

# FY-2C 云迹风资料在中尺度数值模式中的应用研究<sup>\* 1</sup>

李华宏<sup>1,2</sup> 王 曼<sup>3</sup> 薛纪善<sup>4</sup> 杞明辉<sup>2</sup>

LI Huahong<sup>1,2</sup> WANG Man<sup>3</sup> XUE Jishan<sup>4</sup> QI Minghui<sup>2</sup>

1. 季风与气象灾害研究开放试验室,昆明,650034
2. 云南大学大气科学系,昆明,650091
3. 云南省气象科学研究所,昆明,650034
4. 中国气象科学研究院,灾害天气国家重点实验室,北京,100081

1. *Monsoon & Meteorological Disaster Study Laboratory, Kunming 650034, China*
2. *Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091, China*
3. *Yunnan Institute of Meteorology, Kunming 650034, China*
4. *The State Key Laboratory of Severe Weather, CAMS, Beijing 100081, China*

2006-04-30 收稿,2006-12-06 改回.

**Li Huahong, Wang Man, Xue Jishan and Qi Minghui. 2008. A study on the application of FY-2C cloud drift wind in a mesoscale numerical model. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(1):50—58**

**Abstract** Though the cloud drift wind (CDW) has displayed its good application perspective in numerical weather prediction (NWP), up to the present the CDW data are not actually applied to the daily operation of NWP. The main reason is that the CDW data have abnormal error, and moreover, study on the errors and quality control of CDW data is very lacking. Further research is needed in order to effectively utilize the CDW data in the daily NWP. This paper attempted to explore the systematic error character of FY-2C CDW and its effects on the initial fields and forecast results of NWP model so as to promote the application of CDW data in operational NWP. At first, statistical test and error analysis to the CDW data of FY-2C were performed in terms of the radiosonde observations; the quality control of each record of the CDW data was realized individually through the systematic bias correction and the check of thermal wind relation; then, the CDW records after quality control were incorporated into and assimilated in the GRAPES-Meso model by the GRAPES-3Dvar scheme; and at last, the effect of the CDW data were examined through the contrast experiments of a torrential rain event in Northwest China in the period from 00:00 UTC 1 to 00:00 UTC 2 July 2005. The analysis results of the CDW data indicate that: the number of CDWs vertically, mainly distributed in the mid-upper troposphere above 500 hPa, with the maximum number at about 250 hPa. The CDW under 500 hPa was characteristic of wind direction error, large wind speed error and divergent error distribution, and therefore it has a bad usability; while the CDW above 500 hPa was characteristic of smaller wind direction and speed errors and a Gaussian error distribution, and therefore it has a better usability. Seeing that the CDW at higher levels had systemic bias error and the wind was coherently distributed in the vertical direction, so the bias correction and thermal wind relation were employed to control the quality of the FY-2 CDW data. In the quality control, the CDWs with wind direction error or bigger wind speed error were eliminated, the quality of the CDW used in the assimilation is improved. After the assimilation of CDWs, the southwest airflows near the torrential rain area became stronger in the initial wind fields of numerical experiments, which led to the enhancement of vapor transportation and convergence and finally to the evident improvement of the 24 hours forecast of the torrential rain in rain intensity and area. As a whole the proportional distribution of CDW data was inferior to the radiosonde observations data, but the local CDW was much more denser than the radiosonde observations' near the area of torrential rain occurred. The CDW data reflected information of the local torrential rain synoptic system more particularly and accurately, which is the reason why the 24 h rain forecast in CDW data-assimilated experiment is better than the forecast in radiosonde data-assimilated experiment.

<sup>\*</sup> 资助课题:云南省气象局项目“精细化预报系统研究”和国家重点基础研究发展计划项目“我国南方致洪暴雨与预测的理论和研究方法研究”。  
作者简介:李华宏,主要从事数值天气预报研究。E-mail:lihuahong08@163.com

**Key words** Cloud drift wind, Quality control, Variational assimilation, Torrential rain forecast

**摘要** 利用探空观测资料对 FY-2C 云迹风资料进行统计检验和误差分析,并针对其误差特征进行偏差订正和热成风原理两种方法的质量控制。然后通过 GRAPES-3Dvar 同化到 GRAPES-Meso 模式中,对 2005 年 7 月 1 日 00 时至 7 月 2 日 00 时发生在中国西北部的一次暴雨过程进行了数值对比试验。结果表明:云迹风数量在垂直方向上主要集中分布于 500 hPa 以上的对流层中高层,在 250 hPa 附近数量分布概率最大;高度在 500 hPa 以下云迹风存在明显的风向误差和很大的风速误差,而且误差分布发散,可用性较差。500 hPa 以上层次的云迹风误差较小,且误差分布呈高斯分布具有一定的系统特性,可用性较好;通过质量控制后,可以把风向错误或风速偏差太大的云迹风予以剔除,进一步提高云迹风的精度;同化云迹风资料后,在暴雨区附近初始风场低层的西南气流明显加强,有利于暴雨区水汽输送和水汽辐合,最终能很好地改善 24 h 暴雨预报的强度和落区。

