

胡娅敏,王永光,王娟怀,等,2017. 登陆华南台风强度的前兆信号分析及预测[J]. 气象,43(10):1278-1286.

登陆华南台风强度的前兆信号分析及预测*

胡娅敏¹ 王永光² 王娟怀¹ 汪明圣¹ 罗晓玲¹

¹ 广东省气候中心,广州 510080

² 国家气候中心,北京 100081

提 要: 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。进一步选用年际增量法剔除年代际变化得到,若前冬呈现东部型拉尼娜(中部型厄尔尼诺)状态,随后的后汛期 120°~130°E 越赤道气流偏强(弱),继而是强(弱)辐合带、季风槽偏强偏北(偏弱偏南),有(不)利于台风在华南地区活跃,则对应累积气旋能量指数(ACE)年指数更强(弱),体现了台风、海温、大气环流的年际变化影响。最后,采用基于年际增量法的主成分回归方法对 ACE 指数进行建模,结果得到近 30 年回报相关系数高达 0.80,2014 和 2015 年的预报效果与实况较为一致。

关键词: 登陆台风,华南,强度,前兆信号,预测建模

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.10.012

Precursor Signal Analysis and Prediction for the Landfall Typhoon Intensity over South China

HU Yamin¹ WANG Yongguang² WANG Juanhuai¹ WANG Mingsheng¹ LUO Xiaoling¹

¹ Guangdong Climate Centre, Guangzhou 510080

² National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Since mid-1990s, there has been a reduction in frequency and intensity of landfall typhoon over South China (SC). This research reveals that the typhoon variation is jointly affected by the interannual and decadal typhoons and the large-scale atmospheric circulation systems. On the other hand, it may be related to the Pacific Decadal Oscillation (PDO). By using the interannual increment method to get rid of the decadal variation, during the eastern La Niña (the central El Niño) episode in the preceding winter, it would be a stronger (weaker) cross-equatorial flow over 120°–130°E, followed by convergence zone and monsoon trough with the location more northward (southward). This kind of atmosphere and ocean configuration could make the accumulated cyclone energy (ACE) stronger (weaker). Therefore, the typhoon would be more powerful, which reflects the interannual interaction among the typhoon, the sea surface temperature (SST) and the atmospheric circulation systems. Finally, adopting the principal component regression technique based on the interannual incremental method, the prediction model of ACE index is constructed, whose hindcast correlation coefficient is up to 0.80 for the recent 30 years. And the 2014 and 2015 prediction results are consistent with the observations.

Key words: landfall typhoon, South China, intensity, precursor signal, prediction model

* 国家自然科学基金项目(41305131、41375091 和 41405071)及中国气象局气候预测理论和应用创新团队共同资助
2016 年 12 月 14 日收稿; 2017 年 9 月 12 日收修定稿

第一作者:胡娅敏,主要从事气候预测研究. Email:huyamin_1978@sohu.com

通信作者:王永光,主要从事气候预测研究. Email:ygwang@cma.gov.cn

引 言

华南区域濒临南海,世界最大台风源区(西北太平洋)的影响首当其冲。登陆华南[广东、广西和海南三省(区)]的台风数量多,强度大。1981—2010年,平均每年有 4.5 个台风在华南登陆,占全国登陆数的 50%,多的年份高达 8 个,1971 年最多达 12 个。其中,90%以上的台风发生在 6—10 月,中心风力 12 级以上的台风占 28.4%,平均每年台风给华南区域造成巨大的经济损失。近些年随着生活水平的提高,人们对气象灾害越来越重视,登陆台风主要以风雨的形式对各地造成严重影响,其中台风强度是最为关键的影响因子,许多研究基于非线性理论、神经网络、人工智能、偏最小二乘回归和主分量分析等角度,从天气尺度开展台风强度预测研究(姚才等,2007;黄小刚等,2009;王耀领等,2010;宋金杰等,2011;林开平等,2013;于润玲等,2013;黄颖等,2014;唐明晖等,2017),进一步端义宏等(2005)从天气角度对热带气旋强度研究进行了综述,张守峰等(2015)对中央气象台台风强度综合预报进行误差分析,提出了一个强度概率预报方案。

从气候学尺度上开展台风强度的研究也不少,不同学者分别从南海和西北太平洋(袁金南等,2008;李勋等,2010;潘蔚娟等,2013)和我国近海(冯锦全和陈多,1995)进行了台风强度气候特征研究。Emanuel(2005)和 Webster et al(2005)指出由于台风频数增加而导致台风活动强度的增强,赵珊珊等(2009)分析得到超强台风 II 的频数减少引起西北太平洋台风最大风速年平均值呈减小趋势,Klotzbach(2006)和 Chan(2006)则指出西北太平洋热带气旋强度的变化不存在显著趋势,而王小玲和任福民(2007;2008)指出 1957—2004 年我国热带气旋的最大强度呈线性减弱趋势,Knutson et al(2010)指出过去台风活动的变化由于资料等原因具有不确定性,从而可见对于台风强度的研究仍存在较大的不一致性。梁健等(2008)则进一步基于 500 hPa 高度场及海温场采用二次多项式预报方法建立了南海热带气旋强度的预测方法。但对于登陆华南台风的强度研究,尤其是台风强度的预测研究工作开展较少,自 1998 年超强厄尔尼诺后,登陆华南台风强度发生了变化,由其引起的极端强降水频发(江漫和漆梁波,2016),给人民的生产和生活造成

