

利用气象卫星资料反演大气温度廓线的初步试验

张凤英 马霞麟

(国家气象局卫星气象中心)

提 要

气象卫星垂直探测资料在国外已广泛用于数值天气预报中,本文介绍了由气象卫星垂直探测资料反演大气温度廓线的方法及回归反演系数的计算。最后给出了利用 NOAA-7 TOVS 资料反演大气温度廓线的试验结果。试验结果与常规探测温度的比较表明:绝对平均偏差和均方根误差在各等压面上大致为 2—3℃。

一、引 言

以往,主要靠探空气球、火箭等常规探测方式,获得大气温度的垂直分布资料。然而,由于探测仪器性能及地理条件等因素的限制,仅由常规方式获得探测资料,其高度及范围相当有限,不能满足飞速发展的天气监视和预告以及大气科学研究的需要。随着气象卫星资料的应用及遥感技术的发展,开拓了用卫星探测大气状态的新手段。利用气象卫星不仅可获得全球范围的气象资料,而且其探测高度大大超过了常规方式。

TIROS-N 气象卫星的发射,推动了卫星探测资料的处理和应用。美国国家环境卫星和资料信息服务局(NESDIS)为此建立了一套自动化 TIROS 业务垂直探测器(TOVS)资料处理系统,每天实时处理两颗卫星约 28 条轨道的全球卫星探测资料,并将产品及时传送给美国国家气象中心(NMC)及其它用户使用。与此同时,通过全球电传通信系统(GTS),每天两次传送给世界各地的气象中心。据了解,NMC 和欧洲数值预报中心已将卫星探测资料用于客观分析模式中,填补了常规资料稀少和没有常规资料地区的空白,对于改进数值天气预报精度起到了一定的作用。在我国,北京气象中心每天从 GTS 线路收集的资料中也含有卫星探测资料。由于人们对卫星探测资料了解不多,因此,我国对这类资料的应用仍处于研究阶段。为了加速对气象卫星资料的处理

和应用,国家气象局在北京建立了气象卫星地面站,用来实时接收和处理 TIROS-N/NOAA 系列气象卫星高分辨率图片传输(HRPT)资料,以生成可供用户使用的各种产品。本文将介绍由 TOVS 测量的辐射资料反演大气温度廓线的方法及回归系数的计算,并给出利用 NOAA-7 TOVS 资料反演大气温度廓线的试验结果。

二、反演方法

利用气象卫星探测资料反演大气温度廓线的方法很多,但大体上可分为两类:物理法和统计法。物理法是利用卫星辐射测值与大气温度之间的物理关系,对辐射传递方程直接进行求解,以获得大气温度的垂直分布。目前使用较多的物理反演方法是迭代法^[1]。这种方法的优点是:不直接使用大量的常规资料,考虑了辐射传递方程中描述大气辐射特性的权重函数的作用。因此,如能给出较好的初始值,收敛迅速,且可得到较高的反演精度。该方法的缺点是:要求探测仪定标精度较高,仪器噪声对反演精度的影响较敏感,需要进行复杂而精确的大气透过率计算,故需占用较多的计算时间。

与物理反演方法相反,统计法不需要对辐射传递方程直接进行求解,而是利用卫星辐射测值(即亮温)与常规探测温度之间的相关性,根据预先确定的一组回归方程进行反演。我们采用的回归方程是:

$$T_j = \bar{T}_j + \sum_{i=1}^M C_{ij}(T_{Bi} - \bar{T}_{Bi}) \quad j = 1, \dots, N$$

式中, \bar{T}_j 表示大气第 j 层的平均温度, \bar{T}_{Bi} 表示 TOVS 第 i 通道的平均亮温, C_{ij} 是回归系数, 它们是由预先选定的一组统计匹配样品计算确定的。 T_{Bi} 是由卫星测量经过一定预处理的探测点第 i 通道晴空辐射值 (即亮温)。 T_j 即为由 T_{Bi} 反演得到的第 j 层的大气温度。 N 表示要反演的总气压层数, M 表示参与反演的总通道数。统计法的优点是: 不需要进行复杂的大气透过率计算, 不要求仪器绝对定标, 计算过程稳定。其缺点是: 需要大量的常规资料, 且要进行复杂的常规与卫星资料的时 (间)、空 (间) 匹配, 筛选及回归系数的计算, 不考虑辐射传递方程中权重函数的作用。

三、回归系数的计算

统计法反演精度在很大程度上依赖于回归反演系数的精度。要想得到满足日常业务要求的由卫星资料反演的大气温度廓线, 必须利用近期的常规资料与卫星反演资料, 对回归系数定期进行更新。通常选取 14 天每个纬度带约 400 个统计匹配样本每周更新一次。然而, 在计算回归系数时, 所选取统计样本的好坏, 直接影响反演系数的精度。如何选取好的、有代表性的统计样本, 是一个相当复杂的过程。

