

# 影响山东的热带气旋年际和年代际变化

高晓梅<sup>1,2</sup> 江 静<sup>1</sup> 马守强<sup>2</sup> 徐文正<sup>2</sup>

(1. 南京大学大气科学系, 210093; 2. 山东省潍坊市气象局)

**提 要:** 利用 1949—2006 年热带气旋年鉴资料对 58 年来影响山东的热带气旋频数和强度, 以及热带气旋引起的暴雨和大风进行了气候统计学分析。分析表明: 7 月下旬至 8 月下旬是热带气旋影响山东的主要时段。影响山东的热带气旋具有明显的年代际变化, 并存在显著的 2.4 年和 5 年左右的周期变化, 但影响山东的热带气旋强度呈明显减弱趋势, 年代际变化不明显; 8 月份影响山东的热带气旋最多, 极易发生洪涝和强风灾害, 所造成的暴雨和大风的次数与热带气旋频数的变化较为一致。通过分析影响山东热带气旋活动与太平洋海温和西太平洋副高的关系, 指出, 北太平洋海温关键区以及西太平洋副高的气候变化对热带气旋活动有着很重要的作用。

**关键词:** 热带气旋 频数 强度 谱分析 暴雨大风

## The Inter-annual and Inter-decadal Variation of Tropical Cyclone Affecting Shandong Province

Gao Xiaomei<sup>1,2</sup> Jiang Jing<sup>1</sup> Ma Shouqiang<sup>2</sup> Xu Wenzheng<sup>2</sup>

(1. Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, 210093;

2. Weifang Meteorological Office, Shandong Province)

**Abstract:** Based on tropical cyclone yearbook data from 1949 to 2003, the climate characteristics, such as inter-decadal variation, period of tropical cyclone's frequency, rainstorm and strong wind, intensity characteristics, are analyzed. Main results are as follows: Tropical cyclone affecting Shandong Province is from the last ten-day of July to August and its inter-decadal variation obeys the Student's t-test; The marked periodic variation of every 2.4 years and 5 years is found according to power spectrum analysis. It shows obvious weakening tendency about tropical cyclone's intensity by using Kendall test. It also shows that August is the strongest month in a year for rainstorm frequency and intensity, and flood disaster is more easily occurred during this month. It is distinct for frequency's inter-decadal variation of tropical cyclone causing rainstorm

资助项目: 本文由国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(编号 2006CB403600)和国家自然科学基金项目(编号 40775043)联合资助

收稿日期: 2007 年 5 月 25 日; 修定稿日期: 2007 年 11 月 22 日

and strong wind. Marked period exists about annual average precipitation and strong wind. At the same time, the cause of the variation is discussed.

**Key Words:** tropical cyclone frequency intensity spectrum analysis rainstorm and strong wind

## 引 言

热带气旋是世界上破坏性最强的灾害性天气之一,也是我国东部沿岸及近海的主要灾害性天气系统,由其引起的狂风和暴雨是影响我国沿海地区的最主要的气象灾害之一,每年都会造成数以亿计的经济损失。对热带气旋发生发展变化规律的研究,过去已进行了很多工作。曹钢锋等<sup>[1]</sup>对1956—1987年32年间影响我国淮河以北的台风出现次数、时间及各类台风的平均路径及降水分布等进行了统计分析。邹树烽等<sup>[2]</sup>对1949—1994年影响我国北方的热带气旋特征进行了统计分析,分析表明,北方热带气旋在北方造成的暴雨与热带气旋的路径密切相关。顾润源等<sup>[3]</sup>统计了1960—1994年影响我国北方的热带气旋,分别对不同路径热带气旋影响北方前24小时的500hPa环流形势场进行了合成分析,并给出不同路径热带气旋平均环流与暴雨落区的配置关系。袁子鹏和张立祥<sup>[4]</sup>对1949—2000年52年间在黄渤海沿岸登陆的热带气旋的气候特征进行了分析,揭示了此类气旋大部分强度较强并易发生陆上变性,变性后增强的气旋维持时间较长等事实。王秀萍和梁军<sup>[5]</sup>对1951—2002年52年来北上热带气旋的若干气候特征进行了分析,分析发现,北上热带气旋呈现出明显的年际和年代际变化特征,年际变化表现为略有上升的趋势。

