

和田河两支出山口枯水流量的变化特性分析

王珍珍¹, 黄领梅¹, 沈冰¹, 秦胜英²

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 新疆和田河管理局, 新疆 和田 848000)

摘要: 利用和田河两支流 1957–2010 年的逐月实测流量资料, 采用滑动平均法、Mann–Kendall 秩次相关检验法及小波分析法, 分析了和田河出山口枯水流量的变化特征。结果表明: 和田河两支出山口处实测枯水流量在 20 世纪 90 年代末之前变化趋势不明显, 90 年代末之后呈显著增大趋势; 但两支流枯水流量均未发生突变现象; 两支流枯水流量的周期性均不显著, 其中最枯月流量周期性的优势尺度为 10~12 a。分析枯水流量的变化特点, 主要与流域气温升高及出山水库调节有关。

关键词: 出山口; 枯水流量; Mann–Kendall 检验; 小波分析; 和田河

中图分类号: P333.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)05-0045-05

Variation feature of low water flow at mountain area of two tributary of Hotan River

WANG Zhenzhen¹, HUANG Lingmei¹, SHEN Bing¹, QIN Shengying²

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resource and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Hotan Administration Bureau of Xinjiang, Hotan 848000, China)

Abstract: The paper analyzed the variation characteristics of low water flow at mountain area of Hotan river by use of the method of moving average, Mann–Kendall test and the wavelet analysis, based on monthly flow data of two tributary of Hotan river during the period of 1957 to 2010. The results indicated that the change trend of low flow was not significant before the late 1990s, and low flow showed an obvious increase after the late 1990s. However, Low flow of the two tributary of Hotan river showed no abrupt change. In addition, periodicity of low flow is not significant, and the 10 to 12 year period of flow of the driest month is obvious. The results were mainly correlated with rising temperature and reservoir regulation.

Key words: mountain area; low flow; Mann–Kendall test; wavelet analysis; Hotan river

枯水流量是河川径流的一种特殊形态, 往往制约着城市的发展规模、灌溉面积、通航容量和时间, 同时, 也是决定水电站保证出力的重要因素。在我国, 水资源的供需矛盾日益明显, 尤其在枯水季节或干旱半干旱地区, 这种矛盾就更加显著。枯水季节河流径流量减少, 再加上人类过度开发利用枯水资源, 严重时甚至会造成河流断流的环境问题。因此, 开展枯水流量研究, 对于和田河水资源的合理开发利用、保障经济建设持续稳定发展和解决枯季水资源的供需矛盾以及维持流域生态环境的稳定具有重要的理论及实际意义。

1 研究区概况

和田河是穿越塔克拉玛干沙漠的一条唯一河

流, 在其上游由玉龙喀什河(简称玉河)和喀拉喀什河(简称喀河)两条支流汇合而成。和田河流域属于极干旱地区, 地处新疆南部, 南邻昆仑山, 北接塔克拉玛干沙漠, 按河流流向自南向北, 可将流域划分为上游高山区, 中游平原区及下游荒漠区。上游山区拥有较丰沛的冰川积雪, 冰雪融水是喀河和玉河径流的主要来源, 其中, 喀河冰雪融水占河流组成的 46.6%, 玉河冰雪融水占到 66.4%。山区人类活动极少, 气候变化是影响河流出山口流量、丰枯周期变化的主要因素^[1]。

2 数据资料及研究方法

2.1 数据资料

选用喀河和玉河出山口水文站乌鲁瓦提水文站

收稿日期: 2013-06-07; 修回日期: 2013-07-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51109176)

作者简介: 王珍珍(1990-), 女, 甘肃白银人, 在读硕士生, 主要从事水文学及水资源研究。

通讯作者: 黄领梅(1972-), 女, 四川乐至人, 副教授, 主要从事水文学及水资源研究。

(简称乌站)和同古孜洛克水文站(简称同站)1957-2010 年逐月流量资料,数据来源可靠。

2.2 研究方法

2.2.1 滑动平均法 滑动平均法也称移动平均法,是一种简单平滑预测技术,基本思路是将原时间序列 x_i 逐项推移,依次计算包含有一定项数的序列均值从而构成新序列 y_t ,以反映长期趋势变化。数学表达式为:

$$y_t = \frac{1}{2l+1} \sum_{i=-l}^l x_{t+i}$$
 (1)

