

热带气旋与台风气候变化研究进展

赵宗慈, 江 滢

中国气象局国家气候中心, 北京 100081

摘要 近年来,引起严重灾害的热带气旋和台风气候变化研究均有新的进展:近 60 年观测资料比对表明,由于海上观测手段不足,造成前期资料可靠性较低,近 30~40 年资料较为可靠,观测资料的可靠性随热带气旋强度的增强而增加;全球 6 个洋区观测资料计算分析显示,热带气旋存在多年代际变率,约自 1970 年以来,强和超强热带气旋活动有增强趋势;统计和动力降尺度方法模拟热带气旋频数和强度与观测检验证实,这些方法具有一定的模拟热带气旋的能力,但尚存比较大的不确定性;利用统计和动力降尺度模型及模式考虑 21 世纪人类排放增加全球变暖,较为一致地预估西北太平洋和北大西洋强台风(飓风)强度和频数都有可能增强。热带气旋和台风均属于给人类带来巨大灾难的极端气候事件,利用目前的统计和动力降尺度方法很难进行较为准确的未来年以上时间尺度的气候预测和预估,尚需对影响因子和预测与预估方法进行更加深入的研究,进一步减小预测和预估的不确定性。

关键词 热带气旋;台风(飓风);气候变化;全球洋区

中图分类号 P467

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)15-0088-09

Review on Climate Changes of Tropical Cyclones and Typhoons

ZHAO Zongci, JIANG Ying

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract This paper reviews recent advances on studies of the climate changes related with tropical cyclones and typhoons that would cause severe disasters. Several key points are identified in this paper. As shown by the comparisons of the observed data of the tropical cyclones and typhoons during the last 60 years, the reliability of the earlier data is lower than the later ones, that is, what observed during the last 30 to 40 years. The reliability increases with the intensity of tropical cyclones. The results as calculated by the observed data on six Oceans indicate that the multi-decadal variability of tropical cyclones and typhoons does exist. The intense tropical cyclone activity has increased since about 1970. Besides observations, both statistical and dynamical downscaling methods can to a certain extent simulate the tropical cyclones and typhoons, but with large uncertainties. Most multi-dynamical and statistical models considering increased human emissions and global warming give a consensus of prediction that the strong typhoons (hurricanes) over the northwestern Pacific Ocean (North Atlantic Ocean) are likely to enhance by the end of the 21st century. The tropical cyclones and typhoons as the extreme climate events would cause huge damages to mankind. It is difficult to make the climate predictions exactly by using the present dynamical and statistical downscaling methods. The further investigations on the impact factors and prediction methods should narrow the uncertainties.

Keywords tropical cyclone; typhoon (hurricane); climate change; global oceans

0 引言

在极端天气气候事件中,热带气旋和台风对人类的生存及社会经济的发展影响很大,造成的灾害也非常严重。另一方面,热带气旋和台风活动对低纬度和中高纬度之间的热交换起了一定的作用,因此也关系到对全球变暖这一重要问题

的研究。此外,在干旱或少风时期,适中的热带气旋可能对解除干旱或增加风力发电等起到有利作用。因此,研究热带气旋和台风的气候变化对防灾减灾服务、合理利用风和水资源都是非常重要的。中国地处西北太平洋西岸,是全球热带气旋最活跃的地区,年台风(源地 180°以西)总数大都超过 20

收稿日期: 2010-06-08

基金项目: 公益性行业(气象)专项(GYHY200806009)

作者简介: 赵宗慈,研究员,研究方向为气候变化与模拟和预测,电子信箱:zhaozc@cma.gov.cn

个, 个别年高达 40 个, 登陆中国的台风数某些年高达 12 个 (图 1), 1961—1990 年中国年编号台风数 30 年平均 28.7 个, 同期登陆中国的年台风数平均 7.4 个。

热带气旋和台风气候变化研究包括: 观测资料的可靠性、如何定义和表征、观测到的全球热带气旋和台风的气候变化特征、对 21 世纪变化的预测和预估、古气候变化对未来预测的启示, 以及预测和预估使用的全球气候模式和降尺度方法的可靠性检验等重要问题。本文将分别介绍这些方面近年来取得的进展, 综述 2007 年以来的新研究成果^[1-35]。

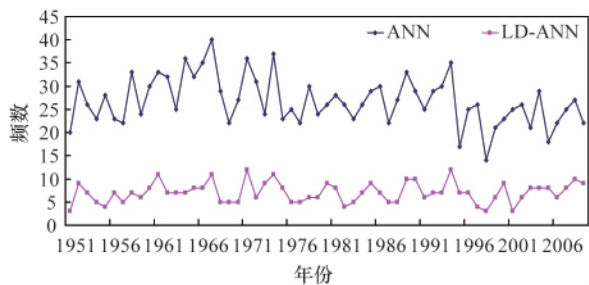


图 1 1951—2009 年西北太平洋年总 (源地 180°以西) 台风频数 (ANN) 和登陆中国台风频数 (LD-ANN) 演变曲线 (根据国家气候中心资料绘制)

Fig. 1 The frequencies of annual total typhoons (source: west of 180°) over northwestern Pacific Ocean (ANN) and landfall in China (LD-ANN) during 1951—2009 based on the observed data of National Climate Center

1 热带气旋和台风的定义及表征

世界气象组织 (WMO) 以及与热带气旋和台风有关的各国气象部门给出的对热带气旋和台风的严格定义, 一般是根据气旋中心的气压值、整个涡旋的风速和降水状况做出定义和表征。通常按照弱和强的程度依次分成: 热带低压 (TD), 热带气旋 (TC), 热带风暴 (TS), 强热带风暴和超强热带风暴, 后者又常称作台风 (西北太平洋) 或飓风 (北大西洋)。在研究中, 又进一步根据强度状况把台风或飓风分成 3 级或 5 级。早期的热带气旋和台风观测资料主要来自气象台站、船舶及飞机探测, 1970 年以来开始有卫星观测, 逐渐形成较为准确的观测资料系统。