以上文献对北上热带气旋作了气候分析,但都没有重点分析热带气旋影响山东这个具体区域的气候特征。山东省地处中纬度,东濒太平洋,易受热带气旋的影响,例如

9216号台风因与天文大潮的高潮位迭加及与北方冷空气相遇,引起了1949年以来山东最严重的一次风暴潮,直接经济损失43.5亿元,死亡76人。9711号台风造成青岛即墨过程雨量482.5mm,山东沿海的城市都发生了较严重的洪、涝、风、潮多种灾害,据统计所造成的直接经济损失达35亿元。因此,对热带气旋的研究越来越引起人们的重视,但过去对影响山东热带气旋的研究,多集中在热带气旋影响的某个侧面和个例分析上,对其进行全面系统的气候分析研究工作很少。本文利用1949—2006年的热带气旋资料对58年来影响山东热带气旋的年际和年代际变化进行了气候统计学分析,旨在研究影响山东的热带气旋活动规律及气候特征,以期能对山东的热带气旋预报和研究、海上安全生产、决策指挥及防灾减灾有所裨益。

## 1 资料和检验方法

### 1.1 资料

本文使用的热带气旋资料是根据中国气象局《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》资料<sup>[6-7]</sup>中统计得出,选取时间为1949—2006年共58年。影响山东的热带气旋是指能够引起山东5个测站以上有5mm以上降水,或者引起山东5个测站以上出现6级以上大风的热带气旋。本文统计了影响山东热带气旋的频数、中心最低气压、中心附近最大风速及热带气旋影响山东时所带来的大风、暴雨等资料,进行气候分析。海温资料取自Hadley中心提供的1949—2005年逐月海表温度资料( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ),分析区域为 $10^{\circ} \text{S} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \text{E} \sim$

90°W。副高特征指数采用由国家气候中心提供的 1951—2005 年的 74 个大气环流因子中的副高指数资料。

## 1.2 Kendall 秩次相关检验方法

对序列  $\mathbf{X}_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , 先确定所有对偶值  $(x_i, x_j, j > i)$  中  $x_i$  与  $x_j$  的大小关系 (设为  $S$ )。

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_i);$$

$$\operatorname{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=2}^{nk} t_k k(k-1)(2k+5)]$$

$$\text{或 } \operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (2)$$

其中, 式(2)中的求和是对应  $\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = 0$  的  $t_k$  是  $k = j - i$  时,  $\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = 0$  的个数。趋势检验的统计量为:

$$U_{MK} = (S-1) / \sqrt{\operatorname{Var}(S)} \quad S > 0$$

$$U_{MK} = 0 \quad S = 0 \quad (3)$$

$$U_{MK} = (S+1) / \sqrt{\operatorname{Var}(S)} \quad S < 0$$

当  $n$  大于 10 时, 收敛于标准正态分布。

原假设为该序列无趋势, 采用双边趋势检验, 在给定显著性水平  $\alpha$  下, 由正态分布表查得临界值  $U_{\alpha/2}$ , 当  $|U_{MK}| < U_{\alpha/2}$  时, 接受原假设, 即趋势不显著; 若  $|U_{MK}| > U_{\alpha/2}$ , 则拒绝原假设, 即认为趋势显著。

## 2 影响山东的热带气旋的基本气候特征

### 2.1 热带气旋频数的季节变化

统计 1949—2006 年影响山东的热带气

旋(包括在山东登陆的热带气旋)频数的季节分布(如图 1 所示), 可以看出, 5—11 月有热带气旋影响山东, 以 8 月最多, 占总数的 47%, 5 月、6 月、10 月、11 月偶有出现。热带气旋主要集中在 7 月下旬至 8 月下旬, 约占总数的 61%, 其中尤以 8 月下旬出现频数最高, 达到 16 个。从图 1 也可以看出, 登陆山东的热带气旋全部发生在 7 月中旬至 8 月下旬, 其中 7 月下旬最多, 占总数的 41%, 其它旬变化比较平均, 这说明 7 月下旬是热带气旋登陆山东的主要时段。

