

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.04.016

洮儿河下游区域径流演变规律研究

刘建卫¹, 张慧哲¹, 李 想²

(1. 大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 黑龙江农垦勘测设计研究院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 我国北方水资源供需矛盾突出, 洪水资源利用成为缓解水资源短缺的有效途径。为了减少洪水资源利用风险, 提高洪水资源利用效益, 以洮儿河下游区域为研究对象, 分别利用回归分析、Spearman秩次相关检验法、Kendall秩次相关检验法、M-K法、滑动 t 检验法、小波分析对区域的干支流年径流趋势、突变和多时间尺度特征进行了对比分析和干支年径流变化规律研究。结果表明, 区域支流年径流系列下降趋势较干流明显; 干支流的突变时间存在不一致性, 支流的突变点为1972年、1984年、1999年, 干流的突变点为1964年、1983年、1999年; 干支流的主周期存在差异性, 分别为22 a、11 a、7 a、4 a与14 a、20 a、9 a、7 a。通过对洮儿河下游区域干支流年径流演变规律进行研究, 为未来径流趋势合理预测提供了技术支持, 并对区域洪水资源利用具有一定的指导意义。

关键词: 洪水资源利用; 洮儿河; Morlet小波分析; 多时间尺度; 演变规律

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)04-0080-06

Study on the Law of Runoff Variation in the Lower Region of Taoerhe River

LIU Jianwei¹, ZHANG Huizhe¹, LI Xiang²

(1. School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China;

2. Heilongjiang Agricultural Reclamation Survey Design and Research Institute, Harbin, Heilongjiang 150090, China)

Abstract: The contradiction between supply and demand of water resources is serious in north China and floodwater utilization has become an effective way to alleviate water shortages. To reduce the risk of floodwater utilization and improve its efficiency, the downstream region of Taoerhe river basin was taken as an example. The methods of regression analysis, Spearman rank correlation test, Kendall rank correlation test, Man-Kendall trend test, moving t test and wavelet analysis were used respectively to study the annual runoff of the main stream and the tributary. Its trend, mutations, multiple time scales and variation law were analyzed and compared. The results showed that the runoff of the tributary showed more significant downward trend than that of the main stream. The main stream abruptly changed in 1964, 1983 and 1999, while the tributary abruptly changed in 1972, 1984 and 1999. The main periods of the trunk were 22 a, 11 a, 7 a, 4 a which were different from that of the tributary of 14 a, 20 a, 9 a, 7 a. The law study of the annual runoff can offer some technical support for the future annual runoff prediction and some guidance for the use of flood water resources.

Keywords: floodwater utilization; Taoerhe; Morlet wavelet analysis; multiple time scales; evolution law

近几十年来, 由于气候变化和人类活动的影响, 北方地区的径流呈减少趋势^[1]。随着社会经济的发展, 人们对水的需求量越来越大, 水资源供需矛盾突出。加快非常规水资源的利用成为缓解我国水资源短缺的有效途径^[2]。洪水资源利用是一个复杂的系统问题, 许士国^[3]等提出了洪水资源利用开发的原

则与规划设计、预案制定与实施管理系统。然而制定科学合理的洪水资源利用规划, 减少洪水资源利用风险, 提高洪水资源利用效益, 需准确把握当地的水文、水资源状况; 而径流预报, 尤其是中长期径流预报工作是制定洪水资源利用预案的重要部分。加强对区域径流演变规律的研究, 有助于了解当地水

收稿日期: 2015-03-10

修稿日期: 2015-04-07

基金项目: 国家自然科学基金(51209030); 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室基金资助项目(2011490711)

作者简介: 张慧哲(1988—), 女, 河北邢台人, 硕士研究生, 研究方向为洪水资源利用。E-mail: zhanghuizhe@mail.dlut.edu.cn

通讯作者: 刘建卫(1978—), 男, 河北深州人, 博士研究生, 讲师, 主要从事洪水资源利用与管理方向的研究。E-mail: jwliu@dlut.edu.cn

