文章编号:1672-3031(2019)03-0169-09

基于IHA-RVA法四水流域水文情势变化评估

王鸿翔[1], 查胡飞[1], 卓志宇[2], 钱 湛[2], 郭文献[1]
(1. 华北水利水电大学, 河南 郑州 450011; 2. 湖南省水利水电勘测设计研究总院, 湖南 长沙 410007)

摘要: 为了分析湘江、资江、沅水、澧水流域的水文情势变化情况, 选取了湘潭、桃江、桃源和石门4个代表性水文站1959—2016年历史流量资料, 应用Mann-Kendall法、累积距平法检验以及滑动T检验法分析湘、资、沅、澧四水的水文特征与水文突变点, 并应用水文指标变动范围法(IHA-RVA)和水文改变度法综合评估了四水各站点突变前后水文指标改变程度。研究结果表明: (1)1959—2016年四水流域的湘潭、桃江、桃源站年均流量均呈不同程度的增长趋势, 石门站呈降低趋势; 湘潭、桃江、桃源、石门站各水文站年均流量变化的突变年份分别为1991、1987、1989和1973年。(2)通过对水文突变前后各水系的水文情势的大小、频率、历时、发生时间和变化率5组水文指标以及变化程度分析, 4个站点水文整体改变度分别为36%、22%、35%和42%, 其中只有桃江站改变度为低度改变其余3站都处于中度改变。该研究成果可为四水流域水文情势影响评价以及流域水生生态安全提供技术支撑。

关键词: 四水流域; 水文情势; 变动范围法; 水文改变度
中图分类号: P333 **文献标识码:** A **doi:** 10.13244/j.cnki.jiwhr.2019.03.002

1 研究背景

河流的水文情势是河流生态的内在驱动力, 它决定着河流发展趋势。在水文情势评估方面, 国内外学者进行了大量研究。其中RICHTER等提出的基于水文改变指标法(IHA)的变动范围分析(Range of Variability Approach, RVA)法已经被广泛应用于水文情势影响以及湖泊生态恢复研究[1]。陈启慧等[2]采用RVA法对长江下游河流水文影响进行了初步分析, 郭文献等[3]对汉江下游河流水文效应进行了综合评估, 杨志峰等[4]综合运用RVA法和直方图匹配(HMA)法分析了黄河下游河流水文情势影响, 张强等[5]研究了珠江流域水文改变特征。该方法是通过建立指标体系来研究复杂的水文过程, 是评价水文突变点对河流径流过程影响的一种有效分析手段, 该方法还可根据分析结果建立河流的生态流量管理模式, 可满足河流管理部门的需要[6-8]。

湘、资、沅、澧四条水系(简称四水)是湖南省水资源的重要组成部分, 在湖南省境内流域面积总计12.82万km^2。同时四水作为洞庭湖水系最大的注入者, 多年平均入湖水量1669亿m^3, 占总入湖水量的60%左右[9]。由此, 湘、资、沅、澧四水的重要性不言而喻, 为了四水水系的健康可持续发展, 对四水流域的水文情势研究显得十分重要。本文结合国内外在水文情势的影响评估方面的成果, 结合水文变异指标、水文统计方法和变化范围法定量评估湘、资、沅、澧四水的4个代表性的水文站(桃江、桃源、石门、湘潭)水文情势的改变程度, 为洞庭湖湖区水文情势影响评价以及湖泊水生生态安全提供技术支撑。

收稿日期: 2018-10-14
基金项目: 国家自然科学基金项目(51679090, 51609085, 51779094); 2016年度河南省高校科技创新人才支持计划项目(16HASTIT024); 河南省科技攻关项目(162102110015); 河南省基础与前沿技术研究计划项目(152300410113); 湖南水利重大科技项目(湘水科计[2015]186—11)
作者简介: 王鸿翔(1981-), 博士, 副教授, 主要从事水文水资源及生态水利等研究。E-mail: whxzju@163.com
通讯作者: 卓志宇(1982-), 高级工程师, 主要从事水资源开发利用、节约保护研究。E-mail: 37384065@qq.com

2　数据和方法

2.1　研究数据　选取湘江的湘潭站、资水的桃江站、沅水的桃源站和澧水的石门站作为整个四水水系的代表性水文站。选取的4个水文站各具代表性，基本能够反映出四水水系的水文特征。采用这4个站点1959—2016年的日均流量观测资料。

