

黄河水沙通量及其突变性分析

申郑

武汉软件工程职业学院(武汉开放大学)

DOI:10.12238/hwr.v9i1.6033

[摘要] 黄河是中华民族的母亲河,黄河水沙监测数据的分析是保障黄河安澜的重要举措。本文利用黄河小浪底水库下游某水文站2016–2021年的各项监测数据为样本,分析并研究水沙通量的变化规律,根据各监测数据的线性相关系数矩阵,判断含沙量与其他各监测数据的关系;使用三次样条插值法对含沙量缺失值进行补充,计算出水流量与排沙量,然后根据M–K检验对水沙通量突变性进行分析。

[关键词] 三次样条插值; M–K检验; 水沙通量; 突变性分析

中图分类号: TV882.1 **文献标识码:** A

Analysis of Water and Sand Fluxes and Their Sudden Changes in the Yellow River

Zheng Shen

(Wuhan Software Engineering Vocational College (Wuhan Open University))

[Abstract] The Yellow River is the mother river of the Chinese nation, and the analysis of water and sediment monitoring data is an important measure to ensure the safety of the Yellow River. This article uses various monitoring data from a hydrological station downstream of the Yellow River Xiaolangdi Reservoir from 2016 to 2021 as samples to analyze and study the changes in water and sediment flux. Based on the linear correlation coefficient matrix of each monitoring data, the relationship between sediment concentration and other monitoring data is determined; Use cubic spline interpolation to supplement the missing values of sediment concentration, calculate the outflow and sediment discharge, and then analyze the variability of water and sediment flux based on M–K test.

[Key words] cubic spline interpolation; M–K test; Water and sediment flux; Mutation analysis

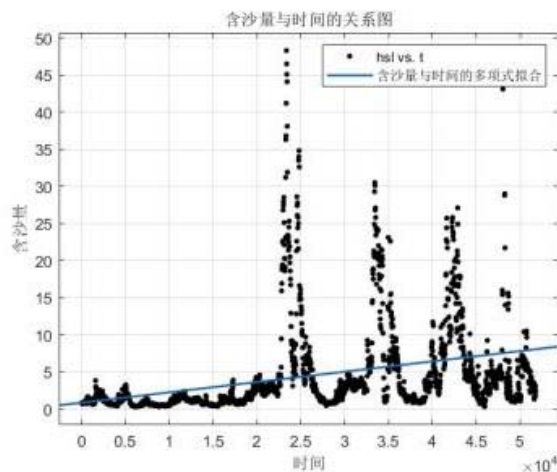
黄河“调水调沙”工程是迄今为止世界水资源史上规模最大的人工样机试验,这是黄河治理从传统走向现代的转折点。黄河流域来水来沙具有明显的季节特征,受自然因素和人类活动影响,并且黄河的水流量与排沙量也会对自然环境及其流域内居民生活产生影响。黄河小浪底水库水位、水流量、含沙量在不同季节差异较大,因此对黄河小浪底水库的各项数据分析汇总,以此研究其水流量及排沙量的变化规律,对保障黄河安澜具有指导意义和参考价值。

本文利用黄河小浪底水库下游某水文站2016–2021年的各项监测数据为样本。为研究该水文站黄河水含沙量与其他各检测值的关系,我们首先采用相关性分析分别分析含沙量与时间、水位及水流量的关系,得到含水量分别与三者的线性回归曲线如图1所示:

含沙量与时间、水位、水流量的相关系数分别为0.10018、0.38989、0.37899,由此可知此次拟合并不理想,再采用其他线性拟合,得到的线性回归曲线见图2。

