

1990s长江下游干流径流量演变趋势*

秦年秀^{1, 2} 姜彤¹ 原峰^{1, 2}

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2: 中国科学院研究生院, 北京 100039)

提 要 利用M-K相关分析方法和大通站1950-2000年逐月径流资料, 研究了长江下游干流径流的趋势变化. 研究结果表明: 1950s以来长江下游径流量呈增加趋势, 1990s平均径流量($30415.3\text{m}^3/\text{s}$)比所有其他年代平均径流都大, 为近50a以来的最大值; 就季节和月份而言, 秋季径流明显减少; 夏、冬两季径流量, 增加的趋势明显, 尤以冬季枯水季节径流增加最为突出. 洪水、枯水季节径流增加明显, 但以枯水季节径流增加占优势. 冬季枯水径流的增加, 可能在一定程度上能够缓解长江口生态环境的巨大压力. 1990s径流量的增加与全球变暖、水循环加快、长江流域降水量增加密切相关.

关键词 1990s 长江下游干流 径流趋势分析 大通站

分类号 P332.4

长江下游干流, 是指江西湖口县至长江口河段, 长约930km, 控制流域面积为 $12 \times 10^5 \text{km}^2$. 大通水文站为长江下游干流的控制站, 相对而言, 下游流域面积较小且无大河汇入, 故通过大通站的流量可代表进入河口区的流量. 该站位于安徽省贵池县梅埂镇, 至东海入口642km, 控制流域面积为 $170.54 \times 10^4 \text{km}^2$, 该站以下为长江感潮河段, 是长江冬季大潮的潮区界, 全年水位受东海潮汐影响呈波动状态, 东海潮汐对该站中、高水位和流量基本无影响, 但在枯季时感潮影响很显著^[1]. 在特枯季节, 长江河口海水入侵非常严重. 长江口的生态环境综合治理工程已成为继三峡和南水北调工程之后的第三个亮点工程. 国内外专家对长江口海水入侵和生态环境破坏有诸多研究^[2-4], 研究指出在影响河口区生态环境和盐度变化的诸多因素中, 上游来水量是最直接和最主要的因素; 长江口的海水入侵和生态环境破坏在天然情况下已比较严重, 南水北调尤其是东线工程(引水点在江都, 分期设计流量约为500、700和 $1000\text{m}^3/\text{s}$)实施后若不采取相应措施将更严重; 也有专家对长江流域枯季入海径流以及长江口水沙输移特性进行了分析研究^[5-8], 指出长江下游径流量与输沙量具有明显的季节变化, 枯季时两者具有很好的相关性, 且枯季入海径流不断减少, 导致海水入侵加剧. 但目前对长江下游干流径流趋势的分析还缺乏专门的研究, 故加强长江下游干流径流趋势的分析, 对长江流域的生态和环境治理无疑具有重要的理论和现实意义. 当前在气候变化方面一项重要的研究是依据对仪器观测记录的气候数据进行分析, 分析仪器记录时期的气候变化和未来的气候变化趋势^[9]. 本文的重点是对大通水文站1950-2000年的月径流实测资料进行分析, 考虑到1990s以来全球变暖对长江流域的降水可能产生重大影响, 本文

*中国科学院知识创新工程重要方向项目(长江中下游洪水孕灾环境变化、致灾机理与减灾对策, KZCX3-SW-331)和国家自然科学基金项目(历史时期长江中下游平原旱涝序列时空格局与风险评价, 40271112)联合资助.

2003-07-10 收稿; 2003-12-10 收修稿稿. 秦年秀, 女, 1976年生, 硕士研究生, email: gxqnx@sohu.com.

的重点是研究1990s以来的径流变化特点及其演变趋势,可为长江下游生态保护和资源开发提供科学决策依据.

