

## 鄱阳湖流域 1955 - 2002 年径流系数变化趋势及其与气候因子的关系\*

郭 华<sup>1,2,3,4</sup>, 苏布达<sup>5</sup>, 王艳君<sup>6</sup>, 姜 彤<sup>1,2</sup>

- (1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)  
(2: 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)  
(3: 中国科学院研究生院, 北京 100039)  
(4: 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 兰州 730000)  
(5: 中国气象局, 国家气候中心, 北京 100081)  
(6: 南京信息工程大学, 南京 210044)

**摘 要:**研究了鄱阳湖流域在 1955 - 2002 年间的径流系数的变化, 重点分析了它与水循环的两个基本要素: 降水量和蒸发量的关系, 同时对其原因进行了初步的探讨. 经分析, 在鄱阳湖流域中, 径流系数较大的是饶河流域和信江流域, 较小的是抚河流域; 在年内变化上, 4 - 6 月为五河流域径流系数比较大的月份, 这与鄱阳湖流域降水集中期相对应. 在空间上, 4 - 6 月仍然以饶河流域和信江流域相对较大, 而抚河流域较小, 特别是 8 月份的径流系数远小于其他四河; 年代际变化上, 1990s 径流系数增加较为显著. 尽管鄱阳湖流域的径流系数除了受气候因子的影响外, 还受到水土流失和地形等因素的影响, 但是降水量的增加, 特别是暴雨频率的增加仍然是其主要影响因素, 蒸发量的减小对径流系数的增加也有一定程度的影响. 径流系数与气温并无明显的线性相关关系.

**关键词:** 鄱阳湖流域; 径流系数; 降水量; 蒸发量; 气温

### Runoff coefficients change and the analysis of the relationship between climate factors and runoff coefficients in Poyang Lake Basin (China): 1955 - 2002

GUO Hua<sup>1,2,3,4</sup>, SU Buda<sup>5</sup>, WANG Yanjun<sup>6</sup> & JIANG Tong<sup>1,2</sup>

- (1: Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, P. R. China)  
(2: State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources And Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, P. R. China)  
(3: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)  
(4: Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, P. R. China)  
(5: National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, P. R. China)  
(6: Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, P. R. China)

**Abstract:** From the view of water cycling, runoff coefficients are important index of water resources in a particular catchment. Changes of runoff coefficients in the five rivers of Lake Poyang basin 1955 - 2002 were analysed. Result shows that runoff coefficients of Raohe River basin and Xinjiang River basin are the highest, while of Fuhe River basin is the lowest. As for monthly change, that of the five river basins all have reached the higher value from April to June, which corresponds to the rainfall period of Poyang Lake basin. Moreover, In August, runoff coefficient of Fuhe River basin is far lower than the four others. In the 1990s, runoff coefficients of the five river basins increased significantly. Although the runoff coefficients would be impacted by soil erosion and topographic condition, change of precipitation is a main factor to runoff coefficients. Downward trend of evapotranspiration also impacts on increasing runoff coefficients. Especially in the 1990s, the increase of runoff coefficients is closely related to the increase

\* 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金(2004405511)、国家自然科学基金(40601017)和中国科学院南京地理与湖泊研究所知识创新工程所所长专项基金(S260022)联合资助. 2006 - 01 - 20 收稿; 2006 - 03 - 06 收修改稿. 郭华, 女, 1977 年生, 博士; E-Mail : qhguohua@163.com.

in rainstorm frequency and decrease in evapotranspiration. The relationship between temperature and runoff coefficients is not much significant.

**Keyword:** Lake Poyang basin; runoff coefficient; precipitation; evapotranspiration

鄱阳湖流域位于长江中下游南岸,三面环山,北临长江,中间展布五河水系,赣江、抚河、信江、饶河、修水分别由南、东、西向北注入鄱阳湖(图1),由于地势狭长,南北气候差异较大.这种特有的地理环境特征以及气候变化特征、人类活动等因素的叠加效应,必定会对流域内的水循环过程产生一定的影响.而气候变化很可能是对水循环产生影响的主导因素<sup>[1,2]</sup>.从理论上讲,气候变暖会使未来蒸发和降水都有所变化,这是水循环加快的证据之一<sup>[3-5]</sup>.

