

# 登陆我国大陆热带气旋的纬度分布特征\*

张翰<sup>1)2)</sup> 管玉平<sup>1)†</sup>

1) (中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境国家重点实验室, 广州 510301)

2) (中国科学院研究生院, 北京 100049)

(2011年10月17日收到; 2012年2月15日收到修改稿)

登陆点位置是热带气旋研究的重要课题. 为消除因资料单一产生的误差, 本文采用1951—2010年中国、美国、日本三套热带气旋最佳路径资料, 分析了登陆我国大陆热带气旋频数的年际变化规律, 并研究了登陆纬度的分布和变化特征. 本文以总结三套资料一致反映的现象为主, 得到以下一些有意义的结果: 从总体上看, 中国资料集内的登陆频数比其他两套资料平均每年约多1个. 1970年后三套资料的登陆频数基本保持不变, 登陆纬度有较一致的北移, 而1970年前两者在三套资料内的变化不太一致. 从单位纬度登陆频数上看, 登陆数绝大部分集中在北纬 $30^\circ$ 以下, 且总体上随纬度增加而减少, 其中北纬 $21^\circ$ — $23^\circ$ 登陆数偏多, 北纬 $20^\circ$ — $21^\circ$ 和北纬 $23^\circ$ — $24^\circ$ 登陆数偏少.

**关键词:** 热带气旋, 登陆纬度, 年际变化, 路径分析

**PACS:** 92.60.Qx, 92.60.Ry

## 1 引言

我国是世界上登陆热带气旋最多的国家之一<sup>[1]</sup>. 热带气旋的登陆往往会造成沿岸巨大的经济损失, 因此研究登陆我国热带气旋的规律有重大的现实意义, 其中登陆位置是决策者和老百姓都很关心的问题, 更是很多研究者所共同关注的研究课题.

本文并不研究登陆热带气旋的个例, 而着重探讨较长时间序列里登陆我国热带气旋空间分布的总体状况. 这方面以往有一定研究, 我们从总体分布和变化趋势两方面叙述: 总体分布上看, 热带气旋在东南沿海附近登陆频次最高, 在此以北急剧下降<sup>[2]</sup>, 广东是登陆频次最多的地区<sup>[3-4]</sup>, 其登陆特征是西多东少<sup>[4]</sup>, 热带气旋活动在广东地区强(弱)时, 在福建地区弱(强)<sup>[5]</sup>. 在登陆中国大陆以及中国台湾和海南的热带气旋中, 登陆大陆的最多, 海南次之, 台湾最少<sup>[6]</sup>. 登陆我国大陆首个热带气旋(初旋)的登陆频数、日期、位置和南海夏季风有较好的相关<sup>[7]</sup>. 从变化趋势上看, 1945—2004年登陆我

国热带气旋的频数无明显趋势<sup>[8]</sup>, 1979—2006年登陆点有向东北方向偏移的趋势, 使得登陆厦门以北(南)的频数增加(减少)<sup>[9]</sup>, 1949—2006年登陆我国华南的热带气旋显著减少<sup>[10]</sup>. 热带低压、强台风登陆点振荡幅度较大, 而20世纪80年代以后各强度热带气旋登陆点的振幅有不同程度的加大趋势<sup>[11]</sup>; 1949—2006年登陆我国热带气旋的生成源地有一定北移, 但近年来明显南移, 逐年登陆点的最高纬度在20世纪70年代中期之后有南移现象<sup>[12]</sup>. 然而, 当前对于登陆热带气旋空间分布规律的研究大多只定性给出某几个区域或某些省份的分布状况<sup>[2-12]</sup>, 所取的空间尺度较大, 导致分辨率太低, 不利于分析出更精细的结果. 而且当前还未见到有专门针对登陆我国热带气旋的登陆纬度的研究. 因而本文考虑从登陆纬度入手, 希望使分析更定量化和细致. 需要说明的是, 由于登陆岛屿的热带气旋在同一纬度的登陆点并不惟一(有东西两侧的可能), 又考虑登陆我国大陆和海岛的热带气旋有不同特征<sup>[6]</sup>, 因而本文只取登陆我国大陆的热带气旋作为研究对象.

