

# Isentropic Potential Vorticity and Moist Potential Vorticity's Variation Characteristics of Heavy Rain Caused by Rammasun in Guangxi

Lihua Zhong<sup>1</sup>, Lin Wang<sup>2</sup>, Tiangui Xiao<sup>2</sup>, Wu Qin<sup>3</sup>, Yujie Fang<sup>2</sup>, Yong Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Guangxi Meteorological Science and Technology Service Center, Nanning Guangxi

<sup>2</sup>College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

<sup>3</sup>Guangxi Meteorological Bureau, Nanning Guangxi

Email: zhonglh58@163.com

Received: May 24<sup>th</sup>, 2016; accepted: Jun. 17<sup>th</sup>, 2016; published: Jun. 20<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 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

## Abstract

This paper aims at analyzing the variation characteristics of IPV and MPV of rainstorm in Guangxi, which is triggered by the super typhoon Rammasun (1409), by analyzing the precipitation data from automatic station in Guangxi area and reanalyzing the data of NCEP/NCAR (National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmosphere Research). Isentropic potential vorticity (IPV) and moist potential vorticity (MPV) characteristics of the rainstorm in Guangxi are analyzed, which is triggered by super typhoon Rammasun (1409). The conclusions are as follows: The strong convection rainstorm weather is affected by warm and moist air convergence which contributes to the development of ascent movement. Water vapor is mainly transported from the Bay of Bengal, the South China Sea and the Western Pacific. The calculation of IPV shows that IPV from the upper layer is larger than the lower layer, and IPV of the typhoon center is the maximum. When Rammasun is strong typhoon, the rainstorm center locates at the center of the potential vorticity and airflow convergence in the next 6 hours; while Rammasun's intensity decreases as tropical storm, the rainstorm center lies in the right side of the center of IPV in the next 6 hours. According to the results of the analysis of MPV, rainstorm center is likely to occur in negative MPV<sub>1</sub> region. It is advantageous to the development of rainstorm that MPV<sub>1</sub> is "positive at upper and negative at low" in the low troposphere. The center of typhoon has a very good correspondence with the center of big value of MPV<sub>1</sub>. MPV<sub>2</sub>, "negative at upper and positive at low", is benefited for the increasing of precipitation in the low troposphere. When MPV<sub>1</sub> < 0 and MPV<sub>2</sub> > 0, the future rainstorm center will probably happen. Negative MPV<sub>1</sub> and negative MPV<sub>2</sub> are good for increasing of precipitation in the next 6 hours and also heavy rain center will happen.

## Keywords

The Rammansun Typhoon, Guangxi Stormy, Isentropic Potential Vorticity, Moist Potential Vorticity

# “威马逊”引发广西暴雨的等熵位涡与湿位涡变化特征

钟利华<sup>1</sup>, 王琳<sup>2</sup>, 肖天贵<sup>2</sup>, 覃武<sup>3</sup>, 房玉洁<sup>2</sup>, 李勇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广西壮族自治区气象服务中心, 广西 南宁

<sup>2</sup>成都信息工程学院大气科学学院, 四川 成都

<sup>3</sup>广西壮族自治区气象局, 广西 南宁

Email: zhonglh58@163.com

收稿日期: 2016年5月24日; 录用日期: 2016年6月17日; 发布日期: 2016年6月20日

## 摘要

本文运用NCEP/NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 结合广西区域自动气象站降水资料, 对超强台风“威马逊”(1409)引发广西暴雨天气的等熵位涡与湿位涡变化特征进行了分析, 结果表明: 此次台风暴雨是由东南气流带来的高温高湿水汽在台风外围强辐合上升作用下产生的对流性强降雨, 水汽主要来自孟加拉湾、南海以及西太平洋。由等熵位涡分析可知, 台风中心位涡值最大, 高层位涡值大于低层位涡值。“威马逊”为强台风时, 未来6 h暴雨中心位于位涡中心气流辐合处, 其强度减弱为热带风暴后, 未来6 h暴雨中心则位于位涡中心右侧。由湿位涡分析可知, “威马逊”暴雨中心多位于 $MPV_1 < 0$ 区域内, 对流层低层 $MPV_1$ “上正下负”配置有利于暴雨的发生发展, 台风中心与 $MPV_1$ 大值中心对应。对流层低层 $MPV_2$ “上负下正”配置有利于降水的增幅,  $MPV_1 < 0$ 且 $MPV_2 > 0$ 的区域对未来6 h暴雨中心有较好的指示性,  $MPV_1 < 0$ 且 $MPV_2 < 0$ 叠加对于未来6 h降水有增幅效果, 同样易出现暴雨中心。

## 关键词

“威马逊”台风, 广西暴雨, 等熵位涡, 湿位涡

## 1. 引言

台风的出现往往伴随着狂风暴雨, 广西发生的多次暴雨过程都与台风登陆密不可分。2014年第9号“威马逊”台风来势汹汹引发了广西地区的大暴雨甚至是特大暴雨。郑艳等[1]研究了“威马逊”台风的强度和降水特征指出高层辐散与低层辐合、弱环境风垂直切变和适宜的海面温度加之深厚的暖涡是其在近海加强的原因。陈见等[2]进而从强度变化、环流形势、海温、地形以及动能收支五方面对“威马逊”与“维达”两次台风进行对比研究。位涡理论被广大学者应用于暴雨研究, 范学峰[3]对“海棠”台风、刘峰等[4]对“莫拉克”台风、黄亿等[5]对“卡努”台风进行了湿位涡、等熵位涡诊断分析, 指出倾斜涡度发展(SVD)是暴雨产生和加强的重要机制之一、湿位涡正压项、斜压项小于零的区域重合有利于产生强

