

# 1949—2021年登陆我国热带气旋历史规律研究

孟凡昌<sup>1,2</sup>, 李本霞<sup>1,2,3\*</sup>, 王娟娟<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081; 2. 国家海洋环境预报中心 自然资源部海洋灾害预报技术重点实验室, 北京 100081; 3. 河海大学 海洋学院, 江苏 南京 210024)

**摘要:** 基于1949—2021年中国气象局最佳热带气旋路径数据,按照相应规则筛选出登陆我国的热带气旋及登陆位置,分析研究登陆热带气旋的数量、强度、时间等特征和变化规律,并具体分析沿海各地区登陆热带气旋的变化规律。结果表明:1949—2021年登陆我国的热带气旋数量呈略微减小趋势,有明显的高峰、低谷期,2018年后处于一个较低的水平;热带气旋登陆时的强度主要集中于强热带风暴、台风级别,登陆月份主要集中于7—9月;1949—2021年登陆我国的低强度热带气旋有减小趋势,而高强度热带气旋有增大趋势,说明登陆的高强度热带气旋将会越来越多,这可能与全球变暖以及热带扩展有关;1949—2021年登陆热带气旋位置在纬向上有轻微的南落,经向上无明显变化,这和前人的研究结论不一致,可能是由于选取的数据源以及时间跨度不一致造成的;我国沿海各地区热带气旋登陆频次最高的是广东地区,其次是台湾、海南、福建地区,大体上从南到北逐渐减少;台湾地区高强度登陆热带气旋占比最多,其次为浙江、福建、广东、海南地区;长期来看,广东、台湾地区年热带气旋登陆频次呈现减小趋势,浙江、福建地区呈现上升趋势。

**关键词:** 登陆热带气旋;历史变化规律;登陆位置;沿海地区

**中图分类号:** P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2024)03-0080-10

## 0 引言

热带气旋(Tropical Cyclone, TC)是指发生在热带或副热带洋面上的低压涡旋,是一种强大而深厚的热带天气系统,一般伴随着强烈的风力和降水。由TC引发的狂风、暴雨、巨浪、风暴潮等天气具有很强的破坏力,尤其是登陆TC常常会给人们的生命财产及社会的经济发展造成较大的影响。TC强度按照从低到高可分为6个等级,分别为热带低压(Tropical Depression, TD)、热带风暴(Tropical Storm, TS)、强热带风暴(Severe Tropical Storm, STS)、台风(Typhoon, TY)、强台风(Severe Typhoon, STY)、超强台风(Super Typhoon, SuperTY)<sup>[1]</sup>。我国地处西北太平洋西岸,是TC登陆最频繁的国家之一<sup>[2]</sup>,根据2012—2021年《中国气候公报》统计,这

10年间我国因TC登陆累计造成死亡、失踪人数达943人,直接经济损失超过6 471.3亿元。随着海洋经济的快速发展,沿海地区受到的TC灾害风险日益突出,分析研究登陆我国TC的历史变化规律,对于了解、预测登陆我国的TC数量、强度以及减灾防灾有重要的参考意义。

由于登陆TC会给人民生产、生活带来严重影响,因此引起了国内外很多学者的关注,他们从不同角度探究了登陆TC对我国沿海地区造成的影响。张春艳等<sup>[3]</sup>利用日本气象厅(Japan Meteorological Agency, JMA)1951—2017年西北太平洋的TC数据,分析登陆中国TC的变化趋势,结果表明其个数和频次均呈下降趋势,登陆位置呈向东、向北偏移趋势。宿海良等<sup>[4]</sup>利用1949—2019年的中国气象局(China Meteorological Administration, CMA)台

收稿日期: 2023-10-18。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFA0604901)。

作者简介: 孟凡昌(1992-),男,工程师,硕士,主要从事海浪预报及海洋气象等方面研究。E-mail: mfc@nmefc.cn

\*通信作者: 李本霞(1972-),女,研究员,博士,主要从事海浪预报及气候变化应对研究。E-mail: lbx@nmefc.cn

风数据,分析了登陆我国的TC数量、趋势、月份等常规特征。顾成林等<sup>[5]</sup>利用1951—2015年美国联合台风警报中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)数据,分析了登陆中国的强热带气旋的变化特征以及与厄尔尼诺-南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)的关系。张金善等<sup>[6]</sup>利用1949—2016年的CMA数据统计分析了登陆我国的TC的特征,发现近年TC的登陆频数高于往年平均,其整体强度和最大值均呈增大趋势。MEI等<sup>[7]</sup>发现,在过去的37年中,东亚和东南亚地区登陆TC的强度增加了12%~15%。PARK等<sup>[8]</sup>发现,1977—2010年北太平洋西部TC最大强度的位置向东亚靠拢,导致中国东部、韩国和日本的TC登陆强度增加。CHEN等<sup>[9]</sup>用1979—2018年的CMA数据分析了TC登陆点的位置变化及成因,登陆点在近几十年里越来越向北移动,主要原因是这段时间内热带气旋路径发生北移。也有学者对我国各沿海地区受TC影响的情况做了相关研究,丛春华等<sup>[10]</sup>统计了1949—2012年影响山东地区的TC,梁海萍等<sup>[11]</sup>统计分析了1964—2013年登陆海南TC的特征,马艳等<sup>[12]</sup>分析了1949—2020年影响青岛的热带气旋的气候特征,发现其个数整体呈减少的特点,尹宜舟<sup>[13]</sup>统计分析了1961—2018年影响深圳市的TC特征,其频数呈明显的下降趋势。

