

西北太平洋台风生成频次的新预测因子 和新预测模型

范可*

(中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029)

摘要 研究了冬春季大气环流对西太平洋台风生成频次的影响, 确定了影响西北太平洋台风生成频次的新预测因子, 它们是冬、春季的北太平洋海冰面积指数、春季北太平洋涛动指数. 并结合前人已有的工作基础, 采用多元回归方法建立了一个西北太平洋台风生成频次的新预测模型. 该模型能很好地拟合 1965~1999 年西太平洋台风生成频次的年际变化, 拟合率是 0.79. 这个预测模型比较合理地预测了 2000~2006 年的台风频次的年际变化. 该研究工作不仅说明了新的预测因子能很好地预测西北太平洋台风活动频次的年际变化, 而且应用它们建立的新台风预测模型, 也将有望应用于西北太平洋台风活动频次的季节预测中, 期望能提高台风活动频次的预测水平.

关键词 预测因子 西太平洋台风活动频次 预测模型

西北太平洋是全球海域内台风生成最多的地方, 并且一年中都可能会有台风活动, 但台风活动最集中的季节是 6~10 月. 中国学者很早就注意到西北太平洋台风的生成和发展与大尺度环流和海温等热力条件密切相关, 并且从天气分析和个例分析角度对西北太平洋台风活动的夏季环流特征作了大量的研究.

陈联寿^[1]研究了盛夏东亚中高纬流型与台风路径的关系. 许健民等^[2]指出夏季在西北太平洋的热带地区, 当对流层上层和下层同时由纬向型转变成经向型时, 往往与强台风或多台风有关系. 方宗义^[3]研究了台风发生发展的云型特征与高空环境流场的关系. 丁一汇^[4]则比较了西北太平洋台风频繁年和稀少年中热带和中高纬的大气环流特征.

此外, 早期的学者还注意到了南半球大气环流与西北太平洋台风活动的关系^[5-15]. 他们研究表明:

西北太平洋台风生成通常与南半球的经向环流、澳大利亚的冷空气爆发、越赤道气流的强度及赤道辐合带等有关. 研究还表明了赤道东太平洋的海温异常通过影响赤道太平洋低纬的纬向环流和赤道辐合带, 进而影响台风的生成频次^[16-20]. 在国外也开展了很多关于台风活动年际变化的研究, 其中很多研究都关注 ENSO 对台风活动的影响. 此外, Cray^[21], Chan^[22]的研究揭示了平流层的准两年振荡是影响台风年际变化的另一个因素.

在实际的业务工作中, 建立和发展动力统计预测模型来预测台风活动的年际变化是非常重要的^[23,24]. Chan 等^[25]等建立了一个统计模型预测西北太平洋地区的热带气旋活动. 在这个模型中, 预测因子包括了反映 ENSO 的各项指数和东亚及西北太平洋的环流因子等, 预测因子都是前年的 4 月-当年的 3 月的

收稿日期: 2007-04-04; 接受日期: 2007-06-04

国家自然科学基金(批准号: 40620130113, 40523001, 40631005)、中国科学院优秀团队计划和中国科学院知识创新工程领域前沿项目(批准号: IAPX087015132)资助

* E-mail: fanke@mail.iap.ac.cn

月指数. 然而, 该模型没有很好地预测出 1997 年和 1998 年台风的活动, 而这两年夏季又分别是 ENSO 的暖事件和冷事件发生的年份. 之后, Chan 等^[26]又加入了新的预测因子包括了南方涛动指数, 澳大利亚季风强度及南太平洋副高强度等, 改进了原有的预测模型. 然而, 随着近年来台风给中国造成的灾害日益增多, 寻找台风活动新的预测因子和提高台风活动的季节预测水平, 就显得极其重要和迫切.

