

# 2008—2017年深圳降水时空特征研究

卢晓雄<sup>1,2</sup> 李晴岚<sup>1</sup> 陈申鹏<sup>3</sup> 张凯<sup>3</sup> 孙立群<sup>1</sup> 陈潜<sup>3</sup> 张立杰<sup>3</sup>

(1 中国科学院深圳先进技术研究院, 深圳 518055; 2 湘潭大学, 湘潭 411100; 3 深圳市气象局, 深圳 518040)

**摘要:** 利用深圳市2008—2017年数据完整率超过95%的78个自动气象站小时雨量资料, 采用一种“邻近”站点填补方法对缺失和异常数据进行填补, 对深圳市近10年的年降雨量和月降雨量的时空特征进行研究, 使用深圳国家基本站数据分析降水的日内变化特征和规律。结果表明: 深圳市近10年的年平均降雨量为1863.9 mm, 大部分行政区降水有不显著 ( $p=0.05$ ) 微弱上升, 10年间的降雨日有不显著的增加。年内各月降雨分配不均, 6月降雨最多。各月降雨的变化幅度不一致, 5、6和8月年际变化相对较大。降雨的日内变化特征表现为, 夜间降雨少于白天, 春季降雨峰值出现在午后, 夏季降雨峰值出现在午前, 秋季降雨具有双峰性, 冬季降雨少, 日内分布相对均匀。月降雨空间分布上呈现两种型态, 第一模态是深圳西北地区降雨低于其他地区降雨, 降雨高值集中在中部地区和东南地区; 第二模态是深圳地区月降雨呈现西北向东南方向逐级增加或减少。研究深圳地区降雨的时空特征, 对深圳市防汛抗灾, 水资源的利用和管理具有重要指导意义。

**关键词:** 深圳市, 降雨, 时空特征

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.03.025

## Temporal and Spatial Precipitation Characteristics in Shenzhen from 2008 to 2017

Lu Xiaoxiong<sup>1,2</sup>, Li Qinglan<sup>1</sup>, Chen Shenpeng<sup>3</sup>, Zhang Kai<sup>3</sup>, Sun Liqun<sup>1</sup>, Chen Qian<sup>3</sup>, Zhang Lijie<sup>3</sup>

(1 Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055

2 Xiangtan University, Xiangtan 411100 3 Meteorological Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen 518040)

**Abstract:** This study used the hourly precipitation data of 78 automatic weather stations (AWSs) in Shenzhen with more than 95% data availability from 2008 to 2017. The missing and abnormal data for the AWSs were first replaced or corrected by the nearest several sites which are at the same side relative to a mountain area. Based on these available and corrected data, the temporal and spatial characteristics of the monthly and yearly rainfall were explored. Furthermore, the variation of the daily rainfall was investigated by using the hourly data of Shenzhen National Basic Station. The results showed that: the annual mean precipitation in Shenzhen was 1863.9 mm from 2008 to 2017. During the past 10 years, the yearly precipitation in most of the administrative districts in Shenzhen was slightly increasing. The rainy days were slightly increasing too. However, these two increasing trends were not significant at 5% level. The monthly rainfall distribution in a year was not even, with the maximum rainfall amount in June. In the past 10 years, the variation rate of precipitation for each month was not consistent. In May, June and August, the annual variation was relatively big. For the daily rainfall distribution, it was found that rainfall was generally bigger during the daytime than the nighttime. The rainfall peak hour was in the afternoon in spring; the rainfall peak hour was before noon in summer and there were two peak times for the daily rainfall in autumn. The rainy days were very few in winter and the hourly rainfall distribution in a day was relatively even. In terms of spatial distribution for the month rainfall, there were two patterns. Firstly, the precipitation in the central region and southeast area was relatively high; while the precipitation in the northwest region was relatively low. Secondly, the monthly precipitation increased (or decreased) gradually from northwest to southeast. Studying of the temporal and spatial precipitation characteristics in Shenzhen was valuable for the local disaster prevention due to heavy rainfall and was of great guidance to the utilization and management of water resources in the area.

**Keywords:** Shenzhen, precipitation, temporal and spatial characteristics

收稿日期: 2018年11月30日; 修回日期: 2019年4月9日  
第一作者: 卢晓雄(1995—), Email: 1173479260@qq.com  
通信作者: 李晴岚(1971—), Email: ql.li@siat.ac.cn  
资助信息: 深圳基础研究布局项目(JCYJ20170413164957461);  
深圳市公共技术平台建设项目  
(GGFW2017073114031767)

## 0 引言

近年来, 全球气候变暖影响着全球的气候条件, 特别是降雨特征的变化。降雨时空的分布不均匀性, 可能造成区域干旱或者季节性的水资源短缺<sup>[1]</sup>, 这使得分析各地区降雨的时空分布特征显得极为重要。深圳地处广东省南部滨海地区, 是中国高新技术发展

的重点城市。气候上，深圳属于亚热带季风气候区，受低纬度热带天气系统和中高纬度天气系统的交替影响，天气复杂多变。季风、强对流天气和台风等极端天气过程及其导致的次生灾害连年不断，造成巨大经济损失和人员伤亡，其中降雨灾害影响尤甚。因此，研究深圳地区降雨的时空分布意义重大。

