

王雪曼,李刚,张华. 2015. 极轨卫星观测偏差订正动态更新技术在 GRAPES-3Dvar 的应用研究. 气象, 41(7):863-871.

极轨卫星观测偏差订正动态更新技术 在 GRAPES-3Dvar 的应用研究^{* 1}

王雪曼¹ 李 刚¹ 张 华²

1 南京信息工程大学, 南京 210044
2 国家气象中心, 北京 100081

提 要: 偏差订正技术是卫星辐射率资料同化的关键技术, 目前全球 GRAPES 变分同化系统采用基于 Harris 和 Kelly 考虑扫描角和气团的静态偏差订正方案; 但是该方案并没有考虑偏差属性的变化(比如仪器老化、观测数据漂移等问题)。因此, 本文基于 Harris 和 Kelly 的 TOVS 辐射偏差订正方案以及国外在数值天气预报系统对卫星数据提出的偏差订正动态更新概念的基础上, 结合 GRAPES 分析预报系统和国家卫星气象中心的卫星预处理系统的特点以及仪器特征, 提出了 GRAPES 偏差订正动态更新方案, 来解决数据的漂移等问题。偏差订正动态更新技术是动态方法的一种, 采用变分方法对偏差订正预报因子的系数进行调整。为了检验新方案的效果, 设计了试验方案。为期两个月的同化试验结果显示, 动态更新方案可以自动、迅速地优化已经退化的偏差订正方程, 保持偏差订正的效果, 运行稳定, 结果令人鼓舞。

关键词: 数据漂移, 资料同化, 偏差订正动态更新技术

中图分类号: P413 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.07.008

Application of Online Bias Correction of Polar Orbit Satellite Observations in GRAPES-3Dvar

WANG Xueman¹ LI Gang¹ ZHANG Hua²

1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044
2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: Bias correction is the key technology of data assimilation for satellite radiance data. Currently, global GRAPES variational assimilation system adopts scan bias correction and air-mass bias correction based on the consideration of Harris and Kelly (2001). But it did not cover the changes of deviation property (such as instruments or pollution problems). This paper proposed a scheme called online bias correction based on Harris and Kelly's TOVS radiation error correction scheme and the concept of online bias correction which was put forward for NWP system to solve the problem of data drifting. The scheme considers the characteristics of GRAPES system and the statellite pretreatment system of National Satellite Meteorological Centre of CMA. The online bias correction is an adaptive bias correction system. It uses variational method to adjust the coefficients of predictors. To test the effect of the new scheme, two-month-long assimilation experiments were carried out. The results show that the online bias correction scheme can optimize the degenerate bias equation automatically and quickly, and keep the effect of bias correction stable.

Key words: data drifting, data assimilation, online bias correction scheme

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906006、GYHY200806003 和 GYHY201106008)共同资助
2014 年 9 月 29 日收稿; 2015 年 4 月 9 日收修定稿
第一作者: 王雪曼, 气象资料同化研究. Email: wangxueman116@163.com
通信作者: 张华, 主要从事数值模拟、气象资料同化研究. Email: zhangh@cma.gov.cn

引言

数值天气预报(NWP)中心通常使用一种观测资料和短期预报结果统计结合的方法来产生初值,这就是我们所说的“资料同化”(卡莱尼,2005;邹晓蕾,2009;朱国富,2015)。观测资料的一个重要来源是极轨卫星大气探测资料(张兴海等,2014),但是极轨卫星大气探测资料不是完美的,它们通常是有误差的。误差产生的原因非常多,比如:辐射传输模式本身的误差;辐射传输模式的基础光谱数据以及输入数据(温度廓线、湿度廓线、臭氧总量等)的误差。此外,仪器的灵敏度、定标、云污染等的影响,传感器的响应特性的改变,也将造成观测数据的系统偏差。这些偏差的存在限制了对卫星观测资料的利用,甚至有些资料根本没有办法被利用。除非误差可以控制和订正到一定范围内,否则如果将卫星观测资料应用于数值天气预报模式,那么这些系统观测偏差会破坏数据同化,并且最终影响预报的质量。因此,我们需要对偏差进行有效的订正。

目前为止,世界各国的数值预报中心应用的偏差订正方法主要经历了传统的静态偏差订正方法与比较先进的动态偏差订正方法,动态偏差订正方法又分为变分偏差订正与偏差订正的动态更新技术两种。

关于静态偏差订正方法,ECMWF 最初采用了全球平均扫描订正和以微波探测通道 2、3、4 的观测辐射率为预报因子的线性气团订正(McMillin et al,1989);而 Eyre(1992)引用了云辐射对此方案进行了调整,但本质上没有改变。Harris 等(2001)提出的方案,使得辐射偏差订正有了本质的突破性的进展。一方面,他们发现对于某些通道,特别是微波通道的辐射率数据,扫描偏差具有一定的纬度依赖性。于是,新方案在偏差订正中考虑了扫描偏差的纬度依赖性。另一方面,他们发现使用模式背景信息,而不是 MSU 微波通道信息,更能反映出气团和地表性质,所以应用来自背景场的“气团”预报因子进行气团订正更为合理。对于这种方法,国内也有许多学者进行了深入的研究和探索,其中突出的是刘志权等(2007)针对 ATOVS(Advanced TIROS-N Operational Vertical Sounder)微波辐射率资料提出的偏差订正方案。该方案在 ECMWF 原全球 TOVS 辐射偏差订正方案基础上,结合

