

王媛,郑丽娜.2000—2021 年影响山东的北上台风分类及降水落区分析[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(2):162–169.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.02.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 2000—2021 年影响山东的北上台风分类及降水落区分析

王媛<sup>1</sup>,郑丽娜<sup>2</sup>

(1.东营市气象局,山东 东营 257091;2.济南市气象局,山东 济南 250102)

**摘 要:**将 2000—2021 年影响山东的 15 个台风,按大尺度环流形势进行分类,以台风登陆之后 500 hPa 中纬度是否存在槽进行分类,可以分为 3 类:(1)中纬度有槽且形成闭合中心,台风与槽结合,在山东产生暴雨以上量级的降水;(2)中纬度只有高空槽,降水范围最大;(3)中纬度无明显槽脊,降水量和降水范围最小。以西太平洋副热带高压(简称“副高”)的位置分类,可分为 3 类:(1)副高西伸脊点过 120°E 且北部边缘过 40°N,台风沿副高外围移动,降水最少;(2)副高西伸脊点不过 120°E 且北部边缘过 40°N,高空槽与副高在中国沿海交汇,降水范围广,山东降水与台风位置有关。位置偏西,降水范围大;位置偏东,降水主要集中在山东半岛地区;(3)副高西伸脊点不过 120°E 且北部边缘不过 40°N,台风环流中心较强,降水最强。以 700 hPa 环流形势分类,分为 3 类:(1)700 hPa 有高压坝,降水范围最小;(2)700 hPa 无高压坝,东北地区有冷涡,山东降水量和降水范围最大;(3)700 hPa 无高压坝,中纬度存在大槽,降水量均可达大暴雨量级。

**关键词:**台风;降水落区;副热带高压;西风槽;高压坝

**中图分类号:**P457.8

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-0799(2023)02-0162-08

热带气旋是发生在热带海洋上的一种具有暖中心结构的强烈的气旋性涡旋,我国和东亚地区将这种热带气旋称为台风。据统计,我国年均遭受 9.3 个台风袭击,居世界首位,对人民生命安全和财产安全有巨大威胁<sup>[1]</sup>。山东省地处东部沿海,濒临西北太平洋,易受台风的影响。2000—2021 年,有 15 个北上台风经过山东,在登陆之前及登陆期间,给山东带来大风、暴雨及次生灾害。

对于台风降水的研究较多,董加斌等<sup>[2]</sup>利用气候资料,按路径趋势,将登陆浙江的台风路径及暴雨落区分为 3 类,得出在登陆浙江的台风中西北行路径出现次数最多,降水量最大。西北太平洋的热带气

旋,变性后强降水呈现明显的非对称性<sup>[3]</sup>,强降水出现频数以东北象限频次最高,西南象限最低。台风在变性过程中,强降水高频区向北移,但仍位于东北象限,强降水释放大潜热,造成局地加热,使气柱中显热能大量积累,对地面倒槽和中小尺度涡旋有一定反作用,使得台风变性期间,北侧外围降水强度略有增加<sup>[4-5]</sup>。

高晓梅等<sup>[6]</sup>分析发现近 67 年影响山东的台风主要集中在 7 月下旬—8 月下旬,尤以 8 月上旬最多。目前,对于登陆台风的预报能力不足,主要表现在对于强降水的落区、强度和分布的预报能力上<sup>[7]</sup>,陈联寿等<sup>[8]</sup>研究表明,影响台风暴雨落区的因子主要有台风涡旋内部结构、台风周围环境大气影响、台风下垫面强迫作用。孙兴池等<sup>[9]</sup>通过分析北上影响山东的 2 个台风,认为台风暴雨的非对称性除与台风本身的非对称结构有关外,还与台风进入西风带后冷空气及西太平洋副热带高压的作用有关。黄昌

收稿日期:2021-11-03;修回日期:2022-02-18

基金项目:山东省重点课题(2019sdqzx09);山东省自然科学基金面上项目(ZR2021MD012)

作者简介:王媛(1988—),女,工程师,主要从事天气预报及海气相互作用相关研究。E-mail:sdwfwangyuan@163.com

兴等<sup>[10]</sup>分析了 2 次影响山东半岛的台风暴雨,发现 2 次降水中心均出现在台风中心左侧 2 个经度内与 500 hPa  $\theta_{se}>72^{\circ}\text{C}$  的高能区相吻合。卜松等<sup>[11]</sup>对北上登陆华东的台风研究认为北上台风降水与副高的形状分布、环境水平风垂直切变、温度平流及水汽辐合有关。

针对台风的研究多集中于某个台风路径及成因分析<sup>[12-15]</sup>,而本文针对 2000—2021 年北上登陆或影响山东的 15 个台风按大尺度环流背景进行分类,对于每类的环流形势特征、降水等进行概括,总结出概念模型,以期对登陆北上台风的预报起到积极作用。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

主要资料:(1)MICAPS 6 h 和 08 时 24 h 间隔降水资料;(2)中央气象台台风网记录台风路径、强度;(3)NCEP 再分析数据,6 h 间隔风场、高度场、温度场,分辨率为  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。

