

太平洋中低纬度海表温差与副热带高压 异常的数值模拟^{* 1}

潘敖大^{1,2} 孙照渤¹ 周丽贤¹

PAN Aoda^{1,2} SUN Zhaobo¹ ZHOU Lixian¹

1. 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京, 210044

2. 江苏省气象局, 南京, 210008

1. *Key Laboratory Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Sciences & technology, Nanjing 210044, China*

2. *Jiangsu Provincial Meteorological Bureau, Nanjing 210008, China*

2009-05-19 收稿, 2009-10-26 改回.

Pan Aoda, Sun Zhaobo, Zhou Lixian. 2009. Numerical simulation of the relationship of the anomaly of the subtropical high over the western Pacific with the difference of the sea surface temperature between mid and lower latitudes. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(6): 1025–1031

Abstract The summer weather in China is closely related to the subtropical high over the western Pacific (SHWP). The thermal contrast between the mid and lower latitudes could be the main factor to influence the strength and location of the SHWP. The first EOF mode of the sea surface temperature (SST) is derived and the correlation of the SST and the SHWP is investigated by using the SST data and the geopotential height and vertical velocity from NCAR/NCEP reanalysis dataset. Based on the above analysis two individual areas are selected. Then an index is defined to represent the difference of the SST (DSST) between the mid and lower latitudes over the Pacific. The index is highly correlated to the variation of the SHWP. The characters of the inter-decadal variability of the DSST and its impacts on the SHWP are studied by statistic method and numerical simulation. It is shown that the variation of the SHWP is associated with the SST over two regions (30° – 40° N, 180° – 140° W) and (10° S– 10° N, 140° – 100° W) respectively. There is an abrupt change of DSST from weak to strong around 1976 which is closely related with the change of the SHWP. When the DSST is larger, the SHWP is stronger, its domain is larger and can extend more westerly; when the DSST is smaller, the SHWP variation is on the opposite. The numerical simulations further show that increasing DSST will result in the enhancing of Hadley cell descent and the strength of the SHWP. As a result, the DSST is one of the main factors to influence the strength and location of the SHWP.

Key words Western Pacific subtropical high (WPSH), SSTA, Thermal difference between mid- and low latitude SST, Inter-decadal variability, Numerical simulation

摘 要 中国夏季天气变化与太平洋副热带高压关系密切, 而中低纬度热力差异可能是副热带高压的强度和位置发生变化的重要原因, 文中利用 NCAR/NCEP 再分析位势高度、垂直速度和海表温度场资料, 在对太平洋海表温度合理分区的基础上, 根据海表温度 EOF 分解的第一模态时间系数与副热带高压的相关关系, 定义了太平洋中、低纬度海表温差指数, 并通过统计分析和数值模拟方法分析了温差的年代际变化特征及其对副热带高压的影响。结果表明: 副热带高压的变化分别与中纬度太平洋的 (30° – 40° N, 180° – 140° W) 和低纬度太平洋的 (10° S– 10° N, 140° – 100° W) 两块区域海温关系密切, 对由此两区域定义的温差指数分析发现, 1976 年前后温差指数出现一次显著的由弱变强的年代际突变, 且温差的年代际变化特征与副热带高压异常有很好的对应关系, 温差大值年, 副热带高压偏强, 面积增大, 西伸尤其明显; 温差小值年, 副热带高压偏弱, 面积减小,

^{*} 资助课题: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB428505)、江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2009694)和江苏省高校自然科学重大基础研究项目(05KJA17002)。

作者简介: 潘敖大, 主要从事短期气候预测研究。Email: panad@cma.gov.cn

东撤明显。进一步的统计分析和 NCAR/CAM3.0 模式数值模拟都发现,夏季中低纬海表温差增大将引起哈得来环流加强,副热带的下沉速度加大,使副热带高压增强;夏季中低纬海表温差减小将引起哈得来环流减弱,副热带的下沉速度减小,使副热带高压减弱。因此夏季中低纬海表温差的变化是导致副热带高压强度和位置异常的重要原因之一。

