

郭达烽,周芳,陈翔翔,等. 登陆台风“麦德姆”的空心结构及其特征[J]. 气象与环境学报 2017, 33(3): 10-20.
GUO Da-feng, ZHOU Fang, CHEN Xiang-xiang, et al. Analysis of the hollow structure and characteristics of landing typhoon "Matmo" [J]. Journal of Meteorology and Environment 2017, 33(3): 10-20.

登陆台风“麦德姆”的空心结构及其特征

郭达烽 周芳 陈翔翔 包慧濛

(江西省气象台, 江西南昌 330096)

摘要: 利用2014年7月18—25日常规气象观测资料、美国国家环境预报中心再分析资料(National Centers for Environmental Prediction Reanalysis Project)和FY-2云图资料等,分别从环流形势、台风垂直结构、水汽输送及冷空气作用等方面,采用诊断分析方法分析台风“麦德姆”空心结构的形成和特征。结果表明:台湾岛、福建沿海山脉及武夷山脉等地形是影响台风“麦德姆”强度减弱和结构变化的重要因素,高低空涡度与散度场、水汽输送与水汽通量、地面冷空气入侵与干舌卷入等,均为台风“麦德姆”结构发生变化并出现“空心”现象的重要原因。对比相似的登陆台风可知,即使台风的路径和影响区域极其相似,不同台风的结构也存在较大差异,说明登陆台风的结构变化是极其复杂的。

关键词: 降水; 地形; 冷空气

中图分类号: P458.1+24 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1673-503X.2017.03.002

引言

中国是世界上登陆台风最多、受灾最重的国家之一,台风引发的暴雨洪涝灾害可以造成巨大影响^[1],台风一直以来也是科学研究的热点。热带气旋结构和结构的变化是热带气旋研究最基本的领域,主要是由于其影响热带气旋的暴雨落区和雨强^[1]。在日常台风预报中,通常由于对台风结构变化的低估,常导致台风暴雨落区和强度预报失败。

研究表明^[2],热带气旋的结构变化除了受其热量输送、中尺度强对流活动及其分布等影响外,还受环境影响,尤其是中纬度环流系统对台风变性具有较大的影响。对于台风空心结构和不对称结构已进行了较深入的研究,有分析表明^[3]冷锋侵入低纬度地区,与热带气旋相遇有时可能造成热带气旋的空心结构;也有研究基于准地转正压模式^[4]讨论发现 β 效应可以造成热带气旋的非对称结构;地形也是影响热带气旋结构变化的重要因素^[5],地形摩擦对热带气旋总的趋势是使热带气旋减弱消亡,地形也具有短时间内使热带气旋增强的作用^[1]。

近年来由于大气科学理论和技术水平的提高,使热带气旋结构的研究取得了较多成果。国内学者利用各种新资料和新方法进行热带气旋结构的分析,许变等^[6]利用高分辨率数值模拟资料及合力散度方程,诊断分析了台风“凡亚比”合力散度分布的不对称与台风不对称结构之间的关系;周玉淑等^[7]

利用日本气象厅区域谱模式20 km再分析资料及改进的调和一余弦算法,对台风“Bilis”(0604)登陆后暴雨增幅前后风场的结构变化特征进行了比较分析,发现暴雨增幅与高低层无旋风的风速加大和辐合增强一致。

关于地形对热带气旋结构影响的研究也较多,胡妹等^[8]利用全球格点资料及日本气象厅云顶亮温(Temperature of Black Body, TBB)资料等证明台风“Nari”(0116)的结构强度变化与台湾岛地形和海峡效应密切相关,台风“Nari”环流西部位于台湾岛迎风一侧的上升运动加强,而台风“Nari”环流东部位于背风一侧的上升运动则受到抑制,对台风“Nari”形成半圆形非对称对流分布具有重要作用;而台湾海峡的狭管效应加速台风通过气流,有利于台风“Nari”环流西部低空急流的形成和增强。

目前,关于台风结构的研究侧重于理论研究方面,台风引发的大暴雨或特大暴雨影响范围均较大,对台风结构变化的物理机制还需进一步研究,而台风空心结构可以引发局地特大暴雨的产生,因其突发性强、造成灾害重大、预报难度大(强度、落区),其成因研究十分必要。因此,本文从环流形势、水汽输送、动力机制及云图特征等方面,对2014年第10号台风“麦德姆”的空心结构进行诊断分析,以期揭示其成因,并采用中尺度分析方法对台风“麦德姆”引发的局地特大暴雨的成因进行分析,以为台风预报提供参考。

收稿日期: 2016-11-25; 修订日期: 2017-03-10。

资助项目: 中国气象局预报员专项“2014年第10号台风“麦德姆”局地特大暴雨成因分析”(CMAYBY2015-039)资助。

作者简介: 郭达烽,男,1964年生,高级工程师,主要从事天气预报研究, E-mail: 380424045@qq.com。

1 资料与方法

1.1 台风“麦德姆”概况

1410号台风“麦德姆”于2014年7月18日凌晨在菲律宾东部洋面生成,生成时中心风力为8级,生成后向西北方向移动,7月22日14:00(北京时间,下同)加强为强台风;加强后继续向西北方向移动,23日凌晨登陆并穿过台湾岛,于23日05:00进入台湾海峡,强度减弱为台风;15:30在福建省福清市高山镇沿海登陆,登陆时中心风力为11级,中心风速为 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,中心气压为980 hPa,强度为强热带风暴;登陆后向偏北方向移动,24日07:00减弱为热带风暴;24日08:00进入江西省上饶境内,24日15:00从江西省景德镇市向北进入安徽省,25日00:00开始转向东北方向移动,并于10:00从江苏省再次入海,入海后向东北方向移动,25日下午擦过山东半岛,于25日晚上在朝鲜半岛以西海面减弱消失。

台风“麦德姆”具有4个显著特点:第一,影响范围广,从台湾、台湾海峡、华南沿海、东海北部、黄海大部、华东沿海及山东半岛沿海直至辽东半岛沿海地区均出现了较明显的风雨,均出现了10—12级大风,福建省大部、江西省中北部、安徽省中南部、江苏省中北部、山东半岛和辽宁省东南部等地的部分地区出现了大雨到暴雨,大暴雨和特大暴雨雨带分布较分散;受台风“麦德姆”影响,中国东部沿海地区大范围航班、动车停运,局地山洪地质灾害频发,造成了几十亿元的经济损失。第二,台风“麦德姆”登陆后强度减弱缓慢,在近1500 km的行程中台风强度逐渐减弱,热带风暴强度维持了约50多个小时。第三,除了台风刚登陆时的福建沿海地区外,其他地区台风外围降水远大于台风中心附近的降水。由中国自动气象站与CMORPH降水产品融合的逐时降水量网格数据可知,2014年7月23—24日台风“麦德姆”24 h累积降水量(图1),台风中心附近降水量

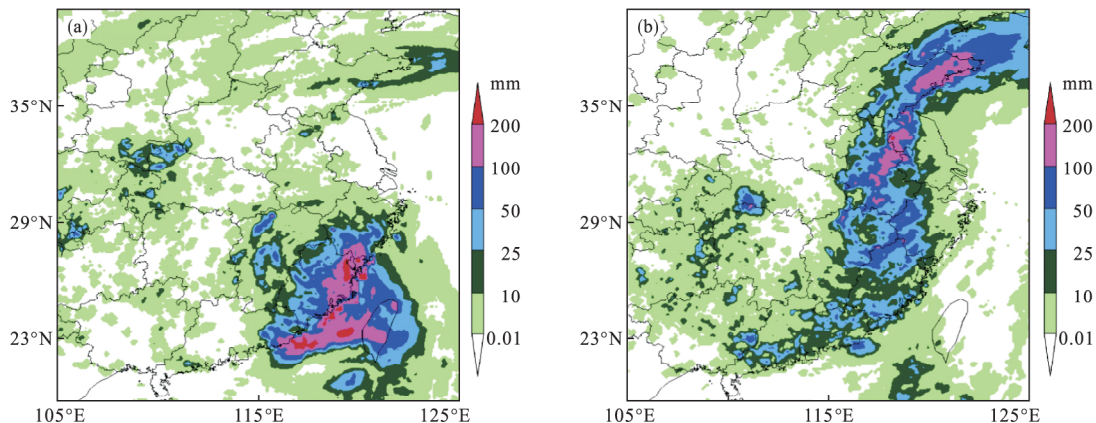


图1 2014年7月23日08时至24日08时(a)和24日08时至25日08时(b)台风“麦德姆”影响过程中24 h累积降水量
Fig. 1 24 hour accumulative rainfall amounts generated by "Matmo" from 08:00 on July 23 to 08:00 on July 24 (a) and from 08:00 on July 24 to 08:00 on July 25 (b) 2014