2000—2021 年影响或者直接登陆山东的台风主要有 15 个。其中桃芝、风神、米雷和利奇马在山东登陆(表 1)。

### 1.2 分类方法

关于台风的分类方法有很多,孙莎莎等<sup>[16]</sup>按时

空进行简单的分类,得到一些统计学规律;高晓梅等<sup>[6]</sup>按台风路径将影响山东的台风分为 6 类;董加斌等<sup>[2]</sup>按登陆浙江的台风在进入东海时路径趋势,将登陆浙江台风分为 3 类;卜松等<sup>[10]</sup>按台风登陆后降水的位置分为台风左侧降水和右侧降水两种类型。以上分类均是按地面气象要素进行,而影响台风路径的主要环境因素是西风槽和副高。因此,本文按影响台风的环流系统,控制单一变量,分为 3 类。分别为:影响山东时中高纬度 500 hPa 是否存在高空槽、副高西伸脊点和 588 dagpm 线北部边缘位置及 700 hPa 环流形势特征。

中高纬度 500 hPa 上游是否存在高空槽,可以大致判断台风在北上过程中高空槽对其影响。据此将台风大致分为 3 类,即 A 类(高空存在大槽,有闭合环流中心)、B 类(高空存在大槽,无闭合环流中心)、C 类(无明显槽脊)。

副高西伸脊点和 588 dagpm 线北部边缘位置,可以大致判断副高在台风北上过程中的影响。据此将台风大致分为 3 类,即 A 类(西伸脊点过  $120^{\circ}\text{E}$  且 588 dagpm 线北部边缘过  $40^{\circ}\text{N}$ )、B 类(西伸脊点不过  $120^{\circ}\text{E}$  但 588 dagpm 线北部边缘过  $40^{\circ}\text{N}$ )、C 类(西伸脊点不过  $120^{\circ}\text{E}$  且 588 dagpm 线北部边缘不过  $40^{\circ}\text{N}$ )。

表 1 2000—2021 年影响或者直接登陆山东的台风

| 台风        | 编号 | 编号时间              | 登陆中国大陆时间                | 登陆速度<br>$/(m\cdot s^{-1})$ | 进入山东时间                      | 进入山东时速度<br>$/(m\cdot s^{-1})$ |
|-----------|----|-------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 2001 年桃芝  | 8  | 7 月 25 日—8 月 2 日  | 7 月 31 日 02 时           | 30                         | 8 月 1 日 14—20 时(青岛)         | 15                            |
| 2002 年风神  | 9  | 7 月 14 日—7 月 28 日 | 7 月 27 日 20 时—28 日 02 时 | 15                         | 7 月 27 日 20 时—28 日 02 时(青岛) | 15                            |
| 2004 年海马  | 20 | 9 月 11 日—9 月 16 日 | 9 月 13 日 08—14 时        | 18                         | 9 月 14 日 14—20 时            | 15                            |
| 2005 年麦莎  | 9  | 7 月 30 日—8 月 9 日  | 8 月 6 日 02—08 时         | 33~45                      | 8 月 8 日 02—08 时             | 15                            |
| 2005 年卡努  | 15 | 9 月 5 日—9 月 13 日  | 9 月 11 日 14—20 时        | 33~50                      | 9 月 12 日 20 时—13 日 02 时     | 18                            |
| 2007 年韦帕  | 12 | 9 月 5 日—9 月 13 日  | 9 月 19 日 02—08 时        | 45                         | 9 月 20 日 14—20 时            | 18                            |
| 2011 年米雷  | 5  | 6 月 21 日—6 月 27 日 | 6 月 26 日 20 时           | 23                         | 6 月 26 日 20 时(半岛)           | 23                            |
| 2012 年达维  | 10 | 7 月 27 日—8 月 4 日  | 8 月 2 日 20 时—3 日 02 时   | 35                         | 8 月 3 日 02—08 时             | 30                            |
| 2014 年麦德姆 | 10 | 7 月 17 日—7 月 26 日 | 7 月 23 日 14—20 时        | 30~33                      | 7 月 25 日 08—14 时            | 20                            |
| 2018 年安比  | 10 | 7 月 17 日—7 月 24 日 | 7 月 22 日 12—13 时        | 25                         | 7 月 23 日 12 时               | 20                            |
| 2018 年摩羯  | 14 | 8 月 7 日—8 月 14 日  | 8 月 12 日 23—24 时        | 25                         | 8 月 14 日 02—05 时            | 16                            |
| 2018 年温比亚 | 18 | 8 月 15 日—8 月 21 日 | 8 月 17 日 04—05 时        | 23                         | 8 月 19 日 17—20 时            | 16                            |
| 2019 年利奇马 | 9  | 8 月 4 日—8 月 13 日  | 8 月 11 日 01—02 时        | 23                         | 8 月 11 日 20—21 时(青岛)        | 23                            |
| 2020 年黑格比 | 4  | 8 月 1 日—8 月 6 日   | 8 月 3 日 00—01 时         | 38                         | 8 月 5 日 20 时                | 18                            |
| 2021 年烟花  | 6  | 7 月 18 日—7 月 30 日 | 7 月 25 日 12—13 时        | 38                         | 7 月 29 日 08—11 时            | 15                            |

另外,在统计中发现北上台风在 700 hPa 以下多存在高压坝,据此特征,将台风大致分为 3 类,即 A 类(700 hPa 及以下有高压坝)、B 类(700 hPa 没有高压坝,但东北地区有冷涡)、C 类(700 hPa 没有高压坝,但中纬度有明显大槽)。

