

利用气候模式能够预测西北太平洋台风活动的气候背景吗?

郎咸梅, 王会军

中国科学院大气物理研究所灾害性气候预测与研究中心/竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029

E-mail: langxm@mail.iap.ac.cn

2008-01-24 收稿, 2008-05-12 接受

国家自然科学基金(批准号: 40505017, 40631005 和 40620130113)和中国科学院大气物理研究所创新基金(批准号: IAP07205)资助项目

摘要 首先利用 1948~2004 年观测和再分析资料分析了西北太平洋(WNP)台风频次与夏季平均纬向风垂直风切变、外逸长波辐射以及对流层高、低空散度场之间的相关关系, 表明台风发生频次与三者台风发生源区都存在密切关系, 因而对西北太平洋台风活动异常具有显著的预测意义. 然后, 利用中国科学院大气物理研究所的 9 层全球大气环流格点模式(IAP9L-AGCM)进行了 34 a (1970~2003 年)集合回报试验, 考察了该模式对台风源区纬向风垂直切变以及对流层低层散度场的预测能力. 结果表明, 前者回报结果与实测间的时间相关系数可达 0.70, 后者回报结果与实测间的空间相关系数达 0.62, 这说明模式对 WNP 台风活动中主要相关大尺度环境场具有较大的气候预测潜力, 从而有能力在一定程度上实现西北太平洋台风活动异常的实时气候预测.

关键词

西北太平洋台风频次
IAP9L-AGCM
集合回报
可预测性

台风是发生在热带海洋上的剧烈天气系统, 由于其活动复杂且影响范围大, 对人类活动、生产以及生命财产造成了巨大的影响. 据统计, 西北太平洋(WNP)是全球台风活动最为频繁的地区, 中国由于其特殊的地理位置, 是世界上受台风影响次数最多的国家之一. 因此, 对 WNP 台风活动进行实时气候预测意义重大, 是我国汛期气候预测的重要内容.

台风生成和发展需要多种热力和动力条件, 在其发生、发展规律以及相关的气候特征方面, 国内外学者已经开展了一些研究工作^[1-7], 以便从中寻找出预测台风活动的有效途径或方法. 已有的研究表明, 西北太平洋台风活动与海洋状况有密切关系. 例如, Lander^[8], Saunders 等人^[9], Camargo 和 Sobel^[10] 都指出西北太平洋台风频次与厄尔尼诺活动之间存在密切的关系. 潘怡航^[11]、董克勤和齐树芬^[12] 还发现赤道东太平洋海洋热力状况与西太平洋台风频次存在显著的相关关系; 以此为研究基础, 蒋国荣和沙文钰^[13] 还探讨了用赤道东太平洋海温统计预测西太平

洋热带气旋年际变化的可行性. 近年来, 王会军等人^[14,15]、范可^[16]、孙淑清等人^[17] 的研究发现, 西北太平洋台风频次与北太平洋涛动、北太平洋海冰面积指数、甚至澳大利亚东侧的环流异常以及南极涛动都存在密切的关系. 这些研究为西北太平洋台风活动异常的预测奠定了良好的基础, 以便于我们从中寻找出预测台风活动的有效途径或方法, 从而尽可能减小其造成的损失.

在有关台风活动的季节性气候预测中, 统计方法最先得到了应用. 例如, Gray 等人^[18] 利用多个气候因子对大西洋海域热带气旋活动进行了预测研究, 并比较评价了起始预测时间对预测技巧的影响; Chen 等人^[19] 使用南方涛动指数、澳大利亚季风强度、以及南太平洋副热带高压强度等与 ENSO 相联系的多个预测因子, 针对 WNP 季节性热带气旋活动建立了有效的预测方案. 虽然统计学预测方法在台风活动的气候预测中已经取得了一定进展, 但它在预测实践过程中无法考虑大气内部自身变化和动力学

过程,因此有必要同时采用数值预测的方法进行研究.

