

刘炳荣,李晴岚,杨琳,等,2019.深圳地区季节风特征研究[J].气象,45(2):263-273. Liu B R, Li Q L, Yang L, et al, 2019. Seasonal wind characteristics in Shenzhen Area[J]. Meteor Mon, 45(2):263-273(in Chinese).

深圳地区季节风特征研究*

刘炳荣^{1,2} 李晴岚¹ 杨琳³ 李辉³
曹宇麟^{1,4} 唐小新³ 孙石阳³ 孙立群¹

1 中国科学院深圳先进技术研究院,深圳 518055

2 中国科学院大学深圳先进技术学院,深圳 518055

3 深圳市气象局,深圳 518040

4 东北大学,沈阳 110819

提 要: 本研究利用深圳地区 8 个沿海、陆地自动气象站 2007 年 6 月 1 日至 2017 年 6 月 1 日 11 年的小时风速观测数据,按不同季节对各站历史阵风观测进行特征分析研究,并计算比较各站的阵风系数。结果表明,沿海气象自动站四季风力观测普遍高于陆地自动站的风力;8 个气象台站在夏、秋季受台风影响的最大阵风大于冬春之际受冷空气影响的最大阵风。各台站中,距离海岸最近的港口码头气象站,盐田港、妈湾港、蛇口码头具有最小的阵风系数;随着离海岸距离的增加,气象站的阵风系数变大,即距海岸线远的气象站的大风更具阵性特点。各台站中背仔角与盐田港是大风记录最为频繁的气象站,历史上受台风影响下的最大阵风达到了 12 级以上,最大平均风分别达到了 9 级和 10 级。进一步的大风个例分析结果表明,相比较台风、冷空气条件下的大风,深圳地区强对流天气引发大风更具有阵性的特征,大风发生地点更随机。本研究可以为不同季节条件下深圳地区的风力预测和风险评估提供指导。

关键词: 阵风, 10 min 平均风, 阵风系数, 沿海地区, 季节, 深圳

中图分类号: P425

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.02.011

Seasonal Wind Characteristics in Shenzhen Area

LIU Bingrong^{1,2} LI Qinglan¹ YANG Lin³ LI Hui³
CAO Yulin^{1,4} TANG Xiaoxin³ SUN Shiyang³ SUN Liqun¹

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

2 Shenzhen College of Advanced Technology, University of Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055

3 Shenzhen Meteorological Bureau, Shenzhen 518040

4 Northeast University, Shenyang 110819

Abstract: Based on the historical hourly wind observation data of eight coastal and inland automatic weather stations in Shenzhen from 1 June 2007 to 1 June 2017, this study explores the seasonal gust characteristics and the feature of the gust factors for the eight stations. The results show that winds at coastal stations are generally stronger than the winds at inland stations. The maximum gust at the eight stations due to typhoons in summer and autumn is generally stronger than the maximum gust at these stations due to cold front in winter and spring. Among these stations, Yantian International Container Terminal Station (YTG), Mawan Port Station (MWG), Shekou Ferry Terminal Station (SKMT), which are located close to seawater, have relatively smaller gust factor, compared to the factors at other stations. With the

* 广东省科技发展专项基金(2016A050503035)、广东省自然科学基金自由申请项目(2015A030313742)和深圳市科技研发基金(JCYJ20150521144320984)共同资助

2017 年 8 月 15 日收稿; 2018 年 2 月 6 日收修定稿

第一作者:刘炳荣,主要从事气象大数据挖掘与分析、计算机应用研究. Email:br.liu@siat.ac.cn

通信作者:李晴岚,主要从事台风风雨预报、数值模式释用、气候变化研究. Email:ql.li@siat.ac.cn

increase of the distance to the coastline, the gust factor at the stations becomes bigger. Therefore, the gale tends to be more instantaneous at the stations with farther distance to coastline than the gale at coastal stations. Among the eight stations, Beizaijiao Station (BZJ) and YTG have the most frequent gust gale records. The historical maximum gusts at the two stations are above 12-level scale (Beaufort scale), and the historical maximum 10 min average wind is above 9-level scale at BZJ and 10-level scale at YTG. Further case studies show that the gust gale in Shenzhen Area induced by severe convective weather is more instantaneous than those induced by typhoon or cold front. The location of the gust gale induced by severe convective weather is more stochastic. This study could provide references for the seasonal wind forecast and risk assessment in Shenzhen Area.

Key words: gust, 10 min average wind, gust coefficient, coastal area, season, Shenzhen

引 言

深圳位于亚热带季风气候区,因为地处广东省南部海滨地区,海洋性气候显著。季风、强对流以及台风等恶劣天气带来的大风常常引起港口集装箱倾翻,影响船舶靠岸,引发港口高架作业安全事故,严重干扰了港湾码头的正常业务以及威胁到作业人员人身安全,给区域安全生产带来重大影响。强风是港口码头安全作业、轮船安全行驶的最敏感的致灾因素(顾国贤,2007;郑永光等,2016a;Li et al, 2016;王延青等,2017),加强不同季节条件下的风力预测和风险评估,为强天气影响下大风的防范提供指引,是防风减灾的必要措施,更是港口地区安全运行的重要保障。

在港口码头的防风管理规范中的强风多指阵风(顾国贤,2007;Bos,2017)。本文中平均风定义是10 min 内的平均,阵风定义是3 s 内的平均风(Bureau of Meteorology, 2016;Li et al, 2016)。林良勋等(2006)指出,热带气旋中的大风具有明显的阵性特点,不少热带气旋会以较大的阵风造成破坏;澳大利亚气象局研究表明:空旷陆地上,一般来讲,阵风会比平均风大40%,在海洋上阵风会比平均风大20%~30%;对建筑物等财产造成最大破坏的往往是因为更强的阵风所引起(Bureau of Meteorology, 2016)。对于港口码头来讲,大型港机设备结构高大,迎风面积大,很容易遭受台风或突发性阵风的袭击,造成巨大损失(顾国贤,2007),因此需要对强风严格防范;新的欧洲码头起重机标准(EN3001)明确指明港口码头的起重机设计需按照阵风值来确定开展(Bos, 2017)。

