

# Analysis of Runoff Characteristics in the Downstream of Bahe River\*

Kui Gou, Shuhong Mo<sup>#</sup>, Bing Shen

Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology, Xi'an University of Technology, Xi'an  
Email: <sup>#</sup>moshuhong@xaut.edu.cn

Received: Sep. 6<sup>th</sup>, 2012; revised: Sep. 27<sup>th</sup>, 2012; accepted: Oct. 7<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** This article analyses annual runoff variation characteristics, including annual, inter-annual characteristics, tendency and mutation points, based on the runoff data series at Maduwang station in the Bahe River. The main results are: the runoff has big inter-annual variability and its annual distribution is uneven; the tendency of the runoff is significant decline; the main periods of the runoff are 7 years, 19 years and 34 years, the period of 19 year is the most significant. The mutation of the runoff observed at Maduwang station took place around 1971.

**Keywords:** Bahe River Downstream; Runoff Variation; Characteristic Analysis

## 灞河下游径流变化特性分析\*

勾奎, 莫淑红<sup>#</sup>, 沈冰

西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安  
Email: <sup>#</sup>moshuhong@xaut.edu.cn

收稿日期: 2012年9月6日; 修回日期: 2012年9月27日; 录用日期: 2012年10月7日

**摘要:** 本文以灞河下游马渡王站的实测年径流资料为基础, 分析了径流的年际年内变化以及径流的变化趋势、周期和突变点。研究结果表明: 灞河下游径流年际变化大, 年内分配不均匀; 径流序列具有显著的下降趋势; 径流序列存在7年、19年和34年的周期, 19年的周期最为显著; 径流序列突变起始时间发生在1971年。

**关键词:** 灞河下游; 径流变化; 特性分析

### 1. 流域概况

灞河属黄河流域, 渭河水系, 是渭河的一级支流, 发源于秦岭北麓蓝田、渭南、华县交界处的蓝田县灞源乡箭峪岭南九道沟, 由南向北流, 经灞源后西行, 到冯家湾出峪口。上游先后有支流清峪河、流峪河、兰桥河、道沟峪汇入, 在蓝田县城辋川河汇入后, 经

曳湖、马渡王, 于下游未央区谭家堡纳入较大支流泾河后, 向北流约10 km于灞桥区三郎村汇入渭河。河流全长104 km, 流域面积2581 km<sup>2</sup>(含支流泾河760 km<sup>2</sup>)(见图1)。

灞河流域目前设有三处水文站——罗李村水文站、马渡王水文站、常家湾水文站。罗李村水文站位于灞河上游, 马渡王位于灞河下游, 常家湾位于灞河的支流泾河上。马渡王水文站于1952年6月设立, 控制流域面积为1601 km<sup>2</sup>。本文选用马渡王水文站1953~2010年的年径流量资料对灞河下游径流特性进行分析。

\*基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50939004)。

<sup>#</sup>通讯作者。

作者简介: 勾奎(1986-), 男, 陕西人, 在读硕士生, 从事水文及水资源。

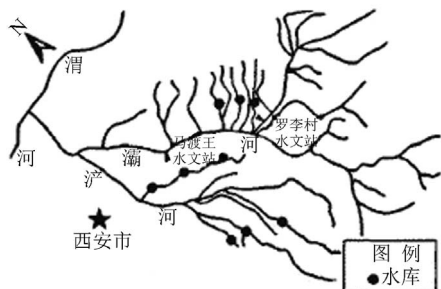


Figure 1. The schematic diagram of the Bahe River basin<sup>[1]</sup>  
图 1. 灞河流域示意图<sup>[1]</sup>

## 2. 径流变化特性分析

### 2.1. 径流年际变化和年内分配特征

对灞河马渡王水文站 1953~2010 年的径流资料进行统计分析得出, 1953~1960 年、1961~1970 年径流量偏丰, 1991~2000 年偏枯。偏丰时期的径流量几乎是偏枯时期径流量的两倍, 这反映了马渡王水文站径流量年际变化较大的特点。详见表 1。

马渡王水文站各月径流量分配如表 2 所示。可以看出, 全年径流主要集中在 7~10 月份, 占全年径流量的 56.5%, 9 月份占年径流量的 16.40%, 而 2 月份只占年径流量的 1.95%, 各月对年径流量的贡献相差比较大, 这就反映出其年内分配不均匀的特点。

