

AIRS 晴空大气温度廓线反演试验^{*1}

刘 辉¹ 董超华¹ 张文建² 张 鹏¹

LIU Hui¹ DONG Chaohua¹ ZHANG Wenjian² ZHANG Peng¹

1. 中国气象局国家卫星气象中心, 北京, 100081

2. 中国气象局, 北京, 100081

1. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China

2. China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

2007-01-31 收稿, 2007-04-06 改回.

Liu Hui, Dong Chaohua, Zhang Wenjian, Zhang Peng. 2008. Retrieval of clear-air atmospheric temperature profiles using AIRS observations. Acta Meteorologica Sinica, 66(4):513-519

Abstract Atmospheric Infrared Sounder(AIRS)is on board the EOS-2/ Aqua satellite, launched on May 4, 2002. It is now an advanced atmospheric remote sensing instrument with a super high spectral resolution and a global detection coverage in the world. Study on AIRS data processing is of significance in both science and operational application. In the retrieval of atmospheric temperature from the AIRS observations, the eigenvector method is used, and collocated AIRS brightness temperature and corresponding T213 temperature analyses fields are used to compute the regression coefficients. The study includes the following aspects: selection of spectral channels, impacts of surface emissivity and topography, determination of additional predictors, and comparison of retrieval results. Research results indicate that: (1) it is very essential to rationally choose the channels when retrieving atmospheric temperature with the high spectral resolution AIRS data; (2) AIRS data can significant improve the retrieval accuracy of temperature in mid-upper troposphere and at the tropopause, however in the lower troposphere, especially near the surface, the accuracy is not satisfactory; (3) different surface emissivity and topography will affect retrieval result; (4) factors reflecting surface radiation nature, such as surface temperature, surface emissivity, and topography, are selected as additional predictors, which improves the retrieval accuracy near the surface; (5) AIRS retrieval accuracy in this paper is consistent with the AIRS team's.

Key words Atmospheric Infrared Sounder, Retrieval, Atmospheric temperature, Clear-air

摘 要 2002年5月发射的Aqua是美国地球观测系统中的第2颗卫星EOS-2(Earth Observing System),它携带的大气红外探测仪AIRS(Atmospheric Infrared Sounder)是目前国际上最先进的超高光谱分辨率红外大气垂直探测仪。1200的光谱分辨率和全球覆盖能力使其可以观测全球大气状态及其变化。对其超高光谱分辨率资料的处理和应用的研究既有科学意义,又有实用价值。利用AIRS实际观测资料反演大气温度,本文使用的是便于处理大数据量的统计反演方法中的特征向量法,计算回归系数使用的是AIRS观测辐射值和T213数值预报分析场。本文从通道个数、地形及地表发射率影响、增加预报因子、国外同类产品比较等4个方面进行了大气温度反演试验研究。研究结果表明:(1)在利用超高光谱分辨率仪器进行反演时,合理选择通道是非常必要的;(2)AIRS反演的大气温度在对流层顶和中上层具有较高的精度,在对流层低层,尤其是近地面反演精度不够理想;(3)增加地表温度,地表发射率和地形3个预报因子,可以提高近地面的反演精度;(4)文中反演的大气温度精度与国外同类产品精度基本一致。

关键词 AIRS, 反演, 大气温度

中图法分类号 P412.25 P407.6

* 资助课题:国家自然科学基金项目(40605015)。

作者简介:刘辉,主要从事逐线积分模式和大气参数反演研究。E-mail:liuhui@cma.gov.cn

1 引言

随着天气、气候等学科不断发展,准确获取大气温度和湿度的初始场成为提高数值天气预报准确性的前提和必要条件,因此对卫星探测产品的精度要求越来越高。世界气象组织通过分析和评价第一个十年 TOVS 资料对天气预报准确率的改进,1987 年指出只有当全球大气温度、湿度探测的精度达到无线电探空的水平,才可能对天气预报做出重大的改进(陈渭民,2003)。无线电探空的精度相当于在对流层大气温度均方根误差(RMSE)精度达到 1 K,大气湿度的精度达到 10%,大气廓线的垂直分辨率达到 1 km,而当前国际上的 TOVS/ATOVS 以及中国未来的垂直探测仪器,都不具备这样的探测精度(董超华,1999)。