严重的影响,甚至威胁人民生命安全,重新对台风强度特征进行研究,对于省级政府等部门提前开展防御工作非常必要,基于此本文首先开展近 30 年登陆华南台风强度特征研究,着重分析影响华南年台风平均强度的下垫面强迫因子,最后采用基于年际增量法的主成分回归方法构建华南台风强度的预测模型,以期在汛期开始之前为政府提供全年的防台决策服务依据。

1 资料和方法

本文使用的 1981—2015 年最佳路径数据集由上海台风研究所提供(http://tcdata.typhoon.gov.cn/zljssj_zlhq.html),资料来自于《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》。登陆台风主要集中在华南(广东、广西和海南)、华东(福建、台湾、上海、浙江、江苏)、华北和东北(山东、天津和辽宁),在资料处理时均不剔除奇异路径和近海转向,且不计算台风的多次登陆(即若台风先后登陆台湾和广东,只记台风登陆华东,不登陆华南),由于 1981—2015 年总共只有 6 个台风登陆华北和东北地区,仅占登陆总频数的 1.5%,因此在后文主要对比讨论登陆华南和华东台风的区别。

文中采用累计气旋能量指数(accumulated cyclone energy, ACE)、平均气压和平均风速来表征台风强度,其中平均风速是最佳路径里的近中心最大风速在行进过程中的平均值。在计算单个热带气旋强度时以其生成开始时刻计算,直至热带气旋减弱消失,即其生命史期间高于热带风暴级别所有的时刻数,值得指出的是,平均气压、平均风速和 ACE 均考虑热带风暴(低层中心附近最大平均风速达到 $17.2 \sim 24.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)以上的强度级别。年(后汛期)平均气压和平均风速的计算均采用符合热带风暴强度级别条件以上所有时刻的气压和风速的和除以所有台风个数,既对台风频数进行了平均,也对生命史长度进行了平均。单个热带气旋的 ACE 定义为其持续时间内每 6 h 最大风速的平方和(Chan and Liu,2004),华南热带气旋的 ACE 定义为年内登陆华南所有单个热带气旋 ACE 值的平均值,其计算公式为:

$$I_{ACE} = 10^{-4} \times \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^T V_{\max i}^2 / (N \times T)$$

式中, j 为年台风个数, i 为热带风暴级别以上台风

活动时刻, N 为年台风总数, T 为生命史持续时间。

1980—2015 年大气环流资料取自美国 NCEP/NCAR 再分析资料, 变量包括位势高度、纬向风、经向风, 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 垂直层取 200、500 和 850 hPa。海温资料取自 NOAA 的 Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v4b, 水平分辨率为 $2.0^\circ \times 2.0^\circ$ 。风切变的计算选用 200 hPa 减去 850 hPa 标准化的纬向风。本年度前冬的时段为上一年 12 月至当年 2 月。气候平均取 1981—2010 年。厄尔尼诺/拉尼娜事件以中国气象局预报与网络司关于印发《厄尔尼诺/拉尼娜事件监测业务规定》(气预函〔2016〕22 号文) 为准。而每隔几十年, 赤道太平洋的东部在冷暖条件间振荡, 这种循环为太平洋年代尺度振荡 (Pacific Decadal Oscillation, PDO)。

考虑到登陆华南台风强度的年际变化较大, 且台风是小概率事件, 为了剔除自变量之间存在的近似线性关系, 即存在复共线性时, 回归的正规方程组出现严重病态, 导致回归方程极不稳定。因此采用基于年际增量法 (范可等, 2008) 的主成分回归方法 (魏凤英, 2007) 的预测方法进行建模。年际增量法的预测思路是: 首先计算预测因子和预测对象 (台风强度) 的年际增量 (当年的变量值减去上一年的变量值), 然后构建基于预测因子年际增量的预测模型, 来预测台风强度的年际增量, 最后将当年台风强度年际增量的预测值加上前一年台风强度的实测值, 得到当年台风强度的预测值。使用年际增量方法, 不仅可以放大预测因子和预测对象之间的异常信号, 使之更容易被预测, 还能在一定程度上克服年代际和年际变化预测信号不一致的问题。

2 登陆华南台风强度的气候变化特征

1981—2010 年登陆华南台风的平均气压为 980.4 hPa、年平均风速为 $28.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、ACE 指数为 $7.6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, 标准差分别为 5.9、3.6 和 4.5, 其中年平均最高气压为 991 hPa (2004 年)、最小风速为 $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2002 年)、最小 ACE 指数为 $22 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ (1998 和 2004 年), 而年平均最低气压为 970 hPa (1985 和 1987 年)、最大风速为 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1990 年, 达 12 级台风强度级别)、最大 ACE 指数为 $18.5 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ (1986 年)。登陆华南的台风主要集中在后汛期 (7~9 月, 下同) (胡娅敏等, 2008), 其

