

钟爱华,周泓,赵付竹,等. 2015. 两次西行热带气旋影响云南的诊断分析. 气象, 41(4): 409-417.

两次西行热带气旋影响云南的诊断分析^{* 1}

钟爱华¹ 周 泓² 赵付竹³ 杨素雨⁴ 严直慧⁵

1 云南省大理州气象局,大理 671000

2 云南省玉溪市气象局,玉溪 653100

3 海南省气象台,海口 570100

4 云南省气象台,昆明 650034

5 云南省文山州气象局,文山 663000

提 要: 运用中央气象台台风实时业务定位数据、云南省 124 个国家气象站降水实况和 NCEP 再分析资料(水平分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$, 时间分辨率逐 6 h), 对比分析了 1213 号台风启德和 1309 号强热带风暴飞燕影响云南的路径、环流场、云图、水汽条件、动力条件等特征。结果表明:“启德”影响云南期间青藏高压位置偏西,副热带高压呈带状,热带气旋(TC)位于副热带高压西南侧的东南风到偏东风中,引导气流有利于台风取偏西路径影响云南。而“飞燕”影响时青藏高压位置偏东,副热带高压呈块状,TC 位于副热带高压西侧的偏南风中,引导气流有利于热带低压取西北路径影响云南,从而使得“飞燕”影响时云南中部处于气旋性风场中,西南气流和副热带高压外围偏南气流两支气流汇集在此,在云南中部也产生了较强降水。两个 TC 影响云南时对流层中低层保持了较大的水汽输送。水汽主要来自于其本身、南海洋面和孟加拉湾。水汽辐合中心处于低压倒槽的槽前,随着系统自东向西影响云南的中部及以南地区。强降水区低层辐合、高层辐散,强上升运动为降水提供了有利的动力机制,释放了不稳定能量。因此,做好青藏高压和副热带高压的形态、位置的预报有利于把握登陆后热带低压的移动路径,从而准确预报降水强度和落区。

关键词: 西行热带气旋, 强降水, 诊断分析

中图分类号: P447

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 04. 003

Diagnostic Analysis of Two Westbound Tropical Cyclones Affecting Yunnan

ZHONG Aihua¹ ZHOU Hong² ZHAO Fuzhu³ YANG Suyu⁴ YAN Zhihui⁵

1 Dali Meteorological Office of Yunnan, Dali 671000

2 Yuxi Meteorological Office of Yunnan, Yuxi 653100

3 Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570100

4 Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034

5 Wenshan Meteorological Office of Yunnan, Wenshan 663000

Abstract: The real-time typhoon subjective positioning data from National Meteorological Centre, precipitation observation data from 124 national weather stations in Yunnan Province and the NCEP reanalysis data with $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ horizontal resolution and 6 h temporal resolution are used to analyze the influence of No. 1213 TC “Kai-tak” and No. 1309 TC “Jebi” on Yunnan. The characteristics of the tropical cyclone (TC) moving path, circulation field, cloud, water vapor, dynamic conditions are analyzed. The results show that while “Kai-tak” influences Yunnan, the position of Qinghai-Tibet high pressure is by west and the subtropical high is zonal. TC lies in the southeast to easterly wind of the southwest side of the

* 云南省气象局科研项目(TQ201505)和云南省气象局预报员技术开发专项(YB201412)共同资助

2014 年 1 月 15 日收稿; 2014 年 12 月 12 日收修定稿

第一作者:钟爱华,主要从事中短期天气预报及研究工作. Email: zah122875@163. com

subtropical high, so the path of TC is the west path. But when “Jebi” affects Yunnan, the position of Qinghai-Tibet high pressure is by east and the subtropical high is massive. TC is in the southerly wind of the west side of the subtropical high, so the path of TC is the northwest path, and the central part of Yunnan is in cyclonic wind field where the southwestern airflow and the subtropical high periphery south airflow gather creating heavy rainfalls there. When the two TCs affect Yunnan, the lower troposphere has a larger transport of water vapor. The water vapor mainly comes from TC, the South Sea of China and the Bay of Bengal. Moisture convergence center is in the front of the low pressure inverted trough, impacting the central and southern part of Yunnan from east to west along with the weather system. Heavy precipitation zone has convergence in lower level and divergence in higher level. Strong upward motion provides favorable dynamic mechanism for precipitation and releases unstable energy. Therefore, the forecasting of the shapes and positions of the Tibetan high and subtropical high is beneficial to forecasting the moving path of tropical low after its landing so that the forecast of rainfall intensity and location can be more accurate.