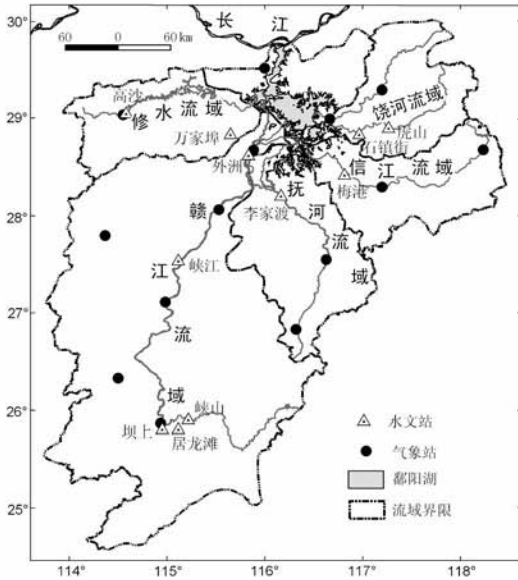


图1 鄱阳湖流域及其子流域

Fig. 1 Poyang Lake basin and its subbasins

时间变化的水文特征. 本文分别检测了鄱阳湖流域在1955-2002年间的径流系数的变化,并重点分析了它与水循环的两个基本要素:降水量和蒸发量的关系,同时对其原因进行了初步的探讨.

## 1 数据和方法

本文重点研究五河水系,所选择的气象站及五河水文站如图1,时间序列为1955-2002年.五河控制站分别如下:1)赣江流域的控制站为外洲(集水面积80948 km<sup>2</sup>),中上游的控制站是峡江(集水面积62724 km<sup>2</sup>),由于缺乏赣江上游区域总控制站的资料,所以,分别选取东支贡水的控制站峡山(集水面积15975 km<sup>2</sup>),南支桃江的控制站居龙湾(集水面积7751 km<sup>2</sup>),西支章水的控制站坝上(集水面积7657 km<sup>2</sup>);2)抚河流域的控制站为李家渡(集水面积15811 km<sup>2</sup>);3)信江流域的控制站为梅港(集水面积15535 km<sup>2</sup>);4)饶河流域只有乐安河的部分资料,故不考虑昌江,暂重点研究乐安河,水文控制站以石镇街(集水面积8367 km<sup>2</sup>)和虎山站(集水面积6374 km<sup>2</sup>)综合研究;5)修水流域干流中下游有鄱阳湖流域最大的水库——柘林水库,研究时为避开水库的影响,干流重点研究修河上游,控制站为高沙(集水面积5303 km<sup>2</sup>),主要支流潦水的控制站为万家埠(集水面积3548 km<sup>2</sup>).

流域年平均温度为站点年平均温度的算术平均值,年降水量为各月平均降水量之和,夏季降水量为6、7、8月份降水量之和.蒸发量各项数据的算法与降水量相同.本文实际蒸散量( $ET_a$ )由下式计算<sup>[8-10]</sup>:

$$ET_a = 1.251 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) - 1.522 \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

鄱阳湖流域自1950s以来,气候表现出一定程度的变化趋势,特别是1990s以来变化显著.自1986年,气温开始呈现增加趋势,1990年发生突变,进入显著性增温时期,1960-1989年平均降水量呈现振荡状态,并无明显趋势,但是在1990年发生突变后,1990s呈现明显上升趋势;1961-2000年间鄱阳湖流域蒸发量呈现下降趋势,夏季尤为显著,1992年发生突变,蒸散量显著下降<sup>[6]</sup>.

径流系数可以很好地说明研究区的降水-径流关系及水循环程度.此外,它还可以较好地检测流域内水循环随时间的变化,而且可以在一定程度上说明人类活动的影响情况.有学者认为应该把径流系数看作一个随机变量,它的分布函数是对该流域及气候物理机制的一种反映<sup>[7]</sup>.径流系数虽然在年内随机变化,不确定性很大,但是它确实存在着地区特点,年际、年特点甚至季节特点.多年平均径流系数是个相对稳定值,它综合反映流域内自然地理因素对降水形成径流过程的影响.所以通过不同站点的长序列数据,我们可以把径流系数作为常数来研究不同区域随

式中,  $ET_a$  为实际蒸散量 (mm/d),  $\Delta$  为饱和水汽压-温度曲线斜率 (kPa/°C),  $\gamma$  为干湿表常数 (kPa/°C),  $R_n$  为地表净辐射 (MJ/(m<sup>2</sup>·d)),  $G$  为土壤热通量 (MJ/(m<sup>2</sup>·d)),  $E_a$  为干燥力 (mm/d).

