

# 嫦娥 1 号卫星微波探月技术机理和应用研究

姜景山<sup>1</sup>, 王振占<sup>1</sup>, 李 芸<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100190; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100190)

**[摘要]** 微波探测仪是嫦娥 1 号卫星有效载荷之一, 主要用于测量不同深度的月壤微波辐射亮温, 进而反演月壤厚度的信息并对月球的<sup>3</sup>He 资源量和分布进行评估。这是国际上第一次利用被动微波遥感探测器在月球轨道直接测量月表亮温信息。因此, 对月壤辐射传输模型的研究是及其必要的。文章分析了月球微波探测的机理和存在的问题, 并给出了初步解决途径。

**[关键词]** 嫦娥 1 号微波探测仪; 遥感; 月壤; 微波辐射传输

**[中图分类号]** V47 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)06-0016-07

## 1 前言

微波探测仪是嫦娥 1 号卫星有效载荷之一, 主要用于探测全月表及不同深度的月壤微波辐射亮温, 反演月壤厚度的信息并进而对月球的<sup>3</sup>He 资源量和分布进行评估。微波探测仪的科学目标: 利用微波信号对月球表面物质的穿透传播特性, 从表征月球物质微波辐射的亮温数据中, 获取月球月壤的厚度信息; 获得月球表面的微波辐射特性参数, 为研究月球的微波背景构建“微波月亮”, 获得月球黑夜及月球两极的微波遥感信息<sup>[1]</sup>。

微波探测仪是国际上第一次利用被动微波遥感探测器在月球轨道直接测量亮温来探测月表信息。因而, 对月壤辐射传输模型的研究是实现这一目标的重要基础。从 20 世纪 70 年代开始, 就开始了対地球表面辐射传输的研究<sup>[2~4]</sup>, 但由于水的存在, 微波穿透深度很小, 所以在地球上, 微波传输通常不包含土壤厚度和下层岩石信息。月球上基本没有水的存在, 3 GHz 频率可以穿透深度达 5 m 以上<sup>[5]</sup>, 所以从嫦娥 1 号微波探测器接收的亮温数据能够反映月壤热传导和结构特性。

研究月壤厚度对未来月球探测、登月与月球资

源开发均具有十分重要的意义。首先, 月壤是对月遥感探测的直接目标, 它包含了大量月球化学信息, 包括其化学和矿物组成、月壤形成和演化等; 其次, 由于在月壤形成过程中, 伴随太阳风的作用, <sup>3</sup>He 不断注入月壤层中, 从而积聚了大量的核资源, 确定月壤的厚度以及分布是对<sup>3</sup>He 储量进行估算的必要前提<sup>[6~8]</sup>。

## 2 国内外研究现状及分析

研究月壤厚度的方法可归纳为直接和间接两种<sup>[9]</sup>。直接测量方法包括 Apollo 和 Luna 探测计划中实施的月表钻探实验。这种直接钻探的方法仅能测量出降落区较薄的月壤层厚度, 具有很大的局限性。因而, 在月壤厚度的直接测量中, 大部分结果来源于月震实验和多频电磁探测。直接的方法还可以利用月球卫星图像以及遥感数据进行推算月壤厚度。随着遥感技术的不断发展, Shkuratov 和 Bondarenko 提出了利用地基雷达遥感数据对月壤厚度进行反演的方法<sup>[10]</sup>。间接方法主要是基于撞击实验, 通过对撞击坑形态和直径分布频率的分析, 推出月壤的厚度。

从月球轨道用被动微波遥感的方法获得全月球

**[收稿日期]** 2008-03-12; **修回日期** 2008-05-05

**[作者简介]** 姜景山(1936-), 男, 朝鲜族, 吉林省龙井市人, 中国工程院院士, 中国科学院空间科学与应用研究中心国家“八六三”计划微波遥感技术实验室研究员, 中国探月工程副总设计师; 王振占(1969-), 男, 河北青龙县人, 理学博士, 中国科学院空间科学与应用研究中心研究员, 主要从事微波遥感新技术及应用技术研究

