

赵小平,朱晶晶,樊晶,等. 2016. 强台风海鸥登陆期间近地层风特性分析. 气象, 42(4):415-423.

强台风海鸥登陆期间近地层风特性分析^{* 1}

赵小平¹ 朱晶晶^{2,3} 樊晶¹ 贵志成¹

1 西昌卫星发射中心气象室,西昌 615000

2 海南省气候中心,海口 570203

3 南海气象防灾减灾重点实验室,海口 570203

提 要: 利用位于海南文昌市的 90 m 测风塔观测的强台风海鸥多层测风数据,分析了台风海鸥登陆期间近地层风场时空特征、湍流强度、垂直风切变及阵风因子等风场特性,分析结果表明:台风海鸥登陆期间,近地层各高度风速呈现“M”型双峰特征,最大风速出现在台风后风圈;台风过境前后,风向旋转了 180°;近地层风速随高度升高而增大,各高度风速垂直切变符合对数和指数规律;粗糙度长度、风廓线幂指数、湍流强度、阵风系数等风场特性与风速呈负相关关系,随着风速的增加而降低;从台风外围至台风眼,粗糙度长度随风速呈现“增大—减小—增大”特征;台风眼内部风速垂直切变剧烈,前后风圈的风速垂直切变较弱;强风区湍流强度较弱,弱风区湍流强度较强;台风风圈的湍流强度随高度增加而减小,台风眼内湍流强度随高度先减小再增加;台风影响各阶段阵风系数随高度升高而减小,各高度层阵风系数遵循指数定律;阵风系数随风速的增大而减小,当风速达到一定强度时,阵风系数随风速变化不明显。

关键词: 台风海鸥, 近地层风, 湍流强度, 阵风因子, 风速廓线

中图分类号: P447

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.04.004

Analysis on Wind Characteristics in Surface Layer During Landfall of Typhoon Kalmaegi

ZHAO Xiaoping¹ ZHU Jingjing^{2,3} FAN Jing¹ GUI Zhicheng¹

1 Xichang Satellite Launch Center, Xichang 615000

2 Hainan Climate Center, Haikou 570203

3 Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction of the South China Sea, Haikou 570203

Abstract: Using the multilayer wind data of the Typhoon Kalmaegi from the 90 m meteorological anemometer tower in Hainan Province, this paper analyzes the spatial and temporal characteristics, turbulence intensity, vertical wind shear and gust coefficient of the surface wind during the landing of Typhoon Kalmaegi. The results show that the near-surface wind at different heights presents the “M” pattern during the typhoon’s landfall. The maximum wind speed appears in the rear wind circle. The wind direction rotates around by 180° before and after the typhoon sweeps the area. The near-surface wind increases along speed with the increase of height. The vertical shear of wind speed at different heights accords with logarithmic and exponential rule. Roughness, wind profile exponent, turbulence intensity and gust coefficient have negative correlations with the wind speed. They decrease with the wind speed’s increasing. The roughness characteristic is “increasing-decreasing-increasing” with the wind speed from typhoon periphery to eye. The wind speed vertical shear is strong in the typhoon eye and weak in the wind circle. The turbulence intensity is weak in the strong wind area and strong in the weak wind area. The turbulence intensity

* 海南省气象局 2013 年度科技创新项目(HN2013MS10)资助

2015 年 3 月 3 日收稿; 2015 年 9 月 17 日收修定稿

第一作者:赵小平,从事短期预报及航天气象保障工作. Email: xiaopingzjpq@163.com

decreases with height in the typhoon wind circle but the situation is opposite in the typhoon eye. In general, the gust coefficient increases with the height and conforms to exponential rule in different layers. In addition, the gust coefficient decreases with the wind speed until the wind speed reaches a high level.

Key words: Typhoon Kalmaegi, surface wind, turbulence intensity, gust factor, wind speed profile

引 言

我国是世界上受热带气旋(台风)影响最严重的国家之一,台风一直是国内外学者们研究的热点(陈联寿等,1979;赵宗慈等,2010;沈新勇等,2013;汪学渊等,2013)。目前,气象工作者们对热带气旋移动路径、强度、风雨特征等方面的研究已取得了丰富的成果(陈联寿等,1997;赵小平等,2012;2014;赵海坤等,2015;钱维宏等,2015;张玲等,2014;)。台风伴随有大风、强降水、风暴潮等,常常给人们的生命财产安全造成严重损失(陈联寿,2010)。我国东部和南部沿海地区是台风影响最严重的区域,每年均有多个台风登陆或影响。随着我国经济的迅猛发展,沿海地区高耸建筑、跨海大桥等大型建筑业迅速发展,抗风安全逐渐成为人们考虑的制约因素。人类活动主要集中在近地层,近地层风场阵风效应、风速切变、垂直空间结构等对临海高耸建筑的抗风设计、防灾减灾具有重要的意义(邹立尧等,2010;张驰等,2015),因此,有必要对于台风登陆前后近地层极端风场特性进行研究。