## 2 台风分类及降水落区

### 2.1 500 hPa 中高纬度是否存在高空槽

在 15 个台风中,属于 A 类的有 3 个,B 类的有 5 个,C 类的有 7 个。具体分类见表 2。

表 2 根据影响山东时中高纬度 500 hPa 环流形势分类

| 分类  | 台风        |           |          |
|-----|-----------|-----------|----------|
| A 类 | 2019 年利奇马 | 2014 年麦德姆 | 2011 年米雷 |
| B 类 | 2021 年烟花  | 2018 年温比亚 | 2007 年韦帕 |
|     | 2004 年海马  | 2001 年桃芝  |          |
| C 类 | 2020 年黑格比 | 2018 年摩羯  | 2018 年安比 |
|     | 2012 年达维  | 2005 年卡努  | 2005 年麦莎 |
|     | 2002 年风神  |           |          |

#### 2.1.1 A 类

200 hPa 在日本北海道上空有强高空急流,最大风速 $\geq 48$  m/s;500 hPa 存在高空槽且有闭合中心,该层槽线在 120°E 附近(图 1a)。1 000~500 hPa 均可见闭合环流中心,且其中心位置自低层到高层略向西北倾斜。冷平流位置从高层到低层呈逆时针旋转,冷空气从高层槽后沿西北气流入侵,这与孙莎莎等的研究结果一致<sup>[16]</sup>。在山东附近,台风与高空槽后冷空气结合,槽得以发展加强,500 hPa 出现闭合低压环流系统。地面台风环流中心大致沿海岸线向正北移动。台风登陆前降水主要位于台风偏北的位

置,登陆后由于低涡系统加强,台风变性,逐渐转为冷暖空气交汇造成的降水,冷暖平流交汇处的能量锋对强降水有很好的指示作用<sup>[17]</sup>,此时降水基本位于台风的东北象限(图 1a),降水范围和强度增大。此类型中 2019 年台风“利奇马”降水量最大,降水主要集中在鲁西南到鲁西北部地区,台风与槽结合后,降水落区随西风槽自西向东移动。具体的概念模型见图 1b。

#### 2.1.2 B 类

500 hPa 存在深槽但无闭合环流中心。200 hPa 高空急流较强,最大风速 $\geq 44$  m/s。200 hPa 槽大致在 110°E 附近,500 hPa 槽在 110°~120°E。500 hPa 槽及槽前为冷平流,槽后为暖平流,副高相对较强,存在 588 dagpm 闭合等值线。500 hPa 温度槽落后于高度槽,冷平流将冷空气带入台风环流中心,槽在东移过程中与台风环流结合,槽加深(图 2a)。700 hPa 中纬度基本为平直气流,500 hPa 高空槽前在山东、江苏一带有气旋环流中心。地面台风环流中心在与西风槽结合后,向东北向移动,移速较快。台风登陆前降水位于台风偏北方向,多为台风倒槽降水;刚登陆时降水分为两部分:一部分是倒槽降水,一部分是台风外围降水。到达山东时,700 hPa 以下环流中心基本垂直,位于 500 hPa 槽前,配置类似于气旋,降水位于 500 hPa 槽前、地面环流中心附近或略偏东北侧。此类型中 2018 年台风“温比亚”日降水量最大,台风自鲁西南进入山东,在台风路径上造成强降水,鲁西北部出现特大暴雨。具体的概念模型见图 2b。

#### 2.1.3 C 类

500 hPa 无明显槽脊(图 3a)。200 hPa 有明显高空槽,槽线位于 110°E 略偏东,在我国黑龙江省

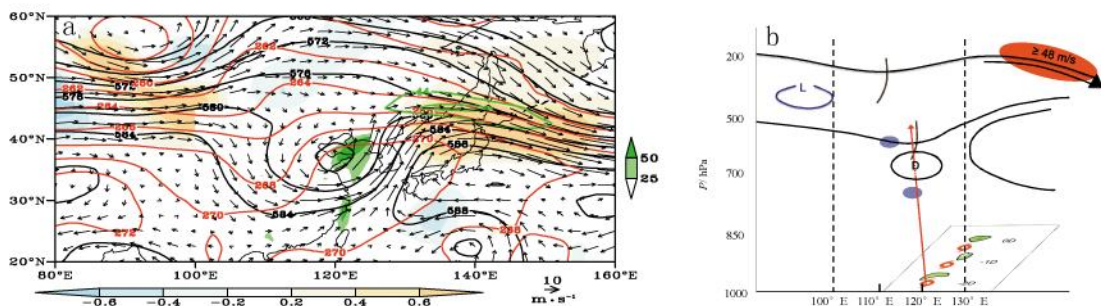


图 1 500 hPa 平均风场、高度场(黑色实线,单位:dagpm)、温度场(红色实线,单位:K)、温度平流(填色,右侧色标,单位: $10^{-2}$  K/s)、台风登陆当天 24 h 降水量(填色,右侧色标,单位:mm)、200 hPa 风速 $\geq 44$  m/s (绿色实线)(a,下同)和 A 类情况简图(b,黑色实线为等压线,蓝色实线为等温线,棕色实线为槽线,黑色双实线为高空急流,红色箭头为环流中心随高度变化方向,深红色填色为急流最大风速区,蓝色填色为冷平流,绿色填色为降水区,下同)

到日本北海道上空有高空急流,最大风速 $\geq 36$  m/s。从低层到高层副高都稳定且强大,西风槽弱,对台风基本无影响。平均场上,700 hPa 以下有高压坝位于台风前进方向前沿,台风偏南气流与高压坝交汇处有很强暖平流。台风登陆前降水位于台风偏北方向,登陆后降水位于台风东北向,登陆前后降水强度变化不大,较前两种情况降水强度和范围都偏小。此类型中 2018 年台风“摩羯”降水量最大,主要降水出现在鲁西北和鲁南,由于西风环流平直,其对台风降水影响较小,为台风本身造成的降水。具体的概念模型见图 3b。

