

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1610

QJ 20612—2016

月球探测器着陆缓冲机构试验要求

Test requirement for landing gear of lunar probe

2016—12—14 发布

2017—03—01 实施

国家国防科技工业局 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
4.1 试验分类	2
4.2 试验项目	2
4.3 试验矩阵	3
4.4 试验策划	3
4.5 试验允差	3
4.6 试验设备	3
4.7 试验工装	4
4.8 试验安全性	4
5 缓冲元件试验	4
5.1 缓冲元件准静态力学性能试验	4
5.2 缓冲元件动态力学性能试验	5
6 组件试验	6
6.1 展开摩擦力试验	6
6.2 缓冲摩擦力试验	6
7 整机试验	7
7.1 着陆缓冲机构展开性能试验	7
7.2 着陆缓冲机构静力试验	7
7.3 着陆缓冲机构振动试验	8
7.4 着陆缓冲机构热真空试验	9
7.5 着陆缓冲性能试验	9
8 组合缓冲性能试验	11
8.1 试验目的	12
8.2 试验件状态	12
8.3 试验过程及要求	12
9 试验中断处理	13
10 试验文件	14
10.1 概述	14
10.2 试验方案	14
10.3 试验大纲	14

QJ 20612—2016

10.4	试验实施方案·····	14
10.5	试验记录·····	15
10.6	试验报告·····	15
10.7	试验总结报告·····	15
10.8	会签与评审要求·····	15

前 言

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司第五研究院总体部、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人：满剑锋、曾福明、杨建中、朱 汪、吴 琼、罗 敏、徐青华、刘 卫、王
维嘉。

月球探测器着陆缓冲机构试验要求

1 范围

本标准规定了月球探测器着陆缓冲机构（以下简称“着陆缓冲机构”）的试验项目、试验目的、试验技术要求等。

本标准适用于月球探测器着陆缓冲机构的试验。火星等行星着陆探测器或返回舱返回地面时的着陆缓冲机构试验可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。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标准，然而，鼓励根据本标准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标准。

GB/T 16825.1—2008 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和(或)压力试验机测力系统的校验与校准

GJB 421A—1997 卫星术语

QJ 1714.9B—2011 航天产品设计文件管理制度 第9部分：设计文件的签署规定

QJ 2630.1A—2012 航天器组件空间环境试验方法 第1部分：热真空试验

QJ 3198—2004 航天火工装置安全技术要求

QJ 20001—2011 月球探测工程术语

3 术语和定义

GJB 421A—1997 和 QJ 20001—2011 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

着陆缓冲机构 landing gear

着陆腿 landing leg

探测器在月面着陆过程中，用于实现吸收瞬时冲击能量、缓冲冲击载荷及对着陆后的探测器提供长期稳定支撑等功能的装置。每个着陆缓冲机构一般由位于左右两侧的支柱（两侧支柱）及中间支柱、足垫等组成。

3.2

缓冲元件 energy absorption unit

着陆缓冲机构中用于吸收冲击能量的零件或部件。

3.3

缓冲器 absorber

着陆缓冲机构中耗散着陆冲击能量的组件。根据缓冲吸能的能力不同，分为单向缓冲器（仅具有压缩或拉伸吸能能力）以及双向缓冲器（同时具有压缩和拉伸吸能能力）。

3.4

模拟结构 structural model of mainbody

用于模拟探测器的真实质量特性及其与着陆缓冲机构机械接口尺寸的刚性结构。

3.5

组合体 landing assembly

着陆缓冲机构与模拟结构装配后形成的整体。

3.6

火工装置工艺件 dummy part for pyrotechnic device

手动展开试验中用于代替真实火工装置的模拟件。不包含主装药、点火器等含能部件。

3.7

负载 load

缓冲元件动态力学性能试验中，作用在缓冲元件上的总载荷。

3.8

着陆缓冲试验台 landing performance test bed

用于验证单套着陆缓冲机构着陆缓冲性能的试验台。一般由导轨、起吊装置、释放装置、配重、模拟着陆面等部分组成。

注：可以用来模拟着陆时的竖直速度、着陆质量、着陆姿态等条件。与相应的测量设备相配合，可以测出各缓冲器缓冲行程、着陆面对足垫的冲击作用载荷以及各支柱对模拟结构的冲击作用载荷。

