

Analysis of Distribution Characteristics and Change Trend of Rainfall and Runoff in Wujiang River Basin

Yan Wang^{1,2}, Xiaohong Chen^{1,2}, Yanhu He^{1,2}

¹Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou

²Key Laboratory of Water Cycle and Water Security, Southern China of Guangdong Higher Education Institutes, Sun Yat-sen University, Guangzhou

Email: wangyan19900109@163.com, eescxh@mail.sysu.edu.cn

Received: Nov. 22nd, 2012; revised: Dec. 16th, 2012; accepted: Dec. 25th, 2012

Abstract: Based on the measured monthly average rainfall and runoff data of the Lechang and Lishi hydrological station in the Wujiang River basin during 1959-2006, the nonuniformity coefficient in annual distribution, coefficient of variation and other indicators were calculated to analyze the characteristic of annual distribution and inter-annual variability. And the linear tendency was used to analyze the change trends of rainfall, runoff and the runoff coefficient. The results showed that, under the changing environment, the nonuniformity coefficient in annual distribution of rainfall and runoff were on the rise, the annual change of runoff was bigger than that of rainfall, the runoff coefficient showed an upward tendency, river runoff capacity became stronger.

Keywords: Rainfall; Runoff; Annual Distribution; Inter-Annual Variability; Change Trend

武江流域降水径流分配特征及变化趋势分析

王妍^{1,2}, 陈晓宏^{1,2}, 何艳虎^{1,2}

¹中山大学水资源与环境研究中心, 广州

²华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室(中山大学), 广州

Email: wangyan19900109@163.com, eescxh@mail.sysu.edu.cn

收稿日期: 2012年11月22日; 修回日期: 2012年12月16日; 录用日期: 2012年12月25日

摘要: 基于1959~2006年乐昌站、犁市(二)水文站的逐月实测降雨和径流资料, 采用年内分配不均匀系数、变差系数等指标分析降雨和径流的年内分配、年际变化特征, 并使用线性趋势法分析降雨、径流及径流系数的变化趋势。结果表明: 变化环境下, 武江流域降雨、径流年内分配不均匀系数有所增加, 径流的年际变化大于降雨, 径流系数呈增加趋势, 流域产流能力增强。

关键词: 降雨; 径流; 年内分配; 年际变化; 变化趋势

1. 引言

降雨和径流是自然界水循环的两个基本环节, 又是水量平衡的基本要素。随着经济社会的发展, 人类活动逐渐加剧, 加之气候变化的影响, 自然界水循环

作者简介: 王妍(1990-), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事水文与水资源方面的研究。

各环节不可避免地发生着改变。张强等系统全面地对珠江流域进行研究, 得出气候变化对东江和西江的水文过程影响巨大, 人类的采砂严重影响上游河道, 使得河流的流量比增加^[1,2]; 变化环境下东江流域气候要素和流域植被退化共同作用使得在降雨量呈减少变化趋势的情况下, 流域径流系数仍呈不显著增加的趋

势, 其主要原因是蒸发量的下降^[3]; 20 世纪 80 年代以来, 北江流域径流量呈现出不同的时空变化特征, 不同时期均表现为不同程度的增加或减少趋势, 主要是受到气候变化和人类活动的双重影响^[4-6]。本文通过探讨武江流域降雨和径流的年内及年际变化趋势, 分析其变化特征及原因, 有利于了解武江流域的水资源特性, 以更好地对水资源进行科学管理和合理利用。

武江为广东省北部地区向东南流入珠江流域北江水系的支流, 是北江流域第二大的一级支流, 发源于湖南省临武县三峰岭, 于韶关市区的沙洲尾汇入北江(如图 1)。武江流域面积 7097 km², 干流全长 260 km, 平均坡降 0.906 km, 总落差为 123 m^[7]。

本文选取武江流域犁市(二)站、乐昌站 1956~2006 年的逐月流量和降雨量数据, 用于分析武江流域降雨径流的时间变化特征。

2. 特征分析

2.1. 年内分配

径流的年内分配特征的标度有多种不同方法, 本文采用了年内分配不均匀系数、汛期 - 非汛期占年径流的百分比等不同指标, 以便于从不同角度分析年内分配特征的变化规律。

