

“嫦娥五号”探测器有效载荷分系统设计

周昌义¹, 王 赤¹, 李慧军¹, 孙辉先¹, 江源源¹, 何志平², 周 斌³, 杨建峰⁴,
周维佳⁵, 胡永富⁶, 范开春⁷, 徐欣锋¹, 周 晴¹, 王 雷¹, 张宝明¹

(1. 中国科学院 国家空间科学中心, 北京 100190; 2. 中国科学院 上海技术物理研究所, 上海 200083;
3. 中国科学院 电子学研究所, 北京 100190; 4. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 西安 710068;
5. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 沈阳 110016; 6. 航天科技集团第五〇八研究所, 北京 100190;
7. 航天科工集团第四研究院, 武汉 430040)

摘 要: 主要介绍了为实现采样区就位探测的科学目标和国旗展示任务,“嫦娥五号”(Chang'E-5, CE-5)探测器配置的有效载荷分系统所携带的全景相机、降落相机、月壤结构探测仪、月球矿物光谱分析仪4类科学载荷,及国旗展示系统、全景相机转台、载荷数据处理器等工程及支撑载荷,通过对各载荷系统的单机及分系统层面的减重设计、热设计、集成设计,圆满完成了分系统在轨工作任务。

关键词: 嫦娥五号; 有效载荷分系统; 全景相机; 降落相机; 月壤结构探测仪; 月球矿物光谱分析仪

中图分类号: V525

文献标识码: A

文章编号: 2096-9287(2021)03-0290-09

DOI:10.15982/j.issn.2096-9287.2021.20200050

引用格式: 周昌义, 王赤, 李慧军, 等. “嫦娥五号”探测器有效载荷分系统设计[J]. 深空探测学报(中英文), 2021, 8(3): 290-298.

Reference format: ZHOU C Y, WANG C, LI H J, et al. Design of the payload subsystem of Chang'E-5 lunar explorer[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2021, 8(3): 290-298.

引 言

“嫦娥五号”(Chang'E-5, CE-5)任务是中国探月工程三步走的收官之作^[1]于2011年正式立项,主任务和工程目标为月球样品采样返回。在“嫦娥五号”着陆器上分配了18 kg的重量,用于有效科学载荷分系统设备,以实现“嫦娥五号”任务就位探测的科学目标^[2]。“嫦娥五号”探测器是中国迄今为止发射的最复杂的航天器,从发射到返回要经历11个飞行阶段,各阶段环环相扣,任何一个环节的差错,都将导致任务失败。

“嫦娥三号”(Chang'E-3, CE-3)和“嫦娥四号”(Chang'E-4, CE-4)的有效载荷分布在着陆器和巡视器上^[3-5]携带的光学设备和测月雷达等通过巡视器的移动,对移动路径上的目标进行就位探测,“嫦娥五号”有效载荷全部安装在着陆器上,着陆器着陆后不能移动,只能通过转台、指向转动机构、多天线电扫描等方式解决探测范围受限的问题。

探月三期“嫦娥五号”探测器的科学目标为采样区就位探测,为有选择地进行月壤取样提供依据,建立现场探测数据与返回样品的实验室分析数据的联系,

具体目标包括:①采样区月表形貌和地质构造调查;②采样区月球浅层内部结构探测;③采样区月表物质成分和资源勘察;④月球样品的分析研究,对月球样品进行系统的实验室研究,分析月壤的结构、物理特性、物质组成,对月球成因和演化历史进行研究。有效载荷除完成采样区现场就位探测科学目标外,还需完成月面国旗展示,为月面表取和钻取采样工作提供支持等工程任务。有效载荷作为探测器的一个分系统,设计过程中需解决重量体积功耗严格限制、发射和着陆时力学冲击、奔月过程温度低、月午环境温度高、月面工作时间短、可靠性安全性要求高、各载荷需协同工作等一系列难题。

本文介绍了“嫦娥五号”探测器有效载荷分系统的科学目标及工程任务、系统组成、主要技术指标和原理设计,通过单机及分系统层面的减重设计、热设计、集成设计,满足了任务需求,圆满完成了任务。

