

在月球背面进行低频射电天文观测的关键技术研究

纪奕才^{1,2}, 赵博¹, 方广有^{1,2*}, 平劲松³, 吴伟仁⁴, 宁远明⁴, 卢伟^{1,2}, 周斌¹

(1. 中国科学院电磁辐射与探测技术重点实验室 北京 100190; 2. 中国科学院大学 北京 100049;
3. 中国科学院国家天文台 北京 100012; 4. 探月与航天工程中心 北京 100037)

摘要: 月球具有足够大的尺寸, 能够有效地遮挡来自地球的低频电磁波干扰, 因此月球背面是进行低频射电天文观测的最佳场所。本文论述了利用低频射电频谱仪在月球背面进行空间低频射电天文观测的意义, 给出了低频射电频谱仪工作原理、科学探测目标和系统组成。研究了低频射电频谱仪的设计, 并采用低频射电频谱仪对北京中关村地区空中低频电磁波辐射频谱进行了试验探测, 结果表明: 低频射电频谱仪能够清晰地探测到 0.1~40 MHz 频带内的广播电台及授时台等发射的低频电磁波信号。

关键词: 射电天文; 低频射电频谱仪; 月球背面; 太阳爆发

中图分类号: P161

文献标识码: A

文章编号: 2095-7777(2017)02-0150-08

DOI:10.15982/j.issn.2095-7777.2017.02.008

引用格式: 纪奕才, 赵博, 方广有, 等. 在月球背面进行低频射电天文观测的关键技术研究[J]. 深空探测学报, 2017, 4 (2): 150-157.

Reference format: Ji Y C, Zhao B, Fang G Y, et al. Key technologies of very low frequency radio observations on the lunar far side [J]. Journal of Deep Space Exploration, 2017, 4 (2): 150-157.

0 引言

宇宙天体起源演化是自然科学中的基本问题之一, 可在无线电波波段使用射电望远镜来探究。在低频射电波段对来自太阳、行星和其它宇宙天体的电波信号进行精确测量, 可为探究这些问题做出独特的贡献。地面射电观测中, 地球的电离层和磁层等离子体吸收和遮挡了低于10 MHz频率的外太空电磁波, 使得宇宙空间中低频段的电磁波难以通过地球的电离层到达地面, 在地球上无法实施观测。特别地, 频率在0.1~1 MHz的射电天文观测即使在空间中的探测也非常有限, 几乎是天文电磁波谱的一个空白领域。月球具有足够大的尺寸, 可以有效地遮挡来自地球的无线电波(干扰), 在月面的夜间, 还可以有效地遮挡来自太阳的电波, 因此, 月球背面是天文界公认的观测低频射电天文的最佳场所。在月球背面布设低频天线开展0.1~40 MHz的低频射电天文观测, 将进一步开创天文观测的新领域, 将有机会发现宇宙天体演化中的新现象、新规律。

自20世纪70年代以来, 空间太阳射电探测渐渐成为一个持续的热点, 除RAE-1, RAE-2射电天文专用卫星外, WIND, Ulysses等卫星也相继发射, 用于太阳射电观测, 并对木星和太阳系其他大行星低频射电进

行了探测。到1987年止, 已有30多颗卫星进行了太阳射电空间观测。欧洲航天局(ESA)1997年进行了月球背面月面甚低频射电天文观测的研究, 并于2015年1月提出了在月球背面着陆的FARSIDE计划, 计划于2025年向月球背面发射着陆器, 在着陆器上搭载用于低频射电信号观测的射电频谱仪, 并与中继星搭载的低频射电频谱仪进行干涉测量。20世纪90年代初, 我国科学家就提出了星载VLF射电频谱仪的相关构想, 提出了空间甚低频射电干涉仪成像观测方案, 中国科学院国家天文台和电子学研究所等单位相继完成了甚低频太阳射电频谱仪的原理样机, 完成了利用空间或月基建立射电甚低频阵列对太阳爆发现象进行成像观测的研究, 并对两站系统的原理样机进行了干涉试验, 取得了较好的结果。2014年我国提出了在月球背面着陆的探测计划, 并计划搭载低频射电频谱仪进行太阳低频射电观测。

利用月球背面的着陆探测机会, 布设低频射电频谱仪开展低频射电天文观测, 对来自太阳系或宇宙的频率为0.1~40 MHz的低频射电辐射进行高时间-频谱分辨率的观测, 实现对太阳系和太阳系以外宇宙空间低频辐射电场的观测, 具有重要的科学意义。本文论述了低频射电频谱仪工作原理、科学探测目标、系统