3.9

试验工况 test conditions

一组试验条件的组合。

3.10

关键工况 critical conditions

实际着陆时发生概率较大、失效后影响着陆安全以及设计规范中规定必须开展的试验工况。

3.11

手动展开 manual deployment

通过手动方式解除压紧释放装置对着陆缓冲机构的约束，使着陆缓冲机构在弹簧等动力源的驱动下实现自行展开的一种试验方式。

3.12

电爆展开 deployment with pyrotechnic device

通过对压紧释放装置中火工部件供电的方式解除其对着陆缓冲机构的约束，使着陆缓冲机构在弹簧等动力源的驱动下实现自行展开的一种试验方式。

3.13

组合缓冲性能试验 attenuating test for landing gear subsystem

按照在探测器上的实际安装情况，将每套着陆缓冲机构安装在模拟结构上，在地面模拟着陆缓冲过程中，验证多套着陆缓冲机构组合后整体缓冲性能的试验。

4 一般要求

4.1 试验分类

试验分类如下：

- a) 按研制阶段不同可分为研制试验、鉴定试验、验收试验；
- b) 按产品层次不同可分为缓冲元件试验、组件试验、整机试验、组合缓冲性能试验。

4.2 试验项目

在各研制阶段所需进行的试验项目一般包括：

- a) 缓冲元件准静态力学性能试验；
- b) 缓冲元件动态力学性能试验；
- c) 展开摩擦力试验；
- d) 缓冲摩擦力试验；
- e) 着陆缓冲机构展开性能试验；
- f) 着陆缓冲机构静力试验；
- g) 着陆缓冲机构振动试验；
- h) 着陆缓冲机构热真空试验；
- i) 着陆缓冲机构缓冲性能试验；
- j) 组合缓冲性能试验。

4.3 试验矩阵

试验矩阵见表 1，表中规定了着陆缓冲机构研制过程中建议进行的试验项目。实际研制过程中，在确保产品功能、性能验证充分，满足任务要求的前提下，可根据具体情况进行增减。

表 1 着陆缓冲机构试验矩阵表

试验类别	试验项目	研制试验	鉴定试验	验收试验
缓冲元件试验	缓冲元件准静态力学性能试验	● ^a	● ^a	● ^a
	缓冲元件动态力学性能试验	● ^a	● ^a	● ^a
组件试验	展开摩擦力测试	● ^a	●	●
	缓冲摩擦力测试	●	—	—
整机试验	着陆缓冲机构展开性能试验	●	●	●
	着陆缓冲机构静力试验	—	●	—
	着陆缓冲机构振动试验	—	●	●
	着陆缓冲机构热真空试验	—	○	○
	着陆缓冲机构缓冲性能试验	●	●	● ^a
组合缓冲性能试验	组合缓冲性能试验	●	●	—
注 1：“●”必做项目；“○”选作项目；“—”不要求。				
注 2：不具有收拢压紧和展开锁定功能的着陆缓冲机构不进行“展开摩擦力试验”和“着陆缓冲机构展开性能试验”。				
^a 试验件从同批生产的着陆缓冲机构中抽取。				

4.4 试验策划

在研制初期应对着陆缓冲机构的试验工作进行全面规划。确定各研制阶段所需开展试验的目的和项目，并按照研制要求、试验规范及相关标准确定试验条件，制定各项试验的试验方案，确定试验件状态、试验工况、测量参数以及试验工装、试验设备等，并合理分工。

4.5 试验允差

环境条件的允差应满足详细试验规范的要求。

4.6 试验设备

试验所用设备一般应满足如下要求：

- a) 设备能力如量程和精度等，应满足试验要求，并具有一定的余量；

- b) 有计量要求的设备需经计量部门检定合格，并在检定有效期内；
- c) 非标设备需要在试验前全面检查，对设备能力进行全面验证，确保满足试验要求；
- d) 高速摄像系统的拍摄速率应不小于 500 帧/秒；
- e) 测量设备的采样频率应不小于 1kHz。

4.7 试验工装

试验工装应满足如下要求：

- a) 工装的接口、材料、刚度、质量（重量）、质心等，应能够模拟产品在航天器上实际安装和使用状态，同时要便于试验过程中的安装操作，并满足多次重复试验的需要；
- b) 必要时需采用辅助保护装置，以避免试验异常时对产品造成损伤；
- c) 重要工装要贴有铭牌，注明工装名称、制造日期、制造单位等信息。

4.8 试验安全性

试验过程中应采取必要措施，保证人员、试验件及设备等的安全。

5 缓冲元件试验

5.1 缓冲元件准静态力学性能试验

5.1.1 试验目的

缓冲元件准静态力学性能试验的目的如下：

- a) 在研制试验阶段，通过试验获得准静态条件下缓冲元件的缓冲力，初步确定满足着陆缓冲机构设计要求的缓冲元件的规格和尺寸；
- b) 在鉴定试验及验收试验阶段，通过抽检的方式，对批次性制造的缓冲元件的力学性能稳定性进行检验，并通过该试验对某些缓冲元件，如铝蜂窝件等进行筛选。

5.1.2 试验件状态及数量

缓冲元件准静态力学性能试验所用试验件状态及数量要求如下：

- a) 试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格；
- b) 在研制试验阶段，初步确定缓冲元件的规格和尺寸时，每种试验件的数量应不少于 9 件；在鉴定试验及验收试验阶段，抽检的每种试验件数量应不少于批生产数量的 5%（数量应为 3 的倍数），且最少抽检数量应不少于 9 件。