非参数检验更加适合于非正态分布数据, 本文的气象时间序列趋势分析采用 Mann-Kendall 检验和线性回归方法进行<sup>[11]</sup>. 径流系数与气候各要素的相关分析采用适合于非正态分布数据的 Spearman 相关分析法, 显著性检验选择双尾 (Two-Tailed)  $t$  检验.

## 2 鄱阳湖流域径流系数的变化

### 2.1 多年平均径流系数及其年代际变化

1955-2002 年间, 赣江流域平均径流系数为 0.530, 中上游区域的径流系数 0.520, 上游区域的径流系数为 0.527, 其中东支贡水水系的径流系数为 0.526, 西支章水水系的径流系数为 0.548, 南支桃江水系的径流系数为 0.504. 上游地区径流系数在赣江流域中偏高, 特别是章水水系和贡水水系. 就赣江流域径流系数的年代际变化而言, 1950s 中-1970s 为 0.502, 1970s 为 0.530, 1980s 为 0.518, 1990s 为 0.576, 1990s 年代际距平 0.056, 表明 1990s 径流系数明显升高.

抚河流域平均径流系数为 0.471. 径流系数的年代际变化, 1950s 中-1970s 为 0.484, 1970s 为 0.459, 1980s 为 0.464, 1990s 为 0.470, 1990s 年代际距平 0.005. 可见, 抚河流域的径流系数在 1955-2002 年间变化不大, 略有降低.

信江流域的平均径流系数为 0.612. 就年代际变化而言, 1950s 中-1970s 为 0.594, 1970s 为 0.596, 1980s 为 0.609, 1990s 为 0.653, 1990s 年代际距平 0.051. 径流系数在 50 年内是不断升高的, 特别是 1990s 增加尤为显著. 另外, 相对于同期赣江流域和抚河流域的径流系数, 分别高出 0.09 和 0.14.

对于饶河流域, 由于目前只有乐安河的水文资料, 故饶河流域中, 暂只研究乐安河的径流系数情况. 乐安河流域平均径流系数 0.634. 虎山以上流域, 就年代际变化而言, 1950s 中-1970s 为 0.602, 1970s 为 0.654, 1980s 为 0.621, 1990s 为 0.687, 1990s 年代际距平 0.067. 乐安河流域的径流系数比信江流域同期平均高出 0.022.

修河流域径流系数 0.593, 修水上游流域径流系数为 0.621, 其重要支流潦水水系的径流系数为 0.564. 修水上游, 1950s 中-1970s 径流系数为 0.516, 1970s 为 0.579, 1980s 为 0.564, 1990s 为 0.609, 1990s 年代际距平为 0.049. 而潦水水系, 1950s 中-1990s 为 0.590, 1990s 为 0.713, 1990s 年代际距平为 0.106.

