

近 58 年登陆我国热带气旋的气候特征分析*

胡娅敏^{1,2}, 宋丽莉², 刘爱君¹, 潘蔚娟¹

(1. 广东省气候中心, 广东 广州 510080;

2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘 要: 利用 1949–2006 年登陆我国热带气旋 (TC) 资料, 采用统计方法对比分析了近 58 a 登陆我国 TC 的频数、强度、初 (终) 旋日、台风季长度等气候特征参数的总体和区域分布及其时间演变特征。分析得出各参数的主要演变特征为: (1) 1949–2006 年登陆我国 TC 频数呈下降趋势, 台风季长度缩短、平均中心气压降低、登陆点区域分布也发生了改变; (2) 登陆我国 TC 频数、中心气压、台风季长度等均在 20 世纪 90 年代中期 (1995 年前后) 发生了显著突变; (3) 相比于突变发生前 (1949–1994 年), 突变后的 12 a 间, ① 登陆全国 TC 频数减少, 并且沿海各省登陆 TC 频数大多减少或持平, 只有浙江增加; ② 我国台风季长度缩短, 并且除广西和浙江略增长外, 其它沿海各省均一致缩短; ③ 除登陆台湾 TC 的平均中心气压略上升外, 登陆其它沿海各省 TC 的平均中心气压均下降。

关键词: 登陆热带气旋 (TC); 气候特征参数; 时间演变; 区域分布

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 05-0115-07

我国是受热带气旋 (TC, Tropical Cyclone) 影响最严重的国家之一, 登陆我国 TC 的频数、强度、登陆点位置以及其影响的季节长度等已成为我国沿海地区经济和社会发展的主要制约因素。

研究表明, 登陆我国 TC 的高频区分布在我国东南沿海^[1], 高频中心在海南和广东东部沿海^[2], 次频中心位于广西沿海和福建东南部沿海。中心进入广西的 TC 主要来自湛江至 119°E 登陆的 TC^[3], 登陆长江口以北的台风最少, 在福建和浙江登陆的台风强度最强, 但季节偏晚^[4]。在全球气候变暖的大背景下, 登陆我国台风的频数减少, 平均强度和极端强度减弱^[5]。有关台风的天气学和动力学研究, 也取得了许多重要成果^[6–10]。

近 10 多年来, 在西北太平洋热带气旋生成数和登陆我国 TC 数减少的背景下^[5,11], 登陆我国和各个区域的 TC 也都开始发生一系列变化, 一些学者针对某个地区 (全国^[5–8]、华南^[12]、华东^[13]、广东^[2]、广西^[3]、福建^[14]、浙江^[15]等) 对登陆 TC 的各种参数进行了研究。但对登陆全国 TC 的各气候特征参数时间演变进行突变分析检验, 并在此基础上对比分析登陆我国及沿海主要省份 TC 的统计特征及其变化等方面的研究不多。本文利用 1949–2006 年登陆我国 TC 资料, 采用统计方法, 分析近 58 a 来登陆我国 TC 的频数、强度、初

(终) 旋日、台风季长度等气候特征参数的总体和区域分布, 检验其时间演变或突变特征, 并对比分析了不同时期登陆我国及其沿海主要省份 TC 的主要气候特征参数, 为我国沿海地区减灾规划和防台决策提供可靠依据。

1 资料来源和处理

本文资料来源于 1949–2006 年 (共 58 a) 《台风年鉴》和《热带气旋年鉴》(北京: 气象出版社, 1949–2006)。

本文统计登陆热带气旋 (TC) 包括热带低压 (中心风速 ≥ 10.8 m/s) 在内的所有热带气旋; 登陆台风 (简称 TY, Typhoon) 指登陆时强度达到台风 (中心风速 ≥ 32.7 m/s) 以上量级的个例, 文中 TC 个数或频数均包含了 TY。统计年均登陆 TC 个数, 简称为登陆频数。

统计登陆全国 TC 时, 只计取 TC 的第一次登陆, 不考虑部分 TC 出现的副中心现象; 分析登陆各省 TC 时, 若同一 TC 多次登陆同一省份则只计为 1 个, 同一 TC 登陆不同省份则分别为登陆的各个省份加计 1 个。

2 近 58 a 登陆我国热带气旋统计特征

* 收稿日期: 2008–02–20

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (90715031); 国家自然科学基金资助项目 (40775071 和 40775058)

