

改进的物理过程参数化对台风路径 数值预报的影响*

陈德辉 王诗文 汪厚君**

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

文章介绍了国家气象中心的台风路径数值预报试验模式^[1]和新开发的改进物理过程参数化方案,对1992年的5个台风个例初步试验结果表明:改进物理过程参数化模式对台风路径和台风强度的预报比简单物理过程模式有明显提高,24 h和48 h台风中心位置预报误差分别为188 km和337 km,比原模式减小38 km和109 km;48 h台风中心气压与实况之差平均减小3 hPa.

关键词:物理过程参数化;台风路径;数值预报.

引 言

1992年以来国家气象中心以LAFS有限区业务模式为基本框架,开发了一个双重嵌套台风路径数值预报试验模式(以下简称台风模式),并用该模式进行了大量的实时台风路径数值预报试验,取得了一定的成功.但是,该台风模式基本上沿用了原LAFS模式的一套物理过程参数化方案,由于该方案比较简单,明显地影响了台风模式预报效果的提高.因此,有必要对原方案作进一步的完善和改进.这就是本文工作的主要目的.

1 台风模式试验预报系统

国家气象中心的台风模式是一个单向、同步、双重嵌套有限区模式.“双重嵌套”指的是粗网格模式(简称大模式,分辨率为 1.875°)区域内嵌套一细网格模式(简称小模式,分辨率为 0.9375°),这是一种增加计算成本不多,而达到提高模式分辨率的有效方法;“同步”指的是大模式和小模式同时运转,大模式每一时间步长向小模式提供一次新的侧边条件;“单向”指的是模式系统只考虑粗网格尺度天气过程对小模式侧边界的强迫作用,而不考虑细网格天气过程对大模式的反馈作用,即“非双向的”.此外,预报系统中的大、小模式均采用一致性的动力框架和物理过程参数化方案^[1,2].

国家气象中心现行的台风模式试验预报系统主要包括:预处理、构造人造台风模型、

* 由国家科委85-906项目基金资助.

** 李建军、麻素红参加了部分工作.

1994-12-30收到,1995-02-22收到修改稿.

正规初值化、模式预报、后处理等 5 个部分。预处理部分,主要从有限区业务模式(LAFS)分析系统和 T42L9 全球业务谱模式的输出结果中,读取标准等压面上的要素场作为台风模式的初始场和大模式的侧边条件,并把标准等压面上的要素场线性插值到台风模式的等 σ 面上¹⁾。构造人造台风模型部分,主要采用经过部分参数修改后的 Iwasaki^[3] 初值化方案,根据台风警报参数(如台风中心最低气压、位置、最大风速、前 6 h 台风中心移动速度等),构造一轴对称结构的台风环流模型,以取代分析场中的弱台风涡旋。正规初值化部分,采用薛纪善等^[4]提出的非线性正规初值化方案,对已加入了人造台风模型的初始场进行初值化处理,以消除初始风场与质量场间不平衡引起的虚假高频振荡。模式预报部分,把加入了人造台风模型、经正规初值化调整的要素场作为预报初始场,进行时间积分,作出数值天气预报。后处理部分是对模式输出结果进行加工处理。

2 改进的物理过程参数化方案

我们对澳大利亚热带模式^[5]的一套复杂物理过程参数化方案进行移植、改进,以完善国家气象中心台风模式的物理过程参数化方案,提高模式的预报水平和能力。

2.1 深积云对流参数化方案

深对流参数化采用 KUO(1974)的方案。与台风模式原采用的 KUO-74 方案比较,新的 KUO-74 方案主要改进有:①在原方案中,大尺度环境供给积云对流发生发展的水汽量,由 t 时刻大尺度流场辐合的水汽确定,而在新的深积云对流参数化方案中,则用局地水汽增量垂直积分代替;②在新的 KUO-74 方案中,考虑了多积云层同时存在的情况,而在原方案中,只考虑一个积云层(最低的一层云)的情况。

2.2 浅积云对流参数化方案

浅积云对流参数化采用 Tiedte(1987)提出的方案,浅积云对流作类似湍流扩散过程处理,且浅积云对流的净作用不产生液态性降水的加热效应,只对大气热量、水汽廓线结构产生调整作用。大气条件性不稳定作为产生浅对流的条件,一旦确定了浅对流积云层,就以湍流通量形式加于湍流垂直扩散方程上一起求解。

2.3 垂直湍流扩散过程参数化方案

垂直扩散过程,用类似于大气边界层内湍流输送过程的处理方法(K -理论),次网格的热量、动量、水汽的垂直扩散被表述为扩散通量形式,使其参数化的问题归结于扩散交换系数“ K ”的确定。扩散交换系数用 Louis(1979)提出的与稳定度有关的公式进行计算。对任一变量 $\varphi(=u, v, T, q)$ 的垂直扩散方程为:

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)_s = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(\bar{\rho} K_s \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) \quad (1)$$

差分方案采用隐式方案。式(1)的上界:当 $p \rightarrow p_s$ 时,式(1)右边项趋于 0;下界:当 $p \rightarrow p_s$ 时,式(1)右边项趋于 $C_s |\bar{V}_1| (\varphi_1 - \varphi_s)$,其中 \bar{V}_1, φ_1 为模式最低层的值; φ_s 为地表面的值(在地表过程中给出); C_s 为地表湍流通量拖曳系数,据理查逊数 $Ri = 0$ (中性)、 $Ri >$

1) σ 模式的垂直坐标, $\sigma = p/p_s$, p_s 为地面气压。

0(稳定)、 $Ri < 0$ (不稳定)等三种情况取不同形式; K_e 为湍流交换系数,其相似函数根据大气的高层、低层而各异,且为理查逊数的函数。

在原简单的物理过程参数化方案中,只考虑摩擦效应对低层(紧靠地面的4个模式层)水平风场的耗散作用。

2.4 辐射过程参数化方案

辐射过程参数化方案采用 Lacis 和 Hansen(1974)的方法计算太阳短波辐射,以及 Fels 和 Schwarzkopf(1975)的方法计算地面长波辐射。为了节省计算时间,方案中采用了放射率表格法。云量、云高采用带状季平均气候值。有关辐射方案可参阅文献[5]。

2.5 地表物理过程参数化方案

模式中地表物理过程参数化问题归结为对地表总热量平衡方程的求解,它包括地表太阳直接短波辐射的吸收(S_g)、地表对大气长波辐射的吸收(A_g)、地球本身的长波辐射支出($-\sigma_g T_g^4$)、地表向大气的感热($-H_s(T_s)$)和潜热($-H_e(T_s)$)输送,地表向土壤深层或水面以下深层的热传导输送($-H_g(T_s)$),以及冰面上的蒸发作用引起的热量输送($H_{ice}(T_s)$)。这样,地表总热量平衡方程可写为:

$$S_g + A_g - \sigma_g T_g^4 - H_s(T_s) - H_e(T_s) - H_g(T_s) - H_{ice}(T_s) = 0 \quad (2)$$

其中 σ_g 为 Steffan-Boltzman 常数。超越方程式(2)可用误差函数迭代法求解,以确定地表温度 T_s 。方案中还考虑了不同下垫面属性条件下(如陆面、冰面、洋面等)的影响。

2.6 土壤热传导过程参数化方案

深层土壤取 0.05 m、0.5 m 和 5m 3 层。土壤热传导方程为:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \right) \quad (3)$$

并假设: $K_s(0) = K_s(z)$ 、 $T_s \equiv 280^\circ\text{K}$ 。新方案中所用到的地表参数(如:地表反射率、地表粗糙度、地温、土壤湿度、雪深、海面温度 SST 等),均取自 T42L9 业务全球谱模式所采用的气候值。

2.7 湿度场修正方案

由于动力模式中水汽守恒方程的平流项采用非正定差分方法计算,这就不可避免地会出现湿度场为负数的不合理情况。因此,必须对出现负湿度值的格点进行补偿修正。方法是用垂直经圈切面上周围4个点的水汽,补偿中央点(负值点)的水汽,使之由负变为零。各点对修正的贡献用权重平均法,其权重系数取决于该点到负值点的距离和该点的水汽值大小。距离短、水汽值大,则权重系数大,即补偿贡献大;反之,则小。

原湿度场修正采用的是一点补偿法,即某层出现负湿度值时,其修正所需的水汽则由其最相邻的下一层补偿,不管后者是否有足够的补偿所需的水汽。

3 台风路径数值模拟结果比较分析

为了比较物理过程参数化方案对模式预报效果的影响,我们用同一台风模式分别作了3组并行试验(表1)。第1组试验采用原简单物理过程参数化方案;第2组试验不用物理过程参数化方案;第3组试验采用改进的物理过程参数化方案,其中,辐射过程参数化

每隔 2h 计算一次. 每一组试验都进行 5 个台风个例的 48h 数值模拟, 且都采用原台风模式中的大尺度凝结降雨方案. 所选择的台风一个是西行台风(9205 号 ELI), 另一个是转向、突然加速台风(9210 号, JANIS).

