

高拴柱, 吕心艳, 王海平, 等. 热带气旋莫兰蒂(1010)强度的观测研究和增强条件的诊断分析[J]. 气象, 2012, 38(7): 834-840.

# 热带气旋莫兰蒂(1010)强度的观测研究 和增强条件的诊断分析<sup>\*</sup>

高拴柱 吕心艳 王海平 许映龙

国家气象中心, 北京 100081

**提 要:** 热带气旋莫兰蒂(1010)进入台湾海峡后显著加强。本文普查了历史上在台湾海峡与“莫兰蒂”有相似路径的热带气旋, 其中几乎没有增强的热带气旋个例; 总结了“莫兰蒂”在台湾海峡活动时的强度变化, 指出在实时业务中国内外台风预报中心对于“莫兰蒂”强度的判定存在明显偏弱的现象。运用天气学和动力诊断方法, 分析了“莫兰蒂”在台湾海峡活动时热带气旋发展的基本条件, 结果发现: 台湾海峡区域有较高的海表温度、丰富的中低层水汽净流入、强烈的低层辐合和高层辐散、低层涡度净流入, 为“莫兰蒂”的发展提供了有利的动力和热力条件, 弱的环境风垂直切变又使其强度增长没有受到大的抑制作用。研究结果可为热带气旋强度或强度变化预报提供有意义的参考。

**关键词:** “莫兰蒂”, 热带气旋强度, 强度变化, 诊断分析

## An Observational and Diagnostic Analysis on the Intensity and Intensity Changes of Typhoon Meranti (1010)

GAO Shuanzhu LÜ Xinyan WANG Haiping XU Yinglong

National Meteorological Centre, Beijing 100081

**Abstract:** Typhoon Meranti intensified significantly after moving into the Taiwan Straits. This paper performed a survey on the intensity change of tropical cyclones with a similar track to Meranti in history and found that almost no TCs intensified. The process of the intensity change of Meranti in the Taiwan Straits is analyzed. We find that the intensity estimates provided by many typhoon forecast centers in operation are weaker than observations greatly. By using synoptic and dynamic diagnosis, we analyze the basic environment conditions of the tropical cyclone's development when Meranti moves into the Taiwan Straits and find that the high SST in the Taiwan Straits, the abundant water vapor transport in lower and middle levels, the strong low-level convergence and upper-level divergence, and the intense low-level positive vorticity transport provides the favorable dynamic and thermodynamic conditions for the intensification of Meranti, and the weak vertical environmental wind shear cannot inhibit the development of Meranti. These results may turn out to be meaningful references for operational TC intensity forecast.

**Key words:** Meranti, tropical cyclone intensity, intensity change, diagnostic analysis

## 引 言

随着对热带气旋运动的物理过程和机制的不断

认识<sup>[1-2]</sup>以及气象观测技术和动力模式能力的提高, 过去 30 多年中, 对热带气旋运动的预报能力有了长足的发展, 预报精度越来越高<sup>[3]</sup>。比较而言, 热带气旋强度预报的进展非常有限, 各台风预报中心仍然

\* 国家自然科学基金项目(40905028 和 40975035)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006008)和中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2011-058)共同资助

2011 年 12 月 8 日收稿; 2012 年 3 月 1 日收修定稿

第一作者: 高拴柱, 主要从事台风方面的研究和预报工作. Email: gaosz@cma.gov.cn

把统计预报模式作为热带气旋强度预报的主要手段<sup>[4-7]</sup>,表明了热带气旋强度和强度变化的复杂性<sup>[8-9]</sup>。热带气旋强度预报是热带气旋科学研究和业务预报人员共同面对的一个挑战性工作。

观测事实表明,台风在接近登陆的时候大多会减弱,但也有台风在登陆之前显著加强,这种情况往往会由于来不及防范而造成严重灾害。“莫兰蒂”是2010年9月在我国台湾以南海面上生成的热带气旋,它经南海东北部进入台湾海峡后一路北上,最后在福建省东部沿海登陆后迅速减弱。“莫兰蒂”的一个显著特点是,在其登陆前,强度发生了明显的增强,不仅使前期的强度预报有所失误,而且实时的强度估测都比地面观测到的风速偏小。为了更好地了解热带气旋近海加强的可能原因和条件,本文将对“莫兰蒂”在台湾海峡加强过程中的环境特征和下垫面条件做深入的分析。

