

# 热带气旋路径客观业务预报 综合方案的试验

薛宗元 吴天泉 费亮 徐静远

(上海台风研究所)

## 提 要

本文以上海台风研究所热带气旋业务预报使用的统计动力、气候持续性以及500 hPa引导气流等三种不同性质的预报方案为基础,首先将上述三种方法得到的三组预报分量作为新的独立变量,建立热带气旋实际位移分量与它们之间的回归表达式;把1987和1988两年的台风业务预报资料作为独立样本,对这种组合形式的预报方案进行检验。结果表明,该综合方案提高了各子预报方案的预报精度。

## 一、引 言

目前,我国已研制了多种热带气旋路径客观预报方法,在热带气旋季节为各级气象台站发布热带气旋业务预报提供了良好的客观依据。但是,由于各种方法的性能不同,时常会出现对同一时刻某一特定的热带气旋,各种客观方法会报出各不相同的路径,甚至出现明显矛盾,给预报员参考带来困难。各种预报方法都有自己的特性,CLIPER方案对于低纬西行热带气旋常常预报得较好;SD-75方案能较早地预报出热带气旋的转向趋势,预报的平均误差也较小;

引导气流方案在副热带高压稳定的天气形势下能作出较好的预报。本文介绍的综合方案,把现有各种独立预报方法进行合理的组合,企图能吸收多种预报方法的优点。1964年美国的Corzine首先进行了综合预报的试验,虽然当时样本资料有限,只作了24小时预报的试验,但结果是令人鼓舞的。Neumann等对此类方案曾进行了更为深入的研究,先后提出了NHC-72<sup>(1)</sup>、NHC-73<sup>(2)</sup>等较为复杂的综合预报系统,作为美国国家飓风中心发布热带气旋业务预报的客观依据。上海台风研究所虽已研制了多种台风路径的客观预报方法,如CLIPER(气候持续性)、SD-75

(统计动力)、SNGM (数值)、SA-85 (相似) 以及引导气流等方案, 并已长期投入业务应用。但还未对它们进行过组合预报的试验。因数值预报模式积累的样本资料还不够多, SA-85相似预报方案实际上是气候持续性预报方案的另一种形式, 为使子预报方法保持相对的独立性, 本方案选择CLIPER、SD-85 (SD-75方案的改进, 尚未正式投入业务应用) 和500hPa引导等三种性质不同的方案进行组合试验。

## 二、三个子预报方法简介

### 1. SD-85方案<sup>[3]</sup>

SD-85方案和SD-75方案<sup>[4]</sup>的原理一样, 把热带气旋看作点涡运动, 并把运动方程中的主要作用力视为随机过程 (时间  $t$  的二次多项式)。这样, 基本运动方程组可写为:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} - fv = B_1 + 2B_2t + 3B_3t^2 \\ \frac{dv}{dt} + fu = B_4 + 2B_5t + 3B_6t^2 \\ \frac{dx}{dt} = u \\ \frac{dy}{dt} = v \end{cases}$$

如果已知  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$  的值以及一定的初始条件, 就可从上述方程组求得热带气旋的预报位置。  $B_1, B_2, \dots, B_6$  可以利用初始时刻的热带气旋运动情况及周围天气因子组成的回归表达式求得。

SD-85方案和SD-75方案所不同的仅是扩大了新的11年样本资料后, 修正了统计参数值  $B_1, B_2, \dots, B_6$ , 从而提高了它本身的预报技能。

### 2. CLIPER方案<sup>[5]</sup>

该CLIPER方案的预报是由一系列回归方程式组成的, 所有预报因子是从气候、持续性以及风暴强度等参数导出的。预报方程

的一般形式为:

$$D = C_0 + \sum_{i=1}^{32} C_i P_i$$

这里,  $D$  是指某个特定时段的经向或纬向位移预报分量。  $C_0$  是回归常数,  $C_i$  是回归系数,  $P_i$  是预报因子。

供回归方程挑选的所有预报因子共 164 个。分别是初始纬度和经度、日期数、前 12 小时的平均经向和纬向速度、前 24 小时的平均经向和纬向速度、近中心的最大风速, 以及由上面 8 个基本预报因子组成的所有可能的二次和三次乘积或交叉乘积。每组预报方程仅选用其中 32 个不同的预报因子组成。

