

多年气候影响下库山河流域径流演变规律与趋势分析

刘军

(水利部新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院, 乌鲁木齐 830000)

【摘要】为探明多年气候影响下新疆典型河流库山河流域径流演变规律与趋势,在获取沙曼水文站近60年气象及径流资料的基础上,采用多种分析方法联合对比分析后结果表明,库山河流域降雨、气温及径流多年来均呈现出非线性的增加趋势;对气候、径流的波动性分析发现,流域内径流受气候变化的影响年际振荡在其长期变化中占据主导地位;对气候及降雨的相关性分析发现,降雨及温度均对流域径流具有驱动作用,但温度是径流产生的主要驱动因子,与库山河流域径流以冰雪融水为主要补给来源相符。以上研究结论对于区域水资源利用、流域水资源规划以及促进研究区生态可持续发展具有十分重要的现实意义。

【关键词】气候变化;库山河流域;径流;演变规律

中图分类号:X522 文献标识码:A 文章编号:1673-288X(2021)05-0081-08 DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202105081

近年来,全球气候变化不仅加速了水分循环,还加剧了极端水文事件的发生,从而导致了水资源在时空上的重新分布和水资源数量的改变,进而影响到部分流域绿洲生态环境和经济社会的发展^[1]。流域径流的产生源于一个复杂的水文物理过程,在此期间影响流域径流变化的因素有很多,例如气象条件、地理环境以及流域特性等。正是由于这些因素的干扰使得流域径流的变化往往呈现出多种不确定、非线性、非平稳的波动性变化^[2-3]。

地表水资源作为大气环流系统和水文循环中不可或缺的要害,既受气候变化的影响,同时又反作用于气候变化。近年来诸多学者对流域径流的分析从定性到定量,由简单的径流演变规律与趋势分析^[4-6]到气候影响下的径流趋势分析^[7-11],最后再到气候变化和人类活动对于流域径流变化影响的定量分析^[12-16]。如刘静等^[4]利用多年实测径流资料以塔河流域三条源流为研究对象,运用多种方法研究多时间尺度下径流的变化特征,探讨环境变化对径流趋势变化的影响机理。柏玲^[8]综合运用多方法、多尺度的建模技术对开都河与阿克苏河源流区出山口径流和相关气候因子

对研究区气候—径流过程及其机理进行对比分析,得出两河径流对气温和降水敏感性的差异可能与径流的组成比例有关,不同时段和尺度的差异是由于气温和降水两个主要气候要素引致不同时段补给径流来源的变化,进一步证明了气候变化对河道径流的影响。Zhang等^[13]发现在气候变化和人类活动的双重影响下,河流系统的水文过程处在不断的变化过程中。王晓颖等^[14]通过分析气候变化和人类活动对白河流域径流变化的贡献率得出研究区2000年以后气候变化对径流变化的影响呈上升趋势。

位于干旱区的典型河流——库山河源区以山地、盆地相间的地貌格局为特点,对气候变化尤为敏感。简单地说,气候变化不仅加剧了流域内水循环过程,相反,径流的变化也在一定程度上使得研究区的气候更加复杂多变,同时这种关系也增加了该地区水资源的不确定性。可以说,气温和降水变化都可以对库山河流域地表径流产生影响^[8]。因此,本文利用不同的演变分析方法开展库山河流域在气候影响下径流长期演变规律的研究,厘清径流量的增减趋势,并在此基础上揭示多年气候变化对径流的影响。研究结论对于研

究区水资源合理配置及可持续利用、流域水资源规划以及促进研究区生态可持续发展具有十分重要的现实意义。

1 材料及研究方法

1.1 研究区概况

库山河是喀什噶尔水系的第三大河。流域涉及克孜勒苏柯尔克孜自治州的阿克陶县和喀什地区的英吉沙县、疏勒县。流域东与塔里木盆地衔接,南与叶尔羌河支流塔什库尔干河及卡龙沟相邻,西以慕士塔格山和公格尔山与盖孜河分水,北与盖孜河流域毗连,为喀什噶尔水系的源流之一。库山河流域面积为 10924km²,干流发源于海拔 7546m 的慕士塔格山和海拔 7719m 的公格尔山的高山冰川,径流以冰雪融水补给为主、降雨补给为辅,枯季为地下水和泉水补给,河流流经英吉沙、阿克陶、疏勒等县境内,最后消失于布克拉沙漠中。近年来,由于下游河道整治,灌溉引水以及沙漠区的蒸发渗漏,库山河地表水已难汇入喀什噶尔河干流,逐渐成为独立的水系。

