

余锦华,唐家翔,戴雨菡,等. 我国台风路径业务预报误差及成因分析[J]. 气象, 2012, 38(6): 695-700.

# 我国台风路径业务预报误差及成因分析<sup>\* 1</sup>

余锦华 唐家翔 戴雨菡 虞本颖

南京信息工程大学省部共建教育部重点实验室、大气科学学院, 南京 210044

**提 要:** 利用 2005—2009 年中国气象局(CMA)提供的西北太平洋(包括南海)台风路径业务预报资料, 比较了各类型台风路径、台风登陆位置及登陆时间的预报误差, 登陆台风不同阶段以及华东登陆和华南登陆台风的路径预报误差。结果表明: CMA 在 2005—2009 年的路径预报水平与 1999—2003 年的相比有了显著提高。平均南海台风预报误差大于西北太平洋。异常路径台风主要出现于南海, 三个预报时效(24、48 和 72 h)异常路径的预报误差平均都小于正常路径。将登陆台风分为远海、登陆期间和登陆后三个阶段, 显示登陆期间台风预报误差最大, 同一阶段华南登陆台风的预报误差大于华东登陆台风。台风登陆位置在 24、48 和 72 h 预报时效的平均预报误差分别为 71.1、122.6 和 210.6 km, 48 和 72 h 台风实际登陆时间有 70% 早于预报时间, 平均分别提早 8 和 12 h。比较大尺度引导气流与台风移动的偏差及 24 h 路径预报误差, 得到南海三种典型登陆台风路径的大尺度引导气流与台风移动的偏差及其与路径预报误差的关系不一样, 即误差成因不同。南海倒抛物线型的大尺度引导气流与台风移动的偏差最大, 其预报误差最小; 西—西北型的大尺度引导气流与台风移动的偏差最小, 其预报误差最大, 可能与大尺度环流预报准确性差有关。登陆华东的预报误差小于登陆华南台风的预报误差, 这与台风登陆华南时其大尺度引导气流和台风移动的偏差大于登陆华东的台风有关。

**关键词:** 台风路径, 业务预报误差, 大尺度引导气流

## Analyses in Errors and Their Causes of Chinese Typhoon Track Operational Forecasts

YU Jinhua TANG Jiexiang DAI Yuhan YU Benying

Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, School of Atmospheric Science,  
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

**Abstract:** Forecast errors for different typhoon types, typhoon landfall position and time, typhoon locating in different position from coastline, typhoon landfall in East China and South China are issued based on typhoon track operational forecast data and best-track data in the western North Pacific (the South China Sea is included) provided by China Meteorological Administration (CMA) from 2005 to 2009. The results show that typhoon track forecast during 2005—2009 is more skillful than from 1999 to 2003. Average typhoon forecast bias in the South China Sea (SCS) is larger than in western North Pacific (WNP). Unusual typhoon track mainly occurred in the SCS and their forecast errors are smaller than usual typhoon tracks for 24 h, 48 h and 72 h forecast periods. The forecast error is the largest during typhoon approaching coastline period among typhoon far away from coastline, approaching coastline and landfall later periods and it is larger for typhoon landfall in South China than in East China during same period. The average forecast errors are 71.1 km, 122.6 km and 210.6 km of typhoon landfall position for 24 h, 48 h and 72 h forecast periods, respectively. Timing errors of 70% landfall typhoons demonstrate an early bias of 8 h and 12 h against forecast landfall for 48 h and 72 h forecast periods. Compared with large-scale steering flow to typhoon movement and 24 h forecast errors, the results also show that there are different bias between

\* “973”课题(2009CB421503), 国家自然科学基金(40775060)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806009)共同资助  
2011 年 2 月 6 日收稿; 2011 年 5 月 19 日收修定稿  
第一作者: 余锦华, 主要从事热带气旋、气候变化等方面研究. Email: jhyu@nuist.edu.cn

large-scale steering flow and typhoon movement among three typical landfall typhoon tracks and relationships between these biases and 24 h typhoon forecast track errors. Parabolic typhoon movements in the SCS have the largest bias between the steering flow and typhoon movement, but have the smallest forecast errors; the largest forecast error for west to northwestward moving typhoon is not corresponding to its smaller bias between steering flow and typhoon movement, which may be related to low skillful forecast of large-scale circulation. The forecast error of typhoon landfall in East China is smaller than in South China, which is consistent with the bias of the former between steering flow and typhoon movement being smaller than the latter.

