

# Flood Characteristics and Variation of Lishui River

Zhilong Li<sup>1,2</sup>, Dehua Mao<sup>1</sup>, Chang Feng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha

<sup>2</sup>Department of Tourism Management, Hunan Business College, Changsha

Email: zsulizhilong@yahoo.com.cn

Received: Feb. 27<sup>th</sup>, 2013; revised: Mar. 21<sup>st</sup>, 2013; accepted: Apr. 2<sup>nd</sup>, 2013

Copyright © 2013 Zhilong 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.

**Abstract:** Hydrological station annual maximum discharge and the highest water level data of Jinshi and Shimen are collected, and according to these, the flood characteristics of Lishui River are analyzed. Two hydrological station maximum discharge and highest water level statistical value-mean, variance, coefficient of variation, coefficient of skewness are calculated, and statistical characteristics of the flood are analyzed; singular spectrum trend analysis indicates Jinshi station maximum discharge and the highest water level for all show ascendant trend, and the Shimen station is a declining trend. Flood periodicity analysis of Lishui River showed that there were two cycles of the spectrum peak about 4 and 2 years of Shimen and Tianjin hydrological stations, but these two cycles were not significant. Discharge frequencies of Jinshi and Shimen hydrological stations are calculated, and according to the relation between water level and discharge, the frequencies of the design water level of Jinshi and Shimen hydrological station are obtained.

**Keywords:** Lishui River; Flood Characteristics; Trend Analysis; Cycle Analysis

## 澧水洪水特征及变化规律

李志龙<sup>1,2</sup>, 毛德华<sup>1</sup>, 冯 畅<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖南师范大学资源与环境学院, 长沙

<sup>2</sup>湖南商学院旅游管理系, 长沙

Email: zsulizhilong@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013年2月27日; 修回日期: 2013年3月21日; 录用日期: 2013年4月2日

**摘 要:** 收集了澧水津市与石门两个水文站年最大流量及最高水位资料, 据此, 分析了澧水洪水特征。计算了津市与石门最大流量及最高水位统计值: 均值、方差、变差系数、偏态系数, 并分析了洪水统计特征; 奇异谱趋势分析表明津市站最大流量与最高水位均呈上升趋势, 石门站则均呈下降趋势; 澧水洪水周期性分析表明, 石门与津市两个水文站洪水均存在约4年与2年两个周期的谱峰, 但此2周期均不显著; 计算了津市站与石门站各频率洪水流量, 并根据水位流量关系, 推算出津市与石门水文站各频率的设计水位。

**关键词:** 澧水; 洪水特征; 趋势分析; 周期分析

### 1. 澧水概况

澧水为洞庭湖四大水系之一, 干流发源于桑植县

作者简介: 李志龙(1973-), 男, 博士, 副教授, 湖南师范大学资源与环境学院博士后。研究方向: 水文与水资源。

杉木界经桑植县城西, 东南流经桑植、永顺、张家界(大庸)、慈利、石门、临澧、澧县、津市等县(市)后注入洞庭湖之七里湖。澧水干流自桑植县杉木界至津市小渡口, 全长388 km, 自然落差1439 m。北以武陵

山脉北支与湖北省清江水系相隔,南以武陵山脉南支与沅水水系分野,西起湘鄂崇山,东濒洞庭湖平原;地势北、西、南三面高,东部较低;干流及主要支流自西北流向东南,构成平行的河流系统。

澧水自河源至张家界(大庸)为上游,张家界至石门为中游,石门至津市小渡口为下游。上、中游为灰岩沉积地区,易形成喀斯特地貌(岩溶地貌),沿途峡谷幽深,石壁耸立。下游为第三纪红砂岩及第四纪冲积地区,易被剥蚀,形成低矮的丘陵、台地和冲积平原,地势开阔平坦。其流域 18,496 km<sup>2</sup>,其中 83%以上在湖南境内。澧水流域属中亚热带季风气候区,年降水量 1165~1924 mm,流域平均 1542 mm,降水丰富,但时空分布不均衡,径流量年际变化和年内变化很大。澧水干流上游及主要支流均处于长江流域最大暴雨区五峰、鹤峰南麓,其特点是暴雨强度大,面积广,而流域内植被差,坡度陡,洪水集流迅速。干、支流洪水经常遭遇,在尾间又与来自淞滋河的长江洪水叠加。因此,澧水洪灾频繁而严重,是长江中游各支流中洪水灾害最严重的河流<sup>[1]</sup>。

## 2. 基本资料情况及澧水水文统计特性分析

### 2.1. 资料收集情况

选取了澧水中下游具有代表性的两个控制站:石门站和津市站。石门站是澧水干流总控制站,是原三江口水文站下迁后更名(因修建三江口水电站),位于石门县楚江镇东方桥路,属于国家基本站网中的重要水文站<sup>[2]</sup>。津市站 1952 年 12 月设立水文站,1953 年迁至羊湖口,1956 年基本水尺上迁 300 m,改为水文站,名津市站。1974 年 3 月下迁 2500 m 至津市韩石港码头观测,1975 年移水尺于右岸观测至今,名津市(二)站。收集了这两个站点的多年水位及流量数据系列,来分析澧水水文特性。

收集了石门站 1950~2011 年最大流量及最高水位时间系列(如图 1(a));收集了津市水文站 1953~2011 年最大流量及最高水位时间序列(如图 1(b))。