目前关于国内不同省份各个地区的降雨时空变化已有很多的研究<sup>[2-10]</sup>，陈峪等<sup>[2]</sup>研究了中国十大流域近40年降雨的时空演变特征，发现中国地区降雨分布不均，北方相对南方水资源缺乏，且年际变化较大。黄小燕等<sup>[3]</sup>分析了中国西北地区1960—2015年的大气可降雨量变化特征，发现西北地区近56年大气可降雨量总体呈显著增加，西北地区的大气可降雨量与平均气温、相对湿度呈正相关，与平均风速呈负相关。Shao等<sup>[4]</sup>分析广东省降水时空分布特征，发现粤中地区年降雨量呈轻微下降趋势，粤东、粤西地区呈轻微上升趋势。2017年，郑腾飞等<sup>[5]</sup>分析了广东省地区分级降雨的特征演变，发现了大雨级别以上的高值主要集中在清远、阳江、海陆丰三地中心。

有关深圳地区气候时空变化的也有研究<sup>[11-17]</sup>，在时间分布方面，深圳降雨主要集中在4—9月<sup>[12]</sup>，并存在17~20a和5~7a的显著准周期<sup>[11]</sup>。空间分布方面，深圳市降雨存在东南地区向西北地区递减特征<sup>[12]</sup>。崔翠等<sup>[11]</sup>分析了深圳市10个站点的降雨逐日数据，通过经验正交函数分解方法分析得出1960—2016年降雨空间分布呈现两种模态，一种是年降雨量总体呈现东南向西北方向递减的趋势，一种是年降雨量以塘朗山—清林径水库一线为界线呈东南与西北相反的分布，两种模态的累积贡献率达到87.3%。对于深圳降水量的演变特征，基于国家基本站的分析尚无定论。蔡伟源等<sup>[13]</sup>利用深圳市国家基本站1953—2015年的资料分析气温和降水的演变特征，发现降水日数呈波动

下降趋势。丁楠等<sup>[14]</sup>基于深圳国家基本站1961—2011年的逐日降水资料分析得到汛期降水量和非汛期降水量均为增加的趋势，降水日数增加显著。张恩洁等<sup>[15]</sup>分析1953—2004年深圳市国家基本站气象资料得到深圳年降水天数明显下降。降水量的趋势变化在不同时间明显不同，在前汛期降水量呈减少趋势，后汛期降水量呈增加趋势<sup>[16]</sup>。近20年，深圳汛期强降水有显著增多<sup>[17]</sup>。

以往有关深圳地区的降水特征研究多是基于深圳国家基本气象站单站的历史数据，或是深圳地区稀疏的9~10个站点资料进行时空降雨特征；尤其是，丁楠等<sup>[14]</sup>有关汛期降水趋势分析结论与蔡伟源等<sup>[13]</sup>、张恩洁等<sup>[15]</sup>的研究结论不同，这可能是两个研究所取的时间段不同，而趋势计算受个别年份的异常降水值影响导致。本研究将采用深圳市最近的十年观测，2008—2017年深圳市78个自动气象站点的小时降雨数据，分析深圳市年、月降雨时空变化特征，降雨日数变化趋势；利用国家基本站数据分析降水日内变化特征。准确认识深圳地区降雨时空变化及特征，对于深圳地区的防汛抗灾，水资源的有效利用，以及区域可持续发展指导意义重大。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据

本研究使用2008—2017年深圳市自动气象站（automatic weather station, AWS）的小时降水数据。深圳自动气象站的建设，从2008年的175个，逐渐发展到2017年的204个。筛选整理出10年内每年的站点数据出现率均大于95%的站点，并且根据各季节的降雨值分布对站点的降雨数据做质量检验。最终确定了78个数据相对完整的站点，被选中的自动站空间分布见图1。图中蓝绿色点指示的是深圳10个行政区的降

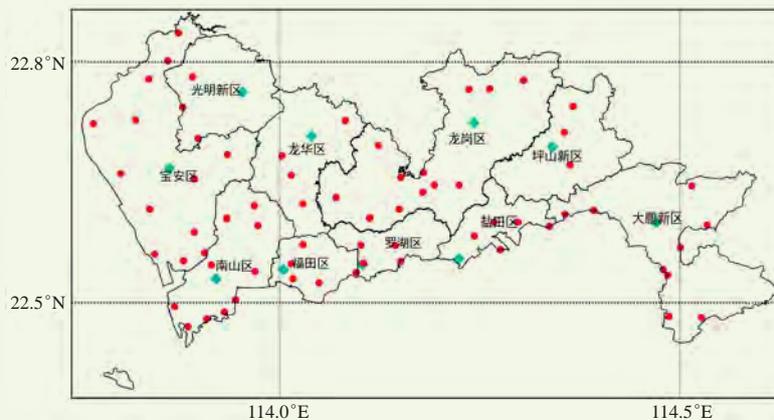


图1 降雨数据相对完整的站点分布

Fig. 1 Distribution of stations with relatively complete precipitation data

雨代表站，10个站信息见表1。

表1 深圳10个行政区域代表气象站信息  
Table 1 The detailed information of the representative weather stations for the 10 administrative regions in Shenzhen