1 有效载荷分系统组成

“嫦娥五号”有效载荷分系统由降落相机、月球矿物光谱分析仪、月壤结构探测仪、全景相机、全景相

机转台、国旗展示系统、载荷数据处理器共7台套设备组成，按功能可以划分为科学类载荷及工程支撑类载荷如图1所示，各载荷任务和主要功能如表1。

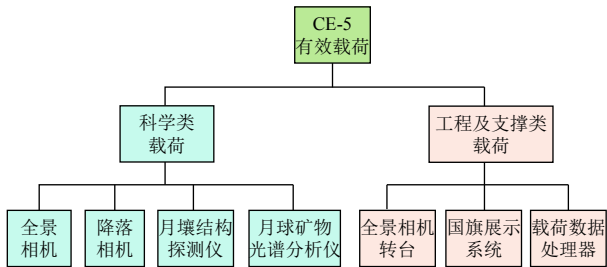


图 1 有效载荷分系统组成
Fig. 1 Composition of payload subsystem

表 1 有效载荷任务和主要功能

Table 1 The tasks and the major functions of the payloads		
有效载荷	任务	主要功能
降落相机	1) 着陆区域光学成像 2) 表取采样点选取支持	获取探测器落月过程中月表图像
月球矿物光谱分析仪	1) 月表物质成分和资源勘察 2) 表取采样点选取支持	获取月表可见和红外高分辨率反射光谱，获取指定波段的光谱图像数据
月壤结构探测仪	1) 月球浅层内部结构探测 2) 钻取过程支持	着陆点月壤厚度及其结构探测
全景相机	1) 获取着陆区高分辨率月表形貌； 2) 表取采样点选取支持 3) 国旗展示成像	获取着陆区域高分辨率图像，提供着陆区及表取采样区域三维重构所需的视觉信息
全景相机转台	支持全景相机着陆区成像和国旗展示成像	承载全景相机，实现俯仰和方位二维运动
国旗展示系统	月面国旗展示	实现中华人民共和国国旗在月面展示
载荷数据处理器	支持载荷完成探测任务	采集、缓存、处理和传输有效载荷的科学探测数据和工程参数，实现对有效载荷的供电和运行管理

2 有效载荷分系统主要技术指标

2.1 降落相机主要技术指标

降落相机在着陆器动力下降段，获取着陆区域光学图像，用于分析着陆区月表的地形地貌和区域地质情况，降落相机主要技术指标为

- 1) 成像距离/m: 4~∞
- 2) 有效像元:
模式1: 2352 × 1728
模式2: 1024 × 1024
- 3) 视场角:
模式1/(°): 59 × 45

模式2/(°): 27.5 × 27.5

- 4) 帧频/fps: 1
- 5) 数据压缩比:
模式1: 4倍压缩
模式2: 8倍压缩
- 6) 量化值/bit: 8
- 7) 平均峰值信噪比/dB: 40
- 8) 静态传函: ≥ 0.2

2.2 月球矿物光谱分析仪主要技术指标

月球矿物光谱分析仪在探测器落月后对表取采样区域进行就位探测，获取表取前后的可见和红外反射光谱，月球矿物光谱分析仪主要技术指标为

- 1) 光谱范围/nm: 480~3 200
- 2) 光谱分辨率/nm: 5~25
- 3) 探测距离/m: 2~5
- 4) 指向精度/(°): 优于0.2
- 5) 视场角/(°): ≥ 3 × 3
- 6) 信噪比/dB:
≥ 40 (最大信噪比)
≥ 30 (反照率0.09, 太阳高度角45°)
- 7) 量化值/bit: 10

2.3 月壤结构探测仪主要技术指标

月壤结构探测仪是一种月壤表面穿透探测雷达，用于获取钻取区域的月壤地质结构，月壤结构探测仪主要技术指标为

- 1) 发射机脉冲幅度/V: ≥ 10
- 2) 发射机脉冲半高宽度/ps: ≤ 200
- 3) 发射机脉冲重复频率/Hz: ≥ 1 000
- 4) 接收机工作频带/MHz: 500~4 000
- 5) 接收机输入动态范围/dB: ≥ 80
- 6) 收发天线中心频率/MHz: 2 000
- 7) 收发天线工作带宽/MHz: ≥ 2 000
- 8) 收发天线驻波系数: ≤ 2
- 9) 探测深度/m: ≥ 2
- 10) 层析分辨率/cm: 优于5

2.4 全景相机主要技术指标

全景相机用于获取月表图像，提供三维重构所需的视觉信息，能静态拍照和动态摄像，主要技术指标为

- 1) 成像距离/m: 0.5~∞
- 2) 有效像元数量
静态拍照: 2352 × 1728
动态摄像: 720 × 576

- 3) 视场角/(°): 24.4(圆视场)
- 4) 帧频/fps: 1~5
- 5) 量化值/bit: 10
- 6) 信噪比/dB
≥ 40(最大信噪比)
≥ 30(反照率0.09, 太阳高度角30°)
- 7) 静态传函: ≥ 0.2
- 8) 视场畸变: 优于1%

2.5 全景相机转台主要技术指标

全景相机转台承载两台全景相机, 能进行俯仰和偏航二维转动, 主要技术指标为

- 1) 承载重量/kg: ≥ 1.35
- 2) 俯仰运动范围/(°): -85 ~ +30
- 3) 偏航运动范围/(°): -90 ~ +90
- 4) 指向精度/(°): 优于1(3σ)
- 5) 转速/(r·min⁻¹): ≥ 0.5

2.6 载荷数据处理器主要技术指标

载荷数据处理器为全景相机、全景相机转台、月球矿物光谱分析仪提供二次电源并控制其运行, 提供扩展的遥控和遥测资源, 为全景相机进行图像压缩, 缓存载荷数据, 主要技术指标为