在已有的动力数值预测研究中,由于海洋表面温度(SST)的可预测性还存在一定局限性^[20],大气环流模式(AGCM)较耦合模式得到了更为普遍的应用.目前,一个相对直接的方法是依据模式结果中的热带气旋数目进行预测.例如, Vitart等人^[21]利用AGCM针对不同海域的热带风暴频次进行了预测研究,发现WNP以及东北太平洋地区热带气旋数的预测潜力非常大,西北大西洋地区的相对要较小一些.然而,热带气旋是一种天气系统,与其生成和强度变化密切相关的重要对流活动的水平尺度大都小于50 km,而现有气候模式的水平分辨率还相对太粗,加之系统误差无法克服,难以真实地反映出热带气旋的实际特性及其与自身环境场的相互作用.因此,通过预测既与台风活动密切相关,又易被气候模式相对准确描述的大尺度大气环流因子,是对台风进行数值气候预测的一个可能途径.基于该预测思想,Thorncroft和Pytharoulis^[22]在AGCM中兼顾实测和持续SST的强迫,通过单独考虑纬向风垂直切变研究了大西洋热带气旋活动的可预测性;王会军等人^[23]则是着眼于与WNP台风活动密切相关的主要气候因子,初步尝试了利用AGCM对夏季WNP台风活动异常进行实时气候预测的预测思想.为了进一步深入这项工作,本文首先确定了大气环境场中对WNP台风活动具有显著预测意义的气候因子,然后依据它们的数值气候可预测程度来评估气候模式对WNP台风活动异常的预测潜力,进而证实了对WNP台风活动进行实时数值气候预测的可行性.

1 资料和试验设计

文中所考察的气候要素场包括纬向风垂直切变(VSZW)、外逸长波辐射(OLR)、以及对流层高、低空散度场.所采用的风场、OLR、以及SST资料均来自于美国国家环境预测中心/大气研究中心,其中用于回报试验的实时大气初始场资料包括高空17层位势高度、风、相对湿度和温度场,以及近地层的位势高度、气压、风、温度和相对湿度场.利用的台风观测资料来自美国联合台风预警中心^[24,25].

为了评估WNP台风活动气候背景的动力气候可预测性,文中利用中国科学院大气物理研究所的9层全球大气环流格点模式(IAP9L-AGCM)^[26-28]进行了

34 a (1970~2003年)集合回报试验.由于我国汛期预测于每年3月进行,WNP台风活动又主要集中在6~10月,因此每年的集合回报试验分别从当年2月22~28日7个不同的初始场出发,都积分到当年的10月31日,最后取7个预测个例的算术平均作为当年的集合回报试验结果,并将夏季平均预测结果定义为6~10月的平均(JJASO).用于产生距平场的模式气候态为IAP9L-AGCM连续积分30 a的控制试验结果.

IAP9L-AGCM的水平分辨率为 $5^{\circ} \times 4^{\circ}$,垂直方向有9层,模式层顶为10 hPa.该模式的气候模拟能力以及短期气候预测潜力曾在相关文章中进行过详细描述或评估^[29,30].鉴于良好的短期气候预测性能,该模式自2002年起便参与我国季度及跨年度实时气候预测,并曾多次对我国汛期及冬季气候异常、春季沙尘气候异常做出了较为准确的预测^[31,32].

2 西北太平洋台风频次与大尺度大气环流因子的相关分析

纬向风的垂直切变是影响台风发生、发展的重要环境条件,其强度变化可用作判断台风活动强弱的参考依据.通过分析200与925 hPa之间纬向风的垂直切变强度与WNP台风频次的相关程度可以看出,二者在台风的主要生成区存在显著的负相关关系(图1),说明当该区域内($155^{\circ}\text{E} \sim 170^{\circ}\text{W}$, $8^{\circ} \sim 17^{\circ}\text{N}$)的VSZW较常年大(小)时不利(有利)于西北太平洋台风活动,这与王会军等人^[23]的研究结果相一致.比较图1矩形区中VSZW强度与WNP台风频次的月平均和季节平均空间相关系数可以看出,模式对季节平均WNP台风活动的预测能力要大于月平均(图2),这与IAP9L-AGCM季节平均时间尺度的预测水平总体上要大于月平均有关^[30].由此可见,VSZW的确对西北太平洋活动异常具有非常显著的指示意义,如果能够提前对VSZW进行较为准确的数值气候预测,就可以在很大程度上提高WNP台风活动异常的实时气候预测水平.此外,从年际变化情况来看,二者在绝大多数年份都呈反位相变化,只有个别年份例外,例如:1972, 1985, 1991及1992年(图3).进一步分析发现,这些年份或是ENSO年,或是期间夏季SST在赤道中东太平洋出现明显异常(图略).这说明VSZW不是WNP台风活动异常的唯一判据,SST等环境条件也发挥着重要作用.

