

# 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

薛宗元 吴天泉 李多武 费亮 徐静远

(上海台风研究所)

## 提 要

本文在台风路径统计动力预报方案 (SD-75) 扩大样本量以后, 重新求出运动方程中的主要作用力的回归表达式。然后, 利用调整后的方案 (简称 SD-85) 对 1987 年台风路径的业务预报作了试验, 结果表明该方案的业务预报性能优于 SD-75 预报方案。

## 一 引 言

上海台风研究协作组<sup>[1]</sup>, <sup>[2]</sup>曾在 1975 年研制了用于西北太平洋台风路径业务预报的一个统计动力预报方案 (SD-75)。它把台风中心的运动简单地看作为点涡的运动, 同时把运动方程中的主要作用力视为随机过程, 利用气象因子求出它的回归表达式。然后对这个简化运动方程进行数值求解, 最终得到台风中心位置的预报。该方案兼顾了统计学方法简单易行和动力学方法物理意义明确的优点。经过连续十多年的业务应用, 可以看出, 它对台风转向和不转向的定性预报性能较为可靠, 报出的台风路径光滑, 误差较小。它是我国目前多种台风路径客观业务预报方法中较好的一种, 具有较高的预报技能。最近 3 年来它的 24 小时和 48 小时预报技能分别为 32.6% 和 12.0%<sup>[3]</sup> (1985), 18.5% 和 -7.6%<sup>[4]</sup> (1986), 31.0% 和 11.0%<sup>[5]</sup> (1987)。除 1986 年 48 小时的平均预报以外, 其余的预报均有较高的预报技能, 尤其是 24 小时的预报技能更加明显。所以, 近来在研制台风路径综合预报方案中, 就考虑引进这个方案的预报结果。但是, 当时研制该模式时, 所用的历史样本仅从 1957 年到 1972 年, 现在随年代的推移, 又积累了十多年的历史样本资料可供利用。为使原预报方案作出的台风路径预报有所改进, 有必要在扩大历史样本数以后, 重新筛选气象因子, 对预报方程中的统计参数作合理的修正。

## 二 预报方案概述

SD-75 方案见参考文献<sup>[1]</sup>, 它将台风

中心的运动视为一个点涡的运动, 坐标原点取在台风中心位置, 在  $x$  轴沿纬圈向东,  $y$  轴沿经圈向北的坐标系中求解动力学方程组。另外, 把方程中的气压梯度力等主要作用力取为时间  $t$  的二次多项式。

再对于台风路径的每一样本资料, 利用最小二乘方法, 求得  $B_1, B_2, \dots, B_6$  6 个随机参数。然后, 利用回归分析的方法将这 6 个随机参数与样本的气象因子建立统计关系, 形如  $B_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} + a_{0j}$ , ( $j=1, 2, \dots, 6$ )。其中,  $x_{ij}$  为已选出的气象因子,  $a_{ij}$  为回归系数,  $a_{0j}$  为回归常数,  $m$  为选出的因子个数。

在实际业务预报中, 只要利用初始时刻的气象因子, 通过回归方程计算出  $B_1, B_2, \dots, B_6$ , 然后利用模式方程就能求出每一时段的台风中心预报位置。

本方案预报域的划分及供挑选的气象因子均和 SD-75 方案相同。在建立  $B_1, B_2, \dots, B_6$  的回归表达式时, 选取的样本范围比 SD-75 方案扩大了 11 年, 从 1957 年一直延伸到 1983 年。按国家气象局出版的《台风年鉴》资料, 选取 7—9 月内的台风样本。如果在 20 个纬距内同时存在两个台风, 它们相互影响而使得台风移向多变时, 就不作取样对象。一个台风一般取样一次, 如需取样两次或三次时, 则要使取样的时间间隔在 36 小时以上。按此规定, 全区共选样本 508 个, 其中南区有 100 个样本, 北区 68 个样本, 中区 340 个样本 (中区西行型 183 个样本, 北上型 157 个样本), 比 SD-75 方案的样本数平均增加了 35%。

