

文章编号: 2096-1618(2016)06-0622-07

GRAPES 模式顶外部背景廓线构造方法初步研究

姚佳林^{1,2}, 张 华³, 李泽椿³, 倪长健¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 山西省人工降雨防雹办公室, 山西 太原, 030032; 3. 国家气象中心, 北京 100081)

摘要:为得到与实际高层大气环流形势相近的 GRAPES 模式顶以上背景廓线, 设计 5 种尽可能贴合模式顶以上实际温度误差随高度分布的模拟试验, 利用一维变分方法和实际高光谱 IASI 资料对模式顶以上温度廓线进行订正, 并利用通道权重制定 4 种高层通道的选择方案, 结果表明: 该方法可将包含各种误差的温度廓线进行调整, 一般在 1 hPa 处调整率达最大, 最大超过 90 %; 在 0.1 hPa 处调整率较低, 维持在 30 % 左右; 10 hPa 处调整率较小, 因为该处调整前后的温度误差都很小; 选取通道权重高于 50 hPa 的通道即可对模式顶以上温度廓线进行有效调整。通过改进数值预报方法, 为进一步提高 GRAPES 模式的天气预报效果奠定了基础。

关键词:天气预报; 数值预报方法; 一维变分; 模式顶以上; 背景廓线

中图分类号: P456.7

文献标志码: A

0 引言

自 2001 年开始, 由中国气象局在中国气象科学研究院创建国家气象局数值预报创新基地, 自主研发并建立新一代的全球/区域多尺度通用同化与数值预报系统 GRAPES (global/regional assimilation and prediction system)^[1-4], 可以对卫星辐射率进行直接同化。自从对卫星资料开展同化技术, 全球 GRAPES 系统在预报方面取得了很大进展, 尤其预报技巧明显提高, 最终使卫星资料在数值预报中的应用技术瓶颈问题得以解决^[5]。当前中国数值预报业务模式在不断发展, 尽管在预报性能方面有了很大的改善, 且全球 GRAPES 分析场质量也在不断提升, 几乎达到与国外先进数值预报分析场相关性较高的水平。但是仍不能满足我国对提高天气预报准确率的需求, 该系统的多项关键应用技术还不成熟, 有的甚至仅处在初级试验阶段, 尤其和国外先进业务中心数值天气预报模式相比差距较为明显^[6], 特别是表现在资料同化方法与资料应用技术方面。关注的其中一项关键技术是开展对高层大气的不断深入研究, 进而通过提高高层的预报质量, 使得 GRAPES 预报模式在预报时效、准确度以及所需初值场的准确稳定性方面进一步趋于完善。此外, 无论是对于业务方面还是实际需求方面, 中低层天气预报都是最重要的部分, 要尽一切努力不断完善中低层天气预报质量, 考虑到大气是一体的, 且由于后期高层大尺

度天气系统在很大程度上制约着中低层天气预报效果, 因此更有必要对高层大气进行深入研究。

全球 GRAPES-GFS 分析场模式高层质量不高, 尤其与 NCEP, ECMWF 相比差距较为明显, 其中一项重要原因是高层通道卫星资料没有被有效利用。其中高层通道数据未能使用是由于背景场大气廓线构造未能拟合高层大气基本状态。目前, 只有少量的探空资料和 COSMIC (constellation observing system for meteorology, ionosphere and climate) 资料被 GRAPES 模式高层使用^[7], 因此数值预报背景场不能达到无偏状态, 且位于高层的探空资料具有局限性, 很容易因为辐射制热或制冷产生不可估的偏差, 另外, 海洋的分析偏差同样明显。因此, 针对模式高层存在的问题, 仅通过现已使用的探空等资料是不足以解决的。事实上在大气高层, 不仅仅有探空资料和 cosmic, 还有越来越多质量 (精度, 时效性等) 好的卫星垂直探测资料可加以利用。

由于 GRAPES-3DVar 系统使用快速辐射模式 (RTTOV), 首先需要提供从背景场插值到 43 层 (1000 ~ 0.1 hPa) 的大气廓线, 才能保证 RTTOV 运算完整运行, 而当前 GRAPES 预报模式仅能提供 1000 ~ 10 hPa 的温湿廓线。在 10 ~ 0.1 hPa 的大气廓线构造如果不合理, 将导致辐射亮温经过系统模拟出的结果在这一高度上的误差加大, 针对如何处理误差较大的数据, 考虑对于权重函数位于高层的资料都不使用, 这样的方式最终会造成模式的分析场和预报场准确度不高。目前全球 GRAPES 模式在选择通道过程中将部分高层

