

应用数值预报的结果作西太平洋台风 路径统计预报的尝试*

倪允琪 薛宗元

(南京大学气象系) (上海台风研究所)

提 要

本文应用台风位置以北的 27 个网格点上的数值预报位势高度和一些持续性因子作为预报因子, 采用逐步回归方法, 分别建立了初始时刻后各时段内的台风位移和台风数值预报位移误差订正量的回归方程。但由于样本较少 (仅 84 个样本), 预告的稳定性可能会受到一定的影响。

西太平洋台风路径的数值预告, 近几年来已得到初步的发展和应^{[1],[2]}, 但现有模式比较初步, 有时预报误差还较大。为了进一步提高台风路径预告的精度, 我们寻找初始时刻后各时段的 500 mb 形势场数值预告与同时段的台风位移 (或数值预告的台风位移误差量) 的统计规律, 并初步试验了这类模式的性能。

一、资料与预报量的处理

我们选取了 1972—1978 年 7—9 月进入 15°N 以北、120°—140°E 之间区域的台风数值预告个例 81 个, 以及 1969 年的 3 个个例, 共计 84 个样本, 其中不包括有明显相互影响的双台风个例。

预报量的处理分为两类:

1. 在 TM-I 方案中, 预报量 $\Delta\varphi_t$ 、 $\Delta\lambda_t$ 是取预报时刻 ($t=12, 24, 36, 48, 60$ 小时) 台风中心相对于前 12 小时台风中心的经向和纬向位移 (单位: 纬度), 即

$$\begin{cases} \Delta\varphi_t = \varphi_t - \varphi_{t-12} \\ \Delta\lambda_t = (\lambda_t - \lambda_{t-12}) \cos \varphi_t \end{cases}$$

其中 φ_t 、 λ_t 分别为预报时刻的台风中心纬度和经度。 φ_{t-12} 、 λ_{t-12} 分别为预报时刻前 12 小时台风中心的纬度和经度。

2. 在 TM-II 方案中, 我们取预报时刻台风数值预报的经向和纬向位移误差 (单位: 纬度) 作为预报量, 即

$$\begin{cases} \Delta^2\varphi_t = \Delta\varphi_t^F - \Delta\varphi_t \\ \Delta^2\lambda_t = (\Delta\lambda_t^F - \Delta\lambda_t) \cos \varphi_t \end{cases}$$

其中 $\Delta\varphi_t^F$ 、 $\Delta\lambda_t^F$ 分别为 t 时刻数值预告的经向和纬向位移, $\Delta\varphi_t$ 、 $\Delta\lambda_t$ 同 TM-I 方案。

* 本文于 1979 年 1 月 26 日收到, 1979 年 5 月 29 日收到修改稿。

二、预 报 因 子

为建立预报方程，我们提供了可挑选的预报因子 41 个，大体可分为两大类：

1. 应用数值预报结果的因子 (31 个)

(1) Φ_i ——相应预报时刻，台风中心北侧 27 个格点 (图 1) 上 500 mb 位势高度预报值。

图 1 为网格点的分布。 \circ 点固定放在相应预报时刻台风区域位势高度的极值点上，格点间距为 400 公里。 \circ 点与 5 点的间距为 $4d$ (d 是数值预告格点的间距，为 200 公里)。各个预报时刻的位势高度由西太平洋台风路径业务数值预告模式^[2]得到。

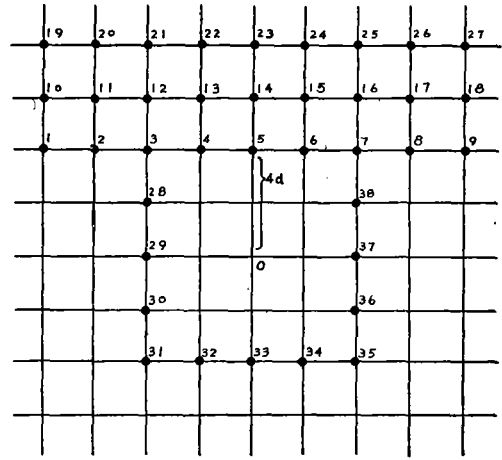


图 1

(2) $\sum_1^5 \Phi_i^E - \sum_1^5 \Phi_i^W$ ——相应预报时刻，台风中心东侧 5 个格点上预报位势高度值

之和与西侧 5 个格点上预报位势高度值之和的差，即

$$[(\Phi_7 + \Phi_{38} + \Phi_{37} + \Phi_{36} + \Phi_{35}) - (\Phi_3 + \Phi_{28} + \Phi_{29} + \Phi_{30} + \Phi_{31})]$$