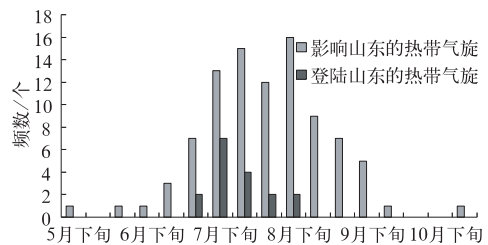


图 1 热带气旋频数的季节分布

### 2.2 热带气旋频数的年代际变化

1949—2006 年影响山东的热带气旋有 92 个, 即平均每年有 1.6 个热带气旋影响山东; 从热带气旋登陆山东的情况看, 共有 17 个热带气旋在山东登陆, 占影响山东热带气旋总数的 18%, 平均为 0.3 个/年, 即少数热带气旋在山东沿海登陆, 一般受热带气旋外围或近中心影响山东。登陆山东的热带气旋中, 二次登陆的热带气旋占总数的 41%, 三次登陆的占 12%。统计中发现, 在山东乳山登陆的热带气旋占登陆热带气旋总数的 40%, 可见山东乳山是登陆山东热带气旋的主要地点之一。影响山东热带气旋最多的年份是 1962、1984 和 1985 年, 个数达到 4 个。有 7 个年份没有热带气旋影响山东, 其中, 1990 年代中有 4 个年份没有热带气旋影响山东(图 2)。

从图 2 可以看出, 影响山东的热带气旋年代际变化很明显, 1950 年代到 1960 年代

中期为多热带气旋时期,1960年代中期到1970年代末为少热带气旋时期,1980年代为多热带气旋时期,1990年代以后为少热带气旋时期。这与叶英等<sup>[8]</sup>分析的登陆我国热带气旋频数的年代际变化有些不同。为进一步地分析影响山东的热带气旋频数的年代际变化,采用t检验方法对多热带气旋时期和

少热带气旋时期的热带气旋频数进行了显著性检验。通过检验,发现1952—1966年和1980—1985年为显著的多热带气旋时期,1967—1979年和1986—1999年为显著的少热带气旋时期,其中1952—1966年通过了0.05的显著性检验,其余的通过了0.10的显著性检验。

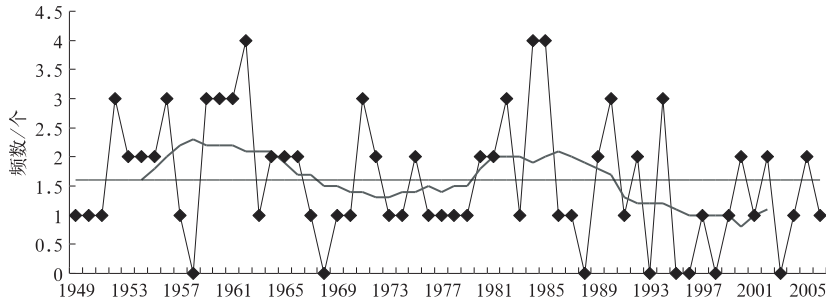


图2 历年影响山东的热带气旋频数  
直线:多年平均;光滑曲线:10年滑动平均

### 2.3 热带气旋频数的周期变化特征

为分析影响山东热带气旋频数的周期变化特征,本文对热带气旋的频数进行了功率谱分析,图3给出了功率谱分析的结果。由图可以看出影响山东的热带气旋的频数存在两个显著的周期,一个为2.4年左右的显著周期,另一个为5年左右的显著周期。另外,在10年左右有一峰值,但没达到显著性水平。

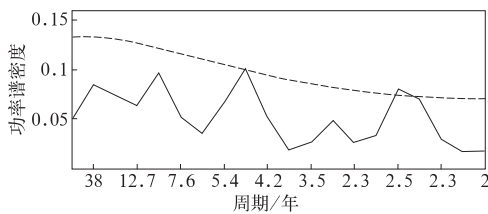


图3 热带气旋频数的功率谱  
虚线是信度为0.1的临界谱

### 2.4 热带气旋的强度特征

#### 2.4.1 热带气旋的强度分布

不同强度(生命史中能达到的最大强度)

