

文章编号: 1673-8411(2019)01-0001-07

7-9月登陆华南台风气候变化特征及大尺度环流系统分析

姚才¹, 罗小莉², 张成扬³, 肖志祥⁴, 孙红梅⁴

(1. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022; 2. 广西壮族自治区气象服务中心, 南宁 530022;

3. 广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022; 4. 广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 采用1949-2015年上海台风所提供的热带气旋资料、NCEP/NCAR全球再分析格点资料、国家气候中心提供的74项大气环流指数以及青藏高原积雪等资料, 对7-9月登陆华南的热带气旋TC(不含热带低压)和台风TY(含台风及台风以上的热带气旋)的气候变化特征以及大尺度环流特征进行了分析, 结果发现: 7-9月登陆华南TC及TY频数均有微弱的上升趋势, 且年际变化显著, 但TC和TY年际变化和准十年波动变化并不总是一致, 尤其是近10a来登陆华南的强台风有明显增加的趋势。7-9月登陆华南的TC占登陆中国的一半以上, 并且有约3/4是来自西北太平洋生成的台风。从登陆华南TC的区间分布特征来看, 以中路最多, 西路次之, 东路最少。亚洲季风偏弱、西太平洋副高偏西, 登陆华南TY偏多, 反之亦然。TC偏多(少)年, 西太平洋副高偏强偏西(偏弱偏东)。TC偏多年110°E以东引导气流出现的反气旋式和气旋式环流对较TC偏少年偏西, 反气旋环流南部的东风异常一直延伸到华南地区东部, 这样的东风引导气流异常有利于引导热带气旋登陆华南。另外, 青藏高原东部和西部积雪偏多、华南气温偏高及西北太平洋海温异常偏暖的情况下也均有利于台风登陆华南。

关键词: 登陆华南; 台风; 气候变化; 大尺度环流系统

中图分类号: P467

文献标识码: A

The climatic changes of landfall typhoons in South China in July-September and the associated large-scale circulation

Yao Cai¹, Luo Xiaoli², Zhang Chengyang³, Xiao Zhixiang⁴, Sun Hongmei⁴

(1. Guangxi Meteorological Science Institute, Nanning 530022;

2. Guangxi Weather Service Center, Nanning 530022;

3. Guangxi Climate Center, Nanning 530022;

4. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract: By using the best track tropical cyclones dataset from Shanghai Institute of Typhoon of CMA, climatic changes of landfall tropical cyclones (TC, tropical depressions excluded) and landfall typhoons (TY, reach the grade of typhoon or above) in South China in July-September are revealed. And characteristics of the large-scale circulation are analyzed by the NCEP/NCAR reanalysis dataset, the 74 indexes of the atmospheric circulation from National Climate Center and snow depth over the Tibetan Plateau. Results found that there is a slightly increase trend in the numbers of landfall TC and TY and it is characterized by significantly interannual variation. Furthermore, interannual variations of the TC and TY are not always in phase with their quasi ten year variation. Especially in the past 10 years, there is an obviously increase trend in the numbers of the strong typhoons landing in South China. The landfall TC in South China occupies half of that landfall in China and almost 75% of them generates over the Northwest Pacific Ocean. Most of the landfall TC tracks in middle path, followed by the west path and the east path suffers the least landfall TC. The weaker Asian summer monsoon and westward of the northwestern Pacific subtropical high is beneficial for TY landfall in South China, vice versa. However, the enhanced (weakened) and westward (eastward) of the northwestern Pacific subtropical

收稿日期: 2018-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41465003)、(41665006)、(41575051)、(41765002) 共同资助。

作者简介: 姚才 (1962-), 男, 博士, 正研高工, 主要从事天气气候研究, E-mail: dlhntfj@126.com。

high is advantage to more (less) TC landfall. The anti-cyclonic and cyclonic circulation over the east of 110°E in more TC situation is more westward than less TC situation. Abnormal easterly steering flows over the south part of the anti-cyclonic circulation extends to South China, which eventually is favorable to more TC landing in South China. Above normal snow over the eastern and western Tibetan Plateau, air temperature, and sea surface temperature over northwest Pacific Ocean are beneficial to typhoons landfall in South China.

