

赖鑫,王德立,江崧,等. 2016. 南中国海 10 m 风和海面动态粗糙度特征研究. 气象, 42(12):1531-1539.

南中国海 10 m 风和海面动态 粗糙度特征研究^{*1}

赖 鑫¹ 王德立^{1,2} 江 崧¹ 蔡 然³ 高瑞泉¹

1 深圳市国家气候观测台, 深圳 518040

2 深圳南方强天气研究重点实验室, 深圳 518040

3 深圳市气象服务中心, 深圳 518040

提 要: 根据海面粗糙度(z_0)与海面 10 m 风速的关系, 本文提出一种适用于海上 10 m 风速求解算法。通过和 ERA-Interim 风速比较, 发现用这种动态 z_0 法订正的风速比固定 z_0 法更接近 ERA-Interim 风速, 相关性更好。基于这种动态 z_0 法, 利用南中国海两个海上平台站的资料, 计算得到近 4 年逐时 10 m 风速及对应的动态粗糙度。分析发现风速主要集中在 3~13 m·s⁻¹, 4—9 月平均风速较小, 从 10 月到次年 3 月平均风速较大。从风速日变化来看, 14—17 时风速达到最小; 06—09 时达到最大。另外, z_0 有明显的季节变化和日变化, 与风速变化一致。分析了台风韦森特中心过境时, 气象要素的变化说明订正后的风速及 z_0 符合实际观测值。

关键词: 风速订正, 海面风速变化, 动态粗糙度

中图分类号: P412

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.12.011

Study on the Characteristics of 10 m Wind and Sea Surface Dynamic Roughness Length in the South China Sea

LAI Xin¹ WANG Deli^{1,2} JIANG Yin¹ CAI Ran³ GAO Ruiquan¹

1 Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen 518040

2 Shenzhen Key Laboratory of Severe Weather in South China, Shenzhen 518040

3 Shenzhen Meteorological Service Center, Shenzhen 518040

Abstract: Based on the relationship between the sea surface roughness (z_0) and the 10 m wind speed, a method is developed for the 10 m wind speed in this paper. By comparing with the ERA-Interim wind speed, a very good correlation is obtained. And the wind speed calculated by this method is closer to the ERA-Interim wind speed than the speed by the fixed z_0 method. Based on this dynamic z_0 method, the data from two weather stations on the offshore oil platform in the South China Sea is used to calculate the hourly 10 m wind speed and the corresponding dynamic roughness length for nearly four years. The analysis reveals the wind speed ranges mainly within 3—13 m·s⁻¹. The average wind speed is smaller from April to September and larger from October to March. The daily variation of wind speed has the following characteristics in 14:00—17:00 BT, the wind speed is at the minimum and in 06:00—09:00 BT, the wind speed reaches the maximum. In addition, there is significant seasonal variation and daily variation of z_0 value which is consistent with the variation of wind speed. The variation of meteorological elements is analyzed when the center of Vicente passed the station, and the result shows that the corrected wind speed and z_0

* 国家自然科学基金项目(41575005)资助

2015 年 9 月 2 日收稿; 2016 年 9 月 28 日收修定稿

第一作者: 赖鑫, 主要从事气象探测应用与大气环境方面的研究. Email: lxsvl@126.com

are in accord with the actual observation values.

Key words: wind speed correction, sea surface wind speed variation, dynamic roughness length

引 言

海洋对我国沿海地区的天气、气候影响非常明显,海上实测资料,尤其是海上风观测,对气象监测预警具有重要意义,而我国海上气象观测密度远小于陆地。目前有部分研究工作是利用气象卫星反演风场(姚日升等,2015;高留喜等,2014;张增海等,2014;方翔等,2007),但卫星反演的数据存在水平分辨率较粗,插值后失真等问题;也有部分研究采用船舶观测的方式(褚晓春等,2010),但船舶观测受海面状况影响较大,定点连续观测的时间序列较短,不如固定测站观测稳定。因此,海上固定测站实测资料显得非常宝贵。鉴于此,深圳市气象局在深圳以南南海北部的海上石油平台建立 LF13-1 和 PY30-1 区域气象观测站(图 1,下文将这两个区域气象观测站简称为海上平台站),为台风监测预警业务提供可靠及时的第一手观测资料。但是由于受安装环境的限制,海上平台站的风传感器只能架设到远高于 10 m 的高度,与我国《地面观测规范》(中国气象局,2007)和 WMO(2012)观测地面风向风速时传感器应距地面 10 m 高度的标准有所区别。因此,为了充分发挥海上平台站的风观测资料在海上大风、台风等监测预警预报中的作用,需要将海上平台站观测风速订正到 10 m 高度,以符合气象业务使用习惯,方便与其他标准观测站资料统一比较。

目前风速的高度订正技术主要有“指数律”和“对数律”两种方法。工程上、风能评估中,常采用指数律来描述风随高度的变化(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2002;宋丽莉等,2004;黄世成等,2007;李鹏等,2011;高国庆等,2012)。但在气象上,WMO(2012)和 Harper 等(2010)认为对数律更符合风速实际变化情况,建议开放海域 z_0 经验值取为 0.0002 m,Chan 等(2015)研究发现用对数律公式订正海上平台站风速是合适的,方平治等(2013)指出最大风高度以下的风廓线满足对数律。但是海面粗糙度存在季节变化和日变化(周良明等,2005;邱玉珺等,2010),直接采用固定的 z_0 经验值订正风速,误差较大。已有的研究多是针对陆地上的多层风速处理问题(植石群等,2001;周艳莲等,

