

2013Nian Weixing Yaogan Yingyong
Jishu Jiaoliu Lunwenji

2013年 卫星遥感应用技术 交流论文集

杨军 / 主编

014035567

TP72-53
01
2013

2013 年 卫 星 遥 感 应用技术交流论文集

杨 军 主编



 气象出版社
China Meteorological Press



北航

C1722802

TP72-53

01

2013

内 容 简 介

本书内容包括卫星资料在数值天气预报、暴雨、台风、降雪、中尺度天气分析、自然灾害监测等领域的应用,卫星资料处理和产品开发等方面的技术总结和讨论。这些内容对进一步推动和提高我国卫星资料特别是风云卫星资料的应用具有重要的指导意义。

本书对从事气象和环境卫星遥感资料应用分析的业务、科技和管理人员,特别是气象业务第一线的业务技术人员有很高的参考价值,对有关院校的教学、科研工作也具有一定的参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

2013年卫星遥感应用技术交流论文集/杨军主编.

—北京:气象出版社,2014.4

ISBN 978-7-5029-5891-6

I. ①2… II. ①杨… III. ①卫星遥感-文集 IV. ①TP72-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 032192 号

2013年卫星遥感应用技术交流论文集

杨 军 主编

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

电 话:总编室:010-68407112,发行部:010-68409198

责任编辑:李太宇 袁信轩

终 审:周诗健

封面设计:博雅思企划

责任技编:吴庭芳

印 刷 者:北京地大天成印务有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:10

字 数:256 千字

版 次:2014 年 4 月第 1 版

印 次:2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价:70.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

《2013 年卫星遥感应用技术交流论文集》

编 委 会

主 编 杨 军

编 委 (按姓氏笔画排列)

王 瑾	方 萌	田翠英	吕擎擎	任素玲
刘 健	李莹莹	李福良	张甲坤	张洪政
陆文杰	陆其峰	蒋建莹	覃丹宇	

序

作为气象卫星发展中一项基础性工作,卫星遥感应用是使大量卫星观测数据“落地生根”,体现气象卫星的效益。2010年《气象卫星应用发展专项规划(2010—2015年)》实施以来,气象卫星资料在气象业务服务以及科研中的应用得以持续拓展、深入推进,对气象预报预测、防灾减灾、应对气候变化和生态文明建设的支撑作用逐步增强,效果明显。

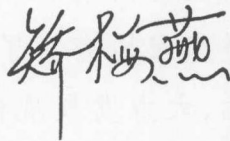
我们高兴地看到,2013年卫星遥感应用工作又获可喜进展。气象卫星天气预报应用平台(SWAP)和遥感监测分析应用平台(SMART)在全国推广应用,有力地促进了省级气象部门卫星资料应用能力和效益的提高;风云二号卫星每6分钟一次的高频次区域加密观测,助力中央气象台台风路径预报水平再上新台阶,在提升汛期气象服务能力和水平上贡献突出;风云三号卫星雾霾监测产品在提供雾霾分布和传输过程分析决策服务中大显身手,提高了环境气象的监测服务能力;风云二号卫星定标业务系统的改进完善,显著优化了卫星定量产品质量。

可以说,气象卫星遥感应用工作已经进入了一个良性发展的阶段。卫星观测能力的改善,卫星数据和产品质量的提升,为深入广泛开展气象卫星遥感应用夯实了基础。但是,我们也必须认识到,在全面推进气象现代化、大力发展现代气象业务的新形势下,提高卫星遥感的应用能力和应用水平,特别是提高卫星资料的数据质量、定量化应用水平以及在数值预报等核心业务中的应用能力等,依然是我们面临的艰巨任务,需要我们付出更多的努力。

提高卫星资料应用水平,要靠卫星应用队伍素质的不断提升,有赖

于卫星遥感应用与科研的有效互动,更离不开相关技术的深入交流。在中国气象局局长郑国光的具体推动下,从 2010 年开始,由国家卫星气象中心和中国气象局预报与网络司联合牵头,每年度组织一次卫星遥感应用技术交流会,到今年已经是第四届了。本届交流会以卫星资料在天气分析与数值预报中应用为专题进行研讨,交流的针对性和目的性更加明确,效果更加凸显。纵观交流论文,不难发现,其内容紧密结合业务应用,特别是定量分析的水平明显提高,较为全面地体现了卫星资料在天气分析与数值预报业务中应用的特点和进展,其中不乏观点新颖、研究深入的好论文。值得注意的是,来自地、市一级气象业务技术人员的交流论文数量明显增加,从一个侧面反映卫星遥感应用及科研不断向纵深延伸。

