

基于 DVB-S 数据共享平台的 NOAA/ ATOVS 资料获取、处理与显示系统*

冉茂农 瞿建华 沙利 袁晚平 张凤英 吴雪宝

(国家卫星气象中心,北京 100081)

摘 要

充分利用国家科技部大力推行的 DVB-S 共享数据平台,加强气象卫星遥感数据的广泛应用,特别是发挥卫星垂直探测器(ATOVS)资料在我国数值天气预报以及监测重大灾害性天气系统中的作用。该文介绍了基于 DVB-S 系统的 NOAA/ ATOVS 资料的处理、分析与显示系统的概况及主要功能,并以 2005 年 7 月人们关注的台风“海棠”为个例,展示了利用该系统在监测和分析台风或强对流天气时的独特优势。该系统的建立,将解决省、地气象部门不能实时获取 ATOVS 资料的问题,并将推动 ATOVS 资料在气象以及相关部门的实际应用。

关键词: DVB-S; ATOVS; 资料处理; 反演

引 言

ATOVS(Advanced TIROS Operational Vertical Soundings)是先进的 TIROS 业务垂直探测器(TOVS)的简称,主要搭载在美国 NOAA-15/16/17/18 极轨系列卫星上^[1]。ATOVS 共有 40 个通道,主要位于微波和红外波段,可以探测大气层向宇宙空间发射的热辐射。利用 ATOVS 不同通道接收到的辐射值,通过求解辐射传输方程,可以获得诸如大气温度和湿度的垂直结构、大气臭氧总含量、云参数等各种反演产品以及大气的水汽总含量、大气稳定度指数等的推导产品。此外,ATOVS 微波和红外通道的辐射值可为数值天气预报(NWP)变分同化系统提供不可或缺的数据源。与 TOVS 相比,ATOVS 业务垂直探测器可以实现卫星对地球进行近全天候的大气垂直探测,其主要原因是将能够穿透云的微波探测器作为大气的主探测器。

ATOVS 资料存放在 NOAA 卫星实时广播的 HRPT(High Resolution Imaging Transmission)数据流里。以前要接收处理 ATOVS 资料就必须建立 NOAA 卫星资料单站接收处理系统,包括天线、天线

控制器、馈源、高放、变频器、解调器等一系列硬件设施和轨道计算等软件系统,成本比较高。2004 年,国家科技部为了大力发展我国卫星资料共享计划,委托中国气象局国家卫星气象中心主持开发卫星数据共享平台。该平台于 2004 年下半年建成并通过了验收。利用这个平台,除了按要求免费对外广播国家卫星气象中心接收的 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)资料外,还自主增加包括免费广播 NOAA 卫星的 HRPT 资料,这样就使得 ATOVS 资料在各个 DVB-S(Digital Video Broadcast by Satellite)接收端进行处理、分析和应用成为现实。国家卫星气象中心有 3 个卫星资料地面接收站用于接收 NOAA 实时广播的 HRPT 数据,与以往用户自行建立的单站处理系统相比,不仅覆盖范围大,而且数据可靠性高。因此,建立基于 DVB-S 系统的 NOAA 卫星 ATOVS 资料的处理、分析与应用系统,可以充分发挥 ATOVS 资料在天气预报和灾害性天气监测(台风和强对流天气),尤其是数值天气预报等方面的独特优势和作用。另外,ATOVS 产品具有覆盖范围广、水平和垂直分辨率高、分布均匀等特点,可以弥补海洋、高原、沙漠地区常规探测资料之不足。本处理系统包括 3 个部分:ATOVS 资料

* 国家科技基础条件平台工作 2003 年重大项目“国家 EOS-MODIS 共享平台建设与运行”和“覆盖全国的 MODIS 数据获取和汇集系统建设”项目共同资助。

2005-08-20 收到,2006-03-27 收到再改稿。

通过 DVB-S 系统的汇集、转发和接收; ATOVS 资料的预处理和反演; ATOVS 资料的数据分析和显示。

1 ATOVS 资料通过 DVB-S 系统的汇集、转发和接收

1.1 DVBS 数据共享平台介绍

DVB-S 数据共享平台实际上是一个借助于数字化视频广播信号,通过通讯卫星转发数据的系统。汇集和转发的地面接收站包括中国气象局的 4 个站(北京、广州、乌鲁木齐和拉萨)和国家海洋局的 2 个站(北京和三亚)。对于 EOS/ MODIS 资料而言,中国气象局的北京站和广州站与国家海洋局的北京站和三亚站互为备份。这些接收站的资料通过光纤或网络近实时地传送到国家卫星气象中心进行汇集,然后传送到 DVB-S 主站,再通过租用的通讯卫星(中卫 1 号)向全国广播。

