

# 气象卫星资料在天气预报分析业务中的应用

毕宝贵 林建 徐晶

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

对 TOVS 和云导风非常规反演资料进行了质量控制,并将控制后的反演场与常规观测资料以及 T106 分析场资料进行变分同化,得到合成分析场。结果表明:在合理的目标函数设计的基础上,合成分析场与仅用常规探空资料相比更接近于实况,弥补了实况资料的不足。运用 MICAPS 中特有的网格点绘图功能实现了机器自动绘制历史天气图工作。经检验误差较小,线条平滑。该方法为在实时天气图和历史图分析中使用非常规资料提供了一条新的途径,具有一定的实用价值。

**关键词:** TOVS 和云导风非常规反演资料 质量控制 变分同化

## 引 言

1960 年世界上第一颗气象卫星的成功发射,为从空间遥感地球创立了一门新兴学科,也开创了大气科学的新纪元。气象卫星资料的应用大大提高了天气预报的能力和自然灾害监测能力,为天气预报和气候变化监测提供了大量有用的信息。TOVS 物理反演是利用卫星对大气的遥感数据,通过求解大气辐射传递方程,得到大气湿度、温度、厚度、水汽等要素来描述大气状态的参数过程<sup>[1]</sup>。静止气象卫星云导风产品提供了较多并且分辨率较高的气象信息,但因其层次分散,精度较差,不能直接用于天气预报中。近年来数值预报资料同化技术的发展为卫星反演产品业务应用提供了有效途径,尤其对高山、高原、沙漠、海洋、极地常规观测资料不足地区,卫星资料具有不可替代的优势,是对观测资料和数值天气预报初始场的有力补充<sup>[2]</sup>。

本文所用资料有:国家卫星气象中心 TOVS 业务处理系统生成的水平分辨率为 75km 1000~10hPa 15 个标准层的大气温度和位势高度,在 50°N~50°S、90°E~170°W

范围内、层次不等的静止气象卫星导风产品以及中央气象台实时的常规探空观测资料和 T106 分析场。采用区域格点变分和 MICAPS 特有的网格点绘图功能解决了机器自动绘制历史天气图,对实时预报业务中天气分析有较高实用价值。

## 1 TOVS 反演结果的形势场分析及反演结果的精度

为了解形势场的精度及可用性,我们将覆盖东亚地区的三条轨道反演点数据按其定位信息进行了客观分析后投影到东亚地区 Lambert 投影地图上再与天气图形势场进行对比。从 TOVS 反演的位势高度和温度分析场(图略)可看出,西西伯利亚和中西伯利亚地区的低压、贝加尔湖以西高压脊、伊朗高原附近和我国西北地区东部的低压槽、西太平洋副热带高压等天气系统以及对应的冷暖温度中心、温度槽脊都与实况场基本吻合,但槽脊位置有一些滞后或超前。但在资料稀少的高原、西伯利亚和海洋地区,卫星反演结果与实况比较吻合,弥补了常规资料的空缺。与此同时,我们还统计了 2000 年 9~10 月

TOVS 位势高度和温度的均方差  $(s_x = [\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]^{1/2})$ 。并把常规探空资料的高度或温度定为该要素的平均值  $\bar{x}$ ，以了解 TOVS 反演资料与常规探空资料的平均偏离程度。就 850hPa 和 700hPa 高度

均方差分布来看,两个大值区分别位于青海和东北地区北部;500hPa 上均方差大值区(图 1a)在新疆北部、黑龙江北部和俄罗斯远东地区;而温度均方差大值区(图 1b)主要也位于新疆北部、黑龙江北部一带。

