

# “神舟”四号中的微波遥感\*

张德海<sup>†</sup> 郑震藩 姜景山

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

**摘要** 多模态微波遥感器是我国第一次进入太空的微波遥感器,是一部集高度计、散射计和辐射计为一体,具有综合观测能力的微波遥感器。经过“神舟”四号飞船的在轨运行实验,取得了大量的有效科学数据,在轨实验获得成功。文章介绍了多模态微波遥感器的基本工作原理、系统组成和运行控制模式,给出了主要技术和应用指标,总结了多模态微波遥感器在轨运行情况,给出了初步实验结论。

**关键词** “神舟”四号,多模态微波遥感器,高度计,散射计,辐射计

## Microwave remote sensing in the SZ-4 spacecraft

ZHANG De-Hai<sup>†</sup> ZHENG Zhen-Fan JIANG Jing-Shan

(Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** The first microwave remote sensor in China to be used in space was a multi-mode microwave remote sensor sent up in the SZ-4 spacecraft on Dec. 30, 2002. It is combined with an altimeter, a scatterometer and a radiometer. In the system, the altimetry, scatterometry and radiometry functions are integrated technically. A vast amount of data was obtained through successful orbital experiments. We outline the principle, block diagram and control system of this sensor and give the main technical and application specifications. The orbital experiments and preliminary conclusions are summarized.

**Key words** SZ-4, multi-mode microwave remote sensor, altimeter, scatterometer, radiometer

## 1 引言

由于微波遥感具有全天候、全天时的工作能力,并且对地物目标具有一定的穿透力,因此受到了人们的普遍重视并得到了飞速发展。用以获得微波遥感信息的仪器是微波遥感器。微波遥感器可分为主动微波遥感器和被动微波遥感器,主动微波遥感器包括高度计、散射计和合成孔径雷达,被动微波遥感器指微波辐射计。从全球尺度上的应用看,高度计和散射计主要用于海洋动力环境研究,其中高度计可用于测量海平面高度和海浪的有效波高,散射计可用于测量一定强度下的海洋表面风场。合成孔径雷达用于对地物目标的测绘,它可以提供高空间分辨率的雷达图像。辐射计可以测量目标温度、大气中的水汽含量及土壤湿度等<sup>[1]</sup>。

2002年12月30日00时40分,“神舟”四号飞船成功发射。“神舟”四号飞船上的主载荷是多模态微波遥感器,这是我国第一次进入太空的微波遥感器。因此,其工作受到世人的广泛关注。

多模态微波遥感器体系是我国独创,它集频率

覆盖6.6GHz到37GHz的五通道微波辐射计、测高精度为10cm的微波高度计和正交笔型波束扫描风场测量微波散射计三个模态为一体,采用统一监控、统一数管等技术,形成具有特色的一体化体制。在轨运行中,三个模态在统一数管监控下形成各自独立的信息通道,分别获取各自的数据。“神舟”四号多模态微波遥感器主要实验目的是:验证技术体制,验证各模态功能,验证数据定性趋向分析,作应用实验。在设计中,由于飞船可供的功率有限及电磁兼容等问题,几个模态按时序工作。其中,辐射计耗电少,开机时间长,可获得比较多的数据。从工作过程看,三个模态各自有独立的天线。辐射计和高度计是固定天线,散射计采用双抛物面旋转天线。

本文介绍了多模态微波遥感器的基本工作原理、系统组成和运行控制模式,给出了主要技术和应用指标,总结了在轨运行情况,给出了初步实验结论。

\* 2003-09-29收到

† 通讯联系人, E-mail: zdh@nmrs.ac.cn

## 2 工作原理及系统组成

多模态微波遥感器由高度计、散射计和辐射计组成,其中高度计和散射计的工作频率是 13.9GHz,辐射计由 6.6GHz、13.9GHz、19.35GHz、23.8GHz 和 37GHz 五个通道组成。6.6GHz、19.35GHz 和 37GHz 包含垂直极化和水平极化,13.9GHz 为水平极化,23.8GHz 为垂直极化。高度计、散射计和 13.9GHz 辐射计交替工作。散射计和 13.9GHz 辐射计共用一个水平极化天线。

