

屈右铭,蔡荣辉,朱立娟,等.云分析系统在台风莫拉菲数值模拟中的应用.应用气象学报,2012,23(5):551-561.

云分析系统在台风莫拉菲数值模拟中的应用

屈右铭^{1)*} 蔡荣辉¹⁾ 朱立娟²⁾ 王贵娟³⁾ 王红艳⁴⁾

¹⁾(湖南省气象科学研究所,长沙 410007) ²⁾(国家气象中心,北京 100081)

³⁾(广东省气象局,广州 510080) ⁴⁾(中国气象科学研究院,北京 100081)

摘 要

借鉴美国 CAPS 开发的中尺度 ARPS 模式的资料分析系统 ADAS,设计了基于 GRAPES_Meso 的云分析系统,实现了地面云观测资料、卫星云图、多普勒雷达反射率资料在 GRAPRS 模式中的综合融合应用。通过对登陆台风莫拉菲(0906)数值模拟检验云分析系统的性能。结果表明:云分析系统通过地面云观测资料、卫星红外云图、可见光云图、多普勒雷达反射率的同化,能够反演出合理的三维云覆盖状况;在三维云覆盖的基础上结合云底云顶高度,进而反演出云水、云冰、雨水、雪、霰等云微物理量,并显著改善模式初始湿度场;在台风登陆过程的模拟中,虽然对台风路径的预报有所偏差,但对比控制试验,在台风登陆地点、台风强度、路径的预报中云分析发挥了正作用;通过对云分析后初始场反演的雷达回波进行检验,验证了云分析的可行性与正确性,对整体的降水预报效果也有明显改善。

关键词: 云分析系统;同化;水成物;台风莫拉菲(0906)

引 言

提升中小尺度数值预报模式中湿物理过程分析能力对改善降水预报性能具有重要意义,以往在中小尺度天气系统的模拟中,多采用“冷启动”方式提供初值条件,即在不考虑凝结和潜热释放的情况下,初始场仅包含水平风场、气压场及温度场等信息,使模式通过大气基本方程的积分调整来产生非绝热参数^[1-2],模式必须通过一段时间的运转才能生成云水、云冰等物质,这就造成了降水开始时刻的滞后。目前已发展了一些利用卫星及多普勒天气雷达资料反演大气三维风场、温度场及云微物理场的一些方法,初始时刻就包含了云的微物理场,由此改进了中尺度大气模式积分初始场,提高了数值天气预报的准确率^[3-5]。

近年来,卫星、多普勒天气雷达等非常规资料的应用成为资料同化研究的一个新方向^[6]。Lin 等^[7]

融合各种观测资料,采用 LAPS(Local Analysis and Prediction System),包含对风场、地面场、温度场、云分析场、水汽场的调整,作为预报模式的初始场,提高了分析中尺度天气现象的准确度,明显改善了 0~6 h 的预报。Xue 等^[8]由反射率因子导出初始的云水含量来加湿初始状态,发现同化雷达反射率因子对飚线模拟有较大正影响。Xiao 等^[9]利用 MM5_3DVAR 系统同化韩国雷达资料并模拟台风 Rusa,发现同时同化雷达径向风和反射率因子资料能将台风降水预报的有效影响延长到 12 h。国内学者程兴无等^[10]将处理后的云图资料输入到 MM4 中,对 HUBEX 试验期间的暴雨进行了研究。由于改善了初始湿度场,也取得了较好的模拟效果。徐枝芳等^[11]将雷达、卫星资料通过改变水汽场加入 MM5 中尺度模式中,对湖北东部地区的特大暴雨进行数值模拟,得到了比较理想的结果。李永平等^[12]利用 GRAPES 三维变分资料系统,同化雷达回波强度反演模式大气的雨水混合比,对一次多普勒雷达观测

2011-11-14 收到,2012-07-04 收到再改稿。

资助项目:中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2011Z07),公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006001,GYHY200806003),湖南省气象局重点课题“基于综合气象资料的湖南大暴雨形成机理和预报方法研究”

* E-mail: 5688056@qq.com

数据的个例试验表明,经过变分同化反演后的风暴尺度模式大气的雨水混合比与观测的雷达回波图像的细节相吻合。余贞寿等^[13]将多普勒天气雷达资料引入 ARPS 模式,在对 0414 号台风的模拟中得到了与实况吻合的台风强度与路径预报结果。施丽娟等^[14]利用雷达资料模拟了登陆台风桑美,验证了雷达资料在台风降水结构以及动力、热力结构的通过效果。但基于 GRAPES 模式的雷达反射率同化与云分析系统尚未见到业务试验。

为提升 GRAPES 模式云微物理分析功能,屈右铭等^[15]引进中尺度模式 ARPS(Advanced Regional Prediction System)提供的资料分析系统 ADAS(ARPS Data Analysis System)中的综合云分析过程,设计了基于 GRAPES 区域中尺度模式的云分析系统,将地面报文云观测资料、卫星云图资料和多普勒雷达反射率因子加入到数值模式中。为进一步检验云分析对多种不同类型天气过程的预报性能,本文通过台风莫拉菲(0906)登陆过程的模拟对比试验,对综合云分析过程进行了验证。

1 GRAPES_Meso 的云分析系统简介

1.1 GRAPES_Meso 模式简介

GRAPES_Meso 是 GRAPES(Global and Regional Assimilation and Prediction System)区域中尺度数值预报系统,发布于 2004 年 3 月。其后,GRAPES_Meso 分别在国家气象中心、广州区域气象中心、中国气象局上海台风研究所分别建立了 3 个业务环境试验平台,经过近两年的业务运行,GRAPES_Meso 取得了较好的结果。同时,还针对中尺度观测主要信息来源——雷达资料,开展了中尺度变分资料同化的研究,在技术上为雷达资料在业务上的应用进行了探索和准备。模式采用半隐式半拉格朗日时空分离技术,水平方向采用 Arakawa-C 网格格点,垂直方向采用 Charney-Phillips 非均匀跳层设计。GRAPES_Meso 的核心部分是 GRAPES 预报模式系统包括动力框架以及经过优化和改进的物理过程参数化、三维变分资料同化系统、模式标准初始化系统^[16-17]。