台风、冷空气及强对流天气都能给受灾地区带

来大风(林良勋等,2006;郑永光等,2016a; 2016b; 2017;Li et al, 2016;李佰平等,2016;唐文苑等, 2017;王延青等,2017;杨新林等,2017)。深圳地区一年四季都会受强风影响,冬春之际冷空气频繁;3—8月多强对流天气,出现雷雨大风;夏秋季节则常受登陆台风的影响。以往港湾码头在强天气影响下(特别是台风影响)的风场研究以定性结论居多,定量的分析较少。在港口风场预测和大风风险评估方面,中国尚无有效的客观方法可供业务应用参考,因此及时准确地做好强天气条件下的港口风力预报预警是一项极需要加强研究的工作。本研究将分析深圳地区8个沿海(本文指台站距离海岸线1000 m 以内)及内陆(指距离海岸线1000 m 以上)气象自动站的历史小时数据,分析各站在不同季节,即春、夏、秋及冬季条件下,阵风大小及方位特征;计算不同季节条件下各气象站的阵风系数,并分析不同下垫面对阵风系数的影响及特征。最后,本研究将对典型的台风、冷空气及强对流天气条件下,不同下垫面台站的阵风及平均风记录进行个例比较分析,以厘清深圳地区不同下垫面台站在不同季节条件受强风影响下的风力特征。本研究对于沿海地区的防风减灾工作可以提供有价值的参考。

1 数据与方法

1.1 数据

本论文研究的区域主要为深圳的沿海地区,包括6个沿海自动站:背仔角、盐田港、东角头、蛇口码头、左炮台和妈湾港;为与深圳其他地区进行对比分析,本研究还选取分析深圳国家基本站竹子林站和龙岗基地自动气象站。8个自动站的详细信息及地

理位置见表 1 及图 1。本文选取的数据为深圳地区自动气象站的小时观测数据,由深圳市气象局提供。自动气象站数据的更新频率为每分钟,即分钟数据。该分钟数据中包含即时 3 s 平均风,1、2 和 10 min 平均风,以及过去 1 h 内最大 10 min 平均风和过去 1 h 内最大 3 s 平均风。历史小时数据是在自动站每分钟输出的数据基础上经过计算处理而得。本研

究使用的数据为小时内最大 10 min 平均风速(小时最大风速)和小时内最大 3 s 平均风速(小时极大风速)。

表 1 显示了各气象台站开始业务运行的时间,因各站数据长度不同,本研究选取 2007 年 6 月 1 日至 2017 年 6 月 1 日共 11 年数据进行分析计算。

表 1 各气象站的详细情况

Table 1 Overview of the stations involved in the studies

站点	简写	编号	纬度/°N	经度/°E	起始时间/年-月-日
背仔角	BZJ	G3536	22.595	114.337	2006-10-9
东角头	DJT	G3540	22.489	113.931	2006-9-12
妈湾港	MWG	G3556	22.495	113.869	2006-6-21
蛇口码头	SKMT	G1142	22.486	113.926	2004-9-8
盐田港	YTG	G3567	22.567	114.275	2007-1-27
左炮台	ZPT	G3521	22.470	113.886	2006-11-1
龙岗基地	LGJD	G3808	22.687	114.203	2011-4-12
竹子林	ZZL	G3501	22.542	114.004	2007-2-8

1.2 方法

根据蒲福风级标准,3 级风以下,无论是对海洋的船舶运行,还是对陆地的人群活动,影响都很小(Huler, 2004),因此本文主要是针对小时内最大 10 min 平均风速 3 级以上的情形进行分析,即小时内最大 10 min 平均风速 $\geq 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况,也就是说如果小时最大平均风速 $< 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,则该小时的数据不在季节阵风特征及季节阵风系数分析数据库中;但在极端天气大风个例比较分析部分,则采用了完整的逐小时观测数据,没有进行任何筛选。

由于大陆和海洋在一年之中增温和冷却程度不

同,风向会随季节的变化而有规律的改变(Ramage, 1971; 汪品先, 2009),本文将按不同季节对各站进行风场的特征研究:春季为每年的 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为 12 月至次年 2 月。

本文将利用风玫瑰图对各站的阵风大小及方位进行分析描述。风玫瑰图也叫风向频率玫瑰图,它根据某一地区多年统计的各个风向和风速的值进行绘制,玫瑰图上所表示的风向(即风的来向),是指从外面吹向地区中心的方向。按照笛卡尔坐标系,0° 为正北风,90° 为正东风,等。玫瑰叶瓣长度为阵风的大小。风玫瑰图长期以来在气象服务信息系统中得到广泛应用(高加嵘, 1977; 郁云, 2010; Oktal and Yildirim, 2016),对于涉及城市规划、环保、风力发电、机场跑道建设等领域有着重要的意义。

阵风系数被定义为瞬时风与持续风力的比值(Tyner et al, 2015):

$$GF = G/U \quad (1)$$

式中, GF 为阵风系数; G 为阵风风速(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),即 3 s 平均风速值; U 为 10 min 平均风速值。本文计算小时内阵风系数, G 取小时内最大阵风风速,即该小时内出现的最大 3 s 平均风速值; U 为小时内出现的最大 10 min 平均风速值(Shu et al, 2015; 魏晓琳等, 2016)。阵风系数对于风电场的结构设计、空气污染控制、空气流通评估以及前景预计至关

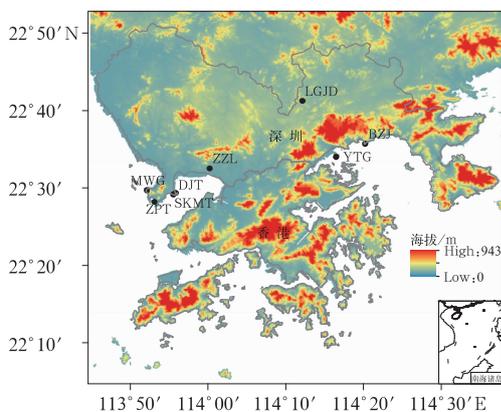


图 1 8 个气象站的位置图

Fig. 1 Location of the 8 weather stations

重要(Shu et al, 2015)。不同气象站因为下垫面条件的不同,阵风系数会有不同。探讨沿海及内陆不同气象站的阵风系数特征,可以帮助了解不同粗糙度的下垫面条件对阵风系数的影响(Král, 2007; 陈雯超等, 2011; 王巍竹, 2014)。研究沿海地区阵风的变化特征对于保障港口、码头行业的作业安全可以发挥重要指导作用(魏晓琳等, 2016; 周福等, 2017)。

2 结果与分析

2.1 不同季节阵风特征

按照第 1.2 节中介绍的方法,各站历史数据中先剔除 10 min 平均风速 $< 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的样本,然后各站按四季进行阵风的特征分析。图 2 列出背仔角(BZJ)、妈湾港(MWG)、蛇口码头(SKMT)、盐田港(YTG)、左炮台(ZPT)以及竹子林(ZZL)、龙岗基地(LGJD)的四季阵风风向以及风速大小的风玫瑰图,由于图篇幅原因,且东角头站(DJT)四季的阵风较其他海滨气象站的阵风要小,风力危害不大,所以图 2 中没有列出。从该图中可以看出 BZJ 与 YTG 作为东部沿海自动站,相邻距离不远,但是四季的阵风具有不同的特点:YTG 在春、夏、秋季的三个季节里的大风,东、南、西、北四个方向都会有,但是在冬季,西南方向的大风明显少于其他象限的大风频率及速度。BZJ 的阵风则是所有的季节都发生在第一、二和四象限,第三象限鲜有大风发生;这有可能是 BZJ 的西南方向有地形或建筑物阻挡,对西南向来的风有缓冲,所以受西南方大风的影响很小;BZJ 的春、冬季的大风多来自于北风,夏季大风多来自于东南风,秋季大风则多来自于北风及东南风。