ACE 指数平均值为 $4.8 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, 平均最低气压为 966 hPa、平均最大风速为 $36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (达 13 级台风强度级别), 计算表明后汛期的平均气压与年平均气压的相关系数达 0.74, 与年平均风速的相关系数达 0.76, 与年 ACE 的相关系数为 0.73 (均通过 0.05 的显著性水平检验), 其气候变化特征与年平均强度特征基本一致 (图 1 和图 2), 但其年代际突变更为明显, 由于华南汛期服务需求更为关注全年的强度, 以下选取年平均台风强度进行研究。

年平均气压和年平均风速的年代际变化特征表现为在 20 世纪 80 年代和近 3 年台风强度偏强, 20 世纪 90 年代强度最弱, 21 世纪 00 年代较 90 年代略强, 而年 ACE 指数在 20 世纪 90 年代中期前偏强, 之后处于偏弱时期。从而, ACE 指数具有和平均风速、平均气压不完全一致的强度特征, 这是因为 ACE 指数考虑了强度、频数和维持时间等多个要素。对 1981—2016 年登陆华南台风 ACE 和 PDO 序列分别做 9 年滑动平均, 可以得到 ACE 在 20 世纪 90 年代中期由强转弱, 而 PDO 由高转低, 两者的相关系数高达 0.73, 从而登陆华南台风强度可能受 PDO 影响 (肖栋和李建平, 2007), 另一方面也可能受台风和大尺度环流系统自身的年际和年代际变化影响 (张庆云和彭京备, 2003)。

采用 M-K 检验得到登陆华南台风的年平均气压、年平均风速和 ACE 指数均在 20 世纪 90 年代中期发生了一次由强转弱年代际突变, 1981—1995 年登陆华南的台风最低气压年均均为 966.4 hPa、最大风速年均均为 $37.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 而 1996—2012 年台风最低气压年均均为 972.0 hPa、最大风速年均均为 $32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 从而自 1996 年登陆华南台风进入强度偏弱期, 这可能与海温 (肖栋和李建平, 2007) 或者与北极海冰在 20 世纪 90 年代的突变有关 (方之芳等, 2005)。

进一步计算得到 1981—1995 年与 1996—2015 年登陆华南台风的标准化风速平均值从 0.5 到 -0.4, 由强转弱, 而登陆华东台风的平均值从 -0.4 变为 0.3, 由弱转强 (图 3)。从而, 登陆华南的台风强度在 20 世纪 90 年代中期, 强度由强转弱, 而登陆华东的台风强度由弱逐渐转强, 两者的强度表现为不一致的特点。对 1981—2015 年海表温度进行 9 年滑动平均剔除年际变化后, 可以得到自 20 世纪 90 年代中后期至今 (1996—2015 年) 后汛期阶段西太暖池和印度洋海温较 1981—1995 年大面积偏高,

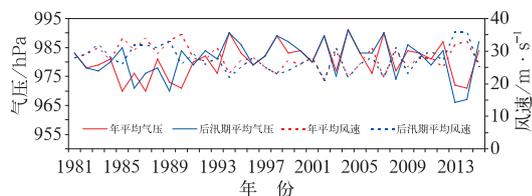


图 1 1981—2015 年登陆华南台风年和后汛期平均气压和平均风速时间序列

Fig. 1 Time series of average pressure (solid lines) and wind speed (dotted ones) for the annual (red ones) and second rainy season (blue ones) of the landfall typhoon years over South China during 1981—2015

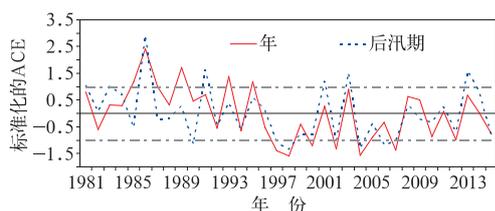


图 2 1981—2015 年登陆华南台风逐年和后汛期 ACE 指数时间序列 (点划线为 1 倍标准差线)

Fig. 2 Time series of ACE index for the annual (red solid lines) and second rainy season (blue dotted ones) of the landfall typhoon years over South China during 1981—2015 (The dark dotted lines denote 1.0 standard deviation)

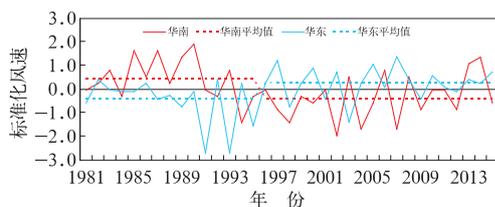


图 3 1981—2015 年登陆华南和华东台风标准化风速的时间序列及其气候平均值

Fig. 3 Time series of the standardized wind speed of landfall typhoons over South China (red ones) and East China (blue ones) as well as their climate average (dotted ones) during 1981—2015

而南海区域海温变化不明显(图 4a), 而登陆华南台风 42% 源自南海地区, 南海生成的台风一般比西太平洋台风强度弱, 登陆华东台风源自太平洋地区, 这可能是登陆 2 个区域台风强度不一致的原因之一。

