

GOES-9 云图资料在热带气旋 路径相似预报中的应用

曾黎明 任 燕 孔玉寿

(解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

提 要

利用 1996~1999 四年的 GMS-5 红外云图资料、NCEP 资料和《台风年鉴》给出的热带气旋资料,以及 GOES-9 红外云图资料,使用逐步相似法对 2004 年热带气旋进行了路径预报试验。结果表明,GOES-9 资料与 GMS-5 资料可以融合使用,用云图灰度场结合高度场作相似预报的方法可以实现热带气旋移动路径的定量预报,表现了较好的准确性,具有良好应用前景。

关键词: 卫星资料 热带气旋 路径预报 相似预报

引 言

虽然目前对热带气旋的移动机制还有待进一步研究,但其移动受环境场作用和自身因素(结构、强度等)共同作用的观点已得到一致认可。特别是在弱引导场中,内部的非对称结构对其运动产生明显影响^[1],已受到广泛关注。

但由于热带气旋活动的洋面上资料稀少,用常规天气资料揭示热带气旋的内部因子较为困难,而卫星云图上的热带气旋云系的外形、结构、密蔽云区等可以反映其自身环流特点,根据云系的特征和变化可以推断其未来演变的趋势^[2]。卫星云图已在热带气旋预报中得到较为广泛的应用,但这些应用大多都是主观定性的,少有客观定量的方法。陈剑等利用 GMS-5(Geostationary Meteorological Satellite-5)资料,在热带气旋路径客观定量预报方面做了有益的尝试,取得了初步的成功^[3]。

1 关于 GOES-9 与 GMS-5 资料的融合使用

从 2003 年 5 月 22 日开始,使用了多年并有大量资料和应用经验积累的 GMS-5 结束了其业务服务使命。GOES-9(Geostation-

ary Operational Environmental Satellite-9)成为包括我国在内的亚太地区的静止卫星气象探测的主要数据来源。因此,GOES-9 与 GMS-5 的探测资料能否融合使用,基于 GMS-5 资料的一些应用技术和方法能否用于 GOES-9 资料,这非常值得关注和探讨。

GOES-9 是日本气象厅与美国国家海洋及大气管理局(NOAA)管辖下的 NESDIS 合作下的成果,它位于 155°E 的赤道上空,距地约 35800km,是地球同步卫星,可 24 小时不间断监视地球上同一地区的云系变化。

尽管 GOES-9 与 GMS-5 位于不同的位置,装备了不同特性的传感器,甚至在卫星资料的传输机制、数据格式上也不是完全兼容。但是如表 1 所示,它们的卫星探测通道基本相似,图像质量上是十分相似的。因而,它们的卫星云图资料和产品具有很强的相似性,具备了可统一使用的前提。

本文在卫星资料的定量应用中考虑到 GOES-9 与 GMS-5 的卫星数据的定标不同,因而先用 GOES-9 的定标表将 GOES-9 云图中的灰度值转化为辐射亮温值,然后用 GMS-5 的定标表将已经转化后的 GOES-9

辐射亮温值再转化为灰度值。通过以上转化后保证了两种卫星资料中的同一灰度值对应于同一亮温值,从而确保了两种卫星资料的灰度场在计算和统计中的一致性和准确性。

表1 GMS-5 与 GOES-9 的探测通道及卫星位置

	GMS-5	GOES-9
可见光通道	0.55~0.90 μm	0.55~0.75 μm
红外1通道	10.5~11.5 μm	10.2~11.2 μm
红外2通道	11.5~12.5 μm	11.5~12.5 μm
水汽通道	6.5~7.0 μm	6.5~7.0 μm
近红外通道	—	3.8~4.0 μm
卫星位置	140°E	155°E

2 热带气旋云系的相似判别

两个样本间场或面的相似程度可用一个称为相似离度的量来衡量^[4]。其定义为:

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

式中,

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

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

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

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

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卫星产品场(如灰度场)或某一个气象要素场(如 500hPa 高度场), 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像素点数(格点数或测站数)。

一般来说,不同的卫星产品场或气象要素场,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。对于热带气旋而言,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 $\alpha = 2$ 、 $\beta = 1$ 。

以 2004 年 10 月 24 日 20 时 0425 号台风的 GOES-9 红外云图(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 8 月 11 日 14 时 9611 号台风,1996 年 5 月 14 日 14 时 9603 号台风,1997 年 8 月 25 日 20 时 9716 号台风(依次为图 2~图 4)的

