

# 广东近海台风路径异常的统计特征\*

毛绍荣 张东 梁健 李晓娟 翁向宇

(广州中心气象台,广州 510080)

## 摘要

对1949~2000年的52年间在广东沿海近岸转折或沿海岸移动的热带气旋异常路径进行了统计分析,同时还研究了广东沿海的地形特征。结果发现,转折点(或靠岸点)主要集中在有明显山脉地形的区域,同时靠岸前热带气旋有移速减慢的特征。另外还发现,转折前强度越强,则转折点离岸越近;靠岸前平均移速越小,则转折角度越大;靠岸前强度越强,则其沿海岸移动所需入射角越小。

关键词:广东近海 台风 路径异常 统计特征

## 引言

广东省沿海的大陆海岸长达3368.1 km,居全国第一,大小岛屿759个,岛屿海岸线长1649.5 km,台风登陆点以及登陆后其陆地移动路径的准确预报对广东台风特大暴雨的预报以及全省的防灾抗灾决策有着非常重要的影响,特别是一些近海(近岸)路径异常的台风,由于预报难度大,更应引起高度重视。

另外,粤东沿海有闽南戴云山山脉南麓的莲花山,粤西沿海有云雾山、天露山等山脉,海拔高度都在1000 m以上,而珠江口外有众多岛屿,地形复杂,对一些台风的登陆路径必然会产生一定的影响,据研究<sup>[1,2]</sup>,特别当环境场比较弱时,这种地形效应将更明显;岛屿对热带气旋路径影响,已有学者做了不少研究<sup>[3,4]</sup>,但对华南沿海特有地形对热带气旋移动路径的作用研究很少。本文对此进行了初步探讨。

本文通过对1949年到2000年共52年的台风年鉴资料中在海南、广东沿海(25°N以南)出现登陆异常路径的台风进行分类统计分析,找出其规律和特征,给预报员作参考。

## 1 定义

为了确定研究对象,首先要对登陆异常路径作定义。在实际业务工作中,靠岸的台风有两类异常情况是最容易使预报失败的:一类是靠岸时路径突然转折,改变登陆地点(如8011#);另一类是靠岸后未能直接登陆,而沿海岸线走相当一段距离(如5427#)。据此本研究分两类登陆异常路径类型:类型I为近岸转折型,类型II为沿岸移动型(图1)。

(1) 类型I定义:类型I为近岸转折类,定义在热带气旋移动路径中离岸正负50 km

\* 本文得到中国气象局研究课题“南海海洋天气预报技术研究”资助。

2001-12-10收到,2002-07-01收到修改稿。

以内出现明显拐点(不连续),在拐点前 6 h 移向和后 6 h 移向偏角大于  $30^\circ$  的,定义其为近岸转折类登陆异常路径;拐点离岸的最小距离定义为离岸距离。

(2) 类型 II 定义:类型 II 为沿岸移动型,定义在热带气旋移动路径中其近岸(离岸正负 50 km 以内)虽然没有明显转折,但其沿岸移动大于 200 km 的定义为沿岸移动型;其沿岸移动段路径与海岸线的平均距离定义为平均离岸距离。

(3) 关于入射角:为了更好地研究移动路径与海岸线的关系,我们引入了入射角概念,根据广东沿海海岸线特点,我们从东到西画 4 条辅助线。厦门—汕头作为闽南线,惠来—深圳作为粤东线,珠海—湛江作为粤西线,雷州—文昌作为雷州半岛线。当热带气旋靠近上述地区沿海时,其前 12 h 移向与辅助线(或其延长线)的夹角定义为其入射角。

(4) 关于平均移速:考虑到台风年鉴资料以经纬度为单位,精确到 1 位小数,因此,我们在计算平均移速时认为把误差放到 2 km/h 是合适的(6 h 误差允许范围 12 km 与小数 1 位的经纬度误差范围相一致),在下面统计中,当移速差在 2 km/h 以内时定义为移速维持,当移速差大于 2 km/h 则定义为加快(或减弱)。