收稿日期: 2016-05-05

基金项目: 公益性行业 (气象) 科研专项资助项目 (GYHY2012060 02, GYHY201106008)

通道关闭,不予使用,导致相当一部分高精度数据不能得到合理应用。然而没有得到应用的高层通道资料相比已经使用的资料有很大优势,前者不受下垫面和降水云污染影响。除此之外,更多的高光谱资料可以应用到 GRAPES 系统中,以期改进预报质量。

GRAPES-3DVar 模式顶以上 (10 ~ 0.1 hPa) 的大气廓线最初采用外推方案构造,该方案造成的背景场廓线与真实状况差异很大。现阶段采用气候值内插方案^[8],相比早期采用的外推方法在垂直结构上具有气候学意义的合理性,但与实际高层大气环流形势仍然存在相当大的差距。本项工作计划采用一维变分方法并利用实际观测资料对气候值廓线进行订正^[9-10],减小气候值与实际高层大气环流形势之间的差距,以期改善高层背景廓线并进而提高卫星高层通道的应用水平。

为了验证本方案的可行性,首先采用一维变分系统提供的样本数据作模拟试验,将样本背景场廓线作为理想值,即“真值”。鉴于模式高层温度误差整体随高度增加呈现递增趋势,中间会产生一些波动的特点,本文运用数学公式,设计了 5 种尽可能贴合实际温度误差分布的模拟试验,人为地在理想廓线上叠加各种误差扰动,制定误差随高度线性及非线性分布方案,其中非线性分布又包括正反抛物线分布以及不同波数的波动分布方案。以期分析一维变分方法对包含各种误差的温度廓线的调整能力,证明本文所提方案的可行性,为下一步改进 GRAPES 模式的工作奠定基础。

试验样本数据选择超高光谱大气红外探测器 (infrared atmospheric sounding interferometer, IASI) 是 21 世纪初期由 CNES (法国国家太空研究中心) 发明的,搭载在极轨卫星 METOP-A 上,它主要用来探测地球大气的温湿度廓线及其主要成分^[11]。IASI 是一个探测性能高 (垂直分辨率可达 1 km) 的傅立叶变换光谱仪,它共有 8461 个光谱分辨率相等 (0.25 cm⁻¹) 的通道,光谱范围 3.62 ~ 15.5 μm,辐射分辨率 0.1 ~ 0.5。IASI 搭载的 METOP 卫星每天 09:30 从北向南经过赤道上空,轨道周期为 101 min,每天大约绕地球转 14 圈^[12-13]。IASI 光谱范围包括 CO₂、H₂O、CO、O₃、CH₄ 和 N₂O 吸收带^[14]。大气温度的探测主要源于 CO₂ 吸收带,大气湿度的探测以及云的特征的反演源于 H₂O 吸收带,痕量气体含量的探测源于其它气体吸收带。由于目前 IASI 水汽探测高度达不到试验所需高度,因此本试验只考虑温度。其中 IASI 在探测温度廓线方面,垂直分辨率在对流层低层 (1 km),在晴空条件下

水平分辨率达到 25 km,精度为 1 K。选取 IASI 资料进行试验,主要依据 IASI 的良好探测性能以及拥有多通道的特点,尤其包含了多个高层通道,不足之处在于 IASI 是红外光谱仪,其受云影响比较明显,在非晴空下,探测亮温存在差异。首先针对本试验只做对温度廓线的调整,初步选择当前 GRAPES 模式主要使用的探测性能较稳定的 150 个长波 CO₂ 光谱带进行以下试验,其中该 150 个通道满足反演过程中亮温 O-B 阈值都达标。

1 一维变分系统

采用的一维变分系统为 NWPSAF 1D-var v1.0,由 Met Office, SSMIS, ECMWF 组成。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 (目标函数) 一般定义为

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

其中,分析向量 (控制变量) 用 \mathbf{x} 表示;背景向量用 \mathbf{x}^b 表示,包括温、湿度廓线等;背景误差协方差矩阵用 \mathbf{B} 表示;观测误差协方差矩阵用 \mathbf{R} 表示;观测向量 (卫星观测亮温) 用 \mathbf{y} 表示;矩阵的转置和逆分别用上标 T、-1 表示;观测算子 (辐射传输模式采用 RTTOV11) 用 \mathbf{H} 表示,经过辐射传输模式计算出的模拟亮温用 $\mathbf{H}(\mathbf{x})$ 表示。

