

# 1956—2009 年皇甫川流域不同历时 最大暴雨量周期性和趋势性分析

高亚军<sup>1</sup>, 赫晓慧<sup>2</sup>, 张展<sup>1</sup>, 徐建华<sup>1</sup>

(1. 黄河水利委员会水文局, 郑州 450004; 2. 郑州大学 水利与环境学院, 郑州 450001)

**摘 要:**以皇甫川流域为研究对象,采用年最大构建法以“小时”为单位进行滑动选样摘取不同历时年最大暴雨量,以 GIS 为平台,利用泰森多边形统计流域不同历时最大暴雨量,采用自相关系数和方差谱密度来表达水文序列内部线性相依性质和水文系列的振动现象,进而分析水文系列的周期性,采用周期模型进行趋势性预测。研究结果表明:不同时段最大暴雨量随年代变化的趋势基本一致,均表现为 20 世纪 70 年代前暴雨量最大,80 年代最小,90 年代居中,近 10 a 仅次于 20 世纪 70 年代之前;与 20 世纪 70 年代之前相比,80 年代以来随着降雨历时的延长最大降雨量减少的幅度达到 5.1%~19.1%,皇甫站最大 24 h 降雨量存在 3 a、7 a 和 15 a 的变化周期,未来仍会出现大暴雨的可能性。

**关键词:**不同历时; 最大暴雨; 周期性; 趋势性; 皇甫川

**中图分类号:**P426.61<sup>+</sup>4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)01-0251-03

## The Maximum Rainfall Amount Cyclical and Trend Analysis of Different Durations in Huangfuchuan Basin During 1956—2009

GAO Ya-jun<sup>1</sup>, HE Xiao-hui<sup>2</sup>, ZHANG Zhan<sup>1</sup>, XU Jian-hua<sup>1</sup>

(1. Hydrological Bureau of YRCC, Zhengzhou 450004, China;

2. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Huangfuchuan basin was taken as study area, the annual maximum building method was used to calculate the largest rainstorm of different durations in hour by the sliding sample way. Based on GIS platform, Thiessen polygon was used to calculate Watershed lasted biggest rainstorm, autocorrelation coefficients and variance spectral density were used to express sequence internal linear dependence hydrological and hydrogeological nature series vibration phenomena, and then the cyclical hydrological series were analyzed by using the cycle model for trend prediction. The results showed that the maximum rainfalls of different storm occurrence periods have the same changing trend over time, and there were largest amounts of rainstorm before the 1970s, and the smallest in 1980s, the middle in 1990s, and the amount of heavy rains the past 10 years was little smaller than the 1970s. Compared with the 1970s, the percentage of reduction since the 1980s with the extension of rainfall, the rates of decrease was 5.1% to 19.1%, the maximum 24-hour rainfall of Huangfu station existed a change cycle of 3 years, 7 years and 15 years, respectively. Huangfuchuan watershed still has the possibility of heavy rain.

**Key words:** different duration; rainstorm; periodicity; tendency; Huangfuchuan

皇甫川流域既是黄河中游多沙粗沙区的所在地,也是黄河洪水重要来源支流之一。目前,关于皇甫川流域的研究大多集中在土壤侵蚀或水土保持、土地利用变化、植物/土壤的生理生态特征<sup>[1]</sup>等方面。本文利用 1956—2009 年皇甫川流域降雨要素数据,对该流域不同历时最大降雨变化、周期分析及趋势预测等方面进行研究,以期对该流域生态环境特征研究进行补充,为

皇甫川流域规划、生态建设、环境治理提供理论参考。

## 1 研究区概况

皇甫川流域位于 39.2°—39.9°N, 110.3°—111.2°E, 是黄河中游的一级支流,发源于内蒙古自治区准格尔旗的点畔沟,自西北流向东南,在陕西省府谷县下川口村注入黄河,干流全长 137 km,河道平均比降 2.66%,

