

天山西部地区汛期径流变化规律分析

尹梓渊, 穆振侠, 汤瑞, 周育琳, 彭亮

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:为了更好地认识天山西部地区融雪径流汛期的变化规律,为该地区水资源合理开发利用及为防洪减灾提供依据,基于1960-2005年的汛期径流资料及蒸发、降水数据,采用流量质心时间、滑动 T 检验、滑动 F 检验等方法,分析了汛期径流变化规律。研究表明:从流量质心时间结果来看,1960-2005年汛期有微弱提前的趋势;集中度、集中期、变化幅度在1960-2005年均表现为减小的趋势;汛期径流从1960-2005年呈现出增加的趋势,1997年发生了突变;通过分析得出1997年降水和蒸发均发生了突变,因此推测1997年汛期径流发生由少到多的突变,可能是由于1997年后降水发生由少到多的变化和蒸发的由多变少引起的。

关键词:汛期径流;径流变化规律;流量质心时间;突变;天山西部地区

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)05-0095-06

Analysis on snowmelt runoff variation law of West Tianshan Mountain Area in flood season

YIN Ziyuan, MU Zhenxia, TANG Rui, ZHOU Yulin, PENG Liang

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

Abstract: In order to better understand the changing rules of flood-season runoff in the west Tianshan Mountain region, it is necessary to guide the rational development and efficient utilization of water resource and provide the basis for flood control and disaster mitigation there. Based on the floodseason runoff data, the evaporation data, the precipitation data in 1960-2005, the runoff variation law of flood season is explored with the methods of center time (CT), moving-T test, and moving-F test. The results showed that flow center time that floodseason runoff had a slight advance tendency from 1960 to 2005; The results of concentration period, concentration degree and variation range showed a decreasing trend from 1960 to 2005; The floodseason runoff showed an increasing trend from 1960 to 2005, and the abrupt change of floodseason runoff occurred in 1997; It was concluded that abrupt change of evaporation and precipitation occurred in 1997. Therefore, it was inferred that the increase of abrupt change of floodseason runoff in 1997 was due to the increase of precipitation and the decrease of evaporation after 1997.

Key words: floodseason runoff; variation law of runoff; flow center time; abrupt; western part of Tianshan

1 研究背景

21世纪以来,伴随着全球气候的变化及人类强烈的活动,极端的强降水及洪涝干旱事件频繁发生并且强度也不断增强,这对于经济社会发展、人与自然的和谐发展、自然资源的合理利用、自然灾害的预

防与应对提出了更大的挑战,加之水资源的需求量在社会经济的快速发展下不断增大,为了对水资源更合理的加以利用,应对频频爆发的自然灾害,对于产汇流规律的分析研究也显得愈来愈重要,因此近几十年水文水资源学研究主要表现在对河川径流量的变化规律的大量研究^[1-7]。汛期是水量大量集中

收稿日期:2018-02-05; 修回日期:2018-05-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51469034、51209181、51569031)。

作者简介:尹梓渊(1990-),女,新疆焉耆人,在读硕士研究生,主要从事水文水资源研究。

通讯作者:穆振侠(1980-),男,山东营县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事水文水资源研究。

的时期,易受到气温、降水、蒸发等气候因素及土地利用变化、水利工程建设等人类活动影响而发生洪涝灾害,进而水资源的合理开发应用受到很大的影响,由此对汛期径流变化规律的研究显得尤为重要。近年来有不少专家做了相应的研究,杨开斌等^[8]借助 BP 神经网络对长江大通站汛期径流进行了预测;Yan 等^[9]对密云水库盆地的温度、降水、径流的时空变化及汛期和非汛期的变化分别进行了讨论;Tian 等^[10]在中国北方城市建立了洪水季节雨水和污水控制数学模型及洪水后的水质模型并取得了较好的成果;Fang 等^[11]提出了两种计算方便并广泛应用于实践的使用分形理论分析洪泛季节的新方法;刘和平^[12]和唐林等^[5]初步得出气候变化和人类活动是造成汛期径流突变的主要原因;而岑思弦等^[13]发现水汽输送和降水对汛期径流有很大的影响;刘培亮等^[14]找出了汛期径流的突变点,但对突变原因未进行分析。

