



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 44782—2024

## 空间站无容器材料实验柜 实验样品地面制备规范

Containerless materials processing rack in Space Station—Ground preparation  
specification for experiment samples

2024-10-26 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

SAC

发布



## 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。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国空间科学及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 312)归口。

本文件起草单位：中国科学院上海硅酸盐研究所、中国科学院金属研究所、中国科学院空间应用工程与技术中心、北京国科环宇科技股份有限公司。

本文件主要起草人：汤美波、刘学超、余建定、李勤、贺欢、倪津崎、方婧红、潘秀红、张明辉、罗兴宏、张立宪、梁学锋。





# 空间站无容器材料实验柜 实验样品地面制备规范

## 1 范围

本文件规定了在空间站无容器材料实验柜内进行科学实验的样品要求和地面样品制备、过程记录和测试报告的要求,描述了其试验方法。

本文件适用于在地面制备和试验检验用于空间站无容器材料实验柜静电悬浮设备或其地面镜像设备开展科学实验的样品。

## 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 30114.1 空间科学及其应用术语 第1部分:基础通用  
GB/T 30114.7 空间科学及其应用术语 第7部分:微重力科学  
GB/T 37469—2019 空间材料科学实验 样品管理规范  
GB/T 37844—2019 空间材料科学实验 固体实验样品制备规范

## 3 术语和定义

GB/T 30114.1、GB/T 30114.7、GB/T 37844—2019 和 GB/T 37469—2019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**轴心机构** **movable inter chamber**

静电悬浮装置中实现样品释放和回收功能的可移动的内部腔体机构。

### 3.2

**样品盒** **sample cartridge assembly**

与轴心机构配套开展实验的用于存放无容器柜实验样品的容器。

### 3.3

**样品释放回收** **release and withdraw samples**

在轴心机构中从样品盒中释放样品并将其回收至样品盒中的操作。

## 4 样品要求

### 4.1 成分

根据在轨实验目的进行样品成分设计。成分设计应满足:

- a) 样品在常温下物理化学性质稳定;

b) 在实验所需的最高温度及以下样品不发生燃烧、浓烟或炸裂现象。

#### 4.2 外观

样品为近球状。样品表面应光滑,无  $3\ \mu\text{m}$  及以上的毛刺、裂缝和多余物。

#### 4.3 尺寸

样品盒设计用于存放直径为  $D$  [单位为毫米(mm)] 的球形样品(标准样品盒中  $D=2.7\ \text{mm}$ )。样品尺寸要求如下:

- a) 样品平均直径应在  $(D-0.2)\text{mm}\sim(D+0.2)\text{mm}$  范围内;
- b) 样品最大直径应小于或等于  $(D+0.2)\text{mm}$ ;
- c) 样品最大直径与最小直径差应小于或等于  $0.4\ \text{mm}$ 。

#### 4.4 释放回收

在释放回收过程中,样品不应引起轴心机构卡滞。

#### 4.5 激光吸收

空间站无容器柜含有最大输出功率  $5\ \text{W}$ 、波长  $1\ 064\ \text{nm}$  的二氧化碳激光器 1 路,以及最大输出功率均为  $75\ \text{W}$ 、波长  $915\ \text{nm}$  3 种斑点尺寸( $0.8\ \text{mm}$ ,  $1.2\ \text{mm}$  和  $1.6\ \text{mm}$ ) 可选的半导体激光器 4 路。

在空间站无容器柜激光器最大输出功率限制条件下应能将样品加热至科学实验用户需要的最高温度(最高工作温度  $\leq 3\ 000\ ^\circ\text{C}$ )。

#### 4.6 质量变化

在设定的最高实验温度下激光加热  $10\ \text{min}$ ,加热前、后样品质量差与加热前的质量之比为质量相对变化率。质量相对变化率应小于或等于  $0.5\%$ 。

#### 4.7 带电量

在空间无容器设备工作电压范围内( $-30\ \text{kV}\sim 30\ \text{kV}$ )应实现样品带电并悬浮。悬浮时所带静电荷称为样品带电量。样品带电量应大于或等于  $10^{-12}\ \text{C}$ 。