近地层常指离地百米内的大气层,近地层是受地面强烈影响的一层大气,其受到地球表面热力和动力的共同影响,气象要素变化剧烈。目前,对于台风登陆前后近地层大风强度、空间结构等方面取得了一些研究进展,对于台风期间近地层风特性的研究主要集中在风场湍流特性、阵风系数、风切变等方面(Choi,2000;董双林,2001)。张光智等(2004)通过对热带风暴黄蜂风场的研究,发现热带气旋中湍流活动具有显著的日变化特征及海陆差异。Cao等(2009)对台风鸣蝉影响期间的边界层数据进行分析,指出台风前的东风湍流强度和阵风系数均大于西风的湍流强度和阵风系数。宋丽莉等(2004)对热带气旋近地层湍流特性、阵风系数、风垂直切变等进行了深入的研究,指出热带气旋期间,近地层风场湍流、阵风、风切变等均存在明显的差异。张容焱等(2013)通过对台风莫拉克影响区域内的近地层测风数据进行了分析,指出近地层风特性变化较大,湍流

强度在台风中心急剧增加。李江南等(2003)利用 QuikSCAT 资料研究台风近地层风场特性,台风影响期间近地层风场存在显著的不对称性。目前,对近地层风场的研究已经取得了一定的成果,但利用测风塔获取的完整的台风中心经过前后的测风数据,分析台风中心过境前后近地层不同高度风场特性的文章相对较少,对台风中心及风圈风场特性还有待进一步研究。

由于台风登陆具有较强的随机性,能够完整观测到包括台风外围、大风圈、眼区、眼壁的强风数据的机会较少。强台风海鸥登陆过程中,台风中心正好经过位于海南省文昌市的 90 m 测风塔,测风塔完整记录了台风过程的近地层风况数据。本文利用该测风数据,侧重研究强台风海鸥期间近地层风在时间、空间上的变化规律,分析台风登陆中心、前后风圈及外围气流等影响区域的近地层风场特征,以期对登陆台风近地层不同观测高度风场结构及特征有所认识。

1 数据和方法

本文近地层风数据来源于海南文昌卫星发射场架设的 90 m 高度测风塔测风数据,该测风塔完整记录了台风海鸥中心过境前后不同高度风场数据。该测风塔位于海南省文昌市,测风塔周围地势平坦、开阔,地表为矮木层和低矮建筑,测风场地满足气象数据测量规范。另外,该测风塔所测量数据经过质量控制,经过长时间业务验证,数据真实可靠。该测风塔测风原理是采用二维超声风传感器,测量高度包括:10、20、35、50、70 和 90 m,测量采样为每秒采集,每分钟测量 60 次数据,输出数据格式为 10 min 平均风速。本文分析时长为:2014 年 9 月 15 日 15:00 至 17 日 23:59。

为分析台风海鸥不同阶段近地层风特性,依据台风的结构特征,本文将台风影响时段划分为 5 类:(1)台风前外围(15 日 15:00 至 16 日 02:00):台风开始影响到台风云墙过境前的范围。此阶段台风开始逐渐影响,风速缓慢增强。(2)台风前风圈(16

日 02:01—08:00):即为台风前段云墙过境阶段,它围绕着台风眼,是台风移动方向前端最具有破坏力的强风区域。(3) 台风眼(16日 08:01—10:30):台风风圈内部,风速迅速减小的区域。(4) 台风后风圈(16日 10:31—21:00):即为台风后端云墙过境阶段,它围绕着台风眼,是台风移动方向后端最具破坏力的强风区域。(5) 台风后外围(16日 21:01至17日 23:59):台风云墙过境后到台风影响结束的范围。此阶段受台风影响逐渐减弱,风速由强缓慢变弱。

2 台风海鸥概况

2014年15号台风海鸥(1415号,以下简称“海鸥”)于9月13日08:00在菲律宾以东太平洋洋面生成,生成后快速向西偏北方向移动,强度快速加强,并达到强台风级别(图1a)。“海鸥”于15日下午开始影响海南岛,并带来大范围的强雷暴、大风和暴雨天气。台风中心于16日09:40在海南省文昌

市瓮田镇沿海登陆,登陆时强度仍为强台风级别,中心附近最大风力为13级($40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),中心最低气压为960 hPa。登陆后继续向西北方向移动,于12:45在广东湛江徐闻县南部沿海地区再次登陆,登陆时亦为台风级别。海鸥路径稳定、移动快、登陆强度大且持续时间长,其在沿海迅速加强为强台风,并在登陆后长时间维持在台风级别,给海南及整个华南地区带来了严重的灾害。

图1b显示的是位于台风登陆点附近气象观测站观测到的地面风及降水量演变特征,其中地面风是指人工气象常规观测中离地10 m高度的风。从图中可以看出,“海鸥”期间单站小时最大降水量达到43 mm,地面最大风速达到 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。风速分布呈现典型的“M”型双峰特征,峰值出现在16日06:00和12:00,这正是“海鸥”风圈经过观测站的时间,09:00为弱风区,最低风速接近静风,此时正是台风眼经过观测站的时间。图1c和1d显示的是“海鸥”登陆期间雷达组合反射率回波特征,从雷达回波演变可以发现,台风登陆前后,台风前后大风圈

