

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1610

QJ 20422.7—2016

航天器组件环境试验方法 第7部分：振动试验

Environment test methods for spacecraft unit—
Part 7: Vibration test

2016—01—19 发布

2016—03—01 实施

国家国防科技工业局 发布

前 言

QJ 20422—2016《航天器组件环境试验方法》分为以下部分：

- 第 1 部分：表面充放电试验；
- 第 2 部分：原子氧试验；
- 第 3 部分：太阳紫外线辐照试验；
- 第 4 部分：磁试验；
- 第 5 部分：真空冷焊试验；
- 第 6 部分：加速度试验；
- 第 7 部分：振动试验；
- 第 8 部分：声试验；
- 第 9 部分：冲击试验。

本部分为 QJ 20422—2016 的第 7 部分。

本部分由中国航天科技集团公司提出。

本部分由中国航天标准化研究所归口。

本部分起草单位：中国航天科技集团公司第五研究院总装与环境工程部。

本部分主要起草人：李 晔、徐兰菊、朱子宏、晏廷飞、张 利、韩晓健、方贵前、樊世超。

航天器组件环境试验方法

第7部分：振动试验

1 范围

本部分规定了航天器组件级产品振动试验目的、试验条件及允许偏差、试验要求、试验程序、试验中断及处理、试验文件等。

本部分适用于航天器各研制阶段组件级产品（以下简称组件）的振动试验。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

JJG 948—1999 数字式电动振动试验系统

JJG 1000—2005 电动水平振动试验台

3 试验目的

3.1 研制试验

组件研制试验的目的为：

- a) 在振动环境下，验证组件设计方案和工艺方案的可行性、合理性；
- b) 获取组件振动响应参数，以便在开始鉴定试验之前采取必要的修改措施，不断地提高产品的固有可靠性。

3.2 鉴定试验

组件鉴定试验的目的为：

- a) 检验组件经受鉴定振动环境并能正常工作的能力，并具有规定的设计余量；
- b) 获取组件振动响应参数。

3.3 准鉴定和验收试验

组件准鉴定和验收试验的目的为：

- a) 检验组件经受准鉴定或验收振动环境并能正常工作的能力；
- b) 暴露组件在振动环境下，材料、工艺制造等方面的潜在缺陷。

4 试验条件及允许偏差

4.1 试验条件

航天器组件振动试验一般包括正弦振动试验和随机振动试验，试验条件一般在相关的技术文件中进行具体规定。

正弦振动试验条件应明确试验频率范围、试验量级、扫描速率、加载方向等。

随机振动试验条件应明确试验频率范围、试验量级、持续时间、加载方向等。

4.2 试验条件允许偏差

除非有特殊规定，一般应采取以下试验条件允许偏差：

- a) 正弦振动：
 - 1) 频率：±2%；
 - 2) 加速度幅值：±10%。
- b) 随机振动：
 - 1) 加速度功率谱密度：
 - 10Hz~100Hz（分析带宽 10Hz 或更窄）：±1.5dB；
 - 100Hz~1000Hz（分析带宽为中心频率的 10%或更窄）：±1.5dB；
 - 1000Hz~2000Hz（分析带宽为 100Hz 或更窄）：±3dB；

当特殊情况下无法满足上述要求时，承试方与送试方应协商给出试验允许偏差并经送试方认可。任何情况下功率谱密度允许偏差不应超过以下规定：500Hz 以内允许偏差为±3dB，500Hz 以上允许偏差为+3dB 和-6dB，同时超过允差的累积带宽应限制在整个试验频带范围的 5%以内。

- 2) 统计自由度：不小于 120；
- 3) 总均方根加速度值：±1dB；
- 4) 试验持续时间：0%~10%。

5 试验要求

5.1 试验系统要求

5.1.1 总则

振动试验系统包括振动台系统、振动控制系统、测量系统等。

所有周检仪器、设备应经二级以上（含二级）计量部门检定合格，并在检定有效期内使用。非周检设施如电阻应变片、试验夹具等应保证工作状态、性能满足试验要求。试验中使用的消耗器材如传感器粘贴时所使用的底基材料、胶粘剂等应在有效期内使用。