2002 年 5 月,随着 NASA 最新地球观测卫星 Aqua 的成功发射,AIRS 投入在轨对地观测,现在已经积累了 4 年多的观测资料。作为第 1 个上天的超高光谱大气红外探测仪,AIRS 开辟了卫星大气探测的新时代,它使大气探测的垂直分辨率和反演精度上了一个台阶,还为其他高光谱仪器资料的处理和应用奠定了基础(Aumann)。因此,研究 AIRS 遥感信息的数据处理和反演方法,具有很高的科学价值。

2 试验数据及试验步骤

2.1 试验数据

本文使用的反演方法是适合于大信息量数据反演的特征向量统计回归反演方法。算法基于特征向量回归方案,主要参考 IMAPP 软件包反演算法(Huang, et al, 2001),计算回归系数的辐射训练集和反演大气温度使用的辐射数据均利用 AIRS L1B 红外辐射值。计算回归系数的大气温度训练集是目前业务运行的第 4 代全球中期数值天气预报系统(T213L31,以下简称 T213)的分析场。

本方法仅适用于晴空反演,因此在反演前需要做晴空区域的选择。我们利用和 AIRS 装载于同一颗 Aqua 卫星上的 MODIS 云掩码产品判定和选择反演研究需要的晴空区(Strow, et al, 2000)。

对于反演结果的检验,本文以 06 和 18 时的美国 NCEP 分析场数据作为真值,这主要是考虑到:(1) 探空资料的探测时间(00 时和 12 时)和卫星的过境时间(05—07 时和 17—19 时)差距较大,大气

温度状况有明显差异,而 NCEP 06 和 18 时的分析场正好在卫星过境时间,后两者时间较为接近;(2) 分析场是在探空资料的基础上通过质量控制和空间匹配等技术得到的,其精度与探空资料相差不大。

2.2 反演步骤

在特征向量统计回归反演方法的基础上,反演试验采用了如下的步骤:

(1) 依据 MODIS 云检测资料选取晴空点。

(2) 依据晴空点经纬度,提取相应的 AIRS 观测数据(辐射值)和经纬度。

(3) 根据 Planck 函数计算出 AIRS 仪器晴空点有效光谱通道的辐射亮度温度值。

(4) 提取 T213 数值预报分析场中的相应大气温度廓线。

(5) 计算回归系数。

(6) 大气温度廓线反演。

(7) 反演结果的真实性检验。

3 反演试验结果及分析

3.1 回归系数的计算

在反演大气温度时,每天都重新计算回归系数是不现实的,一是计算回归系数需要大量的时间进行数据收集和匹配处理,这将使反演出的大气温度时间延后 2—3 h,失去了最佳时效性;二是因为模式处理探空资料也需要一段时间,因此无法在卫星过境时及时获得前一标准时次的 T213 分析场资料。因此在大气温度反演时一般使用事先计算好的回归系数。但因为天气变化和季节更替的原因,也不能一成不变地使用一组回归系数,在以往的工作中比较常用的是用两周的探空资料计算一次回归系数,一周更新一次系数。对于高光谱分辨率的卫星资料反演,由于 AIRS 数据量大,而同时 T213 分析场资料又可及时得到,两者的匹配点很多,因此用一个时次的资料,便可计算回归系数。本文基于这一因素,开展相关研究,例如使用 2005 年 11 月 20 日白天和夜间的 AIRS 辐射数据与 T213 分析场资料匹配,分别计算白天和夜间的两组回归系数,然后用这两组回归系数对 21—26 日连续 12 组的 AIRS 辐射数据做大气温度廓线反演试验。

3.2 光谱通道选择的试验研究

AIRS 仪器以 1200 的超高光谱分辨力在红外光谱区域内(3.7—4.61、6.2—8.22、8.8—15.4 μm)

几乎连续地取样,虽然每个通道中心位置的选择都经过了科学的计算,但通道之间仍不可避免地存在相关性。以往的研究发现任何一个通道都对反演得到的温度层结有正的贡献(曾庆存,1974),但对处在不同高度上温度层结的贡献大小有所差别,也就是说有针对性地选择参与反演的通道,将可以降低通道之间的相关性给反演带来的干扰作用。

