

近半个世纪来东莞降水的气候变化特征*

吴志权

(中山大学大气科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 对东莞近半个世纪来的春季、夏季、秋季、冬季、前汛期、后汛期、夏半年和全年各个季节的降水序列统计特征量计算、谱分析、趋势分析和突变分析。结果表明: ①东莞降水年内分布为双峰型, 并具有明显的干季和湿季的季风降水特征, 汛期降水量占全年的 82%, 东莞年降水为负偏低峰分布, 夏季、秋季、冬季的降水为正偏高峰分布, 春季、前汛期、后汛期降水为正偏低峰分布; ②多数季节降水变化周期性不明显, 冬季和汛期分别存在 4.71 和 6.29 a 的振荡周期, 后汛期和连月降水具有明显的准两年的周期; ③全年、后汛期和汛期降水具有较明显的超长期变化下降趋势, 其它各季节降水没有明显的超长期变化趋势; ④东莞降水没有发生明显的突变。

关键词: 气候变化; 降水; 东莞

中图分类号: P463.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) S1-0171-05

降水是气候的重要组成部分, 它与工农业生产、国民经济建设、水利和水文密切相关, 更是人民生活所必须。广东省东莞地处华南珠江口, 毗邻南海, 属亚热带季风气候。改革开放 20 多年来, 东莞从鱼米之乡发展为工业强市, 城市化使下垫面发生很大变化, 这必然会影响气候的变化。本文利用东莞近 45 a 的全年、春季、夏季、秋季、冬季、前汛期、后汛期和夏半年等 8 个季节的降水序列, 通过对它们作统计特征量计算、谱分析、趋势分析和突变分析, 来揭示东莞降水变化特征。

1 资料及计算方法

1.1 资料来源

东莞 1957 - 2001 年逐月降水资料取自东莞市气象局, 并对该资料进行处理, 形成 1 - 12 月、春季、夏季、秋季、冬季、全年、前汛期、后汛期、汛期等 20 种季节的降水时间系列, 以供分析。

1.2 计算方法

1.2.1 气候统计特征量计算 据么枕生^[1], 气候序列的平均值、标准差、变差系数、偏度系数和峰度系数的无偏估计, 可用下面诸公式计算之。

设气候样本序列为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 其平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

序列的标准差 s 为

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

序列的相对变率或称为变差系数, 定义为序列的标准差值与平均值之比,

$$s_r = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

标准差和变差系数愈大, 表示要素变化越剧烈。

序列的偏度系数为

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{ns^3}}{\quad} \quad (4)$$

偏度系数可估计要素的偏斜分布状态, $\beta > 0$ 表示众数在平均值的左侧, 称为正偏, $\beta < 0$ 表示众数在平均值的右侧, 称为负偏, $\beta = 0$ 表示众数与平均值重合, 称为正态分布。此处众数是指分布曲线峰点处对应的要素值。

序列的峰度系数为

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^4}{ns^4}}{\quad} - 3 \quad (5)$$

峰度系数可用来估计要素分布曲线的峰态, $\gamma > 0$ 称为高峰态, $\gamma < 0$ 称为低峰态, $\gamma = 0$ 称为正态分布。

1.2.2 气候序列的趋势分析 可以多项式函数拟合序列的趋势。设气候要素观测序列为 $x_1, x_2, \dots, x_n$, 则序列的长期变化趋势可以用一个时间 t 的 p 次幂函数的多项式表示, 记为

$$H_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_p t^p \quad p < N \quad (6)$$

因此, 根据最小二乘法, 由

* 收稿日期: 2003 - 03 - 01

作者简介: 吴志权 (1974 年生), 男, 助理工程师, 现在广东东莞市气象局工作; E-mail: wuzq@163.com

$$\sum_{i=1}^N (x_i - H_i)^2 = \text{最小} \quad (7)$$

可求得系数 $a_1, a_2, \dots, a_p$ 。

1.2.3 气候序列的谐波分析 在气象统计上描写简谐运动一般可用正弦曲线来表示^[2]:

$$f(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (8)$$

任何复杂的周期现象都是由两个或两个以上的简谐波所组成,

$$F_n(t) = c_0 + \sum_{\lambda} c_{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi}{T}\lambda t + \varphi_{\lambda}\right) \quad (9)$$