## 1 资料

(1)中国气象局中央气象台(NMC)、日本气象厅(JMA)、美国联合台风警报中心(JTWC)和中国台湾气象局(TWB)实时业务发布的“莫兰蒂”(1010)的综合强度资料;(2)上海台风研究所提供的“莫兰蒂”(1010)最佳台风路径和强度资料;(3)福建省厦门市多普勒雷达径向风速资料;(4)福建省泉州市惠安的大坠岛(24°49′49″N、118°46′17″E)和晋江的深沪(24°38′01″N、118°41′01″E)自动观测站10 m风;(5)美国国家环境预报中心(NCEP)全球预报系统(GFS)每6 h的最后分析风场、相对湿度等资料(分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ );(6)NOAA提供的逐日海温资料(分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ )。

## 2 台风莫兰蒂概况

据中央气象台监测,“莫兰蒂”(1010)于2010年9月8日05时(北京时,下文中若无特殊说明皆为北京时)在我国台湾省恒春半岛鹅銮鼻南偏东大约95 km的海面上生成(图1)。8日12时,“莫兰蒂”进入南海东北部,8日下午到夜间在南海东北部徘徊少动,并逆时针方向转了一小圈,在此期间强度变化不大。9日上午“莫兰蒂”开始转向偏北方向移动,强度逐渐增强。9日14时加强为强热带风暴,9

日午夜在距离福建省石狮市沿海约40 km的近海海面上加强为台风。10日03时30分前后在福建省中部沿海登陆,登陆时中心附近最大风力有12级( $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),中心最低气压为975 hPa。登陆后继续向偏北方向移动,强度逐渐减弱。10日08和14时分别在福建省仙游县和古田县减弱为强热带风暴和热带风暴,19时前后“莫兰蒂”从福建省政和县进入浙江省庆元县境内,并减弱为热带低压,最后消失。“莫兰蒂”在登陆前加强,是它的一个显著特点(图2)。

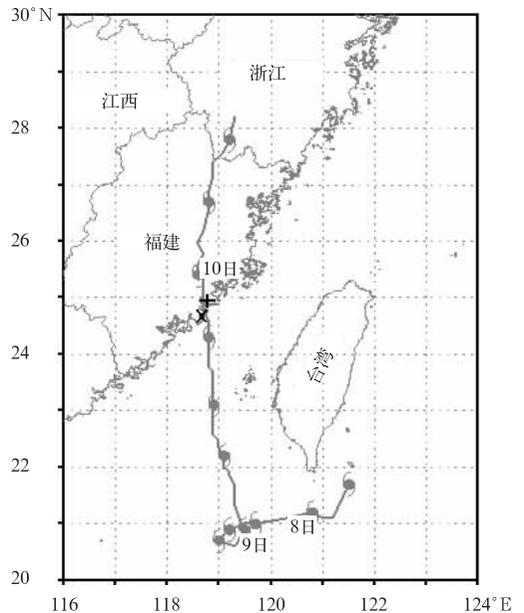


图1 莫兰蒂台风监测路径

(“+”和“×”分别为大坠岛和深沪自动观测站)

Fig. 1 Track of Typhoon Meranti (1010)

[Symbols “+” and “×” are the positions of automatic weather stations (AWS)

Dazhu Dao and Shenhu, respectively]

在“莫兰蒂”登陆前,厦门多普勒雷达每6 min雷达图像显示有清晰的眼区,多次发现大于 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的径向风速。临近登陆前1~2小时,地面自动站从10日02时10分(北京时)开始在福建中部沿海出现 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上平均风(图2),登陆前10 min左右福建省泉州市的一个岛屿站(大坠岛)出现了 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的平均风,“莫兰蒂”中心擦过的晋江深沪站也观测到了 $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风。这些观测分析表明“莫兰蒂”的最大强度在 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或以上。比中央气象台和国内外其他台风预报中心的强度估计还要强(图2)。莫兰蒂在台湾海峡的突然加强是一个很值得研究的课题。

