

“圣帕”、“碧利斯”影响湖南的对比分析

潘志祥¹ 叶成志¹ 刘志雄² 许霖¹

(1. 湖南省气象局, 长沙 410007; 2. 湖南省娄底市气象台)

提 要: 应用气象、水文加密观测和 NECP 再分析资料对两个严重影响湖南的热带气旋圣帕、碧利斯进行了对比分析。分析表明:“碧利斯”和“圣帕”影响期间,湖南降水在强度和范围上存在明显差异,“碧利斯”强降水主要位于低压环流的东南侧,在湘东南地区形成致洪暴雨,而“圣帕”降水范围大,湖南大部分地区出现大暴雨,强降水落区具有自东向西移动的特点,且强降水持续时间更长,强度更强。进一步分析发现,“碧利斯”、“圣帕”登陆后低压环流移动路径不同以及结构的差异,且与之相互作用的南海季风强度不同,导致它们在动力结构、水汽辐合强度分布和垂直运动等方面存在明显差异,而这些差异是造成它们不同的强降水分布特征的重要原因。

关键词: 台风暴雨 对比分析 南海季风

Comparisons Analysis of Rainstorm Processes in Hunan Province Caused by Typhoon BILIS and SEPAT

Pan Zhixiang¹ Ye Chengzhi¹ Liu Zhixiong² Xulin¹

(1. Hunan Meteorological Bureau, Changsha 410007; 2. Loudi Meteorological Observatory, Hunan Province)

Abstract: The comparative analysis between “BILIS” and “SEPAT” which had a sobering effect to Hunan Province was conducted by using the meteorological and hydrographic conventional intensive observational data and NECP reanalyzed data. Results show that the strength and scope of the precipitation brought from Bilis and Sepat had significant differences. The precipitation of Bilis mainly located in the southeast side of the low pressure circulation and induced the rainstorm in the southeast area of Hunan. The scope of the precipitation of SEPAT was widespread, and the area of heavy precipitation moved from east to west and lasted longer than Bilis. Further analysis found that the differences between Bills and SEPAT in moving route, structures and the South China Sea Monsoon intensity revealed obvious discrepancy in dynamic structure, distribution of moisture

本文受公益性行业专项(GYHY(QX)2007-6-12)、中国气象局预报员专项 CMATG2008Y06 和湖南省局重点课题“高分辨率数值预报释用技术研究”课题共同资助。

收稿日期:2008年2月20日; 修定稿日期:2008年6月6日

convergence intensity and vertical movement. These differences are the important reasons that caused different distribution of their heavy rainfall.

Key Words: typhoon rainstorm comparative analysis south China sea monsoon

引 言

我国受西北太平洋台风影响的地区占国土面积 1/2 左右,南到海南省,北到黑龙江,最西可至西南部 100°E 以西地区,是世界上登陆台风最多、灾害最重的国家之一^[1]。近 10 年来国内外台风暴雨研究的进展包括:高低空急流、西风槽等对远距离台风暴雨有重要影响;涡旋 Rossby 波说和重力惯性波说仍然是螺旋雨带形成理论的两种不同观点;地形、海岸线等不同的下垫面特征对台风暴雨有不同的作用;暴雨的异常分布;台风系统可以触发中纬度地区降水,也可以中断梅雨。同时对台风暴雨中尺度系统的源和汇、螺旋雨带的形成理论、台风暴雨异常分布的机理和暴雨的定量预报等问题取得了较大的研究进展^[2]。

一般而言,绝大多数热带气旋登陆后因海面水汽和潜热通量被切断,能量被摩擦耗散而快速减弱^[3-4],但 0604 号强热带风暴碧利斯登陆后其低气压环流经久不消,历时 5 天。而 0709 号超强台风圣帕对内陆的影响竟长达 8 天,同时由于它们造成的暴雨时空分布的独特性和强致灾性,使得对它们的研究和对比分析显得尤为重要。

“碧利斯”降水的异常特征已引起了广泛关注,国内众多气象学者从不同角度对其进行了分析和研究。倪允琪认为“碧利斯”造成的强降水与西南季风涌关系密切;鲁亚斌^[5]探讨了“碧利斯”路径西偏南的原因,并对其登陆后低压环流长久维持不消的物理机制进

行了研究。郭达烽^[6]等通过诊断分析,指出“碧利斯”在庐山和赣南南部山区造成的大暴雨与局地地形的动力作用有关;毛连海^[7]等通过对湿位涡的诊断,指出湿位涡对“碧利斯”在江西造成的强降水落区有很好的指示作用;姚蓉^[8]等通过多种资料分析了“碧利斯”造成湘东南特大山洪地质灾害的主要成因;刘爱鸣^[9]等将“碧利斯”与“格美”异同点进行了天气学对比分析,指出高低空不同的环流形势导致有利于强降水形成的物理量场的差异,从而造成两者暴雨强度的不同。而对“圣帕”台风暴雨的研究,尤其是与“碧利斯”的对比分析方面的研究工作还刚刚起步。本文通过资料分析及物理量诊断,从不同角度对比分析这两个对湖南造成严重影响的热带气旋的降水特点及差异产生的原因,旨在为作好此类高影响天气的预报服务提供更多更好的着眼点和思路。