Key words: westbound tropical cyclone, heavy precipitation, diagnostic analysis

引 言

云南地处低纬高原,但几乎每年都受到西行热带气旋的影响(郭荣芬等,2010b)。近年来气象工作者在西行热带气旋影响云南方面做了很多细致的研究,得到不少有意义的结论(郭荣芬等,2005;2010a;2013;许美玲等,2011;尤红等,2008;2011;鲁亚斌等,2007;张玲等,2014;曹晓岗等,2012;李英等,2004a;2004b;2005;刘爱鸣等,2007;康岚等,2013;孙建华等,2006;孙瑞等,2006)。许美玲等(2011)指出,西行台风在两广登陆后继续西行,或穿过海南岛进入北部湾在越南北部登陆对云南会产生较大影响,是云南产生暴雨的主要天气系统之一。许美玲等(2011)利用历史西行台风资料统计发现,进入 18°N 以北、 110°E 以西的关键区域的西太平洋热带气旋(TC)对云南省才会产生影响,并按影响程度把该关键区划分为关键区 I、关键区 II 和关键区 III。统计分析表明进入关键区 III(即 20°N 以北、 105°E 以西的区域)的西行台风对云南的影响最大,进入这个区域的 TC 将对云南大部地区造成影响,特别是滇南部分地区,几乎每次进入关键区 III 的 TC 都会造成滇南出现大到暴雨。1213 号台风启德和 1309 号强热带风暴飞燕均生成于盛夏 8 月(陶亦为,2012;杨舒楠等,2013),它们均进入西行台风影响云南的关键区 III,同样造成云南南部地区的大到暴雨,本文以上述两个 TC 为例,对其路径、移动速度、环境场、物理量场和云图等进行对比分析,探讨西行台风对云南降水的影响机制,为做好西行台风

影响低纬高原产生的降水预报提供一些参考。

本文所用西太平洋热带气旋(TC)路径资料取自中央气象台的台风实时业务定位数据,24 h 警戒区内时间间隔为 1 h。云南省 124 个国家气象站降水实况,NCEP 再分析资料(水平分辨率 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,时间分辨率逐 6 h)。

1 两个 TC 活动及云南降水实况对比

1213 号台风启德于 2012 年 8 月 13 日 08 时(北京时,下同)在台湾鹅銮鼻东南方约 920 km 的西北太平洋洋面上生成,中心附近最大风力 8 级($18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),中心最低气压 998 hPa。14 日 23 时在菲律宾吕宋岛近海加强为强热带风暴。15 日 17 时进入南海东北部海面,逐渐向广东沿海靠近。16 日 05 时,“启德”在南海北部海面加强为台风,中心附近最大风力 12 级($33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),中心最低气压 975 hPa。17 日 12:30 前后在广东省湛江市麻章区湖光镇沿海 2 次登陆。17 日 21 时前后,以台风强度在中越边境交界处沿海 3 次登陆。登陆中越边境后,“启德”18 日凌晨在越南东北部地区减弱为热带风暴,14 时减弱为热带低压,17 时对其停止编号(图 1a)。受其影响,17 日 20 时到 19 日 20 时云南南部出现大到暴雨(图 2a)。

1309 号强热带风暴飞燕于 2013 年 7 月 31 日 02 时在南海生成,08 时加强为热带风暴,中心附近最大风力 8 级($18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),中心最低气压 998 hPa。随后以 10 km 左右的时速向西北方向移动,逐渐趋向海南东部和粤西海面,强度继续加强。2 日 00

时,“飞燕”中心附近最大风力 10 级($25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),中心最低气压 985 hPa,强度加强为强热带风暴。随后“飞燕”横穿海南省北部地区,于 3 日凌晨移入北部湾东部海面。3 日凌晨移入北部湾东部海面。3 日 14 时强度减弱为热带风暴。3 日 20 时“飞燕”中心位于越南北部宣光市境内,减弱

为热带低压,之后其强度持续减弱,已很难确定其环流中心,3 日 23 时中央气象台对其停止编号(图 1b)。受其影响,3 日 08 时到 5 日 08 时云南南部出现大到暴雨,中部出现中到大雨(图 2b)。

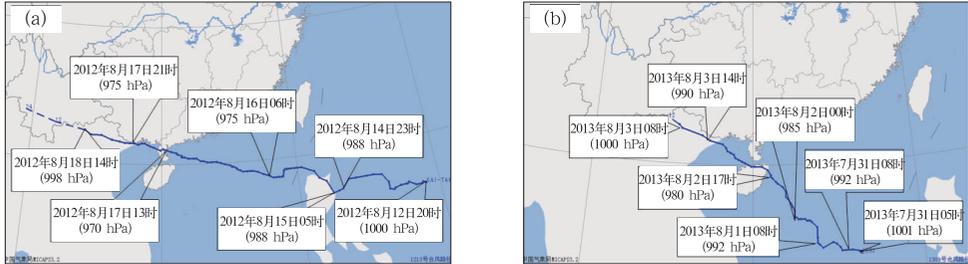


图 1 TC 移动路径图

(虚线部分为停止编报后热带低压移动路径,括号内为 TC 中心气压)

(a)1213 号台风启德移动路径, (b)1309 号强热带风暴飞燕移动路径

Fig.1 TC tracks

(Dashed line denotes the track after stopping TC advisory issuing, numbers in brackets

denote the minimum sea level pressure near TC center)