组成和设计以及对空间中电台信号的试验测试结果。

1 工作原理与科学探测任务及意义

宇宙空间中的来波电场是矢量信号，根据矢量理论，来波电场可以分解为任意相互垂直的三个电场分量。因此，只要将这三个电场分量分别接收下来，根据电磁波传播理论，通过对三分量电场观测数据的后期分析和处理就可以获得整个来波电场的强度和极化特性，并可以获得电场的频谱、时变等信息。另外，利用三分量电场的幅度和相位，通过数据处理，还可以获得空间来波电场的波达角。

因此，低频射电频谱仪采用三分量有源天线单元 A、B、C 接收太阳爆发和宇宙空间来波电场信号相互垂直的三个分量，并通过对三分量电场观测数据的分析和处理可获得低频电场的强度、频谱、时变、偏振

特性、来波方位等信息。

着陆器低频射电频谱仪安装在“嫦娥4号”着陆器上，将搭载“嫦娥4号”探测器在月球背面着陆并进行工作，其科学探测任务主要是在月昼期间对太阳低频射电特征进行探测，探测太阳II型III型射电爆发、日冕高层的百米波和千米波爆发和辐射特性，并利用月表电离层太阳爆发电场的截止特性，对着陆区上空电离层等离子频率及其变化特性、机制进行监测研究。

同时，还可以对来自太阳系行星和太阳系以外宇宙空间低频辐射电场进行观测。例如：观测研究来自木星等太阳系行星的低频射电爆发；观测研究银河系低频大尺度高分辨率辐射特性；探测强脉冲星低频射电辐射特性。除此之外，还有机会探测绘制银河系空间在着陆区可见区域及干涉可见区域电离氢的分布，揭示与甚低频辐射关联的超新星遗迹演化特征和宇宙线产生机制；观测来自河外星系的甚低频辐射，约束宇宙演化模式和再电离发生的时间；检测Askaryan效应产生的超高能宇宙线如中微子轰击月球表面的甚低频辐射事件，并通过干涉测量确定事件发生的位置。

2 系统方案设计

为了实现上述科学探测任务，对低频射电频谱仪进行了方案设计，其系统组成及与着陆器综合电子系统之间的接口关系如图 2 所示。低频射电频谱仪主要由电子学单元、前置放大器、三根接收天线、电缆组件等部分组成，其中电子学单元由控制器、配电器、基准时钟模块、多通道接收机、内定标组件、通讯接口、数传接口等组成。

