

# 中国沿海地区夏季风速时空变化特征和气候模式结果评估与预估分析

江滢<sup>1</sup>, 赵宗慈<sup>2,3</sup>

1. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081
2. 清华大学地球系统科学研究中心, 北京 100084
3. 国家气候中心, 北京 100081

**摘要** 利用中国一般、基本和基准气象站近 50 年的观测风速资料, 分析了近 50 年中国沿海地区夏季风速时空变化特征, 检验评估了 20 个全球气候模式和 3 个区域气候模式模拟中国沿海地区夏季风速分布和变化特征的能力, 预估了 21 世纪初期中国沿海地区夏季风速变化特征。研究发现, (1) 近 50 年中国沿海地区观测夏季平均风速和极大风速均呈明显减小趋势变化, 这种变化特征与近 50 年中国登陆台风频数变化有关。(2) 全球气候模式和区域气候模式都能较好地模拟中国沿海地区夏季平均风速的分布状况, 区域气候模式模拟能力略强于全球气候模式。(3) 全球和区域气候模式都不能模拟出观测到的近 50 年来中国沿海地区夏季平均风速呈明显的减小趋势, 部分模式能模拟出近 50 年来中国沿海地区夏季平均风速略呈减小趋势变化。(4) 全球和区域气候模式一致预估在 B1 和 A1B 情景下, 21 世纪初期中国沿海地区夏季平均风速比 20 世纪小; 全球气候模式预估 A2 情景下, 21 世纪初期中国沿海地区夏季平均风速比 20 世纪大。

**关键词** 中国沿海; 风速变化; 最大风速; 台风变化

**中图分类号** P429, P467

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.06.002

## Characteristics of Summer Wind Speed Changes over Coastal Region of China

JIANG Ying<sup>1</sup>, ZHAO Zongci<sup>2,3</sup>

1. *Public Weather Service Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*
2. *Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China*
3. *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*

**Abstract** Based on observational data sets of general, basic, and standard climate stations in the coastal regions of China from 1965 to 2004, summer wind speed changes are analyzed. Twenty global climate models and three regional climate models have been evaluated based on their capabilities to simulate summer wind speed for 20th century, and the results are used to project the summer wind speed changes in the coastal regions of China for the 21st century. The following conclusions are drawn: (1) in recent 50 years, both summer mean wind speed and maximum wind speed observed all show declining trends over the coastal regions of China. This changing feature of wind speed in China's offshore areas is related to the changing characteristics of typhoon frequency in China. (2) Both global climate models and regional climate models possess the certain capabilities to simulate the patterns of the summer mean wind speed. The capabilities of regional climate models are slightly better than that of global climate models. (3) Both global and regional climate models are unable to simulate the obvious decrement trend shown by the observed data. Only a few of them are able to simulate the slightly decrement trend of summer wind speed changes in China for the last 50 years. (4) Global and regional climate models all predict that the summer mean wind speed in coastal regions of China for the early 21st century decreases slightly for SRES B1 and A1B scenario. The

收稿日期: 2010-11-28; 修回日期: 2011-01-31

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806009)

作者简介: 江滢, 高级工程师, 研究方向为气候变化、风能资源开发利用等, 电子信箱: jiangy@cma.gov.cn

projection of summer wind speed in China's offshore areas for the early 21st century is that the speed is slightly increasing for SRES A2 scenario than that for the 20th century. (5) It is worth noting that due to current restrictions on the scientific understanding, in either case of global climate models and regional climate models, there is a considerable uncertainty in the projection of the regional climate changes, especially in projection of the wind speed. The studies on the wind projections have just been in the beginning, a large number of tests need to be done in order to get more reliable conclusions.

**Keywords** coastal regions of China; wind speed changes; maximum wind speed; typhoon changes

## 0 引言

西北太平洋台风活动对中国影响很大,尤其是登陆台风,除了带来丰沛的降水外,经常引起严重的灾害<sup>[1-2]</sup>。近百年来全球气候发生了显著变化。近100年(1906—2005)全球年平均地表气温增加 $0.74^{\circ}\text{C}$ ( $0.56\sim 0.92^{\circ}\text{C}$ ),中国年平均气温变暖略高于此。在考虑人类活动各种情景,气候模式预估未来50~100年的气候变化仍将继续向着变暖的趋势发展<sup>[3-6]</sup>。因此,在台风研究和防灾减灾中须充分考虑气候变化的背景。许多学者都对全球变暖背景下西北太平洋台风和中国登陆台风的长期变化进行了研究,主要分为5个方面:(1)生成或登陆台风数、频率和强度变化。许多专家认为影响或登陆中国的台风或热带气旋频数呈减少趋势<sup>[7-13]</sup>;也有专家认为登陆中国强度达台风级别的气旋或超强台风频数有所增加<sup>[14-16]</sup>;还有些专家则认为西北太平洋和登陆的超强台风变化趋势不明显<sup>[7,17-18]</sup>。关于台风或热带气旋强度,王小玲和任福民<sup>[9]</sup>,曹楚等<sup>[10]</sup>都认为,近50年西北太平洋产生或登陆的热带气旋最大强度或平均强度呈减弱趋势;王磊等<sup>[19]</sup>和Elsner等<sup>[14]</sup>则认为,西北太平洋和登陆中国的热带气旋(TC)在强度上具有明显增强变化趋势,极大风速也呈增大趋势变化。(2)产生和登陆台风的时间、源地位置和路径等变化。许多学者认为在全球变暖背景下,海温升高,热带气旋或台风源地、路径及产生或持续时间都发生了明显变化。如Walsh等<sup>[20]</sup>、钱维宏等<sup>[21]</sup>和王磊等<sup>[19]</sup>认为,近几十年来太平洋热带气旋或台风路径呈向极运动(向北扩展)趋势;曹楚等<sup>[10]</sup>则认为登陆台风位置偏向中国海岸线中部的趋势;而Knutson等<sup>[22]</sup>认为全球变暖,不会引起TC向极漂移。Wu等<sup>[23]</sup>、Wu和Wang<sup>[24]</sup>认为,全球变暖对热带气旋路径有影响,但比较复杂。关于台风登陆和持续时间方面,有研究表明初台推迟、终台提前,台风季节显著变短<sup>[7]</sup>,且沿海各地有所不同<sup>[25]</sup>。(3)台风潜在破坏力(PDI)的变化。台风潜在破坏力方面的研究相对较少,且较为一致地认为近几十年西北太平洋或大西洋台风破坏力明显增大<sup>[26-28]</sup>。(4)未来台风变化方面的预估研究。由于当前认识水平的限制,无论是全球气候模式还是区域气候模式,对区域尺度未来气候变化的预估都存在较大不确定性,台风预估方面的结论也存在较大差异<sup>[29-31]</sup>。如Knutson等<sup>[32-33]</sup>预估未来全球台风频率变化很小,但强台风频率呈增加趋势变化;Walsh等<sup>[34]</sup>利用区域气候模式(30km)预估 $\text{CO}_2$ 加倍,全球TC频数无明显变化。但一致认为未来台风带来的降水量将有所增加<sup>[33,35]</sup>。(5)全球变暖、海洋增温等对台风的影响及台风带来的暴雨和灾害等

