

数据同化/卫星反演/数值 预报相互循环作用系统

王宗皓 张凤英 王子厚

(国家卫星气象中心,北京 100081)

朱宗申 张跃堂 万丰

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

介绍数据同化/卫星反演/数值预报相互作用的一种方案,将原来相互独立进行的操作组成为相互作用的循环系统。国家卫星气象中心(NSMC)和国家气象中心(NMC)联合开发这个项目,其目的是改善我国卫星探测反演及其在业务数值预报中应用的状况。该文首先介绍相互作用循环系统的基本原理,以及使用的分析/预报模式和卫星反演的方案,然后给出国家卫星气象中心和国家气象中心联合试验的阶段性成果。研究试验表明,相互循环作用方案有可能改善NSMC的卫星资料质量,为NMC提供实用的数值预报资料来源。

关键词: 数据同化 卫星反演 数值预报 相互作用 循环系统

引 言

卫星反演资料在数值天气预报(NWP)中已经使用多年,NWP的有用时效曾呈现增长趋势^[1]。然而,近年来反演的TOVS温度资料对北半球业务NWP的作用出现负影响,并难于消除^{[2],[3]}。Smith^[1]引用对此问题的讨论意见:“观测和反演方法没有伴随模拟和数据同化的发展,使得卫星数据的信息内容相对于其它信息来源而言,有减少的趋势”。对此,1989年7月美国政府部门间召开了卫星工作研讨会,会议同意由NASA/NESDIS/NMC联合研究建立一个先进的同化/反演/预报系统。与此同时,西欧诸国,特别是欧洲中期天气预报中心,也纷纷开展类似的工作。

我国国家气象中心(NMC)新开发的

NWP业务系统^{[4],[5]}已经将全球通讯系统(GTS)的TOVS反演资料用于业务,但其质量、分辨率等远不能满足要求。然而,国家卫星气象中心(NSMC)的相应资料却至今仍未在NWP业务中使用。NMC希望能够获得高分辨率的卫星辐射率或反演的温、湿廓线,改进模式的初值,提高预报的精度;NSMC则指望能用模式的预报作为初估值,改善辐射率转换(包括反演和辐射率的直接应用)的水平,并且使它用于业务NWP,取得卫星资料应用的效益。因此,NSMC和NMC决定联合开展建立我国数据同化/卫星反演/NWP相互作用循环系统的开发研究工作。

1 相互作用循环系统的基本原理

相互作用循环系统的基本原理是应用业务动力模式的6小时或12小时预报的温、湿

场垂直廓线,连同可以得到的其它来源数据,提供卫星反演的初估值,或者作为正演用的温、湿数据;再经过卫星反演模式(辐射传递方程)修正,得出反演数据(温、湿及其它地球物理参数),连同其它来源数据经过同化,获得模式预报的初值,并作预报。然后继续下一时次信息的反演,如同图 1 示意的循环。这样,一方面,有精确的卫星反演初估值廓线,可以改善反演精度;另一方面,同化更精确的卫星探测,改善 NWP 分析质量,提高数值预报精度,期望得到良性循环。

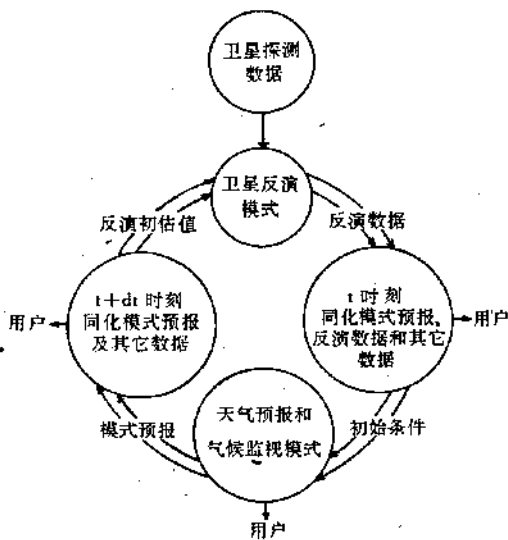


图 1 同化/反演/数值预报相互循环作用

2 相互作用循环系统方案

相互作用同化/反演/预报循环由三大部分组成:同化分析,卫星反演模式和预报模式。

2.1 分析/预报模式系统

本方案采用 NMC 的有限区业务分析/预报系统^{[6],[7],[8]}。预报模式为 15 层不等距球坐标 σ 面原始方程模式, $\sigma = p/p_s$ (p_s 为地面气压)作垂直坐标;水平坐标取球面网格坐标,格距 1.875° 经纬度,区域为 $15-63.75^\circ N, 69.375-144.375^\circ E, 1107(41 \times 27)$ 个网格点。用全球 $T_{42}L_9$ 谱模式 3 小时间隔的预

