

强热带风暴碧利斯造成华南持续大暴雨成因分析

尹洁 王欢 陈建萍

(江西省气象台,南昌 330046)

摘要 利用常规资料、NCEP 再分析等资料,对 0604 号强热带风暴碧利斯造成华南持续特强暴雨的特点及成因进行了综合分析。结果表明:虽然碧利斯最强时只达强热带风暴强度,但在其登陆后与强西南季风持续地相互作用,在台风南侧形成强盛的水汽输送和辐合上升机制,且辐合上升运动、高层辐散及水汽辐合中心强度异常强盛,为近年台风少有,且大暴雨区与强水汽辐合上升中心十分吻合;华南持续 5 天强暴雨与台风低压与西南季风持续结合及副高断裂有密切关系;碧利斯对促使西南季风明显增幅北抬也起了重要作用。

关键词 强热带风暴 特强持续暴雨 碧利斯 西南季风

引言

研究指出,登陆后的台风暴雨强度和落区除与台风本身强度、结构有关外,还与地形、中纬度系统、冷空气和外围急流等因素有关^[1~11]。近年来造成我国严重暴雨灾害的登陆台风以强暴雨出现在台风北侧或台风倒槽区或中心附近的为多^[1,6~10](如麦沙、泰利,9909 号热带风暴、云娜等)。台风外围与急流结合导致暴雨加强的实例和研究也较多,但多是台风与其东北侧或北侧的偏东南或偏东气流结合使台风北侧暴雨加强^[1,6~9]。而台风登陆后与其南侧强西南季风结合在台风南部产生强暴雨的实例和研究尚不多见。林良勋等^[12]研究指出,0313 号台风杜鹃在海上时西南季风较强,但登陆后西南季风偏离台风,因此降雨很弱。在登陆台风维持不衰研究方面,陈联寿、李英^[4]指出,登陆台风环流仍与一支低空急流水汽输送通道连接,以保持一定的水汽供给,有利于台风维持较长时间。而碧利斯正是一个历史上少见的登陆后与强西南季风结合使其长久不衰,并在台风南侧产生异常强暴雨的个例。因此对其分析有助于加深这类台风暴雨机制的认识,为提高这类台风暴雨预报能力提供技术依据。

1 碧利斯登陆实况及特点

2006 年第 4 号强热带风暴碧利斯于 7 月 9 日

14:00 在菲律宾以东洋面生成(图 1a),12 日 14:00 加强为强热带风暴(STS),13 日 23:20 在我国台湾省宜兰登陆,14 日 12:50 在福建省霞浦北壁镇再次登陆,登陆时中心气压 975 hPa,近中心最大风力 11 级($30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。14 日 16:00 在福建闽侯县减弱为

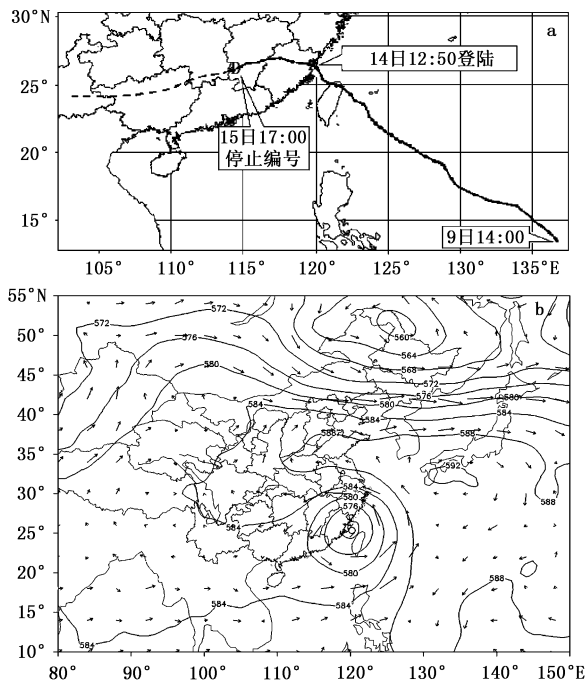


图 1 碧利斯路径(a)和 7 月 14 日 08:00 500 hPa 高度场(b,单位:dagpm)

