

1961 – 2011 年深圳市降水变化趋势分析

丁楠¹, 俞芳琴², 刘俊¹, 王婷¹, 花培¹, 高颖会¹

(1. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京市浦口区水务局, 江苏 南京 211800)

摘要: 基于深圳市雨量站 1961 – 2011 年逐日降水资料, 利用 Mann – Kendall 法对深圳市年降水量、降水日数、降水强度、汛期降水量和非汛期降水量作趋势分析, 并采用有序聚类法对年降水量和降水强度进行突变检验, 采用小波分析法对年降水量和降水强度进行周期分析。结果表明: 年降水量、降水日数、降水强度、汛期降水量和非汛期降水量均为增加的趋势, 其中降水日数增加显著; 年降水量在 1963 年和 2008 年均发生了突变, 而降水强度突变时间发生在 1993 年; 年降水量和降水强度周期变化基本一致, 存在 6a 和 11a 左右的震荡周期, 且 1990 年后两者的周期变化更为明显。深圳市降水趋势的变化与该地区的城市高速发展有关, 准确认识深圳市降水趋势对该地区的城市发展意义重大。

关键词: 降水; 变化趋势分析; 城市化; 深圳市

中图分类号: TV125; P468.0⁺24

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)05-0061-04

Variation trends of precipitation in Shenzhen from 1961 to 2011

DING Nan¹, YU Fangqin², LIU Jun¹, WANG Ting¹, HUA Pei¹, GAO Yinghui¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Nanjing Pukou water authority, Nanjing 211800, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data from 1961 to 2011 in Shenzhen City, the precipitation trends in Shenzhen were investigated by performing the Mann – Kendall (MK) tests on the annual precipitation, precipitation days, precipitation intensity, flood season precipitation and non-flood season precipitation. The annual precipitation and precipitation intensity were tested on mutation by sequential cluster method and analyzed on period by wavelet method. The results indicate that the annual precipitation, precipitation days, precipitation intensity, precipitation in the flood season and non-flood season precipitation are increasing, and the precipitation days increase significantly. The mutation of the annual precipitation occurred in 1963 and 2008, and 1993 witnessed the mutation of the precipitation intensity. There are 6 years and 11 years oscillating periods in both the annual precipitation and precipitation intensity, and the periodic mutation become more obvious after 1990. These variation trends of precipitation in Shenzhen are related to the high-speed development of this city, and it is of great significance to accurately understand the influence of Shenzhen precipitation trends on urban development in this region.

Key words: precipitation; variation trend analysis; urbanization; Shenzhen City

1 研究背景

人类活动和气候的持续变化导致城市水文循环过程和降水的时空分布已经发生了深刻的变化, 准确认识降雨变化趋势对科学评估气候变化和预测未来气候变化有着重要的指导意义。降水是地表径流的本源, 由于降水的非线性和不确定性因素, 长历时

高强度的降水过程往往会造成城市内涝、洪水、泥石流、滑坡等次生灾害, 因此研究降水演变规律一直是水文气象的热点。陈峪等^[1]分析了我国十大流域的年、季节降水量的时空变化趋势特征, 发现我国降水主要集中在长江、珠江和东南诸河流域; 陆文秀等^[2]研究了近 50a 来珠江流域降水变化趋势, 发现流域全年、春季和冬季降水量呈微弱上升趋势; 顾骏

收稿日期: 2017-05-23; 修回日期: 2017-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471015)

作者简介: 丁楠(1992-), 男, 江苏宿迁人, 在读硕士研究生, 研究方向为城市防洪与减灾。

通讯作者: 刘俊(1968-), 男, 安徽当涂人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为城市防洪与减灾。

强等^[3]研究分析了中国华南地区气候和环境变化特征;王丽红^[4]分析了武汉市近 59a 降水变化趋势,发现降水时间序列具有分形特征和长程相关性;郑祚芳等^[5]分析了北京地区夏季极端降水事件的时空变化特征及城市化的影响,发现城市化对城市不同区域极端降水影响不一样;张建云等^[6]、宋晓猛等^[7]研究了变化环境下城市水文学的发展与挑战,提出了城市化对降水时间的影响。但目前针对深圳市降水变化趋势的研究还比较有限^[8-9]。为此,本文选取了年降水量、降水日数、降水强度、汛期降水量和非汛期降水量 5 个指标,采用 Mann-Kendall 法分析了 1961-2011 年来深圳市降水变化趋势^[10-11],并用有序聚类法和小波分析法对总降水量和降水强度进行了突变检验和周期分析。研究结果为深圳市降水预测和防汛指挥工作提供了新的理论依据。

