

基于线性分解时序方法的径流序列长度影响研究

于延胜¹, 陈兴伟¹, 徐宗学²

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 北京师范大学 水科学研究院, 北京 100875)

摘要: 应用线性分解时间序列分析方法揭示径流序列特征的成果较多, 但很少涉及序列长度对径流线性分解结果的影响问题。利用闽江流域竹岐站年径流和松花江流域白山水库入库年径流近 70 a 的径流序列对此进行了探讨。将约 70 a 的径流资料分成各相差 5 a 的 6 种不同径流序列进行分解, 结果表明, 序列长度对径流序列线性分解的结果有十分明显的影响, 调整序列长度导致径流的趋势、跳跃和周期等特征产生变化, 且没有明显的规律性。因此, 径流时间序列分析要选取合理的序列长度, 且合理的序列长度可能与时间尺度有关。

关键词: 序列长度; 线性分解; 径流; 闽江; 松花江

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2009)04-0106-04

中图分类号: P338+.2

Effects of Time Series Length on Runoff Characteristics by Using Linear Decomposition Method

YU Yan-sheng¹, CHEN Xing-wei¹, XU Zong-xue²

(1. College of Geography Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China;

2. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Linear decomposition time series analysis has become one of useful tools to investigate runoff characteristics, but how the sequence length affects the results of linear decomposition has not yet been studied in detail. In this paper, the runoff time series at Zhuqi station of the Minjiang River and the inflow time series at Baishan reservoir of Songhuajiang River are selected to investigate the effects of time series length on runoff characteristics. Six sequence lengths are selected according to the available runoff time series over 70 years, and the linear decomposition for different length is conducted. Results show that the characteristics of runoff, such as shift trend, jump change, and periods have been affected obviously by sequence length. It is suggested that the reasonable sequence length is necessary to conduct linear decomposition and reasonable sequence length may be correlated with the time scale of time series.

Keywords: sequence length; linear decomposition; runoff; Minjiang River; Songhuajiang River

径流是地球表面水循环过程中的重要环节,也是水资源的主要来源之一,影响着人类的生产和生活,因此,对径流过程的研究有十分重要的意义。然而径流受到自然因素和人类活动的影响,表现出复杂、不确定性和非线性特征。因此,用不同的方法探讨径流特征和规律一直是水文研究的热点^[1-3]。线性分解时间序列分析方法是研究不确定性和非线性问题的重要方法之一^[4],它可以揭示出时间序列趋势、跳跃和周期等特征而被广泛应用在降雨、径流等水文时间序列中。覃

基爱等^[5]利用了 100 a 左右的序列长度,分析了长江流域宜昌站径流序列的各种特征,发现了趋势与跳跃不能共存的特征,并侧重从物理机制探讨了不能共存的原因;王钧等^[6]分别用 62 a 和 47 a 的序列长度,分析了黑河流域不同支流的径流特征;韩添丁和刘昌明等^[7-8]采用 40 a 的序列长度分别分析了黄河流域上游和干流断流时的径流特征。曹建廷^[9]利用长江源区 45 a 径流序列分析了该区的径流特征。上述研究中,多数作者主要是基于现有的水文序列长度,这一序列长度

收稿日期: 2008-11-16

修回日期: 2009-02-23

资助项目: 教育部科学技术重点项目(207054); 福建省教育厅 A 类(重点)科技项目(JA06007); 福建师范大学地理科学学院研究生创新基金资助项目[2008]

作者简介: 于延胜(1983-),男(汉),四川省宣汉县人,硕士研究生。主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: yujinhuei1018@126.com。

通信作者: 陈兴伟(1963-),男(汉),福建省福鼎市人,教授,博士生导师,主要研究方向为水资源与水环境。E-mail: cxwchen215@163.com。

对有关的计算成果是否有影响、影响会多大等问题尚没有得到足够的重视。因此,本研究试图以闽江流域竹岐站年径流和松花江流域白山水库入库年径流近70 a 资料为研究对象,利用线性分解时间序列分析方法,探讨序列长度对径流线性分解的影响。

1 线性分解时间序列模型简介

线性分解时间序列模型^[4]的表达式为:

$$X_t = T_t + J_t + P_t + S_t \quad (1)$$

式中: X_t ——原时间序列; T_t ——代表趋势项; J_t ——代表跳跃项; P_t ——代表周期项; S_t ——代表随机项。各种成分的分析方法参考文献[4]。