2006;韩素芹等,2008;张文煜等,2008;邱玉珺等,2010),而海面上风速与粗糙度的关系跟陆地情形有明显的不同,比如海面粗糙度跟风速或者风浪有关(Beljaars,1994;Shi et al, 2011;史剑等,2015);另外,有研究表明海面粗糙度随着海面风速的增大而增大(周良明等,2005;彭秀芳等,2012),这与陆地情况不同(周艳莲等,2006;邱玉珺等,2010)。另一方面,海上平台观测数据只有一层。这意味着无法直接通过常用的风速廓线法(周艳莲等,2006;茅宇豪等,2006)计算粗糙度,无法用最小二乘法拟合 10 m 风速。

面对海上平台站风速订正的困难,本文尝试在前人研究基础上(周良明等,2005;彭秀芳等,2012),提出适合于海上单层风速订正技术,并用 ERA-Interim 数据进行验证。需要说明的是,尽管 ERA-Interim 再分析资料较可靠,但其存在几个月的滞后,而且每天只有 4 个时次数据,较适合进行天气气候分析研究等,而本文的订正方法,是将海面粗糙度与海面 10 m 风速实时动态联系起来,可以实时运用到实测资料中,为海上大风、台风等监测预警预报提供最及时的 10 m 风速,实现业务化应用。在此基础上,本文进一步研究南海北部海面 10 m 风速变化规律及海面动态粗糙度特征。

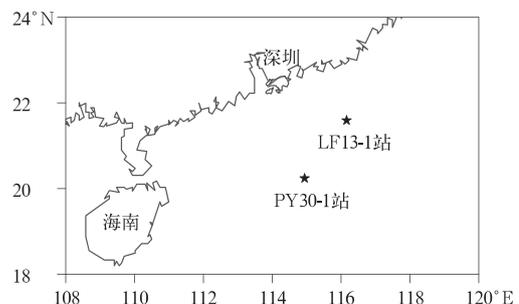


图 1 海上平台站所在位置

Fig. 1 Location of the offshore oil platform station

1 站点概况及数据说明

1.1 海上平台站及其数据说明

PY30-1 站(20.2°N、114.9°E)的风速计距海面

107 m, 本文所用的观测数据为 2011 年 1 月 1 日 00 时至 2014 年 12 月 8 日 03 时的 10 min 风速及台风韦森特期间的气压、降水量数据; LF13-1 站 (21.6°N、116.2°E) 的风速计距海面 82 m, 所用的观测数据为 2011 年 1 月 1 日 00 时至 2014 年 12 月 31 日 23 时的 10 min 风速及台风韦森特期间的气压、降水量数据。其中 2013 年 2—8 月, 由于 LF13-1 站的石油平台塔架维修, 该站的风速传感器迁至直升机甲板附近, 此处受四周构筑物等环境影响, 风速值已不能代表真实风速, 因此, 将这段时间 LF13-1 站的数据剔除。两个海上平台站均使用芬兰 Vaisala 公司的 MAWS420 型号设备进行观测, 每 5 min 产生一组观测数据, 该数据利用北斗卫星实时进行远程传输。由于该设备是三杯风速计, 最小启动风速为 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 因此将观测风速小于 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的值判断为异常值, 将其剔除(韩素芹等, 2008)。

1.2 ERA-Interim 再分析资料及 MTSAT 卫星资料说明

本文还采用了欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的数据进行对比, ECMWF 提供的 ERA-Interim 为 1979 年至今的全球大气环境再分析资料, 其中风场资料的时间间隔为 6 h, 包含 00、06、12 和 18 时 4 个时次, 空间分辨率为 $0.75^\circ \times 0.75^\circ$, 覆盖全球。本文采用了 2011 年 1 月 1 日 00 时至 2014 年 12 月 31 日 18 时 ERA-Interim 的 10 min 风速, 将其时间换算为北京时后(下同), 再分别插值到 PY30-1 站和 LF13-1 站。

另外, 采用了 2012 年 7 月 23 日 12:32 日本 MTSAT 卫星(Multi-functional Transport Satellite)监测的 $0.04^\circ \times 0.04^\circ$ 红外亮温资料, 显示台风韦森特中心经过 PY30-1 站的情况。

2 计算方法介绍

中性层结条件下, 海面上对数律公式(Stull, 1991)可简化为:

$$U = \frac{U^*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

式中, U 为风速; U^* 为近地面摩擦速度, 与湍流摩擦有关; κ 为 von Karman 常数, 取为 0.35; z_0 为地面粗糙度, 是平均风速为零的高度, 与下垫面性质有

关。近地层风的垂直分布主要取决于地面粗糙度和低层大气层结状态。由于海面粗糙度会随着风速变化而变化, 为了使订正结果更接近真实值, 可以在订正时将海面的粗糙度与 10 m 风速实时动态结合起来, 具体计算过程如下:

由式(1)有:

$$\ln z - \ln 10 = \frac{(U_z - U_{10})\kappa}{U^*} \quad (2)$$

另外有雷诺应力(τ_0)和摩擦速度的关系:

$$\tau_0 = -\rho_a \overline{UW} = \rho_a U^{*2} \quad (3)$$

式中, ρ_a 为空气密度, U 和 W 分别为海面上气流的水平和垂直湍流速度分量。根据文圣常等(1984)研究, 在海上雷诺应力与 10 m 风速有以下关系:

$$\tau_0 = C_{10} \rho_a U_{10}^2 \quad (4)$$

式中, U_{10} 是 10 m 高度处的平均风速, C_{10} 是其对应的阻力系数, 合并式(3)和式(4)得到: $U^{*2} = C_{10} U_{10}^2$ 。另外, 由 Wu(1969)给出的经验关系:

$$C_{10} = 0.5 U_{10}^{1/2} \times 10^{-3} \quad (5)$$

可算出:

$$U^* = \sqrt{5} \cdot 10^{-2} \cdot U_{10}^{5/4} \quad (6)$$

将式(6)代入式(2), 得到方程:

$$(\ln z - \ln 10) \cdot U_{10}^{5/4} + 20\sqrt{5}\kappa U_{10} - 20\sqrt{5}\kappa U_z = 0 \quad (7)$$

利用二分法逼近求解式(7)算出 U_{10} , 可以实现实时动态利用海面粗糙度与海面风速关系进行风速订正。下文将此方法称为动态 z_0 法, 将 z_0 为 0.0002 的对数律称为固定 z_0 法。另外, 将算出的 U_{10} 代入式(1)和式(6), 可算出对应的动态 z_0 值:

$$z_0 = 10e^{-20\sqrt{5}\kappa U_{10}^{-1/4}} \quad (8)$$

3 海上平台站风速与 ERA-Interim 风速对比

本文选择 ERA-Interim 再分析资料与用固定 z_0 法和动态 z_0 法算出的风速进行比较, 用于检验本文将风速订正到 10 m 高度所用的动态 z_0 法是否可行。之所以选择 ERA-Interim 再分析资料, 一是因为 ERA-Interim 再分析资料已经被广泛应用于研究、业务中(肖卫华等, 2011; 朱彦良等, 2012; 钱维宏等, 2013; 秦育婧等, 2013; 王宏娜等, 2014), 其准确性得到业内的一致认可; 二是 ERA-Interim 再分析资料对海面粗糙度处理时也考虑了海面粗糙度随海面风速

的变化情况(ECMWF, 2007)。在 ERA-Interim 中海面粗糙度与海面风速关系采用 Beljaars(1994)提出的算法,该算法是面向数值模式的地面通量参数化方案,需要根据多层风速等数据求解海面粗糙度,方案较为复杂。

图 2 和图 3 分别给出 ERA-Interim 与 PY30-1 站和 LF13-1 站风速散点图,发现海上平台站风速与 ERA-Interim 风速的相关性非常好。用固定 z_0 法和动态 z_0 法订正的 PY30-1 站风速与 ERA-Interim 风速的相关系数分别为 0.918 和 0.920,用固定 z_0 法和动态 z_0 法订正的 LF13-1 站风速与 ERA-Interim 风速的相关系数分别为 0.943 和 0.944,且

均通过了 0.001 的显著性水平检验。从拟合的线性公式看到,斜率均小于 1,说明海上平台站风速比 ERA-Interim 风速大,其中动态 z_0 法的斜率更大,说明动态 z_0 法算出的风速更接近 ERA-Interim 风速。通过 ERA-Interim 与海上平台站风速数据偏差统计分析(表 1、表 2),可以发现两个海上平台站,不管是用固定 z_0 法还是用动态 z_0 法订正的风速和 ERA-Interim 风速相比,较弱风速($<5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、中等风速($5 \leq \text{风速} < 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)和较强风速($\geq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)均比 ERA-Interim 风速大,总体也较 ERA-Interim 风速大。动态 z_0 法订正的风速平均偏差均在 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 内,总的均方根偏差在 $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 内,

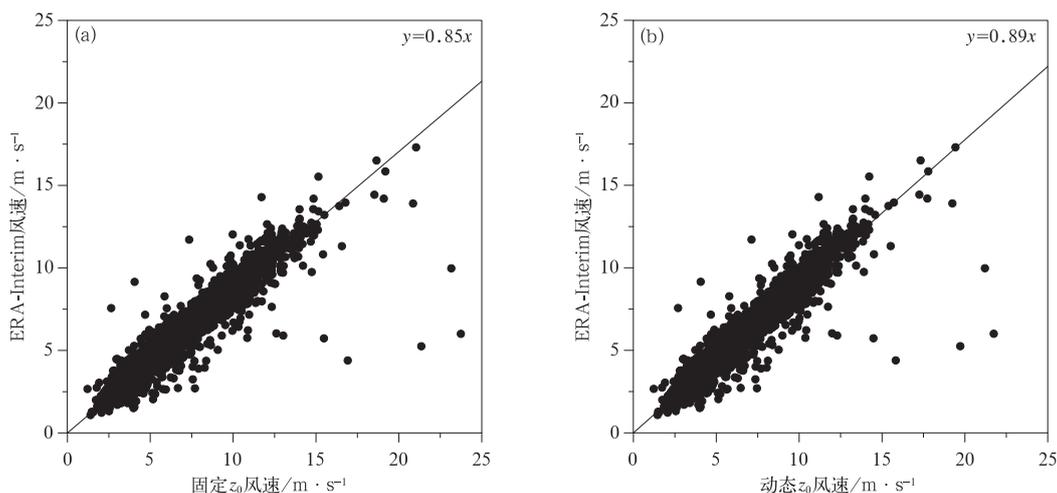


图 2 ERA-Interim 与固定 z_0 法(a)和(b)动态 z_0 算出的 PY30-1 站风速比较,

Fig. 2 Wind speed comparison between ERA-Interim and PY30-1 Station data corrected by fixed z_0 method (a) and dynamic z_0 method (b)