ATOVS 资料特征和中国的实际情况,建立了适用于区域 NOAA-15/16/17 极轨气象卫星 ATOVS 辐射资料的偏差订正方案。

目前 GRAPES 中采用的偏差订正方法还是传统的静态偏差订正方法,这种方法属于统计方法,其实质是一种数据分析方法,在积累了大量数据的基础上,总结出一定的统计规律,运用这些统计规律来预报未来。这个方程是以历史资料为样本建立的,它包含着探测仪器的特性及大气运动的历史演变联系或规律,但并不一定包含最新的大气运动信息、仪器老化、观测定标等影响,而存在于历史资料中的这种联系或规律,未来并不一定能保持,所以统计方法常常为此所窘。为了能够解决上述问题,国外在 NWP 系统中对卫星数据提出了动态的偏差订正方法(Auligné et al,2007;Dee et al,1998;McNally et al,2006)。动态方法减少了对手动调整程序的需要,并且在分析过程中不断加入新的观测资料。它对一些通道可能出现的漂移会做出补偿,同时也能处理未预期到的事件带来的突变。

变分偏差订正(Dee,2004)与变分分析同步进行,即在极小化迭代过程中直接对模式状态变量和控制参数同时进行调整。但由于变分偏差订正需要其他观测资料和较为准确的预报模式的配合,而中国目前可用的观测资料有限,特别是在模式高层,其他观测资料很少,此外预报模式在高层偏差很大,所以相当长的一段时间内变分偏差订正技术在中国不适用。

偏差订正动态更新技术与 Harris 和 Kelly 方案采用相同的偏差模型。该方案不但可以在每次同化分析前不断地更新控制参数,而且可以自动地感应到给定传感器下特定通道的偏差的变化,并作出相应的订正。这样可以更好地解决上述问题,使分析更为准确,提高 NWP 的效果。

1 偏差订正方法

三维变分同化方法的基本思想是将资料同化归结为一个表征分析场与观测场、分析场与背景场偏差的二次泛函极小值问题。该泛函一般定义为:

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^T (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + \frac{1}{2}[\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}_0]^T \mathbf{R}^{-1} [\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}_0] \quad (1)$$

其增量形式为:

$$\begin{aligned} \mathbf{J}(\delta x) &= \frac{1}{2} \delta x^T \mathbf{B}^{-1} \delta x + \\ &\frac{1}{2} (\mathbf{H}' \delta x + d)^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{H}' \delta x + d) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $\delta x = x - x_b$, $d = \mathbf{H}(x_b) - y_0$, x_b 是背景场向量(来自数值预报模式的短期预报,一般也作为迭代的初估场); y 是观测向量,包括常规和卫星等所有类型的观测资料; x 是控制向量,即要求解的温度、湿度和风等模式参数向量; $\mathbf{B}$ 是背景场误差协方差矩阵; $\mathbf{R}$ 是观测和向前模式误差协方差矩阵; $\mathbf{H}$ 是观测算子,它变换控制向量 x 到观测向量 x , $\mathbf{H}' = \nabla \mathbf{H}$ 为切线性观测算子。

变分同化理论基本假定是背景 x_b , y 及观测算子 $\mathbf{H}$ 的误差满足高斯分布并且是无偏的。一般而言,由于仪器定标、预处理,以及向前模式中的误差,这种无偏的假定并不成立,所以需要对系统偏差进行订正。

1.1 静态方法——Harris 和 Kelly 的方法

偏差订正动态更新技术是在传统静态偏差订正技术(Harris et al, 2001)的基础上展开的。订正方案分为两步。

1.1.1 扫描偏差订正

对于每个通道,利用扫描角信息计算每个扫描位置相对于中心位置的全球或区域平均差:

$$d_j(\theta) = \bar{R}_j(\theta) - \bar{R}_j(\theta = 0) \quad (3)$$

式中, $\bar{R}$ 是平均观测辐射率, d 是观测残差, θ 是扫描角, j 是扫描位置。同时,将偏差对于纬度的依赖性纳入考虑,将地球分成 18 个纬度带,每个纬度带 10° , 计算每个扫描位置和每个纬度带平均值,然后利用它们计算扫描订正系数:

$$d_j(\phi, \theta) = \bar{R}_j(\phi, \theta) - \bar{R}_j(\phi, \theta = 0) \quad (4)$$

式中 ϕ 是纬度带。为避免纬度带之间扫描偏差订正不连续,在跨纬度带地区采用平滑技术产生连续订正系数。平滑扫描订正系数计算方法:

$$\begin{aligned} d'_j(\phi, \theta) &= \frac{1}{4} d_j(\phi - 1, \theta) + \frac{1}{2} d_j(\phi, \theta) + \\ &\frac{1}{4} d_j(\phi + 1, \theta) \end{aligned} \quad (5)$$

这样,扫描偏差订正系数 $d'_j(\phi, \theta)$ 就计算出来了。若单纯想消除因扫描位置的变化而引起的相对误差,则将其代入下式便得到经过扫描偏差订正的观测残差:

$$R'_j(\phi, \theta) = R_j(\phi, \theta) - d'_j(\phi, \theta) \quad (6)$$

1.1.2 气团偏差订正

气团偏差订正方案使用一组偏差预报因子 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) 来与气团偏差相联系,利用下面的线性方程计算每个通道 j 的气团偏差:

$$B_j = \sum_{i=1}^n A_{ji} X_i + C_j \quad (7)$$

式中,系数 A_{ji} 和 C_j 是利用大样本(通常两周的数据)通过最小二乘法拟合计算的。系数可以由下式给出:

$$A_{ji} = \sum_{k=1}^n \langle D_j, X_k \rangle \cdot [\langle \mathbf{X}, \mathbf{X} \rangle]_{ki}^{-1} \quad (8)$$