对于新疆来说非汛期径流量变化不大,有的河流甚至是出现冬季断流的情况,汛期就成为了水资源存储和开发利用的绝佳时期,确定汛期水文要素变化规律就成为了必不可少的工作,水文要素的确定通常是在天然情况下进行的,但由于水利工程兴建过程会对水文要素造成一定的影响,使水文要素规律发生变化,进而影响到水库的蓄水,经济效益的发挥也受到了很大的影响。因此,为了指导所在区域水资源更高效地开发应用、更合理地规划管理及为水库的管理运行、减灾防洪提供更强有力的依据,本次以喀什河流域为典型研究区进行汛期径流变化规律的探讨。

2 研究区概况

喀什河发源于天山西部的于伊连哈比尔尕山,全长 304 km,位于 E81°40'~85°10',N43°25'~44°15'之间,支流短小而分布广,水能资源开发条件优越。乌拉斯台水文断面以上的集水区域面积为 5 093.28 km²,拥有不同种类的冰川多达 551 条,多年平均降水量为 561.7 mm,多年平均蒸发量为 1 577.3 mm,最高气温 36.5℃,最低气温 -13.7℃。相较于新疆众多流域,喀什河流域气候湿润宜人四季分明,植被郁郁葱葱,中山带森林密布。流域概况图见图 1。

水文气象数据:收集到 1960-2005 年来源于新疆水文年鉴的乌拉斯台站逐月径流资料及汛期径流(4-9 月)逐日径流资料,1960-2005 年逐月蒸发和降水数据。

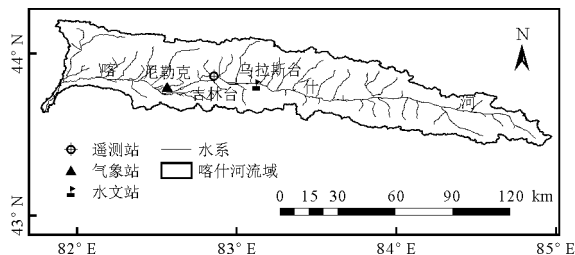


图1 流域概况图

3 研究方法

3.1 汛期径流的年内变化规律

(1) 流量质心时间。为了较好地反映融雪径流时间的变化规律,引入流量质心时间(The Timing of the Center of Mass of Flow or Center Time, CT)的概念。流量质心时间是反映融雪径流时间早晚,被广泛应用于研究融雪径流时间的一种指标^[15]。

$$CT = \sum t_i \cdot \frac{q_i}{\sum q_i} \quad (1)$$

式中: t_i 为以水文年开始的月份(4月)为第1个月起算的月份或者以水文年开始(4月1日)起算的天数; q_i 为相对应时刻的径流量,m³/s。

(2) 集中程度。为反映径流集中程度,采用集中度与集中期的两个重要指标对径流进行研究。集中度与集中期是具有高度敏感性的评价汛期径流年内分配的指标,其计算方法参照陆志华等^[16]公式如下:

$$D_R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} / R_{year} \quad (2)$$

$$P_R = \arctan(R_x / R_y) \quad (3)$$

$$R_x = \sum_{i=1}^9 r_i \sin \theta_i; R_y = \sum_{i=1}^9 r_i \cos \theta_i \quad (4)$$

式中: D_R 为集中度,其值越大表明汛期径流年内分配越集中; P_R 为集中期,其值越大说明汛期越靠后,其值越小说明汛期越靠前; R_{year} 为年径流量,m³/s; R_x, R_y 分别为各月的径流量在径流矢量角度水平及垂向的分量,m³/s; i 为月序; r_i 为第*i*月的径流量; θ_i 为第*i*月径流的矢量角度。由于研究汛期径流的年内分配情况,汛期为4-9月,因而*i*取值为4~9。

