

# 昆仑山北坡和田河夏季流量对气候变化的响应

阿依夏木·买买提托合提, 玉苏甫·阿布都拉\*, 阿依夏木古丽·买买提, 古扎丽奴尔·艾尼瓦尔  
和田地区气象局, 新疆 和田

收稿日期: 2022年8月15日; 录用日期: 2022年9月13日; 发布日期: 2022年9月20日

## 摘要

分析昆仑山北坡跟和田河夏季流量变化和它流域内0°C层高度, 500 hPa气温、出山口降水量变化。结果显示: 近56年来, 昆仑山北坡0°C层高度呈下降趋势, 夏季平均流量、500 hPa温度、出山口降水呈上升趋势。采用M-K突变检验、累积距平等方法, 对夏季平均流量、0°C层高度、500 hPa气温和山区降水量进行突变分析, 结果显示: 1978年和田河夏季平均流量、昆仑山北坡0°C层高度发生了突变, 出山口降水量在1987年发生突变, 500 hPa气温在1979年发生突变。和田河流域夏季500 hPa温度上升、出山口降水增多是和田河夏季平均流量增大的主要原因。

## 关键词

和田河, 夏季平均流量, 0°C层高度, 出山口降水量, 500 hPa气温, 突变, 响应

# Response of Hotan River Summer Flow to Climate Change on the Northern Slope of Kunlun Mountains

Ayixiamu·Maimaitituoheti, Yusufu·Abula\*, Guzhalinuer·Ainiwaer, Ayixiamuguli·Maimaiti  
Hetian Meteorological Bureau, Hotan Xinjiang

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 13<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 20<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

The changes of summer discharge on the Northern Slope of Kunlun mountain and Hotan river and their responses to 0°C layer height, 500 hPa temperature and precipitation at the mountain pass were analyzed. The results show that in the past 56 years, the 0°C layer height on the Northern Slope of Kunlun mountain shows a downward trend, while the average summer discharge, 500 hPa temperature and precipitation on the mountain pass show an upward trend. Mann-Kendall mutation test and cumulative anomaly method were used to analyze the mean summer discharge, 0°C

\*通讯作者。

layer height, 500 hPa air temperature and mountain precipitation. The average summer discharge of Hotan river and the 0°C layer height on the Northern Slope of Kunlun mountain were abrupt in 1978, the precipitation at mountain pass was abrupt in 1987, and the temperature at 500 hPa was abrupt in 1979. The increase of 500 hPa temperature in summer and the increase of precipitation at the mountain pass are the main reasons for the increase of the average discharge of Hotan river.

## Keywords

**Hotan River, Mean Summer Discharge, 0°C Layer Height, Precipitation at Mountain Pass, The 500 hPa Temperature, Mutation, The Response**

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

全球变暖导致区域水循环变化、水资源时空分布的改变,甚至影响区域生态环境和社会经济的发展。和田河位于塔里木盆地最南缘,上游发源于昆仑山,和田河流域面积约 48,870 km<sup>2</sup>。刘时银[1]分析和田地区冰川数为 564 条,冰川面积为 6812.67 km<sup>2</sup>,冰储量为 632.66 km<sup>3</sup>,各占新疆冰川总量的 27.25%、30.11% 和 29.36%;对比第一次冰川编目,冰川减少了 272 条,面积减少了 601.67 km<sup>2</sup>。沈永平[2]分析中提出,玉龙喀什河冰川融水量 59.3%,喀拉喀什河冰川融水量 45.7%,雪线高度基本在 5760~6120 m。和田河两条支流出山径流的年内分布不均,夏季径流比例分别高达 80.7% 和 72.9%,和田河地表水资源着重来源于冰川融化,主要集中在夏季。近几年许多学者对和田河流域地表径流变化做了分析和讨论,和田河的年径流量和夏季流量均呈现出不显著的线性下降趋势[3]~[11],由于缺乏和田流域高山区监测资料,河流量变化原因的讨论极其少。为了深入开展和田河夏季流量变化对气候变化的响应研究,对实现区域水资源可持续利用,维护流域生态环境,促进和田流域绿洲经济发展,使用多年连续监测记录的 0°C 层高度和 500 hPa 高空气温资料具有重要的意义。