表 1 3 组台风数值预报试验的物理过程参数化方案
Table 1 Physical parameterization schemes used for the three serieses of the experiments

方 案	改进参数化	简单参数化	无参数化
大尺度凝结	饱和溢出法	相 同	相 同
深对流	KUO-74 方案	KUO-74 方案	无
浅对流	Tiedte(1987)	无	无
垂直湍流扩散	Louis(1979)	摩擦耗散	无
辐射过程	Lacis(1974)、Fels(1975)	无	无
地表过程	地表热量平衡	无	无
土壤热传导	三层模式	无	无

3.1 台风个例简述

9205 号台风(ELI)生成于吕宋岛以东附近西太平洋洋面上. 于 1992 年 7 月 11 日 00 UTC 达台风强度后, 一直朝西偏北方向移动, 其间穿越了菲律宾群岛、南海、海南岛, 最后于 1992 年 7 月 14 日在越南北部沿海登陆后减弱消失. 9210 号台风(JANIS)于 1992 年 8 月 5 日 00UTC 以前生成于关岛以西的西太平洋洋面上, 然后沿西北偏北方向北上, 强度也迅速加强. 8 月 6 日台风移动方向逐渐向东偏转, 8 月 7 日登陆日本列岛后, 台风移向转为东北偏东方向, 移速加快. 最后于 8 月 9 日移出模式预报区域, 并减弱为中纬度气旋.

3.2 数值模拟台风个例

- 个例 711: 起报于 1992 年 7 月 11 日 00UTC, 结束于 7 月 13 日 00UTC;
- 个例 712: 起报于 1992 年 7 月 12 日 00UTC, 结束于 7 月 14 日 00UTC;
- 个例 805: 起报于 1992 年 8 月 05 日 00UTC, 结束于 8 月 07 日 00UTC;
- 个例 806: 起报于 1992 年 8 月 06 日 00UTC, 结束于 8 月 08 日 00UTC;
- 个例 807: 起报于 1992 年 8 月 07 日 00UTC, 结束于 8 月 09 日 00UTC.

3.3 台风中心客观定位

定义 4×4 个格点的盒子, 盒子可随台风中心移动. 取盒子范围内最低海平面气压所对应的格点为台风中心位置. 考虑到现有的模式空间分辨率不够高, 故根据上述所确定的台风中心格点位置附近的气压分布, 再作一简单的曲率拟合订正.

3.4 模拟结果分析

图 1~图 3 给出了 3 组并行台风试验个例(711、805、806)的预报和实况路径, 图 4 给出了台风中心位置预报平均误差随时间变化曲线. 表 2 和表 3 给出了 3 组试验的台风中心位置预报平均误差和台风中心气压值.

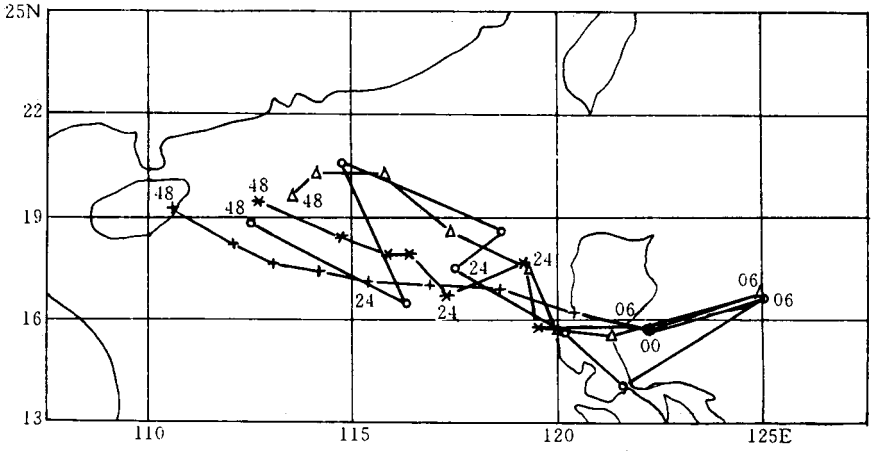


图 1 个例 711 预报和观测的台风路径

(—△—, 无物理过程, —○—, 观测实况, —*—, 改进物理过程, —+—, 简单物理过程, 每一间隔为 6h)
 Fig. 1 Typhoon tracks for the case-711 (—△— without physical schemes, —○—, observations, —*—, with performed physical schemes, —+—, with simple physical schemes)