较小,暴雨区主要分布在台风外围的东侧和南侧;由台风北上过程中6 h或1 h降水量可以清晰看到,台风中心附近6 h降水量一般不足10.0 mm,而距台风几百公里的地区1 h降水量超过30.0 mm,表明台风外围降雨较强。第四,短时降雨强度较大,局地累积降水量较大,在江西省西北部、江苏省北部、安徽省中部和山东省东部的局部地区均出现了24 h降水量历史记录,小时降水量极值均为100.0 mm以上。尤其在台风“麦德姆”中心环流西北侧300 km的江西省西北部德安县内,共有9个乡镇7月23日20:00至24日20:00的24 h降水量超过200.0 mm(江西省气象信息中心区域站整编资料)。丰林镇24 h降水量最大,为541.4 mm,其中24日06:00—07:00丰林镇出现有气象记录以来最强小时降水量,为204.1 mm;24日05:00—08:00丰林镇的3 h降水量达460.8 mm,降水强度历史罕见。

1.2 环流形势和天气背景

由Micaps系统常规气象资料分析可知,2014年7月23日08时亚欧中高纬地区为两槽一脊的形势,贝加尔湖附近有高压脊,低槽位于乌拉尔山和东西伯利亚及中国东北、华北地区直至青藏高原东部地区;低纬度地区西太平洋副热带高压位于日本南部的洋面上,槽线位于中国中部地区,台风“麦德姆”位于副热带高压西南侧,受东南气流引导向西北方向移动。23日20时空高低槽逐渐分裂为南北两支,南支低槽略南压,位于中国河套东部至陕甘交界再到高原东部地区,副热带高压位于 32°N 的高压脊快速减弱东撤,台风“麦德姆”的引导气流逐渐变为副热带高压西侧的偏南气流,台风开始向北移动。24日08时,中亚高压减弱向西移动,高空低槽进一步东移南压,槽底接近湖北省北部地区,副热带高压中心位置稳定,强度有所减弱,台风“麦德姆”继续向北移动。

24 日 20 时, 中亚高压有所加强, 向东移动, 高空槽稳定维持, 副热带高压略减弱东退, 台风“麦德姆”逐渐受副热带高压西北侧的西南气流影响向东北方向移动。

2 结果分析

2.1 台风“麦德姆”结构变化特征

国内对台风的结构变化和“空心结构”已进行了较多的研究及讨论^[8-13]。由台风“麦德姆”从福建省进入江西省后结构和强度的变化可知(图略), 其强度减弱缓慢并出现了“空心现象”: 第一方面台风“麦德姆”影响期间降水分布不均, 台风中心经过区

域降水较小, 而台风中心外围出现了降水大值区, 局地出现特大暴雨; 第二方面, 台风“麦德姆”影响期间的气压虽然仍较低, 由于台风眼结构被破坏, 近台风中心风力较小, 而在台风中心外围一定距离(200—300 km 之间) 风力较大; 第三方面, 云系分布的“空心结构”, 台风中心为弱降水云层或晴空区, 而在其外围一定距离(一般为 200—300 km 之间) 有多条对流云带活动, 在卫星云图上形成类似环形的结构。本文基于台风“麦德姆”上述 3 个空心结构的特征进行具体分析。

由卫星云图可见(图 2), 强热带风暴“麦德姆”

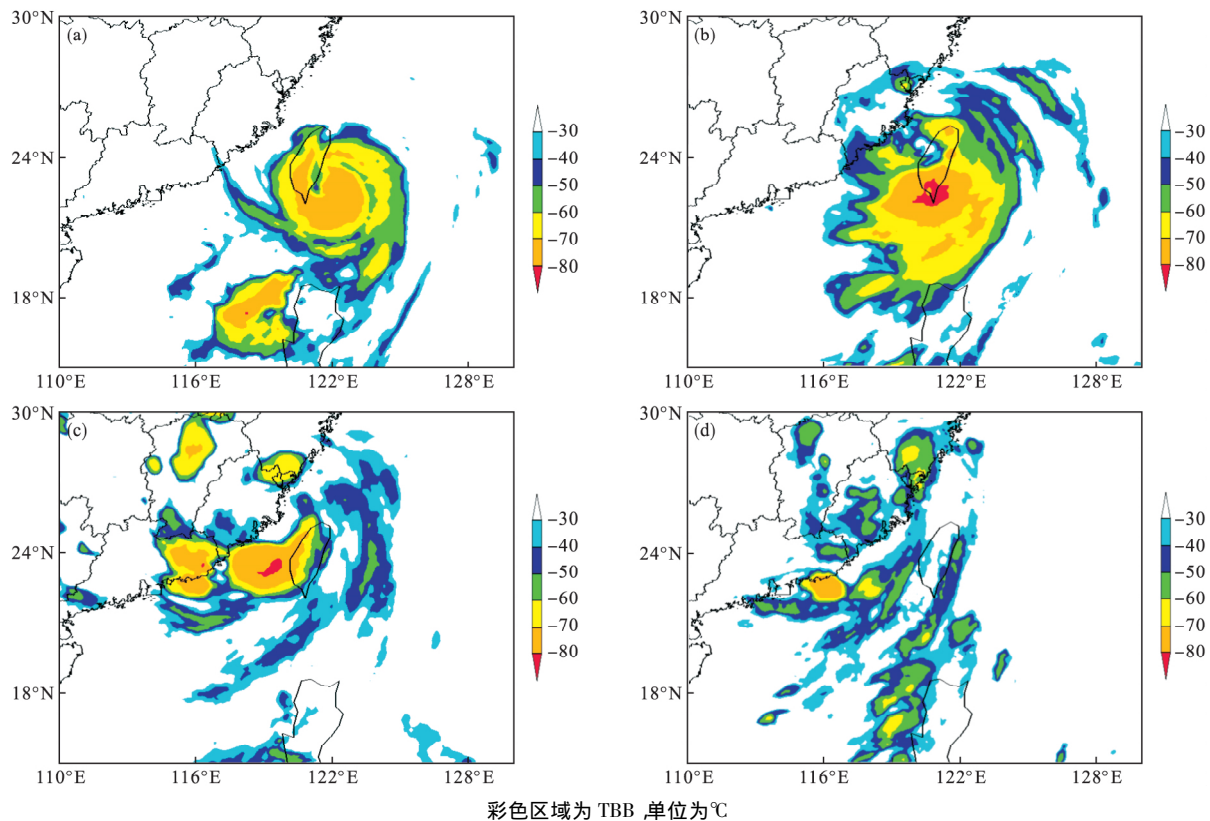


图 2 2014 年 7 月 22 日 22 时(a)、23 日 08 时(b)、23 日 19 时(c)和 24 日 08 时(d) FY-2E 云图

登陆后环流结构表现为明显的非对称性。台风“麦德姆”登陆台湾岛以前(图 2a), 台风眼区较清晰, 云带对称; 台风“麦德姆”登陆台湾岛以后(图 2b), 台风对流云带南侧浓密、北侧松散, 台风眼区开始扩大; 台风“麦德姆”二次登陆中国大陆后, 外围云系沿强热带风暴环流反时针旋转并移动, 云系分裂成为南、北、西三条, 南侧对流云带逐渐向西移动, 出现空心结构。图 2 为 2014 年 7 月 22 日至 24 日 08 时 FY-2E 卫星红外通道反演的 TBB, 由图可以清晰的了解台风登陆后空心结构的演变过程, 23 日 08 时台风云系中心已偏离台风中心, 台风中心南侧螺旋云带较其他部位明显偏强, 积云对流较旺盛, 对流云团最低亮温小于 -80°C ; 23 日 19 时(图 2c), 台风北部积云对流明显减弱, 密蔽云区向西推移; 24 日 08 时(图 2d), 台风云系主要位于其东部, 台风“麦德姆”西北部对流也旺盛发展。