式中, $\langle \dots, \dots \rangle$ 表示协方差, $\mathbf{X}$ 是 X_k 的向量, D_j 是通道 j 的偏差:

$$D_j = [y - \mathbf{H}(x)]_j \quad (9)$$

1.1.3 预报因子的选择

气团偏差订正关键是预报因子的选择。对于不同的传感器和不同的通道,偏差是不同的。所以,根据仪器和通道的不同,预报因子的选择是有弹性的。GRAPES 中用模式背景场作为预报因子,能够更好地消除辐射传输模式所带来的系统偏差,并且可以在同化方案中考虑偏差订正的梯度。本研究仍采用现 GRAPES 模式中使用的预报因子:模式初始场厚度(1000 ~ 300 hPa), 模式初始场厚度(200 ~ 50 hPa)。

1.2 偏差订正的动态更新技术

由于偏差不仅来自于观测,还来源于观测算子。所以在偏差订正动态更新技术中,定义了修改后的观测算子:

$$\tilde{\mathbf{H}}(\mathbf{x}, \beta) = \mathbf{H}(\mathbf{x}) + f(\beta) \quad (10)$$

式中, $f(\beta) = \sum_{i=0}^N \beta_i p_i(\mathbf{x})$ 。订正后的观测算子可以满足无偏的假定,模式偏差参数 β 是预报因子 p 的系数, $\mathbf{x}$ 是模式状态向量, N 是预报因子的个数。

目标函数定义为:参数背景误差协方差的逆矩阵所加权的参数 β 与参数初估值 β_b 的距离,加上被观测误差协方差的逆矩阵所加权的 x 与观测 y_0 的距离,所谓偏差订正的动态更新就是在每一次分析循环之前,调整 β 使得相应目标函数:

$$\begin{aligned} \mathbf{J}(\beta) &= \frac{1}{2} (\beta - \beta_b)^T \mathbf{B}_\beta^{-1} (\beta - \beta_b) + \\ &\frac{1}{2} [\tilde{\mathbf{H}}(x_b, \beta) - y_0]^T \mathbf{R}^{-1} [\tilde{\mathbf{H}}(x_b, \beta) - y_0] \end{aligned} \quad (11)$$

达到极小。其中 $\mathbf{R}$ 代表了观测误差协方差矩阵。 $\mathbf{B}_\beta$ 代表偏差参数背景误差协方差矩阵。在偏差订正动态更新中, β 的更新需要使用前一次分析循环得到的偏差参数 β_b 作为初估值, 然后把更新的 β 应用于订正数据。

1.3 增量分析

为了能够减少计算量, 节省机时, 我们采用增量分析的方法。

由泰勒公式可得:

$$f(\beta) = f(\beta_b + \delta\beta) \approx f(\beta_b) + \mathbf{F}\delta\beta \quad (12)$$

其中

$$\mathbf{F} = \frac{\partial f}{\partial \beta}, \quad \delta\beta = \beta - \beta_b \quad (13)$$

则有,

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{H}}(x, \beta) - y_o &= \mathbf{H}(x_b) + f(\beta) - y_o \\ &= \mathbf{H}(x_b) + f(\beta_b) + \mathbf{F}\delta\beta - y_o \\ &= d + f(\beta_b) + \mathbf{F}\delta\beta \\ &= d' + \mathbf{F}\delta\beta \end{aligned} \quad (14)$$

式中,

$$d = \mathbf{H}(x_b) - y_o, \quad d' = d + f(\beta_b) \quad (15)$$

利用上述变换, 对之前给出的目标函数进行变形可得:

$$\begin{aligned} \mathbf{J}(\delta\beta) &= \frac{1}{2} \delta\beta^T \mathbf{B}_\beta^{-1} \delta\beta + \\ &\quad \frac{1}{2} [d' + \mathbf{F}\delta\beta]^T \mathbf{R}^{-1} [d' + \mathbf{F}\delta\beta] \end{aligned} \quad (16)$$

可求得:

$$\nabla_{\delta\beta} \mathbf{J} = \mathbf{B}_\beta^{-1} \delta\beta + \mathbf{F}^T \mathbf{R}^{-1} (d' + \mathbf{F}\delta\beta) \quad (17)$$

其二阶导数(Hessian 矩阵)为:

$$\nabla_{\delta\beta}^2 \mathbf{J} = \mathbf{B}_\beta^{-1} + \mathbf{F}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{F} \quad (18)$$

令 $\mathbf{B}_\beta$ 为对角矩阵:

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_\beta &= \text{diag}(\sigma_{\beta_1}, \dots, \sigma_{\beta_n}), \\ \sigma_{\beta_j} &= \sigma_{\beta_j}^2 / N_j, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (19)$$

式中, β_j 表示第 j 个偏差参数, N_j 是给定通道的观测值数目, 每一个通道对应的总方差为 $\sigma_{\beta_j}^2$ 。当 N_j 充分大的时候(比如, $N_j \gg 100$), 忽略参数背景误差协方差矩阵非对角线元素的影响就可以忽略不计的。这是因为 $O(N_j)$ 观测值只用来估计几个偏差参数, 即使估计是次优的, 估计的误差也很小。所以我们可以令 $\mathbf{B}_\beta$ 为对角矩阵。

在现有 GRAPES 偏差订正及质量控制的基础上, 由极小化迭代求得 $\delta\beta$, 由 $\beta = \beta_b + \delta\beta$ 可得 β 。

2 试验方案

2.1 数据选择

本文研究偏差订正的主要目的是消除卫星测量辐射值和根据 NWP 模式背景场和前向辐射传输模式计算的辐射值之间的相对系统偏差, 改善数据漂移的问题, 使其可以直接应用于 NWP 变分同化模式中。为此, 模式背景场选择 GRAPES 模式的 6 h 预报场, 前向辐射传输模式采用目前国际上应用最广的 RTTOV-7。卫星辐射资料采用经过预处理的 NOAA18-AMSUA 微波温度计资料。