文、水资源状况,可为流域径流的中长期预报提供背景分析依据,也可为洪水资源利用规划的制定提供技术支撑。徐东霞^[4]等针对嫩江流域近 50 年的径流资料进行了径流演变及其影响因素的分析,并对嫩江流域的多时间尺度特征进行了专门的研究^[5],李鸿雁等^[6]分别从空间和时间尺度上对嫩江流域径流演变规律进行了分析,张艳红、姜德娟^[7-8]等对洮儿河中上游河流径流变化趋势进行了特征分析。但 这些研究都缺乏对洮儿河下游区域径流演变规律以及多时间尺度周期的研究,本文通过对洮儿河下游区域干流与支流径流演变特征进行对比研究,以有效地指导洮儿河下游区域洪水资源规划和预案工作。

1 研究区概况和方法

1.1 研究区概况

洮儿河流域位于吉林省西北部,流域面积 25 692 km²,属于干旱、半干旱地区。洮儿河是嫩江最大的支流(图 1),在洮儿河与嫩江的交汇处,建有月亮泡水库,洮儿河的水通过水库泄入嫩江。嫩江洪水一般在八月份以后形成,往往流量较大,持续时间较长,而洮儿河洪水流量小,历时较短(图 2)。

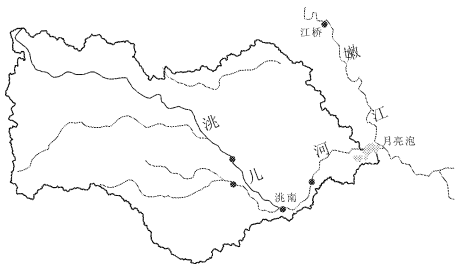


图 1 洮儿河流域水系

1.2 研究方法

对洮儿河下游区域支流和干流的趋势性、突变

性和周期性进行了对比分析。其中,趋势性识别采用线性回归法、Spearman 秩次相关检验法^[9]和 Kendall 秩次相关检验法。线性回归法是目前趋势分析中最常用的方法,Kendall 秩次相关检验法是世界气象组织(WMO)推荐的趋势性识别方法^[10];突变性分析采用 Mann - Kendall (M - K) 趋势检验法^[11-12],由于 M - K 法对临界线间有多个交点的时候,检验结果没那么灵验,所以结合滑动 *t* 检验法对 M - K 法的检验结果进行验证;周期性分析采用复值 Morlet 小波法^[13],同时为了减少径流序列中季节变化及短期噪声的干扰,也有利于两者的对比分析,在采用小波分析时,对两水文站的年径流量序列进行了标准化处理。

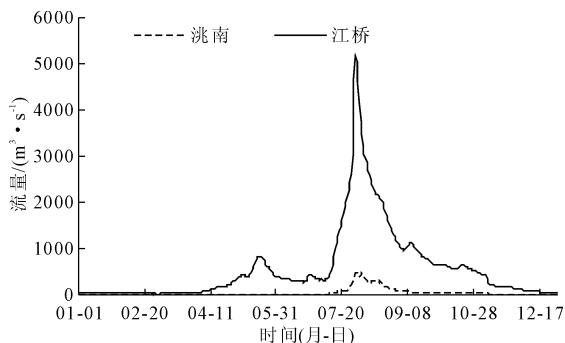


图 2 嫩江(江桥)与洮儿河(洮南)年流量对比过程(1965 年)

2 结果分析

2.1 趋势性

由洮南水文站和江桥水文站 1956 年—2008 年径流变化曲线图(图 3)可以看出,两者的年径流量在波动中都呈减少的趋势。其中洮南站和江桥站近 53 年年均径流量分别下降了 9.38 亿 m³ 和 78.65 亿 m³,各占其多年年平均径流量的 82% 和 38%,洮南站年径流量的下降趋势更为明显。

