

上海城市大风时空分布特征及基于实时灾情的影响分析

孙一*

上海市气象灾害防御技术中心, 上海 徐汇 200030

*联系人, E-mail: 276968407@qq.com

摘要 本文利用 2008–2019 年的上海市自动站小时极大风速数据和上海市应急联动平台的实时大风灾情数据, 分析了上海城市大风和灾情的时空分布特征及联系, 探讨了上海城市大风的影响。研究表明: (1) 城市大风及致灾呈现明显的季节变化, 8 级大风日、极大风速和灾情变化都呈现夏季单峰型。夏季大风日占全年的 41%, 大风灾情占全年的 80% 以上。大风灾情的年际变化波动较大, 主要是受极端天气影响。(2) 城市大风及致灾体现出明显的城郊差异: I) 受城市化影响中心城区风速明显偏小; II) 灾情密度在中心城区最高(可达 37 件/km²), 在区域中心及副中心也相对偏高, 研究发现各区灾情数和人口、GDP 都呈正相关关系; III) 房屋类承灾在中心城区和周围区域相对突出, 在崇明区最不明显。(3) 城市致灾大风天气可分为江淮气旋大风、雷雨大风、热带气旋大风和冷空气大风四类, 其中雷雨大风发生最频繁, 热带气旋大风的致灾程度最严重。(4) 树和车辆是最突出的大风承灾体, 其次为电线和雨棚。大风致灾具有明显的链式反应。城市大风特征和影响分析对开展大风风险预警和防灾减灾工作具有重要意义。

关键词 上海 城市大风 实时灾情 时空分布 影响 城郊差异

近年来, 全球气候变暖影响突出, 导致极端天气气候事件进一步加剧 (IPCC, 2021; 袁宇锋, 2022)。上海地处东部沿海地区, 城市运行极易受气象灾害影响。作为超大城市, 上海面对气象灾害的暴露度和脆弱性呈增加态势。次生、衍生灾害影响显著(穆海振等, 2015)。2017 年全国两会期间, 习近平总书记在参加上海代表团审议时指出, “上海这种超大城市, 管理应该像绣花一样精细”。中共二十大强调, “要加快转变超大特大城市发展方式, 实施城市更新行动, 打造宜居、韧性、智慧城市”。面向上海这座超大城市高质量发展和精细化管理的要求, 提高气象防灾减灾能力、提升智慧气象赋能智慧城市建设水平具有重要意义。

大风是影响上海的主要气象灾害之一(史军等, 2015), 具体又分为台风、雷雨大风、寒潮大风等不同天气类型(王冀等, 2019, 周福等, 2017)。大风作为一种突发性的灾害, 极易在短时间内对人类的生产、生活造成严重伤害。大风造成的直接危害类型较多, 比如造成房屋倒塌, 建筑物受损(刘方田等, 2020; 陈雯超等, 2021); 影响航道, 导致船舶翻沉(刘春生等, 2008; 蔡晓杰等, 2013); 刮倒电线杆、电线, 引发电网安全事故(卢振礼等, 2021); 引起幼苗倒伏, 农作物缺水, 从而导致农业减产(俞海洋等, 2017, 刘方田等, 2020; 黄英姿等, 2023); 刮翻车辆, 影响城市轨道交通, 造成交通事故(杨通晓等, 2020; 董晓, 2022)。2018 年 8 月 12 日, 受台风“安比”影响, 上海黄浦区南京东路一商店店招脱落, 砸中 9 人, 3 人经抢救无效死亡, 产生了严重的社会面影响。

提高气象防灾减灾能力, 首先需要提高对灾害性天气的认识。大风天气受全球气候变化、大尺度环流及地形和下垫面的影响(赵宗慈等, 2011)。我国西北地区以春季大风为主(姚正毅等, 2006; 姚慧茹等, 2019, 王玉竹等, 2020), 大风常伴随扬沙、扬尘和沙尘暴天气, 对环境的影响较大(李耀辉等, 2004; 姚正毅等, 2006)。华北地区春季大风偏多, 但夏季雷雨大风的致灾性最强(俞海洋等, 2017)。东南沿海地区受台风影响突出(刘婧茹等, 2023), 在上世纪 80 年代至本世纪初我国台风造成的灾害逐年趋重(雷小途等, 2009), 近年来也有研究显示, 伴随着气象防灾减灾科普工作的深入开展, 由于人们的防灾减灾意识增强, 台风在沿海地区造成的经济损失有所减少(刘方田和许尔琪, 2020)。就上海地区而言, 已

有部分学者对上海沿岸海域灾害性大风特征（蔡晓杰等，2013）、雷雨大风和龙卷致灾大风特征（顾宇丹等，2010）、致灾台风的最大风速特征（孟菲等，2007）开展了研究，但对上海城市大风的总体特征研究偏少。上海大风近年来在城市面上产生的影响究竟如何，研究开展也因灾情数据而相对受限。灾情数据的连续性和完整性关系到大风影响分析的全面准确，目前一些公开的普查数据在致灾总量上有较好的表征（孟菲等，2007；顾宇丹等，2010），但在时间和空间精度上存在较大的欠缺。

自2007年起，上海市应急联动中心将110接报的气象类报警数据与上海市气象灾害防御技术中心进行共享。该数据包括灾情发生的时间、位置、灾情类型、灾情描述等具体信息，可以较好地表征致灾天气对城市产生的具体影响。因此，本文将基于2008-2019年上海市自动站测风数据和110大风灾情实时报警数据，开展上海城市大风和风灾的时空分布特征及关联性分析，定量统计上海致灾大风的主要特征。研究结果将有助于城市管理者全面掌握上海城市大风致灾影响，以期上海城市大风风险预警业务和大风灾害应急防御提供科学依据。

1 资料和方法

资料包括：1) 上海市应急联动中心提供的大风类实时灾情数据，时间跨度为2008-2019年。2) 上海市气象局信息中心提供的2008-2019年上海地区地面气象观测站测风数据。3) 2018年上海各区人口数据和GDP数据来自上海市统计局公布的统计年鉴。本文研究区域为上海市，考虑到黄浦区、杨浦区、虹口区、徐汇区、长宁区、静安区、普陀区面积都较小，且地理位置相对集中，因此本文在具体分析时将这7个区统一归为一个区域，即上海市中心城区，其他10个行政区分别作为10个区域。

