

0604 号强热带风暴碧利斯异常强降雨过程的诊断分析

张恒德 孔 期

(中国气象局国家气象中心,北京 100081)

提 要: 基于 0604 号强热带风暴“碧利斯”异常强降雨对我国造成的巨大影响,使用地面加密观测资料、卫星云图资料、NCEP/NCAR 再分析资料及中尺度模式输出的产品,对此次强热带风暴登陆减弱后缓慢移动且长时间维持而引发的湖南、广东等地强降雨过程进行了诊断分析。结果表明:受西太平洋副热带高压、北方大陆高压、青藏高原东部高压及低纬赤道高压的包围,低压移动缓慢,而西南季风气流及副高西南侧的东南气流源源不断地输送水汽到低压环流中,有利于其强度经久不衰,低压持续存在。对中尺度数值预报产品和物理量场的分析发现,水汽供应充沛,低层气流辐合性较强,垂直对流旺盛,是这次强降雨发生的有利条件。

关键词: 热带低压 强降雨 数值预报产品 副热带高压

Diagnostic Analysis of Severe Tropical Storm Bilis Heavy Rain Event

Zhang Hengde Kong Qi

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: Due to the enormous disaster of the heavy rainfall in Hunan and Guangdong, etc., caused by the severe landing tropical storm Bilis, the process is investigated based on the dense observational data, the satellite data, NCEP/NCAR re-analysis data and products of MM5. The results show that the tropical depression moved tardily owing to the surrounding of the west Pacific subtropical high, north mainland high, Tibetan high and low latitudes high. The southeast stream from the southwest part of the subtropical high and the southwest monsoon stream transported the vapor to the depression continuously, which was propitious to the maintenance of its intensity. It is found that plenteous vapor, intense vertical convection and strong convergence of the low level stream have advantage for the heavy rainfall by analyzing MM5 numerical forecast products and physical factor field.

基金项目:国家自然科学基金委重点基金(40633015);中国气象局气候变化专项(CCSF2007-31)共同资助

收稿日期:2007年1月23日; 修定稿日期:2007年3月22日

Key Words: tropical depression heavy rainfall numerical forecast product subtropical high

引 言

多年来,登陆台风及热带风暴带来的暴雨受到广泛关注。大量的研究表明,台风暴雨与中小尺度系统^[1-2]、中纬度系统^[3-4]、高低空急流^[5-6]、地形^[7]及下垫面^[8]等均有紧密联系。在台风强降水中心区,低空有非常清楚的中尺度气旋性涡旋,高空有明显反气旋性涡旋或辐散线^[2]。西风槽、低空急流及副热带高压之间的良好配置和相互作用可使台风降水明显加大,环境大气动能和位能的输入是台风暖性低压长期维持的重要原因^[9]。统计发现,台风暴雨发生时,200hPa 高空一般为西南急流,暴雨区位于高空急流的右后方;暴雨出现增幅时,高空急流有增强转竖趋势^[6]。地形阻挡及喇叭口地形辐合效应对台风暴雨的增幅有显著作用^[7];而当登陆后的台风环流停滞在一个大的水面或饱和湿土上,则能维持较长时间,台风暴雨也会加强^[8]。近年来,针对台风暴雨的物理量诊断方面我国学者也积累了大量成果^[9-11]。另外,我国在台风暴雨的数值模拟方面还取得了长足进步^[3,12-13]。

以上研究多数针对台风暴雨个例的某方面,主要集中在台风登陆不久及中心较强阶段。而在实际业务中,对台风登陆减弱成低压之后几天的降水量的预报不是非常精确,有待于进一步加强。2006 年,登陆台风多,由此产生的暴雨灾情较重,为此本文使用地面加密观测资料、卫星云图、NCEP 再分析资料及中尺度模式(MM5)输出的产品,对 2006 年 7 月 14—18 日强热带风暴碧利斯在我国福建再次登陆减弱后缓慢移动、长时间维持引起的福建、浙江、江西、湖南、广东、广西等省(区)造成

