

近 58 年来登陆中国热带气旋气候变化特征^{* 1}

杨玉华^{1,2} 应 明^{1,2} 陈葆德^{1,2}
YANG Yuhua^{1,2} YING Ming^{1,2} BAODE Chen^{1,2}

1. 中国气象局上海台风研究所, 上海, 200030

2. 中国气象局台风预报技术重点开放实验室, 上海, 200030

1. *Shanghai Typhoon Institute of the China Meteorological Administration, Shanghai 200030, China*

2. *Laboratory of Typhoon Forecast Technique/CMA, Shanghai 200030, China*

2009-01-31 收稿, 2009-04-06 改回.

Yang Yuhua, Ying Ming, Baode Chen. 2009. The climatic changes of landfall tropical cyclones in China over the past 58 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(5):689–696

Abstract By using the data from the *Tropical Cyclone Yearbooks*, changes of landfall tropical cyclones (TCs) in China over the past 58 years (1949–2006) were analyzed, in terms of their tracks, numbers, duration, intensity, probability distributions as well as inter-annual and decadal variabilities. The results indicate that the landfall TCs numbers have decreased but the numbers hardly changed for typhoons. The frequency decreased evidently for tropical depressions and (strong) tropical storms landed in southern China, but the variation of frequency of TCs over eastern China is not obvious. Over the past 58 years, the most northern latitude of landfall TCs for each year tends to be more southward, and the most southern latitude turns to be more northward, resulting in a decrease of the south-north range of landfall TCs, i. e., more TCs tend to make landfall between 23°N and 35°N, and fewer in the north of 35°N and south of 23°N. The landfall season is decreased by about one month. The intensity of landfall TCs has increased, and the intensity difference between the strongest and the weakest TCs reduced. Furthermore, the skew of intensity shows an upward tendency, indicating the proportion of stronger landfall TCs has increased. Finally, the annual averaged intensity of landfall TCs has enhanced for both southern China and eastern China, with a stronger increase appearing in the former than the latter.

Key words Landfall TC, Landfall location, Landfall intensity, Skew

摘 要 利用 1949—2006 年《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》资料, 主要分析了 1949—2006 年登陆中国热带气旋的频数、登陆位置、登陆季节延续期和登陆强度等要素及其概率分布的年际和年代际变化特征。结果表明: 近 58 年来, 登陆中国热带气旋年频数有减少趋势, 但登陆时达台风强度的年频数变化不明显; 按登陆地点分区统计发现, 登陆华南地区的热带低压及(强)热带风暴年频数以减少为主, 而登陆东部地区的热带气旋年频数变化不明显。登陆点历年最北位置(最南位置)有南移(弱的北移)趋势, 导致登陆点历年南北最大纬度差逐渐减小, 这表明热带气旋登陆区域更为集中, 在 23°—35°N 增多, 而在 35°N 以北和 23°N 以南以减少为主。登陆中国热带气旋季节延续期缩短了近 1 个月。热带气旋年平均登陆强度及其概率分布偏度有增加趋势, 表明登陆的强台风有增加; 登陆中国华南和东部地区的台风强度都有增强趋势, 前者比后者趋势更明显。另外, 热带气旋年最大登陆强度差长期呈现减小的趋势。

关键词 登陆热带气旋, 登陆位置, 登陆强度, 偏度

中图法分类号 P467

^{*} 资助课题: 中国气象局气候变化专项(CCSF2008-3), 国家自然科学基金资助项目(40675057, 40875025)。

作者简介: 杨玉华, 主要从事区域数值预报和台风气候变化研究。Email: yangyh@mail.typhoon.gov.cn

1 引言

过去几十年来,全球热带海洋的表面气温升高了 $0.25\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007年第四次评估报告对截止2005年前全世界气候变化相关研究成果进行的总结和评估认为过去50年观测到的大部分全球平均温度的升高非常可能($>90\%$ 的可能性)是由于人为温室气体浓度的增加引起的。

