

滨江流域降水时空演变规律分析

丁华龙^{1,2}, 肖卫国³, 陈晓宏^{1,2}, 张云^{1,2}, 陈玲玲^{1,2}

(1.中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;
2.华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510275;
3.水利部珠江水利委员会珠江水利综合技术中心, 广东 广州 510610)

摘要:降水是水循环的关键环节,直接影响着径流过程和可利用水资源量的时空分布,关系到区域水资源安全和可持续发展。为了探讨气候变化下华南湿润区典型小流域降水时空演变规律,利用珠江流域北江一级支流滨江流域内及其邻近共10个站点近47年日降水量观测资料,采用非参数统计方法Mann-Kendall(M-K)趋势检验和Mann-Whitney-Pettitt(MWP)检定方法,对年、汛期/非汛期、年日最大和年月最大降水量进行分析。结果表明:滨江流域多年平均降水量呈北少南多分布,主要与区域气流走向及流域地形有关;年降水量总体呈现减少趋势,其中流域南部呈显著减少趋势,北部呈不显著减少趋势,其主要是汛期(4~9月)降水量减少,非汛期(10~翌年3月)降水量变化不大;年日最大和年月最大降水量均呈减少趋势。流域南部年降水量和汛期降水量在1983年发生了显著性变异;流域北部年最大日降水量和年月最大降水量分别在1987年和1985年左右发生显著性变异。

关键词:降水量;Mann-Kendall;Mann-Whitney-Pettitt;时空演变;变异;滨江流域

中图分类号:P468.24

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)05-0067-08

1 引言

在华南湿润区,降水是径流的主要来源,降水时空变化导致径流和可利用水资源量在时空上发生变化^[1],从而引发干旱、洪涝等自然灾害,直接影响人类对水资源的开发利用。降水时空分布特征直接影响区域水资源利用方式、防洪、蓄水调水等工程布局以及产业结构等,因此,研究降水的时空演变规律对防洪抗旱以及合理开发利用水资源具有重要意义。

长期以来,作为水循环过程最为关键的一个环节,很多学者对降水量时空演变规律进行了分析;IPCC第四次评估报告显示,20世纪全球陆地降水约增加2%,亚洲北部及中亚地区降水量显著增加^[2];Stefan Becker等(2006)发现近50年来长江流域夏季月降水量存在增大的趋势,降水历时有所缩短^[3];徐宗学等(2006)研

究表明黄河流域总体年降水量呈下降趋势,空间分布上趋势存在差异^[4];王兆礼等(2006)采用克里格插值和Mann-kendall法分析珠江流域降水量变化趋势及其突变分量,发现珠江流域总降水量呈微弱增加趋势,流域西南部以减少为主,东半部以增加为主^[5];W. Wang等(2006)研究发现东江流域年降水量和年日最大降水量呈微弱增加趋势^[6];罗律等(2012)分析了北江流域汛期降水量的气候变化特征,结果表明北江流域汛期降水量呈微弱增加趋势,北部以增加为主,南部以减少为主,汛期降水量在1984年发生突变^[7]。从以上已有研究成果看,降水量时空分布研究在大中流域上研究较多,而在小流域尺度典型实例研究相对较少。相对于大中型流域,小流域径流过程更不稳定,降水时空变化对径流的影响更为突出,因此,分析小空间尺度范围内降水量的时空变化特征及变异对小流域防灾减灾、产业

收稿日期:2013-10-08

基金项目:国家自然科学基金重大国际合作和重点项目(51210013, 50839005);国家科技支撑计划(2012BAC21B0103);水利部公益项目(201201094, 201301002-02);广东省科技厅项目(2010B050300010);广东省水利科技创新项目(2011-11, 2009-39);中英瑞气候变化适应项目广东气候变化风险评估及适应对策研究(ACCC/20100705-1)

作者简介:丁华龙(1989-),男,广西钦州人,硕士研究生,主要从事水文学及水资源方面的研究。E-mail:dinghualongfirst@126.com

通讯作者:陈晓宏(1963-),男,湖北公安人,博士,教授,博导,主要从事水文、水资源及水环境等方面的研究。E-mail:cescxh@mail.sysu.edu.cn

布局、供水布局等生产实践具有较强的现实意义。

滨江流域地处珠江流域北江中下游, 临近广东省三大暴雨中心之一。在全球气候变化下, 该流域降水量变化总体趋势如何? 是否与大空间尺度总体变化趋势一致? 有什么特别的变化规律? 本文采用其邻近共 10 个站点 1965~2011 年日降水量观测资料为基础, 重点研究流域多年平均降水量空间分布, 以及年、汛期、非汛期、月、日等不同时间尺度的降水量变化规律, 丰富小尺度流域研究成果。

