

张琪,王坤,陈铁,等. 登陆北上东路热带气旋对南通市暴雨影响对比分析 [J]. 陕西气象, 2023(2): 21-27.

文章编号: 1006-4354(2023)02-0021-07

登陆北上东路热带气旋对南通市暴雨影响对比分析

张琪, 王坤, 陈铁, 吴彩霞, 顾天真

(南通市气象局, 江苏南通 226018)

摘要: 利用《热带气旋年鉴》、常规地面观测资料和 ECMWF $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 统计 1992—2020 年南通市热带气旋暴雨气候特征, 对登陆北上东路路径下, 南通市出现和未出现暴雨的热带气旋进行合成对比分析。结果表明: 8 月和 9 月南通市受热带气旋影响产生暴雨的次数最多, 登陆北上东路类的热带气旋产生暴雨的概率最大, 为 72.2%; 此路径下出现暴雨时, 200 hPa 南亚高压存在多个中心, 中纬度地区有一支 ≥ 28 m/s 的西风大风速带, 500 hPa 副高西伸脊点在 120°E 附近, 南通市处在热带气旋东南侧, 气旋北部有西风槽东移, 850 hPa 上在华东沿海存在两支较强的西南风和东南风大风速带, 在热带气旋中心和南通市之间建立了水汽和能量的输送通道; 暴雨发生期间, 南通市上空维持着高能高湿的充沛能量, 水汽通量 ≥ 18 g/(cm · hPa · s), 1 000~700 hPa 均为水汽通量的辐合区, 整层大气均为上升运动, 垂直速度中心位于 400 hPa 附近, 最大上升速度为 -400 Pa/s。

关键词: 南通市; 北上东路热带气旋; 暴雨; 合成分析

中图分类号: P426.62

文献标识码: A

台风是造成我国强降水的主要天气系统之一^[1]。近年来, 我国台风暴雨研究取得了较明显的进展。杨晓霞等^[2]发现, 台风在华南登陆和活动时, 西风带环流的明显不同以及水汽和温湿能的输送条件差异将影响山东省是否出现远距离暴雨。中纬度天气系统(如高低空急流、西风槽、冷空气等)与台风环流相互作用, 提供了暴雨产生的环境背景场^[3-4]。尽管目前台风暴雨研究取得相当进展, 然而对台风降水的预报尤其是登陆时和登陆后的暴雨的强度和分布预报仍然十分困难^[5]。这是由于台风暴雨的预报不仅涉及到台风路径、强度、移速、本身结构, 还与台风环流与下垫面、不同纬度的不同尺度环流系统的相互作用有关^[6-9]。对台风暴雨的研究, 多为典型个例的数值分析和模拟, 缺乏统计特征和天气学概念模型的

研究及环流特征的对比分析^[10-12]。所以探讨适用于本地的台风暴雨预报指标, 为今后本地区的台风暴雨预报提供参考。

南通市地处我国东部沿海, 位于江苏省东南, 地理位置得天独厚, 滨江靠海, 气候宜人, 但是由于沿海的地理位置, 台风来临时造成的影响往往比内陆城市更大, 台风暴雨是南通市最严重的气象灾害之一。南通市平均每年都会受到 2~3 个台风影响, 严重威胁人民的生命财产安全。本文将利用《热带气旋年鉴》、常规地面观测资料和 ECMWF $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料对造成南通市暴雨的热带气旋进行统计分析, 选取两组北上东路移动路径下, 出现暴雨和未出现暴雨影响的热带气旋个例, 从环流特征、动力、水汽、热力条件等方面进行对比分析。

收稿日期: 2021-12-15

作者简介: 张琪(1987—), 女, 汉族, 江苏南通人, 学士, 工程师, 主要从事短期天气预报及其研究。

基金项目: 江苏省气象局青年基金(KQ202206); 南通市气象局科研项目(NQK202101); 南通市气象局科研项目(NQK202003)

1 资料及方法

采用 1992—2020 年《热带气旋年鉴》和南通市常规地面观测资料,按照日降雨量(20—20 时) ≥ 50 mm 的标准统计暴雨日。

从登陆北上东路类热带气旋样本中分别选取两组降水特征差异明显的有暴雨热带气旋和无暴雨降水热带气旋。选择这两组样本时考虑到他们的日降水差异明显,同时影响季节和强度相近。有暴雨热带气旋选 3 个(0509、0515 和 0908),无暴雨热带气旋选 3 个(9507、0008 和 0807)。利用 ECMWF $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料分别进行形势场合成平均,并对比分析。