鉴于近年来不断有强TC登陆中国沿海城市,且每年的TC都有不同的特点,本文利用最新的、时间跨度更长的、更适用于我国的TC数据,分析研究登陆我国TC的数量、强度、登陆位置等的历史规律。本文还分别对低强度、高强度的登陆TC做了统计分析,并针对沿海地区的登陆TC做了详细分析,以期深入了解登陆我国TC的变化特征及其规律,进而为未来登陆TC的相关预测、防灾减灾等工作提供一定的参考依据。

## 1 数据与方法

西北太平洋地区最佳的TC数据发布机构主要有4个:日本世界气象组织区域专业气象中心(JMA)、美国海军联合台风预警中心(JTWC)、中国气象局(CMA)和中国香港天文台(Hong Kong Observatory, HKO)。各机构之间的数据有差异,但

是相对来说,CMA的TC数据在中国近海和陆地地区比在公海上更准确和完整<sup>[14-15]</sup>,因此本文用CMA的数据来分析研究登陆我国TC的变化规律,选取的时间跨度为1949—2021年。由于TD的强度较低、风力相对较小,在洋面上生成的TC如果一直维持在TD的强度级别,一般不会对其进行编号,一般情况下编号的TC需要达到TS级别及以上,因此本文选取的登陆我国的TC在其生命史中至少需要达到TS级别,TD不在统计范围内。本文将登陆TC的路径曲线与我国海岸线的相交点定为该TC的登陆点,该点的经纬度即为TC登陆的经纬度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 登陆TC的历史变化规律

#### 2.1.1 登陆TC总体情况

1949—2021年登陆我国的TC总数为563个,年平均为7.71个,登陆数量最多的年份是1952年、1961年、1967年、1971年、1974年、1989年和1994年,均有12个TC登陆(见图1),最少的年份是1982年、1997年和1998年,仅有4个TC登陆。从线性拟合来看,登陆TC数有略微减小的趋势,73年共减少了0.74个,几乎和平均线一致,表明TC年登陆数量没有明显的线性变化趋势。从5a滑动平均来看,登陆TC数量在20世纪60年代后期—70年代前期是高峰期,80年代后期—90年代初是另一个高峰期,90年代后期处于低谷期,进入21世纪后,第一个10年的后期处于较高水平,而2018年以来登陆TC处于较低的水平。

图2是登陆TC不同强度等级所占的比重,蓝色和桔色分别代表TC生命史的最大强度和登陆强度。从图中可以看出,在TC生命史中,TY、STS、SuperTY所占比重较高,分别为26%、24%、21%,而登陆TC等级中,STS、TY所占比重比较高,为27%、26%,其次为TS、STY、TD,SuperTY占比最低,仅为3%,这也符合大部分TC在登陆前减弱的事实。

表1是TC登陆月份分布情况。从表中可以看出,登陆我国的TC从4月开始出现,一直持续到12月结束,主要集中在7—9月,占登陆TC总数的76.46%,这也是我国主要的台风季。

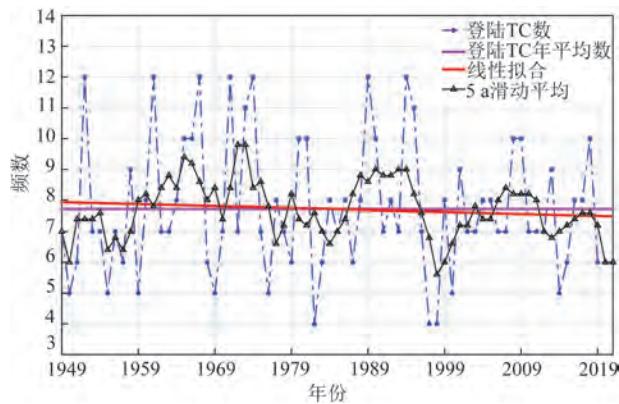


图1 登陆TC数量的年际变化

Fig.1 Interannual changes in the number of TC landings

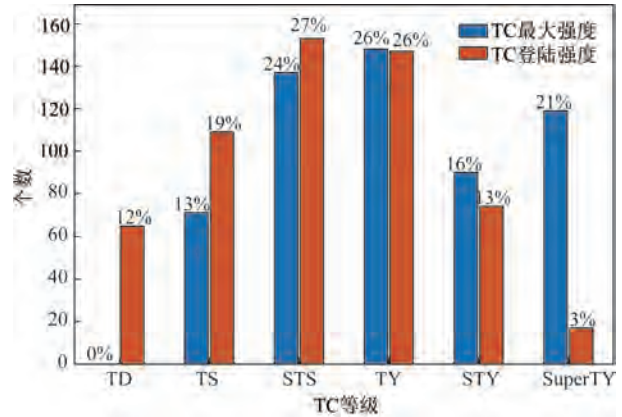


图2 登陆TC强度等级分布

Fig.2 Distribution of landing TC intensity levels

表1 1949—2021年各月登陆TC数量总和

Tab. 1 Total number of TC landings in each month from 1949 to 2021

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
个数	0	0	0	2	13	57	147	155	130	44	15	2
占比/%	0	0	0	0.35	2.30	10.09	26.02	27.43	23.01	7.79	2.65	0.35

### 2.1.2 不同强度TC的登陆情况

本研究中将TS、STS、TY这3个等级的TC作为低强度TC, STY和SuperTY作为高强度TC, 分别统计分析登陆时两种强度TC数量的年际变化趋势。高强度TC登陆最多的年份是2005年、2016年(见图3), 分别有6个高强度TC登陆, 而这两年均只有8个TC登陆, 因此, 高强度TC的占比高达75%。从图中还可以看出, 1949—2021年登陆我

