

数值预报产品在台风路径预报中的应用

季晓阳

(国家海洋环境预报中心,北京)

摘 要

利用欧洲中期天气预报中心和国家海洋环境预报中心的数值预报产品,形成包括理想台风模型的模式初值,用正压原始方程做台风路径预报,经过1994年的6个台风的实时预报试验,效果较好。

关键词:数值预报产品,台风路径预报。

一、引 言

台风是海洋上重要的灾害性系统之一,其路径预报的正确与否,对海浪预报和风暴潮预报均有直接的影响。近十多年来,随着数值预报方法的发展,台风路径数值预报也在不断改进。但其预报准确率提高却远不如大尺度形势和要素的预报,这主要是由于台风大多在资料稀少的洋面上活动的缘故,有时初始定位都不够准确,而数值预报的结果对于初值是很敏感的。由于同样的原因,目前对台风的结构的物理机制了解不足,这些都给路径的预报带来了很大的困难。尽管如此,许多国家都在不断努力做好台风路径的数值预报。就数值预报而言,多层斜压原始方程模式是预报台风路径的方向。但它计算量大,需要高速计算机才能赶上预报时效。王琴等⁽¹⁾利用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的资料做台风路径趋势预报试验,取得了一定的效果。我们在过去工作的基础上,利用ECMWF资料和我们预报中心五层原始方程业务模式的结果相结合的方程,开展这方面的工作,效果还是不错的。首先用同时刻的ECMWF和我中心的500hPa的客观场经过插值和组合得到一个新的500hPa的分析场作为环境形势场,再嵌入台风模型,用内含台风模型的正压原始方程作24小时的积分,可得到24小时的台风的预报路径。然后,以此为基础用ECMWF和我中心五层模式的预报场再构成新的环境形势场以代替原来的正压模式的预报场,仅保留台风的环流,在此基础上继续积分直到做完72小时为止,由此可得到72小时的台风的预报路径。

* 本文于1995年9月收到。

二、模式结构

1. 基本方程组

考虑地图放大因子的正压原始方程组为

$$\frac{\partial u}{\partial t} + m(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial \Phi}{\partial x}) - fv = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + m(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \Phi}{\partial y}) + fu = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + m[u \frac{\partial \Phi}{\partial x} + v \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \Phi(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})] = 0 \quad (3)$$

式中 u, v 为水平方向的风速分量, Φ 为位势高度, m 为地图投影放大因子, f 为地转参数。方程各项的差分格式除平流项用半动量格式外, 其余均用中央差。

2. 预报范围及初始场的处理

我们采用套网格的方法: 大网格的范围包括亚洲大部和西北太平洋西部的一个矩形区域, 预报区域内共有 $51 \times 63 = 3213$ 个格点, 空间步长为 190.5km, 时间步长为 5 分钟。

由于我们所收到的 ECMWF 资料仅为 $5^\circ \times 5^\circ$ 较粗网格点上的资料, 且南面的范围仅到 20°N , 如果全部依赖它, 预报将受到很大的限制。我们以预报中心自己的 500hPa 的客观分析格点值为基础, 把 ECMWF 的客观分析值用有限元插值法插到格距为 190.5km 的格点上, 代替原有的分析值并构成新的初值场, 这样既充分利用了分析比较准确的 ECMWF 的资料, 又保证了预报范围的扩大。

对于台风环流, 由于海洋上往往缺乏观测资料, 我们嵌入轴对称的台风场作为初值, 即设

$$\Phi(r) = \Phi_B - \frac{\Delta\Phi}{\exp(\frac{1.7r}{R})^2} \quad (4)$$

式中 r 为某点到台风中心和台风环流的距离, R 为台风平均半径, $\Delta\Phi = \Phi_B - \Phi_0$, 此处 Φ_0 和 Φ_B 分别为台风中心和台风环流外围 500hPa 位势高度。

3. 台风中心初值时刻位置的确定

在以往的工作中, 预报区域是固定的, 预报区域内的网格也是固定的。对于任一台风来说, 它初始时刻的位置不一定都恰好落在网格点上, 这会使以后的预报产生较大的误差。我们这里采用活动的预报区域, 使台风中心在初始时刻正好位于某个网格点上, 这样每次预报时都要重新构造预报区域和网格, 尽管处理时比较麻烦, 但为了提高预报精度, 这样做是值得的。

4. 套网格技术

为保证大小网格连接处的协调,小网格每积分两步后,对小网格边界第二圈进行一次9点平滑⁽²⁾,这样处理能保证边界附近的连续和光滑。计算结果表明,大小网格边界的这种处理是简单可行的。

我们这里不仅考虑大网格对小网格提供不定常的边界值,而且也考虑了小网格对大网格的反馈作用,即在每次小网格积分后,把包含在小网格内的大网格的值用小网格的9点平均值来代替。