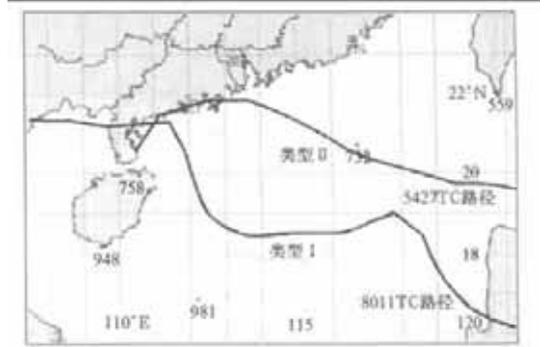


图 1 类型 I、类型 II 个例示意图

## 2 类型 I ——近岸转折类特征

在 52 年中符合第 I 类近岸转折的热带气旋个数总共为 102 个。

### 2.1 转折点分布特征

图 2 为类型 I 拐点点聚图,可以明显看出拐点基本集中在 3 个区域:一个为闽南到汕尾沿海区,一个为台山到电白沿海区,一个为海南岛东南的沿海区,珠江口外海面和雷州半岛到海南岛北部海面很少出现,拐点主要集中在有明显的山脉地形的区域。同时台山—电白沿海区和海南岛东南部沿海区相对闽南汕尾沿海区更为集中,与华南沿海地形特征吻合度相当高。因为台山—电白的云雾山、天露山和海南岛五指山相对较孤立,范围较小,因而拐点显得较为集中,而闽南—汕尾有戴云山脉南麓、莲花山,沿海一带都是海拔较高的山脉,地形范围较大,因此拐点显得较为分散。

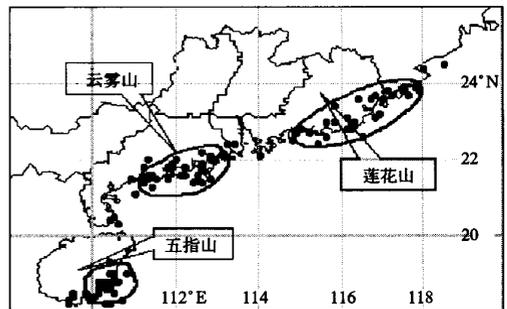


图 2 类型 I 转拐点点聚图

### 2.2 转折前强度特征

(1) 拐点强度分布:从拐点强度分布,可以看出其强度分布没有明显的规律,从低压

到台风强度都有,说明不是强度弱的热带气旋才会出现近岸转折,强度强的热带气旋也会发生近岸转折,且比例并不少。

(2) 强度变化规律:我们把拐点前 24 h、前 12 h 和拐点强度作了对比分析,结果发现有明显的强度减弱特征,其中拐点强度比前 24 h 强度减弱的占了 53.9%,强度维持和减弱的个数之和占了总数的 84.3%,说明此类热带气旋路径靠岸前有强度减弱的趋势。

### 2.3 移速特征

(1) 转折前的平均移速分布:图 3 为转折点前 12 h 的平均移速分布图,可以看出随着移速的加大,其占的比例越来越少,其中平均移速在 20 km/h 以下的为大多数,占 82.4%,说明移速分布很有规律,移速越小越容易发生近岸转折。

(2) 移速变化规律:同样,把拐点前 24 h 平均移速和拐点前 12 h 平均移速作对比分析,结果如图 4,发现移速有明显的减慢趋势,其中移速减慢和维持的个数占总数的 86.3%,而移速加快的只有 13.7%,说明移速的变化也是近岸转折的重要因素。

