

尤红,周泓,李艳平,等.0906号台风“莫拉菲”大范围暴雨过程诊断分析[J].暴雨灾害,2011,30(1):44-50

## 0906号台风“莫拉菲”大范围暴雨过程诊断分析

尤红<sup>1</sup>,周泓<sup>1</sup>,李艳平<sup>1</sup>,夏冠聪<sup>2</sup>,覃丽<sup>3</sup>

(1.云南省玉溪市气象局,玉溪 653100;2.广东省中山市气象台,中山 528400;  
3.广西壮族自治区气象台,南宁 530022)

**摘要:**利用常规观测资料以及卫星、多普勒天气雷达、NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  6 h再分析资料,对0906号“莫拉菲”造成广东、广西、云南台风暴雨进行诊断对比分析。结果表明:暴雨区与台风西北象限强风速辐合区位置相对应,强风速中心值与其前部风速辐合越大,地面降水越强;台风云系边界越清晰、结构越密实,相应地面降水量越大,且闭合200 K  $T_{BB}$ 强中心位置对应暴雨落区;随“莫拉菲”登陆后西北移,强上升及旋转运动中心随之向上移,垂直螺旋度经历由整层强正值中心柱状结构减弱为对流层中低层强正值区、高层负值区配置的变化,其强正中心量值剧增,对应地面雨强激增,正螺旋度强中心量值及增幅越大、中心所在位置越低,对应地面降水越强;台风暴雨水汽来源于孟加拉湾、南海和西太平洋,孟加拉湾、南海低空强西南急流水汽输送的贡献明显大于西太平洋,尤其是云南暴雨水汽主要源自孟加拉湾。

**关键词:**台风暴雨;风速辐合;垂直螺旋度;西南急流

中图分类号:P458.1+21.1 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)01-0044-07

## Diagnostic Analysis of Typhoon 0906 “Molave” Large Scale Rainstorm Process

YOU Hong<sup>1</sup>, ZHOU Hong<sup>1</sup>, LI Yanping<sup>1</sup>, XIA Guancong<sup>2</sup>, TAN Li<sup>3</sup>

(1.Yuxi Meteorological Office of Yunnan Province, Yuxi 653100; 2.Zhongshan Meteorological Office of Guangdong Province, Zhongshan 528400; 3.Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

**Abstract:** Based on regular meteorological data, satellite cloud images, Doppler radar echo data and NCEP 6-hourly reanalysis data with resolution  $1^\circ \times 1^\circ$ , the rainstorm processes caused by typhoon 0906 Molave, occurred in Guangdong, Guangxi and Yunnan provinces, have been contrasted and diagnosed. The result shows that the distribution of typhoon rainstorm was corresponding with the strong wind velocity convergence areas in northwest quadrant of Molave, and the greater the convergence was, which was formed by centre value of strong wind velocity and wind velocity at forepart of Molave, the stronger precipitation on the ground was. The clearer boundary of typhoon cloud system was, and the more close-grained structure of typhoon cloud system was, the greater precipitation on the ground was. The location of the closed TBB strong center of 200 K corresponded with the distribution of rainstorm area. With Molave landed and moved northwestwards, the center of severe ascending motion and rotating motion shifted upward. The vertical helicity changed with a characteristic that column structure with strong positive center in the whole layer weakened and turned gradually into strong positive region in middle-lower troposphere, and negative region in upper layer changed. The severe increase of strong positive centre of helicity corresponded with the explosive increase of precipitation intensity. The greater strong centre value, amplitude range and the lower centre position of positive helicity correspond with the stronger precipitation on the ground. The vapor of typhoon rainstorm came from the Bay of Bengal, South China Sea and western pacific, and contribution with water vapor transportation from the lower level jets of the Bay of Bengal and South China Sea was greater than that from the western pacific, especially the source of water vapor for Yunnan rainstorm was mainly from the Bay of Bengal.

**Key words:** Typhoon rainstorm; Velocity convergence; Vertical helicity; Southwesterly jet

### 1 引言

影响云南的台风多是在西太平洋上生成移入南海或在南海生成西行登陆的台风(以下简称南海西行

台风)。大多数南海西行台风对云南南部影响较大,常引发暴雨、瞬时大风等局地强对流灾害天气,只有少数南海西行台风影响云南中部及以北地区。近年来,不少气象工作者对影响我国的典型台风过程从其外