5.1.2 振动台系统

5.1.2.1 振动台

振动台的一般要求如下：

- a) 所用振动台的额定推力应满足组件试验要求，并适当考虑余量；
- b) 振动台的工作频率范围应满足试验要求，一般选用电动振动台，当试验下限频率低于 2Hz 时，或对设备额定位移的要求较高以至于电动振动台无法满足时，宜选用液压台；
- c) 振动台垂直使用时，振动台额定静承载能力一般应大于组件、试验夹具、动圈和台面等的总质量；
- d) 振动台的位移限、速度限和加速度限应满足试验要求；
- e) 对于电动振动台，当系统励磁装置处于工作状态时，距台面安装螺孔的最大分布圆直径 1/4 高度处的整个平面上，一般漏磁应小于 1mT，或能够满足组件对振动台的漏磁要求；
- f) 动态范围不低于 45dB；

- g) 对于推力在 100kN 以下的振动台系统, 工作台面加速度谐波失真度、加速度幅值均匀度以及台面横向振动比应符合 JJG 948—1999 中 2.5 的规定。

5.1.2.2 水平滑台

水平滑台的一般要求如下:

- a) 水平滑台额定静承载能力应大于组件、试验夹具和加强台面(或其他辅助装置)等的总质量;
- b) 水平滑台的抗倾覆力矩应大于组件横向振动响应产生的倾覆力矩;
- c) 台面的抗弯刚度应满足试验要求, 否则应使用加强台面, 以提高抗弯刚度;
- d) 对于推力在 100kN 以下的振动台系统, 水平滑台台面加速度谐波失真度、加速度幅值均匀度以及台面横向振动比应符合 JJG 1000—2005 中 5.8 和 5.9 的规定。

5.1.3 控制系统

5.1.3.1 控制仪

振动控制仪的一般要求如下:

- a) 振动控制仪的功能应满足航天器组件振动试验要求;
- b) 振动控制仪正弦信号谐波失真度应不超过 0.3%;
- c) 振动控制仪动态范围应不小于 90dB;
- d) 振动控制仪应工作可靠、稳定, 且具有超差保护功能。

5.1.3.2 控制传感器

控制传感器的使用应遵循以下原则:

- a) 控制传感器一般采用压电式加速度计, 并在使用的频率范围内具有平坦的频响特性;
- b) 控制传感器的横向灵敏度应不大于轴向灵敏度的 3%;
- c) 控制传感器一般采用胶接方式, 特殊情况下, 也可采用螺接方式, 且应浮地;
- d) 控制传感器连接电缆的走向应避免电磁干扰, 传感器与电缆接头连接牢固, 电缆应采取固定措施, 避免因抖动而产生的摩擦电噪声等。

5.1.3.3 信号调节器

信号调节器的要求如下:

- a) 信号调节器应与所用的传感器互相匹配, 具有高低通滤波、多档增益、量程调节等功能;
- b) 信号调节器的滤波器应具有线性相移特性, 试验频率范围内的误差在 $\pm 1\text{dB}$ 范围内;
- c) 幅值线性度不大于 1%。

5.1.4 测量系统

5.1.4.1 测量传感器

测量传感器的使用应遵循如下原则:

- a) 在满足试验要求的条件下应尽量选取质量小的测量传感器, 以降低附加质量的影响;
- b) 传感器灵敏度和量程范围的选择应考虑组件的响应大小和背景噪声;
- c) 传感器的频响范围应满足使用要求, 其固有频率应至少是试验频率上限的五倍;
- d) 传感器的横向灵敏度应不大于轴向灵敏度的 5%;
- e) 传感器的幅值线性度在试验范围内应不大于 1%;
- f) 对应变测量, 应根据需要选择应变片的形式(单向或应变花)、尺寸, 应变片的焊接应牢固、

