

文章编号：1004-4965 (2003) 02-0147-10

综合评估环境场影响的热带气旋路径 客观相似预报模式

钟 元 , 胡 波

(浙江省气象科学研究所, 浙江 杭州 310004)

摘 要：提出一个综合评估环境场影响的热带气旋路径客观相似预报模式。模式应用热带气旋参数、初始和未来环境场，构造客观的相似判据。通过定义非线性的相似指数综合评估历史热带气旋样本在多元判据下的相似程度，从而找到相似样本。应用相似样本的历史路径进行坐标变换和相似指数的权重综合，得到预报路径。模式检验和预报试验表明该模式具有预报技巧。

关 键 词：环境场；热带气旋；相似预报

中图分类号：P457.8

文献标识码：A

1 引 言

20 世纪 60 年代末，Hope 等提出了一个热带气旋（以下简称 TC）路径的相似预报方法 HURRAN 模式^[1]。此后国内有人提出 HURRAN 模式的国内改进方案和其它相似预报方案^[2, 3]。

这些方法均以 TC 初始参数（时间、位置、移向移速等）为判据，对历史上 TC 进行了筛选并找出相似的 TC，再以相似样本历史路径的平均得到预报路径。这些方法在寻找相似时，既不考虑初始环境对 TC 运动作用，也不考虑未来环境场的发展变化对 TC 运动的影响。

众所周知，环境场的引导作用对 TC 的移动是至关重要的。不考虑动力作用，仅以惯性运动作持续性预报有悖事实。因为初始状态的相似并不意味着未来的发展也一定相似，所以这些方法的预报效果不甚理想。

收稿日期：2001-10-26；修订日期：2002-03-18

基金项目：浙江省自然科学基金（495001）资助

作者简介：钟 元（1945 - ），男，福建福州人，研究员，主要从事热带气旋及其预测的研究。

1990年代国外发展了一种TRANTECH(热带天气相似技术)预报模式,把TC路径的数值预报结果引入相似预报,间接使用现时大气动力场,称为“准动力系模型”。由于当前TC路径的数值预报效果尚不理想,尤其与天气形势的数值预报效果相差甚远,因而该模式的预报效果比作为基准的Cliper方案差,在其升级之前的预报无预报技巧。

由于数值天气预报的进展,尤其大尺度天气形势预报时效已达168小时,而短期24~72小时的预报结果已相当精确。为此,设想把环境场的数值预报结果作为相似判据引入TC相似预报,使得相似建立在动力学基础之上,有利于找到从当前到未来时刻的相似,由此提高预报的效果。

2 资料和方法

对TC历史样本的选取标准为:在 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$ 范围内,西北太平洋上空强度达到热带风暴或台风的TC个例。从1961~1990年共取275个TC,在预报区域内总样本数为1205个。每个样本的TC参数(时间、位置、中心气压及近中心最大风速)取自台风年鉴,环境场资料取自美国NCEP/NCAR的再分析逐日资料,预报场资料取自欧洲中心ECMWF及北京气象中心 T_{106} 数值预报产品。

由于TC的移动是其内力与环境场相互作用的结果,因而用一个简单的判据难以确定其相似,必须应用TC本身参数和多时刻、多层次环境场要素组成的多元判据进行综合评估才能找到较合理的相似。在综合评估所有的相似判据后,预报模式找出若干最相似的历史TC样本,将这些相似TC的历史路径经过变换和权重综合得出预报结论,给出当前TC的未来路径预报。

3 相似指数

当我们应用多种因子构造相似判据时,由于诸多相似判据的值域和量纲都不一致,使得对它们进行综合评估产生困难。为此定义一个相似指数,它为各种差异悬殊的相似判据确定了一个判定相似程度的统一标准;同时,它还把众多的历史样本在相似程度上加以分离,以突出最相似的样本。

对于某个作为判据的因子序列(历史样本) $x_{i,j}$ 与预报TC样本值 $x_{i,0}$ 确定了某种相似关系 $f_{i,j}(x_{i,j}, x_{i,0})$, $f_{i,j}$ 可以是相似系数、距离系数或绝对距离等函数关系,下标 i 为判据序,下标 j 为判据因子的样本序。当第 i 个判据因子序列的最大值 $\text{Max}(f)_i$ 与最小值 $\text{Min}(f)_i$ 确定后,将极差十等分: $\Delta D_i = [\text{Max}(f)_i - \text{Min}(f)_i] / 10$ 。