1 资料与分析方法

本文采用大通水文站1922–2000年的月径流资料,考虑资料的连贯性,本文只对1950–2000年的逐月径流资料进行了全面分析.研究采用非参数Mann–Kendall (以下简称M-K法)趋势分析检验法^[10]、线性趋势分析法以及累积距平法和10a波动法来分析径流的变化及其特征.M-K法是用来评估气候要素时间序列趋势的常用检验方法之一,以适用范围广、人为性少、定量化程度高而著称,其检验统计量公式是

$$s = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j)$$

其中, $\text{sign}()$ 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统计量公式分别在 s 大于、等于、小于零时为 z

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

z 为正值表示增加趋势, 负值表示减少趋势. z 值在大于等于 $|1.28|$ 、 $|1.64|$ 、 $|2.32|$ 时分别表示通过了90%、95%、99%置信度显著性检验.

2 径流趋势分析

2.1 年径流分析

长江大通站多年平均径流量为28859m³/s (1950–2000年). 表1给出了1950–2000年不同时间段大通站径流均值以及1990s径流均值与其他年代径流的比较. 突出的特征表现在1990s径流均值与其他年代径流均值的比较都为正值, 说明1990s大通站平均径流比1950s, 1960s, 1970s和1980s平均径流都大, 增大的比率分别为: 4.88%、6.76%、8.7%、7.89%. 另外从表中还可看出, 自1950s至1970s长江下游干流径流呈下降的趋势, 从1950s的28999m³/s下降到1970s的27980m³/s, 下降3.5%, 随后径流又呈现轻微上升的趋势, 以1990s上升趋势最为迅速, 1990s径流比1970s增加8.7%. 而且1990s径流距平也呈现显著的增加(图1). 从大通站近50a来的径流距平可以看出, 大通站径流年际波动较大, 但总体表现为微弱增加的趋势, 1990s平均径流30415.3m³/s, 为1950s以来的最大值.

影响径流的因素很多, 其中大气降水是影响径流最重要的因素. 受东南季风和西南季风影响, 长江流域降水变率很大, 因而导致径流的变率大(图1). 而长江下游径流主要靠流域大气降水及上游不同区段的来水补给. 根据预测^[11–12], 21世纪长江流域地区的增温可能达到2.7℃, 显著升温的结果, 导致水循环加快, 年平均降水量可能增加10%^[12]. 长江流域降水的增加, 导致长江下游在未来一段时间内, 径流增加的趋势可能会继续. 而长江下游径流的增

加可能在一定程度上能够缓解河口区生态环境面临的巨大压力.

表1 1950–2000年大通站多年平均径流量比较

Tab.1 The difference between the average value in 1990s、1950s、1960s、1970s and 1980s

时 间	1951–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1950–2000	1991–2000
平均值 (m^3/s)	28999	28490	27980	28190	28859	30415.3
1990s 与其他年代的比较 (%)	4.88	6.76	8.7	7.89	5.39	

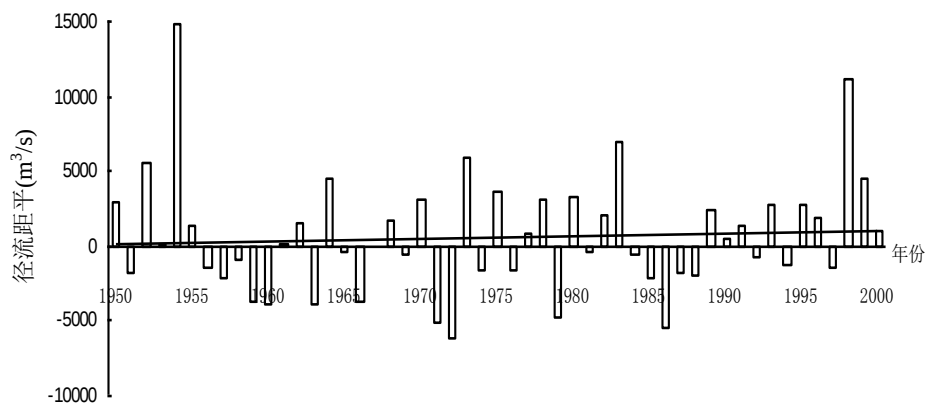


图1 近50a来长江下游地区径流距平 (距平参考时期为1961–1990年)

Fig.1 Anomaly runoff at the lower Yangtze River in the last 50 years (with respect to 1961–1990)

