

长江流域降水径流的年代际变化分析*

沈浒英

(长江水利委员会水文局, 武汉 430010)

提 要 应用 1951-2001 年长江流域年、季降水量资料、1885-2001 年梅雨量资料以及一百多年以来长江重要控制站宜昌、汉口、大通年径流量资料, 对长江流域降水径流的年代际变化、气候转折以及降水径流的变化趋势进行了分析研究. 反映出长江流域夏季降水将有更加集中的趋势, 即降水时间更集中、强度趋向于更大, 对防洪不利. 据趋势预测, 宜昌、汉口径流量有减少的趋势, 大通径流量有增加的趋势.

关键词 降水 径流 年代际变化 气候趋势 长江流域

分类号 P426.61⁴

长江是我国的第一大河, 长江流域水文气候变化是许多人非常关注的课题之一. 本文的目标是通过降水、径流变化规律的研究, 揭示长江流域的水文气候变化以及气候异常发生的规律, 同时也揭示了长江流域径流量的变化规律和趋势变化. 对科学地防汛决策、水利工程调度以及水资源的有效利用也有重要意义.

1 国内外研究现状

1.1 全球气候变化

全球气候变暖是当前气候学研究中的热点问题. 据分析近百年来全球气温平均上升 0.5℃ 左右. 不过这个变暖在时间尺度上并不是均匀的.

NOAA 环境实验室气候研究组使用了大约 5 千个测站的资料, 提出了一个较有代表性的全球陆地平均降水量序列: 从 19 世纪末到 20 世纪前 15a 降水偏少, 以后虽有波动但无明显多雨期. 1950 年代到 1960 年代前半期, 及 1970 年代到 1980 年代初为多雨期. 从长期趋势看, 近百年有变湿的倾向, 但在时间、空间尺度上并不是均匀的. 这似乎与全球变暖的结论一致, 即全球气候变暖—水分循环加强—降水量增加, 但进一步分析发现气温与降水年代际的变化并不完全一致^[1].

1.2 中国的气候变化

中国的气温变化与北半球并不完全一致, 1920 年代到 1940 年代的变暖是一致的. 但从 1940 年代到 1970 年代的降温则激烈的多. 1950 年代中期及 1960 年代末期寒冷的程度超过了 20 世纪初的水平. 1980 年代虽然有所回升, 但仍低于近百年均值. 近百年直线增暖的趋势只有 0.09℃/100a. 实际上 1980 年代中国北部还是变暖的. 有资料表明, 中国东北、华北及新疆的变暖可能与北半球一致, 但长江流域的气温反而有所下降.

* 2003-07-10 收稿; 2003-11-18 收修改稿. 沈浒英, 女, 1963 年生, 硕士, 高级工程师, email: shenhy@cjh.com.cn.

1920-1940 年代是最暖的时期, 也是最早的时期, 这与全球趋势相一致. 1950 年代及 1970 年代降水偏多也和全球趋势基本一致. 但 19 世纪末到 20 世纪初雨水偏多与全球的趋势相反. 其中长江流域的降水与全国的变化又是不一致的.

2 长江流域降水的气候趋势

2.1 分析方法

在气候趋势分析中, 直线是最常用来表征气候变化的演变趋势的, 分析水文气象要素时间序列时, 以时间为自变量、以要素为因变量建立一元回归方程, 即直线方程. 其直线即为序列的直线变化趋势, 在序列变化图上也可以绘出其拟合直线, 从图中看出趋势演变是增加还是减少. 其趋势变化也可以用直线的斜率的符号及大小来度量其演变趋势是增加还是减少的程度^[2].

2.2 年、季降水量变化趋势

应用 1951-2001 年长江流域面平均降水量资料建立直线方程, 方程中的直线斜率即为降水量的线性趋势项, 列于表 1 中. 由此分析流域内年、季降水量的气候趋势.

表 1 各区面平均雨量气候趋势变率 (mm/10a)

Tab.1 Variation Rate of Climatic Trend of Average Rainfall (mm/10a)

区域	春季 (3-5 月)	夏季 6-8 月)	秋季 (9-11 月)	冬季 (12-2 月)	全年
宜昌以上	-2.87	-0.74	-6.83	0.93	-9.51
汉口以上	-8.68	4.00	-5.66	0.52	-9.82
大通以上	-10.92	6.22	-5.47	0.22	-9.95

以大通以上地区代表长江流域, 春季长江流域降水呈减少趋势, 平均每十年减少 10.92mm. 夏季长江流域降水量呈递增趋势, 平均每十年增加 6.22mm. 秋季降水有减少的趋势, 平均每十年减少 5.47mm. 冬季降水呈弱的递增趋势, 平均每十年增加 0.22mm.

