

渭河关中段年径流过程变异点的诊断

拜存有¹, 张升堂²

(1 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2 山东科技大学 地质科学与工程学院, 山东 青岛 266510)

[摘要] **【目的】**利用滑动秩和检验法研究渭河流域径流过程的变异点位置及数目。**【方法】**针对水文过程变异的复杂性, 采用初步判断、详细诊断和综合分析判定 3 个步骤, 以详细诊断为核心, 在分析比较目前各种变异点诊断方法的基础上, 运用滑动秩和检验法, 对渭河流域关中段干流及主要支流林家村、魏家堡、咸阳、华县、景村和状头 6 个控制性水文站 50 年(1956~2005 年)的径流序列进行详细诊断, 再结合成因分析法进行综合判定, 分析了各站径流过程比较显著的变异点数目与位置。**【结果】**经过三步分析诊断可知, 渭河干流林家村、魏家堡、咸阳、华县 4 站均存在 2 个变异点, 分别为 1971 和 1994 年, 径流序列可以分为 3 段, 即 1956~1970, 1971~1993 和 1994~2005 年; 景村和状头 2 个支流站均存在 1 个变异点, 且均发生在 1994 年, 径流序列可以分为 2 段, 即 1956~1993 和 1994~2005 年。**【结论】**利用滑动秩和检验法诊断径流系列的变异点, 方法简单可行、适应性强, 而且检验结果的可靠度高, 因而具有一定的推广价值, 利用该方法对渭河流域 6 水文站的诊断结果符合实际情况。

[关键词] 渭河流域; 径流过程; 滑动秩和检验法; 变异点诊断

[中图分类号] P333.5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)10-0215-06

Detection of the variation points of Weihe River watershed runoff process based on rank sum

BAI Cun-you¹, ZHANG Sheng-tang²

(1 Yangling Vocational & Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 College of Geosciences and Technology, Shandong University of Science & Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)

Abstract: **【Objective】** The variation points position and number of Weihe River runoff processes are detected by the rank sum test. **【Method】** Due to complex hydrological process, three steps are adopted: principium test, detailed test and integration analysis, the second step being the core. Based on analyzing the detection of the variation points, this paper applies the rank sum test of sliding to test the runoff sequential of 6 hydrometric stations in the middle part of Weihe River and the main branches. Meanwhile, the genetic analysis is used. The data about runoff from 1956 to 2005, lasting for 50 years, is used for detection. The number and position of the salience variation points of the runoff process are analyzed by this method. **【Result】** After the three steps test, there are two variation points (1971, 1994) in Linjiacun, Wei jiabao, Xianyang and Huaxian 4 hydrometric stations of the Weihe River main stream. The runoff process can be divided into three parts (1956—1970, 1971—1993 and 1994—2005). And only one variation point (1994) is in Jingcun and Zhuangtou 2 hydrometric stations of the Weihe River tributary. The runoff process can be divided into two parts (1956—1993, 1994—2005). **【Conclusion】** For simpler, more feasible, better adaptability and trustiness in the variation points test, the rank sum test of sliding is promised to be popularized. The test result accords with the fact of 6 hydrometric stations in Weihe River watershed. This indicates that the rank sum test of sliding can supply consistency analysis and restoration of runoff processes.

* [收稿日期] 2009-03-18

[基金项目] 国家自然科学基金项目(14110435)

[作者简介] 拜存有(1964—), 男, 陕西商州人, 副教授, 主要从事水文水资源研究。E-mail: bcyluck99@163.com

Key words: Weihe River; runoff process; rank sum test; variation points test

变异点诊断也称变点分析,是对时间序列突变点的判断和检验,是时间序列变异成因分析的重要方法之一^[1]。随着人类活动的加剧和气候的变化,流域水文过程的产生条件发生了一些显著的改变,主要表现是流域水文过程在时间和空间上发生了某些变异,使水文要素序列在影响前后变得不一致,这就违背了水文分析计算的“一致性”原则。因此在水文分析计算之前,需要寻找序列变异点的数目、位置等,以作为序列还原的重要依据。

