

文章编号:1673-8411(2017)04-0032-07

1621 秋季台风“莎莉嘉”路径突变和暴雨成因分析

唐文, 苏洵

(广西区气象台, 南宁 530022)

摘要:用常规观测资料、卫星云图资料、流场资料和各种物理量诊断综合分析“莎莉嘉”后期路径突变和形成暴雨的各种有利因素。结果表明:(1)台风“莎莉嘉”后期路径在北部湾突然转折,这主要是由副高的变化引起,台风云系与锋面云系相联系,转受西风带系统引导;(2)这次台风暴雨在广西分布不均匀,分别包含了台风本体暴雨、台风与冷空气相互作用的暴雨、台风和地形作用产生的暴雨;(3)这次暴雨过程中有充足的水汽输送和强烈的水汽辐合,强烈的上升运动是形成暴雨的直接动力条件,局地特大暴雨与地形的增幅作用有重要关系。

关键词:秋季台风;路径突变;副高;冷空气

中图分类号:P458.1*21.1

文献标识码:A

Diagnostic analysis of the sudden change in the autumn typhoon “Sarika” track and its rainstorm in Guangxi

Tang Wen, Su Xun

(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi, 530022)

Abstract: The autumn typhoon “Sarika” was the strongest landfall typhoon in Guangxi in October since 1949. “Sarika” attacked Guangxi directly, inducing a large-scale rainstorm and a strong wind. The track of “Sarika” sudden changed over the Beibu Gulf when at the end of its life cycle, but none of the numerical models predicted the sudden change successfully, leading to a large bias in precipitation prediction and a hardly ideal forecast service. This paper focus on the sudden change of typhoon track and the typhoon rainstorm based on various observation data, satellite cloud images, wind fields, and physical quantity fields analysis. It was found that the changes of Western-Pacific Subtropical High, South Asian High, and the upper-level jet stream were beneficial to the connection between the typhoon and the front cloud systems, and the typhoon steering current turned to the west, resulting in the sudden change of the typhoon track. This large-scale typhoon rainstorm had an uneven distribution in Guangxi, which was caused by the typhoon, cold air, and orographic lifting effect. There were an abundant water vapor supply and a strong moisture convergence during the rainstorm and it was directly stimulated by the strongly upward motion. Besides, the local extraordinary rainstorm had a close connection with the amplifying effect of the terrain.

Key words: autumn typhoon, sudden change, Western-Pacific Subtropical High, cold air

收稿日期:2017-08-11

资助项目:广西区域性暴雨时间评估及灾害风险预警关键技术研究(桂科 AB16380259);基于多数值预报产品的短期天气预报应用技术研究(桂气科 201304)

作者简介:唐文(1982-),男,工程师,主要从事中短期天气预报研究。E-mail: 94095732@qq.com

我国是多台风影响国家, 据统计^[1], 登陆我国的台风平均每年有 6–7 个, 最多有 11 个, 最少有 3 个, 而且集中在 7–9 月, 占全年总次数的 80% 以上, 进入 10 月后, 登陆我国的台风数量就迅速减少。对于秋季台风^[2–8], 大量学者也做了很多研究, 何立富等^[9]认为冷空气侵入台风低压的北部, 增强其北侧的东北气流, 与来自东部海面上的东风气流在台风低压北部形成汇合, 良好的动力和热力条件, 引发异常强暴雨的发生; 张兴强等^[10]从正斜压不稳定分析中得出冷空气活动与台风降水增幅、有效位能的变化有密切联系, 当锋面抵达台风外围时可造成斜压有效位能和凝结潜热的释放, 在有利的辐合、辐散下使得上升运动加强, 降水加大; 黎清才等^[11]证实西风带系统与台风共同作用的暴雨区具有明显的斜压性, 斜压能量可能是登陆台风剩余低压在陆上长时间维持的另一种能量。台风“莎莉嘉”是 10 月份登陆我国的秋季台风, 后期路径突然北折, 这在各家数值预报模式中都没有预报出来, 因而降水预报和大风预报都与实际情况出现较大偏差, 这导致对政府的预报服务效果不佳, 给防灾减灾工作带来了很大影响。为什么台风“莎莉嘉”在北部湾海域移动时路径发生突变? 台风“莎莉嘉”在广西造成的大范围暴雨分布不均匀, 出现两个大的暴雨中心, 而在广西东北部却只出现小到中雨的降水, 为什么会出现这样的分布特征? 本文就这两个问题进行深入分析。