Keywords: Landfall in South China; Typhoon; Climatic changes; large-scale circulation

1 引言

华南位于我国南部沿海, 是受热带气旋影响最多的地区^[1-2], 登陆华南地区热带气旋占登陆中国总频数的 62%, 且具有显著的年际和年代际变化特征^[3-6]。每年登陆这一地区的热带气旋主要集中在 7-9 月, 热带气旋偏多偏强的年份, 狂风暴雨常给受影响的地区带来巨大的经济损失和人员伤亡, 例如, 2014 年超强台风“威马逊”给华南造成了 300 多亿元的经济损失^[7]。而热带气旋偏少偏弱的年份可能会发生盛夏干旱, 对农业生产、水利发电等产生严重影响, 甚至引发人蓄饮水困难^[8], 对人民生命财产安全和国民经济发展产生了极为重要的影响。在气候变暖背景下, 登陆华南台风的频数和强度也发生了年代际的变化, 尤其是登陆强台风明显增加^[9]。因此, 加强登陆华南热带气旋的研究对提高台风预报服务能力具有重要的科学意义, 也是防灾减灾的重大需求。

登陆华南台风的研究一直是国内外气象科学研究所关注的热点问题, 取得了许多的进展。杨玉华^[3]等的研究表明, 过去 50 多年 (1949-2006 年) 影响中国的台风频数显著减少, 但区域性差别明显: 影响华南和华北的台风频数显著减少、华东地区无明显趋势。1965-2010 年 7-9 月影响中国的热带气旋降水呈现华东及华南沿海增多, 东南沿海、海南岛及西南地区减少的变化趋势^[10]。胡娅敏等^[11]指出自 20 世纪 90 年代中期后, 登陆华南台风频数减少、强度转弱。这一方面受台风和大尺度环流系统自身的年际和年代际变化共同影响, 另一方面, 可能受太平洋年代尺度振荡 (PDO) 调制。朱晶晶等^[12]从天气学角度进行了分析, 指出副热带高压、夏季风、越赤道气流、海表温度及北半球极涡等环流系统异常是导致 2013 年影响海南热带气旋偏多的主要原因。罗小莉等^[9]研究表明登陆华南热带气旋年际变化特征明显, 且在年代际变化尺度上具有明显的波动特征。

前人的众多研究主要是将华南作为中国的一部分或者是从华南所辖的各个省份去探讨了登陆热带气旋的天气气候问题。但是, 7-9 月是登陆华南台风的主要集中期, 系统研究该季节登陆华南台风的气候特征以及形成机理还有待完善, 尤其对登陆华南热带气旋频数异常年份环流系统

的研究工作较为缺乏。因此, 本研究拟首先分析 1949-2015 年 7-9 月登陆华南热带气旋的月际、年际、年代际变化特征和空间分布特征, 然后探讨季风、西北太平洋副热带高压、引导气流、海陆热力条件等影响因子与登陆华南热带气旋的关系, 最后着重分析偏多年和偏少年的大气环流特征, 为后期开展热带气旋气候预测研究提供依据。

2 资料与方法

2.1 资料

文中所使用的资料: (1) 上海台风所提供的 1949-2015 年西北太平洋 (含南海) 热带气旋资料; (2) NCEP/NCAR 提供的逐月高度场、风场、海温场; (3) 陆地气温、青藏高原积雪与国家气候中心提供的大气环流指数 (<http://cmdp.ncc-cma.net/cn/monitoring.htm>) 等资料。

文中所指的华南地区包括广东、广西和海南三省, 登陆华南的热带气旋指登陆时强度在热带风暴及热带风暴以上的热带气旋, 简称为 TC, 而台风以上强度指的是登陆时强度在台风及台风以上的热带气旋, 简称为 TY。

华南地区海岸线漫长, 为了更好地分析登陆华南 TC 的区域分布特征, 根据华南地区台风预报业务和研究的经验和成果, 本文将登陆华南的热带气旋 TC (包括从台湾登陆后二次进入华南的 TC) 划分为三条路径^[13]: 第一类是西路, 指 TC 在湛江市以西 (或以南) 沿海登陆; 第二类是中路, 指 TC 在湛江市到珠江口以西之间的沿海登陆; 第三类是东路, 指 TC 在珠江口以东至福州之间的沿海登陆。

2.2 热带气旋偏多和偏少年的确定

为了反映登陆华南热带气旋的总体状况以及便于与历史状况的对比, 同时考虑到 1979 年之后卫星资料的发展和资料的可靠性, 热带气旋偏多偏少年的分析主要对 1979-2015 年这一时段进行分析, 本文将每年 7-9 月登陆华南的热带气旋频数的标准化距平定义为华南地区 7-9 月的热带气旋指数, 计算公式为:

$$\gamma = \frac{R_i - \overline{R_i}}{\sigma_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中 R_i 为 7-9 月登陆华南的总 TC 频数, \bar{R}_i 为 7-9 月登陆华南 TC 频数的多年平均值, σ_i 为 7-9 月登陆华南的 TC 频数的标准差。本文定义热带气旋指数大于 1 的为热带气旋偏多年, 热带气旋指数小于 1 的为热带气旋偏少年, 由公式 (1) 计算得到华南地区 1979-2015 年 7-9 月的热带气旋指数序列 (图 1), 得到异常年份如下: TC 偏多年: 1980 年、2009 年、1991 年、1993 年和 1995 年, TC 偏少年: 1990 年、1997 年、1998 年、2004 年、1987 年、2006 年和 2015 年。