2 研究区概况

深圳位于中国南部海滨,地处广东南部,珠江三角洲东岸,土地面积 1 996.85 km²,是中国改革开放的窗口,并已发展成为有一定影响力的国际化大都市。深圳属亚热带海洋性气候,雨量充足,但年内降水量变化比较大,汛期与非汛期降水差别明显。常年主导风向为东南偏东风,平均每年受热带气旋(台风)影响 4、5 次,高强度的降水很容易导致局地性的洪涝灾害。20 世纪 80 年代成立深圳特区后,深圳市城市发展迅速,全球气候变暖、急速增加的人口和相应的生产生活活动都对深圳气候造成了一定的影响。因此,本文利用 1961-2011 年深圳市降水资料,对其降水变化趋势进行分析。

3 资料与方法

3.1 研究资料

本文采用的资料为雨量站深圳站 1961-2011 年的逐日降水资料,且数据通过了三性审查。本次研究中的时间尺度包括了年、汛期和非汛期,其中汛期为每年的 4-9 月,非汛期为 10-翌年 3 月。

3.2 Mann-Kendall 检验

本文采用 Mann-Kendall (MK) 法对 1961-2011 年深圳站降水资料进行趋势分析。对于平稳独立序列 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, 定义统计量 S 为:

$$S = \sum_{i < j} a_{ij} \quad (1)$$

$$a_{ij} = \text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & (x_i < x_j) \\ 0 & (x_i = x_j) \\ -1 & (x_i > x_j) \end{cases} \quad (2)$$

当样本数量 n 比较大时,统计量 S 近似服从正态分布,其均值为 $E(S) = 0$, 方差为:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

Mann-Kendall 统计量 Z_{MK} 可用下面方法计算:

$$Z_{MK} = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{\text{Var}(S)} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ (S+1)/\sqrt{\text{Var}(S)} & (S < 0) \end{cases} \quad (4)$$

假定序列无趋势,采用双侧检验,在 α 显著性水平下,根据 $|Z_{MK}|$ 与 $|Z_{\alpha/2}|$ 的比较结果则可以判定序列趋势的统计显著性。

3.3 有序聚类法

选用有序聚类法对深圳市降水量进行突变分析。有序聚类法即寻找最优分割点,使同类间的离差平方最小。对序列 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, 设最可能的突变点为 t , 突变前后的离差平方和分别为:

$$V_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}_t)^2 \quad (5)$$

$$V_{n-t} = \sum_{i=t+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-t})^2 \quad (6)$$

$$S_n(t) = V_t + V_{n-t} \quad (7)$$

式中: $\bar{x}_t, \bar{x}_{n-t}$ 分别为突变点 t 前后的水文序列均值; $S_n(t)$ 为突变点 t 前后离差平方和, 当其取值最小时, t 点即为寻找的突变点。

3.4 小波分析法

多时间尺度指系统变化在时域中存在多层次时间尺度结构和局部化的特征,可以揭示在不同时间尺度下时域的演变规律和发展趋势。小波分析法可以通过增加或减小时间尺度得到低频或高频的信号信息^[12],实现对信号不同时间尺度和空间局部特征的分析与研究。该方法是利用小波函数和小波变化对降水序列计算出小波变换系数,从小波系数实部等值线图上可以分析出序列的周期。

4 结果与分析

4.1 趋势分析

图 1 为深圳市 1961-2011 年的年降水量、汛期降水量和非汛期降水量序列,年降水量变化幅度较大,近 51a 多年平均降水量为 1 909.7 mm;汛期和非汛期降水量差别明显,超过 85% 的年降水量集中在汛期。1961-1980 年的年均降水量为 1 902.6

mm,1991-2000 年的年均降水量为 1 992.8 mm,由此可见,改革开放后降水量明显比改革开放前增多,这与深圳快速的城市化进程密不可分。城市化的进程改变了深圳市下垫面的天然形态,全球变暖、热岛效应等都不同程度地影响了深圳市降水特性。

采用 MK 趋势检验法对深圳市近 51 a 的年降水量、降水日数、降水强度、汛期和非汛期降水量进行趋势检测^[13-14]。检验结果见表 1,年降水量及其他 4 项降水指标均呈现上升趋势,其中,年降水量和汛期降水量的 Z 值较低;只有降水日数通过了 95% 的显著性检验,说明 1961-2011 年期间,深圳市降水日数呈现了显著的上升趋势,同时,降水日数的增多也导致了深圳市年降水量的增加;降水强度呈不显著的上升趋势,降水强度的增强极易导致城市内涝、滑坡和洪涝等自然灾害的连锁反应。深圳位于东南沿海地区,其汛期降水量具有强度大、集中性强等特点,汛期降水量的趋势在过去 51 a 时间里也是呈上升的趋势,7-9 月又经常遭受台风天气,因此,未来深圳市的防汛工作需予以重视;非汛期的降水往往会伴随着寒潮,其降水量增加的趋势同样需要得到关注。