## 2. 资料与方法

选取和田地区气象站 1961~2016 年夏季零度层高度,500 hPa 高空气温、和田河上游(乌鲁瓦提和同古孜洛克)站的夏季平均流量和降水量资料。1) 夏季 0°C 层高度,500 hPa 气温、夏季平均流量、夏季山区降水量标准化处理;2) 线性趋势倾向系数由最小二乘法求得;3) 先由每日两次的探空资料求平均得到的日平均和月平均值,再由其求季平均来定 0°C 层平均高度;4) 利用两河夏季月平均流量资料求平均得到季平均,再由其求得和田河夏季平均流量;5) 5 年滑动,累积距平值、M-K 突变检验方法。

## 3. 夏季流量、0°C 层高度、500 hPa 气温、降水量趋势分析

### 3.1. 夏季平均流量递减

和田河近 56a 夏季平均流量呈微弱的线性递增趋势(图 1),1961~2016 年递增率  $0.186 \text{ m}^3 \text{s}^{-1} \cdot (10a)^{-1}$  在 56a 中,有 35a 为负距平,21a 为正距平。从 1961 年开始夏季平均流量的变化可分 4 个阶段:1961~1965 年枯水阶段,1966~1981 年丰水阶段,1982~2009 年枯水阶段,2010~2016 年丰水阶段。1961 年夏季平均流量最大,为  $336.8 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ ,偏多为  $118.9 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ ,1965 年为最小,为  $108.3 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ ,偏少为  $101.24 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ ,2010 年以来夏季平均流量增加趋势非常明显。

