

深圳市 1953 – 2012 年极端气候事件变化分析

黄国如^{a,b}, 冼卓雁^a

(华南理工大学 a. 土木与交通学院; b. 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘 要: 全球气候变化导致极端气候事件频发, 选择描述极端气候事件的相关指标, 利用 Mann – Kendall 趋势检验法等对深圳市 1953 – 2012 年极端气候指标进行分析。结果表明: 总体上深圳市降水频次与极端降水量均呈现起伏不定的变化规律, 四季极端降水量主要集中在夏季, 全年和四季降水量均没有明显的变化趋势。深圳市极端气温总体呈现较为显著稳定的变化状况; 极端高温事件不断增加, 极端低温事件不断减少, 且趋势显著, 同一季节的气温差异性较大, 且差异性呈现出比较显著的加大趋势。

关键词: 极端气候事件; 极端降雨; 极端降雨频次; Mann – Kendall 法; 稳定性分析; 深圳市
中图分类号: P468.0 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2014)03-0008-06

Analysis of change of extreme climate event in Shenzhen from 1953 to 2012

HUANG Guoru^{a,b}, XIAN Zhuoyan^a

(a. School of Civil Engineering and Transportation; b. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Extreme climate events are frequently occurred due to global climate change. The paper chose the relevant indexes which describe extreme climate event and used Mann-Kendall trend test method to analyze extreme climate indexes in Shenzhen from 1953 to 2012. The results show that the precipitation frequency and extreme precipitation in Shenzhen presented the change law of ups and downs. The extreme precipitation of four seasons concentrated in the summer, the annual and seasonal precipitation had no obvious change tendency. The change of extreme temperature in Shenzhen is significant and stable, the extreme high temperature events continuously increase, the extreme low temperature events continuously decrease, and the trend is notable, the temperature difference of same season is greater, and the difference appears a significant increase trend.

Key words: extreme climate events; extreme precipitation; frequency of extreme precipitation; Mann-Kendall method; analysis of stability; Shenzhen

近年来全球极端气候事件频发, 给经济社会和人民生活带来了严重的负面影响并造成巨大损失, 引起国内外学者普遍关注。目前对极端气候事件研究主要是基于气候统计学的极端事件指标, 即利用统计技术把气候要素离散成能反映其变化特征的相关指标, 分析得到极端气候事件的变化规律。Manton 等^[1]研究指出自 1961 年来东南亚和南太平洋地区热日和暖夜显著增加, 而冷日和冷夜在减少; Groisman 等^[2]也发现在过去的几十年里, 全球极端低温事件发生频率和霜冻天数都呈现减少趋势; Grif-

fiths^[3]等对亚太地区 1961 – 2003 年气温进行研究, 得知大多数地区日最高气温和最低气温显著增加, 冷夜和冷昼减少而暖夜增加。

董庆林^[4]对东北地区近 50 年来极端气候事件时空变化规律进行研究, 发现极端高(低)温阈值的空间分布存在着明显的南北和东西差异, 极端高温事件呈上升趋势, 而极端低温事件呈下降趋势, 极端降水事件呈微弱的下降趋势, 但变化幅度不大。张校玮^[5]对全国范围内的年最高温和高温日数进行了克里金插值, 得出全国极端高温事件时空特征。

收稿日期: 2014-01-23; 修回日期: 2014-02-09

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301093); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室自主研究课题项目(2014ZC09); 深圳市水务局科技项目(2013012)

作者简介: 黄国如(1969-), 男, 江苏人, 博士, 教授, 博导, 主要从事水文水资源研究。

近年来有学者利用深圳市气象站逐日最高、最低、平均温度等资料为基础,分析深圳气象要素平均值变化趋势和气候特点,结果表明深圳总体呈现气温升高、降水量起伏、相对湿度下降和日照时数减少趋势,尤其是进入 20 世纪 80 年代后,各气象要素都有了比较明显的变化趋势,与深圳市城市化发展时期较为吻合^[6-8]。上述已有的深圳市气候变化研究成果主要是针对深圳市气候平均值进行分析,近年来深圳市极端气候事件频发,需利用相关极端气候指数进行深入研究,进一步揭示深圳极端气候事件演变规律。

