



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 44196—2024

## 月球与深空探测器地面试验要求

Ground test requirements for lunar and deep space probe

2024-07-24 发布

2025-02-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



# 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	2
5 试验矩阵 .....	3
6 探测器组件、分系统和系统试验 .....	9
7 系统间对接试验 .....	25





## 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。

本文件由全国航天技术及其应用标准化技术委员会（SAC/TC 425）提出并归口。

本文件起草单位：北京空间飞行器总体设计部、中国航天标准化研究所、北京卫星环境工程研究所、北京空间机电研究所、北京宇航系统工程研究所、上海宇航系统工程研究所。

本文件主要起草人：李青、任德鹏、张焜、周晓舟、逯运通、张天翼、邓湘金、李炯卉、宁献文、泉浩芳、冯国松、隋毅、李平岐、张华、张宁康。





# 月球与深空探测器地面试验要求

## 1 范围

本文件规定了月球与深空探测器（非载人）组件、分系统、系统和系统间对接的地面试验要求。  
本文件适用于月球与深空探测器产品鉴定、准鉴定和验收试验计划的制定和实施。

## 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 7354 高电压试验技术 局部放电测量
- GB/T 23642 电气绝缘材料和系统 瞬时上升和重复电压冲击条件下的局部放电（PD）电气测量
- GB/T 30114（所有部分） 空间科学及其应用术语
- GB/T 32298 航天器与运载火箭匹配试验要求
- GB/T 32307 航天器磁性评估和控制方法
- GB/T 32452 航天器空间环境术语
- GB/T 34515 航天器热平衡试验方法
- GB/T 34516 航天器振动试验方法
- GB/T 34522 航天器热真空试验方法
- GB/T 38241 深空探测器与地面数据接收系统对接试验规范
- GB/T 40134 航天系统电磁兼容性要求
- GB/T 42863—2023 航天器通用试验方法

## 3 术语和定义

GB/T 30114（所有部分）、GB/T 32452 和 GB/T 42863—2023 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 探测器 **probe**

对月球和月球以外的天体和空间进行探测的无人航天器。

注：探测器一般包括轨道器、着陆器、巡视器、上升器、返回器、进入器等的单器或多器组合体。

### 3.2

#### 悬停、避障及缓速下降 **hovering, hazard avoidance and constant low velocity descent**

探测器在地外天体表面上方保持相对静止、逐步逼近安全区域并以较低的速度下降的过程。

### 3.3

#### 着陆冲击 **landing impact**

在探测器着陆地外天体表面时，瞬时动能转化为冲击能量，而使探测器承受冲击作用的过程。

### 3.4

#### 着陆缓冲机构 **landing gear**

在探测器着陆地外天体表面时，用于吸收瞬时冲击能量并保持着陆后有效支撑的装置。

### 3.5

#### 着陆稳定性 **landing stability**

探测器以预定的姿态和速度与地外天体表面接触的过程中，保持稳定平衡状态的能力。

### 3.6

#### 重力模拟装置 **gravity simulation equipment**

在地面试验中，模拟地外天体表面重力效果的设备。

### 3.7

#### 采样封装 **sampling package**

在地外天体上采集样品并将样品装入容器、密封保存的过程。

### 3.8

#### 舱段分离 **separation between cabins of spacecraft**

探测器舱段、子器或模块之间解锁并完全分离的过程。

## 4 一般要求

### 4.1 鉴定试验



鉴定试验是在初样阶段后期使用能够代表飞行产品技术状态的鉴定试验件（包括组件、分系统、系统）完成订货单（或合同）规定的正式试验，通过鉴定试验取得鉴定资质，确保正样飞行产品具有与鉴定试验件同样的功能、性能和设计余量。

### 4.2 验收试验

验收试验是在正样阶段对所有用于飞行的正样飞行产品（包括组件、分系统、系统）完成订货单（或合同）规定的正式试验，通过对产品施加工作应力和环境应力筛选手段，暴露产品的工艺制造质量、材料和元器件的潜在缺陷，排除产品的早期失效，提高产品的使用可靠性。

### 4.3 准鉴定试验

准鉴定试验是在没有鉴定试验件的情况下通过对正样飞行产品（包括组件、分系统、系统）施加工作应力和准鉴定级环境应力的途径，证明正样飞行产品满足设计要求且能用于飞行的一种加严的验收试验策略。

### 4.4 确定试验顺序的原则

确定试验顺序一般遵循以下原则：

- a) 遵循探测器产品寿命期内实际遇到的环境顺序；
- b) 评估前一试验项目的试验结果对该试验的影响，避免得到无效的试验结果；
- c) 合理安排总装流程，尽量减少总装工作量；
- d) 对计划进度有重大影响的试验尽量先进行；
- e) 综合考虑各方面因素的影响进行权衡后可做出适当调整。

#### 4.5 其他要求

其他要求按 GB/T 42863—2023 中 4.8、4.9 和 4.10 的规定。

### 5 试验矩阵

#### 5.1 试验基线

试验基线是经过批准的型号专用试验要求文件，或是型号文件中含有试验要求内容的部分，或是型号批准使用的通用试验要求标准（即本文件）。未经过正式批准的试验不属于试验基线。

本文件规定了鉴定、准鉴定、验收试验基线，对研制试验基线不做具体规定。

本文件所规定试验基线的风险程度为中等，具体型号的承制方和用户可根据其风险程度进行剪裁使用。

试验矩阵是试验基线的表格形式，本文件规定的试验矩阵分别按照组件、分系统、系统和系统间对接给出试验基线要求。

#### 5.2 组件试验

组件试验应全部在组件级产品上完成。在某些情况下，需要多个组件联合才能实现一个完整的功能，这些组件可在更高装配级产品上进行试验，例如相互连接的管路、射频电路和电缆组成的组件试验。如果运动机械部件或其他组件有静态或动态液体接口或在工作时需要充压，组件试验时应模拟这些状态。

当组件同时是两种或多种类型产品时，应进行所属类型的试验。例如，星敏感器属于“电工电子组件”类和“光学组件”类产品，带有阀门的推进器属于“推力器”类和“阀门”类产品，则应完成每种类型的试验。

一些特殊试验，如真空冷焊、紫外辐照、粒子辐照试验，宜在研制试验中用构成组件的材料或部件进行试验，本文件不作为鉴定、准鉴定和验收试验项目。

主要类型组件鉴定和准鉴定试验矩阵见表 1，主要类型组件验收试验矩阵见表 2。

本文件的所有试验矩阵中，“R”表示“要求的”试验，因为试验是有效的而且做的概率很高；“ER”表示“经评价要求的”，应进行工程评价，并将进行或不进行该试验写入试验文件中；“—”表示“不要求的”试验，是一般不需要做的试验。

表 1 组件鉴定和准鉴定试验矩阵

试验项目	对应章节	电工电子组件	天线	机械活动组件	太阳能电池板	蓄电池	阀门	压力容器	推力器	热学组件	光学组件	结构组件
功能/性能 <sup>a</sup>	6.1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
检漏 <sup>b</sup>	6.2	ER	—	ER	—	R	R	R	R	ER	—	—
压力 <sup>b</sup>	6.3	ER	—	ER	—	R	R	R	ER	ER	—	—
磨合	6.4	—	—	ER	—	—	ER	—	ER	—	—	—
冲击	6.5	R	ER	ER	ER	R	R	ER	ER	ER	ER	ER
正弦振动	6.6	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
随机振动 <sup>c</sup>	6.7	ER	ER	R	ER	R	R	R	R	ER	ER	ER
声 <sup>c</sup>	6.8	ER	ER	—	ER	—	—	—	—	ER	ER	ER

表 1 组件鉴定和准鉴定试验矩阵（续）

试验项目	对应章条	电工电子组件	天线	机械活动组件	太阳能电池板	蓄电池	阀门	压力容器	推力器	热学组件	光学组件	结构组件
加速度	6.9	ER	ER	ER	ER	ER	—	ER	—	—	ER	ER
静载荷	6.10	ER	ER	ER	ER	ER	—	ER	—	—	ER	R
热循环	6.11	R	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER <sup>d</sup>
热真空	6.12	R	R	R	R	R	R	ER	R	R	R	—
电磁兼容性 (EMC) <sup>e</sup>	6.13	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
磁	6.14	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
寿命	6.15	ER	ER	R	ER	R	R	ER	R	ER	ER	ER
老炼	6.16	ER	—	—	—	—	—	—	—	ER	ER	—
高温存储 <sup>f</sup>	6.17	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
低温存储 <sup>f</sup>	6.18	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
热平衡	6.19	ER	ER	ER	ER	ER	—	—	—	ER	ER	—
低气压放电	6.20	ER	ER	—	—	ER	—	—	—	—	—	—
静电放电 (ESD)	6.21	ER	ER	—	—	ER	—	—	—	—	—	—
颠簸振动	6.22	—	ER	ER	ER	—	—	—	—	—	—	—
物理特性测量	6.25	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