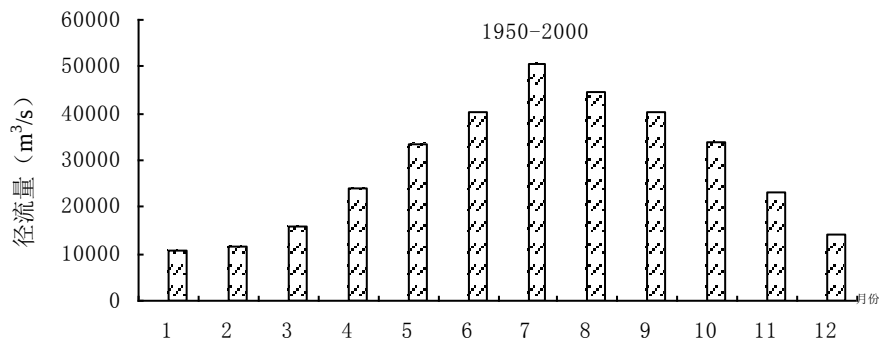


图2 大通站1950–2000年月经流量的分布

Fig. 2 Monthly distribution of mean runoff between 1950 and 2000

2.2 月经流的分析

月经流的分析在长江流域径流分析中显得尤为重要, 因为大部分洪涝灾害主要集中在洪峰流量大的夏季7、8月份. 长江下游流域月经流的变化主要受东南夏季风降水的影响, 月经流变率大. 这从图2中可明显看出, 7月份径流为一年中的最大值, 这也很好的表明了带来大量降水的夏季风开始于6月份.

2.2.1 1990s月平均径流与1950–1980s月平均径流的比较 图3给出1990s月平均径流与

1950s、1960s、1970s和1980s月平均径流的比较. 从图中明显可以看出, 1990s以径流增加的月份占绝对优势, 1990s平均径流比所有其他年代平均径流都增加的有1、2、3、4、7月和8月, 其中1、2、3月增加尤为明显, 增幅达30%~40%; 7月、8月的增幅在25%左右, 12月份1990s平均径流比大部分其他年代平均都大; 而1990s平均径流比所有其他年代平均径流都减少的只有10月和11月份, 且减少量都不大, 约为10%左右; 而6月和9月份平均径流变化比较复杂, 这些月份径流既有增加也有减少的趋势, 这可能与长江下游径流组成的复杂性有很大关系.

由分析可知长江下游流域月平均径流变化很大, 表现为12月~4月增加, 5月减少, 7~8月增加, 10~11月再次减少. 这与一些学者分析的长江流域月降水趋势基本一致^[13-14].

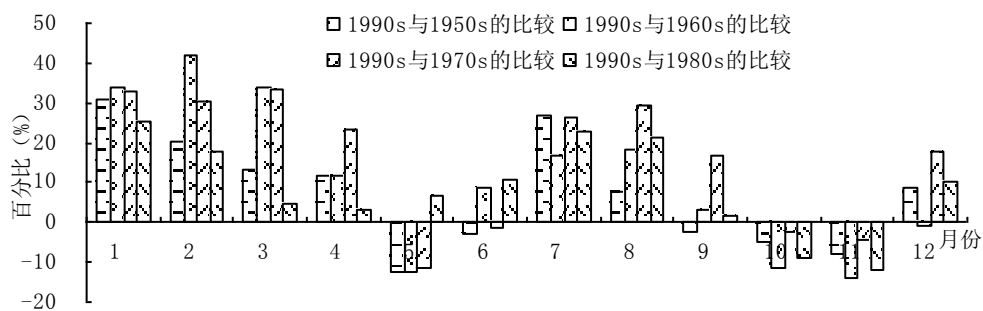


图3 1990s月平均径流与1950s、1960s、1970s和80s月平均径流的比较

Fig.3 Comparison of the monthly mean runoff between 1990s, 1950s, 1960s, 1970s and 1980s