1) 汛期 - 非汛期占年径流的百分比

根据资料分析可知, 流域降雨量年内变化很大, 见表 1, 降雨主要集中在汛期 4~9 月, 该时段内降雨量占多年平均降雨量的 72.59%; 冬季及春季的降雨量较小, 10 月~次年 3 月降雨量仅占多年平均降雨量的



Figure 1. The water system map of Wujiang River basin
图 1. 武江流域水系图

Table 1. The statistical table of the rainfall and the runoff
表 1. 降雨量及径流深统计表

月份	降雨量 mm	占年总量的比例%	径流深 mm	占年总量的比例%
1	53.13	3.57	26	3.06
2	79.31	5.33	42	4.92
3	131.53	8.84	72	8.44
4	172.92	11.63	118	13.87
5	221.85	14.92	142	16.66
6	239.9	16.13	148	17.36
7	167.76	11.28	82	9.64
8	185.51	12.47	77	9.07
9	91.68	6.16	55	6.42
10	64.38	4.33	39	4.58
11	46.73	3.14	28	3.34
12	32.61	2.19	22	2.64

27.41%; 最小月降雨量出现在 11、12 和 1 月份, 三个月的降雨量仅占多年平均降雨量的 8.9%。武江流域降雨的年内变化与气候特征有直接的关系。武江流域属于北江的一部分, 属东亚季风气候区, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨, 这也反映了流域降雨年内分布的不均匀性。

表 1 也说明了地表径流的年内分配与降雨的年内分配相似。降雨是径流形成的主要补给源, 降雨量的多少直接关系着径流的形成; 由于受到降雨的季节性影响, 径流年内的分配也不均匀, 其中汛期径流量占年均径流总量的 73.02%, 非汛期径流量仅占多年平均径流总量的 26.98%, 其中多年最丰月份是 6 月份, 多年 6 月平均径流量可占多年平均径流量的 17.36%, 12 月为多年平均最枯月份, 平均径流量仅占多年平均径流总量的 2.64%。

图 2 表示流域多年平均降雨量和径流量的关系图, 武江流域乐昌水文站多年平均降雨量为 1487.31 mm, 多年平均径流深为 863 mm, 多年平均径流系数为 0.58。由图 2 可以看出, 径流跟降雨量的变化趋势基本一致, 1~6 月的多年平均降雨量及多年平均径流量均呈增加趋势, 在 7 月份都有相同的下降趋势, 8~12 月又呈现下降趋势, 说明径流量主要是受降雨量的影响。

2) 年内分配不均匀系数

径流年内分配不均匀系数 C_{vy} 是用来衡量径流年内分配的不均匀性, 如下式(1):

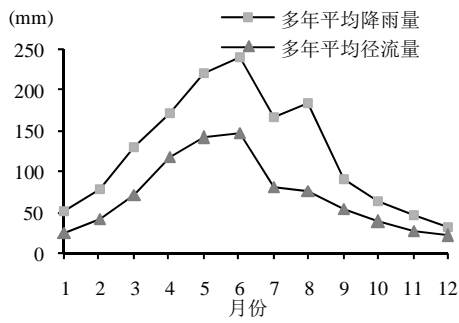


Figure 2. The relationship diagram of the rainfall-runoff
图 2. 降雨量与径流量关系图

$$C_{vy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{k_i}{\bar{k}} - 1\right)^2}{12}} \quad (1)$$

式中, C_{vy} ——径流年内分配不均匀系数;
 k_i ——年内各月径流量;
 \bar{k} ——年内月平均径流量。

降雨的年内分配特征也根据降雨年内分配不均匀系数 C_{ur} 来衡量, 计算结果见表 2。

由式 1 可以看出, C_{vy} 值越大即表示年内各月径流量相差悬殊, 年内分配越不均匀^[8]。由表 2 可知, 在 20 世纪 60 年代与 21 世纪初, 降雨和径流的年内分配不均匀, 20 世纪 70 年代~90 年代, 降雨和径流的年内分配相对均匀, 且降雨量的年内分配不均匀系数大于径流的年内分配不均匀系数, 相对于径流而言, 降雨的年内分配更加不均匀。

2.2. 年际分配

本文采用变差系数 C_v 、年际变化绝对比率 p 和年际分配不均匀系数 α 三个指标分析降雨、径流的年际变化规律, 并通过距平百分率来分析降雨、径流的多年变化情况。

