

卫星云图资料在台风路径相似 预报中的应用

陈 剑, 孔玉寿

(解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘 要: 本文应用相似预报的原理和方法, 结合常规气象资料(NCEP 分析资料), 试验了用卫星探测的灰度场资料作台风移动路径的定量预报。结果表明, 通过计算灰度场的相似离度, 可以有效地定量描述台风非对称性结构的相似性, 并能较准确地预测其未来的移动路径。

关键词: 卫星云图资料; 台风路径; 相似预报

中图分类号: P731.23 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2004)03 - 0022 - 07

1 引言

影响台风移动的因子很多, 除经典的引导气流外, 周围天气尺度系统与台风之间的相互作用, 台风自身内部结构以及下垫面等因素都对台风的移动路径有重要影响^[1], 尤其是台风的非对称性结构对其移动路径的影响, 已受到广泛关注。但由于台风活动的洋面上资料稀少, 用常规天气资料揭示台风的内部因子较为困难, 而卫星云图则可很好反映台风云系的内部结构特征, 并能较好地揭示未来演变趋势。因此卫星云图已在台风预报中得到较为广泛的应用^[2], 但这些应用基本上都是主观定性的, 很少有客观定量的应用。此外, 在目前台风预报业务中, 相似预报法是最为常用的方法之一。但使用的都是传统相似方法^[3], 而没有定量考虑卫星云图资料的作用。本文将卫星探测的灰度场作为相似因子场, 用以描述台风非对称性结构的相似性, 进而应用相似预报的原理和方法预测其未来的移动路径, 并将其预报结果跟常规相似预报结果进行对比分析, 证明了卫星云图资料在台风路径预报中具有良好的应用前景。

2 相似预报法的原理和方法

2.1 基本原理

相似预报方法是广大预报员熟悉且常用的方法, 其基本原理是: 把当前的大气状况和过程与历史上曾经出现过的大气状况和过程相比较, 从中找出一个或几个与当前大气

状况和过程最为相似的个例, 假定相似个例反映了相似的物理过程, 它们将产生相似的结果, 那么就可以按照历史上曾经出现过的最相似的个例来预测今后将要出现的天气过程和天气现象^[4]。这是一种非线性预报方法, 因为这种推论包含了对大气运动所有非线性变化的描写, 从而也可用于对台风移动路径的预测。

2.2 相似准则

衡量两个样本间的相似程度可分为两大类, 一类是标量或点之间的相似, 另外一类是场或面之间的相似。前者的计算较为简单, 直接计算样本间的差值即可, 差值越小越相似。对于后者, 则可用一个称为相似离度的量来衡量两样本间的相似程度。其定义^[5]为:

$$C_{ij} = (\alpha R_{ij} + \beta D_{ij}) / (\alpha + \beta) \quad (1)$$

式中,

$$R_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{ij}(k) - E_{ij}| \quad (2)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |H_{ij}(k)| \quad (3)$$

$$H_{ij}(k) = H_i(k) - H_j(k) \quad (4)$$

$$E_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m H_{ij}(k) \quad (5)$$

其中 R_{ij} 描述的是两个场(面)之间的形相似, D_{ij} 则主要反映它们之间的值相似, H 为要考察相似情况的某一个气象要素场(如 500hPa 高度场)或卫星产品场(如灰度场), α 、 β 分别为 R_{ij} 与 D_{ij} 对总相似程度的贡献系数, m 为所计算的相似场的格点数(像素点数或测站数)。

一般来说, 不同的气象要素场或卫星产品场, 它的分布形态和数值大小对产生的天气是有不同影响的。比如高度场, 槽脊的地理位置(也就是它的形态), 一般比它的强度(也就是数值)对天气有更明显的影响, 槽脊的地理位置常决定某天气能否出现, 而槽脊的强度则主要影响天气的强度; 而对于湿度场来说, 干湿的分布形态当然重要, 但湿度大小的具体数值的作用, 显然也是很重要的。因此, 对不同的要素场和物理量场, 应该取不同的 α 、 β 值。如对高度场可取 $\alpha=2$ 、 $\beta=1$, 对湿度场则可取 $\alpha=\beta$ 等等。对于台风系统而言, 我们主要用灰度场来反映其云系特征和结构, 所以形态的描述是主要的, 此时可取 $\alpha=2$ 、 $\beta=1$ 。