1 “圣帕”、“碧利斯”基本特征对比分析

1.1 “圣帕”、“碧利斯”相似点

(1) 生成和登陆的地点基本一致。都是在菲律宾吕宋岛以东的西北太平洋洋面上生成后往西北方向移动,在台湾登陆后,越过台湾海峡,在福建中南部再次登陆,减弱后的低压环流经江西进入湖南。但从登陆后低压环流移动路径来看,“圣帕”较“碧利斯”路径偏北(图 1)。

(2) 登陆后其低压环流填塞缓慢,对湖南造成的强降水持续时间较长。这两个热带气旋登陆后,减弱成的热带低压环流,均受北

部强大的大陆高压、东部的副高和南部的低纬赤道高压环流包围,低压外围气流与同步增强的季风环流交汇,促使它们的低压环流在陆地维持时间较长,影响湖南的时间也较长。

(3) 强降水落区和造成的灾害程度类似。两者均对湖南造成严重的影响,所带来的成灾性致洪暴雨均在湘东南,主要暴雨区在湘江流域中上游的耒水和春陵水及四周。部分地方连续降大暴雨和特大暴雨,其强度之大、来势之猛、时间之长、范围之广、水位之高为历史罕见。“碧利斯”所形成的暴雨区稍偏向湘江上游,即耒水、春陵水、潇水及米水,“圣帕”所形成的暴雨区相对“碧利斯”稍偏向

湘江中游,即耒水、米水及春陵水;大暴雨中心区基本重合。

1.2 “圣帕”、“碧利斯”不同点

(1) 西南季风强度不同。“碧利斯”西南气流较“圣帕”旺盛,季风云涌活跃,低压环流南北两侧的西南风和东北风形成的两支主要水汽通道在湘东南长时间交汇;“圣帕”西南季风云涌相对较弱,但由于自身内力强,且低压环流中心南部的切变较长时间维持,并在省内自南向北、自东向西转动。

(2) 台风结构特点有差异。“圣帕”登陆前为对称、准圆形实心台风,但登陆后变为不对称空心结构;“碧利斯”为不对称、东西向长轴椭圆形空心结构。

(3) 降水范围、持续时间和强度不同。“圣帕”的强降水范围大、持续时间更长(多天)、总雨量更多(全省平均降雨量多 40mm),对湖南大部分地区都有影响,强降水落区自东向西呈移动性特点。而“碧利斯”与强盛的南海季风相互作用,强降水主要位于低压环流的西南侧,主要影响湘东南地区,强降水时段更集中、短时雨强更强、洪水位更高(见表 1、表 2)。

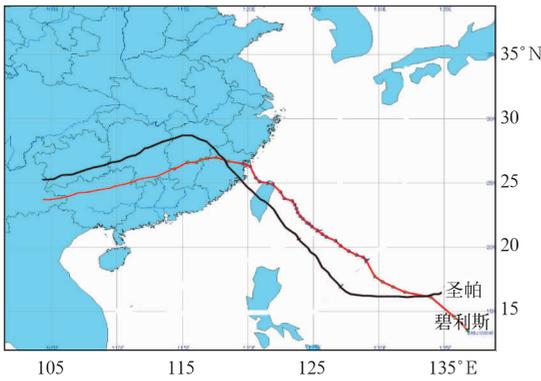


图 1 热带气旋圣帕和碧利斯路径图

表 1 “圣帕”与“碧利斯”强降雨影响县市、面积对照表

类别	名称	>100	>200	>300	>400	>500	>600	过程最大降雨前 4 位(mm)
气象台站(个)	圣帕	36	15	10	3	1		资兴 516.1 安仁 442.8 永兴 427.5 郴州 366.2
	碧利斯	24	11	4	2			永兴 473.6 郴州 408.9 资兴 375.2 宜章 340.9
影响面积/km ²	圣帕	7.3	3.1	2.0	0.72	0.21	0.03	永兴鲤鱼塘 863.7 资兴龙溪 676.6 资兴兴宁 611.0*
	碧利斯	5.4	2.5	0.9	0.4	0.02	0.01	资兴龙溪 631.8* 宜章瑶岗仙 612.2* 资兴东坡 619.2* 资兴坪石 461.0*

注:* 为水文站资料

表 2 “圣帕”与“碧利斯”降雨强度对照表/mm

	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h
圣帕	69.0	144.7	223.2	343.5	490.5	743.2	863.6
碧利斯	97.1	162.5	186.0	335.0	390.6	461.2	631.8

