

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1680

QJ 20537.4—2016

月面环境地面模拟要求及方法 第4部分：月尘模拟

Requirement and method for field simulation of lunar environment—
Part4: Simulation of lunar dust

2016—12—14 发布

2017—03—01 实施

国家国防科技工业局 发布

前 言

QJ 20537《月面环境地面模拟要求及方法》分为六个部分：

- 第1部分：月壤地面模拟；
- 第2部分：月面地形地貌模拟；
- 第3部分：低重力模拟；
- 第4部分：月尘模拟；
- 第5部分：月面光照模拟；
- 第6部分：超低温模拟。

本部分为QJ 20537的第4部分。

本部分的附录 A 为资料性附录。

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：北京卫星环境工程研究所、哈尔滨工业大学。

本部分主要起草人：田东波、白 羽、王志浩、李 蔓、李 宇、于 强、聂翔宇、王晶虎、秦 玮、杨艳斌、张永泰、刘荣强、李丽芳。

月面环境地面模拟要求及方法

第4部分：月尘模拟

1 范围

本部分规定了月尘粒径、密度、剪切特性、电导率、介电常数测试方法，巡视器车轮扬尘模拟试验方法，月尘耐磨性模拟试验方法及月尘沉积模拟试验方法。

本部分适用于月面探测器材料、部件及单机的月尘环境适应性分析及试验验证。

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。

GB/T 1409—2006 测量电气绝缘材料在工频、音频、高频（包括米波波长在内）下电容率和介质损耗因数的推荐方法

GB/T 1410—2006 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法

GB/T 7702.2—1997 煤质颗粒活性炭试验方法—粒度的测定

GB/T 16913—2008 粉尘物性试验方法中有效密度的测定（比重瓶法）

GB/T 50123—1999 土工试验方法标准

GJB 1027 运载器、上面级和航天器试验要求

QJ 1558A—2012 真空条件下材料挥发性性能测试方法

QJ 2630.1 航天器组件空间环境试验方法 第1部分：热真空试验

QJ 20001—2011 月球探测工程术语

3 术语和定义

GJB 1027、QJ 20001—2011、QJ 2630.1 和 QJ 1558A—2012 确立的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1

颗粒密度 grain density

模拟月尘颗粒单位体积的质量。

注：单位为克每立方厘米（g/cm³）。

3.2

月尘粒径分布 lunar particle-size distribution

月尘中各种粒径或粒径范围的尘粒所占的百分比。

注：以质量统计形式表征粉尘粒径质量分布，用百分比表示。

3.3

重量磨损 weight wear

以被磨损的重量表示的磨损量。

注：单位为克（g）。

3.4

磨损率 wear rate

磨损量相对于产生磨损的行程或时间之比。

注：磨损率通常可用三种方式表示：

- 1) 单位滑动距离的材料磨损量，单位为克每米 (g/m)；
- 2) 单位时间的材料磨损量，单位为克每小时 (g/h)；
- 3) 每转或每一摆动的材料磨损量，单位为克每转 (g/r)。

3.5

月尘沉积 lunar dust deposition

月尘在月球重力作用下附着在月面探测器表面的现象。

4 月尘主要特性的测试方法

4.1 概述

月尘主要特性包括粒径、颗粒密度、压缩性（压缩系数）、抗剪性（内摩擦角和内聚力）、电导率以及介电常数等，其测试方法包括粒径分布测试、颗粒密度测试、剪切特性测试、电导率测试以及介电常数测试。月尘附着危害及物理特性参见附录 A。

4.2 粒径分布测试

采用 GB/T 7702.2—1997 规定的方法测试月尘粒径分布。如果粒径划分精度无法满足试验要求，则选用精度为 $1\mu\text{m}$ 、测量范围涵盖 $1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 的粒径分布测试设备。