(a) 1213 Kai-tak, (b) 1309 Jebi

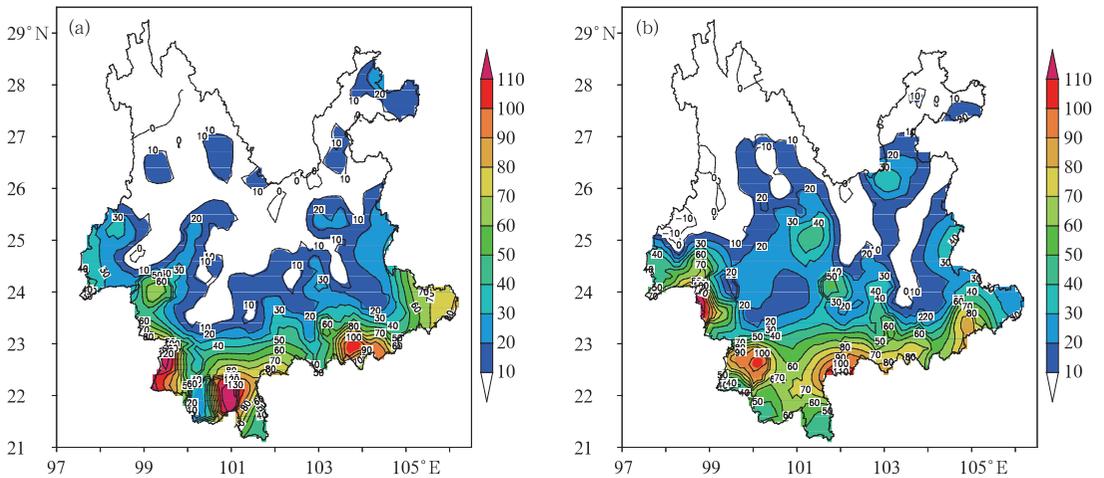


图 2 2012 年 8 月 17—19 日(a) 和 2013 年 8 月 3—5 日云南降水分布(单位: mm)

Fig.2 The distribution of heavy rainfall in Yunnan (unit: mm)

(a) 17—19 August 2012, (b) 3—5 August 2013

对比 1213 号台风启德和 1309 号强热带风暴飞燕两个 TC 活动及影响(表略),两者的相同之处:(1) 进入了西行台风影响云南的关键区Ⅲ(即 20°N 以北、 105°E 以西的区域);(2) 影响云南的时间相同,均在盛夏 8 月,并且影响云南的时间均为 2 d。(3) 造成云南南部地区的大到暴雨天气。而不同点在于:(1)它们的生成源地不同,“启德”生成于菲律宾以东洋面,“飞燕”则生成于南海中部海域;(2)移

动路径不同,“启德”的移动路径是偏西路径,而“飞燕”的移动路径是西北路径;(3)强度不同,“启德”最终发展为台风,“飞燕”仅发展为强热带风暴;(4)对云南的影响略有不同,“启德”和“飞燕”均造成云南南部地区的大到暴雨天气,但“飞燕”还造成了云南中部的降水天气。

