

肖辉,万齐林,刘显通,等.台风“妮妲”(1604)登陆期间近地层风特性分析[J].海洋气象学报,2017,37(2):42-50.
Xiao Hui, Wan Qilin, Liu Xiantong, et al. The analysis of the near-surface wind characteristics during the landfalling of Typhoon Nida (1604) [J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(2): 42-50. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.02.005. (in Chinese)

台风“妮妲”(1604)登陆期间近地层风特性分析

肖辉,万齐林,刘显通,郑腾飞,冯璐

(中国气象局广州热带海洋气象研究所,广东广州 510080)

摘要: 利用深圳 350 m 气象梯度观测铁塔获取的台风“妮妲”(1604)登陆期间近地多层风观测资料,分析“妮妲”登陆期间风场和阵风系数等变化特征。结果显示:“妮妲”登陆期间,近地面风速随时间呈增强—减弱—增强—减弱的“M”型特征,风向由西北方向转为南东南;风速随高度增加而增加,其中风速垂直变化最大的时段为“妮妲”后风圈经过期间;垂直方向上,“妮妲”前外围向前风圈过渡期间风向多变,而其他时段风向随高度基本不变;在“妮妲”前外围、前风圈和眼区经过期间,350 m 高度以下的风速随高度的变化遵循对数关系,而在“妮妲”后风圈和后外围时段仅适用于 150 m 以下高度;在“妮妲”登陆过程中,铁塔观测的粗糙度长度约为 0.52 m;阵风系数随高度增加而减小,“妮妲”登陆前和眼区的阵风系数较大;另外,阵风系数与风速呈负相关关系,随着风速增加而减小,尤其是风速小于 10 m/s 时。

关键词: 台风“妮妲”;近地层风;风廓线;阵风系数

中图分类号: P444 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)02-0042-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.02.005

The analysis of the near-surface wind characteristics during the landfalling of Typhoon Nida (1604)

XIAO Hui, WAN Qilin, LIU Xiantong, ZHENG Tengfei, FENG Lu

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract Using the observed multilayer near-surface wind data from the 350 m meteorological gradient observation iron tower in Shenzhen city, the variation characteristics of wind field and gust factor are analyzed during the landfalling of Typhoon Nida (1604) in August 2016. The results show that the near-surface wind speed at different heights presents the “M” pattern (increasing-decreasing-increasing-decreasing) with time, and the wind direction shifts from northwest to the south-southeast during the landing of the tropical cyclones. The wind speed increases with the increased height and the maximum vertical variation of the wind speed appears in the rear wind circle. In vertical direction, the wind direction is highly variable during the period from the front periphery to the front wind circle, while it remains almost unchanged with height during other periods. The vertical variation of wind speed follows logarithmic rule below 350 m during the periods of the front periphery, the front wind circle and the typhoon eye, while it only confirms to the same rule below 150 m during the periods of the rear periphery and the rear wind circle. During the landing of the Typhoon Nida, the roughness length observed from

收稿日期:2017-05-03; 修订日期:2017-06-09

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2015CB452802);国家自然科学基金项目(41475102)

作者简介:肖辉(1986—),男,博士,主要从事云降水物理研究,xh_8646@163.com。

通讯作者:万齐林(1965—),男,博士,研究员,主要从事数值预报研究,qlwan@grmc.gov.cn。

iron tower is about 0.52 m. Gust factor is decreased with the increased height, and its value is larger during the periods of the front periphery and the typhoon eye. Moreover, there is a negative correlation between gust factor and wind speed. The gust factor is decreased with increasing wind speed, especially when the wind speed is less than 10 m/s.

Key words Typhoon Nida; near-surface wind; wind profile; gust factor

引言

中国是全球受台风(热带气旋)影响最严重的国家之一。台风所引起的大风、风暴潮、暴雨等灾害对经济建设及社会发展造成严重影响,且每年台风都给带来巨大的经济损失^[1]。因此,台风研究一直受到政府和气象部门的高度重视,其发生发展机理研究也是业务和科研部门所关注的问题。随着沿海地区经济的迅猛发展,高建筑和跨海大桥等大型建筑物迅速发展,抗风安全逐渐成为人们考虑的重要因素,另外种植业、渔业和港口等对风速敏感的行业也需要考虑风的变化。因此,认识近地层风场等特征,尤其是研究在台风这种强破坏力天气系统下的风场特征,对于沿海经济发展具有重要的意义。

目前对登陆台风环流结构等观测研究已取得一些成果。张光智、朱龙彪、魏应植等利用雷达和风廓线仪等观测资料分析了台风风场和内核区环流的结构特征以及与台风移动的联系^[2-8]。河惠卿等^[9]利用卫星云图和 NCEP 再分析资料对 Halong (0207)、Sinlaku (0216) 和 Aere (0418) 等 3 个台风的云系和风场变化特征进行了分析,研究了不对称台风环流对台风强度的影响,发现台风云系不对称的结构、台风西侧高空急流向台风中心的移动和辐散是台风迅速减弱的主要原因。在近地层风场研究方面,魏晓琳等^[10]利用 2009—2014 年深圳沿海站点的风速观测资料,按季风及台风 2 种类型分析了阵风和阵风系数的统计特征,发现沿海和离岸不同位置的站点阵风系数的特征存在显著差异;且台风影响期间,9 级以上大风要略高于季风影响期间。赵小平等^[11]利用强台风“海鸥”(1415)登陆期间海南文昌 90 m 测风塔多层风观测数据,分析了“海鸥”登陆期间近地层风场的时空分布、湍流强度、垂直切变及阵风因子等风场特征。李秋胜等^[12]通过对强台风“黑格比”登陆过程的风速及风向、阵风因子、湍流度、湍流积分尺度和风速谱等参数的分析,研究了“黑格比”登陆时的近地风场特性和房屋表面风压,为改进低矮房屋的抗风设计提供参考。陈