5.1.3 试验过程及要求

5.1.3.1 试验工况设计

试验工况的设计，应在规定的温度条件（包括高温、常温及低温）下，能够对缓冲元件的缓冲力进行充分验证，高温、常温及低温试验的试验件数量平均分配。

5.1.3.2 设备及工装要求

缓冲元件的准静态力学性能试验应在具备高低温环境模拟的万能试验机上进行，试验机的准确等级应符合 GB/T 16825.1—2008 的要求，并应为 1 级或优于 1 级。

应按照缓冲元件在着陆缓冲机构中的安装状态设计试验工装，并设置与万能试验机的连接接口。

5.1.3.3 测量及数据处理要求

试验过程中需测量的参数及试验数据处理要求如下：

- a) 试验过程中记录力—位移曲线；
- b) 对力—位移曲线进行积分处理，得到单个缓冲元件的吸能量 E_i ；
- c) 按公式（1）计算同一温度条件下单个缓冲元件的吸能能力偏差 K_i ，以此评价缓冲元件的准静

态力学性能的稳定性。一般情况下 $K_i \leq 5\%$ 。

$$K_i = \left| 1 - \frac{E_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i} \right| \dots \dots \dots (1)$$

式中：

- K_i ——单个缓冲元件的吸能能力偏差；
- E_i ——第 i 个缓冲元件的吸能量，单位为焦耳 (J)；
- n ——同一试验工况下试验件数量。

5.2 缓冲元件动态力学性能试验

5.2.1 试验目的

缓冲元件动态力学性能试验目的如下：

- a) 在研制试验阶段，通过试验获得缓冲元件在冲击条件下的缓冲特性，从而对缓冲元件进行优选；
- b) 在鉴定试验及验收试验阶段，通过抽检的方式对批次性制造的缓冲元件的缓冲性能稳定性进行检验。

5.2.2 试验件状态及数量

缓冲元件动态力学性能试验所用试验件状态及数量要求如下：

- a) 试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格；
- b) 在研制试验阶段，每种试验件的数量应不少于 3 件；在鉴定试验及验收试验阶段，抽检的每种试验件数量应不少于批生产数量的 5%，且最少抽检数量应不少于 3 件。

5.2.3 试验过程及要求

5.2.3.1 试验工况设计

试验工况的设计，应规定冲击速度，并尽可能与预期的着陆速度一致。在此基础上给定负载，缓冲元件优选时可规定负载变化的步长。试验一般在常温常压条件下进行。

5.2.3.2 试验设备及工装要求

试验应在着陆缓冲试验台上进行，如图 1 所示。试验设备及工装一般包括着陆缓冲试验台、高速摄像系统及缓冲力测量设备。试验设备及工装除需满足 4.6 及 4.7 的要求外，还应保证在给定负载下，着陆冲击速度的控制精度优于 0.1m/s。

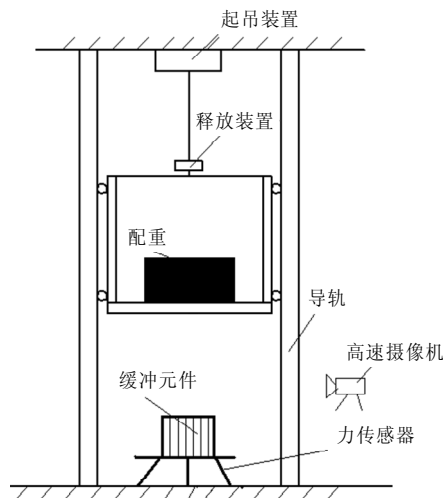


图 1 缓冲元件动态力学性能试验系统示意图

5.2.3.3 测量及数据处理要求

试验过程中需测量的参数及试验数据处理要求如下：

- a) 利用高速摄像系统记录试验全过程，特别是缓冲元件变形全过程。经处理后给出缓冲起始时刻配重的下落速度以及缓冲元件的缓冲行程随时间变化曲线；
- b) 利用力传感器进行缓冲力测量，给出缓冲力随时间变化曲线；
- c) 通过对缓冲行程随时间变化曲线和缓冲力随时间变化曲线的处理得到缓冲力—位移曲线；
- d) 对缓冲力—位移曲线进行积分处理，得到缓冲元件的吸能量 E_i ；
- e) 按公式(1)计算单个缓冲元件的吸能力偏差 K_i ，以此评价缓冲元件动态力学性能的稳定性。一般情况下 $K_i \leq 10\%$ 。

