

TOVS 资料真实性检验和偏差订正方案的设计

韩桂荣 张菊芳 陈必云 冯民学 周曾奎

(江苏省气象台,南京 210008)

提 要

具有空间高分辨率的卫星垂直探测(TOVS)资料应用于业务时,应对反演资料的偏差分布进行检验、统计、分析,以利于选取误差稳定且较小的区域(或指标点)作为寻求和归纳预报条件时可应用于业务的反演资料;同时,进一步研究和设计了误差订正方案,经比较分析,单点指标站经回归订正后误差能得到满意的改善,而经采用变分分析后的格点场质量能得到显著提高。

关键词: TOVS 反演资料 检验分析 误差订正

引 言

国家卫星气象中心利用极轨气象卫星垂直探测(TOVS)资料,可获得空间分辨率约75km的大气温度、湿度、垂直分布、位势厚度(高度)、大气稳定度等大气参数。TOVS反演资料是利用同步物理反演法,并以近时次的常规探测资料的分析场作为初估值反演得到的。由于对卫星测得的辐射率要经多种订正,如临边变暗订正、窗区通道的水汽削弱订正、可见光通道的双向反射订正等^[1],且据了解上述订正均采用经验公式,所需订正系数来自美国。有鉴于此,所以在应用 TOVS 反演资料时,尤其是把它应用到西太平洋和我国东南沿海地区时,其反演资料的真实性必须认真加以检验,应统计、分析其偏差和设计应用于具体业务的订正方案。

1 TOVS 与常规探测(RAOB)资料的匹配与对比分析原则

1.1 匹配原则

在时间间隔上采取以常规观测资料时间为准,取±6小时 TOVS 反演资料相匹配;空

间格距采取以常规观测探测点 0.5 纬距为半径,获取 TOVS 反演值(取多点平均),对 TOVS 反演结果进行真实性检验。

1.2 范围

取 10~45°N, 100~145°E, 共 38 个探空站。

1.3 匹配分析个例和要素

在预选 TOVS 资料 100 多个样本中,筛选匹配资料较完整的 60 个样本,对 850hPa、700hPa、500hPa 的高度(H),温度(T),露点(T_d)进行变量对比分析。

2 TOVS 与 RAOB 资料匹配分析结论

2.1 区域性匹配分析中定性的误差分布

在选取的 10~45°N, 100~145°E 范围内,从获取的 1996 年 7~10 月 38 个探空站与 TOVS 相匹配的 110 个样本进行偏差分析,其偏差总体分布(以 500hPa 的 H 、 T 、 T_d 为例)如下:

① 高度的偏差值±40gpm 以内认为可用,则 TOVS 值总体偏低,海洋上(冲绳)有的偏高;38°N 以北偏差值普遍大于±40

gpm,但在 38°N 以南范围的日本东部大陆和我国西南部的偏差值也经常大于 40gpm。

② 温度在 ±2°C 之内认为可用,则我国大陆东部(华东沿海)和海洋偏差值较小,偏差正负均有。38°N 以北及我国西南部的重庆偏差经常大于 ±3°C,这与卫星中心统计的温度反演资料在高纬地区和地形复杂地区较差的结论是一致的^[2]。

③ 露点偏差普遍大于 ±4°C,个别站点为 ±2°C。

综上所述,TOVS 资料从地区适用性分析,在 20~38°N、107~137°E 范围内 TOVS 资料即使不经订正也有其业务应用价值,尤其是对本课题分析、研究影响我国东部沿海的西太平洋副热带高压活动是十分有利的。

2.2 以满足统计样本数的 34 个点(探空站)为准的对比分析

分析要素为 H 、 T 、 T_d ,

分析项目为正、负误差和绝对误差。

2.2.1 正误差

表 1 为三要素正误差统计值。

表 1 三要素正误差统计值

项目	高度场	温度场	露点
平均	≤40gpm	≤2°C (18/34)	≥4.6°C
误差	(23/34)	0~1°C (11/34)	(33/34)
最大平均误差	225gpm (47971)	12.5°C (59981)	16.2°C
最小平均误差	13gpm (53463)	0°C	2.8°C
正误差最大值	≥100gpm 上限达 331(5/34)	100°C(58725, 53772,59981,52889)	33.8°C
正误差最小值	上限:125gpm 下限:0(10/34)	0°C(31/34)	
方差	最大值:58.2gpm 最小值 6.6gpm	2°C(19/34) 最大值:29.6°C	≥2.4°C (33/34)