<sup>a</sup> 如可行，应在每次环境试验前、试验中和试验后做功能/性能试验。

<sup>b</sup> 对密封或充压组件要求做检漏试验，充压组件做压力试验。

<sup>c</sup> 随机振动或声要求做一项，另一项选做；具有大面积与质量比或对声环境敏感的组件，如太阳翼、大抛物面天线等需要做声试验。

<sup>d</sup> 仅对复合材料和胶结结构部件要求做热循环试验。

<sup>e</sup> 带有电磁屏蔽、有无源交调要求的、内部有无源和有源部件的非电工电子组件要求做 EMC 试验。

<sup>f</sup> 存储温度高温高于正常工作温度高温的组件需做高温存储试验，存储温度低温低于正常工作温度低温的组件需做低温存储试验。

表 2 组件验收试验矩阵

试验项目	对应章条	电工电子组件	天线	机械活动组件	太阳能电池板	蓄电池	阀门	压力容器	推力器	热学组件	光学组件	结构组件
功能/性能 <sup>a</sup>	6.1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
检漏 <sup>b</sup>	6.2	ER	—	ER	—	R	R	R	R	ER	—	—
压力 <sup>b</sup>	6.3	ER	—	ER	—	R	R	R	ER	ER	—	—
磨合	6.4	—	—	R	—	—	R	—	R	—	—	—
冲击	6.5	ER	ER	ER	—	ER	ER	—	ER	—	ER	—
正弦振动	6.6	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER

表 2 组件验收试验矩阵（续）

试验项目	对应章条	电工电子组件	天线	机械活动组件	太阳能电池板	蓄电池	阀门	压力容器	推力器	热学组件	光学组件	结构组件
随机振动 <sup>a</sup>	6.7	ER	ER	R	ER	R	R	R	R	ER	ER	ER
声 <sup>c</sup>	6.8	ER	ER	—	ER	—	—	—	—	ER	ER	ER
静载荷	6.10	ER	ER	ER	ER	ER	—	ER	—	—	ER	ER
热循环	6.11	R	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER <sup>d</sup>
热真空	6.12	R	R	R	R	R	R	ER	R	R	R	—
EMC <sup>e</sup>	6.13	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
老炼	6.16	R	—	—	—	—	—	—	—	ER	ER	—
高温存储 <sup>f</sup>	6.17	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
低温存储 <sup>f</sup>	6.18	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	—
低气压放电	6.20	ER	ER	—	—	ER	—	—	—	—	—	—
物理特性测量	6.25	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

<sup>a</sup> 如可行，应在每次环境试验前、试验中和试验后做功能/性能试验。  
<sup>b</sup> 对密封或充压组件要求做检漏试验，充压组件做压力试验。  
<sup>c</sup> 随机振动或声要求做一项，另一项选做；具有大面积与质量比或对声环境敏感的组件，如太阳翼、大抛物面天线等需要做声试验。  
<sup>d</sup> 仅对复合材料和胶结结构部件要求做热循环试验。  
<sup>e</sup> 鉴定试验余量小于12 dB或辐射发射高于10 dB $\mu$ V/m或有无源互调要求的组件要求做EMC试验。  
<sup>f</sup> 存储温度高温高于正常工作温度高温的组件需完成高温存储试验，存储温度低温低于正常工作温度低温的组件需完成低温存储试验。

5.3 分系统试验



分系统试验主要用于验证分系统在系统级和组件级试验无法验证的功能、性能和接口要求，同时还验证在探测器系统级和组件级均不宜或不能验证的某些组件的功能、性能。

主要类型分系统鉴定和准鉴定试验矩阵见表 3，主要类型分系统验收试验矩阵见表 4。

表 3 分系统鉴定和准鉴定试验矩阵

试验项目	对应章条	结构	机构	热控	数据管理	测控数传	天线	供电	控制	推进	着陆缓冲	有效载荷	交会对接/捕获	采样封装	移动	伞系减速
功能/性能 <sup>a</sup>	6.1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
检漏 <sup>b</sup>	6.2	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER
压力 <sup>b</sup>	6.3	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER
冲击	6.5	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
正弦振动	6.6	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
随机振动 <sup>c</sup>	6.7	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
声 <sup>c</sup>	6.8	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER

表3 分系统鉴定和准鉴定试验矩阵（续）

试验项目	对应章条	结构	机构	热控	数据管理	测控数传	天线	供配电	控制	推进	着陆缓冲	有效载荷	交会对接/捕获	采样封装	移动	伞系减速
静载荷	6.10	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
热真空	6.12	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
EMC	6.13	—	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
天线方向图	6.23	—	—	—	—	R	R	—	ER	—	—	ER	—	—	—	—
模态观测	6.27	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
热试车	6.29	—	—	—	—	—	—	—	—	ER	—	—	—	—	—	—

<sup>a</sup> 如可行，应在每次环境试验前、试验中和试验后做功能/性能试验。  
<sup>b</sup> 对密封或充压分系统要求做检漏试验，充压分系统做压力试验。  
<sup>c</sup> 随机振动或声要求做一项，另一项选做；具有大面积与质量比或对声环境敏感的分系统需要做声试验。

表4 分系统级验收试验矩阵

试验项目	对应章条	结构	机构	热控	数据管理	测控数传	天线	供配电	控制	推进	着陆缓冲	有效载荷	交会对接/捕获	采样封装	移动	伞系减速
功能/性能 <sup>a</sup>	6.1	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
检漏 <sup>b</sup>	6.2	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER
压力 <sup>b</sup>	6.3	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER
冲击	6.5	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
正弦振动	6.6	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
随机振动 <sup>c</sup>	6.7	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
声 <sup>c</sup>	6.8	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
静载荷	6.10	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
热真空	6.12	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
EMC	6.13	—	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
天线方向图	6.23	—	—	—	—	ER	ER	—	ER	—	—	ER	—	—	—	—
热试车	6.29	—	—	—	—	—	—	—	—	ER	—	—	—	—	—	—

<sup>a</sup> 如可行，应在每次环境试验前、试验中和试验后做功能/性能试验。  
<sup>b</sup> 对密封或充压分系统要求做检漏试验，充压分系统做压力试验。  
<sup>c</sup> 随机振动或声要求做一项，另一项选做；具有大面积与质量比或对声环境敏感的分系统需要做声试验。

5.4 系统试验

系统试验应在完成所有组件和分系统试验后进行，主要用于验证在系统级以下的装配级试验中无法验证的功能、性能、接口和环境适应性要求。

探测器系统鉴定和准鉴定试验矩阵见表 5，探测器系统验收试验矩阵见表 6。

表 5 系统鉴定和准鉴定试验矩阵

试验项目	探测器系统	对应章条
功能/性能 <sup>a</sup>	R	6.1
检漏 <sup>b</sup>	R	6.2
压力 <sup>b</sup>	R	6.3
冲击	R	6.5
正弦振动	R	6.6
随机振动 <sup>c</sup>	ER	6.7
声 <sup>c</sup>	ER	6.8
热真空	R	6.12
EMC	R	6.13
磁	ER	6.14
热平衡	R	6.19
ESD	ER	6.21
精度测量	R	6.24
物理特性测量	R	6.25
动平衡	ER	6.26
模态观测	ER	6.27
着陆冲击	ER	6.28
回收/降落高空开伞	ER	6.30
舱段分离	R	6.31
悬停、避障及缓速下降	ER	6.32
着陆稳定性	ER	6.33
移动	ER	6.34
采样封装	ER	6.35
起飞上升	ER	6.36
交会对接/捕获	ER	6.37
微振动 <sup>d</sup>	ER	6.38