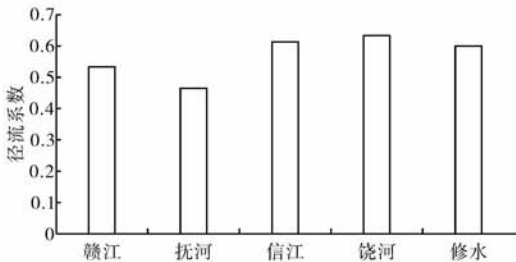


图 2 鄱阳湖流域多年平均径流系数

Fig. 2 Mean runoff coefficients of the five rivers

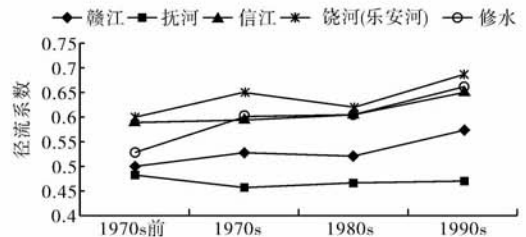


图 3 鄱阳湖流域径流系数的年代际变化

Fig. 3 Decennial change of runoff coefficients of the five rivers

从多年平均径流系数来看(图 2), 信江和饶河流域的径流系数较大, 都在 0.6 以上; 而抚河流域的较小, 不到 0.5. 就年代际变化而言(图 3), “五河”水系的径流系数均在 1990s 有所升高, 特别是赣江流域、饶河流域(乐安河)、信江流域及修水支流潦河流域升高显著, 而抚河流域变化不大. 赣江流域与饶河流域(乐安河)的变化趋势基本一致, 1970s 前径流系数较小, 1970s 有所上升, 1980s 下降, 1990s 上升较为明显. 信江流域与以上两个流域不同的是: 1950s 中期到 1980s, 径流系数变化不大, 但 1990s 的径流系数较高, 达到了 0.653. 修水流域的径流系数自 1950s 中期一直处于上升状态, 1990s 达到最高值. 然而抚河流域的径流系数变化不同于其他四河, 1970s 该流域径流系数下降了 0.025, 1980s 略有上升, 1990s 相对 1980s 变化不大.

“五河”流域径流系数情况如表 1 所示:

表 1 五河流域的径流系数

Tab. 1 Runoff coefficient of the five rivers of Poyang Lake Basin

子流域 (水文控制站)	面积 ( $\text{km}^2$ )	时段	降水量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	径流量 ( $\times 10^8 \text{m}^3$ )	径流系数
赣江-外洲	80948	1955-1990	1237.49	647.96	0.514
		1991-2002	1355.71	784.57	0.576
		1955-2002	1267.05	679.44	0.530
抚河-李家渡	15811	1955-1990	256.33	123.78	0.471
		1991-2002	288.76	138.12	0.470
		1955-2002	264.44	126.35	0.471
信江-梅港	15535	1953-1990	282.04	172.11	0.599
		1991-2002	322.33	214.28	0.653
		1953-2002	291.71	181.54	0.612
饶河(乐安河)-虎山	6374	1953-1990	108.75	69.12	0.619
		1991-2002	123.03	86.28	0.687
		1953-2002	112.18	73.53	0.636
修水(上游)-高沙	5303	1957-1990	84.12	46.09	0.549
		1991-2002	92.89	57.59	0.609
		1957-2002	86.22	49.27	0.564
修水(潦河)-万家埠	3548	1955-1990	55.91	32.68	0.590
		1991-2002	58.81	42.4	0.713
		1955-2002	56.6	35.21	0.621

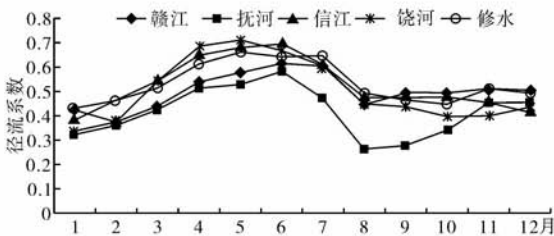


图 4 鄱阳湖流域各月径流系数

Fig. 4 Monthly runoff coefficients of the five rivers in the Poyang Lake basin

## 2.2 多年平均月径流系数及其季节变化

鄱阳湖流域径流系数的季节性变化也很大。4-7 月是鄱阳湖流域一年中径流系数较高的月份, 其中 6 月或 5 月是其最高值, 这与流域降水量的变化相对应。4-6 月仍以信江和抚河流域的径流系数最大。值得注意的是, 抚河流域 1-10 月的径流系数均低于其他四河流域, 并且这种情况在 8 月份表现得尤为显著(图 4), 抚河流域 6、7、8 月的径流系数分别为 0.579、0.469、0.260, 8 月份的径流系数比月径流系数的最高值(6 月份)低了 0.319。

## 3 径流系数与气候因子的关系

### 3.1 与降水量的关系

鄱阳湖流域 1990 年前平均降水量呈现振荡状态, 并无明显趋势, 但是在 1990 年发生突变后, 1990s 呈现明显上升趋势<sup>[6]</sup>。1991-2003 年平均降水量比 1961-1990 年平均降水量高出 167.19 mm。夏季降水量和夏季暴雨频率均在 1992 年发生突变式的增加。1991-2003 年的夏季平均暴雨量、平均降水量分别比 1961-1990 年的夏季平均暴雨量、平均降水量高出约 107.81 mm、156.48 mm, 可知该时期内夏季暴雨量距平占夏季降水量距平的 68.9%。1990s 平均暴雨日数比 1961-1999 年平均暴雨日数多 1.59 d。就年内变化而言,

暴雨频率最高的是六月份,暴雨频率增加最显著的是 8 月份,通过了 99% 的置信度检验.可以认为,夏季降水量的增加主要是夏季暴雨频率增加的结果.