2 研究方法和流域概况

2.1 研究方法

分别以我国东南沿海的闽江流域下游竹岐站年径流(1936—2004年)和东北松花江流域上游的白山水库入库年径流^[10](1933—2000年)近70 a 资料,对径流的趋势、跳跃和周期等确定成分进行研究。两流域地理位置差异较大,气候与下垫面条件完全不同,且径流序列长度都较长,因此有一定的代表性。

为了研究不同序列长度对结果的影响,在两地已有较长的序列的基础上,可以选择不同序列长度。本文的选择方法是,以40 a 左右的序列长度为基准,然后每次依次增加5 a,从而构成不同时间序列。其中,闽江流域竹岐站年径流序列以1936—1979年为基准,分别构成1936—1979年、1936—1984年、1936—

1989年等6种时间序列。同样,松花江流域白山水库入库年径流序列分别构成1933—1975年,1933—1980年、1933—1985年等6种时间序列。

2.2 闽江流域概况

闽江流域位于 $116^{\circ} 23' - 119^{\circ} 35' E$, $25^{\circ} 23' - 28^{\circ} 16' N$,是东南沿海最大的河流,发源于武夷山脉,流经38个县市,最后汇入东海,地处亚热带季风气候区,全长541 km,流域面积为 $60\ 992\ km^2$,其中,福建省境内面积为 $59\ 922\ km^2$,占流域面积的98.2%。闽江流域径流十分丰富,流域面积比闽江大11倍多的黄河,水量却只及闽江的92%,多年平均流量 $1\ 980\ m^3/s$ 。闽江流域竹岐站位于闽江下游,控制流域面积 $54\ 500\ km^2$,占整个流域面积的89.6%。

2.3 白山水库流域概况

白山水库坐落在长白山脚下,第二松花江上游,位于头道松花江与二道松花江汇合口以下12 km,吉林省桦甸县和靖宇县交界处,是一座以发电为主,兼有防洪、养殖等综合利用的大型水利工程。白山水库流域面积 $19\ 000\ km^2$,地处高寒山区,属温带大陆性季风气候,多年平均降水量为749.9 mm,多年入库平均流量为 $239\ m^3/s$ 。

3 径流线性分解结果及其分析

3.1 闽江流域竹岐站径流6种时间序列结果及其分析

3.1.1 闽江流域竹岐站径流6种时间序列分解结果

对上述6种时间序列,应用线性分解时间序列方法进行分析,所得结果如表1所示。

表1 闽江流域竹岐站径流6种时间序列计算结果

序列	趋势项	跳跃项	周期项	
	($U_{0.05/2} = 1.96$)	($U_{0.05/2} = 1.96$)	有谐波数	周期(a)
I. 1936—1979年	$U = -2.23, T_t = 1996.2 - 10.1t$	$U = 1.39$, 无跳跃点	2	16(主周期), 18
II. 1936—1984年	$U = -1.83$, 无显著趋势	$U = 3.07$, 跳跃点在1954年	3	20(主周期), 17, 2
III. 1936—1989年	$U = -2.20, T_t = 1950.7 - 7.3t$	$U = 1.84$, 无跳跃点	2	22(主周期), 20
IV. 1936—1994年	$U = -2.33, T_t = 1934.1 - 6.5t$	$U = 2.05$, 跳跃点在1954年	2	22(主周期), 21
V. 1936—1999年	$U = -1.60$, 无显著趋势	$U = 2.81$, 跳跃点在1954年	3	20(主周期), 22, 3
VI. 1936—2004年	$U = -1.81$, 无显著趋势	$U = 2.75$, 跳跃点在1954年	1	24(主周期)

3.1.2 趋势特征分析 由检验结果所得,不同时间序列长度,径流的趋势特征明显不同。I, III, IV这3种时间序列有显著的趋势特征,且呈下降趋势; II, V, VI则没有显著趋势。具体而言,1936—1979年径流有显著的趋势特征,1936—1984年只比前者多5

a 时间,但没有显著的趋势特征;而1936—1989年和1936—1994年时间序列同样是增加了5 a,却都有显著的趋势特征,但趋势方程差异比较大,由序列III和IV可以看出,1936—1989年的径流序列下降趋势比1936—1994年明显;随着时间序列长度的继续增加,

