

李超,梅一清,张树民,等.相似路径台风“摩羯”(1814)和“温比亚”(1818)影响南通降水差异成因分析[J].海洋气象学报, 2021,41(4):52-61.

LI Chao, MEI Yiqing, ZHANG Shumin, et al. Analysis on precipitation difference in Nantong influenced by similar track typhoons Yagi(1814) and Rumbia(1818)[J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41(4): 52-61. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599. 2021.04.005. (in Chinese)

## 相似路径台风“摩羯”(1814)和“温比亚”(1818) 影响南通降水差异成因分析

李超<sup>1</sup>,梅一清<sup>1</sup>,张树民<sup>1</sup>,顾天真<sup>1</sup>,张琪<sup>1</sup>,许冬梅<sup>2</sup>

(1.南通市气象局,江苏南通 226018;2.南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,江苏南京 210044)

**摘要:**为探讨相似路径台风“摩羯”(1814)和“温比亚”(1818)影响南通降水的差异原因,从天气形势、物理量场等方面进行分析,利用水汽通量、假相当位温、湿位涡、垂直螺旋度等物理量对降水进行诊断,得到以下主要结论:1)两台风移动路径主要受副热带高压和冷空气的影响,副热带高压边缘气流为主要引导气流。两台风均有追随200 hPa辐散中心移动的趋势。2)较强冷空气的侵入、鞍形场中的缓慢移动、强正涡度和强盛上升运动、强水汽输送且低空长时间水汽辐合、大气斜压性增强和风垂直切变增大均是台风“温比亚”造成南通更强降水的原因。3)水汽通量辐合增强,低层正涡度中心、强上升运动,低层假相当位温大值区叠加上空假相当位温梯度带,垂直螺旋度增大与正值发展高度均与台风强降水有明显对应。

**关键词:**台风“摩羯”;台风“温比亚”;降水差异;成因分析

**中图分类号:** P444;P458.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2021)04-0052-10

**DOI:**10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.04.005

## Analysis on precipitation difference in Nantong influenced by similar track typhoons Yagi(1814) and Rumbia(1818)

LI Chao<sup>1</sup>, MEI Yiqing<sup>1</sup>, ZHANG Shumin<sup>1</sup>, GU Tianzhen<sup>1</sup>, ZHANG Qi<sup>1</sup>, XU Dongmei<sup>2</sup>

(1. Nantong Meteorological Bureau, Nantong 226018, China; 2. Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract** In order to analyze the precipitation difference in Nantong influenced by similar track typhoons Yagi(1814) and Rumbia(1818) in Nantong, the synoptic situations are analyzed and the physical quantities such as water vapor flux, pseudo-equivalent potential temperature, moist potential vorticity (MPV) and vertical helicity are diagnosed in this paper. The main conclusions are as follows. 1) The tracks of the two typhoons are mainly affected by the subtropical high and cold air, and the air flows at the edge of the subtropical high guide the typhoons. Both typhoons follow the movement trend of divergence center at 200 hPa. 2) The intrusion of strong cold air, the slow movement in the saddle field, the strong positive vorticity and intense ascending movement, the strong water vapor transport and long-

收稿日期:2021-08-07; 修订日期:2021-10-25

基金项目:国家自然科学基金项目(G41805016);高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放研究基金(SZKT201904);南通市气象科研开发项目(NQK202001,NQK202004)

通信作者:李超,女,工程师,研究方向为短期天气预报及诊断分析,37700140@qq.com。

term low-layer water vapor convergence, the enhancement of atmospheric baroclinicity and the increase of wind vertical shear are all the reasons for the heavier precipitation caused by Typhoon Rumbia. 3) The heavy precipitation has a good correspondence with the increases in water vapor flux convergence, the positive vorticity center, the intense ascending movement in the lower layer, the large values of the pseudo-equivalent potential temperature in the lower layer overlapped by the upper gradient of the variables, the increase and development height of the vertical helicity.

**Key words** Typhoon Yagi; Typhoon Rumbia; precipitation difference; cause analysis

## 引言

我国受台风影响十分频繁,平均每年有16~17个影响台风<sup>[1]</sup>,给我国国民经济和人民生命财产安全造成了严重损失。台风是最强的暴雨天气系统,一般登陆台风造成的强降水更为严重。因此,提高对登陆台风造成的降水监测和预报能力是防灾减灾的重大需求,对于保护人民生命财产和促进社会经济发展具有重要意义。近年来,众多专家学者<sup>[2-9]</sup>对台风造成的强降水进行了研究,取得了丰硕的成果,通过分析单个台风的强降水实况,得到台风强降水与地面辐合、水汽通量散度、假相当位温、垂直螺旋度等有较好的对应关系,整层可降水量增大、 $Q$  矢量散度负值等对强降水有6 h以上的提前量,同时地形的抬升与冷空气的汇入有利于强降水的维持和加强。通过对台风个例进行模拟、同化试验<sup>[10-13]</sup>,获得台风垂直结构特征,得出西太副热带高压(以下简称“副高”)位置不同导致台风路径差异及潜热输送和释放不同,位温分布不同导致台风强度不同,从而引起台风降水差异。也有不少专家学者<sup>[14-16]</sup>通过对比分析相似路径台风影响情况,归纳出降水差异原因,得到水汽、垂直运动及假相当位温的分布与降水分布有很好的对应关系,水汽通量辐合高度高、高层辐散加强、地形抬升均更有利于产生强降水。通过分析冷空气对台风降水的影响,认为冷空气的侵入导致大气层结更为不稳定,低层辐合增强,诱生中小尺度系统产生发展,并使得降水时间延长,产生大范围强降水<sup>[17-21]</sup>。通过集中分析单个物理量对台风降水的影响,总结出湿位涡的水平分量负值叠加垂直分量正值有利于大气对流不稳定增强,使得降水加强;强降水区与850 hPa螺旋度相对大值区有一定的对应关系,未来6 h强降水区多出现在螺旋度相对大值区内<sup>[22-25]</sup>。本文选取相似路径台风“摩羯”(1814号)和“温比亚”(1818号)进行对比分析,两台风在北上过程中,经过南通同纬度地区时,强度接近,“摩羯”更为靠近