多模态微波遥感器在设计上采用了一些先进的原理和技术。散射计在国际上首先采用了两个互相垂直的不同极化的笔型波束圆锥扫描天线体制,天线扫描形成的圆环足迹随飞船运行方向向前推进,从而与以往的扇形波束天线体制相比,增加了测量刈幅,减小了发射功率和数据量,降低了整机的体积和重量<sup>[2,3]</sup>。高度计采用了全去斜坡技术,即用同一个线性调频脉冲发生器产生的 Chirp 发射信号和 Chirp 本振信号进行全去斜坡处理,再用滤波的方法将距天线不同距离处的海面回波分开。辐射计接收机采用全功率增益波动自动补偿的方案,天线采用了在国内尚属首创的宽带共馈源技术,使辐射计由 6.6GHz 到 37GHz 的 4 个频段共用一个反射面和馈源。

多模态微波遥感器的原理框图如图 1 所示。多模态微波遥感器共由 11 个单元组成。其中 3 个天线单元分别是四频段共馈辐射计天线、高度计天线和散射计天线。散射计天线由互相垂直的水平极化和垂直极化两个抛物面天线组成,其中水平极化天线和 13.9GHz 辐射计共用。

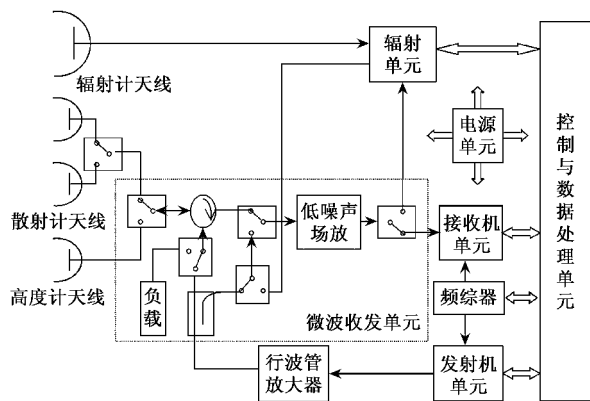


图 1 多模态微波遥感器原理框图

微波收发单元由定向耦合器、环行器、低噪声场放大器和微波开关组成。它完成模式切换以及高度

计和散射计发射和接收通道的转换;将高度计和散射计发射信号的一部分耦合到接收机做系统内定标,并将接收和内定标信号进行放大。

发射机单元包括高度信号产生器和模式转换开关等,负责产生高度计发射信号并对高度计和散射计发射信号进行切换。

行波管单元由 TWTA 和 EPC 组成。行波管单元将发射机产生的信号放大到发射信号所需的强度。

接收机单元由高度计和散射计接收机组成,将高度计和散射计接收信号下变频到低频并放大到适合 A/D 采集的电平,其中高度计和散射计接收机由开关选通工作。

频综器单元由高稳定晶振、混频器、放大器、倍频器和开关等器件组成。频综器产生高度计和散射计进行上变频和下变频所需的所有频率,同时产生散射计发射脉冲。

辐射单元由五通道辐射计接收机组成,其中垂直极化和水平极化的转换通过辐射天线分波器上的开关切换实现。

系统控制和数据处理单元由系统工作状态控制以及各模式控制和数据处理电路组成,负责完成系统工作模式控制、各模式数据采集和预处理以及与卫星通讯等任务。

电源单元由电源变换器和电源分配器组成。电源单元不仅为各模式提供所需的二次电源,而且完成模式转换功能。

## 3 运控模式

多模态微波遥感器在轨运行分为自主和留轨两个阶段。在自主运行阶段,由于既要保证飞船顺利完成所要求的试验,又要保证返回舱的安全返回,因此对多模态微波遥感器的功耗加以限制,通常情况下要求多模态微波遥感器的功耗小于 30W。在有剩余功率可以提供的情况下,允许多模态微波遥感器根据功耗适当地启动单模式工作。多模态微波遥感器在自主运行阶段的工作模式有:单辐射模式、单高度模式和单散射模式。在留轨运行阶段,多模态微波遥感器作为主载荷,可以根据自己的需要工作。由于高度模式、散射模式和辐射模式第二通道工作在相同频率上,不能同时工作,故留轨阶段的工作模式有:辐射模式、高度模式 + 辐射模式和散射模式 + 辐射模式。

由于飞船在自主飞行期间对多模态微波遥感器

的限制,需要将系统尽可能地分成最小工作单位进行控制.根据各模态的特点,多模态微波遥感器被分成高度计、散射计、辐射计第一、三、四、五通道、辐射计第二通道等几个控制部分,具体的工作方式由它们组合产生,其中每一部分使用两条指令,分别控制开和关.

飞船分配给多模态微波遥感器控制资源主要有遥控指令和程控指令共 16 条,这些控制资源不能满足多模态微波遥感器控制需要,为此,系统增加了时序控制指令,分别对应每个控制部分的开和关.由于遥控和程控指令不足以控制所有单元,这样在系统运行的过程中,就形成了以时序控制为主、遥控和程控为备份的运控模式.