宜昌以上地区降水量在秋季平均每十年减少 6.83mm, 其次为春季平均每十年减少 2.87mm, 夏季降水量呈微弱的下降趋势; 冬季降水量呈弱的上升趋势, 平均每十年增加接近 1mm. 汉口以上地区降水量春季平均每十年减少 8.68mm, 其次秋季平均每十年减少 5.66mm, 夏季降水量平均每十年增加 4mm, 冬季降水量呈微弱的上升趋势. 大通以上地区降水量春季平均每十年减少近 11mm, 其次秋季平均每十年减少约 5.5mm, 夏季降水量平均每十年增加 6.22mm, 冬季降水量呈微弱的上升趋势.

1951-2001 年的 51a 期间, 长江流域的宜昌以上、汉口以上、大通以上地区年降水量的气候趋势是递减率分别为 -9.51mm、-9.82mm、-9.95mm. 我国 1951-1989 年 (39a) 降水气候趋势是平均每十年递减 12.66mm, 以大通以上地区降水量趋势代表长江流域降水量, 在相同时期内 (1951-1989 年) 长江流域年降水量的气候递减率为平均每十年递减 20.53mm. 同期相比, 长江流域年降水量的气候递减率高于全国降水量的气候递减率.

值得注意的是, 长江流域年降水量呈减少的趋势, 然而夏季降水量却呈增加的趋势, 这一事实反映出长江流域夏季降水将有更加集中的趋势, 即降水时间更集中、强度趋向于更大, 对防洪不利.

2.3 雨量的年代际变化

全流域降水量由大通以上流域雨量表示, 分析 1951-2001 年长江流域降水量资料可以得到, 1950 年代为多雨年代, 1970、1980 年代为少雨年代, 1960、1990 年代属基本正常; 宜昌以上流域降水量在 1950、1960 年代都为多雨年代, 1970、1990 年代为少雨年代, 1980 年代基本正常; 汉口以上流域降水量在 1950、1960 年代为多雨年代, 1970 年代为少雨年代, 1980、1990 年代为正常偏少年代(表 2).

表 2 长江流域各区年代际雨量(mm)距平

Tab.2 Decadal Scale Rainfall(mm) of the Yangtze River Basin					
年代	1950	1960	1970	1980	1990
宜昌以上	29.5	12.8	-23.4	-1.6	-17.7
汉口以上	22.9	17.9	-15.9	-8.6	-9.5
大通以上	34.1	3.8	-16.9	-12.2	-1.6

3 梅雨的年代际变化

对长江中下游干流五站梅雨量的时间序列作分析. 在分析气候变化趋势与突变时, 使用低通滤波方法, 它是把序列高频分量滤去以便突出长期或气候变化趋势的一种方法, 常用的低通滤波方法是对序列作滑动平均. 这里用 5a 滑动平均, 以消除 5a 内短周期的影响, 揭示出序列的周期变化特点; 此外用 3 阶多项式拟合作了梅雨量序列的年代际趋势预测.

分析表明梅雨量演变有明显的阶段性. 1880 年代后期属多梅雨期, 1885-1890 年的 6a 中有三年丰梅年; 1890 年代为少梅雨期, 十年中有 8a 梅雨量偏少, 但有 1 年(1896 年)梅雨量特多; 20 世纪初 1900 至 1910 年代是长江中下游地区的多梅雨期, 20a 中有 14a 为丰梅年; 1920 年代-1980 年代为少梅雨阶段, 1990 年代为多梅雨期. 根据趋势分析, 2000 年代(本文指 2001-2010 年)仍将是梅雨量偏丰的年代.

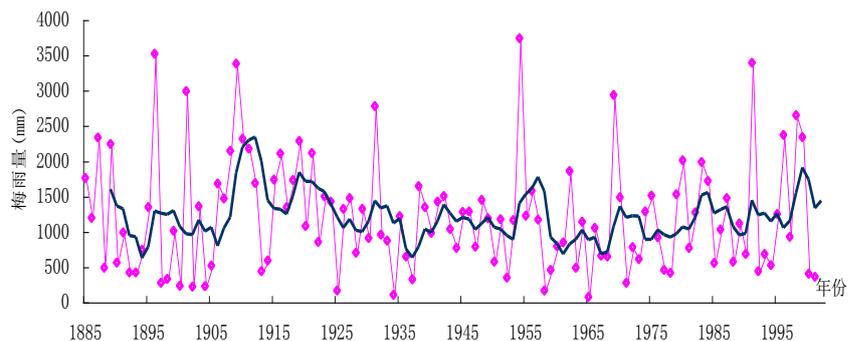


图 1 1885-2001 年梅雨量

Fig.1 The change of Bai-u between 1885 and 2001

图 1 中折线为 1885-2001 年长江中下游干流五站梅雨量序列, 粗折线为 5a 滑动平均. 根据分析得到近 20a 来梅雨量偏多, 与长江中下游以及洞庭湖、鄱阳湖地区夏季降水量偏多的趋势是一致的.

