

The Variation of Runoff in the Yangtze River

Jing Zou, Yanjun Zhang, Di Yuan, Liping Zhang, Jiaming Liu

School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan
Email: zoujingwhu@163.com

Received: Apr. 18th, 2014; revised: Apr. 21st, 2014; accepted: May 2nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In the field of hydrology, the hydrological data are required to have the same physical cause. In recent years, the climate change and the increasing interference of human activities in the Yangtze River basin, gradually undermine the consistency of series. Therefore it is essential to detect the variation of hydrological series. In this paper, two common methods, Mann-Kendall (M-K) and slide F test, are applied to recognize the variation of runoff in the main control hydrologic stations in the Yangtze River, including the stations of Pingshan, Yichang, Three Gorges, Hankou, and Datong, which is aimed at studying the variation of runoff in the main stream of Yangtze River. At the same time, this paper gives the range of runoff change-point by combining the results of two methods. Generally speaking, in the mainstream of the Yangtze River, two concentrated ranges of change-points exist, in which one is from 1970 to 1980, while the other is from 1993 to 2003. Especially in the former range, 1970-1980, the response time of variation in each station presents the spatial distribution and there is a time lag from the upstream to downstream in the mainstream of Yangtze River. While in the latter range, 1993-2003, it does not have the significant spatial distribution.

Keywords

Yangtze River, Runoff, Change-Point

长江干流径流变异特性研究

邹 静, 张艳军, 袁 迪, 张利平, 刘佳明

武汉大学水利水电学院, 武汉

Email: zoujingwhu@163.com

作者简介: 邹静(1988-), 女, 湖北荆州人, 硕士, 主要研究方向为水文与水环境。

收稿日期：2014年4月18日；修回日期：2014年4月21日；录用日期：2014年5月2日

摘要

在水文领域，水文资料要求成因一致。近年来，长江流域气候变化，加之人类活动的干扰逐渐加剧，破坏了序列一致性，因此有必要对长江流域序列的变异情况进行检测识别。本文采用常见的Mann-Kendall (M-K)法和滑动F法，对长江干流主要控制站点屏山、高场、宜昌、三峡、汉口、大通的年径流系列进行变异识别，研究长江干流径流变异特性；同时综合这两种变异检测方法的结果，给出了系列变异区间。总体来看，长江干流存在两个相对集中的变异区间，即1970~1980与1993~2003；其中对于变异区间1970~1980年，各站变异响应时间存在空间分布规律，从长江上游到下游变异时间滞后；而变异区间1993~2003，各站变异响应时间的空间分布规律不明显。

关键词

长江干流，径流，变异区间

1. 引言

在水文工作中，为保证水文分析计算成果的可靠性，要求所依据的水文资料成因基本一致，即具有一致性。在长江流域气候变化，加之社会经济快速发展，人类活动的干扰逐渐加剧的背景下，水文序列一致性逐渐遭到破坏。由此水文序列变异识别工作，逐渐引起人们的关注。近年来，在长江流域上开展了一系列水文序列变异识别相关工作，如李林等分析了长江上游径流量变化[1]；王艳君等对长江上游流域气候及径流变化趋势进行了分析[2]；王渺林等分析了长江上游径流变化趋势[3]；冯亚文等探索了长江流域上游降水变化及其对径流的影响[4]；秦年秀等对长江流域径流趋势变化及突变进行了分析，也仅征对宜昌、汉口、大通站点[5]；祝杰等研究了三峡水库上游流域径流变化规律[6]；赵军凯等对长江宜昌站径流变化过程分析也仅限于宜昌站[7]；从上述研究当中，不难发现，研究流域主要集中在长江流域上游，并没能反映长江干流水文变异情况，相应的也未能分析流域变异从上游到下游存在的空间分布情况，因此，分析长江干流上年径流系列存在的变异情况具有研究价值。了解长江干流水文序列什么时候发生变异，即可知道流域自然环境或下垫面发生显著化时段，由此对于流域内的水文循环情况及流域水文情势需要新的认识，才能对流域内的水资源进行合理开发、利用与管理。此外，对于识别出的变异点，将水文资料分段，各分段内，成因基本一致，采用分段资料，在一定程度上能提高长江流域水文预报的可靠性。