通过高度场相似离度的计算来衡量天气形势的相似性已得到广泛应用, 但是用计算卫星灰度场相似离度的方法来定量衡量台风结构(云系特征)的相似性, 还未曾有人做过。这里以 1996 年 9 月 30 日 08 时 9619 号台风云图(见图 1)为例, 分别计算出该灰度场与

其他 3 个时次的台风 :1996 年 9 月 30 日 14 时 9619 号台风 ,1997 年 9 月 13 日 20 时 9708 号台风 ,1996 年 7 月 28 日 02 时 9607 号台风(依次为图 2~4)灰度场之间的相似离度值 , 从而检验相似离度法衡量台风云系相似程度的有效性。

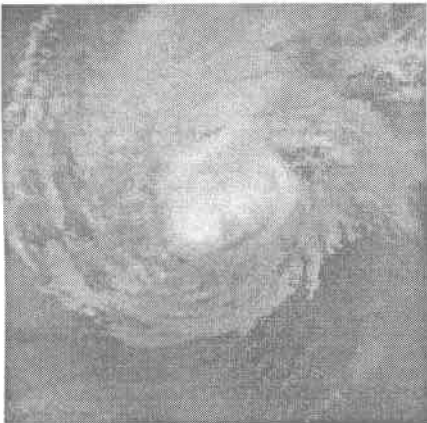


图 1 9619 号台风 30 日 08 时云图

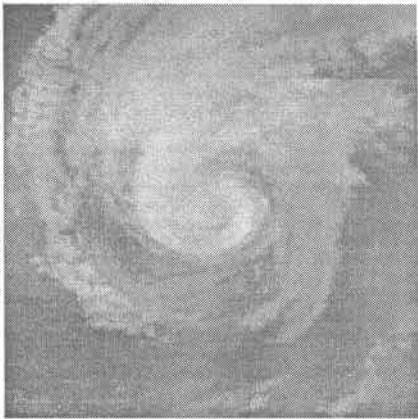


图 2 9619 号台风 30 日 14 时云图

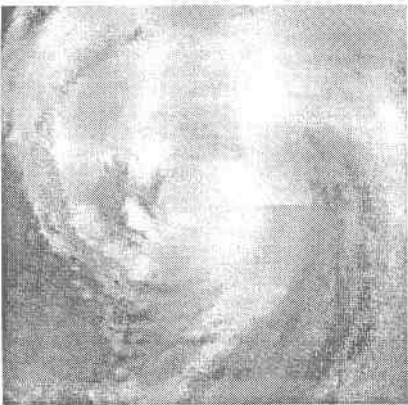


图 3 9708 号台风 13 日 20 时云图

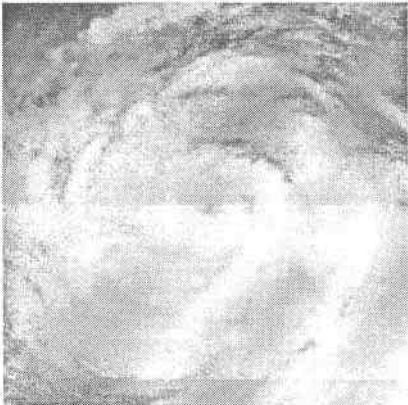


图 4 9607 号台风 28 日 02 时云图

计算中 , 取参数 $\alpha=2$ 、 $\beta=1$, 灰度场计算范围取边长为台风平均直径(10 纬距)的正方形区域。考虑各图中灰度值变化域的不同 , 参照文献 5 对灰度值作 0~1 之间的标准化。图 1 所示灰度场(个例 1) 跟另外三幅图所示的灰度场(个例 2~4) 之间的相似离度值见表 1。

表 1 个例 1 与个例 2~4 之间的灰度场相似离度值

Cij	个例 2	个例 3	个例 4
个例 1	0.16	0.26	0.47

从表 1 计算结果来看, 图 1 与图 2 中的台风云系最相似(相似离度值最小), 与图 3 较相似, 而与图 4 最不相似(相似离度值最大), 这与主观判断的结论是一致的。因此, 从这个结果来看, 计算云图灰度场之间的相似离度可比较有效地表示云型之间的相似程度。