对实测 OLR(表征大气对流状况)与西北太平洋

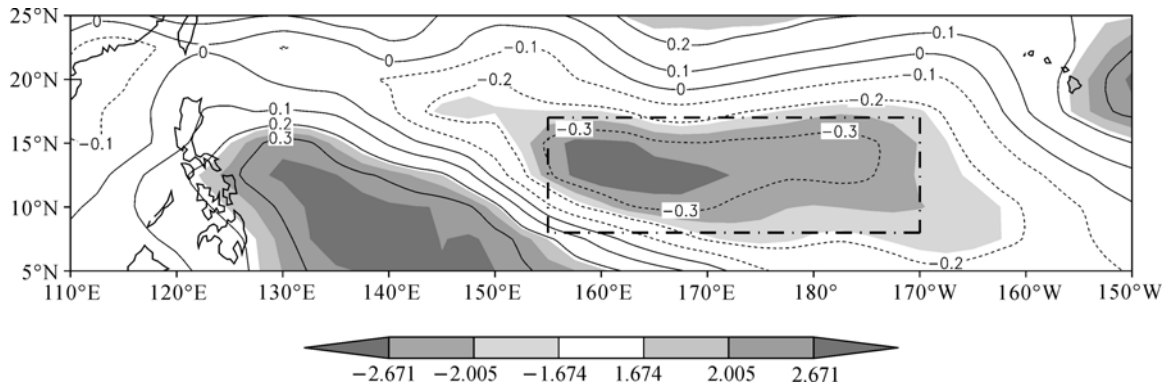


图1 1948~2004年夏季平均WNP台风频次与同期VSZW强度的时间相关系数分布
 矩形区表示相关较大的区域, 浅灰色至深色分别代表90%, 95%和99%的显著性水平

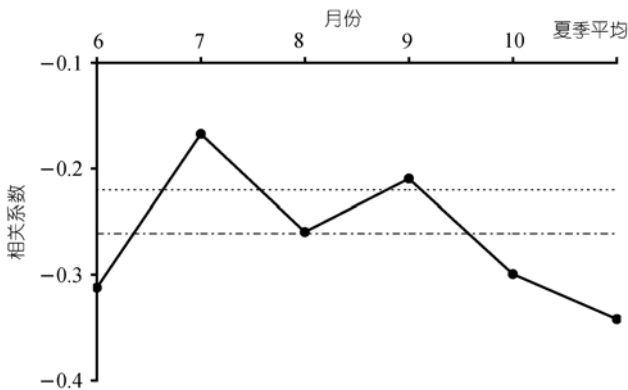


图2 图1矩形区内6~10月月平均及季节平均WNP台风频次与VSZW强度的空间相关系数
 点线和点实线分别对应90%和95%的显著性水平

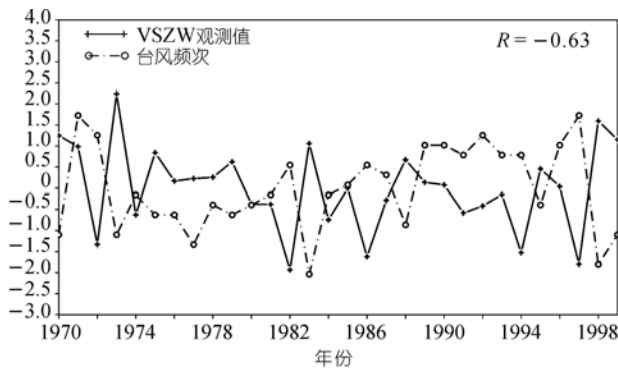


图3 标准化后的夏季平均WNP台风频次以及同期图1矩形区内VSZW强度的年际变化情况

台风频次的相关分析表明, 二者在台风源区存在一个明显的负相关区(145°~180°E, 0°~16°N), 位置比图1的关键区偏西, 并向赤道地区扩展(如图4所示). 另外, 当台风发生频繁时, 台风源区对流层会出现显著的有利于台风发生和发展的散度场异常, 低层辐合

和高层辐散中心分别位于 145°~180°E, 2°~14°N 和 145°~180°E, 12°~25°N(如图5所示). 反之, 当台风发生次数较常年偏少时, 对流层高、低空气流异常的散度场的配置则与图5的完全相反(图略).

以上分析结果表明, VSZW, OLR, 以及对流层高、低空散度场都对 WNP 台风活动异常具有很好的指示意义. 而且, 相关显著的区域都位于低纬, 正好对应于数值模式气候预测能力普遍较大的区域. 因此, 首先利用气候模式预测出这些大尺度环境场异常, 进而预测西北太平洋台风活动异常的预测思路无疑是合理的. 而要实现这一科学思想, 气候模式对这些要素场所需具备的预测能力是关键.