(3) 变化幅度。为了更好地认识汛期径流变化规律,采用相对变化幅度和绝对变化幅度来描述汛期内径流的变化幅度,详细介绍见文献[17],其计算公式如下:

$$C_n = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}; C_r = Q_{\max} - Q_{\min} \quad (5)$$

式中: C_n 为相对变化幅度; C_r 为绝对变化幅度; $Q_{\max}$ 为最大汛期径流量,m³/s; $Q_{\min}$ 为最小汛期径流

量, m^3/s 。

3.2 汛期径流年际变化规律

汛期径流年际变化规律借助滑动 T 检验来分析, 滑动 T 检验是用来检验样本均值的差异显著与否的一种方法, 具体原理参照文献[5, 18], 公式如下:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (6)$$

自由度 = $n_1 + n_2 - 2$

式中: n_1, n_2 为两组样本的长度; $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$ 为两组样本的平均值; s_1^2, s_2^2 为两组样本的方差。

4 结果分析

4.1 汛期径流年内变化分析

4.1.1 流量质心时间 根据实测逐日汛期径流数据, 求得流量质心时间并做图, 见图 2, 用每年的流量质心时间与多年平均流量质心时间的差值的累积值绘制流量质心时间的累积距平曲线, 见图 3。研究区流量质心时间从每年 4 月 1 日起算, 45 a 多年平均值为 88.7 d, 从 4 月 1 日往后推得出研究区流量质心时间多集中在每年的 6 月底到 7 月初。从图 2 可以看出流量质心时间从 1960 - 2005 年呈现出微弱的减小的趋势, 说明随着时间的增长研究区汛期有微弱提前的趋势。从图 3 中各时间段的流量质心时间累积距平曲线的斜率分析得出各个时段流量质心时间的变化情况, 从流量质心时间的线性趋势可以看出, 1960 - 2005 年流量质心时间累积距平曲线斜率为负, 说明汛期有提前的趋势; 分段来看, 从 1960 - 1966 年流量质心时间的累积值明显增加, 斜率为正, 说明该时段汛期明显推后; 1967 - 1982 年流量质心时间累积距平曲线呈现出明显的波动减小的状态, 斜率为负, 说明该时间段汛期明显提前; 1983 - 2005 年流量质心时间累积距平曲线基本平稳, 呈现微弱的增加趋势, 斜率为正, 表明这个时段汛期有弱的推后趋势。