级的热带气旋均有可能影响山东,但其概率却有较大差异。其中强度等级分为热带低压(简称TD,中心附近最大风速 $10.8 \sim 17.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )、热带风暴(简称TS,中心附近最大风速 $17.2 \sim 32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和台风(简称TY,中心附近最大风速大于 $32.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )三级。影响山东的热带气旋中,有2个TD,16个TS,其余均达到TY的强度,达到TY强度的占总数的80%。其中达到TD强度的是8523号和8414号热带气旋,8414号热带气旋最弱,中心附近最大风速值只有 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;达到TY强度最强的为1959年的5904号热带气旋(Joan),中心附近最大风速值达到 $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在山东登陆的热带气旋中,达到TD强度和TS强度各有1个,其余均达到TY的强度,占总数的88%。

分析1949—2006年影响山东的热带气旋强度的分布特征发现(图略),热带气旋中心附近最大风速多数在 $21 \sim 70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,58年期间共有75个,占总数的82%;热带气旋中心气压多集中在 $906 \sim 980 \text{ hPa}$ 之间,共

有 70 个,占总数的 76%,中心气压值最强为 876hPa,最弱为 999hPa。

### 2.4.2 热带气旋强度的年际变化特征

图 4 给出了 1949—2006 年历年影响山

东的热带气旋强度的年际变化,由图 4 可知,影响山东的热带气旋强度有较大的年际变化,并且强度有减弱的趋势。

为检验热带气旋强度减弱的趋势是否

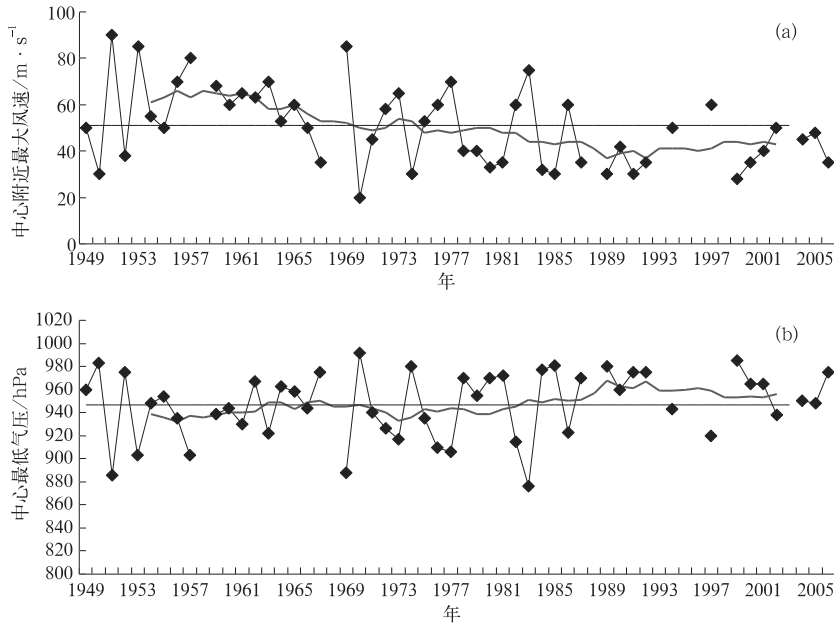


图 4 历年影响山东的热带气旋中心附近最大风速(a)和中心最低气压(b)  
直线:多年平均;光滑曲线:10年滑动平均

显著,用 Kendall 秩次相关检验方法进行检验。取信度  $\alpha=0.01$ ,对中心附近最大风速,计算得  $U_{MK} = -2.964$ ,即  $|U_{MK}| > U_{\alpha/2} = 1.96$ ,表明中心附近最大风速减弱趋势是显著的;对中心最低气压,计算得  $U_{MK} = 1.399$ ,即  $|U_{MK}| < U_{\alpha/2} = 1.96$ ,说明中心最低气压升高的趋势不显著。以上结果表明,热带气旋中心最低气压和热带气旋中心附近最大风速的变化趋势并不是很一致的,但从整个热带气旋强度的变化趋势来看,影响山东的热带气旋强度是有减弱趋势的。