月壤厚度数据,至今还没有先例。迄今为止只有欧洲的月球计划中有微波遥感器的规划。将微波遥感器用于月球卫星的对月观测是中国的科学家首次提出并在嫦娥1号上实施。欧洲计划的“欧洲大学生探月计划”中将采用这种方法<sup>[11]</sup>。

目前,国内许多单位对利用微波探测仪亮度温度(以下简称亮温)科学探测数据进行月壤厚度反演表现出浓厚的兴趣,包括:中国科学院空间中心、复旦大学、国家天文台、地球化学研究所、遥感应用研究所、吉林大学等。复旦大学金亚秋教授和美国的 A. K. Fung 教授应中科院空间中心的委托分别建立了月壤微波传输模型;金亚秋应用 WKB 方法开发了1个3层模型结合光学观测数据来反演月壤厚度<sup>[12,13]</sup>;Fung 用一种多层模型产生8个点位5个频率(2 GHz, 3 GHz, 7.8 GHz, 19.5 GHz, 37 GHz)的深度从1~9 m 的近似辐射传输,并包含了月壤散射贡献。

中科院空间科学与应用研究中心从月球微波探测仪立项之初就开始了对于月壤微波辐射特性和月壤介电特性的研究<sup>[14]</sup>,并进行了大量月壤特性模拟和测试工作<sup>[15,16]</sup>。另外这个研究小组还开展了详细的月壤微波辐射特性验证试验,分别于2007年2月在北京唐家岭的小牛房进行了对于不同湿度的沙子和泡沫的微波辐射特性测量试验,试验结果验证了理论模型的正确性和仪器性能的可靠性,同时结合 SMOS 计划,在塔克拉玛干沙漠进行了地面试验。此外还从微波辐射原理出发,利用非相干法推导了针对月壤的介电特性、温度特性等进行了月壤温度剖面、月表多波段辐射亮温的理论模拟<sup>[17,18]</sup>,其结果已经用于微波探测仪数据的预处理和初步应用上。

### 3 月表微波探测面临的问题分析

#### 3.1 月表微波探测目前要解决的问题

在月壤厚度的研究方法中,利用月震数据、多频电磁探测数据、撞击坑的形态和分布规律等推算月壤厚度,存在很多局限性,数据的获取都比较困难,难以实现,误差也比较大,并且只能应用于特定的局部区域。月壤厚度的数据目前还仅限于20世纪 Apollo 和 Luna 计划获得的9个采样点,虽然取自不同的地质类型和地貌类型,但仅限于月球正面,而且采样点过稀,不具有代表性。

利用微波探测仪从月球轨道遥感月壤厚度的核

心问题是,建立月壤厚度与探测仪接收的亮温之间的函数关系,而这个关系建立的根据就是微波在介质中的辐射传输特性的模拟。为了模拟这个过程,需要建立的有关参数模型包括:

- 1) 月表层温度剖面的模型;
- 2) 月壤介电特性随着深度和地理位置变化的变化规律;
- 3) 月壤的比热、密度等物理参数的变化规律;
- 4) 月表地形等粗糙度参数化以及对微波辐射的影响;
- 5) 月表层土壤和岩石的结构变化规律。

目前,所有关于这些参数的资料和数据有限,尤其没有针对微波辐射测量的资料,所以需要利用在地球上的微波辐射传输的模拟和验证结果,结合这些参数的已知数据分析,把嫦娥1号微波探测仪数据和其他有效载荷数据进行有机结合,来分析表面的微波辐射规律,进而探索月壤特性的变化规律。