### 三 预报方案的拟合误差分析

利用新的样本资料, 确定出 6 个随机参数  $B_1, B_2, \dots, B_6$ , 同时也求得样本路径的拟合误差。表 1 给出了各区预报方程在 24 小

时和 48 小时预报的拟合情况。表中  $\Delta\varphi_{24}$ ,  $\Delta\lambda_{24}$  及  $\Delta\varphi_{48}$ ,  $\Delta\lambda_{48}$  分别为 24 小时和 48 小时的经向和纬向的增量预报,  $F$ ,  $R$  和  $S_y$  分别为检验标准, 复相关系数和剩余标准差。

表 1 各区预报方程 24 小时和 48 小时预报的拟合情况

方 程	项 目	$\Delta\varphi_{24}$			$\Delta\lambda_{24}$			$\Delta\varphi_{48}$			$\Delta\lambda_{48}$		
		F	R	$S_y$	F	R	$S_y$	F	R	$S_y$	F	R	$S_y$
南 区		3.5	0.72	0.66	3.5	0.74	0.66	3.0	0.62	1.30	2.8	0.54	1.68
中区西行		5.0	0.67	0.81	6.5	0.67	1.03	4.0	0.40	1.70	3.0	0.43	2.16
中区北上		4.5	0.68	0.85	5.5	0.65	0.85	1.9	0.73	2.11	3.0	0.65	2.35
北 区		3.5	0.88	0.86	3.3	0.84	1.09	2.5	0.82	2.27	2.3	0.69	2.52

从表 1 所列的各区预报方程的拟合情况来看, 南区的台风路径拟合最好, 而北区的拟合最差。在中区短期内西行型和北上型的拟合情况接近, 但在 36 小时以后的预报拟合情况, 则西行型优于北上型。如以纬向和经向分量来比较, 则各个区的经向预报拟合均优于纬向拟合。

为了对实际使用该方案时产生的预报误差有一个客观估计, 对预报误差是“服从正态分布”这一基本假设进行检验。检验结果, 本方案的预报拟合误差是服从正态分布的。例如, 中区西行型 48 小时预报的拟合误差, 用极大似然法估计  $\mu$  及  $\sigma^2$  得  $\hat{\mu} = 2.34826$ ,

$\hat{\sigma}^2 = 1.59632$ 。如在正态假设下计算分歧度

$$\eta = \sum_{i=1}^n (np_i - f_i)^2 / np_i, \text{ 先作标准正态变}$$

换  $Z = (x - \hat{\mu}) / \hat{\sigma} = (x - 2.34826) / 1.26346$ , 然后, 即可得到相应区间上的理论概率  $P_i = \Phi_0(Z_i) - \Phi_0(Z_{i-1})$ 。表 2 给出了上例分歧度的各项计算值。由表 2 最终计算得  $\eta =$

$$\sum_{i=1}^{18} (np_i - f_i)^2 / np_i = 20.1142。 \text{ 在此 } \eta \text{ 是}$$

一自由度为  $k - 3 = 15$  的  $\chi^2$  变量, 当置信度  $\alpha = 0.10$  时, 置信限  $\eta_{0.1} = 22.307$ 。因为  $\eta < \eta_{0.1}$ , 所以可认为中区西行型的 48 小时预报

表 2 中区西行型 48 小时预报拟合误差分歧度各项算值 ( $\hat{\mu} = 2.34826$ ,  $\hat{\sigma} = 1.26346$ ,  $n = 183$ )