站编号	站名称	海拔高度/m	建站时间	所属区域
G3733	黄麻布	73	2007-09-21	宝安区
G1162	大鹏	64	1997-01-28	大鹏新区
G3501	竹子林基地	63	2006-08-08	福田区
G3522	蔡屋围基地	18.5	1997-08-01	罗湖区
G3528	光明	39.2	2005-03-22	光明新区
G3535	沙头角	38.5	1997-07-25	盐田区
G3538	坪山	83.8	1997-01-24	坪山区
G3543	观湖	65.8	1997-06-25	龙华区
G3555	南山	104.4	2006-09-20	南山区
G3570	龙岗	78.3	1997-06-02	龙岗区

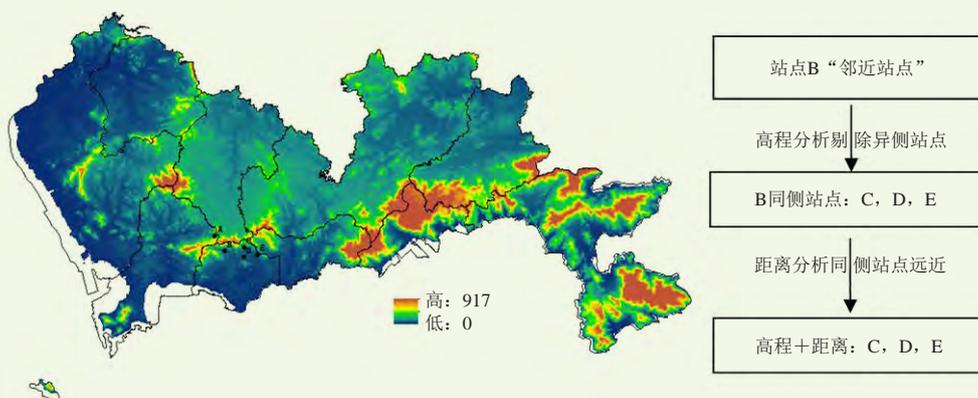


图2 深圳地区高程图和确定站点B的“邻近”站点  
Fig. 2 Elevation map of Shenzhen and the referred near stations for Station B

补利用站点C的信息，填补后仍有缺失利用站点D的信息，以此类推。三次填补后仍然缺失的数据，充分利用国家基本站数据对各个站点进行添补。

### 1.2.2 数据计算与方法

利用添补完整的数据计算各个站点各月降雨量，绘制各月的年际变化图。通过各月的降雨量数据计算各个站点近10年的各月平均降雨量，利用近10年各站点各月平均降雨量数据绘制深圳近10年各月平均的降雨空间分布图。并对10年逐月的月降雨量进行经验正交函数分解 (EOF) [18]，分析月降雨的空间特征。此外通过国家基本站的小时数据研究深圳市各月降水的日内变化特征。

利用添补完整的数据计算10个行政区域代表气象站的10年降水变化趋势，以及降水日的变化情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 降水时间演变特征

利用小时数据计算各站点的年降雨量，得到各

## 1.2 方法

### 1.2.1 “临近”站点降雨数据添补方法

对于所选取的数据完整率超过95%的78个气象站，其缺失的数据仍需要补全。考虑深圳地域存在山体丘陵，山两侧的降雨量会存在较大差异，本文针对缺失数据的添补采用临近站点附加考虑高程信息的“邻近”站点添补方法。相比于雒翠等[11]文中的临近站点添补方法，更加准确。

计算各个站点相对于山脉同侧，距离最近的3个站点，例如图2中选取数据缺失站点B的“邻近”站点，虽然A站距离B站最近，但其与B站在山脉的不同侧，不能作为B站降雨数据缺失的参考补充站。C、D、E站是位于B站同侧的三个站点，按照距离远近排序为C、D、E。即如果B站数据有缺失时，第一次填

站点降雨的年际变化箱体图 (图3a)，从图3可以看出深圳78个站近10年的年平均降雨量为1863.9 mm，与深圳国家基本站10年的年平均降雨1847.3 mm基本吻合，且10年年降雨的变化趋势与国家基本站的年降雨变化趋势也基本吻合。说明深圳国家基本站能基本代表深圳市的降雨平均状况。降雨量年际变化呈现锯齿形，降雨偏多年未出现连续，变化趋势不显著。其中也看出一年内各个站点的降雨量存在最高值与最低值相差1000 mm，说明降雨空间分配不均。其次年内逐月降水分布极为不平衡 (图3b)，其中5—8月占到全年降雨的64.4%，11月一次年2月约占全年降雨的8.5%。

逐年各月的降雨变化幅度也出现较大不一致 (图4)，其中11、12和2月，各站点的月降雨相对稳定在0~150 mm，年际变化相对较小，变化标准差集中在20~40 mm；1、3、4、7、9和10月，年际变化标准差集中在72~95 mm，1月各站点的月降雨相对稳定