### 2.2. 径流趋势分析

对灞河马渡王年径流序列采用五年滑动平均, 并应用肯德尔秩次相关检验方法分析马渡王年径流序列的变化趋势。

肯德尔秩次相关检验是应用较多的统计方法, 主要原理为<sup>[2,3]</sup>: 针对序列  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 先确定所有对偶值  $(x_i, x_j) (j > i)$  中  $x_i < x_j$  的出现个数, 记为  $k$ 。如果按顺序前进的值全部大于前一个值, 这是一种上升趋势,  $k = (n-1) + (n-2) + \dots + 1$ , 总和为  $n(n-1)/2$ , 如果全部倒过来, 则  $k = 0$ , 即为下降趋势。 $k$  的数学期望  $E(k) = n(n-1)/4$ 。

采用  $U$  检验对序列趋势成分的显著性进行检验, 构造统计量

$$U = \frac{\tau}{\sqrt{Var(\tau)}} \quad (1)$$

式中

$$\tau = \frac{4p}{n(n-1)} - 1, \quad Var(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \quad (2)$$

原假设为序列无趋势时, 给定显著性水平  $\alpha = 0.001$  或  $0.05$ , 查正态分布表得临界值  $U_{\alpha/2}$ 。若  $|U| > U_{\alpha/2}$ , 则拒绝原假设, 认为序列中趋势成分显著; 若  $|U| < U_{\alpha/2}$ , 则接受原假设, 认为序列中趋势成分不显著。

应用肯德尔趋势检验方法对灞河马渡王站年径流进行检验。取显著性水平  $\alpha = 0.05$ , 得出径流量的检验统计量  $U = -2.487$ ,  $|U| = 2.487 > U_{\alpha/2} = 1.96$ , 说明灞河马渡王站年径流序列具有明显的下降趋势。从图 2 中可以看出灞河马渡王站年径流量在 1964 年和 1983 年出现极大值。50 年代至 60 年代初径流量呈现减少的趋势; 60 年代中期至 60 年代末呈增加趋势;

Table 1. Decade distribution of the runoff  
表 1. 径流年际平均径流量分配统计

年份	1953~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010
径流量(万 m <sup>3</sup> )	60631.3	60255.1	42984.6	59957.0	30801.2	41070.8

Table 2. Monthly distribution of the runoff  
表 2. 径流年内分配统计

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
径流量(万 m <sup>3</sup> )	986	951.4	2427.3	4259.5	4863.3	3240.6
径流量月分配/%	2.02	1.95	4.96	8.71	9.95	6.63
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
径流量(万 m <sup>3</sup> )	6741.2	5948	8018.9	6915.8	3051.4	1488.7
径流量月分配/%	13.79	12.17	16.40	14.15	6.24	3.04

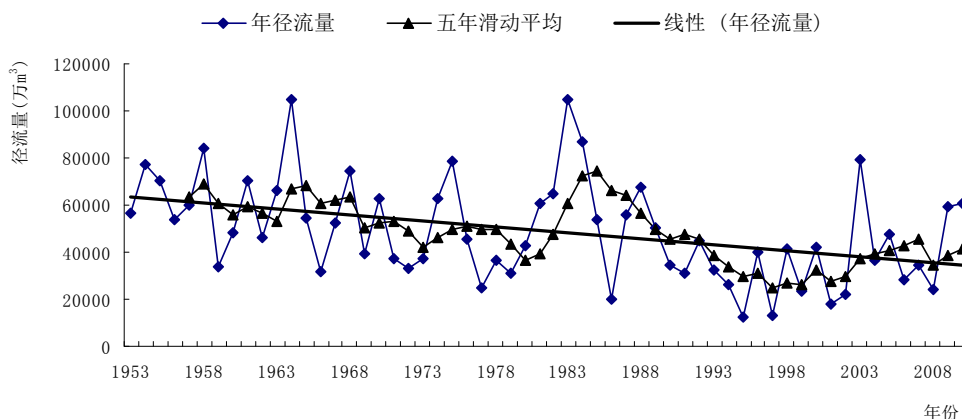


Figure 2. Annual runoff sequence and its linear trend and 5-years running mean  
图 2. 年径流过程及其趋势和五年滑动平均

60 年代中期至 70 年代末径流呈减少的趋势; 70 年代末到 80 年代中期径流有所增加; 80 年代中期至 21 世纪初, 径流一直减少; 此后至 2010 年又有一个缓慢的增加过程。