2 材料和方法

2.1 流域概况

滨江流域位于广东省清远市清新区境内(见图 1), 属于北江的一级支流。该流域发源于清新区内西北部石潭镇的大雾山, 上游称大岩水, 至石潭墟与白湾水汇合后始称滨江, 自西北向东南流, 后经逢口水利枢纽工程由飞水口汇入北江。滨江干流全长 97km, 集水面积 1 728km², 平均坡降 1.1‰, 多年平均降水量为 2 095mm, 多年平均径流量 25.7×10⁸m³, 多年平均气温为 21.6℃, 多年平均日照 1 687h, 年日照率为 36%, 太阳辐射量 99.9 kCal/cm²。清新区位于广东省中部, 北江中下游, 是珠江三角洲与粤北山区的过渡地带, 北部是典型的石灰岩山区, 中部是中低山区, 南部以平原为主, 2010 年, 全区总人口 68.6 万人, 人口密度为 292 人/km², 生产总值 194.7 亿元。

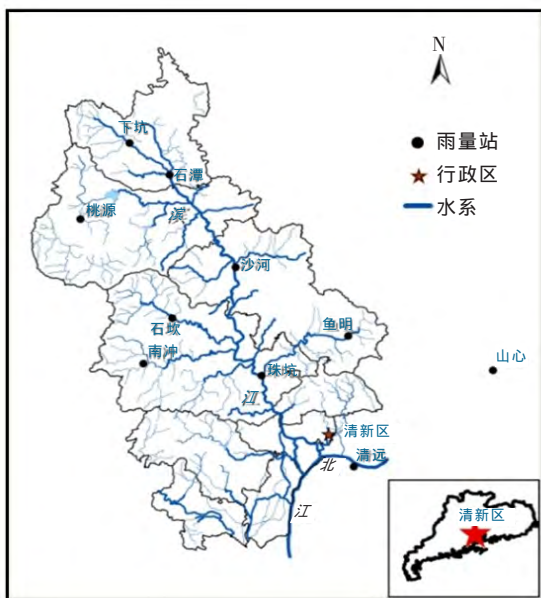


图 1 清新区水系及雨量站分布图

Fig1. The distribution of the river system and stations in Qingxin district

2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 趋势检定

Mann-Kendall 趋势检定法(以下简称 M-K 法)是世界气象组织(WMO)推荐的对环境数据时间序列趋势分析的一种方法, 在水文、气象时间序列趋势分析中得到广泛应用^[8], 其统计检验方法如下^[9]:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: 当 $x_i - x_j$ 大于、等于和小于 0 时, $\text{sign}(x_i - x_j)$ 分别等于 1, 0 和 -1。在双边的趋势检验中, 在给定的 α 置信水平上, 如果 $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$, 则原假设是不可接受的, 即在 α 置信水平上, 时间序列数据存在明显的上升或者下降趋势。统计变量 Z 值大于 0, 表示增加趋势; Z 值小于 0 表示减少趋势。

2.2.2 Mann-Whitney-Pettitt 检定

Mann-Whitney-Pettitt 检定(以下简称 MWP 检定法)是 Pettitt 在 1979 年提出的一种非参数统计检验方法^[10], 其计算步骤如下^[11]:

设 T 为时间序列的长度, 先假设序列中最可能变异点为 t 时刻, 因此将时间序列自 t 时刻分成两部分, x_1, x_2, \dots, x_t 和 x_{t+1}, \dots, x_T 。Pettitt 将一指标 U_t 定义为:

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sign}(x_i - x_j) \quad (0 \leq t \leq T) \quad (3)$$

式中: $\text{sign}(x_i - x_j)$ 与式 M-K 法中定义相同。

对 U_t 取绝对值, 即可由 $|U_t|$ 的最大值来确定可能发生的突变点位置, 最重要的变异点位置发生在 $|U_t|$ 最大值处, 即

$$K_T = \max(U_t) \quad (4)$$

MWP 检定依据的是顺序统计量的理论, 进而引用 K-S 两样本检定, 检定两样本累积分布函数的最大差值所求得累积机率。最大值 $|U_t|$ 的发生机率计算公式为:

