ICS 49.020
CCS V 70

T/CS

团 体 标 准

T/CS 183—2025

地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷技术规范

Technical specification for payloads of hyperspectral micro-satellites for geological resources and environment

2025－11－24 发布 2025－11－24 实施

中国商品学会 发 布

目　　次

前言 II
引言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　系统组成 2
5　光谱要求 3
6　硬件系统总体设计要求 5

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：中国地质大学（武汉）、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、长沙天仪空间科技研究院有限公司、南京信息工程大学、中国科学院空天信息创新研究院、北京联合利来企业管理有限公司。

本文件主要起草人：王力哲、谌一夫、乐源、王栋、杨峰、陈云亮、阎继宁、宋维静、黄晓辉、邓泽、谢勇、王征、贺一雄、韩杰、马艳、刘鹏、范金余。

引　言

国内对于地质资源环境高光谱微小卫星数据产品的研究起步较晚，早期主要集中在对多光谱遥感技术的应用上。然而，由于多光谱数据在分辨率、波段范围和地物识别精度上的局限性，难以满足地质资源环境精细化监测的需求，因此近年来国内开始加大对高光谱微小卫星技术的投入与研究。目前，国内已成功发射多颗高光谱微小卫星，能够实现亚米级空间分辨率与纳米级光谱分辨率，并具备对地质矿产资源、生态环境、灾害监测等领域的高精度探测能力。然而，国内在高光谱微小卫星的标准化方面仍存在不足，现有的标准对地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷缺乏详细的技术规范和要求。因此，建议制定地质资源环境高光谱微小卫星光谱、平台与实验室标定的团体标准，为国内地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷的生产和研发提供统一的指导性意见，推动该技术在地质资源环境领域的规范化发展。

地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷技术规范

1 范围

本文件规定了地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷技术规范的光谱要求、硬件系统总体设计要求。
本文件适用于地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷的生产和研发。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.3 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
GB/T 2423.5 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Ea 和导则：冲击
GB/T 2423.10 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
GB/T 2423.23 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Q：密封
GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
GB/T 17626（所有部分） 电磁兼容 试验和测量技术
GJB 150.5A 军用装备实验室环境试验方法 温度冲击试验
GJB 150.16A 军用装备实验室环境试验方法 振动试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1
有效荷载 payload
安装在地质资源环境高光谱微小卫星上的、用于完成科学观测与应用任务的功能系统和设备，包含成像传感器、数据处理单元以及与任务相关的支持组件，不包括卫星平台部分（如姿控、供电、通信等）。