### 2.2. 澧水洪水统计特征分析

水文过程有时受随机性的支配,因为水文现象主要是由降水引起的,而降水本身是一个随机的,不确定的过程,此外,水文现象涉及的范围大、空间变化

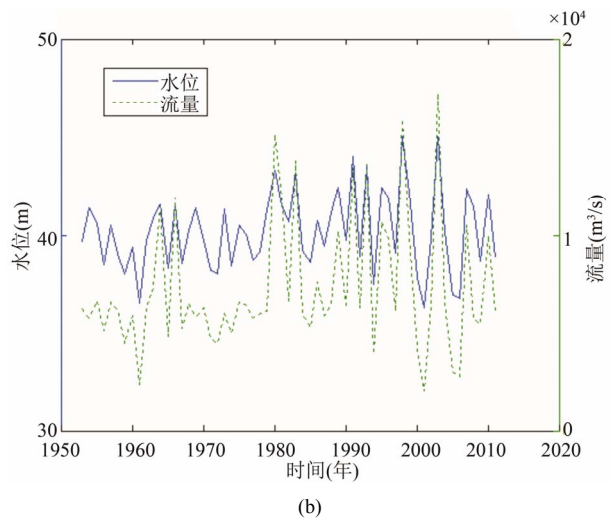
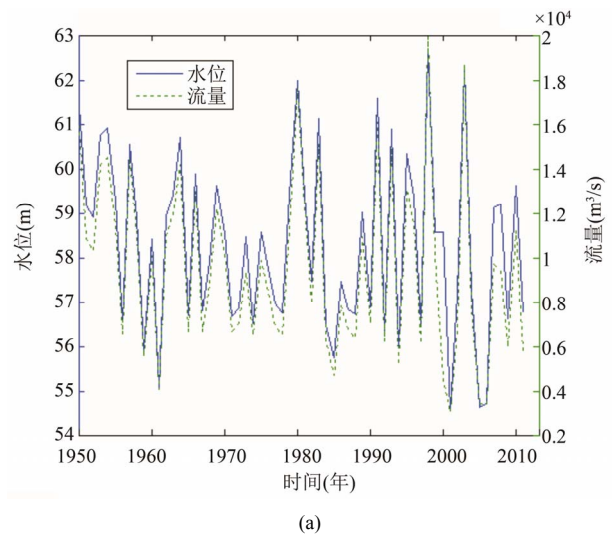


Figure 1. (a) Shimen maximum flow and highest water level; (b) Jinshi maximum flow and highest water level  
图 1. (a) 石门站最大流量与最高水位; (b) 津市站最大流量与最高水位

大,难于对每一点的有关变量进行观测和预测<sup>[3]</sup>。许多水文极值是不可预测的,唯一的方法是通过历史观测资料的汇总、分析、评价去估计它们可能的大小与范围<sup>[4]</sup>。从这方面意义上来说,水文学是一种观测科学。目前的水文分析计算,就是根据已经观测到的水文资料,利用数理统计的方法归纳水文现象的统计规律性,以对未来可能发生的水文情势进行预估。

说明随机变量统计规律的数字特征,称为随机变量的统计参数。

统计参数有总体统计参数与样本统计参数之分。水文计算中常用的样本统计参数有均值、均方差、变差系数和偏态系数。

1) 均值

均值表示系列中变量的平均情况。设某水文变量的观测系列(样本)为  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 则其均值为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

令  $k_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$ ,  $k$  称模比系数, 则:

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + \dots + k_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i = 1 \quad (2)$$

2) 均方差

均方差是反映系列中各变量集中或离散的程度。研究系列集中或离散程度, 常采用方差  $D_x$  或均方差  $\sigma$ , 计算公式为:

$$D_x = \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

3) 变差系数

水文计算中用均方差与均值之比作为衡量系列的相对离散程度的一个参数, 称为变差系数, 或称离差系数、离势系数, 用  $C_v$  表示, 其计算式为:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{n}} \quad (5)$$

上式说明,  $C_v$  是变量  $x$  换算成模比系数  $k$  以后的

均方差。

4) 偏态系数

在数理统计中采用偏态系数  $C_s$  作为衡量系列不对称程度的参数, 其计算式为:

$$C_s = \frac{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{n}}{\sigma^2} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3} \quad (6)$$

上式右端的分子、分母同除以  $x^{-3}$ , 则得:

$$C_s = \frac{\sum (k_i - 1)^3}{nC_v^3} \quad (7)$$

当系列对于  $\bar{x}$  对称时,  $C_s = 0$ ; 当系列对于  $\bar{x}$  不对称时,  $C_s \neq 0$ , 若  $C_s > 0$ , 称为正偏; 若  $C_s < 0$ , 称为负偏。

以上文所述时间序列, 分别求得水文特征值如表 1。

从表 1 可知, 就年最大流量而言, 石门站均值较津市站大。石门站最高水位均值高出津市站约 18 m。据有关资料表明, 石门站洪峰传播至津市站时间为 8~10 小时, 涨幅比例 1:0.87(石门上涨 1, 则津市上涨 0.87), 两站水位高差 17.1~18.7 m。相应值如表 2 所示。

表 1 中, 最高水位与最大流量的均方差石门站也较津市站略大, 但变差系数津市站最高水位与最大流量均较石门站大, 表明津市站洪水相对年际变化较大。两个水文站历年最高水位与最大流量的偏态系数大于零, 为正偏。

Table 1. Jinshi and Shimen station maximum discharge and highest level statistical characteristics