一年一度的技术交流会既搭建了一个业务技术交流的平台,也成为卫星资料应用技术发展进步的展示平台。四年来的实践表明,这样的技术交流会对于提高卫星遥感应用水平、推动卫星遥感科研成果的业务应用和成果辐射起到了积极的推动作用。在此,我对 2013 年卫星遥感应用技术交流会的组织和承办单位以及为论文集出版付出辛勤劳动的同志们表示衷心的感谢,并希望,全国气象卫星遥感应用技术交流会能够持之以恒,越办越好,为更好地发挥风云气象卫星应用效益,进一步推进我国现代气象业务发展贡献更大力量。



(中国气象局副局长)

2014 年 3 月于北京

前 言

为促进卫星遥感应用技术交流,推进卫星资料在气象预报预测业务中的应用,提高卫星遥感对气象现代化的支撑能力,2013年4月,中国气象局预报与网络司、国家卫星气象中心和内蒙古自治区气象局在内蒙古呼和浩特市组织召开了“2013年全国卫星应用技术交流会暨卫星天气应用平台技术研讨会”。本次交流会共收到来自全国31个省级气象部门和4个局直属业务单位110篇论文,经专家筛选有56篇论文做大会交流,其中10篇交流论文获大会优秀论文奖。

本次交流会的主题是卫星资料在数值预报和天气分析中的应用,交流内容主要包括卫星资料在数值预报模式和台风、暴雨以及降雪、大雾、沙尘等天气分析业务中的应用,均为业务一线人员对卫星资料在实际业务中应用情况的总结和提炼,较全面地反映了卫星遥感尤其是风云卫星在天气分析和数值预报模式业务中的应用现状与进展,对卫星资料在气象业务中的应用具有很强的指导意义。为进一步体现技术交流的成效,使更多遥感应用工作者受益,特从本次会议交流论文中精选部分论文编辑出版。

本次会议的成功召开和论文集的出版,得到了中国气象局有关职能司、各省(自治区、直辖市)气象局和气象出版社的大力支持与通力合作。特别是论文编审组专家给每篇入选论文提出了宝贵的修改意见,为文集顺利出版付出了辛勤的劳动,借此机会,对上述单位和个人以及所有论文作者一并表示感谢!

杨 军

2014年3月

目 录

序

前言

GRAPES 卫星资料应用进展	张 华 黄 静 龚建东 等(1)
“7·21”山西北部区域性大暴雨成因分析	杨 东 苗爱梅 李帅帅 等(9)
2011 年 8 月中旬一次强降雨的卫星资料特征分析	陈瑞敏 康文英 王荣英 等(16)
FY-2E 多通道观测资料特征及其在一次强对流天气中的应用	曹治强(27)
FY-2 静止卫星资料揭示的冰雹天气云系特征	蓝 渝 郑永光 林隐静 等(37)
高光谱大气红外探测仪(AIRS)数据在强对流天气预报中的应用试验	
.....	刘 辉 寿亦莹(43)
与对流层高层反气旋有关的强降水卫星图像特征	任素玲 许健民 蒋建莹(53)
利用 AMSU 气旋相空间产品分析热带气旋结构特征	方哲卿 黄宁立(67)
两例伴有干侵入的中尺度对流强降水过程分析	宋林军 侯宜广 吕 翔 等(75)
宁夏“7·29”大暴雨中尺度诊断分析	贾宏元 刘鹏兵 田 风(84)
卫星水汽图像上两次暴雨过程的干、湿特征对比分析	蒋建莹 汪悦国(90)
卫星资料在一次季风槽暴雨中的应用	汪悦国 蒋建莹 黄小丹(97)
一种引发长江中游区域性暴雨的云系特征分析	韦惠红 徐丽娅(104)
两次叶状云生消过程的卫星图像特征与环流关系	李 云(110)
星载 FY-3B/MWRI 资料反演台风降水结构的应用研究	杨何群 俞 玮 尹 球(118)
台风“达维”影响辽宁暴雨的云图演变特征及成因浅析	
.....	阎 琦 陆井龙 田 莉 等(126)
山西省降雪天气的云系分型及其发展原因	赵桂香 张运鹏 张朝明(136)

GRAPES 卫星资料应用进展^①

张 华 黄 静 龚建东 李 娟

刘 艳 刘桂青 韩 威

(中国气象局数值预报中心, 北京 100081)

摘 要:近年来我国数值天气预报业务虽然取得了长足的进步,但是与欧美等发达国家相比还存在较大的差距,特别是在资料同化分析技术和卫星资料应用方面。为了缩短我国与发达国家在业务数值预报领域之间的差距,我们根据发达国家业务中心的应用经验并结合我国的实际情况,开展了 FY-3、METOP、NOAA 系列的 ATOVS 类辐射率资料和高光谱大气红外探测器 AIRS 资料, GPS 掩星资料,风云导风等资料的技术开发。初步解决了资料质量控制,同化分析中云检测、通道选择、稀疏化、偏差订正等关键技术问题,实现了这些资料在 GRAPES 模式中的应用。同时,我们还进行了变分偏差订正、高阶递归滤波方案及多尺度滤波器、变分质量控制等新技术的研发。目前 FY-3、NOAA-19、AIRS 及 FY-2E 导风资料已基本具备业务应用的能力,其他新增资料和新技术也已取得初步成功。

