

刘瑞, 翟国庆, 王彰贵, 等. 2012. FY-2C 云迹风资料同化应用对台风预报的影响试验研究 [J]. 大气科学, 36 (2): 350–360, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11052. Liu Rui, Zhai Guoqing, Wang Zhanggui, et al. 2012. Impact of application of cloud motion wind data from FY-2C satellite on simulation of typhoon cases [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (2): 350–360.

FY-2C 云迹风资料同化应用对台风预报的影响试验研究

刘瑞^{1, 2} 翟国庆¹ 王彰贵³ 朱业^{1, 4} 沈杭锋¹ 徐亚钦⁵

1 浙江大学地球科学系, 杭州 310027

2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

3 国家海洋局海洋环境预报中心, 北京 100081

4 浙江省海洋监测预报中心, 杭州 310007

5 浙江省温州市气象局, 温州 325027

摘 要 针对 0505 号台风“海棠”, 采用 WRF 区域中尺度模式进行控制试验和两个同化试验, 利用 WRF-3DVAR 同化系统同化 FY-2C 红外和水汽两个通道云迹风反演产品, 同化分云迹风经质量控制和未经质量控制两组同化试验。通过三组试验分析云迹风资料对降水和风场等的预报结果的影响, 并进行 24 小时降水量分级 Ts 评分检验以及风场点对点检验。结果表明: 同化经质量控制云迹风资料可以提高降水落区和强度预报的准确度, 不同等级的 Ts 评分较其它试验都有较明显改进; 风场预报模拟也有所改善。增加两例台风, 使用与“海棠”相似的处理方法进行模拟试验, 并对模拟结果 24 小时降水分析与检验, 得到与“海棠”类似结论。因此, 经过合理性选择的云迹风资料的加入, 有利于补充初始场中可能未包含的中尺度信息, 从而提高试验中对于降水、风场等的模拟效果, 提高 WRF 模式的模拟预报能力。

关键词 数值模拟 云迹风 质量控制 Ts 评分 风场检验

文章编号 1006-9895 (2012) 02-0350-11

中图分类号 P435

文献标识码 A

doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11052

Impact of Application of Cloud Motion Wind Data from FY-2C Satellite on Simulation of Typhoon Cases

LIU Rui^{1, 2}, ZHAI Guoqing¹, WANG Zhanggui³, ZHU Ye^{1, 4},
SHEN Hangfeng¹, and XU Yaqin⁵

1 Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027

2 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 National Research Center for Marine Environmental Forecast, Beijing 100081

4 Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310007

5 Wenzhou Meteorological Bureau, Zhejiang Province, Wenzhou 325027

Abstract The control experiment and two assimilation experiments of WRF regional mesoscale model prediction are

收稿日期 2011-03-09, 2011-10-22 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40975021, 国家公益性行业科研专项 GYHY201005033 和 GYHY201006007

作者简介 刘瑞, 女, 1987 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为中尺度数值模拟。E-mail: rui.liudream@gmail.com

通讯作者 翟国庆, E-mail: zhaigq@zju.edu.cn

verified for typhoon Haitang (0505). Based on the WRF-3DVAR system, the FY-2C infrared and water vapor cloud motion winds are assimilated into WRF model. The assimilation data of one assimilation test are the cloud motion winds before quality control and those of the other are cloud motion winds after quality control. The effect of the cloud motion winds on the prediction of rain and wind field is analyzed through comparing the three tests. Results show that the assimilation of the quality-controlled cloud motion winds into the initial fields has positive impact on prediction of the area and intensity of rain, and also indicate that different grades of Ts score are improved by far than the other tests. The assimilation makes improvement in the forecast of wind. The same approach as that for Haitang is taken to simulate other two typhoon cases and the Ts scores of the forecast rainfall are given. And the results for the two typhoon cases show similar conclusions. Therefore, assimilating cloud motion winds with reasonable control and selection can well improve the descriptive possibility of wind field in WRF model, supply the mesoscale information in the initialization field to improve the simulation result of precipitation and wind field and have positive impact on the forecasting ability of WRF model finally.

Key words numerical simulation, cloud motion wind, quality control, TS score, wind field verification

1 引言

气象卫星风矢量资料是数值天气预报的非常规观测资料之一,目前主要是作为数值预报的初始场,弥补海上缺测的现象,提高数值预报的准确性,可以和其它资料共同揭示大气运动规律,特别是上层大气运动规律。正因为其具有较好的适用性以及较高时空分辨率等特性,受到气象工作者的很大关注。早在 1970 年代,国外工作者就开始关注云迹风对于分析大气状态的影响,尤其是对资料缺乏的热带地区的影响 (Leese et al., 1971; Allison et al., 1972), 1980 年代初,水汽吸收波段图像具有跟踪大气运动的特性使得人们对于热带海洋的分析水平得到了进一步的提高 (Kästner et al., 1980)。国内对于云迹风的研究开始较早,在 2000 年前,许健明等 (1997)、龚克等 (2000)、白洁等 (1997) 研究分析了云迹风资料导出原理和方法。随着探测技术的发展以及导出原理和方法的不断优化,目前各个卫星数据处理中心卫星风的算法大体一致和稳定 (许健明和张其松, 2006), 国内更多工作者开始对云迹风资料进行统计分析及个例研究,李宁等 (2008) 对台风“麦莎”模拟引入云迹风资料,得出云迹风资料对模拟台风登陆前后的路径移向,降水分布及强度变化方面都有一定程度的改善。冯业荣 (1999) 利用对流层中上层的云迹风,并结合实测风,从涡度方程出发对 1998 年南海和西太平洋的几个气旋进行诊断计算,指出云迹风为热带气旋的业务预报提供了重要的参考依据,对于判别热带气旋路径及其转折有着特殊意义。黄彦斌

等 (2003) 应用云迹风资料对有限区域模式 (REM) 的初始场进行改进处理,结果表明云迹风场资料同化到数值模式可以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。周兵等 (2002)、曹文博和沈桐立 (2007) 针对暴雨过程进行云迹风资料同化试验,表明在暴雨预报业务和科研中,云迹风资料的使用可以有效地改善高空风场分布,对提高降水预报质量特别是暴雨强降水预报是一个有效途径。王栋梁等 (2005) 通过一系列四维变分同化试验同化 GMS-5 水汽和红外云迹风资料,发现云迹风资料对热带气旋路径预报有一定的改善。庄照荣和薛纪善 (2004) 同化云迹风资料,指出云迹风可以提高分析场和预报场中风压场的质量,从而可以更准确地预报台风的路径和降水。张守峰和王诗文 (1999) 将包含云迹风的观测资料和背景场资料用多变量最优插值法进行客观分析,用数值模拟方式做台风路径预报试验,结果表明用该资料来订正客观分析场对台风路径预报有比较明显的改进。沈杭锋等 (2010b) 利用中尺度数值模式 WRF, 结合常规以及云迹风等资料较好地模拟出一次飑线演变过程,得到了与实况比较接近的飑线中尺度特征。