- 1) 扩展遥控指令7路, 扩展遥测16路;
- 2) 可对全景相机静态图像进行不压缩、4倍压缩、8倍压缩, 动态图像进行16倍压缩;
- 3) 接收全景相机数据码速率/Mbps: 40+40;
- 4) 接收月球矿物光谱分析仪数据码速率/Mbps: 4;
- 5) 数据输出码速率/Mbps: 8;
- 6) 缓存容量/GB: 4;
- 7) 与转台、全景相机、月球矿物光谱分析仪通信RS422波特率: 115 200;
- 8) 与探测器通信1553B接口码速率/Mbps: 1。

3 有效载荷系统设计与实现

“嫦娥五号”探测器要面对真空、奔月过程高低温交替、月面高温、着陆时月尘、月面1/6 g重力、空间辐射、发射和着陆时的力学冲击等环境。有效载荷分系统各单机采取了相应的应对措施。载荷数据处理器对全景相机、全景相机转台、月球矿物光谱分析仪进行集中供电、运行管理、图像压缩和数据处理。

3.1 减重设计

“嫦娥五号”探测器分配给有效载荷分系统的总重量只有18 kg, 要用这有限的重量完成分系统任务, 必须进行集成减重设计, 主要的减重措施包括:

- 1) 由载荷数据处理器集中给全景相机、全景相机

转台、月球矿物光谱分析仪提供二次电源, 提供数据采集、缓存、处理功能, 从系统角度减轻重量;

- 2) 各设备机箱结构使用低密度镁合金材料, 采用薄壁异性结构, 尽量减轻重量;
- 3) 紧固件使用钛合金材料;
- 4) 全景相机接口板采用碳纤维材料;
- 5) 使用大规模集成电路, 减少分立器件的使用, 缩小设备体积;
- 6) 分系统与探测器通信使用1553B总线, 分系统内部使用RS422通信, 减轻电缆重量;
- 7) 分系统内部使用超轻双绞、屏蔽双绞和同轴电缆进行连接, 减轻电缆重量;
- 8) 使用轻小型化连接器。

3.2 热设计

探测器在奔月过程中要经历高低温交替环境, 在月面着陆后要经历月面高温环境, 为保证有效载荷奔月过程设备完好和落月后正常工作, 采取了以下适应性设计措施:

- 1) 降落相机、全景相机、月球矿物光谱分析仪等舱外设备采用聚酰亚胺镀膜多层材料包敷;
- 2) 为应对奔月过程的低温环境, 全景相机、降落相机设计了加热片可对设备进行升温;
- 3) 全景相机为应对月面高温, 在相机顶部采取了OSR散热措施, 当温度过高时, 将OSR调整到朝向冷空, 进行散热;
- 4) 月球矿物光谱分析仪内部的可见、近红外、短波红外和中波红外红外探测器设计了半导体制冷器, 工作时进行降温;
- 5) 全景相机转台为应对月面高温, 在壳体上涂有热控白漆, 将设备温度控制在可适应范围内;
- 6) 通过特殊织物材料、染料选用, 设计了宽温度范围纺织品面料国旗;
- 7) 通过主装药选用, 实现了宽温度范围压紧释放装置。

3.3 集成设计

图2是有效载荷分系统框图, 着陆器平台为有效载荷提供母线电源和指令电源, 为1553B总线通信接口。降落相机开机即工作, 低压差分信号(Low Voltage Differential Signaling, LVDS)将图像数据发送到着陆器综合电子系统。月壤结构探测仪的科学数据量较少, 直接通过1553B总线将数据发送至陆器综合电子系统。全景相机和月球矿物光谱分析仪数据量相对较大, 由载荷数据处理器接收、处理、统一打包缓存后, 通过LVDS将缓存数据发送到着陆器综合电子