2.2　研究方法

2.2.1　突变检验法

（1）Mann-Kendall突变检验法。设时间序列为 x_1，x_2，…，x_n，S_k 表示第 i 个样本 $x_i > x_j (1 \leqslant j \leqslant i)$ 的累计数，定义统计量：

$$S_k = \sum_{i=1}^{k} r_i \tag{1}$$

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leqslant x_j \end{cases}, \quad (j = 1, 2, \ldots, i;\ k = 1, 2, \ldots, n) \tag{2}$$

在时间序列随机独立的假定下，S_k 的均值和方差分别为：

$$E[S_k] = \frac{k(k-1)}{4},\ Var[S_K] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad 1 \leqslant k \leqslant n \tag{3}$$

将 S_k 标准化：

$$UF_k = \left(S_k - E[S_k]\right) \Big/ \sqrt{Var[S_k]} \tag{4}$$

其中 $UF_1 = 0$。给定显著水平 α，若 $|UF_k| > U_\alpha$，则表明序列存在明显的趋势变化，所有 UF_k 可组成一条曲线，将此方法引用到反序列，则反序列的统计量 UB_k 由下式给出：

$$UB_k = -UF_k \tag{5}$$

其中 $UB_1 = 0$。对于给定显著性水平如 α =0.05，临界值 $U_{\alpha/2} = \pm 1.96$。将 UF_k、UB_k 统计量序列曲线和 ±1.96 两条直线绘制在同一张纸上，当时间序列的 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点且交点位于临界线之间，那么交点所对应的时间则认为是突变开始时间[10]。

（2）累积距平法。对于某一时间序列 $X(x_1, x_2, \cdots, x_n)$，其在某一时间 t 的累计距平值可表示为：

$$X_t = \sum_{i=1}^{t} (x_i - \bar{x}) \qquad (t = 1, 2, \cdots, n) \tag{6}$$

式中，$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$。

该方法的核心是根据距平值来判断各离散数据相对于序列均值的离散程度，若累计距平值 X_t 增大，表明离散数据大于其平均值，若 X_t 减小，则表明小于其平均值，从累积距平曲线明显的起伏波动可判断序列长期显著的趋势变化。如果在时间序列累计距平曲线中，由 X_t 增大和减小的两部分组成，则可确定时间序列趋势变化的拐点[11-12]。

（3）滑动T检验。本文用Mann-Kendall突变检验法时，某些特征值出现了多个交点以及交点在置信度线范围之外的情况，因此文中对出现这些情况的特征值用滑动T检验进行进一步的辅助计算。滑动T检验主要是通过考察两组样本的平均值差异是否明显来检验突变。主要是通过比较水位序列中的两个子序列之间的均值是否存在显著差异来检验，若是两段子序列之间的均值差异超过了显著水平，则认为发生了突变。对于样本量为 n 的时间序列，人为的设置一个基准点，将基准点前后的子序列 x_1 和 x_2 的样本分别为 n_1 和 n_2，两端子序列的平均值分别为 $\overline{x_1}$ 和 $\overline{x_2}$，方差分别为 s_1^2 和 s_2^2。定义统计量为：

$$t=\frac{\bar{x}_1-\bar{x}_2}{s\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}} \tag{7}$$

其中 $s=\sqrt{\frac{n_1s_1^{\ 2}+n_2s_2^{\ 2}}{n_1+n_2-2}}$，方程遵从 $\tau=n_1+n_2-2$ 的 t 分布。根据 t 统计量的曲线是否超过 t 分布的 α 显著水平线，若超过了显著水平线，则该序列出现过突变。但是该方法子序列的选取带有很强的人为性，子序列的长度变化会造成突变点的漂移，因此对于子序列长度的选取应该反复变动，以提高精确性[13]。

2.2.2　水文改变指标法　Richter等[1]于1998年提出水文改变指标法(IHA)。将水文情势分为5组33个参数，分别从流量、时间、频率、延时和改变率等方面分析河流水文情势变化[14]。由于在研究期间各水文站并没有出现零流量日，本文对IHA参数进行调整，调整后的IHA参数见表1。

2.2.3　变化范围法　Richer等[15]于1997年提出变化范围法，该法以IHA的水文指标为基础，通过分析水利工程建设前后的日流量数据分析水文指标的改变程度。一般情况下，各指标的平均值加减标准差或以频率为75%和25%作为IHA指标的上下限，成为RVA目标。