**关键词** 云迹风,质量控制,变分同化,暴雨预报

**中图法分类号** P40.35

## 1 引言

数值天气预报的精度主要取决于模式本身的完善程度及模式初值场的准确程度。因此数值天气预报质量的改善一直围绕模式和初值进行。中国气象科学研究院数值预报研究中心研制开发的中尺度区域模式 (GRAPES-Meso) (Xue Jishan, et al., 2003) 在国家气象中心、上海、广州等区域中心表现出较好的业务预报能力。随着模式的日趋完善和分辨率的不断提高,改善由于常规观测稀疏或缺乏导致初始场误差的问题便显得越来越重要。静止气象卫星导风产品,国际上通常称为大气运动矢量,国内称为云导风或云迹风 (Cloud Drift Wind, 缩写为 CDW)。是指用连续几幅静止气象卫星图像追踪图像上示踪图像块的位移,并计算示踪图像块所代表的云或水汽特征所在的高度层次,以获得这些层次上风的估计值。研究表明(黄荣辉等,1987),云迹风产品可在赤道两侧 50° 范围内为天气分析和数值预报提供大量有用资料。因此,同化云迹风产品不失为解决观测信息不足的问题的一种途径。

近年来,云迹风的应用研究取得了一些成果。Le Marshall 等(1997)曾用不同方法同化每小时的红外通道云迹风资料,然后作 24 h 预报。结果表明用加入高时空分辨率的红外通道云迹风资料的变分同化法能准确地预报热带气旋路径。Bhatia 等(1999)利用 METEOSAT-5 水汽通道云迹风预报印度洋地区的台风路径,效果较好。张守峰等(1999)、方翔等(2000)应用云迹风资料预报中国南海台风移动路径也取得了显著的效果。周兵等

(2002)用 MM5(V2)模式中的最优插值方法同化云迹风资料,并对长江中下游暴雨进行预报。结果表明,云迹风资料同化能有效地改善高空风场质量,使得模拟的暴雨强度与实际降水分布更加接近。黄彦彬等(2003a,2003b)应用 GMS-5 静止气象卫星导出的云迹风资料对中尺度  $\eta$  坐标有限区域数值模式 (REM) 的初始风场进行改进处理并进行数值模拟。分析得出,同化云迹风资料有利于改善因测站稀疏造成的中小尺度系统漏报的不足,提高降水的预报精度。庄照荣等(2004)将 GMS-5 静止气象卫星导出的云迹风资料进行三维变分同化作为 WRF 模式初始场,研究了云迹风资料对三维变分同化分析场及台风预报的影响。结果表明,云迹风资料可以提高分析场和预报场中风压场的质量;而且在台风预报试验中可以更准确地预报台风的路径和降水。王栋梁等(2005)采用四维变分同化技术将 GMS-5 卫星资料反演的云迹风资料应用于西北太平洋热带气旋路径的数值预报中,结果表明采用四维变分同化技术同化云迹风对初始时刻较强的热带气旋路径预报的改善比较明显。

虽然云迹风在数值天气预报研究中展示了其较好的应用前景,但由于云迹风误差较大且针对云迹风误差和质量控制的研究偏少,所以云迹风资料至今还没有在业务上应用于数值预报。如何有效地利用云迹风资料,使其能真正应用于数值预报业务还有待进一步研究。另外,自风云二号 C 星(简称 FY-2C)成功发射并成为中国第一颗业务静止气象卫星以来,针对 FY-2C 云迹风资料在数值模式中的试验研究较少。由于不同的静止卫星具有各自的误差特

性, FY-2C 云迹风资料在数值模式中的可用性如何? 同化后对模式预报的改善情况怎样? 这些问题的解答需要相关的大量研究。基于以上思路, 本文尝试用探空实况资料对 FY-2C 云迹风资料进行统计检验和误差分析, 并针对其误差结构进行质量控制, 然后用 GRAPES-Meso 模式进行变分同化和模拟试验。探讨 FY-2C 云迹风资料的系统误差特性及其对数值天气预报模式初值和预报场的影响。

## 2 云迹风资料的分布及其误差特征

### 2.1 资料及方法

文中选用的检验资料为无线电探空资料, 虽然

无线电探空也存在探空气球漂移、系统误差等问题, 但无线电探空是目前检验非常规资料相对有效的选择。FY-2C 云迹风资料有红外和水汽两个通道。资料时间为 2005 年 6 月 27 日至 7 月 31 日, 其中 7 月 7—10 日缺测, 共计 31 d。由于探空资料在水平方向上分布于固定站点, 在垂直方向上分布于标准层次, 而云迹风在水平和垂直方向上的分布都极其不规则。因此在进行误差统计时, 采用逐点临近层比较的方法。水平比较范围为 0.3 个经纬度, 垂直比较层次的划分如表 1 所示。统计范围为  $18^{\circ}$ — $42^{\circ}$ N,  $95^{\circ}$ — $125^{\circ}$ E。按照上述原则, 分别进行平均误差、均方根误差、标准差、误差分布概率等统计。

表 1 层次划分

Table 1 The partition of levels

探空 (hPa)	1000	850	700	500	400	300	250	200	150	100	70	50
云迹风 (hPa)	$\geq 925$	925—775	775—600	600—450	450—350	350—275	275—225	225—175	175—125	125—85	85—60	$< 60$

### 2.2 云迹风数量分布特征

图 1 给出了云迹风数量随高度的分布(图中 ir1 表示红外通道的云迹风, ir3 表示水汽通道的云迹风), 从图上可看出红外通道的云迹风发散分布于 100—925 hPa, 在 400 hPa 层有一个较小的峰值为 7.4%。水汽通道的云迹风集中分布于 150—500 hPa, 在 250 hPa 上分布概率达到最大为 20.2%。由于水汽通道的云迹风数量要比红外通道

的多, 所以从两个通道的数量总和来看, 150—500 hPa 集中分布了 79.4% 的云迹风, 500 hPa 及以下占 12.6%, 150 hPa 及以上占 8.0%。因此, 从上面的分析可以看出云迹风主要集中分布于对流层中高层。