雯超等^[13]利用设置在近海海上和海岸上的 3 个观测塔共同获取的强台风“黑格比”过程数据以及 3 个观测塔 1 个年度的梯度风实测资料,分析了不同下垫面的台风强风阵风系数变化特征,发现台风强风阵风系数不随风速大小产生趋势变化,但在粗糙下垫面上会产生很大的变幅,另外阵风系数的高度变化呈幂指数或对数律分布。王志春等^[14]利用琼州海峡两岸 2 个梯度塔和 1 部车载风廓线雷达获取的强台风“纳沙”(1117)实测风速资料,分析“纳沙”影响期间大风特性,发现大风风切变过程可用对数函数和指数函数拟合,对数函数和指数函数对光滑下垫面的拟合效果更好,且对数函数拟合效果略优于指数函数;阵风系数随高度变化可用指数函数来描述,且对光滑下垫面的近地层阵风系数拟合效果更好。此外,马亮等^[15]基于铁塔近地层风场观测资料,给出了夏季近地层风场的平均风速、平均风向、最大风速、阵风、低空风切变的分布特征。张容焱等^[16]通过对台风“莫拉克”(0908)影响范围内的 33 座测风塔观测资料的分析,发现远离“莫拉克”的地方风向稳定,湍流强度变化较平稳;登陆点附近,风向、风速和湍流强度均出现突变;阵风系数随高度变化与地形有关,一般随高度升高而减小,但在复杂地形条件下不符合随高度升高减小的规律。刘科等^[17]研究了台风“启德”(1213)登陆时的近地风场特性,发现“启德”登陆前,风速及风向脉动变化很大;登陆后,湍流度及阵风因子明显减小;风速变大,湍流度和阵风因子有减小的趋势。

随着经济的快速发展,超过 100 m 高度的高层建筑比比皆是,例如深圳 441.8 m 的京基金融中心、广州 530 m 的周大福中心、香港 484 m 环球贸易广场等。以往所利用的测风塔资料大部分集中在高度 100 m 以下,已经满足不了高速发展的城市需求。因此本文使用深圳气象梯度观测铁塔资料,分析了 2016 年 8 月第 4 号台风“妮妲”(NIDA)登陆期间近地层 350 m 高度内风场的时空特征。

1 台风“妮妲”概况与观测资料说明

1604 号台风“妮妲”于 2016 年 7 月 30 日下午

在菲律宾吕宋岛以东洋面上生成后,向西北方向移动,穿过吕宋岛东北部,8月31日夜间进入南海东北部,逐渐向广东珠江口以东地区靠近,并于8月1日19:35(世界时,下同)在广东省深圳大鹏半岛沿海登陆。8月2日00时台风级别的“妮妲”减弱为热带风暴级别。随后继续西北行,进入广西境内后,逐渐减弱消失,并于3日00时结束。

图1给出“妮妲”的移动路径,大约在1日23时其中心离开深圳市进入广州市南沙区。图中红色五角星为气象梯度观测铁塔位置,该铁塔位于深圳石岩铁岗水库内,建设高度为356 m,是中国钢结构领域最高奖“钢结构金奖”设立以来唯一一个满足评奖条件的钢结构桅杆项目,是亚洲最高的钢结构桅杆铁塔。由图1可知,“妮妲”登陆后横穿整个深圳,其中心眼区穿过铁塔,“妮妲”台风中心于8月1日22:20左右离铁塔最近,距离大约为1.4 km。梯度铁塔上安装有常规气象要素探头,包括风速、风向、气温、露点温度、相对湿度、气压等,观测层次分别为10 m、40 m、50 m、80 m、100 m、150 m、

160 m、200 m、250 m、300 m、320 m和350 m,但是在“妮妲”影响期间10 m、80 m和300 m高度的观测仪器出现故障,导致上述3个高度的数据出现大量缺失(表1)。

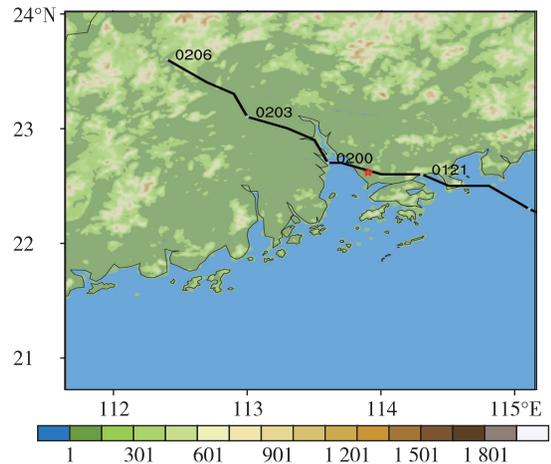


图1 台风“妮妲”(1604)移动路径(红色五角星为观测铁塔位置)

Fig.1 The track of Typhoon Nida (1604) (Measuring tower represented by the red pentagram)

表1 “妮妲”影响期间气象梯度塔观测数据情况一览表

Table 1 Observation data information of meteorological tower during Typhoon Nida

要素	高度/m											
	10	40	50	80	100	150	160	200	250	300	320	350
风速	×	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	○
风向	×	○	○	×	○	○	○	○	○	×	○	○
气温	×	○	○	×	○	○	○	○	○	×	×	○
露点温度	×	○	○	×	○	○	○	○	○	×	×	○
相对湿度	×	○	○	×	○	○	○	○	○	×	×	○
气压	×	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×

