

邓松,李刚,张华,2017. 高光谱红外云检测方案阈值的客观判定方法[J]. 气象,43(2):213-220.

高光谱红外云检测方案阈值的客观判定方法^{* 1}

邓 松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: GRAPES-3Dvar 大气红外高光谱云检测采用 McNally and Watts(2003)的晴空通道方案,该方案基于模拟观测与实际观测偏差(B-O)进行检测,其中阈值的选取与预报模式有关。传统对云检测阈值的选取多采用主观判定方法,如图像对比分析等。文章在主观判定的基础上提出两种新的较为客观的阈值判定方法:(1)视场偏差分析:通过分析模拟观测与实际观测之间偏差的垂直分布,观察不同阈值下的云顶高度来评估阈值选取的合理性;(2)云检测指标评分:通过建立一系列云检测指标,对其进行评分来选取最优的阈值。并结合上述三种方法,将其应用于 IASI 辐射率资料的云检测阈值判定,其中梯度阈值对最后的云检测效果影响不大,保持与欧洲中心相同的值;偏差阈值则采用综合的分析方法进行判定,从而克服了单纯利用云图对比而带来的视觉误差。分析结果表明,偏差阈值取 2.0 K、窗区通道梯度阈值取 0.4 K,非窗区通道梯度阈值取 0.02 K 时云检测的效果最好。最后进行的为期 1 个月的试验显示:通过对比不同云检测偏差阈值的同化效果,选取的云检测阈值是有效的。

关键词: 云检测阈值,偏差,客观判定,IASI

中图分类号: P412

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.02.009

Objective Determination Scheme of Threshold in High-Spectral-Resolution Infrared Cloud Detection

DENG Song¹ LI Gang¹ ZHANG Hua²

1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The clear channel scheme presented by McNally and Watts (2003) is used to detect cloud radiances in GRAPES-3Dvar system measured by high-spectral-resolution infrared sounders. This scheme is based on the bias of simulated radiances and actual radiances, and the determination of bias is related to forecast model. Traditionally, we use subjective determination schemes to select threshold in cloud detection, such as image contrast analysis. This paper presents two new and objective schemes based on the subjective scheme. (1) Analysis of view field bias: observe the cloud top pressure under different thresholds to evaluate the rationality by analyzing the vertical distribution of bias between simulated observation and actual observation. (2) Evaluation of cloud detection index: establish a series of cloud evaluation indices to select appropriate thresholds. By combining the three methods mentioned above, we determine the IASI radiances cloud detection. The gradient threshold keeps the same value as that from European Center for it has a weak effect in cloud detection. The bias threshold is determined by a comprehensive analysis method, thus overcoming the visual error of the pure use of image. The results show that bias threshold

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206002 和 GYHY201506003)共同资助

2015 年 12 月 14 日收稿; 2016 年 10 月 27 日收修定稿

第一作者:邓松,主要从事资料同化研究.Email:dsnuist@163.com

通信作者:张华,主要从事数值预报和气象资料同化研究.Email:zhangh@cma.gov.cn

selects 2.0 K, gradient threshold selects 0.4 K for window channels and 0.02 K for non-window channels. Finally, a month-long experiment shows that the cloud detection bias threshold is effective by comparing the assimilation results.

Key words: threshold of cloud detection, bias, objective determination, IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer)

引 言

2006年10月装载着具有8461个通道的高光谱大气红外探测器(Infrared Atmospheric Sounding Interferometer, IASI)的METOP-A极轨气象卫星在欧洲成功发射(张磊等, 2008),它是继2002年美国NASA/Aqua卫星装载的高光谱仪器(Atmospheric Infrared Sounder, AIRS)在轨运行后的又一个高光谱大气探测器(Joiner et al, 2007),为大气垂直探测提供了高光谱、高分辨率以及全天候探测的新时代。与仅有20个通道的红外探测器HIRS/3型(High Resolution Infrared Radiation Sounder)(Webapp, 2009)相比,具有数千个通道的高光谱大气红外探测器空间分辨率有了明显的提高,特别是垂直分辨率更是有质的变化,从而将大大改进大气温度和湿度的探测水平。高光谱大气红外探测资料应用进一步促进数值预报业务水平的提高。欧、美等发达国家对高光谱大气红外探测资料同化非常重视,均投入了大量的人力、物力进行研究并取得了显著的进展(McNally et al, 2006; Collard and McNally, 2009; Pangaud et al, 2009);而我国在这一方面还处于前期开发阶段,需要深化这方面的研究工作。

云覆盖了50%以上的地球表面是重要的气象和气候要素之一,但其对红外辐射率资料影响巨大。对于红外波段的光谱来说,云中液态水和冰晶像完全的黑体一样,造成卫星的传感器不能探测来自地面和云顶以下的大气辐射,而只能测量到云顶以上的大气辐射(陈谓明, 2005)。另外,云的影响还可能带来观测的误差,并导致观测误差不服从正态分布(卡莱尼, 2005),使得资料同化变得困难。因此,为了提高资料利用率和避免云的污染,红外探测云检测是必须的(邹晓蕾, 2009)。