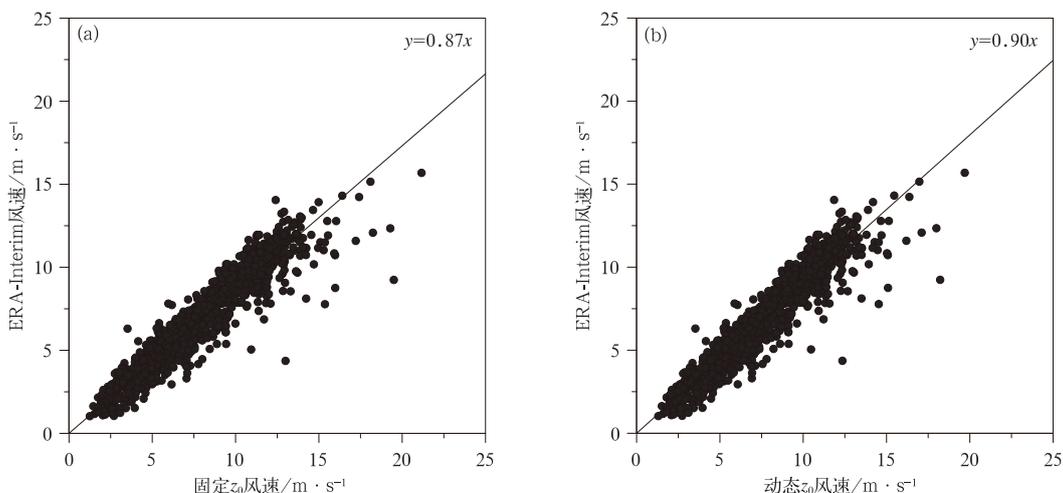


图 3 同图 2,但为 LF13-1

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for LF13-1

表 1 ERA-Interim 与 PY30-1 站风速的偏差统计值

Table 1 Biases of wind speeds between ERA-Interim and PY30-1 Station

风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	固定 z_0 法			动态 z_0 法		
	平均偏差	平均绝对偏差	均方根偏差	平均偏差	平均绝对偏差	均方根偏差
[0,5)	0.87	1.04	1.45	0.83	1.00	1.38
[5,10)	1.13	1.30	1.90	0.84	1.07	1.63
[10, ∞)	1.37	1.53	1.80	0.74	1.01	1.27
全风速	1.09	1.26	1.75	0.82	1.04	1.49

表 2 ERA-Interim 与 LF13-1 站风速的偏差统计值

Table 2 Biases of the wind speeds between ERA-Interim and LF13-1 Station

风速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	固定 z_0 法			动态 z_0 法		
	平均偏差	平均绝对偏差	均方根偏差	平均偏差	平均绝对偏差	均方根偏差
[0,5)	0.83	0.95	1.16	0.81	0.92	1.11
[5,10)	1.10	1.20	1.50	0.83	0.98	1.27
[10, ∞)	1.26	1.35	1.72	0.71	0.91	1.28
全风速	1.05	1.16	1.44	0.80	0.95	1.22

可以看到用动态 z_0 法比用固定 z_0 法订正的风速的均方根偏差更小,说明动态 z_0 法订正后的值和 ERA-Interim 风速相差更小,即更接近 ERA-Interim 风速。

4 用动态 z_0 法订正后 10 m 风速变化

4.1 风速概率分布

图 4 给出了 PY30-1 站和 LF13-1 站 10 m 风速概率分布情况,两个海上平台站的风速概率分布类似,风速主要集中在 $3 \sim 13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,PY30-1 站和 LF13-1 站分别占比达 86.5%、86.0%。LF13-1 站小于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速比 PY30-1 站小于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速占比略多。大于 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速较少,PY30-1 站和 LF13-1 站均为 1.3%,分析的风速数据中,PY30-1 站最大 10 min 风速为 $40.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在

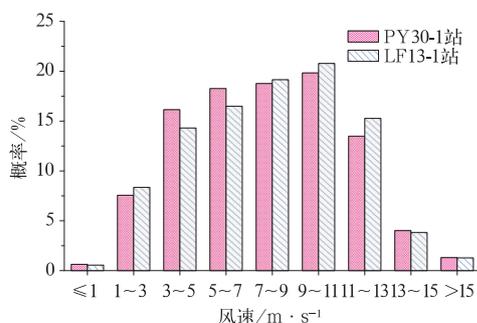


图 4 风速概率分布图

Fig. 4 Frequency distribution of wind speeds

2013 年 11 月;而 LF13-1 站最大 10 min 风速仅为 $27.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,出现在 2013 年 9 月。

4.2 季节变化

将 2011—2014 年的平均风速数据进行比较(图略),两个站均没有发现明显的年与年间的变化规律。从平均风速逐月变化总体情况来看(图 5),PY30-1 站和 LF13-1 站均显示 4—9 月平均风速较小,从 10 月到次年 3 月平均风速较大,对应的 ERA-Interim 风速也显示出相同的变化规律。2011—2014 年,PY30-1 站的最小、最大风速出现月份比较稳定,最小风速一般出现在 5 月,最大风速出现在 12 月,而 LF13-1 站的最小、最大风速出现月份不固定,但总体来说,最小风速出现在 5、7 月,最大风速出现在 12 月。经统计,深圳多年平均 10 m 风速 4—9 月较小,1—3 月、10—12 月较大。可见,海上平台站和深圳多年平均风速变化趋势一致。风速的这种变化规律可能是因为冬半年冷空气活动频繁,地面气压梯度大,从而造成地面风速大;5 月时冷空气影响非常小,同时台风活动又很少,所以风速最小;6—9 月海上台风活跃造成风速有所增大。