5.2.3.4 安全要求

安全要求如下：

- a) 着陆缓冲试验台应由经培训合格并取得相应资格的人员操作；
- b) 试验过程中无关人员不得靠近，必要时需采取安全隔离措施。

6 组件试验

6.1 展开摩擦力试验

6.1.1 试验目的

获得着陆缓冲机构展开过程中的摩擦力，以便对着陆缓冲机构的展开力（矩）裕度进行评估。

6.1.2 试验件状态

试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格。

6.1.3 试验过程及要求

试验过程及要求如下：

- a) 在研制试验阶段可抽样进行，鉴定试验及正样验收试验阶段，应对所有产品进行测试；
- b) 可分组件对各运动副的摩擦力单独进行测试，然后按一定原则对各摩擦力进行综合处理，进而获得整机的展开摩擦力；
- c) 应充分考虑地面重力的影响，必要时采用重力补偿装置；
- d) 应充分考虑在轨展开时的极限温度环境影响；在研制试验或鉴定试验阶段，若条件允许应在预期最高和最低温度下至少各测试1次；
- e) 若在着陆缓冲机构整机状态下可实现对各运动副的摩擦力测试，则该试验列入整机试验中，可结合整机展开性能试验一并进行。

6.2 缓冲摩擦力试验

6.2.1 试验目的

获得着陆缓冲机构在着陆缓冲过程中滑动副的摩擦力，为着陆缓冲机构的设计优化及着陆过程仿真分析提供必要的数据库。

6.2.2 试验件状态

试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格。试验时不安装缓冲元件。

6.2.3 试验过程及要求

试验过程及要求如下：

- a) 试验一般仅在研制试验阶段进行；
- b) 应按实际受力状态施加载荷，并通过相应装置为滑动副提供恒定的滑动速度；

- c) 试验中应对关键部位的应变进行测量。

7 整机试验

7.1 着陆缓冲机构展开性能试验

7.1.1 试验目的

展开性能试验目的如下：

- a) 验证着陆缓冲机构展开、锁定性能是否满足设计要求，对设计和制造质量进行检验；
- b) 获得着陆缓冲机构展开过程的相关参数。

7.1.2 试验件状态

试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格。采用火工装置进行压紧释放的着陆缓冲机构，在进行手动展开试验时用火工装置工艺件代替真实的产品。机械接口等与真实火工装置一致，并具备连接和手动解锁功能。

7.1.3 试验过程及要求

7.1.3.1 试验工况设计

试验工况设计一般应遵循以下原则：

- a) 在研制试验阶段可对产品进行抽样测试，鉴定试验及正样验收试验阶段应对所有产品进行测试；
- b) 着陆缓冲机构装配完成后以及每项环境试验前、后均应进行展开性能试验；环境试验前至少进行3次展开性能试验，环境试验后进行1次展开性能试验；
- c) 采用火工装置进行压紧释放的着陆缓冲机构，在环境试验前可只进行手动展开，环境试验后均应进行电爆展开；
- d) 应充分考虑温度对展开性能的影响，在研制试验阶段或鉴定试验阶段，应在规定最高和最低温度下各进行1次展开性能试验，该试验可与热环境试验结合进行。

7.1.3.2 试验设备及工装要求

试验设备及工装一般包括模拟墙、零重力模拟设备、高速摄像系统以及展开冲击测量设备。试验设备及工装除满足4.6和4.7的要求外，还应保证零重力模拟设备对着陆缓冲机构的展开不产生明显影响。

7.1.3.3 测量及数据处理要求

试验过程中需测量的参数及试验数据处理要求如下：

- a) 利用高速摄像系统记录整个展开过程，经数据处理后给出着陆缓冲机构展开时间、展开角速度；
- b) 对关键部位的展开冲击参数进行测量并记录。

7.1.3.4 安全要求

安全要求如下：

- a) 试验过程中无关人员不得靠近，必要时应采取安全隔离措施；
- b) 采用火工装置展开时，应严格执行QJ 3198—2004的相关要求；
- c) 对于采用压缩弹簧驱动展开的着陆缓冲机构，在同一产品多次试验过程中，应采取有效措施，避免产品恢复时压缩弹簧可能对人员造成的伤害。

7.2 着陆缓冲机构静力试验

7.2.1 试验目的

静力试验的目的是考核着陆缓冲机构承受鉴定级缓冲载荷的能力，验证设计和工艺的正确性；获得

在鉴定级缓冲载荷作用下的应变分布和变形情况。

7.2.2 试验件状态

试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格。

7.2.3 试验过程及要求

7.2.3.1 试验工况设计

试验工况设计一般应遵循以下原则：

- a) 在进行每个工况试验前均需进行预加载，预加载量级不大于最大使用载荷（验收级载荷）的40%；
- b) 每个工况下的正式试验，应逐级加载；
- c) 如需进行超载破坏试验，则应安排在最后环节。