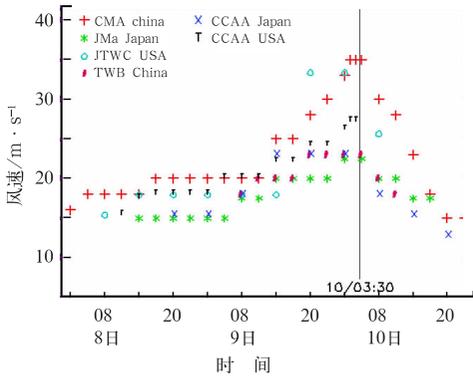


图 2 国内外台风预报中心实时发布的“莫兰蒂”综合强度和卫星估测强度演变, 标有 10/03:30 的竖线为登陆时间点

(+ 中国气象局中央气象台 CMA,  
\* 日本气象厅 JMA,  
o 美国联合台风警报中心 JTWC,  
x 中国台湾气象局 TWB,  
X 日本卫星定位, T 美国卫星定位)

Fig. 2 The variation of the operational intensity provided by the typhoon forecast centers (NMC/CMA, JMA, JTWC and TWB China), landfall time is marked by the line at 03:30 Z 10 September 2010

### 3 热带气旋在台湾海峡强度变化的气候普查

通过对 1949—2010 年共 62 年间发生在西北太平洋和南海的热带气旋的普查发现:共有 15 个热带气旋由南海东北部或我国台湾南部海面进入台湾海峡,最后在我国大陆登陆。所有这 15 个热带气旋在进入台湾海峡后的 6~18 小时内登陆,除 1010 号莫兰蒂外,其他只有 1958 年的 13 号热带气旋和 0208 号台风登陆前在台湾海峡内有所加强,但是持续增强且增强幅度较大的只有本文讨论的“莫兰蒂”台风。另外 12 个全部都是先维持进入台湾海峡前的强度,然后在登陆前开始减弱。莫兰蒂在海峡突然加强的原因需要从环境条件和动力学方面进行分析和研究。下一节将从下垫面海温条件和天气尺度的低层水汽辐合、高低层空气质量的流出和流入、气旋区域内涡度净流入等几个方面对引起“莫兰蒂”增强的背景条件进行分析。

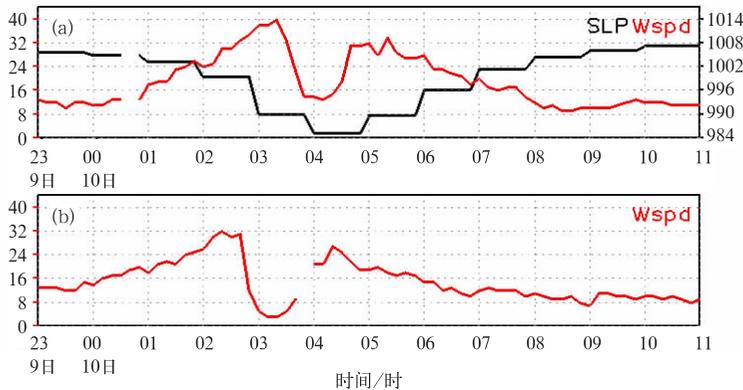


图 3 2010 年 9 月 9 日 23 时至 10 日 11 时福建省泉州市的惠安大坠岛 (a) 和晋江深沪 (b) 自动观测站测得的 10 m 风的时间演变图

(横坐标:时;左侧纵坐标:风速,灰线,单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;右侧纵坐标:海平面气压,黑线,单位:hPa)

Fig. 3 Variations of 10 m wind observed by AWS Dazhuidao (a) and Shenhui (b) in Fujian Province during 23 BT 9 September—11 BT 10 September 2010

(Gray line: wind speed, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , denoted by y coordinate on the left;

Black line: sea level pressure, unit: hPa, denoted by y coordinate on the right)