南通,但“温比亚”却引发更强降水,造成全市直接经济损失近6 000万元。为探讨两台风影响南通降水差异的原因,本文从天气形势、物理量场等方面着手进行分析,以期找出降水差异原因,为今后登陆台风降水预报提供参考和思路。

## 1 数据资料介绍

使用的资料主要有:1)中国台风网([www.typhoon.gov.cn](http://www.typhoon.gov.cn))提供的热带气旋最优路径数据集;2)常规高空、地面气象观测资料;3)NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$ 逐6 h再分析资料。

## 2 台风概况和降水分布特征

### 2.1 两相似路径台风概况

1814号台风“摩羯”于2018年8月8日14时(北京时,下同)在菲律宾以东洋面生成,之后向北偏东方向移动,10日02时转为西北向移动,移速有所加快,直至12日16时其强度一直维持热带风暴级。12日17时“摩羯”增强为强热带风暴,保持西北向路径,移速继续加快。12日23时35分前后,“摩羯”在浙江温岭沿海登陆,登陆时强度为强热带风暴,登陆后迅速减弱为热带风暴。13日14—15时,“摩羯”中心经过南通同纬度地区,位于安徽省合肥市附近,距南通约330 km;13日23时后,其移动路径突然北折,继续减弱为热带低压,于14日05时减弱填塞,停止编号。台风“摩羯”整个生命史过程中,具有强度较弱、强度加强慢及持续时间长等特点。

1818号台风“温比亚”于2018年8月15日08时在东海南部洋面生成,以西北向路径为主,强度保持为热带风暴级;16日16时,转为偏西方向移动,于21时增强为强热带风暴级。17日04时05分,“温比亚”在上海市浦东新区登陆,登陆时强度为强热带风暴,登陆后于05时,其强度减弱为热带风暴级,强热带风暴级强度仅维持7 h。“温比亚”登陆后,以西西北向移动为主,18日02—03时其中

心经过南通同纬度地区,位于安徽省六安市西北部,距南通约470 km。18日14时,“温比亚”减弱为热带低压,19日05时其移向突转为东北向,此后保持东北移向,直至21日变性为温带气旋,并移入黄海,停止编号。台风“温比亚”整个生命史过程中,具有强度较弱、生命史长、降水强度大等特点。

图1为1814号台风“摩羯”与1818号台风“温比亚”的路径对比图,图中所示台风位置为标注日期的08时其所在位置。两台风虽生成地不同,但移动路径却有诸多相似之处:生成后向西北方向移动,在华东沿海登陆后强度迅速减弱,随后在安徽省北部 $33^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 突转为东北向移动,并在陆地上长时间维持。

## 2.2 南通降水分布特征

受台风“摩羯”外围环流影响,8月12—14日南通市出现较明显降水,其中较强降水分布在沿海及东南部地区,强降水时段为12日08时—13日08时(图2a),南通125个自动气象观测站(含区域气象观测站,下同)24 h累计雨量超过50 mm的有51站,最大累计降水量88 mm。台风“温比亚”外围环流于8月16—18日影响南通,全市普遍出现明显降水,其中强降水分布在中西部地区,强降水时段为16日20时—17日20时(图2b),南通125个自动气象观测站24 h累计雨量超过50 mm的有77站,超过100 mm的有20站,最大累计降水量为146.4 mm。

由上可见,“温比亚”影响南通降水无论是降水强度还是强降水范围均明显强于“摩羯”,而其经过南通同纬度地区时,其主体位置距离南通却较“摩羯”更为偏西,距离更远(相差约140 km),下文将从

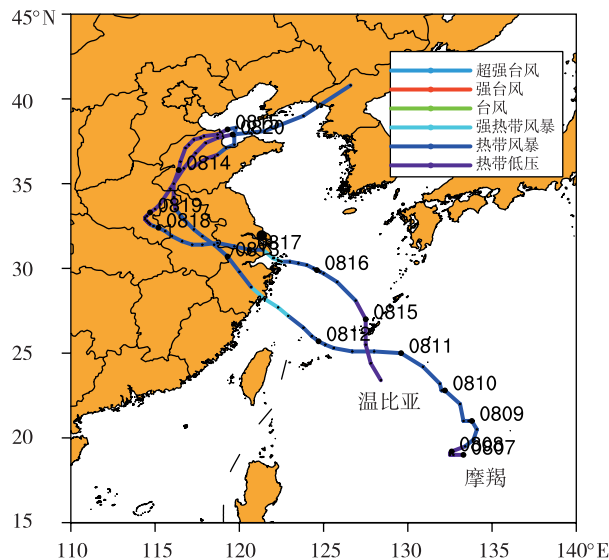


图1 1814号台风“摩羯”和1818号台风“温比亚”路径(黑色圆点标注处代表南通,下同)

Fig.1 Tracks of the typhoons Yagi and Rumbia (Nantong is marked with black dots, the same as below)

天气形势、物理量场两方面对台风降水的差异原因进行分析。

## 3 天气形势分析

台风“摩羯”影响期间(图3a),亚洲中高纬为两槽一脊的形势,高空槽位于 $40^{\circ}\text{N}$ 以北;副高不断西伸增强,其脊线维持在 $35^{\circ}\text{N}$ 附近。12日08时—13日20时,“摩羯”在副高西南侧东南气流的引导下向西北方向移动;13日20时后,受高空槽影响,副高转变为“方头”分布形态,“摩羯”在其西侧偏南气流的引导下,转为偏北方向移动;高空槽位置偏北,未对台风造成明显影响。已有的研究<sup>[7]</sup>表明,