我们进行通道选取的主要依据有两个,一是避开对臭氧和水汽敏感的通道,主要在 CO_2 吸收带和大气窗区集中选取,尽量减小水汽和臭氧对温度反演的影响;二是根据通道权重函数的线形宽度、峰值位置及峰值大小。权重函数曲线越陡峭,大气中的辐射能量对卫星探测仪器的贡献越集中于峰值层所在气压层;权重函数峰值越大,峰值层所在气压层上的辐射能量对卫星的贡献越大。

对于 AIRS 温度廓线反演中的通道选取,各国都有相关研究。如 Susskind Joel(AIRS 工作小组主要成员)就在通道选取方面做了大量的工作。他们的温度反演通道主要选择“那些对臭氧和水汽不敏感的通道”,这一点和我们的依据基本相同;“吸收线之间,根据最优化的权重函数”(Susskind, et al, 2003),这个选择依据也与我们一致。所谓最优化的权重函数就是指那些线形最陡峭,峰值最大的权重函数,具有这样权重函数的通道最利于反演。Susskind Joel 等在 CO_2 15 μm 波段选择了 103 个通道,在 CO_2 4.3 μm 附近选择了 33 个通道。选择 666 cm^{-1} 附近 CO_2 Q 分支处的通道,以反演平流层中上层;选择 CO_2 吸收线之间和 $720, 740\text{ cm}^{-1}$ 处的通道用来反演对流层顶附近。选择 CO_2 4.3 μm 附近 P、R 分支处的通道,主要用来反演对流层的中低层,他们还另外选择了 12 个微波通道参与反演。

中国国家卫星气象中心吴雪宝博士在美国威斯康星访问工作期间,与当地的科研人员也做了很多关于通道选择的研究工作,她们主要依据通道在吸收线上的位置来选择通道:位于吸收线波峰的通道,虽然获得的辐射信号比较强,但是它的通道噪声也比较大,而位于吸收线波谷的通道,虽然它的通道噪声比较小,但是它的辐射信号也比较弱,鉴于以上原因,她们选择了位于吸收线中间位置的 394 个通道来参与温湿度反演(Wu Xuebao, et al, 2005)。

我们首先挑出位于 CO_2 吸收带(651—750、2183—2496)和大气窗区(800—1000、2549—2663)

内的所有通道,利用美国标准大气廓线的透过率和通道光谱响应函数计算出它们的权重函数。然后求出所有通道权重函数的峰值位置(也就是最大贡献层)。为了保证 AIRS 的高垂直分辨率,以计算透过率的 100 层(layer)为基准,每层最少保留一个通道参与反演。对流层中层及以上,在所有峰值层位置相同的通道中选择权重函数峰值最大,线形最陡峭的一个通道;对于权重函数峰值层在对流层下层的通道,鉴于反演时对流层下层和近地面误差较大,因此选择两个通道,一个侧重于线形陡峭,一个侧重于峰值较大,当这两个条件在一个通道上都满足时,则只选择此一个通道;在大气窗区,权重函数峰值层在地表,对于 AIRS 的 669 个峰值层在地表的通道,本文选择峰值大于 0.58,且曲线重合部分较少的通道。对于所选通道经过反复试验,最终确定为 152 个,其中权重函数峰值层在地表的通道有 31 个,用来反演近地面温度的 31 个通道是能较全面地反映近地面信息的最少通道个数,其他 99 个气压层选择的 121 个通道也是最合适的通道个数,增加通道对反演的帮助不大,减少通道却对反演影响较大。

从重新选择后的 152 个通道(图 1)可以看到这些通道既保留了 AIRS 的高垂直分辨率特性,又去掉了那些相关性较大(权重函数重复严重)的通道。

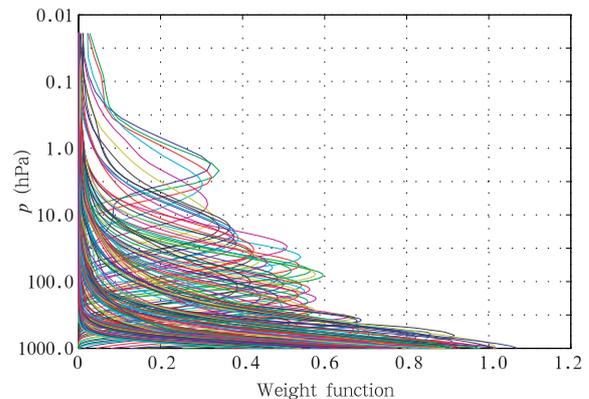


图 1 选择后的 152 个通道权重函数分布
Fig. 1 Weight functions of selected 152 channels

作为例子,表 1 是 11 月 21—26 日,12 组样本通道个数分别为 1055 和 152 时的反演廓线与真值的均方根误差(以下简称 RMSE),图 2 是选取不同通道个数时 12 组试验结果的平均 RMSE 比较。

