

# 应用 TOVS 资料变分分析技术增加青藏高原地区模式初始场信息<sup>\*</sup>

翁永辉 徐祥德 柏晶瑜

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

董超华

(国家气象局卫星气象中心, 北京, 100081)

## 摘 要

首次在测站稀少的高原地区引入经变分技术处理的 TOVS 卫星资料, 通过动力诊断探讨了高原地区测站少、数值预报模式初始场信息误差大的技术关键问题, 提出了采用 TOVS 反演资料在高原地区增加模式初始场信息的构思, 并应用变分法处理 TOVS 反演资料, 显著地提高了高原初始场信息的可靠性; 并从动力诊断分析角度, 进一步证实了 TOVS 反演资料的应用有利于提高高原动力系统特征的描述能力, 并显著改善水汽输送通道分布及其层结稳定度等有关初始场信息的客观性。

关键词: TOVS 反演资料, 变分法, 青藏高原。

## 1 引 言

青藏高原平均海拔约 4500 m, 面积 200 多万  $\text{km}^2$ , 是世界上最高、最大、地形最复杂的高原。随着高原地区气象台站网的建立, 气象业务及其应用研究的发展, 促进了高原地区天气分析以及数值预报应用研究工作, 但当对高原地区天气、气候问题诊断分析时, 遇到难以克服的困难之一就是资料问题, 同样数值模式应用于高原的最大难题亦是资料问题。高原地区测站稀少, 在 1990 年 9 月中国气象局公布的 125 个探空站点中, 西藏地区只有那曲、拉萨、定日、昌都 4 个站, 且这 4 个站都分布在西藏的东南部, 西藏中、西部地区却没有探空站, 所以, 再好的客观分析方案对西藏中、西部地区也无能为力。陈伯民、钱正安等<sup>[1]</sup>发现, 1979 年 FGGE 资料的风场和相对湿度场在高原西部存在明显的误差, 特别是各层的相对湿度明显偏高, 为克服高原西部资料少的问题, 他们在对高原西部临时站等资料时空相关统计分析的基础上, 用高原中部站的资料拟合西部资料再参加客观分析, 或用同站前期资料拟合后期资料, 以弥补高原资料常缺测的不足, 并参考卫星云图资料, 部分地修改高原上的初始相对湿度场, 从而改进了预报效果。

<sup>\*</sup> 初稿时间: 1997 年 12 月 10 日; 修改稿时间: 1999 年 6 月 22 日。  
资助课题: 国家攀登 B 项目“青藏高原地—气系统物理过程及其对全球气候和中国灾害性天气影响的观测和理论研究”。

在常规资料中增补一些反演的卫星和雷达探测资料, 尽管这种资料不会与实际观测的完全相同, 但终究会增加一些中尺度环流的信息。张大林等<sup>[2]</sup>就成功地应用卫星和雷达资料模拟了 1997 年的 Johnstown 洪水。TOVS(美国 TIROS-N 系列业务卫星垂直探测器)资料的应用能从某种程度上解决高原资料稀少的问题, Bengtsson<sup>[3]</sup>早就预言, 不论从现实还是从经济上来说, 以常规手段提供覆盖半球或全球的资料都不是件容易的事, 从而卫星探测将逐步成为未来全球观测系统的中坚。不过目前在实践中, 卫星反演温度对北半球业务数值天气预报的负影响难以消失, 这是因为那里有日臻完善的常规观测网, 能够为数值预报提供质量相当高的初值, 其预报精度已经很高(在 150 hPa 以下的自由大气中温度误差小于 2 K), 精度相对低的卫星反演资料有时在分析同化中起反作用, 但在高原地区则不同, 高原站点分散、资料少, 获取资料困难造成客观分析初始场客观性差, 尤其高原西部, 站点间隔达上千公里, 资料分辨率极低, 客观分析计算难度大, 对于模式初始客观分析场, 一般都只限于用 FGGE 资料, 但在高原地区客观分析的误差大、客观性差。近年, 随着卫星业务的发展, 卫星 TOVS 资料在高原地区具有水平、垂直和时间分辨率高的特点, 在高原地区 TOVS 反演点分布很密集。所以 TOVS 反演资料在高原地区的数值预报中会起到重要的作用。

利用 TOVS 反演资料, 大大加大了高原地区资料的空间密度, 弥补高原资料的分辨率低的不足, 并用变分法进行订正以提高 TOVS 反演资料的精度, 证实了 TOVS 卫星资料的应用有利于提高高原动力系统特征的描述能力, 并显著改善水汽输送通道分布及其层结稳定度等有关气象场信息的客观性。

## 2 变分法原理

根据变分原理, 依赖于多个自变量的泛函:

$$J[U(x, y)] = \int_G F(x, y, U, \frac{\partial U}{\partial x}, \frac{\partial U}{\partial y}) dx dy \quad (1)$$

其中  $U(x, y)$  必须满足下列欧拉方程:

$$Fu - (\frac{\partial}{\partial x} Fu_x + \frac{\partial}{\partial y} Fu_y) = 0 \quad (2)$$

所用的变分法是徐祥德等<sup>[4]</sup>在国家科技攻关 85-906 项目——台风、暴雨灾害性天气监测、预报技术研究中用于卫星雷达结合订正暴雨区降雨量的技术。