1. 卫星资料和常规资料的匹配

根据卫星探测点的时间和地理位置, 搜索与其相对应的常规资料的过程, 称之为卫星资料与常规资料的匹配。由于常规探测每日只有两次 (00GMT 和 12GMT), 所以, 时间匹配“窗口”选为 ± 6 小时。也就是说, 只要卫星探测时间处于 00GMT 和 12GMT 之间, 则认为该卫星资料与常规资料探测时间相匹配。另外, 由于常规探测站分布不均, 中纬度较多, 高、低纬度较少, 因此, 对不同纬度带选取了不同的空间匹配“窗口”。中纬度地区为 $\pm 1^\circ$, 高、低纬度地区为 $\pm 1.5^\circ$ 。

2. 匹配样本的筛选

利用匹配样本中卫星资料与常规资料的比较及匹配样本之间的比较, 舍去不理想的

匹配样本, 保留好的、有代表性的匹配样本的过程称之为匹配样本的筛选。在处理过程中, 如果卫星反演温度与常规探测温度之差大于或小于预先给定的判据 ($\pm 10K$), 舍去该匹配样本。如果同一时刻、同一探测站与一个以上的卫星探测点相匹配, 保留其中距离最短的一对匹配样本, 其余的全部舍去。

3. 统计匹配样本的分类

在计算回归系数时, 通常根据气候特征将地球划分为若干个纬度带, 每个纬度带计算一组回归系数。目前, NESDIS 采用 5 个纬度带, 我们的接收范围跨越 3 个纬度带 ($30-90^\circ N$, $30-60^\circ N$, $30^\circ N-30^\circ S$)。利用随机分布函数可把每个带中的统计样本划分为两类: 相关样本和独立样本。其中相关样本 (约 400 个) 用来计算新的温度反演回归系数, 独立样本 (约 50 个) 用来评价新系数的反演精度。

4. 回归系数的计算

计算回归系数的方法很多, 如最小二乘法, 经验正交函数展开法等。我们采用的是经验正交函数展开法。这种方法的优点是, 对卫星测值的随机误差不象最小二乘法那样敏感^[2]。在反演时, 这种随机误差是不可避免的。例如, 在卫星仪器视场内部分有云情况下, 利用计算晴空辐射值方法^[3]推算出相应的晴空辐射值时, 就会产生较大的随机误差。利用经验正交函数展开法, 计算出来的回归系数可以抑制随机误差的传播, 保证反演精度。由于经验正交函数是通过计算统计样本协方差矩阵的特征向量而得, 所以, 这种方法又称为协方差矩阵特征向量法。利用每个纬度带中的相关样本及协方差矩阵特征向量法, 计算出每个带的新反演系数。然后, 利用该纬度带中的独立样本对新系数进行评价。由评价结果可以判断, 新系数的反演精度是否优于原系数, 如果优于, 则进行更新, 否者仍采用原系数进行反演, 以保证其反演精度。

四、结果与讨论

我们选取 HIRS/2 1-16, MSU 2-4 通道亮温作为预报因子, 卫星反演资料在较

低 20 层 (115、135、150、200、250、300、350、400、430、475、500、570、620、670、700、780、850、920、950、1000hPa) 的温度作为预报量。按照上述的匹配方法, 选取 1984 年 2 月 13—16 日时间间隔内和中纬度地区 (30—60°N) 的 164 组相关样本, 每组包括时间与空间上匹配好的 TOVS 各通道亮温和常规探测温度资料。使用经验正交函数展开法及 164 组相关样本计算出回归方程中的回归系数 \hat{C}_i 及 T_j 和 T_{Bi} 。然后, 利用该方程和北京 HRPT 地面站接收的 NOAA-7 的 TOVS 资料, 进行了大气温度反演的试验。图 1—4 给出了反演温度与常规探测温度的比较结果。从这些图可以看出: 由卫星资料反演的大气温度廓线与常规探空曲线基本吻合。因此, 卫星资料反演的温度廓线近似地反映了大气温度的垂直变化。附表列出了卫星反演和探空温度的对比差值。其中相对偏差为负值, 表示卫星反演温度低于常规探测温度; 反之, 表示卫星反演温度高于常规探测温度。由附表可以看出: 反演温度与常规探测温度比较的均方根误差大致为 2—3°C, 但在 350hPa 层略大于 3°C。由于许多探空站的地面气压低于 1000hPa, 故 1000hPa 层无法进行比较。

实例 1 卫星探测时间: 1984 年 2 月 18 日 22 时 40 分 (GMT), 探测点位置: 51.13°N、80.09°E; 常规探空时间: 1984