从表 1 可以看出,在 11 月 21—26 日的 12 个时间段内,通道个数从 1055 降低到 152,平均 RMSE

除 22 夜间外,其他时间 RMSE 均有所提高,平均提高幅度约为 0.3 K;从图 2 可以看到, RMSE 的提高主要表现在对流层底层、上层和对流层顶,在对流层

中层, RMSE 稍有降低。总体上来讲,重新选择后的 152 通道参与温度反演时避免了通道相关性的干扰,在一定程度上提高了反演精度。

表 1 不同通道个数时各气压层大气温度反演 RMSE
Table 1 Root-mean-square errors(RMSE) of various atmospheric layer's temperatures (K) retrieved from 152 and 1055 AIRS channels

个数	21D	21N	22D	22N	23D	23N	24D	24N	25D	25N	26D	26N
152	1.44	1.89	1.63	2.15	1.63	1.69	1.49	1.72	1.62	1.81	1.88	1.74
1055	1.84	2.16	2.02	1.69	1.61	2.06	1.83	1.83	1.76	2.16	2.09	2.05

* 21D 表示 21 日白天,21N 表示 21 日夜间,其他 22D、22N、23D……所表示意义相同

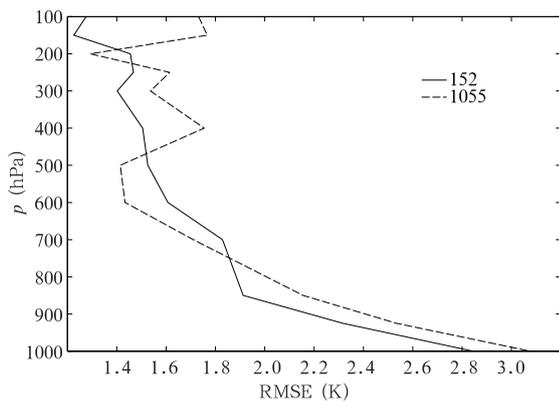


图 2 不同通道个数时 12 组试验反演结果与真值的平均 RMSE

Fig. 2 Vertical distributions of average RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) retrieved from the 152 and 1055 channels of 12 groups' AIRS samples

表 2 12 组样本的各层反演温度平均 RMSE 比较
Table 2 RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) retrieved from 12 groups' AIRS samples

气压(hPa)	东部(RMSE)	西部(RMSE)	东西差
10	9.9650	9.2050	0.7600
20	1.8417	1.7450	0.0967
30	2.0317	2.0833	-0.0516
50	1.6767	1.4400	0.2367
70	1.2133	1.2500	-0.0367
100	1.1950	1.1283	0.0667
150	1.2233	1.0267	0.1966
200	1.3317	1.5017	-0.1700
250	1.3417	1.3700	-0.0283
300	1.1250	1.4567	-0.3317
400	1.2350	1.5283	-0.2933
500	1.2250	1.5617	-0.3367
600	1.3450	2.1417	-0.7967
700	1.4667	2.3533	-0.8866
850	1.8500	2.7117	-0.8617
925	2.3417	3.0200	-0.6783
1000	2.8450	3.6200	-0.7750

3.3 增加预报因子的试验研究

3.3.1 地形的影响

地形复杂,各地之间的海拔高度差异较大,在计算回归系数时考虑地形因素的影响,利于改善反演结果(Dong Chaohua, et al, 2004)。表 2 是 12 组样本分别按经度分成东西(75°—105°E 为西部,105°—135°E 度为东部)两个部分后的各层温度平均 RMSE,图 3 是 11 月 21 日温度反演结果与真值的 RMSE。