1 “莎莉嘉”基本概况

2016 年第 21 号台风“莎莉嘉”于 2016 年 10 月 13 日 20 时在菲律宾以东洋面生成, 以西偏北方向缓慢向菲律宾中北部移动(图 1, 见彩页), 靠近菲律宾沿海时强度迅速加强, 移速也有所加快, 10 月 15 日 05 时加强为台风级别($33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); 15 日 17 时, 只历时 12 小时就加强为强台风($45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); 15 日 23 时, 只经过 6 小时, 就加强为超强台风($52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。16 日 03 时前后在菲律宾东北部沿海以超强台风级别($55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)登陆, 给菲律宾带来强烈的风雨影响后, 16 日 09 时前后以台风级别($38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)进入南海, 在南海, “莎莉嘉”先以西偏北方向移动, 17 日 14 时后转为西北方向移动, 向海南岛东部沿海靠近, 17 日 17 时加强为强台风($42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。18 日 10 时在海南万宁沿海以强台风级别($45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)登陆。19 日 00 时以强热带风暴级别($30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)进入北部湾, 以西北方向移动, 19 日 06 时后竟然转向北偏东方向移动, 于 19

日 14 时 10 分以强热带风暴级别($25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)在防城港东兴市沿海登陆, 后以西北方向移动减弱。

受“莎莉嘉”影响, 广西出现了强风、暴雨天气, “莎莉嘉”是 1949 年以来 10 月份在广西沿海登陆的最强台风, 具有正面袭击广西、风雨范围广、局地降雨强度大、风强等特点, 广西出现了 2016 年范围最大的暴雨天气过程。经统计 10 月 18 日 08 时至 20 日 20 时的过程雨量, 超过 50mm 的有 89 个县(区)的 818 个乡镇, 其中超过 100mm 的有 58 个县(区)的 343 个乡镇, 超过 200mm 的有 16 个县(区)的 46 个乡镇, 超过 300mm 的有 5 个县(区)的 7 个乡镇(图 2, 见彩页), 最大雨量出现在防城港市上思县十万大山森林公园 422mm, 大暴雨造成了局部洪涝灾害。但是从降雨的分布情况可以看到, 这次过程中, 台风“莎莉嘉”在广西造成的大范围暴雨分布不均匀, 出现两个大的暴雨中心, 一个暴雨中心出现在广西西南部的防城港到崇左市一带, 另一个暴雨中心出现在东面的贵港到玉林市一带, 广西西北部的百色、河池市一带也出现暴雨以上降水, 但是在广西东北部却只出现小到中雨的降水, 是什么原因导致出现两个中心, 且广西东北部雨量明显小很多

此外, 受“莎莉嘉”影响, 钦州、防城港、北海、玉林、南宁、崇左、贵港等市部分地区出现 6–8 级大风, 沿海地区出现 10 级大风; 北部湾海面出现 12 级大风, 最大为斜阳岛 $36.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

2 导致暴雨的成因分析

台风导致的暴雨除了台风自身的原因外, 还与西风带系统、其它热带系统、地形等因素有关。“莎莉嘉”生命史最强时段是达到超强台风级别($55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 登陆海南岛时为强台风级别($45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 以强热带风暴级别($30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)进入北部湾, 登陆广西防城港东兴市时也是强热带风暴级别($25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), “莎莉嘉”是 1949 年以来 10 月份在广西沿海登陆的最强台风, 它带来的大量的水汽和能量是广西出现大范围暴雨的主要成因。除了“莎莉嘉”自身因素, 副热带高压带(以下简称副高)、季风、弱冷空气的共同作用造成了这次强降水。

台风“莎莉嘉”登陆海南岛前一直维持强台风以上强度, 台风云系完整, 直径达到上千公里, 18 日中午开始, 广西沿海开始受到“莎莉嘉”北侧云系影响, 开始出现强降水。一直到“莎莉嘉”登陆广西防城港市, 广西沿海一直受到台风本体云系影响, 属于台风

本体暴雨。分析防城港和上思两个站点的逐小时雨量(图略)可以看到,从 18 日 15 时开始,防城港地区开始出现降水,防城港降水持续到 19 日 11 时,上思降水持续到 19 日 16 时,随着台风到北移,此后降水减弱,降水持续时间达到 25 小时,但这期间降水的强度不大,小时雨量在 5–20mm,这也对应台风本体降水雨强不大的特点。由于广西防城港地区有东北–西南走向的十万大山山脉地形,台风“莎莉嘉”西北方向移动过程中在迎风坡面强迫抬升,上升运动加强,暴雨也得到加强。因而在广西西南部的防城港到崇左市一带出现了最强的暴雨中心。

