

# 深圳多年降水变化规律和雨岛效应分析

陈申鹏

(深圳市气象局, 深圳市国家气候观象台, 深圳 518040)

**摘要:** 利用深圳及周边城市的降水、气温等气象观测数据, 分析了深圳多年降水变化和雨岛分布特征及其相关的影响因素。结果表明: 深圳年雨量呈现振荡变化, 其中21世纪00年代年际变化最大, 主要与云凝结核浓度变化有关; 城市化导致深圳及周边城市降水强度增加, 不单纯是热力因素的结果, 还有其他因素的作用; 城市化和地形共同决定了深圳的雨岛分布格局, 前汛期主要受地形影响, 后汛期主要受城市化影响, 非汛期同时受城市化和地形影响; 暴雨是深圳降雨年际变化的决定性因素, 以及雨岛分布的主要贡献者。

**关键词:** 城市化, 城市热岛, 雨岛, 云凝结核

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.024

## Multi-Year Variation of Precipitation and Rain Island Effect in Shenzhen

Chen Shengpeng

(Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen 518040)

**Abstract:** Based on the meteorological observation data such as precipitation and temperature in Shenzhen and surrounding cities, the characteristics of precipitation multi-year variation and the distribution of rain island in Shenzhen are analyzed, as well as the related influencing factors. The results are shown as follows. The annual precipitation in Shenzhen shows an oscillating variation, especially the inter-annual fluctuation in the 2000s is the largest, mainly due to the cloud condensation nodule concentration variation. Under the background of urbanization, it shows a certain increasing trend of the rainfall intensity in Shenzhen and surrounding cities, due to thermodynamic factor and other factors. Urbanization and topography together determine the rain island distribution pattern in Shenzhen. The rain island distribution is mainly affected by topography in the early stage of the flood season; that in later flood season is mainly affected by urbanization; that in non-flood season is affected both by urbanization and topography. In Shenzhen, heavy rain is the determining factor of the inter-annual precipitation variation and the rain island distribution.

**Keywords:** urbanization, urban heat island, rain island, cloud condensation nodule

### 0 引言

在全球气候变化和城市化的双重影响下, 城市降雨及其空间分布正在发生变化。王艳娇等<sup>[1]</sup>分析了中国不同区域的降水年代际变化特征, 发现华南地区降水呈增加趋势, 且阶段性变化明显; 袁金南等<sup>[2]</sup>分析了广东热带气旋及其降水的年代际变化特征, 发现广东热带气旋降水存在峰值为25 a左右的振荡周期; 伍红雨等<sup>[3]</sup>的研究发现, 华南降水存在年雨日明显减少、雨强明显增大的变化趋势。雨岛效应方面, 于淑秋<sup>[4]</sup>、郑祚芳等<sup>[5]</sup>对北京地区降水变化的研究表明, 城市化快速发展对区域降水有增幅效应, 但这种效应有限, 不足以改变降水量的大尺度变化趋势, 北京地区

天气过程强(涝年)时, 雨岛增强, 天气过程弱(旱年)时, 雨岛减弱甚至消失; 曹琨等<sup>[6]</sup>对上海雨岛效应及其变化的研究表明, 上海雨岛效应主要存在于汛期, 非汛期雨岛较弱或无雨岛, 21世纪上海城区、郊区降水较20世纪80年代、90年代波动变小, 考虑到与工厂烟尘治理和城市绿化导致的城市热岛和云凝结核因素受抑制有关; 陈圣劫等<sup>[7]</sup>对南京的研究表明, 城市化进程对一般性降雨的城郊差异影响较小, 却使城区夏季暴雨和短时强降水等灾害性降水事件明显加强。

以往的研究主要集中于北京、上海、南京等传统大城市, 尚无针对深圳雨岛效应的专门研究。深圳作为改革开放的前沿城市, 40 a来创造了我国乃至世界城市发展的奇迹, 从一个边陲小镇发展成一个超大型的国际化大都市, 城市化率达到100%, 而且深圳采用组团式的规划和发展策略, 与传统大城市“摊大饼”

