

利用NOAA-9卫星垂直探测资料反演 大气湿度廓线的试验

张凤英 董超华

(国家气象局卫星气象中心)

提 要

本文介绍了利用 NOAA 系列卫星垂直探测器 (TOVS) 资料反演水汽廓线的方法,并给出了利用特征向量回归法由 NOAA-9 TOVS 资料反演水汽廓线的结果及其与常规探测资料的比较分析。比较结果表明,卫星反演水汽廓线与常规探测水汽廓线基本吻合。

一、引言

水汽含量的多少、分布及其变化直接关系到云雾、降水的形成及天气、气候的变化。然而,由于受地理条件等因素的限制,仅由常规探测方式获得的探空资料,从覆盖率和及时性方面均无法满足天气预报和大气研究的需要。随着气象卫星及遥感技术的发展,开拓了用卫星探测大气状态的新手段。

我国在北京建立的气象卫星地面站,可实时接收和处理 NOAA 系列卫星的 HRPT 资料。本文将介绍星载 TIROS 业务垂直探测器 (TOVS) 测量的辐射值反演大气湿度廓线的方法,并给出了利用 NOAA-9 TOVS 资料及特征向量回归法反演大气湿度廓

线的结果及其分析。

二、反演方法

与温度反演类似,至今已有多多种水汽反演方法,然而归结起来,无非是物理反演法和统计反演法两类。物理反演法是利用辐射测值与隐含于大气透过率 τ 中的水汽廓线 $q(p)$ 之间的物理关系,对辐射传输方程进行求解,以获得大气湿度的垂直分布。目前使用最多的物理法是迭代法^[1]。该方法的优点是:不直接应用大量的常规探测资料;考虑了辐射传输方程中描述大气辐射特性的权重函数的作用。因此,如果能给出较好的初始值,收敛迅速,可得到较好的结果。该方法的缺点是:要求探测仪器的精度较高,反

演精度对仪器噪声敏感；需要进行复杂的大气透过率计算，故需要较多的计算时间，这也正是目前TOVS资料业务处理系统中无法采用该方法的主要原因。

与物理反演法相反，统计法不需要直接求解辐射传输方程，而是利用卫星辐射测值（即亮温）与常规探空湿度廓线之间的相关性，根据预先确定的一组回归系数进行反演。现将我们在TOVS资料处理系统中使用的特征向量法^[2]简介如下：

分别建立水汽混合比和辐射亮温的特征向量回归方程：

$$\begin{aligned} q &= q^* a \\ T_b &= T_b^* b \end{aligned} \quad (1)$$

式中， q 和 T_b 分别表示水汽混合比和辐射亮温与样品平均值的偏差向量， q^* 和 T_b^* 是经验正交函数（即特征向量），分别由常规探空湿度和卫星辐射亮温测值统计计算的协方差矩阵得到， a 和 b 为对应的展开系数向量。

利用事先选定的一组卫星与常规探空资料匹配样品，找出系数 a 和 b 之间的关系，以便使 q 和 T_b 建立联系。

经过必要的矩阵转换，求解得到如下易于数值计算的水汽分布回归方程：

$$q_j = \sum_{i=1}^M C_{ij} T_{bi} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中， n 为气压层次（ $n=15$ ）， M 为光谱通道数。（2）式即是我们反演水汽廓线所使用的回归方程。一旦给定回归系数 C_{ij} 和卫星测值 T_{bi} ，即可求出水汽分布 q_j 。

三、回归系数的计算

统计回归法的反演精度在很大程度上依赖于回归反演系数的精度。

1. 确定统计样品

统计样品的好坏，直接影响回归系数的确定。因此，要想得到较好的结果，必须利

用近期的，经过严格筛选的TOVS资料与常规观测资料匹配的统计样品生成回归系数^[3]。现将确定统计样品的方法简介如下：

（1）根据地理及气候特征将地球划分为5个纬度带，即：90—60°N，60—30°N，30°N—30°S，30—60°S和60—90°S。每个纬度带计算出一组系数。

