

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1680

QJ 20421—2016

空间对接机构热真空环境对接与 分离试验方法

**Docking and separation test method for space docking mechanism system in
thermal vacuum environment**

2016—01—19 发布

2016—03—01 实施

国家国防科技工业局 发布

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八研究院第八〇五研究所。

本标准主要起草人：邱华勇、陈宝东、柏合民、邵济明、郑云青、秦彦、钟鸣、赵蔚、丁立超、杨晟曦、单丰丽。

空间对接机构热真空环境对接与分离试验方法

1 范围

本标准规定了空间对接机构热真空环境对接与分离试验的试验目的、试验要求、试验设备、试验程序及判定等。

本标准适用于导向板内翻式异体同构周边式对接机构（除特别说明之外，以下简称对接机构）的热真空环境对接与分离试验。其他类型的空间对接机构热真空环境对接与分离试验可参照使用。

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。

GJB 2496—1995 载人飞船航天工程术语

3 术语和定义

GJB 2496—1995确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

空间对接机构 **space docking mechanism system**

使在空间轨道上运行的两飞行器在结构上连接成组合体的机构系统。一般包括主动对接机构和被动对接机构。

3.2

主动对接机构 **active docking mechanism**

在两飞行器的对接过程中，主动完成对接功能的对接机构。一般安装在追踪飞行器上。

3.3

被动对接机构 **passive docking mechanism**

在两飞行器的对接过程中，被动配合主动对接机构完成对接功能的对接机构。一般安装在目标飞行器上。

3.4

对接机构机械组件 **mechanical part of docking mechanism**

空间对接机构的机械组成部分，简称机械组件。

3.5

对接初始条件 **docking initial contact conditions**

两飞行器主被动对接机构第一次机械接触时，追踪飞行器对接坐标系与目标飞行器对接坐标系之间相对位置与相对姿态及其一阶导数。

3.6

对接 **docking**

两飞行器从碰撞接触开始到完成连接的整个工作过程。一般包括捕获、缓冲、校正、拉近、刚性连接等相关工作过程。

3.7

分离 separation

两飞行器由连接状态解锁实现分开独立飞行的过程。

3.8

捕获 capture

两飞行器由接触到实现柔性连接的过程。

3.9

缓冲 buffer

对接机构减缓碰撞载荷，并贮存和消耗两飞行器相对运动能量的过程。

4 试验目的

对接机构热真空环境对接与分离试验的主要试验目的如下：

- a) 在热真空环境条件下，考核对接机构对接与分离全过程的功能，验证对接机构的设计与工艺对热真空环境的适应性；
- b) 通过全过程工作，考核对接机构机械组件与控制设备联合工作的匹配性与协调性。

5 试验要求

5.1 一般要求

对接机构热真空环境对接与分离试验的一般要求为：

- a) 要求模拟对接机构环境试验条件规定的热真空环境；
- b) 要求热真空对接试验台能实现对接机构的对接与分离完整的工作过程；
- c) 试验时，应选择一个接口匹配的对接机构，与试验件配合进行试验，或者主被动对接机构两个产品联合作为试验件进行试验；
- d) 所有试验设备应经计量检定或校准，并处于合格检定或校准周期内，包含空间模拟试验室及热模拟装置。

5.2 试验条件

试验条件包括热真空环境试验条件、对接初始条件工况、对接目标质量特性。热真空环境试验条件一般由对接机构产品上级总体单位专用文件规定的环境试验条件或者由对接机构承制单位与总体单位协调确定。

5.3 试验场地

试验场地的一般要求为：

- a) 温度：20℃±5℃；
- b) 大气压力：常压；
- c) 相对湿度：40%~60%；
- d) 洁净度：对接机构产品区域优于10万级；
- e) 在进行试验时，试验区域周围应采取防护措施并设置警示牌；
- f) 对试验场地环境有特殊要求时，应符合试验大纲或相关技术文件的要求。

