1995 1

ATMOSPHERIC SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION

大气科学研究与应用

东海台风监测、预报、服务系统

（上海市科学技术发展基金项目部分成果专辑）

ISBN 7-5029-1956-2

9 787502 919566 >

上海市气象科学研究所编辑

气象出版社 出版

序　言

上海区域气象中心科技人员在“八五”期间主持并参加了国家科技攻关项目:《台风、暴雨灾害性天气监测、预报技术研究》有关课题和专题、子专题的研究以及上海市科学技术发展基金项目:《东海台风监测、预报、警报服务系统》的研制，历经近四年的艰苦卓绝的努力攻关，已基本完成了所承担的全部研制任务，取得了一大批既有学术意义又有重大应用价值的台风科研成果。其中小部分成果被选编汇集于本期《大气科学研究与应用》，向广大读者，尤其是向从事台风业务和科技工作者展示，进行学术和技术交流，期望得到他们的宝贵意见，其它成果将单独以科技成果汇编的形式在适当的时候出版。

在本期刊出的19篇论文和技术报告中，内容丰富多采，包括利用气象卫星图象资料监测台风，台风路径、强度、暴雨的预报，暴雨和降水的天气气候背景，台风灾情的评估，以及台风监测、预报人机交互工作站的研究等，其中有关台风数值预报方面4篇，其核心是建立了东海台风路径业务数值预报模式，从而更新了原来上海区域气象中心正压台风路径数值预报模式；围绕这一模式的设计工作，在采用正规模初值化单向与双向移动型套网格技术以及大气边界层的考虑等方面做了一些研究，提高了数值预报台风路径的精度。

利用动力释用方法预报台风路径是一次新尝试：以数值预报产品为依据进行统计释用，对台风路径和强度作短期预报以及对台风路径作中期趋势预报取得了成效，将图形、图象识别技术用于台风的预报也有一定进展，有关这方面的内容共4篇。利用气象卫星图象资料对台风进行实时定位及对其降水分布进行估计作了方法上的探讨（3篇）。此外，还对苏、沪地区台风突发性暴雨和我国台风年降水作了天气气候分析（2篇）并就上海地区台风灾情特征和评估方法作了研究（1篇）。

上述论文／技术报告所反映的成果都在1994年台汛季节进行了准业务试验，并得到了初步验证，其中多数成果都纳入新研制成功的“台风监测、预报人机交互工作站”（1篇）自动、操作运行试验，这一工作站为预报员制作台风预报提供了丰富的预报产品和先进手段。我们期望所有这些成果将在1995年台汛季节的准业务试验得到进一步的考验。

秦曾灏

《大气科学研究与应用》首届编审委员会名单

主　　编: 秦曾灏　　**副 主 编:** 朱永禔　徐一鸣

委　　员　（以姓氏笔划为序）

王达文　王全发　王善型　王馥棠　叶榕生　朱永禔
朱盛明　严济远　林元弼　周曾奎　费　亮　胡伯威
徐一鸣　徐国昌　徐裕华　栾宝储　唐新章　奚熙贤
秦曾灏　黄　炎　黄福均　鹿世瑾　曹钢锋　游景炎
潘云仙　潘根发　滕中林

大气科学研究与应用
（八）
目　录

论　文

中尺度东海台风模式路径预报的初步成果
…… 顾建峰　徐一鸣　殷鹤宝　端义宏　王晨稀　丁荣富（1）

东海热带气旋预报业务系统的研制及初步试验
…… 雷小途　端义宏（10）

预报东海热带气旋路径的移动套网格业务方案的试验研究
…… 王晨稀　殷鹤宝（19）

地形和热带气旋云系变化对热带气旋路径影响的卫星云图分析
…… 姚祖庆　赵　明　费　亮（25）

大气行星边界层对台风路径预报的影响试验 …… 邓兴秀　殷鹤宝（31）

数值模式预报的统计订正和热带气旋路径释用预报的研究
…… 李佐凤　薛宗元（38）

热带气旋路径的一种动力释用预报方法的研究 …… 程戴晖　朱永禔（43）

西北太平洋热带气旋强度的一种统计释用预报方法 …… 徐　明　林有任（49）

我国热带气旋年降水的时空分布 …… 贺芳芳（54）

技术报告

西北太平洋热带气旋路径的统计动力预报方案（SD－90）及其试验结果
…… 薛宗元　李佐凤（59）

一种热带气旋中期路径趋势业务预报方案及试报结果 …… 杨美川　邓之瀛（66）

厄尔尼诺与江苏及上海地区热带气旋暴雨的相关分析 …… 邓之瀛（73）

江苏及上海地区热带气旋突发性暴雨的天气气候分析
…… 陈雪琴　邓之瀛　张智猛（80）

GMS 展宽云图流水线实时处理系统设计 …… 吴志根（87）

热带气旋卫星云图四步定位法的计算机工作系统 … 王东风　赵　明　姚祖庆（96）

应用气象卫星资料估计降水方法的研究…… 杨露华　赵明（102）

热带气旋监测、预报人机交互工作站…… 黄晓虹　孙松青（108）

图形、图象识别技术在热带气旋路径预报专家系统中的应用
…… 蒋乐贻　韩桂荣（113）

上海地区热带气旋灾情的实测性评估…… 卢文芳（119）

简　讯

美国气候预测中心发布新型的气候预报 ……（37）

从太空研究大气的 LITE 试验……（53）

新型的天气警报系统 ……（58）

印度洋上发现厄尔尼诺 ……（65）

NOAA 提出一项气候预测计划 ……（79）

WMO 公布对全球臭氧层的评估 ……（107）

北冰洋考察……（124）

Atmospheric Science Research and Application

(Ⅷ)