设 TOVS 反演资料的要素场为  $T^*(x, y)$ , 与之相对应的有限点的实测探空资料的要素场为  $R_n(I, J)$ , 在实测探空点坐标上  $(I, J)$ , 上述两者的差值场, 即误差场为  $\tilde{C}_n(I, J)$ :

$$\tilde{C}_r(I, J) = R_n(I, J) - \tilde{T}(I, J) \quad (3)$$

实际上, 由于探空测站坐标  $(I, J)$  点数有限, 因此需要构造出全场更广义的订正因子场函数  $Cr(x, y)$ , 采用变分方法, 寻求  $Cr(x, y)$  函数, 需满足如下条件:

$$J^* = \int (Cr - \tilde{C}_r)^2 dx dy \quad \min \quad (4)$$

即  $\int (Cr - \tilde{C}_r)^2$  达到极小值。

对于上述变分问题, 可假设为构造泛函  $J^*$

$$J^* = \int \{ (Cr - \tilde{C}_r)^2 + \lambda [ (\frac{\partial Cr}{\partial x})^2 + (\frac{\partial Cr}{\partial y})^2 ] \} dx dy \quad (5)$$

其中  $\lambda$  为约束系数。式(5)可改写为:

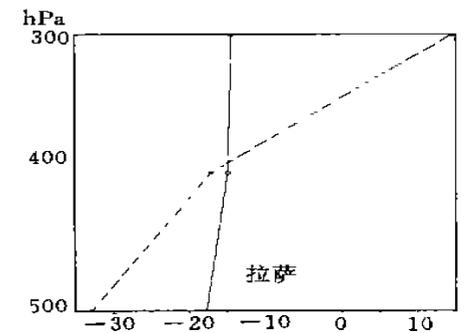
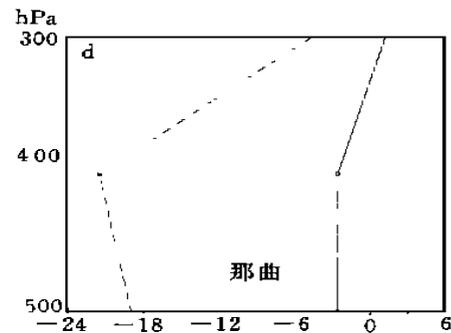
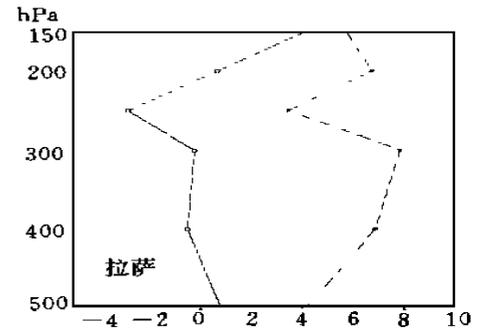
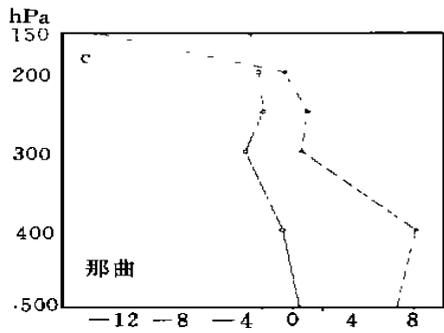
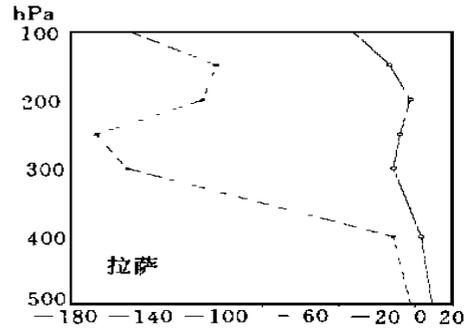
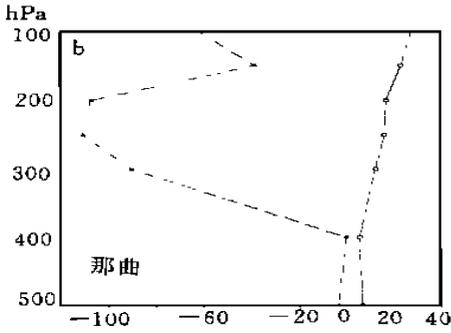
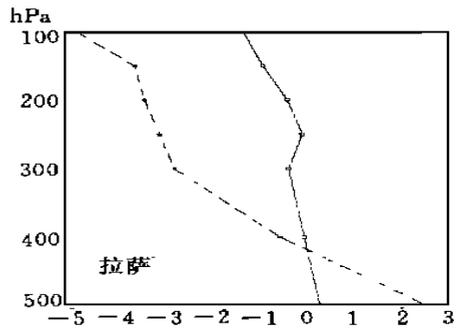
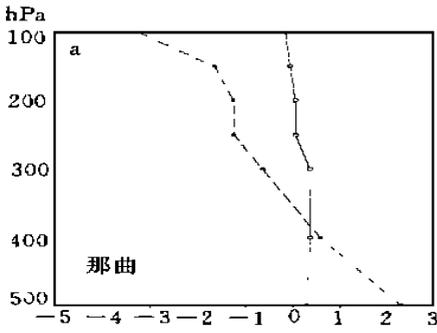


图1 1995年7月7日08时左右的TOVS资料和实测探空资料的偏差  
(实线为TOVS值减去实测探空值;虚线为C-TOVS值减去实测探空值)

$$\delta J^* = \delta \left\{ (Cr - \tilde{C}r)^2 + \lambda \left[ \left( \frac{\partial Cr}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial Cr}{\partial y} \right)^2 \right] \right\} = 0 \quad (6)$$

对应的欧拉方程为:

$$(Cr - \tilde{C}r) - \tilde{\lambda} \left( \frac{\partial^2 Cr}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial^2 Cr}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