注:○和×分别代表数据正常和数据缺失。

2 近地层风时空特征

2.1 近地层风时间演变

图2给出“妮妲”影响期间铁塔50 m高度10 min平均风速、风向和气压变化演变。可见,观测期间风速随时间呈增强—减弱—增强—减弱的“M”型特征,1日00时“妮妲”位于南海东北部,铁塔处于台风外围的西北方,受外围风场影响,此时铁塔观测到的风向为西北西。另外,图3给出了“妮妲”影响期间铁塔50 m高度气温、露点温度和相对湿度的时间变化曲线。“妮妲”位于南海东北部海面上时,由于距离铁塔较远,受“妮妲”影响较弱,温度日变化没有受到明显影响,1日06时达到当日最高值。随着“妮妲”向珠三角地区靠近,气压逐渐下降,风

速迅速增强,在“妮妲”登陆前(1日18时左右),铁塔位于“妮妲”的西北方。在“妮妲”前风圈的影响下,风速18:50左右达到最强,10 min平均最大风速达到16.9 m/s,瞬时最大风速达22.6 m/s。此时“妮妲”10级风圈半径为120 km,台风中心与铁塔直线距离为93 km。其后,“妮妲”在深圳大鹏半岛沿海登陆,随着“妮妲”中心逐渐靠近铁塔,其观测气压也逐渐降低,风速也迅速减小。此外,“妮妲”在移动过程中强度减弱,最终导致20:50观测气压达到最低值972.75 hPa。02日00时左右,“妮妲”后风圈开始影响铁塔,观测风速和气压迅速增加,瞬时极大风速达24.4 m/s,10 min平均最大风速达17.35 m/s,要比“妮妲”前风圈影响时观测到的风速还略大,风向也由西北西转为南东南。1日22:20

台风中心距离铁塔最近, 此时的风速也是最低, 平均风速为 1.16 m/s。随着“妮妲”深入内陆逐渐减弱, 风速降低、气压回升。此外, 夏季海面温度低, 陆地温度高, 台风在海洋上为暖区, 登陆后相对陆地温度来说则为冷区^[18]。因此, 当“妮妲”中心接近观测塔时, 气温出现急剧下降, 湿度则急剧上升。

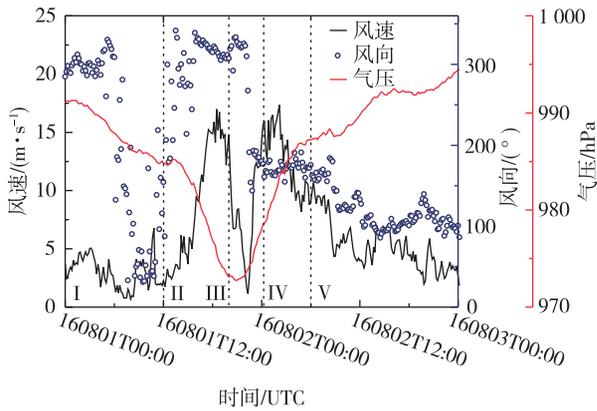


图 2 台风“妮妲”影响期间铁塔近地层 50 m 高度 10 min 平均风速、风向和气压的时间变化

Fig.2 The temporal change of 10 min mean wind speed, wind direction, and pressure at 50 m height during Typhoon Nida

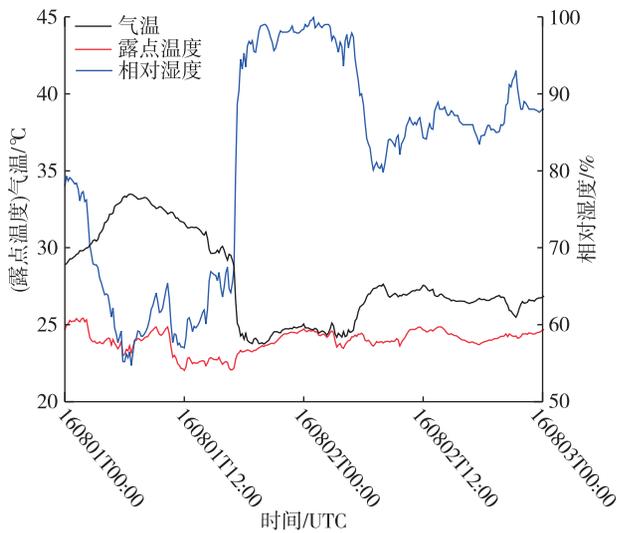


图 3 台风“妮妲”影响期间铁塔近地层 50 m 高度气温、露点温度和相对湿度的时间变化曲线

Fig.3 The temporal changes of temperature, dew-point temperature, and relative humidity at 50 m height during Typhoon Nida

2.2 近地层风廓线变化

图 4 给出“妮妲”影响期间近地层平均风廓线随时间的变化。可见, 在其他高度上, 平均风速随时间的变化与 50 m 高度的平均风速变化(图 2) 呈相似的变化趋势, 即增强—减弱—增强—减弱的

“M”型特征, 且“妮妲”后风圈的风速要强于其前风圈的风速。整体上, 风速随高度呈增强趋势, 最大风速出现于“妮妲”中心附近的风圈内, 低层风速要远远小于 350 m 高度上的风速, 不同高度上的风速最大相差 10 m/s。350 m 高度上, 10 min 最大平均风速为 25.85 m/s, 最大瞬时风速为 32.5 m/s, 均出现在后风圈内。随着“妮妲”中心远离铁塔, 平均风速大致在 10 m/s 左右变化, 且要强于“妮妲”登陆前所观测到的风速。整个“妮妲”过境过程, 风向的变化要比风速复杂得多, 风向随时间大致呈东北—西北—南变化。在风速急剧增大时(前风圈之前), 风向由东北转为西北, 但在此期间风向多变, 且持续了 4 h 左右。从风向的变化上可以看出, “妮妲”接近铁塔过程中, 铁塔由位于“妮妲”第二象限转为第三象限, 也就是铁塔位于“妮妲”左侧。“妮妲”远离铁塔时, 风向由西南转为偏南, 大致位于“妮妲”第四象限。此外, 垂直方向上, 在“妮妲”前外围向前风圈过渡期间, 风向多变, 无明显变化规律, 而其他时段的风向随高度基本没有明显变化。