收稿日期: 2018年11月26日; 修回日期: 2019年4月13日  
作者: 陈申鹏(1984—), Email: 306709482@qq.com

的格局有本质区别，因而研究快速城市背景下深圳的降水变化规律及其机制，有其特别的意义。

## 1 深圳多年降水变化分析

深圳国家基本气象站逐年降雨量和11 a滑动平均降雨量变化如图1所示。由图1可见，深圳多年雨量呈振荡变化，存在小幅的增多趋势，但并不显著（未通过0.1的显著性水平检验），特别是自20世纪90年代以来，降水的增多与平均气温上升趋势高度一致。从11 a滑动平均曲线来看，20世纪50年代后期、70年代中后期和90年代后期出现三个峰值，60年代中后期、80年代中后期和21世纪0年代中后期出现三个谷值，呈现一定的周期变化（注：深圳国家基本气象站于2006年迁站，为客观反映城市化影响，2006年之后仍采用原站址数据，下同）。

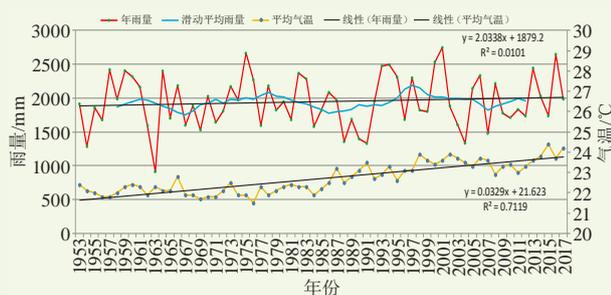


图1 深圳逐年累计雨量及11 a滑动平均雨量以及逐年平均气温

Fig. 1 Annual accumulated and 11-year moving average precipitation and annual average temperature in Shenzhen

### 1.1 降水年际波动

逐年降雨量年际变化规律并不明显，但若以深圳国家基本气象站多年气候平均雨量为基准，以年雨量偏多（或偏少）25%或以上为偏涝（或偏旱）年，得到深圳每个年代偏涝（偏旱）年数分布；并对深圳1970年以来各个年代分别做年降水量标准差，并除以相应的算术平均值，得各年代年降水量的变异系数，以反映降水年际波动。结果如表1所示。

由表1可见，深圳1990年以来偏涝年明显增多，偏旱年也略有增多，年际旱涝变化增大，变异系数也反映出20世纪90年代和21世纪00年代深圳降水量年际波动较大，其中21世纪00年代波动最大。这与曹琨

表1 深圳逐年代偏旱、偏涝年数

Table1 Inter-decadal numbers of dry year and flood year in Shenzhen

年代	50	60	70	80	90	00	10
偏涝年	0	0	1	0	2	2	2
偏旱年	1	1	0	1	2	1	0
变异系数	/	/	0.16	0.17	0.22	0.24	0.17

等<sup>[6]</sup>的研究结果一致，即城市化可能增加了极端降水事件出现的概率。考虑主要是大气中云凝结核浓度变化导致了这种降水年际波动的年代际差异，分析如下：

经济同样高速发展的21世纪00年代，深圳降水年际波动却有所减小，两个年代的主要差异是灰霾日数（图2）。20世纪90年代深圳灰霾日数增加趋势明显，在21世纪00年代中期达到峰值，导致21世纪00年代成为深圳灰霾最多的10年，2010年后随着产业结构调整，深圳灰霾明显减少减轻。PM<sub>2.5</sub>数据积累较少，从2011年以来数据看，深圳年均PM<sub>2.5</sub>浓度与灰霾日的下降趋势高度一致，大致可以推断21世纪00年代也是深圳PM<sub>2.5</sub>等云凝结核浓度最高的年代。充足的云凝结核在多雨年份有利于降水的进一步增多，在少雨年份却稀释了本来就稀缺的水汽，起到抑制降水的作用，直接的结果就是使降水年际波动增大。有关文献<sup>[8-10]</sup>也表明，丰富的云凝结核在水汽缺乏的情况下会降低云滴相互碰并进而减小雨滴形成和降水效率，但在水汽充足情况下则具有增进从云滴到雨滴和降水转化的作用，形成任国玉等<sup>[11]</sup>所归纳的“贫者愈贫，富者愈富”的效应。