方面的变化研究<sup>[21,33,35-49]</sup>。

上述分析可以看出,无论是关于过去几十年台风频数、强度、路径等变化研究,还是关于未来台风方面的预估研究,已有研究中存在较大的不一致性,迄今为止台风仍没有统一定义。不同资料、不同定义的台风长期变化趋势必然有所不同,这就给台风的长期变化研究带来较大的不确定性<sup>[36,30]</sup>。考虑到风速是台风的一个重要方面,中国沿海地区大风日数与西北太平洋生成台风数、极大风速与登陆中国的台风数存在明显的相关关系(1980—2004年相关系数都通过90%相关显著性检验),为了尽量减少由于台风定义所带来的不确定性,本文以中国沿海地区风速为研究基础,分析研究受台风影响最明显的中国沿海地区近50年来夏季平均风速和最大风速变化特征,检验了20个全球气候模式和3个区域气候模式模拟中国沿海地区夏季平均风速变化的能力,并进一步预估21世纪初期中国沿海地区夏季风速变化特征,从研究中国夏季沿海地区风速变化的角度反映影响中国台风变化的趋势。

## 1 资料和方法

### 1.1 观测资料

选取中国沿海地区及其直接受台风影响的地区基本、基准和一般气象站近地层(离地10m)逐月风速观测资料在1956—2004年时段内无缺测年的200余个气象观测站作为研究的基础,该资料符合WMO全球观测系统规范和中国气象局观测技术规范<sup>[51-53]</sup>,由国家气象信息中心提供。选取的气象站相对均匀的分布在研究区域。

### 1.2 模式资料

#### 1.2.1 全球气候模式

由世界气候研究计划(WCRP)第三次耦合模式比较计划(CMIP3)提供,参加IPCC AR4“20世纪气候耦合模式模拟”(20C3M)计划的23个模式中有19个模式(61个试验)输出了近地层(离地10m)经向和纬向风速结果(表1)。国家气候中心为IPCC第5次报告研发的新一代气候模式(BCC\_CSM1.0.1)的20C3M模拟试验也输出了近地层经向和纬向风速结果。这些模式中采用的外强迫场,包括实际逐年变化的温室气体、硫酸盐气溶胶、臭氧、火山岩气溶胶和太阳辐射等,如表1所示。表1源自IPCC AR4<sup>[5]</sup>、赵宗慈等<sup>[60]</sup>和辛晓歌<sup>[54]</sup>,辛晓歌提供BCC\_CSM1.0.1模式特征。选取1980—1999年代表20世纪、2011—2030年代表21世纪初期,检验并预估21世纪初期中国沿海地区风速相对于20世纪的变化。

表 1 全球气候模式主要特征和试验设计简介

Table 1 Brief introduction of models

模式名称	国家	大气分辨率	海洋分辨率	20 世纪试验设计	21 世纪预估情景
1 BCC_CSM1.0.1	中国	T42L26	1×1L30	A~C, F	A2, A1B, B1
2 BCCR-BCM2	挪威	T63L31	0.5/1.5L35	A~H, N~R	A2, A1B, B1
3 CCCMA_CGCM3	加拿大	T63L31	0.9×1.4L29	A~G, N~R	A2, A1B, B1
4 CNRM_CM3	法国	T63L45	0.5/2.0L31	A~H, N, P	A2, A1B, B1
5 CSIRO_MK3	澳大利亚	T63L18	0.8×1.9L31	A~G,	A2, A1B, B1
6 GFDL_CM2_0	美国	2.0×2.5L24	0.3/1.0L24	A~G, I, J, N~R	A2, A1B, B1
7 GFDL_CM2_1	美国	2.0×2.5L24	0.3/1.0L24	A~G, I, J, N~R	A2, A1B, B1
8 GISS_AOM	美国	3.0×4.0L12	3.0×4.0L16	A~G, P	A1B, B1
9 GISS_E_H	美国	4.0×5.0L20	2.0×2.0L16	A~G, I~K, M~R	A1B
10 GISS_E_R	美国	4.0×5.0L20	4.0×5.0L20	A~G, I~K, M~R	A2, A1B, B1
11 IAP_FGOALS1	中国	T42L26	1.0×1.0L16	A~G, R	A1B, B1
12 INMCM3	俄罗斯	4.0×5.0L21	2.0×2.5L33	A~E, G, O, R	A2, A1B, B1
13 IPSL_CM4	法国	2.5×3.8L19	1.2×2.0L31	A~C, F, G, L	A2, A1B, B1
14 MIROC3_H	日本	T106L56	0.2×0.3L47	A~G, I, J, L~R	A1B, B1
15 MIROC3_M	日本	T42L20	0.5/1.4L43	A~G, I, J, L~R	A2, A1B, B1
16 MIUB_ECHO_G	德国	T30L19	0.5/2.8L20	A~G, L, O, R	A2, A1B, B1
17 MPI_ECHAM5	德国	T63L31	1.5×1.5L40	A~G, L	A2, A1B, B1
18 MRI_CGCM2	日本	T42L30	0.5/2.5L23	A~G, O, R	A2, A1B, B1
19 UKMO_HADCM	英国	2.5×3.8L19	1.5×1.5L20	A~G, L, O, R	A2, A1B, B1
20 UKMO_HADGEM	英国	1.3×1.9L38	0.3/1.0L40	A~G, I, J, L, M, O~R	A2, A1B

注: 第 5 列符号解释如下: A 为二氧化碳, B 为甲烷, C 为氧化亚氮, D 为平流层臭氧, E 为对流层臭氧, F 为氟类, G 为四氧化硫, H 为城市化, I 为黑碳, J 为有机碳, K 为硝酸盐, L 为硫酸盐一阶间接, M 为硫酸盐二阶间接, N 为沙尘, O 为火山, P 为海盐, Q 为土地利用, R 为太阳; 第 3 和 4 列中, L 为垂直层数, T 为水平方向谱截断波数, T30 约相当于网格点间距  $3.8^{\circ} \times 3.8^{\circ}$ , T42 约相当于网格点间距  $2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$ , T63 约相当于网格点间距  $1.8^{\circ} \times 1.8^{\circ}$ , T106 大约相当于网格点间距  $1.1^{\circ} \times 1.1^{\circ}$ , 其他为经纬度网格点间距。

Notes: The symbols represent of line 5 that A is  $\text{CO}_2$ , B is  $\text{CH}_4$ , C is  $\text{N}_2\text{O}$ , D is Stratospheric Ozone, E is Tropospheric Ozone, F is CFCs, G is  $\text{SO}_4$ , H is urban, I is black carbon, J is organic carbon, K is Nitrate, L is 1st indirect, M is 2nd indirect, N is dust, O is volcanic, P is sea salt, Q is land use, R is solar. On the line 3 and 4, L means the number of vertical layer, T means the number of truncated spectrum waves horizontally, T30 means model horizontal resolution is about  $3.8^{\circ} \times 3.8^{\circ}$ , T42 is about  $2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$ , T63 is about  $1.8^{\circ} \times 1.8^{\circ}$ , T106 is about  $1.1^{\circ} \times 1.1^{\circ}$ , the others is the space of grid on latitude or longitude.

