

文章编号: 1007-4619(2004) 05-0397-07

神舟四号飞船微波辐射计定标和检验(I)

——微波辐射计外定标

王振占¹, 李 芸²

(1 中国科学院 空间科学与应用研究中心, 北京 100080; 2 国家海洋技术中心, 天津 300111)

摘 要: 文中针对神舟四号飞船辐射计(RAD)的在轨定标特点, 提出一种替代外定标方案, 即利用地球表面典型地物的微波辐射对 RAD 的不同通道重新进行定标。选取了全球大洋开阔海域的浮标、星载微波辐射计产品和小岛上气象探空数据, 通过理论计算得出的亮温作为辐射计测量的低端。利用南美洲热带雨林亮温作为高端, 重新给出了 RAD 定标方程。同时, 为了确定定标的效果, 分别与国外星载微波辐射计相同或相近通道的亮温进行了比较。另外还结合南海地面配合试验的测量结果对辐射计定标数据进行了分析。

关键词: 神舟四号飞船; 微波辐射计; 外定标

中图分类号: TP702 **文献标识码:** A

1 神舟四号微波辐射计定标的技术特点简介

神舟四号微波辐射计(RAD)是一个多波段被动微波传感器, 用来测量海洋、大气和陆地表面的地球物理参数。RAD 共 5 个频率 8 通道, 分别为 6.6, 13.9, 19.35, 23.8 和 37GHz。13.9 和 23.8GHz 为垂直极化, 其他频率为水平和垂直两个正交极化。其中, 13.9GHz 辐射计和散射计共用双抛物面天线, 扫描成像。其他波段使用一个共馈源、偏置抛物面天线, 以固定入射方位角观测、不成像。表 1 列出了它的主要技术指标。

RAD 采用全功率计算机周期校准方案, 利用计算机控制对接收机系统增益波动进行自动补偿。RAD 发射前在实验室和现场分别进行了整机定标。定标采用两点定标; 高端采用常温下的微波定标黑体, 低端是在定标黑体内注满液氮。通过测量 RAD 系统对于这两个端点的响应来确定不同波段和不同

表 1 RAD 的主要技术指标

Table 1 The main specifications of RAD

频率/ GHz	6.6	19.35	23.8	37	13.9
天线类型	偏置抛物面				双抛物面天线
天线尺寸/ mm	760				600
视场角/(°)	5.30	1.81	1.57	0.94	2.60
天线主瓣效率/ %	85	86	86	88	89
天线效率/ %	89.125				
地面像元尺寸/(km× km) (以 343km 为基准)	32	11	8	6	16
带宽/ MHz	400	400	400	400	400
积分时间/ ms	100	100	100	100	100
局部入射角/(°) (以 343km 为基准)	42.6				39.4

极化的定标方程。由于 RAD 在轨运行期间没有实时两点定标, 发射前现场定标的方程不能反应发射后在轨运行时各个通道的响应特性。在图 1 中我们

收稿日期: 2003-07-03; 修订日期: 2003-10-21

基金项目: 国家重点项目“神舟四号微波辐射计定标、检验、评价”项目资助。

作者简介: 王振占(1969—), 男, 1994年毕业于南开大学计算机系。1996年8月攻读国家海洋技术中心近海工程专业微波遥感方向, 获工学硕士学位, 在读博士。主要研究方向: 被动微波遥感技术在海洋上的应用, 其中包括星载微波辐射计辐射校正方法研究、现场测试技术和方法研究、海洋和大气水文气象参数反演算法研究等。至今有 10 余篇论文发表。E-mail: wzz_stone@yahoo.com.