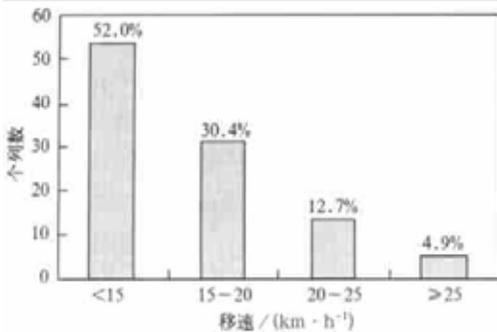


图 3 类型 I 平均的移速(km/h)分布图

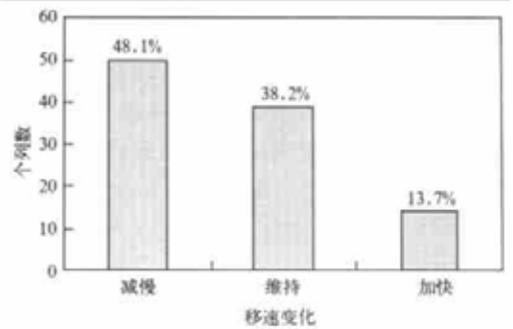


图 4 类型 I 移速变化分布图

从以上移速的统计看到,移速的快慢以及移速的变化都是近岸转折的重要因素,此类路径转折前移速有减慢的趋势,转折前移速加快的热带气旋较少出现这类路径。

### 2.4 离岸距离和转折角度分别与强度和移速的统计相关关系

为了更深入探讨类型 I 的特征,我们对离岸距离与强度和移速的关系,以及转折角度与强度和移速的关系进行了相关性统计分析,结果如表 1,可以看出,强度和离岸距离反相关性很好,都达到信度  $\alpha = 0.01$  的  $t$  检验,即强度越强,拐点离岸距离越近,强度越弱,拐点离岸距离越远。但强度与转折角度相关性较差。而移速与转折角度反相关性也很高,都达到信度  $\alpha = 0.01$  的  $t$  检验,即移速越快,转折角度越小,移速越慢,转折角度越大。而平均移速与离岸距离相关性较差。

表 1 离岸距离和转折角度分别与强度和移速的相关系数

	强度			移速	
	前 24 h 强度	前 12 h 强度	拐点强度	前 24 h 移速	前 12 h 移速
离岸距离	-0.372*	-0.426*	-0.345*	-0.115	0.017
转折角度	-0.149	-0.149	-0.172	-0.281*	-0.329*

\* 表示达  $\alpha = 0.01$  的  $t$  检验,其余没达  $\alpha = 0.05$  的  $t$  检验。

从以上统计相关分析可以得出下面结论:对类型 I 而言,拐前强度与离岸距离反相关性较好,强度越强拐点离岸距离越小,强度越弱拐点离岸距离越大;拐前移速与转折角度反相关性较高,移速越快转折角度越小,移速越慢转折角度越大。

另外,统计分析还发现,第 I 类近岸转折的热带气旋其转折的方向有明显的规律,靠岸前移动方向有偏东分量时其转折方向将右折,靠岸前移动方向有偏西分量时其转折方向将左折(符合此规律的个例约占 95%)。

### 3 类型 II —— 沿岸移动类特征

在 52 年中符合第 II 类沿岸移动标准的热带气旋个数为 31 个。

#### 3.1 各特征点分布特征

图 5 为广东地形和类型 II 各特征点点聚图,圆点代表靠岸点,三角形代表最后登陆点,四方形成代表最后减弱或离岸点(不登陆)。可以看出此类路径靠岸点(沿岸走始点)主要集中在两个区域:一个为闽南到汕尾,另一个为台山到阳江;而最后登陆区域主要集中在电白到雷州的雷州半岛海湾,而不登陆(减弱或离岸)的个数较少,其集中区域与靠岸点相同。对比广东省的地形可以看到,发生第 II 类登陆异常路径靠岸点和离岸点区域附近都是有明显的山脉,地形对其作用明显,而最后登陆点是在较为平坦的海湾。上述特征与文献[1][2]的观点也是相吻合的。

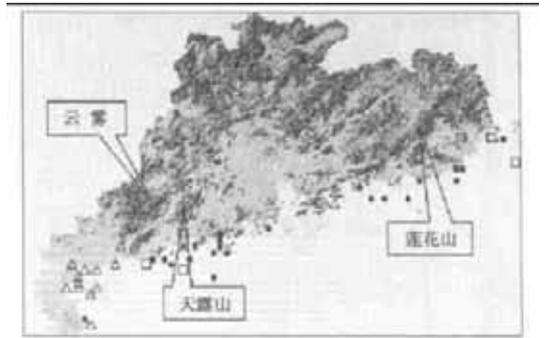


图 5 广东地形和类型 II 各特征点点聚图  
(● 为靠岸点, △ 为登陆点, □ 为减弱或离岸点)