其中, c_0 为均值, c_{λ} 为振幅, φ_{λ} 为位相, T 为周期。当 $\lambda = 1$ 时称基波。谐波的频率都是基波的整数倍。用这样的三角函数来表示复杂的周期现象和对它求解, 就是谐波分析的方法。

1.2.4 气候序列的突变分析 采用 Mann-Kendall 方法^[3]。在原假设 H_0 : 气候序列没有变化的情况下, 设此气候序列为 $x_1, x_2, \dots, x_p$, m_i 表示第 i 个样本 x_i 大于 x_j (x_i 大于 x_j ($1 \leq j \leq i$)) 的累计数, 则统计量

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i, \quad 2 \leq k \leq N \quad (10)$$

的标准形式

$$u(d_k) = \frac{d_k - E[d_k]}{\sqrt{\text{var}[d_k]}} \quad (11)$$

服从正态 $N(0,1)$ 分布, 其中

$$E[d_k] = \frac{k(k-4)}{4} \quad (12)$$

$$\text{var}[d_k] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad 2 \leq k \leq N \quad (13)$$

分别为 d_k 的数学期望和方差。

给定一显著性水平 α_0 当 $a > \alpha_0$ 时, 接受原假设 H_0 ; 当 $a < \alpha_0$, 原假设被否定, 表示此样本序列存在着明显的增长或减少变化。所有 $u(d_k)$ 绘成曲线 C_1 通过信度检验可知其是否有变化趋势。

把此方法引用到反序列中, $\bar{m}_i$ 表示第 i 样本 x_i 大于 x_j ($i \leq j \leq N$) 的累计数, 当 $i' = N+1-i$ 如果 $\bar{m}_i = \bar{m}_{i'}$, 则反序列的 $\bar{u}(d_i)$ 由下式给出:

$$\bar{u}(d_i) = -u(d_{i'}) \quad (14)$$

$$i' = N+1-i, \quad (i, i' = 1, 2, \dots, N) \quad (15)$$

所有 $\bar{u}(d_i)$ 绘成曲线 C_2 。当曲线 C_1 超过显著性水平临界线, 即表示存在明显的变化趋势时, 如果曲线 C_1 和 C_2 的交叉点位于临界线之间, 这点便是突变的开始。

1.2.5 气候的功率谱分析 功率谱分析可以用来研究要素序列的变化周期^①, 有直接法和间接法,

间接法也称相关函数法, 即通常称为连续功率谱, 它是由布列克曼-图基 (Blackman-Tukey) 提出的, 故常称这种谱为 B-T 谱, 对于一个标准化时间函数 $x(t)$, 其自相关函数为

$$\rho(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t+\tau)dt \quad (16)$$

其中 τ 为落后时间长度, 由傅立叶变换理论可得:

$$\rho(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)e^{i\omega\tau}d\omega \quad (17)$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\tau)e^{i\omega\tau}d\tau \quad (18)$$

其中, $S(\omega)$ 称为时间函数 $x(t)$ 的连续功率谱, 而 $\rho(\tau)$ 与 $S(\omega)$ 恰为一傅立叶变换对, (18) 式表明, 时间序列的功率谱可以用序列的自相关函数来计算, 通过离散化积分及加窗 (防止矩形波权函数泄漏), 连续功率谱可用下式计算:

$$S_k = 2 \left\{ r(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau) D(\tau) \cos \frac{\pi k \tau}{mp} \right\} \quad (19)$$

$$k = 0, 1, \dots, m$$

其中, m 为最大落后数, k 为波数, $r(\tau)$ 为序列的自相关函数, $D(\tau)$ 为谱窗函数, 此处使用帕仁 (Parzen) 窗函数:

$$D(\tau) =$$

$$\begin{cases} 1 - 6\left(\frac{\tau}{m}\right)^3 + 6\left(\frac{|\tau|}{m}\right)^3, & 0 \leq |\tau| \leq \frac{m}{2} \\ 2\left(1 - \frac{|\tau|}{m}\right)^3, & \frac{m}{2} < \tau \leq m \\ 0, & |\tau| > m \end{cases} \quad (20)$$