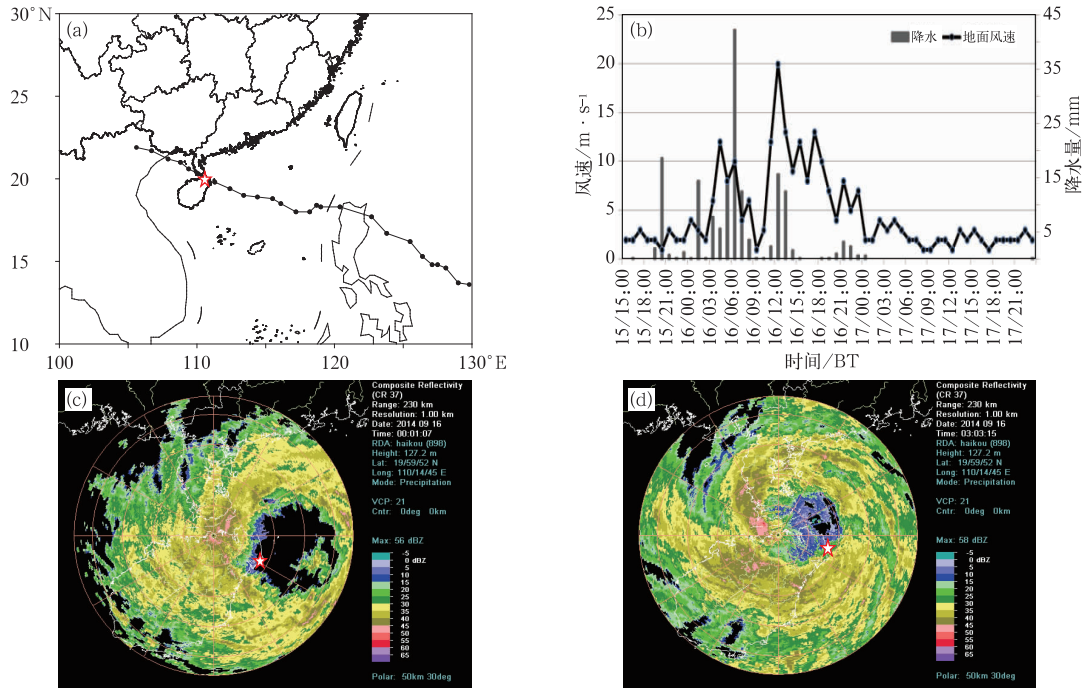


图1 “海鸥”移动路径(a)、登陆前后地面风与小时降水量演变(b)、
登陆前后雷达组合反射率回波特征(c、d)
(五角星为测风塔)

Fig. 1 The track of Typhoon Kalmaegi (2014) (a), and the observed surface wind and precipitation at Wenchang Station before and after its landing (b) and composite reflectivity of radar echo during its passage (c, d)
(The star represents wind measuring tower)

与雷达回波最强区域存在较好的对应。“海鸥”登陆过程中,中心正好经过位于文昌的近地层测风塔(图 1a),测风塔完整地记录了台风中心经过前后近地层风况特征,在 16 日 11:48 测得 90 m 高度 10 min 平均风速达 $73.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,瞬时风速达到 $96.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。结合“海鸥”移动路径、地面风及雷达回波特征可以发现,各要素之间存在较好的对应关系,最大风速出现在台风后风圈。

3 近地层风时间和空间特征

3.1 近地层风时间演变

“海鸥”西移过程中,近地层各高度风速与风向变化特征如图 2 所示。图 2a 和 2b 显示的是 35 和 90 m 高度的近地层风速随时间演变特征,风速呈现显著的“M”型特征,在台风前外围风速由弱变强,在

16 日 06:00 达到峰值,台风中心于 09:00 经过测风塔,风速迅速减小,接近静风。台风继续西移,后风圈在 12:00 经过测风塔,风速迅速增强,并达到极值。风速变化可以看出,“海鸥”后风圈风速明显大于前风圈风速,最大风速出现在后风圈,由观测数据显示台风登陆后强度并未减弱,风速较登陆前更强。

图 2c 和 2d 显示的是 35 和 90 m 高度的近地层风向随时间演变特征,台风经过测风塔前后,风向呈现 180° 旋转。在 09:00 登陆前,风向以偏北风为主,风向主要在 $0^\circ \sim 10^\circ$ 左右及 $350^\circ \sim 360^\circ$ 左右,风向较为稳定。登陆后,风向迅速转为偏南风,且随着台风西移,风向逐渐由西南风转为东南风,最大风速出现在登陆后的西南风中。另外,结合 35 和 90 m 高度的风向变化,可以发现,低层至高层的风向变化基本相似,但在台风眼附近则存在一定的差异,表现为台风登陆前眼壁附近,35 m 高度多为西偏北风,而在 90 m 高度为东偏北风。

