

程银琳,何秋蕊,陈辰,等.佛山市短时强降水时空特征及主要影响系统[J].海洋气象学报,2023,43(2):1-10.
CHENG Yinlin, HE Qiurui, CHEN Chen, et al. Spatio-temporal characteristics of short-time heavy precipitation and its main synoptic systems in Foshan[J]. Journal of Marine Meteorology, 2023, 43(2): 1-10. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2023.02.001. (in Chinese)

佛山市短时强降水时空特征及主要影响系统

程银琳^{1,2}, 何秋蕊^{2,3}, 陈辰², 麦文强^{1,2}, 罗环²

(1. 佛山市突发事件预警信息发布中心, 广东 佛山 528000; 2. 佛山市气象局, 广东 佛山 528000; 3. 佛山市龙卷风研究中心, 广东 佛山 528000)

摘要: 利用佛山市152个自动气象观测站2012—2020年降水资料,根据强降水范围和性质,研究佛山市短时强降水的时空分布特征,并分析主要影响系统。结果表明:(1)短时强降水发生频次整体呈上升趋势,不同范围、不同性质的短时强降水时空差异性较大。局地性、区域性、突发型短时强降水主要发生在4—9月,全市性、增长型短时强降水主要发生在3—10月,持续型短时强降水5—6月发生频次最高。(2)从日变化来看,局地性、区域性呈单峰特征,全市性呈多峰特征,突发型、增长型呈双峰特征,持续型较平稳,06—09时略高,局地性、全市性和增长型短时强降水中分位值日变化较小,区域性、增长型和持续型短时强降水中分位值的日变化较大。(3)极大值出现的时间段也不相同,最大值的短时强降水是一次增长型的区域性过程。(4)空间分布上,局地性短时强降水在佛山西南部和北部发生的频次较高,全市性短时强降水发生频次的分布与之相反,而区域性短时强降水在西南部发生频次较低,增长型短时强降水发生频次高于突发型短时强降水,持续型短时强降水发生频次最低。(5)影响系统占比最大的分别为局地性、突发型短时强降水为副高边缘,区域性、持续型、增长型短时强降水为热带系统,全市性短时强降水为西风槽,而西南低涡在各类中占比均最小。

关键词: 短时强降水; 频次; 时空分布; 影响系统

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2023)02-0000-00

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2023.02.000

Spatio-temporal characteristics of short-time heavy precipitation and its main synoptic systems in Foshan

CHENG Yinlin^{1,2}, HE Qiurui^{2,3}, CHEN Chen², MAI Wenqiang^{1,2}, LUO Huan²

(1. Foshan Emergency Early Warning Release Center, Foshan 528000, China; 2. Foshan Meteorological Bureau, Foshan 528000, China; 3. Foshan Tornado Research Center, Foshan 528000, China)

Abstract: Based on the precipitation data of 152 automatic meteorological observation stations in Foshan from 2012 to 2020, the spatial and temporal distribution characteristics of short-time heavy precipitation in Foshan are studied according to the range and property of heavy precipitation, and the main synoptic systems are analyzed. The results are listed as follows. (1) The frequency of short-time heavy precipitation is on the rise as a whole, and the spatial and temporal differences of short-time heavy

收稿日期: 2022-07-07; 修订日期: 2022-09-19

基金项目: 龙卷等致灾雷暴大风精细化探测及机理研究院士专家工作站项目(2021002)

通信作者简介: 程银琳, 女, 工程师, 主要从事气象预报预警工作, 920109510@qq.com。

precipitation with different ranges and properties are large. The local type, regional type, and abrupt type of short-time heavy precipitation mainly occur from April to September, the citywide type and growth type mainly occur from March to October, and the frequency of continuous type is the highest from May to June. (2) From the perspective of diurnal variation, the local type and regional type have unimodal characteristics, the citywide type has multimodal characteristics, the abrupt type and growth type are bimodal, and the continuous type is relatively stable and slightly higher from 06:00 to 09:00. The diurnal variations of the median values of the local type, citywide type, and growth type are small, while those of the regional type, growth type, and continuous type are large. (3) The periods of the maximum values are different, and the short-time heavy precipitation with the maximum value is a regional process of growth type. (4) In terms of spatial distribution, the frequency of local type is higher in the southwest and north of Foshan, while the frequency of citywide type is opposite. The frequency of regional type is lower in the southwest, the frequency of growth type is higher than that of abrupt type, and the frequency of continuous type is the lowest. (5) The edge of subtropical high is the synoptic system of the largest proportion for the local type and abrupt type, tropical system for the regional type, continuous type, and growth type, and westerly trough for the citywide type. The southwest vortex has the smallest proportion in all types.