对于识别与分析水文序列变异的国内外方法有很多[8]，常见的检验识别方法如 Lee-Hehginian 法、Mann-Whitney 非参数检验法、有序聚类法、Brown-Forsythe 法、滑动 F 检验法、R/S 分析法、滑动 T 检验法、滑动秩和检验法、Mann-Kendall(M-K)检验法和贝叶斯法等，以及谢平等综合变异识别常见方法，建立了水文变异诊断系统。在本文中，选用非参数检验 Mann-Kendall(M-K)法[9]，以及滑动 F 法[10]来检测水文序列的变异情况。M-K 法不需要遵从一定的分布，且不受少数异常值的干扰，结构简单，计算方便；滑动 F 法能逐点检测变异可能性。尽管检测序列变异的方法很多，采用不同的检测方法，检测到的变异点各不相同，虽能互为补充，但使得变异点太多而无法确切判断序列存在的变异情况。针对这一问题，本文采用综合 M-K 与滑动 F 两种方法的结果，给出径流序列的变异区间。

本文基于长江干流主要控制站点屏山，高场，宜昌，三峡，汉口，大通站，分析长江干流的年径流

变异情况，弥补前人多以长江上游径流为研究对象上的不足，同时综合不同检测方法的变异结果，给出径流变异区间，以期为在长江流域开展诸如水文预报等水文工作提供依据。

2. 数据来源

本文主要分析长江干流年径流的变异情况，选取了干流上主要控制站点屏山、高场、宜昌、三峡、汉口、大通；各站在长江流域位置见图 1，各站年径流数据情况见表 1。

3. 研究方法及其结果

3.1. 研究方法

本文选取 Mann-Kendall 法(M-K)与滑动 F 法对长江干流主要控制站点屏山、高场、宜昌、三峡、汉口、大通年径流系列进行变异识别。Mann-Kendall 法是世界气象组织推荐的一种非参数检验法，广泛应用于降水、径流和气温等要素的趋势及变异检验，以其结构简单，计算方便，且时间序列无需遵从一定的分布，而成为水文序列变异分析中常用的方法[9]。滑动 F 法具有检验与识别双重功能，且对于多变点情况，滑动 F 法可在找出的单一变点基础上再次进行样本的分割检验，操作简单，能够较快找到最可能的变异点[10]。M-K 与滑动 F 法均为统计学方法，两者区别在于：M-K 法通过序列趋势有无来判断序列变异情况；滑动 F 法通过序列逐点分割，找出分割前后方差变化较大的点，并通过显著水平检验，来判断序列变异情况。两法从不同的角度来检测序列变异情况，检测出的结果在一定程度上可以互为补充。

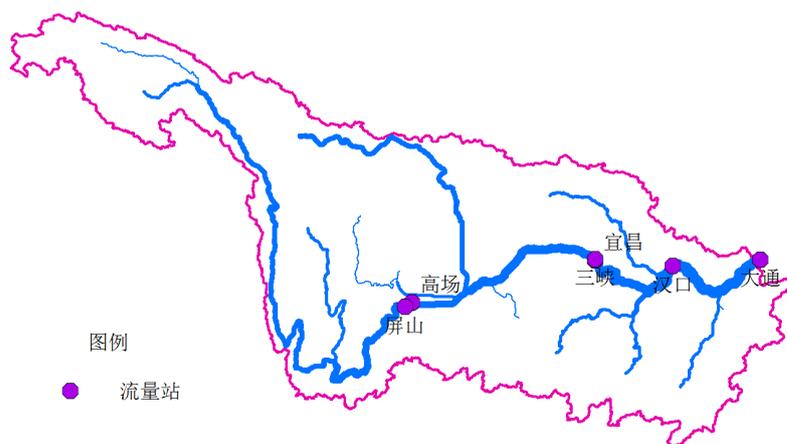


Figure 1. The locations of six flow stations in the Yangtze River basin
图 1. 六个流量站点在长江流域位置

Table 1. The runoff data of the six flow stations
表 1. 六个流量站径流资料情况

站点	资料年限	序列长度/a
屏山	1954~2011	58
高场	1980~2012	33
宜昌	1964~2012	49
三峡	1950~2010	61
汉口	1972~2012	41
大通	1980~2012	33