报提供细网格区域预报模式的侧边界值,使用预报倾向单向嵌套,作 Davies 边界处理。变量水平分布按 Arakawa C-格式。时间积分为显式经济格式,拟能量守恒。用真实地形,最高地形高度 5236m。物理过程包括大尺度凝结、积云对流参数化、蒸发、水平扩散、边界层物理量的湍流输送等。

分析采用三维统计插值方案,多变量分析 1000—50hPa 之间 12 层标准等压面的高度、风分量,单变量分析 1000—300hPa 6 层的相对湿度,质量场和风场的分析增量服从准地转约束。分析是在等压面上进行,然后插值到 σ 面上。分析所用数据:TEMP、PILOT (不包括特性层数据),SYNOB、SHIP 以及浮标观测的海平面气压、温、湿、风,SATOB 的卫星云导风,卫星探测厚度或辐射值。水平分析区域比模式向东、向北扩展一圈,格点数 1176 个 (42×28 网格点)。

初值化采用有限区绝热非线性正规方法,有效消除初值中的不平衡。用静力公式和气压对数的一次拉格朗日多项式,由标准等压面高度推算标准等压面的温度。假定高度是气压对数的二次函数,用标准等压面高度、温度和地形高度推算地面气压 p_s ,得到 σ 坐标,将标准等压面上的分析值,线性插值到模式 σ 面上。

对分析使用的数据,采用极值检查和水平一致性检查,进行质量控制。但其中卫星辐射率数据和其它各种湿度数据仅作极值检查。

2.2 物理反演方案

采用 W. L. Smith^[9]等提出的同步物理反演方案。其中包括:扰动形式的辐射传递方程;初估值选择,并插值到反演层,计算辐射率,求出观测辐射率与计算辐射率之差;选用含有物理信息的基底函数,展开要求的解。如此,构成同步物理反演方法,同时计算出:可降水分 (U)、水汽混合比廓线 (Q),温度廓线 (T) 和地面温度 (T_s)。

为了实现联立求解 (Simultaneous Solution), 将辐射传递方程变为计算辐射、初估水汽混合比及温度的扰动方程。经过分步积分得出下列扰动形式的辐射传递方程:

$$\delta T^* = \int_0^{p_s} \delta U \frac{\partial T}{\partial p} \cdot \frac{\partial \tau}{\partial U} \cdot \frac{(\partial B / \partial T)}{(\partial B / \partial T^*)} dp - \int_0^{p_s} \delta T \frac{\partial T}{\partial p} \cdot \frac{(\partial B / \partial T)}{(\partial B / \partial T^*)} dp + \delta T_s \frac{(\partial B_s / \partial T_s)}{(\partial B / \partial T^*)} \quad (1)$$

式中, T^* 是亮温, U 是可降水分, B 是 planck 辐射率, τ 是透射率, p 是气压, δ 表示对先验初估值的扰动, 所有的被积变量都是气压的函数。为便于对一组谱独立的辐射率探测从式(1)求解 U, T 和 T_s , 将扰动解表示为某种依赖于 p 的基底函数 $\varphi(p)$

$$\delta q(p) = g \sum_{i=1}^N a_i q_0(p) \varphi_i(p) \quad (2a)$$

$$\delta T(p) = - \sum_{i=N+1}^M a_i \varphi_i(p) \quad (2b)$$

式中, $q(p)$ 是水汽混合比, g 是重力加速度。零下标表示预选的初估值。按气体定律和静力方程, 从式(2a)得

$$\delta U(p) = \sum_{i=1}^N a_i \int_0^p q_0(p) \varphi_i(p) dp \quad (2c)$$

把方程(2b)和(2c)代入方程(1), 并令 $a_0 = \delta T_s$, 对 K 个谱通道的每组谱辐射探测给出

$$\delta T^* = \sum_{i=0}^M a_i \varphi_i, j = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

此处

$$\varphi_0 = \frac{\partial B_j / \partial T_s}{\partial B_j / \partial T^*} \tau_{ij}$$

$$\varphi_j = \int_0^{p_s} \left[\int_0^p q_0 \varphi_j dp \right] \left[\frac{\partial T}{\partial p} \frac{\partial \tau_j}{\partial U} \cdot \frac{\partial B_j / \partial T}{\partial B_j / \partial T^*} \right] dp, i \leq N$$

$$\varphi_i = \int_0^{p_s} \varphi_i \left[\frac{\partial \tau_j}{\partial p} \cdot \frac{\partial B_j / \partial T}{\partial B_j / \partial T^*} \right] dp, N < i \leq M \quad (4)$$