的强降水过程进行综合分析,以便进一步加强对此类台风暴雨的认识和预报。

1 “碧利斯”概况及雨情分析

2006 年 7 月 9 日,0604 号热带风暴碧利斯(BILIS)在菲律宾以东洋面上生成(图略),11 日下午加强为强热带风暴,于 13 日 23 时在台湾省宜兰登陆,而后穿过台湾北部后进入台湾海峡,于 14 日中午 12 时 50 分在福建省霞浦县北壁镇沿海再次登陆,登陆时中心附近的最大风力为 11 级($30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。登陆后以 $10\sim 15\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度继续向西北偏西方向移动,15 日下午在江西西南部减弱为热带低气压并缓慢地向西偏南方向移动,经过湖南、广西和云南,18 日晚上在云南东部减弱消失。

“碧利斯”登陆后,受西太平洋副热带高压(以下简称副高)、北方大陆高压及低纬赤道高压环流包围,促使该低气压环流经久不消,共历时 5 天。“碧利斯”登陆后与西南季风相互作用形成长时间强降水,其深入内陆降雨强度之大,持续时间之长,影响范围之广,极为少见。在“碧利斯”减弱后的低压与强劲的西南暖湿气流共同作用下,该低气压途经的福建、浙江、江西、湖南、广东和广西 6 省区普遍出现大暴雨或特大暴雨。如图 1a 所示,降水主要出现在 2006 年 7 月 14 日 08 时至 18 日 08 时,最大强降水集中于 15 日 08 时至 16 日 08 时(图略),其中福建长太、湖南永兴、广东博罗、广西平乐、浙江永嘉、江西龙南等站的 4 天总降水量分别达 594、474、565、358、196、289mm,前 4 站 24 小时最大降水出现在 15 日 08 时至 16 日 08 时,依次为 358、216、223、250mm(图 1b)。受此强

降水影响,上述 6 省(区),相继发生严重洪涝、山洪等灾害。2962.2 万人不同程度受灾,因灾死亡 612 人,失踪 208 人,直接经济损失 266 亿元人民币。因此,本文将重点讨论热带风暴减弱后的低压长期维持的原因,分析此次强降水的形成条件并进行一些物理量的诊断。由于强降水主要发生在北京时间 14 日夜间至 16 日白天,为此以下将主要分析 14 日 08 时至 16 日 20 时物理量特征。

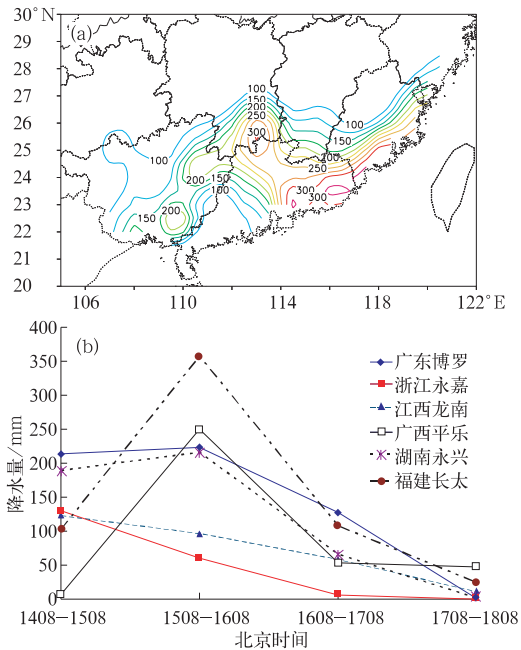


图 1 2006 年 7 月 14 日 08 时至 18 日 08 时降水总量分布(a,单位:mm)及永兴、龙南等 6 站 24 小时降水量变化(b)

2 资料和数值模拟

文中采用的资料有全国两千多个加密站实况观测资料、NCEP/NCAR $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析格点资料、卫星云图资料,以及中尺度模式 MM5(以下简称模式)输出的每 3 小时一次的预报产品。