Contents

Articles

The Preliminary Results of Tropical Cyclone Track Forecast by Numerical Model for Predicting Tropical Cyclone on the East China Sea ····· Gu Jianfeng Xu yiming Yin hebao Duan yihong Wang Chenxi Ding rongfu (1)

The Research and Preliminary Experiment of the Tropical Cyclone Operational Predicting System on the East China Sea ····· Lei Xiaotu Duan Yihong (10)

Experiments and Research of an Operational Movable Nested Mesh Model for Predtcting the East Sea Tropical Cyclone Tracks ····· Wang Chenxi Yin Hebao (19)

The Satellite Image Analysis in the Effects of Topography and Tropical Cyclone Cloud System Variations on Their Tracks ····· Yao Zuqing Zhao Ming (25)

Experiments of Planetary Boundary Layer's Influence on Tropical Cyclone Track Forecast ····· Deng Xingxiu Ying Hebao (31)

The Statistical Correction of Numerical Forecast and its Statistical Interpretation for the Tropical Cyclone Track Forecast ····· Li Zuof eng Xue Zongyuan (38)

A Study on the Dynamic Interpretation Prediction Method for the Motion of Tropical Cyclone ····· Chen Daihui Zhu Yongti (43)

A Model Output Statistics Method for Predicting Tropical Cyclone Intensity ····· Xu Min Lin Youren (49)

The Temporal and Spatial Distribution of Tropical Cyclone Precipitation in China ····· He Fungjang (54)

Technical Reports

A Statistical–Dynamic Model (SD–90) for the Prediction of Tropical Cyclone Track and its Test ····· Xue Zongyuan Li Zuofeng (59)

An Operational Scheme of Medium–Range Track Tendency Predicting of Tropical Cyclone and the Preliminery Testing Results ····· Yang Meichuan Deng Ziying (66)

A Correlation Analysis of Elnino With Tropical Cyclone Heavy Rains Over Jiangsu Province and Shanghai City to El Nino Events ····· Deng Zhiying (73)

Climatic Analysis of Suddenly Developed Heavy Rains Caused by Tropical Cyclones over Jiangsu Province and Shanghai Region ····· Chen Xuegin Deng Zhiyun Zhang Zhimeng (80)

A System Design on GMS Stretched Data Pipeline Real–Time Processing ····· Wu Zhigen (87)

A Computer Working System for the Implementation of a Four–Step Method in Tropical Cyclone Location ····· Wang Dongfong Yao Zuqing Zhao Ming (96)

Estimation Approaches of Precipitation by Using Meteorological Satellite Data ··· Yang Luhua Zhao Ming (102)

The Tropical Cyclone Observing and Forecasting Workstation (Tcofw) ····· Wang Xiaohong Sun Songqing (108)

An Application of Recognition Technique of Graph and Image in Tropical Cyclone Track Forecasting ····· He Fungjung (113)

Realistic Assessment of Disastrous Losses Caused By Tropical Cyclones in the Area of Shanghai ····· Lu Wenf ang (119)

Information

Climate Prediction Center Issues Long–Lead Climate Forecasts ····· (37)

LITE Experiment Studies Atmosphere from Space ····· (53)

New Federal Emergency Alert System Designed ····· (58)

El Niño Found in Idian Ocean ····· (65)

Dual–Purpose Climate Prediction Program Proposed by NOAA ····· (79)

WMO Release Assessment on Global Ozone Layer ····· (107)

Expedition to Arctic ····· (124)

东海热带气旋路径预报模式的试用结果

顾建峰 徐一鸣 殷鹤宝

端义宏 王晨稀 丁荣富

（上海台风研究所 上海 200030）

提 要

本文以中尺度原始方程模式为基本框架，采用单向嵌套且随热带气旋移动的套网格技术，根据实测热带气旋资料和客观分析场，构造与实测热带气旋结构基本一致的模型热带气旋，形成包含这一模型热带气旋的模式初值，初步建立了适用于预报东海区域热带气旋路径的业务数值预报系统，并对1994年7个东海热带气旋进行了14次预报，预报热带气旋中心位置与实况位置24小时平均误差164.1 km，48小时296.8 km。

关键词 热带气旋路径 数值预报 业务数值模式

一、引 言

70年代以来，热带气旋（以下简写为TC）路径业务数值预报的进展是比较缓慢的，主要是业务数值模式更新周期比较长[1]。近几年来，随着计算机条件的改善，国家气象中心和广州、上海、沈阳等区域中心正在相继研制热带气旋路径的数值预报业务系统，有的已投入准业务运行。上海台风研究所1993年初引进美国CDC4680计算机为开展新的数值预报业务提供了基础。

本文以中尺度原始方程模式为框架，采取随TC中心移动的单向嵌套技术，建立了东海区域TC路径业务数值模式（以下简称东海TC模式），对1994年7个东海热带气旋（9406、9412、9413、9414、9417、9418和9430号）进行了14次预报。初始资料均取自上海区域中心实时资料库。