如当 $l = 2$ 时为 5 点滑动平均, $l = 3$ 时为 7 点滑动平均,依次类推。

2.2.2 Mann-Kendall 秩次相关检验法 Mann-Kendall 法(简称 M-K 法)是一种非参数统计检验方法,非参数检验法亦称无分布检验,不需要样本遵从一定的分布^[2],计算简单,可以明确序列发生突变的时间。具体计算过程如下:

对于具有 n 个样本量的时间序列 x ,构造秩序列 s_m :

$$s_m = \sum_{i=1}^m r_i \quad (m = 2, 3, \dots, n)$$
$$r_i = \begin{cases} +1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i < x_j \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, i)$$
 (2)

假定时间序列随机独立,定义统计量为:

$$UF_m = \frac{s_m - E(s_m)}{[Var(s_m)]^{1/2}} \quad m = 1, 2, \dots, n$$
 (3)

其中, $UF_1 = 0$; 当 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 相互独立,分布连续且相同时,累计数 s_m 的均值 $E(s_m)$ 、方差 $Var(s_m)$ 分别为:

$$E(s_m) = \frac{n(n+1)}{4}$$
$$Var(s_m) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$$
 (4)

把时间序列 x 逆序,得 $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ 重复上述过程,得到逆序列的统计量 UB_m 。做出 UF_m 、 UB_m 曲线。由于 UF_m 、 UB_m 为标准正态分布,给定显著性水平 α ,由正态分布表查得临界值 U_α 。若 UF 值大于 0,则表明序列呈上升趋势,小于 0 则表明呈下降趋势。当超过临界值 $|U_\alpha|$,则表明上升或下降趋势显著。若 UF_m 、 UB_m 曲线出现交点,且交点在 $\pm U_\alpha$ 之间,则交点对应的时刻为突变开始的时刻。

2.2.3 小波分析法 小波分析的基本思路是用一族频率不同的震荡函数作为窗口函数 $\varphi(t)$ 对信号 $f(t)$ 进行扫描和平移^[3]。对于给定的时间序列 $f(k\Delta t)$ ($k = 1, 2, \dots, n$; Δt 为取样时间间隔),采用 Morlet 小波作为母小波,其小波变换系数表达式为式(5)。将时间域上关于 α 的所有小波变换系数的平方值积分得到小波方差,见式(6)。

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_R f(t) e^{ic(t-b)/a} e^{-(t-b)^2/2a^2} dt$$
 (5)

$$Var(a) = \int_R |W_f(a, b)|^2 db$$
 (6)

式中: a 、 b 分别为时间序列的尺度因子和时间因子,反映小波周期长度和时间偏移; c 取常数 6.2。

3 结果分析

由于数据资料有限,本论文选用最枯月流量、最小 3 个月流量及枯水期流量来反映枯水流量特性。其中,径流量小于年均径流量的连续月份可计入枯水期的月数^[4]。则两支流枯水流量特征见表 1。

3.1 趋势性分析

本论文采用 5 年滑动平均曲线对枯水径流序列进行趋势分析。该方法计算简单,过程简捷,能够比较直观的反映径流序列的增减变化趋势。

表 1 和田河两支流枯水流量特征 亿 m³

河流	站点	多年平均 径流量	枯水期		最小 3 个月		最枯月	
			时段	径流量	时段	径流量	时段	径流量
玉河	同站	22.65	10 月 - 次年 5 月	2.80	1 月 - 3 月	0.66	1 月	0.22
喀河	乌站	21.83	10 月 - 次年 4 月	3.23	12 月 - 次年 2 月	0.98	1 月	0.31

由图 1 可以看出,和田河两支流枯水期流量的变化趋势大体一致。20 世纪 90 年代末之前两序列均呈峰谷波动形变化,变化趋势不明显。90 年代末之后两序列呈上升趋势,其中喀河枯水流量上升趋势较玉河显著。和田河属于冰川融水和高山降水补给型河流,其年径流量主要受气温和山区降水影响。

3.2 突变性检验

由图 2 可以看出,在给定的显著性水平 $\alpha = 0.05$,临界值为 ± 1.96 的条件下,自 1957 年以来,和田河两支流枯期流量、最小 3 个月流量及最枯月流量均没有发生突变现象。玉河枯水流量在整个研究时段内基本呈增大趋势。其中,枯水期流量在