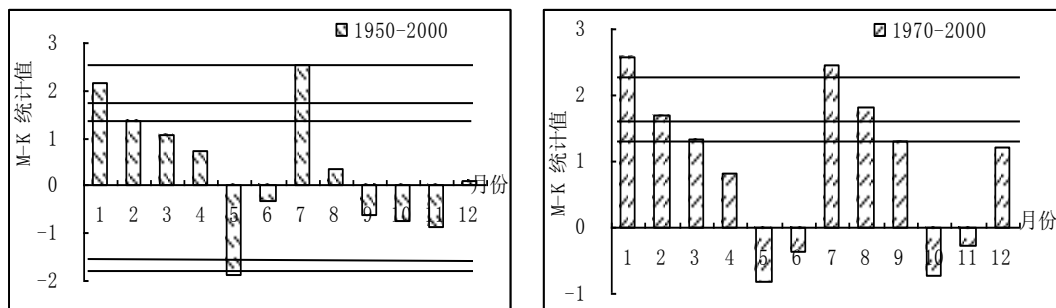


图4 1950-2000年和1970-2000年月平均径流M-K趋势分析

(横坐标以上和以下的线分别代表趋势检测置信度90%、95%、99%)

Fig. 4 M-K trend test for the monthly mean runoff variability from 1950 to 2000 and from 1970-2000

(the lines show the confidence level of the trends test in 90%, 95%,99% respectively)

2.2.2 月径流趋势分析 使用M-K 法分1950-2000年和1970-2000年两时间序列,对长江下游干流月径流趋势进行分析, 结果如图4所示: 1950-2000年M-K 趋势分析中, 1~4月、7~8月和12月表现为正趋势变化, 其余月份表现为负趋势变化, 但只有少数月份通过显著性检验, 其中1月和7月表现出很强的正趋势变化, 通过95%显著性检验, 7月份甚至通过置信度99%的显著性检验, 而2月份只通过90%显著性检验, 增加趋势不太明显; 径流减少月份中只有5

月份通过95%显著性检验,其余月份径流减少趋势没有通过显著性检验.与1950–2000年相比,1970–2000年M-K趋势分析中,通过显著性检验且表现为正趋势的月份显著增多,如1–3月和7–9月,其中1、7月都通过99%显著性检验,径流增加趋势非常明显,2、8月都通过95%显著性检验,增加趋势也非常显著,而3、9月只通过90%显著性检验.这一时期比较突出的是没有一个月份径流减少趋势通过显著性检验.说明自1970s以来月平均径流增加非常迅速,尤其是冬季和夏季月份.

2.3 径流的季节变化

长江流域尤其是下游地区,径流主要靠季风性降水补给.因此这一地区河流径流的季节性,强烈地受到来自太平洋上的东南季风的影响,季节性变化很大,按平均值而言,春(3、4、5月)、夏(6、7、8月)、秋(9、10、11月)、冬(12、1、2月)四季分别占总径流的21%、40%、28%和11%(1950–2000年).

2.3.1 1990s每个季度的径流与前4个年代相应值的比较 图5给出了1990s每个季度的平均径流与1950–1980s每个季度的平均径流比较,明显看出,季节性径流变化比较明显,以径流增加的季节占优势.表现在1990s春、夏、冬三季平均径流比所有其他年代同期平均径流都大,夏、冬季增幅达20%左右;但在秋季中,只有1970s的平均径流少于1990s,其他年代都比1990s多,也就是说1990s秋季径流表现为减少趋势,但减幅只在5%左右.对于季节性径流而言,可以说1990s季节性平均径流在春、夏、冬三季是增加的,但春季增加不太明显,以夏、冬两季增加明显,冬季尤甚;只有秋季径流在减少.