McNally and Watts(2003)根据通道对云的敏感性不同,提出了一种寻找不受云影响的晴空通道云检测方案,该方案是基于模拟观测与实际观测偏差进行检测的。在有云的区域,这些不受云影响的

通道仍然可以使用,避免了在有云的情况下丢弃潜在的可用信息,增加了可供使用的卫星资料量。该云检测方案目前被欧洲中期天气预报中心(ECMWF)应用于AIRS和IASI资料的云检测,得到了比较好的效果,而关于云检测阈值的选取只给出了简单的介绍,并没进行详细的研究分析。在国内,朱文刚等(2013)基于McNally and Watts(2003)云检测思想,结合GRAPES-3Dvar模式和AIRS仪器特征,初步建立了一种适用于GRAPES-3Dvar模式的晴空通道云检测方案,通过对各视场通道进行云检测,剔除受到云污染通道,除了保留晴空资料外还保留非晴空区但受云污染影响较小的通道资料,增加供使用的高光谱卫星观测资料数量,而对于云检测阈值的选取则采用云图对比分析的主观方法进行判定。

晴空通道云检测方案基于模拟及实际观测偏差进行检测,即方案阈值的选取与预报模式有关。并且阈值的选择对资料应用影响较大,阈值过小会去除过多的卫星观测资料,不能充分发挥资料作用;而阈值过大,则会使受云污染的观测资料进入预报模式进而影响最终效果。因此,选取合适的阈值对云检测的效果及预报模式的质量起着关键作用,目前这部分的研究工作还很缺少。传统对云检测阈值的选取多采用主观判定方法,比如通过与云图对比来判定阈值选取的合理性,这种方法很可能产生比较大的视觉误差,造成阈值选取的不合理。本文将提出更为客观的判定方法来确定阈值的选取,由于偏差不只是云带来的,仪器的老化、观测数据漂移等都会带来偏差,最终采用传统主观和客观相结合的综合判定方法来选取最优的云检测阈值。分析结果表明,通过综合判定方法选取的云检测阈值是有效的。

1 McNally 和 Watts 云检测方案简介

假设模式模拟亮温和实际观测亮温不受各种误差的影响,那么它们之间的偏差主要来自云的影响,

将受云污染的通道记为有云通道,不受云污染的通道记为晴空通道。而实际上仪器噪声、模式误差和大气状态等都会引起偏差,这些噪声混淆了对云信息的识别。为了将偏差中的云信息隔离出来,首先根据通道高度将观测亮温减去模拟亮温的偏差进行排序。由于这个排序没有考虑到红外光谱中各波段的云发射率不同,所以将红外光谱按不同的波段分成五个光谱带分别排序,并采用滑动平均滤波消除仪器噪声。根据以上的云检测思想,具体步骤为:

(1) 根据通道对云的敏感性定义通道高度:

$$\left| \frac{R_{\text{clear}} - R_{\text{cloudy}}}{R_{\text{clear}}} \right| > 0.01 \quad (1)$$

式中, R_{clear} 是晴空的辐射值, R_{cloudy} 是有云的辐射值。对每个通道而言,当某一层有云的辐射值与晴空辐射值满足上式时,该大气层的高度就是通道高度;

(2) 将 IASI 光谱分为五个光谱带:长波 CO_2 ($650 \sim 770 \text{ cm}^{-1}$)、臭氧 ($770 \sim 980 \text{ cm}^{-1}$)、水汽 ($1210 \sim 1650 \text{ cm}^{-1}$)、 $4.5 \mu\text{m CO}_2$ ($2150 \sim 2250 \text{ cm}^{-1}$) 和 $4.2 \mu\text{m CO}_2$ ($2350 \sim 2420 \text{ cm}^{-1}$),然后根据通道高度对每个光谱带的偏差进行排序;

(3) 采用滑动平均滤波减少各种噪声在云信息中的幅度,使得偏差中只包含云信息。滑动平均滤波是基于统计规律的一种低通滤波,其滤波的思想是将需要进行滤波的一维数组 d (向量长度为 n),滑动地

取 p 个相邻的点作等权平均表示平滑数据即:

$$d_k = \frac{1}{p} \sum_{i=0}^p d_{k+i} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

式中, $m+n=p$, p 为移动平均值滤波的带宽, p 值越大,得到的滤波效果越光滑,原始数据的信息改变得也越大; p 值越小,保留的原始数据的信息越多。通过滑动平均滤波就得到新的滤波后的一维数组 d_{LP} ;

(4) 在每个光谱带从高度最低的那个通道开始检测,当某个通道亮温偏差值和变分同化目标函数的梯度值同时满足:

$$\begin{cases} \text{grad}(d_{\text{LP}}) < \text{grad}_{\text{max}} \\ d_{\text{LP}} < d_{\text{max}} \end{cases} \quad (3)$$

