

Diagnosis and Identification for Variance Variation of Hydrological Series

Binbin Li, Ping Xie*, Bo Zhang, Xi'nan Li

State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

Email: reben_1987@163.com, pxie@whu.edu.cn

Received: Sep. 30th, 2013; revised: Nov. 20th, 2013; accepted: Nov. 26th, 2013

Copyright © 2014 Binbin Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Binbin Li et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Under the influence of global climate changes and frequent human activities, the issue of inconsistency in hydrology stands out, and draws considerable attention. Study on hydrological sequence variability mainly focuses on the mean, and variation in the variance or high order moment catches less attention. A method for the issue of diagnosis and identification for variance variation of hydrological series is proposed in this paper: Breusch-Pagan test is used to check the inconsistency of the variance of the series, and Hydrological Variation Diagnosis System is designed to identify the variation form of variance. The third grade region on the upper reaches of Cetian Reservoir of Yongding River in the Haihe River is taken as the study area, and the variance variation of annual runoff series in this area is discussed. The result shows that the variance of annual runoff series in this area has a middle variation with a form of jump-down in 1967, which is consistent with the real situation.

Keywords: Variance Variation; Inconsistency; Breusch-Pagan Test; Diagnosis System

水文序列的方差变异诊断与识别

李彬彬, 谢平*, 张波, 李析男

武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

Email: reben_1987@163.com, pxie@whu.edu.cn

收稿日期: 2013年9月30日; 修回日期: 2013年11月20日; 录用日期: 2013年11月26日

摘要: 由于受全球气候变化和频繁人类活动的影响, 水文序列非一致性问题逐渐突出, 并引发了众多的关注。研究水文序列的变异性主要集中在均值上, 对方差等高阶矩的变异性分析研究较少。本文提出了采用 Breusch-Pagan 检验检测序列方差的非一致性, 结合水文变异诊断系统对方差变异形式进行识别的方法, 以研究水文序列方差变异诊断与识别问题。并以海河区的永定河册田水库以上水资源三级区作为研究区域, 探讨该区域年径流量方差变异情况。结果表明, 该区域年径流量方差在 1967 年发生了跳跃向下的中变异, 与实际情况较为一致。

关键词: 方差变异; 非一致性; Breusch-Pagan 检验; 诊断系统

作者简介: 李彬彬(1987-), 男, 湖北潜江人, 武汉大学水利水电学院, 博士研究生, 主要从事非一致性水问题研究。

*通讯作者。

1. 前言

长久以来,人们都是基于物理成因一致且观测样本相互独立的“一致性”水文序列来认识水文统计分布规律的,这种基于“独立同分布”的“一致性”假设是传统工程水文频率计算理论和方法的前提条件。近年来,由于受全球气候变化和频繁人类活动的影响,水文时间序列的物理成因发生了显著变化,其统计规律不再满足一致性的假定,即其分布形式或分布参数在水文序列整个时间范围内有显著的差异,这种特性通常定义为统计学意义上的水文变异^[1]。然而,国内外目前对于水文序列非一致性的检测和频率计算问题,大多只关注均值的变化,忽视了方差等高阶矩变化可能导致的水文序列非一致性。Machiwal、Jayawardena 和 Ho Ming Kang 等人定义水文序列一致性为所收集到的水文时间序列数据属于同一个均值时不变的统计总体^[2-4]。国内不管是还原还原途径还是分解合成途径也还是关注均值的变化^[5]。事实上,水文序列长度通常不长,而且有很大段是较少受人类活动影响的,序列的波动幅度也不会有很明显的变化,现阶段只考虑均值的变化并无不妥。但随着序列长度加长,以全球气候变化和频繁人类活动导致的水文循环进一步加剧,水文序列方差等高阶矩变异势必会逐渐显现出来。

国内外涉及方差变异研究较为广泛的是基于时变矩的水文频率分析方法^[6],但计算前缺乏对序列方差变异的诊断和识别,当方差变异形式为跳跃变异或更为复杂的形式时,时变参数法可能会得到相对不太合理的结果。为此,提出了采用 Breusch-Pagan 检验(BP 检验)检测序列方差的非一致性,结合水文变异诊断系统对方差变异形式进行识别的方法。并以海河区的永定河册田水库以上水资源三级区作为研究区域,探讨该区域年径流量的方差变异情况,为进一步推求过去、现状和未来条件下的年径流量提供非一致性诊断依据,以适应变化环境对水文序列非一致性频率计算的需求。

2. 方法介绍

2.1. 水文序列方差变异诊断 (Breusch-Pagan 检验)