以上的研究表明,应用云迹风资料有助于研究的深入。虽然同化该资料在热带气旋、台风、暴雨等方面的数值模拟中有较好的作用,但研究中也发现,对云迹风资料的使用,仍存在资料的质量控制和应用等问题,如沈杭锋等 (2010a) 采用了同化改变阈值的质量控制所得到的云迹风资料方案,指出进入模式的云迹风数量与模拟结果并不是简单的线

性正相关。李华宏等(2008)在研究中指出,500 hPa 以下云迹风存在明显的风向误差和很大的风速误差,可用性较差。因此,如何较好地使用云迹风资料,以及通过该资料能较好地突出灾害天气中中尺度系统的特征,值得我们进一步研究。

本文选用国家风云卫星遥感数据服务网上提供的 FY-2C 静止卫星每六小时一次的红外和水汽通道的云迹风资料,通过一例强台风过程进行模拟分析仔细比较,以多个台风的结果强化结论,从而探讨云迹风资料在应用中的技术处理以及对台风预报模拟效果的影响。

2 风场资料处理简介

2.1 质量控制

由于云迹风矢的计算是以图像模块识别为基础的。云区的时空变化以及反演过程中的各个阶段,比如图像处理、计算、识别,尤其是高度匹配环节等都可能存在错误或较大误差,使个别风矢不合理或使整体云迹风矢群呈现一定程度的紊乱,所以同化前对该资料进行一定的质量控制是很有必要的。

另外,对于云迹风资料的处理必须要考虑到资料与同化方案的适应性问题。根据上面提到的云迹风资料使用过程中需要注意的问题,分以下 3 步对 2005 年 18 日到 20 日 8 个时次云迹风资料进行如下质量控制:

(1) 高度匹配。有研究者通过与无线电观测资料相比,分析得出卫星反演大气运动矢量资料不确定性造成的平均误差在 5~5.5 m/s,其中高度匹配(指定)不确定性是主要原因,误差贡献达到 70% (Velden and Bedka, 2009),也有人对高度不确定造成的误差粗略统计,估计 80 hPa 的高度误差大致相当于 10 m/s 的风速误差(李艳兵等, 2009)。所以如何将云迹风高度合理放入模式非常重要。本试验利用 WRF-3DVAR 同化系统同化云迹风资料,云迹风进入模式计算之前要经过该系统的测站数据同化模块(OBSPROC)处理,该模块其中之一的功能是将云迹风气压高度重新规整,而云迹风资料垂直分布复杂,且通常不在标准等压面上,所以,为了考虑模式运行有效地显示风场的垂直分布特征,同时避免同化时高度匹配过程带来的二次误差,高度匹配采用就近内插到 OBSPROC 模块默认定义的标准等压面上,这样更加合理。

(2) 资料通道选择。红外、水汽从探测原理到反演过程都有各自的优缺点存在,并且在合并两通道数据时,会出现同一经纬度、同一高度同时存在不同通道的数据的情况,从原理上而言红外通道云迹风矢量是通过红外通道图像中追踪云反演得到,所以不适合晴空区,这是云迹风技术的局限。用水汽吸收通道图像反演风场克服了这个困难,但水汽导风只能得到上层大气的运动状况(李艳兵等, 2009)。所以有必要对云迹风矢通道进行选择,使资料使用更合理。本文使用云量进行通道选择,使用 FY-2C 卫星总云量(简称 CTA)数据作为实况云量资料,该资料格点 CTA 值介于 0~100 表示云量的百分比,鉴于水汽通道云迹风描述风场比较稳定,所以,若该点附近为云区(CTA 值 ≥ 70),则选择红外通道;若该点附近为晴空区(CTA 值 < 70)则选择水汽通道,这样较能还原实时大气状况。

(3) 质量控制方案。为了描述中尺度运动,同化带有中尺度信息的云迹风资料是非常必要的,但我们在业务化处理过程中往往只针对地转平衡,所以,最终因为默认的空间一致性以及与数值天气预报模式第一猜值场的高度一致,往往滤掉了很多有用的中尺度信息(Bedka and Mecikalski, 2005)。模拟试验采用全球预报模式计算得出的再分析资料(简称 GFS)资料作为背景场,为了避免信息重复,并且可以引入中尺度信息,本试验质量控制选择高精度的日本再分析数据(简称 JRD)格点场资料作为对比资料,将经过高度匹配、资料通道选择得到的云迹风矢与 JRD 资料对比,并对云迹风资料进行必要的风向、风速控制,其中放宽风向、风速控制阈值,这样可降低云迹风资料与数值天气预报(简称 NWP)第一猜值场的信息重复,目的是在不失真实大气风场前提下保证风场的连续性,较大程度上兼顾二者的需求。

JRD 资料是日本 JRD 模式融合地面观测、高空观测和卫星观测所得资料生成的再分析资料,水平分辨率为 20 km,等压面物理量 20 层次、每天四个时次的高精度格点场资料。

基于高分辨率的 JRD 资料,我们如何对云迹风资料进行合理的质量控制[给出云迹风数据处理流程图(图 1)]。

流程图中 CDW 表示云迹风资料, JRD 表示日本 JRD 资料, x 、 y 轴分别表示 U 、 V 风分量, α 表

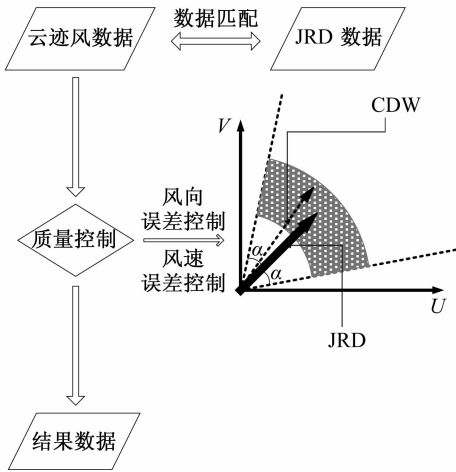


图 1 云迹风数据处理流程
Fig. 1 Data processing of the cloud motion wind

示容许云迹风矢偏差 JRD 的角度。按图 1 流程, 我们作以下步骤控制风场质量:

(1) 以云迹风风矢为基础, 寻找 JRD 数据中与其最接近的格点, 两者资料风场要素分布在不同经、纬度、高度上, 所以只有找到同一位置或最接近的云迹风矢和 JRD 点才能做有效、有意义的比较, 即 CDW 资料风矢点与 JRD 资料点的经度、纬度、高度基本相同时, 则匹配成功, 并筛选出该云迹风矢及 JRD 点进行下一步步骤;