式中, d_{max} 为偏差阈值, grad_{max} 为梯度阈值。

此时这个通道的高度就是云顶高度,高于云顶高度的通道为晴空通道,低于云顶高度的通道为有云通道。

图 1 给出了 IASI 通道在五个光谱带根据通道高度排序后的偏差,通道指数越大,通道高度越低。可以看到,在每个光谱带,偏差是随着高度的降低单调递增的,从中找出第一个不受云污染的晴空通道即云顶所在位置,那么高于云顶高度的为晴空通道,反之为有云通道。图 2 为云检测方案的流程。

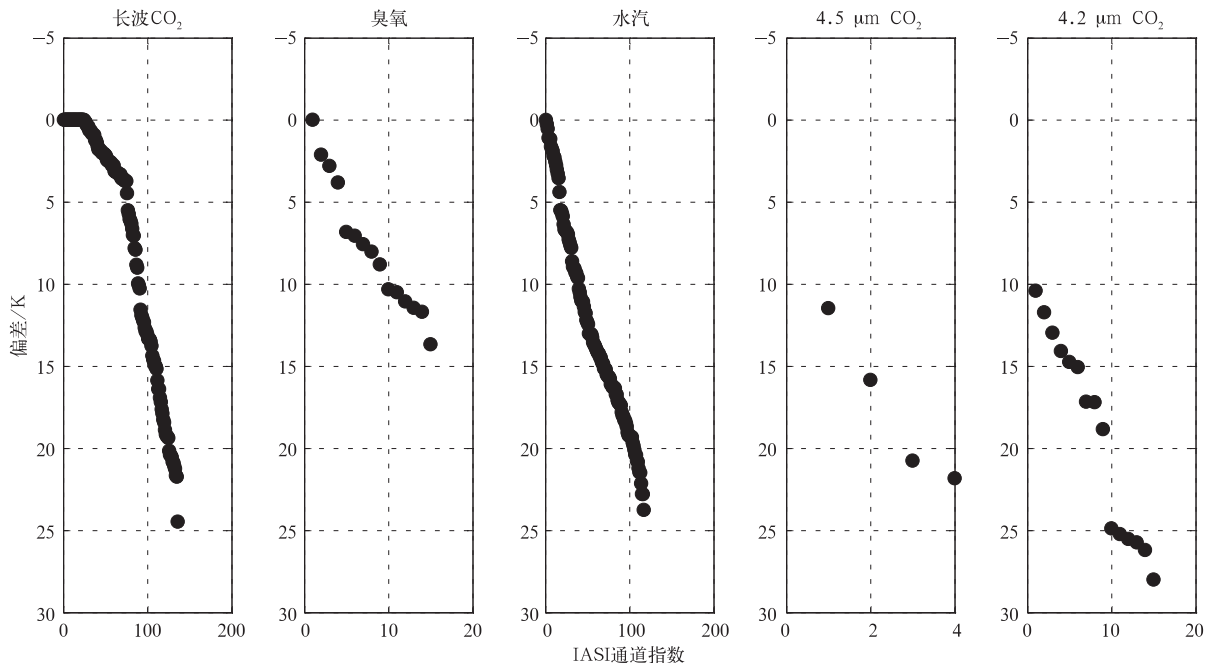


图 1 五个光谱带根据通道高度排序后的偏差
Fig. 1 Bias of five bands based on ranked channel height

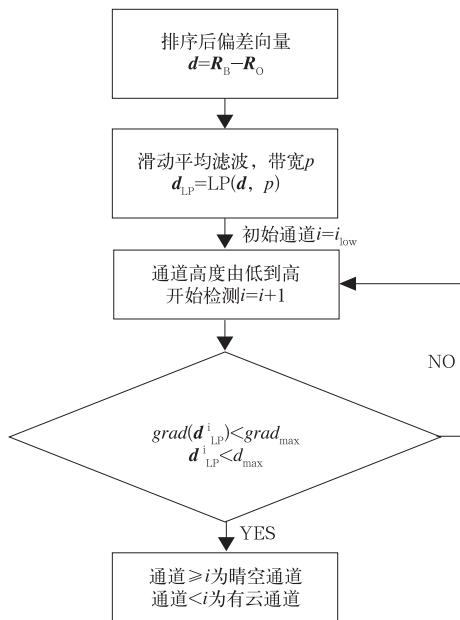


图 2 云检测方案流程

(i_{low} 是排序后对云最敏感即高度最低的通道, d_{max} 为偏差阈值, $grad_{max}$ 为梯度阈值)

Fig. 2 Flow chart of cloud detection scheme

(i_{low} is the channel ranked lowest and most sensitive to cloud, d_{max} is departure threshold, $grad_{max}$ is gradient threshold)

2 云检测方案阈值判定方法

欧洲中期天气预报中心最早将晴空通道云检测方案应用于 AIRS 辐射率资料并给出了偏差阈值和梯度阈值的标准, 其中 d_{max} 取 0.5 K, 窗区通道 $grad_{max}$ 取 0.4 K, 非窗区通道 $grad_{max}$ 取 0.02 K。由于模式和卫星资料的特性不同, 需要将 IASI 辐射