热带风暴(TS),横穿福建省后,于15日01:00进入江西中部南丰,15日15:00在江西东南部遂川减弱为热带低压(TD),16日05:00出赣入湘,此后缓慢向西偏南方向移动,于19日白天在云南东部减弱消失,影响我国时间长达5天,为历史少有(7503号台风登陆后维持近5天)^[1]。

受碧利斯影响,广东、湖南、福建、江西、广西先后出现了特强的大暴雨和特大暴雨。13日08:00至19日08:00江南南部到华南总雨量一般在150~300 mm,局部为400~500 mm,大于500 mm的有广东博罗、福建长太和安溪、湖南永兴。碧利斯深入内陆降雨强度之大,持续时间之长,影响范围之广为历史少见。罕见强暴雨致使以上地区发生严重洪涝灾害,并引发山体滑坡、泥石流等地质灾害,京九铁路中断3天,大量旅客滞留。据统计,受灾人口达2640万人,死亡612人,失踪208人,损失极其严重。

分析碧利斯基本情况有以下三大特点:①碧利斯强度不强。以往在我国内陆造成强暴雨的热带气旋大都在海上发展成台风或以上级别,且登陆时仍为台风强度。而碧利斯在近海最强只达强热带风暴级别,且15日即减弱为热带低压,但却造成罕见持续特强暴雨,损失惨重,较为少见。②登陆后缓慢西行并长久维持低压环流,暴雨持续时间长。从14日中午在福建登陆到15日下午在江西减弱为热带低压共26 h,15日下午到19日热带低压由湘南至黔南缓慢西行达94 h,共120 h(5天),为西行台风中有记录以来之最。③暴雨落在台风中心偏南侧。一般台风登陆后易在台风中心附近或北侧或东北侧台风倒槽中产生暴雨,而碧利斯登陆后强暴雨始终在台风南侧。

2 环境场主要特征

2.1 副高

7月9日14:00,碧利斯在关岛以西洋面生成,其北侧为较强的带状副高,受稳定副高南侧东南气流引导,碧利斯稳定向WNW方向移动。12日东亚西风带逐渐北移,黄淮一带588 dagpm大陆高压发展。13日西太平洋副高与大陆高压逐渐打通,14日在30°~40°N之间形成东西向高压坝(图1b)。受高压坝南侧偏东气流引导,台风继续向WNW方向移动。登陆后由于受北侧高压坝阻挡,台风转为以西行为主。

2.2 西南季风

碧利斯环境场的一个显著特点是西南季风异常强盛。13~18日从孟加拉湾到南海及华南沿海,盛行强盛的西南暖湿气流,即西南季风,14~18日850 hPa南海北部到华南沿海西南风速一般为14~18 m·s⁻¹,强风速轴区风速高达22~29 m·s⁻¹,它携带丰沛的水汽和能量向华南地区输送。

3 碧利斯造成华南首场大暴雨成因分析

3.1 降水特点

碧利斯在福建登陆前夕及登陆时,强降水主要在强热带风暴北侧和中心附近,即在浙中南部和闽北沿海。登陆后,14日15:00开始在赣南、湘南、粤东有强降雨云团发展,21:00云团迅速发展扩大(图略),并出现多处1 h雨量超过25 mm的中尺度强降水,同时浙闽降水明显减弱。即在6~7 h内完成了强降水由台风中心及北侧向台风南侧转变,14日晚至15日赣南、湘东南、粤东北出现成片大暴雨和特大暴雨。此后,在台风北半部一直未有强降雨发展,而在台风南半部持续了近5天之久的罕见特强暴雨。

3.2 台风与西南季风相互作用

碧利斯与多数台风不同,其强降雨主要是由于与其南侧强西南季风结合所致。

13日20:00至14日14:00 850 hPa从中南半岛到南海,西南季风风向以正西方向为主(图2a),风速不强,为7~16 m·s⁻¹,且偏南,广东沿海到南海北部为西北风。14日20:00(图2b),随着碧利斯西移,西南季风由偏西转为西南风,风速迅速加强北扩,粤东闽南沿海出现18~21 m·s⁻¹的强风速中心。15日02:00~08:00西南季风继续加强(图2c、d),并出现风速达21~27 m·s⁻¹的大风核,15日02:00粤东闽南沿海大风核中心风速高达29 m·s⁻¹,15日08:00大风核登陆至粤东闽南陆地。伴随季风加强北扩,华南地区水汽急增,925 hPa比湿由17~18 g·kg⁻¹增至20~21 g·kg⁻¹。随着碧利斯登陆西移,南海西南季风迅速加强北扩,造成强盛水汽输送直达台风南侧。