2 “碧利斯”和“圣帕”影响湖南降水差异成因分析

2.1 “碧利斯”和“圣帕”造成湖南暴雨期间的水汽场特征

“碧利斯”影响湖南降水强度与对流层中

低层的水汽辐合密切相关。2006年7月14日08—20时，“碧利斯”登陆期间为不对称的椭圆结构，影响湖南降水的水汽主要来源于东海，受台风外围东北气流辐合影响，湖南开始出现弱的水汽辐合，水汽通量散度值为 $-3.0 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ ，湘东南开始出现对流性天气。15日08时(图2a)，随着“碧利斯”中心进入江西境内，由于受强劲的西南风影响，台风中心南侧被“压”扁，北侧被“拉”伸，台风变成南部等高线密集，北部等高线稀疏的类似“不倒翁”的不对称结构，这一

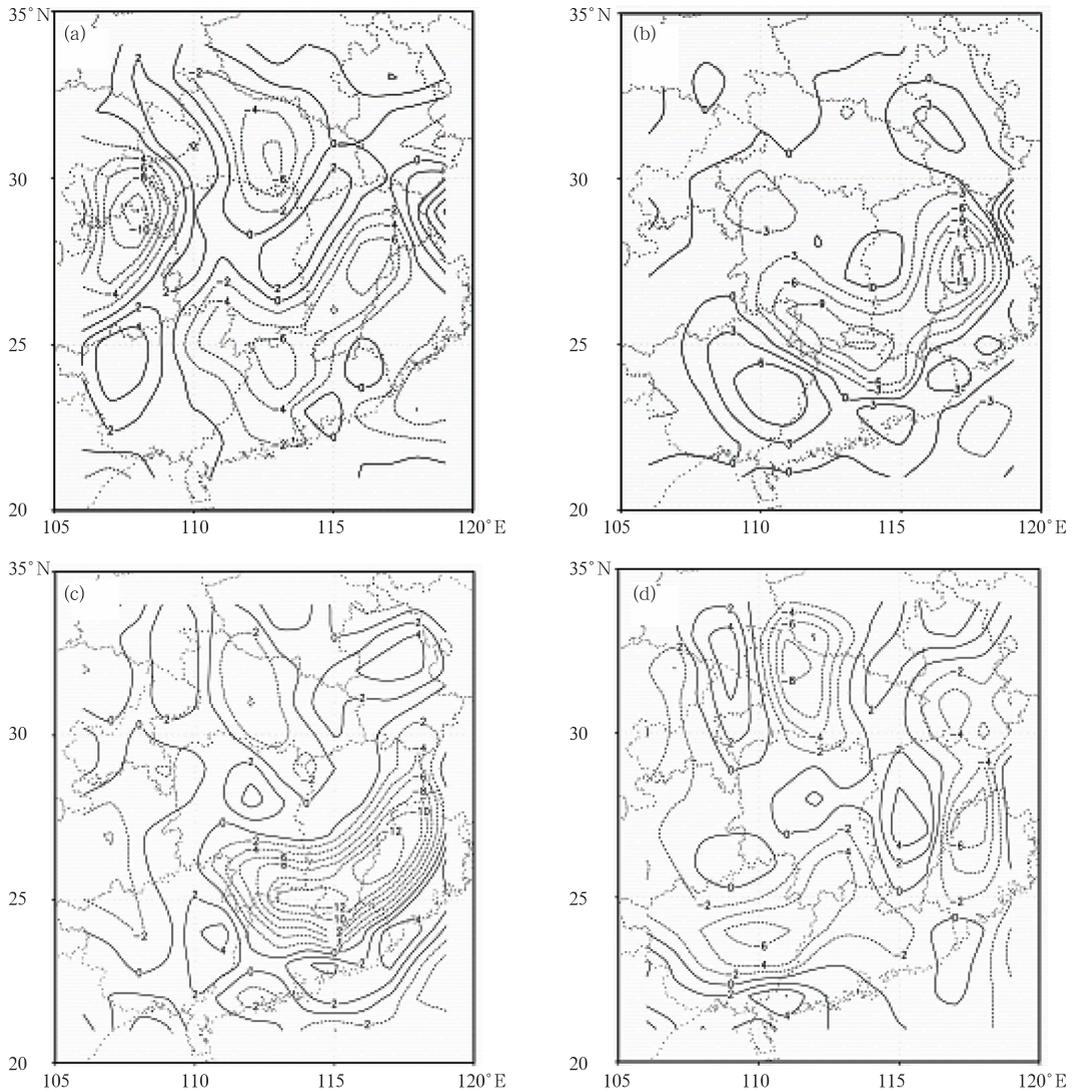


图 2 “碧利斯”850hPa 水汽通量散度

(a. 2006年7月15日08时; b. 2006年7月15日20时; c. 2006年7月16日08时; d. 2006年7月16日20时, 单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$)

结构在台风中心的西南侧产生强的切变,有利于水汽辐合。此外台风自身环流的东北气流与西南气流辐合,在台风的东南侧产生了强的水汽辐合中心。主要的水汽辐合中心位于江西境内,湖南的水汽辐合趋于活跃,水汽通量散度中心值为 $-6.0 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$,湘东南的降水开始加强。15日20时至16日08时,当台风中心从江西南部西移到湖南南部时,台风结构特征进一步发生变化。由于西南急流和台风中心东侧气流的相互作用有所加强,台风被进一步拉伸,原来类似“不倒翁”结构变成了东北—西南向的椭圆结构,水汽的主要辐合区出现在台风的东侧,湖南东南部一直维持一条弧状的水汽输送带,水汽辐合强度进一步加强,湖南东南部出现了中心散度为 $-1.5 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 的水汽辐合中心,降水强度明显加大(图2b、图2c)。16日20时至17日08时,“碧利斯”低压中心移出湘南进入广西北部,影响湘东南的水汽辐合强度有所减弱,水汽通量散度为 $-4.0 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$,湘东南的降水趋于减弱(图2d)。