根据服务需要, 常规需要定义、表征和统计热带气旋和

台风的生成位置 (源地) 和移动路径, 发生和结束时间 (持续时间), 强度 (气压、风速、降水、海浪), 影响范围, 年、季和月发生个数等。近些年, 根据不同的研究目标和服务需要, 一些研究给出了更多的定义。例如, 累计气旋能量指数 (ACE)、气旋潜在强度指数 (PI)、气旋总功率耗散指数 (或称气旋潜在破坏性指数) (PDI)、气旋对流有效势能 (CAPE)、生存期间最大 (峰值) 风速等。但是, 由于这些新的指数多数是用风速的平方或立方表示, 其误差随着风速的误差按照平方或立方增长, 这是需要注意的。究竟如何定义和表征, 一方面取决于研究目的和服务对象, 另一方面由于受到资料的限制, 希望设计一些误差较小的表征和描述方法。不同研究者采用的定义和表征方法有明显的差异, 至于如何表征最恰当尚在研讨中。

全球 6 个洋区有观测热带气旋和台风的资料, 其中西北太平洋、东北太平洋和北大西洋从 1948 年开始到现在已经有 60 余年的观测资料; 北印度洋、南印度洋和澳大利亚—南太平洋从 1970 年开始至今约有将近 40 年的观测资料。需要说明的是, 在 2000 年前, 南大西洋从未观测到热带气旋, 因此一般不在统计范围内。

注意到由于前期气象台站数量少、分布不均匀, 特别是在海上, 对于热带气旋和台风这种空间尺度较小和时间尺度较短的事件, 可能没有观测到或者漏掉。约从 1970 年开始, 借助卫星观测进一步确定热带气旋和台风, 一般被认为是较为可靠的。因此, 有些研究是基于较为稳定的、使用卫星资料的 1980 年至今的近 30 年的观测资料。但仅靠 30 年资料, 难以研究年代际变率和准周期性等规律。

近些年, 有些研究开始注意对比不同资料来源的热带气旋和台风的差异, 以期订正成一套较准确的数据^[10,17]。表 1 给出 3 组西北太平洋 (0°~90°N, 100°E~180°E) 资料对比^[10], 从风速的定义看, 3 组资料的差别还是比较大的。进一步看不同时段资料的对比, 1950—1979 年, 2 组西北太平洋热带气旋频数资料差异很大, 其中中国气象局上海台风研究所 30 年年平均热带气旋个数是 37, 而美国关岛台风中心资料显示只有 26, 相差 11。1980—2005 年, 2 组西北太平洋热带气旋频数资料的 26 年平均频数一样, 各年差异较小, 平均个数相差 1~2 个, 大多数年份较为接近, 个别年如 1996 年相差较大, 中国气象局上海台风研究所的频数为 30, 但美国关岛台风中心为 44。至于热带风暴频数, 3 套资料在 2 个时段相差较小, 其中 1950—1979 年时段 30 年平均频数相差 2~3 个, 后 26 年基本

表 1 西北太平洋 3 组资料的定义和相应时段热带气旋和热带风暴频数对比

Table 1 Definitions of Tropical Cyclones (TC) and Tropical Storms (TS) in three data sets and their frequencies during 1950—1979 and 1980—2005

	热带气旋及以上	热带风暴及以上	最大平均持续风速时间/min	1950—1979 年频数		1980—2005 年频数	
				TC	TS	TC	TS
中国气象局上海台风研究所	≥ 10.8m/s	≥ 17.2m/s	2	37	28.7	30.7	26.3
美国关岛台风中心	≥ 25kn (12.9m/s)	≥ 34kn (17.5m/s)	1	26	25.6	30.7	26.9
日本气象厅		≥ 30kn (15.4m/s)	10	—	25.6~27.0	—	26.4

一致。研究注意到,3组资料差异随热带气旋强度增加而减小,即风速大的热带气旋,3组观测资料的频数更接近,主要差异在风速小的热带气旋和热带风暴的频数。

研究还对比了近些年经常使用的描述热带风暴破坏力的指数,由于该指数定义是考虑风速的立方变化,因此虽然3组资料在这个时段风速差异较小,但在计算立方后,3组资料的破坏力指数差异明显,甚至变化趋势也不相同。例如,中国气象局上海台风研究所的资料显示,1980—2005年热带风暴破坏力有减小的趋势,同期美国关岛台风中心资料是有增加的趋势,而日本气象厅资料则没有给出明显的变化趋势^[10]。在风速观测资料有差异的情况下,使用立方计算可能会带来更大的误差,这应该引起重视。

近年有些针对北大西洋热带气旋和飓风的研究用累计气旋能量指数^[1],该指数反映了气旋的个数、强度和持续时间,用6h持续表面最大风速的平方(kn^2)表示,其指数与通常用的频数^[4]之间进行对比,结果见图2,其中累积能量指数根据文献[1]的图读数绘制,频数根据文献[4]的图读数绘制。注意到两者变化基本一致,26年热带气旋的频数和累积能量都有增加趋势,计算的相关系数为0.896,高于99%信度水平。因此从总体上看,不同的指标较为一致地描述了热带气旋的气候变化特征,但是在个别年份还是有明显差异,这是值得注意的。

2 观测到全球近50年热带气旋和台风气候变化特征

从观测事实提出关注的主要问题是,近几十年热带气旋

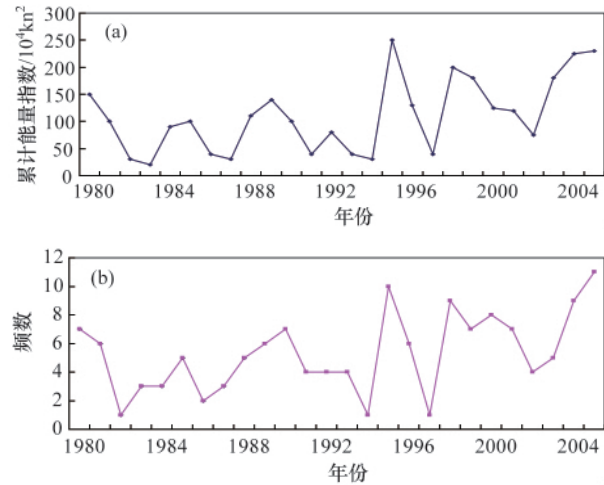


图2 1980—2005年北大西洋热带风暴季(8—10月)累积能量指数变化(a)和频数变化(b)

Fig. 2 ACE of tropical storms over North Atlantic Ocean from August to October during 1980—2005 (a) and frequency changes (b)

和台风的变化是否具有明显的趋势,如果有明显的趋势,是上升还是下降,是否具有年代际变率,是否具有准周期性?

