

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.02.002

长江上游枯水期及 10 月径流情势分析

黄 峰^{1,2} 夏自强^{1,2} 王远坤³

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;
2.河海大学水文水资源学院 江苏 南京 210098 ;3.南京大学地球科学与工程学院 江苏 南京 210093)

摘要 :采用非参数统计检验 Mann-Kendal 法分析了长江上游寸滩、宜昌站枯水期及 10 月的流量变化趋势 ,并用有序聚类分析法分析了两站枯水期及 10 月流量序列的跳跃点 .结果表明 :两站枯水期流量均呈上升趋势 ,10 月流量均呈下降趋势 ;两站枯水期流量序列的跳跃点均为 1989 年 ,10 月流量序列的跳跃点均为 1991 年 .枯水期和 10 月流量序列的跳跃点基本吻合 ,初步判定 ,跳跃点的产生可能是由于长江上游流域水库运行引起的 .

关键词 :流量 ;趋势 ;跳跃点 ;长江上游

中图分类号 :P333 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2010)02-0129-05

自 20 世纪 60 年代以来 ,随着长江上游流域水资源开发利用程度的提高以及全球气候变化 ,长江上游流域的径流情势发生了一定的变化^[1-6] ,而长江上游流域水库的建设运行在一定程度上也影响了长江上游的水文情势 .水库调蓄作用的发挥会使枯水期径流量有所增加 ,而汛末蓄水会使 10 月的径流量减少 .本文采用非参数统计检验 Mann-Kendal 法(简称 M-K 法)、有序聚类分析法对寸滩、宜昌站枯水期及 10 月的流量序列分别进行了流量变化趋势及跳跃点分析 .

1 研究数据及方法

寸滩、宜昌水文站为长江上游的重要控制站 .寸滩站位于重庆寸滩三家滩 ,集水面积 86.7 万 km² ,控制着岷江、沱江、嘉陵江及赤水河汇入长江后的基本水情 .宜昌站位于长江上游与中游的交界处 ,完整地控制了长江上游 100.6 万 km² 的广大地区 .选取寸滩、宜昌站 1950 ~ 2002 年 1 ~ 3 月及 10 月的日径流量资料 ,分别采用 M-K 法及有序聚类分析法分析这两站的水文情势变化 .

1.1 非参数统计检验 M-K 法^[7]基本原理

假设有一时间序列 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$,其趋势检验统计量公式为

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(X_i - X_j) \tag{1}$$

式中 $\text{sign}()$ 为符号函数 .当 $X_i - X_j$ 小于、等于或大于零时 , $\text{sign}(X_i - X_j)$ 分别为 -1、0 或 1 .M-K 统计量公式为

$$Z = \begin{cases} (S - 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ (S + 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & (S < 0) \end{cases} \tag{2}$$

Z 为正值表示增加趋势 ,负值表示减少趋势 . Z 的绝对值大于或等于 1.28、1.64、2.32 时分别表示通过了置信度 90%、95%、99% 显著性检验 .

1.2 有序聚类分析法^[8]基本原理

假设有一时间序列 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$,设可能分割点为 τ ,则最优二分割 :

$$S_n^* = \min \left\{ \sum_{t=1}^{\tau} (X_t - \bar{X}_{\tau})^2 + \sum_{t=\tau+1}^n (X_t - \bar{X}_{n-\tau})^2 \right\} \tag{3}$$

收稿日期 :2009-03-30

基金项目 :国家自然科学基金(30490235)

作者简介 :黄峰(1987—) ,男 ,江苏如皋人 ,硕士研究生 ,主要从事水文水资源和生态环境研究 .E-mail :435416785@qq.com

找到分割点 τ_0 以后,采用秩和检验法对分割样本进行显著性水平检验,设 n_1 为小样本容量, n_2 为大样本容量, w 为容量小的样本各数值的秩之和,当 $n_1, n_2 > 10$ 时,

$$w \sim N\left(\frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2}, \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{2}\right)$$

(4)

构造统计量

$$U = \frac{w - \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}}$$

(5)

U 的绝对值大于或等于 1.64, 1.96, 2.58 时分别表示通过了置信度 90%, 95%, 99% 显著性检验.