收稿日期:2010-09-20;修订日期:2010-03-08

第一作者:尤红,女,1971年生,高级工程师,主要从事短期天气预报和预测方法研究。E-mail: youhyn71@sina.com

围结构、与其它暴雨影响系统相互作用机制、暴雨带分布特征和成因等方面进行了深入研究<sup>[1-6]</sup>。云南台风研究成果相对较少,只是对造成全省性暴雨的个别南海西行台风和少数在福建一带登陆的台风过程进行了诊断分析。如郭荣芬等<sup>[1]</sup>利用常规观测、云图、多普勒雷达等资料,分析了 2003 年“伊布都”台风云南暴雨过程。尤红等<sup>[5]</sup>利用位涡理论,对 0604 号“碧利斯”云南台风暴雨进行诊断分析。以上研究揭示了云南台风暴雨过程发生、形成的一些机理和物理量分布特征,丰富、提高了云南预报员对本省台风暴雨的认识,但利用多种观测资料跟踪影响云南的某个台风、分析其影响系统配置、对比各物理量与地面降水量关系的研究尚未见报导。由于南海西行台风造成云南全省性强降水概率小,当地预报员难以把握台风降水量级和落区,常使台风强降水天气空报、漏报。因此,本文以 3 天之内造成广东、广西、云南等地暴雨并相继给各省区带来严重洪涝灾害的 0906 号台风“莫拉菲”为例,利用常规观测资料和 FY-2C 云图、CINRAD-CC 多普勒天气雷达观测资料及 NCEP1°×1° 6 h 再分析资料,对其造成两广、云南暴雨进行对比诊断分析,重点分析台风移动过程中动力、水汽、云图等特征变化与地面降水量变化的对应关系,以期今后更好地把握南海西行台风对云南的影响程度,提高云南台风暴雨落区与量级预报的准确率。

## 2 “莫拉菲”台风与暴雨实况

2009 年 7 月 16 日晚生成于菲律宾以东洋面的热带云团,于 18 日凌晨加强为当年第 6 号台风“莫拉菲”,其进入南海后所经之地出现强风暴雨;19 日 00:50(北

京时,下同)前后,“莫拉菲”在深圳大鹏半岛(南澳镇)沿海地区登陆,登陆时中心最低气压 965 hPa,中心附近最大风力 13 级(38 m·s<sup>-1</sup>),其登陆后继续西北移,强度逐渐减弱;13:40 进入广西,15:00 减弱为热带低压;20—21 日,台风低压槽向西北方向移动影响云南后减弱消失。“莫拉菲”台风 3 天之内影响广东、广西、云南,并相继在 3 省造成大范围强台风暴雨和严重洪涝灾害。

图 1 是“莫拉菲”台风影响区域降水分布图。从图 1a 中可见,7 月 18 日 08 时至 19 日 15 时 31 h 内,珠江三角洲及粤西大部分市县出现暴雨或大暴雨、局部特大暴雨;广东省有 424 个气象观测站(含中尺度加密自动站)雨量≥25.0 mm,其中 3 站雨量超过 250 mm(特大暴雨),电白县沙院镇雨量最大达 293.4 mm;114 站雨量在 100~250 mm 之间;207 站雨量在 50~100 mm 之间。19 日 13 时 40 分,“莫拉菲”进入广西造成的降水量比广东略有减弱(图略),暴雨带呈东南—西北向,位于玉林、百色一线,19 日 08 时至 20 日 08 时 24 h 降水量,全区 100 个气象观测站(不含中尺度加密自动站)中有 49 站≥25.0 mm,其中 8 站雨量超过 100 mm,其最大雨量(156 mm)出现在北流站,19 站雨量在 50~100 mm 之间。20—21 日,“莫拉菲”台风减弱低压西偏北移,受其影响云南中南部和西部先后出现罕见全省性暴雨,强降水带自滇东南向滇西移动(图 1b),强降水主要发生在 20 日,当日全省 125 个气象观测站(不含中尺度加密自动站)中分别有 21、9 站出现大雨和暴雨,暴雨中心最大雨量 67.4 mm,其暴雨站次仅为广西的一半;21 日,最大雨量(70.7 mm)出现在镇康。此次云南台风暴雨的范围、过程最大雨量,较其上游广东、广西的明显偏弱。

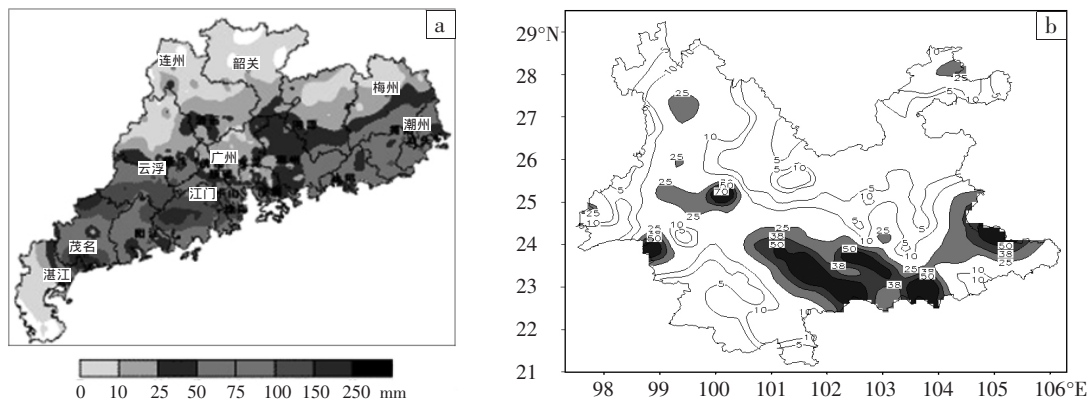


图 1 0906 号台风“莫拉菲”所经区域降水量分布图(单位: mm)  
 (a) 2009 年 7 月 18 日 08 时至 19 日 15 时广东省累积雨量分布图; (b) 2009 年 7 月 19 日 20 时至 20 日 20 时云南省累积雨量分布图(阴影区降水量≥25 mm)