4 径流量的年代际变化

长江属雨洪型河流,年平均流量可以真实的反映长江流域气候的干湿、旱涝的变化特征和气候趋势.长江干流控制站宜昌、汉口站有一百多年的流量观测资料.连续完整的长期资料序列是进行气候分析研究的基础.

4.1 宜昌站径流量的变化特征及趋势

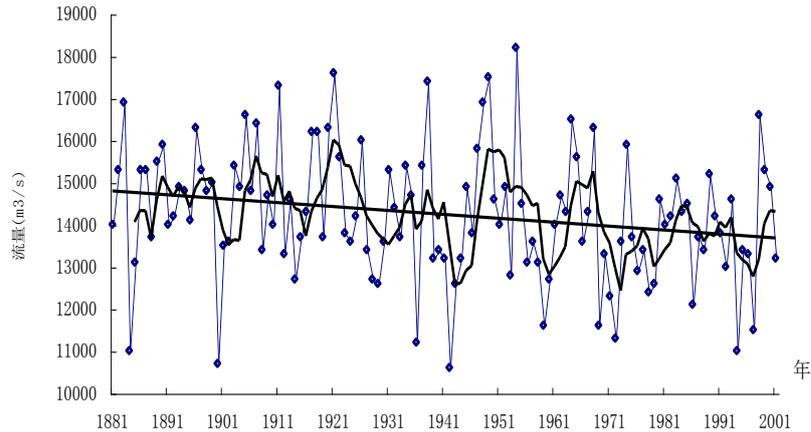


图2 1881-2001年宜昌站年平均流量

Fig.2 Annual mean runoff of Yichang Section between 1881 and 2001

宜昌站 1881-2001 年的年平均流量的气候趋势分析显示年径流量呈减少趋势,直线斜率为 9.3,即平均每一百年减少 $930\text{m}^3/\text{s}$ (见图 2,图中点线为年平均流量,折线为 5a 滑动平均,粗直线为线性趋势)。

宜昌年径流量自 1880 年代-1940 年代及 1960 年代均为径流偏丰年代,其中 1910 年代为最多,1900 年代为其次,1880 年代排第三.1950 年代、1970 年代-1990 年代相对均为径流偏少年代(即枯水年代),其中 1970 年代为最少,其次是 1990 年代,第三为 1950 年代.因此,长江上游年径流量的变化与前面提到的全球降水或全国降水的年代际变化中,1950,1970 年代降水偏多的趋势是相反的.分析近百年来宜昌年径流量年代际变率变化(图略),宜昌年径流在向逐渐减少的趋势发展.在逐年变化过程中,宜昌流量自 1970 年代以来,在 100 多年的历史演变中明显处于相对偏枯时期,1881-1970 年间的多年均值为 $14430\text{m}^3/\text{s}$,1971-2001 年期间均值为 $13680\text{m}^3/\text{s}$,可以说 1970 年代以后流量比之前减少了 $750\text{m}^3/\text{s}$.当然流量减少过程是相当缓慢的,而且在逐渐减少的过程中并不能排除有个别年份出现径流量较大的可能.基于这种观点,预测 2000 年代仍处在年径流偏少的年代.

4.2 汉口站径流量的变化特征及趋势

长江干流汉口站的年径流量变化既受到上游来水的影响,同时又受中游降水汇流的影响,因此汉口站与宜昌站年径流量的变化是有差异的.(图略),1860 年代后期,汉口年径流量属于偏丰期,1880 年代、1900-1910 年代、1930-1940 年代为径流偏丰年代,其中 1880 年代为最偏丰年代;1870 年代、1890 年代、1920 年代、1950-1990 年代为径流偏丰年代,

其中径流量最偏枯的是 1970 年代. 1940 年代以前偏丰年代多于偏枯年代, 1950 年代以后至 1990 年代, 汉口均为径流量偏少年代. 由此得出汉口年径流的年代际演变特征为振荡下降的趋势. 2000 年代汉口站年径流量仍将维持偏枯的趋势.

