

呼图壁河水沙年内分配特征及同步性变化分析

王敬哲^{1,2}, 刘志辉^{1,2,3,4}, 姚俊强^{1,2}, 郭小云^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态教育部部共建重点实验室, 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046; 4. 干旱半干旱区可持续发展国际研究中心, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:利用呼图壁河出山口石门水文站 1980—2011 年日径流量和输沙量实测资料,采用年内不均匀系数、完全调节系数、集中度(期)等方法指标,分析了呼图壁河水沙年内分配及同步变化规律。结果表明:(1)不同年代的径流与输沙年内分配均呈“单峰型”分布,且输沙量较径流量的分配更为集中;(2)近 32 年以来,径流和输沙的不均匀系数、完全调节系数、集中度都呈缓慢上升趋势,且二者的年际变化都显示出较好的同步性。径流和输沙的集中期同样有着微弱的上升趋势,但输沙集中期略提前于径流集中期。这是由于河流的补给方式和下垫面等综合影响造成的;(3)呼图壁河泥沙年内分配不均匀系数明显高于径流。完全调节系数与不均匀系数的变化趋势基本一致。各个年代冬春季节径流量与同一时段输沙量的变化不同步。

关键词:呼图壁河; 水沙; 年内分配

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0152-06

Analysis on Variation Trends of Seasonal Runoff and Sediment Distribution and Synchronicity Change in Hutubi River

WANG Jingzhe^{1,2}, LIU Zhihui^{1,2,3,4}, YAO Junqiang^{1,2}, GUO Xiaoyun^{1,2}

(1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 4. International Center for Desert Affairs-Research on Sustainable Development in Arid and Semi-arid Lands, Urumqi 830046, China)

Abstract: We used the measured data of runoff and sediment discharge the years of Hutubi River Shimen Station in 1980—2011, and analyzed the distribution of Hutubi River sand years and synchronous change rule by using the index coefficient of inhomogeneous, manipulated for monthly and annual variation analysis assisted by using concentration (period) and other methods. The results showed that: (1) the runoff and sediment of different years follow the unimodal type distribution, the distribution and sediment discharge are more concentrated the distribution of the runoff since nearly 32 years; (2) the uneven coefficient of runoff and sediment, completely adjustment coefficient and concentration present the slowly rising trend, and interannual variability of runoff and sediment shows the good synchronicity, runoff and sediment concentration period also has a small upward trend, but the sediment concentration is slightly ahead of runoff because the river supply way and underlaying surface caused by comprehensive effect; (3) The non-uniform coefficient of sediment distribution is significantly higher than the runoff during the year. Complete adjustment coefficient and the change trend of non-uniform coefficient are basically identical. Change of runoff and sediment discharge in winter and spring is out of sync.

Keywords: Hutubi River; runoff and sediment; annual distribution

河川径流的年际年内变化规律是水文水资源学研究的重要内容,也是国民经济与各用水部门必不可少的基础数据^[1-4]。径流的水沙关系与河势健康状况、河道演变、江湖关系等密切相关,是流域系统中

为活跃的部分^[5-6]。径流水沙的年内分布特征不仅影响人类社会系统的安全,同时也影响自然生态系统的健康。一方面,河川径流的水沙变化通常引起水资源供需关系的改变并影响水利工程与水资源的开发利

收稿日期:2015-09-21

修回日期:2015-10-19

资助项目:水利部公益性行业科研专项经费项目“内陆干旱区实施最严格水资源管理关键技术”(201301103)

第一作者:王敬哲(1992—),男,河南郑州人,硕士研究生,研究方向为干旱区水文水资源。E-mail:wjzf-682@163.com

通信作者:刘志辉(1957—),男,新疆乌鲁木齐人,博士,教授,主要从事干旱区水文水资源和决策支撑系统研究。E-mail:lzh@xju.edu.cn

用,另一方面下游河道演变、水生态系统变化也与水沙变化息息相关^[7-8]。因此,研究径流水沙年内变化规律具有十分重要的科学意义。

目前许多学者开展了针对河流年内水沙变化的研究,如:许全喜等^[5]较为系统地研究了近 50 年来长江流域不同河段、不同时段的水沙变化特性。刘晓琼等^[9]运用小波变换等方法对渭河的水沙演变规律进行了研究。郭爱军等^[10]提出应用滑动相关系数法诊断水沙关系变异以应对泾河流域不同时段水沙丰枯情况。黄英等^[11]指出水电工程建设后会对河流水沙关系造成影响,致使澜沧江径流年内分配均匀度升高但输沙的变化不明显。