**Key words:** typhoon track, operational forecast error, large-scale steering flow

## 引 言

提高登陆台风路径预报准确性,减少台风灾害<sup>[1]</sup>,做到给政府有足够长时间做好预防准备工作,同时使预警范围缩小,台风登陆点、登陆时间以及登陆后路径的预报是关键。近年来,台风数值预报模式发展迅速,在指导台风的路径预报中发挥着巨大作用<sup>[2-3]</sup>。

热带气旋路径的研究是台风最基础,也是最早开展的研究工作,特别是 20 世纪 80 年代以来,取得了丰硕的成果。这些成果揭示了大尺度环流场决定的引导气流是影响台风路径的主要力量<sup>[4]</sup>。其实,环境引导气流并没有明确的定义,与台风移动的关系也不是确定的,许多作者从不同方面将热带气旋进行分类,再分析各类台风移动与引导气流的关系<sup>[5-7]</sup>。除了大尺度环流的影响外,台风周围中小尺度对流系统也会通过影响引导气流来对台风移动施加影响,其影响大小与大尺度环流场特征以及中小尺度对流系统的强弱和分布有关。此外,台风登陆期间和登陆后,其路径还受沿海复杂地形、海岸带走向、陆地复杂地形等影响,使台风路径预报更具挑战性。

国内对台风路径的预测水平做了很多对比分析研究<sup>[8-12]</sup>。陈联寿等<sup>[13]</sup>根据长期的天气学预报经验,提出了 8 种西北太平洋(包括南海,下同)台风异常路径类型,对认识台风路径特征,提高台风路径预报水平起到了积极作用。这样定义的台风异常路径与正常路径相比,预报准确性有怎样的不同?各异常路径类型相比,路径预报误差又有怎样的差异?本文利用中国气象局(CMA)提供的 2005—2009 年的台风路径综合业务预报资料,分析近 5 年我国台风路径预报,特别是登陆台风路径预报的总体水平,针对上述的台风异常路径分类,比较正常路径、异常路径及各路径类型的预报误差。其次,利用 NCEP/

NCAR 再分析资料,计算大尺度环流场的引导气流,分析各路径类型台风的预报误差成因。通过研究进一步分析天气学上分类的异常路径台风的预报误差是否大于正常路径?台风中心位置在远离海洋,登陆期间以及登陆后的路径预报误差相如何?路径预报误差与大尺度引导气流和台风移动间的差异具有怎样的关系等。

## 1 资料及方法

路径预报误差资料来自 CMA 提供的西北太平洋综合台风路径业务预报数据,其预报时效取 24、48 和 72 h。台风综合观测数据取自 CMA 和上海台风研究所(STI)整编的西北太平洋台风最佳路径数据集。分析时,对路径预报误差资料进行了初步的检验,剔除掉错误的样本。

NCEP/NCAR 每 6 h 间隔的  $1^\circ \times 1^\circ$  等压面流场再分析资料用于计算大尺度环流场决定的台风引导气流。通过一些台风个例试验,本文的引导气流用水平方向环绕台风中心  $1 \sim 5^\circ$  环状区域、垂直方向 850 至 300 hPa 的风速质量权重平均代表。误差计算公式为<sup>[14]</sup>:

$$FE = 111.11 \cos^{-1} [\sin Y_O \sin Y_F + \cos Y_O \cos Y_F \cos (X_O - X_F)] \quad (1)$$