#### 3.2 解决途径分析

##### 3.2.1 全月月壤温度剖面 and 亮温的模拟

月表亮温是月表温度剖面、介电特性剖面、表面粗糙度等参数综合作用的结果,对这些参数模拟结果的准确程度决定了最终结果的准确度。在以往的各种理论研究中,不管是中国的还是其他国家的研究,都只是使用了这些参数的简单模型,例如,把温度只是简单模拟为两个温度,一个代表表层温度,一个代表所有下层的温度。显然这种简化对于计算结果影响很大,因为表层的温度波动对于3 GHz 这样穿透深度很大的通道来讲,亮温的不确定性很大,也就是对于月壤反演的影响很大。在充分考虑了对于月表微波亮温影响的各种因素:通过对微波辐射传输理论的研究,建立月壤微波辐射传输模型,并利用热传导方程解得的月壤温度剖面,在考虑表面地形和微波探测仪天线方向图特性的情况下,对全月亮温进行模拟。最关键的一点是可以利用微波探测仪的数据进行比对和验证。

利用月球表面的亮温数据,可以反演月球参数的反演,如月壤厚度等。反演算法建立的基础是微波辐射传输方程。微波在介质中传播除了受到介质的衰减以外,还与介质发生作用,介质本身还辐射能量。对于层状介质来讲,如果存在介质突变面,则在界面除了反射入射到的能量外,还有部分能量透射到另外的介质中去。如果介质中存在与入射电磁波波长相当的粒子,那么电磁波在其中传播的时候还

要产生散射。总的来讲,有两种方法可以用来模拟介质的微波辐射<sup>[18]</sup>:一种是相干的方法(coherent approach),这种方法基于 Maxwell 方程和波动逸散理论,它同时考虑反射振幅和相位的影响,相干的方法必须用 Maxwell 方程的一个解来计算电磁场矢量,进而获得辐射强度。这种方法认为介质是水平均匀的,介电常数只是厚度的函数,在该层内忽略散射的影响,其介电常数在该层内认为不变。但是这种方法由于考虑相位的影响,所以分层厚度就会对计算结果产生依赖性。另外一种是非相干的方法(incoherent approach),这种方法基于辐射传输理论,只考虑振幅,忽略相位的影响。这种方法可以直接计算辐射强度,但是其成立的前提是假设介质中存在大量的与波长尺度量级相当的散射体。这些散射体的随机分布使得介质中两点之间的波传播产生随机分布的相位因子。这样传播过程就变成一个不均匀的过程,可以用波的功率密度来描述。为了求解月壤的微波辐射传输方程,需要分析月壤参数:月壤密度、月壤的介电常数、基岩的介电常数、月壤以及基岩的温度分布、比热和热导率等对于微波辐射特性的影响。需要建立如下变化规律。

1) 月壤体积密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )与月壤深度的相关关系。

2) 确定月球表面任何一层的介电常数,进而确定该层的吸收系数,那么整个月壤的微波辐射亮温就可以通过积分来确定。

3) 确定基岩的介电常数。虽然下伏基岩的介电常数变化一般不大,但是由于基岩温度和反射率的变化,会对最终亮温的计算产生很大的影响,尤其在月壤厚度较小的时候。

4) 确定月壤的比热随温度变化而变化。

5) 确定月壤的热导率:热导率不但是温度的函数,也随着深度的变化而变化。

如果上述参数的变化规律确定,那么我们就可以首先利用光学和其他月球探测器数据,结合热传导方程,分析月面表层温度的变化。得到月壤和基岩的温度分布。然后,利用月壤剖面温度,以及月壤的介电常数和基岩的介电常数,根据均匀和非均匀的辐射传输模型对月表亮温进行模拟,并对模拟结果进行分析和比较。最后,分析表面地形对于亮温的影响,结合天线方向图进行分析,并利用模拟结果建立亮温与月壤厚度之间的关系。