其中  $\tilde{\lambda}$  为形变约束系数。用迭代法求解上述方程的数值解, 得到新的变分订正因子  $Cr(x, y)$  场, 于是得到变分订正后的 TOVS 反演资料要素场为:

$$T(x, y) = \tilde{T}^*(x, y) + Cr(x, y) \quad (8)$$

### 3 高原地区 TOVS 资料变分订正效果

为了验证变分法对 TOVS 反演资料订正的可行性, 用常规探空资料、TOVS 反演资料, 选取高原上的那曲和拉萨 2 个站点作为试验对象, 即在客观分析过程中, 此两站不作为信息源(资料站)进行试验。试验方案为: (1) Cressman 分析方案: 将那曲、拉萨两站的探空资料剔除, 采用 Cressman 方法将其余的实测探空资料分析到这两个站点上, 求得 Cressman 分析值; (2) TOVS 分析方案: 将 TOVS 反演资料用 Cressman 分析方法分析到那曲和拉萨两个站点上, 得到 TOVS 分析值; (3) C-TOVS 分析方案: 将那曲、拉萨的实测探空资料剔除, 通过变分法, 采用其余的实测探空资料对 TOVS 资料进行变分订正, 把变分订正后的 TOVS 资料用 Cressman 方法分析到两个站点上, 得到变分订正后的 TOVS (C-TOVS) 值。对 1995 年 7 月 6 日 08 时~7 日 08 时(北京时)那曲、拉萨两站的温度和水平风速率的变分订正结果如表 1~6。

表 1 1995 年 7 月 6 日 08 时那曲站 TOVS 资料变分订正效果比较

项 目	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
温 度	实测探空	- 2.2	- 12.3	- 25.8	- 35.0	- 48.7	- 60.9
	Cressman	- 6.1	- 13.2	- 28.9	- 36.3	- 47.6	- 57.3
	TOVS	- 0.1	- 11.8	- 28.8	- 37.1	- 48.5	- 58.7
	C- TOVS	- 2.5	- 11.8	- 27.5	- 35.5	- 47.4	- 58.3
水 平 风 速	实测探空	13.0	11.0	15.0	19.0	26.0	18.0
	Cressman	6.6	8.8	19.7	22.6	27.4	18.7
	TOVS	1.9	4.1	10.5	12.7	11.8	7.2
	C- TOVS	7.9	7.5	19.0	20.7	26.5	18.3

表 2 1995 年 7 月 6 日 08 时拉萨站 TOVS 资料变分订正效果比较

项 目	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
温 度	实测探空	- 2.9	- 13.8	- 27.7	- 36.0	- 49.5	- 60.0
	Cressman	- 5.0	- 12.4	- 28.8	- 36.6	- 48.0	- 58.4
	TOVS	1.7	- 11.1	- 26.9	- 36.1	- 48.6	- 60.0
	C- TOVS	0.4	- 10.8	- 25.6	- 34.5	- 47.3	- 59.5
水 平 风 速	实测探空	7.0	15.0	14.0	16.0	20.0	16.0
	Cressman	3.5	6.4	15.6	18.0	20.1	14.8
	TOVS	3.8	10.6	17.4	20.2	21.8	22.8
	C- TOVS	3.3	6.1	15.6	18.0	20.1	16.1

表3 1995年7月6日20时那曲站 TOVS 资料变分订正效果比较

项 目	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
实测探空	1.6	- 10.8	- 24.5	- 33.5			
温度							
Cressman	- 2.0	- 13.6	- 25.7	- 33.8	- 43.5	- 56.9	- 70.3
TOVS	3.6	- 11.1	- 26.4	- 35.4	- 45.8	- 57.8	- 71.4
C- TOVS	2.0	- 9.9	- 25.2	- 33.5	- 46.9	- 60.4	- 73.3
水平							
实测探空	7.0	12.0	17.0	18.0			
Cressman	3.3	6.5	14.5	18.7	24.1	20.1	14.2
风速							
TOVS	4.3	7.3	14.5	18.2	16.0	7.8	10.1
C- TOVS	8.8	12.0	16.6	15.5	16.9	12.3	12.2

表4 1995年7月6日20时拉萨站 TOVS 资料变分订正效果比较

项 目	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
实测探空	1.2	- 10.1	- 23.1	- 33.9	- 45.9	- 60.7	- 75.5
温度							
Cressman	- 0.7	- 11.2	- 25.3	- 32.0	- 47.2	- 62.1	- 73.9
TOVS	4.0	- 10.0	- 25.5	- 35.7	- 47.9	- 61.4	- 73.0
C- TOVS	2.5	- 9.1	- 24.6	- 32.9	- 46.4	- 61.0	- 73.0
水平							
实测探空	6.0	9.0	14.0	9.0	11.0	13.0	12.0
Cressman	11.2	12.7	13.6	10.7	12.0	16.0	14.1
风速							
TOVS	4.7	6.7	10.7	13.0	13.3	9.5	4.9
C- TOVS	11.0	10.8	13.6	12.2	12.1	16.0	13.7

表5 1995年7月7日08时那曲站 TOVS 资料变分订正效果比较

项 目	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
实测探空	- 2.2	- 12.3	- 27.5	- 35.5	- 47.2	- 59.0	- 71.6
温度							
Cressman	- 3.1	- 13.2	- 27.7	- 36.3	- 45.9	- 57.0	- 70.3
TOVS	0.1	- 11.7	- 28.1	- 36.7	- 48.4	- 60.6	- 74.8
C- TOVS	- 1.9	- 11.9	- 27.1	- 35.4	- 47.1	- 59.0	- 71.7
水平							
实测探空	1.0	9.0	22.0	24.0	22.0	25.0	6.0
Cressman	4.5	4.2	13.6	19.9	24.5	26.9	9.7
风速							
TOVS	3.5	7.9	17.2	22.7	25.1	21.6	12.2
C- TOVS	1.5	8.4	19.0	22.2	19.9	22.4	5.1