最近, 王会军等^[27]研究发现, 北太平洋涛动(NPO)在 6~9 月(正NPO表示弱的阿留申低压和北太平洋高压)与西北太平洋台风和大西洋飓风年生成频次在 1949~1998 年中年际变化上有显著的相关关系, 并研究了其中的可能机制. 范可^[28]揭示了冬、春季北太平洋海冰面积指数和西北太平洋台风年生成频次在 1965~2004 等中年际变化有显著的负相关的关系并讨论了其中可能的机制. 由此, NPO和冬、春季北太平洋海冰面积指数将有可能是西北太平洋台风活动的新预测因子. 此外, 王会军等^[29]在他们已有的工作基础上, 首次利用气候模式成功地对中国 2006 年夏季西太平洋地区台风活动频次开展了实时气候预测. 基于此, 本文将集中研究冬春季节大气环流异常对西太平洋台风年生成频次的影响, 并考虑了NPO及北太平洋海冰这些新的预测因子及其他冬春季环流因子, 进而建立一个台风活动频次的新预测模型. 希望这个预测模型能应用于今后的台风活动的实时气候预测中, 也期望新的预测模型与大气环流模式预测相结合, 提高台风活动频次的气候预测水平.

1 资料

西北太平洋活动频次定义为一年中西北太平洋生成的台风数, 其中, 台风定义为最大风速大于 74 mi/h (或者 119.1 km/h)的热带气旋. 西北太平洋地区包括南海. 台风资料来自美国的联合台风预警中心(Joint Typhoon Warning Center). Hadley中心的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 月平均海冰密度资料. 月平均海温资料来自美国海洋和大气中心, NCEP/NCAR的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 月平均大气资料. 所有资料长度是 1964~2006 年. NINO34 指数定义为 $120^{\circ}W \sim 170^{\circ}W, 5^{\circ}S \sim 5^{\circ}N$ 区域内海温距平. 北太平洋海冰指数是根据范可^[28]定义. 所有的数据都去掉了线性趋势. 冬季(DJF)是指前一年的 12 月到次年 1 月和 2 月季节平均, 春季(MAM)指当年 3 月, 4 月和

5 月的季节平均.

2 冬春季大气环流的新预测因子和西北太平洋台风活动频次

在这一节中, 我们通过与西北太平洋台风活动频次显著相关的冬、春季环流, 进而确定新的预测因子.

图 1 给出了西太平洋台风活动频次与冬季 850 hPa位势高度的相关场和春季海平面气压的相关场. 冬季, 显著的正相关区在北太平洋高纬, 显著的负相关区在北太平洋中低纬以及与澳洲季风活动相关的南半球低纬地区. 冬、春季, 在北太平洋地区显示出NPO的正位相(NPO指数可以定义为标准化的 $65^{\circ}N, 175^{\circ}E, 25^{\circ}N, 165^{\circ}E$ 两格点的海平面气压之差). 春季NPO与西太平洋台风频次的相关系数是 0.49, 达到 99%的可信度水平, 说明了春季的NPO是显著影响西太平洋台风频次的一个重要因子. 王会军等^[27]研究表明, 在 150 hPa上, NPO的正异常将引起太平洋区的 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}N$ 西风急流加强, 由于西风急流的加强, 其南侧的异常反气旋型环流形成, 其北侧的异常气旋型环流形成, 结果导致西太平洋地区有东风异常存在, 热带太平洋纬向风垂直切变减弱, 进而影响台风生成. 我们基于他们的研究结果及图 1 的分析, 认为春季的NPO有可能是西北太平洋台风生成频次的一个新预测因子.

另一个新的预测因子是冬、春季的北太平洋海冰面积指数, 这是根据范可^[28]研究结果. 他们的研究表明冬、春季的北太平洋海冰面积指数与西北太平洋台风年生成频次在 1965~2004 年中有显著的反相关的关系, 他们的相关系数分别是 -0.42 和 -0.49(均超过了 99%的显著性水平). 冬、春季北太平洋海冰正异常下, 西北太平洋台风生成频次减少. 他们分析了春季北太平洋海冰面积指数的正(负)异常下, 相关的西北太平洋的热带环流和海温条件, 发现这些环流和海温的异常将导致不利(有利)台风在 6~10 月生成的动力和热力环境. 基于此, 我们将冬、春季的北太平洋海冰面积指数也作为台风预测的新因子, 建立台风预测模型.