5.4 试验件

试验件要求如下：

- a) 对接机构试验件的技术状态应符合试验大纲的要求；

- b) 试验件在试验前，应完成性能测试、振动试验和热循环试验，测试合格及试验通过后方可参加此试验。

5.5 安装

试验（包括试验件安装及试验台安装）的安装要求如下：

- a) 安装应按试验吊装或安装方案的要求和步骤进行；
- b) 安装过程中应避免磕碰试验件；
- c) 安装过程，应保证各方的接口协调，包括空间模拟室的承重、机械安装接口等；
- d) 安装结束应保证试验件良好接地。

5.6 安全性

试验过程中的安全要求如下：

- a) 试验全过程应确保人员、试验件、设备等各方的安全，在试验大纲中应有相关的安全要求；
- b) 对试验过程可能发生的危险应制定安全应急预案；
- c) 试验过程应严格执行相关的安全规章制度，如对带火工品的试验件进行操作时应佩戴防静电手环等。

5.7 试验数据采集和处理

试验数据采集和处理要求如下：

- a) 采样频率应不小于500Hz；
- b) 位移测量精度应优于0.1mm，角度测量精度应优于0.01°，速度测量精度应优于1mm/s，力/力矩测量精度应优于1%；
- c) 对接初始条件实现的误差应优于10%；
- d) 小腔漏率测试精度应优于 10^{-2} （Pa•L/s）。

5.8 试验故障处理

故障处理要求包括：

- a) 对试验过程可能发生的故障应制定故障预案，如发生故障，应按故障预案执行；
- b) 试验过程中，如对接机构试验件出现故障，应首先在不开罐情况下进行试验件的故障排查和修复，如无法修复和继续试验，则考虑停止试验，打开真空罐进一步进行试验件故障排查和修复；
- c) 开罐后，重新进行试验，如故障试验件修复不涉及真空敏感组件或器件，则故障前进行的循环试验有效；
- d) 试验过程中，如试验地面设备出现故障，首先应维持试验件在安全状态，待地面设备故障排除后，或者更换备份地面设备，方可继续进行试验。

5.9 试验文件

试验文件一般包括：

- a) 试验大纲；
- b) 试验细则；
- c) 工艺文件；
- d) 吊装方案；
- e) 试验过程记录表；
- f) 原始试验数据（电子记录）；
- g) 试验报告。

5.10 质量管理

试验质量管理要求如下：

- a) 试验指挥负责试验全过程，试验人员应经过培训，并持证上岗；
- b) 所有参试人员均应配置工作服、帽、鞋，按要求着装准时上岗；
- c) 对试验过程可能发生的故障和危险应制定故障预案和安全预案，相应的技术安全保证措施应时刻处于应急工作状态；
- d) 按故障预案及时排除试验过程中出现的异常现象或故障；
- e) 监控实施过程，按口令操作，确保试验各环节各岗位操作无误；
- f) 试验流程的转换应经试验总负责人确认后，转入下一程序。

6 热真空环境对接与分离试验

6.1 概述

试验的真空环境是通过空间模拟室真空泵抽真空实现；试验的热环境即试验件的高低温环境是通过液氮热沉冷环境与热模拟装置热环境联合控制实现。

对接与分离试验，是通过滚珠丝杠原理，将旋转运动转化为直线运动，利用旋转飞轮模拟实现对接惯量，通过六个电机驱动滚转丝杠完成对接与分离过程试验台六个方向的运动功能，其中纵向（X向）运动实现对接惯量和对接速度，横向（Y、Z向）及俯仰、偏航、滚转方向（RZ、RY、RX向）驱动运动实现对接初始条件。