率资料的云检测阈值进行调整以适用于 GRAPES-3Dvar 同化预报系统。根据统计分析, 偏差阈值对云检测效果的影响较大, 而梯度阈值对云检测效果的影响很小(图 3), 其中梯度阈值给出的是非窗区通道取值, 窗区通道随非窗区通道的取值不同也相应变化。图 3a 显示, 偏差阈值取 0.5~2.0 K 对云检测效果的影响最大, 晴空通道的比例迅速增加; 当偏差阈值取 3.0 K 时, 晴空通道的比例基本稳定在 60% 左右。相对于偏差阈值, 梯度阈值取不同值时的晴空通道比例都基本稳定在 26%, 并没有明显变化。经过初步分析, 本文的梯度阈值和欧洲中期天气预报中心保持一致窗区通道 $grad_{max}$ 取 0.4 K, 非窗区通道 $grad_{max}$ 取 0.02 K, 偏差阈值则在 1.0、2.0 和 3.0 K 三个值之间选取。

传统对云检测阈值的选取多采用主观判定方法, 如基于云图对比分析等。本文在主观判定的基础上提出两种新的较为客观的阈值判定方法: (1) 视场偏差分析法; (2) 云检测指标评分法。视场偏差分析法通过分析模拟观测与实际观测之间偏差的垂直分布, 观察不同阈值的云顶高度(云高)来评估阈值选取的合理性。云检测指标评分法则通过建立一系列云检测指标, 并对其进行评分来选取最优的阈值。这两种新的客观方法克服了单纯利用图像对比而带来的视觉误差, 考虑到其主要是基于 B-O 偏差进行的, 而偏差并不仅仅是云带来的。因此采用三种分析方法结合的综合分析方法对云检测阈值进行判定。

2.1 云图对比分析

以世界时 2013 年 5 月 1 日 06 时的观测资料为

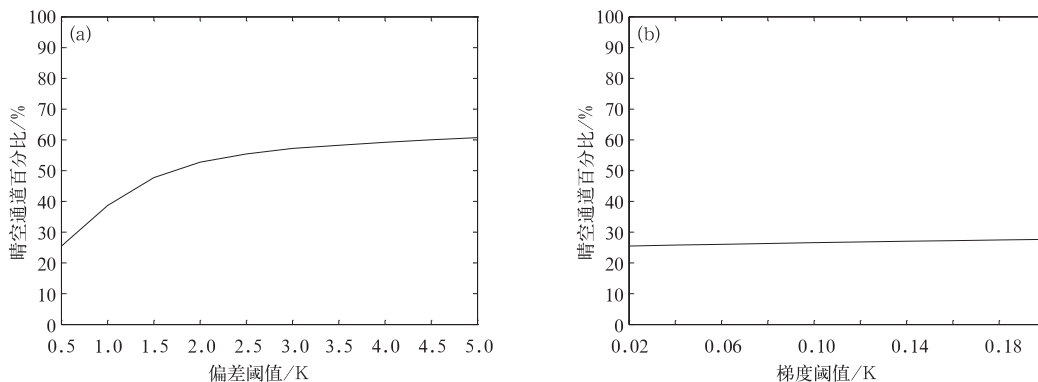


图 3 偏差阈值(a)和梯度阈值(b)对云检测效果的影响

Fig. 3 Effect of bias threshold and gradient threshold on cloud detection

例,分析区域($5^{\circ}\text{S}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)内高、中、低三个通道的云检测结果,将其与 FY-2E 卫星的红外云图作比较,给出合理的阈值选择。

图 4 为高层通道 275 (241 hPa) 依据不同偏差阈值的云检测结果与红外云图的对比。通道 212 位于对流层顶,探测的信息主要受高云污染,中低云对其影响较小。比较图 4a、4b 的晴空区域 A1,偏差阈值取 1.0 K 时,该区域大量晴空资料被误判为有云资料,这将使资料被剔除而无法进入同化系统,偏差阈值取 2.0 K 时,则准确地将其判识为晴空资料;比较图 4b、4c 的高云区域 A2,偏差阈值取 2.0 K 时,很好地将受高云污染的有云资料判识了出来,偏差阈值取 3.0 K 时,高云区域边缘的一些有云资料被误判为晴空资料,这些被云污染资料的进入会对同化系统带来很大的负贡献。对于通道 212,偏差阈值取 2.0 K 时的云检测结果与红外云图表征出的有云区最为接近,既能有效地检测出受高云污染的资料,又能最大限度地保留晴空资料。

图 5 为中层通道 275 (484 hPa) 依据不同偏差阈值的云检测结果与红外云图的对比。通道 275 位于对流层中部,探测的信息主要受中高云污染,低云对其影响较小。比较图 5a、5b 的低云区域 A3,偏差阈值取 1.0 K 时,该区域大量晴空资料被误判为有

云资料,偏差阈值取 2.0 K 时则准确地将其判识为晴空资料;比较图 5b、5c 的中云区域 A4,偏差阈值取 2.0 K 判识出的晴空资料少于偏差阈值取 3.0 K 判识出的晴空资料,且都落在中云区域的边缘,而中云的边界是不确定的,即有低云的存在,因此偏差阈值取 2.0 K 更为合适。对于通道 275,选择偏差阈值为 2.0 K 能更好、更有效地检测出有云资料和晴空资料。通道 921 是窗区通道,探测的信息接近地面,会受到所有云(高、中、低)的污染,不同偏差阈值对其云检测结果基本没有变化(图略),大部分资料受到云污染需加以剔除。通过图像对比分析,最优的偏差阈值 d_{\max} 取 2.0 K。