图2 深圳1980年以来逐年灰霾日数及2011年以来逐年PM<sub>2.5</sub>平均浓度

Fig. 2 Annual haze days since 1980 and annual average PM<sub>2.5</sub> concentration since 2011 in Shenzhen

### 1.2 降水强度变化

根据Trenberth等<sup>[12]</sup>的分析，气温每升高1 °C，降水强度约可以增加7%。做深圳及周边东莞、惠阳、中山三市的11 a滑动平均气温和平均雨强（雨量/降雨日）的散点图（图3），发现各市雨强随平均气温的升高都呈现不同程度的增强趋势，呈现显著的正相关（均通过0.01的显著性水平检验）。但从增加幅度来看，气温每升高1 °C，雨强增加10%左右，惠阳的增加幅度甚至达到了20%，大于Trenberth仅考虑热力因素的增幅，这反映除热力因素外，还存在其他因素（如上文提到的云凝结核）造成降水强度增幅。

## 2 深圳雨岛效应分析

选取近10 a（2008—2017年）全市数据较完整的

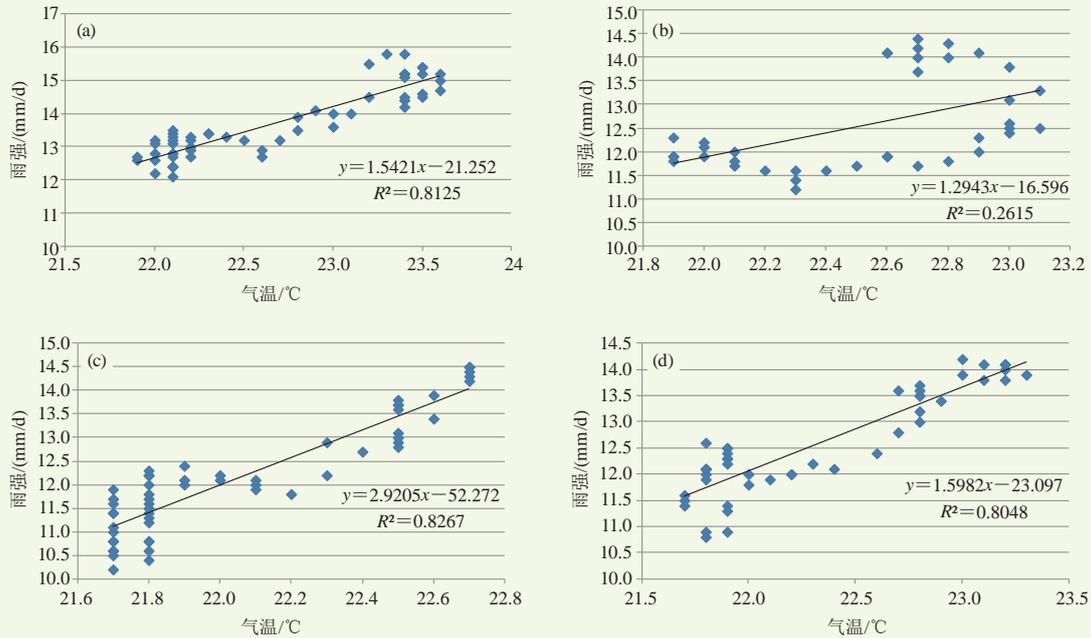


图3 深圳及周边各市11a滑动平均气温和雨强散点图

(a) 深圳; (b) 东莞; (c) 惠阳; (d) 中山

Fig. 3 Scattered plots of 11-year moving average temperature and rainfall intensity in Shenzhen and surrounding cities (a) Shenzhen; (b) Dongguan; (c) Huiyang; (d) Zhongshan