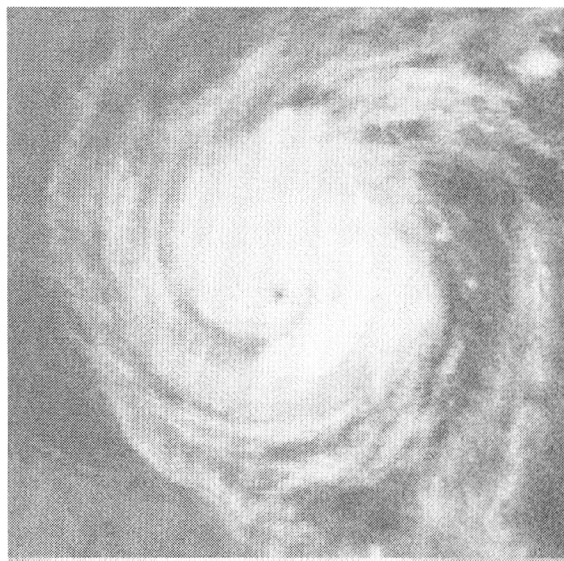


图1 2004年10月24日20时
0425号台风的GOES-9红外云图

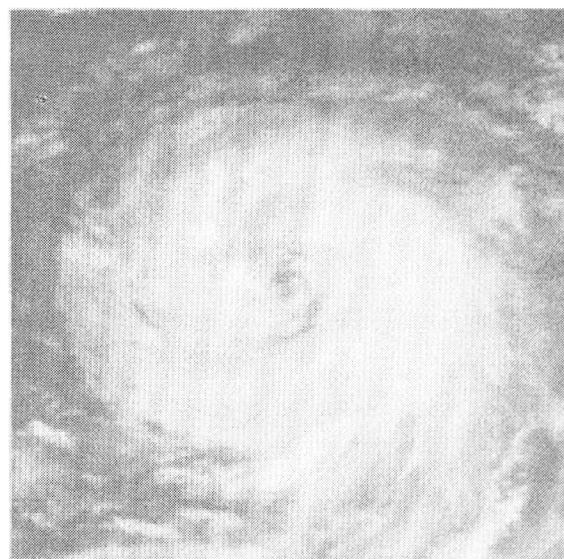


图2 1996年8月11日14时
9611号台风的GMS-5红外云图

GMS-5 红外云图灰度场之间的相似离度值。

计算时,取参数 $\alpha=2$ 、 $\beta=1$,灰度场计算范围以热带气旋中心为原点,取边长为热带气旋平均直径(10 纬距)的正方形区域。考虑各图中灰度值变化域的不同,对灰度值作标准化处理。标准化公式为:

$$x_k = \frac{x_k^0 - x_{k\min}^0}{x_{k\max}^0 - x_{k\min}^0} \quad (k = 1, 2, \dots)$$

其中, x_k^0 表示第 k 个像素点的原始数据; x_k 表示标准化后的数值; $x_{k\min}^0$ 、 $x_{k\max}^0$ 分别表示所有历史样本中第 k 个像素点数据中

的最小、最大值。

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 2。

表 2 个例 1 与个例 2~4 之间的灰度场相似离度值

	个例 2	个例 3	个例 4
个例 1	0.192	0.226	0.265

从表 2 计算结果来看,图 1 与图 2 中的热带气旋云系最相似(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征云型之间的相似程度。同时也证明了 GOES-9 与 GMS-5 云图中灰度场资料是具有通用性的。

3 热带气旋路径的定量相似预报试验

按照相似预报的基本原理,如果能从历史样本中找到与当前热带气旋的大气状况和过程特别相似的个例,就可以按照相似个例的未来移动趋势来预报当前热带气旋的未来路径。在本试验中,用来描述热带气旋状况和过程的主要相似因子是:季节(时间)、区域、强度、过去移动、高度场和灰度场。季节(时间)特征反映了发生热带气旋时的气候背景;区域特征既反映了热带气旋发生的纬度高低,同时也大致反映了地形和下垫面的影响;热带气旋强度反映了热带气旋最基本的自身特征;过去的移动情况体现了前一时段诸多因素对热带气旋综合作用的过程,以及可能对下一时段移动产生的惯性作用;高度场和云图灰度场分别反映了热带气旋的环境场特征和自身云系结构特征。

在预报试验中,以 1996~1999 年四年的 GMS-5 红外云图资料、NCEP 资料和《台风年鉴》提供的热带气旋资料作为历史样本资料;以 2004 年 26 个热带气旋(位置在 $10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $90^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 之间)的 79 个时次对应的 GOES-9 红外云图资料 and 高度场资料作为试验样本。按照逐步相似的方法对实验样本中