多模态微波遥感器时序控制采用数据注入的方式实现.数据注入要求控制与数据处理单元的主控部分一直处于工作状态,为此,多模态微波遥感器设立了维持模态,并且在系统通电后首先进入维持模态.在维持模态中,多模态微波遥感器只有电源单元、控制与数据处理单元的主控部分和频综器单元的晶振工作,总功耗小于 30W,满足飞船的要求.

## 4 主要应用和技术指标

多模态微波遥感器的主要应用目标是海洋,同时兼顾大气和陆地.主要应用和技术指标是:

### (1) 高度模态

|               |               |
|---------------|---------------|
| 测高精度          |               |
| 经大气校正和轨道误差校正后 | $\leq 10$ cm  |
| 高度计本身引入的误差    | $\leq 4.5$ cm |
| 后向散射精度        | 1 dB          |
| 有效波高范围        | 1—20 m        |
| 有效波高精度        | 0.5 m 或 10 %  |
| 峰值发射功率        | 57W           |
| (压缩前)脉冲宽度     | 24 $\mu$ s    |
| 脉冲带宽          | 333MHz        |
| (压缩后)脉冲宽度     | 3ns           |
| 接收机噪声系数       | 5.5dB         |
| 滤波器数量         | 64            |
| 基带带宽          | 1.35MHz       |
| 滤波器带宽         | 42kHz         |

### (2) 散射模态

|          |                |
|----------|----------------|
| 海面风速测量范围 | 4—24 m/s       |
| 风速精度     | 2 m/s 或 10 %   |
| 风向范围     | 0—360°         |
| 风向精度     | $\pm 20^\circ$ |

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| 后向散射精度         | 1 dB            |
| 动态测量范围         | -40 dB — +20 dB |
| 刈幅             | 350 km          |
| 空间分辨率          | 50 km           |
| 峰值发射功率         | 100W            |
| 接收机噪声系数        | 5.5dB           |
| 天线扫描方式         | 圆锥扫描            |
| 接收机带宽          | 50kHz           |
| Doppler 频率跟踪精度 | $\leq 1$ kHz    |

### (3) 辐射模态

|              |               |
|--------------|---------------|
| 辐射测量精度       | 1K            |
| 测量动态范围       | 100—330 K     |
| 积分时间         | $\leq 100$ ms |
| 中频带宽         | 200—400MHz    |
| 测风范围(辅助散射测量) | 10—50 m/s     |
| 测风精度         | 2 m/s 或 10 %  |