本模式选取非静力平衡作为动力框架,垂直方向 23 层,采用三层嵌套网格,其水平分辨率分别为 54km、18km、6km,内部两层

采用双向嵌套,使用的实时观测资料为探空报、地面报等,时间积分步长为 180s,每 3 小时输出一次结果。

最强降水主要集中在 15 日 08 时至 16 日 08 时。比较模式输出的降水预报场和实况场(图 2),可以发现模式结果与实况比较接近,雨带形式大体一致,基本上模拟出了暴雨区,广东和福建的暴雨中心预报效果较好,因此可以选取模式输出的部分物理量对此次强降水过程进行诊断。但模式输出结果在湖南南部的暴雨区则出现了一定程度的漏报现象,这可能与模式中参数化过程仍有不足、分辨率设计等因素有关,这有待于今后的进一步改进。

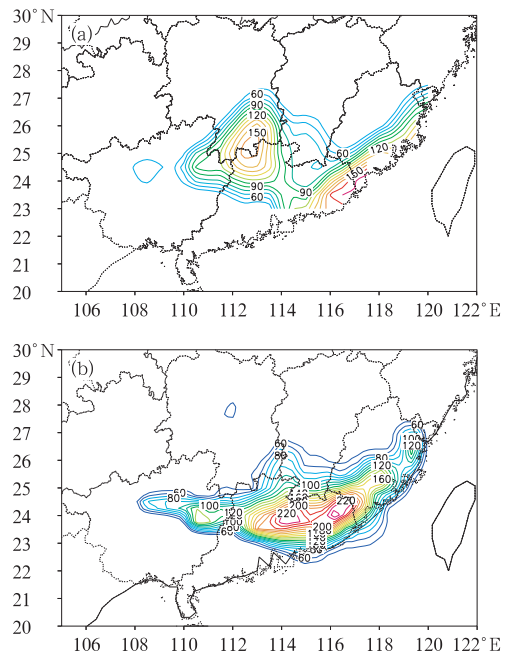


图 2 2006 年 15 日 08 时至 16 日 08 时实况(a)和 24 小时预报(b)降水量场(单位:mm)

3 低压长时间维持原因分析

强热带风暴“碧利斯”于 14 日中午在福建省霞浦县北壁镇沿海再次登陆,之后,从

500hPa 高度场(图 3a)可以看出,副高非常强盛,位置也偏北偏西,在强风暴东北方甚至出现了 592dgpm 闭合线,此外在强风暴的北方及西北方 584dgpm 线所围面积也很广阔,如此强的高压在很大程度上抑制了风暴的北上,而南边低纬度地区由于赤道高压环流的存在又使得强风暴短时间内很难南下、衰弱、消失。这就造成了风暴低压一边受副高的引导向西北方向移动,但同时又由于北部高压的存在而难以移动,这种情况下,低压就只能长期维持,移动缓慢。随着“碧利斯”从福建霞浦继续向西北偏西方向移动,这种环流形势长时间维持,并且北方高压不断加强,15 日 14 时(图 3b)以后,副高脊点西伸至 100°E 以西,同时,热带风暴在江西西南部也减弱为 50°N

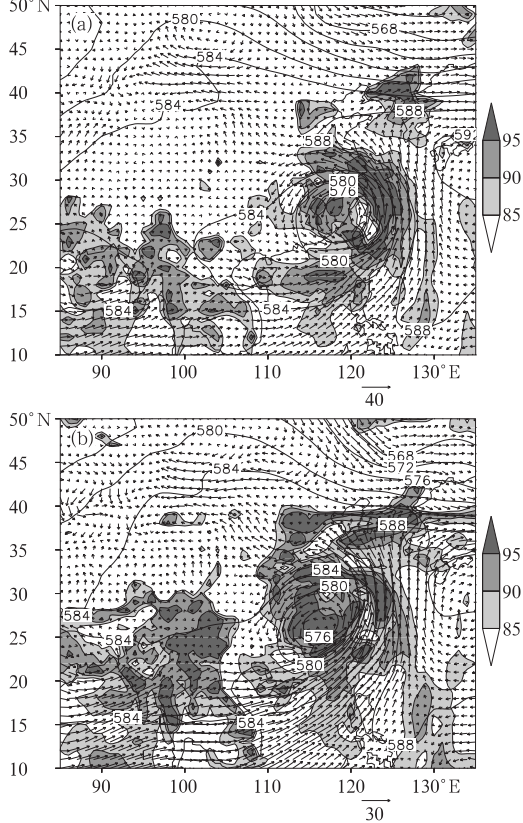


图 3 2006 年 7 月 14 日 14 时(a)和 15 日 14 时(b) 850hPa 水平流场(矢线)、相对湿度(阴影区表示相对湿度≥85%)和 500hPa 高度场(实线,单位 dgpm) 两图均为 NCEP 再分析场