式中,FE 即为台风观测与预报的位置间隔,  $X_O, Y_O$  和  $X_F, Y_F$  分别代表观测和预报的经度和纬度。

根据 2005—2009 年最佳路径数据集的路径资料以及陈联寿等<sup>[13]</sup>的路径分类思路,得到了各类路径对应的台风频数,其中登陆中国大陆的是 31 个,图 1 是与表 1 对应的 12 类台风路径分布。可见,这 5 年间 8 类台风异常路径并没有全部出现,只出现了倒抛物线型、南海台风西行北折、南海迴旋和逆时针打转,后两者的个例分别只有 2 个和 1 个。其中南海台风指的是南海生成或从西北太平洋移进南海

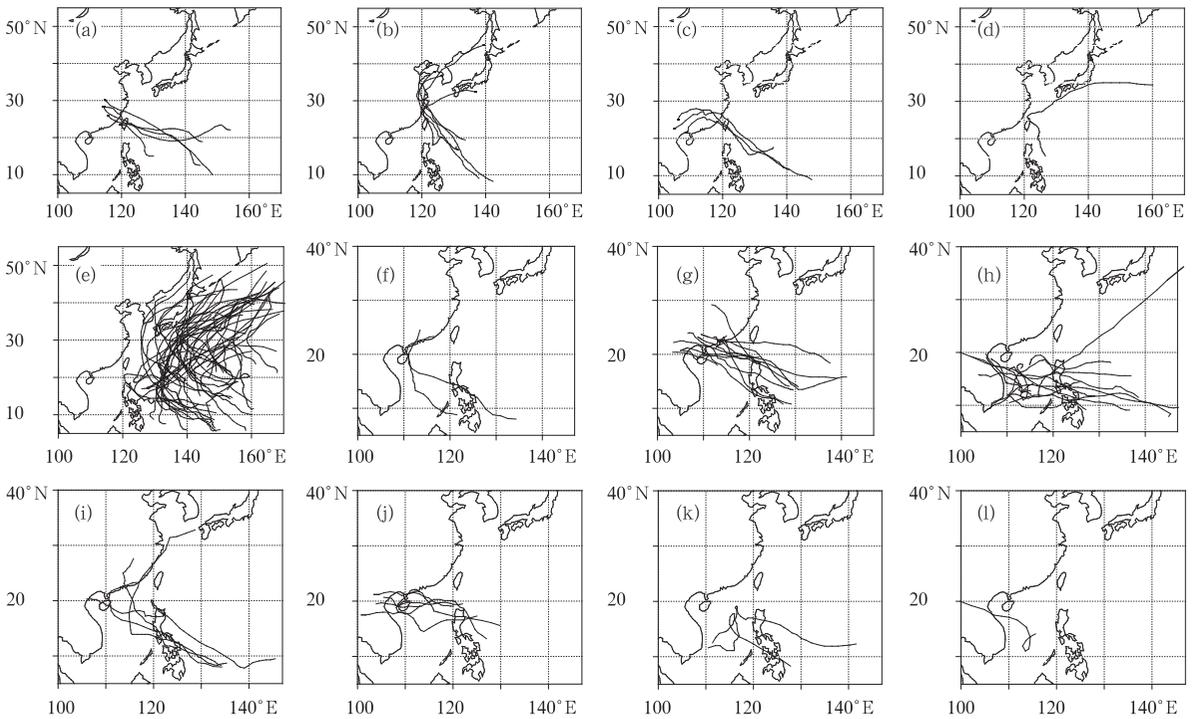


图 1 西北太平洋及南海 12 类台风路径分布

(a)~(e) 西北太平洋, (f)~(l) 南海;

(a), (f) 西—西北行, (b), (g) 登陆转向东北, (c) 登陆转向西南, (d) 东海台风西北行转向东北, (e), (h) 海上行, (i) 倒抛物线, (j) 南海台风西行北折, (k) 南海回旋, (l) 逆时针打转

Fig. 1 Twelve typhoon track types over western North Pacific (WNP) and SCS

(a)–(e) for WNP, (f)–(l) for SCS;

(a), (f) moving west-northwestward, (b), (g) landfalling and turning to moving northeastward, (c) landfalling and turning to moving southwestward, (d) moving northwestward and turning to moving northeastward over the East China Sea, (e), (h) moving in the sea, (i) parabolic movers, (j) moving westward and turning to northward over SCS, (k) moving circularly in SCS, (l) anticyclonic movers

