气象卫星遥感大气对流层顶的研究

赵柏林　王俊红*　朱元竞
（北京大学地球物理系，北京 100871）

关键词　对流层顶高度、气象卫星遥感、反演方法

对流层顶是大气对流层和平流层的交界，在对流层顶上下大气有很大的差异，故而对流层顶在大气环境中有特殊的意义．在通常气象卫星遥感大气温度廓线中，在对流层顶附近有较大的误差．为了提高卫星遥感探测大气对流层顶高度的精度，我们建立了一种新的 TIROS-N TOVS 的反演方法，此方法的效能在实践检验中得到证明．这里的 TIROS-N TOVS 资料反演对流层顶高度的模式是采用统计预报法，优选 TOVS 中 6 个通道的亮温作为预报因子，用统计回归求得预报对流层顶高度的回归方程．本文得到 1 月和 7 月在北纬 20—45°N，每 5° 纬度为一纬度区，各纬度的回归方程，通过检验与探空值比较，平均绝对误差为 0.4km，比通用的预报对流层顶高度方法的误差要小．由于对流层顶高度对于订正对流层顶及其附近的大气参数值有意义，并有助于提高大气温度廓线探测的精度，近年来受到重视．又如大气臭氧总含量和对流层顶高度之间有联系，相关系数为负值．一般在对流层顶高度降低的情况下，臭氧总含量增加．春季时，臭氧总含量和对流层顶高度关系最为密切．而对流层顶高度随纬度升高而降低，大气臭氧总含量却随纬度升高而增加[1-9]．

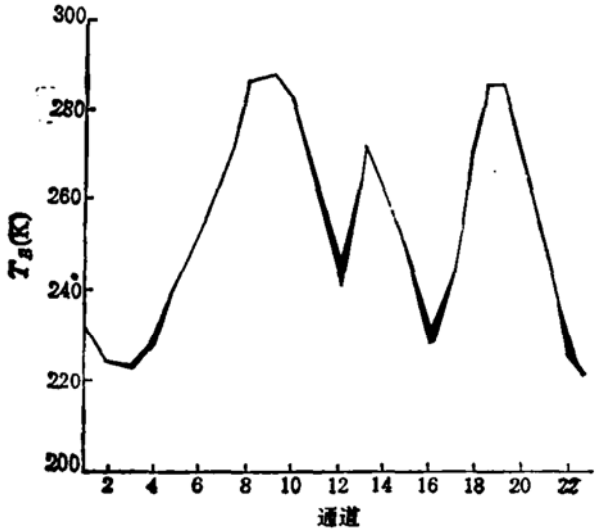

图 1　TOVS 通道对于对流层顶高度变化的响应
1—20 通道为 HIRS-1⟶HIRS-20；21—24 通道为 MSU-2⟶MSU-4

一、预报因子的选取

本文利用 TOVS 卫星资料试图寻找优秀的预报因子．这里选取标准大气温度廓线，改变其对流层顶高度，得到各通道的亮温分布（见图 1）．亮温变化幅度大者为灵敏通道，从图 1 中可以看出 HIRS-3，4，12，16 和 MSU-3 的亮温对对流层高度变化响应较大．由于对流层与臭氧含量关系密切，因此将反演臭氧含量的通道 9 选为预报因子．根据上述，我们选取 HIRS-3，4，9，12，16 和 MSU-3 6 个通道的亮温为预报因子．

1991-07-22 收稿，1992-03-24 收修改稿
* 国家海洋环境预报中心

二、建立反演对流层顶高度的模式

对流层顶高度的表达式为

$$H_{TP} - \bar{H}_{TP} = \sum_{k=1}^{6} A_k (T_{Bk} - \bar{T}_{Bk})$$

或

$$H_{TP} = A_0 + \sum_{k=1}^{6} A_k T_{Bk}, \tag{1}$$

其中 H_{TP} 为对流层顶高度 (m)，A_k 为系数，T_{Bk} 为 k 通道的亮温 (K)，$\bar{H}_{TP}$ 为对流层顶平均高度 (m)，$\bar{T}_{Bk}$ 为 k 通道亮温的平均值 (K)，$A_0 = \bar{H}_{TP} - \sum_{k=1}^{6} A_k \bar{T}_{Bk}$，$k = 1,2,3,4,5,6$ 分别代表通道 HIRS-3,4,9,12,16 和 MSU-3。