### 3.2.2 微波探测器数据预处理

嫦娥 1 号卫星所携带的微波探测器是国际上首

次利用微波探测器来测量全月球表面(包括月球背面)的微波亮温。对其数据的有效处理,可以获得全月球白天和黑夜的微波亮温数据。星载微波辐射计预处理是指从原始数据到亮温数据产生的全过程。主要内容包括原始数据的地理定位,辐射定标,天线亮温的冷空间溢出和交叉极化订正,像元地面分辨率均匀化处理等内容。由于月球轨道的特殊性,我们重点分析冷空定标的的数据有效性以及旁瓣等的影响。

在发射前,低端定标选择没有任何干扰的冷空背景(2.7 K),但是卫星发射后,由于轨道和太阳等星体的关系,导致冷空信号的干扰。所以需要根据数据特点和天线方向图分析,确定太阳相对冷空的位置,判断太阳在冷空天线的后面、在主波束范围内,在旁瓣范围内等情况。利用天线方向图计算旁瓣的冷空贡献。

其次,由于嫦娥 1 号微波探测器在月球轨道运行过程中,其对月观测的天线旁瓣会照射到冷空间和主波束以外,因此为了准确反演出主波束的月表亮温,需要对这些贡献进行评估和计算。另外,由于安装精度、天线指向以及卫星姿态等的影响,按照设计极化方式接收的目标辐射可能包含其他极化方式的辐射,这样就会产生交叉极化的影响,因此需要交叉极化修正。亮温算法就是建立天线温度与月表亮温的关系。最后,还要利用表面的特征点对测量数据进行外定标。目前,包含月壤厚度月表的特征点只有几个登月点的数据,对这些数据的分析,结合微波探测仪的实测数据,会有助于提高定标精度。

### 3.2.3 月壤信息反演技术研究

根据理论模拟的结果,利用不同频率亮温和月壤厚度的关系建立月壤厚度反演的算法,并利用实测亮温对全月月壤厚度进行反演计算。

此外,通过厚度信息与亮温之间的关系,可以分析极地和赤道地区厚度的差异,以及两极地区介电特性与水存在的可能性。还可以进行月表未知信息的探索。

## 4 月表微波探测的初步研究结果

目前,已经从微波辐射传输的原理出发,结合国际上最新的月表土壤和岩石的科学信息,充分利用嫦娥 1 号卫星微波探测器和其他有效载荷的数据,进行月表亮温的理论模拟和应用研究,推导出月壤厚度反演的多层介质辐射传输模型和表面温度剖面

模型。通过与微波探测仪数据的比对,验证模型,改进算法,从而分析月球表面的亮温、厚度与地理位置等的关系,取得了初步成果。

首先,利用热传导方程,研究了全月表层温度剖面的变化规律。图1为月球赤道一昼夜表面温度的变化,可见表面温度呈现周期性变化,图1的时间起点是月球该地区的日落时刻。夜晚和白天的时间各是地球上的近似15天。图1的前面一半是黑夜,后面一半是白天。日落后温度迅速下降,在日出前温度最低,正午温度最高。白天的温度起伏达到250 K左右,而夜晚温度也有30~40 K的变化。

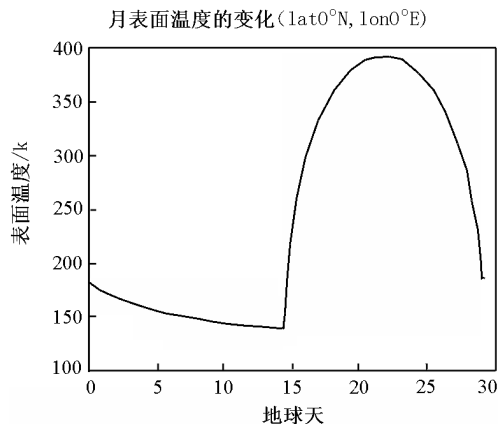


图1 月球赤道一昼夜表面温度变化

Fig. 1 Lunar surface temperature change in a whole lunar day at the lunar equator

