

文章编号: 1004-4965 (2007) 04-0401-08

## 红外超光谱资料 (AIRS) 反演“云娜”台风外围 晴空大气温度廓线的研究

黄兵<sup>1,2</sup>, 白洁<sup>2</sup>, 刘健文<sup>2</sup>, 钟中<sup>1</sup>

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 空军装备研究院航空气象研究所, 北京 100085)

**摘 要:** 研究反演了 2004 年 8 月 11 日“云娜”台风附近晴空像元大气温度、臭氧廓线及表层温度、地表气压、地表比辐射率等参数, 并与观测资料进行了对比验证。在研究了用高空间分辨率的 MODIS 成像仪的云检测信息来进行空间匹配, 客观确定高光谱大气垂直探测器 AIRS 的云检测的基础上, 用特征向量统计法反演的廓线作为物理反演法的初始猜值, 然后利用牛顿非线性物理迭代法求解表层温度、表层气压、大气温度廓线和臭氧廓线等, 并将反演结果与多种观测资料进行了对比验证。结果表明, 反演得到的廓线水平分辨率可达到 13.5 km (星下点), 垂直分辨率达到 101 层, 反演误差较小, 可以弥补高原、沙漠以及高原等地方常规观测资料的不足。

**关 键 词:** 红外遥感; 反演; 大气廓线

中图分类号: P444

文献标识码: A

### 1 引 言

长期以来, 国内外气象工作者在利用卫星资料来改善数值预报初始场和帮助人们理解天气系统的结构及其成因方面做了大量的工作, 并已取得很大的进展<sup>[1]</sup>。以 ECMWF 为例, 在其 4DVAR 资料同化流程中, 直接同化卫星辐射率资料和间接同化其反演产品占有同化资料的 87% 以上, 这些同化的资料对数值预报的初始场质量和预报准确率的提高起非常重要的作用<sup>[2-3]</sup>。利用卫星资料反演温湿廓线和云参量也取得了很大的进步, NASA 利用 MODIS 反演大气廓线, 并已经发布温湿廓线业务产品<sup>[4]</sup>, 目前国内主要在利用 MODIS 资料反演地表温度和利用静止气象卫星反演海温已取得进步, 但是离国外还有一定差距, 尚未就利用 MODIS 辐射率资料反演大气廓线大量开展工作<sup>[5-7]</sup>。此外 Nesdis Weng 等利用 NOAA 卫星 ATOVS 辐射率资料来反演温湿廓线和云水含量, 反演误差控制在合理的范围内, 但这个反演算法尚未业务化<sup>[8]</sup>。尤其是其反演的云参量, 由于其与复杂天气密切相关, 其在数值预报初始场中应用潜力很大。李辉等<sup>[9]</sup>在利用 ATOVS 和 MODIS 探测资料反演和监测大气臭氧含量为监测和研究环境变化提供依据方面也取得了一定的进展。在利用

AIRS 红外超光谱资料反演大气廓线方面, NASA 已经发布 MOD\_07 L2 廓线产品, 但是其水平分辨率为 45 km (星下点) 和垂直分辨率仅为 26 层, 没有充分挖掘利用 AIRS 反演大气廓线的优势, Wisconsin 大学的 Smith Huang 和 Bormin Huang 在提高其反演产品的分辨率和精度方面做了大量的工作, 进一步提高了反演的水平分辨率和垂直层次。由于高光谱大气红外探测器 AIRS 的观测信息不是直接对地广播, 获得 AIRS 观测资料相对 MODIS 来说比较困难等原因, 国内对 AIRS 的研究起步较晚, 针对 AIRS 反演大气廓线的研究也较少。

本文首先利用高空间分辨率的 MODIS 成像仪的云检测信息进行空间匹配, 客观确定高光谱分辨率的 AIRS 大气垂直探测器的云检测, 然后将用特征向量统计法反演的廓线作为物理反演法的初始猜值, 利用一阶变分原理从辐射传输方程中得到了大气温度等权重函数的解析形式<sup>[10]</sup>, 然后利用牛顿非线性物理迭代法求解表层温度、大气温度廓线等。反演的大气廓线水平分辨率达到 13.5 km, 垂直分辨率达到 101 层, 反演误差得到了较好的控制。反演产品同其它卫星观测值一样可用于数值天气预报模式或常规气象观测资料较稀少的地区。在数值模式中加入高精度的卫星反演信息, 为改善和提高数值预报准确率提供

