



中华人民共和国国家标准

GB/T 44198—2024

空间站科学实验系统集成与验证要求

Integration and verification requirements of science experiment system
for space station



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 集成与验证项目	2
5 集成与验证通用要求	2
5.1 一般要求	2
5.2 安全性要求	2
6 样品单元集成与验证要求	3
6.1 状态确认要求	3
6.2 集成要求	4
6.3 验证要求	6
7 实验单元集成与验证要求	7
7.1 状态确认要求	7
7.2 集成要求	7
7.3 验证要求	7
8 实验模块集成与验证要求	9
8.1 状态确认要求	9
8.2 集成要求	9
8.3 验证要求	9
9 科学实验系统集成与验证要求	11
9.1 状态确认要求	11
9.2 科学实验柜及应用载荷通用支持平台集成与验证要求	11
9.3 舱外载荷集成与验证要求	12

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。

本文件由全国载人航天标准化技术委员会（SAC/TC 570）提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院空间应用工程与技术中心、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院力学研究所、中国科学院上海硅酸盐研究所、中国科学院金属研究所、清华大学、大连海事大学、中国科学院国家空间科学中心、中国空间技术研究院。

本文件主要起草人：黄昆、赵黎平、陶新、仓怀兴、邓晓梅、王伟、杜昌帅、李朔东、张立宪、刘方武、许大钊、刘亮、康琦、刘学超、罗兴宏、刘有晟、钟润涛、王超、刘迎辉、田恩杰、李喆、赵振昊。



空间站科学实验系统集成与验证要求

1 范围

本文件规定了空间站科学实验系统集成和验证项目、通用要求，以及样品单元、实验单元、实验模块、科学实验系统的集成和验证要求。

本文件适用于空间生命科学和生物技术、空间材料科学、微重力流体物理、微重力燃烧科学、微重力基础物理等领域样品单元、实验单元、实验模块以及科学实验系统（以下简称“各层级产品”）的地面集成与验证。空间应用新技术领域可参考使用。

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 28875—2012 空间科学实验 生物样品要求
- GB/T 28877 空间科学实验通用要求
- GB/T 28878.8—2016 空间科学实验转动部件规范 第8部分：装配
- GB/T 30114.1 空间科学及其应用术语 第1部分：基础通用
- GB/T 32870—2016 空间科学实验 生物样品加载技术要求
- GB/T 35435—2017 空间站科学实验柜通用设计规范
- GB/T 35436—2017 空间站科学实验柜标准模块接口设计规范
- GB/T 35438—2017 空间站科学实验柜气液快换接头规范
- GB/T 35439—2017 空间站应用有效载荷安全性、可靠性与维修性保证通用要求
- GB/T 37844—2019 空间材料科学实验 固体实验样品制备规范
- GB/T 38325—2019 空间科学实验地面验证要求

3 术语和定义

GB/T 28877、GB/T 30114.1、GB/T 35435—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

实验系统 **experiment system**

由软硬件实验技术手段、实验对象和实验操作管理组成的用于实现科学目标的研究体系。

[来源：GB/T 30114.1—2013，4.9]

3.2

实验样品 **experiment sample**

从实体物质中抽取能够代表该物质通性的，用作实验具体对象的实体物质。

[来源：GB/T 30114.1—2013，4.14]

3.3

实验介质 **experiment medium**

实验的物理或化学系统在其间存在，或实验的物理化学过程在其间进行的实体物质。



[来源：GB/T 30114.1—2013，4.18]

4 集成与验证项目

空间站科学实验系统的集成与验证项目，通常包括样品单元集成与验证、实验单元集成与验证、实验模块集成与验证、科学实验系统集成与验证。各层级集成与验证项目如下：

- a) 样品单元集成与验证项目，包括实验样品加载、加注或安装，以及构成样品单元的相关部组件组装、装配、检验和验证的过程；
- b) 实验单元集成与验证项目，包括将样品单元和构成实验单元相关部组件组装、装配、检验和验证的过程；
- c) 实验模块集成与验证项目，包括将样品单元或实验单元以及构成实验模块的各种相关部组件及功能模块组装、装配、检验和验证的过程；
- d) 科学实验系统集成与验证项目，包括将构成科学实验系统的样品单元、实验单元、实验模块以及其他部组件、功能模块装配到一起形成科学实验系统并进行检验和验证的过程。