（2）确定时间和空间匹配格距：时间格距为±6h；空间格距视纬度带而定，中纬度为±1°，高、低纬度为±1.5°。

（3）根据卫星探测点的时间与地理位置搜索与其相匹配的常规资料。

（4）对匹配样品进行筛选、分类（独立样品和相关样品），产生统计样品数据集。

2. 预报因子和预报量的选择

利用确定的统计样品，选取TOVS通道亮温作预报因子，常规探空水汽廓线作预报量，计算回归系数矩阵 C 。目前，我们采用两种通道组合方式来预报300—1000hPa 15层（300，350，400，430，475，500，570，620，670，700，780，850，920，950，1000hPa）水汽混合比。这两种方式是：

①HIRS/2通道1—17 + MSU 通道 2—4；

②HIRS/2 通道 1—17。

通常，只要HIRS/2和MSU两种资料同时存在，我们均采用方式①来反演水汽廓线。

3. 计算特征向量回归系数

如前所述，特征向量回归系数可用 $C = q^* U T_b^{*T}$ 式表示，引入协方差矩阵的概念，可写成：

$$C = q^* S_{AB} S_{BB}^{-1} T_b^{*T} \quad (3)$$

式中， S_{AB} 是展开系数 A 和 B 的协方差矩阵， S_{BB} 是 B 的协方差矩阵，角标 T 表示矩阵转置。

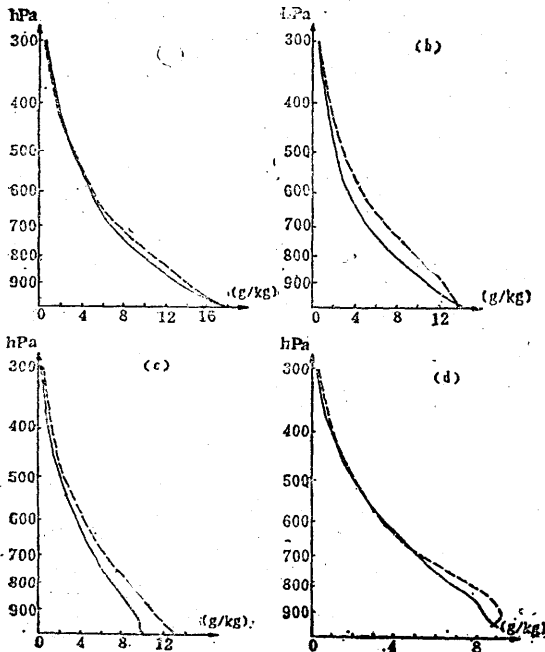
四、反演结果及分析

我们利用 1986 年 8 月份的 NOAA-9

TOVS 资料做了温、湿廓线反演的试验。初始回归系数采用美国国家环境卫星和信息服务局 1985 年 4 月份的系数，在处理 10 天的资料后，生成一次新的系数。然后，利用新系数继续处理以后 3 天的资料。附图给出了利用 1986 年 8 月 10 日之前的资料计算的回归系数反演的当月 22—24 日的平均水汽混合比分布图。由图可以看出，这四个纬度带中，其平均水汽混合比均与常规探空较接近，但反演值略高于常规探空值。

参考文献

- [1] N. L. Smith and H. M. Woolf, Algorithms used to Retrieve Surface-skin Temperature and Vertical Temperature and Moisture Profiles From VISSR Atmospheric Sounder (VAS) Radiance Observations, Fourth Conference on Atmospheric Radiation, Canada, 16—18 June, 1981.
- [2] W. L. Smith and Woolf, H. M., J. Atmos. Sci, 33, 1127—1140, 1986.
- [3] 张凤英, 马霞麟, Advances In Atmospheric Sciences, Vol.3, No. 2, 1986.



附图：卫星反演和常规探测的平均水汽廓线
a 为 30—20°N 区域，b 为 40—30°N 区域，c 为 50—40°N 区域，d 为 60—50°N 区域。实线表示常规探测值，虚线表示卫星资料反演值

A elementary results of retrieving atmospheric moisture profiles from NOAA-9 satellite data

Zhang Fengying and Dong Chaohua
(Satellite Meteorological Center)

Abstract

This paper presents the method of retrieving moisture profiles from NOAA series satellite vertical sounder (TOVS) data and shows the results obtained from NOAA-9 TOVS data using the algorithm of eigenvectors of statistical covariance matrices. Comparisons of the results with radiosonde data show that retrieved moisture profiles basically agree with radiosonde data.