

# Organization Features Comparison of Different Typhoons in the South China Sea in 2014

Nannan Qin<sup>1</sup>, Shukai Yin<sup>2</sup>, Yunhe Li<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Jinling High School, Nanjing Jiangsu

<sup>3</sup>Nanjing Foreign Language School, Nanjing Jiangsu

Email: qnn\_nancy@yahoo.com

Received: July 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: July 19<sup>th</sup>, 2019; published: July 26<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, two typhoons in the South China Sea, one named case and one unnamed case, with similar evolution process have been chosen to analyze their organization features in genesis, development and dissipation stages. By comparing the deviation angle variation (DAV) with the best track data from China Meteorology Administration (CMA-BST) and satellite images from Fengyun, it shows the distribution and value of DAV can quantize the symmetry of deep convections (DCs) in typhoon. The map minimum value (MMV) of DAV can identify the degree of DCs' organization and the center of organized DCs. When DCs appear to be ring-shape or spiral-shape, the locations of MMV can be the marker of typhoon center and their values appear to be inversely related to the typhoon intensity. The relation becomes significant if filtering the high frequency signal of MMV value in time series. However, when the DCs obviously appear non-closed shape, the locations of MMV always accord to the region where the DCs are strongest in typhoon system, which may result in the deviation between MMV location trajectory and typhoon path. Then the relation of MMV value and typhoon intensity is reduced. In addition, land friction and baroclinic environment may reinforce the asymmetric distribution of DCs, which also reduce the relation of its structure to typhoon intensity.

## Keywords

Typhoon, South China Sea, Deviation Angle Variation, Deep Convections

---

# 2014年两类南海生成台风组织化特征对比分析

秦南南<sup>1</sup>, 尹枢楷<sup>2</sup>, 李云鹤<sup>3</sup>

<sup>1</sup>南京信息工程大学, 大气科学学院, 江苏 南京

<sup>2</sup>金陵中学, 江苏 南京

<sup>3</sup>南京外国语学校, 江苏 南京

Email: qnn\_nancy@yahoo.com

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月19日; 发布日期: 2019年7月26日

## 摘要

本文选取了2014年两个具有相似生成和移动过程的南海生成命名和南海生成未命名的典型台风个例, 对其生成、成熟、消亡三个阶段的组织化特征进行分析, 通过比较偏差角方差(Deviation Angle Variation, DAV)技术计算结果与最佳路径资料信息以及风云云图分布特点, 揭示了南海台风生命史全过程的精细化结构分布及其与路径强度变化的关系。研究表明, DAV表征的是系统内具有一定范围的深对流云团的轴对称程度, 是台风内深对流组织化的量化体现。DAV极小值(Map Minimum Value, MMV)则表征系统内深对流云团轴对称化的最高程度及其中心位置。因此, 当深对流云团呈环状或螺旋状分布时, MMV位置能够较好地指示环流中心所在。同时MMV量值大小与强度变化呈现明显反比关系, 尤其滤去高频变化后的MMV变化与系统强度变化趋势匹配度更高。然而当深对流云团出现明显非闭合特征时, MMV所在位置总是趋向于局地对流最旺盛的区域, 这使得在MMV位置与台风路径产生较大偏差, 同时量值与强度的联系也不紧密。此外, 地面摩擦和斜压环境场会使得系统内深对流云团的非对称结构明显, 从而影响其结构与强度之间的关系。

## 关键词

南海台风, 偏角方程技术, 深对流云团

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国是受台风影响最严重的国家之一。统计表明, 近十年来西北太平洋台风的路径预报能力均有显著提高, 24 h 路径预报的平均误差由 110 km 左右下降至约 80 km, 然而台风强度预报能力始终徘徊不前。台风强度预报实际上就是对台风系统的最大风速进行分析和评估, 由于台风结构复杂, 影响其发生发展的物理因子繁杂, 对于其强度演变的物理机制还不十分清楚, 数值预报结果的准确性也不高[1]。

我们都知道, 不论是天气系统机制研究还是数值预报分析结果, 其认识深度和准确性很大程度上依赖于观测信息是否准确、丰富。对于台风来说, 其大部分的发生发展过程都在海上, 而海上对于台风风场信息的直接观测非常匮乏, 目前能够连续追踪台风发生发展生命史的观测信息只有静止卫星, 因此静止卫星观测到的可见光和红外卫星云图数据成为对海上台风长生命史过程追踪的唯一有效手段[2]。

由于静止卫星观测数据主要通过云团亮温信息揭示台风的形态特征, 将这些信息反演为台风风场再进入模式计算, 往往会引入更大的误差。因此目前各业务中心采用的台风定强方法基本都是基于卫星云图信息的 Davorak 方法[3]。该方法利用红外和可见光卫星云图, 将需要研究的云团结构同一系列台风标准模型进行比对进而得出结论。这些标准模型利用云团系统的环流来检测旋度, 利用最低亮温值来检测

云墙区的深对流, 利用最高亮温值来检测眼区中心的环流, 利用最高亮温值与最低亮温值之差来预报台风强度。随后在主观 Davorak 方法基础上开发了一系列客观分析方法, 如客观 Davorak 方法、改进的客观 Davorak 方法等[4] [5] [6]。近年来偏差角方差技术(Deviation Angle Variance Technique, DAV-T)的提出, 建立了一种使用红外卫星云图来获取热带气旋云团结构的形状和动力学特征的客观方法[7] [8]。该方法利用红外卫星图像量化了一个台风的轴对称度, 以此判断台风系统的组织化程度, 从而建立这类定量轴对称水平和台风强度之间的评估模型。鲁小琴等[9]提出了一种利用 MTSAT 的数字红外数据提取与台风内核附近强度相关的重要特征, 从而判断台风强度的客观分析方法。上述方法均是基于台风系统组织化特征与台风强度之间的密切关系提出的, 因此分析台风系统的组织化特征及其与台风强度之间的关系是提高台风强度预报能力的关键。