国的低强度TC数量有减小趋势, 73年内平均减少了1.19个, 而高强度TC数量有增大趋势, 通过计算, 73年内增加了0.81个, 这说明登陆的高强度TC可能将会越来越多。这和登陆TC生命史中的高强度、低强度TC的变化趋势正好相反(见图4), 这也说明TC登陆前在近岸减弱的趋势在减小, 这可能全球变暖、热带扩张<sup>[16]</sup>以及近岸海表面温度升高有关<sup>[17]</sup>。

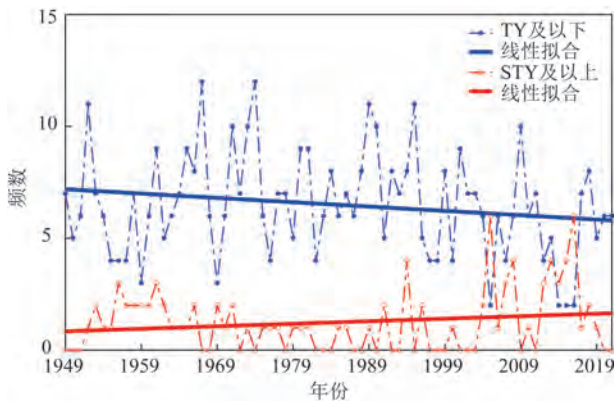


图3 登陆TC登陆时高强度与低强度TC数量的年际变化

Fig.3 Interannual changes in the number of high-intensity and low-intensity TCs at landing time

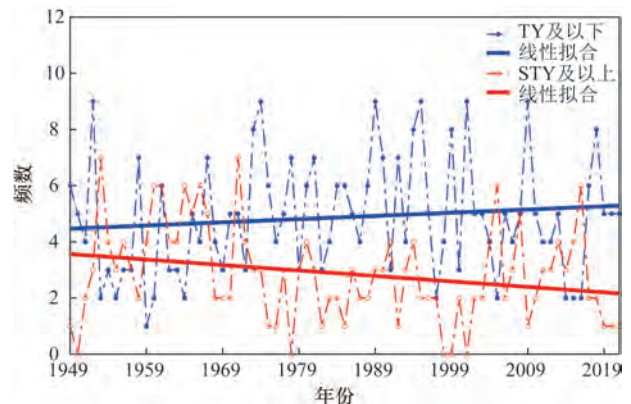


图4 登陆TC生命史中高强度与低强度数量的年际变化

Fig.4 Interannual variations of high-intensity and low-intensity quantities in the life of landing TC



### 2.1.3 TC登陆位置的变化趋势

TC登陆地点关系到当地的人民生命财产安全以及防灾减灾的策略安排,也是人们比较关心的问题。本文利用1949—2021年TC登陆位置的经纬度数据,分析TC登陆点的变化趋势。从图5可以看出,1950年TC登陆纬度异常大是由于这一年登陆TC数量少,只有5个,其中一个TC在辽宁丹东登陆,另一个在江苏启东登陆,造成这一年平均登陆纬度较大。总的来看,1949—2021年TC在我国的登陆位置变化趋势不是很明显,在纬向上有轻微的降低趋势,73年间平均南移了 $0.4^{\circ}$ ,经向上几乎没有变化,平均西移了 $0.04^{\circ}$ 。这个结论和张春艳等<sup>[3]</sup>的研究结论不太一致,其结论为TC的登陆位置呈向东、向北偏移趋势,但未通过M-K显著性检验,和本文的结论相反,这可能是由于选取的时间跨度和数据源不同导致的,张春艳等用的源数据为JMA,选取的时间是1951—2017年,对于这两个不同结论的原因今后可做进一步的研究分析。

### 2.2 TC登陆区域分析

统计分析TC在我国沿海各个地区的登陆情况。在本文中如果一个TC先后登陆多个地区则认为这几个地区均有TC登陆,例如2014年第9号SuperTY“威马逊”先后登陆我国海南文昌、广东徐闻、广西防城港,则认为这3个地区均有一次TC登陆。如果一个TC先后多次登陆一个省份则认为该省份受多次TC登陆影响,例如2018年第4号TS“艾云尼”先后登陆广东徐闻、海南海口、广东阳江,则认为在这一过程中广东省有两次TC登陆。因中国香港、澳门自治区的面积较小不再单独统计,按照其位置将登陆香港、澳门自治区的TC算入广东地区。

表2是1949—2021年我国沿海各地区登陆TC的频数总和。从表中可以看出,广东地区的登陆TC频次最多,有245次,占总数的32.93%;其次为台湾、海南、福建;江苏、山东、河北、辽宁等长江以北省份的登陆TC数比较少,其中河北在历史上只有