### 2.3 云迹风误差分布特征

为了检验 FY-2C 导风资料的质量和对其误差结构, 用逐点临近层比较的方法分别进行了平均误差、均方根误差、标准差、风向误差的统计。表 2 给出了误差统计的结果(由于结果中 1000 和 50 hPa 两层没有云迹风, 所以在表中略去了这两层), 从误差统计数据可以看出低层有很大的风速误差, 随高度增加误差逐渐较少, 在 200 hPa 附近风速误差最小。然后, 随高度增加误差又逐渐增大。这一点在云迹风误差随高度分布图上表现得更加明显(图 2)。从风向误差统计的结果可以看出, 在底层存在明显的风向错误。在 500 hPa 以下的 3 层都存在很大的风向误差。虽然高层 70 hPa 的风向误差也很大, 但在统计结果中发现这一层的云迹风数量极少, 统计样本太少不能反映真实情况。

为了进一步了解各层误差的分布情况, 对各层云迹风数量随误差距平分布作了概率统计。图 3 给出了低层(700 hPa)和高层(300 hPa)云迹风的误差距平分布。从图中可以看出, 低层云迹风的误差

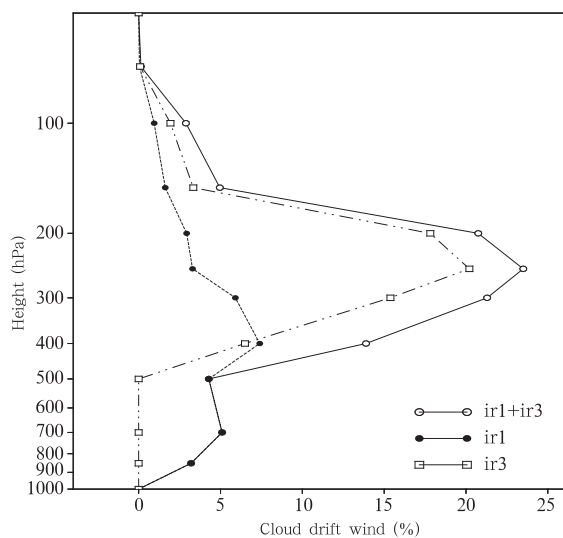


图 1 云迹风数量(%)的垂直分布

Fig. 1 The vertical distribution of Cloud Drift Wind (CDW) along with height change

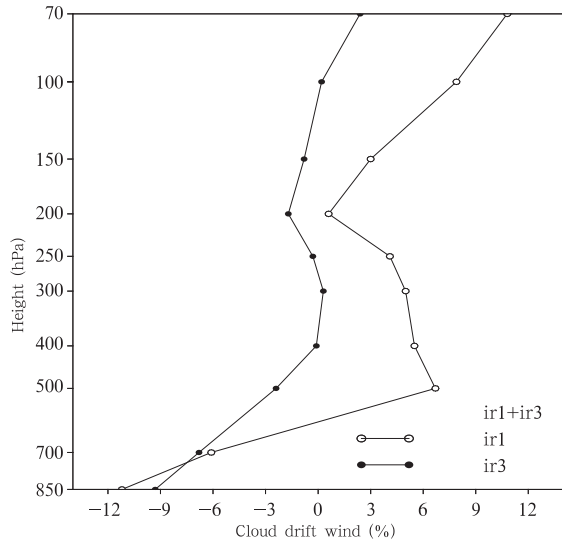


图 2 云迹风平均误差(m/s)的垂直分布  
Fig. 2 The vertical distribution of CDW average error along with height change

距平分布比较分散,没有规律。高层云迹风的误差距平分布呈正态分布,主要集中在 0 距平附近。由于峰度系数与偏度系数是用来衡量随机变量分布密度曲线形状的数字特征,因此对云迹风误差的分布进行了峰度偏度检验。结果表明,在显著水平  $\alpha = 0.05$  的情况下,400–150 hPa 的误差距平分布都能通过正态分布检验。这说明高层云迹风的误差分布在通过平均误差的偏差订正后在 0 距平附近呈正态分布,具有系统偏差特性。

从上面的分析可以看出, FY-2C 云迹风资料在中低层(500 hPa 以下)存在较大的风速误差和风向误差,而且低层误差距平分布没有规律性,在数值预报中的可用性较差。在高层风速误差和风向误差都较小,而且风速误差距平分布呈正态分布,通过适当的质量控制后将具有较好的可用性。

表 2 云导风资料统计误差 ( $u$ : 纬向分量,  $v$ : 经向分量)

Table 2 The statistical error of CDW ( $u$ : latitude component,  $v$ : longitude component)

层次 (hPa)	平均误差(m/s)		均方根误差(m/s)		标准差(m/s)		符号相反概率(%)	
	$u$	$v$	$u$	$v$	$u$	$v$	$u$	$v$
850	-11.2	-9.3	22.2	15.0	19.1	11.8	40.3	50.0
700	-6.1	-6.8	24.9	12.8	24.1	10.8	29.0	44.7
500	6.7	-2.4	20.2	11.2	19.1	10.0	16.7	34.4
400	5.5	-0.1	14.5	9.0	13.3	8.9	8.1	20.3
300	5.0	0.3	14.9	9.5	13.8	9.5	3.8	18.3
250	4.1	-0.3	13.8	8.4	13.2	8.4	4.8	15.7
200	0.6	-1.7	11.7	8.4	11.6	8.1	6.2	18.9
150	3.0	-0.8	12.8	10.1	12.4	10.0	6.2	16.8
100	7.9	0.2	18.9	11.0	17.1	10.7	13.3	19.1
70	10.8	2.4	12.0	11.4	1.5	10.3	33.3	66.7