$$P = 1 - \exp\left[-\frac{6K_T^2}{T^3 + T^2}\right] \quad (5)$$

P 值越接近 1, 则突变点现象愈加明显。若令 α 为置信度, 当 $P > P_\alpha$ 时, 则表示存在突变点的趋势明显。

3 结果与讨论

3.1 多年平均降水量的空间分布

为分析滨江流域多年平均降水量空间分布情况,

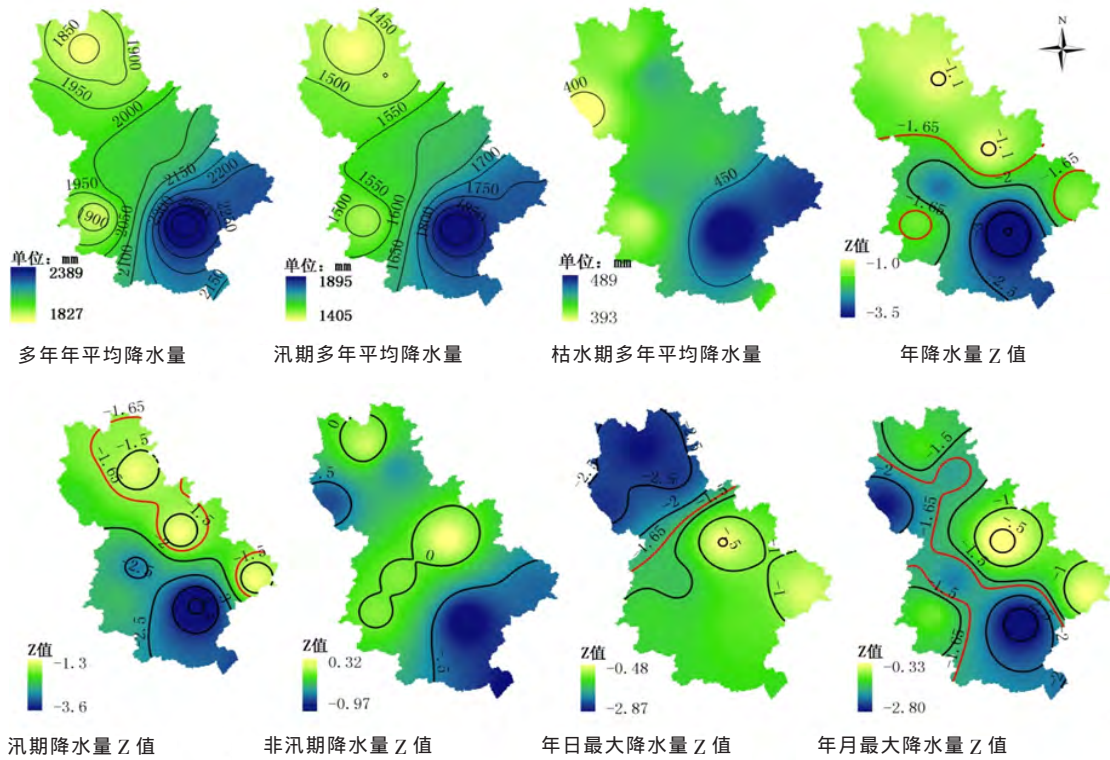


图2 滨江流域降水量变化趋势分析成果图

Fig2. The analysis results of the precipitation change trend in the Binjiang River basin

以已有的 10 个雨量站点的实测值为基础, 通过反距离加权法进行插值, 得到全流域多年平均降水量分布。滨江流域多年年平均降水量呈现北少南多分布, 西北向东南递增(见图 2), 北部多年年平均降水量约为 1 900mm, 中部约为 2 000mm, 南部约为 2 200mm, 最大值在珠坑站附近, 约为 2 300mm, 最小值在下坑站附近, 约为 1 800mm。汛期降水量多年平均与年降水量多年平均空间分布趋势一致(见图 2), 呈西北向东南递增的趋势, 北部约为 1 450mm, 中部约为 1 550mm, 南部约为 1 800mm。非汛期多年平均降水量全流域变化不大(见图 2), 主要在 400~450mm 之间, 珠坑站附近偏多。

地形和气候因素是滨江流域降水空间分布差异的主要原因。如图 3 所示, 清新区内地势自西北向东南倾斜, 西北高, 东南低。地貌多样, 差异显著, 北部是典型山区, 中部是中低山区, 东南部以丘陵为主, 西南部以平原为主。清新区属于亚热带气候区, 一年四季受季风影响。汛期(4~9 月)盛行夏季风, 主要是西南风, 非汛期(10 月~次年 3 月)盛行东北季风。滨江流域降水量主要集中在汛期, 而汛期主要是受副热带高压的影响, 其次是热带气旋。副热带高压西缘的西南气流给雨区