“莫拉菲”台风登陆后持续 3 d,从珠江三角洲(平均海拔 50 m)经广西丘陵地区(平均海拔 800 m)到低纬高原云南,其强度经历了台风、低压、低压倒槽的变

化,三省暴雨先后呈现强降水范围逐渐减小、过程最大雨量迅速非线性减弱(从广东 293.4 mm、广西 156 mm 到云南 70.7 mm)的明显特点。

### 3 大尺度环流形势与台风低压路径分析

#### 3.1 环流形势

分析对流层中低层环流场形势可知,16日08时至17日08时“莫拉菲”台风生成前,500 hPa上西太平洋副热带高压脊线在29°N附近稳定少动,西伸脊点到110°E附近,对应592 dagpm闭合强中心,赤道辐合带北抬到18°N附近,南海、西太平洋上多低压风暴活动,在副高南部和低压风暴东北象限形成12 m·s<sup>-1</sup>强东南气流带;850 hPa上,在10°N附近,有一支从孟加拉湾经南海南部的12~20 m·s<sup>-1</sup>强低空西南急流,通过南海上低压风暴活动卷入后折头向西北,加强

该东南气流带;此期间副高南部和低压风暴东北象限的东南气流带中强风速核中心值自低层向高层递减。17日20时至18日20时,台风登陆前,孟加拉湾上空一直对应风暴活动;副高(588 dagpm等高线)增强西伸北抬,脊线越过30°N,西伸脊点达97°E,云南位于其南侧东风气流控制区;此期间“莫拉菲”台风迅速增强,台风中心(116°E,22.2°N)最大风力为13级(38 m·s<sup>-1</sup>)、中心气压达最强(965 hPa),其东北象限东南气流带中强风速核中心值在垂直方向上到18日变为500 hPa上增大、低层减小,500 hPa上其东北象限于18日20时出现32 m·s<sup>-1</sup>最强风速中心(图2a),广东正好位于台风外围强风速辐合带中。

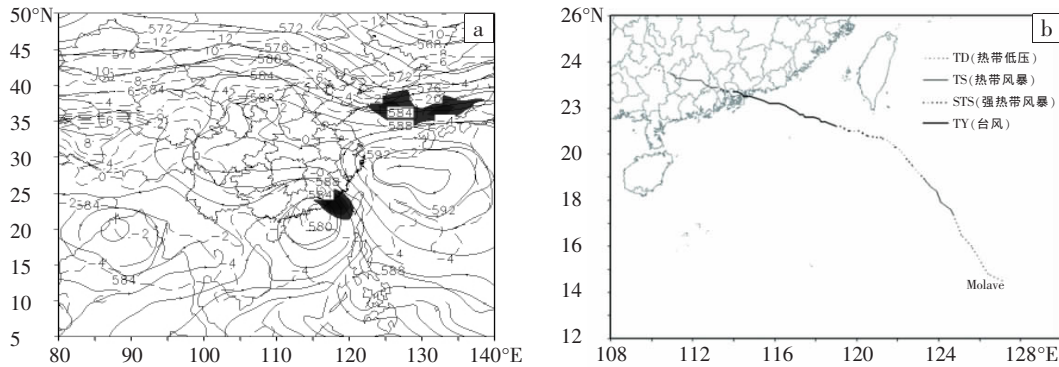


图2 2009年7月18日20时500 hPa天气形势图(a,阴影为风速≥24 m·s<sup>-1</sup>的大风速区,风向杆为风场)与“莫拉菲”台风移动路径图(b)

19日00时50分,台风登陆后由副高底部东风气流引导,受地形阻挡和强摩擦影响而迅速减弱并向偏西北方向移动,台风低压中心轴自低层到高层向西南倾斜,相应其东北象限强风速中心值迅速减小,特别是低层减弱幅度更大。500 hPa上东北象限强风速核中心值由19日08时24 m·s<sup>-1</sup>到19日20时减至16 m·s<sup>-1</sup>,12 h内该强风速核中心值迅速减小,此期间与强风速核对应的强风速辐合带影响广东、广西并相继出现暴雨,12 h最强降水从广东的195 mm减少到广西的139 mm;19日20时后,孟加拉湾风暴加深使其上空低空西南急流增强,低层出现24 m·s<sup>-1</sup>强中心,其外围有一支西南暖湿气流经中南半岛西部卷入台风低压倒槽,台风减弱低压倒槽移过云南,强风速中心值迅速减小,其中心移到低压倒槽西北象限中,20

日08时中心值减小为12 m·s<sup>-1</sup>,强风速和风向辐合区经过云南时形成东南—西北向暴雨带,其最大雨强为64.1 mm·h<sup>-1</sup>,还不到广西的一半;21日08时后,随孟加拉湾风暴西移,副高(588 dagpm等高线)移至四川、贵州,台风低压倒槽减弱消失,云南转为副高外围东南气流控制,“莫拉菲”台风暴雨过程结束。