4.2 突变分析

应用有序聚类法对深圳市年降水量和降水强度进行突变分析^[15],计算与 t 对应的年降水量和降水强度的 $S_n(t)$,并点绘 $S_n(t)$ 变化曲线见图 2。由图

2(a)可以清晰看出,1963、2008 年为深圳市年降水量最显著的突变点,1963 年为本次研究的降水序列中降水量最少的年份(911.9 mm);历史资料显示 2008 年 6 月 13 日深圳市遭遇了罕见特大降水袭击,其降水强度接近 100a 一遇,同时深圳市 2008 年的降水量比 2007 年和 2009 年均高出了 1 000 mm 以上;图 2(b)为深圳市降水强度 $S_n(t)$ 变化曲线,根据图 2(b)并结合实测降雨数据判定降水强度的突变点为 1993 年,历史资料也显示 1993 年 9 月,受 9318 号台风的影响,深圳市遭到特大暴雨袭击,高强度的降水形成了约 10a 一遇的洪水,使全市交通基本瘫痪,重要市政设施遭受严重影响,损失惨重。

表 1 深圳市降水指标趋势分析

降水指标	Z_{MK}	$Z_{\alpha/2}$	变化趋势	显著性
年降水量	0.155	1.96	上升	不显著
降水日数	2.496	1.96	上升	显著
降水强度	1.274	1.96	上升	不显著
汛期	0.321	1.96	上升	不显著
非汛期	0.83	1.96	上升	不显著

4.3 周期分析

对深圳市 1961-2011 年年降水量和降水强度两个指标做 Morlet 小波变化得到小波系数实部等值图(图 3)^[10]。

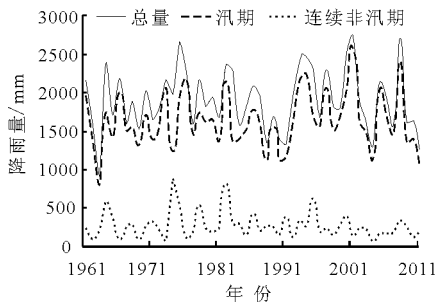


图 1 深圳市年、汛期、非汛期降水序列

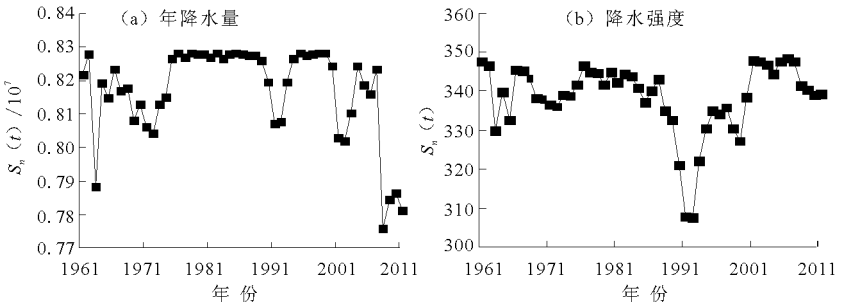


图 2 深圳市年降水量和降水强度的 $S_n(t)$ 变化曲线

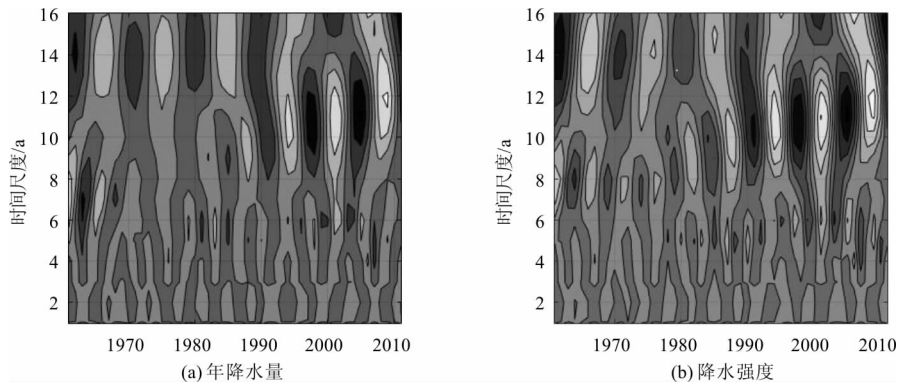


图 3 深圳市年降水量和降水强度的小波幻化实部值分布

由图 3 可以清晰看出该地区年降水量和降水强度数据在不同时间尺度上的周期震荡。从年降水量的小波变化系数实部等值线图(图 3(a))可以发现,深圳市年降水量存在尺度为 11 a 的主周期和 1 个 6 a 左右的副周期变化。其中在 20 世纪 90 年代到 21 世纪初,11 a 左右的周期强烈震荡,而 6a 震荡周期在近 51 a 中始终存在。