关键词:卫星辐射率资料; GRAPES 全球预报模式; 资料同化

1 引言

随着数值天气预报模式的不断完善,对初始场质量的要求也在不断提高。由于气象卫星可进行全球覆盖探测,卫星资料在天气和气候分析预报中的作用愈来愈受到重视。特别是在三维和四维变分同化系统中采用直接同化卫星辐射资料的方法后,其对全球天气预报的作用已经得到了肯定。

由中国气象局数值预报中心研发的新一代数值预报系统 GRAPES(Global/Regional Assimilation and Prediction System)采用三维变分同化技术,调用的辐射传输模式采用欧洲中期数值预报中心(ECMWF)开发的辐射传输模式 RTTOV(薛纪善等,2008)。GRAPES-3DVar 系统可以直接同化 ATOVS、高光谱 AIRS 及 GPS 等多种卫星资料。然而每种卫星资料都有其自身特点,对应的同化关键技术也有很大不同,下面详细对各类卫星资料在 GRAPES-3DVar 中的应用进展进行阐述。

2 极轨卫星 ATOVS 类(FY-3, NOAA-18/19, METOP)微波辐射率资料开发

微波辐射率资料受云的影响相对较小,其在数值预报中发挥了很大的作用。ECMWF 等

^① 行业专项(GYHY201206002)资助。

第一作者:张华,主要从事资料同化研究。E-mail: zhangh@cma.gov.cn

通讯作者:黄静,主要从事资料同化研究。E-mail: huangj@cma.gov.cn

业务中心已经通过试验证明,微波温度计(AMSUA)资料对数值预报的贡献最大。我国 GRAPES-3DVar 中也是最先开展了对 ATOVS 类资料的研发,已能同化 NOAA15-17 的微波辐射率资料。近几年 NOAA-18/19 及 METOP 卫星相继发射成功,我们也对这些资料的偏差订正、质量控制、稀疏化处理、观测误差协方差估计等关键技术进行了开发,已用于 GRAPES 准业务系统中。

FY-3A 卫星是我国自主研发的气象卫星,其资料同化应用的核心技术问题是资料的观测算子和质量控制问题。在前期已经建立的可以直接同化风云三号卫星资料的 GRAPES 全球三维变分同化系统基础上,对 FY-3A MWTS 资料的应用技术进行了改进。首先,卫星中心发现了 FY-3A 的 MWTS 观测资料存在频点漂移的问题,并按照新的频率重新统计了 RTTOV-7 的 MWTS 的透过率系数,该系数应用到全球 GRAPES 系统,提高了观测资料精度;其次,针对该观测资料对偏差订正系数重新进行了统计;再次,分析对比了卫星中心提供的利用 VIRR 的可见光和红外通道开发的云检测产品,并与 MSPPS 的 METOP AMSUA 的云水产品比较,说明该云检测方法可以识别大部分的降水云,与传统的卫星亮温观测与模式模拟之差(O-B)大于 3 K 的方法比较,说明 VIRR 的云检测产品识别的降水云更为准确;最后,利用双权重方法对 MWTS 资料做了质量控制,双权重质量控制可以剔除 O-B 较大的数据。经过质量控制和偏差订正后,数据偏差明显减小,分布更加均匀,高斯正态分布的特征更为明显(图 1)。2010 年 2 月 19 日—4 月 27 日连续试验表明,FY-3A 的 MWTS 资料的直接同化可以提高全球 GRAPES 系统的分析效果,主要表现在南半球和东亚高层有一定改善。