目前,变异点的分析方法较多^[1],常见的有过程线法^[2]、水量平衡法、累积过程线斜率差异幅度法^[2]、游程检验法^[2]、秩和检验法^[2]、T 检验法^[2]、R/S 分析法^[2-3]、Brown-Forsythe 检验法^[2,4]、F 检验法^[2,5]、Lee-Heghinian 法^[2]、Mann-kendall 检验法^[6]、有序聚类最优二分割法^[6]、Bayes 法^[6]、有序聚类分析法^[7]、信息熵分析法^[8]和小波分析法^[8]等。雷红富等^[6]用统计试验的方法,通过人工生成 3 类(单参数、双参数、三参数)7 种 P-Ⅲ型分布的变异系列,对常见的 10 种变异点分析方法进行了诊断性能检验,认为秩和检验法对 7 种变异情况的诊断适应性较好。因此,本研究将秩和检验法应用到具体流域水文过程的变异点诊断中,以期进一步论证该方法的实用性。

渭河是黄河的最大支流,是流域内社会经济赖以发展的惟一水源^[9]。人们通过修建水库、引水灌溉等水利措施对水资源进行调控,以解决供需矛盾。这种大规模的水事活动,对河川径流形成了一定程度的调控能力,改变了河川径流的天然状态。同时,土地开发、水土保持等一系列大规模生产活动,不同程度地改变了流域下垫面条件,加之 90 年代以后流域降水明显减少,引起了河川径流情势的显著改变。因此可以肯定地说,渭河流域的径流过程发生了变异,50 多年的径流系列不能认为是来自同一总体。

从 20 世纪 90 年代开始,人们对渭河流域人类活动和气候变化共同影响下的水文过程演变规律进行了大量研究,取得了一些结论性成果。例如,邢大韦等^[9]从自然和人为两大因素分析计算了渭河径流变化的原因,认为从 20 世纪 70 年代开始,人为因素对渭河的径流变化产生明显的影响,在人为因素作用下,渭河径流约减少 $18 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。胡安焱等^[10]指出,20 世纪 70 年代以后,渭河流域水沙呈现减少趋势,其中 90 年代减少尤其显著,人类活动和气候

变化是影响渭河流域水沙变化的主要因素。王生雄等^[11]的研究结果表明,渭河径流量具有下降趋势;渭河流域径流量的突变主要受降水变化及水利水土保持工程建设等人类活动的共同作用,突变时间发生在 1992 年;自 20 世纪 90 年代以来,渭河流域径流量的减少非常明显,将对区域的水资源利用、河流生态环境需水量产生不利影响。综观现有有关研究成果,目前尚缺乏对渭河径流过程变异点数目及位置的定量研究。为此,本研究在对国内外现有变异点诊断方法进行总结归纳的基础上,采用针对多参数(均值、变差系数、偏差系数)变异序列具有较强适用性的诊断方法——滑动秩和检验法^[2,6],对渭河流域关中段年径流过程的变异点进行了实际诊断,并以真实资料检验了该方法的有效性,以期为渭河流域水资源规划决策、水利工程效应评价、现行水利工程管理、水文分析计算等提供参考依据。

1 滑动秩和检验法的原理^[3]

设分割点 τ_0 前后两序列总体的分布函数分别为 $F_1(x)$ 和 $F_2(x)$ 。从总体 $F_1(x)$ 和 $F_2(x)$ 中分别抽取容量为 n_1 和 n_2 的 2 个样本,要求检验原假设 $F_1(x) = F_2(x)$ 。将 2 个样本数据依大小次序排列并统一编号,每个数据在排列中所对应的序数称为该数的秩,对于相同的数值,则用其序数的平均值为秩。记容量小的样本各数值的秩之和为 T_1 ,秩和检验就是根据统计量 T_1 进行检验。

具体步骤如下:

(1)编秩。先将 2 个样本数据分别由小到大排队,再将 2 组数据由小到大统一编秩。若有原始数据相同,可按“相同数据在同组内不用求平均秩次,不同组间有相同数据需求平均秩次”的原则处理。

(2)求秩和并确定检验统计量。当两样本容量不等时,以容量小者为 n_1 ,其秩和为检验统计量 T ;当两样本容量相等时,可任取一组的秩和为检验统计量 T 。

(3)确定概率 P 值并作出推断结论。查 T 界值表,先找到 n_1 与 $n_2 - n_1$ 相交所对应的 4 行界值。由上往下逐行考虑,若 T 值在界值范围内,则 P 值大于相应的概率;若 T 值恰好等于界值,则 P 值等于相应的概率;若 T 值在界值之外,则 P 值小于相应的概率。

当 n_1 或 $n_2 - n_1$ 超出查表范围时,可用近似 U

检验,检验统计量为:

$$U=\frac{|T-n_1(N+1)/2|-0.5}{\sqrt{n_1n_2(N+1)/12}}.$$
 (1)

式中: $N=n_1+n_2$ 。在相同秩次较多(如个数占总例数的 25% 以上)时,需求校正检验统计量值(U_c),即

$$U_c=U/\sqrt{C}.$$
 (2)

式中: $C=1-\sum(t_j^3-t_j)/(N^3-N)$,其中 t_j 为第 j ($j=1,2,\cdots$) 个相同差值的个数。

滑动秩和检验法利用秩和检验法对序列逐点进行检验,找出满足 $|U|>U_{\alpha/2}$ 的所有可能点 τ ,选择检验统计量 U 计算值达到最大值的点,作为所求的变异点 τ_0 。

2 渭河流域径流过程变异点的诊断

2.1 初步诊断

根据作者及其他研究者的研究结果进行初步诊断^[1,9,12-16],可知渭河流域关中段的魏家堡、林家村、咸阳、华县 4 站以及主要支流泾河景村站和北洛河的状头站,1956~2005 年的 50 年径流系列大约在 20 世纪 70 年代初和 90 年代初存在变异点,据此将各站的年径流系列分为 3 段,按照初步诊断的可能变异点位置,前后延续 2~3 年进行滑动秩和检验,以进一步明确变异点的位置。

具体步骤为:

①将各站径流序列按照初步诊断分为几段,每段看作从总体中任意抽取的 1 个随机样本,用于对

相邻 2 段进行假设检验。

②检验假设。 H_0 :2 个样本的分布相同,即无显著差异; H_1 :2 个样本的分布不同,即具有显著差异。

③取置信水平 $\alpha=0.05$,采用双侧分位数检验,查得 $\alpha=0.05$ 时, $U_{1-\alpha/2}=1.960$,若 $|U|<U_{1-\alpha/2}$,则接受 H_0 ,即 2 个样本无显著差异; $|U|>U_{1-\alpha/2}$,则接受 H_1 ,表明 2 个样本有显著差异,即发生了变异,并以 $|U|$ 值最大处的系列划分作为变异点的位置。

由于序列样本容量 n_1,n_2 均大于 10,故采用大样本的秩和检验,统计量按(1)式计算。在相同秩次较多(如个数占总例数的 25% 以上)时,按(2)式计算校正正值作为统计量。

以初步诊断的变异点位置为依据,在其前后 2~3 年开始逐年进行滑动秩和检验,找出满足 $|U|>U_{\alpha/2}$ 所有可能的点 τ ,选择统计量计算值 $|U|$ 达到最大值的点,作为所求的最有可能变异点 τ_0 ,再结合变异点的成因分析确定最终的变异点位置。

2.2 详细诊断

根据滑动秩和检验法的原理步骤,对渭河干流林家村站、魏家堡站、咸阳站、华县站以及泾河景村站、北洛河状头站 1956~2005 年的年径流系列进行滑动检验,可得渭河流域关中段 6 个主要水文站年径流过程的变异点分析结果如表 1、表 2 所示,各水文站变异点的数目及位置的统计结果如表 3 所示。