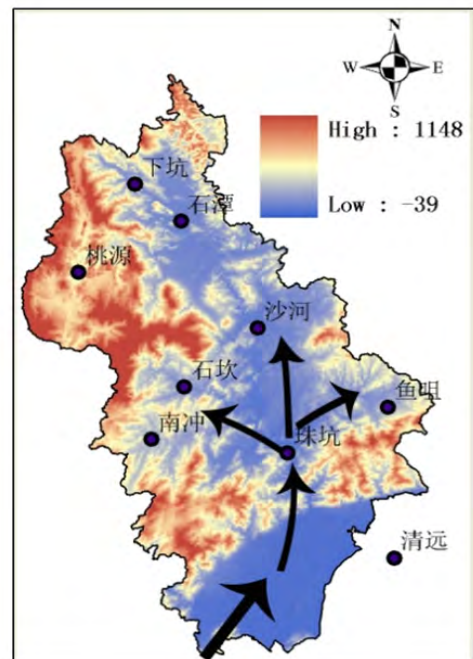


图3 清新区地形图

Fig3. The topography of Qingxin district

输送了充沛的水汽, 当西南气流到达滨江流域时, 流域西南部的平原对气流阻挡较小, 而珠坑站前两边均有山峰阻挡, 珠坑站就像一个风口一样, 大部分气流沿着

滨江向北流动,加上西北部又有高山阻挡,以至于气流停留在东南部,形成降水,导致珠坑站暴雨中心的产生。热带气旋(台风)是清新区7到9月降水的主要来源之一,但因清新区处于华南内陆,由于地形的阻挡作用,受台风直接影响相对较小。

3.2 降水量的时空演变特征

3.2.1 年际降水量变化

对滨江流域各站点年降水量序列进行 Mann-kendall 趋势检定,结果表明(见表1、图2),47年来,滨江流域年降水量总体呈减少趋势,其中流域上游地区的各站点均呈不显著减少趋势;中下游的石坎站和珠坑站检定 $|Z|$ 值大于1.65,呈显著减少趋势,鱼咀站和南冲站呈不显著减少趋势;流域南部的清远站和山心站检定 $|Z|$ 值均大于1.65,呈显著减少趋势。

对滨江流域各站点年降水量序列进行 MWP 趋势检定,结果表明(见表2),滨江流域年降水量序列主要在1983年和1997年发生变异,其中南部的珠坑站、山心站和清远站在1983年均发生了显著性变异,其检定值分别为0.999、0.945和0.998;流域中部的石坎站和南冲站在1997年发生显著性变异,其检定值分布为0.929和0.907;其余各站的检定值均小于90%检定值。

以表2中的变异点年份为断点,将数据分为变异点前和变异点后两段,如珠坑站变异点年份为1983年,变异点前为1965~1983年,变异点后为1984~2011年。由表3可知,各站点多年平均降水量变异点后均比变异点前小,其中清远站和珠坑站减少最为明显,分别为-16.19%和-14.93%,沙河站减少较少,这与各站点年降水量呈减少趋势相吻合;最大年降水量变异点

表1 降水序列的 Mann-Kendall 趋势检定值

Table 1 The results of precipitation change trend measured with M-K method

站名	年降水量		汛期		非汛期		年日最大		年月最大	
	Z	$ Z >1.65$	Z	$ Z >1.65$	Z	$ Z >1.65$	Z	$ Z >1.65$	Z	$ Z >1.65$
下坑	-1.22	X	-1.63	X	0.20	X	-2.87	A(递减)	-1.20	X
石潭	-1.08	X	-1.32	X	-0.44	X	-2.63	A(递减)	-1.74	A(递减)
桃源	-1.63	X	-1.96	A(递减)	-0.66	X	-2.65	A(递减)	-2.44	A(递减)
沙河	-1.06	X	-1.28	X	0.32	X	-0.48	X	-0.33	X
石坎	-2.46	A(递减)	-2.59	A(递减)	0.06	X	-1.60	X	-1.94	A(递减)
鱼咀	-1.41	X	-1.30	X	-0.58	X	-0.60	X	-0.64	X
南冲	-1.52	X	-2.19	A(递减)	0.05	X	-1.36	X	-1.10	X
珠坑	-3.52	A(递减)	-3.60	A(递减)	-0.96	X	-1.17	X	-2.80	A(递减)
山心	-1.79	A(递减)	-1.87	A(递减)	-0.56	X	-1.38	X	-1.11	X
清远	-2.88	A(递减)	-3.02	A(递减)	-1.10	X	——	——	-2.13	A(递减)

注:A表示通过显著水平10%的检定,正值表示趋势增加,负值表示趋势减少;X表示未通过显著水平10%的检定。

表2 降水序列的 MWP 趋势检定值

Table 2 The results of precipitation change trend measured with MWP method

站名	年降水量		汛期		非汛期		年日最大		年月最大	
	变异年	$P>0.90$	变异年	$P>0.90$	变异年	$P>0.90$	变异年	$P>0.90$	变异年	$P>0.90$
下坑	1987	0.707	1985	0.920	1981	0.521	1987	0.994	1985	0.924
石潭	1997	0.752	1987	0.716	1998	0.804	1987	0.967	1984	0.918
桃源	1983	0.890	1984	0.941	1998	0.536	1986	0.941	1985	0.969
沙河	1984	0.614	1984	0.606	1981	0.408	1998	0.672	1969	0.440
石坎	1997	0.929	1976	0.935	1980	0.314	1988	0.790	1971	0.847
鱼咀	1997	0.830	1982	0.739	1998	0.842	2002	0.739	1975	0.653
南冲	1997	0.907	1982	0.905	1998	0.622	1997	0.948	2002	0.653
珠坑	1983	0.999	1982	0.998	1998	0.922	2002	0.714	1983	0.981
山心	1983	0.945	1983	0.931	1998	0.674	1975	0.808	1975	0.774
清远	1983	0.998	1983	0.997	1992	0.663	——	——	1982	0.934