#### 3.2 台风低压路径分析

表1给出“莫拉菲”台风登陆后副热带高压和台风减弱低压强度、位置随时间变化情况。从中可见:19日08时,副高脊线在30°N,西脊点达97°E,控制长江至黄河中下游大部地区;到21日14时,副高进一步控制西藏中东部及黄河以南地区,30 h内西脊点从97°E伸至89°E。受副热带高压迅速增强西伸及沿途地形强摩擦作用影响,“莫拉菲”从广东西南沿海登陆

表1 台风“莫拉菲”登陆后副热带高压及其减弱低压强度、位置的时间变化表(2009年7月19—24日)

| 时间     | 副热带高压                            | “莫拉菲”台风(低压)  |
|--------|----------------------------------|--|
| 19日08时 | 脊线30°N、西伸脊点97°E,控制长江至黄河中下游间大部    | 台风中心(22.9°N、112.9°E),强度(987 hPa、20 m·s <sup>-1</sup> ) |
| 19日20时 | 脊线31°N、西伸脊点97°E                  | 低压中心(23.8°N、109.6°E)                                   |
| 20日08时 | 脊线31°N、西伸脊点97°E                  | 低压中心(23.9°N、105.9°E)                                   |
| 20日20时 | 脊线30°N、西伸脊点97°E,控制长江至黄河中下游间和江南华南 | 低压倒槽槽线在昭通、玉溪、景洪  |
| 21日08时 | 脊线31°N、西伸脊点93°E,588线控制到云南北部、东部边缘 | 低压倒槽槽线在滇西  |
| 21日14时 | 脊线31°N、西伸脊点89°E,588线控制到云南        | 低压倒槽消失   |

后向西北偏西方向移动,随海拔高度增加,由 19 日 08 时的台风到 15 时减弱为热带低压, 当其移到广西境内至云桂交界处时强度减弱,但仍为完整闭合低压环流;20 日 08 时后,闭合低压环流消失,减弱为低压倒槽;之后,副高继续增强西伸逐渐控制华南、云南, 低压倒槽影响云南后消失。

对比“莫拉菲”暴雨实况可知,其强度越大,对应降水越强。随 500 hPa 副热带高压迅速增强西伸和位置变化,在其南部外围气流引导下,“莫拉菲”到达南海上空后移速加快、强度增大,持续向西北偏西方向移动(图 2b);其登陆后经珠江三角洲、广西丘陵地区到低纬高原云南,随海拔高度增加,经历台风、台风低压到低压倒槽的减弱过程。可见,500 hPa 副高强度、位置变化与“莫拉菲”台风移速、强度和路径具有较好对应关系。因此,判断副高变化和南海西行台风移动路径及其强度变化是把握其对云南影响程度和区域的重要前提。

#### 4 卫星云图与雷达回波特征

##### 4.1 云图特征

分析“莫拉菲”台风暴雨过程 FY-2C 卫星红外云图看到,其在南海活动增强期间,整个台风云团的强度、范围迅速增大,最强云团中心区与其外围强风速核中心对应的强风速辐合区(台风北部象限)位置一致,到 18 日 20 时(图 3a),台风北部云团呈“哑铃”状,

其北部象限中分别存在相当黑体亮温( $T_{BB}$ )为 200 K 和 220 K 的东、西两个闭合强中心,西北云团不仅边界清晰、结构密实,其中心强度也明显强于东北部的,可见此时最强辐合上升运动和云团强发展区位于台风西北象限,东北象限次之,广东西南部有大片 100~250 mm 强台风暴雨区,东南部为小片 75~100 mm 次强暴雨分散中心;台风云团影响广西时,其边界清晰度和结构密实度不如广东的,且东北象限强中心消失,但暴雨区仍对应有  $T_{BB}$  为 200 K 闭合中心,强云团主体在西北象限中,其间有分散的小范围 220 K 闭合强中心,地面有 50~150 mm 雨带对应;19 日 20 时之后,台风低压云系与其北部分裂出的若干念珠状小对流云团合并;20 日 02 时, $T_{BB}$  为 200 K 的闭合中心分散位于云桂交界处和中南半岛东北角,对应云南文山的大雨中心和红河的暴雨中心;到 20 日 08 时,云桂交界地区形成一范围更大的西北—东南向条状云带,并向西北偏西方向移动影响云南(图 3c);此后,云南强降水区仍有大范围闭合 200 K 相当黑体亮温强中心与之对应,但上述云带西移过程中,其边界清晰度和结构密实度明显减弱,表明“莫拉菲”影响云南时对流发展较之前期减弱,受其低压倒槽影响,云南各地降水量为 25~70 mm 不等,明显小于广东、广西的。可见,台风云系的边界清晰度和结构密实度以及  $T_{BB}$  200 K 强中心位置与地面降水量关系密切,暴雨区均位于“莫拉菲”台风、台风低压、低压倒槽的西北象限。