小网格的位置要随台风中心移动,所以每积分两小时要判别一次台风中心的位置。

5. 适时更新技术

在积分过程中,每24小时以海洋环境预报中心的五层模式和ECMWP组合的同时次的预报场(F_e)更新正压原始方程预报的环境场(F_b),而保留台风的涡旋场。即下一个24小时预报的初始场为

$$F(I, J) = 4F_b(I, J) - (1 - A)F_e(I, J)$$

$$\text{衔接系数 } A = \begin{cases} 0 & R > R_i \\ \frac{(R - R_i)}{(R_i - R_i)} & R_i < R < R_i \\ 1.0 & R < R_i \end{cases}$$

R_i 和 R_i 分别为热带气旋内区半径和外围半径。

三、预报结果

我们对1993年13号、15号、23号三个台风进行了试报,从平均距离的误差表上可以看出,用中心客观分析场(简称模式I)作初始场的三个台风的预报路径的平均误差无论是24小时还是48小时都大于加入ECMWF资料(简称模式II)作初始场的预报误差,特别是48小时,相差88km,可见用模式II作48小时预报有较大改进。

图1给出9313号台风的预报路径,模式I的预报路径用虚线表示,模式II的预报路径用点划线表示,台风的实际路径用实线表示。9313号台风(起报时间:1993年8月31日20时,北京时,下同)是个在海上转向的台风。8月31日的预报是个关键,模式I72小时预报向西北方向行,经过台湾后登陆福建。模式II72小时预报较好地报出了台风的转向,但预报位置与实况相差较大。从误差中可以看到(表1),24小时的平均误差模式I反而比模式II小,但差别不是很大,可能与预报次数较少有关。

图2给出了9315号台风(起报时间:1993年9月10日20时)的预报路径,从图中可以看出,模式II的预报结果要好于模式I。9月12日预报的登陆点的位置模式II也优于模式I。

我们在1994年,对15号、17号、18号、30号、31号和32号等6个台风进行了实时预

报,并把预报结果送给我中心短期预报组参考。表 2 给出了这 6 个台风的平均误差。

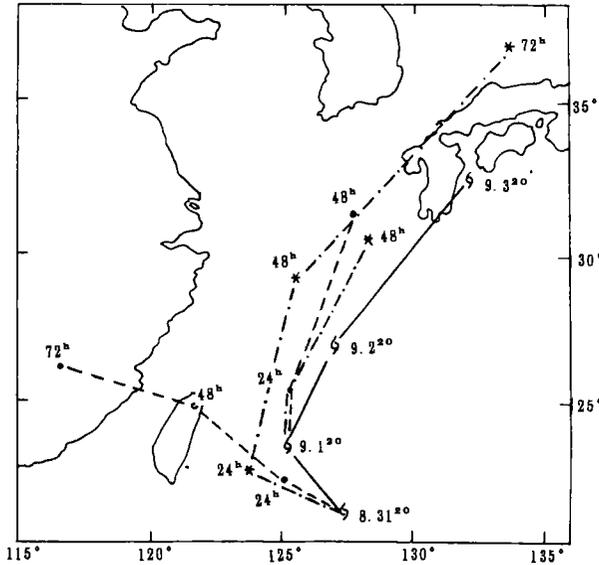


图 1 9313 号台风路径

(实线为台风实况路径,虚线为不加 EC 资料的预报路径,点划线为加 EC 资料的预报路径)

表 1 台风路径预报的平均距离误差表

台风编号	模式类型	24 小时预报		48 小时预报	
		预报次数	平均误差 (km)	预报次数	平均误差 (km)
9313	模式 I	2	180.3	2	578.0
	模式 II	2	204.7	2	450.5
9315	模式 I	3	210.3	2	374.1
	模式 II	3	139.5	2	238.2
9323	模式 I	5	235.0	5	472.8
	模式 II	5	159.8	5	420.0
平均	模式 I		208.5		474.2
	模式 II		162.7		386.4

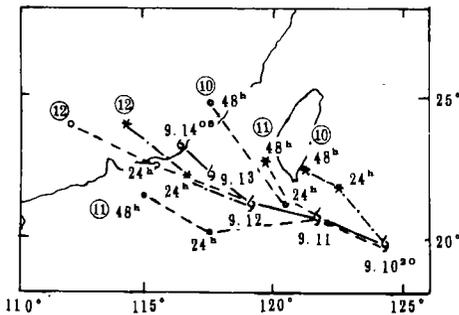


图 2 9315 号台风路径

(说明同图 1, 圆圈内的数字 10 等为起报日期)

表 2 台风路径预报的平均距离误差表

台 风 号	24 小时预报		48 小时预报		72 小时预报	
	预 报 数	平 均 差 误 (km)	预 报 数	平 均 差 误 (km)	预 报 数	平 均 差 误 (km)
9415	3	96.6	2	103.2	1	328.6
9417	5	277.5	4	314.1	2	262.0
9418	2	121.0	1	167.6		
9430	3	124.3	2	281.9	1	258.6
9431	1	62.2	1	227.6	1	538.4
9432	7	204.2	7	328.6	6	589.4
预报的总次数	21		17		11	
		179.8		277.8		407.6