中国气象局国家卫星气象中心的 3 个设备完整、功能强大和业务运行良好的卫星资料接收地面站(北京、广州和乌鲁木齐),不但可以接收 EOS (TERRA/ AQUA) 卫星的 MODIS 资料,而且还有能力接收国内外其他的环境气象卫星资料,如 NOAA 系列的 HRPT, FYI 系列卫星的 1b 资料等。接收资料范围完全可以覆盖整个中国和东亚地区。

1.2 DVBS 用户端系统

DVB-S 系统用户端包括 3 个部分:第一部分为室外单元(接收天线等)、进机卡和前端机;第二部分为卫星数据预处理平台(资料预处理部分);第三部分为数据产品应用平台(应用产品生成和图像处理部分)。这 3 部分通过局域网进行联系,作为可选项的第二和第三部分可以合并为一个部分。

ATOVS 资料在 NOAA/ HRPT 数据流里。当用户端接收到由 DVB-S 主站广播的 NOAA/ HRPT 数据后, ATOVS 资料也就在用户端保存了下来,并可以进行资料处理和产品生成。

2 ATOVS 资料的预处理和反演

ATOVS 由 3 个相互独立的仪器组成: HIRS/3 (高分辨率红外探测器 3 型), AMSU-A (微波探测装置 A 型) 和 AMSU-B (微波探测装置 B 型)^[1]。HIRS/3 与 TOVS^[2-3]的 HIRS/2 一样,由 20 个通道组成,其中 19 个红外通道,1 个可见光通道,星下点

分辨率分别为 18.9 km (长波红外通道) 和 20.3 km (可见和短波红外通道),主要用于大气温度、湿度、表面温度、臭氧总含量探测。AMSU-A 由 15 个通道组成,其星下点分辨率为 45 km,主要用于大气温度和表面参数探测。AMSU-B 是一个 5 通道扫描探测仪,其星下点分辨率为 15 km,主要用于大气湿度和表面参数探测。AMSU-A 与 HIRS/3 结合将大大改进大气温度探测产品精度,而 AMSU-B 与 HIRS/3 结合将大大改进大气湿度探测产品精度^[4]。此外,AMSU-A 和 AMSU-B 的窗区通道可用于反演大气可降水和表面产品,从而增强了 NOAA 系列卫星的表面探测能力。

2.1 ATOVS 资料预处理

ATOVS 预处理软件包是在欧洲气象组织(法国气象局、英国气象局、ECMWF 等)共同开发的 ATOVS/ AVHRR 预处理软件包(简称 AAPP)的基础上,结合我国的实际情况开发建立的,可以近实时处理北京、广州和乌鲁木齐 3 个地面站接收的经过接力和去重复后由 DVB-S 系统广播的 HRPT 资料。处理过程包括解码、定标、定位、亮温订正以及多种仪器数据的相互匹配等,生成不同等级的数据集。这些数据集不仅适用于大气参数反演,也可以直接用于天气分析和预报、NWP 变分同化系统、暴雨监测等研究。试验结果表明,预处理结果正确。

ATOVS 预处理系统主要包括下列内容:

① 解码:将 AVHRR, HIRS, AMSU-A 和 AMSU-B 的信息从 HRPT 信息流中分离出来,分别生成 AVHRR, HIRS, AMSU-A 和 AMSU-B 的原始数据集,即 1a 数据集。尽管解码只是数据格式的转换,不包含太多的科学算法,但它是非常关键的一步。

② 定标:把卫星探测仪器输出的电压计数值转换为辐射值。定标分两个阶段:卫星发射前的实验室定标;卫星发射后的在轨定标,也称“校准”。仪器在轨定标通常采用线性定标方法。对于 AVHRR/ ATOVS 仪器来说,利用仪器自身携带的内部暖黑体和宇宙冷空间计数值(C_B 和 C_{SP})建立线性方程组 $R_B = I + GC_B$ 和 $R_{SP} = I + GC_{SP}$,并由此计算出定标系数 G (斜率) 和 I (截距) (公式略)。由于仪器在使用过程中信号会不断衰减,定标系数必须不断更新。