4.3 颗粒密度测试

采用 GB/T 16913—2008 规定的方法测试月尘密度。

4.4 剪切特性测试

采用 GB/T 50123—1999 规定的方法测试月尘颗粒内摩擦角和内聚力。

4.5 电导率测试

4.5.1 测试系统

测试系统包括真空容器、测试电极和测试装置，将测试电极装置放置于真空容器内部，测试电极通过穿真空法兰连接至外部的测量装置，测试系统如图 1 所示。建议测试状态下保持真空度优于 $1\times 10^{-4}\text{Pa}$ 。

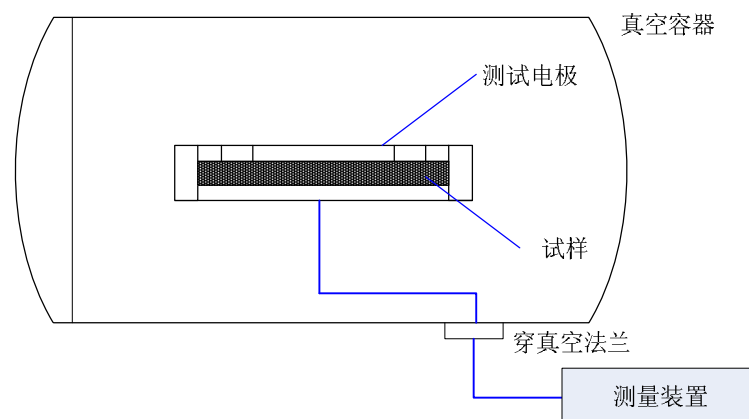


图 1 测试系统示意图

如图 2 所示，在 GB/T 1410—2006 中图 2 电极装置的基础上，加装外绝缘环和间隔绝缘环，保证模

拟月尘颗粒与电极紧密接触，绝缘环材料可选用高绝缘的玻璃或聚四氟乙烯。

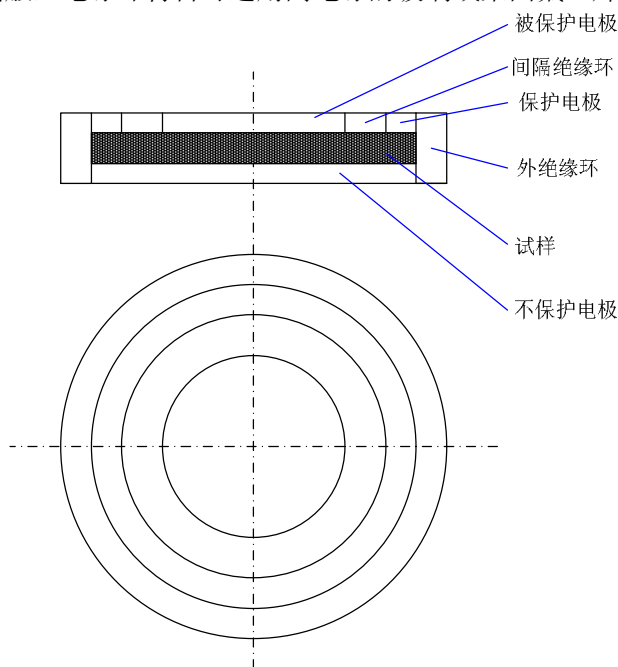


图2 颗粒物体电导率测试电极装置示意图

4.5.2 试验样品处理

采用 QJ 1558A—2012 规定的测试方法对模拟月尘试验样品进行真空烘烤除气处理。

4.5.3 试验样品固定

将配比完成的月尘均匀地布置在有外绝缘环限制的不保护电极上，在其上分别布置保护电极、间隔绝缘环及被保护电极并压紧。

4.5.4 测试电路

电导率采用 GB/T 1410—2006 中 6.1 规定的伏安法进行测试。

4.5.5 计算方法

电导率采用 GB/T 1410—2006 中 12.1 规定的计算公式进行计算，有效面积采用 GB/T 1410—2006 附录 B 中的计算公式进行计算。

4.6 介电常数测试

4.6.1 测试系统

测试系统包括真空容器、测试电极和测试装置，将测试电极装置放置于真空容器内部，测试电极通过穿真空法兰连接至外部的测量装置，测试系统如图 1 所示。建议测试状态下保持真空度优于 $1 \times 10^{-4} \text{Pa}$ ，采用图 2 所示的测试电极。