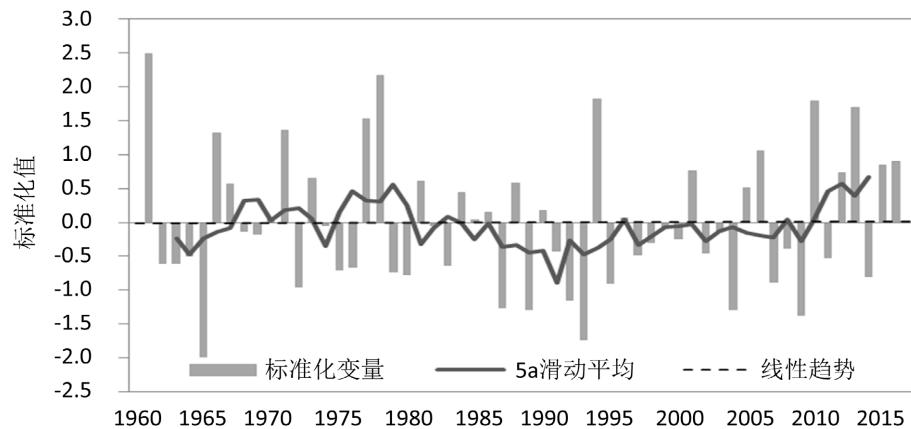


Figure 1. Standardization series curve of Hotan River summer annual run off

图 1. 和田河夏季平均流量标准化序列曲线图

### 3.2. 夏季 0℃ 层高度下降

夏季 0℃ 层高度升降是干旱区影响河流径流量变化的一个至关重要因素。夏季 0℃ 层高度上升(下降)使高山区冰川环境温度升高(降低), 暴露在 0℃ 层之下的冰川积增大(缩小), 致使冰川消融加剧(减缓), 物质积累减少(增加), 冰川融水径流增加(减少), 最终影响到出山径流量的变化[12] [13]。和田市夏季 0℃ 层高度近 56a 总体呈下降趋势, 以 14.63 gpm 的倾向率递减, 与中国西北地区, 新疆的其它区域的变化截然不同[12] [13]。和田地区 1961 至 1978 年夏季 0℃ 层高度(图 2)平均 4867 gpm, 相对偏高 41 gpm; 1979 至 2009 年平均值为 4787 gpm, 相对偏低 39 gpm。偏高阶段分别是 1961 至 1978 年、1994 至 1997 年、2010 至 2016 年, 偏低阶段为 1979 至 1993 年、1998 至 2009 年。夏季 0℃ 层高度上世纪 60 年代偏高 88.9 gpm, 70 年代偏高 26.3 gpm, 80 年代和 1991~2009 年分别偏低 42 gpm、40 gpm, 2010~2016 年偏高 39.4 gpm。

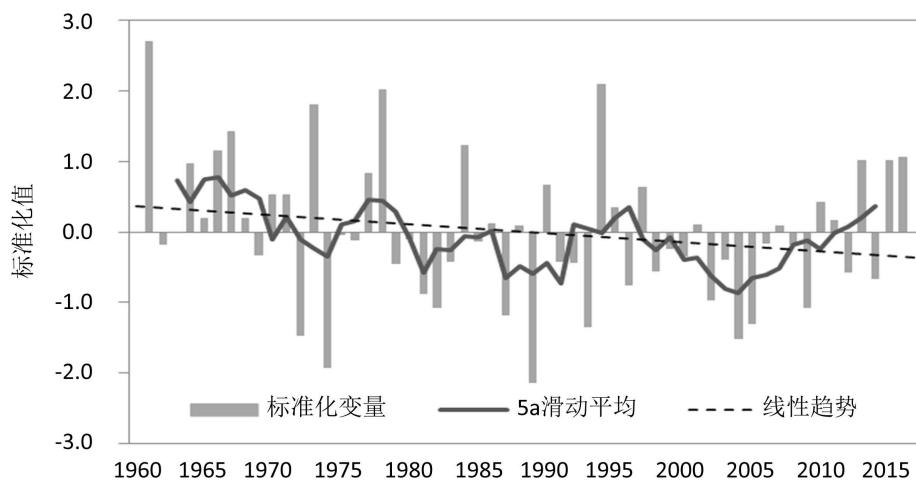


Figure 2. Standardization series curve of Hotan 0℃ level height in summer

图 2. 和田夏季 0℃ 层高度标准化序列曲线图

### 3.3. 夏季山区降水量的变化特征

和田河上游山区(乌鲁瓦提和同古孜洛克水文站)近 56a 夏季标准化降水量和 5 年滑动变化如(图 3)可以看出, 山区降水量总体呈上升趋势, 以  $1.27 \text{ mm} \cdot (10a)^{-1}$  的倾向率增加。降水量在 1961~1987 年以负距平为主, 1987~2016 年正负距平出现次数相当, 但到 2010 年开始降水量不但增加趋势明显, 而且降水变

率增大显著。1968~1974年, 1987~1994年、2010~2016年为偏多阶段; 1961~1967年、1975~1986年、1995~2009年为偏少阶段。夏季降水量最大出现在2010年, 为113.4 mm, 偏多74 mm, 最小出现在1985年, 为1.3 mm, 偏少38.1 mm。