3.2
波段光谱带宽 spectral bandwidth
单个波段所覆盖的光谱宽度，通常用于衡量光谱分辨率。

3.3
瞬时视场 instantaneous field of view
光谱仪单个像元的视场角，影响空间分辨率。

3.4
信噪比 signal-to-noise ratio
信号强度与噪声强度的比值，决定光谱数据质量。

3.5
地面像元分辨率 ground sample distance
地面上单个像素对应的实际物理尺寸。

3.6
幅宽 swath width
卫星在一次成像中所能覆盖的地面宽度。

3.7
主光学系统光学传函 modulation transfer function
衡量光学系统分辨率的标准，表示对不同频率信号的传递能力。

3.8

可见光成像单元 visible imaging unit

用于可见光波段成像的光学组件。

3.9

量化等级 quantization level

传感器输出数据的比特深度，决定成像动态范围。

3.10

相机在轨传函（MTF） on-orbit modulation transfer function

卫星在轨状态下的光学传函，反映实际成像质量。

3.11

成像时标精度 imaging time accuracy

相机曝光时间的时间误差，影响时间同步精度。

3.12

相机成像时间 camera imaging duration

单次观测轨道上累积的成像时间。

3.13

光谱纯度带外抑制比 out-of-band suppression ratio

衡量光谱仪对非目标波长信号的抑制能力，影响光谱纯度。

3.14

偏振敏感性最大偏差 maximum polarization sensitivity deviation

光谱仪对偏振光的响应变化，影响光谱测量精度。

3.15

半高宽 full width at half maximum

光谱特征曲线在半峰值处的宽度，反映光谱特征的分布情况。

3.16

特征面积 feature area

吸收曲线下方的面积，表示吸收带的强度和宽度。

3.17

卫星外形尺寸 satellite dimensions

卫星在不同状态下的外形尺寸，包括发射状态和工作状态。

3.18

载荷与卫星平台集成 Integration of payload and satellite platform

将卫星的任务载荷（如相机系统、电源、数据处理单元等）与卫星平台进行一体化设计和优化，以提高系统稳定性和可靠性。

3.19

分光棱镜 dichroic prism

用于将不同波长的光分开，以实现多光谱或超光谱遥感观测。

3.20

辐射抗扰能力 radiation hardness

电子设备在空间辐射环境下保持正常工作的能力，通常通过总电离剂量（TID）或单粒子效应（SEE）测试评估。

3.21

电磁兼容性（EMC） electromagnetic compatibility

设备在电磁环境中能够正常运行且不会对其他设备产生干扰的能力，符合 GB/T 17626 标准。

3.22

电池管理系统（BMS） satellite power management system

负责卫星能源供应和电池管理，包含充放电管理、过压/过流保护、温度监控等功能。

4 系统组成

4.1 成像系统

成像系统是有效载荷的核心，主要包括：

a) 可见光成像单元：覆盖 410 nm～780 nm 波段，实现地质资源的高分辨率可见光成像；
b) 短波红外成像单元：覆盖 900 nm～2480 nm 波段，用于识别矿物、植被及环境要素的光谱特征。

4.2 数据处理与存储单元

用于完成载荷获取数据的实时处理、压缩与存储，包括：

a) 数据采集模块：负责接收传感器输出信号并进行数字化；
b) 数据压缩与编码模块：对数据进行有效压缩，减轻传输负担；
c) 数据存储模块：采用工业级固态存储设备，具备高可靠性和抗辐射能力。

4.3 电源与热控接口

为载荷的长期稳定运行提供支撑，包括：

a) 电源接口：与卫星平台对接，保证成像系统和处理单元的持续供电；
b) 热控接口：通过热耦合与隔热设计，确保光学和电子部件在工作温度范围内运行。

4.4 结构与支撑件

用于实现有效载荷与卫星平台的稳固连接和防护，包括：

a) 光学支架：采用高强度轻质材料，保证光学系统的稳定性；
b) 载荷舱：对内部器件进行封装和保护，满足防尘、防潮、防辐射要求；
c) 接口结构：与卫星平台的机械、电气接口相匹配，支持快速装配与拆卸。