## 2.2 影响山东时副高的位置

按副高位置分类,在 15 个台风中,A 类有 6 个,B 类有 4 个,C 类有 5 个。具体分类见表 3。

表 3 根据影响山东时副高的位置分类

| 分类  | 台风        |           |          |
|-----|-----------|-----------|----------|
| A 类 | 2020 年黑格比 | 2018 年摩羯  | 2018 年安比 |
|     | 2014 年麦德姆 | 2005 年卡努  | 2002 年风神 |
| B 类 | 2019 年利奇马 | 2012 年达维  | 2011 年米雷 |
|     | 2007 年韦帕  |           |          |
| C 类 | 2021 年烟花  | 2018 年温比亚 | 2005 年麦莎 |
|     | 2004 年海马  | 2001 年桃芝  |          |

### 2.2.1 A 类

副高西伸脊点过  $120^{\circ}\text{E}$  且 588 dagpm 线北部边缘过  $40^{\circ}\text{N}$ 。200 与 500 hPa 槽线位置基本一致,槽较浅。200 hPa 在我国黑龙江省到日本北海道上空有高空急流,最大风速 $\geq 40$  m/s。500 hPa 弱槽底部有冷平流,槽前后均为弱暖平流,副高势力强,存在闭合 588 dagpm 线(图 4a)。700 hPa 高度脊较强,700 hPa 及以下有高压坝。台风影响山东的前 2 d,在台风北偏西地区有弱降水。随着台风北上,降水强度增大,影响山东前 1 d,降水主体移至台风东北侧与副高边缘结合处。台风影响山东时由于副高西伸较强,台风沿副高外围移动,多深入内陆,水汽较少,导致降水强度和范围减小,降水主体位于台风的东北方向。例如 2018 年台风“摩羯”,降水偏于山东西部。具体的概念模型见图 4b。

### 2.2.2 B 类

副高西伸脊点不过  $120^{\circ}\text{E}$ ,但 588 dagpm 线北部边缘过  $40^{\circ}\text{N}$ 。200 hPa 槽线比 500 hPa 槽线偏西,200 hPa 高空槽较深,槽底可达  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ,500 hPa 西风槽在与台风结合后可以到  $20^{\circ}\text{N}$  附近。200 hPa 在日本北部上空有强高空急流,最大风速 $\geq 48$  m/s。500 hPa 槽及槽前为冷平流,槽后为弱暖平流,副高势力较强,存在闭合等值线(图 5a)。700 hPa 中纬度环流较平,台风环流中心从低层到 700 hPa 基本垂直。台风影响山东前 2 d,产生的降水较少,离台风

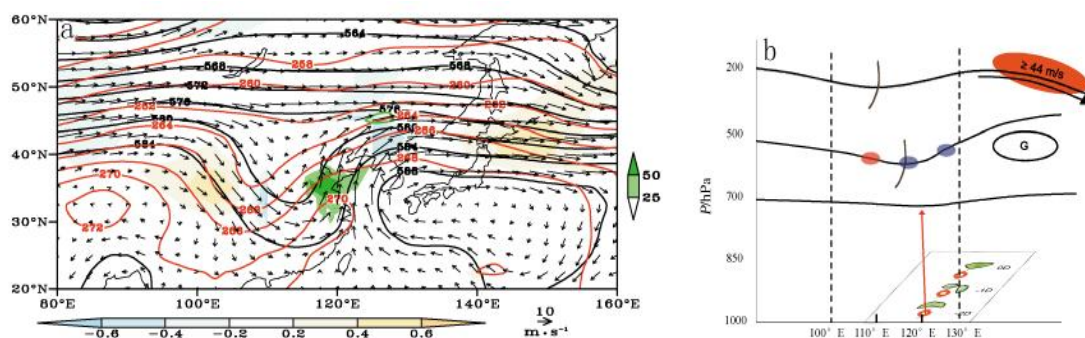


图 2 500 hPa(a)和 B 类情况简图(b,浅红色填色为暖平流)

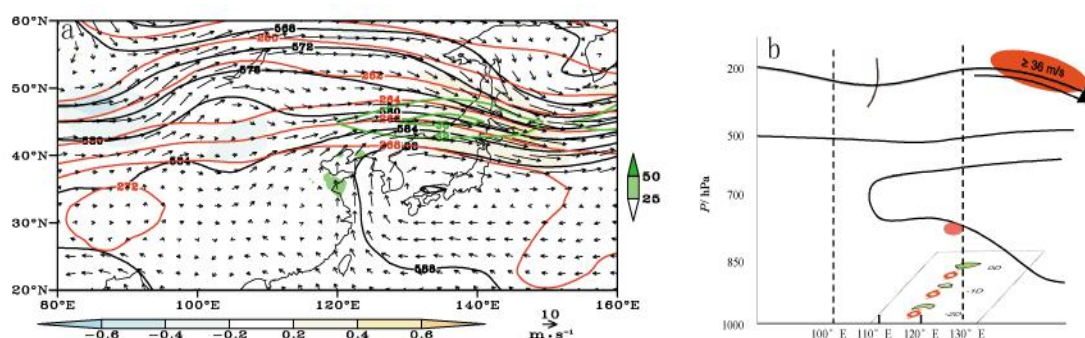


图 3 500 hPa(a, 200 hPa 风速 $\geq 32$  m/s(绿色实线))和 C 类情况简图(b,浅红色填色为暖平流)