Keywords: short-time heavy precipitation; frequency; spatial and temporal distribution; synoptic system

引言

暴雨,特别是短历时的大暴雨常造成洪涝和城市渍涝,对人民的生命财产安全构成严重威胁。研究短时强降水的时空特征,对做好短时强降水的预警预报工作有着重要的作用。目前我国很多专家学者对不同省市的短时强降水时空分布特征和影响降水的天气系统进行了研究。陈炯等^[1]研究发现我国短时强降水发生频率最高的区域为华南,其次为云南南部、四川盆地、贵州南部、江西和长江下游等地。孙喜艳等^[2]研究广东短时强降水的特征发现5月是高发期,其次是6月和8月,每日13—19时是小时强降水出现的集中时间段,16时出现小时强降水次数最多,小时强降水多出现在粤西云雾山、粤东莲花山山脉南侧、清远南部和珠江口等地区,跟山脉走向基本一致。陈鹏等^[3]研究云南短时强降水的特征发现年降水量自西北向南增加,雨强自北向南增强,夜雨量多于昼雨量。苏锦兰等^[4]研究重庆短时强降水特征发现,短时强降水主要集中在6—8月,7月为峰值期,日内短时强降水主高峰在凌晨到早间(00—08时),峰值在03—05时,次高峰在15—18时,主高峰峰值明显强于次高峰。肖蕾等^[5]研究贵州短时强降水特征发现,短时强降水的年际变化在高发区离散度较大,在贵州西北部低发区离散度较小,月际变化曲线呈单峰型,5—8月是降水高发时段,6月达到峰值,日变化的时间曲线呈单峰

型,21时—次日07时为高发时段,中午12时前后出现较少。吕劲文等^[6]研究6—9月浙江省午后短时强降水特征发现,7、8月短时强降水相对多发,均具有明显的热对流性质,同时边界层的弱辐合、城市热岛效应和山区地形作用对短时强降水落区均有影响。赵海军等^[7]研究山东省短时强降水发现短时强降水集中出现在6月中旬—8月下旬,又以8月上旬最多,日变化显著,呈现典型“双峰”特征,主要集中在午后至傍晚,其次是后半夜,6月中旬—8月下旬傍晚和后半夜发生短时强降水的可能性大。对影响降水的天气系统研究也很广泛,陈秋萍等^[8]研究了登陆福建热带气旋短时强降水特征;王楠喻等^[9]、高荣珍等^[10]研究了台风个例对山东地区强降水的影响;张凯静等^[11]发现青岛市产生短时强降水的天气系统可分为6种类型,即西风槽型、横槽型、冷涡型、热带低值系统型、西北气流型、切变线型,其中西风槽型出现次数最多;陈训来等^[12]发现深圳短时强降水的大尺度环流有西风槽型、西风型、高压型、副高边缘型、东风型和热带气旋型,以西风槽型和高压型为主。

刘思晨等^[13]利用1996—2017年佛山3个国家级气象观测站的数据对佛山短时强降水进行研究发现,短时强降水天气集中在4—9月,前汛期短时强降水次数与后汛期年际变化无一致性。但是仅用国家级气象观测站来分析强降水的变化是具有局限性的,所以利用2012—2020年佛山市152个自动气象

观测站逐小时的观测数据研究佛山市短时强降水的时空分布特征,并分析其主要影响系统,更加全面细致地揭示佛山市短时强降水的演变规律,对提升佛山市短时强降水的监测和预警预报能力具有一定的积极意义。

1 资料与方法

佛山市的自动气象观测站是2003年开始陆续建设的,目前共有255个自动气象观测站,考虑到数据的质量和连续性,本研究选用2012—2020年佛山市152个自动气象观测站的逐小时观测数据。

短时强降水是指在短时间内出现的很强的降水事件,我国天气预报业务中一般指1 h雨量大于等于20 mm的降水事件^[14]。一天中一个自动气象观测站出现1 h的短时强降水计为1个频次,一天中一个自动气象观测站多次出现短时强降水时频次累加统计。根据出现短时强降水范围(站次)分为局地性短时强降水(出现短时强降水的站次比 $\leq 10\%$ (15个站))、区域性短时强降水($10\% < \text{出现短时强降水的站次比} \leq 30\%$ (46个站))和全市性短时强降水(出现短时强降水的站次比 $> 30\%$)3种类型,分析不同范围短时强降水的时空变化特征;上海和广州将短时强降水的时间演变雨型划分为突发型、增长型和持续型(表1)。研究发现,上海突发型短时强降水显著增加,增长型呈下降趋势,持续型的趋势不明显;广州突发型和增长型短时强降水发生频次呈明显上升趋势,而持续型短时强降水发生频次变化不明显^[15-16]。本文按照上海标准,分析佛山不同雨型短时强降水的时空变化特征。

