

台风期间台湾岛周边海域海面风场特征的卫星遥感研究

陈德文^{1,2}, 商少平^{1,2*}, 商少凌², 张文舟²

(1. 厦门大学海洋学系, 2. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 福建 厦门 361005)

摘要: 利用 1999~2005 年 QuikSCAT 卫星遥感资料, 对台风期间三种台风路径下台湾岛周边海域海面风场变化特征及成因进行了分析. 结果表明, 尽管台风强度被不同程度低估, 台风中心附近风向反演受降雨影响明显, 但遥感海面风场的大致形态仍较为合理. 地形对风场特征的形成有着显著作用, 它导致了台湾海峡内大风($> 10 \text{ m/s}$)天气提前出现、中央山脉两侧背风槽(或诱生低压)形成、中央山脉两端下风面“角流”形成等现象. 海峡内大风天气是否提前出现与台风中心的位置有关. 不同台风路径下, “角流”和背风槽的位置和范围不同.

关键词: 海面风场; 地形; 台湾岛; 台风; QuikSCAT

中图分类号: P 444

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2007)01-0141-05

台湾岛位于西北太平洋台风移行的主要路径上, 平均每年有 4 个台风袭击台湾岛. 岛屿长 300 km, 宽 100 km, 岛上地形复杂, 中央山脉平均海拔达 3 000 多米. 岛的西侧为台湾海峡, 海峡两侧地势较高, 呈北窄南宽的喇叭形状(图 1).

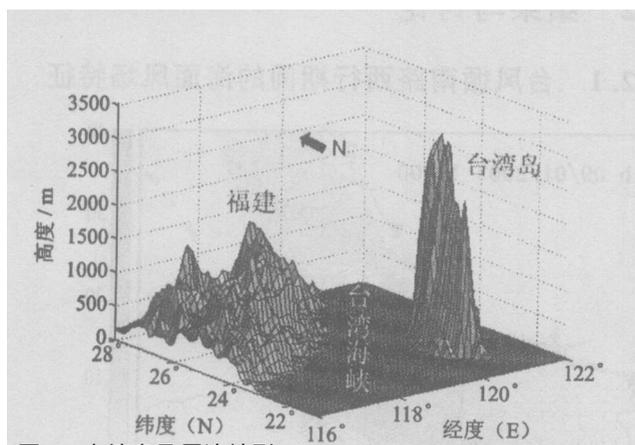


图 1 台湾岛及周边地形

Fig. 1 Terrain in the vicinity of Taiwan Island

关于台湾岛地形对台风的影响过去已有过一些研究. Brand^[1] 统计分析了 22 个穿岛台风的强度和路径变化, 并提出了穿岛台风的一些预报规则. 福建省莆田气象台^[2] 在预报经验的基础上, 分析了台风活动期间台湾地形倒槽与福建沿海大风出现时间和强度的关系. 王时鼎等^[3] 把台湾地形对侵台台风的作用归

纳成两类边界层影响. 除了观测资料分析外, 亦有不少模型用于这方面的研究. Chang^[4] 模拟出理想地形下台风穿越台湾岛时的台风路径偏折、强度减弱、地形背风槽和次级低层环流形成等一些基本特征. Bender^[5] 等研究了两种基本气流下岛屿对台风的影响, 发现岛屿对基本气流和台风流场影响的综合效应导致了台风路径、强度、移动速度的变化. 近年来国内亦有一些学者通过台风个例数值模拟结合观测资料分析, 探讨了台湾岛附近地形对台风的影响^[6] 及台风期间福建大风天气出现的特点和成因^[7]. 这些研究大多主要关注地形如何影响台风路径和强度, 所用观测资料为陆地台站资料, 或是数值模拟的结果. 而台站风并不能完全代表海面风场的空间结构, 后者只能通过遥感手段获取. 故本文尝试利用遥感海面风场数据, 研究台风期间台湾岛周边海域在特殊高海拔海岛与大陆地形影响下, 海面风场的小尺度特征及其变化.