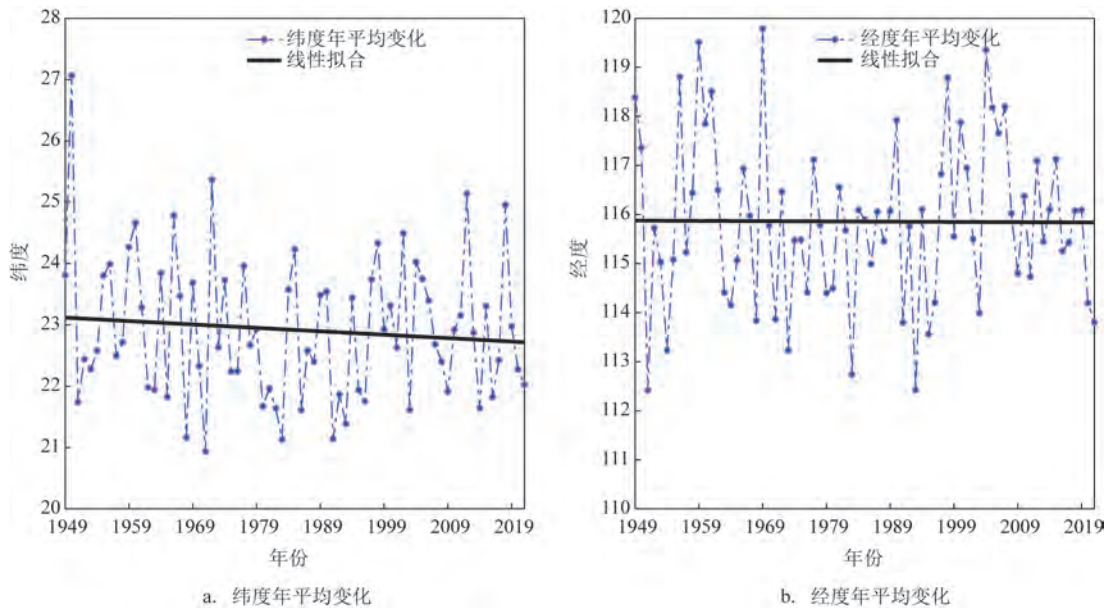


图5 TC登陆地点经纬度的长期变化

Fig.5 Long term changes in longitude and latitude of TC landing site

表2 1949—2021年我国沿海各地区登陆TC频数总和

Tab. 2 The total number of TCs landing in various coastal areas of China from 1949 to 2021

地区	海南	广东	广西	福建	台湾	浙江	上海	江苏	山东	河北	辽宁
频数	121	245	28	120	139	44	13	6	17	1	10
占比/%	16.26	32.93	3.76	16.13	18.68	5.91	1.75	0.81	2.28	0.13	1.34

一次 TC 登陆,为 1972 年第 3 号 SuperTY“Rita”,它是第一次在山东荣成以 STS 登陆后,第二次以 TS 级别在河北登陆。我国沿海各地区登陆 TC 数量大体上从南到北逐渐减少。

### 2.2.1 沿海各地区登陆 TC 数量的年际变化

因为江苏、山东、河北、辽宁这几个长江以北省

份受 TC 影响的次数较少,本文将这 4 个省份合并称为北方沿海地区。图 6 为我国各沿海地区登陆 TC 频数的年变化统计,从中可以看出广东是唯一一个每年都有 TC 登陆的地区。从线性趋势来看,广东地区年登陆 TC 频数总体呈现减小的趋势,73 年间减少了 0.69 个,其余呈现减小趋势的还有台湾地

