



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38325—2019

---

## 空间科学实验地面验证要求

Ground-based verification requirements for space science experiments

2019-12-10 发布

2020-07-01 实施

---

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国科学院提出。

本标准由全国空间科学及应用标准化技术委员会(SAC/TC 312)归口。

本标准起草单位：中国科学院空间应用工程与技术中心、中国科学院金属研究所、中国科学院上海硅酸盐研究所、中国科学院动物研究所、中国科学院物理研究所、中国科学院上海植物生理与生态研究所、中国科学院力学研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院植物研究所、中国科学院微生物研究所、清华大学、西北工业大学、浙江大学。

本标准主要起草人：陶新、赵黎平、邓晓梅、罗兴宏、艾飞、雷晓华、王彬彬、贾艳梅、刘洋、刘伟、蔡伟明、郑慧琼、康琦、吕德胜、袁永春、温晓刚、黄英、纪家葵、姚强、仓怀兴、王金福、韩买兴。

# 空间科学实验地面验证要求

## 1 范围

本标准规定了在空间飞行器上开展空间科学实验项目的地面验证目的、验证要求、验证类型、验证流程、验证实验以及实验验证总结与评估要求。

本标准适用于利用卫星、飞船、空间实验室、空间站等各类空间飞行器,开展空间生命科学和生物技术、空间材料科学、空间流体物理和燃烧科学、空间基础物理等领域的科学研究项目的地面验证工作。利用探空火箭、高空气球等其他飞行器开展的科学实验项目以及有相似过程的空间实验任务可参考使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 28877 空间科学实验通用要求

GB/T 30114.1 空间科学及其应用术语 第1部分:基础通用

## 3 术语和定义

GB/T 28877、GB/T 30114.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**地面验证** ground-based verification

对空间科学实验原理、方案、设计等进行分析和实验,以确定空间科学实验项目满足在空间开展实验要求的活动。

### 3.2

**空间环境模拟试验** experiments under the simulated space environment

为验证科学实验方案和实验系统适应空间环境的能力,模拟空间微重力效应、辐射、温度、真空度等空间在轨环境条件开展的测试。

### 3.3

**镜像实验** mirror experiments

利用地面镜像系统模拟实验装置在轨运行过程与状态,开展空间科学实验操作的预演。

## 4 验证目的

空间科学实验地面验证目的如下:

- a) 验证空间科学实验方案的正确性、可行性、合理性;
- b) 验证科学实验装置对科学实验需求和工程要求的满足度;
- c) 验证实验样品和实验装置的功能、性能、环境适应性对空间任务要求的满足度。

## 5 验证要求

空间科学实验地面验证要求如下：

- a) 所有未经验证过的新原理、新方法、新技术、新材料、新工艺、新装备都应通过验证；
- b) 在进行空间科学实验方案设计时应明确需要进行地面验证的项目，并提出验证方案和验证计划，验证计划应适应空间任务安排；
- c) 验证工作应与验证相关方（如实验装置、实验系统、实验平台）研制各阶段的计划、技术、质量工作安排相互衔接，密切配合；
- d) 验证宜采用实验方式进行，亦可采用分析方式；
- e) 验证过程应纳入质量管理。

## 6 验证类型

### 6.1 验证类型选择

空间科学实验地面验证类型包括实（试）验验证和分析验证两种，应选择适宜的验证类型，可使用其中一种或两种，以获取有效的验证结果。确定验证类型时应考虑：

- a) 验证的有效性及技术可行性；
- b) 有适宜、有效的验证设备支持；
- c) 技术、人员和设备等风险是可接受的；
- d) 符合进度要求；
- e) 验证费用合理。

### 6.2 分析验证

分析验证要求如下：

- a) 应选择科学、合理的、经业界认可的技术和方法，如系统分析、统计分析、仿真分析；
- b) 分析验证的数据来源、所使用的算法或模型、分析结果的比对依据应科学、有效；
- c) 应确定合理的预期结果，并将分析结果与之进行比对分析；对于不符合预期结果的情况应进行改进设计并再次验证。