判据因子序列的界限值 T_i (视 $f_{i,j}$ 不同可以为极大值或极小值)确定后,以 ΔD_i 为距离单位,定义相似指数 $SI_{i,j}$

$$SI_{i,j} = \begin{cases} 10 & Df_{i,j} = 0 \\ 10-k & (k-1)\frac{\ddot{A}D_i}{4} < Df_{i,j} \leq k\frac{\ddot{A}D_i}{4} \quad (k=1,2,3,4) \\ 6-k & (k+1)\frac{\ddot{A}D_i}{2} < Df_{i,j} \leq (k+2)\frac{\ddot{A}D_i}{2} \quad (k=1,2) \\ 4-k & (3k+1)\frac{\ddot{A}D_i}{2} < Df_{i,j} \leq (3k+4)\frac{\ddot{A}D_i}{2} \quad (k=1,2) \\ 1 & 5\ddot{A}D_i < Df_{i,j} \leq 7\ddot{A}D_i \\ 0 & 7\ddot{A}D_i < Df_{i,j} \leq 10\ddot{A}D_i \end{cases} \quad (1)$$

式中 $Df_{i,j} = |f_{i,j} - T_i|$, $j=1,2,\dots,M$ 。 j 为历史样本序, M 为样本总数。

图 1 为相似指数 $SI_{i,j}$ 随 $Df_{i,j}$ 的分布。定义表明, 相似指数 $SI_{i,j}$ 不与 $\ddot{A}D_i$ 的均等区间成比例。其结果仅有少量 $Df_{i,j}$ 甚小即与预报样本接近的若干历史样本获得高 $SI_{i,j}$ 值, 大多数不甚相似的历史样本被赋予低 $SI_{i,j}$ 值。这使得该判据因子的历史样本序列变换成非线性分布的相似指数 $SI_{i,j}$ 序列时, 样本间的差别得到扩大也即样本在相似程度上被分离。

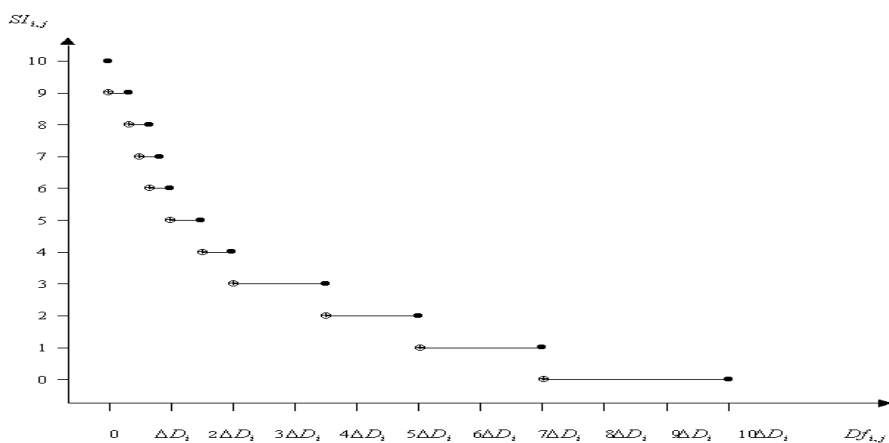


图 1 相似指数随 $Df_{i,j}$ 的分布

作为比较, 定义以下按均等 $\ddot{A}D_i$ 区间分布的相似指数 $SI'_{i,j}$

$$SI'_{i,j} = \begin{cases} 10-k & k\ddot{A}D_i < Df_{i,j} \leq (k+1)\ddot{A}D_i \quad k=1,2,\dots,9 \\ 10 & Df_{i,j} = 0 \end{cases}$$