3.2. 结果

3.2.1. Mann-Kendall(M-K)变异检测

屏山、高场、宜昌、三峡、大通、汉口采用 M-K 法检测后, 结果如图 2~图 7。

根据 M-K 法原理, 在临界线之间, UF 与 UB 曲线相交, 则交点对应的时刻即是变异出现时刻。由图 2 可知, UF 与 UB 曲线在 1955, 2002~2003, 2010 处相交, 通过此法, 判断屏山站开始变异点为 1955, 2002~2003, 2010; 由图 3 可知, 在 1993~1995 年 UF 与 UB 曲线值接近相等, 可视为相交点, 且在临界线之间, 通过此法可知高场站在 1993~1995 年开始变异; 从图 4 可知, 在两临界线之间, UF 与 UB 两曲线相交情况有些复杂, 通过此法, 判断宜昌站变异点有 1967 年左右, 1975~1979, 1997, 2001 年; 从图 5 可知, UF 与 UB 曲线相交情况较复杂, 两曲线相交点 1957, 1970~1972, 1975, 1978, 1994, 1996, 2001, 2003 均在上下临界线之间, 因此, 三峡站可能变异点为 1957, 1970~1972, 1975, 1977, 1994, 1996, 2001, 2003; 从图 6 可看出, UF 与 UB 曲线在 1978, 1979, 2005 处相交, 且在两临界线之间, 因此通过 M-K 方法判断汉口站可能变异点为 1978, 1979, 2005; 由图 7 可知, UF 与 UB 相交点为 1981, 1984, 1988~1989, 2003~2004, 均落在两临界线之间, 因此 1981, 1984, 1988~1989, 2003~2004 是大通可能的变异点。通过上述分析, M-K 法检测出各站径流变异情况见表 2。

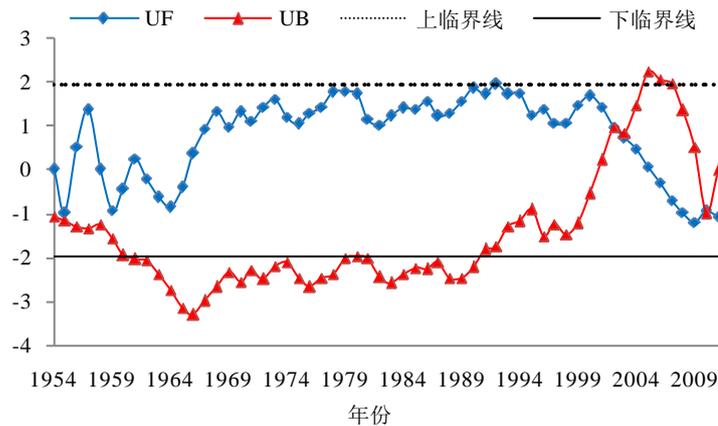


Figure 2. The detection of change-point by M-K in Pingshan station
图 2. 屏山站 M-K 变异点检测

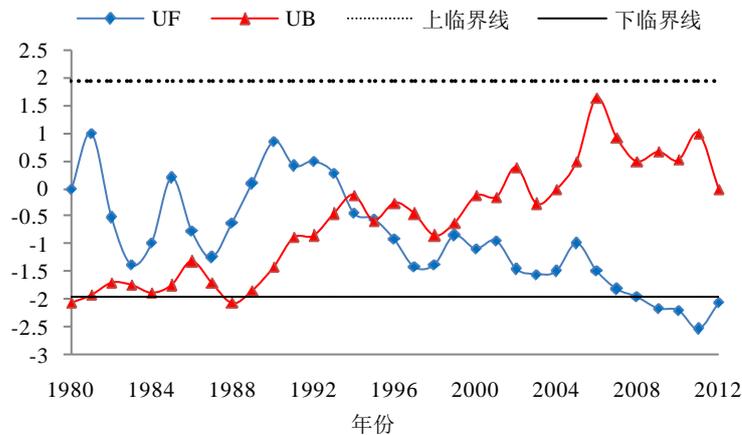


Figure 3. The detection of change-point by M-K in Gaochang station
图 3. 高场站 M-K 变异点检测