5 集成与验证通用要求

5.1 一般要求

集成与验证的主要过程为状态确认、集成、验证。

- a) 对于全新研制的科学实验系统，应开展全部的集成与验证项目；对于已在轨的实验单元、实验模块、科学实验系统，需根据工程实施具体情况裁剪后确定集成与验证项目，或采用与飞行件软硬件技术状态一致且具备在地面开展科学匹配试验能力的相应层级产品进行集成与验证。
- b) 各层级产品应在完成规定的工作项目并达到要求，且满足接入应用共用支持设施专用技术要求后，方能开展集成与验证。
 - 1) 制定集成与验证方案、细则及操作文件等，并按照审批后的文件执行，保证样品的装载状态和集成后产品状态满足要求。
 - 2) 集成前，由项目管理方成立状态确认工作组，依据相关方认可的细则，对待集成的各层级产品进行状态确认，给出是否具备集成状态的结论。
 - 3) 集成与验证所需的设施、设备、工具状态完好，检测用计量工具检定合格并在有效期内。
 - 4) 集成过程中将实验样品或已加载实验样品的产品存储在温度、湿度、洁净度等满足要求的环境中。
 - 5) 做好各层级产品、实验样品或实验介质、设施设备和工具、环境等消毒灭菌，最大限度消除污染的影响。
 - 6) 采取有效措施进行多余物控制，按GB/T 28878.8—2016中4.6的规定执行。
 - 7) 分析并确定集成过程的故障模式及处置预案，在确保安全的前提下，最大限度保护各层级产品和实验样品。
- c) 岗位人员应有相应岗位资质；发射场操作人员经培训、演练和训练，具备熟练操作的技能。
- d) 集成与验证过程应保留相关确认记录，宜优先采用多媒体记录的方式进行。

5.2 安全性要求

安全性要求如下：

- a) 集成与验证方案和细则中应明确提出有效措施，确保产品、人员、设施、环境安全，并按要求实施；

- b) 应按GB/T 35439—2017中第7章的要求，识别集成与验证过程中的安全性风险，明确针对性的控制策略；
- c) 应分析并识别各层级产品在轨集成项目对空间站的安全性风险，制定风险控制措施并验证措施的有效性；
- d) 空间生命科学和生物技术领域实验项目应按生物安全等级开展防护设计，生物安全防护设备应定期清洗、消毒或更换；
- e) 若实验介质有腐蚀性，应确保集成场所具有良好通风装置，并配备相关超限报警装置；
- f) 若集成过程中涉及操作危险源[如高温、深冷、高压、电离辐射（如X射线等）、非电离辐射（如激光等）、生物危害、有害气体等]，应配备相应防护措施；
- g) 集成过程中涉及样品加载、实验介质加注等操作时，应制定规范的操作流程，明确注意事项，操作完成后应进行安全性检查和状态确认；
- h) 应对集成与验证过程中可能出现的工质泄漏、样品污染等意外事件，制定相应的应急处置预案；
- i) 应按照废弃物类别分类对集成与验证过程中产生的废弃物进行处理，生物类、化学类等废弃物应制定专门的废弃物处置方案。

6 样品单元集成与验证要求

6.1 状态确认要求

6.1.1 空间生命科学和生物技术领域

空间生命科学和生物技术领域的样品单元，主要包括生物分子、植物/动物细胞、组织器官，微生物，植物/动物个体等，在样品单元集成前对实验样品及样品单元进行状态确认。

- a) 应对实验样品的种类、数量、活性和基本性状、增殖或分化状态等进行检查确认，并按GB/T 28875—2012中第7章给出的方法对生物样品进行检测评价，按GB/T 32870—2016中5.2、5.3规定的要求和方法对生物样品的加载质量进行检验。
- b) 应通过审查报告确认实验样品的安全性。
- c) 应对样品单元的型号规格、数量、外观进行检查。
- d) 应使用电子天平、电子秤、直尺、卡尺等对样品单元的质量、机械接口等进行检验。
- e) 应对样品单元的功能和性能等进行确认，可通过对承研单位提供的测试报告和过程测试记录进行审查的方式确认。
- f) 应选择加压、负压、注入无菌水目测等方法，对样品单元和构成样品单元的相关部组件进行检漏测试，确认样品单元的密封性良好；若进行状态确认时无法实施检漏测试，可审查承研单位提供的检漏测试报告等文件，确认样品单元的密封性满足要求。

6.1.2 空间材料科学领域

空间材料科学领域的样品单元，主要包括无容器材料样品、高温材料样品、X射线材料样品、透明液体样品、颗粒材料样品等，在样品单元集成前对实验样品及样品单元进行状态确认：

- a) 应对实验样品的标识、种类、数量、外观、尺寸和质量等进行检查确认；
- b) 应选择化学分析、电子探针分析、显微镜观察、X射线结构分析等一种或多种方法，按GB/T 37844—2019中第7章的规定，对实验样品成分、组分及其组织结构和均匀性进行分析检测；
- c) 应通过审查报告的方式对实验样品的安全性进行确认；
- d) 应对样品单元的型号规格、数量、外观进行检查；

- e) 应使用电子天平、电子秤、直尺、卡尺等对样品单元的质量、机械接口等进行检验；
- f) 通过审查承研单位提供的测试报告和过程测试记录等文件，确认样品单元的功能和性能满足要求。