与东部海滨气象站相比,位于西部海滨的 MWG、SKMT、ZPT 气象站的大风无论是频率还是风速都小于东部的海滨气象站,这是因为西部海滨各站的东南方向有香港岛存在(Li et al, 2016; 王延青等, 2017),因而缓减了西向移动台风对西部各站的风力影响。而 YTG 与 BZJ 的南面及东南面为海洋,极易遭受西向移动及在广东省珠江口附近登陆台风的大风影响。西部的几个滨海台站中,除了夏季,其他三个季节中大于 $28.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风频率都非常小。7 个气象站中,相比沿海海滨海站,位置

偏内陆的 ZZL 与 LGJD 站,大风的频次普遍少于沿海的其他站。

为了更进一步地把多年间各气象站在不同季节因为不同的天气过程所引发的最大三个阵风风速筛查出来,设定这三个最大阵风值间隔必须为 24 h 以上,即为受不同的天气系统影响。以 YTG 夏季为例,经计算,多年来最大三个阵风皆为 2012 年 7 月 24 日因台风韦森特引发,此天气过程只保留最大的阵风观测,即 2012 年 7 月 24 日 02 时的阵风值 $35.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,排名第二和第三的 24 日 04 和 03 时的阵风值因为与排第一的阵风值属于相同的天气过程,则进行剔除。YTG 由不同天气过程影响的排名第二的夏季阵风为 2008 年 8 月 22 日 21 时的 $32.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;排名第三的阵风值为 2009 年 7 月 19 日 02 时的 $32.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。以这种计算方法,各站不同季节的最大三个阵风值描绘在图 3 中。把不同季节各气象站排名第二的阵风用直线连接,绿色三角线、红点线、黄色矩形线、蓝色菱形线分别代表春、夏、秋、冬季的最大阵风观测。各台站最大阵风值点上绘制的短细实线代表该阵风观测的方位,正北方为 0° 方向,正东方为 90° 方向。

从图 3 可以看出,各台站在夏、秋季受台风影响的最大阵风普遍大于冬春之际受冷空气影响的最大阵风。8 个气象站中,BZJ 站四季最大阵风较其他气象站风力普遍要大,YTG 夏季与秋季受台风影响时的阵风大小与 BZJ 相当,历史最大阵风都有 12 级以上;但是在冬春之际,YTG 的风力影响明显小于 BZJ。BZJ 冬春季节最大的三个阵风都为北风,是冬春之际冷空气影响的典型方向特征;BZJ、YTG 夏秋之际的最大阵风,有北风也有南风,这是与台风不同的位置以及气象站本身的地理环境有关。台风登陆前,台风低压区在海洋上;台风登陆后,低压区会位于各气象站的北部,因此台风引发的气象站的风力方向会发生变化。比较沿海气象站,内陆站 LGJD、ZZL 四季的风影响稍小(与图 2 结论一致)。ZZL 虽然没有邻海,但距离海岸线不远(图 1),因此在夏秋之际,也可能受台风影响,出现大风。