表6 1995年7月7日08时拉萨站 TOVS 资料变分订正效果比较

项目	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
实测探空	- 1.7	- 10.1	- 24.1	- 32.2	- 43.9	- 56.7	- 70.0
温度							
Cressman	- 2.5	- 12.3	- 26.5	- 35.6	- 46.5	- 58.0	- 71.2
TOVS	0.8	- 10.6	- 26.8	- 35.2	- 47.2	- 60.2	- 74.7
C-TOVS	- 1.4	- 10.1	- 24.4	- 32.2	- 44.2	- 57.5	- 71.2
水平							
实测探空	2.0	5.0	8.0	16.0	15.0	16.0	10.0
Cressman	2.6	4.0	10.7	15.6	20.2	22.7	8.2
风速							
TOVS	5.2	6.2	11.9	15.9	19.5	21.8	21.8
C- TOVS	2.8	4.4	7.8	13.2	15.7	20.2	2.7

从表 1~6 可以看出, Cressman 分析值基本上能分析出高原上的各气象要素的特性; TOVS 分析值的误差比较大, 这主要有两个原因: 一是和探空观测资料的时间比, TOVS 反演资料的时间是一时间段, 和探空观测的时间有系统误差, 二是 TOVS 反演资料的本身误差; C-TOVS 分析值和以上两种分析值比较更接近于实测探空值。图 1 是 TOVS 分析、C-TOVS 分析方案分析 1995 年 7 月 7 日 08 时左右的 TOVS 资料得到的值和实测探空资料的偏差。

从以上的分析和比较可以看出, Cressman 分析方法能够在高原地区应用; 经过变分法订正的 TOVS 卫星资料比没有订正的要更接近于实况, 和实测探空资料的偏差要小得多, 变分订正的效果显著。

#### 4 降水数值试验

用 T63 分析、探空观测、TOVS 反演资料, 通过 MM5 模式分别对 1995 年 7 月 5 日 08 时、7 月 6 日 08 时(北京时)的初始场进行了 24 h 的对比试验, 其中 RAOB 试验为用探空资料、T63 资料作初始场进行模拟, C-TOVS 试验在 RAOB 试验初始场上加入变分订正后的 TOVS 反演资料。7 月 5 日 08 时的试验, 两种方案模拟的降水区域及降水中心基本和实况一致(图略), 但在降水强度上有区别, 以高原上东西向的理塘、拉萨、日喀则 3 个降水中心为例作比较, 如表 7 所示。

表 7 24 h 降水模拟比较(1995 年 7 月 5 日 08 时~6 日 08 时)

	实况(mm)	RAOB 方案(mm)	C-TOVS 方案(mm)
理塘	16	98.0	9.8
拉萨	19	46.8	20.0
日喀则	18	24.5	17.7
平均误差		56.4	15.8

在 1995 年 7 月 6 日 08 时的试验中, 实况上高原有雅安、拉萨两个降水中心, 两种方案都模拟出了这两个中心, 但模拟雅安的降水中心大约都向西偏 3 个经度, 位于理塘附近。降水强度如表 8。

表 8 24 h 降水模拟比较(1995 年 7 月 6 日 08 时~7 日 08 时)

	实况(mm)	RAOB 方案(mm)	C-TOVS 方案(mm)
雅安	34	64.7	5.9
拉萨	20	18.0	17.0
平均误差		41.4	11.5

### 5 诊断与分析

#### 5.1 高原区域天气系统分析

RAOB 分析的 1995 年 7 月 5 日 08 时 500 hPa 流场上(图 2a), 高原东部(33°N, 100°E)处有一个弱的低涡, 西部(31°N, 84°E)有一个较强的低涡, 高原的北部为反气旋控制, 从孟加拉湾向高原南部有较强的偏南气流。到 20 时(图略), 东部的低涡消失, 西部的低涡

减弱并向东移动了两个经度, 北部的反气旋移到高原中部并减弱, 南部的偏南气流向西偏, 6日08时, 西部的低涡消失, 高原中部为弱反气旋和低涡控制, 南部的偏南气流转为西南风, 到7日08时, 高原中南部为很强的低涡控制。在C-TOVS分析中为西南风。C-TOVS分析的500 hPa流场上, 5日08时(图2b), 高原东部的低涡强, 西部为弱低涡, 高原南部为变型场, 其南部有西南气流伸入高原, 5日20时(图略), 东部的低涡消失, 南部形成一反气旋, 6日08时, 在高原东部(31°N, 99°E)和中部(33°N, 92°E)处呈两个低涡系统, 高原南部的弱西南气流变为西风, 到7日08时, 高原东南部和西南部都为很弱的低涡。RAOB分析的5日08时温度场(图3)中, 从西南和南面有两支强的暖湿气流在理塘地区汇合, 在C-TOVS分析中, 由于90°E处有一冷舌, 切断了从西向理塘的暖湿气流输送, 后者流场水汽输送特征明显弱。

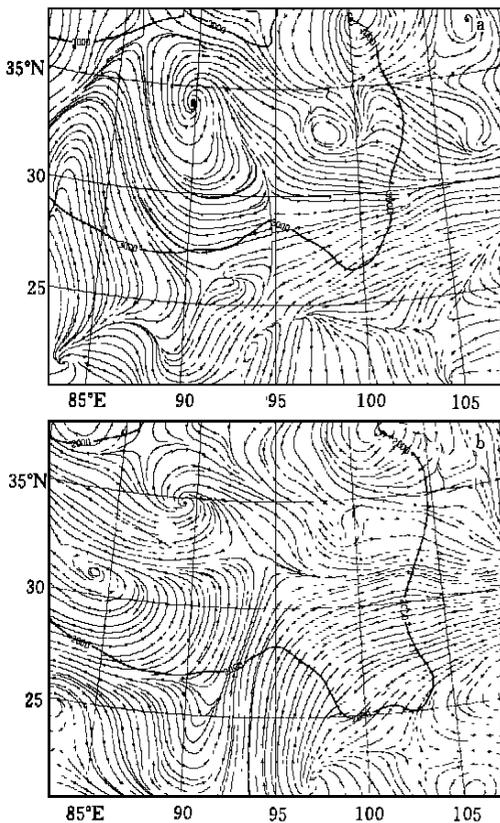


图2 1995年7月5日08时500 hPa流线场  
(a. TAOB方案; b. C-TOVS方案)