87个自动气象站, 参考文献[13]的做法, 用深圳87个站10年的降水量(记为 $R_{ij}$ ,  $i=1,2,\dots,87$ ,  $j=1,2,\dots,10$ )数据, 对87站年降水量(或某特定时段、级别降水量)做平均, 得到深圳多年降水量序列(记为 $R_j$ ), 它的多年平均记为 $R_m$ , 定义局地降水距平百分率为:

$DR_{ij} = (R_{ij} - R_j) / R_m$ . 对 $DR_{ij}$ 在 $j$ 方向上做平均, 得到87个自动站局地降水距平百分率的多年平均值, 进一步得到深圳近10 a的城市雨岛图。

依次对全年、前汛期、后汛期和非汛期降雨量进行上述处理, 得到不同时段的热岛分布图(图4)。

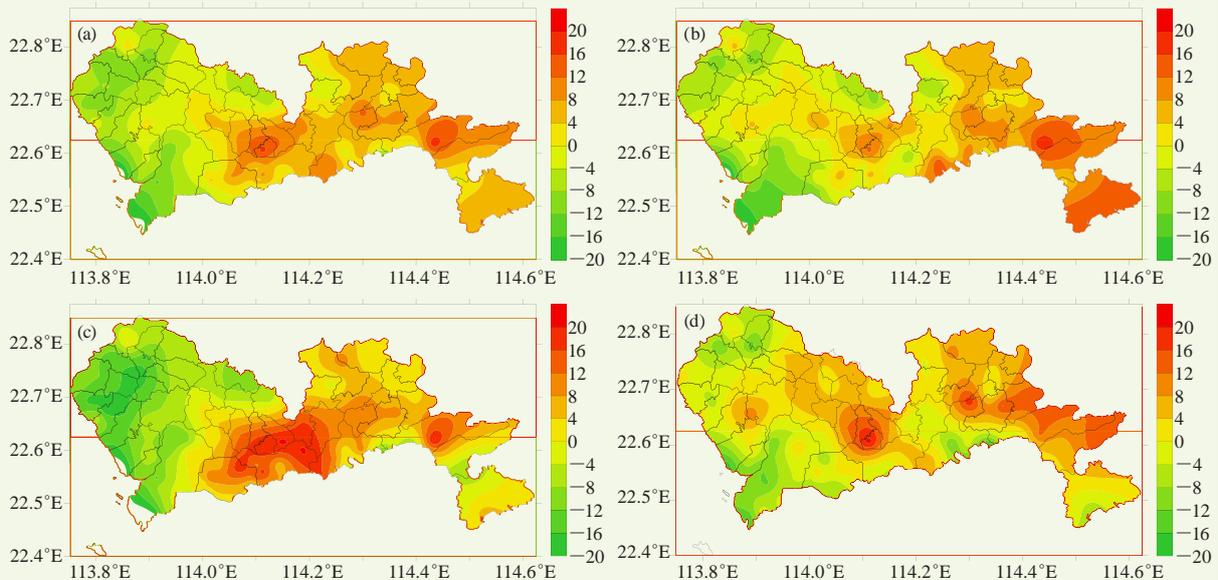


图4 深圳近10 a (2008—2017年) 不同季节雨岛分布图(单位: %)

(a) 全年; (b) 前汛期; (c) 后汛期; (d) 非汛期

Fig. 4 Rain island distribution in different seasons of Shenzhen in recent 10 years (2008—2017) (unit: %)

(a) whole year; (b) pre-flood season; (c) latter flood season; (d) non-flood season