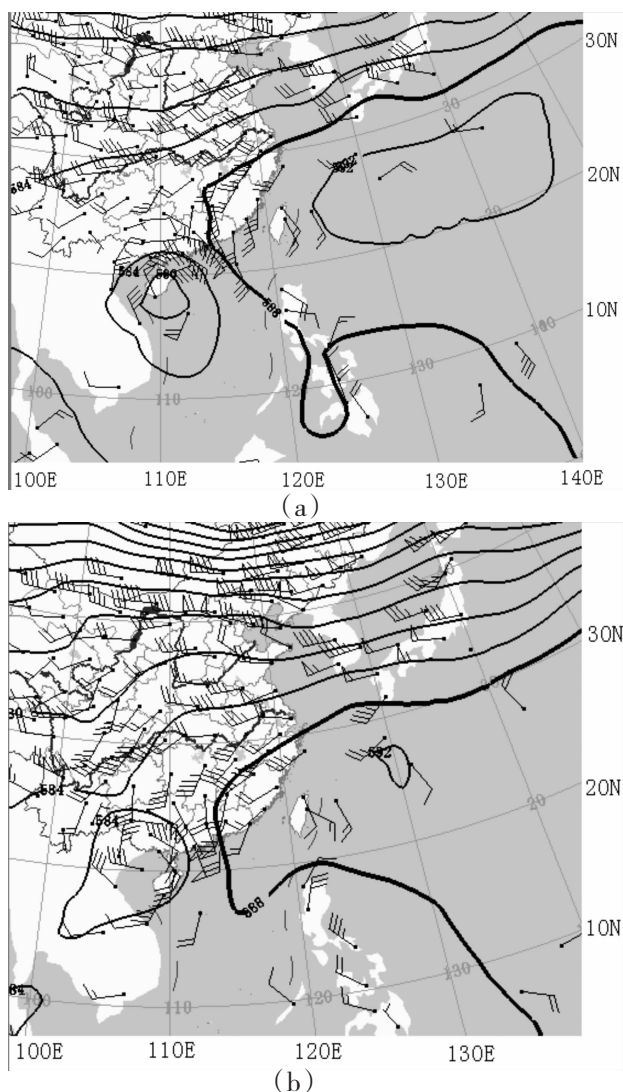


图 3 18 日 08 时 500hPa 形势

台风“莎莉嘉”移动过程中,副高都是紧跟着“莎莉嘉”变化,这使得副高和“莎莉嘉”始终保持着较小的距离,这样它们之间一直维持着很强的气压梯度,从而使得副高和“莎莉嘉”之间维持着强盛的东南急

流(图 3a、b),东南急流将热带的水汽和能量大量输入到“莎莉嘉”之中,“莎莉嘉”得到不断的水汽和能量补偿,不会因为降水能量消耗而减弱。从 FY2G 红外云图可以看到,从孟加拉湾到南海都有十分活跃的季风云系活动,并且输入到台风“莎莉嘉”之中,这也使得“莎莉嘉”得到的水汽和能量补充。

有关文献研究^[12–15]指出:台风降水增幅往往与冷空气侵入有关,当锋面处在台风外围时,降水最易加大。如果冷空气较强,且大量卷入到台风内部,它会破坏台风的暖心结构,会使得台风快速减弱,而不利于降水长时间维持,降水量级不大;如果冷空气较弱,且仅触及台风外围,即所谓冷空气扩散南下,它就伴随有一次东北信风的增强过程,加强了低层热带扰动的辐合作用。同时其温度结构也有利于使台风北缘位势不稳定—浮力增强。这些都将有利于扰动发展,使台风暴雨加强。