3 模式对西北太平洋台风活动气候背景的预测能力分析

对回报和实测间VSZW的相关分析结果表明, 二者在图1中矩形所示的关键区内呈西北-东南走向的显著正相关分布, 相关系数的最大值可达0.70以上(图6), 这表明IAP9L-AGCM对VSZW具有较强的预测潜力. 此外, 从关键区中回报的和观测的VSZW 34a (1970~2003年)年际变化情况来看, 除个别年份以外, 模式结果在变化步调上与实况吻合得也相当好, 数值上在某些年份也与观测非常接近(相关系数为0.45, 图7). 虽然模式结果中量值的幅度与实况还存在一定差距, 但这是现阶段利用模式进行气候预测过程中普遍存在的问题, 通常需要采用适合于模式本身的有效订正方法^[33]来加以改善, 这也是我们今后工作的一个着眼点. 图7的分析结果进一步肯定了IAP9L-AGCM对该要素场的预测能力, 从而在很大程度上说明了西北太平洋台风频次是具有气候可

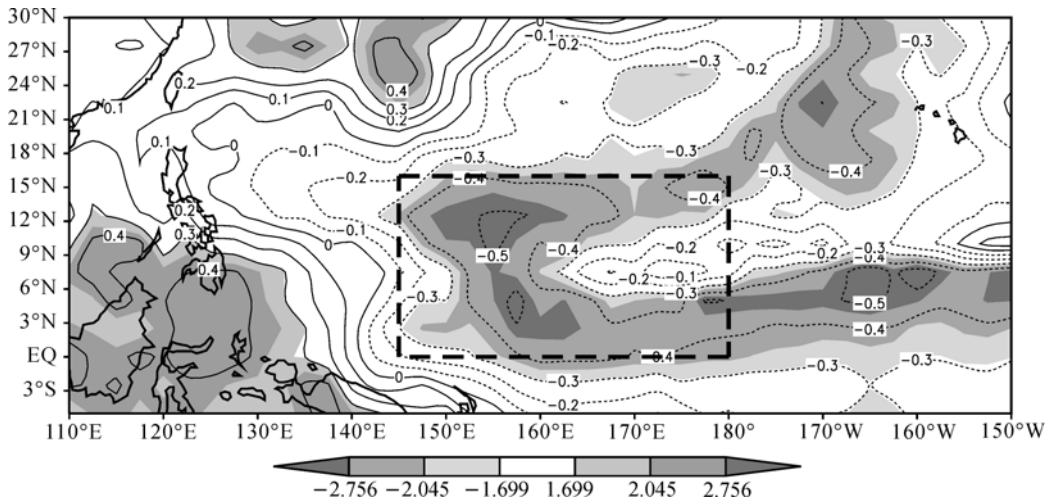