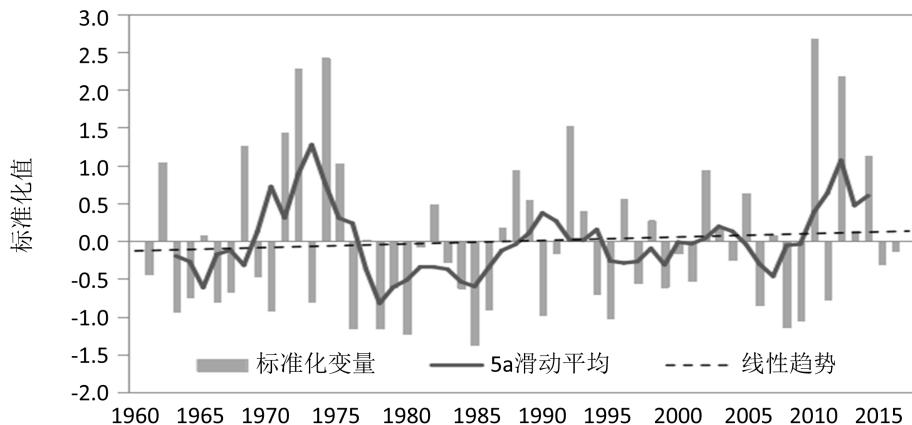


Figure 3. Standardization series curve of summer precipitation over the upper Hotan River

图3. 和田河上游山区夏季标准化降水量变化曲线图

### 3.4. 高空500 hPa气温变化

张鲜鹤分析中国冰川高度结构特征中指出[14], 昆仑山冰川平衡线高度在5582 m, 500 hPa的平均高度夏季为5441 gpm左右。夏季500 hPa平均气温变化能够反映出高山区的气候变化特征。

由图4看以出, 和田河流域和田市夏季500 hPa高空平均气温近56a总体呈上升趋势, 其变化率 $0.114^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , 高空气温变化趋势与地面气温变化趋势一致。5年滑动曲线反映出1968~1973年, 1992~2001年、2010~2016为偏暖阶段; 1961~1967年, 1974~1991年、2002~2007年为偏冷阶段。其峰点是1994年(平均气温为 $-5.0^{\circ}\text{C}$ , 距平 $1.7^{\circ}\text{C}$ ), 谷点是1965年(平均气温为 $-8.3^{\circ}\text{C}$ , 距平 $-1.6^{\circ}\text{C}$ )。

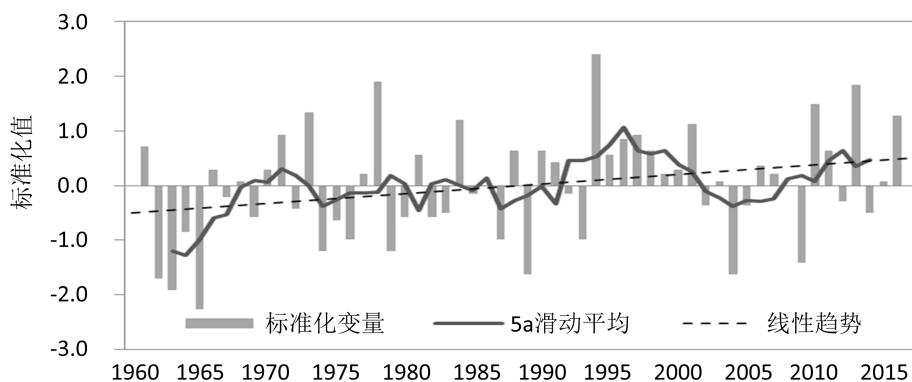


Figure 4. Standardization series curve of Hotan 500 hPa temperature in summer

图4. 和田地区夏季高空500 hPa气温标准化序列曲线图

## 4. 夏季流量与0℃层高度突变分析

### 4.1. 夏季平均流量突变分析

M-K非参数检验法对时间序列突变点的定义, UF和UB交点处在置信线之间(图5), 而随后UF线超过置信线, 交点被认为有突变发生。由(图5)可见, 1961~1967年UF线在零线以下振动, 夏季流量偏枯阶

段, 1968~1974 年 UF 曲线零线以上, 夏季流量偏丰阶段, 夏季流量偏丰阶段。UF 曲线与 UB 曲线 1978 年以前多次相交, 之后 UF 曲线下降趋势十分明显, 自 1979 年以来 UF 下降趋势显著; 和田河夏季平均流量自 1961 年来 1978 年发生了突变由丰到枯的。