(3) $\sum_1^5 \Phi_i^N - \sum_1^5 \Phi_i^S$ ——相应预报时刻台风中心北侧 5 个格点上预报位势高度值之

和与南侧 5 个格点上预报位势高度值之和的差，即

$$[(\Phi_3 + \Phi_4 + \Phi_5 + \Phi_6 + \Phi_7) - (\Phi_{31} + \Phi_{32} + \Phi_{33} + \Phi_{34} + \Phi_{35})]$$

(4) $\Delta\varphi_i^E, \Delta\lambda_i^E$ ——相应预报时刻的台风数值预报位移。

2. 台风初始状态的因子，即所谓持续性因子 (10 个)

(1) $\varphi_0, \lambda_0, \varphi_{-6}, \lambda_{-6}, \varphi_6, \lambda_6$ ——分别为台风中心的初始时刻、初始时刻前六小时及后六小时的纬度和经度。

(2) $\varphi_6 - \varphi_{-6}, (\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$ ——分别为相当于台风中心初始的经向和纬向移速分量。

(3) φ_c ——台风中心 500 mb 位势高度。

(4) $\nabla\varphi_c$ ——台风中心周围四点 (距中心为 $2d$) 上的 500 mb 位势高度值之和的四分之一减去台风中心位势高度值。

三、预 报 方 程

预报方程由 84 个样本对 41 个预报因子经逐步回归筛选建立。TM-I 和 TM-II 方案的预报方程、 F 水平、复相关系数 (R) 和剩余标准差 (S_y) 分别列于表 1 和表 2。

由表 1 和表 2 看出：

表 1 TM-I 方案的预报方程

时 效	经 向 预 报 方 程		纬 向 预 报 方 程	
	因 子	系 数	因 子	系 数
12 小 时	$F=2.5$	$R=0.956$	$F=2.0$	$R=0.940$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	0.90617	$(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$	0.90478
	Φ_8	0.05770	$\nabla \Phi_c$	0.03047
	Φ_{11}	0.05711	Φ_8	0.06446
	Φ_{12}	-0.10421	Φ_{10}	0.06572
	Φ_{19}	-0.01706	Φ_{12}	-0.09453
	Φ_{21}	0.05835	$\sum \Phi_i^n - \sum \Phi_i^s$	-0.01623
	回归常数 S_y	-4.26567 0.311759		-3.13469 0.465484
24 小 时	$F=2.1$	$R=0.746$	$F=2.5$	$R=0.814$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	0.55535	$(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$	0.53520
	Φ_8	-0.10146	$\sum \Phi_i^n - \sum \Phi_i^s$	-0.03000
	Φ_{13}	-0.09511	$\Delta \lambda_{24}^r$	0.20660
	Φ_{19}	-0.03035		
	Φ_{21}	0.07406		
	Φ_{25}	0.05966		
	$\sum \Phi_i^n - \sum \Phi_i^s$ $\Delta \lambda_{24}^r$ 回归常数 S_y	0.01723 0.26364 8.68545 0.651757		0.16195 0.786327
36 小 时	$F=2.0$	$R=0.525$	$F=2.4$	$R=0.797$
	$\varphi_6 - \varphi_8$	0.38336	$(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$	0.33027
	λ_{-6}	0.03384	Φ_8	-0.14825
	Φ_8	-0.05268	Φ_{15}	0.28663
	$\Delta \lambda_{36}^r$	0.11652	Φ_{24}	-0.11409
	回归常数 S_y	1.05047 0.774415	$\sum \Phi_i^n - \sum \Phi_i^s$ $\Delta \lambda_{36}^r$	-0.03022 0.42558 -2.05921 0.882470
48 小 时	$F=2.0$	$R=0.599$	$F=2.0$	$R=0.732$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	0.23564	Φ_7	0.17460
	λ_0	0.23571	Φ_8	-0.23182
	λ_6	-0.20483	Φ_{23}	0.08361
	Φ_{15}	-0.23341	$\sum \Phi_i^n - \sum \Phi_i^s$	-0.05029
	Φ_{25}	0.31693	$\sum \Phi_i^s - \sum \Phi_i^n$	0.03513
	Φ_{28}	-0.22438	$\Delta \lambda_{48}^r$	0.38269
	$\Delta \Phi_{48}^r$ 回归常数 S_y	0.29502 9.10286 0.765857		-2.22745 1.034166
60 小 时	$F=2.1$	$R=0.502$	$F=2.7$	$R=0.693$
	$\nabla \Phi_c$	-0.04156	Φ_{11}	
	Φ_{17}	0.17293	Φ_{13}	
	Φ_{27}	-0.22287	Φ_{25}	
	回归常数 S_y	6.27377 0.984414	$\sum \Phi_i^n - \sum \Phi_i^s$	8.73286 1.185458