1 数据与方法

1.1 数据来源

NASA 于 1999 年 6 月发射了第一颗海洋测风专用卫星 QuikSCAT, 其上装有最新型微波散射计 Sea Winds. SeaWinds 为 Ku 波段主动雷达, 通过测量海面散射截面(σ_0)来反演海面风矢量. 降雨是影响 σ_0 的一个主要因素; 且在高风速($> 20 \text{ m/s}$)情况下, 风速会被低估. 但有研究^[8,9] 表明 σ_0 对各种降雨率下大风(高达 50 m/s)的风速变化敏感; 且 σ_0 作为风速的一个函

收稿日期: 2006-07-10

基金项目: 福建省科技厅重大专项(2004NZ03), “863”计划重大专项(2003AA604) 福建示范区资助

* 通讯作者: spshang@xmu.edu.cn

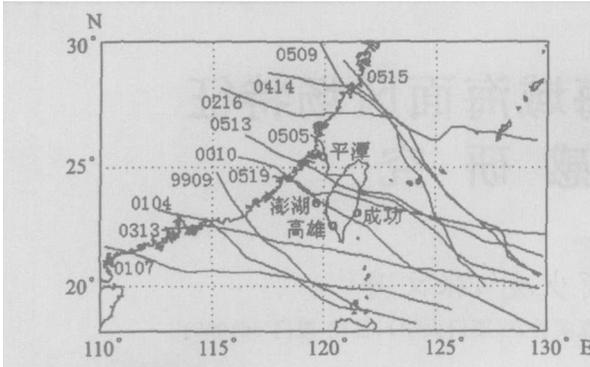


图2 台风路径图

Fig. 2 Tracks of typhoon

数对高于 35 m/s 的风仍有明显变化. 因此尽管遥感方法有着自身的局限性, 但它在一定程度上仍可反映出海面风场的结构特征.

本文采用数据为 NASA 发布的 QuikSCAT L3 级逐日海面(10 m 高)风矢量数据, 分为升轨和降轨数据, 过境时间分别约为当地时间 6 时和 18 时. 数据刈幅宽 1 800 km, 空间分辨率为 25 km, 风向精度为 20°, 风速精度在不同的风速区间分别为 2 m/s (3~ 20 m/s) 和 10% (20~ 30 m/s).

台风资料有两个来源, 1999~ 2004 年资料取自《热带气旋年鉴》(中国气象局), 2005 年资料来源于中央气象台上海台风研究所网站 (<http://www.typhoon.gov.cn/>).

phoon.gov.cn/).

1.2 方法

根据历史台风路径资料, 结合台风移动过程的环流特点, 可将西北太平洋台风路径分为七类^[10], 其中登陆华东、倒抛物线、西行进入南海和低纬转向的四类台风对台湾岛和闽浙沿海影响较大. 在台风个例选取时, 为减小基本气流的差异, 主要选取路径稳定向西或西北方向移行的前三类台风作为研究对象. 注意到台风中心从不同空间位置穿(掠)过台湾岛时, 会导致海面风场特征变化有显著差异, 为此进一步区分以下 3 种台风路径:

- (1) 台风经吕宋海峡进入南海北部或台湾海峡南部, 简称南路.
- (2) 台风横穿过台湾岛和台湾海峡登陆福建中北部, 简称中路.
- (3) 台风经台湾岛北部海域登陆闽浙沿海, 简称北路.

在拥有 QuikSCAT 数据的 1999~ 2005 年间, 共有 12 个台风个例符合以上原则(图 2). 按照不同的路径类型, 分别选取典型个例进行详细分析.