新疆是亚欧大陆桥的重要枢纽,在国家对“丝绸之路经济带”的规划中,新疆被定位为核心区,乌鲁木齐、昌吉等“一带一路”中的重要节点城市大多位于天山北坡。天山北坡是新疆经济最发达的地区,天山北坡经济带在全疆有着举足轻重的影响。呼图壁河是天山北麓中段第二大河流,流域的水文水资源变化得到了学者的广泛关注^[12-14],但对水沙变化尤其是对不同年代、际的水沙年内分配的研究较少。本研究通过对呼图壁河石门水文站近 32 年(1980—2011 年)的日径流量时间序列和日输沙量时间序列数据,利用年内分配不均匀系数、完全调节系数和集中度、集中期、标准化等方法,分析呼图壁河水沙年内分配的变化与趋势及其同步性,研究成果将对呼图壁河生态环境和生态系统的治理,对进行该地区社会经济的科学规划都具有重要的意义。

1 研究区概况

呼图壁河流域位于东天山北麓中段,准噶尔盆地南缘,发源于天山支脉依连哈比尔尕山北坡,属天山北坡东段水系,地理位置为 86°05′—87°08′E,43°07′—45°20′N。呼图壁河是天山北坡中段第二大河流,河道总长度 176 km^[12-13]。从河源至下游,大致可以分为山地、丘陵、冲积扇、冲洪积平原 4 个地貌单元。呼图壁河上游山区河网发育较好,支流呈树枝状分布,干流位居其中。左右两岸共有一级支流 20 多条,其中除 10 条支流有冰川和永久积雪分布外,其他支流大多源于中低山区,靠冬、春季节积雪消融和夏季降水补给。年平均径流量 4.812 亿 m³,年最大径流量 6.335 亿 m³,年最小径流量 3.633 亿 m³。呼图壁河石门水文站是流域内唯一的水文观测站点,石门水文站以上河道长 88 km,集水面积 1 840 km²,平均高程 2 984 m,河道纵降比 23.3%,年径流量 4.71 亿 m³,占全河地表水量的 93.6%^[14]。

2 资料与方法

2.1 基础数据

呼图壁河石门水文站(43°45′N,86°34′E)是流域内唯一的水文观测站点,本文选取石门水文站近 32 年(1980—2011 年)日径流量时间序列和日输沙量时间序列作为研究数据。

2.2 研究方法

为定量分析呼图壁河水沙变化规律,运用不均匀性指标包括径流年内分配不均匀系数 C_v 、径流年内分配完全调节系数 C_r 指示径流年内的不均匀性;集中度指标包括集中度 C_n 、集中期 D 用于明晰径流集中的时期^[15-17]。各指标的计算公式如下:

2.2.1 不均匀性 综合反映河川径流年内分配不均匀性的特征值有许多计算方法,本文采用径流年内分配不均匀系数(C_v)和径流年内分配完全调节系数(C_r)来衡量径流年内分配的不均匀性。

径流年内分配不均匀系数(变差系数) C_v 用于指示径流年内分配的不均匀性,若年内各时段径流量 R_i 相等时,即年内分配均匀,这时 $\sigma=0$ 且 $C_v=0$;年内各时段径流量 R_i 愈集中, σ 与 C_v 则愈大,即表明年内各月径流量相差悬殊,径流年内分配越不均匀。

$$C_v = \sigma / \bar{R} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2} \quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i \quad (3)$$