由以上分析可知“碧利斯”登陆后,受台风结构的演变、移动路径的影响,湖南降水的水汽来源于两方面,一方面来自东部沿海,水汽辐合的强度相对较弱,产生的降水不强;另一方面受到来自南海的西南气流影响,与台风环流相互作用,在“碧利斯”低压中心的南侧、对流层中低层形成了一个十分强大的水汽辐合区,这个水汽辐合区的分布与台风的移动路径和台风的结构关系十分密切。当“碧利斯”向西移动,南海季风强度不断加强,导致水汽辐合区明显扩大、加强,同时不断西移。由于台风中心位置相对偏南,水汽辐合中心主体位置也相对偏南,主要影响湘东南地区。

相对而言,“圣帕”影响湖南暴雨期间,基本呈现出圆形结构,变化不如“碧利斯”大,其水汽辐合主要位于南海的偏西南气流和台风

东北气流形成的辐合区域,即位于台风中心的西南面。由于台风中心移动路径位置偏北,导致水汽辐合区较“碧利斯”的水汽辐合区明显偏北,水汽辐合中心在湖南大部维持72小时以上,为湖南大范围暴雨提供了充足的水汽来源。2007年8月20日02时,低压环流中心进入江西境内转向西行,水汽辐合区位于赣南,水汽通量散度为 $-1.0 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$,湘东南的水汽辐合开始趋于活跃。20日14—20时,“圣帕”移动缓慢,中心仍然位于江西境内,湘东南至赣南仍然存在一个明显的水汽辐合带,中心值为 $-1.2 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 以上,位于赣西南。21日08时(图3a),随着“圣帕”中心西移,水汽辐合中心移到湘东南,水汽通量散度为 $-1.2 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$,该区域水汽辐合明显加强。21日20时(图3b),台风低压中心已从醴陵、浏阳进入湖南境内,湘东南水汽辐合区域范围进一步加大,强度增强,中心值达到 $-1.6 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 以上。22日08时(图3c),水汽辐合区西伸北抬至湖南中部,中心强度仍维持在 $-1.2 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 以上。22日20时(图3d),随着“圣帕”低压环流西行后南折并进一步减弱,湖南区域内水汽辐合区随之逆时针旋转,呈西进南压之势,虽强度有所减弱,但湘西南仍维持一个弱的水汽辐合中心。由以上分析可知,湘东南对流层中低层的强水汽辐合持续维持48小时,水汽通量散度中心维持在 $-1.0 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 以上,个别时段竟高达 $-1.6 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$ 以上。

由以上分析可知,“碧利斯”和“圣帕”影响湖南期间,由于受低压环流移动路径、结构的影响,水汽辐合区的位置、强度和维持时间存在差异,因此导致这两次过程降水分布特点也存在明显的差异。“碧利斯”影响湖南强降水期间,低压中心移动路径偏南,且在其登陆后缓慢西行的过程中,与西南季风相作