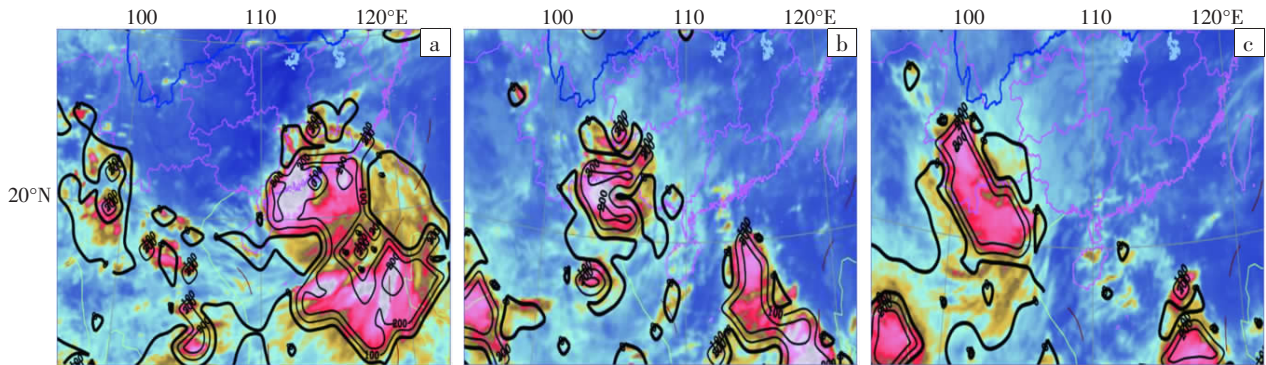


图 3 “莫拉菲”台风暴雨过程 FY-2C 红外云图和相当黑体亮温(单位: K)合成图  
(a) 2009 年 7 月 18 日 20 时; (b) 20 日 02 时; (c) 20 日 08 时

另外,分析 FY-2C 卫星水汽云图时间变化可知(图略),“莫拉菲”台风及其减弱低压南侧一直有“人”字形水汽羽输送带相对应,表明对流层中高层水汽输送,一条源自孟加拉湾经由南海,一条源自西太平洋。这反映出广东、广西、云南“莫拉菲”台风暴雨的水汽源于孟加拉湾、南海和西太平洋的共同贡献。

##### 4.2 雷达回波特征

上述云图变化特征在多普勒雷达回波上有充分

体现:广东台风暴雨期间,一直有强度 35 dBz 以上、直径约 60 km 的团状回波活动,并由广州南部向广东西部缓慢移动,且伴随多个强度 60 dBz 以上的分散、不规则强回波中心。7 月 19 日 00 时(图 4a),团状强回波位于广州雷达站西南偏西象限,减弱为两条大于 35 dBz 的西北—东南向带状回波,其中心强度达 63 dBz;7 月 19 日 20 时后,减弱后的台风低压降水回波首先影响云南文山东部,平均强度为 20~35 dBz,文山州有 3

站下了大雨;7月20日00时开始,昆明东南部、玉溪东部、红河北部一线有成串形态不一、强度最大55 dBz小对流单体回波迅速发展;之后,小对流单体回波在西偏北移过程中合并,形成西北—东南向带状回波,其中镶嵌多个45 dBz以上强中心,该回波带从玉溪、

红河于当日05时进入普洱、楚雄境内;20日05时03分云南雷达拼图上(图4b),该回波带中仍镶嵌若干小而分散、强度大于55 dBz的强回波中心,正好对应云南各地暴雨中心(图1)。当日08时后,回波带明显减弱并继续西偏北移。这与上节云图分布特征一致。

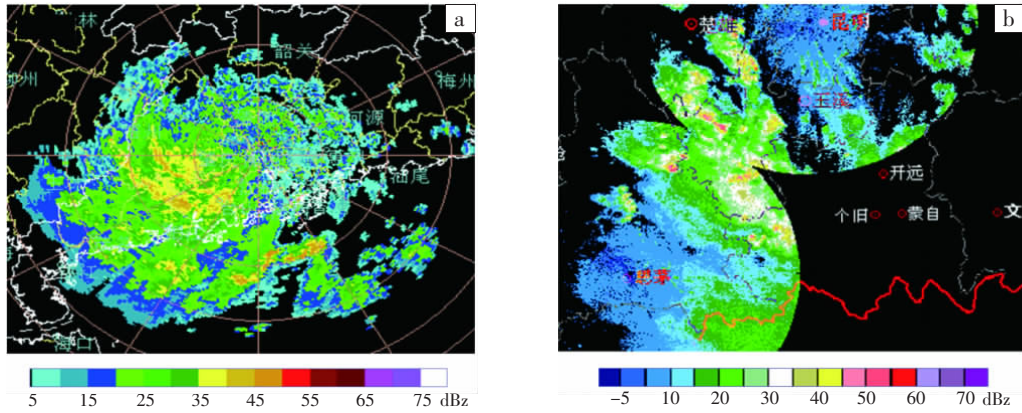


图4 2009年7月19日00:00广州CINRAD-CC多普勒雷达回波(a,扫描方式VPPI,扫描半径230 km,仰角0.5°,天线位置为113°21'18"E、23°14"N,海拔高度180.6 m)与7月20日05:03云南省雷达拼图(b)