Table 2. The statistical table of the annual distribution
表 2. 年内分配指标统计表

时间	C_{vy}	C_{ur}
1959~1969	0.653261	0.685237
1970~1979	0.319287	0.339839
1980~1989	0.456812	0.482033
1990~1999	0.392525	0.413913
2000~2006	0.551986	0.588729
多年平均	0.478025	0.504816

1) 变差系数

变差系数 C_v 由式(2)计算:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{R}} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2} \quad (3)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \quad (4)$$

式中: σ 、 \bar{R} 、 R_i 、 N 分别为年径流量/降雨量的标准差、平均值、各年径流量(降雨量)和观测年数。

C_v 值反映年径流量(降雨量)的总体系列离散程度, C_v 值越大, 离散程度越大, 说明其年际变化剧烈, 对水资源的利用不利, 而且易发生洪涝灾害; C_v 值越小, 则其年际变化小, 有利于水资源的利用^[9]。

2) 绝对变化比率

绝对变化比率 p 由式(5)计算:

$$p = R_{\max} / R_{\min} \quad (5)$$

式中: R_{\max} 和 R_{\min} 为多年最大径流/降雨量和最小径流/降雨量, p 值反映了径流、降雨量两个极端值的倍数关系, 显示其不均匀程度, 绝对变化比率越大, 表明径流/降雨年际变化越不均匀。

3) 年际变化不均匀系数

年际变化不均匀系数 α 由式(6)计算:

$$\alpha = \bar{R} / R_{\max} \quad (6)$$

年际变化不均系数 α 反映年际变化的不均匀特征, α 越接近 1 表明年际变化越均匀^[10]。

根据表 3 可知, 武将流域降雨量和径流量的变差系数分别为 0.21 和 0.31, 说明径流的年际变化大于降雨的年际变化; 降雨量和径流量的绝对变化比率分别为 2.26 和 4.71, 说明实测的径流量不仅受到降雨量变化的影响, 还受到人类活动的影响, 其程度跟降雨对径流的影响程度相当; 降雨量和径流量年际不均匀系数分别为 0.70 和 0.57, 说明径流量的年际变化剧烈

Table 3. The statistical table of the inter-annual variability
表 3. 年际变化指标统计表

指标	降雨量	径流量
变差系数 C_v	0.21	0.31
绝对变化比率 p	2.26	4.71
年际不均匀系数 α	0.70	0.57

程度低于降雨量。

4) 距平百分率

采用距平百分率来分析降雨、径流的变化程度, 距平百分率由式(7)计算:

$$q = \frac{R - \bar{R}}{\bar{R}} \times 100\% \quad (7)$$

武江流域降雨、径流的距平百分率见图 3。由图 3 得知, 径流的变化幅度要大于降雨, 说明流域径流是受包括降雨在内的多因素的综合作用的结果, 除主要受到降雨影响外, 径流还受到人类活动引起的下垫面的改变的影响。

3. 变化趋势

3.1. 降雨变化趋势

降雨量的变化趋势如图 4 表示, 根据不同年份的数据资料, 可知武江流域总体降雨量较多, 1959~2009 年武江流域多年平均年降雨量为 1487.31 mm, 1991 年降雨量最小, 为 938.9 mm, 1997 年降雨量最大,