2 径流趋势分析

1~3 月为寸滩站和宜昌站的枯水期,两站枯水期径流量分别只占年径流量的 7.20% 和 7.42%,由 1950~2002 年各年 1~3 月 3 个月的平均流量构成枯水期流量序列.采用 M-K 法分析流量的变化趋势,寸滩、宜昌站枯水期流量趋势 M-K 法检验统计值分别为 0.64, 2.02,两站枯水期流量均呈上升趋势,其中宜昌站枯水期流量上升趋势^[7]的显著性水平超过 95% 置信度;两站 10 月流量趋势 M-K 法检验统计值分别为 -1.8, -1.27,均呈下降趋势,其中寸滩站 10 月流量下降趋势的显著性水平超过 95% 置信度.两站枯水期及 10 月流量趋势变化见图 1.

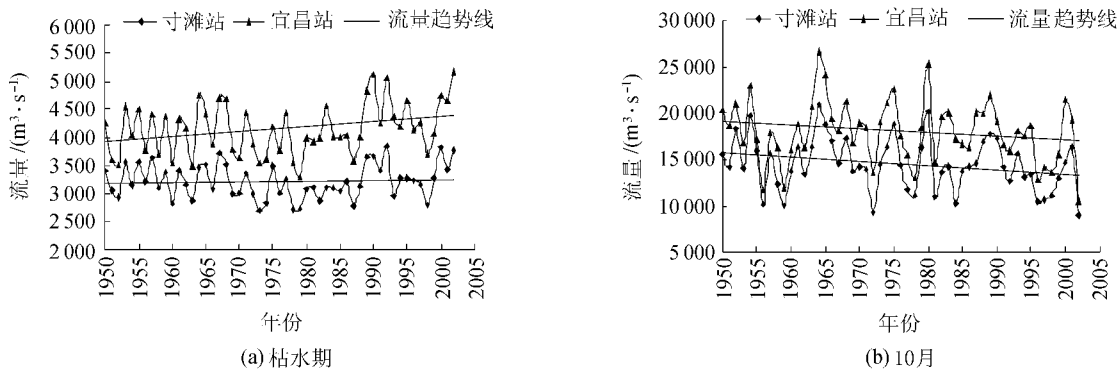


图1 寸滩、宜昌站流量趋势
Fig. 1 Trend of runoffs at Cuntan and Yichang hydrological stations in dry season

3 跳跃点分析

3.1 寸滩站

采用有序聚类分析法对寸滩站枯水期流量序列进行分析,发现一处跳跃点,发生在 1989 年,经秩和检验法检验 ($U = 2.52$),其显著性水平超过 95% 置信度.跳跃点前,即 1950~1988 年枯水期多年平均流量为 $3156 m^3/s$,跳跃点后枯水期多年平均流量为 $3397 m^3/s$,上升了 $241 m^3/s$,即跳跃点后枯水期的多年平均径流量上升了 18.74 亿 m^3 .寸滩站枯水期流量变化及跳跃点见图 2(a).

对寸滩站 10 月的流量序列同样采用有序聚类分析法进行跳跃点分析,发现 1991 年为其跳跃点,显著性水平超过 95% 置信度 ($U = 2.34$).跳跃点前,即 1950~1990 年 10 月的多年平均流量为 $14969 m^3/s$,跳跃点后 10 月的多年平均流量为 $12870 m^3/s$,下降了 $2099 m^3/s$,即跳跃点后 10 月的多年平均径流量下降了 56.22 亿 m^3 .寸滩站 10 月流量变化及跳跃点见图 2(b).

3.2 宜昌站

采用有序聚类分析法对宜昌站枯水期流量序列进行跳跃点分析,发现一处跳跃点,发生在 1989 年,经秩和检验法检验 ($U = 3.2$),其显著性水平超过 99% 置信度.跳跃点前,即 1950~1988 年枯水期多年平均流量为 $4022 m^3/s$,跳跃点后枯水期多年平均流量为 $4514 m^3/s$,上升了 $492 m^3/s$,即跳跃点后枯水期的多年平均径流量上升了 38.26 亿 m^3 .宜昌站枯水期流量变化及跳跃点见图 3(a).