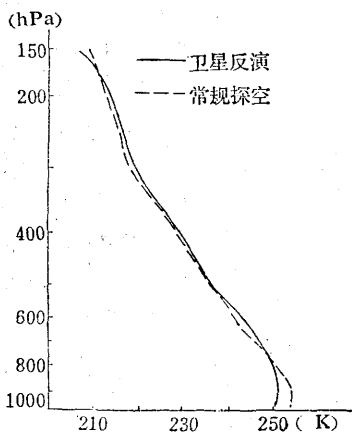


图 1 卫星反演与常规探测温度的比较

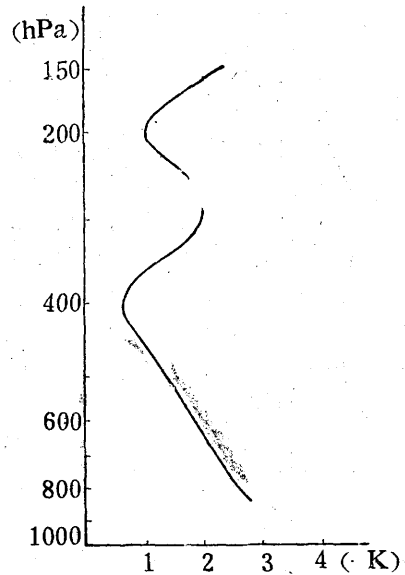


图 2 卫星反演与常规探测温度的均方根误差
年 2 月 19 日 00 时 00 分 (GMT), 探空站位置: 50.35°N、80.25°E (图 1、2)。

实例 2 卫星探测时间: 1984 年 2 月 20 日 22 时 10 分 (GMT), 探测点位置: 59.12°N、112.08°E; 常规探空时间: 1984 年 2 月 21 日 00 时 00 分 (GMT), 探空站位置: 59.45°N、112.58°E (图 3、4)。

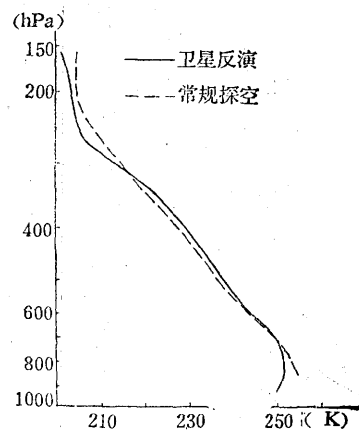


图 3 卫星反演与常规探测温度的比较

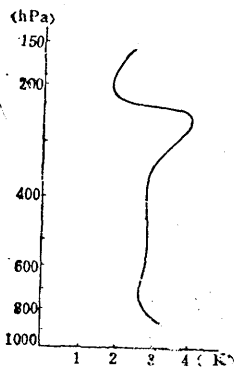


图4 卫星反演与常规探测温度的均方根误差

附表 卫星反演温度与探空温度的对比差值

气压 (hPa)	850	700	500	400	300	250	200	150
相对平均偏差(°C)	-2.1141	0.4427	-0.7298	-0.5459	1.9796	1.7896	-0.2347	-1.9171
绝对平均偏差(°C)	3.0559	1.9775	2.0166	1.8180	2.3167	2.6600	1.8257	2.2658
均方根误差	3.5429	2.4000	2.3718	2.3860	2.8010	3.1395	2.1640	2.7567
取 样 数	34	34	34	34	34	34	34	34

演资料和探空资料的时间与空间位置不完全一致,也会给反演温度带来一定的误差。因此,如能克服上述限制条件,必定能提高其反演精度。

参考文献

[1] Smith, W. L., 1970: Iterative solution of the radiative transfer equation for the temperature and absorbing gas profile of an atmosphere, *Appl. Opt.*, Vol. 9, No. 9.

造成卫星反演误差较大的原因是: (1) 使用统计法进行温度反演的精度, 主要取决于能否选取相当数量(约 400 个)的统计匹配样本, 使之能很好地反映大气温度变化的规律。但是, 由于客观条件限制, 在计算反演系数时只用了 164 组匹配样本, 而且匹配样本中常规探测资料没有加进表面层和特性层资料, 所以资料的代表性不够; (2) 我国大部分地区是丘陵与山地, 许多台站缺少 1000hPa 甚至 850hPa 层的探空资料, 这给选择统计匹配样本带来许多困难, 也是造成 850hPa 层误差较大的主要原因; (3) 卫星反

[2] Smith, W. L. and H. M. Woolf, 1976, The use of eigenvectors of statistical covariance matrices for interpreting satellite sounding radiometer observations, *J. Atmos. Sci.*, 35, 1127—1140.
 [3] McMillin, L. M. and C. Dean, 1982, Evaluation of a new operational technique for producing clear radiances, *Journal of Applied Meteorology*, 12, 1005—1014.

Preliminary results of retrieving atmospherical temperature profiles from meteorological satellite observation

Zhang Fengying Ma Xialin

(Satellite Meteorological Center)

Abstract

The meteorological satellite sounding data has been used in numerical forecast in many countries. This paper introduces the methods for retrieving atmospheric temperature profiles from meteorological satellite vertical sounding data and the calculations of regression retrieval coefficients used in the statistical method. The preliminary results retrieved from NOAA-7 TOVS data using the statistical method are shown in the end of paper. Comparisons between retrieval results and radiosonde data indicate, absolute mean bias and root mean square (RMS) errors about 2—3°C at each pressure levels.