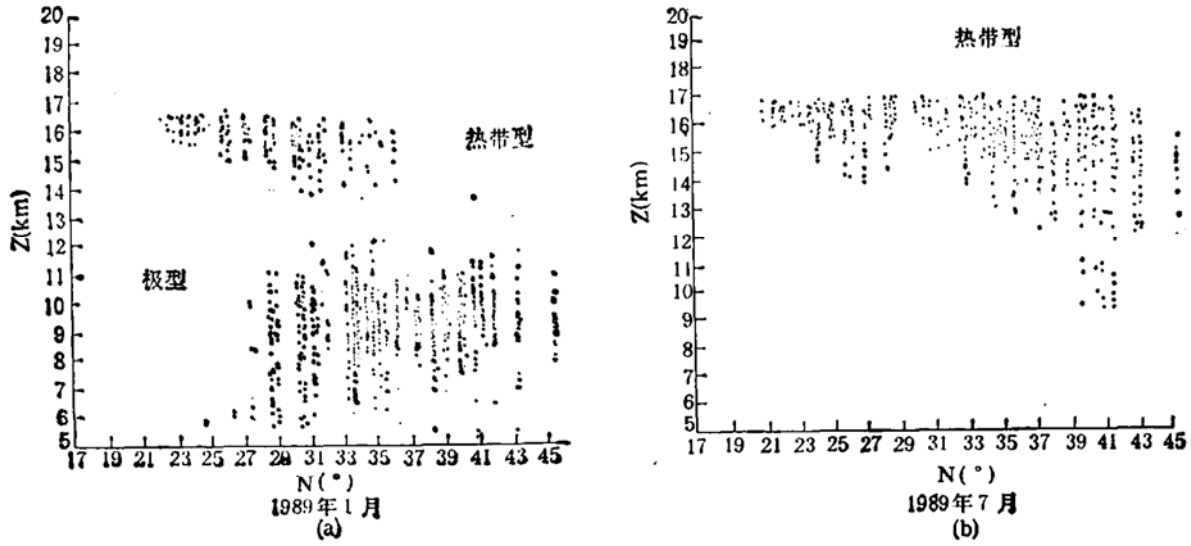

图2 对流层顶高度随纬度的分布

表 1 卫星和探空的观测资料

时 间	类型	N(°)	n	序 号
1989.01	极地	30-45	342	1
		40-35	142	2
		35-40	149	3
		40-45	151	4
1989.01	热带	20-35	199	5
		20-25	60	6
		25-30	78	7
		30-35	61	8
1989.07	热带	20-45	557	9
		20-25	82	10
		25-30	93	11
		30-35	135	12
		35-40	153	13
		40-45	94	14

从东亚地区探空资料分析，对流层顶高度分布，如图 1，在冬季表现明显的热带和极地两种类型，在夏季这两种类型区别不明显．对流层顶随纬度和季节变化，因此求系数 A_k 时应按季节、纬度和对流层顶类型选取观测数据．我们选取了 1 月和 7 月 20—45°N 的卫星观测和探空观测的资料（见表 1）．

以 5° 间隔为一纬度区，1 月的资料分为热带和极地对流层顶两种类型．热带型对流层顶分布在 20—35°N，极地型对流层顶分布在 30—45°N，在二者重叠区以下面判据区分两种对流层顶：高度在 14—17km 间的为热带型对流层顶，在 5—13km 间为极地型对流层顶．7 月为热带型对流层顶的资料，分布在 20—45°N 的纬度上，高度为 13—17km．对流层顶高度 H_{TP} 选自 1989 年的常规探空资料，亮温 T_{Bk} 选自 NOAA-10 卫星观测数据．选用时间匹配的 H_{TP} 和 T_{Bk} 数据，这样可以得到 20—45°N 上不同纬度区上的系数 A_k（见表 2）．表 2 中给出宽纬度带和窄纬度区中系数．

