

## 新疆开垦河流域径流变化特征分析<sup>\*</sup>

宋文娟<sup>1</sup>, 熊黑钢<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学 资源环境学院 新疆绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 北京联合大学 应用文理学院城市科学系, 北京 100083)

**摘 要:** 根据新疆开垦河水文站的多年实测径流资料, 利用方差分析法、回归分析法和 Mann-Kendall 秩次检验法等, 分析了开垦河径流的分配和年际变化的特征。结果表明: 开垦河径流年内分配较均匀; 43 a 的径流统计中, 83.7% 的年份径流集中度 > 50%, 表明径流补给来源以雨水和高山冰雪(季节性积雪)融水为主。季节性积雪融水量占高山冰雪融水量和雨水量总和的比重在逐年增加。流域径流量主要集中在汛期(4–9 月), 最大径流量出现在 6 月, 且汛期径流量占年径流量的比重逐渐增加。同时, 春季径流量高于冬季。径流量年际变化平缓, 呈微弱上升趋势, 年径流变差系数仅为 0.23; 径流量代际变化特征明显, 20 世纪 80 年代由枯水期转向丰水期, 但未发生突变; 流域年径流量有较明显的周期成分, 其显著周期为 3, 14, 16, 19 a。

**关键词:** 开垦河流域; 径流; 年内分配; 年际变化

中图分类号: P343.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0224-04

## Analysis on Runoff Variation Characteristics of Kaiken River Basin in Xinjiang

SONG Wenjuan<sup>1</sup>, XIONG Heirgang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology, Urumqi 830046, China; 2. Urban Department, College of Arts and Sciences of Beijing Union University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to gauging discharge of the representative hydrologic station which lies in the exit of Kaiken River in Xinjiang, this paper analyzes both distribution and variation characteristics over years of runoff, using variance analysis, regression analysis and Mann-Kendall test. The results show that the intra-annual distribution of runoff comparatively even with 83.7% of years' concentration degree is above 50%, which indicates that the main supply sources of runoff are rainwater and thawing water from glacier (seasonal snow). On the one hand, the runoff volume mainly concentrates in the flood season (April to September) with the largest volume appears in June, at the same time, the runoff volume in spring is more than that in winter. While on the other, the variation coefficient over years is only 0.23 with relative stable runoff volume change. On the contrary, the physical change of the runoff volume is significant, in 1980s, the Kaiken River turns from low water to high water but without sudden mutation. The annual runoff has significant periodicity and its notable periods are 3 a, 14 a, 16 a, 19 a.

**Key words:** the Kaiken River Basin; runoff; inter-annual distribution; multi-annual change

施雅风先生<sup>[1]</sup>等提出我国西北地区自 20 世纪 80 年代中后期由暖干向暖湿转型以来, 有关新疆诸多河流的气候、水文变化得到越来越多的学者关注<sup>[2-6]</sup>。开垦河发源于博格达山北坡, 其径流量主要来自于气候变化引起的山地冰雪融水和降雨, 河流出山后直接进入奇台绿洲灌区。高玲<sup>[5]</sup>等从气候、径流、洪水、泥沙、水质等方面对开垦河流域的水文特性进行了初步研究。

根据开垦河出山口水文站 1960–2002 年的径流实测资料, 从径流年内分配特征和年际变化特征两方面分析开垦河

流域的径流时序变化特征, 分析其径流量的变化规律及其原因, 不仅有助于深入了解该流域水资源的特性, 为水资源的合理开发利用提供科学依据, 同时也为农业生产和社会经济发展提供保证。

### 1 流域概况

位于新疆奇台县境内的开垦河发源于天山东段的博格达山脉。地理位置介于东经 89°45′–90°05′; 北纬 43°30′–44°10′ 之间。南以博格达分水岭为界, 北抵古尔班通古特沙

\* 收稿日期: 2007-10-27

基金项目: 国家自然科学基金(40771194); 中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2007012)资助项目

作者简介: 宋文娟(1982–)女, 四川人, 硕士, 主要从事气候与环境变化研究。E-mail: sengwenjuan@163.com

通信作者: 熊黑钢(1956–), 男, 新疆人, 教授, 博士, 主要从事资源环境研究。E-mail: xhg1956@sohu.com

漠边缘,流域平均高程为 2 343 m, 最高点海拔为 4 356 m, 汇水面积 280 km<sup>2</sup>, 全长约 64 km, 山区段长 32 km。年平均径流量 1.55×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 是奇台县水量最丰富的河流。