目标函数极小化采用最速下降法,迭代过程中,目标函数的梯度为

$$\nabla_x J(\mathbf{x}) = \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{x})[\mathbf{H}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}]$$
 (2)

迭代方案有 2 种:

$$\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{x}^b + [\mathbf{H}(\mathbf{x}_n) \mathbf{B} \mathbf{H}^T(\mathbf{x}_n) + \mathbf{R}]^{-1} \mathbf{H}^T(\mathbf{x}_n) \mathbf{R}^{-1}[\mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}_n) - \mathbf{H}(\mathbf{x}_n)(\mathbf{x}^b - \mathbf{x}_n)]$$
 (3)

$$\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{x}^b + [\mathbf{B}^{-1} + \mathbf{H}^T(\mathbf{x}_n) \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}(\mathbf{x}_n)]^{-1} \mathbf{H}^T(\mathbf{x}_n) \mathbf{R}^{-1}[\mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}_n) - \mathbf{H}(\mathbf{x}_n)(\mathbf{x}^b - \mathbf{x}_n)]$$
 (4)

雅克比 Jacobi 矩阵项则用公式中的 $\mathbf{H} = \partial \mathbf{H} / \partial \mathbf{x}$ 表示。当卫星通道的使用数 (\mathbf{R} 矩阵的阶数) 小于背景向量元素的个数 (\mathbf{B} 矩阵的阶数) 时,选用 (3) 式;反之,则使用 (4) 式。当上述目标函数梯度取值等于 0 时,其中所求得的分析向量 \mathbf{x} 便是所需的最优解。

2 模拟试验方案设计

模拟试验采用一维变分系统,选取的大气背景温

度廓线为一维变分分析系统自带的合理样本数据,是取自欧洲中心的一条中纬度冬季廓线,抽取效果较好的 IASI 红外高光谱资料进行试验,其中 IASI 卫星观测亮温与该条背景廓线相匹配,将这条廓线作为理想背景场值,即“真值”。由于一维变分系统提供的 IASI 高光谱 54 层资料对背景廓线调整效果优于 43 层资料,选取 54 层进行分析。

图 1 为温度误差垂直分布图,该图引自 Polavarapu^[15],反映了高层温度误差随高度的分布,从图中可以看出模式顶以上(10 hPa 以上)温度误差整体随高度增加呈现递增趋势,中间会产生一些波动,将图 1 视作“理想值”,即“实际值”。为了尽可能的贴合实际,人为地在模式顶以上理想背景廓线叠加各种误差扰动,制定误差随高度线性及非线性分布方案;其中非线性分布又包括正反抛物线分布以及二、三次波动分布方案,这 5 种分布方案几乎涵盖了图 1 所示温度误差垂直分布结构。

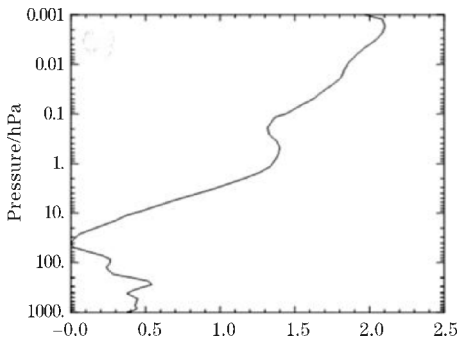


图 1 温度误差垂直分布图

首先,定义几个变量: $y, x, k, bias_0, bias_k, P, adj_k$ 。其中因变量 y 与自变量 x 在下文分别满足不同的函数关系; k 代表层次,如 $k=1$ 为 IASI 54 层资料的顶层(0.005 hPa), $k=15$ 为 IASI 54 层资料的第 15 层(9.837 hPa,近似于 GRAPES 模式层顶 10 hPa 位置),由于本文是对模式顶以上的垂直廓线进行订正,所以 k 值范围是 $1 \leq k \leq 15, k$ 取整数; $bias_0$ 为人为给定的初值,即为常数; $bias_k$ 代表人为地在理想背景廓线上叠加的误差扰动,是随层次变化的,称为叠加扰动后的温度误差,即调整前的温度误差; P 为常数,下文中会详细说明; adj_k 为采用一维变分同化系统结合实际观测资料调整叠加扰动的理想背景廓线得到的温度误差,也是随层次变化的,称为调整后的温度误差。依此制定 5 种误差分布方案,即构建 5 种 $bias_k$ 与 k 的函数关系如下:

(i) 线性方案

线性分布公式依据线性方程 $y = ax$ 设计,文中将

因变量 y 、自变量 x 以及系数 a 分别用 $bias_k, (16-k)/15$ 以及常数 $bias_0$ 代替(下文一样),误差公式为

$$bias_k = bias_0 \frac{16-k}{15}, (1 \leq k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

其中当 $k=1$ 时, $bias_1 = bias_0$

(ii) 正抛物线方案

正抛物线分布公式依据抛物线的标准方程 $y^2 = 2px (p>0)$, 即设计误差公式为

$$bias_k = \pm \sqrt{2P \frac{16-k}{15}}, (p>0, 1 \leq k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

P 代表常数, P 的取值与 $bias_k$ 有关, 当 $k=1$ 时, $P = bias_1^2/2$, 且根据线性公式 $bias_1 = bias_0$, 即, $P = bias_0^2/2$, 最终得到误差公式为 $bias_k = bias_0 \sqrt{\frac{16-k}{15}}, (1 \leq k \leq 15, k \text{ 为整数})$

(iii) 反抛物线方案

反抛物线分布公式依据抛物线的另外一种标准方程 $x^2 = 2py (p>0)$ 即 $y = x^2/2p$ 设计, 误差公式为

$$bias_k = \left(\frac{16-k}{15} \right)^2 / 2p, (p>0, 1 < k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

这里的 P 同样代表常数, 即当 $k=1$ 时, $bias_1 = 1/2P, bias_1 = bias_0, bias_0 = 1/2P, P = 1/(2bias_0)$, 最终得到误差公式为

$$bias_k = bias_0 \left(\frac{16-k}{15} \right)^2, (1 \leq k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

(iv) 2 次波动方案

波动分布公式的设计方案是由线性公式 $y = ax$ 与正弦公式 $y = 2\sin(n2\pi x)$ 相减组成, 即 $y = ax - 2\sin(n2\pi x)$, 在线性误差的基础上加一个小的扰动, 2 次($n=2$)波动误差公式为

$$bias_k = bias_0 \frac{16-k}{15} - 2\sin(4\pi \frac{16-k}{15}), (1 \leq k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

同样满足当 $k=1$ 时, $bias_1 = bias_0$

(v) 3 次波动方案

同理得出 3 次($n=3$)波动误差公式为

$$bias_k = bias_0 \frac{16-k}{15} - 2\sin(6\pi \frac{16-k}{15}), (1 < k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

同样满足当 $k=1$ 时, $bias_1 = bias_0$

以上 5 种误差分布方案中都满足当 $k=1$ 时 $bias_1 = bias_0$, 即 $bias_0$ (初值) 为人为地在理想背景廓线上叠加的最大扰动, 即在 IASI 54 层资料的顶层(0.005 hPa)处叠加的扰动。

3 模拟试验

3.1 调整结果

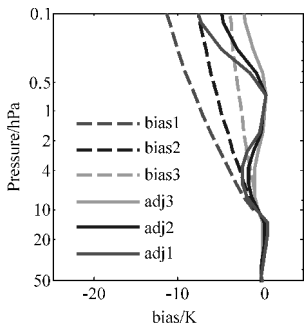
前文提到的 $bias_0$ 人为取 6 个值,分别为-15 K、-10 K、-5 K、5 K、10 K、15 K,对应图中虚线部分 $bias_1$ 、 $bias_2$ 、 $bias_3$ 、 $bias_4$ 、 $bias_5$ 、 $bias_6$ 这 6 根虚线分别代表叠加以上不同扰动大小的温度误差随层次的分布图;图中实线部分 adj_1 、 adj_2 、 adj_3 、 adj_4 、 adj_5 、 adj_6 这 6 根实线分别代表经过调整后的温度误差随层次的分布图。