预报拟合误差 $x$ 的区间 (单位: 纬距)	$f_i$	Z 的区间	$np_i$	$(f_i - np_i)^2$	$(f_i - np_i)^2$
					$np_i$
0.29—0.56	9	$-\infty - -1.42$	14.2374	27.4314	1.9267
0.57—0.82	12	$-1.42 - -1.21$	6.4599	30.6927	4.7513
0.83—1.08	12	$-1.21 - -1.01$	7.8873	16.9143	2.1445
1.09—1.34	11	$-1.01 - -0.80$	10.1931	0.6511	0.0639
1.35—1.60	10	$-0.80 - -0.60$	11.4192	2.0141	0.1764
1.61—1.85	15	$-0.60 - -0.39$	13.5420	2.1258	0.1570
1.86—2.11	15	$-0.39 - -0.19$	13.9812	1.0380	0.0742
2.12—2.37	15	$-0.19 - 0.02$	15.2439	0.0595	0.0039
2.38—2.63	17	$0.02 - 0.23$	15.1890	3.2797	0.2159
2.64—2.89	14	$0.23 - 0.43$	13.7982	0.0407	0.0029
2.90—3.15	11	$0.43 - 0.64$	13.2675	5.1416	0.3875
3.16—3.41	9	$0.64 - 0.84$	11.0898	4.3673	0.3938
3.42—3.67	5	$0.84 - 1.05$	9.8088	23.1246	2.3575
3.68—3.93	4	$1.05 - 1.25$	7.5579	12.6587	1.6749
3.94—4.19	6	$1.25 - 1.46$	6.1214	0.0147	0.0024
4.20—4.45	7	$1.46 - 1.67$	4.5183	6.1590	1.3631
4.46—5.23	6	$1.67 - 2.28$	7.6173	0.3810	0.0576
5.24—6.78	5	$2.28 - +\infty$	2.2270	8.8394	4.3610

的拟合误差是服从正态分布的。

#### 四 业务试验结果

为检验修正统计参数后预报方案 (SD-85) 的实际预报效果, 对1985年的4、5、6、8、10、12、15、16、19号和1986年的5、6、7、8、11、15、16、17号等台风作为独立样本进行了试报。这是用这两年台风季节中业务预报的初始资料场计算的, 其中不仅选了7—9月内的台风, 而且包括了个别6月下旬和10月上旬的台风。试报的次数及平均误差(单位为km) 列于表3。此外, 为进一步把SD-85方案的预报水平与SD-75方案作对比, 在1987年台风季节中, 使用上述两种方案, 根据相同的初始场资料, 对3、4、5、6、7、10、11、12、13、15、18号等11个台风作了一一对应的82次台风路径业务预报。这两者的预报次数及平均误差也都列于表3。

表3 1985—1987年SD-85方案和SD-75方案平均预报误差的比较 (表中斜杠上面的数字为平均误差, 单位为km, 斜杠下面的数字为预报次数)

方案	年份	预报时段				
		12小时	24小时	36小时	48小时	60小时
SD-85方案	1985	53/36	127/35	246/31	295/26	343/21
	1986	81/61	163/61	279/55	430/47	569/40
	1987	48/82	139/79	249/75	365/68	492/61
SD-75方案	1985		169/51		322/36	
	1986		169/47		482/33	
	1987	48/82	139/79	271/75	383/68	524/61

从表3可以看出, 本方案在1985年的业务试报中平均预报误差为最小, 24小时和48小时的平均预报误差仅分别为127km和295km。而在1986年为最大, 24小时和48小时的平均预报误差分别达163km和430km。这主要和该年台风复杂路径出现的频数及它的活动时间长短有关。此外, 该年的台风业务定位误差有时过大, 也直接影响台风路径预报的精度<sup>[4]</sup>。例如, 1986年的15号台风和16号台风都是生命史长而路径十分复杂的台风(图略)。15号台风从8月13日到31日, 在西北太平洋上绕了两个圈, 在前进过程中出现了五次大的折向。而16号台风生命史更长, 在南海及台湾周围海面上维持了约20天(从8月16日到9月6日), 路径更为复杂,