6.2 试验设备

6.2.1 试验设备组成

对接机构热真空环境对接与分离试验设备组成一般如图1所示。

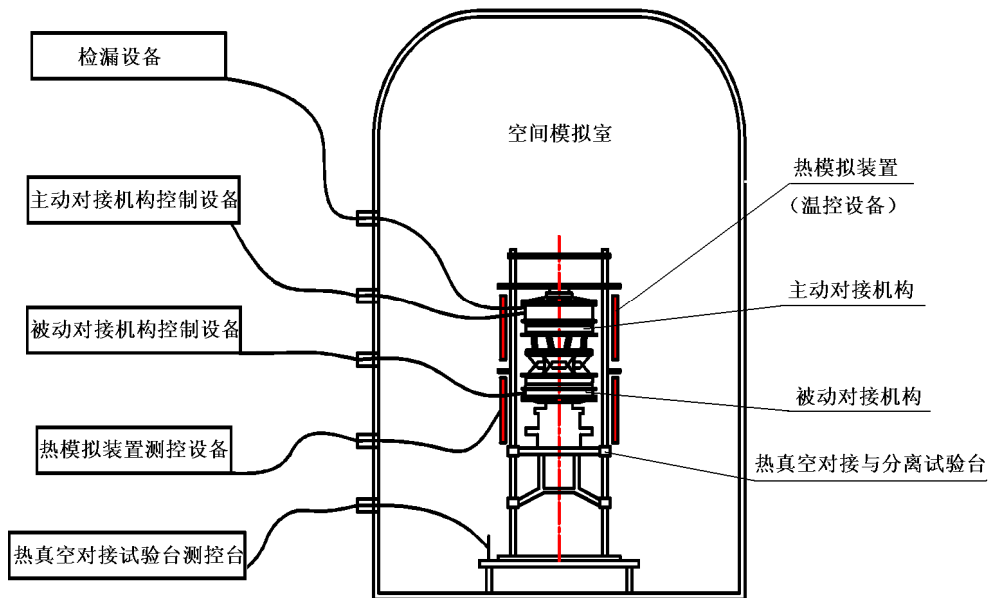


图1 对接机构热真空环境对接与分离试验系统组成图

整个试验设备一般包括试验件、试验台和相关控制设备等，试验台放置于空间模拟室内，由空间模拟室实现真空环境，由热沉与热模拟装置联合实现试验件温度控制。主要要求如下：

- a) 试验中，要求进行对接环重力平衡，以消除重力对对接过程的影响，一般通过弹簧吊挂方式实

现；

- b) 对接机构试验件的控制设备放置于空间模拟室外,要求按照对接与分离流程来驱动控制对接机构工作,并能保存记录所有工作参数;
- c) 试验中,要求设置检漏设备,能在对接机构完成刚性连接后,实施对接面检漏测试。

6.2.2 热真空对接与分离试验台

试验台由移动下平台和固定上平台组成,一种热真空对接与分离试验台原理组成见图2,主动对接机构安装于试验台固定上平台,被动对接机构安装于试验台移动下平台。固定上平台由承力框架与六维力传感器组成;移动下平台由对接初始条件设定机构、X向驱动机构、等效惯量模拟飞轮组成。主要功能要求如下:

- a) 移动下平台应能模拟对接纵向质量惯量、实现对接速度、能够设置对接初始条件;
- b) 在对接前,通过姿态设定机构驱动装置能设置对接初始条件,通过X向驱动能实现纵向惯量模拟和对接速度模拟;
- c) 对接与分离过程的力参数能通过六维力/力矩传感器记录。