表 2 TM-II 方案的预报方程

时 效	经 向 预 报 方 程		纬 向 预 报 方 程	
	因 子	系 数	因 子	系 数
12 小 时	$F=2.7$	$R=0.885$	$F=3.5$	$R=0.753$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	-0.85728	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	0.11257
	Φ_3	0.06211	$(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$	-0.88745
	Φ_8	-0.06699	$\nabla \Phi_c$	-0.02165
	Φ_{11}	-0.04479	$\Delta \lambda_{12}^F$	0.86446
	$\Delta \Phi_{12}^F$	0.93568		
	回归常数	4.05884		0.12823
	S_y	0.323799		0.495301
24 小 时	$F=3.2$	$R=0.764$	$F=2.0$	$R=0.706$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	-0.58159	$(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$	-0.53715
	Φ_6	0.12484	$\sum \Phi_4^F - \sum \Phi_4^P$	0.01675
	Φ_{21}	-0.02541	$\sum \Phi_8^F - \sum \Phi_8^P$	-0.01599
	Φ_{25}	-0.05834	$\Delta \Phi_{24}^F$	0.31510
	$\Delta \Phi_{24}^F$	0.83169	$\Delta \lambda_{24}^F$	0.74724
	$\Delta \lambda_{24}^F$	-0.21235		
	回归常数	-4.34843		-0.22669
	S_y	0.670364		0.745883
36 小 时	$F=3.0$	$R=0.715$	$F=2.1$	$R=0.571$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	-0.33962	$(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$	-0.30198
	λ_{-6}	-0.03791	Φ_{-6}	-0.05077
	Φ_5	0.06404	Φ_5	-0.10385
	$\Delta \Phi_{36}^F$	0.89374	Φ_6	0.16690
			Φ_{16}	-0.10605
		$\sum \Phi_8^F - \sum \Phi_8^P$	0.02472	
	回归常数	-1.32825	$\Delta \lambda_{24}^F$	0.48587
	S_y	0.795524		4.67247
				0.891225
48 小 时	$F=1.2$	$R=0.818$	$F=2.5$	$R=0.548$
	$\varphi_6 - \varphi_{-6}$	-0.36233	Φ_6	-0.09233
	Φ_c	-0.01768	Φ_8	0.14270
	λ_{-6}	-0.02465	Φ_{23}	-0.08371
	Φ_7	0.14896	$\sum \Phi_8^F - \sum \Phi_8^P$	0.05024
	$\Delta \Phi_{48}^F$	0.68901	$\sum \Phi_{12}^F - \sum \Phi_{12}^P$	-0.03781
		$\Delta \lambda_{48}^F$	0.61253	
	回归常数	-9.32151		2.83210
	S_y	0.773874		1.041585
60 小 时	$F=2.5$	$R=0.709$	$F=2.5$	$R=0.730$
	Φ_{27}^F	0.09509	λ_6	0.06562
	$\Delta \Phi_{60}^F$	0.79870	Φ_{12}	0.68114
			Φ_{13}	-0.78597
			Φ_{20}	-0.17476
			Φ_{23}	0.10129
		Φ_{26}	0.12750	
	回归常数	-9.47310	回归常数	-4.30039
	S_y	1.005601	S_y	1.063260