为了检验周期的显著性, 还需要根据序列的红-白噪声过程特性作 χ^2 -检验, 序列的红噪声过程谱函数^[3]为

$$S_{ok} = \frac{1 - r^2(1)}{1 - 2r(1)\cos \frac{\pi k}{m} + r^2(1)} \quad (21)$$

其中, $r(1)$ 为 $\tau = 1$ 时的自相关函数值, 序列的白噪声过程谱函数 $S_{ok} = 1$ 。序列的红-白噪声过程特性可用如下临界值判断:

$$r_c(1) = \frac{t_{\alpha}(\infty) \sqrt{n-2-1}}{n-1} \quad (22)$$

当 $r(1) > r_c(1)$, 表示序列具有红噪声过程特性, 可用红噪声谱检验, 否则用白噪声谱检验。气象上常用功率谱来分析气候要素的变化周期。

2 结果分析

3.1 降水统计特征量分析对东莞全年、春季、夏季、秋季、冬季、前汛期和后汛期的降水序列的

① 陈创买, 气象应用谱分析, 中山大学讲义, 1988

平均值、标准差、偏度系数、峰度系数和极值进行了计算,其结果见表1。从表1可见,东莞降水比较丰沛,年平均值达1773.9 mm,但年内分布不均匀,春夏多,秋冬少,具有明显干湿季的季风降水分布特征。月平均降水年内分布呈双峰型(图1),主峰位于6月份,达307.8 mm,次峰位于8月份,为260.4 mm。前者主要受锋面低槽降水影响,后者主要与台风降水有关。降水最少的月份为12月,仅为29.3 mm。可见降水主要集中在4-9月份的汛期,达1459.3 mm,占全年降水量的82%,且前汛期降水量多于后汛期。

表1 降水各统计量计算结果

Tab.1 The computation results of statistical characteristics of rainfall in Dongguan

时距	平均值	最大值	最小值	标准差	偏度系数	峰度系数
1月	37.6	186.4	0.3	40.4	1.866	3.819
2月	65.1	290.0	0.0	63.9	1.682	2.993
3月	84.7	319.5	8.6	59.5	1.776	4.009
4月	201.7	471.0	3.4	109.9	0.433	-0.314
5月	261.0	650.7	54.8	134.2	1.130	0.946
6月	307.8	809.2	77.3	153.5	1.392	1.849
7月	248.5	742.4	81.3	130.8	1.109	2.429
8月	260.4	909.2	52.6	165.3	1.551	3.451
9月	179.9	538.4	7.7	124.9	1.020	0.439
10月	67.0	245.2	0.0	61.2	0.867	-0.114
11月	31.0	123.7	0	34.4	1.173	0.349
12月	29.3	143.9	0.1	33.5	1.490	1.846
年	1773.9	2394.0	972.2	333.2	0.020	-0.603
春季	547.4	997.7	84.9	191.4	0.066	-0.100
夏季	816.7	1406.0	298.1	237.7	0.562	0.036
秋季	277.9	689.1	19.9	156.3	0.767	.136
冬季	131.0	472.2	13.4	89.3	1.398	2.794
前汛期	770.5	1352.5	265.1	246.6	0.388	-0.305
后汛期	688.8	1186.8	318.8	205.3	0.241	-0.355