库山河流域气候呈明显的垂直地带性分布,山区一年只有冷、暖两季,夏季短且凉爽,冬季长而严寒,年平均气温 10℃左右。海拔 5000m 以上地区降水较多,年降水量达 500mm~700mm,永久性冰川发育,形成较大的固体水库,从而成为流域径流的主要补给来源;低山区和平原区降水稀少,年降水量小于 70mm,而蒸发量高达 2700mm。

1.2 研究方法

本文通过获取并收集库山河流域 1956 年设置的沙曼水文站近 60 年的降水和水文资料以及近 50 年的气温资料,运用趋势分析法、Mann-Kendall 趋势检验法及集合经验模态分解法 (EEMD, Ensemble Empirical Mode Decomposition) 分析库山河流域在多年气候影响下的径流演变规律及增减趋势。

1.2.1 Mann-Kendall 趋势检验法

Mann-Kendall^[17](以下简称 M-K)方法所需样本不需要遵循特定的分布规律,也不受数据异常值的影响,同时还适用于多种类型及顺序变量的分析。因此,作为一种非参数统计检验方法,由于其计算简单、适用性强,M-K 趋势检验法被广

泛应用于时间序列的变化趋势分析。同时,该方法还可以通过计算统计量 *UF* 和 *UB* 以应用于检验时间序列数据是否发生了突变^[18]。

对于时间序列 *Y*,M-K 趋势检验的统计量如下:

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \tag{1}$$

式中,*n* 为样本数据的个数;*x_i* 为时间序列的第 *i* 个数值;sgn 为符号函数。另外,Mann(1945)和 Kendall(1975)证明,当 *n*≥8 时,统计量 *P* 大致服从均值为 0 的正态分布。方差为:

$$V_{ar}(P) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \tag{2}$$

式中,*t_i* 为第 *i* 组数据点的数目。标准化统计量用下式计算:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{P-1}{\sqrt{V_{ar}(S)}}; S > 0 \\ \frac{P+1}{\sqrt{V_{ar}(S)}}; S < 0 \end{cases} \tag{3}$$

式中,*Z_c* 服从标准正态分布,*β* 用于衡量趋势大小:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_i - x_j}{i - j}\right) \tag{4}$$

式中,1<*j*<*i*<*n*。当 *β*>0 时,数据呈现“上升趋势”,反之则呈现“下降趋势”。

1.2.2 集合经验模态分解法 (EEMD)

集合经验模态分解 (EEMD) 方法^[19]是在经验模态分解 (Empirical Mode Decomposition, EMD) 的基础上发展起来的,其首先对时间序列的数据进行局部平稳化处理,然后通过希尔伯特变换获得时频谱图,从而获得一些具有物理意义的频率分量。其分解表达式为:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r_n(t) \tag{5}$$

式中,*C_i(t)* 为信号在 *i* 固有尺度上的本征模函数 (IMFs);*r_n(t)* 为信号分解后的趋势项 (RES)。

集合经验模态分解法的过程可概括为:(1)在原数据的基础上加入白噪声序列;(2)对处理后的数据进行经验模态分解;(3)反复上述步骤得到不同的本征模态函数 (IMFs);(4)将每次分解得到的 IMFs 进行集合平均,用于抵消加入的白噪声使其作为最终的分解结果。

2 气候、径流变化特征分析

已有研究表明气候—水文系统是一种非线性的复杂系统^[1,4,11],而用来表征区域内气候—水文变化的因子如降雨量、温度及径流量等在长期的时间序列上的变化也表现为一种非线性、非平稳的复杂变化过程,同时还伴随有多种尺度或周期性的振荡。基于此,本文以库山河流域为例,采用多种方法联合对比分析,从不同年际、年代际尺度分析库山河径流的变化特征。