降水、等熵位涡能清楚刻画出台风及周围环境的位涡变化。范学峰、席世平[6]对“艾利”“海棠”两次台风对河南地区降水产生的湿位涡进行了对比分析。王宏、戴廷仁[7][8]利用湿位涡理论对河北、辽宁地区的一次暴雨过程进行诊断得出湿位涡大值区与强降雨区相一致，对流层低层正位涡的扰动有助于强对流天气的发生。文献[9]-[13]根据湿位涡理论对暴雨天气进行分析发现湿位涡诊断对暴雨的发生具有前瞻性。因此，本文利用等熵位涡、湿位涡诊断量进行诊断分析，揭示超强台风“威马逊”登陆后的台风暴雨中心与各个诊断量的关系，为今后台风暴雨的预报提供参考。

## 2. 资料和方法

### 2.1. 资料

资料来源为 NCEP/NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料，降雨量实况资料来自广西自动气象观测站。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 等熵位涡

等熵位涡是位涡分析方法中最常用的一种方法，在等位温面上分析等位涡线，结合热力和动力参数来反映出天气发生的环境场。等熵位涡计算方法如下：

$$P = \frac{1}{\rho} \xi_\alpha \cdot \nabla \theta \approx -g \left( \frac{\partial \theta}{\partial p} \right) (f + \xi_\theta) \quad (1)$$

公式(1)中： $\xi_\alpha$  为三维绝对涡度， $\xi_\theta$  为等熵面上相对涡度的垂直分量， $\rho$  为气体密度， $\theta$  为位温， $\alpha$  为比容。等熵面上高值位涡区域与气旋性环流相对应，低值位涡区域与反气旋性环流相对应。

#### 2.2.2. 湿位涡

水汽在台风暴雨中起到的作用不容忽视，湿位涡这一概引进相当位温  $\theta_e$  代替位温  $\theta$ ，得到湿位涡，湿位涡除了结合了动力和热力参数，还考虑了水汽的作用。从动力、热力、水汽和降水的关系展开研究，有利于揭示台风暴雨发生、发展的物理机制。

湿位涡的表达式为：

$$\text{MPV} = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} = \text{常数} \quad (2)$$

$$\text{MPV}_1 = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} \quad (3)$$

$$\text{MPV}_2 = g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \quad (4)$$

其中， $\text{MPV}_1$  为正压项，表示惯性稳定性  $(\zeta_p + f)$  和对流稳定性  $\frac{\partial \theta_e}{\partial p}$ ，当  $(\zeta_p + f) > 0$  和  $\frac{\partial \theta_e}{\partial p} < 0$ ， $\text{MPV}_1 > 0$ ，具有惯性稳定性和对流稳定性； $\text{MPV}_2$  为斜压项， $g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y}$  包含了湿斜压性和风的垂直切变。表明在无摩擦、湿绝热大气中，系统涡度的发展由大气层结稳定度、斜压性和风的垂直切变等因素所决定。

## 3. 台风概况及水汽来源

“威马逊”于 2014 年 7 月 19 日 7 时 10 分前后在防城港市光坡镇沿海第三次登陆，登陆时中心附近

最大风力为 48 米/秒(15 级, 强台风级)。“威马逊”在广西登陆后向西北方向移动, 19 日 9 时在防城港市防城区减弱为台风, 16 时在崇左市龙州县减弱为强热带风暴, 两小时后减弱为热带风暴。“威马逊”是建国后有台风记录以来进入广西的最强台风; 也是台风以上级别在广西滞留时间最长(9 小时)的台风。“威马逊”带来的强风暴雨给广西带来严重灾情, 据不完全统计, 截止 7 月 23 日, 其造成的直接经济损失达 138.4 亿元(图 1)。

“威马逊”给广西带来了持续性暴雨, 充足的水汽输送是持续性暴雨维持的重要因素, 一般来说, 850 hPa 上的水汽通量分布与暴雨落区对应最好。在此次台风暴雨过程中, 可以看见一条明显的水汽输送带, 越赤道气流经非洲东部到达阿拉伯海经孟加拉湾、南海后向华南输送, 水汽通量中心最大值达到  $27 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , 暖湿气流形成汇聚往降水区域输送提供水汽(图 2)。



Figure 1. The observed track of super typhoon Rammasun (from <http://www.wztf121.com/history.html>)  
图 1. 1409 号台风“威马逊”路径实况图(来自温州台风网)

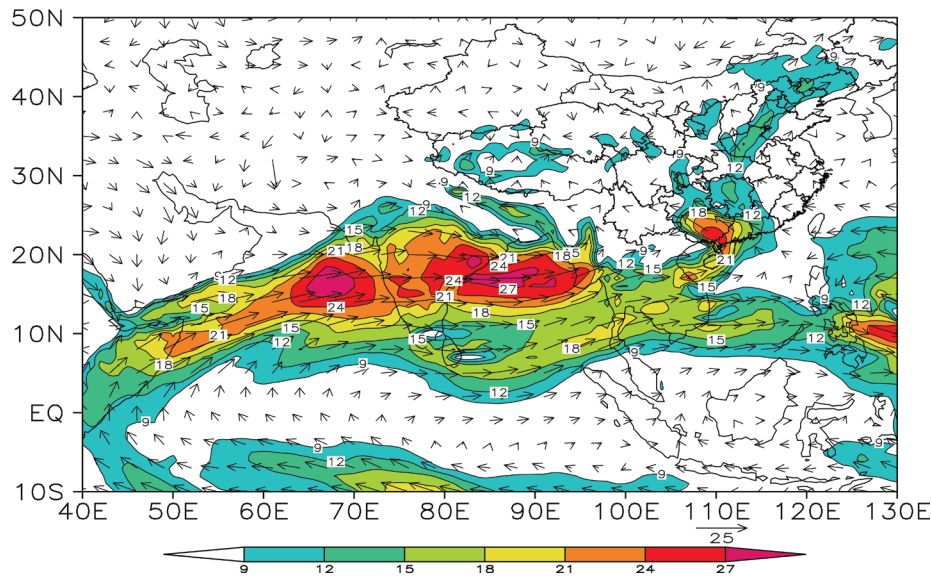


Figure 2. Distribution of average vapor flux at 850 hPa during 20:00 BT 18 to 20:00 BT 20 July 2014 (color shaded, vapor flux  $\geq 9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )  
图 2. 2014 年 7 月 18 日 20 时~20 日 20 时 850 hPa 平均水汽通量场(彩色阴影, 水汽通量  $\geq 9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )

## 4. 干湿位涡变化特征

### 4.1. 等熵位涡分布特征

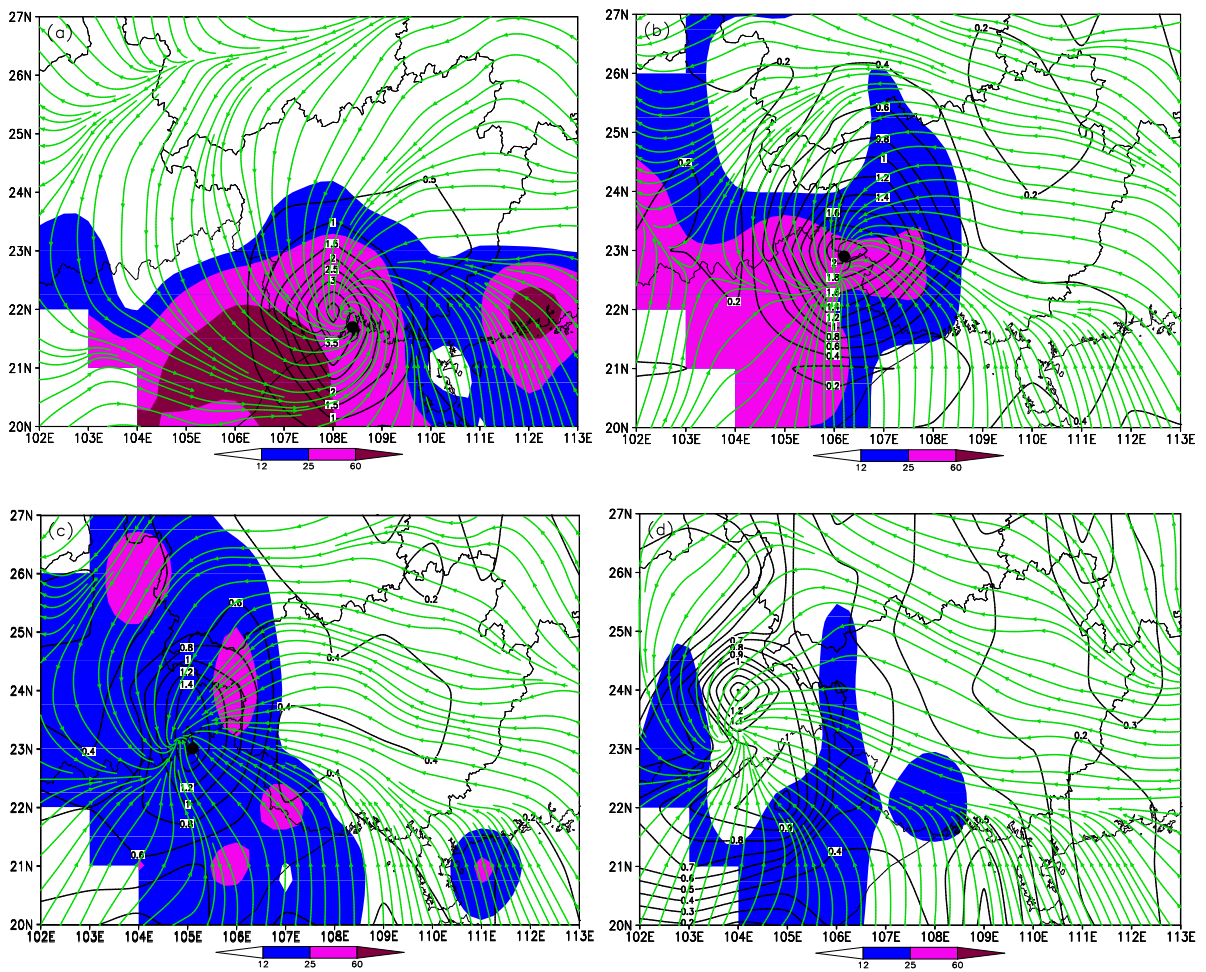
田秀霞等[14]、吴蓁等[15]采取等熵位涡方法研究了西南涡暴雨、台风暴雨过程中的位涡与雨带的对应关系指出等熵位涡的大值带与降水区对应较好,异常中心的出现具有指示效果。因此,根据文献[16]提供的等熵位涡计算方法,分别计算了代表大气高低层的335 K和310 K两个等熵面。有研究指出[16]-[18]台风的移动与等熵位涡的变化有着密切的关系,位涡值的分布一般是高层大于低层,高纬度大于低纬度,位涡中心对应气旋中心。但对于台风系统来说,高层位涡大于低层位涡,台风中心的位涡值大于外围气流的位涡值。当台风强度为强台风时,气流辐合中心和台风中心重合,台风中心位于等熵位涡中心的右下侧,当台风强度逐渐减弱后,气旋中心与等熵位涡高值中心重合,而位于气流辐合中心的右上侧。19日08时,气流辐合区中心位涡值达到4.0 PVU,未来6 h大暴雨中心位于桂南地区流线辐合的区域(图3(a));20时,随着台风离开广西,位涡中心值骤降到2.0 PVU,台风强度减弱为9级,6 h暴雨中心位于广西中西部地区,等熵位涡大值中心的右侧(图3(b));20日02时,台风强度为热带风暴,中心值继续下降降到1.6 PVU,暴雨中心位于位涡中心右侧的广西西部(图3(c));20日08时,台风停编位后,位涡中心也由原来的单位涡中心分裂成南北相向的双位涡中心,气流辐合中心与位涡中心不一致,此时未来6 h降雨量已经明显减小(图3(d))。355 K等压面情况与310 K基本一致,只是高层等熵位涡中心值大于低层(图4)。