表 1. 津市、石门站最大流量及最高水位时间序列统计特征

	均值	均方差	变差系数	偏态系数
石门站最大流量	9540.00	3967.50	0.42	0.54
津市站最大流量	7293.12	3375.56	0.46	1.14
石门站最高水位	58.29	2.00	0.03	0.20
津市站最高水位	40.20	2.01	0.05	0.30

Table 2. Corresponding value Shimen discharge and Jinshi water level

表 2. 石门流量与津市水位相应值

	5500	6100	7100	8100	10,000	12,000	15,000
石门							
流量	-6000	-7000	-8000	-1000	-12,000	-15,000	-17,600
津市	38.3	38.4	39.2	40.0	40.6	41.5	42.7
水位	-38.8	-39.2	-40.0	-40.6	-41.5	-42.7	-44.2

### 3. 澧水径流变化趋势与周期分析

一般水文序列可认为由趋势、跳跃、周期及随机成分线性迭加而成<sup>[5]</sup>。趋势、跳跃及周期成分都是确定性成分, 换句话说, 水文序列是由确定性成分与随机成分线性迭加而成。因此要了解水文系列的变化规律, 必须弄清楚了序列中各项成分的变化规律。首先, 对样本的基本特征进行分析。

对时间序列进行分析, 可以将不同的影响因素从时间序列中分解出来。如果构成时间序列的各种因素, 按照它们的性质和作用进行划分, 可以归纳为长期趋势、季节变动、循环变动和不规则变动四种, 假设四种变动是完全独立的, 时间序列可表示为各种因素相加的总和, 如下:

$$Y = T + S + C + I \quad (8)$$

其中,  $Y$  代表时间序列的实际发展水平,  $T$  代表长期趋势,  $S$  代表季节变动,  $C$  代表循环变动,  $I$  代表不规则变动。

其中, 不规则变动也称剩余变动或不规则波动, 它是时间序列中除去长期趋势、季节变动及循环变动之后所剩余的变动, 是各种偶然(或突发性的)因素, 以及无法预料或确切解释的随机因素影响的结果。不规则变化与时间无关。而趋势项、季节变动、循环变动代表了时间序列的规律性变化。其中季节变动和循环变动可统称为周期变动。

#### 3.1. 基于奇异谱趋势分析

奇异谱(SSA)是一种有效的统计分析工具, 能从包含噪声的系列中提取尽可能多的可靠信息, 进行趋势和周期分析。研究表明, 奇异谱分析在趋势分析中是较最大熵谱和小波分析更优的一种方法<sup>[6-8]</sup>。

奇异谱是一种变形的 EOF 分析方法。它的  $M$  阶滞后协方差矩阵记为  $Tx$ 。将  $Tx$  作正交展开,  $Tx$  的第  $k$  个特征向量  $E_k$  称为第  $k$  个时间 EOF(T-EOF), 相应的时间系数称为 T-PC。由于经过 SSA 分解, 系列的频域信号被分解为具有趋势成分或单一频率的时域信号。SSA 的主要功能由重建成分(RC)实现, 可按如下式重建各分量序列:

$$x_i^k = \sum_{j=1}^i a_{i-j}^k E_j^k \quad 1 \leq i \leq m-1;$$

$$x_i^k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{i-j}^k E_j^k \quad m \leq i \leq n-m+1;$$

$$x_i^k = \frac{1}{n-i+1} \sum_{j=i-n+m}^i a_{i-j}^k E_j^k \quad n-m+2 \leq i \leq n \quad (9)$$

式中,  $a$  为时间系数。所有的 RC 之和等于原系列。

根据 SSA 原理, 当原序列中存在一个周期振荡成份时, 它分别需要一对 T-EOF 和 T-PC 并满足以下三个条件:

- 1) 两个相邻的特征值接近相等;
- 2) 对应的两个 T-EOF 正交并与他们描述的时间序列有相同的周期;
- 3) T-PC 分量之间正交。

检验某个 RC 是否属趋势成分采用 Kendall 非参数检验。考查第  $k$  个 RC 时, 计数满足  $i < j$ ,  $x_i^k < x_j^k$  的指标数  $K_y$ , 统计量:

$$\tau = \frac{4K_y}{N(N-1)} - 1 \quad (10)$$

在  $x^k$  不是趋势成分的原假设成立时,  $\tau$  服从均值为零, 均方差为:

$$S = \sqrt{\frac{2(2N+5)}{9N(N-1)}} \quad (11)$$

的正态分布。因此, 若取置信度  $\alpha = 0.05$ , 当样本落在  $(-1.96S, 1.96S)$  以外时, 拒绝原假设, 认为第  $k$  个 RC 是趋势成分。  $\tau > 1.96S$  和  $\tau < -1.96S$  分别对应上升和下降趋势。

应用奇异谱方法, 分别对津市、石门的最高水位与最大流量数据系列进行计算, 分析其变化趋势。

先分别对上述时间数据系列中心化预处理。将处理后的数据系列进行 SSA 分解(维数  $m$  需凭经验试取, 具体参见文献[6]), 然后经 Kendall 检验, 提取趋势项, 对趋势项进行重构, 这反映时间序列变化趋势。

对津市站流量经 SSA 分解(经试取, 维数  $m$  为 20), 经 Kendall 检验表明 RC2、RC8 具有上升趋势, 且均不满足成对周期成分条件。故将 RC2、RC8 识别为趋势项成分(如图 2(a))。RC2 + RC8 则反映了津市水文站最大流量变化趋势(如图 2(b))。对 RC2 + RC8 可用最小二乘法拟合得到其线性变化趋势(如图 2(b)), 由其线性变化趋势可知, 津市站最大流量总体上表现为上