另一方面, 后一时期(1996—2015 年)西太平洋副热带高压脊线偏北、面积偏大、强度偏强, 副热带高压的这种分布型尤其是其西南侧, 有利于台风登陆华东(图 4b), 计算得到 1981—1995 年登陆华南(华东)的台风数年均 5.1(3.9) 个, 1996—2015 年年均 4.0(4.7) 个(图 5), 这与杨玉华等(2009)的研究结果一致, 即登陆中国的台风在 23°~35°N 增多, 而 23°N 以南以减少为主。

值得关注的是, 近 3 年登陆华南台风具有增强趋势(最低气压年均 953.3 hPa, 最大风速年均 41.7 m · s⁻¹), 这说明登陆华南台风的年强度 ACE 指数并不与海温升高成线性正相关, 验证了 Chan and

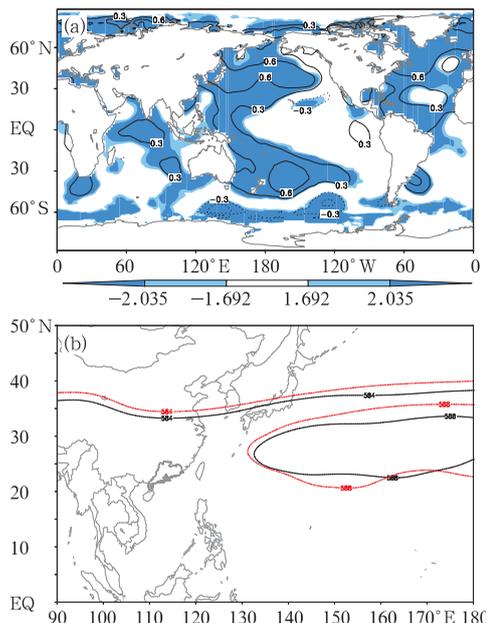


图 4 (a) 进行 9 年滑动平均后 1996—2015 年和 1981—1995 年夏季海温的差异显著性检验[单位: °C, 浅(深)阴影区是通过 0.10(0.05) 的显著性水平检验区域, 等值线是两者的差值], (b) 1981—1995 年(黑色)和 1996—2015 年(红色)后汛期西太平洋副热带高压脊线位置对比(单位: dagpm)

Fig. 4 (a) Summer SST significant difference test between 1996—2015 and 1981—1995 after 9 a moving average [unit: °C, the light (dark) shaded region has passed the significance test 0.10 (0.05) level, and the contours present the difference between strong and weak typhoons]; (b) comparison of the subtropical high ridge location of western Pacific between 1981—1995 (black contours) and 1996—2015 (red contours) (unit: dagpm)

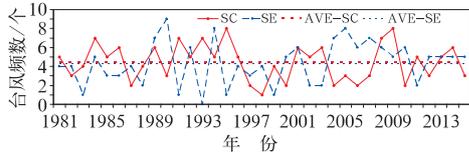


图 5 1981—2015 年登陆华南和华东年台风数

Fig. 5 Annual typhoons over South China (red solid lines) and East China (blue dashed lines) during 1981—2015 (The red and blue dotted ones show the climate average for South China and East China, respectively)

Liu(2004)用 1960—2003 年资料研究西太平洋台风活动与西北太平洋海温没有显著关系,但台风活动的增加与赤道东太平洋海温有关,并且台风活动的年变化似乎与 ENSO 相联系的大尺度环流异常相关。

研究表明,厄尔尼诺年影响(林惠娟和张耀存, 2004)和登陆(殷明等, 2016)中国的台风生命史强度偏强,但登陆华南的台风强度在不同类型的厄尔尼诺和拉尼娜年表现为不一致的特征(表 1),其中东部型拉尼娜年登陆华南 3 个要素表征的强度均偏强,中部型厄尔尼诺和中部型拉尼娜登陆华南 3 个要素表征的强度均偏弱,而东部型厄尔尼诺平均气压和风速表征的气压偏强、ACE 指数较气候平均值略弱。从而可见,对于华南台风强度具有复杂性,今后需开展更为详细的研究。下面针对登陆华南台风开展近 30 年生命史强度特征研究。

表 1 不同类型厄尔尼诺和拉尼娜登陆华南台风生命史强度的对比

Table 1 Comparison of the typhoon life cycle intensities over South China among the different El Niño and La Niña events

	东部型 厄尔尼诺	中部型 厄尔尼诺	东部型 拉尼娜	中部型 拉尼娜	平均值
气压/hPa	979.6	988.5	980.1	982.5	980.4
风速/ $m \cdot s^{-1}$	28.4	22.8	28.6	27.0	28.1
ACE/ $m^2 \cdot s^{-2}$	7.2	4.2	8.9	5.1	7.6