③ 定位:利用两行参数(TLE)文件直接或转换成 TBUS 轨道报,然后计算出卫星位置、移动速度和时间,并由此分别计算出 HIRS, AMSU-A 和 AMSU-B 每个扫描点的地理经纬度。而对于 AVHRR

来说,由于其扫描点太多,计算量大,故每条扫描线仅计算出51个点的地理经纬度(每40个点计算1个点),因此,在实际应用中要进行插值。

经过定标、定位处理后,可生成 AVHRR 1b, HIRS 1b, AMSU-A 1b 和 AMSU-B 1b。该数据集包含仪器的原始记数值、定标系数以及地理经纬度等信息。

④ ATOVS 二次预处理:二次预处理主要目的是将记数值转换成人们熟悉的亮温,对亮温进行订正以及不同分辨率仪器间数据的相互匹配等。目前 ATOVS 二次预处理主要包括:将仪器记数值转换成亮度温度,生成 HIRS, AMSU-A, AMSU-B 1c 数据集; AMSU-B 通道 1~5 信号干扰源噪声订正; AMSU-B 与 AMSU-A 数据的匹配处理; AMSU-A 与 HIRS 数据的匹配处理以及降水云检测等,生成 ATOVS 1d 数据集等。

经过匹配及订正处理后生成 ATOVS 1d 数据集。该数据集以 HIRS 观测视场(FOV)为基本格点,在每个 HIRS 格点上同时具有 HIRS, AMSU-A 和 AMSU-B 3 个仪器共 40 个通道的亮温数据以及降水云标记、地形、数据质量等信息。这些数据不仅可用于大气参数反演,还可直接用于 NWP 数据变分同化系统。此外,还可根据不同用户要求,生成各种适用于 NWP 数据变分同化系统的 1d 数据集。

2.2 大气参数反演

卫星探测产品与常规探空所测得的值在物理意义上有所不同。卫星探测的是某一个层面上某一范围内的平均大气状态,而常规探空是代表某一点的瞬时大气状态。由于二者的物理意义不同,以及探测时间和空间的不同,卫星探测与常规探测之间总有一定的差异。因此,无论采用什么模式,误差都会存在。

目前 ATOVS 资料反演方法在国际上主要有两种模式:法国的与图像数据耦合的反演(ICI)方法和美国的国际 ATOVS 处理软件包(IAPP)的非线性迭代反演法^[5-6]。综合考虑我国在处理 ATOVS 资料、初估场数据的获取、DVB-S 用户能力等因素,认为美国的 IAPP 方法更能适用于 ATOVS 资料的业务处理。

IAPP 采用物理反演模式,初估场采用回归反演结果,初估值根据 ATOVS 实际探测资料的地理位置确定,正演模式采用美国 Strow 和 Woolf 开发 PFASST 模式,云检测主要利用 AMSU-A 和 HIRS 信息,不采

用根据 AVHRR 图像数据进行的云自动判释结果,反演产品的分辨率约为 50 km,反演产品分两种类型:晴空和有云。目前该反演模式主要反演温度和湿度廓线。该系统的产品精度与“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究”项目中“卫星遥感大气中尺度热力场”^[4]试验精度以及国家卫星气象中心业务产品精度^[7-9]相当,即:温度约为 2 K,湿度约为 20%。

从目前的试验结果来看,ATOVS 反演产品解决了长期以来 TOVS 产品不能解决的云天情况下无法获取大气温度、湿度三维结构的问题。ATOVS 的业务运行真正实现了卫星全天候大气探测。下面列出了 DVB-S/ATOVS 处理系统的主要产品:① 20 个 HIRS/3 通道的亮温和反照率(分辨率为 18.9 km);② 15 个 AMSU-A 通道的亮温(分辨率为 45 km);③ 5 个 AMSU-B 通道的亮温(分辨率为 15 km);④ 1000~10 hPa 15 个标准层大气温度(分辨率约为 50 km);⑤ 1000~300 hPa 6 个标准层大气湿度(分辨率约为 50 km);⑥ 整层大气的推导产品,如臭氧总含量、可降水总含量、云顶气压、云顶温度、云量等(分辨率约为 50 km)。

3 ATOVS 资料的数据分析和显示

ATOVS 资料分析和显示系统是在 ATOVS 资料反演处理系统的基础上,将反演结果(如温、湿等气象要素值)用图形或图像的直观形式表现出来。它可以作为气象工作者使用和分析的有用工具之一。