可靠，所用电缆应为低噪声电缆。

5.1.4.2 数据采集处理系统

数据采集处理系统的一般要求如下：

- a) 数据采集处理系统应具有多通道同时并行采集、在线处理、实时显示功能，所有相关的测量函数可在线并行计算，并具备满足试验要求的大容量存储功能；
- b) 数模转换器和模数转换器的字长应至少为 12 位，优选 16 位或更高位数；
- c) 正弦扫描模块中，数据采集处理系统应具有频率辨识和跟踪功能，正弦数据的幅值计算方法一般包括绝对值峰值法、平均值峰值法、有效值峰值法和数字滤波峰值法四种；
- d) 随机振动模块中，应提供加窗设置、谱线数选择、不同平均方式选择、功率谱密度函数等各种函数计算的基本功能；
- e) 正弦振动试验中，测量系统提供传感器安装面上（或传感器连接块安装面上）的正弦峰值测量数据，其偏差应在振动量值的 $\pm 5\%$ 之内；
- f) 随机振动试验中，在试验频率范围内，测量系统提供传感器安装面上（或传感器连接块安装面上）的加速度谱密度测量数据，其偏差应在振动量值的 $\pm 0.5\text{dB}$ 之内。

5.2 夹具要求

试验用夹具要求如下：

- a) 夹具材料一般采用铝或镁铝合金，夹具制造一般采用铸造或整体焊接，不推荐螺钉连接的方式组装夹具；
- b) 夹具一阶频率应高于试验频率上限，如不能满足，夹具一阶频率应高于试件一阶频率的三倍以上，若夹具一阶频率偏低，则应布置加强筋，并确定加强筋的数量、布置方向、尺寸；
- c) 夹具设计完成后，应对其进行验收测试；
- d) 夹具与组件的连接方式应尽量模拟组件与航天器的连接状态，夹具的形状与几何尺寸应满足组件与振动台接口要求；
- e) 在使用带水平滑台的振动台系统时，不宜使用 L 型直角夹具进行多个方向的振动试验，特殊情况下需要使用时，应至少在产品与夹具连接点中的最高点和最低点附近分别布置控制点，并保证产品的连接边界上输入的振动量级符合试验技术文件的要求，避免过试验和欠试验。

5.3 组件安装要求

组件安装要求如下：

- a) 为得到较好的传递及阻尼特性，振动台台面、工装、组件间的连接宜采用螺栓连接紧固方式，不宜使用压板压紧方式，当无法全部采用螺栓连接而只能采用压板压紧方式安装时，安装应尽可能模拟试验件实际连接边界条件，如无法满足边界模拟要求应重新设计夹具；
- b) 组件上如带有电缆和导线应进行适当固定，防止振动过程中抖动或敲击组件其他部位；
- c) 当两个以上具有独立安装夹具的小型组件同时进行振动试验时，应在振动台面上合理选择安装位置，避免振动台的台面不均匀性对不同组件的控制输入产生明显差异；
- d) 在组件安装时，应使用设定了合理力矩的力矩扳手拧紧组件夹具与振动台之间的连接螺钉。

5.4 试验控制要求

试验控制要求如下：

- a) 一般应采用两点或两点以上加速度峰值平均控制方式，有特殊要求时，也可采用极值控制方式。当夹具响应特性影响控制输入信号时，应采取多点平均的控制方式。正弦振动试验时控制数据的处理一般采用绝对值峰值法，有特殊要求时，可采用滤波峰值或有效值峰值法；
- b) 控制点的安装位置应按照试验技术文件要求确定，一般情况下应安装在夹具与产品的连接面附近；
- c) 当两个以上具有独立安装夹具的小型组件同时进行振动试验时，应在每个产品与其夹具的连接面附近安装至少一个控制传感器，以避免由于振动台的不均匀性对产品造成的过试验或欠试验；
- d) 对于已有实测响应数据或评估数据的组件，当对关键测量部位的响应有限制要求时，可在多点控制方式下，同时对关键测量点采用响应限幅的控制方法；
- e) 当对于已有实测响应数据或评估数据的组件，当预估某些频带上的测量响应值将超过组件设计的限定响应值时，可对输入谱设定进行主动下凹条件，对输入谱（带宽或量级）的修改应尽可能小。