6.1.3 微重力流体物理科学领域

微重力流体物理科学领域的样品单元，主要是流体样品及实验介质，在样品单元集成前对实验介质及样品单元进行状态确认。

- a) 应对实验介质的种类、体积等进行检查确认。
- b) 应通过审查报告的方式对实验介质的成分配比、有效期、安全性等进行确认。
- c) 应对样品单元的型号规格、数量、外观进行检查。
- d) 应使用电子天平、电子秤、直尺、卡尺等对样品单元的质量、机械接口等进行实测检验。
- e) 应对样品单元的功能和性能等进行确认，可通过对承研单位提供的测试报告和过程测试记录进行审查的方式确认。
- f) 应选择氦气检测、肥皂泡法等方法，对样品单元和构成样品单元的相关部组件进行检漏测试，确认样品单元的密封性良好；若进行状态确认时无法实施检漏测试，通过审查承研单位提供的检漏测试报告、记录等文件，确认样品单元的密封性满足要求。

6.1.4 微重力燃烧科学领域

微重力燃烧科学领域的样品单元，主要包括气体燃料样本、液体燃料样本、固体燃料样本，在样品单元集成前对实验样品及样品单元进行状态确认。

- a) 应对样本种类、体积等进行检查确认。
- b) 应通过审查报告的方式对实验样品的成分配比、有效期、安全性等进行确认。
- c) 应对样品单元的型号规格、数量、外观进行检查。
- d) 应使用电子天平、电子秤、直尺、卡尺等对样品单元的质量、机械接口等进行检验。
- e) 应对样品单元的功能和性能等进行确认，可通过对承研单位提供的测试报告和过程测试记录进行审查的方式确认。
- f) 应采用氦气检测、肥皂泡法等方法，对样品单元和构成样品单元的相关部组件进行检漏测试，确认样品单元的密封性良好；若进行状态确认时无法实施检漏测试，通过审查承研单位提供的检漏测试报告、记录等文件，确认样品单元的密封性满足要求。

6.1.5 微重力基础物理科学领域

微重力基础物理科学领域的样品单元，主要是实验介质（如铷原子、铯原子、钾原子、氢原子、质量块），在样品单元集成前对实验介质及样品单元进行状态确认：

- a) 应对实验介质的种类、数量等进行检查确认；
- b) 应通过审查报告的方式对实验介质的成分、厂家合格证明等进行确认；
- c) 应对样品单元的型号规格、数量、外观进行检查；
- d) 应使用电子天平、电子秤、直尺、卡尺等对样品单元的质量、机械接口等进行检验；
- e) 通过审查承研单位提供的测试报告和过程测试记录等文件，确认样品单元的密封性、功能和性能满足要求。

6.2 集成要求

6.2.1 空间生命科学和生物技术领域

空间生命科学和生物技术领域样品单元集成满足下列要求：

- a) 集成前应按GB/T 32870—2016中4.3.3的规定对实验样品和样品单元等进行消毒灭菌，并确认实验样品和样品单元的无菌状态以及样品单元的密封状态满足科学实验要求；
- b) 集成过程中应确保实验样品和样品单元处于无菌环境，通常在超净工作台中进行；
- c) 注入营养液、固定液、保护液等操作应采用经验证有效的减少或易于排气泡的集成方法；
- d) 应使用完好无损的密封件（如密封圈），按要求做好密封处理，防止泄漏；
- e) 实验样品加载应根据GB/T 32870—2016中4.3.4给出的要求执行；
- f) 对样品活性和性状有特殊要求时，集成过程中应通过显微观察等手段适时对加载后的样品活性和性状进行定性或定量检测，做好过程监测和干预。

6.2.2 空间材料科学领域

空间材料科学领域样品单元集成满足下列要求：

- a) 集成过程应控制操作力，保证不损坏材料样品和样品单元；
- b) 应对材料样品和封装材料进行必要的清洁处理，去除其表面残留杂质后，按GB/T 37844—2019中8.2的规定封装；
- c) 集成过程中应保证机械结构和公差配合，如材料样品与坩埚之间留有适当间隙，确保坩埚能对材料样品提供稳固可靠的支撑，能容纳实验时材料样品的体积变化和可能产生的气体，确保坩埚不破裂、熔体不溢出；
- d) 对于有特殊需求或外表不熔化的材料样品及其组合，在保证稳固可靠支撑的情况下采用无坩埚的方式封装；
- e) 样品单元内各相邻部件之间应保持适当间隙，不应出现由于膨胀或收缩产生较大应力，或间隙过大引起松动的情况。

6.2.3 微重力流体物理科学领域

微重力流体物理科学领域样品单元集成满足下列要求：

- a) 集成前应对流体样品及介质容器和管路等进行清洗，确保在洁净环境进行集成，不应出现集成过程中污染流体样品及介质的情况；
- b) 集成前后应对流体样品及介质容器和管路等进行检漏；
- c) 流体样品及介质加注应采用经验证有效的方法；
- d) 注入流体样品及介质的操作应进行有效的排气处理，并采用经验证有效的排气方法。

6.2.4 微重力燃烧科学领域

微重力燃烧科学领域样品单元集成满足下列要求：

- a) 应设有泄压安全阀，确保集成过程安全；
- b) 注入气体的过程应全程监控气压，不应在密闭腔体内形成可燃性气体混合物；
- c) 液体样本的注入应在排风柜或通风良好的环境操作；
- d) 固体样本在集成过程中不应被污染；
- e) 应使用完好无损的密封件（如密封圈），按要求做好密封处理，防止泄漏。