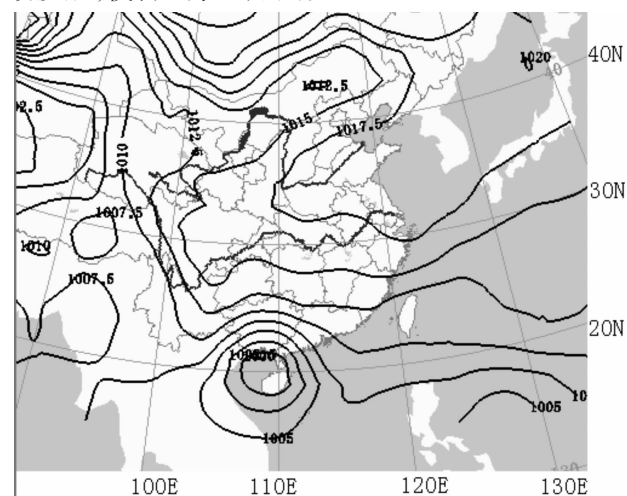


图 4 10 月 19 日 02 时地面气压场

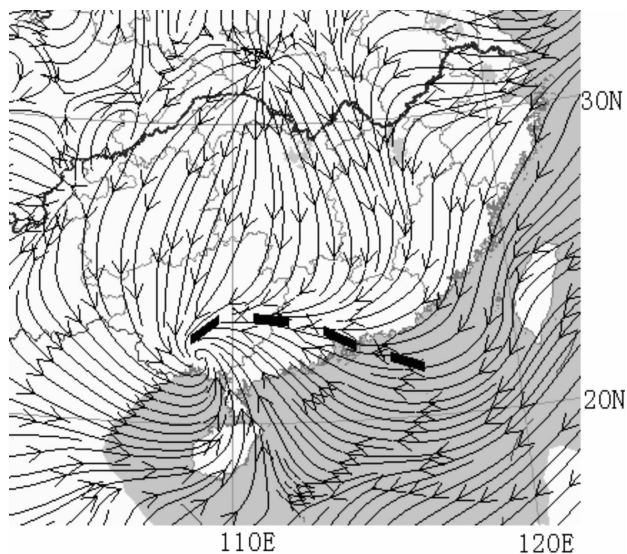


图 5 10 月 19 日 02 时地面流场

这次过程中, 玉林、贵港一带的强降水与防城港一带的强降水是有区别的, 防城港一带的强降水主要是台风本体降水, 而玉林、贵港一带的降水还包含台风后部与冷空气相互作用产生的降水。由于台风路径靠近防城港一带, 玉林受台风西侧云系影响, 18 日 20 时才开始出现降水, 但降水强度不大, 小时雨量小于 5mm, 到 19 日 02 时, 雨强突然增大到 20mm/h, 此后降水持续到 20 日 01 时, 降水持续近 24 小时。500hPa 中高纬多高空槽东移, 引导冷空气不断南下, 由于副高还十分强大, 冷空气主体影响北方地区, 对于华南地区, 冷空气多数是以扩散南下形式影响。从 10 月 16 日开始有一股冷空气开始向南移动, 但冷高压中心一直位于 30°N 以北。到 10 月 19 日(图 4)地面气压场, 冷高压主体是以东移为主, 并且逐渐出海, 位于黄海上。由于到 19 日 08 时 500hPa 副高有所减弱, 使得冷高压南部不断有东北气流将冷空气向华南输送; 同时台风“莎莉嘉”进入北部湾, 台风外围云系开始与扩散南下的冷空气在广西中南部交汇, 冷暖空气相互作用, 增加了大气的位势不稳定。从 10 月 19 日 02 时(图 5)地面流场看到, 北方南下的冷空气与台风东侧的东南气流在广西东南部汇合形成中尺度辐合线, 它是新的暴雨云团产生的触发系统, 冷空气迫使暖空气抬升, 不稳定能量释放, 暴雨开始发生, 此时降水强度也对应陡增。地面辐合线一直持续到 19 日 23 时, 此后北抬减弱, 降水也结束, 辐合线在桂东南维持了 20 小时, 使得这一带地区维持强的辐合抬升运动, 降水因而得以持续, 从而在广西东面的贵港到玉林市一带又出现了第二个暴雨中心。

对于影响广西的冷空气, 当冷空气较弱时, 由于南岭地形的阻挡作用, 冷空气经常在广西东北部停滞, 锋面也在这一带维持, 当北方冷空气继续补充南下时, 锋面才南移影响广西中南部一带。从 18 日 08 时的地面图和桂林的探空图可以分析到广西东北部有锋面存在, 桂林探空图上有明显的锋面逆温, 并且从地面到 700hPa 都是 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的偏北风, 这表明桂林地区已经受冷空气控制, 这使得桂林地区上空大气的能量较弱, 当台风的暖湿空气北上时, 对流不能强烈发展, 从而导致降水不够剧烈, 因而在广西东北部只出现了小到中雨的降水。但是广西西北部地区与桂林这一带不同, 18 日 08 时百色、河池的探空图并没有出现逆温, 而且地面到 700hPa 是偏东风, 在 θ_{se} 图(图 6)可以看到, 从湖南到桂东北地

区有一条明显的冷舌向南伸展, 这也表明冷空气南下影响桂东北, 而桂西北 θ_{se} 要高于桂东北, 百色的 θ_{se} 温度为 60°C , 要比桂林(56°C)高 4°C 左右, 这说明桂西北受冷空气影响要明显弱于桂东北地区, 空气是相对暖湿的, 大气中的不稳定能量要比广西东北部的大气中到能量多很多。当 19 日台风“莎莉嘉”北上时, 台风外围云团影响这个地区, 同时北方冷空气也在 19 日补充南下, 冷暖气团在这里交汇, 大气的不稳定能量释放, 触发对流云团发展, 而导致广西西北部也出现了暴雨以上降水。