作者简介: 胡娅敏 (1978 年生), 女, 博士, 工程师; 通讯联系人: 宋丽莉; E-mail: llsong@grmc.gov.cn

2.1 登陆个数和区域分布

1949–2006 年登陆我国的 TC 总数为 527 个, 平均每年登陆 9.09 个, 其中达到 TY 等级的 184 个, 年平均 3.17 个, 占登陆 TC 的 35% (表 1)。

全国范围均有 TC 登陆。广东是登陆 TC 最多的省份, 年登陆频数 3.76 个, 占全国登陆总数的 32%, 其次是海南, 年登陆频数 2.33 个, 占登陆全国总数的 20%, 之后依次为台湾、福建、浙江、广西、山东、辽宁、江苏和上海。

达到 TY 强度的登陆地区分布与 TC 分布略有不同, 登陆 TY 最多的是台湾 (69 个), 占登陆全国总数的 33%; 其次为广东 49 个, 占登陆全国总数的 24%; 之后依次为海南、福建、浙江和广西; 山东、辽宁、上海和江苏等地至今无达到 TY 强度的个例登陆。

在所有登陆我国的 TC 中有 132 个曾 2 次或多次登陆我国达 300 次。二次或多次登陆广东、海南、广西、台湾、福建、浙江、山东、辽宁、江苏和上海分别占登陆各省市总次数的 23.8%、21.3%、93.5%、66.9%、65.7%、32.5%、82.4%、61.5%、66.7%、60.0%, 可以说登陆广西、福建、上海、江苏、山东和辽宁的热带气旋以 2 次登陆为主, 尤其是广西 2 次登陆 TC 占 93.5%; 同一 TC 在台湾通常会多次登陆。从大区域分布看, 58 a 来登陆我国各省共 680 个 TC (含同一 TC 二次或多次登陆不同省份) 中, 有 640 个登陆在长江口以南 (不含上海) 的沿海省份, 占了总数的 94%, 其他地区 (上海、江苏、山东、辽宁) 只占 6%, 因而本文将主要集中对比分析登陆长江口以南 6 省的 TC 和 TY 的气候特征。

2.2 台风季长度

探求“初旋日” (每年首个登陆 TC 的日期) 和“终旋日” (每年最后一次登陆 TC 的日期) 以及“台风季” (“初旋日”和“终旋日”之间的天数) 变化特征^[16-17], 对于提高热带气旋长期预报

的准确率, 界定该地区的热带气旋活跃期以及防台减灾都有重要意义。

1949–2006 年登陆我国 TC 的平均初旋日在 6 月 17 日, 终旋日在 10 月 10 日, 台风季长 117 d (表 1)。初旋最早为 1991 年 4 月 28 日 (9103 号强热带风暴登陆海南万宁), 最晚是 1997 年 8 月 2 日 (9710 号强热带风暴登陆香港); 最早的终旋为 2006 年 8 月 10 日 (0608 号超强台风登陆浙江苍南), 最晚终旋出现在 2004 年 12 月 4 日 (0428 号强热带风暴登陆台湾屏东)。最短台风季仅 29 d, 出现在 1997 年; 最长台风季 186 d, 发生在 1954 年。

近 58 a 中, 每年都有 TC 登陆广东, 海南有 53 个年份、台湾 49、福建 46、浙江 31、广西 22。初旋最早的是广东, 浙江最晚; 终旋日广西和浙江的较其他地区偏早, 广东和海南最晚; 广东台风季最长, 高达 75 d, 浙江历时最短仅 13 d, 其余从多到少依次海南、台湾、福建、广西 (表 1)。

2.3 登陆 TC 的中心气压

以逐年所有登陆 TC 中心气压的算术平均值算出登陆 TC 的平均中心气压, 以一年中登陆 TC 中心气压最低值为该年登陆 TC 的极端最低气压。统计得出, 近 58 a 登陆我国 TC 的平均中心气压为 980.2 hPa, 极端最低气压为 953.0 Pa。平均中心气压和极端最低气压均以台湾最低, 浙江次之; 前者由低至高依次为福建、广东、海南和广西, 后者由低至高依次为广东、海南、福建和广西。

3 登陆我国热带气旋的时间演变特征

3.1 频数的概率分布

图 1 给出了 58 a 间登陆全国 TC 和 TY 频数概率分布图, 通过检验计算其偏度系数和峰度系数来检验其分布形态。结果显示, TC 的偏度系数和峰度系数的绝对值分别为 1.57 和 0.14, TY 的偏度系数和峰度系数分别为 1.92 和 1.17, 在给定显著