热带低气压并缓慢地向西南方向移动。上述情况从图 4 所示的 588dgpm 线位置变化也有明显反映。从 14 日 08 时之后副高不断西伸,在低压北方的 33~37°N 附近副高西段呈带状分布,此带状部分于 15 日 20 时从副高中断裂,形成大陆高压,该高压在 15 日 20 时至 17 日 20 时持续存在,且不断加强。另外,从 850hPa 风场和水汽场分布(图 3)并结合卫星云图(图略)可以清楚地看出,西南季风气流及副高西南侧的东南气流相互配合,源源不断地将来自海洋上的水汽输送到低压环流中,进行水汽补充,有利于低气压强度经久不衰,使其减弱缓慢,从而在江西、湖南、广东等地持续存在。

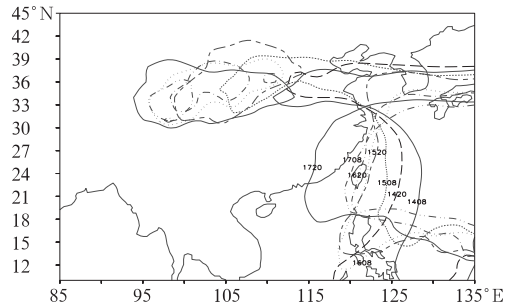


图 4 2006 年 7 月 14 日 08 时至 17 日 20 时 500hPa NCEP 资料 588dgpm 线动态

4 数值预报产品及物理量场诊断强降水成因

4.1 水汽条件分析

参照文献[14]中的定义方法,本文中提及的 500hPa 与 850hPa 水汽通量相对散度($D_{500-850}$)是指:对流层中层 500hPa 的水汽通量散度 D_{500} 与低层 850hPa 的水汽通量散度 D_{850} 之差,即: $D_{500-850} = D_{500} - D_{850}$ 。

充足的水汽是暴雨形成的必要条件。从 14 日 08 时至 16 日 08 时的 850hPa 风场和相对湿度场可知,强热带风暴登陆后,在低层辐合气流的作用下,水汽源源不断地输送到暴雨区(如图 3b 所示),在 15 日 08 时至 16 日 08 时,暴雨区低层相对湿度均在 85% 以上,绝大多数区域甚至达到了 95%,水汽非

常充足,这在暴雨区 500hPa 与 850hPa 水汽通量相对散度上也有显著体现。由图 5 所示的水汽通量相对散度($D_{500-850}$)分布可知,15 日 08 时,广东、福建、江西、湖南东南部和广西东部均呈现正值,0.6 个单位所围的大值区域与暴雨区范围基本重合,特别是其中的数值在 0.8 个单位之上的两个正值中心,图 1b 所示的 6 个站点均在其内。此外,由 15 日 08 时 850hPa 水汽通量散度场(图略)可知,暴雨区上空水汽通量散度均在 -8 个单位以下,因此水汽通量相对散度的这种分布特征表明:该暴雨区有很强水汽堆积,而由于在对流层低层的水汽辐合远远大于在中层的辐合,因而在低层水汽的累积量要比高层更大,有利于水汽上升凝结,进而促进降水,另外,低层水汽大量辐合上升,加之西南季风气流及副高西南侧的东南气流的作用,使周围的水汽不断地流向暴雨区,形成正反馈,进一步加强低层水汽辐合。