3 影响登陆华南台风强度的物理因子分析

3.1 影响登陆华南台风强度的下垫面强迫海温因子

挑选年 ACE 指数超过 1 个标准差的年份进行

合成,偏强年有 1985、1986、1987、1989、1993 和 1995 年,偏弱年有 1997、1998、2000、2002、2004、2007 和 2012 年,这两序列的分界线为 20 世纪 90 年代中期,与第 2 节的突变检验一致,进一步对比偏强年和偏弱年登陆华南台风生命史强度的本年度前冬海温,两者的分布型几乎呈反对称分布(图 6),即登陆华南台风偏强年,前冬西太平洋、印度洋全区、赤道东太平洋和大西洋偏冷,即本年度前冬海温冷背景下有利于当年登陆华南年台总能量偏强,反之亦然,这可能体现了台风强度和海温的年代际特征(图 4a)(肖栋和李建平, 2007)。

然而,有些时段内年际和年代际信号可能存在反相关,年际增量法不仅能在一定程度上克服年代际和年际变化预测信号不一致的问题,还可以放大预测因子和预测对象之间的异常信号,使之更容易被预测。因而,选用年际增量法计算剔除台风强度序列的年代际变化影响后,得到超过 1 个标准差偏强年(2003、2008、1993、1995、2013、2001、1989、1986、1999)和偏弱年(2012、1990、1992、2010、1982、

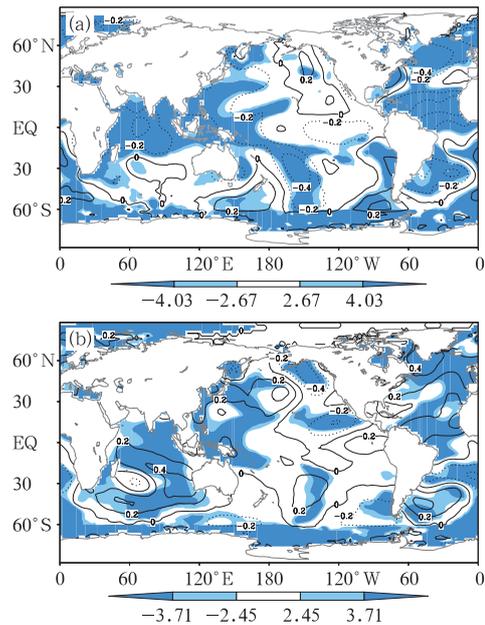


图 6 登陆华南台风偏强年(a)和偏弱年(b)本年度前冬 SST 的空间分布图

[单位: $^{\circ}C$, 浅(深)阴影区是通过 0.10(0.05)的显著性水平检验区域]

Fig. 6 SST spatial distribution in the preceding winter of the strong typhoon years (a) and the weak ones (b)

[unit: $^{\circ}C$, the light (dark) shaded region has passed the significance test at 0.10 (0.05) level]

1987、2002、1996、1994、2004),有意思的是 ACE 偏强和偏弱年分别对应东部型拉尼娜状态和中部型厄尔尼诺状态的不同影响(图 7),即若本年度前冬呈现东部型拉尼娜状态,则对应 ACE 年指数更强,而中部型厄尔尼诺年则对应 ACE 年指数偏弱,这与前面的统计结果一致(表 1),更多地体现了台风和海温的年际变化影响。

3.2 影响登陆华南台风强度的环流因子

选用年际增量法进行年代际信号剔除后,ACE 指数偏强年前冬 500 hPa 高度场上中高纬地区从西欧经亚洲—太平洋—北美洲到大西洋呈现“+—+—+—”的波列,乌拉尔山和鄂霍茨克海对应一低槽,贝加尔湖对应一高压脊,中国南方地区呈现正距平分布,有利于东亚冬季风偏强;而 ACE 指数偏弱年中高纬纬向环流几乎与偏强年相反,贝加尔湖对应一低压槽,中国北方对应一正距平,与贝加尔湖低槽形成偶极型分布,不利于冬季风偏强(图 8a)。偏强年对应的后汛期 850 hPa 风场上表现为 120°~130°E 越赤道气流偏强,继而是辐合带和季风槽强度偏强、位置偏北(图 8b)(王继志和莱夫特维奇,1984;林惠娟和张耀存,2004;赖芬芬和江静,2012),从而有利于登陆华南台风偏强。

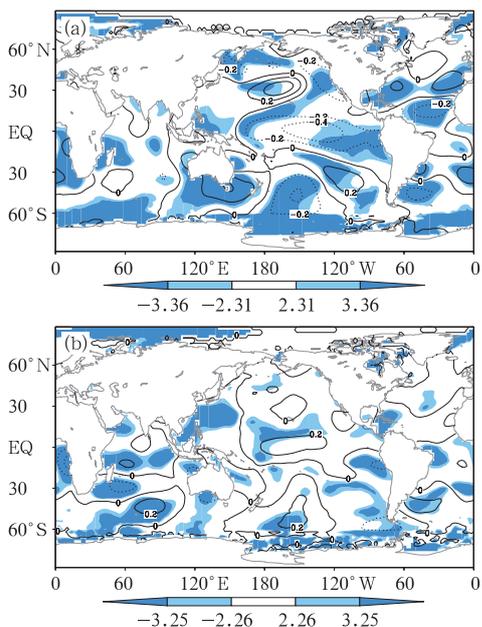


图 7 同图 6,但为基于年际增量法的空间分布图
Fig. 7 Same as Fig. 6, but for SST spatial distribution based on the interannual incremental method

