

“莫兰蒂”台风暴雨的湿 Q 矢量和垂直螺旋度分析

韩芙蓉, 鹿翔, 梁亮

(金华市气象局, 浙江 金华 321000)

摘 要: 利用NCEP FNL再分析资料和中国自动站与CMORPH融合降水资料对1614号台风“莫兰蒂”进行了非地转湿 Q 矢量和垂直螺旋度诊断分析。对比非地转湿 Q 矢量散度和垂直螺旋度的三维结构可见,低层正垂直螺旋度与台风移动和强度变化相对应,可作为台风演变的动力因子。而综合考虑了动力和热力作用的非地转湿 Q 矢量在台风暴雨预报中作用更突出,其中低层700 hPa上的非地转湿 Q 矢量散度辐合值大于 $20 \times 10^{-16} / (\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 可作为台风暴雨落区和强度预报的重要参考量,其所对应的辐合区变化与台风暴雨落区变化有较好的对应关系,此外,湿 Q 矢量散度的三维结构反映了台风内部存在明显的中尺度对流系统,中尺度对流云团不断生消使得台风暴雨维持。

关键词: 超强台风;台风暴雨;湿 Q 矢量;垂直螺旋度

中图分类号: P458 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)01-0067-08

1 引言

台风一直是我国沿海最严重的天气现象之一,每年影响我国的台风数量较多。台风灾害主要由台风大风、台风暴雨和风暴潮造成^[1],其中最为常见的台风暴雨是我国东南沿海及部分内陆地区的极端强降水事件之一^[2]。而台风引起的特大暴雨经常发生在浙江东南沿海地区^[3-5]。

近年来国内外对于台风暴雨的物理机制进行了很多相关研究,发现台风自身的强度和结构、山脉地形、海岸线分布、下垫面湿度、高低空环境气流等都是影响台风降水的重要因素^[6]。尽管台风暴雨前期研究取得了一定的进展,但目前台风暴雨仍是台风灾害性天气研究领域的重要科学问题。19世纪80年代开始, Q 矢量开始应用于研究暴雨。Hoskins等^[7]首先推导出适用于整个对流层的完全准地转 Q 矢量方程,用 Q 矢量来描述大气中的上升和下沉运动。后来学者们在准地转 Q 矢量研究的基础上,改进方法后利用非地转湿 Q 矢量诊断台风暴雨以及其它强降水过程,其中张兴旺^[8]用P坐标系中

的非地转湿 Q 矢量对华南一次暴雨过程进行了诊断分析。姚秀萍等^[9]利用非地转湿 Q 矢量对一次台风暴雨过程进行了诊断,指出其能较好预报未来降水落区。杨宇红等^[10]和郑沛群等^[11]利用非地转湿 Q 矢量分别研究台风“碧利斯”和台风“海棠”特大暴雨,前者指出暴雨落区位于对流层低层湿 Q 矢量散度辐合、辐散交界处,后者指出特大暴雨位于低层强烈辐合区,相同的是两者均指出湿 Q 矢量散度辐合区的演变可以指示和预报未来强降水的强度和移动趋势。此外,由于台风本身具有较强的螺旋性,螺旋度在台风、台风大风以及台风暴雨等研究中应用较广,其中垂直螺旋度更是成为研究台风暴雨等灾害性天气的重要物理量^[12]。

1614号超强台风“莫兰蒂”是2016年全球海域生成的最强台风,也是建国以来影响闽南地区的最强台风,其具有强风持续时间长,降水强度大、影响范围广等特点,给我国华东和华南地区同时带来了强风雨灾害。本文选取超强台风“莫兰蒂”作为研究对象,利用观测资料和再分析资料,在对其进行环流特征分析的基础上,着重分析非地转湿 Q 矢量

收稿日期: 2018-12-28; 修回日期: 2019-05-16。

基金项目: 金华市科学技术研究计划公益类项目(2017-4-002)。

作者简介: 韩芙蓉(1990-),女,工程师,硕士,主要从事中尺度气象学等研究。E-mail: hibiscus_han@sina.com

和垂直螺旋度三维结构特征,以了解“莫兰蒂”台风暴雨产生的原因,为诊断台风暴雨灾害性天气提供参考,也为沿海地区台汛期的防灾减灾工作提供有利支持。

2 资料 and 个例介绍

本文采用的资料主要包括:NCEP(National Center for Environmental Prediction,美国国家环境预报中心)FNL(Final Analysis) $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐6 h全球再分析资料;中国自动站与CMORPH(The Climate Precipitation Center Morphing Method)融合的 $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$ 逐时降水资料;中国气象局台风路径数据资料。