2 结果与讨论

2.1 台风循南路西行期间的海面风场特征

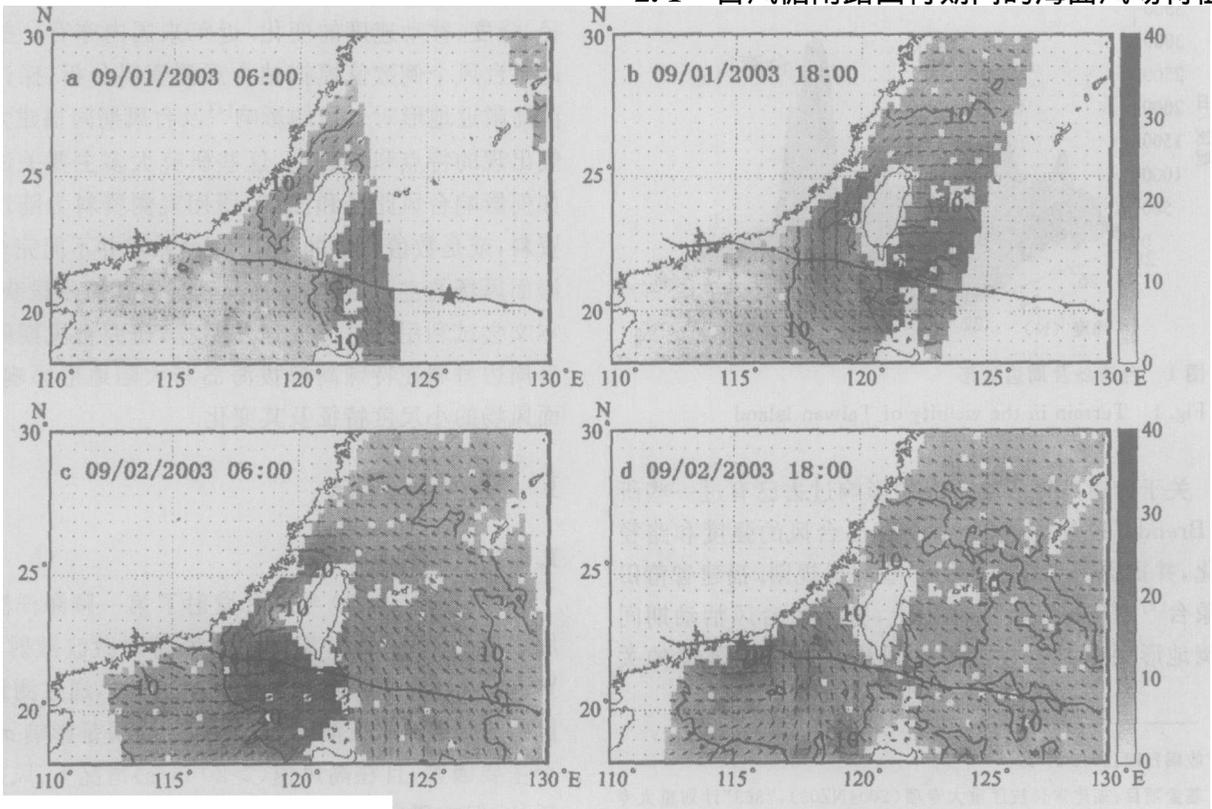


图3 0313号台风海面风场(m/s)