7.2.3.2 试验设备及工装要求

设备及工装要求如下：

- a) 试验应采用实时载荷控制系统，具备防止载荷超差和超载能力，载荷加载误差应小于要求值的1%；
- b) 试验加载系统和工装应在试验前进行带载调试，以确保加载系统及工装的强度和刚度满足试验要求。

7.2.3.3 测量及数据处理要求

试验过程中需测量的参数及试验数据处理要求如下：

- a) 试验过程中应对关键部位的位移和应变进行测量；
- b) 位移测量误差（绝对误差）小于0.1mm；
- c) 应变测量误差小于读数绝对值的1%。

7.3 着陆缓冲机构振动试验

7.3.1 试验目的

振动试验目的如下：

- a) 鉴定试验阶段的目的是验证着陆缓冲机构承受鉴定级振动环境（包括正弦振动和随机振动）的能力；
- b) 在验收级振动环境下，暴露着陆缓冲机构在材料、制造和装调等方面可能潜在的质量缺陷造成的早期故障。

7.3.2 试验件状态

试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格。除有特殊规定外，螺纹连接部位均应采取有效的防松措施。

7.3.3 试验过程及要求

7.3.3.1 试验工况设计

试验工况设计要求如下：

- a) 按详细试验规范规定的试验条件及要求进行试验工况设计；
- b) 每个工况前后应进行特征级正弦振动试验（一般情况下量级不大于0.5g，扫描速率取4 Oct/min或2 Oct/min，最高频率不小于200Hz）；
- c) 所有工况完成后，一般应按7.1的要求进行展开性能试验。

7.3.3.2 试验设备及工装要求

试验设备及工装应满足 4.6 和 4.7 的要求。

7.3.3.3 试验控制、测量及数据处理要求

试验控制、测量及数据处理要求如下：

- a) 试验控制点应选在试验件与试验工装连接面的连接螺栓附近，并远离干扰源和易出现较大撞击的部位；
- b) 试验可采用多点平均控制方法或跟踪滤波控制方法；
- c) 试验中应对试验件上关键部位的加速度及应变响应进行测量。

7.4 着陆缓冲机构热真空试验

7.4.1 试验目的

热真空试验目的如下：

- a) 鉴定级试验的目的是验证着陆缓冲机构承受鉴定级热真空环境的能力；
- b) 在验收级热真空环境下，暴露着陆缓冲机构在材料、制造和装调等方面可能潜在的质量缺陷造成的早期故障。

7.4.2 试验件状态

试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格。

7.4.3 试验过程及要求

试验过程及要求如下：

- a) 试验条件按详细试验规范执行；
- b) 试验按 QJ 2630.1A—2012 的规定进行；
- c) 热真空试验后的展开性能试验按 7.1 要求执行；
- d) 若无特殊要求，可用热循环试验代替热真空试验。

7.5 着陆缓冲机构缓冲性能试验

7.5.1 试验目的

着陆缓冲性能试验目的如下：

- a) 研制试验阶段的试验目的：在规定的着陆条件下（对于着陆速度，只模拟竖直速度），验证着陆缓冲机构整机的缓冲、支撑能力是否满足设计要求，为设计改进提供依据；
- b) 鉴定试验阶段的试验目的：在规定的鉴定级着陆条件下，验证着陆缓冲机构整机的缓冲、支撑能力是否满足设计要求；
- c) 验收试验阶段为抽检试验，其目的是：在规定的验收级着陆条件下，验证批生产的着陆缓冲机构整机的缓冲、支撑能力是否满足设计要求。

7.5.2 试验件状态

试验件状态如下：

- a) 试验件应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格；
- b) 有压紧释放功能的着陆缓冲机构试验时应处于展开锁定状态，压紧释放装置可不安装；
- c) 多次重复试验时，缓冲元件及易损件应有足够的备份，每次试验完成后需更换缓冲元件，并视具体情况更换易损件；
- d) 在验收试验阶段，进行着陆缓冲机构缓冲性能试验的试验件应与正样产品同批制造，且技术状态完全一致。

