

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1610

QJ 20422.2—2016

航天器组件环境试验方法 第2部分：原子氧试验

Environment test methods for spacecraft unit—
Part 2: Atomic oxygen 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 2 部分。

本部分的附录 A、附录 B 和附录 C 为规范性附录。

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：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：姜海富、刘向鹏、李 涛、童靖宇、翟睿琼、赵 雪。

航天器组件环境试验方法

第2部分：原子氧试验

1 范围

本部分规定了航天器组件级产品原子氧试验目的、试验条件、试验要求、试验方式、试验程序、试验中断及处理、试验文件等。

本部分适用于低地球轨道上航天器组件级产品的原子氧试验。

2 术语和定义

2.1

原子氧束流密度 atomic oxygen flux

单位时间内，入射到单位面积上的原子氧数量。

注：单位为原子氧数目每平方米每秒 [atoms/(cm²·s)]。

2.2

原子氧积分通量 atomic oxygen fluence

作用到单位面积上的原子氧数量。

注：单位为原子氧数目每平方米 (atoms/cm²)。

2.3

原子氧剥蚀率 atomic oxygen erosion yield

每个原子氧撞击到材料表面引起的体积变化。

注：单位为立方厘米每原子氧 (cm³/atom)。

2.4

标定试样 witness sample

用来测量和修正原子氧束流密度的材料试样。

2.5

真空参照试样 vacuum reference sample

与标定试样或试验件相同，在真空条件下放置但不接受原子氧作用的材料试样，试样的质量损失只由于真空出气效应产生。

2.6

试验样件 test sample

具有组件的基本功能，用于进行原子氧试验的部分组件单元。

3 试验目的

验证和评估航天器组件对原子氧环境的适应性。

4 试验条件

试验条件包括试验压力、试验温度、原子氧积分通量等，具体要求按试验任务书执行。

5 试验要求

5.1 试验设备要求

5.1.1 真空室

真空室要求如下：

- a) 空载压力不低于 10^{-4}Pa ；
- b) 能提供满足试验要求的测量和供电通道；
- c) 可安装污染测量装置，如石英晶体微量天平或光学试片等；
- d) 连续空载运行 24h 后，真空室内的有机污染物一般不超过 $1.0 \times 10^{-7}\text{g/cm}^2$ 。

5.1.2 原子氧源

原子氧源要求如下：

- a) 原子氧照射面积不小于 $\Phi 150\text{mm}$ ；
- b) 原子氧照射面积内束流密度均匀性不低于 90%；
- c) 原子氧束流密度范围为 $10^{14}\text{atoms}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s}) \sim 10^{17}\text{atoms}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ；
- d) 原子氧束流能量为 $3\text{eV} \sim 10\text{eV}$ ；
- e) 原子氧的作用方式宜使用定向束流式原子氧设备。

5.2 试验件要求

5.2.1 试验件状态

试验件是试验样件和试验材料的总称，试验材料指构成组件的原材料，试验样件指由原材料组成的组件单元。

试验件状态要求如下：

- a) 试验材料尺寸不大于原子氧照射面积且能满足测试要求。例如：对于二次表面镜、漆类等热控涂层，为满足光学性能及热物理性能（太阳吸收率、热发射率等）的测试要求，试验材料尺寸可以是 $20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 的圆形件、或长、宽为 $20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 的方形件；对于胶粘剂类材料，为满足外观观察及原子氧剥蚀率测试的要求，试验材料一般制备在铝合金板上，尺寸不小于 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ ；
- b) 试验材料一般应保存在干燥皿中；
- c) 试验样件尺寸不应大于原子氧照射面积。

5.2.2 试验件安装

试验件安装要求如下：

- a) 试验材料可通过粘贴或机械装卡的方式安装到靶台上；
- b) 试验样件安装应选择牢固可靠且易于安装、拆卸的方式，一般应设计工装卡具；
- c) 试验样件工装卡具不应使用高放气污染量的材料，并尽量减小其与试验样件之间的遮挡。