表 2　1 月和 7 月 20—45°N 的系数 A_k 值

序号	类型	N(°)	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
1 01	极地	30—45	20674.90	−75.695	9.516	−0.229	−52.975	53.271	20.308
2		30—35	6402.94	79.126	−181.692	16.804	−16.771	−17.546	139.631
3		35—40	6282.38	−62.814	57.682	−2.838	−60.682	35.885	52.027
4		40—45	43011.46	−374.799	395.200	−36.563	−80.350	17.942	−69.205
5 01	热带	20—35	10334.74	−59.383	−36.940	−8.671	21.662	121.974	−17.069
6		20—25	16125.59	−6.098	−80.680	9.549	8.274	51.871	16.738
7		25—30	−10385.49	13.581	−126.843	4.355	13.096	68.867	144.939
8		30—35	−6848.31	−4.935	−145.402	11.934	34.498	149.843	50.864
9		30—40	−8666.43	−250.845	157.232	−6.308	−12.797	−139.849	350.590
10		20—45	38927.46	−37.480	−4.450	5.974	26.383	−63.247	−28.115
11 07	热带	20—30	−34053.51	−166.233	114.211	−11.929	4.358	−100.275	372.267
12		30—35	−43707.36	−278.688	54.796	13.509	−43.224	54.697	446.444
13		35—40	−41345.75	−174.552	−64.197	14.283	10.772	119.862	332.314
14		30—35	−21017.21	−315.087	−16.031	6.632	24.490	20.232	426.365

三、结果与检验

为了说明 A_k 的可信度，将系数 A_k 代入(1)式计算对流层顶高度与探空记录相比较（见表 3）．两者平均偏差为 0.43km，均方根偏差 0.56km．表 3 中系数是用 1989 年资料导出，我们用 1991 年资料对于(1)式和 A_k 进行检验（见表 4）．用 (1) 式和卫星资料计算对流层顶高度与探空值比较，平均偏差为 0.44km，均方根偏差为 0.66km．检验结果是好的．

四、结束语

利用 TIROS-N TOVS 卫星资料遥感大气对流层顶是行之有效的方法，它可以补充常规资料稀少地区（如海洋、荒漠等）大气环境状况．卫星遥感监测大气对流层顶高度有利于判别对流层顶附近的大气参数，还可以提高大气温度廓线的探测精度．

表 3　对流层顶高度卫星遥感计算值与探空记录的偏差（1989 年资料）

序　号	时　间	类　型	N(°)	平均绝对误差(km)	均方根误差(km)
1	1989.1	极地	30—45	0.562	0.716
2		极地	30—35	0.532	0.697
3		极地	35—40	0.472	0.608
4		极地	40—45	0.484	0.637
5	1989.1	热带	20—35	0.335	0.432
6		热带	20—25	0.156	0.204
7		热带	25—30	0.311	0.390
8		热带	30—35	0.391	0.282
9	1989.7	热带	20—45	0.478	0.595
10		热带	20—25	0.229	0.275
11		热带	25—30	0.374	0.499
12		热带	30—35	0.442	0.544
13		热带	35—40	0.450	0.558
14		热带	40—45	0.533	0.632

表 4　用探空资料检验卫星遥感对流层顶高度预测值（1990 年 1 月）

序　号	时　间	类　型	N(°)	平均绝对误差(km)	均方根误差(km)
1	1990.1	极地	30—45	0.691	0.840
2	1990.1	极地	30—35	0.583	0.696
3	1990.1	极地	35—40	0.646	0.804
4	1990.1	极地	40—45	0.839	1.007
5	1990.1	热带	20—35	0.229	0.303

参　考　文　献

[1] Smith, W. L., Woolf, H. M., Hayden, C. M. et al., *Proc. 2nd Int. TOVS Study Conf.*, Igls Austria, 1985, 224—253.

[2] Chedin, A., Scott, K. A., Wahiche, C. et al., *J. Climate and Appl. Meteorol.*, **24**(1984), 128—143.

[3] Chedin, A., Scott, K. A., *Proc. 1st Int TOVS Study Conf.*, Igls Austria, 1984,14—79.

[4] Susskind, J., Chahine, M. T., *Proc. 1st Int. TOVS Study Conf.*, Igls Austria, 1986, 285—299.

[5] Hayden, C. M., *J. Appl. Meteorol.*, **27**(1988), 705—735.

[6] Westwater, E. R., Sweezy, W. P., McMinin, J. M. et al., *J. Appl. Meteorol.*, **23**(1984), 689—703.

[7] Mutesnu, M. J., Westwater, E. R., Grody, N. C., *Proc. 1st. Int. TOVS Study Conf.*, Igls Austria, 1984, 165—172.

[8] Prate, A. J., *Proc. 1st Int. TOVS Study Conf.*, Igls Austria, 1984, 184—202.

[9] Pedersen, J. P., *Proc. 4th Int. TOVS Study Conf.*, Igls Austria, 1984, 212—225.