2.2 不同季节阵风系数分析

按照第 1.2 节中介绍的方法计算各气象站不同季节的阵风系数,各站四季的阵风系数见图 4。进一

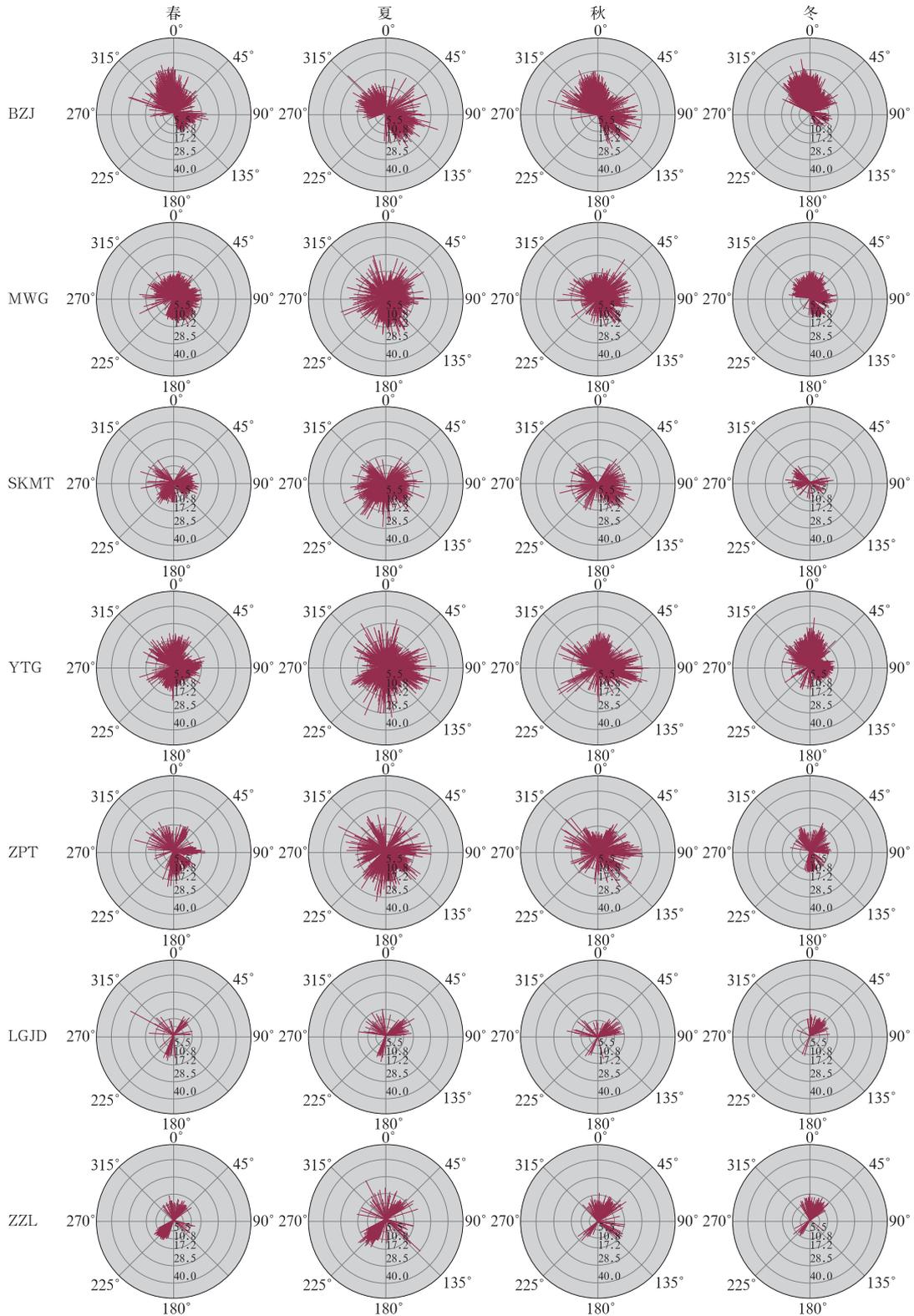


图 2 深圳地区 7 个沿海、陆地气象自动站四季阵风大小及方位玫瑰图
 (从上到下分别为:背仔角、妈湾港、蛇口码头、盐田港、左炮台、龙岗基地和竹子林;
 各列从左到右分别为:春季、夏季、秋季与冬季)

Fig. 2 Wind rose diagrams for seasonal wind gusts at the seven coastal and inland weather stations
 (The stations from top to bottom are BZJ, MWG, SKMT, YTG, ZPT, LGJD and ZZL;
 the columns from left to right refer to spring, summer, autumn and winter)

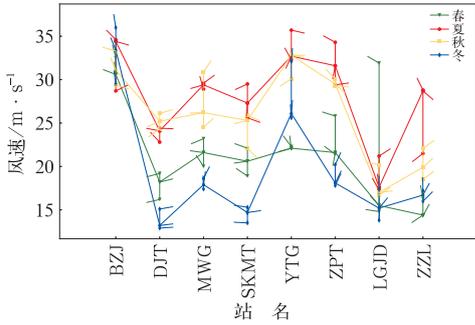


图 3 深圳沿海及内陆 8 个气象站四季的最大三个阵风比较

Fig. 3 Comparison of the three maximum historical gusts at the eight stations for four seasons

步,计算各站不同季节阵风系数的 90%,50%,10% 分位数(图 5)。

在医学、环境及气象领域,常常计算数据样本的 10%,50%,90% 分位数来代表样本的最小值、中间值及最大值的统计特征(钱幼琼等,1988;Curry et al, 2016; Roshan et al, 2017)。本研究也计算各

气象站四季阵风系数的 10%,50%,90% 分位数(图 4,图 5)可以看出,一般情况下,各站中 YTG 的阵风系数最小,其阵风系数的中位数值在春、夏、秋季都小于 1.5,夏季最小。其原因是,深圳地区的夏季盛行南风,大风均来自于海上,作为港口码头站, YTG 的南方,尤其东南方直接是广阔的海域,下垫面摩擦系数小,因此该站在台风影响下,其大风会较其他站更具持续性,即其平均风也会很大。夏季大风过程,按各台站阵风系数 50% 分位数大小顺序: YTG < BZJ < MWG < SKMT < ZZL < DJT = LGJD = ZPT,各台站阵风系数 10% 分位数、90% 分位数的顺序也表现出与 50% 分位数相似的特征,说明夏季各台站在台风影响下的大风情况稳定;秋季各台站阵风系数 10%,50%,90% 分位数,仍然是 YTG 最小,但其他台站的阵风系数顺序则表现出不稳定。春季, YTG 的阵风系数各百分位数仍然是各台站中最小,说明该站在春天冷空气影响下,风力影响稳定。 LGJD 在各季节中都表现出大的阵风系数,说明该站在任何季节大风影响都非常具有瞬时性,即阵风与平均风的比值较其他近海台站

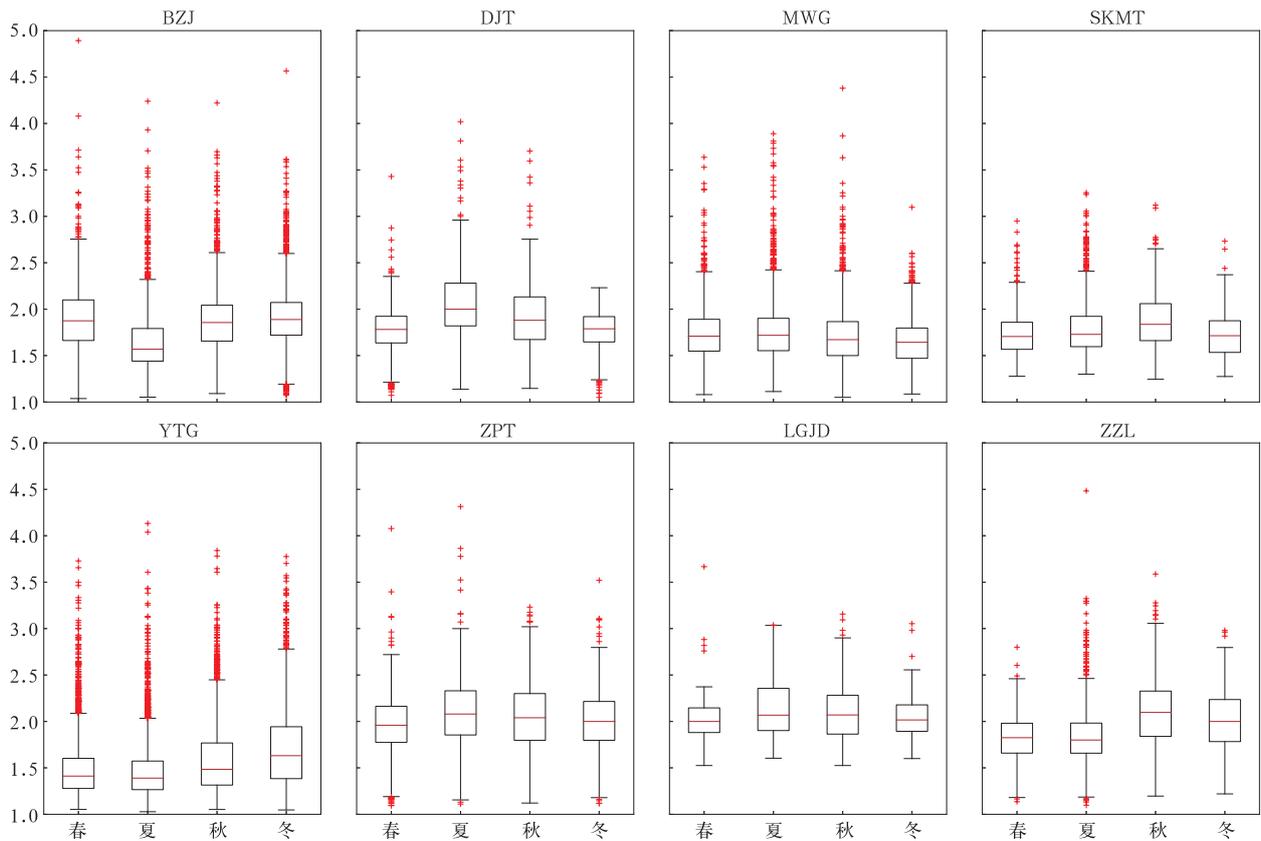


图 4 深圳沿海及内陆 8 个气象站四季的阵风系数箱形图

Fig. 4 Boxplots of seasonal gust factors at the eight coastal and inland stations in Shenzhen