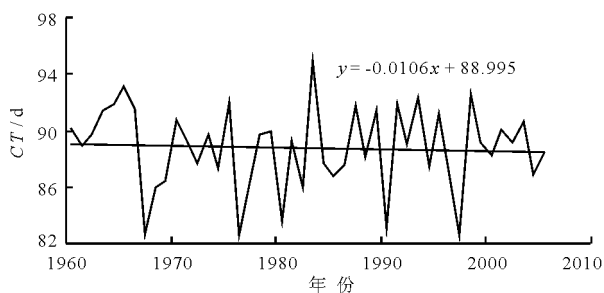


图2 1960 - 2005 年流量质心时间变化图

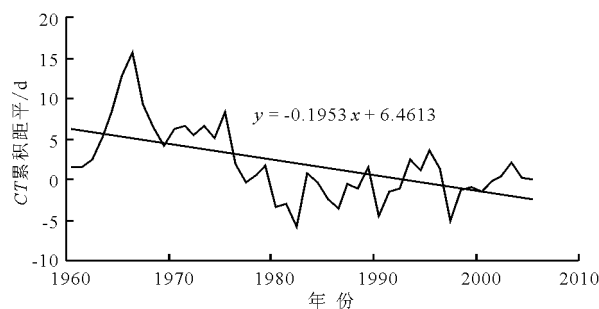


图3 1960 - 2005 年流量质心时间累积距平线

4.1.2 集中程度 集中度和集中期是反映汛期径流集中程度的两个高敏感度的指标, 现得到研究区的汛期径流集中度变化情况 (图 4), 集中期变化图 (图 5), 对集中度集中期等年内分配情况进行统计得到年内分配统计表 (表 1)。从图 4 可以看出, 集中度整体的线性变化趋势从 1960 - 2005 年呈波动减小的趋势, 说明汛期径流从 20 世纪 60 年代到 2005 年年内分配情况越来越不集中; 从最大值来看, 1987 年集中度最大, 其值为 79.1%, 说明 1987 年汛期径流年内分配最为集中; 从最小值来看, 1997 年集中度最小, 其值为 72.3%, 说明汛期径流在 1997 年年内分配最不集中; 根据集中度最小值的变化情况将平均值分为 3 段, 分别为 1960 - 1980 年、1981 - 1996 年、1997 - 2005 年。集中度在 1960 - 1980 年均值最大, 值为 76.3%, 说明在这个阶段汛期径流年内最为集中; 1981 - 1996 年集中度均值为 76.2%, 和前一段相比均值略微减小, 说明在这个阶段汛期径流年内集中程度略有降低; 1997 - 2005 年集中度均值最小, 值为 75.5%, 与前面两个阶段相比均值明显地减小, 所以在这个阶段汛期径流比起前两个阶段年内分配最不集中。

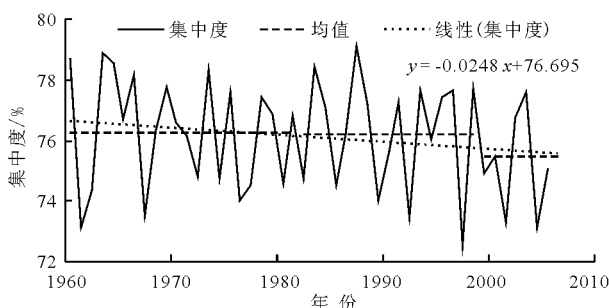


图4 1960 - 2005 年汛期径流集中度变化图

从图 5 可以看出集中期从 1960 - 2005 年线性趋势呈现减小的趋势, 这与集中度呈现的趋势相同, 表明汛期有提前趋势, 但趋势不明显。集中期极大值出现在 1983 年 7 月 25 日, 极小值出现在 1967 年 4 月 28 日。

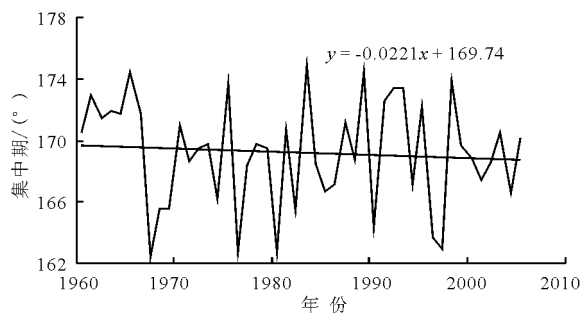


图5 1960-2005年汛期径流集中期变化图

从表1可以看出集中度从20世纪60-70年代表现为减小,从70-80年代表现为增加,从80年代-2005年表现为减小。集中期从60-70年代表现为减小,从70-80年代表现为增加,从80-90年代表现为增加,90年代至2005年则表现为减小。汛

期径流量占年径流量的百分比从60年代的82.1%到80年代达到最大值83.3%,从80年代到2005年呈现减小趋势,最小值为81.6%。

4.1.3 变化幅度 从相对变化幅度(C_n)看汛期径流的年内分配情况(表1)可以看出:从20世纪60年代的最大值10.6到80年代的10.3再到2000-2005年的最小值5.7,研究区的汛期径流相对变化幅度呈波动减小的趋势,年内分配越来越均匀。从绝对变化幅度(C_r)的变化情况来看,最大值358.8 m^3/s 出现在60年代,最小值271.7 m^3/s 出现在2000-2005年,整体呈现减小的趋势,这和集中度、集中期、相对变化幅度变化趋势一致,说明了研究区域的汛期径流绝对变化幅度1960-2005年是波动减少趋势,表明了年内分配越来越均匀。