#### 3.2 强度特征

(1) 靠岸点强度分布:从靠岸点强度分布可发现,其强度分布也没有明显规律,强的弱的都有。说明绝对强度的强弱对是否会出现第 II 类异常路径并不重要。

(2) 强度变化特征:把靠岸点前 24 h、前 12 h 和靠岸点强度作对比分析,也可以看出明显的强度减弱特征,其中靠岸点强度比前 24 h 强度减弱和维持的个例占了 87.1%,而强度加强的个例只占 12.9%,说明此类热带气旋路径靠岸前也有强度减弱的趋势。

#### 3.3 移速特征

(1) 靠岸点前平均移速分布:分析靠岸点前 6 h 平均移速分布(如图 6),比较图 3(类型 I)和图 6(类型 II),可以看到两类平均移速分布有明显不同,第 II 类没有随移速加大个例减少的规律,各移速段所占比例相当,但主要都集中在 25 km/h 以下,占总数的 90.3%。

(2) 移速变化特征:把靠岸点前 24 h、前 12 h 和前 6 h 的平均移速作对比分析,也可发现其移速有明显的减慢趋势,其中前 6 h(靠岸前)平均移速比前 24 h 平均移速加快的个例没有,全部都是移速减慢和维持的,其中减慢的占 54.8%(图 7)。

从以上对移速的统计分析可以得出,发生第 II 类登陆异常路径的热带气旋其靠岸前移速一般都在 25 km/h 以下,且靠岸前移速有减慢的趋势,靠岸前移速加快的热带气旋很难出现这类路径,也与文献[2]的研究结果类似。

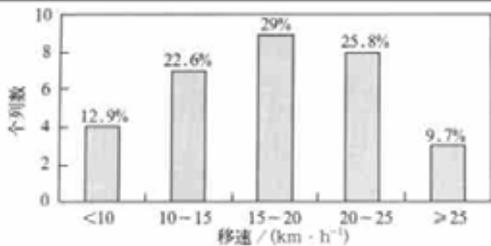


图 6 类型 II 平均移速分布图

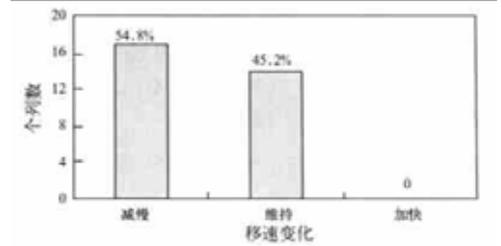


图 7 类型 II 移速变化分布图

### 3.4 平均离岸距离、入射角分别与强度和移速的统计相关关系

和第 I 类类似,我们对平均离岸距离与强度和移速的关系以及入射角与强度和移速的关系进行相关性统计分析,结果如表 2,表中可见,平均离岸距离与强度反相关性较好,达到信度  $a = 0.05$  的  $t$  检验,与移速的相关性较低,但性质是反相关;而入射角与强度的反相关性较高,达到信度  $a = 0.05$  的  $t$  检验,但与移速的相关性较差。

表 2 平均离岸距离、入射角分别与强度和移速的相关系数

	强度			移速			入射角
	前 24 h 强度	前 12 h 强度	靠岸点强度	前 24 h 移速	前 12 h 移速	前 6 h 移速	
平均离岸距离	-0.407*	-0.386*	-0.433*	-0.271	-0.236	-0.204	-0.061
沿岸走的距离	-0.053	-0.097	0.004	0.138	0.104	0.109	-0.152
入射角	-0.386*	-0.362*	-0.286	-0.171	-0.134	-0.192	

\* 表示达  $a = 0.05$  的  $t$  检验,其余没达到。

从以上相关性统计分析可以得出:对第 II 类而言,强度比移速其相关关系更好。

平均离岸距离与强度呈现较好的反相关性,强度越强平均离岸距离越小,强度越弱平均离岸距离越大;入射角和强度也呈现较高的反相关性,强度越强则其沿海岸移动所需入射角越小,强度越弱其所需入射角可较大。