2 对南通市有、无暴雨影响的热带气旋特征

2.1 有暴雨影响的热带气旋频次

不同月份大气环流有所不同,对有暴雨热带气旋的月分布特征进行统计(表 1),发现热带气旋暴雨最早出现在 6 月下旬(0102),最晚出现在 10 月上旬(9430),8 月是南通市受热带气旋影响数最多的月份,而受其影响产生暴雨次数 8 月和 9 月同样多。这种月分布特征从大气环流的季节变化来看,8 月副高强盛,冷空气难以南下,9 月副高逐渐减弱,弱冷空气逐步向南渗透,9 月冷空气比 8 月活跃,冷空气和台风的结合是台风暴雨产生的重要因子。

表 1 1992—2020 年 5—10 月南通市有、无暴雨的热带气旋数量和有暴雨热带气旋占比

月份	有暴雨的热带气旋数量/个	无暴雨的热带气旋数量/个	有暴雨的热带气旋占总热带气旋的比例/%
5	0	1	0.0
6	1	1	50.0
7	7	9	43.8
8	10	20	33.3
9	10	10	50.0
10	3	2	60.0

2.2 有暴雨影响的热带气旋强度特征

分析产生暴雨的热带气旋在近南通市时中心风力强度特征发现(表 2),中心风力强度为 5 级

和 8~9 级的热带气旋个数最多,当中心风力强度为 8~9 级时,产生暴雨的概率最大,为 61.1%。热带气旋中心风力强度小于 8 级时,其本身水汽和动力条件明显减弱,所以产生暴雨的概率减小;热带气旋中心风力强度大于 12 级时,一般为近海活动路径,南通市位于气旋中心的二、三象限,降水较弱。

表 2 1992—2020 年有、无暴雨的热带气旋近南通市的数量和有暴雨热带气旋占比

近南通市时中心风力强度	有暴雨的热带气旋数量/个	无暴雨的热带气旋数量/个	有暴雨的热带气旋占总热带气旋的比例/%
5 级	8	10	44.4
6~7 级	5	10	33.3
8~9 级	11	7	61.1
10~11 级	3	4	42.9
12~13 级	3	9	25.0
14~15 级	1	2	33.3
≥ 16 级	0	1	0.0

3 热带气旋暴雨与路径

通常一个热带气旋的直径在 600~1 000 km,直径最大的可达 2 000 km。热带气旋内部结构复杂,位于热带气旋下不同的区域,所受到的影响也有一定的差异。热带气旋移动路径不同,对南通市的风雨影响也有所不同。根据《江苏省天气预报技术手册》^[14]把影响南通市的热带气旋路径划分为:登陆北上类、登陆消失类、正面登陆类、近海活动类、南海穿出类。其中,登陆北上类根据气旋中心在 $30^\circ\text{N} \sim 35^\circ\text{N}$ 的范围内可分为两个副类,在 115°E 以东的陆地北上的为东路,在 115°E 以西活动的为西路。

1992—2020 年登陆北上东路类的热带气旋对南通市造成暴雨影响的次数最多,出现概率为 72.2%,南海穿出类的次之,产生暴雨的概率为 57.1%(表 3)。因为登陆北上东路热带气旋影响南通市频次最高,且出现暴雨的概率最大,所以着重分析此类路径下的环流形势和物理量特征。

表 3 1992—2020 年南通市不同移动路径有、无暴雨的热带气旋数量和有暴雨热带气旋占比

气旋路径	有暴雨的	无暴雨的	有暴雨的热带 气旋占总热带 气旋比例/%
	热带气旋 数量/个	热带气旋 数量/个	
登陆北上东路	13	5	72.2
登陆北上西路	1	4	20.0
登陆消失	9	10	47.4
正面登陆	0	2	0.0
南海穿出	4	3	57.1
近海活动	4	19	17.4