注:粗体字表示通过显著水平10%的检定,具有显著差异。

表3 各站点变异点前后年降水量特征值变化率

单位: %

Table 3 The change rate of the mean annual precipitation characteristics before and after the mutational site (%)

站点	下坑	石潭	桃源	沙河	石坎	鱼咀	南冲	珠坑	山心	清远
多年平均	-7.10	-10.67	-10.61	-3.75	-12.30	-8.64	-13.07	-14.93	-13.20	-16.19
最大值	10.39	-12.09	-3.42	-5.88	-6.31	-21.79	-5.68	-1.52	0.69	-16.12
最小值	-12.92	-20.65	-20.30	4.11	-10.01	-13.90	-17.42	-9.12	-8.66	-12.06

表4 各站点变异点前后汛期降水量特征值变化率

单位: %

Table 4 The change rate of the flood season precipitation characteristics before and after the mutational site (%)

站点	下坑	石潭	桃源	沙河	石坎	鱼咀	南冲	珠坑	山心	清远
多年平均	-10.30	-7.77	-11.59	-5.23	-15.10	-7.80	-10.67	-16.33	-13.88	-17.77
最大值	17.76	10.83	-6.05	-0.33	1.82	2.67	7.03	6.72	-5.65	-14.31
最小值	-12.82	-17.35	-10.95	-14.33	-27.07	0.60	-23.22	-8.14	-16.99	-26.07

表5 各站点变异点前后非汛期降水量特征值变化率

单位: %

Table 5 The change rate of the non-flood season precipitation characteristics before and after the mutational site (%)

站点	下坑	石潭	桃源	沙河	石坎	鱼咀	南冲	珠坑	山心	清远
多年平均	19.25	-23.13	-16.82	12.95	16.85	-29.09	-21.56	-26.88	-23.73	-22.74
最大值	88.25	-58.11	-52.26	94.74	84.11	-62.62	-59.52	-52.00	-55.61	-59.83
最小值	6.24	23.88	-0.60	52.21	29.27	-31.98	15.77	-9.05	4.91	0.07

前后变化总体减少, 其中, 鱼咀站变化最大, 减少 21.79%, 山心站变化最小, 仅增加 0.69%; 最小年降水量变异点前后变化总体减少, 其中石潭站和桃源站变化较大, 变异点后比变异点前减少超过 20%, 沙河站变化最小, 增加了 4.11%。

变异点后多年平均降水量、最大年降水量以及最小年降水量普遍比变异点前小, 说明滨江流域年降水量总体呈减少趋势。IPCC 研究表明亚洲北部及中亚地区降水量显著增加^[2]; 有关珠江流域的研究表明, 珠江流域年降水量有微弱增加趋势^[5]; 罗艳等(2007)研究发现北江流域年降水量总体呈上升趋势, 其中北部呈上升趋势, 南部呈减少趋势^[12]。滨江流域地处北江流域南部, 年降水量却呈减少趋势, 与大空间尺度下降水量呈增加趋势相反, 可能是由于滨江流域特殊的地形和局部小气候引起的。由此可知, 空间尺度大小对降水量时空变化分析有一定的影响, 不同空间尺度总体分布及演变规律有一定差异, 服务于区域内的水利工程建设及水资源开发利用, 必须充分考虑小尺度范围内的降水量演变规律。

3.2.2 汛期和非汛期降水量变化

汛期和非汛期降水量 Mann-kendall 趋势检定结果(见表 1、图 2)表明, 各站点汛期降水量均呈减少的趋势, 其中珠坑站减少最为显著, 检定值为-3.6, 而沙

河站检定值最小为-1.28。各站非汛期降水量检定值均小于 1.65, 非汛期降水量无明显变化, 呈平稳状态。

汛期水期降水量 MWP 突变分析结果(见表 2)表明, 滨江流域汛期降水量突变年份主要发生在 1983 年左右, 其中下坑站、桃源站、石坎站和南冲站分别在 1985、1984、1976 和 1982 年发生了显著性变异, 南部的珠坑站、山心站和清远站在 1982 年和 1983 年间发生了显著性变异, 其余站点无显著性变异, 检定值以沙河站最低($P=0.606$)。非汛期降水量 MWP 突变分析结果(见表 2)表明, 滨江流域非汛期降水量突变年份主要集中在 1981 和 1998 年左右, 但只有珠坑站在 1998 年发生了显著性变异, 其余站点均无显著性变异。

