

# 陆面温度的反演算法和大气订正的影响\*

汪宏七 赵高祥 王立志  
(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

TP 75.

**摘要** 提出了由卫星辐射测量反演陆面温度的算法,可在不需要预先给定通道的地面比辐射率的情况下,同时确定地面温度和比辐射率.同时,为了了解实际应用这种算法的可能性,在一系列陆面温度反演的模拟试验中,考察分析了在大气温度和湿度廓线有各种不同的误差时大气订正对陆面温度反演精度的影响.结果表明,在大气订正中应用的大气温度和湿度的误差不超过通常由探空和卫星遥感得到的大气温度和湿度的误差时,反演得到的地面温度仍具有较好的精度.在考虑的大多数情况下,均方根误差小于 1K.

**关键词** 陆面温度, 陆面比辐射率, 卫星遥感, 大气影响, 反演算法

大气订正

## RETRIEVAL ALGORITHM FOR LAND SURFACE TEMPERATURE AND EFFECT OF ATMOSPHERIC CORRECTION\*

WANG Hong-Qi ZHAO Gao-Xiang WANG Li-Zhi  
(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract** An algorithm have been presented to retrieve land surface temperature from satellite radiative measurements, without requiring the channel land surface emissivities to be given previously. And by taking different errors in atmospheric temperature and moisture profiles into consideration in retrieval tests of land surface temperature, the atmospheric effect has been investigated, in order to see the possibility for the practical application of the retrieval algorithm. The results show that when the errors in atmospheric temperature and moisture are reasonable as usually could be obtained from radiosonde or satellite retrieval, the land surface temperatures might be determined with acceptable accuracies and the root mean square errors are less than 1K in most cases considered.

**Key words** land surface temperature, land surface emissivity, satellite remote sensing, atmospheric effect, retrieval algorithm.

### 引言

地面温度对气候、水文、生态和生物地球化学的许多研究有重要意义,在农业和其他经济领域中也有重要的应用价值,因而,地面温度的卫星遥感得到了广泛的重视<sup>[1-10]</sup>.由卫星遥感得到地面温度的困难在于:(1)地面温度和比辐射率之间的耦合;(2)大气影响;(3)陆地表面的不均匀性.陆面温度和比辐射率之间的耦合构成了卫星遥感精确确定地面温度的一个严重障碍,这一问题不可能仅仅通过选择适当的遥感通道或增加遥感通道的数目来解决.由于地面比辐射率的光谱变化,在遥感方程组中,未知数的数目总是要多于可以利用的独立的遥感方程的数目,考虑到虽然地面比辐射率随时间而变化,

但这种变化是相当缓慢的,因此,可以假定在 1~2 天的短时间内,地面比辐射率的变化通常可以忽略.基于这一假定,提出了利用 2 个遥感通道在 2 个时间的测量来处理这一耦合问题的二通道算法.对这种反演算法,在不考虑大气影响的情况下,未知数的数目与独立的遥感方程的数目是相等的,因而通常可以得到关于二次测量时地面温度和各通道地面比辐射率的确定的解.但在实际情况下,虽然用于地面温度遥感的通道选在大气红外窗区,如在 8~14 $\mu\text{m}$  窗区的 AVHRR 通道 4 和 5,但大气影响仍是不可忽略的,对任何实际应用的反演算法,必须把大气影响考虑在内.实际上,大气影响构成了由卫星遥感确定地面温度的另一个主要的困难.虽然大气订正也是一个困难问题,但原则上,只要能由探空或卫星遥感得到必

\* 国家自然科学基金(编号:49675248)资助项目  
稿件收到日期 1999-04-14,修改稿收到日期 1999-06-08

\* The project supported by the National Natural Science Foundation of China  
Received 1999-04-14, revised 1999-06-08

要的大气参数就能够进行. 当应用 AVHRR 通道获得地面温度时, 利用同时由卫星遥感提供的大气温度和湿度廓线来进行大气订正是最为方便的. 但是, 由卫星遥感得到的大气温度和湿度总是有误差的, 用以进行大气订正也不可能完全精确, 这将不可避免地最终影响地面温度的反演精度. 由于陆地表面的非均匀性和缺乏足够的对应于卫星视场中各种类型地表的温度实地测量资料, 要用实际卫星测量资料反演得到的地面温度进行验证是困难的. 因此, 通过用这种算法进行地面温度反演的模拟试验, 来考察分析大气订正中所用的大气温度和湿度廓线的不同的误差对地面温度反演精度的影响, 了解实际应用这种反演算法的可能性.

