

0604 号强热带风暴碧利斯对云南的影响及维持机制

鲁亚斌¹ 普贵明¹ 解明恩² 张腾飞³

(1. 云南省气象台,昆明 650034; 2. 云南省气象局; 3. 云南省雷电中心)

提 要: 应用 MICAPS 资料及 FY-2C 卫星云图,通过天气分析与诊断分析,探讨了 0604 号强热带风暴碧利斯路径西偏南的原因,对造成云南的暴雨过程进行了分析并研究了这次登陆强热带风暴长久维持不消的物理机制。结果表明:黄海副高南落加强西伸与大陆高压合并加强,高压南侧东北风的牵引作用,是“碧利斯”路径西偏南的主要原因;“碧利斯”造成的云南强降水落区分布在热带低压倒槽前东北风急流区内水汽辐合中心区域,并且与 700hPa 湿 Q 矢量辐合区对应较好,热带低压影响期间,大气曾具有湿中性垂直运动结构,具备有利于暴雨系统发展的环境条件;“碧利斯”登陆后长时间和一支深厚的西南急流保持联结,是其长久维持不消的主要因素。西南季风云系卷入热带低压,增强了热带低压的水汽和能量输入,是热带低压得以长久维持并造成云南强降水的另一重要原因。南亚高压在热带低压活动期间增强,高层辐散场的增强,低层辐合、高层辐散的结构,与西南急流相联系的垂直正涡度的维持,有利于热带低压的维持,登陆后的热带低压有向高空强辐散区方向移动的趋势。

关键词: 强热带风暴 路径 强降水 西南急流 物理机制

The Maintaining Mechanism of 0604 Severe Tropical Storm Bilis and It's Influence on Yunnan Province

Lu Yabin¹ Pu Guiming¹ Xie Ming'en² Zhang Tengfei³

(1. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034; 2. Monitoring Network Department, Yunnan Meteorological Bureau; 3. Thunder Center of Yunnan Province)

Abstract: MICAPS data was used to research the reasons of the path's deflecting south-westwards of 0604 severe tropical storm by synoptic and diagnosis analysis, and by the analysis on the storm rainfall caused by the severe tropical storm in Yunnan Province. The physical mechanism of the maintenance of the tropical storm's strength after landfall is also discussed. The result indi-

cates that the main reason of the path's deflecting south-westwards of Bilis was the leading of northeast wind at the south of high which was formed by the merging of continental high and the Huanghai subtropical high after its moving southwards and strengthening eastwards. Heavy precipitation caused by Bilis happened at the center of water vapor convergence area which located in the northeast jet region on the front of inverted trough of tropical depression, and the location of the precipitation is corresponding better to the wet Q vector convergence area. During the period when the influence of tropical depression existed, the atmosphere had wet neutral vertical moving structure and the situation was beneficial for the growth of storm rainfall system. The interaction between Bilis and severe southwest jet for a long time after the landfall of Bilis was the main reason for its maintenance. With the fading of southwest jet, the precipitation finished completely. The southwest monsoon cloud's getting into the tropical depression strengthened the input of water vapor and energy, which was another important reason that maintained the tropical depression and caused the heavy precipitation. The South Asia high strengthened during active period of the tropical depression, and the strengthening of divergence field on the upper level, the existence of lower level convergence and upper level divergence, and the maintenance of vertical positive vorticity which was related with southwest jet were beneficial for the maintaining of the tropical depression and the movement tendency of the tropical depression to upper severe divergence area after its landfall.

Key Words: severe tropical storm path heavy precipitation southwest jet physical mechanism

引 言

2006 年 7 月 14 日 12 时 50 分强热带风暴碧利斯在福建霞浦县北壁镇登陆, 15 日下午在江西境内减弱成热带低气压, 并在我国内陆缓慢西行, 先后影响了福建、浙江、广东、江西、湖南、广西、贵州、云南等 8 个省, 登陆后 8 级以上大风持续了 31 小时, 沿途造成的暴雨洪涝引发了严重的滑坡泥石流地质灾害, 造成巨大的经济损失和惨重的人员伤亡, 成为 2006 年影响我国时间最长、范围最大、损失最严重的强热带风暴暴雨过程, 从强热带风暴在福建登陆后减弱西移到云南, 最后在云南西南部消失, 持续了近 6 天, 是我国近 30 年来登陆强热带风暴维持时间最长的过程。