表 1 1949–2006 年登陆全国和各区域 TC 的统计值

Tab. 1 TC statistical value of landing on China and different provinces during 1949–2006

项目	全国	广东	台湾	海南	福建	浙江	广西	其它地区
TC 总数/个	527	218	120	135	97	40	30	40
占全国比例/%	100	32	18	20	14	6	4	6
TY 总数/个	184	49	69	37	30	21	1	1
占全国比例/%	100	24	33	18	14	10	0.5	0.5
初旋日 (月-日)	6-17	7-4	7-18	7-18	8-3	8-6	7-23	
终旋日 (月-日)	10-10	9-16	8-27	9-16	8-28	8-18	8-17	
台风季/d	117	75	41	61	27	13	26	
平均中心气压/hPa	980.2	983.3	972.1	984.5	982.8	973.3	990.1	
极端最低气压/hPa	953.0	971.2	960.6	974.9	978.3	970.6	987.9	

性水平 $\alpha = 0.05$ 下, TC 和 TY 的年频数均近似服从正态分布。

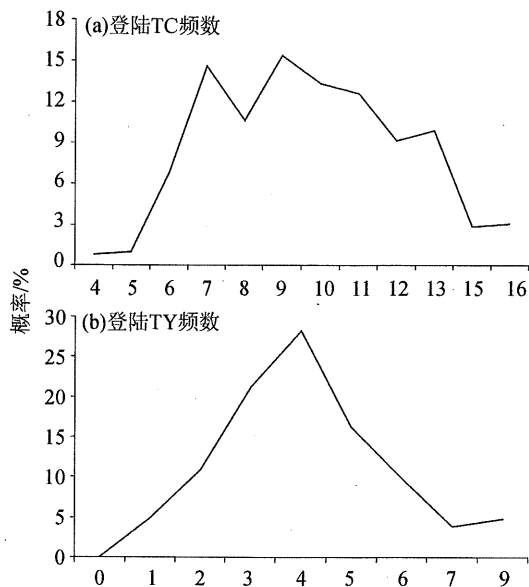


图1 登陆我国 TC 和 TY 频数概率分布图

Fig. 1 Probability distribution of TC (a) and TY (b) frequency of landfall over China

3.2 频数的时间演变

图2给出了1949-2006年间登陆我国TC和TY频数的逐年变化序列,可以看出近58a间,登陆我国TC频数总体呈下降趋势,而达到TY强度的个例频数并无一致的下降趋势。

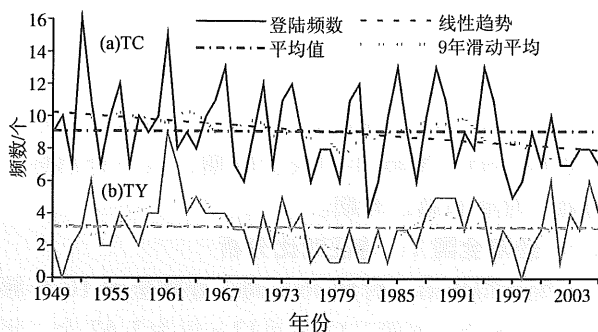


图2 1949-2006年逐年登陆我国TC(a)和TY(b)频数变化曲线

Fig. 2 the time series of annual TC (a) and TY (b) frequency of landfall over China

在此采用滑动 t -检验^[18]、Yamamoto 法、Cramer 法和 Mann-Kendall 法^[19]来考察 TC 和 TY 频数的时间序列是否存在显著的突变,其中滑动 t -检验法主要是根据 t 统计量曲线上的点是否超过规定的显著性水平来判断序列是否出现突变,并确定出突变发生的时间,滑动 t -检验结果由图3给出。