式中: R_i 为年内各月径流量; \bar{R} 为年内月平均径流量; σ 为径流均方差。

径流年内分配完全调节系数 C_r 是另外一种评价径流年内分配的指标,其计算公式如下:

$$C_r = \sum_{i=1}^{12} \Phi(R_i - \bar{R}) / \sum_{i=1}^{12} R_i \quad (4)$$

$$\Phi_i = \begin{cases} 0 & R_i < \bar{R} \\ 1 & R_i \geq \bar{R} \end{cases} \quad (5)$$

年内分配完全调节系数 C_r 越大,径流年内分配越集中,不均匀程度越高,说明年内各月径流量年内分配越不均匀。

2.2.2 集中度 集中度和集中期是用逐月径流量反映年内径流量集中程度和最大径流出现时段的重要指标。它是将月径流量看作向量,月径流量的大小和所处的月份分别作为向量的长度和方向。计算年径流量的月平均值时用 12 个月的月均值的再平均,采用月为计算时段,每个月的天数不同,必须做一定程度的概化处理,即不考虑月大、月小,均视为同一个

时段长,以 1 月份径流向量所在位置定为 00,依次按 30°等差角度表示 2—12 月份(文中各月均按 30 d 计算)径流所在位置(表 1)。将每月径流量分解成 x 和 y 两个方向上的分量,则 x 和 y 方向上的向量合成及各月径流向量的合成总向量可表示为:

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos \theta_i \tag{6}$$

$$R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin \theta_i \tag{7}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \tag{8}$$

集中度:

$$C_n = R / \sum_{i=1}^{12} R_i \tag{9}$$

$$D = \arctan(R_y - R_x) \tag{10}$$

式中: R_i, θ_i 为月径流量的大小和方向; R_x, R_y 分别为 x, y 方向合成向量; R 为 R_x 和 R_y 的合成总向量; C_n 为集中度; D 为集中期。

由式(9)中可以看出,集中度反映了集中期径流量占年总径流量的比例也就是径流年内分配集中的程度,集中期则近似表示了一年中最大径流量出现的时间。如果在研究时段中,径流集中在某一时期内,则它们合成向量的模与径流总量之比为 1,即 C_n 为极大值;如果每个时候的降雨量都相等,则它们各个分量累加后为 0,即 C_n 为极小值。所谓集中期就是合成向量的方位角,它指示出每个时期径流量合成后的总体效应,也就是向量合成后重心所指示的角度,反映了一年之中最大径流量出现在哪一个月份。

表 1 全年各月包含的角度及月中代表的角度值

月份	包含角度/(°)	代表角度/(°)
1	345~15	0
2	15~45	30
3	45~75	60
4	75~105	90
5	105~135	120
6	135~165	150
7	165~195	180
8	195~225	210
9	225~255	240
10	255~285	270
11	285~315	300
12	315~345	330

2.2.3 标准化的计算方法 为了消除年径流量、输沙量单位和量纲差异的影响,用 Z -score 标准化曲线比较径流量和输沙量的年内分配变化特征及其径流对输沙的响应规律。

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \tag{11}$$

式中: X_i 为各月径流量或输沙量; \bar{X} 为多年平均月径流量或输沙量均值; S 为多年月平均径流量或输沙量标准差。

3 结果与分析

3.1 径流年内分配变化特征

呼图壁河 1980—2011 年多年平均和 4 个年代的径流年内分配特征都表现出了明显的“单峰型”(图 1)。就多年平均径流量而言,年内径流量主要集中在 6—8 月份,这 3 个月份径流量占全年径流量的 69% 左右。呼图壁河夏季水量集中的原因:一是山区降雨集中于夏季,二是夏季的高山雪冰融化。径流量自春季末期 5 月开始增加,至夏季 7 月达到最大,然后到秋季 8—9 月开始减少,至冬季径流量最小,同时径流量也达到稳定状态,占年径流量的 4.32%。从径流年内分配的各个年代来看,各个年代年内径流量也主要集中在 6—8 月份,9 月与翌年 5 月径流量也占一定比重,这与多年平均表现了相似的规律。20 世纪 80 年代与其他各个时段相比夏季径流量偏小,夏季径流量基本随年代年际变化呈不断增长趋势。特别是 90 年代径流量达到多年最高值,2011—2012 年最大径流量出现时间提前至 6 月份。这表明径流年内分配特征发生了较大变化,加大了呼图壁河水资源开发利用的难度。