1865-2001 年汉口年平均流量逐年演变图 (图 3, 图中点线为年平均流量, 折线为 5a 滑动平均, 粗直线为线性趋势) 分析, 其气候变化呈下降趋势, 平均 100a 流量减少 $1480\text{m}^3/\text{s}$. 其中, 1960 年代以后, 汉口流量在逾 100a 以来的历史演变中明显处于偏枯阶段, 1961-2001 年期间的均值为 $22560\text{m}^3/\text{s}$, 比 1865-1960 年间的均值 $23700\text{m}^3/\text{s}$ 少 $1140\text{m}^3/\text{s}$.

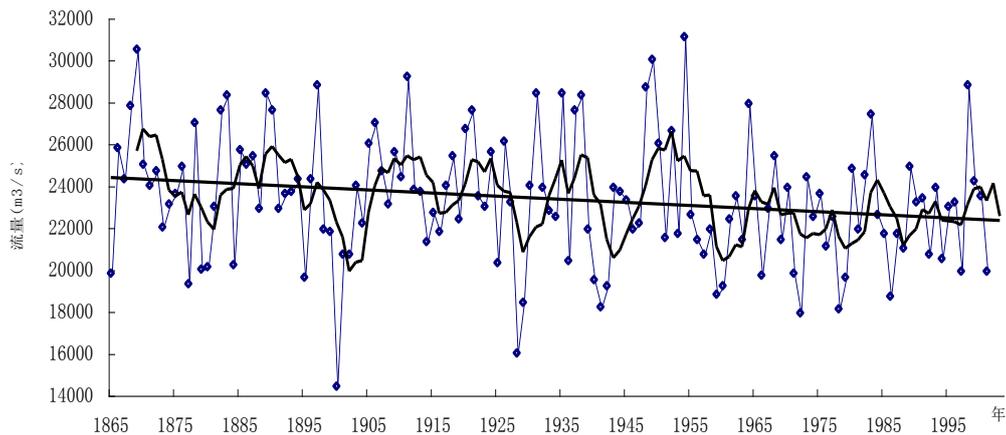


图 3 1865-2001 年汉口站年平均流量

Fig.3 Annual mean runoff of Hankou Section between 1865 and 2001

4. 3 大通站年径流量的变化特征及趋势

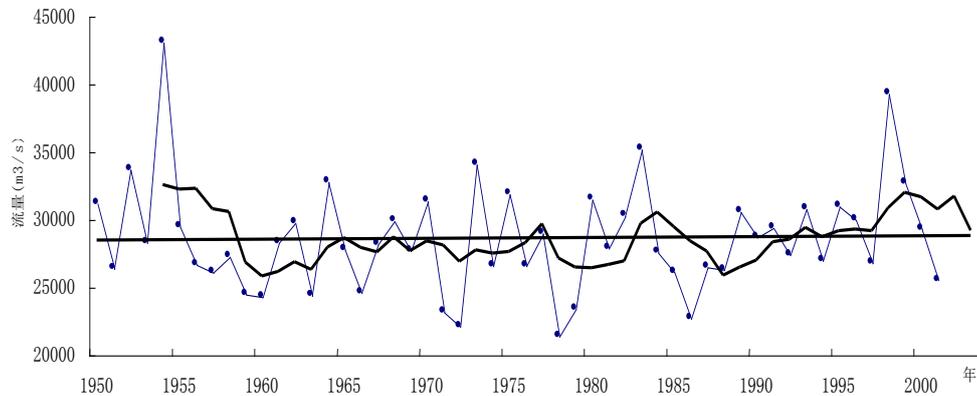


图 4 1950-2001 年大通站年平均流量

Fig.4 Annual mean runoff of Datong Section between 1950 and 2001

大通站 1950 年以后才有连续的流量资料, 对 1950-2001 年的年平均流量的年代际变化趋势分析, 1950 年代为径流偏丰年代, 1960-1970 年代为径流偏枯年代, 1990 年代又转为径流偏丰年代 (图略). 1970-1990 年代的变化趋势与汉口站相同, 1970 年代达到最低, 1980、1990 年代呈上升趋势. 比较 1950-1990 年代大通站流量与同时期长江中下游梅雨量

的变化趋势,两者趋势非常相似.根据趋势预测,2000年代大通站年径流量将是偏丰趋势.由于资料时间序列不同,大通站与宜昌、汉口站难以做比较.

4.4 宜昌、汉口站径流量比较

根据1881—2001年长江上游控制站宜昌站和长江中游控制站汉口站年平均流量的时间序列分布(图略),用低通滤波平滑掉5a以下的时间周期后,可见长江中、上游的这2个重要控制站近百年来存在着明显的周期变化.汉口站流量的振幅大于宜昌站,而这2个站的周期变化基本上是同位相的.