给出第 571 轨 RAD 定标前后数据的比较。可以看出,在没有重新定标以前,6.6GHz 垂直极化的亮温明显偏高,在陆地部分(图 1 中的高温段数据点)的亮温甚至达到了 320K 以上,这在自然物体表面是罕见的。另外海洋表面(图 1 中低温段数据点)的亮温明显偏高。我们知道,在 6.6GHz 频率,大气是非常透明的,海洋上亮温主要来自海洋表面的贡献。而

海面亮温等于表面海水的物理温度乘以海水的发射率。在这个频率上垂直极化海水的发射率最大在 0.5 左右,如果对于物理温度为 300K 的海水来讲,其亮温也就在 150—160K 范围。在图 2 中比较了定标前后 19.35GHz 水平极化的差异。我们发现,定标前除了海面亮温偏高很多外,海洋和陆地的动态范围差异很小。

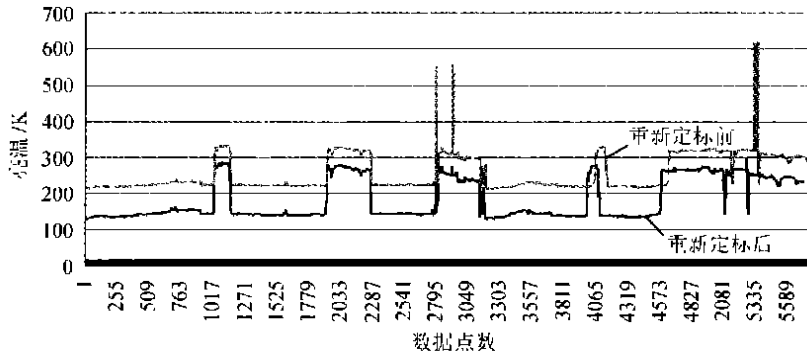


图 1 RAD 定标前后 6.6GHz 垂直极化的亮温差异比较(571 轨)

Fig. 1 Comparing RAD measurements of the orbit 571 with the calibrated brightness temperatures at 6.6GHz, vertical polarization(571)

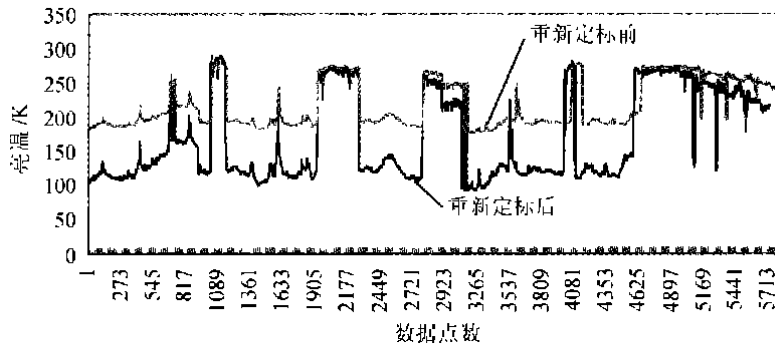


图 2 RAD 定标前后 19.35GHz 水平极化的亮温差异比较(571 轨)

Fig. 2 The differences of brightness temperatures at 19.35GHz pre-calibrated and post-calibrated(571)

2 RAD 替代定标方法

RAD 重新定标的方法(或者称为替代定标)基于两点定标的思想,也就是在地球表面 RAD 测量范围内,寻找两个已知亮温的典型地物目标,一个代表 RAD 测量的高端,一个代表测量的低端,假设 RAD 的线性响应不发生改变,通过这两个点的直线就是 RAD 在测量过程中的定标方程。我们选择的高端为南美洲的热带雨林地区,而低端为大洋的海水表

面。

RAD 主瓣接收到的亮温可以分解表示为:

$$T_B(\mu) = T_{BU}(\mu) + \tau(0, \infty) \left[\epsilon_p T_s + (1 - \epsilon_p) T_{BD}(\mu) \right] \quad (1)$$

其中, ϵ_p 是在极化方式 p 下的表面发射率, T_s 是表面热力学温度。 $\mu = \cos\theta$ 。 T_{BD} 为下行大气亮温, T_{BC} 是宇宙背景亮温 2.7K, T_{BU} 为大气顶部观测到的上行大气亮温的贡献, τ 是大气透过率。