2.2.4　水文改变度　为定量描述IHA32个指标中单个水文指标受影响后的变异程度，Richter等[15]建议通过水文改变度来评估，各指标的具体水文变异度可由下面的公式量化得到：

$$D_i=\frac{N_{0,i}-N_e}{N_e}\times 100\% \tag{8}$$

式中：D_i 为第 i 个指标的水文变异程度；$N_{0,i}$ 为变异后的径流序列IHA值在25%～75%分类范围内的年数；N_e 为相应的期望年数（$N_e=P\times N_T$，P 为50%，N_T 为变异后径流序列的总年数）。基于每个指标的变异程度 D_i，变异后序列总的水文变异程度 D_0 计算如下：

$$D_0=\sqrt{\frac{1}{32}\sum_{i=1}^{32}D_i^{\ 2}} \tag{9}$$

为了能够客观的反映水文改变度的严重性，Richter等认为可以将水文改变度划分为3个不同等级的严重性，一般定义 $|D_i|$ 值介于0～33%之间属于低度改变或不发生改变；33%～67%之间属于中度改变；67%～100%之间属于高度改变，以此对河流水文情势进行量化判断[15-17]。

表1　调整后的IHA流量参数

组别	内容	IHA指标
1	各月流量	各月份流量的平均值
2	年极端流量	年最小(大)1d，3d，7d，30d，90d径流量，基流系数
3	年极端流量发生时间	年最小(大)1日流量发生时间
4	高低流量的频率及延时	年发生低(高)脉冲的次数，低(高)脉冲平均延时
5	流量变化改变率及频率	流量平均减少率，流量平均增加率，每年流量逆转次数

3　结果与讨论

3.1　四水水系年均流量变化特征

3.1.1　年均流量趋势性检验　趋势性是反映样本序列随时间增加的倾向，即增加、减少或不变。为揭示四水水系年平均流量趋势变化，点绘1959—2016年年平均流量年际变化过程曲线(见图1)。由图1可知，研究期间，四水水系年平均流量除个别特枯年或特大洪水年的波动幅度较大外，基本上都有不同程度的增长趋势，仅石门站出现微弱下降趋势。

运用M-K检验方法检验4个站点年平均流量变化的趋势性(表2)可知，湘潭站、桃江站和桃源站年平均流量总体呈微弱上升态势，上升趋势均不明显，都没有通过显著性检验，石门站呈现微弱下

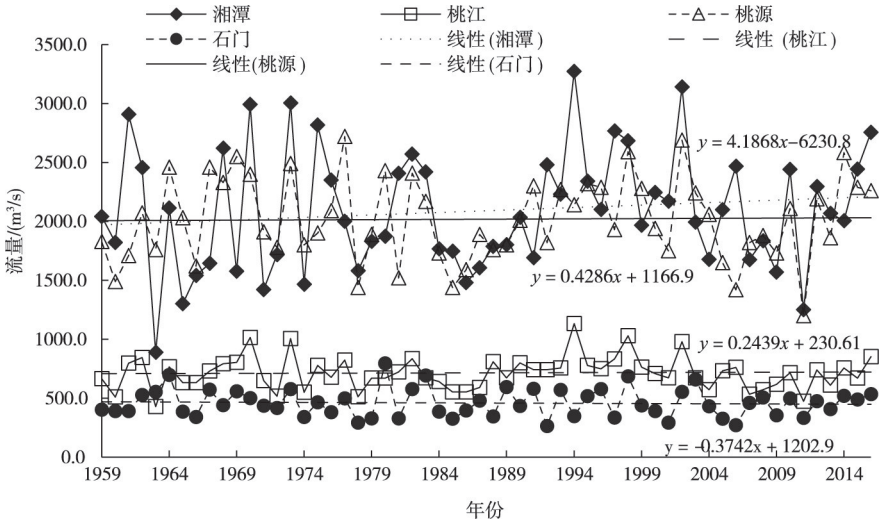


图1　四水流域年均流量变化及趋势

表2　四水水系年均流量变化趋势M-K检验

站点	湘潭站	桃江站	桃源站	石门站
统计量	1.19	0.13	0.22	−0.3
检验判别	1.64	1.64	1.64	−1.64
趋势性	不显著	不显著	不显著	不显著