从表 4 可知, 汛期多年平均降水量各站点变异点后均比变异点前减少, 清远站减少最大为 17.77%, 沙河站最小为 5.23%; 最大值降水量变异点前后变化不大, 其中变化最大是下坑站增加了 17.76%, 最小的是沙河站减少了 0.33%; 最小值降水量变异点后总体比变异点前减少, 其中清远站减少最大, 减少了 26.07%, 鱼咀站最小, 增加了 0.6%。

从表 5 可知, 非汛期多年平均降水量各站点变异点前后变化总体减少, 其中鱼咀站减少最多为 29.09%, 下坑站、沙河站和石坎站变异点后比变异

表6 各站点变异点前后年日最大降水量特征值变化率

单位:%

Table 6 The change rate of the annual maximum daily precipitation characteristics before and after the mutational site (%)

站点	下坑	石潭	桃源	沙河	石坎	鱼咀	南冲	珠坑	山心
多年平均	-28.99	-25.10	-22.92	-10.37	-13.93	-22.72	-24.44	-29.42	-25.48
最大值	-43.91	-19.90	-24.46	12.18	-28.17	-52.93	-52.45	-71.30	17.17
最小值	-22.26	-43.07	-7.38	6.62	-24.69	8.39	-14.63	1.10	-34.46

表7 各站点变异点前后年月最大降水量特征值变化率

单位:%

Table 7 The change rate of the annual maximum monthly precipitation characteristics before and after the mutational site (%)

站点	下坑	石潭	桃源	沙河	石坎	鱼咀	南冲	珠坑	山心	清远
多年平均	-14.53	-12.48	-16.74	-9.14	-20.60	-8.98	-17.90	-13.21	-17.49	-17.47
最大值	-2.59	14.72	-8.30	-6.63	14.66	33.59	-31.00	-1.50	30.07	-39.83
最小值	4.28	-23.09	-13.39	-34.86	-45.59	-27.74	-14.52	-22.24	-32.04	-22.76

点前增加超过 10%;最大值变异点前后各站点差异明显,沙河站、下坑站和石坎站分别增加超过 80%以上,而其余各站减少均超过 50%;最小值变异点前后变化无明显规律,沙河站变化最大,增加了 52.21%。

罗律等发现北江流域汛期降水量呈微弱增加趋势,其中流域北部以增加趋势为主,南部以减少趋势为主,汛期降水量在 1984 年发生突变^[9]。滨江流域地处北江流域南部,研究发现:汛期降水量呈减少趋势,在 1982~1985 年间存在突变,研究结果与已有研究的结果一致。

3.2.3 年日最大和年月最大降水量变化

基于 Mann-kendall 趋势检定法,分析各站年日最大降水量和月最大降水量序列(见表 1、图 2)。由表 1 可看出,各站点年日最大降水量均存在减少趋势,北部的下坑、石潭、桃源三个站检定 $|Z|$ 值大于 1.65,呈显著减少趋势。各站点年月最大降水量均呈现减少趋势,石潭、桃源、石坎、珠坑和清远站显著减少,珠坑站最为明显,检定值为-2.8,沙河站最小为-0.33。

年日最大降水量和年月最大降水量 MWP 突变分析结果表明(见表 2),年日最大降水量北部的下坑、石潭和桃源三个站在 1987 年左右(桃源站在 1986 年)发生了显著性变异,南冲站在 1997 年也发生了显著性变异,其余各站均未发生显著性变异,其检定值均低于 0.9,并以沙河站最低($P=0.672$);年月最大降水量 WMP 检定结果表明,下坑站和桃源站在 1985 年发生了显著性变异,石潭站、珠坑站和清远站分别在 1984、1983 和 1982 年发生了显著性

变异,其余各站则无显著变异,检定值以沙河站最低($P=0.440$)。

由表 6 可知,年日最大降水量多年平均值突变点后比突变点前所有站点均减少,其中珠坑站减少最大为 29.42%,沙河站减少幅度最小为 10.37%。突变点后和突变点前年日最大降水量序列中,最大值总体上突变点后比突变点要小,珠坑站减少最多为 71.3%,鱼咀站和南冲站也减少超过了 50%;最小值总体上突变点后比突变点要小,其中石潭站减少最多为 43.07%,珠坑站变化最小增加了 1.1%。

如表 7 所示,年月最大降水量多年平均值突变点后比突变点前所有站点均减少,最大值和最小值普遍减少。多年平均值突变点前后变化最大的是石坎站,减少了 20.60%,最小的是沙河站,减少了 9.14%;最大值突变点前后变化最大的是清远站,减少了 39.83%,变化最小的是珠坑站,减少了 1.5%;最小值突变点前后变化最大的是石坎站,减少了 45.59%,最小的是下坑站,略微增加了 4.28%。