\* 国家重点基础研究发展计划(批准号: 2010CB950401)和JIFRESSE/UCLA, USA资助的课题.

† E-mail: guan@scsio.ac.cn

在总结不同研究者的研究结果时需要注意两方面的内容:一是选用资料集的不同,如文献[2—12]中,文献[3,4,6,10—12]采用我国整编的《台风年鉴》资料(1989年起更名为《热带气旋年鉴》),而文献[2,5,7—9]用的是美国台风联合预警中心的资料,根据相关研究<sup>[13—19]</sup>显示,不同的资料集在热带气旋的频数、位置、强度方面均有一定的差异,特别是中美两套资料之间;另一方面是各资料集自身观测技术与手段的变化,比如世界上第一颗气象卫星在1960年发射升空,卫星资料在1970年左右开始被广泛应用到热带气旋资料处理中,Dvorak技术<sup>[20,21]</sup>在1972年发明并迅速投入应用,1988年开始美国终止飞机探测,同年中国有了第一颗气象卫星.此外,各中心采用的卫星观测技术随着科技的进步逐渐不同<sup>[17,22]</sup>.这些都将对资料集的结果造成一定影响<sup>[16—19,22]</sup>.但是以往对登陆点空间分布的研究所取的资料大多较单一<sup>[2—12]</sup>,且较少考虑技术改变所造成的影响.

综上所述,我们取中国、美国、日本三套热带气旋最佳路径资料,分析登陆我国大陆热带气旋频数的年际变化规律,并研究了登陆纬度的分布和年际变化特征.本文注意考虑技术变化带来的影响,主要总结了三套资料所一致反映的规律,以期加深我们对热带气旋登陆规律的认识.

## 2 资料及方法

本文选取的西北太平洋热带气旋资料来自三处:(1)中国台风网(<http://www.typhoon.gov.cn>)的热带气旋最佳路径数据集(以下简称CMA资料);(2)美国台风联合预警中心(<http://weather.unisys.com>)的最佳路径数据集(以下简称JTWC资料);(3)日本气象厅(<http://www.jma.go.jp>)的最佳路径数据集(以下简称RSMC资料).CMA, JTWC, RSMC资料(以下简称三套资料)的起止时间分别为1949—2010年,1945—2010年,1951—2010年.为更好地互相对比,本文统一采用三套资料中1951—2010年部分作为研究对象.

对于影响中国的热带气旋来说,CMA资料具有明显优势<sup>[16,19]</sup>,因此本文的分析以CMA资料为主,其他两套资料为辅.CMA资料中1949—1971年的资料是1970—1973年整编的,而1972年开始每年的热带气旋被有规律地整理到《热带气旋年

鉴》中<sup>[16,19]</sup>.CMA资料整编时主要遵循以下三个原则<sup>[16,19]</sup>:(1)优先原则,对于同一热带气旋,在综合各种历史档案资料时,优先考虑飞机探测报告;(2)合并原则,充分应用各种历史档案资料,所有资料中出现过的热带气旋均整编入内;(3)中国近海原则,对于中国近海或者登陆的热带气旋,重点考虑沿海地区和岛屿台站的观测资料.

本文中热带气旋的登陆点取热带气旋路径与大陆海岸线的交点.若同一热带气旋连续两次以上登陆大陆则只取第一次登陆点.