以上分析表明:台风中心位涡值为最大,当台风强度减弱位涡中心值也减弱,高层位涡值大于低层位涡值。当台风强度为强台风时,气流辐合中心和台风中心重合,台风中心位于等熵位涡中心的右下侧,未来6 h大暴雨中心位于气流辐合区。当台风强度减弱为热带风暴,台风中心与等熵位涡高值中心重合,而位于气流辐合中心的右上侧,6 h大暴雨中心位于位涡右侧。说明台风强度对于未来6 h大暴雨中心存在影响。

### 4.2. 湿位涡分布特征

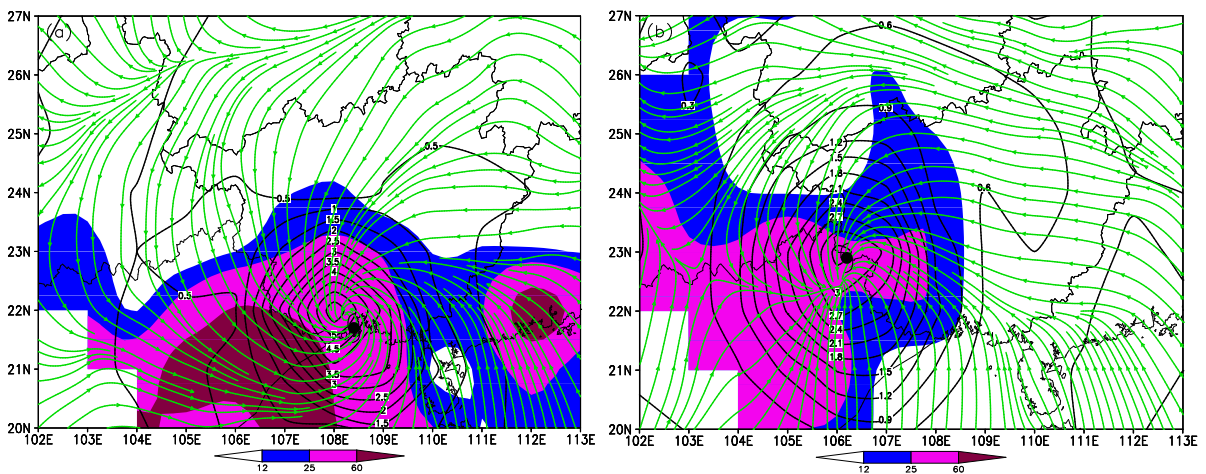
根据文献[19]得知湿位涡(MPV)概念引进了大气中两种不稳定机制,即将对流不稳定和湿斜压性对称不稳定联系在一起,并提供了不稳定判别机制,分析湿位涡这一综合物理量分布特征及其对暴雨的指示性。

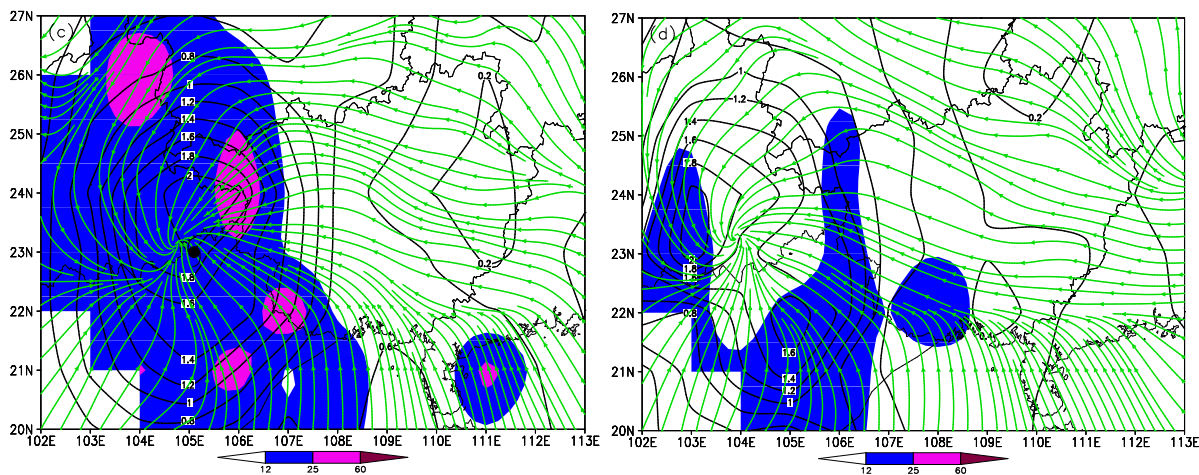
由湿位涡的定义可知, $MPV = MPV_1 + MPV_2$ 。其中, $MPV_1$ 是正压项, $MPV_1 > 0$ ,表示大气对流稳定, $MPV_1 < 0$ ,表示大气对流不稳定, $MPV_2$ 是斜压项,与风的垂直切变和相当位温的水平梯度相关,表征了大气斜压性的发展[19],负值绝对值越大,大气的斜压性越强,利于降水的产生,所以需关注 $MPV_1 < 0$ 的区域以及 $MPV_2 < 0$ 的区域。从湿位涡分布(图5(a))可见,当台风以强台风强度登陆时, $MPV_1$ 的一个负值中心位于广西北海市,同时广东沿岸存在一个较小的负值中心, $MPV_1$ 最大值区域沿东北西南走向呈对称“蝶形”分布,台风中心位于 $MPV_1$ 正负值密集交界处,未来6 h暴雨中心大都位于 $MPV_1 > 0$ 且 $MPV_2 < 0$ 处, $MPV_2$ 负值的出现表示大气斜压性增强,有利于降水的增幅[4]。19日20时,台风强度减弱,广西沿海地区 $MPV_1 < 0$ 的绝对值减弱,说明沿海地区对流不稳定减弱,预示着未来6 h的累计降雨量减小;随着台风向西北移动,广西大部地区受正压项的负值区域控制,暴雨中心向北扩展,未来6 h暴雨中心大部分位于 $MPV_1 < 0$ , $MPV_2 > 0$ 的区域,说明对流不稳定的作用强于大气的斜压性起主导作用(图5(b))。20日02时,台风中心离开广西进入云南境内,台风强度继续减弱,暴雨中心位于广西西部,绝大部分暴雨中心位于 $MPV_1 < 0$ 且 $MPV_2 < 0$ 的区域,有利于降水的增幅(图5(c))。台风停编后未来6 h的降雨量明显减弱降为大雨级别,对流不稳定区移出广西地区,该区域降水即将宣告结束(图5(d))。