由图3可见,20世纪90年代中期(1995年前后)登陆TC频数发生了由多向少的显著转折,信

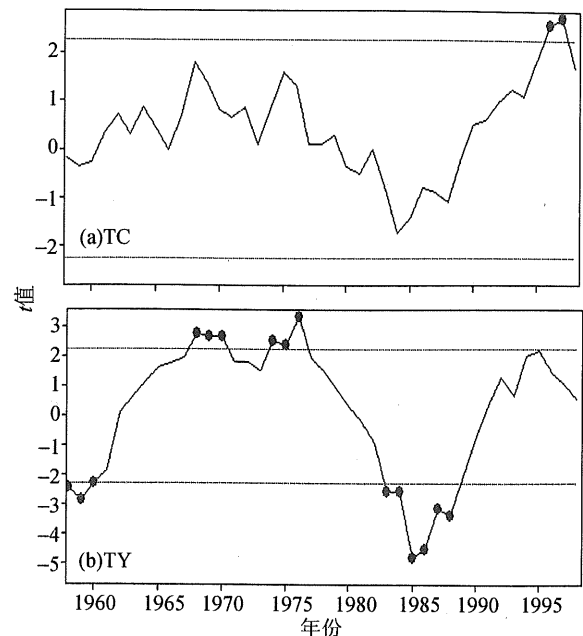


图3 登陆我国 TC (a) 和 TY (b) 频数的滑动 t -检验图(点线为 $\alpha = 0.05$ 显著性水平临界线)

Fig. 3 The moving t -test of annual TC (a) and TY (b) frequency of landfall over China. The dashed lines are the critical lines of the 5% significance level

度达95%,这与李英等^[6]的研究结果一致;而达到TY强度的频数时间变化略为复杂:20世纪60年代末-70年代中期由多转少,80年代中期由少转多,信度均达95%;90年代中期(1995年前后)出现由多至少的转折,信度达90%。同样,Yamamoto 法、Cramer 法和 Mann-Kendall 法均检测出登陆我国的TC频数和达到TY强度的频数均在20世纪90年代中期发生转折(图略)。

计算登陆全国TC、TY频数的均方差6值^[19],得出:TC频数序列均方差为2.50,TY为1.75,因而登陆TC较TY具有更大的年际变率。在此以1个6为标准,将登陆频数分为偏多、正常和偏少3个等级,则在过去58a里,登陆TC数异常偏多年份占17.2%,偏少年份占13.8%(90年代中期以后较为显著);TY偏多年份占19%(主要分布在20世纪50年代末-60年代中期,80年代末-90年代前期),偏少年份占19%(主要分布在20世纪40年代末-50年代末期和70年代中期-80年代中期)。

3.3 台风季的时间演变

分析1949-2006年期间我国初旋日、终旋日(图略)和台风季长度的逐年变化发现(图4),登陆TC呈现出初旋推迟,终旋提前,台风季长度有显著变短趋势。P采用Morlet小波法分析台风季长度的时间演变特征发现,台风季存在准18a周

期, 20 世纪 80 年代中期 - 90 年代中期为正位相阶段, 即处于台风季偏长时期 (较平均值偏长 20 d), 20 世纪 70 年代中期 - 80 年代中期和 90 年代中期 - 至今为负位相阶段, 即处于台风季偏短时期 (两个时期分别较平均值偏短 20 和 24 d) (图 5)。

以滑动 T 检验法、Yamamoto 法、Cramer 法和 Mann - Kendall 法分析初、终旋日和台风季长度的年代际变化 (图略), 结果显示, 台风季长度和初旋日均在 20 世纪 80 年代中期和 90 年代中期发生了突变, 信度达 95%, 而终旋日 90 年代中期发生了突变, 但 80 年代中期没有发生显著的突变。

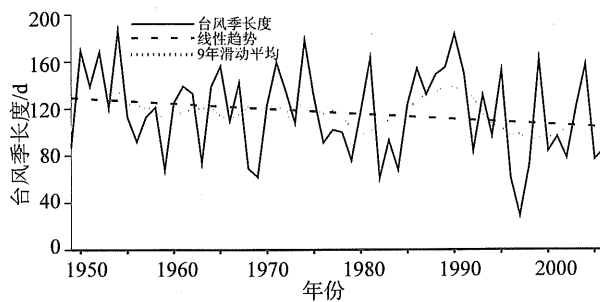


图 4 1949 - 2006 年我国台风季长度变化曲线

Fig. 4 Time series of typhoon season of landing on China during 1949-2006

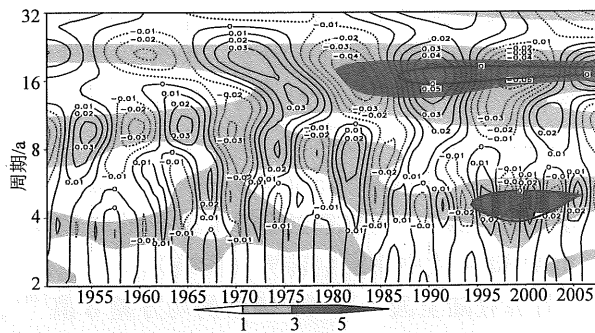


图 5 台风季的 Morlet 小波分析变换系数实部的时频分布 (阴影区表示标准化小波功率谱 > 1 的区域, 粗等值线包括的区域表示通过 95% 的信度检验)