分析碧利斯登陆西移时,西南季风迅速加强北扩的原因有两个:一是随着碧利斯西移,西南季风与碧利斯南侧偏西风同位相叠加;更重要的是,随着碧利斯登陆西行,台风与西南季风区之间气压梯度

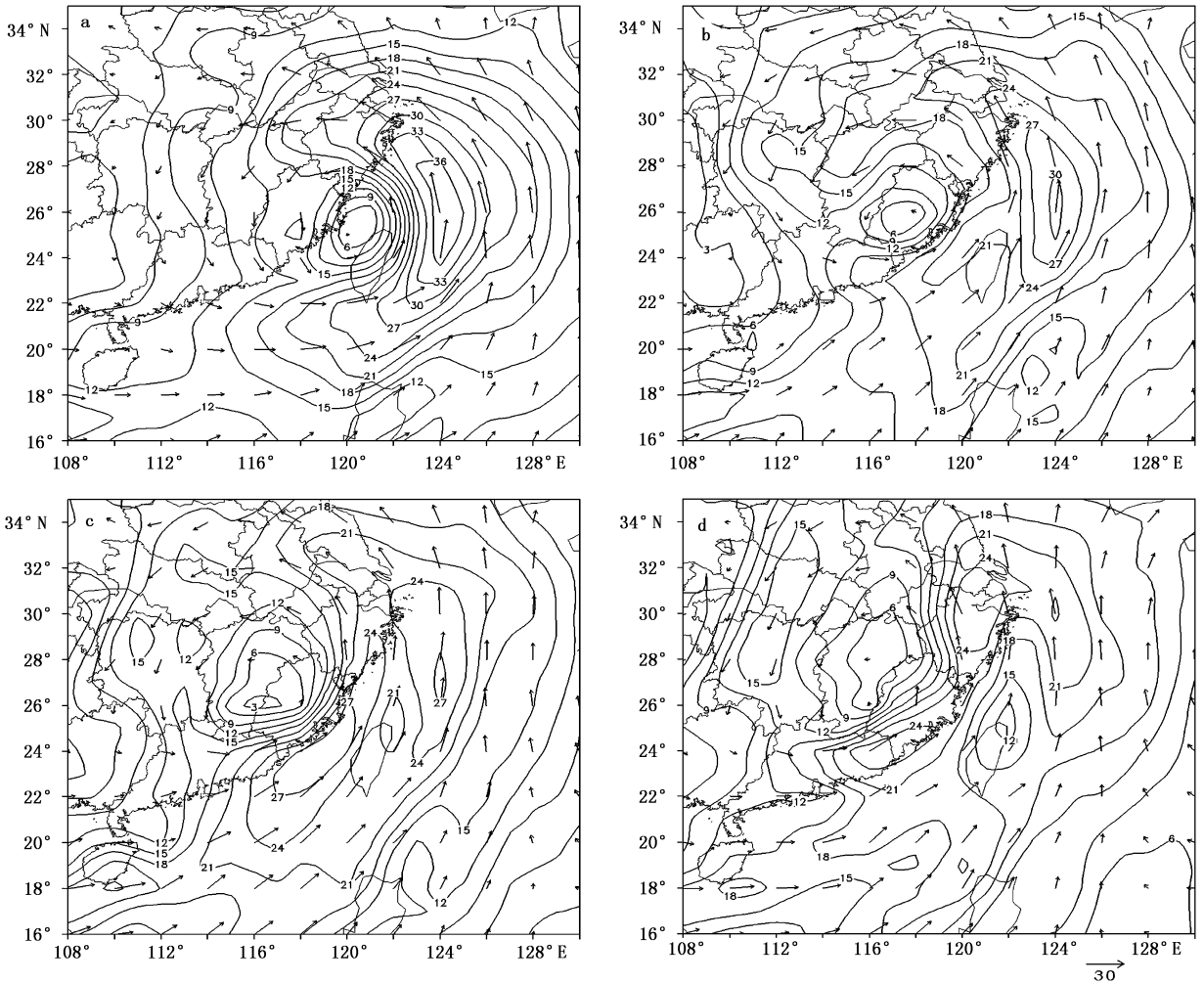


图 2 14 日 08:00(a)、14 日 20:00(b)、15 日 02:00(c)和 15 日 08:00(d)850 hPa 全风速(单位: $m \cdot s^{-1}$)