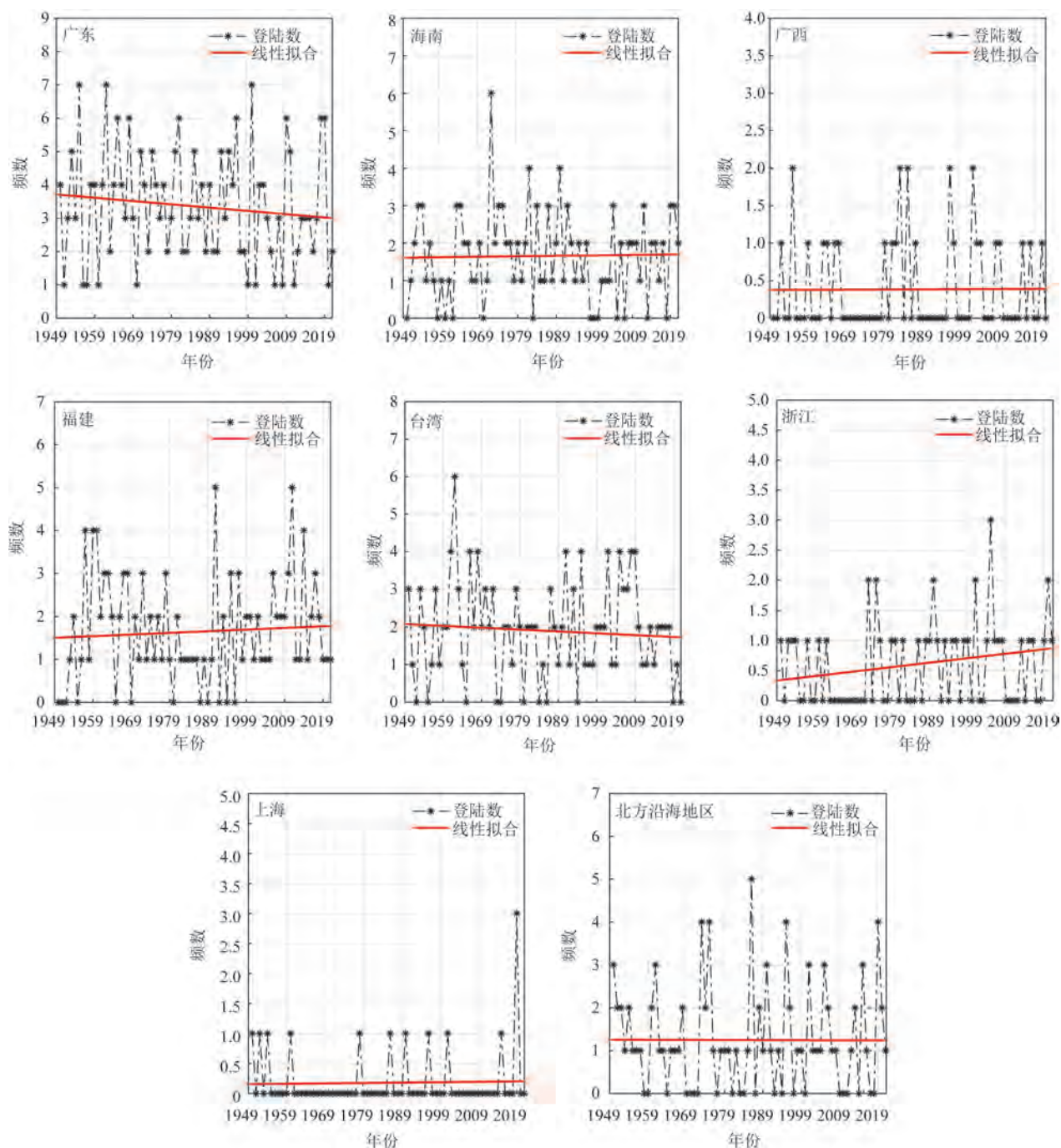


图 6 我国沿海地区登陆 TC 数量年际变化

Fig.6 Interannual variations of landing TC numbers in coastal areas of China

区,减少了0.34个;海南、广西、上海、北方沿海地区的年登陆TC数量无明显变化;浙江、福建的TC年登陆数量呈上升趋势,73年间分别增加了0.53、0.27个。

## 2.2.2 沿海地区登陆TC月份分析

图7是我国各沿海地区登陆TC的月份分布情

况。广东和海南TC登陆月份开始的最早,4月就有TC登陆,广东和台湾TC登陆月份结束的最晚,12月还有TC登陆,由此可见广东是我国台风季节最长的地区,海南、台湾次之。福建的登陆TC为6—10月;浙江5月和7—10月有TC登陆,但是5月仅有一个,可以认为其台风季为7—10月;上海市的台风