图 2 为历史样本在 20 个判据(见下文)下, 按均等与不均等 $\ddot{A}D_i$ 区间划分得到相似指数 $SI'_{i,j}$ 和 $SI_{i,j}$ 的平均频率(F)分布。在均等区间情况下, 历史样本 $SI'_{i,j}$ 的频率分布为准正态分布, 即低 $SI'_{i,j}$ 值(0~3)的历史样本频率为 15%, 中 $SI'_{i,j}$ 值(4~7)的频率为 60%, 高 $SI'_{i,j}$ 值(8~10)频率为 26%。而在不均等区间情况下, 低 $SI_{i,j}$ 值的历史样本频率为 86%, 中 $SI_{i,j}$ 值的频率为 10%, 高 $SI_{i,j}$ 值的频率为 5%。可见, 判据因子经过按不均等区间分的非线性数变换后, 高指数历史样本出现频率下降了 21%, 而低指数频率增加了 61%。从而相应加大相似样本的相似权重, 实现样本在相似程度上的分离。

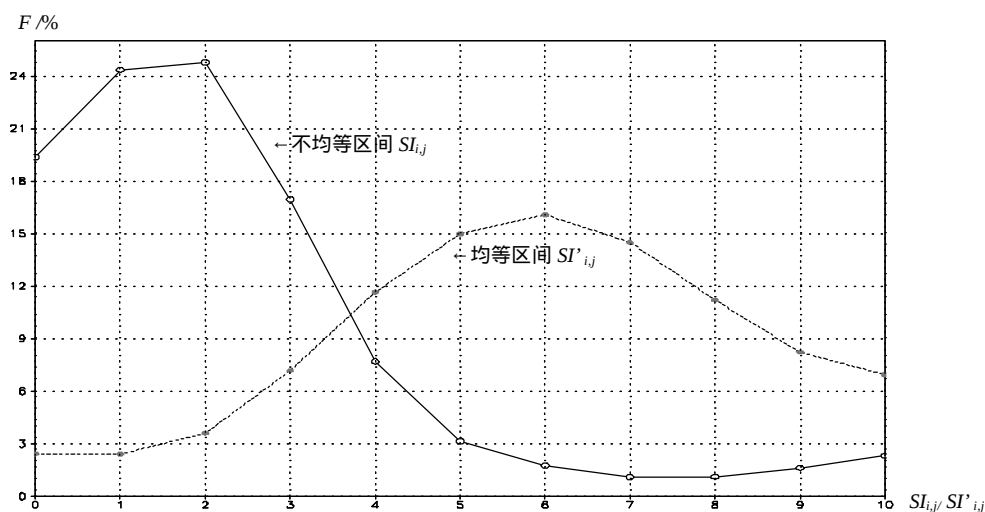


图2 不同划分区间的历史样本频率分布

4 相似判据

相似判据是寻找相似 TC 的关键，因而必须反映出 TC 运动特征和影响 TC 运动的环境场特征。以下引入 20 类因子作为相似判据，其中大多数为若干参数的集合，以使有限的判据能包含较多的相似信息。各类判据及参数分述如下，其中各式中下标 j 均表示历史样本序，下标 0 表示预报样本。

(1) 时间判据。

特定的时间有其固有的气候背景和大气环流背景特征。判据为历史 TC 样本出现时间 $Date_j$ 与预报样本的预报时间 $Date_0$ 的绝对距离（天数） $f_{1,j} = Date_j - T_1 = Date_0$ ，由判据和式（1）得到时间相似指数 $SI_{1,j}$ 。

(2) TC 位置判据。

TC 初始位置与环境场背景及 TC 未来移向密切相关。判据为历史 TC 样本位置 $(\ddot{o}_j, \ddot{e}_j)$ 与预报 TC 位置 $(\ddot{o}_0, \ddot{e}_0)$ 的球面距离

$$f_{2,j} = R \cdot \arccos[\sin \ddot{o}_j \sin \ddot{o}_0 + \cos \ddot{o}_j \cos \ddot{o}_0 \cos(\ddot{e}_j - \ddot{e}_0)], \quad T_2 = \text{Min}(f_{2,j})$$

式中 R 为地球半径，由判据和式（1）得到位置相似指数 $SI_{2,j}$ 。

(3) TC 中心气压判据。

中心气压是 TC 强度的表征，判据以 TC 中心气压 p 及其 12、24 小时变化量为参数

$$\begin{aligned} f_{3,j}(0) &= p_j & T_3(0) &= p_0 \\ f_{3,j}(t) &= p_j - p_j(t) & T_3(t) &= p_0 - p_0(t) \quad (t = 12, 24) \end{aligned}$$