1.2 云分析原理

GRAPES_Meso 云分析系统,主要框架引用自 ARPS 模式 ADAS 中的云分析模块(ADAS 是从美国的 LAPS 模式移植过来,并经改进和优化)。

LAPS 分析系统包括若干个融合部分,分别对雷达、多种探测手段探测的地面资料、廓线仪、飞机报、探空及辐射仪、卫星、GPS 及其他类型的资料来源^[18]。ADAS 云分析设计目的就是融合 GOS(地球观测系统)地面观测的云观测报告,静止气象卫星的红外和可见光图像资料以及雷达的反射率资料等来构建一个三维的云及水成物的分析场,并通过非绝热初始化方案进行热力调整,为模式的预报提供一个更合理的初始场。它基于半经验理论从反射率因子反演热动力和微物理过程,可以对地面云观测、多普勒天气雷达反射率因子以及卫星红外和可见光等多种资料进行三维复杂云分析。它根据云中水汽凝结释放的潜热加热作用调整初始热力场,不仅在有观测资料处补偿探空资料中的水汽不足,对缺乏探空资料之处也非常重要^[19]。

云分析模块的主要分析产品包括三维的云量场、云水及云冰混合比、云及降水类型、结冰严重指数、霰混合比、云底及云顶高度等。详细的云分析原理与模块设计方案在参考文献[2]与[15]中已有说明。

1.3 探测资料分析处理

云分析模块只分析了多普勒天气雷达资料、卫星资料和地面云观测资料,在背景场的基础上利用 3 种观测资料进行三维云分析。

本文所用地面云观测数据为站点数据,由于国内云分层观测只有低云云量与最低云层云底高度,所以将其作为第 1 层的云量和云底高度,直接进入云分析系统;在 ADAS 中原始读取的是卫星云图红外和可见光通道数据,然后转化为云顶亮温和总云量,而本文为减少卫星资料质量控制与反演过程所带来的误差,直接采用的是国家卫星气象中心提供的 FY-2 系列静止卫星产品数据,黑体辐射亮温和总云量均为二维平面数据,只要插值到模式网格点水平网格点上即可;雷达资料为多普勒雷达反射率三维组网数据,将反射率编码转化为反射率因子后插值到模式三维网格点的整层上,在雷达扫描范围内将网格点上的反射率因子值与阈值相比较,如果反射率因子低于阈值,则视为晴空;如果高于阈值,则对该点调整,再通过客观分析将这种局地调整进行空间上的传播,对三维空间上湿度、云水、雨水、冰以及雪、霰等湿度量进行调整^[20-21]。

1.4 GRAPES_Meso 云分析系统框架简介

由于 GRAPES 模式模式网格和坐标系分别采

用 Arakawa C 跳点网格和 Charney-Phillips 跳层设计及高度地形追随坐标,而 ARPS 中采用的是高度地形追随坐标,另外,GRAPES 同化分析采用的是全变量方法,这与 ADAS 中扰动量分析方式不同,而且分析中的控制变量也不同,所以必须先进行格点与变量的转换,如

$$t(i, j, k) = T_p(i, j, k) \times (I_p(i, j, k) + I_p(i, j, k-1)) \times 0.5。 \quad (1)$$

式(1)中, t 为整层温度, T_p 为整层位温, I_p 为半层表示气压相关的 Exner 变量 Π 。

云分析系统是在由 GRAPES_3DVAR 生成的分析场基础上,通过复杂的综合云分析,调整预报场湿度场和水凝物含量,流程包括:①运行模式标准初始化,并通过三维同化常规地面、高空、飞机与船舶报文,得到分析场;②运行云分析系统观测资料预处理模块,依据标准初始化生成的地形资料,对地面云观测信息、卫星云图资料、多普勒雷达资料进行空间插值;③在分析场的基础上利用观测资料开展三维云量分析,对于云覆盖量在给定范围内(本文取 0.2~0.65)的网格点,根据线性关系(详见参考文献[15]),将云覆盖量转化为相对湿度,并通过非绝热初始化方案进行热力调整;④通过可选的 Kessler, Smith, Rogers 等方案^[2,19]反演得到水凝结物含量,生成分析场,更新模式的初始场。

2 个例选取与试验方案

2.1 个例选取

2009 年第 6 号台风莫拉菲 7 月 16 日晚在菲律宾东部近海生成,17 日 11:00(北京时,下同)加强为强热带风暴,18 日凌晨进入南海东北部海面,随后于 05:00 加强为台风。7 月 19 日 05:00 在广东省深圳市沿海登陆,登陆后向西偏北方向移动并逐渐减弱,13:40 从进入广西梧州市苍梧县大坡镇,强度为热带风暴,中心附近最大风力达 8 级($18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$),途经梧州市、贵港市北部、来宾市、河池市南部、百色市。20 日 05:00 进入云南,随后强度逐渐减弱并消失(图 1)。

台风登陆过程(2009 年 7 月 18 日 20:00—19 日 20:00)中,强降水区域主要在广东东部、广西与广东接壤的区域以及广东西部沿海地区,这些区域的 24 h 降水量达到了大暴雨量级,极端大暴雨出现在广东东部沿海地区,特别是茂名市电白站的降水

达到了 287 mm。

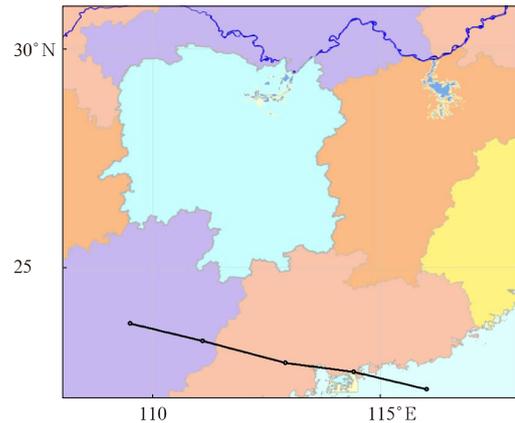


图 1 台风莫拉菲 2009 年 7 月 18 日 20:00—19 日 20:00 路径图

Fig. 1 Typhoon Molave(0906) track from 2000 BT 18 Jul 2009 to 2000 BT 19 Jul 2009

2.2 试验方案

试验模式为 GRAPES_Meso 最新业务版本,微物理过程采用 NCEP-3class 方案,只考虑水汽、云水/云冰(两者归为同一类,依据温度 T 来区分)、雨/雪(依据温度 T 来区分)3 种水物质。模式取华南区域为计算区域,整个计算范围为 $16.5^{\circ} \sim 31.5^{\circ} \text{N}$, $106.5^{\circ} \sim 121.5^{\circ} \text{E}$,模式水平分辨率为 0.15° ,格点数为 100×100 。垂直方向为 σ 坐标,取不等距的 31 层。模式的背景场使用国家气象中心 T213 资料,其格距为 0.5625° ,每 3 h 更新 1 次边界,垂直方向共 17 层,初始场利用 GRAPES_3DVAR 同化了高空报、地面报、飞机报与船舶报观测资料。