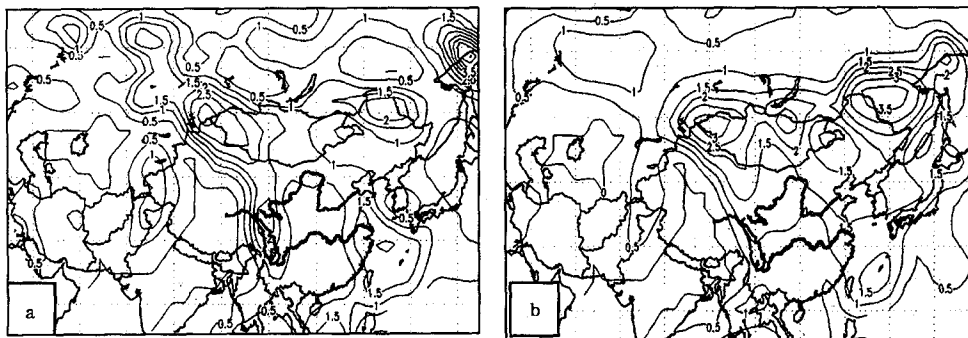


图 1 2000 年 9~10 月 TOVS 反演 500hPa 位势高度场(a)和温度场(b)与实况场的均方差

TOVS 反演场基本上能反映出高空槽脊和高低压天气系统的位置,但资料的系统误差使得天气系统强度和位置与实况场有些偏离,为了更有效地利用 TOVS 资料,必须对它进行以下质量控制和订正。

### 2 云导风反演资料与常规探空风场对比

目前国家气象中心 VAX 机上的云导风资料每天有 02、08、14 和 20 时四个时次,范围为 50°N~50°S、90°E~170°W,层次不等。

我们将红外云导风资料和水汽云导风资料从 VAX 机上的无格式数据转化为 MI-

CAPS 下的可视化数据,并规定小于 350hPa 层的云导风为 200hPa 上的云导风,350~600hPa 之间的为 500hPa 上云导风,600~1000hPa 之间的为 850hPa 上云导风。

图 2a 是 2001 年 2 月 2 日 20 时 200hPa 南北纬 30°之间的探空资料,图中在南北纬 20°之间资料稀少。从同时次红外云图云导风资料图 2b 中可见,200hPa 上该纬度内云导风资料很多。这就弥补了实际探空资料的空缺,对于分析并了解热带环流系统有良好的效果。

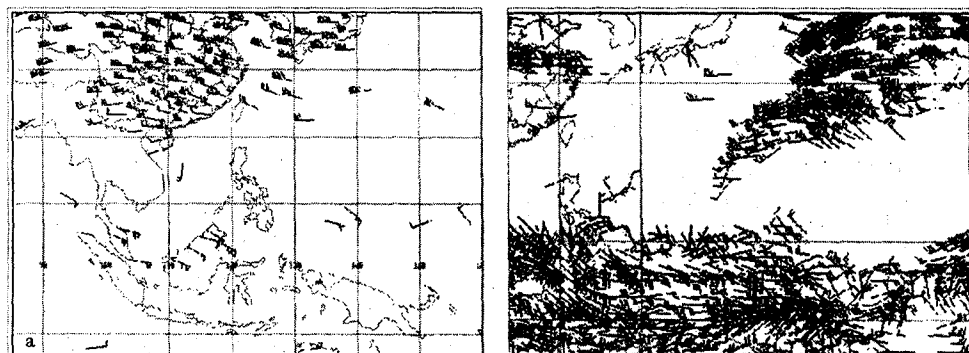


图 2 2001 年 2 月 2 日 20 时 200hPa 常规探空风场(a)和红外云图云导风(b)

### 3 TOVS 资料和云导风资料与常规资料的变分同化

利用时空分辨率较高的卫星资料来弥补常规观测资料不足,是提高分析精度的重要

途径。把卫星反演的非常规资料与常规资料统一起来,作为实时天气预报的分析场。所采用的同化方法是变分法<sup>[3]</sup>。何谓变分法?即通过对所构造的目标函数极小化而获得最优的分析场。

