

云迹风在热带气旋路径数值预报中的应用研究^{*}

王栋梁 梁旭东 端义宏

(上海台风研究所, 上海, 200030)

摘 要

通过一系列四维变分同化试验对 GMS-5 卫星资料反演的云迹风资料在西北太平洋热带气旋的初始化及路径数值预报中的作用进行研究, 同化资料为中国国家卫星气象中心提供的 GMS-5 水汽和红外云迹风资料, 其中 70% 在 400 hPa 以上, 50% 集中在 200~300 hPa。应用美国 NCAR/PSU 中尺度模式 MM5 及其四维变分同化系统, 同化窗口为 6 h, 对初始时刻和 6 h 后的云迹风进行同化。同化前对云迹风资料进行了简单的类似 ECMWF 初值检验方法的质量控制。对 2002 年 8 个西北太平洋热带气旋共进行了 22 组试验。结果表明, 采用四维变分同化技术同化云迹风对热带气旋路径预报有一定改善, 12, 24, 36 和 48 h 预报的平均距离误差分别降低 5%, 12%, 10% 和 7%, 但同化云迹风的作用与初始气旋强度有关。选择初始中心海平面气压 960 hPa 作为强、弱气旋的分类标准, 则 11 个较强气旋平均路径误差 12 h 减小了 13%, 12 h 以后的预报误差减小率维持在 20% 以上。而对于 11 个较弱气旋, 平均路径误差反而略有增加, 说明同化云迹风资料对不同初始强度的气旋作用也有所不同。其主要原因是由于强度较强的热带气旋往往具有较为深厚的垂直结构, 因此受高层大气流场的影响更明显; 同时, 较弱热带气旋的云迹风观测相对稀少且凌乱, 并且更容易受环境气流的影响, 因此对于较弱的热带气旋, 当模式变量与模式或变量之间在同化后不够协调的话, 就会产生负效应。

关键词: 云迹风, 四维变分同化, 热带气旋, 路径数值预报, 初始强度。

1 引 言

大洋上常规观测资料稀少, 却又是热带扰动盛行区域, 因此资料缺乏是热带气旋数值预报中的关键问题。如何开发利用新的资料源, 改进资料初值化技术, 对提高热带气旋数值预报水平有非常重要的意义。根据静止气象卫星探测资料用自动追踪算法导出的云迹风是目前数值预报中使用效果最明显的非常规资料^[1], 在暴雨^[2]和热带气旋^[3]等数值天气分析和预报中具有广泛的应用前景。由于热带气旋附近对流云系发展旺盛, 且相对稳定, 故热带气旋周围云迹风资料比较密集, 高密度云迹风可以揭示热带气旋对流层上部的环流特征, 从而判断热带气旋潜在发展的可能性^[4]。

国内外学者尝试用各种手段引入云迹风资料, 结果对热带气旋路径数值预报有不同程度的改进^[5~7], 但引入的方法多为简单的同化方法, 如最优

插值法或利用云迹风订正客观分析风场并形成非对称热带气旋 bogus^[8]。然而这些同化方法并非真正意义上的四维同化, 其动力约束和资料约束分开进行, 不同时刻的资料分别考虑, 并只能以线性方式影响当前的分析。最近, Xiao 等^[9]尝试利用一种较为先进的同化技术——四维变分同化方法引入云迹风, 结果对路径预报虽有正效应, 但改善并不显著。然而他们的研究仅限于对一个中纬度气旋的 5 次预报。

热带气旋发展与否, 与对流层上部的环流型密切相关^[10], 强度较强的热带气旋往往有更为深厚的引导气流层^[11], 而云迹风资料在各高度上分布不均匀, 依赖于云系的发展高度, 因此同化云迹风对不同强度热带气旋的预报改进作用也可能不同。本文试图利用四维变分资料同化方法针对多个热带气旋个例进行试验来进一步了解 GMS-5 水汽和红外云迹风对西北太平洋不同强度热带气旋预报的影响。

^{*} 初稿时间: 2004 年 3 月 17 日; 修改稿时间: 2004 年 6 月 25 日。

资助课题: 科技部专项“中国台风数值预报模式系统的关键技术研究”。

作者简介: 王栋梁, 女, 1977 年生, 安徽合肥人, 硕士, 主要从事数值预报模式及同化研究。

2 云迹风资料及其预处理

GMS-5 的红外($11\ \mu\text{m}$)图像用于获得高层云迹风矢量,在晴空区则用水汽通道($6.7\ \mu\text{m}$, $7.0\ \mu\text{m}$, $7.3\ \mu\text{m}$)资料获得高层($150\sim 350\ \text{hPa}$)和中层($350\sim 550\ \text{hPa}$)的风,而高分辨率的可见光($0.6\ \mu\text{m}$)资料主要用于示踪低层的浅积云以导出 $600\sim 900\ \text{hPa}$ 的云迹风^[12]。文中使用的云迹风资料为中国国家卫星气象中心根据 GMS-5 水汽和红外通道