根据莫宁-奥布霍夫相似理论, 当大气处于中性温度层结时近地层的风廓线满足对数函数分布。陈雯超等^[13] 和赵小平等^[11] 研究发现, 台风影响期间风廓线服从对数函数分布规律, 且在莫宁—奥布霍夫长度趋向无穷和不考虑零平均位移情况下, 可表达为:

$$U(Z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (1)$$

$$U(Z) = A \ln Z + B \quad (2)$$

其中, Z 为高度, U 为风速, u_* 为摩擦速度, Z_0 为地面粗糙度, κ 为卡门常数, 本文取 $\kappa=0.4$, A 为 u_*/κ , B 为 $-A \ln Z_0$ 。此外, 公式(1)也可转为指数函数分布形式:

$$Z = Z_0 e^{\kappa U/u_*} \quad (3)$$

在某个观测点上, 地面粗糙度 Z_0 是与周围环境有关的常数。以往所得的垂直风廓线关系(对数函数)大多是针对低层的常通量层, 该垂直关系在台风影响情况下能否延伸至 350 m 的高度呢? 为了更好地展示不同高度层之间风速的变化, 先不考虑系数 B 的拟合结果, 利用 $U(Z) = A \ln Z$, 计算 40 m 高度上系数 A 的值(A_{40m})。假设整层垂直风廓线满足对数函数分布, 然后将系数 A_{40m} 推广至 350 m 高度。图 5 给出 10 min 平均风速与 $A_{40m} \ln Z$ 的差值, 该差值表征低层的垂直风廓线关系在更高高度上的适用程度。可见整体上 100 m 以下高度风速差值基本

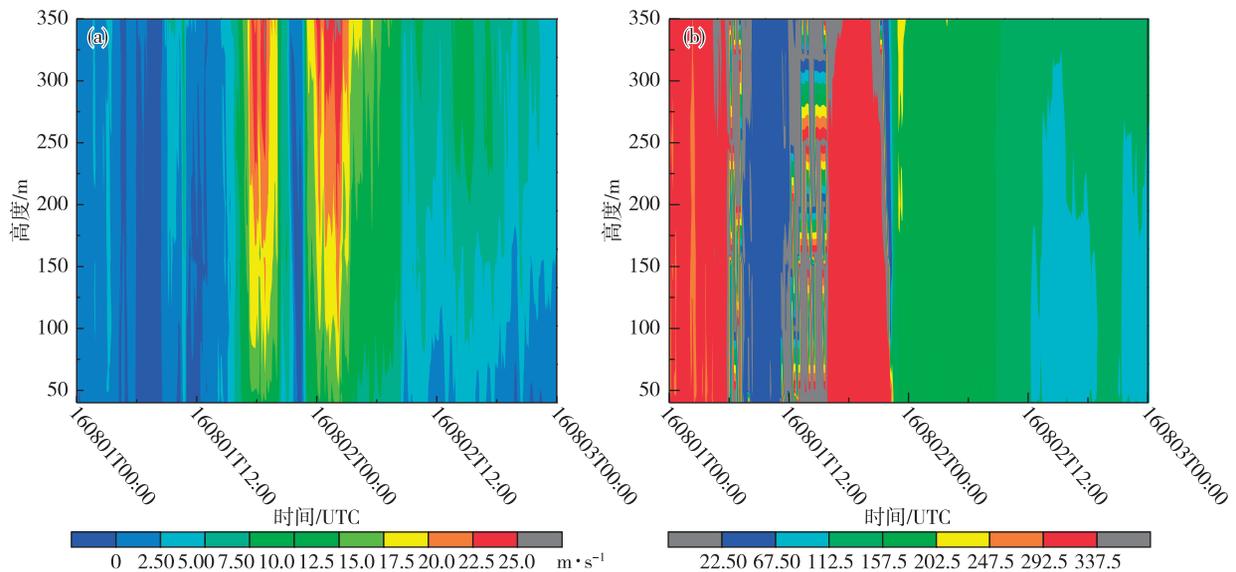


图4 台风“妮妲”影响期间铁塔近地层 10 min 平均风速(a)和风向(b)随时间和高度的变化

Fig.4 The temporal and vertical change of 10 min mean wind speed (a) and wind direction (b) during Typhoon Nida

上很小,也就是说明该高度内基本符合对数律。但从不同的影响时间段来看,则存在较为明显的差异。“妮妲”前风圈和后风圈时段内高度 60 m 以上风廓线逐渐偏离对数关系,且偏离程度逐渐增大,尤其是 200 m 以上高度。“妮妲”后外围时段,风廓线逐渐偏离对数关系,且偏离程度逐渐偏大,尤其在 200 m 以上高度。但是在“妮妲”前外围、眼区以及后风圈向后外围过渡期间,低层垂直风廓线关系可以推广至 350 m 高度。

