孙素琴,刘春,刘文英,2021. 2016 年三个相似路径台风影响江西的暴雨落区差异成因[J]. 气象与减灾研究,44(4):266-273.
Sun Suqin, Liu Chun, Liu Wenying, 2021. Study on the difference of rainstorm areas in Jiangxi caused by three similar tracks typhoons in 2016[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,44(4):266-273.

2016 年三个相似路径台风影响江西的暴雨落区差异成因

孙素琴[1], 刘 春[1], 刘文英[2]

1. 江西省气象台, 江西 南昌 330046
2. 江西省农业气象中心, 江西 南昌 330096

摘 要: 利用常规气象观测数据、台风路径资料和 FNL 再分析资料,对 2016 年三个路径相似台风(01 号 Nepartak、14 号 Meranti 和 17 号 Megi)在江西的暴雨落区差异进行分析。结果表明:三者移动路径相似,登陆后副热带高压强度、水汽输送条件、台风与冷空气结合等差异共同导致在江西暴雨落区不同。台风 Megi 在江西形成暴雨范围最广,Nepartak 次之,Meranti 最小。台风 Megi 登陆后江西地区水汽通量和天气尺度上升运动最强,天气尺度持续稳定性降水以及后期台风环流与低层冷空气相结合,导致降水累计值最大。台风 Nepartak 影响江西期间无冷空气与之作用,形成的降水以中尺度对流性降水为主,强的对流有效位能释放加剧中尺度对流上升运动,造成以短时强降雨为主的暴雨。台风 Meranti 影响时江西东北部天气尺度上升运动相对前两者较弱,影响时间相对较短,形成的暴雨较前两者偏弱。

关键词: 台风,暴雨落区,上升运动,冷空气,对比分析
中图分类号: P458.1+24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9033(2021)04-0266-08
doi: 10.12013/qxyjzyj2021-040

Study on the Difference of Rainstorm Areas in Jiangxi Caused by Three Similar Tracks Typhoons in 2016

Sun Suqin[1], Liu Chun[1], Liu Wenying[2]

1. *Jiangxi Province Meteorological Bureau*, *Nanchang* 330096, *China*
2. *Jiangxi Agricultural Meteorological Center*, *Nanchang* 330096, *China*

Abstract: The differences of rainstorm area in Jiangxi caused by Typhoon Nepartak (1601), Meranti (1614) and Megi (1617) in 2016 were analyzed based on conventional meteorological observation data and the FNL 1°×1° reanalysis data. The three typhoons presented similar moving tracks but different features of precipitation distribution. The rainstorm caused by Megi had the largest accumulated rainfall and the widest range in Jiangxi, followed by Neparak, and the rainstorm range caused by Meranti was the smallest. For Megi, the water vapor flux and synoptic scale rising movement were the strongest in Jiangxi. The continuous and stable synoptic scale precipitation and the combination with low-level cold air were the main reasons for the maximum cumulative rainfall of Megi. No cold air intrusion was found for Nepartak, and the precipitation of Nepartak was characterized by convective precipitation. The release of strong convective effective potential energy intensified the meso-scale convective upward movement, and caused the rainstorm dominated by short-term heavy rainfall in Jiangxi. For Meranti, the ascending movement was relatively weak in Jiangxi, thus the rainstorm range was the smallest compared with the other two.

收稿日期: 2021-09-14; **修订日期:** 2021-10-20.
基金项目: 中国气象局预报员专项(编号:CMAYBY2017-039);江西省气象局重点项目(编号:JX2020Z09);泛珠三角科技创新开放基金(编号:FZSJ202111);江西省气象科技项目(编号:JXQX2019yxh).
作者简介: 孙素琴,硕士,副高级工程师,从事天气预报研究和服务, E-mail:sunsuqin2007@163.com.
刘 春(通信作者),硕士,工程师,主要从事天气预报方法研究, E-mail:870053952@qq.com.

Key words: typhoon; rainstorm area; upward movement; cold air; comparative analysis

0 引 言

台风暴雨预报常使用相似路径预报法,但相似路径台风的暴雨分布未必类似,比如 2016 年 01 号台风 Nepartak、14 号台风 Meranti 和 17 号台风 Megi,三者路径相似,但造成江西的暴雨落区有很大差别。针对这三个台风的风雨影响已有不少研究。例如,赵震(2019)研究 2016 年台风 Meranti 的发展演变过程表明,台风在超强阶段有小而清晰的圆形台风眼,降水呈现非均匀、非对称结构,最强降水集中于台风中心附近。田亚杰等(2018)对台风 Nepartak 的数值试验结果表明,在其加强、靠近中国大陆的过程中,迫使副热带高压(简称副高,下同)北抬东撤,阻碍了沿副高边缘水汽输送至内陆,间接导致降水显著减少。台风 Megi 在江西引发持续性暴雨过程的原因也有研究,如张娟娟等(2021)研究表明,台风移动缓慢,影响时间长,登陆后水汽输送维持,为江西地区暴雨提供充足水汽和热量。相似路径台风研究也比较多,如梁红丽和程正泉(2017)和朱红芳等(2019)研究了两个相似路径台风影响内陆的降水差异,发现暴雨降水性质明显不同,分布差异主要是由于环境场气流作用不同。影响江西的台风研究较多(尹洁等,2007;陈云辉等,2014;郭达烽等,2014;万明等,2015),但相似路径台风对江西影响研究较少。文中采用常规资料、台风路径资料、再分析资料等,以 2016 年三个移动路径相似但暴雨落区有较大差异的台风 Nepartak、Meranti、Megi 为研究对象,分析其暴雨落区差异形成的原因,以期为影响江西的台风暴雨预报提供参考。