Fig. 3 Sea surface wind field (m/s) of typhoon 0313

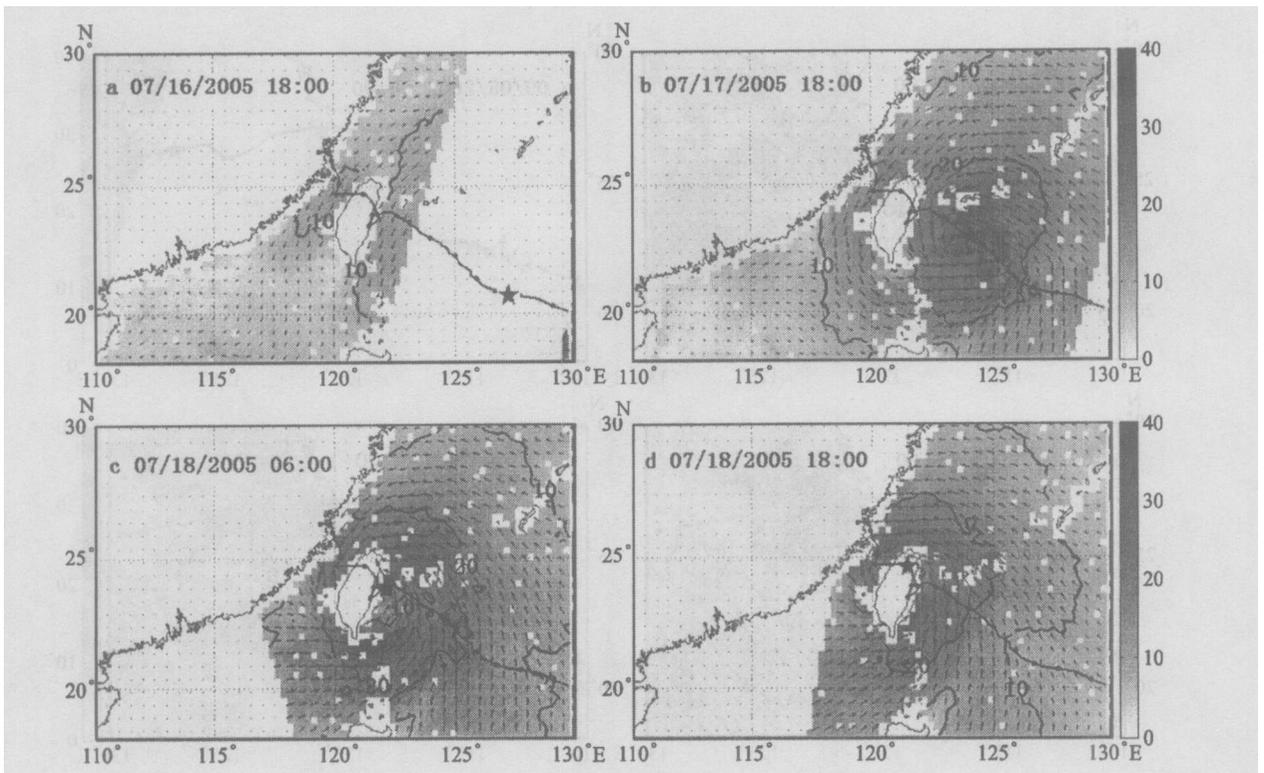


图 4 0505 号台风海面风场(m/s)

Fig. 4 Sea surface wind field (m/s) of typhoon 0505

图 3 为 0313 号台风海面风场. 2003 年 9 月 1 日 6 时的台风中心(黑色五角星标记处)位于吕宋海峡以东洋面(图 3a), 台湾岛周边海域主要受到台风外围环流的影响, 台湾海峡以北盛行东北风, 风向与中央山脉的长轴方向几乎平行, 山脉对气流的作用主要为“分流影响”^[3], “开通道”地形的存在, 使得东北方向台风外围气流从海峡北口进入, 沿海峡南下, 产生“狭管”效应, 海峡中部风力加强, 遥感风速达 15 m/s. 此种海峡中部先于周边海域出现大风天气的现象, 在以往的一些研究中已有过报道^[1,6,7].

随着台风中心继续逼近台湾海峡(图 3b), 12 h 之后, 海峡中部遥感风速迅速增强到 20~25 m/s(图 3b). 风速增强的原因可能有 2 个: 一是台风逼近, 穿过海峡的环流增强; 二是台风向台湾岛南部移动, 台湾岛东部由东北风转变成东风, 在中央山脉阻挡强迫下, 山脉西部背风面形成地形倒槽, 加大了海峡中北部的气压梯度, 导致风速增强^[1]. 地形倒槽的形成有一个显著特征, 即在背风面有风速较低的弱尾流区, 图 3b 中并无明显的风速低值区, 从而说明海峡中部风速增强主要是由台风闭合环流增强引起的.

台风中心穿过吕宋海峡, 在吕宋岛和台湾岛的双面阻挡下, 台风底层外围闭合环流被阻隔. 9 月 2 日 6 时(图 3c), 台风中心刚出吕宋海峡, 台湾海峡南部以及南海北部主要为台风环流风场. 图中遥感最大风速

约为 33 m/s, 低于台风年鉴中的记录 45 m/s, 而台风中心附近由于受到降雨影响较大遥感风向比较紊乱. 台湾岛东侧为大面积的东南风, 中央山脉背面澎湖附近形成明显的地形倒槽, 出现低风速尾流区. 倒槽的形成加大了台湾海峡北口(25°N 附近)和福建中、北部沿海的气压梯度, 使得海峡北部出现“角流”高风速区和海峡西侧风速增强.