我们使用 TRMM 卫星上的微波辐射计 TMI 的全球海洋地物参数产品海面温度、海面风速、大气水

汽含量、云中液态水含量, 通过搜寻 RAD 与 TMI 在 $\pm 0.5^\circ$ (经度/纬度) 范围内的同步点。这些亮温点全部位于开阔的大洋海域, 没有陆地的影响。利用微波辐射传输方程, 得到对应的不同极化和入射角下 RAD 的亮温。海面发射率模式使用 Lojou^[1] 模式, 其中包括泡沫的影响。平静海面的微波辐射可以由 Fresnel 方程计算。它是海水介电常数和入射角的函数, 而介电常数又是海水温度和盐度的函数。我们使用 Wentz^[2] 在为 EOS PM-1 微波辐射计 AMSR 开发的介电常数算法。

高温定标点适用南美洲亚马逊 (Amazon) 雨林的亮温。由于这个雨林地区微波辐射特性变化相对很小。通过 RAD 和 SSM/I 比较, 我们选择共同经过的相对稳定的区域作为定标区。由于 RAD 和 SSM/I 有共同的频率 19.35GHz 和 37GHz, 而 SSM/I 的 22.235GHz 和 RAD 的 23.8GHz 在雨林地区的特性非常接近。这样可以通过对入射角的修正来得到这些

波段的亮温。而不同入射角的大气影响可以通过大气的微波辐射传输计算得到。对于 6.6GHz 和 13.9GHz, 当然也可以包括所有其它频段, 它们的微波辐射亮温可以通过直接的理论计算得到: 假设亚马逊雨林在这些频率的微波辐射特性为黑体, 那么如果知道黑体的物理温度和上面的大气状况, 我们就可以计算不同频率的亮温。

为了计算雨林的亮温, 我们还不能简单假设雨林为完全黑体, 这里使用 Hollinger^[3] 的关于亚马逊雨林发射率的算法:

$$\epsilon = 1 - \frac{r}{8} \left(\frac{1 + 2 \cos \theta_0}{\cos \theta_0} \right) \quad (2)$$

其中 r 为常数, 当水汽含量为 55mm, 表面温度为 29℃ 时, $r = 0.2$ 。考虑到试验期间温度差异, 我们取 $r = 0.15$ 。表 2 中给出 2003-02-02 (只有 13.9GHz 数据为 2003-02-04 的) 亚马逊雨林地区 RAD 测量结果、计算结果和 SSM/I 测量结果的比较。

表 2 亚马逊雨林地区 RAD 测量结果、计算结果和 SSM/I 测量结果的比较

Table 2 Comparison of calculated Amazon Rain Forest brightness temperatures with those from RAD and SSM/I

频率/GHz	T_B (由发射前方程得出)/K	T_B (计算的结果)/K	T_B (SSM/I)/K	备注	
6.6	V	320.2006	278.3995	RAD 测量时间为 2003-02-02 3:28UTC, 而探空测量的时间为: 2003-02-02 0:00UTC	
	H	315.3983	278.3995		
19.35	V	302.6786	283.2610		
	H	270.2246	283.2610		
23.8	V	321.3376	288.7187		
37	V	259.0047	283.8535		
	H	231.2999	283.8535		
13.9	V	676.5958	279.9431		RAD 测量时间为 15:37UTC, 而探空测量的时间为: 12:00UTC

注: V 表示垂直极化, H 表示水平极化。UTC 为世界协调时。

表 3 新定标方程系数 a, b 的值

Table 3 Coefficients of new calibration equations

频率/GHz		a	b
6.6	V	0.1799	-95.6171
	H	0.1754	-76.8721
13.9	V	0.0987	-92.6461
19.35	V	0.3057	-360.5731
	H	0.3106	-315.1845
23.8	V	0.1057	16.7992
37	V	0.1104	89.2568
	H	0.1450	37.0598

3 定标结果及其分析

我们最后使用 252 个 NDBC 海面浮标数据、大洋中小岛上的气象探空数据同步点和 8 个雨林空间同步点等进行理论亮温计算。然后建立定标直线方程 $T = a * V + b$, 系数见表 3。