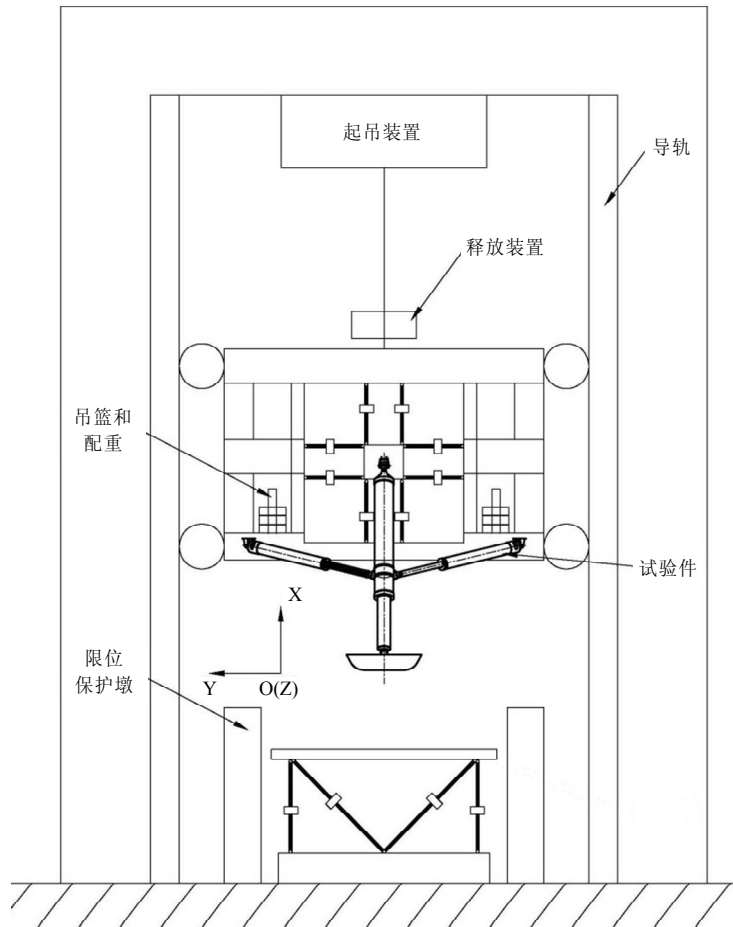
7.5.3 试验过程及要求

7.5.3.1 试验工况设计

试验工况设计以验证充分为原则，应系统考虑着陆速度、着陆质量、着陆面承载特性、着陆面坡度、足垫与着陆面的摩擦系数等条件。每种工况至少进行1次试验，关键工况试验次数一般不应少于3次。

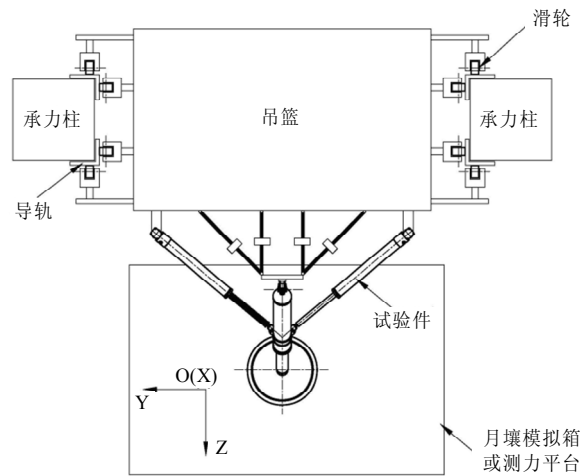
7.5.3.2 试验设备及工装要求

试验设备及工装一般包括着陆缓冲试验台、测试系统等，试验应在着陆缓冲试验台上进行，图2为着陆缓冲机构缓冲性能试验的示意图。着陆缓冲试验台只能提供沿竖直方向的运动，试验时通过着陆缓冲机构的倾斜安装模拟月面具有坡度、探测器倾斜的工况。



a) 正视

图2 着陆缓冲机构缓冲性能试验示意图



b) 俯视图

图 2 (续)

试验设备及工装除满足 4.6 和 4.7 要求外，还应满足如下要求：

- a) 试验应设计专用的工装，工装的刚度应不低于探测器结构本体的刚度，工装需有滚轮与着陆缓冲试验台承力柱上的导轨配合，同时应提供着陆缓冲机构的机械安装接口，此外还应具备质量调整能力；
- b) 较软着陆面的模拟一般通过在月壤模拟箱内装填充物来模拟，填充完成后需由专业人员进行测试和评价，满足要求后方可进行正式试验；
- c) 刚性月面的模拟可用刚性测力平台实现。

7.5.3.3 测量及数据处理要求

试验过程中需测量的参数及试验数据处理要求如下：

- a) 采用高速摄像系统对着陆全过程进行记录。
- b) 应对着陆缓冲机构各接头处的三向作用力及工装质心处的加速度响应进行测量。
- c) 必要时应对关注部位的应变进行测量。
- d) 试验后应对缓冲行程进行测量。
- e) 所有参数的测量误差应不大于 5%。
- f) 如无特殊规定，力和加速度数据采用 80Hz 低通滤波。
- g) 高速摄像系统的测试结果经处理后应给出以下数据：
 - 1) 着陆缓冲机构着陆瞬时的竖直速度；
 - 2) 着陆缓冲过程中，缓冲行程随时间的变化曲线；
 - 3) 缓冲全过程配重质心高度随时间变化曲线。

7.5.4 安全要求

安全要求如下：

- a) 试验时吊篮的底部应设置限位保护装置，确保试验设备发生故障时不会损伤试验件；
- b) 着陆缓冲试验台应由经培训合格并取得相应资格的人员操作；
- c) 试验过程中无关人员不得靠近，必要时应采取安全隔离措施。