3 各种物理量特征

3.1 假相当位温 θ_{se} 分析

θ_{se} 是反映大气对流性不稳定和温湿条件的一个物理量, 文献^[9]指出: 台风暴雨强度与能量场锋区强度呈正相关, 能量场锋区越强, 降水量越大, 分析 850hPa θ_{se} 逐时的分布图发现, 在台风暴雨出现前, 17 日 20 时之前, 广西上空的 θ_{se} 都小于 68°C , 并且是一个由北向南伸展的冷舌, 这也反映出广西是有冷空气活动的。到 18 日 08 时(图 6), 广西南部 θ_{se} 迅速增大到 $68\sim 72^{\circ}\text{C}$, 从南海北部到桂东南为暖舌, 导致 θ_{se} 的梯度明显加大, 说明 θ_{se} 能量锋区正在加强。19 日 08 时, 广西南部、东部的 θ_{se} 都大于 68°C , 最大值达到 74°C , 并且等 θ_{se} 线更密集, 大暴雨落区与高能量锋区有很好的对应关系。

3.2 水汽通量和水汽通量散度

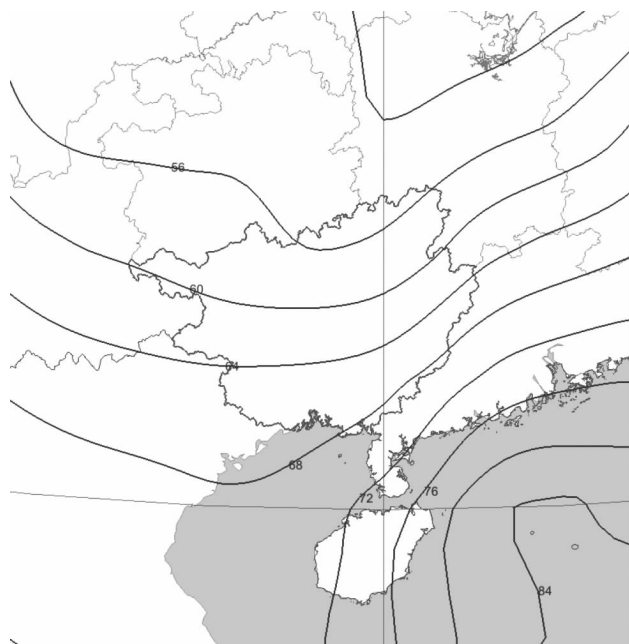


图 6 18 日 08 时 925 百帕假相当位温图

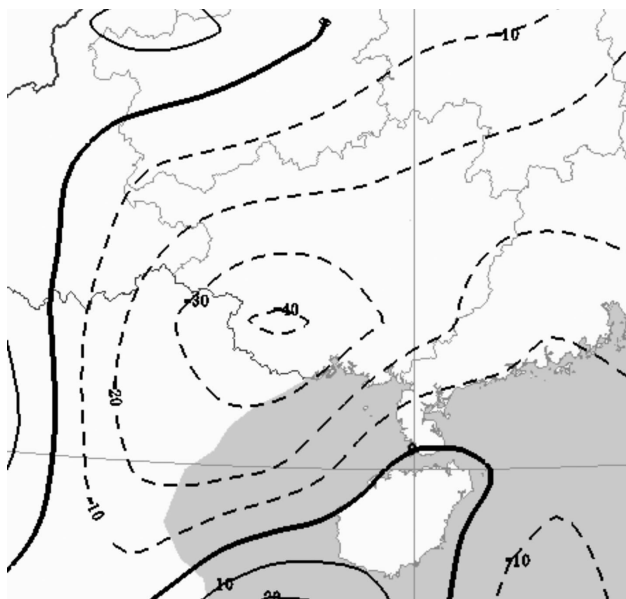


图7 19日08时850百帕水汽通量散度图

充沛的水汽含量是产生强降水的重要条件之一。台风本身会携带大量的水汽,但要产生连续性的暴雨,也需要大量的水汽补充,低层水汽的辐合和垂直输送对暴雨也非常重要。如果水汽含量充沛,而缺乏水汽的辐合和垂直输送也不会产生大范围持续性暴雨天气。在台风“莎莉嘉”外围环流影响华南西部期间,广西上空的水汽含量非常充沛。在850hPa上沿 22.5°N 也就是主要的大暴雨落区的东西方向作水汽通量剖面(图略)显示:18日20时,从雷州半岛到广西南部出现水汽通量大值区,其厚度从925–700 hPa,最大中心值达 $30\text{ g/cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s}$,位于广西东南部。同时,在850hPa水汽通量散度(图7)及剖面图(图略)上可见,整个华南地区低层925–850 hPa为水汽汇聚与辐合的主要区域,水汽通量散度值在 $-40\sim-48\text{ g/hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}$ 之间。这种水汽汇聚与辐合的现象基本持续到10月20日08时,在36 h内广西南部的降水强度强、雨量大,暴雨增幅明显,这与充沛的水汽输送和强烈的水汽辐合有密切的关系。在19日08时水汽通量散度图上,在广西西南部有大于 $-40\text{ g/hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}$ 的辐合中心,水汽在这里大量聚集,加上十万大山地形抬升作用,在防城港市上思县十万大山森林公园出现了422mm的特大暴雨,造成了局部洪涝灾害。