注:2 个正面登陆热带气旋 9414、1210,均为近海北上在江苏沿海登陆,对南通市未造成暴雨。

4 登陆北上东路热带气旋的诊断分析

在分析了南通市热带气旋暴雨气候特征的基础上,为了解登陆北上东路路径下,南通市有、无暴雨的关键因子,选取两组出现和未出现暴雨的热带气旋个例进行环境场合成,重点分析水汽和动力相关物理量,如 850~200 hPa 高度场、风场、涡度、散度、假相当位温、水汽通量、水汽通量散度等特征。

4.1 环流系统特征

分析环流平均场(图略)发现,出现暴雨时,200 hPa 南亚高压发展强盛,呈带状型分布,青藏高原南侧 90°E 及 125°E 附近分别存在分裂的闭合高压,在我国东部高空维持辐散流场,高空辐散抽吸作用有利于低空辐合上升运动发展和维持。

500 hPa 上 588 dagpm 线的西伸脊点在 120°E 附近,苏皖交界处为热带气旋闭合环流,南通市处在气旋的东南侧,气旋北部河套附近有西风槽东移。850 hPa 副高呈带状西伸至中国内陆,148 dagpm 线的西伸脊点在 95°E 附近,南通位于气旋东侧的暖式切变中。

未出现暴雨时,200 hPa 南亚高压呈东部型分布,高压中心在 90°E 以东,中纬度的西风大风速带强度和范围较有暴雨时明显减弱。500 hPa 副高位置偏东,588 dagpm 线的西伸脊点在 125°E 附近,热带气旋环流中心位于浙江中部,强度偏弱,气旋北部环流平直,无西风槽东移。850 hPa 气旋中心强度偏弱,148 dagpm 线的西伸脊点在 110°E 附近,南通位于气旋东侧暖式切变的北侧。

4.2 高、低空大风速带对比

出现暴雨时(图 1a),200 hPa 中纬度地区,降水区北侧有一支强劲的西风大风速带。850 hPa 在气旋中心与副高之间,在我国华东沿海地区存在两支较强的西南风和东南风大风速带深入内陆,中心风速在 14 m/s 以上,在低纬度地区也存在一支西南风大风速带,有利于水汽输送和补充。南通市处在高空大风速带入口区的右侧和低空大风速带的左前方,高、低空配置有利于高空辐散、低空辐合和垂直运动的发展,暖湿气流在此产生较强的辐合上升,产生暴雨。未出现暴雨时(图 1b),200 hPa 在 40°N 附近有一支西风大风速带

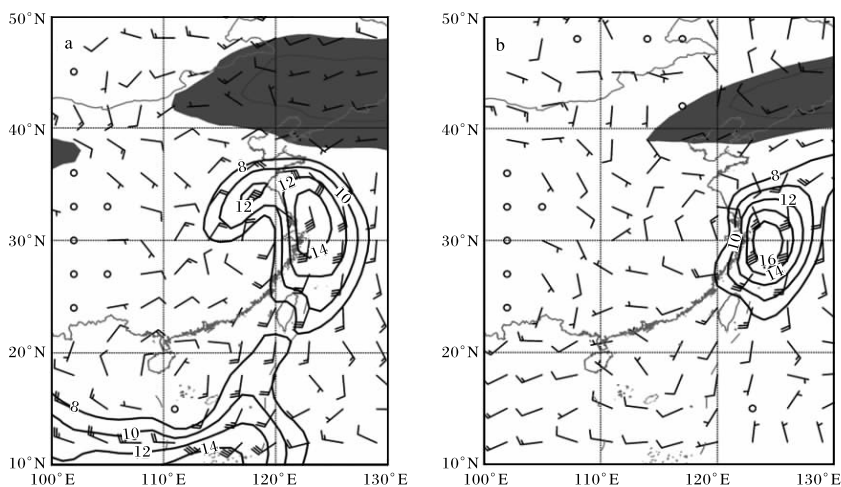


图 1 合成平均的 3 个热带气旋个例的 200 hPa 大风速区(阴影部分 ≥ 28 m/s)、850 hPa 大风速区(≥ 8 m/s, 箭矢为水平风矢量,实线为风速等值线)(a 有暴雨热带气旋个例;b 无暴雨热带气旋个例)