8 组合缓冲性能试验

8.1 试验目的

组合缓冲性能试验目的如下：

- a) 研制试验阶段的试验目的：对多套着陆缓冲机构的组合缓冲性能进行验证，为改进设计提供依据；
- b) 鉴定试验阶段的试验目的：按鉴定级着陆条件，对多套着陆缓冲机构的组合缓冲性能进行鉴定，以确定其是否满足设计要求。

8.2 试验件状态

试验件状态如下：

- a) 参加组合缓冲试验的着陆缓冲机构，应按设计图样和相关要求制造，并经检验合格，原则上应为同批生产；
- b) 有压紧释放功能的着陆缓冲机构试验时应处于展开锁定状态，压紧释放装置可不安装；
- c) 多次重复试验时，缓冲元件及易损件应有足够的备份，每次试验完成后需更换缓冲元件，并视具体情况更换易损件。

8.3 试验过程及要求

8.3.1 试验工况设计

试验工况以验证充分为原则，试验前应进行预分析，根据仿真分析的结果进行试验工况的设计，在试验能力允许的前提下，应尽量包络所有已知试验工况，每种工况至少进行1次试验，关键工况试验次数一般应不少于3次。

8.3.2 试验设备及工装要求

组合缓冲试验可在地球重力场条件下通过等效能量法来进行，根据这一原则搭建相应的投放设备。试验所需设备及工装一般包括起吊投放设备、模拟着陆面、测试系统及模拟结构等，图3为一种典型的投放试验示意图，利用牵引绳将模拟结构与着陆缓冲机构组合体（简称“组合体”）拉偏一定角度后释放，当摆杆摆动至竖直位置时，摆杆将组合体释放，组合体做平抛运动，从而实现水平和竖直两个方向着陆速度的模拟。

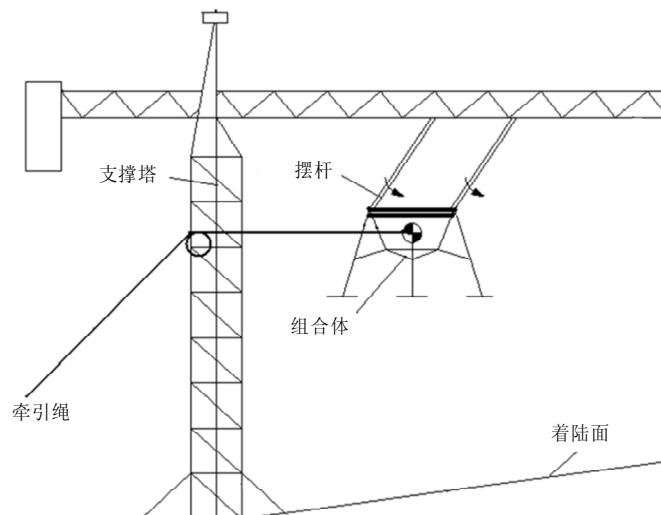


图3 组合缓冲试验投放示意图

试验所需设备及工装除满足4.6和4.7要求外，还应满足如下要求：

- a) 着陆面一般需模拟着陆月球表面的机械、力学及形貌特性，着陆面设置完成后需由专业人员进行测试和评价，满足要求后方可进行正式试验；

- b) 试验一般使用探测器模拟结构代替真实结构，确保在反复冲击时不会产生明显的变形和破坏；
- c) 模拟结构应提供与投放设备间的连接接口以及吊装接口；
- d) 模拟结构与着陆缓冲机构组合体的质量特性应与真实着陆器着陆瞬时的质量特性一致；
- e) 投放设备对着陆姿态及着陆速度的控制精度为 $\pm 5\%$ 。

8.3.3 测量及数据处理要求

试验过程中需测量的参数及试验数据处理要求如下：

- a) 采用高速摄像系统对试验全程（包括每套着陆缓冲机构的缓冲过程）进行记录。
- b) 着陆缓冲过程中，应对着陆缓冲机构与模拟结构连接处的各接头处的三向作用力、足垫的冲击加速度输入、模拟结构上规定位置的加速度响应进行测量。
- c) 着陆后，应对每套着陆缓冲机构的缓冲行程、着陆缓冲机构的下陷深度、组合体质心距着陆面高度、各个足垫的滑移距离等参数进行测量。
- d) 参数的测量误差要求如下：
 - 1) 加速度测量误差： $\pm 10\%$ ；
 - 2) 位移测量精度：优于 0.01m ；
 - 3) 速度测量精度：优于 0.1m/s ；
 - 4) 姿态测量精度：优于 0.1° ；
 - 5) 角速度测量精度：优于 $0.5^\circ/\text{s}$ 。
- e) 如无特殊规定，力和加速度数据采用 80Hz 低通滤波。
- f) 高速摄像系统的测试结果经处理后应给出以下数据：
 - 1) 投放瞬时，组合体在惯性坐标系下的三轴姿态角大小及方向、竖直速度和水平速度；
 - 2) 着陆冲击过程中，缓冲行程随时间的变化曲线；
 - 3) 足垫触地瞬时，组合体在惯性坐标系下的三轴姿态角大小及方向、竖直速度和水平速度；
 - 4) 稳定着陆后，组合体在惯性坐标系下的三轴姿态角大小及方向。