## 4 影响“莫兰蒂”强度的环境背景条件分析

### 4.1 台湾海峡高海温满足“莫兰蒂”加强的下垫面条件

热带气旋的发生、发展需要不断地从暖海表面

获取能量,在海面温度高于  $26.5^{\circ}\text{C}$  时才可以进行<sup>[10-11]</sup>,表明海面温度与热带气旋的强度关系密切。对 NOAA 提供的分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  逐日海温资料的分析表明,9 日台湾海峡海面温度都在  $26.5^{\circ}\text{C}$  以上(图略),满足“莫兰蒂”发展的基本条件。

### 4.2 有利的环境风垂直切变

环境风垂直切变 (vertical wind shear, VWS)

是热带气旋强度变化的重要环境条件之一。大的VWS抑制或破坏热带气旋的发展,并可能使热带气旋的强度减弱<sup>[10-11]</sup>。环境风垂直切变可使热带气旋的中心出现倾斜现象,正压结构遭到破坏,切变越大,破坏程度就越大,较小的环境风垂直切变,是热带气旋加强的有利因素<sup>[12]</sup>。

观测研究认为,影响热带气旋发展的VWS阈值在 $7\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,在大西洋的阈值稍小,在西北太平洋的阈值稍大<sup>[13]</sup>。Wong等<sup>[14]</sup>通过数值模拟试验证实:当VWS大于 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,热带气旋明显减弱。对于直径较小的热带气旋, $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的VWS都可以使其强度明显减弱,而在VWS小至 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时才可能不对强度的发展产生明显的抑制作用。

使用NCEP/NCAR全球模式 $1^\circ\times 1^\circ$ 经纬格点的、6小时间隔的再分析资料,以距热带气旋中心 $200\sim 800\text{ km}$ 圆环中风的平均值作为热带气旋在该层次的环境风,200和850 hPa环境风的矢量差代表深层大气的环境风垂直切变<sup>[5]</sup>。同时计算了200和500 hPa、500和850 hPa环境风的矢量差,分别代表高层大气、低层大气的环境风垂直切变。结果显示,在“莫兰蒂”的生命史中,环境风的深层、高层和低层的垂直切变都在 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,其中高层和低层的切变明显小于深层的切变。尤其是当“莫兰蒂”9日进入台湾海峡后,深层和高层的切变一般在 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,低层的切变更是小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图4)。表明:“莫兰蒂”处于环境风垂直切变足够小,几乎没有可能阻止或破坏其强度发展的大气中,对于“莫兰蒂”的发展是非常有利的。这与Gallina等<sup>[13]</sup>和Wong等<sup>[14]</sup>的研究结果基本一致。

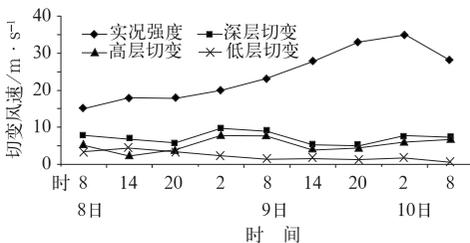


图4 2010年9月8日08时至10日08时,“莫兰蒂”强度与环境风垂直切变的时间演变图

Fig. 4 Variations of the intensity of Meranti and corresponding environmental vertical wind shear during 08 BT

8 September to 08 BT 10 September 2010

#### 4.3 正水汽净流入与“莫兰蒂”强度的时间变化

热带气旋生成和发展的一个重要条件是对流层低层的水汽供应。当对流层低层水汽供应充足并伴有上升运动时,暖湿的空气在热带气旋的上升运动中释放潜热,为热带气旋发生、发展提供能量,从而使热带气旋得以加强。

一般而言,热带气旋中水汽丰富、风速又大,常常可以看到非常大的水汽通量值(图5a)和大的水汽通量散度(图5b)。但是这种现象即可能出现在正在加强或强度维持的台风中,也可能出现在衰弱期的台风中,而且这些量在热带气旋中的分布很不均匀,所以难以确定水汽是流入还是流出热带气旋区域中,不容易辨别它们对热带气旋发展的总体效果。为此,设计以热带气旋中心为中心, $4\times 4$ 经(纬)度正方形方框(如图5b中的粗虚线框),分别利用公式:

$$\begin{aligned} q_e &= -\frac{1}{g}qu \\ q_s &= \frac{1}{g}qv \\ q_w &= \frac{1}{g}qu \\ q_n &= -\frac{1}{g}qv \end{aligned} \quad (1)$$