4.6.2 试验样品处理

可采用 QJ 1558A—2012 规定的测试方法对模拟月尘试验样品真空烘烤除气处理。

4.6.3 试验样品固定

将配比完成的月尘均匀地布置在有外绝缘环限制的不保护电极上，在其上分别布置保护电极、间隔绝缘环及被保护电极并压紧。

4.6.4 测试电路

介电常数采用 GB/T 1409—2006 中第 6 章规定的方法进行测试。

4.6.5 计算方法

介电常数按 GB/T 1409—2006 中 8.1 规定的公式进行计算，极间法向电容和有效面积按 GB/T 1409—2006 中表 1 的规定进行计算。

5 月尘模拟试验方法

5.1 巡视器车轮扬尘模拟试验方法

5.1.1 试验目的

确定月面巡视器行驶过程中车轮扬尘高度。

5.1.2 试验原理

在模拟真空环境下，模拟巡视器单个车轮在模拟月尘上行驶，当车轮转速达到临界速度时，产生车轮扬尘现象，继续增加车轮转速，获得车轮转速与月尘扬起的高度关系。车轮扬尘模拟试验系统如图 3 所示。

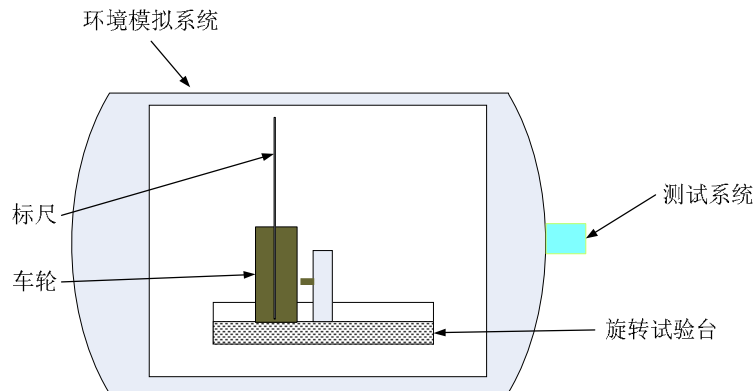


图 3 月尘扬尘模拟系统示意图

5.1.3 试验要求

5.1.3.1 试验系统

5.1.3.1.1 概述

试验系统包括环境模拟系统、扬尘系统和测试系统。

5.1.3.1.2 环境模拟系统

环境模拟系统要求包括：

- 真空度不低于 $5.0 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ；
- 真空室一般采用不锈钢制成，真空罐壁设置观察窗；
- 真空系统应采用无油系统，以降低对试验样品的污染。

5.1.3.1.3 扬尘系统

扬尘系统要求包括：

- 系统内设置车轮行驶旋转试验台，试验台为圆盘形，内部盛放模拟月尘厚度应大于车轮半径；
- 试验台内盛装模拟月尘，巡视器车轮应设置加力装置，可根据任务需要实现巡视器重量的模拟；
- 试验台转速为 $0 \text{ r/min} \sim 20 \text{ r/min}$ 。

5.1.3.1.4 测试系统

采用粒子图像测速仪（PIV）测试和拍摄高速运动的颗粒及颗粒速度场。粒子图像测速仪由脉冲激光器、片光源、CCD、高速图像数据接口板、同步器、图像分析系统及计算机构成。拍摄平面区域的