存在,但风速明显小于有暴雨发生时,且低层无东南风大风速带,偏南风大风速带中心位于 128°E ,气旋南侧低纬度地区为偏西气流,风速较小。

4.3 水汽条件

产生暴雨的条件是具有充分的水汽和充足的水汽供应,陈联寿等^[7]研究表明,台风自身水汽充沛,并且环境场能源源不断地输送水汽,保证产生持续性降水。一般降水的预报主要考虑 700 hPa 和 850 hPa 的水汽条件。分析 850 hPa 水汽通量发现(图 2a),出现暴雨时在南海—黄海有一条明显的水汽输送带, 124°E 附近海面上有一个较强的水汽通量中心,中心值在 $20\text{ g}/(\text{cm}\cdot$

$\text{hPa}\cdot\text{s})$ 以上。水汽通量大值区分布在低空大风速带上,表明西南大风速是主要的水汽输送带。水汽通量高值区随西南风向西伸展,南通上空水汽通量 $\geq 18\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$,从沿 32°N 的水汽通量和水汽通量散度经向剖面图上(图 2b)发现,水汽通量大值中心位于 925 hPa,1 000~700 hPa 均为水汽通量辐合区,源源不断的水汽输送为暴雨的发生提供了条件。未出现暴雨时(图 2c),水汽通量高值中心位于 127°E 附近,水汽通道在 20°N 附近发生断裂,南通市上空水汽通量较小,仅为 $(12\sim 14)\text{ g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$,水汽通量辐合也仅在 1 000~925 hPa,并且强度较弱(图 2d)。

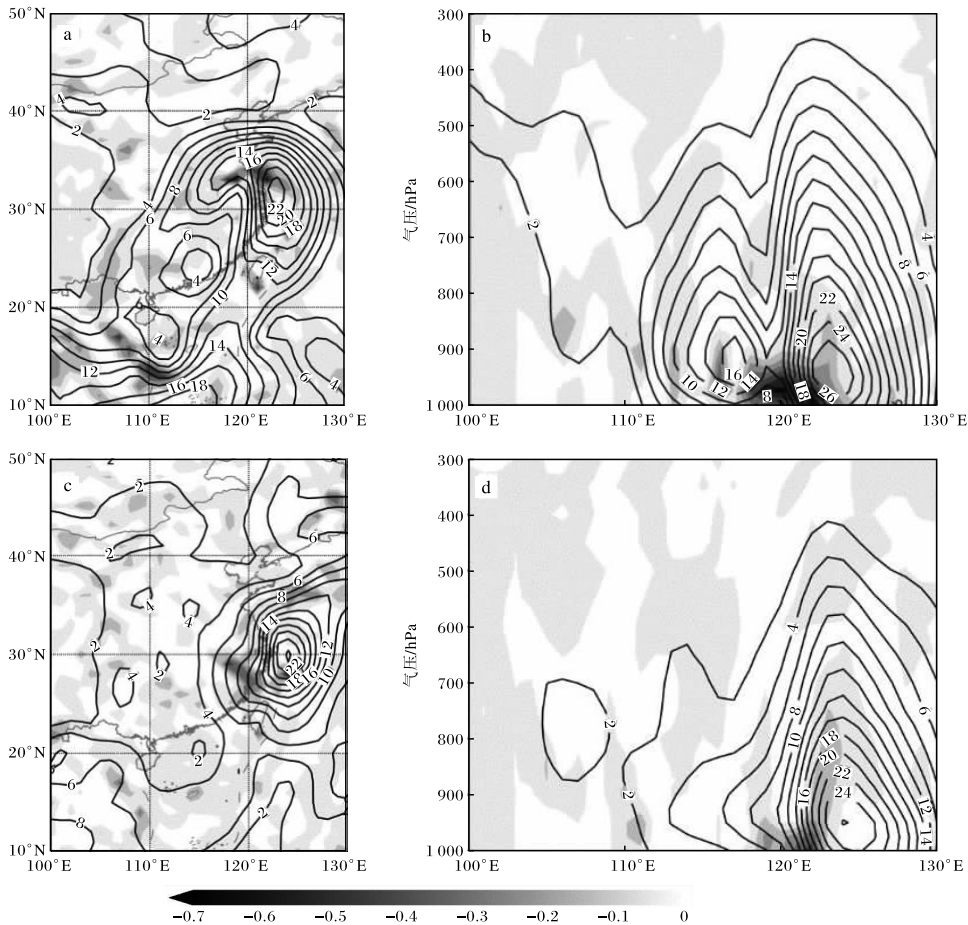


图2 合成平均的3个热带气旋个例的850 hPa水汽通量(等值线,单位为 $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$)、水汽通量散度(阴影为负散度区,单位为 $10^{-7}\text{ g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$)以及水汽通量、水汽通量散度沿 32°N 的经向剖面图(a, b 为有暴雨热带气旋个例; c, d 为无暴雨热带气旋个例)