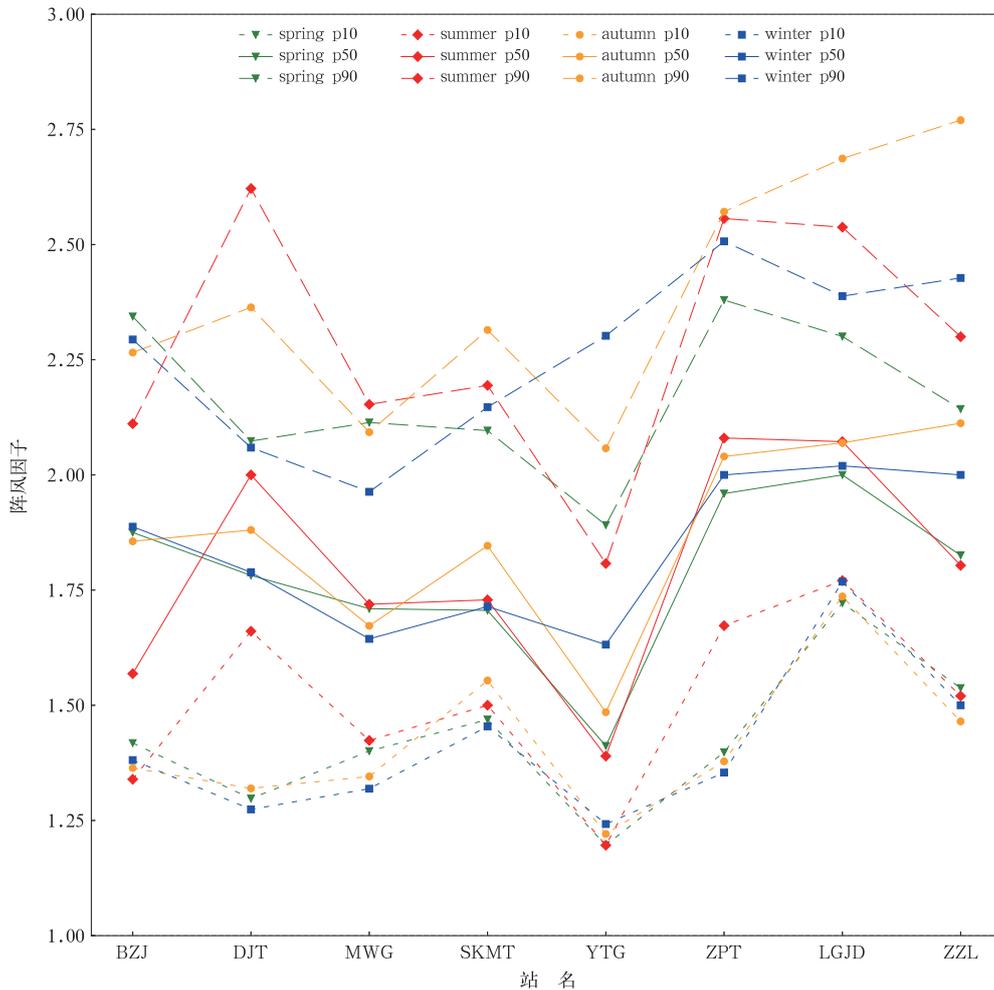


图 5 深圳四季的 8 个气象站阵风系数 10% (p10)、50% (p50)、90% (p90) 百分位数比较
 Fig. 5 Comparison of the 10% (p10), 50% (p50) and 90% (p90) percentiles of the seasonal gust factors at the 8 stations in Shenzhen

的要高。从图 5 可以看出最邻海的三个港口码头站: YTG、MWG、SKMT 的阵风系数较其他站的阵风系数要小; BZJ 站坐落于深圳东部, 其南方为广阔的海洋, 但是其北面邻近梧桐山, 因此地面平均粗糙度会加大, 这应该是 BZJ 比 YTG 阵风系数要大的主要原因。总之, 邻海的台站(特别是港口码头站), 因离海近, 平均粗糙度较距海稍远的台站要小, 因此阵风系数小, 距离海岸线远的台站, 因陆地粗糙度增加, 因此阵风系数变大, 这种空间分布特征与前人研究结论基本一致(Král, 2007; 陈雯超等, 2011; 王魏竹, 2014; Bureau of Meteorology, 2016)。

从前面计算得到各站阵风中, BZJ 与 YTG 的阵风最大, 通过阵风系数计算, 得到邻海最近的 YTG 的阵风系数最小。进一步比较 BZJ 与 YTG

历史各季节不同天气过程的最大三个平均风值(图 6)。可以看出, 历史上两个台站的最大平均风均发生在夏季, 其次为秋季, 即因台风引发的最大平均风大于冬、春季因季风或强对流天气引发的最大平均风。YTG 因台风原因造成的最大平均风一般来讲大于 BZJ 的最大平均风; 而冬、春季, BZJ 的最大平均风则大于 YTG 的最大平均风。BZJ 与 YTG 夏秋之际因台风影响的最大平均风分别达到 9 级和 10 级。

2.3 极端天气大风个例比较分析

从前文分析中可见, 各站在夏、秋季台风条件下, YTG 具有最大的阵风及平均风, 而在冬、春季, BZJ 具有最大的阵风和平均风。本节分析在台风、

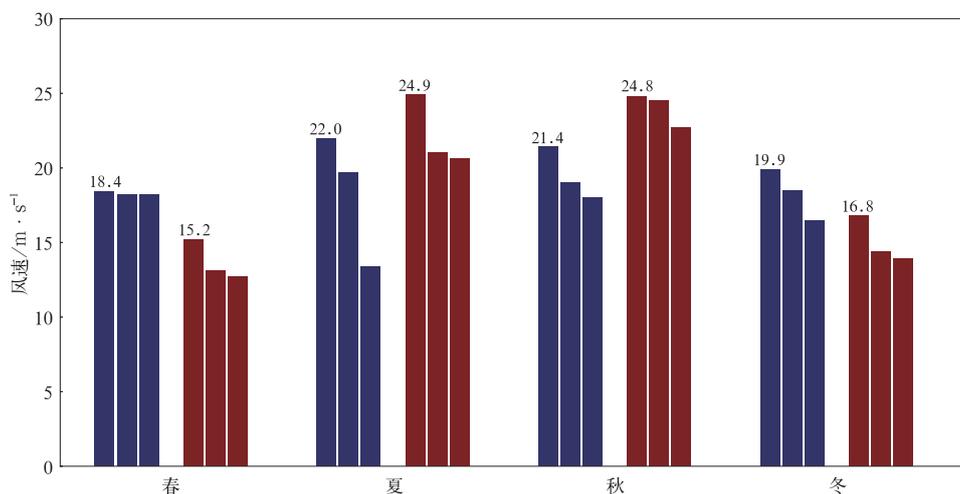


图 6 背仔角(蓝色)与盐田港(红色)四季最大三个平均风比较

Fig. 6 Comparison of the three maximum 10 min average winds for different seasons at BZJ (blue) and YTG (red) stations