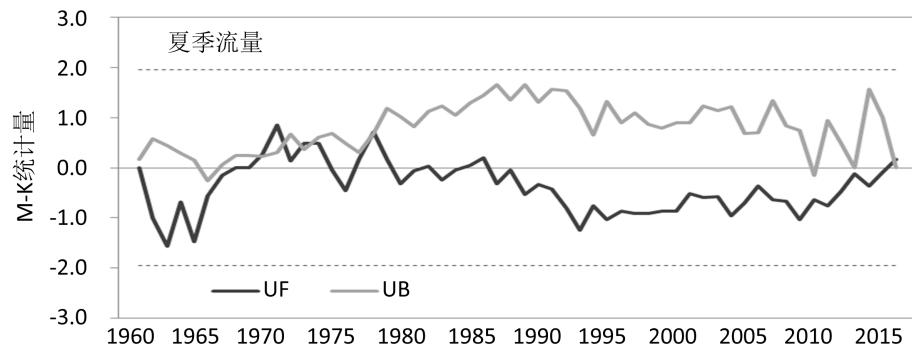


Figure 5. M-K nonparametric test of abrupt change for Hotan river runoff in summer  
图 5. 和田河夏季平均流量 M-K 突变检验

#### 4.2. 夏季 0℃ 层高度突变分析

应用 M-K 非参数检验法分析和田市夏季 0℃ 层序列, 1961~1963 年 UF 线位于零线以下(图 6), 1964~1968 年 UF 线零线以上, 1993 年超过信度线。表明; 从 1969 年以来零度层高度不断下降, 下降倾向占优势。UF 曲线从 1979 年开始下降趋势十分明显。夏季 0℃ 层高度在 1978 年发生了由高到低的突变。

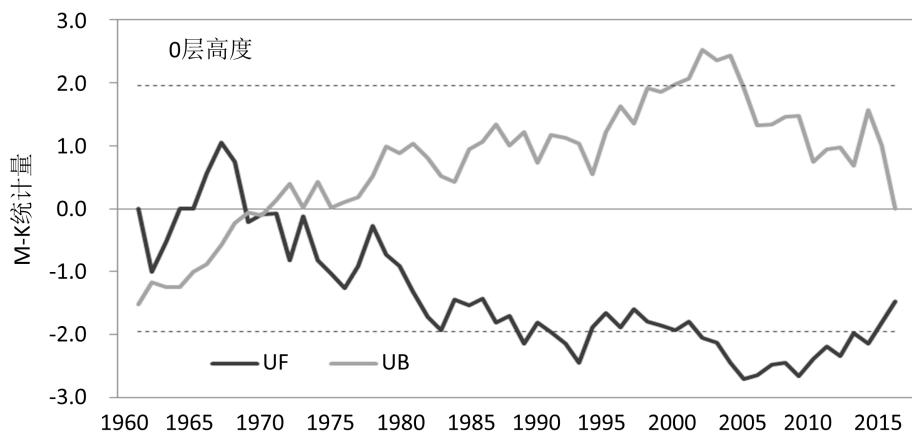


Figure 6. M-K nonparametric test of abrupt for the Hotan 0°C level in summer  
图 6. 和田地区夏季 0℃ 层 M-K 突变检验