云南地处青藏高原东南角, 具有独特的低纬高原地理特点, 地处内陆而远离海洋, 夏季影响云南的西太平洋台风或热带风暴不如我国东南部沿海地区多, 影响云南的热带气旋绝大多数是南海台风或风暴在北部湾登陆后减弱为热带低气压, 取西北向移经越南东北部或广西西部再移到云贵高原南部, 一般对云南东南部地区造成影响, 影响区域相对偏东、偏南, 因此云南东南部地区会出现大到暴雨天气; 也有台风在广东沿海登陆西行影响云南, 但为数不多^[1-2]。台风或热带风暴登陆后生命史发生重大转折, 其维持机制是登陆热带气旋暴雨研究的焦点, 在我国东部地区取得了较丰富的成果^[3-5], 对台风活动影响下的高原天气也有一些研究^[6-7], 然而对登陆西行的强热带风暴长久维持并影响低纬高原地区的研究相对较少。天气预报实践发现, 在福建登陆的台风(强热

带风暴)或北上或在西移过程中不到云南就受摩擦耗散而减弱消失,一般不会影响云南。0604 号强热带风暴碧利斯登陆位置最偏东却影响了云南,并造成连续性强降水天气,为了探讨这次登陆强热带风暴减弱后的热带低压的移动路径特征,以及对云南强降水影响的特点及其长久维持的物理机制,本文应用 MI-CAPS 资料和 FY-2C 卫星云图,通过天气分析结合动力诊断分析进行综合研究,以期为进一步认识远距离西行热带气旋提供一些有意义的信息。

1 云南强降水过程概况及特点

这次强降水过程持续了 3 天,由“碧利斯”登陆减弱后的热带低压造成,没有冷空气介入,系统单一,却是云南受此类系统影响下降水范围最大,强度较强,持续时间最长的一次过程,也是云南 2006 年夏季最大的一次强降水过程。2006 年 7 月 16 日 08 时(北京时,下同),热带低压西移到云南东南部,受其影响,7 月 16 日 20 时到 17 日 20 时,云南出现一场大雨过程,其中暴雨 1 站,大雨 24 站,中雨 29 站,此日强降水落区在滇中、滇东南一带;7 月 17 日 20 时到 18 日 20 时,雨区西移北扩,云南出现一次暴雨天气过程,其中暴雨 15 站,大雨 34 站,中雨 47 站,这是 2006 年夏季云南出现的单日最强降水天气,强降水落区在滇东北、滇中、滇西南;随后雨区进一步西移,18 日 20 时到 19 日 20 时,云南又出现一次大雨天气过程,出现大雨 22 站,中雨 25 站,此日强降水区减小,只集中在滇西南。19 日 20 时后,云南强降水天气结束,到 19 日 20 时为止,0604 号强热带风暴碧利斯对我国的影响才告彻底结束。图 1 是云南强降水过程的 3 天累积雨量分布图和 7 月 18 日暴雨过程雨量分布图。

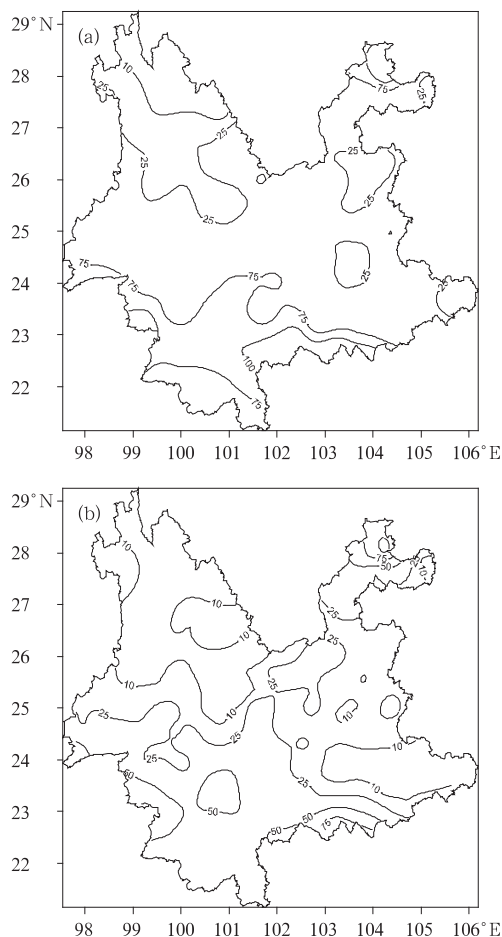


图 1 云南大到暴雨过程降水量分布图
(单位:mm) (a)7 月 16 日 20 时至 19 日 20 时;
(b) 7 月 17 日 20 时至 18 日 20 时