(j) moving westward and turning to northward over SCS, (k) moving circularly in SCS, (l) anticyclonic movers

的台风,异常路径台风主要出现在南海地区(SCS)。

2005—2009 年西北太平洋和南海共生成 116 个热带气旋,24、48 和 72 h 的总体平均路径预报误差分别为 116.4、195.2 和 290.3 km, CMA 在近 5 年的路径预报水平与 1999—2003 年的相比有了显著提高<sup>[9]</sup>,但 2005—2009 年各年相比,24 h 路径预报水平相差很小,48 和 72 h 以 2007 年的最小(图 2)。对 2005—2009 年每一年不同路径类型(表 1 给出)台风个数进行了统计,发现 2007 年南海台风比例小,西北太平洋台风路径的预报误差最小,该年数值预报准确性如何及其与预报误差的关系都需要做进一步的研究。

表 1 给出了各类型台风路径的预报误差,可见,东海台风西西北行转向东北的 24、48、72 h 预报误差最小,西北太平洋西北行登陆转向西南的 72 h 路径预报准确性最好。三个时段的预报误差最大的都出现在南海。确实,南海台风 24、48 和 72 h 的平均

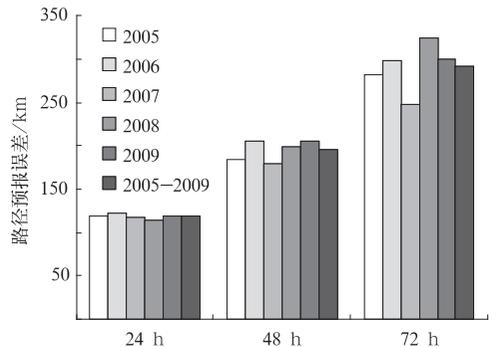


图 2 2005—2009 年 CMA 台风路径综合业务预报误差

Fig. 2 Synthesized typhoon track operational forecast errors by CMA from 2005 to 2009

预报误差分别为 124.7、222.6 和 326.5 km,都相应大于西北太平洋的 111.2、181.7 和 273.9 km。这可能与南海台风的生命史较短,台风生成后就很快登陆有关。登陆各类型台风路径预报误差相比(表 1),24 和 48 h 都以西—西北行的最大,72 h 都以西

北行登陆转向东北最大。对比南海正常及异常路径的预报误差(表 2),可见,各时段正常路径的平均预报误差都大于异常路径,而且预报时段越长,相差的

数值越大。另外,由表 1 可见,南海异常路径类型中,24、48 和 72 h 预报时效的预报误差都是倒抛物线型的最小。

表 1 2005—2009 年台风各路径类型平均预报误差  
Table 1 Average forecast errors of different typhoon types from 2005 to 2009

海域	路径类型	24 h		48 h		72 h	
		预报样本/次	平均误差/km	预报样本/次	平均误差/km	预报样本/次	平均误差/km
西北太平洋正常路径	西—西北行	111	108.4	85	175.9	68	233.4
	西北行登陆转向东北	235	92.0	186	147.3	138	255.6
	西北行登陆转向西南	85	102.9	68	142.0	50	180.9
	东海台风西西北行转向东北	56	90.8	48	115.8	40	192.6
	海上行	908	118.6	709	199.7	532	298.7
南海正常路径	西—西北行	149	129.7	94	267.0	45	474.9
	西北行登陆转向东北	35	114.0	23	239.3	11	485.2
	海上行	216	130.1	145	201.2	97	284.3
南海异常路径	倒抛物线型	93	102.5	51	158.7	35	264.5
	南海台风西行北折	167	113.2	140	212.7	116	305.0
	回旋	57	138.1	45	290.6	34	456.2
	逆时针打转	7	206.2	2	427.5	0	0.0

表 2 2005—2009 年南海正常路径和异常路径预报误差的对比

Table 2 Comparison between forecast errors of usual and unusual SCS typhoons from 2005 to 2009

