

# 气象遥感资料变分校准方案改进及应用试验

万齐林

(中国气象局广州热带海洋气象研究所, 510080)

**提 要:** 针对常见气象遥感资料变分校准方案的不足, 提出了一个改进方案。该方案不需要将校准参照量插值到遥测资料的格点上, 既避免了对稀疏的校正参照量进行客观分析的困难, 也避免了校正参照量稀缺区域不准确插值分析带来的不利影响, 使遥感资料的整体偏差得到修订的同时, 能够更好地保持遥测资料的空间分布形态不变。利用国家卫星气象中心通过 9210 下发的 ATOVS 反演产品进行了试验, 结果表明改进方案校准效果好; 并将校准后的 ATOVS 反演资料用于 Grapes 三维变分同化系统, 应用试验表明校准后的 ATOVS 反演资料在三维变分同化系统中具有应用价值。

**关键词:** 遥感资料 变分校准 改进方案 应用试验

## An Improved Scheme of Variation Correcting for Remote Sensing Data and Its Application

Wan Qilin

(Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080)

**Abstract:** Because of the disadvantage of the existing scheme of variational correcting for remote sensing data, an improved scheme was brought up. In the new scheme, it is not necessary that the correction reference value would be interpolated to the grid of remote sensing data. Therefore, the difficulty of objective analysis and the bad impact of interpolation errors can be avoided in the region of reference value lack. By means of the scheme, the errors of

资助项目: 广东省科技计划项目“广东省近海强风天气预警技术研究”(2002B3096)与热带海洋气象研究基金“Grapes3Dvar在热带地区的应用研究”共同资助。

收稿日期: 2006年1月19日; 修定稿日期: 2006年2月8日

remote sensing data can be reduced evidently while its spatial pattern is held. Some tests were performed to correct the ATOVS retrieved data from the National Satellite Meteorological Center, and the results show that the improved scheme is better in correcting remote sensing data. The ATOVS retrieved data corrected are put to use in Grapes-3Dvar system, and have proved applicable by the application experiment.

**Key Words:** remote sensing data variational correcting improved scheme application experiment

## 引 言

气象遥测(遥感反演)资料具有这样的特点:资料空间分辨率较高,且空间点与点之间的相对强弱关系比较精确,也就是资料所表述的气象信息空间分布具有一定的精确性,但它的值常常存在明显偏差。对于这类气象遥感资料,一方面具有诱人的应用价值,可以在许多方面填补其它探测信息的不足;另一方面,由于资料具有偏差,在应用时可能带来一定的困难,特别是与其它类型的探测资料一起使用时,可能产生麻烦。例如,直接同化(或分析)应用 ATOVS 反演资料,由于 ATOVS 反演资料的系统性偏差,常常产生不良的效果,所以,一般的经验是需要对 ATOVS 反演资料进行校准后,方可使用。

对遥测资料偏差的校准可采用变分方法,选取其它高质量的观测资料(如探空资料)作为校准参照值。根据遥测资料的特点,要求校准方案一方面减少偏差,一方面保持遥测资料空间分布的形态不变。这方面已有成果:徐祥德等利用变分法校准星载 MODIS 探测气溶胶场<sup>[1]</sup>;王叶红等<sup>[2]</sup>、邓雪娇等<sup>[3]</sup>分别利用变分法校准天气雷达定量估测降水;韩桂荣等<sup>[4]</sup>、张菊芳等<sup>[5]</sup>、崔彩霞<sup>[6]</sup>、翁永辉等<sup>[7,8]</sup>分别利用变分法校准 TOVS 卫星反演资料,提高了 TOVS 资料的可用性。但是,这些工作中所采用的变分校准方案需要将校准参照变量插值到被校准

变量的格点上。由于校准参照量是相对稀少的,插值到遥测资料相应的高分辨率格点上,其水平梯度是相当不精准的,这样,变分校准时会将这一个相对不精准的梯度引入,影响校准效果。同时,在边界和面积无资料区(如海洋区域),对稀疏的参照量插值也存在困难。所以,有必要开发出一个校准方案,它不需要将稀疏的参照量插值到高分辨率遥测资料的格点(分析格点)上,从而克服强迫加入参照值的不准确梯度、稀疏参照量插值困难等问题。