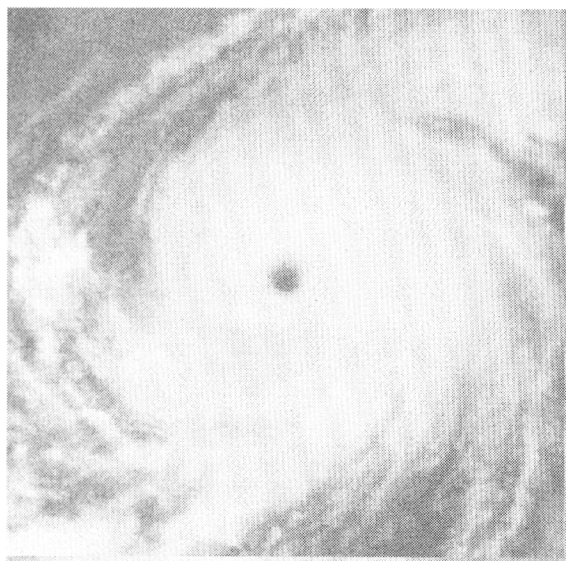


图 3 1996 年 5 月 14 日 14 时
9603 号台风的 GMS-5 红外云图

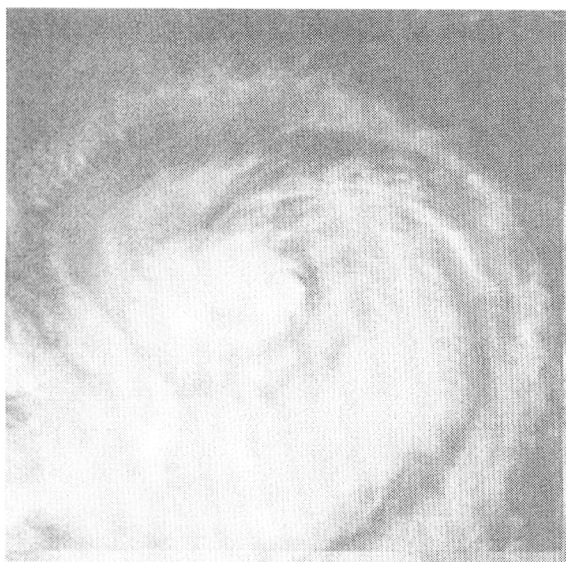


图 4 1997 年 8 月 25 日 20 时
9716 号台风的 GMS-5 红外云图

的热带气旋进行移动路径的36小时预报试验。

以0425号台风(NOCK-TEN)为例(起报时次为北京时间2004年10月24日20时),试验过程如下:

①取季节相似性判据为60天。即在1996~1999年四年的历史样本库中,从每年的9月24日至11月23日共61天(四年共244天)中检索有热带气旋记录的时次,共找到132个满足季节相似的样本。

②取发生区域相似性判据为10个纬距。当前热带气旋位于21.6°N、123.3°E,距该热带气旋中心10纬距内的热带气旋(在季节相似基础上)共有64个。

③取强度相似性判据为10hPa。当前热带气旋中心气压为950hPa,在上述季节、区域相似个例中,中心气压在940~960hPa范围内的共有28个个例。

④过去移动相似性判据取以与当前热带气旋移向偏差 $\leq 30^\circ$ 为移向相似;移速偏差小于或等于当前热带气旋过去6小时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。当前热带气旋过去6小时内移向为 307° ,移速为1.5纬距/6h,符合当前相似判据的有6例,如表3所示。

表3 前4步相似后找到的6个样本

台风 编号	时次 (月·日·时)	中心经纬度	中心强 度/hPa	6小时前的 移向移速	
				角度	纬距/6h
9623	9.27.14	21.4N,125.9E	960	310	0.92
9628	11.10.20	18.4N,132.1E	940	319	1.06
9628	11.11.02	19.5N,131.5E	940	331	1.25
9723	10.19.08	16.6N,124.0E	945	307	1.00
9723	10.19.14	17.2N,123.3E	945	311	0.92
9723	10.19.20	17.5N,122.6E	945	291	0.85

⑤同时考虑环境场和灰度场相似。取500hPa作为引导层,由NCEP资料计算当前样本与上述6个相似样本对应500hPa上高度场(以当前热带气旋中心为原点,取 20×20 纬距的区域)之间的相似离度,从而揭示热带气旋环境场的相似程度,用这种方法可

按环境场找出最相似样本。同时计算相应范围(以当前热带气旋中心为原点,按热带气旋云系的一般尺度取 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。对于计算出的两种相似离度结果进行加权平均。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 、 b 分别为变换后的灰度场和环境场的相似离度,则 $F = \frac{g+b}{2}$ 最小的样本未来36小时的移动路径即为预报路径。

按照以上的方法,找到了最相似个例为1996年11月11日02时次的9628号台风(见图5)。表4给出该热带气旋未来12~36小时的移动情况。其中经向正(负)值表示向东(西)移动,纬向正(负)值表示向北(南)移动。该热带气旋的移动路径即为0425号热带气旋10月24日20时以后12~36小时的预报路径。表4还列出其实际的移动情况。图6给出了预报路径与实际移动路径的比较。