迅速加强,致使西南风速迅速加强。用 850 hPa 3 个区域的高度差值 ΔH (汕头—赣州)、 ΔH (深圳—郴州)、 ΔH (阳江—桂林)表征台风与季风之间的气压差(图 3a),图 3b 为相应两站点之间 850 hPa 全风速,负值为偏北风,正值为西南或西风。由图 3a 可见,随着碧利斯 14 日中午登陆,3 个区的气压差均由负值转为正值,且 14 日 20:00 至 16 日 08:00,3 个区的气压差均迅速增大,且东侧气压差比西侧气压差增幅略大。随着气压差由负转正和逐渐加大,相应区域的风也由偏北风转为西南风或西风(图 3b),风速也迅速增大,且东侧风速增幅比西侧略大,15 日 08:00 东侧西南风速最大,达 $28 m \cdot s^{-1}$,这正是华南暴雨最强时段。由此可见,在碧利斯登陆前南海就存在西南季风,但风区北界偏南,风速也不够强。碧利斯登陆后,两者的相互作用促使西南

季风北抬和风速明显增幅,致使水汽输送更加充足并直达碧利斯南侧。

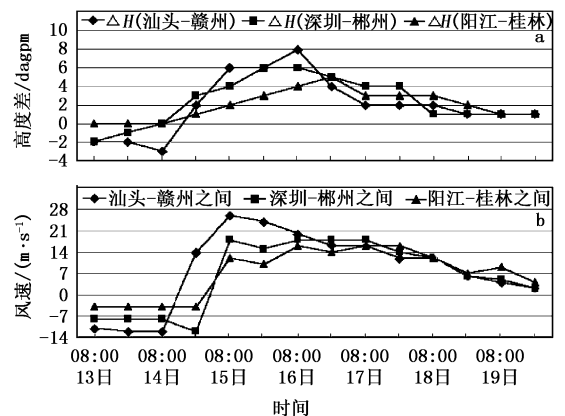


图 3 850 hPa 两站点之间高度差(a)和风速(b) (负值为偏北风,正值为西南或西风)

碧利斯与西南季风结合,还使台风低压西侧偏北气流与加强北抬的西南季风相遇,在台风低压中心到广东西部形成强切变线辐合(图2c)。动力水汽场分析表明,在西南大风轴左前端到切变附近,存在强烈的动力辐合抬升及水汽辐合。925 hPa散度场显示,碧利斯登陆前,14日08:00辐合区在碧利斯中心北侧(浙南),随着碧利斯西移与西南季风结合,15日20:00辐合区迅速移到湘赣南部,即强切变处,辐合中心值为 $-7.6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。15日02:00~20:00,辐合区加强,15日08:00辐合中心值高达 $-8.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (图4a),超过2005年降水最强台风泰利^[8]最强时的 $-8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,此时正是碧利斯最强暴雨时段,湘东南、赣南到粤东出现大暴雨和特大暴雨。500 hPa垂直速度场也显示,15日08:00上升中心强度高达 $-1.5 \sim -2.0 \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$ (图4b),明显强于泰利^[8]的 $-0.9 \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$ 和麦莎^[7]的 -1.6

$\text{Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$,强上升区与强暴雨落区及出现时间十分吻合。从低层水汽通量散度场也可见,15日02:00~20:00,在湘赣粤交界即强切变处,925 hPa水汽辐合中心值为 $-12 \sim -14$ (单位为 $\text{g} \cdot \text{ cm}^{-2} \cdot \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{ s}^{-1}$,下同),15日08:00最强(图4d),中心值高达 -15.7 ,远高于泰利的 $-5 \sim -6$,且强水汽辐合区与大暴雨区完全吻合。200 hPa高层辐散场还显示,14日08:00,较强辐散中心在浙江沿海($4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$),湘赣粤交界处为弱辐散区。15日02:00~08:00切变上空辐散迅速加强,中心值高达 $11.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (图4c),明显高于麦莎^[7]的 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和杜鹃^[12]的 $8.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。高层强辐散抽吸作用,使上升气流加剧,更有利于大暴雨形成。以上分析表明,在强切变附近,存在特强的动力辐合抬升、水汽辐合和高层辐散机制,其中心强度均为近年有关台风暴雨文献中少见。