表1 1960-2005年汛期径流年内分配表

年 份	集中度/ %	集中期		C_n	$C_r / (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	汛期占年径流量百分比/%
		合成向量方向/(°)	最大径流出现日期			
1960-1969	76.6	169.8	06-19	10.6	358.8	82.1
1970-1979	76.1	168.9	06-27	7.0	286.5	82.8
1980-1989	76.3	169.2	06-27	10.3	330.0	83.3
1990-1999	76.0	169.3	06-20	7.4	303.6	82.4
2000-2005	75.2	168.7	07-23	5.7	271.7	81.6

4.2 年际变化规律

汛期径流年际变化规律中,汛期径流最大值出现情况及汛期径流的变化趋势对于水情预报的作用不可小觑。为了更直观、方便地分析汛期径流年际变化规律,绘制汛期径流量年际变化曲线(图6)及汛期径流累积距平曲线(图7)。通过图6看出汛期径流量从1960-2005年表现为增加,在1969年出现最大值,在1992年出现最小值;从汛期的10a滑动平均值和多年平均值来看:1970-1975年、1999-2005年这两个时间段10a滑动平均值相较于多年平均值均表现的较大,而1976-1998年则较小。

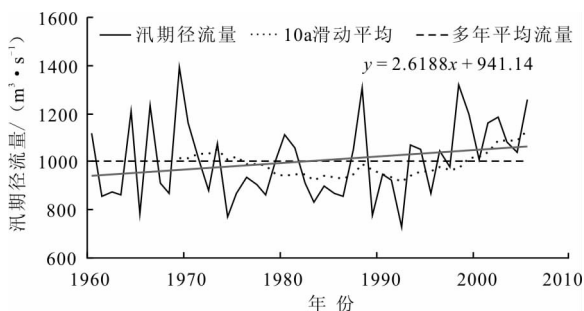


图6 1960-2005年汛期径流量年际变化

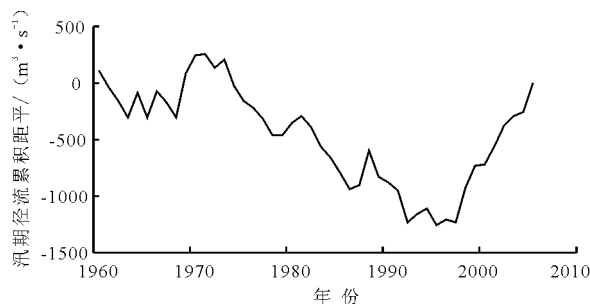


图7 1960-2005年汛期径流累积距平曲线

通过图7汛期径流累积距平曲线分析:从整体看1960-2005年累积距平曲线的斜率表现的有正有负,说明汛期径流量与多年平均径流量相比有增加也有减少。其中1960-1970年曲线斜率变化不大,即该时段内汛期径流变化不大;1971-1995年曲线斜率基本为负,说明该时间段汛期径流明显减少;1996-2005年曲线斜率为正,说明该时段内汛期径流明显增加。

4.3 汛期径流突变特性分析

4.3.1 汛期径流突变分析 考虑到降水是研究区径流补给的主要来源,对汛期径流的影响较大,因此,对

汛期径流与降水进行突变性检验。绘制汛期径流、降水的滑动 T 检验结果图(图8),由图8可以看出汛期径流从1960–1963年较多年平均值呈减小趋势,但趋势不显著;1964–1970年汛期径流表现出不显著的增加;1971–1996年汛期径流呈减小趋势,且1997年 $|T| = 3.28 > T(0.05) = 2.69$ 汛期径流的减小趋势非常显著;从1997–2005年曲线又明显的表现为上升,汛期径流表现为增加的,说明1997年汛期径流发生了显著的突变。从降水的 T 检验来看,降水出现了3次较显著的突变,分别是1979、1986和1997年,这3年降水都超过了95%的显著性水平线。