表 1 渭河流域 6 个水文站径流系列第 1 变异点的滑动秩和检验分析

Table 1 First variation point of 6 stations in Weihe River by the rank sum test of sliding

站名 Station	滑动系列 Sliding series				
	1956~1968, 1969~1990	1956~1969, 1970~1990	1956~1970, 1971~1990	1956~1971, 1972~1990	1956~1972, 1973~1990
林家村 Linjiacun	$U=1.79$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=1.46$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=\underline{1.96}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=1.41$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=1.31$ 接受 H_0 Accept H_0
魏家堡 Weijiabao	$U=2.73$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.46$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{2.77}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.42$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=1.84$ 接受 H_0 Accept H_0
咸阳 Xianyang	$U=\underline{2.82}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.61$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{2.78}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.36$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=1.86$ 接受 H_0 Accept H_0
华县 Huaxian	$U=\underline{2.44}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.10$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{2.28}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=1.84$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=1.27$ 接受 H_0 Accept H_0
景村 Jingcun	$U=1.08$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=1.06$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=1.52$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=1.17$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=0.61$ 接受 H_0 Accept H_0
状头 Zhuangtou	$U=0.51$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=0.20$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=0.03$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=0.16$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=0.66$ 接受 H_0 Accept H_0

注:表中检验统计量数值加下划线者为次大值,加下划线和边框线者为最大值,下表同。
Note: The underlined numbers are second, and the underlined and frame numbers are biggest, the same as follow.

表 2 渭河流域 6 个水文站径流系列第 2 变异点滑动秩和检验分析

Table 2 Second variation point of 6 stations in Weihe River by the rank sum test of sliding

站 名 Station	滑动系列 Sliding series				
	1971~1990, 1991~2005	1971~1991, 1992~2005	1971~1992, 1993~2005	1971~1993, 1994~2005	1971~1994, 1995~2005
林家村 Linjiacun	$U=3.95$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.82$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=4.11$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{4.29}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{4.14}$ 接受 H_1 Accept H_1
魏家堡 Weijiabao	$U=3.35$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.18$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.43$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{3.73}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{3.53}$ 接受 H_1 Accept H_1
咸阳 Xianyang	$U=3.15$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.11$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.29$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{3.60}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{3.39}$ 接受 H_1 Accept H_1
华县 Huaxian	$U=2.65$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.61$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.85$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{3.04}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=2.82$ 接受 H_1 Accept H_1
景村 Jingcun	$U=2.05$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=1.94$ 接受 H_0 Accept H_0	$U=2.13$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{2.14}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{2.26}$ 接受 H_1 Accept H_1
状头 Zhuangtou	$U=3.38$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.55$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=3.91$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{4.05}$ 接受 H_1 Accept H_1	$U=\underline{4.53}$ 接受 H_1 Accept H_1

表 3 渭河流域关中段 6 个水文站年径流过程的变异点及其位置分析

Table 3 Rank sum test of sliding analysis result of annual runoff process in main stations of Weihe River Guanzhong part

站名 Station	变异点个数 Variation points number	位置 Position		站名 Station	变异点个数 Variation points number	位置 Position	
		第 1 变异点 First variation points	第 2 变异点 Second variation points			第 1 变异点 First variation points	第 2 变异点 Second variation points
林家村 Linjiacun	2	1971	1994	华县 Huaxian	2	1969(首点) First point 1971(次点) Second point	1994
魏家堡 Weijiabao	2	1971	1994	景村 Jingcun	1	—	1995(首点) First point 1994(次点) Second point
咸阳 Xianyang	2	1969(首点) First point 1971(次点) Second point	1994	状头 Zhuangtou	1	—	1995(首点) First point 1994(次点) Second point

从表 3 诊断结果可以看出,渭河干流 4 个站年径流系列均存在 2 个明显的变异点,偏上游的 2 个站,即林家村和魏家堡水文站的变异点位置相同,偏下游的咸阳和华县站的变异点位置相同,这在一定意义上是合理的,因为林家村站和魏家堡站受宝鸡峡灌区用水影响相对较小,而咸阳和华县站受灌区