(2) 风向控制, 如果云迹风矢在 JRD 风向的顺时针、逆时针 α 角度范围内, 则认为该云迹风矢是可信的, 否则就剔除。这样可以避免 CDW、JRD 夹角很小, 但不在同一象限的云迹风矢被剔除。

(3) 风速控制, 经过第二步骤后计算 CDW 与 JRD 速度的全风速差, 然后计算与 CDW 匹配的 JRD 点的全风速 (记为 D), 如果全风速差 $\Delta D \leq s D$ (这里 s 为阈值影响因子), 则认为该云迹风矢速度可信, 否则, 剔除。

取 α 、 s 不同值进行对比, 最终取 $\alpha = 60^\circ$, $s = 2.0$ 作为云迹风质量控制的基本阈值。

2.2 云迹风资料控制结果

经过筛选, 最终将云迹风风场资料同化到 WRF 区域中尺度模式, 以 2005 年 18 日 20 时 (北京时, 下同) 的 200 hPa 云迹风矢水平分布为例 (见图 2), 其中图 2c、2d 中蓝色实线表示 200 hPa 上高度场。结合图 2a、2b 得出, 上海上空处在台风外围流出的西风气流中, 浙南闽北地区属于台风气旋性气流控制区, 有来自海洋暖湿气流与北方较冷

气流交汇, 而我们的云迹风矢恰恰捕捉到这一信息, 比较图 2c、2d, 经质量控制后, 删去风速过大、比较凌乱的云迹风矢, 但依然保留了该时刻的一些特征, 如从图 2d 看出, 浙南闽北地区既有东风又有北风, 两股气流交汇, 东风带来水汽, 北风使空气降温, 浙南闽北降水强的原因之一。整体而言, 云迹风较真实的反映了实时的风场状况, 从风矢的分布个数来看, 达到了加密观测场, 提高观测场质量的目的。

3 台风个例及试验方案介绍

本文选取的“海棠”生成于关岛东北部海面, 随后向西南方向移动, 2005 年 7 月 14 日 14 时发展成台风, 并分别于 7 月 18 日下午 14:50 和 7 月 19 日下午 17:10 在台湾宜兰东澳和福建连江两次登陆, 登陆时中心最大风力分别达 15 级 (45 m/s) 和 12 级 (33 m/s)。登陆后继续向西北偏西方向移动, 穿过福建中北部。20 日 20 时减弱为热带低压, 之后减弱消失。受台风环流直接影响, 福建、浙江普降暴雨到大暴雨, 局部特大暴雨。这次暴雨是台风螺旋云带暴雨, 边界层强中尺度辐合带是直接导致这次暴雨发生的主要系统之一, 该中尺度辐合带是由台风外围边界层顶处中心风速达到 45 m/s 以上的强东风急流和台风中心东侧的强偏南气流在浙闽地区交汇形成的多个强辐合中心东西向排列组成 (周玲丽等, 2009), 而云迹风资料主要集中在对流层中上层, 所以对于高层风场的揭示理论上是可行的。

云迹风同化试验以 GFS 资料为背景场, 采用 WRF 非静力数值预报模式及其三维变分同化系统 (WRF 3D-Var), 2005 年 7 月 18 日 08 时开始, 积分模拟 48 小时。为了更好地了解云迹风资料对“海棠”的影响以及检验数据处理方法的合理性, 试验方案分成三组, 方案设计具体如表 1 所示, 其中控制试验的初始场作为同化试验的初始场。

表 1 试验方案
Table 1 Experiment schemes

试验	方案
控制试验	不同化任何资料, 直接模拟。
未经质量控制云迹风同化试验	将未经质量控制云迹风资料加入初始场, 并每 6 小时更新边界、侧边界条件。
经质量控制云迹风同化试验	将经质量控制云迹风资料加入初始场, 并每 6 小时更新边界、侧边界条件

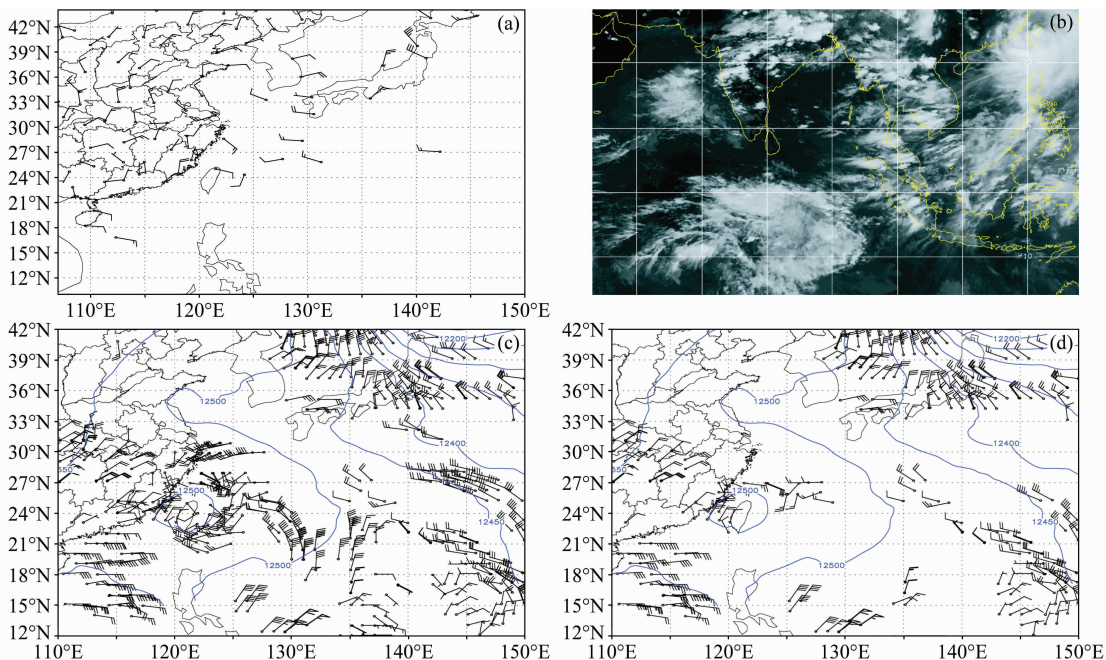


图 2 2005 年 7 月 18 日 20 时报文实况 (a)、红外云图 (b)、未经质量控制云迹风矢分布图 (c) 以及质量控制云迹风分布 (d)。蓝色等值线表示 200 hPa 高度场 (单位: gpm)

Fig. 2 (a) Sounding data, (b) infrared cloud picture, (c) the cloud motion wind before quality control, and (d) the cloud motion wind after quality control at 2000 LST 18 Jul 2005. Blue isoline: 200-hPa geopotential height (gpm)