2 “碧利斯”的路径特点及环流背景

2.1 “碧利斯”的路径特点

“碧利斯”登陆后的移动特点是西偏南路径(图 2)。登陆热带气旋的运动受到各种复杂因素的影响,其中大尺度环境流场引导气流的牵引作用是主要的因子,为此,以西太平洋副热带高压演变特征为主要线索,探讨“碧利斯”路径偏西的原因。

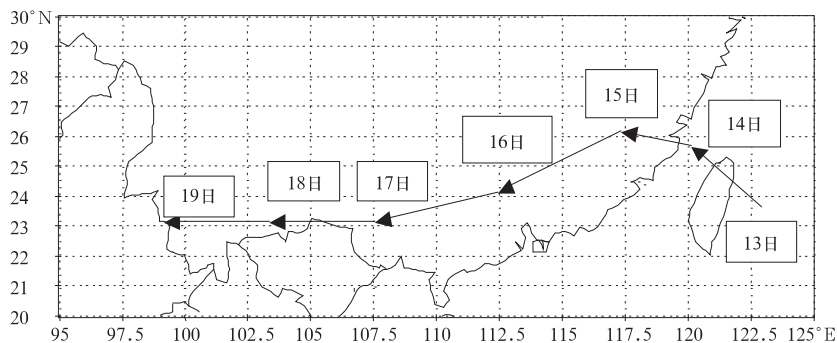


图 2 0604 号强热带风暴碧利斯西行路径图

2.2 西太平洋副热带高压的主导作用

西太平洋副热带高压(以下简称副高)的位置及强度对我国登陆强热带风暴有重要影响。7月中旬初“碧利斯”生成后,副高呈带状分布,一直向西伸展到川西高原。7月14日“碧利斯”在福建登陆后,副高发生了明显调整。7月15日08时500hPa形势场上,我国东北有一低槽活动,此西风槽北缩东移,促使副高断裂。15日20时,副高断裂成两环,东环副高分布在黄海及以东洋面,强度达592dgpm,脊线在30°N,位置最北,呈东西向分布,西环副高独立成暖性大陆高压,强度588dgpm,呈准南北向分布,高压东部为一致的东北气流,热带气旋处于其南侧,有利于向西南方移动。16日08时后,东环副高南落到东海,但588线西伸;大陆高压维持,但588线向东扩展,呈东北西南向分布,高压东部仍维持东北气流。17日08时到20时,东环副高588线西伸到广东中部(图3a)。18日08时后,东环副高进一步加强与大陆高压合并联为一体(图3b)。到19日20时,副高更加强大,云南转为高压控制,热带低压及倒槽填塞消失,这次过程才宣告结束。