1 研究区域及资料情况

深圳市属亚热带季风气候,常年气候温和,雨量充沛。1953 – 2012 年间,年平均降水量 1913.5 mm,降水主要集中在雨季(4 – 9 月),其降水量占全年降水量约 85%,年均降水天数(日降水大于 1 mm)为 98 d,最大 1 日降水量为 334 mm。深圳市由于其南部临海的地理位置,夏秋季常受到来自太平洋的热带气旋气候影响,热带气旋常夹带大量水汽,对深圳市降水造成明显影响。

本文所需资料来自中国气象局国家气象信息中

心的中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)提供的深圳站 1953 – 2012 年逐日降水、日最高气温、日最低气温、日平均气温等气象资料。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在第四次评估报告中,根据气象要素的概率分布,将小于等于第 10 个(或大于等于第 90 个)百分位的事件定义为极端气候事件^[9]。本文将全序列日降水量从小到大排序,排在第 95 个百分位的降水量取为极端降水阈值,超过该阈值即为发生了极端降水事件。极端高温(低温)方面,将日最高温度(或日最低温度)从小到大排序,排在第 90(或 10)个百分位的温度值取为极端气温阈值,超过(低于)该阈值即为发生了极端高温(或低温)事件。

采用极端气候指数表征极端气候状况,较常使用的评价区域极端气候状况的指标是由 ETCCDMI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices)所定义并推荐使用的 27 个极端气候指数^[9-10],其中包括 11 个极端降水指数和 16 个极端气温指数,根据本研究对象具体情况,从中选择了 8 个极端降水指数和 6 个极端气温指数,其具体名称如表 1 所示。

表 1 极端气候指数定义			mm, d, ℃, %
	指数	名称	定义
极端降水指数	Rx1 day	最大 1 d 降水	最大 1 d 降水
	Rx5 day	最大连续 5 d 降水	最大连续 5 d 降水
	R10mm	强降水天数	日降水 ≥ 10 mm 的天数
	R20mm	大雨天数	日降水 ≥ 20 mm 的天数
	R50mm	暴雨天数	日降水 ≥ 50 mm 的天数
	SDII	降水强度	年降水总量与降水天数(日降水 ≥ 1mm)比值
	CDD	连续干旱天数	日降水 < 1mm 的最大连续天数
	R95pTOT	强降水量	日降水 > 全序列的 95% 的降水之总和
极端气温指数	SU30	极热天数	TX(日最高温) > 30℃ 的天数
	TR25	极热夜数	TN(日最低温) > 25℃ 的天数
	TXx	年最高温	日最高温的最大值
	TNn	年最低温	日最低温的最小值
	TN10p	冷夜	TN < 全序列 10% 的天数占全年天数比例
	TX10p	冷昼	TX < 全序列 10% 的天数占全年天数比例
	TN90p	暖夜	TN > 全序列 90% 的天数占全年天数比例
	TX90p	暖昼	TX > 全序列 90% 的天数占全年天数比例

2 分析方法

Mann – Kendall 检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法,许多学者将其应用

于分析降水、径流、气温等要素的时间序列趋势变化。检验统计量 Z 是服从标准正态分布的统计量,如果 $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$,表示其拒绝原假设,通过显著性水平为 α 的双边显著性趋势检验,即在 α 置信水平

上时间序列数据存在明显的上升或下降趋势, $|Z|$ 值越大表示增加或减少的趋势越明显。如果 $|Z|$ 大于或等于 1.28、1.64 和 1.96, 分别表示序列通过了显著性水平 $\alpha = 0.2$ 、0.1 和 0.05, 即置信度为 0.80、0.90 和 0.95 的显著性趋势检验。