南海位于我国大陆南方, 是我国三大边缘海之一, 该海域是全球台风活动最频繁的海域之一。因此南海台风活动对我国影响较大, 对我国国民经济和国防安全都会带来严重危害。因此, 本文利用中国气象局最佳路径数据集和风云静止卫星数据, 在采用 DAV 方法对 2014 年南海活动的典型个例进行计算的基础上, 对比分析南海命名和未命名台风的组织化结构及其演变特征, 可以为南海台风强度监测和预报技术的开发提供基础。

## 2. 资料和方法

选用的台风强度和位置信息来自中国气象局的最佳路径数据集(CMA-BST)。这套数据集是由中国气象局上海台风所在每年台风季节过后, 根据所收集到的常规和非常规气象观测资料, 对当年台风的路径和强度资料进行整编后形成的。卫星资料则选择了我国风云系列静止气象卫星的长波( $10.7 \mu\text{m}$ )通道, 卫星资料的原始空间分辨率为  $0.05^\circ/\text{像素}$ (约  $5 \text{ km}/\text{像素}$ )。Piñeros 等[7]研究发现, 适当降低研究资料的空间分辨率不会对计算结果产生显著影响, 但会显著减少计算运行所需时间, 因此本文将研究资料的空间分辨率提取为  $0.1^\circ/\text{像素}$ (约  $10 \text{ km}/\text{像素}$ )。

本文研究对象为 2014 年  $0\sim 25^\circ\text{N}$ ,  $100\sim 120^\circ\text{E}$  南海范围内活动的台风(Typhoon in the South China Sea, NT), 由于强度监测手段的缺失和客观标注的不统一造成了对南海台风记录的巨大差异, 尤其是中国气象局最佳路径资料记录中出现了多个未命名的台风个例, 而这些个例绝大部分集中在我国南海区域。为此, 在后文研究中, 进一步将南海生成台风区分为南海生成且命名(NT-Named, NTN)和南海生成未命名(NT-Unnamed, NTU)。

研究方法采用的是 DAV 方法。观测研究表明, 台风的生成、发展和消亡过程, 对应于区域分散强对流云团趋于集中和闭合的组织化过程、围绕眼心的组织化环状强对流带的轴对称化过程以及陆面或较冷洋面上的组织化对流云带的非对称消散过程。因此对于具有一定强度的台风, 其红外云图上亮温值的梯度方向将趋向于指向暖心, 呈现辐合型形状, 且台风强度越强, 云团的对称化程度相应也就越高[8]。目前 DAV-T 方法已被应用于北大西洋地区、西北太平洋地区热带气旋系统的客观强度监测评估, 取得了较好的分析结果。Pineros 等[7]使用 2004~2008 年的热带气旋数据做训练集, 2009 年的热带气旋数据做测试集时, 该方法估计的热带气旋强度与美国国家飓风中心(National hurricane center: NHC)的记录值相比均方根误差为  $24.8 \text{ kt}$ 。Ritchie [8]将该方法应用于北太平洋地区, 并将联合台风预警中心(Joint typhoon warning center: JTWC)最佳路径集资料记录的热带气旋环流中心所在位置的 DAV 值作为表征该热带气旋的轴对称程度的特征值, 用以检验该方法的定强效果。结果表明, 在西北太平洋地区 2007~2011 年间, 当使用其中一年的热带气旋数据做测试集其余年份的数据做训练集时, 估计的热带气旋强度与 JTWC 的记录值相比均方根误差在  $12.9\sim 15.1 \text{ kt}$  之间; 在东北太平洋地区 2005~2011 年间, 同样使用其中一年的热带气旋数据做测试集其余年份数据做训练集时, 预测的热带气旋强度与 JTWC 的均方根误差在  $9.4\sim 16.9 \text{ kt}$  之间。

基于此, DAV-T 以云团亮温梯度为媒介对台风强度进行评估。具体计算方法为: 首先计算每个像素点的红外图像梯度; 然后选择一个参考点和计算半径, 通过比较计算半径内每一点云团亮温梯度与该点至参考点方向梯度得到角度偏差作为该点的偏差角; 将计算半径内所有点的偏差角求方差, 则得到参考点的偏角方差。由于理想台风的红外卫星云图梯度应指向中心, 因此方差越小, 则以该参考点为中心的红外云图图像越接近于理想台风强度。然而考虑到在卫星云图中难以直接选定台风中心作为参考点, 本文将卫星数据覆盖范围内每一点均作为参考点, 重复上述偏角方差的计算方法, 并将每个参考点的偏角方差值绘制在二维平面上, 可以得到卫星数据覆盖范围内的偏角方差分布图(DAV-map), 其中云图区域最小的偏角方差值定义为 DAV 极小值(Map Minimum Value, MMV)。