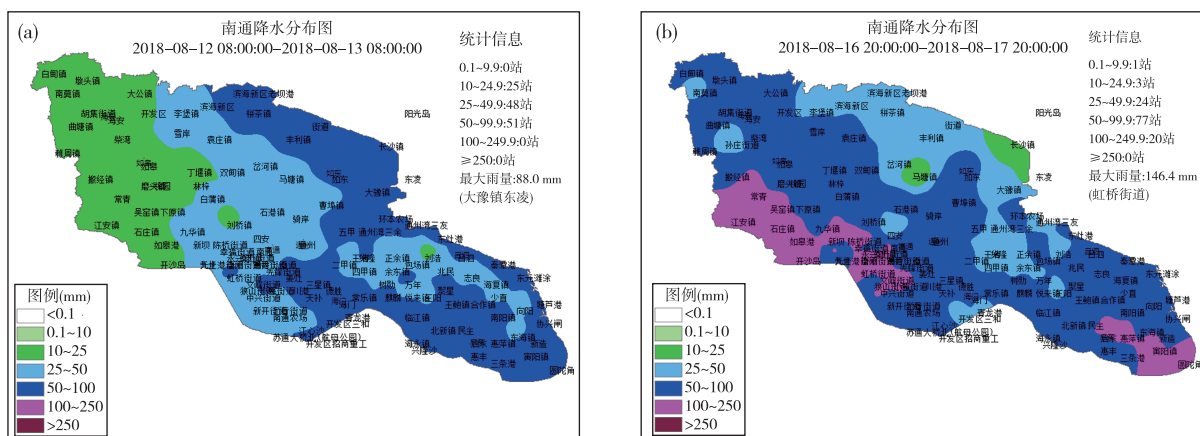


图2 2018年8月12日08时—13日08时(a)、16日20时—17日20时(b)南通降水分布(色阶,单位:mm)

Fig.2 Precipitation distribution in Nantong from 08:00 12 to 08:00 13 August 2018 (a) and from 20:00 16 to 20:00 17 August 2018 (b) (color scale, units: mm)

200 hPa 辐散场对台风移向具有指示性。由 200 hPa 辐散场可见:12 日 08 时—13 日 20 时,“摩羯”前进方向西北侧有强度为  $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的辐散中心,此期间,“摩羯”以西北向移动为主;13 日 20 时后,辐散中心转为偏北方向移动,强度增强为  $50 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,“摩羯”转为偏北向移动。辐散中心移动超前于台风“摩羯”,其转为偏北方向移动,“摩羯”亦转向。通过分析可知,台风“摩羯”有追随 200 hPa 辐散中心移动的趋势。

台风“温比亚”影响期间(图 3b),亚洲中高纬为三槽二脊形势,高空槽位于  $40^\circ \text{N}$  以北。大陆高压与副高维持强盛的态势,16 日 20 时两高压相连,呈“带状”分布,台风“温比亚”在高压带南侧偏东气流的引导下向偏西方向移动。16 日 20 时后,  $40^\circ \text{N}$  以北高空槽发展加深,使得原带状分布的高压带逐渐断裂为三部分,分别为两个大陆高压及东退至海上的副高;同时高空槽后的弱冷空气从西北方向侵入台风“温比亚”外围。我国河套附近地区,其北部为高空冷涡南伸高空槽,东、西部为断裂的大陆高

压,南部为华南低压带,形成了鞍形场形势。“温比亚”在鞍形场中,移动缓慢。由 200 hPa 辐散场可见:16 日 08 时—17 日 20 时,“温比亚”前进方向西侧存在强度为  $15 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  的辐散中心,此期间,“温比亚”偏西向移动为主;17 日 20 时后,辐散中心转为西北方向移动,强度增强为  $60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,“温比亚”转为西北向移动。辐散中心移动超前于台风“温比亚”,其转为西北向移动,“温比亚”亦转向。通过分析可知,台风“温比亚”同样有追随 200 hPa 辐散中心移动的趋势。

通过天气形势分析可知,台风“摩羯”和“温比亚”移动路径主要受副高和冷空气的影响,副高边缘气流为主要引导气流。“摩羯”影响期间,冷空气较弱,未侵入  $40^\circ \text{N}$  以南地区,未对台风造成明显影响;而“温比亚”影响期间,冷空气较强,侵入台风,冷暖结合。这是造成二者降水差异的原因之一。同时,通过分析 200 hPa 辐散场可见,台风有追随 200 hPa 辐散中心移动的趋势。

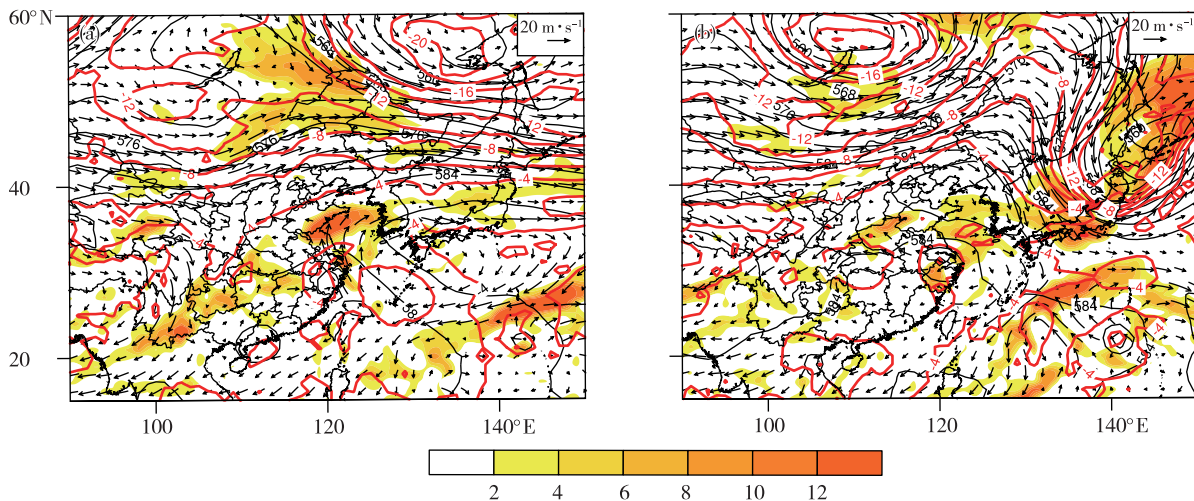


图3 2018年8月12日08时(a)、17日08时(b)500 hPa 环流场、温度场、风场(黑色实线:位势高度场,单位:dagpm;红色实线:温度场,单位:℃;风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和200 hPa 散度场(色阶,单位: $\text{s}^{-1}$ )

Fig.3 Synoptic situations, temperature fields and wind fields at 500 hPa (black solid line for geopotential height, units: dagpm; red solid line for temperature, units:  $^\circ \text{C}$ ; wind vectors, units:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and divergence field at 200 hPa (color scale, units:  $\text{s}^{-1}$ ) at 08:00 12 (a) and 08:00 17 (b) August 2018

## 4 物理量场分析

台风“摩羯”和“温比亚”自螺旋云带开始影响到远离南通历经约 48 h,而强降水主要发生在其影响期间内的 24 h,故下文将着重分析强降水时段内物理量分布演变情况,进而说明降水差异原因。