## 3 登陆特征

### 3.1 登陆频数

1951—2010年西北太平洋上热带气旋的生成数在三套资料(顺序依次为CMA, JTWC, RSMC,下同)中分别为2040, 1770, 1573,登陆我国大陆的热带气旋频数分别为396, 314, 330,分别占19.4%, 17.7%, 21.0%,年平均6.6, 5.2, 5.5个.图1中亦可见CMA的登陆频数几乎始终比其他两个资料集高一些,特别是20世纪50—60年代,这应该与CMA资料整编时遵循的合并原则有关<sup>[16,19]</sup>.两两资料集之间(依次为CMA与JTWC, CMA与RSMC, JTWC与RSMC之间,下同)登陆频数的相关系数分别为0.725\*\*, 0.735\*\*, 0.755\*\*(\*\*和\*依次表示通过0.01和0.05显著性检验,下同),因此三套资料中登陆频数的变化趋势基本一致,这其中1961, 1973和1993年前后有三个峰值.总体趋势上(图中未画出),1951—2010年CMA的登陆频数减少约1.5个,而JTWC增加约1.6个,RSMC几乎不变.

1970年左右卫星开始广泛应用,著名的Dvorak技术在1972年发明<sup>[20,21]</sup>.有研究显示20世纪50—60年代CMA资料中热带气旋的频次可能被高估<sup>[17]</sup>.而本文研究显示,1970年前,两两资料集间的相关系数分别为0.678\*\*, 0.678\*\*, 0.765\*\*,之后为0.840\*\*, 0.799\*\*, 0.769\*\*,因此1970年后一致性更高,特别是CMA和其他两套资料之间.综上所述,我们以1970年为界,研究之前和之后登陆频数的趋势(图1趋势线).结果表明,1970年前,CMA登陆频数减少约1.8个, JTWC增加约1.2个, RSMC增加约1.4个;而1970年后,三套资料的登陆频数变化不大,CMA减少约0.2个, JTWC增加约0.3个, RSMC几乎不变.

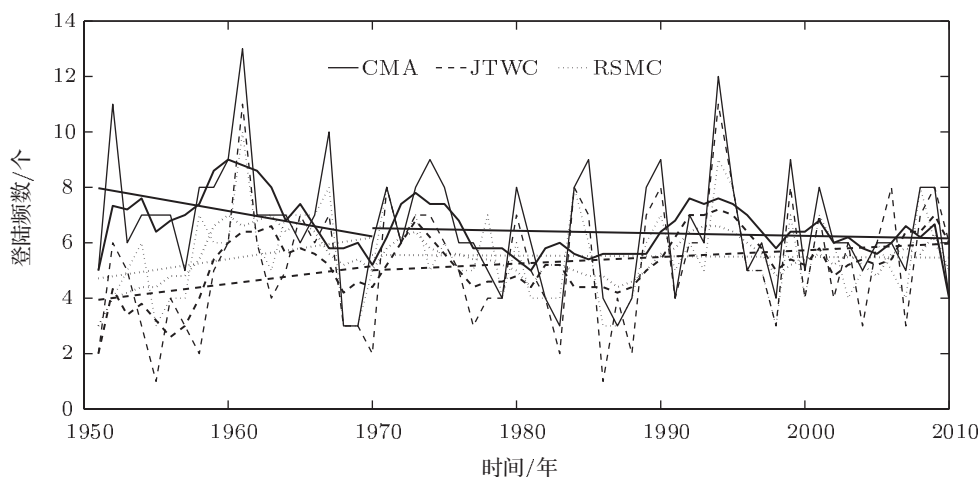


图1 1951—2010年CMA(实线)、JTWC(虚线)、RSMC(点线)资料中登陆我国大陆热带气旋频数的年际变化及1970年前后的趋势,其中粗线为5年平滑的结果,趋势线为离散点的线性拟合(最小二乘法),故1970年处不连续

### 3.2 登陆纬度

图2为登陆我国大陆热带气旋年平均登陆纬度的年际变化趋势。1951—2010年两两资料集之间登陆纬度的相关系数为0.665\*\*, 0.820\*\*, 0.617\*\*, 因此三套资料的变化规律也相对一致,特别是CMA和RSMC之间。1973和1989年左右为登陆纬度较明显的峰值;总体趋势上(图中未画出),1951—2010年CMA登陆纬度北移约 $0.5^\circ$ , JTWC北移约 $0.8^\circ$ , RSMC略南移 $0.2^\circ$ 。