4.3 日变化

图 6 分别给出了四季的平均风速日变化,可以看到,春、夏、秋、冬的平均风速日变化不尽相同,但总的来说,两个站均有以下特点:14—17 时,风速达到最小,06—09 时,风速达到最大,即上午风速最大,下午风速最小。夏、秋季 PY30-1 站风速比

LF13-1 站风速大,冬、春季 LF13-1 站风速比 PY30-1 站风速略大。从图 6 也可以看出,两个平台站均

显示秋、冬季比春、夏季风速大。

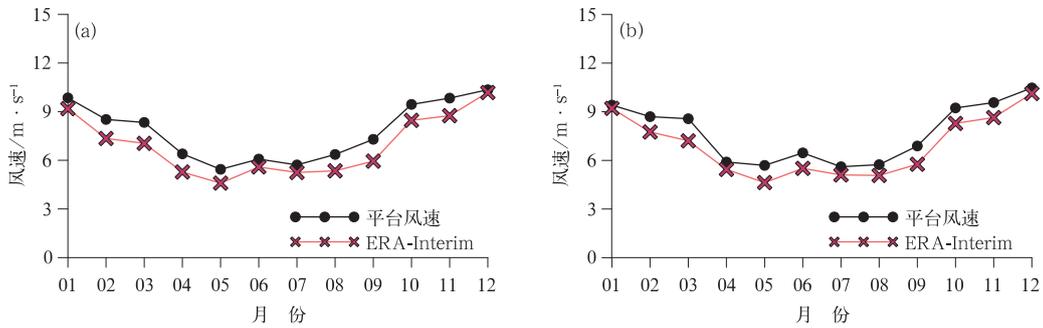


图 5 PY30-1 站(a)和 LF13-1 站(b)逐月平均风速

Fig. 5 Monthly average wind speed at PY30-1 Station (a) and LF13-1 Station (b)

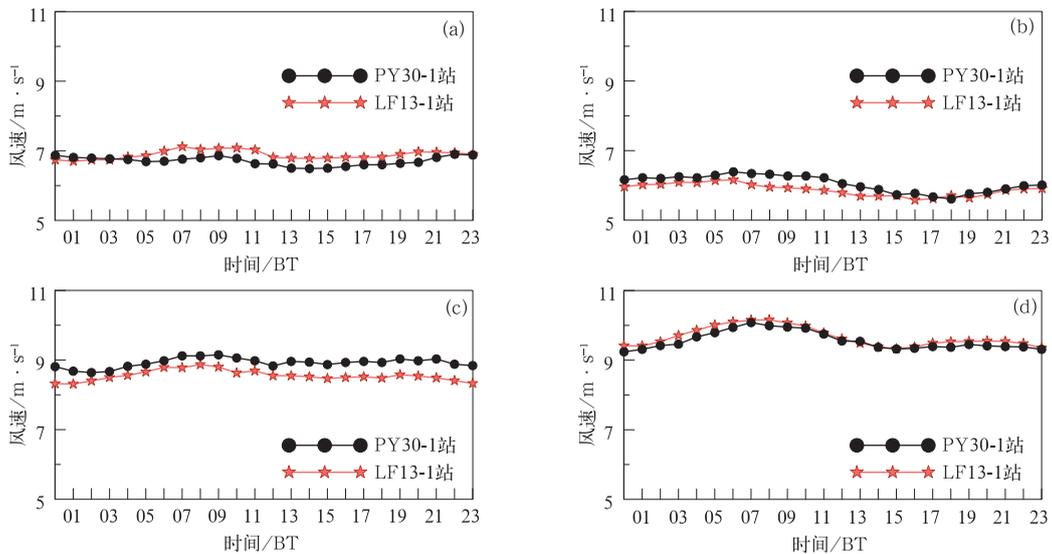


图 6 四季逐时平均风速

(a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

Fig. 6 Hourly average wind speed of four seasons

(a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

5 分析动态 z_0 值

用 U_{10} 反算出 z_0 值,可以看到 z_0 值具有明显的变化规律。从表 3 看到 PY30-1 站和 LF13-1 站全风速对应的 z_0 平均值分别为 0.001067、0.001092 m, PY30-1 站和 LF13-1 站的中值分别为 0.000861 和

0.000948 m,两个站都表现为较强风时段比较弱风时段对应的 z_0 平均值大,有 1 个量级的差别。图 7 给出 z_0 的概率分布图,可以看到,PY30-1 站和 LF13-1 站均有 97% 以上的 $z_0 < 0.003$ m,其中 < 0.0005 m 的 z_0 最多,分别占 35.7% 和 33.0%。Harper 等(2010)认为开放海域的 z_0 为 0.0002~0.005 m,因此本文计算出的 z_0 值符合海面粗糙度的变化范围。

表 3 各风速段对应的 z_0 平均值(单位:m)

Table 3 The average z_0 value under different wind speeds (unit: m)