从表 2 和图 3 上可以看出,东部的 RMSE 无论是 12 组的平均还是具体某一组,从近地面到 200 hPa 都要比西部小,这很可能是因为东部的地形变化远没有西部复杂的原因,尤其是西部的高原地形很可能对反演的影响很大,因此我们在预报因子中加入代表海拔高度变化的高程数据,以期提高近地面的反演精度。

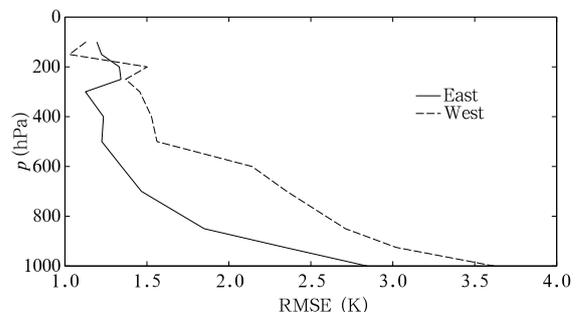


图 3 11 月 21 日温度反演结果与真值的 RMSE
Fig. 3 RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) on 21 November 2005 retrieved from two groups' AIRS samples

3.3.2 地表发射率的影响

研究表明,表面参数尤其是地表发射率对大气

温度反演的精度至关重要。地表发射率不但在同一地点的不同时间有所不同,而且在同一时间的不同地点也是不同的。也就是说,不同的地表覆盖、不同地点的地表发射率是变化的,这无疑将影响温度反演结果。

需要指出的是:在反演试验中加入地表发射率时,我们发现,由于不同地表发射率变化随波长差异很大,所以要准确考虑地表发射率的影响并不是任意选择几个大气窗区的通道地表发射率那么简单。在大气窗区内选择地表发射率作为预报因子参与反演时主要依据不同地点的发射率差异。比较发现,在 1100—1200 cm^{-1} 发射率值差异较大,而差异最大的波段在 2500—2700 cm^{-1} 。表 3 是 12 组样本分别加入不同通道地表发射率后的 RMSE 平均值,图 4 是加入不同通道的发射率后反演温度的 RMSE。

表 3 中 A1 表示使用原有 152 个通道反演的 RMSE, A2 表示加入通道中心波数为 853 cm^{-1} 处的地表发射率, A3 表示加入波数在 1090—1136 cm^{-1} 和 2397—2624 cm^{-1} 的 14 个通道的地表发射率, A4 表示加入通道中心波数为 2624 cm^{-1} 处的地表发射率。图 4 中粗实线为原 152 个通道的反演结果与真值的 RMSE, e1(2624) 为只在反演中加入波数为 2624 cm^{-1} 的一个通道的地表发射率后的 RMSE, e1

表 3 加入不同通道地表发射率后的大气温度廓线 RMSE
Table 3 RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) retrieved from 12 groups' AIRS samples plus the surface emissivity of different channels

气压(hPa)	A1	A2	A3	A4
20	1.7617	1.8617	1.8933	1.8900
30	2.1117	2.2117	2.1939	2.1017
50	1.6108	1.7108	1.7125	1.6033
70	1.5792	1.6792	1.6658	1.6450
100	1.3167	1.4167	1.3850	1.3067
150	1.4750	1.5750	1.5725	1.4650
200	1.5000	1.6000	1.5625	1.4608
250	1.5108	1.6108	1.5758	1.4708
300	1.3950	1.4950	1.4592	1.3333
400	1.5975	1.6975	1.6600	1.6050
500	1.4683	1.5683	1.5275	1.4633
600	1.5075	1.6075	1.5758	1.4733
700	1.7408	1.8408	1.8417	1.6850
850	1.9125	2.0125	1.9842	1.7917
925	2.2317	2.3317	2.2942	2.1267
1000	2.7158	2.8158	2.6667	2.6033

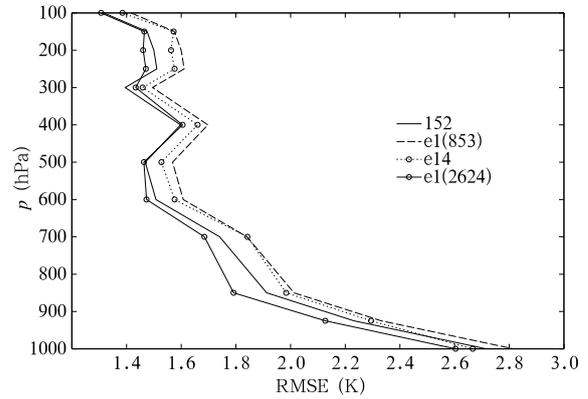


图 4 加入不同通道的发射率后反演温度的 RMSE
Fig. 4 RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) retrieved from 12 groups' AIRS samples plus the surface emissivity of different channels