注:括号中,比数为所占比例;5 位数为台站编号。下同。

由表 1 可见:

① 高度场 ≥100gpm 的正误差有 5 个,其中 3 个都在海洋上;正误差最小值下限在

≤40gpm 的占 (23/24);方差 ≤40gpm 的占 28/34。

② 温度场正误差最小值除 47971 为 3°C 外,其余站点均在 2°C 以下。

③ 露点的误差较大。

2.2.2 负误差

表 2 为三要素负误差统计值。

表 2 三要素负误差统计值

项目	高度场	温度场	露点
平均	≤40gpm	≤2°C	/
误差	(22/34)	(7/34)	/
最大平均误差	87gpm (47412)	-17.5°C (47778)	/
最小平均误差	1gpm (54823)		-5.1°C
正误差最大值	上限:-353~-80(17/34) 下限-1gpm	-49°C (4778)	-46°C
负误差最小值	上限:-23gpm 下限:-1gpm≤40gpm(25/34)	-1~-2°C (32/33)	/
方差	≤40gpm (25/34)	≤2°C (16/33)	最小值 4.3°C

从表 1、2 可得:

① 高度场误差 ±40gpm,方差也在 ±40gpm 以内,可认为具有应用价值。所以在我们选定的地域范围内 64%~73%的站点是可应用的。

② 温度场误差 ±2°C,方差也在 ±2°C 以内,认为具有应用价值。则在我们选定的地域范围内 47%~55%的站点是可应用的。

③ 露点:在我们所选取的地域范围内,由于 33/34 的误差在 4.6°C 以上,方差也都在 2.4°C 以上,所以我们认为露点的反演值,至少在 500hPa 层是不能应用的。

2.2.3 绝对误差的分析

为进一步选取在所选地域范围内,TOVS 反演资料同一测站的高度值、温度值的绝对误差均在允许范围内的站点,统计分析了绝对误差。

统计结果,高度场取平均误差 ≤40(19/

34);最大误差 $\leq 100\text{gpm}$ (22/34);方差 $< 14\text{gpm}$ (18/34)。以上3个条件均满足的站点为:18/34。

温度场取平均误差 $\leq 2.5^\circ\text{C}$ (26/34);最大误差 $\leq 8^\circ\text{C}$ (22/34);方差 $\leq 2.2^\circ\text{C}$ (25/34)。以上3个条件均满足的站点为:19/34。

如选取一个站点(作为指标点来应用)其高度值、温度值均满足所取误差允许范围(上述所列)之内,则业务应用可选择的指标点为17/34。

具体测站见表3。

表3 业务应用可选取的指标点

47区	57区	58区	59区	52区
936	083	203	725	096
945	036	150	968	758
	461	665	431	
	816	365	981	

以上分析和讨论是对 TOVS 反演资料在业务应用时可不加订正而选取的测站情况。但我们希望能在误差分析的基础上,对 TOVS 反演资料在应用于业务时作必要的有效的误差订正。

3 误差订正方案的设计和经订正后的质量分析

3.1 在应用区域内选取 32 个测站(满足样本数)的 TOVS 反演资料为 X , 实况场(测站 TTAA 报)为 Y , 对每个测站的 850hPa, 700hPa, 500hPa 三层温、压、湿建立一组方程(9 个方程), 总计有 9×32 个订正方程。高度和温度的相关系数平均在 0.8 以上, 最大达 0.98。湿度由于反演资料本身质量较差, 效果不理想。

以 32 个测站为基点经回归订正后的高度与温度质量有明显改善(见表 4), 尤其对方差显著偏大的单点, 回代后误差改善情况满意, 例如:

① 正误差, 如 47971 站, 原最大正误差高度值为 331gpm, 温度值为 20°C , 经回归订

正后高度值误差降为 20.6gpm, 温度值减小为 1.71°C 。

② 负误差, 如 53463 站, 原最大负误差高度值为 -200gpm , 温度值为 -18°C , 经回归订正后高度值误差降为 -55.6gpm , 温度值减小为 -5.28°C 。