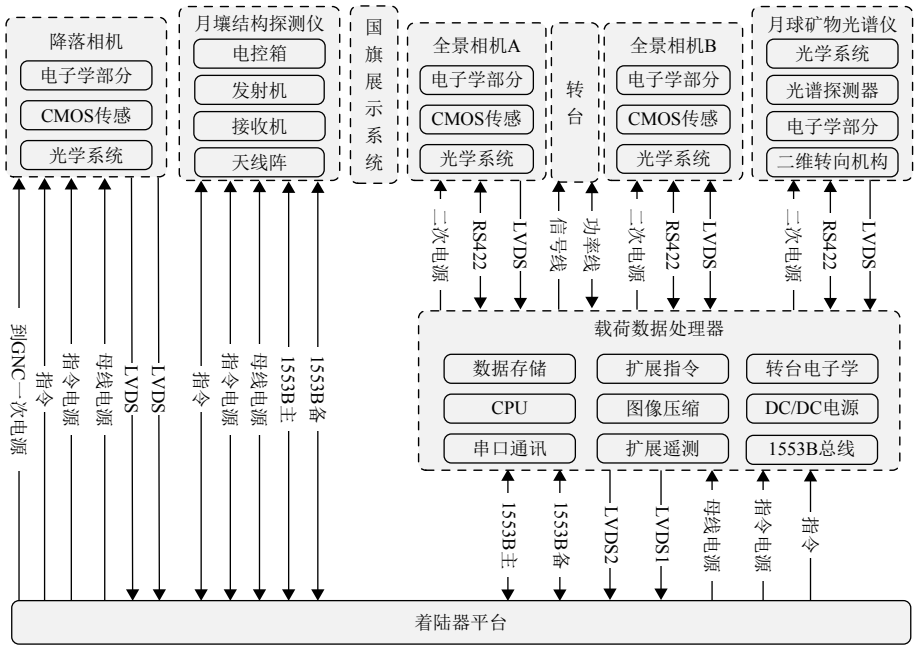


图 2 有效载荷分系统框图

Fig. 2 Framework of Payload subsystem

系统。

3.4 降落相机设计

降落相机主要由光学镜头、图像传感器及外围电

路、现场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）、LVDS接口电路、SDRAM、DC/DC 等部分组成。图3是降落相机系统框图。

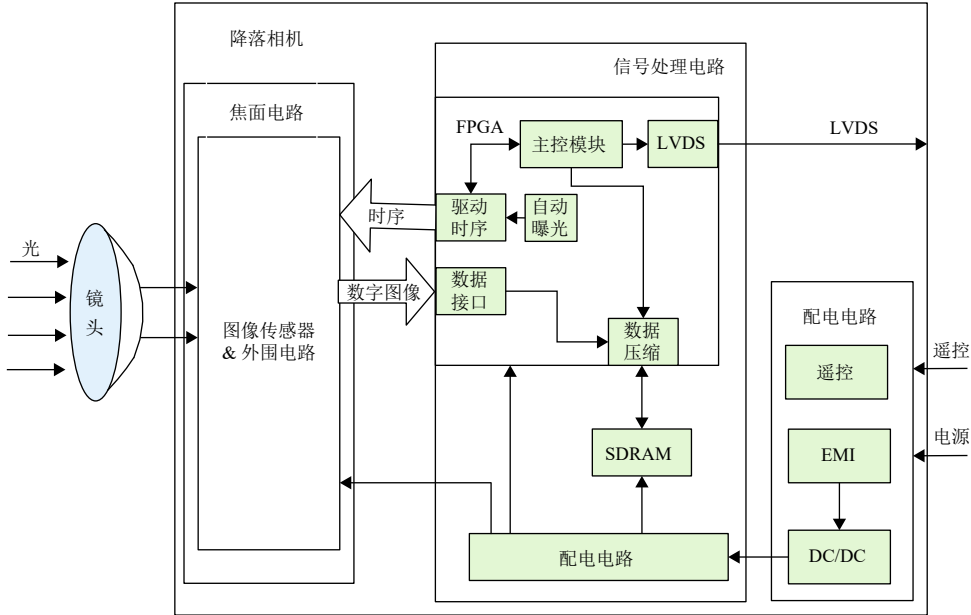


图 3 降落相机系统框图

Fig. 3 Framework of descending camera

降落相机在着陆器动力下降段开始工作，获取着陆区的光学图像，工作时间不超过30 min。降落相机加电即工作，采用自动曝光控制，不需要其他设备干预，获取的图像数据直接发送给着陆器数管。降落相机使用互补金属氧化物半导体（Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS）图像传感器，像元数 2352×1728 。降落相机具有两种工作模式，两种工作模式循环交替。上电首先自动进入工作模式一，

工作5 s后，切换为成像模式二，模式二工作1 s后切换回模式一，6 s完成一次循环。

成像模式一：有效像元数：2352×1728，图像压缩比：4：1，每秒生成一幅图像。

成像模式二：有效像元数：1024×1024，图像压缩比：8：1，成像模式二是在模式一图像中间开窗。

模式一和模式二的图像数据分别通过两路LVDS发送给着陆器综合电子系统，模式二的数据在着陆时实时下传至地面，模式一的图像数据量较大，受降落时实时下行信道限制，只能在着陆后下传至地面。

由FPGA完成图像采集时序控制、自动曝光算法、图像压缩、图像缓存和图像数据输出。

3.5 月球矿物光谱分析仪设计

月球矿物光谱分析仪的探测光谱范围为480～3 200 nm，分为4个谱段进行探测，如表2。

表 2 月球矿物光谱分析仪探测谱段

Table 2 spectrum range of lunar mineral spectrometer		
波长/nm	谱段	探测器
480~950	可见	CMOS面阵
900~1 450	近红外	SITP-NIR-1
1 400~2 300	短波红外	SITP-SWIR-1
2 200~3 200	中波红外	MCT

月球矿物光谱分析仪由二维指向机构、前置光学组件、可见近红外AOTF（Acusto-Optic Tunable Filter）、短中波红外AOTF、CMOS探测器、近红外探测器、短波红外探测器、中波红外探测器、AOTF驱动单元、红外处理单元、电子学主控单元、光学系统、定标板等组成，月球矿物光谱分析仪系统框图如图4所示。