4.4 动力条件

李英等^[9]发现,通常热带气旋环流低层相对涡度为正、高层为负。当高、低层相对涡度的差值

小于零,表明热带气旋维持或发展,相对涡度差值越小,气旋发展越强,气旋登陆后如果能移到一个强的相对涡度 $\Delta\zeta_{200-850}$ (200 hPa 和 850 hPa 涡度

之差)负值区域,将减缓衰减,延长维持时间。分析表明,热带气旋低层辐合,高层出现辐散,使得相对散度值增加,这种强抬升系统使得不稳定能量场得以释放,触发暴雨天气^[9]。为此计算了两类热带气旋的相对涡度(即 200 hPa 和 850 hPa 涡度之差)和相对散度(即 200 hPa 和 925 hPa 散度之差)。

两类热带气旋影响时,南通市相对涡度都处于小于 $-6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的负值区中,差异不大(图

3a、图 3b)。出现暴雨时,相对散度在 $(18 \sim 24) \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的大值区中,整层大气均为上升运动(图 3c),垂直速度中心位于 400 hPa 附近,最大上升速度为 -400 Pa/s (图 3e)。未出现暴雨时,相对散度为 $(12 \sim 18) \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ (图 3d),整层大气也均为上升运动,最大上升运动中心随高度向南倾斜,南通市上空垂直速度中心位于 600 hPa 附近,速度值仅为 -200 Pa/s (图 3f)。