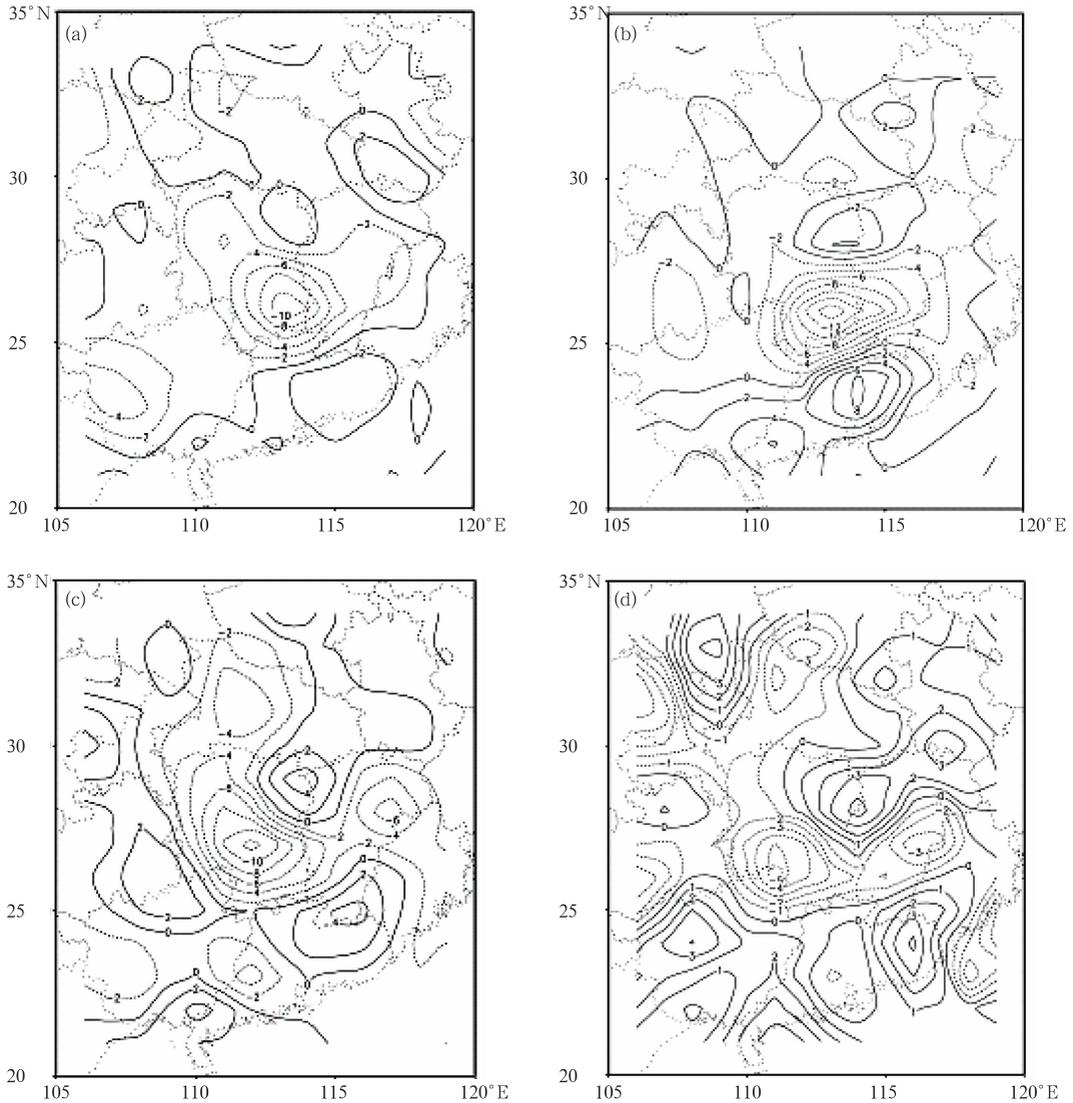


图 3 “圣帕”850hPa 水汽通量散度

(a. 2007 年 8 月 21 日 08 时; b. 2007 年 8 月 21 日 20 时; c. 2007 年 8 月 22 日 08 时;
d. 2007 年 8 月 22 日 20 时, 单位: $10^{-7} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{hPa}^{-1}$)

用,使得台风的结构变化复杂,主要的水汽辐合区域位于其低压环流的南侧和东侧。湘东南虽不是水汽通量辐合中心所在区域,但由于处于相对高值区,仍维持了较长时间的强水汽辐合,且时段相对集中,由此造成湘东南降水短时雨强大、范围集中,维持时间较长。台风“圣帕”低压中心移动路径略偏北,在移动的过程中,台风结构变化不大,水汽通量辐

合主要位于台风中心的西南侧,且强度更强、强辐合区维持时间更长、范围更广,受其影响湖南境内暴雨强度更大、强降水范围更广、持续的时间更长。

2.2 湿 Q 矢量散度分布差异

张兴旺^[11]利用坐标变换,考虑了大气凝结潜热的作用,提出了湿 Q 矢量的概念,并

由非绝热的原始方程组出发,推导出非地转的湿 Q 矢量表达式以及用湿 Q 矢量散度作唯一强迫项的非地转 ω 方程。由于非地转湿 Q 矢量是考虑了非绝热效应后得到的,能较好地与降水落区相对应,其物理机制是源于次级环流的演变和发展,它的强弱与暴雨的强弱有直接关系,次级环流的增强对暴雨能产生正反馈作用。本文应用 NCEP 输出的资料计算出 Q 矢量散度,以此来诊断暴雨过程中的垂直运动。

“碧利斯”影响湖南期间,其产生的降水强度与“碧利斯”移动路径、台风的结构变化存在着密切的关系,对流层中低层 850hPa 的 Q 矢量散度变化能揭示这一点。2006 年 7 月 14 日 14 时“碧利斯”登陆后,为不对称的椭圆结构,台风中心周围为 Q 矢量散度负值区,表明其四周为上升运动,中心为下沉运动,湖南为弱的上升运动区,降水强度不大。7 月 15 日 08 时(图 4a)，“碧利斯”西移进入江西境内,由于与增强的西南季风相互作用,