2.2 质量控制

为了保证历史样本资料的有效性, 必须在利用数据计算系数之前, 对它们进行如下质量控制:

(1) 极值检验: 如果任何一个预报因子通道的亮温超出给定极限(150~350 K)或任何亮温偏差超出给定极限(-20~+20 K), 则所有通道数据被丢弃。

(2) 云检测: 尽管 AMSU 有穿透云层探测大气温度和湿度的能力, 但是在降水云中水滴和冰晶比辐射波长要大, 就会减弱云层以下的信号。这就会影响探测的结果, 所以必须要检测降水云的存在。

(3) 偏差检验: 使用阈值检验, 如果辐射亮温数据不能满足 $|y_{bi} - y_{oi}| \leq k\sigma_o$ 则被剔除。其中 y_{bi} 和 y_{oi} 分别是通道的背景场和观测的真实值。 σ_o 是辐射亮温的矩阵, k 为参数。

2.3 业务流程

图 1 给出了偏差订正动态更新技术在 GRAPES 模式中的实现流程。首先要收集一定周期长度(本文为 5 月 1—10 日共 10 天的数据)的最近的革新矢量 $\mathbf{d}$ 进行偏差订正参数的动态更新, 其中, 质量控制是关键。然后, 更新后的系数与背景场一起输入 GRAPES 三维变分系统, 进行变分。同时, GRAPES 三维变分系统会产生一个新的 $\mathbf{d}_{T+1}$, 与本次循环前的 $T-1$ 个 $\mathbf{d}$ 组成新数据集, 作为下一次偏差订正参数动态更新的样本资料。

2.4 影响试验

计划用 NOAA18-AMSUA 辐射率进行动态更

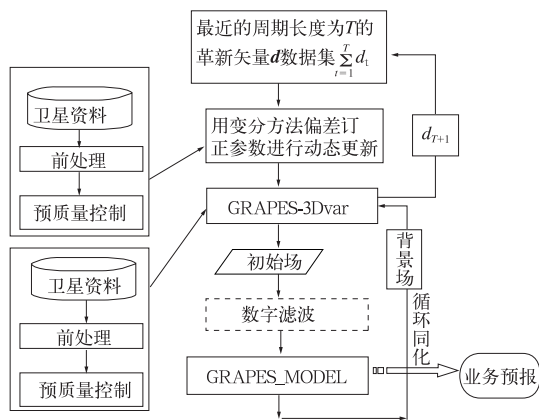


图 1 偏差订正动态更新技术在 GRAPES 模式中的实现流程

Fig. 1 The process of online bias correction in GRAPES

新试验,试验周期为 5 月 11 日到 6 月 30 日,作者由于缺乏具有漂移特性的数据,为了检验偏差订正动态更新方案的有效性,就对原 GRAPES 偏差订正模式预报因子的系数进行扰动,使其订正效果变差从而构造一个退化的偏差订正方程,人为地构造观测数据漂移现象,即

$$\beta_i = \beta_{bi}(1 + \alpha_i) \tag{20}$$

式中, β_i 是预报因子 p 经过扰动后的系数, β_{bi} 为预报因子 p 的原系数, α_i 为(0,1)范围内的随机扰动。

利用上述方案进行偏差订正的动态更新,进行

逐步优化,看其能否恢复甚至超过原局部最优的方程。我们进行两个试验:

控制试验:偏差订正方程采用静态的、上述人为退化的偏差订正方程,观测资料包括常规观测及卫星 NOAA18-AMSUA 辐射率观测资料。

动态更新试验:观测资料与控制试验相同,偏差订正采用动态更新方案。

3 结果分析与评价

3.1 与静态偏差订正效果的比较

3.1.1 订正效果稳定性分析

图 2 给出了采用静态偏差订正(5 月 1 日至 6 月 30 日)与偏差订正动态更新技术(5 月 11 日至 6 月 30 日)后偏差的时间序列图。每天要进行 4 次循环同化,分别为 00、06、12 和 18 时,每天的 12 时更新预报因子的系数。横坐标时间以每次的循环同化作为单位坐标。静态偏差订正前 10 天为偏差订正的动态更新技术提供了样本资料。从图中可以看出,静态偏差订正后平均观测残差还是很大,出现数据漂移现象,而采用偏差订正动态更新技术订正后,刚开始的平均观测残差会变大,但经过短暂的调整期(5 月 11—16 日)后平均观测残差会稳定在 0 附