本研究设计了两个试验方案,模式启动时间为 2009 年 7 月 18 日 20:00。方案 1 为控制试验,不进行综合云分析;方案 2 为云分析试验,加入了初始时刻的地面云观测信息、华南区域多普勒天气雷达反射率因子三维组网数据、FY-2D 静止卫星云图,直接采用了红外通道反演的黑体辐射亮温(TBB)和可见光通道反演的总云量(CTA)数据,进行综合云分析,加入了云水、雨水等云物理量并更新了初始场后继续运行至 19 日 20:00。

3 结果分析

3.1 观测资料分析

从 18 日 20:15 的 FY-2D 卫星云图(图 2)看,台

风莫拉菲(0906)云系呈不对称结构,密实云系主要出现在台风中心的西南侧,伴随着低的 TBB 值,最小值仅 160 K。台风的螺旋云系及其南侧的西南季风云系基本上覆盖了南海的整个海域。从华南区域多普勒雷达反射率因子三维拼图看,以深圳市为分界点在广东省东部与西部沿海区域存在着较强的雷达回波(图 3),最大雷达回波值达到了 50 dBZ。

3.2 云分析对模式初始场的调整

3.2.1 云量的调整

云覆盖量的调整见图 4,图 4a 为中低层(高度约 4 km)初始云量、图 4b 为云分析后云量。同化地面观测的云信息后,低层的云量显著减少,高层则变化不大。同化卫星资料后,主要调整增加了模式中高层的云量,调整结果与 TBB 分布一致(图略)。由于雷达反射率资料主要在 10 km 以下的中低层,同化多普勒雷达反射率数据后,主要调整增加了模式中低层的云量。云分析系统对初始云量的分布进行了调整,反馈出的密实云系主要出现在台风中心的西南侧,两个多云区主要分布在以深圳市为分隔点的广东省东、西部沿海,这主要是多普勒雷达反射率同化所产生的结果;另外在浙江的北部地区云量增量场也有正值,这主要是卫星资料分析的结果。总

体而言,云分析系统能够得到更优的云量场,三维云分布与观测实况更加吻合。

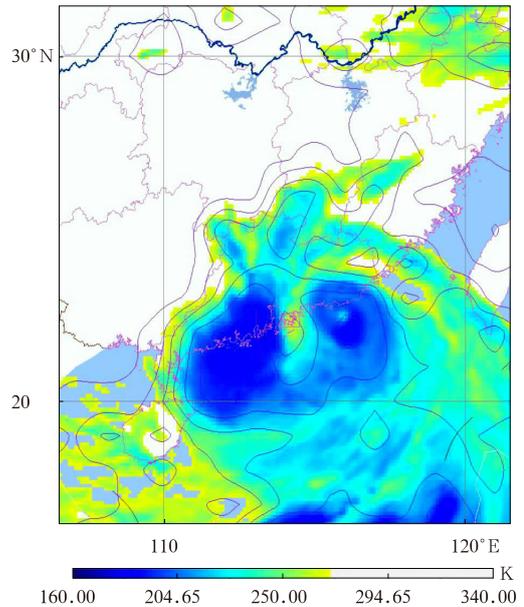


图 2 2009 年 7 月 18 日 20:15

FY-2D TBB 红外云图

Fig. 2 FY-2D image of TBB at

2015 BT 18 Jul 2009

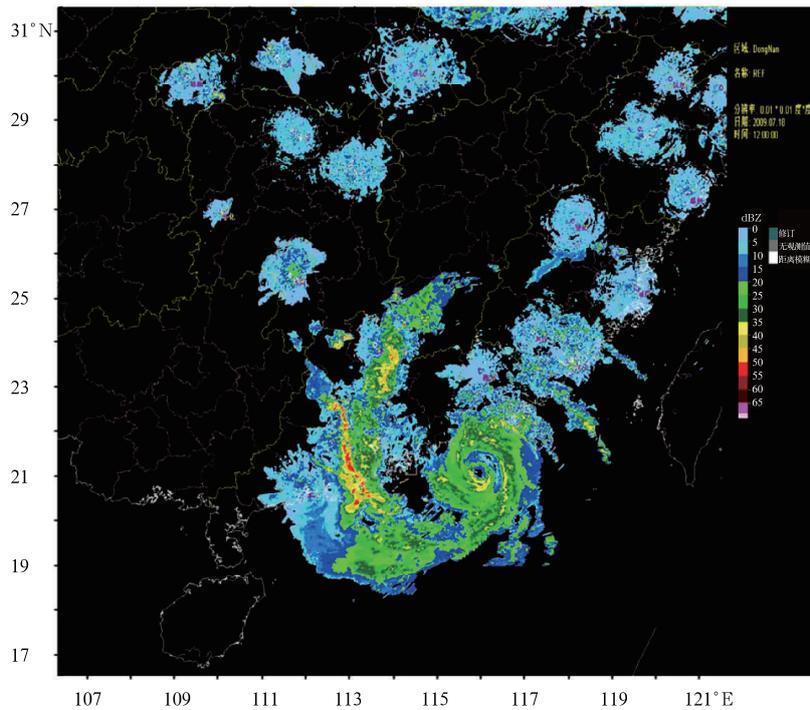


图 3 2009 年 7 月 18 日 20:00 4 km 高度雷达组合反射率因子

Fig. 3 Doppler radar reflectivity of 4 km height at 2000 BT 18 Jul 2009

3.2.2 水成物的调整

由于从 GRAPES 模式中输出的只包含了水汽、

云水、雨水 3 类微粒含量,而云分析还能根据雷达反射率等资料的分布情况获取模式的云量场及云底云

顶高度,分析出云冰和雪水,所以在最终调整时将云水和云冰进行了合并,将雨水和雪水进行了合并,得到最终的增量场。其调整效果与三维云覆盖增量结果一致(图略),云水主要集中在中层 10~20 模式层之间,云冰主要在 20~24 层,数值上分析发现其含

量较大,最大值达到了 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;雨水主要集中在中低层 6~15 层,雪水主要在 12~24 层的中高层(图 5)。且经过分析发现,同化了多普勒雷达反射率后,有水成物生成。