对宜昌站 10 月的流量序列,同样采用有序聚类分析法进行跳跃点分析,发现 1991 年为其跳跃点,显著

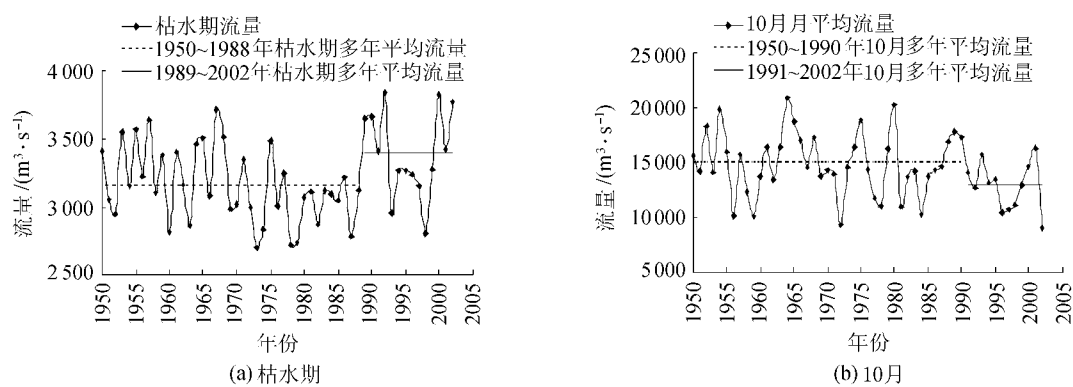


图 2 寸滩站流量变化及跳跃点

Fig. 2 Variation and break points of runoffs at Cuntan hydrological station in dry season

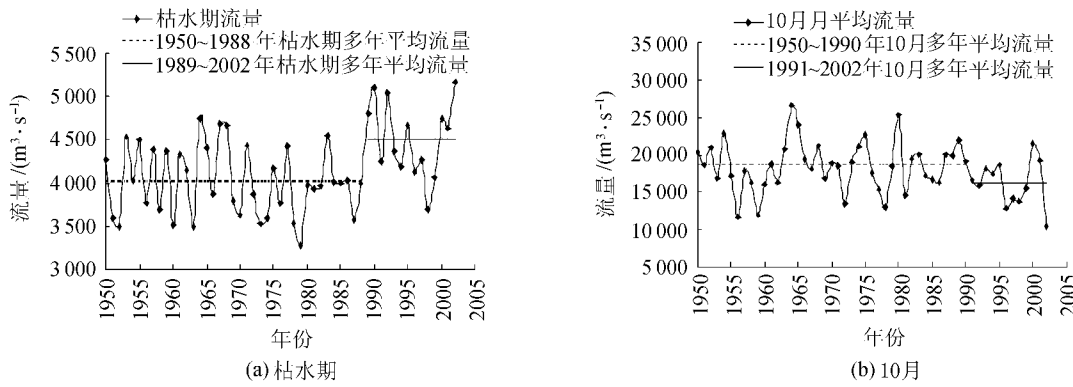


图 3 宜昌站流量变化及跳跃点

Fig. 3 Variation and break points of runoffs at Yichang hydrological station in dry season

性水平超过95%置信度($U = 2.17$).跳跃点前,即 1950 ~ 1990 年 10 月的多年平均流量为 $18\,588\text{ m}^3/\text{s}$;跳跃点后 10 月的多年平均流量为 $16\,192\text{ m}^3/\text{s}$,下降了 $2\,396\text{ m}^3/\text{s}$,即跳跃点后 10 月的多年平均径流量下降了 64.17 亿 m^3 .宜昌站 10 月流量变化及跳跃点见图 3(b).

4 径流变化原因分析

径流形势受诸多因素影响,如降水、蒸发、流域下垫面条件、用水量、水利工程等因素.近 50 年来,长江上游流域春、冬季的降水呈上升趋势,秋季的降水呈下降趋势^[9-11].降水的变化会影响水文情势,使枯水期流量上升,10 月流量下降.

20 世纪 50 年代以来,长江流域上游相继修建了大量水利工程(表 1).文献[12]统计了长江流域上游修建的库容大于 1 亿 m^3 的水库的情况,寸滩站上游修建水库的总调节库容为 70.94 亿 m^3 ,宜昌站上游修建水库的总调节库容为 98.89 亿 m^3 (未计三峡调节库容).若考虑库容小于 1 亿 m^3 的水库,长江流域上游水库的总调节库容将会更大.水库运行后调蓄作用的发挥,势必会在一定程度上增加枯水期的径流量,而汛末水库蓄水,会减少 10 月的径流量.以雅砻江二滩水库为例,其正常运行的 2000 ~ 2002 年,枯水期平均入库流量为 $482\text{ m}^3/\text{s}$,平均出库流量为 $755\text{ m}^3/\text{s}$,平均增大 $273\text{ m}^3/\text{s}$,调节径流量 21 亿 m^3 .