表1 短时强降水时间演变类型的分类

Table 1 Classification of evolution types of short-time heavy precipitation

时间演化型	短时强降水前3 h的降水量(分别为 P_1 、 P_2 、 P_3)
突发型	P_1 、 P_2 、 P_3 均小于0.5 mm
增长型	P_1 、 P_2 、 P_3 任意一个大于或等于0.5 mm但小于20 mm
持续型	P_1 、 P_2 、 P_3 中的任意一个大于或等于20 mm

2 短时强降水的时空分布特征

2.1 短时强降水的时间分布特征

2.1.1 短时强降水的年变化特征

统计佛山市短时强降水发生的频次(图1),发现

2012—2020年佛山市短时强降水发生的频次整体呈上升趋势,上升幅度缓慢,其中2015年发生短时强降水的频次最多,为2 524次;2017年最少,为1 662次。从逐年的最大小时雨量来看,最大小时雨量呈上升趋势,其中最大值出现在2020年,为120.4 mm。

由图1可以看到,全市性短时强降水发生的频次大于区域性短时强降水发生的频次,发生频次最低的是局地性短时强降水,其中全市性短时强降水发生频次为773次(2017年)~1336次(2015年);区域性短时强降水发生频次为449次(2017年)~817次(2015年);局地性短时强降水发生频次为312次(2020年)~565次(2019年);从逐年发生的频次来看,全市性和局地性短时强降水呈增长趋势,区域性短时强降水呈下降趋势。增长型短时强降水发生频次大于突发型短时强降水发生频次,持续型短时强降水发生频次最低,其中增长型短时强降水发生频次为770次(2017年)~1 164次(2015年);持续型短时强降水发生频次为165次(2017年)~639次(2018年);突发型短时强降水发生频次为608次(2018年)~931次(2016年);从逐年发生频次来看,增长型和持续型短时强降水呈增长趋势,突发型短时强降水呈下降趋势。

2.1.2 短时强降水的月变化特征

分析佛山市短时强降水的月变化特征(图2),可以发现不同范围 and 不同性质的短时强降水月变化特征和广东省短时强降水的月变化特征基本一致,主要集中在4—9月,之后迅速减少,12月没有短时强降水发生。具体来看,局地性短时强降水和区域性短时强降水主要发生在4—9月,其中局地性短时强降水7月发生的频次最高,为765次,区域性短时强降水8月发生的频次最高,为1 278次,主要原因为7月份副热带高压北跳,广东省受副热带高压控制,多炎热酷暑天气,系统性对流活动减少,多出现局地性雷雨^[17],8月份是热带气旋登陆或影响广东最多的月份^[18],因此短时强降水次数再次增多;全市性短时强降水主要发生在3—10月,5月发生的频次最高,最高达到2 525次。突发型短时强降水主要发生在4—9月,5月发生的频次最高,为1 613次;增长型短时强降水发生在3—10月,5月发生的频次最高,为1 988次;持续型短时强降水5、6月发生的频次最高,分别为607次和683次,其次是8月和

10 月,发生的频次超过 250 次,其余月份发生的频次均较低。5 月份西南季风爆发,广东省短时强降

水次数爆发性增多,是全年中短时强降水发生最频繁的时期^[15]。

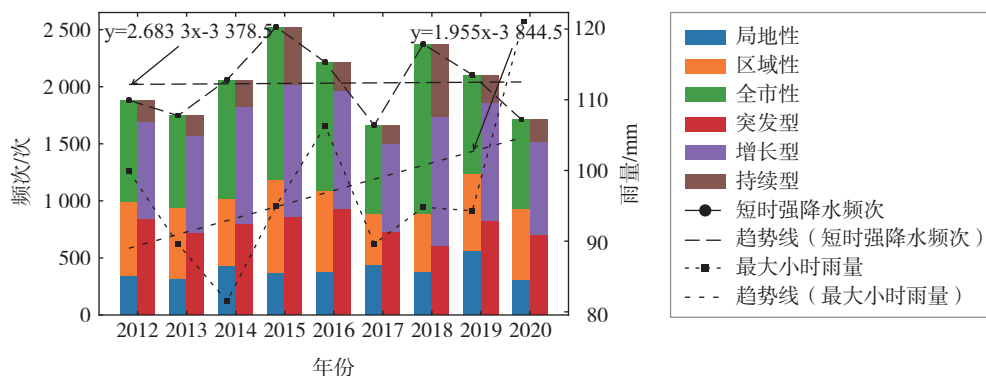


图 1 佛山市短时强降水发生频次和最大小时雨量的年变化

Fig.1 Annual variation of frequency of short-time heavy precipitation and the maximum hourly precipitation in Foshan