### 2.4.3 热带气旋强度的周期变化特征

分析影响山东热带气旋强度的周期变化特征,发现热带气旋中心最低气压和中心附近最大风速的周期变化很不一致,图5为功

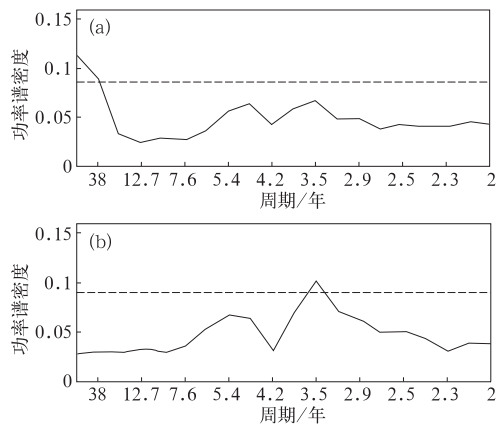


图 5 热带气旋最大风速(a)和最低气压(b)功率谱  
虚线是信度为 0.1 的临界谱

率谱分析的结果。由图可以看出热带气旋中

心附近最大风速没有显著的周期性变化,中心最低气压则存在 3.5 年左右的显著周期。可见,热带气旋中心最低气压和中心附近最大风速的周期变化并不一致,差别较大。

### 3 热带气旋引起暴雨和大风的气候特征

#### 3.1 暴雨和大风的季节变化

热带气旋对山东的影响主要是强风和暴雨,从而造成风灾和涝灾。表 1 是根据 1949—2006 年间由热带气旋造成全省测站的降水量极值和大风极值,以及造成的暴雨、大暴雨、特大暴雨次数的季节变化。从表 1 中可以看到影响山东的热带气旋造成的全省测站降水量极值,8 月份最大,超过 700mm,6 月份不到 100mm,降水量极值的季节变化较大;大风极值 7 月份最大,达到  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,8 月和 9 月达到  $34\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,大风极值的季节变化也较大。

表 1 降水量极值、大风极值及暴雨、大暴雨、特大暴雨次数的季节变化

要素	5月	6月	7月	8月	9月
降水量极值/mm	126	84	454	715	352
大风极值/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	无	24	40	34	34
暴雨/次	0	1	8	11	4
大暴雨/次	1	0	9	17	11
特大暴雨/次	0	0	3	5	1

从热带气旋所造成的暴雨、大暴雨和特大暴雨次数的季节变化可以看到,8 月份造成的暴雨、大暴雨、特大暴雨的次数最多,分别为 11 次、17 次和 5 次,5 月和 6 月最少,各为 1 次,由此可见 8 月份是热带气旋影响山东造成降水强度最大的月份,在此月份中极易发生洪涝灾害,因而是要极其引起注意的月份。

#### 3.2 暴雨和大风的年代际变化特征

1949—2006 年影响山东的热带气旋造

成的测站暴雨(包括大暴雨和特大暴雨)和大风的次数都为 71 次,其中,既带来大风又带来暴雨的占 66%,只带来暴雨或大风的占 34%。表 2 为造成山东暴雨和大风的热带气旋频数的年代际变化。从表 2 可以看出,1960 年代造成暴雨的热带气旋频数达到最多,为 27 个,1980 年代造成暴雨的热带气旋频数也较多,为 21 个。

表 2 造成山东暴雨和大风的热带气旋频数的年代际变化

年代	暴雨/个	6 级及以上大风/个
1950 年代	14	17
1960 年代	27	16
1970 年代	15	8
1980 年代	21	16
1990 年代	17	6

从影响山东的热带气旋造成大风的统计资料看出,造成 6 级及以上大风热带气旋的频数除 1970 年代和 1990 年代较少外,其它年代都偏多,其中 1950 年代最多,为 17 个。6 级及以上大风随着年代呈增多和减少交替的趋势。从以上分析可以看出,造成暴雨和大风的热带气旋频数的年代际变化较为明显。这和影响山东的热带气旋频数的年代际变化有关。

分析影响山东的热带气旋造成测站极值的年平均降水量和年平均大风强度的年际变化特征(图略),发现其强度有略微减弱的趋势。用 Kendall 秩次相关检验方法检验表明,热带气旋造成山东测站极值的年平均降水量和年平均大风强度的年际变化减弱趋势不显著。

#### 3.3 降水量和大风的周期变化

为分析影响山东的热带气旋造成测站极值的年平均降水量和年平均大风的周期变化特征,本文对其进行了功率谱分析,图 6 为功率谱分析的结果。由图可以看出,年平均降水量存在显著的 2.4 年左右的周期性变化,