关键词 太平洋副热带高压, SSTA, 中低纬温差, 年代际变化, 数值模拟

中图法分类号 P435.2

1 引言

海洋具有巨大的热容量,是驱动气候十年、几十年或更长时间变化的主要因素之一。同时它也是重要的气候子系统,其年际和年代际变化对气候变化有重要的指示作用。朱乾根等(1998)指出,20 世纪 70 年代末太平洋 SST 背景场及其准 4 年周期振荡均存在年代际变化特征,即使不同的海区海温也都存在着明显的年代际变化(朱亚芬等,1998;何有海等,1997;徐建军等,2000)。而钱维宏等(1998)则进一步指出,在年代际时间尺度上,海温异常变化最强的信号仍然发生在太平洋。

太平洋是全球气候年代际变化的关键区(李泓等,2001),其热带及北太平洋是海气活动最活跃的区域,它们的变化对东亚季风、中国降水季节及年代际变化有重要影响(李琰等,2007,2009;谭桂容等,2009)。而且太平洋年代际信号的突变不仅存在于大洋表面(王东晓等,2000;祝从文等,2000;李峰等,2000),而且在次表层都十分明显,它们与大气组成一个海气系统也出现同步变化特征。

西太平洋副热带高压(简称副高)作为东亚季风环流系统中最重要的一员,其东西移动和南北进退的异常对东亚夏季风及中国东部雨带的进退有着决定性的影响(李建平等,2008;祁莉等,2008;王黎娟等,2009)。而海温作为重要的气候影响因子,其与副高的关系历来是人们关注的问题。黄士松(1978)经过分析认为,副高的季节性北跳的机制不仅与太阳辐射加热有关,亦与海温有关。西太平洋暖池区和 ENSO 循环对副高的强度和位置的影响也受到了很多气象学家的重视(黄荣辉等,1994;Nitta, 1990;龙振夏等,1999)。吴国雄等(2002)系统地研究了副高形成的机理,发现与经典理论不同的是副高主要是由于加热的垂直非均匀形成的。

一般认为,经向加热差异的变化是控制副高季节性南北进退的基本因子,研究海温与副高的关系,实际上也是反映经向和纬向加热差异对副高的影响。目前太平洋海表温度异常与副高关系的研究确

实取得了很大进展,但对于海温影响副高的机制,特别是中低纬海表温度差异对副高异常的影响还研究得不多。尤其是 20 世纪 70 年代前后太平洋海表温度(SST)和大气均发生了年代际突变(王东晓等,2000;Lu,2001),中低纬度太平洋海表温差的年代际突变信号是否存在?如果存在突变,温差突变对副高又有什么样的影响?这些问题的解决将有利于进一步理解海温与副高关系的物理本质,也有利于更好的了解副高的变化规律,从而提高中国汛期降水预测效果。

2 资料及其预处理和中低纬度海温区划

2.1 资料

本文所用资料取自美国 NCAR/NCEP 再分析资料中的海表温度(SST)、位势高度场和垂直速度场,时段为 1958 年 1 月—1998 年 12 月,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

2.2 预处理

对 NCEP 的 SST 资料进行距平处理后得到 SSTA,为消除年际变化的影响,对 1958—1998 年 6、7、8 月三个月平均的 SSTA 序列进行牛顿二项式低通滤波,滤掉 10 年以下的变化,得到 44 年低通滤波处理后夏季海温距平序列,以此为研究对象。

2.3 中低纬度海温区划

考虑到不同纬度海温特性的差异,根据李泓(2002)的分析将太平洋中、低纬海温进行合理的区划。在统计上,合理的区划应当不破坏平均场(要素场的气候态)中系统的完整性,同时应当使每个分区内气候变率场(即均方差场,它可以看作异常场的气候态)中也有明显的高值系统。因此综合气候场的完整性及气候变率场的分析,将研究涉及的区域(20°S — 60°N , 120°E — 80°W)划分为中纬度太平洋和低纬度太平洋两个区域,其分界在 20°N 。这样的区划,在物理上充分考虑了海洋的热力学性质;在统计上,使得每个区域在气候上均有完整的主导系统,在气候异常方面也有足够明显的变化。