本文介绍了一个改进的遥测资料变分校准方案,用于卫星 ATOVS 反演资料的校准试验,并将校准后的 ATOVS 反演资料用于三维变分同化系统。

## 1 遥测资料变分校准方案

为克服常见变分校准方案需要将参照值插值到遥测资料格点上所带来的不利影响,这里提出一个不需要对参照值进行整场插值的变分校准方案。构造一个泛函,使其辅助积分宗量为:

$$F^* = \alpha \left( V - \sum_{n=1}^{N_{an}} W_n V_n^0 \right)^2 W + \beta \left( \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{V}}{\partial x} \right)^2 + \beta \left( \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{\partial \tilde{V}}{\partial y} \right)^2 \quad (1)$$

其中:  $V$  为气象遥测资料修订值,  $\tilde{V}$  为气象遥测资料未修订值,  $V_n^0$  为校准参照量,  $W_n$  为校准参照量在给定分析格点上的权重系数,  $W$  为校准参照量对给定分析格点的

总影响权重， $\alpha$ 、 $\beta$  为给定系数， $N_{sn}$  为校准参照点总数。

定义校准参照点  $n$  到给定分析格点的影响系数：

$$\hat{W}_n = \max\left(\frac{R_m^2 - r_n^2}{R_m^2 + r_n^2}, 0\right)$$

$r_n$  为参照点  $n$  到给定分析格点的距离， $R_m$  为参照点最大影响半径，根据经验不必取值较大，2 倍左右分析网格的格距即可。

给定式 (1) 中权重系数如下：

$$W_n = \hat{W}_n / \left(\sum_{n=1}^{N_{sn}} \hat{W}_n + \epsilon\right)$$

式中  $\epsilon$  为一个经验给定的小量，使得参照点距离分析格点超过一定距离时  $W_n$  趋于零，也避免计算中分母为零而导致出错。

$$W = \min\left(\sum_{n=1}^{N_{sn}} \hat{W}_n, 1\right)$$

当参照点距离分析格点较远时，影响系数  $\hat{W}_n$  趋于 0，如果所有参照点离给定分析格点较远，则  $W$  也趋于 0，式 (1) 右边第一项作用为零，只剩下水平梯度项，避免了超过影响范围的参照点对该分析格点不利的直接影响，这是本方案与其他方案的重要差别之一。

可推导出响应的 Euler 方程为：

$$\alpha W V - \beta \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right) = \alpha W \sum_{n=1}^{N_{sn}} W_n V_n^0 - \beta \left(\frac{\partial^2 \tilde{V}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{V}}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

给定修订值  $V$  在边界上的梯度为未修订值  $\tilde{V}$  的梯度，利用迭代法可以求解上述方程，从而可得到校准后的气象遥感资料  $V$ 。从式 (1) 和 (2) 可以看到，该方案不需要将参照值插值到分析格点上。

作为对比试验方案，按参考文献 [1-8] 给出常见的变分校准方案，其泛函辅助积分宗量为：

$$F^* = \alpha(V - V_g^0)^2 + \beta \left(\frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial \tilde{V}}{\partial x}\right)^2 + \beta \left(\frac{\partial V}{\partial y} - \frac{\partial \tilde{V}}{\partial y}\right)^2 \quad (3)$$

其中： $V_g^0$  为校准参照量插值到分析格点上的值，其它与式 (1) 相同。

相应的 Euler 方程为：

$$\alpha V - \beta \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}\right) = \alpha V_g^0 - \beta \left(\frac{\partial^2 \tilde{V}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{V}}{\partial y^2}\right) \quad (4)$$

从式 (3) 和 (4) 可以看到该方案必须对参照值进行插值。

## 2 卫星 ATOVS 反演资料校准试验

### 2.1 卫星 ATOVS 反演资料与校准试验对比方案

卫星 ATOVS 反演资料描述了大气的温湿结构，由国家卫星气象中心通过 9210 下发的 ATOVS 反演产品水平分辨率达 50~70km 左右，远高于探空资料的空间分辨率，并且，覆盖海洋或高原等常规气象资料缺乏区。所以，该资料受到关注和广泛应用。但是，卫星 ATOVS 反演资料具有明显偏差。