综合这一过程看出:“碧利斯”登陆前,副高位置偏北,从川西高原到黄海为一带状高压坝。“碧利斯”登陆后,副高断裂,西环副高

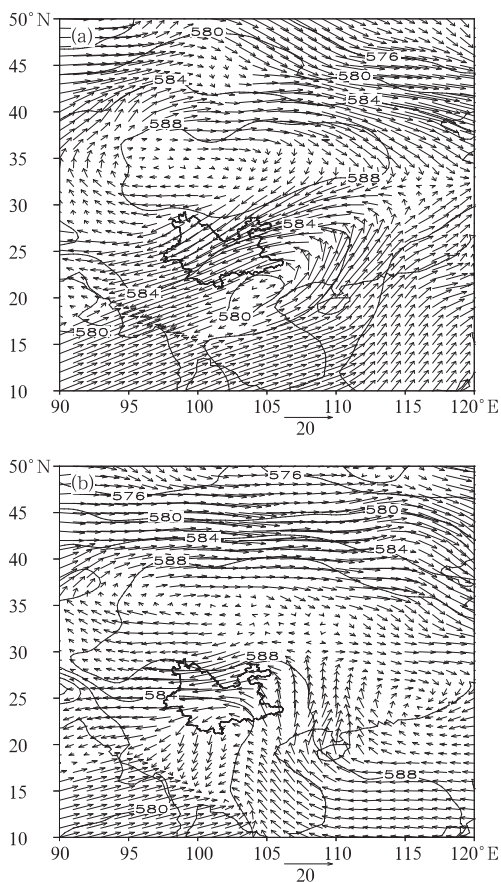


图 3 2006 年 7 月 17 日 20 时(a)和 7 月 18 日 08 时(b)500hPa 形势图

成为大陆高压,稳定维持,强度不减,东部始终维持一支强东北气流;东环副高南落后,快速加强西伸,外围 588 线迅速西进,与大陆高

压合并加强,“碧利斯”位于高压南侧,受高压阻挡,在 500hPa 东北气流牵引下向西偏南方向移动,而“碧利斯”南侧为强西南风,故移速较慢。“碧利斯”西南移过程中演变出倒槽形势,槽区狭长,倒槽西南端保持着完整的热带低压环流。

3 强降水分布与物理量特征

3.1 水汽辐合区与强降水相对应

“碧利斯”登陆后强降水主要集中在低压环流的东南部,在登陆初期这种特征比较明显,如在福建、广东、江西一带的强降水,而伴随着热带低压西移,位势高度抬高,演变出了倒槽形势,强降水的落区集中在倒槽前的东北风急流中,这是在业务预报中值得注意的特征。对 7 月 18 日云南暴雨天气过程进行诊断分析,从水汽通量散度场的分布发现,强降水的落区与水汽通量散度强辐合区相一致,出现在倒槽前的东北风急流区域中,滇东北和滇南两片暴雨区分别对应 $-40 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-30 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽辐合中心(图 4)。

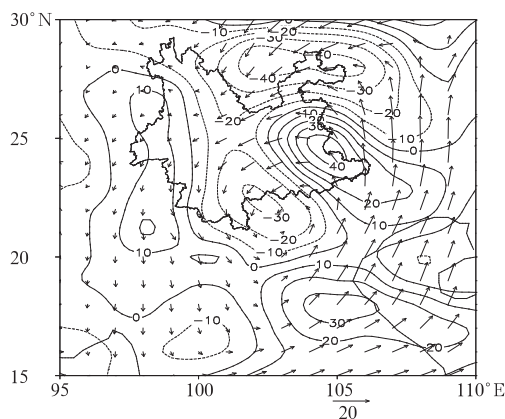


图 4 2006 年 7 月 18 日 08 时 700hPa 水汽通量散度(单位: $10^{-8} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与水平风场合成图

3.2 湿 Q 矢量辐合区与强降水相对应

暴雨是一种中尺度现象,而中尺度系统具有很强的非地转性垂直上升运动,非地转湿 Q 矢量及湿 Q 矢量散度场是反映非地转上升运动强迫机制的一组物理参数。张兴旺^[8]指出,在 P 坐标下,非地转湿 Q 矢量散度与次级环流有良好的对应关系,即湿 Q 矢量方向总是指向气流上升区,而背向气流下沉区。由于湿 Q 矢量散度的存在,必然激发次级环流,使大尺度大气进行调整,直到重建新的热成风平衡。研究指出,700hPa 上湿 Q 矢量辐合区与强降水落区有很好的对应关系,是强降水落区定性诊断分析的有力工具。为此,计算了湿 Q 矢量散度,图 5 为 7 月 18 日云南暴雨天气过程期间 700hPa 上湿 Q 矢量及散度分布图。

分析 700hPa 上湿 Q 矢量及湿 Q 矢量散度场分布发现,强降水发生在湿 Q 矢量辐合区内,湿 Q 矢量辐合中心值达 $-80 \times 10^{-17} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$,呈窄带状取东北—西南向分布,具有明显的中尺度特征,此上升运动区与低压云系(图略)前方的中 β 尺度对流体相对应。湿 Q 矢量辐合区的强迫作用产生的非