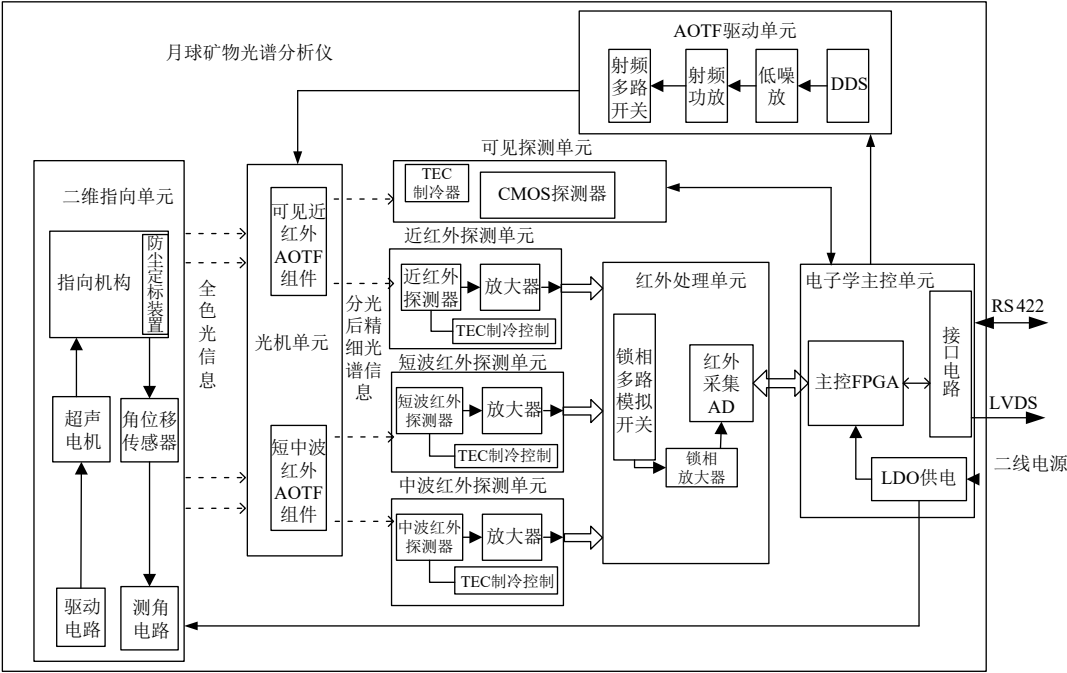


图 4 月球矿物光谱分析仪系统框图
Fig. 4 Framework of lunar mineral spectrometer

由FPGA完成RS422通信、超声电机控制时序、制冷器控制逻辑、AOTF驱动信号控制、可见探测器图像采集时序、红外光谱采集时序和采集数据的LVDS发送。

使用声光可调谐滤波器AOTF进行光谱分光，光谱分辨率5～25 nm，实现480～3 200 nm谱段的光谱选择。由二维指向机构选定目标，在采样前后进行精细的光谱探测以及指定谱段的光谱成像，按一定的采样间隔，获取可见光谱图像及全谱段光谱数据。

3.6 月壤结构探测仪设计

月壤结构探测仪是一种月壤表面穿透探测雷达，由控制器、发射机、接收机、电源、扫描及内定标单元、收发天线阵等组成，图5是月壤结构探测仪系统组成框图。月壤结构探测仪设计了12个收发天线，安装在着陆器的底部，形成天线阵，每个天线既可以接收也可以发射，12个天线的位置布局如图6所示。由FPGA实现1553B通信控制、电扫描及内定标控制、回波采集控制、遥测采集控制等。