图2为月球赤道一昼夜两个时刻的温度剖面比较。可以看出赤道地区表面20 cm以内的月壤温度受太阳的影响而剧烈波动,最大差异达到200 K以上,因此表层的温度梯度在亮温的昼夜波动中起着决定作用。

极地与赤道最大的不同就是表面温度的周期长,大约为赤道地区的12倍。而最高和最低温度仅为157.93 K和64.97 K。在其他地区,月球表面温度和剖面温度的变化趋势同低纬度地区相似。

为了分析表层温度的昼夜变化对于CELMS接收亮温的影响,根据模拟的温度剖面,利用多层辐射传输模型<sup>[5]</sup>进行亮温模拟,获得全月亮温的昼夜变化规律,不同频率、厚度与亮温的关系。图3给出了月球赤道一昼夜的亮温变化,月壤厚度是1 m,图4给出的是月球赤道在月壤厚度为3 m时一昼夜的亮温变化。整个低纬度地区结果非常相似。4个通道的亮温在一昼夜的不同时刻大小出现交替,3 GHz的昼夜起伏很小,因为其主要反映深层的温度和介电特性,而37 GHz起伏最大,说明其受到表层温度

的影响剧烈。纬度不同,太阳照射引起的表层温度分布不同,因此亮温也随着纬度的升高而减小。

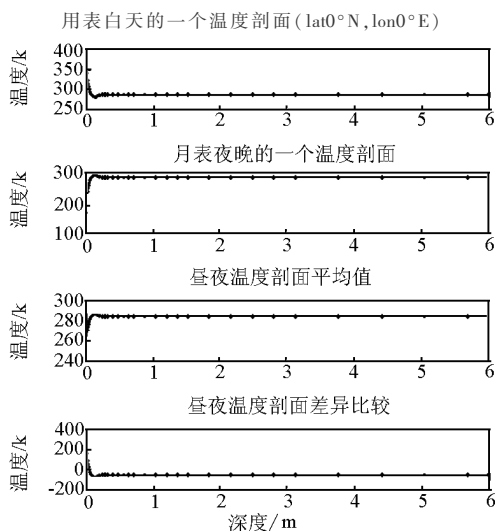


图2 月球赤道一昼夜的剖面温度及平均值比较

Fig. 2 Temperature profiles and changes at the lunar equator

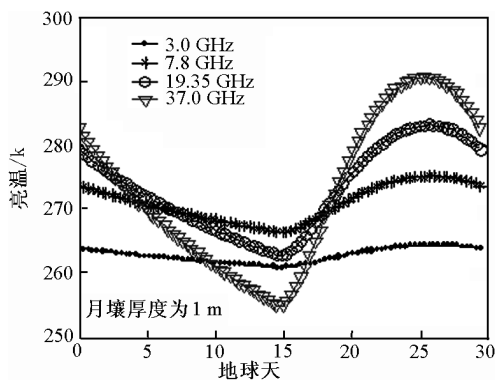


图3 月球赤道一昼夜亮温变化(月壤厚度1 m)

Fig. 3 Lunar brightness temperature change in a whole lunar day at the lunar equator (the regolith depth is 1 m)

图5和图6是北极地区不同月壤厚度下的亮温变化情况,亮温变化与低纬度地区的变化规律差异明显,它们分别代表了月球一昼夜北极月壤厚度为0.5 m和5 m的亮温变化,这是因为每个频率的穿透深度不同,而北极表面温度变化相对较小,底面温度又非常低的缘故。

为了分析月壤厚度与亮温变化的规律,图7和图8给出了月球赤道不同频率亮温随月壤厚度的变化。图7是月球赤道正午时刻的亮温变化趋势,月壤厚度从0.2~6 m,4个频率亮温各不相同,并且随频率的增加而增加,随深度的增加而增加。而图8是月球赤道黎明时刻的亮温变化趋势,4个频率相