台风“莫兰蒂”于2016年9月10日14时(北京时间,下同)在菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成,以20~25 km/h的速度稳定向西偏北方向移动,路径较为稳定。“莫兰蒂”登陆前就已达到了超强台风级别,是建国以来登陆闽南的最强台风。根据于玉斌等^[13-14]对台风急剧增强和急剧减弱的划分标准,计算台风中心海平面最低气压6 h变压和台风近中心地面最大风速6 h风速变化,可知“莫兰蒂”在其发展演变过程中经历了急剧增强阶段(12日08—14时)和急剧减弱阶段(15日02—14时)。急剧增强阶段“莫兰蒂”近中心最大风速由28 m/s增加到62 m/s。台风高强度维持阶段,“莫兰蒂”近中心最大风速达70 m/s,中心气压900 hPa(见图1a)。以台风中心为中心点的 $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ 区域内的环境风垂直切变(850 hPa和200 hPa的纬向风速差,Vertical Wind Shear,

VWS)的区域平均值都小于4 m/s(见图1b),可见上下层空气相对运动很小,水汽凝结所释放的潜热能集中保存在小范围里,有利于能量的聚集和强度的维持。

“莫兰蒂”给所经之地带来了大风和强降水天气,受灾地区经济损失严重。其中15日凌晨在福建厦门登陆,给厦门、泉州等地带来12级以上阵风。14日08时到16日08时江苏南部、浙江和福建大部分地区48 h累计降水量超过100 mm,过程降水量由沿海向内陆递减,其中江苏、福建和浙江沿海等地出现暴雨或大暴雨(见图1c)。

3 环流形势分析

从环流形势场上看,台风移动路径总体较规则,主要受副高南侧偏东气流引导不断向大陆移动。在台风登陆前(见图2a),整个华南地区均由强大的副热带高压控制,“莫兰蒂”自身也发展强盛,此时强烈发展的台风与副高的相互作用明显,副高几乎将台风整个包围起来。台风登陆时(见图2b),副高分裂成两部分,副高主体明显东退,同时西风槽有所东移发展,台风外围环流与副高南侧的偏东气流相互加强,给登陆地区带来了大风和台风暴雨天气。

一般情况下,台风登陆后其强度和吸附水汽能力会迅速减弱,而对比登陆前后台风“莫兰蒂”的自身强度和其水汽吸附能力可以看出,与登陆前相比,“莫兰蒂”登陆时的强度显著减弱,但吸附水汽的能力仍较强,这是由于15日08时1616号台风“马