为了进一步分析近地层风速的垂直变化特征,将“妮妲”影响期间分成 5 个时段(图 2),分别为:台风前外围(I:1 日 00—12 时)、台风前风圈(II:1 日 12—20 时)、台风眼区(III:1 日 20 时—2 日 00 时 20 分)、台风后风圈(IV:2 日 00 时 20 分—06 时)、台风后外围(V:2 日 06 时以后)。此外,为了更好地拟合垂直风廓线,利用指数函数对各时段平均风速垂直分布进行指数函数的拟合(Z 为高度, U 为风速),其中拟合函数的参数在表 2 中给出。由于对数律垂直风廓线所适用的高度有限,在此主要针对 100 m 高度以下的拟合。拟合参数 Z_0 表示风速降低到 0 m/s 时所对应的高度,即为粗糙度长度。在整个台风期间,粗糙度长度 Z_0 为 0.52 m。不同时段内主导风向也不同,拟合的粗糙度长度 Z_0 也不同,各时段参数 Z_0 大小关系为: $V > IV > II > III > I$,台风过境后的值要比台风过境前的大,随时间呈增加—减小—增加。另外,拟合参数 u_* 为摩擦速度,整个台风期间参数 u_* 的平均值为 0.562 388 m/s,各时段

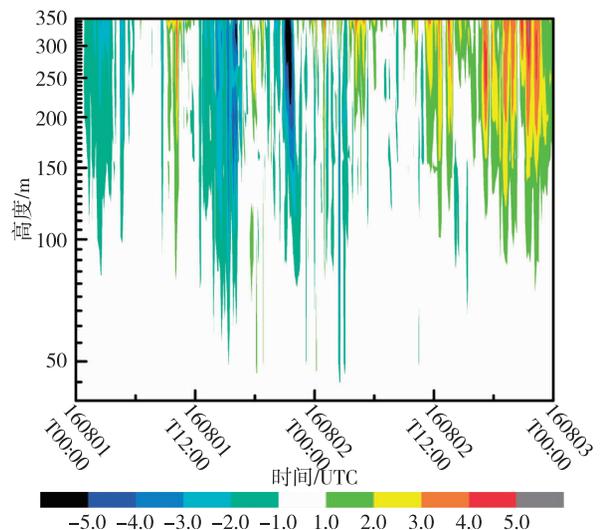


图5 台风“妮妲”影响期间近地层平均风速与 $A_{40m} \ln Z$ 的差值的时间变化(A_{40m} 为 40 m 高度拟合系数)

Fig.5 The temporal and vertical change of the difference between mean wind speed and $A_{40m} \ln Z$ during Typhoon Nida (A_{40m} is fitting coefficient at 40 m)

从大到小为: $IV > V > II > III > I$,也是台风过境后的值要比台风过境前的大。 u_* 也表征为增加同样的风速所需抬升的高度,参数 u_* 的值越小说明增加 1 m/s 的速度需要增加更多的高度,也就是风速的垂直梯度变化幅度小。图 6 给出 5 个时段内近地层平均风速的垂直变化及其拟合曲线。可以发现,整体趋势为高度越高风速变化越小,其中第 I 时段平均风速的垂直变化最小,而第 IV 时段平均风速的垂直

梯度最大,低层平均风速与高层平均风速能相差 10 m/s,其他 3 个时段的风速垂直变化幅度介于第 I 和 IV 时间段之间。各时段的平均风速大小关系为: IV > II > III > V > I,即台风后风圈>台风前风圈>台风眼区>台风后外围>台风前外围,这与前文分析结果一致。整个台风期间的平均风速大于 10 m/s 的出

表 2 “妮姐”影响期间各时段平均风廓线拟合参数

Table 2 The fitting parameters of vertical wind profile during Typhoon Nida

	I	II	III	IV	V	全部(ALL)
Z_0	0.072 57	0.147 42	0.119 27	0.515 84	1.791 99	0.519 33
u_*	0.180 576	0.616 012	0.547 244	1.094 644	0.633 704	0.562 388

注:拟合函数 $Z = Z_0 \times \exp(\kappa U / u_*)$; Z 为高度; U 为风速。

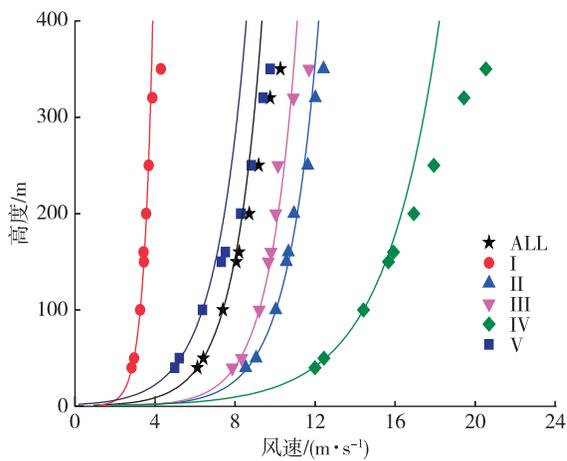


图 6 台风“妮姐”影响期间各时段近地层平均风速的垂直廓线及其拟合曲线(100 m 以下)

Fig.6 The vertical distribution of mean wind speed and its fitting curve (below 100 m) during Typhoon Nida

2.3 近地层阵风系数变化

阵风系数是用于描述风的阵性特征的参数,指阵风风速和平均风速之间理论上的转换系数,可以表示风的脉动强度。阵风系数定义为极大风速与 10 min 平均风速的比值:

$$G = U_{\max} / U_{\text{avg}} \quad (4)$$

其中, G 为阵风系数, U_{\max} 为极大风速, U_{avg} 为 10 min 平均风速。图 7 为“妮姐”期间近地层阵风系数的时空演变,可见阵风系数的大值区分别出现在“妮姐”登陆前和铁塔位于台风眼区阶段,而上述两个时间段观测到的平均风速均较小。“妮姐”登陆前,阵风系数最大,可达 3.44,高阵风系数大致集中在 1 日 05—15 时之间,且低层阵风系数较高层高。1 日 22 时左右,“妮姐”中心眼区经过观测铁塔时,阵风系数变大,最大值出现在 250 m 处。台风前风圈、后