### 5 台风暴雨成因

#### 5.1 有利的动力条件

“莫拉菲”台风对两广、云南降水强度的影响与动力条件密切相关。7月18日08时至20日08时,两广台风暴雨期间,暴雨区上空(区域平均)对应为强垂直上升运动(图略), $-0.05 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 等垂直速度线伸展到对流层顶,广东暴雨区上空最强上升运动闭合中心( $-0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )位于950—700 hPa,其中18日08时至19日08时该层次上升运动强度由 $-0.05 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 猛增到 $-0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ;台风减弱低压进入广西后,最强上升运动中心量值与广东相当,但 $-0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 闭合强中心上移到500 hPa附近,18日20时至19日20时广西中东部强降水期间(北流站24 h降水154 mm),上升运动强

度由 $-0.15 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 迅速增大到 $-0.45 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ;19日20时后,台风低压继续减弱为低压倒槽进入云南,上升运动强中心也迅速减弱为 $-0.24 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,且继续上移到500—400 hPa;19日20时至20日14时云南中南部暴雨期间,上升运动强度经历了从 $-0.06 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 到 $-0.24 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 的增强过程,对应地面最强降水(屏边,67.1 mm)不足广西的一半。可见,随“莫拉菲”西移,台风暴雨区平均上升运动最强中心表现为持续减弱并上移的特征。

螺旋度(SRH)是一种描述环境风场气流沿运动方向旋转程度和运动强弱的物理参数,它反映大气的运动场特征,可用来衡量环境风场具有多少沿气流方向的水平涡度及其贡献。图5给出广东、广西、云南“莫拉菲”台风暴雨区平均螺旋度垂直剖面与逐6 h降水量变化图。

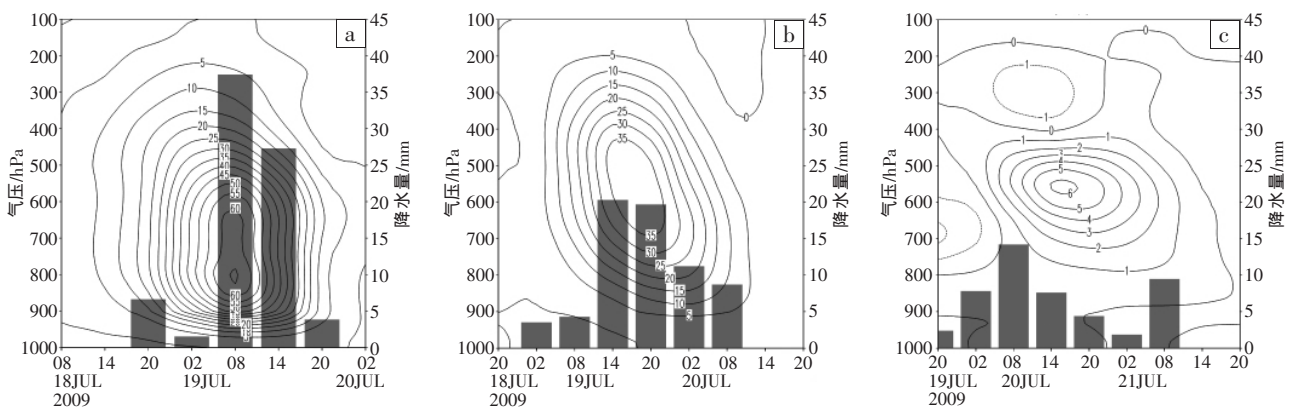


图5 广东(a)、广西(b)、云南(c) 0906号“莫拉菲”台风暴雨区平均螺旋度(单位:  $10^{-6} \text{ hPa}\cdot\text{s}^{-2}$ )时间-高度垂直剖面与逐6 h降水量(灰柱,单位: mm)变化叠加图

图 5a 中,广东暴雨区域(110.4°—115°E、21.4°—24°N) 平均垂直螺旋度整层对应为强正中心的柱状结构,  $5 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  线伸展到 200 hPa, 量值为  $65 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  的闭合强螺旋度中心在 800 hPa 附近, 18 日 14 时至 19 日 08 时 800 hPa 垂直螺旋度量值由  $5 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  猛增到  $65 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ , 相应区域平均 6 h 地面降水量迅速增加, 6 h 最强降水(37 mm) 出现在 19 日 02—08 时; 之后到 19 日 20 时, 垂直螺旋度强正中心在 800 hPa 迅速减弱, 相应地面强降水也迅速减小。