### 6.3 实验验证

实验验证项目包括实验原理或方法验证实验、相容性实验、单项匹配实验、整合匹配实验、地面对比实验、空间环境模拟实验、其他专项实验等。实/试验验证要求如下：

- a) 应合理规划实验项目，分析确定实验验证的层次（如实验样品、实验单元、实验模块、实验子系统、集成后的系统）和任务周期中的验证阶段（如实验方案、实验设计及优化、射前准备、天地对比、回收及后续研究）；
- b) 应制定实验大纲，内容包括实验目的、实验方案、参与的实验样品和实验装置配套、实验环境要求、实验条件要求、实验内容及时长、判读和记录要求、实验数据分析方法、故障处置要求、成功判据、实验总结要求；其中，参试实验样品和实验装置的技术状态应能满足验证要求；
- c) 应编制实验细则，内容包括参与实验的样品和设备状态、实验流程、实验操作细则；
- d) 进行实验准备，应提供实验验证所需的保障条件，如实验场所、满足实验条件的环境、实验设施和设备、实验装置、测试软件及相关数据、实验结果分析工具；
- e) 应按大纲和细则开展实验，保留实验过程记录；应确保验证工作有理有据、验证过程有详细记

录,验证结果可信。

## 7 验证流程

空间科学实验地面验证的流程如下:

- a) 依据承担项目的总体科学目标进行地面验证策划,确定项目全周期或全阶段(如前期的培育阶段、工程实施阶段)的验证项目,制定验证方案和验证计划;
- b) 确定验证类型,制定实验大纲和细则;
- c) 依据实验大纲和细则实施验证;
- d) 进行验证总结,编制总结报告;
- e) 进行验证评估。

## 8 验证实验

### 8.1 实验原理和方法验证实验

#### 8.1.1 实验目的

验证空间科学实验方案的正确性、可行性、合理性。

#### 8.1.2 实验内容

实验内容包括实验原理验证、实验流程验证、实验条件验证、实验参数验证、实验工艺验证。各空间科学实验领域实验内容如下:

- a) 空间生命和生物技术领域:主要包括空间生物样品筛选与制备实验、筛选后生物样品的生长测试实验、生物样品加载实验;
- b) 空间材料科学领域:主要包括材料体系筛选和制备实验、材料样品提纯实验、材料样品液态熔体稳定性实验、材料样品组织结构特征实验、材料样品凝固过程及固液界面的传热、传质特征及动力学特征实验、材料样品热物理性质实验、工艺参数优化实验;
- c) 空间流体物理和燃烧科学领域:主要包括实验工质筛选实验、实验工质体系的流体形态及其物理运动规律和机理的验证实验、主动式或被动式空间冷凝传热强化方法验证实验、燃烧实验、过程与规律的验证实验、对流转捩过程实验;
- d) 空间基础物理领域:如远距离量子通信验证实验、有限资源限制下快速激光冷却实验、超低噪声微波频率综合技术验证实验、提取无干扰的原子跃迁频率方法验证实验。

#### 8.1.3 实验要求

实验原理或方法验证实验要求如下:

- a) 应根据空间科学实验领域特征和科学实验项目特点科学合理地选择实验原理或方法验证实验项目和内容;
- b) 当实验原理、实验流程、实验条件、实验参数、实验工艺发生变化时,应重新进行实(试)验。

### 8.2 相容性实验

#### 8.2.1 实验目的

验证经筛选确定的实验样品和硬件结构材料间的相容性、适应性。

### 8.2.2 实验内容

各空间科学实验领域相容性实验项目如下：

- a) 空间生命和生物技术领域相容性实验主要包括生物活体样品培养实验、蛋白质结晶实验、生物样品储存实验、培养液储存实验、固定液储存实验；
- b) 空间材料科学领域相容性实验主要包括材料样品与坩埚和样品盒间，以及它们与实验装置间的相容性实验，如样品盒设计的湿润性和器壁效应影响、气液流体效应；
- c) 空间流体物理和燃烧科学领域相容性实验主要包括实验介质储存实验；
- d) 空间基础物理领域根据实验方案确定是否开展相容性实验；若有实验介质参与实验，则应检验硬件产品物质材料是否会对实验介质构成物理或化学污染和干扰的检验实验，如实验介质储存实验、冷却后实验介质与实验装置间的相容性实验。

### 8.2.3 实验要求

相容性实验要求如下：

- a) 应根据实验样品和硬件产品结构材料的特性科学合理地选择相容性实验验证项目和内容；
- b) 实验样品及其衍生物和与之相接触的实验装置、单元和模块中的部(组)件均应参与实验，如实验样品、实验工质、实验介质、辅助材料，以及与实验样品相接触的管路、培养室、储液室、培养皿、样品盒、实验单元；
- c) 实验样品和硬件结构材料的技术状态应与在轨飞行实验状态一致，如实验样品的种类、性状、配比；
- d) 实验条件和时间长度应能验证实验样品和可能与其发生关联的部(组)件之间的生物、物理、化学性质的任务全周期相容性；
- e) 当实验样品、硬件结构材料的技术状态发生变化时，应重新进行相容性实验。