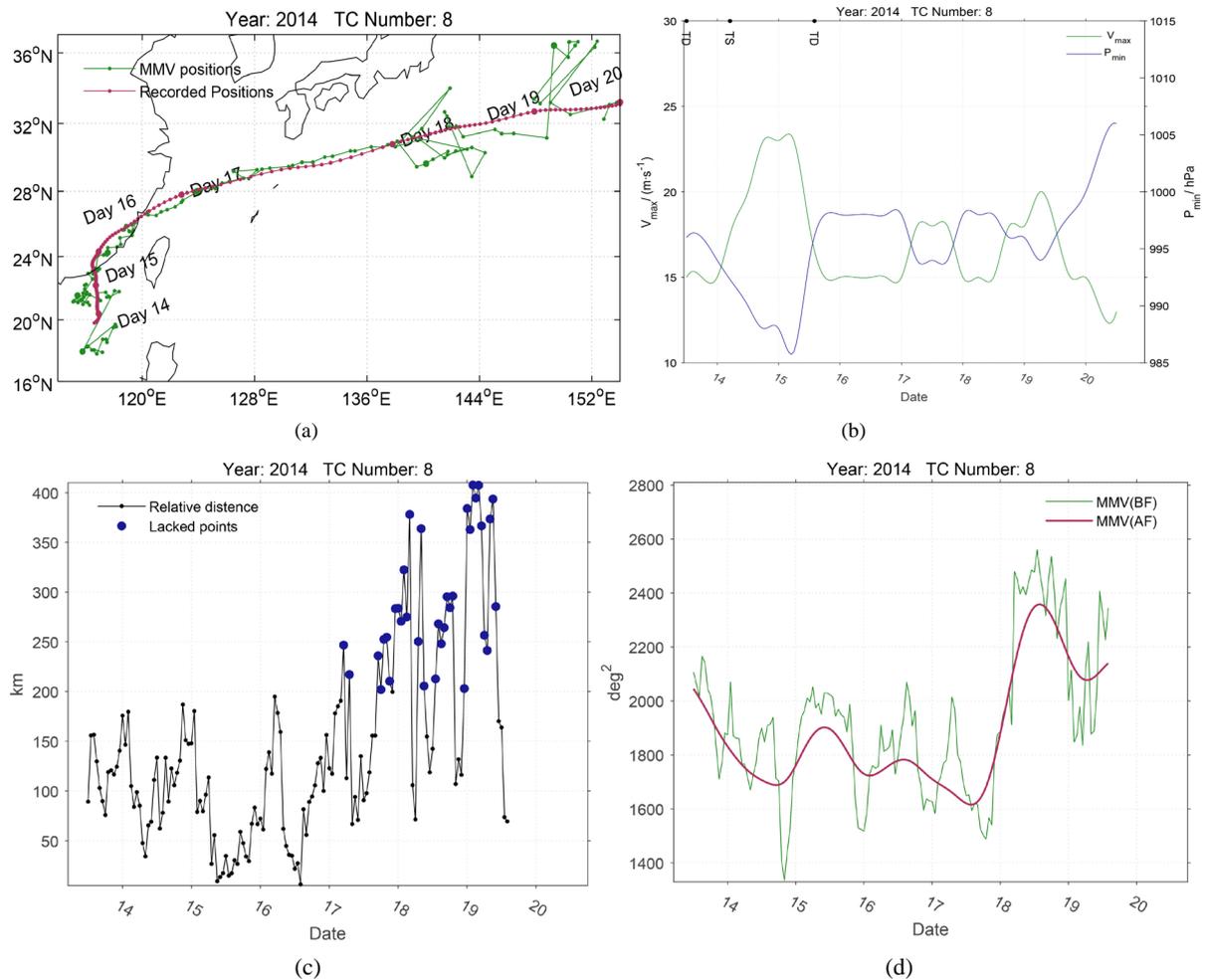
### 3. 南海台风组织化演变特征

选取 2014 年 CMA-BST 第 8 号记录热带风暴海贝思(1407)和第 15 号记录的南海生成未命名台风个例, 对其生成、成熟、消亡三个阶段的组织化结构的分布和演变特征进行分析。

根据 CMA-STI 最佳路径集资料显示的热带风暴海贝思(1407)移动路径和强度变化(图 1(a), 图 1(b))可以看出, 热带风暴海贝思 6 月 13 日 12 时(世界时, 下同)在南海区域(116.6°E, 19.8°N)生成。海贝思(1407)生成后以 10~15 km 的时速向偏北方向移动并出现显著加强, 14 日 06 时达到热带风暴等级, 15 日 12 时登陆我国广东汕头, 登陆时风速为  $23 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 达到生命史最大强度。登陆后系统开始折向东北方向, 在陆地区短暂停留后于 16 日从福建附近地区移入东海, 移入东海后台风以东稍偏北方向继续移动, 且风速在  $15\sim 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  范围内波动。由于受到冷空气入侵, 海贝思在 6 月 18 日逐渐转化为温带气旋, 在 20 日 12 时左右在西太平洋逐渐消散。从生命史过程来看, 海贝思(1407)具有以下两个特点: 一是整个生命史过程接近一周, 属于南海台风中具有较长生命史维持的个例; 二是该系统登陆后的强度虽有所减弱但仍未消散, 移动方向转向后东移出海, 甚至在出海后还出现重新加强, 在 28°N 以北区域维持了较长时间。热带风暴海贝思(1407)虽然最大强度并不强, 由于初期发展迅速并快速登陆, 其带来的涌浪大风和局部大暴雨过程, 导致多个地区受到强降水袭击、多地航班取消及房屋倒塌事件, 给民众的生命财产安全造成了巨大损失。海贝思(1407)登陆期间造成 2 省 8 市 19 个县区市 35.6 万人受灾, 3.7 万人紧急转移安置, 近 5500 人需紧急生活救助, 200 余间房屋倒塌, 600 余间不同程度损坏; 农作物受灾面积 23.1 千公顷, 直接经济损失 8.1 亿元。

由于基于红外云图亮温资料计算得到的 MMV 时间序列是每小时的, 而基于 CMA-BST 资料记录得到的台风位置和强度是每 6 小时的, 两者在时间尺度上不同步, 因此在分析时对 CMA-BST 资料记录信息进行了二次样条插值。然而考虑到 MMV 在小的时间尺度上的高频变化难以在客观分析资料中得到体现, 同时 MMV 时间序列的高频信号主要反映的是台风内核区对流活动的瞬时变化特征[10], 因此本文对 MMV 原始时间序列采用切比雪夫(低通)滤波器, 以研究的每个台风对象的总时次为采样率并设置截断频率为  $0.01\pi$ , 从滤波前后 MMV 时间序列的量值来看, 滤波后得到了滤掉高频大振幅波动变化后保留了 MMV 时间序列量值的趋势演变特征(图 1(d))。

对比 CMA-BST 资料记录的台风海贝思的移动路径和强度变化与风云卫星获得的云图资料经过计算获得 MMV 位置轨迹和量值大小(图 1)表明, 在台风生命史过程的不同阶段, MMV 位置和量值与台风路径和强度的匹配性存在较为明显差异, 大致可以分为三个阶段: 第一阶段 14~16 日为台风登陆发展期, 表现为台风生成后快速发展并于登陆后强度减弱, 此时滤波后的 MMV 量值与台风强度变化存在较好的对应关系, MMV 量值由  $2000 \text{ deg}^2$  左右迅速降低, 其减小(增大)对应于台风强度增强(减弱)。此阶段内, MMV 位置与台风中心的相对距离在 200 km 范围内出现较大振幅的振荡, 主要表现为生成发展期间(13 日 12 时~15 日 06 时)的明显减小、登陆期间的快速增大、以及再入海期间的迅速减小。第二阶段 16~18