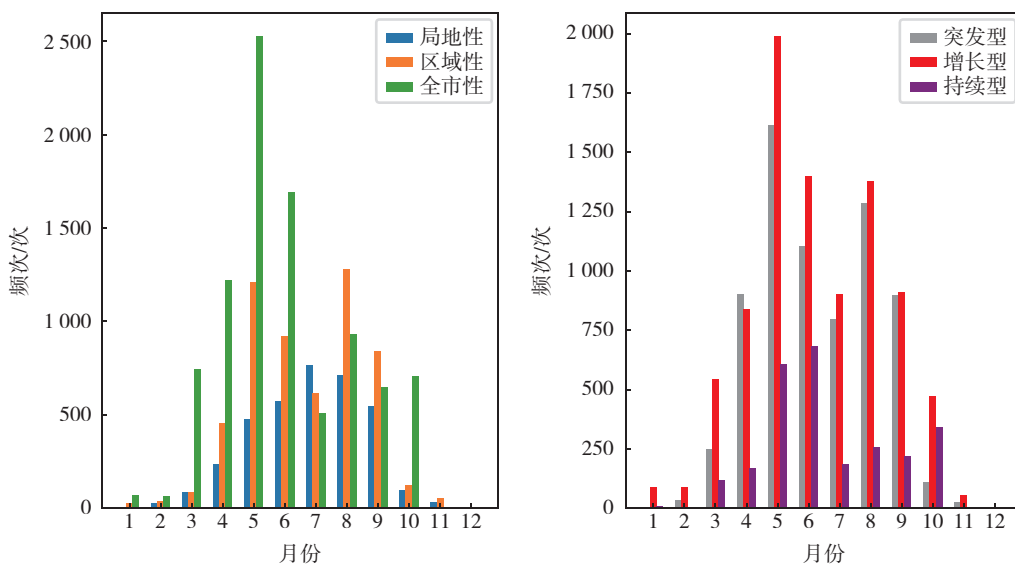


图 2 2012—2020 年佛山市短时强降水发生总频次的月变化

Fig.2 Monthly variation of total frequency of short-time heavy precipitation in Foshan from 2012 to 2020

2.1.3 短时强降水的日变化特征

研究广东省短时强降水日变化特征发现,8 月份的日变化是双峰结构,其余月份日变化均呈现单峰结构^[2]。全年汛期(4—9 月)平均来看,13—19 时是短时强降水出现的集中时间段,平均 16 时出现强降水次数最多,表明广东省午后的强降水明显^[19]。

统计佛山市短时强降水发生频次的日变化特征(图 3)发现,不同范围和不同性质的短时强降水日变化特征不尽相同,但变化趋势与广东省短时强降水的日变化特征基本一致。局地性短时强降水和区域性短时强降水呈单峰特征,降水主要集中在 13—20 时;全市性短时强降水呈多峰特征,峰值区有

05—09 时、12—14 时、16—18 时和 19—22 时。突发型短时强降水和增长型短时强降水的日变化呈双峰特征,降水主要集中在 13—20 时,次要时段为 05—09 时;持续型短时强降水日变化较为平稳,但在 06—09 时发生的频次略高于其他时间。

由降雨量的分位数图(图 4)来看,局地性短时强降水中分位值日变化较小,中分位值最大出现在 22 时,短时强降水极大值在凌晨和午后较大,最大值出现在 04 时,为 90.4 mm,其次为 17 时,为 90.6 mm;区域性短时强降水午后到凌晨的中分位值较大,中分位值最大出现在 23 时,短时强降水极大值变化较为平稳,最大值出现在 20 时,为 120.4 mm;

全市性短时强降水中分位值日变化较小,短时强降水极大值早晨到下午比较大,最大值出现在17时,为110.9 mm。突发型短时强降水中分位值的日变化较大,12时的中分位值最大,短时强降水极大值在早晨和傍晚比较大,最大值出现在16时,为96.6 mm;增长型短时强降水的中分位值白天变化较小,短时强降水极大值大部分时次在80 mm以上,最大值出现在20时,为120.4 mm;持续型短时强降水的中分位值夜间大于白天,短时强降水极大值下午较大,最大值出现在17时,为110.9 mm。

结合不同范围和不同性质的短时强降水分析发现,局地性短时强降水中突发型占比最多,达到54.91%,持续型占比最少,为3.70%;区域性短时强降水中突发型和增长型占比接近,分别为44.59%和45.81%;全市性短时强降水中增长型占比最多,达到50.78%,突发型和持续型分别为28.11%和21.11%。