河源分布着少量冰川, 冰川面积 1.82 km<sup>2</sup>。河流出口设有开垦河水文站, 位于东经 89°50′, 北纬 43°56′, 海拔高度 1 520 m。测站以上集水面积 371 km<sup>2</sup>, 河长 35 km, 流域形状基本呈树型结构, 地势南高北低, 朝西北方向敞开, 水汽可循着敞口进入流域腹地<sup>[5]</sup>。

2 径流分配特征

2.1 径流分配的不均匀性

在描述径流年内分配特征的标度时, 一个常采用的指标是径流年内分配不均匀系数<sup>[6]</sup>, 它表示了径流年内分配的某种特性, 其计算公式如式(1):

$$C_l = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i - nQ_0}{12Q_0} \tag{1}$$

式中:  $Q_i$  —— 大于年平均径流的各月平均径流;  $Q_0$  —— 年平均径流;  $n$  —— 大于年平均径流的月数。

径流年内分配不均匀系数  $C_l$  表示了河川径流量年内分配的不均匀程度,  $C_l$  越大, 月径流量序列间的差异越大, 径流年内分配不均匀程度越高。年内分配不均匀系数  $C_l$  值变化在 0~1 之间, 即  $0 \leq C_l \leq 1$ 。开垦河的径流年内分配不均匀系数在 0.25~0.48 之间, 平均为 0.38, 表明其年内分配均匀程度较高。

2.2 径流分配的集中程度

开垦河径流量主要集中在汛期(4~9 月), 汛期径流量

占到年径流量的 84% 左右(图 1)。

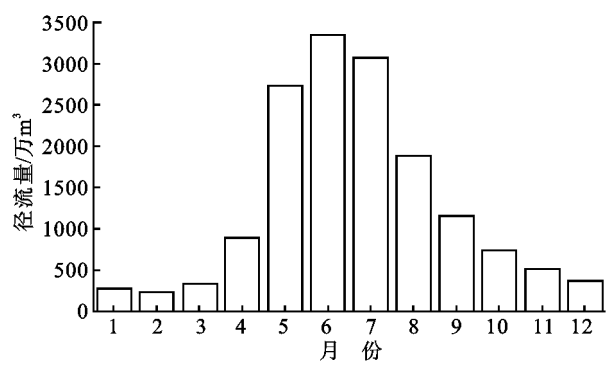


图 1 1960~2002 年开垦河径流量年内分配

集中度和集中期是用逐月实测径流数据反映年径流量的集中程度和最大径流量出现的时段, 将月径流量看作向量, 径流量大小为向量的长度, 向量方向的确定是把一年 365 d 近似看成是一个圆周(360°), 每天近似于 0.986°, 全年各月所包含的角度见表 1。12 个月的月径流分向量合成新向量, 以合成向量的大小和方向来表示各月径流矢量和的总效应。集中度  $C_n$  是合成向量的大小与年平均径流量的比值, 集中期  $D$  是合成向量的方向和零度向量的夹角, 近似表示了一年中最大径流量出现的时间<sup>[8]</sup>。计算公式分别如式(2), 式(3)。

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} r_i \sin \theta_i; R_y = \sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i; R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \tag{2}$$

$$C_n = \frac{R}{\sum_{i=1}^{12} r_i} \times 100\%; D = \arctg(R_x / R_y) \tag{3}$$

式(2), (3)中:  $r_i, \theta_i$  —— 月径流量的大小和方向;  $R_x, R_y, R$  ——  $X, Y$  方向合成向量和合成总向量。

表 1 全年各月包含的角度

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
角度/°	30.6	58.2	88.8	118	148.9	178.5	209.1	239.7	269.3	299.8	329.4	360.0

开垦河的集中度  $C_n$  在 34.8%~66.3% 之间, 集中期  $D$  在 173.1°~216.5° 之间(表 2)。径流的年内分配很大程度上取决于其补给来源。集中度与径流补给来源关系密切, 以地下水补给为主的河流集中度不及 15%, 而以高山冰雪融水和季节积雪融水补给为主的河流集中度高达 60% 以上, 以雨水补给为主的河流集中度在 50% 以上<sup>[7]</sup>。

43 a 间, 开垦河有 36 a 的集中度达到 50% 以上, 其中有 8 a 达到 60% 以上(表 2)。因此开垦河径流量的补给来源以雨水和高山冰雪(季节性积雪)融水为主。20 世纪 60 年代,