由判据和式（1）分别计算 $SI_{3,j}(t)$ ，则 TC 中心气压相似指数为

$$SI_{i,j} = \frac{1}{3} \sum_{t=0}^{24} SI_{3,j}(t) \quad (t = 0, 12, 24)$$

(4) TC 近中心最大风力判据。

TC 近中心最大风力是 TC 强度的另一表征, 判据以 TC 近中心最大风力 V_j 及其 12 小时、24 小时变化量为参数

$$\begin{aligned} f_{4,j}(0) &= V_j & T_4(0) &= V_0 \\ f_{4,j}(t) &= V_j - V_j(t) & T_4(t) &= V_0 - V_0(t) \quad (t = 12, 24) \end{aligned}$$

由式 (1) 分别得到 $SI_{4,j}(t)$, 则 TC 近中心最大风力相似指数为

$$SI_{4,j} = \frac{1}{3} \sum_{t=0}^{24} SI_{4,j}(t) \quad (t=0, 12, 24)$$

(5) TC 初速度判据。

TC 的初速度作为一种惯性作用直接影响 TC 的运动, 以 TC 初始时刻至前 12 小时的平均移向 $\dot{e}_j$ 和移速 VV_j 为参数

$$f_{5,j}(1) = \dot{e}_j = \arccos[\sin \ddot{o}_0 \sin \ddot{o}_{-12} + \cos \ddot{o}_0 \cos \ddot{o}_{-12} \cos(\ddot{e}_0 - \ddot{e}_{-12})], \quad T_5(1) = \text{Min}[f_{5,j}(1)]$$

$$f_{5,j}(2) = VV_j = \frac{R}{12} \dot{e}_j, \quad T_5(2) = \text{Min}[f_{5,j}(2)]$$

由判据和式 (1) 得到 $SI_{5,j}(1)$, $SI_{5,j}(2)$, 则 TC 速度相似指数 $SI_{5,j} = \frac{1}{2} \sum_{K=1}^2 SI_{5,j}(k)$ 。

(6) 初始 500 hPa 高度场判据。

天气形势是 TC 与各种天气系统相互作用的反映, 判据以初始 500 hPa 高度场的相似系数 s_j 为参数。 s_j 定义为: 在 $10 \sim 50^\circ \text{N}$, $90 \sim 150^\circ \text{E}$ 范围内, 分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的网格上取 21×25 个格点的初始 500 hPa 高度值, 分别计算历史样本 $H_{j,k,l}$ 与预报样本 $H_{0,k,l}$ 之间的纬向相似系数 $s_{z,j}$ 、经向相似系数 $s_{m,j}$ 和高度场相似系数 sh_j

$$\begin{aligned} s_{j,k} &= (\sum_{l=1}^{25} H_{j,k,l} \cdot H_{0,k,l}) / \sqrt{\sum_{l=1}^{25} H_{j,k,l}^2 \sum_{l=1}^{25} H_{0,k,l}^2} \\ s_{j,l} &= (\sum_{k=1}^{21} H_{j,k,l} \cdot H_{0,k,l}) / \sqrt{\sum_{k=1}^{21} H_{j,k,l}^2 \sum_{k=1}^{21} H_{0,k,l}^2} \quad \left(\begin{array}{l} k = 1, 2, \dots, 21 \\ l = 1, 2, \dots, 25 \end{array} \right) \\ s_{z,j} &= \frac{1}{21} \sum_{k=1}^{21} s_{j,k} & s_{m,j} &= \frac{1}{25} \sum_{l=1}^{25} s_{j,l} \\ f_{6,j} &= sh_j = s_{z,j} \cdot s_{m,j} & T_6 &= \text{Max}[f_{6,j}] \end{aligned}$$