我们分析了西北太平洋台风频次与冬季 1000 hPa 的气温相关场(图略), 图中, 北太平洋高纬地区

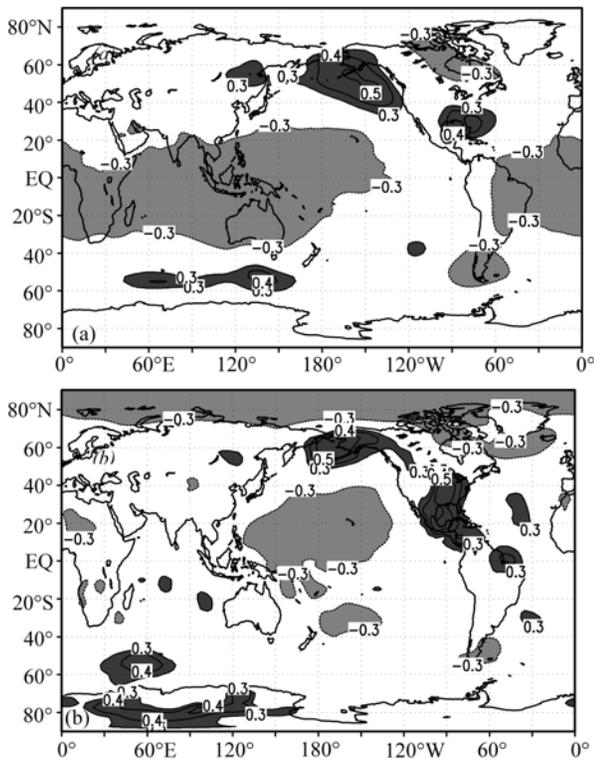


图 1 西太平洋台风活动频次在 1965~1999 年分别与冬季 850 hPa 的位势高度相关场和春季海平面气压相关场 阴影区是相关信度超过 95% 的信度。(a) 冬季 850 hPa 的位势高度; (b) 春季海平面气压

是显著的正相关区, 显著的负相关区在西北太平洋和赤道西太平洋及南半球的中低纬地区, 还有东亚地区. 这就说明冬季东亚冷空气和南海地区冷涌活跃, 是有利于台风活动频繁发生. 李崇银等^[30]研究指出持续强的东亚冷空气将导致赤道西太平洋对流加强和赤道西风异常, 进而激发春季之后的 ENSO 事件爆发. 而很多研究也表明夏季 ENSO 事件是有利于西太平洋台风活动频繁发生. 因此, 赤道西太平洋两侧的低纬地区的冷空气也是预测西太平洋活动频次的的一个关键因子.

前面提到, 已有研究^[10,12,14]指出赤道东太平洋的海温负异常将有利于西北太平洋台风生成, 反之. 因此, 我们也将 NINO3.4 指数作为预测因子之一. 此外, 我们考虑与台风生成频次相关低层相对涡度场(图 2(a)). 我们分析了西北太平洋台风生成频次与 850 hPa 在春季和 6~10 月两个季节的相对涡度的相关场. 我们发现在热带西太平洋区(5°~20°N)从春季到 6~10 月都是显著的正相关地区, 这说明热带西太平洋区的涡度场对台风的影响从春季到 6~10 月有很好的季

节持续性, 这一地区涡度的持续性可能由于低频活动的原因. 因此, 我们将春季热带西太平洋地区的 850 hPa 平均相对涡度作为台风预测另一个因子.

风垂直切变幅度是影响西北太平洋台风活动的一个重要的动力因子^[22,23]. 风垂直切变幅度定义为 200 hPa 的纬向风减去 850 hPa 的纬向风的绝对值. 就气候平均态而言, 西太平洋低纬地区在 6~10 月是弱的垂直风切变形势, 这就使得 6~10 月是一年中西太平洋台风生成台风最多的时期. 我们给出了西北太平洋台风频次与春季风垂直切变幅度的相关场(图 2(b)). 发现从春季到 6~10 月, 也可能由于大气低频活动, 热带西太平洋地区是持续的负相关区. 因此, 春季热带西太平洋风垂直切变幅度是台风频次年际变化的一个重要预测因子.