冷空气及强对流天气极端个例条件下的 YTG 和 BZJ 的阵风、平均风时间序列,并选择 ZZL 作为内陆代表站进行比较,得到不同下垫面环境条件下气象站的阵风、平均风及阵风系数特征。

YTG 最大阵风发生在 2012 年 7 月 24 日 02 时,为 $35.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,因台风韦森特引发。图 7a 显示在台风韦森特登陆前后(23 日 00 时至 26 日 00 时)三站各小时的最大阵风及最大平均风时间序列,以及相应的阵风系数。从图中可以清晰看出受韦森特影响,沿海两站的平均风及阵风都大于内陆的 ZZL;YTG 最大阵风略大于 BZJ($35.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 比 $34.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),但是 YTG 的最大平均风($24.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)则明显大于 BZJ 的最大平均风值($19.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。从图 7a 看出,23—24 日,YTG 的阵风系数普遍小于 2,其风力达到最大时的阵风系数为 1.51;相比较,BZJ 23—24 日,阵风系数在 1.5~4.0,阵风最大($34.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)时刻的阵风系数为 1.75。说明 YTG 在台风韦森特影响下,风更具持续性,而 BZJ 的风力阵性特点较大。稍内陆的 ZZL 则具有比 YTG、BZJ 要小的阵风及平均风,但因其近内陆,下垫面较沿海粗糙,其阵风系数普遍较 YTG 及 BZJ 大。另外,从图中可以看出,各站最大阵风系数发生时间对应的都是平均风观测很小的时刻,比如,YTG 阵风系数最大时刻发生在台风登陆后并远离深圳的 25 日 07 时,此时对应的 YTG 最大小时平均风为 $1.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大小时阵风为 $7.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

BZJ 从有气象记录以来冬春之季的最大阵风发生在 2010 年 12 月 16 日 06 时,为 $36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,因北方强冷空气南下引发。冷空气影响前后(15 日 00 时至 18 日 00 时)BZJ、YTG 及 ZZL 的小时最大阵风及最大平均风时间序列见图 7b。可以看出,在冷空气影响下,沿海站比内陆具有更大的风影响,BZJ 在冷空气影响下具有比 YTG 更大的阵风及平均风。相比较图 7a 与 7b,在冷空气影响下,各站的阵风系数要大于在台风影响下的阵风系数,说明受冷空气影响,各站的风力比台风影响下更具阵性特点。

2013 年 5 月 21 日前后的强雷雨是深圳近年来最强的过程之一。20—22 日,受到切变线影响,深圳全市普遍出现暴雨降水过程,并伴有雷暴,雷雨时普遍记录到 8~9 级短时阵风。图 7c 显示了强天气发生期间(20 日 00 时至 23 日 00 时)BZJ、YTG 和 ZZL 的平均风、阵风和阵风系数的变化情况。从图中可以看到,本次强天气过程平均风序列和阵风序列存在两个峰值,分别发生在 20 日 17—20 时和 21 日 12 时。强天气不仅在沿海站点引发强风(YTG 最大阵风为 $22.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;BZJ 最大阵风为 $21.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),在城市稍内陆地区的 ZZL,也会引发同等强度的大风($22.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),对城市居民区具有很大的潜在威胁。另一方面,对比三个过程的阵风系数,强对流天气条件下的阵风系数远大于台风和冷空气条件下的阵风系数,说明强对流天气影响下的大风最具阵性特点。