根据《地面气象自动观测规范》，极大风速（瞬时风速）达到8级以上（风速 $\geq 17.2\text{m/s}$ ）的风为大风（中国气象局，2020）。有大风出现的一天，则称为大风日（李耀辉等，2004）。在进行大风特征分析时，本文采用大风日、大风时次数两个特征量。若测站逐小时极大风速中某一个时次有大风出现，即记为一个大风日。大风时次数为测站观测到大风的累计频次。为保证足够多的气象站点均衡分布在研究区内，本文选取了上海市小时极大风速数据较完整的36个气象站点作为研究对象（包括11个国家站），站点位置分布如图1所示。其中，徐家汇站因建筑遮挡风速偏小，故选取距离最近的徐家汇公园站代替。对站点极大风速达到或超过6级（风速 $\geq 10.8\text{m/s}$ ）、7级（风速 $\geq 13.9\text{m/s}$ ）、8级（风速 $\geq 17.2\text{m/s}$ ）的大风分别进行了统计。



图1 自动站站点位置分布图

Fig.1 Locations of representative automatic stations

本文所用的大风灾情数据包括时间信息、位置信息、灾情分类信息和灾情具体描述信息。本文采用空间匹配、类型确定、重复剔除、逻辑校正等方法对大风灾情进行校准。首先，通过灾情具体描述信息对定位不明确的灾情进行分区处理。其次，复杂天气（台风、雷雨大风等）时常会导致暴雨、雷电、大风等灾情同时发生，灾情分类判断不可避免地会产生一些语

义辨析错误，本文将包含积水、进水、被淹、雷电等关键词的大风灾情重新进行类型确定。最后，考虑到重复报警的情况，对报警日期、报警经纬度、灾情描述等完全一致的灾情进行过滤。基于以上处理，2008-2019年上海市应急联动平台共接报15052条大风灾情（图2）。



图2 2008-2019年上海市大风灾情点分布图（红色圆点：1件灾情）

Fig.2 Distributions of gale disasters happened from 2008 to 2019(each red dot represent one disaster)

在分析大风天气影响时，考虑到零星大风灾情可能是由非常局地的大风天气导致的。精准的大风观测数据较难获取，故我们选取单日灾情数超过10件的大风过程组成大风典型致灾过程集。经统计，2008-2019年上海市共有80次大风致灾过程单日致灾超过10件，共计产生大风灾情13861件，占近12年大风致灾总数的92.2%，可以较好地代表上海城市大风产生的总体影响。分析大风过程影响时，根据大风致灾过程集中每次大风过程的影响时间(X)、影响范围(Y)、影响风力强度(Z)和影响致灾数(U)进行等级划分，相关标准设定见表1。

表1 上海城市大风过程影响指标

Table1 Impact indicators of disastrous gale events in Shanghai

过程影响指标	指标分级	具体标准
X(单位：小时)	特短时大风(X_1)	$X \leq 6$
	短时大风(X_2)	$6 < X \leq 12$
	一般大风(X_3)	$12 < X \leq 24$
	长时大风(X_4)	$24 < X \leq 36$
	特长时大风(X_5)	$X > 36$
Y(单位：区)	局地大风(Y_1)	$Y \leq 3$
	片区大风(Y_2)	$3 < Y \leq 7$
	全市大风(Y_3)	$Y > 7$
Z(单位：m/s)	III级大风(Z_1)	$10.8 \leq Z < 13.9$
	II级大风(Z_2)	$13.9 \leq Z < 17.1$
	I级大风(Z_3)	$Z \geq 17.2$
U(单位：件)	一般致灾大风(U_1)	$10 \leq Z < 50$
	比较严重致灾大风(U_2)	$50 \leq Z < 100$
	严重致灾大风(U_3)	$100 \leq Z < 1000$
	特别严重致灾大风(U_4)	$Z \geq 1000$

2 上海市大风的时空分布特征

2.1 上海市大风的时间分布特征

我们选取大风日数为衡量城市大风的主要特征量。图3a是近12年上海市7级和8级大风日数的年际变化，可以看出大风日数存在一定的年际波动。近12a上海市7级、8级大风日数最多分别有115d（2011年）、43d（2010年），最少分别有54d（2019年）、13d（2018年）。近12a上海市7级、8级大风日数总体呈现下降趋势（已通过0.05的显著性检验），7级、8级大风日数平均递减率分别为-4.5d/a、-1.6d/a，7级大风日数减少更明显。极大风速也呈下降趋势（图4a），下降速率较小。相关研究表明，随着全球变暖和城市化进程加剧，中国城市大风日减少（李悦佳等，2018；丁一汇等，2020；曹宗元等，2023），地面风速减弱（俞海洋等，2017；Ding Yihui et al., 2020）已成为一个明显趋势。上海20世纪80年代后期开始，温度明显偏高，温度增幅变大（周巧兰和鲁小琴，2013），城市化强度增大（王宝强等，2019），这些可能都是导致上海城市大风日减少、极大风速下降的原因。

图3b为近12年上海市7级和8级大风日数的年内变化。为了便于分析大风日数的季节变化，本文定义春季为3-5月，夏季为6-8月，秋季为9-11月，冬季为12-次年2月。7级大风日数的季节变化呈三峰型，多发生于春季（26.1d），夏季（24d）和冬季（21.3d），秋季最少（18.8d），春季、夏季、冬季在上海分别为江淮气旋大风、热带气旋和雷雨大风、冷空气大风高发季。上海市8级大风最多出现在8月（5d），其次为7月（4.25d），4月也略偏多（3.5d）。与7级大风日数季节变化明显不同，上海市8级大风日数季节变化呈单峰型，夏季大风日占全年的40%，极大风速在夏季7月和8月也明显偏大（图4b）。由此可以推断，在上海地区夏季大风天气的发生频率和强度要明显高于春季和冬季。