中心位置较远的倒槽顶端有弱降水。随着台风北上,降水强度增大,影响山东前1 d降水主体移至台风的东北象限,台风与西风槽结合后降水强度和范围进一步扩大,台风的第一和第二象限都是较强降水区,甚至第四象限也有降水。值得注意的是,降水与台风登陆位置有关,若台风位置偏西,则山东降水范围大(2019年“利奇马”台风全省大部地区出现大暴雨),若台风位置偏东,则很快移出,在山东的降水量和降水强度不大(2011年“米雷”台风日最大降水量为82 mm,且集中在半岛地区)。具体的概念模型见图5b。

### 2.2.3 C类

副高西伸脊点不过120°E,且588 dagpm线北部边缘也不过40°N。200 hPa槽线位置比500 hPa槽线偏西,槽底延伸至30°N附近,而500 hPa高空槽在与台风结合后可达25°N附近。200 hPa在我国东北到日本北海道上空存在高空急流,最大风速 $\geq$

36 m/s。500 hPa槽底部有较强的冷平流、槽前有弱冷平流、槽后为暖平流,副高势力较A、B类弱(图6a)。700 hPa华北上空为弱脊,700 hPa以下有弱高压坝,随着台风北移,高压坝被台风环流切断。在台风影响山东前2 d,降水主要位于台风东北部,降水强度不强,降水范围比A、B类大。随着台风北上,降水强度和范围开始增大,影响山东前1 d,降水主体移至台风北偏西处,在台风东北向和东侧为弱降水。由于副高退至海上,台风多沿海岸线移动,水汽相对充足,台风与西风槽结合后主雨带范围增大,降水位于台风北侧。此类型中2005年台风“麦莎”由于副高偏东,使得台风位置偏东,在半岛和鲁西北东部造成强降水。具体的概念模型见图6b。

### 2.3 影响山东时700 hPa环流形势

按700 hPa环流形势分类,在15个台风中,A类有8个,B类有3个,C类有4个。具体分类见表4。

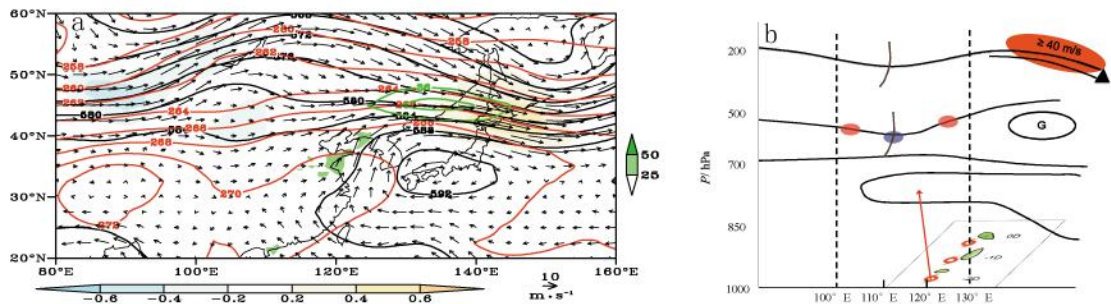


图4 500 hPa(a, 200 hPa 风速 $\geq 36$  m/s(绿色实线)和A类情况简图(b, 浅红色填色为暖平流)

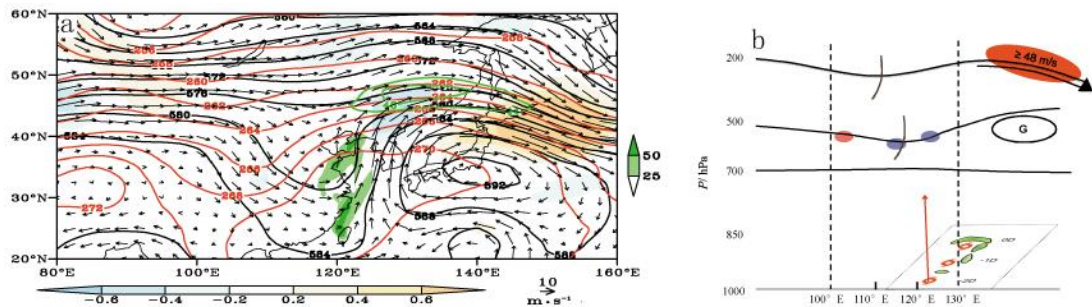


图5 500 hPa(a)和B类情况简图(b, 浅红色填色为暖平流)

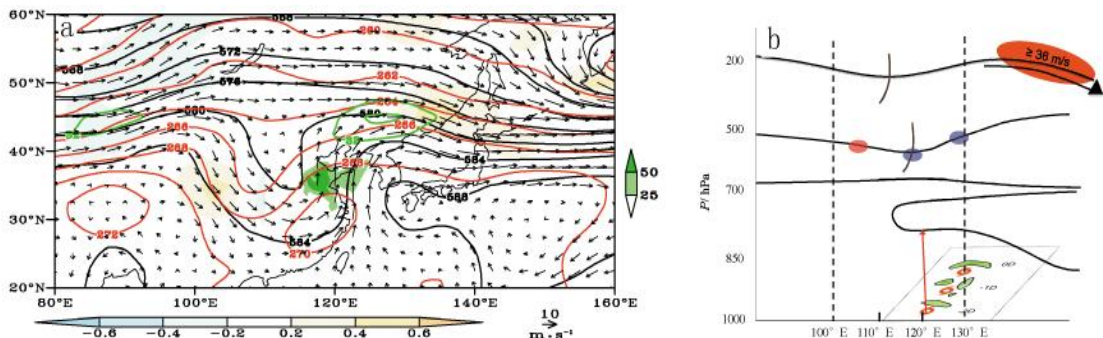


图6 500 hPa(a, 200 hPa 风速 $\geq 32$  m/s(绿色实线)和C类情况简图(b, 浅红色填色为暖平流)