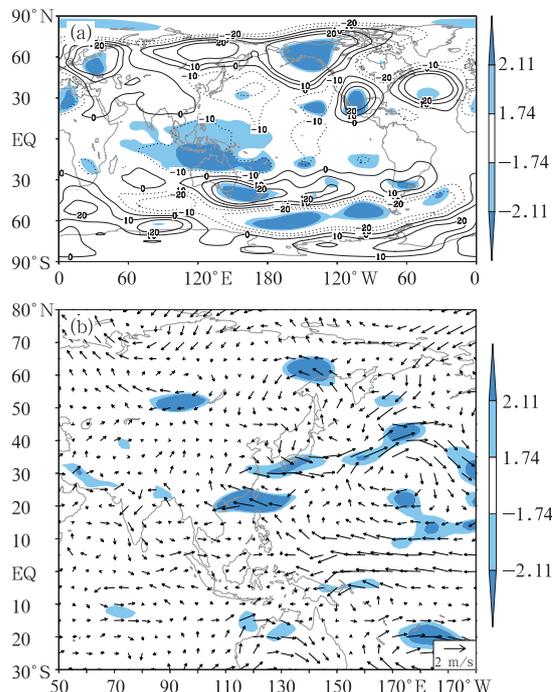


图 8 基于年际增量的偏强年和偏弱年前冬 500 hPa 高度场(单位: gpm)(a)以及后汛期 850 hPa 风场(单位: $m \cdot s^{-1}$)(b)的差异显著性检验
[浅(深)阴影区是通过 0.10(0.05)的显著性水平检验区域,等值线是两者的差值]
Fig. 8 Significant difference test of the preceding winter 500 hPa geopotential height fields (unit: gpm) (a) and 850 hPa wind speed fields (unit: $m \cdot s^{-1}$) in the second rainy season between the strong and weak typhoon years based on the interannual incremental method
[The light (dark) shaded region has passed the significance test at 0.10 (0.05) level, the contours indicate the difference between the strong and the weak ones]

4 登陆华南台风强度的客观化预测模型建立

图 9 给出了登陆华南台风强度的高影响区,可以看到和 3.1 节的合成非常一致,在 30°S 以北主要以冷海温影响为主,其显著区位于印度洋、大西洋南北高、低纬度海域两侧、黑潮区、菲律宾东南部的赤道海区以及南太平洋南部等。

取如图 9b 的①~⑩个高相关区,采用基于年际增量法的主成分回归方法,利用本年度前冬海温场对年平均 ACE 指数建立台风强度预测模型,主要

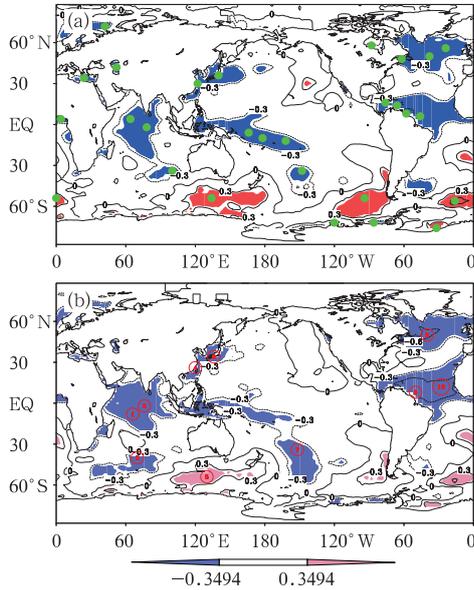


图 9 前冬海温与(a)年均台风风速和
(b)年 ACE 指数的相关图

(阴影区为通过 0.05 的显著性水平检验区域,红色为正相关区、蓝色为负相关区,图 9a 绿点为建模选取的高相关因子,图 9b ①~⑩红色标志为建模选取的高相关区)

Fig. 9 Correlation between the preceding winter SST and the annual average typhoon wind speed (a) and ACE index (b)

[Shaded has passed the significance test at 0.05 level, the red (blue) area is positive (negative) correlation, the green dots in Fig. 9a and the red flags ①~⑩ in Fig. 9b are the high-correlation factors for the model construction]

步骤如下:

(1) 选取图 9b 中 SST 的 10 个高相关区组成自变量矩阵;

(2) 基于年际增量法,构建预报因子矩阵和台风平均强度 ACE 的年际增量矩阵;

(3) 采用主成分回归方法,分别对自变量因子增量矩阵建模,依据累计方差贡献 85% 选取主成分个数,前 5 个方差贡献分别为 45.0%、20.8%、13.9%、8.2% 和 7.7%,计算回归系数,得到预测结果;

(4) 采用相关系数、均方根误差、符号一致率进行独立样本检验;

基于 1981—2013 年资料,建立预测模型如下:

$$Y_{ACE} = 0.07 - 2.38x_1 - 3.44x_2 - 0.72x_3 - 0.31x_4 + 4.29x_5 + 3.5x_6 + 0.5x_7 - 2.56x_8 - 2.28x_9 + 0.08x_{10}$$