### 3. 500hPa引导气流方案

该方案简单地认为台风的运动主要是由 500hPa 热带气旋中心周围环境气流的作用决定的。 Miller<sup>[6]</sup> 曾指出对热带气旋运动起引导作用的主要信息均在以热带气旋为中心的、格距为 2.5 个纬度的  $9 \times 9$  网格上 (图 1)。在

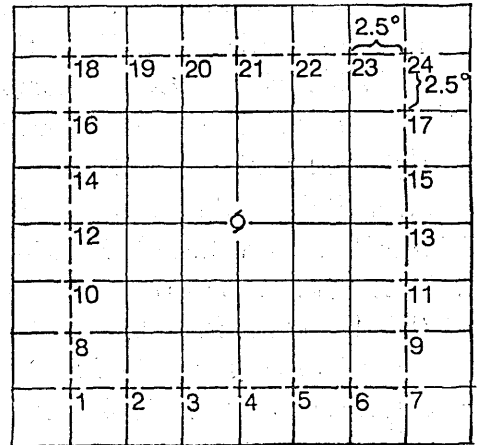


图 1 计算热带气旋引导预报用的移动网格系统

此, 选取如图 1 所示的 24 个格点上的南北和东西 5 个纬距的 500hPa 的位势高度差为预报因子, 利用回归分析方法求出热带气旋的运动分量与上述同地转风有关的预报因子的统计关系。例如, 对于 24 小时的经向和纬向运动分量的预报方程可分别写成:

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{24} &= 0.34557v_4 + 0.30000v_{11} \\ &\quad + 0.16935v_{12} + 0.21353v_{21} \\ &\quad + 1.36064 \\ \Delta\lambda_{24} &= -0.42578u_3 + 0.31396u_8 \\ &\quad - 0.38235u_{11} - 0.41738u_{17} \\ &\quad + 0.26512u_{24} - 2.73332 \end{aligned}$$

其中 $u_i$ 和 $v_i$ 分别表示图1上以第 $i$ 点为中心的南北和东西5个纬距的500hPa位势高度差。

### 三、方案设计

#### 1. 预报区域

参照上海中心气象台发布热带气旋海洋警报的责任海区,本方案的预报域仍选定在 $110-140^\circ\text{E}$ 之间的 $15^\circ\text{N}$ 以北的西北太平洋地区。在该区域内又按气候规律把 $28.5^\circ\text{N}$ 以北划为北区,在 $23^\circ\text{N}$ 、 $115^\circ\text{E}$ 和 $15^\circ\text{N}$ 、 $131^\circ\text{E}$ 两点连线以南划为南区,两者之间为中区。

#### 2. 样本资料的选取

为尽量保持统计样本的独立性,对每个热带气旋绝大多数只取样一次。如取样两次,则取样间隔保持在36小时以上。在取样时,还要避免重复使用以前研制SD-85等子方案时用过的样本资料。另外,对该预报域内已明显转向远离我国海区的热带气旋,在其东侧20个纬距内存在另一个热带气旋或其本身的路径有打转趋势时均不作取样对象。按此规定,1957—1983年期间的历年6月下旬到10月上旬内共选出样本215个,其中南区53个,中区112个,北区50个。

#### 3. 对三个子预报方法的结果进行组合

按前面所述规定选出的样本,利用SD-85方案、CLIPER方案和500hPa引导气流方案分别进行计算,得到三组独立的热带气旋路径预报。每组可由6个时段(12、24、36、48、60和72小时)热带气旋的经向和纬向位移预报分量组成。把这三组预报位移分量(均以纬距为单位)作为新的预报因子,利用逐步回归分析方法,建立实测的台风位移分量与