2.1 趋势性分析

通过收集到的 1956—2018 年库山河沙曼水

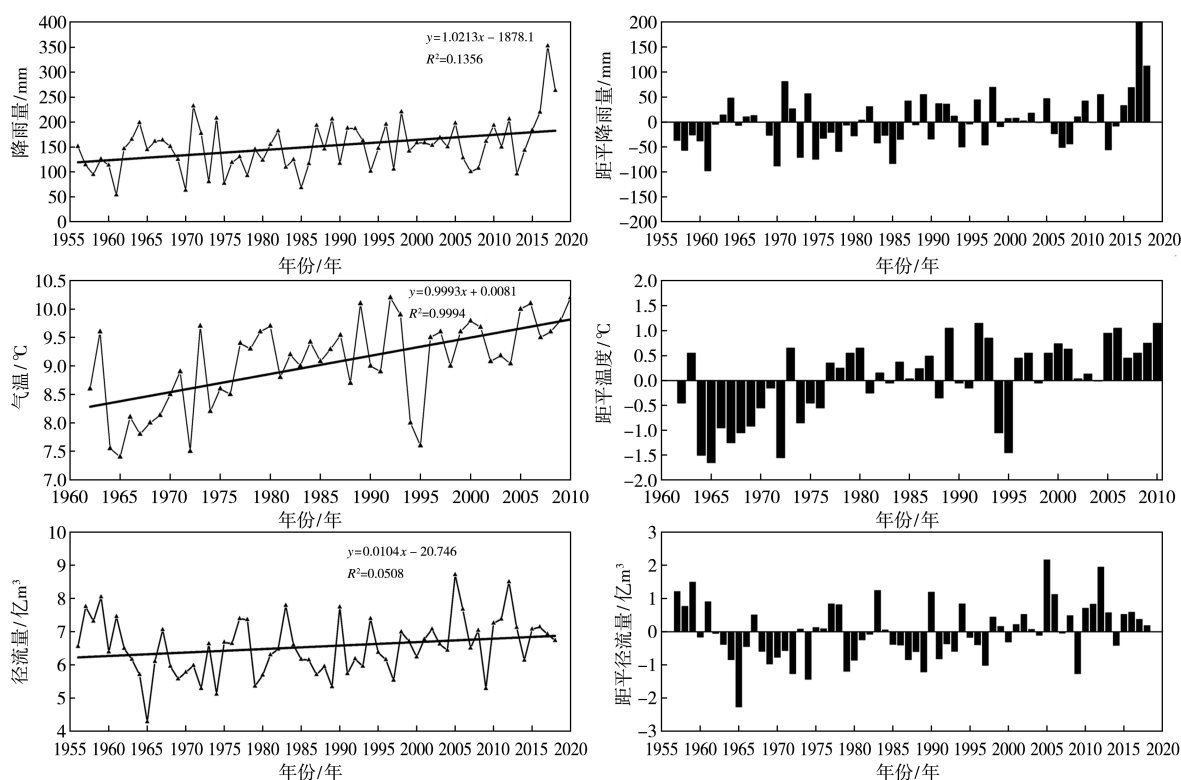


图 1 库山河流域气候、径流量年际变化特征

距平分析发现,流域内降雨量整体呈上升趋势,温度和径流量却呈现先下降后上升的趋势,温度及径流量分别自 1996 年和 2000 年以后出现了较为明显的上升趋势。M-K 趋势检验结果如表 1 所示,降雨量和温度的 Z_c 值分别为 2.46 和 4.44,均 ≥ 2.32 ($P = 0.01$),径流量 Z_c 值为 1.72 ≥ 1.64 ($P = 0.05$)。以上表明降雨量、温度通过了置信度为 0.99 的显著性检验,径流量通过了置信度为 0.95 的显著性检验。根据衡量趋势变化幅度的 β 值结果,降雨量、温度和径流量分别

文站年降雨量、径流量及 1962—2010 年的气温资料(部分缺失的数据运用调整插补方法获取),运用趋势分析法及 M-K 分析法对气候要素和径流量的变化趋势进行分析,结果如图 1 所示。库山河流域降雨量、温度及径流量均呈增加趋势,但可以明显看出其增加趋势并不是显著的线性关系,这与刘静^[4]、金庆日^[11]等得出的结论一致。其中线性回归结果表明,研究流域内降雨量、温度和径流量年增加率分别为 1.02、0.99 和 0.01,说明流域内径流量波动较大,其增加趋势相对于降雨量及温度并不显著,降雨量和温度的增量要略大于径流量增量。