总体而言,1213 号台风启德和 1309 号强热带风暴飞燕都在盛夏影响云南,进入 20°N 以北、

105°E 以西的区域,造成了云南南部地区的大到暴雨。但强度强而移动路径为偏西路径的“启德”比强度弱移动路径为西北路径的“飞燕”降水范围小。

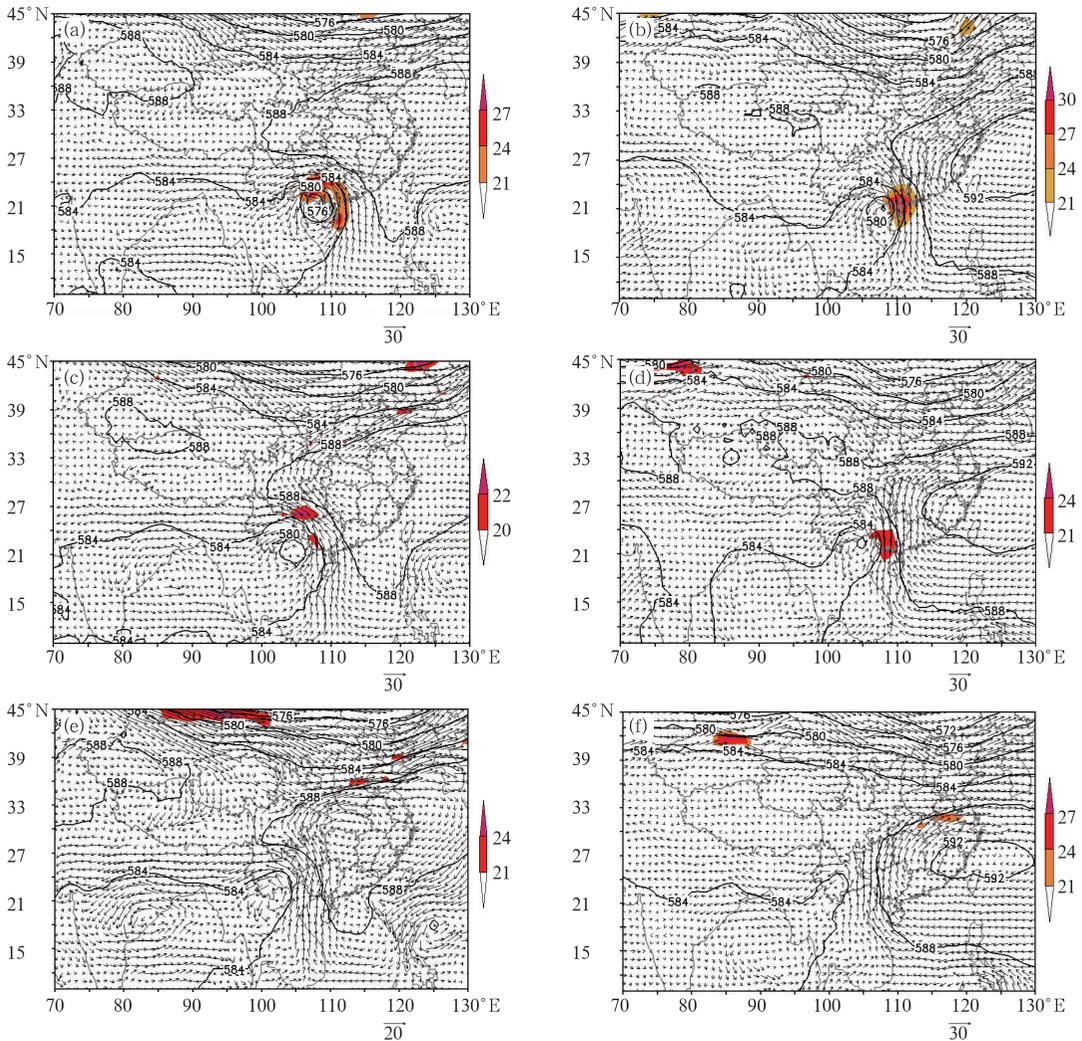
2 大尺度环流形势特征

2.1 500 hPa 环流形势特征

西太平洋台风的移动,主要受西太平洋副热带

高压(以下简称副高)和西风带环流的影响(郭荣芬等,2010a; 2010b)。分别取强降水明显时段进行对比分析,发现在上述两个 TC 影响云南期间,天气系统的配置存在诸多相同之处,也有不同之处。

2012年8月17日20时“启德”影响云南期间(图3a),500 hPa 上青藏高原上的大陆高压位置偏西,东伸脊点位于 92°E 附近,西太平洋副高为带状,西伸脊点位于 102°E,脊线位于 30°N 附近,此时的 TC 位于副高的西南侧,强度为台风,副高西南侧为



东南风到偏东风,引导气流有利于台风向西移动。17日21时前后,“启德”以台风强度在中越边境交界处沿海第三次登陆。随着TC的登陆,“启德”强度有明显的减弱,“启德”18日凌晨在越南东北部地区减弱为热带风暴,14时减弱为热带低压,从强度上“启德”减弱后的热带低压还是比“飞燕”的要强一些。8月18日08时(图3c),青藏高原上大陆高压少动,副高西伸,减弱的热低压继续西移,云南自东向西出现明显降水。8月18日20时(图3e)后随着副高的不断增强西伸,降雨区由滇东南渐渐转到滇西南,降雨区的位置与低压减弱后形成的低压倒槽东南气流的位置相对应,东南气流给降雨区带来能量和水汽。

而2013年8月3日08时“飞燕”影响云南期间(图3b),500 hPa上青藏高原的大陆高压位置偏东,东伸脊点位于 100°E 附近,副高为块状,西伸脊点位于 110°E ,脊线位于 30°N 附近,登陆后的TC位于副高的西侧,副高西侧为偏南风,引导气流有利于减弱后的热带低压向西北方向移动。“飞燕”于3日14时减弱为热带风暴,20时减弱为热带低压。8月3日20时(图3d),青藏高原上大陆高压加强东伸,副高同样加强西伸,两高间的辐合区变窄,位于四川东部,减弱的热低压西北移受阻,强度迅速减弱,已画不出明显的低压中心,同样云南自东向西出现了明显的降水。8月4日08时(图3f)后受西伸副高的推挤,低压倒槽位于滇中及以西地区,副高西侧的偏南风分量比较大,给滇中输送了大量饱含不稳定能量和水汽的东南气流和偏南气流,造成了楚雄一带的降水。

两个TC影响云南的后期(图略),副高均不断西伸,588 dagpm线渐渐由滇东向西推进,最终将热带低压倒槽挤出云南,整个云南被高压控制,TC的影响趋于结束。

2.2 低层环流形势特征

由700 hPa风场可以看到(图4),两个TC倒槽影响云南期间,低层环流形势相似。副高控制着华南大部,相比较而言,“启德”影响期间,副高呈带状,位置偏北,强度偏弱,而“飞燕”影响期间,副高呈块状,位置偏南,强度偏强。两个TC均位于副高的西侧或西南侧,均有明显的偏东暖湿气流源源不断地提供水汽。两个TC登陆的地点极其相似。“启德”影响期间,由于其强度比“飞燕”强,其低层的偏东风

风速也较大。除了来自减弱的热带气旋自身的水汽外,两个TC影响云南期间,都有来自孟加拉湾的低空急流将水汽经由中南半岛南部补充进入低压倒槽的东侧。这就使得虽然由于摩擦作用使得热带低压不断减弱,但仍在云南南部地区造成比较强的降水。

不同的是“启德”低层的西南低空急流出现得早一些,在低压环流仍完整的2012年8月18日14时(图4c)就已存在,“飞燕”的西南低空急流则在影响云南的后期2013年8月5日02时才建立。“飞燕”影响期间,由于副高西侧的偏南气流较强,大量的水汽和能量被输送到两广、湖南和江西,“启德”的水汽和能量更多输送到广西境内和云南、贵州、四川。此外,相比之下,“启德”的低压环流形势比“飞燕”维持的时间更长一些。两个TC影响后期,低压倒槽自东向西移出云南,云南大部转为来自孟加拉湾的西南气流和偏南气流控制。