### 4.1 水汽条件分析

持续而充足的水汽供应是造成台风暴雨的重要条件,水汽通量及其散度和降水强度之间有一定的相关性<sup>[8]</sup>。由 850 hPa 水汽通量分布来看,8 月 12 日 20 时(图 4a),台风“摩羯”影响期间,其水汽来源于南海和西北太平洋洋面,两支气流汇聚为一支东南气流向台风主体输送。水汽通量分布存在

明显的不对称性,台风东北象限的水汽通量明显大于其他三个象限,最大值超过  $40 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而南通始终处于水汽通量大值区北部边缘,水汽通量在  $15 \times 10^{-3} \sim 25 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  之间。8月17日08时(图4b),台风“温比亚”影响期间,其水汽主要来源于南海,由一支西南气流输送;其次来源于西北太平洋洋面,由一支弱东南气流输送。水汽通量分布同样存在明显的不对称性,台风北部的水汽通量明显大于其南部,南通处于水汽通量大值中心区域中,水汽通量超过  $40 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由1000 hPa水汽通量散度场(图略)可见,台风“摩羯”影响期间,南通上空水汽通量长时间处于辐散状态,仅短时间内水汽通量有一定

辐合,13日08时水汽通量辐合中心位于南通市以西,辐合中心强度为  $25 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,南通中西部处于水汽通量辐合区中,辐合强度在  $10 \times 10^{-5} \sim 15 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而“温比亚”影响期间,南通上空始终水汽通量辐合,17日08时水汽通量辐合最为强盛,辐合中心强度大于  $80 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,南通水汽通量辐合强度在  $50 \times 10^{-5} \sim 70 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,明显强于“摩羯”影响期间。同时,对比“温比亚”影响期间的同时段逐6h降水发现,由1000 hPa水汽通量散度变化可见:水汽通量辐合与降水强度存在正相关关系,水汽通量辐合持续增强时,降水持续增强;水汽通量辐合达最强时,降水强度最强。

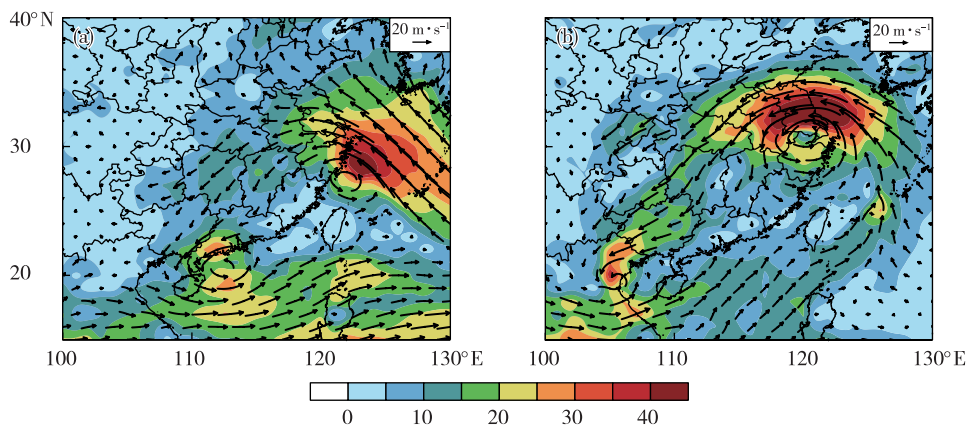


图4 8月12日20时(a)、17日08时(b)850 hPa水汽通量场(色阶,单位: $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )和风场(风矢,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
Fig.4 Water vapor flux field (color scale, units:  $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and wind field (wind vector, units:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at 850 hPa at 20:00 12 (a) and 08:00 17 (b) August 2018

由上可见,“温比亚”影响期间,南通获得更多水汽供应,同时低空长时间的强水汽辐合有利于强降水的出现,这是“温比亚”降水强于“摩羯”的原因之一。另外,通过对比同时段1000 hPa水汽通量散度与逐6h降水发现,水汽通量辐合与降水强度存在明显正相关关系。

#### 4.2 垂直速度和涡度分析

强烈的上升运动为台风暴雨提供了有利的动力条件,正涡度对维持和加强上升运动有积极作用,二者相辅相成,有利于强降水的发展和维持<sup>[8]</sup>。由于两次台风影响均在 $32^\circ\text{N}$ 附近产生了强降水,沿 $32^\circ\text{N}$ 作垂直速度和涡度的剖面,分析垂直分布与降水的关系。对于所关注的南通区域( $120.2^\circ \sim 121.9^\circ\text{E}$ ),8月12日20时(图5a),台风“摩羯”影响时,南通上空由近地面至近500 hPa高度存在弱正涡度,强度中心为 $4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。从垂直速度来看,700 hPa以下以 $121^\circ\text{E}$ 经线为分界线, $121^\circ\text{E}$ 以东为

上升运动区, $121^\circ\text{E}$ 以西为下沉运动区;而700 hPa以上,上升运动区向西扩展至 $115^\circ\text{E}$ ;存在2个上升运动中心,分别在850~700 hPa之间和400 hPa附近,强度均为 $0.4 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由垂直速度和涡度垂直分布可见:南通以 $121^\circ\text{E}$ 为界, $121^\circ\text{E}$ 以东地区上升运动更为强盛,与“摩羯”影响时的降水分布有较好的对应,东部降水强于西部;但由于无论是上升运动速度还是涡度都较小,故在强降水时段全市仅41%的站点出现暴雨。而台风“温比亚”影响期间(图5b),8月17日08时正涡度覆盖南通上空,向上伸展至200 hPa高度,正涡度中心位于低层,接近1000 hPa,更好地将低层水汽辐合并向高层输送; $119^\circ \sim 121^\circ\text{E}$ 从近地面向上整层为上升运动区,强上升中心位于850 hPa附近,强度为 $4.4 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,上升运动强盛; $121^\circ \sim 123^\circ\text{E}$ 从近地面向上整层同样为上升运动区,但强度明显减弱,上升中心强度仅为 $1.2 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $121^\circ\text{E}$ 上空400 hPa