表 1 库山河流域气候、径流趋势分析结果

| 变量 | 线性回归 增长率 | Mann-Kendall | | | |
|-----|-------------|--------------|---------|----|-----|
| | | Z_c | β | 趋势 | 显著性 |
| 降雨量 | 1.02 | 2.46 | 1.20 | 上升 | 显著 |
| 温度 | 0.99 | 4.44 | 0.28 | 上升 | 不显著 |
| 径流量 | 0.01 | 1.72 | 0.05 | 上升 | 不显著 |

为 1.20、0.28 和 0.05,均大于 0,表明近年来库山河流域年平均降雨量增加趋势显著,温度及径流量上升趋势虽不显著,但不可否认的是流域降雨

量、温度及径流量均呈增加趋势,与趋势分析法结果一致,说明该结论较为合理。

2.2 突变性分析

突变分析是我们辨识流域径流波动变化的主要方法之一,对流域内水文变化的性质预测具有重要意义^[2]。运用 M-K 突变分析在显著性水平 $\alpha=0.05$ 的情况下将统计量 UF 和 UB 序列数据相结合做出图 2。结果表明,库山河降雨量、温度及径流量 UF 和 UB 两个统计量分别在 1996 年、1981 年及 2002 年相继出现突变,其突变时间与上述距平分析时间较为接近,具有一致性。

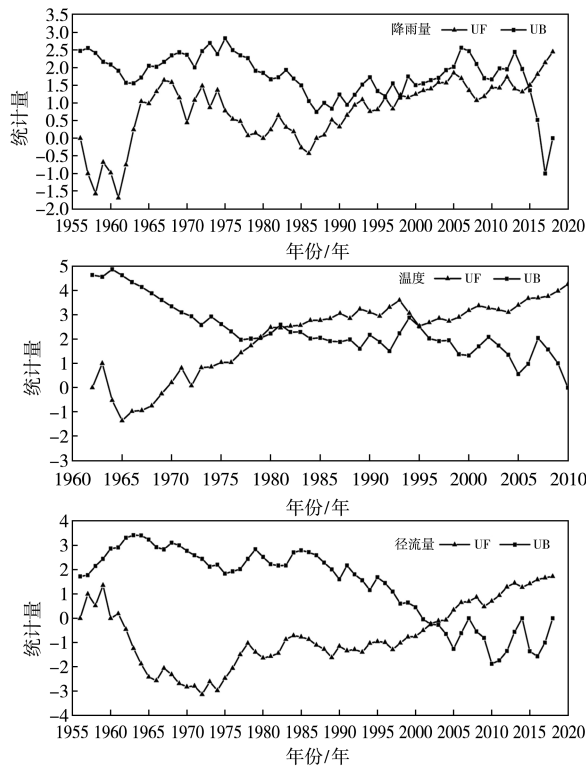


图 2 库山河流域气候、径流量突变检验结果

根据图中 UF 的变化趋势可以发现,研究区降雨量从 1956 年开始到 1962 年前,其值基本都小于 0,说明在此期间库山河降雨量呈下降趋势^[18];从 1963 年至 2018 年, UF 的统计值都大于 0,表明库山河在该时段降雨表现为较明显的增加趋势。以上结果与上述分析结果相一致。突变前、后降雨量的平均值分别为 140.48mm 和 170.98mm,相对变化为 21.71%。气温从 1962 年开始到 1969 年前,其值均小于 0,说明在此期间库山河流域温度呈下降趋势;从 1970 年至 2010 年, UF 的统计值都大于 0,表明库山河流域在该时段气温

呈现增加趋势。突变前、后气温的平均值分别为 8.59℃ 和 9.37℃,相对变化为 9.08%。径流量从 1960 年开始到 2002 年前,其值基本都小于 0,说明在此期间库山河径流波动呈下降趋势;从 2003 年至 2018 年, UF 的统计值都大于 0,表明库山河在该时段径流表现为增加的趋势。突变前、后径流量平均值分别为 6.38 亿 m^3/a 和 7.03 亿 m^3/a ,相对变化为 10.19%。该结果也反映出流域内降雨量变化明显强于温度及径流量。而流域内降雨量的增量明显大于径流量的增量,这可能是受全球气候变暖的影响,大气降水和冰川融水逐渐增多所致。该结论虽与上述趋势性分析得出的流域气温上升趋势不显著的结果略有差异,但不可否认的是库山河流域内降雨量、温度及径流量都呈增加趋势。