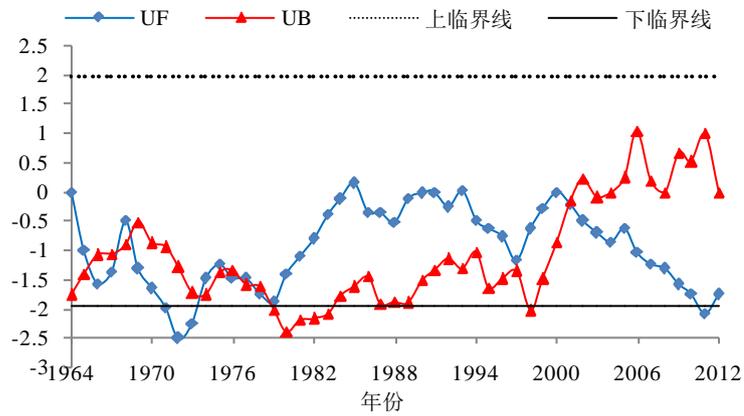


Figure 4. The detection of change-point by M-K in Yichang station
图 4. 宜昌站 M-K 变异点检测

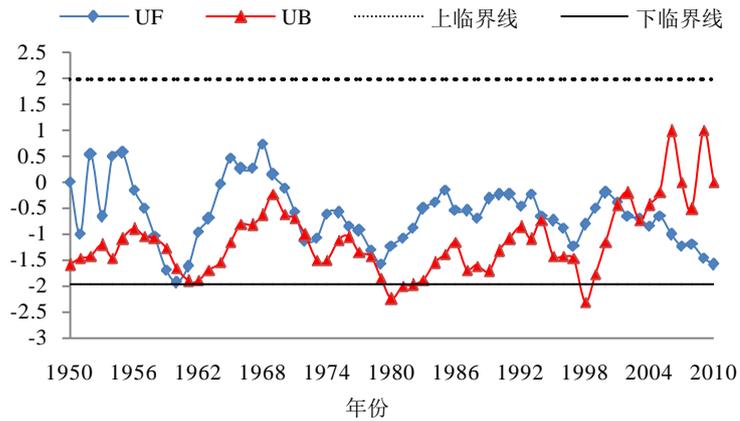


Figure 5. The detection of change-point by M-K in the Three Gorges station
图 5. 三峡站 M-K 变异点检测

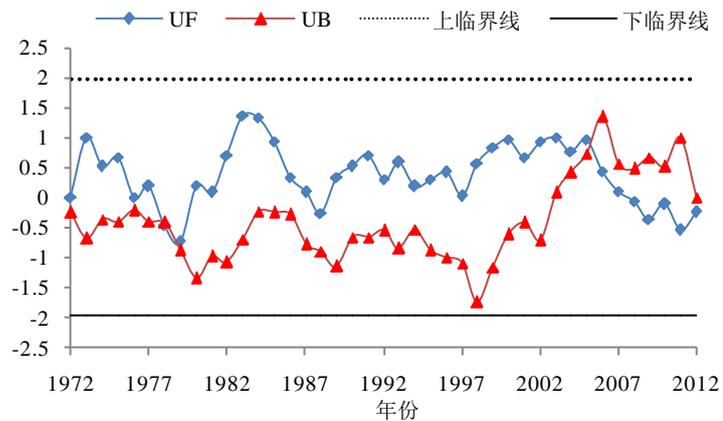


Figure 6. The detection of change-point by M-K in the Hankou station
图 6. 汉口站 M-K 变异点检测

3.2.2. 滑动 F 法变异检测

采用滑动 F 法对六个站点的径流变异检测结果，见表 3。

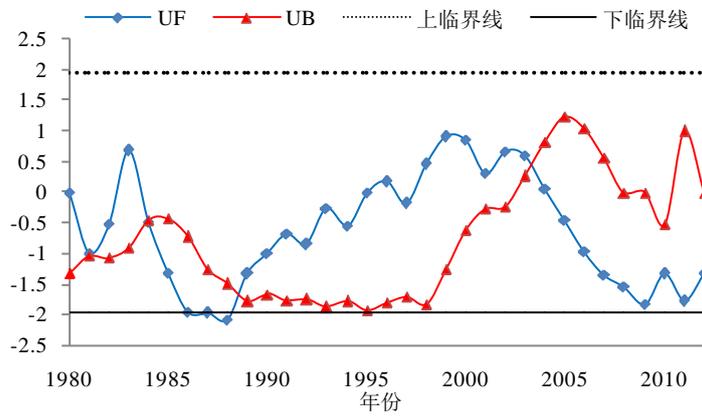


Figure 7. The detection of change-point by M-K in the Datong station
图 7. 大通站 M-K 变异点检测

Table 2. The runoff change-points of six stations detected by M-K method
表 2. 六个站 M-K 法径流变异检测结果