2.2 视场偏差分析

红外云图中亮白的区域为中高云,灰暗的区域为低云,根据视场点所在区域呈现的亮暗区域选取南北半球及热带地区高、中、低云观测视场。图 6 为 IASI 通道高度根据通道排序后的偏差及依据不同偏差阈值确定的云顶高度。由于偏差已经过滤波处理,只包含云的信息,因此由高至低,偏差较大的地方即云所在的位置,依此 FOV1、FOV4 和 FOV7 各通道的偏差在高层(100 hPa)左右出现较大的值,属于高云视场;FOV2、FOV5 和 FOV8 各通道的偏差

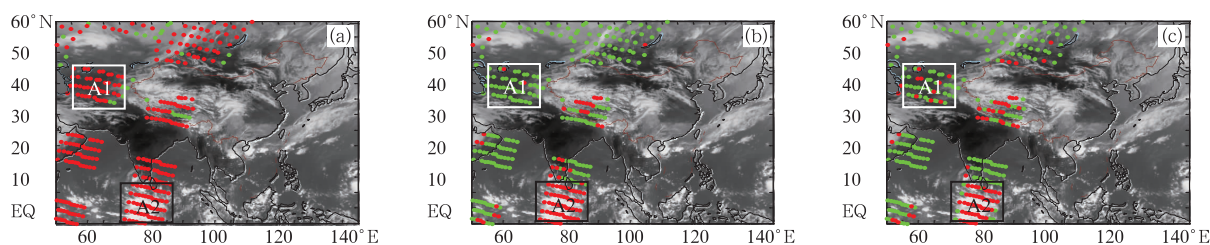


图 4 通道 212 依据不同偏差阈值(a)1.0 K, (b)2.0 K 和(c)3.0 K 的云检测结果与红外云图的对比
(红色代表有云资料,绿色代表晴空资料)

Fig. 4 Comparison between cloud detection of CH212 and infrared cloud image with different bias thresholds
(Red stands for cloud and green for clear)