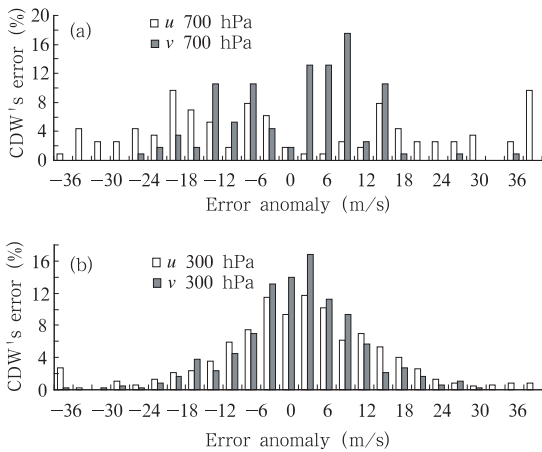


图 3 云迹风 700(a)和 300 hPa(b)误差距平概率分布  
Fig. 3 The distributing probability of CDW's error anomaly at 700 hPa(a) and 300 hPa(b)

### 3 初步质量控制

为了减小云迹风的误差,提高云迹风质量,在数值模式中更好地利用云迹风的有用信息。对云迹风资料进行一定质量控制是非常必要的,由于高层云迹风有一定的系统偏差特性,这样通过偏差订正可以很好地去除系统偏差,减小云迹风误差。另外,考虑到大气中风随高度的分布具有连续性。因此,针对中低层风速误差和风向误差较大,误差规律不明显的情况,采取了热成风原理进行控制。即风的垂直切变与背景温度场之间要近似地满足热成风原理,不能偏差太多。通过风速的极值控制和风向控制,对质量不可靠的资料予以剔除。具体做法是: (1) 偏差订正,用每一个云迹风分别减去其所在高度

层的平均统计误差。(2)热成风原理控制,根据热成风原理由探空观测计算出各高度层之间的风速、风向切变值。如果云迹风观测与附近探空观测之间的切变不满足热成风原理则予以剔除。为了比较质量控制的效果及同化云迹风资料对暴雨预报的影响,选取了2005年7月1日00时(世界时)至7月2日00时发生在中国西北部的一次暴雨过程作为个例研究。在将云迹风加入到同化系统之前,通过偏差订正和热成风原理控制两种方法对其进行质量控制。分析各层质量控制的结果可以发现,经过上述两种方法的质量控制后能有效剔除风速偏差太大和风向错误的云迹风。图4给出了500 hPa层的探空

实况分析矢量场和该层经质量控制被剔除的云迹风矢量图。对比两图可以发现,在台湾岛东南侧和黄河以北的云迹风主要是由于风速异常被剔除的。另外,在实况图上 $27^{\circ}\text{N}$ 附近华东沿海一带为副热带高压控制,在高压中心风速很小,高压外围是较大的偏南风。而这一带的云迹风却是偏北风和偏东风,与实况风向偏差较大,通过质量控制后被剔除。图4c和图4d给出了所有层次上云迹风在质量控制前和质量控制后的分布图,对比两图可以看出经过偏差订正后一些仍不满足热成风原理的云迹风被剔除了。错误的信息被剔除保留较为合理的信息,云迹风精度进一步提高。另外,从图上还可以看出,虽然