## 4 讨论

### 4.1 山脉地形对热带气旋路径的影响

从前面两类热带气旋异常路径的统计中,我们看到,热带气旋的转折点(或靠岸点)主要集中在有明显的山脉地形的区域,闽南到汕尾,台山到电白,可见地形山脉对这两类热带气旋路径作用明显。

关于地形对热带气旋路径的影响,很多气象工作者对此作了研究,在研究台湾岛地形对热带气旋移动路径作用时,罗哲贤等认为<sup>[3]</sup>,台湾岛地形会使由东向西接近台湾岛的热带气旋出现“右偏”现象,即远离山脉的方向,他们分析认为山脉地形使台风最大风速区

向台风中心方向“挤”,使台风环流的空间尺度变小,是地形引起台风路径偏移的可能原因。

本文统计结果与他们的分析较为吻合,但在此我们提出一些新的物理解释:地形山脉对接近它们的热带气旋移动一方面有直接的阻挡作用,使热带气旋(尤其强度弱的热带气旋)难以很快逼近(或越过)它们,从而使其路径发生转折。另一方面,我们假设热带气旋是圆形、风速对称的且切向风速远大于径向风速。当其一半处于陆地上时,由于陆地山脉摩擦,位于陆地上半圆的风速减弱很快,从而出现风速不对称,即海上半圆的风速大于陆地半圆的风速,而地转偏向力  $A$  与速度  $v$  成正比,指向速度方向的右侧(北半球),  $A = 2 \Omega \times v$  所以向岸的偏向力减小明显,所有气块地转偏向力合力的增量指向海上,即远离陆地方向(图 8)。因此,地形有使接近它的气旋产生离岸的趋势。当然,地形越大越复杂,这种效应会越来越明显;而一般的平坦地形下这种效应则很弱,几乎不会在热带气旋的移向和移速上有所反映。这从另一个角度说明了文献[1][3]的结论。

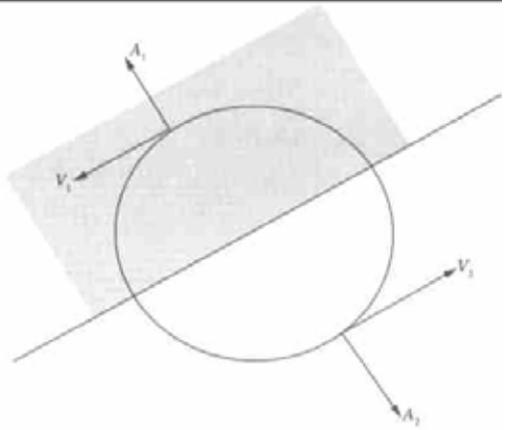


图 8 地转偏向力示意  
(阴影表示陆地)

因此,我们今后在作热带气旋路径预报时,要注意考虑地形山脉的这种作用。

#### 4.2 强度和移速

正常路径的热带气旋在登陆前的华南近海,有相当比例会突然加强发展,秦曾灏等研究发现<sup>[5]</sup>我国近海海域中,距西风带较远的南海北部(华南近海)是热带气旋突然加强的多发地。梁必骥等统计分析也有类似结果<sup>[6]</sup>,即台风近海加强的主要发生地南海北部的华南沿海海域,同时其统计结果表明,近海加强台风极少出现异常路径。

我们统计了台风年鉴中 1990 至 2000 年共 11 年的正常路径的台风个例资料(共 61 个样本),发现在最靠近陆地的正点时次其强度比 24 h 前强度加强的有 22 个,强度维持的有 21 个,强度减弱的有 18 个,加强的还多于减弱的。这说明陆地下垫面对台风强度的衰减作用主要发生在台风登陆以后,对登陆前的台风衰减作用不明显。