从全年来看，深圳有3个城市雨岛中心，主要位于中、东部，分别为罗湖区北部及其以北的龙岗区西部坂田、布吉、吉华、南湾、横岗等街道，坪山区西部碧岭、马峦街道，以及大鹏新区北部葵涌、大鹏街道。中部的雨岛中心与深圳夏季城市热岛中心（图5）大致重合，说明该雨岛中心的形成与城市热岛有关；东部的雨岛中心主要位于东部山区的北侧，主要由山地抬升所致。

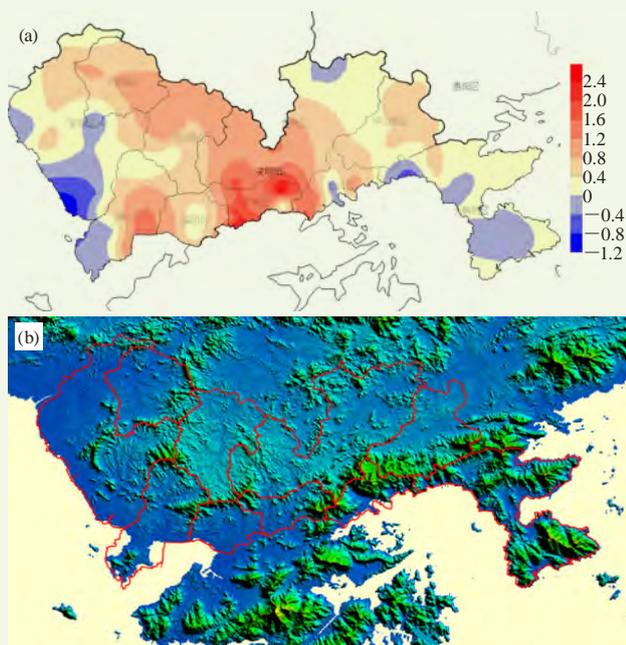


图5 深圳夏季城市热岛分布图 (a) 和地形图 (b)  
Fig. 5 Urban heat island distribution in summer (a) and topographic map (b) of Shenzhen

前汛期主要雨岛中心位于东部的大鹏半岛，另两个雨岛中心明显减弱，主要系前汛期降水中季风降水（即俗称的“龙舟水”）占了很大比重，这种大范围持续性降水容易受地形影响，导致降水中心集中于深圳东部山区。后汛期主要的雨岛中心位于中部，强度和范围明显超过全年，主要系后汛期以台风、东风波等热带系统和局地热对流降水为主，因此受局地的热力对流及气溶胶等影响显著。非汛期则中、东并重，三个雨岛中心位置与全年基本一致，说明深圳非汛期降雨分布受地形和城市化的影响均较明显，这与曹琨等<sup>[6]</sup>上海非汛期雨岛较弱或无雨岛的结果有所不同。

### 3 暴雨与深圳降水时空变化

根据文献[14]，将一段时间内不同等级降水量在总降水量中所占比例定义为该等级降水的降水量负荷。对深圳国家基本站（1953—2017年共65 a，下同）降水数据分析表明，深圳暴雨以上降水的降水量负荷在40%左右，小于暴雨以下降水（非暴雨）的降

水量负荷（图6）。下面分析暴雨和非暴雨降水对深圳雨量年际变化和空间分布的贡献。

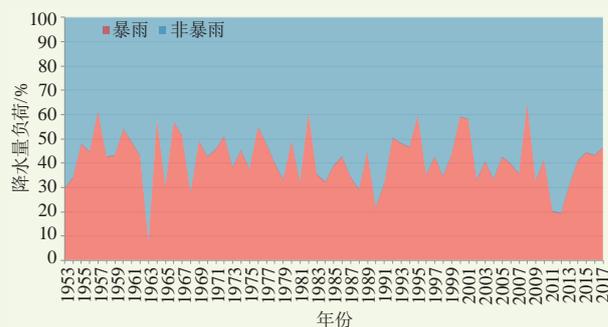


图6 深圳逐年暴雨和非暴雨雨量百分比面积堆积图  
Fig. 6 Percentage area accumulation map of annual precipitation of heavy rain and rainfall of other grades in Shenzhen