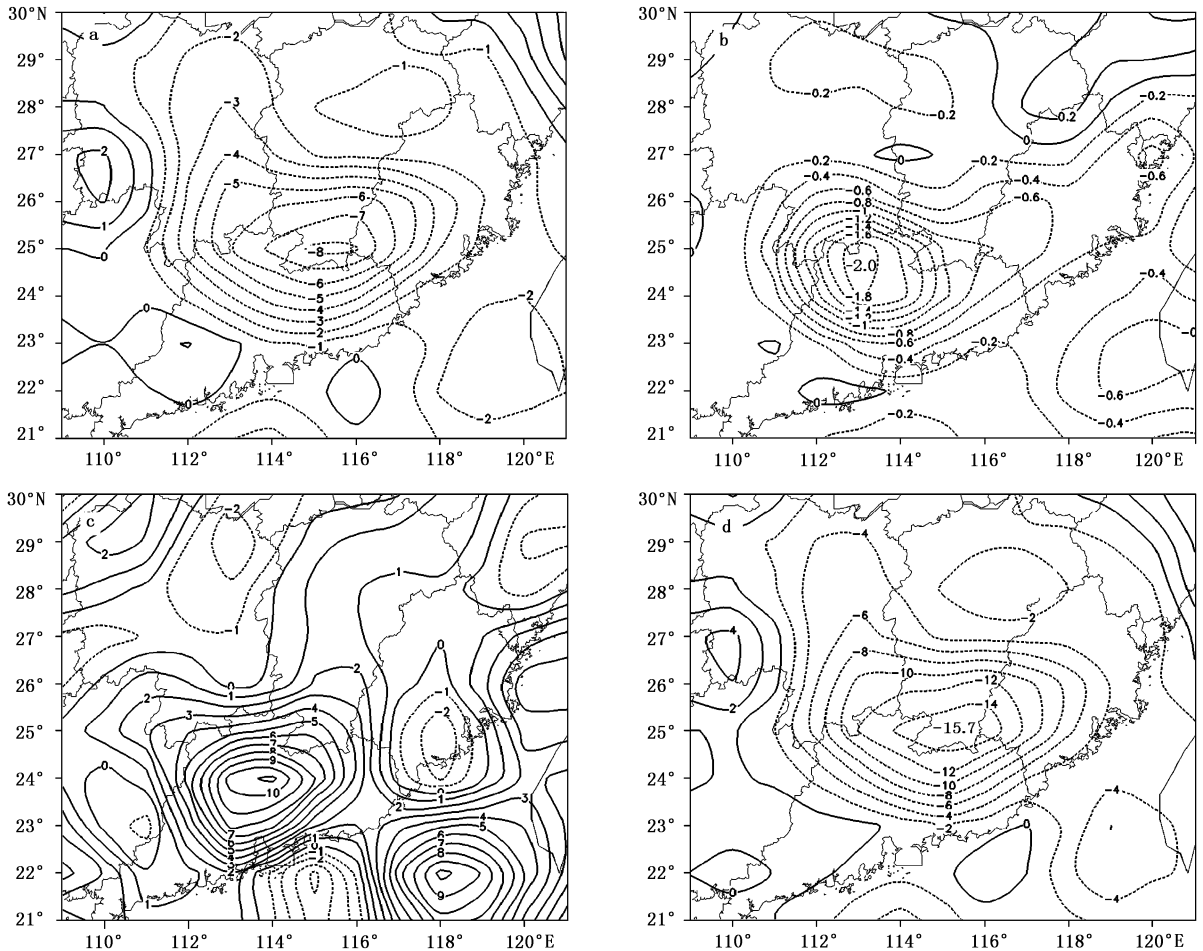


图4 15日08:00 925 hPa散度(a,单位: 10^{-5} s^{-1})、500 hPa垂直速度(b,单位: $\text{Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$)、200 hPa散度(c,单位: 10^{-5} s^{-1})、925 hPa水汽通量散度(d,单位: $\text{g} \cdot \text{ cm}^{-2} \cdot \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{ s}^{-1}$)

