

文章编号: 1004-4353(2017)04-0371-04

嘎呀河流域径流量的时间变化研究

孙冀程, 赵春子*, 金爱芬

(延边大学理学院 地理系, 吉林 延吉 133000)

摘要: 以图们江流域嘎呀河 1956—2015 年水文序列资料为基础,利用累积距平法、Pettitt 检验法等方法,分析此时间段内该河水文突变情况;然后通过对河流序列进行水文时序分析和小波分析,得到该河水文序列的状态. 研究表明:嘎呀河流域水文序列存在突变的年份为 1985、1995、2002 年和 2012 年,水文序列的突变周期为 5 年.

关键词: 突变点; 时序分析; 天然径流量; 嘎呀河

中图分类号: P339 **文献标识码:** A

Study on the time variation of runoff in Gaya river basin

SUN Jicheng, ZHAO Chunzi*, JIN Aifen

(Department of Geography, College of Science, Yanbian University, Yanji 133000, China)

Abstract: Based on the hydrological sequence data of Gaya river in Tumen river basin from 1956 to 2015, this paper analyzed the hydrological abrupt change of the river during this time period by means of the cumulative distance method and the Pettitt method, and then analyzed the hydrological sequence of the river series. And through the analysis of hydrological time series and wavelet analysis on river hydrological sequence, we get sequence state of Gaya river. The research shows that the years of abrupt change of the hydrological sequence in the Gaya river Basin are 1985, 1995, 2002 and 2012, and the period of abrupt change of the hydrological sequence in the river basin is 5 years.

Keywords: mutation point; timing analysis; natural runoff; Gaya river

0 引言

水资源作为影响流域社会经济发展的自然要素,其变化趋势对水资源可持续利用具有十分重要的意义. 图们江流域作为长吉图开发开放先导区的重要组成部分,在气候和人类活动的影响下,流域的水文序列也不断发生变化,突变水文值也频频出现,由此引发的洪涝灾害给流域范围内的人民生命和财产安全带来了严重威胁;因此,研究图们江流域的水文状况对该区域的经济和社会发展具有重要意义. 马静等^[1]认为图们江流域水文序列变异的典型表现是径流减少,洪峰流量增大;

徐万玲等^[2-3]指出图们江干流中游年径流量减少且年内分布均匀度下降,汛期暴雨集中,易发生洪涝灾害. 嘎呀河是图们江干流的最大支流,目前为止仅有文献[4]和文献[5]分别对该流域的降水变化趋势及突变、水资源现状进行过研究. 张丹荣等^[6]对海流兔河径流量年内分配及变化趋势的研究表明,径流的变化与水资源变化密切相关. 基于此,本文根据嘎呀河流域 1956—2015 年的实测年径流数据,对流域内径流周期变化进行研究,并进行反演,以期对流域水资源调节、开发利用、生态环境保护等方面提供参考.

收稿日期: 2017-07-14 *** 通信作者:** 赵春子(1977—),女,副教授,研究方向为水文水资源.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41361015);吉林省教育厅“十二五”科学技术研究规划项目(吉教科合字[2015]第 35 号)

1 流域概况

嘎呀河是图们江流域最大的支流,其干流河长 205.2 km,流域面积为 13 565 km². 嘎呀河发源于汪清县老松岭三长山峰东南,自北向南纵贯县境西部,流经东新、天桥岭、大兴沟、东振、汪清、西崴子、仲安、百草沟新兴等 9 个乡镇,沿途接纳大小支流 74 条,年流量 125 亿 m³,经图们市辖境注入图们江,如图 1 所示. 嘎呀河天桥岭以上流域森林茂密,且多高山峡谷,水流湍急,落差大;天桥岭以下流量逐增,河道渐宽,蜿蜒曲折,水势平缓,两岸多为河谷平地. 嘎呀河汛期暴雨集中,水量大,涨势猛,河水易出槽泛滥^[7].

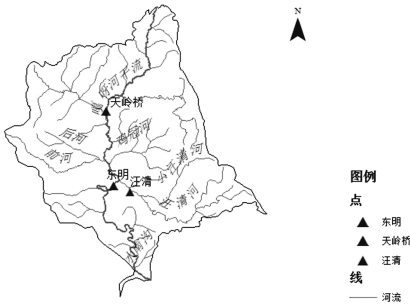


图 1 嘎呀河流域图

2 研究数据与方法

本文采用的研究数据来源于延边州水利局,为 1956—2015 年嘎呀河干流天桥岭、东明、汪清 3 个水文站的年径流量数据. 采用参数统计法、非参数统计法和小波分析对该流域水文序列变异进行综合诊断.