资料导出的。以 2002 年 8 月 17 日 12:00Z(世界时,下同)的云迹风资料为例,约有 71% 的观测处在 $400\ \text{hPa}$ 以上,其中 $200\sim 300\ \text{hPa}$ 就占 52%,图 1 给出了 $250\sim 300\ \text{hPa}$ 的云迹风矢的分布,一些重要的天气尺度和次天气尺度的特征环流清晰可见,在观测资料相对缺乏的大洋上,云迹风资料无疑是很宝贵的,而如何有效应用这些资料,来改善热带气旋数值预报模式的初始场则是很有研究价值的。

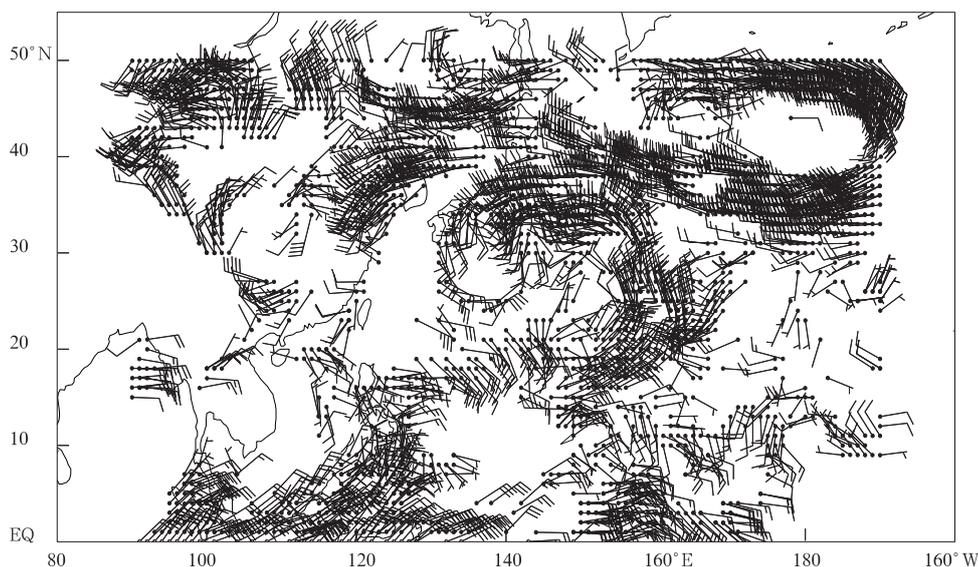


图 1 2002 年 8 月 17 日 12:00Z $250\sim 300\ \text{hPa}$ 上 GMS-5 水汽和红外云迹风观测

Fig. 1 GMS-5 infrared and water vapor cloud-drift winds at 12:00Z on 17 Aug 2002 between 250 and 300 hPa

鉴于云迹风矢的导出是基于特定时间间隔的特征性“云”移动的示踪原则,相对于地面风或高空风观测而言,它并非直接观测资料,只能说是一种推测资料,因此其误差更具随机性,为了避免此类误差的影响,与 Xiao^[9]的试验不同,本文对云迹风资料进行了预处理,即简单的质量控制。根据统计,高层云迹风的误差约为 $6\ \text{m/s}$ ^[13],我们采用类似欧洲中期天气预报中心的控制原则^[14],利用初估场的水平风内插出各云迹风观测位置的风速,逐点检验其与云迹风速矢量之差值,如果大于 3 倍标准差(即 $18\ \text{m/s}$),即剔除此云迹风观测。

3 基本方法和试验设计

四维资料同化技术是将不同时刻的各种观测资料统一考虑,使预报模式的解与一系列分布于时间和空间间隔上的各类观测场形成更好的协调性,因

此特别适合同化非实时资料。正如王鹏云等^[15]指出:当模式分辨率提高后,含有中尺度信息的初值场的建立对中尺度数值预报的成功与否至关重要。仅用全球模式作初估场再用常规观测资料订正已不能满足中尺度模式对初值的要求,解决卫星、遥感等非正规资料三维或四维同化理论和方法是关键问题之一。

因此本文使用 NCAR/PSU 的 MM5 中尺度非静力模式 V3 版本,以及它的四维变分同化系统进行云迹风同化试验。格点数为 85×91 ,格距为 $45\ \text{km}$,模式中心位于初始时刻目标热带气旋的实测中心,这样使得各个试验的云迹风资料尽可能反映相对一致的气旋环流及背景场。模式顶为 $10\ \text{hPa}$,垂直方向分为不等距 23 层。预报模式和同化系统选用相同的物理参数化方案,主要有:Kuo 积云参数化方案、显式降水方案以及 Blackadar 高

分辨率边界层参数化方案。初估场由 NCEP 的 AVN 模式场得到。

MM5 四维变分同化系统采用 6 h 同化窗口,对初始时刻和 6 h 后的云迹风进行同化,试验中目标函数定义为:

$$\mathbf{J} = \sum_{m=1,2} \mathbf{J}_m + \mathbf{J}_b \quad (1)$$

其中:

$$\mathbf{J}_b = \frac{1}{2} (\mathbf{X}_0 - \mathbf{X}_b)^T \mathbf{B}^{-1} (\mathbf{X}_0 - \mathbf{X}_b) \quad (2)$$

$$\mathbf{J}_m = \sum_r [(\mathbf{H}_1 u - u_{\text{sat}})^T \mathbf{W}_u (\mathbf{H}_1 u - u_{\text{sat}}) + (\mathbf{H}_1 v - v_{\text{sat}})^T \mathbf{W}_v (\mathbf{H}_1 v - v_{\text{sat}})] \quad (3)$$