我们对 RAD 数据重新进行分析, 以发现天线旁瓣和自身辐射的影响。发射后天线主瓣亮温可以简单地表示为:

$$T_{BM} = a * V + b * T_{BS} + c * T_{ant} + c_0 \quad (3)$$

上述方程中, V , T_{BS} , T_{ant} 是变量。其中 T_{BM} 和 V 是主要成分, T_{BS} , T_{ant} 是干扰因素, 与天线主瓣效率和辐射效率有关。研究表明, T_{BS} 随纬度的变化而变化。天线温度 T_{ant} 受太阳照射和天线自身的反射率影响。

我们经过分析发现, 使用上述直线方程定标 6. 6V, 6. 6H, 19. 35V, 19. 35H, 23. 8V 5 个通道效果很好, 而 13. 9V, 37V, 37H 3 个通道的定标效果不理想, 尤其是 37GHz 水平极化, 定标方程不足以反应系统的响应变化。对 6. 6V, 6. 6H, 37V, 37H 4 个通道, 海面数据点决定的直线的斜率与用海洋结合雨林高温点决定的直线的斜率不同。当使用满足海面线性的方程来产生高温的亮温时, 这个亮温比预计测量的亮温低。这表明可能有其它信号进入天线。根据前面的分析, 至少包括 T_{BS} , T_{ant} 干扰。由于陆地和海洋上的 T_{BS} 不同, 致使在原来的线性关系上叠加了 $b * T_{BS} + c * T_{ant}$ 一项。另外, 数据的离散现象可能是由于模式误差、测量误差、天线自身辐射的昼夜变化等影响引起的。由于辐射计数据文件中没有天线温度的实时测量值, 而天线主瓣效率和辐射效率在仪器上天前没有经过现场测试, 所以这制约着我们进一步分析。

我们分析数据拟合的残差 ΔT_B 发现: ΔT_B 与纬度变化有一定的关系。在南纬 10° 附近最大, 然后向两侧减小。这可能是由于季节和太阳高度角引起的地球表面温度的差异引起的。但是 ΔT_B 与经度没有明显的关系。另外 6. 6GHz 的 ΔT_B 随着测量时间 0—24UTC 变化有减小的趋势, 其它频率没有明显的这个迹象。当然我们的数据点有限, 这些关系不一定具有代表性。由于没有实时的星上两点定标, 另外天线的技术指标在发射前没有全面确定, 所以我们没有对这个残差做进一步分析。

为了确定重新产生的 RAD 定标方程的精度和效果, 我们对调整后的 RAD 亮温与 SSM/I, AMSR 和我们在 2003 年初在南海进行的同步测量的亮温进行了比较。

3.1 亚马逊雨林 RAD 与 SSM/I 亮温的比较

由于不同频率、不同极化、不同入射角的微波辐射计对于不同表面特性反应不同, 所以我们初步比较了 2003-01-04 在亚马逊雨林地区 RAD 和 SSM/I 的 19. 35 和 37GHz 的亮温。选取的数据点为 196 个。虽然 RAD 的 23. 8GHz 与 SSM/I 的 22. 235GHz 存在差异, 但是我们同时也给出相应结果。从图 1 可以看出, 所有通道反应特性相同, 一致性非常好。

均方根误差 (RMS) 小于 7K。而后 3 个通道的均方根误差不大于 4K。需要说明的是, 二者过境的时间不同。表 4 中所列数据的前二行是 196 个数据的平均值。

表 4 亚马逊雨林地区 RAD 和 SSM/I 的亮温比较

Table 4 Comparison of Amazon Rain Forest brightness temperatures from RAD and those from SSM/I

f/GHz	19. 35V	19. 35H	22. 2V(23. 8V)	37V	37H
RAD/K	282. 5566	282. 3004	288. 9563	283. 5305	283. 6277
(SSM/I)/K	288. 6851	287. 8592	288. 0401	283. 8336	284. 0025
RMS/K	6. 822647	6. 562186	2. 418401	4. 051834	3. 206567

