

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1617

QJ 2301A—2018
代替 QJ 2301—1992

固体火箭发动机被动引射式高空模拟试验方法

High altitude simulation test method of passive ejection for solid rocket motor

2018—01—18 发布

2018—05—01 实施

国家国防科技工业局 发布

前 言

本标准代替QJ 2301—1992《固体火箭发动机高空模拟试验规范》。

本标准与QJ2301—1992相比，主要有以下变化：

- a) 删除了真空舱、过渡架、挠性连接件等 7 项术语和定义；
- b) 增加了场地要求、人员要求、安全要求等内容；
- c) 对试验流程进行了细化，扩充了安装与调试一节的内容，增加了传感器安装与调试，对进行全系统合练给出了具体要求；
- d) 增加了典型试验数据曲线，增加了数据处理的一般工程计算方法。

本标准由中国航天科技集团有限公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团有限公司第四研究院第四〇一所。

本标准主要起草人：高永刚、贺晓芳、翟江源、雷娅琴、沈 飞、胡燕峰。

QJ 2301于1992年2月首次发布。

固体火箭发动机被动引射式高空模拟试验方法

1 范围

本标准规定了固体火箭发动机被动引射式高空模拟试验的一般要求、试验程序、数据处理及试验报告。

本标准适用于固体火箭发动机（以下简称发动机）被动引射式高空模拟试验。

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 2365 固体火箭发动机静止试验参数测试方法
- GJB 3387 火箭发动机术语
- GJB 3389 固体火箭发动机吊装安全规定
- GJB 3731 火箭发动机参数符号
- QJ 1004 固体火箭发动机静止试验程序
- QJ 1047 固体火箭发动机压强—时间推力—时间数据处理规范
- QJ 1118 固体火箭发动机试验架设计制造验收通用要求
- QJ 1275 固体火箭发动机测量不确定度的表示及评定
- QJ 2037 固体火箭发动机静止试验安全要求
- QJ 2576 固体火箭发动机静止试验术语