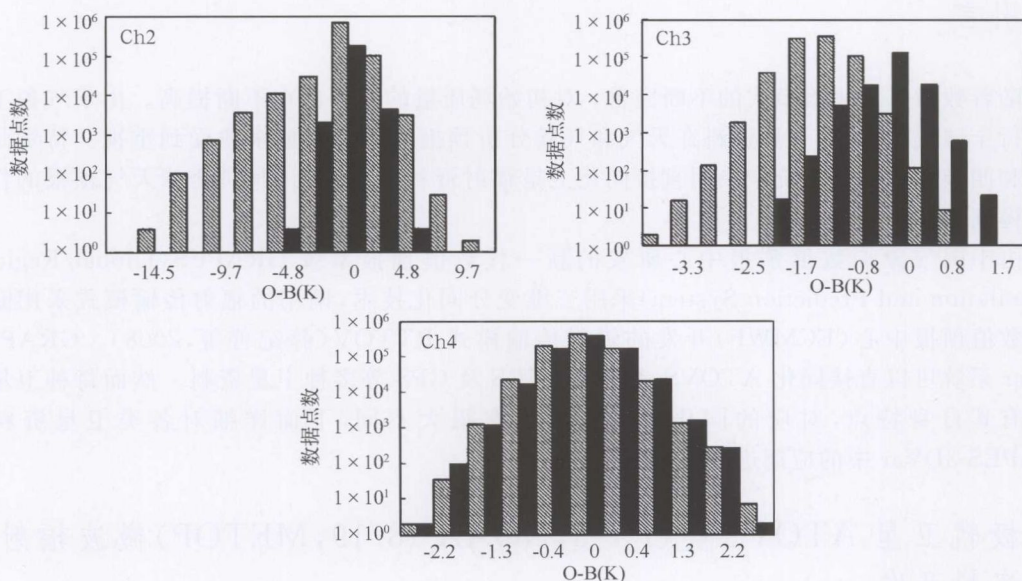


图1 FY-3A MWTS 2,3,4 通道经过质量控制和偏差订正后(黑色),卫星亮温观测与模式模拟数据之差(O-B)数据的分布,较质量控制前(灰色),数据质量明显改善

3 风云 FY-2E 云导风资料

国家卫星气象中心在云导风生成环节,改善风云二号卫星红外和水汽通道数据在低温端的定标误差,改善不透明云顶红外、水汽关系的辐射传递算法。将半透明云红外、水汽关系的亮温拟合改为能量拟合。改善了不透明云顶理论温度与半透明云拟合能量交点的计算方法,并改善了水汽风的高度指定,用对运动做出贡献的像元进行高度指定。并研究提高反演过程中的逐级质量控制算法,风场质量有了较大的提高。

数值中心应用 MISR 三年的资料(2008—2010 年)对 FY-2E 全球云导风资料的质量进行了初步评估,结果显示 FY-2E 红外云导风资料有了较大改进, *QI* 指标有较好的指示意义,但 500~700 hPa 的云导风资料需要进一步分析原因(图 2)。

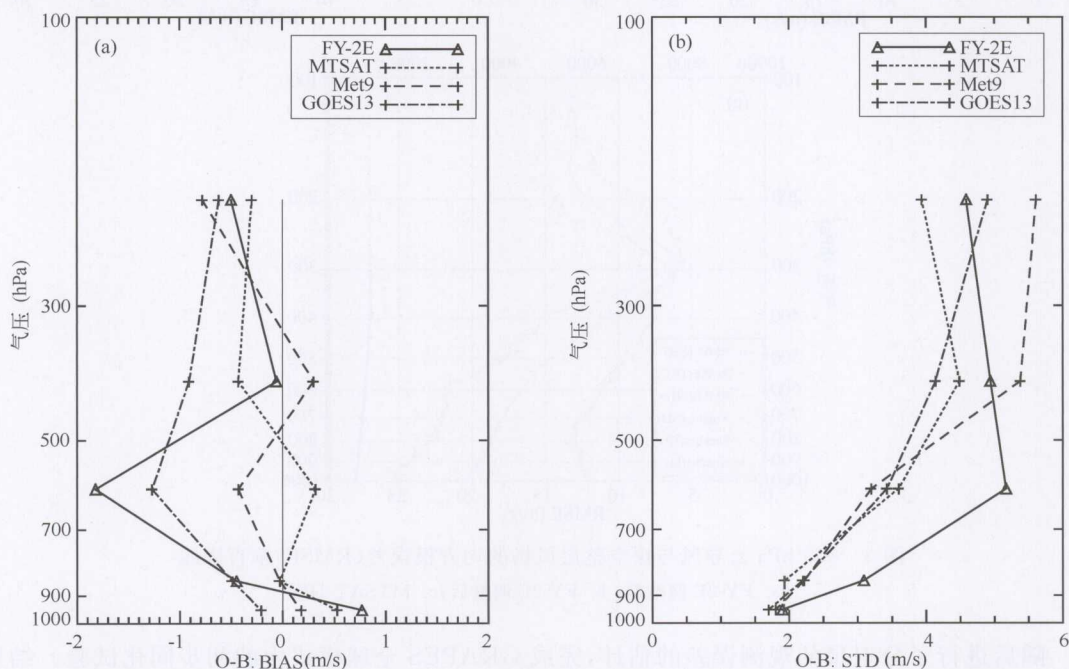


图2 2011年5月份FY-2E、MTSAT、METEOSAT9及GOES13质量指数 QI 大于85的红外云导风资料O-B的偏差(a)和标准差(b)统计结果,其中数值预报背景场使用的是中国气象局T639中期业务数值天气模式的6小时预报场

数值预报中心针对FY-2E云导风的资料特点,发展了一个基于背景场信息,对云导风做高度调整的变分订正方案。对2010年5月至8月四个月每天00Z和12Z两个时次的云导风资料进行了高度调整工作,图3给出了300 hPa云导风与探空整层风场的均方根误差(RMSE)垂直廓线,如果该层的云导风高度是准确的,那么和探空资料相对应层次的风速相比,求出的均方根误差将是最小的,这在均方根误差垂直廓线图上表现为该层出现一个极小值,理想情况下极小值两侧的曲线应该非常陡。高度订正前均方根误差最小值并不出现在300 hPa且其两侧曲率很小,订正后FY2E云导风高度精度明显提高,与MTSAT-1R接近。