<sup>a</sup> 如可行，应在每次环境试验前、试验中和试验后做功能/性能试验。

<sup>b</sup> 对密封或充压分系统要求做检漏试验，充压分系统做压力试验。

<sup>c</sup> 随机振动或声要求做一项，另一项选做。一般对于结构紧凑、质量密集、对声不敏感的探测器，可用随机振动代替声试验。

<sup>d</sup> 探测器有效载荷对微振动环境敏感时要求做微振动试验。

表 6 系统验收试验矩阵

试验项目	探测器系统	对应章条
功能/性能 <sup>a</sup>	R	6.1
检漏 <sup>b</sup>	R	6.2
压力 <sup>b</sup>	R	6.3
压力 <sup>b</sup>	R	6.3
冲击	R	6.5
正弦振动	R	6.6
随机振动 <sup>c</sup>	ER	6.7
声 <sup>c</sup>	ER	6.8
热真空	R	6.12
EMC	R	6.13
磁	ER	6.14
热平衡 <sup>d</sup>	R	6.19
精度测量	R	6.24
物理特性测量	R	6.25
动态平衡	ER	6.26
舱段分离	ER	6.31
微振动 <sup>e</sup>	ER	6.38

<sup>a</sup> 如可行，应在每次环境试验前、试验中和试验后做功能/性能试验。

<sup>b</sup> 对密封或充压分系统要求做检漏试验，充压分系统做压力试验。

<sup>c</sup> 随机振动或声要求做一项，另一项选做。一般对于结构紧凑、质量密集、对声不敏感的探测器，可用随机振动代替声试验。

<sup>d</sup> 在首次飞行的探测器上要求做热平衡试验。

<sup>e</sup> 探测器有效载荷对微振动环境敏感时要求做微振动试验。

## 5.5 系统间对接试验

系统间对接试验主要是指探测器系统与运载火箭系统、发射场系统、测控系统、回收系统、地面应用系统等的接口试验。

主要类型的系统间对接试验矩阵见表 7。

表 7 系统间对接试验矩阵

试验项目	鉴定和准鉴定试验	验收试验	对应章条
与运载火箭对接分离	ER	R	7.1
与测控、回收系统对接	ER	R	7.2
与地面应用系统对接	—	R	7.3
发射场合练	ER	—	7.4

## 6 探测器组件、分系统和系统试验

### 6.1 功能/性能试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.2 的规定。

### 6.2 检漏试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.21 的规定。

### 6.3 压力试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.20 的规定。

### 6.4 磨合试验

#### 6.4.1 试验目的

检测组件寿命初期的材料和制造质量缺陷，并使机械组件磨合（跑合），能在平稳、协调和受控状态下运行。

#### 6.4.2 试验条件

试验条件如下：

- a) 试验压力为正常环境大气压力或不大于  $6.65 \times 10^{-3} \text{Pa}$ ；
- b) 能达到试验目的，可在正常环境温度下试验，否则，应在有代表性的工作运行环境温度下运行；
- c) 试验时间应进行 15 次循环或是整个寿命期间预期循环次数的 5%，两者取其最大值。

#### 6.4.3 试验要求

试验要求如下：

- a) 对于有机械动作的组件，例如万向接头、执行机构、展开分离装置、泵、电机等，以及有循环工作特征的组件，例如阀门、推力器等应做磨合试验；
- b) 试验过程中，组件在典型的工作载荷、速度和工作周期或循环次数内运行，同时监测敏感参数，以便及时发现其性能有无发生异常情况；
- c) 试验前、后应进行性能检测；
- d) 试验过程中应监测敏感性能参数，以便及时发现其性能有无发生异常情况；
- e) 磨合试验应模拟典型的工作模式，例如工作载荷、速度、供电状态等条件；
- f) 推力器阀门在装配到推力器之前应先做磨合试验。



### 6.5 冲击试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.16 的规定。

### 6.6 正弦振动试验

按 GB/T 34516 和 GB/T 42863—2023 中 7.3 的规定。

### 6.7 随机振动试验

按 GB/T 34516 和 GB/T 42863—2023 中 7.14 的规定。

### 6.8 声试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.15 的规定。

### 6.9 加速度试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.11 的规定。

### 6.10 静载荷试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.10 的规定。

### 6.11 热循环试验

#### 6.11.1 试验目的

鉴定或准鉴定热循环试验验证产品在鉴定级或准鉴定级温度范围内正常工作并能经受以后多次验收试验的能力。验收热循环试验检验飞行产品的制造质量，并能够在验收级温度范围内可靠地工作。

#### 6.11.2 试验条件

试验条件如下。

- a) 正常环境压力。
- b) 温度条件见表8。
- c) 温度平均变化速率为3 °C/min~5 °C/min。
- d) 循环次数：
  - 1) 鉴定试验为25.5次；
  - 2) 准鉴定试验为12.5次；
  - 3) 验收试验为12.5次。

表 8 组件热环境试验中试验温度条件

项目		温度条件
正常工作温度范围		最高、低预示工作温度范围
存储温度范围		最高、低预示存储温度范围
热循环、老炼及热真空试验	试验温度范围	验收试验：正常工作温度上、下限为基准外扩5 °C 准鉴定试验：正常工作温度上、下限为基准外扩10 °C 鉴定试验：正常工作温度上、下限为基准外扩15 °C
高温存储试验	试验温度 $T_{\text{高温}}$	验收试验：存储温度范围上限加5 °C 准鉴定试验：存储温度范围上限加10 °C 鉴定试验：存储温度范围上限加15 °C

表 8 组件热环境试验中试验温度条件（续）

项目		温度条件
高温存储试验	高温测试温度	验收试验：正常工作温度范围上限 准鉴定试验：正常工作温度范围上限加5℃ 鉴定试验：正常工作温度范围上限加5℃
低温存储试验	试验温度 $T_{\text{低温}}$	验收试验：存储温度范围下限减5℃ 准鉴定试验：存储温度范围下限减10℃ 鉴定试验：存储温度范围下限减15℃
	低温测试温度	验收试验：正常工作温度范围下限 准鉴定试验：正常工作温度范围下限减5℃ 鉴定试验：正常工作温度范围下限减5℃

### 6.11.3 试验要求

热循环试验要求如下。

- 为防止低温下组件表面和内部产生冷凝水，应在试验箱（容器）内充满干燥空气或氮气，最后半个循环应为高温半循环，并使组件处于通电工作状态。
- 试验件应带真实负载试验，如不能，应采用模拟负载代替。
- 在整个试验过程中组件应通电工作（除冷、热启动外），有主、备份的组件在第一个循环和最后一个循环应各做3次热启动和冷启动，并进行性能测试，中间循环只做主要参数的监测。对于组件内的冗余电路或通道应经历各种工作工况，并监测敏感参数，检查故障和间歇现象。
- 组件热启动或冷启动后开始计时，进行组件性能测试，组件连续工作时间应累计不少于4 h，在此期间连续工作或模拟在轨工作模式工作（对于短期工作组件，单次测试时间不小于在轨单次工作时间），试验温度应在温度允许偏差内保持稳定。
- 组件内有主、备冗余电路或通道的，其工作时间应平均分配，即主份先做至总循环时间的一半，然后切换到备份，做完剩余循环；对于内部含有热备份电路的组件，进行热循环试验时具体要求同普通组件。
- 其他试验要求按GB/T 42863—2023中7.19的相关规定。

## 6.12 热真空试验

### 6.12.1 试验目的

鉴定或准鉴定试验验证产品在真空和鉴定级或准鉴定级温度条件下经受热循环应力环境的能力，以及在所有的工作模式下产品性能是否满足设计要求，并具有热设计余量。验收试验检验飞行产品的工艺制造质量，暴露材料和工艺制造缺陷。

### 6.12.2 试验条件

#### 6.12.2.1 组件试验

试验条件如下。

- 试验压力不大于 $6.65 \times 10^{-3}$  Pa（模拟地外天体大气环境时，应根据实际情况明确试验压力和成分）。

- b) 试验温度见表8。
- c) 在温度速率可控范围内，试验中的平均变温速率不小于1 °C/min。
- d) 循环次数：
  - 1) 鉴定试验为6.5次；
  - 2) 准鉴定试验为3.5次；
  - 3) 验收试验为3.5次。

#### 6.12.2.2 分系统/系统试验

分系统/系统热真空试验温度控制一般有两种方法：温度外扩法和温度分区法。温度外扩法是将热平衡试验高温和低温工况下测量得到的组件温度加严外扩到试验温度；温度分区法是将探测器为几个独立的温度区域，区域划分宜将温度范围比较类似的组件放在一个区，温度敏感的组件放在一个区，并选择试验温度监视点。