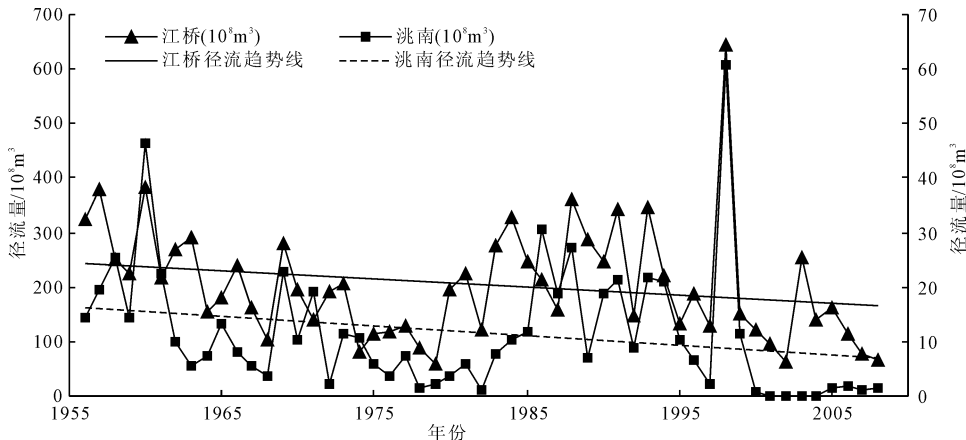


图 3 洮南站与江桥站年径流变化趋势图

Spearman 秩次相关检验法和 Kendall 秩次相关检验法检验结果(表 1)表明,洮南站和江桥站分别通过了 $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,下降趋势均为显著;且两种方法得到的洮南站统计量的绝对值较江桥站大,说明同等条件下,洮南站年径流的下降趋势更为明显。这与回归分析的判定结果一致。

表 1 洮南站与江桥站 1956 年—2008 年年径流变化趋势

河流名称	代表站	径流量变化率 ($\text{亿 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	Spearman 统计量 $ t $	Kendall's τ_{-b}	趋势性
洮儿河	洮南	-0.177	3.24**	-0.288**	显著
嫩江	江桥	-1.484	2.45*	-0.229*	显著

注: * 表示通过了 0.05 的显著性检验, ** 表示通过了 0.01 的显著性检验。

由图 3 和表 1 可知,洮儿河下游区域以洮南站为代表的洮儿河与以江桥站为代表的嫩江的年径流都呈下降趋势,洮儿河区域径流的变化主要受气候变化和人类活动的影响^[4,14],近几十年来,气温显著

升高,降水减少,加上中下游工农业用水增加,导致了区域径流的减少。年径流趋势的下降和用水需求的增长加剧了区域的用水紧张问题。而江桥站的下降趋势没有洮南站明显,其在洪水量级上的优势,为区域支流引用干流洪水径流提供了可能性,加强洪水资源的利用成为区域以后的用水方向。

2.2 突变性

利用 M-K 趋势检验法对洮儿河流域下游的年径流变化趋势进行检验,检验结果见图 4。由图 4 可看出,(1) 洮南站年径流在两临界线 $\alpha = 0.05$ 之间共有多次交点,其中前几次分别发生在 1966 年、1969 年—1972 年,另一次突变发生在 1999 年,在临界线之外 1984 年有一个交点。1967 年—1969 年与 1975 年—1987 年 UF_k 超过临界线,下降趋势明显。(2) 江桥站在两临界线之间共有四次交点,分别位于 1964 年、2000 年、2002 年、2006 年,在临界线之外 1983 年有一交点。1967 年—1987 年 UF_k 线超过下临界线,年径流下降趋势明显。

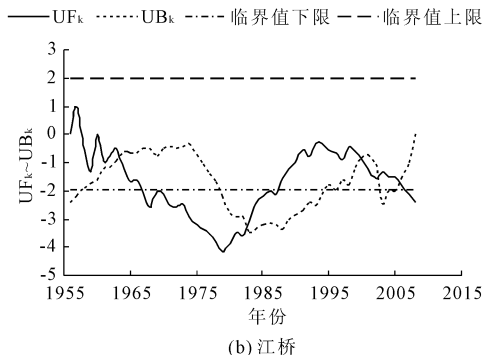
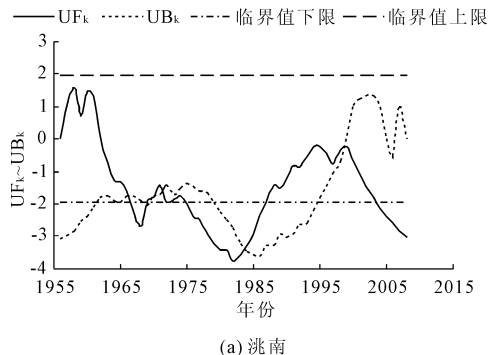