本次拟合得出的含沙量与时间、水位、水流量的拟合度

为0.44021,结果依然不理想,因此直接使用六年中所有含沙量的监测数据计算其皮尔逊相关系数并作相关系数热力图如图3所示。



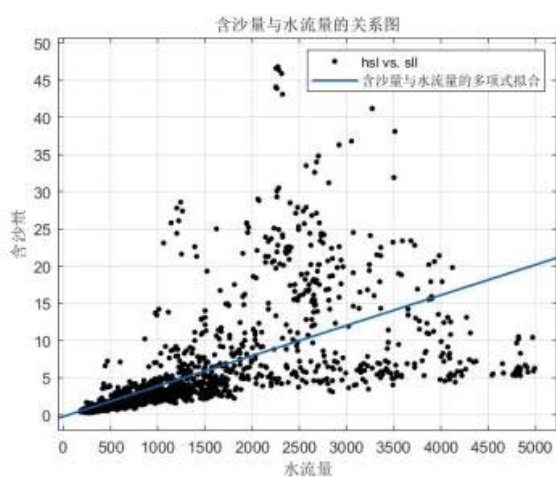
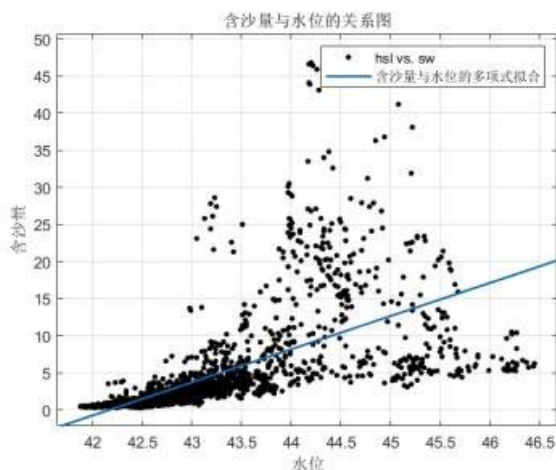


图1 含沙量与时间、水位、水流量的散点分布图

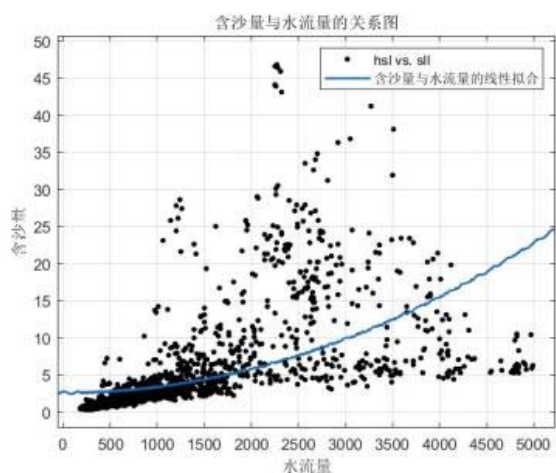


图2 含沙量与时间、水位、水流量的多项式拟合

热力图是以颜色来表示数据强弱大小及分布趋势的可视化图形类型, 根据以上数据, 我们可以判断出含沙量与时间为弱相关, 含沙量与水位为强相关, 含沙量与水流量为强相关。

1 水流量和排沙量的计算

根据采集到的各项试验数据, 要计算任意时刻的输沙量, 需

要确定输沙量随时间的变化规律, 可以通过样条插值实现。考虑到实际中输沙量应随时间连续变化, 采用三次样条函数进行插值^[1]。通过Matlab先对每天8:00时刻无含沙量的数据进行线性插值填充。

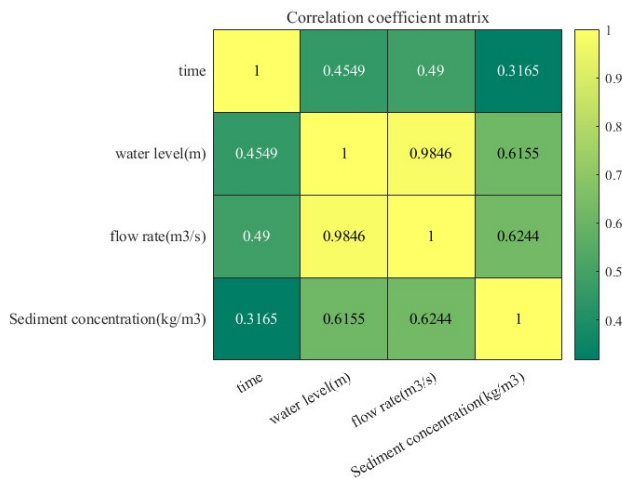


图3 各监测数据的皮尔逊相关系数热力图

选用2016年每天8点的数据作为插值节点, 采用三次样条插值, 这种方法相较于一般的插值方法, 如线性插值和二次插值, 有更高的平滑性。

下面构建三次样条函数 $y = S(x)$, 由实验数据, 时间间隔是每天的早上8点至第二天早上8点, 间隔都是24个小时, 共366个点 $t_i (i=1,2,\dots,366)$ 。为了计算方便, 令

$x_i = 8 + 24 \times i (i=0,1,\dots,365)$, 以 x_i 为插值节点。其相应

排沙量为 $y_i (i=0,1,2,\dots,365)$ 对应关系见表1。

表1 2016年数据插值后排沙量数据与时间的对应关系

日期	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
时间 t_i	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
插值节点 x_i	8	32	56	80	104
排沙量 y_i	24965107.2	25474176	19740672	17098905.6	19219939.2