3.2 海洋上 RAD 与 SSM/I 亮温变化趋势的比较

我们在全球大洋上选择 788 个开阔海域点, 范围囊括神舟四号飞船经过的所有海域。我们比较了 2003-02-02—02-08 期间所有经过这些点的 RAD 和 SSM/I 的 19. 35GHz 水平和垂直极化、37GHz 水平和垂直极化的亮温。另外, 我们还比较了 RAD 23. 8GHz 和 SSM/I 22. 235 GHz 的亮温。

图 3(a) 是 RAD 和 SSM/I 的 19. 35GHz 水平和垂直极化亮温的比较。其中, RAD 和 SSM/I 的 19. 35GHz 水平极化亮温的相关系数为 0. 744, 而垂直极化的相关系数为 0. 601。图 3(b) 是 RAD 和 SSM/I 的 37GHz 水平和垂直极化亮温的比较。RAD 和 SSM/I 的 37GHz 水平极化亮温的相关系数为 0. 320, 而垂直极化的相关系数为 0. 285。虽然相关性较差, 但是由于 RAD 和 SSM/I 的入射角差异约为 11° , 而且二者的轨道差异导致入射路径有很大不同, 因此使得对于 37GHz 这样分辨率较高、对云敏感的频率亮温差异较大。同时, 为了说明 RAD 23. 8GHz 的性能, 我们比较了这个通道与 SSM/I 22. 235GHz 的亮温, 如图 3(c)。我们发现这两个亮温的相关系数高达 0. 870。

3.3 RAD 亮温与现场微波辐射计测量结果比较

为了对发射后 RAD 性能进行检验, 在 2002 年底到 2003 年 1 月, 在南海进行了地面配合试验。我们使用 5 个频率微波辐射计 (MR), 6. 6GHz, 13. 9GHz, 19. 35GHz, 22. 235GHz 和 37GHz, 通过旋转喇叭天线来实现极化方式的切换改变。在地面配合试验期间, RAD 共有 4 次过境。由于 RAD 的 13. 9GHz 性能不稳定^[4], 平台上的 13. 9GHz 又受到严重干扰, 所以我们这里没有进行这个频率的比较。