登陆纬度同样需考虑1970年左右卫星的广泛应用和1972年Dvorak技术的发明,并且有研究显示20世纪50—60年代CMA和JTWC资料间的定位差较大<sup>[16,19]</sup>。同时,本文研究表明,1970

年前后年平均登陆纬度在两两资料集间的相关系数分别为0.441, 0.828\*\*, 0.244和0.752\*\*, 0.836\*\*, 0.805\*\*, 表明1970年前登陆纬度不一致,1970后才有较好的一致性,图2对此亦有很好的反映。综上所述,同样以1970年为界,分析其前后年平均登陆纬度的趋势,结果显示1970年前CMA年平均登陆纬度北移约 $0.2^\circ$ , JTWC北移约 $0.5^\circ$ , RSMC南移约 $1.4^\circ$ ;而1970年后三套资料的年平均登陆纬度有较一致的北移趋势,CMA北移约 $0.3^\circ$ , JTWC北移约 $0.7^\circ$ , RSMC北移约 $0.8^\circ$ ,1970年后的变化与文献[9, 10]的结果一致。有研究指出在1988年飞机观测终止后三套资料之间的定位差变大<sup>[16,19]</sup>,但这在登陆纬度上似乎反映得不明显(分析略)。

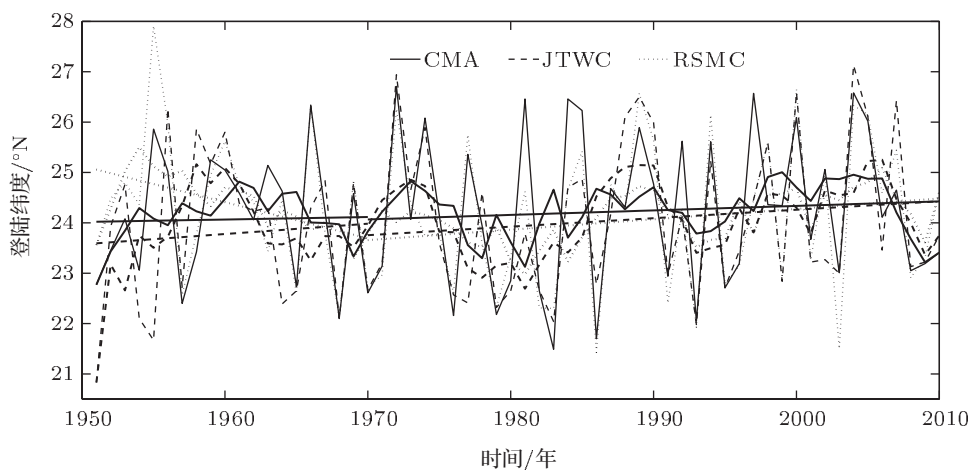


图2 1951—2010年CMA(实线)、JTWC(虚线)、RSMC(点线)资料中登陆我国大陆热带气旋频数的年际变化及1970年前后的趋势,其中粗线为5年平滑的结果

### 4 单位纬度登陆频数

为进一步探讨登陆我国大陆热带气旋的纬度分布特征,我们统计了北纬 20°—40° 单位纬度海岸线内的登陆频数. 由图 3 可见,登陆频数绝大部分集中在北纬 30° 以南,分别占三套资料的 93.7%, 96.5%, 94.5%. 三套资料的变化规律基本一致:登

陆频数总体上随纬度增加而减少,其中北纬 21°—23° 登陆数偏多,分别占三套资料的 45.3%, 46.5%, 45.5%, 接近 50%, 而北纬 20°—21° 和北纬 23°—24° 登陆数相对其两侧偏少. 下面通过路径图分析这三个异常区间.