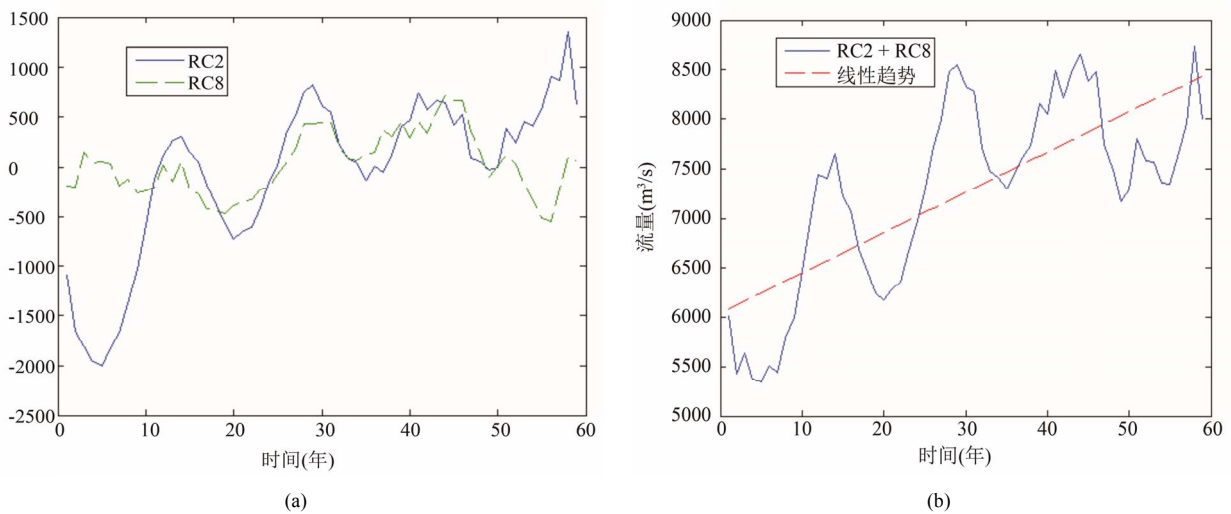


Figure 2. (a) Jinshi discharge SSA trend component; (b) Jinshi discharge trend after reconstructing  
图2. (a) 津市站流量 SSA 分解趋势成分; (b) 津市流量重构后的趋势

升趋势, 其平均上升速率为  $40.53 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

同样, 对津市站水位经 SSA 分解(经试取, 维数  $m$  为 21), 经 Kenall 检验表明 RC3、RC5 具有上升趋势, 且均不满足成对周期成分条件。故将 RC3、RC5 识别为趋势项成分(如图 3(a))。RC3 + RC5 则反映了津市水文站最高水位变化趋势(如图 3(b))。对 RC8 + RC9 可用最小二乘法拟合得到其线性变化趋势(如图 3(b)), 由其线性变化趋势可知, 津市站最高水位总体上表现为上升趋势, 其平均上升速率为  $0.0186 \text{ m/a}$ 。

对石门站流量序列经 SSA 分解(经试取, 维数  $m$  为 20), 经 Kenall 检验表明 RC16、RC19、RC20 均具有下降趋势, 且均不满足成对周期成分条件。故将 RC16、RC19、RC20 识别为趋势向成分(如图 4)。其重构系列则反映了石门水文站最大流量变化趋势(如图 4)。对 RC23 + RC24 + RC12 + RC20 可用最小二乘法拟合得到其线性变化趋势(如图 4), 由其线性变化趋势可知, 石门站最大流量总体上表现为下降趋势, 其平均下降速率为  $-25.98 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

对石门站最高水位序列经 SSA 分解(经试取, 维数  $m$  为 20), 经 Kenall 检验表明 RC14、RC19 具有下降趋势, 且均不满足成对周期成分条件。故将 RC14、RC19 识别为趋势向成分(如图 5(a))。RC14、RC19 则反映了石门水文站最高水位变化趋势(如图 5(b))。对 RC14 + RC19 可用最小二乘法拟合得到其线性变化趋势(如图 2(b)), 由其线性变化趋势可知, 石门站最高

水位总体上表现为下降趋势, 其平均下降速率为  $-0.0069 \text{ m/a}$ 。

通过对津市站与石门站水文系列的奇异谱趋势分析表明, 津市站最大流量与最高水位总体上呈上升趋势, 其防洪抗灾形势表现为更为严峻的态势。石门站最大流量与最高水位总体上则表现为下降趋势, 但上升和下降趋势并不明显, 呈现为曲折上升和下降, 其速率也并不很大。

### 3.2. 基于功率谱周期性分析

为考察上述时间序列的周期性, 可应用谱分析方法。

谱分析是时间序列在频域上进行分析的方法, 亦称频谱分析或波谱分析。谱分析方法的基本思想是把时间序列看作互不相关的不同频率分量的叠加, 利用傅立叶变换等手段将各频率分量加以分解, 通过谱密度函数来衡量各分量的相对重要性, 以找出序列中存在的主要频率分量, 从而把握时间序列的周期波动特征<sup>[9]</sup>。

根据谱分析理论, 对于任一以周期  $T$  变化的时间函数  $x(t)$ , 在满足狄氏条件下, 可以发展成如下的傅里叶级数:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left( a_k \cos \frac{2\pi k}{T} t + b_k \sin \frac{2\pi k}{T} t \right) \quad (12)$$