4 结论

采用 M-K 法及 MWP 检定法分析了气候变化下华南地区小尺度代表滨江流域降水量时空演变特征,主要对年降水量、汛期和非汛期降水量、年日最大降水量、年月最大降水量变化趋势及变异进行了研究,主要结论如下:

(1)滨江流域降水量呈北少南多分布,西北向东南递增趋势,南部珠坑站为流域暴雨中心。多年年平均降水量和汛期多年平均降水量南北差异显著,非汛期多

年平均降水量全流域相差较小。

(2) 滨江流域年降水量总体呈减少趋势, 北部呈不显著减少, 南部呈显著减少趋势。流域各站点年降水量序列主要在 1983 年和 1997 年发生变异, 其中南部年降水量在 1983 年发生了显著性变异。多年年平均降水量、年最大降水量和年最小降水量总体上变异点后比变异点前小。

(3) 滨江流域汛期降水量总体呈减少的趋势。流域南部呈显著减少趋势, 北部和中部多数站点呈显著减少趋势, 其中南部暴雨中心珠坑站减少最为明显。滨江流域南部汛期降水量在 1983 年左右发生显著性变异, 与年降水量发生变异时间相同。汛期多年平均降水量和最小值降水量各站点变异点后均比变异点前减少, 最大值降水量变异点前后变化不大, 其中汛期多年平均降水量变化最大的是流域暴雨中心珠坑站, 减少了 16.33%。

(4) 滨江流域非汛期降水量无明显变化, 呈平稳状态。滨江流域非汛期降水量序列主要在 1981 和 1998 年发生变异, 但只有南部的暴雨中心珠坑站在 1998 年发生了显著性变异。非汛期多年平均降水量、非汛期最大降水量变异点后相比变异点前总体减少, 最小值变异点前后变化无明显规律。

(5) 年日最大降水量流域北部呈显著减少趋势, 中部和南部呈不显著减少趋势。流域北部最大日降水量序列在 1987 年左右发生显著性突变, 中部的南冲站在 1997 年发生显著性变异。年日最大降水量多年平均值突变点后比突变点前所有站点均减少, 其中珠坑站减少幅度最大, 为 29.42%。突变点前后年日最大降水量序列中, 年日最大降水量最大值和最小值总体上突变点后比突变点前要小。

(6) 滨江流域年月最大降水量总体呈减少趋势, 其中暴雨中心珠坑站减少最为显著。年月最大降水量滨江流域北部在 1985 年左右发生了显著性变异, 南部在 1983 年左右发生了显著性变异, 中部各站未发生显著性变异。年月最大降水量多年平均值突变点后比突变点前所有站点均减少, 最大值和最小值普遍减少。

(7) 通过对滨江、北江及珠江降水量变化规律对比研究, 对于同一地区, 不同空间尺度变化规律是有很大差异性。在具体应用中, 应根据研究问题对象的不同, 选择合适的空间尺度。相比之下, 小尺度范围内降水变化规律影响因素更多, 差异更大。

参考文献:

- [1] 董满宇, 江源, 李俞萍, 等. 近 46 年来东江流域降水变化趋势分析 [J]. 水文, 2010, 30 (5): 85-90. (DONG Manyu, JIANG Yuan, LI Yuping, et al. Analysis of precipitation change trend over last 46 years in Dongjiang River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2010,30(5):85-90. (in Chinese))
- [2] 政府间气候委员会. IPCC 气候变化 2007 综合报告 [R/OL]. <http://www.icpp.ch/languages/chinese.htm>. (IPCC. Summary for policymakers of the synthesis report of the IPCC fourth assessment report 2007 [R/OL]. <http://www.icpp.ch/languages/chinese.htm>. (in Chinese))
- [3] Becker S, Gemmer M, Jiang T. Spatio-temporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River catchment [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2006, 20 (6): 435-444.
- [4] 徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析 [J]. 地理研究, 2006,25(1):27-34. (XU Zongxue, ZHANG Nan. Long-term trend of precipitation in the Yellow River basin during the past 50 years [J]. Geographical Research, 2006, 25(1):27-34. (in Chinese))
- [5] 王兆礼, 陈晓宏, 张灵, 等. 近 40 年来珠江流域降水量的时空演变特征 [J]. 水文, 2006,26(6):71-75. (WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, ZHANG Ling, et al. Spatio-temporal change characteristics of precipitation in the Pearl River basin in recent 40 years [J]. Journal of China Hydrology, 2006,26(6):71-75. (in Chinese))
- [6] Wang W, Chen X, Shi P, et al. Detecting changes in extreme precipitation and extreme streamflow in the Dongjiang River basin in southern China [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2008,12 (1):207-221.
- [7] 罗律, 张广存, 吴俊宁. 1965-2010 年广东北江流域汛期降水量的气候特征分析 [J]. 广东气象, 2012,34(3):13-15. (LUO Lv, ZHANG Guangcun, WU Junning. Analysis of the climate characteristics of precipitation from 1965 to 2010 in Beijiang River basin, Guangdong province [J]. Guangdong Meteorology, 2012,34(3):13-15. (in Chinese))
- [8] Hamed K H. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis [J]. Journal of Hydrology, 2008,349(3):350-363.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 (第二版) [M]. 北京: 气象出版社, 2007. (WEI Fengying. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology (2nd edition) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese))
- [10] Kiely G, Albertson J D, Parlange M B. Recent trends in diurnal variation of precipitation at Valentia on the west coast of Ireland [J]. Journal of Hydrology, 1998,207(3):270-279.
- [11] 高世丰, 叶一隆, 邹祎. 高屏溪流域区域降水特性分析 [J]. 水利学报, 2012,43 (11):1341-1348. (GAO Shih-Fong, YEH Yi-Lung, Tsou I. Regional rainfall characteristic analysis for the Kaoping River basin [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012,43 (11): 1341-1348. (in Chinese))
- [12] Luo Y, Liu S, Fu S L, et al. Trends of precipitation in Beijiang River basin, Guangdong province, China [J]. Hydrological Processes, 2008,22(13):2377-2386.