现时间主要在第 II、III 和 IV 时段。对比风速垂直变化和相对应拟合曲线发现,第 I、II 和 III 时段的拟合垂直风廓线适用于 100 m 以上的高度,即台风前外围、前风圈和台风眼区时段内对数律垂直风廓线可扩展至 350 m 高度。另外,台风后风圈和后外围时段内对数律垂直风廓线只适用于 150 m 以内。

风圈和后外围的阵风系数均较小,基本上在 1.5 以下,而上述时段所对应的平均风速均相对较大。此外,“妮姐”整个影响期间,阵风系数的时空平均值为 1.355。

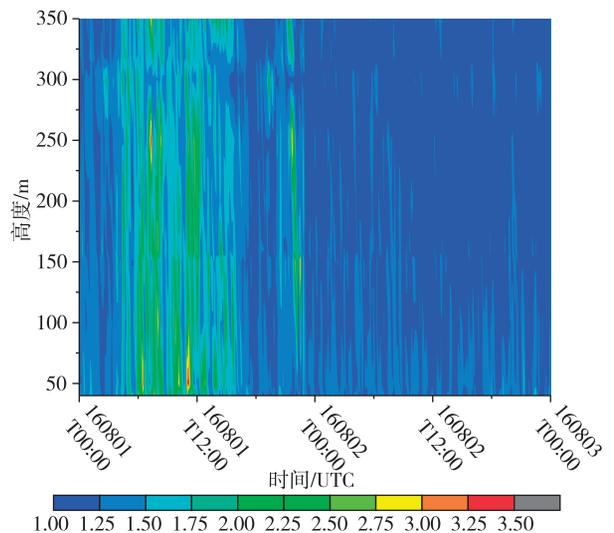


图 7 台风“妮姐”影响期间近地层阵风系数随时间和高度的变化

Fig.7 The temporal and vertical change of gust factor near surface during Typhoon Nida

图 8 给出台风“妮姐”影响期间各时间段近地层平均阵风系数的垂直廓线。可以发现,平均阵风系数的整体垂直变化呈随高度增加而减小的趋势,各时间段平均阵风系数从大到小为: I > II > III > IV > V, 平均值分别为: 1.6、1.43、1.38、1.22 和 1.19。阵风系数在台风前外围和前风圈较大,与风速的变化有所不同,且垂直变化趋势相反。阵风系数随高度呈递减趋势,这里尝试用线性函数进行拟合: $Z = A_1 + B_1 \times G$ (Z 为高度, G 为阵风系数)。表 3 给出各时间段阵风系数垂直廓线的拟

合参数,参数 B_1 为拟合函数中的斜率参数,可表征阵风系数随高度递减的程度,即参数 B_1 值越小,阵风系数随高度递减得越多。各时间段阵风系数的拟合参数 B_1 值的大小关系为: II > I > V > III > IV, 即台风前外围和前风圈的阵风系数随高度的递减程度要大于其他时段。

2.4 近地层阵风系数与风速的关系

图9给出铁塔不同高度上阵风系数随风速变化的特征。可见,近地层阵风系数整体上随风速增加而减小。当风速较低时 (< 10 m/s), 阵风系数相对比较离散,且随风速增加的变化幅度较大,阵风系数可以从3.0左右急剧下降到1.2左右。当风速较大时 (>10 m/s), 阵风系数随风速增加的变化幅度较小,基本上在1.0~1.5之间变化,且趋向于某一个值。在垂直方向上,不同高度上的阵风系数随风速增加的变化趋势具有较大的相似性,由散点图上还可以发现,高度越高出现较大风速的概率越大,在350 m高度上,10 min 平均风速可超过25 m/s。为了进一步分析阵风系数与风速的关系,利用指数函数进行拟合: $G = G_0 + A_2 \times \exp(B_2 \times U)$, 其中 G 为阵风系数, U 为风速,拟合参数 G_0 表示当风速趋向无限大时阵风系数的值,参数 A_2 和 B_2 为用于描述阵

风系数随风速的变化程度。表4给出了不同高度上阵风系数与风速的拟合参数。可见,随着高度增加,参数 G_0 逐渐递减,底层40 m处的 G_0 为1.286,最高层350 m处 G_0 为1.155,即高度越高阵风系数越小;参数 A_2 随高度无明显变化趋势在1.0~1.5之间变化,主要集中在1.2~1.4之间;参数 B_2 随高度也无明显的变化趋势,在-0.6~-0.3之间变化。

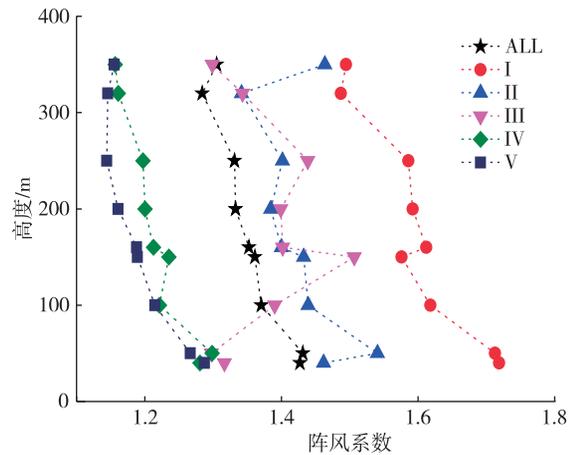


图8 台风“妮妲”影响期间各时间段近地层平均阵风系数随高度的变化

Fig.8 The vertical change of mean gust factor near surface during Typhoon Nida

表3 台风“妮妲”影响期间各时间段平均阵风系数垂直廓线拟合参数

Table 3 The fitting parameters of vertical profile of gust factor during Typhoon Nida