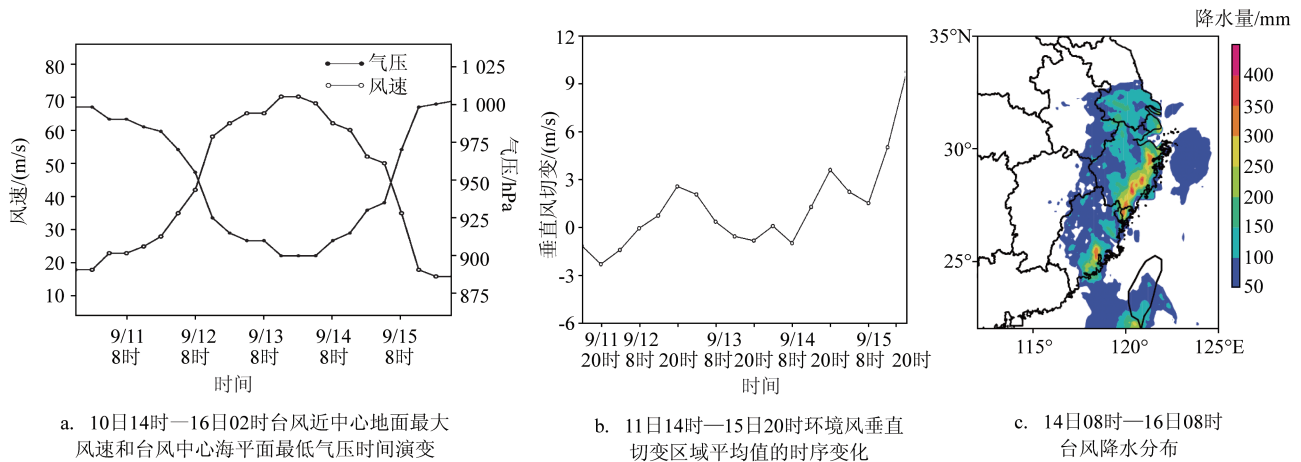


图1 “莫兰蒂”台风的强度演变及其降水分布特征

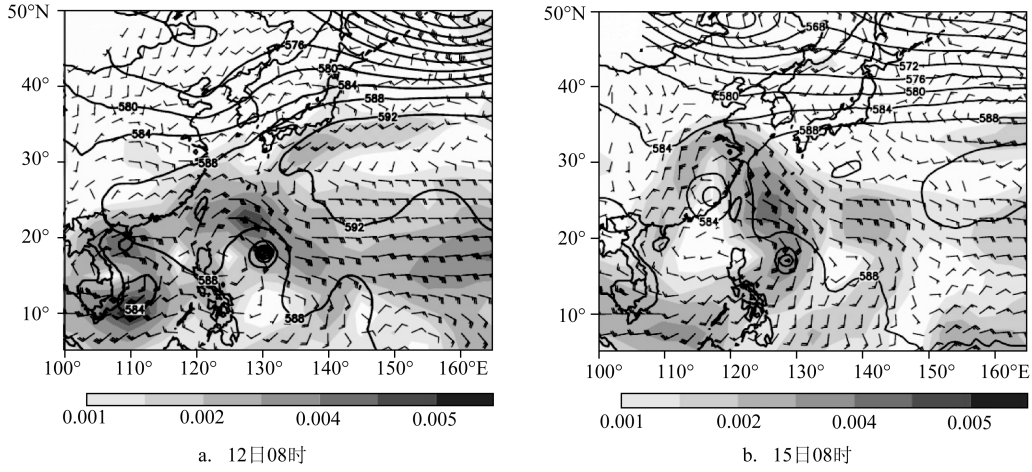


图2 500 hPa 位势高度场(实线,单位:位势米)、925 hPa 风场与 925 hPa 水汽通量分布(阴影,单位: $\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}\cdot\text{s})$)

勒卡”已在西太平洋洋面上生成并发展,此时水汽输送大值区正是1616号台风“马勒卡”与副热带高压相互影响区域的左前方,水汽通量中心强度达到 $4\times 10^{-3}\text{ g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}\cdot\text{s})$ 以上。“马勒卡”生成后虽未对“莫兰蒂”移动和强度产生直接影响,但在“马勒卡”台风外围气流和副热带高压的共同作用下强水汽通道维持时间较长,可见“马勒卡”台风的存在一定程度上加强了水汽向陆地的输送,为登陆时浙闽沿海台风暴雨的产生提供了充足的水汽条件。

4 非地转湿 Q 矢量分析

4.1 非地转湿 Q 矢量物理意义和表达式

本文计算使用的是张兴旺^[8]推导出的非地转湿 Q 矢量(文中也简称为湿 Q 矢量), $Q=(Q_x, Q_y)$,考虑了水汽凝结的非绝热加热作用,由准静力、无粘性摩擦、 f 平面的 P 坐标系原始方程组推导得到。

$$\begin{cases} Q_x = \frac{1}{2} \left[f \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - h \cdot \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial x} \cdot \nabla \theta - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{LR\omega}{C_p \cdot P} \frac{\partial q_s}{\partial p} \right) \right] \\ Q_y = \frac{1}{2} \left[f \left(\frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - h \cdot \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial y} \cdot \nabla \theta - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{LR\omega}{C_p \cdot P} \frac{\partial q_s}{\partial p} \right) \right] \end{cases} \quad (1)$$

式中: $h = \frac{R}{P} \left(\frac{P}{1000} \right)^{R/C_p}$, L 为凝结潜热, q_s 为饱和比湿, \mathbf{V} 和 $\nabla \theta$ 均为三维矢量。

用非地转湿 Q 矢量表示的 ω 方程为: $\nabla^2(\sigma\omega) + f^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial p^2} = -2\nabla \cdot \mathbf{Q}$ 。

由上可见非地转湿 Q 矢量包含了大气中的动力学和热力学信息,且 $\nabla \cdot \mathbf{Q} \propto \omega$,即可以用非地转湿 Q 矢量散度来诊断垂直运动, $\nabla \cdot \mathbf{Q}$ 与 ω 之间的关系为: $\nabla \cdot \mathbf{Q} < 0, \omega < 0$,上升运动; $\nabla \cdot \mathbf{Q} > 0, \omega > 0$,下沉运动。

4.2 非地转湿 Q 矢量散度的水平分布

台风不仅涡旋性运动显著,携带和吸附水汽的能力也较强,一般会经所经之地及周边地区带来强降水天气,产生台风降水后水汽的热力作用不可忽视,故首先利用综合考虑了动力和热力作用的非地转湿 Q 矢量来诊断台风降水。

以往学者用非地转湿 Q 矢量散度诊断台风降水时发现,低层等压面上的湿 Q 矢量散度辐合区变化与台风降水落区及其强度变化有一定的对应关系^[15],故重点对比分析了台风影响时段低层各个等