它们之间的统计关系。这样,在实际业务工作中,只要有上述三种子预报方法的预报结果,根据该综合方案的预报公式就能得出组合的预报结果。

综合预报的过程如图2所示。

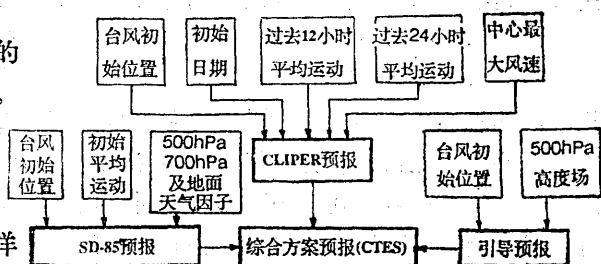


图2 综合预报方案结构框图

### 四、预报方程及其拟合误差

利用逐步回归方法对上述三个子预报方法提供的预报因子,按南、中、北三个区分别进行筛选,得到综合方案的三套预报方程。

为节省篇幅,这里以中区为例,分别列出24和48小时时段的经向和纬向位移的预报方程式:

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{24} &= 0.82366\Delta\phi_{24,SD} - 0.56351\Delta\phi_{36,CP} \\ &\quad + 0.61948\Delta\phi_{72,CP} - 1.49973 \\ \Delta\lambda_{24} &= -0.70385\Delta\phi_{12,SD} + 0.91178\Delta\lambda_{24,SD} \\ &\quad + 0.16910\Delta\phi_{48,SD} \\ &\quad + 0.30089\Delta\lambda_{24,ST} + 0.58097 \\ \Delta\phi_{48} &= 1.26134\Delta\phi_{24,SD} - 1.37093\Delta\phi_{36,CP} \\ &\quad + 1.49485\Delta\phi_{72,CP} - 2.86088 \\ \Delta\lambda_{48} &= 0.53528\Delta\lambda_{48,SD} + 1.60433\Delta\lambda_{24,ST} \\ &\quad + 2.09716 \end{aligned}$$

其中预报因子 $\Delta\phi_{t,SD}$ ,  $\Delta\lambda_{t,SD}$ ,  $\Delta\phi_{t,CP}$ ,  $\Delta\lambda_{t,CP}$ 和 $\Delta\phi_{t,ST}$ ,  $\Delta\lambda_{t,ST}$ 分别表示 $t$ 预报时段内由SD-85, CLIPER和500hPa引导气流等三种不同方法所得到的经向和纬向位移预报分量。 $\Delta\phi_t$ 和 $\Delta\lambda_t$ 则分别为综合方案预报的 $t$ 时段的经向和纬向位移分量。对筛选预报因子,作如下规定:若增加另一个预报因子,剩余标准差的缩小不足2%或者已

有5个预报因子被选出, 则筛选过程结束。一般只要选取3或4个预报因子就能满足上述条件。

由于在计算过程中, 位移分量均是以纬距为单位的, 所以方案最终预报的  $t$  时刻的热带气旋中心纬度和经度值应分别为

$$\varphi_t = \varphi_0 + \Delta\varphi_t,$$

$$\lambda_t = \lambda_0 + \Delta\lambda_t / \cos\varphi_t,$$

其中  $\varphi_0$  和  $\lambda_0$  为台风中心的初始纬度和经度。

从热带气旋路径综合预报方案各预报时段方程式的组成看, 在12小时到72小时的所有预报时段内, 不论是经向还是纬向分量的预报方程, SD-85方案的预报结果在方程中都起了主要作用。CLIPER方法的预报主要出现在综合方案的经向分量的预报方程中, 这也说明它对热带气旋的纬向运动分量没有明显的作用。而500hPa引导气流方法的预报在综合方案预报方程中的作用似乎与CLIPER的作用相反, 它主要出现在纬向分量的预报方程中, 对经向分量的贡献仅在60和72小时等较长时段的预报中才显现出来。这些组合特性, 反映了综合方案的预报方程有机地吸收了这三种不同子预报方法的性能。