3 太平洋中低纬度海表温差指数变化及与副高的关系

3.1 太平洋中低纬度海表温差指数定义

对经过预处理的中纬度太平洋 (20° — 60° N, 120° E— 80° W) 和低纬度太平洋 (20° S— 20° N, 120° E— 80° W) 的 SSTA 进行 EOF 分解, 可见在中纬度和低纬度太平洋区域, 海表温度异常 EOF 分析的第一模态方差贡献都比较显著, 分别占总方差贡献的 31.23% 和 43.42%, 因此分别用第 1 模态时间系数与 NCEP 再分析 500 hPa 高度场求相关分布 (图略), 根据相关大值区的分布可以确定中纬度太平洋 SSTA 与副高相互作用的关键区为 (30° — 40° N, 180° — 140° W), 虽然靠近陆地附近的海区相关系数也很高, 但是由于靠近陆地, 可能受到陆地的影响, 所以不予考虑; 低纬度太平洋 SSTA 与副高的相互作用的关键区为 (10° S— 10° N, 140° — 100° W), 它们与 PDO 指数的位相相同, 说明所定义的关键区是可信的。

将上述两个关键区进行 SST 区域平均, 得到两个区域平均的 SST 时间序列, 则中、低纬温差指数 (以下简称温差指数) 定义为低纬关键区的区域平均 SST 减去中纬关键区的区域平均 SST。

3.2 中、低纬度太平洋海表温差年代际特征及其与副高的关系

副高的形成是地球自转和非绝热加热综合作用的结果, 它的强度和南北移动在很大程度上取决于非绝热加热的空间分布。一般认为, 经向加热差异的变化对副高的强度及其南北移动有重要影响, 而中、低纬度海表温差从一个侧面反映了这种经向加热差异, 那么它对副高有什么样的影响? 关系又如何? 本文将着重讨论。

3.2.1 温差指数的年代际变化特征

从 1958—1998 年温差指数的年代际变化情况 (图 1) 可见, 在 1976 年前后, 温差指数出现了明显的突然增强现象, T 检验结果 (图略) 也表明在 1976 年左右, 该指数发生了均值突变, 信度为 0.001, 与副高在 1976 年出现的增强突变 (Lu, 2001; 祝从文等, 2000; 李峰等, 2006) 相对应。

3.2.2 温差指数和副高的相关关系

计算温差指数与副高的面积、强度指数的同期相关系数分别为 0.81、0.86, 均超过了信度 0.001,

可见除了上述突变时间一致之外, 温差指数与副高的强度和面积指数都有很好的相关关系。这表明温差指数不仅在年代际尺度上与副高的变化有明显的对应关系, 其他时间尺度上变化特征也有紧密的联系, 但这种高相关的机制还需要进一步研究。

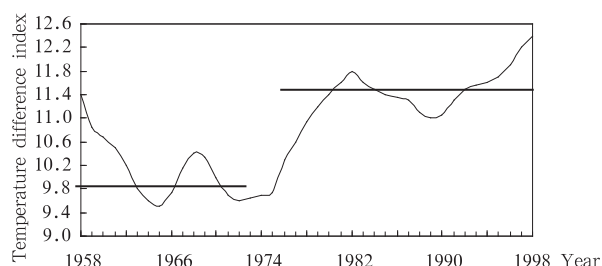


图 1 1958—1998 年太平洋中、低纬度海表温差指数 (单位: $^{\circ}$ C)

Fig. 1 Time series of sea surface temperature difference index between the mid-latitude and low-latitude Pacific for the period of 1958–1998 (unit: $^{\circ}$ C)

根据温差指数在 1976 年前后发生年代际突变的现象, 把整个时段分成 1958—1976 年和 1977—1998 年两个时段, 对关键区域的 500 hPa 高度场进行合成分析。从温差突变前后副高年代际异常情况可见, 1958—1976 年 (图 2a) 副高明显偏弱, 位置偏东, 5880 gpm 线在 165° E 左右, 而 1977—1998 年 (图 2b) 副高明显偏强, 面积扩大, 向西伸展尤为突出, 5880 gpm 线向西伸展到 135° E 左右。显示副高异常与中、低纬海表温差年代际异常有较好的对应关系。