6.2.5 微重力基础物理科学领域

微重力基础物理科学领域样品单元集成满足下列要求：

- a) 集成前应对样品容器进行清洗、烘干、除气；
- b) 对于活泼金属等样品，应在真空或惰性气体保护环境下集成。

6.3 验证要求

6.3.1 集成后检验要求

样品单元集成后检验满足下列要求。

- a) 应对样品单元的型号规格、数量、外观等进行检查。
- b) 应使用电子天平、电子秤、直尺、卡尺等对样品单元的质量、机械接口等进行检验。
- c) 必要时，在不影响产品、实验样品或实验介质的发射状态或交付状态情况下，使用地面测试设备对样品单元的电气和信息接口、功能等进行测试。
- d) 必要时，应对样品单元中实验样品的状态进行检查：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域，通过显微观察、目测等方式对样品单元中实验样品的活性和性状进行检测；
 - 2) 空间材料科学领域，采用X光透视检验材料样品的形态、位置和固定状态。
- e) 必要时，应对样品单元的密封性进行检查。检测方法的有效性应已通过匹配试验等进行了充分验证：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域，采用静置目测等方法对样品单元的密封性进行检查；
 - 2) 空间材料科学领域，采用传感器检验样品单元气密性；
 - 3) 微重力流体物理科学领域，采用静置目测等方法对样品单元的密封性进行检查；
 - 4) 微重力燃烧科学领域，通过样品单元自带压力阀检验气瓶压力状态；
 - 5) 微重力基础物理科学领域，通过探测器（如真空规）测量样品单元真空度对气密性进行检查。

6.3.2 集成后验证要求

样品单元集成后验证满足下列要求。

- a) 应按照GB/T 38325—2019中8.2和8.3的规定，依次完成相容性试验、科学匹配试验等科学专项验证。
- b) 开展相容性试验时，实验样品及其衍生物和与之相接触的样品单元部组件均应参试。技术状态应满足：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域、空间材料科学领域，样品单元与飞行件状态一致，实验样品与在轨飞行实验状态一致；
 - 2) 微重力流体物理科学领域、微重力燃烧科学领域、微重力基础物理科学领域，样品单元为飞行件，实验样品或实验介质与在轨飞行实验状态一致。
- c) 开展科学匹配试验时，实验样品及样品单元均应参试。若匹配试验时间较长，应合理压缩实验流程，至少应覆盖实验关键时间段，并不影响验证结果的有效性。参试技术状态应满足：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域、空间材料科学领域、微重力燃烧科学领域，样品单元与飞行件状态一致，实验样品与在轨飞行实验状态一致；
 - 2) 微重力流体物理科学领域、微重力基础物理科学领域，样品单元为飞行件，实验样品或实验介质与在轨飞行实验状态一致。
- d) 应对实验样品或实验介质的发射固定方式进行验证：
 - 1) 开展样品固定力学专项试验，确保样品单元无破损、无泄漏，实验样品能满足在轨实验要求；
 - 2) 如正样研制阶段技术状态未发生变化，通过审查初样研制阶段的试验报告进行确认；
 - 3) 如正样研制阶段技术发生变化，在集成前完成试验验证，样品单元与飞行件技术状态一

致，实验样品与在轨飞行实验状态一致，加载和固定方式应与发射状态一致。

- e) 集成后的样品单元应完成在实验单元或实验模块相应地面镜像件或地面模拟件上的试装验证。
- f) 样品单元单独上行时，还应开展如下验证工作：
 - 1) 根据航天器要求，完成并通过例行环境试验，按照上行安装方式和装载状态进行力学试验，必要时按照在轨飞行实验状态进行热试验；
 - 2) 根据航天器要求，完成并通过工效学验证与评价、安全性验证与医学指标测试等，且覆盖在轨飞行任务剖面。
- g) 若少量测试和验证项目无法实施，通过分析验证进行等效性分析和覆盖性说明。

7 实验单元集成与验证要求

7.1 状态确认要求

实验单元状态确认满足下列要求。

- a) 应对实验单元的产品名称和代号、数量、外观等进行检查确认。
- b) 应使用电子天平、电子秤等对实验单元及构成实验单元相关部组件的质量进行检验。
- c) 使用直尺、卡尺等对实验单元的机械接口进行检验。
- d) 应使用地面测试设备对实验单元的电气和信息接口、功能、性能进行测试；对于不可测的性能指标，方可通过审查性能专项测试报告和过程记录的方式进行确认。
- e) 若有热接口，应对实验单元的热接口及其管路、快速断接口等进行目测检查。
- f) 必要时，选择加压、负压、注入无菌水目测等方法，对实验单元和构成实验单元的相关部组件进行检漏测试，确认实验单元的密封性良好；若无法实施检漏测试进行状态确认，通过审查承研单位提供的检漏测试报告等文件的方式，确认实验单元的密封性满足要求。
- g) 应依据状态确认细则对样品单元集成状态进行确认。
- h) 若部分状态确认内容在集成前无法实施，可在集成过程及集成后进行检查确认。