从环流形势的分析可以看出,两个TC影响云南初期,“启德”影响时青藏高原位置偏西,而“飞燕”影响时青藏高原位置偏东;副高脊线都位于 30°N ,但“启德”位于副高的西南侧,取偏西路径影响云南,“飞燕”位于副高的西侧,取西北路径影响云南。两个TC影响云南中期,副高加强西伸,青藏高原与副高间的辐合区变窄,但“飞燕”影响期间,青藏高原加强东伸,两高间的辐合区比“启德”影响时偏东,这样,减弱后的TC“飞燕”在云南中部停留时间增长。到了两个TC影响云南后期,副高仍不断西伸,整个云南渐渐被高压控制,TC的影响趋于结束。

3 卫星云图特征

云图(图5)分析表明,“启德”登陆减弱后的对流云系自东向西影响了云南的南部边缘地区,强度渐渐减弱。“飞燕”的外围云系自东向西影响了云南滇中以南大部地区。两个TC活动给云南带来的强降水都产生在相当黑体亮温梯度最大的区域。“启德”影响期间,明显的对流云系位置偏南,中心温度为200 K的冷云区主要位于云南南侧的越南等地,而“飞燕”影响期间,对流云系位置偏北,中心温度为200 K冷云区直接影响了滇西南。这主要与“飞燕”的西北移动路径有关,且“飞燕”云系在西北移动的过程中,于8月4日14时在滇中至滇西南一线重新形成了一条中心温度为240 K对流云带,这条对流云带正好位于图3f所示的气旋性风场中,且西南气

流和副高外围偏南气流两支气流的汇集区也是在这个区域,有大量不稳定能量和水汽在此汇集。正是这条云带造成了滇中地区的降水。从而使得强度不及“启德”的“飞燕”减弱后的热带低压在云南造成范围更广的降水。

4 水汽条件

登陆的 TC 若能继续获得外界水汽的补充,则有利于其气旋性环流在陆地上的维持。17 日 20 时“启德”以台风强度在中越边境交界处沿海第三次登陆,700 hPa 水汽通量大值区维持在低压北侧偏东气流中,随着低压受地形摩擦不断减弱,水汽通量大值区极值逐渐减弱,从 $30 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 减弱到 $14 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。19 日 02 时副高西伸到贵州东部,700 hPa 上已没有明显的低压中心,此后水汽通量的大值区位置逐渐转到西南季风气流中,强度为 $18 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。17 日 20 时水汽辐合中心在低压西北侧,水汽辐合中心值为 $-4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。18 日 02 时低压中心有所减弱,但水汽辐合中心却由原来的 $-4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 增强为 $-8 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,水汽辐合中心位于低压中心的西侧。19 日 02 时前,水汽辐合中心一直位于低压倒槽槽前,强度维持在 $-4 \times 10^{-7} \sim -6 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。随着西南低空急流的建立,水汽辐合中心位于急流的左侧,强度有所加强,但极值中心不在云南境内,云南西南部维持 $-4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。19 日 08 时偏南气流增强,云南西南部水汽通量辐合中心强度维持在 $-4 \times 10^{-7} \sim -6 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。19 日 20 时后水汽辐合减弱,云南境内没有明显辐合中心。

“飞燕”于 8 月 3 日凌晨移入北部湾东部海面,08 时开始对云南产生影响,其 700 hPa 水汽通量大值区位于低压东北侧的东南气流中,强度为 $30 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3 日 14 时,水汽通量大值区北抬西伸,强度未减,位置为低压北侧。4 日 02 时水汽通量强度为 $22 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。4 日 08 时 700 hPa 上已无闭合低压中心,受西伸副高的推挤,低压倒槽位于滇中及以西地区,水汽通量大值区位置转为副高西侧的偏南气流和西南季风气流中,强度为 $20 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

随着副高的不断西伸,水汽通量大值区自东向西移出云南。8 月 3 日 08 时水汽辐合中心位于低压西北侧,水汽辐合中心值为 $-8 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。3 日 20 时水汽辐合中心增强为 $-10 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,水汽辐合中心位于低压中心的西侧。其后水汽辐合中心一直位于低压倒槽槽前,强度维持在 $-6 \times 10^{-7} \sim -8 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。5 日 02 时云南西部水汽通量辐合中心强度为 $-8 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。08 时后云南境内没有辐合中心。由于“飞燕”影响云南的路径为西北路径,水汽辐合区自东南向西北移过云南。

分析发现,在两个 TC 影响云南前后对流层中低层均保持较大的水汽输送。从 TC 影响云南期间 700 hPa 平均水汽通量图(图略)看,两个 TC 影响云南期间对流层中低层的水汽主要来自于其本身的水汽、南海洋面的水汽和孟加拉湾输送的水汽。“启德”和“飞燕”影响云南期间,水汽通量都维持较大值,水汽辐合中心处于低压倒槽的槽前,随着系统自东向西影响云南的中部及以南地区。

分析两个 TC 强降水区(“启德”: $21^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 、 $98^{\circ} \sim 106^{\circ} \text{E}$ 、“飞燕”: $21^{\circ} \sim 26^{\circ} \text{N}$ 、 $98^{\circ} \sim 106^{\circ} \text{E}$)的平均水汽通量、水汽通量散度和风场的时间-高度剖面图(图 6),两次 TC 开始影响云南时,在低压倒槽槽前东北气流的引导下,600 hPa 以下为水汽通量的大值区,在强降水开始前达到最大,降水开始后逐渐减小。降水开始前水汽辐合顶最高都在 500 hPa,随着偏东气流逐渐向偏南气流转换,强降水区的水汽辐合顶慢慢下降到 700 hPa 附近。

