

QuikSCAT 洋面风资料及其在热带 气旋分析中的应用

方 翔^{1,2} 咸 迪² 李小龙² 王 新¹

(1. 北京大学物理学院, 100871; 2. 国家卫星气象中心)

提 要: QuikSCAT 洋面风场资料可以提供海面上 10 米的风场信息, 为热带气旋的进一步监测与分析提供帮助。通过对 QuikSCAT 洋面风轨道资料再处理和精度检验, 国家卫星气象中心生成了更高分辨率的格点风场数据。通过洋面风资料对近年编号热带气旋的辅助分析实验, 分析总结了洋面风资料在热带气旋定位、定强、发展趋势以及大风分析中的一些应用方法。结果表明: 尽管存在一定误差, QuikSCAT 洋面风场资料可以有效校正海上热带气旋特别是弱热带气旋的定位和定强偏差, 反映热带气旋大风区的分布和低层环境流场, 为进一步推断热带气旋的发展和移动趋势提供帮助。

关键词: QuikSCAT 洋面风 热带气旋

The Ocean Surface Vector Wind Data of QuikSCAT and Its Application in Tropical Cyclone Analysis

Fang Xiang^{1,2} Xian Di² Li Xiaolong² Wang Xin¹

(1. Physics School of Peking University, Beijing 100871; 2. National Satellite Meteorological Center)

Abstract: Wind vectors can be observed by the QuikSCAT/SeaWinds(QSCAT) satellite mission, which are at a height of 10m above the local mean sea surface. It plays an important role in the monitoring and further theoretic analysis of tropical cyclones (TCs). Based on the introduction of status and development of ocean wind satellites, the wind vectors products processing methods and the application for TCs detection is expatiated. Then, the worked QSCAT wind vectors are validated by comparing with the QSCAT original data and the winds with in situ observations by ocean buoys. It was found that the accuracy varied across the swath, with average absolute errors

基金项目: 国家基础研究基金“我国华南致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”(2004CB418305)和上海台风研究基金“AMSU 微波资料在台风定强中的应用研究”(2004STA003)资助

收稿日期: 2006 年 12 月 1 日; 修定稿日期: 2007 年 1 月 29 日

in speed of $0.71\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ and in the direction of 26.29° , while the root-mean-squared differences are $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ and 29.33° , respectively. For the more convenient using the database, the researchers in National Satellite Meteorological Center (NSMC) treat with the wind vectors to regular gridded data even in the $0.1^\circ\times 0.1^\circ$ area, also to MICAPS format. In research applications, the QSCAT wind vectors token directly the location and intensity of TCs, especially earlier detection, with the distinguishing the powerful wind area. In addition, it also allows the study of determining what promotes tropical cyclogenesis, due to the analysis of air stream fields.

Key Words: QuikSCAT ocean surface wind vector tropical cyclone

引 言

热带气旋是全球主要气象灾害之一,中国是全球受热带气旋影响最大的国家之一,每年夏秋之际热带气旋都会给沿海地区居民的生命财产和社会经济带来巨大损失,对热带气旋的准确监测和预报具有十分重要的意义。

热带气旋发生发展于广阔的热带海洋之上,由于海上常规气象探测的缺乏,气象卫星成为热带气旋业务与研究工作的重要信息来源。目前,已有多种气象卫星资料被广泛地应用于热带气旋分析和预报的各个方面,如定位、定强、降水估计、尺度估计、路径预报、强度预报等。

目前常用于热带气旋分析的卫星资料是静止气象卫星的可见光/红外资料,以可见光/红外图像云型识别为基础的热带气旋位置和强度估测方法——Dvorak 技术^[1],更是全球热带气旋业务部门估计海上热带气旋位置和强度的主要工具和标准。但受通道特性局限,可见光—红外探测技术只能探测热带气旋的云顶特征,反映高层云系和环流结构,无法获取热带气旋底层环流结构,对气旋中心最大风速的估计也是一种经验的间接估计方法,这就给热带气旋的分析工作带来很大的不确定性。特别是当热带气旋较弱,高层云系和底层环流云系脱离时,仅靠静止卫星确定的热带气旋中心位置和强度会存在较大