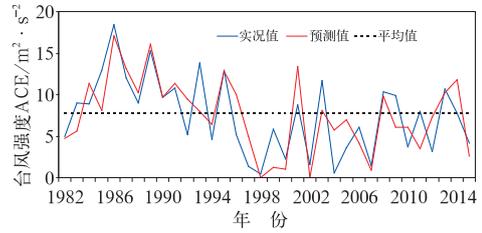


图 10 台风强度预测模型得到的
预测值结果和实况值对比图
(1981—2013 年为拟合回报,
2014—2015 年为预报)

Fig. 10 Comparison between the prediction and the observation from the typhoon intensity model

[The values for 1981—2013 are the hindcast and the following 2014—2015 is prediction]

式中, $x_1 \sim x_{10}$ 各因子分别对应图 9b 中的 10 个区域。

对 1981—2013 年资料进行回报,其实况值和预报值相关系数为 0.8,均方根误差为 3.1,符号一致率为 90.6%,从图 10 回报得到,较强厄尔尼诺次年的台风强度在 1998 年偏弱、1983 年偏强,与实况吻合。2014 年和 2015 年 ACE 的预报趋势与实况一致。但模型在进行独立样本检验时,得到 1983、1992 和 2011 年与实况趋势相反,1985、1992、1993、1996、1997、1999、2001、2004、2011 和 2012 年拟合值与实况值相差 4.0 以上,这主要是因为统计方法通常依赖于资料的周期性规律来建模,若资料的周期性发生变化,统计模型可能会与实况产生较大差别,另一方面统计模型还依赖于建模因子,若建模因子发生变化,其拟合及预报效果都会受到影响。因此,未来短期气候预报需进一步发展数值模式和统计相结合的动力-统计相结合的释用方法。

5 结论和讨论

利用 1981—2015 年台风资料以及 NCEP/NCAR 的再分析资料,结合年际增量法和主成分回归法,研究了近 35 年登陆华南台风强度的气候特征并建立预测模型,得出以下主要结论:

(1) 登陆华南的台风强度在 20 世纪 90 年代中期,强度由强转弱,频数由多转少,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影响,

另一方面可能受太平洋年代尺度振荡(PDO)调制。

(2) 若前冬呈现东部型拉尼娜, 则登陆华南台风强度偏强, 若前冬呈现中部型厄尔尼诺和中部型拉尼娜, 则登陆华南台风强度偏弱, 而东部型厄尔尼诺气压和风速表征的气压偏强、ACE 较气候平均值略弱。

(3) 采用年际增量法剔除年代际变化影响后, 若本年度前冬呈现东部型拉尼娜(中部型厄尔尼诺)状态, 则对应登陆华南 ACE 年指数偏强(弱), 其对应的随后后汛期 $120^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$ 越赤道气流偏强(弱), 继而是辐合带和季风槽偏强(弱)、位置偏北(南), 有利于台风在华南地区(不)活跃, 这些体现了台风、海温及大气环流年际变化特征。

(4) 结合年际增量法和主成分回归方法对登陆华南台风的年 ACE 指数进行建模, 结果得到回报试验中实况值和预报值的相关系数为 0.80, 均方根误差为 3.1, 符号一致率为 90.6%, 2014 年和 2015 年 ACE 的预报趋势与实况一致。

研究得到(Chan and Liu, 2004)台风活动的年际变化更多地依赖于与 ENSO 现象有关的大尺度大气环流因子, 这些大尺度动力和热动力因子主要包括低层相对涡度、垂直风切变和湿静能等。考虑到风切变和涡度场均是影响台风强度的主要因子, 本文也增加这两个因子和海温因子同时建立预报模型, 但结果与仅用海温因子建模得到结果相差不大。目前, 短期气候预测通常在每年 3 月甚至更早要为省政府的决策服务给出年台风频数和强度的预测, 因此建模因子只能从本年度前冬寻找, 慢变量海温因子的持续性较强, 但对台风活动最直接的影响还是大气环流因子, 而大气环流是一个快变量, 其记忆难以保持几个月, 因此目前仍然以统计建模为主, 今后若数值模式模拟性能提高, 有望采用统计和动力降尺度解释方法开展台风强度的预报。另外, 对于登陆华南和华东台风具有不同的特性, 另文将根据更多的资料开展该方面研究及可能成因探讨。

参考文献

端义宏, 余晖, 伍荣生, 2005. 热带气旋强度变化研究进展[J]. 气象学报, 63(5): 636-645.

范可, 林美静, 高煜中, 2008. 用年际增量方法预测华北汛期降水[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 38(11): 1452-1459.

方之芳, 张丽, 程彦杰, 2005. 北极海冰的气候变化与 20 世纪 90 年代

的突变[J]. 干旱气象, 23(3): 1-11.

冯锦全, 陈多, 1995. 我国近海热带气旋强度突变的气候特征分析[J]. 热带气象学报, 11(1): 35-42.