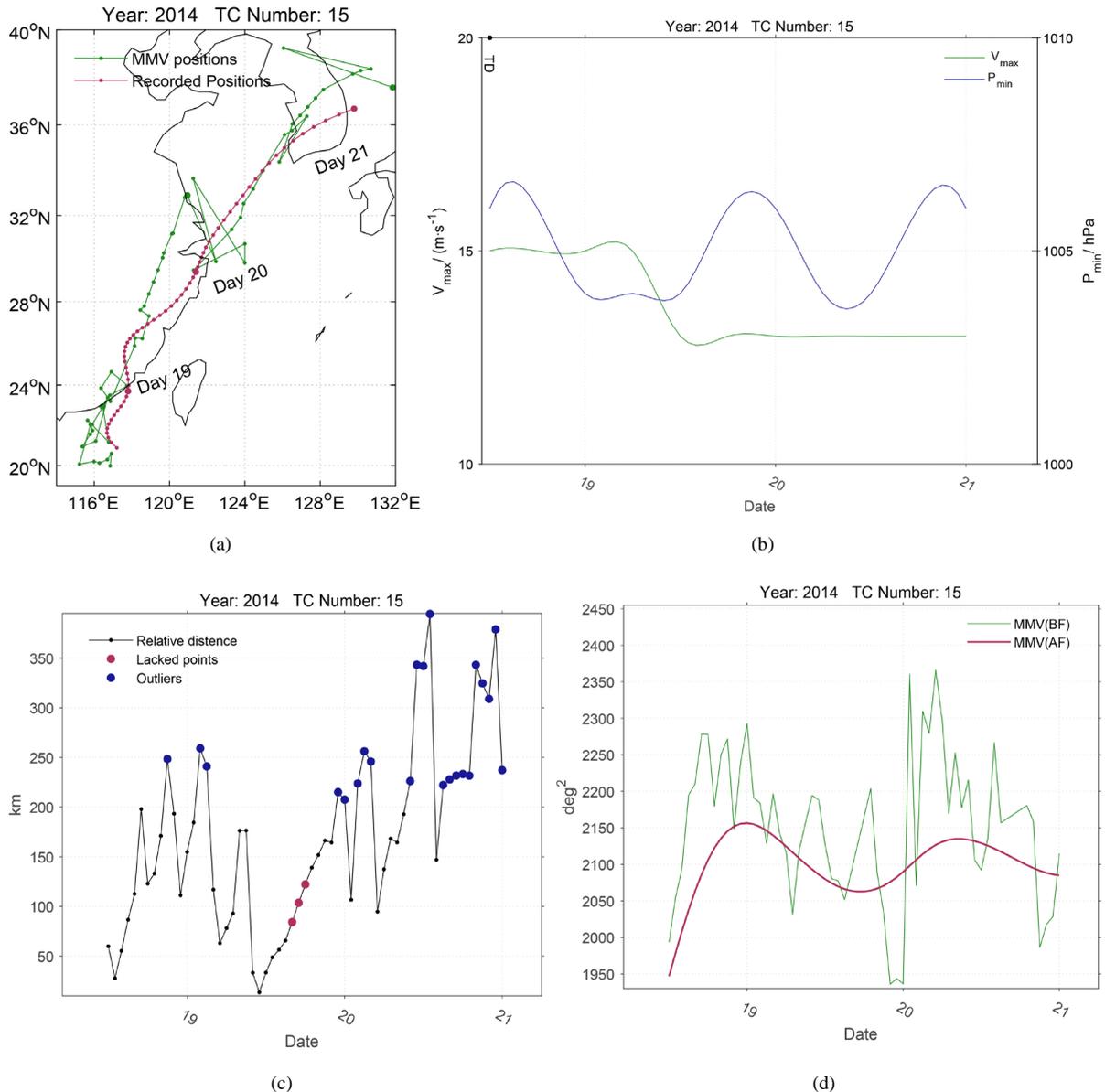
**Figure 1.** Changes of (a) Typhoon path (red line) and MMV trajectory (green line), (b)  $V_{max}$  (green line, units:  $m \cdot s^{-1}$ ) and  $P_{min}$  (blue line, units: hPa), (c) relative distances (units: km) of MMV location to typhoon center, and (d) MMV values (units:  $deg^2$ ) before (green line) and after (red line) filtering during the lifecycle of tropical storm Habits (1407). The blue points in Figure 1(c) represent moments with relative distances greater than 200 km

**图 1.** 热带风暴海贝思(1407)生命史过程(a) 台风移动路径(红色实线)与 MMV 轨迹(绿色)分布图, 以及(b) 台风最大地面风速  $V_{max}$  (绿色实线, 单位  $m \cdot s^{-1}$ )和最低海平面气压  $P_{min}$  (蓝色实线, 单位: hPa)、(c) 台风中心与 MMV 位置的相对距离、(d) 滤波前(绿色实线)后(红色实线) MMV 量值大小(单位:  $deg^2$ )随时间变化图。其中图 1(c)中蓝色圆点标记相对距离大于 200 km 的时次

日为台风东移维持期, 此时台风强度基本维持在热带低压强度, MMV 量值也维持在  $1800 \text{ deg}^2$  附近振荡; 伴随系统的两次增强再减弱的过程, 滤波后 MMV 量值也相应出现了两次减小在增大的变化过程。此阶段大部分时间 MMV 位置与台风中心的相对距离比较小, 甚至出现低于 50 km 的情况, 说明海上台风 MMV 轨迹与系统路径匹配较好; 从 17 日 18 时起台风中心位置接近  $30^\circ N$ , 相对距离开始增大至 200 km 以上。第三阶段 18~20 日为台风系统消散期, 此时台风强度持续减弱, 对应于 MMV 量值快速增大至  $2000 \text{ deg}^2$  以上, 相对距离也超过 300 km。