2020年5月16日,受高空槽影响,佛山市出现了近年来短时强降水的最大值,为120.4 mm,是一次增长型的区域性过程。

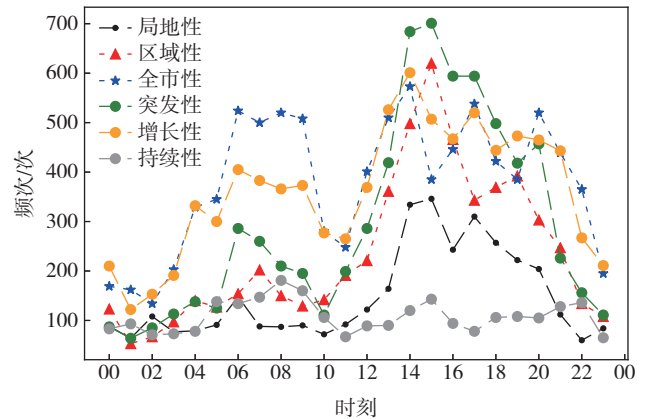


图3 2012—2020年佛山市短时强降水发生总频次的日变化
Fig.3 Diurnal variation of total frequency of short-time heavy precipitation in Foshan from 2012 to 2020

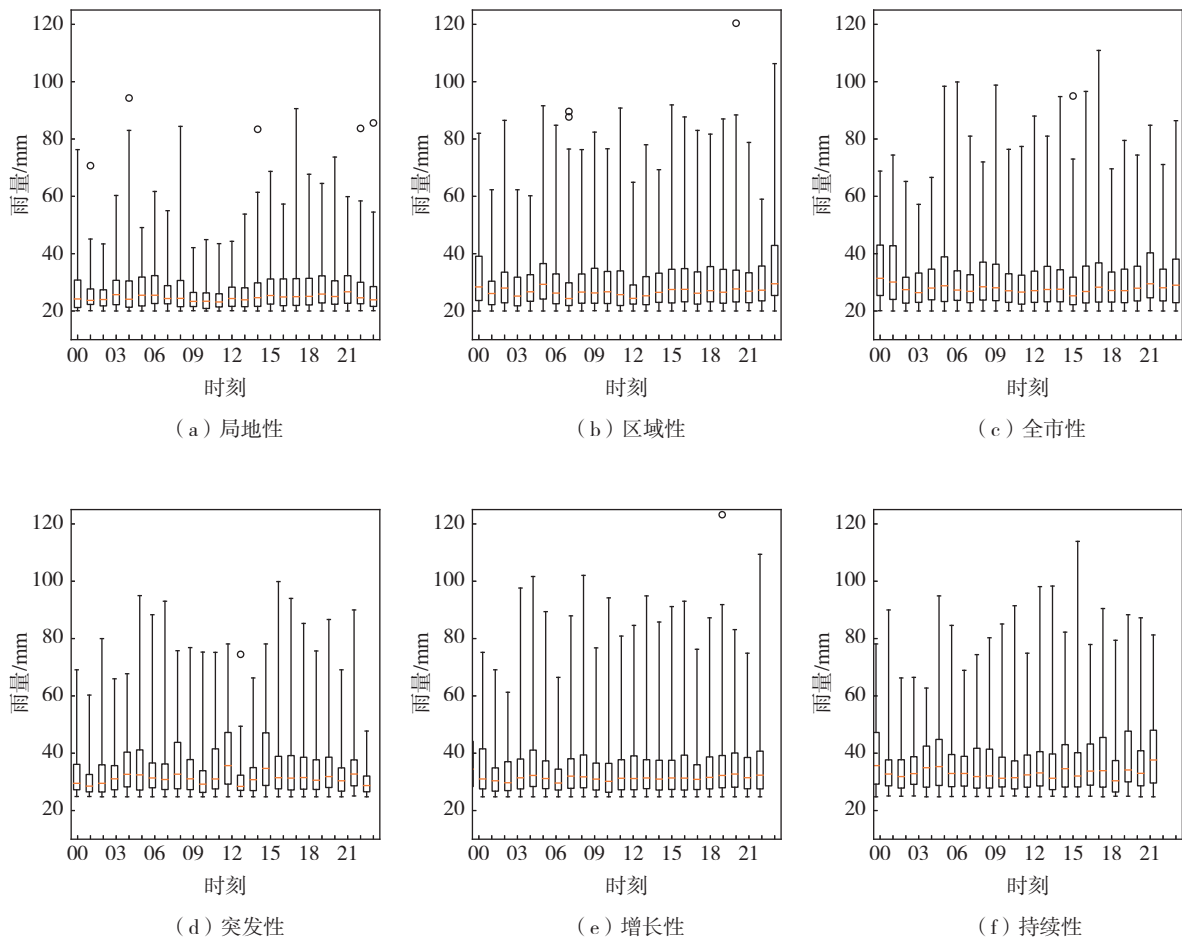


图4 佛山市短时强降水降水量的日变化特征

Fig.4 Diurnal variation of short-time heavy precipitation in Foshan

2.2 短时强降水的空间分布特征

图5为佛山市短时强降水发生频次的空间分布图,整体来看,全市性短时强降水发生频次高于区域性短时强降水,局地性短时强降水发生频次最低,其中局地性短时强降水在佛山西南部和北部发生的频次较高,约40次,这