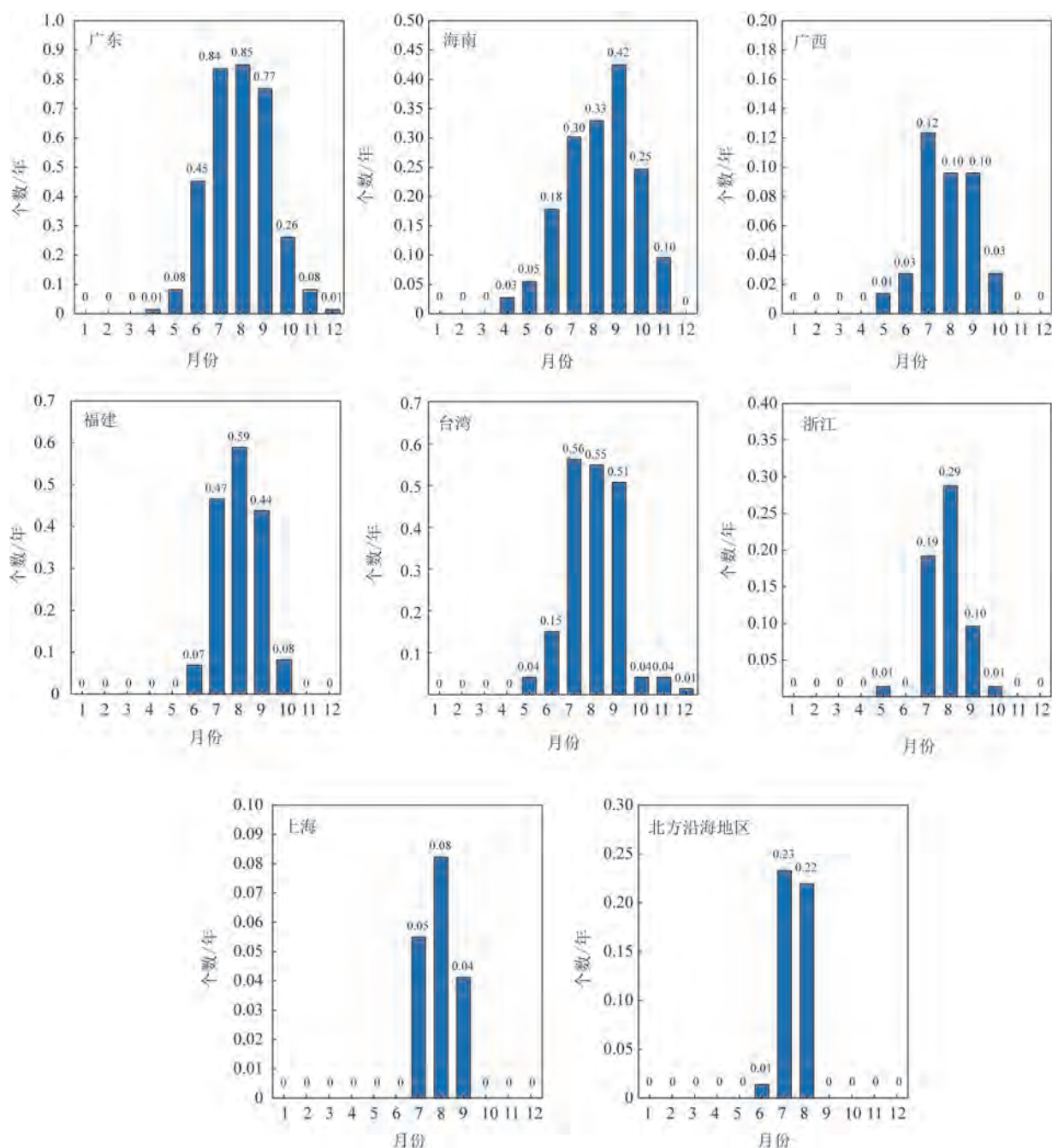


图7 沿海地区登陆TC月份分布

Fig.7 Monthly distribution of landing TC in coastal areas of China



季为7—9月;北方沿海地区的台风出现在6—8月,但是6月只有1个TC登陆,可以认为其台风季为7—8月。综上所述,越靠近北方的地区台风季越短,较南方地区开始的晚,结束的早,中国大陆台风季的时间长短基本从广东—北方地区逐渐减少,开始的时间越靠后,结束的时间越靠前。所有地区登陆TC

都主要集中在7—9月,与表2的结论一致。

### 2.2.3 沿海地区登陆TC强度分析

我国沿海各地区登陆TC强度的分布情况见图8。广东地区的登陆TC各个强度等级都有,主要集中在STS、TS、TY,占总数的76.73%,登陆的SuperTY只有一个,为2014年的台风“威马逊”,以