2014 年 CMA-STI 最佳路径集资料的第 15 号记录(NTU-15)描述的是于 08 月 18 号 12 时在南海地区 ( $20.9^\circ E$ ,  $117.2^\circ N$ )生成的个例。根据最佳路径集资料显示的系统移动路径和强度变化(图 2(a), 图 2(b)), 此个例生成后向偏北方向移动, 随后十二小时达到热带低压强度, 最大风速为  $15 m \cdot s^{-1}$ ; 19 日登陆广东, 在保持短暂的向偏北方移动后转为向东北方向移动, 20 日在舟山附近出海。登陆过程中系统地面最大风速

出现明显减弱，中心海平面气压出现小幅振荡，整体强度在海上维持并缓慢减弱。出海后台风继续向东北方向移动，再次登陆并横穿朝鲜半岛后入海消散。此次台风过程两次登陆，且生命史过程基本维持在  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上，给周边地区带来了强降水和强对流过程。由此可见，即使是未命名台风，由于其紧邻大陆生成且迅速发展登陆，同样会对我国和其它沿海国家造成损失和影响。



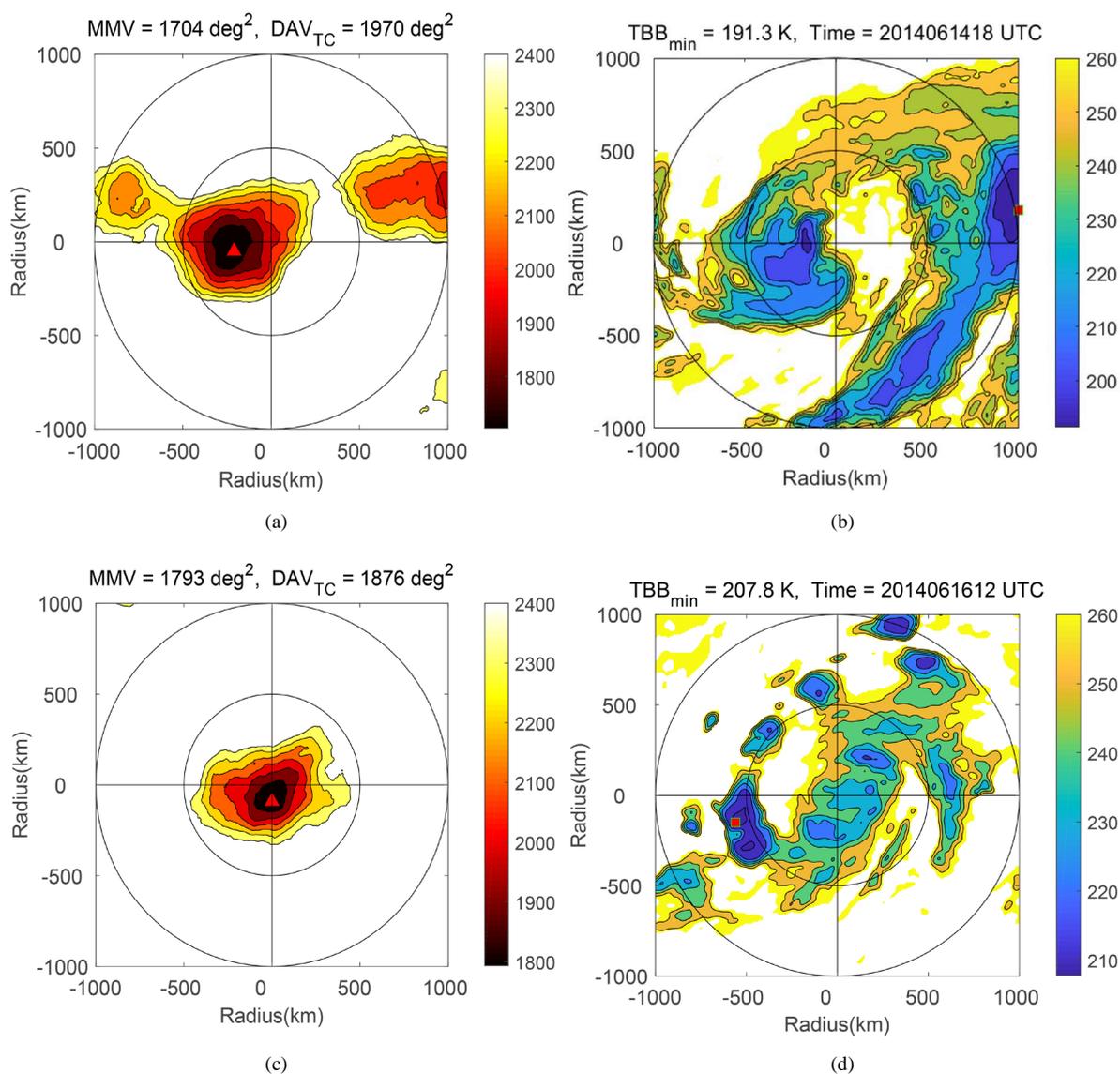
**Figure 2.** Changes of (a) NTU typhoon path (red line) and MMV trajectory (green line), (b)  $V_{\max}$  (green line, units:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and  $P_{\min}$  (blue line, units: hPa), (c) relative distances (units: km) of MMV location to NTU center, and (d) MMV values (units:  $\text{deg}^2$ ) before (green line) and after (red line) filtering during the lifecycle of unnamed typhoon recorded No. 15 in CMA-BST data. The blue points in Figure 1c represent moments with relative distances greater than 200 km, and the red points represent the time without satellite images