流域面积 3 246 km<sup>2</sup>,属于温带半干旱大陆性气候,干燥、少雨、多风,且降水多以暴雨集中于夏季。流域植被类型主要有乔、灌、草、农、沙地植被和低湿地植被等。由于气候变化、历史时期的砍伐及自清末以来的农垦,该流域天然林及草原已所剩无几,被人工植被和天然次生草原植被所代替<sup>[2]</sup>。按照地表组成物质和侵蚀差异,可将流域分为 3 个丘陵沟壑类型:(1)黄土:主要分布于流域的东部和西南部、面积为 1 627 km<sup>2</sup>。(2)沙化黄土:主要分布在纳林川与十里长川之间地区和库布齐沙漠边缘,面积 1 376 km<sup>2</sup>。(3)砒砂岩:主要分布于流域的西北部,面积 243 km<sup>2</sup>,该区水土流失极其严重,属极剧烈侵蚀区。该流域水土流失面积约占 96.7%,全沙模数基本在 15 000 t/km<sup>2</sup>,约占流域面积的 95.6%,侵蚀类型多样,总体表现以水蚀为主,水蚀、重力侵蚀和风蚀复合侵蚀。

## 2 研究方法及原理

### 2.1 最大暴雨量分析原理及方法

最大暴雨量统计采用 1956—2009 年降水量摘录资料,以“小时”为单位进行滑动选样,以年最大选样法构建分析序列,分别统计 3 h、6 h、12 h 和 24 h 等不同历时最大暴雨量。为了能更好地反映每个雨量站所代表的控制区域,本文根据皇甫川流域所选择的 16 个站点,在 GIS 平台上利用泰森多边形分析方法(图 1),确定每个站的控制面积,然后根据每个站点对应的降雨过程分别统计每个站点对应的不同时段暴雨量,以此来分析皇甫川流域不同历时暴雨变化特点。



图 1 皇甫川流域泰森多边形分区

### 2.2 自相关分析原理及方法

自相关分析是研究水文序列内部线性相关性质的统计技术,常用自相关系数和自相关图来研究这种性质。自相关系数是时间的函数,因此自相关分析是在时间域上分析水文序列内部结构。自相关系数的公式为:

$$R_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} X_t X_{t+k} - \frac{1}{n-k} (\sum_{t=1}^{n-k} X_t) (\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k})}{[\sum_{t=1}^{n-k} X_t^2 - \frac{1}{n-k} (\sum_{t=1}^{n-k} X_t)^2]^{\frac{1}{2}} [\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k}^2 - \frac{1}{n-k} (\sum_{t=1}^{n-k} X_{t+k})^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

式中:  $X_t, X_{t+k}$ ——系列  $n$  中第  $t$ 、第  $t+k$  个样本;推移步长  $k=0, 1, 2, \dots, m; m < n$ 。

### 2.3 方差谱密度原理及方法

把水文序列视为一种有一定规律的振动现象,认为它是由一组包括不同频率的正弦波组成的谐波叠加而成的,并用傅立叶级数表示,由此可以得到序列的方差谱密度。方差谱密度是在频率域上分析水文序列内部结构。经平滑处理后的方差谱密度公式<sup>[3]</sup>为:

$$\hat{S}_{\omega_j} = \frac{2}{\pi} (1 + \sum_{k=1}^m D_k R_k \cos \omega_j k) \quad (2)$$

式中:  $D_k$ ——海明权重因子,  $D_k = 0.54 + 0.46 \cos(\pi k/m)$ ;  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  为普通频率,计算时,取  $\omega_j = 2\pi f_j = \pi j/m, j=0, 1, 2, \dots, m$ ;  $R_k$ ——自相关系数。

### 2.4 周期趋势预测原理及方法

水文过程一般由确定项和随机项两部分组成,一般而言,水文过程中总包含受确定性因素影响的确定成分(包括周期、趋势以及突变成分等)以及受随机性因素影响的随机成分(包括相依的和纯随机的成分),对于降雨的确定性项,一般用周期模型来反映。即:

$$x_t = x_q + \eta_t \quad (3)$$

(1) 确定项。采用式(4)计算得到系列的确定项

$$x_q = \bar{x} + a \cos \frac{2\pi}{T} t + b \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (4)$$