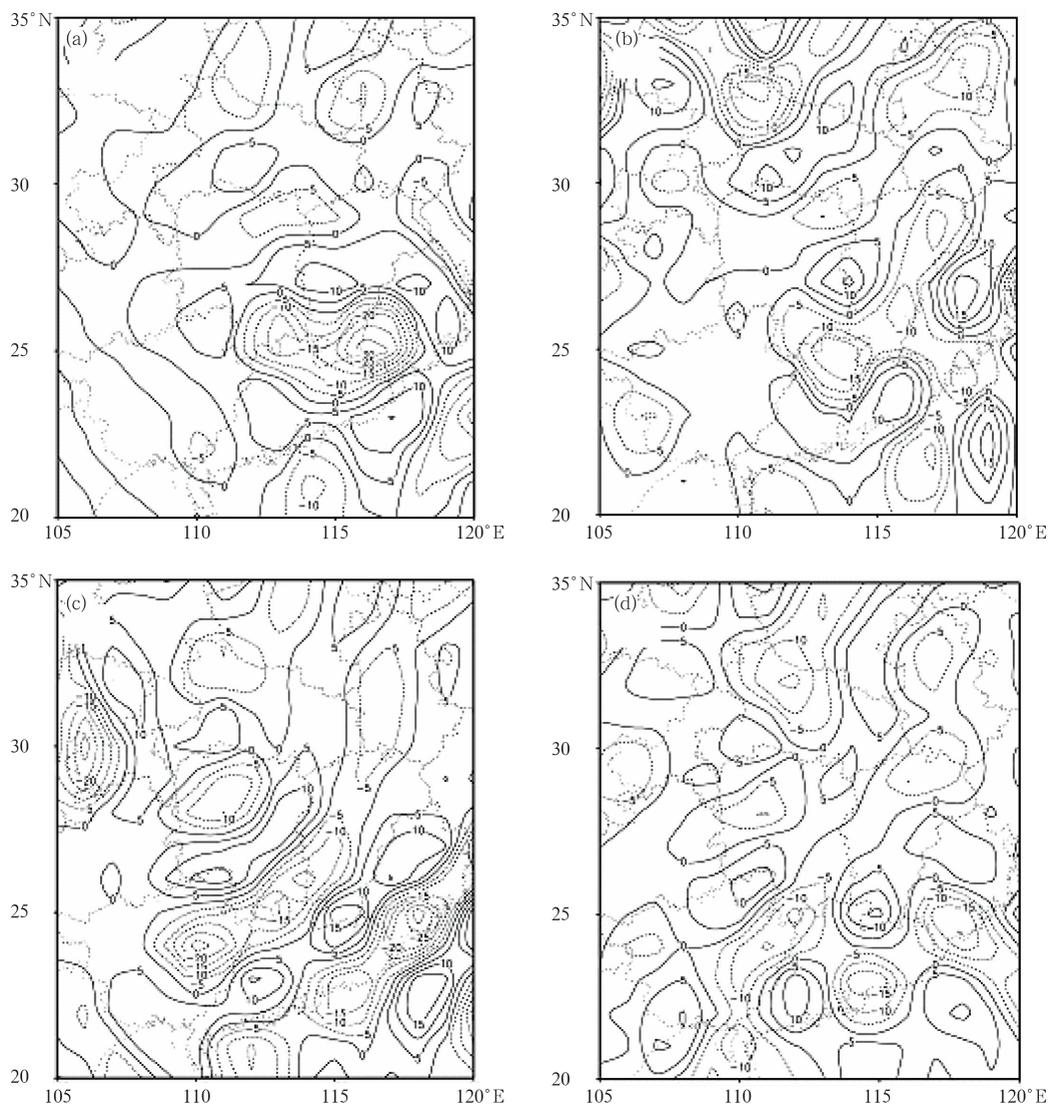


图 4 “碧利斯”850hPa Q 矢量散度

(a. 2006 年 7 月 15 日 08 时; b. 2006 年 7 月 15 日 20 时; c. 2006 年 7 月 16 日 08 时; d. 2006 年 7 月 16 日 20 时,单位: $10^{-16} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$)

其结构的不对称性增强。 Q 矢量散度负中心位置位于“碧利斯”中心南部,江西南部至湖南东南部出现环状分布的 Q 矢量散度负中心,覆盖范围明显增大,此时对应着湘东南较大范围的暴雨过程开始。15 日 20 时(图 4b),随着“碧利斯”低压环流中心进入江西西南部, Q 矢量散度负值区呈逆时针转动,表明随着西南气流的影响进一步加强,暖湿气流辐合区域增大,上升运动也有所加强,湘东南仍然维持较大负值中心。16 日 08 时(图 4c),随着低压中心进入湖南,低压环流周围存在 Q 矢量散度负值区已不存在,而在其南侧,从江西东部至湘东南及广西北部出现一条 Q 矢量散度负中心带,且在湘赣交界和湘粤交界分别存在两个大值中心,中心值为 $-1.5 \times 10^{-15} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$,强度明显增强,这是“碧利斯”低压外围环流与西南低空急流相互作用产生强水汽辐合,产生强上升运动的结果。16 日 20 时(图 4d),带状分布的 Q 矢量散度负中心带东段消失,西段逐渐趋于减弱,并进一步南压,却始终没呈西进北抬之势。由此可知,在对流层中低层,湘东南的负的 Q 矢量散度虽强度强,持续时间也较长,但影响范围较小,由此暴雨区始终较长时间地维持在湘东南。