偏差。另外,热带气旋对人类的影响主要体现在近海面的大风和降水,也需要一种手段能够定量估计海面的大风分布。

为了更好地探测洋面风场分布,各国陆续开展了新型卫星洋面风场探测器的研究,美国宇航局(NASA)早在 1970 年代就开始了一项称作散射计气候数据探索计划(SCP)的项目,它是 NASA 发起的一项基于散射计时间序列数据集的气候研究计划。从 1974 年开始,天空实验室(SkyLab)上携带的 S193 探测器开始对全球洋面风场进行探测。洋面风场探测卫星已经投入使用近 30 年,其探测技术和探测仪器的精度都在不断发展和完善。至今为止,已经有 Seasat(NASA 于 1978 年发射,可以说是最早的洋面风场探测卫星)、ERS-1 和 ERS-2(两颗卫星均由欧洲宇航局设计并发射,其中 ERS-1 发射于 1991 年,ERS-2 发射于 1995 年)、ADEOS-I(由日本航天局于 1996 年发射)、QuikSCAT(NASA 于 1999 年发射)、ADEOS-II(由日本航天局于 2002 年底发射)等多颗洋面风场探测卫星先后投入使用^[2],它们为海洋和大气研究提供了宝贵的洋面风场资料以及其它各种有用的资料,在地球科学的各种研究项目中发挥了重要作用。在今后几年里,还将有更多的洋面风测量仪器投入使用,如欧空局 2006 年发射的 METOP 极轨气象卫星上搭载的 C 波段散射计 ASCAT 以及印度即将发射的海洋卫星 OceanSat-2 上的 Scatterometer 散射计等。

我国成功地在 921 飞船上搭载了雷达散射计,填补了洋面风场星载测量技术的空白,未来即将发射的海洋 2 号卫星也将携带散射计用于洋面风的测量。图 1 简示了洋面风观测卫星的现状和未来发展计划。

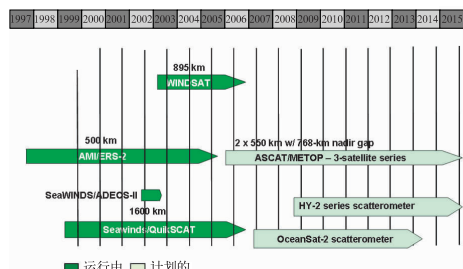


图 1 洋面风观测卫星的现状和未来发展计划

1 QuikSCAT 洋面风资料的处理与检验

1.1 QuikSCAT 资料基本情况介绍

QuikSCAT (Quick Scatterometer) 卫星是美国国家宇航局于 1999 年 6 月发射的一颗科学探测卫星,至今已稳定运行 7 年多,星上各类仪器仍能正常工作,满足业务和科研需要。它上面所携带的 SeaWinds (洋面风场散射探测仪) 主要通过探测海洋表面的起伏状况,得到洋面 10m 的风场数据。SeaWinds On QuikSCAT 是一种特殊的微波雷达,可以穿透天气系统和云探测近海平面的风速和风向。QuikSCAT 具有高时空分辨率的特点,回归周期为 4 天(绕地球旋转 57 圈),轨道周期为 101 分钟,轨道高度为 803km,轨道宽度达到 1800km,每天能够覆盖 90% 以上的地球洋面^[3-4],因此,利用它得到的洋面风场资料,可以很好地弥补海面气象资料的缺乏,为热带气旋的分析提供帮助。表 1 给出了 SeaWinds 仪器的一些简要参数。

1.2 QuikSCAT 风场资料的再加工处理

国家卫星气象中心于 2003 年 2 月开始准实时获得 QuikSCAT 洋面风场轨道数据

表 1 SeaWinds 仪器参数

仪器特征	参数指标
扫描带宽度	1800km, 每天覆盖地球洋面超过 90%
风矢量分辨率	25km
风速测量范围	$3 \sim 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
风速测量精度	$2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
风向测量精度	20°
测量高度	10m