年平均大风与其较为一致,存在 2.5 年左右的显著周期。

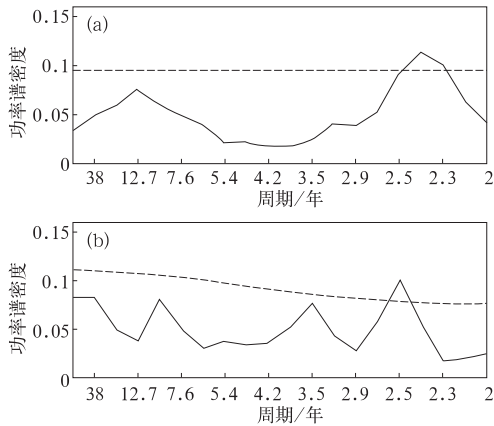


图 6 平均降水量(a)和平均大风(b)的功率谱  
虚线是信度为 0.1 的临界谱

#### 4 热带气旋频数、强度变化的成因分析

影响山东的热带气旋有明显的年际和年代际变化,为分析产生这些变化的原因,下面讨论影响山东的热带气旋活动与太平洋海温、西太平洋副热带高压的关系。

##### 4.1 热带气旋活动与太平洋海温的关系

定义影响山东热带气旋的频数异常大于等于 1 个标准差为多热带气旋年,频数异常小于等于 1 个标准差为少热带气旋年,1949—2006 共有 12 个多热带气旋年和 8 个少热带气旋年。

对多热带气旋年和少热带气旋年分别进行合成分析,图 7a 给出了多热带气旋年与少热带气旋年太平洋年平均海温合成的差值图,图中阴影区为异常偏多年与偏少年的海温差异通过 0.10 显著性检验的区域。从图中可以看出,北太平洋中部为显著的正差异区,即北太平洋中部海温异常偏暖年,影响山东的热带气旋偏多,反之,影响山东的热带气旋偏少;而西太平洋暖池区与之相反,为显著

的负差异区,这说明多热带气旋年明显冷于少热带气旋年。

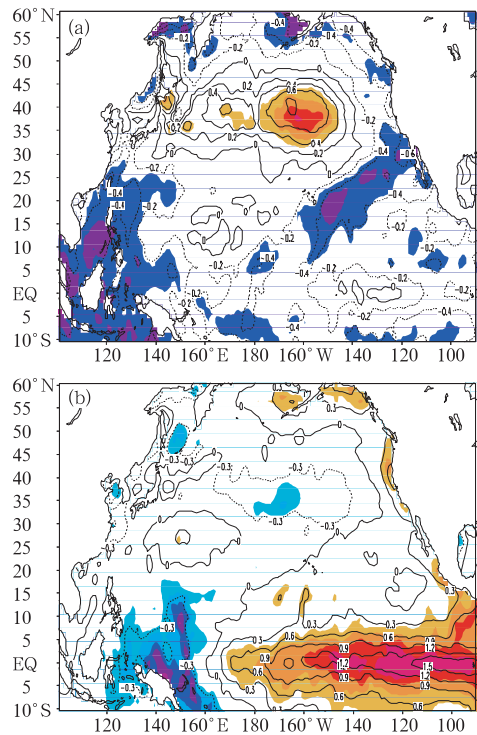


图 7 频数异常偏多年和偏少年(a)与强度异常偏强年和偏弱年(b)的太平洋海温差值图  
阴影区为通过  $\alpha=0.10$  显著性检验的区域,  
实线为正距平,虚线为负距平,单位:  $^{\circ}\text{C}$

同样,对 1949—2006 年影响山东热带气旋强度异常偏强(弱)年的太平洋海温也进行了合成分析,图 7b 是热带气旋强度异常偏强年与异常偏弱年的太平洋海温差值图,图中阴影区为偏强年与偏弱年的海温差异显著的区域(通过了 0.10 的显著性检验)。从图可知,在赤道中东太平洋异常偏暖,而赤道西太平洋异常偏冷的年份,影响山东的热带气旋较强,反之,影响山东的热带气旋较弱。