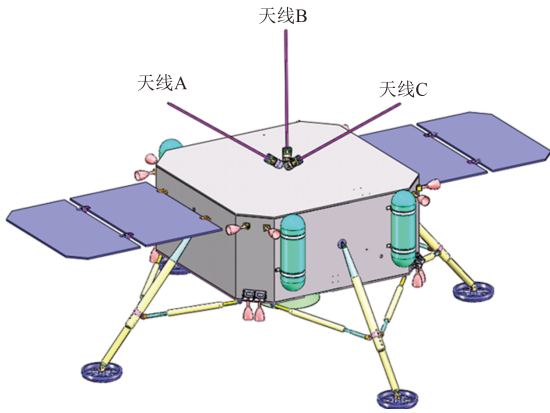


图 1 低频射电频谱仪三分量接收天线

Fig. 1 Tripole antenna of the very low frequency radio spectrometer

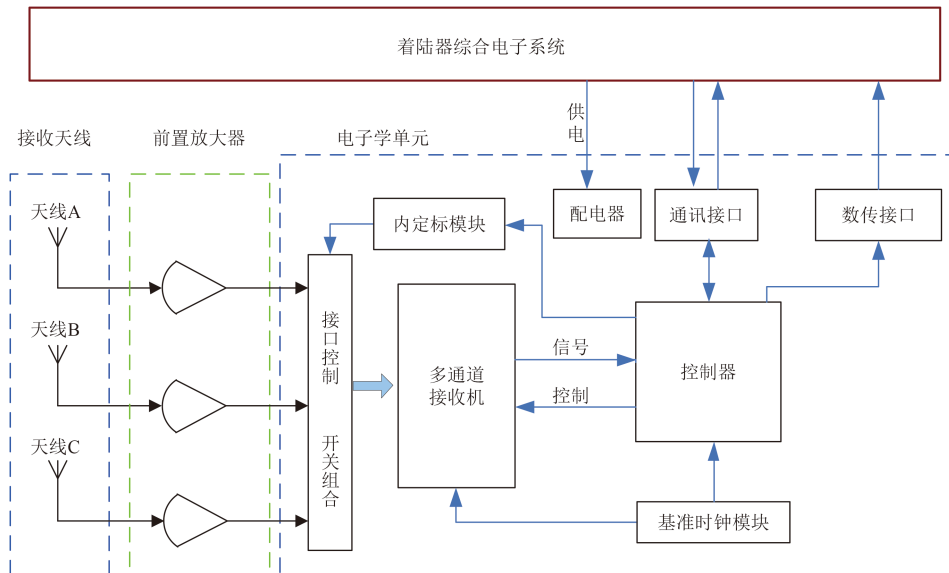


图 2 低频射电频谱仪系统组成

Fig. 2 System of the very low frequency radio spectrometer

低频射电频谱仪主要完成如下功能：与着陆器数据通讯，通过数据总线接收着陆器的数据注入，并将工程参数和遥测参数传送至着陆器；控制内定标组件对接收机进行内定标，采集遥测信号和接收机输出信号；对科学数据进行处理、组织与存储等。配电器对着陆器提供的母线电源进行处理，并产生低频射电频谱仪所需的各类二次电源。通讯接口模块与着陆器进行通讯。数传接口通过LVDS数据总线与着陆器进行数据传输。基准时钟模块用于产生低频射电频谱仪所需的精准时钟基准。多通道接收机对天线输出的信号进行低噪声放大、滤波、增益控制，然后送至控制器上的ADC进行模数转换。内定标组件产生标定信号，并输出至接收机进行测试，在控制器的控制下可以实现低频射电频谱仪的内定标功能。

低频射电频谱仪主要性能指标要求如表 1所示。

表 1 低频射电频谱仪的主要性能指标要求

Table 1 Performance requirements of very low frequency radio spectrometer

序号	名称	主要参数和性能
1	工作频率/MHz	0.1~40
2	接收机灵敏度/(nV·Hz ^{-1/2})	≤ 10
3	动态范围/dB	≥ 75
4	频率分辨率/MHz	≤ 0.01 (0.1~1.0)
5	三接收天线长度/m	≤ 0.2 (1.0~40)
6	最大数据率/Mbps	5
7	功耗/W	≤ 20

2.1 控制器

低频射电频谱仪控制器由模数转换模块、通讯接口模块、遥测电路模块、电源模块、FPGA及数据处理模块组成，组成框图如图 3所示。

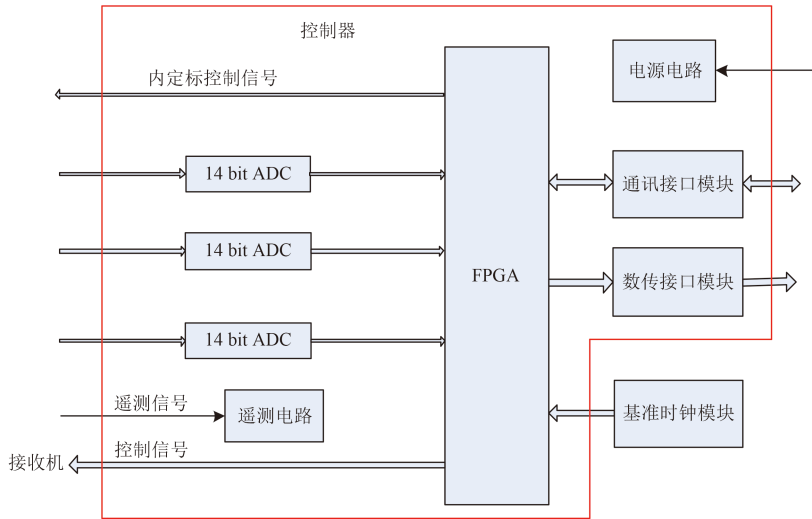


图 3 低频射电频谱仪控制器组成框图
Fig. 3 Block diagram of the VLFRS controller

低频射电频谱仪控制器控制和实现接收系统的所有工作时序，监测低频射电频谱仪的工作状态，主要完成如下功能：与着陆器数据通讯，通过数据总线接收数据注入并将科学数据、工程参数和遥测参数进行打包封装，按照协议要求配合读取数据包及子系统的校时等任务；控制内定标组件、转换接收机输出信号模数、产生内定标信号、实时处理射电信号、采集遥测信号、组织和存储科学数据和工程参数等功能。控制器的主要设计参数如下。

- 1) 模拟输入信号范围：2 Vpp；
- 2) 采样时间分辨率：10 ns；
- 3) 模数转换位数：14 bit；
- 4) 数据传输率：不超过5 Mbit/s

2.2 接收机

低频射电频谱仪接收机，用于实现对天线接收到的信号进行滤波、放大等波形的调理功能，使得接收到的模拟信号可以被后端ADC模块采集。接收机分为三路接收，用于三分量信号的调理及采集。接收机的技术指标如表 2所示。

表 2 接收机技术指标

Table 2 Technical specifications of the VLFRS receivers

指标名称	技术要求
带宽/MHz	0.1~40
动态范围/dB	80
增益/dB	33
灵敏度/(nV·Hz ^{-1/2})	10
增益调整范围/dB	0~31.5

如图4所示,接收机具有3个模拟通道,每个通道的模拟部分由前端低通滤波器、运放、数控衰减器、两级低噪放和后端低通滤波器等部分组成,接收机前端带宽为40 MHz。控制器上的ADC对模拟部分的输出信号进行数字化,实现40 MHz内低频射电信号的接收,接收机灵敏度为 $6 \text{ nV/Hz}^{1/2}$,动态范围为86 dB,满足设计要求。