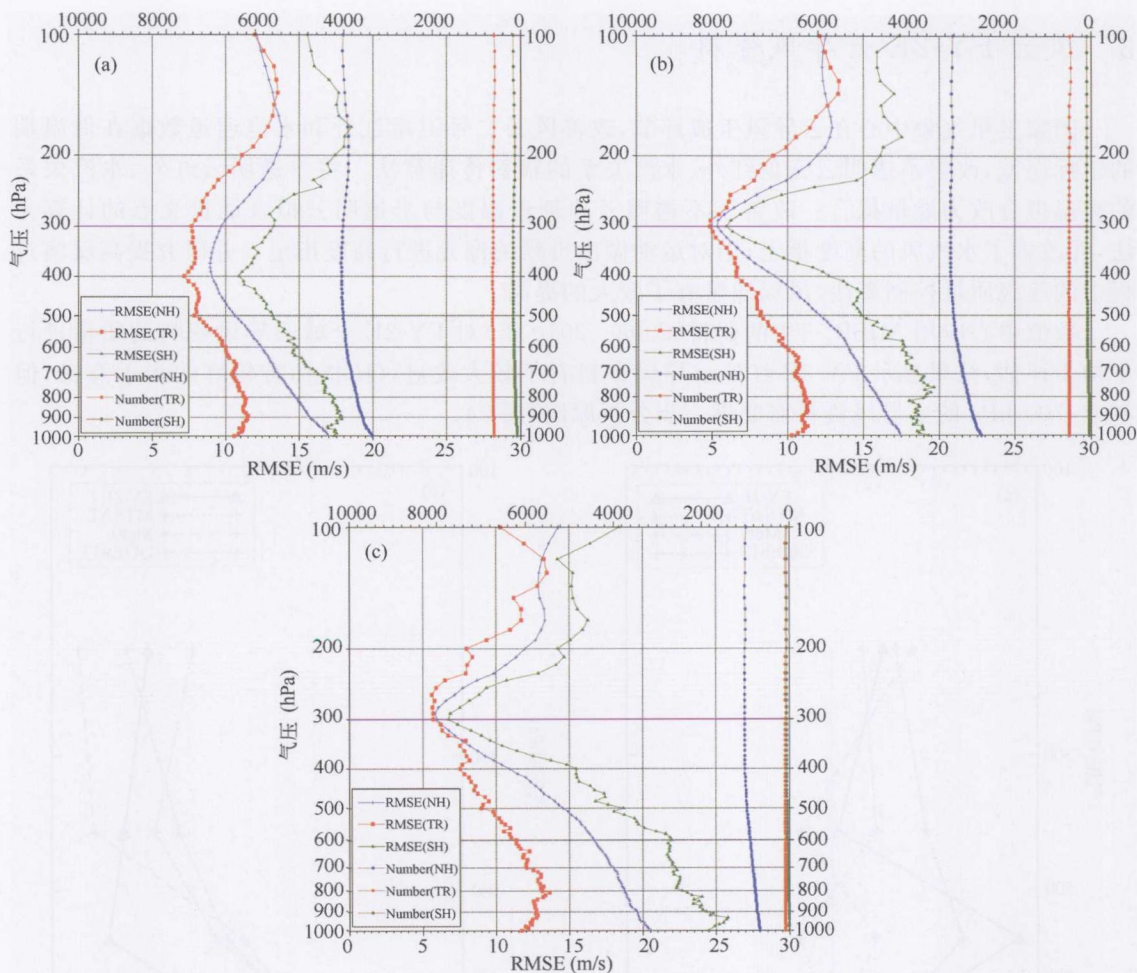


图3 300 hPa 云导风与探空整层风场的均方根误差(RMSE)垂直廓线

(a. FY-2E 调整前; b. FY-2E 调整后; c. MTSAT-1R)

随后进行了分卫星的观测误差的估计,完成 GRAPES 全球模式中的初步同化试验。结果表明,在只有常规资料和 COSMIC 掩星观测资料的情况下,云导风对全球中期预报有正贡献,同时云导风的高度调整,对全球中期预报也有正贡献。

4 高光谱大气红外探测(AIRS、IASI)辐射率资料

4.1 AIRS 同化关键技术

AIRS 是一个扫描探测器,其光谱分辨率高于 1200,辐射精度优于 0.2 K,真正实现了高光谱高精度探测。我们通过对云检测、质量控制、通道选择、稀疏化处理、观测误差协方差估计等关键技术的开发和应用,建立了可以直接同化 AIRS 辐射率资料的 GRAPES 全球三维变分同化/数值预报模式系统。