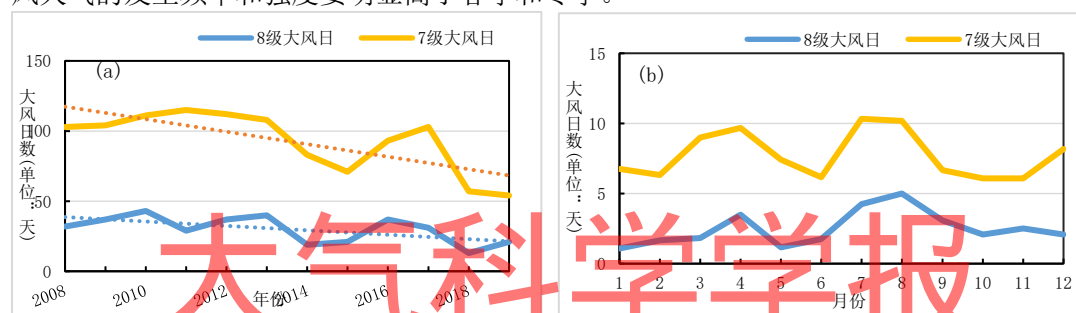


图3 2008-2019年上海市不同等级大风日数的年际变化(a)和年内变化(b)(虚线为趋势线)

Figure.3 Inter-annual variations(a) and annual variations(b) of gale days at different levels (blue represents level 8, yellow represents level 7) from 2008 to 2019 in Shanghai (dotted lines are the trend lines)

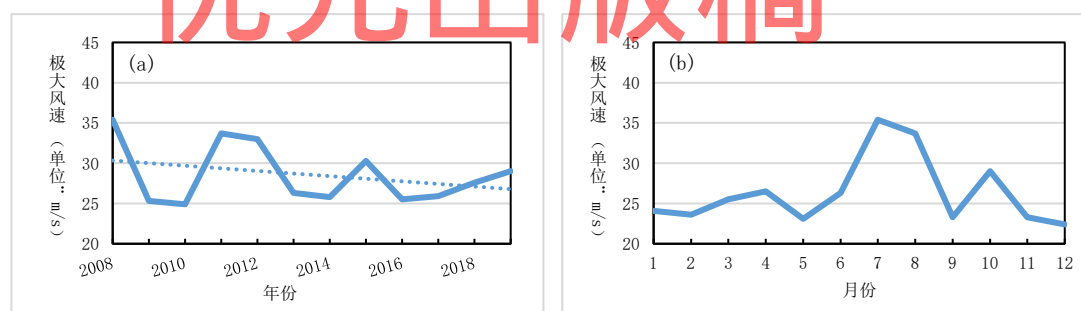


图4 2008-2019年上海市极大风速年际变化(a)和年内变化(b)(虚线为趋势线)

Figure.4 Inter-annual variations(a) and annual variations(b) of extreme wind speeds from 2008 to 2019 in Shanghai (dotted lines are the trend lines)

2.2 上海市大风的时空分布特征

从上海市大风日数的空间图可知，上海中心城区各级大风日明显偏少，东部沿江沿海郊区明显偏多。近12年上海市6级大风日在中心城区徐家汇公园站仅有15d，向外则辐射增加（图5a）。7级大风日在中心城区出现频次进一步减少，近12年徐家汇公园站仅有2d，外环内中心城区其他站点约有25~40d（图5c）。8级大风日的空间分布城郊差异最大，徐家汇公园站近12年没有8级大风日，周边真新站仅有1天，而崇明中东部、横沙岛和浦东东南部沿江沿海地区地区8级大风日明显偏多，金山、奉贤沿海地区和宝山沿江地区大风日也偏多（图5e）。

大风时次的空间分布也存在类似的城郊差异,且随着风力等级的增加差异越来越明显(图5b、d、f)。

上海城市大风分布空间分布的城郊差异与城市发展密不可分,中心城区建筑群增多、增密和增高,导致城区下垫面粗糙度增大,气流经过城市下垫面粗糙度的影响,风速会明显减小(辛跳儿等,2009;张爱英等,2009)。同时,长江入海口地形呈西北-东南向喇叭口形状,狭管效应明显(黄世成等,2009;李加武等,2020),崇明岛、横沙岛处在喇叭口的中央,其附近地势平坦,相同天气条件下其风力偏大。且上海和长江口区一年中盛行东南风的机率较高(蔡晓杰等,2020),在喇叭口地形迎风作用下,北上气流狭管效应更为显著(高珊等,2012)。