二、东海TC模式

东海TC模式预报区采用Lambert地图投影，地形资料取自1/6×1/6经纬度格点全球地形资料，时间积分方案采用Brown和Campana的显式方案[2]。取模式粗网格预报区域5100×5250 km^2，水平格距150 km，即预报区为35×36格点，细网格预报区域2100×2100 km^2，水平格距50 km，即预报区为43×43格点，且细网格预报区的地理位置是可变的，其中央格点设置在离TC中心位置最近的格点上，并随之移动。

1. 基本方程

动量方程、连续方程及静力方程为[3]

$$\frac{\partial P^* u}{\partial t} = -m^2\left(\frac{\partial P^* uu/m}{\partial x}+\frac{\partial P^* vu/m}{\partial y}\right)-\frac{\partial P^* u\dot{\sigma}}{\partial \sigma}$$
$$-mp^*\left[\frac{RT_V}{(P^*+P_t/\sigma)}\frac{\partial P^*}{\partial x}+\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right]+fP^*V+F_H u+F_V u \tag{1}$$

$$\frac{\partial P^* V}{\partial t} = -m^2\left(\frac{\partial P^* uv/m}{\partial x}+\frac{\partial P^* vv/m}{\partial y}\right)-\frac{\partial P^* v\dot{\sigma}}{\partial \sigma}$$
$$-mp^*\left[\frac{RT_V}{(P^*+P_t/\sigma)}\frac{\partial P^*}{\partial y}+\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right]-fP^* u+F_H v+F_V v \tag{2}$$

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} = -m^2\left(\frac{\partial P^* u/m}{\partial x}+\frac{\partial P^* v/m}{\partial y}\right)-\frac{\partial P^*\dot{\sigma}}{\partial \sigma} \tag{3}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \ln(\sigma+P_t/P^*)} = -RT_V \tag{4}$$

热力方程和水汽方程为[4—5]

$$\frac{\partial P^* T}{\partial t} = -m^2\left(\frac{\partial P^* uT/m}{\partial x}+\frac{\partial P^* vT/m}{\partial y}\right)-\frac{\partial P^* T\dot{\sigma}}{\partial \sigma}+\frac{RT_V W}{C_{pm}(\sigma+P_t/P^*)}$$
$$+\frac{L_V}{C_{pm}}N_h(\sigma)(1-b)gM_t+F_H T+F_V T \tag{5}$$

$$\frac{\partial P^* q_V}{\partial t} = bgM_t N_m(\sigma)+V_{gf}(\sigma)+F_H q_V+F_V q_V \tag{6}$$

式中 M_t 为总水份率，b 是 M_t 中用来湿润大气使之成云的水量百分比，$N_h(\sigma)$ 和 $N_m(\sigma)$ 分别是积云加热和水份的垂直分布函数，$V_{gf}(\sigma)$ 表示积云对流中水汽的垂直涡动通量散度，其它符号为气象上常用。

2. 侧边界的嵌套处理

嵌套的侧边界采用海绵边界条件

$$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial t}\right)_n = W(n)\left(\frac{\partial \alpha}{\partial t}\right)_{MC}+(1-W(n))\left(\frac{\partial \alpha}{\partial t}\right)_{LS} \tag{7}$$