2.2 台风“麦德姆”登陆过程结构和强度变化的主要影响因子

2.2.1 水汽收支

水汽的收支对对流活动有较大影响, 由台风“麦德姆”水汽通量和水平风场的分布可知, 台风登陆前(2014 年 7 月 23 日 02 时, 图 3a) 台风“麦德姆”水汽输送相对于中心较对称, 水汽主要来源于海洋下垫面; 台风“麦德姆”登陆台湾岛后(23 日 08 时, 图 3b), 环流内的水汽通量明显减少, 但其东部洋面和台湾海峡北部水汽通量相对环流的其他部分大, 说明在

台湾海峡内和东部洋面上维持较充沛的水汽输送, 为台风“麦德姆”东部和北部对流活动提供较好的

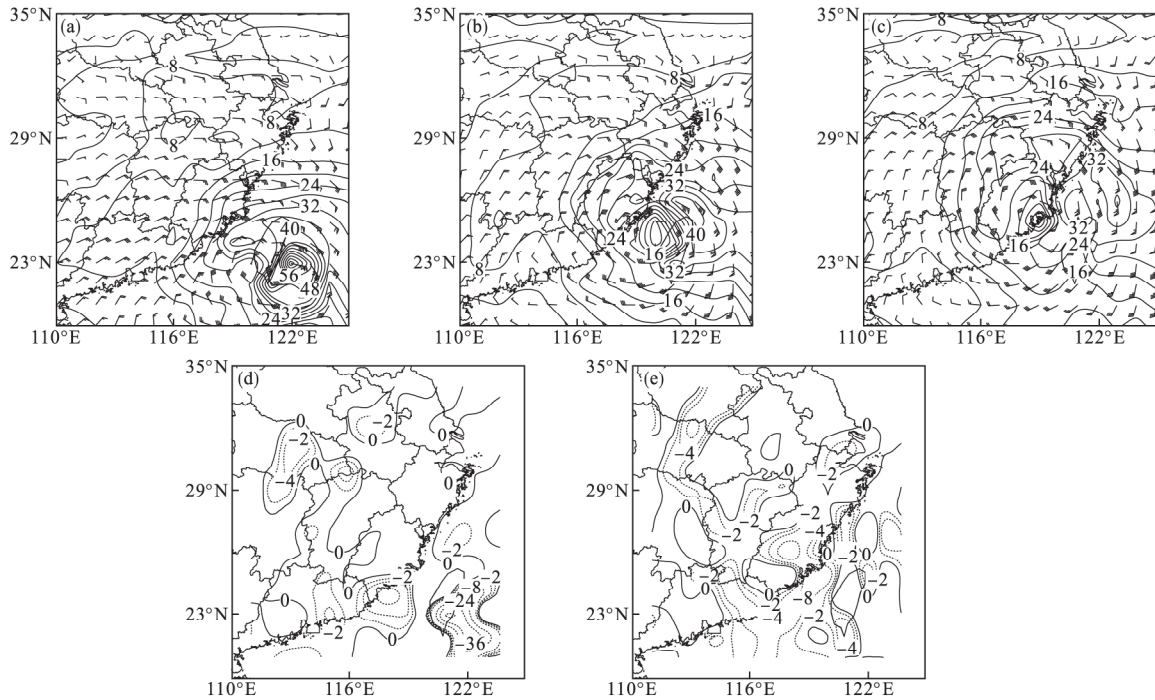


图 a 至图 c 等值线为水汽通量, 单位为 $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$; 一个风羽为 $4 m \cdot s^{-1}$, 半个风羽为 $2 m \cdot s^{-1}$; 图 d 和图 e 等值线为水汽通量散度, 单位为 $10^{-7} g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$

图 3 2014 年 7 月 22 日 20 时 (a)、23 日 02 时 (b)、23 日 20 时 (c) 700 hPa 风场、水汽通量与风矢量和 22 日 20 时 (d)、23 日 20 时 (e) 850 hPa 水汽通量散度的空间分布

Fig. 3 Spatial distributions of wind field, water vapor flux and wind vector at 700 hPa at 20:00 on July 22 (a), 02:00 on July 23 (b) and 20:00 on July 23 (c) and divergence of water vapor flux at 850 hPa at 20:00 on July 22 (d) and 20:00 on July 23 2014

水汽条件。台风“麦德姆”二次登陆大陆后(23日20时,图3c),其东侧水汽输送带仍位于台湾海峡和台湾岛以东洋面上,逐渐远离台风中心,北侧伴随东风急流有一支大的水汽输送带从东海经浙江省中部至江西省东北部,中心强度达 $32 g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$; 24日08时至25日08时(图略)台风东侧水汽输送带始终位于沿海地区,略有北抬,与台风“麦德姆”中心保持一定的距离。

由相应的水汽通量散度变化可见,台风“麦德姆”登陆前(22日20时,图3d),较强水汽辐合区主要位于台湾岛东侧台风环流中心附近;台风“麦德姆”登陆后(23日12时,图3e),东部转为水汽通量散度弱的负值或正值区,较强的水汽辐合主要位于台湾岛及台湾海峡内台风环流西部,与狭管效应造成的气流辐合使水汽在海峡内集中有关。台风“麦德姆”环流内水汽条件的非对称分布对其空心对流结构的形成具有较大影响。

综上所述,水汽输送的不对称性导致台风“麦德姆”的空心结构和降水的空心结构,水汽通量辐合区域有利于对流的发展,在远离台风中心的暴雨区具有强烈而持久的水汽通量辐合。

2.2.2 涡度场

由台风“麦德姆”中心涡度的纬向垂直剖面图可

见,台风登陆前(2014年7月22日20时,台风中心位于 $122.0^{\circ}E, 22.4^{\circ}N$,图4a), $122.0^{\circ}E-124.0^{\circ}E$ 台湾岛东侧洋面上空为对称的正涡度柱(中心最大涡度大于 $70 \times 10^{-5} s^{-1}$); 23日02时(图4b,台风中心位于 $121.0^{\circ}E, 23.6^{\circ}N$) 台风登陆台湾岛, $118.0^{\circ}E-120.0^{\circ}E$ 台湾海峡中部上空低层为负涡度区,从低层垂直延伸至700 hPa附近。台风“麦德姆”中心位于低空急流轴左侧,水平风具有较强的气旋性水平切变,有利于其低压环流的维持;而急流轴右侧水平风场为反气旋式切变,对应台湾海峡内出现负涡度柱,正、负涡度柱的成对出现有利于维持台风垂直环流。23日08时(图4c,台风中心位于 $119.9^{\circ}E, 24.3^{\circ}N$) 台风“麦德姆”穿过台湾岛进入台湾海峡后,正涡度柱逐渐分裂为两个中心,使台风环流开始出现松散的结构,台风对流开始趋于不对称,中心涡度减小,台风逐渐出现空心结构;且 $118.0^{\circ}E-120.0^{\circ}E$ 上空出现明显的正负等涡度线密集区域,从低层一直延伸至高层,且低层密集程度更强,但正涡度中心明显减小($27 \times 10^{-5} s^{-1}$),说明台湾岛对台风环流的摩擦作用使台风环流有所减弱; 23日20时(图4d,台风中心位于 $118.6^{\circ}E, 25.8^{\circ}N$) 台风“麦德姆”再次登陆东南沿海,正涡度中心继续减小,并向西倾斜,空心