2.3 方法

季风指数计算采用了 Webster and Yang^[14] 提出的亚洲夏季风指数、张庆云等^[15] 提出的东亚夏季风指数、李崇银和张利平^[16] 提出的南海夏季风指数。

3 主要的气候变化特征

3.1 登陆华南 TC 和 TY 的月际变化特征

图 2 给出了 1949-2015 年登陆华南热带气旋 TC 及台风以上 TY 的月际分布, 可以看出 1-3 月没有 TC 和 TY 登陆华南, 登陆华南地区的 TC 和 TY 主要集中在 7-9 月。7 月份登陆华南的 TC 总频数最多, 达 68 个, 8 月减少, 而 9 月又开始增加, 总频数达 66 个; 就 TY 而言, 和 TC 有类似的特

月登陆 TC (185 个) 占全年登陆 TC (262 个) 的 71%, 7-9 月登陆 TY (69 个) 占全年登陆 TY (92 个) 的 75%。可见, 7-9 月是华南受登陆 TC 和 TY 影响的主要季节 (在业务工作中也常称华南后汛期或台汛期)。

3.2 7-9 月登陆华南 TC 和 TY 的年际和年代际变化特征

图 3 给出了 1949-2015 年 7-9 月登陆华南 TC 和 TY 频数及其 9a 滑动平均值的变化, 可以看出, 7-9 月登陆华南 TC 及 TY 频数均有微弱的上升趋势, 年际变化显著, 7-9 月登陆华南 TC 最多的年份有 6 个, 最少的年份没有 TC 登陆华南; TY 最多的年份有 4 个, 最少的年份也没有 TY 登陆华南。TC 和 TY 都存在明显的年际变化和准十年波动变化, 但其位相并不总是一致。从 9a 滑动平均结果来看, 登陆华南 TC 偏多的年代有 20 世纪 60、80、90 年代, 其中 1988-1996 年最多, 平均每年多达 3.7 个。偏少的年代有: 20 世纪 50 年代、21 世纪以来的 15a, 其中 1949-1957 年最少, 平均每年只有 2 个。登陆华南 TY 偏多的年代有 20 世纪 60、90 年代和近 10a, 其中 1961-1969 年最多, 平均每年 1.7 个; 偏少的年代有: 20 世纪 70、80 年代, 其中 1970-1978 年最少, 平均每年只有 0.3 个。

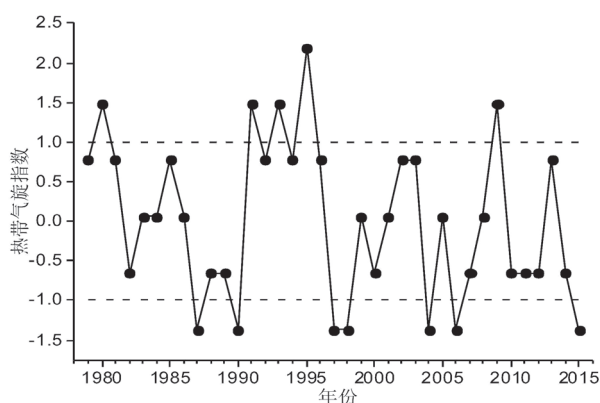


图 1 华南地区 1979-2015 年 7-9 月热带气旋指数的年际变化

罗小莉等^[9] 研究指出在全球变暖背景下, 登陆华南强台风年频数明显增多, 图 4 给出了 1973-2015 年 7-9 月强台风以上的频数变化, 发现 1973-2004 年 32a 间登陆华南的强台风仅有 2 个, 而 2005-2015 年仅 11a 间就有 7 个强台风登陆华南, 说明近 10a 来台汛期登陆华南的强台风有明显增加的趋势。

3.3 7-9 月登陆华南和登陆中国 TC (TY) 频数的关系

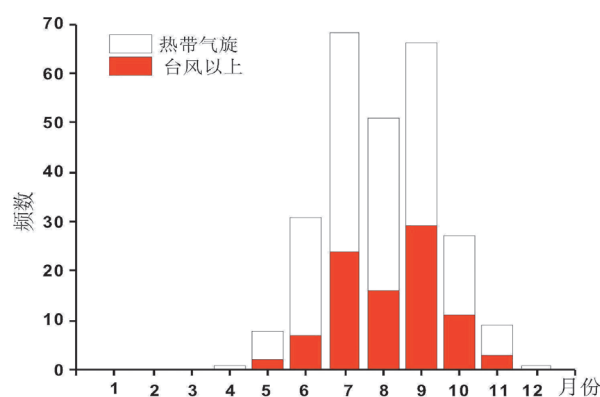


图 2 1949-2015 年登陆华南热带气旋及台风以上频数的月际分布

图 5 给出了 1949-2015 年 7-9 月登陆中国和登陆华南的 TC 和 TY 频数变化, 从图中可以看出平均每年 7-9 月登陆中国的 TC 约 5.4 个, 登陆华南的 TC 约 2.8 个, 登陆华南 TC 占到整个登陆中国的一半 (51%), 平均每年 7-9 月登陆中国的 TY 约 2.7 个, 而登陆华南的 TY 约 1 个, 登陆华南 TY 占登陆全国 TY 的 37%。