5.3 试验测量要求

5.3.1 压力测量仪器

压力测量仪器要求如下：

- a) 满足压力 $1 \times 10^5 \text{Pa} \sim 1 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 的测量要求；
- b) 测量精度优于 $\pm 10\%$ ；
- c) 经二级以上（含二级）计量部门检定合格，并在有效期内使用。

5.3.2 温度测量仪器

温度测量仪器要求如下：

- a) 温度测量设备可使用热电偶或铂电阻，读取温度巡检仪温度数据；
- b) 测量精度优于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- c) 经二级以上（含二级）计量部门检定合格，并在有效期内使用。

5.4 试验环境要求

除非另有规定，试验室环境一般要求如下：

- a) 温度： $15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $20\% \sim 80\%$ ；
- c) 压力：当地大气压力。

5.5 试验安全要求

试验安全要求如下：

- a) 试验前应对试验室的水、电进行安全检查，符合试验要求；
- b) 真空室接地电阻应不大于 1Ω ；
- c) 氧气瓶应在安全区域内，远离易燃气体放置，安全附件齐全，安全阀在有效期内，保持试验室内通风状况良好；
- d) 注意试验区的防火，现场的灭火器在有效期内；
- e) 试验人员应佩戴安全防护用具；
- f) 在试验件安装过程中，应采取必要的安全防护措施。

5.6 其他

试验其他要求如下：

- a) 试验室内应采取有效措施减少或消除各种污染物，特别是有机污染物；
- b) 使用符合污染控制要求的材料和器材；
- c) 试验人员应按规定着装。

6 试验方式

6.1 概述

航天器组件原子氧试验可采取用构成组件的材料进行试验以及用试验样件进行试验两种方式。

6.2 材料试验

用材料进行试验的确定原则如下：

- a) 组件功能指标的变化可通过组件构成材料的原子氧试验和理论分析的方式获得；

- b) 组件构型简单, 构成材料相互之间一般无遮挡关系;
- c) 组件构成材料的原子氧效应相互之间无影响关系。

6.3 试验样件试验

用试验样件进行试验的确定原则如下:

- a) 组件功能指标的变化不能通过试验材料的原子氧试验和理论分析方式获得;
- b) 组件构型较为复杂, 构成材料相互之间存在遮挡关系;
- c) 组件构成材料的原子氧效应相互之间存在影响关系。

7 试验程序

7.1 试验准备

7.1.1 试验设备准备

试验设备准备过程如下:

- a) 对真空容器内部及外部进行清洁;
- b) 检查真空系统运行所需要的水、电、气等保障系统;
- c) 检查试验所用的仪器设备是否标定合格且在有效期内;
- d) 检查压力、温度等测量传感器是否正常且满足技术文件要求;
- e) 检查各设备连接是否完好;
- f) 调试试验设备, 保证其能正常工作。

7.1.2 试验件准备

7.1.2.1 试验材料准备

试验材料准备过程如下:

- a) 试验前, 按照 5.2.1 要求准备试验材料, 将其在不高于 20Pa 的压力下放置 48h, 并称量质量;
- b) 按照试验任务书要求对试验材料进行性能测试。

7.1.2.2 试验样件准备

试验样件准备过程如下:

- a) 试验前, 按照试验任务书要求对试验样件进行全面检查并作记录, 检查包括外观、洁净度、标识等, 检查过程中应避免对试验样件任何一个部位的划伤, 与试验样件接触时应使用洁净、无污染的器具, 操作人员应佩戴污染防护用具;
- b) 对试验样件进行性能测试;
- c) 试验样件有原子氧剥蚀率测试要求时, 应在试验前将其在不高于 20Pa 的压力下放置 48h, 并称量质量;
- d) 其他按照试验任务书要求执行。