由此得出,碧利斯登陆后与西南季风结合,促使西南季风加强北抬,并形成强切变辐合,充足的水汽供给和强辐合上升机制导致了大暴雨产生,即两者相互作用是产生大暴雨的重要原因。

4 强暴雨长久维持机制分析

15日17:00碧利斯减弱为热带低压,但此后暴雨仍在华南持续了近4天。分析原因与热带低压南侧强西南季风一直维持和副高断裂有密切关系。

4.1 热带低压持续与西南季风结合

在热带低压西行中,强西南季风水汽通道一直未改变,并逐渐转为正南风,后期弱些。15~18日低层南海北部到华南沿海维持 $16\sim 22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的强偏南风 and 中心值高达 $24\sim 39\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的水汽通量高值区,且水汽通量高值区分布在急

流带上(图5a),为热带低压维持和华南暴雨提供水汽和能量。

西南季风持续还使季风与热带低压构成的强切变线及强辐合上升中心也一直伴随热带低压西行(图略),且始终位于热带低压偏南侧,925 hPa辐合中心达 $(-10\sim -3.6)\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$,500 hPa上升中心值达 $-2.0\sim -0.6\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ (表1),水汽通量散度中心值在 $-18\sim -7\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (表略),后期有所减弱。

以上表明,西南季风的维持为持续产生强暴雨提供水汽来源,并使热带低压获得暖湿能量和动量补充,有利于低压环流维持。同时,季风与热带低压持续结合构成强切变造成强辐合上升机制。因此,西南季风始终对华南持续大暴雨起着重要作用。

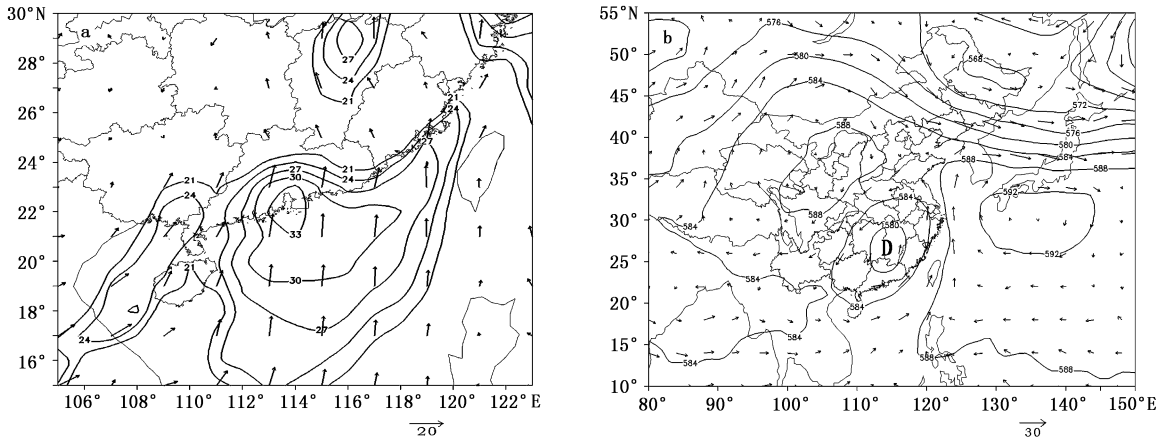


图5 (a) 17日02:00 925 hPa全风速(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和水汽通量(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,只绘出21以上的线);
(b)15日20:00 500 hPa高度(单位:dagpm)

表1 14~18日925 hPa散度和500 hPa垂直速度中心值演变

时间	14日		15日		16日		17日		18日	
	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00	08:00	20:00
925 hPa散度/ (10^{-5} s^{-1})	-10	-7.6	-8.2	-5.3	-5.7	-3.6	-5.9	-4.5	-4.6	-2.8
500 hPa垂直速度/ $(\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1})$	-0.5	-1.6	-2.0	-1.1	-1.6	-0.6	-1.4	-0.6	-1.0	-0.6