表4 部分测站经回归订正后的误差值

站号	项目	回归方程系数		相关系数	最大正误差	最大负误差
		AA	BB			
47971	H850	-204.7	1.14	0.93	17.83	-25.46
	T850	4.6	0.76	0.9	2.24	-1.28
	TD850	10.99	0.03	0.01	36.58	-5.34
	H700	307.26	0.9	0.79	12.72	-38.32
	T700	6.04	0.43	0.76	1.46	-1.4
	TD700	3.66	-0.14	0.31	9.11	-4.61
	H500	3462.85	0.41	0.38	20.58	-62.71
	T500	-2.35	0.59	0.81	1.71	-1.29
	TD500	-22.71	0.51	0.36	27.29	-13.81
	53463	H850	226.77	0.86	0.7	65.36
T850		-10.1	1.55	0.87	3.62	-7.18
TD850		6.61	0.56	0.33	10.61	-10.5
H700		-971.81	1.33	0.8	28.98	-21.68
T700		-0.03	1.14	0.92	2.4	-2.9
TD700		2.35	0.68	0.33	11.64	-8.43
H500		-4226.3	1.76	0.9	28.88	-55.55
T500		3.51	1.08	0.9	4.49	-5.28
TD500		1.11	1.02	0.68	12.67	-14.05
57036		H850	-209.65	1.14	0.95	15.89
	T850	1.69	0.93	0.95	3.92	-2.49
	TD850	0.21	0.94	0.9	7.2	-5.92
	H700	-120.2	1.04	0.95	12.59	-38.2
	T700	0.34	1.11	0.96	2.66	-2.77
	TD700	0.84	0.89	0.75	15.65	-13.05
	H500	-242.95	1.05	0.98	21.35	-15.63
	T500	0.14	0.96	0.98	2.67	-1.37
	TD500	-1.75	0.99	0.81	26.38	-10.43

3.2 格点场的误差改进

3.2.1 经单站回归订正后的格点场质量分析 根据地理距离最小原则, 将站点方程插到该范围内 $2.5 \times 2.5^\circ$ 共 19×15 个网格点上, 将经回归订正后的 Y 场与 T63 相同区域、相对应时次的格点场相比较, 回归后的格点值(高度)与 T63 场的偏差大大减小, 但 Y

场出现局部地区的系统分离和东偏。究其原因,这主要由于将 32 个站点订正的回归方程分析到各网格点上应用,这 32 个站点的间距远大于 $2.5 \times 2.5^\circ$ 格距,所以能直接经回归方程订正的格距只有 32 个,其它格点值的订正,只能通过应用地理距离最小原则,用最近格点的同一个回归方程来订正。也即某一站点周围一片格点值,共用相同的一组方程进行订正,而另一片则用另一个站点的另一组回归方程进行订正,这就造成一组方程与另一组方程之间的回归误差修正的差别引起了片与片之间的回归误差修正差别,因而最终导致就 32 个单站而言,修正效果较理想,而就整个网格点的场分析,其修正效果出现系统性偏差。

所以,经回归订正后的单站(32 个) TOVS 反演资料质量作为指标站的选用,其业务应用价值是可信的,但用于场的订正是欠佳的,不理想的。因而,就场的订正我们设计了如下订正方案。

3.2.2 变分订正方案

采用变分分析的目的,在于寻找一个分析场,使它的值接近于常规场的值,而梯度变化则接近于非常规场,其基本原理就是:使满足一组约束条件的分析场的原函数在最小二乘法的意义下达到最小,也就是要求出这样一种场,在该场中分析值与观测值之差,或者说分析值与理论值之差的平方和达到最小。在此采用分辨率较高的 TOVS 反演资料作非常规场,将相对应时次的 T63 或(T106)作常规场。计算范围为 $10 \sim 45^\circ\text{N}$, $100 \sim 145^\circ\text{E}$, $2.5 \times 2.5^\circ$ 格距,共 19×15 格点,对 500hPa 高度场进行变分分析。效果理想,反映在系统的分辨率增加,系统位置三者相吻(T63, TOVS, 变分场)改善了 TOVS 高度值偏低的误差倾向。

表 5 为 500hPa TOVS 反演资料减去 T106 资料的高度平均误差分布。表 6 为变分分析处理场与 T106 场的高度平均误差分布,均为 60 个样本。分析此二表,可得出以下几点有意义的结论。

表 5 500hPa TOVS 反演资料与 T106 资料高度平均误差分布(单位: gpm)