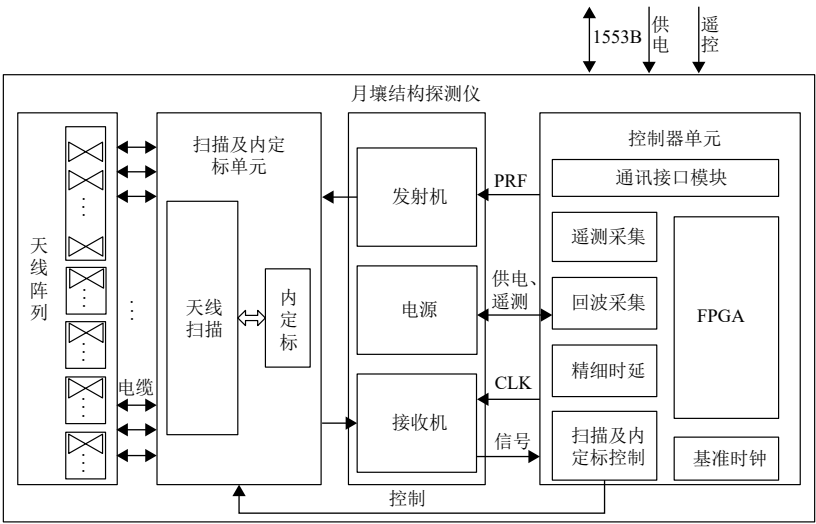


图 5 月壤结构探测仪系统组成框图

Fig. 5 Framework of lunar regolith penetrating radar

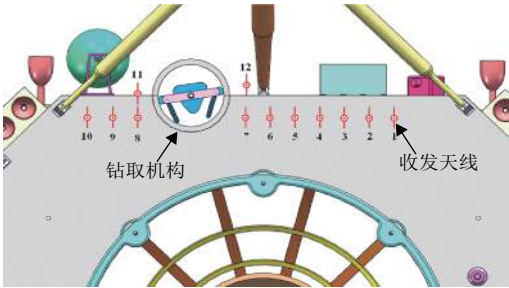


图 6 月壤结构探测仪天线安装位置图

Fig. 6 Antennas Position of lunar regolith penetrating radar

发射机输出皮秒级窄脉冲信号，由开关矩阵选择发射天线和接收天线，某天线发射时，其他11个天线分别接收，轮流工作一遍，共产生132道数据，图7是天线电扫描工作示意图。通过对132道数据的分析处理，可获得天线阵下方月表浅层内部结构信息。

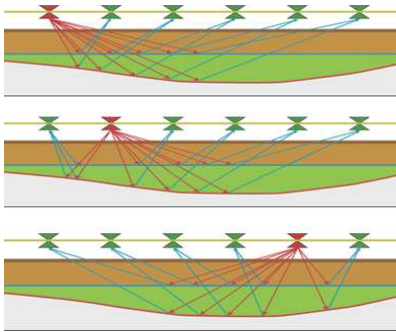


图 7 天线电扫描示意图

Fig. 7 Schematic diagram of antennas electrical scanning

3.7 全景相机设计

全景相机由光学镜头、CMOS图像传感器及外围电路、FPGA、LVDS接口电路、RS422接口电路、SDRAM、LDO等部分组成。图8是全景相机系统组成框图。由FPGA实现CMOS图像采集时序、自动曝光控制

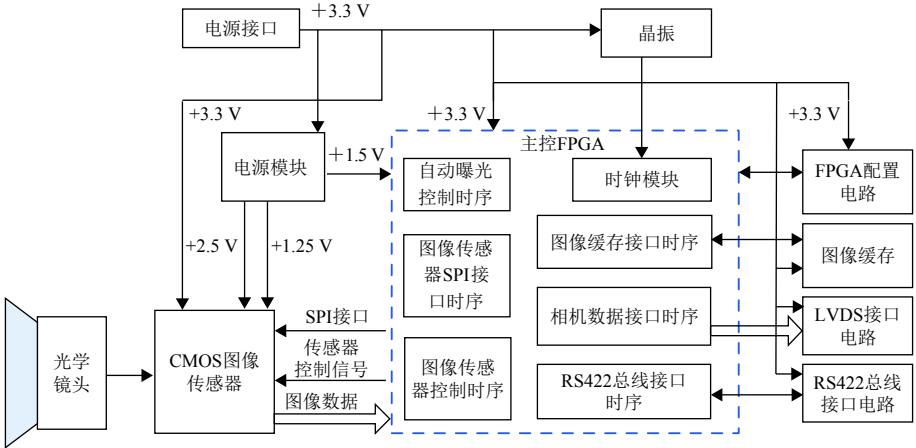


图 8 全景相机系统组成框图

Fig. 8 Framework of panoramic camera

制、RS422通信时序、图像数据缓存与发送等功能。

有效载荷设计了两台全景相机,安装在转台上,两台相机基线距离270 mm,内扣角 3.5° ,成像距离 $0.5\text{ m}\sim\infty$,静态拍照有效像元数量 $2\,352\times 1\,728$,动态摄像时,可在任意位置开窗口,有效像元数量 720×576 。

3.8 全景相机转台设计

全景相机转台由两自由度转台本体和电子学部分组成,转台关节由步进电机和行星减速器驱动。图9是全景相机和转台组合体示意图。转台运动范围,俯仰 $-85^\circ\sim+30^\circ$,偏航 $-90^\circ\sim+90^\circ$,发射时由火工品将两个活动关节锁定,落月后解锁。转台本体内部安装了初始位置限位开关,用于两个关节的零位校准。图10是