Breusch-Pagan 检验(BP 检验),也叫拉格朗日数

乘法检验,是为了克服另一异方差检验(Goldfeld-Quandt 检验)中的问题而提出的。它以最小二乘残差为基础,试图测定回归估计误差是否同时与几个自变量有线性关系,适用于很一般的异方差检验情形^[7]。这个方法有四个步骤:

(1) 给定数学模型,如 $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$, 根据原水文序列 $\{x_i\} (i=1, \dots, n)$, 用最小二乘法先估计出这个模型的误差项 $\hat{\varepsilon}$;

(2) 计算标准化的残差平方 s_i^2 , 即

$$s_i^2 = \hat{\varepsilon}_i^2 / \left(\sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2 / n \right) \quad (1)$$

(3) 设定标准化的残差平方 s^2 与自变量的线性关系, 即

$$s^2 = \gamma_0 + \gamma_1 X + \delta \quad (2)$$

并用最小二乘法对这个模型作回归估计, 算出回归平方和 RSS 。

(4) 因为 $RSS/2$ 服从 χ^2 分布, 其自由度为 1 (这个模型有 1 个自变量)。原假设是 $H_0: \gamma_1 = 0$, 从 χ^2 分布表中查出检验值 χ_c^2 , 与计算值 $\chi_c^2 = RSS/2$ 比较。如果 $\chi_c^2 > \chi_c^2$, 则拒绝原假设, 可以认为原水文序列存在异方差问题; 反之, 则不能拒绝原假设, 即可认为原水文序列没有异方差问题。

2.2. 水文序列方差变异识别(水文变异诊断系统)

水文变异诊断系统^[8]由初步诊断、详细诊断和综合诊断三个部分组成。初步诊断部分采用过程线法、滑动平均法、Hurst 系数法对序列变异进行检验, 判断序列是否存在变异, 如果不存在变异, 则转入成因调查分析; 如存在变异, 则转入详细诊断部分, 即采用多种变异检验方法分别对序列的趋势变异、跳跃变异情况进行判断分析。然后进入综合诊断部分: 根据详细诊断结果, 分别对趋势、跳跃诊断结论进行综合。根据效率系数评价水文序列与趋势成分或跳跃成分的拟合程度, 以效率系数较大者作为变异形式判断的结果。最后结合实际水文调查分析, 对变异形式和结论进行确认, 从而得到最可能的变异诊断结果。

对水文序列方差变异形式进行识别时, 需要对变异诊断系统进行适当变化。原初步诊断功能已由 BP 检验完成, 详细诊断和综合诊断部分与原系统相同,

但需要注意的是进入系统识别的序列为原序列残差的平方序列，均值线为对原序列进行变异诊断后的确定性成分。

3. 研究区域概况

海河水资源一级区位于我国中东部沿海，流域内有北京、天津等政治、经济和文化中心，是我国城市群非常集中的区域之一。永定河册田水库以上水资源三级区隶属于海河区的海河北系二级区，总面积19,182 km²，主要是指永定河支流桑干河在册田水库以上的部分^[9]。该区作为永定河的源头区域，其径流变化是否受到了气候变化和人类活动的显著影响，以及受影响后水资源情势将如何演变，不仅关系到海河区内人民的切身利益，而且对于海河区的水资源规划和可持续开发利用都具有非常重要的意义和典型示范作用，因此，本文将永定河册田水库以上水资源三级区作为研究区域，其资料为1956~2000年的年径流序列。

4. 研究区域年径流序列变异诊断与识别

4.1. 年径流序列均值变异诊断与识别

年径流均值变异诊断与识别是确定其均值确定性成分的重要环节，也是年径流方差变异诊断与识别前重要的一步。在第一信度水平 $\alpha = 0.1$ ，第二信度水平 $\beta = 0.05$ 的条件下(下文中所有信度水平保持一致)，利用水文变异诊断系统对研究区域年径流序列均值进行变异诊断，其诊断结果见表1。

4.2. 年径流序列方差变异诊断与识别

从表1可以看出，研究区域的年径流序列均值发生了趋势下降的中变异，记原序列为 Y_t ，由最小二乘法得出该区年径流序列的趋势直线方程为： $\bar{Y}_t = 837.0595 - 0.4065t$ ，见图1。年径流序列的方差为 $(Y_t - \bar{Y}_t)^2$ ，方差变异折线图如图2所示。利用BP检验年径流序列的方差，得到统计量 χ^2 的值为5.1466，查得置信水平0.05对应的 χ^2 分布检验值 χ_c^2 为3.841， $\chi^2 > \chi_c^2$ ，并且从图1中也可以看出序列的波动情况有明显减缓的趋势，故年径流序列方差存在显著变异。利用水文变异诊断系统对研究区域年径流序列方差进行变异诊断，其诊断结果见表2。