Fig. 5 Time-frequency diagrams for the real part of the Morlet wavelet transform coefficients of typhoon season duration.

The areas with normalized wavelet power spectrum greater than 1 are shaded; the regions enclosed by the thick contour are statistically significant at 95% confidence level

3.4 平均中心气压的时间演变

登陆 TC 的平均中心气压和极端最低气压具有较大的年际变化特征 (图 6), 平均中心气压在 20 世纪 60 年代初以前处于偏高时期, 之后在平均值附近振荡, 90 年代中期以后处于偏低时段, 其线性趋势表现出下降趋势。而近 58 年极端最低气压呈现波动性的振荡, 50 年代中期 - 60 年代中期和

70 年代中 - 80 年代初处于偏低阶段, 80 年代和 90 年代中期以后处于偏高阶段, 其线性趋势没有明显的增加或减少趋势。

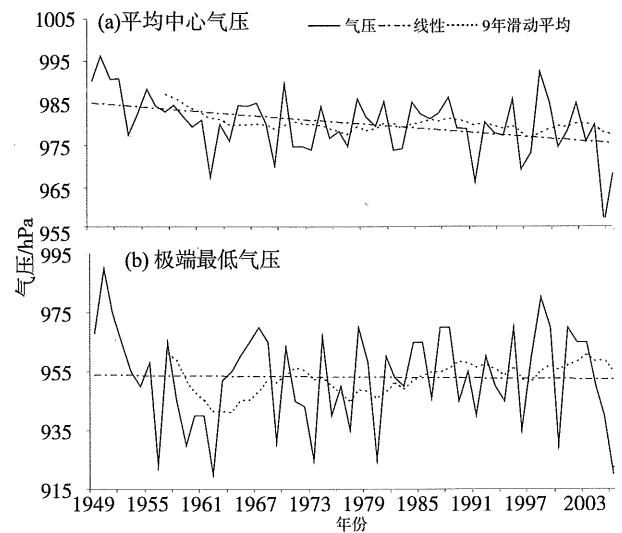


图 6 近 58 年登陆中国 TC 的平均中心气压和极端最低气压

Fig. 6 The average central pressure (a) and the extreme lowest pressure (b) of landing TC on China for the recent 58 years

4 登陆 TC 区域统计特征对比

由登陆我国 TC 频数、台风季长度、初终旋日期的时间演变特征进行综合分析, 并考虑全球气候变暖后, 由于人类活动和自然变率共同作用造成的近十几年热带气旋的变化, 大体可以将近 58 a 的登陆 TC 划分为 2 个时期, 即 1949 - 1994 年的较多时期和 1995 - 2006 年的较少时期, 以下分别称之为第一时期和第二时期。

4.1 登陆全国 TC 特征对比分析

统计得出第一时期 46 a 间, 登陆全国 TC 年频数为 9.46 个, 而第二时期近 12 a 仅为 7.67 个, 年均减少了 1.79 个 (19%); 其中 TY 也由年均 3.24 个, 减少为 2.92 个, 年减少率约 10% (表 2)。

第一时期我国平均台风季长度为 122 d, 第二时期台风季长度为 98 d, 较第一时期缩短了 24 d, 初旋日推后了 13 d, 终旋日提前了 10 d, 年均中心气压降低了 3.9 hPa, 但年均极端最低气压却增加了 2.1 hPa (表 2)。

4.2 登陆 TC 频数的区域变化

由表 2 可知, 第二时期期间登陆我国 TC 频数较第一时期减少 19%、TY 频数减少 10%, 而且, 两个时期登陆点区域的格局分布也发生了改变。

表2 两时期登陆全国TC各参数的对比

Tab. 2 TC parameters landing on China during 1949-1994 and during 1995-2006

项目	1949-1994	1995-2006
TC 频数	9.46	7.67
TY 频数	3.24	2.92
初旋日(月-日)	6-14	6-27
终旋日(月-日)	10-12	10-2
台风季/d	122	98
平均中心气压/hPa	981.0	977.1
极端最低气压/hPa	952.5	954.6