可能与佛山市的地形有关,佛山的山脉主要分布在西南部和北部;区域性短时强降水在西南部发生频次较低,为20~30次,其余地区发生频次较高;全市性短时强降水发生频次明显与局地性短时强降水发生频次的分布相反,佛山西部

和北部短时强降水发生频次明显低于其他地区。

增长型短时强降水发生频次高于突发型短时强降水,持续型短时强降水发生频次最低,其中突发型和持续型短时强降水发生频次分布较为均匀。突发型短时强降水发生频次基本分布在40~60次,持续型短时强降水发生频次在25次以下;增长型短时强降水在佛山西南部发生频次较低,其余地区发生频次较高。

值得注意的是,根据不同范围和不同类型短时强降水发生频次的分布来看,佛山东北部短时强降水的发生频次均较高。

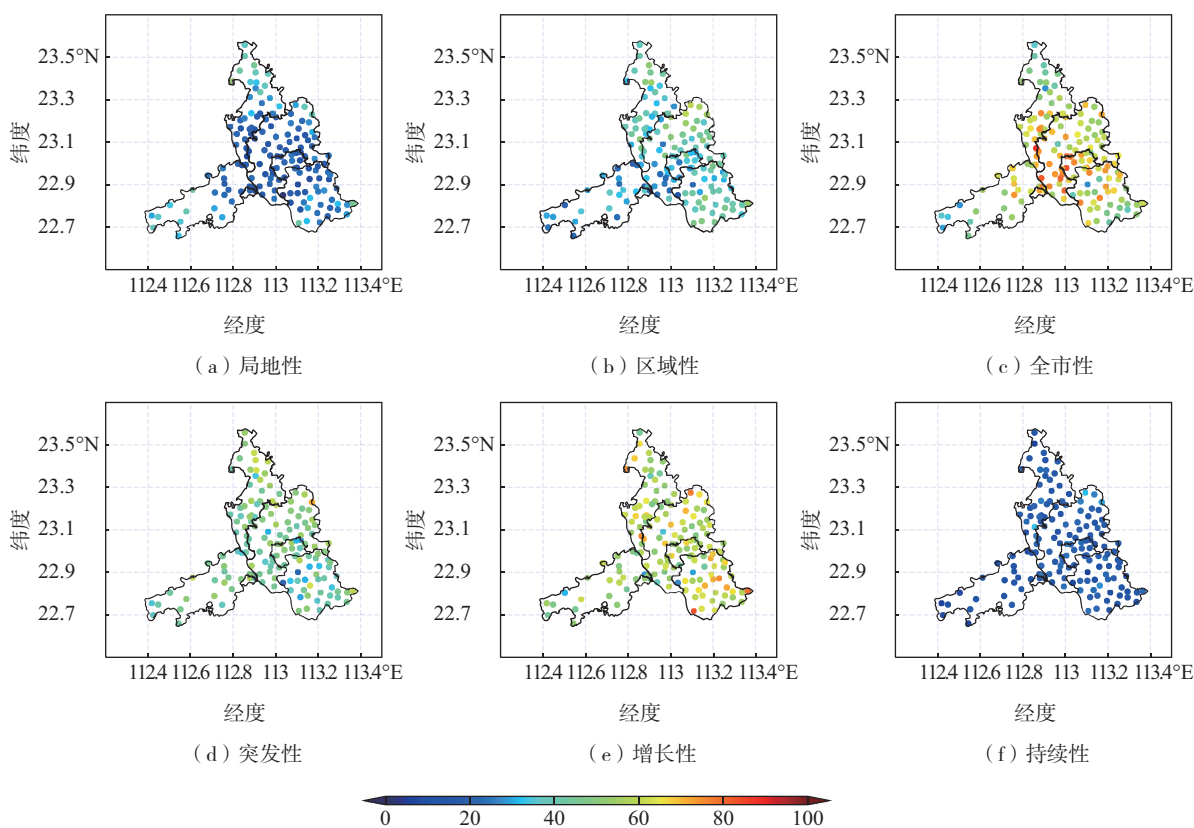


图5 佛山市短时强降水发生频次的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of frequency of short-time heavy precipitation in Foshan