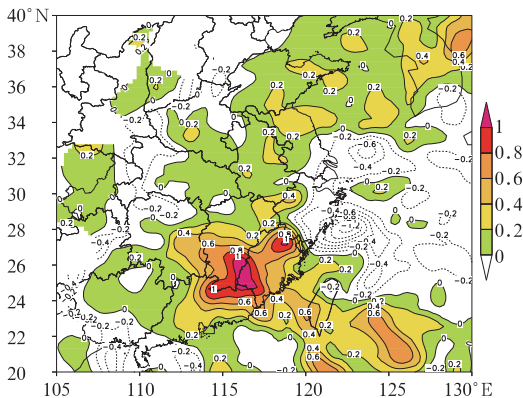


图 5 模式输出 2006 年 7 月 15 日 08 时 500hPa 与 850hPa 水汽通量相对散度分析场
(单位: $10^{-7} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

4.2 动力不稳定条件分析

暴雨的形成除了需有充足的水汽之外,还必须有一定的不稳定能量和强烈的上升运动。暴雨发生期间,雨带区域上空低层盛行西南风,而高层则一直为西北风,这样上干

冷、下暖湿的结构极利于造成大气层结不稳定。由图 6a 可知,2006 年 7 月 14 日 08 时至 16 日 08 时,暴雨区上空从低层 950hPa 至中层 500hPa, θ_e 随高度的增加而递减,特别是低层 700hPa 以下等 θ_e 线分布密集, θ_e 的垂直梯度很大,最低值出现在 15 日 00 时至 16 日 08 时的 550~650hPa 范围内。这说明暴雨区上空中低层大气在这期间内始终保持着强烈的不稳定性,大气层结的不稳定能量得到很大聚集。此外,暴雨中心垂直速度的垂直剖面(图略)分布反映出,14 日 20 时至 16 日 08 时左右,暴雨中心上空从对流层中层至高层,始终保持着较强的上升运动,上升速度大值出现在 15 日 08 时至 16 日 08 时的 500hPa 到 300hPa 之间。这样长时间持续的上升运动促进大量湿空气辐合抬升,凝结释放潜热,有利于强降水产生。由 15 日

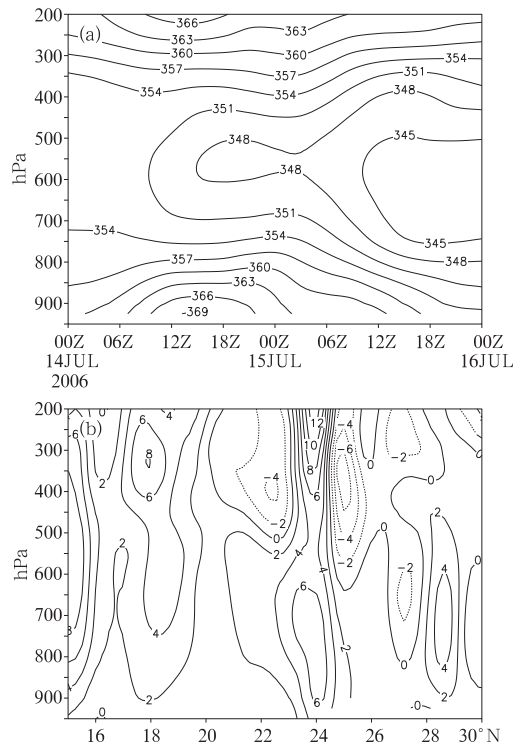


图 6 模拟的长太站上空 2006 年 7 月 14 日 08 时~16 日 08 时 θ_e 时间-高度剖面演变(a,单位:K)24 小时预报的 15 日 08 时沿 117.75°E 垂直速度纬度-高度剖面图(b,单位: $10^{-2} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

08 时湖南永兴站所在经度的纬向一垂直剖面(图 6b)进一步发现,113.12°E 线上 24~29°N 之间从低层到高层垂直速度均为正,上升速度大值出现在 24~25°N 上空的 600hPa 与 200hPa 之间,甚至达 $0.5\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,上升运动强烈,为低层不稳定能量的释放提供了强大的动力机制,永兴站周围的湿空气上升最明显,因而永兴及资兴一带出现了强降水。

4.3 散度和涡度分析

850hPa 层面的散度场上,14 日 08 时(图 7a),我国华南地区沿海一带即暴雨区的东南部为负值区,此时强热带风暴中心尚在上,随着强热带风暴的登陆及移动,该散度负值区也不断地移向西北方向。至 15 日 08 时