1955-2002 年间,整个赣江流域平均每年降水总量为  $1267 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,平均径流量为  $679.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ .流域平均降水和径流量的变化情况一致(图 5),其中 4-6 月为汛期.1955-2002 年间,降水量和径流系数的分布趋势接近(图 6).降水量与径流系数的相关系数为 0.707,显著性概率水平为 0.01.上游区域降水量与径流系数的相关系数为 0.710;而中上游地区的降水量与径流系数的相关系数为 0.724,均通过 0.01 的显著性水平检验.

抚河流域平均年降水总量  $267.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,平均径流量  $126.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ .经分析,抚河流域降水量与径流系数的相关系数为 0.611;信江流域降水量与径流系数的相关系数为 0.772;饶河(乐安河)降水量与径流系数的相关系数为 0.538;修水上游降水量与径流系数的相关系数为 0.504,以上均通过 0.01 的显著性水平检验;潦河流域降水量与径流系数的相关系数为 0.325,通过 0.05 的显著性水平检验.

由以上数据可知,鄱阳湖流域降水量对径流系数的影响都很显著.就四十年来鄱阳湖流域降水量的空间分布来看,鄱阳湖流域近一半地区降水量增加趋势明显,饶河流域和信江流域年增加幅度和夏季增加幅度都比较大,饶河流域是五河中降水量增加最为显著的地区,然而抚河流域大部分地区降水量变化并不显著,只是在下游入湖地区降水量有所增加.1990s 鄱阳湖流域大部分地区的暴雨日数显著增加,饶河流域、信江流域增加趋势更为明显,而抚河流域 1990s 夏季降水量亦无显著变化.根据前面得到的多年平均和年代际径流系数,饶河流域和信江流域的径流系数较大,并且 1990s 达到四十多年来的最大值,与降水量的变化情况对应.初步分析,降水量增加,特别是 1990s 暴雨频率的显著增加,造成损失水量所占比例下降及汇流时间缩短,在一定程度上使径流系数有所增大.

### 3.2 与蒸发量和气温的关系

鄱阳湖流域蒸发量呈现下降趋势,夏季尤为显著.1992 年之前的三十年夏季蒸发量相对平稳,无明显趋势变化,1992 年发生突变,蒸散量显著下降<sup>[6]</sup>.就年内变化而言,除 6、12 月外,其他 10 个月份均呈现下降趋势,以 8 月份变化趋势最显著.

赣江流域蒸发量与径流系数(图 7)的相关系数为  $-0.367$ ,通过了 0.05 的显著性概率水平检验;上游区域蒸发量与径流系数的相关系数为  $-0.448$ ,通过 0.01 的显著性水平检验.抚河流域、信江流域的蒸发量与各自径流系数的相关系数在  $-0.15$  左右,不显著.饶河(乐安河)、修水上游及修水重要支流潦水流域的蒸散量与其径流系数的相关系数分别为  $-0.465$ ,  $-0.477$ ,  $-0.406$ ,均通过 0.01 的显著性水平检验.

可见,蒸发量的变化对径流系数的影响虽然弱于降水量,但也较为显著,尤其是赣江上游、饶河(乐安河)流域及修水流域蒸发量的下降对径流系数的上升有明显的影

响.鄱阳湖流域 1960s 气温处于下降趋势;1970s 初至 1980s 初,气温开始有所升高.自 1986 年气温开始呈现稳定增加趋势,1990 年进入显著性增温时期.经初步分析,就总体情况而言,径流系数的变化与气温(图 8)并无明显的线性相关关系.

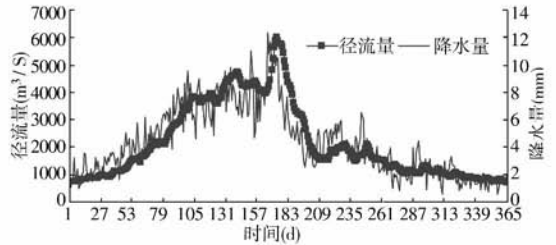


图 5 赣江流域多年平均日降水量和径流量  
Fig. 5 Mean daily precipitation and discharge of Ganjiang basin