式中,  $a_k$ ,  $b_k$  称为傅里叶系数, 他们可以用式(13)表示:

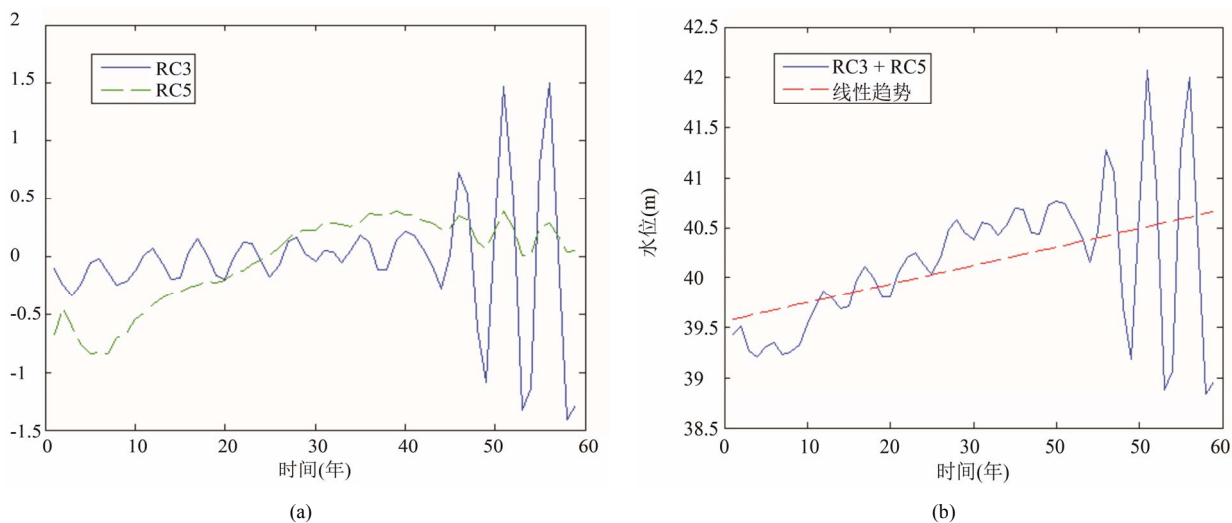


Figure 3. (a) Jinshi water level SSA trend component; (b) Jinshi water level trend after reconstructing  
图3. (a) 津市站水位 SSA 分解趋势成分; (b) 津市水位重构后的趋势

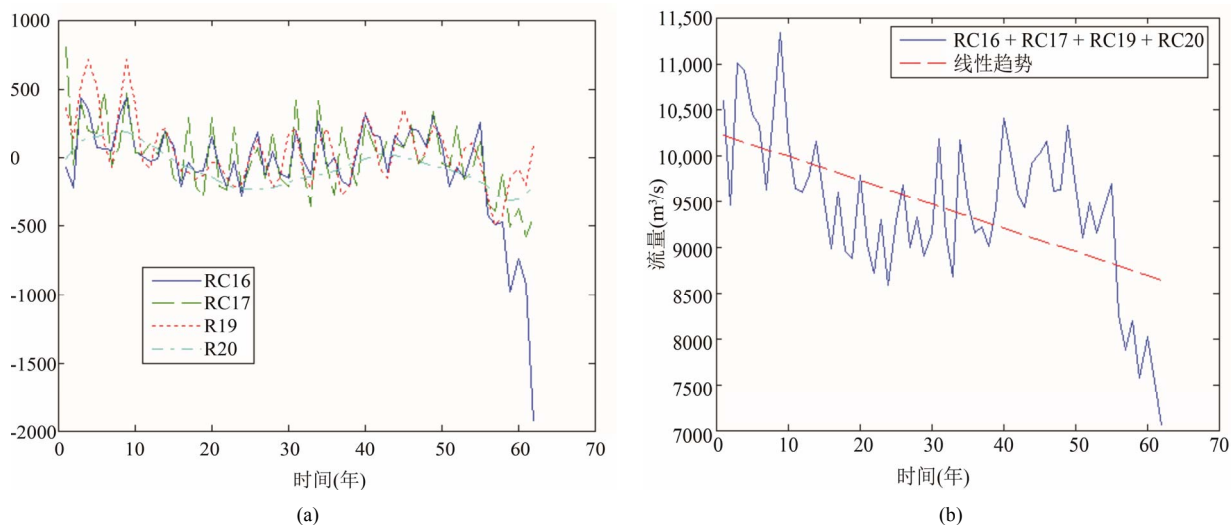


Figure 4. (a) Shimen discharge SSA trend component; (b) Shimen discharge trend after reconstructing  
图4. (a) 石门站最大流量 SSA 分解趋势成分; (b) 石门最大流量重构后的趋势

$$\begin{cases} a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt \\ a_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos \frac{2\pi k}{T} t dt \\ b_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \sin \frac{2\pi k}{T} t dt \end{cases} \quad (13)$$

式(12)很容易写成复数形式:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{i \frac{2\pi k}{T} t} \quad (14)$$

$c_k$  称为  $x(t)$  的复谱。将  $c_k$  表示成振幅  $A_k$  和位相  $\theta_k$

的形式:

$$c_k = A_k e^{-i\theta_k} \quad (15)$$

其中:

$$A_k = \frac{1}{2} \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (16)$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \frac{b_k}{a_k} \quad (17)$$