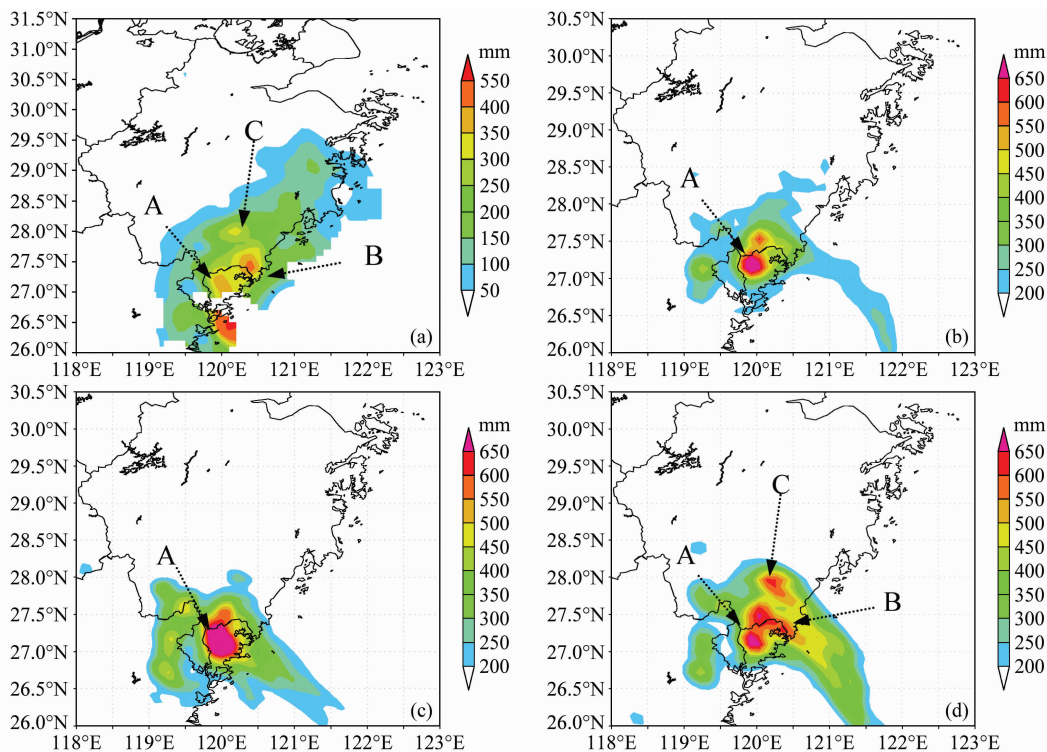


图 3 24 小时累积降雨量 (单位: mm): (a) 2005 年 7 月 18 日 20 时至 19 日 20 时实况; 积分 12 至 36 小时 (b) 控制试验、(c) 云迹风未经质量控制同化试验、(d) 云迹风经质量控制同化试验模拟结果

Fig. 3 24-hour accumulated precipitation (mm): (a) Observed from 2000 LST 18 Jul to 2000 LST 19 Jul 2005; simulated for integral hours 12–36 in (b) control expt, (c) assimilation expt before cloud drift winds (CDW) quality control, and (d) assimilation expt after CDW quality control

4 预报结果分析

4.1 降水预报对比分析

4.1.1 24 小时累计降雨量预报

图 3 给出的是“海棠”台风 24 小时累积降雨量的实况和模拟结果的对比。受“海棠”台风影响，浙江省除西南、北部地区外，其它地区都有暴雨出现，最大暴雨出现在浙江南部沿海地区北雁荡山区和苍南县一带以及福建北部沿海地区的福鼎地区。图 3a 中，A、B、C 三区为 24 小时降水最为集中的区域，分别表示福建北部福鼎地区、浙南苍南山区以及浙南北雁荡山区，另外，还有福建东北海洋区域的暴雨区，模拟试验整体雨量偏大，福建东北部洋上强降水都未模拟出。控制试验（图 3b）与实况对比，主要降水带基本一致，但只模拟出 A 区降水中心，并且在 A 区北部附近出现虚假的降水中心；同化未经质量控制的云迹风资料后（图 3c），A 区降水区域变大，雨量变强，与图 2b 相比基本无改进；图 3d 中虚假中心依然存在，但同化经过质量控制的云迹风资料，同化试验（图 3d）较好地模拟出了 3 个暴雨中心区，并且模拟位置与实况非常接近。说明，同化云迹风资料对于模拟结果影响比较明显，并且经过合理筛选的云迹风资料的加入，能够较好地修正初始场的不足，改善了模拟结果。

4.1.2 6 小时短时降雨量预报

图 4 中 A、B 区表示 6 小时的两个降雨中心，分别代表闽北福鼎地区、浙南苍南山区。19 日 03 时至 09 时有一场短时暴雨过程，实况（图 4a）6 小时内累积降水达到了 160 mm，整个暴雨区可分为南北两部分，南部是浙南闽北雨区，最大降雨中心位于 A 和 B，另一部分是北部的浙东南雨区。模拟试验（图 4b-d）与实况（图 4a）相比，对于浙东南雨区降水中心模拟效果都不理想。同化经质量控制的模拟试验（图 4d）6 小时降雨量较控制试验（图 4b）更接近实况，同时将 B 雨区位置向南调整，使之与实况更接近，所以同化云迹风资料模拟“海棠”，降雨等级以及位置模拟结果明显提高。

4.1.3 降水 Ts 评分检验

为了进一步比较云迹风同化对降水预报的影响以及云迹风质量控制对模拟结果的改善作用，本文进行 24 小时降水预报 Ts 评分检验。统计中将降雨分为 3 个等级：小雨（ ≥ 0.1 mm）、暴雨（ ≥ 50.0

mm）、特大暴雨（ ≥ 200.0 mm），其中将微量降水赋值 0.1 mm，所以小雨（以上）量级降水 Ts 评分也是对雨带位置及范围预报的衡量标准。Ts 评分选择的站点分布情况，主要针对浙江地区，统计 24 小时降水量中所有时段都存在并且未出现缺测、负值的站点作为此次试验 Ts 评分的样本站点，符合条件的自动站共有 300 个，图 5 是 300 个站点的分布以及 24 小时自动站累计降雨量情况。

Ts 评分公式为：

$$Ts = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c},$$

其中， N_a 表示积分模拟 24 小时在检验区内模拟和实况降雨量都出现在某一降水等级内的站点数，即模拟命中的站数； N_b 表示模拟出现而实况未出现的站点数，即空报的站数； N_c 表示模拟未出现而实况出现的点数，即漏报站数。