式中:  $\bar{x}$ ——系列均值;  $T$ ——周期长度。

系数  $a$  和  $b$  的计算方法采用(5)和(6)得到

$$a = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (5)$$

$$b = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (6)$$

(2) 随机项。随机项就是扣除周期项后的残差项,假定为自噪声,用正态分布来反映。

随机数的生成:利用标准函数 rand() 模拟生成伪随机数,这一伪随机数具有在  $[0, 1]$  区间上服从均匀分布随机变量的概率统计特性,且生成的伪随机数具有足够长的系列,以满足模拟实际问题的需要。

随机序列的模拟:在得到伪随机数后,通过正态分布纯随机序列的模拟。对伪随机数  $\mu_1$  和  $\mu_2$  作下列变换:

$$\zeta_t = \sqrt{-2 \ln \mu_1} \cos 2\pi \mu_2 \quad (7)$$

则  $\zeta_t$  为相互独立的标准正态分布  $[N(0, 1)]$  变量。

由  $\zeta_t$  可换算成正态分布纯随机序列

$$\eta_t = \bar{x}_\eta + \sigma \zeta_t \quad (t=1, 2, \dots)$$

式中:  $\bar{x}_\eta, \sigma$ ——序列  $\eta_t$  的均值和均方差。

(3) 随机序列的生成。将上述确定项( $x_q$ )和随机项( $\eta_t$ )叠加即得到新的水文序列。

3 结果与分析

3.1 不同年代暴雨量变化

从表 1 可以看出,皇甫川流域 20 世纪 60 年代前和近 10 a 最大 3 h 暴雨量最大,均达到 31.4 mm,90 年代较小,为 28.3 mm,最小的是 80 年代,为 27.9 mm;当时段降水量在 6 h 以上时,其变化趋势与最大

3 h 基本一致,表现为 70 年代暴雨量最大,60 年代前次之,近 10 a 居中,90 年代以来较小,80 年代最小。与 70 年代以前各时段最大暴雨量相比,80 年代以后的时段最大降雨量均有减少的趋势,且随着年代的增加,减少的幅度在缩小;从长系列来看,20 世纪 80 年代以来,随着降雨历时的延长,减少的百分比在加大,减少的幅度为 5.1%~19.1%。

表 1 皇甫川流域不同年代年最大暴雨量

时长/ h	最大时段降水量/mm					与 1979 年前相比/%					
	1956—	1970—	1980—	1990—	2000—	1956—	1980—	1980—	1990—	2000—	1980—
	1969 年	1979 年	1989 年	1999 年	2009 年	1979 年	2009 年	1989 年	1999 年	2009 年	2009 年
3	31.4	29.9	27.9	28.3	31.4	30.8	29.2	-9.3	-8.0	2.0	-5.1
6	40.6	42.5	35.7	37.6	38.8	41.4	37.4	-13.8	-9.2	-6.3	-9.7
12	49.0	54.4	43.6	44.7	44.8	51.3	44.4	-14.9	-12.8	-12.6	-13.4
24	60.0	64.5	52.1	49.1	49.0	61.9	50.1	-15.8	-20.6	-20.8	-19.1

3.2 最大 24 h 降雨量周期分析

图 2 是皇甫站历年最大 24 h 降雨量过程线图,最大值出现在 1977 年,为 139.8 mm,最小值为 1972 年仅为 17.4 mm,后者仅为前者的 12.5%;图 3 是皇甫站年最大 24 h 降雨量自相关系数随推移步长的自相关图,可以看出皇甫站 24 h 的周期变化仍然不是很明朗;图 4 是皇甫站年最大 24 h 降雨量方差谱密度随周期变化图,可以看出,皇甫站年最大 24 h 降雨量周期变化为 3 a,7 a 和 15 a,即 3 a 左右会出现一次较大暴雨量。