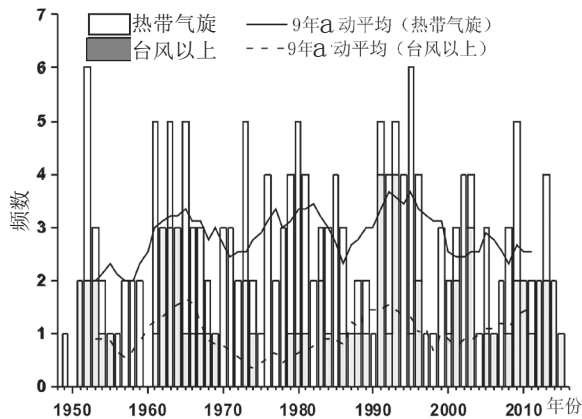


图3 1949-2015年7-9月登陆华南TC和TY频数及其9a滑动平均值(虚线)为TC(TY)9a滑动平均

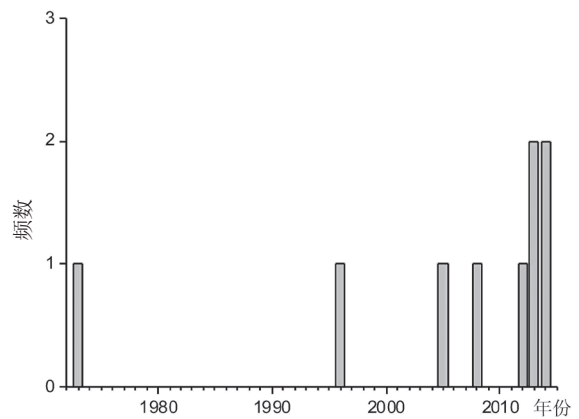


图4 1973-2015年7-9月登陆华南强台风以上的频数

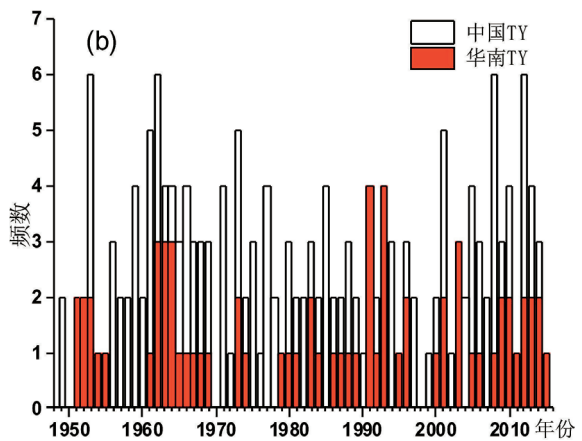
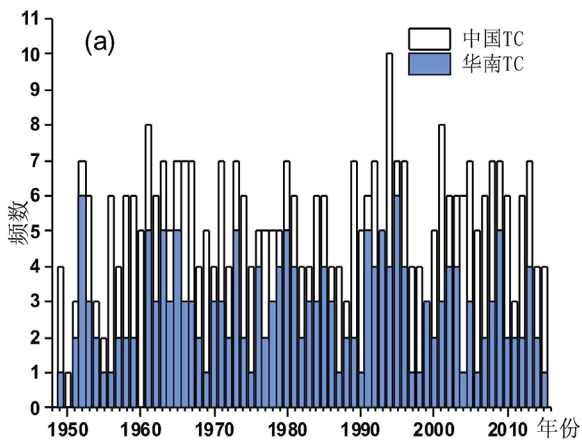


图5 1949-2015年7-9月登陆华南与登陆中国TC(a)和TY(b)频数

为进一步分析登陆华南TC的区间分布特征以及西太平洋生成热带气旋、南海生成热带气旋的关系,表1给出了相关的统计数据,可以看出,7-9月登陆华南的TC和TY中,大部分是在西太平洋生成再进入华南的,直接在南海生成登

陆华南地区的很少,尤其是登陆华南的TY中,有91.3%来自西太平洋生成的TC。从登陆华南TC的区间分布来看,以中路登陆的最多、西路的次之、东路最少;对TY而言,西路和中路相当,东路最少。

表1 1949-2015年7-9月登陆华南热带气旋与西太平洋、南海生成热带气旋的关系表

	热带气旋					台风以上				
	南海生成	西太平洋生成	总数	南海(%)	西太平洋(%)	南海生成	西太平洋生成	总数	南海(%)	西太平洋(%)
华南	47	138	185	25.4	74.6	6	63	69	8.7	91.3
西路	17	42	59	28.8	71.2	2	25	27	7.4	92.6
中路	21	54	75	28	72	4	24	28	14.3	85.7
东路	9	42	51	17.6	82.4	0	14	14	0	100