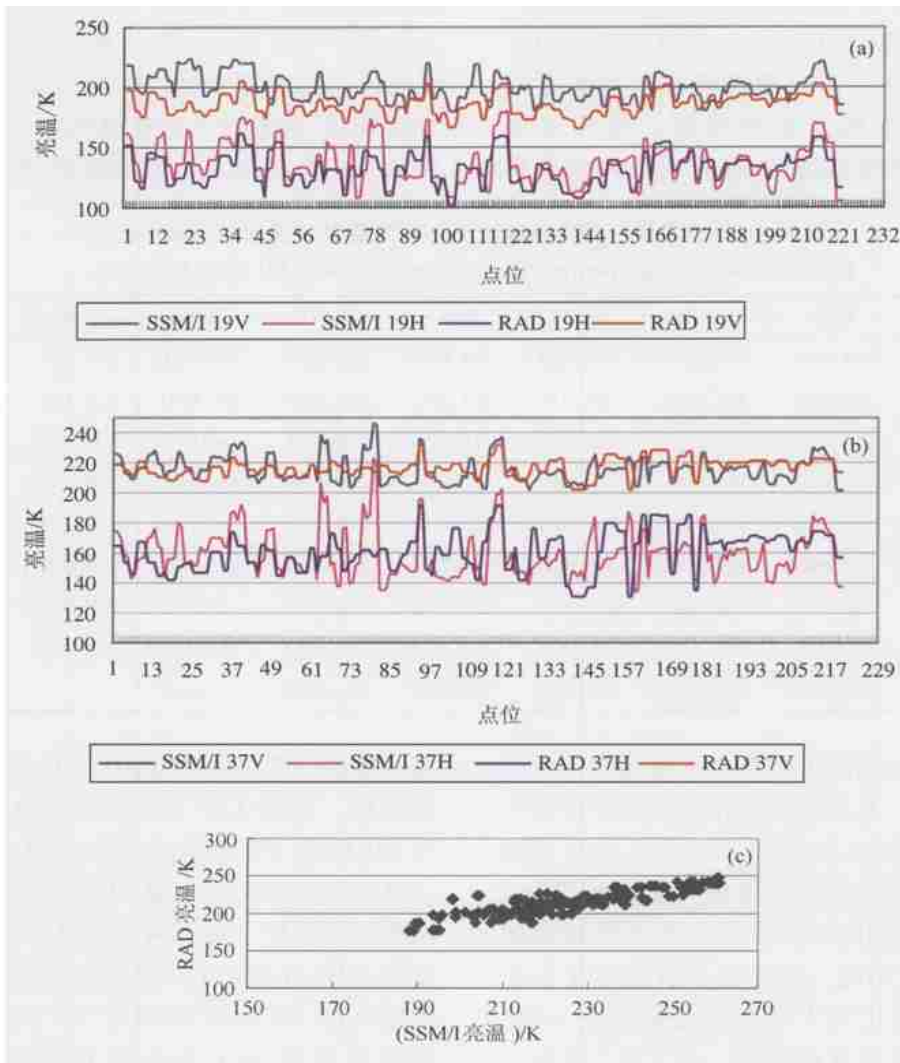


图 3 (a) RAD 和 SSM/I 的 19.35GHz 水平和垂直极化亮温的比较;
 (b) RAD 和 SSM/I 的 37GHz 水平和垂直极化亮温的比较
 (c) RAD 23.8GHz 与 SSM/I 22.235GHz 的亮温的比较

Fig 3 (a) The 19.35GHz brightness temperatures comparisons of RAD and SSM/I;
 (b) The 37GHz brightness temperatures comparisons of RAD and SSM/I
 (c) The brightness temperatures comparisons of RAD
 23.8GHz and SSM/I 22.235GHz

平台测量结果是用现场测量数据, 经过大气的辐射校正^[3]上推到飞船高度得到最后的亮温值。

在进行大气修正时, 我们使用香港 2003 年 2 月 2 日、4 日、6 日和 8 日早晨 8:00 的气象探空数据, 应用 Liebe^[5] 大气模式, 计算大气的透过率和上行大气亮温。另外为了比较, 我们还利用 Ulaby^[6] 大气模式进行比较, 我们发现这两个模式, 在 6.6GHz, 大气透过率的差异为 0.0005, 而对应的上行大气亮温的差异为 -0.11K。19.35GHz, 大气透过率的差异为 -0.01155, 而对应的上行大气亮温的差异为 3.43K。22.235GHz, 大气透过率的差异为 0.0111, 而对应的

上行大气亮温的差异为 -3.45K。37GHz, 大气透过率的差异为 -0.013, 而对应的上行大气亮温的差异为 -3.62K。在进行大气辐射和透过率计算的时候, 我们没有考虑云的影响。根据我们现场测量的记录结果, 从 2 月 1 日晚到 2 月 4 日, 试验区为多云天气, 天气过程变化迅速, 其中 2 月 2 日海面有大雾, 2 月 4 日和 2 月 6 日阴, 浓云, 2 月 5 日凌晨有小雨。2 月 8 日晴, 但水汽很大, 相对湿度达 90%。所以这样的天气用辐射传输计算的结果有很大的不确定性。我们比较了除 2 月 5 日有雨天气以外的数据,

发现对于 6.6GHz, 平台 MR 和 RAD 测量亮温的均方根误差 (RMS) 约为 5K。误差随着频率的增高而增大, 这也说明大气不确定性的增加。尤其对于 37GHz, 由于空间分辨率最高, 所以其对于大气参数的剧烈变化反应迅速。我们现场测量可以发现, 当

天空有一片乌云经过的时候, 这个频率的亮温变化可以达到 20K 多, 2003-02-02 北京时间凌晨 2: 45—2: 55 期间, 我们对天空观测辐射计 37GHz 的亮温变化从 47.7K 到 74.4K, 变化达到 26.7K。

表 5 RAD 与石油平台微波辐射计 (MR) 测量的结果比较 (2003 年)
Table 5 Comparisons between the measurements of RAD and MR (2003)