3 主要影响系统

影响广东的主要天气系统较多,冬半年主要天气系统有蒙古高压、南支西风槽、低空急流、华南静止锋、切变线、南海高压;夏半年主要天气系统有西太平洋副热带高压(以下简称“副高”)、南亚高压、热带气旋、南海季风低压、西南低涡、热带辐合带、赤道反气旋、东风波、南海中层气旋^[18]。根据主要影响系统,将给佛山市带来短时强降水的天气系统分

为6类,第一类主要影响系统为副高,短时强降水主要发生在副高边缘;第二类为冷锋;第三类为西风槽,配合切变线等系统;第四类为偏南气流(无明显扰动),包含西南气流、东南气流等;第五类为热带系统,包含热带辐合带、东风波、热带气旋等;第六类为西南低涡,包含了部分风场闭合但是等压线没有闭合的低压。

统计2012—2020年上述天气系统带来的短时强降水所占比例(图6)发现,局地性短时强降水有

26.40%发生在副高边缘,占比最高,其次是热带系统和偏南气流影响,所以局地性短时强降水在7月发生频次较高,且降雨集中在午后地势比较高的地方;区域性短时强降水多发生在热带系统影响时,发生频次在8、9月较高,其次是西风槽和偏南气流;全市性短时强降水发生比例最多的是受西风槽的影响,一般有切变线和冷空气配合,自北向南影响佛山市,多发生在前汛期,其次是冷锋,占比24.75%。突发型短时强降水在副高边缘影响时发生比例最高,达到23.23%,其次是热带系统和偏南气流,和局地

性短时强降水一样,易发生在午后,但前后汛期发生频次均较高;增长型短时强降水在偏南气流和热带系统影响下出现的比例几乎相同,分别为21.63%和21.90%,在前后汛期发生的频次均较高;持续型短时强降水主要是由热带系统引起的,所占比例达到22.67%,其次是西风槽和偏南气流,但从发生频次可以看到,5、6月比较多,所以从持续时间来看在西南季风的影响下,短时强降水持续的时间更长。无论是按照发生范围,还是降水性质,主要影响系统为西南低涡的比例均最小。

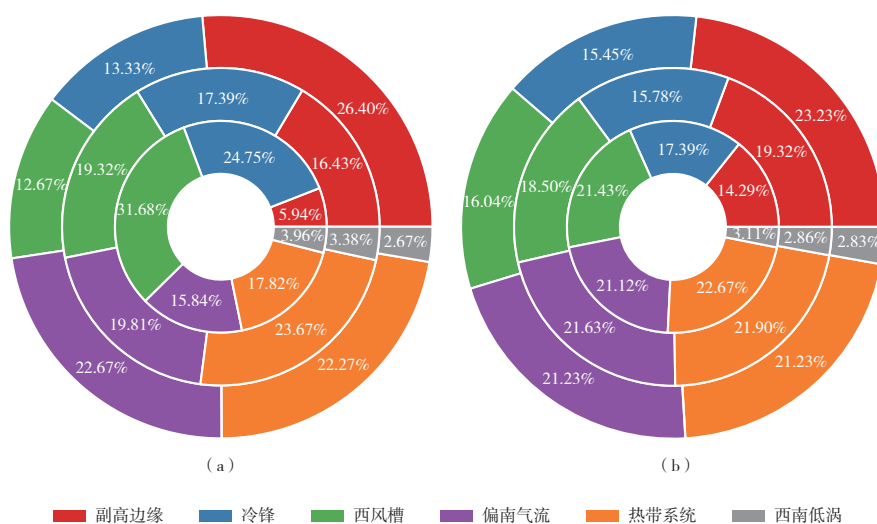


图6 主要影响天气系统所占比例(a图中由外到内分别为局地性、区域性、全市性短时强降水, b图中由外到内分别为突发型、增长型、持续型短时强降水)

Fig.6 Proportion of major synoptic systems (in Fig.6a, there are local type, regional type, and citywide type from outside to inside; in Fig.6b, there are abrupt type, growth type, and continuous type from outside to inside)

4 结论

(1)2012—2020年佛山市短时强降水发生频次整体呈上升趋势,2015年发生短时强降水的频次最多,2017年最少,短时强降水降雨量最大值为120.4 mm。就降水范围而言,发生频次全市性最多,区域性次之,局地性最少;就时间演变而言,增长型最大,突变型次之,持续型最少。