路径	24 h		48 h		72 h	
	预报样本/次	平均误差/km	预报样本/次	平均误差/km	预报样本/次	平均误差/km
正常路径	442	128.9	272	231.9	160	357.1
异常路径	350	119.4	270	213.2	215	303.8

## 2 台风登陆不同阶段的路径预报误差

将登陆台风分为三个阶段,一是台风中心未登陆,并离海岸线直线距离在 300 km 以外,称为远海区,该阶段台风活动的下垫面主要为海洋,受海岸地形的影响较小;二是台风中心离海岸线直线距离在 300 km 以内,直到登陆点,该阶段台风活动受沿海下垫面的影响逐渐增大,称为登陆期间;第三阶段就是台风中心登陆以后的阶段,期间台风受陆地下垫面的影响逐渐增大,直到消亡。由图 3 可见,三个阶

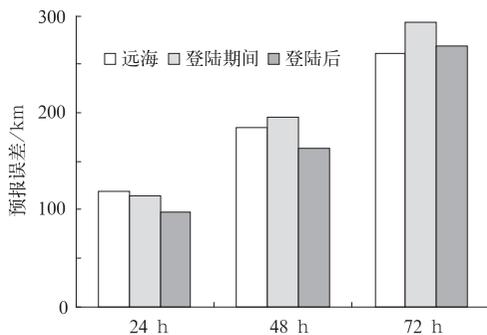


图 3 登陆台风三个阶段的平均路径预报误差(km)  
Fig. 3 Landfall typhoon track forecast errors (unit: km) in three periods

段,对 48 和 72 h 预报时效的路径预报误差表现为登陆期间的预报误差最大,登陆后的预报误差最小,24 h 的路径预报误差仍然以登陆后为最小,但在登陆期间和远海相差不大。这是否与海岸带走向,沿海复杂地形对登陆期间台风路径的影响,而台风登陆后,有雷达、自动站的加密观测等有关呢? 值得进一步探讨。

将登陆台风分为华东和华南登陆,针对前面划分的三个阶段,由表 3 给出的路径预报误差显示,华南登陆台风三个阶段的预报误差都大于华东登陆台风,特别是 48 和 72 h,其中以登陆后阶段相差最大,分别达 108.3 和 168.5 km,与前面得到的南海台风预报误差大于西北太平洋是一致的,这可能与华东及华南台风处于不同的大尺度环流场以及不同的海岸带走向、沿海山脉及下垫面结构的差异有关。前面比较台风路径预报误差是针对同一时刻台风中心的观测位置与预报位置间的距离。台风实际登陆点与预报登陆点的时刻可能不一样,即登陆点的位置误差针对的时刻可能不一致。统计得到 24、48 和 72 h 台风登陆位置误差分别是 71.1、122.6 和 210.6 km。最大误差分别是 376.6、594.1 和 910.7 km。预报台风登陆时间与实际登陆时间相比,有提前,也有推后

(表 4)。在 48 和 72 h 的预报时效中,实际登陆时间提早的样本数要比延迟的样本数多,且实际登陆时间提早的样本数都占该预报时效总样本数的 70%

左右,说明在 48 和 72 h 的预报中,大部分台风登陆时刻的预报迟于实际,这可能与没有考虑到台风在近海内移动加速可能性大有关。

表 3 华东登陆与华南登陆台风三个阶段的预报误差(单位:km)对比

Table 3 Comparison between forecast errors (km) for landfall typhoons in East China and South China during three periods

预报时效/h	华东登陆						华南登陆					
	远海阶段		登陆期间		登陆后		远海阶段		登陆期间		登陆后	
	样本数 /次	平均值 /km										
24	290	121.8	133	101.1	98	93.7	197	116.2	169	125.0	56	96.8
48	168	165.2	121	159.8	94	127.8	137	207.8	114	231.5	45	236.1
72	96	226.2	97	239.6	99	240.5	91	297.7	86	356.1	21	409.0