3 术语和定义

GJB 3387、QJ 2576 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

最小启动压强比 minimum starting pressure ratio

扩压器最小启动压强与当地环境压强的比值。

3.2

启动裕度 start margin

发动机工作时间平均压强 \bar{p}_{t_e} 与扩压器的最小启动压强 $p_{th\min}$ 之间的差值。

4 一般要求

4.1 试验场地

试验场地应符合以下要求：

- a) 应具备扩压器安装空间；
- b) 应具备高位蓄水池。

4.2 试验人员

试验人员要求如下：

- a) 各类试验人员应定岗、定员、定职责；
- b) 所有试验人员应经过操作技术和安全技术培训，持证上岗。

4.3 安全要求

试验安全管理应符合相应的安全管理规定，试验场地及人员等安全要求均应符合 QJ 2037 的规定。

4.4 试验设备

4.4.1 系统组成

被动引射试验系统主要由高空舱系统、扩压器、扩压器冷却系统、控制系统和测试系统等组成，其框图见图 1。

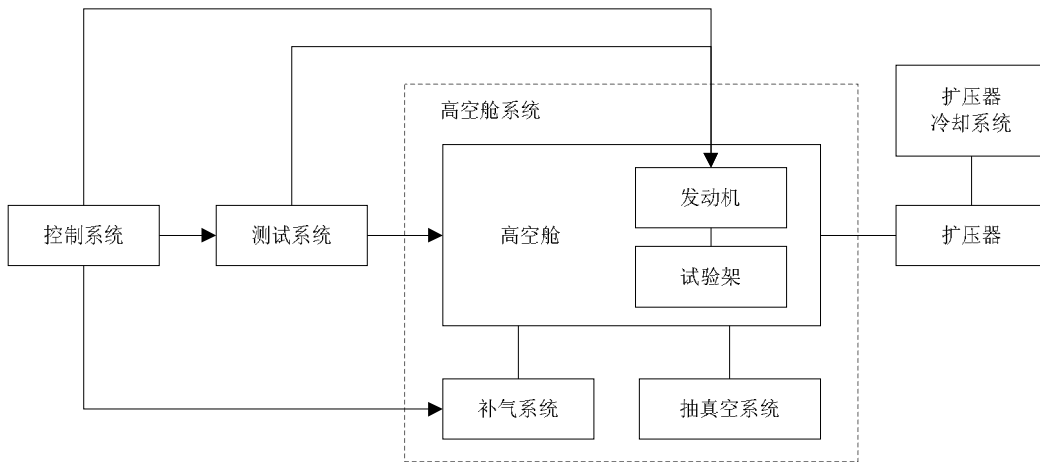


图 1 系统组成框图

4.4.2 高空舱系统

高空舱系统的要求如下：

- a) 高空舱应满足规定的容积和气密性要求，满足发动机与试验架的装调和操作需要；
- b) 抽真空系统应能使高空舱舱压达到 10 kPa 以下；
- c) 补气系统应能在规定时间内完成对高空舱的补气，一般不超过 0.5 s。

4.4.3 扩压器冷却系统

扩压器冷却系统应能为夹层水冷式扩压器提供规定流量及压强的水。

4.4.4 吊装系统

吊装系统及吊具应满足发动机试验使用要求，吊装系统及吊具的使用应符合 GJB 3389 的规定。

4.4.5 试验架

试验架要求如下：

- a) 满足发动机安装与测试要求；
- b) 试验架一般采用性能试验架，其各部、组件的设计应符合 QJ 1118 中性能试验架的规定；
- c) 确保发动机轴线与扩压器轴线满足同轴度要求。

4.4.6 扩压器

4.4.6.1 扩压器应满足下列性能要求：

- a) 结构性能要求：夹层水冷式扩压器应具有足够结构强度及刚度，在设计规定的水压作用下扩压

器水冷夹层应不破坏、不失稳、不渗漏；

- b) 气动性能要求：应在发动机点火后正常启动，进入工作状态，其启动裕度应符合公式（1）的要求：

$$\Delta p = (1 - K)\bar{p}_{i_e} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Δp ——启动裕度的数值，单位为千帕（kPa）；
- K ——压强系数， $K = p_{th\min} / \bar{p}_{i_e}$ ，一般取 $K = 0.55 \sim 0.60$ ；
- \bar{p}_{i_e} ——发动机工作时间平均压强的数值，单位为千帕（kPa）。

- c) 抗烧蚀性能要求：应具有足够的抗热流侵蚀和粒子冲击能力，满足发动机试验要求。

4.4.6.2 扩压器的选用应遵循下列原则：

- a) 一般选择符合使用要求的直筒式扩压器；
- b) 被动引射试验时一般应采用水冷式扩压器，当干式扩压器满足抗热性能要求时亦可采用干式扩压器；
- c) 根据发动机的点火试验姿态选择扩压器安装方式。