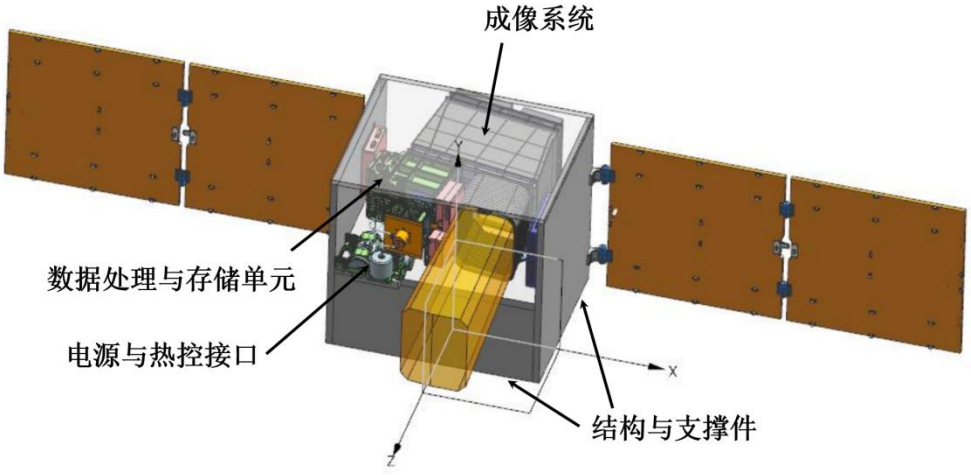


图 1 地质资源环境高光谱微小卫星的结构图

5 光谱要求

5.1 光谱性能指标

5.1.1 谱段范围

谱段范围应为 410 nm～2 480 nm。

5.1.2 波段光谱带宽

波段光谱带宽应大于 20 nm。

5.1.3 瞬时视场

瞬时视场应大于 3 mrad。

5.1.4 信噪比

信噪比应大于 30 dB。

5.1.5 波段中心波长位置精度

波段中心波长位置精度应大于 2 nm。

5.1.6 可见光范围

可见光范围应支持 16 个谱段。

5.1.7 短波红外范围

短波红外范围应支持 10 个谱段。

5.1.8 可见光地面像元分辨率

可见光地面像元分辨率应为 14 m。

5.1.9 短波红外可见光地面像元分辨率

短波红外可见光地面像元分辨率应为 30 m。

5.1.10 可见光幅宽

可见光幅宽应为 43 km。

5.1.11 短波红外幅宽

短波红外幅宽应为 30 km。

5.1.12 主光学系统光学传函

主光学系统光学传函应大于 0.4。

5.1.13 高光谱谱系

可见光至短波红外波段，具体谱段范围为 410 nm～2 480 nm，其中可见光波段（410 nm～760 nm）支持 16 个谱段，短波红外波段（760 nm～2 480 nm）支持 10 个谱段，波段光谱带宽大于 20 nm。

5.2 成像单元与数据质量指标

5.2.1 可见光成像单元

5.2.1.1 量化等级

量化等级应为 12 bit。

5.2.1.2 相机全视场平均静态传函（Nyquist 频率）

相机全视场平均静态传函应小于 0.2。

5.2.1.3 相机在轨传函（Nyquist 频率）

相机在轨传函应不小于 0.1。

5.2.2 成像时标精度

成像时标精度应小于 10 μs。

5.2.3 同谱段片间响应不一致性

同谱段片间响应不一致性应不大于 2%。

5.2.4 相机成像时间（单轨累计成像时间）

相机成像时间应大于 10 min。

5.2.5 光谱纯度带外抑制比

光谱纯度带外抑制比应为 10：1。

5.2.6 偏振敏感性最大偏差

偏振敏感性最大偏差应不大于 2%。

5.3 光谱特征参数提取标准

5.3.1 吸收深度

吸收深度应为 0.1～0.6。

5.3.2 半高宽

半高宽应为 20 nm～150 nm。

5.3.3 不对称性

不对称性应符合以下要求：

a) 对称特征：0.9～1.1 ；
b) 左偏（长拖尾）：大于 1.1；
c) 右偏（短拖尾）：小于 0.9。

5.3.4 特征面积

特征面积应为 50 nm～800 nm。

5.4 环境适应性与稳定性标准

5.4.1 温度依赖性

中心波长漂移不大于 0.1 nm/℃。

5.4.2 杂光抑制比

太阳直射光抑制不小于 10^6。

5.5 地质要素探测光谱标准

5.5.1 羟基矿物（OH^-）如高岭石、云母等，在 1 500 nm～2 200 nm 范围内应具有 7 个谱段。
5.5.2 碳酸盐矿物（CO_3^{2-}）如方解石、白云石等，在 2 300 nm～2 350 nm 范围内应具有 2 个谱段。
5.5.3 硫酸盐矿物（SO_4^{2-}）如石膏，在 1 600 nm～1 900 nm 范围内应具有 3 个谱段。
5.5.4 硅酸盐矿物（SiO_4^{2-}）如绿帘石、角闪石，在 2 000 nm～2 500 nm 范围内应具有 6 个谱段。
5.5.5 硅酸盐矿物（SiO_4^{2-}）如绿帘石、角闪石，在 2 000 nm～2 500 nm 范围内应具有 6 个谱段。

5.6 说明

5.6.1 本章提出的光谱性能指标是地质资源环境高光谱微小卫星有效载荷的核心要求。为实现上述光谱性能，需在总体设计中通过合理的光学系统、电源系统、数据处理单元及结构设计等加以保障。相关的硬件系统总体设计要求详见下一章。
5.6.2 本文件所列数值指标为典型设计要求，其中部分指标可根据具体任务需求和平台条件进行适当调整，但应确保满足地质资源环境监测的基本应用需求。

6 硬件系统总体设计要求

6.1 尺寸与重量

6.1.1 卫星总重量

卫星总重量应不超过 100 kg。

6.1.2 卫星外形尺寸

卫星外形尺寸应符合以下要求：

a) 发射状态：应不超过 1 000 mm×800 mm×900 mm（长×宽×高），包括所有硬件组件和相机系统；
b) 工作状态：应不超过 3 200 mm×800 mm×1 200 mm（长×宽×高），包括所有硬件组件和相机系统。

6.1.3 有效载荷重量

有效载荷的重量应符合以下要求：

a) 有效载荷总重量应不超过 50 kg；
b) 成像系统重量不超过 20 kg；
c) 电源与热控系统重量不超过 15 kg；
d) 数据处理与存储系统重量不超过 10 kg；
e) 结构与支撑件重量不超过 5 kg。