参数统计法采用累积距平法、滑动 T 检验法分别对嘎呀河年径流量变化趋势和突变时间进行分析^[8]. 累积距平法是根据嘎呀河流域年径流量累积距平值的分布情况,判断年径流的变化趋势. 累积距平值增大,曲线呈现上升趋势,反之则呈下降趋势,以此初步判断突变时间. 滑动 T 检验法是假设突变时间为变异点 f ,将变异点前后两序列总体的分布设为函数 $F_1(x)$ 和 $F_2(x)$,然后从其中分别抽取容量为 n_1 和 n_2 的两个样本构造 T 统计量,为

$$T = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)^{1/2}}, \quad (1)$$

式中 \bar{x}_i 和 S_i 为样本均值和方差, T 始终满足 $t(n_1 + n_2 - 2)$. 在信度水平 T 的情况下,当 $|T| > t^{T/2}$ 时,说明其存在显著性差异;当 $|T| < t^{T/2}$ 时,则接受原假设. 对于满足 $|T| > t^{T/2}$ 所有可能的点 f ,选择使 T 统计量达到最大值的点,作为所求的可能变异点 f_0 ^[9].

Pettitt 检验法是用于检验突变点的一种非参数统计法,该方法是在序列存在趋势性变化的前提下,通过检验时间序列要素的均值变化来确定序列跃变时间的^[10-11]. Pettitt 检验法是直接利用秩序列来检验突变点的,即若 t_0 时刻满足 $k_{t_0} = \max |s_k|$, $k=2, 3, \dots, n$ 时, k 为序列数, t_0 点处为突变点. 计算统计量 $P = 2 \exp[-6k_{t_0}^2(n^3 + n^2)]$,若 $P \leq 0.05$,则认为 t 点为显著变异点,由此检验出序列的一级变点;而后以一级变点为界,将原序列分为两个序列继续检测新的变点,由此检验出多级变点;最后根据具体成因分析,确定序列 $x(t)$ 变异点^[12-13].

小波分析能反映时间序列的内在结构和局部变化特征,分辨时间序列在不同尺度上的演变特征^[13]. 任意函数的对称小波变换是将该函数与平滑函数进行卷积运算,然后对时间求二阶导数;函数二阶导数为零时是原函数函数拐点,此拐点可作为可能的变异点^[14]. 连续小波变换系数为:

$$W_x(a, b) = |a|^2 \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \bar{\varphi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (2)$$

式中: $\varphi(t)$ 为母小波函数,连续可微; $\bar{\varphi}(t)$ 为 $\varphi(t)$ 的复共轭函数; $W_x(a, b)$ 为小波变换系数; a 为尺度因子; b 为时间平移因子. 若小波函数在区间内满足连续可微,则 $|W_x(a, b)| \leq ka^a$; 若将尺度因子 a 以二进制离散化,即 $a = 2^j$, 则有 $|W_x(a, b)| \leq k2^j$, 其中 j 为小波变换尺度特征, k 为常数. 由此可将小波变换与李氏指数联系起来,即小波变换系数及模极大值将随尺度特征 j 或李氏指数 a 的变化而变化^[15].

3 结果分析与讨论

3.1 突变分析

3.1.1 累积距平 将嘎呀河流域 1956—2015 年的年径流数据代入公式(1)进行计算,判断嘎呀河流域年径流的变化趋势,并绘制累积距平曲线,结

果如图 2 所示. 图 2 表明:嘎呀河流域 1956—2015 年的累积距平总体呈波动下降趋势,其中 1956—1966 年为上升趋势,1966—1985 年为下降趋势,1986—2002 年的累积距平为波动上升的趋势,2003—2012 年为下降趋势. 嘎呀河流域的年径流变化趋势突变点分别为 1966、1985、1995、1999、2002、2009、2012 年.

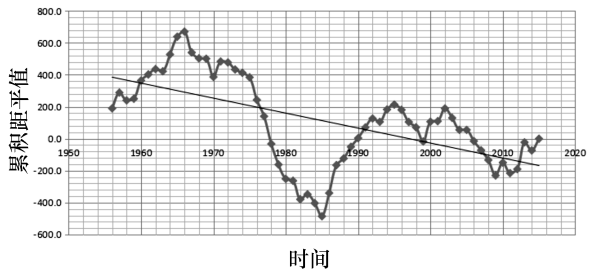


图 2 累积距平图

3.1.2 滑动 T 检验 首先选择步长 10 作为第 1 次检测,在 0.01 显著性水平的情况下, T 值为 2.878,如图 3 a 所示. 图 3 a 中折线的部分表示水文序列,折线不在 $(-2.878, 2.878)$ 范围内的年份为 1980—1986 年和 1995 年. 由此可知,嘎呀河流域径流突变的年份可能在 1980—1986 年间和 1995 年. 其次,选择步长为 5 进行检验,结果如图 3 b 所示. 由图 3 b 可知,突变年份可能为 1975 年和 1985 年.