式中 k 为经向格点序, l 为纬向格点序 (下同)。由判据和式 (1) 估算初始 500 hPa 高度场的相似指数 $SI_{6,j}$ 。

(7) 未来 500 hPa 高度场判据。

显然, 未来天气形势是比初始天气形势更为重要的判据。取与 (6) 相同的区域和格点, 以 500 hPa 高度的 24、48、72 小时数值预报场 $\hat{H}_{0,k,l}(t)$ 和历史样本的后 24、48、72 小时样本 $H_{j,k,l}(t)$, 以相同的方法计算相似系数 $sh_j(t)$, 并作为判据和式 (1) 估算未来 24、48、72 小时相似指数 $SI_{7,j}(t)$, 则未来高度场的相似指数为

$$SI_{7,j} = \frac{1}{3} \sum_{t=24}^{72} SI_{7,j}(t) \quad (t = 24, 48, 72)$$

(8) 500 hPa 高度场距离判据。

高度场空间点的高度值是该点性质的表征, 高度场距离相似反映了两个 TC 在热力

背景上的相似。取与 (6) 相同的区域和格点, 以 500 hPa 为初始场, 以 24、48、72 小时预报场为参数计算它们的欧氏距离 (k, l 的范围同上)

$$f_{8,j}(t) = \sqrt{\sum_{k=1}^{21} \sum_{l=1}^{25} (H_{j,k,l}(t) - \hat{H}_{0,k,l}(t))^2}, \quad T_8(t) = \text{Min}[f_{8,j}(t)] \quad (t=0, 24, 48, 72)$$

由判据和式 (1) 计算出 $SI_{8,j}(t)$, 则 500 hPa 高度场距离的相似指数为

$$SI_{8,j} = \frac{1}{4} \sum_{t=0}^{72} SI_{8,j}(t)$$

(9) 初始 500 hPa 流场判据。

500 hPa 流场是 TC 气流与环境场气流相互作用在中层的反映, 它影响 TC 未来的移动。取与 (6) 相同的范围和格点, 分别计算纬向气流 u , 经向气流 v 的相似系数 Su_j , Sv_j 和流场相似系数 Sw_j (k, l 的范围同上)

$$\begin{aligned} Su_{j,k} &= (\sum_{l=1}^{25} u_{j,k,l} \cdot u_{0,k,l}) / \sqrt{\sum_{l=1}^{25} u_{j,k,l}^2 \cdot \sum_{l=1}^{25} u_{0,k,l}^2} \\ Sv_{j,k} &= (\sum_{l=1}^{25} v_{j,k,l} \cdot v_{0,k,l}) / \sqrt{\sum_{l=1}^{25} v_{j,k,l}^2 \cdot \sum_{l=1}^{25} v_{0,k,l}^2} \\ Su_j &= \frac{1}{21} \sum_{k=1}^{21} Su_{j,k}, \quad Sv_j = \frac{1}{21} \sum_{k=1}^{21} Sv_{j,k} \\ f_{9,j} &= Sw_j = Su_j \cdot Sv_j, \quad T_9 = \text{Max}[f_{9,j}] \end{aligned}$$

由判据和式 (1) 估算初始 500 hPa 流场的相似指数 $SI_{9,j}$ 。

(10) 未来 500 hPa 流场判据。

取与 (6) 相同的范围和格点, 用相同的方法计算未来 24、48、72 小时的流场相似指数 $SI_{10,j}(t)$, 则未来 500 hPa 流场相似指数为

$$SI_{10,j} = \frac{1}{3} \sum_{t=24}^{72} SI_{10,j}(t) \quad (t=24, 48, 72)$$

(11) 500 hPa 流场距离判据。

取与 (6) 相同的范围和格点, 分别计算初始时刻、未来 24、48、72 小时的 u 场和 v 场的欧氏距离 (k, l 的范围同上)

$$\begin{aligned} Du_j(t) &= \sqrt{\sum_{k=1}^{21} \sum_{l=1}^{25} (u_{j,k,l}(t) - u_{0,k,l}(t))^2}, \quad Dv_j(t) = \sqrt{\sum_{k=1}^{21} \sum_{l=1}^{25} (v_{j,k,l}(t) - v_{0,k,l}(t))^2} \\ f_{11,j}(t) &= Du_j(t) \cdot Dv_j(t), \quad T_{11} = \text{Min}[f_{11,j}(t)] \quad (t=0, 24, 48, 72) \end{aligned}$$