(1) 反映台风初始移速的持续性因子 $\varphi_6 - \varphi_{-6}$ 在两个方案的 12、24、36、48 小时的预报方程中都被挑上, 而 $(\lambda_6 - \lambda_{-6}) \cos \varphi_0$ 在两个方案的 12、24、36 小时的预报方程也被挑上了。但是, 在方程中, 这二个因子的系数 (相对大小) 随着预报时效的增长而缩小 (除 TM-II 方案的 48 小时预报方程外)。这表明, 这二个持续性因子随预报时效的增长而对台风位移的影响减小。其它反映台风初始状态的因子 (除 φ_0 外) 仅在个别方程中被挑上。

(2) 方程中除了 (1) 中所述的持续性因子外, 其它都是数值预告因子。

(3) 在相应预报时刻, 数值预报位移在 TM-II 方案的预报方程中都被挑选上。这说明, 台风数值预报位移和数值预报位移误差之间的关系, 比台风数值预报位移和台风位移 (TM-I 方案) 之间的关系更为密切。

(4) 根据复相关系数和剩余标准差来比较 TM-I 和 TM-II 方案的拟合情况, 可以看出, 纬向预报方程的拟合情况 TM-I 方案比 TM-II 方案好, 而经向预报方程的拟合情况则与此相反。

(5) 由 TM-II 方案的预报方程得到预告量 $\Delta^2 \varphi_t$ 和 $\Delta^2 \lambda_t$ 以后, 再从数值预告的台风位移中减去它才是最终的台风位移预告量。即

$$\begin{cases} \Delta \varphi_t = \Delta \varphi_t^F - \Delta^2 \varphi_t \\ \Delta \lambda_t = \Delta \lambda_t^F - \Delta^2 \lambda_t / \cos \varphi_t \end{cases}$$

其中符号均与上述相同。

四、相关分析与模式性能的试验

我们计算并分析了 12、24、36、48、60 小时位势高度预告场上的 27 个格点值 (如图 1) 与相应时刻台风位移、台风数值预告位移误差之间的单相关 (本文仅给出 24、48 小时的相关图, 如图 2 a—3 d)。