8.3.4 安全要求

安全要求如下：

- a) 起吊及释放过程中各岗位人员应严格遵从现场指挥口令，现场操作人员应佩戴安全帽；
- b) 试验现场周围应设置安全警戒线；试验过程中，除测试人员外，其他人员应撤离至安全警戒线以外；
- c) 试验前，试验实施方应制定详细的故障预案，并配备应急处理系统。

9 试验中断处理

试验中出现任何影响试验进行、试验质量和试验安全的故障或异常现象应暂停试验，原则上应在问题归零评审通过后，方可继续进行试验。试验中断处理的一般原则如下：

- a) 当试验件出现失效或破坏时，经分析确定为试验件自身由于设计或制造原因导致的，待试验件修复或更换后重新进行试验；再次试验前，需对试验中断前已经完成的试验内容进行分析，确定其是否有效，是否需要重复这些试验；
- b) 当试验设备故障导致试验中断时，应待设备彻底修复后重新进行试验；再次试验前，需对中断试验前已经完成的试验内容进行分析，确定其是否有效，同时确认试验条件是否超过规定的量级，是否会对试验件造成损伤；确认中断前的试验是否有效，并给出试验是否需要重新进行或继续的结论。

10 试验文件

10.1 概述

各类试验中，一般应包含如下试验文件：

- a) 任务书（试验提出方编写）；
- b) 试验方案（试验提出方编写）；
- c) 试验大纲（试验提出方编写）；
- d) 试验实施方案或试验实施细则（试验实施方编写）；
- e) 质量保证大纲（试验实施方编写）；
- f) 试验记录（试验实施方记录）；
- g) 试验报告（试验实施方编写）；
- h) 试验总结报告（试验提出方编写）。

以上文件可以根据具体情况进行删减。

10.2 试验方案

试验方案的主要内容如下：

- a) 试验目的；
- b) 试验件状态；
- c) 试验工况设计；
- d) 具体试验方案；
- e) 测量方案及要求；
- f) 试验工装、设备要求；
- g) 试验成功判据；
- h) 安全性要求。

10.3 试验大纲

试验大纲的主要内容如下：

- a) 试验目的；
- b) 试验件状态；
- c) 试验基本方案；
- d) 试验工装、设备要求；
- e) 测试及记录要求；
- f) 试验程序（步骤）；
- g) 试验成功判据与结果评定要求；
- h) 试验分工及职责；
- i) 安全性要求；
- j) 试验验收要求（指数据及报告提供要求）。

10.4 试验实施方案

试验实施方案的主要内容如下：

- a) 试验目的；
- b) 试验要求；
- c) 试验件状态；

- d) 试验工况；
- e) 具体实施方案；
- f) 试验成功判据；
- g) 试验的中断或异常情况及其处理原则；
- h) 试验分工及职责；
- i) 安全性措施。

10.5 试验记录

试验记录的主要内容如下：

- a) 试验项目、试验件名称、试验日期、参试人员；
- b) 试验件状态；
- c) 试验设备与测试系统框图；
- d) 试验件安装、测点布置图、传感器及其安装方法；
- e) 试验的中断或异常情况处理记录；
- f) 照片或影像记录；
- g) 与试验大纲要求不一致的情况；
- h) 试验大纲要求记录的其他数据；
- i) 记录人签字。

10.6 试验报告

试验报告的主要内容如下：

- a) 试验目的与要求；
- b) 试验件及其安装状态描述；
- c) 试验方法与测试系统描述；
- d) 试验中异常情况及其处理过程描述；
- e) 试验条件和试验程序；
- f) 测试数据记录；
- g) 测量误差分析；
- h) 试验数据处理和结果；
- i) 与试验实施相关的评定与建议。

10.7 试验总结报告

试验总结报告的主要内容如下：

- a) 试验方案及试验过程的简单描述；
- b) 试验实施过程所有与试验大纲要求不一致的情况、原因及其影响分析；
- c) 最终实施的试验条件；
- d) 试验结果；
- e) 试验结论及改进建议等。

10.8 会签与评审要求

文件的会签按QJ 1714.9B—2011的相关规定执行。试验方案、试验大纲、试验实施方案、试验总结报告一般应进行评审。

中华人民共和国航天行业标准

**月球探测器着陆缓冲机构
试验要求**

QJ 20612—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

*

2017 年 2 月出版

定价：40 元