其中, φ_0 是用初估值(即模式预报)计算的。式(3)写成矩阵形式

$$y = \varphi \alpha \quad (5)$$

此处, y 是 K 个辐射率探测值行向量, α 是 $M+1$ 个系数行向量, φ 是 $K \times M+1$ 维矩阵, 若 $K > M+1$, 式(5)的最小二乘解是

$$\alpha = (\varphi^T \varphi + rI)^{-1} \varphi^T y \quad (6)$$

式中, 右上标 T 表示矩阵转置; -1 表示逆矩阵; r 是拉格朗日乘子, 起稳定求逆矩阵的作用。只要 a_i 确定之后, $\delta q, \delta U, \delta T$ 和 δT_s 可由式(2)确定。与初值相加, 得出地表温度、水汽混合比廓线和温度廓线。

地面观测从式(2)可表示为:

$$q(p_s) - q_0(p_s) = g \sum_{i=1}^N a_i q_0(p_s) \varphi_i(p_s) \quad (7)$$

$$T(p_s) - T_0(p_s) = - \sum_{i=N+1}^M a_i \varphi_i(p_s) \quad (8)$$

上两式与式(3)形式相同, 可并入式(5)~(6), 得出 $K+2$ 个方程, 解 $M+1$ 个未知系数 a_i 。

基底函数可选用水汽、温度的协方差矩阵的特征向量。此处, 为了应用于 TOVS 数据, 选辐射传递方程的权函数 ($d\tau/d\ln p$) 作为基底函数。此外, 本方案还包括云检测及云污染的消除、云参数反演等^[9]。

2.3 数据插值转换

卫星数据反演在 40 层上进行, 分析/预报的输出格点数据在 12 个标准等压面上, 反演层将分析的 1000—50hPa 层的 12 层次包括进去了。探测反演点的水平位置和垂直层次与分析/预报不完全吻合。因此, 反演数据可直接取出, 水平插值到分析格点; 分析/预报的格点值必须水平插值和垂直插值到反演点上, 提供反演的初估廓线计算。

2.4 正演误差

正演是物理反演和辐射率直接同化不可缺少的步骤。正演误差难以完全避免, 来源主要有 3 个方面: ① 卫星测量误差; ② 正演模式形成误差; ③ 由探空和 NWP 数据表示大气状态(同化分析)误差。可以通过以下方法加以调整订正。

正演计算过程的误差与透射率计算、云

影响消除、通道选择等,以及辐射传递模式物理误差、气团、纬度和昼夜都有关系。正演过程隐含假定:可以用大气温度廓线和水汽廓线模拟卫星探测辐射率,具有零偏差和低噪声。如果这个条件不满足,则卫星探测数据中的信息应用不适当,造成不良的影响。目前的正演辐射传递(方程)模式不满足上述要求。因此,必须作调整,使得模拟辐射(synthesized radiances),也就是计算辐射具有零偏差和差别噪声低,其中重要的是零偏差,因为差别噪声大,则其在观测数据中的作用自然小。有几种辐射计算误差调整方法^{[10],[11]},将正演数据调整到测量值,具有零偏差低噪声。

云检测和消云过程是红外通道主要的误差来源。微波通道虽有透云的能力,但液态水、雨对微波也有一定的影响。所以有些反演方案选取晴空辐射或消云辐射,这样,减少误差来源,但也减少卫星探测利用的数量。

通道选择按 27 个 TOVS 探测通道的主要探测目标和不同贡献的层次(表略)来进行。另外,还可按相关系数大小选择通道辐射参加模式变量的同化分析。

实际计算表明,正演误差(即辐射传递方程误差)与纬度、季节、昼夜和气团性质等有关,这是正演误差订正过程应加以考虑的。

美国 NESDIS 有一种快参数化计算大气透射率的模式,用于处理 TOVS 数据,即用于 MSU 和 HIRS 各通道透射率的计算(NESDIS 模式)。

除前面提到的正演误差调整订正之外,还可以收集大量的探空数据、卫星探测数据及模式预报数据,进行辐射观测值和模拟辐射值之间的系统误差统计。这些统计量一方面用于正演模式的订正;另一方面还可用于订正辐射计算值(即亮温计算值),以及反演方案和四维同化分析要求的统计约束^[12]。