由于 ATOVS 反演结果文件是以离散场的形式存放的,而预报人员经常要对气象要素值的等值线进行分析,因此本系统采用“快速 Barnes 分析法”对各个要素场进行客观分析,生成 $1^\circ \times 1^\circ$ 的各个要素的分析场,然后进行这些要素场的图形处理(等值线分析)和显示。

ATOVS 显示系统有如下的显示功能:① 显示反演点要素场数值;② 绘制要素场等值线分布;③ 绘制任意点温度、湿度垂直廓线;④ 绘制任意大气的垂直剖面图;⑤ 各种仪器不同通道的亮温图像以及调色板显示。

4 系统应用与个例分析

近年来,ATOVS 资料的应用取得了长足的进

展,尤其是在数值天气预报中的应用。ATOVS 资料已经成为 NWP 变分同化系统中不可缺少的信息源。中国气象科学研究院数值预报研究中心、国家气象中心等已将 ATOVS Lid 数据引入其 NWP 变分同化系统,并取得了可喜的进展。ATOVS 资料除直接应用于 NWP 变分同化系统外,还可用于台风、暴雨等灾害天气监测,中尺度暴雨云团分析等。DVB-S 共享数据平台的建立,必将大大推动 ATOVS 资料在全国气象部门以及相关部门的应用。下面给出两个应用个例,一是利用 AMSU-B 1c 亮温数据监测台风“海棠”,二是利用 ATOVS 反演的温湿廓线分析中尺度暴雨云团的发展过程。

4.1 台风监测

台风“海棠”2005 年 7 月 15 日在太平洋生成,经我国台湾到福建沿海登陆后消亡。通过使用 DVB-S 用户端的 ATOVS 预处理和反演系统,以及 ATOVS 显示软件系统,可以同时利用 NOAA-16/17 卫星资料来监测台风“海棠”的发展过程。以微波数据

AMSU-B 通道的亮温图像为例,通过时间序列和对应通道在不同高度层面上的图像,可以看出台风“海棠”在太平洋的发展以及在登陆福建后的消亡过程(7 月 15—21 日)。彩图 1 为 7 月 17—18 日不同时段 AMSU-B 通道 2 的亮温图像(对可降水最敏感)。由这些图像可以清楚地看出台风“海棠”登陆我国台湾的过程。

此外,还可以利用反演结果了解台风内部的温湿热力垂直结构(彩图 2)。彩图 2 中的右图是左图中红线地区(26.83°N,118.87°E 到 20.71°N,124.02°E)的温度垂直剖面图。同样也可以获得相应的湿度垂直剖面图(图略)。

4.2 中尺度暴雨云团分析

2002 年 6 月 20—24 日,长江中下游地区连续受 3 个 α 中尺度云团(MCS)的影响,出现了大范围暴雨天气过程(图 3a)。6 月 22 日 18:00 是第 3 个 MCS 发展到成熟期的时候,在 ATOVS 反演的温湿分布图上,显示出云团内部下层(850 hPa)是一个干冷中心(图