5 动力条件

垂直运动不仅会引起水汽、热量、动量、涡度等垂直输送,而且与大气的绝热变化和水平辐合辐散运动配合,可引起湿度、温度、涡度的变化,对天气系统的发生、发展有很大作用。分析两个 TC 强降水区的平均散度和垂直速度的时间-高度剖面图(图 7)发现,两个 TC 影响云南过程中强降水区上升运动较强,伸展高度在 200 hPa 附近,强上升运动区在 700~500 hPa,最强上升运动中心都在 $-40 \times 10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。“启德”垂直运动负中心存在明显日变化,夜间垂直上升运动比白天强烈。“飞燕”的上升运动比“启德”减弱得快,日变化也不明显。配合

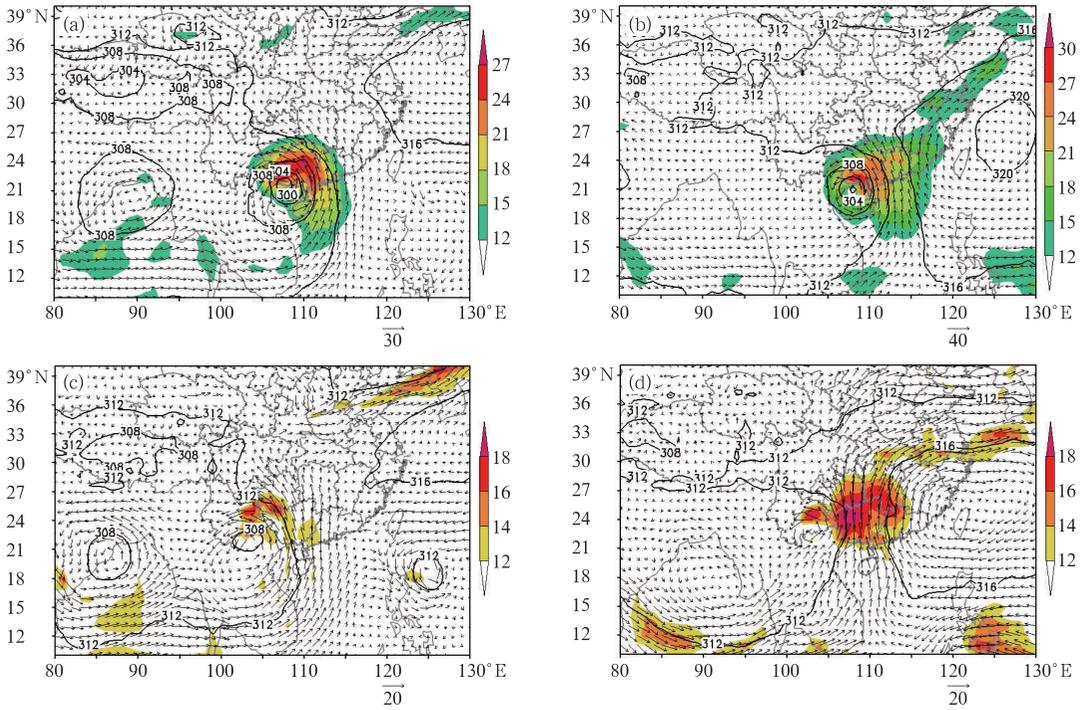


图 4 700 hPa 位势高度场和风场
(阴影区为风速 $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风速区)

(a)2012 年 8 月 17 日 20 时, (b)2013 年 8 月 3 日 08 时, (c)2012 年 8 月 18 日 14 时, (d)2013 年 8 月 4 日 02 时

Fig. 4 Geopotential field and wind field of 700 hPa

(Shaded areas indicate strong wind velocity $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a) 20:00 BT 17 August 2012, (b) 08:00 BT 3 August 2013, (c) 14:00 BT 18 August 2012, (d) 02:00 BT 4 August 2013