(较轨道接收时间大约延后 3 小时),并对该数据进行了格式转换和格点化处理,以进一步适应国内天气分析和天气预报的需求。

1.2.1 洋面风场数据的再加工

目前 NOAA 网站提供实时的 NRT (Near-real time data) 轨道数据,这是一种多轨资料集合、按卫星扫描线排列的中间产品数据,空间分辨率与卫星原始分辨率相同 (25km),它虽然已经换算成风矢量,但要实际应用,还需要进行轨道拆分和格点化处理。国家卫星气象中心对 QuikSCAT 洋面风原始轨道进行了拆分,设计完成了原始资料转换与格点数据插值方法,生成了全球与中国领海 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, $1^\circ \times 1^\circ$ 经纬度网格点数据,整个数据处理流程如图 2 所示。图 3 为经过轨道拆分和插值处理的 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 分辨率洋面风数据示例(见彩页)。

为了方便预报员在天气分析中使用,国家卫星气象中心对所生成的格点化风场资料

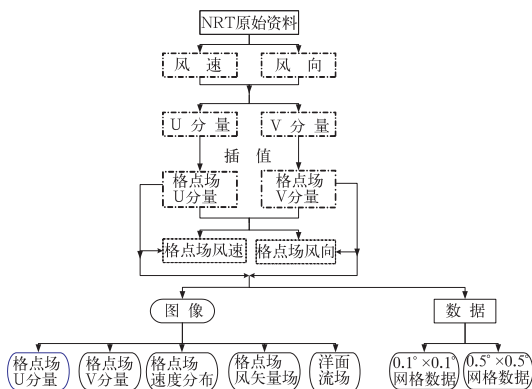


图 2 QuikSCAT 洋面风数据处理流程图

进行了 MICAPS 格式转换,使该资料可以在 MICAPS 系统上显示与分析,该项资料已经在中央气象台和上海台风研究所试用,在海上天气分析中发挥了重要作用。图 4 给出了 MICAPS 系统的显示示意。

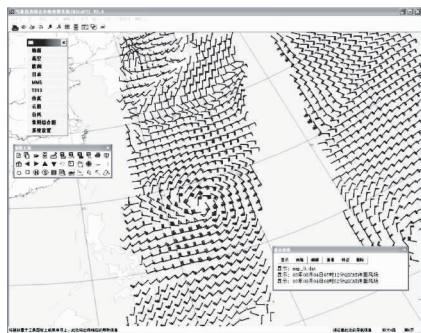


图 4 MICAPS 格式风场资料显示图

1.2.2 洋面风场图形显示软件的开发

为了让业务人员有一个直观的洋面风场分析工具,国家卫星气象中心开发了洋面风场显示软件,该软件可以实现:多轨道数据的图像查看功能,利用它可以了解各轨道资料的分布和覆盖范围;生成多轨道风速、风向拼图;生成多轨道经向风速拼图;生成多轨道纬向风速拼图;风矢量分析显示工具,可以显示任意区域的风矢量图与风场信息,并进行放大/缩小、移动,位置确定等操作。

该软件已在国家卫星气象中心台风业务中使用,取得了很好的效果。图 5 给出了该软件的屏幕效果示意图(见彩页)。

1.3 洋面风场的真实性检验

为了解格点化后的 QuikSCAT 洋面风资料的真实性和可信度,对洋面风格点资料进行了真实性检验。

检验包括两部分,将洋面风格点资料与船舶资料进行对比,以了解资料的真实可信度;将洋面风格点资料与洋面风原始轨道资料进行对比,以了解插值后的失真程度。

在检验中,以常规船舶和浮标站资料实测值作为参照标准,通过与洋面风格点资料的偏差分析来了解洋面风资料的精度。由于洋面风与船舶报的探测地点不可能完全吻合,时间上也有一定差别,所以,这两种资料不可能完全匹配,一定会存在偏差。这种偏差不等于误差。偏差由洋面风和常规船舶的探测地点差、时间偏差和探测偏差组成,一般来说,偏差比误差大。