表 2 是控制试验、2 个同化试验三组试验 24 小时降水预报 Ts 评分检验。由表 2 可见，同化未经质量控制云迹风资料模拟结果 3 个等级的 Ts 评分都差于控制试验，同化经质量控制云迹风资料后，在控制试验的基础上 3 个等级 Ts 评分都有不同程度的提高，尤其是特大暴雨预报同化试验，Ts 值大于控制试验将近 15 个百分点。可以说明，在这次试验中经质量控制的云迹风资料的加入提供了更多有效的高空风场资料，其中包括了初始场以及常规资料中不能包含的中尺度信息，并集中体现在浙南地区（图 5），所以，同化合理筛选的云迹风资料对于该个例模拟降水提供了非常有价值的信息。

表 2 模拟降水的 Ts 评分

Table 2 Threat scores of rainfall simulations

降水等级	控制试验	未经质量控制同化试验	经质量控制同化试验
0.1 mm	0.858	0.831	0.865
50.0 mm	0.632	0.536	0.654
200.0 mm	0.467	0.458	0.613

4.2 风场预报对比分析

为了客观比较云迹风同化对于“海棠”个例风场模拟结果的影响，我们采用比较通用的方法，对 3 组试验模拟区域内高空风场、地面风场结果，给出预报风场相对于观测风场的统计量，作为风场检验表征量。

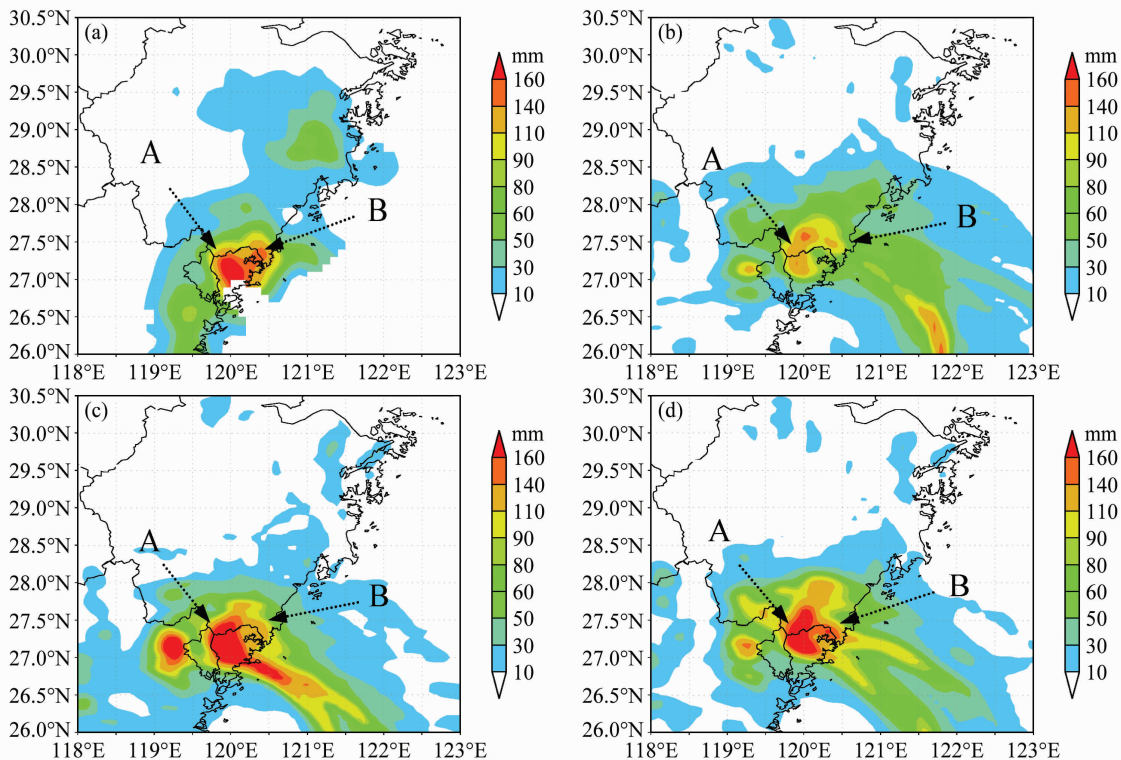


图 4 同图 3, 但为 6 小时累积降雨量: (a) 2005 年 7 月 19 日 03 时至 09 时实况; (b-c) 积分 12 至 36 小时模拟结果
Fig. 4 Same as Fig. 3, but for 6-hour accumulated precipitation: (a) From 0300 LST 18 to 0900 LST 19 Jul 2005; (b-c) for integral hours 19-25

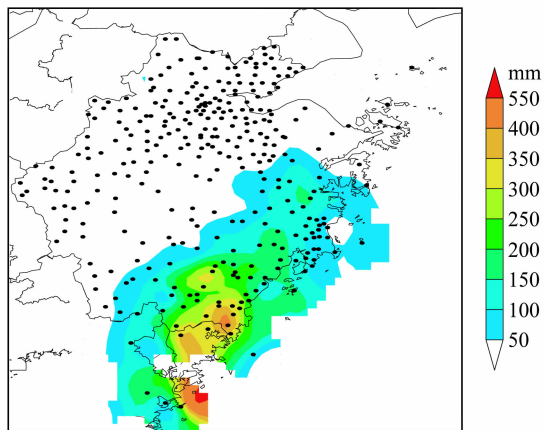


图 5 Ts 评分检验的站点分布和实况 2005 年 7 月 18 日 20 时至 19 日 20 时累积降雨量
Fig. 5 The automatic weather stations in Zhejiang area and 24-hour accumulated precipitation observed from 2000 LST 18 Jul to 2000 LST 19 Jul 2005

4.2.1 高空风场模拟检验

使用 ABJ 报文资料作为观测资料, 选择“海棠”台风影响区域内 8 个沿海站点 18 日 20 时、19 日 08 时、19 日 20 时 3 个时次各测站风速, 并将观测

资料从 850 hPa 到 100 hPa 分为高 (250 ~ 100 hPa)、中 (500 ~ 300 hPa)、低 (850 ~ 700 hPa) 三层; 预报资料采用试验第二重的风场模拟结果, 预报的网格资料通过距离平方反比法插值到选择的站点, 最后进行点对点比较。图 6 是选择的沿海站点分布情况。

由于高、中、低层风速本身的量级不同, 为了方便比较使用相对误差的方差作为检验标准, 表 3 为 3 个试验预报风场的相对误差的方差, 从表 3 中看出, 2 组同化试验预报风场的相对误差方差均小于控制试验, 说明云迹风资料加入都不同程度改善了高空风场, 尤其是低层, 同化未经质量控制试验减小 0.11, 同化经质量控制试验减小 0.15。比较两组同化试验可知, 同化经过处理的云迹风资料模拟结果对风场的改进略好一些。对于此次试验, 总体而言, 同化云迹风资料一定层度上改善了初始场质量, 对于模拟高空风场产生积极的影响, 并且云迹风资料处理对于风场预报也产生了正面影响。云迹风矢一般分布在 200 ~ 400 hPa 高度, 本次试验中云迹风矢分布比例从低层到高层分别是 0%,