## 1 算法

由辐射传输理论, 卫星红外辐射仪器第  $i$  个通道测量到的大气顶射出辐射强度可简单地表示为

$$I_i = \epsilon_i B_i(T_i) \tau_i + \rho_i \tau_i I_{d,i} + I_{w,i} \quad (1)$$

这里,  $\epsilon_i$  为地面比辐射率,  $\rho_i$  为地面反射率, 在地表为各相同性时,  $\rho_i = 1 - \epsilon_i$ ,  $B_i$  是普朗克辐射强度,  $T_i$  为地面温度,  $\tau_i$  为从地面到卫星的大气路径透过率,  $I_{d,i}$  和  $I_{w,i}$  分别为有效大气向下辐射强度和大气路径向上辐射强度, 下标  $i$  表示相应的量为考虑到  $i$  通道响应函数的加权平均量. 在得到必要的大气参数后, 大气透过率  $\tau_i$ , 大气向下和向上辐射强度  $I_{d,i}$  和  $I_{w,i}$  可以由辐射传输计算确定. 地面向上辐射强度  $I_{u,i}$  可表示为

$$I_{u,i} = \epsilon_i B_i(T_i) + (1 - \epsilon_i) I_{d,i} \quad (2)$$

由测量值  $I_i$  和计算值  $I_{u,i}$  和  $\tau_i$ , 可以由式(1)和(2)计算得到  $I_{d,i}$ , 即  $I_{d,i} = (I_i - I_{u,i}) / \tau_i$ . 式(2)中包含地面比辐射率  $\epsilon_i$  和地面温度  $T_i$  两个未知数, 它们不可能由一个方程同时确定. 地面比辐射率是由地面的物理构成、化学成分、几何形状和植被状态等诸多因素决定的, 这些因素或其中的某一些可随时间而变化, 从而比辐射率也会随之改变. 但地面因素的时间变化通常是比较缓慢的, 在 1~2 天的短时期内, 可以看作不变的, 因而地面比辐射率也是不变的. 基于这样的假定, 地面温度和比辐射率可用 2 个通道在 2 个不同时间的测量来确定.

### 1.1 反演算法

当地面比辐射率在 2 次测量时保持不变,  $\epsilon_{i,j} = \epsilon_i$  ( $i = 1, 2, j = 1, 2$ ), 类似式(2), 地面向上辐射强度可表示为

$$I_{u,i} = \epsilon_i B_i(T_{i,j}) + (1 - \epsilon_i) I_{d,i,j} \quad (3)$$

这里  $i$  表示通道,  $j$  为测量时间. 式(3)所表示的方程组有 4 个独立的方程, 4 个未知数是 2 个地面温度和 2 个通道的比辐射率, 通常可以有唯一的解. 消去通道比

辐射率后, 可得到

$$\alpha_i B_i(T_{i,1}) - B_i(T_{i,2}) + d_i = 0, (i = 1, 2) \quad (4)$$

这里  $\alpha_i = (I_{g,i,2} - I_{d,i,2}) / (I_{g,i,1} - I_{d,i,1})$ ,  $d_i = I_{d,i,2} - \alpha_i I_{d,i,1}$  ( $i = 1, 2$ ). 未知的二次测量时的地面温度  $T_{i,1}$  和  $T_{i,2}$  可用迭代方法确定后, 可由式(3)得到 2 个通道的比辐射率  $\epsilon_i$ .