呈现多个S形弯曲, 最后还在台湾和菲律宾之间的海面上打了为期约一周的圈, 才向偏西方向离去。在表3中列出的1986年SD-85方案的个例预报中, 包含了15号台风和16号台风的29次预报。这就造成了该年平均预报误差的增大。如果从中去掉6个预报误差大的个例, 则1986年的平均预报误差可分别缩小到155km(24小时), 243km(36小时), 352km(48小时)和470km(60小时)。这就和表3中所列的1987年业务预报的平均误差十分接近。SD-75方案在1985年和1986年的统计数字取自上海台风研究所每年作的台风路径业务预报评价<sup>[3]</sup>, <sup>[4]</sup>。由于它和SD-85方案统计的预报个例次数不完全一致, 只能作为参考性的对照, 不能作具体比较。但是在1987年两者所用个例和初始资料场均完全一致的情况下, 可以看出, 在短期(24小时)内, 两者预报的平均误差十分接近。而24小时以后的预报, SD-85方案的平均预报误差都要比SD-75方案的小, 平均缩小约20km。在前面引言中已经提到, SD-75方案具有较高的预报技能, 特别是24小时的预报。所以, 目前的方案对24小时内的短期预报难以改进。

图1、图2和图3分别给出了本方案在业务试报过程中的三个实例。图中实线均代表台风的实际路径, 虚线是各次的预报路径。路径上的小圆点标志每隔12小时的台风位置。图1是一个中区西行的台风例子。从图1中可见, 8510号台风路径稳定地朝西北偏西方向前进, 经过台湾北部海面, 于23日上

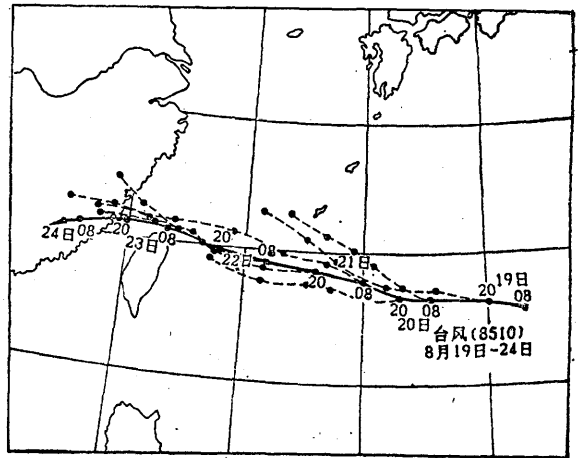


图1 1985年第10号台风的实际路径(实线)及预报路径(虚线)

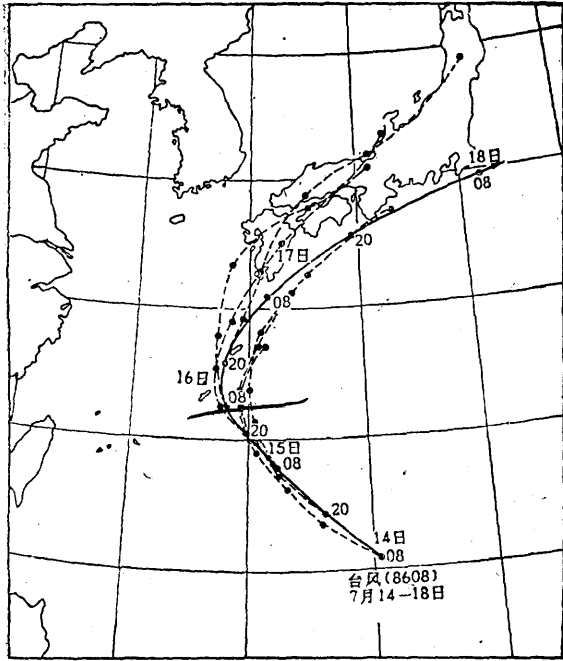


图2 1986年第8号台风的实际路径(实线)及预报路径(虚线)