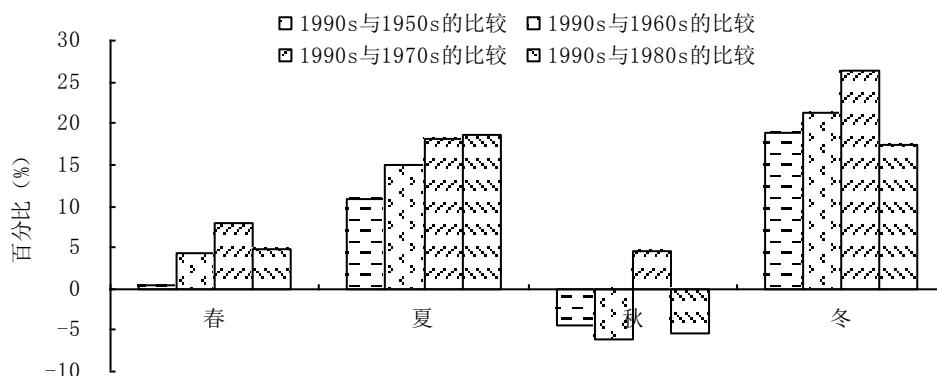


图 5 1990s季节性平均径流与1950s、1960s、1970s和1980s季节性平均径流的比较

Fig. 5 Seasonal variations of runoff in 1990s and 1950s、1960s、1970s and 1980s

2.3.2 季节性径流趋势分析 图6给出了四季径流M-K趋势分析结果.1950–2000年M-K趋势分析中,夏、冬两季径流表现为正相关趋势变化,秋季表现为微弱的负趋势变化,但只有冬季月份径流通过90%显著性检验,表现出轻微显著增加的趋势.总体上表明1950–2000年长江下游径流趋势变化不明显.而1970–2000年M-K趋势分析显示,夏、秋、冬三季径流都表现出正相关趋势变化,其中夏季通过90%置信度检验,冬季通过了置信度99%的显著性检验,增加趋势非常明显.说明自1970s以来长江下游地区夏、冬两季径流都表现出较明显增加趋势,以冬季增加最为显著.

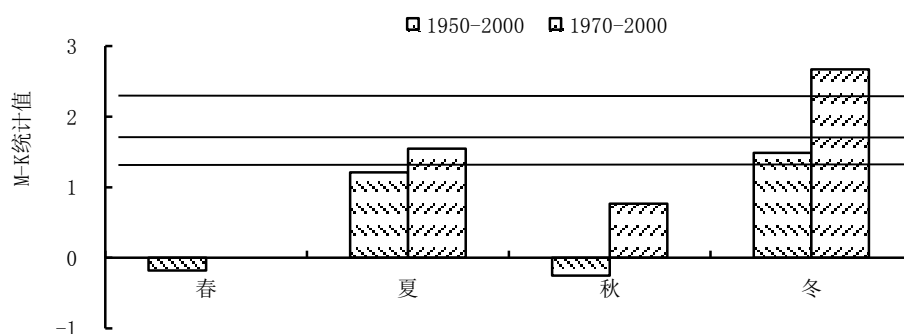


图 6 1950-2000年和1970-2000年季节性平均径流M-K趋势分析

(横坐标以上三条线分别代表趋势检测信度90%、95%、99%)

Fig. 6 M-K trend test for the seasonal mean runoff variations from 1950 to 2000 and from 1970-2000

(The lines show the confidence levels of the trend tests in 90%, 95%, 99%, respectively)

2.4 洪水季节、枯水季节径流的分析

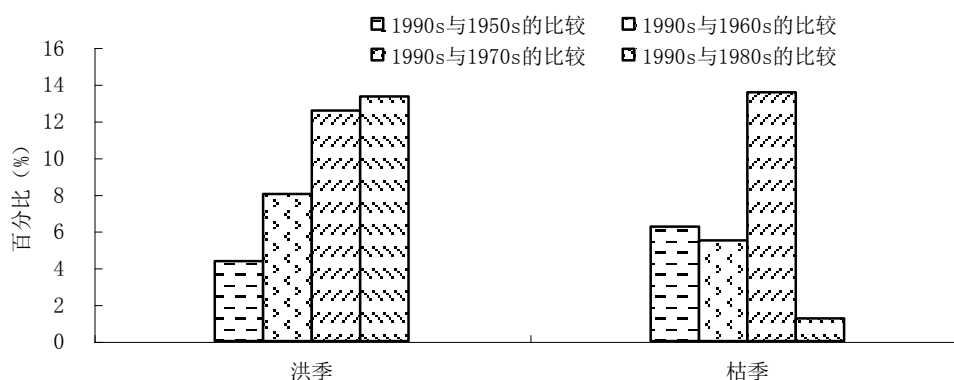


图7 1990s洪、枯季节平均径流与1950s-1980s同时期平均径流的比较

Fig.7 Comparison of the averaged runoff of the flood seasons and dry seasons in 1990s, 1950s, 1960s, 1970s and 1980s