站点	M-K 法检测变异结果
屏山	1955, 2002~2003, 2010
高场	1993~1995
宜昌	1967, 1975~1979, 1997, 2001
三峡	1957, 1970~1972, 1975, 1978, 1994, 1996, 2001, 2003
汉口	1978, 1979, 2005
大通	1981, 1984, 1988~1989, 2003~2004

Table 3. The runoff change-points of six stations detected by slide F method
表 3. 六个站滑动 F 法径流变异检测结果

站点	滑动 F 法检测变异结果
屏山	1965、1967、1969、1970、1998、1999、2002
高场	2010
宜昌	2010
三峡	1954、1955、1963、1974、1996
汉口	1973、2010
大通	1986、1989、1997、2010

3.3. 变异区间及变异空间分布规律

通过上述 M-K 法和滑动 F 法检测结果可知,不同的方法检测到的变异情况不完全一致,针对这一问题,本文通过综合这两种方法的结果给出变异区间,综合主要遵循以下原则:1)对于检测到的可能的变异情况中,如果是序列两端或非常接近两端的,需慎重考虑,一般不轻易作为可能变异点,需结合流域气候变化及人类活动情况做出判断。2)两种方法结果有共性的,且结果集中在某一时间段的,给出变异区间。各站存在的变异区间如表 4。

从表 4 中可知,长江干流上变异分三个阶段。第一阶段为 20 世纪 50~60 年代,仅宜昌、三峡站径流

Table 4. The ranges of runoff variations in six stations
表 4. 六个站点径流变异区间

站点	径流变异情况		
	第一阶段	第二阶段	第三阶段
屏山		1965~1970	1998~2002
高场			1993~1995
宜昌	1967 左右	1975~1979	1997~2001
三峡	1954~1957	1970~1975	1994~2003
汉口		1978~1979	2005
大通		1984~1989	1997~2003

发生变异，由于资料缘故，其他四站径流资料起始年份比宜昌、三峡站晚，故而第一阶段未能反映长江干流变异情况。第二阶段除去高场(限于资料长度)外，从上游屏山到大通存在变异区间 1970~1980；各站变异响应时间呈现出一定的空间分布规律，变异时间从上游至下游有滞后性，从成因上讲有一定合理性，从上游到下游，各站点控制的流域面积逐渐加大，对于自然环境变化或是人类活动的响应时间不一致，因此变异时间的空间分布上有后滞性。第三阶段从上游到下游变异主要集中在 1993~2003，其变异的空

间分布不明显。
 从单站来看，宜昌站存在 1967、1975~1979 与 1997~2001 的变异情况；赵军凯等[7]对长江宜昌站径流变化过程分析中，得到宜昌站年径流序列变异点为 1969，1998 和 2003 年，与本文检测出的宜昌站变异情况接近。高场站限于资料起始年份，检测到在 1993~1995 年发生变异；王渺林等[2]对长江上游径流变化趋势分析中，得出高场站在 1992 年径流发生突变，与本文检测到高场站变异情况吻合很好。

3.4. 结果合理性分析

从表 2 和表 3 结果可知，对于同一站采用两种不同方法检测出的变异情况，结果并不完全一致。不同的统计学方法，采用的统计变量不同；以及假设检验存在的两类错误不可避免，故不同的方法会有不完全一致的结果。但同时，从表中也可以看到，两种方法检测到的结果有共性。屏山站两法均检测到在 2002 年径流发生变异；三峡站两法均检测到径流系列在 20 世纪 60、70、以及 90 年代均发生变异；两法均检测到汉口站在 20 世纪 70 年代径流有变异可能；在大通站，两法也均检测到 80 年代径流有变异可能。另外，M-K 与滑动 F 法为统计学方法，均有给定信度 $\alpha = 0.05$ 的显著水平检验，对于检测出来的变异结果从统计学角度来讲具有合理性。此外，从表 4 给出的各站径流变异区间，与长江流域径流变异研究已有的成果基本吻合。因此，检测出的长江干流上各站的变异区间具有一定的可靠性。

4. 结论与展望

本文基于长江干流的六个主要控制站点的年径流资料，采用 M-K 与滑动 F 法进行了变异分析，并采用变异区间，得到各站的变异情况以及变异的空

间分布规律，结论如下：
 1) 屏山站存在两个变异区间：1965~1970 与 1998~2002 年；高场站在 1993~1995 年发生变异；宜昌站在 1967 左右、1975~1979、与 1997~2001 年有变异可能；三峡站检测出的变异区间有三个：1954~1957，1970~1975，1994~2003 年；汉口站存在两个变异区间：1978~1979，2005 年左右；大通检测到存在两个变异区间：1984~1989，1997~2003 年。总体来看，长江干流存在两个相对集中的变异区间，即 1970~1980 与 1993~2003。