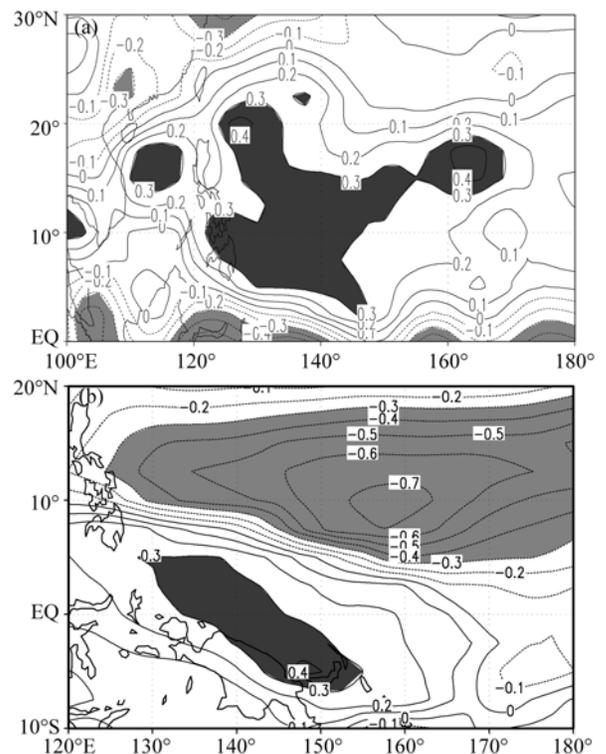


图 2 西太平洋台风活动频次在 1965~1999 年与春季 850 hPa 的相对涡度相关场 (a) 风垂直切变幅度; (b) 阴影区同图 1

根据以上的分析, 我们确定了影响西北太平洋台风活动频次的新的预测因子, 它们是春季的 NPO, 冬、春季的北太平洋海冰面积指数. 根据前人的研究和以上的环流分析, 确定了其他的环流预测因子, 它们是 850 hPa 的冬季位势高度场上的北太平洋高压区

环流, 北太平洋低纬区环流, 与澳洲季风相关的南半球低纬环流; 冬季 1000 hPa 温度场上的两半球的低纬区温度, 它表示两半球低纬冷空气活动; 冬季的 NINO34 指数; 春季 850 hPa 西北太平洋地区的涡度; 春季西北太平洋地区的风切变幅度。

3 新预测因子的可能机制和个例分析

王会军等^[27]研究表明 6~9 月 NPO 的变化和西太平洋及热带大西洋区的纬向风垂直切变幅度、海平面气压以及海表面温度、区域大气辐散辐合等存在显著的关联, 而这些气候环境的变化都和台风及飓风生成与发展的热力或动力过程密切相关。这就是 NPO 与台风及飓风频次相联系的原因。他们还研究了与 NPO 相关的大气遥相关和两区域的大气环流, 发现 NPO 的变化将引起高层西风急流的变化, 从而导致热带西太平洋的垂直风切变幅度的变化。在本文中, 我们发现春季的 NPO 对西北太平洋台风年生成频次也有显著的正相关关系并有很好的预测意义。图 3 给出了 NPO 分别与春季和 6~9 月的海平面气压相关场, 图中, 扣去了南方涛动指数(SOI)的线性回归部分。图 3 可见, NPO 的异常确实能引起西北太平洋低纬环流的异常, 进而导致台风活动的热力和动力条件的改变。因此, 春季 NPO 是预测西北太平洋台风活动并有物理意义的新预测因子。

范可^[28]研究了冬、春季北太平洋海冰面积与西北太平洋台风活动年频次的可能联系机制。他们的研究发现, 春季北太平洋海冰面积异常有可能通过北太平洋区高-低纬间的大气遥相关(图 4)影响到春季的热带西太平洋的环流, 而热带西太平洋环流在春-夏季有很好的季节持续性, 从而导致了夏季西北太平洋台风活动的动力条件改变。

为了更好地说明以上的新预测因子与西北太平洋台风频次的关系, 我们选取 1997 年和 1998 年作个例分析。1997(1998)是台风生成频次异常多(少)的年份, 同时也是春季北太平洋海冰面积指数负(正)异常年份。图 5 给出了 1997 年和 1998 年两年的大气环流的差异场。图 5(a)海平面气压差异场显示了, 北太平洋地区是 NPO 正异常, 即北太平洋高纬是海平面气压正异常, 而西北太平洋地区是海平面气压负异常, 这就有利于 1997 年台风频次异常多, 图 5(a)与图 3 的分布是一致的。

范可^[28]的研究指出春季北太平洋海冰面积指数的异常有可能通过图 4 所显示的 NPO 或北太平洋区高纬-低纬大气遥相关, 影响热带西太平洋的环流, 从而导致台风活动的动力条件改变。200 hPa 纬向风差异场(图 5(b)), 显示出了北太平洋区高纬-低纬的大气遥相关以及热带西太平洋区的东风异常。图 5(c)给出了 6~9 月的 200 hPa 纬向风的差异场, 发现热带西