2.5 辐射率直接应用的同化/预报相互作用

在文献[12]、[13]、[14]中讨论并试验研

究了卫星探测辐射率的直接应用。辐射率直接应用可以纳入“数据同化/卫星反演/数值预报相互作用”(图 1)之中,也可参考文献[2]中的观测、探测反演、分析、模拟和预报流程。不过这时应将反演(retrieval)理解为图 2^[15]所示的辐射率直接同化流程中的“转换”(inversion)。实际上卫星测量辐射率参加同化的不是其原本值,而是其与计算辐射值(模拟值)之差,即与用模式预报和探空数据由正演模式所计算的辐射值之差。用预报值和探空数据及上述辐射值之差一起参加同化分析,得到下一时间段的 NWP 初值,继续预报,其中误差协方差作为控制信息。这样,辐射率直接与正演模式和动力预报模式相互作用循环。

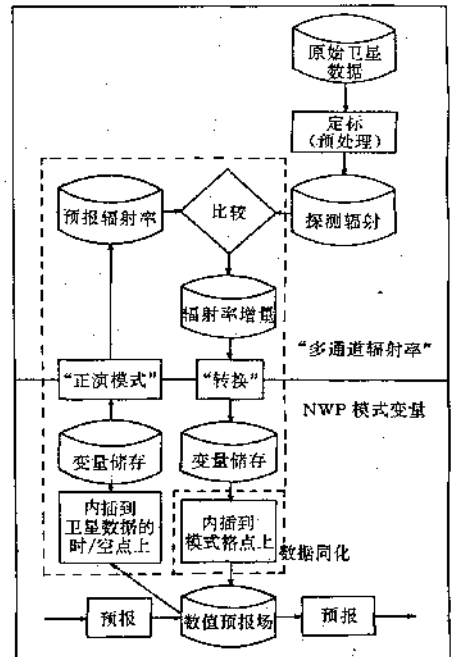


图 2 辐射率直接同化示意

3 NSMC 和 NMC 联合试验的初步结果

3.1 分析/预报插值到反演层次

用模式预报和其它来源数据提供作为反演的初估值,必须插值到卫星反演模式中规定的 40 个气压层的探测点上。通过计算透射率和模拟辐射值,以确定探测辐射和模拟辐

射之差,再按 2.2 节的物理反演方案进行联合反演温度、湿度和地表温度等。为此,首先将初估值水平插值到卫星探测点上,然后垂直插值到 40 层上(50hPa 及以下有 25 层)。

水平插值: $T_{42} L_9$ 模式的输出用拉格朗日内插公式,由 16 点内插出各标准气压层上探测点(经纬度)的值。为了检查内插精度,采用区域 $0-65^{\circ}N, 50-160^{\circ}E$ 内的经向 3.5 个波长、纬向 1.5 波长、振幅为 1 个单位的简谐振动,并以其作为精确场。在每网格内取一点(距网格的两边均为 1 度),计算内插值。结果平均误差为 2×10^{-4} ,最大误差为 5×10^{-4} ,RMS 误差为 2.4×10^{-4} 。

垂直插值: $T_{42} L_9$ 的预报输出值是在 1000—50hPa 层间 12 层标准等压面上,它们和卫星反演层次是相同的,但还须垂直插出其它 13 层上的初估值,采用对数坐标的四点和两点垂直插值公式。用标准大气廓线作插值精度检查,温度插值误差列如表 1,水汽垂直插值误差列如表 2。目前 50hPa 以上 15 层使用气候统计值,正在做其它方案的试验。

表 1 温度垂直插值误差/K

	四点非线性	两点线性
平均	0.016	0.02
最大	0.088	0.11
RMS	0.030	0.04

表 3a 用 NMC 模式 6 小时预报作初估值,ITPP 物理反演 1992 年 1 月 6 日 06Z 的 TOVS 反演温度与同日 00Z 的 RAOB 温度偏差的均方根误差,按纬度带内样本平均 RMS (K)/样本数(69—146°E)

层/hPa	70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
100	4.48/1	5.06/9	2.86/7	3.07/9	9.85/12	10.20/5
150	1.41/1	0.67/9	1.13/11	3.14/9	3.67/12	2.82/5
200	2.64/3	4.70/21	1.98/13	2.06/11	1.47/16	0.22/5
250	2.40/3	4.75/22	2.85/17	3.54/11	2.08/16	1.34/5
300	2.14/3	3.01/22	3.34/17	4.51/12	1.62/16	0.50/5
400	1.20/3	0.83/22	1.57/13	1.39/12	1.83/16	0.77/5
500	1.43/3	1.12/23	1.92/17	2.87/12	0.95/16	0.77/5
700	0.32/3	1.61/23	2.24/16	1.68/11	2.31/16	0.44/5
850	2.03/3	2.75/23	2.94/17	3.28/12	2.31/16	1.49/5
1000	12.53/1	9.80/1	2.74/11	4.01/12	2.12/16	1.89/5