对宜昌、汉口站年径流量序列(1881—2001年)进行线性拟合,揭示出长江上游宜昌站年平均流量的演变呈减少的趋势,减少幅度为平均每100a流量减少 $930.36\text{m}^3/\text{s}$.汉口站年平均流量的气候变化也呈下降趋势,平均100a流量减少 $1710.6\text{m}^3/\text{s}$.

由于宜昌、汉口站平均流量多年均值不同,与各自均值比较,宜昌站流量递减百分率为6.34,汉口站流量递减百分率为7.35,汉口站流量的递减速度大于宜昌站.通过比较可以看到,宜昌、汉口年径流量的变化趋势是比较一致的,即都有逐渐减少的趋势.并且在逾100a的趋势演变中,长江中、上游在1960、1970年代以后年径流量都有明显转为偏枯的趋势.从以上分析得出,1960、1970年代为长江中、上游地区水文气候的转折期.

4.5 降水量与径流量年代际变化的比较

对各个年代的降水量与径流量进行比较,1950年代长江流域(大通以上)雨量和径流量均为正距平,降水和径流量距平符号一致.1970年代和1980年代全流域雨量偏少、径流量偏少为干旱年代,降水量和径流量距平符号也呈一致性,均为负距平.1960年代全流域降雨量正常略偏多为正距平,径流量正常略偏少,但雨量和径流量值在均值附近,并没有太大的矛盾.1990年代降水量正常略偏少,而径流量却明显偏多见表3.

表3 降雨量与径流量的年代际变化比较*

Tab.3 Comparison on the decadal scale variation of rainfall and runoff

年代	大通流量 Q (m^3/s)	大通以上降雨量 R (mm)
1950	377	34.1
1960	-123	3.8
1970	-1633	-16.9
1980	-423	-12.2
1990	1857	-1.6
均值	28563	1099

*表中1950—1990年代数据代表流量或降雨量的距平值.

按自然规律降水量偏多必然导致径流量偏多.根据统计分析,1950年代、1970年代、1980年代降水距平和径流量距平符号一致,符合这种规律.特别是1970年代由于长江流域干旱比较严重,土壤严重缺水,降水量储留作为农业灌溉用水等原因使一部分降水量不能变成河流径流量流出.1990年代,在降水量属基本正常的情况下,径流量明显偏多,造成径流量大大多于降水量的原因可能比较复杂,主要原因是降水时空分布不均,夏季降水时间更集中、强度趋向于更大,导致产流量增大.

5 结论

通过对长江流域降水量与径流量的分析,初步得到以下结论:

(1) 对 1951-2001 年流域降水量的趋势分析,长江流域年降水量的递减率趋势为平均每十年减少 9.95mm,长江流域降水递减率高于全国同期降水递减率.但长江流域夏季降水量呈递增趋势,平均每十年增加 6.22mm.这一事实反映出长江流域夏季降水将有更加集中的趋势,即降水时间更集中、强度趋向于更大,对防洪不利.

(2) 根据分析揭示出长江流域 1950 年代为降水偏多年代,1970 年代、1980 年代为降水偏少年代.1990 年代为长江中下游多梅雨年代.据趋势预测,2000 年代仍将是梅雨量偏丰年代.

(3) 通过分析长江干流宜昌站、汉口站一百多年的年径流量,指出长江中、上游在 1960、1970 年代以后都有明显转为径流偏枯的趋势,由此认为,1960、1970 年代为长江中上游地区的气候转折期.据趋势预测,宜昌、汉口站径流量将有减少趋势,而大通站径流量呈增加的趋势.

参 考 文 献

- 1 王绍武.年气候变化与变率的诊断研究.气象学报,1994,(8):261-273
- 2 黄嘉佑编著.统计动力分析与预报.北京:气象出版社,1993:143

The Decadal Scale Variation of Rainfall-Runoff in the Yangtze River Basin

SHEN HUYING

(Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, P.R.China)

Abstract

The decadal scale variation of rainfall-runoff as well as the climatic changes and the variation trends of rainfall-runoff in the Yangtze River Valley were studied. Observations reveal a trend that the rainfall in the summer period in the Yangtze River Valley will be more and more concentrated, that is to say, the raining period will be more concentrated and the rainfall intensity will be stronger, which is disadvantageous to the flood control. According to the prediction in trends, the future runoff in Yichang and Hankou Stations will possibly decline while the runoff in Datong station will increase.

Keywords: Rainfall, runoff, decadal scale variation, climatic trends, the Yangtze River Basin