\mathbf{J}_b 是背景项,用来表示模式变量与初猜场之间的“距离”。 \mathbf{X}_0 是初始时刻的模式变量,包括 u , v , p' , T 和 q ,上标 T 表示矩阵的转置, \mathbf{B} 是一个简单的背景误差协方差矩阵,在试验中由两个时间层,即初始时刻和 12 h 后的 MM5 分析场的差估计得到。 m 为试验中同化云迹风观测的次数, \mathbf{J}_m 是第 m 次同化云迹风对应的目标函数, r 是获得云迹风观测的位置, \mathbf{H}_1 是一个线性插值算子,将模式格点上的值插到观测位置。 \mathbf{W}_u 和 \mathbf{W}_v 是权重系数,根据误差统计, $\mathbf{W}_u = \mathbf{W}_v = 0.028 \text{ s}^2/\text{m}^2$ 。在 Xiao 等^[9]的试验中并未考虑云迹风观测的实际误差,因此权重系数不能有效地反映云迹风观测的特性。 u_{sat} 和 v_{sat} 代表云迹风的纬向和经向分量。

试验的主要步骤是积分向前模式 6 h,得到目标函数和强迫项的值。在反向积分伴随模式至初始时刻的过程中,每一观测时刻代入相应时刻的强迫项,得到目标函数关于初始场的梯度。再利用拟牛顿算法,根据梯度计算使得目标函数下降的新初始场。重复这几个步骤直到完成设定的迭代步数或满足设定的精度,得到“最优初始场”。最后 MM5 预报模式利用最优初始场进行 48 h 预报。

在 Zou^[16]的试验中,最小化过程中模式变量调整最多的是第 2 步迭代,其次是第 5 步迭代,有 98% 的下降在前 7 步已经完成,而在 Xiao^[9]的文章中目标函数和梯度范数的下降主要集中在前 5 步,因此为了节约机时,本文所有的同化试验最小化过程设定迭代 10 步。

本文选取 2002 年的 8 个热带气旋进行了 22 组试验,表 1 给出了名称和初始预报时刻。每组试验包括没有同化云迹风的控制试验和同化云迹风的同化试验。模式区域范围内所用云迹风资料个数平均

为 1344 个,其中 400 hPa 以上占资料总量的 95%,而资料最多集中在 200~300 hPa,占总量的 55%。

表 1 2002 年 8 个热带气旋个例名称、试验个数和起始预报时间

Table 1 The name, number of cases, and forecast dates used for the experiments

名称	试验个数	起始预报时间(世界时)
Rammasun	4	0628 12:00,0701 12:00, 0702 00:00,0703 12:00
Chataan	2	0701 12:00,0704 12:00
Fengshen	5	0719 00:00,0720 00:00,0724 00:00,0725 00:00,0726 00:00
Fungwong	2	0724 00:00,0725 00:00
Phanfone	2	0816 12:00,0817 12:00
Vonfong	1	0817 12:00
Rusa	2	0826 12:00,0830 12:00
Sinlaku	4	0902 12:00,0903 12:00, 0904 12:00,0906 12:00

4 试验结果分析

4.1 同化云迹风资料对初始场的调整

为了检验最小化过程的收敛情况,以 Phanfone 8 月 17 日 12:00Z 试验为例,给出标准化目标函数和梯度范数随迭代步数的变化(图 2)。从这里可以看出,目标函数下降主要在前 5 步,从第 8 步以后,下降就开始趋缓了。迭代 10 步后,目标函数下降了将近一阶半,而梯度范数也下降了一阶,这说明 MM5 伴随系统的最小化过程是成功的,迭代 10 步对于同化云迹风是可行的。

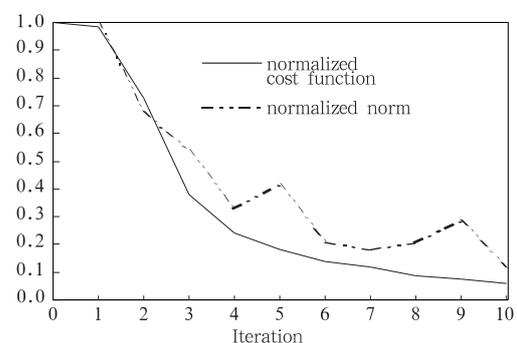


图 2 标准化目标函数和梯度范数随迭代步数的变化

Fig. 2 Variations of the normalized cost function and gradient norm with the number of iterations

为了检验四维变分同化对初始场的调整,图 3 给出 2002 年 8 月 17 日 12:00 250~300 hPa 的云迹风观测(图 3a)、内插到云迹风观测点上的初估风场(图

3b)和同化后得到的最优风场(图 3c)。此时 Phanfone 的中心位于 30°N,138°E,中心海平面气压为 950 hPa。图中最明显的改变就是 Phanfone 中心位置的南侧环流由同化前的南到西南风调整为东北到东南风,形成明显的反气旋性环流,这与云迹风观测一致。