由判据和式 (1) 分别计算 $SI_{11,j}(t)$, 则 500 hPa 流场距离相似指数为

$$SI_{11,j} = \frac{1}{4} \sum_{t=0}^{72} SI_{11,j}(t) \quad (t=0, 24, 48, 72)$$

(12) ~ (17) 850 hPa、200 hPa 流场判据。

850 hPa、200 hPa 流场分别与 TC 流入、流出场密切相关。取与 (6) 相同的范围和格点, 由初始及未来 850 hPa、200 hPa 流场用同样的方法估算初始及未来 850 hPa、200 hPa 流场和距离的相似指数 $SI_{12,j}$ 、 $SI_{13,j}$ 、 $SI_{14,j}$ 、 $SI_{15,j}$ 、 $SI_{16,j}$ 和 $SI_{17,j}$ 。

(18) 初始引导流场判据。

TC 与环境流场之间相互作用对 TC 移动有显著影响, 引导气流在很大程度上左右了 TC 的运动。较一致的观测结果认为 700 hPa 或 500 hPa 气流是最为接近的引导气流^[4],

而用平均层气流作为引导气流有更为一致和更为稳定的关系^[5]。以 TC 为中心，取距中心 10 纬距、分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的 9×9 的正方形网格，用 500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 三层的平均气流 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 为引导流场，计算引导流场相似系数

$$\begin{aligned} S u_j &= \left(\sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^9 \bar{u}_{j,k,l} \cdot \bar{u}_{0,k,l} \right) / \sqrt{\sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^9 \bar{u}_{j,k,l}^2 \sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^9 \bar{u}_{0,k,l}^2} \\ S v_j &= \left(\sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^9 \bar{v}_{j,k,l} \cdot \bar{v}_{0,k,l} \right) / \sqrt{\sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^9 \bar{v}_{j,k,l}^2 \sum_{k=1}^9 \sum_{l=1}^9 \bar{v}_{0,k,l}^2} \\ f_{18,j} &= S w_j = S u_j S v_j, \quad T_{18} = \text{Max}[f_{18,j}] \end{aligned}$$

由判据和式 (1) 估算初始引导流场相似指数 $SI_{18,j}$ 。

(19) 未来引导流场判据。

取与 (18) 相同的范围和网格，用初始、未来 24、48、72 小时的 500~850 hPa 平均流场和 (10) 同样的方法估算未来引导流场的相似指数 $SI_{19,j}$ 。

(20) 引导流场距离判据。

取与 (18) 相同的范围和网格，用初始、未来 24、48、72 小时的 500~850 hPa 平均流场和 (11) 同样的方法估算引导流场距离的相似指数 $SI_{20,j}$ 。

5 预报模式

5.1 历史样本初选

为使进入相似预报的历史样本在时间、气候和大气环流背景上尽可能相近，只有满足以下条件的历史 TC 样本才被选入

$$\begin{aligned} |Date_j - Date_0| &\leq 20 \\ \sqrt{(\ddot{o}_j - \ddot{o}_0)^2 + (\ddot{e}_j - \ddot{e}_0) \cos^2\left(\frac{\ddot{o}_j - \ddot{o}_0}{2}\right)} &\leq 3 \end{aligned} \quad (j=1,2,3,\dots,1205)$$

5.2 综合相似指数估算

对满足上述条件入选的 M 个历史 TC 样本，按以上的相似判据逐一计算相似指数 $SI_{i,j}$ 。由于某些同时刻的环境场因子可能线性相关，因此先计算所有相似判据的相似指数序列间的线性相关系数，然后逐一剔除在信度为 0.05 时明显相关的两个相似判据中的一个。本例剔除后的相似判据数为 20，则综合相似指数为

$$SI_j = \sum_{i=1}^{20} SI_{i,j} \quad \begin{pmatrix} i=1,2,3,\dots,20 \\ j=1,2,3,\dots,M \end{pmatrix}$$

5.3 相似预报

对历史样本序列按 SI_j 值重新排列，使新序列 $\{N_j\}$ 的 SI_j 值成单调递减，当前 N 个样本的 SI_j 值满足条件 $SI_1 - SI_k \leq 10$ ($k=1,2,3,\dots,N$)，则前 N 个 TC 为相似样本。