4 7-9月登陆华南TC(TY)频数与东亚大尺度环流系统及海陆热力条件的相关关系

4.1 登陆华南TC和TY频数与东亚大尺度环流系统的关系

为研究登陆华南TC和TY频数与东亚大尺度环流系统的关系,计算了1949-2015年Webster and Yang^[14]提出的亚洲夏季风指数、张庆云等^[15]提出的东亚夏季风指数、李崇银和张利平^[16]提出的南海夏季风指数以及国家气候中心提供的副

高强度、副高面积、副高脊线和副高西脊点位置与登陆中国华南 TC 和 TY 频数的相关系数（见表 2），从表 2 可以看出，登陆华南 TY 频数与亚洲夏季风指数、东亚夏季风指数和西太平洋副高

西脊点呈显著负相关关系，显著性水平分别达到 95%、90% 和 99%，而登陆华南 TC 频数与这些指数相关不显著，说明亚洲季风偏弱、西太平洋副高偏西，登陆华南 TY 频数偏多。

表 2 1949-2015 年 7-9 月大气环流指数与登陆华南 TC、TY 频数的相关系数表

	亚洲夏季风指数	东亚夏季风指数	南海夏季风指数	副高强度指数	副高面积指数	副高脊线指数	副高西脊点位置
TC	0.07	-0.06	0.12	0.17	0.04	-0.04	-0.17
TY	-0.23**	-0.2*	-0.09	0.2	0.08	-0.09	-0.36***

备注：* 表示 90% 显著性

** 表示 95% 显著性

*** 表示

4.2 登陆华南 TY 与青藏高原积雪、华南夏季气温、西北太平洋夏季海温的相关关系

登陆华南的 TY 同样受海陆热力条件的影响，从图 6 中可以看出，登陆华南 TY 频数与青藏高原夏季积雪呈显著正相关关系，说明青藏高原东部和西部积雪偏多有利于 TY 登陆华南。另外，华南夏季气温及西北太平洋夏季海温与登陆华南 TY 均存在显著正相关关系，这可能是偏暖的海洋有利于 TY 强度加强，同时华南气温偏高，在台风趋暖移动的特性下从而有利于 TY 登陆华南。

5 TC 偏多年和偏少年的环流特征分析

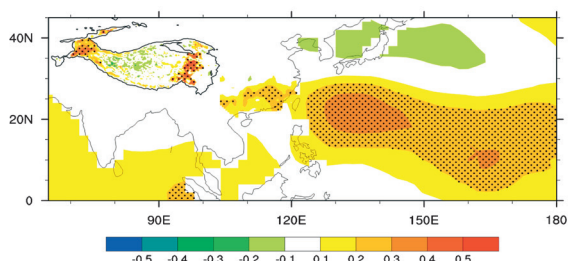


图 6 登陆华南台风频数与夏季青藏高原积雪（1979-2015 年）、华南气温（1960-2015 年）及海表温度（1949-2015 年）相关系数（打点区表示通过 90% 显著性检验）

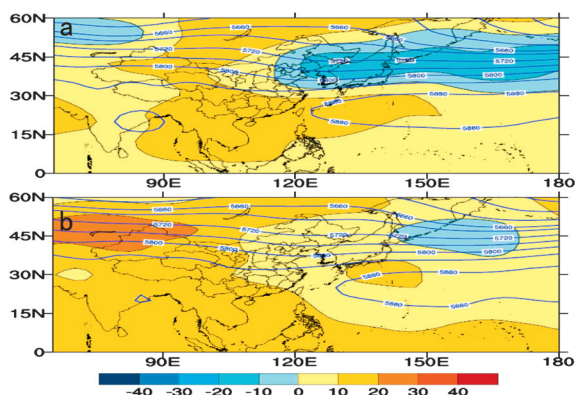


图 7 7-9 月登陆华南 TC 偏多年 (a) 和偏少年 (b) 年 500hPa 位势高度场及其距平场合成图 (单位: gpm) 等值线为高度场, 阴影区为距平场

根据 2.2 节分析得出的 TC 偏多年和 TC 偏少年, 分别合成 TC 偏多年和偏少年 500hPa 的高度场、引导气流场 (取 850hPa-300hPa 的平均) 探讨 TC 偏多年和偏少年 500hPa 中高纬环流型、西太平洋副热带高压 (以下简称副高)、引导气流的异常。