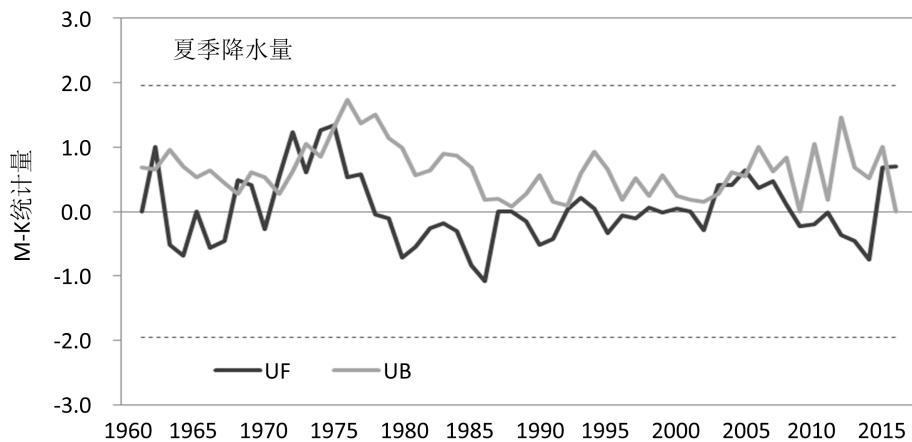
#### 4.3. 夏季降水量突变分析

1963~1970 年 UF 线在零线以下振动, 表示夏季降水量偏少阶段, 1971~1978 年间 UF 曲线以上(图 7), 表示夏季降水量偏多阶段, UF 曲线与 UB 曲线 1975 年以前多次相交, UF 曲线从 1978 年开始下降趋势十分明显, 从 1979~2002 年夏季降水量明显下降, UF 曲线自 2003 年起呈上升趋势。因此, 可以认为自 1961 年以来夏季降水量在 1987 年发生了突变。

#### 4.4. 夏季高空 500 hPa 气温突变分析

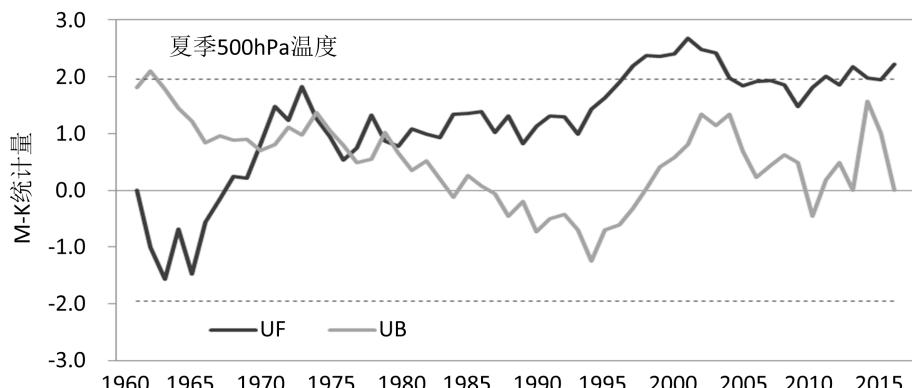
由(图 8)可见, 1961~1968 年 UF 线在零线以下, 高空 500 hPa 气温偏低阶段, 1969 年开始 UF 曲线

零线上以上高空 500 hPa 气温偏高阶段。UF 曲线与 UB 曲线 1980 年以前多次相交, 之后 UF 曲线上升趋势十分明显, 于 1994 年超过 0.05 显著性水平, 自 1961 年以来和田河夏季平均流量在 1979 年发生了突变。