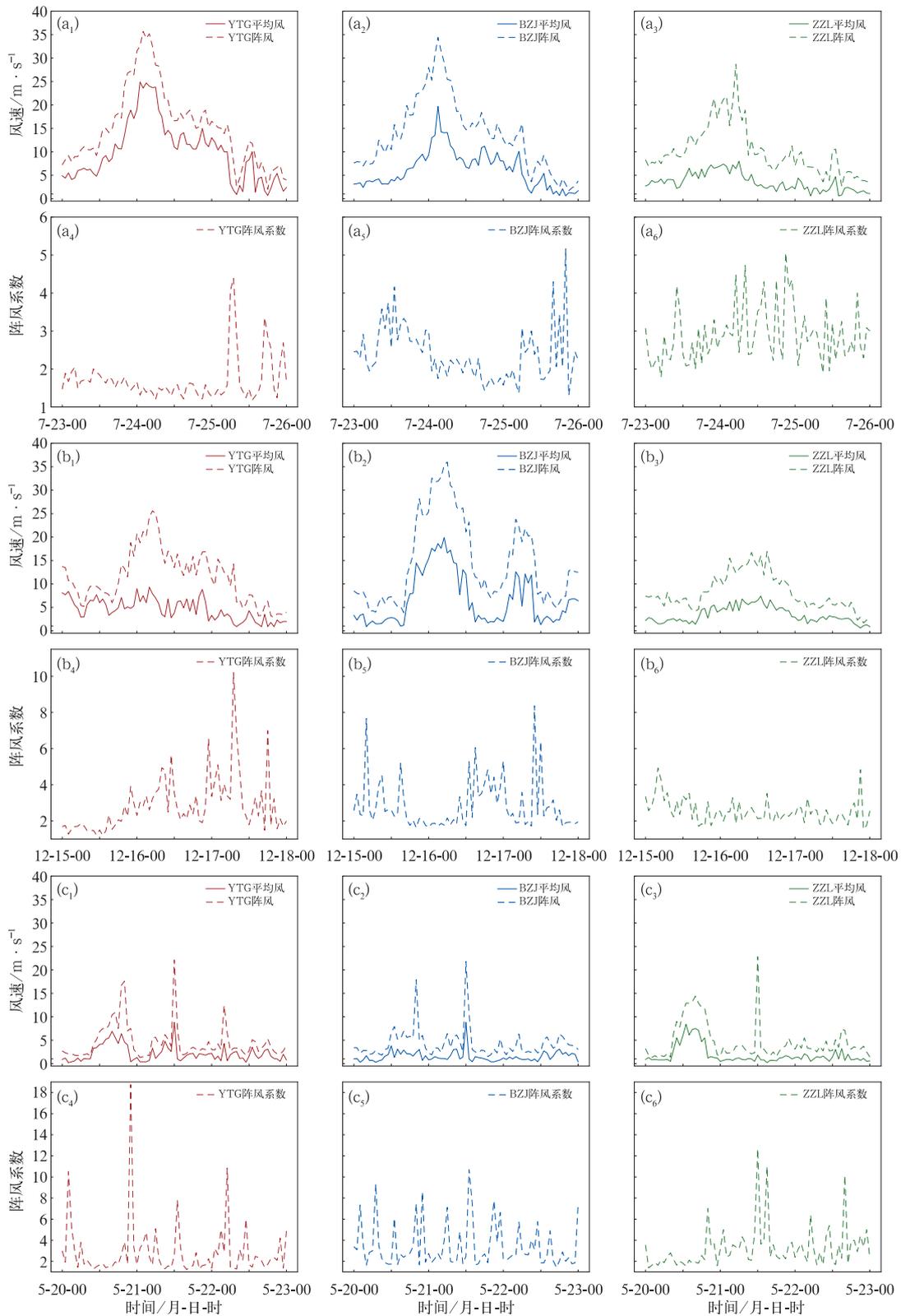


图 7 盐田港(红色)、背仔角(蓝色)、竹子林(绿色)站在(a)台风、(b)冷空气及(c)强对流天气条件下的最大小时阵风、平均风及阵风系数比较

Fig. 7 Comparison of the time series for maximum hourly gust, hourly maximum 10 min average wind, and gust factor among YTG (red lines), BZJ (blue lines) and ZZL (green lines) stations induced by (a) typhoon, (b) cold front and (c) severe convective weather

更进一步绘制了三个不同天气过程中全深圳市各站的最大阵风空间分布(图 8)。从图中可以看出,三种天气条件下,深圳地区最大风影响:台风>冷空气>强对流。虽然风力分布不是完全相同,但是在台风和冷空气条件下,最大阵风的发生地点都是在东部沿海和高地地区;在强对流天气条件下,最大阵风的发生地点则在中部地区零散分布,非常具有随机性,不一定是发生在东部沿海和高地区域,因此,强对流天气下的风力定时定点精细化预报难度大。

3 结 论

本研究基于深圳地区不同地域分布的 BZJ、DJT、MWG、SKMT、YTG、ZPT、LGJD、ZYL 8 个自动气象站 2007 年 6 月 1 日至 2017 年 6 月 1 日 11 年

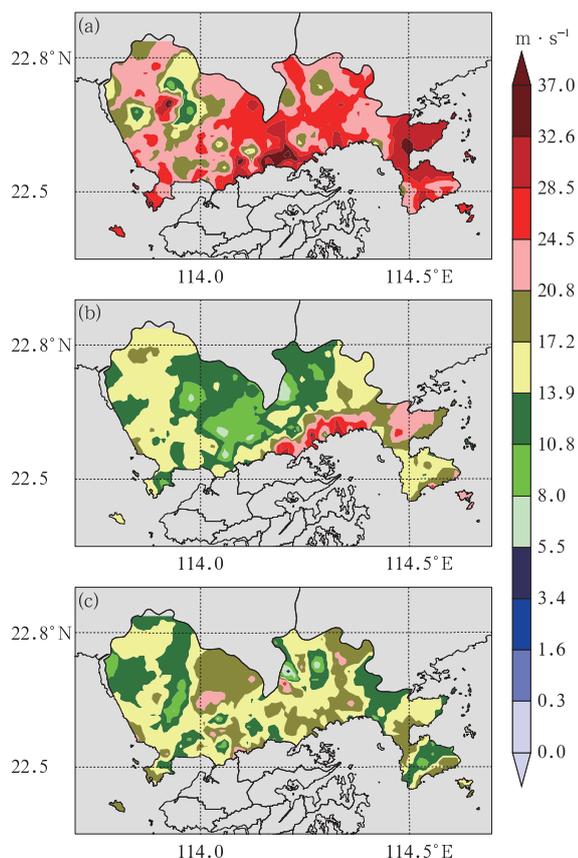


图 8 台风、冷空气、强对流天气条件下深圳地区的最大阵风分布

Fig. 8 Comparison of the maximum gust distributions in Shenzhen Area during typhoon, cold front and severe convective weather

的小时观测数据,分析讨论了不同季节条件下各站的阵风大小及方位特征;并计算不同季节条件下各气象站的阵风系数,分析不同下垫面对阵风系数的影响。研究发现,8 个气象台站在夏、秋季受台风影响的最大阵风普遍大于冬春之际受冷空气影响的最大阵风;各站中,位于深圳东部沿海的 BZJ 与 YTG 是各站中大风频次最多的台站。BZJ 各季节中的阵风比其他站普遍要大,其次为 YTG;YTG 夏、秋季受台风影响时的阵风大小与 BZJ 相当,历史最大阵风都达到 12 级以上;但是在冬春之际,YTG 的风力影响明显小于 BZJ。相比沿海气象站,内陆站 LGJD、ZYL 四季的风影响稍小。

另一方面,通过阵风系数的计算表明,各台站中,距离海岸最近的港口码头气象站,YTG、MWG、SKMT 具有最小的阵风系数;随着离海岸距离的增加,单位面积下垫面的摩擦系数也会随之增加,阵风系数变大。比较阵风大风频率高的 YTG 与 BZJ,BZJ 的阵风系数要大于 YTG,即 BZJ 的大风比 YTG 更具阵性的特点;夏秋之际,受台风影响下,YTG 的平均风会稍大于 BZJ 的平均风影响。距离海岸线稍远的 ZYL 与 LGJD 气象站,则具有比沿海站更大的阵风系数,即其大风比沿海站更具阵性的特点。

最后的极端天气个例分析结果表明,相比较台风、冷空气条件下的极大风,强对流天气引发大风更具有阵性的特征,大风发生地点更随机,虽然强对流天气引发的大风量级不及台风和冷空气,但灾害发生定点定时精细化预报难度大,需要额外关注。