### 3.1 暴雨对深圳降水年际变化的影响

计算深圳国家基本气象站多年暴雨和非暴雨雨量的相关统计值得出表2。由表2可见，虽然暴雨降水量负荷小于非暴雨，雨量年际波动却远远大于非暴雨；暴雨量与逐年总雨量的相关系数高达0.86，也明显高于非暴雨量与逐年总雨量的相关系数（0.56）。此外，深圳多年暴雨降水量负荷和年总雨量呈显著正相关（相关系数0.62，通过0.01的显著性水平检验），偏涝年暴雨降水量负荷均高于偏早年，平均值分别为47.7%和26.2%。这充分说明了暴雨是深圳雨量年际变化的决定性因素，总体上雨量越多的年份，不仅暴雨的总量越大，暴雨量占比也越高。

表2 深圳多年雨量（暴雨量、非暴雨量）统计分析  
Table 2 Statistical analysis of Shenzhen's precipitation (heavy rain and rainfall of other grades)

	均值	最大值	最小值	变异系数	与总雨量 相关系数	降水量负荷与 总雨量相关系数
总雨量/mm	1945.6	2747	912.5	0.20	1	/
暴雨量/mm	848.5	1599.1	66.8	0.38	0.86	0.62
非暴雨量/mm	1097.1	1662.4	777	0.18	0.56	-0.62

### 3.2 暴雨对深圳雨岛分布的影响

参照第2节中的雨岛分析方法，分别对近10 a暴雨和非暴雨雨量做雨岛分布图（图7）。由图可知，深圳暴雨雨岛分布与总雨量雨岛分布基本一致，但强度更强，区域分布极不均匀，非暴雨雨岛不明显，这说明暴雨是深圳雨岛的主要贡献者。

## 4 结论

1) 深圳年雨量呈振荡变化的型式，不同年代雨量年际波动不同，21世纪00年代波动最大，2010年以来有所减小。

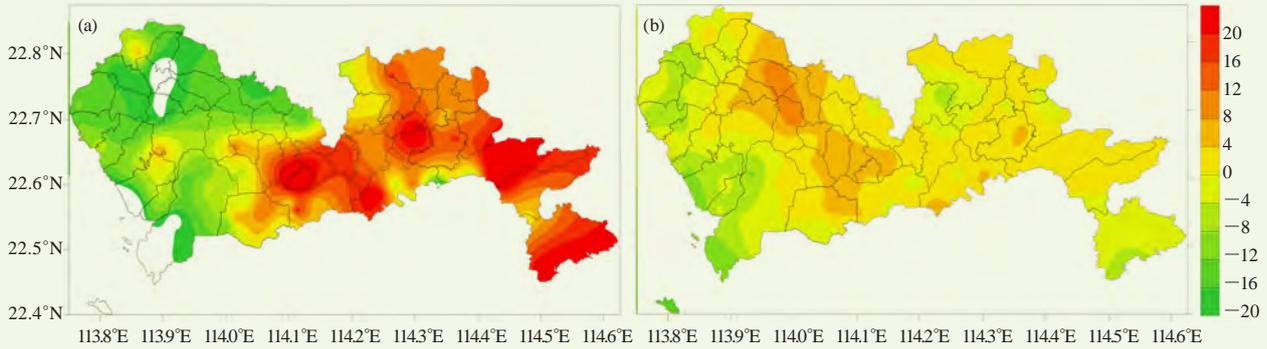


图7 深圳近10a (2008—2017年) 不同量级降水雨岛分布图 (单位: %)  
(a) 暴雨; (b) 非暴雨

Fig. 7 Rain island distribution with different grades of precipitation in Shenzhen in recent 10 years (2008—2017) (unit: %)  
(a) heavy rain; (b) rainfall of other grades