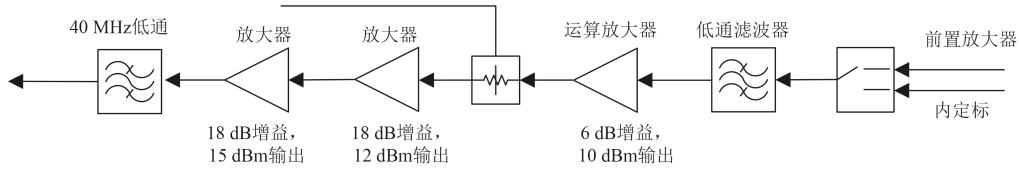


图4 接收机前端模拟电路

Fig. 4 Analog circuit of the receiver front-end

2.3 内定标模块

内定标模块用于接收机幅频特性的定标,采用的技术方案是利用标准噪声源,产生定标信号,通过一分三功分器传输给三通道接收机进行定标。定标信号与接收信号之间的切换,分别通过三路功分器以及模拟开关来实现。

在切换为内定标通路时,实现接收通道的环回测试,由此得到接收机模拟前端的幅频特性,从而实现接收通道传输特性变化的相对测量,为频谱仪数据后处理提供接收通道误差补偿用的定标数据。

2.4 基准时钟模块

基准时钟模块是低频射电频谱仪的一个重要单元,其功能是产生各种高稳定度的时钟基准信号。这些信号供给模数转换器、数模转换器和FPGA等单元做时间基准信号。基准时钟模块内部有恒温晶振,可产生100 MHz时钟,对时钟信号进行必要的处理后输出至控制器。低频射电频谱仪要求本振系统具有很高的相位稳定性,这种高稳定度的本振通过恒温晶振来获得的,要求其频率稳定度达到 10^{-11} (秒稳)量级,漂移率达到 10^{-9} (天稳)量级。恒温晶振的电性能指标为:

晶振频率: $100 \text{ MHz} \pm 0.02 \text{ kHz}$

温度频差: 优于 $\pm 50 \text{ ppb}$ (在 $-20 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 内)

短期频率稳定度: $\leq \pm 0.02 \text{ ppb}$ (1 s)

日老化: $\leq 5 \text{ ppb}$

输出阻抗: 50Ω

杂波抑制: $\leq -75 \text{ dBc}$

2.5 有源接收天线设计

为实现低频射电频谱仪的科学探测目标,低频射电频谱仪天线应满足工作频带宽、质量轻、体积小、

在频谱接收模式下,接收机完成一次完整的频谱扫描总数据量约为82 Kb,每隔1 s采集一道完整频谱,具体扫描时长取决于积分时间,因此频谱接收模式下低频射电接收机的数据率约为82 Kbps。在时域波形接收模式下,需要长时间连续观测,为降低数据量,仅接收单个通道的数据,数据率约为4.8 Mbps。

易于安装、耐高低温等技术要求。其技术指标如表3所示。

表3 有源天线技术指标

指标名称	技术要求
工作带宽/MHz	0.1~40
接收灵敏度/ $(\text{nV} \cdot \text{Hz}^{-1/2})$	6
天线长度/mm	5 000
天线形式	三个天线相互垂直

2.5.1 天线原理与实现方案

为了实现空间矢量电场的接收和辐射源的空间定位,低频射电频谱仪接收天线采用三分量阵列形式,综合考虑,选用单极子天线作为三分量阵列的天线单元(具有重量轻、易于收拢等特点,适用于航天探测任务)。低频射电频谱仪的工作频率跨越LF、MF、HF及VHF四个频段,波长从3 km变化到7.5 m,只有采用有源天线作为接收天线,才能满足带宽大、重量轻、体积小等要求。

当空间中的来波电场平行于天线的分量为 E_1 ,则天线接收到的电压为

$$U = E_1 l_e \quad (1)$$

可见,单极子天线的接收空间来波电场能力与天线有效长度成正比。但天线的长度并不是越长越好,因为单极子天线长度超过0.5波长时,天线上会出现反向电流,使天线方向图出现副瓣。天线的长度大于0.7波长时,单极子天线的最大接收方向就会偏离 $\theta = 90^\circ$ 方向。因此,当天线的工作频带为0.1~40 MHz时,考虑最高频率40 MHz的波长为7.5 m,因此,取天线长度为5.0 m。这样,既可以提高频率低端的接收电压,又可以保证整个频带内天线的最大接收方向都在 $\theta = 90^\circ$

方向，便于太阳爆发和宇宙空间来波电场的分析和处理。

长度为5 m、横截面直径30 mm的单极天线，垂直放置在着陆器模型上，其输入阻抗仿真结果随频率的变化关系如图5所示。从图中可以看出，天线的输入阻抗在低频段内主要呈容性。