2.3 波动性分析

对于距平后的降雨、温度及径流时间序列,运用集合经验模态分解方法进行分解,均得到了 4 个 IMF 分量和一个趋势项 RES。为验证数据分解

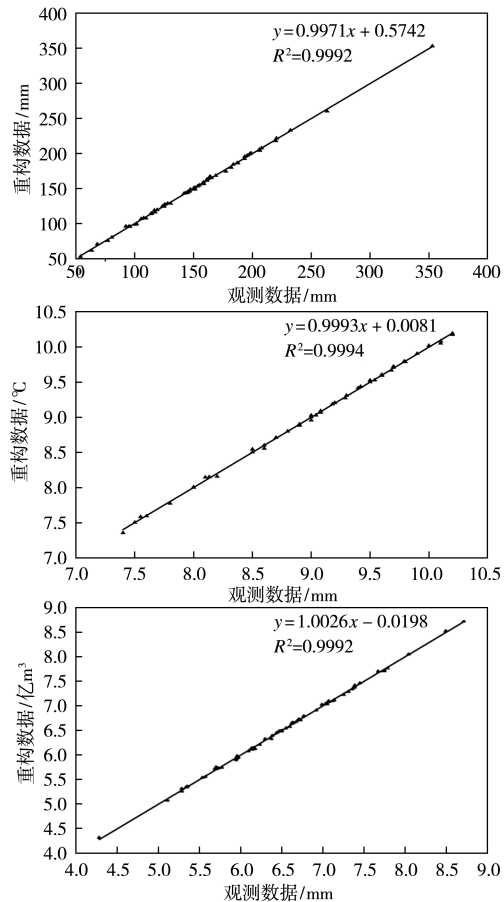


图 3 各参数 EEMD 重构序列与原始数据拟合图

后的完备性和可靠性,将 EEMD 分解得到的各分量和趋势项叠加合成一个降雨、温度及径流的重构序列与原始数据进行拟合,结果如图 3 所示。从中发现各变量相对误差均在 0.1% 之内,表明 EEMD 方法在此次分解中具有很好的完备性,能较好地反映原始数据在时间序列下的多尺度变化特征。

各分量结果依次反映了库山河流域多年气候要素及径流量从高频到低频不同时间尺度下的波动特征及流域降雨量、温度及径流量复杂的多时间尺度性^[5]。结合获取的趋势项 RES,其表明库山河流域降雨量、温度及径流量随时间的变化整体呈增加趋势,究其原因可能与区域内降水增加及气候变暖等因素有关,这与前文所得结论一致。同时,表 2 和图 4 中各分量显示研究区降雨量、温度及径流量在年际尺度上具有 2 年—3 年和 5 年—7 年的准周期性变化,在年代际尺度上具有 11 年—17 年和 27 年—29 年的准周期性变化。其中降雨量、温度及径流量在 IMF1 分量上方差贡献率最大,分别为 46.84%、44.48% 和 38.56%,说明高频振荡在波动频率上对流域降雨及径流总体变化特征影响程度最大,该分量降雨、温度及径流分别在 1977—1990 年、1974—1988 年以及 1997—

2002 年振幅较小,其余时段振幅相对较高;同时,降雨量、温度及径流量中 IMF3 分量均对各变量整体波动影响最小,其方差贡献率分别为 2.58%、6.60% 和 3.03%。以上分析表明,库山河流域内年际振荡 (IMF1) 在流域降水及径流长期变化中占据主导地位,可能是因为库山河径流受河源冰川固体水库的调节作用,径流量年际变化

表 2 库山河流域气候、径流集合经验模态分解结果表

| IMF 分量 | IMF1 | IMF2 | IMF3 | IMF4 | RES |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 降雨量 周期/年 | 2.67 | 5.35 | 11.80 | 27.00 | — |
| 方差贡献率/% | 46.84 | 21.78 | 2.58 | 4.86 | 23.98 |
| 与原始数据的相关系数 | 0.63** | 0.43** | 0.36** | 0.22 | 0.45** |
| 气温 周期/年 | 3.67 | 6.28 | 15.00 | 29.00 | — |
| 方差贡献率/% | 44.48 | 13.36 | 6.60 | 7.75 | 27.92 |
| 与原始数据的相关系数 | 0.59** | 0.38** | 0.48** | 0.26 | 0.60** |
| 径流量 周期/年 | 3.05 | 7.00 | 16.25 | 29.00 | — |
| 方差贡献率/% | 38.56 | 34.75 | 3.03 | 7.04 | 16.63 |
| 与原始数据的相关系数 | 0.59** | 0.55** | 0.21 | 0.40** | 0.37** |