开垦河径流的主要补给来源是雨水; 70 年代则以雨水补给为主, 高山冰雪(季节积雪)融水为辅; 而 80 年代与 70 年代相似, 雨水补给比重有所下降; 到了 90 年代雨水补给比重增加, 高山冰雪(季节积雪)融水比重减少。

集中期反映出开垦河径流量的最多水出现在 6 月和 7 月(表 1), 这与径流的年内实际分配是一致的。

2.3 径流量峰型度与年丰枯率

$D$  峰型度  $\alpha$  值和年丰枯率  $\beta$  值从另一个角度反映不同径流补给来源的径流年内分配情况<sup>[8]</sup>。

表 2 开垦河径流年内集中分配

时期	$C_n < 15\%$	$15\% < C_n < 50\%$	$50\% < C_n < 60\%$	$C_n > 60\%$	集中度 $C_n / \%$	峰型度 $\alpha$	年丰枯率 $\beta$
1960~2002 年	0	7	28	8	34.8~66.3	1.2	5.4
60 年代	0	2	8	0	39.1~56.2	0.9	4.6
70 年代	0	1	6	3	34.8~65.1	1.4	6.2
80 年代	0	3	4	3	49.4~66.3	1.3	5.1
90 年代	0	1	8	1	49.0~60.7	1.0	5.5

$$\alpha = Q_{4-6} / Q_{7-9}; \beta = Q_{4-9} / Q_{10-3} \tag{4}$$

式中:  $Q_{4-6}$  —— 4~6 月径流总量;  $Q_{7-9}$  —— 7~9 月径流总量;  $Q_{4-9}$  —— 4~9 月径流总量;  $Q_{10-3}$  —— 10 月至翌年 3 月

径流总量。

$\alpha$  值实质上反映了河川径流总量中季节积雪融水量与高山冰雪融水量和雨水量的比值。它反映了融水补给量占

年径流总量的比例,以高山冰雪融水和雨水补给量占年径流总量比重越大, $\alpha$  值越小。

$\beta$  值实质上是汛期与非汛期径流总量的比值,反映地下水补给量占年径流总量比重大小。以高山冰雪融水和雨水

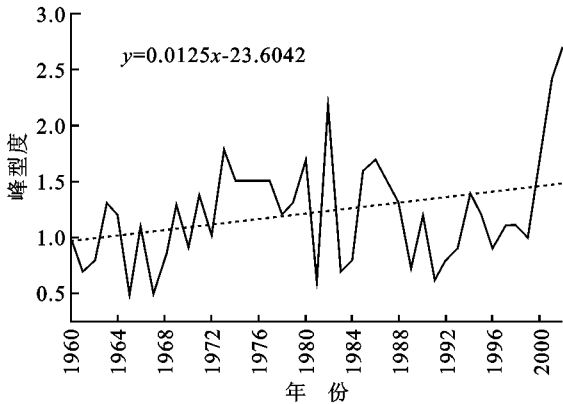


图 2 开垦河径流量峰型度变化曲线

开垦河峰型度和年丰枯率均呈现出逐年上升的趋势,表明在其径流量中,季节性积雪融水量占高山冰雪融水量和雨水量总和的比重在逐年增加;汛期径流量占年径流量的比重亦在逐年增加。

3 径流量变化特征

3.1 年径流变化的基本特征

43 a 间开垦河平均年径流量为  $1.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,最大年径

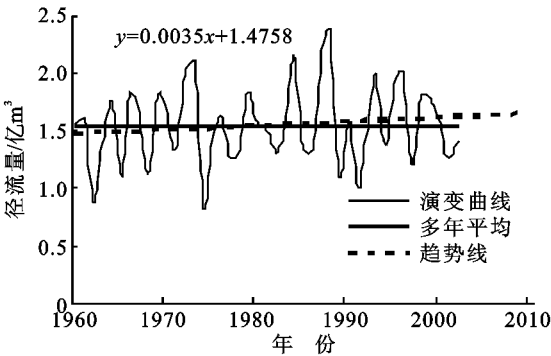


图 4 开垦河径流量多年变化曲线

在 Mann Kendall 突变检测图 5 中,如果 UF 与 UB 在临界值  $\pm 1.96$  ( $\alpha = 0.05$ ) 之间有一个显著的交点,且 UF 上升超过  $+1.96$  或下降低于  $-1.96$ ,则可以认为序列产生了突变,前者表示从低向高突变,后者从高向低突变,并且这个交点就是突变的开端。反之,则认为没有突变产生<sup>[9]</sup>。从图 5 可见,开垦河年径流量未发生突变。