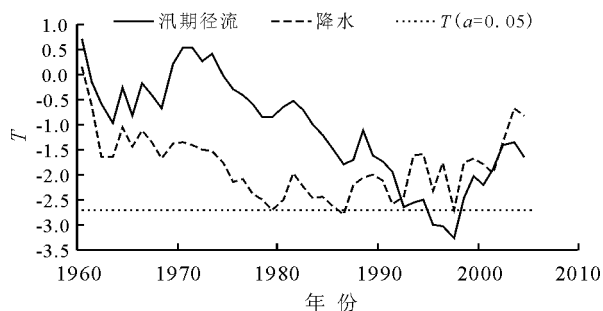


图8 1960–2005年汛期径流量及降水量滑动 T 检验

4.3.2 汛期径流突变原因分析 气候变化和人类活动是造成径流突变的主要原因。人类活动对径流的影响表现为基础设施建设及工农业生产活动使得流域下垫面发生了变化及河道外不断增加的引用消耗水量两个方面^[19]。查阅资料发现1990至2000年工程开发较少,人类活动也较少,土地利用类型及未利用的土地也未发生转移,因此人类活动对径流突变没有影响,推断流域气候变化造成了径流突变。而气候变化对径流影响从降水量的变化和蒸发蒸腾量的加剧体现出来,降水量增加的情况下径流必然会有所增加,蒸发蒸腾量剧增的情况下径流量会减少,反之亦然。由前文得知降水量在1997年突变,从图8中可以看出在突变点前降水波动减小,突变点之后降水波动增加。通过对1960–2005年蒸发量进行 F 检验分析(图9),并根据滑动 F 检验的结

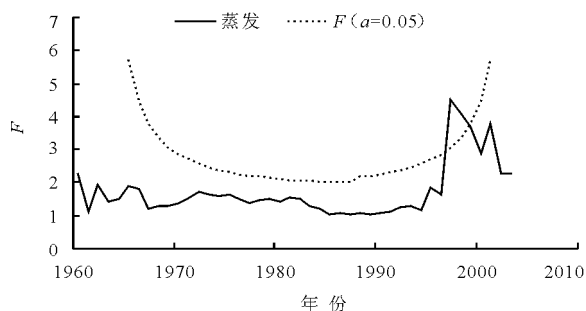


图9 1960–2005年蒸发滑动 F 检验

果可以看出蒸发量在1997年发生突变,且突变是显著的,超过了95%的显著性水平。蒸发突变前呈增加趋势,突变后呈减小趋势。因此推测1997年径流发生突变,可能是由于1997年后降水增加和蒸发的减小引起的。

5 结 论

(1)对汛期径流的流量质心时间分析得出:整体看1960–2005年汛期有微弱提前的趋势。分段来看,1960–1966年流量质心时间的累积值明显增加,斜率为正,汛期明显推后;1967–1982年流量质心时间的累积值明显减小,斜率为负,汛期明显提前;1983–2005年流量质心时间的累积值微弱的波动增加,斜率为正,汛期稍有推后。

(2)集中度从1960–2005年呈波动减小的趋势,说明汛期径流年内分配情况越来越不集中。从最值看,1987年集中度最大,汛期径流年内分配最集中;1997年集中度最小,汛期径流年内分配最不集中。从平均值来看,1960–1980年集中度均值最大,汛期径流年内最集中;1981–1996年集中度均值与前一段相比均值略微减小,说明在该阶段汛期径流年内集中程度有所降低;1997–2005年集中度均值最小且与前面两个阶段相比均值明显的减小,所以在这个阶段汛期径流比起前两个阶段年内分配最不集中。从1960–2005年集中期呈减小趋势,与集中度表现出的趋势相一致。集中期在1983年7月25日呈现最大值,在1967年4月28日呈现最小值。

(3)汛期径流量相对变化幅度从20世纪60年代到2005年整体呈现出减小的趋势,说明了研究区的汛期径流量呈减小的趋势,年内分配越来越均匀。绝对变化幅度从20世纪60年代到2005年整体呈现减小的趋势。