试验选取 2004 年 1 月 18 日 06 时（世界时）的卫星 ATOVS 反演资料。由于此刻没有探空观测，所以，校准参照点从 T213 的 6 小时预报场中选取。校准要求达到：校准后 ATOVS 反演资料的平均值与 T213 的平均值接近，并保持 ATOVS 反演资料的原有水平分布形态。为达到这一校准目标，在 ATOVS 反演资料覆盖区每隔 15 个经度和 15 个纬度共选取 14 点作为校准参照点。

设计对比试验方案：

方案一：本文提出的变分校准改进方案，即式 (1) ~ (2) 所描述；

方案二：常见方案（参考文献 [1-8] 所采用），即式 (3) ~ (4) 所描述。

### 2.2 校准试验结果分析

图 1 是 ATOVS 资料的 1000hPa 高度场

按方案一进行变分校准前后的水平分布，从图中可以看到：变分校准很好地保持了高度场原有水平分布的模样；对比等值线的数值

大小，变分订正量平均达 100m 左右。方案一所得到的结果符合预期要求，下面也将进一步说明。

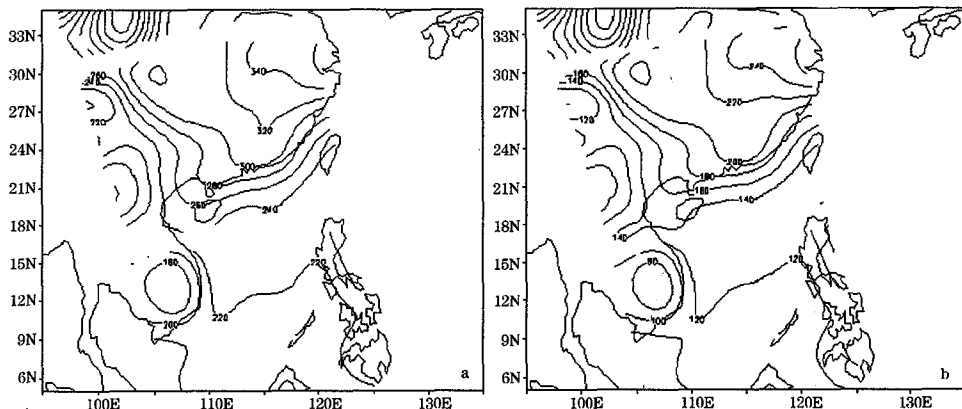


图 1 ATOVS 1000hPa 高度场 (04011806)

a: 校准前; b: 方案一校准后

图 2 为 T213 相应的 1000hPa 高度场 (6 小时预报)，以及 ATOVS 校准场相对它的高度差值场。对照图 2a 和图 1 可以看到：T213 高度场与 ATOVS 高度场的水平分布形态有较大差异，其一是高压中心位置的偏差，其二是在华南沿海高度等值线的分布密度不同。并且，虽然校准参照值是来自于 T213 的数据，但是，校准后的高度场水平

分布没有明显受 T213 高度场水平分布的影响，水平分布的形态 (或梯度) 基本保持 ATOVS 原有分布，但是平均值明显趋近 T213 高度场的平均值。从图 2b 可看到，校准带来华南沿海高压偏差，这与此刻冷空气到达华南沿海，产生近海强风的天气事实一致，说明 ATOVS 校准场比 T213 场更符合实况，校准结果合理。

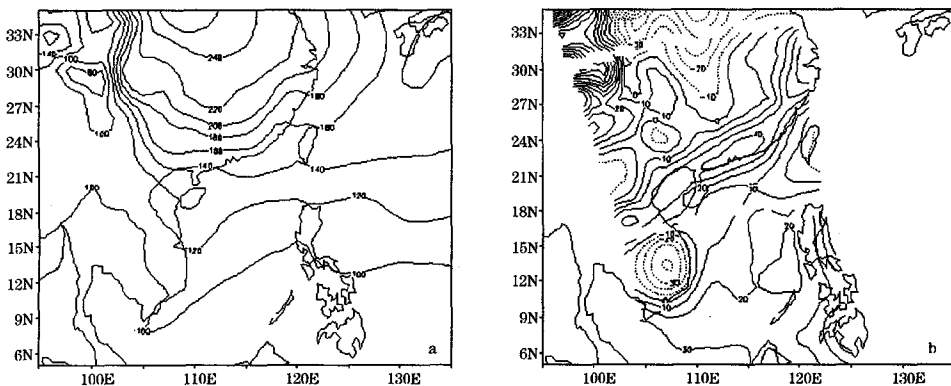


图 2 1000hPa T213 6 小时预报高度场 (a) 和 ATOVS 校准场相对 T213 的高度差值场 (b)