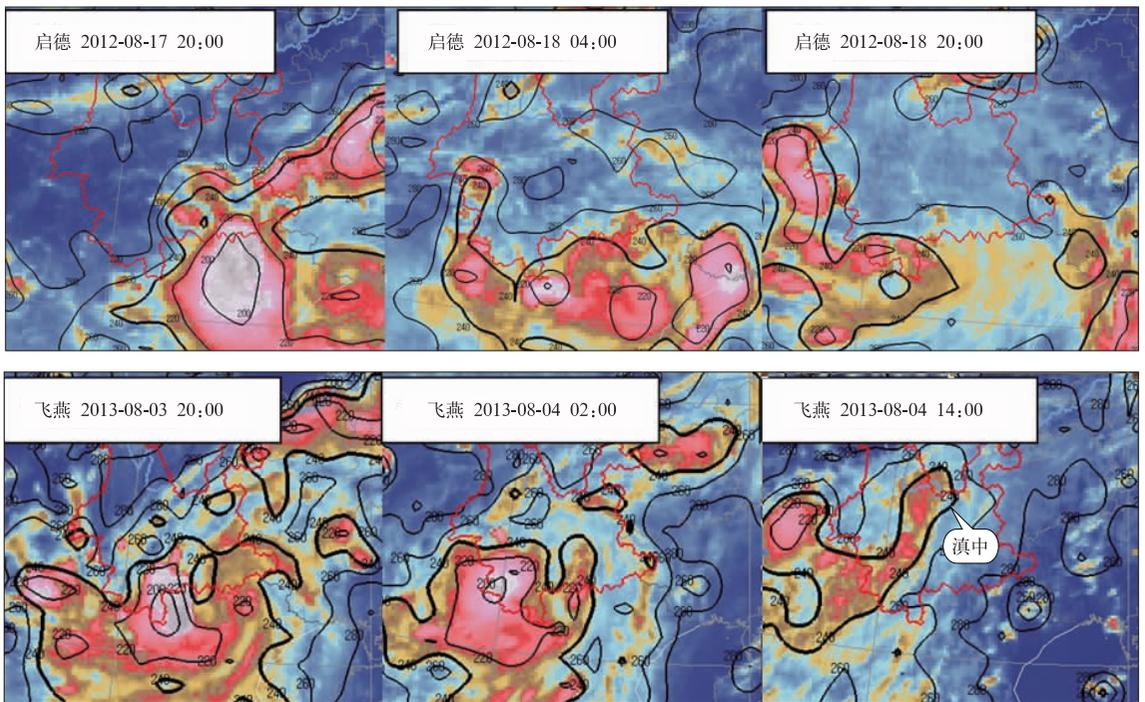


图 5 两个 TC 影响期间 FY-2E 红外云图和相当黑体亮温(单位:K)合成图

Fig. 5 FY-2E infrared cloud and blackbody brightness temperature in two TC impact periods (unit: K)

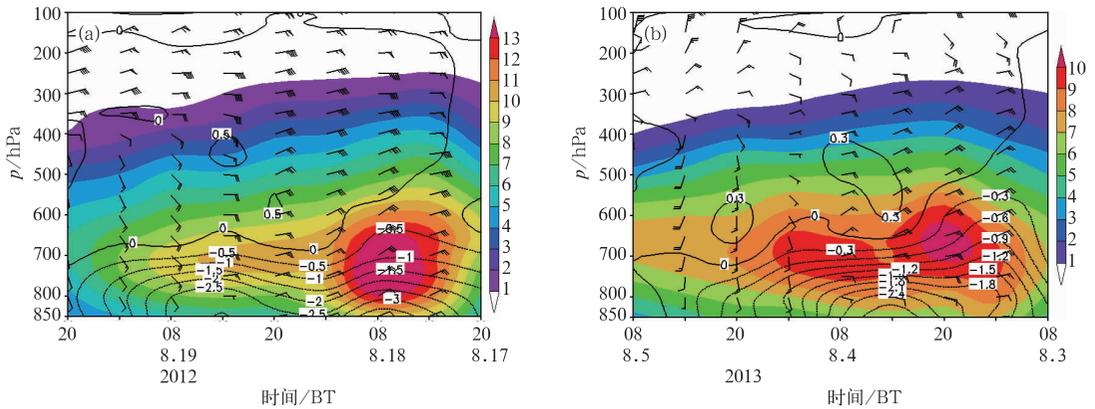


图6 强降水区平均水汽通量(>2 的阴影,单位: $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)、水汽通量散度(单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和风场(风矢)时间-高度剖面图
(a)1213“启德”,(b)1309“飞燕”

Fig. 6 Time-height section of vapor flux (shaded area for more than 2, unit: $10^{-2} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), moisture flux divergence (unit: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and wind field (vector) at heavy rain areas
(a) 1213 Kai-tak, (b) 1309 Jebi

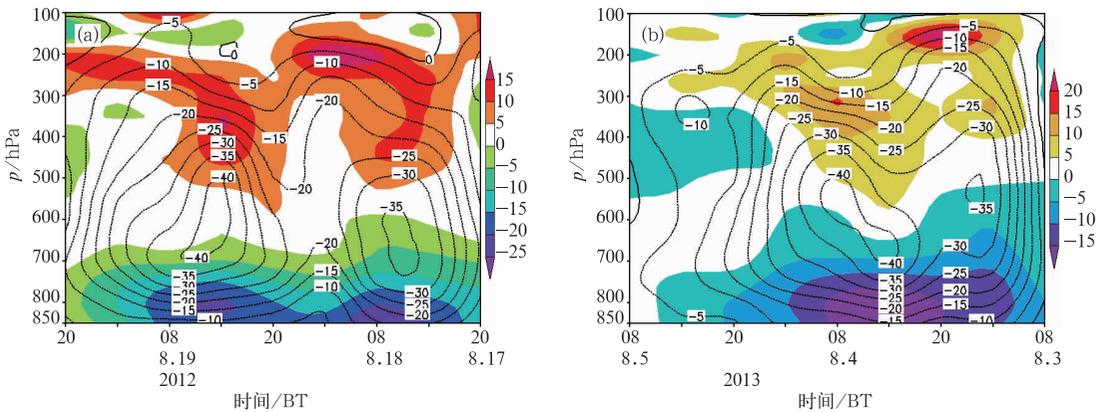


图7 强降水区平均散度和垂直速度的时间-高度剖面图
(等值线表示垂直速度,单位: $10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; 阴影表示散度,单位: 10^{-6} s^{-1})
(a)1213“启德”,(b)1309“飞燕”

Fig. 7 Time-height section of average divergence and vertical speed in heavy rain areas
(Contours indicate vertical velocity, unit: $10^{-5} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; shaded area indicates divergence, unit: 10^{-6} s^{-1})
(a) 1213 Kai-tak, (b) 1309 Jebi