$A_k$  称为振幅谱。 $k$  的取值为  $1, 2, \dots, [n/2]$  ( $[]$  表示取整数部分)。可以用  $k$  为横坐标,  $A_k$  为纵坐标作出谱线, 然后根据曲线峰值寻找其周期分量。峰值越高,

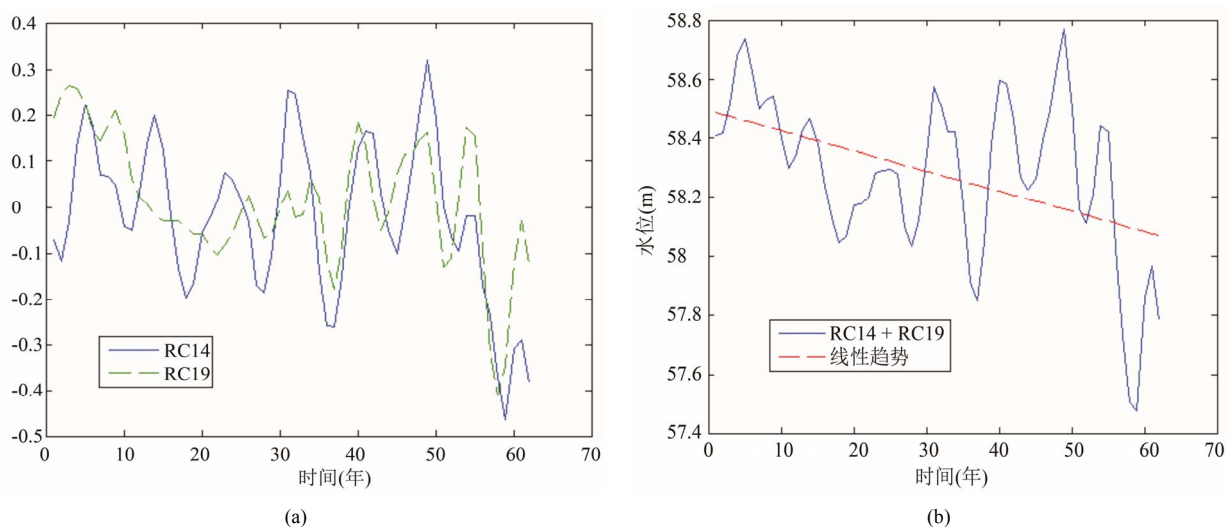


Figure 5. (a) Shimen water level SSA trend component; (b) Shimen water level trend after reconstructing  
图 5. (a) 石门站最高水位 SSA 分解趋势成分; (b) 石门最高水位重构后的趋势

表示对应的周期分量对整体序列的影响越大。在坐标横轴上通常也标上对应的振动周期值或频率值, 以备分析用, 周期值与波数  $k$  的对应关系为:

$$T_k = \frac{n}{k} \quad (18)$$

由于谱分析是将时间序列从时域转为频域来分析, 所以更能反映时间序列的周期波动特征, 但前者在分析时间序列的周期波动特征上更见长。

因此可用谱分析来分析水文时间系列周期波动。同样采用上文所述时间序列数据为样本, 考察最大流量与最高水位的周期变化。依据采样定理(即奈奎斯特定理: 当采样频率大于信号中最高频率的 2 倍时, 采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息, 一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的 5~10 倍), 此样本数据可识别 2 年以上的周期波动。

先将津市、石门水文站最大流量与最高水位数据时间序列进行如下预处理: 数据距平化; 去除趋势变化。

预处理后的数据作功率谱, 其谱图中, 同一水文站流量与水位具有较为相似的谱峰, 即津市的最大流量与最高水位系列具有相似谱峰; 石门站最大流量与最高水位系列具有相似谱峰。津市站最大流量系列功率谱图如图 6 所示, 从图 6 中可以看出, 津市最大流量在约 4 年与 2 年左右的谱峰, 但经检验, 此二谱峰均未能通过置信度为 95% 的上界, 周期不显著。

津市站最高水位系列功率谱表明其同样未存在显著周期。

石门站最大流量系列功率谱图如图 7 所示, 从图 7 中可以看出, 石门站最大流量在约 4 年与 2 年左右的谱峰, 但经检验, 此二谱峰均未能通过置信度为 95% 的上界, 周期不显著。石门站最高水位系列功率谱表明其同样未存在显著周期。

#### 4. 洪水频率计算

由于地球上水的时空分布和运动规律、地圈、大气圈和生物圈等变化的影响, 水文现象(如洪水、降雨、干旱等)在发生、发展及演变过程中, 存在着确定性的一面和非确定性(随机性与模糊性)的一面<sup>[10]</sup>。因此, 形成了几种常见的水文分析计算研究的方法: 数学物理方法、经验相关方法、频率分析方法和模糊集分析方法。数学物理方法理论通常受流域自然地理条件复杂, 实测资料稀少、短缺与计算手段限制, 因此, 具有严格理论的数学物理方法在水文分析计算中应用并不多, 并且应用过程中还要进行简化(比如一些推理公式等)。经验相关方法通过观测水文现象的成因与结果, 用相关统计法求出表示原因与结果的变量之间的定量关系(如经验单位线), 这种经验方法直观、简易、有效, 应用相对较多, 但存在缺乏一定的机理分析的缺点。模糊集分析方法尚处于发展完善过程中, 目前在工程水文学中应用也不多。水文现象(如洪水、降雨、干旱等)虽然具有随机性, 但经过长期观测, 会发现任