站点	全风速/ $m \cdot s^{-1}$	$[0,5]/m \cdot s^{-1}$	$[5,10)/m \cdot s^{-1}$	$[10,\infty)/m \cdot s^{-1}$
PY30-1 站	0.001067	0.000121	0.000823	0.002237
LF13-1 站	0.001092	0.000116	0.000849	0.002186

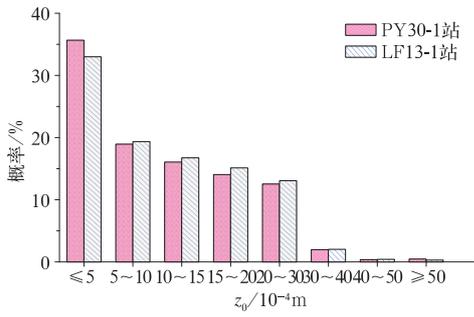


图 7 z_0 的概率分布

Fig. 7 Frequency distribution of z_0

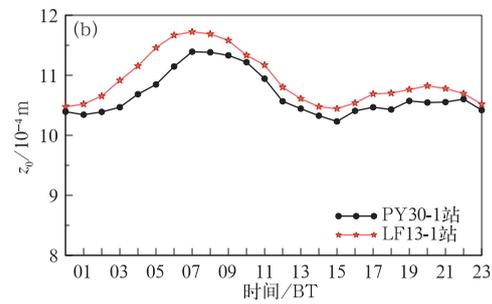
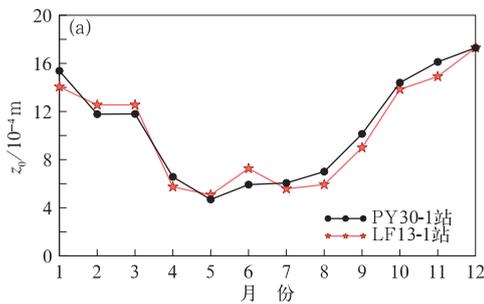


图 8 z_0 的季节变化(a)和日变化(b)

Fig. 8 Seasonal variation (a) and daily variation (b) of z_0

6 台风影响期间风速及 z_0 变化特征

本文选取了一个台风过境的个例进行分析, PY30-1 站完整地记录了台风韦森特过境时的风速数据,可以看到在台风韦森特过境前后经订正后的风速及 z_0 的变化情况,可以说明,本文订正后的风速及 z_0 符合实际观测值。

由图 9 可以看到台风韦森特的路径与深圳、PY 30-1 站、LF13-1 站的相对位置。热带低气压韦

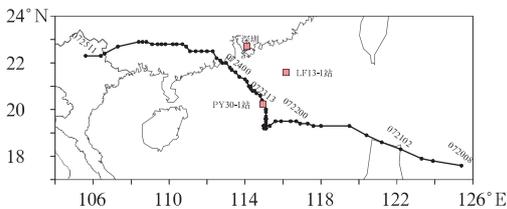


图 9 台风韦森特路径

(点线是台风路径,方块分别表示深圳、PY30-1 站、LF13-1 站所在位置)

Fig. 9 The track of Typhoon Vicente

(The dotted line is the track of typhoon, squares denote the location of Shenzhen, PY30-1 Station, LF13-1 Station, respectively)

森特于 2012 年 7 月 20 日在西北太平洋上形成,并向西北方向移动。23 日上午增强为台风,并于当日 12:30 左右经过 PY30-1 站,从 MTSAT 卫星观测的 7 月 23 日 12:32 红外亮温图(图 10)上可以看出,台风外围有多个红外亮温低于 -70°C 的强对流

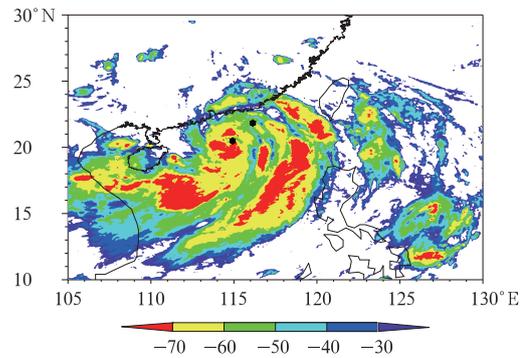


图 10 2012 年 7 月 23 日 12:32 MTSAT 卫星观测的红外亮温

(圆点分别是 PY30-1 站和 LF13-1 站)

Fig. 10 Infrared brightness temperature observed by the MTSAT satellite at 12:32 BT 23 July 2012 (Dots denote PY30-1 Station and LF13-1 Station, respectively)

核, PY30-1 站正位于台风中心。24 日 04:15 在广东江门市赤溪镇沿海地区登陆, 登陆时中心附近最大风力为 13 级 ($40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。随后逐步减弱, 于 25 日在越南北部消散。

如图 11a 所示, 台风韦森特期间, PY30-1 站气压值均低于 1000 hPa, 台风中心过境前 10 m 风速一路攀升, 并在台风中心过境前达到极大值 $26.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 小时降水量较小, 7 月 23 日 12:25 左右, 台风中心经过 PY30-1 站, 该站实测气压迅速下降至 960.3 hPa, 风速迅速降低至 $1.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 并停止降水。2 h 后, 随着台风中心远去, 气压值逐步回升, 风速迅速恢复到大风级别, 降水量骤增, 整个台风韦森特期间, PY30-1 站的过程降水量为 68.7 mm。而同一台风过程影响时段, 位于台风外围的 LF13-1