Table 1. The mean alteration diagnosis of annual runoff series in the study area

表 1. 研究区域年径流序列均值变异诊断结果表

水文序列		1956~2000 年径流	
初步诊断	Hurst 系数	0.738	
	整体变异程度	中变异	
	滑动 F 检验	1997(+)	
	滑动 T 检验	1967(+)	
	Lee-Heghinan 法	1967(0)	
	有序聚类法	1967(0)	
	极差/标准差 RS	1972(0)	
跳跃诊断	Brown-Forsythe	1983(+)	
	滑动游程检验法	1997(+)	
详细诊断	滑动秩和检验	1983(+)	
	最优信息二分割法	1996(0)	
	Mann-kendall	1980(-)	
	BSYES 方法	1967(+)	
	趋势变异程度	趋势中变异	
	趋势诊断	相关系数法	+
		Spearman	+
Kendall		+	
跳跃点		1967	
跳跃	综合权重	0.43	
	综合显著性	2(+)	
趋势	综合显著性	3(+)	
	效率系数	跳跃 23.43	
选择	(%)	趋势 24.64	
	诊断结论	趋势↓	

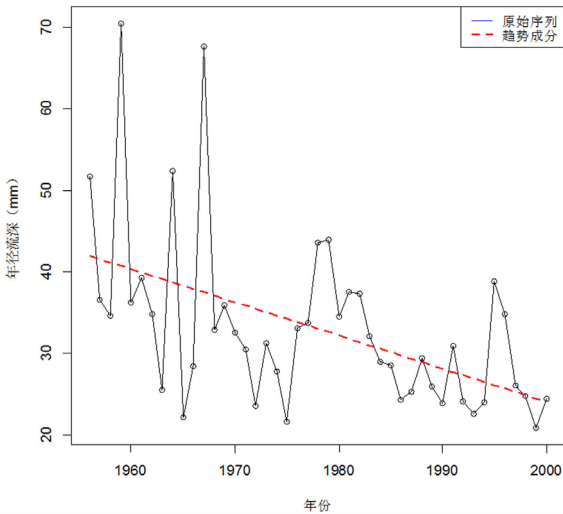


Figure 1. The tendency variation chart of annual runoff series
图 1. 研究区域年径流序列趋势变异图

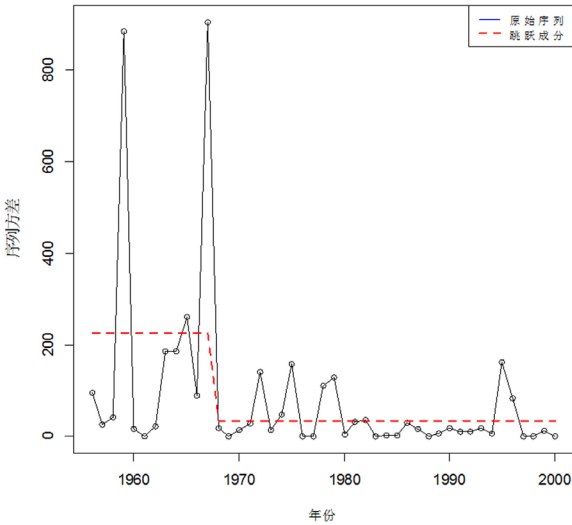


Figure 2. The variance variation chart of annual runoff series
图 2. 研究区域年径流序列方差变异图

Table 2. The variance variation diagnosis of annual runoff series in the study area
表 2. 研究区域的年径流序列方差变异诊断结果表

水文序列		1956~2000 年径流方差
初步诊断	Hurst 系数	0.727
	整体变异程度	中变异
	滑动 F 检验	1996(+)
	滑动 T 检验	1967(+)
	Lee-Heghinan 法	1967(0)
	有序聚类法	1967(0)
跳跃诊断	极差/标准差 RS	1970(0)
	Brown-Forsythe	1967(+)
详细诊断	滑动游程检验法	1968(+)
	滑动秩和检验	1975(+)
	最优信息二分割法	1964(0)
	Mann-kendall	1972(+)
	BSYES 方法	1967(+)
	趋势变异程度	趋势中变异
趋势诊断	相关系数法	+
	Spearman	+
	Kendall	+
	跳跃点	1967
跳跃	综合权重	0.55
综合诊断	综合显著性	3(+)
	趋势	综合显著性 3(+)
选择	效率系数	跳跃 20.98
	(%)	趋势 11.32
诊断结论		1967(+)

从表 2 可以看出，研究区域的年径流序列方差在 1967 年发生了跳跃向下的中变异；从图 2 中可以明显看出，方差在 1967 年之前相对较高，1967 年发生了显著的向下的跳跃变异，1970 至 1975 年方差有小幅提升，1976 至 1980 年方差有个小幅度的先提升后下降的过程，1980 年以后方差维持在一个较低的水平。