1 资料与方法

文中所用资料包括:1) 台风信息资料为 CMA 最佳路径数据集,内容为 6 h 分辨率的位置和强度;2)观测资料为高空探测资料和分辨率为 1°×1°的 NECP FNL 再分析资料;3)降水资料为全国 3 万个自动气象站逐小时降水资料和 CMORPH 降水产品融合逐时降水资料。所用分析方法包括天气学诊断和统计分析等。

2 台风特征分析

2016 年共有 26 个热带气旋在西北太平洋生成。已有的研究表明,2016 年台风登陆时强度偏强,并且多集中在秋季。其中,台风 Meranti 最大强度 75 m/s,台风 Nepartak 强度峰值 72 m/s。登陆时为强台风或超强台风等级的有台风 Nepartak、Nida、Meranti 和 Megi,其中 Nepartak、Meranti 和 Megi 三个台风登陆地点为台湾、福建(图 1),其余登陆地点为广西、广东或海南。台风给我国带来了大范围的强降雨和狂风天气,破坏力极大,致灾严重(表 1,高拴柱等,2018)。

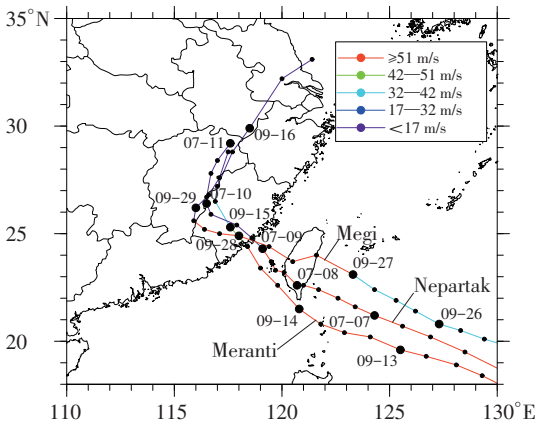


图 1 1601 号台风 Nepartak、1614 号台风 Meranti 和 1617 号台风 Megi 路径对比(图中时间为世界时)

Fig. 1 Comparative analysis of the track of typhoons "Nepartak", "Meranti" and "Megi" (time in picture is UTC)

3 暴雨在江西落区、性质差异分析

3.1 暴雨落区和强度差异

由图 2 可见,台风影响江西期间的暴雨范围,Megi 最大,Nepartak 次之,而 Meranti 最小。

台风 Nepartak 影响江西期间,强降水主要出现在 2016 年 7 月 9—10 日江西中南部,位于台风前侧螺旋雨带中,最大累计雨量为 205 mm,出现在赣州市赣县区沙地镇攸镇村和吉安市万安县武术大岭。其间以短时对流性强降水为主,江西省 29 个县(市、区)83 个站点出现 1 h 降水量 30 mm 以上的短时强降雨,最大为进贤县三里镇 63 mm;33 个县(市、区)206 个站点出现 6 h 降水量 50 mm 以上的短时强降雨,以赣州市赣县区沙地镇攸镇村 150 mm 为最大。

台风 Meranti 影响江西时间为 2016 年 9 月 15 日。暴雨主要出现在江西东北部,位于台风螺旋雨带中。其间累计降水量,以上饶市信州区三清宫的 201mm为最大,上饶市信州区缆车站159mm次

表 1 台风 Nepartak(1601)、Meranti(1614)和 Megi(1617)主要特征

Table 1 Main features of typhoons Nepartak (1601), Meranti (1614) and Megi (1617)

项目	Nepartak(1601)	Meranti(1614)	Megi(1617)
生成时间	2016 年 7 月 3 日 08 时	2016 年 9 月 10 日 14 时	2016 年 9 月 23 日 02 时
移动路径	西北行,二次登陆后在江西境内填塞	西北行,登陆后在江西东北部转向北上,江苏入海	西北行,二次登陆后在江西境内填塞
登陆位置	台湾台东、福建石狮	福建厦门	台湾花莲、福建泉州
登陆时强度、最大风力、最低气压	10 级,25 m/s,990 hPa	16 级,52 m/s,945 hPa	12 级,33 m/s,975 hPa
江西强降水落区、主要影响时间	赣中、赣南,7 月 9 日 08 时至 11 日 08 时	赣东北,9 月 15 日 08 时至 16 日 08 时	赣中、赣南、赣西北,9 月 28 日 08 时至 30 日 08 时
江西冷空气结合特征	无	块状分布,强降水位于台风倒槽后部北侧	东北西南向带状分布,强降水位于台风倒槽前部
冷空气路径、高低层影响(江西)	无	偏东路径,750 hPa 层以下	中路偏东路径,750 hPa 层以下