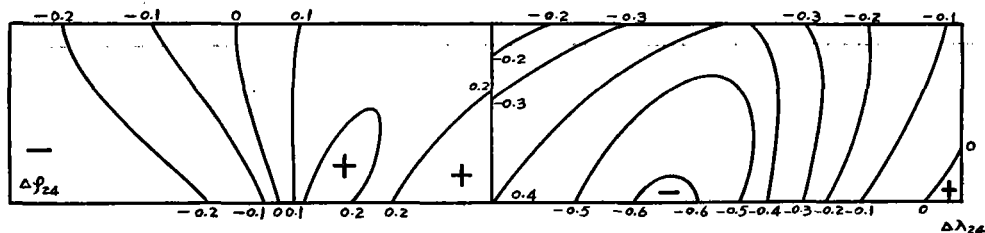


图 2 a

图 2 b

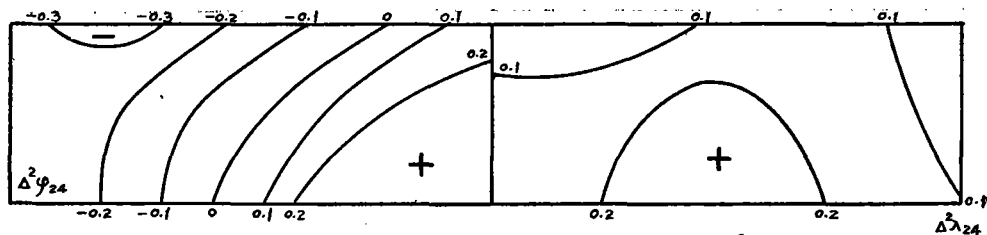


图 2 c

图 2 d

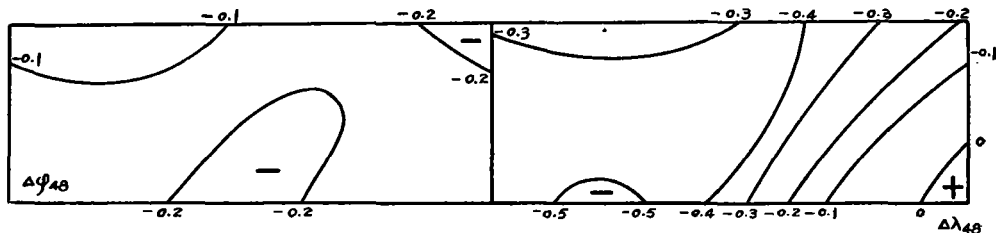


图 3 a

图 3 b

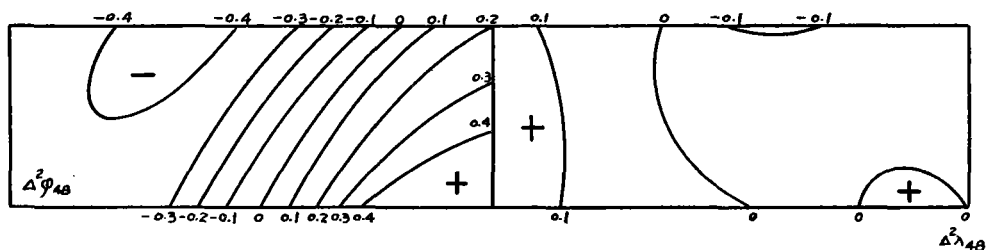


图 3 c

图 3 d

1. 位势高度预告场与台风位移的相关分析

(1) 从 24 小时纬向相关图 (图 2 b) 中可以看到, 在台风中心西北偏北侧有一范围很大的负相关区, 而台风中心东北侧有一很小的正相关区。在 24 小时的经向相关图 (图 2 a) 中, 正负相关的位相与纬向相关图类似, 但东北的正相关区很大, 而西北的负相关区较小。这反映当台风东北和北侧位势高度升高 (降低) 时, 台风有向西、向北 (向东、向南) 的分量; 而西北侧升高 (降低) 时, 台风有向西、向南 (向东、向北) 的分量; 两者同时升高 (降低) 时, 台风的向南与向北分量有相互抵消的趋势。

(2) 随着时效的增长, 48 小时的纬向相关图 (图 3 b) 与 24 小时纬向相关图 (图 2 b) 相比, 仅负相关中心稍向西移动, 其它分布均类似; 而在 48 小时的经向相关图 (图 3 a) 上, 原来台风东北侧的正相关区已变成负相关区。可见, 当台风北侧在 48 小时时段内, 高度继续升高 (降低) 时, 台风有向南 (向北) 的分量。

2. 位势高度预报场与台风数值预告位移误差的相关分析:

(1) 从 24 小时纬向相关图 (图 2 d) 中看到, 在台风正北有一正相关区。随着预告时效的增长, 到 48 小时时 (图 3 d), 正相关中心已移到台风的西北侧和东北侧, 且相关系数均很小。这说明在 24 小时, 台风北侧的正相关区预告高度升高 (降低) 时, 有一向东 (向西) 的位移误差分量。因此, 必须对台风路径数值预告的结果作向西 (向东) 的修正, 这种修正随时效的增长而减小。

(2) 在台风预告位移误差经向分量的相关图 (图 2 c、3 c) 中, 在台风的东北侧有一正相关区, 而在其西北侧有一负相关区。说明台风的东北侧的预告高度升高 (降低) 或西北侧的预告高度降低 (升高) 时有一向北 (向南) 的位移误差分量。如果这二处的预告高度同时升高或降低时, 则就有相互抵消的趋势。随着时效的增长, 原来的正负相关区中心数值增大。这也说明, 位势高度的预报结果, 对台风预告经向误差的影响随着预告