参考文献

- 陈雯超,宋丽莉,植石群,等,2011. 不同下垫面的热带气旋强阵风系数研究[J]. 中国科学:技术科学,41(11):1449-1459. Chen W C, Song L L, Zhi S Q, et al, 2011. Analysis on gust factor of tropical cyclone strong wind over different underlying surfaces [J]. Sci China: Scientia Sinica (Technol), 41(11): 1449-1459 (in Chinese).
- 高加嵘,1977. 风与工业企业总图设计[J]. 气象,3(9):18-19. Gao J R, 1977. Gust and the industrial enterprise general layout design [J]. Meteor Mon, 3(9): 18-19 (in Chinese).
- 顾国贤,2007. 大型起重设备应对突发性强阵风的措施[J]. 港口装卸,174(4):12-14. Gu G X, 2007. The measure to prevent large-size of hoisting equipment from suddenly intensive wind [J]. Port Operation, 174(4): 12-14 (in Chinese).
- 李佰平,戴建华,张欣,等,2016. 三类强对流天气临近预报的模糊检验试验与对比[J]. 气象,42(2):129-143. Li B P, Dai J H, Zhang

- X, et al, 2016. Fuzzy verification test and comparison of three types of severe convective weather nowcasting[J]. Meteor Mon, 42(2):129-143(in Chinese).
- 林良勋,冯业荣,黄忠,等,2006. 广东省天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社. Lin L X, Feng Y R, Huang Z, et al, 2006. Weather Forecast Technique Manual of Guangdong Province [M]. Beijing:China Meteorological Press(in Chinese).
- 钱幼琼,吴康敏,崔季云,等,1988. 正常婴儿及低出生体重婴儿血清锌调查[J]. 华西医讯,3(3):275-276. Qian Y Q, Wu K M, Cui J Y, et al, 1988. A study of serum zinc level of normal infants and low-birth-weight infants. West China Medical Communication[J]. 3(3):275-276(in Chinese).
- 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等,2017. 国家级强对流天气分类预报检验分析[J]. 气象,43(1):67-76. Tang W Y, Zhou Q L, Liu X H, et al, 2017. Analysis on verification of national severe convective weather categorical forecasts[J]. Meteor Mon, 43(1):67-76(in Chinese).
- 汪品先,2009. 全球季风的地质演变[J]. 科学通报,54(5):535-556. Wang P X, 2009. Global monsoon in a geological perspective[J]. Chinese Sci Bull,54(5):535-556(in Chinese)
- 王巍竹,2014. 中国沿海大风阵风系数特征分析[J]. 广东科技,23(16):138-139. Wang W Z, 2014. Analysis on characteristics of gust factor in coastal China [J]. Guangdong Sci Technol, 23(16):138-139(in Chinese).
- 王延青,李晴岚,兰红平,等,2017. 热带气旋影响下的深圳港湾码头最大阵风预报方法研究[J]. 气象科技进展,7(1):128-133,148. Wang Y Q, Li Q L, Lan H P, et al, 2017. Forecast of maximum wind gust in tropical cyclones for port terminals in Shenzhen [J]. Adv Meteor Sci Technol,7(1):128-133,148(in Chinese).
- 魏晓琳,王德立,贺佳佳,等,2016. 深圳沿海地区阵风系数的特征[J]. 广东气象,38(5):33-36,41. Wei X L, Wang D L, He J J, et al, 2016. Characteristics analysis on gust factors over coastal areas in Shenzhen[J]. Guangdong Meteor, 38(5):33-36,41(in Chinese).
- 杨新林,孙建华,鲁蓉,等,2017. 华南雷暴大风天气的环境条件分布特征[J]. 气象,43(7):769-780. Yang X L, Sun J H, Lu R, et al, 2017. Environmental characteristics of severe convective wind over South China[J]. Meteor Mon,43(7):769-780(in Chinese).
- 郁云,2010. 风玫瑰图在气象服务信息系统中的实现与应用[J]. 电脑知识与技术,6(35):10035-10036. Yu Y, 2010. Implementation and application of wind rose diagram on climate information system[J]. Comp Knowl Technol, 6(35):10035-10036(in Chinese).
- 郑永光,田付友,孟智勇,等,2016a. “东方之星”客轮翻沉事件周边区域风灾现场调查与多尺度特征分析[J]. 气象,42(1):1-13. Zheng Y G, Tian F Y, Meng Z Y, et al, 2016a. Survey and multi-scale characteristics of wind damage caused by convective storms in the surrounding area of the capsizing accident of cruise ship “Dongfangzhixing”[J]. Meteor Mon,42(1):1-13(in Chinese).
- 郑永光,朱文剑,姚聘,等,2016b. 风速等级标准与2016年6月23日阜宁龙卷强度估计[J]. 气象,42(11):1289-1303. Zheng Y G, Zhu W J, Yao D, et al, 2016b. Wind speed scales and rating of the intensity of the 23 June 2016 Tornado in Funing County, Jiangsu Province[J]. Meteor Mon, 42(11):1289-1303(in Chinese).
- 郑永光,陶祖钰,俞小鼎,2017. 强对流天气预报的一些基本问题[J]. 气象,43(6):641-652. Zheng Y G, Tao Z Y, Yu X D, 2017. Some essential issues of severe convective weather forecasting[J]. Meteor Mon,43(6):641-652(in Chinese).
- 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(1):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]. J Appl Meteor Sci,28(1):119-128(in Chinese).
- Bos W V D, 2017. Wind influence on container handling, equipment and stacking[R]. London:Port Technology;89-95.
- Bureau of Meteorology, 2016. Tropical cyclone intensity and impacts [EB/OL]. <http://www.bom.gov.au/cyclone/about/intensity.shtml>. [2016-03-15].
- Curry C L, Tencer B, Whan K, et al, 2016. Searching for added value in simulating climate extremes with a high-resolution regional climate model over Western Canada. II: basin-scale results[J]. Atmos Ocean,54(4):385-402.
- Huler S, 2004. Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How A 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry[M]. United States: Crown.
- Král J, 2007. Ten-minute wind speeds and gusts in the Czech Republic[J]. J Wind Eng Ind Aerodyn,95(9/10/11):1216-1228.
- Li Q L, Xu P C, Wang X B, et al, 2016. An operational statistical scheme for tropical cyclone induced wind gust forecasts[J]. Wea Forecasting,31(6):1817-1832.
- Oktal H, Yildirim N, 2016. Optimisation of runway orientations for three-runway configurations[J]. Aeronaut J,120(1233):1693-1709.
- Ramage C S, 1971. Monsoon Meteor [M]. New York: Academic Press;296.
- Roshan G R, Ghanghermeh A A, Attia S, 2017. Determining new threshold temperatures for cooling and heating degree day index of different climatic zones of Iran[J]. Ren Energy,101:156-167.
- Shu Z R, Li Q S, He Y C, et al, 2015. Gust Factors for tropical cyclone, monsoon and thunderstorm winds[J]. J Wind Eng Ind Aerodyn,142:1-14.
- Tyner B, Aiyyer A, Blaes J, et al, 2015. An examination of wind decay, sustained wind speed forecasts, and gust factors for recent tropical cyclones in the mid-Atlantic region of the United States [J]. Wea Forecasting,30(1):153-176.