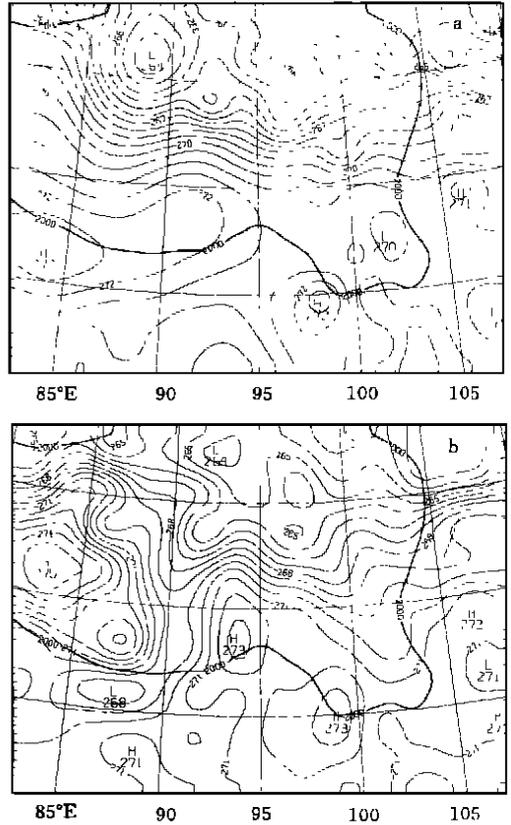


图3 1995年7月5日08时500 hPa温度场  
(a. RAOB方案; b. C-TOVS方案)

可见TOVS资料可以提高高原地区资料的空间分辨率, 其应用是克服高原地区测站少, 资料空间分辨率低的有效途径。

## 5.2 水汽输送场特征

水汽通量表示单位时间流经某一单位面积的水汽量(克数), 它说明水汽输送的多少

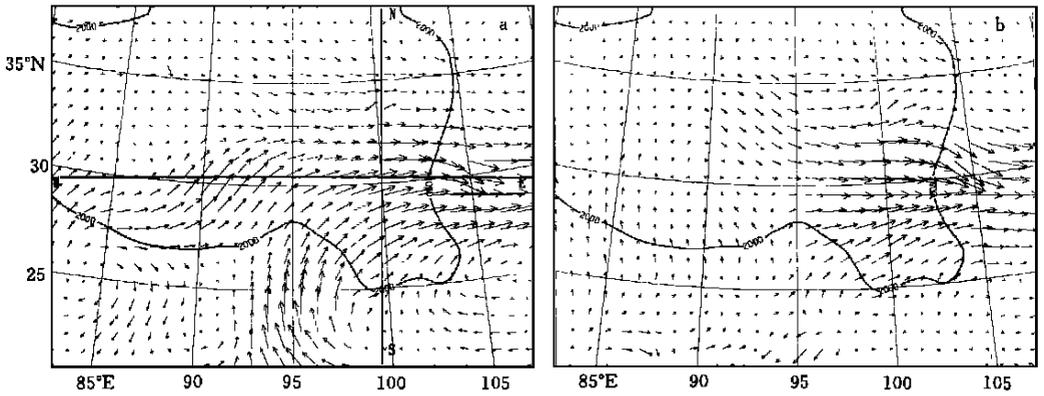


图4 1995年7月5日08时400 hPa水汽通量场

(a. RAOB方案; b. C-TIVS方案)

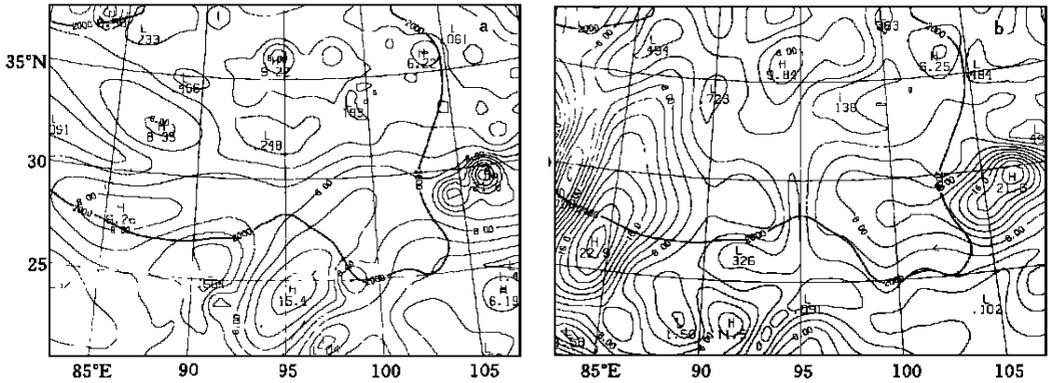


图5 1995年7月5日08时400 hPa风速率场(m/s)

(a. RAOB方案; b. C-TIVS方案)

和方向,水平水汽输送为:  $V \cdot q/g$ , 单位为  $g \cdot s^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} a^{[5]}$ 。图4a是RAOB方案分析的7月5日08时400 hPa水汽通量场,从图上可以看出,从孟加拉湾向高原东南部有一条很强的水汽通道,还有一条从高原西南向东南的较显著的水汽通道,两条水汽通道均在理塘附近汇合向东;图4b是C-TIVS方案分析的400 hPa水汽通量场,在图上,向高原东部的水汽输送亦有两条通道,一条是从孟加拉湾通道的水汽输送,这条通道输送的水汽很弱,并未输入高原内部地区,仅在高原的南部向东流出;另一条是从西北输送过来的水汽。在风速率分布(图5)上可以看到,在RAOB分析中,从南面、西南有两条大风带,在C-TIVS分析中,仅有理塘向东的大风带。