结构继续发展。24日08时(图4e,台风中心位

于117.9°E,27.9°N)和14时(图4f,台风中心位于

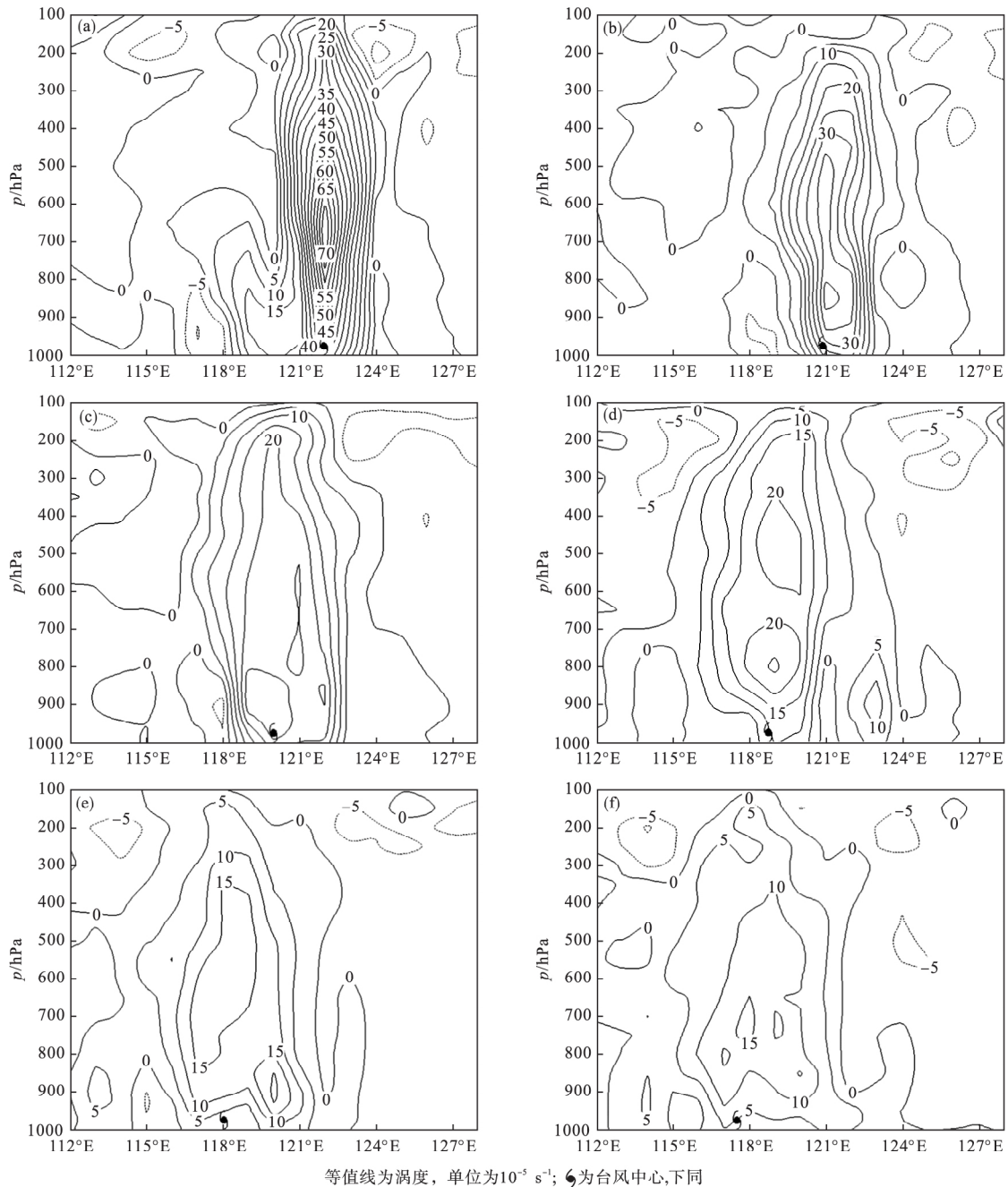


图4 2014年7月22日20时(a)、23日02时(b)、23日08时(c)、23日20时(d)、24日08时(e)和24日14时(f)沿台风“麦德姆”中心的涡度垂直剖面

Fig. 4 Zonal-vertical profiles of vorticity along the center of "Matmo" at 20:00 on July 22 (a) 02:00 on July 23 (b) 08:00 on July 23 (c) 20:00 on July 23 (d) 08:00 on July 24 (e) and 14:00 on July 24 (f) 2014

117.8°E,29.1°N)正涡度进一步向西倾斜并分裂为两个中心,即除台风“麦德姆”环流中心存在一个正涡度外,在远离台风中心的120.0°E地区还存在一个更强的正涡度,这是台风中心风速明显小于中心以外地区的原因,也说明登陆台风的地面摩擦使台风强度削弱,且对台风结构的松散具有明显影响。

2.2.3 散度场

由台风“麦德姆”中心散度的纬向垂直剖面可见,登陆前(图5a)台风“麦德姆”中心附近散度负值

区垂直向上伸展至300 hPa,而后向东倾斜,而高层散度正值区从300 hPa延伸至100 hPa,伸展范围较广,辐散中心位于1000 hPa附近。台风“麦德姆”登陆台湾岛后(图5b),受摩擦作用影响,低层散度负值区明显缩小减弱,负散度柱强度减弱,从500 hPa开始向东倾斜,高层的正散度一直向下发展至500 hPa。台风“麦德姆”进入台湾海峡后(图5c),尽管低层负散度有所加大,即台风“麦德姆”低层的辐合有所发展,但负散度柱高度越来越低,仅至