图 3d 为 0313 号台风登陆前两小时的观测图像. 此时台风中心已西行远离台湾岛, 台湾岛周边海域受台风影响减弱, 风速减小. 整个台湾岛周边海域均为东南风; 台湾海峡南部离台风中心较近, 风速较大; 海峡中、北部由于受到台湾岛的“遮蔽”, 风速很小; 海峡北部仍有较弱的“角流”存在.

2.2 台风循中路西行期间的海面风场特征

图 4 为 0505 号台风 2005 年 7 月 16~18 日的海面风场. 2005 年 7 月 16 日 18 时台风位于台湾岛以东洋面(图 4a), 台湾岛周边海域风场特征与第一种路径前期的风场特征类似, 海峡中部提前出现大风天气.

7 月 17 日 18 时(图 4b), 遥感最大风速为 35 m/s, 与台风年鉴中结果(55 m/s)相差达到 20 m/s. 此时台湾岛周边海域已处在了台风闭合环流中, 台湾海峡受台风环流影响增强. 环流在台湾岛北部分为两支, 一支从台湾岛东侧经过, 另一支经台湾海峡、吕宋海峡绕回台风系统. 台湾岛南端出现很小一块风速低值区.

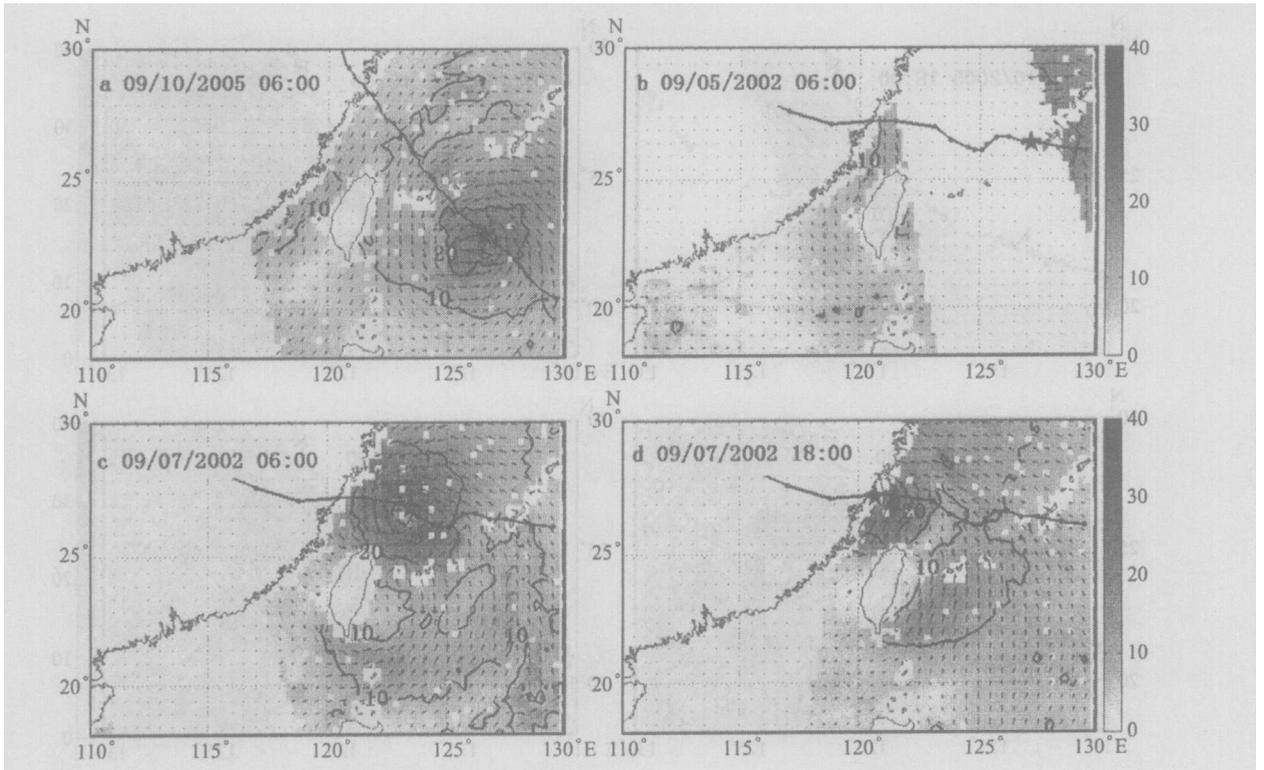


图 5 0515 号(a)和 0216 号(b, c, d)台风海面风场(m/s)

Fig. 5 Sea surface wind field (m/s) of typhoon 0515 (a) and 0216 (b, c, d)

台风靠近、登陆台湾岛, 台风系统受到中央山脉影响加强, 台湾岛周边海域的风场变得复杂. 7 月 18 日 6 时(图 4c), 遥感观测结果显示台湾岛东侧成功外海出现一个气旋式的风速低值区. 该低风速区被台湾学者称为“三角尾流区”, 它与中央山脉背风槽(或诱生低压)的形成有关; 而在它的南部, 即台湾岛南端下风面, 有一块风速高达 33 m/s 的“角流”区, 该“角流”的形成除中央山脉阻挡动力强迫外, 还与山脉背风槽(或诱导低压)的形成以及向台风中心气压梯度有关^[3].