对于枯水期流量序列,寸滩、宜昌站的跳跃点均为 1989 年,而两站 10 月月平均流量序列跳跃点也完全一致,都为 1991 年.枯水期流量序列和 10 月月平均序列的跳跃点基本吻合,由此可以初步判定,长江上游流域的水库运行对枯水期及 10 月的流量产生了比较大的影响,流量序列跳跃点的产生主要是由水库运行引起的.由于长江上游流域水库不是同时建成运行,而且库容大小不一,各水库对其所处河流水文情势的影响程度也不相同,所以枯水期及 10 月流量序列的跳跃点并不能确切反映哪个或哪些水库是主要影响因素.但可以认为,枯水期及 10 月流量序列跳跃点的产生主要是长江上游流域水库运行对径流形势影响的累积作用的结果.

表1 长江流域上游大型水利工程

Table 1 Large water resources projects in the upper reaches of Yangtze River

河名	水库名称	总库容/ 亿 m ³	调节库容/ 亿 m ³	建成时间	河名	水库名称	总库容/ 亿 m ³	调节库容/ 亿 m ³	建成时间
金沙江	一级毛家村	5.53	4.72	1971 年	绿豆河	鲁班	2.90	2.10	1980 年
雅砻江	二滩	58.00	33.70	1998 年	西河	升钟	13.39	6.27	1983 年
大渡河	龚嘴	3.57	1.55	1971 年	乌江	乌江渡	23.00	13.50	1982 年
大渡河	铜街子	2.45	2.00	1986 年	猫跳河	红枫	6.42	4.42	1960 年
岷江河	黑龙滩	3.60	2.96	1971 年	猫跳河	白花	1.91	0.83	1966 年
降溪河	三岔	2.25	2.03	1978 年	大洪河	大洪河	3.68	1.72	1960 年
白龙江	碧口	5.21	2.21	1976 年	龙溪河	狮子滩	10.27	7.48	1956 年
白龙江	宝珠寺	25.50	13.40	1998 年	干流	葛洲坝	15.80	0.85	1981 年

随着三峡水库、溪洛渡水库等大型水利枢纽的兴建运行,长江上游枯水期及 10 月的径流情势会进一步受到影响,长江上游水库对水文情势的影响程度有待于进一步研究.降水变化、下垫面条件改变、用水量变化等因素也会对枯水期及 10 月流量序列的跳跃点产生一定影响,但由于资料收集困难,无法深入分析.

5 结 论

a. 总体来看,长江上游寸滩、宜昌站两站枯水期径流均呈上升趋势,其中宜昌站枯水期径流上升趋势的显著性水平超过 95% 置信度;两站 10 月径流均呈下降趋势,其中寸滩站 10 月径流下降趋势的显著性水平超过 95% 置信度.

b. 寸滩站枯水期流量序列的跳跃点发生在 1989 年,枯水期多年平均流量跳跃点后较跳跃点前上升了 241 m³/s;10 月流量序列的跳跃点发生在 1991 年,10 月多年平均流量跳跃点后较跳跃点前下降了 2 099 m³/s.宜昌站枯水期流量序列的跳跃点发生在 1989 年,枯水期多年平均流量跳跃点后较跳跃点前上升了 492 m³/s;10 月流量序列的跳跃点发生在 1991 年,10 月多年平均流量跳跃点后较跳跃点前下降了 2 396 m³/s.

c. 枯水期和 10 月流量序列的跳跃点基本吻合,由此初步判定,长江上游流域的水库运行对枯水期及 10 月的流量产生了比较大的影响,流量序列跳跃点的产生可能主要是由水库运行引起的.

参考文献:

[1] KENDALL M G. Rank correlation method[M]. London :Charles Griffin ,1975.