图6b, d为1995年7月5日08时沿理塘降水中心东西向的水汽通量剖面图,从图上可以看出,在高原上,RAOB试验为向北的水汽通量,C-TIVS试验为向南的弱水汽通量,而且RAOB向北的水汽通量强。图8a, c为理塘沿降水中心南北向的水汽通量剖面图,两

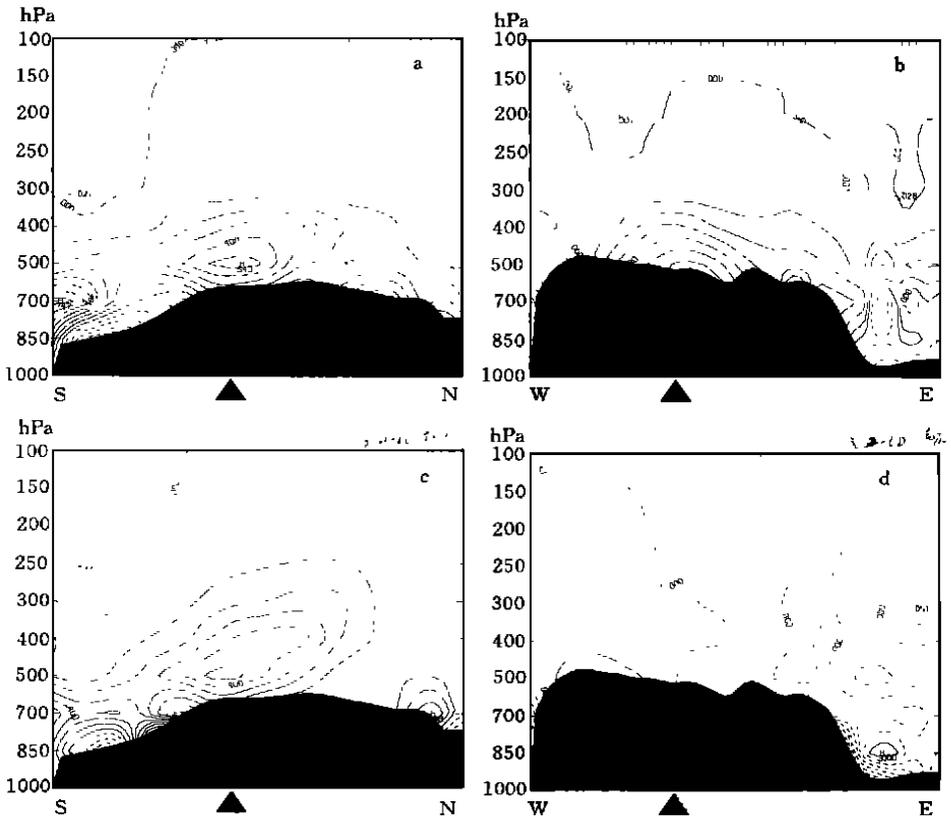


图6 1995年7月5日08时沿理塘降水中心的水汽通量剖面

(a, b. RAOB 方案; c, d. C-TOVS 方案。SN、WE 为图 4 中的直线, 指向理塘降水中心,  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

个试验在高原上基本上都为向东的水汽通量,且前者强于后者,在降水中心上空,水汽通量均较强。图7为沿理塘降水中心的水汽通量散度剖面图。RAOB方案中,500 hPa 辐合特别强,在理塘区域降水中心偏北为整层辐合,理塘上空为辐散,在C-TOVS试验中,亦有辐合辐散结构,但辐合辐散强度比RAOB弱得多。由上述分析可知,由于卫星资料的加入,使高原地区的系统分辨率提高,高原地区的动力系统及其水汽状况的配置结构描述得更为客观,从而有效地提高了模式降水预报效果。

### 5.3 垂直运动及其流场的三维结构图象

当水汽条件具备后,还必须有使水汽冷却凝结的条件才能形成降水,促使水汽冷却凝结的主要条件是上升运动。图8是1995年7月5日08时沿理塘降水中心的垂直运动剖面图,从图上可以看出,RAOB方案南北向的剖面上,整个剖面都为强垂直上升运动,出现有两个上升运动中心,南面的中心对应云南元江的降水中心,高原上的中心对应理塘的降水中心,理塘的最大上升运动出现在400 hPa左右,最大上升值为 $-0.646 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在C-TOVS方案的试验中,理塘上空的上升运动最大上升值为 $-0.358 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,在东西向的剖面图中,RAOB方案分析的高原东部为上升运动区,高原最大上升运动出现在理