1936—1999 年和 1936—2004 年的径流序列没有显著的趋势特征。6 种序列的趋势变化也没有一定的规律性。

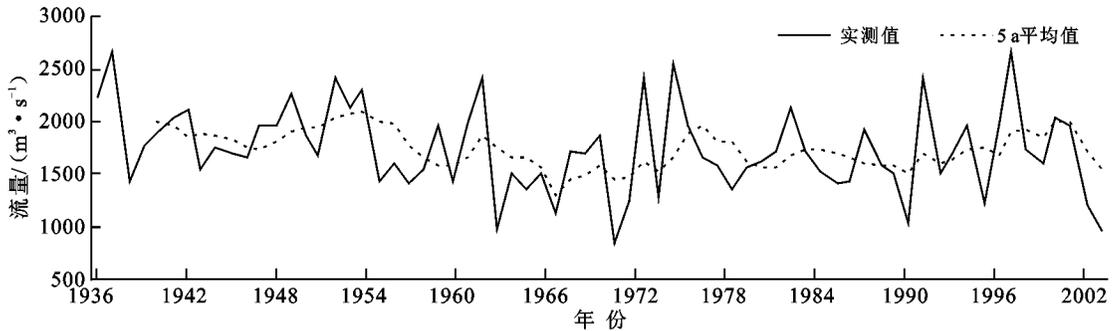


图 1 闽江流域竹岐站 1936—2004 年径流趋势变化曲线

根据图 1 可得,对闽江流域竹岐站径流趋势特征进行分析发现,1939—1946 年、1953—1959 年、1961—1966 年、1976—1981 年和 1983—1990 年都有缓慢减少的趋势,而 1946—1956 年、1966—1976 年和 1990—2001 年有缓慢的增加趋势,与上述 6 种序列按时间进行对比分析,进一步得出趋势变化没有规律性。

上述结果表明,序列长度的选取会影响径流趋势特征,且序列长度对趋势特征的影响似乎没有明显的规律,也即时间序列的长短不是影响趋势特征的惟一因素。

3.1.3 跳跃特征分析 6 种时间序列所得的径流跳跃特征有两种:跳跃点在 1954 年或没有跳跃点。II, IV, V, VI 这 4 种时间序列的跳跃点在 1954 年;而 I 和 III 没有跳跃点。

具体地讲,1936—1979 年没有显著的跳跃特征,1936—1984 年比前者多 5 年时间,却有显著的跳跃特征;1936—1989 年则没有;随序列长度的增加,1936—1994 年、1936—1999 年和 1936—2004 年这 3 种时间序列都有显著的跳跃特征。以上分析表明了序列长度对径流的跳跃特征有一定的影响,但跳跃特征变化规律也不明显。

3.1.4 周期特征分析 周期特征分为有谐波数和周期两方面。6 种时间序列所得的有谐波数和周期长度等周期特征也有十分明显的差异。就有谐波数而言,有谐波数有 3 种,分别是 1, 2 和 3;其中,1936—2004 年的有谐波数是 1, 1936—1984 年和 1936—1999 年是 3,其余是 2;就周期而言,周期也不相同,主要有 16, 17, 18, 20, 21 和 22 a 等几种不同的周期,而且除了 1936—1989 年和 1936—1994 年两者主周期相同外,其

为了进一步证明 6 种序列的趋势变化没有规律性,再利用滑动平均法进行趋势分析。闽江流域竹岐站年径流趋势变化如图 1 所示。

余的主周期也不一样。上述研究同样表明,序列长度对径流的周期特征有明显的影。

3.2 白山水库入库径流 6 种时间序列分解结果

为了进一步说明序列长度对径流线性分解的影响,用同样方法对径流特征完全不同的松花江流域白山水库入库径流 6 种时间序列进行分析,所得结果如表 2 所示。

由表 2 可以得出,(1) 序列 II 和 VI 有显著的趋势,其它序列则没有显著的趋势,特别是序列 II, II 和 V, VI; 两者的序列长度分别仅仅变化 5 a, 序列 II 和 IV 没有趋势特征,序列 II 和 V 则有趋势特征,6 种序列的趋势变化也没有一定的规律性。同理,再利用滑动平均法进行趋势分析。年径流趋势变化图 4 所示。根据图 2 可得,1938—1952 年、1958—1980 年和 1990—2000 年都有缓慢减少的趋势,而 1953—1957 年和 1981—1989 年有缓慢的增加趋势,与上述 6 种序列按时间进行对比分析,也得出趋势变化没有规律性。表明序列长度对线性分解所得的趋势特征有一定的影响,且这种影响没有表现出明显的规律。(2) 跳跃特征的变化十分复杂。其中,序列 II, III 和 VI 有跳跃点;且跳跃点分别在 1976 年、1975 年和 1966 年,其余序列没有跳跃点。跳跃点随序列长度的变化而变化,且变化没有一定的规律,表明序列长度对径流线性分解所得的跳跃特征有十分明显的影响。(3) 从序列 I—VI 发现,有谐波数和周期长度等周期特征也有十分明显的不同。有谐波数分别为 2, 3 和 4;周期长度也不同,主要有 15, 21, 18 等几种不同的周期;表明径流线性分解得出的周期特征也受序列长度的影响。