有关全球变暖和热带气旋的关联,已经有很多研究成果。Webster等(2005)的分析指出,20世纪70年代以来,在海表温度增加的背景下,除了北大西洋,西(东)太平洋、西南太平洋、北(南)印度洋的热带气旋年频数和总持续时间在近10年来都有减少趋势;北太平洋、印度洋、西南太平洋上强度达到4—5级的热带气旋个数和所占比重都有明显增加,而北大西洋的增加最微弱。Emanuel(2005)提出全球变暖使得热带气旋强度增加,与热带气旋生命史的延长共同导致热带气旋潜在破坏力增加,再考虑到沿海居住人口的增长,热带气旋导致的灾害将显著增加;Pielke(2005)认为在扣除物价、人口和社会财富变化的因素,热带气旋破坏力并没有明显增加,所以社会和人类活动变化对热带气旋破坏力的影响远大于热带气旋自身的影响。Landsea(2005)则指出Emanuel的分析在资料质量、样本选取、方法上都存在缺陷,所下结论还需推敲;Wu(2005)的分析发现近40年来西北太平洋热带气旋的2条主要路径向西偏移,导致影响东亚的热带气旋增多,同时影响南海的热带气旋减少。但Wu没有对强度进行研究,而且没有针对登陆中国热带气旋进行具体分析。

中国学者在热带气旋气候学方面开展了一系列有意义的研究工作。研究表明,20世纪50—90年代,西太平洋热带气旋活动没有明显的增多和减少趋势,但却表现出显著的年代际和年际的气候震荡。20世纪60—80年代初期热带气旋活动频数为下降趋势,但20世纪80年代中期开始热带气旋活动又逐渐增多(Chan, 1996)。而热带气旋的年频数和登陆中国的热带气旋数在这期间出现了3次气候突变(朱乾根^①, 2002)。更多的研究集中在登陆中国的

热带气旋上,李英等(2004)对热带气旋登陆中国的时空分布和登陆后的活动特征进行了详细分析;王凌等(2006)研究显示20世纪70年代以来登陆中国的台风和热带风暴年频数有微弱的减少趋势,但登陆台风(登陆时中心附近最大风速 $\geq 32.7\text{ m/s}$)年频数略有增加的趋势。曹楚等(2006)分析表明在1968—2002年全球明显增暖时段,中国台风登陆位置偏向中国中部,西北太平洋台风在生命史中强度达最强时的位置有向北移动的趋势。

目前大部分研究是基于气候平均值来研究热带气旋路径、强度等变化。而气候变化的本质是气候系统外部强迫的改变导致特定气候变量的频率或概率分布发生了改变。当有极端或例外事件发生时,直接计算的平均值可能明显受到这些极端事件的影响(或这些小概率事件在平均值中占较大的权重);从而影响该值对气候系统整体变化特征的代表性。因此,在本研究中我们将重点考察热带气旋路径、登陆强度等的频率或概率分布变化,分析1949—2006年登陆中国热带气旋气候变化的整体特征。

2 资料和方法说明

考虑到登陆热带气旋的记录具有较高精度,我们将主要分析登陆热带气旋的气候特征。本文使用的热带气旋登陆信息(包括热带气旋的登陆时间、地点、强度),每6h一次的热带气旋位置、强度信息均取自中国气象局上海台风研究所整编的《台风年鉴》(1949—1988年)和《热带气旋年鉴》(1989—2006年)。由于年鉴中没有提供热带气旋登陆点的经纬度信息和1973年前热带气旋登陆时观测的近中心最大风速,本文用线性插值的方法,根据登陆时刻和登陆时刻前后的热带气旋位置插值得到登陆时热带气旋的经纬度。并用类似的方法,得到1949—1972年登陆热带气旋登陆时刻的近中心最大风速。比较1989—2006年插值最大风速和观测最大风速(图7b),平均误差小于 2.5 m/s 。

Landsea(2005)的研究表明:分析热带气旋强度的变化,应该从最原始的资料着手,不能为了资料的一致性(例如无卫星观测与有卫星观测的不一致性)对资料进行调整。许映龙^②(2007)指出目前中国台

① 朱乾根, 陈敏. 2002. 西北太平洋登陆热带气旋的统计特征. 第十二届全国热带气旋科学讨论会论文集. 北京: 中国气象科学研究院, 15-18

② 许映龙. 2007. 台风定强业务中的风压关系问题. 第十四届全国热带气旋科学讨论会论文集. 上海: 中国气象局上海台风研究所编, 91-92

风定强业务中应用的风压关系是 1 min 最大持续风速的风压关系,与中国热带气旋等级标准对热带气旋强度规定为 2 min 平均的最大持续风速定义相矛盾。《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》提供的热带气旋登陆强度信息,有可能不满足理论的风压关系。本文对热带气旋强度的分析以热带气旋中心最低气压为主,风速分析只作为参考。