根据IPCC第4次评估报告显示,自1970年以来,全球热带气旋数和日数有减少的趋势,而强热带气旋数和日数有明显增加趋势^[1]。但是近些年的研究仍然得出有争议的结果。

图3分别给出全球6个洋区季节累计热带风暴能量指数变化。其中,北印度洋、南印度洋、澳大利亚—南太平洋的资

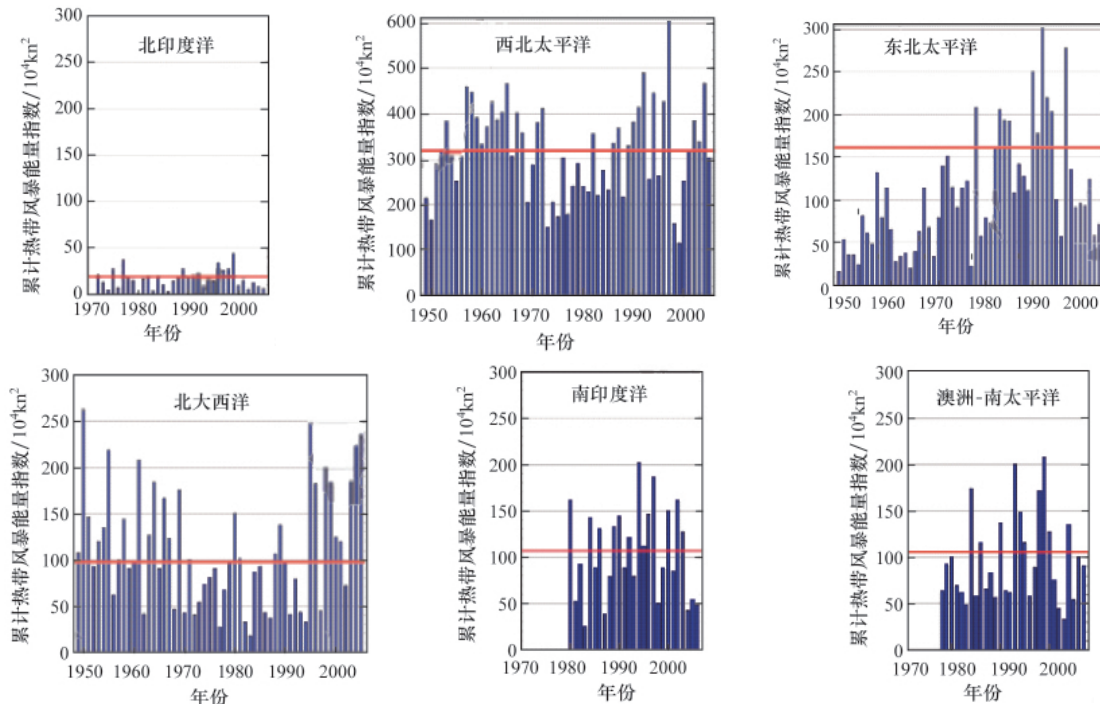


图3 全球6个洋区季节累计热带风暴能量指数变化

Fig. 3 Seasonal variations of the ACE index of tropical storms over six oceans

注:北印度洋、南印度洋、澳大利亚—南太平洋,1970—2006年;西北太平洋、东北太平洋、北大西洋,1948—2006年;图中红线表示1971—2000年的中值。
Notes: For the North Indian, South Indian, western North Pacific, eastern North Pacific, North Atlantic and combined Australian—South Pacific Ocean from 1948 or 1970 through 2005. The red-line is the 1971—2000 median.

料是 1970—2006 年的,西北太平洋、东北太平洋、北大西洋的资料是 1948—2006 年的。注意到:① 这个研究包括了全球 6 个洋区所有热带风暴和台风(飓风)的情况;② 西北太平洋风暴能量指数最高,是其他 5 个洋区的 2~6 倍,最小是北印度洋;③ 多数洋区热带风暴个数和强度具有较明显的年代际变率,即强或多(弱或少)/弱或少(强或多)/强或多(弱或少)的变化特点,如北大西洋和西北太平洋;④ 多数洋区近 10~20 年热带气旋数有减少的趋势,如东北太平洋,南印度洋,澳洲-南太平洋。但是有的洋区有增加趋势,如北大西洋。对于西北太平洋近 20 年热带气旋数的变化趋势随研究者不同和所用的指标不同而不同。需要指出的是,20 世纪从未发生过

热带气旋的南大西洋,21 世纪的 2004 年在巴西沿岸附近观测到 1 个热带气旋,这是否与全球变暖有关值得注意^[1]。

研究更注意造成严重灾害的强热带气旋和台风(飓风)的变化特征,对 1981—2006 年全球和 6 个洋区卫星观测计算表明(见表 2),除澳洲-南太平洋区外,其他 5 个洋区最大风速大于 0.85 分位数的风速有明显增强的趋势,都在+0.11m/s 以上,多数通过 95%显著性检验。当达到 0.99 分位数的强风时,6 个洋区都是增强的趋势,其中最小是西北太平洋,在 0.99 分位数风速变化的线性趋势是每年+0.36m/s,最大北大西洋是每年+1.52m/s^[3]。这项研究支持近 20~30 年强热带气旋的强度有增强趋势的结论。

表 2 从卫星观测全球和 6 个洋区 1981—2006 年强热带气旋在各上分位数的最大风速(单位:m/s)和变化趋势(单位:每年 m/s)
Table 2 The maximum wind speeds (unit: m/s) and trends (unit: m/s per year) of the strong tropical cyclones for upper quartiles during 1981—2006 over the global ocean and six oceans based on the satellite observations

区域	个数		上分位数				
			0.85	0.90	0.95	0.975	0.99
全球	2097	风速	51.9	55.8	62.6	68.8	75.9
		趋势	+0.19	+0.21	+0.18	+0.25	+0.30
西北太平洋	698	风速	58.9	63.7	69.6	73.1	77.6
		趋势	+0.12	+0.14	+0.09	+0.29	+0.36
东北太平洋	423	风速	44.8	48.8	53.0	57.3	62.8
		趋势	+0.11	+0.16	+0.33	+0.46	+0.80
南印度洋	413	风速	49.2	51.3	56.4	57.8	62.6
		趋势	+0.28	+0.29	+0.44	+0.43	+0.69
北大西洋	291	风速	48.9	54.8	60.3	72.7	77.8
		趋势	+0.63	+0.73	+0.81	+1.11	+1.52
南太平洋	157	风速	52.8	54.7	59.8	65.8	67.1
		趋势	-0.04	-0.23	-0.37	-0.06	+0.46
北印度洋	115	风速	41.5	45.0	47.4	50.4	56.4
		趋势	+0.48	+0.42	+0.69	+0.83	+0.87

注:加重数字表示达到 95%信度。

Note: Boldfaced numbers indicate a significance level of 95%.