3.3 垂直速度

“莎莉嘉”在北部湾到登陆广西防城港东兴市后,其中心附近及外围环流中的垂直上升运动大值

区一直维持在广西南部、西部。沿广西南部(22.7°N)做垂直速度剖面(图8)可以看到,10月19日08时广西中南部整个对流层几乎处在上升运动区内,最强上升运动区位于崇左到防城港一带,垂直速度在 $-40\times 10^{-3}\sim-50\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间的大值区位850–300 hPa,最强中心在600 hPa附近,达 $-50\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,也是位于崇左到防城港一带,对应防城港市上思县十万大山森林公园出现了422mm的特大暴雨。20日08时,广西大部分地区都还是上升运动区,但上升速度略有减小,大的上升运动区北移到广西北部一带,垂直速度在 $-20\times 10^{-3}\sim-40\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,上升运动仍然达到整个对流层,这时降水也北移,导致广西北部的百色、河池、柳州等地区出现暴雨以上的强降雨。强烈的上升运动是造成“莎莉嘉”暴雨增幅的直接动力条件。

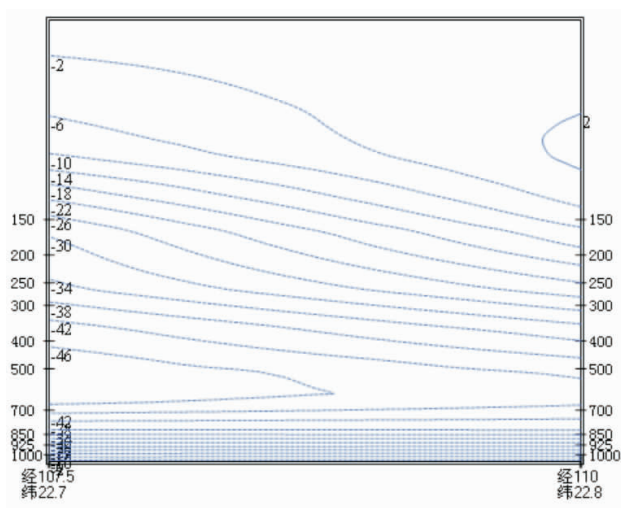


图8 19日08时垂直速度剖面图

4 后期路径突然北折成因分析

台风降水预报很大的依据是台风的强度和路径的预报,一旦路径预报出现偏差时,常常导致降水预报的偏差。秋季台风一般路径偏南,10月后,由于副高脊线南跳,热带辐合带也随之南移,这时台风一般只活动于较低纬度的热带地区,较少能北移超过 20°N ,而且受东风气流引导,一般都是西移路径。但这次过程中,台风“莎莉嘉”生成后,在进入北部湾之前一直是以非常稳定的西北路径移动,但进入北部湾后,19日06时开始路径突然北折,向北偏东方向移动,这相对于历史上的秋季台风来说是很异常的,要正确的预报它的移动路径和风雨影响都有很大的困难。对于路径突然发生转折时^[16–19],数值的预

报能力也是有限的。这次台风移动过程中各家数值预报模式都是预报台风“莎莉嘉”向西移动, 会在越南北部一带沿海登陆, 中央气象台给出的主观路径预报也是在越南北部沿海登陆, 而事实上, 台风“莎莉嘉”却突然转向北偏东移动, 最后在广西防城港东兴市沿海登陆, 登陆地点与数值预报相差 100–200KM。为什么台风“莎莉嘉”移动路径会在这时发生突变? 通过分析后, 我们发现副高前后变化、西风带云带的影响是台风“莎莉嘉”后期转向的主要原因。