收稿日期: 2006-03-30; 修订日期: 2006-10-16

基金项目: 自然科学基金项目 (40605016); 自然科学基金重点项目 (40333026) 共同资助

作者简介: 黄兵, 男, 湖南人, 在读博士生, 主要从事卫星资料反演和变分同化研究。E-mail: huangbi\_h@sohu.com

了可能。

## 2 资料和方法

台风“云娜”于2004年8月12日20时(北京时间)在浙江温岭沿海登陆后,穿过江西、湖南、湖北等省,历经了66小时而不消散。“云娜”在登陆前,亚洲中高纬是较平直的纬向环流,在中低纬上大陆副高和日本及其以南洋面上空的西北太平洋副高反气旋打通呈东西带状分布,“云娜”位于该连体高压南侧,登陆后受高压南侧偏东气流的牵引向偏西方向移动。“云娜”登陆时,我国华北北部至俄罗斯远东地区为一宽阔的低槽区,蒙古国西部到我国新疆一带有一短波槽,该槽前在蒙古国中部到我国黄河上游有一弱高压脊。西欧长波槽逐日东移,槽前的高压脊也东移与蒙古国到我国黄河上游的高压脊同位相叠加,致使亚洲中北部环流经向度变大,能量频散的作用导致我国华北北部至俄罗斯远东地区的宽槽向南加深发展,造成“云娜”北侧连体高压脊减弱断裂成东西两环,并一直维持到15日晚上。虽然“云娜”台风带来的降水缓解了我国江南和华南大部的旱情,但给正面登陆的浙江造成了重大损失,台风及其低压环流深入内陆产生的大风、强降水和强雷暴等剧烈天气,又使江西、安徽、湖北、江苏、河南等地的局部地区山洪暴发,引发滑坡、泥石流地质灾害,损失非常严重<sup>[11]</sup>。

加强对台风登陆前的监测和观测对正确预报台风路径和强度意义重大,但是台风来临时,各种自然条件对加强台风的地面、高空探测都非常不利,所以目前台风内部结构的观测非常少,这也是进一步加强对台风动力结构及其移动路径预报的一个很大的障碍。而卫星观测不受这些条件限制,可以丰富台风周围的观测信息,帮助正确判断台风的引导气流,从而减少台风路径预报的误差,还可以将这些观测信息用来改进数值预报的初边场,丰富初始场的中尺度信息,提高数值预报的准确率。目前国内在利用卫星资料监测预报台风方面以定性应用为主,定量应用很少,对这方面的研究和应用意义重大。

EOS系列的Aqua(EOS-PM)卫星,平台上的主要观测仪器有中分辨率成像光谱仪MODIS和高光谱大气红外探测器AIRS,是多个遥感仪器的组合。MODIS是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器,具有36个光谱通道,地面分辨率为250、500和1000m,扫描宽度为2330km<sup>[12]</sup>。AIRS是红外探测器,共有2378个红外光谱通道,所有的取样几乎是同一时间得到的。AIRS星下点分辨率水平方向为13.5km,垂直分辨率为1km。AIRS通过一个旋转扫描镜来观测与卫星运动轨道垂直的地球表面,每2.67秒横向扫描一次,±49.5°的扫描角度可覆盖地球表面2300km,我们称之为一条扫描线,每条扫描线有90个观测视场,每个视场包含2378个光谱取

样,每个景(granule)有135条扫描线组成。AIRS融合了多种先进的红外遥感技术,可获得较高敏感度、准确度、精度的温度、湿度大气廓线,还可以提供关于陆地、海表面温度,地表比辐射率和云覆盖率,云顶高度和大气中臭氧含量等附加信息,以前所未有的精度得到全球范围内温度、湿度和云的三维分布图。本文用到的AIRS L1B高光谱亮温资料、AQUA MOD03(MODIS定位文件)、AQUA MODIS35\_L2云产品均来自NASA网站。

用来进行验证的探空资料来自气象卫星综合应用系统9210工程Micaps单收站系统<sup>[13]</sup>,每天实时接收08时和20时两次探空资料,从中找出与AIRS晴空观测点时间、空间相匹配的台站探空资料,与反演结果进行对比验证。

研究中用来进行温度廓线对比的NCEP资料是NCEP中心的再分析资料,水平分辨率是 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,垂直方向为26层,分别为1000、975、950、925、900、850、800、750、700、650、600、550、500、450、400、350、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10hPa。其中含有26层的位势高度、温度、相对湿度、风向、风速以及其它层次上的云水、表面气压、臭氧混合比等变量。由于目前国内多数的研究者在做数值模拟时使用NCEP资料作为模式的初始场,使用范围比较广,所以在对比验证时将NCEP资料与反演结果以及探空观测也进行了对比分析。

## 3 晴空大气廓线反演

利用AIRS红外超光谱资料反演大气廓线的步骤是:

AIRS像元的云检测,即从MODIS云产品中提取高水分分辨率得出云检测信息之后,与AIRS的像元进行空间匹配,从而确定AIRS的像元云检测信息;综合利用特征向量统计法和牛顿非线性物理迭代法反演晴空像元的AIRS廓线,其中包括训练样本的准备、亮温分类和扫描角分类、特征向量统计法反演得到背景廓线、牛顿非线性物理迭代等步骤(流程详见图1)。其中中文中的主特征分析和前向模式均来源于Allen Huang的计算程序。

### 3.1 云检测

由于云量、云高及云特性的变化强烈影响着行星反照率梯度和地表能量交换,进一步影响区域、全球天气和气候,云检测是用卫星资料研究云对天气和气候系统作用至关重要的一步。云检测的效果如何,直接影响利用卫星资料反演大气参数的精度和误差<sup>[14]</sup>。

AIRS高光谱观测大气参数精度很高,能辨别出每条CO<sub>2</sub>吸收线,能探测从地面至40km高度的大气温度和水汽廓线,因而改进了大气廓线的垂直分辨能力,但AIRS空间分辨率低(13.5km),目前还没有一个很好的AIRS云检测算法。而MODIS多光谱具有高空间分辨率的特性,

能捕捉到地气系统中普遍存在的云的精细的结构,其反演算法相对比较成熟,云检测能力超过 AIRS,尤其是在白天。由于 EOS/AQUA 卫星上同时有 AIRS 和 MODIS 探测器进行扫描,两个探测器的时间和空间都比较匹配,研究综合使用 AIRS 高光谱探测和时间、空间匹配的 MODIS 高空间分辨率云参数信息来反演高精度、高分辨率的大气参数。本文中使用的 MODIS 云参数信息为 NASA 发布的 MOD35\_L2 云产品。

研究中 AIRS 云检测由落在每个 AIRS 视场中的精确空间匹配的 MODIS 1 km 云检测产品客观确定,由于空间匹配的 MODIS 1 km 的云检测产品不仅能告诉我们一个 AIRS 瞬时视场是否含有云,而且还能确定一个 AIRS 瞬时视场是否晴空无云、部分或者全部被云覆盖,从而为反

演廓线的分辨率和准确性提供了保障(详见参考文献[12])。图 2a 是 2004 年 8 月 11 日台风“云娜”逼近台湾时的 AIRS 影像图(1 000 cm<sup>-1</sup> 窗区),图 2b 为其同时的 AIRS 的云检测结果。

### 3.2 主特征分析的应用

从卫星观测值反演大气温度、臭氧的一个有效计算方法是采用事先由大气廓线及模拟辐射值决定的统计关系,在实际反演时,用二氧化碳、水汽、窗区等通道的辐射值反演温、湿廓线。这种回归方法常被用来产生物理反演算法的初始猜测场,Smith 等<sup>[15]</sup>1970 年详细介绍了这种统计回归算法。研究中反演的大气参数,包含 101 层(表 1)。由于常规探空高度只限于 100 hPa,本文中验证时只验证了大于 100 hPa 各层次大气廓线。

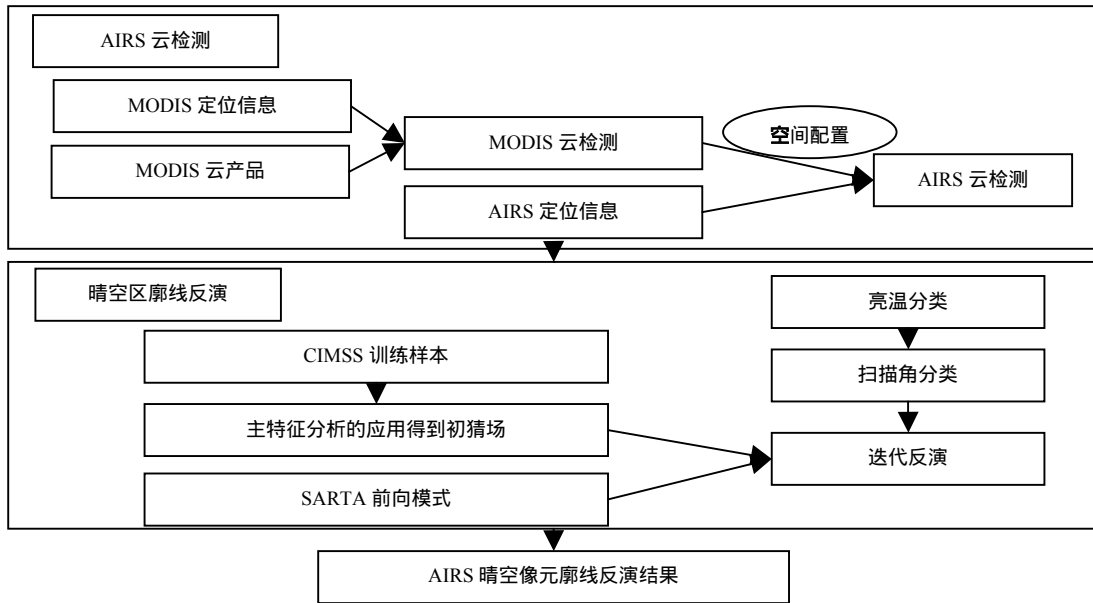


图 1 利用 AIRS 红外超光谱资料反演大气廓线流程图

表 1 反演的 101 层中大于 100 hPa 的 57 个层次的气压值 单位: hPa.