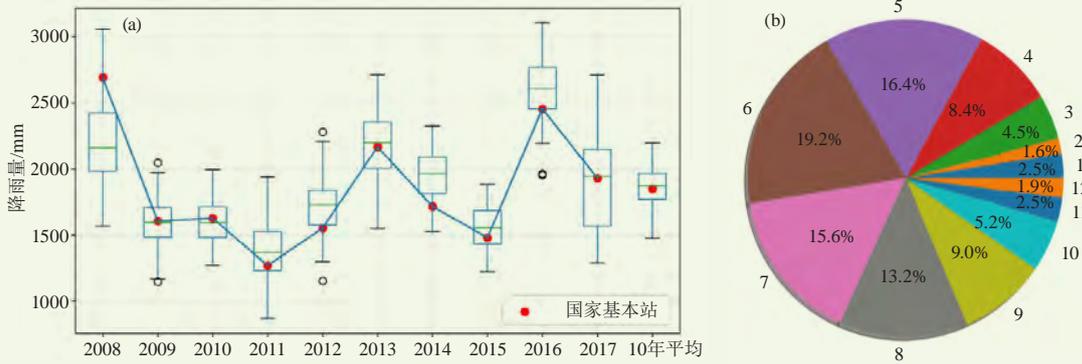


图3 深圳市78个自动站年降水年际变化 (a) 与年内各月降水平均分布 (b)  
Fig. 3 Annual precipitation variation (a) and average monthly rainfall distribution for the 78 AWSs in Shenzhen (b)

在0~150 mm, 但2016年出现了200 mm以上降水, 相比其他年份出现较大变动, 这也是2016年整体降雨量偏多的原因之一; 3、4、9和10月, 各站的降雨相对稳定在50~300 mm, 2012年4月、2010年9月、2016年10月出现较大波动。7月各站点的降雨相对稳定在250~400 mm; 5、6和8月, 年际变化相对较大。结合图3、图4可分析2008年降雨偏多主要是由于6月的降雨高于平常年, 2013年的降雨偏多是由于8月降雨高于平常年, 2016年降雨偏多是由于1、10和11月降雨远高于平常年。

利用深圳市国家基本站10年的小时数据计算各月降水的日变化(图5)。整体来看, 夜间降雨明显少于白天, 春季降雨峰值出现在午后, 夏季降雨峰值出现在午前, 秋季降雨具有双峰性, 冬季降雨少, 日间分布比较均匀。其中10年中降雨日数最多的是7月, 最少的是12月。降雨日内各时刻的降雨分布有一定的差异, 春季降雨峰值主要集中在16和17时; 夏季降雨峰值集中在06—10时; 秋季各月降雨呈现双峰性, 9月峰值出现在06和17时, 10月在10和18时, 11月在08和18时。

## 2.2 降水空间演变特征

深圳市近10年各月的月平均降雨空间分布如图6所示, 从图中可以看出11月一次年2月为当地少雨季节, 月平均降雨量为22~65 mm, 3、4、9和10月的月平均降雨为65~220 mm, 5、6、7和8月的月平均降雨为220~450 mm, 其中最多降雨为6月, 月平均降雨为340~450 mm。

将10年间深圳市78个站点的逐月降水量组成78×120的资料矩阵进行EOF分析, 取前两个特征向量, 即月降水空间分布的第一模态和第二模态, 且前两个模态通过特征值误差检验<sup>[18]</sup>(North检验)。图7a是第一模态, 方差贡献率为95.2%, 该模态反映深圳

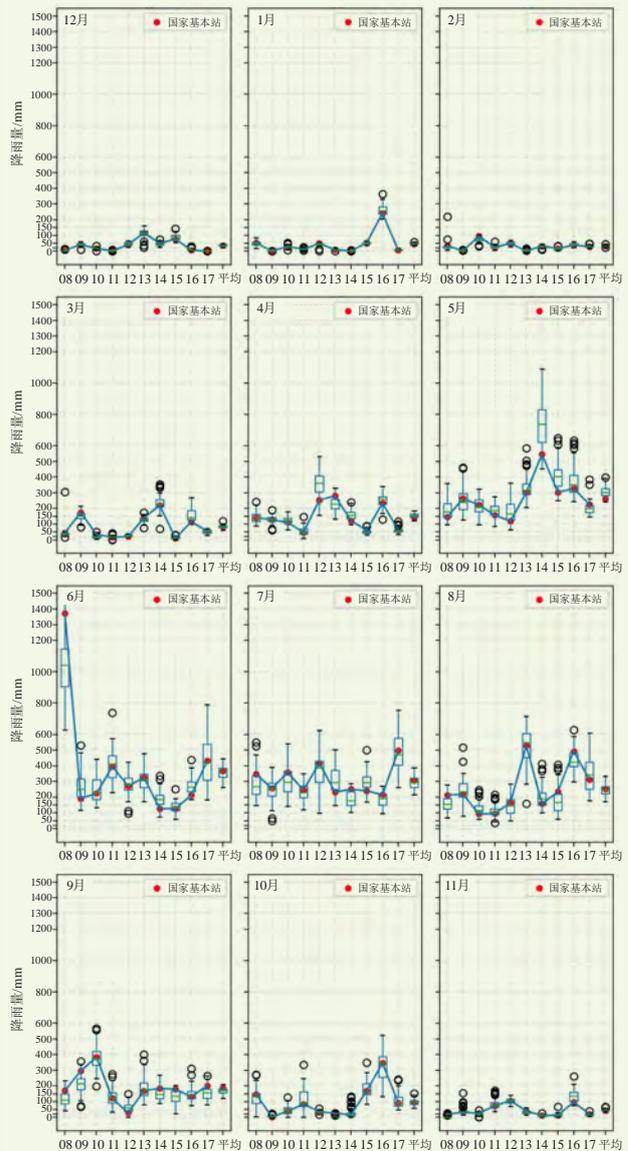


图4 2008—2017年深圳78个站的月降水变化  
Fig. 4 Variations of the monthly precipitation for the 78 AWSs in Shenzhen from 2008 to 2017