2) 对于长江干流变异区间 1970~1980 年来说, 六个站点对应的响应时间存在一定的空间分布规律, 从上游到下游变异时间有滞后现象。对于干流上总体变异区间 1993~2003, 各站的响应时间比较杂乱, 并没有明显的空间分布规律。

3) 限于本文仅是初步分析长江干流上的径流变异情况, 对于检测出的变异区间, 还有待深入分析其形成原因, 以充分说明变异情况的准确性。

基金项目

国家自然科学基金(51279140, 51379149), 国家青年基金(51209162)。

参考文献 (References)

- [1] 李林, 王振宇, 秦宁生, 等. 长江上游径流量变化及其与影响因子关系分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 695-700.
LI Lin, WANG Zhen-yu, QIN Ning-sheng, et al. Analysis of the relationship between runoff amount and its impacting factor in the upper Yangtze River. Journal of Natural Resources, 2004, 19(6): 695-700. (in Chinese)
- [2] 王艳君, 姜彤, 施雅风. 长江上游流域 1961-2000 年气候及径流变化趋势[J]. 冰川冻土, 2005, 27(5): 709-714.
WANG Yan-jun, JIANG Tong and SHI Ya-feng. Changing trends of climate and runoff over the upper reaches of the Yangtze River in the 1961-2000. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(5): 709-714. (in Chinese)
- [3] 王渺林, 易瑜. 长江上游径流变化趋势分析[J]. 人民长江, 2009, 40(19): 68-69.
WANG Miao-lin, YI Yu. Analysis of runoff trend in the upper Yangtze River. Yangtze River, 2009, 40(19): 68-69. (in Chinese)
- [4] 冯亚文, 任国玉, 刘志雨, 等. 长江上游降水变化及其对径流影响[J]. 资源科学, 2013, 35(6): 1268-1276.
FENG Ya-wen, REN Guo-yu, LIU Zhi-yu, et al. Rainfall and runoff trends in the upper Yangtze River. Resource Science, 2013, 35(6): 1268-1276. (in Chinese)
- [5] 秦年秀, 姜彤, 许崇育. 长江流域径流趋势变化及突变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5): 589-594.
QIN Nian-xiu, JIANG Tong and XU Chong-yu. Trends and abrupt analysis on the discharge in the Yangtze basin. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(5): 589-594. (in Chinese)
- [6] 祝杰, 陈森林, 李云涛, 赵云发, 付湘. 三峡水库上游流域径流变化规律研究[J]. 中国农村水利水电, 2013, 3: 10-13.
ZHU Jie, CHEN Sen-lin, LI Yun-tao, ZHAO Yun-fa and FU Xiang. Research on runoff variation of the upper basin of the Three Gorges reservoir. China Rural Water and Hydropower, 2013, 3: 10-13. (in Chinese)
- [7] 赵军凯, 李九发, 戴志军, 等. 长江宜昌站径流变化过程分析[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 2306-2315.
ZHAO Jun-kai, LI Jiu-fa, DAI Zhi-jun, et al. Analysis the runoff variation of Yangtze River in Yichang. Resources Science, 2012, 34(12): 2306-2315. (in Chinese)
- [8] 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.
ZHOU Yuan-yuan, SHI Chang-xing, FAN Xiao-li, et al. Advances in the research methods of abrupt changes of hydrological sequences and their application in drainage basins in China. Progress in Geography, 2011, 30(11): 1361-1369. (in Chinese)
- [9] 张洪波, 顾磊. 渭河流域水文变异识别与初步解析[J]. 水资源研究, 2014, 3(1): 1-8.
ZHANG Hong-bo, GU Lei. Hydrological variation analysis in Wei River basin. Journal of Water Resources Research, 2014, 3(1): 1-8. (in Chinese)
- [10] 陈广才, 谢平. 水文变异的滑动 F 识别与检验方法[J]. 水文, 2006, 26(2): 57-60.
CHEN Guang-cai, XIE Ping. Slide F test of change point analysis. Journal of China Hydrology, 2006, 26(2): 57-60. (in Chinese)