图6给出了5 m长的单极子在不同频点处的辐射方向图。从图中可以看出，在全频段内天线的辐射方向图为∞字形，且随方位角和频率的变化较小，但在高频段，方向图开始发生轻微的变形。

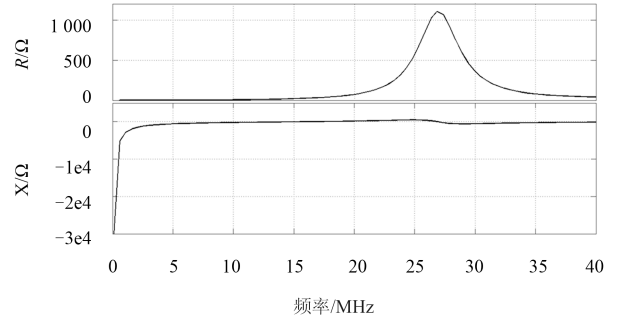


图5 5 m长天线的输入阻抗
Fig. 5 Input impedance of the 5 m long antenna

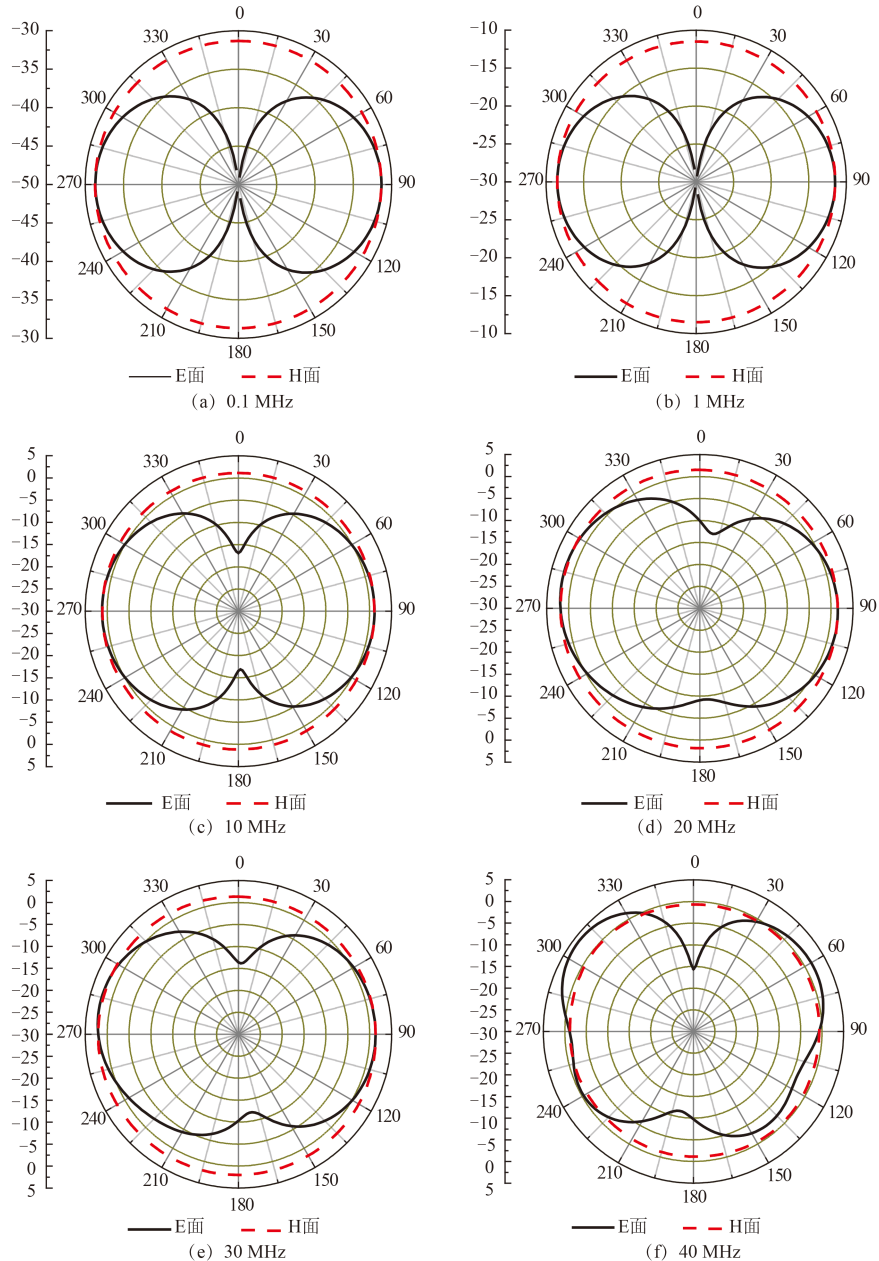


图6 单极子天线的辐射方向图
Fig. 6 Radiation pattern of the monopole antenna

2.5.2 前置放大器设计

低频射电频谱仪接收天线设计长度为5 m，在低频段，由于天线的辐射阻抗较小，因此其辐射效率较低，如果再考虑输入端口的失配损耗，则天线的增益将更低。为了实现接收天线的宽频带工作，一般的无源网络无法满足这样的要求，通常采用前置放大电路实现全频带内的阻抗匹配，同时对其低频增益进行补偿。有源天线组成如图7所示，图中虚线部分即为前置放大器，其内部的匹配网络一般由晶体管或场效应管构成。