7.2 集成要求

实验单元集成满足下列要求：

- a) 应核对样品单元、实验单元的产品代号，不应出现装配错误的情况；
- b) 电气接口集成过程应做好静电防护，并核对插头和插座标识，防止插错；
- c) 线缆（含电缆、光缆）走线应按照要求固定，并按照要求绑扎固定光缆，确保光缆的动静转弯半径满足要求，且操作过程中不应出现对线缆的拉扯、挤压、摩擦以及光缆受力等情况；
- d) 气液接口集成时应核对管路连接标识，防止管路连接错误，确保操作过程无泄漏或损坏风险；
- e) 应对实验单元配置的传感器、照明等部组件的安装位置和精度进行检查；
- f) 对于操作力矩和密封有要求的，依据定量化要求执行。

7.3 验证要求

7.3.1 集成后检验要求

实验单元集成后检验满足下列要求。

- a) 应对实验单元的产品名称和代号、数量、外观等进行检查。
- b) 使用电子秤等对实验单元的质量进行检验。

- c) 使用直尺、游标卡尺等对实验单元的机械接口进行检验。
- d) 在不影响产品、实验样品或实验介质的发射状态或交付状态情况下，应使用地面测试设备对实验单元的电气和信息接口、功能、性能等进行全面测试；必要时应对实验单元进行性能标定专项试验。当测试影响实验样品状态时，方可通过审查承研单位提供的测试报告等文件的方式进行确认：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域，实验单元集成后不应测试注入固定液的功能；
 - 2) 微重力燃烧科学领域，实验单元集成后不应测试点火功能。
- e) 必要时，可采用静置目测的方法对实验单元的密封性进行检查。
- f) 对于空间生命科学和生物技术领域，可通过显微观察、目测等方式对实验单元中实验样品的活性和性状进行检测。

7.3.2 集成后验证要求

实验单元集成后验证满足下列要求。

- a) 按照GB/T 38325-2019中8.2和8.3的规定，依次完成相容性试验、科学匹配试验等科学专项验证。
- b) 开展相容性试验时，实验样品及其衍生物和与之相接触的实验单元部组件均应参试，技术状态应满足：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域、空间材料科学领域，实验单元与飞行件状态一致，实验样品与在轨飞行实验状态一致；
 - 2) 微重力流体物理科学领域、微重力燃烧科学领域，实验单元为飞行件，实验样品或实验介质与在轨飞行实验状态一致，如正样研制阶段技术状态未发生变化，可通过审查初样研制阶段的试验报告进行确认。
- c) 开展科学匹配试验时，实验样品及实验单元均应参试，若匹配试验时间较长，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，参试技术状态应满足：
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域、空间材料科学领域、微重力燃烧科学领域，实验单元、样品单元与飞行件状态一致，实验样品与在轨飞行实验状态一致；
 - 2) 微重力流体物理科学领域，实验单元为飞行件，实验样品或实验介质、样品单元与在轨飞行实验状态一致。
- d) 实验单元应按照试验大纲要求开展例行环境试验，参试技术状态满足：
 - 1) 微重力流体物理科学领域，实验介质、样品单元、实验单元均应参试，其中，实验介质参试状态应与在轨飞行实验状态一致，样品单元、实验单元应为正样件；
 - 2) 微重力燃烧科学领域，实验样品、样品单元、实验单元均应参试，其中，实验样品、样品单元参试状态应与在轨飞行实验状态一致，实验单元应为正样件。
- e) 集成后的实验单元应完成在实验模块或科学实验系统地面镜像件或地面模拟件的试装，以及电气接口、信息接口和功能的测试验证。
- f) 实验单元应开展安全性验证与医学指标测试。
- g) 实验单元应开展工效学验证与评价，特殊情况下，可使用工效等效件（模拟件）进行验证，工效学相关技术状态与飞行件一致。
- h) 实验单元单独上行时，还应开展如下工作：
 - 1) 通过审查报告，确认实验单元已按照航天器要求完成例行环境试验，按照上行安装方式和装载状态进行力学试验；
 - 2) 若上行过程中加电工作，按照上行工作工况进行热试验；
 - 3) 若上行过程中加电工作，通过审查报告，确认已按照航天器要求完成电磁兼容试验；
 - 4) 通过审查报告，确认实验单元已按照航天器要求完成工效学验证与评价、安全性验证与医

- 学指标测试等，且覆盖在轨飞行任务剖面；
- 5) 对集成后的实验单元，完成在实验模块或科学实验系统相应地面镜像件或地面模拟件的试装确认，以及电、信息接口和功能的测试验证；
 - 6) 对需临射安装的实验单元，通过审查报告或记录，确认实验单元已完成相关接口验证和临射安装演练。
- i) 若少量测试和验证项目无法实施，可通过分析验证进行等效性分析和覆盖性说明。