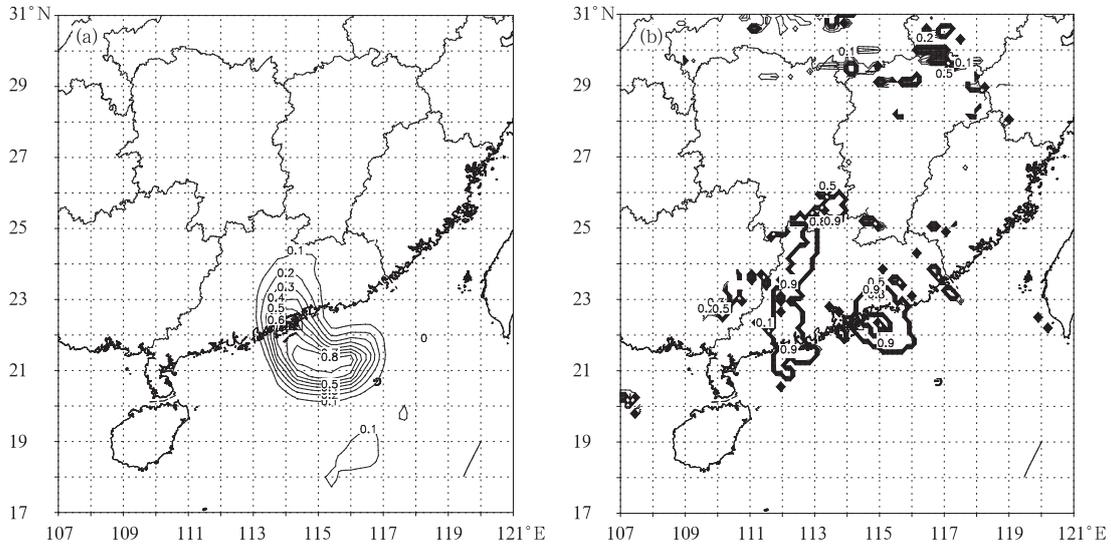


图 4 云分析前后 4 km 高度云量场分布 (a)初始云量, (b)云分析后云量

Fig. 4 The increment of 4 km cloud cover with cloud analysis
(a)the initial cloud cover, (b)cloud cover with cloud analysis

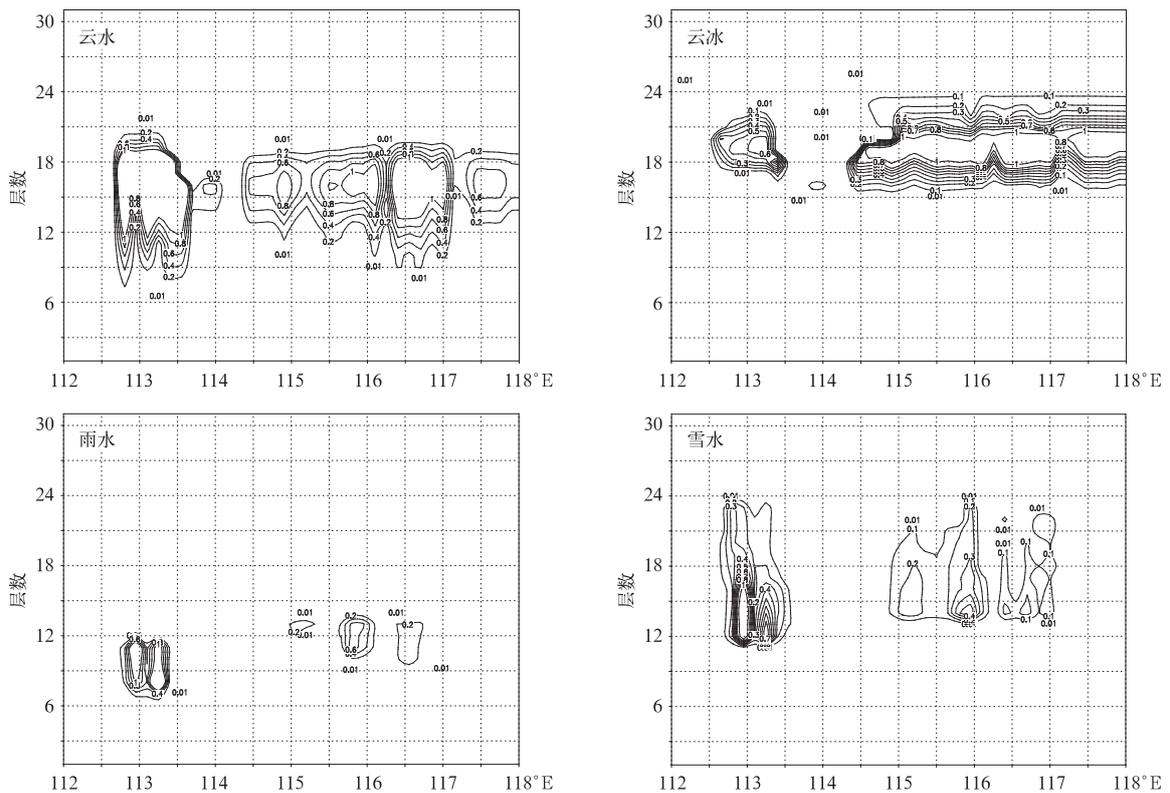


图 5 云分析生成的水成物含量沿 22°N 垂直剖面(单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig. 5 The cross section of moisture contents along 22°N(unit: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

3.2.3 初始湿度场与温度场的调整

云分析系统对初始场相对湿度的调整,所有格点的湿度增量均不小于0,特别是对中高层的调整增量较大,特别同化了卫星红外云图资料对高层相对湿度调整较大,部分区域相对湿度增大了近30%

(图6a);中低层的调整主要是受多普勒雷达同化的影响(图6b)。分析云分析系统对初始场温度场的调整,在中低层温度有增大的效果(图略),但增量值不大,最高达到了0.8 K;中高层的调整范围较小,这主要是多普勒雷达反射率同化所产生的效果。