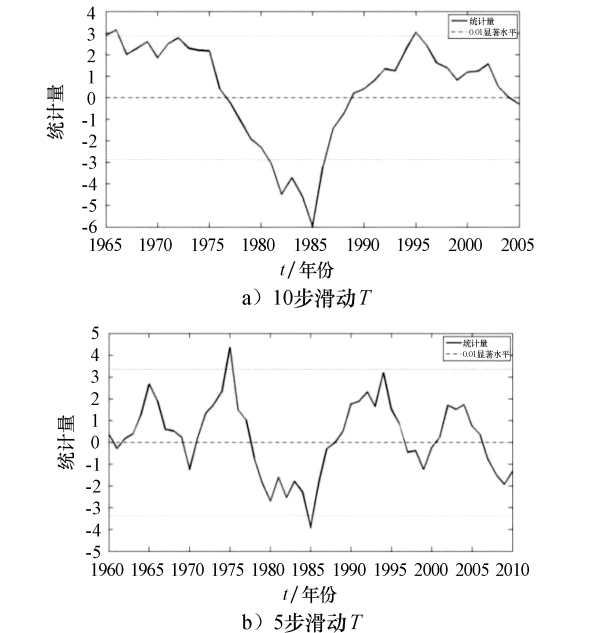


图 3 滑动 T 检验图

3.2 Pettitt 检验

通过 Pettitt 检验法对嘎呀河流域水文序列进行分级检验,结果如图 4 所示. 图像中垂线所对应的点即为突变点,分别为 1966、1985、2002、2012 年.

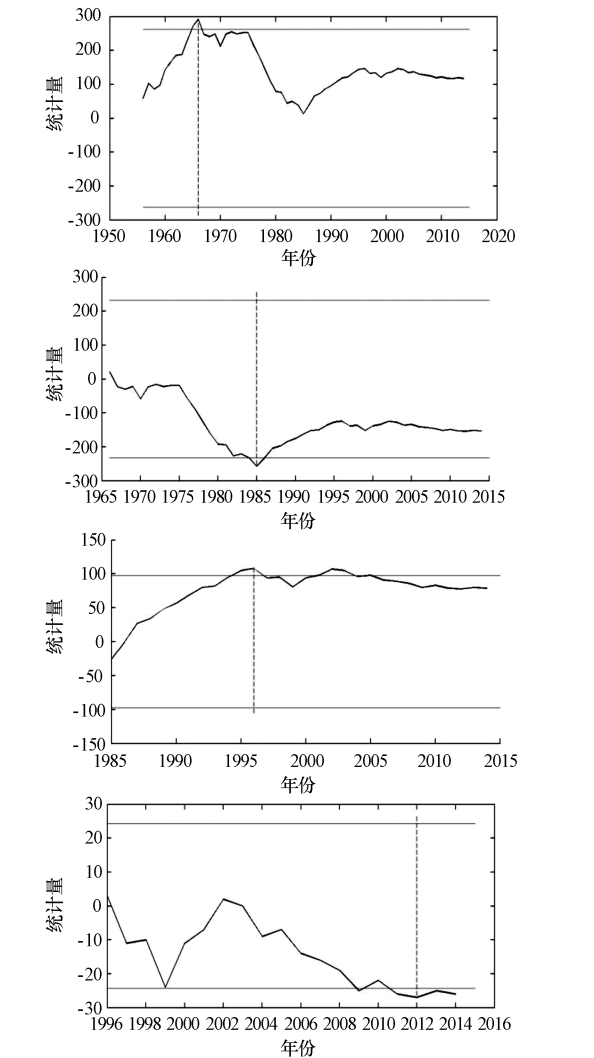


图 4 Pettitt 检验图

累积距平法、滑动 T 检验法、Pettitt 检验法分析突变的结果如表 1 所示. 根据表 1,可确定 1985、1995、2002、2012 年为嘎呀河流域水文序列的突变点,即突变年份.

表 1 突变检验统计表

检验方法	发生突变的年份
累积距平法	1966,1985,1995,1999,2002,2012
滑动 T 检验(10)	1980—1986,1995
滑动 T 检验(5)	1975,1985
Pettitt 法	1966,1985,2002,2012

3.3 小波检验及反演预测

将嘎呀河流域 1956—2015 年的年径流数据代入公式(2)进行小波分析与计算,并绘制小波系数的模平方图,如图 5 所示.由图 5 可知,水文序列小波变换有 2 个最强的震动中心,分别为 1985—2015 年和 1965—2015 年,其周期分别为 5 年和 25 年,但周期 25 年未能够通过显著性检验,因此嘎呀河流域水文序列的周期为 5 年.