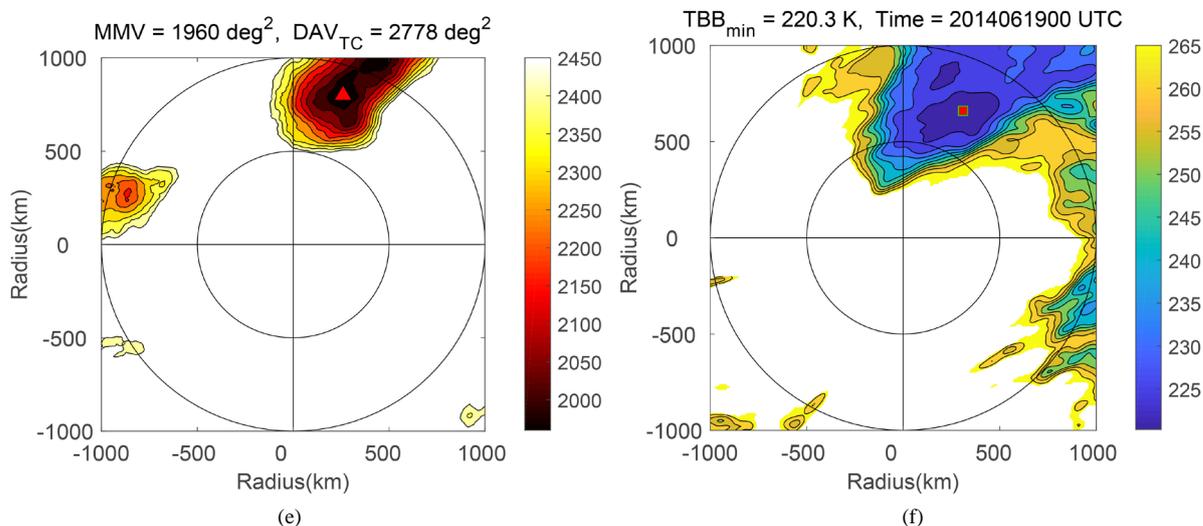
**图 2.** 15 号南海未命名台风生命史过程(a) 移动路径(红色实线)与 MMV 轨迹(绿色)分布图, 以及(b) 最大地面风速  $V_{\max}$  (绿色实线, 单位  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )和最低海平面气压  $P_{\min}$  (蓝色实线, 单位: hPa), (c) 系统中心与 MMV 位置的相对距离随、(d) 滤波前(绿色实线)后(红色实线) MMV 量值大小(单位:  $\text{deg}^2$ )随时间变化图。其中图 1(c)中蓝色圆点标记相对距离大于 200 km 的时次, 红色圆点标记记录缺失时次

同样对比 CMA-BST 资料记录的台风移动路径和强度变化与风云卫星获得的云图资料经过计算获得 MMV 位置轨迹和量值大小(图 2)表明, 与命名台风一致的情况表现在 MMV 位置与系统中心的相对距离受下垫面、纬度和系统强度影响非常明显。系统两次登陆期间的相对距离均超过 200 km, 同时随着系统北移超过 30°N 且系统强度较弱时, 相对距离接近甚至超过 250 km。与命名台风个例不一致的情况在于系统整个生命史过程的 MMV 量值均较高, 除了生成初期的几个小时, 基本在 2000~2200 deg<sup>2</sup> 范围变化, 说明系统深对流云团的组织化程度相对海贝思(1407)要弱得多, 仅达到其消散期的组织化程度。此外 MMV 量值变化的高频振荡非常明显, 其滤波后变化趋势与强度变化很难看出存在对应关系。

#### 4. 南海台风组织化结构特征

为了进一步分析组织化特征的物理意义及其在不同个例不同阶段的结构特征, 选取上述南海命名和南海未命名个例的典型时刻, 对半径 1000 km 范围内系统内强对流分布、量化的系统组织化特征以及组织化结构进行对比分析。