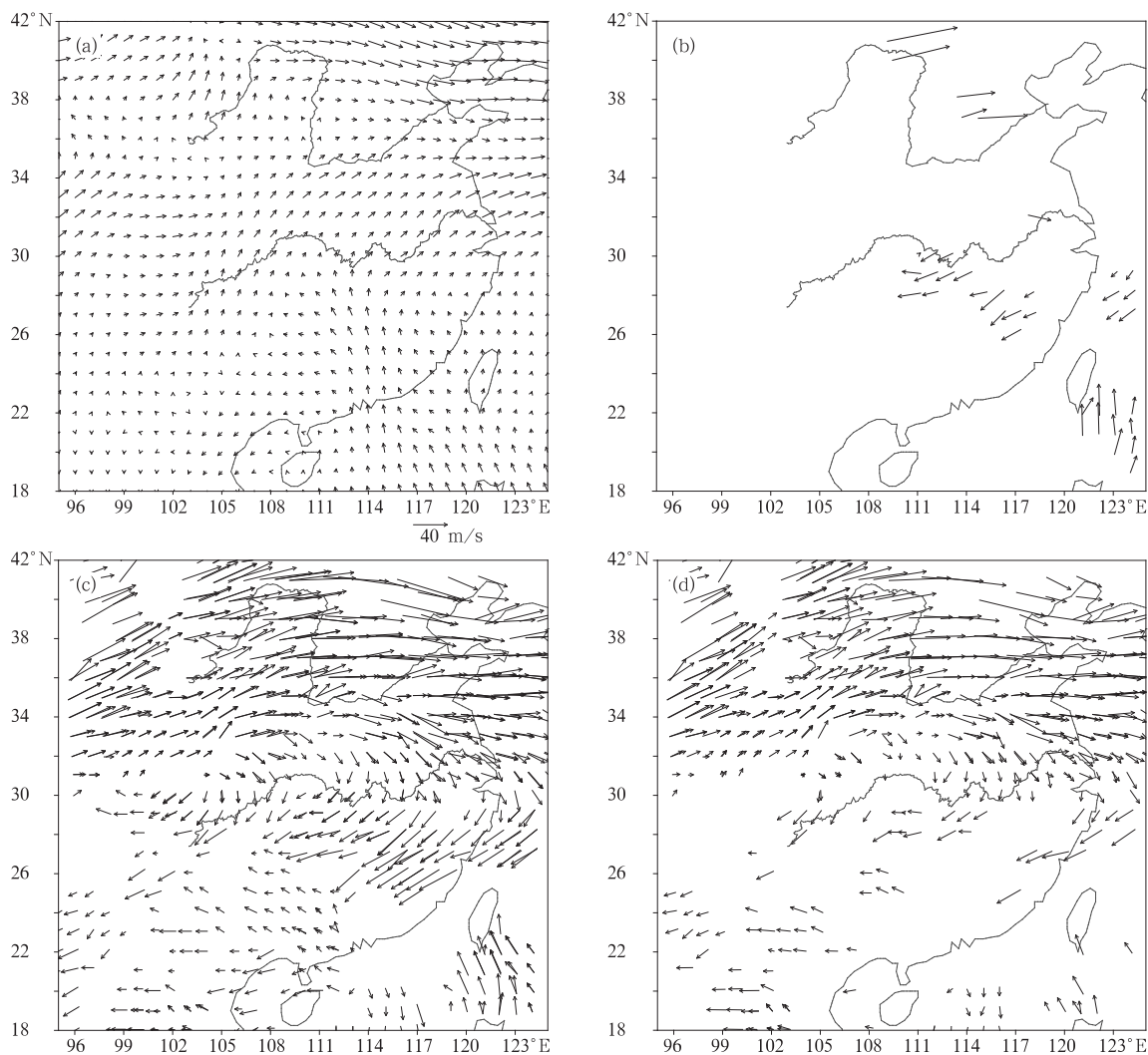


图4 2005年7月1日00时云迹风风矢量场

(a. 500 hPa 实况场, b. 500 hPa 被剔除的云迹风, c. 质量控制前云迹风, d. 质量控制后云迹风)

Fig. 4 The vector wind of CDW at 00:00 UTC on 1 July 2005 (a. real-time analysis at 500 hPa, b. the eliminated CDW at 500 hPa, c. the CDW before quality control, d. the CDW after quality control; unit: m/s)

云迹风数量有所减少,但经过质量控制后其空间分辨率还是要比常规探空高很多,仍然保持了较高的空间分辨率的优势。

因此,从质量控制的结果可以看出,通过偏差订正和热成风原理控制两种方法不仅可以降低云迹风系统误差,还可以将一些异常的云迹风予以剔除,进一步提高了云迹风资料的可用性。

## 4 同化试验

### 4.1 试验方案介绍

所用模式是中国气象科学研究院数值预报中心开发研制的 GRAPES-Meso (2.5 版本) 模式。GRAPES-Meso 模式的三维变分同化系统 (GRAPES-3Dvar) 具备了同化云迹风的功能,同化时将质量控制后的 FY-2C 云迹风资料处理成标准

格式,并用统计误差替换变分系统自带的云迹风观测误差。在同化试验时用国家气象中心中期业务预报模式 T213 的 12 h 的预报场作为同化背景场,模式积分边界条件也来自 T213 模式。模式范围为:  $18^{\circ}-42^{\circ}\text{N}$ ,  $95^{\circ}-125^{\circ}\text{E}$ , 水平格距 30 km。

为了比较云迹风同化对模式初始分析场和降水预报的影响,设计了 3 组同化试验。方案 1 为控制实验,即不同化任何资料,直接以背景场为初始场进行数值积分。方案 2 同化探空资料,然后进行预报。方案 3 同化 FY-2C 云迹风资料然后进行 24 h 预报。

### 4.2 试验结果分析

图 5a 给出了 2005 年 7 月 1 日 00 时至 2005 年 7 月 2 日 00 时 24 h 降水实况,从图上可以看出此次暴雨过程主要发生在成都北部至太原西南侧一线。雨带呈西南—东北向,雨带强度主要为 50 mm 的暴