**Figure 3.** 310 K isentropic potential vorticity (black lines, unit: PVU ( $10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )), streamline (green lines with vector) and 6-hours accumulated precipitation form AWS (color shaded, precipitation  $\geq 12$  mm, “ $\bullet$ ” marks the position of typhoon center). (a) 08:00 BT 19, (b) 20:00 BT 19, (c) 02:00 BT 20, (d) 08:00 BT 20

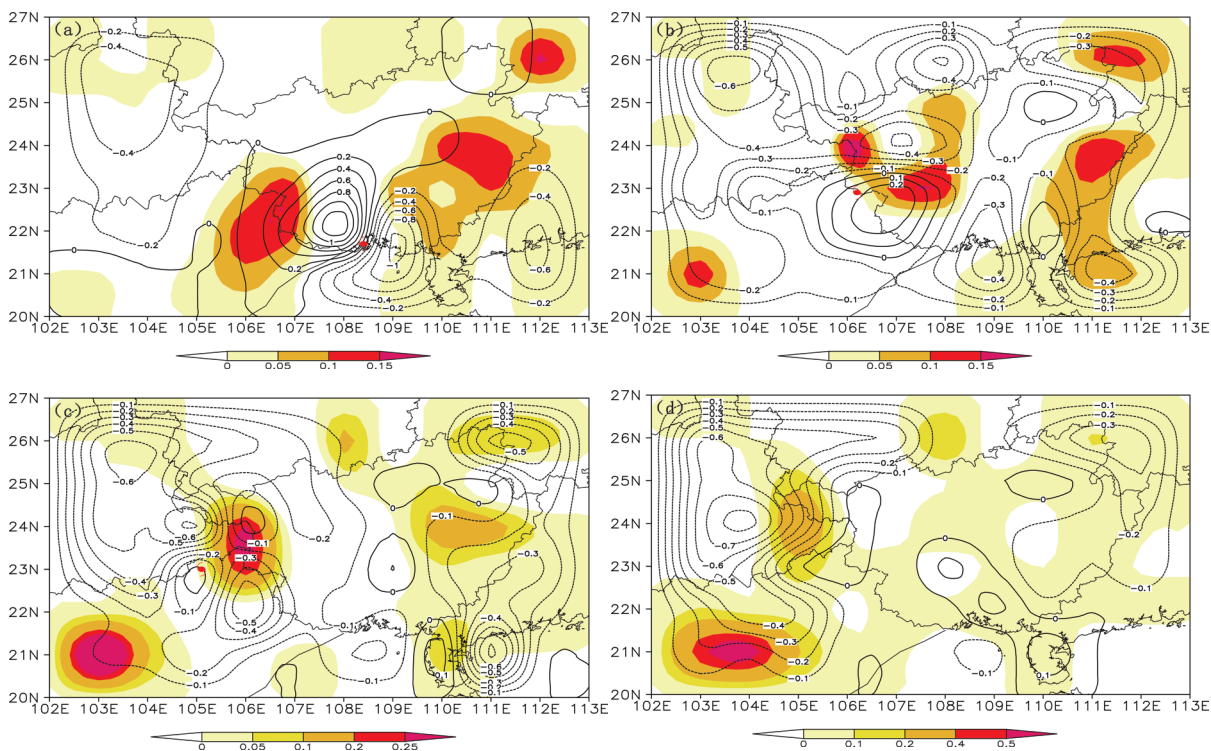
**图 3.** 310K 等熵面上的位涡(黑色实线, 单位: PVU ( $10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ))、流场(绿色矢线)分布与未来 6 h 累计实况降水(彩色阴影, 降水量大于 12 mm,  $\bullet$  为台风中心所在位置)。(a) 19 日 08 时, (b) 19 日 20 时, (c) 20 日 02 时, (d) 20 日 08 时





**Figure 4.** 335 K isentropic potential vorticity (black lines, unit:  $\text{PVU} (10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ ), streamline (green lines with vector) and 6-hours accumulated precipitation form AWS (color shaded, precipitation  $\geq 12 \text{ mm}$ , “⚡” marks the position of typhoon center). (a) 08:00 BT 19, (b) 20:00 BT 19, (c) 02:00 BT 20, (d) 08:00 BT 20