图4 1975~2004年夏季平均WNP台风频次与同期OLR的时间相关系数分布
矩形区和阴影区含义同图1

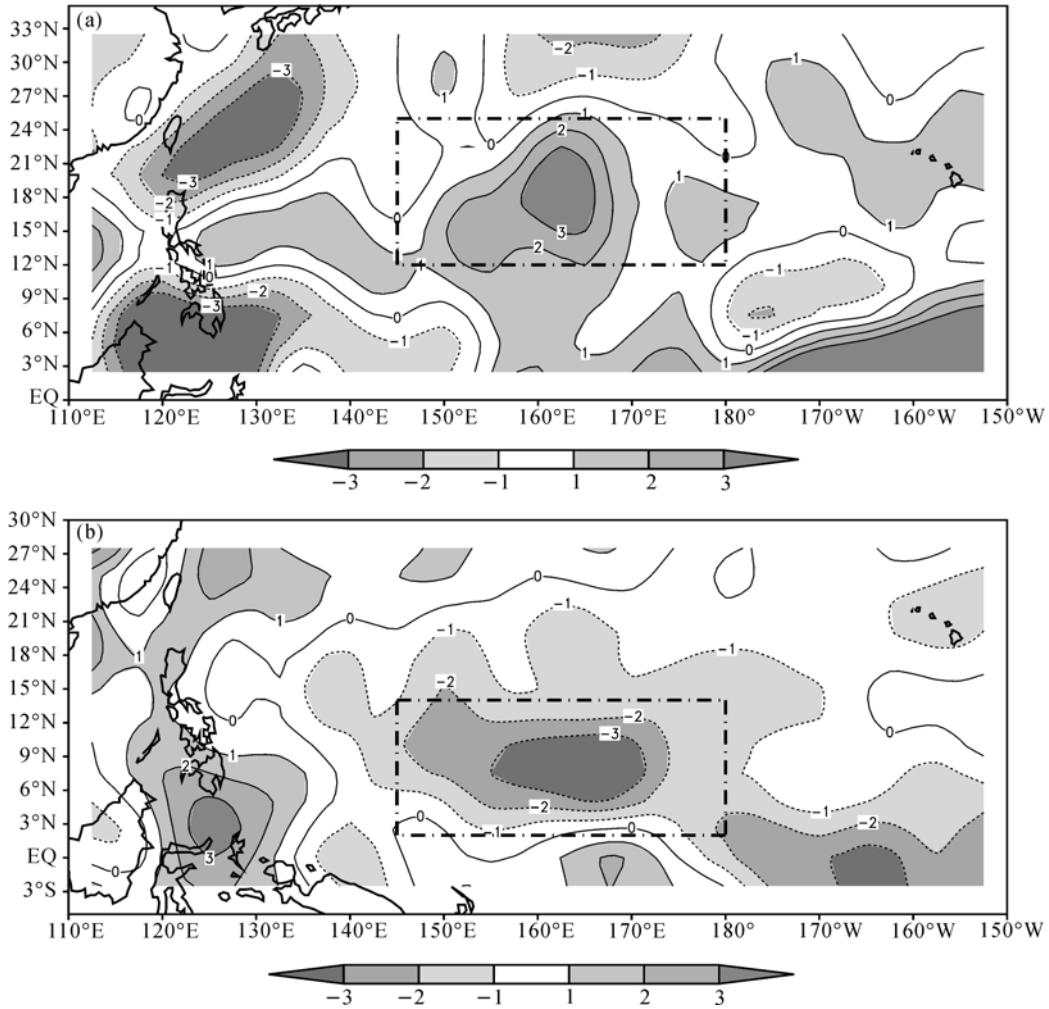


图5 夏季平均WNP台风多发年200 hPa (a)和925 hPa (b)风场散度场分布
单位: $1E7$; 矩形区表示散度较大的区域

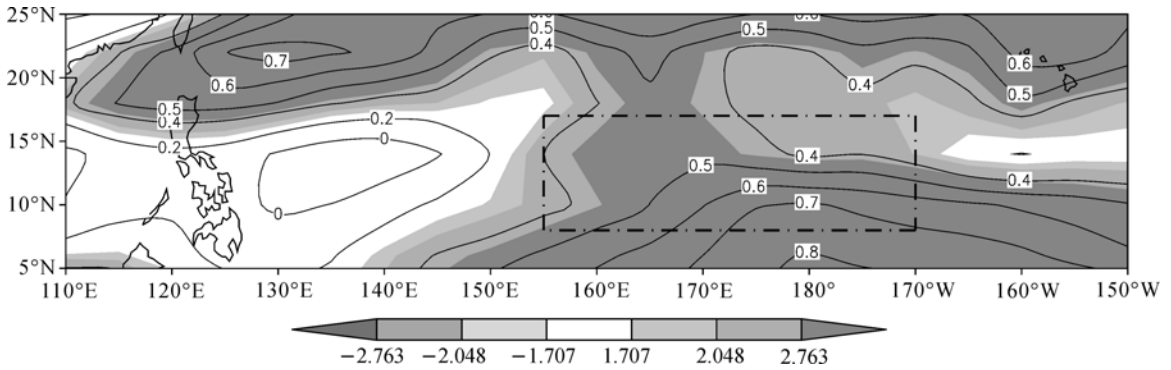


图6 1970~1999年回报试验与观测 VSZW 强度的时间相关系数分布
矩形区为图1中关键区,阴影区含义同图1

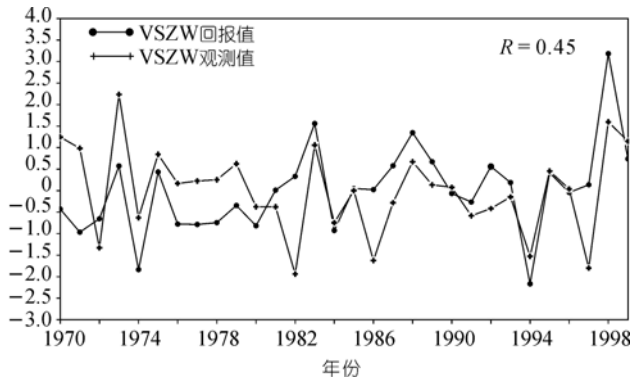


图7 标准化后的图1距区内回报(点实线)和观测(叉实线)的夏季 VSZW 强度的年际变化曲线

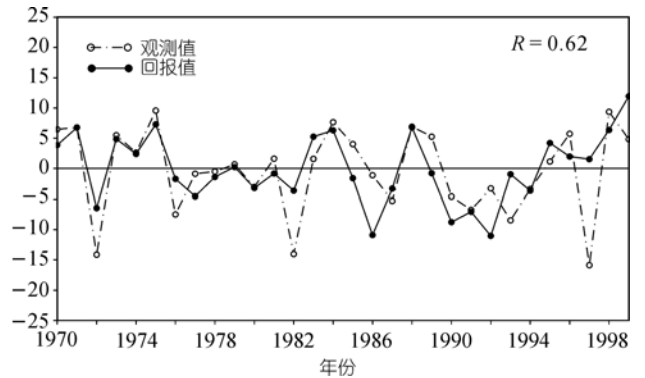


图8 图5(b)矩形区内回报(实线)和实测(虚线)925 hPa 风场散度场的年际变化曲线(单位: 1E7)