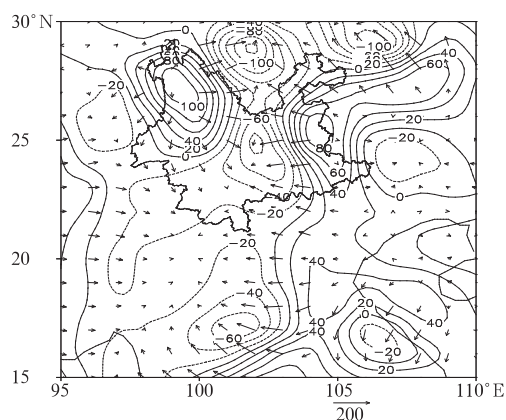


图 5 2006 年 7 月 18 日 08 时 700hPa 湿 Q 矢量散度(单位: $10^{-17} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$)合成图

地转上升运动激发出次级环流,为暴雨发生发展提供了有利条件。

在热带低压倒槽前东北风急流环境中,湿 Q 矢量辐合区指示的上升运动区与强降水相吻合,这为业务预报强降水落区提供了有用的参考信息。

3.3 有利的热力条件及垂直环流

在这次持续性强降水过程中,7月18日雨量显著加强,其原因主要是移到云南东南部的热带低压影响所致。17日20时,云南东南部为中尺度热带低压环流控制,在500hPa形势图上(图3a),强度达580dgpm,该低压在300hPa上还具有弱的暖心结构(图6),表明积云对流活动导致凝结加热,使得热带低压保持有相当的强度,甚至有所加强;而 θ_{se} 的高值“漏斗状”分布(图7),表明气层具有湿中性结构,有利于不稳定能量的积累,在强烈上升运动的触发下,有利于湿对流运动的强烈爆发,这种湿中性垂直上升运动有利于中 β 尺度系统的形成和发展^[9],使暴雨发生发展。

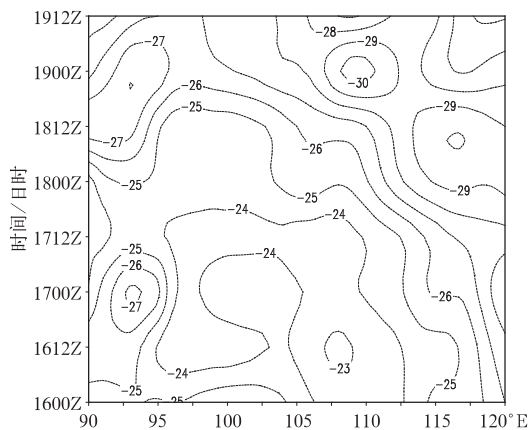


图6 2006年7月16—19日300hPa沿23°N温度时间剖面图(单位:°C)

4 “碧利斯”长久维持的物理机制

4.1 西南低空急流的作用

台风或热带风暴登陆后,由于来自海洋

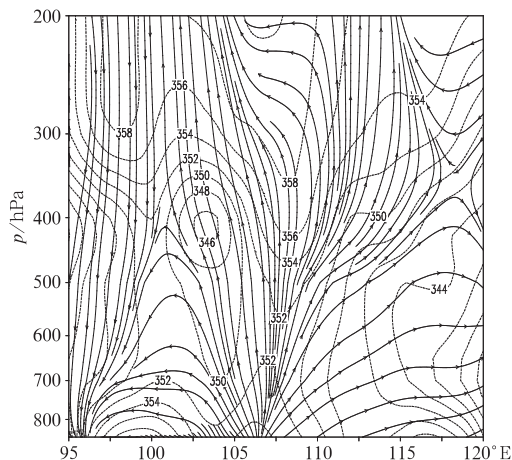


图7 2006年7月17日20时 θ_{se} 沿23°N经向空间剖面及垂直环流合成图(虚线为等 θ_{se} 线,单位:K)

的水汽供给量减少,能量大量消耗,多数都在摩擦耗散作用下填塞消失。对台风登陆后长久不消的原因,陈联寿等^[1]指出,登陆台风要长久维持,水汽和能量输入是最根本的条件;丁一汇等^[10]通过研究台风水汽收支发现水汽输送对台风降水有重要影响;梁力等^[11]分析9012台风登陆后长久维持的机制,结果表明西南急流卷入台风是其获得潜热维持不消的重要原因;李英等^[12]研究登陆台风长久维持和迅速消亡的水汽输送特征发现,台风登陆后低压环流与西南急流水汽输送通道保持联结是其长久维持的重要特征,而缺乏水汽输送时很快消亡;李英等^[13-14]深入研究了水汽输送对登陆台风在陆地维持及降水的影响,结果表明登陆台风若能继续获得外界水汽补充,则有利于其气旋性环流在陆地上维持,登陆台风从外界获得热量和水汽补充来支持积云对流发展,而积云对流对其维持具有正反馈作用。