#### 4.8 力学环境

按照上下行平台要求进行力学环境试验。

力学环境试验后的样品应满足 4.2 和 4.4 的要求。

### 5 样品制备

#### 5.1 制样方案

根据在轨实验目的确定样品成分,样品成分应满足 4.1 的要求。

根据材料特性,确定样品制备方案,如合金熔炼、粉末冶金、高温烧结等。

#### 5.2 坯料制备

根据样品制备方案制备样品坯料。

制备要求应符合 GB/T 37844—2019 中第 6 章的规定。

样品制备过程的管理要求应符合 GB/T 37469—2019 中 5.1 和 5.2 的规定。

### 5.3 成品加工

采用气悬浮装置或其他方法(如切割、球磨、打磨等)将坯料加工成近球形样品。

## 6 试验方法

### 6.1 一般检查测量和试验

#### 6.1.1 外观检查

采用显微镜观察样品表面状态:将样品置于观察平台上,观察样品表面状态并拍照记录;再任意转动样品方向 2 次,分别进行表面观察并记录。

在无容器柜开展科学实验的每一个样品均应进行外观检查。

#### 6.1.2 直径和体积测量

每个样品随机选取 10 个测量点,采用精度不低于 0.02 mm 的千分尺测量这 10 个测量点的直径  $D_n$  ( $n=1\sim 10$ ),并从中得到最大直径和最小直径。

计算样品 10 个测量点的平均直径。

采用阿基米德排液法测量样品体积  $V$ 。

在无容器柜开展科学实验的每一个样品均应进行直径和体积测量。

#### 6.1.3 释放回收试验

按照附录 A 进行样品释放回收试验。

在无容器柜开展科学实验的每一个样品均应进行释放回收试验。

### 6.2 专项试验

#### 6.2.1 激光加热试验

采用激光器(地面激光器参数同空间站无容器柜激光器参数)、红外测温仪(测温范围:500 °C ~ 3 000 °C)和真空泵,在密闭式气悬浮装置或静电悬浮装置内开展激光加热试验。

试验步骤如下。

- a) 采用真空泵将密闭式气悬浮装置的腔体内压力抽至  $10^{-3}$  Pa 以下,继而充入氩气(纯度 4A 及以上)至常压后再抽排掉,如此反复 3 次后再充至常压,将样品装入密闭式气悬浮装置的喷嘴或静电悬浮装置电极上并稳定悬浮。
- b) 分别打开激光器、红外测温仪的指示光,将激光光路和测温仪光路聚焦在样品上:
  - 若样品为无机非金属,则采用二氧化碳激光器先将其加热样品至 500 °C 以上,再利用半导体激光器加热样品至科学实验用户需要的最高温度,分别记录此两种温度时相对应激光器的输出功率;
  - 对金属样品,可直接采用半导体激光器加热样品至科学实验用户需要的最高温度,记录此温度时激光器的输出功率。
- c) 关闭激光器。
- d) 同一样品依次重复步骤 b) 和 c) 3 次。

激光加热实验过程中样品不发生燃烧、爆炸现象。

同成分同制备工艺的样品至少应开展 1 次激光加热试验。

6.2.2 质量变化测试

6.2.2.1 通则

同成分、同制备工艺的样品至少应开展 1 次质量变化测试。可结合样品特性和在轨实验要求等,选择常压或真空两种状态下进行质量变化测试。

6.2.2.2 常压状态测试

常压状态测试步骤如下:

- a) 将样品称量并记录为  $m_1$ ;
- b) 采用真空泵将腔体内压力抽至  $10^{-3}$  Pa 以下,继而充入氩气(纯度 4A 及以上)至常压,如此反复 3 次;
- c) 将样品装入密闭式气悬浮装置的喷嘴并稳定悬浮;
- d) 打开激光器、红外测温仪的指示光,将激光光路和测温仪光路聚焦在样品上,加热样品至科学实验用户需要的最高温度并保持 10 min;
- e) 关闭激光器,待样品冷却至室温后再次称量并记录为  $m_2$ 。

6.2.2.3 真空状态测试

真空状态测试步骤如下:

- a) 按照 6.2.2.2 中步骤 a) 和 b) 反复抽真空和充氩气 3 次后,继续采用真空泵将腔体内压力抽至  $10^{-3}$  Pa 以下;
- b) 将样品装入静电悬浮装置电极上;
- c) 调节电极电压至样品悬浮;
- d) 打开激光器、红外测温仪的指示光,将激光光路和测温仪光路聚焦在样品上,加热样品至科学实验用户需要的最高温度并保持 10 min;
- e) 关闭激光器,待样品冷却至室温后再次称量  $m_2$ 。

6.2.2.4 质量相对变化率

计算样品实验前后质量相对变化率  $n = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%$ 。

6.2.3 带电量试验

将经称量质量为  $m$  的样品放入静电悬浮装置,调节电极电压至样品悬浮,记录此时的电压  $U$ 。按照公式(1)计算样品带电量。

$$q = mgd / U \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $q$  ——样品电荷量,单位为库仑(C);
- $m$  ——样品质量,单位千克(kg);
- $g$  ——重力常数,单位为牛每千克(N/kg),  $g = 9.8$  N/kg;
- $d$  ——电极间最小距离,单位为米(m);
- $U$  ——施加于样品上的电压,单位为伏(V)。