本文统计分析结果与上述的研究也是吻合的,即反过来说明当出现这两类近海异常路径时极少有近海加强的。当然,基于统计资料只是两种类型,得出的结果不能说明强度减弱是此类异常路径的主要因素,但作为一个统计特征,至少在近海加强的台风中可以排除出现此类异常路径的可能,可为预报员提供一种参考依据。

另外,大量事实还说明,在近岸没有明显大的山脉地形时,近海台风的移动速度并没有一种明显的倾向性。事实上台风在平坦的海湾登陆前移动速度加快是很常见的。一般认为,台风登陆前移速的变化更多地取决于其附近沿岸的潮汐涨退<sup>[1]</sup>。

同样,从我们统计的台风年鉴中 1990 ~ 2000 年 11 年正常路径登陆的台风个例资料中(共 61 个样本)发现,在最靠近陆地的正点时次前 24 h 中,后 12 h 的平均移速比前 12 h

平均移速加快的有 22 个,移速维持的有 24 个,移速减慢的只有 15 个,移速加快和维持之和占了总数的 75.4%。

因此,本研究所得的统计结果此类异常路径中移速减慢的特征可以认为是出现此类路径的重要因素。

## 5 结 论

通过对 1949~2000 年 52 年台风资料进行的统计分析研究,得出在广东沿海出现近岸转折或沿岸移动的热带气旋的统计特征:

- (1) 其转折点(或靠岸点)主要集中在有明显的山脉地形的区域,地形影响明显;
- (2) 靠岸前热带气旋自身强度有减弱的趋势,近岸加强的热带气旋出现这类登陆异常路径的机会很小;
- (3) 移动速度较慢或靠岸前移速减慢是出现此类路径的重要特征,靠岸前移速加快的热带气旋出现此类路径的机会很小;
- (4) 强度越强拐点离岸距离越小,强度越弱拐点离岸距离越大;
- (5) 移速越快转折角度越小,移速越慢转折角度越大;
- (6) 强度越强其沿海岸移动所需入射角越小,强度越弱其所需入射角可较大。

## 参 考 文 献

- 1 毛绍荣. 目前台风路径预报中若干疑难问题探讨. 广东气象, 1998, 3: 2~3.
- 2 毛绍荣. 从 9903 号台风移动探讨台风登陆异常路径的条件. 气象, 2000, 8: 10~13.
- 3 罗哲贤, 陈联寿. 台湾岛地形对台风移动路径的作用. 大气科学, 1995, 19(6): 701~706.
- 4 孟智勇, 徐祥德, 陈联寿. 台湾岛地形诱生次级环流系统对热带气旋异常运动的影响机制. 大气科学, 1998, 22(2): 156~168.
- 5 秦曾灏, 端义宏. 热带气旋强度变化研究的新进展. 全国热带气旋科学讨论会论文集. 北京: 气象出版社, 2001, 25~30.
- 6 梁必骥, 陈杰. 近海加强的登陆台风统计分析. 全国热带气旋科学讨论会论文集. 北京: 气象出版社, 2001, 180~185.

## STATISTICAL CHARACTERISTICS OF UNUSUAL TROPICAL CYCLONE TRACKS IN OFFSHORE GUANGDONG

Mao Shaorong Zhang Dong Liang Jian Li Xiaojuan Weng Xiangyu  
(Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080)

### Abstract

Statistical analyses are made on unusual tropical cyclone tracks with sudden changes of directions in offshore Guangdong based on the data from *Typhoon Almanac* for the period of 1949 to 2000. Studies are also carried out on characteristics of intensity, moving speed, offshore distance, and turning points of typhoons with unusual tracks, as well as their relationships. Meanwhile, the impact of topography in the Guangdong coastal area on tropical cyclones is also studied. The results show that the locations where these tropical cyclones turned suddenly (or close to the coast) were concentrated in the mountainous coastal areas, and tropical cyclones tend to slow down when they approach the coast. It is also shown that prior to turning, the more intense the tropical cyclones are, the closer the turning points are to the coast, and the smaller incident angle they need. In addition, near the coast, the slower the tropical cyclones move, the more markedly they turn.

**Key words:** Offshore Guangdong Tropical cyclone Unusual track