图 5b 中, 广西暴雨区域(106°—111°E、22°—25°N) 平均垂直螺旋度同样对应为整层强正中心柱状结构, 其  $5 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  线顶部位于 200 hPa, 最强闭合中心 ( $35 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ) 明显弱于广东且位置上移到 700—400 hPa; 19 日 02—20 时其垂直螺旋度也经历由  $5 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  到  $35 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  猛增过程, 广西暴雨区 6 h 雨强迅速增大, 当日 08—14 时、14—20 时 6 h 雨强分别为 21 mm 和 20 mm, 20 时后垂直螺旋度正值中心迅速减弱, 地面降水随之减小, 最大 6 h 雨强较广东的 37 mm 减小 5~6 成。

“莫拉菲”影响云南时已减弱为低压倒槽, 对流层中低层已无完整低压环流。图 5c 中, 云南暴雨区(110.4°—115°E、21.4°—24°N) 上空, 垂直螺旋度柱状结构消失, 表现为对流层中低层垂直螺旋度正大值区、高层负值区的配置。19 日 20 时至 20 日 14 时, 对流层中低层由  $-2 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  的垂直螺旋度负中心迅速转为窄柱状正值区, 550 hPa 附近为  $6 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  强正中心, 量值从  $-1 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  增加到  $6 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ , 400—200 hPa 有弱的负中心 ( $-1 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ ), 对流层中低层强正中心分别较广西的  $35 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$ 、广东的  $65 \times 10^{-6} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-2}$  明显偏弱; 19 日 20 时至 20 日 08 时地面降水增加, 20 日 02—08 时 6 h 雨强达到最大(13 mm), 但相应分别比广西的 21 mm、广东的 37 mm 偏小, 云南地面降水明显偏弱; 20 日 08 时后, 随垂直螺旋度正值减小, 云南降水随之减小。

旋度正值减小, 云南降水随之减小。

综上所述可知, “莫拉菲”登陆后在向西北方向移动过程中, 其强度经历由台风到台风低压再到低压倒槽的减弱过程; 强上升及旋转运动中心随台风移动向暴雨区高层移动, 表明地形不断增高尤其是低纬高原对“莫拉菲”具有阻挡作用, 并使其不断减弱; “莫拉菲”台风暴雨区上空垂直螺旋度经历由整层强正值中心柱状结构减弱为对流层中低层强正值区、高层负值区配置的变化, 其强正中心量值剧增, 对应地面雨强增大; 最强正螺旋度区和强上升运动区位置、量值及其增幅, 与应地面强降水具有较好对应关系, 即其中心值量值及增幅越大、中心所在位置越低, 对应地面降水越强。上述对“莫拉菲”台风暴雨过程螺旋度特征的研究结论与文献[8]、[9]中“中低层强正中心值迅速增大期间对应地面有强降水”的结论一致, 但其中低层强正中心向更低层传送则无体现。

## 5.2 丰富的水汽供应

分析“莫拉菲”台风暴雨过程  $0^{\circ}$ — $35^{\circ}\text{N}$ 、 $85^{\circ}$ — $140^{\circ}\text{E}$  区域 850—300 hPa 每层对应水汽通量分布可知, 其登陆前, 对流层低层 850 hPa 上孟加拉湾、南海洋面有一由低空西南急流输送形成的  $15 \sim 25 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$  水汽通量大值带(图 6a), 700 hPa 上同一区域洋面为  $10 \sim 16 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$  水汽通量带, 西太平洋上存在  $6 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$  水汽通量带; 对流层中层 500 hPa 上(图 6b), 上述两个源区水汽通量输送带量值相当, 均为  $6 \sim 10 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。台风暴雨期间, 水汽输送由低层向高层递减, 孟加拉湾、南海明显大于西太平洋低层的水汽贡献。台风登陆减弱向西北偏西方向移过程中, 孟湾风暴活动使孟加拉湾源地整层水汽增大, 850 hPa 出现  $35 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$  强水汽通量闭合中心, 西太平洋上水汽略减, “莫拉菲”云南暴雨的水汽主要来自孟加拉湾低层。可见, 此次台风活动过程中, 孟家拉湾、南海水汽贡献明显大于西太平洋

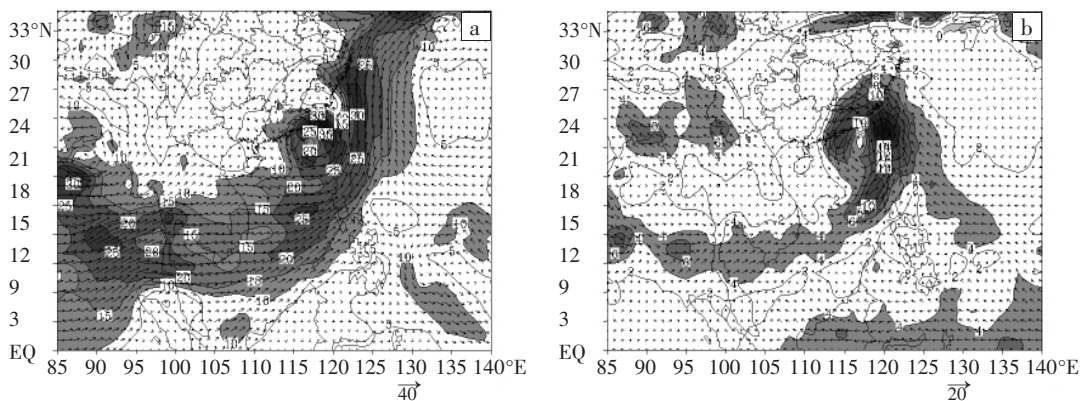


图 6 2009 年 7 月 18 日 14 时 850 hPa (a) 和 500 hPa (b) 水汽通量场

(单位:  $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ , 阴影区水汽通量值  $\geq 10$ )