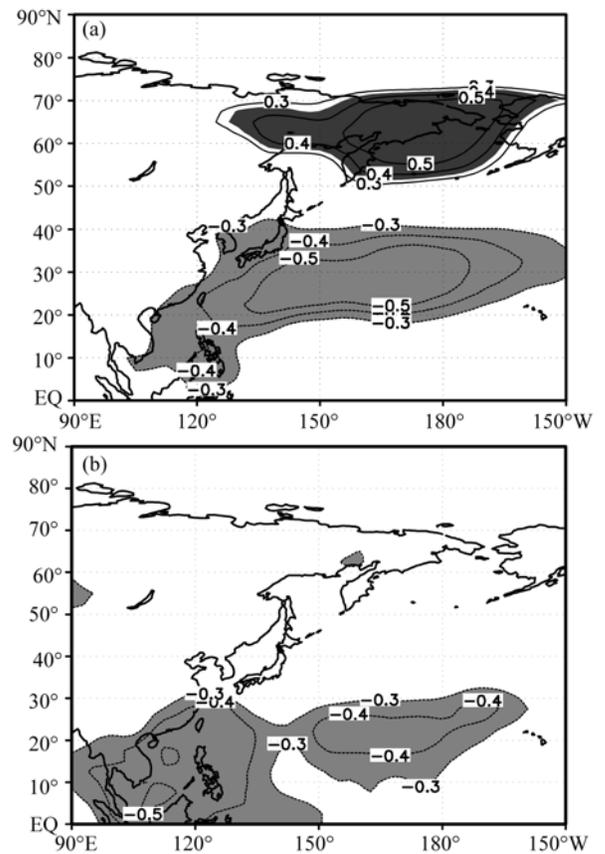


图 3 春季的 NPO 与海平面气压相关场
(a) 春季; (b) 6~9 月。阴影区同图 1, 所有格点都扣去了 SOI 的线性回归

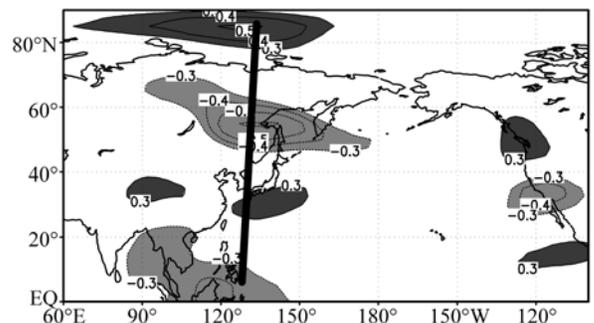


图 4 格点(65°N, 170°E)春季海平面气压场与春季 20 hPa 的纬向风相关场
阴影区同图 1, 黑线表示大气遥相关

太平洋区的东风异常仍然维持. 我们再分析了 850 hPa 的相对涡度差异场(图略), 发现西北太平洋地区低层从春季-夏季是显著的正涡度异常. 以上 1997~1998 年的个例分析支持了我们前面的研究结论, 也说明了新的预测因子的确具有很好的物理意义.