由于 $bias_1 = bias_0$,即 IASI 54 层顶层(0.005 hPa)对应的 6 种误差扰动分别为-15 K、-10 K、-5 K、5 K、10 K、15 K,由于现阶段 GRAPES 模式最高分析到 0.1 hPa,且试验中仅对 10 hPa 以上的背景廓线进行调整,因此文中作图仅选取 0.1 ~ 50 hPa 进行分析,需要注意的是图中 0.1 hPa(上边缘)处对应的扰动后的温度误差(虚线)不是 -15 K、-10 K、-5 K、5 K、10 K、15 K,其绝对值应该是分别比这些扰动后的温度误差绝对值要小的结果。

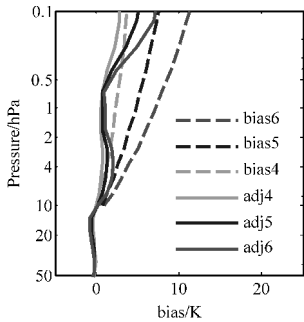
为了更直观地反映结合实际观测资料利用一维变分系统调整模式顶以上背景廓线前后温度误差的变化情况,制定温度误差调整率公式:

$$f_k = \frac{||bias_k| - |adj_k||}{|bias_k|}, (1 \leq k \leq 15, k \text{ 为整数})$$

其中 f_k 为温度误差调整率, $f_k > 0$, $bias_k$ 为叠加扰动后的温度误差,即调整前的温度误差, adj_k 为调整后的温度误差。



(a) 误差随高度线性负分布



(b) 误差随高度线性正分布

图 2 温度误差随高度线性分布

表 1 温度误差调整率(线性分布)

高度/ hPa	调整率/%					
	$bias_0$ =-15	$bias_0$ =-10	$bias_0$ =-5	$bias_0$ =5	$bias_0$ =10	$bias_0$ =15
9.837	45.10	37.45	14.80	94.30	82.90	75.40
7.215	14.80	11.65	0.35	53.80	41.87	38.50
5.186	23.00	22.30	17.40	44.80	39.65	38.60
3.646	42.25	43.45	44.50	46.82	47.65	48.42
2.501	67.20	69.43	75.04	55.18	60.70	62.74
1.669	95.48	97.78	94.15	70.75	78.90	81.38
1.08	95.99	94.06	85.51	73.00	81.83	84.19
0.675	92.33	89.26	78.44	73.64	84.55	87.77
0.405	85.93	91.18	95.23	55.57	68.90	73.73
0.232	53.36	58.61	70.33	34.12	45.48	50.16
0.126	35.20	39.43	47.99	25.03	33.30	37.09

图 2 表明 GRAPES 模式顶以上温度误差随高度呈线性分布时,采用一维变分方法结合高光谱 IASI150 个长波 CO₂通道资料对其进行调整的结果,表 1 为所对应的温度误差调整率,分析如下:结合图 2(a)与表 1 显示温度误差随高度呈线性负分布时:在 0.405 ~ 1.669 hPa 高度范围内调整率较大,调整率为 78.44 % ~ 97.78 %,如 $bias_0 = -15$ K 时,在 1.08 hPa 附近处调整前的温度误差为 -7 K,调整后的温度误差约为 0.281 K,调整率约高达 95.99 %;在 0.126 hPa 附近处调整前的温度误差约为 -11 K,调整后的温度误差约为 -7.128 K,调整率较小约为 35.20 %;图 2 可看出靠近模式层顶 10 hPa 高度处,调整前后的温度误差都很小,故调整率偏小,此外,在该处调整率容易出现极值,如调整率最小值 0.35 % 对应的调整前的温度误差约为 -0.667 K,调整后的温度误差约为 -0.669 K,后者比前者约大 0.002 K,但是考虑到调整前后的温度误差都极小,依然能够说明本方案设计的合理性。图 2(b)为误差随高度线性正分布,对正的误差和负的误差有类似的调整效果。

图 3 ~ 图 6 分别为温度误差随高度呈正、反抛物线分布,二、三次波动分布,且分别包括正反误差分布,它们的调整效果与线性分布的类似,都是在 1 hPa 高度附近调整能力最大,调整率最大可达 90 % 以上;在 0.1 hPa 处调整能力较小,调整率至少也有 30 % 左右;在模式层顶 10 hPa 处调整能力也较小,是因为该处调整前后的温度误差本身都很小。