表 3 开垦河年径流量阶段性特征值统计

时段	起止年份	长度/a	径流	
			径流量/ $10^8 \text{ m}^3$	距平/%
枯水段	1960– 1979	20	1.50	- 3.23
丰水段	1980– 1989	10	1.63	5.16
	1990– 2002	13	1.57	1.29

3.2 年径流变差系数

用矩法计算年径流变差系数  $C_v$ <sup>[17]</sup>,计算公式如式(5)。

补给为主的开垦河  $\beta$  值较大(表 2)。

为反映径流分配的变化特征,分别给出开垦河径流量峰型度  $\alpha$  和年丰枯率  $\beta$  的多年变化曲线(图 2,图 3)。

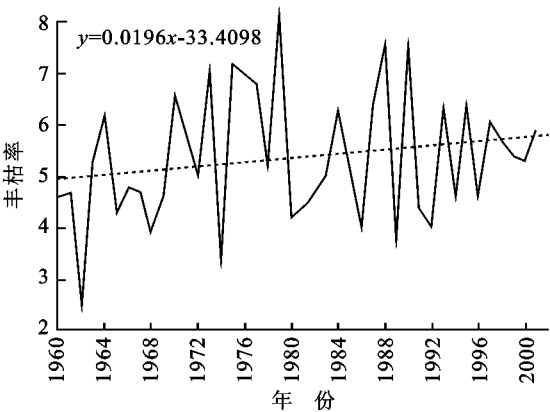


图 3 开垦河径流量丰枯率变化曲线

流量为  $2.36 \times 10^8 \text{ m}^3$  (1988),最小年径流量为  $0.84 \times 10^8 \text{ m}^3$  (1974),极差为  $1.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

在年际间波动序列中,开垦河年径流量呈现出微弱的上升趋势。其气候倾向率达  $0.035 \times 10^8 \text{ m}^3 / 10 \text{ a}$  (图 4)。分析其年径流量的距平值(表 3),正、负距平出现的年份分别为 22 a 和 21 a,表明其径流量的变化相对稳定,丰枯转换颇为平衡。1960– 1979 年径流量为偏枯,1980 年以后偏丰。其中,20 世纪 80 年代的变化幅度较大。

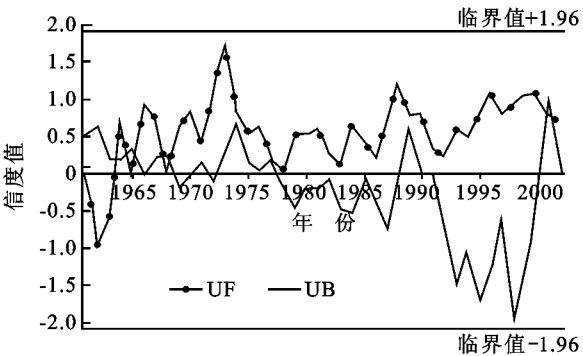


图 5 开垦河径流量 Mann Kendall 突变检验

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}}; \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}, \bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (5)$$

式中: $\sigma$ ,  $R_i$ ,  $\bar{R}$ ,  $n$  分别为分析年限内径流量的离差平方和,各年的径流量,多年平均径流量和系列长度。

开垦河的年径流变差系数  $C_v$  值为 0.23。由于径流量补给来源中高山冰雪融水,季节性积雪融水与雨水在不同时期起到相互补充作用,开垦河径流多年变化比较稳定,其  $C_v$  值便较小。

3.3 径流距平分析

开垦河径流量以夏季径流最丰,其次为春季,秋季径流量高于冬季,流域内的枯水时段出现在冬季。各统计时段内年径流量的距平变化复杂,有正有负,但 1980 年以后,各季节及年径流量距平均为正,表明自 20 世纪 80 年代以来,开垦河流域径流量与多年平均相比有所增加,其中以夏季径流量增加最多为 6.7%,冬季径流量增加次之,为 6.1% (表 4)。

20 世纪 60– 70 年代开垦河处于枯水期,径流量波动平

缓,变化幅度较小; 80 年代径流量大幅度增加, 开垦河由枯水期转向丰水期; 90 年代径流量有所减少, 变化平缓。

表 4 开垦河径流量多年距平变化

年代	冬季(12- 2月)		春季(3- 5月)		夏季(6- 8月)		秋季(9- 11月)		年径流量		
	均值	距平	均值	距平	均值	距平	均值	距平	均值	距平	标准差
60- 69	0.09	2.0	0.33	- 16.4	0.79	- 5.1	0.26	10.1	1.47	- 5.2	0.1103
70- 79	0.08	- 13.6	0.40	0.9	0.85	2.0	0.21	- 11.2	1.54	- 1.2	0.1449
80- 89	0.09	6.0	0.40	2.3	0.89	6.7	0.25	4.8	1.64	5.2	0.1894
90- 99	0.09	6.1	0.39	0.6	0.87	4.3	0.25	5.9	1.61	3.7	0.1214
1960- 2002	0.09		0.39		0.83		0.24		1.55		