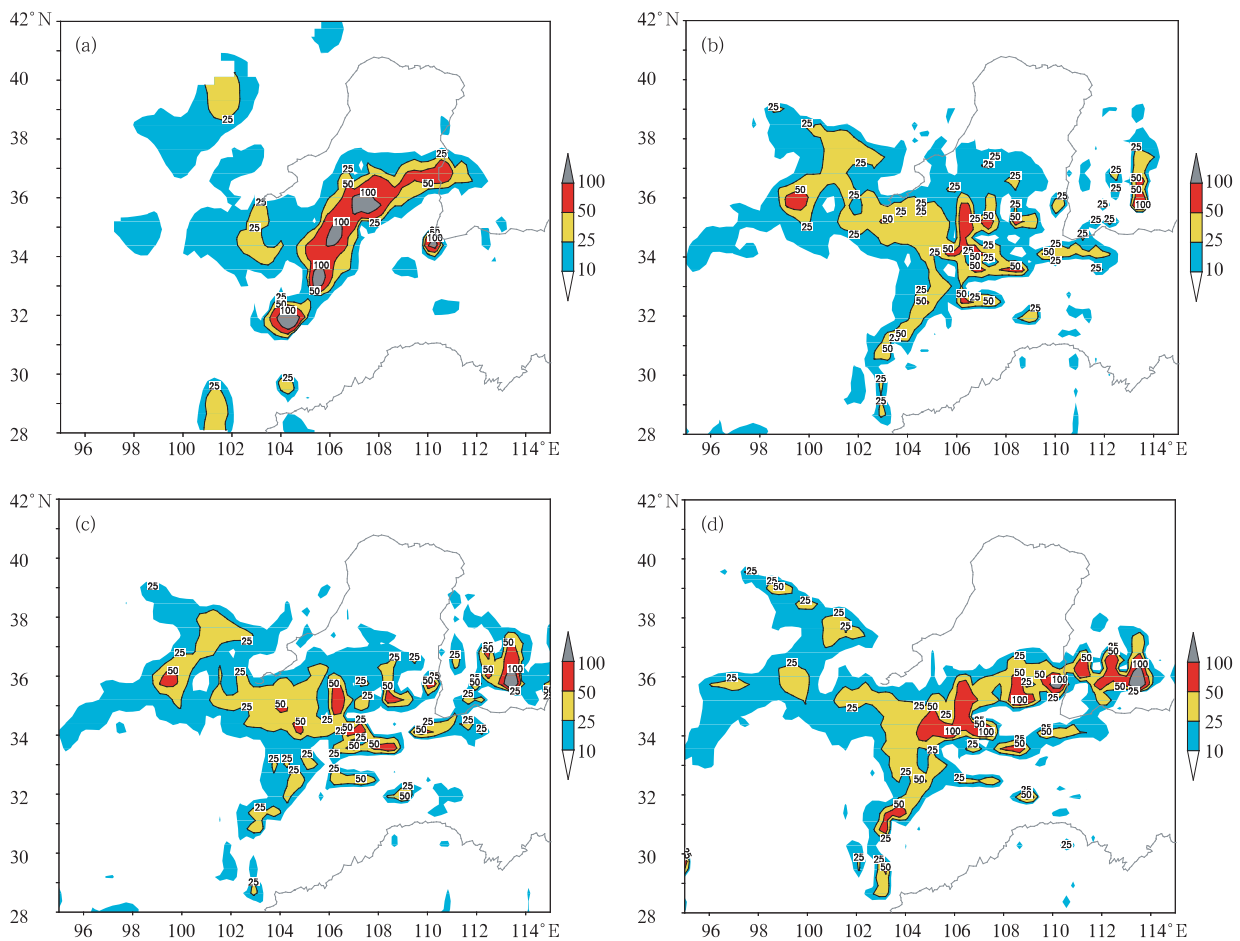


图 5 2005 年 7 月 1 日 00 时至 2 日 00 时 24 h 降水量分布

(a. 实况, b. 控制实验预报, c. 同化探空预报, d. 同化云迹风预报; 单位: mm)

Fig. 5 The 24 h rainfall between 00:00 UTC on 1 July 2005 and 00:00 UTC on 2 July 2005 (a. real-time rainfall, b. forecast rainfall of control experiment, c. forecast rainfall of experiment by assimilating TEMP, d. forecast rainfall of experiment by assimilating CDW; unit: mm)

雨,在雨带上分布着4个大于100 mm的暴雨中心,其中3个强降水中心位于甘肃东南部,西峰镇最强达133.8 mm。另外一个暴雨中心为四川境内的北川站,24 h降水达144.0 mm。图5b、5c和5d分别给出了控制实验、同化探空观测和同化云迹风后的24 h降水预报图,对比这3张图可以看出,控制试验(图5b)几乎没有预报出强降水雨带,只在雨带的中心(106°E,35°N)附近报了一个50 mm的暴雨中心。同化云迹风资料后(图5d),预报出了25 mm以上降水的大雨雨带,雨带位于四川北部至甘肃东南部至山西西部一线,呈西南—东北向,在甘肃东南部和四川北部的强降水中心预报了大于50 mm的降水。虽然降水强度较实况略偏小,但雨带的位置和雨带上的几个强降水中心都与实况比较吻合。总体上看,同化探空观测后对强降水预报改善不大,还是没有预报出暴雨雨带。同化云迹风资料后,预报

出了大雨带和强降水中心。云迹风资料的同化对暴雨预报的改善还是很明显的。

为了进一步分析同化云迹风资料对降水预报改善的原因,对模式初始场进行了对比分析。图6c和6d分别给出了同化云迹风资料700和500 hPa初始场增量。从图6c上可以看出,同化云迹风资料后的增量场在孟加拉湾北侧有一个气旋式的环流,在安徽南部形成一个反气旋式的环流。在气旋式环流的东侧和反气旋式环流的西侧均为较大的西南风增量,形成了一条从孟加拉湾到中国西北部的西南风增量带,这样的情况在500 hPa上表现得更为明显(图6d所示)。另外同化云迹风资料后的500 hPa增量场还可以看出,西南风增量带的极大值风速中心分布和降水实况的雨带分布基本平行。这充分说明暴雨雨带预报的改善和初始场中西南气流输送带的加强是分不开的。由于西南气流输送带的加强可