为更好地体现水文气象序列的强弱变化特征, 以区分趋势强度等级, 根据 M-K 趋势检验结果定义了序列具有统计学意义的趋势强度为: ① 非常强: $|Z| \geq 1.96$; ② 强: $1.64 \leq |Z| < 1.96$; ③ 弱: $1.28 \leq |Z| < 1.64$; ④ 无趋势: $|Z| < 1.28$ 。

目前在水文气象序列趋势研究中, 国内外学者所采用的方法主要是对某一固定的时间序列进行检验, 这样的检测结果受所选时间段的影响较大, 对于同一要素, 很可能因为所选的序列时段不同而导致趋势结果也发生变化, 这样就很难判断出时间序列“真实”的变化趋势, 这也反映了趋势的不稳定问题。为了体现时间段的变化对序列趋势检测结果的影响, 也就是判别序列的变化趋势是否稳定, 本文利用式(1) 计算极端指数趋势变化的稳定性^[10]:

$$c = \frac{N_p}{M \times K} \times 100\% \quad (1)$$

式中: c 为用于确定序列趋势稳定性的指标; M 表示站点个数, 本研究仅针对深圳站极端气候事件进行研究, 故 $M = 1$; K 表示全序列中滑动 30 年的子序列个数, 深圳站序列为 1953 - 2012 年, 序列长度为 60 年, 滑动 30 年的子序列个数为 31, $K = 31$; N_p 表示通过 $\alpha = 0.1$ 显著性检验的子序列个数。

本文对趋势稳定性的判别条件定义如下: 当 $c \leq 30\%$ 时, 序列为不稳定趋势变化; 当 $30\% < c \leq 70\%$ 时, 序列为稳定趋势变化; 当 $c > 70\%$ 时, 序列为强稳定的趋势变化。

3 极端降水事件分析结果

3.1 极端降水事件的年分析

(1) 极端降水事件的频次分析。根据极端降水事件定义, 将深圳站 1953 - 2012 年逐日降水序列从小到大排序, 确定极端降水阈值, 统计每年发生极端降水事件频次, 利用线性回归方法分析其线性趋势(图 1)。

在深圳站 60 年序列中, 平均每年发生极端降水事件为 18 次; 年内发生次数最多的 1975 和 2001 年为 30 次, 其次为 1993 年的 28 次; 年内发生次数最少的 2004 年为 8 次。

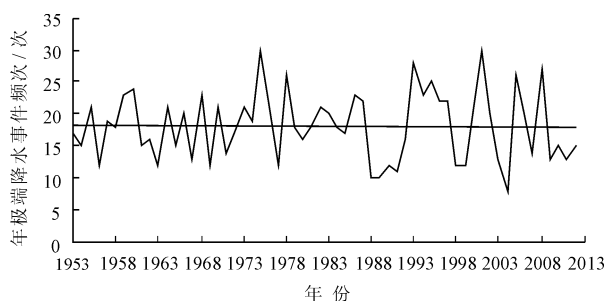


图 1 年极端降水事件频次

深圳站极端降水事件变化规律与当年热带气旋影响、热效应气体排放、全球大气环流等因素有关。深圳市极端降水情况整体呈现起伏不定状态, 在 20 世纪 80 年代初期以前, 极端降水事件频次较为稳定, 变幅较小; 到了 80 年代初期以后, 深圳站极端降水事件频次呈现变幅较大的状况。此阶段是深圳市社会经济开始迅速发展的时期, 深圳市在短时间内快速增加了大量工厂和汽车等排热源, 同时当地人口迅速增加, 排出了大量二氧化碳等热效应气体, 给深圳市极端降水带来一定影响。

运用 Mann-Kendall 趋势分析法计算年极端降水事件频次序列的 Z 值为 -0.09, 未通过置信度为 80% 的显著性检验, 极端降水事件发生频次呈非常微弱的减少趋势, 根据趋势变化的显著性水平分级标准, 可认为其随时间不呈现趋势变化。