表 4 2005—2009 年台风登陆时间误差

Table 4 Typhoon landfall time errors from 2005 to 2009

预报 时效/h	预报时间与实时登陆 时间接近的样本数	实际登陆时间延迟				实际登陆时间提早			
		样本数	平均值/h	最大值/h	最小值/h	样本数	平均值/h	最大值/h	最小值/h
24	5	11	-6	-21	-1	10	5	9	1
48	1	5	-8	-15	-2	17	8	18	2
72	1	4	-21	-36	-6	13	12	36	6

### 3 大尺度引导气流与登陆台风路径预报误差的关系

众所周知,台风不论在什么阶段,大尺度引导气流总会对其路径施加影响,但其影响的效应如何与引导气流的强弱有关,而引导气流的强弱与台风周围环流系统的强弱及配置密切关联。模式对大尺度场的预报为综合台风路径预报提供了重要的参照信息,大尺度场预报准确是否意味着台风路径预报准确呢?不尽然。下面通过对比南海不同登陆台风路径类型大尺度引导气流与台风实际移动的差异,并将其与预报误差相对照,从大尺度环流场的角度探讨南海不同路径类型台风预报误差以及登陆华南的台风路径预报误差比登陆华东大的成因。

大尺度引导气流与台风实际路径的偏差反映了引导气流对实际路径影响的大小。当引导气流与实

际路径相差大,表示引导气流对台风实际路径的影响小,台风路径主要受非引导气流的影响,如中小尺度对流系统、地形摩擦等作用;反之,引导气流对台风实际路径的作用大。表 5 是南海三种典型台风路径类型以及登陆华东和华南台风的大尺度引导气流与台风实际移动的偏差,其中的角度偏差为台风每间隔 6 h 定位时次的大尺度引导气流与台风实际移动方向差的平均。可见,西—西北行台风的大尺度引导气流与台风移动的偏差最小,说明该类型台风路径受大尺度引导气流的影响最大,其预报误差最大,可能与该路径类型台风的大尺度环流场的预报误差较大有关。南海倒抛物线型之大尺度引导气流与台风移动的偏差最大,表明该路径类型台风大尺度引导气流的作用相对最小,其预报误差最小,说明该类台风预报时,除了考虑大尺度引导气流的影响外,注意到了双(多)台风相互作用等其他因素的影响。台风在登陆华东期间的大尺度引导气流与台风

表 5 南海不同台风路径类型、登陆华东及华南台风的大尺度引导气流与台风实际移动的偏差及其与 24 h 预报误差的关系

Table 5 Bias of large-scale steering flow against typhoon motion for different SCS typhoon track types and landfall East and South China and relationships between them and errors in the 24 h period

路径类型	大尺度引导气流与台风实际移动的距离偏差(24 h, km)	大尺度引导气流与台风移动的角度偏差/°	台风 24 h 路径预报误差/km
南海西—西北行	170.43	16.56	129.65
南海倒抛物线型	187.03	30.7	102.55
南海台风西行北折	179.42	27.9	113.22
登陆华东期间	167.65	20.94	101.11
登陆华南期间	181.49	25.87	123.7

实际移动的偏差小于登陆华南期间,表明前者受大尺度引导气流的影响大于后者,即登陆华南期间的台风受中小尺度对流系统、沿海下垫面复杂地形等因素的影响大于登陆华东的台风,从而使预报误差偏大。

## 4 小结与讨论

本文基于 2005—2009 年台风路径预报误差、每 6 h 台风定位时次资料、NCEP/NCAR 等压面大尺度环流场以及天气学上对台风路径的分类,统计了西北太平洋和南海各类型台风路径预报误差,并进一步探讨了大尺度引导气流与台风路径预报误差大小的关系,得到如下结论。

(1) 2005—2009 年台风各时次的路径预报水平与 1999—2003 年相比有显著的提高,但 2005 年到 2009 年期间,在 48 和 72 h 预报时效内,以 2007 年的预报水平最高。