### 1.2.2 区域气候模式

对于区域气候模式, 考虑到获取模式输出资料的限制以及一些研究表明<sup>[55-56]</sup>, 区域气候模式 RegCM3 (原美国国家大气研究中心创建, 现意大利国际理论物理中心发展, 中国气象局国家气候中心高学杰等使用并提供实验结果)、PRECIS (英国气象局哈得莱中心创建, 中国农业科学研究院许吟隆等使用并提供实验结果) 和 CMM5 (美国伊利诺伊斯大学对 MM5 发展, 朱锦红等提供实验结果) 具有一定的模拟中国区域近地层风速变化的能力, 因此以区域气候模式 RegCM3、PRECIS 和 CMM5 模式对 1971—1990 年 (CMM5 为 1990—1999 年) 和 2020—2029 年的模拟和预估结果为主, 分别代表 20 世纪和 21 世纪初期气候状况, 检验模式模拟中国沿海地区风速变化的能力, 并预估 21 世纪初期中国沿海地区风速变化。

### 1.3 研究方法

考虑到各个气候模式的分辨率不同, 且全球气候模式分辨率较粗, 区域气候模式分辨率较细, 为了便于比较且尽量保存模式输出结果的原有信息, 将全球模式输出结果插值为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , 区域气候模式输出结果插值为  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ; 气象台站观

测资料也对应插值为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  和  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。

检验、评估和预估主要采用每个模式模拟结果与观测值进行对比, 计算其平均值、差值和相关系数等。在对平均风速等要素的长期变化特征进行讨论时, 主要采用线性回归的趋势分析方法<sup>[57]</sup>, 并利用时间与空间变化之间的相关系数对变化趋势进行显著性检验。

### 1.4 区域划分

考虑到模式较粗的分辨率和中国较为复杂的地理和气候特征, 参考文献做法<sup>[55-56]</sup>, 并结合台风对中国主要影响的主要范围, 将全国分为 3 个分区 (图 1), 本文的研究区域是台风主要影响的东南部地区, 本文称为中国沿海地区)。为了充分利用研究区域内测站资源, 参考文献<sup>[58]</sup>做法, 在分析观测资料部分时, 不仅分析研究台风对整个研究区域的影响和变化特征, 还将研究区域分为沿岸北区、沿海北区、沿岸南区和沿海南区 4 个子区域分别研究 (沿岸北区: 海岸线两侧 50km 的长江口以北地区; 沿海北区: 长江以北邻近沿岸北区的研究区域; 沿岸南区: 海岸线两侧 50km 的长江口以南地区; 沿海南区: 长江以南邻近沿岸南区的研究区域)。

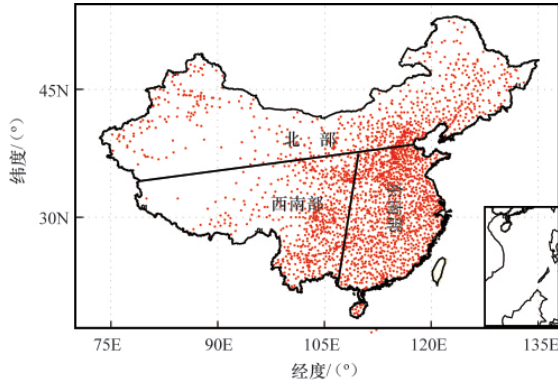


图 1 全国分区示意图 (红点为选取气象站位置)  
Fig. 1 Sub-regions' sketch map in China (red dot indexes the position of stations)

## 2 观测近 50 年中国沿海地区风速变化

从多年平均看,中国沿岸北区和南区年平均风速和夏季平均风速都明显大于沿海北区和南区平均风速。近 50 年来,中国沿海地区年和夏季平均风速都成明显的减小趋势变化,各分区区域变化趋势都通过了 99.9% 显著性检验。详细对比年和夏季平均风速变化趋势,发现,各分区年平均风速减小趋势略明显于夏季风速减小趋势;沿岸南区年和夏季平均风速减小趋势明显于沿海南区的风速变化趋势,沿岸北区和沿海北区的平均风速变化趋势无明显差别(图 2),即均呈减小趋势变化。

夏季中国沿海地区主要受台风影响,台风的变化对该地区极大风速和大风日数的变化有所影响。从图 3 可知,近 50 年中国沿岸地区大风日数明显减少,这与登陆中国沿海台风或热带风暴数明显减少<sup>[7,10-13,15]</sup>有关。值得注意的是,中国沿岸地区极大

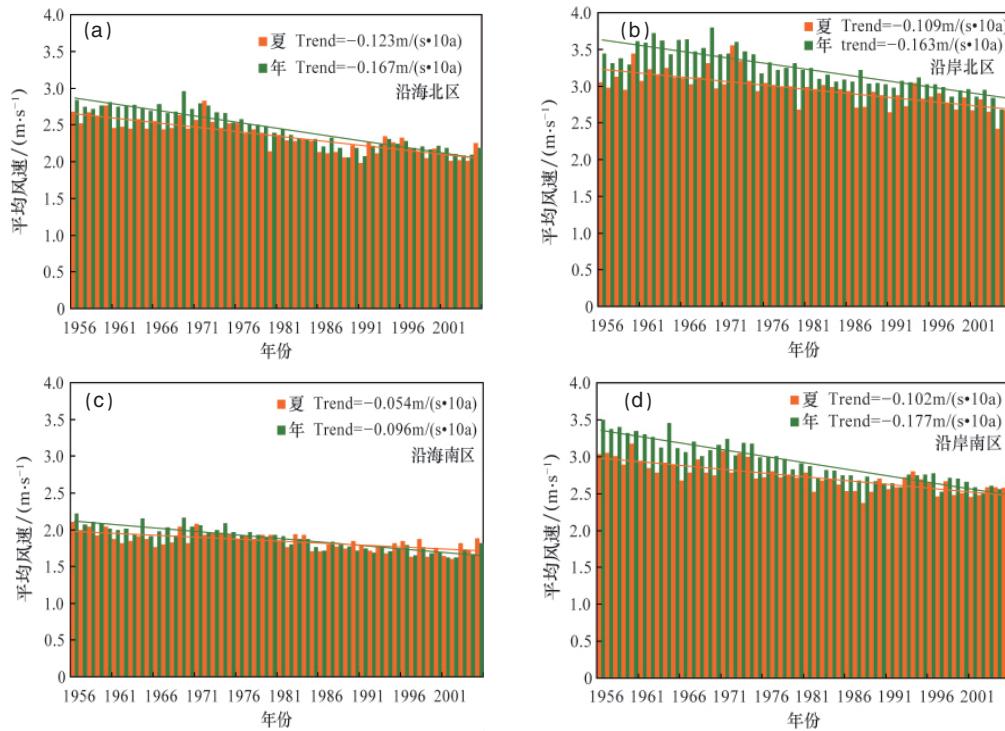


图 2 中国沿海地区 4 个分区夏季和年平均风速变化曲线和相应线性趋势值 (1956—2004)  
Fig. 2 Evolutions of annual and summer mean wind speeds for coastal regions of China from 1956 to 2004