表 2 湿度垂直插值误差/ $g \cdot kg^{-1}$

	四点非线性	两点线性
平均	0.03	0.09
最大	0.15	0.42
RMS	0.05	0.15

实际大气温、湿水平分布和垂直分布是复杂的。要提高初估场的质量,途径之一是提高分辨率,特别是垂直分辨率。

3.2 相互作用反演试验

表 3.4,5 是 1992 年 1 月 6 日 06Z 前后 3 条过北京的 NOAA-11 降轨探测反演得到的气温、水汽混合比和地面温度与同日 00Z 的探空(RAOB)的气温、水汽混合比和地面温度之偏差,以及按纬度带(每 10 度)样本平均的均方根误差(RMS/样本数)。它们分别用国家气象中心 $T_{42} L_9$ 模式的 6 小时数值预报、回归反演温、湿廓线和气候值作为初估值,用上节的水平和垂直插值办法提供的反演初估值,使用国际 TOVS 处理软件包(ITPP)物理反演模式(见 2.2 节物理反演方案)反演计算得到。

从总体上看,表 3a, b, c 所列各项的 RMS 样本平均值小于表 4a, b, c 和表 5a, b, c 所列的相应的 RMS 样本平均值。这说明用 NMC 模式的 6 小时数值预报值作为物理反演模式的初估值,似可提高反演精度。

表 3b 说明同表 3a,但对水汽混合比($g \cdot kg^{-1}$)偏差

层/hPa	70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
300	0.007/1	0.010/2	0.007/17	0.025/12	0.105/16	0.168/5
400	0.005/1	0.014/2	0.019/13	0.214/12	0.408/14	0.457/5
500	0.037/3	0.066/22	0.046/17	0.688/12	1.049/13	0.707/5
700	0.105/3	0.233/23	0.240/16	1.180/11	1.297/16	1.571/5
850	0.156/3	0.425/22	0.396/17	0.749/12	0.855/16	3.713/5
1000	0.081/1	0.00/0	0.121/11	1.161/12	2.101/16	1.831/5

表 3c 说明同表 3a,但对地面温度(K)偏差

70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
8.59/3	13.40/22	7.03/29	2.72/18	1.99/11	2.19/5

表 4a 用回归反演*结果作初估值,ITPP 物理反演的 1992 年 1 月 6 日 06Z TOVS 温度
与同日 00Z RAOB 温度偏差,按纬度带样本数平均的 RMS(K)/样本数

层/hPa	70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
100	4.16/4	2.80/9	3.41/7	3.67/9	3.41/12	2.83/5
150	1.44/4	2.36/9	2.45/11	2.10/9	3.47/12	5.68/5
200	3.24/6	2.54/21	4.93/13	7.09/11	8.22/16	7.40/5
250	8.38/6	4.10/22	6.86/17	6.67/11	8.32/16	8.82/5
300	11.24/6	6.77/22	7.25/17	7.37/12	8.63/16	9.85/5
400	9.86/6	6.58/22	7.20/13	9.13/12	8.42/16	9.80/5
500	7.98/6	6.10/23	6.41/17	10.21/12	8.29/16	7.62/5
700	3.48/6	5.35/23	4.52/16	8.50/10	5.00/14	4.26/5
850	4.23/6	4.07/23	4.06/17	4.11/12	5.15/16	4.75/5
1000	16.86/4	4.33/1	3.92/11	4.40/12	5.35/16	1.99/5

* 这里的回归反演只反演温度,不反演湿度,湿度初估值采用气候值

表 4b 说明同表 4a,但对水汽混合比($g \cdot kg^{-1}$)偏差

层/hPa	70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
300	0.014/1	0.012/2	0.014/17	0.049/12	0.109/16	0.245/5
400	0.027/1	0.045/2	0.042/13	0.258/12	0.474/16	0.907/5
500	0.093/6	0.142/22	0.115/17	0.700/12	0.992/13	5.067/5
700	0.238/6	0.289/23	0.240/16	1.509/11	1.073/16	5.067/5
850	0.167/6	0.370/22	0.466/17	0.769/12	1.772/16	3.427/5
1000	0.341/1	0.00/0	0.808/11	1.732/12	2.177/16	1.437/5