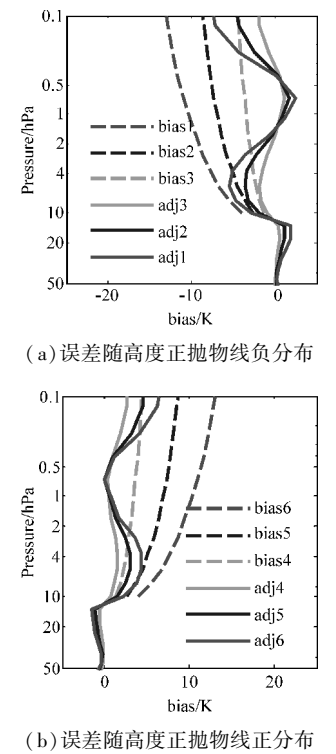


图 3 温度误差随高度正抛物线分布

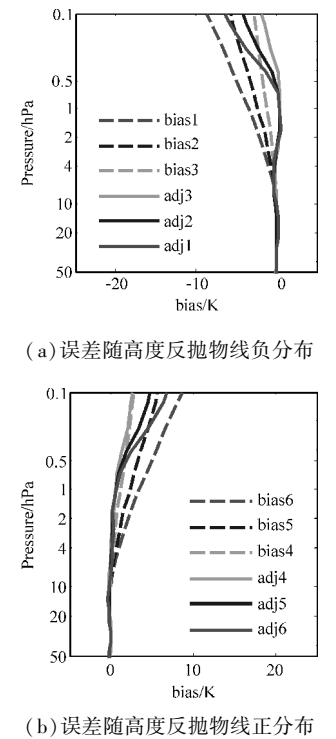


图 4 温度误差随高度反抛物线分布

3.2 通道的选择

初步模拟试验采用 150 个长波 CO₂ 通道组合资料结合一维变分系统对模式顶以上温度廓线进行调整, 这 150 个长波 CO₂ 通道组合包括许多中低层通道, 考虑到对模式顶以上温度廓线的调整主要受高层通道影

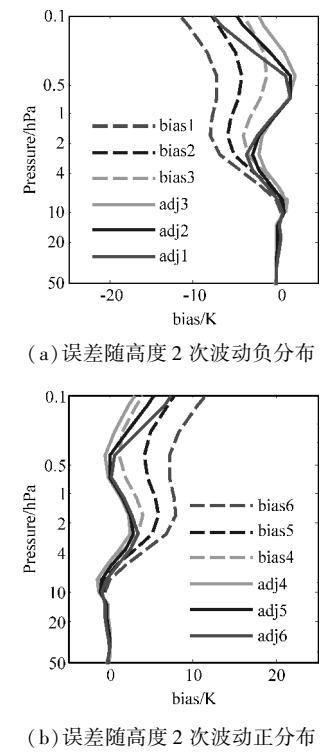


图 5 温度误差随高度 2 次波动分布

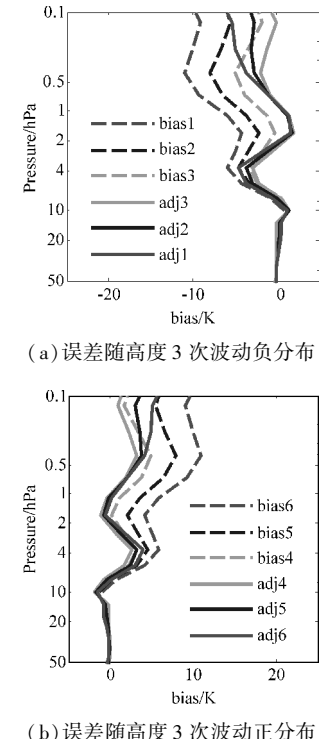


图 6 温度误差随高度 3 次波动分布

响,设计如表 2 所示的 4 种高层通道组合的选择方案, 包括通道权重分别高于 10 hPa、20 hPa、30 hPa、50 hPa 的通道组合。

图 7 为分别将这 4 种通道组合方案对模式顶以上温度廓线的调整能力与 150 个长波 CO₂ 通道对温度廓线的调整能力进行对比的结果,误差扰动选用方案 b,

表 2 通道组合		
方案	通道权重	通道号
试验 1	over 10 hPa	92, 95
试验 2	over 20 hPa	16, 72, 92, 95, 97, 99
试验 3	over 30 hPa	16, 72, 92, 95, 97, 99, 119, 125, 138, 144, 157, 303
试验 4	over 50 hPa	16, 59, 66, 72, 74, 81, 89, 92, 95, 97, 99, 101, 106, 113, 119, 125, 131, 138, 144, 151, 157, 163, 170, 176, 303