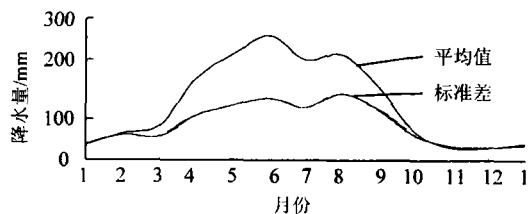


图1 东莞年内降水的平均值和标准差曲线

Fig.1 The curves of mean and standard deviation of annual rainfall in Dongguan

月降水标准差年内分布呈扁钟型(图1)。主峰在8月,达165 mm,次峰在6月,这恰好与平均值的分布相反,反映8月份比6月份降水更具阵

性;4月后呈上升趋势,9月之后呈下降趋势;从10月至次年3月,降水标准差值较小,只有50 mm左右。就极值而言,年最大降水值为2394.0 mm(1981年和1993年),最小为972.2 mm(1963年),相差达1421.8 mm;月最大降水出现在8月为909.2 mm,其次出现在6月为809.2 mm。为了研究降水分布的正态性,计算了各季节降水的偏度系数和峰度系数。从表1看出,东莞年降水为负偏低峰分布;1-3月、5-9月和11-12月以及夏季、秋季、冬季的降水为正偏高峰分布,而4月、10月、春季、前汛期、后汛期降水为正偏低峰分布。

2.2 降水的超长期变化趋势分析

利用1~3阶时间幂函数法可得出东莞降水的超长期变化趋势拟合曲线图,为了便于计算和作图,降水 r 采用标准化数值:

$$\tilde{R} = \frac{r_i - \bar{r}}{s} \quad (23)$$

其中, s 为其标准差。结果发现,在8种季节中,仅前汛期、汛期和年的降水具有超长期变化趋势,其它季节则没有这种趋势。

东莞降水趋势回归方程:

$$\text{前汛期: } y = 6353.56 - 1.04t + 1.37t^2 - 0.31t^3$$

$$\text{汛期: } y = 40119.71 - 2.51t + 4.19t^2 - 1.81t^3$$

$$\text{年: } y = 59873.13 - 2.80t + 5.33t^2 - 2.67t^3$$

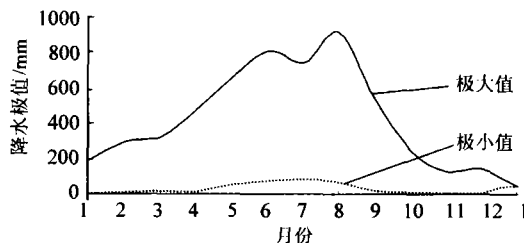


图2 东莞年内降水的极大值和极小值

Fig.2 The curves of maximum and minimum of annual rainfall in Dongguan

图3a、b、c分别是东莞年的、汛期和后汛期降水的超长期变化趋势曲线图。从中可看到,年的和后汛期降水趋势均为“降-缓升-降”型,其中年降水在1974年为一转折点,其前为下降趋势,其后到1995年为缓升阶段,而后又呈下降趋势;汛期降水趋势分布为“降-升”型,在1977年为一转折点,其前为下降趋势,其后为上升趋势,现已开始出现下降征兆。以上3个季节降水总的趋势是下降。