## 5 在轨运行实验概况

2002 年 12 月 30 日 00 时 40 分,“神舟”四号飞船成功发射.按原定计划,在自主段,飞船在第 59 圈多模态总电源开 2 分钟后多模态数据注入,辐射模态开始工作.根据遥测数据和下传科学数据看,辐射模态工作正常.辐射模态在整个自主段传回了大量的有效数据,并进行了相应处理.在第 63 圈安排了高度模态工作,从遥测数据和科学数据看,高度模态工作正常.此后经过 64 圈、75 圈、90 圈和 95 圈安排的数据注入,两个模态一直按原定计划进行了在轨调试,通过改变运行参数,数据质量越来越好.在自主段,散射计天线处于固定状态,因此,只能在通常散射测量状态工作.为了验证,曾短时间开了散射计,证明其工作正常.在飞船飞行第 122 圈时,多模态进入留轨运行阶段,系统全面启动.第 123 圈时散射计天线启动工作,取得了有效的风场数据,系统工作正常.

由于受飞船运行轨道限制,当太阳帆板与太阳夹角太小时,为了保证飞船上的能源供应,飞船将转向对日,在这段时间内,由于飞船的对地轴发生偏转,多模态无法工作,进入关机状态.

在“神舟”四号飞船的整个运行期间,多模态微波遥感器按总体要求工作了 4 个时段,其中自主段为单模态工作,留轨段为复合模态工作.分系统的运控方式是采用数据注入,共计进行了 51 次数据注入,从遥测数据判断,全部正确执行.除数据注入外,

在控制指令上,多模态使用了天线开关控制指令和行波管开关控制指令,指令执行正常.在飞船运行的1361圈,多模态使用了备份电源和主控单元的备份件,从遥测结果看,指令执行正常,多模态备份设备工作正常.



图2 根据2003年1月2日至13日辐射模式6.6GHz通道V极化测量结果绘制的亮温图



图3 根据2003年2月8日高度模式测量结果绘制的有效波高趋势图

飞行实验期间,辐射模式5个通道输出亮温随地物目标的变化敏感,亮温较低的海洋区与亮温较高的陆地区能够明显的区分开来.图2是根据辐射模式6.6GHz通道V极化2003年1月2日至13日测量结果在地球坐标背景下绘制的亮温图.由图2



图4 根据2003年2月8日高度模式测量结果绘制的跟踪高度轨迹图



图5 根据散射模式测量结果反演得到的海洋表面风场图

可见,亮温变化与地物目标的变化取得了很好的一致性.高度模式得到了大量的跟踪数据,有了跟踪数据,就可以进一步反演卫星到海平面高度、海浪的有效波高、风速等.图3和图4是根据2003年2月8日高度模式测量结果绘制的有效波高趋势图和跟踪高度轨迹图.散射模式得到了海洋表面风场的测试结果,图5是根据散射模式测量结果由国家卫星海洋应用中心和国家海洋局三所反演得到的海洋表面风场图.

## 6 在轨运行初步结论

自2002年12月30日“神舟”四号成功发射后,经过整个在轨期间的运行实验,多模态微波遥感器得到如下初步结论:

(1)3个模态都获取了有效数据并由海洋局相关研究所和中国科学院空间科学与应用研究中心进行反演.

(i)获得了对地观测亮温图.在图中海陆界限分明,可分辨不同温度的海域并给出等温曲线图.

(ii)从高度计数据反演出了卫星到海平面的高度、海洋的有效波高和海面的风速.

除海洋参量外,从高度计的数据能够确立飞船轨道的变化及其摄动情况.

(iii)从旋转天线散射计数据反演出了相关海域的风场图,其中风速与高度计获取的风速作了对比,尽管二者数据获取时间相差一天,但其变化的趋势基本一致.非旋转天线散射计获取了亚马逊热带雨林后向散射数据.