(853)为只在反演中加入波数为 853 cm^{-1} 的一个通道的地表发射率后的 RMSE, e14 为在反演中加入波数在 1090—1136 cm^{-1} 、2397—2624 cm^{-1} 之间的 14 个通道的地表发射率后的 RMSE,所有这些作为预报因子的地表发射率在沙漠和有植被地区的差异均很大,之所以选择差异大的地表发射率是考虑到地表发射率影响地表辐射,因此地表发射率不同将在一定程度上代表地表辐射的不同,其中 2624 cm^{-1} 处较大为 0.17, 853 cm^{-1} 处相对较小为 0.13。从图 4 可知,反演时不是加入的通道地表发射率越多,获得的结果最好,而是加入地表植被不同时差异较大的一个通道的地表发射率的结果最好,即这一通道的地表发射率差异最能代表地表辐射的不同。

3.3.3 增加预报因子

地形和地表发射率对反演结果,尤其对近地面反演结果影响较大;毋庸置疑,地表温度也是随着时间和地点而变化,从而影响红外辐射和大气温度反演。同时,从表 1 和图 2 可以看出,利用 AIRS 数据反演的大气温度廓线在近地面的精度还不是十分理想。根据前面的分析,这与位势高度、地表温度和地表发射率等因素有关,因此在大气温度反演中我们增加了 3 个预报因子:地面温度、地表发射率和高程数据。

表 4 是 11 月 21—26 日增加预报因子前后温度反演廓线与真值的 RMSE,在 1000、925、150 和 100 hPa 的变化。

从表 4 可以看出,在 11 月 21—26 日的 12 个时间段内,增加预报因子后,在 1000 和 925 hPa,除 25 日夜反演结果变化不明显外,各时段的反演精度都有不同程度的提高,提高最明显的是 21 日白天和

表4 不同通道个数时各气压层大气温度反演结果 RMSE 比较

Table 4 RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) retrieved from 12 groups' AIRS samples before and after adding 3 prediction factors during 21 to 26 November 2005

		100 hPa	150 hPa	925 hPa	1000 hPa
21D	前	1.14	0.85	2.33	3.08
	后	1.17	0.78	1.34	2.26
21N	前	1.13	1.00	2.92	3.56
	后	1.21	1.04	2.76	3.31
22D	前	1.08	1.16	2.45	2.17
	后	1.12	1.16	1.97	1.73
22N	前	1.33	1.48	2.61	3.20
	后	1.41	1.54	2.49	3.04
23D	前	1.29	1.01	2.61	3.32
	后	1.27	1.01	1.87	2.60
23N	前	1.18	1.25	2.14	3.50
	后	1.14	1.27	1.99	3.29
24D	前	1.16	0.98	1.88	2.50
	后	1.11	0.91	0.95	1.53
24N	前	1.42	1.61	2.20	1.86
	后	1.27	1.59	1.95	1.61
25D	前	1.50	1.28	2.23	2.77
	后	1.47	1.30	1.89	2.44
25N	前	1.40	1.55	2.47	2.50
	后	1.38	1.54	2.43	2.44
26D	前	1.16	1.59	2.22	3.22
	后	1.12	1.53	2.16	3.13
26N	前	1.52	1.98	1.73	2.46
	后	1.58	1.73	1.55	2.31

表4中21D,21N,22D……所表示意义与表1相同;“前”表示增加预报因子前,“后”表示增加预报因子后。

24日白天,提高幅度接近1 K。150和100 hPa上,增加预报因子后的RMSE略有减小或增加,但幅度都不大,变化最大的是24日夜间RMSE增加约为0.1 K。对于各气压层的平均RMSE,各时间段的反演精度均有所提高,提高最明显的是24日白天, RMSE值约降低0.3 K,变化最小的是21日夜间RMSE值约降低0.01 K。

我们还做了反演结果和NCEP分析场的偏差图(图略)。发现利用AIRS反演的大气温度场与NCEP的分析场具有很好的一致性,两者的偏差大部分在-1 K—+1 K,个别地区较大。