600 hPa; 中层正散度越来越强,且在 900 hPa 至

700 hPa 也有正散度出现,中低层辐散加强,边界层

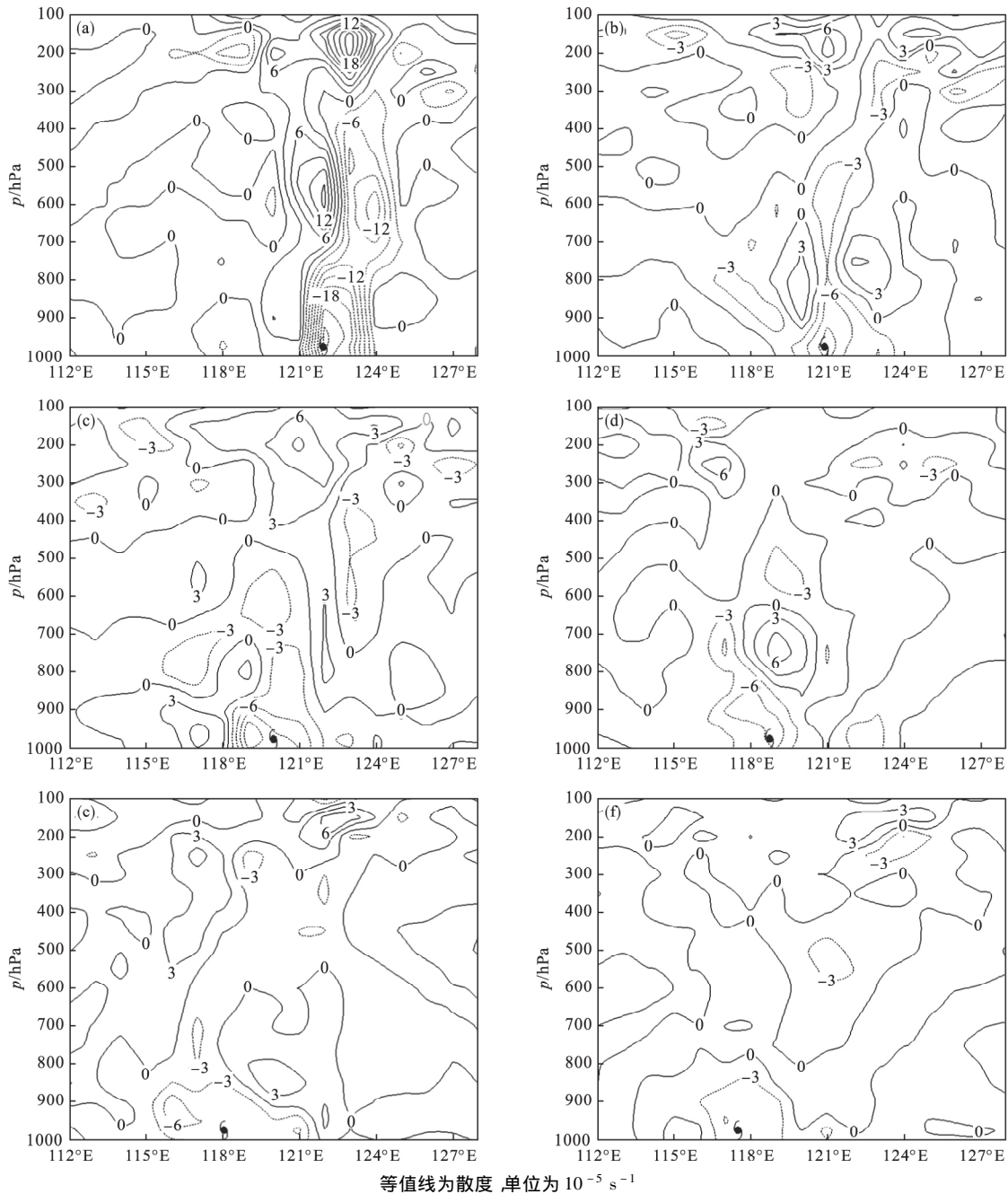


图 5 2014 年 7 月 22 日 20 时 (a)、23 日 02 时 (b)、23 日 08 时 (c)、23 日 20 时 (d)、24 日 08 时 (e) 和 24 日 14 时 (f) 沿台风“麦德姆”中心的散度垂直剖面

Fig. 5 Zonal-vertical profiles of divergence along the center of "Matmo" at 20:00 on July 22 (a) 02:00 on July 23 (b), 08:00 on July 23 (c) 20:00 on July 23 (d) 08:00 on July 24 (e) and 14:00 on July 24 (f) 2014

辐合减弱,使台风“麦德姆”强度进一步减弱。台风“麦德姆”再次登陆东南沿海后(图 5d),近地层辐合进一步减弱,且出现两个负散度中心;而正散度从上层发展至低层,850—700 hPa 正散度中心强度达 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,使台风空心结构进一步明显,而台风强度进一步减弱。24 日 08—14 时(图 5e 和图 5f)在台风“麦德姆”西侧和东侧距台风中心 200—400 km 处,存在高层辐散和低层辐合的对流配置区。综上所述,台风“麦德姆”登陆后中心附近高层辐合、低层辐

散的发展使台风空心结构出现,在台风中心外围局地形成非对称分布的高层辐散和低层辐合配置对流区,从而有利于对流性天气的发生发展。

2.2.4 地形作用

地形是影响台风“麦德姆”强度迅速减弱和结构变化的最重要原因之一,台风“麦德姆”首先从东面正面登陆台湾岛,受台湾岛地形的影响,然后经过台湾海峡后又登陆福建地区,主要受台湾岛和武夷山等福建沿海地形的影响。研究表明^[8-9],从中国大

陆东面登陆的台风,绝大多数受地形影响使对流结构松散、强度迅速衰减,气象学者研究发现穿越台湾岛的热带气旋(Tropical Cyclone, TC)可能会出现中心强度迅速减弱的“空心”现象^[10-13]。数值模拟试验表明^[14-16],台湾岛地形具有使台风结构非对称增大的趋势,是台风形成迎风坡诱生低压和背风坡诱生高压的主要因子,这种诱生低压能改变 TC 的结构^[17-18]。台风“麦德姆”登陆台湾岛时,由于地表摩擦力加大,引起其结构的变化和强度减弱。台风“麦德姆”第二次登陆福建地区后,下垫面由海洋变为陆地,台风中心直接的能量和水汽供应明显减小,也导致其低层环流结构和强度的进一步减弱。台风进入

江西地区以前越过了武夷山,山脉再次对台风“麦德姆”造成低层结构性破坏。由于武夷山脉水平长达近百公里,许多山峰高达 1 km 以上,台风“麦德姆”中心经过的山峰最高可达 2 km;在台风结构中,地面至 3 km 为流入层,可见山脉对台风“麦德姆”流入层结构的破坏巨大。同时台风眼壁也受到破坏,受高山的阻挡作用,台风眼壁的上升气流和台风眼内的下沉气流将变得不稳定,台风底部的辐合也受到高山的阻挡,导致台风眼被堵塞。由垂直风场结构的演变可知,台风“麦德姆”登陆台湾岛后(图 6a),受地形的摩擦作用,台风的气旋性环流逐渐开始从低层向高层减弱,高层台风中心进一步向西

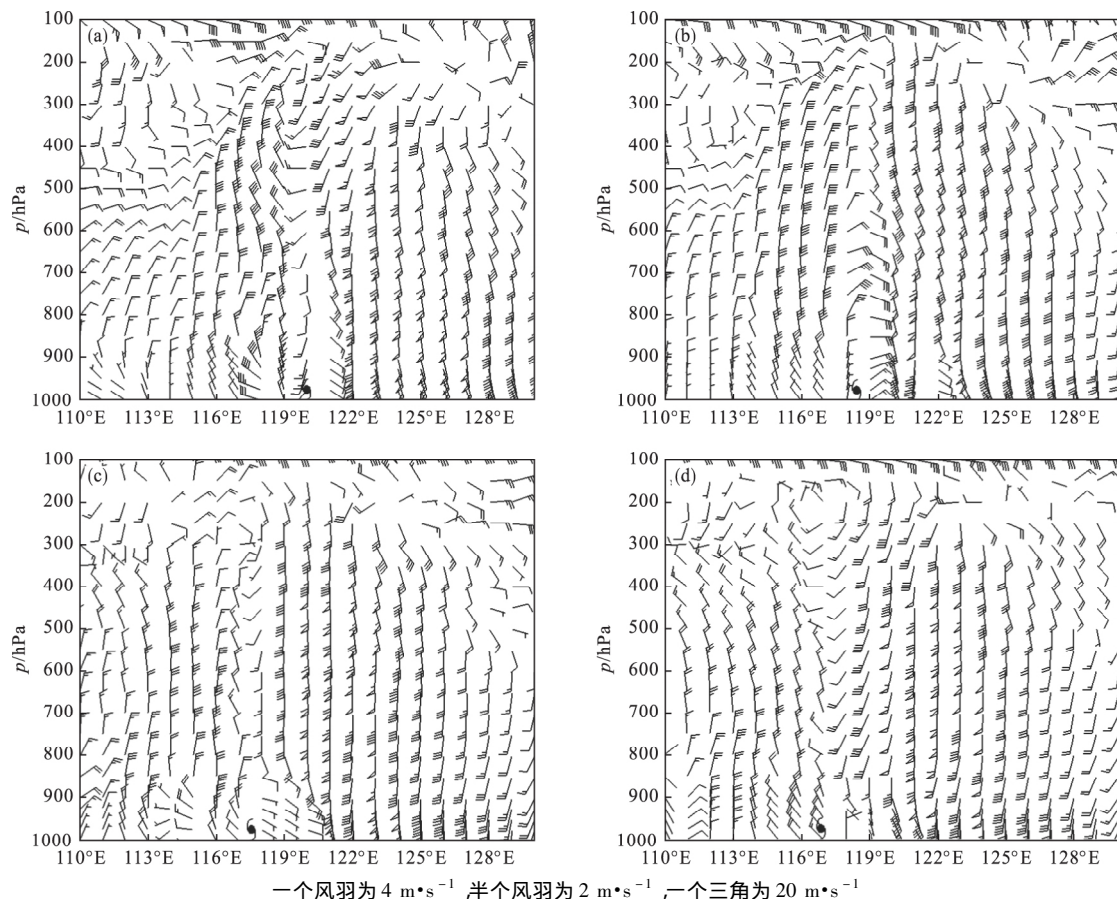


图 6 2014 年 7 月 23 日 08 时(a)、23 日 20 时(b)、24 日 08 时(c)和 24 日 14 时(d)沿台风“麦德姆”中心的风场垂直剖面
Fig. 6 Zonal-vertical profiles of wind field along the center of "Matmo" at 08:00 on July 23 (a) 20:00 on July 23 (b), 08:00 on July 24 (c) and 14:00 on July 24 (d) 2014