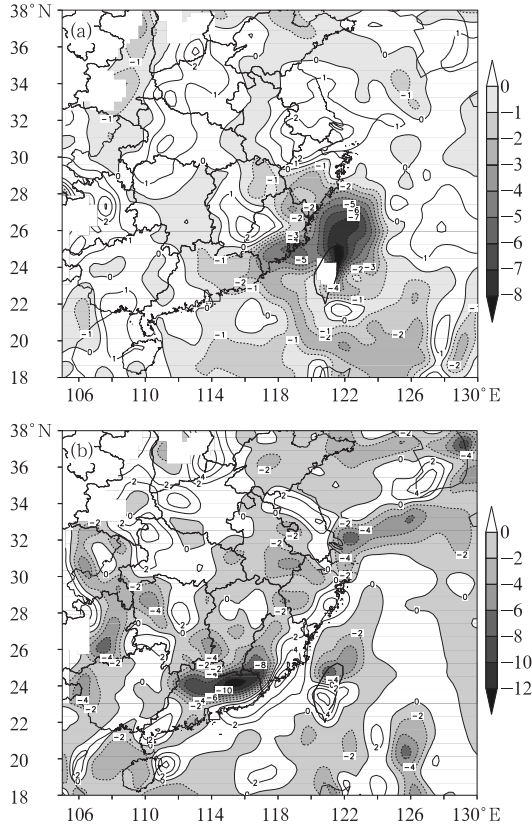


图 7 2006 年 7 月 14 日 08 时模式输出 850hPa 散度分析场(a)和 15 日 14 时 850hPa 散度 6 小时预报场(b) 单位: 10^{-5} s^{-1}

(图略),负值区已完全盘踞了暴雨区上空,范围较大,中心最大绝对值为 $5 \times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,15 日 14 时(图 7b),负值区范围虽略有缩小,但仍与暴雨区基本一致,且强度增强,中心最大绝对值达到 $12.0 \times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,低层流场辐合性进一步增强。这之后至 16 日 02 时之间,该负值区依然保持着较强的辐合性,仅位置略向西北方向移动,16 日 02 时之后,负值区逐渐移出暴雨区上空,此时暴雨区总降水量也明显减小。散度的这种变化与降水随时间的变化步调相当一致,说明低层流场的辐合对此次强降水的发生有较大贡献。

涡度场上,14 日 08 时(图 8a)强热带风暴登陆前,江南部分地区、华南大部及近海上

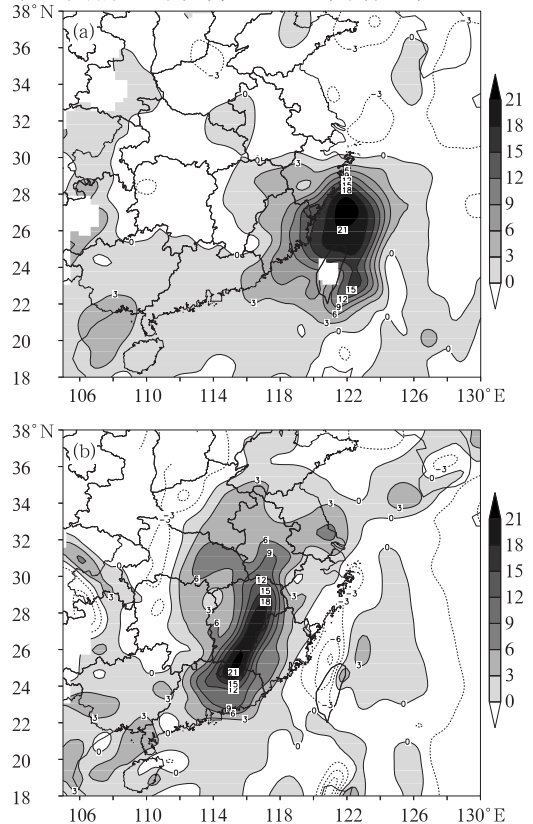


图 8 2006 年 7 月 14 日 08 时模式输出 850hPa 涡度分析场(a)及 15 日 14 时 850hPa 涡度 6 小时预报场(b) 单位: 10^{-5} s^{-1}