试验条件如下。

- a) 温度外扩法：
  - 1) 鉴定试验中，热平衡试验最高（低）温度外扩15 °C，8个循环；
  - 2) 准鉴定试验中，热平衡试验最高（低）温度外扩10 °C，4个循环；
  - 3) 验收试验中：热平衡试验最高（低）温度外扩5 °C，4个循环。
- b) 温度分区法：
  - 1) 鉴定试验中，每个区域至少有一个组件达到组件鉴定温度，8个循环；
  - 2) 准鉴定试验中，每个区域至少有一个组件达到组件准鉴定温度，4个循环；
  - 3) 验收试验中，每个区域至少有一个组件达到组件验收温度，4个循环。

#### 6.12.3 试验要求

热真空试验要求如下。

- a) 若探测器经历地外天体大气环境，应增加模拟地外天体大气成分和压力的热环境试验。
- b) 电工和电子产品试验时应通电工作，试验件在首次和末次循环中稳定在高温端和低温端时，应进行功能试验。在试验开始和结束的正常环境温度下也应进行功能试验。在中间各次循环中，电工和电子产品包括全部冗余电路或通道在内，应在各种工作模式工作，并监测性能参数，注意监视故障和间歇现象。
- c) 对于安装在探测器本体外部的组件（如太阳翼、天线、定向机构、展开机构等），试验温度应比探测器内部的组件严苛，试验设备的设计和配置应能满足鉴定温度要求，其他试验要求（如温度变化速率、试验持续时间、测试的性能参数等）应根据组件的具体要求给出专门的规定。
- d) 在上升阶段和低真空环境下工作的电工电子组件，应在试验压力降低过程中开机并监测是否出现低气压放电现象，在接近达到试验压力时应观察是否出现微放电现象。射频组件应工作在最大功率和设计频率，以证明不存在低气压放电和微放电。
- e) 其他试验要求按GB/T 34522和GB/T 42863—2023中7.18的规定。

#### 6.13 电磁兼容性（EMC）试验

按 GB/T 40134 和 GB/T 42863—2023 中 7.3 的规定执行。

#### 6.14 磁试验

按 GB/T 32307 和 GB/T 42863—2023 中 7.4 的规定执行。

## 6.15 寿命试验

### 6.15.1 试验目的

验证组件在工作寿命期间的最长工作时间和最大工作循环次数中性能满足设计要求，并具有规定的余量。

### 6.15.2 试验条件

试验条件如下。

- a) 试验压力应使用正常环境压力，对于预计在真空环境中性能会降低的不密封的组件，应使用  $6.65 \times 10^{-3}$  Pa 或更低的试验压力。
- b) 试验量级为鉴定级环境量级。为了加速寿命试验，也可采用更高的量值，但不能引入不真实的组件失效模式。
- c) 试验时间为总的工作时间或工作循环次数为预示的工作寿命期（包括地面试验）内工作时间或工作循环次数的2倍。对于没有经历过鉴定振动试验而具有疲劳型失效模式的结构组件，试验持续时间至少应是规定使用寿命的4倍。

### 6.15.3 试验要求

试验要求如下。

- a) 应将一个或几个组件置于模拟的使用环境条件下工作，所选择的环境条件应与组件最终使用要求和寿命特性一致。评价磨损和性能漂移失效模式宜使用正常环境、热环境、热真空环境和辐射环境，评价疲劳型失效模式宜使用压力环境、热环境和振动环境。
- b) 试验前、后应进行功能与性能试验。在寿命试验期间应进行功能与性能试验，试验应在足够短的时间间隔内完成，以便确定变化趋势。
- c) 对可能有磨损、性能漂移或疲劳型失效模式或是性能降低的组件，如运动的机械组件、蓄电池、使用波纹管或其他柔性的流体装置及管路的压力容器应做寿命试验。可能出现疲劳破坏的关键零部件应观察其完整性。
- d) 对建立在统计基础上的寿命试验，试验时间与样本数、置信度和所要验证的可靠性有关，试验时间应保证使组件在使用寿命期间不出现磨损或性能降级。
- e) 组件中有经受磨损的机构应分别做寿命试验。

## 6.16 老炼试验

### 6.16.1 试验目的

鉴定或准鉴定试验在规定热循环应力环境下，验证产品性能指标是否满足设计要求且在规定的时间内无故障发生。验收试验在规定热循环应力环境和规定的作用时间下，暴露由于元器件、材料和制造工艺中可能潜在的质量缺陷造成的早期故障。

### 6.16.2 试验条件

试验条件如下。

- a) 压力为正常环境压力。
- b) 温度见表8。
- c) 温度平均变化速率为  $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

d) 试验时间:

- 1) 鉴定试验为300 h (不包含升温、降温时间等, 只计算高温、低温不小于4 h的组件性能测试时间), 且不少于37.5个循环;
- 2) 准鉴定试验为包括准鉴定级热真空和热循环试验高温和低温试验温度下的试验时间, 累积试验时间300 h (不包含升温、降温时间等, 只计算高温、低温不小于4 h的组件性能测试时间), 且不少于18.5个循环;
- 3) 验收试验为包括验收级热真空和热循环试验高温和低温试验温度下的试验时间, 累积试验时间300 h (不包含升温、降温时间等, 只计算高温、低温不小于4 h的组件性能测试时间), 且不少于18.5个循环。

e) 如果老炼温度范围小于85℃, 则应增加老炼时间, 按公式(1)计算。

$$t_B = a(b/\Delta T_B)^{1.4} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $t_B$  —— 试验温度范围减小后的试验累积时间, 单位为小时 (h);
- $a$  —— 常量,  $a=300$  h;
- $b$  —— 常量,  $b=85$  ℃;
- $\Delta T_B$  —— 试验温度范围, 单位为摄氏度 (℃)。

### 6.16.3 试验要求



老炼试验可与热循环试验合并进行。除满足热循环试验要求以外, 还应满足以下要求。

- a) 如果组件内部有短寿命的器件或部件, 可将此器件或部件断开, 用模拟负载代替进行老炼; 对于短期工作的电子产品, 可按其实际工作模式进行老炼。
- b) 老炼过程中应进行标称电压的拉偏试验, 正、负拉偏至少各进行两个热循环, 具体拉偏试验时间和方式在相关技术文件中规定。
- c) 对于不宜做热循环试验的组件 (机电、机光电组件等), 在整机组装前对其内部的电子部件先按上述试验条件和试验要求进行通电老炼。

## 6.17 高温存储试验

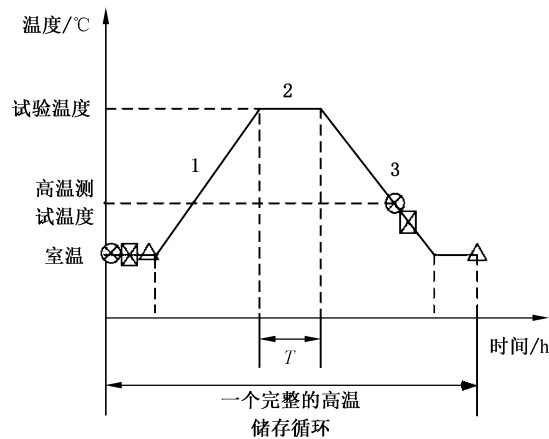
### 6.17.1 试验目的

鉴定或准鉴定试验验证产品在经历鉴定级或准鉴定级高温存储环境并回到工作温度范围后正常工作的能力。验收试验检验飞行产品的制造质量, 以及能够在经历验收级高温存储环境并回到工作温度范围后可靠地工作。

### 6.17.2 试验条件

高温存储试验一般按图 1 试验剖面进行。试验过程为: 在室温条件下, 对设备加电, 进行性能检测, 确认无故障后, 设备断电; 升高试件温度直至满足试验温度要求, 对应图 1 的试验过程 1, 期间满足变温速率要求; 维持高温试验温度, 并进行温度保持, 对应图 1 的试验过程 2; 满足保持时间要求后降低试件温度, 降至高温测试温度 (见表 8), 对设备进行加电并持续进行性能检测, 直至其温度恢复初始室温后设备断电, 对应图 1 的试验过程 3; 重复上述过程, 经历 4 次完整的循环过程, 结束试验。