5 试验程序

5.1 试验流程

被动引射试验流程图见图 2。

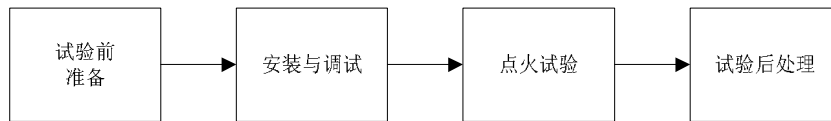


图 2 试验流程图

5.2 试验前准备

5.2.1 试验文件准备

试验前准备的文件如下：

- a) 根据试验要求，编制相应技术文件；
- b) 按 QJ 1004 的相关内容和试验需要进行其他必要的技术文件准备。

5.2.2 试验现场准备

试验前试验现场的准备如下：

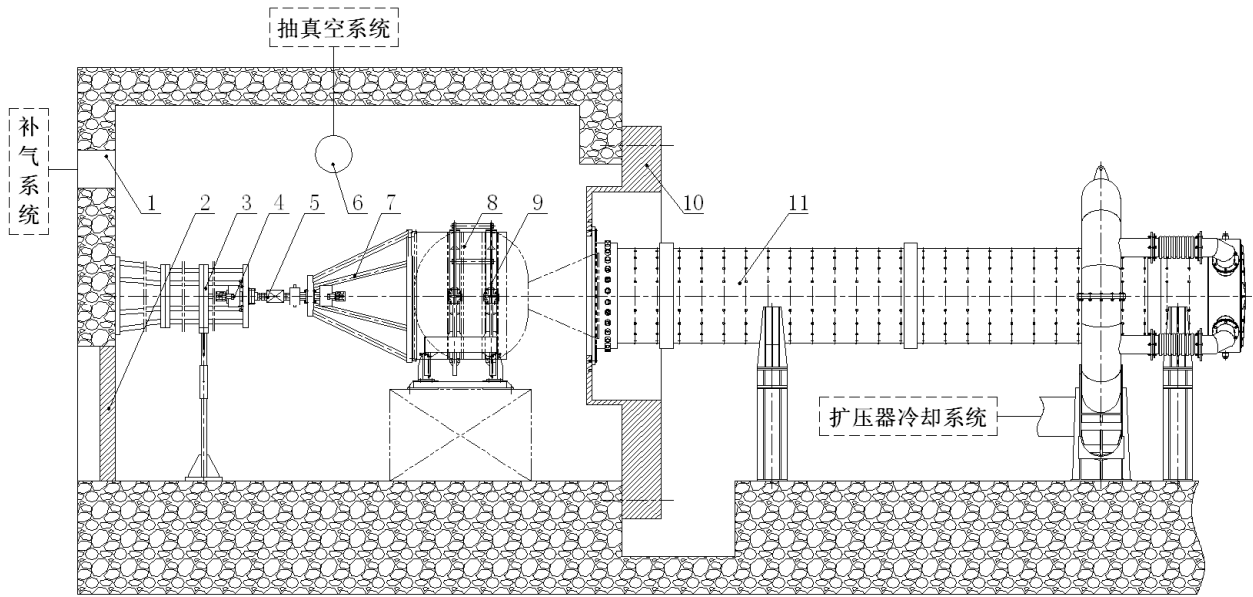
- a) 检查试验架、扩压器等工装设备齐套，满足试验要求；
- b) 检查抽真空系统与补气系统，进行试运行确认状态良好；
- c) 检查冷却用水、管道及控制阀门，满足试验要求；
- d) 检查确认高空舱各部位的密封件完好。

5.2.3 测试设备的准备

对测试设备进行检查，其性能应符合 GJB 2365 的规定。

5.3 安装与调试

- 5.3.1 按图 3 所示试验装配示意图及安装工艺要求安装、调试试验架。



1—补气通道；2—人行安全门；3—推力架；4—标定组件；5—测力组件；
6—抽气通道；7—过渡架；8—发动机；9—试验架；10—密封门；11—扩压器

图 3 试验装配示意图

5.3.2 按工艺要求调节推力架长度，确保发动机喷管进入扩压器长度符合设计要求。

5.3.3 安装发动机应符合以下要求：

- a) 按 GJB 3389 中的规定起吊发动机，使其在试验架上就位；
- b) 按试验任务书和安装工艺要求调整发动机的象限位置与支撑位置；
- c) 按试验要求固定发动机，安装过渡架。

5.3.4 安装密封门、扩压器。

5.3.5 按 GJB 2365 的规定安装校准试验用压强、温度、应变、振动、位移等传感器。

5.3.6 按试验要求安装测力组件，调节推力架、发动机及扩压器三者轴线同轴度满足试验要求。

5.3.7 按 GJB 2365 推力测试的规定进行推力原位校准，满足试验要求。

5.3.8 按任务书要求进行发动机充气检漏。

5.3.9 进行全系统合练，点火控制系统、参数测量系统及补气系统等工作正常，控制程序正确，冷却水控制信号正常。

5.3.10 按试验要求安装火工品。

5.3.11 进行全面质量检查，确认无问题后，松解动架限位机构。

5.4 点火试验

5.4.1 按下列步骤封闭高空舱：

- a) 关闭补气阀门；
- b) 安装扩压器堵盖；
- c) 关闭人行安全门；
- d) 各系统记录抽真空前测试参数零点。

5.4.2 按下列步骤和要求抽真空：

- a) 按操作规程启动真空泵，确认真空泵运行正常，注意观察真空表读数；

- b) 高空舱达到规定压强时卸掉扩压器堵盖连接螺栓;
 - c) 高空舱舱压达到试验要求 (一般要求小于 10 kPa) 时真空泵停机;
 - d) 各系统再次记录抽空后测试参数零点。
- 5.4.3 启动扩压器冷却系统, 确认冷却水压强及流量满足试验要求。
- 5.4.4 按程序进行发动机点火和参数测量, 并按预定条件进行补气。