平台	T_{B6V}	T_{B6H}	T_{B19V}	T_{B19H}	T_{B23V}	T_{B37V}	T_{B37H}	日期	UTC	距离差/km
RAD/K	151 9458	103 1099	190 4045	139 7549	220 4676	223 9298	180 921	2月1日	2 37	98
MR/K	150 1051	102 8443	186 5494	141 7117	213 8431	201 7599	164 9531	2月2日	17 5	
RAD/K	140 5859	91 08206	182 2973	129 3227	211 8656	204 6356	140 6532	2月4日	16 25	273
MR/K	149 3373	100 8446	183 2875	137 6867	213 854	198 1496	158 2882	2月4日	1 5	
RAD/K	151 1984	101 6346	189 3984	140 6155	222 6727	228 7094	189 7183	2月6日	0 7	87
MR/K	150 8111	104 4681	183 1193	136 988	214 7766	197 8683	163 7713	2月6日	0 5	
RAD/K	152 4291	100 4973	189 1837	133 9374	211 8548	216 3053	161 5572	2月8日	14 54	131
MR/K	148 279	99 55329	185 2942	143 6874	221 2326	203 5842	162 7429	2月7日	23 5	
RMS/K	4 933259	5 106316	4 195161	6 745483	7 037923	20 28898	17 6112			

另外产生误差的原因可能是由于海况变化引起发射率变化引起的。其中其主要作用的因素是海面风速和风向。水平极化亮温对于海面风速变化敏感, 风速变化 1m/s 会导致水平极化亮温变化约 1K。在前两个频率垂直极化的 RMS 均小于水平极化的亮温, 也证明了这个结论。因为水平极化对于海面风速敏感, 而垂直极化对大气变化更加敏感一些。海面风速是一个瞬时变化的参数。在 2月2日从北京时间 0 点到 8 点测量期间, 海面风速的变化从 16.16m/s 变化到 11.19m/s。可见水平极化的发射率变化可达 5K。而我们在表 5 的比较存在很大的时间和空间差异。另外, RAD 数据都是在距离平台至少大于 120 海里以外的海面。这样存在空间的不同步。在表 5 的最后一列给出距离测量石油平台最近 RAD 位置的公里数, 可见两个平台微波辐射计测量的空间差异也是一个原因。对于 RAD 的 23.8GHz 与现场辐射计 22.235GHz 的差异, 由于频率不同, 所以自然存在差异。当然测量误差和模式计算误差都可能导致结果的差异。

4 结 论

微波辐射计定标是数据定量应用的关键。神舟四号飞船 RAD 由于没有星上两点外定标系统, 因此我们采用地球表面具有典型地物特征的微波辐射亮

温的理论计算结果对 RAD 进行了外定标的替代定标方案。我们比较了定标后的 RAD 的 19.35, 23.8 和 37GHz 的不同极化亮温与 SSM/I 19.35, 22.235 和 37GHz 相应极化的亮温, 发现在亚马逊雨林地区数据吻合得很好。由于两个辐射计的入射角和轨道高度的差异, 在海洋上虽然数据的变化趋势一致, 但是数据存在一定的差异, 其中 19.35GHz 水平极化亮温的相关系数为 0.744, 垂直极化的相关系数为 0.601, 而 37GHz 水平极化亮温的相关系数为 0.320, 垂直极化的相关系数为 0.285。由于我们选取的数据没有考虑由于过境时间差异而导致的大气状况的差异, 另外神舟四号飞船和 SSM/I 的卫星平台不同, 所以数据的差异是显然的。37GHz 亮温差异也说明这个频率对云水的敏感性。同时, 在比较 RAD 的 23.8GHz 和 SSM/I 的 22.235GHz 的垂直极化亮温, 发现二者的相关性达到 87.0%。

另外我们分析了南海地面配合试验中获得的不同通道现场测量的亮温, 并且与飞船上相应通道的亮温进行比较。发现数据具有可比性, 但是由于海面平台测量的时间和位置与飞船测量的差异, 数据存在一定的偏差, 尤其表现在 37GHz 的偏差较大。