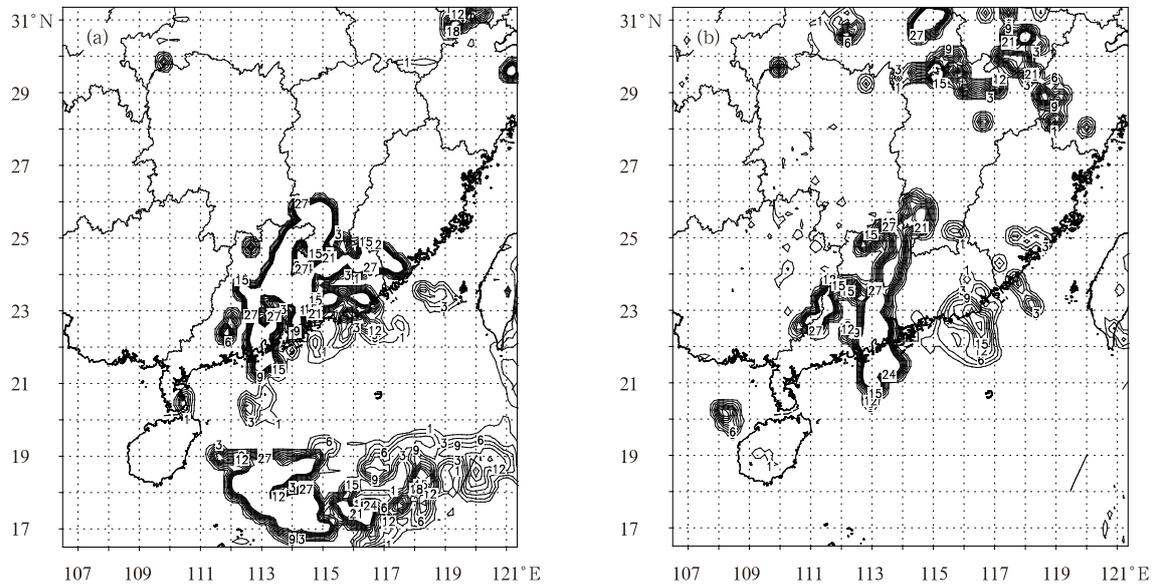


图6 云分析对相对湿度场的调整(单位:%)(a)11.5 km 高度,(b)4 km 高度

Fig. 6 The increment of relative humidity with cloud analysis(unit:%)

(a)the increment at 11.5 km height, (b)the increment at 4 km height

3.2.4 初始回波结构的分析

朱佩君等^[22]指出,地面气象站和雨量站的分布很不均匀,同时测站降水量资料还存在代表性问题,常会影响到模拟结果的检验。雷达资料分布密度比较均匀,而且其空间分辨率高于地面测站的分布,与中尺度模式的空间分辨率较接近。因此,运用雷达资料作为检验的标准可以较好地避免降水量资料的上述问题。本文运用模式输出的水物质所制作组合反射率因子与雷达组合反射率因子资料进行比较来检验云分析对模拟结果的影响。

对比2009年7月18日20:00水成物反演的雷达组合反射率因子(图7)与雷达实际观测图(图3)可以发现,云分析试验能模拟出台风螺旋云带,在台风中心西部存在着成南北方向分布的狭长密实云带,这与实况基本一致。从回波强度来看,最大回波达到了50 dBZ,这也与实况一致,再次验证了云分析对水成物合成的正确性。

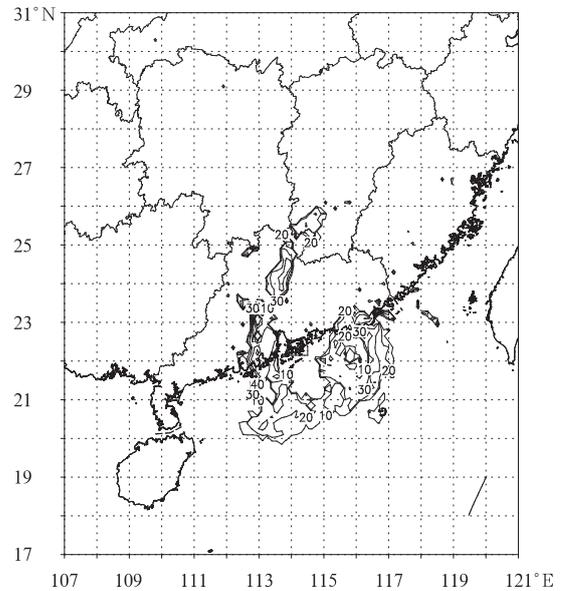


图7 2009年7月18日20:00水成物反演的雷达组合反射率因子(单位:dBZ)

Fig. 7 Radar composite reflectivity inverted from cloud analysis system at 2000 BT 18 Jul 2009(unit: dBZ)

3.3 台风预报结果分析

3.3.1 台风路径与强度预报

将控制试验和同化试验分别做 24 h 预报,从海平面气压分析台风路径(图 8 等值线最小值设为 998 hPa)。

控制试验和云分析试验模拟的台风路径比实况路径均偏东(见台风路径实况图 1),两次试验台风登陆地点均与实况有所偏差,其中控制试验偏东 1.5° ,云分析试验偏东约 0.6° 。

控制试验预报台风前进速度过快,登陆时间提

前了 4 h,云分析试验模拟的台风行进速度与实况接近,登陆时间为 19 日 04:00 左右。

登陆后,控制试验中在 19 日 03:00 后海平面气压 998 hPa 线消失,台风系统完全耗散,云分析试验中台风结构在登陆后还能够继续保持至 19 日 17:00 以后,这与实况更加接近。