8 实验模块集成与验证要求

8.1 状态确认要求

实验模块状态确认满足下列要求。

- a) 应对实验模块的产品名称和代号、外观等进行检查确认。
- b) 应使用电子秤对实验模块及构成实验模块相关部组件的质量进行检验。
- c) 应使用直尺、游标卡尺对实验单元的机械接口进行检验。
- d) 应使用地面测试设备对实验单元的电气和信息接口、功能、性能进行测试，对于不可测的性能指标，可通过审查性能专项测试报告和过程记录的方式进行确认。
- e) 若有热接口，应对实验单元的热接口及其管路、快速断接口等进行目测检查。
- f) 必要时，采用氦气检测、声音法等方法，对实验模块和构成实验模块的相关部组件进行检漏测试，确认实验模块的密封性满足要求；若进行状态确认时无法实施检漏测试，通过审查报告和记录的方式，确认实验模块的密封性满足要求。
- g) 应依据状态确认细则对实验单元集成状态进行确认。
- h) 若部分状态确认内容在集成前无法实施，可在集成过程及集成后进行检查确认。

8.2 集成要求

实验模块集成满足下列要求。

- a) 集成前对实验模块各组成部分的安装面、安装孔、管路、电连接器、光连接器等进行清洁，可根据需求选用无尘布擦拭、吹氮或吹高压空气等方式。
- b) 对于需要进行液冷工质加注的，所选工质应与所在科学实验系统一致；对于需要单独运输进场或单独发射入轨的，液冷装置应带有储能器，确保全任务剖面中的温度变化不会损伤产品。
- c) 应满足实验单元的成像视场、光照角度、排气、隔热、隔气、液体流速控制等需求带来的安装位置、安装极性和精度等要求。
- d) 对多实验单元安装操作中可能存在的相互干涉以及可用操作空间，合理进行操作流程规划。
- e) 对涉及实验样品或实验模块安全相关的状态，如供电、高压气体、激光等，应明确注意事项并有量化判据。
- f) 对有锁紧要求的模块应锁紧到位，对有手动开关或阀门要求的模块应按要求进行设置，有其他专门状态设置要求的应按要求设置到位。
- g) 应按照工艺实施要求进行导热或隔热安装。
- h) 应根据具体项目要求严格控制安装偏差，以确保成像光路、活动机构路径等满足要求。

8.3 验证要求

8.3.1 集成后检验要求

实验模块集成后检验满足下列要求。

- a) 应对实验模块的产品名称和代号、数量、外观等进行检查。

- b) 应使用电子秤等对实验模块的质量进行检验。
- c) 应使用直尺、卡尺等对实验模块的机械接口进行检验。
- d) 在不影响产品、实验样品或实验介质的发射状态或交付状态情况下，应使用地面测试设备对实验单元的电气和信息接口、功能、性能等进行全面测试；必要时，对实验模块进行性能标定专项试验，若测试影响实验样品状态，通过对承研单位提供的测试报告等文件进行审查的方式确认。
- e) 必要时，采用氦气检测、声音法等方法对实验模块和构成实验模块的相关部组件进行检漏测试，确认实验模块的密封性满足要求；若进行状态确认时无法实施检漏测试，通过对报告和记录进行审查的方式，确认实验模块密封性。
- f) 对于空间生命科学和生物技术领域，必要时，通过显微观察、目测等方式对实验模块中实验样品的活性和性状进行检测。

8.3.2 集成后验证要求

实验模块集成后验证满足下列要求。

- a) 按照GB/T 38325—2019中8.3和8.4的规定，依次完成单项匹配试验、整合匹配试验等科学专项验证，覆盖实验流程和实验参数等。
- b) 开展科学专项验证时，实验样品、样品单元、实验单元和实验模块均应参试，硬件产品参试状态应为正样件，实验样品参试状态应与在轨飞行实验状态一致；如匹配试验时间较长，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) 实验模块应按照试验大纲要求开展例行环境试验，参试技术状态满足。
 - 1) 空间生命科学和生物技术领域的实验样品、样品单元、实验单元和实验模块均应参试，其中，实验样品、样品单元参试技术状态应与在轨飞行实验状态一致，实验单元和实验模块应为正样件。
 - 2) 空间材料科学领域的实验样品、样品单元或实验单元、实验模块均应参试，其中，实验样品、样品单元或实验单元参试技术状态应与在轨飞行实验状态一致，实验模块应为正样件。
 - 3) 微重力流体物理科学领域的实验介质、样品单元、实验单元和/或实验模块均应参试，其中，实验介质参试技术状态应与在轨飞行实验状态一致，样品单元和/或实验单元、实验模块应为正样件。
 - 4) 微重力燃烧科学领域的实验样品、样品单元、实验单元、实验模块均应参试，其中，实验样品、样品单元参试技术状态应与在轨飞行实验状态一致，实验单元、实验模块应为正样件。
 - 5) 微重力基础物理科学领域的实验样品、样品单元、实验模块等正样件均应参试。
- d) 集成后的实验模块应完成在科学实验系统地面镜像件或地面模拟件的试装，以及电气、信息接口和功能的测试验证，确保满足接入应用共用支持设施专用技术要求。
- e) 实验模块应开展电磁兼容试验、安全性验证与医学指标测试。
- f) 当涉及在轨更换或在轨维修时，应对实验模块进行工效学验证与评价，特殊情况下，可使用工效等效件（模拟件）进行验证，工效学相关技术状态与飞行件一致。
- g) 实验模块单独上行时，还应开展如下验证工作。
 - 1) 通过审查报告，确认实验模块已按照航天器要求完成例行环境试验，按照上行安装方式和装载状态进行力学试验；若上行过程中加电工作，按照上行工作工况进行热试验；各领域产品、实验样品或实验介质参试技术状态要求按照8.3.2 c) 的规定。
 - 2) 若上行过程中加电工作，通过审查报告，确认已按照航天器要求完成电磁兼容试验。
 - 3) 通过审查报告，确认实验模块已按照航天器要求完成并通过了安全性验证与医学指标测试。