图 4 是该时刻不同高度的云迹风观测点上初估

风场与云迹风观测的差值以及最优风场与云迹风观测的差值。同化后高层的差值大大减小了,而在低层虽然云迹风观测很少,但同化后差值也比没有同化小,说明得到的风场也更接近云迹风。图 5 分别为控制试验和同化试验 200 hPa 的初始温度场,可以看到同化云迹风对温度场也有调整,暖心温度比

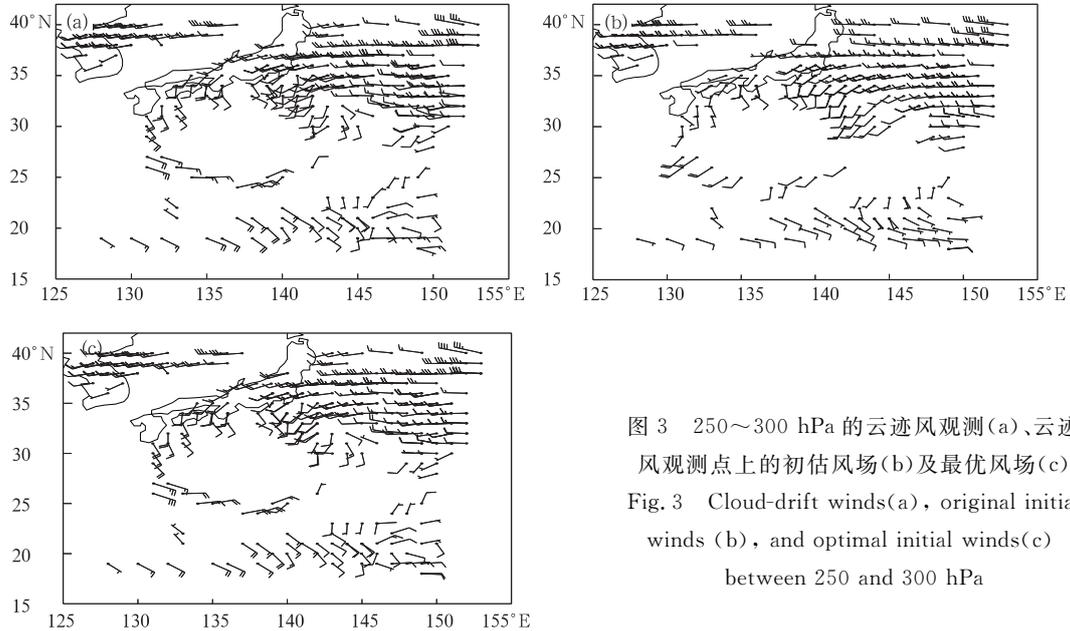


图 3 250~300 hPa 的云迹风观测(a)、云迹风观测点上的初估风场(b)及最优风场(c)
Fig. 3 Cloud-drift winds(a), original initial winds (b), and optimal initial winds (c) between 250 and 300 hPa

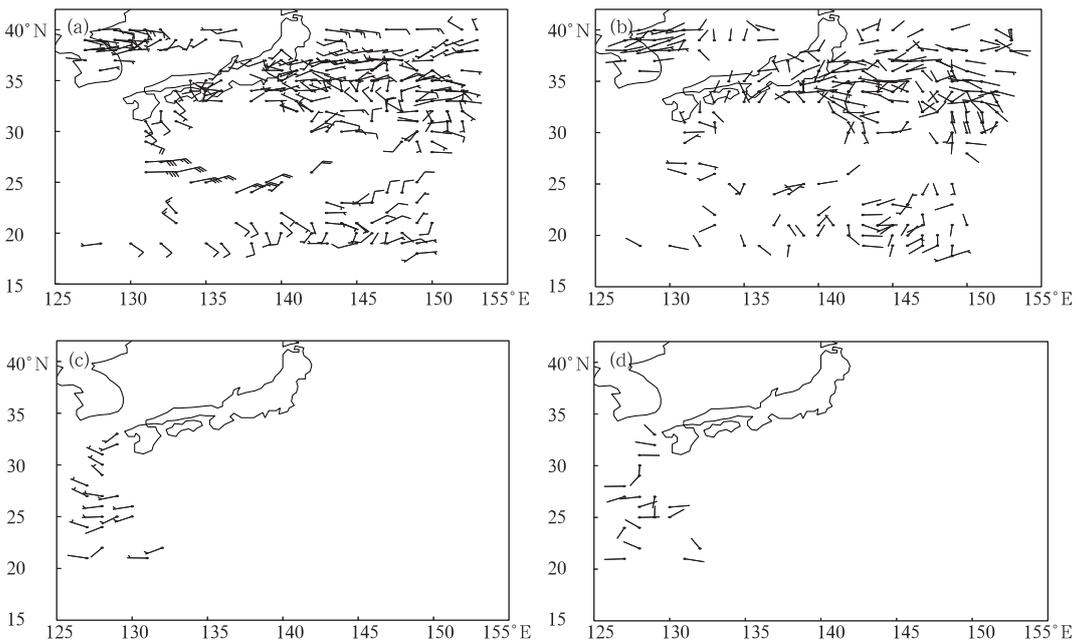


图 4 250~300,850~900 hPa 云迹风观测点上初估风场与云迹风观测之差(a,c)及最优风场与云迹风观测之差(b,d)