根据吴国雄等 (2002) 的研究, 副高主要是加热的垂直非均匀造成的, 因此利用 NCAR/NCEP 再分析资料, 给出温差突变前后经向剖面大气垂直速度合成场 (图 3a, 3b), 可见温差突变前后副热带下沉运动有较大的差异, 在温差均值较小的突变前, 副热带下沉的速度为 6×10^{-4} hPa/s, 而在温差均值较大的突变后年份, 下沉运动有明显的增强, 垂直速度可以达到 7×10^{-4} hPa/s, 说明由于中、低纬海表温度的差异, 导致哈得来环流的强弱出现变化, 这与副高强度的变化应有一定的关系。

上述分析表明, 温差指数与副高的面积指数和强度指数都有较好的相关关系, 而且合成分析也表明, 温差指数较小年份, 对应的副高面积和强度都较小, 西伸不明显; 而温差较大时, 正好相反。说明

在温差指数由较小均值向较大均值发生年代际突变时,副热带的下沉运动也有一定的增强,因此中、低纬太平洋海温差在年代际尺度上增强时,引起副热

带下沉运动加强,通过哈得来环流的影响,进而导致副高的增强,这可能是太平洋中、低纬度海表温差影响副高的一个可能机制。

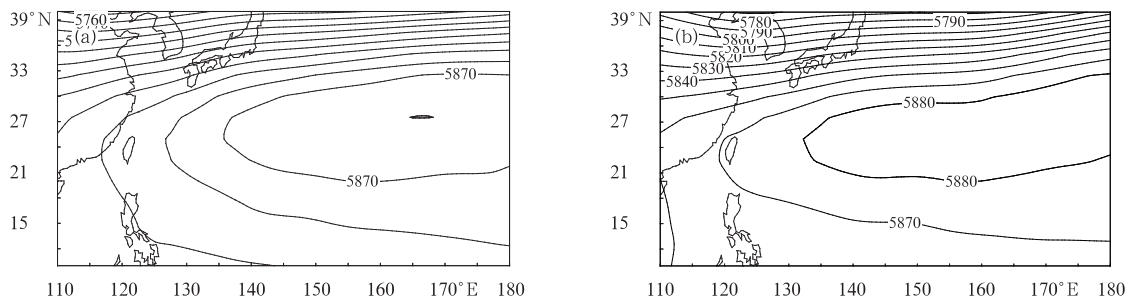


图2 夏季 500 hPa 高度合成场(a. 1958—1976 年;b. 1977—1998 年;单位:gpm)

Fig. 2 Composited summer 500 hPa geopotential height for the period of (a) 1958—1976 and (b) 1977—1998 (unit: gpm)

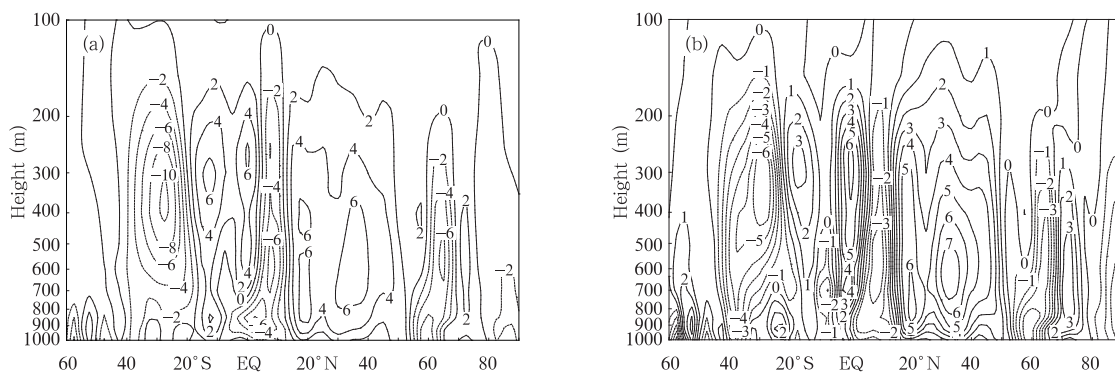


图3 180°—100°W 经向剖面垂直速度合成场(a. 1958—1976 年;b. 1977—1998 年;单位:10⁻⁴ hPa/s)