尺寸不小于 400mm×400mm，标尺精度优于 1mm，实时跟踪扬起的月尘颗粒。

5.1.3.2 模拟月尘

建议选取成分以火山灰为主要原料制备的模拟月尘，粒径根据试验要求配制，试验前应进行干燥脱气。

5.1.3.3 试验室环境

除另有规定外，试验室环境一般为：

- a) 温度：15℃～35℃；
- b) 相对湿度：20%～80%；
- c) 大气压力：78kPa～103kPa。

5.1.3.4 试验安全

安全应符合以下要求：

- a) 试验人员应佩戴防尘口罩/面罩；
- b) 在真空容器内安装拆除试验件时应避免磕碰；
- c) 试验操作时应严格遵守操作规程。

5.1.4 试验程序

5.1.4.1 试验准备

试验准备工作如下：

- a) 旋转试验台内布置模拟月尘，布尘高度大于车轮半径，使巡视器车轮与模拟月尘紧密接触；
- b) 安装巡视器车轮，并通过砝码调节车轮配重；
- c) 调试旋转试验台，确定试验台可正常运转后安置于真空容器内；
- d) 调试电机功率确保巡视器车轮及旋转试验台稳定运转；
- e) 调节测试系统，确认激光光源照射稳定、拍摄图像清晰。

5.1.4.2 试验过程

试验过程如下：

- a) 启动真空容器配套真空获取装置，直到真空度优于 5×10^{-2} Pa。
- b) 开启粒子图像测速仪（PIV）测试系统，设置激光拍摄模式、系统工作频率、激光脉冲延迟时间、粒子图像测速仪（PIV）曝光时间等参数。将相机拍摄模式调整为实时监测模式，实时监测真空容器内车轮扬尘程度。
- c) 启动电机驱动电源，保持旋转试验台和车轮均逆时针旋转，待车轮旋转平稳后通过粒子图像测速仪（PIV）显示器窗口观察车轮扬尘情况。
- d) 当车轮在较低转速旋转时无扬尘现象发生，按试验要求增加车轮转速，直到月尘在某一速度下临界起尘。调整相机拍摄模式，通过粒子图像测速仪实时采集不少于 10 组车轮在该转速下的扬尘图像，即可获得扬尘高度。
- e) 车轮临界起尘后，以试验要求的速度增加车轮转速，每组不同转速下均采集不少于 10 组扬尘图像，同时记录扬尘高度和颗粒速度方向。
- f) 当车轮转速达到试验要求时停止测试。

5.1.4.3 试验结束

完成车轮扬尘试验后对真空容器放气，放气后打开容器门，车轮卸载，清洁车轮及容器。

5.1.5 试验中断与处理

试验设备发生故障，待故障排除后重新试验，按下列步骤进行：

- a) 关闭电源和测量装置，真空容器复压；
- b) 待复压完毕打开容器，检查故障原因；
- c) 排除故障；
- d) 重新开始试验。

5.1.6 试验结果分析

通过扬尘图像，将扬尘颗粒高度与标尺比对，读取扬尘高度，精度为 1mm。不同车轮转速下，选取读数最大数值作为该转速下扬尘高度值。

5.1.7 试验文件

5.1.7.1 试验前文件

试验前文件的准备，包括：

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

5.1.7.2 试验过程记录

试验过程中的记录一般包括：

- a) 试验名称、试验类型、试验日期、试验设备等相关信息；
- b) 试验时间；
- 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。

5.1.7.3 试验后文件

试验后文件一般包括：

- a) 试验操作过程及结果；
- 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。

5.2 月尘耐磨性模拟试验方法

5.2.1 试验目的

测量材料与模拟月尘磨粒发生表面滑动摩擦时的磨损特性参数，评估其在月表条件下的耐磨程度。

5.2.2 试验原理

在一定的真空环境、正压力和摩擦速度条件下，使摩擦副经过磨粒相互摩擦，测定并计算摩擦过程中试验样品的摩擦力（或摩擦系数）变化和材料磨损率指标。耐磨性试验系统基本构成如图 4 所示。