由于分析使用的最终资料是格点化插值后的结果,为了解插值的精度,还必须将格点化插值资料与原始的风场轨道资料进行对比,通过这两种资料的比较可以对插值资料的效果有一个侧面的印证。

(1) 洋面风格点数据与船舶报比较

洋面风格点数据与船舶测风资料在风向、风速、经向风速、纬向风速上的比较(图略)结果,格点洋面风速与船舶测风风速非常相似,大部分样本偏差都集中在 $\pm 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,绝对值偏差 $0.71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差均方差 $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;经向风速绝对值偏差 $1.19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差均方差 $1.52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;纬向风速绝对值偏差 $1.70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差均方差 $1.91 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而在风向上,两者有一定偏差,绝对偏差为 26.29° ,偏差均方差 29.33° ,与美国官方公布的检验结果相似(风向误差在 20° 左右)。

(2) 洋面风格点数据与原始轨道数据比较

洋面风格点数据与原始轨道数据在风向、风速、经向风速、纬向风速上的比较结果(图略),插值后的格点洋面风资料与原始轨道资料在风速和风向上都有很好的一致性。风向绝对值偏差 3.83° ,偏差均方差 11.52° ;风速绝对值偏差 $0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差均方差 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

总之,国家卫星气象中心的格点化洋面风场资料与船舶测风相比,风速差别很小,风向略有误差,但仍在 QuikSCAT 卫星风向反演误差范围之内。而与原始轨道数据相比,插值后的格点数据在风速还是风向上都极为

一致,两者误差很小。因此,可以认为格点化洋面风场数据在资料精度上已经符合了 QuikSCAT 卫星的设计要求,同时资料分辨率大大提高(由 25km 增加到约 10km),可以有效弥补海面观测资料的不足。

2 QuikSCAT 洋面风资料在热带气旋辅助分析上的应用

卫星反演的洋面风场数据是海上热带气旋监测与分析的重要参考,目前洋面风场资料在热带气旋分析中的应用主要集中在以下几个方面。

2.1 洋面风资料定位辅助分析

通过洋面风资料可以反演出海平面的风场和流场分布,进而找到热带气旋的环流中心,确定热带气旋位置,特别是处于减弱阶段的热带风暴系统,往往会出现高层云系和低层环流中心分离的情况,此时洋面风场信息将给出一个相对客观的分析结果,可以有效修正定位偏差。图 6 是 0503 号热带气旋威马逊在 2005 年 4 月 27 日 08 时洋面风场与 FY-2C 云图的叠加图像,此时,云图中的环流中心已不明显,而通过洋面风场可以很清楚的了解低层环流的辐合中心。

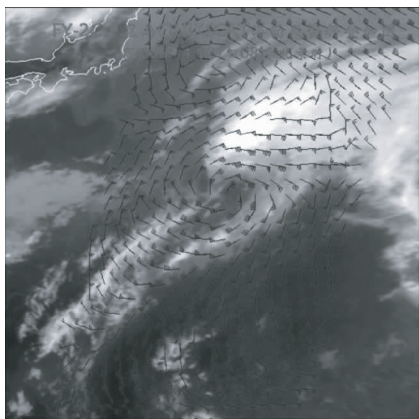


图 6 FY-2C 卫星云图与 QuikSCAT 风场叠加图

热带气旋中心一般位于相对静风区,通过风速的分布可以近似确定台风位置。实际应用中,国家卫星气象中心提出了通过经向和纬向风速零值线的交点来确定热带气旋位置的方法(图 7,见彩页),并利用这种方法对 2003 年的多个台风个例进行了定位实验,取得了很好的效果。图 8 给出了 0306 和 0314 两次热带气旋过程标准路径和洋面风确定的位置之间的比较,可以看出,两者具有很好的—致性。