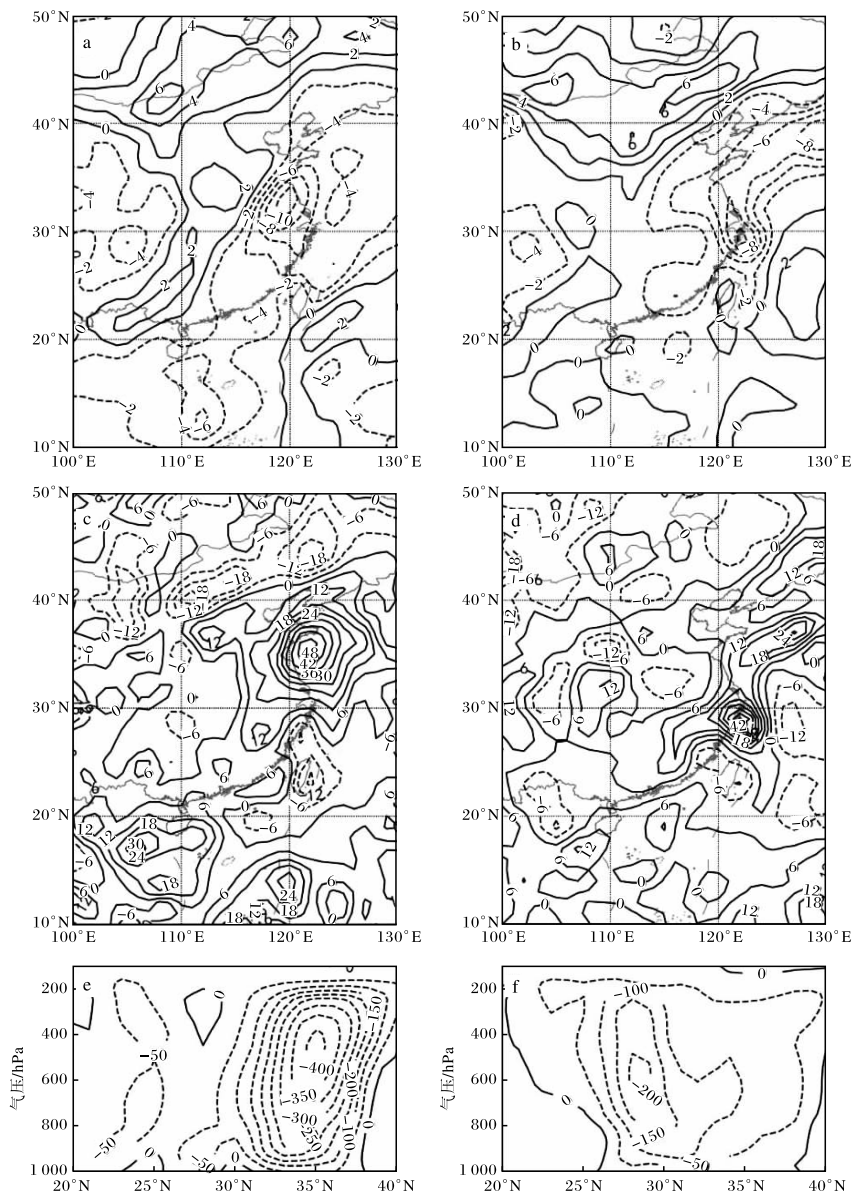


图3 合成平均的3个热带气旋个例的相对涡度(单位为 10^{-5} s^{-1} ;a,b)、相对散度(单位为 10^{-6} s^{-1} ;c,d)和垂直速度沿 120°E 的纬向剖面图(单位为 Pa/s ;e,f)(a,c,e为有暴雨热带气旋个例;b,d,f为无暴雨热带气旋个例)

4.5 热力条件

刘晓汝等^[13]研究发现,要维持强烈的垂直运动,需要依靠不稳定能量的存贮和释放。分析 K 指数合成图发现,K 指数大值轴线呈东北—西南向,出现暴雨时,南通市 K 指数 ≥ 36 °C(图 4a);未出现暴雨时,K 指数为 32~34 °C(图 4b)。

假相当位温 θ_{se} 在大气干、湿绝热过程中是守恒的,它是一个重要的温湿特征参数,广泛应用于

天气分析预报业务及研究。暴雨的触发机制是对流不稳定的发生发展,通常用 θ_{se} 随高度的变化情况来显示层结的稳定度。将两类气旋过程大气层结不稳定能量沿 120°E 进行剖面分析(图 4c、图 4d),两类热带气旋影响期间南通上空都维持着高能高湿的充沛能量,有暴雨时的不稳定能量较强,1 000~850 hPa θ_{se} 随高度减小,层结不稳定,850~400 hPa θ_{se} 随高度基本无变化,为中性层结。