胡娅敏, 宋丽莉, 刘爱君, 2008. 登陆我国不同区域热带气旋气候特征的对比[J]. 大气科学研究与应用, (1): 1-8.

黄小刚, 费建芳, 陈佩燕, 2009. 利用神经网络方法建立热带气旋强度预报模型[J]. 应用气象学报, 20(6): 699-705.

黄颖, 金龙, 黄小燕, 等, 2014. 基于局部线性嵌入的人工智能台风强度集合预报模型[J]. 气象, 40(7): 806-815.

赖芬芬, 江静, 2012. 西北太平洋热带气旋强度的年际变化特征及其大气环流背景场分析[J]. 热带气象学报, 28(5): 609-620.

李勋, 赵声蓉, 李泽椿, 等, 2010. 1977—2007 年影响南海的热带气旋强度变化特征[J]. 热带气象学报, 26(3): 330-338.

梁健, 李晓娟, 谢定升, 等, 2008. 南海热带气旋的气候变化及强度预测方法研究[J]. 海洋科学, 32(12): 29-34.

林惠娟, 张耀存, 2004. 影响我国热带气旋活动的气候特征及其与太平洋海温的关系[J]. 热带气象学报, 20(2): 218-224.

林开平, 刘春霞, 黄颖, 等, 2013. 南海热带气旋强度预报的线性模型与非线性模型研究[J]. 热带气象学报, 29(6): 1001-1007.

江漫, 漆梁波, 2016. 1959—2012 年我国极端降水台风的气候特征分析[J]. 气象, 42(10): 1230-1236.

潘蔚娟, 王婷, 吴晓毅, 等, 2013. 热带气旋强度极值变化特征及其分布模型研究[J]. 热带气象学报, 29(3): 374-380.

王金杰, 王元, 陈佩燕, 等, 2011. 基于偏最小二乘回归理论的西北太平洋热带气旋强度统计预报方法[J]. 气象学报, 69(5): 745-756.

唐明晖, 姚秀萍, 王强, 等, 2017. 不同强度台风相伴的内陆台前爬线对比分析[J]. 气象, 43(8): 912-923.

王继志, 莱夫特维奇 P W, 1984. 夏季 110°E 附近的低空越赤道气流与西北太平洋台风活动[J]. 大气科学, 8(4): 443-449.

王小玲, 任福民, 2007. 1957—2004 年影响我国的强热带气旋频数和强度变化[J]. 气候变化研究进展, 3(6): 345-349.

王小玲, 任福民, 2008. 1951—2004 年登陆我国热带气旋频数和强度的变化[J]. 海洋预报, 25(1): 65-73.

王耀领, 胡邦辉, 杨玉震, 等, 2010. 主分量分析在热带气旋强度客观预报中的试用[J]. 气象科学, 30(2): 179-184.

魏凤英, 2007. 现代气候统计诊断与预测技术: 第 2 版[M]. 北京: 气象出版社.

肖栋, 李建平, 2007. 全球海表温度场中主要的年代际突变及其模态[J]. 大气科学, 31(5): 839-854.

杨玉华, 应明, 陈葆德, 2009. 近 58 年来登陆中国热带气旋气候变化特征[J]. 气象学报, 67(5): 689-696.

姚才, 金龙, 黄明策, 等, 2007. 遗传算法与神经网络相结合的热带气旋强度预报方法试验[J]. 海洋学报, 29(4): 11-19.

殷明, 肖子牛, 李崇银, 等, 2016. 2015 年西北太平洋热带气旋活动特征及强 El Niño 现象对其影响的初步分析[J]. 气象, 42(9): 1069-1078.

于润玲, 余晖, 端义宏, 2013. 登陆华南热带气旋强度变化与大尺度环流的关系[J]. 大气科学学报, 36(5): 619-625.

- 袁金南, 林爱兰, 刘春霞, 2008. 60 年来西北太平洋上不同强度热带气旋的变化特征[J]. 气象学报, 66(2): 213-223.
- 张庆云, 彭京备, 2003. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响[J]. 大气科学, 27(1): 97-106.
- 张守峰, 余晖, 向纯怡, 2015. 中央气象台台风强度综合预报误差分析[J]. 气象, 41(10): 1278-1285.
- 赵珊珊, 高歌, 孙旭光, 等, 2009. 西北太平洋热带气旋频数和强度变化趋势初探[J]. 应用气象学报, 20(5): 555-563.
- Chan J C L, 2006. Comment on "Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment"[J]. Science, 311(5768): 1713.
- Chan J C L, Liu K S, 2004. Global warming and western north Pacific typhoon activity from an observational perspective[J]. J Climate, 17(23): 4590-4602.
- Emanuel K, 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. Nature, 436(7051): 686-688.
- Klotzbach P J, 2006. Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986-2005)[J]. Geophys Res Lett, 33(10): L10805.
- Knutson T R, McBride J L, Chan J, et al, 2010. Tropical cyclones and climate change[J]. Nature Geosci, 3(3): 157-163.
- Webster P J, Holland G J, Curry J A, et al, 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment[J]. Science, 309(5742): 1844-1846.