对西北太平洋热带气旋和台风长期变化特征的研究表明,其变化趋势与选用的资料有关。当使用美国关岛台风中心的资料时,则认为近几十年西北太平洋热带气旋和台风的个数和强度有明显增加的趋势;使用中国气象局上海台风研究所的资料,则得到近几十年西北太平洋编号台风个数和强度有明显减少的趋势,影响和登陆中国的台风数也呈减少趋势。对强和超强台风个数和强度是否有变化趋势则随选用大风表示还是用降水表示而不同^[8,10,15,17,20,28,33]。

作为一个例子,考虑中国沿海夏季大风主要反映了热带气旋和台风的状况,计算中国沿海夏季大风($\geq 17\text{m/s}$)和极大风速变化表明,近 30 年夏季极大风速有略减小的变化趋势,线性趋势每年略减小 0.016m/s(南区)和 0.063m/s(北区),但夏季大风日数明显减少,线性趋势每年减少 1.02 日(南区)和 0.61 日(北区)(见图 4)。因此从台风风速看,夏季影响中国的台风个数和持续时间有减少的趋势^[28]。

3 预估 21 世纪热带气旋和台风的气候变化

政策制定者和公众更关心对热带气旋和台风的预测,以及因人类排放增加在全球变暖背景下对 21 世纪的预估。下面主要介绍研究方法、方法的检验和对 21 世纪的预估。

3.1 研究方法

全球气候模式用于研究气候变化的预测和预估,但其水平分辨率较低,一般在 100km 以上(见表 3)^[2],因此在进行热带气旋和台风的预测和预估时,需要用降尺度方法,即动力降尺度模型和统计降尺度模型或两者的结合,将其水平分辨率提高到 20km 左右,以便描述更多的热带气旋和台风信息。例如,降尺度飓风业务预测动力学模式、随机播种模型和 Beta 与水平平流模型等(见表 4)^[24,6]。目前中国一般采用国外的全球气候模式驱动区域气候模式进行预估研究(见表 5)^[16,27-28]。

不论使用全球气候模式还是用区域气候模式,都面临在模式中对热带气旋和台风(飓风)的定义问题。一般采用观测

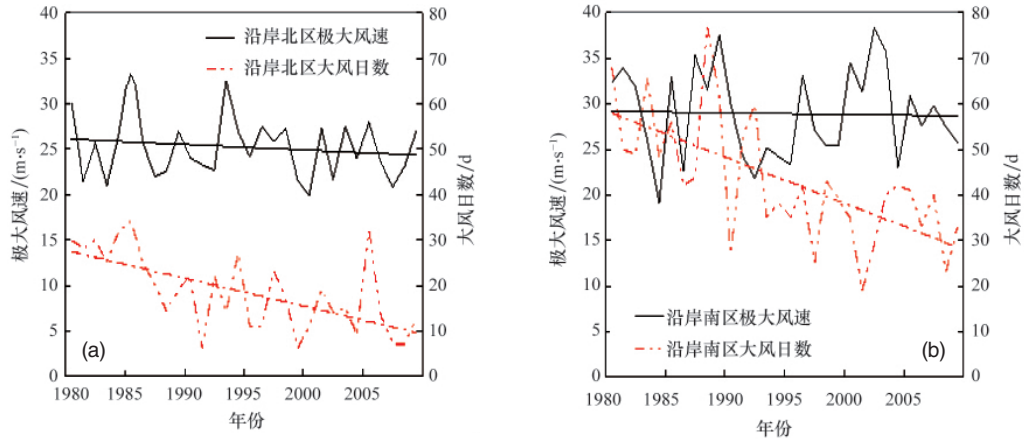


图 4 1980—2009 年中国夏季沿海北区 (30°N~40°N, (a)) 和南区 (20°N~30°N, (b)) 的极大风速和 大风日数变化曲线
Fig. 4 Maximum wind speeds (black–solid) and days of strong wind (red–dashed) for summer during 1980—2009 in north region (30°N~40°N, (a)) and south region (20°N~30°N, (b)) of Chinese coasts

表 3 国外用于驱动降尺度方法预估热带气旋的主要全球气候模式
Table 3 The global climate models based on downscaling methods

全球气候模式名称	研究单位	大气分辨率 *
CCSM3	美国国家大气研究中心	T85, 26 层
CNRM-CM3	法国国家气象研究中心	T63, 45 层
CSIRO-Mk3.0	澳大利亚科学研究组织	T63, 18 层
ECHAM5	德国马普气象研究所	T63, 31 层
GFDL-CM2.0	美国国家大气海洋局地球物理流体动力学实验室	2.5°×2.5°, 24 层
MIROC3.2	日本东京大学/国家环境研究所/前沿环境所	T42, 20 层
MRI_cgcm2.3.2a	日本气象研究所	T42, 30 层
UK-HadCM3	英国哈德莱中心	2.5°×3.8°, 19 层

注: 大气分辨率包括左边是水平分辨率, T42 的经度和纬度约为 2.5°×2.5°, T63 约为 1.9°×1.9°, T85 约为 1.5°×1.5°, 右边是垂直分辨率(层)。

Notes: Atmospheric resolutions include both horizontal (left) resolution at T42 (2.5°×2.5°), T63 (1.9°×1.9°), T85 (1.5°×1.5°), and vertical (right) resolution (levels).

表 4 近期国外常用的预估热带气旋的降尺度方法
Table 4 Downscaling methods of predicting tropical cyclones

降尺度方法	研究者(年份)	主要特点
CHIPS(一对飓风强度预测系统)	Emanuel 等(2008)	随机“播种”, 预估全球各洋区, 主要预估北大西洋
ZETAC(18km 区域动力模式)	Knutson 等(2008) Bender 等(2010)	区域大气模式用 IPCCAR4 全球气候模式驱动, 预估北大西洋

表 5 近期中国降尺度方法对热带气旋预测(年内)与预估(10 年及以上)研究的主要模式和模型
Table 5 Brief introduction of downscaling methods of tropical cyclones for prediction (in year) and projection (decadal and long)

