

利用NOAA-9垂直探测资料反演 地面气温的初步试验*

张 凤 英

(卫星气象中心)

提 要

本文主要介绍利用多重线性回归技术,由垂直探测资料(TOVS)反演地面气温的方法,给出了利用1986年8月22—24日的NOAA-9 TOVS资料的试验结果,并与常规观测的百叶箱温度进行比较,结果表明:对60—20°N、75—150°E范围,总平均绝对偏差为2.8°C。

一、引言

百叶箱温度(1.5m高处的大气温度),即地面气温,对于农作物监测和天气、气候学的研究是一个非常重要的气象要素。以往,对于地面气温的测量通常用常规仪器由人们直接观测而得。为了更准确地作出产量预报,建立更加完美的天气预报模式,仅利用常规手段进行气象观测,从覆盖率和及时性方面,均无法满足需要,因而,人们一直在寻找较为令人满意的资料。随着遥感技术的发展,使得利用卫星上携带的红外、微波辐射计探测地面气温成为可能。NOAA系列业务卫星能够迅速提供全球覆盖的连续资料,因而成为所需情报的潜在资料来源。

由于地表热辐射的影响,百叶箱温度的空间变化很大。在某一区域内,常规观测站少的情况下,其观测温度,不足以代表整个区域的地面气温。而由卫星资料推导出来的温度,按其性质是面积上的平均值。所以,对于大范围农作物监测及天气、气候来说,在某一区域内,由卫星资料反演的温度值,比一、两个常规观测值更具有代表性。

本文将介绍利用多重线性回归技术,由NOAA系列卫星上携带的TIROS业务垂直探测器(简称TOVS)资料,反演地面气温的方法。最后给出了利用1986年8月22—24日卫星气象中心接收的NOAA-9卫星的TOVS资料,反演地面气温的结果及其分析。

二、方法

TOVS由三个仪器组成^{[1], [2]},即:

高分辨率红外辐射探测器(HIRS);微波探测装置(MSU);平流层探测装置(SSU)。其性能及光谱通道特性参见参考文献[1]、[2]。其中,HIRS和MSU测值和由其反演的温度廓线^[3]是我们反演地面气温的基础。

利用回归法由TOVS资料反演地面气温,不仅需要建立回归模式,选择独立变量,而且,还需确定回归方程系数所需的时间与空间匹配的TOVS资料^[4]和常规观测百叶箱温度的统计样品数据集。一旦确定了回归方程中的系数,利用TOVS资料作为独立变量,即可反演出地面气温。

1. 回归模式

在一天中的最高温度和最低温度时刻,低层大气不同的热力结构与热传输机制有关。参考文献[5]给出了在最高、最低温度时刻的近地面层温度廓线。在夜间,大气稳定度增大,湍流的垂直交换过程受到抑制。在晴朗的夜晚,地表面因辐射而引起的热的净损失,使近地面层产生逆温层,地表面温度明显地低于地面上的大气温度。另外,由于冷空气气流引起的温度变化,可导致局地百叶箱温度迅速降低,使其空间分布变化较大。在白天,因地面受热快,使百叶箱温度高于其上的大气温度。因此,在利用TOVS资料作独立变量时,一个成功的回归模式,必须考虑百叶箱温度的日变化。

* 本工作属《长期天气预报理论、方法和资料库的建立》研究课题的一部分。

如果用 T_{SH} 表示样关变量 (即地面气温), x_i 表示由 TOVS 资料选取的独立变量, 则反演地面气温的回归方程可表示为

$$T_{SH} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots \quad (1)$$

其中 a_i 表示回归系数。它是利用一组时、空匹配的统计样品确定的。当确定了 x_i 和 a_i , 利用方程 (1) 便可反演出地面气温。

2. 独立变量的确定

利用 TOVS 资料反演地面气温, 一个有用的独立变量是利用反演的近地面层大气温度廓线^[3]外推, 求出估算的地面气温。假定近地面的大气温度呈线性变化, 则利用下式可求出估算的地面气温 T_E :

$$T_E = T_1 + (T_1 - T_2)(\ln p_s - \ln p_1) / (\ln p_1 - \ln p_2) \quad (2)$$

其中, p_1, p_2, T_1 和 T_2 分别表示地面以上的标准 TOVS 气压层**的气压和温度, p_s 表示地面气压。 p_s 可由下式求出:

$$\ln p_s = \ln p_0 - (Z_s / k T_v)$$

其中, p_0 是标准海平面气压 (1013.25hPa), Z_s 是地面海拔高度 (根据该探测点的经纬度值, 由 $1^\circ \times 1^\circ$ 地形高度文件插值求得), k 是常数 (29.3), T_v 是海平面和地面高度之间的有效平均虚温。在处理过程中, 首先利用地面高度估算气压, 然后利用方程 (2) 计算 T_E 。