南偏离,且中层中心也开始向南偏离,低层中心风力减弱,900 hPa 以下的低层风场出现不对称结构。台风二次登陆福建地区后(图 6b),环流空心不对称结构开始从低层发展至高层(200 hPa),低层气旋性涡旋结构进一步减弱,呈现西北风、北风、东北风向台风中心辐合的形势,风场偏心结构已发展至 800 hPa,大风速区位于台风东侧,且逐渐远离台风中心,滞留在沿海 120.0°E 附近;台风“麦德姆”进入江西地区后(图 6c 和图 6d),在地形的影响下其中

心风速进一步减小,风场结构出现“空心”。

2.2.5 相似台风结构的对比

为了进一步阐明台风“麦德姆”的结构特征,与 2008 年 8 号台风“凤凰”进行对比分析。台风“凤凰”于 2008 年 7 月 25 日下午在台湾东部洋面生成,生成后向西移动,26 日 17:00 加强为台风,27 日 20:00 在台湾东南部 150 km 的洋面上加强为强台风;28 日上午登陆并穿过台湾岛,于 28 日 14:00 进入台湾海峡,强度减弱为台风;22:30 在福建省福清

市东瀚镇沿海登陆, 登陆时中心风力为 12 级, 登陆后向西北方向移动, 29 日 00:00 减弱为强热带风暴; 29 日 21 时进入江西省上饶市内(弋阳县), 并穿过鹰潭市和鄱阳湖, 30 日 14:00 在鄱阳县境内减弱为热带低压, 而后从九江市移至湖北省黄梅县减弱消失。台风“凤凰”的移动路径和影响区域、影响时间与台风“麦德姆”极其相似, 二者均为登陆台湾岛后又再次登陆大陆, 在福建地区的登陆点仅相差二十

多公里, 路径以西北行为主, 登陆台湾岛后二者移动路径线的平均距离约为 70 km, 均从江西省东北部的上饶市境内进入江西省, 因此在登陆台湾岛到进入江西省的路途中经过的地形可以近似认为是相同的。虽然两个台风登陆路径和影响区域极其相似, 但台风“凤凰”与台风“麦德姆”具有不同的特点: 一是台风中心附近普遍出现大到暴雨、局部大暴雨(图 7a 和图 7b); 二是其环流完整清楚(图 7c), 虽然强度减弱

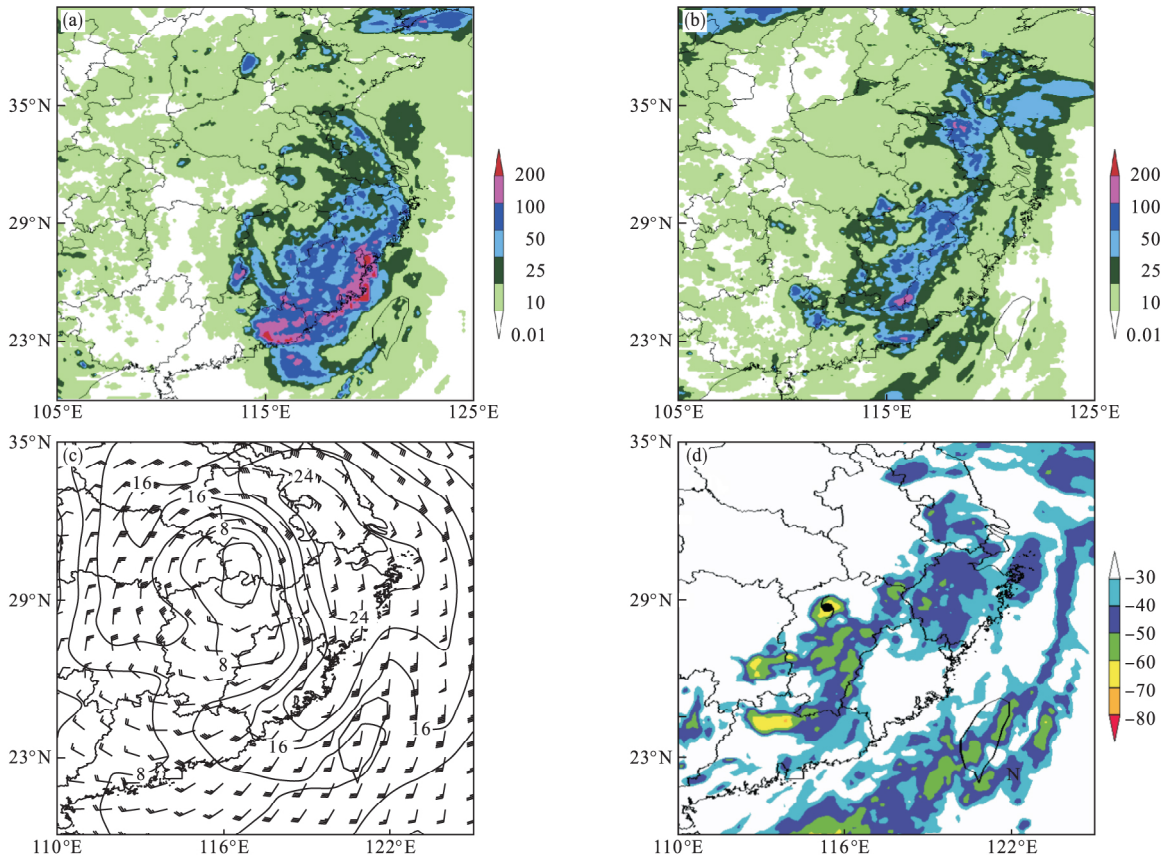


图 a 和图 b 彩色区域为降雨量, 单位为 mm; 图 c 等值线为全风速, 单位为 $m \cdot s^{-1}$; 一个风羽为 $4 m \cdot s^{-1}$, 半个风羽为 $2 m \cdot s^{-1}$, 一个三角为 $20 m \cdot s^{-1}$; 图 d 彩色区域为 TBB, 单位为 $^{\circ}C$

图 7 2008 年 7 月 29 日 08 时至 30 日 08 时 (a) 和 30 日 08 时至 31 日 08 时 (b) 台风“凤凰”24 h 降雨量、29 日 14 时 850 hPa 风矢量和全风速 (c)、30 日 16 时 FY-2E 云图与台风中心位置 (d)

Fig. 7 Spatial distributions of accumulative rainfall amount in 24 hours of typhoon "Fenghuang" from 08:00 on July 29 to 08:00 on July 30 (a) and from 08:00 on July 30 to 08:00 on July 31 (b) its wind vector and wind speed at 850 hPa at 14:00 on on July 29 (c) and TBB of FY-2E and position of this typhoon at 16:00 on July 30 (d) 2008