压面上的湿 Q 矢量散度变化与台风降水过程的关系。从各层湿 Q 矢量散度场和降水量场的水平分布可见,700 hPa 湿 Q 矢量散度场辐合区的变化与台风移动路径基本一致。如图3所示,14日08时台风降水落区主要在台湾岛和菲律宾之间,与此对应台湾岛和菲律宾之间存在湿 Q 矢量辐合值大于 $20 \times 10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 的区域,强度分布和范围大小与降水的强弱和落区相对应。随着台风的移动和发展,台风登陆后700 hPa 等压面上的湿 Q 矢量辐合区位于福建中南部和浙闽交界处,辐合极大值达到 $70 \times 10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 以上,与其对应区域的1 h降水量达40 mm以上。在台风向东北方向移动并不断减弱的过程中,湿 Q 矢量散度辐合值也有所减弱,与降水落区同时移动到江浙交界,此时降水落区处的湿 Q 矢量辐合值大于 $30 \times 10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 。可以说700 hPa 上湿 Q 矢量散度场不仅很好的揭示1614号台风“莫兰蒂”的移动路径,也反映了台风降水落区和降水强度的变化趋势。且700 hPa 上湿 Q 矢量散度辐合值达到

$20 \times 10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 及以上的辐合区与“莫兰蒂”台风降水落区有很好的对应关系,可考虑将700 hPa 上湿 Q 矢量的辐合值 $20 \times 10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 作为量化参考值,用大于参考值的辐合区的变化来表征台风降水落区和降水强度变化。

“莫兰蒂”台风登陆厦门之后,给浙闽地区带来了台风大风和暴雨天气。图4给出台风登陆后各层湿 Q 矢量散度场的水平分布,可见中低层(700 hPa 以下)湿 Q 矢量辐合和辐散区呈东北-西南向分布,与台风外围西北向的螺旋云带分布特征相对应。此外,湿 Q 矢量表现出一定的中尺度特征,反映了台风外围云系中的中尺度对流云团活跃。由于中尺度云团中对流旺盛垂直运动强,不稳定能量和水汽供应比较充足,所以台风外围云系所经之处易出现强降水天气。

4.3 非地转湿 Q 矢量散度的垂直分布

台风系统的中尺度特性在湿 Q 矢量散度场的垂

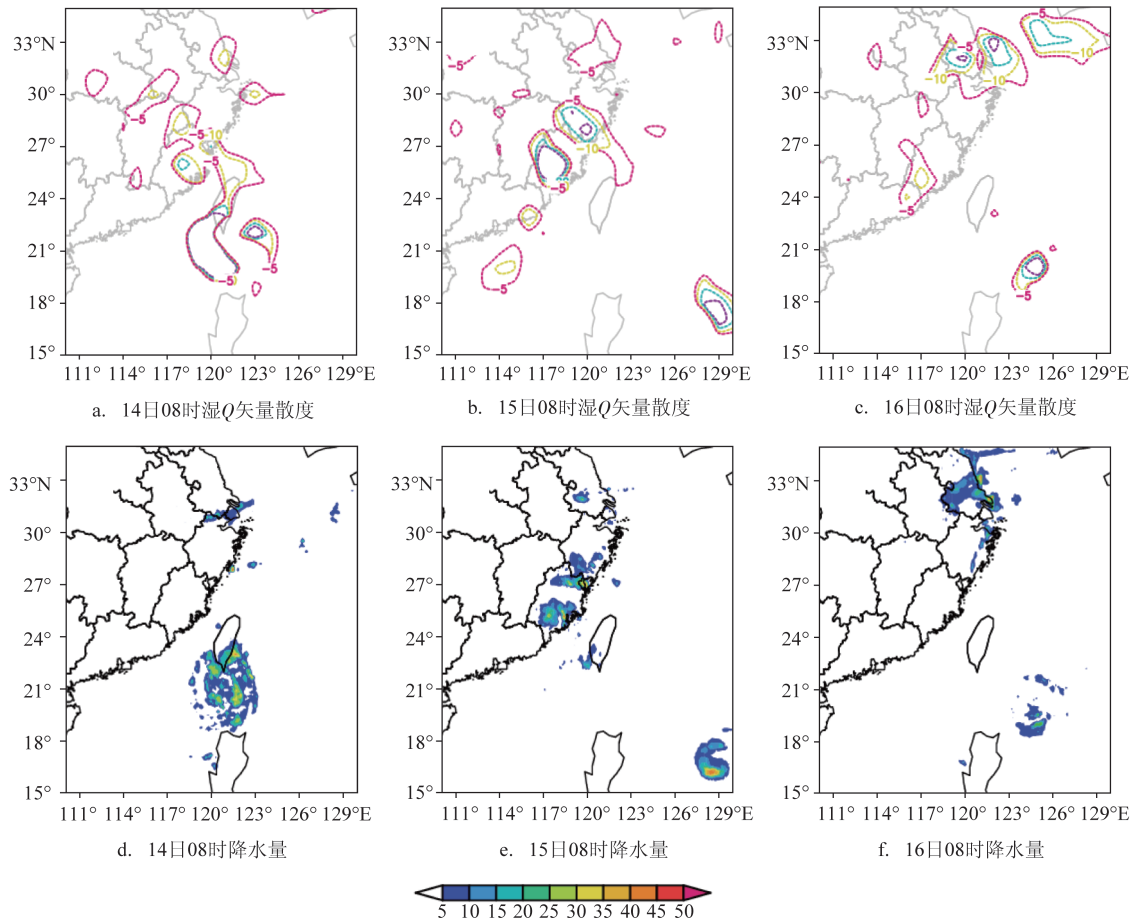


图3 700 hPa 湿 Q 矢量散度(单位: $10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$)和降水量(单位: mm)分布图