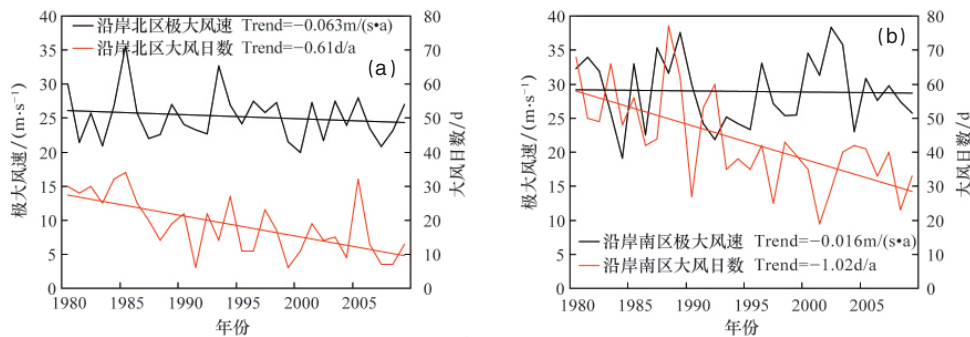


图 3 夏季中国沿岸北区 (a) 和沿岸南区 (b) 极大风速和大风日数变化曲线 (1980—2009)  
Fig. 3 Evolutions of summer maximum wind speed and strong wind days in northern offshore (a) and southern offshore (b) of China from 1980 to 2009

风速也略呈明显减小趋势变化(图3),此结论与王小玲和任福民<sup>[9]</sup>、曹楚等<sup>[10]</sup>的台风强度减弱一致,但与王磊等<sup>[9]</sup>、Elsner等<sup>[14]</sup>的登陆中国的热带风暴强度明显增强的结论相反。分析结论矛盾的原因之一可能是作者用大风表征台风,而另一些研究用降水表征台风,究竟哪种结论更合理还有待进一步深入分析。

### 3 气候模式对中国沿海地区风速模拟检验

#### 3.1 全球模式模拟能力检验

检验包括两个部分,一是检验全球模式模拟风速平均状态的能力,二是检验全球模式模拟风速变化的能力。

第一个检验,分别计算了1980—1999年夏季平均风速,其中包括20个全球气候模式和5组模式与试验集成模拟分布以及气象台站观测分布与2套再分析资料分布。从其分布(图4)中可见,除IAP\_FGOALS1、GISS\_AOM和MRI\_CGCM2模式外,其余大部分模式基本上能模拟出研究区域沿海风速大内陆风速小的分布状况。为了更客观地分析各全球气候模式模拟中国沿海地区平均风速分布能力,以沿海地区各网格点为序列,分别计算了各模式模拟平均风速分布值与观测值的相关系数(见表2),可以得到如下结果:

(1) 全球气候模式模拟夏季沿海地区平均风速分布能力比模拟年平均风速分布能力强。

(2) 有CNRM\_CM3、IPSL\_CM4、MIROC3\_H和MIROC3\_M 4个模式模拟沿海地区年平均风速值与观测值相关关系通过了90%显著性检验;而BCCR\_BCM2、CNRM\_CM3、GFDL\_

CM2\_0、MIROC3\_H等10个模式模拟沿海地区夏季平均风速值与观测值相关关系通过了99%显著性检验,其中BCCR\_BCM2模拟值与观测值相关系数达0.51。

(3) 根据模式模拟中国沿海地区年和夏季平均风速能,挑选出BCCR\_BCM2、CSIRO\_MK3、MIROC3\_H、CNRM\_CM3、IPSL\_CM4、MIROC3\_M和MIUB\_ECHO\_G、UKMO\_HADCM、GFDL\_CM2\_0、MPI\_ECHAM5、UKMO\_HADGEM、CNRM\_CM3、MIROC3\_H、GFDL\_CM2\_1、BCCR\_BCM2两组模式,分别计算年好模式分布集成和夏季好模式分布集成,集成后与观测的相关系数分别为0.23和0.40,分别通过了90%和99%显著性检验。总之,部分全球气候模式或模式集成能模拟出中国沿海地区年和夏季平均风速分布状态,其中模式或模式集成模拟夏季平均风速分布能力更强。

(4) 对于模拟数值来说,大多数全球气候模式模拟中国沿海地区多年夏季平均风速值小于观测值。

第二个检验,从模式模拟平均风速变化特征看(表2), (1)与模式模拟整个中国区域风速变化能力类似<sup>[55]</sup>,部分全球气候模式能模拟出近50年中国沿海地区年或夏季风速略呈减小趋势变化,但是模式模拟不出观测到的平均风速明显减小趋势;(2)全球气候模式模拟中国沿海地区夏季平均风速变化趋势的能力明显强于模拟沿海地区年平均风速变化趋势,也明显强于模拟全国年和夏季平均风速变化趋势<sup>[55]</sup>,即有过半的模式模拟出夏季风速减弱趋势,尤其是GFDL\_CM2\_1和UKMO\_HADCM模式,模拟近50年中国沿

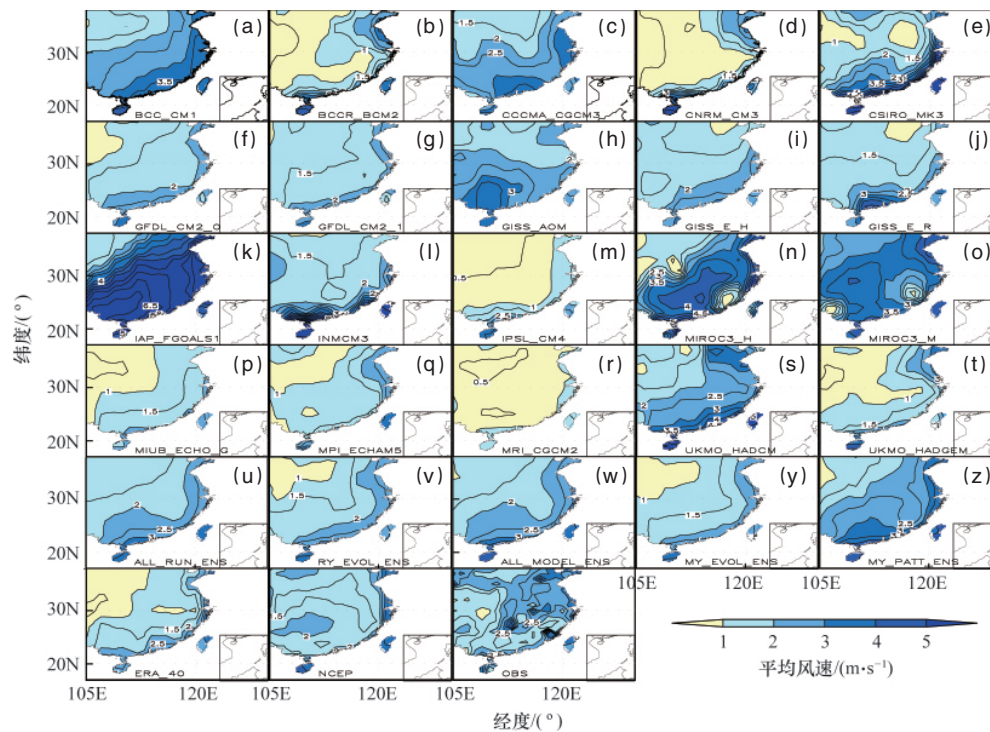


图4 1980—1999年夏季中国沿海地区平均风速分布

Fig. 4 Distributions of summer mean wind speed (1980—1999) over coastal regions of China

注:图(a)~(t)为20个全球气候模式模拟,图(u)~(y)为5组模式与模拟试验不同的集成模拟、观测(OBS)和再分析资料(ERA\_40,NCEP)。

Notes: 25 figures show 20 global climate models and models ensembles, observations, ERA\_40 and NCEP, respectively.