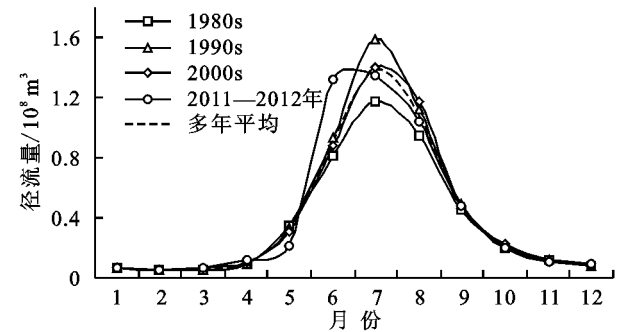


图 1 呼图壁河径流量年内分配特征

从水量平衡的角度来看,区域径流量主要受降水、蒸发、冰雪融化、土壤含水量等因素的影响^[12]。由表 2 可以看出呼图壁河各个年代及多年平均的 6 月、7 月份降水量,与图 1 对比,可以发现呼图壁河径流量的年内分配与降雨年内分配特性相吻合,这也就不难解释各个年代年内峰值产生较大差异的现象。2010—2011 年 6 月份的平均降水量达到 112.25 mm,远远超过流域内多年平均值 69.71 mm,故造成该时段年内最值出现在 6 月。

从图 2A—2B 可以看出呼图壁河径流不均匀系数的变化状况,最大不均匀系数为 1.39(1996 年),最小为 0.88(1980 年),随着时间的推移, C_v 值均呈上

升趋势,说明呼图壁河径流年内分配逐渐趋向不均匀。就径流完全调节系数而言,与径流的不均匀系数变化过程基本一致。从 1980—2011 年径流集中度的变化可以看出,其最大值为 0.73(1996 年),最小值为 0.59(1980 年),两极差为 0.14。同时径流集中度以 0.01/10 a 线性倾向率呈缓慢上升趋势(图 2C)。就径流集中期而言,径流集中期最大值为 197.7°(2001 年),而最小值为 177.0°(1985 年),两者相差约 21 d。径流集中期年际变化趋势表现较为平稳,并且以

0.4°/10 a 为线性倾向率呈微弱上升趋势(图 2D)。

表 2 呼图壁河多年 6 月、7 月份降水量与径流量

时间	6 月降水量/mm	6 月经流量/10 ⁸ m ³	7 月降水量/mm	7 月经流量/10 ⁸ m ³
1980s	79.42	18.48	60.78	26.59
1990s	60.80	18.12	95.12	30.77
2000s	74.71	17.57	77.15	28.14
2010—2011 年	112.25	25.74	58.20	26.27
多年平均	69.71	18.55	73.61	28.45