的,尤其是云南暴雨的水汽主要源自孟加拉湾。

上述台风暴雨区水汽通量散度时间-高度剖面上(图略),18日20时,台风登陆前,处于台风北部象限的广东整层为水汽辐合,但强水汽辐合柱从近地层至700 hPa,其最强闭合中心( $-120 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )在900 hPa;云南暴雨期间,最强水汽辐合中心在700 hPa,其量值为 $-50 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,水汽辐合顶最高达550 hPa,对流层中层为 $10 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽辐散中心,随低层水汽辐合强度增大,对流层中层由弱辐合转为辐散且其量值也迅速增大;随后,低层水汽辐合迅速减弱并转为水汽辐散,水汽输送减弱直至中断,对应地面降水减弱停止。孟加拉湾、南海低空强西南急流水汽输送与台风暴雨区中低层强烈水汽辐合抬升,为此次台风暴雨提供了充沛水汽。

## 6 小结和讨论

本文对2009年06号“莫拉菲”广东、广西和云南台风暴雨的卫星云图、多普勒雷达回波以及动力、水汽等特征进行了诊断分析,得出以下结论:

(1) 台风暴雨发生在其西北象限对流层中层强风速辐合区,强风速中心值及其前部风速辐合越大,地面降水越强,暴雨均出现在台风西北象限。台风外围强风速辐合带所在位置和对流层中层强风速中心值大小,是判断其影响区降水强度的重要参考依据。

(2) 台风暴雨过程中,最强云团中心区和雷达强回波区与其外围强风速核中心对应的强风速辐合区位置一致。台风云系的边界清晰程度、结构密实程度以及 $T_{BB}$ 强中心位置与地面降水量关系密切,其边界越清晰、结构越密实,相应地面降水量越大;闭合200 K  $T_{BB}$ 强中心位置对应暴雨落区。

(3) 随“莫拉菲”登陆后西北移,其强度经历了从台风、台风低压到低压倒槽的减弱过程,强上升及旋转运动中心随之向上移,垂直螺旋度经历了由整层强

正值中心柱状结构减弱为对流层中低层强正值区、高层负值区配置的变化,其强正中心量值剧增,对应地面雨强增大,正螺旋度强中心量值及增幅越大、中心所在位置越低对应地面降水越强。

(4) 广东、广西、云南“莫拉菲”台风暴雨的水汽来源于孟加拉湾、南海和西太平洋。孟加拉湾、南海低空强西南急流水汽输送贡献明显大于西太平洋,尤其是云南暴雨的水汽主要源自孟加拉湾,水汽源源不断输送和暴雨区中低层强水汽辐合抬升为台风暴雨提供了充沛的水汽条件。

从大尺度环流背景和影响系统看,500 hPa副高强度、位置变化特征对“莫拉菲”台风(低压)的移动速度、强度和路径具有重要影响。因此,准确判断副高变化和南海西行台风移动路径,综合分析相关动力条件、水汽条件和其所经地下垫面特征,是预报南海西行台风暴雨强度和区域的重要条件。

## 参考文献:

- [1] 郭荣芬,鲁亚斌,李燕,等.“伊布都”台风影响云南的暴雨过程分析[J].高原气象,2005,24(5):784-791.
- [2] 杨宇红,沈新勇,林两位,等.0418号台风艾利暴雨成因分析[J].气象,2006,32(7):81-87.
- [3] 何立富,尹洁,陈涛,等.0509号台风“麦沙”的结构与外围暴雨分布特征[J].气象,2006,32(3):1-6.
- [4] 徐远波,尹恒,赵世黎,等.湖北十堰“05.8”台风倒槽特大暴雨的多尺度分析[J].暴雨灾害,2008,27(1):49-53,72.
- [5] 尤红,王曼,曹中和,等.0604号台风“碧利斯”持久不消及造成云南暴雨成因分析[J].台湾海峡,2008,27(2):7-16.
- [6] 吴婷婷,周顺武,王传辉,等.2005年10月平阳一次台风特大暴雨天气过程分析[J].暴雨灾害,2009,28(2):147-151.
- [7] 辜旭赞,潘彭刚.2007年8月登陆台风帕布、圣帕暴雨过程诊断分析[J].暴雨灾害,2010,29(2):129-134.
- [8] 尤红,肖子牛,王曼,等.2008年“7.02”滇中大暴雨的成因诊断和数值模拟[J].气象,2010,36(1):7-16.
- [9] 尤红,姜丽萍,彭端,等.2005年6月广东特大暴雨垂直螺旋度分析[J].气象,2007,33(4):71-76.