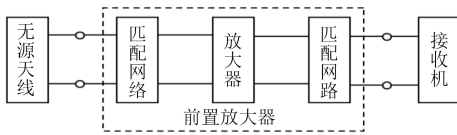


图7 有源天线组成框图

Fig. 7 Block diagram of the active antenna

图7所示的有源天线放大网络中通常采用三级放大电路实现天线的匹配与接收信号的放大。第一级匹配网络实现无源天线与后级放大电路之间的匹配，通常需要较高的输入阻抗和较高的输出阻抗；第二级放大电路实现接收信号的放大，通常需要较高的输入阻抗和较高的输出阻抗；第三级匹配网络实现前端放大电路与后端接收机之间的匹配，通常需要较高的输入阻抗和较低的输出阻抗。当有源放大网络的放大倍数要求较低，且系统噪声要求较高时，可以将前两级合并，采用两级放大电路的方式实现天线的有源放大。

天线连接有源前置放大器后，称之为有源接收天线。有源接收天线的等效电路如图8所示，电路中的电压源 U_a 决定于无源天线的有效长度和空间电场强度，有源天线的输出电压可表示为

$$V_{out} = \frac{A_v U_a}{1 + Z_a/Z_i} \quad (2)$$

其中： Z_a 和 Z_i 分别为天线阻抗和前置放大器的输入阻抗； A_v 为前置放大器的放大倍数。

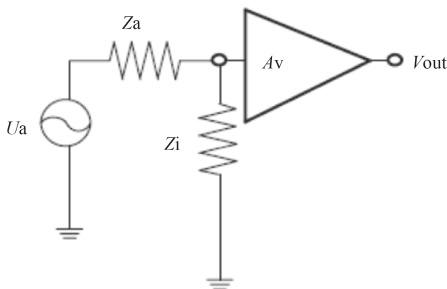


图8 有源天线的等效电路

Fig. 8 Equivalent circuit of the active antenna

天线的阻抗在低频段主要呈容性，有源天线的输出电压可简化为

$$V_{out} = \frac{A_v U_a}{1 + C_i/C_a} \quad (3)$$

式中： C_a 为天线电容； C_i 为前置放大器输入电容。由式(3)可知，为了在低频段获得较好的接收灵敏度，必须使得前置放大器的输入电容尽可能小，才能获得好的传输特性，实现无源天线与接收机的良好匹配。根据上述分析，前置放大器在选择器件时要选择结电容较小的场效应管与晶体管，尽量减小前置放大器的输入电容。此外，无源天线与前置放大器之间的馈线长度要尽量短，当馈线长度过长时，馈线与平台之间会产生较大的寄生电容，进而引起前置放大器输入电容明显增加，降低天线的效率。前置放大器的增益则需根据系统探测要求来决定，需要保证天线能够达到预定的接收灵敏度。前置放大器要求具有很低噪声，选择合适的场效应管，其等效输入噪声可低至 $6 \text{ nV/Hz}^{1/2}$ 。

2.5.3 三分量天线安装要求

低频射电频谱仪天线共有三副，分别为接收天线A、接收天线B和接收天线C，三副天线均由前置放大器进行馈电。三副天线与前置放大器均安装于着陆器顶板上侧，其中接收天线A、B、C两两之间相互垂直。三副接收天线在探测器发射时处于收拢压紧状态，当着陆器在月面安全着陆后，通过地面指令将天线释放展开，天线展开状态如图1所示。前置放大器安装于接收天线A、B、C的附近。

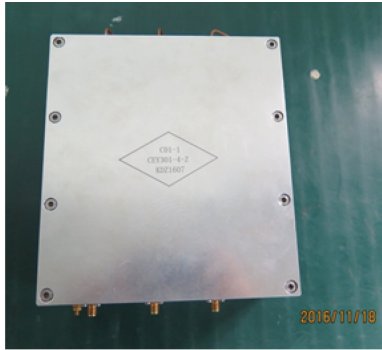
低频射电频谱仪三副接收天线分别用于接收来自太阳爆发和宇宙空间的低频电场矢量信号的三个分量，然后合成电场矢量的幅度，因此要求三副接收天线相互垂直。由于低频射电频谱仪天线展开后天线杆长度为5 m，月球重力约为地球的1/6，所以，天线杆的末端会受月球重力影响而下垂。为保证接收电场信号的准确性，要求天线末端下垂的角度小于 3° 。