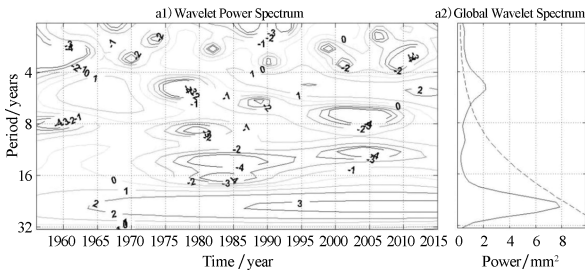


图 5 小波系数的模平方图

对 5 年周期进行反演预测,推测水文序列后续周期的情况,并通过 Matlab 绘制反演预测图,如图 6 所示.图中的心电图状曲线为原始序列,波浪状的曲线为预测序列.由图可以看出,两曲线波动周期均为 5 年,符合小波检测的结果.

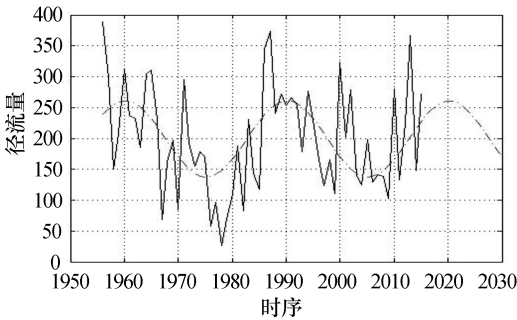


图 6 反演预测图

4 结束语

本文采用水文序列变异综合诊断的方法,对嘎呀河流域水文时间序列进行分析,结果表明:①嘎呀河流域水文序列存在突变;②突变年份为 1985、1995、2002、2012 年;③通过小波检验和反演预测表明,嘎呀河流域水文序列突变的周期为 5 年.本文所得结果与流域实际调查情况相吻合,说明本文方法可靠、准确,可为其他流域的水文研

究提供借鉴.由于河流流域内人类活动的影响,如水利工程的建设、农田水利设施的修建等都会使流域内的水文序列发生很大变化,因此在今后的研究过程中,将进一步研究人类活动对嘎呀河流域径流的影响,以期得到更为准确的研究结果.

参考文献:

[1] 马静,陈广圣.图们江流域径流序列变异诊断[J].吉林水利,2014(4):35-37.

[2] 徐万玲,秦雷,熊琪,等.图们江干流上、中、下游径流演变规律[J].延边大学农学学报,2013,35(2):93-97.

[3] 徐万玲,朱卫红,张健,等.基于洛仑兹曲线的图们江干流区间径流分布不均匀性分析[J].水土保持通报,2015,35(1):128-132.

[4] 金成浩,韩京龙.基于 Mann-Kendall 检验的嘎呀河流域降水变化趋势及突变分析[J].吉林水利,2013(12):62-66.

[5] 金哲,金海龙,朴明世,等.嘎呀河水资源现状分析[J].东北水利水电,2010,28(11):35-36.

[6] 张丹蓉,郭勉辰,夏冬梅,等.海流兔河径流量年内分配及变化趋势分析[J].水文,2013,33(3):85-90.

[7] 延边朝鲜族自治州水利志[Z].延吉:延边朝鲜族自治州水利局,2010.

[8] 张应华,宋献方.水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J].干旱区地理,2015,38(4):652-665.

[9] 雷红富,谢平,陈广才,等.水文序列变异点检验方法的性能比较分析[J].水电能源科学,2007(4):36-40.

[10] Weber K, Stewart M. A critical analysis of the cumulative rainfall departure concept[J]. Ground Water, 2004,42(6):935-938.

[11] Pettitt A N. A non-parametric approach to the change-point problem[J]. Applied Statistics, 1979, 28(2):126-135.

[12] 张晓萍,张檐,王勇,等.黄河中游地区年径流对土地利用变化时空响应分析[J].中国水土保持科学,2009,7(1):19-26.

[13] 肖丽英,周翔,彭勇文.鄱阳湖流域径流序列多种变异检测方法的比较[J].南昌工程学院学报,2016,35(6):85-89.

[14] 周园园,师长兴,范小黎,等.国内水文序列变异点分析方法及在各流域应用研究进展[J].地理科学进展,2011,30(11):1361-1369.

[15] 桑燕芳,王中根,刘昌明.小波分析方法在水文学研究中的应用现状及展望[J].地理科学进展,2013,32(9):1413-1422.