整体而言,云分析试验对台风路径有所改进,但与实况相比仍由较大差距,而且对于台风系统的整体结构预报具有显著改善。

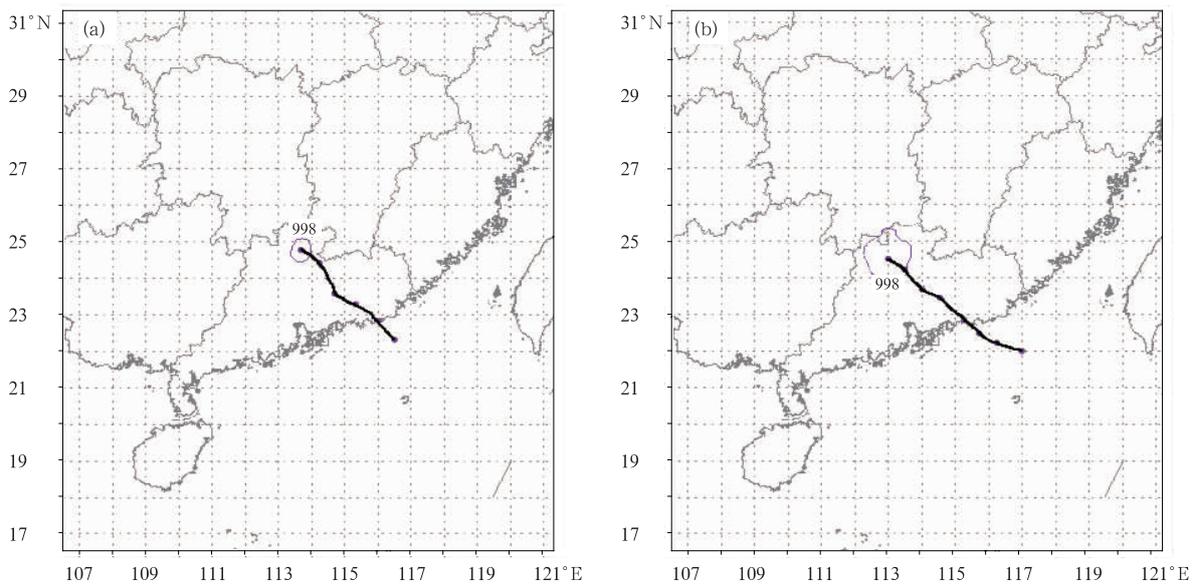


图 8 台风路径(间隔 3 h)与强度(单位:hPa)预报对比图

(a)2009 年 7 月 18 日 20:00—19 日 11:00 控制试验,

(b)2009 年 7 月 18 日 20:00—19 日 17:00 云分析试验

Fig. 8 The comparison of typhoon track(3-hour interval) and intensity(unit:hPa) forecast

(a)control experiment from 2000 BT 18 Jul 2009 to 1100 BT 19 Jul 2009,

(b)experment with cloud analysis from 2000 BT 18 Jul 2009 to 1700 BT 19 Jul 2009

3.3.2 台风回波预报

2009 年 7 月 19 日 20:00 4 km 高度的雷达组合反射率因子见图 9。

对比分析 19 日 20:00 控制试验和云分析试验雷达组合反射率因子预报图(图 10),可知:①控制试验由于在 19 日 11:00 后台风系统衰减很快,所以在此后雷达回波基本消失;云分析试验的台风结构能够维持到预报结束,最后时刻在广西东部与广东西北部仍有较强的雷达回波,最大值接近 30 dBZ。

②云分析试验所产生的雷达回波比实际位置偏北,这主要是受台风路径预报的影响,但是在数值上与实况吻合(图 9)。

总体而言,云分析试验在回波强度以及分布比控制试验更接近实况雷达观测,只是雷达观测回波结构更为精细。用模式大气中的水物质所制作的组合反射率因子不失为一种对模拟结果进行检验的有效手段。

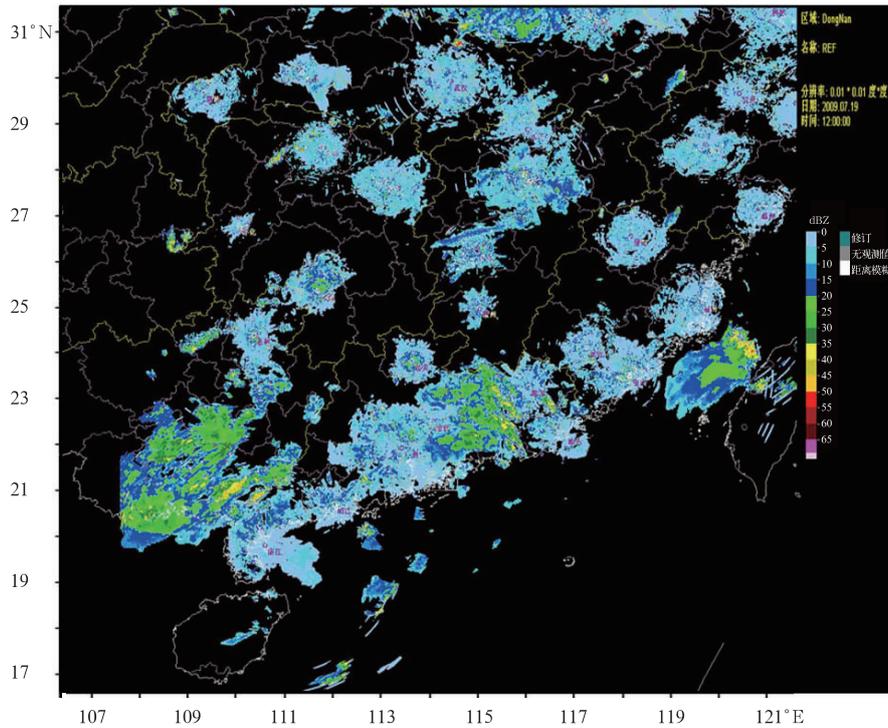


图9 2009年7月19日20:00 4 km高度雷达组合反射率因子图

Fig. 9 Doppler radar reflectivity of 4 km height at 2000 BT 19 Jul 2009

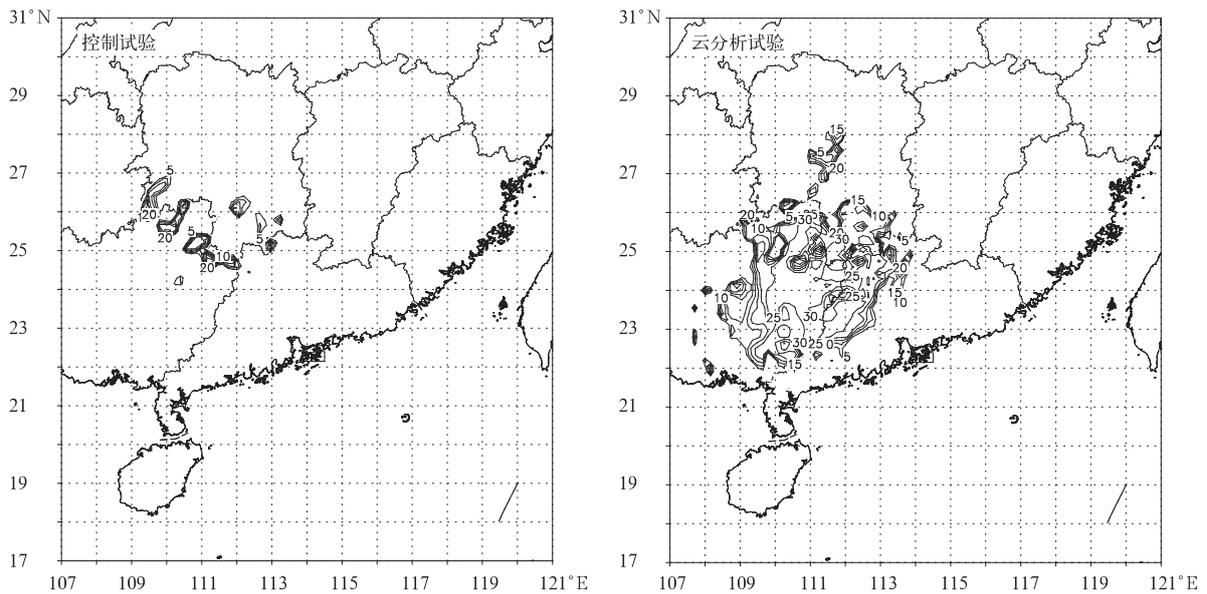


图10 2009年7月19日20:00模式预报雷达组合反射率因子预报图(单位:dBZ)