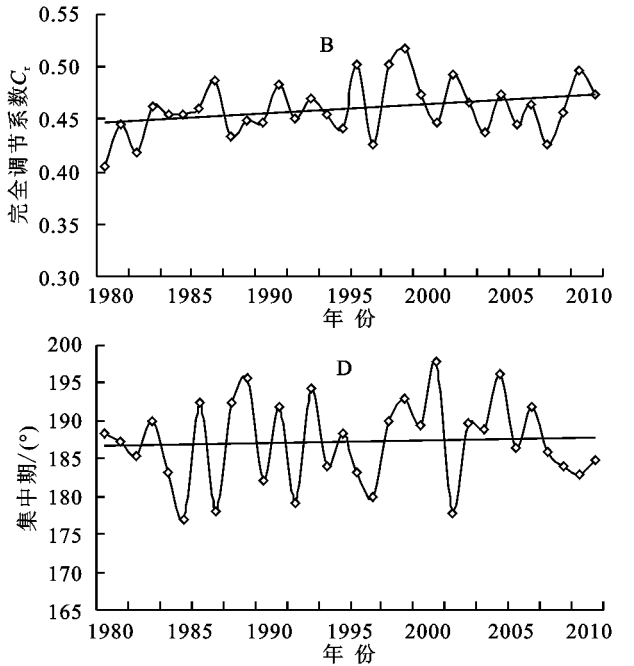
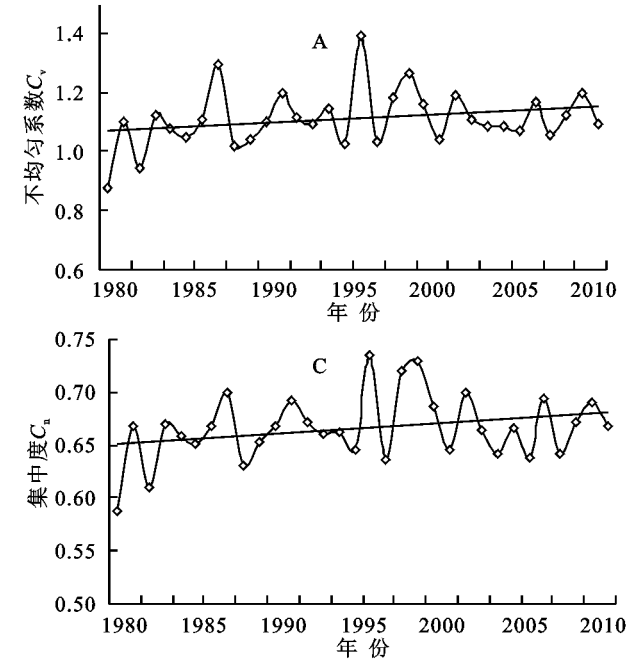


图 2 呼图壁河径流年内分配特征指标极其变化趋势

3.2 输沙量年内分配变化特征

图 3 显示了呼图壁河 1980—2011 年多年平均和 4 个年代的输沙量年内分配特征,均呈单峰曲线。从多年平均输沙量来看,年内输沙主要集中在 6—8 月,这 3 个月输沙量占全年的 91%左右。输沙量自 5 月开始增加,至夏季 7 月达到最大,占全年输沙的 34%,然后到秋季 9 月减小,至冬季输沙量最小,甚至输沙量为 0。输沙量年内分配的各个年代显示,各年代内输沙量也主要集中在 6—8 月份,9 月—翌年 5 月输沙量所占比重不大,同时最大输沙量出现时间除 2011—2012 年以外几乎都在 7 月份,这与多年平均表现出一致的规律。这与径流的年内分配特征极其相似,且输沙量较径流量更为集中。各个年代夏季输沙量表现出较大差异,80 年代与其他所有时段相比夏季输沙量显著偏小,而 90 年代却异常偏大。资料显示,1996 年 7 月和 1999 年 7 月呼图壁河突发暴雨洪水,其中,1996 年为呼图壁河有史以来最大的一次暴雨洪水,当时石门站最大洪峰流量达 371 m³/s,故该时期输沙量的变化可能是由暴雨洪水在增加径流

量的同时也携带了大量泥沙,从而导致输沙量急剧上升,输沙量随后回落。

为了进一步说明极端暴雨对流域输沙的影响,这里选择呼图壁河最有代表性的“96·7”洪水时期即 1996 年 7 月份的日降水量与输沙量进行对比(图 4)。1996 年 7 月份共出现了两场大型降水,分别是 7 月 14—20 日和 7 月 25—27 日。第一个时期的降水为 57.3 mm 其中 17 日降水达 31.8 mm,造成 18 日出现了输沙量峰值 83.02 t,25 日的降水量为 11.6 mm。呼图壁河 7 月 15 日前受持续高空气温的影响,水量出现了呈台阶日峰型上涨的融(冰)雪洪水,加上 14—20 日这一全区大范围连续强降雨天气的配合,呼图壁河水量暴涨^[18]。暴雨一方面直接形成径流,另一方面促使积雪快速融化,从而使水的峰量急剧增大,进一步造成输沙量增大。

从图 5A—5B 可以看出呼图壁河输沙不均匀系数的变化状况,最大不均匀系数为 2.86(1996 年),最小为 0.81(1989 年),随着时间的推移,C_v 值均呈上升趋势,说明呼图壁河径流年内分配随时间的推移越来越不均匀。