图5是11月21日白天的反演结果与真值的RMSE图。图中实线为152个通道的反演结果的RMSE,虚线表示加入地表温度、地表发射率和高程数据后的RMSE。由图可见增加预报因子后,各层反演精度均有不同程度的提高,尤其对改善对流层中低层温度反演精度有十分明显的作用。在本项试

验研究中,高程数据我们使用的是中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室提供的范围DEM数据,地表发射率来自于美国EOS系列卫星上的MODIS(中分辨率成像光谱辐射计)的反演产品,地表温度则是自己的数值预报分析场产品(T213)。在实际业务应用中,考虑到高程数据短期内不用更新,可以直接使用我们在试验中使用的数据;而地表发射率,可以暂时也使用MODIS的反演产品,将来则可以使用我们自己的中分辨率光谱成像仪(MERSI)的业务反演产品;地表温度同样可以和试验一样采用T213产品;这样一来,这3个增加的预报因子都随时可得,使AIRS反演研究的业务化运行成为可能。

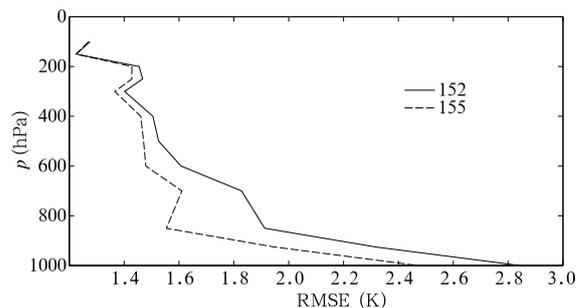


图5 11月21日白天的反演结果与真值的RMSE图
Fig. 5 RMSEs of various atmospheric layer's temperatures (K) on 21 December 2005 retrieved from 1 groups' AIRS samples (21D) after adding 3 prediction factors

3.4 与国际AIRS科研小组反演结果的比较

目前,国际上很多专家和学者(主要是美国)在对AIRS的反演进行研究,NASA的AIRS科研小组的反演结果无疑是比较权威的,我们将本文的反演结果和AIRS科学小组的反演结果进行了比较,结果如图6。

需要指出的是,本文的反演结果RMSE是中国区域2005年11月21—26日,共12组样本的平均,以NCEP分析场做真值,AIRS小组的反演结果是切萨皮克某一固定站点从2002年9月4日到10月5日,32 d 64条温度反演廓线的RMSE,以Aqua卫星过境时的专门探空资料做真值。虽然本文的反演结果与AIRS科研小组的反演结果之间还存在时间和空间上的差异,但仍可以做一个粗略的比较分析。

从图6可以看到,本研究的反演结果和AIRS科研小组的反演结果有很多共同的地方,如在近地面都不理想(本研究:2.5 K,AIRS小组:2.2 K),从近地面到850 hPa反演精度迅速提高(本研究:1.55 K,AIRS小组:0.7 K),在对流层顶,精度较

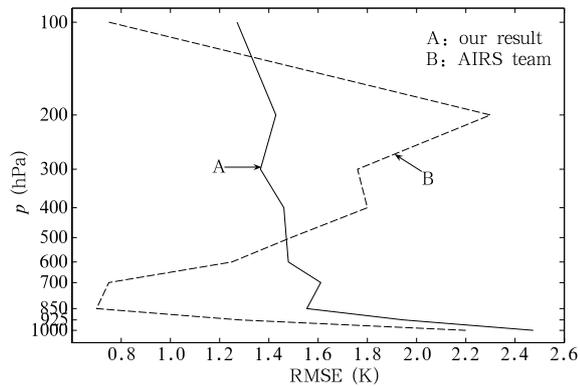


图 6 本文反演结果与 AIRS 科研小组结果的比较
Fig. 6 Comparison between our results and AIRS team's

高, RMSE 接近 1 K; 当然也有不同的地方, 本研究的反演结果在对流层, 基本是随着高度的增加而精度增高的, AIRS 小组的反演结果在 850—200 hPa, 虽然精度维持在 2 K 以内, 但却是随高度变低的。鉴于对 AIRS 小组的反演算法和具体操作没做细致研究, 因此本文暂不对这一现象做分析。