4.1.1 云检测方法

借鉴 Goldberg(2003)的云检测思想,通过 AIRS 通道和相应微波通道的经验组合来进行云检测,此云检测方案的优点是不需要对通道进行偏差订正,并且除背景场海表温度,不依赖于大气的先验信息,是一个快速简单的云检测方案。此外,将其原来 NESDIS-Goldberg 的三个云检测步骤改为七个云检测步骤,其中海洋表面四个,陆地表面三个,并选择最优的阈值。2006 年 6 月 30 日的个例试验表明,该云检测方案较原方案可以更有效地检测出受到云污染的视场,晴空视场占到总视场的 10.1%。

4.1.2 偏差订正

最初参考 McNally 等(2006)的偏差订正方案,采用一个简化的全球平均偏差订正值,这种方案简单易行但没有充分考虑某些通道的偏差分布随纬度变化的特点及某些通道的偏差分布不对称(即偏态分布)问题。为此发展了一个新的偏差订正方案,将全球按纬度分为九个区域来分别订正,采用“mode”方法来统计偏差订正系数,而不是用算术平均值,并动态更新偏差订正系数。经试验,新方案明显优于原方案,尤其改善了中低层的分析场。图 4 是 AIRS 同化的影响试验,结果表明,增加同化 AIRS 资料后,能使南半球分析的均方根误差、偏差明显减小,北半球表现出中性效果。

4.1.3 通道选择

由于高光谱大气红外探测器(AIRS)通道很多,通道之间很容易存在极强的相关性。针对这点,提出了基于主分量累计影响系数的通道选择方法。首先,考虑到数据传输可能出现的错误,同化模式 GRAPES-3DVAR 的适应性和计算资源,对 2378 个通道的实际观测亮温进行初步的质量控制。然后对质量控制后的观测亮温进行主成分分析,得到每个通道对主分量的累计影响系数,根据累计影响系数的大小,进行通道排序,得到入选的通道子集。同化降水个例表明,该方法用于通道选择是可行的。

4.2 IASI 同化技术

4.2.1 云检测

目前 GRAPES 同化系统仅使用晴空卫星资料,即一旦确定有云就剔除该视场全部通道,导致大量数据被废弃。针对 IASI 资料的特征,借鉴 McNally 等(2003)云检测方案,对各类云进行分辨,确定云顶高度,对各通道资料做质量标记。经过云检测,高层基本不受云的影响,中层次之,地面晴空资料最少,结果是合理的。该方案也为有云区域卫星资料的应用奠定了良好的基础。

4.2.2 通道选择

IASI 资料有 8461 个通道,必须进行通道选择。基于主成分—逐步回归通道选择方法,同时考虑了信息量、相关性、模式分层和主观经验。为了达到全局最优并兼顾局部,如模式中上层或中下层信息,使用分区的思想,采用主成分—双区逐步回归法进行通道选择。进行温、湿度廓线反演的试验表明,主成分—逐步回归法用于通道选择是可行的。