注: ** 表示在 $\rho < 0.01$ 水平显著相关; * 表示在 $\rho < 0.05$ 水平显著相关。

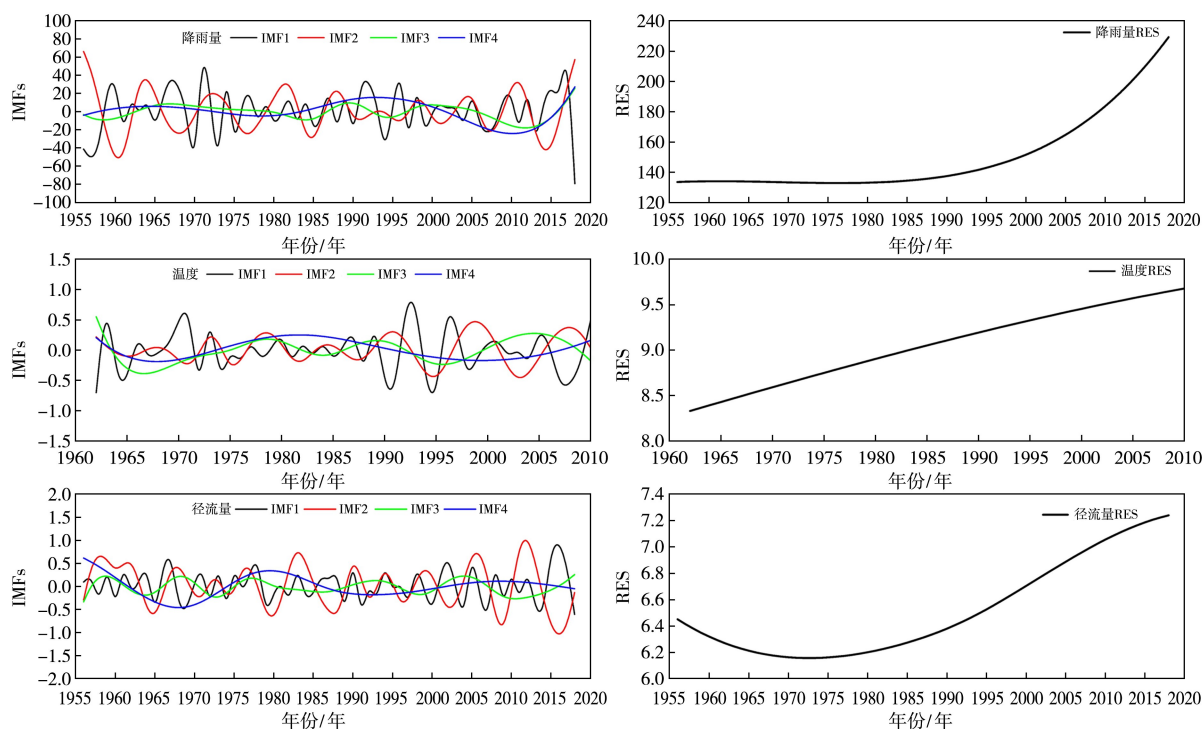


图 4 库山河流域气候、径流集合经验模态分解图

稳定。这与柏玲^[8]在天山南坡典型流域阿克苏河和开都河研究结果一致。另外结合各分量与原始数据的相关性发现,不论是年际还是年代际变化均与实测数据存在显著的正相关关系,说明流域内短期的年际变化与长期的年代际变化趋势均有一定的研究意义。

2.4 气候变化对径流的影响

为定量分析库山河流域气候变化对径流的影响,本文利用沙曼水文站实测资料采用相关性分析及通径分析方法对研究流域进行研究。但由于温度资料的不足,本次在分析时选取 1962—2010 年气候要素及径流数据进行分析。