降尺度模式或模型名称	研究单位	模式或模型特征
CMM5, RegCM3, PRECIS 预估	国家气候中心	中国与近海区域气候模式(分辨率 20~50km)
IAP9L-AGCM 预测	大气物理研究所	全球大气环流模式(5°×4°)
RegCM3 预估	国家气候中心	中国与近海区域气候模式(分辨率 20km)
“人造台风”+飓风强度模式预估	南京信息工程大学	统计+动力模式
WRF 预测	南京信息工程大学	中国与近海区域气候模式(分辨率 27km)
WRF 预测	国家气候中心	中国与近海区域气候模式
IPRC-RegCM 预估	南京信息工程大学	中国与近海区域气候模式(0.3°×0.3°)

的定义或类似的方法,但由于气候模式在模拟中小尺度天气气候系统时存在较大不确定性,有些模式放宽了对热带气旋和台风(飓风)的定义标准。

3.2 降尺度方法对 20 世纪气候模拟的检验

利用降尺度方法进行预估之前,首先需要检验该方法对 20 世纪气候模拟的效果,采用模拟效果较好的方法对未来做预估,可信度才可能较高。以下给出一些检验结果。

表 4 中的 ZETAC 模式输入观测的海温和再分析资料的大气状况,模拟 1980—2006 年北大西洋 8~10 月飓风数变化(见表 6)^[4]。计算模拟的飓风频数与观测的相关系数高达 +0.84,表明具有较好的模拟能力。模拟的线性变化趋势与观

测都是增加的,但模拟值偏大 40%。模式模拟的飓风强度(中心气压和最大风速)明显低于观测的强度,而模拟的个数则明显高于观测值。检验表明,该模式具有一定的模拟北大西洋飓风的能力。

将表 4 中的 CHIPS 模拟的 5 个洋区和全球总洋区强热带气旋功率耗散指数与观测进行了对比(见图 5)^[2]。相关系数计算表明,CHIPS 对北大西洋强热带气旋模拟得最好,相关系数高达 +0.70,对西北太平洋、南半球洋区和全球总洋区次之,相关系数分别是 0.48、0.58 和 0.47,对东北太平洋的模拟效果最差,为负相关,变化趋势基本相反。由此表明,该模式系统对多数洋区强热带气旋具有一定的模拟能力。

表 6 ZETAC 模拟 1980—2006 年北大西洋 8~10 月飓风变化与观测对比检验

Table 6 Tests between simulations by ZETAC and observations for August–October of 1980–2006 over North Atlantic Ocean

	线性变化趋势/a ⁻¹	中心气压/hPa	最大风速/(m·s ⁻¹)	频数(10 年总个数)	
				10 个少年	10 个多年
观测	+0.15	882	85	52	130
模拟	+0.21	937	47	82	145
对比	+40%	+55	-38	+30	+15

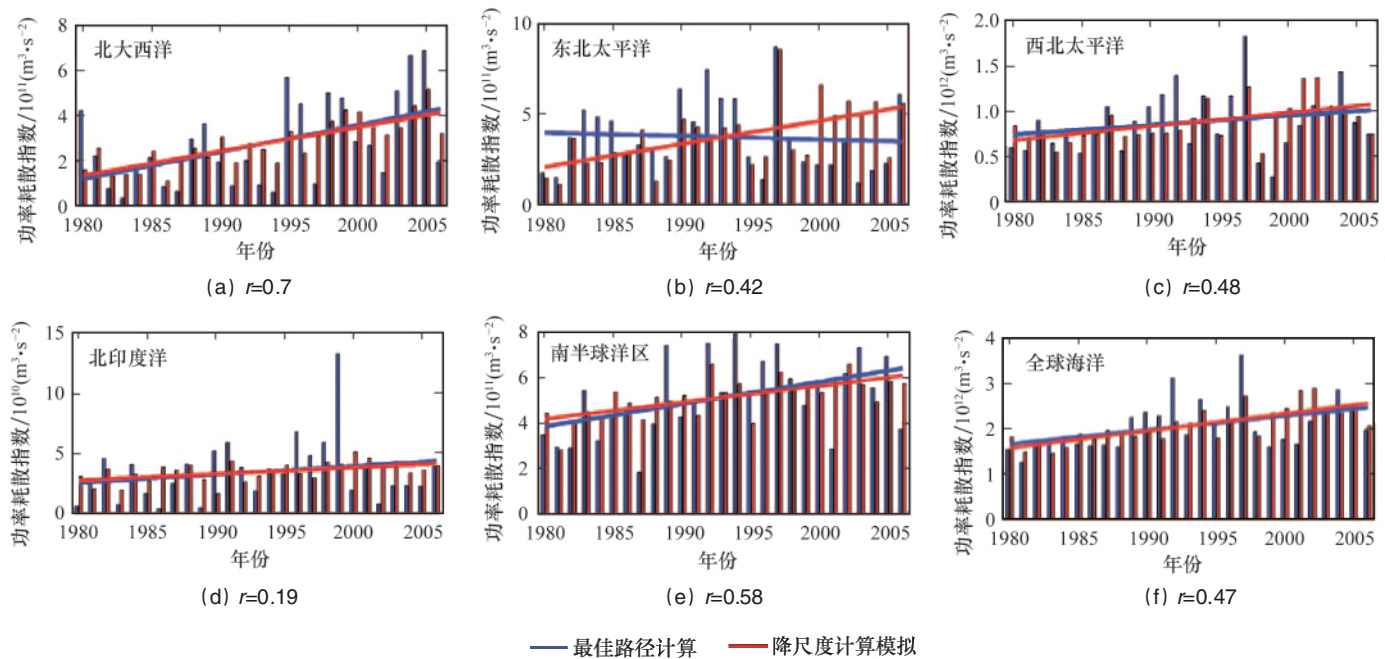


图 5 1980—2006 年 5 个洋区和全球总洋区功率耗散指数演变曲线

Fig. 5 Power dissipation index from 1980 to 2006 over North Atlantic ($10^{11}m^3 \cdot s^{-2}$), eastern North Pacific ($10^{11}m^3 \cdot s^{-2}$), western North Pacific ($10^{12}m^3 \cdot s^{-2}$), North Indian ($10^{10}m^3 \cdot s^{-2}$), southern hemisphere ocean ($10^{11}m^3 \cdot s^{-2}$) and global total ($10^{12}m^3 \cdot s^{-2}$)

需要强调指出的是,检验得出,无论动力还是统计降尺度方法对热带气旋都具有一定的模拟能力,但还存在较大的不确定性。即使模拟效果好,也并不意味着预测和预估效果就好。需要说明的是,进行预估时,不论采用动力或统计降尺度方法,均需输入全球气候模式的预估结果,因此,采用哪些全球气候模式也是关键问题。