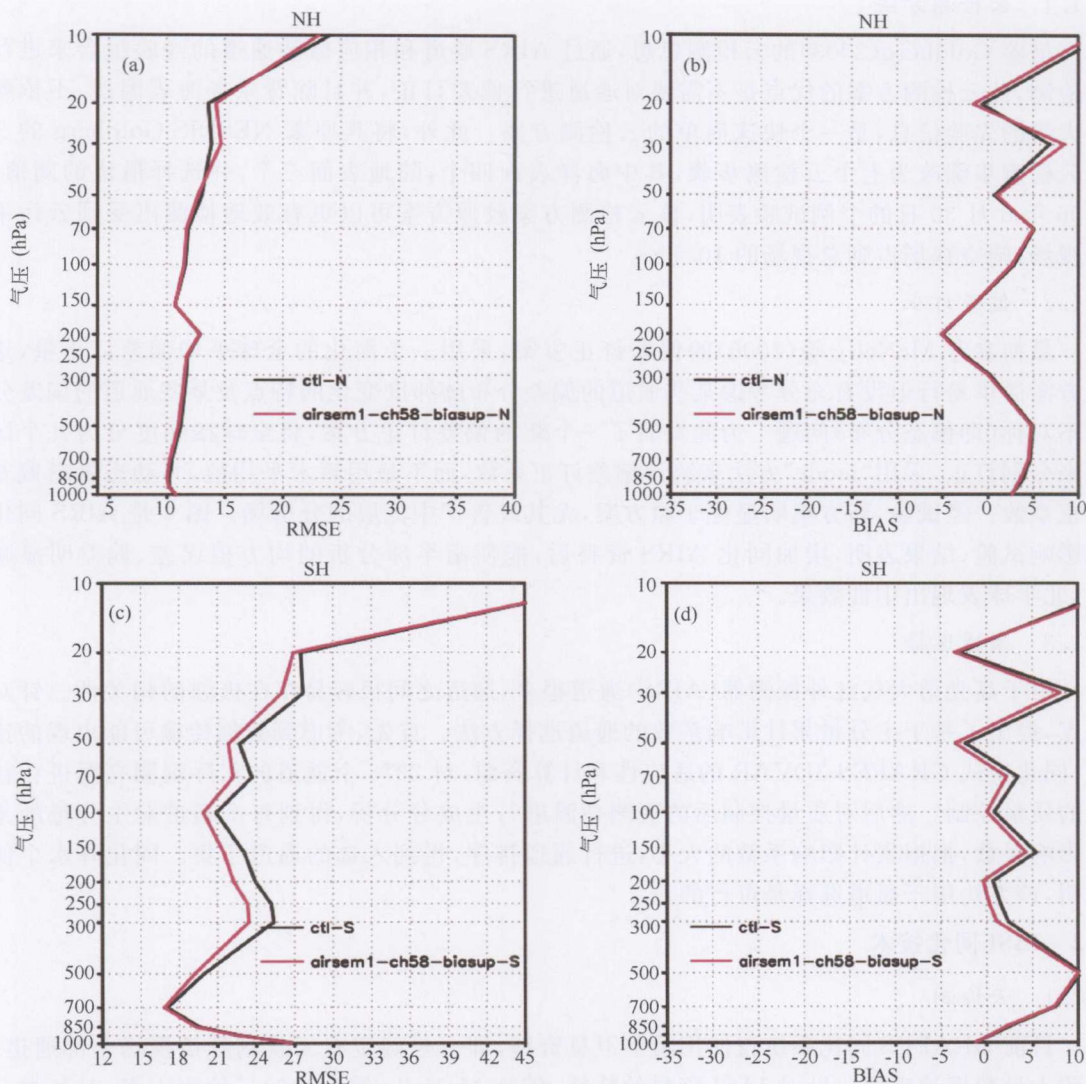


图4 与 NCEP 分析对比的月平均均方根误差(RMSE)及偏差(BIAS)垂直分布
(黑线 ctl:控制试验;红线 airsem1-ch58-biasup:控制试验+同化 airsem1 资料)

5 GPS COSMIC 掩星资料同化

GPS COSMIC 掩星资料的使用主要解决资料质量控制和稀疏化问题。质量控制主要是去掉具有超折射现象的观测资料。根据法国气象局的标准,对 GPS/RO 资料自身物理属性进行检查。在资料粗查的基础上,用双权重平均值和双权重标准差剔除离群资料。质量控制后, GPS 掩星资料的质量有所改善。最后进行资料的垂直和水平稀疏化。GRAPES 全球同化系统中有无 GPS 掩星资料的一个月的连续循环试验表明, GPS 掩星资料同化后显著地改善了全球分析效果,尤其是南半球,其他各层次与 500 hPa 的统计结果相似。

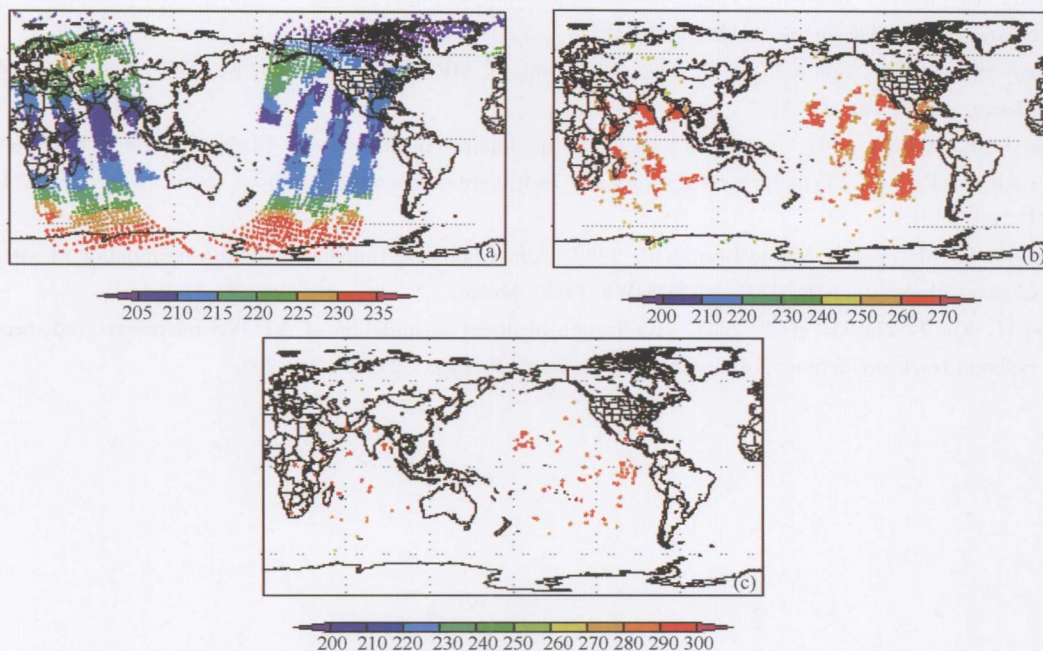


图5 云检测效果。其中:a. 波长 $14.5 \mu\text{m}^{-1}$ 权重函数的峰值在 100 hPa;b. 波长 $13.5 \mu\text{m}^{-1}$ 权重函数的峰值在 600 hPa;c. 波长 $11.0 \mu\text{m}^{-1}$ 权重函数的峰值在地表