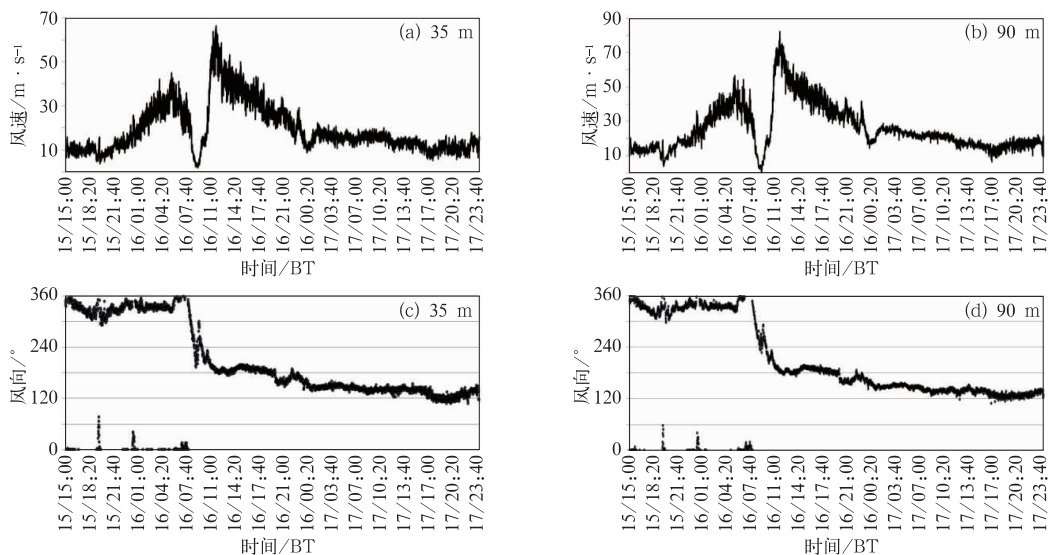


图 2 “海鸥”期间近地层 35 m(a,c)和 90 m(b,d)风速(a,b)、风向(c,d)随时间演变

Fig. 2 Wind speed (a,b) and direction (c,d) in surface layer during the Typhoon Kalmaegi process

3.2 近地层风空间变化

从“海鸥”期间近地层平均风速的空间分布特征可以看出(图 3),台风的各个阶段,平均风速随高度增加而增加。台风眼平均风速最小,在 90 m 仅为 $13.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,台风后风圈平均风速最大,90 m 高度平均风速约为 $47.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。另外,风速越大,其随高度增加越显著,台风眼和台风前外围平均风速随高度增加缓慢,而台风前后风圈平均风速随高度增加迅速。

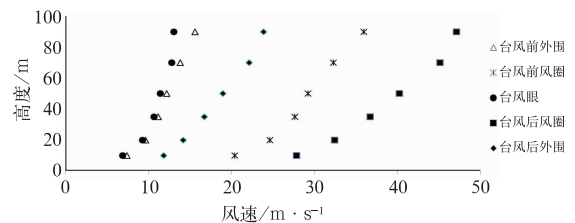


图 3 “海鸥”期间近地层风平均风速随高度变化特征

Fig. 3 Characteristic of average wind speed in the near-surface layer with the change of height during the typhoon process

4 近地层风特性分析

4.1 风速廓线特征

风速廓线是指风速随高度的变化曲线,风速廓线的分布特征决定着建筑物、桥梁、污染物扩散等的结构设计。低层大气的层结状态和地表粗糙度常常是制约近地层风速的垂直分布的主要因素(郭凤霞等,2010)。陈雯超等(2011)、王志春等(2007)研究指出,台风过境伴随大风,大气近似中性条件,风廓线服从指数函数和对数函数分布规律,因而幂指数方程和对数方程均能较好地描述近地层风速的垂直廓线。

本文选取测风塔实测数据,计算台风过境前后各高度风速的指数函数和对数函数。在近地层,风速随高度变化的指数函数和对数函数公式为(王志春等,2013):

$$\text{指数函数: } u = u_* \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha$$

$$\text{对数函数: } u = \frac{1}{\kappa} u_* \ln \frac{z}{z_0}$$

式中, u 为高度 z 处的风速, α 为指数函数中风廓线幂指数值, α 值反映的是风速垂直切变的强弱,又被称为风切变指数。 z_0 为粗糙度长度, u_* 为粗糙度长度 z_0 处的风速, κ 为卡曼常数。

根据对数函数公式,可以推算出粗糙度长度

z_0 , 计算公式为:

$$z = z_0 \cdot e^{\frac{u}{u_*}}$$

计算中,将 z_0 和 u_* 作为方程拟合参数,采用最小二乘法拟合,结合对数函数推算得到粗糙度长度 z_0 。

另外,由指数函数公式可以推算出风廓线幂指数 α , 计算公式为:

$$\alpha = \log_{\frac{z}{z_*}} \frac{u}{u_*}$$

本文利用指数函数和对数函数对台风 5 个阶段的风速进行适应性拟合,拟合结果如图 4。从适应性效果可以看出,“海鸥”影响各阶段,指数函数和对数函数对各高度风速垂直变化的拟合效果均较好,台风期间风速垂直切变符合对数和指数变化规律。

