

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1617

QJ 3284—2006

固体火箭发动机喷管通用规范

General specification for solid propellant rocket motor nozzles

2006-12-15 发布

2007-05-01 实施

国防科学技术工业委员会 发布

前 言

本规范由中国航天科技集团公司提出。

本规范由中国航天标准化研究所归口。

本规范起草单位：中国航天科技集团公司四院41所。

本规范主要起草人：仲瑞昌、史宏斌、黄坚定、陈慧、胡荣潮、邱安萍。

固体火箭发动机喷管通用规范

1 范围

本规范规定了固体火箭发动机喷管的要求、质量保证规定和交货准备等。

本规范适用于固体火箭发动机固定喷管（含一般固定喷管和长尾管喷管）和摆动喷管（含柔性喷管和珠承喷管）（以下简称喷管）的研制、生产、试验和验收。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。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规范，然而，鼓励根据本规范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规范。

GJB 1026 固体火箭发动机通用规范

GJB 2365A—2004 固体火箭发动机静止试验参数测试方法

GJB 5021—2001 固体火箭发动机温度试验方法

QJ 1004A—2004 固体火箭发动机静止试验程序

QJ 1135A—2002 固体火箭发动机振动试验方法

QJ 1136A—2002 固体火箭发动机冲击试验方法

3 要求

3.1 设计

3.1.1 设计依据

设计依据主要包括设计任务书、合同和技术协议等（以下统称任务书），一般应明确以下必要内容：

- 发动机最高工作压强和平均工作压强（双推力发动机应分别列出高压强段和低压强段的最高工作压强和平均工作压强）；
- 发动机工作时间（双推力发动机应分别列出高压强段和低压强段的工作时间）；
- 推进剂种类、铝粉含量和固体含量、标准状态下燃烧温度及相关热力参数；
- 初始喉径及允许烧蚀率；
- 初始扩张比；
- 特殊的结构和接口尺寸限制；
- 长尾喷管外径、长度及外壁温度；
- 堵盖打开压强及打开时间、打开同步性（多喷管发动机）；
- 总质量；
- 可靠性；
- 发射、飞行、运输等工作环境条件；
- 贮存条件和贮存期；
- 最大复合摆角和单向摆角；

- n) 最大摆动力矩;
- o) 喷管摆动寿命;
- p) 喷管结构刚度及模态特性;
- q) 珠承喷管扭转刚度;
- r) 喷管工作效率;
- s) 其它。

3.1.2 设计准则

在满足任务书要求的前提下,应贯彻继承性、先进性、可行性、经济性,并应符合有关的标准、设计规范和现行法规的规定。

3.1.3 结构设计

3.1.3.1 喷管结构分类

喷管一般分为固定喷管和摆动喷管两大类。固定喷管又分为一般固定喷管和长尾管喷管;摆动喷管类型较多,本规范只含柔性喷管和珠承喷管。

3.1.3.2 一般要求

喷管结构设计一般应满足以下要求:

- a) 合理选用结构材料,并提出相应的技术要求;
- b) 喷管内型面设计:喉衬的喉径部位一般设计成长度2mm~20mm左右的圆柱段,两端用圆弧过渡;尺寸较大的喷管扩张段一般采用效率较高的特形型面,尺寸较小的喷管可采用扩张半角为 15° ~ 18° 左右的锥形型面;收敛段一般采用收敛半角为 45° ~ 60° 左右的锥形型面,潜入式收敛段一般用多段圆弧或椭圆弧组成的光滑曲线型面;
- c) 尺寸较小的喷管喉衬组件与金属壳体轴向定位面一般选用台阶端面;尺寸较大的喷管一般选用台阶端面和锥面相结合的形式,使喉衬组件的轴向力不直接传递到扩张段绝热层上;
- d) 扩张段绝热层与金属壳体连接除采用粘结外,一般应采用档环或径向螺钉加固;
- e) 喉衬组件与扩张段绝热层、喉衬组件与收敛段绝热层对接部位的轴向间隙量应考虑材料热胀量进行设计;
- f) 扩张段绝热层前段材料与喉衬材料抗烧蚀性能差别应尽量缩小,防止扩张段绝热层入口部位出现明显沟槽而影响喷管工作可靠性和效率;
- g) 喷管堵盖材料一般采用薄的软铝板、夹布胶板或其它非金属材料,堵盖粘结要求可靠;
- h) 金属材料喷管壳体或固定壳体承载能力安全系数不小于1.5,喉衬和各种绝热层最大烧蚀厚度一般不大于该部位材料总厚度的1/3,或按相关详细规范的规定;
- i) 堵盖粘结面及其上游内表面、喉衬与收敛段绝热层或接头防热环对接缝部位应采取有效的密封措施。