除了一般常用的统计方法之外,我们还计算了分析变量时间序列的偏度,以确定分析序列数据整体分布的变化。偏度是定量描述一个独立随机过程

与高斯分布偏离程度的基本量。偏度反映以其平均值为中心分布非对称程度,偏度定义为

$$\delta_{\text{skew}} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

其中, n 为变量样本数; x_i 为某 i 样本的变量; $\bar{x}$ 为变量 x_i 的样本平均值; s 为该研究变量 x_i 的标准差。正态分布的偏度为 0;正偏度表示不对称部分的分布更趋向正值。负偏度表示不对称部分的分布更趋向负值(图 1)。

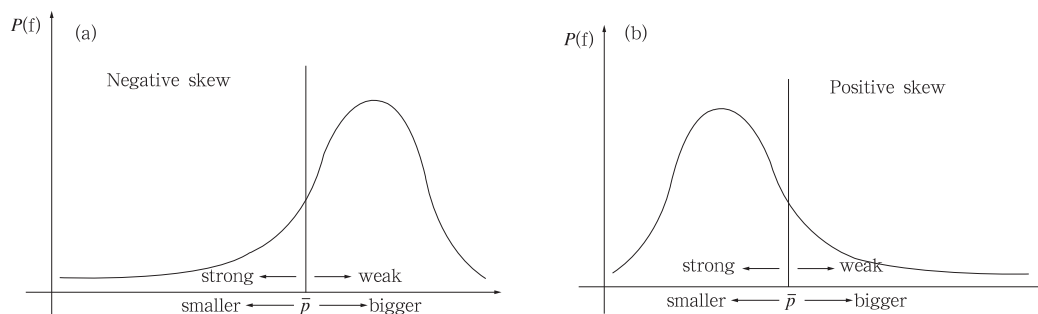


图 1 偏度示意图

Fig. 1 An illustration of skew

3 登陆中国热带气旋和台风年频数的变化

1949—2006 年有 522 个热带气旋登陆(不包括副中心)影响中国,年均 9 个(图 2)。其中,登陆热带气旋最多的年份为 1952 和 1961 年,均达到 15 个,登陆热带气旋最少的年份为 1982 年,只有 4 个。当热带气旋登陆中国时近中心最大风速 ≥ 32.7 m/s

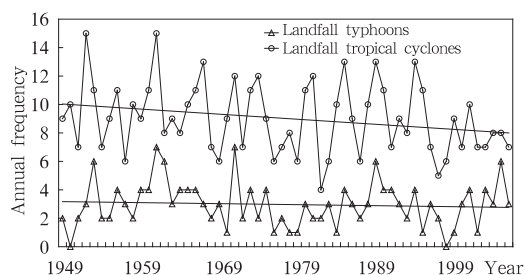


图 2 1949—2006 年登陆中国热带气旋(空心圆实线)及台风(空心三角实线)年频数分布及各自变化趋势(直线)

Fig. 2 The annual frequency of landfall TCs (circles) and typhoons (triangles) in China from 1949 to 2006 (straight lines indicate tendencies)

时,则定为台风登陆,在这 522 个登陆热带气旋中,有 172 个登陆时强度达到台风级别,约占 33%,年均 3 个。登陆台风频数最多的年份为 1961 和 1971 年,均为 7 个,而 1950 和 1998 年登陆热带气旋均未达到台风强度。总体看来,近 50 多年来,登陆中国热带气旋的年频数呈现减少趋势,并达到 90% 的可信度,登陆台风的年频数并没有明显变化。

把热带气旋在广东、广西、海南等地(117°E 以西)登陆定为登陆华南,在福建、台湾、浙江、上海、江苏、山东、河北、天津、辽宁等地(117°E 以东)登陆定为登陆东部(由于首次登陆华北热带气旋个数较少(6 个),所以没有单独分析)。在 58 年中,首次登陆中国华南地区的热带气旋总个数为 323 个,占总登陆个数的 62%,年均约 5、6 个;其中有 74 个在登陆时达到台风强度,年均约 1 个,登陆台风频数占总登陆热带气旋频数的 23%。登陆中国华南地区热带气旋最多的频数为 9 个(分别是 1952、1971、1980、1995 年),频数最少的是 2 个(分别是 1969、1982、1997、2004 年)。而登陆中国东部热带气旋总个数为 199 个,年均约 3 个;其中有 98 个在登陆时达到台风强度,年均约 2 个,登陆台风占总登陆热带气旋