Analysis of Precipitation Change Trend in Binjiang River Basin

DING Hualong^{1,2}, XIAO Weiguo³, CHEN Xiaohong^{1,2}, ZHANG Yun^{1,2}, CHEN Lingling^{1,2}

(1. Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Pearl River Water Conservancy Commission Integrated Technology Center, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The precipitation is the key process in water cycle. It directly affects temporal and spatial distribution of runoff process and amount of available water resources. To investigate space-time evolution of precipitation in typical small watersheds of southern China under climate change, this paper analyzed the annual precipitation, flood season and non-flood season precipitation, annual maximum daily precipitation and annual maximum monthly precipitation by using the nonparametric statistics including Mann Kendall trend test method and Mann-Whitney-Pettitt verification method based on the 47-year observed daily precipitation from 10 stations in the Binjiang River Basin, a tributary of the Beijiang River in the Pearl River Basin. The result shows that the multi-year average precipitation of the northern part in the basin is less than that in the south, which has close relation to regional airflow direction and valley terrain. At the same time, general decline of annual precipitation, including southern basin has a significant decline and the northern part shows no significant decline, which is mainly the precipitation in the flood season (April-September) reduced, while the precipitation in non-flood season (October-March in the next year) changed little. Both annual maximum daily precipitation and annual maximum monthly precipitation have a trend of decrease. The annual precipitation and flood season precipitation in the southern part of the basin had a significant variation in 1983, while in the north, the annual maximum daily precipitation and annual maximum monthly precipitation have respectively significant variation in 1987 and 1985.

Key words: precipitation; Mann-Kendall; Mann-Whitney-Pettitt; temporal-spatial evolution; variation; Binjiang River Basin

(上接第 5 页)

- [11] SL 44-2006, 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. (SL 44-2006, Regulation for Calculating Design Flood of Water Resources and Hydropower Projects [S]. (in Chinese))
- [12] Strupczewski WG, Singh V P, Feluch W. Non-stationary approach to at-site flood frequency modelling I [J]. Maximum Likelihood

Estimation, 2001, 248: 123-142.

- [13] Akaike H. A new look at the statistical model identification [J]. IEEE Trans Automat Control, 1974. 19(6), 716-723.
- [14] Duan Q Y, Sorooshian S, Gupta V. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models [J]. Water Resources Research, 1992, 28(4): 1015-1031.

Methods to Calculate Return Period of Hydrological Elements under Different Conditions

LIU Dedi^{1,2}, DU Peiling²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjiang 210098, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Return period is widely used for civil engineering planning, design and management. However, the climate change and human activities have broken the stationary condition of the hydrological series, which is the base for the hydrological frequency analysis. Therefore, it is necessary to develop a new method to calculate the return period of the hydrological elements concerned by people. Based on the two different concepts of return period, the four equations of calculating the return period under the stationary and non-stationary conditions have been summarized and developed while the assumption of the independence of the hydrological series can be satisfied. The equations of calculating the return period under the different conditions were applied in flood frequency at the Longchuan Station located on the Dongjiang River of Guangdong Province in China. The annual maximum peak discharge time series that are available from 1956 to 2009 have been taken in the return period calculation. The results of the return periods have also been discussed.

Key words: return period; stationary; non-stationary; time-varying moments; hydrologic frequency