(2) 南海台风 24、48 和 72 h 的平均预报误差分别为 124.7、222.6 和 326.5 km,都相应大于西北太平洋的 111.2、181.7 和 273.9 km。登陆台风各类型相比,24 和 48 h 以西—西北行的预报误差最大,72 h 以西—西北登陆转向东北的最大。西北太平洋以东台风西西北行转向东北的预报误差最小。南海异常路径的预报误差小于正常路径,其中又以倒抛物线型的最小。

(3) 台风登陆不同阶段的路径预报误差以登陆后的最小,48 和 72 h 在登陆期间的最大。华南登陆台风三个阶段的预报误差都大于华东登陆的台风,特别是登陆后阶段。在 48 和 72 h 的预报时效中,台风实际登陆时间提早的样本数占该预报时效总样本数的 70%左右,分别提早 8 和 12 h。

(4) 不同台风路径类型预报误差的差异与大尺度引导气流对台风路径影响的大小、路径预报时是否考虑大尺度引导气流以外的因素以及大尺度环流场预报的准确性有关。南海三种登陆台风典型路径类型中,南海抛物线型的预报误差最小,其引导气流与台风移动偏差最大;西—西北行台风的大尺度引导气流与台风移动的偏差最小,其预报误差最大可能与大尺度环流场的预报准确性较差有关。利用数值模式预报的环流场对比,可做进一步的分析。

(5) 台风登陆华南时的大尺度引导气流与台风移动的偏差大于登陆华东的台风,表明华南沿海复杂下垫面及地形对台风路径的影响大于华东,预报时对此应予关注。

将计算大尺度引导气流与台风的路径偏差(包括角度偏差大小、方向和速度偏差),给出不同路径类型、华东和海南登陆台风的系统性偏差,为路径预报提供参考,不失为提高登陆台风路径预报准确性的可能途径;研究近年来数值预报对台风路径的预报水平及其误差成因是需要进一步开展的工作。

## 参考文献

- [1] 王秀荣,王维国,马清云. 台风灾害综合等级评估模型及应用[J]. 气象,2010,36(1):66-71.
- [2] 许映龙,张玲,高栓柱. 我国台风预报业务的现状及思考[J]. 气象,2010,36(7):43-49.
- [3] 涂小萍,许映龙. 基于 ECMWF 海平面气压场的热带气旋路径预报效果检验[J]. 气象,2010,36(3):107-111.
- [4] Chan J C L and Gray W M. Tropical cyclone movement and surrounding flow relationships[J]. Mon Wea Rev,1982,110:1354-1374.
- [5] Miller B I, Hill E C and Chase P P. A revised technique for forecasting hurricane movement by statistical methods[J]. Mon Wea Rev,1968,96:540-548.
- [6] Neumann C J and Hope J R. A diagnostic study on the statistical predictability of tropical cyclone motion[J]. J Apply Meteor,1973,12:62-73.
- [7] Peak J E and Elsberry R L. Prediction of tropical cyclone turning and acceleration using empirical orthogonal function representations[C]. Proc 15th Tech Conf on Hurricanes and Tropical Meteorology Miami Amer Meteor Soc,1984:45-50.
- [8] 麻素红,翟安祥,张晗. 台风路径数值预报模式的并行化及路径预报误差分析[J]. 应用气象学报,2004,15(3):322-328.
- [9] 漆梁波,黄丹青,余晖. 1999—2003 年西北太平洋热带气旋综合预报的误差分析[J]. 应用气象学报,2006,17(1):73-80.
- [10] 许映龙,刘震坤,董林,等. 2002 年西北太平洋和南海热带气旋路径主客观预报评价[J]. 气象,2005,31(06):43-46.
- [11] 朱振铎,端义宏,陈德辉. GRAPES2TCM 业务试验结果分析[J]. 气象,2007,33(7):44-54.
- [12] 杨元琴. 热带气旋路径预报的 MCE 客观决策方法研究[J]. 气象,2003,29(5):3-8.
- [13] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979:262-298.
- [14] Mark D P, Aberson S D. Accuracy of United States tropical cyclone landfall forecasts in the Atlantic Basin(1976—2000)[J]. Bull Amer Meteor Soc,2001,82:2749-2767.