当相似样本的路径 $(\ddot{o}_{k,t}, \ddot{e}_{k,t})$ 中最接近预报样本位置 $(\ddot{o}_0, \ddot{e}_0)$ 的点的位置为 $(\ddot{o}_{k,0}, \ddot{e}_{k,0})$ 时，经过坐标变换，相似 TC 样本 t 时刻的预报路径为

$$\begin{aligned} \hat{\ddot{o}}_{k,t} &= \ddot{o}_{k,t} + (\ddot{o}_{k,0} - \ddot{o}_0) & \left(\begin{array}{l} k=1,2,\dots,N \\ t=6,12,\dots,T \end{array} \right) \\ \hat{\ddot{e}}_{k,t} &= \ddot{e}_{k,t} + (\ddot{e}_{k,0} - \ddot{e}_0) \end{aligned}$$

式中下标 k 为相似样本序，下标 t 为时刻，每隔 6 小时取一点， T 为最终预报时效。由此得到 TC 预报路径

$$\begin{aligned} \hat{\ddot{o}}_t &= \frac{\sum_{k=1}^N SI_k \hat{\ddot{o}}_{k,t}}{\sum_{K=1}^N SI_K} & \left(\begin{array}{l} k=1,2,\dots,N \\ t=6,12,\dots,T \end{array} \right) \\ \hat{\ddot{e}}_t &= \frac{\sum_{k=1}^N SI_k \hat{\ddot{e}}_{k,t}}{\sum_{K=1}^N SI_K} \end{aligned}$$

6 模式检验与预报试验

应用 1991~1996 年 7~9 月的 51 个 TC，183 个独立样本对本预报模式（SAN）进行检验，其预报误差见表 1。表中同时给出相似预报 HUR 模式预报供比较。

检验结果表明 SAN 模式预报精度比 HUR 模式有了较大的提高，尤其在 72~120 小时时段，预报距离误差减小了 37~170 km，移向误差减小了 3~8 度。

表 1 预报模式的检验结果

预报时效/小时	24		48		72		96		120	
预报模式	SAN	HUR	SAN	HUR	SAN	HUR	SAN	HUR	SAN	HUR
预报距离误差/ km	156	160	352	395	587	624	746	891	823	993
预报移向误差/度	13	14	16	18	20	23	19	23	16	24

应用模式对 1997~2000 年的 37 个 TC 进行 122 次预报试验，其结果与 Cliper (CLP) 方案的比较见表 2。

表 2 模式的预报试验结果

预报时效/小时	24		48		72		96		120	
预报模式	SAN	CLP	SAN	CLP	SAN	CLP	SAN	CLP	SAN	CLP
预报距离误差/ km	166	164	367	378	605	623	816	884	894	989
预报移向误差/度	13	12	17	17	21	23	20	25	18	24

预报试验结果表明，在 24~48 小时的短时效中，两个模式的预报误差相当；在 72~120 小时的时效中，SAN 模式的预报距离误差比 CLP 方案减小 18~95 km，移向误差减小 2~6 度。由于 Cliper 方案的预报结果是评估预报模式技巧的标准，因而本预报模式具有预报技巧，尤其在 72~120 小时的较长时效时，其预报技巧更加明显。

Winnie (9711 号) 台风发生于西北太平洋，最后在浙江中部沿海登陆并造成巨大的经济损失，1997 年 8 月 14 日 02 时（北京时），该台风位于 20.6°N，140.2°E。SAN