从 1980—2011 年时间系列变化上看,呼图壁河输沙集中度年际变化较大,最大值为 0.97(1996 年),最小值为 0.69(1985 年),极差达 0.28。并且输沙集中度以 0.02/10 a 为线性倾向率呈缓慢上升趋势(图 5C)就输沙集中中期而言,最大值为 195.6°(2005 年),最小值为 129.9°

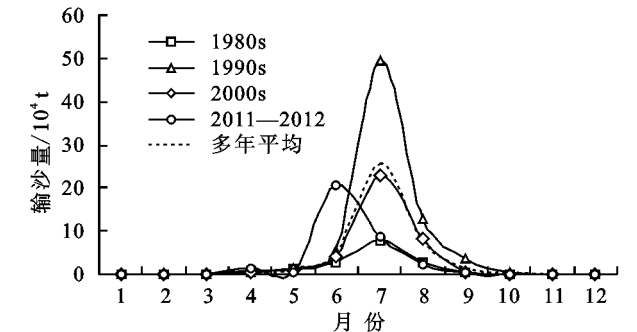


图 3 呼图壁河输沙量年内分配特征

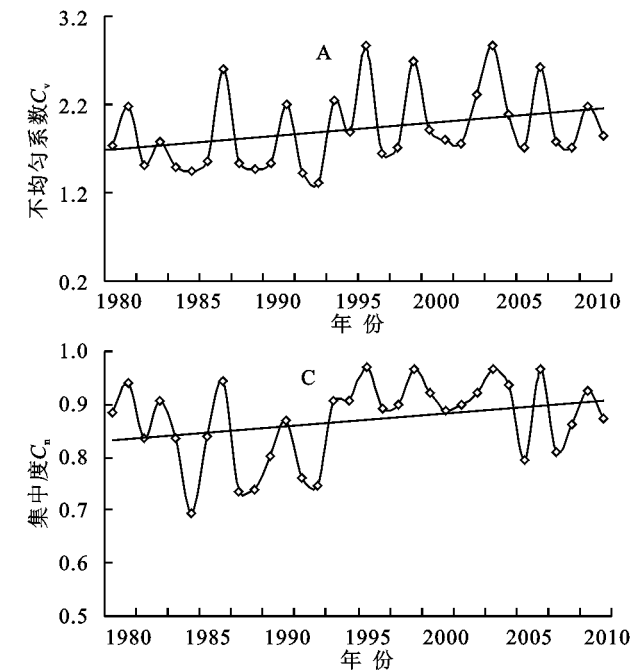


图 5 呼图壁河输沙量年内分配特征指标极值变化趋势

3.3 水沙年内分配及其变化同步性

由表 4 可知,呼图壁河径流水沙年内分配多年平均不均匀系数在 1.11 左右,输沙年内分配多年平均不均匀

(1985 年),二者出现的时间相差约 66 d,达两个月。从 1980—2011 年输沙集中期变化趋势来看,80 年代变化波动较大,进入 90 年代以来,年际变化逐渐平稳,但仍以 1.5°/10 a 为线性倾向率呈上升趋势(图 5D)。呼图壁河各季节水沙年内分配特征如表 3 所示。