个数的 41%，比例明显高于华南地区。登陆中国东部地区热带气旋频数最多为 8 个(1961 年)，其中 5 个为登陆台风，而在 1993 年没有热带气旋登陆中国东部地区。另外，在中国东部地区登陆台风的频数和登陆热带气旋频数呈现出明显的正相关特性，相关系数达到 0.61(通过 99.9% 的显著性检验)，而在

中国华南地区，这种相关性则表现略弱，相关系数为 0.39(通过 99% 的显著性检验)。

1949—2006 年，登陆中国华南地区的热带气旋年频数有明显减少趋势，其中登陆热带低压及(强)热带风暴的年频数减少比较明显，登陆台风年频数的减少趋势较小；而东部地区没有明显变化。

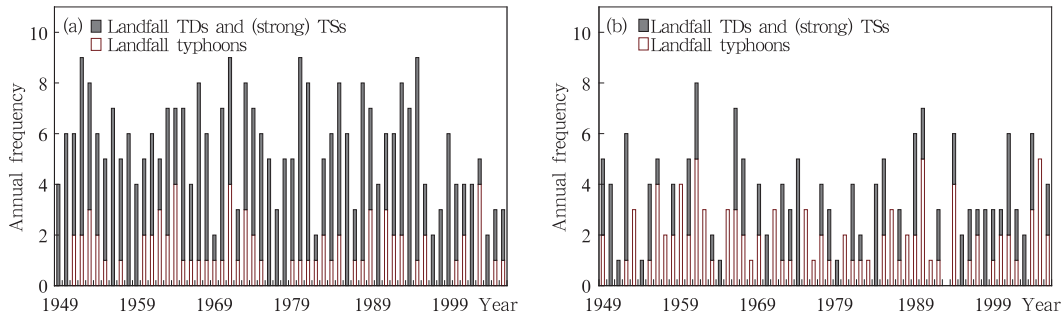


图 3 1949—2006 年登陆中国华南(a)和东部地区(b)热带气旋低压、(强)热带风暴累计年频数(实心柱)和台风年频数(空心柱)

Fig. 3 The annual frequency of landfall TCs in southern China (a) and eastern China (b) during 1949—2006
(Solid box means the total frequency of tropical depressions (TDs) and (strong) tropical storms (TSs), hollow box means frequency of typhoons)

4 登陆中国热带气旋登陆位置及其变化

分析 1949—2006 年逐年登陆中国热带气旋的最北和最南登陆位置(不考虑二次登陆,图 4)可见,最北登陆位置的变化比较大,近 58 年的平均值为 29.3°N,1950 年的 7 号热带气旋登陆位置为 39.9°N(辽宁丹东),为 58 年中的极大值;1968 年的 14 号热带气旋登陆位置为 22.8°N(广东惠来),为 58 年

中的极小值。最南登陆位置的变化相对较小,近 58 年的平均值为 18.9°N,极小值为 18°N,集中在海南三亚附近,极大值为 22.2°N,为 1999 年 13 号热带气旋和 2004 年 9 号热带气旋登陆香港。

近 50 多年来,登陆中国热带气旋的登陆点纬度年最大值呈现较明显的减小趋势,就线性趋势来说,1981 年以前,登陆点纬度年最大值均比平均值偏北,1981 年以后,则均比平均值偏南,并达到 80% 的可信度。而登陆点纬度年最小值则呈现增大的趋势,导致逐年登陆点最大纬度差明显减小(图略)。另外,登陆中国热带气旋的东西登陆位置没有明显的变化趋势。

取间隔为 2.5° 的等经纬距网格,将所有登陆中国热带气旋的每 6 h 位置插值到固定网格点上,得到每个固定网格点近 58 年登陆中国热带气旋的累积出现频数(图略)。登陆中国热带气旋有 2 条主要路径,一条经过南海北部登陆中国华南地区,一条穿过台湾北上登陆中国华东沿海省市。其中中国登陆地累计出现频数最大值区分布在广西北海以东到广东珠江口以西之间,及海南岛的大部分区域。

如上文提到,1981 年为线性趋势和平均值的交界点,故以 1981 年为界,比较 1982—2006 年和

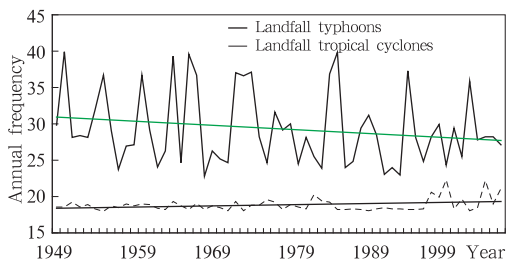


图 4 1949—2006 年登陆中国热带气旋登陆点纬度年最大(粗实线)和最小值(虚线)变化(直线代表登陆纬度的线性变化趋势)