5.5 试验后处理

对试验现场做如下处理:

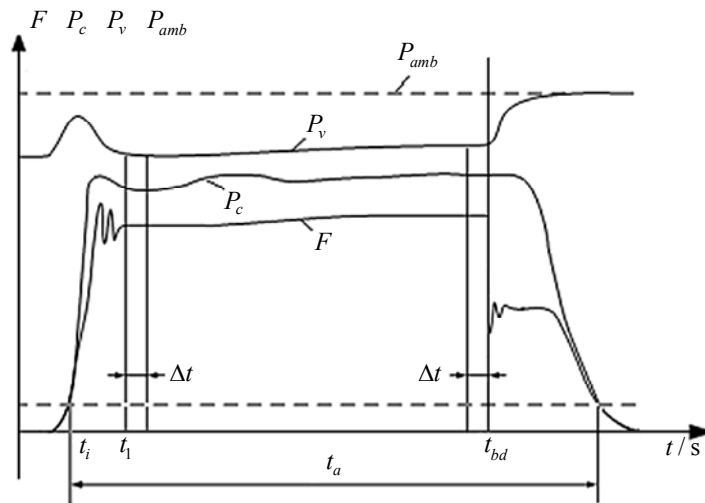
- a) 检查确认各传感器状态、对关键部位做好拍照或摄像记录;
- b) 根据试验任务书要求对发动机进行分解、测量和称量;
- c) 检查试验数据完整性并存盘。

6 数据处理

6.1 数据处理的要求如下:

- a) 数据处理时所采用的术语应符合 GJB 3387 的规定, 采用的参数符号应符合 GJB 3731 的规定;
- b) 数据处理的方法按 QJ 1047 及试验任务书要求进行处理;
- c) 异常数据按 QJ 1275 的有关规定进行处理。

6.2 典型数据曲线见图 4。



F —发动机推力; P_c —发动机燃烧室压强; P_v —高空舱绝对压强; P_{amb} —大气压强
 t_i —发动机工作时间起点; t_1 —喷管满流且推力稳定时刻; t_{bd} —补气开始时刻; t_a —发动机工作时间

图 4 高模试验压强、舱压、推力-时间曲线

6.3 因推力受燃气回流影响失真, 真空总冲应分成三段, 按公式 (2)~公式 (8) 计算。

$$I_v = I_1 + I_2 + I_3 \dots\dots\dots (2)$$

式 (2) 中:

- I_v ——真空总冲的数值, 单位为千牛秒 (kN·s);
- I_1 ——发动机工作起始段的真空总冲的数值, 单位为千牛秒 (kN·s);
- I_2 ——发动机工作平稳段的真空总冲的数值, 单位为千牛秒 (kN·s);

I_3 ——发动机工作补气后的真空总冲的数值，单位为千牛秒 (kN·s)。

$$I_1 = C_1 \int_{t_i}^{t_1} P_c dt \dots\dots\dots (3)$$

式 (3) 中：

C_1 ——起始段修正系数，单位为平方米 (m²)；

t_i ——发动机工作时间起点，即从发动机点火至压强上升至 300kPa 的时刻，单位为秒 (s)；

t_1 ——喷管满流且推力稳定时刻，单位为秒 (s)；

P_c ——发动机燃烧室压强的数值，单位为千帕 (kPa)；

t ——发动机工作时间，单位为秒 (s)。

$$I_2 = \int_{t_1}^{t_{bd}} F dt + \overline{A_e} \int_{t_1}^{t_{bd}} P_v dt \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) 中：