相对而言,“圣帕”台风引发湖南强降水期间,虽同样受到西南气流影响,但由于“圣帕”台风中心位置较“碧利斯”位置偏北,台风环流产生的东北风和西南气流的辐合带位于台风中心西南侧,因而在台风中心的西南侧水汽辐合区域更加集中,由于动力抬升和强潜热释放, Q 矢量散度的负值区域更加集中,且具有移动性特点,因而在湖南大部产生了强度较大的降水。分析对流层中低层 850hPa 的 Q 矢量散度分布可知,2007 年 8 月 21 日 08 时(图 5a)湘东南出现了呈环状

分布的 Q 矢量散度负值区,大值中心为 $-2.5 \times 10^{-15} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ 。20 时(图 5b), Q 矢量散度负值区范围有所增大,且逐步呈东北—西南向带状分布,说明随着“圣帕”低压环流进一步西移, Q 矢量散度负值区也随之呈西移北抬之势,这是与“碧利斯”影响期间完全不同的变化趋势。随后直至 22 日 08 时(图 5c), Q 矢量散度负值区范围不断扩大,并逐渐转为东南—西北向,湘北也出现了 $-1.0 \times 10^{-15} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$ 的大值中心,且 Q 矢量散度负值中心区在湘东南一直稳定维持到 22 日 20 时(图 5d),持续时间将近 48 小时,与该区域特大暴雨持续时间相一致。之后 Q 矢量散度负值中心移至湘中,强度虽有所减弱,但全省大部分地区均处于相对大值区中,导致全省范围较大的强降水发生。

比较“碧利斯”和“圣帕”影响期间对流层中低层湿 Q 矢量的分布可知:在“碧利斯”登陆向西移动的过程中,与强的西南季风相互作用,湿 Q 矢量的负值分布区域主要位于台风中心的南侧,且湿 Q 矢量的负值中心存在向台风中心东南侧发展的趋势,由于台风中心相对偏南,湘东南一直处于湿 Q 矢量的负值区,因而湘东南产生了持续性强降水。而“圣帕”登陆后西北行影响湖南过程中,“圣帕”台风中心位置偏北,台风环流产生的东北风和西南气流的辐合带位于台风中心西南侧,因而在台风中心的西南侧水汽辐合区域更加集中,由于动力抬升和强潜热释放, Q 矢量散度的负值区域更加集中,湘东南对流层中低层的湿 Q 矢量中心强度达到了 $-3.0 \times 10^{-15} \text{ hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$,且持续时间超过 48 小时,其中心强度、影响范围和持续时间甚至比“碧利斯”影响期间强度更强、范围更广、持续更长,这与“圣帕”影响湖南的降水特点相吻合。