强热带风暴碧利斯登陆后,一直和一支西南急流相联系,从7月14日“碧利斯”登陆后,热带低压东侧就一直有一支深厚的西南急流相伴随,西南急流从850hPa向上伸展到500hPa。分析逐日08时和20时的水汽通量和风场分布得出,“碧利斯”登陆后的水汽来源

主要是西南急流将水汽从其南侧卷入气旋内部的,西南低空急流一直维持到 7 月 19 日 20 时才减弱消失,对应着降水结束。图 8 给出了暴雨过程期间的水汽输送特征,700hPa 与西南急流配合着一条 $8 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的强水汽输送通道,500hPa 与西南急流相对应是一条 $6 \sim 16 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的水汽输送通道。西南低空急流是一条水汽、动量、热量的高度集中带,为暴雨区提供水汽、动量和能量。同时,长久和热带气旋相联结

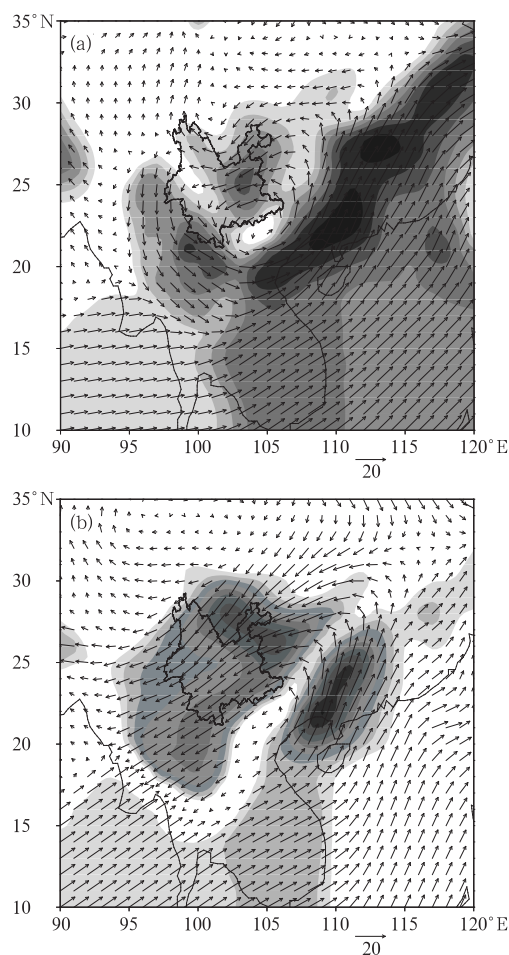


图 8 2006 年 7 月 17 日 20 时水汽
通量与风场合成图

(a) 700hPa(阴影表示水汽通量
 $\geq 8 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$); (b) 500hPa
(阴影表示水汽通量 $\geq 6 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

的这支西南急流为其提供了源源不断的水汽、动量和能量输送,是“碧利斯”登陆后长久维持的重要原因。

4.2 西南季风的作用

西南季风是夏季热带洋面上一支活跃的水汽输送系统,是热带低压获得水汽和能量补充的又一重要途径。在热带低压活动后期,西南季风正好处于活跃期(图 9a),16 日以后,从孟加拉湾到中南半岛有一条季风云系与热带低压云系相联(图 9b),西南季风云系的卷入,两者之间的耦合作用,增加了热带低压的水汽和能量输入,这也是热带低压得以长久维持的重要因素。