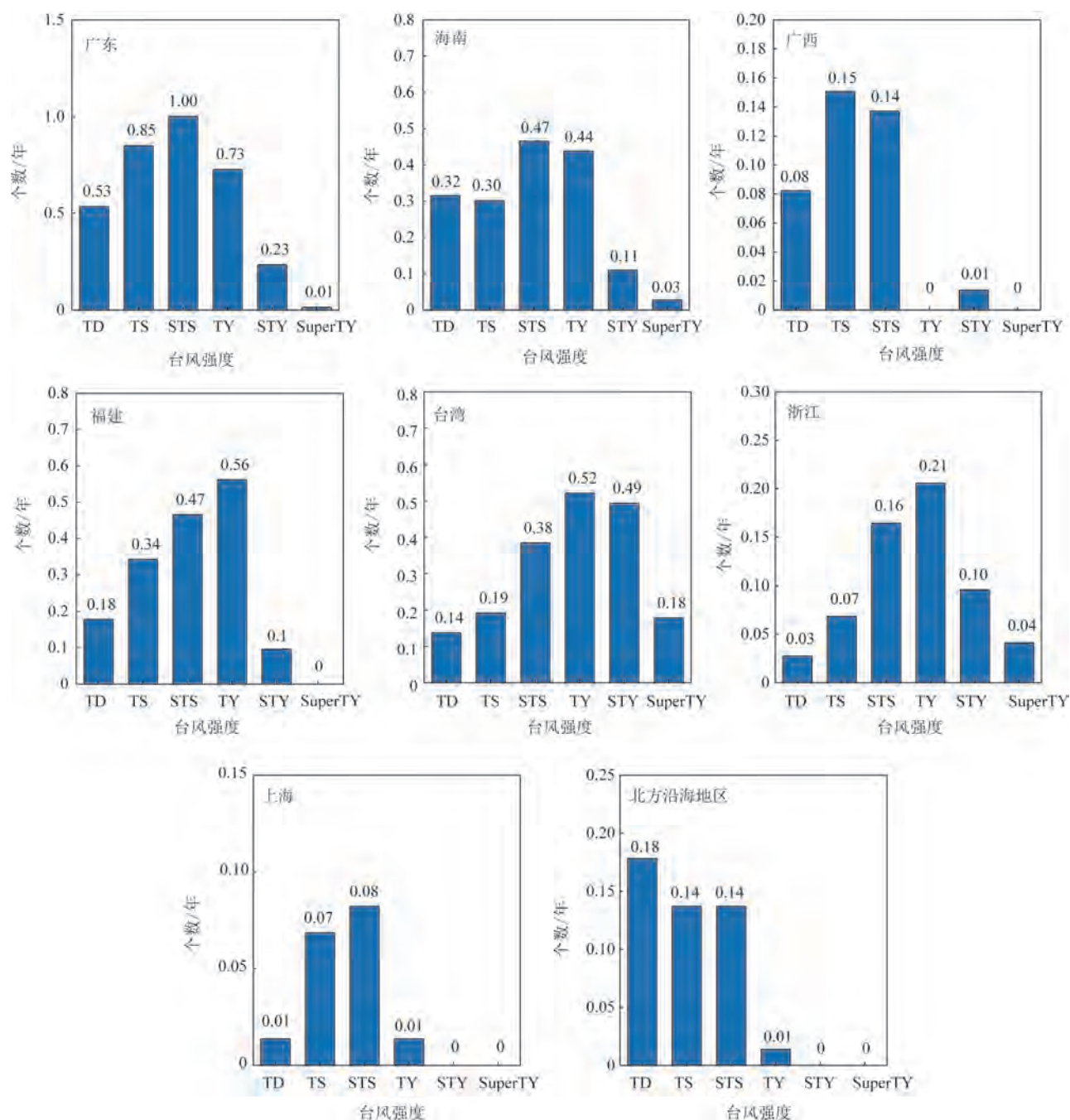


图8 沿海地区登陆TC强度分布

Fig.8 Distribution of landing TC intensity in coastal areas of China

SuperTY在广东徐闻登陆。海南地区的登陆TC同样是各个强度等级都有,主要集中在STS、TY、TD。广西地区的登陆TC强度整体偏低,主要集中在TS、STS、TD,这是由广西所处的位置决定的,登陆TC大多先登陆广东、海南,在广西为二次甚至三次登陆,因此强度偏低,只有一次TY、STY级别的登陆,也属于三次登陆,分别为1973年STY“Gilda”、2014年SuperTY“威马逊”。福建地区TY强度的登陆TC数量最多,其次是STS、TS、TD,无SuperTY登陆,这主要是由于福建东面是台湾省,登陆福建的TC大多为二次登陆,第一登陆地点大都在台湾。台湾地区的登陆TC强度整体是最强的,主要集中于TY、STY、STS级别,SuperTY级别的登陆TC数量也比较多,为我国沿海地区SuperTY登陆数量最多的地区。浙江省的登陆TC数量虽然相对不多,但是强度比较强,TY级别的登陆数量最多,其次为STS、STY。登陆上海的TC强度主要集中在STS、TS级别,只有一次TY级别的登陆,为1949年第6号STY“Gloria”,先后登陆浙江舟山、上海、山东乳山,上海无STY、SuperTY登陆。江苏、山东、河北、辽宁这几个北方地区登陆TC的强度等级最低,TD数量最多,其次是TS、STS,只有一次TY级别的登陆,为2012年的TY“达维”,在江苏连云港以TY级别登陆,北方地区无STY、SuperTY登陆。

### 3 结论

本文利用1949—2021年CMA最佳TC路径数据,以近岸加密TC路径曲线与我国海岸线是否交汇判断TC是否登陆,筛选出登陆我国的TC,交汇点作为TC登陆地点,以73年的TC登陆数据分析研究登陆我国TC数量、强度、时间的变化规律,并具体统计分析沿海各地区登陆TC的变化规律。结论如下:

①1949—2021年登陆我国的TC数量略有减小的趋势,年平均为7.7个,有明显的高峰期、低谷期,20世纪60年代后期—70年代初是一个高峰期,80年代后期—90年代初是另一个高峰期,90年代后期处于一个低谷期,进入21世纪后,前10年的后期也是一个小高峰期,2018年后处于一个较低的水平。

②TC登陆时的强度主要集中于STS、TY,占比

53.1%,登陆月份主要集中于7—9月,占比76.8%。

③1949—2021年登陆我国的低强度TC数量有减小趋势,而高强度TC数量有增大趋势,说明登陆的高强度TC可能将会越来越多,这和登陆TC生命史中的高强度、低强度TC的变化趋势正好相反,这说明TC在近岸登陆前减弱的趋势越来越弱,这可能和全球变暖、热带扩展以及近岸海表面温度升高有关。

④1949—2021年TC在我国的登陆位置变化趋势不是很明显,在纬向上有轻微的降低,73年间平均南移了 $0.4^{\circ}$ ,经向上几乎没什么变化,73年间平均西移了 $0.04^{\circ}$ ,这和前人的相关结论不一致,可能是由于所用数据源、时间跨度选取不一致以及TC选取规则不同造成的,针对这个问题今后可做进一步的研究。

⑤分析我国沿海各地区TC登陆频次,广东地区最高,平均每年有3.4次,其余较高的地区还有台湾、海南、福建,每年的TC登陆频次平均为1.9、1.7、1.6,我国沿海各地区登陆TC频次大体上从南到北逐渐减少。

⑥从长期趋势来看,广东、台湾地区年登陆TC频数总体呈现减小的趋势,73年间分别减少了0.69、0.34个,浙江、福建地区则呈现上升趋势,73年间分别增加了0.53、0.27个,其余地区无明显变化趋势。

⑦在我国沿海各地区的登陆TC中,台湾地区高强度TC占比最多,其次为浙江、福建、广东、海南地区,其余地区都主要集中于低强度TC;中国大陆的台风季时间长短基本从广东—北方地区逐渐减少,开始的时间越靠后,结束的时间越靠前,所有地区登陆TC都主要集中于7—9月,这3个月是我国最主要的台风季。

在全球变暖的大背景下,近年来登陆我国的TC也呈现出了新的特征,比如登陆TC数量变少、强度增加等。本文仅从统计学的角度分析了登陆我国TC的数量、强度、位置等的特征和变化趋势,并详细分析了沿海各地区登陆TC的频次、时间、强度的特征和趋势,以期防灾减灾、抗御台风灾害提供一些参考依据。本文并未涉及TC的形成及变化机理等内容研究,在今后进一步的研究中可结合环境因子、物理因素等变量,针对TC登陆位置的空间分布、变化趋势,尤其是和前人不一致的结论进行深