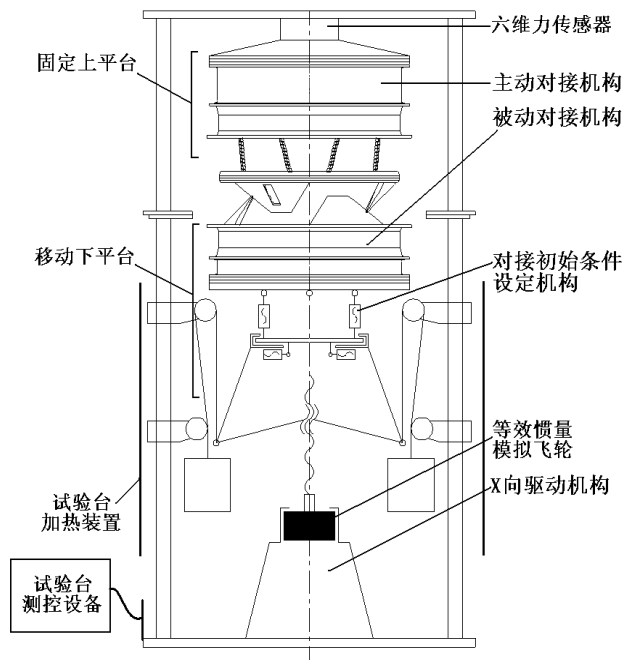


图2 一种热真空对接与分离试验台原理组成图

6.2.3 空间模拟室

空间模拟室应满足如下要求:

- a) 空间模拟室的真空度应满足试验大纲的要求;
- b) 空间模拟室应有足够的内部容积放置整个试验系统;
- c) 应有适合安装整个试验台系统的悬挂或支承装置,并能承载整个试验台系统的重量及试验过程的可能载荷;
- d) 空间模拟室内应安装取样板,应能监测试验件和试验设备的污染情况,试验期间产生的可凝挥发物总量应不超过 $1 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$;
- e) 应能检测热沉表面温度和空间模拟室压力;
- f) 应有满足试验要求的各种引出线和密封法兰;

- g) 在空间模拟室内一般要求设置不少于两个摄像头（含光源），用于观察空间模拟室内对接机构的试验过程。

6.2.4 热模拟装置

热模拟装置主要用于模拟外热流加载控制试验件温度，一般包括红外灯（笼）、加热片等及相关测控设备。一种热真空对接试验的热模拟装置图见图3。热模拟装置主要功能要求如下：