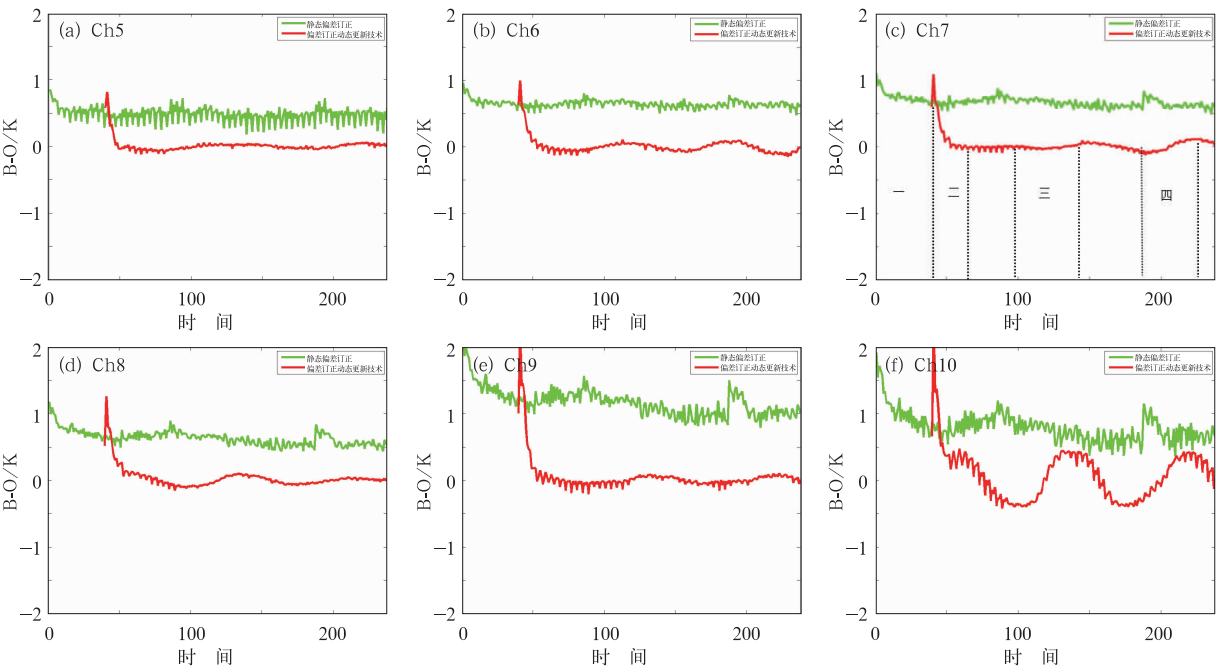


图 2 不同通道采用静态偏差订正(绿色)和偏差订正动态更新技术(红色)后偏差随时间变化图

Fig. 2 Time series of static bias correction (green) and online bias correction (red) for different channels

近,并且随着时间演变表现比较稳定。虽然通道 10 的平均观测残差随时间的变化会有小幅度的波动,但总体来说平均观测残差变小。

以通道 7 为例,图 3 给出了阶段一(图 3a)(未更新期,5 月 1—10 日)、阶段二(图 3b)(偏差订正动态更新技术调整期,5 月 11—16 日)、阶段三(图 3c)(稳定期,5 月 25 日至 6 月 5 日)以及阶段四(图 3d)(稳定期,6 月 15—25 日)四个阶段偏差随纬度变化

的图。由图可以看出阶段一数据存在系统性误差,阶段二即偏差订正动态更新技术调整期比阶段一有所好转,系统性偏差减小,但仍然比较发散,而经过一段时间的动态更新之后,结果趋于稳定,发散性明显减小,并且偏差保持在 0 附近。左下与右下两幅图基本相似,所以我们无论选取哪一段时间的数据与静态偏差订正效果作对比,对结论都不会有很大影响。

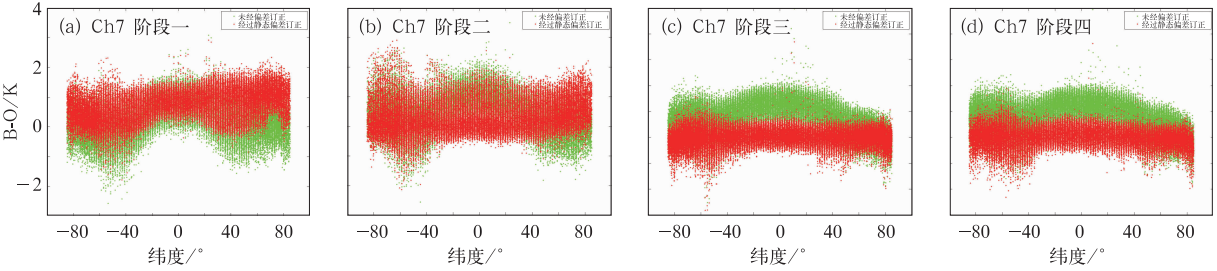


图 3 通道 7 偏差随纬度变化的散点图
(其中绿色为订正前数据,红色为订正后数据)

Fig. 3 Scatter diagram of bias changing with latitude in Channel 7
before (green) and after (red) correction

3.1.2 全球偏差及订正效果

图 4 给出了这 16 天分别采用静态偏差订正(图 4a)和偏差订正动态更新技术(图 4b)后通道偏差的比较。由图可知,采用静态偏差订正后,通道 5、6 的热带和高纬度地区偏差仍很大,通道 7、8 北半球偏差仍未被订正过来,而通道 9、10 效果最差,北半球与南半球高纬偏差都很大。而采用偏差订正动态更新技术订正后,系统性偏差显著减小。其中通道 5 除了在高纬和赤道附近仍有部分残余偏差外,总体上来看,即从全球分布来看,新方案是有效的。通道 6 热带地区偏差减小;通道 7、8 北半球偏差被订正过来了;通道 9、10 南半球高纬附近有极少数资料订正效果不好,但比起静态偏差订正效果仍改进明显。总体来说,采用偏差订正动态更新技术之后样本偏差明显变小,并且效果随高度增加越来越显著。

3.1.3 偏差概率密度函数

图 5 给出了未经偏差订正的数据(蓝色)以及采用静态偏差订正(绿色)与偏差订正的动态更新技术(红色)订正后的概率密度函数图。峰值越接近零说明背景减去观测的残差越接近无偏。可以看到,采用静态偏差订正后的观测残差计数的峰值全都不在

零附近,存在系统性偏差,而通道 7、8、9、10,订正后的效果甚至还不如未订正的数据效果好。而经偏差订正动态更新技术订正后,不仅使得观测残差计数的峰值全都在零附近,而且相比于静态偏差订正,偏差的分布更集中,更接近高斯型,尤其是对于通道 7、8、9、10,订正效果更为明显。