直剖面图中表现更为明显(见图5)。 Q 矢量散度辐合辐散的强弱变化代表了锋生作用的强弱,湿 Q 矢量散度场垂直结构的变化直观反映了台风的强弱变化。台风增强阶段, Q 矢量辐合区与辐散区较大值主要集中在800 hPa以下和300 hPa附近,而500~600 hPa之间湿 Q 矢量的辐合辐散不显著(图略)。14日08时台风强盛时期, Q 矢量辐合辐散从低层一直延伸到100 hPa以上(见图5a),辐合值大于 $15 \times 10^{-15}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 。15日08时台风减弱阶段, Q 矢量辐合辐散大值区主要集中在中低层,600 hPa以上辐合辐散强度明显减弱, Q 矢量散度场的减弱表征了台风正逐渐减弱消散(见图5b)。由上可见台风莫兰蒂在增强阶段低层和高层的对流同时开始发展起来,之后逐渐发展强盛直至对流贯穿整个对流层,在台风登陆后,高层和低层的对流云团逐渐减弱消

散,最大辐合区向对流层中层收缩。湿 Q 矢量散度场特征反映了作为发展剧烈的复杂天气系统,台风在其发展演变过程中,内部存在着大小不一的中尺度对流系统,中尺度云团不断生消,是台风暴雨强烈发展和维持的重要机制。

5 垂直螺旋度分析

螺旋度严格的定义式为风速与涡度点积的体积分:

$$H = \iiint \vec{V} \cdot (\nabla \times \vec{V}) d\tau \quad (2)$$

其大小反映了旋转与沿旋转轴方向运动的强弱程度。

而 Z 坐标系下的局地螺旋度可以表示为:

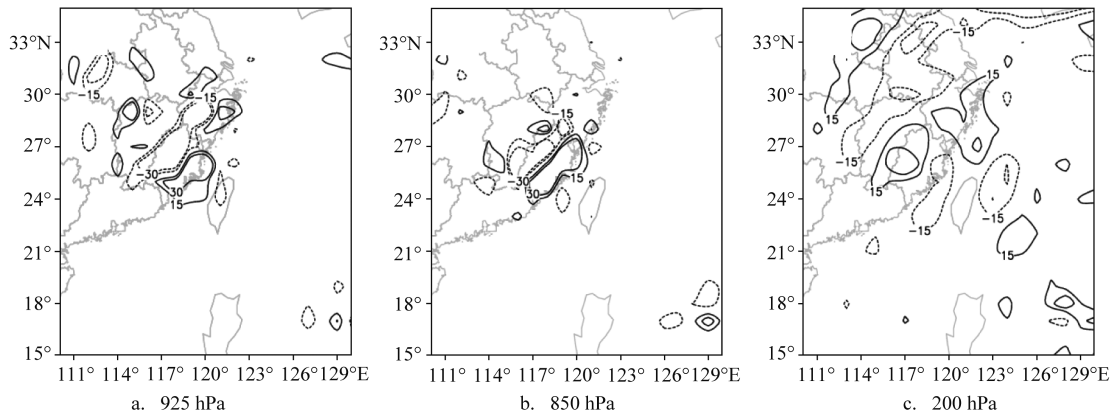


图4 15日08时湿 Q 矢量散度水平分布(单位: $10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$)

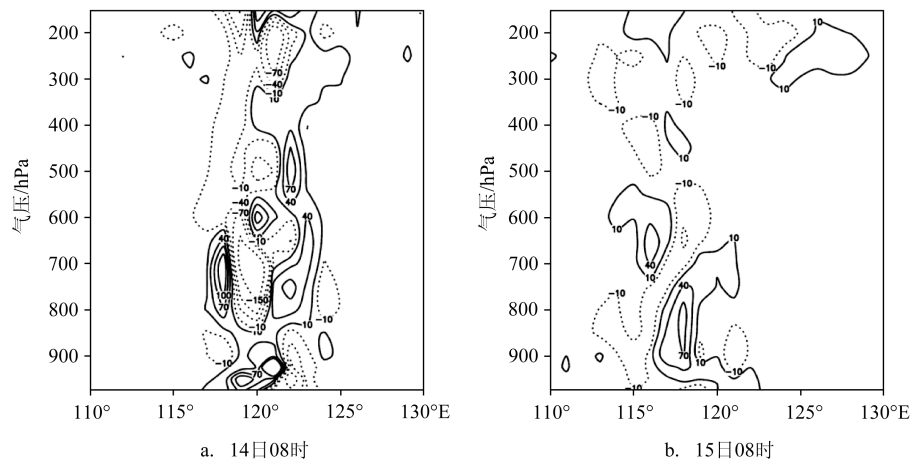


图5 台风中心的湿 Q 矢量散度(单位: $10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$)纬向垂直剖面图

$$H = \vec{V} \cdot (\nabla \times \vec{V}) = \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) u + \left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} \right) v + \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) w \quad (3)$$