### 1.2 模拟试验

在用上述的二通道算法进行地面温度反演模拟试验时, 使用 8~14  $\mu\text{m}$  大气红外窗区, 通道中心与 AVHRR 的 4 和 5 通道相当, 分别位于 930.58 和 848.18  $\text{cm}^{-1}$ , 而通道的等效宽度为 20  $\text{cm}^{-1}$  的 2 个通道. 表 1 给出在不考虑大气影响情况下得到的一些结果. 表中不同的地面条件由地面温度  $T_{i,j}$ 、地面比辐射率  $\epsilon_{i,j}$  和 2 次测量时通道的比辐射率之比  $c_i$  ( $c_i = \epsilon_{i,2} / \epsilon_{i,1}$ ) 表示. 不同的大气条件则由向下大气辐射强度与地面普朗克辐射强度之比  $R_{i,j}$  ( $R_{i,j} = I_{d,i,j} / B_i(T_{i,j})$ ) 表示, 下标  $i$  和  $j$  分别表示通道和测量时次. 符号  $\Delta T_{i,j}$  和  $\Delta \epsilon_i$  表示反演得到的地面温度和比辐射率与它们相应的‘真值’之差. 由表 1 可看出: 在二次测量时通道的比辐射率保持不变的情况下, 地面温度和比辐射率可精确得到; 而当比辐射率有变化时 ( $c_1 \neq 1.0$  和/或  $c_2 \neq 1.0$ ), 得到的地面温度和比辐射率就有不同程度的偏差, 随着比辐射率变化增大, 偏差一般也随之增加.

## 2 大气影响

### 2.1 大气影响分析

在上面的反演试验中没有考虑到大气的影响, 而在实际情况下, 大气影响通常是不可忽略的, 对地面温

表 1 用二通道算法反演试验的结果  
Table 1 Results of retrieval tests with the two-channel algorithm

例	1	2	3	4	5
$R_{11}$	0.185	0.385	0.385	0.385	0.385
$R_{21}$	0.230	0.430	0.420	0.420	0.420
$c_1$	1.0	1.0	1.002	1.01	1.012
$T_{1,1}$	290.0	270.0	270.0	270.0	270.0
$\Delta T_{1,1}$	0.00	0.00	-0.20	-0.79	0.91
$\epsilon_1$	0.935	0.975	0.935	0.935	0.935
$\Delta \epsilon_1$	0.000	0.000	0.006	0.023	-0.025
$R_{12}$	0.220	0.420	0.430	0.430	0.430
$R_{22}$	0.300	0.450	0.450	0.450	0.450
$c_2$	1.0	1.0	1.002	1.01	1.010
$T_{2,2}$	320.0	290.0	290.0	290.0	290.0
$\Delta T_{2,2}$	0.00	0.00	-0.14	-0.49	1.41
$\epsilon_2$	0.970	0.930	0.960	0.960	0.960
$\Delta \epsilon_2$	0.000	0.000	0.006	0.022	-0.024

度遥感,通道处在红外窗口区域,大气向下和向上辐射强度  $I_d, I_u$  和大气透过率  $\tau$ , 主要由大气温度和湿度廓线决定,利用同时由卫星遥感反演得到的大气温度和湿度廓线,它们均可由辐射传输计算确定.但是,所用的大气参数通常总是有误差的,从而计算得到的透过率和辐射量  $\tau, I_d$  和  $I_u$  也总是有一定的误差,这将最终影响到地面温度反演的精度.对各相同性地表,由式(1),略去下标  $i$ ,可以得到

$$\Delta I = (B(T_s) - I_d)\Delta\epsilon + \epsilon \frac{\partial B(T_s)}{\partial T} \Delta T + (\epsilon B(T_s) + (1 - \epsilon)I_u)\Delta\tau + (1 - \epsilon)\tau\Delta I_s + \Delta I_s \quad (5)$$

式(5)中,由于  $I$  是在大气顶测量的向上辐射强度,故  $\Delta I=0$ . 因此,为了保持等式成立,相对于它们的真值,地面温度和比辐射率通常就会有偏差  $\Delta T$  和  $\Delta\epsilon$ ,以补偿在向上大气路径辐射强度、向下大气有效辐射强度和大气透过率中的偏差  $\Delta I_s, \Delta I_u$  和  $\Delta\tau$ ,造成的影响.