6 总结

数值预报中心利用自主研发的 GRAPES 全球预报模式在卫星资料同化方面取得了很大进步,目前已可以直接同化 NOAA15-18 及 METOP 的微波辐射率资料;红外高光谱 AIRS 资料;GPS COSMIC 掩星等资料。另外,FY-3 微波辐射率、FY-2E 云导风、NOAA19 资料也已基本具备业务应用的能力。FY-3B 的 MWTS 和 MWHS,高光谱 IASI 资料已完成主要研发,下一步工作是完善偏差订正、云检测、通道选择、稀疏化处理、观测误差协方差估计等关键同化技术。对 GPS RO 资料将建立一个综合考虑物理、统计和模式特性的综合质量控制系统,完善掩星资料同化的观测算子,提高计算精度。

参考文献

- 薛纪善,陈德辉. 2008. 数值预报系统 GRAPES 的科学设计与应用. 北京:科学出版社.
- Dee D. 2006. Bias and data assimilation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131**: 3323-3343.
- Goldberg M, Qu Y. 2003. AIRS near-real-time products and algorithms in support of operational numerical weather prediction, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **41**(2):379-388.
- Harris B A, Kelly G. 2001. A satellite radiance-bias correction scheme for data assimilation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **127**: 1453-1468.
- Liu Z, Zhang F, Wu X et al. 2007. A regional ATOVS radiance bias correction scheme for radiance assimilation. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), **65**(1): 113-123.

“7·21”山西北部区域性大暴雨成因分析^①

杨 东¹ 苗爱梅¹ 李帅帅² 薄燕青¹

(1. 山西省气象台, 太原 030006; 2. 山西省气象局财务核算中心, 太原 030006)

摘 要:应用常规气象观测资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料和卫星云图分辨率相当黑体亮温(TBB)资料,对2012年7月20—21日山西北部大暴雨过程的成因进行了分析。结果表明:此次区域性大暴雨过程发生在阻塞高压稳定维持以及副高进退的环流背景下;200 hPa高空辐散场的长时间维持促使了上升运动的加强,有利于强降水的持续;700 hPa低涡切变线是大暴雨产生的主要影响系统,其生成加强了低层的辐合和高空的辐散;低空西南急流的建立和维持为大暴雨的产生提供了源源不断的水汽和能量条件;降水前期不稳定能量的聚集为大暴雨的产生积累了能量,有利于大暴雨区的对流不稳定发展;副高边缘 β 中尺度对流云团的不断生成、发展与合并,导致强降水的产生,大暴雨出现在对流云团的东南侧。

关键词:区域性大暴雨;影响系统;成因分析

1 引言

山西地形复杂,全省山脉沟壑交错,地形起伏异常显著。特殊的地形与不同尺度的天气系统相互作用,使得山西降水具有突发性强、时空分布极不均匀的特点(赵桂香等,2008)。2012年7月20—21日,山西北部出现了区域大暴雨天气过程,其范围和强度之大,为历史之罕见。此次强降水造成了较大的人民财产损失和人员伤亡。对于暴雨过程许多专家已经做了细致研究,另外有些专家也针对山西暴雨做了探讨,赵桂香等指出,副热带高压进退是山西出现大范围暴雨的典型天气形势;苗爱梅等研究了不同预报模型中、低空急流与大暴雨落区的关系(苗爱梅等,1997,2010)。这些研究成果对暴雨的预报有非常重要的意义。但是针对山西大暴雨的成因探讨还很少,影响山西大暴雨形成的因素还需要细致分析。本文利用NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料和卫星云图分辨率相当黑体亮温(TBB)资料,试图对大暴雨过程前后的环流背景、要素和形势的配置进行分析,并对一些物理量进行诊断,以揭示山西大暴雨形成的原因。

2 降水概况

2012年7月20日20时—21日20时(北京时,下同),受副热带高压进退影响,山西省北部出现区域性暴雨和大暴雨天气,24 h降水量介于0.1~268.1 mm之间(见图1a)。其中,20个县市、159个乡镇出现了暴雨,5个县市、33个乡镇降水量在100 mm以上。大暴雨主要出

^① 资助项目:2013年中国气象局预报员专项“2012年相似环流背景下山西暴雨过程对比分析”;山西省气象局青年基金课题“现代监测资料及中尺度分析在天气预报中的应用”