1971-1985年增大趋势显著,在2002年之后增大趋势甚至超过了0.001(临界值为 ± 2.56)显著性水平。最小3个月流量1976年之后增大趋势显著,1979年之后增大趋势超过0.001显著性水平。最枯月流量变化波动较大,在1972-1977年出现了减小的趋势,在1983年之后增大趋势显著。喀河枯水流量的变化总体表现为增大—减小—增大的趋势。枯水期流量在1961-1967年处于不显著的减小趋势阶段,其余时段均处于增大趋势阶段,其中1978-1991年、2000年之后增大趋势显著。最小3个月流量在1979年之后增大趋势显著,而最枯月流量在

1999年之后增大趋势显著。
表2量化反映了两支流枯水流量的变化趋势。综上,和田河两支流枯水流量的变化特点为:①枯水期流量、最小3个月流量及最枯月流量均没有发生突变现象。②变化趋势不十分一致,玉河枯水流量在整个研究期内基本呈增大趋势,而喀河枯水流量总体呈增大—减小—增大的趋势。③枯水期流量自2002年起均表现为显著性增大趋势;最小3个月流量自1979年起均表现为显著性增大趋势。④最枯月流量差异较大,玉河最枯月流量自1983年增大趋势显著化,而喀河自1999年增大趋势显著化。