Fig. 4 The northeast (thick solid lines) and southeast (dashed lines) landfall latitude of TCs in each year during 1949—2006
(Straight lines mean the linear tendency of the landfall latitude)

1949—1981 年 2 个时段内登陆中国热带气旋平均出现频数差值的分布(图 5, 阴影表示正值, 虚线表示负值), 发现年频数变化特征为南北减少, 中间增加。在中国华东大部分地区及其沿海, 以及广西和西北太平洋(10° — 30° N, 140° — 170° E)的大部分区域内, 年频数有增加现象, 其中增加最明显的区域在台湾东北方海域, 最大增幅为年均 1 个左右。而在 35° N 以北的海陆区域和 20° N 以南的大部分海域, 年频数表现为大范围减少, 减少最明显区域为 2 块, 一为中国南海北部、海南、广东南部及福建, 最大减少幅度为每年 2 个, 另一块为菲律宾东部的太平洋区域(10° — 20° N, 125° — 145° E), 最大减少幅度达到每年 1.5 个。

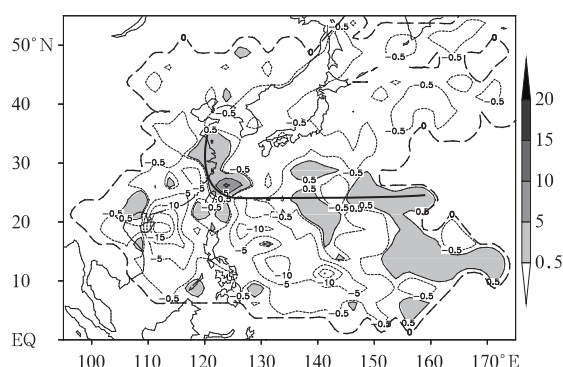


图 5 1982—2006 年与 1949—1981 年登陆中国热带气旋平均出现频数之差

(单位: 个/(10 a), 阴影(细虚线)表示频数增加(减少), 粗实线表示频数增加的主要区域, 粗虚线范围内表示登陆中国热带气旋经过区域)

Fig. 5 The occurrence frequency difference (unit: number per decade) of landfall TCs in China between the average in 1982—2006 and that in 1949—1981

(Shading (fine dashed line) means that the frequency is increased (reduced). The thick solid line outlines the main area of increased frequency; the thick dashed line includes all the passing area of landfall TCs in China)

5 登陆中国热带气旋季节的延续期

每年热带气旋首次登陆和末次登陆中国之间的这段时间, 是登陆中国热带气旋季节, 将其定为登陆中国热带气旋季节的延续期, 因此热带气旋首次登陆和末次登陆中国的时间间隔反映了登陆中国热带气旋延续期的长短(叶英, 2002)。这段时间按 WMO 确定的气候均值时段(1971—2000 年)统计,

登陆中国热带气旋季节一般于 6 月中旬开始, 10 月上旬结束, 延续期平均(1971—2000 年)约 4 个月, 短的不到 1 个月(如 1997 年, 8 月 2 日开始, 8 月 30 日结束), 长的可达半年(如 1954 年, 5 月 11 日开始, 11 月 12 日结束)。统计表明(图 6), 1949—2006 年, 登陆中国热带气旋季节的延续期缩短了近 1 个月, 此线性趋势通过 85% 的信度检验。这与任福民等(2007)登陆中国初旋日期有偏晚趋势而终旋日期没有明显趋势的结论是一致的。

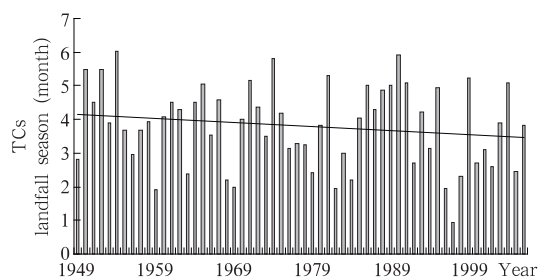


图 6 中国热带气旋登陆季节历年延续期
(直方柱, 单位: 月; 实线为其线性趋势)

Fig. 6 TCs landfall season (Time between the first and the last landfall TCs each year; unit: month) in China from 1949—2006
(The solid line denotes the linear tendency)