以下出现了狭窄的下沉运动区,与其东西两侧上升运动区形成局地的小尺度垂直环流,有利于强降水的维持。由上可见,在正涡度覆盖南通的背景下,121°E以西的上升运动旺盛,则对应南通121°E以西地区有更强降水,全市80%的大暴雨站点出现在上述区域。台风“温比亚”影响期间,近地层的强正涡度有利于低空水汽辐合,并促进上升运动;上升

运动得以发展和维持,造成南通西部出现大暴雨。

通过分析可知:强正涡度和上升运动对应更强降水;低层正涡度中心有利于低空水汽辐合,并促进上升运动的发展和维持;在正涡度覆盖南通上空的背景下,降水强弱取决于上升运动强弱,强上升运动区对应强降水区。

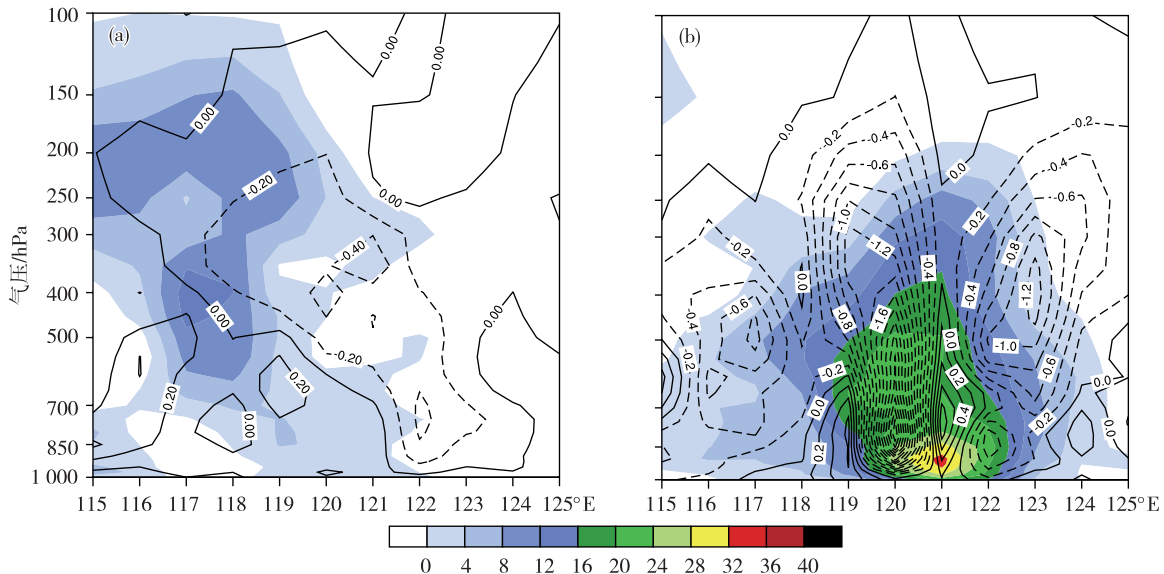


图5 8月12日20时(a)、17日08时(b)垂直速度(单位: $10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,实线为正值,虚线为负值)和涡度(色阶,单位: $\text{s}^{-1}$ )沿32°N垂直剖面图

Fig.5 Vertical section of vertical velocity (solid/dotted lines denote positive/negative, units:  $10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and vorticity (color scale, units:  $\text{s}^{-1}$ ) along 32°N at 20:00 12 (a) and 08:00 17 (b) August 2018

### 4.3 假相当位温分析

假相当位温是集温度、气压、湿度于一体的表征大气中能量的保守物理量,是暴雨诊断和预报的常用物理量<sup>[14]</sup>。由925 hPa假相当位温场可见:台风“摩羯”影响南通的主要降水时段中,8月12日20时(图6a),南通处于假相当位温大值中心东侧,约353 K,未见假相当位温等值线密集区;而“温比亚”影响期间,8月17日08时(图6b),假相当位温高值区覆盖江苏,中心强度大于357 K,南通假相当位温在355~357 K,能量积聚略强于“摩羯”影响期间;同时山东到河南一线存在假相当位温密集带,在密集带的北侧假相当位温较低,为干冷空气,在其南侧为暖湿气流。假相当位温密集带说明冷空气已侵入台风“温比亚”外围,此时能量锋形成,有利于强降水的出现。

沿121°E的假相当位温垂直剖面图可见,850 hPa假相当位温低值中心对应干冷气团,台风“摩羯”“温比亚”影响期间,北方均有冷空气南下,但冷

空气的强度和影响范围却有较大区别。对于所关注的南通区域(31.68°~32.72°N),8月12日20时“摩羯”(中心位于122.0°E,27.7°N)影响期间(图6c),冷空气由中层南下,其主体南压至39°N,对台风未见明显影响;17日08时“温比亚”影响期间(图6d),冷空气由低层南下,其主体南压至38°N,强度较影响“摩羯”的冷空气强,影响范围略为偏南,其前锋已侵入“温比亚”(中心位于120.6°E,31.1°N)外围,在32°~34°N形成垂直方向假相当位温梯度带,而“摩羯”影响期间无明显假相当位温梯度带存在。