### 2.3. 径流周期分析

本文根据马渡王水文站年径流序列的 Morlet 连续小波变换的小波系数, 将时间域上的关于  $a$  的所有小波变换系数的平方进行积分, 即小波方差:

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (3)$$

在尺度  $a$  下,  $Var(a)$  表示时间序列中该尺度周期波动的强弱。小波方差随尺度  $a$  的变化过程称为小波方差图。它反映了水文时间序列中所包含的各种尺度 (即周期) 的波动以及其能量随尺度变化的分布特性。通过小波方差图, 可以确定一个水文序列中存在的主要时间尺度, 即主周期<sup>[4-6]</sup>。

灞河马渡王年径流序列小波变换方差如图 3 所示。从图 3 可以看出, 灞河马渡王站年径流系列存在 7 年、19 年和 34 年的准周期, 19 年的尺度周期最为显著。

### 2.4. 径流突变分析

Mann-Kendall 法是分析径流、降雨和气温等时间序列变化的非参数检验方法, 由于其计算比较简单, 不需要确定样本服从的分布, 也不受外界异常因素的影响而被广泛应用<sup>[7-11]</sup>。

对于样本容量为  $n$  的时间序列  $x$ , Mann-Kendall

检验法的统计量定义为

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

式中

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}, a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad 1 \leq j \leq i \quad (5)$$

$$UF_1 = 0, E(S_k) = \frac{n(n-1)}{4}, Var(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (6)$$

按时间序列  $x$  的逆序  $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ , 再重复上述计算过程, 同时使序列的逆序值  $UB_k = -UF_k (k = n, n-1, \dots, 1)$ ,  $UB_1 = 0$ 。  $UB_k$  和  $UF_k$  的关系可表述为

$$UB_k = -UF_{k^*}, k^* = n+1-k \quad (7)$$

将统计量  $UF_k$  和  $UB_k$  构成的曲线超过了正负临界值直线, 则表明原序列具有显著的上升或下降趋势。若  $UF_k$  和  $UB_k$  在正负临界值之间出现交点, 则表明原序列存在跳跃变异, 且两曲线相交点的时刻即为突变开始的时刻。

本文取显著性水平  $\alpha = 0.05$ ,  $U_{\alpha/2} = 1.96$ 。径流量变化突变性 M-K 分析结果如图 4 所示。图 4 中  $UF$  和  $UB$  曲线在  $\pm 1.96$  之间相交于 1971 年, 即灞河马渡王径流序列突变起始时间发生在 1971 年。

## 3. 结论

本文分析了灞河下游马渡王水文站的径流变化特性, 得到以下结论: 1) 灞河下游马渡王水文站径流

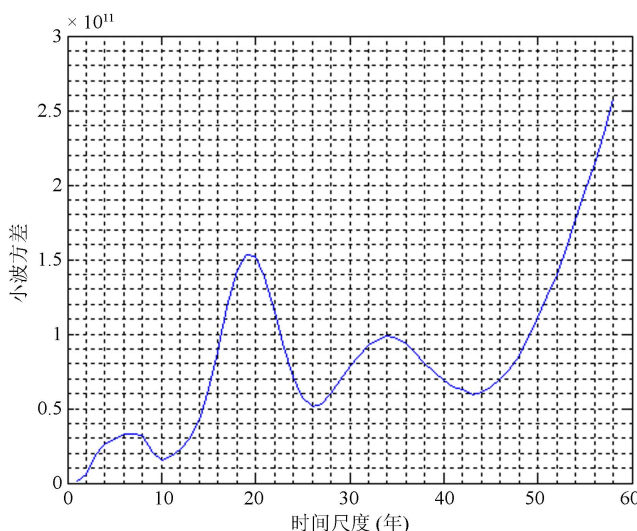


Figure 3. Wavelet variance of the annual runoff at Maduwang station in the Bahe River  
图 3. 灞河马渡王年径流序列小波变换方差