2.3 基本思路和方法

采用逐步过滤的相似分析方法:

- (1) 先考虑季节(时间)的相似性: 动态地以某起报日(一年中第几天)为时间原点, 取前后各若干天内出现的台风个例为基本样本个例, 假设为 K 个。
- (2) 再考虑台风发生区域的相似性: 以当前台风中心为原点, 从 K 个个例中, 取一定半径范围内的台风个例 L 个。
- (3) 进一步考虑台风强度的相似性: 在 L 个个例中, 取台风中心气压相对最接近的 M 个个例。
- (4) 考虑过去移向移速的相似性: 为滤掉台风路径的一些小摆动, 用起报时刻前 12h 的平均移向和移速作为过去移向和移速。在上述 M 个个例中, 找到过去移向偏角不大于一定度数且移速差别不大于某一特定值的个例 N 个。
- (5) 最优相似: 以当前台风中心为原点, 取一定范围内的卫星云图灰度场计算与历史样本个例的相似离度值, 在上述 N 个个例中找到最相似(相似离度值最小)的一个历史样本, 该样本对应的移动路径就是预报的未来移动路径。

3 试验方案

3.1 使用的资料

资料年限: 1996~1999 年共 4a。

资料范围: $10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 。

资料内容: GMS-5 红外云图(灰度值), 每日 4 时次(02、08、14、20 北京时); NCEP 资料; 台风(热带气旋)资料取自上海台风研究所整编的《台风年鉴》。

3.2 逐步相似判据的选取

以待报台风的月份和日期为起点, 取其前后各 30d 的日期为季节相似的上、下限。

以到台风当前位置距离 2.5 纬距的范围为台风活动相似区域。

取中心最低气压之差 10hPa 为强度相似。

以移向偏差 22.5° 为移向相似; 移速偏差小于或等于当前台风过去 12h 移速的一半为过去移速相似。同时满足这两个条件的为过去移向移速相似。

在最后一步最优相似中, 分别按下面三个方案进行:

方案一:

计算各样本相应范围(以当前台风中心为原点,按台风云系的一般尺度取 10×10 纬距的区域)灰度场之间的相似离度,按灰度场找最相似样本。

方案二:

按照一般做法^[6],取 500hPa 作为引导层。由 NCEP 资料计算各样本对应 500hPa 上高度场之间的相似离度,从而揭示台风环境场的相似程度。用这种方法可按环境场找出最相似样本。本方案是作台风移动路径相似预报的常用方法,这里主要用于与方案一作对比试验。

按上面两种方案找到最相似样本后,还不能简单的将该样本的移动路径作为最后预报结果。对于 36h 以内的预报,应考虑台风的惯性作用^[7],并假定此作用每 6h 减少 $\frac{1}{6}$,则台风位移预报的表达式可写为:

$$\Delta F_{12} = \frac{4}{6} \Delta F_0 + \frac{2}{6} \Delta F_{12} \tag{6}$$

$$\Delta F_{24} = \frac{2}{6} \Delta F_0 + \frac{4}{6} \Delta F_{24} \tag{7}$$

$$\Delta F_{36} = \frac{0}{6} \Delta F_0 + \frac{6}{6} \Delta F_{36} \tag{8}$$

其中, ΔF_i (i=12、24、36) 为最后预报的 i 小时位移, ΔF_0 为过去 12h 位移, ΔF_i 为相似预报位移(最相似样本在 i 小时内的位移)。

方案三:

同时考虑环境场和灰度场相似,将方案一和方案二的结果进行加权平均。由于高度场和灰度场的相似离度值域不同,需先作值域变换。变换式为: $C = C / C_{\max}$, 其中 C、C 分别为原相似离度值和变换后的相似离度值, C_{\max} 是样本中最大相似离度值。设 g、h 分别为变换后的灰度场和环境场的相似离度, F1、F2 分别是方案一和方案二的预报结果,则方案三的加权平均结果为:

$$F3 = \frac{h}{g+h} F1 + \frac{g}{g+h} F2 \tag{9}$$

4 结果分析

检索 1996~1999 年《台风年鉴》中所有符合要求的台风作为样本库,共 365 例。对每一样本都可在其他样本个例中找到相对最相似的个例,从而得到预报结果。按上述方案分别作 12、24、36h 路径预报。表 2 是三种方案三个预报时段的预报误差。