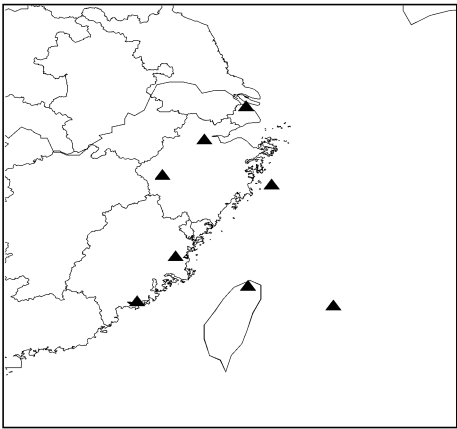


图 6 站点分布 (▲表示选择的站点位置)
Fig. 6 The station positions. ‘▲’ stands for the selected stations

16%，84%，低层分布个数接近零，但低层误差减小了 0.15，说明在此次台风个例试验中，高层的云迹风加入对于低层风场有较明显的影响，云迹风通过改变高层风压场，借高、低层的动量、热量的传递进而影响到了低层系统，至于它是如何由高层影响到低层则有待进一步的研究。另外，试验检验的样本个数也只用 216 个，样本点较少可能存在一定的不确定性，所以，同化云迹风资料对高空风场的影响也需要继续求证。

表 3 同化试验、控制试验风速相对均方根误差
Table 3 Comparison of the wind speed relative rms errors between the control and assimilation tests

高度	控制试验	未经质量控制同化试验	经质量控制同化试验
低层	0.32	0.21	0.17
中层	0.11	0.11	0.07
高层	0.92	0.89	0.85

4.2.2 地面风场模拟检验

地面风场模拟检验分陆面风场与海面风场两个部分，比较云迹风资料对于陆面、海面风场模拟的影响。

陆面风场模拟检验实况资料采用自动站资料 18 日 20 时、19 日 08 时、19 日 20 时三个时段内风速达到 10 m/s 的位于沿海地区的站点作为此次比较的样本资料，模拟陆面风场资料同模拟的高空风场处理方法类似，表 4 是 3 组试验相对实测风场误差的 3 个统计量，本次试验选取了 100 个样本站点

进行统计，从这些统计量中看出，同化试验、控制试验对于地面风场的模拟都不理想，控制试验的相对实况风场平均偏差约 3 m/s，同化试验由于云迹风的加入，绝对误差之和、绝对误差方差都有所减小，但经过质量控制的同化模拟试验较控制试验改善比较明显，说明对于陆面风场的模拟，同化经处理的云迹风资料还是起到一定的正面的影响。

表 4 同化试验、控制试验陆面风场风速统计量
Table 4 Comparison of the surface wind statistics between the control and assimilation tests

	样本 总数	绝对误差 和/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	绝对误差 平均值/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	绝对误差 方差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
控制试验	100	316.23	3.16	11.92
未经质量控制同化试验	100	304.4	3.04	8.19
经质量控制同化试验	100	295.3	2.95	7.82

海面风场模拟检验实况资料使用 JRD 海面风场资料，共计 45 个样本格点作为此次比较的实况资料。下面是 3 组试验相对实况风场的 3 个统计量，从表 5 中看出，3 组试验对于海面风场也是不理想的，控制试验的相对实况风场的平均误差将近 5 m/s，加入未经质量控制云迹风资料，风速平均误差减小到 3.25 m/s，而经质量控制同化试验风场仅减小到 4.2 m/s，当然，这可能由于样本数量较少、所选择的范围以及所选择的个例特殊性等原因造成的，但即使如此，也看出对于海面风场的模拟，云迹风的影响还是比较明显的，同化试验比较来看，云迹风资料的处理对于海上风场的改进较小。

表 5 同化试验、控制试验海面风场风速统计量
Table 5 Comparison of the surface wind statistics between the control and assimilation tests

	样本 总数	绝对误差 和/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	绝对误差 平均值/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	绝对误差 方差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
控制试验	45	213.64	4.75	12.09
未经质量控制同化试验	45	146.14	3.25	8.80
经质量控制同化试验	45	188.93	4.20	11.17

从有限的样本站点统计结果对比，模拟的海面风场误差明显大于陆地，它的绝对误差平均值大于陆地 1 m/s，说明由于海上实测气象资料的缺乏，

则更需要类似于云迹风等卫星导出产品的加入, 以提供更有效的初始场。另外, 试验检验的样本个数较少, 尤其是海上统计样本只有 45 个, 因此, 统计结果也可能存在一定的不确定性。所以, 同化云迹风资料对地面的影响也需要继续求证。

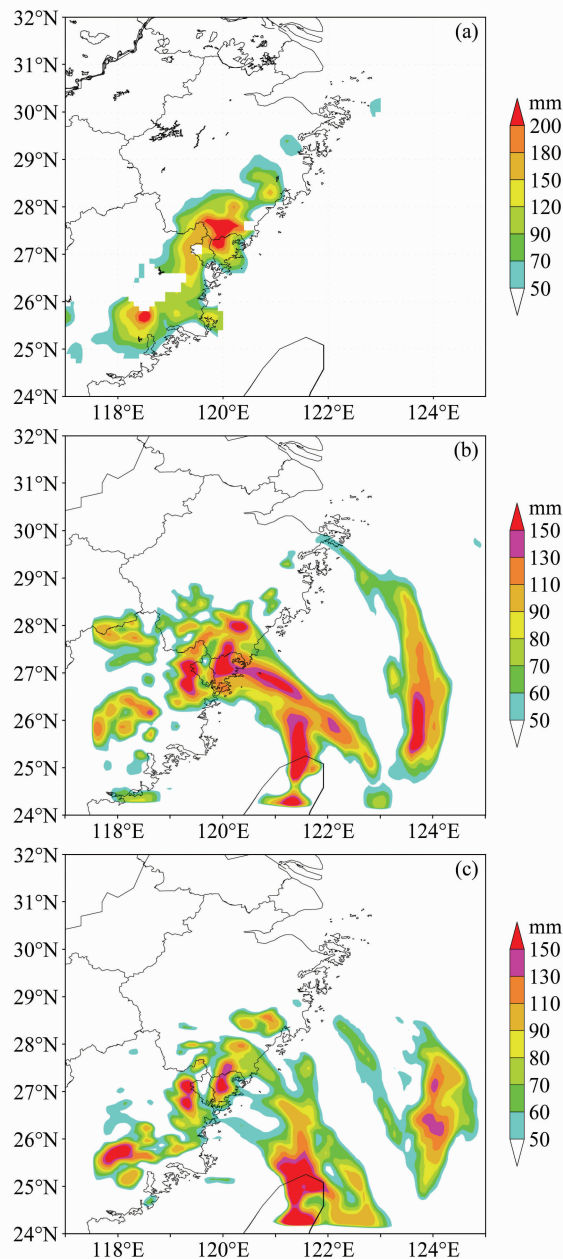


图7 台风“圣帕”24小时累积降雨量(单位: mm): (a) 2007年8月18日20时至19日20时实况; (b) 控制试验; (c) 云迹风经质量控制同化试验模拟结果