灌溉用水影响比较明显^[7,11,12-16]。景村、状头 2 个支流站只有 1 个变异点,且位置与干流站也稍有差异。为了干支流、上下游统一,以便于进行一致性分析,对于咸阳、华县、景村、状头 4 站,取其次变异点作为变异点。经综合分析诊断,确定渭河流域关中段主要水文站的变异点信息如表 4 所示。

表 4 渭河流域关中段主要水文站年径流过程变异点的综合分析

Table 4 Integration analysis result of annual runoff process in main stations of Weihe River Guanzhong part

站名 Station	变异点 个数 Variation points number	位置 Position		径流系 列分段 Runoff series parts	站名 Station	变异点 个数 Variation points number	位置 Position		径流系 列分段 Runoff series parts
		第 1 变异点 First variation points	第 2 变异点 Second variation points				第 1 变异点 First variation points	第 2 变异点 Second variation points	
林家村 Linjiacun	2	1971	1994	1956~1970, 1971~1993, 1994~2005	华县 Huaxian	2	1971	1994	1956~1970, 1971~1993, 1994~2005
魏家堡 Wei- jiabao	2	1971	1994	1956~1970, 1971~1993, 1994~2005	景村 Jingcun	1	—	1994	1956~1993, 1994~2005
咸阳 Xian- yang	2	1971	1994	1956~1970, 1971~1993, 1994~2005	状头 Zhuang- tou	1	—	1994	1956~1993, 1994~2005

为了进一步说明各段径流序列变异的特征,分别计算得到各站不同时段序列的统计参数,如表 5 所示;并以第一阶段序列的 3 个统计参数为基准,分

别计算得到第二、三阶段径流序列 3 个参数的变化幅度,如表 6 所示。

表 5 渭河流域关中段主要水文站不同时段径流系列统计参数的对比分析

Table 5 Comparative analysis of statistical parameters at different time series in stations of Weihe River Guanzhong part

站名 Station	年径流均值/($\times 10^8\text{ m}^3$) Average of annual runoff process			变差系数(C_V) Variation coefficient			偏差系数(C_S) Deviation coefficient		
	1956~1970	1971~1993	1994~2005	1956~1970	1971~1993	1994~2005	1956~1970	1971~1993	1994~2005
林家村 Linjiacun	29.1	21.8	9.3	0.70	0.33	0.44	2.17	0.22	1.18
魏家堡 Weijiabao	45.6	30.0	11.7	0.96	0.41	0.80	1.89	0.71	1.73
咸阳 Xianyang	60.1	39.6	18.4	1.22	0.42	0.78	1.91	0.89	1.63
华县 Huaxian	93.9	67.1	39.5	1.22	0.43	0.54	2.06	0.97	1.71
景村 Jingcun	18.4	13.9	11.0	0.89	0.31	0.38	2.01	0.26	1.88
状头 Zhuangtou	9.4	8.8	5.8	0.55	0.28	0.58	1.83	0.52	0.12

表 6 渭河流域关中段主要水文站不同时段径流系列统计参数变化的比较

Table 6 Comparative analysis of statistical parameters change at different time series in stations of Weihe River Guanzhong part

站名 Station	年径流均值的变化 Change of annual runoff average			变差系数 C_V 的变化 Change of variation coefficient			偏系数 C_S 的变化 Change of deviation coefficient			/%
	1956~1970	1971~1993	1994~2005	1956~1970	1971~1993	1994~2005	1956~1970	1971~1993	1994~2005	
林家村 Linjiacun	29.1	-25.1	-68.0	0.70	-52.9	-37.1	2.17	-89.9	-45.6	
魏家堡 Weijiabao	45.6	-34.2	-74.3	0.96	-57.3	-16.7	1.89	-62.4	-8.5	
咸阳 Xianyang	60.1	-34.1	-69.4	1.22	-65.6	-36.1	1.91	-53.4	-14.7	
华县 Huaxian	93.9	-28.5	-57.9	1.22	-64.8	-55.7	2.06	-52.9	-17.0	
景村 Jingcun	18.4	-24.5	-40.2	0.89	-65.2	-57.3	2.01	-87.1	-6.5	
状头 Zhuangtou	9.4	-6.4	-38.3	0.55	-49.1	5.4	1.83	-71.6	-93.4	