Fig. 4 Differences between cloud-drift winds and original(a), optimal initial winds (b) between 250 and 300 hPa, and differences between cloud-drift winds and original(c), optimal initial winds (d) between 850 and 900 hPa

初估场增加了 1.2 K。能够调整除同化变量以外的其他模式变量,这也是四维变分同化云迹风的优越性之一。以上结果说明四维变分方法能够有效地同化云迹风资料,调整模式的初始场。

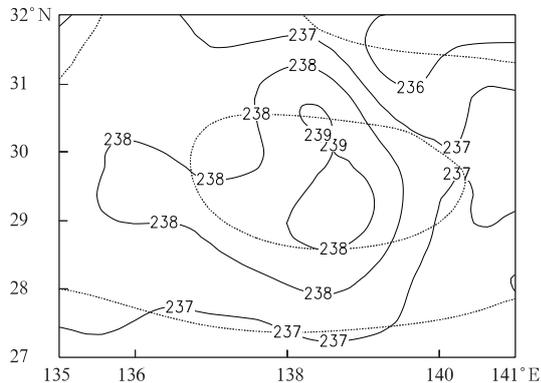
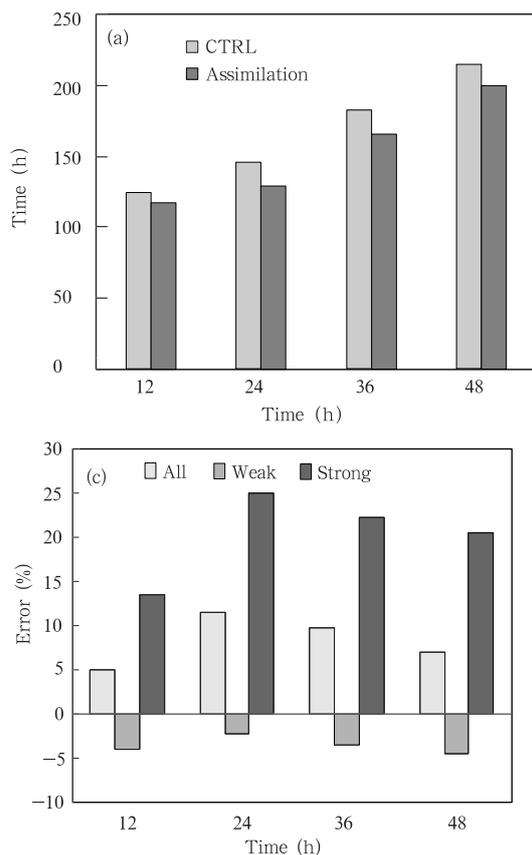


图 5 200 hPa 上初估温度场(虚线)和同化云迹风后的温度场(实线)(单位:K;等值线间隔:1 K)
Fig. 5 Distribution of initial temperatures (dashed line) and optimal temperature (solid line) at 200 hPa(unit:K; interval is 1 K)

4.2 同化云迹风资料对台风路径数值预报的影响

图 6 是控制试验和同化试验的路径预报误差的



对比情况。从 22 组试验的平均路径预报误差来看(图 6a),总体上同化云迹风后 12 至 48 h 的预报误差都有所减小,其中 24 h 平均误差从 146 km 减小到 129 km,48 h 误差从 215 km 减小到 200 km。然而同化云迹风对初始时刻强弱不同的热带气旋影响却不尽相同,图 6b 是 12 至 48 h 控制试验与同化试验的路径预报误差之差及初始中心海平面气压的分布情况。可以看到,当热带气旋达到一定强度时,同化云迹风以误差减小为主;而当热带气旋较弱时,改进不太明显,有的预报时刻误差减小,有时误差反而有所增大。根据图 6b,这里取 960 hPa 为标准,将试验分为强、弱两组,初始中心气压高于 960 hPa 的为弱,反之为强,因此强、弱个例各有 11 个。图 6c 分别给出所有试验和强、弱两组试验的路径误差减小率。总体上同化云迹风对热带气旋路径数值预报以正效应为主,但如果考虑到热带气旋的强弱不同,则初始时刻强度较弱,同化云迹风没有什么改进;而初始时刻强度较强,改善就比较明显,12 h 路径误差减少了 13%,24 h 误差从 156 km 减小到 117 km,减小了 25%,48 h 误差从 205 km 减小到 163 km,误差减小率维持在 20% 以上,模式的预报能力明显提高。

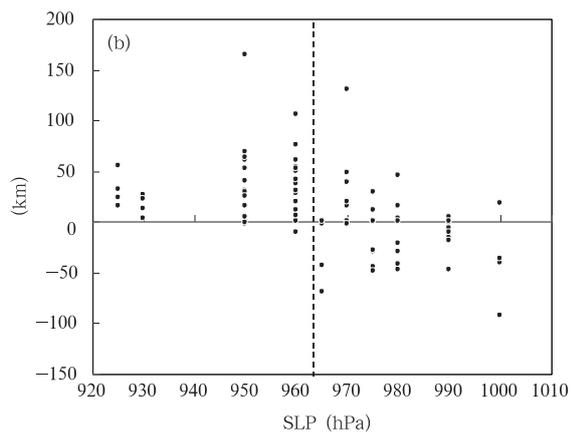


图 6 (a) 所有试验的平均路径预报误差(km), (b) 4 个预报时刻控制试验与同化试验的路径预报误差之差及初始中心海平面气压的分布和(c) 所有试验和强、弱两组试验的平均路径误差减小率