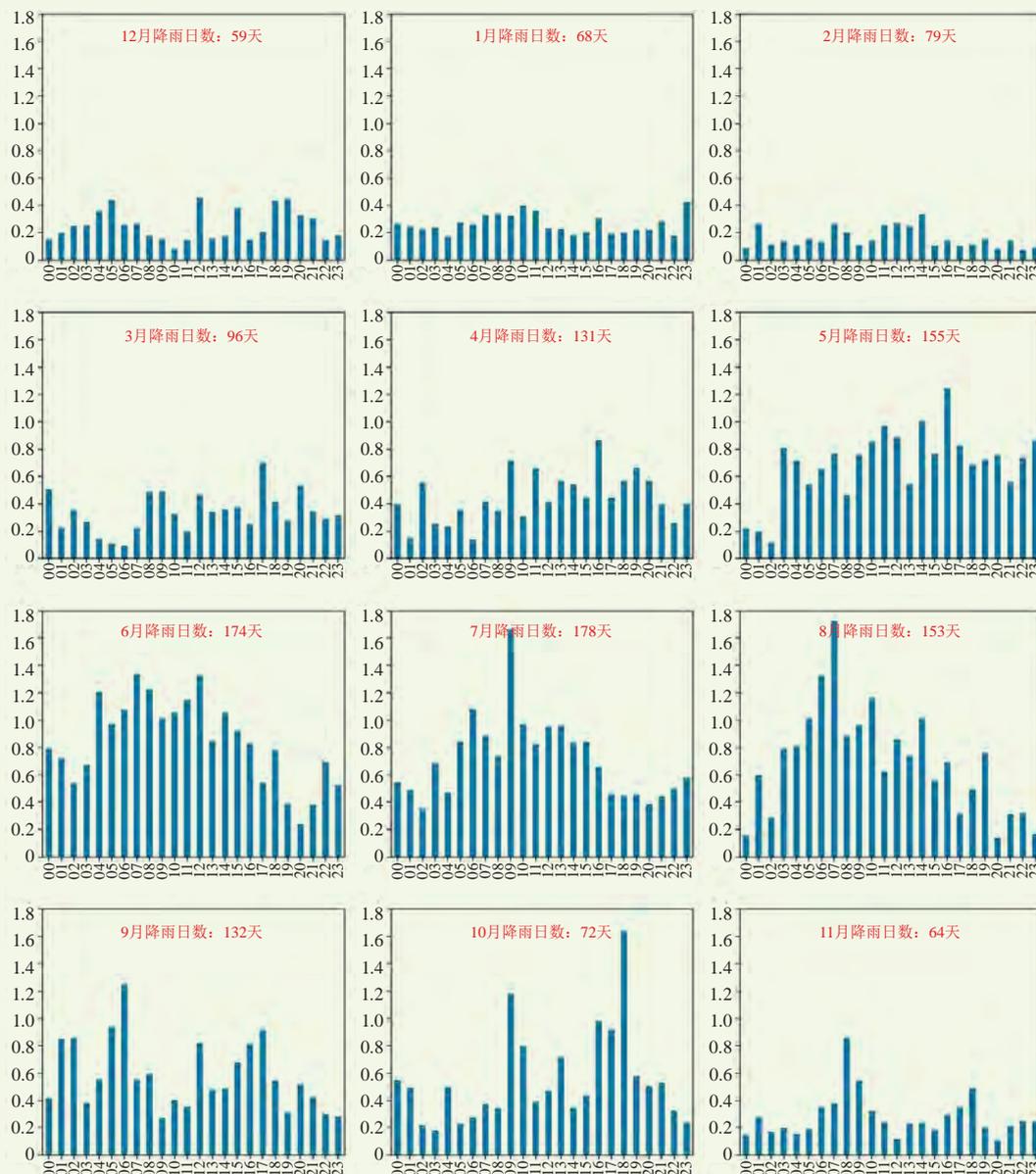


图5 2008—2017年深圳市国家基本站各月降水的日内变化  
(纵坐标是10年内各月各时刻的累积降雨量与各月10年降雨日数的比)

Fig. 5 Diurnal variation of the monthly precipitation in Shenzhen from 2008 to 2017 (The scale of Y axis refers to the ratio of the monthly accumulated rainfall during the ten years and the accumulated rainy days of the same period)

西北地区降雨低于其他地区降雨，降雨高值集中在中部地区和东南地区；另外该模态所对应各分量均为正值，说明对于小地区范围的深圳，第一模态体现的降水场时间上具有同步性。将该模态对应的各月时间系数进行10年平均（图7c），其中4—10月的时间系数都相对较大，说明这几个月的月降雨空间分布型态主要呈现此模态，其中6月最为典型。图7b是第二模态，方差贡献率为1.4%，该模态反映深圳地区月降雨呈现西北向东南方向逐级增加（减少），图7d是该模态对应的各月时间系数10年平均，其中极值分别为3

月的负极值和7月的正极值，说明3月的月降水出现西北向东南方向逐级减少的型态最为明显，7月的月降水出现西北向东南方向逐级增加的型态最为明显。

结合图6和图7，可以看出EOF分析的结果与近10年各月月降雨的实际结果较为吻合，且EOF分析得出的各月的月降雨第一模态贡献率较大，对应的时间系数平均值均为正值，降水第一模态空间分布与近10年的年均降雨量空间分布型态（图8）极为相似。