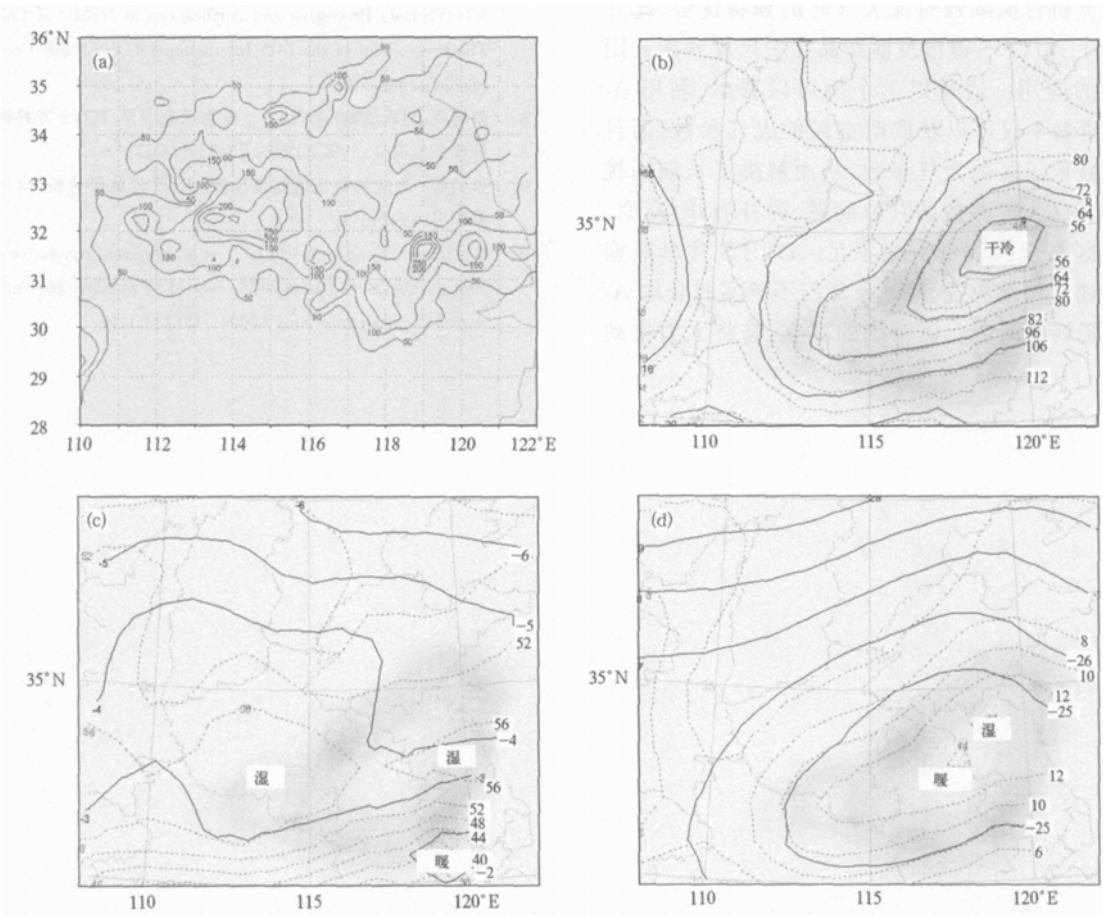


图 3 2002 年 6 月 20—24 日长江中下游地区的总降水量(a),ATOVS 反演的 850 hPa(b), 500 hPa(c)和 300 hPa(d)温度和水汽混合比 (图中实线是温度线,单位:℃;点线是等水汽混合比线,单位:g/kg;阴影区表示第 3 个 MCS,取自 Qin 等^[10])

3b);中层(500 hPa)位于一条湿空气带里,南侧是与副热带高压相联系的干区(图3c);高层(300 hPa)则是一个暖湿中心(图3d)。这种温湿的垂直分布是对流发展的结果,由于降雨和上层冷空气向下补偿下沉运动的共同作用,在云团中、下部形成了干冷空气堆,但在对流层中上部,则由于对流凝结潜热释放而形成了一个暖湿中心。这一结果与 Maddox 对中尺度对流复合体(MCC)结构的描述相吻合,也与图3a展示的总降水量和降雨范围相吻合^[10]。

上述分析表明,ATOVS 反演的大气温湿廓线具有揭示 α 中尺度云团或 MCC 细微结构能力,ATOVS 产品将有助于改进暴雨区域的分析、预测水平。

5 结 论

本文介绍了基于 DVB-S 系统的 NOAA/A-TOVS 资料的处理、分析与显示系统的概况及主要功能,并以台风“海棠”为个例,展示了利用该系统在监测和分析台风或强对流天气时的独特优势,此外还展示了 ATOVS 温湿反演产品在中尺度暴雨云团分析中的应用。通过以上个例可以看出,利用 A-TOVS 资料不仅可以获取晴空区的大气参数,而且还可以获取云区的大气参数,从而解决了长期困扰人们的云区大气参数的获取问题,弥补海洋、高原、沙漠地区常规探测资料之不足。DVB-S 共享数据平台的建立将解决省、地气象部门不能实时获取 A-TOVS 资料的问题。该系统的建立,必将大力推动