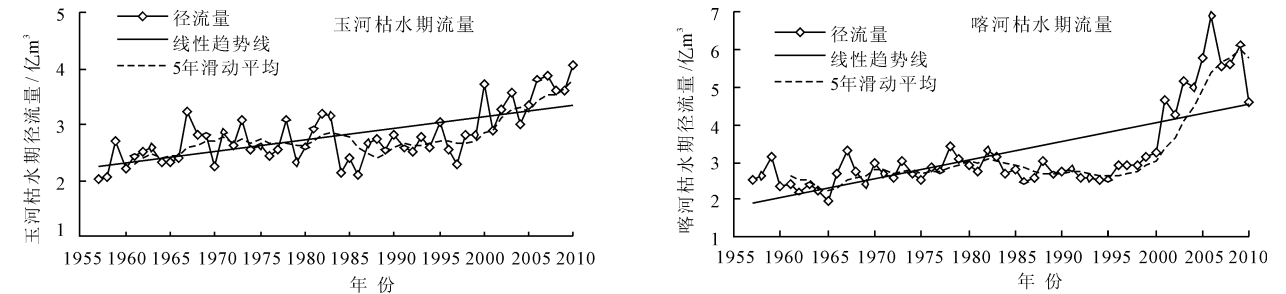


图1 出山口枯水期流量变化

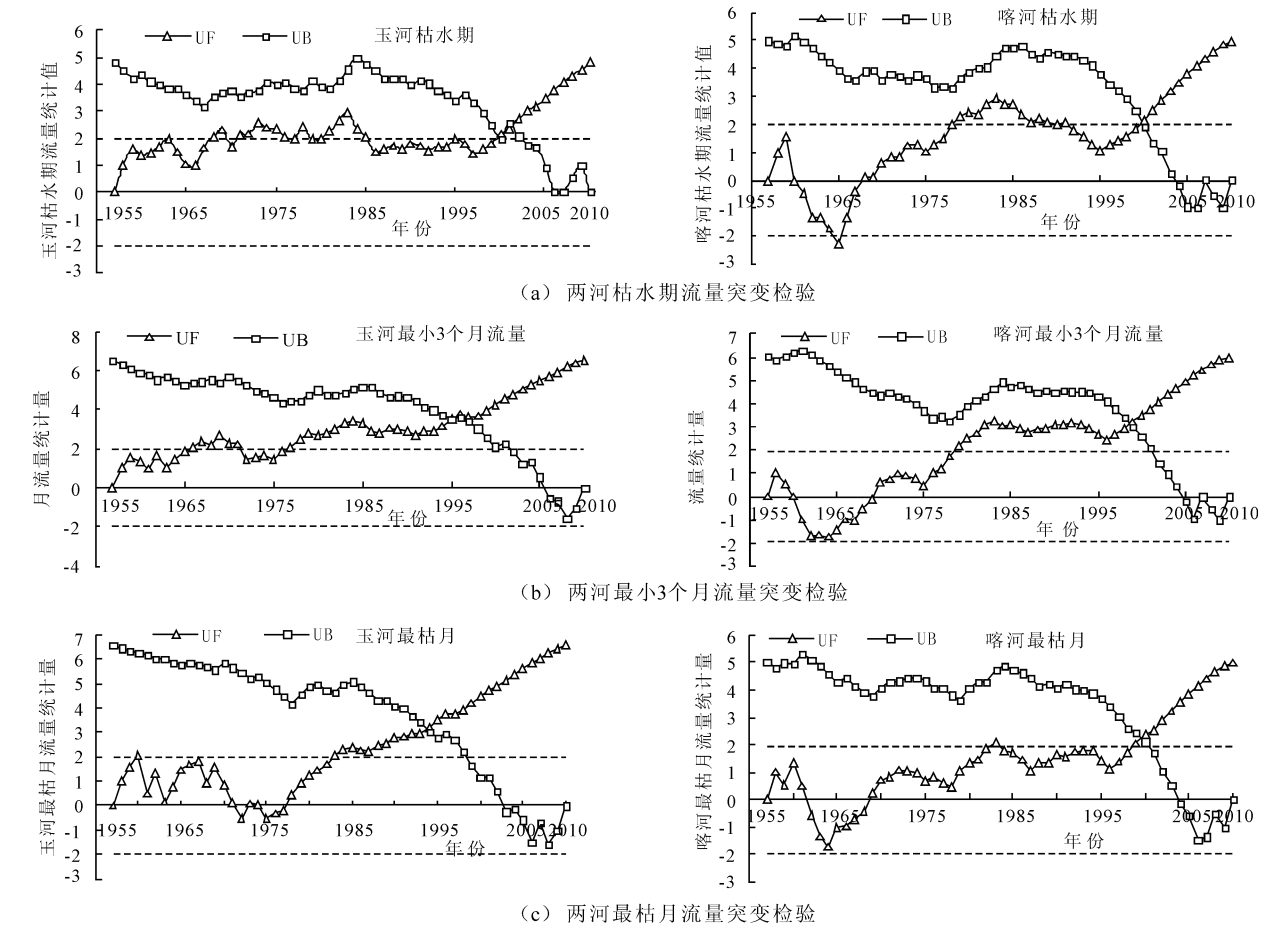


图2 出山口枯水流量突变检验

表 2 出山口枯水流量 MK 检验统计量

年 代	玉 河			喀 河		
	枯水期	最小 3 个月	最枯月	枯水期	最小 3 个月	最枯月
1957 - 1970	1.447	1.614	1.116	-0.392	-0.575	-0.176
1971 - 1980	2.200 *	2.030 *	0.129	1.469	1.258	0.890
1981 - 1990	2.049 *	3.044 **	2.231 *	2.418 *	2.981 **	1.568
1991 - 2000	1.735	3.447 **	3.555 **	1.604	2.961 **	1.694
2001 - 2010	3.620 **	5.572 **	5.696 **	3.870 **	4.998 **	3.907 **

注：* 和 * * 分别表示通过了信度 95% 和 99.5% 的显著性检验。

3.3 周期性分析

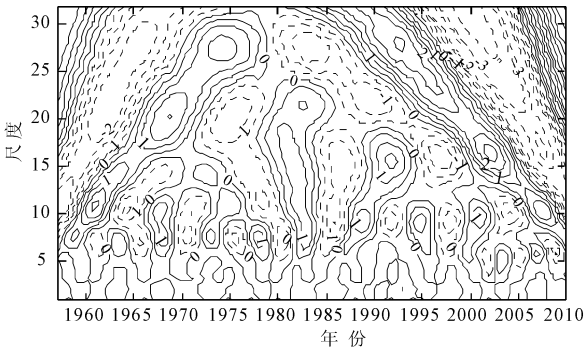
由图 3(a)实部变化图可以看出,15 a 以上的尺度中有一个明显的高值在 1993 年左右,一个明显的低值在 2002 年左右。此外,25 ~ 30 a 尺度较为明显,正负等值线在整个研究期内交替变化,中心尺度约为 29 a;18 ~ 22 a 的时间尺度主要表现在 2000 年之前。15 a 以下的尺度复杂多变,没有明显的小波系数高值或低值。其中,8 ~ 10 a、10 ~ 12 a 尺度分别表现在 1982 - 2006 年、1957 - 1987 年,局部性较强。由图 3(a)小波方差图进一步得出,11 a 时间尺度的周期震荡较为强烈,为优势尺度,其余尺度的周期性不是很明显。