3.1.4 同化效果分析

图 6 为位势高度均方根误差分析图。同化结果的误差以 NCEP 分析作为标准来统计。我们选择了 700、500 与 250 hPa 三层来分析同化效果。由图可以看出,偏差订正的动态更新刚开始时有一个偏差下降的过程,也就是上文说的调整期。与静态偏差订正效果相比,偏差订正的动态更新技术不论在南半球还是北半球都有改进,不仅在低层的 700 hPa 有明显的改进,而且在 500 以及 250 hPa 的改进效果也是相当明显。所以偏差订正的动态更新技术的订正效果整体优于静态偏差订正的效果,并且南半球的整体改进效果要优于北半球。

图 7 为位势高度廓线的偏差与均方根误差分析图。通过比较廓线图我们可以知道,采用偏差订正动态更新技术后,虽然仍有一定的误差,但相比于静态偏差订正的廓线图分析结果改进明显,能够起到

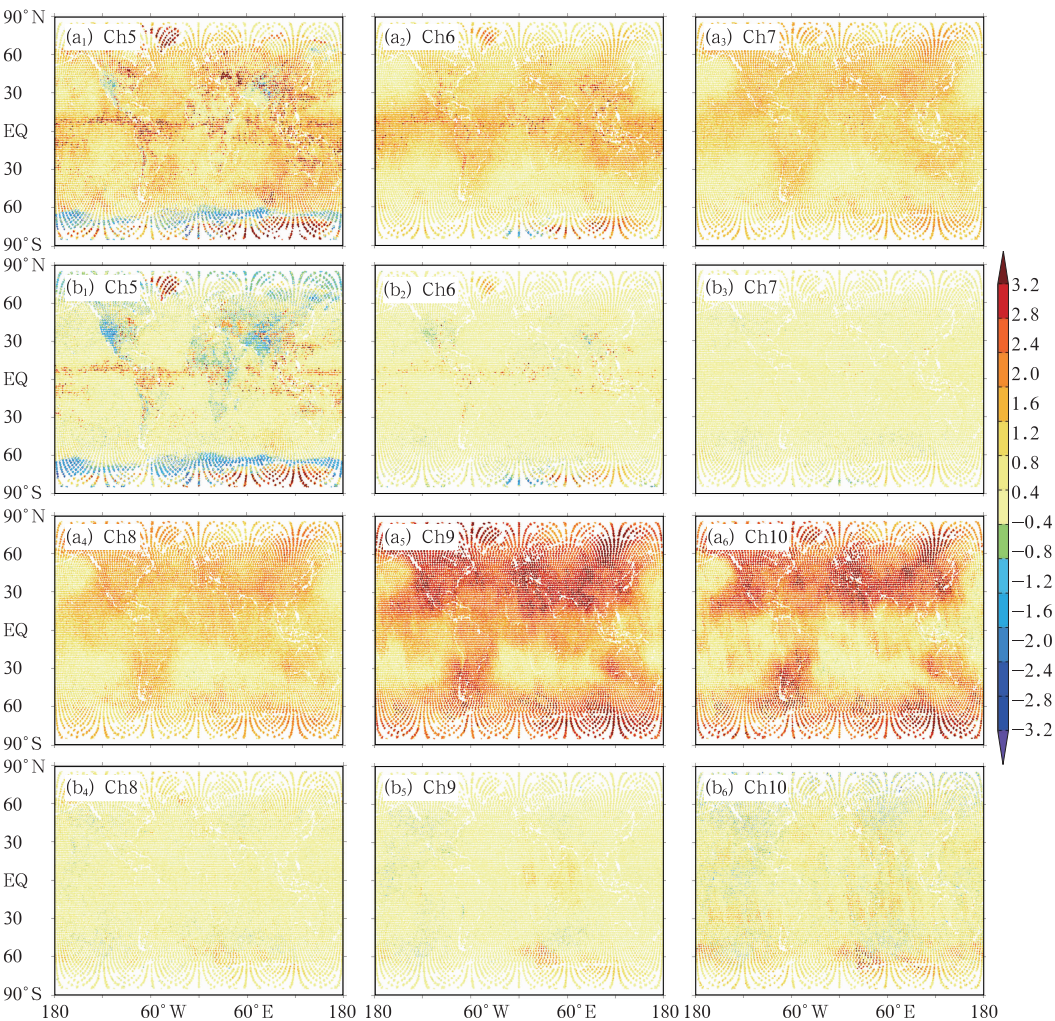


图 4 不同通道采用静态偏差订正(a)和偏差订正动态更新技术(b)后全球偏差散点图
Fig. 4 Scatter diagram of global bias of different channels after static bias correction (a) and online bias correction (b)