入地分析讨论。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19201—2006 热带气旋等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19201-2006 Grade of tropical cyclones[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [2] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- CHEN L S, DING Y H. Introduction to typhoons in the western Pacific[M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [3] 张春艳, 刘昭华, 王晓利, 等. 20 世纪 50 年代以来登陆中国热带气旋的变化特征分析[J]. 海洋科学, 2020, 44(2): 10-21.
- ZHANG C Y, LIU Z H, WANG X L, et al. Variations of landfalling tropical cyclones in China since the 1950s[J]. Marine Sciences, 2020, 44(2): 10-21.
- [4] 宿海良, 袁雷武, 王猛, 等. 1949—2019 年登陆中国的热带气旋特征及致灾分析[J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(3): 382-387.
- SU H L, YUAN L W, WANG M, et al. Characteristics and disaster analysis of tropical cyclones landing in China in 1949—2019[J]. Journal of Applied Oceanography, 2021, 40(3): 382-387.
- [5] 顾成林, 康建成, 闫国东, 等. 1951—2015 年登陆中国热带气旋的时空变化特征及与 ENSO 的关系[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 129-134.
- GU C L, KANG J C, YAN G D, et al. Spatial and temporal variations of tropical cyclones landing on China in 1951—2015 and their relationship with ENSO[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 129-134.
- [6] 张金善, 殷成团, 张然, 等. 中国沿海登陆热带气旋活动特征分析[J]. 水科学进展, 2018, 29(6): 759-767.
- ZHANG J S, YIN C T, ZHANG R, et al. Analysis on characteristics of Chinese coastal landfall tropical cyclone activities [J]. Advances in Water Science, 2018, 29(6): 759-767.
- [7] MEI W, XIE S P. Intensification of landfalling typhoons over the northwest Pacific since the late 1970s[J]. Nature Geoscience, 2016, 9(10): 753-757.
- [8] PARK D S R, HO C H, KIM J H. Growing threat of intense tropical cyclones to East Asia over the period 1977—2010[J]. Environmental Research Letters, 2014, 9(1): 014008.
- [9] CHEN T, CHEN S M, ZHOU M S, et al. Northward shift in landfall locations of tropical cyclones over the western North Pacific during the Last Four Decades[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2022, 39(2): 304-319.
- [10] 丛春华, 吴炜, 孙莎莎. 1949—2012 年影响山东地区热带气旋的特征[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(5): 67-73.
- CONG C H, WU W, SUN S S. Characteristics of tropical cyclones influencing Shandong province from 1949 to 2012[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2016, 32(5): 67-73.
- [11] 梁海萍, 梁海燕, 车志伟, 等. 近五十年登陆海南省的热带气旋统计特征分析[J]. 海洋预报, 2015, 32(4): 68-74.
- LIANG H P, LIANG H Y, CHE Z W, et al. A statistical analysis of landfall tropical cyclone in fifty years in Hainan province[J]. Marine Forecasts, 2015, 32(4): 68-74.
- [12] 马艳, 郭丽娜, 郝燕. 1949—2020 年影响青岛的热带气旋气候特征[J]. 海洋科学, 2022, 46(1): 44-55.
- MA Y, GUO L N, HAO Y. Climate characteristics of tropical cyclones affecting Qingdao during 1949—2020[J]. Marine Sciences, 2022, 46(1): 44-55.
- [13] 尹宜舟. 1961—2018 年影响深圳市的台风特征分析[J]. 气象科技进展, 2022, 12(1): 50-54.
- YIN Y Z. Analysis on the characteristics of typhoon affecting Shenzhen city from 1961 to 2018[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2022, 12(1): 50-54.
- [14] YING M, ZHANG W, YU H, et al. An overview of the China Meteorological Administration tropical cyclone database[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2014, 31(2): 287-301.
- [15] LU X Q, YU H, YING M, et al. Western North Pacific tropical cyclone database created by the China meteorological administration[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2021, 38(4): 690-699.
- [16] KOSSIN J P, EMANUEL K A, VECCHI G A. The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity [J]. Nature, 2014, 509(7500): 349-352.
- [17] 苏勤, 郑崇伟, 杨艳, 等. 近百年来西北太平洋 SST 长期变化趋势研究[J]. 海洋预报, 2014, 31(2): 50-55.
- SU Q, ZHENG C W, YANG Y, et al. Long-term trend analysis of SST for past hundred years in the Northwest Pacific Ocean[J]. Marine Forecasts, 2014, 31(2): 50-55.

## A study on the characteristics of tropical cyclones landing in China from 1949 to 2021

MENG Fanchang<sup>1,2</sup>, LI Benxia<sup>1,2,3\*</sup>, WANG Juanjuan<sup>1,2</sup>

(1. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Marine Hazards Forecasting, National Marine Environmental Forecasting Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China; 3. College of Oceanography, Hohai University, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** Based on the best tropical cyclone track data from the China Meteorological Administration from 1949 to 2021, tropical cyclones that landed in China are selected according to the rules in this article. The characteristics and variations of the number, intensity, and time of tropical cyclones landing in China are analyzed and studied with specific focus on the variations of tropical cyclones landing in different coastal areas. The results show that from 1949 to 2021, the number of tropical cyclones landing in China shows a slight decreasing trend with obvious peaks and troughs, which maintains at a low level after 2018. The intensity of tropical cyclones at landing time concentrates on strong tropical storms and typhoons, and the landing months mainly limits in July-September. There is a decreasing/increasing trend in the number of low-intensity/high-intensity landing tropical cyclones, indicating that global warming and tropical expansion may lead to more and more high-intensity landing tropical cyclones in China. The locations of tropical cyclones landing in China show a slight southward movement without significant change in longitude, which is inconsistent with previous researches partly due to different data sources and time spans. The provinces with highest number of landing tropical cyclone are Guangdong, followed by Taiwan, Hainan, and Fujian. Taiwan has the highest proportion of high-intensity landing tropical cyclones, followed by Zhejiang, Fujian, Guangdong, and Hainan. The annual numbers of tropical cyclone landing in Guangdong and Taiwan show a decreasing trend, while those in Zhejiang and Fujian show an increasing trend.

**Key words:** tropical cyclone; historical variation law; landing location; coastal area