(4)汛期径流量从1960–2005年整体表现为增加,在1969年出现最大值,在1992年出现最小值,1970–1975年、1999–2005年这两个时间段10a滑动平均值均大于多年平均值,1976–1998年均比较小。从汛期径流累积距平曲线分析:1960–2005年汛期径流量相较于多年平均径流量有增加也有减小。其中1960–1970年汛期径流与多年平均值相比变化不大;1971–1995年汛期径流相较于多年平均汛期径流显著减小;1996–2005年汛期径流与多年平均值相比明显增加。

(5)由于降水量在1997年的突变,突变显著地超过了95%的显著性水平,且在突变前降水量波动

减少,突变后则波动增加。1997 年蒸发量亦发生了显著的突变,蒸发量在突变前是增加的,突变后是减小的。因此推测 1997 年汛期径流量发生突变的原因可能是由于 1997 年后降水量增加和蒸发量的减小引起的。

参考文献:

- [1] 王浩,严登华,贾仰文,等. 现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题[J]. 水科学进展,2010,21(4): 479-489.
- [2] 张晓晓,张钰,徐浩杰. 疏勒河上游径流年内分配变化规律分析[J]. 人民黄河,2014,36(6):58-60.
- [3] 郝振纯,苏振宽. 土地利用变化对海河流域典型区域的径流影响[J]. 水科学进展,2015,26(4):491-499.
- [4] 潘国营,秦永泰,马亚芬,等. 基于 R/S 和 Morlet 小波分析的丹河径流变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(3):41-45+50.
- [5] 唐林,赵丽华,王玉峰,等. 安哥拉宽扎河径流演变特性分析[J]. 水电能源科学,2016,34(7):21-24.
- [6] 张海荣,周建中,曾小凡,等. 金沙江流域降水和径流时空演变的非一致性分析[J]. 水文,2015,35(6):90-96.
- [7] 齐冬梅,李跃清,陈永仁,等. 气候变化背景下长江源区径流变化特征及其成因分析[J]. 冰川冻土,2015,37(4):1075-1086.
- [8] 杨开斌,朱坚,葛朝霞,等. ENSO 事件影响下长江大通站汛期径流预测建模分析[J]. 水电能源科学,2016,34(5):5-8+24.
- [9] YAN Tiezhu, SHEN Zhenyao, BAI Jianwen. Spatial and temporal changes in temperature, precipitation and stream-flow in the Miyun Reservoir Basin of China[J]. Water, 2017,9(2):78-92.
- [10] TIAN Yimei, ZHOU Ying, LI Hong. Study on the pollution of urban scenic water body by municipal drainage in flood season and its control planning[J]. Journal of Hydrodynamics, 2008,20(6):797-803.
- [11] FANG Chonghui, GUO Shenglian, DUAN Yahui. Two new approaches to dividing flood sub-seasons in flood season using the fractal theory[J]. Science Bulletin, 2010,55(1):105-110.
- [12] 刘和平. 大清河汛期径流变化趋势及其成因分析[J]. 人民珠江,2016,37(8):19-24.
- [13] 岑思弦,秦宁生,李媛媛. 金沙江流域汛期径流量变化的气候特征分析[J]. 资源科学,2012,34(8):1538-1545.
- [14] 刘培亮,毛德华,周慧,等. 1990-2013 年资水流域汛期径流量变化规律分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014,23(S1):6-13.
- [15] 党素珍,刘昌明,王中根,等. 黑河流域上游融雪径流时间变化特征及成因分析[J]. 冰川冻土,2012,34(4):920-926.
- [16] 陆志华,夏自强,于岚岚,等. 松花江干流中游段径流年内分配变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012,40(1):63-69.
- [17] 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+649.
- [18] 刘莹,张文煜,贾东于,等. 河西走廊沙尘暴 50a 频率突变检测分析[J]. 中国沙漠,2011,31(6):1579-1584.
- [19] 张敬平,黄强,赵雪花. 漳泽水库径流时间序列变化特征与突变分析[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(1): 131-135.