日期	12.27	12.28	12.29	12.30	12.31
时间 t_i	8:00	8:00	8:00	8:00	8:00
插值节点 x_i	8672	8696	8720	8744	8768
排沙量 y_i	5975251.2	5589648	8262000	7780752	6674572.8

对每个时间间隔用定积分计算排沙量, 得到每一时刻的排

沙量函数关系式, 由此可以计算任意时刻的排沙量。

$$s(x) = \begin{cases} -0.02086(x-8)^3 + 0.83949(x-8)^2 - 20.99574(x-8) + 680.89000 \\ -0.02086(x-32)^3 + 0.33869(x-32)^2 - 11.57021(x-32) + 555.96800 \\ \dots \\ -0.00283(x-8768)^3 + 0.07478(x-8768)^2 + 0.08250(x-8768) + 288.94800 \end{cases}$$

对所有数据进行累加积分, 可以进一步计算出2016年总排沙量:

$$S = 3600 \left(\int_8^{32} s_1(x) dx + \int_{32}^{56} s_2(x) dx + \dots + \int_{365 \times 24}^{366 \times 24} s_{365}(x) dx \right)$$

对2017-2021年的含沙量缺失值同样以三次样条插值的方法进行处理, 并以同样方法将2017-2021年总排沙量计算出来。

以此估计出的年总水流量及年总排沙量表2:

表2 作三线插值后近六年每年的年总水流量与总排沙量

年份	总水流量 m^3	总排沙量 kg
2016	14354668413.2459	18229616740.5942
2017	15333848947.4113	19056633094.4704
2018	38891174058.4135	291781237687.3093
2019	38721458374.4161	305018726598.1441
2020	43324853580.9501	350946733631.1120
2021	47269343587.8348	228116183732.2628

2 水沙通量突变性的分析

系统的变化是一个不稳定和不连续的过程, 通常采用M-K检验法寻找突变性。这种方法对于测试元素从一种相对稳定状态到另一种相对稳定状态的过渡是非常有效的, 在水文、气候、化学、矿物组成等领域都有广泛的应用。王金塔等用双累积线法及M-K法以内蒙古皇甫川为例进行了突变点计算, 通过两种方法比较认为使用M-K法计算水沙突变点具有唯一性和确定性^[2]。因此对于突变点, 我们此处采用M-K法进行分析。M-K检验突变方法如下:

对n个样本的时间序列, 我们可以构造一个新的序列:

$$Y_k = \sum_{j=1}^k r_j \quad (k = 2, 3, \dots, n)$$

$$\text{其中: } r_j = \begin{cases} 1, & (x_j > x_m) \\ 0, & (x_j \leq x_m) \end{cases}, \quad (m = 1, 2, \dots, j).$$

假设时间序列具有随机独立性, 定义一个统计量:

$$UK_k = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

其中 $UK_1 = 0$; 并且在 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立且有相同

连续分布时, 可以得出:

$$E(S_k) = \frac{k(k-1)}{4} \quad (k = 2, 3, \dots, n)$$

$$\text{var}(S_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (k = 2, 3, \dots, n)^{[3]}$$

我们将 UF_k 定义为标准正态分布, 即先按顺序时间序列计

算序列, 再按逆序时间序列计算统计量序列, 重复该过程并令,

$UB_k = -UF_k, (k = n, n-1, \dots, 1), UB_1 = 0$ 给定临界值,

$u_{0.05} = \pm 1.96$ 得到统计量曲线图如图4所示:

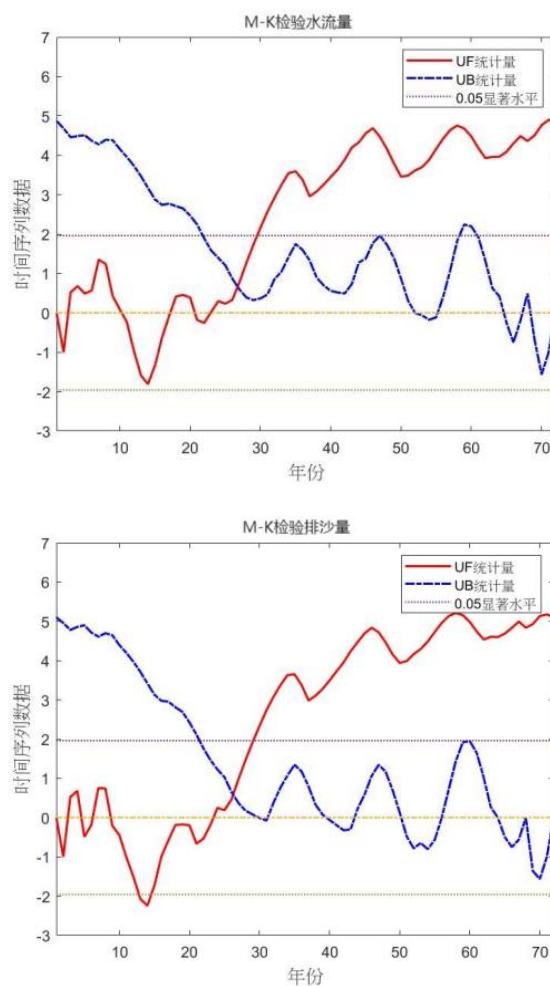


图4 2016-2021年水文站月均水流量、排沙量M-K突变检验

由图4中M-K水流量检验曲线可知, 第一阶段: 2016年1月至2017年11月, 月均水流量UF曲线在0值附近波动, 水流量在此阶段变化趋势不明显, 水流量变化略小且幅度不稳定; 第二阶段: 2017年11月至2018年6月, 月均水流量UF曲线保持在0值以上并在临界线之间, 水流量在此阶段数据呈不显著上升趋势; 第三阶

段:2018年6月以后,月均水流量UF曲线在临界线之外,水流量在此阶段数据呈显著上升趋势。

M-K水流量检验曲线检验图中,在2018年2月UF曲线与UB曲线产生交点,且交点位于置信区间内,由此可判定2018年2月水流量发生显著突变的开始月份。

由图4中M-K排沙量检验曲线可知,第一阶段:2016年1月至2017年11月,月均排沙量UF曲线在0值附近波动,排沙量在此阶段变化趋势不明显,排沙量变化略小且幅度不稳定;第二阶段:2017年1月至2017年2月,月均排沙量UF曲线在临界线外,排沙量在此阶段数据呈显著上升趋势;第三阶段:2017年2月至2018年6月,月均排沙量UF曲线在0值区间波动并在临界线之间,排沙量在此阶段数据变化略小且幅度不稳定;第四阶段:2018年6月以后,月均排沙量UF曲线在临界线之外,排沙量在此阶段数据呈显著上升趋势。

M-K排沙量检验曲线检验图中,在2018年2月UF曲线与UB曲线产生交点,且交点位于置信区间内,由此可判定2018年2月排沙量发生显著突变的开始月份^[4]。

3 结语

根据2016-2021年的水沙通量及其突变性分析,可以看到在夏季时,水流量和排沙量都是相当高的,由于夏汛时期区域降水量明显增加,上游河道来水量也增大,暴雨或者洪水也致使黄河的产沙量增大,同时大量的泥沙从支流汇入黄河也致使河道输

沙量大,进而导致总排沙量增大。但根据对2016年到2021年的总排沙量变化图进行比较,大部分年份的总排水量和总排沙量都是从七月左右开始剧增,而2017年六月份的总排水量和总排沙量就已经非常高并且还在增加,因此可以推测在2017年可能发生了某种自然灾害从而影响数据;对比发现从2018年夏季开始总排沙量远远大于总排水量,七月是达到一个相当高的数值,因此可以推测从2018年的夏季开始,黄河治理进入某种新的阶段。

[基金项目]

武汉市教育局市属高校教研课题“新工科背景下高职高等数学混合式教学研究与实践”(课题编号202350)。

[参考文献]

- [1]曹明伟,孙斌,楚万强.黄河小浪底调水调沙试验的数值分析[J].科技通报,2015,31(05):137-141.
- [2]王金花,张荣刚,张攀.两种水沙系列突变点算法的对比分析——以内蒙古皇甫川为例[J].中国水土保持,2009(12):43-44.
- [3]张耀鑫,谭秀翠.东平湖近13a水位蓄水量变化趋势及突变分析[J].海河水利,2022(01):77-80.
- [4]王建新,王健.序列一阶自相关对MK突变检验影响的探讨[J].山东理工大学学报(自然科学版),2018,32(02):66-69.

作者简介:

申郑(1988-),男,汉族,湖北襄阳人,硕士研究生,武汉软件工程职业学院讲师,研究方向:高职数学教学与应用。