此外, 考虑到 HIRS 有 3 个窗区通道可探测地面温度, 窗区通道附近的其它几个通道可探测近地面层大气温度^[1], 这些通道辐射测值对反演地面气温都会有一定的影响。因此, 除选择 T_E 作独立变量外, 我们还选择 TOVS 探测地表及低层大气的亮温作独立变量, 并采用 6 种不同的通道组合方式反演地面气温。其中, 组合方式 1 采用红外窗区、长波、短波和水汽通道的结合; 方式 2 是红外窗区、长波、水汽和微波通道的结合; 方式 3 采用红外窗区、短波、水汽和微波通道的结合; 方式 4 与方式 3、方式 5 与方式 2 基本相同, 只是去掉了微波通道, 以检验微波通道对反演结果的影响; 方式 6 采用红外窗区、长波、短波和微波通道的结合, 以检验水汽通道对反演结果的影响。

3. 回归系数的计算

为了计算方程 (1) 中的回归系数, 必须事先选取一组时间与空间相匹配的 TOVS 资料和常规观测资料的统计样品。统计样品的好坏, 直接影响到回归系数的精度。而回归法的反演精度在很大程度上又依赖于回归系数的精度。要想得到令人满意的结果, 必须利用近期的经过严格筛选的 TOVS 资料与常规观测资料相匹配的统计样品生成回归系数, 要想得到好的统计样品, 必须对匹配

表 1 60—30°N 的 6 组回归系数

方 式	系 数	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
1		105.05	0.4577	-0.7568	1.0540	-0.1317	-0.7176	0.0772
2		116.54	0.6834	0.3510	0.3447	-0.3175	-0.3194	0.0019
3		122.02	0.5962	0.0	0.0	-0.2506	-0.0877	0.0803
4		96.34	0.4124	0.0	0.0	-0.1756	-0.1845	0.1220
5		99.31	0.5588	-0.0680	0.8968	-0.3027	-0.5783	-0.0197
6		128.69	0.5965	-0.4685	0.4233	-0.3386	0.0	0.0

方 式	系 数	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	r
1		-0.4470	1.1819	-0.0722	0.5275	-0.4654	0.0	0.775
2		0.0	0.0	0.0	0.6138	-0.4404	-0.2987	0.767
3		-0.5885	1.2093	0.1134	0.3437	-0.3214	-0.4622	0.788
4		-0.3329	1.1561	-0.1879	0.2643	-0.3220	0.0	0.769
5		0.0	0.0	0.0	0.7829	-0.5672	0.0	0.758
6		-0.9419	1.4928	0.2471	0.4487	-0.3807	-0.4718	0.789

注: r ——相关系数

** 近地面层的标准 TOVS 层, 1000hPa, 950hPa, 920hPa, 850hPa, 780hPa, 700hPa。

样品进行严格的筛选^[4]。下面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。

(2) 确定时间和空间匹配格距，时间格距为±6小时*，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探测资料。

(4) 对匹配样品进行筛选，分类（独立样品和相关样品），产生生成系数的样品数据集。

最后，利用样品数据集中的相关样品，按照6种不同的通道组合方式，利用多重线

性回归技术计算出6组回归系数。表1列出了我们利用NOAA-9 1986年8月10—19日10天匹配样品，计算60—30°N的6组回归系数。

表1中， a_0 表示截距， a_1, a_2, \dots, a_{12} 分别对应于 T_E ，HIRS通道6—8、10、11、13—15、18、19以及MSU通道2亮温的系数。从表1中看出，无论哪种组合方式，其相关系数均大于0.7。我们还计算了90—60°N，30—0°N的相关系数，结果表明，无论哪个纬度相关系数也均大于0.7。