2.4.1 相关性分析

流域源流区气候变化与径流的相关关系结果如表 3 所示。不难看出,流域年径流量与年降水量及温度之间存在着较为显著的相关关系。分析认为流域径流量受到补给来源的影响较大,而库山河流域补给来源主要为上游山区的冰雪融水,而这又恰恰受到气候的影响。例如在气候干燥的年份,降雨少,气温高,冰川融水多;在气候较为湿润的年份,降雨多,气温较低,冰川融水也相对较少,这种关系不仅使得流域内年际径流相对稳定,同时也间接证明了气候变化会影响径流从而起到调节作用,这与陈忠升^[6]在西北干旱区河川径流变化及归因定量辨识中的分析结论一致。

表 3 库山河流域气候变化与径流之间的关系

| 皮尔逊(Pearson)相关性分析 | | |
|-------------------|------|-------|
| 变量 | 降雨量 | 气温 |
| 径流量 | 0.46 | 0.38* |

注: * 表示在 $\rho < 0.05$ 水平显著相关

2.4.2 通径分析

使用通径分析时通常不仅要求数据之间存在显著的相关关系,同时还要求因变量服从正态分布^[20]。上述分析表明流域内径流量与降雨量及温度存在明显的相关关系。另外,本次采用 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 正态性检验方法分析流域径流量是否满足正态性分布,结果如表 4 所示。其显著性分别为 0.200 及 0.967,均大于 0.05,说明库山河径流量在 95% 的置信区间

下服从正态分布。因此可在流域内径流量与气候的年际尺度上对其进行通径分析。

表 4 径流量正态性检验统计表

| 数据 | 样本 选取 | K-S 检测 | | S-W 检测 | |
|-----|----------|--------|-------|--------|-------|
| | | 统计量 | 显著性 | 统计量 | 显著性 |
| 径流量 | 63 | 0.050 | 0.200 | 0.992 | 0.967 |

温度对径流的间接通径系数为温度与降雨量的相关系数乘以降雨量对径流的直接通径系数,同理降雨量对径流的间接通径系数也与此相对应,据此得出通径分析结果如表 5 所示。降雨量及温度对径流的通径系数分别为 0.295 及 0.654,表明降雨及温度对径流的产生均具有驱动作用,但温度是径流产生的主要驱动因子,这与冰雪融水为库山河流域主要补给来源相符。

表 5 库山河降雨量和气温与径流量的通径分析

| 自变量 | 直接通径 系数 | 间接通径系数 | | 合计 |
|-----|------------|--------|-------|-------|
| | | 降雨量 | 温度 | |
| 降雨量 | 0.284 | | 0.011 | 0.295 |
| 温度 | 0.631 | 0.023 | | 0.654 |

3 讨论

上述研究发现,库山河流域地表径流量受气候因素的调节作用年际波动较为稳定,同时径流量呈上升趋势。但流域供水量调查统计数据显示,库山河流域地表水开发利用率达到 85.8%,地下水开发利用率达到 138.6%,水资源总量开发利用率达 129.8%。由此可见,喀什噶尔河流域水资源总量开发利用程度最高。这也使得库山河流域仍面临着如下问题:(1)水资源开发利用量超出控制指标要求,经济发展和生态修复建设存在争水矛盾;(2)现状水资源利用超过流域水资源承载能力;(3)流域用水结构不合理,水利用效益低;(4)流域农业用水效率低下。针对上述问题,结合库山河流域地表水资源演变规律及发展趋势,在进行区域水资源分配及流域规划时应本着节水优先、高效利用,量水而行、协调发展,合理控制、增加调控,统筹协调、合理配置等原则,在满足流域各行业用水需求的前提下,保障流域供

水安全,更好地落实流域水资源配置方案,确保流域工农业用水和下游生态需水。

本文仅探讨了多年气候变化对库山河流域径流变化趋势及演变规律的影响,但库山河大部分河道处于天然状态,流域内径流动态还受到现状水利工程如渠首工程、堤防护岸工程、水库工程及下游灌溉等人类活动的影响。因此,仅讨论多年气候条件变化对流域的动态影响略显不足。为有效地保护及利用库山河流域地表水资源,下一步应着重考虑气候变化和人类活动叠加后对径流变化的综合影响。

4 结论

(1)基于多年实测数据,采用多种方法综合分析研究区受气候变暖的影响,研究表明降雨量、气温与径流量均呈明显的增加趋势,但并不是呈线性增加而是存在着非线性、非平稳的复杂波动。

(2)通过 EEMD 方法的波动性分析发现,流域内径流受气候变化的影响年际振荡在其长期变化中占据主导地位。同时,结合相关分析发现不论是年际还是年代际变化均与实测数据存在较显著的正相关关系,说明流域内短期的年际变化与长期的年代际变化趋势均有一定的研究意义。