影响我国的西太平洋台风的活动与太平洋副热带高压和西风带槽脊的活动密切相关。这次台风过程中, 后期在北部湾移动过程中路径突然北折, 与副高的形态变化有十分密切的联系。一般气候平均来看^[20], 10 月份副高会迅速南跳, 强度大大减弱, 东亚又出现两支强西风带, 称为“十月突变”。但在这次过程中(图 3a、3b), 副高都是呈现出很强大的态势, 脊线位于 28°N , 588dagpm 线西脊点都西伸到 115°E 附近, 相比气候平均来看副高是非常强大的。正是由于副高脊线位置偏北, 台风“莎莉嘉”移动过程中才能向北发展移动, 最后在华南沿海登陆。但 17–19 日副高的形状、强度都是有所变化的, 正是这些细小的变化, 使得台风“莎莉嘉”在北部湾移动时路径发生突变。在 18 日 08 时(图 3a), 副高强大, 588dagpm 线覆盖了整个西太平洋地区, 副高中心有大片的 592dagpm 控制区域。从台湾北部到南海东北部都是东南气流, 风速大于 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 这时台风“莎莉嘉”主要受到这强盛的东南气流引导, 向西北方向移动。18 日 20 时, 由于中纬度西风槽东移, 槽前的正涡度区东移, 广东、广西交界处 500hPa 存在强的正涡度平流, 这使得副高东退到 115°E 以东。19 日 08 时(图 3b), 副高强度也有所减弱, 588dagpm 线覆盖的地区有所减少, 中心 592dagpm 的区域明显减少。最重要的是南海东北部的变化, 19 日 08 时, 副高向南海中北部伸展, 脊线南落, 广东沿海的香港、汕头在 18 日 08 时是东南风到偏南风, 是位于副高脊线以南的, 到 19 日 08 时香港、汕头都转为了西南风, 从而位于副高脊线以北的, 这时南海北部的副高脊线南落到 20°N 附近, 而台风“莎莉嘉”中心位置在 20°N 以北, 是位于副高脊线以北的, 这样引导台风“莎莉嘉”移动的气流将会转为偏南到东南气流, “莎莉嘉”将会向偏北到东北方向移动。可见这次过程中副高的这些微小变化是台

风“莎莉嘉”后期路径突变的主要原因。

另外, 台风云系与西风带云系相互作用、相互作用对台风的移动也有重要影响。台风云系的型式和分布是台风与周围环境流场相互作用的结果, 根据多年卫星云图分析表明^[21]: 如果台风呈“9”字, 台风将西移, 这是台风主要受东风环流的作用的结果; 如果台风呈“6”字, 台风将北上转向, 这时台风主要受西风环流的作用。从 18 日 20 时 FY2G 红外云图(图 9, 见彩页)可以看到, 台风“莎莉嘉”进入北部湾前, 台风云系就开始与北面的西风带锋面云系相结合, 呈现明显的“6”字型云型。这时, 锋面云带呈东北–西南走向, 台风云系移近锋面云带的尾部, 台风将受西风带系统影响, 且又位于副高的西侧, 台风也将转向向北到东北方向移动。这三方面的因素共同作用下, “莎莉嘉”后期路径发生了突变。

5 小结和讨论

(1) 台风“莎莉嘉”是登陆广西的一个秋季台风, 是 1949 年以来 10 月份在广西沿海登陆的最强台风, 具有正面袭击广西、风雨范围广、局地降雨强度大、风强等特点。

(2) 台风“莎莉嘉”后期路径在北部湾突然转折, 这主要是由副高的变化引起, 台风云系与锋面云系相联系, 受西风带系统引导。

(3) 台风暴雨的形成除了台风本身因素外, 还有副高、西南季风、冷空气、中尺度辐合线等天气系统的共同作用, 局地特大暴雨还有地形的增幅作用。

(4) 这次台风暴雨过程中有充足的水汽输送和强烈的水汽辐合, 强烈的上升运动是形成暴雨的直接动力条件。

台风路径突变是非常复杂的问题, 预报工作上存在很大的挑战, 这里有两个问题需要讨论:

(1) 现在集合预报使用越来越广泛, 重要性也越来越突出, 当台风路径的集合预报中有个别成员预报台风路径突变时, 我们该如何利用这样的预报信息。

(2) 台风外围云系和冷空气相互作用时产生暴雨的强度和落区的问题。

参考文献:

- [1] 朱乾根.《天气学原理和方法》[M].北京:气象出版社, 1989: 510.
- [2] 高安宁, 张瑞波. 2011 年秋季强台风“纳沙”导致广西灾害