表2 全球气候模式和模式集成模拟中国沿海地区平均风速线性变化趋势、模拟值与观测的差值和模拟值与观测值的相关系数(1980—1999)

Table 2 Linear change trends of summer wind speeds for global climate models, the differences and the correlation coefficients of summer mean wind speeds between the models and observations in coastal regions of China from 1980 to 1999

序号	模式名称	分布相关系数		变化相关系数		线性趋势值/(m·s <sup>-1</sup> ·10a <sup>-1</sup> )		风速差/(m·s <sup>-1</sup> )
		年	夏季	年	夏季	年	夏季	夏季
1	BCC_CSM11.0.1	0.05	0.15	0.15	0.11	-0.01	0.0	0.36
2	BCCR-BCM2	0.14	0.51**	-0.25	-0.04	0.01	0.02	-1.16
3	CCCMA_CGCM3	0.02	-0.14	0.20*	-0.12	-0.01	0.02	0.06
4	CNRM_CM3	0.23*	0.43**	0.09	0.27**	0.0	-0.01	-1.15
5	CSIRO_MK3	0.15	0.18*	-0.01	-0.05	0.01	0.02	0.40
6	GFDL_CM2_0	0.04	0.38**	-0.11	0.01	0.0	-0.02	-0.98
7	GFDL_CM2_1	0.02	0.45**	-0.21	0.26**	0.01	-0.07	-0.86
8	GISS_AOM	-0.15	0.02	0.04	-0.40	0.0	0.02	-0.22
9	GISS_E_H	-0.20	-0.06	-0.05	-0.10	0.0	0.02	-0.47
10	GISS_E_R	-0.12	-0.09	0.20*	-0.22	0.0	0.02	-0.51
11	IAP_FGOALS1	-0.08	0.05	0.02	0.07	0.0	-0.01	1.58
12	INMCM3	-0.06	0.12	-0.18	0.06	0.01	-0.03	-0.25
13	IPSL_CM4	0.32*	0.15	0.16*	0.17*	-0.01	-0.01	-1.48
14	MIROC3_H	0.20*	0.44**	-0.09	0.15	0.0	-0.02	-0.23
15	MIROC3_M	0.34*	0.34**	-0.11	-0.07	0.0	-0.04	-0.13
16	MIUB_ECHO_G	-0.06	0.29**	0.22*	-0.19	-0.01	0.02	-1.16
17	MPL_ECHAM5	-0.01	0.42**	-0.30	-0.13	-0.01	0.01	-0.97
18	MRI_CGCM2	-0.04	0.15	0.24*	0.07	0.01	0.0	-0.57
19	UKMO_HADCM	-0.01	0.36**	-0.26	0.21*	0.01	-0.08	-0.03
20	UKMO_HADGEM	0.01	0.42**	0.25**	-0.03	0.0	-0.02	-0.66
21	20个模式集成	0.04	0.23*	0.0	0.0	0.0	-0.01	-0.42
22	年好模式变化集成	0.06	0.17	0.09	-0.03	-0.01	0.01	-0.64
23	年好模式分布集成	0.23*	0.34**	-0.04	0.07	0.0	-0.01	-0.62
24	夏季好模式分布集成	0.09	0.40**	-0.08	0.04	0.0	-0.02	-0.73
25	夏季好模式变化集成	0.07	0.32**	-0.19	0.12	0.01	-0.06	-0.32
26	观测	—	—	—	—	-0.28	-0.24	—

注:\*为通过95%显著性检验,\*\*为99.9%显著性检验。下同。

Notes: \* and \*\* denote significance at the 95% and 99.9% confidence level for the correlation coefficient with observation, respectively. The same as below.

海地区夏季平均风速变化趋势为-0.07和-0.08m/(s·10a),与观测-0.24m/(s·10a)接近同一个量级。

### 3.2 区域气候模式模拟能力检验

与全球气候模式相似,区域气候模式也基本上能模拟出中国夏季平均风速分布特征(图5)。对沿海地区来说,无论是年还是夏季,区域气候模式模拟多年平均风速分布的能力明显强于全球气候模式(表3)。区域气候模式RegCM3、PRECIS及其集成模拟中国沿海地区年平均风速分布与观测值的相关系数都超过0.48,都通过了99.9%显著性检验;这些区域气候模式模拟夏季平均风速分布与观测值的相关系数更高;区域气候模式CMM5模拟沿海夏季平均风速分布的能力稍差,但与观测值的相关关系也通过了95%显著性检验(表3)。

与全球气候模式相似,区域气候模式同样难以模拟出近50年来中国沿海地区年或夏季平均风速呈明显减小的变化

表3 区域模式模拟中国沿海地区年和夏季平均风速分布与观测分布的相关系数(1971—1990)

Table 3 Correlation coefficients of summer mean wind speed pattern over coastal regions of China between the regional climate models (or model ensemble) and observations (1971—1990)

模式名称	分布相关系数		变化趋势/(m·s <sup>-1</sup> ·10a <sup>-1</sup> )		风速差/(m·s <sup>-1</sup> )
	年	夏季	年	夏季	夏季
RegCM3	0.60**	0.68**	0.00	-0.03	0.40
PRECIS	0.48**	0.67**	0.07	0.07	0.98
集成	0.63**	0.75**	0.05	0.03	0.69
CMM5	—	0.25*	—	0.19	1.73
观测	—	—	-0.28	-0.24	—

趋势。仅区域气候模式 RegCM3 能够模拟出近 50 年来沿海地区夏季平均风速略呈减小趋势变化, 这个变化趋势为  $-0.03 \text{ m}/(\text{s} \cdot 10\text{a})$ 。

总体上, 区域气候模式在模拟中国沿海地区多年平均风速分布上优于全球气候模式, 而全球气候模式在模拟中国沿海风速变化特征方面优于区域气候模式。

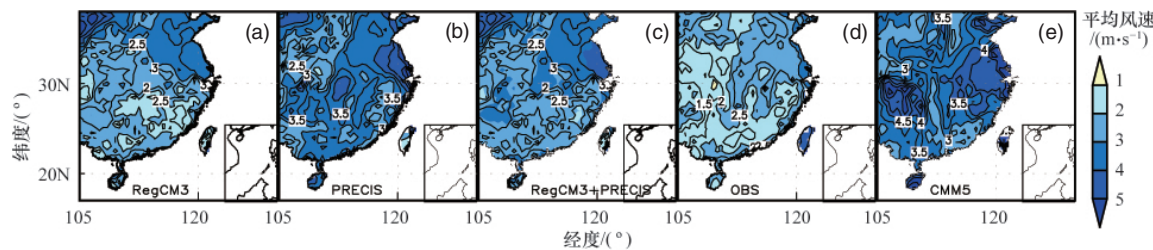


图 5 区域气候模式或模式集成和观测中国沿海地区多年夏季平均风速分布图 (1971—1990)

Fig. 5 Distributions of summer wind speed over coastal regions of China for every regional climate models and models ensemble (1971—1990)

#### 4 气候模式预估 2011—2030 年中国沿海风速变化

##### 4.1 全球气候模式预估分析

全球气候模式预估 A2 情景下 21 世纪初期 (2011—

2030) 全国夏季平均风速比 20 世纪 (1980—1999) 夏季平均风速大, 平均偏大  $0.06 \text{ m/s}$  (图 6, 表 4); 但是不同模式预估结果存在较大差别 (与 20 世纪差值范围为  $-0.06 \sim 0.78 \text{ m/s}$ )。沿海地