	100°	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°									
45°N	-26	-35	-41	-50	-66	-81	-93	-102	-103	-103	-105	-103	-103	-97	-90	-80	-76	-73	-69
	-53	-71	-81	-89	-108	-121	-134	-141	-140	-142	-144	-137	-136	-130	-123	-109	-106	-104	-101
40°	-51	-59	-67	-74	-83	-104	-110	-102	-101	-108	-122	-115	-118	-120	-117	-116	-117	-120	-122
	-35	-40	-40	-44	-51	-57	-60	-52	-45	-52	-61	-63	-87	-107	-114	-119	-124	-128	-138
35°	-28	-28	-26	-24	-26	-31	-29	-30	-27	-30	-40	-71	-102	-113	-107	-101	-110	-121	-133
	-25	-21	-22	-22	-19	-18	-17	-15	-19	-24	-39	-71	-88	-88	-77	-74	-75	-81	-98
30°	-24	-20	-21	-20	-19	-16	-16	-13	-16	-21	-30	-40	-51	-63	-57	-56	-52	-56	-70
	-23	-17	-18	-19	-17	-16	-15	-16	-17	-21	-22	-25	-28	-36	-43	-41	-36	-47	-60
25°	-17	-16	-16	-18	-17	-16	-17	-18	-21	-23	-19	-17	-17	-21	-30	-37	-38	-41	-50
	-16	-16	-16	-16	-17	-17	-18	-18	-19	-20	-12	-6	0	-3	-14	-26	-30	-32	-39
20°	-13	2	-1	-5	-34	4	-20	-19	-19	-14	-4	5	12	9	-1	-14	-22	-27	-34
	-10	-8	-10	-13	-15	-18	-18	-18	-18	-10	-1	11	16	12	2	-9	-16	-23	-29
15°	-9	-9	-10	-13	-13	-16	-19	-18	-17	-10	-4	6	7	3	0	-8	-15	-22	-27
	-17	-15	-16	-16	-12	-15	-19	-19	-18	-13	-7	-5	-6	-5	-5	-10	-15	-20	-24
10°	-23	-21	-22	-20	-16	-17	-20	-20	-19	-15	-11	-8	-8	-10	-10	-13	-15	-18	-21

表6 500hPa 变分分析处理场与 T106 资料高度平均误差分布(单位:gpm)

	105°	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°									
	-29	-24	-25	-32	-35	-40	-44	-42	-43	-38	-37	-34	-31	-24	-26	-39	
40°N	-16	-10	-8	-8	-16	-16	-11	-10	-12	-19	-11	-11	-10	-8	-8	-13	-34
	-8	0	1	0	1	0	5	9	7	7	12	4	-2	-5	-8	-14	-36
35°	-6	1	4	5	3	5	3	6	7	9	0	-10	-11	-6	-2	-12	-36
	-2	0	0	2	3	3	5	4	4	2	-7	-10	-5	1	1	-1	-19
30°	-5	-1	0	0	1	0	3	2	2	1	2	1	-3	1	0	0	-12
	-3	-1	0	0	0	1	0	1	0	1	2	3	2	0	1	3	-12
25°	-3	-1	-1	0	0	0	0	-1	-2	0	1	1	1	-1	-2	-3	-11
	-7	-4	0	0	0	0	0	-1	-2	0	1	4	4	1	-2	-2	-8
20°	5	6	4	-14	14	-2	-1	-1	-1	1	4	6	6	3	0	-2	-8
	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	0	1	5	7	6	3	0	-1	-7
15°	-2	0	-1	-2	-1	-2	-2	-2	0	0	3	3	1	1	0	-2	-8
	-7	-6	-5	-2	-3	-6	-5	-6	-4	-2	-2	-4	-3	-2	-3	-5	-10

第一, TOVS 反演资料与 T106 资料的误差如同我们用离散站点分析一样,基本上为负值,且从低纬到高纬逐渐增加。

第二,变分分析后的误差比变分分析前的误差有了较大的改善。变分前的高度平均误差高纬可达 70~100gpm 以上,而变分后高纬的平均误差最大值不超过 45gpm,大部分区域仅在 110gpm 以下,说明变分分析对

于消除 TOVS 反演资料的系统误差是有效的。

参考文献

- 1 张凤英等. 极轨气象卫星 TOVS 资料微机处理系统简介. 气象,1997,23(1):23~27.
- 2 董超华等. 卫星区域大气探测业务处理系统. 应用气象学报,1991年,第2期.

A Method Design of Truthfulness Examination and Error Correction of TOVS Data in Operational Application

Han Guirong Zhang Juefang Cheng Biyun Feng Minxue Zhou Zengkui

(Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008)

Abstract

The examination , statistics and analysis for error distribution of TOVS data was conducted before applying TOVS data to operation. The areas which have little error were selected to be the TOVS data areas of seeking and including forecasting factor. Then, an error correcting method was studied and designed. The results show that the error was decreased at single station through regression correcting and the quality of grid field was increased through calculus of variations analysis.

Key Words: TOVS data examining analysis error correction