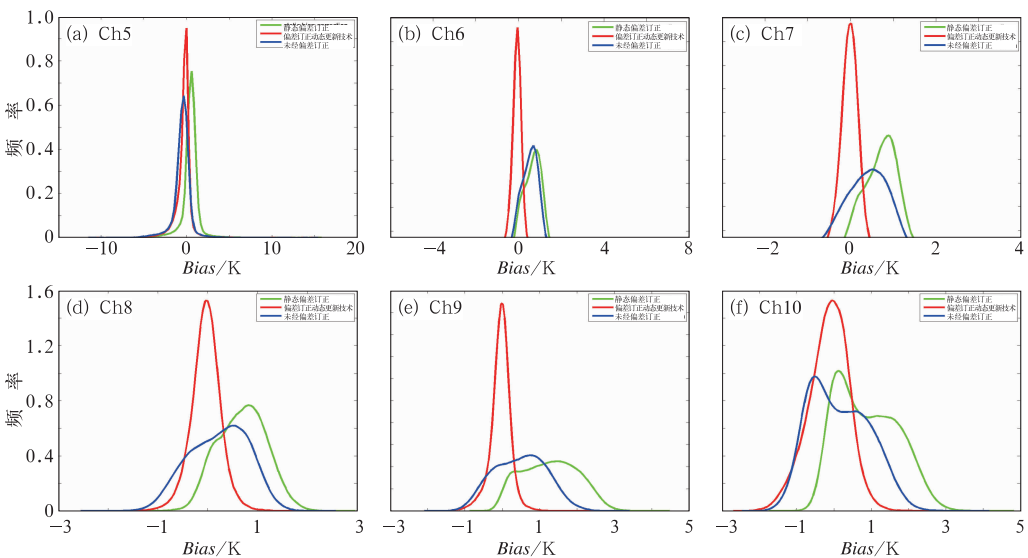


图 5 不同通道未经偏差订正(蓝色)、采用静态偏差订正(绿色)以及偏差订正动态更新技术(红色)后偏差的概率密度函数
Fig:5 PDF without bias correction (blue), and PDF after static bias correction (green) and online bias correction (red) for different channels

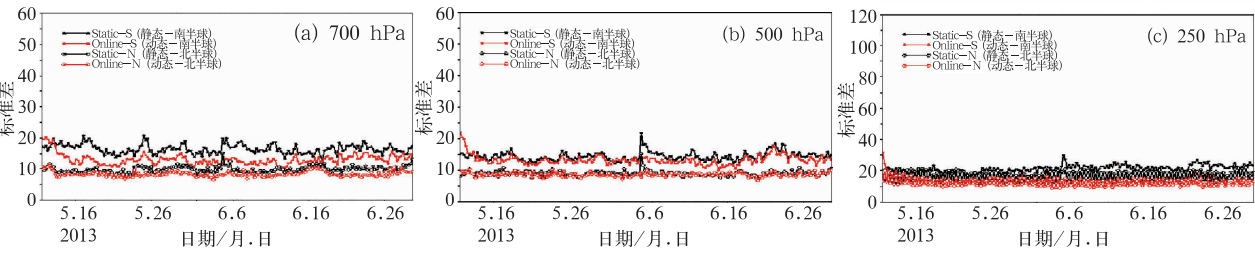


图 6 不同等压面上采用静态偏差订正(黑色)与动态更新技术订正后(红色)位势高度均方根误差

Fig. 6 Root-mean-square error on different isobaric surfaces after static bias correction (black) and online bias correction (red)

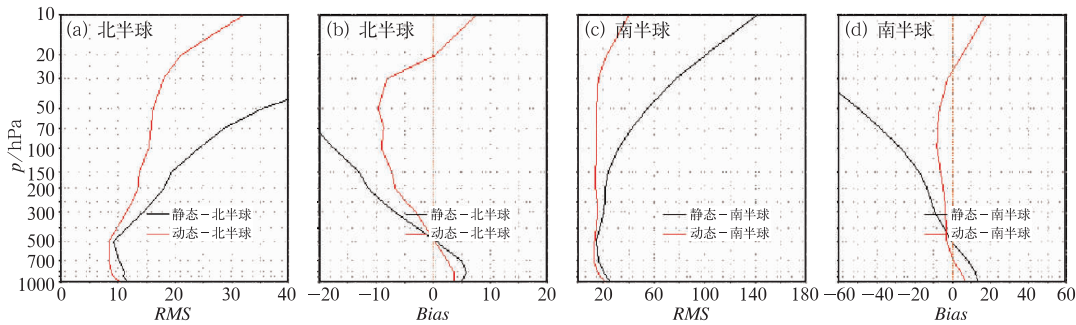


图 7 位势高度廓线均方根误差(a, c)与偏差(b, d);(a, b)北半球, (c, d)南半球

Fig. 7 Root-mean-square error (a, c) and bias of geopotential height (b, d);

(a, b) Norther Hemisphere, (c, d) Southern Hemisphere

积极的作用。

3.2 与局部最优偏差订正效果的比较

原 GRAPES 模式偏差订正预报因子的系数是由 5 月上旬共 10 天资料获得的统计样本,采用最小二乘法计算出来的,所以在 5—6 月我们可以把原偏差订正模式看做是局部最优的。

将采用偏差订正动态更新技术后获得的数据与偏差系数扰动前的数据作比较,看看能否达到甚至超过原偏差订正模式即局部最优效果。

3.2.1 订正效果分析

使用经过调整期后 5 月 16 日到 6 月 30 日的数

据,可以从时间序列图(图略)看出动态更新方案达到甚至超过原偏差订正模式,偏差订正的动态更新方案通道 5 至通道 9 订正结果比最优偏差订正更接近零,动态更新技术是比较稳定的;概率密度函数分析图(图略)表明,动态更新技术的订正效果与最优偏差订正的效果在通道 5、6、7、8 是差不多,而在通道 9、10,动态更新技术订正效果比最优偏差订正的效果还要好一些。

3.2.2 同化效果分析

图 8 为采用偏差订正动态更新技术(红色)以及最优偏差订正(黑色)后,位势高度均方根误差分析图。由图我们可以看出,与局部最优偏差订正效果

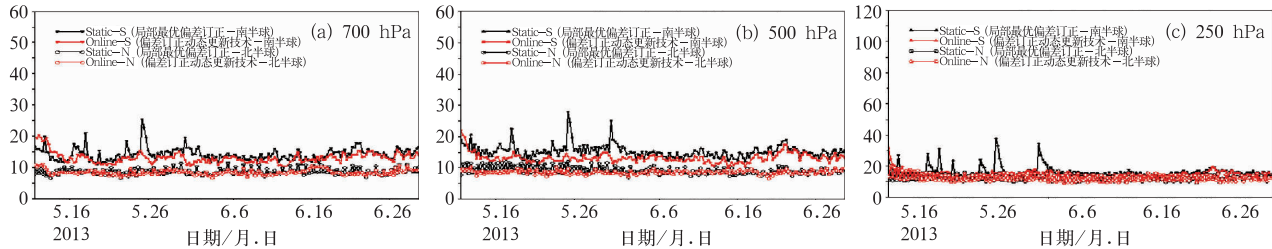


图 8 同图 6,但为偏差订正动态更新技术(红色)和最优偏差订正(黑色)