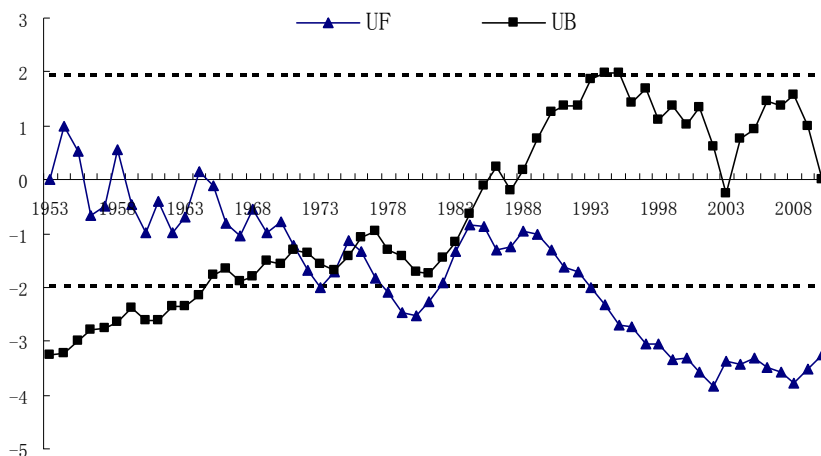


Figure 4. The M-K test of annual runoff at Maduwang station in the Bahe River  
图 4. 灞河马渡王径流突变 M-K 检验

量年际变化较大, 年内分配不均匀; 2) 年径流序列具有明显的下降趋势; 3) 年径流系列存在 7 年、19 年和 34 年的准周期, 19 年的尺度周期最为显著; 4) 年径流序列的突变起始时间发生在 1971 年。年径流序列具有下降趋势和发生突变的原因有待进一步分析。

参考文献 (References)

[1] 赵建春, 王新宏, 李九发, 等. 灞河流域水沙特性研究[J]. 人民黄河, 2008, 30(4): 20-22.  
ZHAO Janchun, WANG Xinhong, LI Jiufa, et al. Experimental study on flow and sediment characteristic of Bahe. Yellow River, 2008, 30(4): 20-22. (in Chinese)  
[2] 王文圣, 丁晶, 金菊良. 随机水文学(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

WANG Wenshen, DING Jin and JIN Julian. Stochastic hydrology (2nd edition). Beijing: China Water Power Press, 2008. (in Chinese)  
[3] 赵静. 西安市皂河流域降雨径流特征及其污染研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2011.  
ZHAO Jing. Research on hydrologic and pollution characteristic of Zaohe in Xi'an. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2011. (in Chinese)  
[4] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.  
XU Jianhua. Mathematic methods for modern geography. Beijing: High Education Press, 2009. (in Chinese)  
[5] 王文圣, 丁晶, 李越清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 4.  
WANG Wenshen, DING Jing and LI Yueqing. Hydrologic wavelet analysis. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005. (in Chinese)  
[6] 王秀杰, 杨敏, 崔海军. 黄河潼关汛期水沙变化周期及其趋势分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 312-317.  
WANG Xiujie, YANG Min and CUI Haijun. Period and trend

- analysis of runoff and sediment transport at Tongguan station along the Middle Yellow River in flood season. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(2): 312-317. (in Chinese)
- [7] 周婷, 于福亮, 李传哲, 等. 1960~2005年渭河流域径流量演变趋势[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2010, 38(6): 609-613.  
ZHOU Ting, YU Fuliang, LI Chuanzhe, et al. Evolution trend of runoff in Mekong River basin during 1960-2005. *Journal of Hehai University (Natural Sciences)*, 2010, 38(6): 609-613. (in Chinese)
- [8] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. *水科学进展*, 2007, 18(2): 230-234.  
ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 230-234. (in Chinese)
- [9] 宋小燕, 穆兴民, 高鹏, 等. 松花江哈尔滨站近100年来径流量变化趋势[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(10): 1803-1809.  
SONG Xiaoayan, MU Xingmin, GAO Peng, et al. Trends of runoff variation from 1900 to 2005 at Harbin station of Songhua River. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(10): 1803-1809. (in Chinese)
- [10] 郝璐, 王静爱, 高路, 等. 老哈河流域近40年径流变化趋势分析[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(6): 629-634.  
HAO Lu, WANG Aijing, GAO Lu, et al. On the runoff in Lohahe River basin in the last 40 years. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2008, 44(6): 629-634. (in Chinese)
- [11] 田菲, 韩淑敏, 胡玉昆. 海河流域典型山区子流域近34年气候及径流变化趋势[J]. *中国农业气象*, 2009, 30(1): 60-65.  
TIAN Fei, HAN Shumin and HU Yukun. Variance tendency of precipitation and runoff in mountain watershed of Hai River basin in recent 34 years. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(1): 60-65. (in Chinese)