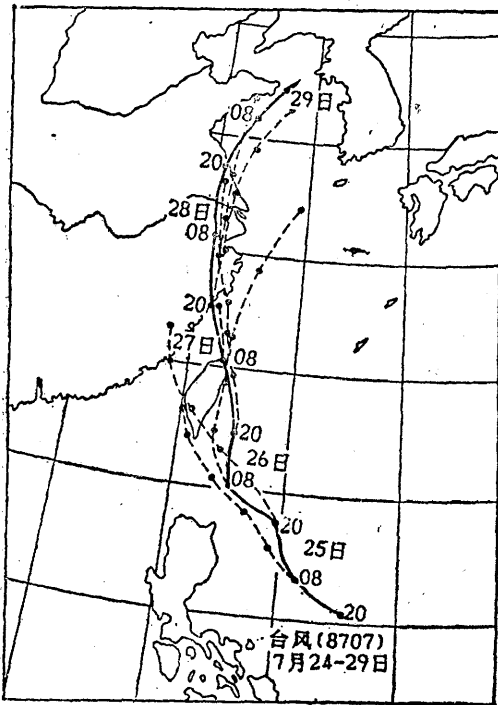


图3 1987年第7号台风的实际路径(实线)及预报路径(虚线)

半夜在福建省平潭附近登陆。图中从19日20时起每隔12小时的7次预报,除了最初两次预报趋势误差稍大以外,其余的几次预报均与实际路径较为接近,特别是有连续3次预报的台风登陆点与实际台风登陆点十分接近(误差小于50km)。此外,从连续几次的路径预报来看,也显示出路径预报趋势稳定的性能。图2是一个中区北上转向型的台风路径。8608号台风从14日08时起朝西北方向移动,16日在冲绳岛东北海面上(约129°E)转向东北移动经过日本南部海面。从图2中的预报路径可以看出,在台风转向前48小时(7月14日08时)台风转向的趋势就已经报出,且转向的经度预报误差小于1个经度。以后的几次预报也都和实况比较接近。图3则给出了1987年对我国沿海地区造成重大灾害的8707号台风的实际路径和用本方案所作的各次预报路径。图3中的第一次预报用南区方程,而其余的几次均用中区北上型方程求得。从图3中知道,在25日08时和20时,它就较早地预报出7号台风将穿过台湾南部北上登陆福建。虽然和实际路径相比略为偏西,但趋势相似。而SD-75预报方案的结果(图略),它将向西北移动,在广东汕头附近登陆。这显然就和实际路径偏差较大。在图3中的其余几次预报,除26日08时预报的路径偏东在沿海北上过早转向外,也均和实际路径较为接近,而且保持趋势连续、路径光滑。

总而言之,从上面一些业务预报的试验结果来看,对统计动力预报方案中的统计参数 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 作出合理调整后,能够改进其预报性能,提高预报精度。当然,如何更好地来表达这些统计参数,尚有别的方法,对此我们未作更多的试验。另外,对一些路径甚为复杂的台风,仍然缺乏预报能力。如何对这些台风作出有效的预报,还需要作另外的研究。

致谢: 在本方案的研制过程中,曾经得到了本所吴中海研究员的多次指导和帮助。

在此，特致以衷心的感谢。

### 参考文献

〔1〕上海台风研究协作组，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。

〔2〕上海台风研究协作组和浙江台风研究协作组，台风路径统计预报75年方案，同上。

〔3〕薛宗元等，1985年我国台风路径客观预报的检验，气象，1986年第9期。

〔4〕费亮等，1986年台风业务预报评价，海洋预报，1988年第1期。

〔5〕费亮等，1987年台风业务预报评价，将发表。

## A test on revising of the statistical parameters in the operational model(SD-75)for typhoon track forecast

Xue Zongyuan Wu Tianquan Li Duowu

Fei Liang Xu Jingyuan

(Shanghai Typhoon Institute)

### Abstract

The regression expressions of principal forces in the motion equation were recalculated after enlarging of sizes of the samples relative to the philosophy of the statistical-dynamic model (SD-75) for typhoon track forecast. Then a test on the operational forecasts of typhoon track in the 1987 typhoon season was carried out, using the revised model (called SD-85). The results indicate that the later is more advanced than the former in respect of productive characteristics.