同成分同制备工艺的样品至少应开展 1 次带电量试验。

6.3 力学环境试验

按照以下步骤开展力学环境试验:

- a) 将样品装入样品盒；
- b) 将样品盒放入专用的软包；
- c) 将含样品盒的软包固定在工装板上；
- d) 根据上下行的平台要求进行力学环境试验。

力学环境试验后的样品开展 6.1 中的检查、测量和试验。

在空间站无容器柜开展实验的每个样品均应进行力学环境试验。

## 7 过程记录和测试报告

应做好样品制备、试验和检验过程中的实验记录(含图像方式),如外观检查照片、直径、各项试验和检验结果等。

测试报告形式见附录 B,可包含以下内容:



- a) 样品信息:样品名称、编号、成分、体积、质量、送样日期等；
- b) 测试信息:委托单位、测试时间、环境温度和湿度、测试人员、参试人员、测试地点等；
- c) 测试设备:设备名称、设备参数；
- d) 测试项目和标准；
- e) 测试结果；
- f) 测试结论。

附录 A  
(规范性)  
样品释放回收试验

A.1 装置

轴心机构 1 台(结构图见图 A.1、放置方向见图 A.2)、电机驱动盒 1 个,样品盒 1 个(见图 A.3)。标准样品盒可容纳 29 个直径  $D$  为 2.7 mm 球形样品。

单位为毫米

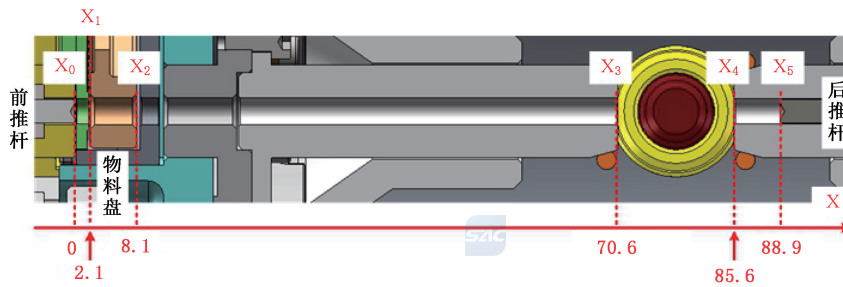


图 A.1 轴心机构中推杆运行结构图

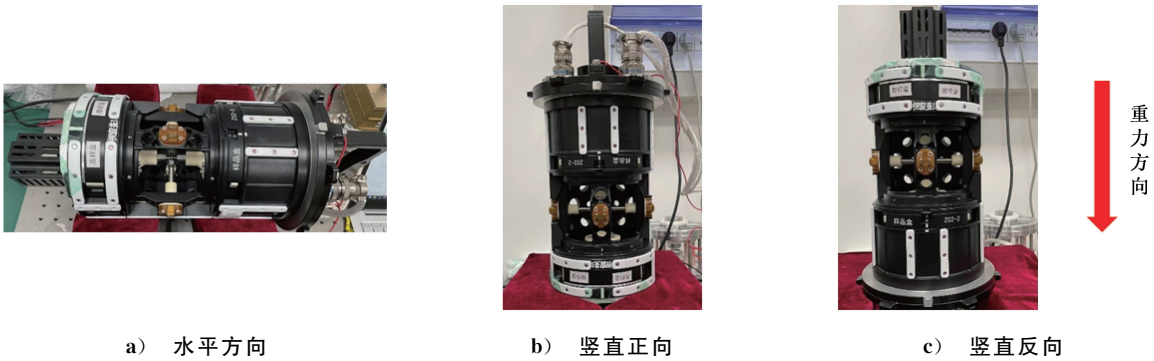


图 A.2 轴心机构方向与重力方向关系图

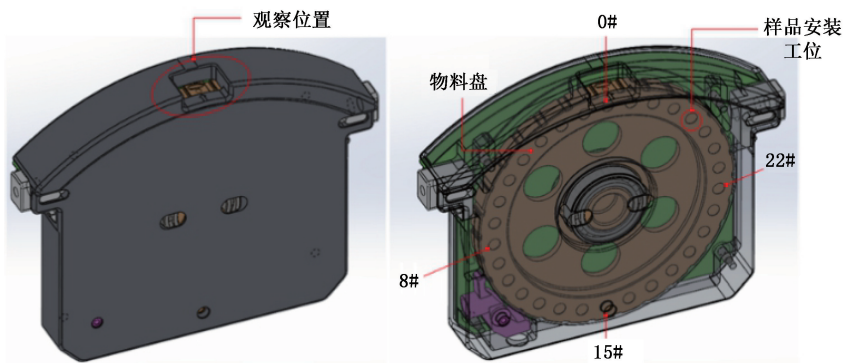


图 A.3 样品盒及物料盘结构图

## A.2 测试步骤

A.2.1 将轴心机构与电机驱动盒连接。将样品依次装入样品盒中物料盘上的样品工位(01#~29#),并将样品装机信息记录在表 A.1 中。

表 A.1 样品装机记录表

产品名称	样品盒		产品编号	
操作人员			日期	
料盒工位号	样品编号	成分	平均直径 mm	质量 mg
00	—	—	—	—
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				