(a) bias threshold 1.0 K, (b) bias threshold 2.0 K, (c) bias threshold 3.0 K

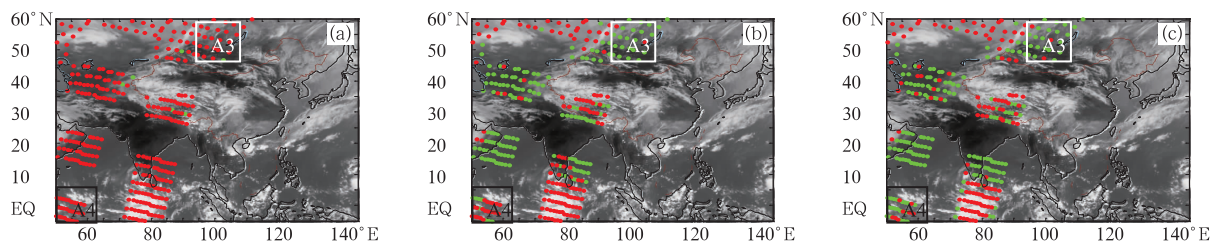


图 5 同图 4, 但为通道 275

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for CH275

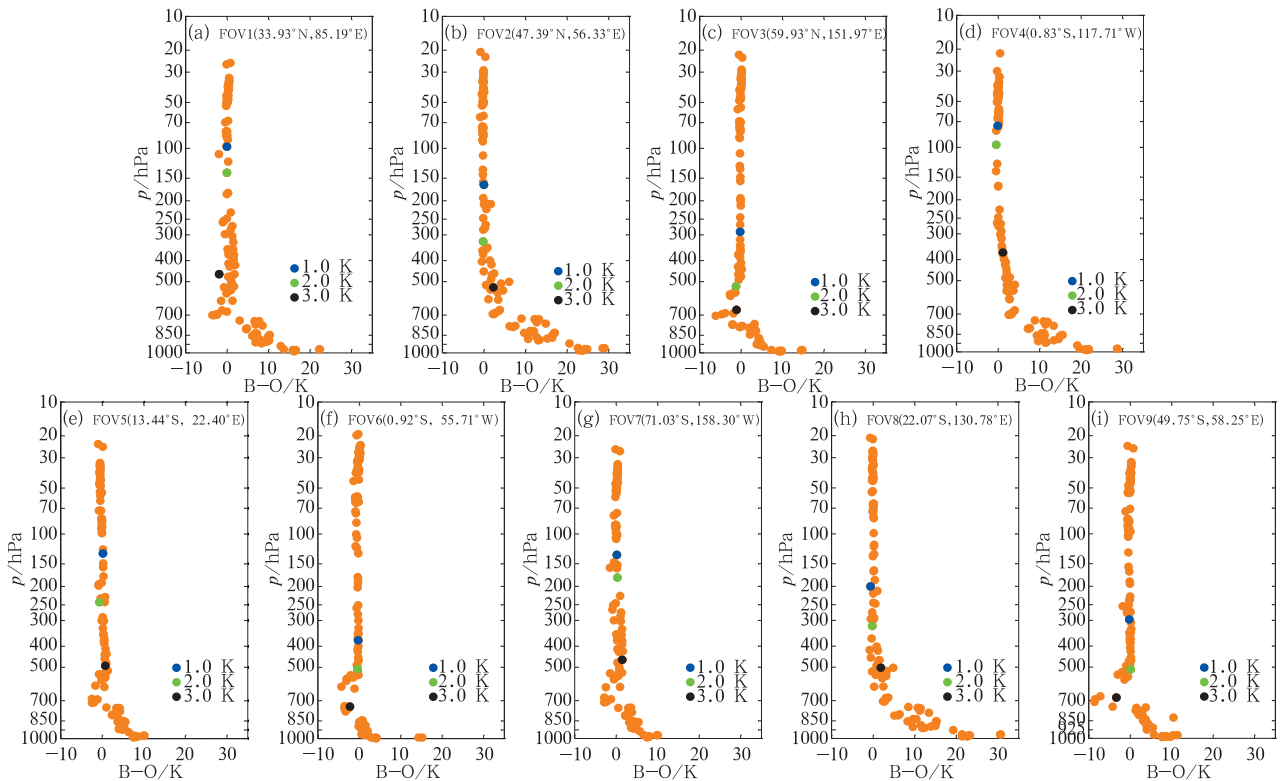


图 6 IASI 通道根据高度排序后的偏差及依据不同偏差阈值确定的云顶高度

(蓝色点:偏差阈值 1.0 K;绿色点:偏差阈值 2.0 K;黑色点:偏差阈值 3.0 K)

Fig. 6 Bias of IASI channels based on ranked channel height and cloud-top height with different bias thresholds

(blue point: bias threshold 1.0 K; green point: bias threshold 2.0 K; black point: bias threshold 3.0 K)

在中层(300 hPa)左右出现较大的值,属于中云视场;而 FOV3、FOV6 和 FOV9 各通道在低层(500 hPa)左右出现较大的值,属于低云视场。以北半球视场 FOV2(47.39°N, 56.33°E)为例,通道偏差随着高度降低基本是单调增加的,高度在 20~400 hPa 的偏差保持在 0 附近,400 hPa 开始呈现较大的偏差。偏差阈值取 1.0 K 确定的云高为 183 hPa,偏差阈值取 2.0 K 确定的云高为 318 hPa,而 289~518 hPa 的偏差接近 0 并未受到云的污染,显然偏差阈值取 1.0 K 确定的云高过高,晴空通道太少;偏差阈值取 3.0 K 确定的云高为 537 hPa,而 318~537 hPa 的偏差可以达到 6 K,已经受到云的污染,由此确定的云高过低,晴空通道过多。从图 5 中可以看出,各视场点确定的云高在偏差阈值取 1.0 K 时都过高,又在偏差阈值取 3.0 K 时过低。因此偏差阈值取 2.0 K 能最好地确定云顶高度,从而最大限度地保留晴空通道及剔除有云通道。其中低云视

场的效果最好,高云和中云视场效果稍差,但也能保证云顶以上的通道为晴空通道。

2.3 云检测指标评分

经验表明,云污染会导致的背景场模拟亮温与观测亮温之间的偏差变大,本文定义模拟亮温减观测亮温差的绝对值小于等于 3 倍观测误差标准差作为观测资料没有受到云污染的视场,即满足下面公式:

$$\delta = |T_{i,j}^B - T_{i,j}^O| \leq 3\sigma \quad (4)$$

式中, $T_{i,j}^B$ 是通道 i 在视场点 j 的模拟亮温, $T_{i,j}^O$ 是通道 i 在视场点 j 的观测亮温, σ 是观测误差标准差为 2。根据以上标准,可以将云检测方案判识的观测点分为下面三类:

(1) 第一类:方案检测为有云,并且 $\delta = |T_{i,j}^B - T_{i,j}^O| > 3\sigma$,则确定该点受到云污染;检测为晴空,并且 $\delta = |T_{i,j}^B - T_{i,j}^O| \leq 3\sigma$,则确定该点是晴空视场点,

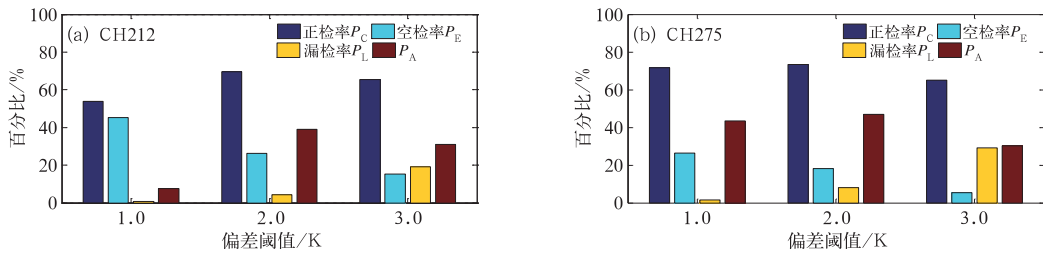


图 7 高层通道 212(a)和 中层通道 275(b)云检测方案中选取不同偏差阈值的云检测指标评分

Fig. 7 Statistical index in cloud-detection scheme based on different bias thresholds