Fig. 3 Latitude-height cross section of the vertical velocity averaged along 180°—100°W for the period of 1958—1976 (a) and 1977—1998 (b) (unit: 10⁻⁴ hPa/s)

4 太平洋中、低纬度海表温差对副高影响的数值模拟

为了进一步验证这种可能机制,我们用数值模拟方法进一步分析夏季中、低纬太平洋温差对夏季大气环流以及副高的影响。

4.1 模式简介

本文采用的 NCAR/CAM 3.0 模式进行模拟试验,该模式是美国国家大气研究中心研制的全球大气环流谱模式。该模式采用三角形截断,水平分辨率为 T42(相当于 $2.8125^\circ \times 2.8125^\circ$, 全球 128×64 个格点),垂直方向采用混合 η 坐标,从模式顶到模式底共分 18 层,时间积分采用半隐式、蛙跃式方案,积分步长为 20 min。CAM 包括云物理参数化、辐射物理参数化、重力拖曳等完整的物理过程的参数化等。模式的详细描述可见文献(Collins, et al, 2004)。

为了研究需要,设计进行两种数值试验:

(1) 控制试验(CTL)

采用模式自带的均值海温,从 9 月 1 日 00 时开始积分,积分 5 a,把前 4 年当作 spin up 的时间,取第 5 年 6、7、8 月 3 个月的平均值作为模式的夏季气候态。

(2) 敏感性试验

根据观测海温异常的量值分析,这里对低纬关键区分别加入 $+4^\circ\text{C}$ 、 $+4.2^\circ\text{C}$ 、 $+4.4^\circ\text{C}$ 、 $+3.8^\circ\text{C}$ 和 $+3.6^\circ\text{C}$ 的海温异常,对应的分别在中纬关键区加入 -1°C 、 -1.2°C 、 -1.4°C 、 -0.8°C 和 -0.6°C 的海温异常。从 5 月 1 日 00 时开始积分 6 个月,取 6、7、8 月 3 个月的平均值作为夏季平均值,将 5 次模拟试验集合平均的结果作为敏感试验的最终结果。对比敏感试验和控制试验的差异,分析中、低纬度太平洋海温温差对副高的影响。

4.2 控制试验结果

模式对平均气候的模拟情况是检验模式模拟能力的一个根本条件,控制试验结果可以用来检验模式对气候状态的模拟效果。从模式积分第5年6、7、8月平均的500 hPa高度场模拟值(图4)可见,北半球中高纬度存在4槽4脊,低纬度为明显的副热带高压带,南半球基本呈带状分布,与气候平均场相类似,基本可以模拟出夏季500 hPa的环流形式。这也表明该模式对夏季平均气候场具有较好的模拟能力,这为本文的研究提供了基础。

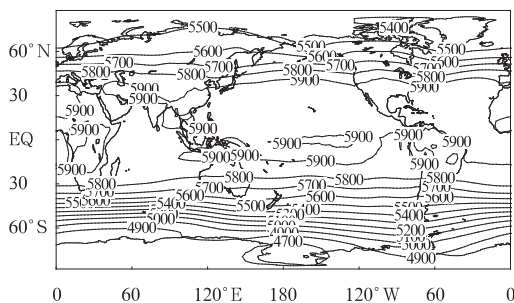


图4 控制试验模拟的夏季500 hPa高度场(单位:gpm)

Fig. 4 Summer 500 hPa geopotential height simulated by control test (unit: gpm)

4.3 敏感性试验结果

从敏感试验与控制试验的500 hPa的高度差值场分布(图5)可以看出,与控制试验相比,敏感试验的500 hPa高度场有明显的增强现象,整个关键区都为正异常,尤其是副高位置正异常最为明显,异常中心量值可以达到10 dagpm。说明在中、低纬太平洋