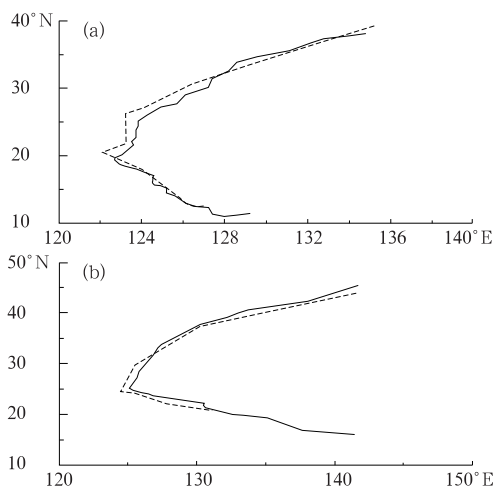


图 8 洋面风定位结果与标准路径比较图
(a) 0306 号热带气旋 (b) 0314 号热带气旋
(实线:洋面风路径;虚线:标准路径)

2.2 大风区和强度分析

热带气旋低层大风区的分布是判断热带气旋影响的重要依据。以往海上大风区的判断主要依靠静止气象卫星红外云图进行间接估算,很难精确表征海面风的实际分布,而业务使用的大风圈(大风半径)的表示法,也很难反映热带大风分布的不均匀性。

QuikSCAT 资料所提供的风速分布信息,可以帮助确定热带气旋大风区位置和强度,特别是对于大风区的不规则分布有着非常好的反映。图 9 是 0216 号台风森拉克的洋面风场分析图像(见彩页)。从图 9 可以得知,此时

刻,台风的大风区主要位于中心的西北方密闭云区和环流云带中,即朝向我国大陆的方向,正是由于这个原因,在中心登陆前,森拉克外围的大风区给温州沿海地区带来很大的损失,如果很好地利用好 QuikSCAT 风场信息,就可以及时了解大风区分布,尽早采取预防措施。

2.3 热带气旋未来趋势辅助分析

通过对洋面风资料分析,不仅可以了解热带气旋的低层环境流场,了解引导气流的方向和强度,对热带气旋的未来移动进行预测。同时,也可以了解低层的辐合情况,对热带气旋的未来强度发展进行预测。图 10 是 2002 年第 9 号热带气旋风神的洋面风场分析图像(见彩页)。从图中可以看出,在热带气旋的北侧是一致的东风气流,未来该热带气旋可能会在此气流的引导下,向偏西方向移动。另外,从图中还可了解到热带气旋中心存在很强的辐合,有利于抬升运动,热带气旋的强度可能会进一步的发展。

3 洋面风辅助分析中存在的问题和原因

在热带气旋辅助分析中,QuikSCAT 资料使用时也存在着一一些问题,主要有:

(1) 当热带气旋较强时,QuikSCAT 卫星反演的洋面风场的风向和风速都存在一定偏差,而对于较弱热带气旋,这种偏差并不明显。图 11 是 0306 号热带气旋苏迪罗的定位示例,云图(图 11b)中的十字是利用 QuikSCAT 资料确定的位置,该位置与台风眼有一定距离。

(2) QuikSCAT 洋面风速超过 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 误差将增大,对于强热带气旋,风速估计过低。

经过分析,偏差可能是由以下原因造成的:

(1) 洋面风原始轨道分辨率是 25km ,而对于强台风来说,眼区小而圆,在其眼区周围

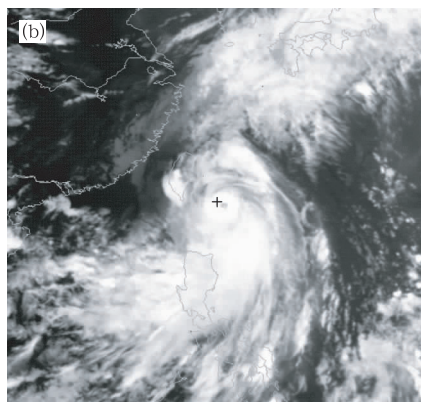
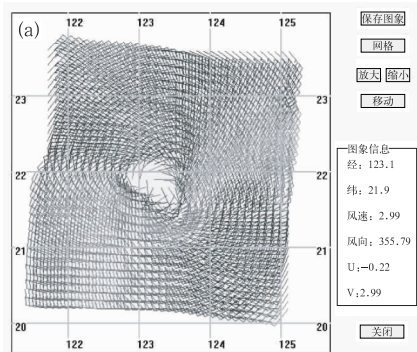