作为例子,对中纬度夏季(MS)和冬季(MW)模式大气,在地面温度分别为 294.2K 和 272.2K,地面比辐射率给定为 0.90 和 0.98 时,对上述 2 个通道,由大气透过率和辐射强度误差可能造成的地面温度和比辐射率的偏差列于表 2 中.在表 2 中,  $\Delta T_u, \Delta T_d$  和  $\Delta T_s$  表示当  $\Delta I=0$  和  $\Delta\epsilon=0$  时,在向上、向下大气辐射强度和大气透过率分别有 1% 增加的情况下,由式(5)算得相应的地面温度偏差,  $\Delta T$  为它们造成的总的地面温度偏差;  $\Delta\epsilon_u$  和  $\Delta\epsilon_s$  则表示当  $\Delta T=0$  时,在向上、向下大气辐射强度和大气透过率分别增加 1% 的情况下,算得的相应的地面比辐射率偏差;  $\Delta\epsilon$  为它们造成的总的地面比辐射率偏差.表 2 表明,在计算得到的大气向下辐射、大气向上辐射和大气透过率有同样的相对误差时,对不同通道造成的地面温度和比辐射率的偏差是不同的,而大气订正最大的影响则来自计算向上大气路径辐射的误差.表 2 的结果意味着在应用上述的二通道算法进行地面温度反演时,即使实际的通道地面比辐射率在二次测量时保持不变,由于大气订正误差的影响,在式(3)中表现的、或者说等效的地面比辐射率将不再满足这样的假设,从而,反演的地面温度和比辐射率将不可避免地会有误差.

2.2 地面温度反演试验

在利用上述算法进行一系列地面温度反演的模拟试验中,通过考虑在大气订正时利用的大气温度和湿度廓线中有各种不同的误差,来考察大气订正误差对地面温度反演精度的影响.在地面温度和比辐射率的反演中,用了 480 组模拟测量资料,根据大气温度廓线中的随机误差  $\Delta T$  和湿度廓线中的随机相对误差  $\Delta W$ ,

表 2 大气向上路径辐射强度、大气向下有效辐射强度和大气透过率有 1% 偏差可能造成的地面温度和比辐射率偏差

Table 2 Effects of 1% deviations in atmospheric upgoing path radiance, effective downward radiance and transmittance on land surface temperature and emissivity

大气通道	MS		MW	
	930.58cm <sup>-1</sup>	848.18cm <sup>-1</sup>	930.58cm <sup>-1</sup>	848.18cm <sup>-1</sup>
	$\epsilon_s = 0.90$			
$\Delta T_u$ (K)	-0.179	-0.263	-0.080	-0.051
$\Delta T_d$ (K)	-0.044	-0.032	-0.014	-0.011
$\Delta T_s$ (K)	-0.030	-0.018	-0.012	-0.002
$\Delta T$ (K)	-0.553	-0.312	-0.083	-0.067
$\Delta\epsilon_u$	-0.0114	-0.0067	-0.0015	-0.0011
$\Delta\epsilon_d$	0.0013	-0.0008	-0.0003	-0.0002
$\Delta\epsilon_s$	-0.0009	-0.0005	-0.0002	-0.0003
$\Delta\epsilon$	-0.0166	-0.0070	-0.0016	-0.0013
	$\epsilon_s = 0.98$			
$\Delta T_u$ (K)	-0.110	-0.211	-0.071	-0.050
$\Delta T_d$ (K)	-0.008	-0.006	-0.003	0.002
$\Delta T_s$ (K)	0.073	0.070	-0.062	-0.071
$\Delta T$ (K)	-0.521	-0.317	-0.119	-0.123
$\Delta\epsilon_u$	-0.0111	-0.0067	0.0015	-0.0011
$\Delta\epsilon_d$	-0.0003	-0.0002	-0.0004	-0.0003
$\Delta\epsilon_s$	-0.0024	-0.0019	0.0011	-0.0016
$\Delta\epsilon$	-0.0171	-0.0088	0.0024	-0.0027

它们被划分成 8 类,每一类包括 60 组测量.表 3 列出了这 8 类大气温度和湿度误差的情况,表中的 'L' 表示类型,  $\Delta T$  和  $\Delta W$  为大气温度和湿度误差的变化范围,  $rmseT$  和  $rmseW$  分别为大气温度和湿度的均方根误差.表 3 还给出了在各种不同的大气温度和湿度误差的情况下,由各自的 60 组测量,计算得到的 930.58 和 848.18cm<sup>-1</sup> 通道的大气向下辐射强度、向上路径辐射强度和透过率的均方根相对误差  $rmseI_d, rmseI_u$  和  $rmse\tau$ , 以及在实际的地面温度时,由于计算得到的大气辐射强度和透过率有误差,造成的表观的通道地面比辐射率相对于它们的'真值'的均方根误差 ( $rmse\epsilon_s$ ).