试等。

- 4) 集成后的实验模块完成在科学实验系统地面镜像件或地面模拟件的试装，以及电、信息接口和功能的测试验证。
- h) 若少量测试和验证项目无法实施，通过分析验证进行等效性分析和覆盖性说明。

9 科学实验系统集成与验证要求

9.1 状态确认要求

科学实验系统状态确认满足下列要求：

- a) 应对构成实验系统的实验模块及各种部组件的名称和代号、外观等进行检查确认；
- b) 应使用电子秤等对实验模块及各种部组件的质量进行检验；
- c) 应使用卡尺、直尺等对实验模块及相关配件的机械接口进行检验；
- d) 若有热接口，应对实验模块的热接口及其管路、快速断接口等进行目测检查；
- e) 对构成实验系统的实验模块应独立开展的力学试验、热试验、电磁兼容试验、医学、性能指标等项目，主要通过报告检查方式进行确认；
- f) 应使用地面测试设备对实验系统的电气和信息接口、基本支撑功能、性能进行测试，对于不可测的性能指标，通过审查性能专项测试报告和过程记录的方式进行确认；
- g) 应依据状态确认细则对实验模块集成状态进行确认；
- h) 若部分状态确认内容在集成前无法实施，在集成过程及集成后进行检查确认。

9.2 科学实验柜及应用载荷通用支持平台集成与验证要求

9.2.1 集成要求

科学实验柜及应用载荷通用支持平台实验系统集成满足下列要求。

- a) 集成前对科学实验系统各组成部分的安装面、安装孔、管路、电连接器、光连接器等进行清洁，可采用无尘布擦拭、吹氮或吹高压空气方式。
- b) 依据集成操作细则和工艺文件进行背板固定、导轨固定或框架固定等机械接口集成，不应出现机械磕碰、装配错误、装配不到位等情况；对于科学实验柜实验系统，应确保满足GB/T 35435—2017中6.2和GB/T 35436—2017中5.8.1的要求。
- c) 依据集成操作细则和工艺文件进行风冷管道连接、液冷管路连接等热接口集成，并做好热控管路走向、绑扎固定等；对于科学实验柜实验系统，应确保满足GB/T 35435—2017中6.3和GB/T 35436—2017中5.8.3的要求。
- d) 科学实验系统加注的液冷工质应和系统要求一致；各实验模块和管路集成后应随整柜完成整柜级检漏后再进行加注。
- e) 进行快速断接头操作时，应按照操作要求和使用设定的操作力矩，防止损坏快断或破坏快断的密封性。
- f) 气体接口集成应做好气体管路走向、绑扎固定；对于科学实验柜实验系统，确保满足GB/T 35435—2017中6.7和GB/T 35438—2017中5.1的要求。
- g) 电接口和通信接口集成时，不应出现连接器误插情况，并做好电缆走向、绑扎固定；对于科学实验柜实验系统，应确保满足GB/T 35435—2017中6.4和GB/T 35436—2017中5.8.2、5.8.4的要求。
- h) 多个实验模块间存在接口关系，应合理安排集成顺序，防止相互干涉。

9.2.2 集成后检验要求

科学实验柜及应用载荷通用支持平台实验系统集成后检验满足下列要求：

- a) 应对实验系统的产品名称和代号、外观及组成配套等进行检查；
- b) 通过累加法求和对实验系统的总质量进行检查确认；
- c) 使用卡尺、三坐标测量仪对实验系统的包络尺寸进行检验；
- d) 在不影响产品、实验样品或实验介质的发射状态或交付状态情况下，应使用地面测试设备对科学实验系统的电气和信息接口、功能、性能等进行全面测试，必要时进行性能标定专项试验，若测试影响实验样品状态，通过审查承研单位提供的测试报告等文件的方式进行确认；
- e) 必要时，对科学实验系统进行噪声测试，测试应覆盖科学实验系统的典型实验模式；
- f) 采用氦气检测法对实验系统进行检漏测试，确认实验系统的气液接口等密封性满足要求。