式中 α 代表任一物理量，下标 MC、LS、n 分别表示细网格区域的倾向、粗网格区域中的倾向和距边界的圈数。

3. 网格结构

模式的水平差分取 Arakawa B 格式水平网格系统[6—7]，见图 1。

模式垂直坐标用 σ 坐标系

$$\sigma = (P-P_t)/(P_s-P_t) \tag{8}$$

设 P_t =100 hPa，垂直方向取不等距 10 层，垂直速度 $\dot{\sigma}$ 定义在整 σ 面上，其余物理量

定义在半 σ 面上，见图 2。

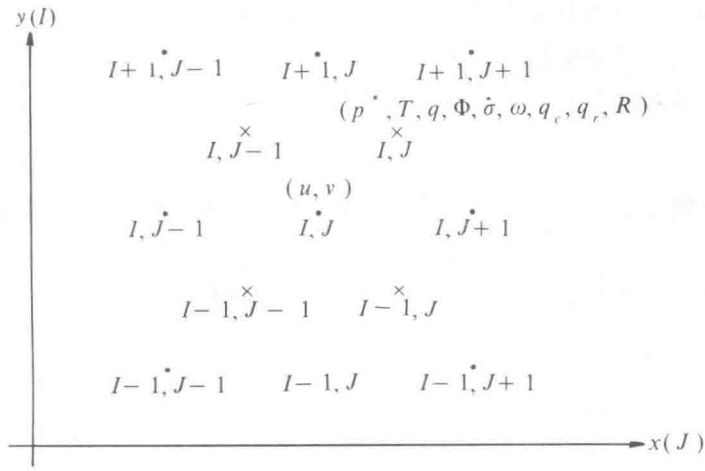


图 1　模式水平网格结构

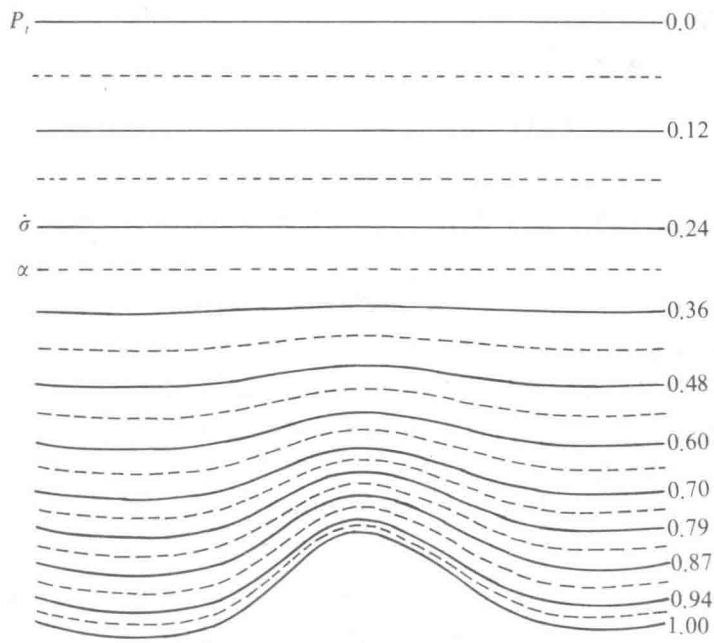


图 2　模式垂直结构示意图

（垂直速度 σ 定义在整 σ 面上，α 代表其余任一物理量，定义在半 $\dot{\sigma}$ 面上。）

三、 客观分析方案

本文的客观分析系统垂直分为 11 层，分别为自 1000—100 hPa 各标准等压面。分析要素为高度场、温度场、风场及相对湿度场。分析区域取包括较大海洋范围的欧亚区

域。

1. 分析方法

高度、温度、风场分析采用单变量二维最优插值（统计插值）分析方法[8]，对相对湿度场分析采用三维最优插值方法。

高度场、温度场协方差函数取高斯曲线型式:

$$m_{ij} = \sigma^2 \exp(-C r_{ij}^2) \tag{9}$$

式中 σ^2 是高度场或温度场预备场误差的方差，r_{ij} 为点 i 与点 j 之间的距离，C 为常数。

记上述高度场协方差函数为 $\overline{h(x,y)h(\xi,\eta)}$，风场分量的协方差函数 $\overline{uu}$ 及 $\overline{vv}$ 分别为

$$\overline{uu} = 2C\frac{g^2}{f^2}[1-2C(y-\eta)^2]\overline{hh} \tag{10}$$

$$\overline{vv} = 2C\frac{g^2}{f^2}[1-2C(x-\xi)^2]\overline{hh} \tag{11}$$

相对湿度场协方差函数为

$$\overline{R_i R_j} = \sigma^2 \exp(-Cr_{ij}^2)[1+K_p q^2]^{-1} \tag{12}$$

式中 $q^2 = [\ln(P_i) - \ln(P_j)]^2$，$K_p$ 为常数。

2. 资料准备

在相对湿度场分析中，除了高空资料外还使用地面资料及卫星 SATEM 报告中的可降水资料。

在地面观测资料中提取现在天气及总云量、低云量、云底高度和高中低云状推算出高中低层的相对湿度值并用于各有关标准层相对湿度分析，在近地层还考虑根据现在天气推得的值。根据卫星 SATEM 报告中的可降水资料计算各有关层上的相对湿度值，再用拉格朗日垂直插值得到各分析层上的值，并与根据地面资料得到的值一起用于对各层相对湿度场的网格点分析。

温度场分析使用了 SATEM 报中测厚资料的温度推算值并用拉格朗日垂直插值到各分析层。

四、 东海 TC 模式的初值形成

由于根据观测资料所作的客观分析不足以刻划完整的 TC 环流及其温压分布，因此，有必要构造模型 TC，嵌入客观分析场中。本文根据实测 TC 的中心位置、海平面气压和大风区域等参数以及客观分析场，构成模型 TC，其中心位置、强度和范围与实测情形基本一致，另外，我们还考虑了与实况 TC 结构接近的非对称性结构。

1. 模型 TC 的环境场

在客观分析场中，确定一个以 TC 中心为中心的环形区域（$R_g \leqslant r \leqslant 3R_g$），求

此区域内各要素（如海平面气压、等压面温度和湿度等）的平均值，作为 TC 区域的环境场。R_g 是 TC8 级风圈半径。

2. 模型 TC 的海平面气压

按照 Fujita 经验公式[9]，海平面气压 $P_s(r)$ 由下式定义

$$P_s(r)=P_e-\triangle P\left[1+\left(\frac{r}{R_0}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \tag{13}$$

式中 r 是到 TC 中心的距离，P_e 是环境场的海平面气压，$\triangle P=P_e-P_c$，P_c 是 TC 中心气压，R_0 的取值使距离 TC 中心 R_g 处根据（13）式的 $P_s(r)$ 求得的梯度风速与实测风速一致。

3. 建立 TC 上空反气旋

在积云顶高度上置放一个高压，其位势高度和环境场的偏差由下式[10]给出

$$D(r,P_{tt})=\begin{cases}ar^2+b & r\leqslant R_0\\ cr+d & R_0<r\leqslant R_1\\ e(r-R_e)^2 & R_1<r\leqslant R_e\end{cases} \tag{14}$$