2.4.1 1990s洪水季节、枯水季节径流与1950-1980s相应值比较 图7给出1990s洪水季节(5-9月)径流、枯水季节(10-4月)径流与1950-1980s的洪水季节径流、枯水季节径流的比较. 可见90年代无论洪水季节、枯水季节径流都比所有其它年代同期径流大, 说明1990s与以前年代相比, 无论在洪水季节、枯水季节径流都是增加的. 1990s洪季径流比1970-1980s同期径流增加12%以上, 比1960s增加8%左右, 而比1950s增加只有4%左右; 枯季径流除1970s比1990s减少达10%以上外, 其他年代与1990s相比减少都在5%左右或以下. 说明1990s洪季径流增加的比重普遍大于枯季径流. 这可能是导致1990s洪水加剧的原因之一.

2.4.2 洪水季节、枯水季节径流趋势分析 同样采用M-K法分析长江下游径流洪枯季节径流的趋势变化, 结果如图8所示, 1950-2000年M-K趋势分析中, 无论洪枯季节径流都表现为正趋势变化, 但增加趋势都没有通过显著性检验; 而1970-2000年M-K趋势分析中, 洪水季节

和枯水季节的径流都表现出明显的正相关趋势,且都通过90%置信度检验.说明自1970s以来洪水季节、枯水季节的径流都在明显增加,这与陈指出,冬季枯水季节径流减少不一致^[7].现在看来这一结论不够准确,可能是采用的资料只到1980s(1950–1985年)的缘故.因为20世纪80年代以来的全球变暖,长江中下游表现为升温的趋势,水循环加快,降水增加^[15],必然导致径流量的变化.

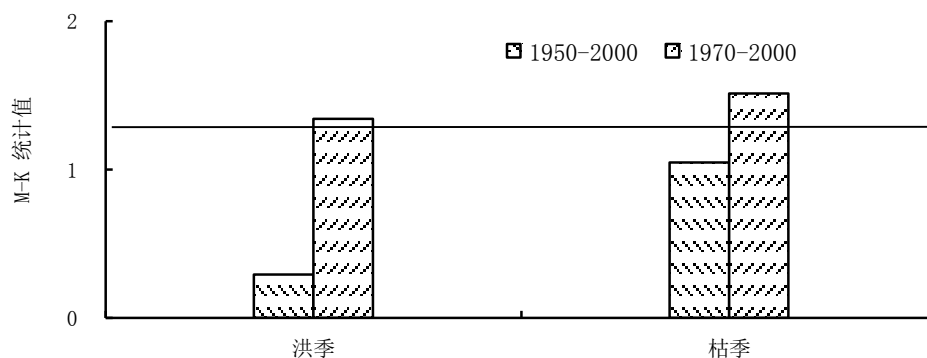


图8 1950–2000年和1970–2000年季节性平均径流M-K趋势分析

(横坐标以上的虚线代表信度90%趋势检验线)

Fig. 8 M-K trend test for mean runoff variability of the flood season and dry flood season from 1950 to 2000 and from 1970-2000 (The lines show the confidence levels of the trend tests in 90%)

3 结语

通过对长江下游干流大通水文站1950–2000年的逐月径流资料进行分析,初步得到以下结论:

(1) 总体看来,1950s以来长江下游年径流呈轻微增加趋势,1990s径流增加最为明显,径流平均值达近50a来的最大值,为 $30415.3\text{m}^3/\text{s}$.

(2) 长江下游季节性径流增加明显.夏季月份和冬季月份径流都表现出增加趋势,以冬季枯水季节径流增加为最,1970–2000年M-K趋势分析中冬季径流通过了信度99%的显著性检验.而秋季径流整体上呈现出减少的趋势,春季径流趋势变化不明显.

(3) 1970s以来长江下游洪水季节径流、枯水季节径流都呈增加的趋势,但以冬季枯水季节径流增加更为明显.