(1) 与第一时期相比,第二时期海南TC频数减少最多,减少了52%,广东减少了19%,福建减少了7%,台湾基本持平,而浙江由前期的0.59个增加到1.08个。近12a来,登陆TC频数仍以广东最多,次多则由海南变为台湾(海南排福建之后列第4)(表3)。

(2) 与第一时期相比,第二时期台湾、广东、海南三省的登陆TY频数均减少了,浙江和福建增多;TY登陆地区分布仍以台湾最多,广东次多,海南则相对有所减少(表3)。

4.3 台风季长度的区域变化

与第一时期相比,第二时期TC初旋日推后了

13 d,终旋日提前了10 d,台风季长度由平均122 d,减为98 d(表2)。除广西、浙江台风季长度增加了5和4 d外,其它地区均缩短,其中广东台风季缩短了32 d,海南28 d,台湾为4 d,福建为6 d;台风季长度仍以广东最长,其次为台湾和海南(两省相差1 d),之后依次为广西、福建和浙江(表4)。

4.4 登陆TC中心气压的区域变化

统计第一时期和第二时期的中心气压值,并剔除各省存在的无TC登陆年份影响,得到中心气压的时间序列:广东长58 a,海南53 a、广西22 a,台湾49 a、福建46 a、浙江31 a。对比两个时期统计数据(表4)发现:

(1) 与第一时期相比,第二时期登陆TC平均中心气压除台湾升高4.5 hPa,其他地区均有不同程度的降低,其中降低幅度最大的是浙江(9.3 hPa),最小是福建(0.2 hPa),广东、海南、广西降低了2.7~3.6 hPa。

(2) 与第一时期相比,第二时期登陆TC的极端最低气压特征表现为,广西、福建和浙江均降低,其中浙江降幅最大为11.0 hPa;广东、海南和台湾上升,其中台湾上升最大为9.9 hPa。

表3 两时期登陆各区域TC和TY频数的对比

Tab. 3 Comparison of TC and TY annual frequency landing on different provinces during 1949-1994 and during 1995-2006

参数	年代	广东	海南	台湾	福建	浙江	广西	其它
TC 频数	1949-1994	3.91	2.61	2.07	1.70	0.59	0.52	0.81
	1995-2006	3.17	1.25	2.08	1.58	1.08	0.50	0.25
TY 频数	1949-1994	0.87	0.70	1.26	0.48	0.30	0.02	0.02
	1995-2006	0.75	0.42	0.92	0.67	0.58	0.00	0.00

表4 两时期登陆不同区域TC各参数的对比

Tab. 4 Comparison of the parameters of TC landing on different provinces during 1949-1994 and 1995-2006

参数	年代	广东	海南	广西	台湾	福建	浙江
初旋日(月-日)	1949-1994	7-1	7-12	7-16	7-17	8-3	8-3
	1995-2006	7-15	8-22	8-22	7-21	8-1	8-13
终旋日(月-日)	1949-1994	9-20	9-14	8-9	8-28	8-30	8-14
	1995-2006	9-2	9-27	9-19	8-27	8-22	8-28
台风季/d	1949-1994	82	65	25	42	28	12
	1995-2006	50	37	30	38	22	16
平均中心气压/hPa	1949-1994	983.9	985.0	990.6	971.0	982.8	976.0
	1995-2006	981.2	981.4	987.8	975.5	982.6	966.7
极端最低气压/hPa	1949-1994	970.7	974.7	988.3	958.2	978.5	973.8
	1995-2006	973.1	976.1	985.8	968.1	977.6	962.8

5 结 论

本文详细分析了近 58 a 登陆我国沿海主要省份 TC 的气候特征参数,对其时间演变特征进行突变分析检验,进而对比分析登陆我国及各区域 TC 的统计特征及其变化等,得到如下主要结论:

(1) 近 58 a 间,年平均登陆我国 TC 为 9.09 个,其中达到 TY 等级的 3.17 个,台风季长 117 d,登陆时平均中心气压为 980.2 hPa;而且登陆 TC 频数呈下降趋势,台风季长度缩短、平均中心气压降低,登陆点区域分布发生了改变。