3 样机研制与测试结果

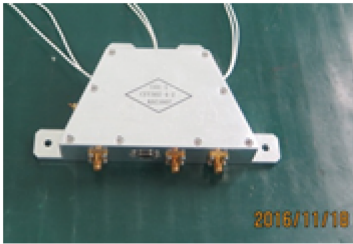
完成了低频射电频谱仪的方案设计及原理样机的研制（见图9）。样机接收灵敏度为 $8.9 \text{ nV/Hz}^{1/2}$ ，动态范围为77 dB，满足技术指标要求。产品照片如图10所示。

为了验证低频射电频谱仪的探测性能，低频射电频谱仪安装在中国科学院电子学研究所东配楼楼顶，三副接收天线按照相互垂直方式安装在金属板上，如图10所示。采用低频射电频谱仪对北京中关村地区空间中的低频辐射电磁波频谱进行了探测，图11~13给出了三个通道的探测结果，从图中可以看出，低频射

电频谱仪能够清晰地探测到0.1~40 MHz频带内的广播电台信号、授时台信号（5 MHz、10 MHz、15 MHz）等低频电磁波辐射信号。



(a) 电子学单元



(b) 前置放大器



(c) 天线

图9 低频射电频谱仪组成单元的照片
Fig. 9 Photos of the components of VLFRS

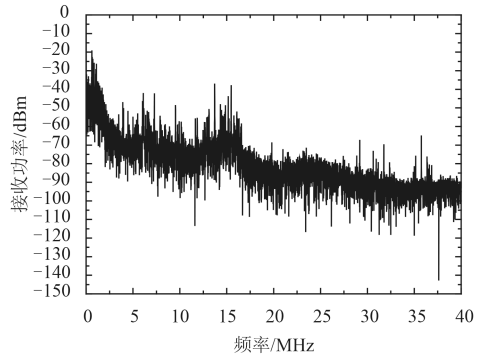


图11 天线A接收到的低频电磁波频谱
Fig. 11 Spectrums of low frequency electromagnetic wave received by antenna A

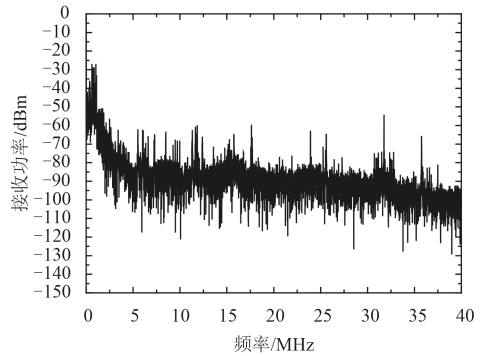


图12 天线B接收到的低频电磁波频谱
Fig. 12 Spectrums of low frequency electromagnetic wave received by antenna B

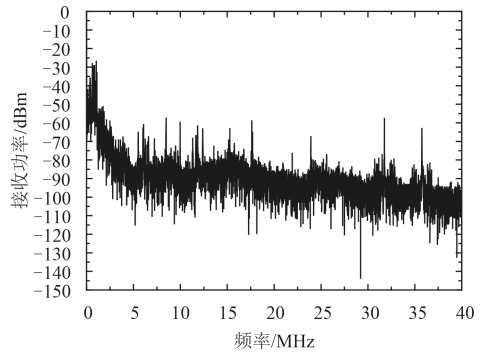


图13 天线C接收到的低频电磁波频谱
Fig. 13 Spectrums of low frequency electromagnetic wave received by antenna C

4 结束语

在月球背面利用低频射电频谱仪进行太阳射电天文观测，能够对太阳爆发的低频射电特征进行探测，并对着陆区上空的电离层等离子体频率及其变化特性、机制进行监测研究。本文研究了低频射电频谱仪的关键技术，给出了低频射电频谱仪工作原理、科学探测目标、系统组成和设计以及对空间中电台信号的试验测试结果。利用月球背面的着陆探测机会，布设低频射电天线开展低频射电天文观测，将进一步开创天文



图10 低频射电频谱仪安装在楼顶进行空间电磁波接收试验的照片
Fig. 10 Photo of VLFRS installed on the rooftop to receive space electromagnetic waves

观测的新领域,实现对太阳系和太阳系以外宇宙空间低频射电信号的观测,填补0.1~10 MHz低频射电天文方面的科学空白。

致谢:

本文的研究工作由国家探月工程二期“嫦娥4号”任务项目支持。

参 考 文 献

- [1] Alexander J K, Kaiser M L, Novaco J C, et al. Weber scientific instrumentation of the Radio-Astronomy-Explorer-2 satellite[J]. *Astron. Astrophys.*, 1975, 40: 365-371.
- [2] Bely P Y, Laurance R J, Volonte S, et al. Very low frequency array on the lunar far side, ESA report SCI(97)2 [R]. [S.l.]: European Space Agency, 1997.
- [3] Takahashi Y D. New astronomy from the Moon: A lunar based very low frequency array[D]. UK: University of Glasgow, 2003.
- [4] Gurnett D A, Kurth W S, Kirchner D L, et al. The Cassini Radio and Plasma Wave Investigation[J]. *Space Sci. Rev.*, 2004, 114: 395-463.
- [5] 陈太雷. 关于开展我国空间低频射电天文学研究的一些设想[C]//中国宇航学会深空探测技术专业委员会第二届学术会议论文集.北京:CDSTE-CSA, 2005.
- [6] Chen T L. The 2th Academic Conference of Committee of Deep space exploration Technology, Chinese Society of Astronautics(CDSET-CSA). Beijing: CDSTE-CSA, 2005.
- [7] Bougeret J L, Goetz K, Kaiser M L, et al. S/WAVES: The Radio and Plasma Wave Investigation on the STEREO Mission[J]. *Space Sci. Rev.*, 2008, 136:487-528.
- [8] 平劲松. 推进HF射电天文技术与观测应用[C]//中国天文学会2011年学术年会,南昌:CDSET-CSA, 2011.10.30.
- [9] Mimoun D, Wicczorek M A, Alkalai L, et al. Farside Explorer: Unique science from a mission to the farside of the Moon[J]. *Exp. Astron.*, 2012, 33: 529-585.
- [10] Zarka P, Bougeret J L, Briand C, et al. Planetary and exoplanetary low

frequency radio observations from the Moon[J]. *Planet. Space Sci.*, 2012, 74: 156-166.

- [11] 吴伟仁,于登云. 深空探测发展与未来关键技术[J]. *深空探测学报*, 2014, 1 (1): 5-17.
Wu W R, Yu D Y. Development of deep space exploration and its future key technologies[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2014, 1(1):5-17.
- [12] 平劲松,王明远,张素君,等. 嫦娥系列探月卫星无线电科学实验简介[J]. *深空探测学报*, 2014, 1(3): 192-199.
Ping J S, Wang M Y, Zhang S J, et al. Radio science experiments in Chang'e series missions[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2014, 1(3):192-199.
- [13] Wicczorek M. FARSIDE A mission to the farside of the Moon, technical report[R]. [S.l.]: Institut de Physique du Globe de Paris, 2015.
- [14] 于登云,吴学英,吴伟仁. 我国探月工程技术发展综述[J]. *深空探测学报*, 2016, 3(4): 307-314.
YU D Y, WU X Y, WU W R. Review of technology development for Chinese lunar exploration program[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2016, 3(4): 307-314.

作者简介:

纪奕才(1974-),男,研究员,教授,博士生导师,主要研究方向:超宽带雷达成像理论与方法、月球/火星探测雷达技术、超宽带天线、电磁兼容等。

通信地址:北京市海淀区北四环西路19号(100190)

电话:(010)58887490-603

E-mail:ycji@mail.ie.ac.cn

方广有(1963-),男,研究员,教授,博士生导师,主要研究方向:超宽带雷达成像理论与方法、探地雷达技术、地下资源电磁勘探技术、月球/火星探测雷达技术、超宽带天线理论与技术、左手材料、THz成像技术等。

通信地址:北京市海淀区北四环西路19号(100190)

电话:(010)58887498

E-mail:gyfang@mail.ie.ac.cn

Key Technologies of Very Low Frequency Radio Observations on the Lunar Far-Side

Ji Yicai^{1,2}, ZHAO Bo¹, FANG Guangyou^{1,2*}, PING Jinsong³, WU Weiren⁴,
NING Yuanming⁴, LU Wei^{1,2}, ZHOU Bin¹

(1. Key Laboratory of Electromagnetic Radiation and Sensing Technology, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100190, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

4. Lunar Exploration and Space Program Center, Beijing 100037, China)

Abstract: The Moon has a large size, which can effectively block the low-frequency electromagnetic interference from the Earth, so the lunar far-side is the best place for low-frequency radio astronomical observation. In this paper, the significance of using a very low frequency radio spectrometer (VLFRS) for the low frequency radio astronomical observation on the back of the moon is discussed. And the goals, as well as the basic principles, design, composition and achievements of the VLFRS are described. Finally, experiments on the radiation spectrum of low frequency electromagnetic wave in Zhongguancun area, Beijing are analyzed. The results show that the low frequency radio signals in the 0.1~40MHz band, which are emitted by the radio stations and the time-service centers, can be clearly detected by the VLFRS.

Key words: radio astronomical observation; very low frequency radio spectrometer; lunar far side; Solar burst

[责任编辑:宋宏,英文审校:朱鲁青]