(a) CH212, (b) CH275

以上两种称为“正检”的观测点 N_1 。

(2) 第二类:方案检测为有云,并且 $\delta = |T_{i,j}^p - T_{i,j}^o| \leq 3\sigma$,则确定该点是云检测方案误判的晴空视场点,称为“空检”的观测点 N_2 。

(3) 第三类:方案检测为晴空,并且 $\delta = |T_{i,j}^p - T_{i,j}^o| > 3\sigma$,则确定该点是云检测方案误判的有云视场点,称为“漏检”的观测点 N_3 。

定义正检率 P_C 、空检率 P_E 和漏检率 P_L 的计算公式分别为:

$$P_C = \frac{N_1}{N_1 + N_2 + N_3} \times 100\% \quad (5)$$

$$P_E = \frac{N_2}{N_1 + N_2 + N_3} \times 100\% \quad (6)$$

$$P_L = \frac{N_3}{N_1 + N_2 + N_3} \times 100\% \quad (7)$$

根据指标的定义,正检率应该越大越好,空检率和漏检率越小越好,为用一个指标反映云检测效果的好坏,定义云检测综合指数为:

$$P_A = P_C - P_E - P_L \quad (8)$$

当 P_A 值越大,说明云检测效果越好, P_A 值越小,云检测效果越差。

按照以上的评估标准,分别计算选取不同阈值的高层通道 212、中层通道 275 和低层通道 921 的正检率 P_C 、空检率 P_E 、漏检率 P_L 和 P_A 值,结果如图 7。分析显示,通道 212 在偏差阈值取 2.0 K 时正检率最高为 70%,高于 1.0 K 时的 54%,略高于 3.0 K 时的 66%;空检率在偏差阈值取 2.0 K 时为 26%,虽略高于 3.0 K 时的 15%,但远低于 1.0 K 时的 45%;漏检率在偏差阈值取 2.0 K 时为 4%,低于 3.0 K 时的 19%,虽略高于 1.0 K 时的 1%,但两者相差不大。通道 275 的情况与通道 212 类似,在偏差阈值取 2.0 K 时正检率最高,漏检率和空检率也处于比较低的水平。通道 921 的三种视场点比例在选取不同偏差阈值的结果基本相同(图略)。对于

云检测综合指数,不同通道都在偏差阈值取 2.0 K 时最大。因此综合上述分析,偏差阈值取 2.0 K 时的云检测效果最好。

结合云图对比分析、视场偏差分析和云检测指标评分分析的结果,选取最优的偏差阈值 d_{max} 为 2.0 K。

3 同化效果分析

为了评估选取的云检测阈值对数值模式预报效果的影响,设计了一组循环同化对比试验,如表 1 所示。试验 Exp1、Exp2 和 Exp3 同化的资料包括常规观测、ATOVS 卫星资料以及 IASI 辐射率资料,其中 IASI 云检测偏差阈值分别选 1.0、2.0 和 3.0 K。在进行数值模式预报时,进行了为期 31 d(世界时 2013 年 5 月 1 日至 2013 年 5 月 31 日),每隔 6 h 进行一次的循环同化,初始时刻使用 GRAPES-3Dvar 模式短期预报场作为背景场,将得到的分析场与 EC 的再分析资料进行比较。全球共分为三个地理区域:北半球区域 NH(20°~90°N)、赤道区域 tropics(20°S~20°N)以及南半球区域 SH(20°~90°S)。

表 1 同化试验方案

Table 1 Scheme of assimilation experiment

试验	同化的观测资料	云检测偏差阈值/K
Exp1	temp+synop+ships+airep+ATOVS+IASI	1.0
Exp2	temp+synop+ships+airep+ATOVS+IASI	2.0
Exp3	temp+synop+ships+airep+ATOVS+IASI	3.0

注:temp, synop, ships, airep 分别是探空、地面、船舶和航空资料;ATOVS 包括 NOAA15, NOAA16, NOAA18, NOAA19, METOP-A 的 AMSUA 资料;IASI 为经过云检测的资料