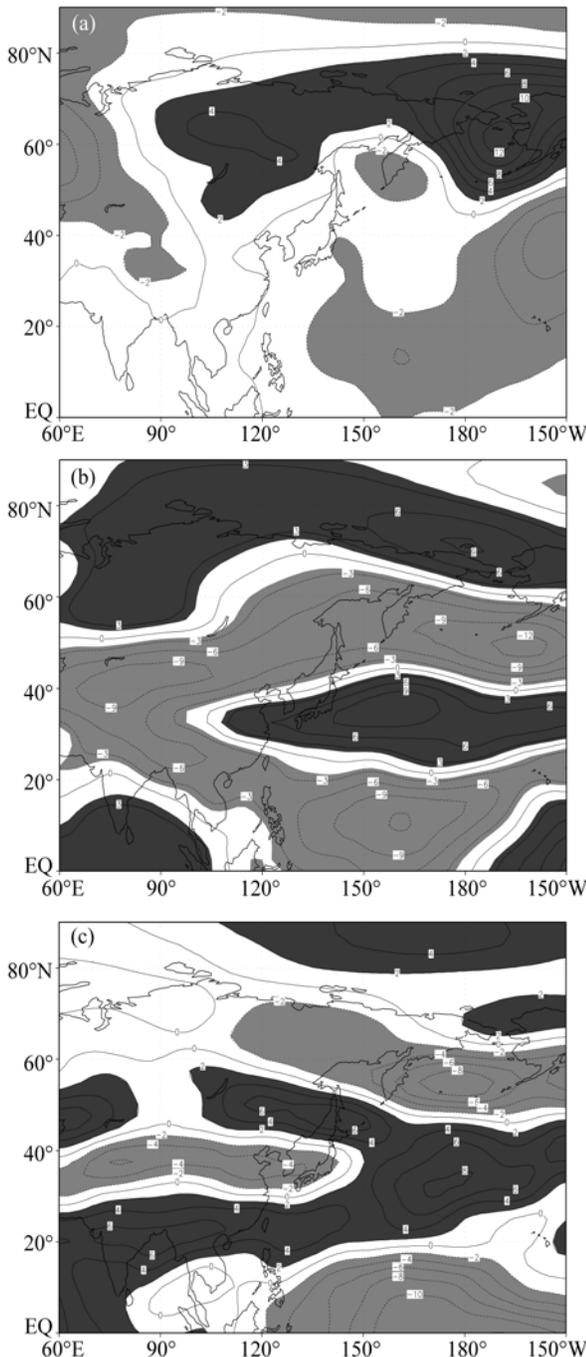


图 5 1997 年和 1998 年的环流差异

(a) 春季的海平面气压; (b) 春季 200 hPa 纬向风差异; (c) 6~9 月 200 hPa 纬向风差异

4 西北太平洋台风活动频次的预测模型

通过以上的分析, 我们确定了西北太平洋台风活动频次的主要的预测因子, 由于这些因子选取的是冬、春季节, 因此, 它们对台风活动盛期 6~10 月的季节预测具有很好的预测意义. 于是, 我们采用多元回归分析, 选取九个冬春季节的大气环流和气候因子(包括了我们新近研究的新预测因子), 建立预测模型. 这九个因子分别为: X_1 是春季北太平洋涛动指数; X_2 是冬季 850 hPa 西太平洋低纬区的区域平均的位势高度(30°S~20°N, 90°~180°E), 它表示了北太平洋和南半球的低纬环流; X_3 是冬季北太平洋高纬区的区域平均的位势高度(50°~60°N, 180°E~140°W), 表示了北太平洋高纬环流; X_4 是冬季 1000 hPa 的西太平洋低纬区的区域平均气温(20°S~20°N, 100°~140°E), 表明了两半球低纬的冷空气活动; X_5 是冬季 Ni no34 指数; X_6 是冬季北太平洋海冰面积指数; X_7 是春季北太平洋海冰面积指数; X_8 是 850 hPa 春季低纬西太平洋区(5°~15°N, 130°~145°E)的区域平均的涡度; X_9 是春季低纬西太平洋区(5°~15°N, 140°~160°E)的区域平均的风垂直切变幅度. Y 是西太平洋的台风活动年频次. 表 1 给出各预测因子与西北太平洋台风生成频次在 1965~1999 年的相关系数列表. 相关系数均超过 95% 以上的显著性水平.

表 1 西北太平洋台风生成频次与各项预测因子在 1965~1999 年的相关系数

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
WNPTF	0.48	-0.49	0.51	-0.50	-0.44	-0.4	-0.48	-0.48	-0.63

建立预报方程如下:

$$Y = 0.08X_1 - 0.05X_2 + 0.08X_3 - 0.21X_4 + 0.08X_5 - 0.11X_6 - 0.29X_7 + 0.14X_8 - 0.3X_9.$$

该方程通过了显著性检验, 其拟合率是 0.79, 超过 99% 的可信度检验. 方程中各项因子的系数的正、负号表示了与西太平洋台风活动频次的正、负相关关系, 我们注意到除了冬季 Ni no34 (X_5) 的系数是正值外, 其他因子与前面的环流分析是一致的. 这说明了冬季的 ENSO 异常对西太平洋台风频次的影响具有复杂性, 尤其在其他大气环流和北太平洋海冰等因子的共同作用下, 它与西太平洋台风活动频次的反相关关系出现了变化. 我们给出了 1965~1999 年实际的西太平洋台风活动频次曲线和拟合曲线(图 6), 图中可见两

者的年际变化拟合很好,尤其是这个预测模型能很好拟合 1997 年和 1998 年的台风频次的变化,而这两年的夏季分别是 ENSO 的暖位相和冷位相年,这说明此预测模型确实能很好地反映西太平洋台风的年际变化规律,其中的各项预测因子都有很好的物理意义.