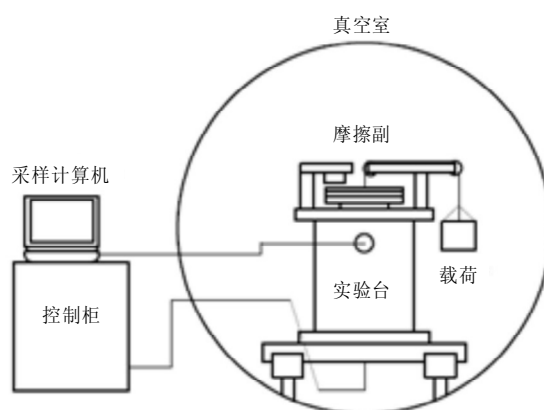


图4 耐磨性试验系统示意图

5.2.3 试验要求

5.2.3.1 试验系统

试验系统应满足下列要求：

- a) 真空度应不低于 $5.0 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ；
- b) 真空系统应采用无油系统，以降低真空室内试验样品的污染；
- c) 采用摩擦力检测传感器，摩擦力测试分辨率不低于 0.01N ，精度应优于 0.1% ；
- d) 试验样品与摩擦头相对速度按型号设计指标要求设定，速度波动不超过 $\pm 5\%$ ；
- e) 摩擦行程应根据型号设计指标要求设定；
- f) 摩擦力应具备 $0 \text{N} \sim 100 \text{N}$ 加载能力，试验时根据型号设计指标要求设定载荷数值；
- g) 实验台水平放置样品，应能使颗粒在试验过程中始终保持在摩擦副作用面之间；
- h) 测试系统具有对静、动摩擦力记录和数据处理功能；
- i) 配备高精度天平测量精度优于 $1 \times 10^{-4} \text{g}$ ；具有自动调零和调节水平功能。

5.2.3.2 模拟月尘

采用的磨粒为模拟月尘颗粒。主要指标应满足：

- a) 粒径范围：根据试验要求；
- b) 成分：根据试验要求；
- c) 形状：以不规则形状为主；
- d) 数量：单次试验添加量： $0.01 \text{g} \pm 0.005 \text{g}$ 。

5.2.3.3 试验样品

除有特殊需要的情况外，试验样品应满足如下要求：

- a) 试验样品应按照产品一致的设计材料进行加工；
- b) 试验样品端面与其轴线的垂直度允差为 $12 \mu\text{m}$ ，试验样品试验表面的粗糙度 R_a 不大于 $1.6 \mu\text{m}$ ；
- c) 试验样品试验表面应无任何缺陷和附着物；
- d) 不同的试验样品应在非试验表面上标有明显的区分标记。

5.2.3.4 试验室环境

同 5.1.3.3。

5.2.3.5 试验安全

同 5.1.3.4。

5.2.4 试验程序

5.2.4.1 试验准备

试验准备工作如下：

- a) 对试验及测试设备的性能进行测试，确保达到试验要求；
- b) 对试验样品进行外观检查，保持清洁并确保试验样品无多余物；
- c) 对试验样品进行标号，称重；
- d) 安装试验样品，在试验样品表面添加模拟月尘颗粒；
- e) 安装压头。

5.2.4.2 试验过程

试验步骤如下：

- a) 启动真空容器配套真空获取装置，直到真空度优于 $5 \times 10^{-2} \text{Pa}$ ；
- b) 开启摩擦磨损试验机循环冷却水系统；
- c) 落下摩擦压头，并施加设定载荷；
- d) 启动电源，使试验样品与摩擦头相对摩擦速度达到设定值，速度波动不超过 $\pm 5\%$ ；
- e) 摩擦行程不少于设定值，记录摩擦过程中的摩擦力曲线变化；
- f) 停止磨擦试验，真空容器复压；
- g) 打开真空容器，取下试验样品；
- h) 清理并收集试验样品磨屑，并对试验样品称重；
- i) 更换新的试验样品，重复步骤 a)~h)，直至所有样品完成试验。

5.2.4.3 试验结束

按下列步骤进行：

- a) 从试验台上拆除试验样品，拆除过程应避免振动，防止表面月尘沉积状态发生变化；
- b) 试验样品称重后，置于干燥皿中；
- c) 清除磨损机内残余模拟月尘及磨屑颗粒；
- d) 试验结束。