**图 4.** 335 K 等熵面上的位涡(黑色实线, 单位:  $\text{PVU} (10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ )、流场(绿色矢量)分布与未来 6 h 累计实况降水(彩色阴影, 降水量大于 12 mm, ⚡为台风中心所在位置)。(a) 19 日 08 时, (b) 19 日 20 时, (c) 20 日 02 时, (d) 20 日 08 时



**Figure 5.** Moist potential vorticity at 850 hPa (contour lines,  $\text{MPV}_1$ , color shaded,  $\text{MPV}_2$ , unit:  $1\text{PVU} = 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , “⚡” marks the position of typhoon center). (a) 08:00 BT 19, (b) 20:00 BT 19, (c) 02:00 BT 20, (d) 08:00 BT 20

**图 5.** 850 hPa 湿位涡(等值线为  $\text{MPV}_1$ 、阴影为  $\text{MPV}_2$ , 单位:  $1\text{PVU} = 10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , ⚡为台风中心所在位置)。(a) 19 日 08 时, (b) 19 日 20 时, (c) 20 日 02 时, (d) 20 日 08 时

以上分析表明, 此次台风暴雨发生的机制是前期广西高温天气储备了一定不稳定能量, 受台风低气压及其外围的东南暖湿气流作用, 不稳定能量得以释放。暴雨中心有的出现在  $\text{MPV}_1 < 0$  且  $\text{MPV}_2 < 0$  区

域, 有的出现在  $MPV_1 < 0$  且  $MPV_2 > 0$  区域, 更有暴雨中心出现在  $MPV_1 > 0$ ,  $MPV_2 < 0$  的区域。说明正压项的负值区对强降雨带的落区和移动有指示作用, 但并不是所有满足  $MPV_1 < 0$  的区域一定会产生强降雨,  $MPV_2 < 0$  的区域也存在, (图 5(c))中结果与刘峰等人指出的  $MPV_1 < 0$  和  $MPV_2 < 0$  的叠加更易产生强降雨以及  $MPV_2$  出现负值区, 大气斜压性增强, 有利于气旋性涡度的发展, 大气辐合上升运动加强, 使降水增幅的结论相一致[4]。强降雨的产生必须满足充分的水汽供应, 加之强烈的上升运动, 不稳定能量的存储和释放并持续较长的时间。

在分析了湿位涡水平分布的基础上, 下面研究湿位涡垂直分布与暴雨落区的指示意义。由图 6 给出了  $MPV_1$  沿  $23^\circ\text{N}$  的垂直剖面图可知 19 日 08 时(图 6(a)), 台风登陆广西境内后, 1000~900 hPa 为“-”值区, 900~750 hPa 为“+”值区, 750 hPa~600 hPa 为负值区, 以上为正值区。从高层到低层呈“+ - + -”的形势分布, 正值中心 1.0 PVU 位于 450 hPa, 负值中心 -0.8 PVU 位于 650 hPa 为对流不稳定区, 这种高低空的正负中心的叠加强对位势不稳定能量的存储和释放十分有利, 为台风暴雨的发展提供了有利条件, 暴雨中心出现在这种高低位涡配置下。19 日 20 时台风西行强度减弱为热带风暴, 台风中心随着高低空  $MPV_1$  的大值中心整体向西移, 原来对流层低层的负值区转为正值区, 范围延伸到 900 hPa 和之前的正值区域连贯打通, 对流高度降低, 为对流稳定区, 与 1000 hPa~900 hPa 依旧为  $MPV_1 < 0$  的区域相互作用, 有利于暴雨的产生。暴雨中心位于对流层低层“正负”配置下, 这与李生艳等[20]的研究结果一致(图 6(b))。当台风强度为热带风暴继续西行时高低层的大值位涡中心也相应移动(图 6(c)), 对流稳定区维持在 850 hPa 存在能量不稳定扰动, 整体向西倾斜, 暴雨中心位于台风中心的右侧。台风减弱为热低压并停止编号之后, 700 hPa 以下为  $MPV_1$  的负值区控制, 其上为正值区, 在高低空正负值叠加的区域出现了小到大雨(图 6(d))。分析表明: 台风移动路径和  $MPV_1$  高低空正负值中心移动相一致, 湿位涡正压项对流层低层空正负中心的配置是有利于暴雨发生的形势, 但并不是这种配置就一定会产生暴雨中心。

由于  $MPV_2$  的量级比  $MPV_1$  小一个量级,  $MPV$  分布与  $MPV_1$  分布类似, 但是由于  $MPV_2$  反应的是大气斜压性, 其负值的绝对值越大, 表明大气的斜压性也就越强, 在暴雨发展过程中, 低空倾斜涡度发展十分活跃[19]。19 日 08 时, 由于受地形的影响, 低层的斜压项呈西北东南走向, 900 hPa 以下  $MPV_2 > 0$ , 900~800 hPa 其值小于 0, 暴雨中心位于  $MPV_2$  “上负下正”的形势下(图 7(a))。19 日 20 时, 原来正值中心转为负值中心, 负值中心转为正值中心, 暴雨中心转变为位于  $MPV_2$  “上正下负”的配置下, 降水强度减弱(图 7(b))。20 日 02 时,  $MPV_2$  的正值伸展到 750 hPa, 其上为  $MPV_2$  负值所控制, 6 h 暴雨中心相对前 6 h 暴雨中心强度增大, 说明对流层下层  $MPV_2$  “上负下正”有利于暴雨的增幅(图 7(c))。台风减弱为热带低压停编后, 整个广西对流层中高层出现了大片的  $MPV_2$  负值区, 广西中西部低层  $MPV_2$  出现了正值区域, 降雨减小趋于结束(图 7(d))。