空 850hPa 上呈现正涡度区分布,其中大值区主要位于海上,随着强热带风暴的登陆,正涡度区也不断向内陆扩展。15 日 02 时,我国长江以南的大部分区域均为正涡度区,其中江西东部和福建西部为正涡度的大值区所在,中心值达到 $21.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。随后该区域范围不断扩大,但中心值略有减小,于 15 日 14 时(图 8b)形成了一条覆盖三省的东北—西南走向的“大值带”,龙南站正在值为 $21.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心内,不稳定能量得到释放,产生大暴雨。此外,结合上述分析可知,暴雨区上空对流层低层既是正涡度的大值区域,也是负散度的大值所在,表明该地区大气低层有很强的辐合上升运动,这是产生强降水的原因之一。

5 结 论

0604 号强热带风暴碧利斯在我国福建再次登陆减弱后缓慢移动且长时间维持而引发的福建、江西、湖南、广东、广西等省(区)异常强降水,造成了巨大的人员伤亡和财产损失,为此,利用地面加密观测资料、卫星云图资料、NCEP 再分析资料及中尺度模式 MM5 输出的产品,对此次强热带风暴登陆后减弱的低压长期维持及其引起的强降水过程进行了综合分析。并得到了以下结果:

(1) 受西太平洋副热带高压、北方大陆高压、青藏高原东部高压及低纬度赤道高压的包围,强热带风暴移动缓慢,而西南季风气流及副高西南侧的东南气流源源不断地将水汽输送到低压环流中,有利于低压强度经久不衰,持续存在。

(2) 对物理量场的诊断表明,水汽供应

充沛,低层气流辐合性较强,垂直对流旺盛,是这次强降水发生的有利条件。

参考文献

- [1] Chen Lianshou, Luo Zhexian. Interaction of typhoon and mesoscale vortex[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, 21(4):515-528.
- [2] 江敦春,党人庆,陈联寿. 卫星资料在台风暴雨数值模拟中的应用[J]. *热带气象学报*, 1994,10(4):318-324.
- [3] 朱洪岩,陈联寿,徐祥德. 中低纬环流系统的相互作用及其暴雨特征的研究[J]. *大气科学*,2000,24(5):669-675.
- [4] 何立富,梁生俊,毛卫星,等. 0513 号台风泰利异常强暴雨过程的综合分析[J]. *气象*,2006,32(4):84-90.
- [5] 陈久康,丁治英. 高低空急流与台风环流耦合下的中尺度暴雨系统[J]. *应用气象学报*,2000,11(3):271-281
- [6] 丁治英,张兴强,何金海,等. 非纬向高空急流与远离台风中尺度暴雨的研究[J]. *热带气象学报*,2001,17(2):144-152
- [7] 郑庆林,吴军. 地形对 9216 号台风暴雨增幅影响的数值研究[J]. *南京气象学院学报*,1996,19(1):8-17.
- [8] Chen Lianshou. Decay after landfall[C]. WMO/TD, 1998,875;1. 6. 1-1. 6. 5.
- [9] 励申申,寿绍文. 登陆台风维持和暴雨增幅实力的能量学分析[J]. *南京气象学院学报*,1995,18(3):383-388.
- [10] 黄克慧. 台风云娜后部强降水分析[J]. *气象*,2006,32(2):98-103.
- [11] 杨宇红,沈新勇,林两位,等. 0418 号台风艾莉暴雨成因分析[J]. *气象*,2006,32(7):81-87.
- [12] 黄永玉,沈桐立,沈新勇,等. 0418 号“艾利”台风暴雨过程的数值模拟[J]. *台湾海峡*,2006,25(1):102-109.
- [13] 张守峰,王诗文. 利用卫星云导风资料的台风路径数值预报试验[J]. *热带气象学报*,1999,15(4):347-355.
- [14] 赵凯,孙燕,王山旗. 0515 号登陆台风“卡努”引发江苏暴雨过程的动力学诊断分析[J]. *台湾海峡*,2006,25(3):414-419.