预测性的。

另外,文中在图8中给出了图5(b)关键区中925 hPa散度场的年际变化情况。对比回报和实测结果可以发现,模式结果不但在走势上与观测资料具有很好的一致性,在数值上也能与实测相当接近,两者的相关系数可以达到0.62。这说明该要素在IAP9L-AGCM中也具有较大的气候可预测性,其模式结果可在WNP台风活动异常的实时气候预测中作为另一个有力的参考依据。此外还发现,IAP9L-AGCM对散度场的预测准确度在20世纪90年代以前更为突出,相关系数可达0.72,该模式所表现出来的这种预测性能的年代际差异在今后的工作中还有待进一步研究。另外,图7和8也反应出了一个共同问题,那就是IAP9L-AGCM似乎对El Niño衰减期夏季气候有较高的预测潜力,但对该事件发展期夏季气候的预测能力不是很理想。为此,我们基于IAP9L-AGCM 30 a (1970~1999年)集合回报试验结果特别考察了模式的夏季气候预测潜力。发现模式对El Niño年次年夏季

气候要素的预测潜力都要大于当年夏季(图略),其中的原因我们目前还不清楚,但会在今后的工作中加以关注。

以上分析表明,IAP9L-AGCM能够模拟到与WNP台风发生和发展密切相关的某些大尺度环境场特征,可将其作为WNP台风活动异常的气候预测因子。具体到单个事件,此处以1994年和1998年分别作为WNP台风频次异常偏多和偏少年份的代表进行了考察。对于1994年夏季,回报结果显示VSZW较常年明显偏弱,同时对流层低层气流出现异常辐合(如图9所示),这些恰恰都是有利于台风发生和发展的大尺度环境特征。与此相反,在1998年的回报结果中VSZW较常年异常偏强,并且对流层低层出现强辐散中心(如图10所示),两者都会抑制台风的发生和发展。由此可见,如果SST能够被准确地预测,综合VSZW和对流层低层散度场的实时预测结果,IAP9L-AGCM可以提前对WNP台风活动实况做出有价值的气候预测。

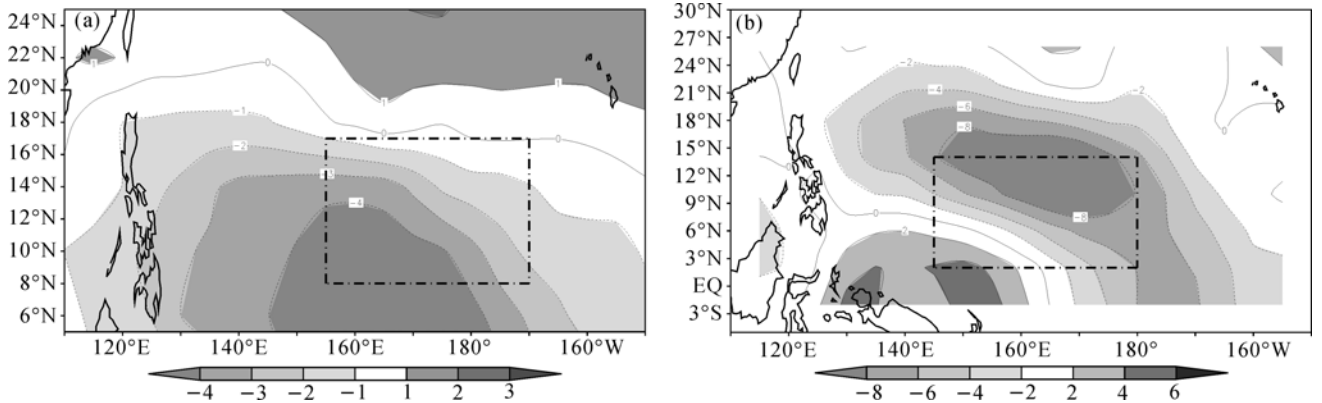


图9 1994年夏季WNP台风源区VSZW异常(a)和925 hPa(b)散度场异常的IAP9L-AGCM回报结果
单位: 1E7; (a)和(b)中矩形区分别对应图1和图5(b)