## 8.3 单项匹配实验

### 8.3.1 实验目的

检验单个实验项目实验需求与实验装置部组件的功能和性能的匹配性和满足度，以优化空间科学实验方案和实验装置设计。

### 8.3.2 实验项目

各空间科学实验领域单项匹配实验项目如下：

- a) 空间生命和生物技术领域主要验证生物样品在特定物理和化学条件下(如气、液、光照、温度、湿度、成像)的生长和发育状态，以及实验流程、实验装置与实验方案的匹配性，如生物样品的加载速度和频率实验、生物样品生长率控制与条件调节实验、CO<sub>2</sub> 依赖或非依赖实验、培养温度测试实验、生物样品固定控制实验、生物样品成像实验，以及实验装置按照实验流程实现控制功能的验证实验；
- b) 空间材料科学领域主要验证材料样品成分配比、材料样品加载工艺、工艺曲线设计的合理性和匹配性，如材料样品及样品盒加热实验、工艺曲线验证实验、实验装置按照工艺曲线实现控制功能的验证实验；
- c) 空间流体物理和燃烧科学领域验证流体工质成分配比、流体工质加载工艺，以及对流体工质进行实验的控制要素，如液桥建桥、拉桥和清桥验证实验、实验装置按照实验流程和实验条件实现控制功能的验证实验；

- d) 空间基础物理领域主要进行实验装置按照实验流程实现控制功能的验证实验。

### 8.3.3 实验要求

单项匹配实验要求如下：

- a) 科学实验样品和部件级硬件产品的主要技术状态应与在轨飞行状态一致；
- b) 实验流程应涵盖射前、在轨、回收等各个实验阶段，如实验时间较长，可合理压缩实验流程，覆盖实验关键时间段，不影响验证结果的有效性；
- c) 实验时宜保证部件级硬件产品所处实验环境与实验装置所能提供的环境一致性，不一致时应分析其对实验结果的影响；
- d) 至少开展一次成功地单项匹配实验。

## 8.4 整合匹配实验

### 8.4.1 实验目的

验证实验流程和实验条件控制，检验全部实验需求与实验系统功能和性能的匹配性和满足度，以及各实验项目间的综合匹配情况。

### 8.4.2 实验项目

各空间科学实验领域整合匹配实验项目如下：

- a) 空间生命和生物技术领域主要验证实验装置对实验进程和实验条件的控制能力，检验实验装置对各实验模块进行操作、控制、观察和检测等方面的协调性、匹配性以及集成后可能带来的复杂生物环境的交叉影响，如光照、温度、湿度的控制能力及匹配情况、培养液的输送时机及匹配情况；
- b) 空间材料科学领域主要验证实验装置对材料样品加热、移动控制的能力，以及按照工艺曲线控制实验条件的能力，如同批次材料样品加工实验；
- c) 空间流体物理和燃烧科学领域主要验证流体工质成分配比、流体工质加载工艺，以及对流体工质进行实验的控制要素，如液桥建桥、拉桥和清桥验证；
- d) 空间基础物理领域根据具体项目情况而定。

### 8.4.3 实验要求

整合匹配实验要求如下：

- a) 实验样品、实验装置以及实验系统的技术状态应与在轨飞行状态一致；实验样品应形成产品代号，统一标识；
- b) 实验条件应考虑重力因素和实验室环境的不同对实验参数的影响；
- c) 实验流程应与发射前流程、在轨实验程序及回收流程一致；如时间较长，应覆盖关键时间段的流程，并确保实验结果的有效性；
- d) 实验样品的制备、加载、组装操作应编制操作细则，并严格按照细则进行操作；细则内容应包括可检测的指标和方法并设置质量检验点，以及操作准备要求、操作项目及内容、操作顺序等；
- e) 至少在执行飞行任务前开展一次成功地整合匹配实验。