3.3 排放增加对 21 世纪热带气旋和台风气候变化影响预估
对热带气旋和台风未来变化的预估随着使用的方法和其定义的不同,结果差异很大。多数研究集中在人类排放增加全球变暖预估西北太平洋和北大西洋热带气旋频数和强度变化,极少量做全球洋区预估。一些研究认为未来人类排放增加全球变暖,热带气旋和台风数和强度都将明显增加。

有些研究结论正好相反,认为都将减少和减弱。有些研究则预估热带气旋数将减少,但是强台风(飓风)数和强度将增加和增强^[1-4,6-7,9,11-13,16,24,27,29-31]。

3.3.1 北大西洋

2010年一项最新研究,利用降尺度区域动力模式 ZETAC,被 18 个 IPCC 第 4 次评估报告 (AR4) 全球气候模式考虑 A1B (中等) 排放情景集成平均驱动,预估 21 世纪后期全球变暖,北大西洋热带气旋最大风速在 20~60m/s 之间的发生数将明显减少,估计减少 20%~65%;而强飓风最大风速在 60m/s 以上的,发生数从目前气候的 24 个,增加到 46 个,大约增加 92%;最强飓风最大风速超过 65m/s 的个数,将从 6 个增加到 21 个,大约增加 250%。此外,最大风速小于 20m/s 的热带气旋发生数也可能增加(见图 6)^[6]。即预估,由于人类排放增加全球变暖,到 21 世纪后期北大西洋飓风发生数将可能明显减少,但强和超强飓风的发生数可能会明显增加。

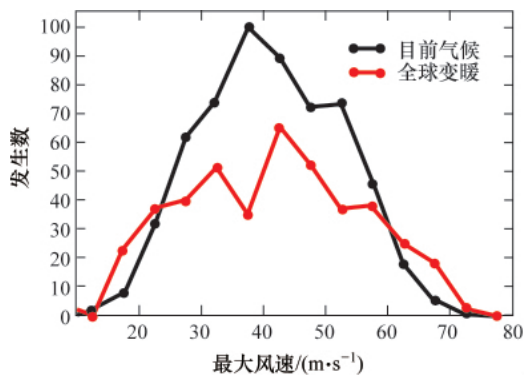


图 6 ZETAC 被 18 个 IPCC AR4 全球气候模式考虑 A1B 情景集成平均驱动,预估 21 世纪后期全球变暖、北大西洋飓风风速及发生数分布和目前气候状况

Fig. 6 Comparison of maximum wind speed and numbers of occurrences for the present climate (black) and A1B scenario (red) distributions as predicted by 18 IPCC AR4 global climate models nested to ZETAC

其他近期研究多数支持全球变暖背景下,北大西洋强和超强飓风强度将增强,最大风速和强降水加强,频数也可能增加。全球变暖对于北大西洋热带气旋和一般飓风频数和强度的影响,则不同研究的预估差异较大^[1-4,6-7]。

3.3.2 西北太平洋

10 个较新的研究集中在用全球或区域气候模式考虑人类排放增加全球变暖,预估到 21 世纪后期西北太平洋热带气旋和台风的变化。研究表明,有 8 个模式预估西北太平洋年总台风个数将可能明显减少 5%~30%,2 个模式预估年总台风数将可能增加;10 个模式都预估西北太平洋强台风强度将明显加强(见图 7)^[16]。

此外,有些研究不是直接预测西北太平洋台风,而是预测与台风有关的大气环流如湿度等,也具有一定的预测能力^[11]。

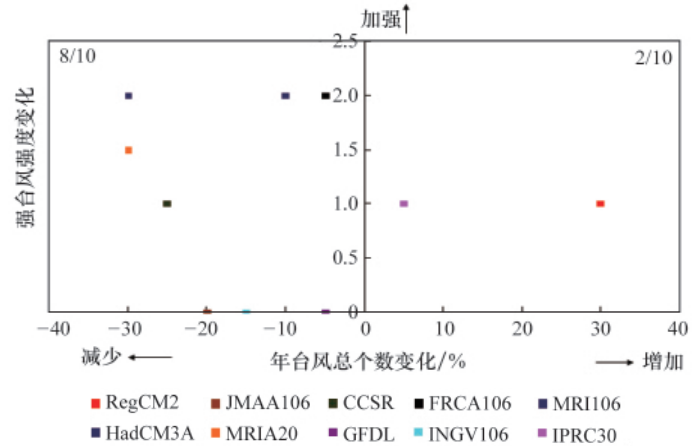


图 7 10 个全球或区域气候模式预估人类排放增加全球变暖,21 世纪后期西北太平洋年总台风频数和强台风强度指数变化(相对于 1961—1990 年)

Fig. 7 Changes of frequency of annual total typhoons and intensity index of strong typhoons over northwestern Pacific Ocean by the end of the 21st century (relative to 1961—1990) as predicted by ten global and regional climate models considering increased human emissions and global warming

4 古气候和历史气候对热带气旋变化的启示

4.1 上新世初期暖气候

利用古气候特征获得对未来全球变暖相应气候变化的预估也被利用在对热带气旋的预估方面。一项新的研究考虑上新世初期(300 万~500 万年前)暖气候条件下(较目前暖 2~4℃,大气中 CO₂ 浓度 300~400ppm),相应的海洋和热带气旋特征。研究表明,在上新世初期,整个热带太平洋东西和南北方向海温温差很小,赤道东太平洋永久保持类似厄尔尼诺(El Niño)态。利用代用资料恢复的海温驱动全球大气环流模式,其结果再输入统计降尺度模型,模拟上新世初期热带气旋个数和路径(图 8(b)),另一方面,用相同的全球模式和统计降尺度模型输入目前气候的海温特征,模拟出目前气候的热带气旋个数和路径(图 8(a))。两个模拟结果对比表明,上新世初期暖气候条件下,无论热带低压、热带风暴还是 5 个级别飓风都比目前气候明显偏多,路径范围涵盖更广,几乎遍布全球整个洋区,即使从不发生热带气旋的南大西洋,上新世初期也有多个热带气旋出现。研究认为,上新世初期温室气体与 21 世纪情景相似,因此,预估未来在全球所有洋区热带气旋数将明显比目前偏多和偏强^[5]。

4.2 近 400 年厄尔尼诺和拉尼娜时期台风

从历史气候记录重建了 960AD 以来的登陆中国台风资料,并且对其可靠性进行了验证,进一步计算 1600—1911 年期间厄尔尼诺/拉尼娜(El Niño/La Niña)年与登陆中国广东、福建和浙江 3 省台风数的关系,发现 El Niño 年登陆 3 省台风总数 ≤ 2 的概率比 La Niña 年大,但 El Niño 年登陆 3 省