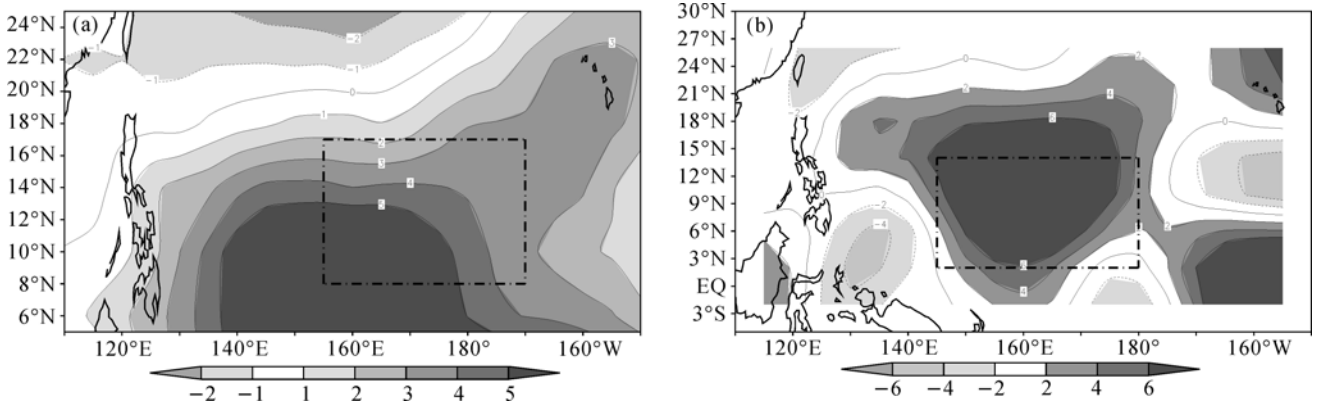


图10 同图9, 但为1998年的回报结果

4 结论与讨论

为了考察夏季WNP台风活动异常的数值气候可预测性, 本文首先利用观测和再分析资料分析了夏季WNP台风频次与同期VSZW, OLR以及对流层高、低空散度场之间的相关关系, 结果表明WNP台风频次与上述3个要素场在台风源区都存在着统计意义上显著的相关关系, 可以将它们作为WNP台风活动异常的预测因子. 然后, 利用IAP9L-AGCM进行了34 a (1970~2003年)集合回报试验, 系统地考察了模式对于这些气候要素的预测潜力. 结果显示, IAP9L-AGCM对VSZW以及对流层低层散度场的预测潜力较高、预测技巧也比较稳定, 这表明该模式对于与WNP台风发生和发展同期有关的大尺度环境场具有较好的预测潜力, 因此有望提前一个季度实现对夏

季WNP台风频次的实时气候预测.

当然, 台风发生和发展的动力学问题相当复杂, 其活动是多种气候或天气因素共同作用的结果, 这在本文的分析工作中已有一定程度的体现. 此外, 现有模式自身还存在着诸如物理过程参数化不够完善, 水平分辨率较粗等缺陷, 要得到完全准确的预测结果还存在着很大困难, 在此前提下实现对决定台风发生和发展的所有气候因子的高水平预测就更难了. 因此, 在对台风这种复杂天气过程的预测中如何寻求有效的途径或方法便显得尤为重要. 另外, 本文的数值预测研究是基于大气环流模式完成的, 因而未对海温的影响进行分析, 而已有研究指出赤道中东太平洋SST和WNP次表层海温对热带气旋都有显著影响^[34,35]. 因此, 有必要利用耦合气候模式进一步开展相关研究工作, 这将是未来工作的一个重点.

致谢 感谢审稿人的宝贵评阅意见.