表 2 白山水库入库年径流 6 种时间序列计算结果

序列	趋势项	跳跃项	周期项	
	($U_{0.05/2} = 1.96$)	($U_{0.05/2} = 1.96$)	有谐波数	周期(a)
I. 1933—1975 年	$U = -0.45$, 无显著趋势	$U = 1.55$, 无跳跃点	2	15(主周期), 17
II. 1933—1980 年	$U = -1.81$, 无显著趋势	$U = -2.39$, 跳跃点在 1976 年	3	21(主周期), 11, 7
III. 1933—1985 年	$U = -2.15, T_t = 258.8 - 1.02t$	$U = -2.80$, 跳跃点在 1975 年	2	18(主周期), 5
IV. 1933—1990 年	$U = -1.58$, 无显著趋势	$U = -1.58$, 无跳跃点	3	20(主周期), 21, 12
V. 1933—1995 年	$U = -1.42$, 无显著趋势	$U = 1.70$, 无跳跃点	4	22(主周期), 16, 6, 2
VI. 1933—2000 年	$U = -2.06, T_t = 250.8 - 0.58t$	$U = 2.69$, 跳跃点在 1966 年	4	14(主周期), 26, 5, 3

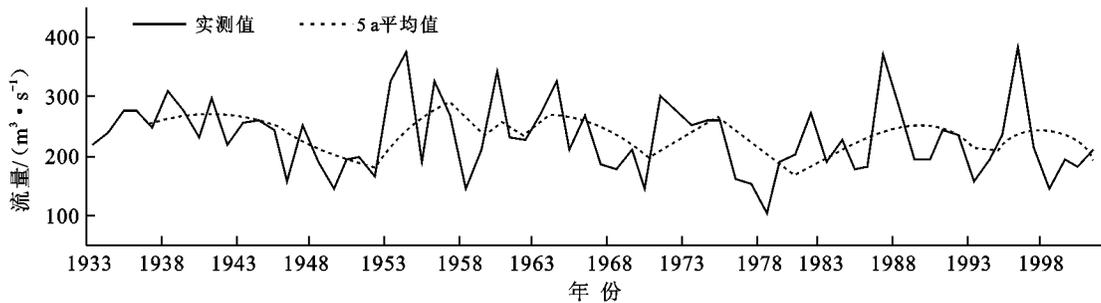


图 2 白山水库入库 1933—2000 年径流趋势变化曲线

3.3 讨论

本研究将径流特征完全不同的闽江流域竹岐站年径流和松花江流域白山水库入库径流近 70 a 序列分成 6 种时间序列, 且序列之间相差 5 a, 然后对各种时间序列进行线性分解, 所得结果显示径流线性分解结果受序列长度的影响, 且随着序列长度的增加, 径流线性分解所得的特征没有表现出明显的规律性。

用线性分解方法得出径流特征的主要目的是为了揭示径流变化的物理机制。从理论上讲, 环境的自然演变不会导致径流物理机制在短时间里(5 a 左右)发生明显的变化。如果径流的物理机制没有明显的变化, 那么径流的特征也不会有明显的变化, 但表 1—2 所得的径流特征却有明显的差异, 表明不同序列长度所得的径流特征可能无法很好地体现径流的物理机制, 也就是说径流物理机制并没有很好地被揭示出来。那么, 现有研究中基于研究区域已有或可能获取的资料分析所得的径流特征, 是否能够很好地揭示出径流的物理机制就值得进一步分析和探讨。

此外, 序列长度对径流线性分解的影响十分明显, 因此, 选取一个合理的序列长度对分析径流的特征十分必要。合理的序列长度可能与时间尺度有一定的联

系^[11], 因为在降雨和径流等问题的研究中, 时间尺度是指系统的变化具有一定的周期性, 可以反映降雨和径流等系统一种特定的变化周期, 利用它可以掌握降雨和径流等系统的变化规律及特征, 王文圣^[12]等在研究小波时间序列时就指出, 降雨、径流等水文现象的变化规律及特征与时间尺度有着密切的联系, 认为应以时间尺度探讨水文现象的变化规律及特征。