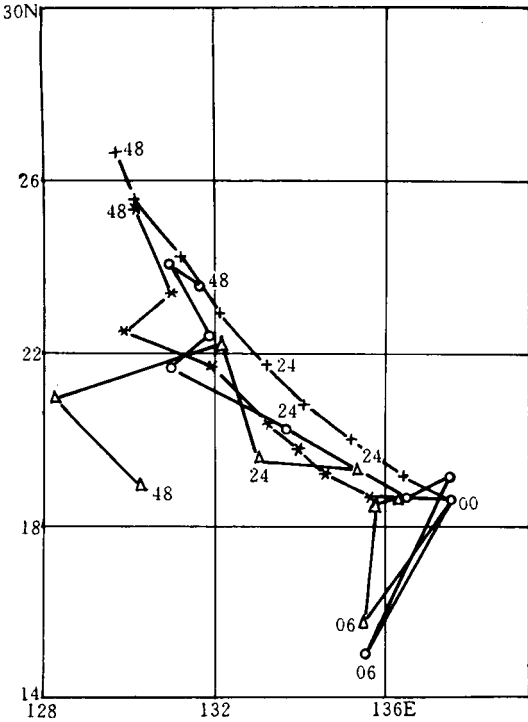


图 2 个例 805 预报和观测的台风路径
 (说明同图 1)

Fig. 2 As in Fig. 1, but for the case-805

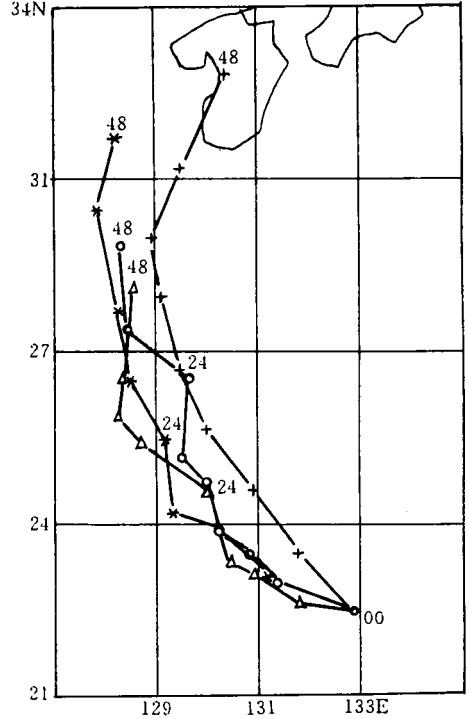


图 3 个例 806 预报和观测的台风路径
 (说明同图 1)

Fig. 3 As in Fig. 1, but for the case-806

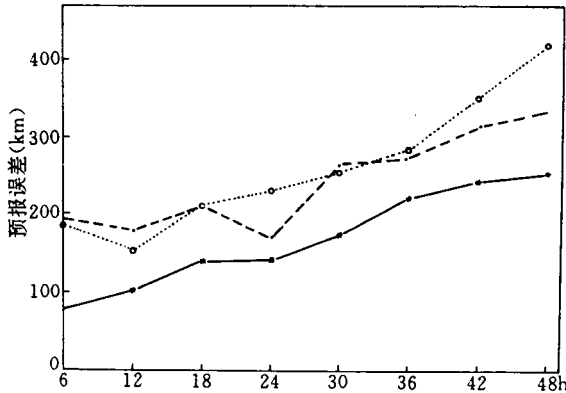


图4 台风中心位置预报平均误差随时间变化曲线(实线,改进物理过程,虚线,简单物理过程,点线,无物理过程)

Fig. 4 Variation of the mean deviation from the typhoon central position with the integration time (solid line; with performed physical schemes; dashed line; with simple physical schemes; dotted line; without physical schemes)

分析图1~4和表2、表3,可归纳出以下结论:

①初始调整.采用简单(或无)物理过程的模拟,初始时刻模式调整较激烈,所预报的台风中心低压要经历填塞至再加强的阶段(约6~12h),出现明显的台风中心位置“左右摆动”、路径不稳定的现象(图1、图2).而采用改进物理过程的模拟,则几乎看不到这一现象.

表2 台风中心位置预报平均误差(km)

Table 2 Mean deviations from the typhoon central positions(km)

方案	00h	06h	12h	18h	24h	30h	36h	42h	48h
改进	0.0	104.0	134.4	185.4	187.6	230.2	293.1	322.9	337.1
简单	0.0	257.6	237.3	279.2	226.3	352.6	364.1	417.5	446.1
无	0.0	246.1	203.2	279.6	304.9	337.4	378.2	468.1	558.4

表3 48h模式预报的台风中心气压值(hPa)

Table 3 48h forecasts of the typhoon central pressures (hPa)

方案	711	712	805	806	807
改进	1003.8	1001.4	1001.6	987.9	988.9
简单	1006.5	998.6	1003.4	993.5	999.9
无	1005.4	1003.3	1003.5	994.2	1001.4
实况	970.0	995.0	945.0	970.0	990.0