表 4 根据影响山东时 700 hPa 环流形势分类

| 分类  | 台风        |           |          |
|-----|-----------|-----------|----------|
| A 类 | 2020 年黑格比 | 2018 年安比  | 2018 年摩羯 |
|     | 2012 年达维  | 2011 年米雷  | 2005 年卡努 |
|     | 2005 年麦莎  | 2002 年风神  |          |
| B 类 | 2018 年温比亚 | 2014 年麦德姆 | 2001 年桃芝 |
| C 类 | 2021 年烟花  | 2019 年利奇马 | 2007 年韦帕 |
|     | 2004 年海马  |           |          |

## 2.3.1 A 类

A 类台风前进方向有高压坝阻挡,200 hPa 槽较深,可延伸至  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ,存在  $\geq 36\text{ m/s}$  的高空急流。500 hPa 高纬度地区有弱脊,脊前为弱冷平流,脊后为弱暖平流,中纬度为弱槽,588 dagpm 线位置偏东。低层到 500 hPa 在台风前进方向均存在较强高压坝,台风到达山东时,700 hPa 高压坝被台风分为 2 部分(图 7a)。700 hPa 在台风环流与副高交汇处有较强暖平流。从低层到 700 hPa 环流中心垂直。台风登陆前降水位于台风北侧,范围和强度较小,登陆后降水位于台风东北侧暖湿气流与副高交汇处。登陆后范围和强度都略有增加,但是相较于其他方式,由于副高较强,没有冷空气配合,纯台风降水,平均降水量较小。例如 2018 年台风“安比”,只在台

风前进方向与副高交汇处产生降水。具体的概念模型见图 7b。

## 2.3.2 B 类

700 hPa 没有高压坝,在东北地区有冷涡。此类 200 与 500 hPa 槽都比较深,200 hPa 槽线位置比 500 hPa 偏西,均可延伸至  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ,在黑龙江省到日本海上空有  $\geq 48\text{ m/s}$  的强高空急流。500 hPa 槽及槽前为弱冷平流,槽后弱暖平流,冷涡随时间向下游移动。700 hPa 高纬度为弱脊,中纬度副高被台风分离,大陆上有高压中心。从低层到 700 hPa 环流中心基本垂直(图 8a)。影响山东前 2 d 台风已经登陆我国大陆,降水主要位于台风东南侧,北部受台风倒槽影响有弱降水。随台风北上,与西风槽结合,降水强度增大,影响山东前 1 d 降水主体由台风东南侧转至与西风槽结合的西北侧,东南侧仍有降水。由于冷涡的作用,台风环流多可以穿过山东继续北上,降水主体由西北侧向东北侧移动,同时在台风东南侧仍有降水,强降水偏于山东东部。例如 2014 年台风“麦德姆”,在山东降水主要在半岛、鲁南地区,位于台风东北侧。具体的概念模型见图 8b。

## 2.3.3 C 类

700 hPa 没有高压坝,中纬度有明显大槽,东北地区为较平直西风气流。200 hPa 槽线位置在

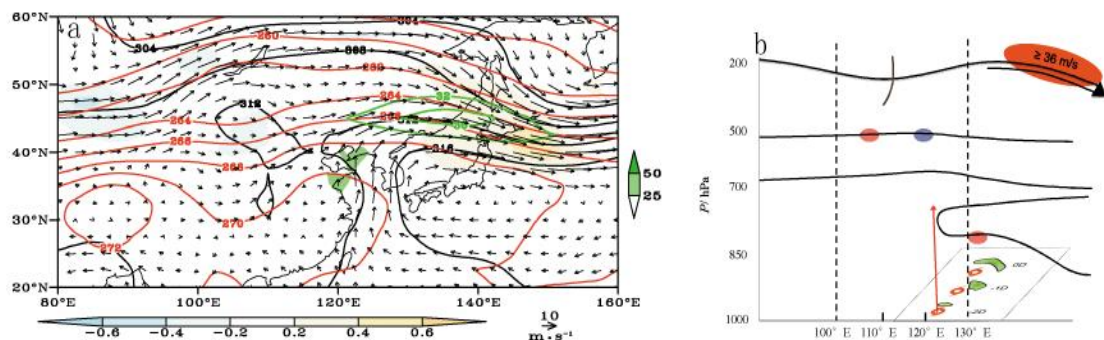


图 7 500 hPa(a,700 hPa 平均高度场(黑色实线,单位:dagpm)、200 hPa 风速  $\geq 32\text{ m/s}$ (绿色实线))和 A 类情况简图(b,浅红色填色为暖平流)