- a) 满足相应的加热功率要求，能够实现对接机构试验件的温度控制，以达到试验条件要求；
- b) 加热分区需考虑可靠性及经济性合理设置。

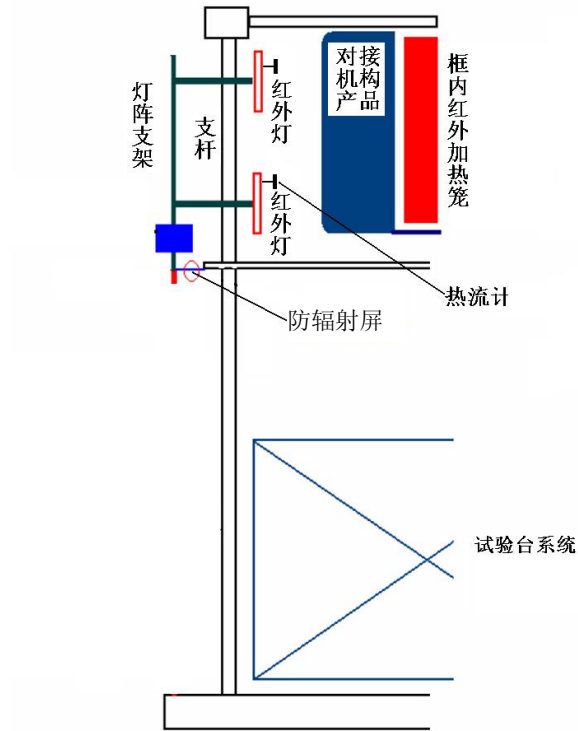


图3 一种热真空对接试验热模拟装置图

7 试验程序和判定

7.1 试验流程

对接机构热真空对接与分离试验流程如图4所示。

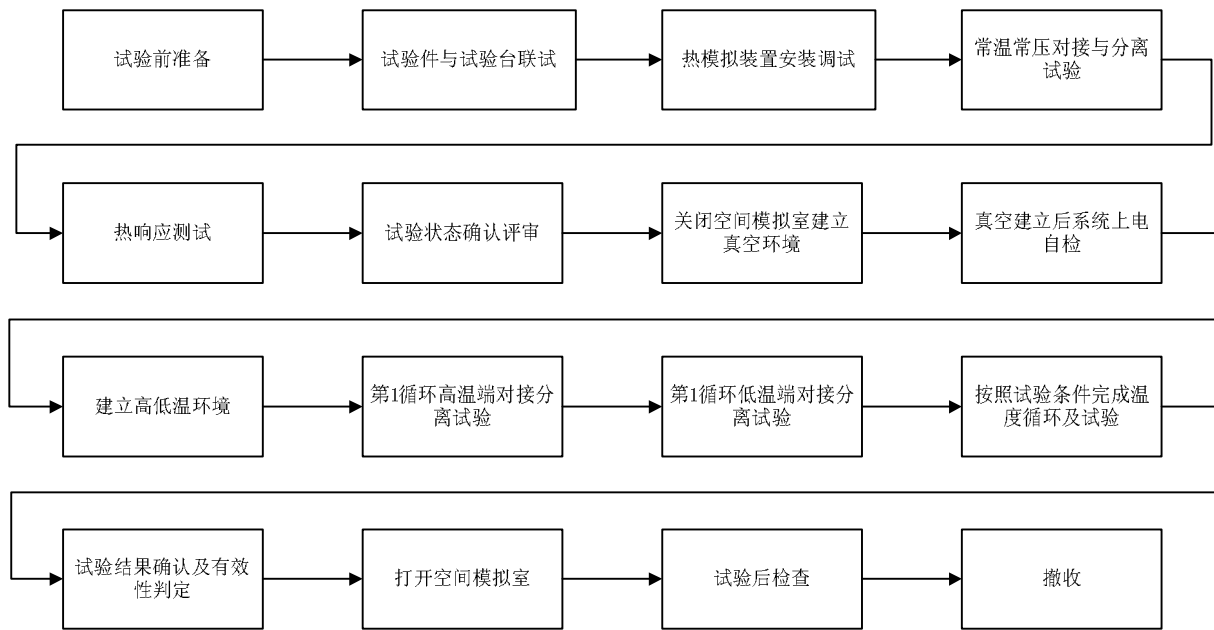


图4 对接机构热真空对接与分离试验流程

7.2 试验前准备

试验前准备主要工作程序如下：

- 试验件及设备、试验台转运至试验场地后，各自开箱，展开布置，并确认状态；
- 对接机构试验件吊至停放架上后，应进行试验件外观检查，确认状态；
- 使用的电缆应进行导通绝缘检查；
- 试验台及地面设备转运之后应进行外观检查，确认状态完好；
- 安装试验件和试验台；
- 试验台整体吊入空间模拟室；
- 连接电缆和管路。

7.3 试验件与试验台联试

试验件与试验台联试主要工作程序如下：

- 对对接机构试验件进行功能检查；
- 对试验台、地面设备进行功能检查；
- 对设备间交互信号进行检查。

7.4 热模拟装置安装调试

热模拟装置安装调试主要工作程序如下：

- 试验件及试验台系统确认正常后方可安装热模拟装置；
- 热模拟装置安装应保证不与试验件干涉；
- 热模拟装置安装应能承受对接过程的冲击。

7.5 常温常压对接与分离试验

常温常压对接与分离试验可以与热响应测试同时进行，主要工作程序如下：

- 试验台准备；
- 工况及对接初始条件设定；
- 将对接环推出至准备对接位置；

- d) 试验台设置对接速度;
- e) 试验开始;
- f) 对接碰撞并捕获, 试验台随动, 开始缓冲校正;
- g) 完成后续的校正、拉近、锁紧及机构复位操作;
- h) 刚性锁紧后进行对接面检漏;
- i) 检漏后进行分离试验;
- j) 试验台分离准备;
- k) 对接机构解锁分离;
- l) 分离后试验台回零位;
- m) 对接机构复位。