即满足模式顶以上温度误差随高度呈现正抛物线正分布。该图中虚线 $bias_0$ 前文已提到,代表 4 种试验都为叠加 $bias_0 = 15$ K 扰动大小的温度误差随层次的分布图,同样选取 0.1 ~ 50 hPa 进行分析,图中 0.1 hPa (上边缘) 处对应的扰动后的温度误差 (虚线) 小于 15 K; 图中实线部分分别代表采用 150 个长波 CO_2 通道资料及其通道权重分别高于 10 hPa、20 hPa、30 hPa、50 hPa 的资料调整后的温度误差随层次的分布图。图 7(a) 表明采用试验 1, 仅选择通道权重位于 10 hPa 以上的 2 个高层通道资料对温度廓线的调整能力贡献很大; 图 7(b) 表明采用试验 2, 选择 20 hPa 以上的 6 个高层通道资料对温度廓线的调整能力比仅选择通道权重位于 10 hPa 以上的两个高层通道资料好些, 图 7(c) 表明选择 30 hPa 以上的 12 个高层通道资料对温度廓线的调整能力在 0.5 ~ 1 hPa 附近比 150 个长波 CO_2 通道对温度廓线的调整能力稍弱些; 图 7(d) 表明选择 50 hPa 以上的 25 个高层通道资料对温度廓线的调整能力与 150 个长波 CO_2 通道对温度廓线的调整能力几乎一致。综上所述, 选择通道权重高于 50 hPa 的通道组合就可以对模式顶以上温度廓线进行有效调整。

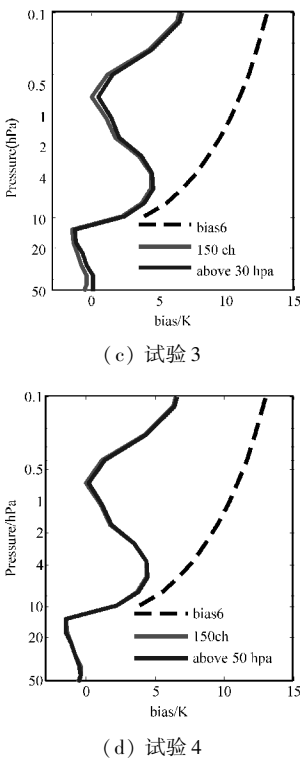
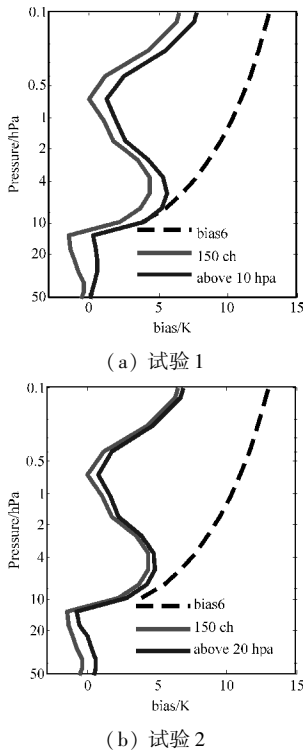


图 7 不同通道组合对调整结果的影响 (温度误差随高度呈正抛物线分布)

4 结论

为解决模式顶以上背景廓线构造方案的不合理性,采用了一维变分方法并结合实际的红外高光谱 IASI 卫星观测资料对模式顶以上带有误差的温度廓线进行调整。为验证本方案的可行性,设计 5 种尽可能贴合实际温度误差分布的模拟试验,认为采用该方法均可以对存在 5 种误差分布的温度廓线进行调整,为下一步改进 GRAPES 模式的工作奠定基础。

模拟试验取得了以下的结论:

- (1) 无论 GRAPES 模式顶以上温度误差随高度呈现怎样的分布形式,结合高光谱 IASI 观测资料利用一维变分系统都可以有效的将偏差进行调整,使得模式顶以上的背景廓线调整到靠近真值。
- (2) 在所有温度误差分布形式下,在 1 hPa 高度附近调整能力最大,调整率最大可达 90 % 以上;在 0.1 hPa 处调整能力较小,调整率至少也有 30 % 左右;在模式层顶 10 hPa 处调整能力也较小,是因为该处调整前后的温度误差本身都很小。
- (3) 从通道的类型看,仅仅使用通道权重高于 10 hPa 的 2 个高层通道资料可以对模式顶以上温度廓线进行大幅度调整,通道权重在 10 ~ 50 hPa 的通道资料对调整模式顶以上温度廓线也起到一定作用,通道权重高于 50 hPa 资料的调整能力几乎与 150 个长波 CO_2 通道资料一致,在实际业务过程中选择通道权重高于 50 hPa 通道资料即可完成对温度廓线的调整。