降趋势，也未通过显著性检验，下降趋势不明显。

3.1.2　*年均流量突变性检验*　运用Mann-Kendall检验、累计距平法和滑动T检验法，对湘潭、桃江、桃源和石门4个水文控制站研究期间的年均流量序列进行突变年份检验，通过以上3种检测方法综合判别4站点理论上的突变年份如表3所示。

表3　四水年均流量突变统计结果

水文站	突变年份			变异点
	M-K检验法	累计距平法	滑动T检验法	
湘潭站	1977、1988、2009	1962、1991	1983、1991	1991
桃江站	1961、2007、2014	1987、2001	1987、2002	1987
桃源站	1961、1980、1989	1989、2004	1989、2011	1989
石门站	1962、1973、1990	1973、1983	1979、2013	1973

3.2　四水流域水文指标变化　通过以上对四水流域各支流水文情势突变点的研究，将突变点以前的流量过程作为自然态基准流量序列，将突变后时间序列的水文过程同突变前进行比较分析。运用IHA和RVA法计算四水流域各站点的水文改变程度。四水突变前后各流量指标参数改变程度计算结果如表4所示。

3.2.1　*月流量变化*　四水流域4个水文站最明显的水文变异大多集中出现在3月、4月、5月、7月和10月(见图2)。四水流域各水系虽然水文突变点不尽相同，但突变前后月流量变化相似，都在丰水期(5—10月)的变化更大。

3.2.2　*年极端流量大小*　由表4可以看出，四水的年均最小值流量改变度的绝对值相对于年均最大值流量要高些，这说明水文情势的变化对年均最小值流量的影响更深些。桃江站的年均1d最小值流量和基流指数改变度最大均呈中度改变，其余都为低度改变，年均1d、3d最大值流量水文改变度最小，呈低度改变；湘潭站的年均3d、7d最小值流量和基流指数改变度较大，其中基流指数的改变度达到高度改变，年均1d、3d最大值流量水文改变度最小且均为低度改变；桃源站的年均30d最小值流量改变度最大达到了中度改变，基流指数的水文改变度最小呈现低度改变；石门站的年均1d最小

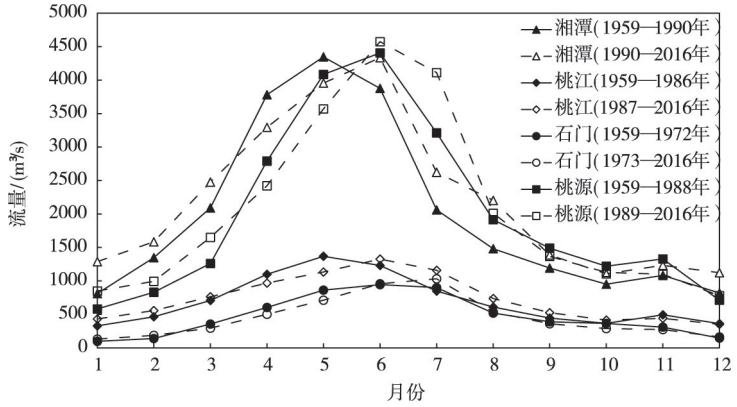


图2　突变前后月中值流量变化

值流量改变度最大，达到了高度改变，年均90d最小值流量改变度最小仅为-1.65，属于低度改变。

3.2.3　*年极端流量发生时间*　由表4可以看出，桃源和湘潭站的年最小值出现时间比突变前的出现时间有所提前，且水文改变程度较高；石门站的年最小值出现时间比突变前的出现时间提前，水文改变度为低度改变；桃江站的年最小值出现时间比突变前的出现时间有所推迟，水文改变度也是低度改变；4个站点的年最大值出现时间均出现了不同程度的推迟，且水文改变度均为低度改变，其中石门站年最大值出现时间的水文改变度最低。

3.2.4　*高低脉冲的频率及历时*　由表4可以看出，桃江、湘潭和桃源站的低脉冲次数都发生了中度改变，但石门站的低脉冲次数发生了高度改变；湘潭、桃源和石门站的低脉冲历时都发生了中度改变，桃江站低脉冲历时发生了低度改变；桃江、桃源和石门站的高脉冲次数是发生了低度改变，但湘潭站的高脉冲次数发生了中度改变；桃江、湘潭和桃源站的高脉冲历时都发生了低度改变，石门站发生了中度改变。综上所述，各站点的低脉冲次数和历时的改变度均大于高脉冲次数和历时的改变度。