5.1 TC 异常年份的中高层环流系统变化特征

图 7 给出了 7-9 月登陆华南 TC 偏多 (少) 年 500hPa 位势高度场及其距平场合成, 从图 7a 中可以看出, 登陆 TC 偏多年, 欧亚大陆的中高纬地区为“两槽一脊”, 其中乌拉尔山附近为一弱的浅槽, 西太平洋副高偏强偏西, 在中高纬度日本海到中国东北一带有异常的负距平区域, 整个华南甚至江南一带存在一个异常的正距平区域。而登陆 TC 偏少年 (图 7b) 与 TC 偏多年相比, 欧亚大陆的中高纬地区的“两槽一脊”变为“一槽一脊”的分布型, 乌拉尔山附近的浅槽消失, 同时, 华北和东北的槽较 TC 偏多年弱, 西太平洋副高偏强偏东, 其北部的负距平区域范围明显缩小, 仅日本东北海域出现异常负值区域, 而整个中国大陆和沿海的高度场普遍偏高。无论是 TC 偏多年还是 TC 偏少年, 副高主体区域 500hPa 高度场均偏高, 只是范围和程度不一样。最大的差异在于 TC 偏多年的副高西脊点较偏少年偏西。

5.2 TC 异常年份的引导气流变化特征

热带气旋的路径与环境引导气流密切相关。图 8 给出了 TC 偏多年和偏少年的引导气流的距平场, 从图 8 可以看出, TC 偏多年以 30°N、110°E 为界, 东部出现了反气旋式和气旋式环流对, 30°N 以北、110°E 以东的我国东北地区为距平场上气旋性环流, 而 30°N 以南、110°E 以东的地区为反气旋性环流, 反气旋环流南部的东风异常一直延伸到华南地区东部, 这样的东风异常有利于引导热带气旋登陆。而在 TC 偏少年, 东部的反气旋式和气旋式环流相对强度比 TC 偏多年弱, 并且东移到 120°E 附近, 华南地区为西风异常, 这样的环流形势不利于引导热带气旋登陆华南。

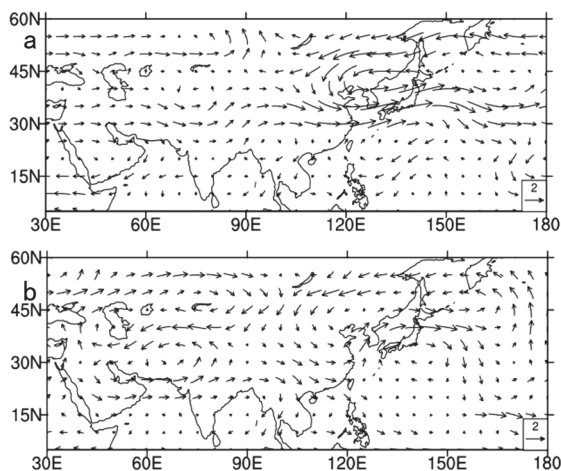


图 8 7-9 月登陆华南 TC 偏多年 (a) 与偏少年 (b) 300-850hPa 平均风场距平合成图

6 结论与讨论

6.1 结论

(1) 1949-2015 年 7-9 月登陆华南 TC 及 TY 频数均有微弱的上升趋势, 且存在显著年际变化和准十年波动, TC (TY) 频数最多的年份有 6 个 (4 个), 最少的年份 7-9 月没有 TC 和 TY 登陆华南。TC 和 TY 年际变化和准十年波动变化位相并不总是一致, 尤其是近 10a 来台风汛期登陆华南的强台风有明显增加的趋势。

(2) 7-9 月登陆华南的 TC 占登陆中国的一半以上, 并且有约 3/4 是来自西太平洋生成的热带气旋, 从登陆华南 TC 的区间分布特征来看, 以中路最多, 西路次之, 东路最少。

(3) 登陆华南 TY 频数与亚洲夏季风指数、东亚夏季风指数和副高西脊点均呈显著负相关关系, 说明亚洲夏季风偏弱、西太平洋副高偏西, 登陆华南 TY 频数偏多, 反之亦然。

(4) 登陆华南 TY 频数与青藏高原夏季积雪、华南夏季气温及西北太平洋夏季海温均存在显著正相关关系, 青藏高原东部和西部积雪偏多、华南气温偏高及西北太平洋海温异常偏暖均有利于 TY 登陆华南。

(5) TC 偏多 (少) 年, 西太平洋副热带高压偏强偏西 (偏强偏东)。登陆 TC 偏少年与偏多年相比, 欧亚大陆的中高纬地区的“两槽一脊”变为“一槽一脊”。TC 偏多年 110°E 以东引导气流出现的反气旋式和气旋式环流对较 TC 偏少年偏强偏西, 反气旋环流南部的东风异常一直延伸到华南地区东部, 这样的东风引导气流异常有利于引导热带气旋登陆。而在 TC 偏少年华南地区为西风异常, 不利于引导热带气旋登陆华南。