Fig. 10 The forecast of radar composite reflectivity at 2000 BT 19 Jul 2009(unit:dBZ)

3.3.3 台风降水预报

如前文所述,同化试验改善了初始时刻台风螺旋云带。随着台风登陆并向内陆推进,同化试验的预报降水场依然保持这种明显的中尺度结构。预报场从18日20:00开始经过24 h积分,到次日20:00结束,这一时间段包括此次台风的主要降水过程。

控制试验基本未模拟出一次台风登陆过程的强降水,云分析试验由于增大了初始场的水凝结核含量,所以在预报开始的几个小时就模拟出了暴雨,24 h的降水预报在陆地上的强降水主要集中在广东中西部以及东部沿海地区(图11),这与降水实况的强降水雨带位置有所偏差(主要原因还是由于对

台风路径预报的偏差所致),但在雨量数值上与实况比较接近,最大值达到了 180 mm。

综上所述,同化试验对台风降水预报起到了有效作用,相比控制试验明显地改善了降水的落区、结

构和量级。由前文对初始场各要素的改进分析可知,这种改善正是由于云分析使初始场中湿度、温度和大气中的水凝结物增加,这些因素是预报降水场改进的直接原因。

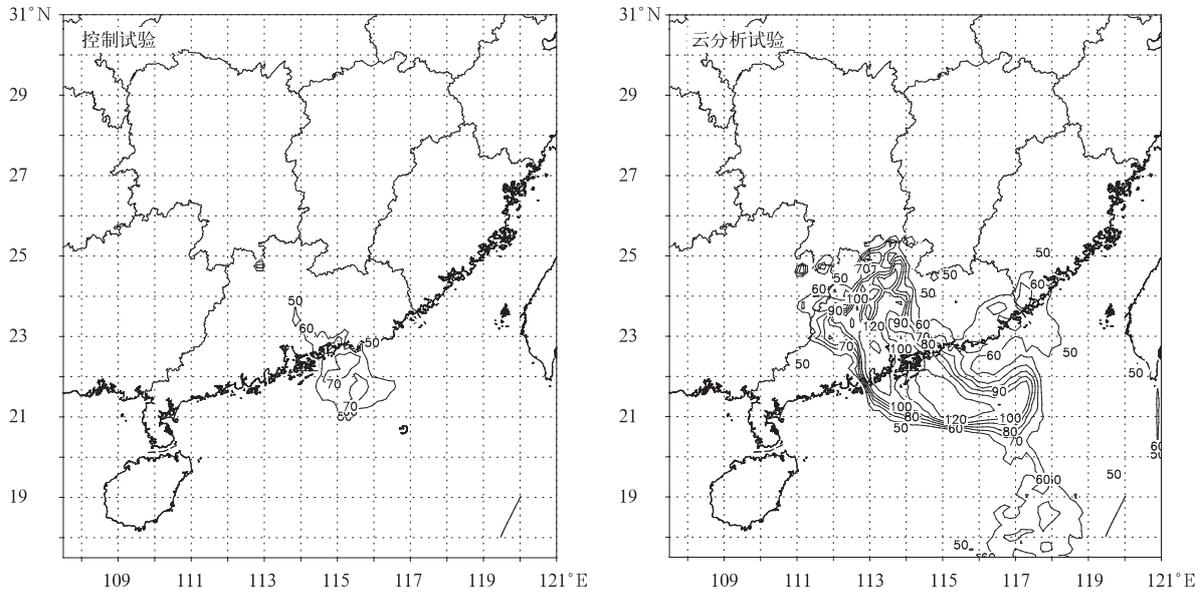


图 11 2009 年 7 月 18 日 20:00—19 日 20:00 24 h 降水预报(只绘制了暴雨以上量级的降水,单位:mm)

Fig. 11 24 h precipitation forecast from 2000 BT 18 Jul 2009 to 2000 BT 19 Jul 2009

(precipitation no less than 50 mm are given only, unit:mm)

4 小 结

本文通过对登陆台风莫拉菲(0906)的模拟,检验了基于 GRAPES_Meso 的云分析系统对地面观测云信息、卫星红外和可见光资料以及多普勒雷达反射率数据的综合同化能力,通过模拟试验,得到如下结论:

1) 云分析系统通过地面云观测资料、卫星红外云图、可见光云图、多普勒雷达反射率的同化,能够反演出合理的云覆盖状况,在此基础上结合云底、云顶高度,进而反演出云水、云冰、雨水、雪、霰等云微物理量,并明显改善模式初始湿度场。

2) 在台风登陆过程的模拟中,虽然对台风路径的预报有所偏差,但对比控制试验,在台风行进速度、强度、降水预报等方面云分析均发挥了正作用,通过对云分析后初始场反演的雷达回波进行检验,验证了云分析的可行性与正确性。

3) 在模拟出三维云状后,结合多普勒雷达反射率反演云水、云冰、雨水、雪、霰等云微物理量,云分

析系统对路径与登陆地点、登陆时间预报的改进,主要是云分析使台风云系内具有较大的增量,且水凝结物含量大大增加,所以在预报的前几个小时对台风系统产生拖曳作用,减缓了台风系统的移动。

4) 为减少模式初始变量在半层与整层的转换时反复插值所引入的系统误差,系统只对整层的相对湿度、温度、水汽混合比进行更新,而对气压场和风场半层的变量未进行调整,这必将影响模式变量间的适应性,将会降低 GRAPES 云分析系统对于模式预报性能的改善。

云分析系统对模式的动力场调整极为有限。在本次个例试验中直接导致对台风路径的模拟预报效果欠佳,如何在气压场、风场的调整与反复插值的误差之间找到最佳平衡是下一步研究的重要内容。

参 考 文 献

- [1] Donner L J. An initialization for cumulus convection in numerical weather prediction models. *Mon Wea Rev*, 1988, 116:377-385.
- [2] 王瑾,刘黎平. CINRAD/CD 雷达反射率因子同化对中尺度数值模式云微物理量场调整的分析. *高原气象*, 2009, 28