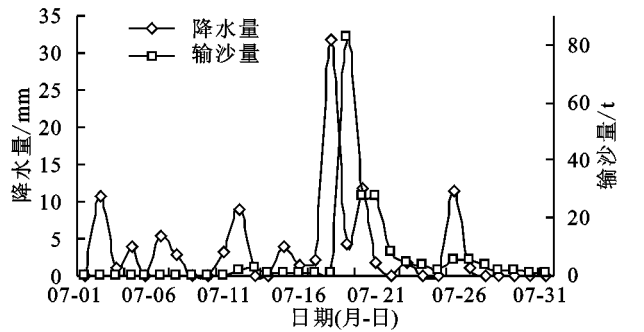


图 4 1996 年 7 月呼图壁河降水量与输沙量日变化

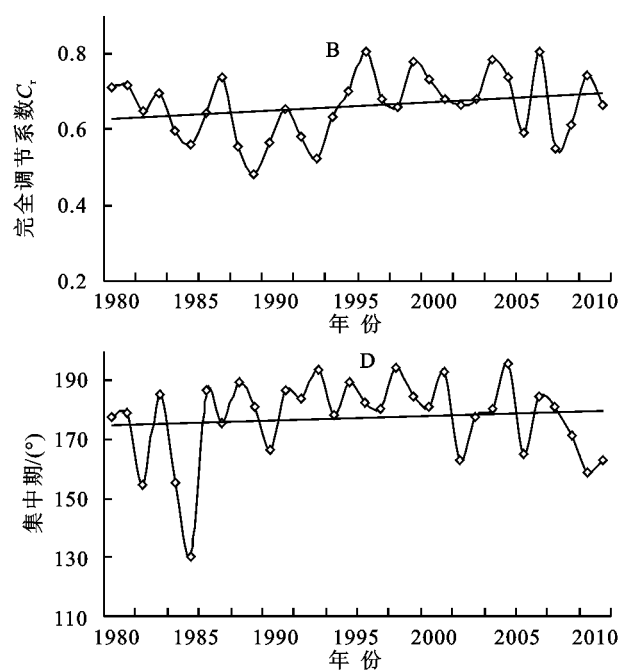


表 3 呼图壁河水沙年内分配统计特征

时间	春季(3—5 月)		夏季(6—8 月)		秋季(9—11 月)		冬季(12—2 月)	
	径流	输沙	径流	输沙	径流	输沙	径流	输沙
1980s	11.34	13.24	66.54	82.80	17.61	3.78	4.51	0.18
1990s	9.37	2.50	70.63	91.35	15.98	6.10	4.02	0.05
2000s	9.52	4.06	69.19	94.53	16.76	1.20	4.53	0.20
2011—2012 年	8.02	5.45	72.37	93.33	15.56	1.10	4.05	0.12
多年平均	9.89	4.40	69.13	91.28	16.66	4.21	4.32	0.11

图 6 分析了标准化处理过后的不同时段呼图壁河径流和输沙年内分配特征,从图 6 中看出,各个年代冬春季节径流量与同一时段输沙量的变化是不同步的,而

夏秋两季则可以明显看出输沙量的年内分配特征十分依赖径流特征。除 2011—2012 年以外,其他各年代径流与输沙年内分配特征都大致相似,峰值都对应出现在 7

月份。而 2011—2012 年的输沙量峰值提前径流峰值约 0.7 个月出现。20 世纪 90 年代则因为 2 次暴雨性大洪水导致输沙量异常偏大。气候、下垫面、人类活动等因

素综合影响使得径流年内水沙分配具有很大的不稳定性。这势必加大呼图壁河水资源的合理利用、开发和配置的难度,对水能利用同样带来了严峻的考验。

表 4 各年代呼图壁河水沙年内分配特征值

年代	不均匀系数(C_v)		完全调节系数(C_r)		集中度(C_n)		集中期(D)			
							合成量方向		最大径流、输沙出现时间	
	径流	输沙	径流	输沙	径流	输沙	径流	输沙	径流(月-日)	输沙(月-日)
1980s	1.06	1.73	0.45	0.64	0.65	0.84	186.93	171.40	07-21	06-10
1990s	1.15	1.95	0.47	0.66	0.68	0.89	186.54	184.05	07-16	07-15
2000s	1.11	2.06	0.46	0.68	0.66	0.89	188.82	179.46	07-13	07-02
2010—2011 年	1.14	2.01	0.48	0.70	0.68	0.90	183.74	160.93	06-22	05-19
多年平均	1.11	1.92	0.46	0.66	0.67	0.87	187.22	177.31	07-15	06-26