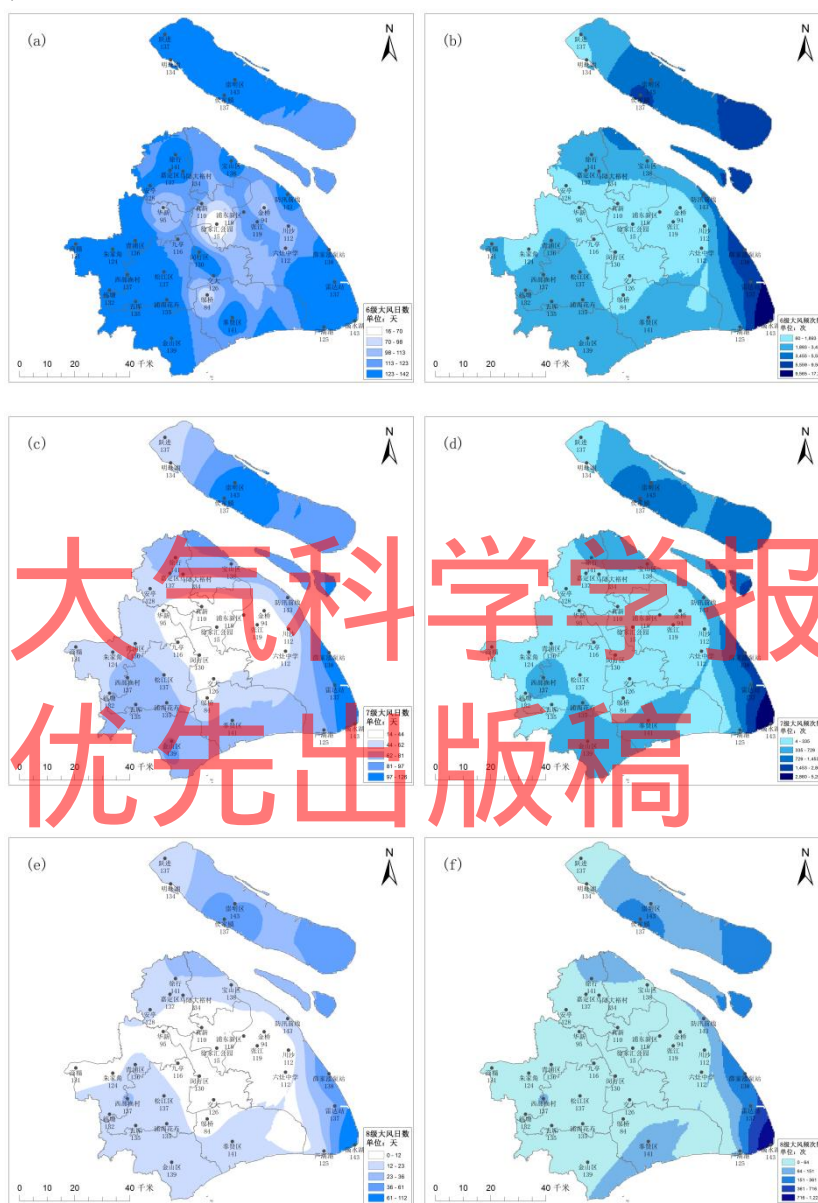


图5 2008-2019年上海市不同等级大风日数(6级(a)、7级(c)、8级(e))和大风时次数(6级(b)、7级(d)、8级(f))的空间分布

Fig.5 Distributions of gale days(level6(a);level7(c);level8(e)) and gale frequencies(level6(b);level7(d);level8(f)) from 2008 to 2019 in Shanghai

3 上海市大风灾情的时空分布特征

3.1 上海市大风灾情的时间分布特征

上海城市大风灾情数的年际分布波动较大。2012年最多，有5664起，2019年次之，有4699起，2010年最少，仅有88起。上海城市大风灾情数异常偏高的年份，均受到了强台风的影响。台风天气发生时往往致灾因子偏多，在暴雨、大风、风暴潮、洪水的共同作用下，常产生一系列次生灾害，呈现链式结构（刘洪良等，2023）。IPCC报告指出，承灾体对级联和复合性极端天气气候事件对社会经济影响的暴露度正在增加（IPCC，2022），因此在2012年台风“海葵”、2019年台风“利奇马”等极端台风天气发生时，城市大风致灾风险明显偏高。

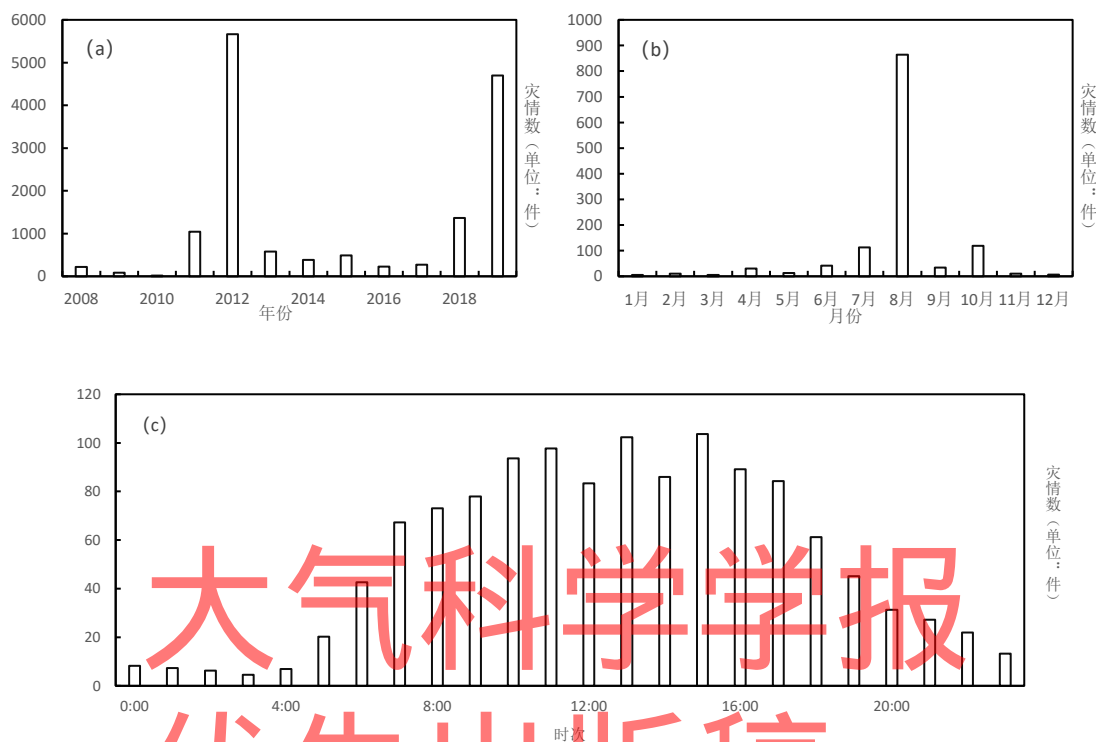


图6 2008-2019年上海城市大风灾情数的年际变化(a)、年内变化(b)和日间变化(单位:起)
 Figure.6 Inter-annual variations(a), annual variations(b), daily variations(c) of gale disaster cases from 2008 to 2019 in Shanghai (unit: case)

统计2008-2019年上海城市大风灾情数的年内变化可知(图6b),上海大风灾情数年内变化呈单峰型,80%以上大风灾情发生在夏季,其中8月占比68.9%。10月和7月大风灾情占比分别为9.5%和9%,其余月份发生较少。这与上一章节上海地区夏季大风发生频率偏高强度偏强的结论是吻合的。

近12年大风灾情数日间变化呈典型的单峰变化特征(图6c),与市民活动时间一致,8-17时的单时次灾情数都在70起以上。有研究指出,上海城市暴雨灾情日分布具有典型的双峰特征(早高峰和晚高峰)(李海宏等,2018)。可见大风致灾和暴雨致灾的特点不同,暴雨致灾往往有累积效应和滞后效应,大风灾害通常是一种突发性、随机性的灾害,因此其在市民活动活跃的时间,主动报灾都偏多。

3.2 上海市大风灾情的空间分布特征

通过上海市大风灾情密度分布图(图7)可以看出,大风灾情密度在中心城区最高,可达37件/平方千米,其次为松江、闵行、奉贤、金山、宝山的主城区和浦东新区沿江区域,灾情密度均超过10件/平方千米,嘉定、青浦主城区,浦东新区副中心也有灾情密度相对大值区,崇明区的灾情密度普遍偏低。这样的灾情密度的分布与城市化程度有着紧密的关联。研究指出,当前的经济和人口增长模式正在加剧自然和人类系统对气候灾害的暴露度(姜彤