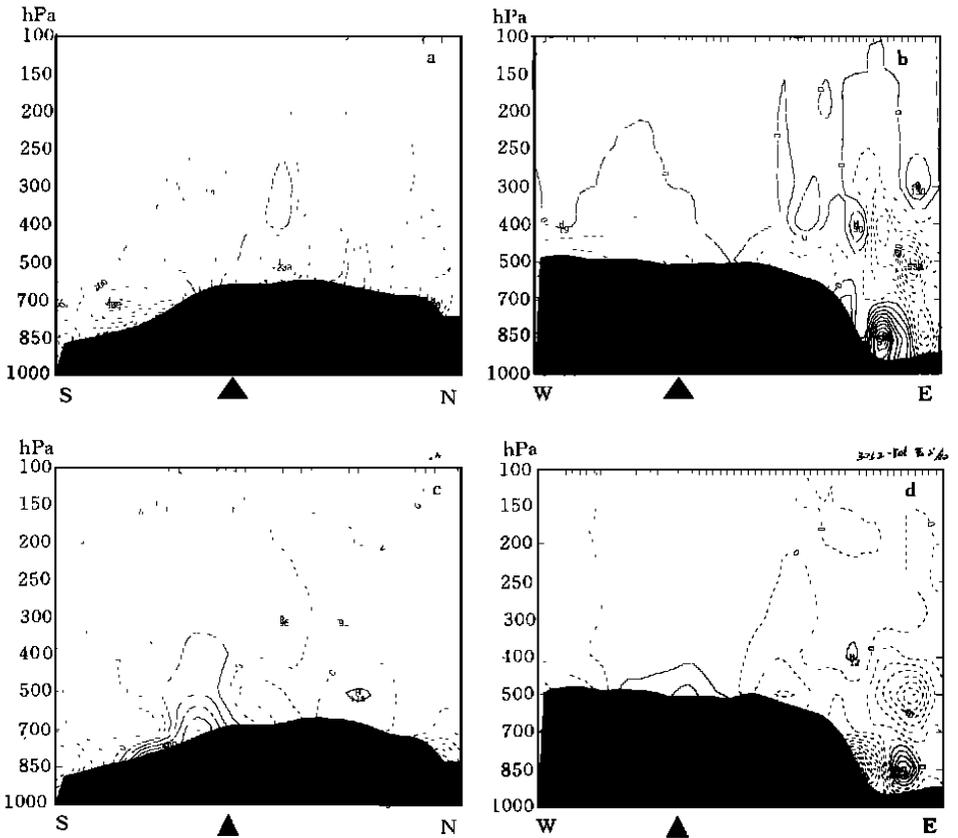


图7 1995年7月5日08时沿理塘降水中心的水汽通量散度剖面图( $10^{-3} \cdot \text{hPa} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
(SN、WE为图3中的SN、WE线段, 指向降水中心。a、b. RAOB方案; c、d. C-TOVS方案)

塘上空300 hPa处。在C-TOVS方案分析中, 理塘的上空为弱的下沉区, 理塘两侧的上空则为上升运动区。图9是理塘降水区域270 km × 270 km范围内的上升运动的平均值, 从图上可以看出, RAOB试验的上空整层为上升运动区, 平均最大上升运动在400 hPa左右, 上升运动显著, C-TOVS方案在250 hPa以上为下沉运动, 250 hPa以下为上升运动, 且后者上升运动的极值远远低于前者。

图10为1995年7月5日08时沿理塘降水中心的垂直运动和水平运动的RAOB和C-TOVS两个方案的偏差剖面场。在图10a南北风和上升运动的剖面上, 降水区域300 hPa以上, 北侧为下沉运动, 南侧为上升运动, 300 hPa以下为下沉运动(上升运动为C-TOVS方案的上升比RAOB方案强, 下沉则反之); 在图10b东西风和上升运动的剖面上, 整层为弱的下沉运动。

由此可以看出, 在高原地区数值模式初始场信息产生失真, 引起高原系统及其动力结构描述的不可靠性, 出现虚假的垂直运动及其环流结构特征; 采用TOVS资料可以显著地消除错误信息, 明显地提高高原地区三维物理图象、结构及动力特征的描述能力。

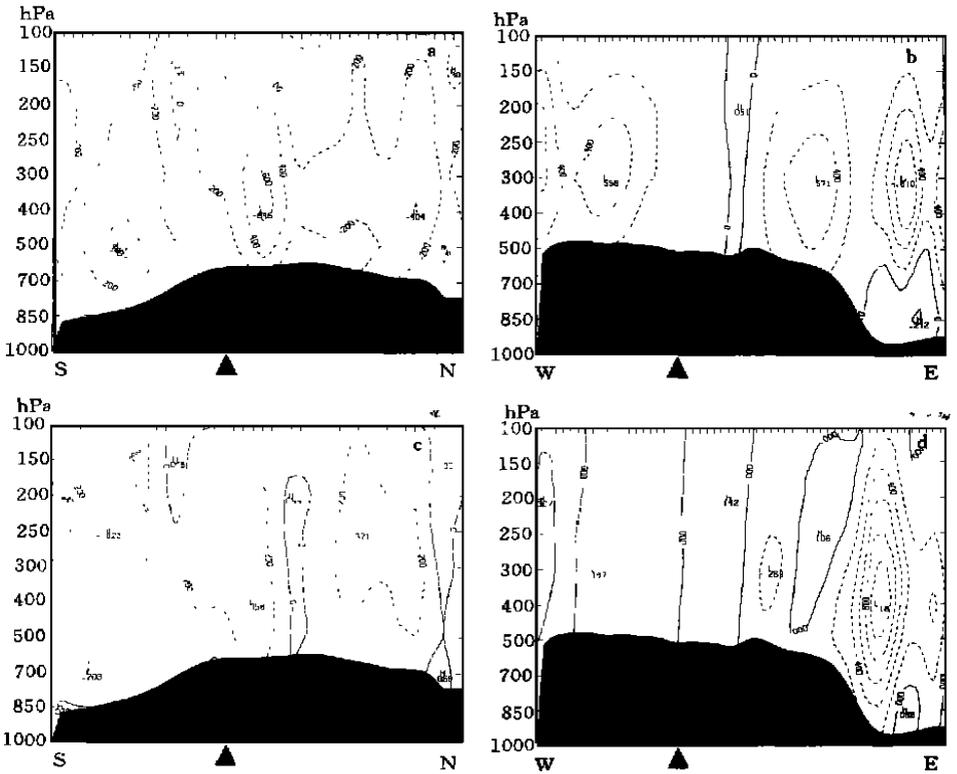


图8 1995年7月5日08时沿理塘降水中心的垂直运动剖面图( $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
(SN、WE为图6中的SN、WE线段, 指向降水中心。a、b-RAOB方案;c、d-C-TOVS方案)