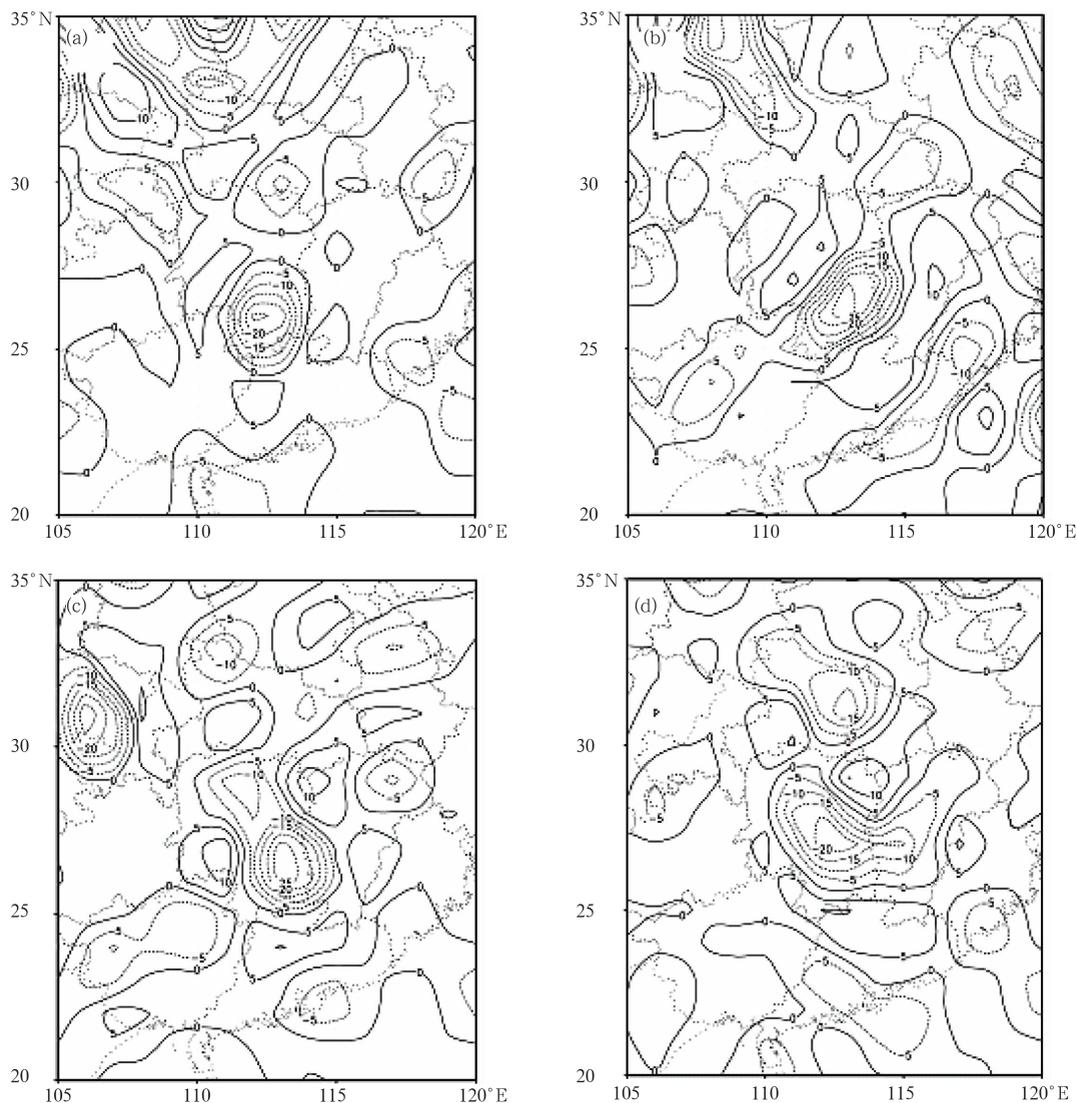


图5 “圣帕”850hPa Q 矢量散度

(a. 2007年8月21日08时; b. 2007年8月21日20时; c. 2007年8月22日08时;
d. 2007年8月22日20时, 单位: $10^{-16} \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-3}$)

3 基本结论

本文应用气象、水文加密观测资料、NECP再分析资料对造成湖南强降水的热带气旋“圣帕”、“碧利斯”作对比分析,并对造成它们在湖南的降水分布特征差异的原因作进

一步探讨,得出以下基本结论。

(1) “碧利斯”和“圣帕”虽生成和登陆的地点基本一致,登陆后其低压环流均填塞缓慢,强降水落区和造成的灾害程度也类似,但由于与它们相互作用的西南季风强度不同,台风结构特点也有差异,登陆后减弱成的低压环流移动路径也不尽相同,由此造成两者

对湖南造成的强降水范围、持续时间和强度均有所不同。

(2)“碧利斯”、“圣帕”登陆后低压环流移动路径不同以及结构的差异,且与之相互作用的南海季风强度不同,导致它们在动力结构、水汽辐合强度分布和垂直运动等方面存在明显差异,而这些差异是造成它们不同的强降水分布特征的重要原因。“碧利斯”影响期间,湘东南虽不是水汽通量辐合中心所在区域,但由于处于相对高值区,仍维持了较长时间的强水汽辐合,且时段相对集中。同时湘东南一直处于湿 Q 矢量的负值区,由此造成湘东南短时雨强大、范围集中,维持时间较长。台风圣帕低压中心移动路径略偏北,水汽通量辐合主要位于台风中心的西南侧,且强度更强、强辐合区维持时间更长、范围更广,并呈西移北抬的趋势。同时由于动力抬升和强潜热释放, Q 矢量散度的负值区域更加集中,受其影响湖南境内暴雨强度更大,强降水范围更广,持续的时间更长。

参考文献

- [1] 程正泉,陈联寿,刘燕,等. 1960—2003年我国热带气旋降水的时空分布特征[J]. 应用气象学报,2007,18(4):427-434.
- [2] 李江南,龚志鹏,王安宇,等. 近十年来台风暴雨研究的若干进展与讨论[J]. 热带地理,24(2):113-117.
- [3] 陈联寿. 热带气旋研究和业务预报技术的发展[J]. 应用气象学报,2007,17(6):672-681.
- [4] 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.
- [5] 鲁亚斌,普贵明,解明恩,等. 0604号强热带风暴碧利斯对云南的影响及维持机制[J]. 气象,2007,33(11):49-57.
- [6] 郭达烽,郑婧,许爱华. 台风“碧利斯”的结构及江西暴雨诊断分析[J]. 气象与减灾研究,2006,29(3):52-59.
- [7] 毛连海,尹洁,金米娜. 台风“碧利斯”特点及动力成因分析[J]. 气象与减灾研究,2006,29(3):47-51.
- [8] 姚蓉,黎祖贤,叶成志,等. 强热带风暴“碧利斯”特大暴雨山洪成因分析[J]. 气象,2007,33(8):40-46.
- [9] 刘爱鸣,林毅,刘铭. “碧利斯”和“圣帕”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.
- [10] 潘志祥,何逸,高继林. 湖南台风暴雨的特征及其预报[J]. 气象,1992,18(1):39-43.
- [11] 张兴旺. 湿 Q 矢量表达式及其应用[J]. 气象,1998,24(8):3-7.

[1] 程正泉,陈联寿,刘燕,等. 1960—2003年我国热带