表1 各区预报方程的拟合结果

预报区 项目 预报 方程	南 区			中 区			北 区		
	F	R	S <sub>y</sub>	F	R	S <sub>y</sub>	F	R	S <sub>y</sub>
	$\Delta\varphi_{12}$	5.0	0.92	0.22	5.0	0.89	0.30	4.0	0.90
$\Delta\lambda_{12}$	5.0	0.91	0.32	6.0	0.93	0.33	2.6	0.89	0.51
$\Delta\varphi_{24}$	3.5	0.82	0.53	3.0	0.81	0.82	3.0	0.84	0.98
$\Delta\lambda_{24}$	2.0	0.90	0.59	6.0	0.90	0.75	5.0	0.89	1.20
$\Delta\varphi_{36}$	2.0	0.71	0.86	5.0	0.81	1.16	1.8	0.65	2.64
$\Delta\lambda_{36}$	3.0	0.88	0.93	2.8	0.79	1.68	5.0	0.89	2.26
$\Delta\varphi_{48}$	1.8	0.63	1.23	4.0	0.73	1.83	2.0	0.70	3.21
$\Delta\lambda_{48}$	1.9	0.86	1.32	2.7	0.65	2.87	4.3	0.85	3.77
$\Delta\varphi_{60}$	3.0	0.64	1.49	5.0	0.70	2.46			
$\Delta\lambda_{60}$	1.8	0.80	1.95	3.0	0.72	3.31			
$\Delta\varphi_{72}$	4.0	0.66	1.88	4.0	0.66	3.18			
$\Delta\lambda_{72}$	2.0	0.74	2.91	4.0	0.68	4.66			

表1列出了南区、中区和北区综合方案的经向和纬向分量预报方程的复相关系数(R)、剩余标准差(S<sub>y</sub>)和检验标准(F)。从表1可以看出, 南区预报方程的拟合误差最小, 其次是中区预报方程, 而北区预报方程的拟合误差最大。若从运动的分量来分析, 除去中区的24小时预报方程和北区的36小时预报方程以外, 几乎所有经向分量预报方程的拟合误差都比纬向分量的小。另外, 随着预报时效的增长, 纬向预报方程拟合误差的增大比经向的要快。预报方程的这些拟合性能基本上是和热带气旋活动的规律相一致的。

### 五、业务预报的试验情况

为检验该综合方案预报方程的性能, 把1987和1988两年热带气旋季节的业务预报资料作为独立样本进行试验。其中包括1987年的第3号、4号、5号、6号、7号、10号、11号、12号、13号、15号、18号等11个台风和1988年的第3号、5号、7号、17号、18号、20号、22号等7个台风。这18个台风路径的绝大部分处在中区, 所以, 在中区试报了69次, 而南区和北区只分别试报了25次和4次。表2给出了该综合预报方案和它的三个子预报方法在中区的试验结果。从表2可以看出, 该综合方案用1987和1988两年台风业务资料在中区试报69次的平均预报误差较小, 24小时预报为120.5km, 48小时为326.8km。72小时以内的所有预报时段的平均预报误差, 均小于它的三个子预报方法在相应时段内单独的误差。在三个子预报方法中, SD-85方案的平均预报误差最小, 简单的500hPa引导气流方案的预报误差最大。这与模式本身的结构与性能有关。综合方案较好地组合了它们的预报结果, 使平均预报误差都小于参加组合的三个子方法的误差。这个试验结果显示出对现有的几种业务预报方法进行有效的组合, 可以提高它原有的预

表 2

1987和1988两年综合预报方案在中区试报的平均误差(单位为km)  
以及和它的子预报方法的比较

年	方 案	时段(小时)					
		12	24	36	48	60	72
1987	SD-85	47.5(54)	117.8(54)	212.9(53)	336.4(51)	472.7(46)	/
	CP	69.6	149.1	257.0	338.7	539.4	662.3(39)
	ST	115.8	239.8	332.3	449.6	613.9	694.5
	综 合	44.7	113.7	198.2	315.6	473.5	634.0
1988	SD-85	53.1(15)	144.5(15)	249.2(14)	393.0(11)	476.1(10)	/
	CP	107.3	216.3	323.1	395.0	488.6	569.0(9)
	ST	115.1	276.1	405.2	466.0	653.0	762.8
	综 合	61.1	144.8	253.4	378.6	402.6	509.6
平均	SD-85	48.7(69)	123.6(69)	220.5(67)	346.4(62)	473.3(56)	/
	CP	77.8	163.7	270.8	389.8	530.3	644.8(48)
	ST	115.6	247.7	347.5	452.5	620.9	707.3
	综 合	48.3	120.5	209.7	326.8	460.8	610.7