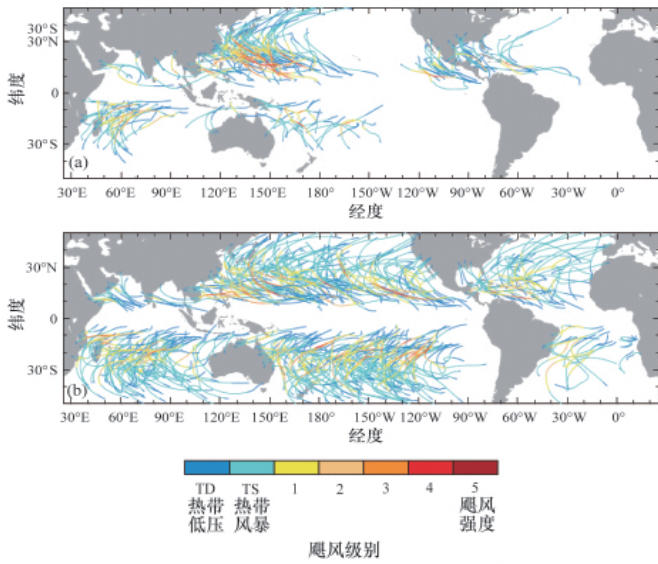


图 8 统计降尺度模型模拟目前 (a) 和上新世初期 (b) 全球热带气旋路径分布

Fig. 8 Tracks of tropical cyclones simulated by the statistical downscaling model in the modern climate (a) and the early Pliocene climate (b)

台风总数大于 2 个的概率比 La Niña 年小 (图 9)^[15]。由此表明, La Niña 年多个台风登陆中国东南沿海的可能性大于 El Niño 年, 此结果与对近 50 余年 El Niño/La Niña 年与登陆中国的台风个数的关系的研究结果基本一致^[8,12,17]。而对北大西洋热带风暴的研究也表明, La Niña 年比 El Niño 年热带风暴最大风速发生的频数更大^[2]。

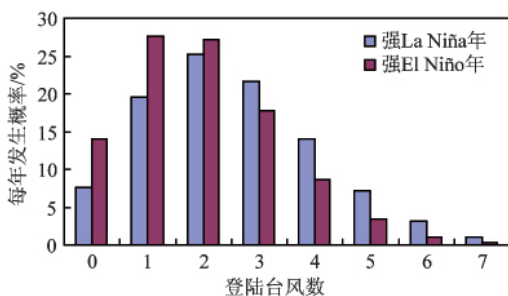


图 9 1600—1911 年 El Niño/La Niña 当年登陆中国广东、福建和浙江 3 省台风个数发生频率

Fig. 9 Probabilities of landfall typhoon numbers on Guangdong, Fujian and Zhejiang Provinces of China in the years of El Niño/La Niña during 1600—1911

5 讨论与结论

近些年对热带气旋和台风的研究有新的进展, 主要结论如下:

1) 对近 60 年的观测资料比对表明, 由于海上观测手段的不足, 造成前期资料的可靠性较低, 近 30~40 年的资料较为可靠, 资料的这种特点尤以西北太平洋明显。一般来说, 观测资料的可靠性随热带气旋的强度增强而增加。

2) 观测资料显示, 全球 6 个洋区热带气旋存在年代际变率, 大约自 1970 年以来强和超强热带气旋有增强的趋势。

3) 检验证实, 统计和动力降尺度方法具有一定的模拟热带气旋的能力, 但是尚存在较大的不确定性。

4) 21 世纪人类排放增加全球变暖, 统计和动力降尺度模型和模式较为一致地预估, 西北太平洋和北大西洋强台风 (飓风) 强度和频数都可能增强。

热带气旋和台风属于极端气候事件, 因此利用目前的统计和动力降尺度方法很难做未来年以上时间尺度的气候预测和预估, 尚需要进行更深入的研究。影响热带气旋的因子很多, 一些西北太平洋热带气旋成因研究集中在热带太平洋海温、El Niño/La Niña、大尺度环流场、西北太平洋副热带高压、西北太平洋季风槽、西北太平洋低频振荡、亚洲-太平洋涛动、大气季节内振荡, 以及青藏高原热力作用等的影响^[8-9,12-14,17-26,28-29,31-33]。随着对热带气旋和台风的物理机制和影响因子研究的深入, 以及预测与预估方法的深入研究, 将进一步减小预测和预估的不确定性。

令人鼓舞的是, 2010 年 3 月美国气象学会刊物上介绍了“国际最佳路径文档气候服务合作项目”, 着重研究建立全球热带气旋最佳路径均一化文档资料库, 若此项目完成, 将为各国对热带气旋和台风变化研究提供一套最好的全球资料 (图 10)^[35], 更有助于提高对热带气旋和台风的气候预测的准确率和对影响因子的深入研究。

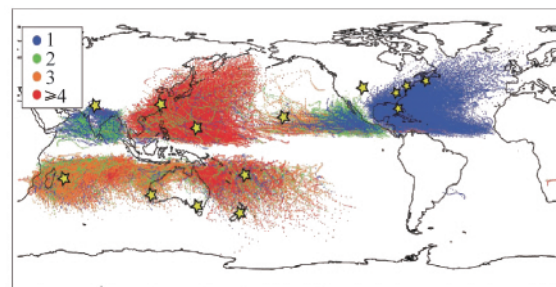


图 10 国际热带气旋最佳路径项目资料库提供的全球热带气旋最佳路径分布。图例所示不同颜色对应的数字为提供资料的单位数, ☆为参与单位

Fig. 10 Tropical cyclone position from dataset bank, color coded by the number of agencies providing best-track data for each storm, with the stars denoting the locations of workshop participants

致谢 邹燕为表 1 提供了具体的计算结果, 在此表示感谢。

参考文献 (References)

[1] Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: The physical science basis [M]. Solomon S, Qin D, Manning M, et al. IPCC WG1 AR4 Report, Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[2] Emanuel K, Sundararajan R, Williams J. Hurricanes and global warming [J]. *Bulletin of American Meteorological Society*, 2008, doi: 10.1175/BAMS-89-3-347.