## 8.5 空间环境模拟试验

### 8.5.1 试验目的

验证科学实验方案与空间飞行实验全过程（含发射段、在轨运行段、返回着陆段）实验环境的适应

性,以及装载有实验样品的实验装置的环境适应性。

### 8.5.2 试验项目

空间环境模拟实验项目主要包括失重飞机飞行实验、落塔/落井微重力实验、探空火箭微重力实验、实验室回转器实验、样品固定力学实验、电磁或静电悬浮实验、常规的环境试验、电磁兼容试验,以及可靠性、维修性和保障性(RMS)专项试验。

### 8.5.3 试验要求

空间环境模拟试验要求如下:

- a) 实验样品的技术状态应与实际飞行状态一致;
- b) 模拟试验的环境条件和硬件设施应满足实验目标,关键环境参数和技术指标宜与在轨飞行条件一致;
- c) 对于模拟条件与真实空间条件存在的差异性,应分析其产生的影响;
- d) 常规的环境试验、电磁兼容试验、RMS 专项试验按工程任务要求进行。

## 8.6 地面对比实验

### 8.6.1 实验目的

依据空间科学实验流程,在地面开展天地对比实验,以比较天、地实验的差异,为空间实验结果分析和结论的获得提供参照。

### 8.6.2 实验项目

与空间科学在轨实验主要状态保持一致。

### 8.6.3 实验要求

地面对比实验要求如下:

- a) 实验样品的技术状态应与在轨飞行状态一致,宜为同一批次;
- b) 实验装置的技术状态应与在轨飞行状态一致;
- c) 根据需对比的实验条件或环境因素,确定应模拟的在轨实验装置周围的压力、温度、湿度等环境条件;
- d) 实验流程应与在轨实验流程一致,如实验模式、实验参数、实验过程、实验操作、检测监控方式;
- e) 地面对比实验宜与在轨科学实验同步或延后开展。

## 8.7 镜像实验

### 8.7.1 实验目的

利用经验证有效的实验装置模型、在轨运行条件仿真模型,结合地面实验装置模拟设备,在地面模拟实验装置在轨运行过程与状态,以检验空间科学实验在轨实验的可行性。

### 8.7.2 实验项目

镜像实验项目主要包括空间科学实验操作的预演、在轨实验遥操作的地面对比实验、在轨实验故障的地面复现与诊断,实验内容应与空间科学在轨实验主要状态保持一致。

### 8.7.3 实验要求

镜像实验要求如下:



- a) 镜像系统中与在轨实验条件相关的仿真模型应经评估有效；
- b) 地面模拟实验装置的技术状态应与在轨飞行状态一致；
- c) 实验流程应与在轨实验流程一致，如实验模式、实验参数、实验过程、实验操作、实验数据内容和响应实时性。

## 8.8 其他实验

### 8.8.1 实验项目

根据科学实验方案和工程任务相关要求确定其他专项实验项目，示例如下：

- a) 有临射安装的科学实验项目，应安排发射场演练试验；
- b) 有航天员参与的科学实验项目，应安排和航天员相关的人机工效学专项试验、在轨维修性专项试验等；
- c) 开展空间科学实验可靠性安全性专项实验，如微生物检测、有害气体检测、液体腐蚀和挥发检测；
- d) 有样品回收的应安排模拟回收演练。

### 8.8.2 实验要求

其他专项实验应符合如下要求：

- a) 实验样品的技术状态应与在轨飞行状态一致；
- b) 实验硬件的技术状态应满足实验目标，宜与在轨飞行状态一致；
- c) 实验流程和实验条件应与在轨飞行状态一致；
- d) 对于实验条件与真实空间条件存在的差异性，应分析其产生的影响。

## 9 实验验证总结与评估要求

### 9.1 验证总结

实验验证总结应包括验证过程、验证实施情况、数据收集及分析情况、实验结果、验证过程质量保证情况，对实验发现的问题进行改进并再次验证。

### 9.2 实验评估

实验评估要求如下：

- a) 评估依据为验证计划、验证实施大纲或方案、验证总结报告；
  - b) 在验证工作结束后开展验证评估工作；根据地面验证工作特点及实验周期，可对多项地面验证工作合并进行评估；
  - c) 具体评估要求如下：
    - 1) 依据地面验证大纲或地面验证计划设计评估考核表，应明确评估内容；
    - 2) 组织评估专家组，宜采用会议形式开展评估；
    - 3) 宜使用专家打分制对考核项目进行定量化评估，获取评估结果；
    - 4) 对验证工作的充分性和有效性应给出评估结论。
-