	I	II	III	IV	V	全部(ALL)
A_1	2 246. 49	1 748. 01	3 091. 28	2 824. 8	2 440. 94	3 036. 52
B_1	-1 291. 83	-1 096. 93	-2 096. 62	-2 170. 98	-1 892. 58	-2 107. 95

注:拟合函数 $Z = A_1 + B_1 \times G$; Z 为高度; G 为阵风系数。

表4 台风“妮妲”影响期间不同高度上阵风系数与风速的拟合参数

Table 4 The fitting parameters between gust factor and wind speed at different height during Typhoon Nida

	40 m	50 m	100 m	150 m	160 m	200 m	250 m	320 m	350 m
G_0	1. 286	1. 268	1. 226	1. 209	1. 195	1. 182	1. 188	1. 154	1. 155
A_2	1. 380	1. 384	1. 461	1. 352	1. 469	1. 276	1. 986	1. 026	1. 288
B_2	-0. 616	-0. 537	-0. 522	-0. 451	-0. 459	-0. 410	-0. 546	-0. 348	-0. 340

注:拟合函数 $G = G_0 + A_2 \times \exp(B_2 \times U)$; G 为阵风系数; U 为平均风速。

由于当风速大于10 m/s时,阵风系数不随风速的变化而变化,趋于稳定,因而单独对风速超过10 m/s的阵风系数进行拟合。图10给出了高风速下 (>10 m/s) 拟合的阵风系数的垂直分布,可见随着高度增加,高风速下的阵风系数越来越小,由1.289 4降低至1.165 8,与前文的指数函数拟合结

果相似。这是因为随着高度增加,风速增加,导致平均风速也增加,进而阵风系数减小。40 m和50 m高度上的大风阵风系数相差不大;100 m高度上,大风阵风系数则急剧减小至1.230 76;100 m以上高度,大风阵风系数则随着高度的增加缓慢减小。

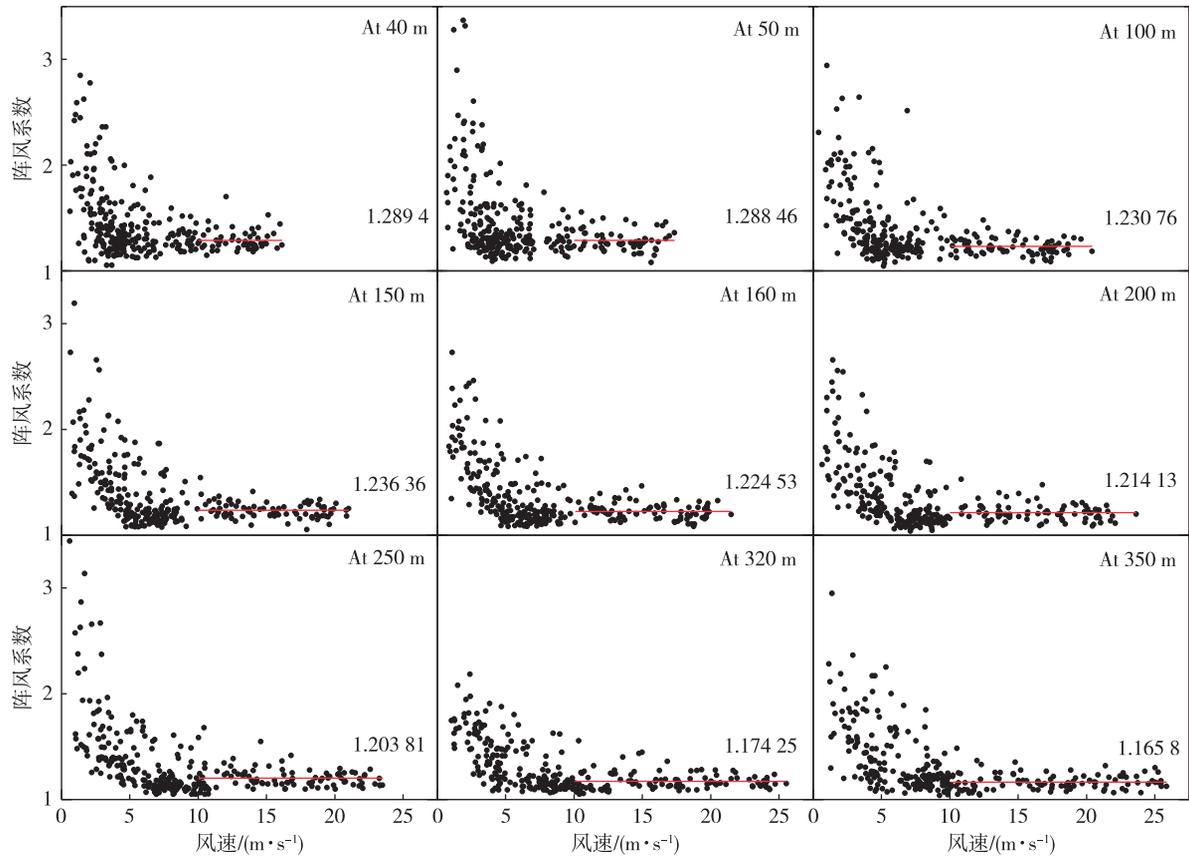


图 9 台风“妮姐”影响期间不同高度上阵风系数与风速的关系

Fig.9 The relationship between gust factor and wind speed at different heights during Typhoon Nida