上述结果表明,模式顶以上的温度误差随高度分布无论是呈线性增长还是非线性增长等各种复杂的尽可能贴近实际误差分布的情况下,采用实际卫星观测资料并结合一维变分方法可以大幅度减小误差,该方法可以对模式顶以上温度廓线进行有效调整。

参考文献:

- [1] 刘钊,周明忠,徐金秀,等. GRAPES 全球模式初始化优化策略[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2011,39(41):56-58.
- [2] 徐双柱,张兵,谌伟,等. GRAPES 模式对长江流域天气预报的检验分析[J]. 气象,2007,33(11):65-71.
- [3] 黄丽萍,伍湘君,金之雁,等. GRAPES 模式标准初始化方案设计与实现[J]. 应用气象学报,2005,16(3):374-384.
- [4] 陈德辉,薛纪善. GRAPES 新一代全球-区域多尺度统一数值预报模式总体设计研究[J]. 科学通报,2008,53(20):2396-2407.
- [5] 张人禾,沈学顺. 中国国家级新一代业务数值预报系统 GRAPES 的发展[J]. 科学通报,2008,53(20):2393-2395.
- [6] 闫之辉. 国家气象中心业务数值预报发展的回顾与展望[J]. 气象,2010,36(7):26-32.
- [7] 郭鹏,洪振杰,张大海,等. COSMIC 计划[J]. 天文学进展,2002,20(4):324-336.
- [8] 钟亦鸣. GRAPES-3DVar 顶层以上插值方案误差分析与改进及其对卫星资料应用的影响[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.
- [9] 程麟生,丑纪范. 大气数值模拟[M]. 北京:气象出版社,1991.
- [10] 秦琰琰,龚建东,李泽椿,等. 集合卡尔曼滤波同化多普勒雷达资料的观测系统模拟试验[J]. 气象,2012,38(5):513-525.
- [11] 张鹏,董超华,黎光清,等. 高光谱红外大气探测仪器原理、现状和未来[G]. 国家卫星气象中心气象卫星大气综合探测,2003:10-23.
- [12] 张艳品,章文星,吕达仁,等. 卫星(IASI 探测仪)观测云顶高与地基云雷达观测的对比验证[J]. 大气科学,2014,38(5):874-884.
- [13] Zhang Yanpin, Zhang Wenxing, Lü Daren, et al. Cloud top heights measured by METOP-A IASI Instrument compared with ground-based cloud radar [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2014, 38 (5): 874-884.
- [14] 张磊,董超华. METOP 星载干涉式超高光谱分辨率红外大气探测仪(IASI)及其产品[J]. 气象科技,2008,36(5):639-642.
- [15] Polavarapu, S. Some challenges of middle atmosphere data assimilation [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 2005, 131 (613):3513-3527.

Preliminary Study on Construction Method of GRAPES Model External Background Profiles

YAO Jia-lin^{1,2}, ZHANG Hua³, LI Ze-chun³, Ni Chang-jian¹

(1. College of Atmospheric Sciences Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Weather Modification Office of Shanxi Province, Taiyuan 030032, China; 3. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to get close to the actual situation of the upper atmospheric circulation model GRAPES above the top of the background profile, we design 5 simulation test mode to fit the actual temperature with height above the top of the error distribution as much as possible. By using one-dimensional variational method and real hyperspectral IASI data correction on the pattern above the top temperature profile, and by using the channel weight formulation of the 4 top channels, the results show that the temperature profile of this method will contain a variety of error adjustment. And the general adjustment rate reaches a maximum at 1 hPa, while the maximum of more than 90 %; at 0.1 hPa the adjustment rate is low, which remains at around 30 %; 10 hPa adjustment rate is smaller, because the temperature error before or after adjustment is very small; the selected channel weight is higher than that of the 50 hPa channel, and it can be effectively adjusted to the pattern above the top temperature profile. By improving the numerical forecast method, we can establish the foundation to further improve the weather forecast effect of GRAPES model.

Key words: weather forecast; numerical forecast method; one dimensional variational model; top model; background profile