2) 深圳降雨年际波动主要和环境空气质量变化伴随的云凝结核变化有关; 深圳及周边城市降水强度增大, 既有热力因素, 也有热力之外的因素。

3) 城市化和地形共同决定了深圳主要雨岛中心位于中部和东部, 其中前汛期地形抬升对降雨的增幅明显, 导致雨岛主要位于东部山区, 后汛期降雨分布受城市化影响较大, 导致雨岛中心主要位于中部, 与夏季热岛中心基本重合。

4) 暴雨在深圳的降水量负荷小于非暴雨, 却是深圳降雨量时空分布的主要决定因素, 不仅影响着降雨年际变化, 也对雨岛分布起着决定性作用。

参考文献:

[1] 王艳蛟, 闫峰. 1960—2010年中国降水区域分异及年代际变化特征. 地理科学进展, 2014, 33(10): 1354-1363.  
[2] 袁金南, 郑彬. 广东热带气旋降水年代际变化特征的分析. 热带气象学报, 2010, 26(4): 385-391.  
[3] 伍红雨, 杜尧东, 陈桢华, 等. 华南雨日、雨强的气候变化. 热带气

象学报, 2011, 27(6): 877-888.  
[4] 于淑秋. 北京地区降水年际变化及其城市效应的研究. 自然科学进展, 2007(5): 632-638.  
[5] 郑祚芳, 高华, 王在文, 等. 北京地区降水空间分布及城市效应分析. 高原气象, 2014, 33(2): 522-529.  
[6] 曹琨, 葛朝霞, 薛梅, 等. 上海城区雨岛效应及其变化趋势分析. 水电能源科学, 2009, 27(5): 31-33, 54.  
[7] 陈圣劼, 尹东屏, 李玉涛, 等. 南京地区城郊降雨差异特征分析. 气象与环境学报, 2016, 32(6): 27-33.  
[8] Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. Science, 2000, 287(5459): 1793-1796.  
[9] Rosenfeld D, Lohmann U, Raga G B, et al. Flood or drought: how do aerosols affect precipitation? Science, 2008, 321(5894): 1309-1313.  
[10] Stevens B, Feingold G. Untangling aerosol effects on clouds and precipitation in a buffered system. Nature, 2009, 461(7264): 607-613.  
[11] 任国玉, 柳艳菊, 孙秀宝, 等. 中国大陆降水时空变异规律——III. 趋势变化原因. 水科学进展, 2016, 27(3): 327-348.  
[12] Trenberth K E, Dai A, Rasmussen R M, et al. The changing character of precipitation. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 84(9): 1205-1217.  
[13] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2005(1): 39-45.  
[14] 廖镜彪, 王雪梅, 李玉欣, 等. 城市化对广州降水的影响分析. 气象科学, 2011, 31(4): 384-390.

2018年深圳局地暴雨以上日数创新高

2018年, 深圳年平均雨量2047.3 mm, 与近5年平均均值 (2032.3 mm) 基本持平。深圳国家基本气象站年累积雨量1957.4 mm, 与常年气候平均值 (1935.8 mm) 也基本持平。2018年, 全市范围暴雨以上日数11 d, 仅次于2008年 (15 d), 全市范围大暴雨以上日数6 d, 是与2008年并列最多的一年。局地暴雨以上日数达到56 d, 局地特大暴雨5 d, 均超过2008年成为近10年来最多的一年; 2018年6月6日, 受台风和季风叠加影响, 当日最大小时雨量达到124.8 mm (盐田港站), 为历史第二高; 2018年8月29—31日受季风影

响, 全市连续3天局地特大暴雨, 成为有气象记录以来首次持续3天局地特大暴雨。



——摘自《2018年深圳市气候变化公报》, 深圳市气象局, 2019年1月