(2) 年极端降水量分析。根据极端降水事件阈值, 统计每年发生极端降水事件的总降水量, 并用线性回归方法统计其随时间的变化规律, 结果如图 2 所示。

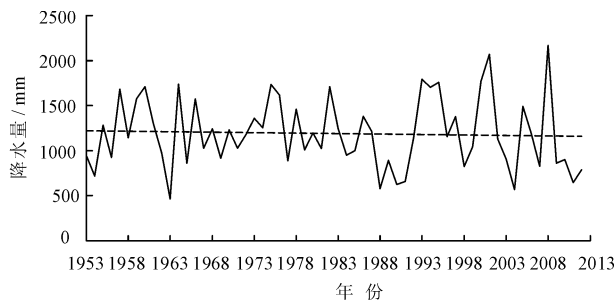


图 2 极端降水量变化图

在深圳站 60 年序列中, 多年平均年极端降水量为 1 190.5 mm; 年内极端降水量最大的为 2008 年的 2 169.2 mm (27 次), 而当年的总降水量为 2 710 mm, 占了全年降水的 80%, 其次是 2001 年的 2 068.4 mm (30 次) 和 1993 年的 1 792 mm (28 次); 年内极端降水量最少的 1963 年是 463.4 mm (12 次)。

由图 2 可以看出,深圳站极端降水量与其频次的变化规律相似,均是以 20 世纪 80 年代初期为界,80 年代初期前变化幅度较小,之后变化幅度较大。

运用 Mann – Kendall 趋势分析法计算年极端降水量序列的 Z 值为 -0.84 ,未通过置信度为 80% 的显著性检验,表明极端降水量随年份变化减少,降水量减少趋势较之降水频次稍明显。

3.2 极端降水量的四季分析

以每年 3 – 5 月、6 – 8 月、9 – 11 月、12 – 次年 2 月为界,划分深圳市春、夏、秋、冬四季,统计四季的极端降水量并进行趋势分析,结果如表 2 所示。

表 2 四季极端降水量占全年比例 mm, %				
四季	春季	夏季	秋季	冬季
降水量均值	266.20	673.20	228.6	22.50
降水量 Z 值	0.17	-0.72	-0.89	-0.53
占全年比例均值	22.36	56.55	19.20	1.89
占全年比例 Z 值	0.99	-0.24	-0.66	-0.43

由表 2 可以看出,深圳站四季极端降水量中,仅有春季极端降水量呈增加变化,夏秋冬季的极端降水量均呈现不同程度的减少趋势,四个季节趋势分析的 Z 值都较小,均未通过置信度为 80% 的显著性检验,可视为无明显趋势变化。

深圳市极端降水主要集中在夏季,占全年极端降水量约 56.55%,其次为春季,占全年比例约 22.36%,与深圳市降水月份分布情况相吻合。在占全年比例的趋势分析中,仅有春季的 Z 值大于 0,其余 3 个季节均呈现不同程度的下降变化,可视为无明显趋势变化。

总体来说,深圳市四季极端降水量向春季集中,但变化趋势并不明显。根据显著性水平分级定义,可认为四季极端降水为无明显趋势变化。

3.3 极端降水指数的趋势分析

(1)极端降水指数的趋势显著性分析。根据表 1 极端降水指数定义,统计深圳站 8 个极端降水指数序列,利用 Mann – Kendall 趋势检验法计算 Z 值,结果如表 3 所示。

表 3 极端降水指数趋势显著性							
指数	Rx1day	Rx5day	R10mm	R20mm	R50mm	SDII	CDD R95pTOT
Z 值	-1.55 *	-1.18	0.96	-0.11	-1.01	0.02	0.14 -0.84

注: * 为通过了 80% 的显著性检验。

从表 3 可看出,最大 1 日降水 Rx1day 和最大 5 日降水 Rx5day 均呈现不同程度的下降趋势,其中

Rx1day 通过了 80% 的显著性检验,呈现微弱变化趋势,反映了在日最大降水量减少的同时,极端降水事件的连续降水量减少。强降水天数 R10mm 呈增加趋势,大雨天数 R20mm 与暴雨天数 R50mm 均呈不同程度的减少趋势,反映出深圳市降水趋向平均。降水强度 SDII 和连续干旱天数 CDD 呈微弱的增加趋势,强降水量 R95pTOT 呈微弱的下降趋势。