5.5 测量及数据处理要求

测量及数据处理要求如下：

- a) 正弦振动试验时，应设置数据采集处理系统的参数，关键参数包括采样频率、试验频率范围、灵敏度、高低通滤波、频率分辨率以及数据分析方式等，并尽可能与控制系统协调一致；
- b) 随机振动试验时，应设置数据采集处理系统的参数，关键参数包括采样频率、频率分辨率、采集帧数、数据平均方式、加窗方式和数据分析类型等；
- c) 正弦振动试验应给出数据的幅值和频率曲线，并在曲线图上标明试验技术文件要求的必要试验信息；
- d) 随机振动试验应给出数据的功率谱密度曲线和总均方根值。对于基于快速傅立叶变换的分析系统，一般试验频带为 10Hz（或 20Hz）~2000Hz 时，在试验频带内谱线数至少设置为 400，对于更宽的频率范围，推荐谱线数为 800；
- e) 测量并保存每次振动试验的测量点响应频域数据，在有特殊要求时，存储响应的时域数据；
- f) 每个试验项目完成后，应检查测量传感器是否松动，对发生松动的测量传感器进行记录并重新粘贴。

5.6 试验环境要求

除非另有规定，试验室环境规定如下：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：20%~80%；
- c) 大气压力：78kPa~103kPa；
- d) 当组件对温度、湿度、洁净度有特殊要求时，振动试验应在具备相应环境条件的试验室内进行；
- e) 在试验准备阶段、试验实施阶段和试验结束阶段组件暴露于试验室的整个过程中，试验室内环境应持续满足试验要求。

5.7 试验安全要求

试验安全要求如下：

- a) 试验前应检查组件状态，必要时对组件上的活动部件（如：接插电缆等）进行固定，避免振动过程中出现磕碰；
- b) 对带有危险品（如：火工品装置、加注易燃液体、高压气瓶等）的组件，应根据危险品的特点（如：携带的火药重量、加注液体的体积、气瓶压力大小等）评估其可能产生的最大危害，并采取相应的防护措施；
- c) 对有防静电要求的组件（如：电子产品等），操作过程中应佩戴防静电手镯；
- d) 对有洁净度要求的组件（如：相机镜头等），在操作过程中应配戴防护手套，不宜在组件附近打磨传感器等，避免抖落颗粒物。

5.8 接地要求

振动台系统、振动控制系统、测量系统及辅助设备等应分别接地，接地电阻应不大于 1Ω 。

6 试验程序

6.1 概述

组件振动试验分为试验前准备、试验实施和试验后处理三个阶段。

6.2 试验前准备

6.2.1 夹具准备

按 5.2 的要求进行夹具的设计、加工和验收。如果使用已有的夹具，则应对试验夹具的状态进行确认。

6.2.2 试验文件准备

按照试验要求编写 8.1 中规定的相关文件。

6.2.3 仪器、设备检查

对振动台系统、振动控制系统和测量系统进行检查，使其处于正常工作状态。

6.2.4 振动台调试

必要时，试验前对振动台分别按垂直和水平两个方向进行调试。如果需要带负载调试，可使用结构件进行调试，或用配重代替。试验条件和其他要求一般与正式试验相同。

6.2.5 组件检查测试

试验前，按相关技术文件完成对组件的检查和测试，并确认合格。

6.2.6 测量传感器粘贴

当组件有响应测量要求时，应按照相关技术文件要求完成测量加速度传感器和应变片的粘贴，连接并整理电缆。

6.3 试验实施

6.3.1 组件安装

组件安装过程如下：

- a) 按 5.3 的要求进行组件的安装；
- b) 按照试验要求将振动台调至正确的试验方向；

- c) 根据组件的安装需求,在需要时,选择安装垂直向扩展台面或水平向加强台面,并进行系统调试;
- d) 根据夹具的设计接口和状态确定产品、夹具的安装顺序:先进行组件和夹具之间的安装,再将组合体安装在振动台上;或者先将夹具安装在振动台上,再安装组件。

6.3.2 控制系统操作

控制系统的操作过程如下:

- a) 按试验技术文件相关要求进行控制传感器粘贴,如试验技术文件无明确要求,控制传感器的数量和位置应符合 5.4 的规定;
- b) 根据试验技术文件要求完成控制系统的参数设置;
- c) 对控制系统配套使用的信号调节器进行参数设置;
- d) 连接传感器、信号调节器与控制系统之间的电缆,并检查通道连接是否正确。