式中 P_{tt} 是云顶高度，R_1 和 R_e 与 R_g 成比例，b 与$\triangle P$ 成比例，反映反气旋的强度，a、c、d、e 由（14）式求出。在云顶以上，高度的正偏差逐渐减小，并使在 P_m 的高度上 $D(r,P_m)=0$。

4. 模型 TC 暖核的构成

在 P_{tt} 以下，TC 中心的温度为

$$T(0,P)=C_1[T_c(P)-T_e(P)]+T_e(P) \tag{15}$$

式中 T_c 和 T_e 分别表示 TC 区域的云内温度和环境温度，C_1 由地面到积云顶积分 TC 和环境场的静力方程并相减得到

$$C_1=D(0,P_{tt})/[R\int_{P_t}^{P_e}(T_c(P)-T_e(P))d\ln P] \tag{16}$$

在 P_{tt} 以上，假定温度偏差廓线是气压对数的函数

$$T(0,P)=C_2(\ln P-\ln P_m)(\ln P-\ln P_{tt})+T_e(P) \tag{17}$$

$$C_2=6D(0,P_{tt})/(\ln P_{tt}-\ln P_m)^3 \tag{18}$$

这样，各层等压面上 TC 中心的位势高度偏差 $D(0,P)$ 可由温度偏差 $T(0,P)-T_e(P)$ 计算，中心以外的高度偏差按以下公式内插

$$D(r,P)=\alpha(r)D(0,P)+\beta(r) \tag{19}$$

式中 $\alpha(r)$ 和 $\beta(r)$ 在云顶以上由下式给出

$$\begin{cases}\alpha(r)=D(r,P_{tt})/D(0,P_{tt})\\ \beta(r)=0\end{cases} \tag{20}$$

在云顶以下，由下式定义

$$\begin{cases} \alpha(r)=\dfrac{D(r,P_{tt})-D(r,P_e)}{D(0,P_{tt})-D(0,P_e)} \\ \beta(r)=D(r,P_{tt})-\alpha(r)D(0,P_{tt}) \end{cases} \tag{21}$$

这里的 $D(r,P_e)$ 可由（13）式求得。

5. 模型 TC 流场的确定

在边界层按惯性离心力、柯氏力、气压梯度力与摩擦力的平衡求出径向与切向风速

$$-\frac{V_\theta^2}{r}-fV_\theta+\frac{\partial\Phi}{\partial r}+C_D|\mathbf{V}|V_r=0 \tag{22}$$

$$\frac{V_rV_\theta}{r}+fV_r+C_D|\mathbf{V}|V_\theta=0 \tag{23}$$

式中 C_D 是拖曳系数。

在高层按梯度风关系计算切向风速，并假定高层径向风与低层相反。

6. 模型 TC 与客观分析场迭加

模型台风场和客观分析场的合成场为

$$f(r,\theta)=f_m(r,\theta)W(r)+f_e(r,\theta)(1-W(r)) \tag{24}$$

式中下标 m 表示模型台风值，e 表示客观分析值，权函数 $W(r)$ 为

$$W(r)=\begin{cases} 1 & r\leqslant R_1 \\ \cos\left(\dfrac{\pi}{2}\dfrac{r-R_1}{R_e-R_1}\right) & R_1<r\leqslant R_e \\ 0 & r>R_e \end{cases} \tag{25}$$

7. 模型 TC 的非对称结构

取（14）式和（25）式中的 R_1 和 R_e 为

$$\begin{cases} R_1=K_1R_g+R(r) \\ R_e=K_2R_g+R(r) \end{cases}$$

式中 K_1 和 K_2 是比例系数，$R(r)$ 是随 r 线性变化的半径修正量，根据卫星云图的台风云系及大风半径定性给定。

五、预报结果

我们用初始时刻前 12 小时的分析场为客观分析提供预备场，同时用 TC 资料构成模型 TC，与客观分析场迭加，得到模式初值，利用移动型嵌套网格的东海 TC 模式进行 48 小时 TC 路径预报，采用二次曲面拟合客观定位方法确定 TC 中心的海平面气压和位置。对 1994 年七个东海热带气旋进行了 14 次预报，每间隔 12 小时输出一次 TC 预报位置。预报结果是令人鼓舞的，预报的 TC 中心位置与实况位置 24 小时平均距离误差是 164.1 km，48 小时为 296.8 km，见表 1。