6.2 量级

微小卫星的量级为微卫星，符合以下要求：

a) 重量不超过 100 kg；
b) 外形尺寸在发射状态下不超过 1 000 mm×800 mm×900 mm（长 × 宽 × 高）、工作状态下不超过 3 200 mm×800 mm×1 200 mm（长 × 宽 × 高）。

6.3 载荷与卫星平台集成

载荷与卫星平台集成应符合以下要求：

a) 支架设计：相机支架与卫星平台应一体化设计，支架采用高强度铝合金材料（6061-T6）或轻质复合材料；
b) 平台集成：相机支架与平台的连接应采用快速锁紧/松开机制，确保快速且安全的集成。

6.4 电源系统

6.4.1 太阳能电池板功率输出

太阳能电池板功率输出应不低于 150 W。

6.4.2 电池材料

电池材料应采用高效的单晶硅或多晶硅太阳能电池。

6.4.3 电池容量

电池容量应不小于 400 Wh。

6.4.4 电池寿命

电池寿命应不少于 10 年。

6.4.5 电池管理系统（BMS）

电池管理系统应具有温度监控、充放电管理、过电流与过电压保护等功能，确保电池安全可靠运行。

6.5 功耗

6.5.1 系统功耗

卫星总功耗应不超过 200 W。

6.5.2 相机系统功耗

可见光与短波红外相机总功耗应不超过 100 W。

6.5.3 数据处理单元功耗

数据处理单元功耗应不超过 50 W。

6.6 相机系统要求

6.6.1 相机集成设计

6.6.1.1 集成方式

可见光与短波红外相机通过棱镜分光技术集成，采用共享光学镜头设计，减少硬件重量并提高系统集成度。

6.6.1.2 光学镜头焦距范围

光学镜头焦距范围应为 20 mm～100 mm。

6.6.1.3 分光棱镜设计

分光棱镜应具备良好的光谱透过率，且在全光谱范围内无显著色差或光损失。

6.6.2 相机接口

相机接口应符合以下要求：

a) 电气接口：相机应配备标准 10 GbE（千兆以太网）或高速串行接口（LVDS）；
b) 数据传输速率：应不低于 100 Mbps；
c) 电源接口：应采用标准的 DC 12 V 接口，支持稳压电源输入；
d) 额定电流：应不低于 2 A。

6.6.3 相机与卫星平台的连接接口

6.6.3.1 机械接口：采用标准 M4 螺纹孔和快速锁紧装置，确保相机与卫星平台的紧密连接。
6.6.3.2 防护设计：所有机械接口处应具备防尘、防水设计，符合 GB/T 4208 中 IP65 的规定，确保在各种环境下都能提供充分的保护。
6.6.3.3 安装方式：相机模块与卫星平台的连接采用可拆卸安装方式，方便在不同任务或检修时进行拆卸与更换。

6.7 接口要求

6.7.1 机械接口

6.7.1.1 安装方式：相机模块与卫星平台应使用标准的 M4 螺栓和快速锁紧/松开装置，确保相机安装稳固且便于拆卸。
6.7.1.2 接口尺寸：相机模块的安装接口尺寸应符合设计要求，保证与卫星平台的兼容性。
6.7.1.3 耐震性：所有接口部件应经过 GB/T 2423.10，确保在发射和轨道运行中的机械稳定性。
6.7.1.4 防护等级：接口处应具备防尘、防水设计，符合 GB/T 4208 的规定，确保在多变的空间环境中具有充分的保护。

6.7.2 电气接口

电气接口应符合以下要求：

a) 电源输入：相机系统应支持 DC 12 V 输入；
b) 电源输入电压：输入电压范围应为 28 V±0.5 V；
c) 额定功率：应不低于 50 W；
d) 电气隔离：电气接口应具备良好的电气隔离功能，符合 GB/T 17626（所有部分） 的规定，防止电磁干扰与电流冲击对系统造成影响。

6.7.3 热接口

热接口应符合以下要求：

a) 安装面温度：-15 ℃～+30 ℃；
b) 周边设备温度：-10 ℃～+40 ℃；
c) 太阳帆板温度：-70 ℃～+70 ℃。

6.7.4 接口安全性

6.7.4.1 防插错：各接口端应有防插错措施，并有明显标记。
6.7.4.2 防静电：接口应具有防静电功能。
6.7.4.3 保护措施：应具有偶然极性反接的保护措施。