3.2.5　*流量变化改变率及频率*　从表4可以看出，上升率除湘潭站无变化外，桃江、桃源和石门站的上升率均为中高度改变，石门站的水文改变度最为显著；4个站点的下降率均为低度改变；逆转次数中桃源站和石门站的水文改变度都较高，达到了高度改变，而桃江和湘潭站的水文改变度较低都是低度改变。整体来看石门站的变化较为显著。

3.3　河流水文改变度

3.3.1　*水文突变前后水文指标变化度比较*　为了评价四水各水系水文突变前后水文情势的变化程度，计算桃江、湘潭、桃源和石门4个水文站32个水文指标绝对值的改变度的基础上，绘制了3个等级的水文改变度(图3)。

在32个水文指标中，石门和湘潭站的水文改变程度相对于桃源和桃江站的水文改变度要高。石门站发生高度改变的指标有4个，发生中度改变的有9个，其中高度改变是4个水文站中最高的；桃江站没有高度改变的水文指标，中度改变的水文指标也只有5个，是4个站点中水文改变度最低的。这说明四水水系的4个流域在水文突变的情况下，影响最深的是石门站(见图4)。

如图4所示，受水文突变的影响，石门水文站的水文情势在改变度等级统计中发生高度改变的所占比列最高，占13%，桃源、湘潭和桃江站的高度改变所占的比列次之，分别为6%、3%和0%；桃江站低度改变的水文指标所占比列最高，为84%，桃源、湘潭和石门站的低度改变依次降低，分别为75%、72%和59%；4个站点改变度最低的都是高度改变。

3.3.2　*整体水文改变度分析*　桃源、桃江、湘潭和石门水文站各组水文改变度综合改变度见表5。分别计算出桃源、桃江、湘潭和石门4个水文站各组指标的整体水文改变度以及各水文站的整体水文改变度，计算结果如表5所示，据表5分析可知，桃源站第1、2组均为低度改变，第4、5组为中度改变，仅第3组为高度改变；桃江站的水文改变度均为低度改变；湘潭站的第1、5组为低度改变，第2、4组为中度改变，第3组为高度改变；石门站的第1、3组为低度改变，第2、4组为中度改变，第

表4　四水流域水文突变前后IHA指标统计

IHA指标	桃江站 水文改变度	湘潭站 水文改变度	桃源站 水文改变度	石门站 水文改变度
第1组指标				
1月份中值	11(L)	−20(L)	−30.12(L)	−4.55(L)
2月份中值	−1(L)	2(L)	−24.11(L)	−27.69(L)
3月份中值	−2(L)	12(L)	−14.29(L)	37.88(M)
4月份中值	35(M)	3(L)	2.27(L)	−21.9(L)
5月份中值	10(L)	18(L)	1.79(L)	23.74(L)
6月份中值	12(L)	17(L)	−8.16(L)	17.73(L)
7月份中值	−2(L)	16(L)	−20.81(L)	−4.55(L)
8月份中值	−7(L)	−5(L)	−1.1(L)	27.27(L)
9月份中值	28(L)	9(L)	−8.93(L)	38.23(M)
10月份中值	−25(L)	7(L)	−11.49(L)	27.27(L)
11月份中值	−2(L)	3(L)	12.5(L)	−10.91(L)
12月份中值	4(L)	23(L)	−2.17(L)	−21.09(L)
第2组指标				
年均1日最小值	37(M)	−59(M)	−41.56(M)	−82.32(H)
年均3日最小值	17(L)	−63(M)	−4.76(L)	−61.11(M)
年均7日最小值	21(L)	−63(M)	−26.29(L)	−57.58(M)
年均30日最小值	17(L)	−53(M)	−43.61(M)	−54.04(M)
年均90日最小值	30(L)	−16(L)	−23.47(L)	−1.65(L)
年均1日最大值	−17(L)	12(L)	−31.83(L)	7.93(L)
年均3日最大值	−17(L)	12(L)	−38.78(M)	−15.15(L)
年均7日最大值	23(L)	29(L)	−30.36(L)	−33.71(M)
年均30日最大值	−24(L)	18(L)	−25(L)	−32.83(L)
年均90日最大值	28(L)	17(L)	−21.05(L)	−11.62(L)
基流指数	52(M)	−66(H)	−17.21(L)	−56.25(M)
第3组指标				
年最小值出现时间	−20(L)	100(H)	100(M)	14.55(L)
年最大值出现时间	−19(L)	−6(L)	−30.12(L)	−4.55(L)
第4组指标				
低脉冲次数	−33(M)	−44(M)	−40.48(M)	−68.18(H)
低脉冲历时	14(L)	−38(M)	−64.29(M)	−56.25(M)
高脉冲次数	14(L)	−59(M)	−10.71(L)	−25.76(L)
高脉冲历时	−7(L)	23(L)	−17.21(L)	−50.83(M)
第5组指标				
上升率	40(M)	0(L)	−41.07(M)	−71.36(H)
下降率	11(L)	−20(L)	−7.47(L)	−25.76(L)
逆转次数	−12(L)	4(L)	−95.31(H)	−100(H)