6 登陆中国热带气旋登陆强度及其变化

1949—2006 年, 522 个登陆热带气旋的平均登陆强度(所有登陆热带气旋首次登陆时值的平均)为 981 hPa(平均最大风速 27 m/s)。年平均登陆强度最强年份为 2005 年(图 7), 平均登陆强度达到 955 hPa(平均最大风速 41.6 m/s), 次强年份为 1991 年, 平均登陆强度达到 966 hPa(36.5 m/s), 最弱年份为 1952 年, 平均登陆强度 996.2 hPa(14.8 m/s), 次弱年份为 1998 年, 平均登陆强度为 992.5 hPa(21.2 m/s)。

不论从中心最低海平面气压(图 7a)还是从近中心最大风速(图 7b)看, 年平均热带气旋登陆强度长期呈现明显的线性增强趋势, 其中通过中心海平面气压(近中心最大风速)统计得到的强度变化趋势通过了 99% (95%) 的信度检验。这与曹楚等(2006)分析得到的登陆中国热带气旋平均强度和极端强度均有减弱趋势, 极端强度的减弱趋势尤为明显的结论似乎不一致。然而, 曹楚分析的对象为极

端最低气压(1年中所有登陆台风生命史中曾达到过的最低中心气压值)和年均最低气压(指1年中所有登陆台风生命史中曾达到过的最低中心气压的算术平均值),而本文分析对象则是台风登陆时的观测强度变化,分析对象不同,并不存在结论的不一致。结合本文及曹楚等(2006)分析的结论可以看出,登陆中国热带气旋极端最低气压和年均最低气压有减弱的趋势,但登陆时的年平均强度却是出现明显增

强的趋势。

每年登陆热带气旋的强度差异也有很大差距,登陆强度差异最大的年份为1956年,达到82 hPa,最强登陆强度达到923 hPa,而最弱登陆强度为1005 hPa。登陆强度差异最小(仅为12 hPa)的年份为1950年。而热带气旋登陆强度最大差异长期呈现减小的趋势(图略)。

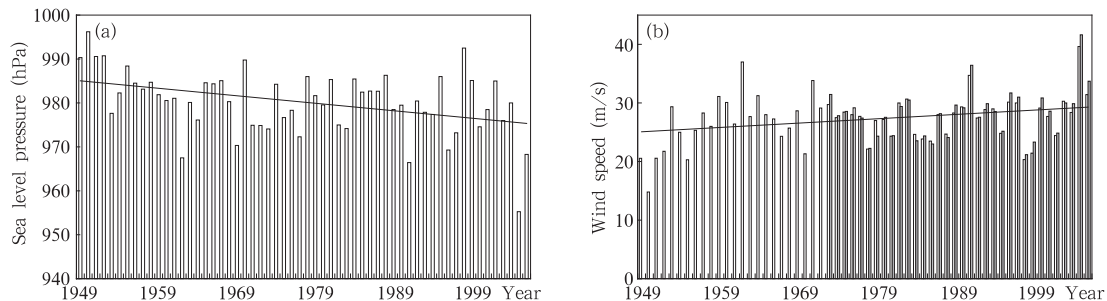


图7 1949—2006年登陆中国热带气旋年平均登陆强度

(a. 海平面气压, b. 风速, 空心柱为插值结果, 实线柱为观测值; 实线为线性趋势)

Fig. 7 The annual average intensity of landfall TCs in China from 1949 to 2006 as calculated by (a) the minimum sea level pressure of landfall TCs, (b) the interpolated maximum wind speed from the best data of TCs (hollow column), or by the observational maximum wind speed (The solid lines indicate the linear tendency)

为了排除气候极端事件对登陆强度平均值大小的影响,本文分析了1949—2006年登陆中国热带气旋强度分布概率(图8)。从登陆时中心最低气压看,20世纪80年代前,偏度负值居多,80年代后,偏度呈正负相间的分布(图8a)。偏度由负值逐渐过渡到正值,表明热带气旋登陆强度概率分布形态发生了较大的变化,登陆时强度较强的热带气旋所占

比重有所增加。考虑到年平均登陆强度有增强的趋势,可以认为强热带气旋登陆有所增加。用登陆时近中心最大风速作为登陆强度数据统计也能得到类似结果(图8b)。通过中心海平面气压(近中心最大风速)统计得到的强度偏度变化趋势通过了99%(85%)的信度检验。