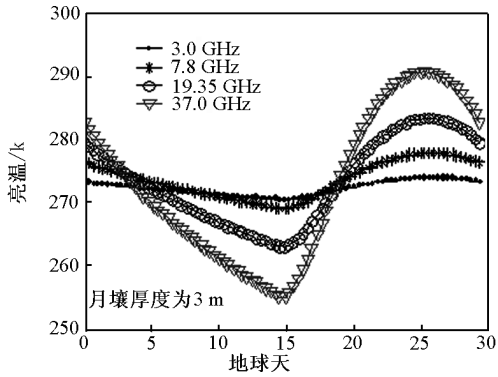


图4 月球赤道一昼夜亮温变化(月壤厚度3m)

Fig. 4 Lunar brightness temperature change in a whole lunar day at the lunar equator (the regolith depth is 3m)

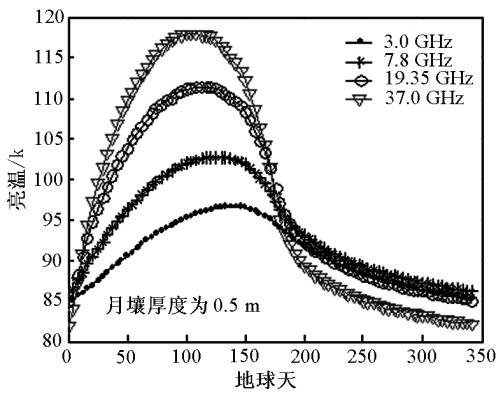


图5 月球北极一昼夜亮温变化(月壤厚度0.5m)

Fig. 5 Lunar brightness temperature change in a whole lunar day at the North Pole (the regolith depth is 0.5m)

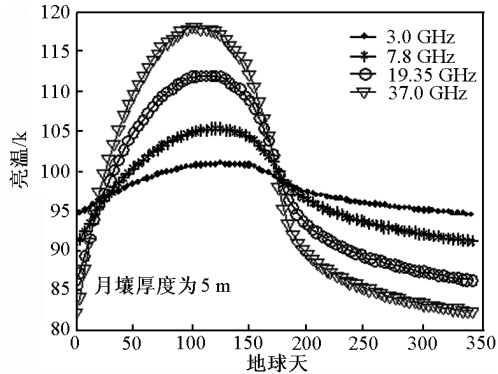


图6 月球北极亮温一个月球天内的变化(月壤厚度5m)

Fig. 6 Lunar brightness temperature change in a whole lunar day at the North Pole (the regolith depth is 5m)

频率的最大值。

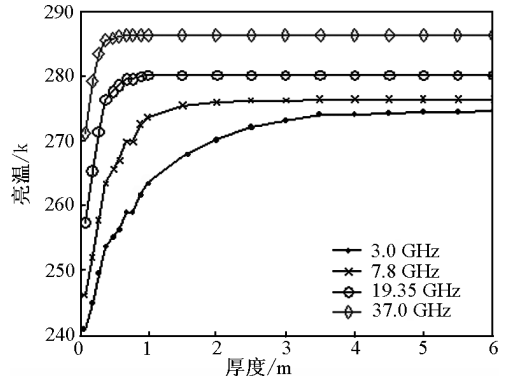


图7 月球赤道在月球正午时刻亮温随厚度的变化

Fig. 7 Lunar brightness temperature change with depth at the lunar equator (moon noon)

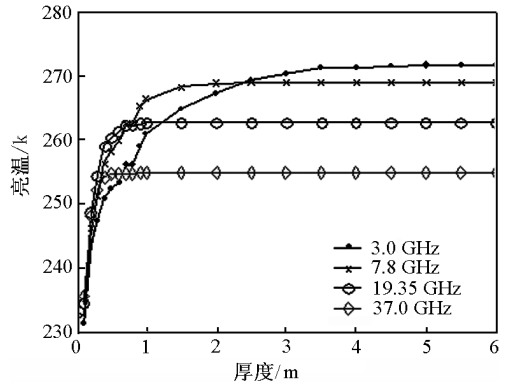


图8 月球赤道在月球黎明时刻亮温随厚度的变化

Fig. 8 Lunar brightness temperature change with depth at the lunar equator (moon dawn)