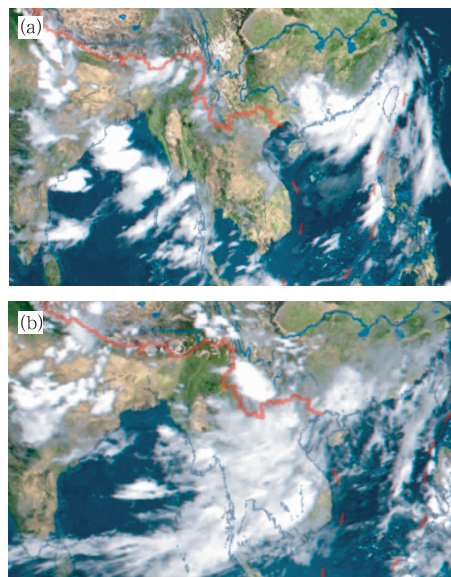


图 9 2006 年 7 月 15 日 08 时(a)和
17 日 20 时(b)FY-2c 卫星红外云图

4.3 南亚高压的作用

南亚高压夏季盘踞在我国大陆上空,它的整体移动或局部变化都会影响我国高空辐散场分布,从而改变高低空环境场的空间结构。文献[15]指出,南亚高压在我国东部地区加强后,在高空产生和维持辐散流场,高空辐散的抽吸作用对台风低压的垂直运动和低空辐合有正贡献,从而使台风低压环流在陆

上维持或强度减弱缓慢。在 7 月 15—20 日 100hPa 上南亚高压南侧的东风急流区位于我国 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 之间,在这期间,贵州、广西、云南的位势高度值总体上增强,东风急流区风速在 18 日还明显加强(图 10a),散度场上表现有一较强辐散区,其中在云南上空还存在一片 $20\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ 的辐散大值区(图 10b),可见高空的强辐散流出是热带低压得以长久维持的有利条件,并且热带低压有向高空强辐散区方向移动的趋势。

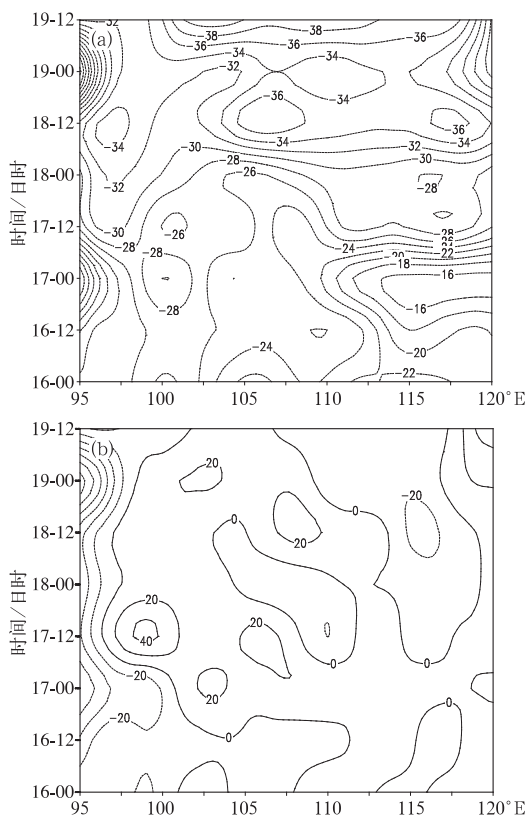


图 10 2006 年 7 月 16—19 日 100hPa 沿 23°N 时空演变图东西风分量(a)和散度(b)
(风速单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; 散度单位: 10^{-6}s^{-1})

4.4 涡度场特征

登陆热带气旋的维持与垂直涡度的维持

密不可分。分析“碧利斯”登陆后低压中心附近的涡度垂直剖面图可看到,在低压中心附近保持强的正涡度区。如云南 7 月 18 日暴雨期间(图 11a)从低层到高层都为正涡度,700hPa 上有一个 $90\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ 的正涡度中心,200hPa 上有一个 $70\times 10^{-6}\text{s}^{-1}$ 的次大中心,正涡度轴线向东倾斜,与东北西南向的倒槽相对应,并且正涡度区位于西南急流的左前方(图 11b)。由于西南急流一直维持在热带气旋的东南方,因而垂直正涡度得以维持,由此也进一步认识到西南急流不但起着水汽和能量的输送作用,而且又有助于提供必要的动力条件使热带气旋得以长久维持。