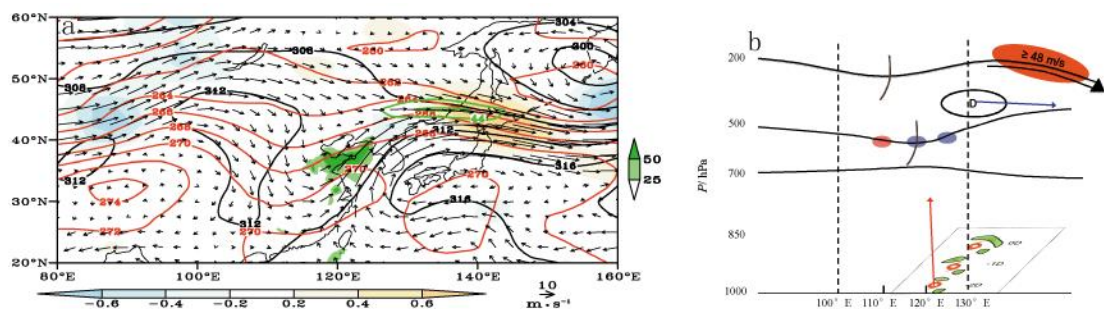


图 8 500 hPa(a,700 hPa 平均高度场(黑色实线,单位:dagpm)、200 hPa 风速  $\geq 32\text{ m/s}$ (绿色实线))和 B 类情况简图(b,浅红色填色为暖平流,蓝色箭头表示低涡中心随时间移动方向)

110°E 偏西,500 hPa 槽线位置在 110°~120°E,槽较深,延伸至 25°N 附近。同时在我国东北地区有强高空急流,风速 $\geq 48$  m/s。500 hPa 槽及槽前为冷平流,槽后暖平流,存在闭合 588 dagpm 线。700 hPa 槽与台风结合后发展,从低层到 700 hPa 在鲁西南、苏北地区均存在闭合的气旋性环流中心(图 9a)。在低压环流东北侧有暖平流,西南侧有冷平流。从低层到 700 hPa 环流中心略向西北倾斜。台风登陆前(与西风槽结合前)降水较少,以分散性降水为主。与西风槽结合后,由于冷空气的加入,降水明显增加,在台风北上的过程中,降水范围逐渐增大,从东北侧和北侧逐渐扩大到整个东侧和北侧,有 2 个降水中心,分别位于台风西北和东南向(图 9a)。此类中 2004 年“海马”从山东中部穿过山东,除半岛外都有大雨以上降水。具体的概念模型见图 9b。

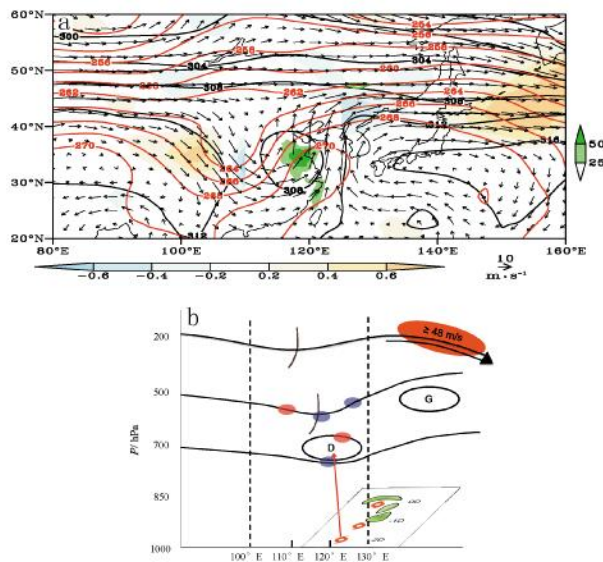


图9 500 hPa(a,700 hPa 平均高度场(黑色实线,单位:dagpm)、200 hPa 风速 $\geq 32$  m/s(绿色实线)和 C 类情况简图(b,浅红色填色为暖平流,蓝色箭头表示低涡中心随时间移动方向))

### 3 结论

根据 2000—2021 年影响山东的 15 个台风按不同分类方式进行分类,分别对高低空环流形势及降水强度及落区进行分析,得到以下结论:

(1)根据影响山东的 500 hPa 环流特征分类,若西风槽与台风结合后出现闭合环流中心(A类),则高空槽位置、高空急流位置较其他形势偏东,此种形势副高最弱。冷中心从高层到低层逆时针旋转,冷空气从高层到低层侵入台风内部。在山东往往产生暴雨以上量级的降水,主要位于台风东北象限。若中纬度

仅存在大槽(B类),副高范围最大,中心强度最强,500 hPa 存在 592 dagpm 闭合等值线,暖湿气流在山东地区汇合,加之有冷空气配合,降水范围更大。若中纬度无明显槽脊(C类),200 hPa 急流最弱,此时在山东地区也有暖湿空气的辐合,因为冷空气较弱或不存在冷空气活动,降水量和降水范围最小。

(2)按副高位置分类,副高西伸脊点不过 120°E 和 588 dagpm 线北部边缘过 40°N 时(B类),200 hPa 急流更强,高空槽更深,副高主体位于西北太平洋上,与高空槽在中国沿海交汇,低层副高边缘有较强西南风急流,降水范围最大。此种形势下降水与台风登陆位置有关,若台风位置偏西,则山东降水范围大(如 2019 年“利奇马”);若台风位置偏东,则很快移出,在山东的降水量和范围都不大(如 2011 年“米雷”)。A 类副高西伸脊点过 120°E 且 588 dagpm 线北部边缘过 40°N,副高范围较大,台风沿副高外围移动,700 hPa 以下有很强高压坝,降水在暖湿气流与高压坝交汇处,很难到达山东地区,降水最少,最大降水量仅为 38 mm。C 类较前两类高空槽可以延伸至更南的位置,700 hPa 以下也有高压坝,但较弱,台风环流中心较 A 类可以更偏东,水汽更充足,对山东地区造成的降水最强。