在本文中我们尝试了对卫星平台上没有实时外定标的 RAD 进行替代定标的方法。虽然我们试图对各种影响因素进行分析, 但是由于数据源和其他条件的限制, 还没有对一些因素, 如天线的旁瓣和效

率等进行更加有效的处理。所以这里的处理结果适合大范围均匀目标。我们将在下一个部分里给出定标后的数据反演的海面 and 大气参数。

参考文献(References)

[1] Loju J Y, Bernard R, Eymard L. A Simple Method for Testing Brightness Temperatures from Satellite Microwave Radiometers[J] . *J. Atmos. and Ocean*, 1994, Vol. 11.

[2] Wentz. AMSR Ocean Algorithm, Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) [R] . Version 2, RSS Tech. Proposal 121599A-1, 2000.

[3] Hollinger, SSM/I Instrument Evaluation[J] . *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1990, 28(5): 781—790.

[4] Wang Z Z. SZ-4 Microwave Radiometer Calibration, Validation, and evaluation [R] . National Ocean Technology Center, 2003. [王振占. 神舟四号飞船微波辐射计定标、检验、评价[R] . 2003.]

[5] Liebe H J, Hufford G A, Cotton M G, Propagation modeling of Moist Air and Suspended Water/Ice Particles at Frequencies below 1000 GHz [A] . Presented at an AGARD Meeting on ‘ Atmospheric Propagation Effects Through Natural and Man-made Obscurants for Visible to mm-wave Radiation [C] . May, 1993.

[6] Ulaby F T, Moor, R K, Fung A K. Microwave Remote Sensing, Active and Passive [M] . Vol. 1, Artech House, 1981.

Calibration and Validation of Microwave Radiometer (RAD) on-board SZ-4 Spacecraft Part I RAD External Calibration

WNAG Zhen-zhan¹, LI Yun²

(1. Center for Space Science and Applied Research, CAS, Beijing 100080, China;

2. National Ocean Technology Center, Tianjin 300111, China)

Abstract: The multi-channel microwave radiometer (RAD) on-board SZ-4 spacecraft, was launched at the end of 2002, the first space-borne microwave radiometer in China. Due to lack of in-orbit calibration, the measurements have to be quantitatively evaluated before applications. In the paper, we put forward a vicarious external calibration method for solving the problem. The method is to re-calibrate all RAD channels using the two type of targets with known microwave radiation characteristics on the surface of the Earth.

The first target was global open ocean. We collected synchro 252 sea surface truths with RAD from NDBC buoys combined with radiosonde profiles from nearby islands, as well as geophysical products of TMI (TRMM Microwave imager), including sea surface temperature, wind speed, water vapor contents, and liquid water contents. After calculation using our radiative transfer equation developed for RAD, we got a synchro oceanic parameter database for RAD brightness temperature calibration.

The warm end we chose was Amazon Rain Forest. We obtained 8 profiles for two stations within 50 km from the RAD nearest overpasses. The brightness temperatures were derived from applying a simplified emissivity model and atmospheric absorption model.

We compared the re-calibrated brightness temperatures of RAD with those from SSM/I within 0.5 degree of latitude and longitude and within 2 hour of RAD overpasses above global open ocean. We found there existed a good consistency between those equivalent channels of RAD and SSM/I, i.e., 19.35GHz and 37.0 GHz. The correlation coefficient of the channels are 74.4% and 60.1% respectively for vertical and horizontal polarization of 19.35GHz. The poor correlation in 37GHz channels may contribute to the path differences of them since the incidence angles of RAD is 42.6 degree, while SSM/I 53.3 degree.

We also compared brightness temperatures of RAD with measurements from a ground based microwave radiometer employed in the Nanhai experiment carried in February, 2003. The largest discrepancies also showed in those of 37GHz. In general, due to the insuitable location of ground test and poor sync time, and only few provable measurements for comparisons with the temperatures of RAD were made.

Key words: SZ-4; microwave radiometer; vicarious external calibration