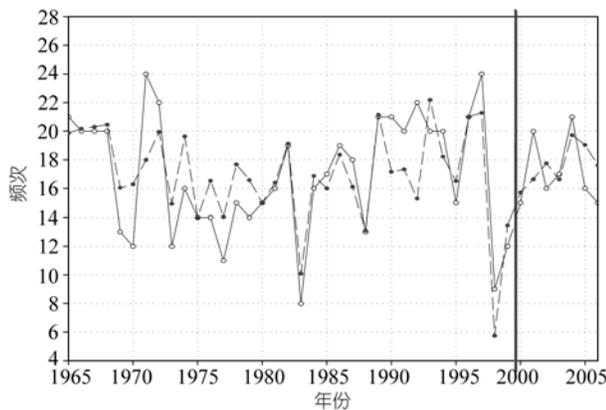


图6 实际西太平洋台风活动频次(实线)和拟合预测曲线(虚线)

拟合时段是 1965~1999 年,预测时段是 2000~2006

5 对于预测模型的预测检验

我们应用以上的预测模型,对 2000~2006 年 7 年的西太平洋台风作预测检验.预测和实况在 2000~2006 年中年际变化趋势非常一致(图 6),7 年中模式预测(实际)的台风数分别是 15.7(15), 16.6(20), 17.8(16), 16.6(17), 19.7(21), 19(16), 17.6(15).因此,该预测模型具有合理地预测台风的年际变化的能力,并对将来的台风实时气候预测具有潜在的应用意义.

6 结论

西太平洋台风活动主要集中在 6~10 月,因此,我们研究冬春季节的大气环流对西太平洋台风活动频次的影响并从中确定主要的预测因子,这对建立和发展台风活动的动力预测模型尤为必要.在本文中,我们基于台风生成频次相关的大气环流,确定新的预测因子并建立了一个新的预测模型.预测模型中考虑的预测因子有:春季 NPO;冬、春季北太平洋海冰面积指数,冬季 850 hPa 西太平洋低纬区的区域平均的位势高度(30°S~20°N, 90~180°E);是冬季北太平洋高纬区的区域平均的位势高度(50°~60°N, 180°E~140°W);冬季 1000 hPa 的西太平洋低纬区的区域平均气温(20°S~20°N, 100°~140°E);冬季 Ni

no34 指数;850 hPa 春季低纬西太平洋区(5°~15°N, 130°~145°E)的区域平均的涡度;春季低纬西太平洋区(5°~15°N, 140°~160°E)的区域平均的风垂直切变幅度.每个因子不仅与西北太平洋台风生成频次有显著的相关关系,而且还有很好的物理意义.

这个新预测模型比较合理地反映了 1965~1999 年西北太平洋台风频次的年际变化,尤其是对 1997 和 1998 年(一些预测模型不能很好的反映台风在这两年中的变化).预测模型对 2000~2006 年的台风频次的预测结果合理.然而,我们今后还要继续对该预测模型作性能检验,并考虑加入其他重要的预测因子,进而不断改进该预测模型.

致谢 感谢审稿者的宝贵意见.