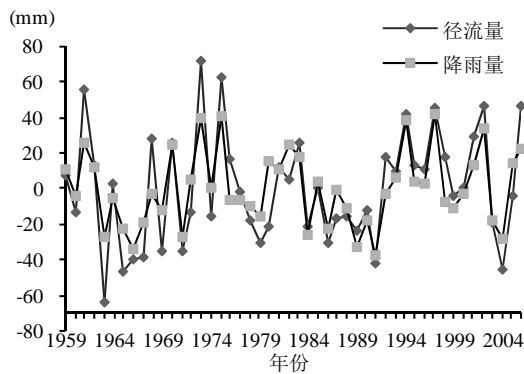


Figure 3. Anomaly percent of rainfall and runoff
图 3. 降雨、径流距平百分率

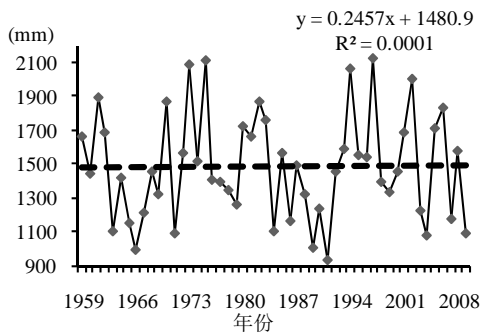


Figure 4. Inter-annual change curves of rainfall
图 4. 降雨年际变化曲线

为 2127.7 mm。由图 4 可知, 总体上看, 流域年径流呈增加趋势, 相关系数 $r < r_{0.05} = 0.2875$, 表明这种增加趋势在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平上是非显著的, 整体上武江流域年降雨量呈不显著增加的变化趋势。

3.2. 径流变化趋势

径流量的变化趋势如图 5 表示。1956~2006 年期间, 武江最小径流深为 318 mm, 最大径流深为 1497 mm, 多年平均径流深为 863 mm。由图 5 可知, 总体上看, 流域年径流呈增加趋势, 相关系数 $r > r_{0.05} = 0.2875$, 表明这种增加趋势在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平上是显著的。相对于降雨量而言, 武江流域的径流量有较明显的增加趋势。

3.3. 径流系数变化趋势

径流系数是反映降雨转化为径流的比例系数, 反映整个流域下垫面对降雨所产生的径流的影响程度。由于本文使用的数据均为实测, 则实测径流系数还可以反映水资源利用等人类活动对降雨所产生径流的影响。径流系数 K 由式(8)计算得出:

$$K = R/P \quad (8)$$

式中, R 代表径流深, P 代表降雨量。

由图 6 可以看出, 1959~2006 年期间, 武江流域的径流系数呈不显著增加趋势, 这是流域气象因素和植被覆盖变化共同作用的结果, 表明径流受到降雨影响的同时, 也受到人类活动的影响。

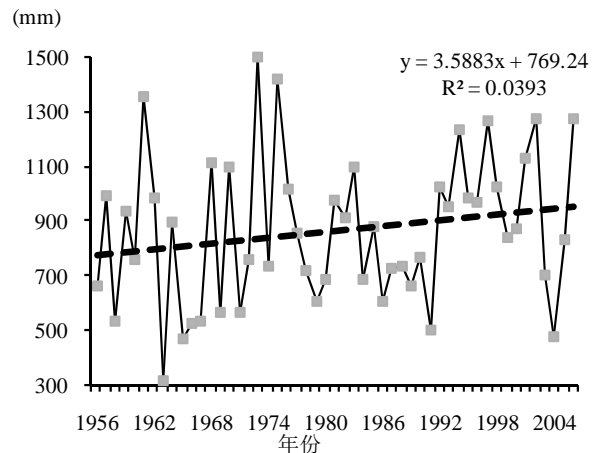


Figure 5. Inter-annual change curves of runoff
图 5. 径流年际变化曲线

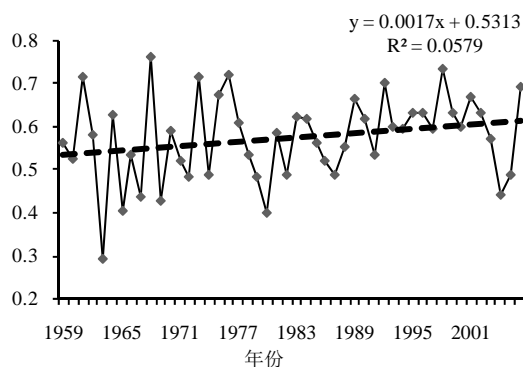


Figure 6. Inter-annual change curves of measured runoff coefficient

图 6. 实测径流系数年际变化曲线

4. 结果分析

由于武江流域在 1969~1974 年、1993~1998 年这两个时间段内, 降水丰沛, 而 1980~1990 年的时间段内, 属于偏枯年份, 所以在径流量的年际变化趋势图里, 在 19 世纪 80 年代有明显的下降趋势, 所以此段时间内降雨量是径流量减少的主要原因。