如图 4(a) 所示,北纬 20°—21° 对应的是雷州半岛,其横跨经度较小,南面又有海南岛阻挡,导致热带气旋大多避开岛屿主要部分,沿海南岛东北角

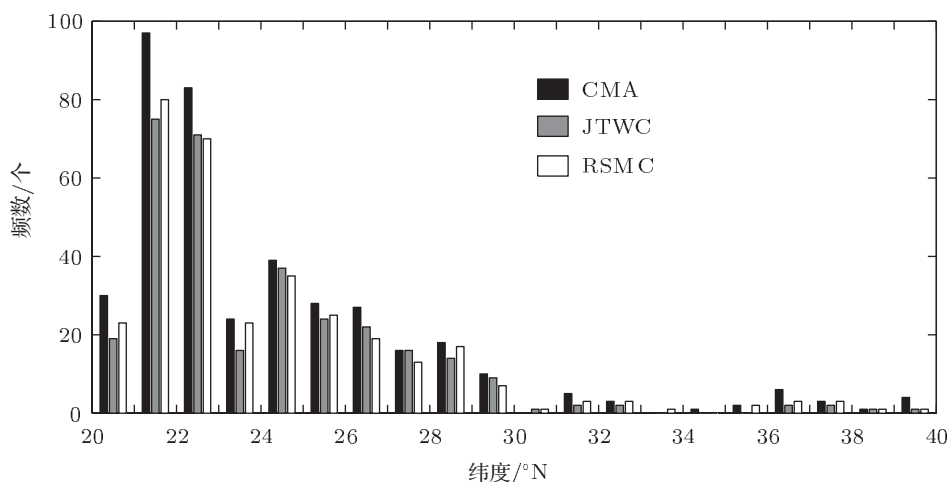


图 3 1951—2010 年 CMA, JTWC, RSMC 资料中单位纬度内登陆我国大陆热带气旋频数

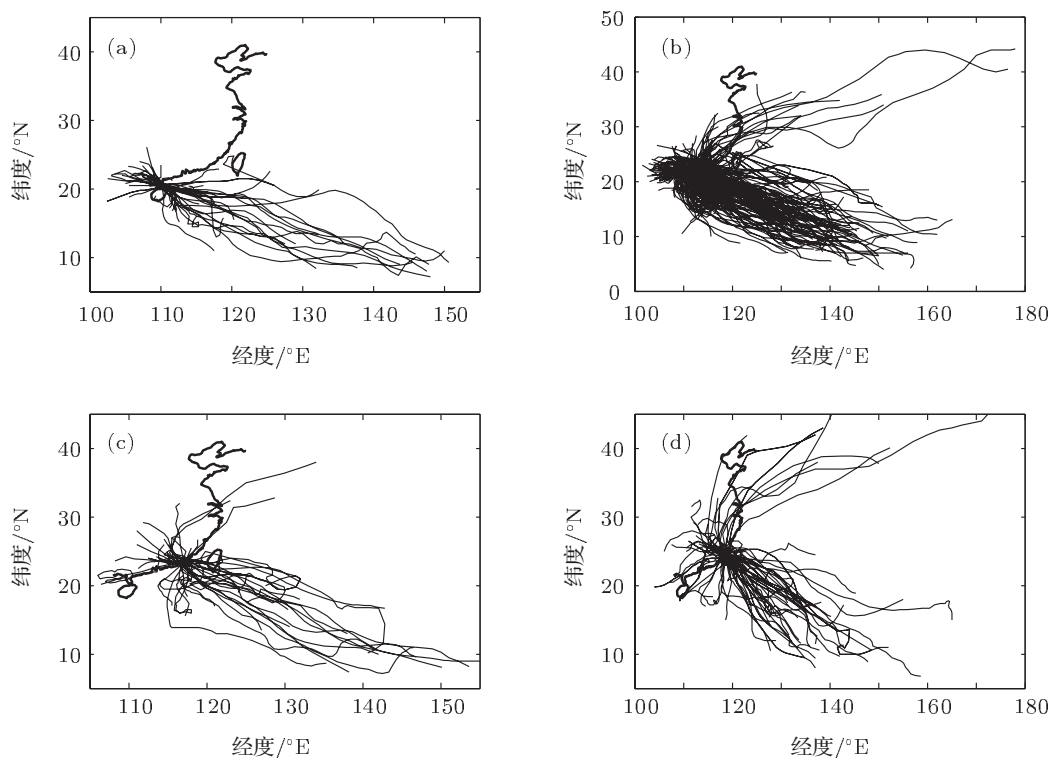


图 4 1951—2010 年 CMA 资料中登陆给定纬度区间热带气旋的路径 (a) 北纬 20°—21°; (b) 北纬 21°—23°; (c) 北纬 23°—24°; (d) 北纬 24°—25°