### 2.3 深圳各行政区代表站降水时间演变特征

深圳市一共10个行政区域，各取一个站点作为行

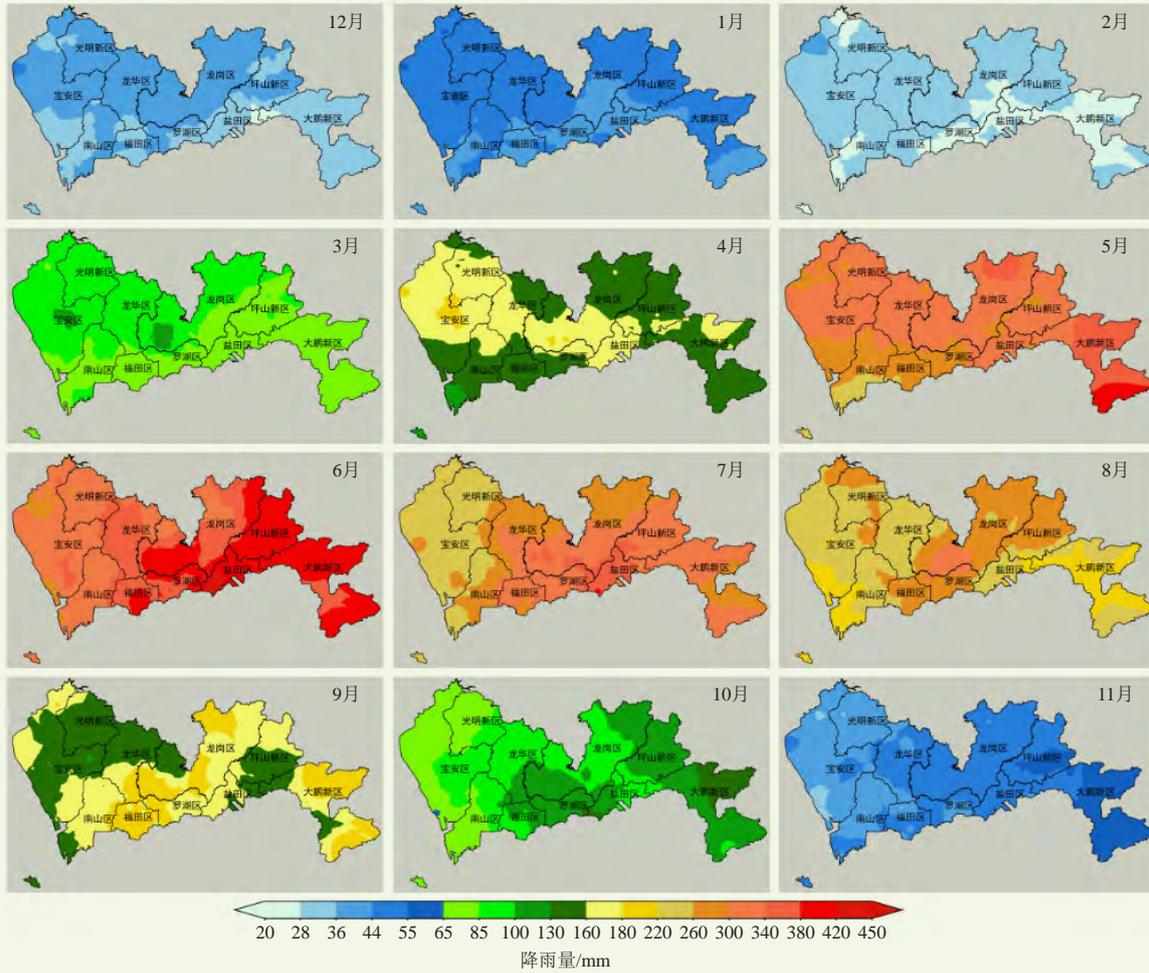


图6 深圳近10年各月的平均降雨空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of the mean monthly precipitation in Shenzhen for the past 10 years