但中心附近风力大于外围; 三是中心附近云系稠密, 对流强盛(图 7d)。由此可见台风“凤凰”完全没有出现空心结构的现象。

2.2.6 地面冷空气的影响

台风“麦德姆”进入江西地区后, 高空低槽携带的地面弱冷空气从台风北部卷入, 由 2014 年 7 月 24 日 08 时 850 hPa 的温度平流可见(图 8a), 台风中心北部有明显的冷平流, 冷空气侵入台风环流中心, 使台风“麦德姆”低层暖心结构遭到破坏, 一方面使台风“麦德姆”的结构产生不对称的空心现象, 另一方面弱冷空气渗透使台风环流外部斜压性加强, 在

台风“麦德姆”外围西北方向 200—300 km 诱发中尺度对流的发展和稳定维持, 形成一条东北—西南向长度约为 100 km 左右的中尺度锋区(图 8b), 加上地形作用造成局地低层辐合加强^[19-23], 对流不稳定能量及潜热能释放^[24-26], 使上升运动迅速增强, 为特大暴雨的产生提供了有利的条件^[27-30]。

2014 年 7 月 24 日 08 时台风“麦德姆”中心进入江西地区, 由台风的垂直结构可见(图 9), 500 hPa 以上为暖心结构, 24 h 变温为 $3^{\circ}C$ 以上; 500 hPa 以下暖心结构逐步减弱, 并由高层至低层温度中心逐

渐向东南倾斜,在台风西北部(江西省北部地区)存

在温度低值区(850hPa和925hPa更明显)。由风

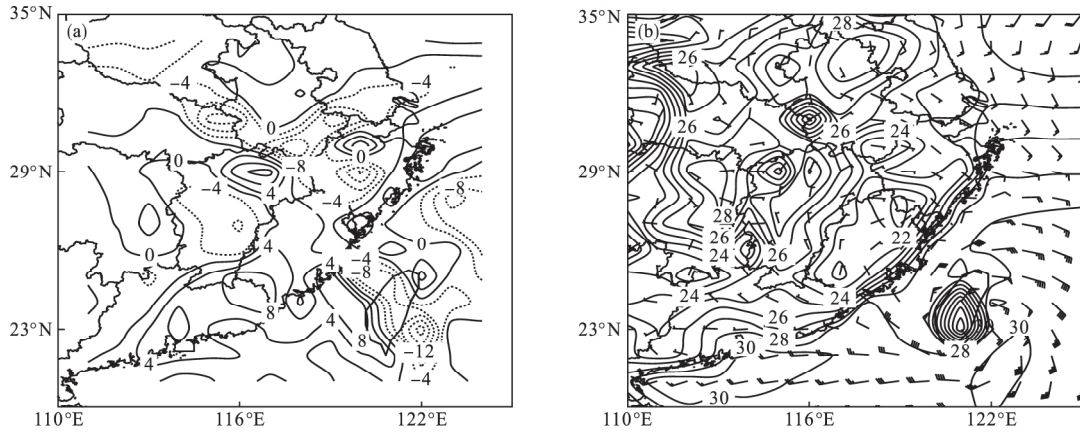
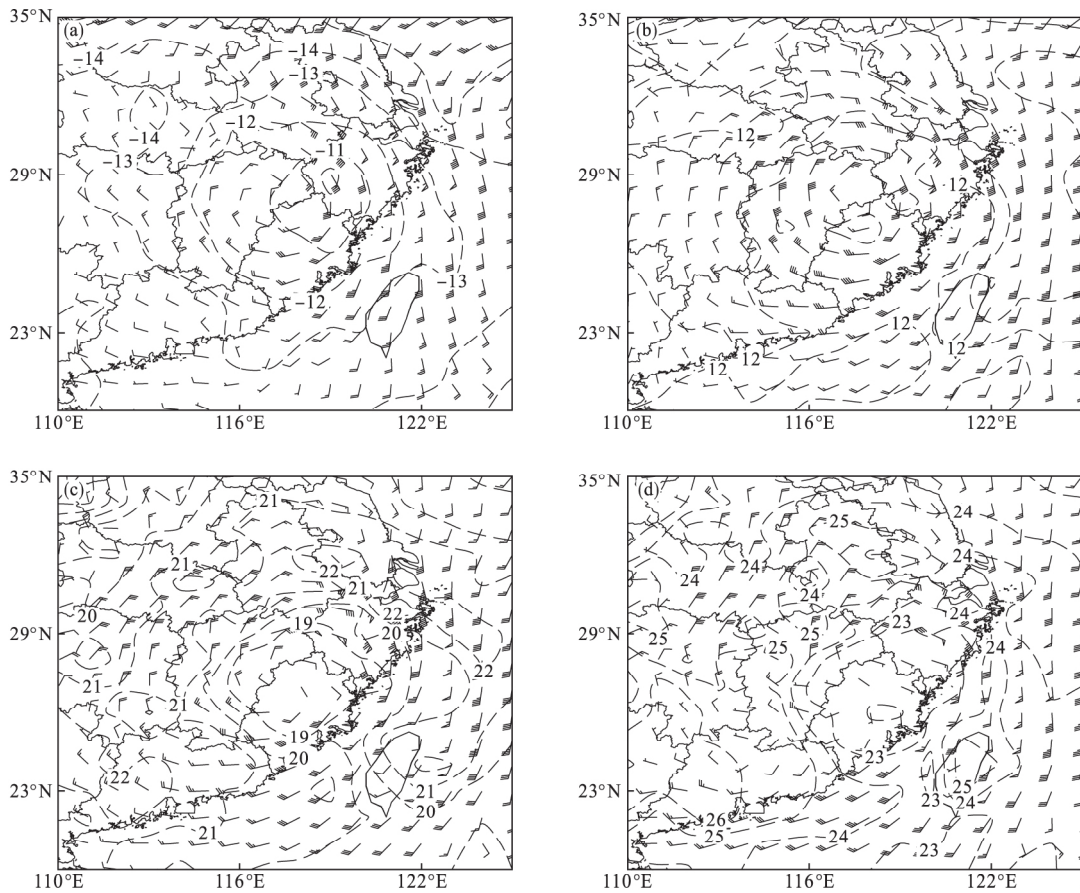


图 a 等值线为温度平流,单位为 $10^{-5} K \cdot s^{-1}$; 图 b 等值线为等温线,单位为 $^{\circ}C$; 一个风羽为 $4 m \cdot s^{-1}$, 半个风羽为 $2 m \cdot s^{-1}$, 一个三角为 $20 m \cdot s^{-1}$

图 8 2014 年 7 月 24 日 08 时 850 hPa 温度平流 (a)、地面温度和风矢量 (b)

Fig. 8 Spatial distributions of temperature advection (a) ground temperature and wind vector (b) at 850 hPa at 08:00 on July 24 2014



等值线为等温线,单位为 $^{\circ}C$; 一个风羽为 $4 m \cdot s^{-1}$, 半个风羽为 $2 m \cdot s^{-1}$, 一个三角为 $20 m \cdot s^{-1}$

图 9 2014 年 7 月 24 日 08 时 400 hPa (a)、700 hPa (b)、850 hPa (c)、925 hPa (d) 风场和温度场

Fig. 9 Spatial distributions of wind and temperature fields at 400 hPa (a) 700 hPa (b) 850 hPa (c) and 925 hPa (d) at 08:00 on July 24 2014

场环流可见(图 9),高低空中心倾斜明显,尤其在 925—850 hPa(图 9c 和图 9d)南昌地区附近偏北风达 $12-16 m \cdot s^{-1}$,强偏北风且风向与等温度线夹角大,带来明显冷平流,江西省北部地区 24 h 普遍存在 $-4 \sim -1^{\circ}C$ 变温,江西省德安县特大暴雨区主要位

于冷暖平流的交汇带中。由 24 日 08 时 850 hPa 冷暖平流可见(图 8a),江西省西北部地区主要为强盛的暖平流,江西省东北部至安徽地区有多个冷平流中心,中心极值可达 $-100 \times 10^{-5} K \cdot s^{-1}$,随着台风向西北方向推进,冷空气夹卷入台风中心,使台风环流