站(图 11b)气象要素变化不如 PY30-1 站剧烈, 在台风中心经过 PY30-1 站的过程中, 气压仅下降了 17.9 hPa, 最大风速为 $20.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 过程降水量为 28.1 mm。

图 12 给出了两个海上平台站在台风韦森特期间的 z_0 变化情况, 从图中可以看到, z_0 与风速变化一致, PY30-1 站最大 z_0 (0.00981 m) 出现在台风过境前(7 月 23 日 09:30), 而最小 z_0 (0.00001 m) 出现在台风过境, 风速骤减时(23 日 12:25); LF13-1 站最大 z_0 (0.00615 m) 出现在 23 日 14:05, 而最小 z_0 (0.00008 m) 出现在 21 日 05:45。这与沿海测风塔观测到强台风过境前后的粗糙度变化不尽相同(赵小平等, 2016), 可能是由于下垫面不同的缘故。

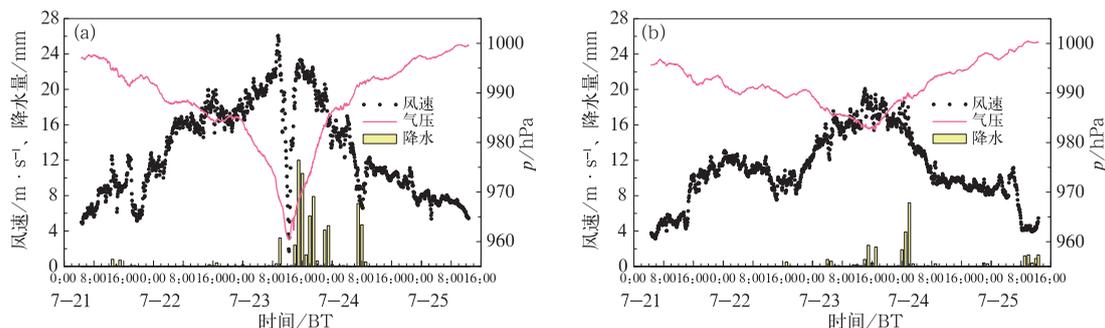


图 11 2012 年 7 月 21—25 日台风韦森特期间, PY30-1 站(a)和 LF13-1 站(b)各要素的变化

Fig. 11 Element variation at PY30-1 Station (a) and LF13-1 Station (b) during the Typhoon Vicente of 21—25 July 2012

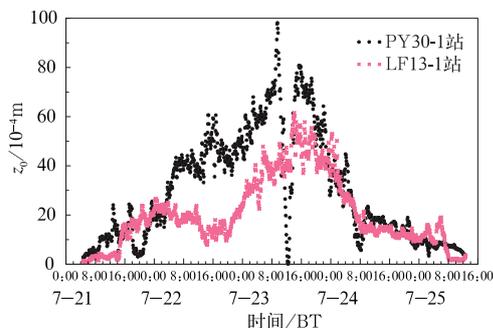


图 12 2012 年 7 月 21—25 日台风韦森特期间 z_0 的变化

Fig. 12 Variation of z_0 during the Typhoon Vicente of 21—25 July 2012

7 结 论

根据海面粗糙度与海面风速关系, 本文提出了

一种适用于海上 10 m 风速的求解算法。本文将南中国海 PY30-1 站和 LF13-1 站风速分别用固定 z_0 法和动态 z_0 法订正到 10 m 高度, 然后和 ERA-Interim 风速资料进行对比, 发现 PY30-1 站和 LF13-1 站具有相似的情况: 用这两种方法订正的风速和 ERA-Interim 风速有非常好的相关性, 具有一致的变化规律, 但都较 ERA-Interim 风速值大, 其中用动态 z_0 法比用固定 z_0 法订正出来的风速更接近 ERA-Interim 风速。基于这种动态 z_0 法, 计算得到了 2011—2014 年 PY30-1 站和 LF13-1 站的逐时风速数据及对应的动态粗糙度数据。分析发现南中国海海上 10 m 风速主要集中在 $3 \sim 13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两个站均没有发现明显的年与年间的变化规律, 不过存在明显的季节变化趋势: 4—9 月平均风速较小, 从 10 月到次年 3 月平均风速较大, 对应的 ERA-Interim 风速也显示出相同的变化规律。两个站的风速日变化均有以下特点: 14—17 时, 风速达到最小;

06—09 时,风速达到最大。

另外,分析动态 z_0 值,发现两个站的 z_0 变化一致,即较强风时段比较弱风时段对应的 z_0 平均值大,且有 97% 以上的 $z_0 < 0.003$ m,其中小于 0.0005 m 的 z_0 最多。另外, z_0 有明显的季节变化,两个站均为 4—9 月较低,其他月份较高,符合海面粗糙度的变化规律。 z_0 日变化和风速日变化一致,即上午 z_0 值大,下午 z_0 值小。

本文选取了台风韦森特中心经过 PY30-1 站的一个例进行分析,可以看到台风中心过境前 PY30-1 站风速一路攀升,达到极大值 $26.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,台风中心经过 PY30-1 站时,实测气压迅速下降,风速迅速降低并停止降水,随着台风中心远去,气压值逐步回升,风速迅速恢复到大风级别,降水量骤增,而位于台风外围的 LF13-1 站气象要素变化不如 PY30-1 站剧烈。另外,分析得出台风过境期间,两个站的 z_0 与风速变化一致。订正后的风速及 z_0 符合实际观测值。