等，2022），经计算上海各区大风灾情和人口、GDP 都呈正相关关系（图略），即经济和人口暴露度高的区域，城市大风致灾风险明显偏高。同时，城市“峡谷风”是各大城市面临的新问题，高楼林立造成的狭管效应会加重高空物体坠落的影响（Blocken B. 2015），这也可能是中心城区大风灾情偏多的原因。

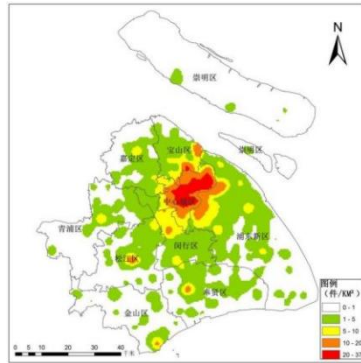


图7 上海城市大风灾情密度空间分布图（单位：件/平方千米）

Figure.7 Kernel density distribution of gale disasters happened in Shanghai (unit: case/km²)

4 上海城市大风致灾影响和风险分析

4.1 上海城市大风致灾天气背景分析

上海市大风致灾过程可分为江淮气旋大风、雷雨大风、热带气旋大风和冷空气大风四类。表2统计了近12年四类大风致灾天气过程的发生频次和具体影响。因80次过程中有76次影响到了中心城区，且中心城区灾情较为密集，所以在统计风力强度时以中心城区站点为代表。

持续时间长、影响范围广、风力等级强的大风过程一般致灾风险较高。热带气旋大风较其他三类过程影响时间明显偏长，且影响范围涉及全市、过程风力等级也偏强，60%以上的大风灾情是由3天以上的热带气旋大风过程导致的。此外，热带气旋大风还有发生较为频繁（平均每年发生1.75次致灾过程）、影响范围广（81.0%的过程影响全市）、单次过程致灾程度严重的特点。雷雨大风多为特短时大风，单次过程致灾总量不多，但发生频繁（占致灾总过程的43.8%），且局地性较强，仍需加强对这类天气的监测和预警。江淮气旋大风发生频次不高，影响时间一般不长，但影响范围以全市大风为主，过程风力强度明显偏强，个别过程会产生严重致灾。冷空气大风是致灾数最少的大风天气类型，其影响范围虽广，但风力强度明显偏弱，历史上长时的冷空气大风过程的致灾量也仅有35件，没有产生严重致灾的大风过程。

表2 上海四类大风致灾天气过程统计分析表(单位：次)

Table 2 Statistical analysis table of four kinds of disastrous gale events in Shanghai (unit: case)

统计量	江淮气旋大风	雷雨大风	热带气旋大风	冷空气大风
过程数	8(437)	35(1187)	21(11823)	16(414)
单次过程最高致灾数	152	123	5066	72
按X划分的过程数				
X ₁	2(52)	21(526)	1(11)	3(53)
X ₂	4(115)	11(505)	3(164)	9(169)
X ₃	2(270)	3(156)	7(1255)	5(157)
X ₄			7(2058)	1(35)
X ₅			3(8335)	

	Y ₁		4 (66)	1 (17)	
按 Y 划分的过程数	Y ₂	3 (61)	24 (807)	3 (40)	9 (154)
	Y ₃	5 (376)	7 (314)	17 (11766)	7 (260)
	按 Z 划分的过程	Z ₁		10(521)	11 (1083)
	Z ₂	7(285)	8(284)	9 (7842)	4(151)
	Z ₃	1 (152)		1 (2898)	
按 U 划分的过程数	U ₁	5 (110)	28 (598)	6 (121)	15 (342)
	U ₂	1 (57)	5 (362)	4 (259)	1 (72)
	U ₃	2 (270)	2 (227)	8 (2467)	
	U ₄			3 (8976)	

注：括号中的数值为次类型大风过程致灾总数，单位为件。

4.2 上海城市大风承灾体分析

表 3 统计了近 12 年上海市各区大风承灾体分布。树和车辆是最突出的大风承灾体，其次为电线和雨棚。大风致灾具有链式反应，33.1%的树木倒伏会导致车辆受损，9.2%的树木倒伏会引起电线受损。大风致灾还存在明显的城郊差异，崇明区树木和电线承灾比例明显高于其他区，高达 62%的大风致灾引起树的倒伏，21%的大风致灾引起电线受损；房屋类（屋顶、玻璃、雨棚）承灾在区内不明显，仅占 9%左右；中心城区树木、车辆、雨棚承灾最明显，房屋类承灾（25%）相比其他区较突出；宝山区房屋类承灾相较其他区最为突出，约有 27%的大风致灾引起房屋受损；松江区和嘉定区的车辆受损占比最高，有超过 50%的大风灾情引起车辆受损。以上结果可以帮助应急管理部门更加有针对性地开展的大风过程前的防御准备。

表 3 上海市各区大风承灾体统计表（单位：%）
Table3 Statistical table of gale carriers in different districts in Shanghai(unit:100%)

	树	信号灯	电线类	车辆	屋顶	玻璃	雨棚	广告牌
中心城区	39	3	10	36	4	6	15	6
浦东新区	32	7	13	47	5	5	7	7
宝山区	28	10	12	33	4	6	17	6
嘉定区	40	6	8	51	5	4	4	6
青浦区	40	6	11	48	7	4	2	5
松江区	33	6	8	52	6	4	1	8
闵行区	35	8	9	47	6	5	6	8
金山区	32	4	14	43	6	4	3	4
奉贤区	34	4	13	46	7	7	1	6
崇明区	62	2	21	32	3	1	1	7

注：1）表格中的数值为该类型承灾体在区域内的比例，即该类承灾体数量占灾情总数的比重；2）蓝色数字代表区域内比重最高的 3 类承灾体。

5 讨论和结论

本文利用 2008-2019 年上海自动气象站小时极大风速数据和上海市应急联动平台大风实时灾情数据分析了上海城市大风和灾情的时空特征及关联，探讨了城市大风的影响，加深了对城市大风灾害过程的认识，得到主要结论如下：

(1) 城市大风及致灾呈现明显的季节变化，8 级大风日、极大风速和灾情变化都呈现夏季单峰型。夏季大风日占全年的 41%，大风灾情占全年的 80%以上。从年际变化来看，上海大风日数总体呈现下降趋势，极大风速也趋于减小，但大风灾情的年际波动较大，主要是