及其外侧洋面登陆,这可能是登陆数偏少的原因.如图 4(b)所示,北纬  $21^{\circ}$ — $23^{\circ}$  登陆频数特别多,该段对应广东绝大部分海岸线(除雷州半岛和广东东部的一小段),地理位置靠南,并且与其两侧相比较少受岛屿影响,可能是其登陆数较多的原因.有意思的是北纬  $23^{\circ}$ — $24^{\circ}$  一段,如图 4(c)所示,该区间对应广东东部至福建南部(汕头以北至厦门以南)海岸线,与台湾岛南部同纬度.从热带气旋路径上看,它的形成可能主要源自台湾岛的阻挡作用.但如图 4(d)所示,比它仅高一个纬度的北纬  $24^{\circ}$ — $25^{\circ}$  同样与台湾岛同纬度(对应台湾岛北部),登陆数却较多,且大部分为穿越台湾岛而登陆.总之,北纬  $23^{\circ}$ — $24^{\circ}$  可能是天然的热带气旋“避风港”,其登陆数异常偏少的原因值得进一步研究.

## 5 讨论

资料方面,1970 年左右似乎是这三套最佳路径资料间差异的分水岭,在此之后三套资料所得的登陆我国大陆热带气旋频数和登陆纬度的结果较一致,这可能得益于 1970 年左右卫星的广泛应用和 Dvorak 技术的发明.而 1988 年飞机探测终止似乎并未增加三套资料在登陆我国大陆热带气旋频数和登陆点方面的差异(见图 1 和图 2).而 CMA 资料中登陆频数在各年份(特别是 20 世纪 50—60 年代)、各单位纬度内偏高的特征可能源自 CMA 资料整编时所考虑的合并原则.

结果方面,1970 年后三套资料中登陆数不变、年平均登陆纬度较一致北移的趋势是否有意义?这不得不考虑以下问题:假设观测手段完美,取多长时间序列才能有效反映研究对象的变化特征?相同的考察对象,选不同的时间长度通常得出不同的变化趋势,即使我们已取了相当长的时间序列,它的变化趋势也可能只是更长周期变化中的一部分,正如已有的关于热带气旋强度是否显著增强的讨论一样<sup>[23-26]</sup>,我们总是不能得出十分确定的结论.尽管如此,这些趋势仍然表明了考察对象在有限的时间序列内的变化规律,我们依然可以探究这些现象的原因及可能的影响,并依此对未来做出一定的预测.如登陆我国大陆热带气旋登陆纬度北移的趋势可能或多或少与全球变暖有关,它势必影响我国的降水分布,并对热带气旋预测预报起一定的指导作用.

台湾岛和海南岛似乎对登陆我国大陆特别是登陆点较靠南(北纬  $20^{\circ}$ — $25^{\circ}$ )的热带气旋路径有较大影响,其具体作用规律值得进一步探讨.而北纬  $23^{\circ}$ — $24^{\circ}$  登陆数异常偏少的现象特别有意思,除海岛作用外,可能还需从大气环流等多角度分析其异常形成的原因.此外,强热带气旋如台风的规律,登陆我国大陆热带气旋在强度、持续时间、路径长度上的变化,登陆我国台湾和海南两岛热带气旋的规律等都值得进一步研究探讨.

## 6 结论

本文采用 1951—2010 年 CMA 资料、JTWC 资料和 RSMC 资料,分析了登陆我国大陆热带气旋频数的年际变化规律,并研究了登陆纬度的年际变化以及单位纬度内登陆数的分布特征,以总结三套资料所一致反映的规律为主,得出一些有意义的结论.