### 6 讨论和结论

首次在站点稀少的高原地区引入经变分技术处理的 TOVS 卫星资料, 从动力学理论角度来说, 引入 TOVS 卫星资料对描述高原地区气象场信息动力、热力结构特征的改进与提高。

(1) 高原地理条件下观测站点稀疏, 资料空间分辨率低, 数值模式初始场“信息”会产生明显“失真”, 从而引起高原系统及其动力结构描述的不可靠性; 出现虚假的垂直上升(下沉)运动及其环流结构特征, 歪曲高原及其周边地区水汽输送通道分布特征及造成水汽输送负效应。上述产生场各类诊断量

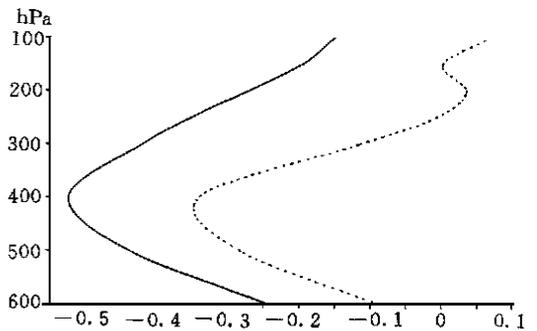


图9 1995年7月5日08时理塘降水区域  
270 km × 270 km 范围内的上升运动的平均值  
(实线: RAOB 方案, 虚线: C-TOVS 方案,  
单位:  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

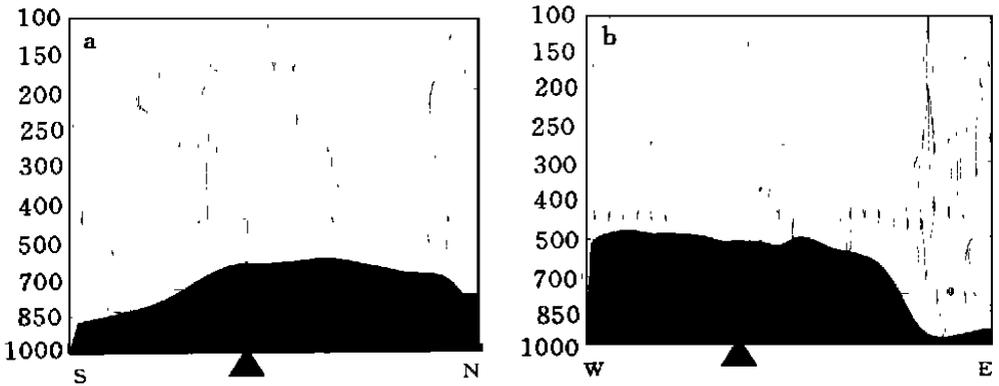


图 10 1995 年 7 月 5 日 08 时沿理塘降水中心的垂直运动和水平运动的 C-T OVS 与 RAOB 方案的偏差剖面场(C-T OVS 减去 RAOB)  
(水平风速:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 垂直风速:  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。a. 南北向; b. 东西向)

信息的失误与高原及其测站分布的相关性揭示了高原地区数值描述预报技术上难以解决的困难。

(2) 卫星资料在高原地区应用研究表明,采用 TOVS 卫星资料可以显著地消除上述高原初始场的错误信息,明显地提高高原地区系统三维物理图象、结构及其动力、热力特征的描述能力,卫星资料的应用是克服高原地区测站点密度小,资料空间分辨率局限性的有效途径。

(3) 高原地区卫星资料存在各种系统误差,本文采用变分订正技术有效地改进了卫星资料误差,进一步显著地提高 TOVS 卫星资料应用的客观性与可靠性。

#### 参考文献:

- 1 陈伯民, 钱正安. 夏季青藏高原地区降水和低涡的数值预报试验. 大气科学, 1995, 19(1): 63 ~ 72
- 2 Zhang D L, Michael Fritsch J. Numerical simulation of the meso- $\beta$  scale structure and evolution of the 1977 Johnstown flood). Part model description and Verification. Atmos J Sci, 1986, 43: 1913 ~ 1943
- 3 王宗皓. NWP 应用卫星探测热辐射新进展. 数值天气预报中的若干新技术(2). 北京: 气象出版社, 1995. 148 ~ 177
- 4 徐祥德等. 关于卫星-雷达-地面雨量计多元探测工具集成估算降水场方法的探讨. 暴雨科学. 北京: 气象出版社, 1996. 102 ~ 107
- 5 朱乾根等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992. 896 ~ 898

# APPLYING THE VARIATIONAL METHOD OF TOVS DATA OVER THE TIBETAN PLATEAU TO IMPROVING MODELS' INITIAL FIELDS

Weng Yonghui Xu Xiangde Bai Jingyu

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Dong Chaohua

(*Satellite Meteorology Center, State Meteorological Administration, Beijing 100081*)

## Abstract

Using TOVS data, corrected by variational method, into the numerical model's initial field over the Tibetan Plateau region where sparse observations exist, under the dynamical diagnosis, have investigated to minimize the larger error of initial fields in the numerical prediction model, which caused by the sparse observation on the Plateau, drafted the framework in which some bogus soundings are embodied with TOVS data over there in such a way that the dependability of the initial condition increases significantly. In the meantime, based on the dynamical diagnosis and analysis context, further confirmed that TOVS data are beneficial to improving the objectivity of initial fields, such as the characteristics of dynamical system, transportation channel of water vapor, and stratification stability over the Plateau.

**Key words:** TOVS data, Variational method, The Tibetan Plateau.