### 3.1 TOVS 资料和云导风的预处理和质量控制

变分同化首先要进行预处理过程,剔除 TOVS 资料和云导风资料的奇异点,然后根据反演点的经纬度用 Barnes 快速客观分析方法把非常规资料插值到规则网格点(2.25°×2.25°)上,同时为下一步变分分析做准备。同时也将常规探空资料用 Barnes 方法插值到相同的经纬度网格点上,并剔除不合理的奇异点;另外,将 T106 分析场资料线性插值到相同的网格点上。

### 3.2 目标函数设计

常规探空资料尽管分辨率不高,但观测值较精确;而非常规资料虽然空间分辨率较高,空间点之间的相对强弱关系也较精确,但其值存在着系统性误差。目标函数构造如下:

$$J(X) = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i,j} \alpha (X - X_b)^2 + \sum_{i,j} \beta (X - X_o)^2 + \sum_{i,j} \gamma (X - X_t)^2 \right] \quad (1)$$

式中第一项为待分析场与背景场(T106 分析场)资料的误差,第二项为待分析场与实时常规资料的误差,第三项为待分析场与非常规

资料(TOVS)的误差。 $\alpha, \beta, \gamma$  为相应的权重系数,权重系数的取法应使这三项具有相同的量级。 $J(X)$  就反映了待分析场与不同资料的偏差累积。

目标函数的梯度,即偏差梯度如下:

$$\nabla J(X) = \alpha(X - X_b) + \beta(X - X_o) + \gamma(X - X_t) \quad (2)$$

变分分析用最优化算法(迭代)求得使目标函数  $J(X)$  及梯度  $\nabla J(X)$  达到极小的  $X$ , 即所需的分析结果。

### 3.3 结果分析

用公式(1)、(2)把经过质量控制的非常规资料与常规探空资料及 T106 分析场资料进行变分同化,因为  $\alpha, \beta, \gamma$  是相互联系的,应调整到使大形势基本上由常规资料控制,由卫星资料反演的尺度较小的系统能嵌套到大形势之中。经过反复试验和调整,变分时取  $\alpha = 0.2, \beta = 0.7, \gamma = 0.1$  的变分系数。

#### 3.3.1 TOVS 资料变分结果分析

图 3 给出 2000 年 12 月 3 日 08 时 TOVS 反演 500hPa 位势高度场、温度场与实况场的误差,经变分处理后的分析场与实况场的误差如图 4 所示。与图 3 对比可以发现,变分法能有效地协调常规资料和非常规资料,使与实况场的误差明显减小。变分同化前,在 500hPa 上高纬地区高度场误差明显大于低纬地区,东部地区误差大于西部地区,在我国东北地区东部和日本北部位势高度误

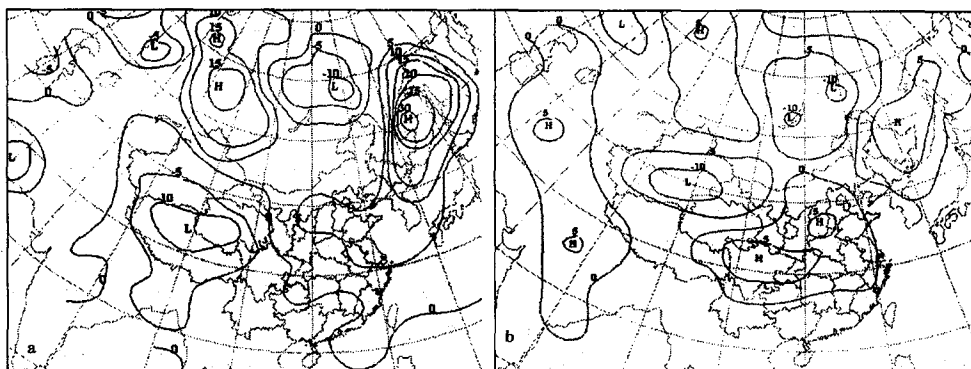


图 3 2000 年 12 月 3 日 08 时 TOVS 反演 500hPa 位势高度场(a)和温度场(b)与实况场误差 (位势高度单位:10gpm 温度单位:°C)