(2) 对 1949–2006 年登陆我国 TC 频数、中心气压、台风季长度等参数进行统计检验发现,前述参数均在 90 年代中期(1995 年前后)发生了显著突变。

(3) 对比突变发生前(1949–1994 年)、后(1995–2006 年)两个时期登陆 TC 的气候特征参数发现,登陆 TC 频数呈下降趋势,台风季长度缩短、平均中心气压降低、登陆点区域分布也发生了改变。具体参数变化如下:①登陆全国 TC(TY)的年频数年均减少了 1.79 (0.32) 个,初旋日推后了 13 d,终旋日提前了 10 d,台风季缩短了 24 d,平均中心气压降低了 3.9 hPa/a,极端最低气压增加了 2.1 hPa/a;②华南三省的 TC 和 TY 年频数在 1995 年以后均减少,而登陆浙江的 TC 和 TY 年频数均增加,登陆台湾的 TC 年频数增加、TY 年频数减少,登陆福建的 TC 年频数减少、TY 年频数增加;③近 12 a 除广西、浙江台风季长度略增加外,其它地区均缩短,其中广东台风季缩短了 32 d,海南台风季缩短了 28 d;④平均中心气压除台湾升高了 4.5 hPa,其他地区均有不同程度的降低,其中降低幅度最大的是浙江 9.3 hPa,广东、海南、广西降低了 2.7~3.6 hPa;⑤登陆广西、福建和浙江的极端最低气压均降低,其中浙江降幅最大为 11.0 hPa,登陆广东、海南和台湾 TC 极端最低气压反而上升了,其中台湾上升最大为 9.9 hPa。

但对登陆 TC 各参数在 90 年代中期发生变化的原因和物理机制以及未来的变化趋势等,还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 王东升,屈雅. 西北太平洋和南海热带气旋的气候特征分析[J],气象,2007,33(7):67–74
WANG Dongsheng, QU Ya. Climatic characteristics of tropic cyclones over Northwestern Pacific and South China Sea[J]. Meteorological Monthly, 2007,33(7):67–74
- [2] 王同美,温之平,李彦,等. 登陆广东热带气旋统计及个例的对比分析[J],中山大学学报:自然科学版,2003,42(5):97–100
WANG Tongmei, WEN Zhiping, LI Yan, et al, Comparative analysis of the duration reason of tropical cyclones landing on Guangdong[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003,42(5):97–100
- [3] 姚才,黄明策,贺海晏. 影响华南西部的登陆热带气旋的若干气候特征[J]. 中山大学学报:自然科学版,2005,44(5):102–107
YAO Cai, HUANG Mingce, HE Haiyan, Climatic features of tropical cyclones invaded Southwest China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2005,44(5):102–107
- [4] 陈敏,郑永光,陶祖钰. 近 50 年(1949–1996)西北太平洋热带气旋气候特征的再分析[J]. 热带气象学报,1999,15(1):10–16
CHEN Min, ZHENG Yongguang, TAO Zuyu, An analysis tropical cyclones' climatic feature in the Western North Pacific for 1949–1996[J]. Journal of Tropical Meteorology, 1999,15(1):10–16
- [5] 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):455–461
CAO Chu, PENG Jiayi, YU Jinhua, An analysis on the characteristic of landfalling typhoons in China under the global warming[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2006,29(4):455–461
- [6] 李英,陈联寿,张胜军. 登陆我国热带气旋的统计特征[J]. 热带气象学报,2004,20(1):14–22
LI Ying, CHEN Lianshou, ZHANG Shengjun, Statistical characteristics of tropical cyclone making landfalls on China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2004,20(1):14–22
- [7] 陈联寿,孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展[J]. 大气科学,2001,25(3):420–432
CHEN Lianshou, MENG Zhiyong. An overview on tropical cyclones research progress in China during the past ten years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2001,25(3):420–432
- [8] MENG Zhiyong, CHEN Lianshou, XU Xiangde. Recent progress on tropical cyclone research in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(1):103–110
- [9] 王斌, Russell L E, 王玉清,等. 热带气旋运动的动力学研究进展[J]. 大气科学,1998,22(4):535–547
WANG Bin, Russell L E, WANG Yuqing, et al, Dynamics in tropical cyclone Motion; a review[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1998,22(4):535–547
- [10] 陈联寿,罗哲贤,李英. 登陆热带气旋研究的进展[J]. 气象学报,2004,62(5):541–549
CHEN Lianshou, LUO Zhexian, LI Ying, Research advances on tropical cyclone landfall process[J]. Acta Meteorological Sinica, 2004,62(5):541–549