注：H表示高度改变；M表示中度改变；L表示低度改变

5组为高度改变。改变程度的不同，反映了各河流的水文突变对当地河流水文情势的影响程度。综合分析可知桃源、桃江、湘潭、石门的整体水文改变度分别为35%、22%、36%和42%，只有桃江站的水文改变度为低度改变，其余3站都处于中等改变度。桃源和湘潭站的第3组指标水文改变度变化最明显，均为高度改变；石门站的第5组改变度最为显著，为72%。因此，水文突变对桃江站的水文情势影响最小。

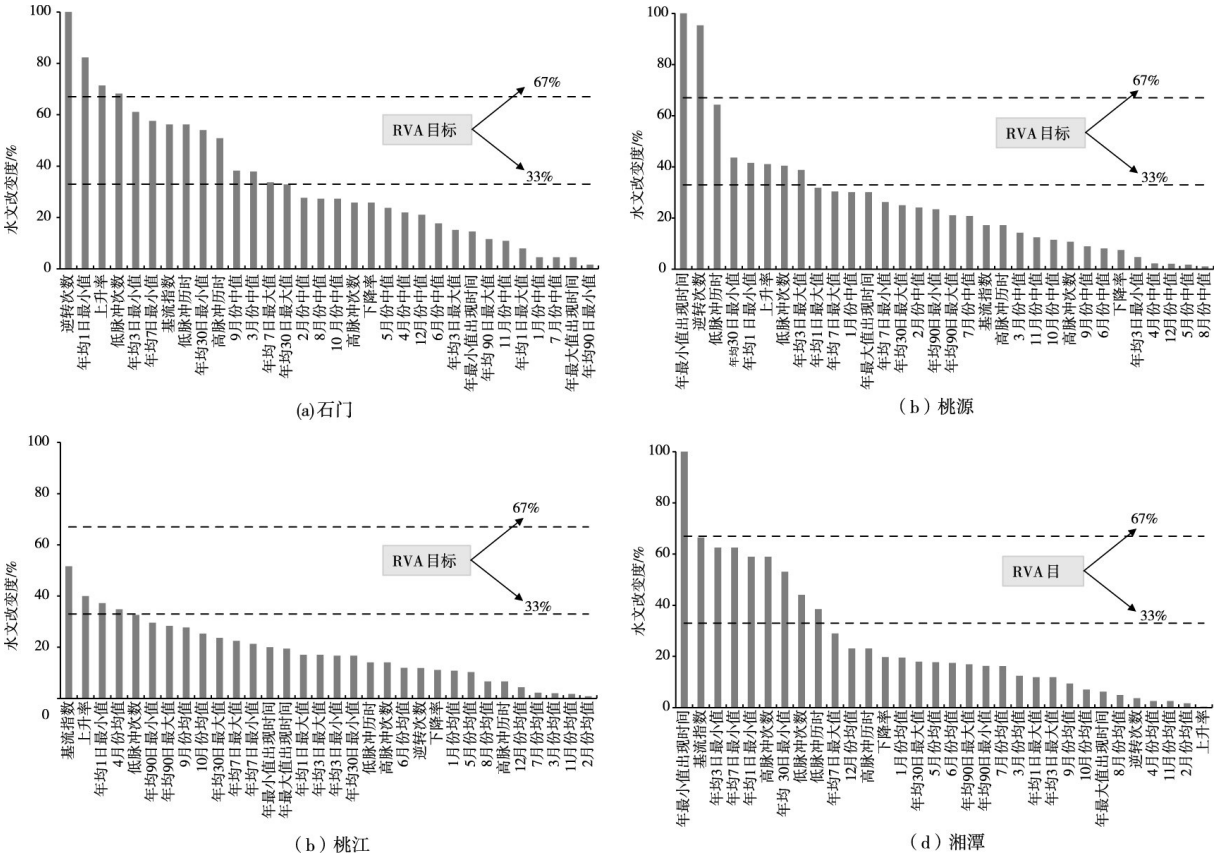


图3　四水水文改变度

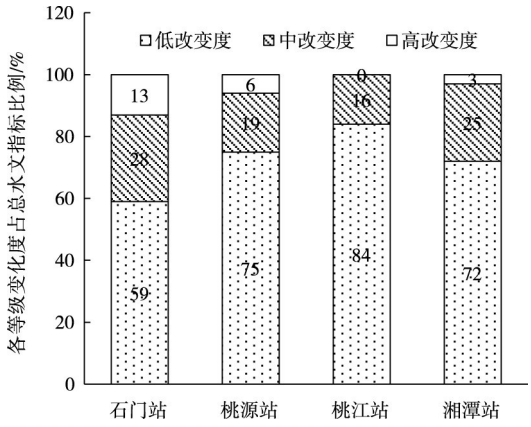


图4　四水水系不同等级变化度所占比例

表5　各水文站流量序列整体水文改变度

水文站	各组水文改变度					整体水文改变度D0
	第1组	第2组	第3组	第4组	第5组	
桃源	15(L)	30(L)	74(H)	39(M)	65(M)	35(M)
桃江	16(L)	28(L)	20(L)	20(L)	25(L)	22(L)
湘潭	13(L)	43(M)	71(H)	43(M)	12(L)	36(M)
石门	24(L)	45(M)	11(L)	53(M)	72(H)	42(M)

注：H表示高度改变；M表示中度改变；L表示低度改变

4　结论

本文采用Mann-Kendall法、累积距平法检验以及滑动T检验法分析湘、资、沅、澧四水1959—2016年的水文特征与水文突变点，并应用水文指标变动范围法(IHA-RVA)和水文改变度法综合评估了四水各站点突变前后水文指标改变程度，具体结论有：(1)湘江(湘潭)、资水(桃江)、沅水(桃源)年均流量呈现上升趋势，趋势不显著，而澧水(石门)年均流量呈下降趋势，趋势不显著；(2)湘江(湘潭)、资水(桃江)、沅水(桃源)和澧水(石门)突变年份分别为1991年、1987年、1989年和1973年，洞庭湖四水年均流量突变年份有所差异，表明湘江、资水、沅水和澧水的水电工程受影响程度不同，大型水电工程建设主要集中在1980年代；(3)四水中湘江(湘潭)、资江(桃江)、沅江(桃源)和澧水(石门)生态水文综合改变度分别为36%、22%、35%和42%，其中湘江、沅江和澧水属于中度改变，资江属于低度改变。

参　考　文　献：