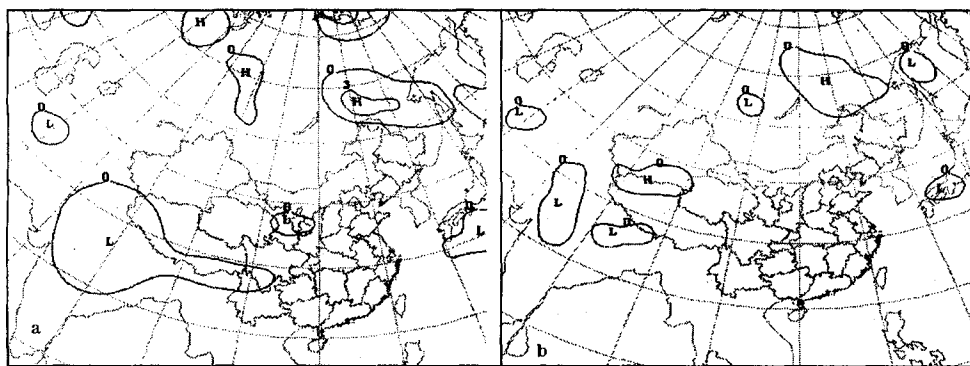


图4 2000年12月3日08时变分分析后的500hPa位势高度场(a)和温度场(b)与实况场误差  
(位势高度单位:10gpm 温度单位:℃)

差达到300gpm,贝加尔湖和西西伯利亚地区分别为-100gpm和150gpm的误差大值区,青藏高原误差也大(图3a)。500hPa温度场误差与高度场不同,中高纬地区误差比较均匀,在我国25°N以北地区、俄罗斯以及西亚地区误差值一般为0~5℃,其中青藏高原和贝加尔湖地区误差值达10℃以上,低纬地区的误差较小(图3b)。经变分同化后,500hPa的位势高度除在俄罗斯远东地区偏高30gpm以上外,其余地区误差都在±30gpm以下(图4a),500hPa温度误差均减小到±3℃以下(图4b);700hPa和850hPa的位势高度除青藏高原偏低30gpm以上外,其余地区误差都减小到±30gpm以下(图略);850hPa温度在青藏高原西部偏低3℃,在俄罗斯远东地区偏高3~6℃;700hPa温度仅青藏高原西部偏高3℃;可见中层比低层温度误差减小更明显。表明经变分处理后的合成场与实况场较为接近。

在贝加尔湖东北部、西伯利亚中东部地区、伊朗高原和青藏高原以及西太平洋地区由于资料稀少,预报员只能依据稀少资料作简单估计,主观性太大,与常规实况场实际情况并不相符。我们把TOVS资料和T106分析场资料引进后,使资料密度大大增加,尤其在资料稀少的高原、西伯利亚和海洋地区,变分分析后结果经客观检验分析(图略)证明与实况场比较吻合,填补了常规资料的空缺。

与T106分析场(图略)相比,采用变分分析后的分析场更接近于实况场,使T106分析场在西伯利亚一带偏强的闭合低压系统得到了改善。至此,由于资料的补充加密,在MICAPS中实现了天气图资料等值线的自动分析。

### 3.3.2 云导风资料变分结果分析

图5a和图6a分别是未经变分处理前的红外云图云导风资料风速和风向与实况的差值。如图所示,在我国华南地区、马来半岛以及澳大利亚西部和东南部风速偏差超过了 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,局部地区超过 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,误差较大;风向误差也较大,一般为 $20\sim 30^\circ$ ,在我国华南和澳大利亚西部风向误差达 $60^\circ$ 。图5b、图6b是变分后红外云图云导风与实际探空风速和风向之差,由图可见,风速误差减小到 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,尤其在赤道地区附近误差小于 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风速和风向误差都较小。将水汽云图云导风资料变分前后与实况进行比较,也得到类似结果。