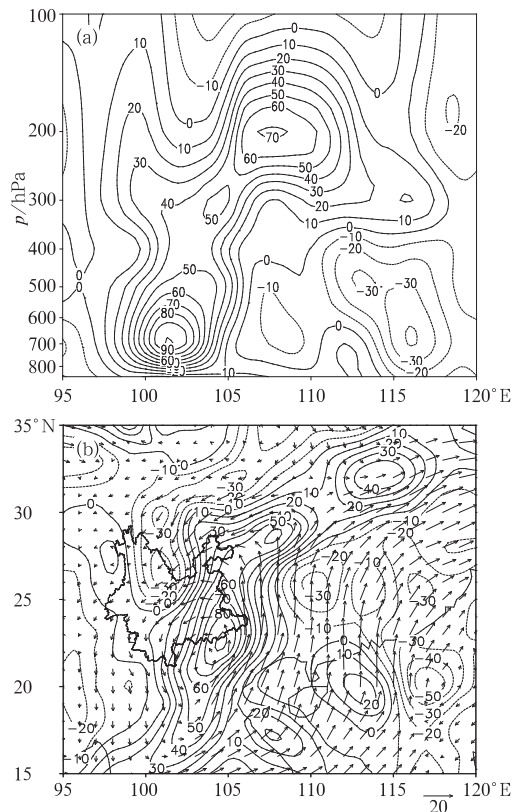


图 11 2006 年 7 月 18 日 08 时场涡度沿 23°N 经向垂直剖面(a)和 700hPa 水平风场与涡度场合成图(b) (单位: 10^{-6}s^{-1})

5 结 论

(1) 0604 号强热带风暴碧利斯在福建登陆后西行影响云南,造成持续 3 天的大到暴雨天气。副高南落以后加强西伸与大陆高压合并加强,“碧利斯”位于高压南侧,受高压阻挡,在 500hPa 东北气流牵引下向西偏南方向移动。“碧利斯”西南移过程中演变出倒槽形势,槽区狭长,倒槽西南端保持着完整的热带低压环流。

(2) “碧利斯”造成的云南强降水落区分布在倒槽前东北风急流区中水汽辐合中心处,并且与 700hPa 湿 Q 矢量辐合区相对应。

(3) 在暴雨期间,出现湿中性垂直运动结构,存在有利于暴雨系统发展的环境条件。

(4) “碧利斯”登陆后长时间和一支深厚的西南急流保持联结,是其长久维持不消的主要原因;西南季风云系卷入热带低压,增强了热带低压的水汽和能量输入,是热带低压得以长久维持并造成云南强降水的另一重要原因。

(5) 南亚高压在热带低压活动期间增强,高层辐散场的增强,低层辐合、高层辐散的结构,有利于热带低压的维持,登陆后的热带低压有向高空强辐散区方向移动的趋势;与西南急流相联系的垂直正涡度的维持,是热带气旋维持不消的重要机制。

参考文献

- [1] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:334-342,399-474.
- [2] 李英,陈联寿,张胜军.登陆我国热带气旋的统计特征[J].热带气象学报,2004,20(1):14-23.
- [3] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等.近 10 年中国台风暴雨研究进展[J].气象,2005,31(12):3-7.
- [4] 许映龙,高拴柱,刘震坤.台风云娜陆上维持原因浅析[J].气象,2005,31(5):32-36.
- [5] 刘爱鸣,林毅,刘铭,等.“碧利斯”和“格美”登陆后暴雨强度不同的天气学对比分析[J].气象,2007,33(5):36-41.
- [6] 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.
- [7] 刘子臣,梁生俊,张建宏.登陆台风对黄土高原东部暴雨的影响[J].高原气象,1997,16(4):402-409.
- [8] 张兴旺.湿 Q 矢量表达式及其应用[J].气象,1998,24(8):3-7.
- [9] 许焕斌,丁正平.湿中性垂直运动条件和 β 系统的形成[J].气象学报,1997,55(5):602-610.
- [10] 丁一汇,刘月贞.7507 号台风水汽收支的研究[J].海洋学报,1986,8(3):291-301.
- [11] 梁力,吴志伟,严光华.9012 热带气旋登陆后维持不消的动力机制[J].热带气象学报,1995,11(1):26-34.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 李英,陈联寿,王继志.热带气旋登陆维持和迅速消亡的诊断研究[J].大气科学,2005,29(3):482-490.
- [15] 金荣花,高拴柱,顾华,等.近 31 年登陆北上台风特征及其成因分析[J].气象,2006,32(7):33-39.

[1] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学