6.3.3 测量系统操作

测量系统的操作过程如下:

- a) 按 5.5 和试验技术文件的相关要求进行系统参数设置;
- b) 对信号调节器进行参数设置,并检查电缆连接情况。

6.3.4 试验加载

试验加载一般过程如下:

- a) 一般在三个相互正交的方向上分别进行试验加载,具体的加载量级、加载方向和试验顺序应按试验技术文件的规定执行;
- b) 当组件有多通道测量要求并需要使用独立数据采集处理系统时,宜在正式试验前进行导通试验,以保证整个试验系统工作正常;
- c) 当组件有响应测量要求时,或根据试验技术文件要求,在正式加载量级前后进行特征级试验。特征级试验一般为低量级正弦扫描试验,如有特殊要求,也可以进行低量级随机振动试验,试验条件应符合试验技术文件的规定;
- d) 如有要求,在振动试验过程中、或试验后对组件进行性能或功能测试;
- e) 如试验过程中出现异常,应按照 7.2 的要求进行中断处理;
- f) 按照 6.3.1~6.3.4 e) 的顺序完成各个方向所有量级的振动试验。

6.4 试验后处理

试验后处理过程如下:

- a) 断开控制传感器连接导线及测量传感器、应变片连接导线;
- b) 拆卸控制传感器、测量传感器、组件、夹具等;
- c) 进行试验数据处理,提供试验任务书或试验大纲所要求的数据或试验结果;
- d) 按 8.3 编写相关文件,并归档保存。

7 试验中断及处理

7.1 试验中断

出现下列情况之一时,应中断试验:

- a) 试验设备、仪器出现故障；
- b) 组件出现故障；
- c) 试验中出现欠试验而不能达到预期试验目的；
- d) 试验中出现过试验而有可能造成组件损坏或性能下降。

7.2 中断处理

试验中断的处理应按如下原则进行：

- a) 试验仪器、设备引起的中断：在故障排除后继续试验之前，应判断中断对组件有无影响，如果没有影响，则应确认组件正常后，方可继续试验。如果有影响，则应在分析的基础上，做出是否继续试验的决定。继续试验原则上正弦振动试验应从中断频率开始，随机振动试验则应将剩余时间的试验完成；
- b) 组件本身故障造成的中断：在故障排除后，一般重新开始试验，如组件在振动过程中出现响应异常，则应在找出原因后确定是否继续试验；
- c) 欠试验引起的中断：在找出原因采取措施后重新试验，继续试验原则上正弦振动试验从欠试验时的频率开始，随机振动试验则应将出现欠试验时所剩余时间的试验完成；
- d) 过试验引起的中断：判断过试验对组件是否有影响，如果没有影响，则应确认组件正常后，方可继续试验。如果有影响，则应在分析的基础上，做出是否继续试验的决定。继续试验原则上正弦振动试验应从中断频率开始，随机振动试验则应将剩余时间的试验完成。

8 试验文件

8.1 试验前文件

试验前一般应具有或准备如下文件：

- a) 试验任务书或试验大纲；
- b) 试验操作文件，必要时编写试验实施方案、技术流程等；
- c) 试验相关表格化文件。

8.2 试验过程记录

试验过程中应记录试验相关表格化文件，内容一般包括：

- a) 试验名称、试验类型、试验日期、试验设备等相关信息；
- b) 频率范围、试验量级、试验时间、试验方向等；
- c) 实际的试验程序和试验项目；
- d) 试验技术条件更改情况；
- e) 试验现场问题处理情况。

8.3 试验后文件

试验后一般应给出如下文件：

- a) 操作及检验结果；
- b) 必要的照片及录像资料；
- c) 试验中断和处理结果描述；
- d) 试验报告或试验证明书。

中华人民共和国航天行业标准
航天器组件环境试验方法
第 7 部分：振动试验

QJ 20422.7—2016

*

中国航天标准化研究所出版
北京市丰台区小屯路 89 号
邮政编码：100071

中国航天标准化研究所
印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2016 年 2 月出版

定价：22 元