Fig. 7 24-hour accumulated precipitation during typhoon Sepat: (a) Observed from 2000 LST 18 Aug to 2000 LST 19 Aug 2007; simulated in (b) control expt, (c) assimilation expt after CDW quality control

5 多个台风的影响试验

为了试验效果, 本文另选与“海棠”降水中心区域类似的两例台风“圣帕”、“桑美”做相同处理, 验证云迹风资料处理以及质量控制方案的可取性。

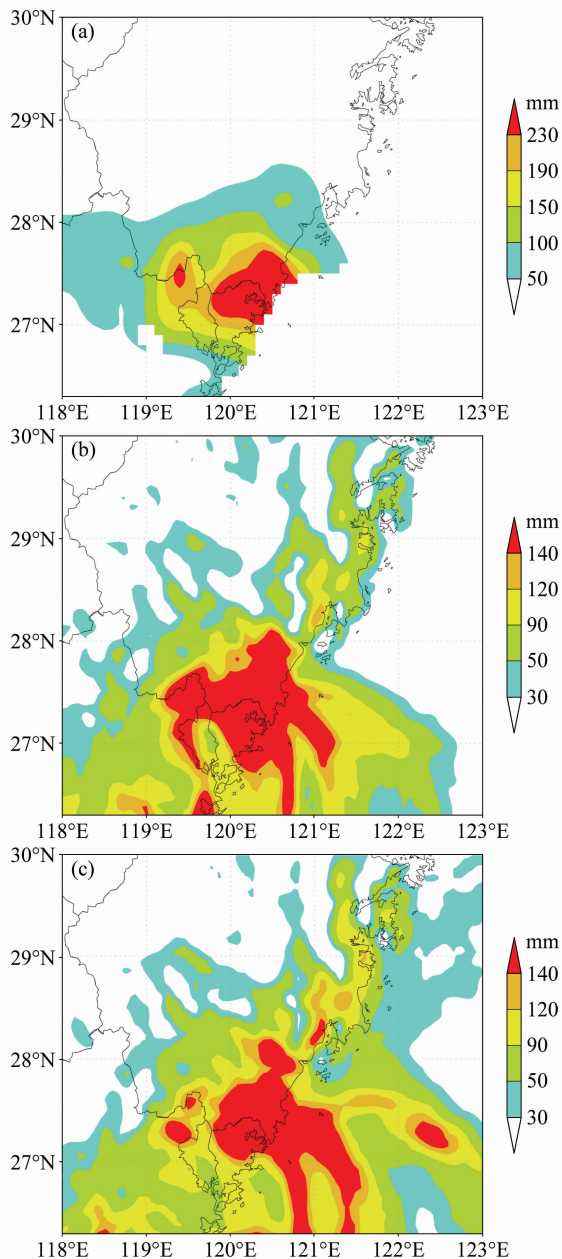


图8 台风“桑美”24小时累积降雨量(单位: mm): (a) 2006年8月10日08时至11日08时实况; (b) 控制试验; (c) 云迹风经质量控制同化试验模拟结果

Fig. 8 24-hour accumulated precipitation during typhoon Saomai: (a) Observed from 0800 LST 10 Aug to 0800 LST 11 Aug 2006; simulated in (b) control expt, (c) assimilation expt after CDW quality control

图 7 给出“圣帕”台风 24 小时累积降雨量的实况和模拟结果的对比。从图 7 中看出同化经质量控制的云迹风资料后(图 7c)北部雁荡山地区降雨落区出现且有所调整,相对控制试验而言有效地衰减了三省交界地区的虚假降雨中心,福建省降水也与实况比较接近,所以同化经质量控制的云迹风资料对于“圣帕”台风 24 小时降雨量的模拟效果比较明显。依然选取浙江地区,做 24 小时累积降水量的 Ts 评分,比较控制试验、同化经质量控制的云迹风资料试验的 Ts 评分情况。达到暴雨等级的 Ts 评分值控制试验为 0.3443,同化经质量控制的同化试验为 0.4382,提高了 9 个百分点,同化经质量控制的云迹风资料对于降水模拟起到积极的作用,说明文中使用的对于云迹风资料处理以及质量控制的方法还是有可取之处的。

图 8 给出的是“桑美”台风 24 小时累积降雨量的实况和模拟结果的对比。从图 8 中看出,控制试验(图 8b)较好地模拟出台风的降水落区,与实况比较接近,同化经质量控制的云迹风资料后(图 8c),有效地衰减了南面福建东部的虚假降雨中心,并对北部降雨落区进行调整。同样选取浙江地区对“桑美”台风 24 小时累积降水量进行 Ts 评分,达到暴雨等级的 Ts 评分值控制试验为 0.3404,同化试验为 0.4043,提高了 6 个百分点,同样说明文中使用的对于云迹风资料处理以及质量控制的方法还是有可取之处的。

6 结论

由于卫星观测技术以及云迹风矢反演中还存在一些问题,风矢资料存在的一些误差,本文通过云迹风资料的高度匹配、通道选择及有限的质量控制对云迹风数据进行处理。其中,高度匹配中主要考虑到与模式同化模块等压层相一致,从而一定程度上避免了高度匹配带来的二次误差;考虑水汽、红外通道云迹风反演风场特点,引入卫星云总量对云迹风矢进行通道选择,使风场更合理;经过通道选择后,将该资料与日本高精度 JRD 风场数据对比,并给出风矢风速和风向删选阈值,比较合理地对比云迹风矢进行筛选,该方法较简便,而效果却比较明显。

与控制试验对比,同化经处理的云迹风资料(主要是集中在高空),较有效地改善了高空风场、

海上地面风场,一定程度上提高了控制试验中模式对于风场描述的能力,使得 24 小时、6 小时等降水预报更接近实况,24 小时 Ts 评分中同化试验表现较显著,尤其是暴雨以及暴雨以上等级的 Ts 评分较控制试验有了一些改进(当然,这一评分还不能完全客观证明),说明“海棠”个例中,云迹风资料的加入提供了更多有效的高空风场资料,尤其补充了初始场以及常规资料中可能不能包含的中尺度信息,所以,同化云迹风资料对于该个例模拟降水提供了非常有价值的信息。