本文讨论的垂直螺旋度是局地垂直螺旋度 H_z , 计算公式^[16]如下:

$$H_z = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) w \quad (4)$$

式中: w 是 Z 坐标系中的垂直速度, $\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$ 是相对涡度的垂直分量。

垂直螺旋度为垂直速度和垂直涡度的乘积, 综合描述了垂直上升运动和垂直涡度的发展信息, 能反映出大气在垂直方向上的旋转特点和上升运动特征^[12,17]。

综合分析低层各层等压面上垂直螺旋度的分布特征发现, 低层的正垂直螺旋度与台风移动方向和强度变化关系较为密切, 它既能反映系统的维持状况, 也能反映系统发展、天气现象的剧烈程度^[12], 可作为分析台风天气演变动力因子。14日08时台风强盛发展阶段, 台风“莫兰蒂”位于台湾与菲律宾之间, 700 hPa上垂直螺旋度水平分布上表现为台湾与菲律宾之间存在较大的正垂直螺旋度, 表明发展强盛的台风具有强涡旋性和强垂直上升运动特征, 台风暴雨、台风大风等天气现象一旦生成, 正垂直螺旋度的存在极利于暴雨、大风等天气现象较长时间的维持。15日08时台风登陆福建后, 正垂直螺旋度大值区随着台风主体移动至福建南部, 到16日

08时台风“莫兰蒂”减弱消散阶段, 台风所在位置的正垂直螺旋度几乎为零。

而对比各时次低层垂直螺旋度的分布与台风降水的落区分布, 发现各时次的台风降水落区与正垂直螺旋度并不对应, 尤其是台风减弱阶段, 台风所处位置的正垂直螺旋度消失, 而此时台风降水仍存在, 表明垂直螺旋度对台风降水落区的指示作用不明显。

垂直方向上垂直螺旋度的强度和范围变化能更加直观地反映出台风系统中涡旋运动和垂直运动的分布和变化特征。台风登陆前后过台风中心的垂直螺旋度经向垂直分布如图7所示, 14日08时台风强盛发展阶段, 正垂直螺旋度从低层一直延伸到200 hPa, 垂直螺旋度大值中心位于700 hPa附近, 中心强度达到 $1.2 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ 。而15日08时台风登陆后, 垂直螺旋度在垂直方向的延伸范围减小, 强度也明显减弱, 中心强度只有 10^{-4} m/s^2 左右 (见图7b), 仅占14日08时台风强盛期垂直螺旋度的十分之一, 表明了台风登陆后在地面摩擦作用影响下, 台风的涡旋性和垂直上升运动显著减小, 台风整体强度急剧减弱。

对比分析垂直螺旋度和湿 Q 矢量散度的垂直分布可见, 在台风“莫兰蒂”的发展演变过程中, 垂直方向上的湿 Q 矢量与垂直螺旋度大值区的变化趋势基本一致。台风发展强盛阶段, 湿 Q 矢量强辐合辐散在垂直方向上的伸展高度较深厚, 最强辐合区位于700 hPa附近; 垂直螺旋度较强中心位于中低层, 其中700 hPa上强度最强。台风减弱阶段, 湿 Q 矢