注: 对无源设备, 试验中无需进行加、断电操作。



标引符号说明：

- 1——升温过程；
- 2——高温端温度保持；
- 3——降温过程；
- $T$ ——高温保持时间。

注：⊗表示设备加电；⊠表示性能检测；△表示设备断电。

图 1 高温存储试验剖面图

试验条件如下：

- a) 压力为正常环境压力；
- b) 温度见表8；
- c) 温度平均变化速率为 $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；
- d) 试验次数为经历4次高温存储试验（对于短期任务可降为2次）；
- e) 高温保持时间不低于12 h（对于短期任务可降为4 h）。

### 6.17.3 试验要求

高温存储试验要求如下：

- a) 温度控制点位置宜与组件飞行遥测温度点位置一致，没有飞行遥测温度点的组件，温度控制点应选在试验组件上有代表性的非热源处；
- b) 满足保持时间要求后降低试件温度，降至高温测试温度，对设备进行加电并持续进行性能检测，直至其温度恢复初始室温后设备断电；
- c) 高温存储试验中性能检测环节要求均无故障。

### 6.18 低温存储试验

#### 6.18.1 试验目的

鉴定或准鉴定试验验证产品在经历鉴定级或准鉴定级低温存储环境并回到工作温度范围后正常工作的能力。验收试验检验飞行产品的制造质量，以及能够在经历验收级低温存储环境并回到工作温度范围后可靠地工作。

#### 6.18.2 试验条件

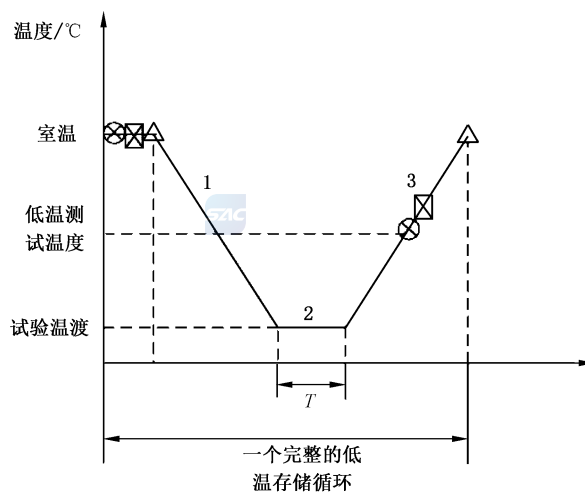
低温存储试验一般按图 2 低温存储试验剖面图试验剖面进行。试验过程为：在室温条件下，对设备加电，进行性能检测，确认无故障后，设备断电；降低试件温度直至满足试验温度要求，对应于图 2 低

温存储试验剖面图的试验过程 1，期间满足变温速率要求；维持低温试验温度，并进行温度保持，对应图 2 低温存储试验剖面图的试验过程 2；满足保持时间要求后升高试件温度，升至低温测试温度（见表 8），对设备进行加电并持续进行性能检测，直至其温度恢复初始室温后设备断电，对应于图 2 低温存储试验剖面图的试验过程 3；重复上述过程，经历 4 次完整的循环过程，结束试验，恢复室压。

试验条件如下：

- a) 压力为正常环境压力或不大于 $6.65 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ （对结露敏感的设备）；
- b) 温度见表 8；
- c) 温度平均变化速率为在温度速率可控范围内，试验中的平均变温速率不小于 $1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$ ；
- d) 试验次数为经历 4 次低温存储试验（对于短期任务可降为 2 次）；
- e) 低温保持时间不小于 12 h（对于短期任务可降为 4 h）。

注：对于无源设备，试验中无需进行加、断电操作。



标引符号说明：

- 1 —— 降温过程；
- 2 —— 低温端温度保持；
- 3 —— 升温过程；
- T —— 低温保持时间。

注：⊗表示设备加电；⊠表示性能检测；△表示设备断电。

图 2 低温存储试验剖面图

### 6.18.3 试验要求

低温存储试验要求如下：

- a) 若在正常环境压力下做试验，为了防止低温在组件表面和内部产生冷凝水，应在试验箱（容器）内充满干燥空气或氮气；
- b) 温度控制点位置宜与组件飞行遥测温度点位置一致，没有飞行遥测温度点的组件，温度控制点应选在试验组件上有代表性的非热源处；
- c) 满足保持时间要求后升高试件温度，升至低温测试温度，对设备进行加电并持续进行性能检测，直至其温度恢复初始室温后设备断电；
- d) 低温存储试验中性能检测环节要求均无故障。

### 6.19 热平衡试验

按 GB/T 34515 和 GB/T 42863—2023 中 7.17 规定的热平衡试验要求。若探测器经历地外天体大气

环境，应增加模拟地外天体大气成分和压力的热平衡试验。

## 6.20 低气压放电试验

### 6.20.1 试验目的

检验在低气压环境中工作的有源电子仪器设备和微波组件承受电晕、飞弧和介质击穿的能力。

### 6.20.2 试验条件

低气压放电试验可与热真空试验一起进行。试验条件如下：

- a) 环境压力由最高试验压力逐渐降至最低试验压力，或由最低试验压力逐渐升至最高试验压力（对于地球大气层的低气压放电试验，最高试验压力一般为1个大气压，最低试验压力一般为1.3 Pa）；
- b) 环境温度为试验室正常环境温度；
- c) 试验时间为环境压力从最高试验压力降至最低试验压力或从最低试验压力升至最高试验压力的时间不小于10 min，其中压力在650 Pa~850 Pa变化的时间不小于2 min；
- d) 试验次数，鉴定试验至少应进行3次，准鉴定或验收试验应进行1次~3次。

### 6.20.3 试验要求

低气压放电试验要求如下。

- a) 在低气压环境（包括发射主动段、再入段、地外天体大气进入段等过程中的低气压环境）中工作的有源电子仪器设备和微波组件应进行本项试验。有断续重复工作的组件，在此期间还需要检测重复启动能力。
- b) 对于在探测器发射过程中不工作，但在常压下密闭、入轨后允许缓慢漏气而导致其真空度逐渐上升的组件，也应进行本项试验。
- c) 模拟地外天体大气低气压环境时，应根据实际情况明确试验压力和成分。
- d) 试验过程中，在低气压环境中不工作和不准许经受电晕损伤的部件，应在真空度达到热真空试验的要求后再供电。
- e) 试验时试验件应在额定电流和电压下工作。
- f) 试验过程中应监视产品的关键参数（电压、电流等），具体测试方法见GB/T 7354和GB/T 23642。
- g) 降压或升压过程中，当压力在758 Pa附近时，最容易出现真空放电，因此应放慢降压或升压速度，在650 Pa~850 Pa变化的时间不小于2 min，在此期间应密切监测组件是否发生低气压放电。
- h) 对于组件内有主、备冗余电路或通道，按a)~g)的要求分别考核。

## 6.21 静电放电（ESD）试验

### 6.21.1 试验目的



#### 6.21.1.1 组件试验

验证探测器电工电子组件在静电放电环境下的工作性能。

#### 6.21.1.2 分系统/系统试验

验证探测器各分系统中的电子组件承受探测器表面放电干扰的综合能力，检验探测器表面放电对探测器正常工作及安全的影响，发现探测器抵抗表面放电干扰的薄弱环节。

### 6.21.2 试验条件

探测器在空间轨道运行时，由于空间等离子、带电粒子的作用使其表面和内部组件充电，可能导致电荷放电干扰。试验条件如下：

- a) 环境压力为正常大气环境压力；
- b) 脉冲源指标为击穿放电电压10 000 V；
- c) 峰值电流不小于80 A；
- d) 放电电流上升时间为5 ns~40 ns；
- e) 放电脉宽为30 ns~400 ns；
- f) 频谱：低频谱段场强占优；
- g) 试验频率及时间：频率为每秒1次，连续放电30 s，误差为±1次。

### 6.21.3 试验要求

静电放电试验要求如下：

- a) 电工、电子组件应进行本项试验，探测器可采用电性器进行试验；
- b) 试验中应对所有试验点逐一进行放电试验；
- c) 试验时，ESD放电模拟器电极与试验点之间的距离为 $(30 \pm 2)$ cm；
- d) 组件应加电并调节到对干扰最敏感的条件下测试，使观察到的由放电脉冲干扰引起的影响最为严重；
- e) 在进行ESD试验时，应实时监视和判读相关加电设备的遥测参数，观察是否有异常现象。