在第 6 类大气温度和湿度误差的情况下,对 60 组测量,计算得到的 2 个通道的大气向下辐射强度、向上路径辐射强度和透过率的均方根相对误差分别为 2.85%, 3.13% 和 1.67%, 由此造成在实际地面温度时通道的表观比辐射率相对它们的'真值'的均方根偏差为 0.0057. 这时反演得到的地面温度偏差列于表 4,  $rmseT$  和  $\Delta T_{max}$  为地面温度的均方根误差和极大偏差,分别等于 0.97K 和 -2.69K. 当大气的温度和湿度系统地高于它们的实际值时,大气中各层温度的随机偏差  $\Delta T$  在 0.0~3.0K 之间,湿度的随机相对偏差  $\Delta W$  在 0~30% 之间,如表 3 中第 8 类的情况.虽然这

时大气温度和湿度的均方根偏差与第 6 类时相同,分别为  $rmseT=1.76K$  和  $rmseW=17.64\%$ ,但在大气订正中,计算得到的在大气向下辐射强度、向上大气路径辐射强度和透过率的误差,以及由此造成的通道的表观比辐射率的偏差都明显增大,相应的均方根相对误差分别为  $11.98\%$ 、 $13.45\%$ 、 $6.44\%$  和  $0.0219\%$ ,这时反演得到的地面温度的偏差列于表 5,均方根误差和极大偏差也明显增加,分别为  $1.31K$  和  $-3.41K$ 。图

1 给出了在考虑的所有 8 种不同的大气温度和湿度误差的情况(用 'L' 表示)下,用上述的二通道算法反演得到的 960 个地面温度的偏差, $rmseT_i$  和  $\Delta T_{smax}$  分别为不同大气温度和湿度误差时反演得到的地面温度和均方根误差和极大偏差。对全部 480 组测量,反演得到的  $rmse\epsilon_s$ 、 $rmseT_i$  和  $\Delta T_{smax}$  则分别为  $0.0176$ 、 $0.99K$  和  $-3.41K$ 。作为比较,如果把通道的地面比辐射率看作已知,取为  $\epsilon_s=0.96$ ,则对同样的 480 组测量,

表 3 在地面温度反演中考虑的 8 类不同的大气温度和湿度误差

Table 3 The eight groups of different errors in atmospheric temperature and moisture profiles considered in land surface temperature and emissivity determination

L	$\Delta T(K)$	$\Delta W(\%)$	$rmseT$	$rmseW$	$rmse\epsilon_s$	$rmse\epsilon_d$	$rmse\epsilon_r$	( $rmse\epsilon_s$ ) <sub>0</sub>
1	(-1.0,1.0)	(-5.0,5.0)	0.59K	2.91%	0.54%	0.51%	0.25%	0.0011
2	(-1.0,1.0)	(-10.0,10.0)	0.59K	5.88%	1.01%	0.92%	0.50%	0.0018
3	(-2.0,2.0)	(-10.0,10.0)	1.17K	5.88%	1.08%	1.03%	0.50%	0.0023
4	(-2.0,2.0)	(-15.0,15.0)	1.17K	8.82%	1.56%	1.45%	0.79%	0.0028
5	(-2.5,2.5)	(-20.0,20.0)	1.17K	11.76%	2.09%	1.93%	1.07%	0.0037
6	(-3.0,3.0)	(-30.0,30.0)	1.76K	17.64%	3.13%	2.85%	1.67%	0.0057
7	(-2.0,0.0)	(-20.0,0.0)	1.17K	11.76%	8.53%	7.79%	4.36%	0.0142
8	(-0.0,3.0)	(-0.0,30.0)	1.76K	17.61%	13.15%	11.98%	6.44%	0.0219