(2)从月变化来看,局地性短时强降水和区域性短时强降水主要发生在4—9月,全市性短时强降水主要发生在3—10月;突发型短时强降水主要发生在4—9月,增长型短时强降水发生在3—10月,持续型短时强降水5、6月发生的频次最高。

(3)从日变化来看,局地性、区域性呈单峰特征,全市性呈多峰特征,突发型、增长型呈双峰特征,持续

型较平稳,06—09时略高;局地性、全市性和增长型短时强降水中分位值日变化较小,区域性、增长型和持续型短时强降水中分位值的日变化较大;局地性短时强降水中突发型占比最多,区域性短时强降水中突发型和增长型占比接近,全市性短时强降水中增长型占比最多,极大值出现的时间段也不相同,最大值的短时强降水是一次增长型的区域性过程。

(4)由空间分布来看,佛山东北部短时强降水的发生频次均较高,局地性短时强降水在佛山西南部和北部发生频次较高,全市性短时强降水发生频次明显与局地性短时强降水发生频次的分布相反,区域性短时强降水在西南部发生频次较低;不同类型短时强降水发生频次空间分布较为均匀,但增长型短时强降水发生频次高于突发型短时强降水,持续型短时强降水发生频次最低。

(5)从给佛山带来短时强降水的天气系统占比来看,西南低涡影响的占比最小,局地性短时强降水副高边缘影响占比最大,区域性短时强降水热带系统影响占比最大,全市性短时强降水西风槽的影响占比最大;突发型短时强降水副高边缘影响占比最大,增长型短时强降水在偏南气流和热带系统影响下出现的占比几乎相同,持续型短时强降水热带系统影响占比最大。

参考文献:

- [1] 陈炯,郑永光,张小玲,等.中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J].气象学报,2013,71(3):367-382.
- [2] 孙喜艳,伍志方,梁巧倩,等.广东省不同等级小时强降水时空特征分析[J].自然灾害学报,2017,26(5):102-109.
- [3] 陈鹏,周盈颖,冯萍,等.重庆短时强降水时空特征分析[J].气象科技进展,2021,11(2):39-45.
- [4] 苏锦兰,张万诚,宋金梅,等.云南小时降水的时空分布变化研究[J].气象,2021,47(2):133-142.
- [5] 肖蕾,杜小玲,武正敏,等.贵州省短时强降水时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2021,40(4):383-392.
- [6] 吕劲文,姚日升,涂小萍,等.浙江省6—9月午后短时强降水空间分布特征分析[J].暴雨灾害,2019,38(4):320-328.
- [7] 赵海军,曹洁,潘玲,等.2007—2019年山东省短时强降水时空分布特征[J].海洋气象学报,2021,41(2):149-155.
- [8] 陈秋萍,陈敏艳,刘爱鸣,等.登陆福建热带气旋短时强降水特征[J].气象研究与应用,2016,37(3):24-28.
- [9] 王楠喻,王雪,娄盼星,等.台风“利奇马”引发山东强降水成因分析[J].海洋气象学报,2021,41(1):119-128.
- [10] 高荣珍,马艳.台风“巴威”外围致山东半岛西部强降水过程的中尺度特征及环境条件[J].海洋气象学报,2021,41(4):26-35.
- [11] 张凯静,江敦双,丁锋.青岛市短时强降水的气候特征和天气系统分型[J].海洋气象学报,2018,38(1):108-114.
- [12] 陈训来,陈元昭,张蕾,等.深圳市短时强降水时空分布及天气形势特征分析[C]//中国气象学会.第八届全国优秀青年气象科技工作者学术研讨会论文集.宜兴:中国气象学会,2014.
- [13] 刘思晨,雷瑛,李燕婷,等.佛山市短时强降水的气候特征及其影响因子分析[J].广东气象,2018,40(4):24-27.
- [14] 俞小鼎.短时强降水临近预报的思路与方法[J].暴雨灾害,2013,32(3):202-209.
- [15] LIANG P, DING Y H. The long-term variation of extreme heavy precipitation and its link to urbanization effects in Shanghai during 1916 - 2014[J]. Adv Atmos Sci,2017,34(3):321-334.
- [16] 王婷,湛志刚,何溪澄.21世纪以来广州强降水的若干变化特征[J].广东气象,2020,42(5):15-18.
- [17] 蔡晶,李怀宇,钱嘉星,等.广东短时强降水的时空分布特征[J].广东气象,2019,41(6):5-9.
- [18] 林良勋,冯业荣,黄忠,等.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006:17-21.
- [19] 周伯生,汪永新,俞健国,等.广东阳江沿海地区海陆风观测结果及其特征分析[J].热带气象学报,2002,18(2):188-192.