由下表可见,三种方案的误差都随预报时效的延长而增大。对较短期的 12h 预报,三种方案平均误差相差不大,方案二与方案一相比要略好一点。随着预报时效的延长,方

案二与方案三预报效果逐渐明显优于方案一，这似乎证明了台风的移动受环境场引导气流的影响要大于自身因子的影响，而随着预报时效的延长更为突出。

表 2 各方案预报误差的比较

预报误差（纬距）		方案一	方案二	方案三
12h 预报	平均误差	0.66	0.65	0.65
	最大误差	3.11	3.57	3.35
24h 预报	平均误差	2.04	1.82	1.78
	最大误差	7.35	8.89	8.03
36h 预报	平均误差	4.13	3.73	3.45
	最大误差	12.36	20.22	16.12

从最大误差来看，方案二最大，方案一最小。方案二同方案一相比，虽然前者平均误差低于后者，但最大误差明显高于后者，在 36h 预报中竟达到 20.22 纬距，这一方面说明方案二的预报稳定性不如方案一，另一方面说明在某些微弱的环境引导条件下，台风的自身结构对移动有重大影响，台风的移动路径严重偏离引导气流方向^[8]。

从总体效果来看，方案三是前两种方案的加权平均，平均误差最小，最大误差介于前两者之间。可见在传统环境场相似的基础上引入云图的灰度场相似，预报精度和稳定性都得到了一定的提高。

5 结论和问题

(1) 用计算卫星云图灰度场之间相似离度的方法可有效揭示云形之间的相似情况，这对于考虑台风的非对称性结构对移动的影响是非常有意义的。

(2) 用灰度场相似的方法预报台风未来移动路径是可行的。虽然与用环境场相似作预报相比，前者平均误差总体上大于后者，但在 12h 预报中两者基本相同；且前者预报稳定性总体上好于后者，因此在高度场资料缺乏的情况下可用云图资料代替作相似预报。

(3) 台风移动受环境场引导的因素总体上要大于台风内部因子(结构表现为不同的云系特征)，但在弱引导场中，内部因子对移动可起主要作用，而使移动偏离引导气流方向。

(4) 在传统的环境场相似预报中引入灰度场相似，对预报精度和稳定性都有不同程度的提高。

本文对卫星云图在台风路径相似预报中的定量应用做的试验是初步的，受资料限制，样本数相对较少，所得出的结论还需进一步检验和完善。

参考文献：

- [1] 陈联寿, 孟智勇. 我国热带气旋研究十年进展 [C]. 大气科学, 2001, (3): 420~432.
- [2] 陈渭民. 卫星气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2003, 336~337.
- [3] 王志烈, 费 亮. 台风预报手册 [S]. 北京: 气象出版社. 1987, 179~180.
- [4] 陈 见, 杨宇红. K-nn 方法在热带气旋路径预报中的应用 [J]. 气象, 2002, 28(5): 37.
- [5] 李开乐. 用相似离度做台风全路径预报 [J]. 海洋预报, 1987, 4(2): 2~4.
- [6] 杨信杰, 等. 天气学原理 [J]. 空军气象, 1987, 312~313.
- [7] 陈联寿, 等译. 热带气旋全球观 [J]. 北京: 气象出版社, 1994, 202.
- [8] Lei Xiaotu. Dynamic Analysis of Inherent Causes for Deviation of Tropical Cyclone Tracks. Journal of Tropical Meteorology, 2001, 17(1): 53~62.

THE APPLICATION OF SATELLITE NEPHOGRAM ON ANALOG FORECAST FOR TYPHOON TRACK

CHEN Jian, KONG Yus-hou

(Institute of Meteorology, PLAUST, Nanjing 210098 China)

Abstract: Base on the theory and method of analog forecast, with routine weather data, the paper made the experiment to forecast quantitatively the typhoon track by using the gray data from weather satellite. The result indicated that it can describe effectively the comparability of typhoon asymmetry structure by harmonic analysis method, and also can predict exactly prospective motion.

Keywords: satellite nephogram; typhoon track; analog forecast