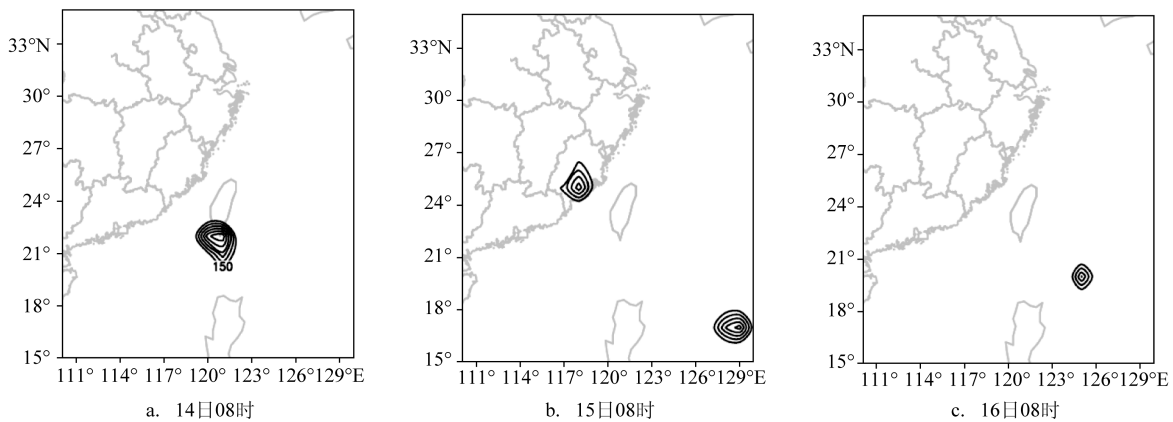


图6 低层700 hPa垂直螺旋度分布图(单位: 10^{-6} m/s^2)

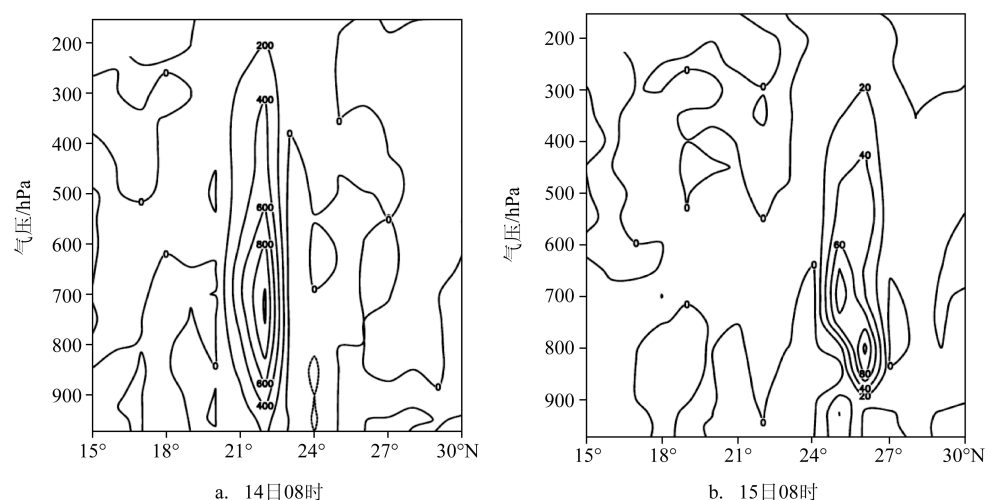


图7 台风中心的垂直螺旋度(单位: 10^{-6} m/s^2)经向垂直剖面图

量散度和垂直螺旋度大值区均缩至900~600 hPa的高度。但与垂直螺旋度垂直结构相比,综合考虑了动力和热力作用的湿 Q 矢量散度的垂直分布能更好的反映台风复杂的内部结构,也进一步说明了湿 Q 矢量散度场更能用来指示台风降水分布,为台风降水落区和强度预报提供参考。

6 结论

本文运用NCEP再分析资料、中国自动站与CMORPH融合降水资料以及中央气象台台风实时数据对超强台风“莫兰蒂”进行分析,利用非地转湿 Q 矢量和垂直螺旋度诊断分析了“莫兰蒂”台风暴雨的成因,望能提高对类似的超强台风引起的台风暴雨的预报能力。

(1)在“莫兰蒂”发展演变过程中,整个环流形势较为稳定,在强盛副热带高压引导下,台风移动路径较为规则。强盛副高与“莫兰蒂”台风相互影响区域的气压梯度力急剧增强,给登陆地带来了台风大风灾害。此外,台风“马勒卡”的生成成为“莫兰蒂”台风暴雨过程的水汽输送提供了利好条件,有利于台风降水的维持,从而造成了台风暴雨灾害;

(2)低层700 hPa等压面上的湿 Q 矢量散度辐合区能较好的揭示台风的移动路径,且700 hPa上湿 Q 矢量散度辐合值达到 $20 \times 10^{-16}/(\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ 及以上的辐合区与“莫兰蒂”台风降水落区有很好的对应关系,可考虑将700 hPa上湿 Q 矢量的辐合值 $20 \times 10^{-16}/$

($\text{hPa} \cdot \text{s}^3$)作为量化参考值,用大于参考值的辐合区的变化来表征台风降水落区和降水强度变化;

(3)台风内部的湿 Q 矢量散度场表现出较明显的中尺度特征,垂直方向上表现更为显著,湿 Q 矢量散度场的中尺度特征反映了台风系统与其外围云系中存在着中尺度对流云团。台风暴雨由中尺度对流系统触发,而中尺度对流云团不断生消使得台风暴雨维持;

(4)超强台风“莫兰蒂”具有强垂直运动和强涡旋运动特征,低层正垂直螺旋度与台风的移动和强弱变化有较强的对应关系,可作为台风强度和路径分析的重要指标,其与台风降水分布关系并不密切;