层次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
气压	1 100.0	1 070.9	1 042.2	1 013.9	986.0	958.6	931.5	904.9	878.6	852.8	827.4	802.4
层次	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
气压	777.8	753.6	729.9	706.6	683.7	661.2	639.1	617.5	596.3	575.5	555.2	535.2
层次	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
气压	515.7	496.6	478.0	459.7	441.9	424.5	407.5	390.9	374.7	359.0	343.6	328.7
层次	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
气压	314.1	300.0	286.3	272.9	260.0	247.4	235.2	223.4	212.03	201.0	190.3	180.0
层次	49	50	51	52	53	54	55	56	57			
气压	170.1	160.5	151.3	142.4	133.9	125.7	117.8	110.2	103.0			

### 3.3 训练样本

全球晴空反演训练样本由 TIGR3( TOVS Initial Guess Retrieval ), NOAA 和 ECWFM 等有代表性的温、湿和臭氧等廓线组成,同时还补充了沙漠地区的无线电探空和臭

氧探空值(所有廓线从 1 100 ~ 0.005 hPa 被内插到 101 个气压层),大约有 12 000 个样本。将样本廓线按 IGBP 生态系统分类,15 个红外波数的地表发射率由与生态系统相关的 MOD11 产品得到。

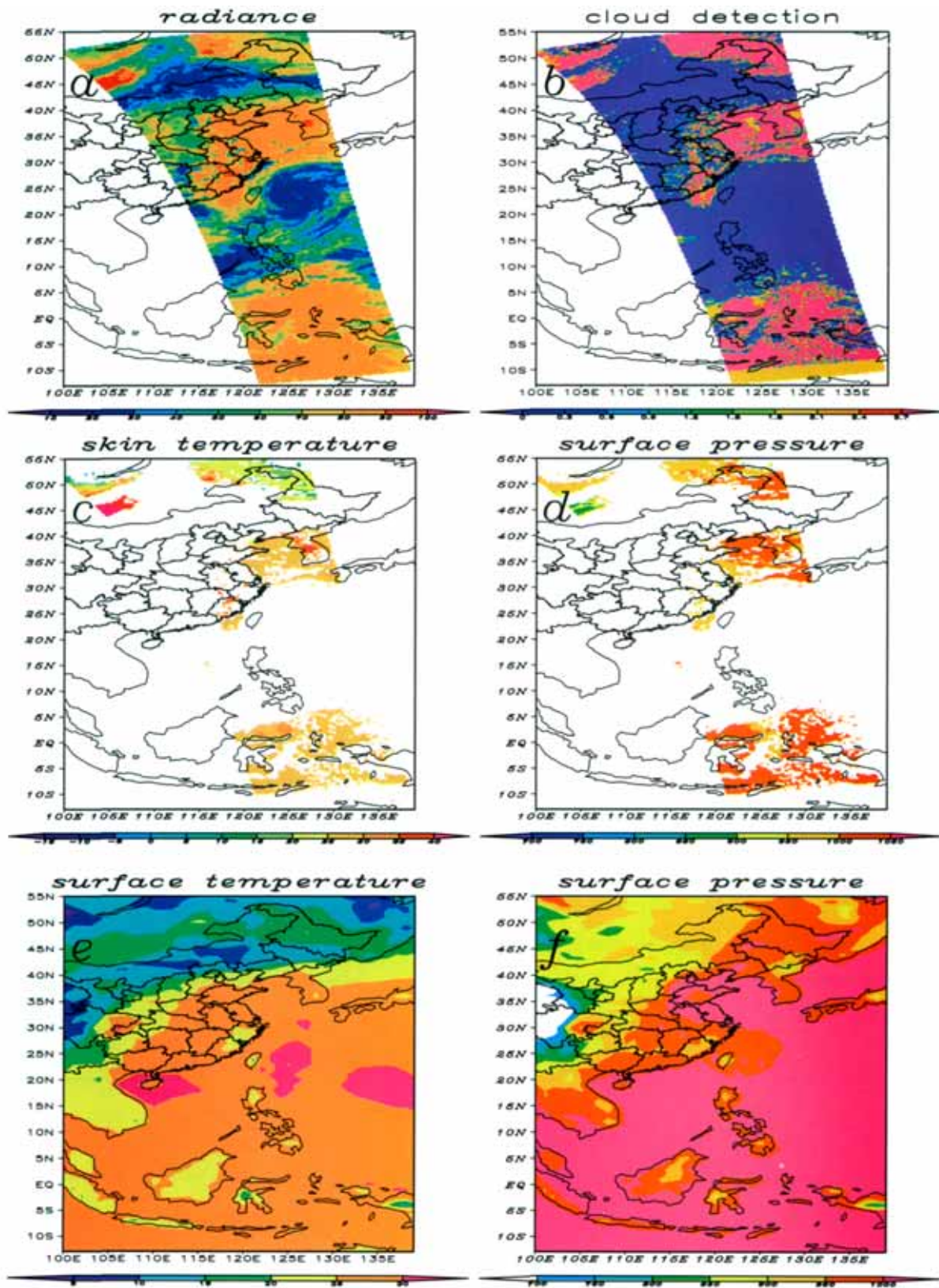


图2 2004年8月11日04:13~05:17(UTC)台风“云娜”逼近台湾时的AIRS Granule 050、010、052三个景  
 a. AIRS  $1\ 000\ \text{cm}^{-1}$  窗区影像图(单位:  $\text{mW}\cdot\text{cm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ ); b. 云检测结果(0为绝对云区, 1、2位部分有云覆盖, 3为绝对晴空, 色标为可信度); c.~d. 反演得到的地表温度( )和表面气压(hPa); e.~f. NCEP再分析资料的地表温度( )和表面气压(hPa)。