**Figure 7.** M-K nonparametric test of abrupt change for the summer precipitation over the Hotan River

**图 7.** 和田河夏季降水量 M-K 突变检验



**Figure 8.** M-K nonparametric test of abrupt change for the Hotan 500 hPa temperature in summer

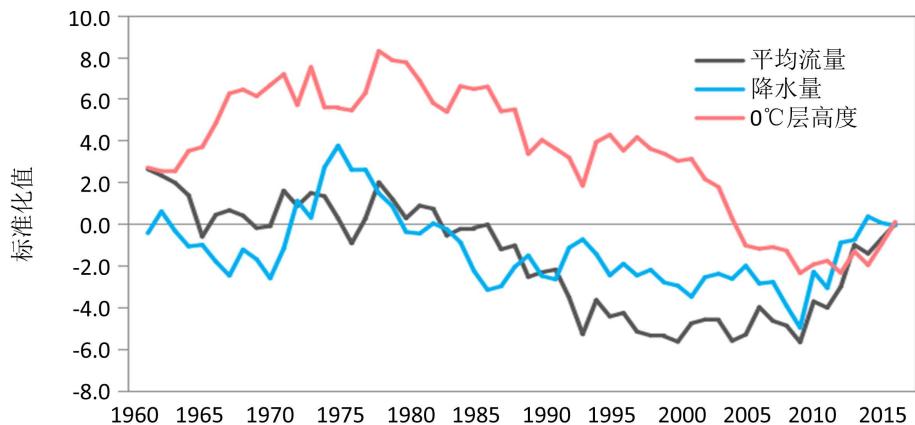
**图 8.** 和田夏季高空 500 hPa 气温 M-K 突变检验

#### 4.5. 夏季流量、0℃层高度、降水量距平累积分析

累积距平曲线(图 9)显示, 夏季和田河平均流量和山区降水量 1971 年以前变化具有明显的同位相特征, 与 0℃层高度的变化有明显的反位相特征。1979 年为转折点, 1979~2009 年累积距平曲线持续下降, 平均流量, 山区降水量和零度层高度呈减少趋势; 平均流量, 山区降水量和零度层高度的变化表现出同位相变化特征, 2010~2016 年累积距平曲线持续上升, 呈上升趋势显著。

### 5. 典型年特征分析

为了分析不同气候典型年夏季和田河流域 0℃层高度, 500 hPa 高空气温、和田河夏季平均流量、夏季山区降水量, 设定气候典型年的基本条件为: 夏季平均流量, 出山口降水量、高空 500 hPa 气温和 0℃ 层高度标准化距平大于 1.0 的年份为偏多(偏高), 距平小于-1.0 的年份为偏少(偏低); 距平大于 2.0 的年份为异常偏多(偏高), 距平小于-2.0 的年份为异常偏少(偏低)依此选定和田河流域夏季典型的异常偏高、异常偏低和异常偏多、异常偏少年。



**Figure 9.** Standardized runoff in summer, standard height of 0°C level in summer and cumulative distance curve of precipitation in mountain area

**图 9.** 夏季标准化流量, 夏季标准化零度层高度和山区降水量累积距平曲线

以这个标准得到了夏季流量 2 个异常偏多年份(1961, 1978 年), 1 个异常偏少年份(1965 年); 1961、1978、1994 年零度层高度异常偏高, 1974、1989 年异常偏低, 山区降水量 4 个异常偏多年份(1972、1974、2010、2012 年)没有出现异常偏少年份; 1978、1994 年高空 500 hPa 气温异常偏高, 1965 年异常偏低; 标准化流量, 高空 500 hPa 气温的典型异常年份与 0°C 层高度异常年份十分相似, 而山区降水量异常偏多年集中在 20 世纪 70 年代和 2010、2012 年。陈亚宁[15]最新研究结果显示, 西北干旱区河川径流量的长时期序列检测发现, 一些冰川融水补给较大的河流在 1994 年前后普遍出现了一次径流“突变型”增加的过程与气候典型异常年份较一致。夏季 0°C 层高度偏高、偏低年的夏季平均流量的差别很明显, 在 0°C 层高度标准化距平大于 1.0 的 10a 中, 夏季流量偏多年占 90%, 而在 0°C 层高度标准化距平小于 1.0 的 9a 中, 夏季流量偏少年占 78%。夏季平均流量、0°C 层高度、山区降水量在 1978 年发生突变, 500 hPa 气温在 1979 年发生突变。夏季 0°C 层高度突变前(1961~1978 年)平均为 4877.8 gpm, 突变后(1979~2016 年)平均为 4802 gpm, 突变后比突变前下降了 75.8 gpm。夏季平均流量突变前 1961~1978 年为  $220.26 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ , 突变后 1979~2016 年平均  $204.47 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ , 突变后比突变前下降了  $15.8 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ 。山区降水量突变前(1961~1986 年)平均 32.8 mm, 距平为 -5.0 mm, 突变后(1987~2016 年)平均 45.0 mm, 距平为 7 mm, 突变后比突变前增多了 12 mm。