5.2.5 试验中断与处理

同 5.1.5。另外当试验出现如下任意一种情况，即可判定为试验材料的摩擦性能失效，立即停止试验。拆检试验片，观察并记录摩擦副的失效情况。

中止条件 1：外观产生烧伤点；

中止条件 2：摩擦力曲线出现异常上升或异常下降现象。

5.2.6 试验结果分析

5.2.6.1 摩擦系数确定方法

5.2.6.1.1 计算方法

读取运动瞬间摩擦力的最大值为静摩擦力 F_s ，静摩擦系数 μ_s 按公式 (1) 计算；在摩擦表面的全过程中，动摩擦系数 μ_k 是波动的，平均动摩擦系数 $\bar{\mu}_k$ 按公式(2)计算；动摩擦系数平均偏差变异系数 MMD 按公式 (3) 计算。

$$\mu_s = \frac{F_s}{P} \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{\mu}_k = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^L \mu_k dL \dots\dots\dots (2)$$

$$MMD = \frac{1}{L_{\max}} \int_0^L |\mu_k - \bar{\mu}_k| dL \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- μ_s —— 静摩擦系数;
- F_s —— 静摩擦力的数值, 单位为牛 (N);
- P —— 施加试验样品上的垂直压力的数值, 单位为牛 (N);
- $\bar{\mu}_k$ —— 平均动摩擦系数;
- L_{\max} —— 最大摩擦距离的数值, 单位为米 (m);
- μ_k —— 动摩擦系数;
- L —— 摩擦距离的数值, 单位为米 (m);
- MMD —— 动摩擦系数平均偏差变异系数。

5.2.6.1.2 摩擦系数数据处理方法

计算试验样品静摩擦系数、动摩擦系数和动摩擦系数平均偏差变异系数的平均值作为试验结果, 静、动摩擦系数均保留三位小数, 动摩擦系数平均偏差变异系数保留两位小数。

5.2.6.2 质量磨损率确定方法

根据试验前后试验样品的称重, 按公式 (4) 计算质量磨损率。

$$\delta = \frac{M_0 - M_1}{L} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- δ —— 质量磨损率的数值, 单位为克每米 (g/m);
- M_0 —— 试验前试验样品质量的数值, 单位为克 (g);
- M_1 —— 试验后试验样品质量的数值, 单位为克 (g)。

5.2.6.3 耐磨性能判据

若试验过程中, 被试验的材料未出现摩擦性能失效, 采用单位滑动距离的材料质量磨损率 δ (即耐磨性的倒数) 作为主要判据, 摩擦系数作为参考判据:

- a) δ 数值越小, 材料的耐磨性越好;
- b) δ 数值相同时, 动摩擦系数 μ_k 数值越小越好;
- c) δ 和 μ_k 数值相同时, MMD 数值越小越好。

5.2.7 试验文件

同 5.1.7。

5.3 模拟月尘沉积试验方法

5.3.1 试验目的

检验月面探测器在月尘沉积条件下的适应性。

5.3.2 试验原理

模拟试验件在月面工作条件下月表扬尘在试验件表面的沉积效应, 使用淋撒机构在试验件表面淋撒沉积指定质量的模拟月尘, 测试试验件光学、热学或力学特性在模拟月尘附着前后的变化。

5.3.3 试验要求

5.3.3.1 试验条件

5.3.3.1.1 沉积质量

沉积质量根据试验任务书确定, 单位为克每平方米 (g/m^2)。

5.3.3.1.2 试验压力

模拟月尘沉积试验可选择在大气或者真空条件下实施。如果试验件敏感表面安装条件为水平，且试验件本身不要求真空环境工作，可选择在大气条件下实施试验；如果试验件敏感表面安装条件为非水平状态，或者试验件本身要求在真空环境下工作，或额外施加的其他环境因素要求在真空环境下工作，则选择在真空条件下实施试验，推荐真空度优于 $5 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 。