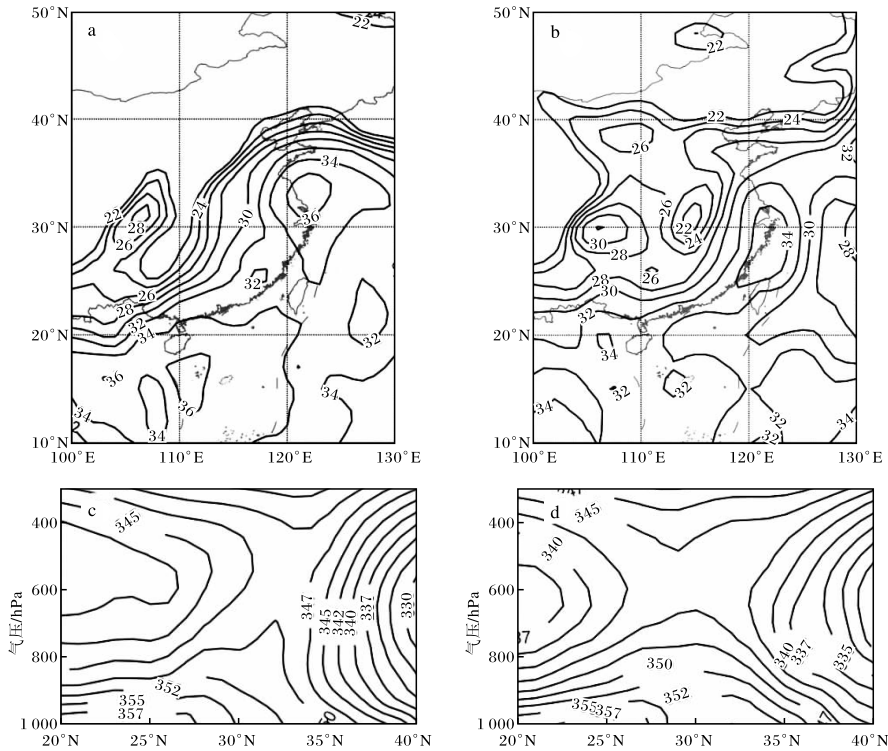


图 4 合成平均的 3 个热带气旋个例的 K 指数(单位为 °C)和沿 120°E 的假相当位温垂直剖面(单位为 K)(a,c 为有暴雨热带气旋个例;b,d 为无暴雨的热带气旋个例)

5 结论与讨论

(1)8 月影响南通市的热带气旋最多,受其影响产生暴雨次数最多的月份是 8 月和 9 月。登陆北上东路类的热带气旋与西风带系统相互作用,可以在南通市产生暴雨天气,暴雨发生概率为 72.2%。

(2)登陆北上东路类的热带气旋有、无暴雨时的西风带环流有明显不同。出现暴雨时,南亚高压有多个中心,副高西伸脊点在 120°E 附近,南通市处在热带气旋东南侧,气旋北部有西风槽东移,850 hPa 上在华东沿海存在两支较强的西南风和东南风大风速带;未出现暴雨时,南亚高压中心在

90°E 以东,副高西伸脊点位于 125°E,热带气旋环流中心位于浙江中部,气旋北部无西风槽东移,仅存在 850 hPa 一支西风大风速带。

(3)通过个例合成分析,归纳了登陆北上东路类的热带气旋影响产生暴雨时的物理量特征:南通市上空水汽通量 ≥ 18 g/(cm·hPa·s),1 000~700 hPa 均为水汽通量辐合区;相对散度为 $(18\sim 24)\times 10^{-6} s^{-1}$,整层大气均为上升运动,垂直速度中心位于 400 hPa 附近,最大上升速度为 -400 Pa/s;K 指数 ≥ 36 °C。

(4)本文对登陆北上东路类出现和未出现暴雨的热带气旋个例进行合成分析,初步得到它们

环流形势和热力、动力条件的特征和差异,但这些结论是否具有普遍性,还有待于进一步普查和验证,后期将增加样本广泛验证,以不断修正结论。

参考文献:

- [1] 叶子祥. 台站台风预报服务方法和思路[M]. 北京:气象出版社,2013:3-10.
- [2] 杨晓霞,陈联寿,刘诗军,等. 山东省远距离热带气旋暴雨研究[J]. 气象学报,2008,66(2):236-250.
- [3] 张少林,龚佃利,陈晓红,等. 热带气旋远距离暴雨过程的诊断分析[J]. 气象,2006,32(4):29-33.
- [4] 丛春华,陈联寿,雷小途,等. 台风远距离暴雨的研究进展[J]. 热带气象学报,2011(2):264-270.
- [5] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等. 近10年中国台风暴雨研究进展[J]. 气象,2005,31(12):3-9.
- [6] 丛春华,陈联寿,雷小途,等. 热带气旋远距离暴雨的研究[J]. 气象学报,2012,70(4):717-727.
- [7] 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):541-549.
- [8] 陈联寿,孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学,2001,25(3):402-432.
- [9] 李英,陈联寿,王继志. 登陆热带气旋长久维持与迅速消亡的大尺度环流特征[J]. 气象学报,2004,62(2):167-179.
- [10] 雷小途,陈联寿. 大尺度环境场对热带气旋影响的动力分析[J]. 气象学报,2001,59(4):429-439.
- [11] 程正泉,陈联寿,李英. 登陆台风降水的大尺度环流诊断分析[J]. 气象学报,2009,67(5):840-850.
- [12] 王磊,陈光华,黄荣辉. 近30 a登陆我国的西北太平洋热带气旋活动的时空变化特征[J]. 南京气象学院学报,2009,32(2):182-189.
- [13] 刘晓汝,谢作威. 2019年超强台风“利奇马”引发浙江特大暴雨过程分析[J]. 气象科学,2020,40(1):89-96.
- [14] 江苏省气象局. 江苏省天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版社,2017:53-54.