表 4 区域气候模式预估 21 世纪年与模拟 20 世纪后期中国沿海地区夏季平均风速差值 (单位:  $\text{m/s}$ )

Table 4 Summer mean wind speed changes over coastal regions of China projected by all models (data for early 21st century minus data for late 20th century), mean and range (unit:  $\text{m/s}$ )

模式名称	预估情景	预估时间	对比时间	沿海地区	全国
全球气候模式	A2	2011—2030	1980—1999	0.08 (-0.20, -0.68)	0.06 (-0.06, -0.78)
全球气候模式	A1B	2011—2030	1980—1999	-0.03 (-1.50, -0.58)	0.02 (-0.55, -0.83)
全球气候模式	B1	2011—2030	1980—1999	-0.02 (-1.37, -0.51)	0.02 (-0.53, -0.74)
区域气候模式 CMM5	B1	2020—2029	1990—1999	-0.05	-0.07

注: 括号内为变化范围。

Notes: Bracketed figures denote that, of the 20/3 models, the range of summer mean wind speed changes, e.g., (-0.20, -0.68), respectively.

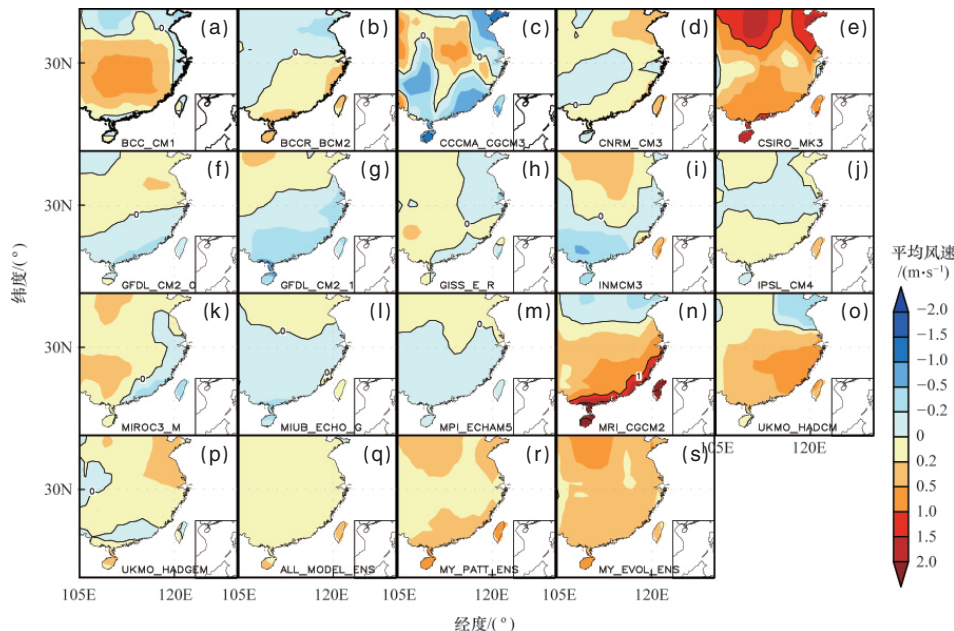


图 6 全球气候模式预估 A2 情景下 2011—2030 年中国沿海地区夏季风速变化 (相对于 1980—1999)

Fig. 6 Distributions of summer wind speed changes over coastal regions of China in 2011—2030 relative to 1980—1999 projected by each model for SRES A2 scenario

注: 图 (a)~(p) 分别为 16 个模式预估分布, 图 (q)~(s) 分别为所有模式集成和好模式集成预估分布。

Notes: 19 figures express 20 global climate models and models ensembles, observations, ERA\_40 and NCEP, respectively.

区的情况与全国情况<sup>[56]</sup>类似,全球气候模式集成预估 21 世纪初期中国沿海地区夏季平均风速偏大 0.08m/s(表 4),但是东南沿海部分地区近半数模式预估风速略减小(见图 7)。

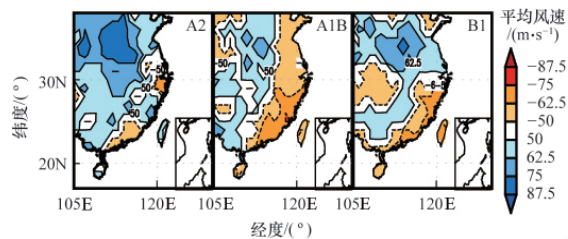


图 7 3 种情景下预估中国沿海地区 2011—2030 年(相对于 1980—1999 年)夏季平均风速正(负)距平的模式数百分率分布

Fig. 7 Distributions of percentages of model numbers by positive and negative changes of summer mean wind speed over coastal regions of China in 2011—2030 for SRES A2, A1B and B1 scenarios, respectively

注:蓝色区域表示预估未来风速差值为正的模式数超过 50% 区域,橘色区域表示预估未来风速差值为负的模式数超过 50% 的区域。

Notes: Positive values indicated that positive wind speed changes exceeded 50% of total model numbers; negative values indicated that the negative wind speed changes exceeded 50% of total model numbers.

全球气候模式预估 A1B 和 B1 情景下 21 世纪初期(2011—2030)沿海地区夏季平均风速变化与预估 A2 情景下该地区风速变化情况有所不同。超过半数的全球气候模式预估 A1B 或 B1 情景下,21 世纪初期中国沿海地区夏季风速将减小,平均减小 0.03 或 0.02m/s,不同模式预估结果存在较大差异。全国平均地看,全球气候模式预估 A1B 和 B1 情景下夏季风速变化与 A2 情景下一致,都略呈增加趋势变化<sup>[56]</sup>。在 A2、A1B 和 B1 情景下,超过 50% 的模式一致预估 21 世纪初期平均风速具有上述变化特征(图 7),具有较高的可信度。

#### 4.2 区域气候模式预估分析

只有 1 个区域模式 CMM5 在 B1 情景下进行了 21 世纪初期预估。从 CMM5 预估 B1 情景下 21 世纪前期(2020—

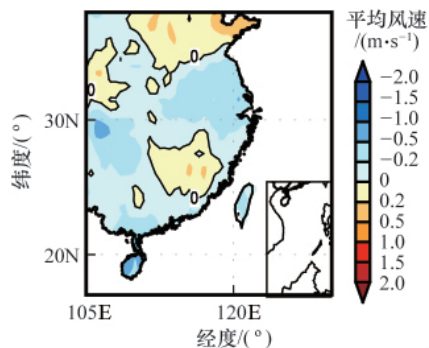


图 8 CMM5 区域模式预估中国沿海地区 2020—2029 年与模拟 1990—1999 年夏季平均风速差值分布

Fig. 8 Distributions of summer mean wind speed changes over coastal regions of China in 2020—2029 relative to 1990—1999 projected by CMM5

2029)中国区域夏季风速分布(见图 8)特征看,21 世纪初期新疆、内蒙大部、东南沿海仍是风速较大的地区。对比 20 世纪,CMM5 预估 21 世纪前期全国平均风速减小 0.07m/s(图略);沿海平均风速减小 0.05m/s(见表 4),其中江南和山东大部地区风速略增加,其余大部地区风速略减小(见图 8)。