时效的增长而增大。因此,引进台风予告位移误差订正,有可能提高台风路径予告的精度。

为了进一步试验上述分析的“利用数值予告的结果作统计予告”这类模式可能具有的性能,在1978年我们把1977年利用上述两个方案的予告方程^[3]对70个样本作了15次预报,将其结果与业务数值予告^[2]的结果作了比较,见表3。我们知道,(7805)台风前期路径(1978年7月15日—7月17日)和(7806)台风路径都比较复杂,而这二个台风的预报次数在15次中占了7次。由表3可见,TM-I和TM-II的12、24小时的予告位移平均误差与方向误差均比数值予告的结果为小,但36小时以后各时段的予告比数值予告差得多。我们又单独地比较了(7805)和(7806)台风的TM方案和数值予告的结果(见表4),这就清楚地看到,用TM方案预报这类急剧变化的台风路径是比较困难的。

综上所述, TM-I和TM-II方案对西太平洋台风路径有一定的预告能力,但在路径比较复杂的台风预报中,预报误差仍比较大。目前,由于样本数还不够多,试用的时间不够长,有些问题还有待于今后业务预告应用中不断总结和改进。

表 3*

模式名称	12 小时			24 小时			36 小时			48 小时			60 小时		
	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差
TM-I	15	44	17.1	15	154	20.8	13	272	32.5	12	422	42.3	8	661	50.5
TM-II	15	44	25.1	15	140	21.9	13	286	35.8	12	420	42.9	8	682	46.9
业务数值予告	21	66	19.9	21	161	23.5	16	205	22.6	14	362	30.9	9	546	31.0

表 4*

模式名称	台风 编号	12 小时			24 小时			36 小时			48 小时			60 小时		
		N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差	N	位置 误差	方向 误差
TM-I	7805	3	44	12	3	205	34	3	374	62	3	572	84	3	858	88
	7806	4	53	33	4	225	35	4	341	31.5	4	484	35.5	3	682	34
TM-II	7805	3	44	12.5	3	198	46	3	407	73	3	583	85	3	880	86
	7806	4	66	49	4	198	30	4	341	31	4	627	45	3	682	31
业务数值 予告	7805	3	66	34	3	154	53	3	275	43	3	485	43	3	640	40
	7806	5	44	2	5	95	12	5	190	21	5	374	34	5	530	31

- 注: 1. 表中N为预报次数;
2. 表中位置误差单位: 公里, 方向误差单位: 度;
3. 表中误差均未作引进后六小时台风位置的误差订正。

参 考 文 献

- [1] 上海台风研究协作组, 西太平洋台风路径预告的STNP-1(76)方案及其试验结果, 1976年台风会议文集, 上海科学技术出版社。
[2] 倪允琪、薛宗元、金汉良, 西太平洋台风路径业务数值预告模式及其初步使用结果, (将发表)。
[3] 倪允琪、薛宗元, 应用数值预告的结果作西太平洋台风路径统计预告的初步尝试, (将发表)。

**A TEST OF STATISTICAL FORECASTING SCHEME FOR
WESTERN PACIFIC TYPHOON TRACKS USING
NUMERICAL FORECASTING RESULTS
AS PREDICTORS**

Ni Yun-qi

(Department of Meteorology, Nanking University)

Xue Zong-yuan

(Shanghai Typhoon Institute)

Abstract

A The multiple linear regression equations derived by MOS technique were tested for forecasting Western Pacific typhoon tracks. Numerically predicted 500 mb geopotential height at 27 grid points in the north of typhoon and parameters showing the state of typhoon were selected as predictors. Two kinds of regression equations derived with different predictands were described. In the first kind, the predictands are the displacement of typhoon at intervals of 12 hrs. In the second kind, the predictands are the correction amount of the displacement error of typhoon numerically predicted. But there were only 84 statistical samples, therefore it might have some influence on the forecasting stability of the scheme.