## 6.22 颠簸振动试验

### 6.22.1 试验目的

验证探测器在地外天体表面移动过程中，处于解锁或展开状态的太阳翼、桅杆、定向天线等机构组件适应地形颠簸振动环境的能力。

### 6.22.2 试验条件

颠簸振动环境以周期性低频振动为主，其主要频率一般低于正弦振动试验的起振频率5 Hz，且振幅较大，对于某些工况还叠加着一定的周期性高频振动成分，因此通常不能用振动台来模拟。颠簸振动试验一般采用道路模拟试验台模拟颠簸振动的时域过程和能量。

试验条件如下。

- a) 振幅：根据避障传感器能识别的最小凸起和凹坑尺寸，可确定探测器移动时可能引起颠簸振动的最大坡高 $L$ ，见图3。根据能量等效原则，受试组件从颠簸振动最高点到最低点的重力势能变化量等效（即 $mg_d L = mg L_{\text{试验}}$ ，其中 $m$ 为组件质量、 $g_d$ 为地外天体表面重力加速度、 $g$ 为地面重力加速度），在地面进行颠簸振动试验的等效坡高为 $L_{\text{试验}} = g_d L / g$ ，制定的试验振幅应不小于 $L_{\text{试验}}$ 。

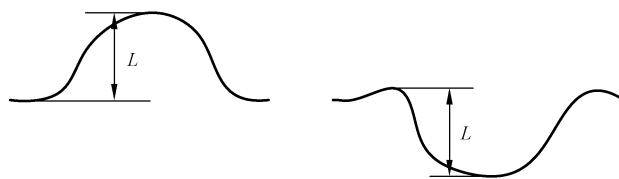


图3 地外天体表面凸起和凹坑所对应的最大坡高示意图

- b) 波形：一般采用正弦波模拟颠簸振动，对于极端恶劣工况或根据实际地外天体地形情况，可采用三角波、矩形波或定制波形。
- c) 转速：根据探测器最大移动速度、凸起和凹坑的分布距离确定凸轮转速，即试验台凸轮在单位时间内转过的圈数。
- d) 方向：模拟所有可能的实际颠簸方向。
- e) 持续时间：根据探测器总设计行程内驶过凸起和凹坑的最大数量，以及之前确定的转速制定试验持续时间，确保试验颠簸总次数不少于实际颠簸总次数。
- f) 其他：试验条件还应充分考虑移动仿真分析结果，获取最高预示颠簸振动环境并考虑一定的余量。

### 6.22.3 试验要求

颠簸振动试验要求如下：

- a) 太阳翼、桅杆、定向天线等机构组件固定在试验台上，其试验状态与在实际移动模式下的相同；
- b) 试验中应监测组件关键参数是否有间歇性故障。



### 6.23 天线方向图试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.5 的规定。

### 6.24 精度测量试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.6 的规定。

### 6.25 物理特性测量试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.7 的规定。

### 6.26 动平衡试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.8 的规定。

### 6.27 模态观测试验

按 GB/T 42863—2023 中 7.12 的规定。

### 6.28 着陆冲击试验

#### 6.28.1 试验目的

验证着陆器/返回器等在预示的极端或典型着陆速度和着陆姿态下着陆时，满足舱体完整、缓冲有效和安全可靠等设计要求；获取有效载荷安装处、着陆器/返回器结构和缓冲装置等关键部位的冲击响应参数以及舱体运动数据，用于修正着陆冲击分析模型和指标评价。

#### 6.28.2 试验条件

着陆冲击试验通过起吊及释放分离装置或其他投放装置着陆器/返回器以规定速度和姿态投放并着陆在着陆冲击模拟试验床上。试验条件包括投放高度、竖直投放速度、水平投放速度、俯仰角和滚动角等。可结合仿真分析结果选择若干极端或典型试验工况。

### 6.28.3 试验要求

试验要求如下：

- a) 除非特殊要求，着陆器/返回器的试验技术状态应是抛掉减速和防热装置（如抛主伞和防热大底）后的状态；
- b) 试验前，着陆器/返回器结构应完成静载荷试验、检漏试验等；
- c) 冲击试验前、试验中及试验结束后应检测着陆器/返回器各项功能和性能指标；
- d) 用于着陆冲击试验的模拟试验床应模拟真实着陆面的物理力学特性参数和地形地貌特点等，如摩擦系数、静态承载能力、着陆面坡度等；
- e) 着陆器/返回器上应安装足够的力学传感器用于测量结构的冲击响应，采用高速摄像设备等测量位移、速度、姿态等数据，并记录整个试验过程。

### 6.29 热试车试验

#### 6.29.1 试验目的

验证推进分系统在发动机点火工作状态下性能是否满足设计要求。

#### 6.29.2 试验条件

热试车试验一般根据飞行程序由控制模块按装订的自动程序工作，自动程序从点火指令发出到发动机关机，直至装订的动作全部结束。

试验条件应包括推进剂贮箱气枕初始压力、发动机入口推进剂压力和温度、气瓶压力、动力模块关键供气路压力及各系统关注的其他参数范围等。应取各参数组合的极端工况，或根据试验目的，也可采用规定的典型工况进行试验。

热试车试验次数和发动机每次点火工作的时长，可根据飞行试验时间和热试车目的确定。

#### 6.29.3 试验要求

试验要求如下：

- a) 推进分系统应包括动力模块（增压输送系统和发动机）、结构模块、控制模块、测量模块等，并与不同研制阶段要求的技术状态一致；
- b) 热试车点火试验前工作程序宜按发射场准备阶段工作流程设计，应对点火前准备阶段的加注、增压、预冷方案的合理性及此过程中各系统工作协调性进行演练试验考核；
- c) 点火后工作程序应与飞行程序状态一致，试车过程中应对各类增压管路、阀门及发动机的工作性能以及增压输送系统与发动机的工作匹配性进行考核，应对控制模块动力系统工作时序控制的正确性、协调性进行验证，对伺服机构在飞行件安装边界条件下，与发动机工作匹配性进行考核；
- d) 热试车试验除应明确热试车准备、实施、后处理和撤收各环节的主要工作项目、技术方案和试验流程外，还应设置紧急自动关机系统，并采用手动紧急关机方式作为备保障措施，还应具有紧急断电措施确保故障状态下可靠关机，以保证试验安全；
- e) 热试车试验中，应测量力学、热学、声学环境参数，为系统环境适应性设计提供数据。

### 6.30 回收/降落高空开伞试验

#### 6.30.1 试验目的

验证返回器/进入器各功能模块在回收/降落着陆过程中，其功能、性能是否满足设计要求；验证回

收/降落飞程序的正确性；获取各级降落伞开伞时对返回器/进入器造成的冲击与过载，实测着陆时的着陆冲击载荷环境数据以及相关结构产品着陆后的变形情况。

### 6.30.2 试验条件

试验条件应包括开伞动压、开伞高度、模型运动姿态、回收飞程序以及气象条件（如风速、气温等）等，可通过缩比模型、部分全尺寸模型或全尺寸模型高空开伞试验确定其极端或典型组合工况条件。

### 6.30.3 试验要求

回收/降落高空开伞试验要求如下。

- a) 一般情况下，回收/降落高空开伞试验件应包括降落伞系统、火工装置、标位装置、缓冲装置、时间控制器、高度控制器、配电器及各种分离件等。采取其他回收/降落方案时，应按实际情况按要求配置。
- b) 应在着陆区（或具代表性区域）进行鉴定试验。
- c) 标位装置及降落伞等回收/降落需工作的组件应选用真实产品，对试验器质量特性应进行模拟。
- d) 应对充填的推进剂、氧气等气、液工质进行适当模拟。使用的其他危险品也应妥善处理，如伽马计等。
- e) 采用真实的控制算法和飞程序，地面测量试验器降落状态参数并与器上遥测数据进行综合分析和评估。
- f) 试验场应配置外测设备，测量系统包括光测、遥测及记录等系统，监测试验中分离、开伞等动作过程，测量舱体的位置、运动速度、姿态以及不同分离体的运动轨迹等。

## 6.31 舱段分离试验

### 6.31.1 试验目的

验证探测器两舱段间分离过程的协调性，以及探测器经受分离冲击环境后保持正常工作的能力；获取分离冲击响应数据和必要的运动参数。



### 6.31.2 试验条件

所有舱段分离界面的解锁分离装置，都应至少被触发或模拟一次。对正样飞行产品，可仅开展舱段解锁试验。

### 6.31.3 试验要求

舱段分离试验要求如下：

- a) 舱段分离试验采用探测器的真实结构、真实分离机构和真实火工品进行试验；
- b) 试验时探测器的支撑形式宜模拟飞行的真实状态，支撑边界应能阻碍冲击载荷在器体边界之间的传递；
- c) 试验设备应能实现舱段分离过程，并防止分离后的舱段再次碰撞；
- d) 探测器上安装足够的力学传感器用于测量关键部位和关键组件的冲击响应数据；
- e) 采用高速摄像设备等记录舱段分离过程，检查有无干涉或其他异常现象，并分析获得必要的运动参数。