表 1　TC 路径预报误差统计

TC 编号	初始时刻	初始位置		24 小时位置				48 小时位置				误差距离（km）	
				实况		预报		实况		预报			
		纬度（° N）	经度（° E）	纬度（° N）	经度（° E）	纬度（° N）	经度（° E）	纬度（° N）	经度（° E）	纬度（° N）	经度（° E）	24 小时	48 小时
9406	7 月 10 日 00Z	20.9	123.4	25.7	118.0	24.7	119.5					185.4	
9412	7 月 31 日 00Z	27.8	126.8	35.2	126.1	35.1	128.0					176.6	
9413	8 月 3 日 00Z	22.1	122.2	24.5	117.7	24.4	122.6					491.2	
9414	8 月 7 日 00Z	20.9	123.7	25.4	121.6	25.1	122.4	29.0	122.6	29.3	120.5	90.8	203.5
	8 月 8 日 00Z	25.4	121.6	29.0	122.6	28.8	122.4	32.8	123.8	36.5	124.0	31.0	415.1
	8 月 9 日 00Z	29.0	122.6	32.8	123.8	32.6	122.4	34.4	125.4	33.1	123.0	134.4	263.6
9417	8 月 19 日 00Z	21.2	128.0	22.9	124.9	23.9	125.1	26.6	122.6	26.1	122.7	109.1	51.3
	8 月 20 日 00Z	22.9	124.9	26.6	122.6	26.1	123.4	28.8	118.8	26.6	119.9	92.4	263.9
	8 月 21 日 00Z	26.6	122.6	28.8	118.8	28.3	119.7					105.4	
9418	8 月 31 日 00Z	22.3	127.9	24.0	122.5	23.9	124.2	27.6	117.1	24.8	120.0	176.5	424.1
	9 月 1 日 00Z	24.0	122.5	27.6	117.1	26.4	118.2					176.0	
9430	10 月 8 日 00Z	19.1	125.7	21.9	123.9	21.3	123.2	25.7	122.4	24.3	119.9	98.0	295.3
	10 月 9 日 00Z	21.9	123.9	25.7	122.4	27.2	124.6	29.5	123.8	32.5	127.1	279.3	457.4
	10 月 11 日 00Z	29.5	123.8	36.6	128.7	37.3	127.2					150.8	
平　均												164.1	296.8

图 3 给出了 1994 年 8 月 7 日 00Z 和 8 日 00Z 之后 48 小时期间的 TC 实况路径* 和预报路径，对于这个近海北上的（DOUG）9414 号 TC，预报是比较成功的，特别是预报的 24 小时 TC 中心位置相当接近实况位置。从 8 月 7 日 00Z 开始预报的 TC 中心位置与实况位置 24 小时距离误差为 90.8km，48 小时为 203.5 km。从 8 月 8 日 00Z 开始预报的 TC 中心位置与实况位置 24 小时距离误差只有 31.0 km，48 小时距离误差比较大，为 415.1 km，但其移动方向与实测 TC 的运动是基本一致的，只是预报的移动速度偏快。

图 4 是（FRED）9417 号 TC 路径预报图。对于这个向西偏北方向移动并且登陆的 TC，预报也是相当成功的，从 8 月 20 日 00Z 开始预报的 TC 中心位置与实况位置 24 小时距离误差为 92.4 km，48 小时为 263.9 km，在预报登陆情况时，与实况存在偏差，预报的登陆时间偏迟，登陆地点偏南。但从 8 月 21 日 00Z 开始预报的 TC 路径与实况路径是相当一致的，预报的登陆地点与实况是吻合的，预报的登陆时间也仅与实况相差 3 小时左右，只是登陆后预报的 TC 移动稍偏慢，24 小时距离误差为 105.4 km。

* 取自实时TC资料库的中央台定位。

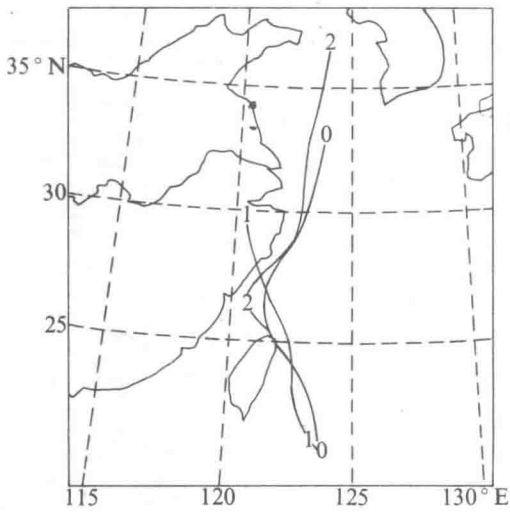


图 3 9414 号 TC 路径预报图

（0 为 1994 年 8 月 7 日 00Z 之后 72 小时实况路径，
1 为 8 月 7 日 00Z 之后 48 小时预报路径，
2 为 8 月 8 日 00Z 之后 48 小时预报路径。）

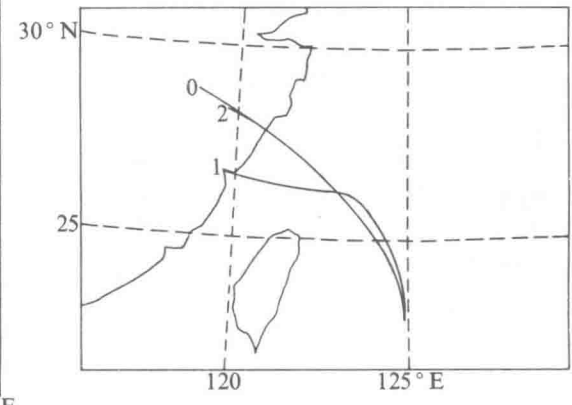


图 4 9417 号 TC 路径预报图

（0 为 1994 年 8 月 20 日 00Z 之后 48 小时实况路径，
1 为预报路径，
2 为 8 月 21 日 00Z 之后 24 小时预报路径。）

六、结 束 语

应用文中所述的东海 TC 路径业务数值模式，制作东海 TC 路径的业务预报，获得了较好的预报效果，但其结果仍是初步的，对东海 TC 模式中的物理过程尚需修正和完善，对模式初值，也要不断改进，特别是对模型 TC 的非对称性构造，计划应用卫星资料尽可能做到定量化、客观化，进一步提高东海 TC 模式的业务数值预报能力。

参 考 文 献

〔1〕 朱永祺，热带气旋路径数值预报业务与研究的进展，热带气旋科学讨论会文集（1990），32－40，气象出版社，1992。

〔2〕 Brown, J., and K. Campana, An economical time-differencing system for numerical weather prediction, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1125－1136, 1978.