[1] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, BRAUN D P, et al . A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network[J] . River Research & Applications, 1998, 14(4): 329-340 .

[2] 陈启慧，郝振纯，夏自强，等 . 葛洲坝对长江径流过程的影响[J] . 长江流域资源与环境，2006，15(4)：522-526 .

[3] 郭文献，夏自强，王乾 . 丹江口水库对汉江中下游水文情势的影响[J] . 河海大学学报(自然科学版)，2008，36(6)：733-737 .

[4] YANG Z F, YAN Y, LIU Q . Assessment of the flow regime alterations in the Lower Yellow River, China[J] . Ecological Informatics, 2012(10): 56-64 .

[5] ZHANG Q, XIAO M Z, LIU C L, et al . Reservoir-induced hydrological alterations and ecological instream flow in the East River, the Pearl River Basin, China[J] . Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2014, 28(8): 2119-2131 .

[6] KOEL T M, SPARKS R E . Historical patterns of river stage and fish communities as criteria for operations of dams on the Illinois River [J] . River Research and Applications, 2002, 18(1): 3-19 .

[7] TAYLOR V, SCHULZE R, JEWITT G . Application of the indicators of hydrological alteration method to the Mkomazi River, KwaZulu-Natal, South Africa[J] . African Journal of Aquatic Science, 2003, 28(1): 1-11 .