## 5 讨论与结论

(1) 近 50 年来中国沿海地区观测夏季平均风速呈明显减小趋势,极大风速略呈减小趋势变化。中国夏季沿海地区观测平均风速和极大风速变化与近 50 年的中国登陆台风数和台风强度变化有关。

(2) 全球气候模式和区域气候模式都能较好地模拟中国沿海地区夏季平均风速分布状况。比较而言,区域气候模式模拟中国沿海地区夏季平均风速分布状况的能力强于全球气候模式。

(3) 全球和区域气候模式都不能模拟出观测到的近 50 年中国沿海地区夏季平均风速呈明显减小趋势,部分模式能够模拟出近 50 年来中国沿海地区夏季平均风速略呈减小趋势变化,其中 GFDL\_CM2\_1、UKMO\_HADCM 模拟平均风速变化趋势分别为 $-0.07$ 和 $-0.08\text{m}/(\text{s}\cdot 10\text{a})$ ,在量级上接近观测到的平均风速变化趋势。

(4) 全球和区域气候模式都预估 B1 情景下,21 世纪初期中国沿海地区夏季平均风速比 20 世纪的小;全球气候预估 A1B 情景下,21 世纪初期中国沿海地区夏季平均风速比 20 世纪的小;但全球气候模式预估 A2 情景下,21 世纪初期中国沿海地区夏季平均风速比 20 世纪的略大。

(5) 作为对未来气候变化进行定量预估的有效工具之一,气候模式在近几十年里取得了突飞猛进的发展。但是,气候的复杂特性和资料的有限决定气候模拟中必然存在缺陷。此外,物理过程参数化的不确定性,对地区生物化学过程等反馈机制认识上的不确定性以及排放情景的不确定性都对气候模式预估产生不确定性。利用气候模式对未来气候变化进行定量预估的不确定性是客观存在的,但其预估趋势和大范围的平均状况仍有较高的可信度<sup>[5]</sup>。

(6) 考虑到前期研究结论——区域气候模式在模拟中国沿海地区平均风速分布特征方面优于全球气候模式及全球气候模式在模拟中国沿海地区风速变化特征方面优于区域气候模式,本研究下一步计划将较好的全球气候模式与较好的区域气候模式相结合,选取模拟中国沿海地区能力较强且资料获取较容易的全球气候模式 ECHAM5 作为背景场来驱动模拟中国沿海地区能力较强的区域气候模式 RegCM3 对中国沿海和海域(105°E~180°,5°S~45°N)进行全球变暖背景下影响中国台风或热带风暴的模拟和预估。设计模拟水平分辨率为 20km;模拟时段为 1991—2000 年和 2010—2030 年;未来排放情景初步定为高排放 A2。期待将可能进一步给出更为可靠的预估结果。

## 参考文献 (References)

- [1] 陈佩燕, 杨玉华, 雷小途, 等. 我国台风灾害成因分析及灾情预估[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 64-73.  
Chen Peiyan, Yang Yuhua, Lei Xiaotu, et al. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(1): 64-73.
- [2] 梁必骥, 梁经萍, 温之平. 中国台风灾害及其影响的研究[J]. 自然灾害学报, 1995, 4(1): 84-91.  
Liang Biqi, Liang Jingping, Wen Zhiping. *Journal of Natural Disasters*, 1995, 4(1): 84-91.
- [3] 秦大河. 气候变化与干旱[J]. 科技导报, 2009, 27(11): 2.  
Qin Dahe. *Science & Technology Review*, 2009, 27(11): 2.
- [4] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 全球变暖会导致气候严寒吗[J]. 科技导报, 2004, 22(7): 9-11.  
Wang Shaowu, Luo Yong, Zhao Zongci, et al. *Science & Technology Review*, 2004, 22(7): 9-11.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The physical science basis* [R]. Solomon D Q S, Manning M, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report, Cambridge: Cambridge University, 2007: 996.
- [6] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 422.  
Committee of China's National Assessment Report on Climate Change. *China's national assessment report on climate change* [M]. Beijing: Science Press, 2007: 422.
- [7] 胡娅敏, 宋丽莉, 刘爱君, 等. 近 58 年登陆我国热带气旋的气候特征分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(5): 115-121.  
Hu Yamin, Song Lili, Liu Aijun, et al. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2008, 47(5): 115-121.
- [8] 邵利民, 杨继粒, 易海祁, 等. 1949—2006 年西北太平洋热带气旋活动的气候分析[J]. 海洋技术, 2007, 26(4): 83-105.  
Shao Limin, Yang Jili, Yi Haiqi, et al. *Ocean Technology*, 2007, 26(4): 83-105.
- [9] 王小玲, 任福民. 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, 2007, 3(6): 345-349.  
Wang Xiaoling, Ren Fumin. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(6): 345-349.
- [10] 曹楚, 彭加毅, 余锦华. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(4): 544-461.  
Cao Chu, Peng Jiayi, Yu Jinhua. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29(4): 544-461.
- [11] Ren F M, Wu L G, Dong W J, et al. Changes in tropical cyclone precipitation over China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: L20702, doi: 10.1029/2006GL027951.
- [12] 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.  
Wang Xiaoling, Wang Yongmei, Ren Fumin, et al. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(3): 135-138.
- [13] 王秀萍, 张永宁. 登陆中国热带气旋路径的年代际变化[J]. 大连海事大学学报, 2006, 32(3): 41-45.  
Wang Xiuping, Zhang Yongning. *Journal of Dalian Maritime University*, 2006, 32(3): 41-45.
- [14] Elsner J B, Kossin J P, Jagger T H. The increasing intensity of the strongest tropical cyclones[J]. *Nature*, 2008, 455(4): 92-95.
- [15] 王凌, 罗勇, 徐良炎, 等. 近 35 年登陆我国台风的年际变化特征及灾害特点[J]. 科技导报, 2006, 24(11): 23-25.  
Wang Ling, Luo Yong, Xu Liangyan, et al. *Science & Technology Review*, 2006, 24(11): 23-25.
- [16] Kanff J A, Sampson C R. Reanalysis of West Pacific tropical cyclone intensity 1966—1987 [C]. The 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, US, April 23-28, 2006.
- [17] Landsea C W, Harper B A, Hoarau K, et al. Can we detect trends in extreme tropical cyclones[J]. *Science*, 2006, 313(5786): 452-454.
- [18] Klotzbach P J. Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986—2005)[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: L10805, doi: 10.1029/2006GL025881.
- [19] 王磊, 陈光华, 黄荣辉. 近 30a 登陆我国的西北太平洋热带气旋活动的时空变化特征[J]. 南京气象学院报, 2009, 32(2): 182-188.  
Wang Lei, Chen Guanghua, Huang Ronghui. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2009, 32(2): 182-188.
- [20] Walsh K J E, Katzfey J J. The impact of climate change on the poleward movement of tropical cyclone-like vortices in a regional climate model[J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(6): 1116-1132.
- [21] 钱维宏, 张欣, 王彰贵. 亚洲热带边缘海近 20 年热带风暴生成纬度与海温变化的趋势分析[J]. 自然科学进展, 2008, 18(6): 711-715.  
Qian Weihong, Zhang Xin, Wang Zhanguai. *Advances in Natural Science*, 2008, 18(6): 711-715.
- [22] Knutson T R, Tuleya R E. Increased hurricane intensities with CO<sub>2</sub>-induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system[J]. *Climate Dynamics*, 1999, 15(7): 503-519.
- [23] Wu L, Wang B, Geng S. Growing typhoon influence on east Asia[J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L18703, doi: 10.1329/2005GL022937.
- [24] Wu L, Wang B. Assessing impacts of global warming on tropical cyclone tracks[J]. *Journal of Climate*, 2004, 17(8): 1686-1698.
- [25] 胡娅敏, 宋丽莉. 登陆中国热带气旋台风季参数的气候特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 90-94.  
Hu Yamin, Song Lili. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(2): 90-94.
- [26] Wu L G, Wang B, Scott A B. Implications of tropical cyclone power dissipation index [J]. *International Journal of Climatology*, 2007, doi: 10.1002/joc.1573.
- [27] Emanuel K A. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years[J]. *Nature*, 2005, 436: 686-688.
- [28] Landsea C W. Hurricanes and global warming [J]. *Nature*, 2005, 438: E11-E12, doi:10.1038/nature04477.
- [29] Wang S, Li W. *Climate of China* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 428.
- [30] 赵宗慈, 罗勇, 高学杰, 等. 21 世纪西北太平洋台风变化预估 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 158-161.  
Zhao Zongci, Luo Yong, Gao Xuejie, et al. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(3): 158-161.
- [31] Jiang Z, Zhao Z, Fan L. Projection of future climate in China[M]// Fu C, Jiang Z, Guan Z, et al. *Regional Climate Studies of China*. Berlin: Springer, 2008: 409-446.
- [32] Knutson T R, Tuleya R E, Shen W. Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on hurricane intensities as simulated in a hurricane model with ocean coupling[J]. *Journal of Climate*, 2001, 14(11): 2458-2468.
- [33] Knutson T R, Tuleya R E. Impact of CO<sub>2</sub>-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: Sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization[J]. *Journal of Climate*, 2004, 17(18): 3477-3495.
- [34] Walsh K J E, Nguyen K C, McGregor J L. Fine-resolution regional