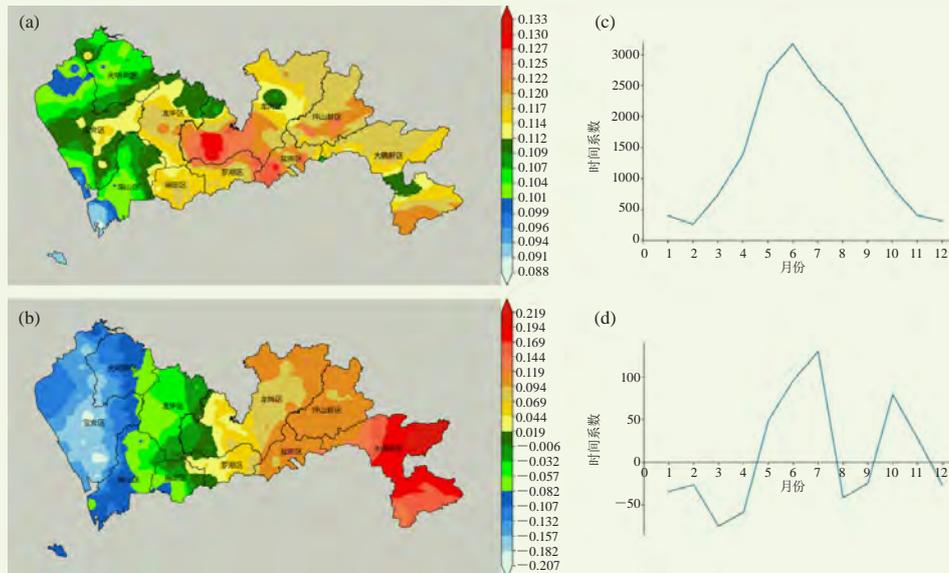


图7 月降水的前两个模态 (a, b) 与对应模态时间系数的逐月10年平均值曲线 (c, d)  
(a, c) 第一模态; (b, d) 第二模态

Fig. 7 The first two models of the monthly precipitation(a, b) and the monthly mean coefficient curve corresponding to the modal during the past (c, d): (a, c) the first model, (b,d) the second model

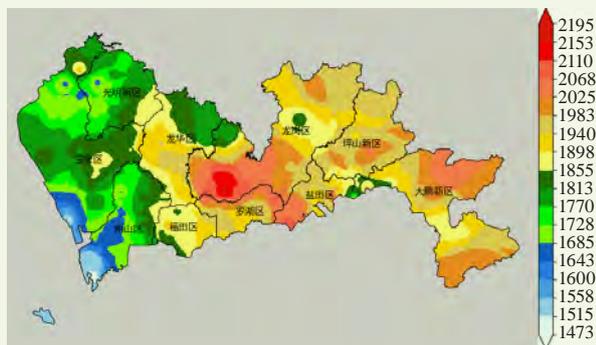


图8 2008—2017年深圳市年平均降雨量 (单位: mm)  
Fig. 8 Average annual precipitation in Shenzhen from 2008 to 2017 (unit: mm)

政区代表站, 站点位置分布见图1蓝绿色点, 这10个站的详细信息见表1。

计算这10个代表站的降水10年间年际变化, 以及各年降雨日的年际变化, 结果见图9, 图中虚线为年际变化情况, 实线为变化趋势线。图中各站的顺序与表1顺序相同。

从图9可以看出, 在过去10年间, 除了宝安区的黄麻布站, 其他9个行政区代表站的年降水都有小的上升, 但这些上升全部不显著 ( $p=0.05$ ); 降雨日方面, 全部代表站点都有微弱不显著 ( $p=0.05$ ) 的上升趋势。

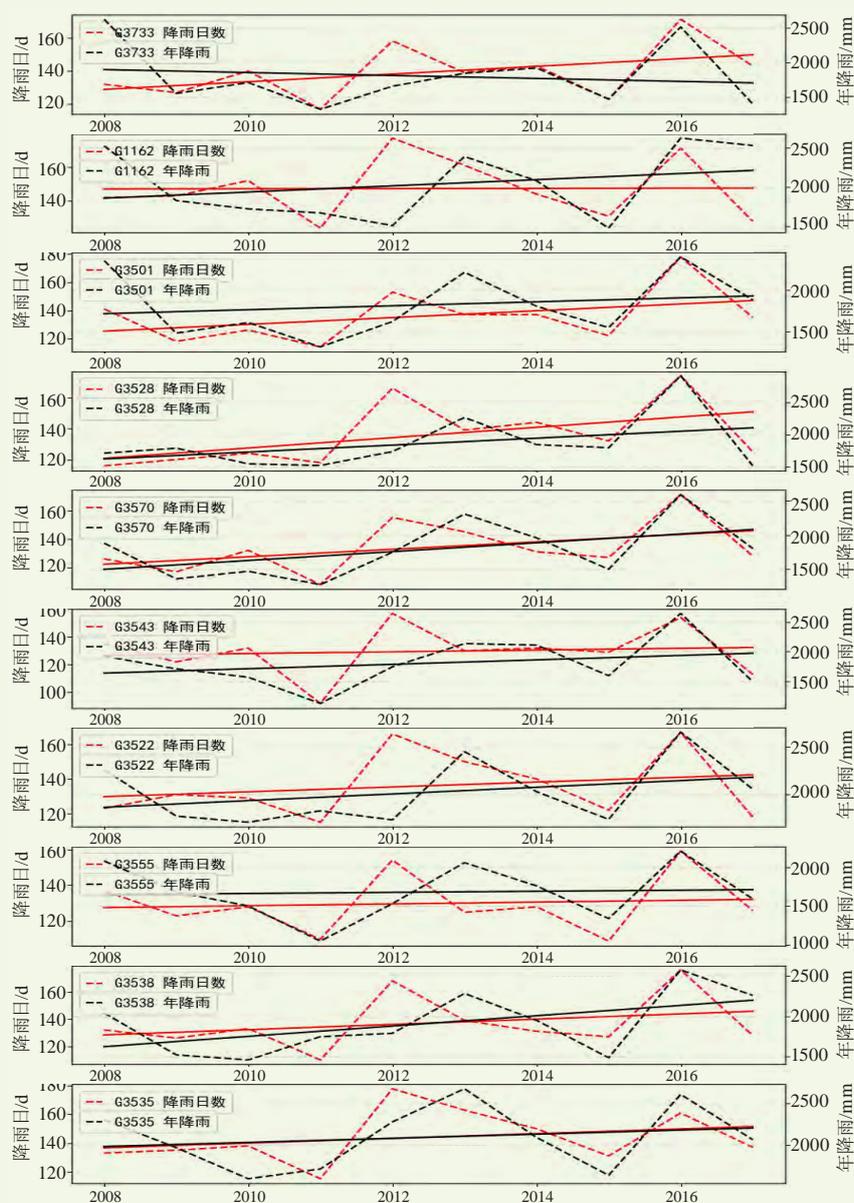


图9 深圳行政区代表站近10年降水及降水日年际变化

Fig. 9 Variations of the yearly precipitation and rainy days for the representative stations of the 10 administrative districts in Shenzhen during the last 10 years