通过理论模拟结果发现,当考虑表面温度梯度和月岩的物理特性的变化,利用多层辐射传输模型<sup>[5]</sup>进行亮温模拟的亮温与厚度的关系时,3 GHz 穿透深度达5~6 m,7.8 GHz 达到2 m左右,19.35 GHz 约为1 m,而37 GHz 的穿透深度不超过50 cm。

## 5 结语

随着遥感技术的不断发展,高精度的定量遥感已经在很多领域内得到广泛应用,其中,微波遥感由于其能够穿透表层,不受太阳光照条件的影响等特点,在新一轮探月热潮中备受国际关注。利用微波辐射测量技术,获取月球表面月壤的厚度信息,从而得到月球表面年龄及其分布特征,结合返回的月壤分析数据,可以计算月球表面<sup>3</sup>He 和其他气体的含量、资源分布及储量。根据月球表面的亮温分布,用微波辐射测量的方法进行月球含水的可能性探测

互交叉,且在50 cm 以下非常接近。在黎明时刻,3.0 GHz 的亮温在月壤厚度超过2.5 m 后达到4个

具有吸引力,这也是当前月壤厚度研究的一种新方法。

文章分析了月球微波探测的机理和所面临的问题,并给出了初步解决途径。为了对于辐射传输模型进行验证,在微波探测仪发射之前,进行了详细的地面试验,目的是在地面上利用微波探测仪对已知介电特性的介质进行测量,进而验证测量亮温与目标厚度的关系。通过对于泡沫和干沙的3次测量,获得了一个泡沫厚度增加的亮温变化结果,一个沙子厚度增加亮温变化结果以及沙子的厚度逐渐减小的亮温曲线。由于亮温变化是介质介电特性、温度特性等多个参数综合作用的结果,因此对于获得的亮温随着厚度变化的关系需要用微波辐射传输理论进行验证<sup>[11]</sup>。结果表明,理论和实际测量的一致性很好,天线温度相关性可达到90%以上。

### 参考文献

- [1] Sun Huixian, Dai Shuwu, Yang Jianfeng, et al. Scientific objectives and payloads of Chang' E - 1 lunar satellite [J]. *Journal of Earth System Science*, 2005, 114(6): 789 - 794
- [2] Tsang L, Njoku E, Kong J A. Microwave thermal emission from a stratified medium with nonuniform temperature distribution [J]. *Journal of Applied Physics*, 1975, 46(12): 5127 - 5133
- [3] Njoku E, Kong J A. Theory for passive microwave remote sensing of near - surface soil moisture [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1977, 82(20): 3108 - 3118
- [4] Burke W J, Schmugge T, Paris J F. Comparison of 2.8 ~ 21 cm microwave radiometer observations over soils with emission model calculations [J]. *J. Geophysical research*, 1979, 84(C1): 287 - 294
- [5] Wang Zhenzhan, Li Yun, Jiang Jingshan, et al. Wave radiative transfer model applied to lunar soil remote sensing [J].