A.2.2 将物料盘归至 00# 样品工位(如图 A.3 所示)。将样品盒安置在轴心机构中。样品释放回收测试操作按表 A.2 进行。

表 A.2 释放回收测试操作步骤

步骤	内容
1	将轴心机构水平放置在支架上,如图 A.2 a)中水平方向,启动电机驱动盒及电脑控制程序
2	封住孔道;将前推杆由 $X_0$ 向正方向移动至 $X_1$ 处,后推杆由 $X_5$ 向负方向移动至 $X_2$ 处,此时为起始位
3	通过电脑控制程序将轴心机构样品盒料盘依次旋转到 01#~29# 工位,观察料盘在旋转过程中是否顺畅、无卡滞
4	通过电脑控制程序将轴心机构样品盒料盘按 29#→00#→15#→29#→00# 的顺序连续旋转,观察料盘在旋转过程中是否顺畅、无卡滞
5	将料盘旋转到 5# 工位
6	后推杆保持在 $X_2$ 处不动,向正方向移动前推杆将样品夹住
7	前推杆、后推杆夹着样品同步向正方向移动至 $X_3$ 与 $X_1$ 连线的中心处,观察前后推杆在夹持样品移动过程中样品是否滑落
8	前后推杆回归起始位置
9	将料盘旋转到 15# 工位
10	重复步骤 6~步骤 8
11	将料盘旋转到 20# 工位
12	重复步骤 6~步骤 8
13	将料盘旋转到 28# 工位
14	重复步骤 6~步骤 8
15	料盘回复至 00# 工位,推杆回复至 $X_0$ 和 $X_5$ 处,关闭电脑控制程序,关闭电源
16	将轴心机构以竖直正向姿态[见图 A.2 b)中竖直正向]固定在支架上,启动电机驱动盒及电脑控制程序
17	重复步骤 2~步骤 15
18	将轴心机构以竖直反向姿态[图 A.2 c)中竖直反向]固定在支架上,启动电机驱动盒及电脑控制程序
19	重复步骤 2~步骤 15
20	观察并记录样品的运行情况 <sup>a</sup>
<sup>a</sup> 规定图 A.1 中水平向右方向为正方向。	

### A.3 测试结果

测试结果按照表 A.3 进行记录。

表 A.3 释放回收测试记录表及样品记录表

测试内容	释放回收测试		测试阶段	
测试地点			测试日期	
送检单位			测试人员	
初始参数	① 样品盒编号		样品装机记录见表 A.1	
	② 样品装机情况			
测试步骤			测试结果(顺畅:√;不顺畅:×)	
1	推杆封孔测试	推杆封孔		
2	水平旋转测试	逐步旋转		
		料盒号:00(+1#)→29#		
3	水平旋转测试	间隔旋转		
		料盒号:29#→00#→15#→29#→00#		
4	水平夹持	夹持测试		
		料盒号:05#、15#、20#、28#		
5	竖直-正向旋转测试	逐步旋转		
		料盒号:00(+1#)→29#		
间隔旋转				
料盒号:29#→00#→15#→29#→00#				
6	6	间隔旋转		
		料盒号:29#→00#→15#→29#→00#		
7	竖直-正向夹持测试	夹持测试		
		料盒号:05#、15#、20#、28#		
8	竖直-反向旋转测试	逐步旋转		
		料盒号:00(+1#)→29#		
间隔旋转				
料盒号:29#→00#→15#→29#→00#				
9	9	间隔旋转		
		料盒号:29#→00#→15#→29#→00#		
10	竖直-反向夹持测试	夹持测试		
		料盒号:05#、15#、20#、28#		

**附录 B**  
(资料性)  
**测试报告模板**

测试报告模板见表 B.1。

**表 B.1 测试报告**

编号: ××××

1. 样品信息				
样品名称	样品编号	样品成分	体积	质量
送样日期				
2. 测试信息				
委托单位				
测试时间			环境温度	
测试人员			环境湿度	
参试人员				
测试地点				
3. 测试设备				
名称	参数	校准日期	备注	
4. 测试项目和标准				
5. 结果				
6. 结论				
测试人:		审核:		
		单位:		