3 a,7 a 和 15 a 近似周期分析,皇甫站年最大 24 h 降雨量随机模拟预测最大值为 105.9 mm,说明未来仍会出现较大降雨量的可能(图 5)。

3.2.3 最大 24 h 降雨量未来趋势预测 截至 2009 年,皇甫站实测年最大 24 h 降雨量为 139.8 mm,按照

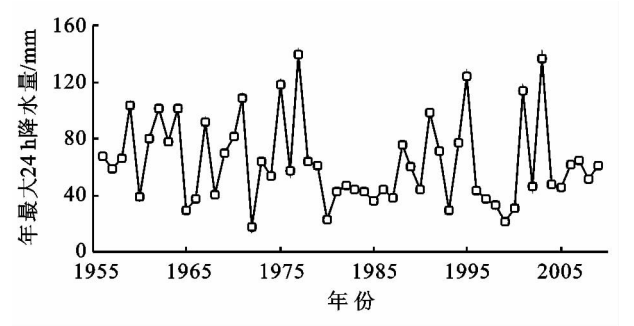


图 2 皇甫站年最大 24 h 降雨量过程线

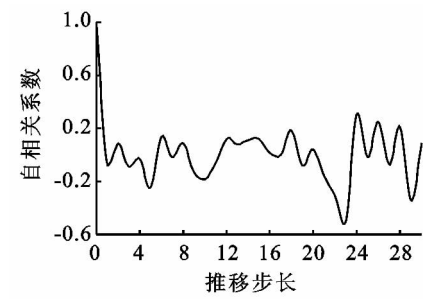


图 3 皇甫站年最大 24 h 降雨量自相关

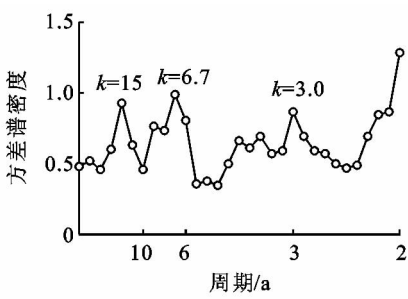


图 4 皇甫站年最大 24 h 降雨量方差谱密度

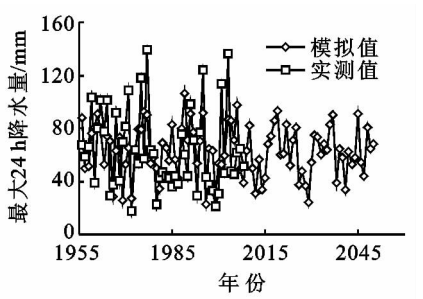


图 5 皇甫站年最大 24 h 降雨量随机模拟预测结果

4 结论

从皇甫川流域不同历时最大暴雨量统计来看,不同时段最大暴雨量随年代变化的趋势基本一致,总体表现为 20 世纪 70 年代前最大暴雨量最大,80 年代最小,90 年代居中,近 10 a 仅次于 20 世纪 70 年代之前;与 20 世纪 70 年代之前相比,80 年代以来随着降雨历时的延长,减少的百分比在加大,减少的幅度达到 5.1%~19.1%,说明长历时暴雨发生的时间在缩短。从最大 24 h 降雨量周期变化分析得出,皇甫站

年最大 24 h 降雨量存在 3 a、7 a 和 15 a 的周期,说明 3 a 左右会出现一次较大暴雨量;从皇甫站最大 24 h 降雨量趋势分析来看,皇甫川流域皇甫水文站未来仍会出现大暴雨的可能性。

参考文献:

[1] 孙特生,李波,张新时.皇甫川流域气候变化特征及其生态效应分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(9):1-7.  
[2] 金争平,史培军,候福昌,等.黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M].北京:海洋出版社,1992.  
[3] 丁晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.