〔3〕 Anthes R. A. and T. T. Warner, Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1045－1078, 1978.

〔4〕 Kuo, H. L., Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow, *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1232－1240, 1974.

〔5〕 Anthes, R. A., A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model, *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 270－286, 1977.

〔6〕 Anthes, R. A., The development of asymmetries in a three-dimensional numerical model of the tropical cyclone, *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 461－476, 1972.

〔7〕 Arakawa, A., and V. R. Lamb, Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model, Methods in Computational Physics, 17, Academic Press, 173−265, 1977.

〔8〕 徐一鸣、丁荣富、李佐凤，统计插值客观分析方法的试验研究，气象学报，**47**，2，237−243，1989。

〔9〕 Fujita T., Pressure distribution within typhoon, *Geophys. Mag.*, **23**, 437−451, 1952.

〔10〕 Toshiki Iwasaki et al, The performance of typhoon track prediction model with cumulus parameterization, *J. Met. Soc. Japan*, **65**, 555−570, 1987.

THE PRELIMINARY RESULTS OF TROPICAL CYCLONE TRACK FORECAST BY NUMERICAL MODEL FOR PREDICTING TROPICAL CYCLONE ON THE EAST CHINA SEA

Gu Jianfeng　Xu Yiming　Yin Hebao

Duan Yihong　Wang Chenxi　Ding rongfu

(Shanghai typhoon institute, Shanghai 200030)

Abstract

On the basis of mesoscale primitive equation model, this article uses one−way nested grid along with the tropical cyclone movement. The model typhoons corresponding to reality are constructed by using observational tropical cyclone data and objective analysis, then the model initial values are obtained. It is constructed to the operational numerical predicting system of tropical cyclone track on the East China Sea, and fourteen predictions are done on seven tropical cyclones in 1994. The average distance error of tropical cyclone center position between forecasting and observing is 164.1 km on twenty−four hours and 296.8 km on forty−eight hours.

东海热带气旋预报业务系统的研制及初步试验

雷小途 端义宏

（上海台风研究所 上海 200030）

提 要

本文以中尺度数值模式（MM4）为基础，建立了适用于东海区域的热带气旋预报业务系统。该系统主要包括：实时资料的读取、用多元最优插值法作客观分析、初值的形成、预报模式及包含降水TS评分等的后处理等几个部分。对1994年华东地区影响较大的三个热带气旋（9414、9417、9430号）进行了6次试验，热带气旋路径预报的24小时平均距离误差为166.21 km，0.1、25、50 mm降水的TS评分平均分别为0.778、0.564、0.33。结果表明，本系统对东海热带气旋的移动路径及其降水具有较强的预报能力。

关键词 预报业务系统 热带气旋路径 热带气旋降水

一、引 言

热带气旋暴雨是形成热带气旋灾害的主要原因之一，对热带气旋路径及其暴雨的预报一直受到政府及气象界的普遍关注。然而，由于热带气旋属中尺度天气系统，因此，大尺度的数值模式不能很好地描述热带气旋系统的中小尺度特征，而目前一般的热带气旋业务预报模式偏重于预报热带气旋的路径，满足不了台站的业务要求，特别是地形对热带气旋暴雨的影响很大。可见，发展适用于台站的、具有更高分辨率的热带气旋预报业务系统极为重要。

二、系统框架

本系统以中尺度数值预报模式（MM4）为基础[1]，主要包括：实时资料的读取、客观分析、热带气旋初始场的形成、数值模式、后处理等几部分。

1. 实时资料的读取及客观分析

读取高空实时资料库、地面实时资料库及实时气象格点资料库作为预备场。对1000—100 hPa各标准等压面上的基本物理量进行客观分析，其中地面物理量和高空相对湿度场采用两维单变量最优插值方案，对高度场、温度场、风分量（u、v）场采用多元最优插值方案。客观分析的区域为（2.55—48.43° N，103.01—166.83° E），以125° E为标准经度、北极点为（72，17）的兰勃托投影，格距为150 km，水平格点总数为40× 39。

2. 热带气旋初始场的形成

由于海洋上的测站资料较少，客观分析资料往往难于描述实际热带气旋的结构特征及其周围环境场，通常需要在客观分析场中嵌套一个理想热带气旋模型。本系统采用文献〔2〕提出的方法，根据实测热带气旋的中心位置、海平面气压和大风区域半径及最大风速等参数构成理想热带气旋模型，嵌套在客观分析场中，形成模式的初值。