表 4c 说明同表 4a,但对地面温度(K)偏差

70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
15.26/4	11.51/11	8.24/26	4.73/18	6.58/11	2.47/5

表 5a 用气候值初估值,ITPP 物理反演的 1992 年 1 月 6 日 06Z TOVS 温度
与同日 00Z RAOB 温度偏差,按纬度带样本数平均的 RMS(K)/样本数(69—146°E)

层/hPa	70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
100	5.41/4	4.37/9	4.71/7	3.58/9	2.68/12	4.53/5
150	1.74/4	1.60/9	3.05/11	1.36/9	3.57/12	3.88/5
200	2.97/6	2.64/21	4.92/13	8.10/11	8.77/16	6.88/5
250	6.70/6	3.35/22	6.28/17	6.55/11	8.13/16	8.22/5
300	12.31/6	6.41/22	4.75/17	7.01/12	8.22/16	9.74/5
400	10.65/6	6.05/22	6.84/13	9.67/12	8.96/16	11.47/5
500	8.77/6	5.56/23	7.46/17	8.02/10	6.32/16	8.63/5
700	4.83/6	5.39/23	6.96/16	8.62/10	5.19/14	3.50/5
850	3.58/6	4.07/23	7.22/17	6.09/12	6.00/16	3.19/5
1000	12.69/4	0.92/1	5.83/11	4.93/12	6.20/16	1.95/5

表 5b 说明同表 5a, 但对水汽混合比($g \cdot kg^{-1}$)偏差

层/hPa	70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
300	0.014/1	0.012/2	0.014/17	0.049/12	0.109/16	0.245/5
400	0.027/1	0.045/2	0.042/13	0.258/12	0.474/16	0.907/5
500	0.093/6	0.142/22	0.115/17	0.700/12	0.992/13	5.067/5
700	0.238/6	0.289/23	0.240/16	1.500/11	1.073/16	5.067/5
850	0.167/6	0.370/22	0.466/17	0.769/12	1.772/16	3.427/5
1000	0.341/1	0.00/0	0.808/11	1.732/12	2.177/16	1.437/5

表 5c 说明同表 5a, 但对地面温度(K)偏差

70—60°N	60—50°N	50—40°N	40—30°N	30—20°N	10—00°N
13.79/4	13.57/11	9.79/29	6.12/18	6.83/11	2.29/5

这是 NWP 作用于物理反演模式的单向作用试验的初步情况。目前正计划用 NMC 的有限区分析/预报系统的方案进行双向循环试验。

3.3 辐射率直接同化分析/预报

用 1991 年 12 月 31 日到 1992 年 1 月 31 日的预报值、常规探空数据水平和垂直插值, 做出正演亮温和探测亮温之差的订正(即零偏差订正), 并进行湿度和高度的同化分析和 18 小时预报。这里给出目前进展的主要情况, 详细情况见参考文献[13]、[16]。

卫星辐射率(即亮温)直接应用于同化分析/预报做出 3 种分析/预报试验:(1) NOSAT 试验, 使用 GTS 中不包含卫星资料(SATEM、SATOB)数据;(2) ALL 试验, 使用 NOSAT 的数据和 NSMC 的亮温数据;(3) RETR 试验, 使用 GTS 传来的所有数据。用 NOSAT、ALL 和 RETR 的分析/预报结果和相应时次的 T_{42} 分析、探空资料, 算出偏差和均方根误差作为检验效果的判据。