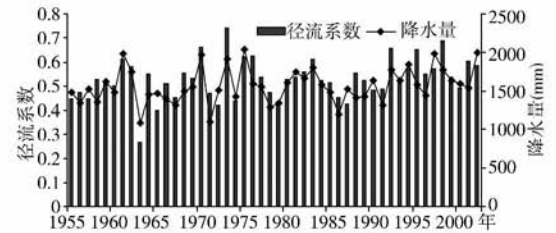


图 6 赣江流域多年平均径流系数与降水量  
Fig. 6 Mean runoff coefficients and precipitation of Ganjiang basin



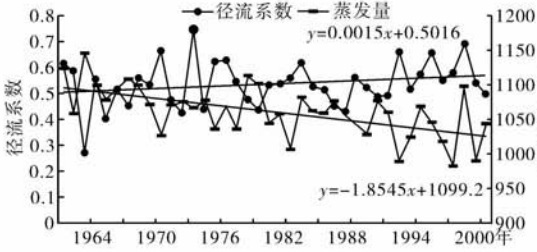


图7 赣江流域径流系数和实际蒸发量

Fig. 7 Runoff coefficients and ETa of Ganjiang basin

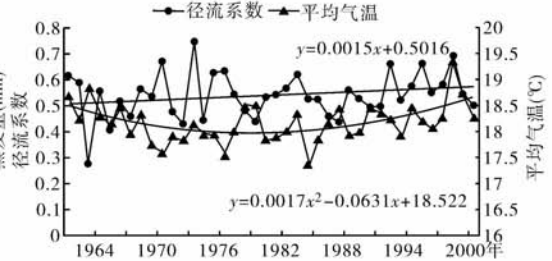


图8 赣江流域径流系数和气温

Fig. 8 Runoff coefficients and temperature of Ganjiang basin

#### 4 结论与讨论

综上所述,1955-2002年,在鄱阳湖流域五河水系中,径流系数较大的是饶河流域和信江流域,较小的是抚河流域;年代际变化,1990s除了抚河流域略有增加外,其他四河径流系数增加较为显著;年内变化,4-6月为五河流域径流系数比较大的月份,这与鄱阳湖流域降水集中期相对应.在空间上,4-6月仍然以饶河流域和信江流域相对较大,而抚河流域较小,特别是8月份的径流系数远小于其他四河.

河川径流是水循环的一个环节,反映了降水补给流域的水量,以及截流、下渗和蒸散发等水文过程的强度和流域蓄水量的变化.径流量与很多因素有关,如降水的性质、季节分配,蒸散发特性,植被覆盖,流域地貌以及人类活动的强烈影响等.鄱阳湖流域径流系数变化的主要原因如下:

1) 据初步分析,鄱阳湖流域降水量1990s的确发生了转折性变化,年内变化以八月份最为显著,通过了0.01的显著性水平检验,然而抚河流域8月份的降水量变化不如其他四河显著.在空间分布上,饶河流域、信江流域是四十年来鄱阳湖流域降水量变化最为显著的地区;夏季,饶河流域和信江流域变化趋势亦最为显著.可见,鄱阳湖流域径流系数的变化在很大程度上与降水量的变化密切相关,降水量的增加,特别是暴雨频率的增加是影响径流系数的主要因素.修河、信江和赣江流域的径流系数变化还与蒸发量的变化有关,这种情况在1990s尤为明显.

鄱阳湖流域径流系数的影响因素比较复杂,地形、水土流失、水利工程等也是影响其变化的重要因素.

2) 鄱阳湖流域是一个周边高中间低,由周边向中心徐徐倾斜,由南朝北开口的箕形盆地,以鄱阳湖为中心向外依次为平原、岗地、丘陵和山地,山丘间镶嵌着北东向的断陷盆地、谷地<sup>[12]</sup>.地形地貌的复杂程度以及斜坡坡度是决定径流情况的基础条件,坡度越陡流量越大.但由于我们研究的仅是四十多年的径流系数的变化,顾此地形的变化可暂不考虑.

3) 由于人口的迅速增长,城市化的加速,农业发展的需求,鄱阳湖流域曾出现毁林种粮等现象,造成生态环境恶化,水土流失严重.水土流失区普遍为植被稀少,表土层薄,水源涵养能力低的山地,对表面径流失去蓄、滞能力,从而导致降雨后,径流量大、汇流快的局面.水土流失主要分布在中上游地区,以赣江流域为主,尤其是上游贡水流域,其次是抚河、信江;再者是修水、饶河<sup>[12-15]</sup>.鄱阳湖流域水土流失最严重的时期是20世纪70年代中期到80年代末<sup>[15]</sup>,而同期除了抚河流域径流系数有所上升之外,修水和信江变化不大,赣江和饶河(乐安河)流域却在下降;而且1990s经过治理,水土流失状况有效缓解,但是各流域的径流系数却在显著增加,特别是赣江上游和信江流域.以上说明,水土流失对径流系数的影响并不如气候因子显著.