由图 3(b)实部变化图可以看出,玉河最枯月流量 20 ~ 25 a 的代际尺度较明显,在 2004 年左右出现一个明显的低值,表现在 1977 - 2010 年;7 - 10 a 的时间尺度也较明显,表现在 1974 - 2000 年;此外,

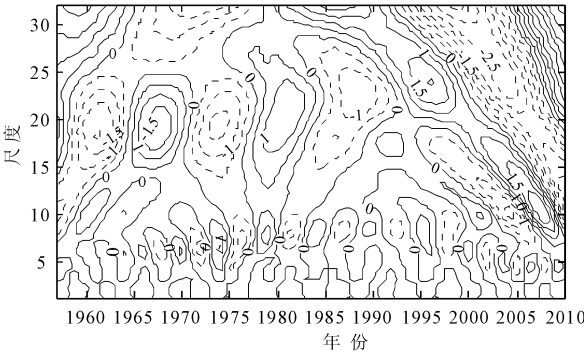
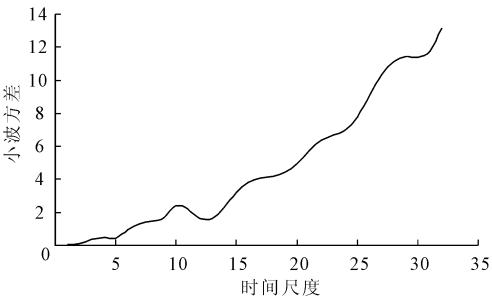
70 年代还存在一个 6 a 尺度左右的周期。由图 3(b)小波方差图可以得出,优势尺度为 10 a 和 23 a,6 a 短周期尺度震荡不明显。

由图 3(c)实部变化图可以看出,喀河枯水期流量 25 ~ 28 a 时间尺度较明显,出现在整个研究时段;15 ~ 20 a 时间尺度也较明显,表现在 1965 - 2000 年,15 a 以下时间尺度较复杂,且局部性较强没有明显的循环交替现象。由图 3(c)小波方差图可以得出,17 a 时间尺度为优势尺度,其余时间尺度的波动性较弱,周期性不明显。

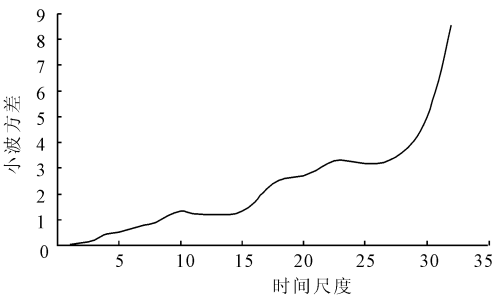
由图 3(d)实部变化图可以看出,25 ~ 28 a 时间尺度较明显,表现在 20 世纪 60 - 90 年代,出现了 2 次正负值循环交替;16 ~ 19 a 时间尺度也较强,表现在 70 - 80 年代;此外,90 年代之后存在着一个 12 a 左右的时间尺度。由图 3(d)小波方差图可以得出,12 a 时间尺度为优势尺度,其余的则较弱。