## 6.32 悬停、避障及缓速下降试验

### 6.32.1 试验目的

模拟探测器悬停、避障及缓速下降过程的运动学特征，验证基于导航敏感器的自主导航控制算法；模拟地外天体表面的反射特性和探测器的运动，考核导航敏感器的动态工作性能；模拟悬停、避障、缓速下降段真实的飞行过程，考核飞行程序设计的正确性。

### 6.32.2 试验条件

试验条件应包括重力环境、地形地貌分布特征、运动轨迹以及气象条件（如风速、气温等）等。试验首先应设定不同的试验阶段，采用相对容易、安全的试验工况将悬停、避障、缓速下降段复杂的控制过程进行分解验证，最后再逐步实现综合考核。

### 6.32.3 试验要求

悬停、避障及缓速下降试验要求如下：

- a) 探测器可采用着陆试验器进行试验，着陆试验器需与真实探测器有相同的质量特性、力学特性及外形尺寸，其中控制分系统与推进分系统应采用真实产品参试，其他分系统可以采用功能模拟件或配重代替；
- b) 建设试验塔架，采用重力模拟装置模拟地外天体重力环境中探测器的受力及运动特征，重力模拟装置能够跟随探测器的运动，提供所需的试验空间；
- c) 模拟地外天体的地形地貌特征，考核探测器导航敏感器的地形识别性能；
- d) 模拟地外天体表面对微波、激光的反射特性，考核探测器测距、测速传感器的工作性能；
- e) 探测器采用真实的控制算法和飞行程序，完成软着陆悬停、平移、缓速下降段的地面模拟过程；
- f) 试验场应配置外测设备，在试验中对探测器的高度、姿态、运动速度等进行实时监测。

## 6.33 着陆稳定性试验

### 6.33.1 试验目的

考核探测器着陆时的着陆姿态、着陆速度、着陆面地形和着陆面力学参数对探测器着陆稳定性的影响；验证极端或典型工况下探测器的着陆稳定性；获取试验数据，用于修正着陆稳定性分析模型。

### 6.33.2 试验条件

试验条件应包括着陆速度、姿态、着陆面物理参数等。试验工况应覆盖典型着陆工况，同时应设置极端工况。

### 6.33.3 试验要求

着陆稳定性试验要求如下：

- a) 探测器可采用模拟结构进行试验，模拟结构应模拟探测器的质量特性和与着陆缓冲机构的接口；
- b) 着陆缓冲机构应采用真实产品；
- c) 应模拟地外天体重力环境；
- d) 应模拟着陆面典型地形地貌和力学特性参数；
- e) 应设计专门的释放分离装置用于获得所需的初始着陆参数；
- f) 探测器触地时的速度、姿态参数应与真实着陆情况一致；

- g) 探测器上应安装足够的力传感器、加速度传感器和应变片用于测量探测器的动态载荷、加速度响应和应变响应；
- h) 应采用高速摄像设备等记录探测器在整个试验过程中的位移、速度、姿态、探测器质心的运动轨迹等。

### 6.34 移动试验

#### 6.34.1 试验目的

验证探测器在模拟地外天体重力、土壤和地形地貌环境下的移动性能；验证探测器移动工作模式和工作程序设计。

#### 6.34.2 试验条件

试验条件应包括移动速度、重力环境、地形特征参数等。试验工况应包括速度能力测试、制动能力测试、爬坡能力测试、越障能力测试、机动能力（原地转弯或行进间转弯）等。

#### 6.34.3 试验要求

移动试验要求如下。

- a) 探测器应采用电性器进行试验，其中整器质量、质心位置和惯量应与真实产品保持一致；移动分系统及控制部分应与真实产品一致。
- b) 探测器移动试验的地面控制部分应与探测器在轨控制部分一致。
- c) 试验设备和场地应能实现对地外天体重力、土壤和地形地貌的模拟。重力模拟需根据探测器的构型，确保各个移动装置（车轮、机械腿等）的载荷与真实的载荷相等；土壤模拟应在颗粒级配和容重等物理特性、承压和剪切等力学特性方面与地外天体土壤接近；地形地貌模拟应覆盖平地、坡道、障碍物等，模拟移动探测区可能出现的各种地形。
- d) 试验场应配置外测设备，在试验中监测探测器的位置、姿态、位移、速度等物理量。

### 6.35 采样封装试验

#### 6.35.1 试验目的

验证采样封装功能/性能的正确性，验证采样封装工作与探测器环境、其他环境的匹配性，验证采样封装工作程序的合理性，验证采样封装器地交互操作的协调性，支持在轨采样封装任务的顺利实施。

#### 6.35.2 试验条件

试验条件应包括重力环境、采样区土壤和地形地貌特性参数等。试验工况应覆盖典型姿态、典型光照、典型模拟土壤特性的组合以及各种的故障模式。

#### 6.35.3 试验要求

采样封装试验要求如下。

- a) 探测器可采用采样封装试验器进行试验，其主要外形特征和表面状态应与真实探测器保持一致；参试的采样封装分系统产品应与真实产品一致，参试的数管、供电等分系统产品应与真实产品一致或为具有相关真实接口状态的模拟件。
- b) 采样封装试验的地面控制部分应与探测器在轨控制部分一致。
- c) 试验设备和场地应能实现对地外天体重力、土壤和地形地貌的模拟。重力模拟需根据采样封装装置的设计，确保各个机构承受的载荷与真实的载荷相等；土壤模拟应在颗粒级配和容重等物

理特性、承压和剪切等力学特性方面与地外天体土壤接近，模拟采样区可能出现的各种极端或典型土壤特性；地形地貌模拟应覆盖平地、坡道、障碍物等，模拟采样区可能出现的各种地形。

- d) 光照环境应覆盖采样封装工作时段及采样区域的太阳高度角和方位角等。

## 6.36 起飞上升试验

### 6.36.1 试验目的

模拟探测器在地外天体起飞的真实工作过程，考核探测器的导航性能，验证控制分系统的综合控制能力；验证探测器解锁稳定性以及起飞过程中与起飞平台的相容性；验证起飞上升飞行程序设计的正确性、匹配性和协调性。

### 6.36.2 试验条件

试验条件应包括重力环境、起飞姿态、运动轨迹以及气象条件（如风速、气温等）等。试验首先应设定不同的试验阶段，采用相对容易、安全的试验工况将起飞上升复杂的控制过程进行分解验证，最后再逐步实现综合考核。试验工况应覆盖典型工况和极端工况，并确保试验的安全。

### 6.36.3 试验要求

起飞上升试验要求如下：

- a) 探测器可采用起飞试验器进行试验，起飞试验器应与真实的探测器有相同的质量特性、力学特性及外形尺寸，其中控制分系统与推进分系统应采用真实产品参试，其他分系统可以采用功能模拟件或配重代替；
- b) 设计试验塔架，采用重力模拟装置模拟地外天体重力环境中探测器的受力及运动特征，重力模拟装置能够跟随探测器的运动，提供所需的试验空间；
- c) 模拟起飞平台姿态、羽流等特性，考核探测器对各种起飞姿态、羽流力热效应等因素的适应能力；
- d) 探测器采用真实的控制算法和飞行程序，在控制和推进分系统的配合下完成起飞上升段的地面模拟过程，控制分系统启控后能够及时修正初始干扰和偏差；
- e) 试验场应配置外测设备，在试验中对探测器的高度、姿态、运动速度等进行实时监测。

## 6.37 交会对接/捕获试验

### 6.37.1 试验目的

验证交会对接/捕获机构在极端或典型工作条件下功能、性能、接口和时序等满足设计要求，验证交会对接/捕获过程中控制分系统的导航控制策略和性能等满足设计要求。

### 6.37.2 试验条件

可采用气浮平台进行重力平衡，使每个试验模拟器各自具有五个自由度，保证交会对接/捕获过程可以模拟实现探测器在轨失重和自由运动状态。试验条件一般包括温度、湿度、气压环境、主被动探测器交会对接/捕获初始相对位置、姿态及其导数、交会对接/捕获时间等，通过探测器轨道和姿态控制系统在轨控制能力确定交会对接/捕获试验初始条件。