### 3.4 亮温分类

为了使算法可以应用到全球廓线反演中去,对不同大气和地表条件提供了不同的回归系数。将训练样本的辐射值根据波数  $1\ 000\ \text{cm}^{-1}$ (窗区)时的亮温分成 6 类,表 2 给出了每类的阈值,回归时分类统计其系数,反演时不同类采用不同的回归系数。亮温分类的目的是为了提高统计回归的精度、减少错误分类的影响。统计回归系数时每类的阈值重叠了 10 K,是为了避免错误的分类及其对应的不正确的训练类的回归因子导致的不理想回归结果。

### 3.5 扫描角分类和前向模式

AIRS 的扫描视角为  $\pm 49.5^\circ$ ,在星下点 ( $0^\circ$ ) 视野是圆形,随着扫描角的增大,视野逐渐变成椭圆形,影响了观测的辐射,因此除了按窗区的亮温分类以外,同时按观测扫描角分类,扫描角从  $0\sim 49^\circ$  共分了 11 类。在研究中,使用用于计算 AIRS 辐射传输值的快速前向模式 SARTA (Stand-Alone Radiative Transfer Algorithm) v1.05<sup>[16]</sup>。AIRS 最终要利用物理反演法来反演大气廓线,其结果依赖于精确、快速的晴空辐射时的辐射传输算法。

表 2 亮温 (BT) 分类方案 单位: K。

分类	训练样本亮温	反演亮温
1	$BT \leq 260$	$BT \leq 255$
2	$250 < BT \leq 270$	$255 < BT \leq 265$
3	$260 < BT \leq 280$	$265 < BT \leq 275$
4	$270 < BT \leq 290$	$275 < BT \leq 285$
5	$280 < BT \leq 300$	$285 < BT \leq 295$
6	$BT > 290$	$BT > 295$

## 4 “云娜”台风外围晴空大气廓线反演结果分析

### 4.1 单站反演廓线验证

2004 年 8 月 11 日台风“云娜”经过中国台湾时 AIRS Granule 049、050、051 的观测时间为 04:13~05:17(UTC)。依据上述方法反演得到了晴空观测点的大气廓线,并与 8 月 11 日 00(UTC) 时的 Micaps 探空资料和 NCEP 资料进行时空匹配。共有 14 对空间、时间匹配的无线电探空值和 AIRS 晴空像素点的观测值(观测点位置见图 3),平均观测时间差为 3 小时,空间差最大为 90 km,将匹配的无线电探空值作为真值,将 AIRS 反演的晴空温度廓线和 NCEP 再分析资料温度廓线插值到探空的标准层次,然后统计 AIRS 温度、反演的平均误差和标准差。由于篇幅限制,图 3 仅列出 6 条反演得到的晴空温度廓线和 NCEP 资料分别与无线电探空值的对比示意图。

可以得到结论:

(1) 反演的廓线水平分辨率达到  $13.5\ \text{km}$ (星下点),垂直分辨率 101 层,反演误差在  $2.5\ \text{K}$  左右,而 NCEP 资料的水平分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ (在中高纬约  $100\ \text{km}$ ),垂直