从表 2 可以看出,这 6 个台风的 24 小时、48 小时和 72 小时的平均距离误差分别为 179.8km、277.8km 和 470.6km,从上述平均误差看,比业务预报的多年平均误差要小,但与 1994 年这几个台风的业务预报比较,24 小时和 72 小时的平均误差偏大,48 小时的误差差不多。

这 6 个台风中,15 号台风和 30 号台风是近海转向台风,模式较好地报出了转向趋势,但具体位置上有些偏差。30 号台风在近海转向,而该模式报的是擦边转向,这对防灾减灾的实际效果还是有较大影响的。17 号(图 3)和 18 号台风是登陆台风,模式均报登陆,但台风登陆点偏差较大。31 号和 32 号台风是外海台风,其中 32 号台风是打转以后再向东北行,这是个疑难路径的台风,模式预报有几天误差很大。10 月 21 日和 10 月 22 日两天 72 小时预报误差达 900~1000km,因而使整个 72 小时的平均误差增大了近 100km。如果不统计这两天的预报误差,则 6 个台风的平均距离误差 24 小时、48 小时、72 小时分别为 177.6km、255.3km 和 373.3km。48 小时与 72 小时的误差与业务预报相当。

四、讨 论

1. 我们用加进数值预报产品的方法作正压套网格台风路径的预报,从 1993 年后报试验和 1994 年的实时预报结果看,效果比不加数值预报产品的好,特别是 48 小时和 72 小时预报,改进要更大一些。另外,台风初始位置放在网格点上对预报的改进也起了一定作用。

2. 我们在预报试验中发现,该模式对台风中心强度、范围的选取有一定的敏感性。在试验中,台风中心和范围分别取为四种情况:台风强、范围大;台风强、范围小;台风弱、范围大;台风弱、范围小。预报时根据国家气象局所提供的台风实况资料来确定台风中心选取哪一种情况。在试验中,某个台风从实况资料看应该选取台风强、范围大这种情况,但预报结果不如选取台风强、范围小的结果为好,但实际预报时参数是不能随意改变的。

如何看待这种结果呢?我们分析后认为,模式用 500hPa 的资料来做的,而前述的台风实况资料是台风中心的地面要素,台风在 500hPa 的强度与范围不一定与地面完全一致,因而可能会产生上述的预报结果。我们下一步准备从下面两个方面进行试验,以期进一步改进预报效果。第一,在做预报时,如果前一天 24 小时的预报误差已经可以得到了,选取参数时可以参考前一天的预报结果。第二,如果预报时效赶得上的话,可以把四种情况或两种情况都进行预报,最终预报结果取四种情况或两种情况的平均值。上述两个想法是否可行,有待进一步试验。

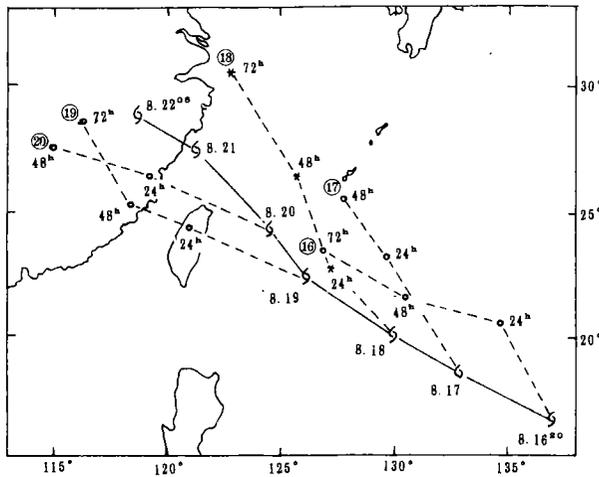


图 3 9417 号台风路径

(实线为台风实况路径,虚线为加 EC 资料的预报路径。

圆圈内的数字 16, …20 为起报日期)

3. 该模式的另一个优点是计算时间较少,可以在高档微机上实现。

4. 由于我们试验和试报的个例少,结果也是初步的,尚须进一步改进和完善,我们相信经过改进和完善,此方法可以成为台风路径业务预报方法之一。

参 考 文 献

- [1] 王琴,朱永霖,热带气旋路径趋势数值预报的试验研究,应用气象学报, Vol. 3, No. 3, 273~289, 1992。
- [2] Gary, W. L. and Elsberry, Forecasts of Typhoon Irma Using a Neseed - Grid Model, Montyty Weather Review, Vol. 104(1976), 1154~1161.

TYPHOON TRACK PREDICTION BY USING NUMERICAL FORECASTING PRODUCTS

Ji Xiaoyang

(National Marine Environmental Forecasting Center)

Abstract

An idealized typhoon vortex is constructed and superposed upon the objective analysis and forecasting fields come from ECMWF and National Marine Environmental Forecasting Center (NMEFC). The initial values for typhoon forecasts are obtained through this composite analysis scheme. Real-time forecasts for 6 cases in 1994 were carried out by a barotropic model with the usage of numerical forecasting products from ECMWF and NMEFC. It is shown from Verification that the forecasting results are satisfactory.

key words: Numerical forecasting products, Typhoon track prediction.