图 3 为按方案二校准后的 1000hPa 高度场，以及相对 T213 高度场的差值。从图中可以看到：按方案二校准后，高度场的数值明显趋近参照值，但是，其水平分布的形态介于 ATOVS 原有水平分布和 T213 场的水平分布之间；即校准场的梯度明显受到参照

值的影响，这不是校准所希望的。将图 3b 与图 2b 对照也可以看到，按方案二校准留有 ATOVS 部分水平梯度信息，但是明显被削弱。方案二在 ATOVS 原有水平分布的保持方面明显不如方案一。

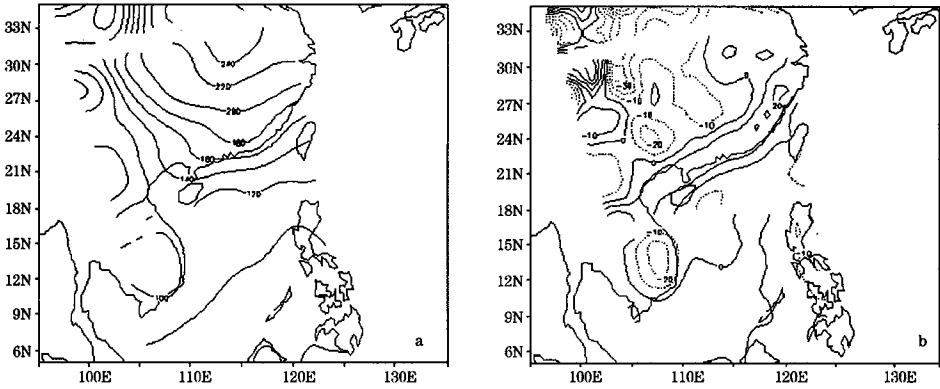


图 3 方案二校准后 1000hPa 高度场 (a) 和方案二校准场相对 T213 的高度差值场 (b)

表 1 卫星 ATOVS 反演高度场校准前后相对参照值的平均偏差 (gpm)

| 气压/hPa | 校准前    | 校准后   |       |
|--------|--------|-------|-------|
|        |        | 方案一   | 方案二   |
| 1000   | 103.2  | -3.52 | -8.47 |
| 850    | 80.1   | -2.03 | -5.83 |
| 700    | 56.1   | 0.17  | -2.92 |
| 500    | 0.6    | 0.3   | -1.99 |
| 400    | -41.5  | -1.85 | -3.84 |
| 300    | -92.6  | -3.6  | -6.11 |
| 250    | -111.6 | -0.65 | -6.39 |
| 200    | -126.9 | 1.88  | -5.65 |
| 150    | -157.3 | 2.83  | -5.23 |
| 100    | -197.9 | 0.36  | -5.98 |
| 70     | -242.7 | -1.65 | -5.75 |
| 50     | -293.2 | 1.99  | -3.55 |

表 1 是卫星 ATOVS 反演高度场校准前后相对参照值的平均偏差。从表中可以看到两种变分校准方案均能显著地校准偏差，但是，校准修订场的偏差量方案一小于方案二。同时，结合校准修订场的水平分布分析可发现：方案一在校准偏差和维持原有水平

分布形态方面均有理想的效果；而对于方案二，要使校准场相对参照值的平均偏差小，它的水平分布就会偏离原有分布而趋于参照值的虚假分布，反之，要使校准场水平分布接近其原有分布形态，其相对参照值的平均偏差就会大，所以，一般方案二要两方面兼顾，这也就造成方案二难以达到方案一的校准效果。