三、结果及其分析

为了检验该回归模式是否可行，所计算的回归系数是否可靠，我们利用统计样品数据集中的独立样品对系数进行检验。表2给出检验结果。

表2 由独立样品反演地面气温与实测百叶箱温度的比较

组 合 方 式		1	2	3	4	5	6
zone 1	No	10	10	10	10	10	10
	AV	2.15	1.77	1.62	2.02	2.14	1.89
	RMS	2.99	2.74	2.33	3.04	3.59	2.53
zone 2	No	28	28	28	28	28	28
	AV	2.33	1.96	1.99	2.18	2.12	2.09
	RMS	2.70	2.38	2.35	2.53	2.52	2.44
zone 3	No	19	19	19	19	19	19
	AV	2.01	1.77	1.87	2.00	1.88	1.93
	RMS	2.38	2.21	2.24	2.37	2.38	2.30
总 计	No	57	57	57	57	57	57
	AV	2.19	1.86	1.89	2.09	2.04	2.00
	RMS	2.55	2.39	2.31	2.58	2.70	2.41

注：zone1、2、3分别为90—60°N，60—30°N，30—0°N；No，样品数；AV，平均绝对偏差(°C)；RMS，均方根误差(°C)。

由表2可以看出：三个纬度带的总平均绝对偏差为2°C左右，均方根误差为2.5°C左右。其中，高、低纬度较好，中纬度较差（中纬度地形复杂）。组合方式2和3优于其它组合方式。以上实例说明，用回归方程(1)反演地面气温是可行的；用微波通道资料是有效的。

为了进一步检验方程(1)的可行性，我们利用表1中给出的系数及NOAA-9连续3天(1986年8月22—24日)14条轨道的TOVS资料反演地面气温，并与常规观测百叶箱温度进行分析比较。表3列出了4

个纬度带，6种组合方式的比较结果。

由表3可以看出，在被比较范围内，探测点的总平均绝对偏差为2.8°C，其中，30°N以南地区为2.2°C；30—60°N为2.5—3.5°C。

图1给出了利用组合方式1的反演结果，与常规观测百叶箱温度绘制的相关图。

图1表明，a区两者拟合较好，绝大多数点接近中心轴线；b区和c区略次于a区；d区较差，许多点偏离中心轴线较远。这一结论与表3给出的结果是一致的。

· 具体计算是利用连续两个时刻的常规资料插值到卫星探测时刻。

表 3 由实时卫星资料反演地面气温与观测的百叶箱温度的比较

组 合 方 式		1	2	3	4	5	6
60—50°N	No	34	34	34	34	34	34
	AV	2.1	2.81	2.90	3.13	2.90	2.84
	RMS	3.98	3.91	3.84	3.99	3.95	3.77
50—40°N	No	133	133	133	133	133	133
	AV	3.36	3.44	3.31	3.35	3.53	3.39
	RMS	4.75	4.82	4.71	4.63	4.89	4.79
40—30°N	No	158	158	158	158	158	158
	AV	2.56	2.43	2.56	2.50	2.54	2.62
	RMS	3.25	3.13	3.26	3.26	3.24	3.29
30—20°N	No	82	82	82	82	82	82
	AV	2.20	2.24	2.19	2.14	2.21	2.19
	RMS	2.65	2.72	2.69	2.65	2.69	2.64
总 计	No	407	407	407	407	407	407
	AV	2.79	2.75	2.76	2.76	2.83	2.80
	RMS	3.77	3.76	3.75	3.73	3.83	3.78

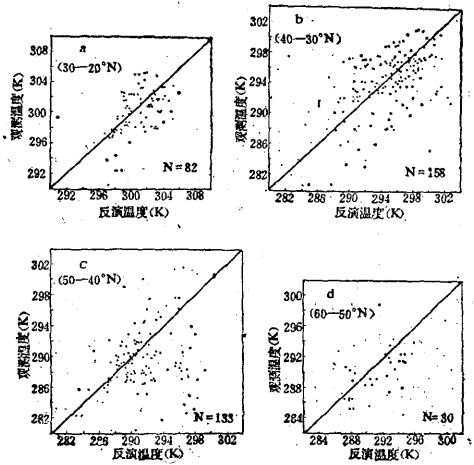


图 1 卫星资料反演与实测百叶箱温度相关图

为了进一步分析中纬度地区偏差较大的原因，我们把 3 天比较结果的平均绝对偏差绘在天气图上 (图 2)。结果发现，我国东部长江中下游平原、华北平原、东北平原及沿海地区，其平均绝对偏差在 2°C 左右，其中大部分地区偏差在 1.5°C 左右。而我国西部的丘陵、山区、青藏高原地区及日本群岛、朝鲜半岛地区偏差一般在 3°C 左右。最大偏差出现在我国的沙漠地区和塔里木盆地的边