图 8 给出了位势高度均方根误差的垂直廓线。由图可以看出,偏差阈值取 2.0 K 的效果明显优于

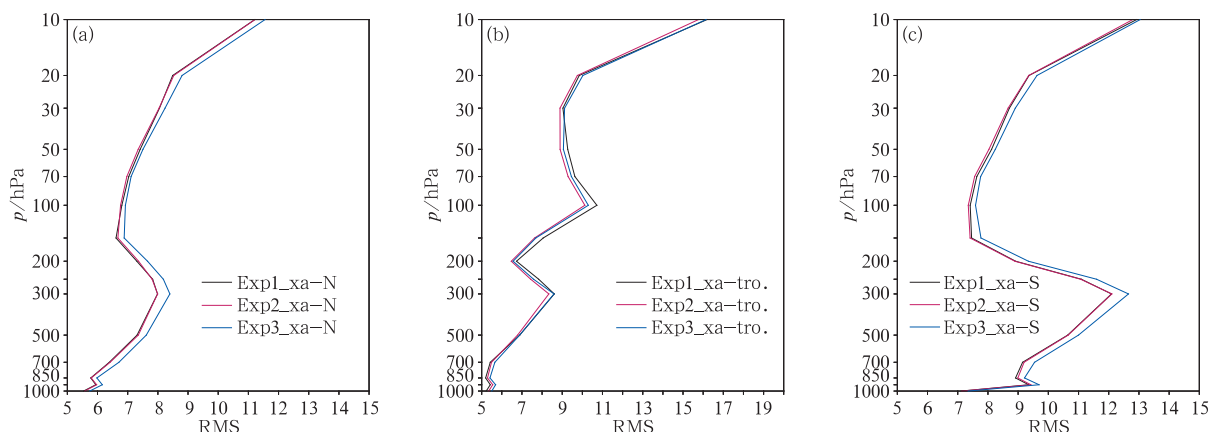


图 8 位势高度的均方根误差:(a)北半球,(b)赤道,(c)南半球
(黑线代表 Exp1 试验,红线代表 Exp2 试验,蓝线代表 Exp3)

Fig. 8 Root-mean-square error of geopotential height: (a) Northern Hemisphere, (b) Tropics, (c) Southern Hemisphere
(Black line stands for Exp1, red line for Exp2, and blue line for Exp3)

其他取值。其中北半球区域,Exp2 的标准差整体都优于 Exp3,与 Exp1 基本相同。赤道区域,Exp2 的标准差整体优于 Exp1,仅在 300 hPa 以下两者的标准差接近相同,Exp2 的标准差整体优于 Exp3。南半球区域,Exp2 的标准差都优于 Exp3 和 Exp1,尤其是低层更加明显。通过上述分析可以得到,IASI 云检测偏差阈值选 2.0 K 时的全球同化效果最好,说明选取的阈值是有效的。

4 结论与讨论

本文将 McNally 和 Watts 的晴空通道云检测方案应用到 GRAPES-3Dvar 同化预报系统中,由于预报模式和观测资料的不同,需要对云检测阈值重新进行确定。目前对云检测阈值的选取主要采用云图对比的分析方法,而这种方法往往会有比较大的视觉误差,比较主观。为解决这个问题,本文提出了两种新的、较为客观的阈值判定方法:(1)视场偏差分析法:通过分析模拟观测与实际观测之间偏差的垂直分布,观察不同阈值下的云顶高度来评估阈值选取的合理性。(2)云检测指标评分:建立一系列云检测指标“正检率”、“空检率”、“漏检率”以及云检测综合指数值,通过对其评分来选取最优的阈值。随后采用三种方法结合的综合分析方法对云检测阈值进行判定,得到最优的偏差阈值为 2.0 K,而窗区通道的梯度阈值和非窗区通道的梯度阈值保持与欧洲中心一致,分别为 0.4 和 0.02 K。从最后的同化效果来看,选取的云检测阈值是有效的,对同化效果能

起到正贡献。

参考文献

- 陈渭民,2005. 卫星气象学(第二版)[M]. 北京:气象出版社:535.
- 卡莱尼,2005. 大气模式、资料同化和可预报性. 蒲朝霞,杨福全,邓北福等译[M]. 北京:气象出版社:115-171.
- 张磊,董超华,张文建,等,2008. 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,36(5):639-642.
- 朱文刚,李刚,张华,等,2013. 高光谱大气红外探测器 AIRS 资料云检测及晴空通道应用技术初步研究[J]. 气象,39(5):633-644.
- 邹晓蕾,2009. 资料同化理论和应用(上册)[M]. 北京:气象出版社:120.
- Collard A D, McNally A P, 2009. The assimilation of infrared atmospheric sounding interferometer radiances at ECMWF[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 135(641):1044-1058.
- Joiner J, Brin E, Treadon R, et al, 2007. Effects of data selection and error specification on the assimilation of AIRS data[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 133(622):181-196.
- McNally A P, Watts P D, 2003. A cloud detection algorithm for high-spectral-resolution infrared sounders[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 129(595):3411-3423.
- McNally A P, Watts P D, Smith L A, 2006. The assimilation of AIRS radiance data at ECMWF[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 132(616):935-957.
- Pangaud T, Fourrie N, Guidard V, et al, 2009. Assimilation of AIRS radiances affected by Mid- to Low-Level clouds[J]. Mon Wea Rev, 137(12):4276-4292.
- Webapp E, 2009. Assimilation of water vapour radiances from geostationary imagers and HIRS at ECMWF[J]. Progress in Photovoltaics Research & Applications, 17(2):115-125.