(a) 玉河枯水期流量小波变化



(b) 玉河最枯月流量小波变化



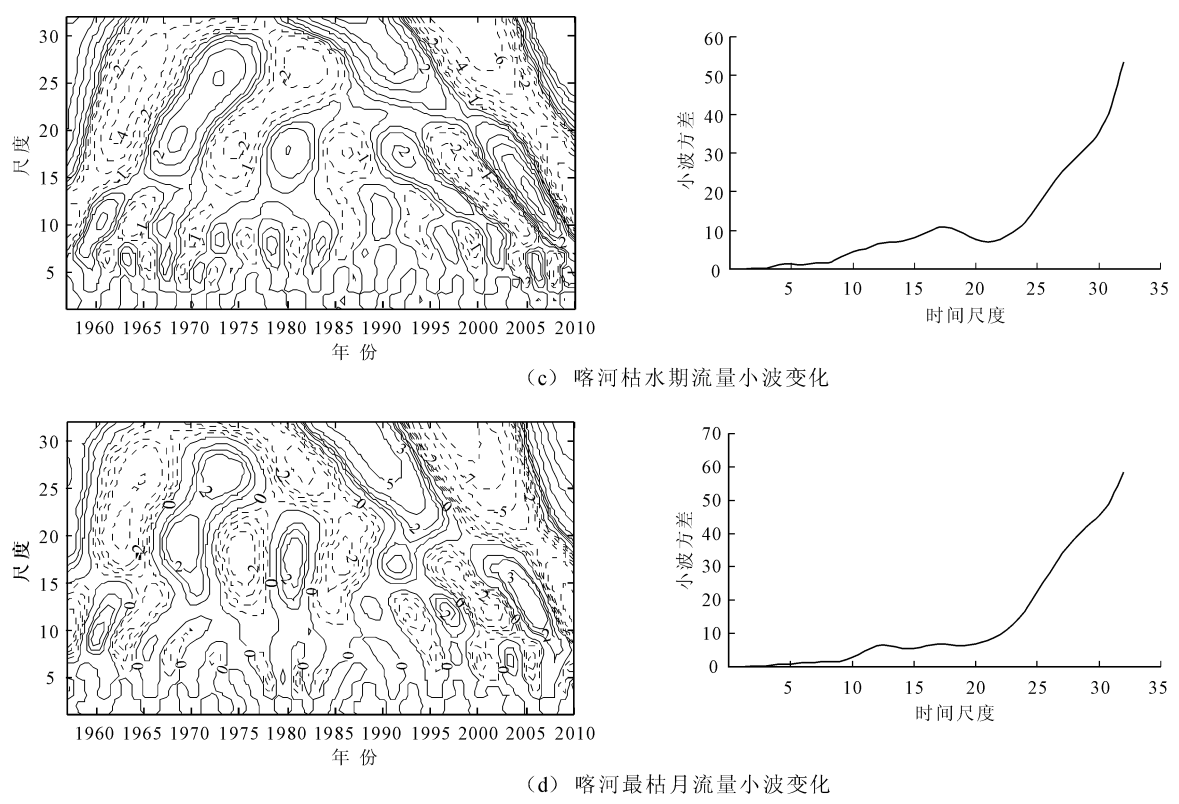


图 3 两支流出口枯水流量小波变换实部及小波方差图

4 结论与讨论

(1)由滑动平均曲线得出,和田河流域出口两支流的枯水流量在 20 世纪 90 年代末之前变化趋势不明显,90 年代末之后均呈上升趋势,且喀河上升趋势较玉河显著。

(2)根据 MK 检验结果,两支流枯水流量均未发生突变,趋势变化同滑动平均结果相符。玉河枯水流量在整个研究期内基本呈增大趋势,而喀河枯水流量总体呈增大—减小—增大的趋势。

(3)小波分析结果表明,两支流枯水流量的周期性均不显著。玉河和喀河枯水期流量周期性变化的优势尺度分别为 11 a 和 17 a;最枯月流量的优势尺度分别为 10 a 和 12 a。

出口枯水流量有增大的趋势变化,主要原因可能是和田绿洲年平均气温序列的显著递增^[5]导致融雪量增加,从而增大了径流的补给量。初步计算,出口枯水流量序列与年均气温序列的相关系数为 0.83,这也为上述结论的提出提供了依据。此

外,喀河水文站上游建有乌鲁瓦提水库,乌站测得的 2002 年之后的径流系列经过水库调节^[6],而非天然径流系列,故喀河枯水流量增大与水库调节也有一定的关系。

参考文献:

[1] 黄领梅,沈冰,莫淑红,等. 新疆和田河年径流量变化的定量估算[J]. 西安理工大学学报, 2005, 21(3):289-292.

[2] 高培,魏文寿,刘明哲. 玛纳斯河流域绿洲区气候变化特征分析与预测[J]. 干旱区资源与环境, 2011,25(6):161-166.

[3] 邵晓梅,许月卿,严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报, 2006,42(4):503-509.

[4] 李秀云,汤奇成,傅肃性,等. 中国河流的枯水研究[M]. 北京:海洋出版社,1993.

[5] 黄领梅,孟彩侠,关东海. 新疆和田绿洲气温趋势变化分析[J]. 电网与清洁能源, 2011,27(2):74-77.

[6] 张能春,温守远,董克鹏. 新疆喀拉喀什河乌鲁瓦提出库水文站洪水研究[J]. 内蒙古水利, 2012(5):22-23.