受极端天气和链式致灾影响。

(2) 城市大风及致灾体现出明显的城郊差异: I) 中心城区受城市下垫面粗糙度的影响, 风速明显偏小; 崇明岛、横沙岛和浦东东南沿江沿海地区在喇叭口地形迎风作用下, 风速明显偏大。II) 灾情密度在中心城区最高(可达 37 件/km²), 在其他区域中心及副中心也相对偏大, 研究发现各区灾情数和人口、GDP 都呈正相关关系。III) 树木和电线承灾比例在崇明区最高; 房屋类承灾比例在宝山区最高, 中心城区次之, 崇明最低; 车辆受损在嘉定区和松江区比重最大。

(3) 大风致灾过程可分为江淮气旋大风、雷雨大风、热带气旋大风和冷空气大风四类, 大风致灾程度和过程影响时间、影响范围、极大风速等都密切相关。热带气旋大风致灾程度最严重; 雷雨大风发生最为频繁; 江淮气旋影响范围偏广, 过程风力强度偏强, 但发生频次不高; 冷空气大风致灾数最少, 其影响一般会伴随寒潮、雨雪冰冻等复合型天气, 本文仅统计了大风灾情, 不代表其在城市面上的总体影响偏弱。

(4) 树和车辆是最突出的大风承灾体, 其次为电线和雨棚。大风致灾具有明显的链式反应, 树木倒伏会引发次生灾害的概率较大, 对交通和电网的影响突出。因此, 城市管理需进一步细化大风应急预案, 加强市容绿化、交通、电力、应急等多部门的沟通和协作。

自动气象站测风数据质量关系到城市大风特征的准确和客观, 上海城市大风的空间差异特征可能是由观测环境导致的。随着城市发展, 部分自动站的测风受到遮挡导致极大风速偏小, 而海拔较高或地理位置较空旷的测站则常年有大风记录。对自动站测风数据开展进一步的检验和质量控制, 将有助于更好地表征城市大风的特征。此外, 大风所带来的影响和灾害是多方面的, 本文运用的灾情数据为市民主动报灾数据, 灾情仅涉及大风对市政设施和居民生活的影响, 而大风对农业、环境、经济造成的损失有待通过其他灾情数据进一步开展研究。且因 110 报灾数据与真实灾情的发生时间相比存在滞后性, 使得灾情数的日分布特征很大程度上受到市民活动的影响, 并不代表夜间大风灾害发生偏少。

未来, 可进一步面向城市精细化管理要求, 开展基于基层管理单元的大风致灾阈值研究, 综合灾害风险矩阵技术, 开发大风风险预警产品, 推动上海城市大风灾害管理向事前预知预判为重点的精细化预防升级。

参考文献 (References)

- Blocken B, 2015. Computational Fluid Dynamics for Urban Physics: Importance, Scales, Possibilities, Limitations and Ten Tips and Tricks Towards Accurate and Reliable Simulations[J]. Building and Environment, 91:219-245
- 曹宗元, 王坚侃, 何晴, 等, 2023. 浙江沿海大风气候特征及影响系统分析[J]. 海洋预报, 40(02):89-97. Cao Z Y, WANG J K, He Q, et al., 2023. Analysis of the climatic characteristics and influence system of strong wind along the coast of Zhejiang[J]. Marine Forecasts, 40(02):89-97. doi:10.11737/j.issn.1003-0239.2023.02.009. (in Chinese).
- 陈雯超, 宋丽莉, 王丙兰, 等, 2021. 强台风的致灾大风特征及与倒塌房屋的关联分析[J]. 空气动力学学报, 39(04):98-106. Chen W C, Song L L, Wang B L, et al., 2021. The correlation between destructive gales and collapsed houses during the landing of strong typhoons[J]. Acta Aerodynamica Sinica, 39(04):98-106. (in Chinese).
- 蔡晓杰, 王琴, 朱智慧, 等, 2013. 上海沿岸海域灾害性大风特征研究与预报检验[J]. 海洋预报, 37(02):46-53. Cai X J, Wang Q, Zhu Z H, et al., 2013. Characteristics study and forecast validation of the

gale along the coast of Shanghai[J]. Marine Forecasts, 37(02):46-53. doi:10.11737/j.issn.1003-0239.2020.02.006. (in Chinese).

丁一汇,李霄,李巧萍,2020. 气候变暖背景下中国地面风速变化研究进展[J]. 应用气象学报, 31(01):1-12. Ding Y H, Li X, Li Q P, 2020. Advances of surface wind speed changes over China under global warming[J]. J Appl Meteor Sci, 31(1):1-12. doi:10.11898/1001-7313.20200101. (in Chinese).

董晓,2022. 大风环境下列车弓网离线影响因素及防范措施研究[D]. 中南大学. Dong X, 2022. Research on influencing factors and preventive measures of pantograph-catenary disconnection of train under strong wind environment[D]. Central South University. doi:10.27661/d.cnki.gzhnu.2022.002602.

高珊,吴幸毓,何小宁,2012. 1010号台风“莫兰蒂”对福建近海风场的影响及其成因分析[J]. 台湾海峡, 31(02):173-181. Gao S, Wu X Y, He X N, 2012. Analysis of characteristics and formation of offshore wind field in Fujian influenced by 1010 typhoon Meranti[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 31(02):173-181. (in Chinese).

顾宇丹,王强,黄晓虹,等,2010. 上海市两类风灾时空变化分析及区划[J]. 大气科学研究与应用, (02):104-112. Gu Y D, Wang Q, Huang X H, et al., 2010. The Analysis and Zoning of Temporal and Spatial Changes of Wind Disasters in Shanghai[J]. Atmospheric science research and application, 2010(02):104-112. (in Chinese).

黄世成,周嘉陵,任健,等,2009. 长江下游百年一遇的极值风速分布[J]. 应用气象学报, 20(04):437-442. Huang S C, Zhou J L, Ren J, et al., 2009. Speed Distribution of 100 year Extreme Winds in Lower-reaches of the Yangtze[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 20(04):437-442. (in Chinese).

黄英姿,郝宏飞,王影,2023. 巴楚县大风天气统计分析及对农业的影响[J]. 农业灾害研究, 13(05):74-76. Huang Y Z, Hao H F, Wang Y, 2023. Statistical Analysis Gale Weather in Bachu County and Its Impact on Agriculture[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 13(05):74-76. (in Chinese).

IPCC, 2021. Summary for policymakers in: climate change 2021: The Physical Science Basis[R]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press.