Fig. 6 (a) Mean forecast track errors (km) for the total cases, (b) initial MSLP and the track error differences between the CTRL and WIND experiments at four forecast times, and(c) mean track error reduction (%) relative to CTRL for the total cases, as well as the strong and weak cases

同化云迹风对强弱不同的热带气旋路径预报作用差别比较明显可能是由于热带气旋发展程度不同而对高层大气的响应程度不同,而且反演得到的云迹风资料也不同的原因。表 2 给出强、弱两组试验云迹风资料个数在不同高度上的平均分布情况。

表 2 不同高度上的云迹风资料个数分布

Table 2 The mean distribution of the number of the cloud-drift winds at different levels

	200 hPa 以上	200~250 hPa	250~300 hPa	300~400 hPa	400 hPa 以下	总数
弱	271	403	295	206	26	1201
强	237	379	409	375	87	1487

为了进一步了解针对不同强度热带气旋的云迹风观测所描述的风场特征差异,以气旋中心为中心,水平分辨率 1 km,将以上所有试验的云迹风资料按与气旋中心的相对位置进行叠加。由于各个试验强度不同,风速差别也比较明显,为了得到风向特征,首先将所有云迹风观测的风速标准化,使每个观测

强组的云迹风资料总数较多,但在 250 hPa 以上资料数反而比弱组少,250 hPa 以下资料数开始超过弱组。Xiao^[9]指出热带气旋对低层大气更为敏感,因此 400 hPa 以下资料的明显增多是引起路径预报差别的原因之一。

的风向不变,风速标准化为 1,然后进行叠加。从 250~300 hPa 云迹风叠加的风向分布来看,强热带气旋的风向具有更明显的高层环流特征(图 7a),表现为较有规律的反气旋和流出气流,而较弱热带气旋的风场相对比较凌乱(图 7b)。

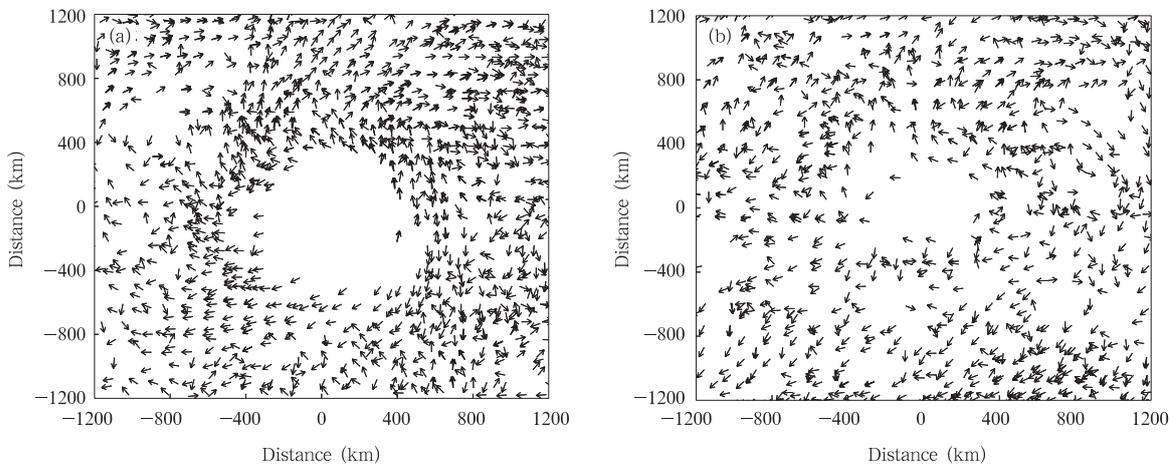


图 7 250~300 hPa 云迹风合成(a. 强组(中心气压低于 960 hPa),b. 弱组(中心气压高于 960 hPa))

Fig. 7 Superposition of the cloud-drift winds between 250 and 300 hPa for strong cases (a) and weak cases (b)

同时尽管低层的云迹风资料较少,但是针对强弱不同的热带气旋得到的观测也有明显的差异。同样按以上的方法把低于 400 hPa 的云迹风观测进行叠加,结果表明针对强热带气旋得到的观测资料更密集,而且气旋式环流更清晰(图 8),这是由于其云系发展更旺盛的原因。

因此,由于强度不同的热带气旋云系发展不同,反演得到的云迹风的特征也不同,从而导致同化云迹风对预报效果的改善程度也不同。总的来说,针对强度较强的热带气旋得到的云迹风观测更密集,所反映的环流特征也更明显;同时由于强度较强的