ICEF2008, Chongqing, China

- [6] Freanch B M. *Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon* [M]. Cambridge university Press, 1991
- [7] 胥传东,郭伟,张晓辉,等。“嫦娥1号”(CE-1)微波探测仪地面定标及验证实验[J]. 第八届国际月球探测和利用大会, 2006
- [8] 郑永春. 模拟月壤研制与月壤的微波辐射特性研究[D]. 北京:中国科学院地球化学研究所, 2005
- [9] 李雄耀,王世杰,陈丰,等. 月壤厚度的研究方法与发展[J]. *矿物学报*, 2007, 27(1): 64 - 68
- [10] Yuriy G. Shkuratov, Nataliya V. Bondarenko. Regolith layer thickness mapping of the moon by radar and optical data [J]. *Icarus*, 2001, 149(2): 29 - 338
- [11] Jiang Jingshan. Development of microwave remote sensing technology in China and microwave sounding the lunar soil from China lunar satellite CE - 1 [J]. *ICMMT 2008, An invited key note speech*. 2008, 4: 21 - 24
- [12] 金亚秋. 空间微波遥感数据验证理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2005
- [13] 法文哲, 金亚秋. 月球表面多通道辐射亮度温度的模拟与月壤厚度的反演[J]. *自然科学进展*, 2006, 16(1): 86 - 94
- [14] 蓝爱兰, 张升伟. 利用微波辐射计对月壤厚度进行研究[J]. *遥感技术与应用*, 2004, 19(3): 154 - 158
- [15] 李涤微, 吴季, 姜景山, 等. 模拟月壤微波介电特性的初步研究[J]. *遥感技术与应用*, 2005, 20(1): 141 - 147
- [16] 李涤微, 姜景山, 吴季, 等. 模拟月壤微波介电特性的实验研究与统计分析[J]. *科学通报*, 2005, 50(10): 1040 - 1049
- [17] Wang Zhenzhan, Li Yun, Jiang Jingshan, et al. Methods of remote sensing Lunar surface by Microwave sounder on CE - 1 [J]. *2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, Nanjing, China. 2008, 4: 21 - 24
- [18] Ulaby, F T, Moore R K, Fung A K. *Microwave Remote Sensing, vol. 1: Active and Passive* [M]. Addison - Wesley Publishing Company, 1981

# Study on theory and application of CE – 1 microwave sounding lunar surface

Jiang Jingshan<sup>1</sup>, Wang Zhenzhan<sup>1</sup>, Li Yun<sup>1,2</sup>

(1. Center for Space Science and Applied Research, CAS, Beijing 100190, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

[**Abstract**] China has launched the first lunar satellite CE – 1 on Oct. 24, 2007. A microwave sounder, named Chang'E Lunar microwave sounder (CELMS) was used to detect regolith information of the lunar surface. It is the first time that humankind directly applies sensed brightness temperature to investigate the lunar surface information by passive microwave sensor on lunar orbit. Therefore, it is necessary to set up theoretical models to describe lunar surface microwave transfer process, as well as heat conduction. These models will finally used for retrieving lunar surface information on regolith depths.

In this paper, we generally describe the theory on lunar regolith microwave radiative transfer, analyse the factors influencing brightness temperature received by CELMS, including temperature profiles of the surface lunar layer, dielectric permittivity distribution, underlying rock reflectivity, as well as other thermal properties of the regolith. A primary solution on simulating lunar brightness temperature is given on basic knowledge of lunar surface, mostly derived from Apollo and Luna program. The further studies on lunar surface information reversion have been conducting by applying CELMS data and other information related.

[**Key words**] CE – 1 lunar microwave sounder (CELMS); remote sensing; lunar regolith; microwave transfer model

---

(上接 15 页)

# New stage and new tasks, development of microwave remote sensing in China

Jiang Jingshan<sup>1</sup>, Wu Yirong<sup>2</sup>, Liu Heguang<sup>1</sup>, Dong Xiaolong<sup>1</sup>

(1. Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;  
2. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

[**Abstract**] The development of microwave remote sensing technologies and their applications during the past 30 – 40 years, both in worldwide and in China, are reviewed and analyzed. Emphases are paid on the analyses of development status and increasing demand for microwave remote sensing in China in future tens of years. Based on the analyses, several strategic considerations and frontier technologies essential to future development and application are proposed.

[**Key words**] microwave remote sensing; earth observation; space exploration; information processing