9.2.3 集成后验证要求

科学实验柜及应用载荷通用支持平台实验系统集成后验证满足下列要求。

- a) 空间材料科学领域、微重力流体物理科学领域、微重力燃烧科学领域、微重力基础物理科学领域的实验系统，应按照GB/T 38325—2019中8.4的要求完成整合匹配试验验证，应覆盖涉及整柜级实验系统的实验流程和实验参数的验证内容。
- b) 集成后的科学实验柜及应用载荷通用支持平台应完成在地面镜像系统的测试，按照在轨飞行状态开展整柜级电气和信息接口、功能、性能等测试，测试项目应覆盖接入应用共用支持设施专用技术要求，若测试影响实验样品状态，或对实验单元、实验模块的发射状态产生影响，通过审查承研单位提供的测试报告等文件的方式进行确认。
- c) 应按照发射状态开展科学实验柜及应用载荷通用支持平台整柜力学试验；入轨后再安装至柜内的实验模块、部组件应按发射状态单独开展力学试验，试验条件按照试验大纲执行。
- d) 应按照在轨飞行状态开展科学实验柜及应用载荷通用支持平台整柜热试验，入轨后再安装至柜内的实验模块、部组件应按在轨状态单独开展热试验，试验条件按照试验大纲执行。
- e) 应进行电磁兼容试验，构成实验系统的实验模块及其部组件应在装柜前单独开展，在集成至科学实验柜及应用载荷通用支持平台之后开展整柜级试验，试验项目应覆盖系统间及系统内的相关要求。
- f) 应开展安全性验证与医学指标测试。
- g) 若在轨更换或在轨维修涉及整柜级操作时，应对其进行整柜级工效学验证与评价，特殊情况下，可使用工效等效件（模拟件）进行验证，工效学相关技术状态与飞行件一致。
- h) 若少量测试和验证项目无法实施，通过分析验证进行等效性分析和覆盖性说明。

9.3 舱外载荷集成与验证要求

9.3.1 集成要求

舱外载荷集成要求满足下列要求：

- a) 实验单元集成至舱外载荷时，应核对安装要求，防止机械接口和电气接口的装配错误；
- b) 电接口集成过程应做好静电防护，并核对插头和插座标识，防止插错；
- c) 线缆（含电缆、光缆）走线应按要求固定，并按要求绑扎固定，确保动/静转弯半径均满足要求，操作过程应防止对线缆的拉扯、挤压、摩擦及线缆受力；
- d) 集成过程中，应注意对光学传感器及光纤连接器进行保护，防止使其受到污染或者损坏；
- e) 对于操作力矩有要求时，依据定量化要求执行。

9.3.2 集成后检验要求

舱外载荷集成后检验满足下列要求。

- a) 应对舱外载荷的产品名称和代号、外观及组成配套等进行检查等进行检查。
- b) 应使用电子秤、电子天平等对舱外载荷的总质量进行检验。
- c) 应使用直尺、卡尺等对舱外载荷的机械接口进行检验。
- d) 在不影响产品、实验样品或实验介质的发射状态或交付状态情况下，应使用地面测试设备对科学实验系统的电气和信息接口、功能、性能等进行全面测试，必要时进行性能标定专项试验，若测试影响实验样品状态，通过对承研单位提供的测试报告等文件进行审查的方式确认。
- e) 必要时，对舱外载荷和构成舱外载荷的相关部组件进行检漏测试，确认其密封性满足要求，可采用氦气检测、目测等方法；若进行状态确认时无法实施检漏测试，通过对报告和记录进行审查的方式确认。

9.3.3 集成后验证要求

舱外载荷集成后验证满足下列要求。

- a) 应按照GB/T 38325—2019中8.4的要求完成整合匹配试验验证，覆盖实验流程和实验参数等。
- b) 集成后的舱外载荷应完成在地面镜像系统或地面测试系统的测试，按照在轨飞行状态开展整装置级电气和信息接口、功能、性能等测试，测试项目应覆盖接入应用共用支持设施专用技术要求；若测试影响实验样品状态，或对实验单元、实验模块的发射状态产生影响，通过审查承研单位提供的测试报告等文件的方式进行确认。
- c) 应按照发射状态开展力学试验，按照在轨飞行状态开展热试验。
- d) 应进行电磁兼容试验。
- e) 应开展安全性验证与医学指标测试。
- f) 若涉及在轨更换或在轨维修时，应对舱外载荷进行工效学验证与评价，特殊情况下，使用工效等效件（模拟件）进行验证，工效学相关技术状态与飞行件一致。
- g) 舱外载荷单独上行时，还应开展如下验证工作：
 - 1) 按照航天器要求，完成并通过例行环境试验，按照上行安装方式和装载状态进行力学试验；
 - 2) 按照航天器要求，完成安全性验证与医学指标测试等；
 - 3) 集成后的舱外载荷完成与载荷适配器被动端、机械臂目标适配器等地面模拟件的对接测试验证。
- h) 若少量测试和验证项目无法实施，通过分析验证进行等效性分析和覆盖性说明。