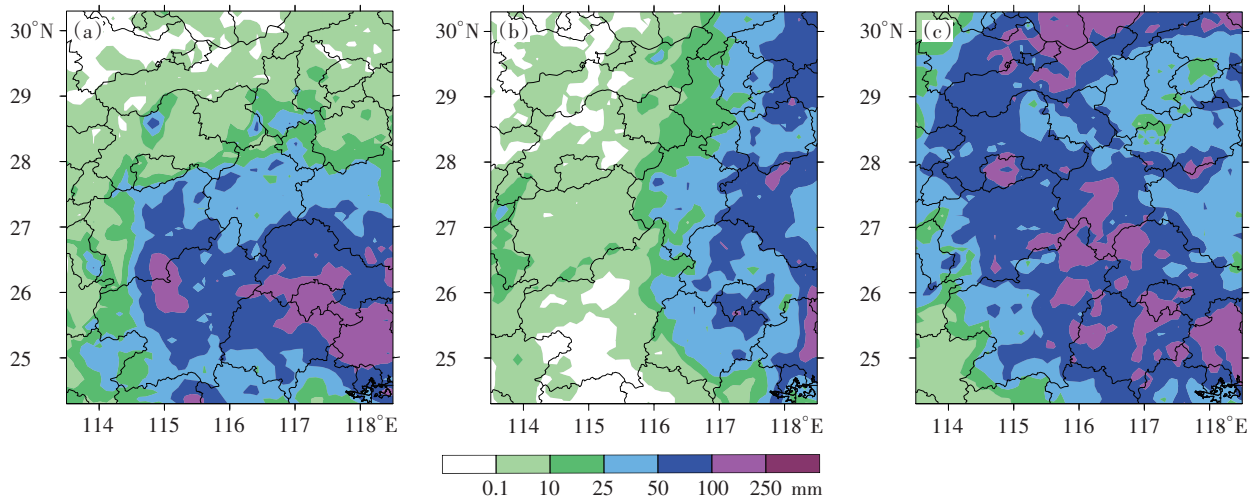


图 2 台风影响江西期间的降水分布(a. Nepartak 台风,2016 年 7 月 9 日 08:00—11 日 08:00; b. Meranti 台风,2016 年 9 月 15 日 08:00—16 日 08:00; c. Megi 台风,2016 年 9 月 28 日 08:00—30 日 08:00)

Fig. 2 Distribution of cumulative rainfall in Jiangxi for the three typhoons (a. Typhoon Nepartak, from 08:00 BT on July 9 to 08:00 BT on July 11, 2016; b. Typhoon Meranti, from 08:00 BT on September 15 to 08:00 BT on September 16, 2016; c. Typhoon Megi, from 08:00BT on September 28 to 08:00 BT on September 30, 2016)

之。以稳定性降水为主,仅有 2 站出现 1 h 降水量 30 mm 以上的短时强降水,24 h 累积量最大的三清宫其 1 h 降水量均在 20 mm 以下,但由于持续时间长,1 h 降水量为 10—20 mm 的持续时间长达 9 h 左右,故导致其累计雨量大。

台风 Megi 影响江西时间为 2016 年 9 月 28—29 日。江西大部分地区出现强降水,共分为两个时段,分别是 28 日的江西中南部暴雨和 29 日的江西西北部暴雨。其间累计雨量以九江庐山市小天池 330 mm 为最大,九江武宁县扬州乡霞庄村 293mm 次之。降水强度介于台风 Nepartak 和 Meranti 之间,以稳定性降水为主,小天池站除了出现 2 次 1 h 降水量超过 20 mm 外,其他时间均小于 20 mm。但由于影响时间较长,江西地区 553 个站点出现 6 h 降水量 50 mm 以上短时强降水。

3.2 江西暴雨性质对比

三个台风影响期间降水强度为什么不同? 分析发现,三者影响江西期间能量条件 CAPE 分布存在差异(图略)。其中,Nepartak 台风暴雨发生前的 7 月 8 日 14 时,不稳定能量在台风西侧明显积累,大部分地区 CAPE 值达 2 400 J/kg,局部地区超过 3 000 J/kg。9 日 20 时赣州站大气层结仍处于不稳定状态,CAPE 值为 1 753 J/kg,CIN 值为 31 J/kg。夜间台风中心移入,暴雨增强使 CAPE 明显释放,其值降为 300 J/kg 以下。而台风 Meranti 和 Megi 影响江西期间大气层结均为稳定状态。其中,Meranti 影响期间,暴雨发生前的 9 月 15 日 08 时,距离江西东北部较近的南昌站,CAPE 值为 0 J/kg,CIN

值为 401 J/kg;Megi 影响期间,9 月 28 日 08 时赣州站和 29 日 08 时南昌站 CAPE 值均为 0 J/kg。

结合江西实况降水强度分析,台风 Nepartak 影响江西期间降水以中尺度对流性降水为主,具有不稳定特征;而台风 Meranti 和 Megi 影响江西期间以持续的天气尺度稳定性降水为主,持续稳定且具有一定强度的天气尺度降水导致降水累计量较大。

4 环流形势差异分析

4.1 登陆前后环流形势对比

三个台风登陆前后中高层环流形势有相似点:1) 200 hPa 高度层上台风环流均处于南亚高压东侧,高层辐散条件好;2) 500 hPa 高度层上中高纬地区均为"两槽一脊"形势,副高均为带状结构,台风环流处于其南侧的偏东气流中,台风登陆后副高均断裂为东西两段(图 3);3) 台风登陆后三者的暖心结构均很快消失。

分析图 3 还发现背景环流形势的不同点:1) 登陆前副高形态相似,但登陆后副高强度不同,脊线、西脊点位置不同。台风 Megi 登陆后副高西脊点位置偏西,位于 118°E 附近;台风 Meranti 登陆后副高西脊点位于 122°E 附近;台风 Nepartak 登陆后副高西脊点位置偏东,位于 124°E 附近。这导致三个台风登陆后水汽输送通道存在差异,进而造成在江西暴雨落区的差异。台风 Nepartak 登陆后副高快速减弱东退,台风西北行后在江西境内衰减填塞。台