## 5. 结论

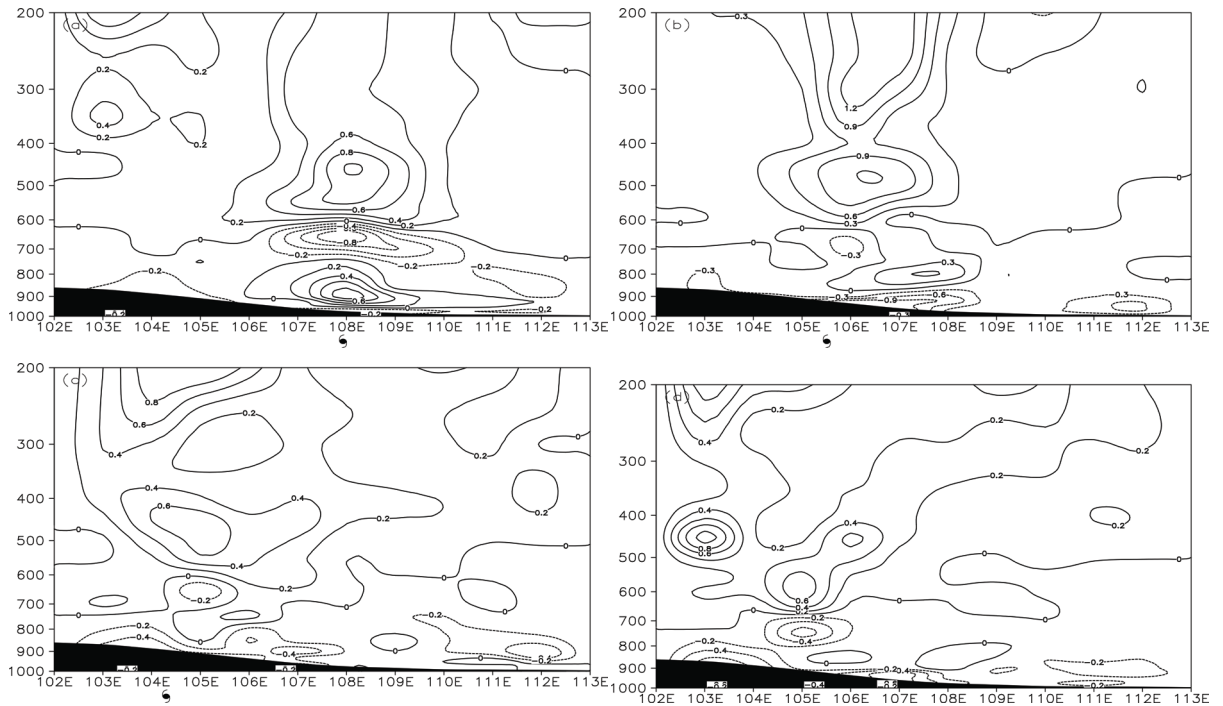
对超强台风“威马逊”引发广西暴雨天气的等熵位涡与湿位涡变化特征进行了诊断分析, 得出以下几点结论:

1) 此次暴雨是台风东南气流携带的高温高湿水汽在台风外围的强辐合上升作用下产生的对流性降雨, 水汽来源于孟加拉湾、南海以及西太平洋, 越赤道气流、副热带高压南侧的东南气流对水汽的输送提供了强劲的动力作用。

2) 通过等熵位涡分析揭示了台风及周边环境的位涡演变。强台风中心位于等熵位涡中心的右侧, 热带风暴中心与等熵位涡大值中心重合, 中心位涡值最大, 高层位涡值大于低层位涡, 暴雨中心位于气流辐合处。当台风强度减弱时, 暴雨中心位于位涡中心的右侧。

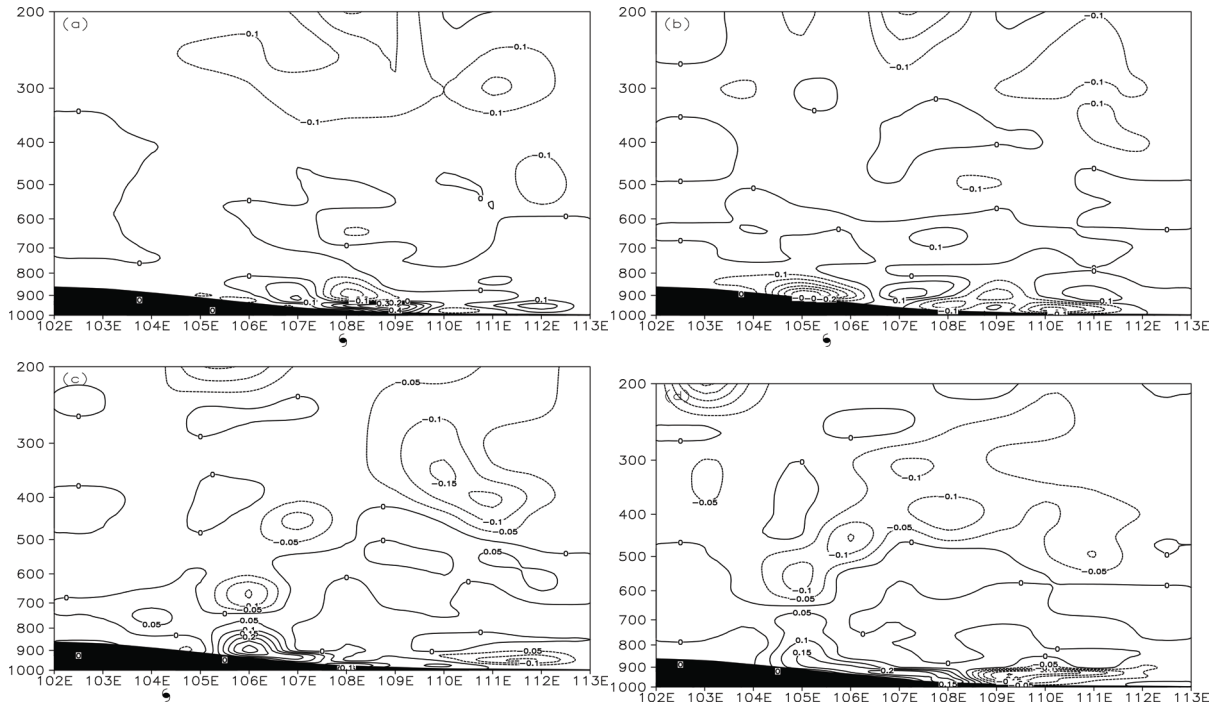
3) 在此次台风暴雨中,  $MPV_1$  的对流不稳定作用远大于大气的斜压性。暴雨中心多位于  $MPV_1 < 0$