### 3 卫星 ATOVS 校准资料的三维变分同化试验

遥测资料反演的气象要素可能存在一定的偏差，这造成难以与其它资料融合使用。例如，对于前面未校准 ATOVS 资料，由于其具有明显的系统性偏差，如果直接进入三维变分同化系统，就难与背景场或其它资料相容，导致在同化分析中起不利的作用。那么，经过订正后的 ATOVS 资料能否在三维变分同化分析中起到好的作用呢？这里设计一个试验，使 2004 年 1 月 18 日 06 时按改

进方案校准后的 ATOVS 资料被同化, 同化分析系统为中国气象科学研究院开发的 Grapes-3DVar 系统, 背景场为 T213 预报场。

图 4 为同化分析海面风速分布。从图中可以看到: 没有同化校准 ATOVS 资料, 华南近海没有出现强风, 最大风速小于  $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

$\text{s}^{-1}$ ; 而同化校准 ATOVS 资料, 华南近海出现强风, 风速达到  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上, 这与天气实况相符。所以, 校准 ATOVS 反演资料能在同化分析中起到有用的价值, 这也从另一个方面说明按改进方案校准的气象场是合理的, 并能在三维变分系统中与其它资料相容。

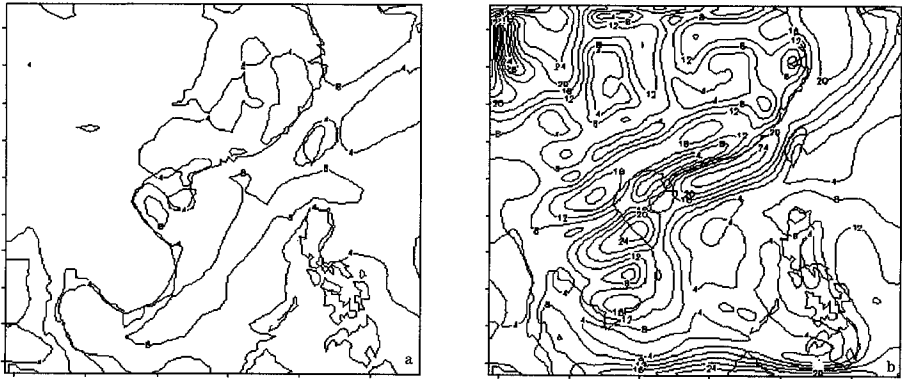


图 4 同化分析的海面风速分布

a: 无校准 ATOVS 资料; b: 有校准 ATOVS 资料

## 4 结 论

根据上述分析, 可以得出如下结论:

(1) 所提出的变分校准改进方案能有效地校准遥测资料, 并维持其原有空间分布形态不变;

(2) 对比常见的变分校准方案, 改进方案具有明显优势;

(3) 按改进方案校准的 ATOVS 资料用于同化分析系统有较好的结果, 能在三维变分系统中与其它资料相容, 但需要进一步的试验进行验证。

## 参考文献

[1] 徐祥德, 周秀骥, 翁永辉, 等. 星载 MODIS 资料与地面光度计探测气溶胶变分场 [J]. 科学通报, 2003, 48 (15): 1680-1685.

- [2] 王叶红, 崔春光, 赵玉春, 等. 变分技术在校准数字化天气雷达定量估测降水中的应用 [J]. 气象, 2001, 27 (10): 3-7.
- [3] 邓雪娇, 黄浩辉, 吴兑. 变分法在校准雷达定量估测降水中的应用 [J]. 应用气象学报, 2000, 11 (2): 255-256.
- [4] 韩桂荣, 张菊芳, 陈必云等. TOVS 资料真实性检验和偏差订正方案的设计 [J]. 气象, 1998, 24 (7): 40-44.
- [5] 张菊芳, 沈树勤, 韩桂荣, 等. TOVS 卫星反演资料变分分析的试验研究与应用 [J]. 气象科学, 1999, 19 (2): 206-212.
- [6] 崔彩霞. 变分分析技术的一次成功应用——TOVS 资料的订正及效果分析 [J]. 新疆气象, 1999, 22 (1): 5-6.
- [7] 翁永辉, 徐祥德. TOVS 资料变分处理方法在青藏高原地区的数值试验 [J]. 大气科学, 1999, 23 (6): 703-712.
- [8] 翁永辉, 徐祥德. 应用 TOVS 资料变分分析技术增加青藏高原地区模式初始场信息 [J]. 气象学报, 2000, 58 (6): 679-791.