4 结论

(1) 分别将闽江流域竹岐站年径流和松花江流域白山水库入库径流近 70 a 序列分为 6 种不同的时间序列进行线性分解。其结果表明, 6 种时间序列得出径流的趋势、跳跃和周期等特征相差十分明显且变化没有一定的规律性, 表明序列长度对径流序列的线性分解结果具有一定的影响。

(2) 由于序列长度的变化导致径流线性分解的差异, 进而影响所揭示的径流特征, 因此, 选取一个合理的序列长度十分必要, 且合理的序列长度可能与径流序列的时间尺度有关。至于何种时间尺度对应多大的序列长度将是本研究下一步开展的工作之一。

(下转第 179 页)

[参 考 文 献]

- [1] 姜志林. 森林生态系统蓄水保土的功能[J]. 生态学杂志, 1984(6): 58-63.
- [2] 张国防. 闽江流域洪灾与森林生态环境的研究: 闽江流域洪灾与森林的水文效应[J]. 福建林业科技, 2000, 27(1): 63-66.
- [3] 成晨, 王玉杰, 潘玉娟, 等. 重庆缙云山主要森林类型林冠截留降水的研究[J]. 水土保持应用技术, 2006(4): 6-7.
- [4] 陈卓梅. 秃杉混交林水源涵养功能的研究[J]. 福建林业学院学报, 2002, 22(3): 266-269.
- [5] 蒋秋怡. 林木地上部分的持水性能及其对林地水文学性质的影响[J]. 浙江林学院学报, 1989, 6(2): 176-181.
- [6] 郑郁善. 福建含笑杉木混交林水源涵养功能差异研究[J]. 福建林业学院学报, 1997, 17(2): 126-130.
- [7] Monsi M. 植物群落的数学模型[M] // 植物生态学译丛. 北京: 科学出版社, 1974: 123-144.
- [8] 张万儒. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986: 17-55.
- [9] 崔启武. 林冠对降水的截留作用[J]. 林业科学, 1980, 16(2): 144-146.
- [10] 杨玉盛, 陈光水, 谢锦升. 论森林水源涵养功能[J]. 福建水土保持, 1999, 10(3): 3-7.
- [11] 吴长文, 王礼先. 水土保持林中枯落物的作用[J]. 中国水土保持, 1993(4): 28-30.
- [12] 曹成有, 朱丽晖, 韩春声, 等. 辽宁东部山区森林枯落物层的水文作用[J]. 沈阳农业大学学报, 1997, 28(1): 44-48.
- [13] 马良清, 张毓锐. 重庆地区森林水文作用的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(1): 14-19.
- [14] 吴长文, 王礼先. 林地土壤的入渗及其模拟分析[J]. 水土保持研究, 1995, 2(1): 71-75.
- [15] 李香兰, 田积莹, 张成娥. 黄土高原不同林型对土壤物理性质的影响[J]. 林业科学, 1992, 28(2): 98-105.
- [16] 王云琦, 王玉杰. 缙云山典型林分森林土壤持水与入渗特性[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 102-108.

(上接第 109 页)

[参 考 文 献]

- [1] Vujica Y, Nilgun, Bayraktar, et, al. Past and future analysis of water resources time series[J] Journal of the American Water Resources Association, 1985, 21(4): 625-633.
- [2] Wang Hongrui, Ye L, Liu C M, et al. Problems in wavelet analysis of hydrologic series and some suggestions on improvement[J]. Progress in Natural Science, 2007, 17(1): 80-86.
- [3] 王文圣, 金菊良, 李跃清. 水文随机模拟进展[J]. 水科学进展, 2007, 18(5): 768-776.
- [4] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988.
- [5] 覃基爱, 陈雪英, 郑艳霞. 宜昌径流时间序列的统计分
- 析[J]. 水文, 1993(5): 15-21.
- [6] 王钧, 蒙吉军. 黑河流域近 60 年来径流量变化及影响因素[J]. 地理科学, 2008, 28(1): 83-89.
- [7] 韩添丁, 叶柏生, 丁永建. 近 40a 来黄河上游径流变化特征研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 553-557.
- [8] 刘昌明, 成立. 黄河干流下游断流的径流序列分析[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 257-265.
- [9] 曹建廷, 秦大河, 罗勇等. 长江源区 1956—2000 年径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2007, 18(1): 29-34.
- [10] 王德智. 水文中长期预报的系统理论与方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003.
- [11] 叶守泽, 夏军. 水文科学研究的世纪回眸与展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 93-104.
- [12] 王文圣, 丁晶. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.