图 4 M-K 秩次相关检验结果

应用滑动 t 检验法分别得到洮南站与江桥站的年径流变化的突变点,检验结果见图 5。对比两种

检验方法得到的结果,得到最终干支流的突变点(表 2)。

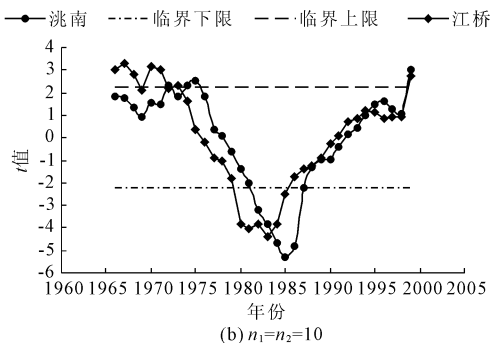
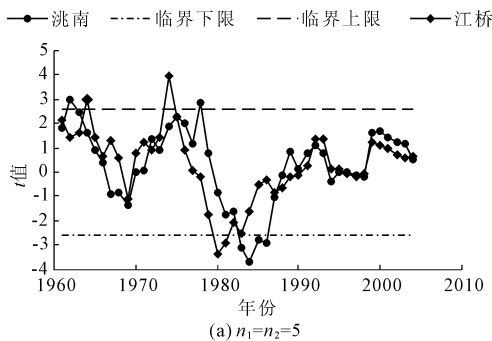


图 5 滑动 t 检验法突变点检测

表 2 表明干支流的突变点比较相似,但江桥站年径流发生突变的年份稍早于洮南站,如洮南站在 1972 年发生减少突变,而江桥站则在 1964 年发生减

少突变。两站径流突变发生的不一致性说明,年径流的突变除了与更大尺度的气候变化引起的局部地理环境的改变有关,还与人类活动有密切关系。经

调查,全流域的降水经历了从 20 世纪 60 年代到 70 年代的减少,70 年代到 80 年代的增加,90 年代以后又减少的过程,和径流发生突变的趋势一致;此外,受政策因素和资源管理上的时代特点^[15],在 60 年

代左右,滥砍滥伐现象严重,且自 20 世纪 50 年代开始,流域上先后建立了一些水库和引水工程,水利工程的建立,改变了区域径流的时空分布。

表 2 洮南站在江桥站年径流突变点

测站名称	M-K 法径流突变点	滑动 t 检验法径流突变点		综合分析结果
		步长 5 a	步长 10 a	
洮南	1966、1969—1972、1984、1999	1962、1978、1983—1986	1972、1974—1975、1982—1986、1999	1972、1984、1999
江桥	1964、1983、2000、2002、2006	1964、1974、1980—1981	1966—1968、1970—1972、1980—1985、1999	1964、1983、1999

2.3 周期性

2.3.1 主周期分析

图 6 为基于 Matlab2009 环境下的洮南站在江桥站的 Morlet 小波变换实部等值线图,从图 6 中可以看出洮南站在江桥站的年径流量呈现出不同尺度的周期变化。以 1985 年为界,得出 1956 年—1985 年与 1986 年—2008 年的时段小波方差图(图 7),结果显示在整个时期洮南站在江桥站(除 4 a 尺度外)小波方差值相当。结合图 7,对图 6 识别出来的周期作进一步判断。其中:(1) 洮南站在江桥站 53 a 的年径流系列中都存在 4 个明显的特征时间尺度,洮南站在主周期从强到弱依次为 14 a、20 a、9 a 与 7 a,江