5.3.3.2 试验系统

5.3.3.2.1 试验系统概述

试验系统一般由真空容器、淋撒机构、振动控制器、试验件、测试平台、控制与测量设备及高精度天平组成，组成示意图如图 5 所示。

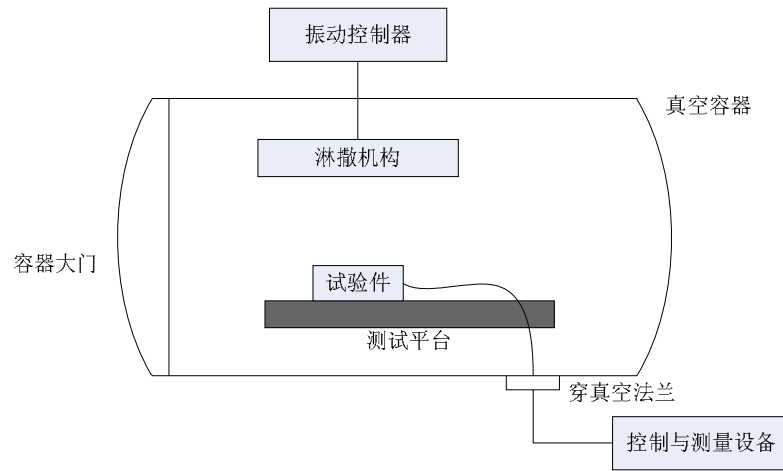


图5 试验系统组成示意图

图中淋撒机构用于在试验件上模拟沉积指定质量月尘颗粒，淋撒机构安装于真空容器上部，试验件安装固定于测试平台上，其控制或测试线缆通过穿真空法兰，与外部的控制与测量设备连接。

5.3.3.2.2 真空容器

真空容器应满足以下要求：

- a) 真空容器应符合 QJ 2630.1 的规定；
- b) 真空容器接地电阻应不大于 1Ω ；
- c) 真空容器配套真空获取装置应为无油系统；
- d) 真空容器应具备一定的防尘能力。

5.3.3.2.3 淋撒机构

淋撒机构应满足以下要求：

- a) 淋撒机构的有效淋撒面积大于试验件考核部位，且考核部位外边界距离淋撒边界不小于 3cm ；
- b) 淋撒机构落尘量精确可控，推荐淋撒机构落尘量控制精度优于 $2\text{g}/\text{m}^2$ ；
- c) 淋撒机构落尘不均匀性小于 30% 。

5.3.3.2.4 测试平台

测试平台应满足以下要求：

- a) 测试平台用金属材料制造；
- b) 测试平台结构应便于试验件安装；
- c) 测试平台接地电阻应不大于 1Ω ；

d) 测试平台表面应便于清洁。

5.3.3.2.5 控制与测量设备

控制与测量设备主要实现对试验件的运动控制与在线测量功能,应满足对光学和运动特性测试的需求。

5.3.3.2.6 高精度天平

高精度天平用于校准淋撒月尘质量,测量灵敏度优于 $1\times 10^{-4}\text{g}$,量程不大于300g。

5.3.3.3 试验件要求

5.3.3.3.1 试验件选择

试验件应符合以下要求:

- a) 试验件的技术状态应与实际产品状态一致;
- b) 可以使用能够接触月尘并对其敏感的组件的一部分作为试验件。

5.3.3.3.2 试验件安装要求

试验件安装应符合以下要求:

- a) 试验件应固定在测试平台上,位于淋撒机构的正下方,试验件均处于淋撒区域;
- b) 如果试验件为展开/运动部件,应确保试验件展开/运动的最大包络不碰触真空容器壁。

5.3.3.4 模拟月尘

同5.2.3.2 a)~c)。

5.3.3.5 试验室环境

同5.1.3.3。

5.3.3.6 试验安全

同5.1.3.4。

5.3.4 试验程序

5.3.4.1 试验准备

5.3.4.1.1 淋撒机构校准

校准步骤如下:

- a) 检查淋撒机构内模拟月尘质量,如模拟月尘质量较少无法满足试验要求,则补充模拟月尘;
- b) 将多个载尘片放置于测试平台上指定位置处;
- c) 关闭真空容器大门;
- d) 调节淋撒机构控制参数,振打指定次数;
- e) 关闭振打器;
- f) 使用高精度天平称量多次振打的累积落尘质量;
- g) 根据计算获得的单次平均落尘量,估算试验振打次数。

5.3.4.1.2 试验件安装

试验件安装步骤如下:

- a) 试验件固定在测试平台上;
- b) 连接试验件电连接插头;
- c) 关闭真空容器大门。

5.3.4.2 试验过程

试验步骤如下:

- a) 如试验条件为大气状态，直接跳转到步骤 c)；
- b) 启动真空容器配套真空获取装置，直到真空度达到指定值；
- c) 设定淋撒机构参数，振打指定次数；
- d) 按照试验方案控制试验件实施指定操作；
- e) 测试试验件功能指标，如试验件主要实现热控功能，可测试其太阳吸收率和红外发射率；如试验件为光学部件，可测试其透射率；如试验件为展开机构，可记录其展开过程；如试验件为旋转运动部件，可测试其扭矩及其他电测信号；如试验件为太阳电池片/板，可测试其暗特性或光特性指标；
- f) 按操作规程停止测试系统；
- g) 容器复压，如试验条件为大气状态，则跳过本步骤；
- h) 打开真空容器大门。

5.3.4.3 试验结束

按下列步骤进行：

- a) 从测试平台上拆除试验件，尽可能避免振动，防止表面月尘沉积状态发生变化；
- b) 将试验件移动至专用测试装置处，移动过程尽可能缓慢，避免振动及气流带来的影响；
- c) 检测试验件性能，步骤同 5.3.4.2 e)；
- d) 按照试验方案清除试验件上沉积的模拟月尘；
- e) 清除测试平台上沉积的模拟月尘；
- f) 试验结束。

5.3.5 试验中断与处理

除按 5.1.5 要求外，当试验件出现下列故障时，需中断试验，待故障排除后重新进行试验：

- a) 试验中试验件出现自身工作故障无法继续试验；
- b) 试验中试验件由于预期外的原因影响试验系统正常运行。

若由于试验件引起中断，需要按下列步骤操作：

- a) 若试验件处于运行状态，应按试验技术要求停止试验件运行并切断电源；
- b) 停止测量系统及真空获取系统操作；
- c) 待容器复压后打开容器，检查并排除故障；
- d) 排除故障后，判断试验件性能状态是否能继续用于试验，若在试验中断前或中断过程中试验件的性能受到影响，无法恢复到试验前状态，则需要更换试件。

5.3.6 试验文件

同 5.1.7。

附 录 A
(资料性附录)
月尘附着危害及物理特性

A.1 月尘附着危害

月尘环境对探测器影响及危害见表 A.1。

表A.1 月尘对探测器产品影响及危害

| 试验件类型 | 试验件名称 | 作用机制 | 影响 |
|-------|--------|--------|------------|
| 功能材料 | 表面热控材料 | 附着 | 吸收率、发射率变化 |
| | 光学材料 | 附着 | 透射率下降 |
| 机构与部件 | 展开机构 | 附着, 机械 | 产生卡滞 |
| | 运动部件 | 附着, 机械 | 卡死, 摩擦系数变大 |
| | 光学部件 | 附着, 机械 | 透射率下降 |

月尘粘附性极强, 月尘几乎能附着在所有航天产品的外表面, 对登月航天产品的光学性能、热控性能影响显著。沉积附着的月尘颗粒进入登月设备运动部件, 引起表层材料或运动部件的磨损效应, 导致仪器设备功能性障碍。附着月尘颗粒渗透至物体内部或缝隙处, 破坏产品密封性, 如密封容器等。

A.2 月尘物理特征及化学成分

A.2.1 颗粒粒径

月尘粒度分布很宽, 一般颗粒直径小于 1mm, 绝大部分颗粒直径在 30 μm ~1mm 之间, 中值颗粒直径在 40 μm ~130 μm 之间, 平均为 70 μm 左右。

A.2.2 颗粒形态

月尘的颗粒形态变化极大, 从球形到极端棱角状都有出现, 但长条状、次棱角状、棱角状的颗粒形态相对更为常见。

A.2.3 化学成分

包括 SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Cr₂O₃、FeO、MnO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅、S 等化学成分。

中华人民共和国航天行业标准

月面环境地面模拟要求及方法
第 4 部分：月尘模拟

QJ 20537.4—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