[3] Elsner B, Kossin J P, Jagger T H. The increasing intensity of the

- strongest tropical cyclones[J]. *Nature*, 2008, 455(4): 92–95.
- [4] Knutson T R, Sirutis J J, Gamwer S T, *et al.* Simulated reduction in Atlantic hurricane frequency under twenty-first century warming conditions [J]. *Nature Geoscience*, 2008, doi: 10.1038/ngeo202.
- [5] Fedorov A V, Brierley C M, Emanuel K. Tropical cyclones and permanent El Nino in the early Pliocene epoch[J]. *Nature*, 2010, 463: 1066–1070.
- [6] Bender M A, Knutson T R, Tuleya R E, *et al.* Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes[J]. *Science*, 2010, 327(5964): 454–458.
- [7] Kerr R A. Global warming: Models foresee more-intense hurricanes in the greenhouse[J]. *Science*, 2010, 327(5964): 399.
- [8] 袁金南, 林爱兰, 刘春霞. 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*, 2008, 66(2): 213–223.
Yuan Jinan, Lin Ailan, Liu Chunxia. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 66(2): 213–223.
- [9] 智协飞, 张玲. AOGS 第六届学术年会气象学研究报告综述[J]. *大气科学学报*, 2009, 32(5): 716–722.
Zhi Xiefei, Zhang Ling. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2009, 32(5): 716–722.
- [10] 邹燕, 赵平. 几种台风资料的对比及台风年鉴数据的订正[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(3): 295–299.
Zou Yan, Zhao Ping. *Journal of Tropical Meteorology*, 2009, 25(3): 295–299.
- [11] 郎咸梅, 王会军. 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[J]. *科学通报*, 2008, 53(14): 1702–1708.
Lang Xianmei, Wang Huijun. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(14): 1702–1708.
- [12] Liu Kam-biu, 范代读. 全球变暖是否导致台风增强: 古风暴学研究进展与启示[J]. *科学通报*, 2008, 53(13): 1489–1502.
Liu Kam-biu, Fan Daidu. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(13): 1489–1502.
- [13] 麻素红, 王建捷, 万丰. 人造台风模型及资料同化对 T213L31 模式台风路径预报能力的影响[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(2): 141–145.
Ma Suhong, Wang Jianjie, Wan Feng. *Journal of Tropical Meteorology*, 2007, 23(2): 141–145.
- [14] 周波涛, 崔绚, 赵平. 亚洲-太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38(1): 118–123.
Zhou Botao, Cui Xun, Zhao Ping. *Science in China, Series D*, 2008, 38(1): 118–123.
- [15] 梁有叶, 张德二. 最近一千年来我国的登陆台风及其与 ENSO 的关系[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(2): 120–121.
Liang Youye, Zhang De'er. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 120–121.
- [16] 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.
- [17] 任福民. 近 50 年影响中国热带气旋活动的观测研究 [D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2008.
Ren Fumin. Observational study on the activities of tropical cyclones which affect China during the past fifty years [D]. Beijing: Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [18] Ren F, Wang Y, Wang X, *et al.* Estimating tropical cyclone precipitation from station observations [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2007, 24(4): 700–711.
- [19] 任福民, 王小玲, 陈联寿, 等. 登陆大陆, 海南和台湾的热带气旋及其相互关系[J]. *气象学报*, 2008, 66(2): 224–235.
Ren Fumin, Wang Xiaoling, Chen Lianshou, *et al.* *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 66(2): 224–235.
- [20] 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.
- [21] 王磊, 陈光华, 黄荣辉. 影响登陆我国不同区域热带气旋活动的大尺度环流定量分析[J]. *大气科学*, 2009, 33(5): 916–922.
Wang Lei, Chen Guanghua, Huang Ronghui. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 33(5): 916–922.
- [22] 陈光华, 黄荣辉. 西北太平洋低频振荡对热带气旋生成的动力作用及其物理机制[J]. *大气科学*, 2009, 33(2): 205–214.
Chen Guanghua, Huang Ronghui. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 33(2): 205–214.
- [23] 孙长, 毛江玉, 吴国雄. 大气季节内振荡对夏季西北太平洋热带气旋群发性的影响[J]. *大气科学*, 2009, 33(5): 950–958.
Sun Zhang, Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2009, 33(5): 950–958.
- [24] Ma Liping, Chen Lianshou. The relationship between global warming and the variation in tropical cyclone frequency over the western North Pacific[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2009, 15(1): 38–44.
- [25] Wang Xiaoling, Wu Liguang, Ren Fumin, *et al.* Influences of tropical cyclones on China during 1965–2004 [J]. *Advances in Atmospheric Science*, 2008, 25(3): 417–426.
- [26] 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.
- [27] Jiang Zhihong, Zhao Zongci, Fan Lijun. Chapter 10 projection of future climate in China, regional climate studies of China [M]. Fu C, Jiang Z, Guan Z, *et al.* ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008: 409–446.
- [28] Jiang Y, Luo Y, Zhao Z, *et al.* Changes in wind speed over China during 1956–2004 [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 99: 421–430.
- [29] 南京信息工程大学大气科学系. 国家公益性行业专项“全球变暖背景下台风季节动力预测和变化趋势预估技术研究”2009 年度学术年会论文摘要集[C]. 南京: 南京信息工程大学出版社, 2010.
Department of Atmospheric Sciences of Nanjing Information and Engineer University. Proceedings of 2009 annual congress on methodology of seasonal dynamic prediction and projection of trends for typhoons under global warming[C]. Nanjing: Nanjing Information and Engineer University Press, 2010.
- [30] 石英, 高学杰. 温室效应对我国东部地区气候影响的高分辨率数值试验[J]. *大气科学*, 2008, 32(5): 1006–1018.
Shi Ying, Gao Xuejie. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2008, 32(5): 1006–1018.
- [31] 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.
- [32] 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[J]. *中国科学 D 辑*, 2007, 37(7): 966–973.
Wang Huijun, Sun Jianqi, Fan Ke. *Science in China, Series D*, 2007, 37(7): 966–973.
- [33] 赵珊珊, 高歌, 孙旭光, 等. 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*, 2009, 20(5): 555–563.
Zhao Shanshan, Gao Ge, Sun Xuguang, *et al.* *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20(5): 555–563.
- [34] Zhang Q, Wu Liguang, Liu Q. Tropical cyclone damages in China: 1983–2006 [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2009, doi: 10.1175/2008BAMS2631.1.
- [35] Levinson D H, Diamond H J, Knapp K R, *et al.* Toward a homogenous global tropical cyclone best-track dataset [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2010, 91(3): 377–380.

(责任编辑 朱宇)