桥站主周期从强到弱依次为 7 a、11 a、22 a、4 a;(2) 洮南站在 20 a 左右的时间尺度的周期变化贯穿整个分析时期,且其震荡中心一直在下降,80 年代中后期之前以 25 a 左右特征时间尺度为主,80 年代中后期之后下降为 16 a 左右特征时间尺度。14 a 和 7 a 特征时间尺度的周期变化在 70 年代之前和 80 年代中后期以来比较明显,9 a 特征时间尺度在 80 年代中后期开始变化明显,具有局部性;(3) 江桥站 22 a 与 4 a 特征时间尺度的周期变化在 53 a 以来一直很明显,11 a 和 7 a 时间尺度的周期变化从 20 世纪 80 年代中后期开始变化明显。

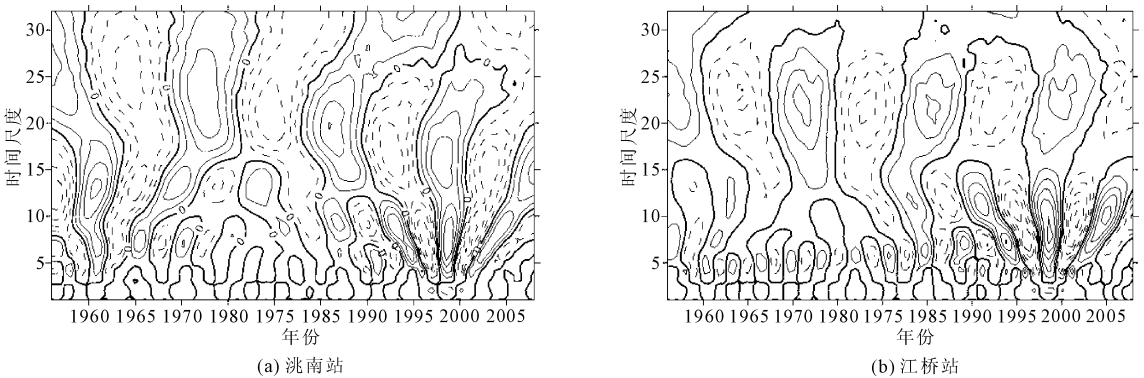


图 6 洮南站在江桥站年径流实部等值线图

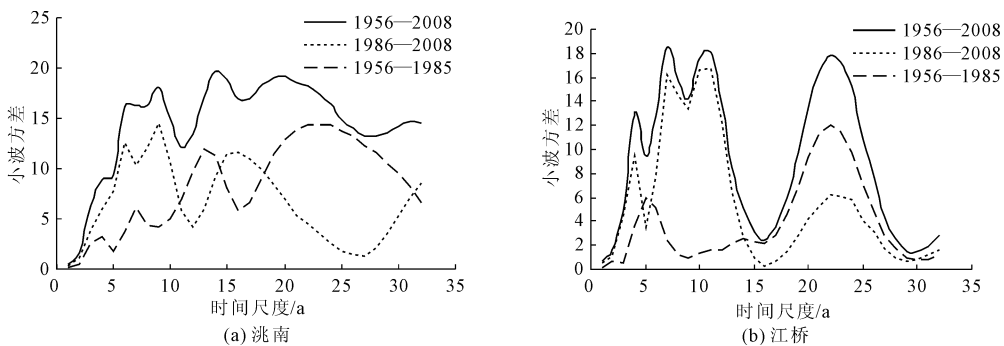


图 7 小波方差分布

结合图 6 和图 7, 得出各时期的干支流序列的主周期(表 3)。由表 3 可以看出, 1985 年之前, 两河的第一主周期相似, 为 22 a 时间尺度左右, 第二主周期洮南站为 13 a, 江桥站为 5 a, 洮南站的第二主周期大于嫩江江桥站, 说明洮南站主要以大尺度的时间周期控制流域径流的变动, 并且周期变动较