- 成因分析[J].灾害学,2013,28(1):54-58.
- [3] 卢小丹,王黎娟,刘国忠.深秋季台风“海燕”(1330)引发广西特大暴雨的水汽和螺旋度分析[J].中国农学通报,2016,32(11):141-148.
- [4] 许艾米,陆德辉,邓小良.秋季台风“彩虹”引发的清远暴雨过程分析[J].广东气象,2016,38(2):11-14.
- [5] 苏兆达,周惠文,阳擎.1223 号台风“山神”暴雨及秋冬季登陆转向台风浅析[J].气象研究与应用,2013,34(1):79-80.
- [6] 蒙绍臻,陈见,韩慎友,等.广西台风残涡暴雨发生特征分析[J].气象研究与应用,2017,38(1):20-25.
- [7] 王远超,梁祥毅,林宝亭,等.秋季台风“纳沙”大范围暴雨的机制研究[J].气象研究与应用,2012,33(2):74-77.
- [8] 黄澄,许文龙,郭亮,等.0917 秋季台风“芭玛”移动特点和暴雨成因分析[J].气象研究与应用,2012,33(1):19-21.
- [9] 何立富,尹洁,陈涛,等.“泰利”台风低压大暴雨过程冷空气与地形的作用[J].气象科技,2009,37(4):385-391.
- [10] 张兴强,孙兴池,丁治英.远距离台风暴雨的正/斜压不稳定[J].南京气象学院学报,2005,28(1):78-85.
- [11] 黎清才,工成恕,曹钢锋.登陆北上台风暴雨突发性增强的一种机制研究[J].大气科学,1998,22(2):199-206.
- [12] 张俊香,黄崇福,刘旭拢,等.台风暴雨灾害风险区划更新实证分析[J].灾害学,2011,26(1):99-103.
- [13] 黄增俊,黄归兰,丘良,等.冷空气侵入超强台风“海燕”造成广西强降雨增幅成因分析[J].气象研究与应用,2015,36(1):31-37.
- [14] 李晓欣,陈国胜,吴一飞.超强台风“凡亚比”的移动路径及降水特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(1):64-65.
- [15] 黄翠银,农孟松,陈剑飞.台风“山神”和“海燕”对广西影响对比分析[J].气象研究与应用,2014,v.35;No.179(02):7-13+39.
- [16] 蒋静,黄滢,凌宗良,等.1223 号台风“山神”转向成因分析[J].气象研究与应用,2013,34(4):9-13+30.
- [17] 黄先伦,郭圳勉,殷宏南,等.超强台风“尤特”近海北翘的原因分析[J].广东气象,2016,38(6):1-5+11.
- [18] 覃焱,黄芊庭,李华实,等.1508 号台风“鲸鱼”路径与强度分析[J].气象研究与应用,2016,37(1):3-4.
- [19] 郑浩阳,涂建文,詹棠,等.“韦森特”台风的路径和强度分析[J].广东气象,2014,36(1):12-19.
- [20] 朱乾根.《天气学原理和方法》[M].北京:气象出版社,1989:152
- [21] 陈渭民.《卫星气象学》[M].北京:气象出版社,2011:344

.....

(上接第 12 页)

- [5] 张艳,钱永甫.地表感热的时空分布特征及其与邻近海洋海温异常的关系[J].高原气象,2004,23(3):330-338.
- [6] 李国庆,宋正山,叶笃正.青藏高原在世界环流中的重要性[J].青藏高原气象学,1979,220-223.
- [7] 谢炯光,纪忠萍.广东前汛期异常旱涝的大气环流特征[J].广东气象,2001,23(2):10-12.
- [8] 陈特固,曾侠,张江勇,等.全球变暖背景下的广东省降水量及早、涝变化趋势[J].广东气象,2007,29(1):5-10.
- [9] 童文林.西南地区夏季严重旱涝划分方法[J].四川气象,1998,65(3):33-36.
- [10] 周秀美,兰兰,黄进云.基于 Z 指数的红河州 50 年旱涝时空分布特征分析[J].气象研究与应用,2012,33(s1):88-90.
- [11] 林宝亭,梁祥毅,王远超.玉林市近 60 年旱涝的变化特征[J].广东气象,2012,34(6):42-44.
- [12] 蒋丽娟.广西春夏季旱涝的等级划分及时空分布特征分析[J].气象研究与应用,2008,29(3):14-17.
- [13] 况雪源,钟利华,黄雪松.广西前汛期旱涝特征及成因分析[J].气象研究与应用,2001,22(4):5-8.
- [14] 蒋丽娟,施能,周文志,等.桂林市汛期降水集中度和集中期与旱涝关系的研究[J].气象研究与应用,2007,28(3):23-26.
- [15] 杨月文,黄文,邹燕.基于连旱日数的气象干旱评价方法[J].气象研究与应用,2013,34(3):17-21.
- [16] 徐栋夫,李栋梁,曲巧娜,等.西南地区秋季干湿时空变化特征及其成因分析[J].热带气象学报,2013,29(4):570-580.