对比蔡伟源等<sup>[13]</sup>、丁楠等<sup>[14]</sup>、张恩洁等<sup>[15]</sup>的研究结论,降水日上升与否,与所取的数据区间相关,受单个年份的异常降雨及降雨日变化影响大。

### 3 结论

基于2008—2017年深圳78个自动气象站的小时降雨量数据,分析了深圳降雨的时空演变和分布特征,得到以下结论。

1) 近10年来深圳市的年均降雨量为1863.9 mm,空间上呈现东多西少不均匀分布。国家基本站10年降雨量平均1847.3 mm,国家基本站的降雨情况在计算深圳地区年平均降雨时具有很强的代表性。

2) 深圳的10个行政区代表站,在过去10年间,除了宝安区的黄麻布站,其他9个行政区代表站的年降水有微弱不显著的上升;降雨日方面,全部代表站点都有微弱不显著的上升;降水趋势计算受个别年份异常降水影响大。

3) 深圳市年内各月降雨分布差距较大,其中5—8月占到全年降雨的64.4%,11月—次年2月约占全年降雨的8.5%,降雨最多的是6月,最少的是2月。各季节降水的日变化特征为,夜间降雨少于白天,春季降雨峰值出现在午后,夏季降雨峰值出现在午前,秋季降雨具有双峰性,冬季降雨少,各时刻分配相对均匀。

4) 深圳市各月降雨的变化幅度不一致,11、12和2月降雨相对稳定,5、6和8月,年际变化相对较大。月降雨空间分布呈现两种型态,第一型态为深圳西北地区降雨低于其他地区降雨,降雨高值集中在中部地区和东南地区,该型态方差贡献率为95.2%;第二型态呈现深圳地区月降雨西北地区向东南方向逐级增加(减少)。

本研究得到的深圳汛期降水的日内变化、月变化、季节变化及空间分布特征,对本地区防汛抗灾,水资源的管理和有效利用具有重要的指导意义。未来将进一步探索该地区降雨时空特征机理,以提高汛期降水预报的准确性。

### 参考文献

- [1] 张建云,王国庆,杨扬,等.气候变化对中国水安全的影响研究.气候变化研究进展,2008,4(5): 290-295.
- [2] 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.自然资源学报,2005,20(5): 637-643
- [3] 黄小燕,王圣杰,王小平.1960—2015年中国西北地区大气可降水量变化特征.气象,2018,44(9): 1191-1199.
- [4] Shao Q, Guo S, Liu D, et al. Analysis of trends of annual and seasonal precipitation from 1956 to 2000 in Guangdong Province, China. Hydrological Sciences Journal, 2012, 57(2): 358-369.
- [5] 郑腾飞,刘显通,万齐林,等.近50年广东省分级降水的时空分布特征及其变化趋势的研究.热带气象学报,2017,33(2): 212-220.
- [6] 任国玉,吴虹,陈正洪.我国降水变化趋势的空间特征.应用气象学报,2000,11(3): 322-330.
- [7] 莫崇勋,刘朋,朱新荣,等.1951年~2013年南宁市气温和降水量变化特征分析.水力发电,2018,44(9): 20-23,84.
- [8] 王丽红.武汉市近59a降水变化趋势分析.水电能源科学,2010,28(12): 4-5,159.
- [9] 吴浩云,王银堂,胡庆芳,等.太湖流域61年来降水时空演变规律分析.水文,2013,33(2): 75-81.
- [10] 姚寒梅,卓文珊,周月英.变化环境下惠州市降雨趋势特征及原因探析.人民珠江,2017,38(3): 1-7.
- [11] 锥翠,刘勇,朱晓庆,等.深圳市近57年来降水时空演变特征分析.水利水运工程学报,2018,(3): 24-31.
- [12] 林凯荣,何艳虎,雷旭,等.深圳市1960-2009年降雨时空变化分析.中国农村水利水电,2013,(3): 18-23
- [13] 蔡伟源,陈贞贞,潘泽凯.近63年来深圳市气温和降水的变化特征.广东气象,2017,39(6): 6-9.
- [14] 丁楠,俞芳琴,刘俊,等.1961-2011年深圳市降水变化趋势分析.水资源与水工程学报,2017,28(5): 61-64.
- [15] 张恩洁,赵昕奕,张晶晶.近50年深圳气候变化研究.北京大学学报(自然科学版),2007,43(4): 535-541.
- [16] 张小丽.深圳气候平均值的变化.广东气象,2003,(4): 1-4.
- [17] 张立杰,李磊.近20年深圳城市气候环境研究的进展.广东气象,2017,39(1): 48-52,55.
- [18] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法.北京:气象出版社,2002.