ATOVS 资料在全国气象部门以及相关部门的应用,尤其是在 NWP 变分同化系统中的应用研究。

参 考 文 献

- [1] Geoffrey Goodrum, Katherine B Kidwell, Wayne Winston. NOAA KLM User's Guide (with NOAA N, N' Supplement), NESDIS, NOAA, USA. <http://150.197.2.51/sub/satellite/download/satellite-03/NOAA/klmguid/sec0.pdf>, 2000.
- [2] 张凤英,王超,冉茂农,等.一种新的 TOVS 大气湿度反演方法及试验.应用气象学报,1997,8(2):147-156.
- [3] 董超华,张凤英,郑波,等.卫星区域大气探测业务处理系统.应用气象学报,1991,2(1):22-31.
- [4] 张文建,许健民,方宗义,等.暴雨系统的卫星遥感理论和方法.北京:气象出版社,2004.
- [5] Li Jun, Wolf W W, Menzel W P, et al. International ATOVS Processing Package: Algorithm Design and Its Preliminary Performance. SPIE proceedings 3501, 1998:196-206.
- [6] Li Jun, Wolf W W, Menzel W P, et al. Global sounding of the atmosphere from ATOVS measurements: the algorithm and validation. *J Appl Meteor*, 2000, 39:1248-1268.
- [7] Zhang Fengying, Ran Maonong, Wu Xubao, et al. Overview of ATOVS Data Processing and Applications at NSMC of China. The Proceedings of the 14th International TOVS Study Conference, Beijing, 2005.
- [8] 张凤英,胡筱欣,冉茂农,等.极轨气象卫星 TOVS 资料微机处理系统简介.气象,1997,23(1):23-27.
- [9] 张凤英.改进的初估值温度反演(31)及其结果分析.应用气象学报,1992,3(1):1-10.
- [10] Qin Danyu, Jiang Jixi, Ma Lan, et al. Mesoscale convective systems during 20-23 June 2002 revealed by satellite observation. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 18(1):1-16.

NOAA/ ATOVS Data Obtaining, Processing and Displaying Based on DVB-S System

Ran Maonong Qu Jianhua Sha Li Yuan Wanping Zhang Fengying Wu Xuebao
(National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

DVB-S (digital video broadcast by satellite) remote sensing satellite data sharing platform is essentially a data transmission system which collects the data from DB (direct broadcast) acquisition stations and re-broadcasts by a communication satellite in near real time. On the current DVB-S system in China, CMA/ NSMC broadcasts the data free of charge not only of the required EOS/ MODIS data from both CMA (Beijing, Guangzhou, Urumchi and Lhasa) and SOA (Beijing and Sanya) DB receiving stations, but also all the FY-1/ HRPT and NOAA/ HRPT data of CMA (Beijing, Guangzhou, and Urumchi) 3 DB stations in very short time through a rented geostationary communication satellite (ChinaStar-1). Users in China and East-Asia area have the benefit of this DVB-S data sharing platform. The DVB-S system in user-end consists of three parts: receiving PC with data ingest card and a small dish; data pre-processing PC, data product and application.

ATOVS, a set of vertical sounding instruments aboard on NOAA series satellites (NOAA 15 and later), with its data stored in HRPT data stream, has 40 channels covering spectrum of visible, infrared and microwave bands for atmosphere temperature and moisture sounding. ATOVS consists of 3 independent instruments: HIRS/3, AMSU-A and AMSU-B. It can be greatly improved on atmospheric temperature profile by using HIRS/3 and AMSU-A combination as well as on moisture profile with HIRS/3 and AMSU-B retrieval together, particular in cloud area. In addition, the window channels in AMSU-A and AMSU-B can be improved on the surface sounding ability of NOAA satellite, such as more precise atmosphere precipitable water and some the surface products.

ATOVS data receiving, processing and displaying systems at the DVB-S user-end are introduced briefly. The ATOVS data processing system includes the software of pre-processing (AAPP) and retrieval packages (IAPP). The original AAPP software (AVHRR & ATOVS Pre-processing Package) is developed by EUMSAT under UNIX or LINUX operational system, and here the modified AAPP has been transferred into PC/ WinXP/ 2000. It includes 4 steps to pre-process ATOVS data: decommutation, geolocation, calibration and re-preprocessing. ATOVS level 1c data (HIRS/3, AMSU-A, and AMSU-B stored as temperature brightness by channels) produced by AAPP package can be directly applied to NWP or some variable assimilation models. If user wants to get some meteorological elements such as temperature profile, moisture profile, total ozone amount from ATOVS instruments, the IAPP (International ATOVS Processing Package from Wisconsin, USA) software must be executed. Here the IAPP is also modified from UNIX into PC/ WinXP/ 2000. The accuracy of temperature and moisture profiles in DVB-S ATOVS system is similar to the result of the running operational system in NSMC. The RMS compared with RAOB data is 2 K less for temperature and 20% for moisture, respectively. NSMC also develops ATOVS data displaying system under PC/ WinXP/ 2000. It is easy for users to use the software displaying and analyzing ATOVS retrieval data as the temperature and moisture profiles, contour lines, vertical section planes, elements and so on.