姜彤,翟建青,罗勇,等,2022. 气候变化影响适应和脆弱性评估报告进展: IPCC AR5到AR6的新认知[J]. 大气科学学报, 45(4):502-511. Jiang T, Zhai J Q, Luo Y, et al., 2022. Understandings of assessment reports on climate change impacts, adaptation and vulnerability: progress from IPCC AR5 to IPCC AR6[J]. Trans Atmos Sci, 45(4):502-511. (in Chinese).

李海宏,吴吉东,2018. 2007—2016年上海市暴雨特征及其与内涝灾情关系分析[J]. 自然资源学报, 33(12):2136-2148. Li H H, Wu J D, 2018. Rainstorm Characteristics and Its Relationship with Waterlogging Disaster in Shanghai during 2007-2016[J]. Journal of Natural Resources, 33(12):2136-2148. doi:10.31497/zrzyxb.20180559. (in Chinese).

李加武,徐润泽,党嘉敏,等,2020. 喇叭口河谷地形基本风特性实测[J]. 长安大学学报(自然科学版), 40(06):47-56. Li J W, Xu R Z, Dang J M, et al., 2020. Field measurement of basic wind characteristics of trumpet river valley[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 40(6):47-56. doi:10.19721/j.cnki.1671-8879.2020.06.005. (in Chinese).

李耀辉,张存杰,高学杰,2004. 西北地区大风日数的时空分布特征[J]. 中国沙漠, (06):55-63. Li Y H, Zhang C J, Gao X J, 2004. Temporal and Spatial Characteristics of Gale Weather over Northwest China[J]. Journal of Desert Research, (06):55-63. (in Chinese).

李悦佳,贺新光,卢希安,等,2018. 1960-2015年长江流域风速的时空变化特征. 热带地理, 38(5):660-667 Li Y J, He X G, Lu X A, et al., 2018. Spatio-temporal Variability of Wind Speed in the Yangtze River Basin during 1960-2015[J]. Topical Geography, 38(5):660-667 (in Chinese).

刘春生, 2008. 渤海冬半年冷空气大风及对船舶安全影响的研究[D]. 大连海事大学, 2008. Liu C S, 2008. Study on Cold Air Strong Wind of Bohai Sea in Winter and Its Effecting on Safety Navigation[D]. Dalian Maritime University.

刘方田, 许尔琪, 2020. 海南省台风特点与灾情评估时空关联分析[J]. 灾害学, 35(02):217-223. Liu F T and Xu E Q, 2020. Spatio-temporal Correlation Analysis of Typhoon Characteristics and Disaster Assessment in Hainan Province[J]. Journal of catastrophology, 35(02):217-223. (in Chinese).

刘洪良, 罗年学, 赵前胜, 2023. 基于灾害复杂网络的深圳台风灾害链风险分析[J]. 灾害学, 38(04):228-234. Liu H L, Luo N X, Zhao Q S, 2023. Risk Analysis of Typhoon Disaster Chain in Shenzhen Based on Complex Network[J]. Journal of Catastrophology, 38(04):228-234. (in Chinese).

刘婧茹, 李英, 孟青, 等, 2023. 中国东南地区热带气旋大风及其伴随天气的统计特征[J]. 大气科学, 47(4):1024-1038. Liu J R, Li Y, Meng Q, et al., 2023. Statistical Characteristics of Tropical Cyclone Gale and Its Accompanying Weather in Southeast China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 47(4):1024-1038. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2110.21136. (in Chinese).

卢振礼, 李玉华, 崔广署, 等, 2021. 灾害天气对日照市电力事故的影响研究[J]. 海洋气象报, 41(03):102-108. Lu Z L, Li Y H, Cui G S, et al., 2021. Study on impact of hazardous weather on electric power accident in Rizhao[J]. Journal of Marine Meteorology, 41(03):102-108. doi:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.03.011. (in Chinese).

雷小途, 陈佩燕, 杨玉华, 等, 2009. 中国台风灾情特征及其灾害客观评估方法[J]. 气象学报, 67(05):875-883. Lei X T, Chen P Y, Yang Y H, et al., 2009. Characters and objective assessment of disasters caused by typhoons in China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 67(5):875-883. (in Chinese).

孟菲, 康建成, 李卫江, 等, 2007. 50年来上海市台风灾害分析及预评估[J]. 灾害学, 22(04):71-76. Meng F, Kang J C, Li W J, et al., 2007. Analysis and Evaluation of Typhoon Disasters in Shanghai in Past 50 Years[J]. Journal of Catastrophology, 22(04):71-76. (in Chinese).

穆海振, 史军, 贺芳芳, 等, 2015. 上海城市气象灾害特点及巨灾防范浅析[J]. 上海保险, 8:23-24. Mu H Z, Shi J, He F F, et al., 2015. Analysis on the Characteristics of Meteorological Disasters and Giant Disaster Prevention in Shanghai[J]. Shanghai Insurance, 8:23-24. (in Chinese).

史军, 徐家良, 谈建国, 等, 2015. 上海地区不同重现期的风速估算研究[J]. 地理科学, 35(09):1191-1197. Shi J, Xu J L, Tan J G, et al., 2015. Estimation of Wind Speeds for Different Recurrence Intervals in Shanghai[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(09):1191-1197. doi:10.13249/j.cnki.sgs.2015.09.017. (in Chinese).

王宝强, 李萍萍, 沈清基, 等, 2019. 上海城市化对局地气候变化的胁迫效应及主要影响因素研究[J]. 城市发展研究, 26(09):107-115. Wang B Q, Shen Q J, Peng C, et al., 2019. Research on the Stressed Effect of Urbanization on Local Climate Change and Main Influencing Factors in Shanghai[J]. Urban Development Studies, 26(09):107-115. (in Chinese).

王冀, 李英, 吴哲红, 等, 2019. 我国大风机理研究和预报技术进展[J]. 气象科技, 47(04):600-607. Wang H, Li Y, Wu Z H, et al., 2019. Advances in Researches on Mechanisms and Forecast Techniques of High Winds in China[J]. Meteorological Science and Technology, 47(04):600-607. doi:10.19517/j.1671-6345.20180326. (in Chinese).

王玉竹, 闫浩文, 王小平, 等, 2020. 新疆大风集中程度时空特征分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(03):623-632. Wang Y Z, Yan H W, Wang X Q, et al., 2020. Spatio-temporal analysis of gale concentration in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 43(03):623-632. (in Chinese).