洋海温温差增大时,副高的强度明显增强,与观测资料的分析结果一致。

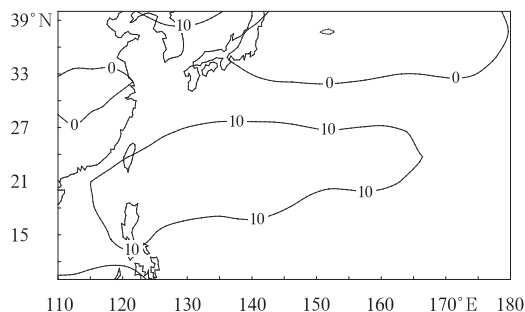


图5 敏感试验集合平均与控制试验的500 hPa高度差值场(单位:dagpm)

Fig. 5 500 hPa geopotential height difference between ensemble mean of sensitivity test and control test averaged along 180°-100°W (unit: dagpm)

为了进一步验证温差影响副高的可能物理机制,分析敏感试验减去控制试验的180°-100°W纬向平均后夏季经向流场剖面(图6)可见,敏感性实验的哈得来环流与控制试验结果相比明显增强。说明在中、低纬度太平洋海温温差增大时,哈得来环流有明显的增强特征出现。

从敏感试验减去控制试验的180°-100°W纬向平均后的夏季的垂直速度分布(图6b)可见,副热带处下沉速度明显增加,中心异常速度可以达到 6×10^{-4} hPa/s。

数值模拟结果(图6)再次证明了统计分析的结论,即中、低纬太平洋海表温差增大时,热带上升增强,副热带处下沉也增强,进一步引起哈得来环流增强,最终导致副高增强。

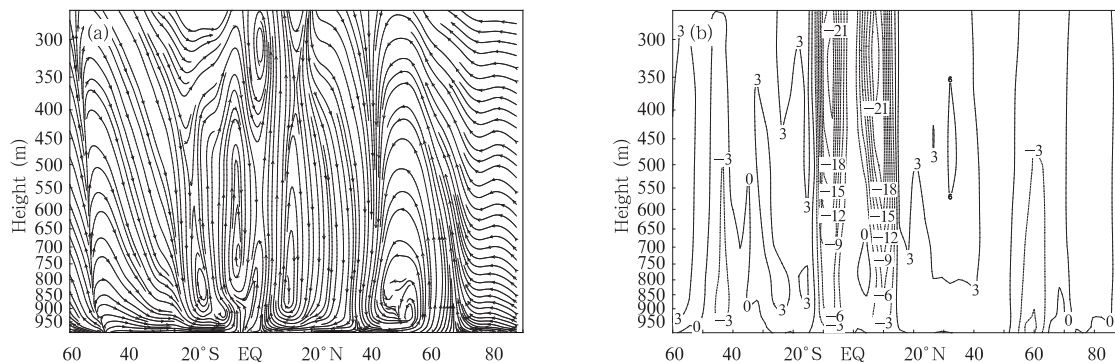


图6 敏感试验集合平均与控制试验180°-100°W纬向平均的流场差值(a)和垂直速度差值(b,单位: 10^{-4} hPa/s)分布

Fig. 6 Latitude-height cross section of (a) wind field difference, and (b) vertical velocity difference between the ensemble mean of sensitivity tests and the result of control test averaged along 180°-100°W

5 结 论

本文在对太平洋海表温度合理分区的基础上,研究了中低纬海表温度差异与副高异常之间的相关关系,定义了太平洋中、低纬度海表温差指数,并通过统计分析和数值模拟方法分析了温差的年代际变化特征及其对副高的影响,得到主要结论:

(1) 在太平洋中、低纬分别有两块区域的 SST 与副高关系密切,分别是中纬度的(30° — 40° N, 180° — 140° W)和低纬度的(10° S— 10° N, 140° — 100° W)。

(2) 中、低纬温差指数存在明显的年代际变化,在 1976 年左右发生了一次显著的由弱变强的年代际突变,且温差的年代际变化特征与副高异常有很好的对应关系,温差大值年,副高偏强,面积增大,西伸尤其明显,反之亦然。