总体来说,深圳市 8 个极端降水指数中,只有最大 1 日降水量 Rx1day 的趋势变化通过了置信度为 80% 的显著性检验,可视为呈现微弱的减少趋势,其余 7 个指数均不呈现明显的趋势变化。

(2)极端降水指数的趋势稳定性分析。对深圳站 8 个极端降水指数进行趋势稳定性分析,在其 31 个滑动 30 年子序列中,统计通过 $\alpha = 0.1$ 显著性检验的子序列个数 N_p ,利用公式(1) 计算得到 c 值,结果如表 4。

表 4 极端降水指数趋势稳定性 %							
指数	Rx1day	Rx5day	R10mm	R20mm	R50mm	SDII	CDD R95pTOT
c 值	29.03	22.58	0.00	0.00	0.00	0.00	9.68 0.00

由表 4 可以看出,深圳站 8 个极端降水指数的 c 值均小于 30%,均呈现不稳定的变化趋势,反映了深圳市极端降水变化规律的不稳定性。

4 极端气温事件分析结果

4.1 极端气温事件的年分析

根据极端气温事件定义,将深圳站 1953 – 2012 年日最高温度和日最低温度序列从小到大排序,确定极端气温阈值,统计每年发生极端高温(低温)事件频次,并利用线性回归方法统计其线性趋势,如图 3 所示。

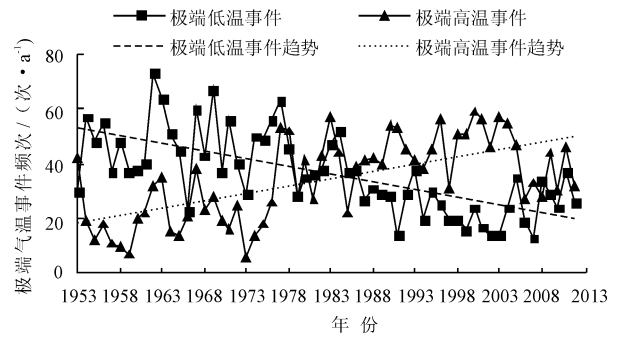


图 3 极端气温事件频次

由图 3 可看出,深圳市极端高温事件的发生频次呈非常显著的增加趋势,而极端低温事件则呈现相反的变化趋势,二者的变化趋势非常显著。

同时在纵向比较中,以 20 世纪 80 年代为分界,在此以前的高温事件发生频次比低温事件较少,而且两者变幅具有一致性;进入 80 年代以后,随着高温事件的不断增加以及低温事件的不断减少,极端高温事件频次开始比极端低温事件多。从深圳市城市发展的历史角度来看,20 世纪 80 年代以后,正是改革开放蓬勃发展之际,深圳市极速发展的城市化水平,对极端气温事件的频次造成了一定的影响。

4.2 极端气温的四季分析

将深圳站日最高(低)温度按四季(3-5 月为春季、6-8 月为夏季、9-11 月为秋季、12-次年 2 月为冬季)进行划分,统计每个季度的极端高温(低温)事件占全年的比例以及发生频次,并分别进行 Menn-Kendall 趋势分析,分析结果见表 5 和表 6。

表 5 四季的极端高温事件占全年比例 次, %				
四季	春季	夏季	秋季	冬季
频次均值	1.67	26.62	5.80	0
频次 Z 值	1.20	4.31***	4.27***	0
占全年比例均值	4.46	78.62	16.92	0
占全年比例 Z 值	0.67	-2.04***	2.60***	0