年登陆频数方面,CMA 资料比其他两套资料平均每年大约多 1 个.不过三套资料登陆频数的变化基本一致,分别在 1961 年、1973 年、1993 年前后有三个峰值.从变化趋势上看,CMA 年均登陆数减少约 1.5 个, JTWC 增加约 1.6 个, RSMC 几乎不变.1970 年前三套资料的登陆频数一致性较低些,变化趋势也不同,而 1970 年后三套资料的登陆数一致性更高些,这个时期的变化趋势是登陆数相对一致保持不变.

年平均登陆纬度方面,三套资料的变化相对一致,1973 年、1989 年为比较明显的峰值.从变化趋势上看,CMA 的登陆纬度北移约  $0.5^{\circ}$ , JTWC 的北移约  $0.8^{\circ}$ , RSMC 的略南移  $0.2^{\circ}$ .1970 年前三套资料的登陆纬度一致性不高,变化趋势也不同,而 1970 年后三套资料集登陆纬度的一致性明显增加,这个时期年平均登陆纬度有较一致的北移( $0.3^{\circ}$ — $0.8^{\circ}$ ).

本文进一步研究了北纬  $20^{\circ}$ — $40^{\circ}$  单位纬度海岸线内的登陆频数.结果表明,三套资料的变化规律基本一致:登陆频数绝大部分集中在北纬  $30^{\circ}$  以下,登陆数随纬度增加而减少,北纬  $21^{\circ}$ — $23^{\circ}$  的登陆数相对偏多,而北纬  $20^{\circ}$ — $21^{\circ}$  和北纬  $23^{\circ}$ — $24^{\circ}$  的登陆数相对其两侧偏少,北纬  $23^{\circ}$ — $24^{\circ}$  可能是天然的热带气旋“避风港”.这三个异常区段形成的原因可能与海南和台湾两岛的阻挡作用有关.