(3)按 700 hPa 环流形势分类,若有高压坝(A类),暖湿空气被高压坝阻挡,降水范围最小。若东北地区存在冷涡(B类),随着冷涡向下游移动,高空槽也快速移动,并与台风结合,在此过程中高纬度保持气流交换,有冷空气入侵,在山东造成的降水量和降水范围最大。若中纬度存在大槽(C类),东北地区为较为平直西风气流,西风槽与台风结合后槽加强,形成闭合性环流中心,逐渐脱离大槽,斜压性增强,在山东造成较强降水,日最大降水量均可达大暴雨量级。

### 参考文献:

- [1] 端义宏,陈联寿,梁建茵,等.台风登陆前后异常变化的研究进展[J].气象学报,2014,72(5):969-986.
- [2] 董加斌,黄新晴.登陆浙江的台风路径分类和暴雨落区分析[J].浙江气象,2019(3):13-19.
- [3] 郑丽娜,王媛,张子涵.2019 年台风利奇马引发山东特大暴雨成因分析[J].气象科技,2021,49(3):437-445.
- [4] 王佳琪,李英.西北太平洋热带气旋变性过程中的风及降水分布变化特征分析[J].大气科学,2019,43(6):1329-1343.
- [5] 潘劲松,周玲丽,陆玮,等.两个相似路径台风残余造成局地特大暴雨的成因机制和能量收支对比分析[J].大气科学,2019,43(6):1399-1412.

- [6] 高晓梅,江静,刘畅,等.近 67 a 影响山东台风频数的变化特征及其与若干气候因子的关系[J].气象科学,2018,38(6):749–758.
- [7] 任福民,向纯怡.登陆热带气旋降水预报研究回顾与展望[J].海洋气象学报,2017,37(4):8–18.
- [8] 陈联寿,孟智勇,丛春华.台风暴雨落区研究综述[J].海洋气象学报,2017,37(4):1–7.
- [9] 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.
- [10] 黄昌兴,江敦双,李欣,等.影响山东半岛的两次台风暴雨对比分析[J].气象与环境科学,2015,38(3):70–77.
- [11] 卜松,李英.华东登陆热带气旋降水不同分布的对比分析[J].大气科学,2020,44(1):27–38.
- [12] 郑丽娜,夏金鼎,王俊喜.2018 年 8 月两次登陆北上台风移向的先兆信号分析[J].灾害学,2019,34(4):131–136.
- [13] 金荣花,高拴柱,顾华,等.近 31 年登陆北上台风特征及其成因分析[J].气象,2006,32(7):33–39.
- [14] 曹钢锋,朱官忠,朱君鉴.影响我国北方的台风路径分类及降水特征[J].气象,1992,18(7):12–16.
- [15] 孙密娜,韩婷婷,王艳春.北上台风“安比”强降水落区变化特征及其成因[J].干旱气象,2020,38(4):569–580.
- [16] 孙莎莎,丛春华,魏萌,等.1949—2014 年影响山东的变性台风特征分析[J].气象科技,2017,45(1):157–163.
- [17] 梁军,冯呈呈,张胜军,等.台风“温比亚”(1818)影响辽东半岛的预报分析[J].干旱气象,2020,38(2):280–289.

## Classification of Northward Typhoons Affecting Shandong Province and Precipitation Area During 2000–2021

WANG Yuan<sup>1</sup>, ZHENG Lina<sup>2</sup>

(1. Dongying Meteorological Bureau, Dongying 257091, China;

2. Jinan Meteorological Bureau, Jinan 250102, China)

**Abstract** 15 typhoons affecting Shandong province from 2000 to 2021 are classified according to the large-scale circulation situation. The results indicate that, according to the troughs in the middle latitude of 500 hPa after the typhoon landfall, the typhoons can be divided into three categories: (1) There is a trough in the middle latitude, and a closed center is formed. The typhoon combines with the trough to produce torrential rain in Shandong province. (2) There is only an upper-level trough, and the precipitation area is the widest. (3) There is no apparent trough, and the precipitation and precipitation area are the smallest. According to the location of the subtropical high, they can also be divided into three categories: (1) The west ridge point of the subtropical high exceeds 120°E and the northern edge exceeds 40°N. Shandong province has the least precipitation. (2) The west ridge point of the subtropical high is no more than 120°E and the northern edge exceeds 40°N. The trough and the subtropical high converge on the coast of China. The precipitation relates to the position of typhoons. (3) The west ridge point of the subtropical high is no more than 120°E and the northern edge is no more than 40°N. The center of the typhoon is stronger, and the precipitation is the strongest. Classification by 700 hPa circulation: (1) There is a high-pressure barrier at 700 hPa, and the precipitation area is the minimum. (2) There is no high-pressure barrier at 700 hPa, but northeast China has a cold vortex. The precipitation area is the widest. (3) There is no high-pressure barrier at 700 hPa, and there is a significant trough in the middle latitude. The precipitation can reach the magnitude of a rainstorm.

**Key words** typhoon; precipitation area; subtropical high; westerly trough; high pressure barrier