4) 鄱阳湖流域河川径流总量丰富,但季节和年际变化较大,地区分布差异大,所以兴建了很多水利工程,大型水库有24座<sup>[16]</sup>,对天然水量进行调蓄,在时间上对水量进行再分配,以余补缺,这势必对径流过程产生很大影响.如修河上游地形复杂,河道转折,水力资源丰富.在柘林修筑了拦河坝后,使修河干流上游成为巨大的水库<sup>[17]</sup>,造成损失水量比例下降及汇流时间缩短.据分析,四十多年来,特别是1990s,修水流域上游的径流系数呈现相当显著的增加趋势,通过了99%的置信度检验,水利工程对此有较大的加强作用.另外,抚河流域的径流系数变化与其它四个流域尤为不同,年际、年代际变化均不明显.这与抚河中游建有金

临渠、赣抚平原总干渠有密切关系.有关水库及灌渠引水对径流系数的影响将在今后的工作中进一步细化.

由以上分析可知,1955-2002 年间,尽管五河流域的径流系数受气候因素、人类活动和地形的叠加效应的影响,但是降水量仍然是其主要影响因素,蒸发量对径流系数的增加也有一定程度的影响.特别是 1990s,暴雨频率的增加和蒸发量的下降对径流系数的影响尤甚.

## 5 参考文献

- [1] Fulu T, Masayuki Y, Yousay H *et al.* Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, **95**: 203-215.
- [2] Evans T E. The effects of changes in the world hydrological cycle on availability of water resources. In: Bazzaz F, Sombroek W, Ed. *Global Climate Change and Agricultural Production*. Chichester: Wiley, 1996: 248.
- [3] Thomas G H. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 2005: 1-13.
- [4] Loaciga H A, Valdes J B, Vogel R *et al.* Global warming and the hydrologic cycle. *Journal of Hydrology*, 1996, **174**: 83-127.
- [5] Trenberth K E. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 1999, **42**: 327-339.
- [6] 郭 华,姜 彤,王国杰等. 1960-2001 年间鄱阳湖流域气候变化趋势及突变分析. *湖泊科学*, 2006, **18**(5): 443-451.
- [7] Lars Gottschalk, Rolf Weingartner. Distribution of peak flow derived from a distribution of rainfall volume and runoff coefficient, and a unit hydrograph. *Journal of Hydrology*, 1998, **208**: 148-162.
- [8] Qiu X F, Zeng Y, Miu Q L *et al.* Estimation of annual actual evapotranspiration with conventional meteorological data. *Science in China (Series D)*, 2004, **47**(3): 239-246.
- [9] Hu Qi. Centennial variations and recent trends in summer rainfall and runoff in the Yangtze River Basin, China. *湖泊科学*, 2003, **15**(增刊): 97-104.
- [10] 王艳君,姜 彤,许崇育. 长江流域 1961-2000 年蒸发量变化趋势研究. *气候变化研究进展*, 2005, **1**(3): 99-105.
- [11] Kendall M G. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin, 1975: 1-202.
- [12] 赵本磊. 98 鄱阳湖水系流域暴雨—滑坡、崩塌、泥石流等灾害的世纪启示. *江西地质*, 1999, **13**(4): 271-275.
- [13] 吴元龙. “98·6”信江大洪水后的思考. *江西水利科技*, 1999, **25**(增刊): 60-63.
- [14] 马逸麟,魏 源,黄 韬. 长江中游江西江段环境地质问题及对防洪工程的影响. *江西地质*, 2001, **15**(2): 107-111.
- [15] 左长清. 江西省水土保持工作现状与战略措施. *江西水利科技*, 1999, **25**(4): 199-203.
- [16] 长江水利委员会水文局,长江水利委员会江务局. *长江防汛水情手册*. 2000, **12**: 66-67.
- [17] 新华网江西频道 ([http://www.jx.xinhuanet.com/sq/2004-09/26/content\\_2938539.htm](http://www.jx.xinhuanet.com/sq/2004-09/26/content_2938539.htm).)