## 4 小结

通过上述合成分析场与常规探空资料对比的业务分析试验,可以得到以下主要结论。

(1) 本研究中目标函数设计是合理的;试验结果表明变分法能有效地协调常规资料和非常规资料。

(2) 利用TOVS和云导风资料可以有效地改善常规分析场的质量,特别是弥补了常

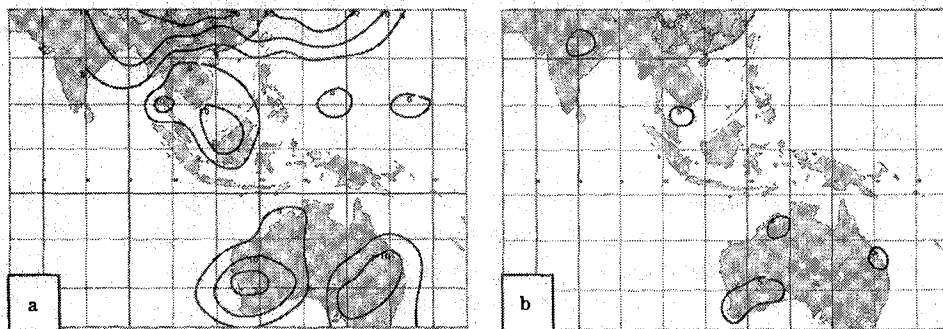


图5 2001年2月2日20时200hPa红外云导风与实况风速差值变分前(a)和变分后(b)(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

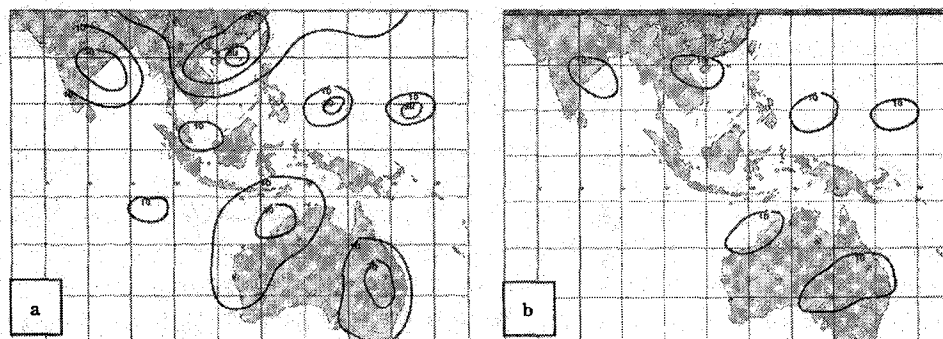


图6 2001年2月2日20时200hPa红外云导风与实况风向差值变分前(a)和变分后(b)(单位: $^{\circ}$ )

规观测网空间分辨率低的不足,提高了分析场中小尺度信息含量。

(3) 本分析方案尽管取得了较好的结果,但在质量控制方案的改进和变分过程中考虑常规资料和非常规资料的相关等问题仍需要进一步研究和改进。

#### 参考文献

- 1 董超华.气象卫星业务产品释用手册.北京:气象出版社,1999:36~50.
- 2 国家气象中心.数值预报与并行计算研讨会论文摘要汇编.2000:112~120.
- 3 闵锦忠,孙麟平.卫星云图资料反演的质量控制及变分同化数值试验.应用气象学报,2000,11(4):432~440.

## Application of Satellite Data in Operational Weather Forecast

Bi Baogui Lin Jian Xu Jing

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

#### Abstract

The scheme is designed to describe the composite assimilation analysis field of satellite retrieval data, conventional observations and T106 analysis field. Results show that the composite analysis field is more similar to the actual atmospheric condition and make up the lack of the observations based on the reasonable design of the objective function, in contrast to the conventional radiosonde observations. It is found that the error is smaller and the isoline is smooth.

**Key Words:** satellite data quality control variational objective analysis TOVS and cloud track wind data