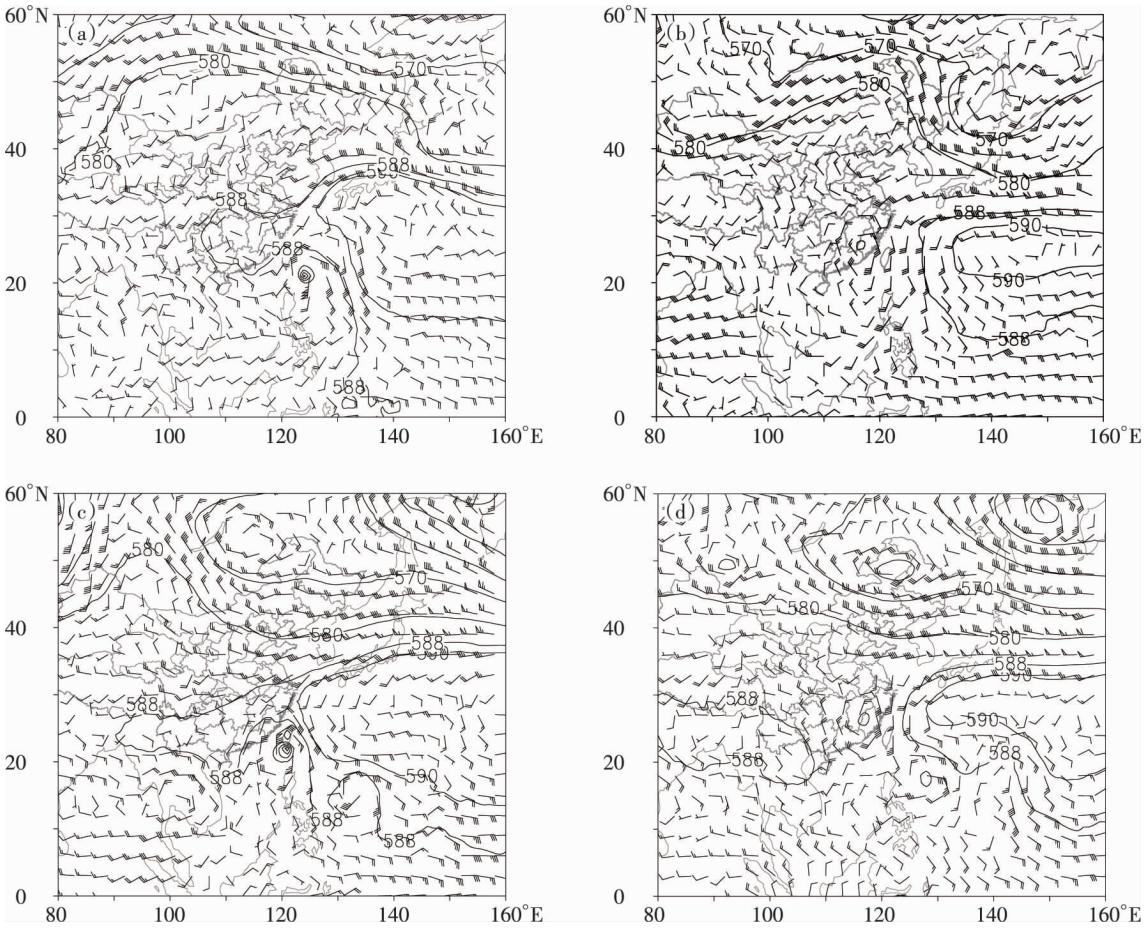


图 3 500 hPa 位势高度场(等值线,单位:dagpm)和风场(风向杆)(a. Nepartak 台风 2016 年 7 月 7 日 08 时,b. Nepartak 台风 2016 年 7 月 10 日 02 时,c. Meranti 台风 2016 年 9 月 14 日 08 时,d. Meranti 台风 2016 年 9 月 15 日 14 时,e. Megi 台风 2016 年 9 月 27 日 20 时,f. Megi 台风 2016 年 9 月 28 日 20 时)

Fig. 3 Geopotential height field (isoline; units:dagpm) and wind field at 500 hPa (wind pole)(for Typhoon Nepartak at 08:00 BT on July 7, 2016 (a) and at 02:00 BT on July 10, 2016 (b); for Typhoon Meranti at 08:00 BT on September 14, 2016 (c) and at 14:00 BT on September 15, 2016 (d); for Typhoon Megi at 20:00 BT on September 27, 2016 (e) and at 20:00 BT on September 28, 2016 (f))