- (1):173-185.
- [3] 孙晶,楼小凤,胡志晋,等. CAMS 复杂云微物理方案与 GRAPES 模式耦合的数值试验. 应用气象学报, 2008, 19(3):315-325.
- [4] 陈德辉,杨学胜,张红亮,等. 多尺度非静力通用模式框架的设计策略. 应用气象学报, 2003, 14(4): 452-461.
- [5] 楼小凤,胡志晋,王鹏云,等. 中尺度模式云降水物理方案介绍. 应用气象学报, 2003, 14(增刊):49-59.
- [6] 刘红亚,徐海明,胡志晋,等. 雷达反射率因子在中尺度云分辨模式初始化中的应用 I:云微物理量和垂直速度的反演. 气象学报, 2007, 65(6):896-905.
- [7] Lin Y P, Ray P S, Johnson K W. Initialization of a modeled convective storm using Doppler radar derived fields. *Mon Wea Rev*, 1993, 121: 2757-2775.
- [8] Xue M, Wang D, Hou D, et al. Prediction of the 7 May 1995 Squall Line over the Central US with Intermittent Data Assimilation. 12th Conf on Numerical Weather Prediction, Phoenix, AZ, Amer Meteor Soc, 1998: 191-194.
- [9] Xiao Qingnong, Kuo Y-H, Sun J, et al. Assimilation of Doppler Radar Observations and Its Impacts on Forecasting of the Land-falling typhoon Rusa(2002) //Proceeding of the Third European Conference on Radar Meteorology (ERAD) Together with the COST 717 Final Seminar, 2004: 178-182.
- [10] 程兴无,梁树献,徐慧,等. HUBEX 期间暴雨模拟研究. 气候与环境研究, 2001, 6(2):186-190.
- [11] 徐枝芳,徐玉貌,葛文忠. 雷达和卫星资料在中尺度模式中的初步应用. 气象科学, 2002, 22(2):167-174.
- [12] 李永平,朱国富,薛纪善. 应用雷达回波强度资料反演大气云微物理量. 气象学报, 2004, 62(6):814-820.
- [13] 余贞寿,廖胜石,黄克慧,等. 0414 号台风“云娜”的数值模拟. 气象学报, 2005, 63(6):903-914.
- [14] 施丽娟,许小峰,李柏,等. 雷达资料在登陆台风“桑美”数值模拟中的应用. 应用气象学报, 2009, 20(3): 257-266.
- [15] 屈右铭,陆维松,蔡荣辉,等. GRAPES-Meso 云分析系统的设计与试验. 气象, 2010, 36(10):38-46.
- [16] 伍湘君,金之雁,黄丽萍,等. GRAPES 模式软件框架与实现. 应用气象学报, 2005, 16(4):539-546.
- [17] 孙晶,楼小凤,胡志晋,等. CAMS 复杂云微物理方案与 GRAPES 模式耦合的数值试验. 应用气象学报, 2008, 9(3): 315-325.
- [18] 李红莉,张兵,陈波. 局地分析和预报系统(LAPS)及其应用. 气象科技, 2008, 36(1):20-24.
- [19] Zhang J, Carr F H, Brewster K. ADAS Cloud Analysis. 12th Conference on Numerical Weather Prediction. Phoenix, Amer Meteor Soc, 1998: 185-188.
- [20] [2005-07-05]. <http://www.caps.ou.edu/ARPS/ARPS5DOC/ADAS500.pdf>.
- [21] Xue Ming, Droegemeier K K. ARPS User's Guide (Version410). Center for Analysis and Prediction of Storms, 1995.
- [22] 朱佩君,陈敏,陶祖钰,等. 登陆台风 Winnie(1997)的数值模拟研究 I:结果检验和云系的模拟. 气象学报, 2002, 60(5): 553-559.

Application of Cloud Analysis System to Typhoon Molave Simulation

Qu Youming¹⁾ Cai Ronghui¹⁾ Zhu Lijuan²⁾ Wang Guijuan³⁾ Wang Hongyan⁴⁾

¹⁾ (*Hunan Institute of Meteorological Science, Changsha 410007*)

²⁾ (*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

³⁾ (*Guangdong Meteorological Service, Guangzhou 510080*)

⁴⁾ (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

The moist physical processes (mutual transformation of water substance), cloud and rain formation, and corresponding dynamic and thermal effect on precipitation forecast is important for the meso-scale and micro-scale numerical weather prediction model. In order to improve the cloud microphysical parameterization of GRAPES_Meso model, the surface cloud observation data, satellite image and Doppler radar reflectivity are analyzed, and the GRAPES Cloud Analysis System is developed referring to ARPS model and ARPS Data Analysis System (ADAS).

The progress and principle of cloud analysis in meso-scale numerical weather prediction model is described at first, and then the technical feasibility of leading cloud analysis into GRAPES_Meso model is analyzed, based on which the cloud analysis module is designed. There are several monomial sub-modules in the GCAS (GRAPES Cloud Analysis System) such as the observation pre-treatment sub-module, 3D cloud cover analysis sub-module, humidity and moisture contents filed analysis sub-module. The special pre-treatment process has been designed for domestic observation data. The GRAPES Cloud Analysis System is developed for the first time which is based on LAPS (Local Analysis and Prediction System) cloud analysis program and referring to ARPS model and ADAS. The adjustment of the 3D cloud cover and initial field and cloud water and hydrometeors is analyzed when surface cloud observation data, satellite image and Doppler radar reflectivity is assimilated in the GRAPES_Meso. The performance of the GRAPES Cloud Analysis System is inspected by the simulation of the landing Typhoon Molave(0906). First, the distribution of 3D cloud cover is retrieved from the cloud analysis system. Second, the cloud water and hydrometeors is produced quickly based on the 3D cloud cover and the height of cloud top and bottom, also, the initial field is adjusted. Third, the forecast of typhoon track in the simulation has a little error, however, the cloud analysis system has displayed positive effects on typhoon landing sites and typhoon track and intensity forecasting compared to the controlled experiment. Finally, the feasibility and correctness of cloud analysis is verified by analysing the radar reflectivity derived from cloud analysis system, indicating the performance of total precipitation forecast is improved obviously.

The feasibility of Cloud Analysis System and the assimilating capability are discussed. The System is suitable for operational run for its low computation cost and hot-swap support. Further more, there are some questions which deserve to be more widely debated, for example, Cloud Analysis System should match with the model, region and resolution. The quality control of Doppler radar reflectivity factor data, coordination between initial moist thermal and dynamic field are also very important.

Key words: Cloud Analysis System; assimilation; moisture contents; Typhoon Molave(0906)