Fig. 8 Same as Fig. 6, but with online bias correction (red) and original bias correction (black)

相比,新方案对位势高度场,在中低层,南半球偏差订正的动态更新效果要略好一些,在高层与北半球,两者相差不大。

图 9 为位势高度廓线的均方根误差与偏差分析

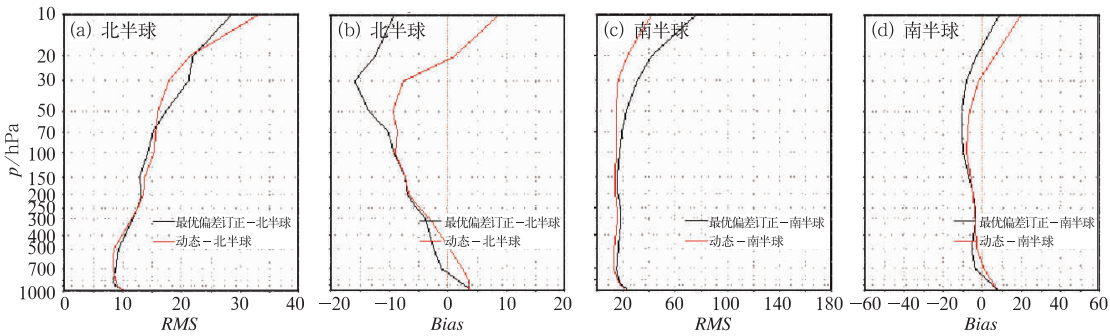


图 9 同图 7,但为偏差订正动态更新技术(红色)和最优偏差订正(黑色)
Fig. 9 Same as Fig. 6, but with online bias correction (red) and original bias correction (black)

4 结论和讨论

本文在 Harris 和 Kelly 的 TOVS 辐射偏差订正方案以及国外 NWP 系统中对卫星数据提出的偏差订正动态更新概念的基础上,结合 GRAPES 系统和国家卫星气象中心的卫星预处理系统的特点以及仪器特征,提出了 GRAPES 偏差订正动态更新方案,解决了数据的漂移问题。在确定准备使用的背景场和卫星辐射资料之后,偏差订正分三步进行:第一步,收集适当周期长度的卫星观测偏差数据;第二步,在同化分析之前,利用变分方法对偏差订正系数进行动态更新;第三步,对当前观测数据进行订正,实现同化分析。从试验结果来看,比起静态偏差订正,动态更新方案可以自动、迅速地优化已经退化的偏差订正方程,并且保持偏差订正的效果,运行稳定,达到了期待的效果。

需要说明的是,此方案只是初步的尝试,今后还有很多工作。第一,通道 10 的偏差有小幅度的波动,未来还可以考虑怎样进行改进;第二,本文只对预报因子的系数进行了动态更新,扫描偏差仍然是在分析之前完成,日后还可以考虑同时对扫描角系数进行动态更新;第三,本文的预报因子采用的是 GRAPES 模式原有的预报因子,下一步希望能够根据偏差订正动态更新技术的特点,重新选取预报因子,进行偏差订正。

图。通过比较廓线图可以知道,相比于最优偏差订正,除了高层外,南北半球都优于局部最优偏差订正的效果。综上所述,可以说偏差订正的动态更新技术达到甚至某些地区超过了最优偏差订正的效果。

参考文献

卡莱尼. 2005. 大气模式、资料同化和可预报性. 蒲朝霞, 杨福全, 邓北胜, 等译. 北京: 气象出版社.

刘志权, 张凤英, 吴雪宝, 等. 2007. 区域极轨卫星 ATOVS 辐射偏差订正方法研究. 气象学报, 65(1): 113-123.

张兴海, 端义宏. 2014. FY-2F 红外亮温资料模拟与偏差分析. 气象, 40(9): 1066-1075.

朱国富. 2015. 理解大气资料同化的根本概念. 气象, 41(4): 456-463.

邹晓蕾. 2009. 资料同化理论 and 应用(上册). 北京: 气象出版社.

Auligné T, McNally A P, Dee D P. 2007. Adaptive bias correction for satellite data in a numerical weather prediction system. Quar J Roy Meteor Soc, 133: 631-642.

Dee D P. 2004. Variational bias correction of radiance data in the ECMWF system // Proceedings of the ECMWF Workshop on Assimilation of High Spectral Resolution Sounders in NWP, Reading, UK, 28 June to 1 July, 97-112.

Dee D P, da Silva A M. 1998. Data assimilation in the presence of forecast bias. Quar J Roy Meteor Soc, 124: 269-295.

Eyre J R. 1992. A bias correction scheme for simulated TOVS brightness temperatures. ECMWF Research Dept Tech Memor, 186: 81-109.

Harris B A, Kelly G. 2001. A satellite radiance bias correction scheme for data assimilation. Quar J Roy Meteor Soc, 127: 1453-1468.

McMillin L M, Crone L J, Crosby D S. 1989. Adjusting satellite radiance by regression with an orthogonal transformation to a prior estimate. J Appl Meteor, 28: 969-975.

McNally A P, Watts P D, Smith L A. 2006. The assimilation of AIRS radiance data at ECMWF. Quar J Roy Meteor Soc, 132: 935-957.