表 4 在第 6 类大气温度和湿度误差的情况下,对 60 组测量反演得到的地面温度偏差

Table 4 Deviations of land surface temperatures retrieved with the two-channel algorithm taking the errors of atmospheric temperature and moisture shown in group 6 into consideration

$\Delta T_i$											
-1.41	-.928	-1.52	-.356	-.718	.195	-.613	1.17	1.21	.649	-.909	-.113
-.801	-.724	-1.46	-.632	-.636	.151	-.612	1.02	1.15	.876	-.104	-.023
-.900	-.890	-2.69	-.838	-.725	-.120	-.534	.487	.382	.512	-1.68	-.295
-.635	-.606	-2.29	-1.04	-.620	-.107	-.599	.543	.651	.883	-.181	.016
-1.95	-1.01	-1.45	-.177	-1.20	.360	-.838	1.10	.797	.706	-.862	-.009
-1.03	-.723	-1.40	-.016	-1.11	.938	-.100	.941	.815	.737	-.104	-.072
-1.09	-1.66	-1.69	-1.03	.120	-.172	.072	.603	.717	.460	-1.96	-.396
-1.80	-1.79	-1.56	-1.22	.134	-.175	.053	.132	.751	.757	-2.20	-.181
-.103	-1.11	-1.55	-.043	-.011	.582	.139	.644	.095	.704	-1.25	-.112
-0.886	-.777	-1.40	-.136	.033	.566	-1.71	.464	.229	.825	-1.46	-0.24
$rmseT_i=0.97K$						$\Delta T_{i,max}=2.69K$					

表 5 在第 8 类所示的情况下大气温度和湿度误差如对 60 组测量反演得到的地面温度偏差

Table 5 Deviations of land surface temperatures retrieved with the two-channel algorithm taking the errors of atmospheric temperature and moisture shown in group 8 into consideration

$\Delta T_i(K)$											
-2.87	-0.699	-1.44	0.424	0.207	0.724	-1.03	0.919	2.04	1.73	-0.595	1.30
1.44	2.50	-0.742	-0.123	0.349	0.668	-1.99	2.07	2.34	1.88	-0.590	1.54
-2.57	-0.592	-1.45	0.500	0.205	0.773	-0.706	1.02	2.05	1.82	-0.620	1.35
1.09	1.96	-0.065	-0.065	0.303	0.663	-1.63	1.84	2.25	1.90	-0.678	1.45
-2.17	-0.483	-1.53	0.363	0.204	0.667	-0.623	1.04	1.71	1.46	-0.674	1.23
-0.170	0.644	-1.20	-0.060	0.288	0.580	-1.09	1.36	1.77	1.41	-0.786	1.25
-3.41	-0.810	-0.592	0.676	0.212	0.899	-1.06	0.932	1.25	1.41	-0.510	1.52
-0.602	0.653	-0.631	-0.103	0.268	0.531	-1.29	1.25	1.10	1.08	-0.760	1.21
-3.24	-0.690	-1.33	0.703	0.214	0.927	-0.882	1.02	2.16	1.97	-0.520	1.53
1.09	1.54	-0.939	-0.065	0.303	0.745	-1.63	1.84	2.25	1.90	-0.649	1.45
$rmseT_i=1.31K$						$\Delta T_{i,max}=-3.41K$					

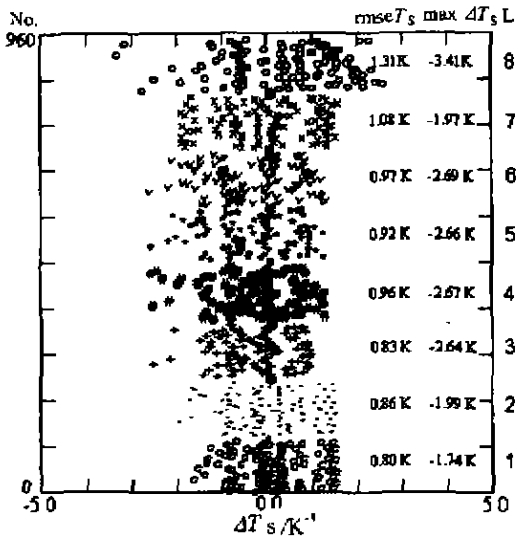


图 1 在大气温度和水汽廓线有不同误差的情况下,对 180 组测量用二通道算法反演得到的地面温度的偏差

Fig. 1 Deviations of land surface temperatures retrieved with a two-channel algorithm for 180 pairs of cases with different errors in atmospheric temperature and moisture profiles