(5)湿 Q 矢量综合考虑了台风发展演变过程中的动力和热力作用。而垂直螺旋度仅考虑了台风垂直速度和垂直方向上的旋转性。对比垂直螺旋度和湿 Q 矢量散度,两者对台风移动路径和强度变化均有明显的指示作用,但湿 Q 矢量散度对台风暴雨落区和强度指示作用较好,垂直螺旋度则对台风的移动和强度演变指示作用更强。

参考文献:

- [1] 陈联寿, 许映龙. 中国台风特大暴雨综述[J]. 气象与环境科学, 2017, 40(1): 3-10.
- [2] 王咏梅, 任福民, 李维京, 等. 中国台风降水的气候特征[J]. 热带气象学报, 2008, 24(3): 233-238.
- [3] 沈杭锋, 高天赤, 周春雨, 等. 台风海葵引发浙西山区大暴雨的成因[J]. 气象, 2014, 40(6): 733-743.

- [4] 陈淑琴, 黄辉. 台风“麦莎”在舟山引起的特大暴雨的成因分析[J]. 海洋预报, 2011, 28(2): 23-27.
- [5] 余贞寿, 高守亭, 任鸿翔. 台风“海棠”特大暴雨数值模拟研究[J]. 气象学报, 2007, 65(6): 864-876.
- [6] 李英, 陈联寿, 钱传海, 等. 登陆台风 Rananim(0414)环流内中尺度辐合线的形成和发展研究[J]. 气象学报, 2010, 68(5): 640-651.
- [7] Hoskins B J, Draghici I, Davies H C. A new look at the ω -equation [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1978, 104(439): 31-38.
- [8] 张兴旺. 湿 Q 矢量表达式及其应用[J]. 气象, 1998, 24(8): 3-7.
- [9] 姚秀萍, 于玉斌. 非地转湿 Q 矢量及其在华北特大台风暴雨中的应用[J]. 气象学报, 2000, 58(4): 436-446.
- [10] 杨宇红, 林振敏, 沈新勇, 等. “0604”台风暴雨的数值模拟与诊断研究[J]. 气象科学, 2009, 29(1): 71-76.
- [11] 郑沛群, 董美莹, 郝世峰, 等. 非地转湿 Q 矢量对 0505 号“海棠”台风特大暴雨过程的诊断研究[J]. 海洋预报, 2008, 25(3): 72-80.
- [12] 岳彩军. Q 矢量、螺旋度、位涡及位涡反演在台风暴雨研究中的应用进展[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(3): 193-201.
- [13] 于玉斌, 姚秀萍. 西北太平洋热带气旋强度变化的统计特征[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 521-526.
- [14] 于玉斌, 杨昌贤, 姚秀萍. 近海热带气旋强度突变的垂直结构特征分析[J]. 大气科学, 2007, 31(5): 876-886.
- [15] 朱健, 沈晓玲. “云娜”台风暴雨的 Q 矢量与螺旋度诊断分析[J]. 科技通报, 2007, 23(1): 22-27.
- [16] 岳彩军, 曹钰, 李小凡. 垂直螺旋度的拓展研究及应用[J]. 高原气象, 2014, 33(5): 1281-1288.
- [17] 曹宗元, 陈淑琴, 刘飞, 等. 相似路径台风“天鹅”(1515)和“珊珊”(0613)降水差异分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(3): 48-56.

Analysis of wet ageostrophic Q -Vector and vertical helicity of rainstorm of typhoon “Meranti” (1614)

HAN Fu-rong, LU Xiang, LIANG Liang

(Jinhua Meteorological Bureau, Jinhua 321000 China)

Abstract: Based on datasets of NCEP FNL and merged precipitation observed by China automatic meteorological station and CMORPH satellite, the characteristics of vertical helicity and wet ageostrophic Q -vector of typhoon ‘Meranti’ (1614) are analyzed. Compared wet ageostrophic Q -vector with vertical helicity, the positive vertical helicity of the lower level corresponds to the movement and intensity of typhoon. It can be used as the dynamic factor to judge the evolution of typhoon; while the wet ageostrophic Q -vector, considering of dynamic and thermal effects, can be used as a good factor in prediction of typhoon rainfall. The wet ageostrophic Q -vector of low-level shows well indication on typhoon rainfall, especially in 700 hPa. More than $20 \times 10^{-16} / (\text{hPa} \cdot \text{s}^3)$ of wet Q -vector in 700 hPa is an important reference for the area and the intensity of typhoon rainfall. Besides, the distribution of wet Q -vector reflects that amounts of mesoscale convective system exist in typhoon.

Key words: super typhoon; typhoon rainstorm; wet ageostrophic Q -vector; vertical helicity