2.3 诊断结果分析

通过滑动秩和检验法检验,渭河干流林家村、魏家堡、咸阳和华县 4 个控制站均存在 2 个明显的变异点,分别为 1971 年和 1994 年,径流系列可以分为 1956~1970,1971~1993 和 1994~2005 年 3 段;景村和状头 2 个支流站只存在 1 个变异点,均发生在 1994 年,径流系列可以分为 2 段,即 1956~1993 年和 1994~2005 年。综合已有成果^[2,7,11-16]可以初步断定,1971 年主要为人类活动影响(宝鸡峡灌区 1971 年建成通水)的结果,导致渭河的径流过程发生了明显变异,而 1994 年则是人类活动与气候因素共同影响所致^[9]。进入 20 世纪 90 年代以后,流域降水量显著减少^[12-16],其中林家村站 1991~2000 年降水量较正常值减少 12.9%,同期径流量较正常值

减少 49.5%^[12]。而 2 个支流站,在 20 世纪 90 年代之前,其径流过程无显著变异,可以看为一致系列;1994 年后由于全流域降水普遍减少^[12-16],也同样导致年径流系列发生变异,应该肯定为气候因素所致。

3 结 论

- 1)应用滑动秩和检验法时,将其与其他方法相结合进行综合分析,可得到更为合理的结果。在具体实践过程中,根据滑动秩和检验法的详细诊断结果,通过成因分析并结合多方面因素进行综合分析
- 与判断,然后对诊断结果进行验证与修正,可以得到更为合理的结论。
- 2)滑动秩和检验法简单实用,检验效果显著,结果比较符合实际。与过程线法等初步的变异点诊断

方法配合使用,先初步确定变异点发生的大概位置,可缩小滑动范围,减少检验计算的工作量。

3)滑动秩和检验法对于不同变异特性(多参数组合变异)的水文系列具有较强的适应性,可以作为水文系列一致性分析的一种有效手段。

4)径流过程变异点诊断与其形成原因有密切关系,有些单纯是人类活动作用的结果,比如水库建成蓄水前后,径流系列发生突变是显而易见的。但如果是水保措施、工农业用水、气候变化等渐变性的影响,变异表现为由量变到质变的过程,对于此类过程的变异点诊断,用滑动秩和检验法是行之有效的,因此,滑动秩和检验法在由渐变因素引起的变异点诊断中具有一定的推广价值。

[参考文献]

[1] 拜存有. 渭河流域关中段年径流过程变异点诊断研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.
Bai C Y. The detection research on annual runoff process variation points of Weihe River Guanzhong part [D]. Yangling, Shaanxi:Northwest A&F University,2008. (in Chinese)

[2] 谢平,陈广才,李德,等. 水文变异综合诊断方法及其应用研究 [J]. 水电能源科学,2005,23(2):11-14.
Xie P,Chen G C,Li D,et al. Comprehensive diagnosis method of hydrologic time series change-point analysis [J]. Hydroelectric Energy,2005,23(2):11-14. (in Chinese)

[3] 马岚,魏晓妹. 石羊河下游年径流序列的变异点分析 [J]. 干旱地区农业研究,2006,24(2):174-177.
Ma L,Wei X M. Analysis on aberrance point of annual runoff serials in the downstream of Shiyang River [J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2006,24(2):174-177. (in Chinese)

[4] 张一驰,周成虎,李宝林. 基于 Brown-Forsythe 检验的水文序列变异点识别 [J]. 地理研究,2005,24(5):741-747.
Zhang Y C,Zhou C H,Li B L. Brown-Forsythe based method for detecting change points in hydrological time series [J]. Geographical Research,2005,24(5):741-747. (in Chinese)