随着台风西行登陆台湾岛(图 4d), 台湾岛南端“角流”逆时针转到岛东侧原“三角尾流区”位置, 而原尾流消失了. 台湾岛北端遥感最大风速出现在平潭外海一带, 这与以往关于此处“角流”的研究结果^[3,6]一致. 但一般台风云墙处风速最大, 降雨也最强, 而强降雨会对遥感风的反演造成较大的影响, 图 4d 中台湾岛周边海域又正好位于台风云墙附近, 遥感风在此观测到的风速分布的真实程度仍有待进一步检验.

2.3 台风循北路西行期间的海面风场特征

此种路径下台风在移行过程中与地形作用较小, 海面风场结构相对简单. 若台风从台湾岛以东沿西北方向前进, 在前期台湾海峡内出现大风天气, 但随着台风移至台湾岛以北时消失, 如 0515 号台风(图 5a). 若台风在台湾岛以北一路西行, 如 0216 号台风, 则在前期海峡内风速很小(图 5b), 无大风天气出现. 从而

说明, 海峡内是否出现大风与台风中心位置相关, 而和路径关系不大.

图 5c 和 5d 为 2002 年 9 月 7 日观测到的两张 0216 号台风风场图像. 其中图 5c 观测时刻为 6 时, 此时台风中心位于台湾岛东北部, 海面风场环流结构明显, 最大风速(33 m/s)出现在危险半圈, 略小于台风年鉴中结果 40 m/s. 由于地形阻挡, 台湾海峡、南海北部以及台湾岛东侧遥感风速都很小; 台湾岛南端山角下风面出现大面积扇型“角流”区, “角流”强度较弱, 风向呈气旋式. 遥感风场的此种分布特征在以往的研究中^[3]可得到印证.

随着台风西行, “角流”呈逆时针旋转, 12 h 后“角流”已转至台湾岛东侧, “角流”有所增强, 其 10 m/s 风区范围向东到 126°E, 向北到 26°N. 此处“角流”的形成原理和形态演变与中路台风中的南端“角流”相同, 但此处“角流”范围较大, 这与此种路径下中央山脉形成的背风槽或诱生低压的尺度较大有关.

3 结 论

通过对 3 种台风路径下台风期间台湾岛周边海域 QuikSCAT 遥感海面风场的分析, 得到以下结论:

(1) 尽管台风强度被不同程度低估, 台风中心附近风向反演受降雨影响明显, 但风场结构的成因分析

以及以往研究结果的印证亦表明, 遥感海面风场大致形态仍较为合理.