2.3 降水的谐波分析

对东莞8种季节实际降水作谐波分析,发现7

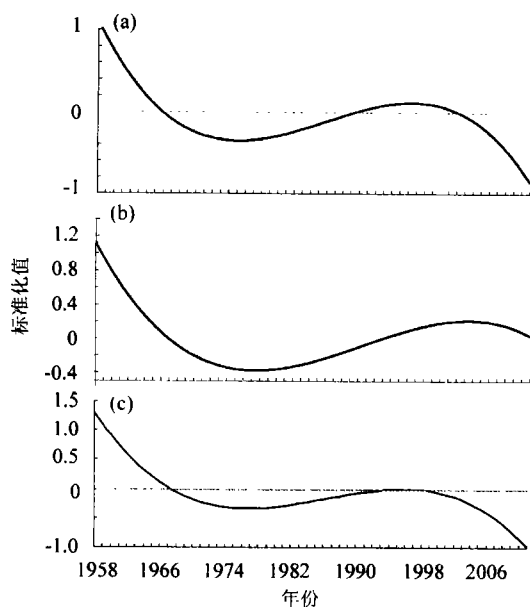


图 3 东莞降水的超长期变化趋势图

Fig.3 The trend of extra long range variation of Dongguan rainfall

(a) 年, (b) 4-9 月, (c) 7-9 月

种季节均具有一定的周期性, 能够找出达到给定显著性水平 $\alpha = 0.15$ 的谐波分量。

春季: $y = 547 + 81\sin(2\pi * 10t/N + 50) + 67\sin(2\pi * 16t/N + 123) + 76\sin(2\pi * 21t/N + 259)$

夏: $y = 816 + 79\sin(2\pi * 2t/N + 106) + 84\sin(2\pi * 5t/N + 338)$

秋: $y = 228 + 61\sin(2\pi * 3t/N + 335) + 51\sin(2\pi * 11t/N + 40) + 64\sin(2\pi * 20t/N + 352)$

冬: $y = 131 + 29\sin(2\pi * 13t/N + 206) + 32\sin(2\pi * 19t/N + 324)$

前汛期: $y = 770 + 91\sin(2\pi * 7t/N + 218) + 93\sin(2\pi * 10t/N + 29) + 74\sin(2\pi * 13t/N + 191) + 77\sin(2\pi * 7t/N + 98) + 76\sin(2\pi * 20t/N + 278)$

后汛期: $y = 669 + 64\sin(2\pi * 11t/N + 80) + 61\sin(2\pi * 15t/N + 252) + 62\sin(2\pi * 20t/N + 6)$

年: $y = 1774 + 110\sin(2\pi * 8t/N + 209) + 120\sin(2\pi * 11t/N + 66) + 101\sin(2\pi * 20t/N + 339)$

但从它们的谐波拟合曲线(图 4a、b、c 分别是年的、前汛期和后汛期降水谐波拟合曲线)可以看出, 拟合并不太理想。

2.4 降水的震荡周期分析

东莞各个时距的功率谱计算结果表明(图 5), 从图 5 可看出, 东莞降水的周期性并不明显, 只有冬季、后汛期、汛期降水才有通过 90% 信度检验的性周期, 没有通过 95% 以上信度检验的显著性周期; 在所有通过 90% 信度检验的显著性周期降水时距中, 冬季和汛期分别存在 4.71 和 6.29a 的短周期。后汛期和连月降水具有明显的准两年的