上升运动两个 TC 都有低层辐合,高层辐散的散度场配置。这样的高低空配置,更有利于抽吸运动。600~700 hPa 以下为辐合区,以上为辐散区。“启德”辐合区最大中心值到 $-25 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ，“飞燕”达到 $-15 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。结合雨量分析,在强降水发生时段,垂直运动提供了有利的动力机制,上升运动释放了不稳定能量,低层辐合、高层辐散的散度场配置时间与强降水时段吻合。

6 结论与讨论

(1) 1213 号台风启德和 1309 号强热带风暴飞

燕都在盛夏影响云南,进入 20°N 以北、 105°E 以西的关键区域,造成了云南南部地区的大到暴雨。

(2) “启德”和“飞燕”影响云南期间,移动路径取决于与青藏高原和副高间辐合区的配合。“启德”影响时青藏高原位置偏西,副高呈带状,TC 位于副高的西南侧的东南风到偏东风中,引导气流有利于台风取偏西路影响云南。而“飞燕”影响时青藏高原位置偏东,副高呈块状,TC 位于副高西侧的偏南风中,引导气流有利于热带低压取西北路径影响云南。“飞燕”影响云南时云南中部处于气旋性风场中,西南气流和副高外围偏南气流两支气流汇集在此,使得“飞燕”在云南中部也产生了较强降水。

(3) 两个 TC 影响云南前后水汽主要来自于其本身、南海洋面和孟加拉湾。对流层中低层保持了较大的水汽输送,水汽辐合中心处于低压倒槽的槽前,随着系统自东向西影响云南的中部及以南地区。这些来自 TC 本身和热带洋面的水汽具有高温高湿的热力性质,包含着不稳定能量。

(4) 两个 TC 影响云南过程中强降水区低层辐合、高层辐散,强上升运动为降水提供了有利的动力机制,释放了不稳定能量。

通过对 1213 号台风启德和 1309 号强热带风暴飞燕的分析发现,西行热带气旋影响云南时,TC 移动过程中与青藏高原和副高压间辐合区的配合决定了 TC 移动路径和降水落区。若青藏高原位置偏西,副高呈带状,TC 位于副高西南侧的偏东气流中,则有利于 TC 取偏西路径影响云南,此时往往造成云南南部的大到暴雨。而青藏高原位置偏东,副高呈块状,TC 位于副高西侧的偏南气流中,则有利于热带低压取西北路径影响云南,此时不仅云南南部会出现大到暴雨,云南中部地区也可能出现强降水。因此做好青藏高原和副高的形态、位置的预报是准确预报降水强度和落区的前提。

参考文献

曹晓岗,王慧,漆梁波. 2012. 台风珍珠和鲇鱼北折路径对比分析. 气象, 38(7): 841-847.

郭荣芬,鲁亚斌,李燕,等. 2005. “伊布都”台风影响云南的暴雨过程分析. 高原气象, 24(5): 784-791.

郭荣芬,肖子牛,陈小华,等. 2010a. 两次西行热带气旋影响云南降水对比分析. 应用气象学报, 21(3): 317-328.

郭荣芬,肖子牛,李英. 2010b. 西行热带气旋影响云南降水的统计特征. 热带气象学报, 26(6): 680-686.

郭荣芬,肖子牛,鲁亚斌. 2013. 登陆热带气旋引发云南强降水的环境场特征. 气象, 39(4): 418-426.

李英,陈联寿,王继志. 2004a. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征. 气象学报, 62(2): 167-179.

李英,陈联寿,徐祥德. 2004b. 登陆热带气旋维持的次天气尺度环流特征. 气象学报, 62(3): 257-268.

李英,陈联寿,徐祥德. 2005. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验. 大气科学, 29(1): 91-98.

刘爱鸣,林毅,刘铭,等. 2007. “碧利斯”和“格美”登陆后暴雨强度不同的天气学对比分析. 气象, 33(5): 36-41.

鲁亚斌,普贵明,解明恩,等. 2007. 0604 号强热带风暴碧利斯对云南的影响及维持机制. 气象, 33(11): 49-57.

康岚,牛俊丽,徐琳娜,等. 2013. 台风对四川暴雨影响的环境场对比分析. 气象, 39(4): 427-435.

孙建华,赵思熊. 2006. 登陆台风引发的暴雨过程之诊断研究. 大气科学, 64(1): 228-234.

孙瑞,杨松福,黄海波. 2006. 两次单纯西行台风低压降水对比分析. 广西气象, 27(增刊 III): 13-14.

陶亦为. 2012. 2012 年 8 月大气环流和天气分析. 气象, 38(11): 1429-1435.

许美玲,段旭,杞明辉,等. 2011. 云南省天气预报员手册. 北京: 气象出版社, 72-84.

杨舒楠,何立富. 2013. 2013 年 8 月大气环流和天气分析. 气象, 39(11): 1521-1528.

尤红,王曼,曹中和,等. 2008. 0604 号台风“碧利斯”持久不消及造成云南暴雨成因分析. 台湾海峡, 27(2): 7-16.

尤红,周泓,李艳平,等. 2011. 0906 号台风“莫拉菲”大范围暴雨过程诊断分析. 暴雨灾害, 30(1): 1-6.

张玲,许映龙,黄奕武. 2014. 1330 号台风海燕强烈发展和快速移动原因分析. 气象, 40(12): 1464-1480.