计算单位时间、每个气压层通过东、南、西和北四边流入台风区域内的水汽量,它们的算术和( $q_e + q_s + q_w + q_n$ )为单位时间内台风在该层收到的水汽增加量,即水汽净流入。可以看到,水汽净流入大的区域主要在对流层低层;对流层中层表现为净流入,但是数值上明显小于低层(图略)。为了能够反映水汽净流入与“莫兰蒂”强度和强度变化的总体效应,对中低层水汽净流入进行垂直积分(地表至300 hPa)作为台风内的总水汽净流入量,分析它们与“莫兰蒂”强度和强度变化(图6)之间的关系。

8日08时至9日08时总的水汽净流入增大,“莫兰蒂”强度同时增强,之后到10日02时,总的水汽净流入减少,但为正的净流入,“莫兰蒂”仍在增强,“莫兰蒂”的最大强度较总水汽净流入最大值落后约18个小时;而“莫兰蒂”的强度变化与总水汽净流入有近似一致的关系:当水汽净流入增加时,“莫拉蒂”增强明显;当水汽净流入减少时,“莫兰蒂”增强的幅度减小,甚至减弱(图6)。表明总水汽净流入的大小与“莫兰蒂”的强度变化有明显的对应关系,而与强度本身的大小的关系不一定很重要。

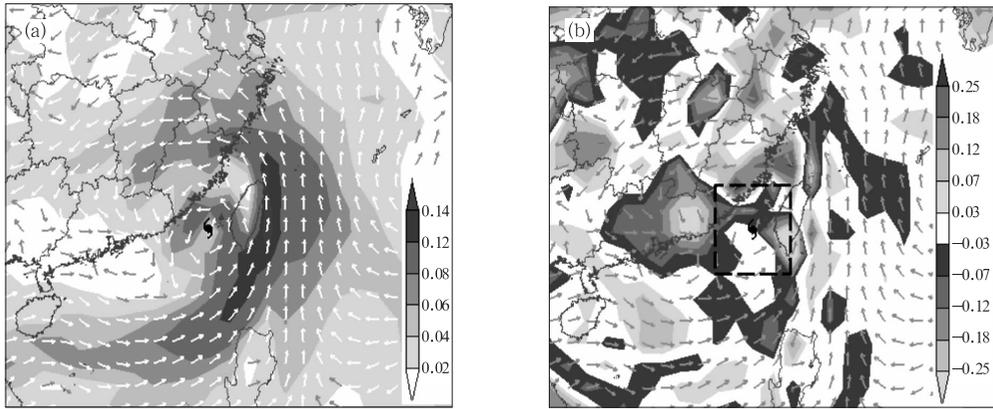


图5 2010年9月9日20时850 hPa (a) 水汽通量 (单位:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  
(b) 水汽通量散度 (单位:  $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
(箭矢表示风矢量方向, “☯”指“莫兰蒂”中心位置)  
Fig.5 Water vapor flux (a, unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and the divergence  
of water vapor flux (b, unit:  $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
as well as the wind vector at 850 hPa at 20 BT 9 September 2010  
(Arrows denotes the direction of vector of wind,  
and the typhoon symbol denotes the center of Meranti)

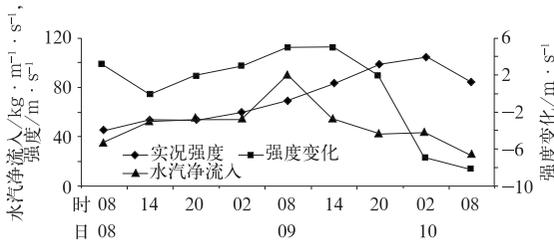


图6 以“莫兰蒂”中心为中心,  $4 \times 4$  经(纬)度方框、  
垂直方向从地表到 300 hPa 积分的总水汽净流入  
与“莫兰蒂”强度和强度变化的时间演变图  
Fig.6 Variation of net water vapor inflow  
(square-solid, unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
denoted by y-coordinate on the left) in the  
column integrated from surface to 300 hPa  
in the square of  $4 \times 4$  centered at TC Meranti  
in comparison to the intensity (rhomboidal-solid,  
 $1/3 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , denoted by y-coordinate on the left)  
and 6 h intensity change (triangular-solid,  
unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , denoted by y-coordinate  
on the right) of TC Meranti