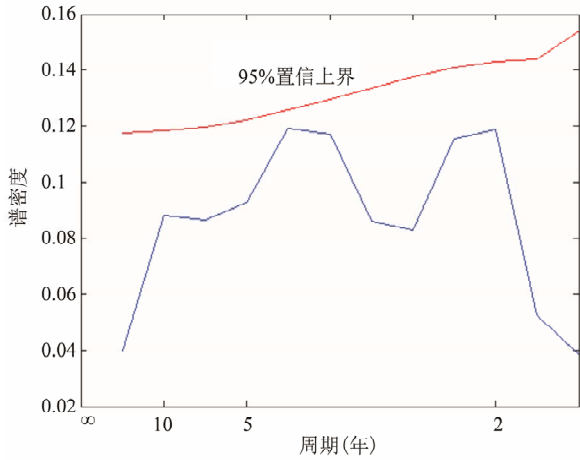


Figure 6. Jinshi maximum discharge power spectrum  
图 6. 津市最大流量功率谱

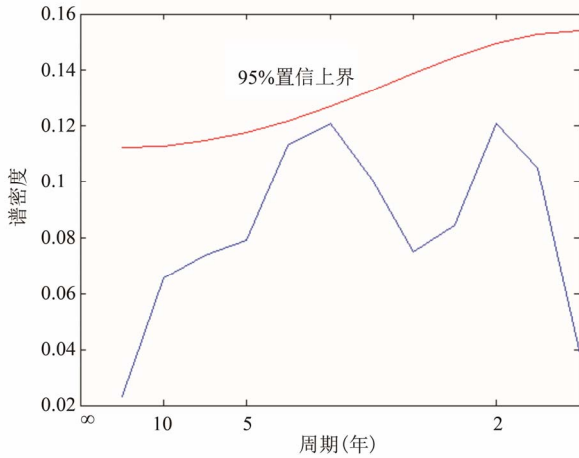


Figure 7. Shimen maximum discharge power spectrum  
图 7. 石门最大流量功率谱

何水文现象都具有规律性的一面, 频率分析方法正是通过观察水文现象, 探索寻求其统计规律, 并对水文特征值作出频率分析(如设计洪水计算), 以满足水利水电工程设计标准的要求, 是目前水文分析计算中最常用的方法。

当具有较长期的实测洪水资料(一般不少于20年)及历史洪水调查考证后的资料时, 则可进行洪水频率的计算, 如年最大流量、不同时段的最大洪水量和年径流量等频率的计算。目前最常用的频率计算方法大概可以分为两类, 一类为经验性的, 如皮尔逊III型(简称 P-III型); 另一类是以极值分布理论为基础的, 如 Gumbel 分布。

皮尔逊III型是皮尔逊曲线族中的一种线性, 为纯经验性的。它在气象、水文学和生物学的统计中应用

很广。Gumbel 分布却从严格的概率理论概念上导出的, 从理论上, 它更适合水文要素重现期极值的计算。

Gumbel 分布的密度函数为:

$$f(x) = Ae^{-y-e^{-y}} \quad (19)$$

式中,  $y = A(x - B)$ 。A 为常数, B 为极值分布的众值。

要绘出 Gumbel 频率曲线, 首先要估计参数 A 和 B, 通常可用最小二乘法估算。则极值可表示为:

$$x_p = B - \frac{1}{A} \ln \left[ -\ln \left( \frac{T}{T+1} \right) \right] \quad (20)$$

应用 Gumbel 分布计算津市站最大大流量频率分布。并将其频率曲线分别在包维尔概率纸上绘出如图 8 所示。则可以根据概率分布曲线得到其极值流量如表 3。

同样可应用 Gumbel 分布计算石门站最大大流量频率分布。并将其频率曲线分别在包维尔概率纸上绘出如图 9 所示。则可以根据概率分布曲线得到其极值流量如表 4。

则根据流量水位关系, 可得津市站与石门站水位设计值, 如表 5 所示。

### 5. 结论

分别收集了澧水中、下游津市与石门两个水文站年最大流量及最高水位资料, 据此, 分析了澧水洪水特征, 结论如下:

- 1) 计算了津市与石门最大流量及最高水位统计

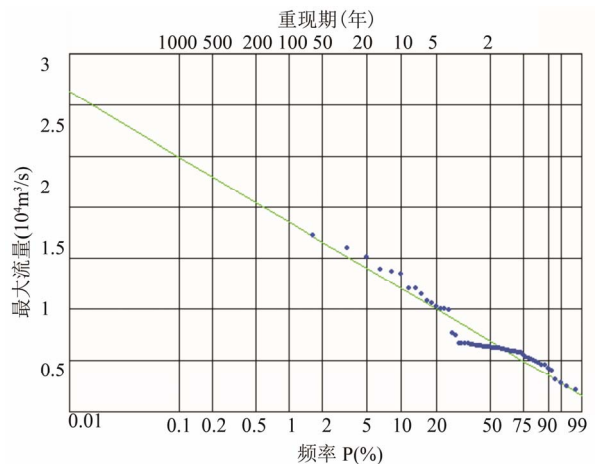


Figure 8. Jinshi hydrological station maximum discharge Gumbel distribution  
图 8. 津市站最大流量 Gumbel 分布