(3) 数值模拟出的 500 hPa 高度和垂直速度的差值进一步验证了太平洋中、低纬度海表温差影响副高的可能物理机制,即中低纬海表温差增强引起副热带的下沉速度增大,并通过哈得来环流的影响,最终导致副高的变化。

但是由于影响副高的因素很多,比较复杂,本文对海温差与副高的关系的研究及其机制的探讨还很初步,更全面的研究还有待进一步深入。

References

- Collins W D, Rasch P J, et al. 2004. Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 3. 0), Technical Report NCAR/TN-464 + STR, National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado, 210pp
- He Youhai, Guan Cuihua. 1997. Interannual and interdecadal variability in heat content of the upper ocean of the South China Sea. *J Tropic Oceano* (in Chinese), 16(1): 23-29
- Huang Ronghui, Sun Fengying. 1994. Impact of the convective activities over the Western Tropical Pacific Warm Pool on the intraseasonal variability of the East Asian summer monsoon. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 18(4): 456-465
- Huang Shisong. 1978. Some aspect s of the studies on t he activities of t he subtropical high and it spredictions. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 2(2): 159-168
- Li Feng, He Jinhai. 2000. The decadal change of the interaction between Northern Pacific SSTA and East Asian summer monsoon. *J Tropic Meteor* (in Chinese), 16(3): 260-271
- Li Jiaping, Zhu Jianlei. 2008. Climatological features of the Western Pacific subtropical high southward retreat process in late-spring and early-summer. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 66(6):

- 926-939
- Li Hong, Li Liping, Wang Panxing. 2001. Advance in study on inter-decadal climate variability of the pacific atmosphere-ocean system. *J Nanjing Ins Meteor* (in Chinese), 24(4): 591-598
- Li Hong. 2002. Differences and relationships of air-sea interaction in the different latitudinal pacific areas (in Chinese). Nanjing: Nanjing Univ Information Sci Techn, 10-14
- Li Yan, Wang Yafei, Wei Dong. 2007. Effects of anomalous SST in tropical indian ocean and pacific ocean on next june rainfall over the Yangtze river basin and area south of the basin. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 65(3): 393-405
- Li Yan, Wang Yafei, Dong Min. 2009. Numerical simulations of the effects of the preceding equatorial Eastern Pacific sea surface temperature anomaly on the Southern China rainfall in June. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 67(2): 250-259
- Long Zhenxia, Li Chongyin. 1999. Numerical simulation of the EN-SO influences on EAST-ASIAN monsoon activities afterwards. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 57(6): 651-661
- Lu Riyu. 2001. Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool. *J Meteor Soc Japan*, 79, 771-783
- Nitta T. 1990. Unusual summer weather over Japan in 1988 and its relationship to the tropics. *J Meteor Soc Japan*, 68, 575-587
- Qi Li, Zhang Zuqiang, He Jinhai, et al. 2008. Dynamical diagnosis on possible formation cause of climatological western Pacific subtropical high double ridges process. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 32(2): 395-404
- Qian Weihong, Zhu Yafen, Ye Qian. 1998. Interannual and inter-decadal variability of sea surface temperature anomaly over the equatorial Eastern Pacific. *Chinese Sci Bull* (in Chinese), 43(10): 1098-1102
- Tan Guirong, Sun Zhaobo, Min Jinzhong, et al. 2009. Spatial modes of summer SSTA in North Pacific and its relationship with the circulation anomaly over East Asia. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 33(5): 1038-1046
- Wang Dongxiao, Liu Zhengyu. 2000. Signal pathway of decadal variability in the Pacific Ocean. *Chinese Sci Bull* (in Chinese), 45(8): 808-815
- Wang Lijuan, Chen Xuan, Guan Zhaoyong, et al. 2009. Features of the short — team position variation of the western Pacific subtropical high during the torrential rain causing severe floods in southern China and its possible cause. *Chinese J Atmos Sci* (in Chinese), 33(5): 1047-1057
- Wu Guoxiong, Liu Yimin, Liu Ping, et al. 2002. Relation between the zonal mean subtropical anticyclone and the sinking arm of Hadley cell. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 60(5): 304-317
- Xu Jianjun, Wang Dongxiao. 2000. Diagnosis of interannual and interdecadal variation in SST over Indian-Pacific Ocean and numerical simulation of their effect on Asian summer monsoon. *Acta Oceanolo Sinica* (in Chinese), 22(3): 34-43