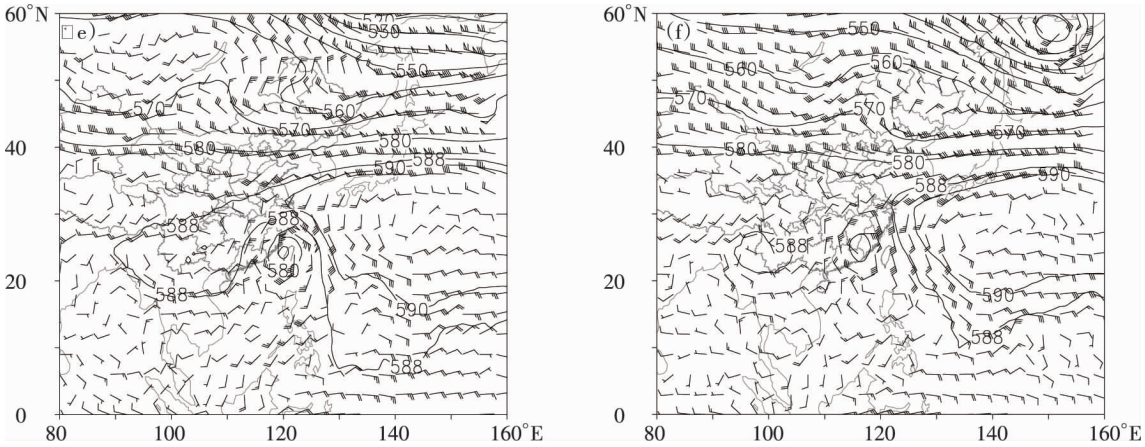


图 3 （续）

Fig. 3 （Continuation）

风 Megi 登陆时副高西脊点位置偏西，台风移动路径与台风 Nepartak 相似；台风 Meranti 登陆时副高西脊点位置较台风 Megi 偏东，登陆后沿副高外围偏南引导气流北上。2）台风环流与西风槽结合存在差异。台风 Nepartak 影响江西期间与西风槽无相互作用；台风 Meranti 和 Megi 登陆后均与西风槽结合，但位置有差异。台风 Megi 环流在湘赣交界与中纬度西风槽结合；台风 Meranti 环流移至江西东北部后与低槽结合。3）东北冷涡均位于 50°N 以北，但相应的冷槽位置不同。台风 Nepartak 影响江西时冷槽位置偏东，槽底位于 130°E 以东、45°N 以北；台风 Meranti 影响江西期间冷涡西部有一东西向的冷横槽，槽上有一低温中心位于(120°E,50°N)附近，并随着冷涡东移而逐渐南甩，不断引导冷空气南下。台风 Megi 影响江西期间冷槽的底部位于(115°E,40°N)附近。比较三个台风影响江西期间冷温槽位置，Megi 影响时偏西，Nepartak 影响时偏东，Meranti 影响时位于两者之间。这些差异直接导致台风降水落区的差异。

4.2 天气尺度上升运动、水汽条件对比

由三个台风环流 500 hPa 高度层的上升运动可见(图略)，台风 Nepartak 登陆时，天气尺度的上升运动不强，江西中南部的大气垂直运动速度约为 −0.08 Pa/s；台风 Meranti 登陆时强的上升中心位于华东沿海，而江西东北部暴雨区的上升运动速度约为 −0.1 Pa/s；台风 Megi 登陆时，江西境内的上升运动速度较前两者明显偏强，9 月 28 日江西中南部的上升运动速度约为 −0.2 Pa/s，29 日江西西北部仍维持在 −0.2 Pa/s 左右。对比发现，三个台风登陆后江西上空的上升运动，Megi 最强，Meranti 次之，而 Nepartak 最弱。故而台风 Megi 导致的江西境内降水虽为天气尺度稳定性降水，但持续偏强的天气尺度上升运动利于暴雨的发生，这可能是台风 Megi 导致江西降水累计量最大的原因之一。台风 Nepartak 导致的江西境内降水以中尺度对流性强降水为主，虽然天气尺度上升运动不强，但对流有效位能释放可以加剧和维持中尺度上升运动的发展，使得江西中南部产生大范围暴雨。台风 Merant 登陆后，江西区域的天气尺度上升运动较弱，同时无中尺度对流性条件，故在三者中暴雨范围最小。

程正泉等(2009)研究发现，西南气流的水汽输送对台风降水至关重要，造成大范围强降水的台风环流往往与西南气流相连接并长时间持续较。三个台风影响江西期间，正值南海夏季风活跃期，越赤道气流活跃，从孟加拉湾到南海南部与台风外围环流相连接，形成的水汽输送带与副高东南侧水汽通道相结合，在维持台风强度的同时也导致强降水出现。此外，从登陆前到登陆后，三个台风携带的充沛水汽均位于台风中心东侧，副高至台风中心南侧南风分量均大于台风中心西侧的北风分量，说明副高边缘充沛的水汽条件对台风环流的发展有促进作用。

台风 Nepartak 登陆后，副高 588 dagpm 线迅速东退，西脊点位于 130°E 以东，副高外侧偏南引导气流将丰沛水汽引导到中国东部沿海。850 hPa 高度层上偏东急流速度达 20 m/s，加之降水对流性强，引发福建至江西南部的大范围暴雨天气。台风移至闽赣交界处后，无持续水汽输入，因此衰减较快，环流结构出现空心化，水汽通量中心值从 7 月 9 日 20 时 52×10^{-5} g/(cm·hPa·s)衰减至 10 日 08 时 26×10^{-5} g/(cm·hPa·s)，低层风场也迅速衰减，使