分区域对近58年来登陆中国热带气旋的登陆

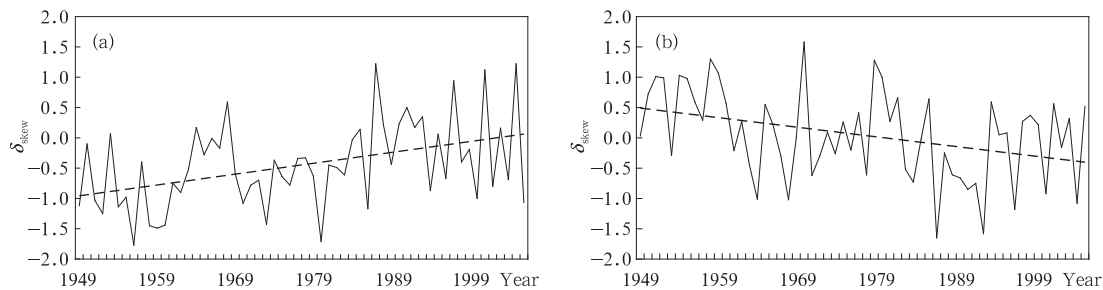


图8 1949—2006年登陆中国热带气旋逐年登陆强度分布概率

(a. 海平面气压, b. 风速; 虚线为变化趋势)

Fig. 8 The annual skew distribution of the intensity of landfall TCs in China from 1949 to 2006. (a) The intensity calculated by sea level pressure; (b) the intensity calculated by maximum wind speed. Dashed lines indicate the linear tendency

强度及其变化进行分析,登陆中国华南地区热带气旋的多年平均登陆强度为 984 hPa(24.5 m/s),而中国东部地区的多年平均登陆强度为 974 hPa(31.7 m/s),明显强于华南地区(图 9)。华南地区年平均登陆强度最强的年份为 1996 年,强度达到 964 hPa(32.2 m/s),次强年份为 1969 年,强度达到 967 hPa(27.5 m/s),最弱年份为 1959 年强度为 1000 hPa(12.5 m/s)。登陆华南地区热带气旋登陆强度有增强趋势,并通过了 98% 的信度检验。用风速分析得到类似结果。

东部地区强度变化幅度比华南地区大,如东部地区年平均登陆强度最强的年份为 1991 年,达到 940 hPa(46 m/s),次强年份为 2005 年,强度达到 945 hPa(44.4 m/s),最弱年份为 1950 年,强度为 1000 hPa(20 m/s)。通过中心海平面气压统计得到的登陆东部地区热带气旋登陆强度有增强趋势,并通过了 98% 的信度检验,但通过近中心最大风速统计的线性趋势却为略微减弱,而后者也没有通过 85% 的信度检验。故综合看来,登陆东部地区台风强度可能有增强趋势。

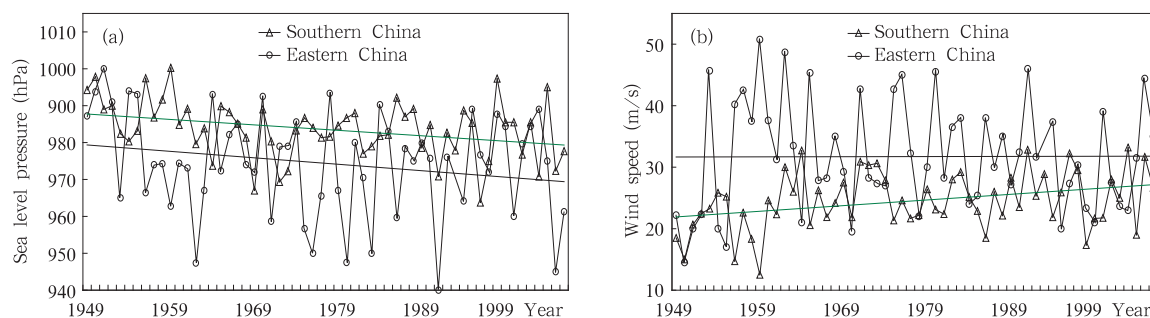


图 9 1949—2006 年登陆中国华南地区(空心三角实线)和东部地区(空心圆虚线)热带气旋年平均登陆强度(a. 海平面气压, b. 风速;实线为线性趋势)

Fig. 9 The annual average intensity of landfall TCs in southern China (solid line with triangles) and eastern China (dashed line with circles) from 1949 to 2006 as calculated by (a) minimum sea level pressure of landfall TCs; (b) maximum wind speed of landfall TCs in each area. Solid lines indicate the linear tendency