由图 3(b)可见,降水强度存在 5~6 a 和 10~12 a 的变化周期。10~12 a 的周期变化从 20 世纪 90 年代开始更为显著。

总体而言,年降水量和降水强度的变化周期相似,均存在 6a 和 11 a 左右的周期变化,且 1990 年后 11a 震荡周期表现最为显著,振幅最强。值得注意的是,由于本次研究的深圳市降雨资料的时间序列为 51a,因此本次只研究了可信度较高的小周期变化,对于更大尺度的周期变化,则需要更长的时间序列资料进行分析研究。

5 讨 论

在城市热岛效应与全球变暖的背景下,越来越多的人开始研究关注降水趋势的变化。通过对深圳站 1961~2011 年降水数据的研究,发现年降水量、降水日数等 5 个降水指标均呈上升趋势,这与陆文秀等^[2]对珠江流域全年降水强度趋势分析结果基本一致。突变检验和周期分析表明,深圳市年降水量和降水强度分别在 2008 和 1993 年发生了突变现象,且普遍存在 6 a、11 a 的变化周期,这与张恩洁等^[8]对深圳的降雨研究结果基本一致,即各要素均在进入 20 世纪 90 年代后有比较明显的变化趋势。汛期降水量占年降水量超过了 85%,深圳位于东南沿海地区,夏季风强劲,水汽来源充足,且该地区天气系统活动频发,热带高压、东风波、台风、热带辐合带等都会为深圳带来相当可观的降水。总体而言,深圳市 1961~2011 年的降水有所增加且降水强度变大,其中降水日数增加更为显著,今后需要重点关注。

6 结 论

基于 1961~2011 年的逐日降水资料,本文对深圳市降水变化趋势进行了研究,主要结论如下:

(1)深圳市年降水量、降水日数、降水强度、汛期降水量和非汛期降水量均呈上升趋势,其中降水日数增大趋势明显。

(2)深圳市年降水量突变时间为 1963 年和 2008 年,降水强度在 1993 年发生了突变,其中 2008 年和 1993 年深圳市均发生了罕见的大暴雨。

(3)年降水量和降水强度的变化周期基本相似,存在 6a 和 11a 左右的震荡周期,且 20 世纪 90 年代后周期变化更为明显。

参考文献:

- [1] 陈 峪,高歌,任国玉,等. 中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J]. 自然资源学报,2005,20(5):637-643.
- [2] 陆文秀,刘丙军,陈俊凡,等. 近 50 a 来珠江流域降水变化趋势分析[J]. 自然资源学报,2014,29(1):80-90.
- [3] 顾骏强,杨 军. 中国华南地区气候和环境变化特征及其对策[J]. 资源科学,2005,27(1):128-135.
- [4] 王丽红. 武汉市近 59 a 降水变化趋势分析[J]. 水电能源科学,2010,28(12):4-5+159.
- [5] 郑祚芳,王在文,高 华. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响[J]. 气象,2013,39(12):1635-1641.
- [6] 张建云,宋晓猛,王国庆,等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——I. 城市水文效应[J]. 水科学进展,2014,25(4):594-605.
- [7] 宋晓猛,张建云,王国庆,等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——II. 城市雨洪模拟与管理[J]. 水科学进展,2014,25(5):752-764.
- [8] 张恩洁,赵昕奕,张晶晶. 近 50 年深圳气候变化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2007,43(4):535-541.
- [9] Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, et al. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China[J]. Journal of Climate, 2005, 18(7): 1096-1108.
- [10] 张润润. 香港地区降水趋势及其演变过程分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2010,38(5):505-510.
- [11] 章诞武,丛振涛,倪广恒. 基于中国气象资料的趋势检验方法对比分析[J]. 水科学进展,2013,24(4):490-496.
- [12] Steel E A, Lange I A. Using wavelet analysis to detect changes in water temperature regimes at multiple scales: Effects of multi-purpose dams in the Willamette River basin[J]. River Research and Applications, 2007, 23(4): 351-359.
- [13] 刘 鑫,顾乐雨,王 屏,等. 近 30 年太湖流域极端降水特征分析[J]. 水电能源科学,2015,33(9):1-4.
- [14] 丁 楠,沙晓军,高颖会,等. 1961~2010 年浙江省极端降水特征分析[J]. 中国农村水利水电,2017(2):104-107.
- [15] 李保敏,张俊芝,吴 旭,等. 基于 Mann-Kendall 法和有序聚类法的径流变化特征研究[J]. 海河水利,2012(2):37-38+44.