$$\text{rmse } T_s = 0.99\text{K}, \Delta T_s \text{ max} = -3.11\text{K},$$

地面温度反演的误差要明显增大,相应的 3 个量分别为 0.0316、1.38K 和 -4.68K。

在上面的地面温度反演中,各通道的地面比辐射率在 2 次测量时假定没有变化,若没有大气订正误差,地面温度可精确确定,因此,表 4、5 和图 1 中的地面温度偏差表明大气对地面温度反演的影响,由于大气影响,即使通道的地面比辐射率不随时间变化,地面温度和比辐射率也不可能完全精确确定,但只要用于辐射传输计算的大气温度和湿度的误差不是很大,反演的地面温度仍相当好的精度。

### 3 结语

由大气红外窗区通道的卫星辐射测量精确确定地面温度的主要困难是地面温度与比辐射率的耦合、大气影响和地表的不均匀性这 3 个因素,我们提出的双时相二通道反演算法可以有效地处理地面温度和比辐射率之间的耦合问题。对于大气的影 响,模拟试验表明,只要在大气订正中应用的大气温度和湿度的误差是在它们的真值附近随机分布并有足够好的精度,则可用这种反演算法得到相当精确的地面温度。而当应用的大气温度和湿度的偏差大小虽然有随机性,但系统地低于或高于它们的真值,则可较为严重地影响到

地面温度反演的精度。通常,由卫星遥感得到的大气温度和湿度廓线的误差具有在它们的真值附近随机分布的性质,因此,利用卫星遥感得到的大气温度和湿度廓线进行大气订正,将不会严重影响到用上述方法反演地面温度的精度。

### REFERENCES

- [1] Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA-7 AVHRR, *J. Geophys. Res.*, 1984, **79**: 5039--5044
- [2] Becker F. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite, *Int. J. Remote Sens.*, 1987, **8**: 1509--1522
- [3] Cooper D I, Asrar G. Evaluating atmospheric correction models for retrieving surface temperatures from the AVHRR over a tall grass prairie, *Remote Sens. Environ.*, 1989, **27**: 93--102
- [4] Becker F, Li Z-L. Toward a local split window method over land surfaces, *Int. J. Remote Sens.*, 1990, **3**: 369--393
- [5] Sovrino J A, Coll C, Caselles V. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5, *Remote Sens. Environ.*, 1991, **38**: 19--31
- [6] Vidal A. Atmospheric and emissivity correction of land surface measured from satellite using ground measurements or satellite data, *Int. J. Remote Sens.*, 1991, **12**: 2449--2460
- [7] Kerr Y H, Lagouarde J P, Imbernon J. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm, *Remote Sens. Environ.*, 1992, **41**: 197--209
- [8] Otlle C, Vidal-Madjar D. Estimation of land surface temperature with NOAA 9 data, *Remote Sens. Environ.*, 1992, **40**: 27--41
- [9] Otlle C, Stoll M P. Effect of atmospheric absorption and surface emissivity on the determination of land temperature from infrared satellite data, *Int. J. remote Sens.*, 1993, **14**: 2025--2037
- [10] Prata A J. Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer 1. theory, *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**(D9): 16689--16702
- [11] Bardussi A, Pippi I. Temperature and emissivity retrieval from remotely sensed images using the 'gray body emissivity' method, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1996, **34**: 681--695
- [12] Francois C, Otlle C. Atmospheric correction in the thermal infrared: global and water vapor dependent split window algorithms-application to ATSR and AVRR data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1996, **34**: 457--469
- [13] Wan Z M, Dozier J. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1996, **34**: 892--905