周期, 连月降水还具有 4 和 8 个月的周期。

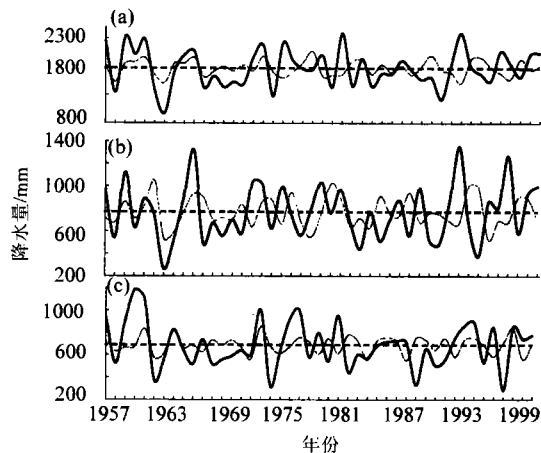


图 4 东莞降水量的谐波曲线

Fig.4 The curve of harmonics of Dongguan rainfall

实线为实际降水量, 虚线为拟合降水量

(a) 年降水, (b) 前汛期降水, (c) 后汛期降水

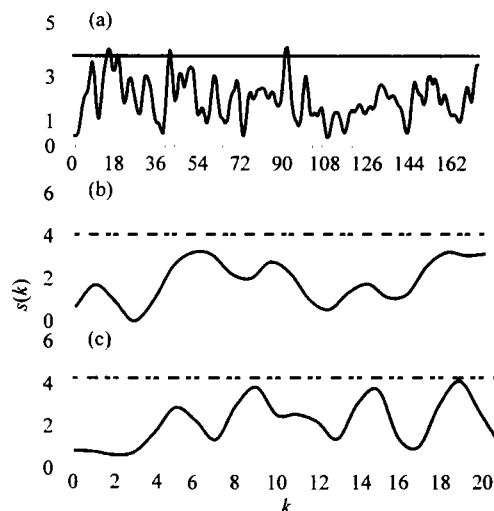


图 5 东莞降水的功率谱曲线

Fig.5 The curve of power spectrum of Dongguan rainfall

(a) 连月降水, (b) 年, (c) 春季

2.5 降水的突变分析

从各时距降水的突变分析可看出, 东莞的降水近四十多年来无明显的增长和减少变化, 属平稳型的降水时间分布。只有秋季降水存在突变现象(图 6a), 突变点发生在 1984 年。

3 小 结

据以上对东莞降水的特征分析可得如下几点结论:

(1) 东莞降水年内分布为双峰型, 并具有明显的季风降水特征, 干季和湿季分明, 汛期降水量占全年的 82%;

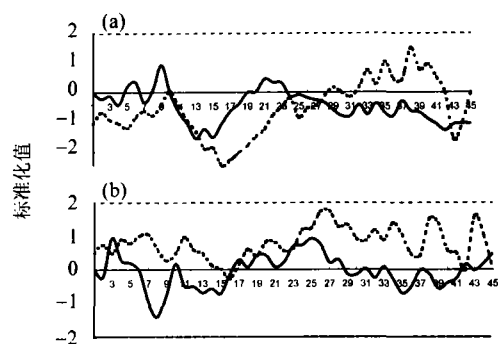


图6 东莞降水的突变分析曲线

Fig.6 The curve of suddenly change of Dongguan rainfall

(a) 秋季, (b) 4-6月

(2) 冬季和汛期分别存在4.71和6.29a的短周期。后汛期和连月降水具有明显的准两年的周期, 连月降水还具有4和8个月的周期; 其它季节周期性不明显;

(3) 全年、后汛期和汛期降水具有较明显的下降趋势, 其它各季节降水的超长期变化趋势不明显;

(4) 近45年来, 东莞降水较为平稳, 没有明显的突变发生。

参考文献:

- [1] 么枕生, 丁裕国. 气候统计[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 15-24.
- [2] 么枕生. 气候学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [3] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-491.
- [4] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 第2版. 北京: 气象出版社, 2000: 187-188.
- [5] 黄露菁, 陈创买, 简裕庚. 由年温变化分析广东海陆气候属性特征 // 广东灾害性气候的分析和预测研究[M]. 广州: 中山大学出版社, 1999: 122-127.

The Characteristics of Climate Change of Rainfall in Dongguan in the Recent Half Century

WU Zhi-quan

(Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: To compute the statistic characteristics and power spectrum and trend analysis and suddenly change of rainfall series in Dongguan in the recent half century with various seasons such as spring summer and so on. The results show that, ① The statistic characteristics: the annual distribution is a double peak type; and it has the obvious monsoon rainfall features of dry season and wet season; The flood period rainfall has 82% in annual; the yearly rainfall has the distribution of platykurtosis and negative skewness, the rainfall of summer and autumn and winter have the distribution of positive skewness and leptokurtic, and the rainfall of spring and former flood term and later flood term have positive skewness and platykurtosis. ② The period oscillation: the winter and flood season rainfall exist the oscillation period of 4.71 a and 6.29 a, the later flood term and conjunction month rainfall exist quasi-biennial period oscillation. ③ The secular trend: the annual and later flood season and the flood season rainfall have the obvious descend trend of long range, but have not obvious long range trend in other seasons. ④ The Dongguan rainfall does not exist the suddenly change.

Key words: climatic change; rainfall; Dongguan city