转台电子学组成框图。由FPGA实现RS422通信时序、指令解析、步进电机驱动时序、恒流采集与控制、限位逻辑控制等功能。

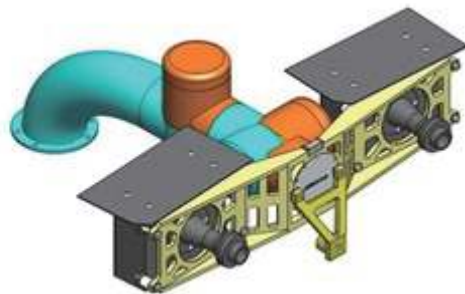


图9 全景相机及转台组合体

Fig. 9 Panoramic camera and pan-tilt table

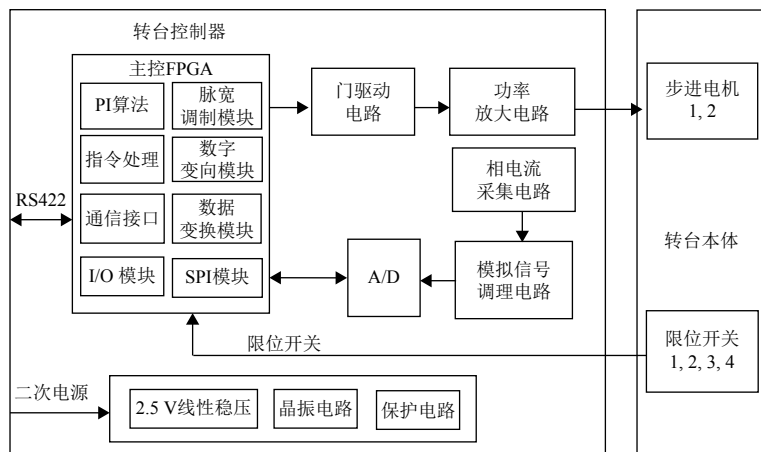


图10 全景相机转台电子学组成框图

Fig. 10 Framework of electronics of panoramic camera pan-tilt table

3.9 国旗展示系统设计

国旗展示系统设计了一面 $300\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 的国旗和展开机构,发射时处于收拢状态,由火工品保持锁紧状态,在完成表取任务后火工品起爆展开,实现国旗展示。图11是收拢状态的国旗。

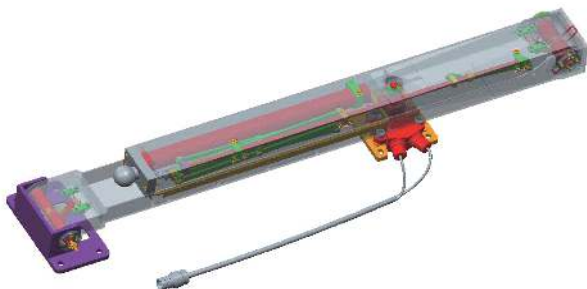


图11 收拢状态的国旗

Fig. 11 The folded national flag of China

3.10 载荷数据处理器设计

载荷数据处理器为全景相机、全景相机转台、月球矿物光谱分析仪提供二次电源、开关机控制及运行管理,接收全景相机图像数据,并对静态图像数据进行4倍压缩、8倍压缩,对动态摄像图像数据进行16倍压缩,对月球矿物光谱分析仪的数据进行打包缓存,通过LVDS接口发送科学数据和工程参数,通过1553B接口接收数据注入、校时信息,发送遥测参数,通过RS422接口与全景相机、全景相机转台、月球矿物光谱分析仪进行通信,发送参数设置、控制命令,接收工程参数。载荷数据处理器设计了自主运行程序,通过少量的数据注入命令,实现全景相机矩形自动扫描拍照,实现月壤结构探测仪、月球矿物光谱分析仪、全景相机、全景相机转台自主协同工作。图12是载荷数据处理器系统框图。