由上可见,低层假相当位温大值区和上空垂直方向假相当位温梯度带对强降水有明显的指示意义。另外,冷空气对台风外围的侵入促进能量锋的形成,有利于强降水的出现。

### 4.4 湿位涡分析

湿位涡是综合反映大气动力、热力和水汽状况的物理量,被广泛地应用于暴雨和强对流天气系统

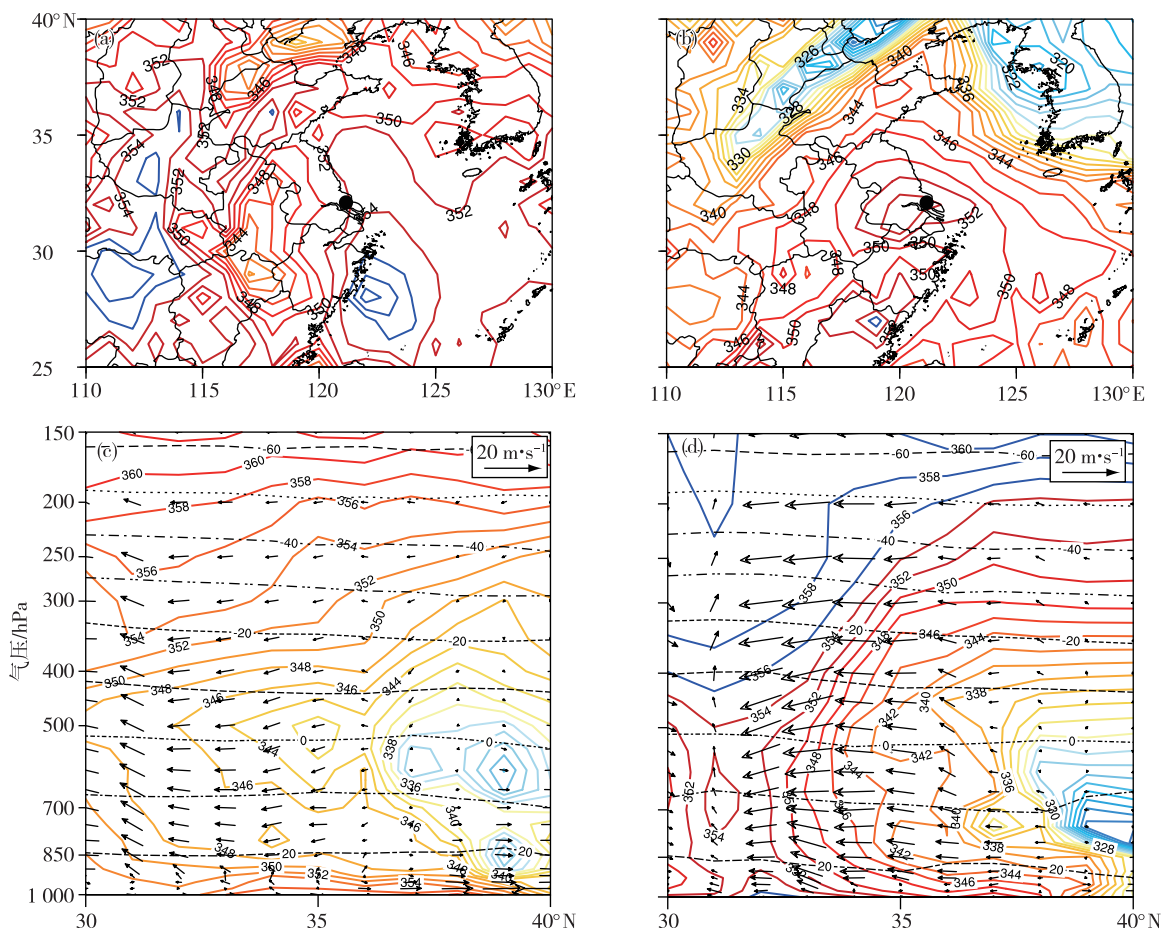


图6 8月12日20时(a,c)、17日08时(b,d)925 hPa假相当位温场(a,b;等值线,单位:K)和沿121°E假相当位温垂直剖面(等值线,单位:K)及风场(风矢,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、温度场(黑色虚线,单位: $^{\circ}\text{C}$ )(c,d)

Fig.6 Pseudo-equivalent potential temperature field at 925 hPa and vertical section of pseudo-equivalent potential temperature (contours, units: K) and wind (vectors, units:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), temperature field (black dotted line, units:  $^{\circ}\text{C}$ ) along 121°E at 20:00 12 (a, c) and at 08:00 17 (b, d) August 2018

分析<sup>[22]</sup>。湿位涡(moist potential vorticity, MPV)可分为MPV1和MPV2两项,分别表示湿位涡的垂直(正压项)和水平(斜压项)分量。在大气对流不稳定时, $MPV1 < 0$ ,只有 $MPV2 > 0$ ,垂直涡度才能得到较大增长,有利于降水的加强<sup>[23]</sup>。图7给出了8月12日20时和17日08时850 hPa湿位涡MPV1和MPV2两分量水平分布。由图7a可见,“摩羯”影响期间,强降水发生时段内,南通处于MPV1零线附近、弱负值区内,表明其上空大气处于弱对流不稳定状态,为弱湿斜压性和弱垂直风切变。而“温比亚”影响期间(图7b),强降水发生时段内,南通处于MPV1的负值区,负值中心位于苏南到浙北地区,表明南通上空大气处于较强对流不稳定状态,一旦有辐合扰动,将会产生上升加速度,有利于对流加强。由MPV2分布可知,苏南到浙北地区存在MPV2的正值中心,中心值为2 PVU,南通地区处于正值中心

北边缘。MPV1的负值叠加MPV2的正值分布,使得南通地区上空垂直涡度得到较大增长,有利于强降水的维持和加强。

由上可见,低层MPV1的负值表明大气处于对流不稳定状态,叠加MPV2的正值,使得大气斜压性和风垂直切变增大,有利于强降水的维持和加强,这是“温比亚”降水更强的原因之一,而“摩羯”影响期间,大气处于弱对流不稳定状态,降水明显较弱。

#### 4.5 垂直螺旋度分析

螺旋度是表征流体边旋转边沿旋转方向运动特性的物理量,是衡量风暴入流气流强弱及入流方向上涡度大小的参数<sup>[24]</sup>。已有的研究<sup>[25]</sup>表明,垂直螺旋度对台风强降水落区具有较好的指示意义。沿32°N作垂直螺旋度的剖面,进一步分析台风垂直结构与降水的关系。对于所关注的南通区域(120.2°~121.9°E),台风“摩羯”影响期间(图8a),