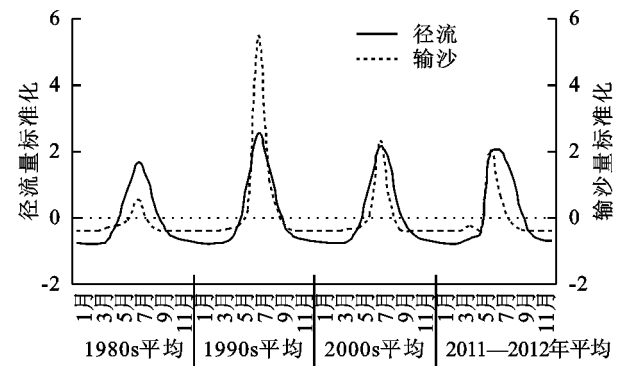


图 6 呼图壁河径流与输沙年内分配特征标准化曲线

4 结论

(1) 不同年代的径流与输沙年内分配均呈“单峰型”分布。呼图壁河多年平均和不同年代的径流量集中出现在 6—8 月份,除 2011—2012 年之外,峰值均出现在 7 月份。输沙量受极端暴雨影响较大,年内分配特征与径流极其相似,且输沙量较径流量的分配更为集中。

(2) 近 32 年来,径流和输沙的不均匀系数、完全调节系数、集中度都呈缓慢上升趋势,即越来越不均匀,且二者的年际变化都显示出较好的同步性。径流和输沙的集中期同样有着微弱的上升趋势,但输沙集中期略前于径流集中期。

(3) 呼图壁河径流水沙年内分配不均匀系数明显高于径流,最大值均出现在 90 年代,最小值出现在 80 年代。完全调节系数与不均匀系数的变化趋势基本一致。输沙量的年内分配特征十分依赖径流特征。除 2011—2012 年以外,其他各年代径流与输沙年内分配特征都大致相似,显示出了较强的同步性。

参考文献:

[1] Petts G E, Bickerton M A, Crawford C, et al. Flow management to sustain groundwater-dominated stream ecosystems[J]. Hydrological Processes, 1999, 13(3): 497-513.

[2] Hannah D M, Smith B P G, Gurnell A M, et al. An approach to hydrograph classification[J]. Hydrological Processes, 2000, 14(2): 317-338.

[3] 郭巧玲,杨云松,畅祥生,等. 1957—2008 年黑河流域径流年内分配变化[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 550-556.

[4] 王金星,张建云,李岩,等. 近 50 年来中国六大流域径流年内分配变化趋势[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 656-661.

[5] 许全喜,童辉. 近 50 年来长江水沙变化规律研究[J]. 水文, 2012, 32(5): 38-47.

[6] 赵玉,穆兴民,何毅,等. 1950—2011 年黄河干流水沙关系变化研究[J]. 泥沙研究, 2014(4): 32-38.

[7] 刘晓燕,张建中,张原锋. 黄河健康生命的指标体系[J]. 地理学报, 2006, 61(5): 451-460.

[8] 许炯心. 论黄河下游河道两次历史性大转折及其意义[J]. 水利学报, 2001, 7(1): 1-7.

[9] 刘晓琼,刘彦随,李同昇,等. 基于小波多尺度变换的渭河水沙演变规律研究[J]. 地理科学, 2015, 35(2): 211-217.

[10] 郭爱军,黄强,畅建霞,等. 基于 Copula 函数的泾河流域水沙关系演变特征分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(4): 673-683.

[11] 黄英,刘新有. 水电开发对河流水沙年内分配的影响分析[J]. 水科学进展, 2010, 21(3): 385-391.

[12] 白东明,李卫红,郝兴明,等. 新疆呼图壁河流域径流时序变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2008, 5(3): 19-23.

[13] 耿峻岭,高玲,陈建江,等. 新疆呼图壁河流域水文特征分析[J]. 干旱区研究, 2005, 22(3): 371-376.

[14] 魏天锋,刘志辉,姚俊强,等. 呼图壁河径流过程对气候变化的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 102-107.

[15] 冯光扬. 水文年内不均匀系数的探讨[J]. 山地学报, 1991, 9(1): 27-32.

[16] 郑红星,刘昌明. 黄河源区径流年内分配变化规律分析[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 585-590.

[17] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 791-795.

[18] 李明正,庞春花,姜龙. 新疆呼图壁河“96·7”洪水分析[J]. 新疆农垦科技, 2009, 32(2): 73-75.