4.2 副高断裂的作用

15日08:00,碧利斯北侧副高明显西伸,15日20:00开始在我国西北地区闭合出588 dagpm块状大陆高压(图5b),副高在热带低压北侧断裂,因此热带低压两侧高压使热带低压东侧偏南风和西侧偏北风加强,有利于热带低压维持气旋性环流。此外,副高断裂还使热带低压北侧偏东引导气流明显减

弱,同时又受华西北大陆高压阻挡,致使热带低压西行速度缓慢。因此,副高断裂是热带低压维持气旋性环流、西行缓慢和暴雨期延长的环境场因素。

5 结论

(1)虽然碧利斯只达强热带风暴强度,但登陆后与南海强西南季风结合,使热带低压获得水汽、暖湿

能量和动量补充,从而产生持续强暴雨。强西南季风与碧利斯结合构成的切变辐合区中形成强烈动力和水汽辐合上升机制,其中心值之高较为少见。故西南季风的异常强盛以及与台风恰当结合是造成此次华南强暴雨的关键所在。

(2)华南暴雨长久持续主要原因:①碧利斯西行中,其南侧强西南风水汽通道一直维持而使低压环流维持不衰,两者构成的强切变线及强辐合上升区也一直随热带低压西移,因而导致华南自东向西暴雨持续达5天。②副高断裂,一是使热带低压两侧高压有利于热带低压维持气旋性环流,二是使热带低压北侧偏东引导气流明显减弱,同时受华西北大陆高压阻挡,致使热带低压移速减慢,暴雨期延长。

(3)碧利斯登陆后,与西南季风间气压梯度加大,促使西南风速明显增幅并北抬,导致暖湿能量输送更充足并直达台风南侧,即碧利斯对西南季风加强北抬也起了重要作用。两者的相互作用导致了华南持续大暴雨的产生。

参考文献

[1] 许映龙,高栓柱,刘震坤.台风云娜陆上维持原因浅析[J].气

象,2005,31(5):32-36.

- [2] 陈联寿,罗哲贤,李英.登陆热带气旋研究的进展[J].气象学报,2004,62(5):541-548.
- [3] 钮学新,董加斌,杜惠良.华东地区台风降水及影响降水因素的气候分析[J].应用气象学报,2005,16(3):402-407.
- [4] 李英,陈联寿,王继志.登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J].气象学报,2004,62(2):167-179.
- [5] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等.近十年中国台风暴雨研究进展[J].气象,2005,31(12):3-9.
- [6] 张建海,薛根元,沈桐立.台风Rananim数值模拟实验及其结构特征分析[J].气象科技,2006,34(4):370-375.
- [7] 何立富,尹洁,陈涛,等.0509号台风麦莎的结构与外围暴雨分布特征[J].气象,2005,32(3):93-100.
- [8] 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,2005,32(4):84-90.
- [9] 郑峰.一次热带风暴外围特大暴雨分析[J].气象,2005,31(4):77-80.
- [10] 陈小芸,黄姚钦,炎利军.台风倒槽局地性强降雨分析[J].气象科技,2004,32(2):71-75.
- [11] 丁治英,陈久康.有效位能和冷空气活动与台风暴雨增幅的研究[J].热带气象学报,1995,11(1):80-85.
- [12] 林良勋,黄忠,刘燕,等.台风杜鹃的特点及成因分析[J].气象,2005,31(8):62-65.

Diagnostic Analysis of Sustained Torrential Rainfall in Southern China Caused by Severe Tropical Storm Bilis

Ying Jie Wang Huan Chen Jianping

(Jiangxi Provincial Meteorological Office, Nanchang 330046)

Abstract: By means of the conventional observation data and NCEP reanalysis data, the sustained torrential rain event caused by the severe tropical storm Bilis (0604) is investigated. The results show that the strong vapor transport and updrafts originated from strong convergence at the low level under the persistent interaction of the tropical storm and southwest monsoon the south of Bilis, as well as the zones of convergence at the low level, divergence at the high level, updraft and high-intensity vapor convergence, are rarely reported for recent years, although Bilis is only a severe tropical storm from its intensity. The rainstorm center is well corresponded with the location of the strong vapor convergence. The rainstorm event is closely related to the slow movement of the typhoon low-pressure system and the sustained interaction with southwest monsoon.

Key words: STS (Severe Tropical Storm), sustained torrential rain, interaction, Bilis, southwest monsoon