参 考 文 献

- 1 陈联寿.盛夏亚洲中高纬流型与西太平洋台风路径的关系.气象学报, 1965, 35: 476—485
- 2 许建民, 谷美荣.北半球夏季西太平洋热带地区的环流特征及其与台风发生的关系.大气科学, 1978, 2: 174—178
- 3 方宗义.台风发生发展中的云型特征与高空环境流场的关系.大气科学, 1982, 6: 274—282
- 4 丁一汇.影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件.海洋学报, 1983, 5: 561—574
- 5 李宪之.台风生成的综合学说.气象学报, 1956, 27: 87—89
- 6 陶诗言, 徐淑英, 郭其蕴.夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流型的特征.气象学报, 1962, 32: 91—103
- 7 王作述, 何诗秀, 方宗义, 等.西北太平洋 ITCZ 多台风发生的初步研究.气象科学, 1982, 1, 2: 132—139
- 8 何诗秀, 张宝严, 傅秀琴.西北太平洋盛夏台风频数与大尺度环流条件的关系.热带气象, 1986, 2: 251—256
- 9 李曾中.越赤道气流与中国天气关系的初步统计分析.气象, 1986, 4: 11—14
- 10 潘怡航.赤道东太平洋的热力状况对西太平洋台风发生频率的影响.气象学报, 1982, 40: 25—33
- 11 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. Mon Wea Rev, 1985, 113: 599—606, doi: 10.1175/1520-0493(1985)113<0599[DOI]
- 12 李崇银.厄尼诺与西太平洋台风活动.科学通报, 1984, 29(14): 1087—1089
- 13 Wang B, Chan J C L. How does ENSO regulate tropical storm activity over the western North Pacific? J Climate, 2002, 15: 1643—1658, doi: 10.1175/1520-0442(2002)015<1643[DOI]
- 14 Wu G X, Lau N C. A GCM simulation of the relationship between tropical -storm formation and ENSO. Mon Wea Rea, 1992, 120: 958—977, doi: 10.1175/1520-0493(1992)120<0958[DOI]
- 15 Fan K, Wang H J. Antarctic oscillation and the dust weather frequency in North China. Geophys Res Lett, 2004, 31, L10201, doi: 10.1029/2004GL019465[DOI]

- 16 Xue, F, Wang H J, He J H. Interannual variability of Mascarene high and Australian high and their influences on East Asian summer monsoon. *J Meteorol Soc Jpn*, 2004, 82(4): 1173—1186
- 17 Wang H J, Fan K. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty: Signal of the Antarctic Atmospheric Oscillation. *Geophys Res Lett*, 2005, 32, L24705, doi:10.1029/2005GL024562
- 18 范可, 王会军. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响. *中国科学 D 辑: 地球科学*: 2006, 36(4): 385—391
- 19 王会军, 范可. 南半球对流层上层纬向风与东亚夏季风环流. *科学通报*, 2006, 51(13): 1595—1600
- 20 王会军, 范可. 西太平洋台风生成频次与南极涛动的关系. *科学通报*, 2006, 51(24): 2910—2914
- 21 Gray W M. Atlantic seasonal hurricane frequency, Part I: El Niño and 30 mb quisa-biennial oscillation influences. *Mon Wea Rev*, 1984, 112: 1649—1668, doi: 10.1175/1520-0493(1984)112<1649 [DOI]
- 22 Chan J C L. Tropical cyclone activity in the western North Pacific in relation to the stratospheric quisa-biennial oscillation. *Mon Wea Rev*, 1995, 123: 2567—2571, doi: 10.1175/1520-0493(1995)123<2567 [DOI]
- 23 何敏, 宋文玲, 许力. 影响 2000 年热带风暴活动的环境场分析. *气象*, 2002, 28(4): 15—20
- 24 Zhao B, Duan Y H, Yu H, et al. A statistical analysis on the effect of vertical wind shear on tropical cyclone development. *Acta Meteorologica Sinica*, 2006, 20(3): 383—388
- 25 Chan J C L, Shi J E, Lam C M. Seasonal forecasting of tropical cyclone activity over Western North Pacific and the South China Sea. *Weather and forecasting*, 1998, 13: 997—1003, doi: 10.1175/1520-0434(1998)013<0997 [DOI]
- 26 Chan J C L, Shi J E, Liu K S. Improvements in the seasonal forecasting of tropical cyclone activity over the Western North Pacific. *Weather Forecasting*, 2001, 16: 491—497, doi: 10.1175/1520-0434(2001)016<0491 [DOI]
- 27 王会军, 孙建奇, 范可. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(7): 966—973
- 28 范可. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测因子? *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(6): 851—856
- 29 王会军, 郎咸梅, 范可, 等. 关于 2006 年西太平洋台风活动频次的气候预测试验. *气候与环境研究*, 2006, 11(2): 133—137
- 30 李崇银, 穆明权. 东亚冬季风-暖池状况-ENSO 循环. *科学通报*, 2000, 45(7): 1136—1141