注: *、**、*** 分别为通过了 80%、90%、95% 显著性检验,以下涵义相同。

表 6 四季的极端低温事件占全年比例 次, %				
四季	春季	夏季	秋季	冬季
频次均值	3.18	0	1.62	31.70
频次 Z 值	-1.58*	0	-3.56***	-5.27***
占全年比例均值	9.04	0	3.60	87.36
占全年比例 Z 值	0.33	0	-3.26***	0.48

由表 5 可知,夏秋两季极端高温的发生频次均呈现非常显著的增加趋势,通过了置信度为 95% 的显著性检验。极端高温事件主要集中在夏季,所占全年比例呈现非常显著的减少趋势;秋季极端高温

事件所占比例仅次于夏季,所占全年比例呈现非常显著的增加趋势,且夏季和秋季均通过了置信度为 95% 的显著性检验。这反映了在极端高温事件发生频次不断增加的背景下,夏季所占比例有所减少,越来越多的极端高温事件发生在秋季。

而在表 6 的极端低温事件中,春、秋、冬三季极端低温的发生频次呈现不同程度的减少趋势,其中秋、冬两季变化趋势非常显著,均通过了置信度为 95% 的显著性检验。极端低温事件主要集中在冬季,所占全年比例呈现较小的增加趋势,可视为无明显趋势变化;而秋季极端低温事件所占全年比例呈现非常显著的减少趋势,通过了置信度为 95% 的显著性检验。

在表 5 和表 6 纵向比较中,在春、秋两季,极端高温事件频次呈增加趋势而低温事件呈减少趋势,反映了这两个季节中的气温极端性更为明显,呈现差异性增大的趋势。秋季的极端高温事件发生频次和所占比例均呈现较为显著的增加趋势,与此同时,其极端低温事件呈现相反的减少下降变化趋势,高低温的差异性呈现非常显著的加大趋势。春季的变化情况与秋季相似,趋势变化不及秋季显著。但春季极端低温占全年比例略有增加,可视为无明显趋势变化。而在夏、冬两季中则呈现较为简单的变化趋势,即夏季极端高温事件增加,冬季极端低温事件减少。总体来说,极端高温主要集中在夏季,而秋季所占比例越来越大,极端低温主要集中在冬季,并无明显的趋势变化,年内各个季节的气温差异性较大,气温变化多端,且差异性呈现比较显著的加大趋势。

4.3 极端气温指数的趋势分析

(1) 极端气温指数的趋势显著性分析。根据表 1 对极端气温指数定义,计算 8 个极端气温指数,并进行 Menn-Kendall 趋势分析,见表 7。

表 7 极端气温指数趋势显著性								%
指数	SU30	TR25	TXx	TNn	TN10p	TX10p	TN90p	TX90p
Z 值	3.48***	6.55***	3.04***	3.78***	-5.35***	-1.73**	6.53***	5.01***

极热天数 SU30 和极热夜数 TR25 均呈现较显著的增加趋势,均通过了置信度为 95% 的显著性检验,反映了深圳市极端高温事件的发生次数呈明显增加趋势。

年最高温度 TXx 和年最低温度 TNn 均呈现较显著的增加趋势,均通过置信度为 95% 的显著性检

验,反映了深圳市极端高温事件的发生强度呈明显增加趋势。

暖夜、暖昼、冷夜、冷昼 4 个极端气温指数中,暖夜 TN90p 和暖昼 TX90p 呈显著的上升趋势,冷夜 TN10p 和冷昼 TX10p 呈显著的下降趋势,这表明随着时间发展,深圳市暖夜和暖昼占全年比值增加,冷

夜和冷昼占全年比值减少,极端高温事件增加,而低温事件减少,年内极端气温事件的差距增大。

总体而言,通过对深圳市 8 个极端气温指数的趋势分析,发现深圳市极端高温事件发生的次数和强度均呈现显著的增加趋势,整体上符合全球变暖的变化走向。

(2)极端气温指数的趋势稳定性分析。通过对深圳站 8 个极端气温指数进行趋势稳定性分析,在其 31 个滑动 30 年子序列中,统计通过置信度为 90% 检验的个数占全部子序列个数百分比的情况,并根据趋势稳定性水平分级标准,结果见表 8。