[8] SHIAU J T, WU F C . Feasible diversion and instream flow release using range of variability approach[J] . Journal of Water Resources Planning and Management, 2004, 130(5): 395-404 .

[9] 长江水利委员会 .《洞庭湖区综合规划报告》通过审查[J] . 人民长江，2012(5)：67-67 .

[10] 吕琳莉，李朝霞 . 雅鲁藏布江中下游径流变异性识别[J] . 水力发电，2013，39(5)：13-15 .

[11] 李景保，罗中海，叶亚亚，等 . 三峡水库运行对长江荆南三口水文和生态的影响[J] . 应用生态学报，2016，27(4)：1285-1293 .

[12] 王随继，闫云霞，颜明，等 . 皇甫川流域降水和人类活动对径流量变化的贡献率分析[J] . 地理学报，2012，67(3)：388-396 .

[13] 章诞武，丛振涛，倪广恒 . 基于中国气象资料的趋势检验方法对比分析[J] . 水科学进展，2013，24(4)：490-496 .

[14] 薛联青，张卉，张洛晨，等 . 基于改进RVA法的水利工程对塔里木河生态水文情势影响评估[J] . 河海大学学报(自然科学版)，2017，45(3)：189-196 .

[15] RICHTER B, BAUMGARTNER J, WIGINGTON R, et al . How much water does a river need?[J] . Freshwater Biology, 1997, 37(1): 231-249 .

[16] 张宗娇，张强，顾西辉，等 . 水文变异条件下的黄河干流生态径流特征及生态效应[J] . 自然资源学报，2016，31(12)：2021-2033 .

[17] 姜刘志 . 三峡蓄水后长江中下游水文情势变化特征及其对鱼类的影响研究[D] . 北京：中国科学院大学，2014 .

The evaluation of hydrological regime in Four River Basins based on IHA-RVA method

WANG Hongxiang[1], ZHA Hufei[1], ZHUO Zhiyu[2], QIAN Zhan[2], GUO Wenxian[1]
(1. *North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou* 450045, *China*;
2. *Hunan Province Hydro & Power Design Institute, Changsha* 410007, *China*)

Abstract: In order to analyze the hydrological regimes of Xiangjiang, Zijiang, Yuanshui and Lishui, the historical flow data of 1959-2016 at Xiangtan, Taojiang, Taoyuan and Shimen hydrological station were selected. The hydrologic characteristics and the mutation points of the four rivers were analyzed by Mann-Kendall method, cumulative anomaly test and sliding T test. Range of Variability Approach (RVA) and hydrologic change degree method were used to evaluate the change degree of hydrological indictors of the four rivers. The results show that the average annual flow of Xiangtan, Taojiang and Taoyuan station during 1959 to 2016 havs shown an increasing trend and the Shimen station has shown a decreasing trend. The abrupt junction of average annual flow at Xiangtan, Taojiang, Taoyuan and Shimen station is 1991, 1987, 1989 and 1973, respectively. The overall degree of hydrological alternation belongs to moderate and low alternation. The alternation degree of Xiangtan, Taojiang, Taoyuan and Shimen station was 36%, 22%, 35% and 42%, respectively. The research can provide the technical support for the hydrological regime assessment of the four river basins and the security of river ecosystem.

Keywords: four river basins; hydrological regime; range of variability approach; hydrological change degree

（责任编辑：王成丽）

论文摘要编写要点

1. 摘要是论文内容不加注释和评论的简短陈述，应包含正文的要点，具有独立性和自含性，让读者不阅读全文就能了解论文的基本内容，以判断有无必要阅读全文，也可供二次文摘采用。

2. 摘要应说明研究工作的目的、方法与手段、结果和结论，要尽量简短，尽可能省略课题的背景信息。

3. 摘要中的内容应在正文中出现，不能对正文进行补充和修改。

4. 摘要中不用图、表、非公用共知的符号和术语，不能引用文献；缩写名称在第一次出现时要有全称（包括中文和英文）。

5. 摘要中不要多列数据，出现的应该是最重要的、最关键数据。

6. 中文摘要一般200字左右，中英文摘要应基本对照，不能因为某些内容不好翻译就略去。

7. 关键词是为了文献标引工作，是从论文中选取出来用以表示全文主题内容信息的单词或术语，一般为3~8个词，尽量用规范词。

《中国水利水电科学研究院学报》编辑部