图 11 0306 号热带气旋 QuikSCAT 定位比较图

存在很强的风速和风向切变,在 25km 范围内可能存在多种风向和很大风速梯度,而 QuikSCAT 反演得到的仅是一个平均后的结果,很难准确反映眼区的环流形势。

(2) QuikSCAT 洋面风速的测量范围是 $3 \sim 30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,对于强热带气旋来说,其周围的最大风速大都高于 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,已超过 QuikSCAT 所能精确反演的范围。

(3) 由于 QuikSCAT 卫星携带的探测器很少,在测量的同时,无法利用本星探测仪器进行实时辐射订正,这也造成了一定误差。

4 结 语

本文对 QuikSCAT 洋面风场资料的处理方法及其在热带气旋辅助分析中的应用进行

了介绍,并利用船舶(浮标)站资料和原始 QuikSCAT 轨道资料对处理后的资料进行了检验。同时,还对洋面风热带气旋辅助分析中存在的一些问题进行了总结,主要结论如下:

(1) QuikSCAT 洋面风资料为海上热带气旋的监测和预报提供了有力的工具。与船舶资料相比,两者风速差别很小(绝对值偏差 $0.71\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 偏差均方差 $1.2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),风向略有误差(绝对值偏差 26.29° 偏差均方差 29.33°),但仍在可以接受的范围之内。

(2) 国家卫星气象中心对原始轨道数据进行了进一步的加工和处理,生成了最高达 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 经纬度分辨率的格点资料和 MI-CAPS 格式数据,更有利于洋面风场资料的分析和应用。

(3) QuikSCAT 洋面风场资料可以直观表征热带气旋的位置、强度和大风区分布,对于海上热带气旋特别是弱热带气旋的分析提供了重要参考。同时,洋面风场资料还能对热带气旋的未来发展预测提供帮助。

(4) 尽管存在一定误差,QuikSCAT 洋面风资料在弱热带气旋定位定强以及热带气旋低层环境流场分析中,还是能够提供许多有益的信息,这也是目前热带气旋分析中所急需的。

参考文献

- [1] Dvorak, V. F. Tropical cyclone intensity analysis using satellite data[R]. NOAA Tech. Rep. NESDIS, 1984, (11):47.
- [2] Paul Chang, Zorana Jelenak. NOAA Operational Satellite Ocean Surface Vector Winds Requirements Workshop Report[R]. June 5-7, 2006.
- [3] Von Ahn, J., J. M. Sienkiewicz and P. Chang. Operational Impact of QuikSCAT Winds at the NOAA Ocean Prediction Center[J]. Weather and Forecasting, 2006. 21(4): 523-539.
- [4] Chelton, Dudley B., Michael H. Freilich, Joseph M. Sienkiewicz, et al. On the Use of QuikSCAT Scatterometer Measurements of Surface Winds for Marine Weather Prediction[J]. Monthly Weather Review, 2006, 134(8):2055-2071.