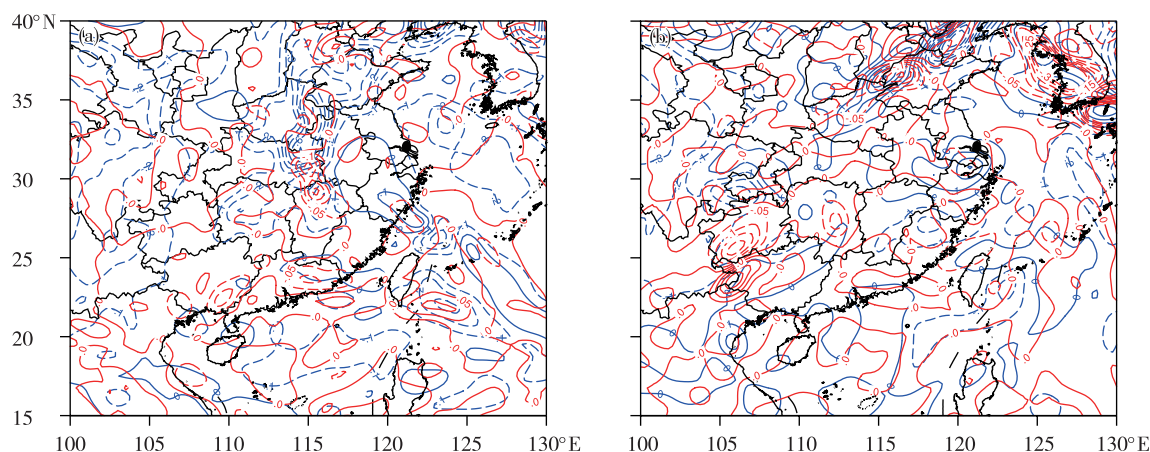


图7 8月12日20时(a)、17日08时(b)850 hPa湿位涡分布(红线为MPV1,蓝线为MPV2,单位:PVU)

Fig.7 Moist potential vorticity (MPV) at 850 hPa at 20:00 12 (a) and 08:00 17 (b) August 2018 (red solid line for MPV1, blue solid line for MPV2, units: PVU)

8月12日14时垂直螺旋度有所增大,表明随着“摩羯”向西北方向移动,南通上空流体旋转加强,有涡度输入降水系统,此后南通降水较前期明显加强,出现5个暴雨点。至13日08时(图8b),南通上空垂直螺旋度在 $0 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$ 左右,降水趋于结束。而台风“温比亚”影响期间,17日08时(图8c),南通上空垂直螺旋度明显增大,中心值高达 $70 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$ ,由东到西从1000 hPa发展至250 hPa高度,上空强烈的螺旋上升运动有利于强降水的发生发展,此后南通降水增强,出现21个暴雨点。至17日20时(图8d),垂直螺旋度大值区随着台风西移,南通上空垂直螺旋度减小至 $0 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$ 附近,降水趋于结束。由上可见:垂直螺旋度的增大与减小和降水的增强与减弱有明显的对应关系,能提前指示降水的变化趋势;同时,垂直螺旋度增大愈多,正值发展高度愈高,降水愈强。

## 5 结论

为探讨相似路径台风“摩羯”和“温比亚”影响南通降水的差异原因,从天气形势、物理量场两方面进行分析,利用水汽通量、假相当位温、湿位涡、垂直螺旋度等物理量对降水进行诊断,得到以下主要结论:

1)两台风移动路径主要受副高和冷空气的影响,副高边缘气流为主要引导气流。同时,两台风均有追随200hPa辐散中心移动的趋势。较强冷空

气的侵入、鞍形场中的缓慢移动均是“温比亚”造成南通较强降水的原因。

2)台风“摩羯”和“温比亚”影响期间,水汽来源于南海和西北太平洋洋面。“温比亚”影响期间,南通获得更多水汽供应,且低空水汽长时间辐合,是“温比亚”影响南通降水强于“摩羯”的原因之一。另外,水汽通量辐合与降水强度存在明显正相关关系。

3)强正涡度和上升运动对应更强降水;低层正涡度中心有利于低空水汽辐合,并促进上升运动的发展和维持;在正涡度覆盖南通上空的背景下,降水强弱取决于上升运动强弱,强上升运动区对应强降水区。

4)低层处于假相当位温大值区、上空存在垂直方向假相当位温梯度带更有利于强降水的出现,对强降水有明显的指示意义。低层的假相当位温密集带说明冷空气的侵入、能量锋的形成,有利于强降水出现。

5)低层湿位涡MPV1的负值区叠加MPV2的正值区,表明大气处于对流不稳定状态,大气斜压性和风垂直切变增大,有利于强降水的维持和加强,这是“温比亚”影响南通降水更强的原因之一。