武江流域相对于我国其他流域而言, 开发相对较晚。武江流域的植被覆盖率在 20 世纪 80 年代为 0.50, 90 年代为 0.49, 21 世纪初为 0.48, 覆盖率逐年降低, 且在 1994 年达到最低点, 植被覆盖率仅为 0.45, 所以在 1994 年径流系数发生了突变。20 世纪 90 年代之后, 由于土地资源的不合理开发利用, 武江流域的耕地和森林遭到破坏, 地表植被退化现象日益严重。植被的退化, 使得径流形成过程中的蒸散发量减少, 地表径流增多, 在一定程度上增加了流域的产流能力, 径流系数增加。

5. 结论

1) 地表径流的年内分配与降雨的年内分配相似, 由于受到降雨的季节性影响, 径流年内的分配也不均匀, 相对于径流而言, 降雨的年内分配更加不均匀。

2) 径流量除受到降雨量变化的影响, 还受到人类活动的影响, 其程度跟降雨对径流的影响程度相当, 径流量的年际变化剧烈程度低于降雨量。

3) 流域降雨和径流均呈现出增加趋势, 在

$\alpha = 0.05$ 显著性水平上, 武江流域径流量比径流量的增加趋势显著。

4) 由于植被的退化, 流域的产流能力增强, 流域的径流系数呈不显著增加趋势。

参考文献 (References)

- [1] ZHANG, Q., XU, C.-Y., SINGH, V. P., et al. Multi-scale variability of sediment load and stream flow of the Lower Yangtze River basin: Possible causes and implications. *Journal of Hydrology*, 2009, 368: 96-104.
- [2] ZHANG, Q., XU, C.-Y., CHEN, Y. Q. D., et al. Abrupt behaviors of the stream flow of the Pearl River basin and implications for hydrological alterations across the Pearl River Delta, China. *Journal of Hydrology*, 2009, 377: 274-283.
- [3] 王兆礼, 陈晓宏, 杨涛. 东江流域径流系数变化特征及影响因素分析[J]. *水电能源科学*, 2010, 8: 10-13.
WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong and YANG Tao. Runoff coefficient variation and its influencing factor in the Dongjiang River basin. *Water Resources and Power*, 2010, 8: 10-13. (in Chinese)
- [4] 李艳, 陈晓宏, 王兆礼. 北江流域径流量分布规律及其变异性分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2006, 17 (4): 14-17.
LI Yan, CHEN Xiaohong and WANG Zhaoli. Analysis on the runoff distribution and the variability in the Beijiang River basin. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2006, 17(4): 14-17. (in Chinese)
- [5] 孙鹏, 张强, 陈晓宏. 北江流域径流量变化特征及其成因[J]. *珠江现代建设*, 2011, 5: 1-7.
SUN Peng, ZHANG Qiang and CHEN Xiaohong. Analysis on the evolution of runoff and its factors in the Beijiang River basin. *Pearl River Modern Construction*, 2011, 5: 1-7. (in Chinese)
- [6] 汪丽娜, 李粤安, 陈晓宏, 等. 武江流域降雨、径流突变性研究[J]. *广东水利水电*, 2009, 8: 4-6.
WANG Li'na, LI Yuean, CHEN Xiaohong, et al. Research on mutation of rainfall and runoff in Wujiang River basin. *Guangdong Water Resources and Hydropower*, 2009, 8:4-6. (in Chinese)
- [7] 汪丽娜, 陈晓宏, 等. 武江流域洪水时间序列的 R/S 分析[J]. *华南师范大学学报*, 2011, 1: 128-130.
WANG Li'na, CHEN Xiaohong, et al. R/S analysis on flood time sequences in Wujiang River. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 2011, 1: 128-130. (in Chinese)
- [8] 郑红星, 刘昌明, 等. 黄河源区径流年内分配变化规律分析[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6): 585-590.
ZHENG Hongxing, LIU Changming, et al. Changes of annual runoff distribution in the headwater of the Yellow River basin. *Progress in Geography*, 2003, 22(6): 585-590. (in Chinese)
- [9] 代俊峰, 张学洪, 等. 北部湾经济区径流、降雨分配特点及其变化分析[J]. *中国农村水利水电*, 2011, 6: 1-6.
DAI Junfeng, ZHANG Xuehong, et al. Distribution characteristics and change trend of rainfall and runoff in Beibu Gulf. *China Rural Water and Hydropower*, 2011, 6: 1-6. (in Chinese)