(4) 长江下游干流径流的组成的复杂性,径流趋势的变化与大气降水、下垫面,以及大通以上长江上游来水量的变化等有关.关于气候变化、城市化及其长江下游干流径流影响物理机制分析,有助于了解长江流域径流发展规律.此外1950s以来长江下游径流总体上呈现微弱增加的趋势,1990s以来增加更为显著,又以冬季枯水季节径流增加尤其突出.冬季枯水季节径流的增加预示冬季入长江口的径流也有可能增加,枯季径流的增加可能会在一定程度上削弱南水北调以及海水入侵造成的对河口区生态环境的影响,从而缓解海水入侵带来的消极影响.

致谢: 本文水文资料由南京水利局提供, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 长江水利委员会水文局. 1998 年长江洪水及水文监测预报. 北京: 中国水利水电出版社. 2000
- 2 沈焕庭, 茅志昌, 顾玉亮. 东线南水北调工程对长江口咸水入侵的影响与对策. 长江流域资源与环境, 2002, 11 (2)
- 3 杨世伦, 陈沈良, 王兴放. 长江口未来环境演变的若干影响因素及减灾对策. 自然灾害学报, 1997, 6 (4)
- 4 宋志尧, 茅丽华. 长江口盐水入侵研究. 水资源保护, 2002, (3)
- 5 李香萍, 杨吉山, 陈中原. 长江流域水沙输移特性. 华东师范大学学报 (自然科学版), 2001
- 6 Chen XiQing, Zong YongQiang, Zhang Erfeng. Human impacts on the Changjiang river basin, china, with special reference to the impacts on the dry season water discharge into the sea. *Geomorphology*, 2001, (4): 1111-123
- 7 Chen Zhongyuan, Jiufa Li, Shen Huanting, et al. River of China: Historical analysis of discharge variability and sediment flux. *Geomorphology*, 2001, (41): 77-91
- 8 沈焕庭, 张超, 茅志昌. 长江入河口水沙通量变化规律. 海洋与湖沼, 2000, 31 (3)
- 9 Peter Molnar, Jokge A Ramirez. Recent trends in precipitation and streamflow in the Rio Pureco Basin. *Journal of Climate*, 2001, (5)
- 10 Claudia Libiseller. Multivariate and partial Mann-Kendall test. 2002
- 11 Arnell N W. Climate Change and Global Water Resources. *Global Environmental Change*, 1999, (9): 531-549
- 12 Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, et al. Climate Change Due To Green house Effects in China As Simulated by a Regional Climate Model. *Advances in Atmospheric Science*, 2001, 18(6): 1224-1230
- 13 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征. 应用气象学报, 2000, (3)
- 14 陈辉, 施能, 王永波. 长江中下游气候的长期变化及基本特征. 气象科学, 2001, 21 (1)
- 15 姜彤, 施雅风. 全球变暖、长江洪水与可能损失. 地球科学进展, 2003, (2)

Trend Analysis on the Streamflow in the Lower Reaches of the Yangtze River

QIN Nianxiu 1, 2, JIANG Tong 1, Yuan Feng^{1, 2}

(1:Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008,P.R.China;

2:The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039,P.R.China;)

Abstract

Based on the average monthly runoff records from 1950 to 2000 at Datong station of the Yangtze River, the Mann-Kendall trends test has been applied to examine the runoff trends in the lower reaches of the Yangtze River. The results show the average discharge in the 1990s was the highest, in comparison to other decades for Datong station, and there is a slight increasing of runoff in the lower reaches of the Yangtze River from 1950s, the trend will be continued due to the effect of global warming. As to seasonal and / or monthly variation, a distinct decreasing trend has been detected for autumn, and there is significant increasing trend in summer and winter, especially in winter. In some sense, the increasing of runoff for winter may mitigate the pressure of the environments at the delta of Yangtze River. Significant positive trend has been observed for flood seasons and dry seasons, which is more obvious in dry seasons. The increasing of runoff in 1990s is very closely linked with the global warming, quicker water circulations and the increasing of precipitation in the Yangtze River catchments.

Keywords: 1990s, the lower reaches of the Yangtze River basin, runoff trend analysis, Datong station