#### 4.4 强烈的低层辐合和高层辐散

低层辐合和高层辐散是热带气旋发生、发展必不可少的动力条件。当低层和高层分别满足辐合和辐散条件时,可以促使大气上升运动的发展,低层高湿空气在上升运动中水汽发生凝结,释放出大量的

潜热,为热带气旋的进一步发展提供能量。一般而言,对流层低层辐合偏大,对流层高层的辐散偏大,对流层中层的辐合和辐散不甚明显(图略)。

为了能够直观地反映台风区域内总辐合和总辐散的状况,仿照水汽净流入的求算方法,利用公式:

$$\begin{aligned} \text{con}_e &= -\frac{1}{g}u, \text{con}_s = \frac{1}{g}v \\ \text{con}_w &= \frac{1}{g}u, \text{con}_n = -\frac{1}{g}v \end{aligned} \quad (2)$$

计算单位时间内、每一个气压层通过东、南、西和北四边流入的、以“莫兰蒂”中心为中心的  $4 \times 4$  经(纬)度方框的质量流量,它们的算术和为单位时间内台风在该层增加的空气质量数,即质量净流入;低层质量流入(垂直方向从地表至 900 hPa 积分)量和高层质量流出(垂直方向从 300~150 hPa 积分)量,分别表示“莫兰蒂”区域内低层辐合和高层辐散的状况。发现对流层高层的质量净流出与“莫兰蒂”强度变化有很好的对应关系:当高层质量净流出较大时,对应“莫兰蒂”的增强较快;当高空质量净流出减小时,“莫兰蒂”的增强速率减慢,直至其开始减弱(图7)。9日08时之前,低层辐合的大小与“莫兰蒂”增强的速率关系明显,即当质量净流入大时“莫兰蒂”增强也快(图7),但是之后的关系不甚明显,主要是14时的低层质量净流入值太小,可能是资料问题或是低层对于热带气旋强度变化作用的复杂性所致。

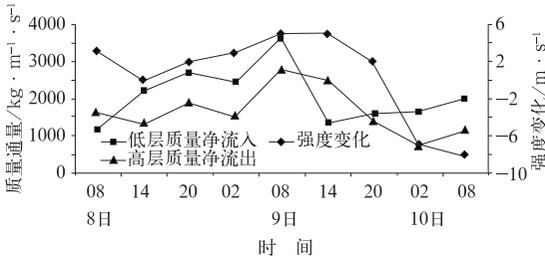


图 7 以“莫兰蒂”中心为中心,4×4 经纬度方框高层质量净流出(左侧纵坐标,垂直方向 300~150 hPa 积分,单位:kg·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>)、低层质量净流入(左侧纵坐标,垂直方向地表至 900 hPa 积分,单位:kg·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>)与“莫兰蒂”强度变化(右侧纵坐标,单位:m·s<sup>-1</sup>)时间演变图

Fig. 7 Variation of net mass outflow (triangular-solid, unit: kg·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>, denoted by y-coordinate on the left) integrated in the column between 300–150 hPa and net mass inflow (square-solid, unit: kg·m<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>) integrated in the column between surface–900 hPa in the square of 4×4 centered at TC Meranti in comparison to the intensity change (rhomboidal-solid, unit: m·s<sup>-1</sup>, denoted by y-coordinate on the right) of TC Meranti

#### 4.5 气旋性涡度净流入与“莫兰蒂”强度时间变化

热带气旋是绕中心快速旋转的涡旋系统,系统的旋转程度又可用涡度来表示。当快速旋转时,涡度的值也大,热带气旋的强度也大;当旋转较慢时,

涡度的值也小,热带气旋的强度也小,在一定程度上,涡度的变化可以表征强度的变化。

在台风外围,来自南海的偏西气流,越赤道气流和北侧偏北气流汇合(图 8a),在台风低压西南侧是显著的正涡度区域;台风倒槽附近也存在明显的正涡度区;另外,副热带高压西侧偏南气流和越赤道气流汇合,在台风低压东端亦有较为显著的正涡度区域。在台风低压环境下,外围的正涡度绕着台风低压气旋性旋转、并不断向中心集中(图 8b),引起了中、低层涡度的增长。为了定量计算台风中心附近涡度的变化,本文计算了涡度净流入。