方翔等：QuikSCAT洋面风资料及其在热带气旋分析中的应用

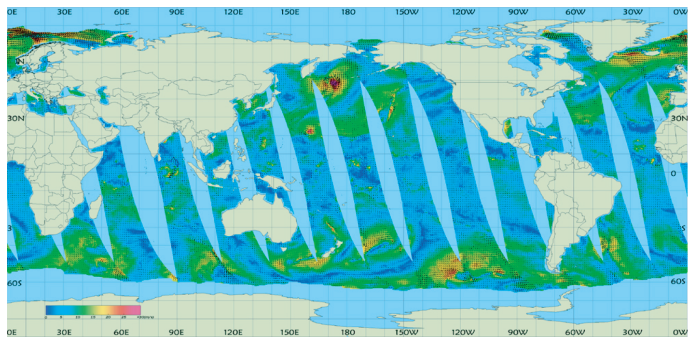


图3 经过轨道拆分和插值处理的洋面风数据示例

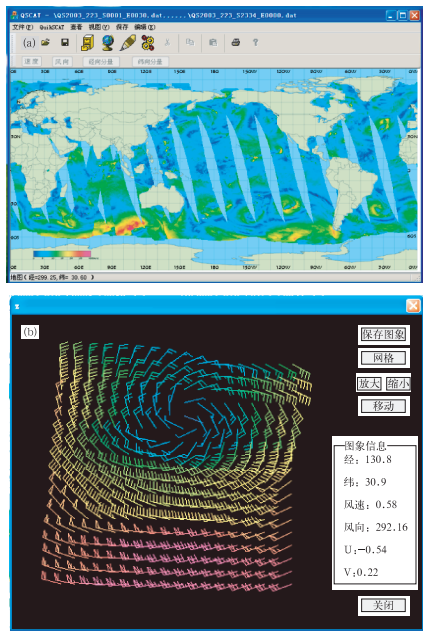


图5 洋面风分析系统界面
(a)洋面风显示软件显示界面
(b)洋面风显示软件矢量分析界面

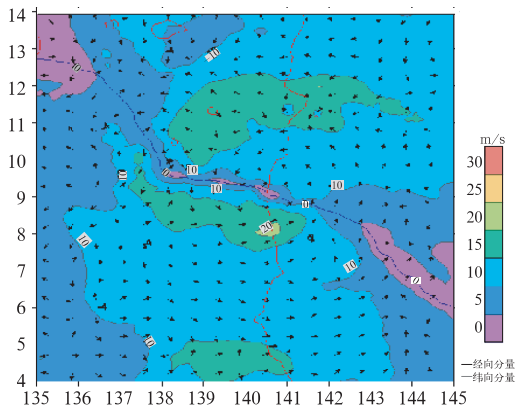


图7 洋面风经向纬向零风速线交点定位法示意图

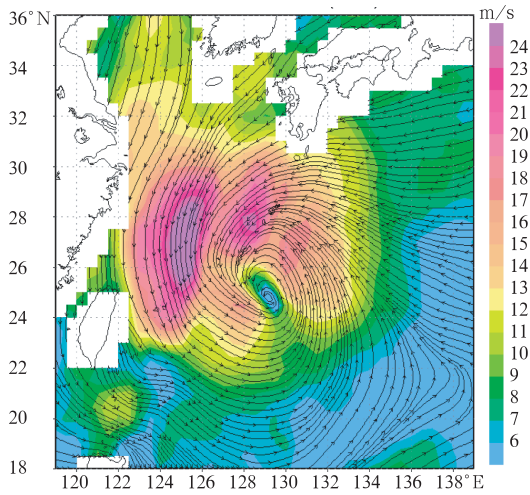


图9 2002年9月5日00时(世界时)0216号
台风洋面风速场、流场图

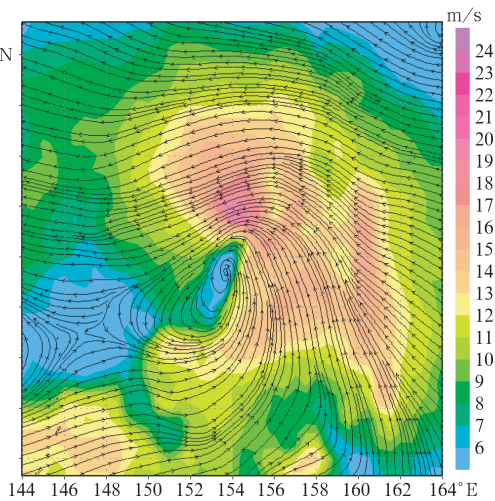


图10 2002年7月21日00时(世界时)0209号
台风洋面风速场、流场图