热带气旋往往有一个发展更为深厚的垂直结构,对高层大气也就更为敏感,而云迹风主要反映了高层大气的流场信息,因此同化云迹风对强度较强的热带气旋就更加有效。而较弱热带气旋的云迹风观测反映的信息较凌乱,并且资料量少;同时由于本身较弱,热带气旋环流特征还不够明显,更容易受环境气流的影响,因此同化云迹风后如果与模式以及模式中的其他变量调整的还不够协调时,就会导致某些个例或某些预报时刻结果不好。如何减少这些不利的因素,更加充分地发挥云迹风资料的作用,还有待于今后作进一步的研究。

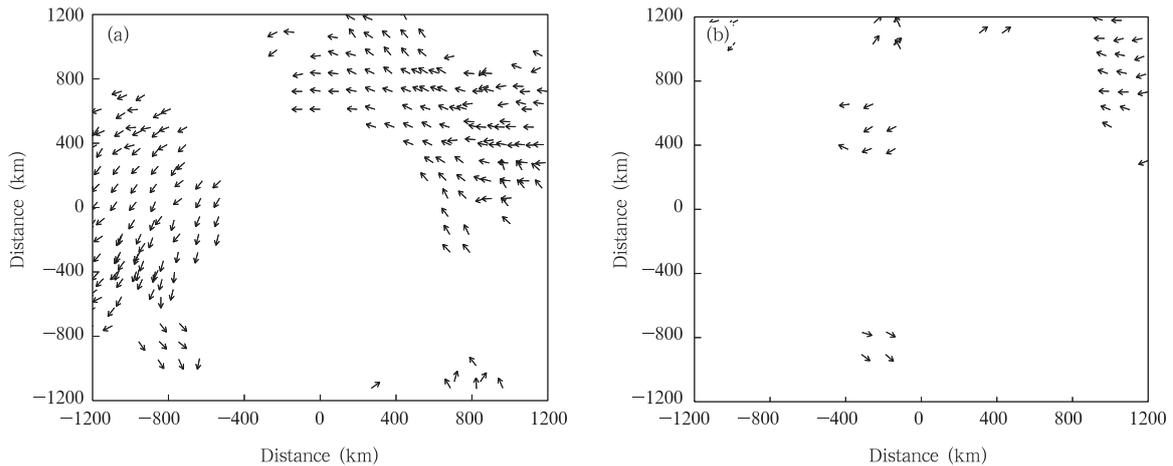


图 8 400 hPa 以下的云迹风风向合成(a. 强组, b. 弱组)

Fig. 8 Same as Fig. 7 but below 400 hPa

5 小 结

已有的研究仅笼统地指出云迹风资料对热带气旋预报有正效应,并未结合云迹风观测的特性,系统地针对西北太平洋不同强度的热带气旋进行研究。本文试图利用较为先进的同化方法,即四维变分同化技术对此点进行探讨。对 2002 年 8 个热带气旋共作了 22 组试验,同化了初始时刻和 6 h 后的云迹风观测,并用同化获得的最优初始场进行 48 h 模拟,得到以下几点初步结论:

云迹风观测在常规资料缺乏的海上是非常宝贵的资料来源之一,它能够较好地描述高层大气中一些重要的天气尺度和次天气尺度的特征,改善高空资料不完整、不准确的缺点。尤其是描述较强热带气旋对流层上部的环流型。

四维变分同化方法是同化一系列时空分布上的云迹风资料的行之有效的手段之一,经过同化调整的初始场能够较好地吸收云迹风观测所传递的有用信息,并通过同化过程与模式协调起来,从而获得更为准确的初始场。

用经过最小化过程迭代 10 步得到的最优初始场进行 48 h 模拟,总体上对初始时刻较弱的热带气旋路径预报没有改善,而对初始时刻较强的热带气旋路径预报的改善比较明显。这主要是因为处于不同发展阶段的热带气旋对高层大气的响应和对高层大气环流的影响都不同,同时云系发展状况也有异,造成反演出的云迹风的流场特征和数量上的差别,从而导致同化云迹风资料对不同强度的热带气旋路径预报有明显差异。

参考文献

- [1] 许健民,张其松,方翔. 用红外和水汽两个通道的卫星测值指定云迹风的高度. 气象学报, 1997, 55(4): 408~417
Xu Jianmin, Zhang Qisong, Fang Xiang. Height assignment of cloud motion winds with infrared and water vapour channels. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 1997, 55(4): 408-417
- [2] 周兵,徐海明,吴国雄,等. 云迹风资料同化对暴雨预报影响的数值模拟. 气象学报, 2002, 60(3): 309~317
Zhou Bing, Xu Haiming, Wu Guoxiong, et al. Numerical simulation of CMWDA with its impacting on torrential rain forecast. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, 60(3): 309-317
- [3] Velden C S, Olander T L, Wazong S. The impact of multi-spectral GOES-8 wind information on Atlantic tropical cyclone forecasts in 1995. Part I: Dataset methodology, description, case analysis. Mon Wea Rev, 1998, 126: 1202-1218
- [4] 方翔,许健民,张其松. 高密度云导风资料所揭示的发展和 不发展热带气旋的对流层上部环流特征. 热带气象学报, 2000, 16(3): 218~224
Fang Xiang, Xu Jianmin, Zhang Qisong. Developing and non-developing tropical cyclones revealed by high density cloud motion winds. J Tropical Meteor (in Chinese), 2000, 16(3): 218-224
- [5] Velden C S, Hayden C M, Menzel W P, et al. The impact of satellite-derived winds on the hurricane track forecasting. Wea Forecasting, 1992, 7: 107-119
- [6] Goerss J S, Velden C S, Hawkins J D. The impact of multi-spectral GOES-8 wind information on Atlantic tropical cyclone forecasts in 1995. Part II: NOGAPS forecasts. Mon Wea Rev, 1998, 126: 1219-1227
- [7] Brian J S, Christopher S V, Robert E T. The impact of satellite winds on experimental GFDL hurricane model forecasts. Mon Wea Rev, 2001, 129: 835-852
- [8] 张守峰,王诗文. 应用卫星云导风进行台风路径预报试验. 热带气象学报, 1999, 15(4): 347~355
Zhang Shoufeng, Wang Shiwen. Numerical experiments of the prediction of typhoon tracks by using satellite cloud-de-