8 结论和讨论

本文主要用 1949—2006 年《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》资料,重点考察了热带气旋路径、影响时间、登陆强度等的频率或概率分布变化,从而得到近 58 年来登陆中国热带气旋的整体气候变化的几点特征:

(1) 登陆中国热带气旋年频数有减少趋势,但登陆时达台风强度的频数变化不明显。其中登陆中国华南地区的热带低压和(强)热带风暴减少比较明显,而登陆中国东部地区热带气旋频数变化不明显。

(2) 登陆点最北纬度明显的南移趋势导致年内登陆点南北最大纬度差有减小趋势。

(3) 热带气旋登陆的海岸带更为集中,23°—35°N 增多,而在 35°N 以北和 23°N 以南登陆的呈减少趋势;另外,登陆广西地区的热带气旋也有增多趋势。

(4) 登陆中国热带气旋季节延续期缩短了近 1 个月。

(5) 热带气旋年平均登陆强度及其概率分布偏度有增加趋势,表明登陆的强台风有增加趋势。登陆中国华南和东部地区的台风强度都有增强趋势,而前者趋势更为明显。

以上分析仅讨论了登陆中国热带气旋的变化特征,未包括近海擦边和转向等影响中国的热带气旋。而热带气旋登陆位置变化原因有很多,如黄荣辉(2007)认为西北太平洋 TC 移动路径有明显的年际变化并与西太平洋暖池热状态有很密切的关系,而 Wu(2005)指出西北太平洋副高的西伸加强是导致西北太平洋热带气旋路径变化的一个重要因素。目前所有的数值模拟和理论研究的结果表明,全球变暖可能导致热带气旋的强度增强 1% 左右。但从目前的观测资料直接发现并确定如此小的增强幅度十分困难。因此今后的工作将从引起热带气旋变化

的大气和海洋环境变化入手,考察大气和海洋的变化是否有利于热带气旋个数和强度的增加并进一步发现其变化的原因。

References

- Cao C, Peng J Y, Yu J H. 2006. An analysis on the characteristics of landfalling typhoons in China under global climate warming. *J Nanjing Insti Meteor (in Chinese)*, 29(4):455-461
- Chan J C L, Shi J E. 1996. Long-term trends and interannual variability in tropical cyclone activity over the western North Pacific. *Geophys Res Lett*, 23:2765-2767
- Emanuel K A. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436: 686-688
- Huang R H, Chen G H. 2007. Research on interannual variations of tracks of tropical cyclones over northwest pacific and their physical mechanism. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 65(5): 683-694
- Landsea W. 2005. Hurricanes and global warming. *Nature*, 438: E11-E13
- Li Y, Chen L S, Zhang S J. 2004. Statistical characterics of tropical cyclones making landfalls on China. *J Tropical Meteor (in Chinese)*, 20(1):14-23
- Ren F M, et al. 2007. Changes in the first-landfall and last-landfall tropical cyclones in China. *Adv Clim Change Res (in Chinese)*, 3(4):224-228
- Roger A Pielke. 2005. Are there trends in hurricane destruction? *Nature*, 438, E11
- Wang L, Luo Y, Xu L Y, et al. 2006. Review of typhoon and its related natural disasters over the past 35 years in China. *Sci Tech Rev (in Chinese)*, 24(11):23-25
- Webster P J. 2005. Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309:1844-1846
- Wu L, Wang B, Geng S. 2005. Growing typhoon influence on East Asia. *Geophys Res Lett*, 32 (18), L18703Doi: 10. 1029/2005GL022937
- Ye Y, Dong B. 2002. Interdecadal change analysis of the landing tropical cyclone over China. *Marine foreca (in Chinese)*, 19(2): 23-30

附中文参考文献

- 曹楚,彭加毅,余锦华. 2006. 全球气候变暖背景下登陆我国台风特征的分析. *南京气象学院学报*, 29(4),455-461
- 黄荣辉,陈光华. 2007. 西北太平洋热带气旋移动路径的年际变化及其机理研究. *气象学报*, 65(5):683-694
- 李英,陈联寿,张胜军. 2004. 登陆我国热带气旋的统计特征. *热带气象学报*, 20(1):14-23
- 任福民等. 2007. 登陆中国初、终热带气旋的变化. *气候变化研究进展*, 3(4): 224-228
- 王凌,罗勇,徐良炎. 2006. 近 35 年登陆我国台风的年际变化特征及灾害特点. *科技导报*, 24(11):23-25
- 叶英,董波. 2002. 登陆我国热带气旋活动的年代际变化特征分析. *海洋预报*, 19(2):23-30