6.2 讨论

上述初步的结论表明, 我们对华南登陆 TC 的研究取得了一些新的认识, 但依然存在若干问题需要进一步的探索: (1) 登陆华南 TC 和 TY 都存在波动的特征, 但其位相并不总是一致, 而且近十年登陆华南强台风明显增多了, 是否与气候变暖有关? (2) 亚洲夏季风减弱、副高偏强偏西有利于登陆华南台风的增多, 但总的 TC 登陆频数变化并不明显, 季风和副高是怎样相互作用从而影响登陆华南台风? (3) 登陆华南 TY 与西太平洋海温, 华南陆面气温以及高原积雪存在明显的相关, 他们是怎样共同作用于登陆华南 TY 的? 为什么与登陆华南 TC 的关系没有 TY 那样显著? 另外, 登陆华南热带气旋降水是引发台风灾害的重要原因, 又是华南后汛期降水的主要系统, 探究台风降水, 尤其是台风极端强降水的规律与成因, 对于防灾减灾有重要意义。因此, 我们仍需在这些分析研究的基础上, 概括出概念模型、预测指标, 建立动力统计方法, 为提高登陆华南热带气旋的预测服务能力提供支持。

参考文献:

- [1] 徐良炎, 高歌. 50 年台风变化特征及灾害年景评估 [J]. 气象, 2005, 31(3): 41-44.
- [2] 陈联寿, 丁一汇. 西北太平洋台风概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 22-26.
- [3] 杨玉华, 应明, 陈葆德. 近 58 年来登陆中国热带气旋气候变化特征 [J]. 气象学报, 2009, 67(5): 689-696.
- [4] 雷小途, 陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究 [J]. 气象学报, 2001, 69(5): 602-615.
- [5] 雷小途. 热带气旋频数的短期气候预测水平评估 [J]. 应用气象学报, 2001, 12(4): 501-506.
- [6] 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: 1951-2004 年 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 135-138.
- [7] 周蕾, 吴先华, 高歌. 基于 MRIO 模型的“一带一路”典型国家气象灾害间接经济损失分析——以 2014 年中国“威马逊”台风灾害为例 [J]. 自然灾害学报, 2018, 27(5): 1-11.
- [8] 罗小莉, 韦晨, 覃卫坚. 2011 年盛夏广西西北部特大干旱的环流异常特征 [J]. 气候与环境研究, 2015, 20(3): 257-268.
- [9] 罗小莉, 姚才, 谭金凯. 登陆华南台风的频数及强度变化特征分析 [J]. 海洋预报, 2018, 35(4): 58-67.
- [10] 刘通易, 吴立广, 张娇艳, 等. 1965-2010 年 7-9 月影响中国的热带气旋降水变化趋势分析 [J]. 气象学报, 2013, 71(1): 63-75.
- [11] 胡娅敏, 王永光, 王娟怀, 等. 登陆华南台风强度的前兆信号分析及预测 [J]. 气象, 2017, 43(10): 1278-1286.
- [12] 朱晶晶, 赵小平, 吴慧, 等. 2013 年影响海南热带气旋异常偏多成因分析 [J]. 气象科学, 2016, 36(2): 262-268.

(下接第 10 页)