4 结论和讨论

通过前面对 AIRS 在不同通道组合、增加预报因子等方面进行的温度反演对比试验研究, 可以得到以下几点基本结论:

(1) 通道个数较多, 通道之间存在相关性时, 合理选择所用通道可以降低相关性的干扰, 提高反演精度。AIRS 的全部温度有效通道虽然有 1055 个, 但因为通道之间的相关性, 导致并不是通道越多反演结果越好, 本文根据权重函数合理地将被使用的通道减少到 152, 反演精度不但没有变差, 反而有不同程度的提高, 这说明在利用超高光谱分辨率仪器进行反演时, 合理选择通道是非常必要的。

(2) 利用 AIRS 数据进行反演时, 虽然改进了以往仪器反演出的大气温度在对流层顶误差较大的缺点, 但在近地面的精度仍不理想。其主要原因在于近地面的温度变化剧烈和地表参数的不确定性等。本文通过增加地表温度, 地表发射率和地形三个附加通道, 很大程度地提高了近地面的反演精度。同时发现在加入地表发射率作为附加通道时, 并不需要增加全部大气窗区的通道地表发射率, 只要合理地选择一个通道就可以获得较好的结果。

(3) 通过与 AIRS 小组的大气温度反演结果的比较, 发现利用 AIRS 辐射资料反演的大气温度都有在对流层中上层和对流层顶精度高的特点, 在近地面则还不理想。

(4) 由于 AIRS 属超高光谱仪器, 信息量大, 我们虽然做了大量计算试验和分析研究工作, 但限于时间仍有许多不足, 如有云大气条件下如何获取大气参数, 大气湿度的反演; 如何综合利用其他仪器资料, 例如在温度反演中加入微波仪器的观测资料等, 这些都将成为我们下一步工作的重点。

References

- Aumann H H, Tom Pagano. Early Results from AIRS on the EOS. AIRS Publications Web Site, http://airs.jpl.nasa.gov/publications/publications_index.html
- Chen Weimin. 2003. Satellite Meteorology (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 11-22
- Dong Chaochua, Jiang Deming, Qi Chengli, et al. 2004. Experimental study on atmospheric parameters using new atmospheric sounding instrument data. Proceedings OF Spie, 5655:24-32
- Dong Chaochua, Zhang Guocai, Xing Fuyuan, et al. 1999. Meteorological Satellites Operational Products User Guide (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 46pp
- Fang Zongyi, Xu Jianmin, Zhao Fengsheng. 2004. Progress and prospect of China meteorological satellite and satellite meteorology. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 62 (5):550-560
- Gao Wenhua, Zhao Fengsheng, Gai Changsong. 2006. Validation of AIRS retrieval temperature and moisture products and their application in numerical models. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 64 (3):271-280
- Huang Hung-Lung, Antonelli P. 2001. Application of principal component analysis to high-resolution infrared measurement compression and retrieval. J Appl Meteor, 40:365-388
- Strow L Larrabee, Howard Motteler, Scott Hannon K. 2000. CARTA: Installation and Testing. Baltimore County: University Maryland
- Susskind J, Barnett C, Blaisdell J. 2003. Retrieval of atmospheric and surface parameters from AIRS/AMSU/HSB data in the presence of clouds. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 41(2): 390-409
- Wu Xuebao, Li Jun, et al. 2005. Atmospheric profile retrieval with AIRS data and validation at the ARM CART Site. Adv Atmos Sci, 22:647-65
- Zeng Qingcun. 1974. Atmospheric Infrared Remote Theory (in Chinese). Beijing: Science Press, 174pp

附中文参考文献

- 陈渭民. 2003. 卫星气象学. 北京: 气象出版社, 11-22
- 董超华, 章国材, 邢福源等. 1999. 气象卫星业务产品释用手册, 北京: 气象出版社, 46pp
- 方宗义, 许健民, 赵凤生. 2004. 中国气象卫星和卫星气象研究的回顾和发展. 气象学报, 62(5):550-560
- 高文华, 赵凤生, 盖长松. 2006. 大气红外探测器(AIRS)温、湿度反演产品的有效性检验及在数值模式中的应用研究. 气象学报, 64 (3):271-280
- 曾庆存. 1974. 大气红外遥测原理. 北京: 科学出版社, 174pp