本文对于“海棠”台风为例进行试验和细致对比,通过以上比较的结果,同化云迹风资料有效地改善了初始场质量,对风场模拟、降水预报都有起到积极的影响,说明本试验中对于云迹风资料的处理有较好效果,同时,使用同一套方案对“桑美”、“圣帕”台风进行模拟对比试验,对于模拟效果同样起到了一定的积极作用。通过以上几例位于浙闽沿海登陆的台风并引发沿海地区大暴雨过程的模拟和敏感性试验的检验表明,本文提出的对于云迹风资料的处理方案,具有一定的可取性和合理性。当然,如何恰当地用好云迹风资料还有待进一步检验研究。

致谢 南京大学中尺度灾害天气教育部重点实验室提供了云迹风质量控制的日本再分析数据 JRD 资料,在此表示衷心感谢。

参考文献 (References)

- Allison L J, Cherrix G T, Steranka J, et al. 1972. Meteorological applications of the Nimbus 4 temperature-humidity infrared radiometer, 6, 7 micron channel data [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 53 (6): 526-535.
- 白洁, 王洪庆, 陶祖钰. 1997. GMS 卫星红外云图迹风的反演 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 33 (1): 85-92.
- Bai Jie, Wang Hongqing, Tao Zuyu. 1997. The deriving of cloud motion winds from IR images of GMS [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis (in Chinese), 33 (1): 85-92.
- Bedka K M, Mecikalski J R. 2005. Application of satellite-derived atmospheric motion vectors for estimating mesoscale flows [J]. Notes and Correspondence, 44: 1761-1772.
- 曹文博, 沈桐立. 2007. 卫星云导风资料应用于伴随同化系统的数值试验研究 [J]. 南京气象学院学报, 30 (4): 495-502.
- Cao Wenbo, Shen Tongli. 2007. Application of cloud drift wind data assimilation in MM5 adjoint-model assimilation system [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 30 (4): 495-502.

- 冯业荣. 1999. 云迹风资料在热带气旋移向预报中的应用 [J]. 气象, 25 (12): 11–16. Feng Yerong. 1999. The application of cloud track wind data to the tropical cyclone movement prediction [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 25 (12): 11–16.
- 龚克, 叶大鲁, 葛成辉. 2000. 卫星云图预测的运动矢量方法 [J]. 中国图像图形学报, 5 (A) (4): 349–352. Gong Ke, Ye Dalu, Ge Chenghui. 2000. A method for geostationary meteorological satellite cloud image prediction based on motion vector [J]. Journal of Image and Graphics (in Chinese), 5 (A) (4): 349–352.
- 黄彦斌, 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 [J]. 南京气象学院学报, 26 (5): 668–676. 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]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 26 (5): 668–676.
- Kästner M, Fischer H, Bolle H J. 1980. Wind determination from Nimbus 5 observations in the 6.3 μm water vapour band [J]. J. Appl. Meteor., 19: 409–418.
- Leese J A, Novak C S, Clark B B. 1971. An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation [J]. J. Appl. Meteor., 10: 118–132.
- 李华宏, 王曼, 薛纪善, 等. 2008. FY-2C 云迹风资料在中尺度数值模式中的应用研究 [J]. 气象学报, 66 (1): 50–58. Li Huahong, Wang Man, Xue Jishan, et al. 2008. A study on the application of FY-2C cloud drift wind in a mesoscale numerical model [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (1): 50–58.
- 李宁, 沈桐立, 闵锦忠, 等. 2008. 一次台风登陆过程的变分同化模拟试验 [J]. 气象科学, 28 (3): 244–250. Li Ning, Shen Tongli, Min Jingzhong, et al. 2008. Variational assimilation experiment on landfall of typhoon [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 28 (3): 244–250.
- 李艳兵, 黄思训, 翟景秋. 2009. 卫星反演风场进展概述 [J]. 气象科技, 29 (2): 277–284. Li Yanbing, Huang Sixun, Zhai Jingqiu. 2009. A review of satellite wind retrieval technologies [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 29 (2): 277–284.
- 沈杭锋, 翟国庆, 章元直, 等. 2010a. 应用云迹风资料同化的江南飑线模拟试验 [J]. 浙江大学学报 (理学版), 37 (6): 704–712. Shen Hangfeng, Zhai Guoqing, Zhang Yuanzhi, et al. 2010a. Assimilation study of squall line in the south of Yangtze River using cloud motion wind data [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition) (in Chinese), 37 (6): 704–712.
- 沈杭锋, 翟国庆, 朱补全, 等. 2010b. 浙江沿海中尺度辐合线对飑线发展影响的数值试验 [J]. 大气科学, 34 (6): 1127–1140. Shen Hangfeng, Zhai Guoqing, Zhu Buquan, et al. 2010b. A model study of impact of coastal mesoscale convergence line on development of squall line over Zhejiang Province [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (6): 1127–1140.
- Velden C S, Bedka K M. 2009. Identifying the uncertainty in determining satellite-derived atmospheric motion vector height attribution [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48 (3): 450–463.
- 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 [J]. 气象学报, 63 (3): 351–358. Wang Dongliang, Liang Xudong, Duan Yihong. 2005. Impact of four-dimensional variational data assimilation of the cloud drift wind data on tropical cyclone track numerical forecast [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (3): 351–358.
- 许健民, 张其松. 2006. 卫星风推导和应用综述 [J]. 应用气象学报, 17 (5): 574–582. Xu Jianming, Zhang Qisong. 2006. Status review on atmospheric motion vectors-derivation and application [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 17 (5): 574–582.
- 许健民, 张其松, 王大昌, 等. 1997. 云迹风计算中的两个几何问题 [J]. 应用气象学报, 8 (1): 11–18. Xu Jianming, Zhang Qisong, Wang Dachang, et al. 1997. Two geometrical problems in cloud motion wind algorithm [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 8 (1): 11–18.
- 张守峰, 王诗文. 1999. 应用卫星云导风进行台风路径预报试验 [J]. 热带气象学报, 15 (4): 347–355. Zhang Shoufeng, Wang Shiwen. 1999. Numerical experiments of the prediction of typhoon tracks by using satellite cloud-derived wind [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 15 (4): 347–355.
- 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 [J]. 热带气象学报, 20 (3): 225–236. Zhuang Zhaorong, Xue Jishan. 2004. Assimilation of cloud-derived winds and its impact on typhoon forecast [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 20 (3): 225–236.
- 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 [J]. 气象学报, 60: 309–317. Zhou Bing, Xu Haiming, Wu Guoxiong, et al. 2002. Numerical simulation of CMWDA with its impacting on torrential rain forecast [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 60: 309–317.
- 周玲丽, 翟国庆, 王东法, 等. 2009. 0505 号“海棠”台风暴雨数值模拟试验和分析 [J]. 大气科学, 33 (3): 489–500. Zhou Lingli, Zhai Guoqing, Wang Dongfa, et al. 2009. Numerical simulation and analysis of typhoon Haitang (0505) heavy rainfall [J]. Chinese Journal of Atmosphere Science (in Chinese), 33 (3): 489–500.