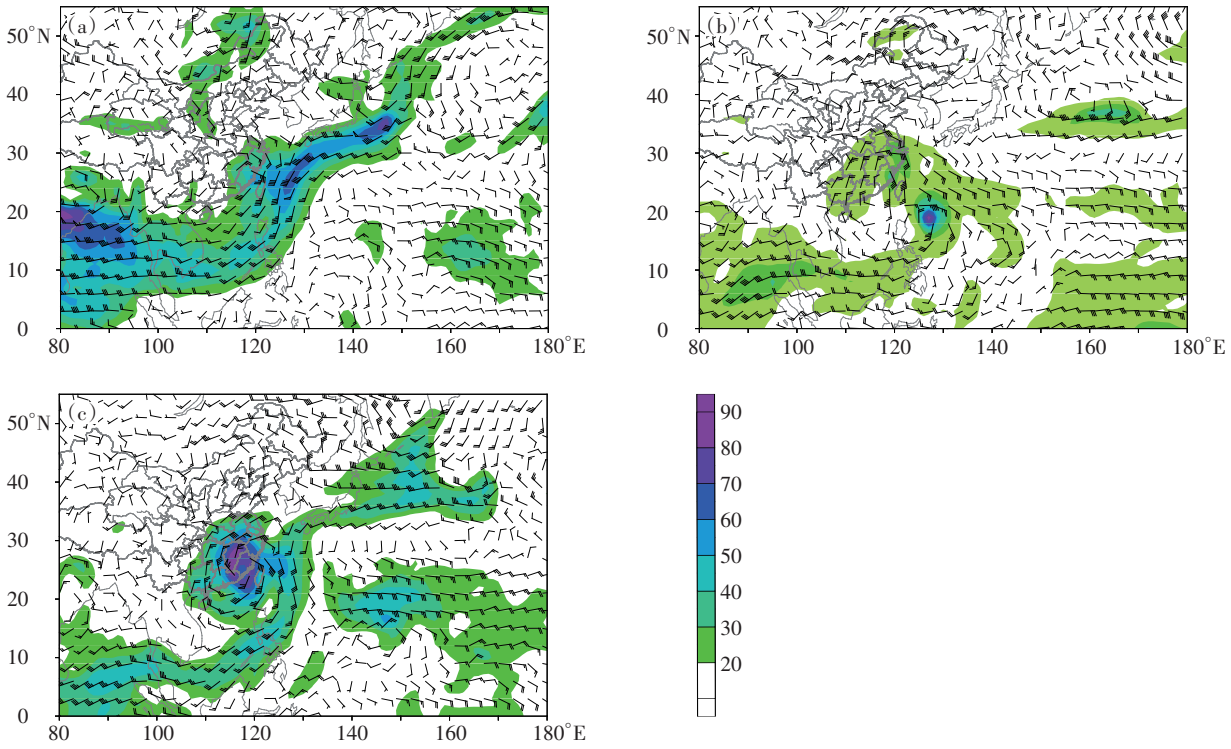


图 4 850 hPa 水汽通量场(等值线,单位:g/(cm·hPa·s))和风场(风向杆)(a. Nepartak 台风 2016 年 7 月 10 日 08 时; b. Meranti 台风 2016 年 9 月 15 日 20 时; c. Megi 台风 2016 年 9 月 28 日 14 时)

Fig. 4 Distribution of water vapor flux(isoline; units:g/(cm·hPa·s))and wind field (wind pole)at 850 hPa (a. Typhoon Nepartak, at 08:00 BT on July 10,2016; b. Typhoon Meranti, at 20:00 BT on September 15, 2016; c. Typhoon Megi at 14:00 BT on September 28,2016)

得降水快速减弱(图 4a)。

台风 Meranti 登陆后,其中心东侧风场明显强于西侧,呈不对称性结构,东侧存在 2 条大风速轴线,强度为 12—20 m/s。分析水汽通量场发现,9 月 15 日 08 时台风中心附近达 78×10^{-5} g/(cm·hPa·s),台风 Meranti 北上后受台风 Malakas 环流和西南季风对其不断补充水汽,因此位于台风中心东侧的水汽通量中心值仍维持在 70×10^{-5} g/(cm·hPa·s)(图 4b),导致福建大部地区出现暴雨天气。江西东北部与福建相邻,上空 850 hPa 高度层风速辐合达 8—10 m/s,造成局部地区的暴雨天气。

相较于前两者,台风 Megi 表现出更强的水汽通量和风场条件。靠近东部沿海时其中心东北侧沿海地区的水汽通量中心值超过 100×10^{-5} g/(cm·hPa·s),而进入内陆后,较强水汽输送衰减较慢,仍位于台风中心北侧,9 月 28 日 14 时台风中心北侧的江西中南部水汽通量为 86×10^{-5} g/(cm·hPa·s)(图 4c)。此外登陆后,台风东北侧气流携带东海以南大部分海域的水汽向台风中心输送,中心北侧偏东急流速度维持在 20 m/s 以上,这对台风强度维持和水汽输送起到关键作用。台风登陆后,江西中南部上空 850 hPa 高度层风速强辐合达 8 m/s,导致此区域出现暴雨天气。随着台风的西进北上,水汽通量中心北抬,仍维持在(60—80)$\times10^{-5}$ g/(cm·hPa·s);台风残留环流与冷空气结合时,其中心北侧偏东急流速度仍大于 12 m/s,最强达 20 m/s,江西西北部上空 850 hPa 高度层的风速辐合达 8 m/s,源源不断的水汽供给使得降水再度加强,江西西北部地区出现暴雨天气。

副高 588 dagpm 线位置是台风 Nepartak 与后两者水汽输送显著不同的原因之一。由台风 Meranti 和 Megi 的水汽通量演变可见,充沛的水汽是两者强度维持和深入内陆后引发暴雨的主要原因。

4.3 冷空气影响对比

杜惠良等(2011)研究发现,当减弱后的台风残余环流与冷空气相互作用时,台风低压将再次获得能量而引发暴雨。台风 Nepartak 影响江西期间,没有冷空气与之相互作用(图 5a)。台风 Meranti 和 Megi 影响江西期间,冷空气从低层(750 hPa 以下)入侵,对流层中层没有冷空气活动(图略),对流层低