- [11] 田荣湘. 全球气候变暖对西北太平洋热带气旋的影响[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2003, 30(4): 466 - 470
TIAN Rongxiang. Influence of global warming on tropical cyclone in Northwest Pacific[J]. Journal of Zhejiang University(Science Edition), 2003, 30(4): 466 - 470
- [12] 杨绮薇, 黄增明, 林爱兰. 华南登陆台风频数的变化及其与 ENSO 事件的关系[J]. 气象, 2001, 27(3): 12 - 16
YANG Qiwei, HUANG Zengming, LIN Ailan. Variations of annual frequency of landfall typhoons in South China and its relation with ENSO[J]. Meteorological Monthly, 2001, 27(3): 12 - 16
- [13] 蒋乐怡, 应明. 华东地区热带气旋年频数异常的分析[J]. 应用气象学报, 2002, 13(1): 88 - 95
JIANG Leyi, YING Ming. Analysis of anomalous frequency of tropical cyclone in East China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2002, 13(1): 88 - 95
- [14] 张容焱, 吴滨, 宋德众. 影响福建热带气旋的若干基本气候特征[J]. 台湾海峡, 2000, 19(1): 65 - 69
ZHANG Rongyan, WU Bin, SONG Dezhong. Fundamental climatic features of tropical cyclone affecting Fujian[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2000, 19(1): 65 - 69
- [15] 龚龔, 陆维松, 陈东升. 浙江省登陆热带气旋气候特征初探[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(6): 773 - 779
GONG Yan, LU Weisong, CHEN Dongshen. A preliminary study on climatic features of tropical cyclone making landfall on coast of Zhejiang province[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003, 26(6): 773 - 779
- [16] 任福民, 王小玲, 董文杰. 登陆中国初、终热带气旋的变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 4(3): 224 - 228
REN Fumin, WANG Xiaoling, DONG Wenjie, et al. Changes in the first-landfall and last-landfall tropical cyclones in China[J]. Advances in Climate Changes research, 2007, 4(3): 224 - 228
- [17] 谢炯光. 登陆广东省的初、终热带气旋分析和预测[J]. 海洋预报, 1999, 16(2): 62 - 68
XIE Jiongguang. Analysis and forecast for first-, final-landing tropical cyclones landed in Guangdong[J]. Marine Forecasts, 1999, 16(2): 62 - 68
- [18] AFIFI A A, AZEN S P. Statistical Analysis, A Computer Oriented Approach[M]. New York: Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich Publishers. 1972: 366
- [19] 肖栋, 李建平. 全球海表温度场中主要的年代际突变及其模态[J]. 大气科学, 2007(05): 839 - 854
XIAO Dong, LI Jianping. Main decadal abrupt changes and decadal modes in global sea surface temperature field[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2007(05): 839 - 854

Analysis of the Climatic Features of Landfall Tropical Cyclones in China during the Past 58 Years

HU Ya-min^{1,2}, SONG Li-li², LIU Ai-jun¹, PAN Wei-juan¹

(1. Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080, China;

2. Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Based on the data of Tropical Cyclone (TC for short) making landfall in China from 1949 to 2006, the general and regional climatic characteristics of TC parameters (including TC annual frequency, intensity, first-landfall and last-landfall date, typhoon season duration and the average central pressure), together with their temporal development feature, are examined according to the statistical method. The main conclusions are as follows: (1) During the past 58 years, TC annual frequency has decreased, typhoon season duration has shortened, the average central pressure has shrunk, and the pattern of regional distribution has rectified. (2) A transformation of landfalling TC annual frequency, typhoon season duration and central pressure occurred in the mid-1990s (about 1995). (3) In contrast with the first (1949 - 1994) and the second periods (1995 - 2006), both the patterns of regional distribution and climatic feature of landfalling TCs have changed. The annual landfalling frequency in most of coastal provinces has decreased except for Zhejiang province since 1995. The typhoon season duration has lengthened in Guangxi and Zhejiang province, while the duration has shortened in the other provinces after 1995. The average central pressure has reduced in most of coastal provinces excluding Taiwan province since 1995.

Key words: landfall tropical cyclone; climatic characteristic parameters; temporal development; regional distribution