参考文献

- 1 Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon Weather Rev*, 1968, 96: 669—700[doi]
- 2 丁一汇, 莱特 E R. 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
- 3 Chia H H, Ropelewski C F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the Northwest Pacific. *J Clim*, 2002, 15: 2934—2944[doi]
- 4 陈联寿, 罗哲贤. 影响热带气旋结构和运动的两类因子的数值研究. *气象学报*, 1996, 54: 409—415
- 5 谢安, 叶谦. OLR 低频振荡与西太平洋台风活动的探讨. *气象*, 1987, 13: 8—13
- 6 Yuan J N, Wang D X, Wang Q L, et al. A 28-year climatological analysis of size parameters for northwestern Pacific tropical cyclones. *Adv Atmos Sci*, 2007, 24: 24—34[doi]
- 7 Yuan J N, Wang D X, Liu C X, et al. The characteristic differences of tropical cyclones forming over the western North Pacific and the South China Sea. *Acta Oceanol Sin*, 2007, 26: 29—43
- 8 Lander M A. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the western North Pacific and ENSO. *Mon Weather Rev*, 1994, 122: 636—651[doi]
- 9 Saunders M, Chandler R, Merchant C, et al. Atlantic hurricanes and NW Pacific typhoons: ENSO spatial impacts on occurrence and landfall. *Geophys Res Lett*, 2000, 27: 1147—1150[doi]
- 10 Camargo S J, Sobel A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO. *J Clim*, 2005, 18: 2996—3006[doi]
- 11 潘怡航. 赤道东太平洋海洋表面温度与西太平洋台风发生频率的遥相关. *科学通报*, 1980, 25(21): 987—989
- 12 董克勤, 齐树芬. 赤道东太平洋海温与西太平洋台风频数年际变化的关系. *海洋学报*, 1990, 12: 505—509
- 13 蒋国荣, 沙文钰. 用赤道东太平洋海温预报西太平洋热带气旋年际变化的探讨. *热带气象学报*, 1993, 9: 221—228
- 14 王会军, 范可. 西北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
- 15 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研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(7): 966—973
- 16 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
- 17 孙淑清, 刘舸, 张庆云. 南半球环流异常对夏季西太平洋热带气旋生成的影响及其机理. *大气科学*, 2007, 32: 1189—1200
- 18 Gray W M, Landsea C W, Mielke Jr P W, et al. Predicting Atlantic basin seasonal tropical cyclone activity by 1 June. *Weather Forecast*, 1994, 9: 103—115[doi]
- 19 Chen J C L, Shi J, Liu K S. Improvements in the seasonal forecasting of tropical cyclone activity over the Western North Pacific. *Weather Forecast*, 2001, 16: 491—498[doi]
- 20 Landsea C W, Knaff J A. How much skill was there in forecasting the very strong 1997-98 El Niño? *Bull Amer Meteor Soc*, 2000, 81: 2107—2119[doi]
- 21 Vitart F, Anderson J L, Stern W F. Simulation of interannual variability of tropical storm frequency in an ensemble of GCM integrations. *J Clim*, 1997, 10: 745—760[doi]
- 22 Thorncroft C, Pytharoulis I. A dynamical approach to seasonal prediction of Atlantic tropical cyclone activity. *Weather Forecast*, 2001, 16: 725—734[doi]
- 23 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: 133—137
- 24 Jarvinen B R, Neumann C J, Davis M A S. A tropical cyclone data tape for the North Atlantic basin, 1886-1983: Contents, limitations, and uses. NOAA Technical Memorandum NWS NHC 22, Coral Gables, Florida. 1984
- 25 Landsea C W, Anderson C, Charles N, et al. The Atlantic hurricane database re-analysis project: Documentation for the 1851-1910 alterations and additions to the HURDAT database. In: Murname R J, Liu K B, eds. *Hurricanes and Typhoons: Past, Present and Future*. New York: Columbia University Press, 2004. 177—221
- 26 Zeng Q C, Yuan C G, Zhang X H, et al. A global grid-point general circulation model. In: *Collection of papers presented at the WMO/IUGG NWP Symposium*, World Meteorol Soc, Geneva, 1987. 421—430
- 27 Zhang X H. Dynamical framework of IAP nine-level atmospheric general circulation model. *Adv Atmos Sci*, 1990, 7: 66—77
- 28 Liang X Z. Description of a nine-level grid point atmospheric general circulation model. *Adv Atmos Sci*, 1996, 13: 269—298[doi]
- 29 郎咸梅, 王会军, 姜大膀. 中国冬季气候可预测性的跨季度集合数值预测研究. *科学通报*, 2003, 48(15): 1700—1704
- 30 Lang X M, Wang H J. Seasonal differences of model predictability and the impact of SST in the Pacific. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22: 103—113
- 31 王会军, 郎咸梅, 周广庆, 等. 我国今冬和明春气候异常与沙尘气候形势的模式预测初步报告. *大气科学*, 2003, 27: 136—140
- 32 郎咸梅, 王会军, 周广庆, 等. 应用 IAP9L-AGCM 对 2002 年中国夏季气候的预测及效果检验. *南京气象学院学报*, 2003, 27: 29—35
- 33 Wang H J, Zhou G Q, Zhao Y. An effective method for correcting the seasonal-interannual prediction of summer climate anomaly. *Adv Atmos Sci*, 2000, 17: 234—240[doi]
- 34 李崇银. 厄尔尼诺影响西太平洋台风活动的研究. *气象学报*, 1987, 45: 229—236
- 35 陈光华, 黄荣辉. 西北太平洋暖池热状态对热带气旋活动的影响. *热带气象学报*, 2006, 22: 527—532