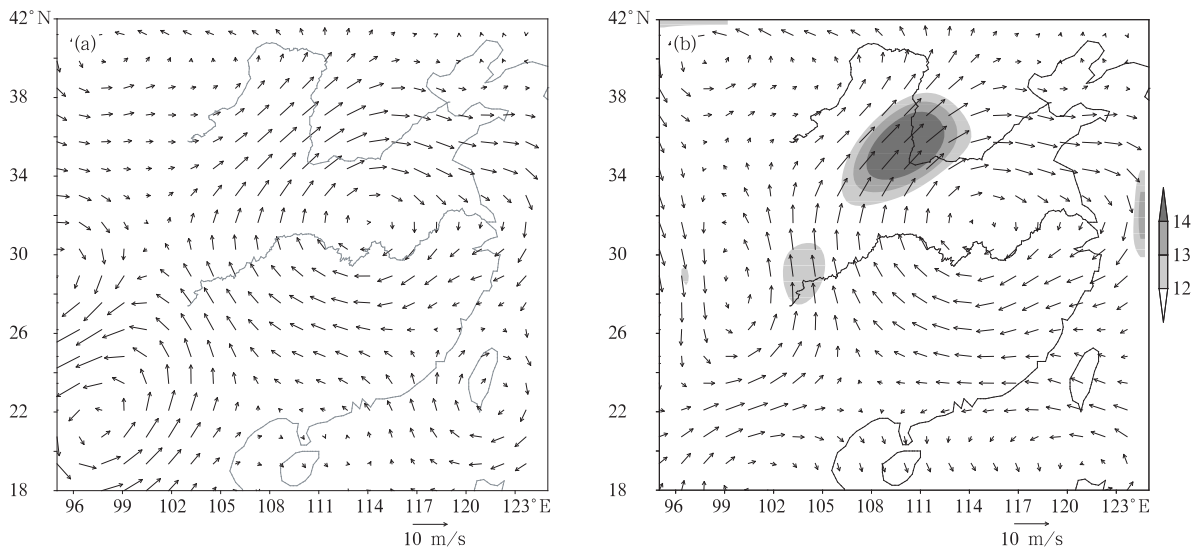


图6 2005年7月1日00时风矢量增量场

(a. 同化云迹风后700 hPa分析增量场, b. 同化云迹风后500 hPa分析增量场;阴影:增量场风速极大值)

Fig. 6 The analysis increment field of wind vector at 00:00 UTC on 1 July 2005 (a. analysis increment assimilated CDW at 700 hPa, b. analysis increment assimilated CDW at 500 hPa, shadow denotes the maximum increment speed; unit: m/s)

以把水汽从孟加拉湾源源不断地向暴雨区输送。另外,暴雨区附近的风速增量极值中心有利于水汽的辐合和加强此地南北风向的切变。

图7给出了在同化试验时进入同化系统的200 hPa风场资料,其中图7a为探空观测,图7b为云迹风资料。对比两图可以看出探空观测分布均匀,而云迹风资料因为受限于云系的分布具有很强的非均匀性。

虽然云迹风资料的整体均匀性没有探空资料好,但是在局部地区云迹风资料的空间分辨率要远远高于探空资料。在此次暴雨过程发生的区域附近,探空资料分布稀疏而云迹风资料分布相对较密。云迹风资料更为细致、准确地反映了暴雨发生区域附近的系统信息,而探空资料对局部的信息反映相对不足。经过同化后,同化探空资料对暴雨区附近风场的改善没有同

化云迹风资料的明显。初始场的改善情况进一步影响模式对暴雨的预报结果。这也就是在 24 h 预报

时,同化云迹风资料的数值试验对降水预报的改善明显优于同探空资料对降水预报改善的原因。

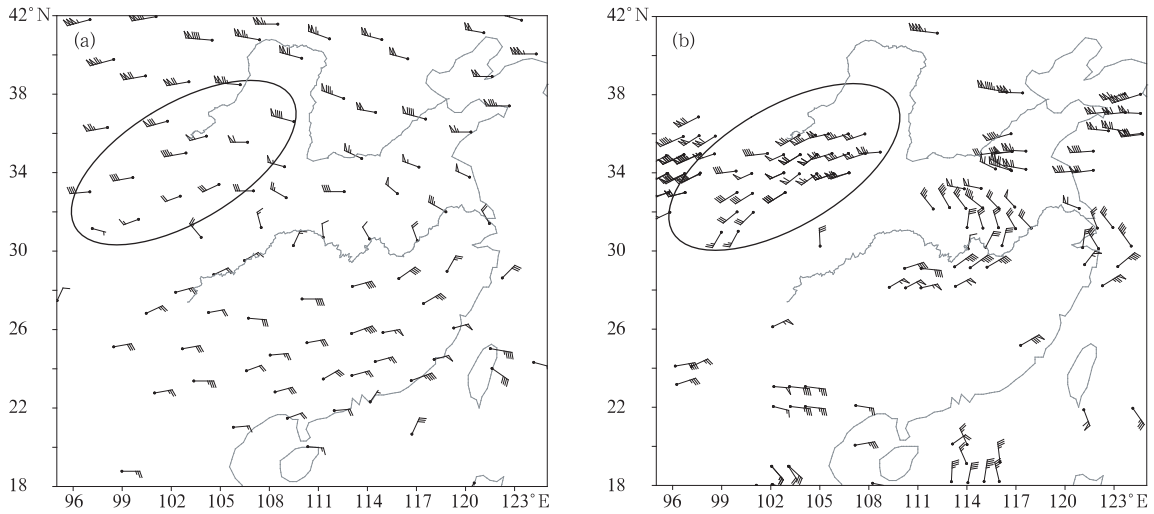


图 7 2005 年 7 月 1 日 00 时 200 hPa 风场同化资料(a. 探空, b. 云迹风;单位: m/s)

Fig. 7 Assimilated wind data at 200 hPa (00:00 UTC on 1 July 2005) (a. TEMP, b CWD; unit: m/s)

综上所述,通过对 24 h 降水预报场和模式初始风场的对比分析可以看出,同化探空资料后,模式初始风场和降水预报改善不明显。同化云迹风资料后,在暴雨区附近初始风场低层的西南气流明显加强。西南气流的加强有利于暴雨区水汽输送、增强南北气流的切变和水汽辐合,进而改善了降水预报的区域和强度。

## 5 结论和讨论

为了探讨 FY-2C 云迹风资料的系统误差特性及其对数值天气预报模式初值和预报场的影响。用逐点临近层比较的方法对 31 d 的 FY-2C 云迹风资料进行了误差统计分析,并针对误差特征提出了偏差订正和热成风原理两种质量控制方法。并把质量控制后的云迹风资料通过 GRAPES-3Dvar 同化到 GRAPES-Meso 模式中,对 2005 年 7 月 1 日 00 时至 7 月 2 日 00 时发生在中国西北部的一次暴雨过程进行了数值对比试验。通过对 FY-2C 云迹风资料的垂直分布和各层误差统计分析、同化试验结果分析可以初步得出如下结论:

(1) 云迹风数量在垂直方向上主要集中分布于 500 hPa 以上的对流层中高层,在 250 hPa 附近分布数量概率最大。

(2) 高度在 500 hPa 以下云迹风存在明显的风

向误差和很大的风速误差,而且误差分布发散,可用性较差。500 hPa 以上层次的云迹风误差较小,且误差分布呈正态分布具有明显的系统偏差特性,有一定可用性。

(3) 通过偏差订正和热成风原理控制后,可以把风向错误和风速偏差太大的云迹风予以剔除,进一步提高云迹风的精度。

(4) 同化试验表明,同化云迹风资料能很好地改善 24 h 暴雨预报的强度和落区。同化云迹风资料后,在暴雨区附近初始风场低层的西南气流明显加强。西南气流的加强有利于暴雨区水汽输送、增强南北气流的切变和水汽辐合,进而改善了降水预报的区域和强度。

有待研究的问题:

(1) 本文的研究是初步性的同化试验,只是对降水预报影响的个例研究。要检验 FY-2C 云迹风资料对数值降水预报的影响还需进行其他降水类型如台风、梅雨锋降水的同化试验。

(2) 为了充分发挥云迹风资料高时空分辨率的优势,在后面的同化试验中将进行多时刻的连续同化试验。

(3) 本文的质量控制方法还可以进一步优化。由于部分云迹风是由于定高错误被剔除,因此后面的研究中将依据背景场和探空场,对被剔除的云迹



风进行高度订正,尽量把有用的云迹风资料同化到数值模式中。

**致谢:**本文完成过程中得到了中国气象科学研究院庄世宇老师、国家卫星气象中心许健民院士的指导和帮助。国家卫星气象中心张其松老师提供了云迹风资料,在此向他们表示衷心的感谢。

## Reference

- Bhatia R C, Khanna P N, Prasad K, et al. 1999. Use of meteosat-5 derived winds for analysis of two tropical cyclones affecting Gujarat coast on 20 May, 1999 and Orissa coast on 29 October. 1-8
- Fang Xiang, Xu Jianmin, Zhang Qisong. 2000. Developing and non-developing tropical cyclones revealed by high density cloud motion wind. *J Tropical Meteor (in Chinese)*, 16(3):218-224
- Huang Ronghui, Wu Jisheng. 1987. Application of satellite data in NWP and recent progress of 4d-VAR methods// *Satellite Meteorology Corpus*. Beijing: China Meteorological Press, 23-26
- Huang Yanbin, Lei Hengchi, Guo Xueliang, et al. 2003. Improvement study on Cloud Drift Wind data to REM mesoscale simulation. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 22(6):575-582
- Huang Yanbin, Lei Hengchi, Wang Zhenhui, et al. 2003. Modification of initial wind field of a mesoscale numerical model based on the data of satellite Cloud Drift Wind. *J Nanjing Inst Meteor (in Chinese)*, 26(5):668-676
- Le M J F, Leslie L M, Spinoso C. 1997. The generation and assimilation of cloud-drift winds in numerical weather prediction. *J Meteor Soc Jap*, 75:383-393
- Wang Dongliang, Liang Xudong, Duan Yihong. 2005. Impact of four-dimensional variational data assimilation of the Cloud Derived Wind data on tropical cyclone track numerical forecast. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 63(3):351-358
- Xue Jishan, Chen Dehui, Chen Xian. 2003. Great Advancement in

Developing New Generation NWP Model System in China. Chinese Academy of Meteorological Sciences Annual Report. Beijing: China Meteorological Press, 8-9

- Zhang Shoufeng, Wang Shiwen. 1999. Numerical experiment of the prediction of typhoon tracks by using satellite cloud-derived wind. *J Tropical Meteor (in Chinese)*, 15(4):347-355
- Zhou Bing, Xu Haiming, Wu Guoxiong, et al. 2002. Numerical simulation of CMWDA with its impacting on torrential rain forecast. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 60(3):309-317
- Zhuang Zhaorong, Xue Jishan. 2004. Assimilation of Cloud Derived Winds and its impact on typhoon forecast. *J Tropical Meteor (in Chinese)*, 20(3):225-236

## 附中文参考文献

- 方翔, 许健民, 张其松. 2000. 高密度云导风资料所揭示的发展和不同发展热带气旋的对流上部环流特征. *热带气象学报*, 16(3):218-224
- 黄荣辉, 吴津生. 1987. 卫星资料在数值天气预测中的应用与四维同化分析方法的若干进展// *卫星气象文集*. 北京: 气象出版社, 23-26
- 黄彦彬, 雷恒池, 郭学良等. 2003. 卫星导风资料对 REM 中尺度数值模拟的改进研究. *高原气象*, 22(6):575-582
- 黄彦彬, 雷恒池, 王振会等. 2003. 卫星云迹风资料对中尺度数值模式初始风场改进试验. *南京气象学院学报*, 26(5):668-676
- 王栋梁, 梁旭东, 端义宏. 2005. 云迹风在热带气旋路径数值预报中的应用研究. *气象学报*, 63(3):351-358
- 张守峰, 王诗文. 1999. 应用卫星云导风进行台风路径预报试验. *热带气象学报*, 15(4):347-355
- 周兵, 徐海明, 吴国雄等. 2002. 云迹风资料同化对暴雨预报影响的数值模拟. *气象学报*, 60(3):309-317
- 庄照荣, 薛纪善. 2004. 云迹风资料的三维变分同化及对台风预报的影响试验. *热带气象学报*, 20(3):225-236