**Figure 6.** The cross section of moist potential vorticity ( $MPV_1$ ) along  $23^\circ N$  (“ $\star$ ” marks the position of typhoon center, the black shaded is terrain). (a) 08:00 BT 19, (b) 20:00 BT 19, (c) 02:00 BT 20, (d) 08:00 BT 20

**图 6.** 湿位涡( $MPV_1$ )沿  $23^\circ N$  剖面图 (“ $\star$ ”为台风中心所在位置, 底部阴影为地形高度)。 (a) 19日 08 时, (b) 19日 20 时, (c) 20日 02 时, (d) 20日 08 时



**Figure 7.** The cross section of moist potential vorticity ( $MPV_2$ ) along  $23^\circ N$  (“ $\star$ ” marks the position of typhoon center, the black shaded is terrain). (a) 08:00 BT 19, (b) 20:00 BT 19, (c) 02:00 BT 20, (d) 08:00 BT 20

**图 7.** 湿位涡( $MPV_2$ )沿  $23^\circ N$  剖面图 (“ $\star$ ”为台风中心所在位置, 底部阴影为地形高度)。 (a) 19日 08 时, (b) 19日 20 时, (c) 20日 02 时, (d) 20日 08 时

区域内, 对流层低层  $MPV_1$  “上正下负”的配置有助于暴雨发生发展, 台风位置的改变与  $MPV_1$  整层的大值中心移动相一致。  $MPV_1 < 0$  且  $MPV_2 > 0$  区域对于未来 6 h 暴雨中心具有指示性,  $MPV_1 < 0$  且  $MPV_2 < 0$  的叠加对于未来 6 h 的降水量有增幅效果, 同样易产生暴雨中心。对流层低层  $MPV_2$  “上负下正”配置有助于降水的增幅。

## 基金项目

广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1598017-15)。

## 参考文献 (References)

- [1] 郑艳, 蔡亲波, 程守长, 等. 超强台风“威马逊”(1409)强度和降水特征及其近海急剧加强原因[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 333-341.
- [2] 陈见, 孙红梅, 高安宁, 等. 超强台风“威马逊”与“达维”进入北部湾强度变化对比分析[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 392-400.
- [3] 范学峰. “海棠”台风远距离强降水分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(4): 30-33.
- [4] 刘峰, 丁治英, 梁艳, 等. “莫拉克”台风暴雨过程中湿位涡场的演变特征[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(2): 161-166.
- [5] 黄亿, 寿绍文, 傅灵艳. 对一次台风暴雨的位涡与湿位涡诊断分析[J]. 气象, 2009, 35(1): 65-73.
- [6] 范学峰, 席世平. 湿位涡诊断分析在河南台风远距离降水中的应用[J]. 气象与环境科学, 2012, 35(2): 25-32.
- [7] 王宏, 寿绍文, 王万筠, 等. 一次局地暴雨过程的湿位涡诊断分析[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 129-134.
- [8] 戴廷仁, 寿绍文, 陈艳秋, 等. 辽宁地区一次暴雨过程成因的位涡诊断分析[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(3): 31-36.
- [9] 全美兰, 葛权哲, 吕志红, 等. “7.21”北京特大暴雨的湿位涡诊断分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(8): 232-238.
- [10] 屠妮妮, 李跃清. 一次引发川东暴雨的西南涡特征分析[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 962-971.
- [11] 王伏村, 许东蓓, 王宝鉴, 等. 敦煌致洪暴雨的广义湿位涡分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 145-155.
- [12] 叶爱芬, 李江南, 徐永辉, 等. 珠三角一次暖区强降水过程湿位涡的演变特征[J]. 热带气象学报, 2011, 27(2): 237-243.
- [13] 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.
- [14] 田秀霞, 何丽华, 陈笑娟. 一次西南涡暴雨的等熵位涡特征分析[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(6): 25-30.
- [15] 吴蓁, 范学峰, 郑世林, 等. 台风外围偏东气流中的暴雨及其等熵位涡特征[J]. 高原气象, 2008, 27(3): 584-595.
- [16] 丁一汇, 马晓青. 2004/2005 年冬季强寒潮事件的等熵位涡分析[J]. 气象学报, 2007, 65(5): 695-707.
- [17] Hoskins, B.J., McIntyre, M.E. and Robertson, A.W. (1985) On the Use and Significance of Isentropic Potential Vorticity Maps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **111**, 877-946. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49711147002>
- [18] 杨贵名, 毛冬艳, 姚秀萍. “强降水和黄海气旋”中的干侵入分析[J]. 高原气象, 2006, 25(1): 16-28.
- [19] 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 387-405.
- [20] 李生艳, 丁治英. “碧丽斯”台风暴雨影响广西的湿位涡诊断分析[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(1): 25-28.

**再次投稿您将享受以下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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