注: 括号内的数字为预报次数, CP表示CLIPER方法, ST表示800hPa引导气流方法

报技能。

我们用综合预报方案及其三个子预报方案, 使用1987年8月27日08时(北京时)的业务资料, 对8711号台风路径进行了试报, 图3给出了试报结果。由图3的4条预报路径可看出, 综合方案的路径预报, 无论是对台风的中心位置预报, 还是路径趋势预报, 都与实况最为接近。

对于南区 and 北区的台风, 由于这两年的台风个例不够多, 试验结果还难于完全说明情况。但从南区有限几个台风的试报可以看出, 对于稳定西行的台风(如8710号台风的11次预报和对8805号台风的6次预报), 复杂的综合方案或SD-85方案的预报结果有时还不及简单的CLIPER预报, 这正如 Neumann 早先指出的, 是由于在偏南地区缺乏精确的观测资料, 以致使那些使用风场或高度场等天气因子的模式在低纬造成极大误差引起的。

本工作尚属初次尝试, 参加组合的各种预报方法的代表性还不够全面, 统计组合的样本也不够大, 组合形式也较简单。这些还有待于今后进一步改进和完善。

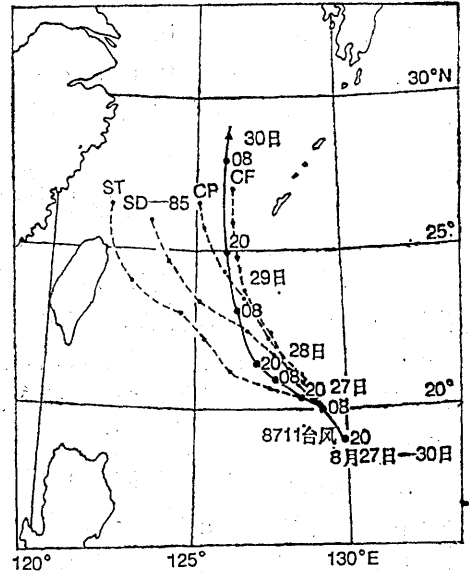


图 3 8711号台风的实际路径(实线)及各种方案预报的台风路径(虚线)

#### 参考文献

- [1] Neumann, C. J. et al., A statistical method of combining synoptic and empirical tropical cyclone prediction systems. NOAA Tech. Memo. NWS SR-63. 1972.
- [2] Neumann, C. J. et al., An operational experiment in the statistical-dynamical

prediction of tropical cyclone motion.

Mon. Wea. Rev., 103, 1975.

- (3) 薛宗元等, 对台风路径统计动力预报方案(SD-75)的统计参数作调整的试验, 气象, 1988年第8期。
- (4) 上海台风协作研究组, 预报台风路径的统计动力学方法, 1976年台风会议文集, 上海科学技术出版

社。

- (5) 徐一鸣等, 西北太平洋台风气候及持续性业务预报模式, 气象科学技术集刊, 1984年第8期, 气象出版社。
- (6) Miller, B. I. et al., A revised technique for forecasting hurricane movement by statistical methods. Mon. Wea. Rev., 96, 1968.

## A test on the comprehensive method for the tropical cyclone track forecast

Xue Zongyuan Wu Tianquan Fei Liang Xu Jingyuan  
(Shanghai Typhoon Institute)

### Abstract

Here shows a new statistical system (CTFS) combining three different techniques, SD-85, CLIPER, and 500hPa steering which is being used at Shanghai Typhoon Institute. Three sets of forecast components obtained from the three methods mentioned-above are taken as new independent variables. Then, stepwise regression analysis has been adopted to establish the statistical relation between the actual displacement components and the above variables. Finally, the system was tested on operational data for 1987 and 1988. The results show that the new system is more advanced than its three sub-method in respect of forecast precision.