6.8 环境适应性与验证要求

6.8.1 温度与湿度

6.8.1.1 工作温度：镜头温度：20 ℃±5 ℃，电子学温度：-20 ℃～+45 ℃。
6.8.1.2 存储温度：镜头温度：0 ℃～+30 ℃，框架：0 ℃～+40 ℃，电子学温度：-45 ℃～+50 ℃。
6.8.1.3 湿度要求：设备应能够在 0%至 95%相对湿度环境下工作，且无凝露现象，符合 GB/T 2423.3 的要求。
6.8.1.4 温控要求：设备应能够在复杂环境下温控误差控制在±0.3 ℃内。

6.8.2 辐射与电磁干扰

6.8.2.1 辐射抗扰能力

所有电子元件的辐射抗扰能力应满足 GB/T 17626（所有部分） 的电磁兼容性（EMC）要求，能够承受太空环境中的电磁辐射干扰。

6.8.2.2 辐射防护

系统应具有辐射防护功能，确保在太空中能抵抗辐射带来的损伤。

6.8.3 防尘防水

6.8.3.1 设备外壳防护等级应符合 GB/T 4208 标准，达到 IP65 及以上，以确保在恶劣环境下的正常运行。
6.8.3.2 设备需通过防尘试验（IP6X），防止微粒进入影响系统稳定性。
6.8.3.3 设备需通过防水试验（IPX5/IPX6），能够抵御强烈水流冲击，适应高湿度和雨水环境。
6.8.3.4 设备接口应具备密封处理，符合 GB/T 2423.23 的相关测试要求，以防止灰尘和水分渗入。

6.8.4 振动与冲击

6.8.4.1 振动与冲击要求：支架设计应符合 GB/T 2423.10、GB/T 2423.5 的要求，确保卫星在发射及轨道环境中的机械稳定性；
6.8.4.2 热冲击要求：设备需通过 GJB 150.5A 中的相关实验，以能承受急剧的温度变化，其设计和材料选择应确保在经历快速温变后不发生性能退化、开裂或失效。
6.8.4.3 声学振动要求：设备需通过 GJB 150.16A 中的相关实验，已能承受发射过程中火箭发动机噪声和气动噪声产生的高声压级混响场激励（通常高达 140 dB～150 dB），防止其发生疲劳损伤或共振破坏。
6.8.4.4 微振动性能要求：设备应能通过微振动的传递函数、力与力矩的幅频特性要求，已防止导致图像模糊、分辨率下降。

6.9 数据存储要求

6.9.1 存储容量

存储容量应符合以下要求：

a) 总存储容量：不高于 50 GB；
b) 数据存储速率：存储设备应支持不小于 500 MB/s 的持续写入速率；

c） 数据存储冗余：采用 RAID 1 或 RAID 5 存储机制。

6.9.2 存储设备

6.9.2.1 存储介质：使用工业级固态硬盘（SSD）或非易失性存储器（NVM）。
6.9.2.2 耐用性：存储设备应支持不小于 10 万次擦写寿命。
6.9.2.3 防护等级：存储设备需符合 GB/T 4208 的要求，适应航天环境。

6.9.3 数据管理与存取

6.9.3.1 数据格式：应支持标准化存储格式，如 GeoTIFF、HDF5、NetCDF 等。
6.9.3.2 数据存取接口：存储设备需提供 PCIe 4.0、SATA 3.0 或 NVMe 高速接口。
6.9.3.3 数据安全：存储设备需具备 AES-256 硬件加密和 CRC 数据校验功能，防止数据损坏或未经授权访问。

6.9.4 数据备份与传输

6.9.4.1 数据备份：支持自动增量备份和全量备份功能，确保数据安全。
6.9.4.2 数据传输速率：采用千兆以太网（不小于 1 Gbps）或光纤通信（不小于 10 Gbps）方式进行地面数据传输。
6.9.4.3 抗干扰能力：数据传输系统需符合 GB/T 17626（所有部分）的要求，确保在复杂电磁环境下稳定传输。

6.10 说明

本文件所列数值指标为典型设计要求，其中部分指标可根据具体任务需求和平台条件进行适当调整，但应确保满足地质资源环境监测的基本应用需求。