模式预报该台风将于未来 120 小时左右在浙江省中部沿海登陆,而 HUR 与 CLP 模式都预报该台风未来在 125 °E 以东的海上转向(图 3)。

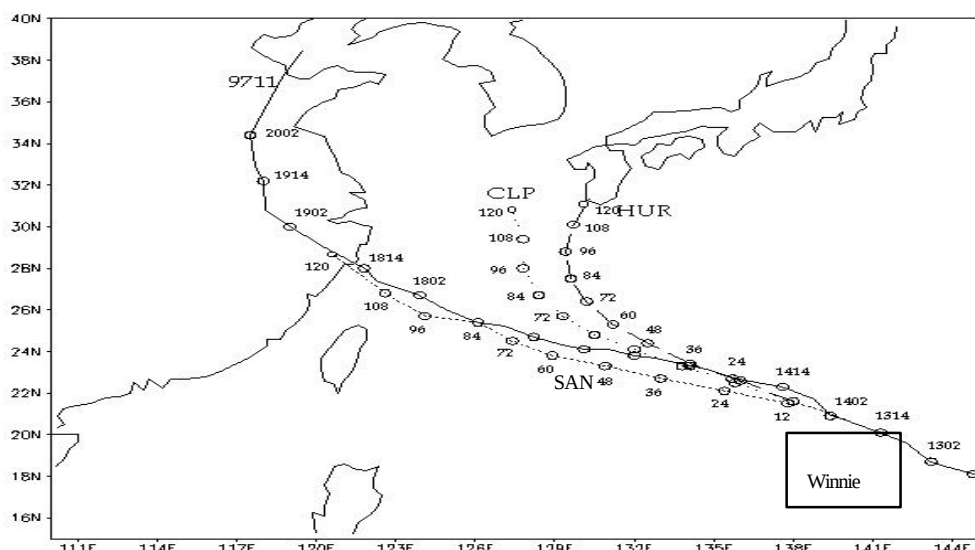


图 3 模式对 9711 号台风的预报结果 实线为 9711 号台风路径;点线为 SAN 模式的预报路径;虚线为 CLP 模式的预报路径;点划线为 HUR 模式的预报路径。数字为时间。

7 结 论

(1) 综合评估环境场影响的 TC 路径客观相似预报模式比较全面地评估了 TC 与环境场相互作用对 TC 路径的影响,引进了多元客观判据,有利于找到较佳相似的 TC。当然,综合也可能淡化某个判据的特殊作用。

(2) 本模式定义的相似指数使得在诸多不同判据下的相似程度具有一致性,它的非线性分布增大了相似样本的权重,减小了不相似样本的权重,有利于历史样本在相似程度上的分离和进行较佳相似样本的选择。

(3) 本模式应用数值天气预报的输出产品作为未来环境场的相似,同时考虑初始和未来环境场的相似,使相似建立在动力学基础之上,更加合理,并有利于提高预报准确率,但由此模式的预报结果将不可避免地受到数值预报误差的影响。

(4) 相似判据直接影响模式的预报效果,在选取相似判据时,应选取对 TC 运动有作用或有影响的因子。某些同时刻的环境场因子可能线性有关,在综合相似指数前应先剔除与线性有关的相似判据。

(5) 模式的检验与预报试验表明,本模式对 TC 路径具有预报能力和预报技巧,尤其在较长预报时效的预报技巧明显。

参 考 文 献 :

- [1] HOPE J R, NEUMANN C J. An operational technique for relating the movement of existing tropical cyclone to past tracks[J]. *Mon Wea Rev*, 1970, 98 : 925-933.
- [2] 王志烈, 费 亮. 台风预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 1987. 179-181.
- [3] 谢玲娟. 台风路径相似加权预报方法的一个改进方案[J]. 气象, 1981, 7 : 23-27.
- [4] PIKE A C. Geopotential heights and thicknesses as predictors of Atlantic tropical cyclone motion and intensity[J]. *Mon Wea rev*, 1985, 113 : 931-939.
- [5] WANG Y, HOLLAND J. On some baroclinic aspects of tropical cyclone motion[A]. *Tropical Cyclone Disasters*[Z]. ED J L, EMANUEL K, HOLLAND G J, et al. 1993, 280-285.

THE OBJECTIVE ANALOGUE PREDICTION MODEL OF TROPICAL CYCLONE TRACK CONSIDERING SYNTHETICAL EVALUATION ENVIRONMENT

ZHONG Yuan , HU Bo

(Zhejiang research institute of meteorologic science , Hangzhou 310004, China)

Abstract : An objective analogue prediction model of tropical cyclone track is brought forward that considers the synthetical evaluation environment. By using tropical cyclone parameter, initial and final environmental fields, an objective resemble criterion is built up. Then the resemble samples are obtained. Through defining the non-linear resemble indexes, with which the resemble extent of the historical tropical cyclone samples are evaluated under multi-criterion, and some resemble samples are got. Applying the history tracks of resemble sample, the coordinate transform and rate synthesis are processed and then the prediction track is formed. The model inspection and prediction trail show the model is of foreczst skill.

Key words: environmental field; tropical cyclone; analogue