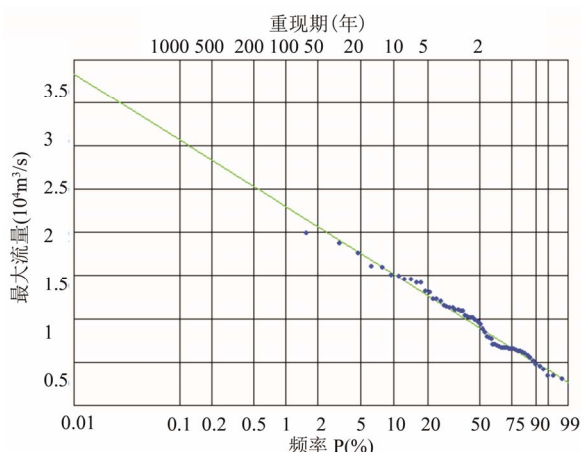


Figure 9. Shimen hydrological station maximum discharge Gumbel distribution  
图 9. 石门站最大流量 Gumbel 分布

Table 3. Jinshi hydrological station design flood discharge  
表 3. 津市水文站设计洪水流量

频率(%)	1	2	5	10	20
设计值 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /s)	1.8483	1.6553	1.3978	1.1988	0.9914

Table 4. Shimen hydrological station design flood discharge  
表 4. 石门水文站设计洪水流量

频率(%)	1	2	5	10	20
设计值 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /s)	2.2975	2.0657	1.7564	1.5175	1.2684

Table 5. Jinshi and Shimen station design water level  
表 5. 津市站、石门站设计水位

频率(%)	1	2	5	10	20
津市设计值(m)	47.01	45.84	44.27	43.06	41.80
石门设计值(m)	63.81	62.27	61.09	59.85	57.98

值: 均值、方差、变差系数、偏态系数, 并分析了洪水统计特征。

2) 应用奇异谱分析方法分析了澧水洪水变化趋势。其结果表明津市站最大流量与最高水位均呈上升趋势, 最大流量平均增长率为 40.53 m<sup>3</sup>/a; 最高水位平均增长率为 0.0186 m/a。石门站则均呈下降趋势, 最大流量平均下降为 25.98 m<sup>3</sup>/a; 最高水位平均下降为: 0.0069 m/a。

3) 应用谱分析分析澧水洪水周期性表明, 石门与津市两个水文站洪水均存在约 4 年与 2 年两个周期的

谱峰, 但此 2 周期均不显著。

4) 应用 Gumbel 方法分别计算了津市站与石门站各频率洪水流量, 并根据水位流量关系, 推算出津市与石门水文站各频率的设计水位。

### 参考文献 (References)

[1] 易帆, 宋维胜. 澧水中上游径流变化规律研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(9): 15-19.  
YI Fan, SONG Weisheng. Research on variation of runoff in upper and middle reaches of Lishui River. Water Resources and Power, 2010, 28(9): 15-19. (in Chinese)

[2] 匡永清. 澧水干流石门站年降水量的系列代表性和多年变化初步分析[J]. 湖南水利水电, 2011, 2: 47-49.  
KUANG Yongqing. Preliminary analysis of annual precipitation of Lishui River ShiMen Station series representation and years of change. Hunan Hydro & Power, 2011, 2: 47-49. (in Chinese)

[3] 王浩, 王建华. 现代水文学发展趋势及其基本方法的思考[J]. 中国科技论文在线, 2007, 2(9): 617-620.  
WANG Hao, WANG Jianhua. The development tendency and the basic research method of modern hydrology. Science Paper Online, 2007, 2(9): 617-620. (in Chinese)

[4] 董双林. 水文气象极值统计推断的可靠性问题[J]. 水科学进展, 2012, 7(4): 575-580.  
DONG Shuanglin. Reliability problem of extreme value statistical inference for hydrology and meteorology. Advances in Water Science, 2012, 7(4): 575-580. (in Chinese)

[5] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988: 41-121.  
DING Jing, DENG Yuren. Stochastic hydrology. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1988: 41-121. (in Chinese)

[6] GHIL, M., VAUTARD, R. Inter decadal oscillation and the warming trend in global temperature time series. Nature, 1991, 350(6316): 324-327.

[7] 汪芸, 郭生练, 李响. 奇异谱分析在中长期径流预测中的应用[J]. 人民长江, 2011, 42(9): 4-7.  
WANG Yun, GUO Shenglian and LI Xiang. Application of singular spectrum analysis method in mid-long term runoff prediction. Yangtze River, 2011, 42(9): 4-7. (in Chinese)

[8] 朱雅敏, 李志龙. 华南海平面变化及其对水位极值估计的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2011, 4: 126-133.  
ZHU Yamin, LI Zhilong. Sea level variation and the effect to water level extreme distribution estimate in south China. Transactions of Oceanology and Limnology, 2011, 4: 126-133. (in Chinese)

[9] 全黎熙, 张旭臣, 王燕. 水文时间序列的最大熵谱分析与优化方法[J]. 人民珠江, 2012, 33(4): 1-6.  
TONG Lingxi, ZHANG Xuchen and WANG Yan. Analysis of maximum entropy spectrum and optimization method for hydrological time series. Pearl River, 2012, 33(4): 1-6. (in Chinese)

[10] 王正发. 水文事件的频率、重现期和风险率之间的关系[J]. 西北水电, 2000, 1: 1-4.  
WANG Zhengfa. Relations among frequency, return period and risk rate of hydrologic events. Northwest Water Power, 2000, 1: 1-4. (in Chinese)