3. 数值模式

本模式采用一个 σ 坐标系中的三维、静力平衡的原始方程组。

$$\sigma = (P - Pt)/(Ps - Pt)$$

式中 P 为气压，Pt 为模式层顶气压（本文取为 100 hPa），Ps 为地面气压，$P^* = Ps - Pt$。

模式的水平网格系统采用 Arakawa B 型网格（见本期第 3 页）。这种网格系统将动量（P^*u、P^*v）定义在"圆点"上，而其它变量定义在"叉点"上，这样可以提高对气压梯度力及水平扩散的计算精度。模式的水平区域可以随热带气旋移动而变化，且模式的格点数和格距可以在模式积分之前任意选定。本系统取网格点为 55× 55，格距为 45 km 的高分辨结构。图 1 为计算区中心取为（30° N，125° E）时的水平计算区域。

模式的垂直分层为以等 σ 间距从地面到 100 hPa 垂直分为十层。模式变量在垂直方向上也是交替分布的，其中垂直运动速度放在整 σ 层上，而其它变量放在半 σ 层上。时间差分采用 Shuman 以及 Brown 和 Campana 提出的显式方案，空间差分方案的设计保持了质量及动量的守恒，并近似满足能量守恒〔1〕。采用 Kuo－Anthes 积云对流参数化方案和高分辨的行星边界层方案，对于模式的侧边界则可选用固定、时变、流入流出、海绵等侧边界条件，目前多采用海绵边界。

将原中尺度模式（MM4）中水平扩散项在 σ 面上计算改在 P 面上计算*。并为了克服非线性不稳定及混淆误差，在模式中采用两种扩散类型，即在贴近侧边界处的网格上用二次形式，而区域内部用四次形式：

$$F_{H_2}\alpha = P^* K_H \triangle_P^2 \alpha$$

$$F_{H_4}\alpha = -P^* K_H^1 \triangle_P^4 \alpha$$

其中 α 为预报量，$K_H^1 = \triangle S^2 K_H$，$\triangle S$ 为格距，K_H 为水平扩散系数。

4. 预报结果后处理

后处理把预报变量从模式的 σ 面垂直插值到标准等压面，其一般的插值公式为：

$$\begin{cases} F_P = F_{\sigma_1} + \dfrac{P - P_{\sigma_1}}{P_{\sigma_2} - P_{\sigma_1}} \cdot (F_{\sigma_1} - F_{\sigma_1}) & \text{线性} \\ F_P = F_{\sigma_1} + \dfrac{\ln(P/P_{\sigma_1})}{\ln(P_{\sigma_2}/P_{\sigma_1})} \cdot (F_{\sigma_1} - F_{\sigma_1}) & \text{对数线性} \end{cases}$$

* 由广州热带海洋气象研究所完成。

式中，P 为标准等压面的气压，P_{σ_1}、P_{σ_2} 分别为与该等压面邻近的上、下两等 σ 面上的气压，且有$P_{\sigma_1} \leqslant P \leqslant P_{\sigma_2}$，$F_P$ 为等压面上的气象场，F_{σ_1}、F_{σ_2} 分别为 σ_1、σ_2 面上的预报变量。本系统中，风分量（u、v 场）的插值采用线性关系，温度、比湿的插值采用对数线性关系。

同时，诊断相应的物理量场，目前主要有：各标准等压面上的位势高度、温度、比湿、u 及 v 分量、垂量速度、涡度、散度、水汽通量散度和海平面气压、地面气压以及热带气旋的中心位置、强度、路径及路径的各种误差分析，并能输出相应的图表。其中热带气旋的路径、降水及风场分布还可以通过网络直接传送至上海中心气象台的 DEC 工作站上绘制，供预报员参考，极为方便。

对于降水的预报，还进行了 TS 评分，并计算了相应的漏报率、空报率及预报效率。目前对于降水的检验尚无统一的标准，国家气象中心的 LAFS 模式的作法是[3]：对于每一个测站，确定其周围 1× 1° 经纬网格面积（约 110× 110 km^2）内的网格点，只要这些网格点中之一的预报降水量的量级和测站的实际降水量的量级一样时便报对了一个 1× 1° 的面积单位。为了和 LAFS 模式的作法具有可比性，我们取 90× 90 km^2 为降水评分的面积单位，具体作法如下：

读取华东地区（58 区）国家基准站（共 35 个，如图 1 中的• 号所示）的实测降水量。对于每一个测站，确定其周围 90× 90 km^2 内的网格点，只要这些网格点中之一的预报降水量的量级和测站的实际降水量的量级一样时便报对了一个 90× 90 km^2 的面积单位。评分中所用的统计公式[3] 为

$$\mathrm{TS} = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c}$$

$$\mathrm{NH} = \frac{N_b}{N_a + N_b}$$

$$\mathrm{PO} = \frac{N_c}{N_a + N_c}$$

$$\mathrm{EH} = \frac{N_a + N_d}{N_a + N_b + N_c + N_d}$$

式中 N_a 为实况有雨预报正确的单位面积数，N_b 和 N_c 分别为空报和漏报的单位面积数，N_d 为实况无雨预报正确的单位面积数，TS 为 TS 评分，NH 为空报率，PO 为漏报率，EH 为预报效率。

对降水预报较好时，一般 TS、EH 的值较大，NH、PO 的值较小。

5. 系统的运行控制

图 2 给出了系统运行的流程图。首先，将 VAX 机上的实时资料拷贝到 CD4680 机上，进行客观分析，得到水平区域如二.1 所述、垂直方向从 1000—100 hPa 的各标准等压面上的变量值（u、v、T、q、Zs、H）。