- [1] Chen L S, Ding Y H 1979 *An Introduction to the West Pacific Typhoons* (Beijing: Science Press) p22 (in Chinese) [陈联寿, 丁一汇 1979 西太平洋台风概论 (北京: 科学出版社) 第 22 页]
- [2] Wang J B, Qian W H 2005 *Chin. J. Geophys.* **48** 992 (in Chinese) [王金博, 钱维宏 2005 地球物理学报 **48** 992]
- [3] Li Y, Chen L S, Zhang S J 2004 *J. Tropic. Meteorol.* **20** 14 (in Chinese) [李英, 陈联寿, 张胜军 2004 热带气象学报 **20** 14]
- [4] He H Y, Jian M Q, Song L L, Wei Q 2003 *Sci. Meteorol. Sin.* **23** 401 (in Chinese) [贺海晏, 简茂球, 宋丽莉, 魏青 2003 气象科学 **23** 401]
- [5] Fogarty E A, Elsner J B, Jagger T H, Liu K B, Louie K S 2006 *Adv. Atmos. Sci.* **23** 665
- [6] Ren F M, Wang X L, Chen L S, Wang Y M 2008 *Acta Meteorol. Sin.* **66** 224 (in Chinese) [任福民, 王小玲, 陈联寿, 王咏梅 2008 气象学报 **66** 224]
- [7] Zhang H, Guan Y P 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 129201 (in Chinese) [张翰, 管玉平 2012 物理学报 **61** 129201]
- [8] Chan J C L, Xu M 2009 *Int. J. Climatol.* **29** 1285
- [9] Wang L, Chen G H, Huang R H 2009 *J. Nanjing Institute Meteorol.* **32** 182 (in Chinese) [王磊, 陈光华, 黄荣辉 2009 南京气象学院学报 **32** 182]
- [10] Hu Y M, Song L L, Liu A J 2008 *Atmosph. Sci. Res. Appl.* **1** 1 (in Chinese) [胡娅敏, 宋丽莉, 刘爱君 2008 大气科学研究与应用 **1** 1]
- [11] Xu X C, Yu Y B, Zhao D J 2009 *J. Tropic. Meteorol.* **2009** **25** 667 (in Chinese) [许向春, 于玉斌, 赵大军 2009 热带气象学报 **25** 667]
- [12] Liu Y, Lin L X, Huang Z, Cheng Z Q 2009 *Meteorol. Sci. Technol.* **37** 294 (in Chinese) [刘燕, 林良勋, 黄忠, 程正泉 2009 气象科技 **37** 294]
- [13] Yu H, Hu C M, Jiang L Y 2006 *Acta Meteorol. Sin.* **64** 357 (in Chinese) [余晖, 胡春梅, 蒋乐贻 2006 气象学报 **64** 357]
- [14] Zou Y, Zhao P 2009 *J. Tropic. Meteorol.* **25** 295 (in Chinese) [邹燕, 赵平 2009 热带气象学报 **25** 295]
- [15] Wu S A, Kong H J, Wu H 2009 *J. Tropic. Meteorol.* **25** 660 (in Chinese) [吴胜安, 孔海江, 吴慧 2009 热带气象学报 **25** 660]
- [16] Liang J, Ren F M, Yang X Q 2010 *Acta Ocean. Sin.* **32** 10 (in Chinese) [梁进, 任福民, 杨修群 2010 海洋学报 **32** 10]
- [17] Song J J 2010 *J. Geophys. Res.* **115** D12128
- [18] Yu J H, Sheng S W 2010 *Sci. Meteorol. Sin.* **30** 778 (in Chinese) [余锦华, 盛思伟 2010 气象科学 **30** 778]
- [19] Ren F M, Liang J, Wu G X, Dong W J, Yang X Q 2011 *J. Clim.* **24** 5887
- [20] Dvorak V F 1972 *NOAA Technical Memorandum NESS 36* (Washington, D.C.: U.S. Dept. of Commerce) p15
- [21] Dvorak V F 1975 *Mon. Wea. Rev.* **103** 420
- [22] Landsea C W 2006 *Science* **313** 452
- [23] Emanuel K 2005 *Nature* **436** 686
- [24] Landsea C W 2005 *Nature* **438** E11
- [25] Emanuel K 2005 *Nature* **438** E13
- [26] Chan J C L 2006 *Science* **311** 1713b

# Latitudinal distribution of landing tropical cyclones over mainland China\*

Zhang Han<sup>1)2)</sup> Guan Yu-Ping<sup>1)†</sup>

1) (*State Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China*)

2) (*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

(Received 17 October 2011; revised manuscript received 15 February 2012)

## Abstract

Landfall location is an important research topic in studies of tropical cyclones. For tropical cyclones that made landfall over mainland China during 1951–2010, in this work, we analyze the temporal variations in the annual landfall frequency. We first study the distribution and temporal variations in the landing latitude. To avoid the inaccuracy associated with using a single dataset, in this work we adopt three best track datasets from China, the USA, and Japan and summarize meaningful common phenomena in the three datasets: the annual landfall frequency of tropical cyclones over mainland China in the Chinese dataset is 1 more than in the other two datasets on average. Since 1970, the landfall frequency in the three datasets has shown little change, whereas the landfall latitude has shown a relatively consistent northward movement (prior to 1970, the three datasets showed different trends in frequency and latitude). The landfall frequency data, assigned to different latitude bins, show that the most tropical cyclones made landfall below  $30^{\circ}\text{N}$  and that landfall frequency decreased with latitude increasing. An anomalously large (small) number of tropical cyclones made landfall over the latitude zone of  $21^{\circ}\text{N}$ – $23^{\circ}\text{N}$  ( $23^{\circ}\text{N}$ – $24^{\circ}\text{N}$  and  $20^{\circ}\text{N}$ – $21^{\circ}\text{N}$ ).

**Keywords:** tropical cyclone, landing latitude, interannual variation, track analysis

**PACS:** 92.60.Qx, 92.60.Ry

---

\* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2010CB950401) and the JIFRESSE/UCLA, USA.

† E-mail: guan@scsio.ac.cn