②移动趋势.采用改进物理过程所模拟的台风路径一般较自然、光滑,且都能预报出所有5个台风个例的移动趋势(西行和转向).但采用简单(或无)物理过程,则只对个例712(图略)、个例806(图3)和个例807(图略)的台风移动趋势有较好的模拟能力,不过其

所模拟的台风路径左折右转不自然、不光滑,一般预报 36h 后,其预报路径严重失真(图 1、图 2)。进一步查看其所预报的海平面气压场(图略)发现,预报 36h 后台风低压已严重堵塞(一般在 1002~1006hPa 之间,参看表 3),这时所确定的台风中心位置已无多大实际意义了。

③台风中心位置预报误差. 从 5 个台风个例的平均结果来看,采用改进物理过程的预报误差都明显小于采用简单(或无)物理过程的预报误差(图 4、表 2)。从 24h 和 48h 的预报误差看,采用简单物理过程的预报效果也比无物理过程的好。从对个例 806 所作的一次 72h 预报试验来看,也得到同样的效果(略)。

④台风加速趋势预报. 从台风转向后突然加速个例 806 和 807 的模拟结果看,物理过程越完善,对台风加速趋势预报的能力越强(图 3)。

⑤台风中心海平面气压. 由表 3 可以看出,采用的物理过程越完善,越有利于台风中心低压的维持。将 5 个台风个例 48h 预报的台风中心气压值与实况相比可见,采用改进物理过程的平均相差 23hPa,而采用简单物理过程的平均相差 26hPa,无物理过程的平均相差 27hPa。预报最好的个例 807,前者比实况只低 1hPa,而后两者均比实况高 10hPa 以上。需要指出的是台风中心低压预报误差偏大的原因,与初始时刻所构造的人造台风中心气压比实况平均偏高 13.3hPa 有很大关系。

4 结 束 语

改进的物理过程参数化方案对消除台风模式初始时刻的激烈调整、台风低压环流的维持、路径等方面的预报能力有非常重要的作用,这已被本文中有限的台风个例试验所证明。采用改进物理过程参数化方案还可使模式计算更稳定,无模式计算溢出情况。而采用简单物理过程参数化方案,有时会出现模式计算溢出的情况。但是,影响台风路径和强度数值预报结果的因素是多方面的,除了物理过程的重要作用外,还有人造台风模型(非对称结构)、实时海温资料(SST)、模式分辨率、初始背景场等问题,这些都有待于进一步研究、完善,才能更有效地提高台风模式的预报能力和水平。

参 考 文 献

- 1 王诗文,李建军. 台风路径实时数值预报的初步试验. 应用气象学报,1993,5(4):462~469.
- 2 郭肖容,闫之辉. 有限区分析预报系统(LAFS)介绍.《中期数值天气预报及其产品应用》(上). 国家气象中心编,1992. 264~315.
- 3 Iwasaki T, Nakano H and Sugi M. The performance of a typhoon track prediction model with cumulus parameterization. *J. of the Meteor. Soc. of Japan*,1987,65:555~570.
- 4 薛纪善,李玘,王志明. 非线性正规模初值化原则在有限区模式的实现.《中期数值天气预报研究》(成果汇编)(一). 1990,58~69.
- 5 Puri K, Davidson N E and Leslie L M. The BMRC tropical limited area model. *Aust. Met. Mag.*, 1992, 40:81~104.

PERFORMANCE OF PARAMETERIZATION OF SUB-SCALE PHYSICAL PROCESSES IN NUMERICAL MODEL AND ITS EFFECTS ON TYPHOON TRACK FORECASTINGS

Chen Dehui Wang Shiwen Wang Houjun

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A new package of parameterization of sub-scale physical processes has been performed for the model of typhoon track prediction at Numerical Meteorological Center (NMC), Beijing. Five cases of typhoons, which happened during the summer 1992 (ELI and JANIS), were chosen for the numerical simulations. In comparison of the results obtained by the performed physical processes schemes with those obtained by the old simpler schemes, it is shown that either in typhoon track forecasting or in typhoon intensity prediction, the new schemes are superior to the simpler schemes. In fact, the mean errors of 24h and 48 h typhoon central position forecastings are 188 km and 337 km for the new schemes, respectively, and 226 km and 446 km for the simpler schemes respectively. The mean deviation of 48 h predicted central pressures from the observed ones is 23 hPa for the new scheme, and 26 hPa for the simpler scheme.

Key words: Parameterization of physical processes; Typhoon track; Numerical forecasting.