- climate model simulations of the impact of climate change on tropical cyclones near Australia[J]. *Climate Dynamics*, 2004, 22(1): 47-56.
- [35] Dutton J A. Opportunities and priorities in a new era for weather and climate services [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2002, 83(9): 1303-1311.
- [36] 雷小途, 徐明, 任福民. 全球变暖对台风活动影响的研究进展 [J]. 气象学报, 2009, 67(5): 679-688.  
Lei Xiaotu, Xu Ming, Ren Fumin. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009, 67(5): 679-688.
- [37] Emanuel K, Sundararajan R, Williams J. Hurricanes and global warming: Results from downscaling IPCC AR4 simulations [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2008, 89(3): 347-367.
- [38] 王会军, 范可. 西太平洋台风生成频次与南极涛动的关系[J]. 科学通报, 2006, 51(24): 2910-2914.  
Wang Huijun, Fan Ke. *Chin Sci Bull*, 2006, 51(24): 2910-2914.
- [39] 王会军, 范可. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究[J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(7): 966-973.  
Wang Huijun, Fan Ke. *Science in China Ser D*, 2007, 37(7): 966-973.
- [40] 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[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 527-532.  
Chen Guanghua, Huang Ronghui. *Journal of Tropical Meteorology*, 2006, 22(6): 527-532.
- [41] 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[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(2): 133-137.  
Wang Huijun, Liang Xianmei, Fan Ke, et al. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(2): 133-137.
- [42] 王会军, 范可, 孙建奇, 等. 关于西太平洋台风气候变异和预测的若干研究进展[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1076-1081.  
Wang Huijun, Fan Ke, Sun Jianqi, et al. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2007, 31(6): 1076-1081.
- [43] Camargo S J, Sobel A H. Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO[J]. *Journal of Climate*, 2005, 18(15): 2996-3006.
- [44] 徐良炎, 高歌. 近 50 年台风变化特征及灾害年景评估[J]. 气象, 2005, 31(3): 41-44.  
Xu Liangyan, Gao Ge. *Meteorological Monthly*, 2005, 31(3): 41-44.
- [45] 张庆云, 彭京备. 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, 2003, 27(1): 97-106.  
Zhang Qingyun, Peng Jingbei. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(1): 97-106.
- [46] 冯利华. 中国登陆热带气象与太平洋海表温度的关系 [J]. 地理学报, 2003, 58(2): 209-214.  
Feng Lihua. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 209-214.
- [47] Wang B, Chan J C L. How does ENSO regulate tropical storm activity over the western North Pacific [J]. *Climate*, 2002, 15(13): 1643-1658.
- [48] 樊琦, 梁必琪. 热带气象灾情的预测及评估 [J]. 地理学报, 2000, 55(增): 52-56.  
Fan Qi, Liang Biqi. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(S): 52-56.
- [49] 杨桂山, 施亚风. 西北太平洋热带气旋频数的变化及与海表温度的相关研究[J]. 地理学报, 1999, 54(1): 22-29.  
Yang Guishan, Shi Yafeng. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(1): 22-29.
- [50] Kamahori H, N Yamazaki N, Mannoji N, et al. Variability in intense tropical cyclone days in the western North Pacific [J]. *SOLA*, 2006, 2: 104-107, doi: 10.2151/sola.2006-027.
- [51] 中国气象局. 地面气象观测规范[S]. 北京: 气象出版社, 2003: 157.  
China Meteorological Administration. Ground surface meteorological observation[S]. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 157.
- [52] Zahumenský I. Guidelines on quality control procedures for data from automatic weather stations [R]. CBS/OPAG-IOS/ET AWS-3/Doc. 4(1), Geneva: World Meteorological Organization, 2004.
- [53] Song F, Hu Q, Qian W. Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: A new dataset [J]. *International Journal of Climatology*, 2004, 24(7): 853-870.
- [54] 辛晓歌, 吴统文, 王兰宁, 等. 两种不同减排情景下 21 世纪气候变化的数值模拟[J]. 气象学报, 2009, 67(6): 935-946.  
Xin Xiaoge, Wu Tongwen, Wang Lanning, et al. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009, 67(6): 935-946.
- [55] 江滢, 罗勇, 赵宗慈. 近 50 年中国风速变化多气候模式模拟检验[J]. 气象学报, 2010, 67(6): 1020-1029.  
Jiang Ying, Luo Yong, Zhao Zongci. *Acta Meteorologica Sinica*, 2010, 67(6): 1020-1029.
- [56] 江滢, 罗勇, 赵宗慈. 全球气候模式对未来中国风速变化预估 [J]. 大气科学, 2010, 34(2): 323-336.  
Jiang Ying, Luo Yong, Zhao Zongci. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2010, 34(2): 323-336.
- [57] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.  
Wei Fengying. The technologies of statistics diagnosis and forecast in modern climate[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999.
- [58] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z, et al. Changes in wind speed over China during 1956-2004 [J]. *Theoretical Applied Climatology*, 2010, 99(3): 421-430. doi: 10.1007/s00704-009-0152-7.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

## “第十届全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术大会(CIHW)”征文



中国电子学会将于 2012 年 3 月在北京召开“第十届全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术大会(CIHW)”。

征文内容: 信息隐藏理论与模型、软件保护; 隐密术与隐密分析、多媒体数据检索及认证; 数字水印、无线通信安全; 网络安全、数据传输安全; 数字取证、信息内容安全; 密码学、数字版权管理。

会议网址: [www.leaderstudio.net](http://www.leaderstudio.net)。