[5] 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 G C,Xie P. Slide F test of change-point analysis [J]. Journal of China Hydrology,2006,26(2):57-60. (in Chinese)

[6] 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,2007,25(4):36-40.
Lei H F,Xie P,Chen G C,et al. Comparison and analysis on the performance of hydrological time series change-point testing methods [J]. Water Resources and Power,2007,25(4):36-40. (in Chinese)

[7] 王国庆,贾西安,陈江南,等. 人类活动对水文序列的显著影响干扰点分析 [J]. 西北水资源与水工程,2001,12(3):13-15.
Wang G Q,Jia X A,Chen J N,et al. Analysis on the transition

point of hydrological series impacted by human activities [J]. Northwest Water Resources & Water Engineering,2001,12(3):13-15. (in Chinese)

[8] 李荣峰,冀雅珍. 水文时间序列分析计算方法的研究进展与展望 [J]. 山西水利科技,2005(4):4-6.
Li R F, Ji Y Z. Research progress and prospect on computation method of hydrological time series [J]. Shanxi Hydrotechnics, 2005(4):4-6. (in Chinese)

[9] 邢大韦,王耀荣,张玉芳. 渭河径流变化的影响原因分析 [J]. 水资源与水工程学报,2007,18(2):1-4.
Xing D W,Wang Y R,Zhang Y F. Influence and cause analysis for the runoff change in Weihe River [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2007,18(2):1-4. (in Chinese)

[10] 胡安焱,刘燕,郭生练,等. 渭河流域水沙多年变化及趋势分析 [J]. 人民黄河,2007,29(2):39-41.
Hu A Y,Liu Y,Guo S L,et al. Analysis on the change tend of Weihe runoff and sand flow in recent years [J]. Yellow River, 2007,29(2):39-41. (in Chinese)

[11] 王生雄,魏红义,王志勇. 渭河径流序列趋势及突变分析 [J]. 人民黄河,2008,30(9):26-29.
Wang S X,Wei H Y,Wang Z Y. Analysis on the Weihe runoff series tend and break [J]. Yellow River,2008,30(9):26-29. (in Chinese)

[12] 拜存有,马耀光. 渭河林家村站径流变化趋势分析 [J]. 杨凌职业技术学院学报,2008,7(6):8-10.
Bai C Y, Ma Y G. The change tend analysis on runoff of the Linjiacun station in Weihe River [J]. Journal of Yangling Vocational& Technical College,2008,7(6):8-10. (in Chinese)

[13] 张宏斌,赵红,古明兴,等. 陕西省渭河流域水沙变化分析 [J]. 杨凌职业技术学院学报,2007,6(2):1-4.
Zhang H B,Zhao H,Gu M X,et al. Analysis of variation of water and sediment of Weihe basin in Shaanxi Province [J]. Journal of Yangling Vocational& Technical College, 2007,6(2):1-4. (in Chinese)

[14] 王云璋,王国庆,王昌高. 近十年渭河流域降水特点及其对径流影响的初步分析 [J]. 人民黄河,1998,20(10):4-6.
Wang Y Z,Wang G Q,Wang C G. The precipitation characteristic and effect on runoff of Weihe basin in recently decade [J]. Yellow River,1998,20(10):4-6. (in Chinese)

[15] 刘燕,李小龙,胡安焱. 河川径流对降水变化的响应研究——以渭河为例 [J]. 干旱区地理,2007,30(1):49-52.
Liu Y,Li X L,Hu A Y. Response of runoff to precipitation changes-Taking a case of Weihe [J]. Arid Land Geography, 2007,30(1):49-52. (in Chinese)

[16] 张倩,延军平. 渭河下游水沙变化趋势分析 [J]. 干旱区资源与环境,2007,21(9):35-39.
Zhang Q,Yan J P. Analysis on the runoff and sand flow in the downstream of Weihe in recent years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007,21(9):35-39. (in Chinese)