- Zhu Congwen, He Jinhai, Wu Guoxiong. 2000. East Asian monsoon index and its inter-annual relationship with largescale thermal dynamic circulation. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 58(4): 391-402
- Zhu Qiangen, Ge Xuyang, Jiao Meiyuan. 1998. Difference of inter-decadal background between 1976/77 and 1982/83 El nino events. *Scientia Meteor Sinica (in Chinese)*, 18(3): 203-213
- Zhu Yafen, Qian Weihong. 1998. Decadal variability of global SST anomalies. *Marine Forecasts (in Chinese)*, 15(4):1-7
- ### 附中文参考文献
- 何有海, 关翠华. 1997. 南海上层海洋热含量的年际和年代际变化. *热带海洋*, 16(1):23-29
- 黄荣辉, 孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响. *大气科学*, 18(4): 456-464
- 黄士松. 1978. 有关副热带高压活动及其预报问题的研究. *大气科学*, 2(2):159-168
- 李峰, 何金海. 2000. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化. *热带气象学报*, 16(3):260-271
- 李建平, 朱建磊. 2008. 晚春初夏西太平洋副热带高压南撤过程的气候学特征. *气象学报*, 66(6):926-939
- 李泓, 李丽平, 王盘兴. 2001. 太平洋地区海气系统年代际变率研究的若干进展. *南京气象学院学报*, 24(4):591-598
- 李泓. 2002. 太平洋区域海气相互作用的纬际差别及联系[D]. 南京:南京信息工程大学, 10-14
- 李琰, 王亚非, 魏东. 2007. 前期热带太平洋、印度洋海温异常对长江流域及以南地区 6 月降水的影响. *气象学报*, 65(3):393-405
- 李琰, 王亚非, 董敏. 2009. 赤道东太平洋海温异常对 6 月中国南方降水影响的数值模拟. *气象学报*, 67(2):250-259
- 龙振夏, 李崇银. 1999. ENSO 对其后东亚季风活动的 GCM 模拟研究. *气象学报*, 57(6):651-661
- 祁莉, 张祖强, 何金海等. 2008. 气候平均场上西太平洋副热带高压双脊线过程可能成因的动力诊断分析. *大气科学*, 32(2): 395-404
- 钱维宏, 朱亚芬, 叶谦. 1998. 赤道东太平洋海温异常的年际和年代际变率. *科学通报*, 43(10):1098-1102
- 谭桂容, 孙照渤, 闵锦忠等. 2009. 北太平洋海温异常的空间模态及其与东亚环流异常的关系. *大气科学*, 33(5):1038-1046
- 王东晓, 刘征宇. 2000. 太平洋年代际海洋变率的信号通道. *科学通报*, 45(8):808-815
- 王黎娟, 陈璇, 管兆勇等. 2009. 我国南方洪涝暴雨期西太平洋副高短期位置变异的特点及成因. *大气科学*, 33(5):1047-1057
- 吴国雄, 刘屹岷, 刘平等. 2002. 纬向平均副热带高压和 Hadley 环流下沉支的关系. *气象学报*, 60(5):304-317
- 徐建军, 王东晓. 2000. 印度洋-太平洋海温的年际、年代际异常及其对亚洲季风的影响. *海洋学报*, 22(4):685-691
- 祝从文, 何金海, 吴国雄. 2000. 东亚季风指数及其与大尺度热力环流年际变化关系. *气象学报*, 58(3), 391-402
- 朱乾根, 葛旭阳, 矫梅燕. 1998. 1976—1977 年及 1982—1983 年厄尔尼诺事件过程差异的年代际背景. *气象科学*, 18(3):203-213
- 朱亚芬, 钱维宏. 1998. 全球海温异常的年代际变化. *海洋预报*, 15(4):1-7