3.3.1 直接应用 TOVS 亮温的同化分析

图 3 是 1992 年 1 月 11—17 日共 7 天的

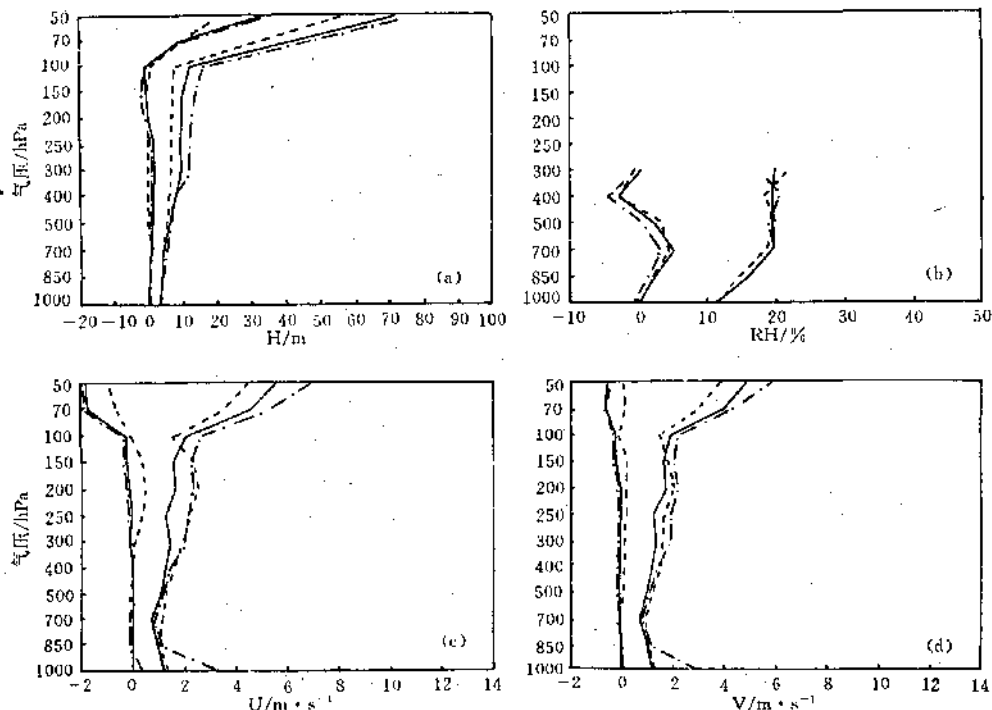


图 3 1992 年 1 月 11—17 日卫星辐射率直接同化分析的高度(a)、相对湿度(b)、水平风速分量 U (c)、 V (d) 平均廓线偏差(相对 T_{42} 分析, 国家气象中心)
 实线: 未用卫星数据, 点划线: 用辐射率, 断线: 用反演数据; 区域为 15—60°N, 71.25—146.25°E

00 和 12GMT 时次的 NOSAT 分析、ALL 分析和 RETR 分析分别与 T_{42} 分析偏差的平均(图中左边的垂直廓线束)和均方根误差(RMS, 图中右边的廓线束)。从图 3 可以看出, 在 1000—100hPa 之间, ALL 分析的风速水平分量 U 、 V 和相对湿度 RH 的分析偏差比 RETR 分析稍小, ALL 高度 H 分析和 RETR 分析偏差无明显差别。另外, ALL 分析和 RETR 分析的均方根误差之差别不明显。

3.3.2 直接应用 TOVS 亮温的预报

用 NOSAT 分析、ALL 分析和 RETR 分析作初值, 以 2.1 节介绍的 NMC 区域模式作 18 小时预报, 和探空资料(RAOB)比较, 检验 3 种分析初值的预报效果。从图 4 看出 100hPa 以下各层的 H 、 U 、 V 和 300hPa 以下的 RH 的预报的平均偏差, 以 ALL 分析/预报稍好, 均方根误差(RMS)三者无明显差别。