##### 4.2 热带气旋活动与西太平洋副热带高压的关系

我国常用 5 个特征量来描述西太平洋副高,即面积指数、强度指数、西伸脊点、脊线位

置和588线北界位置。利用1951—2005年55年来夏季(6—9月)副高特征量分别与影响山东热带气旋的频数和作相关分析,结果如表3所示。相关分析表明,除西伸脊点外,西太平洋副高的其余4个特征量与影响山东

的热带气旋的频数都通过了0.05显著性检验。其中,副高脊线位置与频数的相关最大,通过了0.001的显著性检验。但5个特征量中只有西伸脊点与影响山东热带气旋强度有显著的相关,其余4个都未通过显著性检验。

表3 副高特征量与影响山东热带气旋的相关系数

	面积指数	强度指数	西伸脊点	脊线位置	588线北界位置
频数	-0.2863	-0.2935	0.1907	0.4455	0.4174
最大风速	0.0523	0.0346	-0.3459	-0.0883	0.0405
最低气压	-0.1092	-0.0708	0.2356	0.2098	0.0582

从上面的分析可以看出,西太平洋副热带高压对影响山东的热带气旋有着较强的影响,当西太平洋副高偏弱偏北时,影响山东的热带气旋明显增多,而当西太平洋副高偏强偏南时,影响山东的热带气旋显著减少;但西太平洋副高对影响山东热带气旋强度却只表现在西伸脊点上,当副高位置偏东时,影响山东热带气旋较弱,而副高位置偏西,则影响山东热带气旋较强。

## 5 小 结

(1) 7月下旬至8月下旬是热带气旋影响山东的主要时段,其中尤以8月下旬出现频数最高;登陆山东的热带气旋全部发生在7月中旬至8月下旬,其中7月下旬最多。山东乳山是登陆山东热带气旋的主要地点之一。

(2) 影响山东热带气旋频数的年代际变化很明显,1952—1966年和1980—1985年为显著的多热带气旋时期,1967—1979年和1986—1999年为显著的少热带气旋时期。热带气旋频数的周期变化也很显著,存在两个显著周期,一个为2.4年左右的显著周期,另有一个为5年左右的显著周期。影响山东的热带气旋强度呈明显减弱的趋势。热带气旋的强度存在3.5年左右的显著周期。

(3) 影响山东热带气旋造成的降水量极值中8月份最大,在此月份中极易发生洪涝灾害,因而是要极其引起注意的月份。造成

暴雨和大风的热带气旋频数的年代际变化较为明显。热带气旋造成山东测站降水极值的年平均降水量存在显著的2.4年左右的周期变化,年平均大风与其较为相似,为2.5年左右的显著周期。

(4) 影响山东的热带气旋频数、强度的气候变化特征与太平洋海表温度、西太平洋副热带高压等关系密切,太平洋海温对热带气旋频数、强度影响有不同的关键区,北太平洋中部和西太平洋暖池区海温异常主要影响热带气旋频数,而赤道东太平洋海温异常则对热带气旋强度有较大的影响;西太平洋副高的强度以及南北变动对热带气旋频数影响较大,而其东西变动则对热带气旋强度影响较大。

## 参考文献

- [1] 曹钢锋,朱官忠,朱君鉴. 影响我国北方的台风路径分类及降水特征[J]. 气象,1992,18(7):12-16.
- [2] 邹树烽,顾润源,朱官忠,等. 影响我国北方热带气旋的若干统计特征[J]. 气象,1997,23(7):42-45.
- [3] 顾润源,李昌义,张少林,等. 影响我国北方不同路径热带气旋平均环流特征及暴雨落区[J]. 气象,1999,19(3):14-17.
- [4] 袁子鹏,张立祥. 黄渤海登陆热带气旋活动的统计分析[J]. 气象,2005,31(6):39-42.
- [5] 王秀萍,梁军. 近52年北上热带气旋的若干气候特征[J]. 气象,2006,32(10):76-80.
- [6] 中国气象局. 台风年鉴(1949—1988年)[M]. 北京:气象出版社,1950-1989.
- [7] 中国气象局. 热带气旋年鉴(1989—2005年)[M]. 北京:气象出版社,1990-2006.
- [8] 叶英,董波. 登陆我国热带气旋活动的年代际变化分析[J]. 海洋预报,2002,19(2):23-30.