为揭示台风期间各时段的风速垂直切变特征,本文以指数函数为例,计算台风登陆前后各高度风速的风廓线幂指数、粗糙度长度(表 1)及粗糙度 z_0 处的风速 u_* (图 5)。粗糙度长度计算显示,台风前外围、后外围的粗糙度长度最高,分别为 1.4451 和 1.5533 m;台风眼的粗糙度长度为 0.8405 m,台风前后风圈的粗糙度长度最小,分别为 0.5575 和 0.5374 m。从粗糙度长度变化可以看出,粗糙度长度与风速成负相关,从台风外围至台风风圈,粗糙度长度随风速的增加而减小,从风圈至台风眼,粗糙度长度有所增加,总体呈现“增大—减小—增大”特征。

图 5 显示的是粗糙度 z_0 处的风速 u_* 随时间变

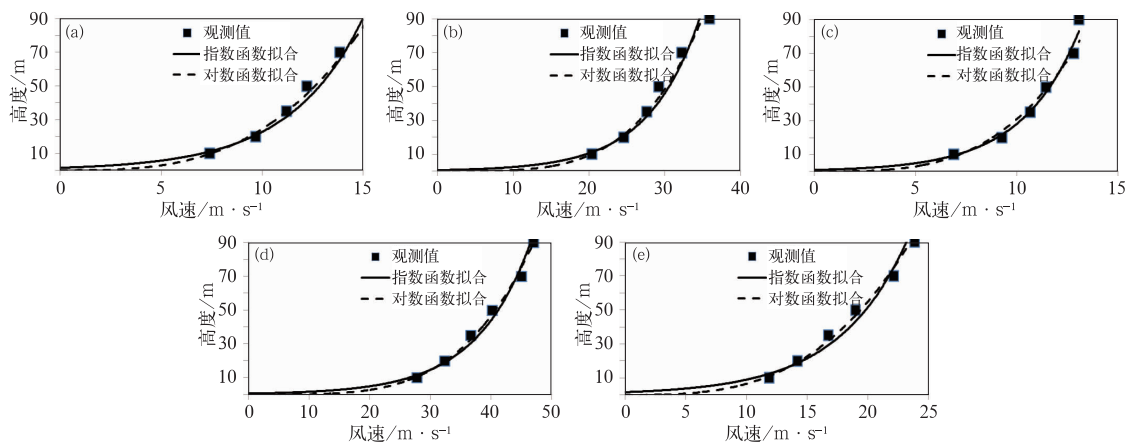


图 4 “海鸥”期间各时段风廓线拟合曲线

(a) 台风前外围, (b) 台风前风圈, (c) 台风眼, (d) 台风后风圈, (e) 台风后外围

Fig. 4 Wind profile fitting curve during the typhoon

(a) front peripheral of typhoon, (b) front wind circle of typhoon,

(c) typhoon eye, (d) rear peripheral of typhoon, (e) rear wind circle of typhoon

化情况,从图中可以看出,在台风影响的不同阶段, u_z 随时间变化明显。在台风影响前期,风速逐渐增大,至 16 日 08—09 时台风眼附近,风速又突然减小。在台风后风圈附近, u_z 突然增大至最大值。当台风影响逐渐减弱时, u_z 逐渐开始减弱。

从风廓线幂指数计算结果可以看出(表 1),台风眼附近风廓线幂指数相对较大,为 0.3517,台风前后

外围的风廓线幂指数分别为 0.2759 和 0.175,台风前后风圈风廓线幂指数最小,分别为 0.147 和 0.11。可以看出,“海鸥”期间,风廓线幂指数最大值出现在台风眼附近,而在台风风圈附近的风廓线幂指数反而相对较小。风廓线幂指数又称为风切变指数,反映风速随高度的变化强弱。其计算结果表明,台风眼内部风切变指数大于前后风圈的风切变指数。

表 1 台风各时段相对粗糙度长度、风廓线幂指数分布

台风阶段	台风前外围	台风前风圈	台风眼	台风后风圈	台风后外围
粗糙度长度/m	1.4451	0.5575	0.8405	0.5374	1.5533
风廓线幂指数	0.2759	0.147	0.3517	0.11	0.175

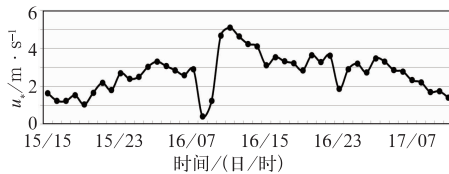


图 5 “海鸥”期间粗糙度高度处的风速随时间演变

Fig. 5 Change of the wind speed with time at the roughness height during the typhoon process

为便于探索风速切变与风速的内在联系,统计了“海鸥”期间各高度风廓线幂指数与 10 m 高度风速的关系(图 6)。从图中可以看出,在各高度层,风廓线幂指数随风速的增大而减小,当风速达到一定级别后,幂指数趋于收敛。从各高度的幂指数分布

看,在风速大于 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的情况下,幂指数逐渐趋于收敛,基本维持在 0.2 附近。另外,在低风速条件下,随着高度升高,风切变指数区域趋于集中。如在 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右风速时,在 35 m 高度,幂指数分布较为分散,随着高度升高,到 90 m 时,幂指数较为集中,主要集中在 0.15~0.4。可以看出,低层幂指数随风速变化幅度较大,随着高度升高,幂指数随风速变化幅度逐渐减小。另外,在 35 和 90 m 高度还出现了幂指数为负的情况,且负值均出现在台风眼。