分辨率为 26 层。反演得廓线达到业务应用和数值模式应用的误差精度要求,可以用来改善数值预报的初始场进而提高数值预报的准确率或直接用于高原或沙漠等观测资料稀少的地区。图 2c、2d 是本研究反演得到的地表温度、表面气压,图 2e、2f 是对应时次的 NCEP 再分析资料的地表温度、表面气压。可以看出反演得到的大气参数相对 NCEP 资料能反映更精细的大气结构。

(2) 从图 4(“+”)为 AIRS 晴空点反演值,“ ”为无线电探空值,“ ”为 NCEP 再分析资料)可以看出,在对流层所有气压层上温度的误差都在  $2.5\ \text{K}$  之间,反演廓线(“+”)要比 NCEP 再分析资料(“ ”)更接近于探空观测(“ ”),反演得到的廓线总体精度要求都优于 NCEP 资料。

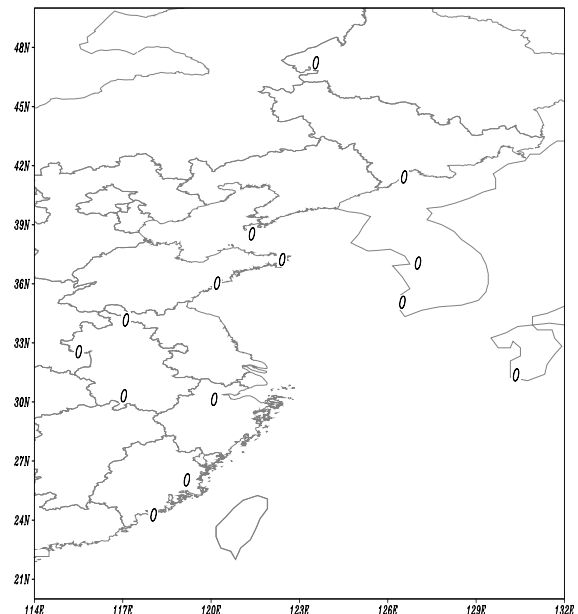


图 3 空间、时间匹配的无线电探空值和 AIRS 晴空像素点位置 (0 所在) 示意图

(3) 通过图 4 中不同经纬度的温度廓线反演,可看出 NCEP 资料的逆温层在  $250\ \text{hPa}$  左右,反演的温度廓线和无线电探空的观测均表明逆温层在  $100\ \text{hPa}$  左右。从整体上可看出,就对逆温层及其附近的温度描述而言,反演值优于 NCEP 再分析资料。

