卫星资料四维同化关键技术研发与系统建立

一、项目介绍

项目针对立项时我国业务 GRAPES 全球四维变分同化（4DVar）与国际先进同化技术相比，在同化卫星资料占比、使用随天气流型变化的背景误差信息、全球分析水平分辨率这三个国际上度量全球大气分析主要技术指标有较大差距的现状，通过研发团队三年联合科技攻关，突破了复杂下垫面卫星低层通道同化和描述随天气流型变化的背景误差信息应用的关键技术瓶颈，建立了全球 GRAPES 集合四维变分同化（En-4DVar）同化系统，有效使用随天气流型变化的背景误差信息，实现同化卫星资料占比从 65%提高到 85%以上，风云卫星占比从立项时的 6%提高到 20%以上，全球分析水平分辨率从 25 公里提高到 10 公里，实现与国际先进全球同化技术水平并跑。项目成果在国家气象中心业务环境下实现近实时应用示范。

二、项目成果

项目首次研发了基于多光谱探测数据的三维微波降水检测方法，微波温度计（MWTS）对流层中高层通道可同化资料量提高 100%以上；研发基于光学路径追踪的辐射传输计算方法，从辐射传输机理解释了卫星天顶角订正的物理机制并提出了解决方案。研发的复杂下垫面微波表面发射率反演算

法，在高原、沙漠和冰雪等复杂下垫面上实现了微波温度计低层通道直接同化；突破了国际首台静止卫星红外高光谱 GIIRS 水汽通道同化难题，达到国际领先水平；研发了基于真实带宽响应的风云卫星 118GHz 微波观测算子，为国际首创。

项目采用自主可控的降维投影四维变分(DRP-4DVar)技术为 4DVar 提供高质量的流依赖集合背景误差协方差，提高同化分析质量和预报能力，方法具有创新性；研发了带权平均测高法，解决了集合同化中卫星辐射率观测难以垂直定位的难题。研发的球面小波背景误差协方差模型能分别估计和提取不同尺度的背景误差特征，解决了小尺度背景误差信号可能被大尺度信号掩盖的问题；提出球面小波多尺度校正方法。项目自主发展了基于三维参考大气和预估-修正时间积分方案的全球切线性模式和伴随模式；研发有预调节 Lanczos 共轭梯度算法，提高全球 4DVar 分析的计算效率。

全球 10 公里 En-4DVar 同化系统在国家气象中心业务环境下实现近实时应用示范。

三、成果代表图片

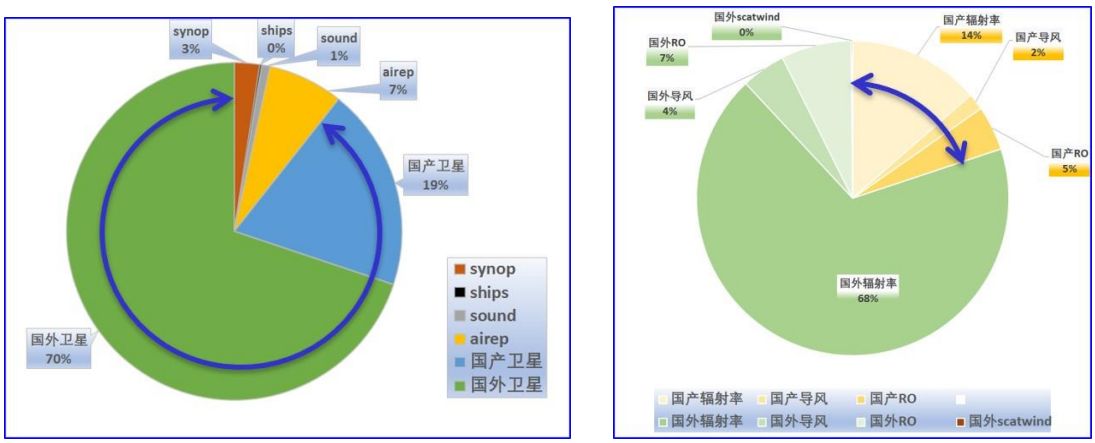

图 1：全球 En-4DVar 同化系统卫星资料占比

图 1（a）项目研发的同化卫星资料占比达到 88。41%，图中箭头所示范围为卫星资料，“synop“为地面观测，“ships“为船舶观测，“sound“为探空观测，“airep“为飞机观测；（b）同化卫星资料中风云卫星占比达到 21.85%。图中箭头所示范围为风云卫星资料，图中“RO”为卫星掩星资料，”scatwind”为卫星洋面风资料

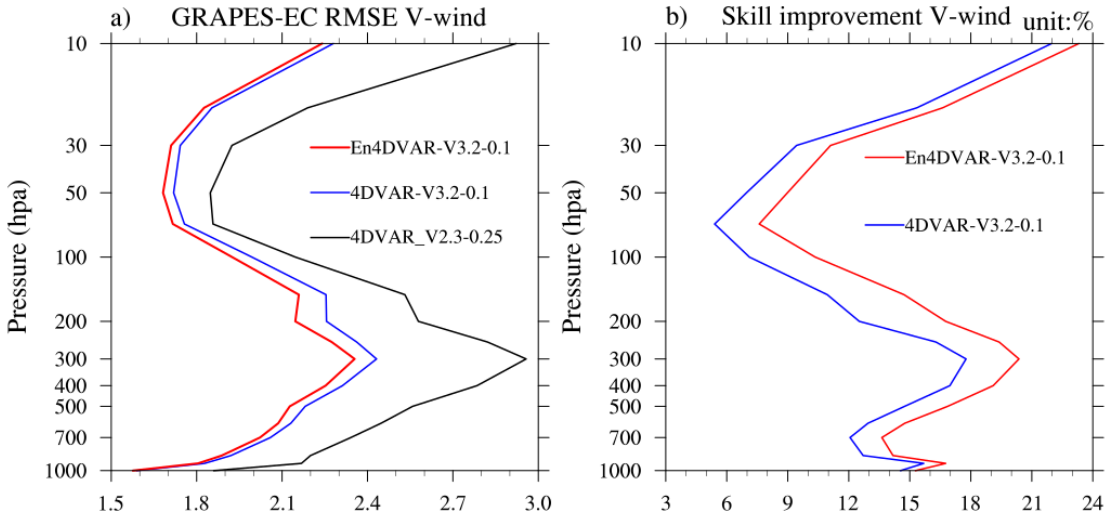

图 2:10 公里 En-4DVar 相较于立项时 25 公里 4DVar 性能提升情况

图 2（a）南北向风速均方根误差. 黑线为项目立项时 25 公里业务 4DVar，蓝线为项目研发的 10 公里 4DVar，红线为项目研发的 10 公里 En4DVar，图中横坐标单位 m/s。（b）10 公里 4DVar/En4DVar 相较于立项时 25 公里 4DVar 性能提升情况，图中横坐标为提升百分比。图中纵坐标为气压（单位 hPa）