外部斜压性加强,激发了对流不稳定能量和潜热能的释放,为台风外围的江苏省北部、安徽省中部、江西省北部等地区,尤其是江西省德安附近的强降水和特大暴雨提供了有利的能量条件。

3 结论

(1) 台风“麦德姆”登陆后其移动路径与天气形势和环境场密切相关,西太平洋副热带高压引导气流的变化与大陆高压的阻挡是影响台风移动路径的主要原因。台湾岛、福建沿海山脉和武夷山脉等地形是影响台风“麦德姆”强度减弱和结构变化的重要原因之一。

(2) 台风“麦德姆”登陆前后对流分布的变化与水汽输送和水汽通量辐合的变化密切相关,登陆台湾岛后台风环流内的水汽通量明显减少,但在台湾海峡内和东部洋面上维持较充沛的水汽输送,为台风“麦德姆”东部和北部的对流活动提供了较好的水汽条件;台风“麦德姆”二次登陆大陆后,其东侧的水汽输送带逐渐远离台风“麦德姆”中心,其北侧伴随东风急流有一支大的水汽输送带从东海到达华东地区,使台风的对流活动不对称并出现空心结构。

(3) 地形对台风“麦德姆”空心结构的形成和强度的减弱具有重要作用,台湾岛、沿海陆地和武夷山等地形使台风中心附近的正涡度逐渐减小,并出现空心结构;地形摩擦作用使台风的气旋性环流逐渐开始从低层向高层减弱,台风中心向南偏离,风场结构出现不对称,大风速区逐渐远离台风中心等。通过与台风“凤凰”对比分析可知,不是所有台风登陆台风减弱后均能形成与台风“麦德姆”一样的“空心结构”。

(4) 地面弱冷空气从台风北部卷入,一方面使台风“麦德姆”环流结构产生斜压变化,出现不对称的空心现象;另一方面在远离台风“麦德姆”中心200—400 km附近,由于弱冷空气渗透,形成中尺度锋区,造成局地低层辐合加强,对流不稳定能量和潜热能释放,使上升运动迅速增强,为特大暴雨的产生提供了有利的条件。

参考文献

- [1] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展[J].大气科学,2001,25(3):420-432.
- [2] 徐祥德,陈联寿,解以扬,等.环境场大尺度锋面系统与变性台风结构特征及其暴雨的形成[J].大气科学,1998,22(5):744-752.
- [3] Chen L S. An overview on the impact of interaction between low-mid latitude circulation on rainfall and tropical cyclone behavior [C]//24th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. Fort Lauderdale, FL, USA, 2000.
- [4] 罗哲贤.边缘区域扰动演变对台风结构的影响[J].大气科学,1994,18(5):513-519.
- [5] Meng Z Y, Yong T Y, Chen L S. A numerical study on the formation and development of island-induced cyclone and its impact on typhoon structure change and motion [J]. Journal of Meteorological Research, 1996, 10(4): 430-443.
- [6] 许雯,高守亭,崔晓鹏,等.登陆台风“凡亚比”(1011)合力散度分布及演变特征研究[J].大气科学,2014,38(1):110-120.
- [7] 周玉淑,邓涤菲,李建通.登陆热带气旋 Bilis(0604)暴雨增幅与风场结构变化[J].大气科学,2014,38(3):563-576.
- [8] 胡姝,李英,许映龙.登陆台湾岛热带气旋强度和结构变化的统计分析[J].热带气象学报,2012,28(3):300-310.
- [9] 任福民,王小玲,陈联寿,等.登陆中国大陆、海南和台湾的热带气旋及其相互关系[J].气象学报,2008,66(2):224-235.
- [10] 陈瑞闪.试论台风的“空心”现象[J].海洋预报,1987,4(1):68-72.
- [11] 张长安,郑秀专,潘娅婷.台风圣帕的空心现象分析[J].气象,2008,34(4):48-52.
- [12] 李英,钱传海,陈联寿. Sepat 台风(0709)登陆过程中眼放大现象研究[J].气象学报,2009,67(5):799-810.
- [13] 胡姝,孙立尹,李英.热带气旋结构和强度变化研究进展[J].气象与环境学报,2014,30(4):91-98.
- [14] Yu Z S, Hou Q F, Wang H D, et al. A numerical study of the effect of Taiwan island terrain on typhoon Haitang (0505) track [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 14(1): 37-40.
- [15] 李英,陈联寿.湿地边界层通量影响热带气旋登陆维持和降水的数值试验[J].气象学报,2005,63(5):683-693.
- [16] 李英,陈联寿,徐祥德.水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J].大气科学,2005,29(1):91-98.
- [17] 朱会芸,熊双全.地形对台风影响的数值模拟研究——以台风“泰利”为例[J].成都信息工程学院学报,2008,23(4):453-459.
- [18] 孟智勇,徐祥德,陈联寿.台湾岛地形诱生次级环流系统对热带气旋异常运动的影响机制[J].大气科学,1998,22(2):156-168.
- [19] 徐晶,李伟华.台风强降雨诱发地质灾害的雨量特征分析[J].气象,2009,35(8):42-48.
- [20] 黄克慧.台风云娜后部强降水分析[J].气象,2006,32(2):98-103.
- [21] 伍志方,易爱民,叶爱芬,等.广州短时大暴雨多普勒

- 特征和成因分析[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 455 - 459.
- [22] 尹洁, 王欢, 陈建萍. 强热带风暴碧利斯造成华南持续大暴雨成因分析[J]. 气象科技, 2008, 36(1): 63 - 68.
- [23] 何立富, 许爱华, 陈涛. “泰利”台风低压大暴雨过程冷空气与地形的作用[J]. 气象科技, 2009, 37(4): 385 - 391.
- [24] 温舟, 张放, 杨桂娟, 等. 锦州地区一次短时局地暴雨 $V-3\theta$ 图特征[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(6): 37 - 42.
- [25] 才奎志, 蒋大凯, 杨磊, 等. 辽宁黑山突发性局地特大暴雨中尺度对流条件和特征[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(6): 1 - 7.
- [26] 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.
- [27] 钱燕珍, 王继志, 郑铮, 等. 台风麦莎(Matsa)特大暴雨及其结构特征分析[J]. 气象科技, 2010, 38(5): 543 - 549.
- [28] 林毅, 刘铭, 刘爱鸣, 等. 台风龙王中尺度暴雨成因分析[J]. 气象, 2007, 33(2): 22 - 28.
- [29] 骆荣宗. 9012号台风中尺度螺旋雨带与暴雨的观测分析[J]. 热带气象学报, 1997, 13(2): 173 - 179.
- [30] 史得道, 易笑园, 孙密娜, 等. 影响天津地区两次北上热带气旋过程对比分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(3): 19 - 27.

Analysis of the hollow structure and characteristics of landing typhoon "Matmo"

GUO Da-feng ZHOU Fang CHEN Xiang-xiang BAO Hui-meng
(Meteorological Observatory of Jiangxi Province, Nanchang 330096, China)

Abstract: The formation of hollow structure and its characteristics of typhoon "Matmo" were analyzed based on diagnostic analysis methods including the circulation situation, vertical structure of typhoon, water vapor transport and the effect of intrusion of the cold air. The conventional meteorological data, NCEP (National Centers for Environmental Prediction) reanalysis and FY-2 cloud data were used. The results show that the terrain, such as Taiwan Island, the mountains along the coast of Fujian province and Wuyi Mountains, is the main reason to influence the change of intensity and structure of typhoon "Matmo". The vorticity and divergence fields at upper and low layers, water vapor flux transport, the intrusion of the ground cold and dry air among others contribute to the formation of the "hollow" phenomenon of "Matmo". Compared with the other typhoons, it indicates that even though the tracks and influencing regions are similar, their structures are significantly different. This suggests that the structure change of landing typhoons is very complicated.

Keywords: Precipitation; Terrain; Cold air