涡度净流入相当于外围环境向热带气旋区域输送增加的涡度值,当净流入为正值(正涡度向内流入或负涡度向外流出)时,涡旋系统的环流(即热带气旋)将增强;当净流入为负值(正涡度向外流出或负涡度向内流入)时,涡旋系统的环流将减弱。涡度净流入表示在闭合区域中涡度的聚集和消散。本文引用 Davis 等<sup>[15]</sup>区域涡度的变化公式,忽略了斜压项和摩擦项:

$$C = \oint \zeta \mathbf{v} \cdot \hat{n} dl \quad (3)$$

式中,C 为区域涡度净流入,ζ 为相对涡度,ν 为水平风, n̂ 为区域边界法线方向,积分区域为以台风中心为中心的 4×4 经纬度方框。而热带气旋涡度的增加和减小主要在低层,为此,计算 950~700 hPa 的涡度净流入的平均值,表征涡度净流入与强度变化的关系。结果发现,涡度净流入的变化与“莫兰蒂”的强度演变基本一致:当涡度净流入增大时,“莫兰蒂”强度增强迅速;当涡度净流入减小时,“莫兰蒂”强度维持或减弱(图 9)。

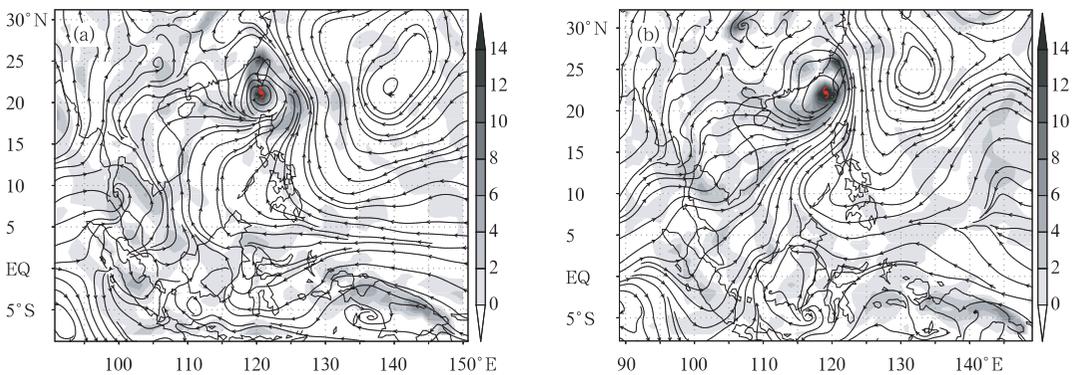


图 8 850 hPa 流场和涡度(阴影,单位:10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>)的分布 (a) 2010 年 9 月 8 日 08 时, (b) 2010 年 9 月 9 日 14 时

Fig. 8 The streamline and the distribution of vorticity at 850 hPa (shaded, unit: 10<sup>-5</sup> s<sup>-1</sup>) at (a) 08:00 BT 8 September 2010, and (b) 14:00 BT 9 September 2010

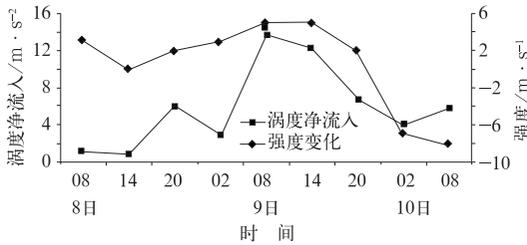


图 9 以“莫兰蒂”中心为中心,  $4 \times 4$  经(纬)度方框低层涡度净流入与“莫兰蒂”强度变化的时间演变图  
Fig. 9 Variation of net vorticity inflow (square-solid, unit:  $m \cdot s^{-2}$ , denoted by y-coordinate on the left) in the column integrated between 700 to 950 hPa in the square of  $4 \times 4$  centered at TC Meranti in comparison to the intensity change (rhomboidal-solid, unit:  $m \cdot s^{-1}$ , denoted by y-coordinate on the right) of TC Meranti