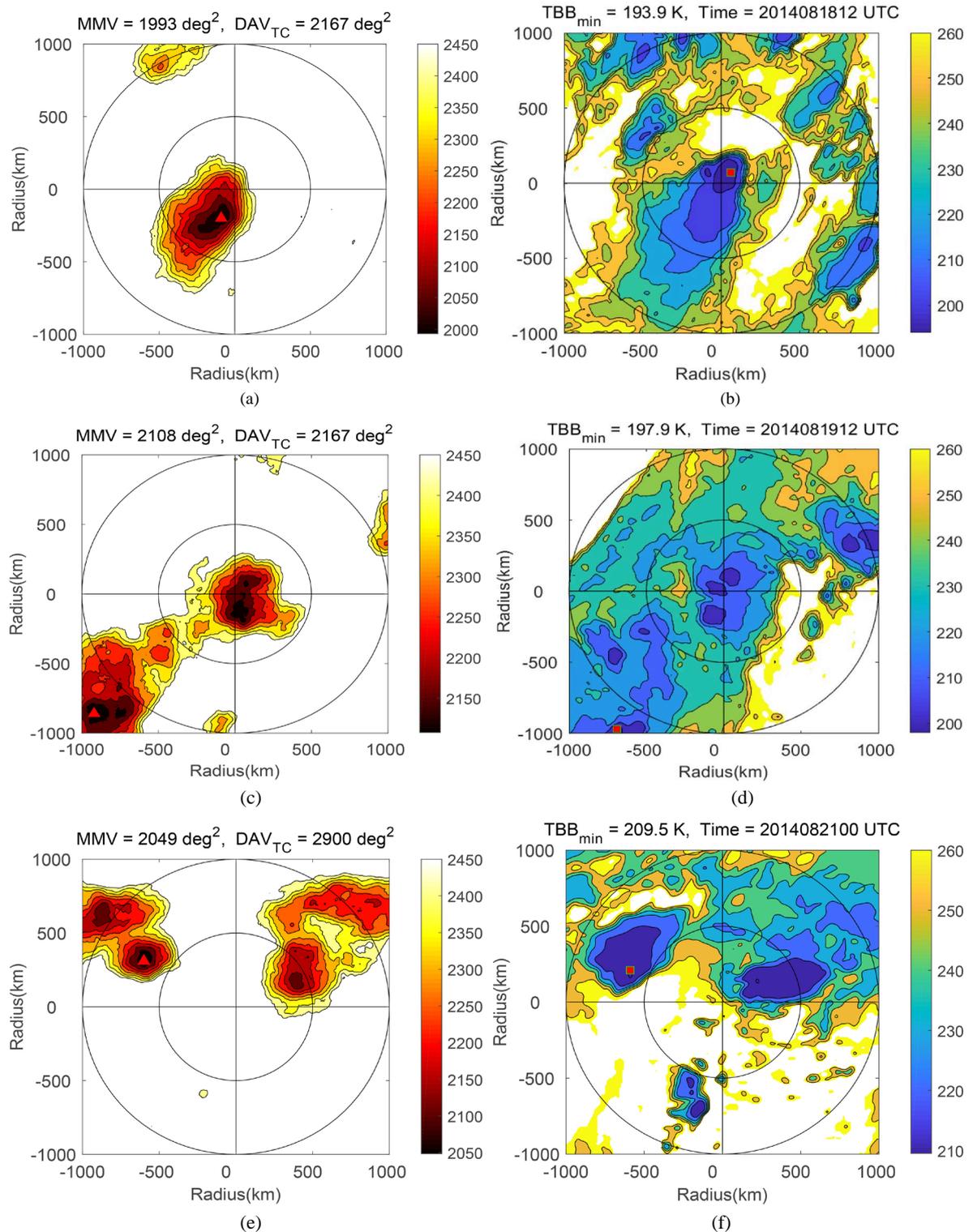




**Figure 3.** Comparisons of DAV distributions (left volume) and IR images (right volume) for tropical storm Habits (1407) at the development period (top row, UTC 18:00 14June), the maintaining period (middle row, UTC 12:00 16June), and the dissipating period (bottom row, UTC 00:00 19June). “▲” represents the MMV location; “■” represents the minimum TBB  
**图 3.** 热带风暴海贝思(1407)登陆发展期(14 日 18 时, 上行)、东移维持期(16 日 12 时, 中行)和系统消散期(19 日 00 时, 下行) DAV 分布图(左列)与红外云图(右列)的对比。其中坐标(0, 0)为 CMA-BST 资料记录的台风中心; “▲”为 MMV 所在位置。“■”为云团最低亮温值位置

从强热带风暴海贝思红外云图与 DAV 分布(图 3)可以看出, 在登陆发展期间, 系统向北移向我国大陆, 因此深对流云团主要集中在系统中心东西两侧, 其中东侧云团距中心较近(500 km 范围内), 以团状结构为主; 西侧云团为带状结构, 主体位置距中心 500~1000 km; 值得注意的是系统两块主体对流云团均呈现围绕中心的顺时针螺旋分布, 因此计算得到的 DAV 表现为一个近中心的低值团状中心, 以及东侧一个带状低值中心。此时, MMV 出现在近中心低值团状区域内, 量值为  $1704 \text{ deg}^2$ 。到 16 日 12 时, 台风东移出海, 此时由于前期地面摩擦影响, 系统内低于  $-40^\circ$  的深对流云团面积明显小于登陆前, 且分布也比较零散, 但可以看出这些深对流云团的整体分布仍然表现为环绕系统中心的分布特征, 因此计算得到的 DAV 仍然呈现团状结构, 且 MMV 量值为  $1793 \text{ deg}^2$ , 所在位置非常接近系统中心。到 19 日 00 时, 系统中心位置超过  $32^\circ\text{N}$ , 中纬度斜压环境影响下仅在系统东北象限距中心 500 km 以外区域存在深对流云团, 且表现为外扩式分布, 最低亮温也仅为 220.3 K, 明显弱于前期系统内的深对流强度。此时主要低值 DAV 区域的位置和形态也与深对流云区对应, MMV 位于云团最低量温位置附近, 量值为  $1960 \text{ deg}^2$ 。

比较上述三个时刻系统强度(图 1(d))及相应时刻云团和 DAV 分布可以看出, DAV 的形态特征取决于深对流云团的分布特征, 当深对流云团具有环绕某中心的特征时, DAV 低值区域表现为团状结构, 且 MMV 位置与其环流中心接近; 当深对流云团具有相对独立的结构分布时, DAV 低值区域的形态与深对流云团的形态特征相近, 且 MMV 位置由深对流云团亮温最低位置决定。同时, MMV 量值取决于深对流云团的轴对称化程度, 即当云团螺旋特征明显(发展期)或零散云图呈现环绕中心的分布(维持期)时, MMV 量值较低; 当云团主要为带状分布(消散期), MMV 量值较高。由此可以看出, DAV 分布及 MMV 的位置量值是由台风系统内的深对流云团的结构特征所决定的。为了考虑台风系统的轴对称程度, 本文利用 CMA-BST 资料信息, 计算了每个时刻台风中心位置的单点 DAV 量值, 即为图 4 左列中给出的  $\text{DAV}_{\text{TC}}$ , 从这三个时期典型时刻的量值来看, 台风中心位置的轴对称程度和 MMV 量值的偏差程度与 MMV 位置与台风环流的位置相关, MMV 位置越接近台风中心, 则两者越接近; 同时这三个时刻中 MMV 与台风强度的对应关系要好于  $\text{DAV}_{\text{TC}}$ 。



**Figure 4.** Same in Figure 3, but for the unnamed Typhoon in the South China Sea (NTU-15) at the development period (top row, UTC 12:00 18 August), the land falling period (middle row, UTC 12:00 19 August), and the dissipating period (bottom row, UTC 00:00 21 August). “▲” represents the MMV location; “■” represents the minimum TBB

**图 4.** 15 号南海未命名台风生成期(8 月 18 日 12 时, 上行)、登陆期(19 日 12 时, 中行)和消散期(21 日 00 时, 下行) DAV 分布图(左列)与红外云图(右列)的对比。其中坐标(0, 0)为 CMA-BST 资料记录的台风中心; “▲”为 MMV 所在位置。“■”为云团最低亮温值位置

与海贝思类似, NTU-15 在登陆发展期间, 系统向东北方向移向大陆, 虽然深对流云团在东北象限出现断裂, 整体结构还是维持环绕中心的螺旋状排列, 且近中心深对流云团发展旺盛, 最低亮温低至 193.9 K, 与海贝思初期对流强度相当, 因此 DAV 低值中心也位于系统中心附近, MMV 量值为  $1993 \text{ deg}^2$ 。到 19 日 12 时, NTU-15 主体区域位于大陆上, 虽然系统内深对流云团最低量温也达到 197.9 K, 深对流云团覆盖区域也较前一时刻大, 但是其形态特征上没有表现出轴对称结构, 因此 DAV 低值中心表现出与深对流云图一致的带状结构, MMV 值也高达  $2108 \text{ deg}^2$ , 且所在位置距系统中心接近 1000 km, 说明在大陆上深对流的轴对称特征非常不明显。到 21 日 00 时, 虽然系统经历二次登陆后再次出海, 深对流最低亮温仅为 209.5 K, 云团也主要集中在系统北部, 然而由于西北象限深对流云团的自组织性较强, 该处出现了达到  $2049 \text{ deg}^2$  的团状 DAV 低值中心。比较这个个个例三个时刻云团和 DAV 分布可以看出, DAV 的形态特征取决于深对流云团的分布特征, 当深对流云团具有环绕某中心的特征时, DAV 低值区域表现为团状结构, 且 MMV 位置与其环绕中心接近; 当深对流云团具有相对独立的结构分布时, DAV 低值区域的形态、MMV 量值大小取决于深对流云团的形态特征, 同时地形和纬度会通过影响深对流云团的强弱和分布来影响 MMV 量值和位置。结合这三个时期典型时刻的系统强度变化来看, NTU-15 的强度变化与  $\text{DAV}_{\text{TC}}$  的对应性更好。