比较表4或从图6可以看出,预报的路径与实际路径是相当吻合的,尤其是25日20时发生转向的预报也很成功。

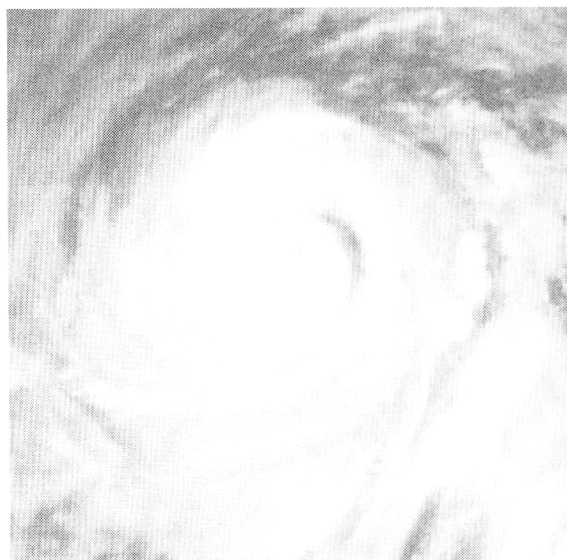


图5 1996年11月11日02时的GMS-5红外云图

表 4 9628 号台风 11 日 02 时和 0425 号台风 24 日 20 时未来 12~36 小时位移

	12 小时后 位移/纬距		24 小时后 位移/纬距		36 小时后 位移/纬距	
	经向	纬向	经向	纬向	经向	纬向
9628	-0.4	2.2	-0.7	4.4	0.5	6.6
0425	-1.0	2.5	-1.2	4.7	2.8	6.6

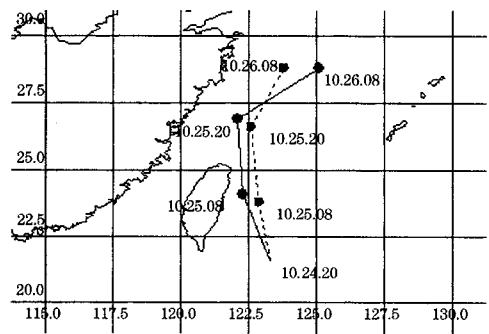


图 6 热带气旋预报的移动路径(虚线)与实际移动路径(实线)

表 5 对试验样本进行了统计,总体来看预报试验取得了较好的效果。

表 5 试验样本(79 个)的预报误差统计/纬距

	平均绝对误差	最大绝对误差
12 小时预报	0.60	2.87
24 小时预报	1.68	5.93
36 小时预报	3.26	9.51

4 结 语

卫星探测的灰度场之间的相似离度可反

映热带气旋云形结构的相似情况,相似离度越小,表明二者结构特征越接近。试验表明,GOES-9 与 GMS-5 的卫星红外资料具有一定的一致性,至少在衡量云系特征相似性时可融合使用。用灰度场结合高度场作相似预报的方法可实现热带气旋移动路径的定量预报,且有较高的预报精度,具有良好的业务预报应用前景。

本文在计算云图之间的相似离度时,所用灰度值是卫星云图的原始值,而没有对原始云图进行去噪、分级处理,利用增强红外云图或许更能反映云形之间的相似情况。本文只利用红外云图资料作了定量预报热带气旋路径的试验,而对 GOES-9 的其它卫星资料在热带气旋移动定量预报中的应用拟在今后作进一步的探讨试验。

参考文献

1 罗哲贤.弱环境流场中热带气旋运动即可预报性若干问题的研究,全国热带气旋科学讨论会论文集.北京:气象出版社,2001:18~22.
2 陈渭民.卫星气象学.北京:气象出版社,2003.
3 陈 剑,孔玉寿.卫星云图资料在热带气旋路径相似预报中的应用.海洋预报,2004:3.
4 孔玉寿,章东华.现代天气预报技术.北京:气象出版社,2000.

Application of GOES-9 Satellite Data to Typhoon Movement Similarity Prediction

Zeng Liming Ren Yan Kong Yushou

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101)

Abstract

Based on GMS-5 infrared satellite images from 1996 to 1999, NECP data, the actual typhoon data from Typhoon Annual and GOES-9 infrared satellite images, an experiment was made on quantificational forecasting of the typhoon motion by stepwise analogy. The result experiment indicates that GOES-9 data is compatible with GMS-5 data and it can quantificationally forecast the typhoon motion by the method of analog forecasting with grey field and geopotential height field. The analog method does well in typhoon track forecasting, and therefore it would have a well application perspective.

Key Words:satellite data typhoon track forecasting analog forecasting