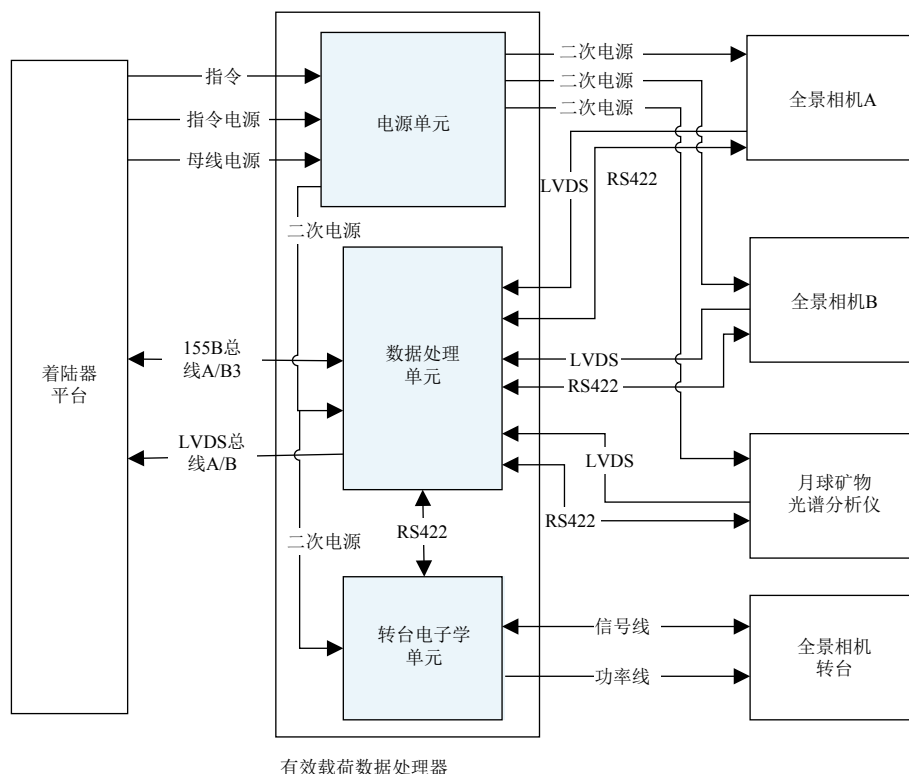


图12 载荷数据处理器组成框图

Fig. 12 Framework of data processor of payloads

4 结束语

“嫦娥五号”探测器于2020年11月24日发射，12月1日在月面着陆，12月3日从月面起飞，12月17日返回器顺利返回地球。期间，有效载荷分系统在轨自主、高效、协同工作，降落相机共拍摄2 352 × 1 728分辨率图像600多张，1 024 × 1 024分辨率图像150多张；月球矿物光谱分析仪完成了短波、中波、可见和近红外全视场光谱探测，三处表取点表取前后全波段光谱探测，石头目标全波段光谱探测等一系列探测工作；月壤结构探测仪获取了钻取区域次表层地质结构数据，为钻取提供了技术支持；全景相机与全景相机转台配合，开展了着陆区多次环拍工作，进行了国旗展开动态成像和静态拍照，完成了国旗独立展示工作，共获取静态图像700多幅，动态图像1 900多幅。

“嫦娥五号”探测器有效载荷分系统按要求完成了全部工作，圆满完成了“嫦娥五号”在轨探测任务。通过集成设计，有效减轻了分系统的重量，达到了轻小型化集成设计的目标，为后续深空探测任务奠定了技术基础。

参 考 文 献

- [1] 吴伟仁, 刘继忠, 唐玉华, 等. 中国探月工程[J]. 深空探测学报(中英文), 2019, 6(5): 405-416.
- [2] 孙辉先, 李慧军, 张宝明, 等. 中国月球与深空探测有效载荷技术的成就与展望[J]. 深空探测学报(中英文), 2017, 4(6): 495-509.
- [3] 贾瑛卓, 代树武, 吴季, 等. 嫦娥三号着陆器有效载荷[J]. 空间科学学报, 2014, 34(2): 219-225.
- [4] 代树武, 吴季, 孙辉先, 等. 嫦娥三号巡视器有效载荷[J]. 空间科学学报, 2014, 34(3): 332-340.
- [5] 薛长斌, 周晴, 王雷, 等. “嫦娥四号”任务有效载荷系统设计与实现[J]. 深空探测学报(中英文), 2017, 4(6): 515-521.
- [6] XUE C B, ZHOU Q, WANG L, et al. Design and implementation of payload system in Chang'e-4 mission[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2017, 4(6): 515-521.
- [7] 周昌义(1965-), 男, 研究员, 主要研究方向: 空间飞行器综合电子技术.
- [8] 通讯地址: 北京8701信箱(100190)
- [9] 电话: (010)62586487
- [10] E-mail: zhoucy@nssc.ac.cn
- [11] 王赤(1967-), 男, 院士, 研究员, 主要研究方向: 空间物理与空间

天气。

通讯地址: 北京8701信箱(100190)

电话: (010)62582763

E-mail: cw@swl.ac.cn

李慧军(1967-), 男, 研究员, 主要研究方向: 空间探测任务总体技

术、星载数据网络技术。本文通讯作者。

通讯地址: 北京8701信箱(100190)

电话: (010)62586431

E-mail: Lihuijun@nssc.ac.cn

Design of the Payload Subsystem of Chang'E-5 Lunar Explorer

ZHOU Changyi¹, WANG Chi¹, LI Huijun¹, SUN Huixian¹, JIANG Yuanyuan¹, HE Zhiping²,
ZHOU Bing³, YANG Jianfeng⁴, ZHOU Weijia⁵, HU Yongfu⁶, FAN Kaichun⁷, XU Xinfeng¹,
ZHOU Qing¹, WANG Lei¹, ZHANG Baoming¹

(1. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

3. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

4. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xian 710068, China;

5. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

6. 508 Research Institute of Aerospace Science and Technology Group, Beijing 100190, China;

7. Aerospace Science and Engineering Group Fourth Research Institute, Wuhan 430040, China)

Abstract: To achieve the scientific and engineering goals for situ exploration of the sampling area, The payload subsystem of Chang'E-5 explorer is equipped with four types of scientific payloads: the panoramic camera, descending camera, lunar regolith penetrating radar, lunar mineral spectrometer. It is also equipped with the national flag of China exhibition system, the panoramic camera pan-tilt table, and payload data processor as engineering and supporting payloads. This paper introduces the scientific and engineering goals, system composition, function and performance, system design, and operating achievements of the Chang'E-5 payload subsystem.

Keywords: Chang'E-5 lunar explorer; payload subsystem; panoramic camera; descending camera; lunar regolith penetrating radar; lunar mineral spectrometer.

Highlights:

- Internal structure detection of shallow layer of lunar surface.
- Investigation of surface topography and geological structure of lunar surface.
- Investigation of material composition and resource of lunar surface.
- Integrated design of the payloads of Chang'E-5 lunar explorer.
- The major function and performance of payloads of Chang'E-5 lunar explore.

[责任编辑: 杨晓燕, 英文审校: 刘勇]