## 6. 结论

- 1) 1961~2016 年, 和田河属冰雪融水补给型河流, 夏季流量以  $0.186 \text{ m}^3 \text{s}^{-1} \cdot (10a)^{-1}$  的倾向率递增、和田市 0°C 层高度以  $14.63 \text{ gpm} \cdot (10a)^{-1}$  的倾向率递减, 山区降水量以  $1.27 \text{ mm} \cdot (10a)^{-1}$  的倾向率增加, 500 hPa 气温以  $0.114 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10a)^{-1}$  倾向率增加。
- 2) 1978 年和田河夏季平均流量、夏季高空 0°C 层高度在发生突变, 1987 年山区降水量在发生突变, 1979 年 500 hPa 高空气温发生突变, 突变前后平均流量、0°C 层高度有明显差异。
- 3) 夏季 0°C 层高度与夏季流量和 500 hPa 高空气温均正相关, 相关系数分别为 0.664、0.738, 均通过 0.01 信度显著性检验; 夏季流量与山区降水量存在负相关, 相关系数 -0.25, 相关性较差, 没有通过 0.01 的显著性水平。
- 4) 和田河夏季流量对和田地区 0°C 层高度的变化都有很好的响应。

## 基金项目

新疆少数民族科技人才特殊培养计划基金项目(2017D03026)唯一资助。

## 参考文献

- [1] 刘时银, 姚晓军, 郭万钦, 许君利, 上官冬辉, 魏俊锋, 等. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状[J]. 地理学报, 2015, 70(1): 3-16.
- [2] 沈永平, 施雅风, 刘潮海, 等. 新疆冰川资源及其对水资源变化和洪水灾害的影响(冰川在新疆的地位、作用和影响报告) [R]. 2013.
- [3] 周晓曦, 阿布都热合曼·哈力克. 气候变化对和田河径流的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2017(3): 21-25.
- [4] 王珍珍, 黄领梅, 沈冰, 秦胜英. 和田河两支流出山口枯水流量的变化特性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(5): 45-49.
- [5] 褚桂红, 史文娟, 王娟, 等. 和田河上游径流变化特征及影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(11): 83-87.
- [6] 阿依努尔·买买提, 邱玉宝. 近 20 年和田绿洲水资源变化及其驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 117-122.
- [7] 周宰根, 谢自楚, 韩建康. 玉龙喀什河和喀拉喀什河出山径流变化及其影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 95-99.
- [8] 张芳红. 新疆玉龙喀什河流域水文特性分析[J]. 能源与节能, 2018(5): 92-94+164.
- [9] 师于杰. 塔里木河“三源一干”近 60 年径流演变规律分析[J]. 水资源开发与管理, 2019, 23(7): 12-16+23.
- [10] 凌红波, 徐海量, 张青青, 史薇. 新疆塔里木河三源流径流量变化趋势分析[J]. 地理科学, 2011, 31(6): 728-733.
- [11] 颜伟, 刘景时, 罗光明, 董克鹏, 卢巍, 杜新豪. 基于 MODIS 数据 2000-2013 年西昆仑山玉龙喀什河流域积雪面积变化[J]. 地理科学进展, 2014, 33(3): 315-323.
- [12] 黄小燕, 张明军, 王圣杰, 李亚举, 潘淑坤. 中国西北地区近 50 年夏季 0℃ 层高度及气温时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 66(9): 1191-1199.
- [13] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红. 中国西北干旱区夏季径流量对大气 0℃ 层高度变化的响应[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(11): 1767-1777.
- [14] 张鲜鹤, 王欣, 刘时银, 郭万钦, 魏俊锋. 基于第二次冰川编目数据的中国冰川高度结构特征分析[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 397-406.
- [15] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 王怀军, 方功焕. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295-1304.