7.1.3 原子氧束流密度标定

按照附录A进行原子氧束流密度标定。

7.2 试验实施

试验实施过程如下:

- a) 按 5.2.2 要求将试验件安装于试验靶台上, 并将靶台放置于真空室中与束流密度标定试验时相

同的位置；

- b) 在靶台上原子氧照射区域内粘贴标定试样,在真空容器内原子氧照射区域外放置与标定试样和试验件材料及尺寸相同的真空参照试样；
- c) 安装温度传感器,并将信号线引出真空室外,检测试验件温度；
- d) 在真空容器内靠近靶台且在原子氧照射区域之外的位置放置石英晶体微量天平及玻璃盖片,以用于试验过程中可凝结挥发物的监测及成分的测试分析；
- e) 对试验件在真空室内的安装情况拍照记录；
- f) 启动真空系统,待压力至 10^{-4}Pa 时向原子氧源内充入氧气,保持真空容器内压力不高于 10^{-2}Pa 量级；
- g) 开启原子氧设备,调节参数,待设备稳定运行参数与标定试验时的参数一致时,记录时间,同时开启石英晶体微量天平控制系统；
- h) 对积分通量大于 $2 \times 10^{21}\text{atoms/cm}^2$ 的原子氧试验,可分段进行,相邻两次试验之间试验件应在不高于 20Pa 的压力下保存；
- i) 试验过程中保持设备参数稳定,当达到要求的原子氧积分通量后,记录时间；
- j) 按操作规程关闭试验系统。

7.3 试验后处理

试验后处理过程如下：

- a) 向真空室内充入干燥的氮气复压,取出试验件,标定试样及真空参照试样；
- b) 按照附录 B 计算原子氧积分通量；
- c) 按照附录 C 计算原子氧剥蚀率；
- d) 按照试验任务书要求对试验件进行性能测试；
- e) 对试验件性能测试数据进行整理、归纳、分析,绘制试验前后试验件性能参数变化对照表或变化曲线。

8 试验中断及处理

8.1 原子氧源故障

试验过程中如发生原子氧源故障,应关闭原子氧试验设备,检查故障原因。待故障排除后,重新标定原子氧束流密度,并按新测得的束流密度继续进行原子氧暴露试验,直至达到要求的原子氧总积分通量,其中故障前试验件经受的原子氧积分通量包含在总积分通量内。排除故障期间,试验件应在不高于 20Pa 的压力下保存。

8.2 真空系统故障

试验过程中如发现试验压力降低现象,应立即关闭原子氧设备,并将试验件放置于另一真空容器中在不高于 20Pa 的压力下保存,待故障排除后,取回试验件继续进行试验,直至达到要求的原子氧总积分通量,其中故障前试验件经受的原子氧积分通量包含在总积分通量内。

8.3 停电停水故障

试验过程中如发生停电停水故障,应立即将原子氧试验设备按钮全部置于关闭状态,同时关闭高真空挡板阀,使试验件处于真空保存状态。待故障恢复后,继续进行试验,直至达到要求的原子氧总积分

通量，其中故障前试验件经受的原子氧积分通量包含在总积分通量内。

9 试验文件

9.1 试验前文件

试验前一般应具有或准备下述文件：

- 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。

9.2 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、试验日期、试验地点、试验设备等相关信息；
- b) 试验持续时间；
- c) 试验过程参数；
- d) 试验中出现的故障及处理情况。

9.3 试验后文件

试验后一般应给出下述文件：

- 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。试验报告一般包括如下内容：
 - 1) 概述（任务来源及背景）；
 - 2) 试验目的及要求（根据试验任务书提出的试验目的填写）；
 - 3) 试验设备及方法；
 - 4) 试验实施；
 - 5) 试验数据（试验中采用的原子氧束流密度、原子氧积分通量、试验前后试验件性能数据等）；
 - 6) 试验结果及分析（试验前后试验件性能变化分析、试验照片等）；
 - 7) 试验结论。