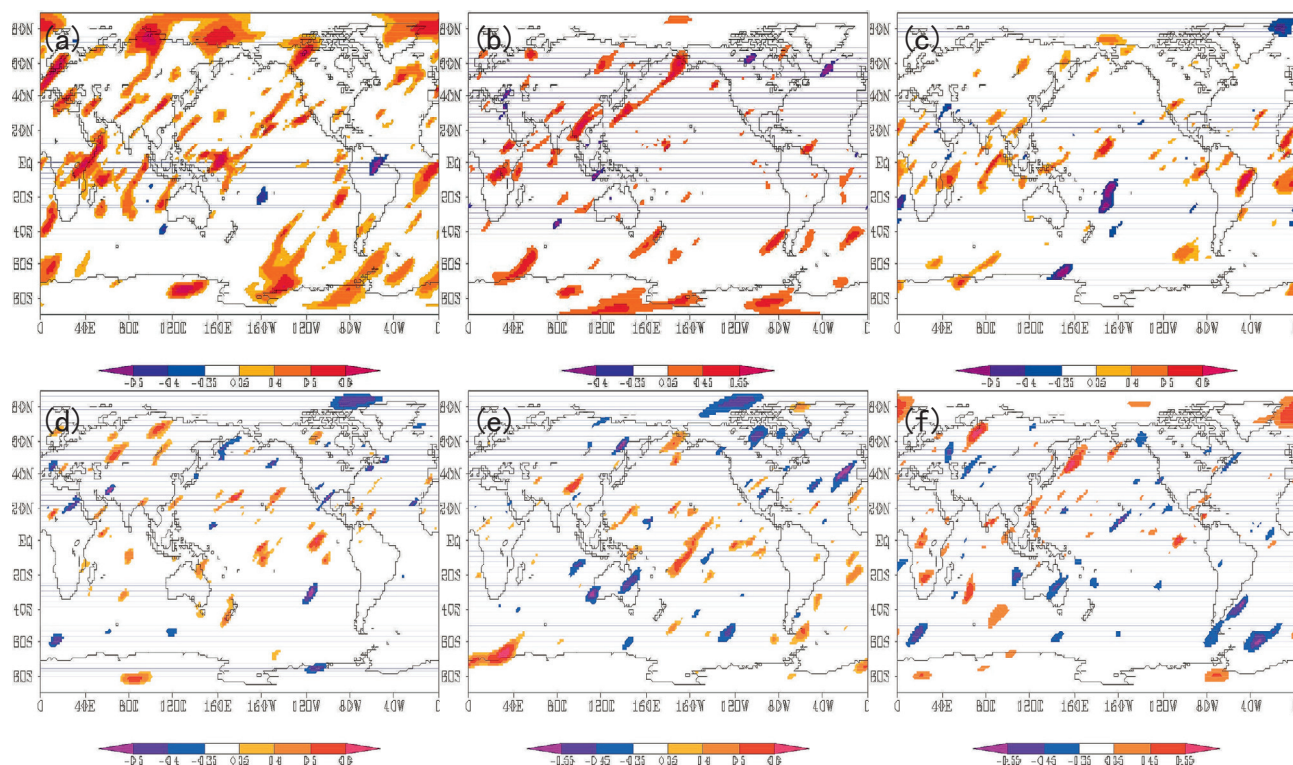


图3 DERF2.0 模式 200hPa 经向风场预报与实况的 ACC
(a: 11 日; b: 15 日; c: 20 日; d: 25 日; e: 30 日; f: 40 日; 阴影为通过 0.05 水平的显著性检验)

果较好区域分布比较零散, 预报能力弱于高度场。

文中只针对 DERF2.0 模式 6 月延伸期环流预报能力的评估, 如果要评估全年 11~40d 预报能力, 从样本数量上来说是不够的, 由于篇幅有限, 在下一步研究中增加样本数量进行效果评估。

参考文献:

- [1] 何慧根, 李巧萍, 吴统文, 等. 月动力延伸预测模式业务系统 DERF2.0 对中国气温和降水的预测性能评估 [J]. 大气科学, 2014, 38(5): 950-964.
- [2] 章大全, 陈丽娟. 基于 DERF2.0 的月平均温度概率订正预报 [J]. 大气科学, 2016, 40(5): 1022-1032.
- [3] 王波, 李永生, 王莹, 等. 黑龙江省主汛期降水气候特征及预测检验评估 [J]. 气象与环境学报, 2018, 34(4): 52-58.
- [4] 徐岩岩, 常军. 基于 DERF2.0 模式 1-52 天最低温度逐日预报的检验评估 [J]. 高原气象, 2018, 37(4): 1042-1050.
- [5] 覃卫坚, 李耀先, 廖雪萍. 广西热带气旋的暴雨统计分析及其数值模拟 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34(1): 1-6.
- [6] 覃卫坚, 李耀先, 覃志年. 广西暴雨的区域性和连续性研究 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33(4): 1-4.
- [7] 覃卫坚, 李耀先, 廖雪萍. MJO 活动对广西 6 月阶段性降水的影响研究 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(1): 25-30.
- [8] 覃卫坚, 李耀先, 陈思蓉. 同期 MJO 对广西汛期强降水过程的影响 [J]. 气象研究与应用, 2017, 38(4): 18-21.
- [9] 覃卫坚, 李耀先, 廖雪萍, 等. 大气低频振荡对广西持续性区域性暴雨的可能影响 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(3): 1-7.
- [10] 覃卫坚, 李耀先, 陈思蓉, 等. 粒子群-神经网络在华南夏季降水短期气候预测中应用研究 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36(2): 1-7.
- [11] 覃卫坚, 陆虹, 黄志, 等. 粒子群-神经网络在广西寒露风日数预报中的应用 [J]. 气象与环境学报, 2015, 31(6): 158-162.
- [12] 陈桂英, 赵振国. 短期气候预测评估方法和业务初估 [J]. 应用气象学报, 1998, 9(2): 178-185.
- [13] 封国林, 赵俊虎, 杨杰, 等. 中国汛期降水动力-统计预测研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 1-329.
- [13] 罗金铃. 热带气旋·广东省志-(自然灾害志) [M]. 广州: 广东人民出版社, 2001, 121-165.
- [14] Webster P J, Yang S. Monsoon and ENSO: Selectively Interactive Systems [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1992, 118(507): 877-926.
- [15] 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流 [J]. 气象学报, 2003, 61(4): 559-568.
- [16] 李崇银, 张利平. 南海夏季风特征及其指数 [J]. 自然科学进展, 1999, (6): 58-63.

(上接第 6 页)