4.2 湍流强度特征

湍流强度表示瞬时风速偏离平均风速的程度,是评价大气气流稳定程度的指标。天气系统类型、地表粗糙度、地理位置等因素均会对湍流强度产生

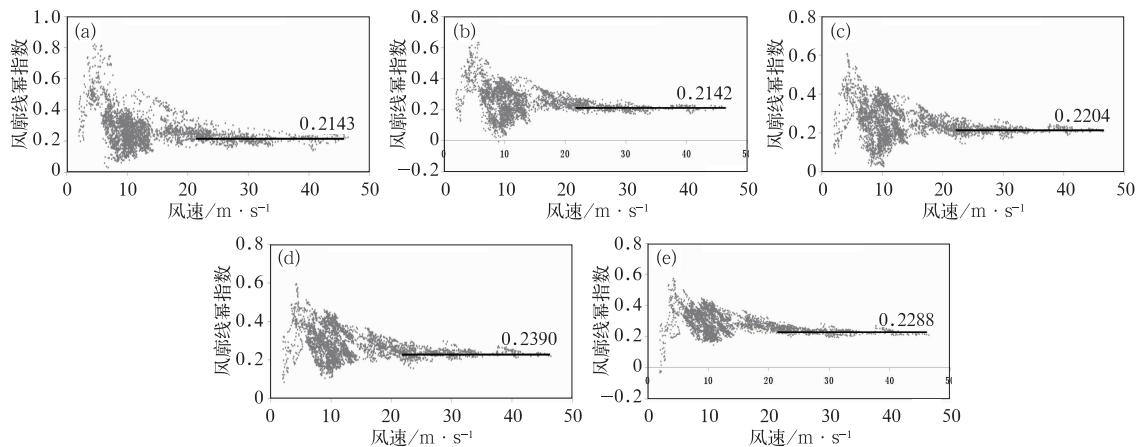


图 6 “海鸥”登陆前后大风期间风廓线幂指数与 10 m 高度风速的关系
(a) 20 m, (b) 35 m, (c) 50 m, (d) 70 m, (e) 90 m

Fig. 6 Relation of wind profile exponent and 10 m height wind speed during the typhoon process
(a) 20 m, (b) 35 m, (c) 50 m, (d) 70 m, (e) 90 m

影响。当台风影响时,风速常常会发生剧烈变化,从而使得湍流强度发生剧烈变化。在风电工程中,常常用 10 min 平均风速作为计算湍流强度的输入风速,湍流强度的计算公式为(张容焱等,2013):

$$I = \frac{\sigma_v}{v}$$

式中, v 为 10 min 平均风速, σ_v 为 10 min 内瞬时风速相对于平均风速的标准偏差。

图 7 显示的是“海鸥”影响期间 50 m 高度湍流强度随时间演变及各层湍流强度垂直分布。从图 7a 可见,台风登陆前,50 m 高度湍流强度逐渐减小,至 16 日 06:00 台风前风圈,湍流强度降至最小。

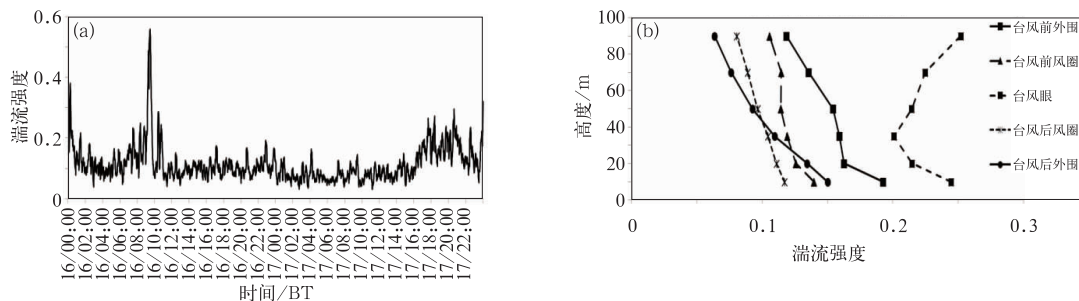


图 7 “海鸥”期间 50 m 高度湍流强度随时间演变(a)及各层湍流强度垂直分布(b)

Fig. 7 Turbulence intensity variation with time at 50 m height (a) and vertical distribution of the turbulence intensity at different levels during the typhoon process (b)

4.3 近地层阵风因子变化

阵风因子表示风的脉动强度,常以阵风系数表征。阵风系数是描述风的阵性特征的数学统计参数。目前,我国气象及风电工程领域,常以极大瞬时风速与 10 min 平均风速的比值表示阵风系数(王志春等,2013):

$$G = \frac{U_{\max}}{U}$$

式中, U_{\max} 为瞬时极大风速, U 为 10 min 平均风速。

为分析台风期间阵风系数垂直分布特征,利用实测数据计算台风期间各高度阵风系数(图 8)。图 8a 显示的是台风各时段阵风系数垂直分布特征,“海鸥”外围及大风圈内阵风系数随高度升高而减小,台风眼内阵风系数垂直分布较复杂,表现为从 10~70 m,阵风系数随高度升高而减小,从 70~90 m,阵风系数再有所增加。结合阵风系数垂直分布