附 录 A
(规范性附录)
原子氧束流密度标定

一般采用质量损失法对原子氧束流密度进行标定，具体步骤及要求如下：

- a) 按照试验时的靶台位置，以原子氧束流中心为圆心，将整个靶台区域分为多个同心圆环，并绘制通过圆心且相互垂直的轴线；
- b) 将美国杜邦公司生产的 Kapton H 或 HN 材料制成标定试样及真空参照试样，在不高于 20Pa 的压力下放置 48h 后，向真空室内充入干燥的氮气复压，取出标定试样及真空参照试样并称量质量，设定粘贴于某一圆环上标定试样 1 的质量为 M_1 ，真空参照试样的质量为 M_2 ；
- c) 将标定试样粘贴于试验靶台上，其方法是在每个圆环与轴线交点位置粘贴试样，同时在同心圆圆心粘贴试样，在原子氧照射区域外放置真空参照试样；
- d) 按照 7.2 f) ~i) 进行试验。试验后，关闭试验系统，称量试样质量。标定试样 1 的质量为 M_3 ，真空参照试样的质量为 M_4 ；
- e) 按公式 (A.1) 计算标定试样 1 所在位置处原子氧束流密度，其余位置处原子氧束流密度的计算方法类似；

$$F_{\text{test}} = \frac{(M_1 - M_3) - (M_2 - M_4)}{A_w r_w E_w t} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- F_{test} ——原子氧束流密度，单位为原子氧数目每平方厘米每秒 [atoms/(cm²·s)]；
- $M_1 - M_3$ ——标定试样的质量损失，单位为克 (g)；
- $M_2 - M_4$ ——真空参照试样的质量损失，单位为克 (g)；
- A_w ——标定试样的面积，单位为平方厘米 (cm²)；
- r_w ——标定试样的密度，单位为克每立方厘米 (g/cm³)；
- E_w ——标定试样的原子氧剥蚀率，单位为立方厘米每原子氧 (cm³/atom)；
- t ——标定试样在原子氧环境中的暴露时间，分段试验时为各段暴露时间总和，单位为秒 (s)。
- f) 标定试样一般为厚度 0.025mm~0.100mm、长宽在 20mm~40mm 的方形试样，或者是直径为 20mm~40mm 的圆形试样；
 - g) 当标定试验原子氧积分通量较大，能够将试样完全剥蚀掉时，可采用同一材料叠加的多层试样作为标定试样；
 - h) 当标定试验原子氧积分通量超过 2×10^{21} atoms/cm² 时，标定试样选用 Kapton H。

附录 B
(规范性附录)
原子氧积分通量计算

试验件的原子氧积分通量按公式 (B.1) 计算。

$$\Phi = \frac{(m_1 - m_2) - \Delta m}{r_w A_w E_w} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- Φ ——原子氧积分通量，单位为原子氧数目每平方米 (atoms/cm²)；
- m_1 ——试验前标定试样 Kapton 的质量，单位为克 (g)；
- m_2 ——试验后标定试样 Kapton 的质量，单位为克 (g)；
- Δm ——试验前后真空参照试样 Kapton 的质量损失，单位为克 (g)。

附 录 C
(规范性附录)
原子氧剥蚀率计算

试验件的原子氧剥蚀率按公式 (C.1) 计算。

$$R_e = \frac{(\Delta m_1 - \Delta m_2) / r}{F A_k} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- R_e —— 试验件的原子氧剥蚀率, 单位为立方厘米每原子氧 (cm^3/atom);
- Δm_1 —— 试验件的质量损失, 单位为克 (g);
- Δm_2 —— 试验件真空参照试样的质量损失, 单位为克 (g);
- r —— 试验件的密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm^3);
- A_k —— 试验件的面积, 单位为平方厘米 (cm^2).

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 2 部分：原子氧试验

QJ 20422.2—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：24 元