- rived wind. *J Tropical Meteor* (in Chinese), 1999, 15(4): 347–355
- [9] Xiao Q, Zou X, Ponca M. Impact of GMS-5 and GOES-9 satellite-derived winds on the prediction of a NORPEX extratropical cyclone. *Mon Wea Rev*, 2002, 130: 507–528
- [10] Gray W M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon Wea Rev*, 1968, 96: 669–698
- [11] Velden C S, Leslie L M, et al. The basic relationship between tropical cyclone intensity and the depth of the environmental steering layer in the Australia region. *Wea Forecasting*, 1991, 6: 244–253
- [12] Nieman S J, Menzel W P, Hayden C M, et al. Fully automated cloud drift winds in NESDIS operations. *Bull Amer Meteor Soc*, 1997, 78: 1121–1134
- [13] 王振会, 陈金娥, 曾维琳. 卫星云迹风导出系统的结果分析. *南京气象学院学报*, 1997, 20(3): 382–386
- Wang Zhenhui, Chen Jine, Zeng Weilin. Cloud motion wind from CWIS in comparison to others. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1997, 20(3): 382–386
- [14] Bormann N, Saarinen S, Kelly G, et al. The spatial structure of observation errors in atmospheric motion vectors from geostationary satellite data. *Mon Wea Rev*, 2003, 131: 706–718
- [15] 王鹏云, 李泽椿. 灾害天气和中尺度气象学研究. *气象科技*, 2001, 1: 10–14
- Wang Pengyun, Li Zechun. Study of severe weather and mesometeorology. *Meteor Sci Tech* (in Chinese), 2001, 1: 10–14
- [16] Zou X, Xiao Q. Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J Atmos Sci*, 2000, 57: 836–860

IMPACT OF FOUR-DIMENSIONAL VARIATIONAL DATA ASSIMILATION OF THE CLOUD DRIFT WIND DATA ON TROPICAL CYCLONE TRACK NUMERICAL FORECAST

Wang Dongliang Liang Xudong Duan Yihong

(Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 200030)

Abstract

The Objective of this study is to carry out a set of four-dimensional variational (4DVAR) experiments to assess the impact of cloud-drift wind data from the operational Geosynchronous Meteorological Satellite 5 (GMS-5) on improvement of the initial conditionals and numerical track predictions of tropical cyclones (TCs) in the western North Pacific (WNP). The data assimilated were derived from GMS-5 infrared and water vapor imageries and provided by the China National Satellite Meteorological Center. About 70% of the multispectral winds are observed above 400 hPa, and 50% of the data are between 200 and 300 hPa. Experiments were carried out using the Pennsylvania State University-National Center for Atmospheric Research nonhydrostatic Mesoscale Model version 5 (MM5) and its 4DVAR system. A 6-h assimilation window was used to incorporate the cloud-drift wind data at the initial and 6 h later. A simple quality control similar to the first-guess check in the ECMWF system was used here. Twenty-two cases were examined for 8 different WNP TCs in 2002. Forecasts up to 48 h were performed with the original and 4DVAR-assimilated optimal initial conditions. The 4DVAR assimilation of the cloud-drift wind observations led to significant improvements, with the relative reductions in track error by 5% at 12 h, 12% at 24 h, 10% at 36 h and 7% at 48 h on average. But the effectiveness of the assimilation of the cloud-drift wind data apparently varies with TC intensity. If a central pressure of 960 hPa is selected as the demarcation between strong and weak TCs, the mean track error reductions for the 11 strong TCs range from 13% at 12 h to over 20% after 12 h. However, for 11 weak TCs, slight increases in the average track errors were observed. The results suggest that assimilation of the cloud-drift wind data for TCs of different initial intensity has different impact on TC track forecast. This is apparently because stronger TCs are affected to a larger extent by the upper tropospheric circulation, and they usually have a deeper vertical structure. At the same time, the cloud-drift winds associated with weaker TCs are fewer and more disorganized, and they are easier to be influenced by the environmental circulation. Therefore when the model variables are not consistent enough with the model or with each other after assimilating, a negative impact may result.

Key words: Cloud-drift wind, Four-dimensional variational data assimilation, Tropical cyclone, Track numerical forecast, Initial intensity.