[2] 姜彤,施雅风.全球变暖、长江水灾与可能损失[J].地球科学进展,2003,18(2):277-284.(JIANG Tong,SHI Ya-feng. Global climatic warming,the Yangtze floods and potential los[J]. Advance in Earth Sciences,2003,18(2):277-284.(in Chinese))

[3] 许继军,杨大文,雷志栋,等.长江流域降水量和径流量长期变化趋势检验[J].人民长江,2006,37(9):63-67.(XU Ji-jun,YANG Da-wen,LEI Zhi-dong,et al. Examination on long time variation tendency of precipitation and runoff in the Yangtze River basin [J]. Yangtze River,2006,37(9):63-67.(in Chinese))

[4] 秦年秀,姜彤,许崇育.长江流域径流趋势变化及突变分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(5):589-594.(QIN Nian-xiu,JIANG Tong,XU Chong-yu. Trends and abruption analysis on the discharge in the Yangtze River basir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2005,14(5):589-594(in Chinese)).

[5] 夏军,王渺林.长江上游流域径流变化与分布式水文模拟[J].资源科学,2008,30(7):962-967.(XIA Jun,WANG Miao-lin. Runoff changes and distributed hydrologic simulation in the upper reaches of Yangtze River[J]. Resources Science,2008,30(7):962-967.(in Chinese))

[6] 邹振华,李琼芳,夏自强,等.人类活动对长江径流量特性的影响[J].河海大学学报:自然科学版,2007,35(6):622-626.(ZOU Zhen-hua,LI Qiong-fang,XIA Zi-qiang,et al. Human-induced alterations in runoff of the Yangtze River[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences,2007,35(6):622-626.(in Chinese))

[7] KENDALL M G. Rank correlation method[M]. London :Charles Griffin ,1975.

[8] 丁晶,邓育仁.随机水文学[M].成都:成都科技大学出版社,1988.

[9] 王艳君,姜彤,施雅风.长江上游流域 1961~2000 年气候及径流变化趋势[J].冰川冻土,2005,27(5):709-714.(WANG Yan-jun,JIANG Tong,SHI Ya-feng. Changing trends of climate and runoff over the upper reaches of the Yangtze River in 1961-2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2005,27(5):709-714.(in Chinese))

[10] 李林,王振宇,秦宁生,等.长江上游径流量变化及其与影响因子关系分析[J].自然资源学报,2004,19(6):694-700.(LI

Lin WANG Zhen-yu ,QIN Ning-sheng ,et al. Analysis of the relationship between runoff amount and its impacting factor in the upper Yangtze River[J]. Journal of Natural Resources 2004 ,19(6) :694-700. (in Chinese))

[11] 戴仕宝 杨世伦. 近 50 年来长江水资源特征变化分析[J]. 自然资源学报 2006 21(4) :501-506.(DAI Shi-bao ,YANG Shi-lun. Variations in water resources of the Yangtze River over the last five decades[J]. Journal of Natural Resources 2006 21(4) :501-506. (in Chinese))

[12] 王辉 项祖伟 陈晖. 长江上游大型水利工程对三峡枯水径流影响分析[J]. 人民长江 2006 ,37(12) :21-23.(WANG Hui , XIANG Zu-wei ,CHEN Hui. Analysis on impact of the Yangtze River upstream large type hydropower stations on runoff of Three Gorges in dry season[J]. Yangtze River 2006 37(12) :21-23. (in Chinese))

Runoff regimes of upstream Yangtze River in dry season and October

HUANG Feng^{1 , 2} , XIA Zi-qiang^{1 , 2} , WANG Yuan-kun³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

3. School of Earth Science ,Nanjing University ,Nanjing 210093 ,China)

Abstract : The Mann-Kendal statistical test method was employed to analyze the trend of runoff variation at Cuntan and Yichang hydrological stations in dry season and October. The break points of the runoff series at the two hydrological stations in dry season and October were discussed by use of the ordered clustering analysis method. The results show that the runoff series at the two stations exhibit an increasing trend in the dry season and a decreasing trend in October. In the dry season , the runoff series at the two stations both have break points in 1989 , and in October , they both have break points in 1991. The break points of the runoff series in the dry season agree with those in October. It is preliminarily judged that the break points are probably caused by the operation of reservoirs in the upper reaches of Yangtze River.

Key words : discharge ; trend ; break point ; upper Yangtze River