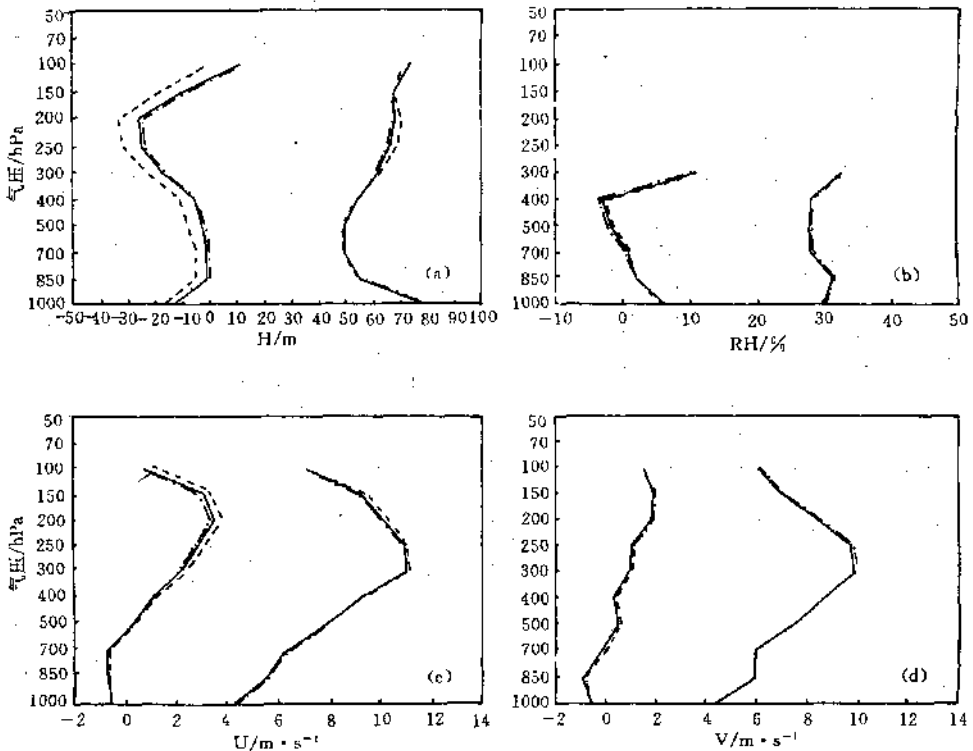


图 4 1992 年 1 月 12—18 日, 用图 3 中的分析作初值, 用国家气象中心的有限区模式作的 18 小时预报与探空资料的偏差平均
区域为 15—58.125°N, 71.25—144.375°E, 其余说明同图 3

从上述亮温的直接应用分析试验和预报试验情况, 说明直接应用 TOVS 亮温和应用来自 GTS 的反演数据的分析/预报基本相同, 亮温直接应用效果稍好。

4 结束语

上述试验的结果是十分初步的, 但显示

NSMC 的卫星数据有可能作为我国 NMC 的一种资料来源。目前正计划对系统的方案作改进, 并用更多数据和个例进行试验, 希望能够建立我国的一个同化/反演/预报业务系统。

参考文献

- 1 Smith, W. L.: Atmospheric soundings from satellite-fale

- expectation or the key to improved weather prediction? Q. J. Royal Meteorological Society, 1991, 177 (498), part B.
- 2 王宗皓. 气象卫星探测对数值预报的影响评价. 计算物理学报, 1992, 9(4).
 - 3 Wang, Z. H. et al. : The impact of NOAA satellite sounding data on the systematic forecast error of B-model. Acta Metro. Sinica, 1992, 6(4).
 - 4 朱宗申等. 国家气象中心全球资料四维同化试验. 应用气象学报, 1992, 3 卷增刊.
 - 5 郭肖容等. 一个新的有限区分析预报系统. “中期数值天气预报研究”成果汇编(三), 1991.
 - 6 朱宗申, 张跃堂. 国家气象中心准业务有限区客观分析方案. 应用气象学报, 1992, 3(4).
 - 7 薛纪善, 李玘, 王志明. 非线性正规模初值化原则在有限区模式的实现. “中期数值天气预报研究”成果汇编(一), 1990.
 - 8 张玉玲等. 十层有限区细网格模式试验研究. “中期数值天气预报研究”成果汇编(一), 1990.
 - 9 Smith, W. L. et al: The Simultaneous retrieval export package, First ITOVS Conf. Igls, Austria, 29 August - 2 September 1983.
 - 10 Uddstrom, M. J. : Forward Model Errors. Sixth ITOVS Conf. 1 - 6 May 1991.
 - 11 Daniels, J. M. and H. E. Fleming et al. : A satellite retrieval/forecast model interactive assimilation system. 12th Conf. on weather analysis and forecasting. 2 - 6 October 1989.
 - 12 王宗皓, 王子厚. 卫星探测反演和数据四维同化问题的统一观. 卫星气象中心技术报告, 1993, 第 9306 期.
 - 13 王子厚, 张跃堂. 辐射率直接应用初步研究. 全国第一次资料同化分析研讨会, 1993, 4, 无锡.
 - 14 王宗皓. 卫星探测辐射率在 NWP 中直接应用. 卫星气象中心技术报告, 1993, 第 9213 期.
 - 15 Eyre, J. R. and A. C. Lorenc: Direct use of satellite sounding radiances in NWP. Meteorological Magazine, (U. K.) 118, 1989.
 - 16 王子厚. NOAA-11/TOVS 探空亮温直接用于数值分析/预报的试验研究. 中国气象科学研究院硕士论文, 1993.

An interactive assimilation/retrieval/forecast circle system

Wang Zonghao Zhang Fengying Wang zihou

(National Satellite Meteorological Center, Beijing, 100081)

Zhu Zongshen Zhang Yaotang Wan Feng

(National Meteorological Center, Beijing, 100081)

Abstract

An interactive assimilation/retrieval/forecast circle system developed through a joint NSMC/NMC research to improve the accuracy of the satellite retrievals and their usage in operational NWP is introduced. Firstly, the basic principle of the interactive system, the introduction of the analysis/forecast model and the scheme of satellite retrieval are given. Secondly, the primary results are reported. It can be seen that the interactive circle system is likely to improve the quality of satellite data and make them a useful NWP data source for NWC.

Key Words: data assimilation satellite retrieval numerical forecast interactive circle system