艾比湖水域面积缩减、水位下降、盐渍化加重、生态湿地环境恶化等连锁反

应<sup>[19-20]</sup>。自 20 世纪 50 年代至 70 年代初,艾比湖水域面积由 1070 km<sup>2</sup> 急降至 589 km<sup>2</sup>,湖区面积平均每年缩小 20.3 km<sup>2</sup>,为自然干缩期的 290 多倍<sup>[21]</sup>。自 20 世纪 70 年代至今,艾比湖水体和林草地面积不断减少,土壤盐渍化、土地沙漠化日趋严重,周边盐碱地、沙漠面积逐年增加。艾比湖湿地属于干旱内陆区代表性湿地,生态环境极其脆弱,湿地部分植被已在生态恶化过程中逐渐衰退<sup>[22]</sup>。随着近几年一系列生态修复工程的开展,目前艾比湖生态环境已得到初步改善。退耕还林、沙漠化治理、生态建设等手段将成为日后艾比湖生态恢复的重要举措。

## 5 结论

(1)古尔图河 1974—2014 年气温、降水、径流均呈现出先降后升的变化趋势。气温与径流均以 1995 年为转折点,降水在 1986 年发生转折。气温、降水、径流的年际变化率分别为 7.95%,15.84%,6.68%。虽然三者 40 年间均通过  $\alpha=0.01$  检验的显著性检验,呈现出显著增加趋势,还应结合样本数量较少的客观因素进行综合分析。

(2)古尔图河气温、降水、径流的增加趋势分别在 1996 年、1988 年、2005 年达到显著水平,气温在 1990 年发生由高到低突变,降水在 1984—1986 年发生由多到少突变,径流在 1998 年发生由丰到枯突变。

(3)古尔图河气温存在 25~32 年、16~24 年、9~15 年及 5~8 年的周期震荡,主周期为 28 年、22 年;降水存在 22~32 年、15~21 年及 3~12 年的周期震荡,主周期为 28 年、6 年;径流存在 15~32 年、8~14 年及 3~7 年的周期震荡,主周期为 27 年和 17 年。

(4)古尔图河气温、降水与径流整体呈较低的正相关关系。径流与气温存在良好的相关性,与降水的关系较为复杂。

(5)奎屯河的径流变化趋势基本与古尔图河呈正相关态势。20 世纪 70 年代初期艾比湖生态环境恶化的主要驱动因素是人类的过度开发。

### 参考文献:

- [1] 刘二佳,张晓萍,张建军,等. 1956—2005 年窟野河径流变化及人类活动对径流的影响分析[J]. 自然资源学报, 2013,28(7):1159-1168.
- [2] 顾朝军,穆新民,高鹏,等. 1961—2014 年黄土高原地区降水和气温时间变化特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017,31(3):136-143.
- [3] 麦尔旦·阿不拉,麦麦提吐尔逊·艾则孜,海米提·依米提,等. 1964—2012 年艾比湖流域径流变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2016,32(8):67-73.

- [4] 热孜宛古丽·麦麦提依明,杨建军,刘巍. 艾比湖流域 1957—2013 年潜在蒸散、气温、降水变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2016,38(1):69-76.
- [5] 刘世薇,周华荣,梁雪琼,等. 艾比湖流域降水与径流变化特征分析[J]. 水土保持学报, 2011,25(5):21-25.
- [6] 吴凌云. 关于古尔图河梯级水电站建设项目的水资源论证[J]. 水利科技与经济, 2009,15(4):349-350.
- [7] 梁云娥. 古尔图河河床演变规律及其整治初探[J]. 今日科苑, 2009(4):32.
- [8] 王丽. 新疆奎屯古尔图河河道治理[J]. 山西水利科技, 2013(4):68-70,73.
- [9] 刘艺,雷晓云,马红刚,等. 巴音沟河近 60 年出山口年径流量演变规律[J]. 水土保持研究, 2016,23(2):139-142.
- [10] 杨义,舒和平,马金珠,等. 基于 Mann-Kendall 法和小波分析中小尺度多年气候变化特征研究:以甘肃省白银市近 50 年气候变化为例[J]. 干旱区资源与环境, 2017,31(5):126-131.
- [11] 夏库热·塔依尔,海米提·依米提,麦麦提吐尔逊·艾则孜,等. 基于小波分析的开都河径流变化周期研究[J]. 水土保持研究, 2014,21(1):142-146,151.
- [12] 秦明军. 古尔图河近期规划水能资源开发利用分析[J]. 中国水运, 2008,8(12):178-179.
- [13] 吴凌云. 古尔图河径流特性浅析[J]. 黑龙江科技信息, 2008(13):203.
- [14] 阿依努尔·孜牙别克,高婧. 气候变化对天山北坡奎屯河高山区地表径流的影响[J]. 冰川冻土, 2010,32(6):1186-1193.
- [15] 高文强,马孝义,张建兴,等. 奎屯河出山口站径流变化趋势及其影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(12):139-144.
- [16] 孟现勇,孟宝臣,王月健,等. 近 60 年气候变化及人类活动对艾比湖流域水资源的影响[J]. 水文, 2015,35(2):90-96.
- [17] 许兴斌,王勇辉,姚俊强. 艾比湖流域气候变化及对地表水资源的影响[J]. 水土保持研究, 2015,22(3):121-126.
- [18] 张飞,王娟,塔西甫拉提·特依拜,等. 1998—2013 年新疆艾比湖湖面时空动态变化及其驱动机制[J]. 生态学报, 2015,35(9):2848-2859.
- [19] 苏颖君. 艾比湖水域面积变化原因分析及其生态环境保护新思路[J]. 水资源保护, 2011,27(5):78-82,87.
- [20] 金英春,姚安琪. 浅谈艾比湖流域水资源利用与生态环境变化[J]. 西部探矿工程, 2013,8:155-156,160.
- [21] 苏向明,刘志辉,魏天锋,等. 艾比湖面积变化及其径流特征变化的响应[J]. 水土保持研究, 2016,23(3):252-256.
- [22] 李哲,张飞, Hsiang-teKung, 等. 1988—2014 年艾比湖湿地自然保护区生态系统服务价值及其时空变异[J]. 生态学报, 2017,37(15):1-14.