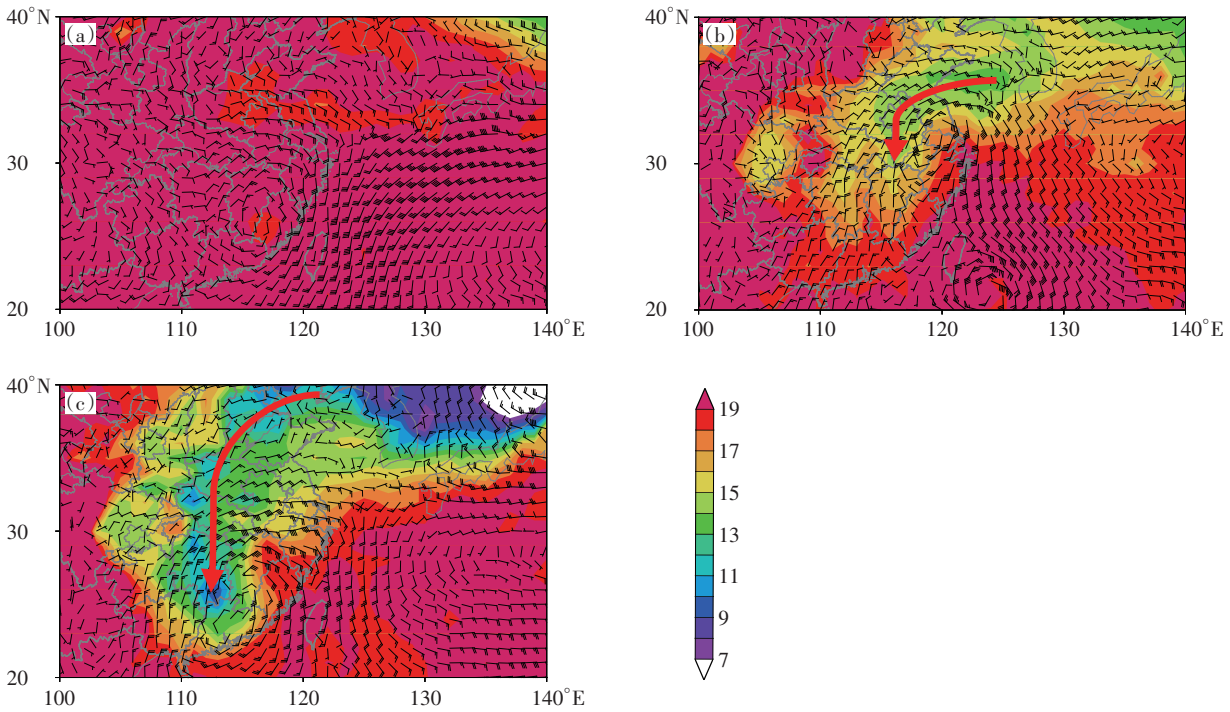


图 5 850 hPa 温度场(等值线,单位:℃)、风场(风向杆)和冷空气入侵路径(红色箭头)(a. Nepartak 台风 2016 年 7 月 10 日 20 时;b. Meranti 台风 2016 年 9 月 15 日 14 时;c. Megi 台风 2016 年 9 月 29 日 14 时)

Fig. 5 Distribution of temperature(isoline; units:℃), wind field (wind pole), and the moving path of cold air (red arrow) at 850 hPa (a. Typhoon Nepartak, at 20:00 BT on July 10, 2016; b. Typhoon Meranti, at 14:00 BT on September 15, 2016; c. Typhoon Megi, at 14:00 BT on September 29, 2016)

层和近地面边界层的冷空气活动表现更明显。冷空气影响位置、走向,以及冷空气与暖湿急流结合的位置不同,造成 Meranti 和 Megi 台风强降水在江西落区的不同。

台风 Meranti 影响江西期间,中高层东北冷涡南调,引导 700 hPa 高度层以下的冷气流在胶东半岛东侧纬向深入内陆,925 hPa 高度层上冷空气经江淮和黄淮一线抵达江南中部地区,9 月 14—15 日南昌站 24 h 降温达 4 ℃(图 5b)。低层冷舌呈现东北—西南向偏东路径入侵使得暖中心迅速消失,受其影响台风环流呈明显不对称结构,冷暖空气交汇的江浙一带降水增强,江西东北部位于强降水带的西段。

台风 Megi 影响江西后期,东路冷空气经黄海和东海北部影响黄淮、江淮和江南西部地区,9 月 27—28 日南昌站 24 h 降温幅度达 12 ℃。与此同时,中纬度短波槽引导冷空气从台风西侧(湘鄂和赣西)低层侵入台风倒槽,从而形成南北向分布的冷舌,使得台风低压外围残留螺旋云带的偏东暖湿气流在冷空气上面爬升,造成持续的稳定性降水(图 5c)。

5 小 结

文中分析了 2016 年影响江西且路径相似台风 Nepartak、Meranti、Megi 的暴雨区分布特征,得到:

1) 台风 Nepartak、Meranti、Megi 三者登陆地点接近,移动路径相似,但在江西形成的暴雨落区差异较大。Megi 导致江西的暴雨范围最广,Nepartak 次之,Meranti 最小。前两者主要影响江西的时间为 2 d,而 Meranti 仅 1 d。Nepartak 影响江西期间以中尺度对流性降水为主,暴雨位于江西中南部;Meranti 和 Megi 影响期间均为稳定性降水,前者暴雨位于江西东北部,后者两个阶段的暴雨分别位于江西的中南部和西北部。

2) 台风 Nepartak 影响江西期间,对流有效位能的加速释放使得江西中南部产生暴雨天气;台风 Meranti 影响期间,中尺度对流运动条件弱,垂直上升运动较弱,影响时间短,导致的江西暴雨范围较小;台风 Megi 影响期间,风场辐合上升条件和水汽通量条件明显强于前两者,形成的持续稳定的天气尺度降水,这是江西暴雨范围广、累计降水量大的原