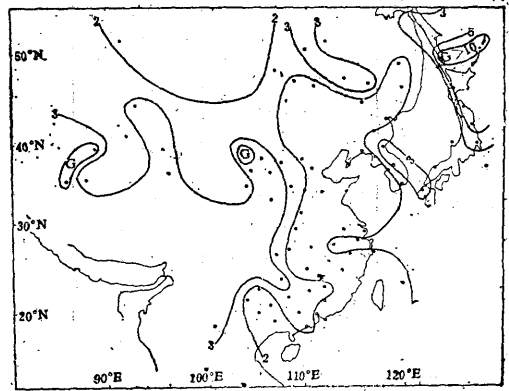


图 2 绝对偏差分布图

G 处为最大偏差出现的区域 ($G \approx 8^{\circ}\text{C}$)

缘地区，日本北海道一带。显然，这是由于地形起伏变化较大而引起的。

为什么在地形复杂的地区会出现如此大的偏差呢？我们认为有以下几个原因：①观测时间不一致。我们使用的常规资料来自北京气象中心，每日只有两个时刻的数据，而卫星观测每日 6 次，即使在匹配时作了时间插值，但二者时间间隔太大，山区局地天气变化较大，这势必导致反演与实测结果有较大偏差。如果每日有 4 次常规观测资料，其

匹配结果必将有所改进。②观测地点不太一致。地面气温的空间变化较大,而我们采用的空间匹配格距为 $\pm 1^\circ$ (约110km),在这么大的范围内,对于崎岖不平的丘陵和山区来说,温度变化可能很大,这是导致偏差较大的主要原因。③选择的一些统计样品缺乏代表性。我们在计算百叶箱温度时,采用了与反演温、湿廓线相同的统计样品数据集。在选择温、湿统计样品时,淘汰了地面气压低于850hPa的样品,因此,对于高原和山区,该样品缺乏代表性。如果能弥补以上不足之处,反演结果将有所改进。

四、结论

综上所述,利用多重线性回归法,由TOVS资料反演地面气温是可行的。TOVS温度探测产品是反演地面气温的一个有用的独立变量。该方法比较简单,计算量小,易于投入业务应用。利用该方法,由NOAA-9 TOVS资料反演与常规观测百叶箱温度的

比较表明:总平均绝对偏差小于 3°C ,低纬度优于高纬度,沿海及平原地区优于其它地区,最大偏差出现在日本北海道一带。该资料尽管高原地区偏差较大,但对于研究当地的天气气候特征仍具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] NOAA Technical Report NESS 83.
- [2] 徐建平、张凤英、董超华,气象卫星垂直探测,气象,1986年第4期。
- [3] 张凤英、马霞麟,利用气象卫星资料反演大气温度廓线的初步试验,气象,1987年第2期。
- [4] 张凤英、马霞麟, Calculation of Updated Coefficients for Atmospheric Temperature Retrieval, Advances in Atmospheric Sciences, Vol. 3, No. 2, 1986.
- [5] P. A. Davis and J. D. Tarpley, Estimation of Shelter Temperature from Operational Satellite Sounding Data, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 22.

A elementary test for retrieving shelter temperature from NOAA-9 sounding data

Zhang Fengying

(Satellite Meteorological Center)

Abstract

This paper presents the method of retrieving shelter (or surface) temperature from TOVS sounding data by using the multiple linear regression technique and shows the results obtained from NOAA-9 TOVS data for three days from Aug. 22 to 24, 1986. Comparisons are made of the retrieved results with the conventional observed shelter temperatures, and shows that the absolute mean bias is about 2.8°C for the entire region ($60-20^\circ\text{N}$, $75-150^\circ\text{E}$).