(4) 考虑到无线电探空观测本身的观测误差和对比资料的时间间隔,反演廓线的平均误差在  $2.5\ \text{K}$  左右,在可以接受的范围内。

(5) 反演的大气廓线比无线电探空观测的光滑,这是由于假设反演问题是线性所造成的。

### 4.2 多站反演统计验证

为了进一步验证反演算法的有效性及其反演精度,我们对 2004 年 8 月 1~8 日覆盖中国中东部 AIRS 上升轨道

共 28 Granule 进行了进一步的反演和对比验证 (表 3), 统计了 AIRS 反演的晴空像素点和 NCEP 再分析资料分别

与无线电探空资料时间、空间匹配的点的数目、标准偏差和标准差。

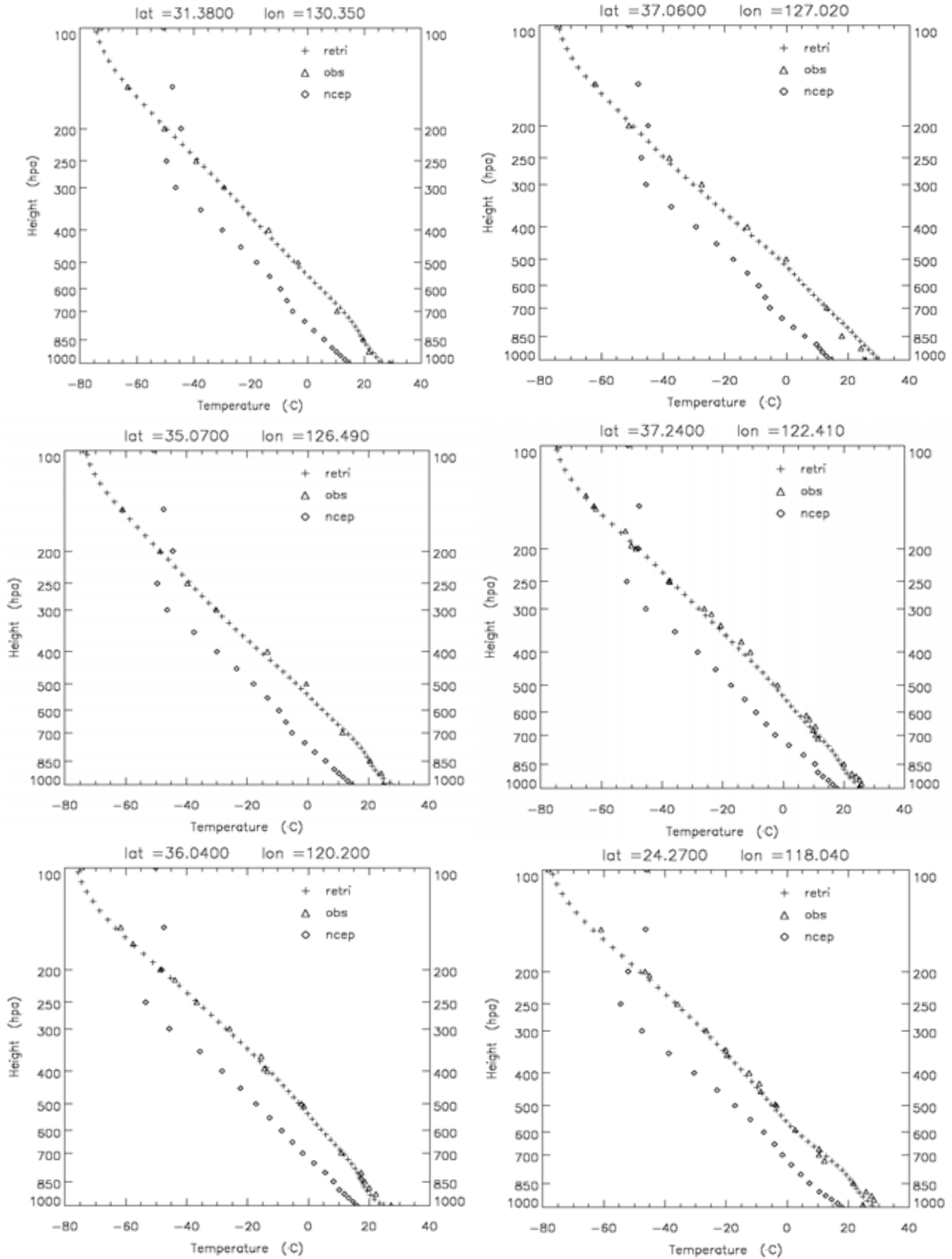


图 4 反演得到的 2004 年 8 月 11 日 AIRS Granule 050、010、052 三个景晴空温度廓线和 NCEP 资料分别与无线电探空值的比较 “+”代表 AIRS 晴空点反演值; “Δ”代表无线电探空值; “○”代表 NCEP 再分析资料。水平坐标为温度( ); 垂直坐标为高度(hPa)。

表 3 2004 年 8 月 1~8 日利用 AIRS 红外超光谱资料反演得到的晴空廓线和 NCEP 资料分别与时间、空间匹配的无线电探空值平均误差和标准差 单位: K。

日期	台站、AIRS 晴空象素点、NCEP 资料匹配点个数	反演温度廓线与探空平均偏差	NCEP 廓线与探空平均偏差	反演温度廓线与探空标准差	NCEP 廓线与探空标准差
1	14	2.39745	8.95189	3.93942	14.23830
2	19	1.94286	10.19182	3.30896	16.28426
3	7	2.25756	11.10016	3.84442	16.27623
4	18	2.30215	7.53835	4.07072	13.32577
5	9	2.13957	9.09042	4.01348	14.26361
6	21	2.27106	10.84216	4.28276	18.63050
7	10	2.52134	6.27062	4.87446	10.56610
8	24	2.35647	8.91801	4.24337	14.38242
平均	15.25	2.27356	9.11293	4.07220	14.74590

从表 3 可以看出,反演并匹配得到 8 天共 122 个测站, 400 多个层次温度值与探空廓线(真值)的平均偏差为 2.397 K, 而 NCEP 再分析资料的平均偏差为 8.952 K, 是反演值的 4 倍左右;反演值的水平分辨率为 13.5 km (星下点), 而 NCEP 资料的水平分辨率为 1° (在中高纬地区约为 100 km), 反演资料的精度要求和分辨率均优于 NCEP 资料。

## 5 初步结论

用特征向量反演算法,可以快速、较精确地反演大气温度、臭氧以及地表气压、地表温度、地表发射率和反射率廓线。回归因子由大量的样本廓线及其模拟辐射值回归得到,模拟值用少量的特征向量进行了压缩,从而提高了反演效率,增加了反演稳定性,同时减小了随机噪音的影

响。训练样本中包含代表全球各种大气条件和地表条件的廓线,使得算法可应用于全球大气廓线的反演。本反演方法所获得的温度、反演结果与探空观测大气廓线分布一致,且 AIRS 由于其高光谱分辨率(高垂直空间分辨率)显示了更精细的大气结构。本文仅将反演廓线和 NCEP 资料廓线与探空资料进行了统计验证,并没有将反演值同化到数值模式中来检验其对模式初始场和预报结果的改进程度,这也是我们下一步需要进行的工作。