辛跳儿, 贺千山, 魏海茹, 等, 2009. 上海世博园上空边界层风垂直变化观测研究[J]. 高原气象, 28(01):127-135. Xin T E, He Q S, Wei H R, 2009. Observation and Study of Wind Velocity Variation with Altitude over the EXPO Land Shanghai[J]. Plateau Meteorology, 28(01):127-135. (in Chinese).

- 杨辰,潘顺,严岩,2021.基于自然语言识别的上海市报警灾情数据识别及其气象灾害特征分析研究[J].自然灾害学报,30(03):142-150. Yang C, Pan S, Yan Y,2021.Research on recognition of alarm disaster data and analysis of meteorological disaster features in Shanghai based on natural language recognition algorithm[J].Journal of Natural Disasters,30(03):142-150. doi:10.13577/j.jnd.202.0316. (in Chinese).
- 杨通晓,谈建国,史军,等,2020.上海轨道交通16号线高架地面段大风特征及测风设备布点研究[J].干旱气象,2020,38(05):847-858. Yang T X, Tan J G, Shi J, et al.,2020.Characteristics of Gale and Layout of Wind Observation Equipment on Elevated Section of Rail Transit Line 16 in Shanghai[J].Journal of Arid Meteorology,38(5):847-858. doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2020)-05-0847. (in Chinese).
- 姚慧茹,李栋梁,2019.青藏高原风季大风集中期、集中度及环流特征[J].中国沙漠,39(02):122-133. Yao H R, Li D L,2019.The Gale Concentration Period and Degree over the Tibetan Plateau and Related Atmospheric Circulation during the Windy Period[J].Journal of Desert Research,39(02):122-133. (in Chinese).
- 姚正毅,王涛,陈广庭,等,2006.近40a甘肃河西地区大风日数时空分布特征[J].中国沙漠,26(1):65-70. Yao Z Y, Wang T, Chen G T, et al.,2006.Spatial-Temporal Distribution Characteristics of Windy Days in Recent 40 Years in Hexi Region, Gansu Province[J].中国沙漠,26(01):65-70. (in Chinese).
- 俞海洋,李婷,陈笑娟,等,2017.河北省近30年大风时空分布及成灾特征分析[J].灾害学,32(02):59-63. Yu H Y, Li T, Chen X J, et al.,2017.The Spatio-temporal Distribution and Disaster characteristics Analysis of the Gale in Hebei Province for Nearly 30 Years[J].Journal of Catastrophology,32(2):59-63. doi:10.3969/j.issn.1000-811X.2017.02.011. (in Chinese).
- 袁宇锋,翟盘茂,2022.全球变暖与城市效应共同作用下的极端天气气候事件变化的最新认知[J].大气科学学报,2022,45(02):161-166. Yuan Y F, Zhai P M,2022.Latest understanding of extreme weather and climate events under global warming and urbanization influences[J].Trans Atmos Sci,45(2):161-166. doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20211011001.
- 张爱英,任国玉,郭军,等,2009.近30年我国高空风速变化趋势分析[J].高原气象,28(03):680-687. Zhang A Y, Ren G Y, Guo J, et al.,2009.Change Trend Analyses on Upper Air Wind Speed over China in Past 30 Years[J].Plateau Meteorology,28(03):680-687. (in Chinese).
- 赵宗慈,罗勇,江滢,2011.全球大风在减少吗?[J].气候变化研究进展,7(02):149-151. Zhao Z C, Luo Y, Jiang Y,2011.Is global Strong Wind Declining?[J].Advances in climate change research,7(02):149-151.
- 中国气象局,2020.地面气象自动观测规范(第一版)[M].气象出版社. China Meteorological Administration,2020.Specifications for surface meteorological Automatic observation(First edition)[M].China Meteorological Press.
- 周福,蒋璐璐,涂小萍,等,2017.浙江省几种灾害性大风近地面阵风系数特征[J].应用气象学报,28(01):119-128. Zhou F, Jiang L L, Tu X P, et al.,2017.Near-surface Gust Factor Characteristics in Several Disastrous Winds over Zhejiang Province[J].Journal of Applied Meteorological Science,28(01):119-128. (in Chinese).
- 周巧兰,鲁小琴,2013.上海市1951-2010年气温演变的结构分析[J].浙江大学学报(理学版),40(06):693-697. Zhou Q L, Ru X Q,2013.The temperature changes in Shanghai during 1951-2010, Journal of Zhejiang University(Science Edition),40(06):693-697. (in Chinese).

Spatiotemporal Characteristics of Shanghai Urban Gales and Correlative Impact Analysis Based on Real-Time

Disasters

SUN Yi

Shanghai Center for Meteorological Disaster Prevention Technology, Shanghai 200030, China

Based on the hourly maximum wind speed data of Shanghai automatic stations and real-time gale disaster data provided by Shanghai Emergency Response Coordination Center from 2008 to 2019, characteristics of spatiotemporal distributions and correlations between urban gales and disasters are analyzed in order to explore the impacts of strong winds in Shanghai. The results are as follows: (1) The gales and disasters present significant seasonal variations with force 8 gale days, maximum wind speeds, and disasters all exhibiting a summer single peak pattern. Summer gale days account for 41% of the year, and gale disasters account for over 80% of the year. The inter-annual fluctuations of disasters are significant, mainly influenced by extreme weathers. (2) The gales and disasters show significant differences between urban and suburban areas: I) Wind speeds in downtown areas are much lower due to the impact of urbanization. II) The density of disaster cases ranks the highest in central city (up to 37 cases/km²) and relatively high in regional centers and sub-centers. It is also found that the number of disasters in each region is positively correlated with its population and GDP. III) The housing related damages are relatively prominent in downtown and its surrounding regions, but the least significant in Chongming District. (3) The disastrous gale weather in Shanghai can be divided into four categories: Jiang-huai cyclone gales, thunderstorm gales, tropical cyclone gales and cold air gales, with thunderstorm gales the most frequent and tropical cyclone gales the most severe. (4) Trees and vehicles are the most common disaster-bearing bodies of strong wind disasters in Shanghai, followed by power lines and rain shelters. Gales cause disasters with obvious chain reactions. The study on the characteristics and impacts of urban gales are of great significance for the gale risk warning development and disaster prevention and mitigation.

Shanghai; urban gales; real-time disasters; spatiotemporal distribution; impacts; differences between urban and suburban areas