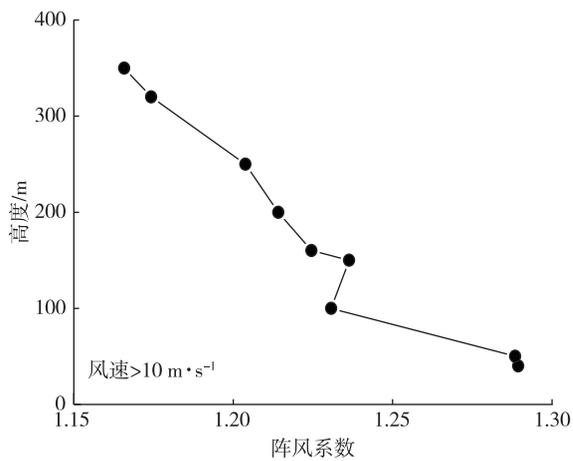


图 10 台风“妮姐”影响期间风速大于 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时拟合的阵风系数的垂直分布

Fig.10 The vertical distribution of the fitting gust factor with the wind speed more than $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ during Typhoon Nida

3 结论

本文利用深圳气象梯度观测铁塔资料(观测最

高高度为 350 m),对 2016 年 8 月台风“妮姐”影响期间近地层风场的时空特征进行分析,并在此基础上研究不同高度上阵风系数变化特征及其与风速的关系,得到以下结论:

1) 台风“妮姐”影响期间,近地层风速随时间呈增强—减弱—增强—减弱的“M”型特征。各时段平均风速大小关系为:台风后风圈>台风前风圈>台风眼区>台风后外围>台风前外围。“妮姐”过境前后,风向由西北转为南东南。“妮姐”中心眼区经过观测塔前后,温度急剧下降 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,相对湿度增加,最低气压值达 972.75 hPa 。

2) 近地层风速随高度增加而增加,台风后风圈的风速在垂直方向上的增幅最大,其次是台风后外围时段,而台风前外围垂直风速梯度最小。垂直方向上台风前外围向前风圈过渡期间风向多变,而其他时段基本不变。

3) 台风前外围、前风圈和台风眼区时段内对数律垂直风廓线可扩展至 350 m 高度;而台风后风圈和后外围时段内对数律垂直风廓线只适用于 150 m 高度以下。

4) 台风前外围和台风眼区的阵风系数较大,最大可达到 3.44,其他时段基本上在 1.5 以下。阵风系数随高度增加而减小,其中台风前外围和前风圈的阵风系数随高度的递减程度要大于其他时段。

5) 阵风系数与风速呈负相关关系,在低风速 ($<10\text{ m/s}$) 时,阵风系数随风速的增加急剧递减;当风速大于 10 m/s 时,阵风系数随风速增加无明显变化。

致谢:感谢深圳市气象局提供宝贵的铁塔资料。

参考文献:

- [1] 张庆红,韦青,陈联寿. 登陆中国大陆台风影响力研究[J]. 中国科学:地球科学, 2010, 40(7): 941-946.
- [2] 张光智,徐祥德,王继志,等. 采用外场观测试验资料对登陆台风“黄蜂”的风场及湍流特征的观测研究[J]. 应用气象学报, 2004, 15(s1): 110-115.
- [3] 朱龙彪,郑铮,何彩芬. 0414 号台风“云娜”多普勒雷达探测[J]. 应用气象学报, 2005, 16(4): 500-508.
- [4] 魏应植,汤达章,许健民,等. 多普勒雷达探测“艾利”台风风场不对称结构[J]. 应用气象学报, 2007, 18(3): 285-294.
- [5] 张勇,刘黎平,仰美霖,等. “天鹅”台风风场结构特征[J]. 气象, 2011, 37(6): 659-669.
- [6] 魏超时,赵坤,余晖,等. 登陆台风卡努(0515)内核区环流结构特征分析[J]. 大气科学, 2011, 35(1): 68-80.
- [7] 汪学渊,李栋,任雍,等. 风廓线雷达资料在台风苏拉登陆过程中的应用初探[J]. 气象, 2013, 39(11): 1431-1436.
- [8] 刘爱鸣,何小宁. 1209 号台风“苏拉”登陆福建后垂直结构和暴雨落区关系[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(4): 451-458.
- [9] 河惠卿,王振会,金正润. 不对称环流对台风强度变化的影响[J]. 热带气象学报, 2008, 24(3): 249-253.
- [10] 魏晓琳,王德立,贺佳佳,等. 深圳沿海地区阵风系数的特征[J]. 广东气象, 2016, 38(5): 33-36.
- [11] 赵小平,朱晶晶,樊晶,等. 强台风海鸥登陆期间近地层风特性分析[J]. 气象, 2016, 42(4): 415-423.
- [12] 李秋胜,戴益民,李正农,等. 强台风“黑格比”登陆过程中近地风场特性[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(4): 54-61.
- [13] 陈雯超,宋丽莉,植石群,等. 不同下垫面的热带气旋强风阵风系数研究[J]. 中国科学:技术科学, 2011, 41(11): 1449-1459.
- [14] 王志春,植石群,丁凌云. 强台风纳沙(1117)近地层风特性观测分析[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 595-605.
- [15] 马亮,许丽人,李鲲. 铁塔近地层风场特征研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(5): 20-28.
- [16] 张容焱,张秀芝,杨校生,等. 台风莫拉克(0908)影响期间近地层风特性[J]. 应用气象学报, 2012, 23(2): 184-194.
- [17] 刘科,韩湘逸,王修勇,等. 台风“启德”登陆过程中近地风场特征[J]. 湖南工程学院学报, 2014, 24(4): 62-66.
- [18] 吴伯雄,施其仁. 台风登陆后低层周围温、压、湿场的结构及其演变[J]. 南京大学学报, 1963(Z1): 25-36.