(2)验证了3个模态的技术体制及多模态运行功能和辐射计、高度计、散射计各自的功能.

(3)验证了双抛物面天线扫描型风场测量机理及技术。

(4)验证了四频道共馈天线技术。

从上述情况看,多模态微波遥感器在轨实验获得成功。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Ulaby F T , Moore R K , Fung A K. Microwave Remote Sensing. Addison-Wesley Publishing Company , 1982
- [ 2 ] Jiang J S , Zheng Z F , Liu H G *et al.* Space Technol. , 1998 , 18( 1/2 ) : 57
- [ 3 ] Jiang J S , Zhang Y H , Dong X L *et al.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing , 2000 , 66( 5 ) : 599

· 物理新闻与动态 ·

## 太小的镱原子团簇不易熔化

最近美国印第安纳大学的 Breaux 教授发现,由 17 个镱原子组成的纳米量级的团簇,在很高的温度下仍不能出现熔化状态。按照理论的计算,原子团簇的熔化温度是随着团簇的大小而下降的,因此许多材料的纳米原子团簇的熔化温度应在室温附近。但现在的实验结果恰恰是与理论的预期相反。在 2000 年 9 月,美国西北大学的 Martin Jarrold 教授在 *Physical Review Letters* 上曾发表过他的研究成果,即锡原子团簇愈小愈不能熔化的事实,但当时他只能从监测小原子团簇形状的变化来确定它的状态,而无法直接测定出它们的温度。

现在 G. A. Breaux 教授的研究解决了这个问题,他将镱原子团簇发射到一个高压的碰撞网格中,

镱原子团簇在与网格内的氦缓冲气体的碰撞中不断加热。随后可以监测从碰撞网格中逸出的已被熔化的团簇大小,而且还可直接测定出镱原子团簇的熔化温度。实验表明,大块的镱原子团簇,其熔化温度是 303 K,由 39—40 个镱原子组成的镱原子团簇,其熔化温度为 550 K 左右,而由 17 个镱原子组成的镱原子团簇,直到 800K 时,仍没有团簇熔化的任何迹象。到目前为止,还没有任何理论框架可用来解释小原子团簇具有高熔点的原因。但 Breaux 教授认为这个实验现象对于纳米材料的加工以及材料学科有着重要的影响,特别是在低温时,若小原子团簇不能在理论估计值附近熔化的话,那么它就不可能进行烧结工艺。

(云中客 摘自 *Physical Review Letters* , 23 November 2003 )

## 光学元件库 — 欧普特科技

北京欧普特公司参照国际通常规格及技术指标,备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考)供国内各大专院校、科研机构、实验室随时选用,我公司同时可为您的应用提供技术咨询。

光学透镜:平凸,双凸,平凹,双凹,消色差胶合透镜等。直径 1~150mm;焦距 1~1000mm;材料包括光学玻璃,紫外石英玻璃,有色光学玻璃,红外材料。

光学棱镜:1~50mm 各种规格直角棱镜,及其它常用棱镜。

光学反射镜:各种尺寸规格的镀铝,镀银,镀金,及介质反射镜。直径 5~200mm。

光学窗口:各种尺寸规格,材料的光学平面窗口,平晶。直径 5~200mm。

各种有色玻璃滤光片:规格 5~200mm(紫外,可见,红外)。

紫外石英光纤:进口紫外石英光纤, SMA 接口光纤探头,紫外石英聚焦探头。

单位:北京欧普特科技有限公司

地址:北京市海淀区知春路 49 号

希格玛大厦 B 座 #306 室

电话:010-88096218 / 88096217

传真:010-88096216

邮编:100080

网址:www.goldway.com.cn

电子邮件:optics@goldway.com.cn

sms@goldway.com.cn

联系人:曼曼珊女士

石冀阳小姐