因之一。

3) 台风 Nepartak 影响江西期间,没有天气尺度冷空气与台风环流相互作用。台风 Meranti 和 Megi 影响江西期间,冷空气均从对流层低层和边界层以下入侵,均经过黄海以南洋面到达台风中心西侧螺旋雨带中,在低层以下形成冷垫。当台风残留云系螺旋北上时,暖湿气流沿着冷垫爬升,利于两者天气尺度稳定性降水维持。相较于台风 Megi,台风 Meranti 影响期间冷空气强度偏弱、位置偏东,导致强降水落区主要位于浙闽地区。

文中主要从天气学角度初步讨论 2016 年三个路径相似台风强降水落区差异。影响台风降水的机制较复杂,与台风内部结构等因素有关,此外每个登陆台风其暴雨多呈现不对称分布,受不同物理因子影响,故暴雨落区也不尽相同。暴雨预报受多种因素影响,存在较大不确定性,今后还需通过大量个例分析诊断及高分辨率模式进行深入研究。

参考文献(References)

陈云辉,万明,吴凡,等,2014. 相似路径台风“杰拉华”和“海葵”降水差异成因分析[J]. 气象与减灾研究,37(4):18-23. Chen Y H, Wan M, Wu F, et al, 2015. Analysis of the cause of precipitation difference induced by the typhoons “Jelawat” and “Haiku” with similar tracks[J]. Meteor Disaster Reduction Res,37(4):18-23. (in Chinese)

程正泉,陈联寿,李英,2009. 登陆台风降水的大尺度环流诊断分析[J]. 气象学报,67(5):840-850. Cheng Z Q, Chen L S, Li Y, 2009. Diagnostic analysis of large-scale circulation features associated with strong and weak landfalling typhoon precipitation events[J]. Acta Meteor Sinica,67(5):840-850. (in Chinese)

杜惠良,黄新晴,马晓伟,等,2011. 弱冷空气与台风残留低压相互作用对一次大暴雨过程的影响[J]. 气象,37(7):847-856. Du H L, Huang X Q, Ma X W, et al, 2011. The effect of the interaction between weak cold flow and typhoon depression on a rainstorm[J]. Meteor Mon,37(7):847-856. (in Chinese)

高拴柱,董林,许映龙,等,2018. 2016 年西北太平洋台风活动特征和预报难点分析[J]. 气象,44(2):284-293. Gao S Z, Dong L, Xu Y L, et al, 2018. Analysis of the characteristics and forecast difficulties of typhoons in western north Pacific in 2016[J]. Meteor Mon,44(2):284-293. (in Chinese)

郭达烽,包慧濛,郑劲光,等,2014. 台风“潭美”(2013)影响江西期间的路径和降水诊断分析[J]. 气象与减灾研究,37(1):29-38. Guo DF, Bao H M, Zhen J G, et al, 2014. Typhoon “Trami” track and the precipitation diagnostic analysis during its impacting on Jiangxi[J]. Meteor Disaster Reduction Res,37(1):29-38. (in Chinese)

梁红丽,程正泉,2017. 2014 年两次相似路径影响云南台风降水差异成因分析[J]. 气象,43(11):1339-1353. Liang H L, Cheng Z G,2017. Cause analysis of precipitation difference between two typhoons influencing Yunnan along similar tracks in 2014[J]. Meteor Mon,43(11):1339-1353. (in Chinese)

田亚杰,黄泓,王春明,2018. 2016 年 01 号台风“尼伯特”对一次梅雨期降雨影响的数值试验[J]. 大气科学,42(2):383-397. Tian Y J, Huang H, Wang C M, 2018. A numerical study of Typhoon “Nepartak” impacts on a precipitation event during Meiyuperiod[J]. ChinJ Atmos Sci,42(2):383-397. (in Chinese)

万明,陈云辉,支树林,等,2015. 相似路径台风“派比安”(2006)和“威马逊”(2014)前部飑线过程对比分析[J]. 气象与减灾研究,38(3):43-52. Wan M, Chen Y H, Zhi S L, et al, 2015. Contrast analysis of pre-tropical cyclone squall lines preceding two typhoons with similar tracks[J]. Meteor Disaster Reduction Res,38(3):43-52. (in Chinese)

尹洁,金米娜,冯开明,等,2007. 三个进入江西的台风路径和暴雨形成机制对比分析[J]. 气象与减灾研究,30(2):18-22. Yin J, Jin M N, Feng K M, et al, 2007. Comparative analysis of three typhoons hitting Jiangxi on routes and mechanisms of heavy rainfall[J]. Meteor Disaster Reduction Res,30(2):18-22. (in Chinese)

张娟娟,刘波,张瑛,2021. 台风“鲇鱼”(1617)导致的江西持续性暴雨天气过程成因[J]. 气象与减灾研究,44(1):16-24. Zhang J J, Liu B, Zhang Y, 2021. Study on the causes of persistent rainstorm by Typhoon Megi (1617) in Jiangxi province [J]. Meteor Disaster Reduction Res,44(1):16-24. (in Chinese)

赵震,2019. 2016 年台风“莫兰蒂”结构特征的多源卫星探测分析[J]. 高原气象,38(1):156-164. Zhao Z, 2019. Multi-satellite observations on the structure characteristics of Typhoon Meranti in 2016[J]. Plateau Meteor,38(1):156-164. (in Chinese)

朱红芳,杨祖祥,王东勇,等,2019. 进入内陆的两个台风降水特征对比分析[J]. 气象学报,2019,77(2):268-281. Zhu H F, Yang Z X, Wang D Y, et al, 2019. Comparative analysis of the rainstorms caused by two typhoons in inland China [J]. Acta Meteor Sinica,77(2):268-281. (in Chinese)