(2) 台风期间, 台湾海峡内大风天气提前出现, 中央山脉两侧形成背风槽(或诱生低压), 中央山脉南北两端下风面形成“角流”, 为地形对台湾岛周边海域风场影响的显著特征.

(3) 台湾海峡内是否提前出现大风天气与台风中心的位置有关. 台风中心位于台湾岛东面或东南面时, 海峡内提前出现大风天气; 台风中心位于台湾岛北面或东北面时, 海峡内无大风天气出现.

(4) 当台风循南路经过吕宋海峡时, 台湾岛东侧澎湖附近形成台风地形倒槽, 导致台湾海峡北部气压梯度加大, 出现“角流”; 当台风沿中路穿过台湾岛时, 台湾岛东侧有背风槽或低压中心形成, 南北两端下风面均有“角流”形成; 当台风循北路掠过台湾岛时, 台湾岛东侧形成背风槽或低压中心, 南端下风面出现大范围“角流”.

致谢: QuikSCAT 资料下载于 NASA Physical Oceanography Distributed Active Archive Center at the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 谨此致谢!

参考文献:

[1] Brand S, Belloch J W. Changes in the characteristics of typhoons crossing the Island of Taiwan [J]. Monthly

Weather Review, 1974, 102: 708– 713.

[2] 福建省莆田气象台. 台风活动期间台湾地形倒槽对福建沿海大风的影响[C] // 台风会议文集(1974 厦门). 上海: 上海人民出版社, 1975: 332– 338.

[3] 王时鼎, 谢信良, 郑明典, 等. 侵台台风因台湾地形引起两类边界层现象分析及其预报问题讨论[C] // 天气分析与预报研讨会论文集(2003 台北). 2003: 401– 412.

[4] Chang S W. The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclone [J]. Monthly Weather Review, 1982, 110: 1255– 1270.

[5] Bender M A, Tuleya R E, Kurihara Y. A numerical study of the effect of island terrain on tropical [J]. Monthly Weather Review, 1987, 115: 130– 155.

[6] 阎敬华, 董克勤. 台湾附近地形对台风影响的数值模拟[J]. 热带气象学报, 1997, 13: 217– 226.

[7] 凌士兵, 高珊, 刘铭. 台风“杜鹃”影响期间福建大风天气的特点及成因[J]. 台湾海峡, 2005, 24: 15– 21.

[8] Yueh S H, Stiles B W, Tsai W Y, et al. QuikSCAT geophysical model function for tropical cyclones and application to hurricane Floyd [J]. Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39: 2601– 2612.

[9] Yueh S H, West R, Li F K, et al. Dual polarized Ku band backscatter signatures of hurricane ocean winds [J]. Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38: 73– 88.

[10] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 227– 229.

Remote Sensing Study of Sea Surface Wind Field Around Taiwan Island During Typhoon Periods

CHEN De-wen^{1, 2}, SHANG Shao-ping^{1, 2*}, SHANG Shao-ling², ZHANG Wen-zou²

(1. Department of Oceanography, Xiamen University,

2. State Key Laboratory of Marine Environmental Science (Xiamen University), Xiamen 361005, China)

Abstract: The QuikSCAT remote sensing data from 1999 to 2005 were used to study the features and mechanisms of sea surface wind fields around Taiwan Island during typhoon periods. Twelve westward or northwestward typhoons were selected, and separated into three categories due to the situation of typhoon track and Taiwan Island. Three typhoons were analyzed in detail as typical cases of three categories. The result showed: The strength of typhoons were underestimated to different extent and the wind direction retrieval near the typhoon center was influenced seriously by rain, however the general pattern of remote sensing wind fields were reasonable. Terrain had prominent effects on the formation of wind field features; it caused some interesting phenomena, such as strong wind (> 10 m/s) appearing earlier in Taiwan Strait, the formation of leeward trough and "corner flow" to the flanks of Center Mountain Range (CMR) and downstream of the tips of CMR respectively. Whether the strong winds appeared earlier still depended on the location of the typhoon center. Along different category of tracks, the location and scope of "corner flow" and leeward trough were different.

Key words: sea surface wind field; terrain; Taiwan Island; typhoon; QuikSCAT