嫩江复杂。1986 年—2008 年间, 流域中小尺度时间周期突出, 江桥站第一二主周期稍大于洮南站, 分别为 11 a、7 a。可能由于近几十年来, 流域的土地利用活动改变了区域地表性质, 进而改变了流域水文过程, 导致了流域洪水更加频繁的发生, 使得小时间尺度周期突出。

表 3 洮南站与江桥站径流序列主要周期的时间尺度

年份	支流	不同主周期次序时间尺度/a				年份	干流	不同主周期次序时间尺度/a			
		1	2	3	4			1	2	3	4
1956—1985	洮儿河 (洮南)	23	13	7	4	1956—1985	嫩江 (江桥)	22	5		
1986—2008		9	6	16		1986—2008		11	7	4	22
1956—2008		14	20	9	7	1956—2008		7	11	22	4

2.3.2 相同尺度下的径流对比分析

通过对两站年径流系列的周期分析, 可以得出两站的年径流存在多时间尺度变化周期特征, 由两站年径流的趋势变化图(图 3)可以直观地看出, 两

站的年径流变化趋势比较一致, 下面通过小波分析结构对比图来分析两站相同尺度下的年径流的变化情况, 以小波系数实部大于零为丰水期, 小于零为枯水期, 见图 8。

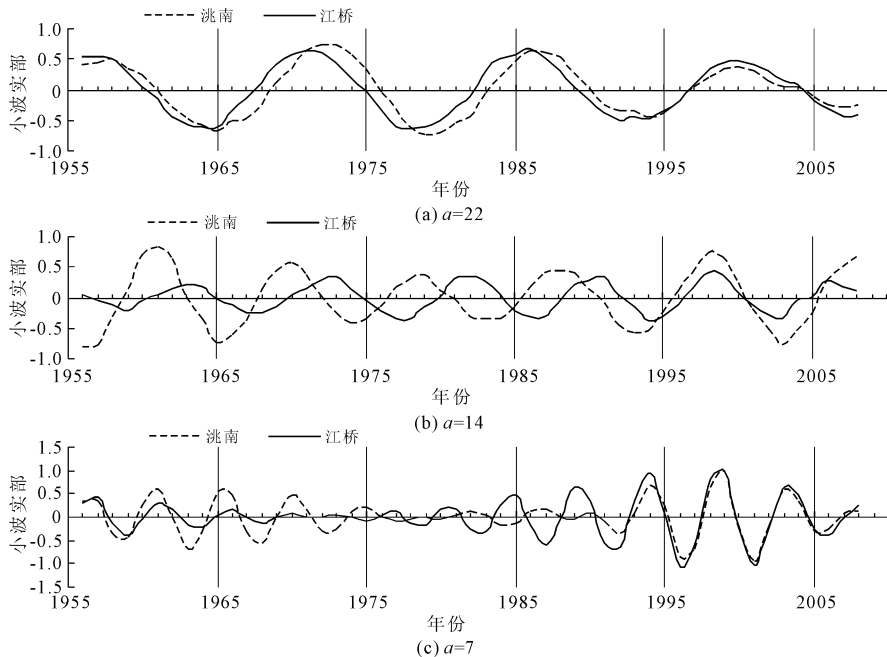


图 8 不同时间尺度下洮南站与江桥站年径流变化对比

从图 8 中可以看出, 在 22 a 的大时间尺度上, 两者的变化趋势总体一致, 径流的平均变化周期为 14.5 a 左右。干支流径流的丰枯也较为一致, 可以指导阶段性洪水资源规划的制定, 同时根据径流的丰枯周期, 合理调整人们生活和工农业生产用水, 将会大大减少洪水和干旱等自然灾害的威胁。干支流在 14 a 与 7 a 的中小时间尺度上, 尤以 90 年代末开始, 径流变化趋势一致, 可以利用小尺度上由丰转枯的突变年份(例如 1995 年), 抓住丰水年的有利时

机, 调用区域一切可利用的洪水资源(包括主动利用蓄滞洪区), 在不对区域生产、生活、生态安全构成威胁的前提下, 最大能力蓄存洪水, 以缓解后期连续枯水年造成的干旱问题, 对洪水资源在年际间进行合理的配置。