## 5 结论和讨论

台风莫兰蒂进入台湾海峡、直至在福建沿海登陆前,由热带风暴强度增强到台风级别,这种现象在历年台风活动中是少有的,造成了实时业务较大的强度预报误差。本文通过诊断分析研究了“莫兰蒂”加强的动力和热力条件,得到如下主要结论:

- (1) 台湾海峡海温大于  $26.5^{\circ}\text{C}$  的海面温度满足“莫兰蒂”发展加强的下垫面条件;
- (2) “莫兰蒂”在台湾海峡活动时,充足的水汽供应、强烈的低层辐合和高层辐散、低层气旋式涡度净流入等特征满足其加强的各种条件;
- (3) 整个过程中的环境风垂直切变不大,使“莫兰蒂”的发展没有受到明显的抑制作用。

由于海上资料的短缺和数值模式物理过程方面的误差,台风强度的数值预报能力还很低,目前业务部门主要以台风活动区域的环境背景条件为依据预报台风的强度变化,很可能在未来较长的一段时间内,难以完全脱离以统计学为主的预报方法。详细分析造成台风强度变化的关键影响因子对强度统计

预报方法有很重要的参考价值。另外,本文的研究还表明合理应用沿海密集的地面观测和多普勒雷达资料对于热带气旋的定强具有重要意义。

## 参考文献

- [1] Chan J C L. The physics of tropical cyclone motion[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2005, 37(1): 99-128.
- [2] 王斌, Russell L E, 王玉清, 等. 热带气旋运动的动力学研究进展[J]. 大气科学, 1998, 22: 535-547.
- [3] 汤杰, 陈国民, 余晖. 2010 年西北太平洋台风预报精度评定及分析[J]. 气象, 2011, 37(10): 1320-1328.
- [4] 林良勋, 梁巧倩, 黄忠. 华南近海急剧加强热带气旋及其环流综合分析[J]. 气象, 2006, 32(2): 14-18.
- [5] DeMaria M, Mainelli M, Shay L K, et al. Further improvements to the statistical hurricane intensity prediction scheme (SHIPS)[J]. Wea Forecasting, 2005, 20(4): 531-543.
- [6] 李勋, 李泽椿, 赵声蓉, 等. “浣熊”强度变化的环境背景和卫星观测分析[J]. 气象, 2009, 35(12): 21-29.
- [7] Knaff J A, Sampson C R, DeMaria M. An operational statistical typhoon intensity prediction scheme for the western north pacific[J]. Wea Forecasting, 2005, 20: 688-699.
- [8] 李杰, 蒋小平, 元慧慧, 等. 混合层深度对热带气旋强度的影响[J]. 气象, 2010, 36(4): 27-29.
- [9] 许映龙, 张玲, 高栓柱. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象, 2010, 36(7): 43-49.
- [10] Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms[J]. Mon Wea Rev, 1968, 96(10): 669-700.
- [11] Gray W M. Tropical Cyclone Genesis[J]. Dept of atmos sci paper No. 232, Colorado State University, Ft Collins, CO, 121, 1975.
- [12] Frank W M, Ritchie E A. Effects of vertical wind shear on the intensity and structure of numerically simulated hurricanes[J]. Mon Wea Rev, 2001, 129(9): 2249-2269.
- [13] Gallina G M, Velden C S. Environmental vertical wind shear and tropical cyclone intensity change utilizing enhanced satellite derived wind information[M]. Extended Abstracts, 25th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, San Diego: Amer Meteor Soc, 2002: 172-173.
- [14] Wong M L, Chan J C L. Tropical cyclone intensity in vertical wind shear[J]. J Atmos Sci, 2004, 61: 1859-1876.
- [15] Davis C A, Galarrneau T J. The vertical structure of mesoscale convective vortices[J]. J Atmos Sci, 2009, 66(3): 686-704.