参考文献

- 方平治,赵兵科,鲁小琴,等. 2013. 华东沿海地带台风风廓线特征的观测个例分析. 大气科学, 37(5): 1091-1098.
- 方翔,咸迪,李小龙,等. 2007. QuikSCAT 洋面风资料及其在热带气旋分析中的应用. 气象, 33(3): 33-39.
- 高国庆,胡彬. 2012. 影响大型风电机组塔筒高度的因素探讨. 风能, (8): 66-70.
- 高留喜,朱蓉,常蕊. 2014. QuikSCAT 和 ASCAT 卫星反演风场在中国南海北部的适用性研究. 气象, 40(10): 1240-1247.
- 韩素芹,刘彬贤,解以扬,等. 2008. 利用 255 m 铁塔研究城市化对地面粗糙度的影响. 气象, 34(1): 54-58.
- 黄世成,周嘉陵,陈兵,等. 2007. 风速资料在大型工程中的应用和订正方法. 防灾减灾工程学报, 27(3): 351-356.
- 李鹏,田景奎. 2011. 不同下垫面近地层风速廓线特征. 资源科学, 33(10): 2005-2010.
- 茅宇豪,刘树华,李婧. 2006. 不同下垫面空气动力学参数的研究. 气象学报, 64(3): 325-334.
- 彭秀芳,王秀杰,辜晋德. 2012. 海上风电场风能计算中关于海面粗糙度问题的探讨. 太阳能学报, 33(2): 226-229.
- 钱维宏,江漫,单晓龙. 2013. 大气变量物理解析原理及其在区域暴雨分析中的应用. 气象, 39(5): 537-542.
- 秦育婧,卢楚翰. 2013. 利用高分辨率 ERA-Interim 再分析资料对 2011 年夏季江淮区域水汽汇的诊断分析. 大气科学, 37(6): 1210-1218.
- 邱玉珺,吴风巨,刘志. 2010. 梯度法计算空气动力学粗糙度存在的问题. 大气科学学报, (6): 697-702.
- 史剑,蒋国荣. 2015. 风浪状态对海面粗糙度影响. 海洋与湖沼, 46(6): 1255-1262.
- 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.
- Stull R B. 杨长新,译. 1991. 边界层气象学导论. 北京: 气象出版社, 738.
- 文圣常,余宙文. 1984. 海浪理论与计算原理. 北京: 科学出版社, 662.
- 王宏娜,陈锦年,左涛. 2014. 印度洋潜热通量对南海夏季风爆发的影响. 热带气象学报, 30(1): 189-193.
- 肖卫华,符养,高太长,等. 2011. 利用折射指数推算大气纬圈平均风场方法. 应用气象学报, 22(3): 346-355.
- 姚日升,涂小萍,丁焯毅,等. 2015. 华东沿海 ASCAT 反演风速的检验和订正. 应用气象学报, 26(6): 735-742.
- 张文煜,白庆梅,张秀珍,等. 2008. 渤海南岸空气动力学粗糙度和动量通量特征. 兰州大学学报(自然科学版), 44(4): 62-65.
- 张增海,曹越男,刘涛,等. 2014. ASCAT 散射计风场在我国近海的初步检验与应用. 气象, 40(4): 473-481.
- 赵小平,朱晶晶,樊晶,等. 2016. 强台风海鹰登陆期间近地层风特性分析. 气象, 42(4): 415-423.
- 植石群,钱光明,罗金铃,等. 2001. 广东省沿海风随高度变化研究. 热带地理, 21(2): 131-134.
- 中国气象局. 2007. 地面观测规范第 7 部分: 风向和风速观测. QX/T 51—2007. 北京: 气象出版社.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2002. 风电场风能资源评估方法. GB/T 18710—2002. 北京: 中国标准出版社.
- 周良明,郭佩芳. 2005. 利用卫星高度计风速资料研究海面粗糙度. 海洋湖沼通报, (4): 10-14.
- 周艳莲,孙晓敏,朱治林,等. 2006. 几种不同下垫面地表粗糙度动态变化及其对通量机理模型模拟的影响. 中国科学# 地球科学, 36(S1): 244-254.
- 朱彦良,凌超,陈洪滨,等. 2012. 两种再分析资料与 RS92 探空资料的比较分析. 气候与环境研究, 17(3): 381-391.
- 褚晓春,陈信雄,周庆,等. 2010. 船舶风力观测资料对风场动力和热力订正的检验. 海洋预报, 27(5): 40-43.
- Beljaars A C M. 1994. The parametrization of surface fluxes in large-scale models under free convection. Quart J Roy Meteorol Soc, 121: 255-270.
- Chan Y C, Chan S T. 2015. Use of wind measurements from off-shore platforms for TC monitoring. 29th Guangdong-Hong Kong-Macao Seminar on Meteorological Science and Technology, Macao, 20—22 January 2015. <http://www.hko.gov.hk/publica/reprint/r1172.pdf>.
- ECMWF. 2007. IFS Documentation-Cy31r1 Part IV: Physical Processes. <http://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2007/9221-part-iv-physical-processes.pdf>.
- Harper B A, Kepert J D, Ginger J D. 2010. Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions. WMO TD-No. 1555, 54.
- Shi J, Zhong Z, Li R J, et al. 2011. Dependence of Sea surface drag coefficient on wind-wave parameters. Acta Oceanol Sin, 30(2): 14-24.
- Wu J. 1969. Wind stress and surface roughness at air-sea interface. J Geophys Res, 74(2): 444-455.
- WMO. 2012. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO-No. 8, 716.