在 7 a 的小时间尺度上, 1960 年、1998 年两年历史径流最大的年份被很好地拟合在小波分析的小尺度周期变化的丰水期中。此外, 由图 6 可知, 10 a 局部的特征时间尺度震动强烈, 至 2010 年, 两站年径

流都处于枯水周期中,即2009年—2010年处于大尺度枯水期下的小尺度枯水周期年径流表现为枯。根据白城市水资源公报,2009年—2010年洮南的年径流量分别为0.0258亿 m^3 、0.3271亿 m^3 (多年平均为11.48亿 m^3),嫩江大赉站的年径流量分别为148.4亿 m^3 、130.6亿 m^3 (多年平均为209.2亿 m^3),两河径流都处于偏枯状态,与小波分析预测结果一致。干支流都枯的年份,应抓住汛期的有利时期,从干流引取洪水资源。这些研究为洪水资源预案准备提供了背景条件,与流域中长期预报相结合,可减少洪水资源利用的风险。

由图8可看出干支流径流尤以70年代初至80年代末,丰枯变化规律呈现不一致性,这与M-K突变检验得到的两河径流下降趋势显著的区间一致,说明人类活动可能对径流的中小时间尺度周期变化规律造成影响。

3 结 论

选取洮南与江桥近53年的年径流资料,分析了洮儿河下游区域干支流年径流的演变规律以期为洪水资源的利用提供理论依据和背景支持。结论如下:

(1) 洮儿河下游区域支流年径流的下降趋势比干流明显,而干流在洪水量级上的优势,为区域引用干流洪水径流提供了可能性,加强洪水资源的利用成为区域以后的用水方向。

(2) 干支流年径流的主周期不一致,并且干支流的变化具有阶段性特征。利用干支流不同尺度的径流变化规律,可以为洪水资源化提供理论依据。

(3) 干支流的突变点发生时间不一致,支流晚于干流。说明年径流除了与大尺度上的气候变化引起的局部地理环境的改变有关,还与人类的活动有关。对于径流突变与时段人类活动和气候变化的关系,以及人类活动对径流中小尺度周期的影响问题还待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张建云,贺瑞敏,齐晶,等.关于中国北方水资源问题的再认识[J].水科学进展,2013,24(3):303-310.
- [2] 张岳.加快非常规水资源的开发利用[J].水利发展研究,2013,13(1):13-16.
- [3] 许士国,刘建卫,张柏良.洪水资源利用及其风险管理研究[J].水力发电,2007,33(1):10-13.
- [4] 徐东霞,章光新,尹雄锐.近50年嫩江流域径流变化及影响因素分析[J].水科学进展,2009,20(3):416-421.
- [5] 徐东霞,章光新,冯夏清.嫩江流域径流量多时间尺度特征分析[J].资源科学,2009,31(9):1592-1598.
- [6] 李鸿雁,田琪,王小军,等.嫩江流域径流时空演化规律分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2014,44(4):1282-1289.
- [7] 张艳红,张树文.洮儿河上游径流时序变化特征分析[J].水文,2009,29(6):46-49.
- [8] 姜德娟,李丽娟,侯西勇,等.洮儿河流域中上游水循环要素变化及其原因[J].地理研究,2009,28(1):55-64,275.
- [9] 许全喜,石国钰,陈泽方.长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析[J].水科学进展,2004,15(4):420-426.
- [10] 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.
- [11] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.
- [12] 贺天忠,潘刚,吴涛,等.高关水库流域降雨变化趋势分析[J].水利与建筑工程学报,2013,11(5):204-206.
- [13] 王文圣,丁晶,向红莲.水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法[J].四川大学学报:工程科学版,2002,34(6):14-17.
- [14] 尹雄锐,王晓妮,侯琳,等.洮儿河流域水文气象要素变化趋势分析[J].东北水利水电,2012,30(1):45-47,72.
- [15] 张艳红,张树文,刘兆礼.洮儿河上游地区近50年土地利用演化过程分析[J].资源科学,2006,28(5):62-67.