6)垂直螺旋度的增大与减小和降水的增强与减弱有明显的对应关系,能提前指示降水的变化趋势;同时,垂直螺旋度增大愈多,正值发展高度愈高,降水愈强。



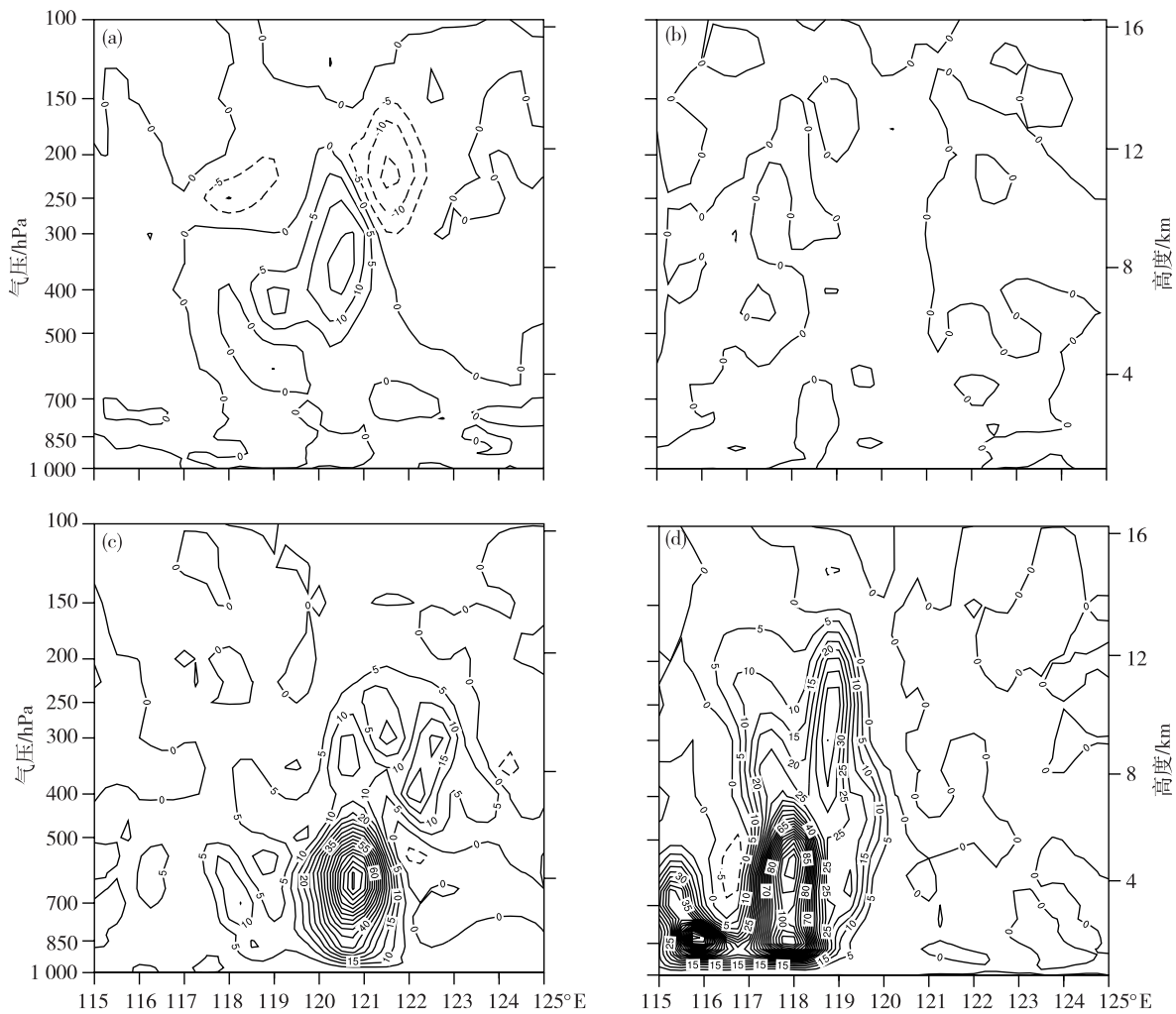


图8 8月12日14时(a)、13日08时(b)、17日08时(c)和17日20时(d)沿32°N垂直螺旋度剖面(单位: $10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$ )

Fig.8 Vertical section of vertical helicity along 32°N at 14:00 12 (a), 08:00 13 (b), 08:00 17 (c) and 20:00 17 (d) August 2018 (units: $10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-2}$ )

## 参考文献:

- [1] 王小玲,王咏梅,任福民,等.影响中国的台风频数年代际变化趋势研究:1951—2004[J].气候变化研究进展, 2006,2(3):135-138.
- [2] 翁之梅,贲海荣,高丽,等.台风“利奇马”登陆前后雨带强度与结构变化特征分析[J].气象科学, 2020, 40(3):325-332.
- [3] 覃武,赵金彪,黄荣成,等.台风“山竹”登陆结构变化及造成广西强降水异常分布的成因分析[J].热带气象学报, 2019,35(5):587-595.
- [4] 王楠喻,王雪,娄盼星,等.台风“利奇马”引发山东强降水成因分析[J].海洋气象学报, 2021, 41(1): 119-128.
- [5] 文萍,许映龙,柳龙生.台风“山竹”(1822)引发华南暴雨过程机制分析[J].海洋气象学报, 2019, 39(3): 29-35.
- [6] 孙兴池,吴炜,孙莎莎.登陆北上山东台风暴雨非对称分布的成因对比分析[J].海洋气象学报, 2019, 39(3):55-63.
- [7] 孙兴池,王文毅,王业宏,等.0509号台风麦莎影响山东分析[J].热带气象学报, 2007,23(3):307-312.
- [8] 王毅,钱燕珍,段晶晶,等.“温比亚”台风登陆前后大暴雨特征及成因分析[J].海洋预报, 2020, 37(3): 62-71.
- [9] 陈有利,钱燕珍,潘灵杰,等.一次台风相关联的浙江东北部暴雨成因及预报难点分析[J].干旱气象, 2018, 36(2):272-281.
- [10] 沈菲菲,唐超,许冬梅,等.基于不同背景场条件的雷达资料同化在登陆台风“桑美”中的应用研究[J].海洋学报, 2021,43(1):69-81.
- [11] 戚佩霓,沈菲菲,寇蕾蕾,等.多普勒雷达资料同化在台风“灿都”(2010)预报中的应用研究[J].热带海洋学报, 2019,38(2):20-31.

- [12] 高元勇,邢建勇,陈耀登.MPAS-A 模式中不同积云对流参数化方案对西北太平洋台风模拟效果的影响[J].海洋预报,2019,36(5):10-18.
- [13] 邢建勇,宋学家,杨学联,等.台风“卡努”的数值模拟试验[J].海洋预报,2006,23(2):1-9.
- [14] 曹宗元,刘飞,阙成蛟,等.相似路径台风“麦德姆”(1410)与“韦帕”(0713)对比分析[J].海洋预报,2018,35(6):77-83.
- [15] 周海波,白爱娟,蔡亲波.相似路径台风“山神”(1223)和“海燕”(1330)降水对比分析[J].海洋预报,2017,34(3):41-55.
- [16] 赵培娟,邵宇翔,张霞.相似路径台风“摩羯”“温比亚”登陆后环境场对比分析[J].气象与环境科学,2019,42(3):17-28.
- [17] 杨舒楠,陈涛,刘建勇.两次台风暴雨冷空气影响对比分析[J].气象科技,2018,46(2):324-335.
- [18] 周福,钱燕珍,朱宪春,等.“菲特”减弱时浙江大暴雨过程成因分析[J].气象,2014,40(8):930-939.
- [19] 刘晓波,储海.双台风形势下长三角地区一次大暴雨过程的成因分析[J].暴雨灾害,2019,38(2):97-106.
- [20] 曹晓岗,王慧,漆梁波.台风与冷空气对“13.10”上海特大暴雨过程的影响分析[J].暴雨灾害,2014,33(4):351-362.
- [21] 王承伟,齐铎,徐玥,等.冷空气侵入台风“灿鸿”引发的东北暴雨分析[J].高原气象,2017,36(5):1257-1266.
- [22] 沈晓玲,桑明慧.2018年登陆上海两个台风暴雨结构特征综合对比分析[J].气象科技,2020,48(2):274-283.
- [23] 范可,据建华,范学峰.湿位涡诊断分析在东南亚强降雨中的应用[J].气象科技,2003,31(1):23-28.
- [24] 高守亭.大气中尺度运动的动力学基础及预报方法[M].北京:气象出版社,2007:35-39.
- [25] 覃吕柳,黎惠金,张丁丁.1311号台风“尤特”水汽和螺旋度分析[J].应用海洋学学报,2016,35(4):459-468.