### 6.37.3 试验要求

交会对接/捕获试验应要求如下：

- a) 探测器可采用模拟器进行交会对接/捕获试验，其中模拟器质量、质心位置和惯量应与真实产品保持一致，参试的交会对接/捕获分系统及数管、控制等部分应与真实产品一致，推进分系统可采用推力等效模块代替；
- b) 设计试验平台，模拟交会对接/捕获过程中的太空失重环境及运动状态，重力模拟装置能够跟随模拟器的运动，提供所需的试验空间；
- c) 试验过程中，依据选定的交会对接/捕获初始条件，通过控制系统驱动主动、被动模拟器运动，并在交会对接/捕获机构接触时刻实现设定的对接/捕获初始条件；
- d) 探测器采用真实的控制算法和飞行程序，在数管、控制等分系统的配合下完成交会对接/捕获过程的地面模拟，考核在交会对接/捕获初始条件范围内的捕获、校正、锁定等关键性能；
- e) 测量记录对接/捕获力、对接/捕获动态响应和能量吸收等数据，对模拟器的位置、姿态、运动速度等进行实时监测和记录。

### 6.38 微振动试验

#### 6.38.1 试验目的

获取扰动源至敏感载荷的传递特性，为分析模型修正提供依据；获取扰动源及敏感载荷的微振动响应，为系统减、隔振设计、优化、验证等提供依据。

#### 6.38.2 试验条件

微振动试验时探测器应通过悬吊或弹性支承模拟自由-自由边界条件，产生微振动环境的扰动源应在极端或典型的在轨工作模式下工作，模拟部、组件在轨工作模式下的微振动环境。

#### 6.38.3 试验要求

微振动试验要求如下：

- a) 若采用悬吊系统模拟边界条件，试验器与悬吊系统的组合体前6阶频率应小于最低扰动频率的 $1/10\sim 1/5$ ；
- b) 若采用支撑系统模拟边界条件，试验器与支撑系统的组合体前6阶频率应小于最低扰动频率的 $1/10\sim 1/3$ ；
- c) 微振动试验时，测量传感器应根据试验要求安装，一般测量加速度、力（力矩）、位移、角位移；
- d) 背景环境噪声应小于被测信号最低量级的 $1/3\sim 1/5$ ，如不满足要求，应采取有效的隔、降噪措施；
- e) 必要时，试验中对敏感载荷进行性能测试。

## 7 系统间接试验

### 7.1 与运载火箭系统对接分离试验

#### 7.1.1 试验目的

试验的主要目的如下：

- a) 检验探测器与运载火箭机械接口的准确性、协调性；
- b) 检验探测器与运载火箭电气接口协调性及电磁兼容性；
- c) 检验探测器与运载火箭对接面产品安装的可操作性；
- d) 通过连接火工品解锁测量探测器与运载火箭分离面附近及探测器的冲击环境响应。

### 7.1.2 试验要求

试验需符合以下要求。

- a) 初样阶段可采用探测器的结构器及探测器支架的结构件进行器箭的对接分离试验；正样阶段探测器、探测器支架、对接面产品等产品应均为飞行件。
- b) 探测器支架上的脐带电缆宜按设计状态完成实施。
- c) 器箭对接分离试验中探测器各器之间应按真实的设计状态连接。
- d) 器箭对接后应测量对接环的间隙、器箭搭接阻值，并测量探测器分离开关的压缩量和阻值。
- e) 器箭分离试验中，探测器上应粘贴量程覆盖冲击力学环境的加速度传感器，测量器箭分离过程中探测器上的冲击响应，还应布置高速摄像机记录试验过程，以观察分离过程中器箭有无碰撞或干涉。
- f) 正样阶段的器箭分离试验中探测器应加电并设置为主动段工作模式，试验后还应对探测器进行表面状态检查、机构测试和电性能测试。
- g) 初样阶段及正样阶段，探测器应采用与飞行状态相同的部分电子设备完成与火箭的电磁兼容性试验。
- h) 其他试验要求按GB/T 32298的规定。

## 7.2 与测控、回收系统对接试验

### 7.2.1 试验目的

与测控、回收系统对接试验包括与地面测控站（船）对接试验、与飞行控制中心无线联试、与回收搜索方回收示位装置（信标机、天基定位装置等）对接试验。试验的主要目的如下：

- a) 验证探测器与地面测控系统接口设计的正确性，检验探测器测控相关设备与地面测控站（船）及测控中心联合工作的匹配性、协调性和正确性；
- b) 对于包含返回任务的探测器，在回收任务之前与回收搜索方开展回收示位装置的对接试验，主要目的是检验返回器回收搜索相关示位装置与回收搜索飞机、车辆、卫星的匹配性、协调性和正确性。

### 7.2.2 试验要求

#### 7.2.2.1 与地面测控站（船）对接试验要求

与地面测控站（船）对接试验需符合以下要求：

- a) 探测器参试设备应与正样设计状态一致；
- b) 地面测试设备应经过标检并在标检期内；
- c) 地面控制设备应具备对探测器设备进行遥控指令控制和遥测采集的功能；
- d) 探测器设备与地面站（船）设备通过射频电缆建立射频通道，进行有线对接试验，对器地信道基本接口指标、器地捕获、测速、测距、遥测、遥控、器地时间同步以及地面测控设备双频工作性能等进行测试；
- e) 探测器与地面站（船）通过天线建立射频通道，进行无线对接试验，对器地信道基本接口指标、器地捕获、测速、测距、遥测、遥控、地面测控设备双频工作性能及天线极化特性等进行测试；
- f) 其他试验要求按GB/T 38241的规定。

#### 7.2.2.2 与飞行控制中心无线联试试验要求

与飞行控制中心无线联试试验需符合如下要求：

- a) 探测器应为正样状态；
- b) 地面无线转发设备应经过标检并在标检期内；
- c) 无线联试前，无线转发设备应与飞行控制中心进行无线对通试验；
- d) 进行探测器的模飞试验。

### 7.2.2.3 与回收示位装置对接试验要求

与回收示位装置对接试验需符合如下要求：

- a) 探测器参试设备应与正样设计状态一致；
- b) 回收搜索方参试设备应为执行回收搜索任务的设备或者同状态设备；
- c) 地面测试设备应经过标检并在标检期内；
- d) 与回收示位装置对接试验采用无线对接方式，考核探测器与地面搜索设备及卫星的匹配性。

## 7.3 与地面应用系统对接试验

### 7.3.1 试验目的

试验的主要目的如下：

- a) 验证探测器与地面应用系统间接口设计的正确性；
- b) 检验探测器数传相关设备与地面应用站工作的协调性和匹配性；
- c) 验证返回的地外天体样品容器的交付流程。

### 7.3.2 试验要求

试验需符合以下要求：

- a) 探测器参试设备应与正样设计状态一致；
- b) 地面测试设备应经过标检并在标检期内；
- c) 地面控制设备应具备对探测器设备进行遥控指令控制和遥测采集的功能；
- d) 探测器设备与地面站设备通过射频电缆建立射频通道，进行有线对接试验，对器地信道基本接口指标和数据传输功能进行测试；
- e) 探测器与地面站通过天线建立射频通道，进行无线对接试验，对器地信道基本接口指标和数据传输功能进行测试；
- f) 对地外天体样品容器的交付过程进行演练及验证。

## 7.4 发射场合练

### 7.4.1 试验目的

试验的主要目的如下：

- a) 验证发射场流程的合理性；
- b) 验证发射场的技术条件和保障能力；
- c) 检验探测器与发射场系统接口的匹配性；
- d) 检验探测器在运载火箭整流罩内产品操作的可行性；
- e) 检验探测器进场操作规程的正确性和完整性。

### 7.4.2 试验要求

试验需符合以下要求：

- a) 发射场合练一般仅在初样阶段进行，探测器可采用结构器参试，需要运载火箭方提供真实的探

测器支架和整流罩模拟件；

- b) 探测器的包装、运输及发射场转运均应与正样过程设计一致；
  - c) 探测器在发射场厂房内展开（包括模拟地面设备展开、测试设备展开），并进行模拟测试；
  - d) 探测器应进行无线转发测试演练，参试的无线转发相关设备与真实状态一致；
  - e) 探测器应完成模拟加注、核源安装等复杂过程演练；
  - f) 探测器在发射场进行发射区工作演练，验证与发射塔相关的技术流程。
- 