致谢:感谢美国 Wisconsin 大学 Allen Huang 在 <ftp://ftp.wisc.ssec.edu> 提供的计算程序;www.gsfc.nasa.com 为本研究提供了 AIRS 观测资料、MOD03 地理定位文件、MOD35 云产品等资料,在此表示感谢。

## 参 考 文 献:

- [1] 魏应植,许健民,周学鸣. 台风“杜鹃”的 AMSU 卫星微波探测资料分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 359-367.
- [2] ANDERSSON E, PAILLEUX J. Use of cloud-cleared radiance in three/four-dimensional variational data assimilation[J]. Quart J Roy Meteorol Soc, 1994, 120(10): 627-653.
- [3] MILIJA Zupanski. Regional four-dimensional variational data assimilation in a quasi-operational forecasting environment[J]. Monthly Weather Review, 1993, 121(8): 2 396-2 408.
- [4] 官莉, HUANG H L, 李俊. 用 EOS/AIRS 观测值反演大气廓线的初步研究[J]. 气象学报英文版, 2005, 19(1): 112-119.
- [5] 崔彩霞, 杨青, 杨莲梅. MODIS 资料用于塔克拉玛干沙漠地表温度计算方法初探[J]. 中国沙漠, 2003, 23: 596-599.
- [6] 郭广猛, 杨青生. 利用 MODIS 数据反演地表温度的研究[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(1): 34-36.
- [7] 陈子通. 静止气象卫星反演海温及其分析技术方法的研究[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 235-241.
- [8] WENG Fuzhong, YAN Banghua. A microwave snow emissivity model[J]. Canada: Proceedings of the XIIIth International TOVS Study Conference, 2003: 212-218.
- [9] 李辉. 用卫星资料反演臭氧总量的研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院硕士学位论文, 2003.
- [10] 官莉. 红外超光谱资料的使用及其在云检测、晴空订正和大气廓线反演方面的应用[D]. 南京: 南京信息工程大学理学博士学位论文, 2005.

- [11] 许映龙, 高拴柱, 刘震坤. 台风“云娜”陆上维持原因浅析[J]. 气象, 2005, 31(11): 32-36.
- [12] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-4.
- [13] 章国材. 卫星气象数据广播接收系统培训教材[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 1-204.
- [14] CHEVALLIER F, BAUER P, MAHFOUF J F, et al. Variational retrieval of cloud profile from ATOVS observation[J]. *Quart J Roy Meteorol Soc*, 2002, 128(1): 2511-2525.
- [15] SMITH W L, WOOLF H M, JACOB W J. A regression method for obtaining real-time temperature and geopotential height profiles from satellite spectrometer measurements and its application to Nimbus 3 “AIRS” observation[J]. *Mon Wea Rev*, 1970(98): 582-603.
- [16] STROW L L, HANNON S E, MOTTELER H E. An overview of the AIRS Radiative Transfer Model[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing*, 2003, 41(2): 303-313.

## RETRIEVAL OF CLEAR SKY ATMOSPHERIC SOUNDING PROFILE AROUND TYPHOON RANANIM USING INFRARED HYPERSPECTRAL MEASUREMENTS AIRS

HUANG Bing<sup>1,2</sup>, BAI Jie<sup>2</sup>, LIU Jian-wen<sup>2</sup>, ZHONG Zhong<sup>1</sup>

( 1. Meteorological Institute of Science and Engineering University PLA, Nanjing 211101, China;  
2. Aviation Institute of Air Force Beijing, Beijing 100085, China )

**Abstract :** The study retrieves the atmospheric profiles of temperature, moisture and ozone, together with surface emissivity and surface temperature and surface pressure from measured infrared sounder radiances under clear sky (cloudless) conditions, and validates them against the observations. Spatial matching is done to measured cloud information obtained from the high-spatial resolution imager(MODIS). And then on the basis of cloud measurements from a high-spectral resolution atmospheric infrared sounder(AIRS), profiles retrieved via a statistical eigenvector regression retrieval algorithm are used as the first guess for a physical retrieval method. Single term variational analysis is applied to the Radiative Transfer Equation(RTE) to first obtain an iterative form for temperature and water vapor mixing ratio weighting functions, then the Newtonian nonlinear iteration method is applied to the RTE to retrieve simultaneously profiles and surface values among others. The retrieved values are then compared with the observations. For the places where observations are very sparse such as the plateaus, deserts, the results show that the retrieved atmospheric sounding profile that is 13.5 km(nadir) for horizontal resolution and 101 levels for vertical section can be used to makeup the lack of observations in the plateaus and deserts.

**Key words:** infrared remote sensing; retrieval; atmospheric sounding profile