## 5. 结论和展望

本文选取了 2014 年两个具有相似生成和移动过程的南海生成命名和南海生成未命名典型台风个例, 对其生成、成熟、消亡三个阶段的 DAV 分布特征进行分析, 通过比较 DAV 计算结果与最佳路径资料信息以及云图分布特点表明:

1) DAV 方法是对系统范围内深对流云团结构的对称化程度进行量化, 因此 DAV 的分布在台风系统的不同阶段具有不同的特征。当系统强度较低时, 系统涡旋环流对其内部深对流系统控制不强, DAV 值往往整体较高且低值区域的边缘不规则, 常常表现为带状分布特点; 而当台风强度较强时, DAV 则整体较低且低值区更加规则, 可近似看作为圆形分布。同时当深对流云团呈环状或螺旋状分布时, MMV 位置能够较好地指示环流中心所在, 同时其量值大小与强度变化呈现明显反比关系; 然而当系统云系出现明显非闭合特征时, MMV 所在位置总是趋向于局地对流最旺盛的区域, 这使得在 MMV 位置与台风路径产生较大偏差, 同时量值与强度的联系也不紧密。

2) MMV 的位置和量值与系统环流中心以及强度存在较好的相关关系, 尤其滤去高频变化后的 MMV 变化与系统强度变化趋势匹配度更高。比较两类个例发现, 系统强度越强、涡旋环流越明显, 对应性越好。需要注意的是, 由于南海生成台风靠近大陆且登陆非常迅速, 个例出现非对称结构的情况较多, 而当系统受到陆面或岛屿摩擦作用时, 非对称结构更加明显; 同时当系统移至较高纬度洋面后, 中纬度斜压环境也容易使得系统内深对流云图出现非对称分布。这些因素都会影响其结构与强度之间的关系。

综上, 南海台风由于其生成地域和活动范围的影响, 其强度变化不仅与深对流云团的轴对称程度密切相关, 也会由于地形、纬度的作用, 与深对流云团强度、覆盖面积、形态特征等因子有关。后期研究将利用长时间卫星观测资料, 统计分析深对流云团相关因子与强度的关系, 进一步提取南海台风强度监测的关键因子, 改进南海台风强度监测模型。此外, 需要说明的是, 在 DAV-T 的计算过程中, 计算半径的大小会影响热带气旋覆盖区域的划分, 进而会影响对称性程度的量化结果。因此, 下一步有必要在南海地区针对计算半径进行敏感性实验, 以确定适合于该区域的最佳计算参数。

## 基金项目

本文由国家自然科学基金面上项目(41275002)资助。

## 参考文献

- [1] 陈国民, 张喜平, 白莉娜, 等. 2016 年西北太平洋和南海热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 2018, 44(4): 116-123.
- [2] Spencer, R. and Braswell, W.D. (2001) Atlantic Tropical Cyclone Monitoring with AMSU-A: Estimation of Maximum Sustained Wind Speeds. *Monthly Weather Review*, **129**, 1518-1532.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129<1518:ATCMWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129<1518:ATCMWA>2.0.CO;2)
- [3] Dvorak, V.F. (1975) Tropical Cyclone Intensity Analysis and Forecasting from Satellite Imagery. *Monthly Weather Review*, **103**, 420-430. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1975\)103<0420:TCIAAF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1975)103<0420:TCIAAF>2.0.CO;2)
- [4] Dvorak, V.F. (1984) Tropical Cyclone Intensity Analysis Using Satellite Data. *NOAA Technical Report*, **11**, 6-25.
- [5] Velden, C.S., Olander, T.L. and Zehr, R.M. (1998) Development of an Objective Scheme to Estimate Tropical Cyclone Intensity from Digital Geostationary Satellite Infrared Imagery. *Weather Forecasting*, **13**, 172-186.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013<0172:DOAOST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013<0172:DOAOST>2.0.CO;2)
- [6] Olander, T.L. and Velden, C.S. (2007) The Advanced Dvorak Technique: Continued Development of an Objective Scheme to Estimate Tropical Cyclone Intensity Using Geostationary Infrared Satellite Imagery. *Weather Forecasting*, **22**, 287-298. <https://doi.org/10.1175/WAF975.1>
- [7] Pineros, M.F., Ritchie, E.A. and Tyo, J.S. (2008) Objective Measures of Tropical Cyclone Structure and Intensity Change from Remotely Sensed Infrared Image Data. *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, **46**, 3574-3580.  
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2000819>
- [8] Ritchie, E.A. (1999) Large-Scale Patterns Associated with Tropical Cyclogenesis in the Western Pacific. *Monthly Weather Review*, **127**, 2027-2043. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1999\)127<2027:LSPAWT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127<2027:LSPAWT>2.0.CO;2)
- [9] 鲁小琴, 雷小途, 余晖, 等. 基于卫星资料进行热带气旋强度客观估算[J]. 应用气象学报, 2014, 25(1): 52-58.
- [10] Yuan, M. and Zhong, W. (2019) Detecting Intensity Evolution of the Western North Pacific Super Typhoons in 2016 Using the Deviation Angle Variance Technique with FY Data. *Journal of Meteorological Research*, **33**, 104-114.  
<https://doi.org/10.1007/s13351-019-8064-7>

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)