表 8 极端气温指数趋势稳定性								%
指数	SU30	TR25	TXx	TNn	TN10p	TX10p	TN90p	TX90p
c 值	41.94	87.10	32.26	58.06	80.65	25.81	87.10	77.41
稳定性	稳定	强稳定	稳定	稳定	强稳定	不稳定	强稳定	不稳定

上述 8 个指数中,仅有冷昼 TX90p 不呈现稳定的变化趋势,其余 7 个指数均呈现较为稳定的变化趋势,其中极热夜数 TR25、冷夜 TN10p、暖昼 TX90p、暖夜 TN90p 均呈现强稳定特征,总体来说,深圳市极端高(低)温的变化趋势较为稳定。

综合以上分析可知,深圳市极端气温总体呈现较为显著稳定的变化状况,极端高温事件不断增加,极端低温事件不断减少,且趋势显著。在年内分析中,深圳市同一季节的气温差异性较大,气温变化多端,且差异性呈现比较显著的加大趋势。深圳站 8 个极端气温指数中,仅有冷夜 TN10p 和冷昼 TX10p 呈显著的下降趋势,其余呈现非常显著的增加趋势,且大多数呈现稳定的变化规律,反映了深圳市气温显著增加的特点,也符合全球气温升高、炎热天气加剧的情况。

5 结 语

深圳市极端降水和气温变化与其飞速发展的城市化水平和全球气候变化有着密切的联系,本文对深圳市基本气象站长序列资料进行分析,得出如下结论:

(1)深圳市极端降水频次与极端降水量均呈现了起伏不定的变化规律,总体来说没有呈现增加或减少的趋势变化。四季极端降水量主要集中在夏季,也没有呈现明显的趋势变化。深圳市最大 1 日降水量呈微弱的减少趋势,但趋势不稳定,其余 7 个

极端降水指数不呈现明显稳定的趋势变化。总体来说,深圳市极端降水没有明显稳定的变化趋势。

(2)深圳市极端气温呈现出较为显著稳定的变化,极端高温事件不断显著增加,极端低温事件不断显著减少。大多气温指标均呈现非常显著的增加趋势,且呈现稳定的变化规律,反映了深圳市气温显著增加的特点,与全球气温升高、炎热天气加剧状况相符。

(3)深圳市极端气候条件演变规律与深圳市近年来飞速发展的社会经济导致的下垫面剧烈改变以及人工热源大量增加有关,也与全球气温升高的影响有较为密切的联系。

参考文献:

[1] Manton M J, Della - Marta P M, Haylock M R, et al. Trends in extreme daily rainfall and temperature in South-east Asia and the South Pacific: 1961 – 1998[J]. International Journal of Climate, 2001, 21(3): 269 – 284.

[2] Groisman P Y, Karl T R, Easterling D R, et al. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climate change[J]. Climatic Change, 1999, 42(1): 243 – 283.

[3] Griffiths G M, Chambers L E, Haylock M R, et al. Change in mean temperature as a predictor of extreme temperature change in the Asia – Pacific region[J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(10): 1301 – 1330.

[4] 董庆林. 东北地区近 50 年来极端气候事件时空变化特征[D]. 长春: 东北师范大学, 2011.

[5] 张校玮. 我国极端气候时空特征及风险分析——以高温为例[D]. 上海: 上海师范大学, 2012.

[6] 王 博, 郭 明, 张丽. 近 60 年深圳气候平均值变化特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2012, 35(2): 67 – 71.

[7] 王明洁, 张小丽, 朱小雅, 等. 1953 – 2005 年深圳灾害性天气气候事件的变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 350 – 355.

[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] Climate Change 2007 Synthesis Report: Summary for Policymakers[M]. IPCC Secretariat, 2007.

[10] Lupikasza E. Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951 – 2006[J]. International Journal of Climatology, 2006, 30(7): 991 – 1007.