Examples of typhoon Crabapple in July 2005 and a heavy rain in June 2002 are selected for displaying and analyzing, the extraordinary advantages of meteorological satellite vertical sounding are presented by the ATOVS displaying system. The completed DVB-S system is sure to make the applications of ATOVS data in meteorological and related fields even more effectively.

Key words: DVB-S; ATOVS; data processing; retrieval

冉茂农等：基于DVB-S数据共享平台的NOAA/ATOVS资料获取、处理与显示系统

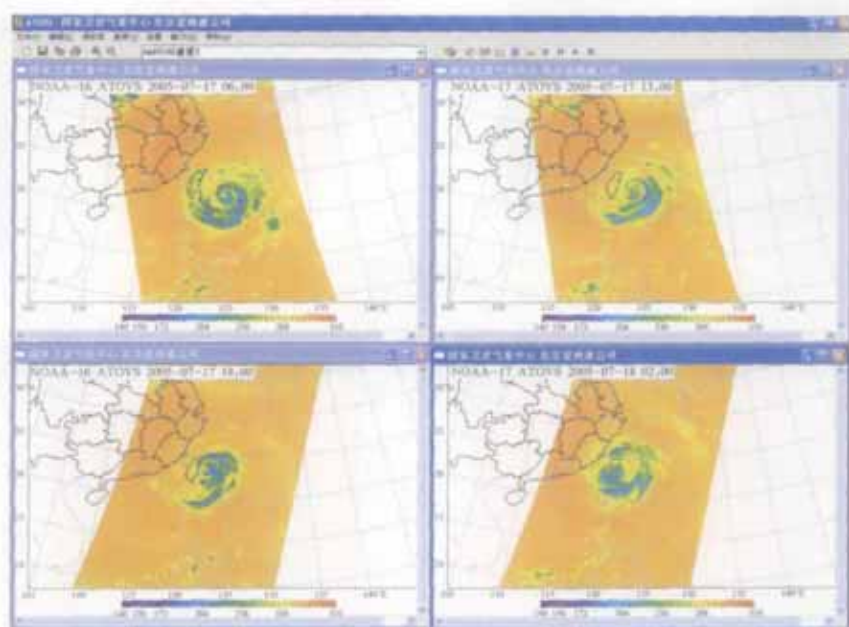


图1 2005年7月17日06:00—18日02:00(世界时,下同) AMSU-B通道2亮温图(蓝绿色为台风产生的降水区)

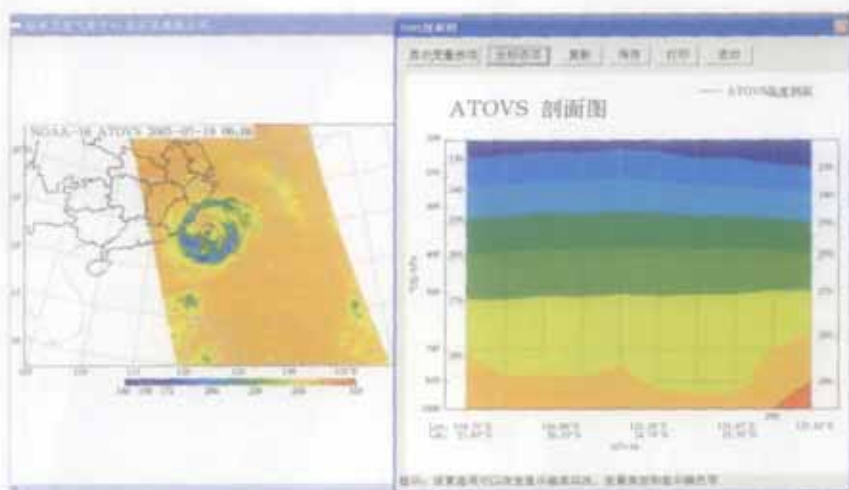


图2 2005年7月18日06:00台风区温度反演结果垂直剖面图(单位: K)