(4)研究流域内气候变化对流域径流起调节作用,同时降雨及温度均对径流的产生具有驱动作用。但温度是径流产生的主要驱动因子,这与冰雪融水为库山河流域主要补给来源相符。

参考文献:

- [1] ALEXANDER N. Climate change 2007; the physical science basis; Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]//Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. 2010.
- [2] 章智. 汉江陕西段径流演变分析及多模型预测研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2018.
- [3] 王文, 任冉, 李耀辉. 基于 EEMD 的黄河中上游夏季降水预报方法的研究[J]. 气象科学, 2014, 34(03): 261-266.
- [4] 刘静, 龙爱华, 李江, 等. 近 60 年塔里木河三源流径流演变规律与趋势分析[J]. 水利水电技术, 2019, 50(12): 10-17.
- [5] 汪清旭. 青海省近 61 年来地表水资源现状及演变趋势分析[J]. 水利规划与设计, 2020(03): 67-70, 170.
- [6] 陈忠升. 中国西北干旱区河川径流变化及归因定量辨识[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [7] ZHANG X, ZUO Q. Analysis of Water Resource Situation of the Tarim River Basin and the System Evolution under the Changing Environment [J]. Journal of Coastal Research, 2015, 73 (sp1).
- [8] 柏玲. 气候变化对天山南坡典型流域径流过程的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2016.
- [9] 赵梦霞, 苏布达, 王艳君, 等. 气候变化对东部季风区赣江和官厅流域径流的影响[J/OL]. 气候变化研究进展, 1-13. (2020-10-18). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5368.P.20200927.1602.004.html>.
- [10] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 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(09): 1295-1304.
- [11] 金庆日. 气候变化对塔里木河源流径流近 61 年的影响分析[J]. 水资源开发与管理, 2020(06): 15-19.
- [12] Climate Change: Reports from China Institute of Water Resources and Hydropower Research Provide New Insights into Climate Change (Ensemble Projection of Runoff In a Large-scale Basin: Modeling with a Global Bma Approach) [R]. Global Warming Focus, 2020.
- [13] ZHANG Y, GUAN D, JIN C, et al. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in northeast China [J]. Journal of Hydrology, 2011, 410 (03).
- [14] 王晓颖, 宋培兵, 廖卫红, 等. 气候变化和人类活动对白河流域径流变化影响的定量研究[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(04): 50-56.
- [15] 宋小园. 气候变化和人类活动影响下锡林河流域水文过程响应研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [16] 张调风, 朱西德, 王永剑, 等. 气候变化和人类活动对湟水河流域径流量影响的定量评估[J]. 资源科学, 2014, 36(11): 2256-2262.
- [17] KENDALL M G. Rank correlation methods [J]. British Journal of Psychology, 1990, 25(1): 86-91.
- [18] GOCIC M, TRAJKOVIC S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia [J]. Global & Planetary Change, 2013, 100 (JAN): 172-182.
- [19] 孟繁林. 集合经验模态分解的理论及应用研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2013.
- [20] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(02): 4-6.

Analysis on the evolution principle and trend of runoff in Kushan River Basin under the influence of climate for many years

LIU Jun

(Xinjiang Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower, Ministry of Water Resources, Urumqi 830000, China)

Abstract: In order to explore the evolutionary principle and trends of runoff in the Kushan River Basin of Xinjiang's typical rivers under the influence of climate for many years, a variety of analysis methods are used for joint comparative analysis based on the meteorological and runoff data obtained from the Shaman Hydrological Station in the past 60 years. The results show that rainfall, temperature and runoff in the Kushan River Basin have shown a non-linear increasing trend over the years. Through the analysis of the volatility of climate and runoff, it is found that the interannual oscillations of the runoff in the basin are affected by climate change and dominate its long-term changes. Through the analysis of the correlation between climate and rainfall, it is found that both rainfall and temperature have driving effects on runoff in the basin, but temperature is the main driving factor for runoff, which is consistent with the runoff of the Kushan River Basin with ice and snow melting water as the main source of replenishment. This conclusion has very important practical significance for regional water resources utilization, river basin water resources planning and promoting the ecological sustainable development in the study area.

Keywords: climate change; Kushan River Basin; runoff; evolution principle