7.6 热响应测试

开启所有热模拟装置, 测试并确认温度控制回路是否正常。

7.7 试验状态确认评审

空间模拟室关闭前, 应进行试验状态确认评审, 主要工作程序如下:

- a) 试验相关各方进行状态确认, 并编写试验前状态确认报告;
- b) 进行试验准备情况评审, 确认状态正确。

7.8 关闭空间模拟室建立真空环境

建立真空环境主要工作程序如下:

- a) 关闭空间模拟室;
- b) 抽真空, 满足试验条件规定的真空度要求。

7.9 真空建立后系统上电自检

真空度满足要求后, 试验各系统上电自检。

7.10 建立高低温环境

建立高低温环境主要工作程序如下:

- a) 真空度满足要求后, 开始通液氮建立热沉;
- b) 按照温控方案和试验条件建立试验件高低温环境;
- c) 试验台系统相关温控开启, 确保试验台系统正常工作。

7.11 第1循环高温端对接与分离试验

对接与分离试验主要程序如下:

- a) 试验件进入热真空温度循环高温端, 试验件温度满足高温端试验条件并保温规定时间后, 可开始试验;
- b) 试验前, 应进行对接机构功能检查, 检查正常后开始热真空对接与分离试验;
- c) 后续对接与分离试验程序按照7.5的要求。

7.12 第1循环低温端对接与分离试验

对接与分离试验主要程序如下:

- a) 试验件进入热真空温度循环低温端, 试验件温度满足低温端试验条件并保温规定时间后, 可开始试验;
- b) 试验前, 应进行对接机构功能检查, 检查正常后开始热真空对接与分离试验;
- c) 后续对接与分离试验步骤参考7.5的要求。

7.13 按照试验条件完成温度循环及试验

按照试验条件完成温度循环，如鉴定级 6.5 个循环，验收级 2.5 个循环，并在最后一个循环的高温端和低温端进行对接与分离试验，试验程序同 7.11 和 7.12，结束为高温端。

7.14 试验结果确认及有效性判定

试验结果确认及有效性判定主要工作程序如下：

- a) 试验大纲要求的项目全部结束后，进行试验结果确认，必要时可以安排评审；
- b) 确认是否需要增补工况；
- c) 试验有效性判定一般包括：试验设备工作正常、实际执行试验条件与要求一致、试验数据记录完整。

7.15 打开空间模拟室

打开空间模拟室主要工作程序如下：

- a) 停热沉，回温；
- b) 复压。

7.16 试验后检查

试验后，应对试验件进行检查，如外观检查等，确认试验件状态是否正常。

7.17 撤收

撤收主要工作程序如下：

- a) 拆除热模拟装置；
- b) 断开并撤收电缆管路；
- c) 吊出试验台，并将试验件分解至包装箱；
- d) 其他设备装箱。

8 试验记录和试验报告

8.1 试验记录

试验记录应包括以下内容：

- a) 试验日期、试验设备与装置、参试人员、试验场地环境条件；
- b) 试验件技术状态；
- c) 试验过程声像资料；
- d) 试验数据；
- e) 试验后试验件性能检测结果和记录；
- f) 异常情况及处理结果；
- g) 试验过程记录表；
- h) 其他有关内容。

8.2 试验报告

试验结束后应编写试验报告，试验报告应包括以下内容：

- a) 概述、试验目的、试验件技术状态、试验设备和仪器、试验方法、试验过程；
- b) 试验项目及主要数据（热真空环境数据、对接机构测试数据，如捕获时间、力/力矩、对接环运动行程、工作时间、工作电流等）、处理后的试验数据、图表、曲线及声像资料、异常情况现象分析记录；
- c) 试验数据及有效性分析；

QJ 20421—2016

- d) 异常情况分析;
 - e) 试验结论及建议;
 - f) 其他。
-

中华人民共和国航天行业标准
**空间对接机构热真空环境
对接与分离试验方法**

QJ 20421—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：26 元