台风登陆后,在台风眼附近,湍流强度逐渐增大,最大值达到 0.55。至 12:00 台风后风圈,湍流强度迅速减小至 0.1 左右,且弱湍流强度一直维持至台风影响结束。从湍流强度与风速的变化可以发现,强风区湍流强度较弱,弱风区湍流强度较强。对于湍流强度的垂直分布(图 7b),在台风外围和台风风圈均表现为湍流强度随高度升高而减小,其中台风前后风圈的湍流强度随高度升高而缓慢减小,台风前后外围的湍流强度随高度的升高而迅速减小。在台风眼,湍流强度出现先减小再增加的特征,在 35 m 高度最小,之后又逐渐增加,这种现象与台风眼风速较小且存在逆风速有关。

特征,为分析阵风系数随高度变化的规律,利用指数函数对各层阵风系数进行拟合(图 8b),拟合效果显示,台风外围、台风风圈各层阵风系数随高度遵循指数规律,而台风眼阵风系数拟合效果较差。

图 8c 和 8d 显示的是阵风系数随风速变化特征,可以看出,低风速区,阵风系数相对离散,随着风速增加,阵风系数有所减小,并且相对集中。从图中可以看出,当风速达到 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,阵风系数变化不明显。另外,从 10 m 高度与 90 m 高度的分布差异可以看出,在 10 m 高度时,低风速时阵风系数变化幅度较小,高风速时阵风系数相对分散。在 90 m 高度,低风速时阵风系数变化幅度较大,最大阵风系数可达 2.5,高风速时阵风系数集中,数值较小。因此,在台风期间,阵风系数随高度升高而减小,各层阵风系数近似遵循指数规律。阵风系数与风速呈反相关,风速越大,对应的阵风系数越小,当风速达到一定强度时,阵风系数随风速变化不明显。

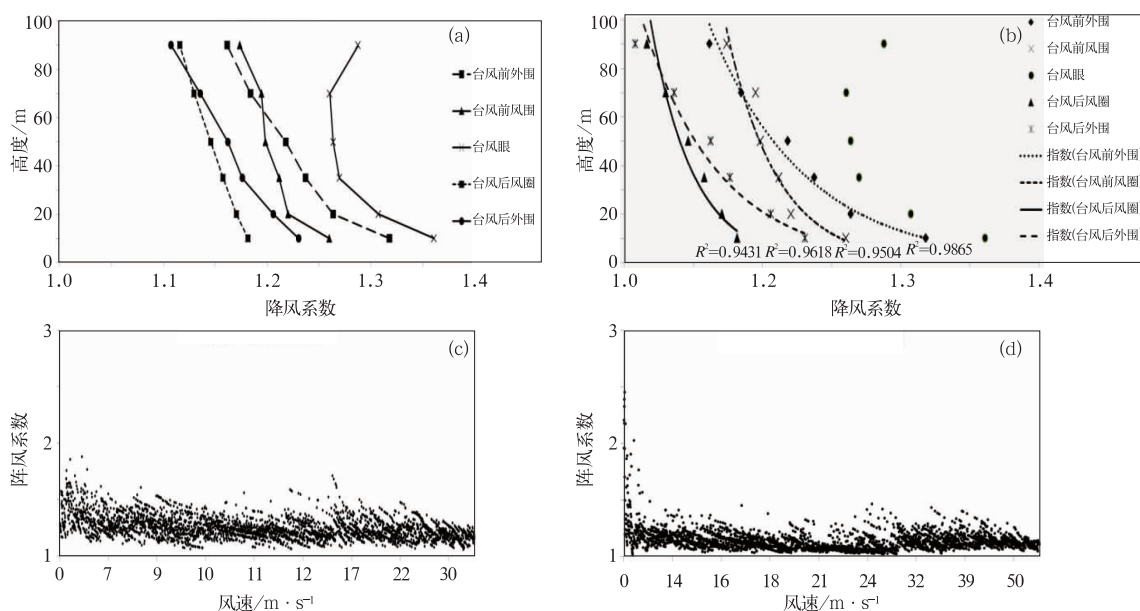


图 8 “海鸥”期间阵风系数垂直分布(a)、随高度拟合曲线(b)及 10 m(c)和 90 m(d)随风速变化分布

Fig. 8 Vertical distribution of gust coefficient (a), its fitting curve changing with height (b), and its 10 m (c) and 90 m (d) height gust coefficients changing with wind speed

5 结 论

本文利用 90 m 高度测风塔实测数据,对 1415 号强台风海鸥登陆期间近地层风场时空特征、湍流强度、风切变及阵风因子等进行了分析,得到以下结论:

(1) 台风海鸥登陆期间,近地层各高度风速呈现“M”型双峰特征,最大风速出现在台风后风圈,台风眼风速最小。台风过境前后,风向旋转了 180° ,最大风速出现在登陆后的西南风中。各层风向虽存在微弱差异,但整层风向基本一致。