4.3. 成因分析

册田水库始建于 1958 年 3 月，1960 年拦洪。本文的资料为 1956~2000 年，该区域径流量基本上都要受到水库拦洪的影响，再加上人们取用水量逐渐加大^[10]，所以年径流序列整体上呈现逐渐减少的趋势。除险加固前册田水库属重点病险库，低水位运用，1970 年之前，水库调节作用有限，年径流序列方差很大。1970 年至 1976 年因大坝加高，水库扩建^[11]，方差出现了降幅；1976 年后，因大坝质量有问题，没有高水位运用，1976 至 1980 年方差出现了小的反弹。1980 年除险加固后，水库防洪标准提高，近年逐步提高水位运用，方差一直位于一个较低的水平。水库自投入运用以来，曾拦蓄 1967 年 8 月 6 日一次最大洪水，发挥出了最大的调节功能，方差在该年会有个很大的降幅，甚至是变异点，这与 4.2 节方差变异诊断结果一致。

5. 结语

(1) 采用 Breusch-Pagan 检验检测序列方差的非一致性，结合变异诊断系统对方差变异形式进行识别的方法，其特点在于不仅能判断方差是否发生变异，而且还能得到具体的变异形式和等级，为序列高阶矩变异情形下的非一致性水文频率计算研究打下了基础。

(2) 水文序列异方差检验方法众多，是否有更合理的检测方法，还需进一步的研究；水文变异诊断系统还不够完善，也需要进一步加强。

(3) 本文仅对方差变异情况进行了探讨，对于更高阶矩发生变异的序列如何处理，以及如何进行频率计算将是未来研究的关键和难点问题。

(4) 实例分析了永定河册田水库以上水资源三级区的年径流序列变异情况，所得结论与现实情况基本一致，本文提出的方法可作进一步的改进和推广。

致谢

感谢国家自然科学基金项目的支持, 感谢第十一届中国水论坛推荐!

基金项目

国家自然科学基金项目(项目号: 51179131; 51190094)。

参考文献 (References)

- [1] 谢平, 陈广才, 雷红富等. 变化环境下地表水资源评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 2.
XIE Ping, CHEN Guangcai, LEI Hongfu, et al. Surface water resources evaluation methods on changing environment. Beijing: science press, 2009: 2. (in Chinese)
- [2] MACHI WAL, D. and JHA, M. K. Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice. Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [3] JAYAWARDENA, A. W. and LAU, W. H. Homogeneity tests for rainfall data. Journal of the Hong Kong Institution of Engineers, 1990: 22-25.
- [4] KANG, H. M. and YUSOF, F. Homogeneity tests on daily rainfall series in Peninsular Malaysia. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 2012, 7(1): 9-22.
- [5] 梁忠民, 胡义明, 王军. 非一致性水文频率分析的研究进展[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 864-871.
LIANG Zhongmin, HU Yiming and WANG Jun. Advances in hydrological frequency analysis of non-stationary time series. Advances in Water Science, 2011, 22(6): 864-871. (in Chinese)
- [6] GABRIELE, V., JAMES, A. S., FRANCESCO, S., et al. Flood frequency analysis for nonstationary annual peak records in an urban drainage basin. Advances in Water Resources, 2009, 32(8): 1255-1266.
- [7] 黄少敏. 计量经济学入门[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 7.
HUANG Shaomin. Introduction to econometrics. Beijing: Peking University Press, 2004: 7. (in Chinese)
- [8] 谢平, 陈广才, 雷红富等. 水文变异诊断系统[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 85-91.
XIE Ping, CHEN Guangcai, LEI Hongfu, et al. Hydrological alteration diagnosis system. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 1: 85-91. (in Chinese)
- [9] 谢平, 许斌, 章树安等. 变化环境下区域水资源变异问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 6.
XIE Ping, XU Bin, ZHANG Shuan, et al. Regional water resources variation problem research under changing environments. Beijing: Science Press, 2012: 6. (in Chinese)
- [10] 贾文, 甄有忠. 册田水库供水初步探讨[J]. 山西水利, 2003, 3: 39-40.
JIA Wen and ZENG Youzhong. Preliminary discussion of Cetian reservoir water supply. Shanxi Water Resources, 2003, 3: 39-40.
- [11] 范树宏. 积极开发桑干湖风景区为发展大同生态旅游开拓新路[J]. 山西水利, 2004, 4: 78-79.
FAN Shuhong. Actively develop the Sanggan lake scenic spot, and pioneer a new road for the development of ecological tourism. Shanxi Water Resources, 2004, 4: 78-79.