t_{bd} ——补气开始时刻，单位为秒 (s)；

F ——发动机推力的数值，单位为千牛 (kN)；

$\overline{A_e}$ ——试验前、后喷管出口处面积的平均值，单位为平方米 (m²)；

P_v ——高空舱绝对压强的数值，单位为千帕 (kPa)。

$$I_3 = C_2 \int_{t_{bd}}^{t_i+t_a} P_c dt \dots\dots\dots (5)$$

式 (5) 中：

C_2 ——结束段修正系数，单位为平方米 (m²)；

t_a ——发动机工作时间的数值，单位为秒 (s)。

$$C_1 = \frac{\int_{t_i}^{t_i+\Delta t} F dt + A_{e_1} \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} P_v dt}{\int_{t_i}^{t_i+\Delta t} P_c dt} \dots\dots\dots (6)$$

式 (6) 中：

Δt ——计算 C_1 、 C_2 时所采用的时间区段，通常取 1s ~ 2s，单位为秒 (s)；

A_{e_1} ——试验前喷管出口处面积的数值，单位为平方米 (m²)。

$$C_2 = \frac{\int_{t_{bd}-\Delta t}^{t_{bd}} F dt + A_{e_2} \int_{t_{bd}-\Delta t}^{t_{bd}} P_v dt}{\int_{t_{bd}-\Delta t}^{t_{bd}} P_c dt} \dots\dots\dots (7)$$

式 (7) 中：

A_{e_2} ——试验后喷管出口处面积的数值，单位为平方米 (m²)。

$$\overline{A_e} = \frac{A_{e_1} + A_{e_2}}{2} \dots\dots\dots (8)$$

6.4 一般工程实践中，真空总冲的计算在遵循理论推导的前提下，应结合试验中获得的相关数据，按公式 (9) ~ 公式 (13) 计算。

$$I_1 = C_1 \frac{1}{f_s} \sum_{n=j}^k P_{cn} \dots\dots\dots (9)$$

式 (9) 中:

f_s ——采样率;

n ——采样点序号;

j —— t_i 时刻采样点;

k —— t_1 时刻采样点;

P_{cn} ——燃烧室压强第 n 个采样点压强值, 单位为千帕 (kPa)。

$$I_2 = \frac{1}{f_s} \sum_{n=k}^l F_n + A_e \frac{1}{f_s} \sum_{n=k}^l P_{vn} \dots\dots\dots (10)$$

式 (10) 中:

l —— t_{bd} 时刻采样点;

F_n ——发动机推力第 n 个采样点推力值, 单位为千牛 (kN);

P_{vn} ——高空舱绝对压强第 n 个采样点压强值, 单位为千帕 (kPa)。

$$I_3 = C_2 \frac{1}{f_s} \sum_{n=l}^m P_{cn} \dots\dots\dots (11)$$

式 (11) 中:

m —— $t_i + t_a$ 时刻采样点。

$$C_1 = \frac{\frac{1}{f_s} \sum_{n=k}^o F_n + A_{e_1} \frac{1}{f_s} \sum_{n=k}^o P_{vn}}{\frac{1}{f_s} \sum_{n=k}^o P_{cn}} \dots\dots\dots (12)$$

式 (12) 中:

o —— $t_1 + \Delta t$ 时刻采样点。

$$C_2 = \frac{\frac{1}{f_s} \sum_{n=p}^l F_n + A_{e_2} \frac{1}{f_s} \sum_{n=p}^l P_{vn}}{\frac{1}{f_s} \sum_{n=p}^l P_{cn}} \dots\dots\dots (13)$$

式 (13) 中:

p —— $t_{bd} - \Delta t$ 时刻采样点。

7 试验报告

数据处理完毕, 按 QJ 1004 和试验任务书的要求编写试验报告, 试验报告主要包括试验任务、试验目的、试验数据等内容。

中华人民共和国航天行业标准
**固体火箭发动机被动引射式
高空模拟试验方法**

QJ 2301A—2018

*

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

*

2018 年 5 月出版
定价：20 元