3.4 年径流变化趋势分析

年径流量的变化趋势往往决定了水资源的开发和利用。选择水文时间序列趋势分析中广泛应用的 Kendall 秩次检验方法,分析流域径流量年际变化趋势<sup>[6,10]</sup>。

在 Kendall 秩次检验中,若统计量 $|Z_c| \leq Z_{(1-\alpha/2)}$ ,则认为序列没有显著的趋势; $Z_c < Z_{(1-\alpha/2)}$ 表明序列有显著下降趋势, $|Z_c| > Z_{(1-\alpha/2)}$ 表明序列有显著上升趋势。 $\alpha$ 是显著性水平,当 $\alpha=0.05$ 时, $Z_{(1-\alpha/2)}=1.96$ 。

开垦河年径流量序列统计量 $Z_c=0.71<1.96$ 。因此,开垦河年径流变化基本稳定,没有显著的增加趋势。

3.5 年径流周期分析

水文时间序列的周期性分析一般有周期图法,方差谱密度法,最大商谱法以及方差分析法等。本文采用方差分析法<sup>[11]</sup>,确定开垦河年径流量时间序列的周期性。其基本原理和方法是:设径流量的时间序列 $X(t)$ ,将其按周期长度 $n$ 分成 $r$ 组,将组内平方和( $Q_1$ )除以相应的第一自由度( $F_1$ )得到组内均方,将组间平方和( $Q_2$ )除以相应的第一自由度( $F_2$ )得到组间均方,令 $F$ =组间差异/组内差异,当 $F$ 值足够大时,表明组间的差异是显著的,即存在显著的周期性。

分析过程中设置的显著水平 $F_\alpha=0.05$ ,同时规定拟合值之间的相关系数必须在0.3以上。经计算,开垦河年径流量序列有周期性变化特点,其显著周期为3,14,16,19 a。

4 结论与讨论

(1)开垦河径流年内分配较均匀。流域年径流变化平缓,年径流变差系数仅为0.23。

(2)径流量集中程度多>50%,径流量的补给来源以雨水和高山冰雪(季节性积雪)融水为主。因受径流补给来源的影响,开垦河流域径流量主要集中在汛期(4-9月),最大径流量出现在6月。汛期径流量占年径流量的比重呈逐渐增加的趋势。

(3)径流量代际变化特征明显,20世纪60,70年代为枯

水期,80年代后为丰水期。径流量未发生突变。

(4)流域年径流量有较明显的周期成分,其显著周期为3,14,16,19 a。

(5)开垦河径流量主要集中在夏季,春季径流量高于冬季,流域内的枯水时间出现在冬季。

参考文献:

[1] 施雅风,沈永平,胡汝翼.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J].冰川冻土,2002,24(3):219-226.

[2] 徐素宁,等.近50a来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应[J].地理与地理信息科学,2004,20(6):65-68.

[3] 张丽霞,雷晓云.新疆塔城地区中小河流径流成因分析及预测[J].干旱区研究,2006,23(2):254-257.

[4] 毛炜峰,孙本国,等.近50年来喀什噶尔河流域气温、降水及径流的变化趋势[J].干旱区研究,2006,23(4):531-538.

[5] 高玲,高琴,耿峻岭.新疆开垦河流域水文特性分析[J].中国西部科技,2006(7):42-43.

[6] 吴益,等.新疆和田河流域河川径流时序特征分析[J].自然资源学报,2006,21(3):375-380.

[7] 汤奇成,曲耀光,等.中国干旱区水文及水资源利用[M].北京:科学出版社,1992:44-80.

[8] 李林,等.黑河上游地区气候变化对径流量的影响研究[J].地理科学,2006,26(1):40-46.

[9] 杨余辉,等.新疆三工河流域山地、平原区气候变化特征对比分析[J].干旱区地理,2005,28(3):320-324.

[10] Yue S, et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series [J]. Hydrol Process, 2002, 16: 1807-1829.

[11] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002:477-512.