(2) 风速随高度升高而增大,风速越大,风速随高度增加越明显,台风眼和台风前外围平均风速随高度增加缓慢,台风前后风圈平均风速随高度增加迅速。

(3) “海鸥”期间,各高度风速垂直切变符合对数和指数规律。粗糙度长度与风速成负相关,随风速的增大而减小。从台风外围至台风眼,粗糙度长度随风速呈现“增大—减小—增大”特征。台风眼附近廓线幂指数较大,台风风圈幂指数相对较小,廓线幂指数随风速的增大而减小,当风速达到一定级别后,幂指数趋于收敛。台风眼内风速垂直切变剧烈,前后风圈的风速切变最弱。

(4) 强风区湍流强度较弱,弱风区湍流强度较

强。强风区湍流强度随高度升高而减小,台风眼内弱风区湍流强度随高度先减小再增加。

(5) 阵风系数随高度升高而减小,各层阵风系数遵循指数规律。阵风系数与风速呈反相关,风速越大,对应的阵风系数越小,当风速达到一定强度时,阵风系数随风速变化不明显。

本文利用测风塔实测的台风海鸥风场数据进行近地层风场分析,得出了一定的观测事实和变化规律,但在以后的研究工作中,仍需要利用更多的实测台风个例数据进行统计分析和检验,以取得具有普遍性的规律。

参考文献

- 陈联寿. 2010. 热带气象灾害及其研究进展. 气象, 36(7): 101-110.
- 陈联寿, 丁一汇. 1979. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 225-226.
- 陈联寿, 徐祥德, 解以扬, 等. 1997. 台风异常运动及其外区热力不稳定非对称结构的影响效应. 大气科学, 21(1): 83-90.
- 陈雯超, 宋丽莉, 植石群, 等. 2011. 不同下垫面的热带气旋阵风系数研究. 中国科学 科学技术, 41(11): 1449-1459.
- 董双林. 2001. 中国的阵风极值及其统计研究. 气象学报, 59(3): 327-333.
- 郭风霞, 朱文越, 饶瑞中. 2010. 非均一地形近地层风速廓线特点及粗糙度的研究. 气象, 36(6): 90-94.
- 李江南, 王安宇, 杨兆礼, 等. 2003. 用 QuikSCAT 资料分析“黄蜂”登陆前后近地层风场的分布特征. 热带气象学报, 19(增刊): 88-94.

- 钱维宏,张广文,黄静. 2015. 不同资料大气扰动分量对2010年台风鲇鱼强度变化的描述. 气象, 41(7):806-815.
- 沈新勇,刘佳,秦南南,等. 2013. 台风麦莎登陆后粘性摩擦对正压特征波动的影响. 大气科学, 37(6):1219-1234.
- 宋丽莉,毛慧琴,汤海燕,等. 2004. 广东沿海近地层大风特性的观测分析. 热带气象学报, 20(6):731-736.
- 汪学渊,李栋,任雍,等. 2013. 风廓线雷达资料在台风苏拉登陆过程中的应用初探. 气象, 39(11):1431-1436.
- 王志春,宋丽莉,何秋生,等. 2007. 风速随高度变化的曲线模型分析. 热带气象学报, 23(6):690-692.
- 王志春,植石群,丁凌云. 2013. 强台风纳沙(1117)近地层风特性观测分析. 应用气象学报, 24(5):595-605.
- 张驰,王东海,巩远发. 2015. 基于WRF/CALMET的近地面精细化风场的动力模拟试验研究. 气象, 41(1):34-44.
- 张光智,徐祥德,王继志,等. 2004. 采用外场观测试验对登陆台风“黄蜂”的风场及湍流特征的观测研究. 应用气象学报, 15(增刊):110-115.
- 张玲,许映龙,黄奕武. 2014. 1330号台风海燕强烈发展和快速移动原因分析. 气象, 40(12):1464-1480.
- 张容焱,张秀芝,杨校生,等. 2013. 台风莫拉克(0908)影响期间近地层风特性. 应用气象学报, 23(2):184-194.
- 赵海坤,吴立广. 2015. 西北太平洋热带气旋气候变化的若干研究进展. 气象科学, 35(1):108-118.
- 赵小平,沈新勇,王咏青,等. 2012. 越赤道气流准双周振荡对西北太平洋台风路径的调制作用. 大气科学学报, 35(5):603-619.
- 赵小平,朱晶晶,吴慧,等. 2014. 1321号强台风“蝴蝶”强度变化特征和影响因素分析. 应用海洋学报, 33(3):405-412.
- 赵宗慈,江滢. 2010. 热带气旋与台风气候变化研究进展. 科技导报, 28(15):88-96.
- 邹立尧,国世友,王冀,等. 2010. 1961—2004年黑龙江省近地层风速变化趋势分析. 气象, 36(10):67-71.
- Cao S Y, Tamura Y, Kikuchi N, et al. 2009. Wind characteristics of a strong typhoon. J Wind Engineering and Industry Aerodynamics, 97:11-21.
- Choi C C. 2000. Wind characteristics of tropical thunderstorms. J Wind Engineering and Industry Aerodynamics, 84:215-226.