3.1.3.3 摆动喷管结构特殊要求

摆动喷管结构应满足以下特殊要求:

- a) 摆动喷管最大设计摆角应大于规定最大摆角 0.5° ~ 1° ;
- b) 柔性喷管最大设计力矩应考虑橡胶老化后的增量和环境温度影响;
- c) 珠承喷管应根据抗扭转刚度要求设计抗扭装置;
- d) 柔性接头或珠承接头的活动部位应采取可靠的密封和热防护措施;

- e) 活动体、柔性接头或珠承接头应具有2倍以上规定摆动寿命的低压冷摆能力；
- f) 上、下支耳位置选取除考虑刚度外，还应考虑到摆角对称性和摆动牵连运动问题。

3.1.3.4 设计计算

喷管设计中一般应进行下列项目的分析计算，根据具体情况允许裁剪或增补：

- a) 喷管内流场与工作效率；
- b) 喷管热结构（主要包括喉衬和扩张段温度场、应力场）；
- c) 喉径烧蚀率；
- d) 喷管各部位绝热层烧蚀与碳化；
- e) 喷管壳体（包含长尾管壳体）与固定体壳体结构强度、刚度；
- f) 喷管摆动特性；
- g) 柔性接头或珠承接头力矩特性及结构强度、刚度等；
- h) 珠承喷管防扭装置附加力矩与扭转刚度；
- i) 堵盖结构强度及打开压强；
- j) 喷管质量、质心、转动惯量。

3.2 材料与工艺

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 优先选用已有相应标准或规范的材料和工艺；新材料和新工艺应是经充分论证、试验验证、鉴定、各方认可、最后经批准的才能使用。

3.2.1.2 关键零件（如喉衬、扩张段和收敛段绝热层、长尾管绝热层、柔性接头弹性件、珠承喷管中阴、阳球等）的材料和工艺应严格控制技术状态，一般不可代料。若确需代料时，应按规定办理代料手续后方可实施。

3.2.1.3 喉衬和各种绝热、烧蚀材料应按相关的详细规范进行无损探伤。

3.2.1.4 应尽量避免使用有毒性材料，若确需使用时，应严格执行相关的防护规定。

3.2.1.5 产品或零、部件如采用防腐蚀的涂、镀层时，不应影响材料的使用性能。

3.2.1.6 接触配合的金属零件，对因不同电位而造成的电化学腐蚀应采取防护措施。

3.2.1.7 相互接触的不同非金属材料，应具有相容性，不应材料理化、机械性能产生不良影响。

3.2.1.8 非金属材料一般应在贮存期内使用，超期使用应按相关的详细规范执行。

3.2.1.9 所有的材料入厂或使用前，应按相关标准进行复验，性能应符合相应的材料标准或有关详细规范的规定。

3.2.2 喷管组装

喷管组装应按以下要求进行：

- a) 经检验合格（或已按规定办理批准使用的超差品）的零、部件才能参加组装；正式组装前应先进行试装，检测轴向、径向定位是否到位，粘接和对接间隙是否满足要求，如局部不满足要求，允许修正；
- b) 金属壳体与非金属粘结界面要求进行无损探伤时，脱粘和不良粘接总面积与可探总面积之比应小于40%，且应存在贯穿性通道；
- c) 单独装配的柔性接头部件应进行气密试验、摆动性能试验和摆动疲劳抽试，性能满足设计要求才能参加喷管组装（疲劳抽试产品除外）；

- d) 总装完的喷管应单独或与发动机结合进行气密检漏试验,性能应满足设计要求;
- e) 摆动喷管应进行摆动性能试验,性能满足设计要求。

3.3 性能特性

喷管应经地面冷态性能试验、发动机地面静止性能试验和飞行性能试验,验证下列性能特性且下列性能特性应满足任务书要求:

- a) 喉径烧蚀率;
- b) 堵盖打开压强、打开时间、打开同步性(多喷管发动机);
- c) 摆动特性(含摆角、力矩、速度和加速度);
- d) 喷管结构刚度(含珠承喷管防扭装置扭转刚度);
- e) 喷管模态特性;
- f) 喷管零位补偿量(从冷零位到热零位伺服作动器补偿量);
- g) 摆动寿命;
- h) 喷管工作效率。

3.4 环境适应性

3.4.1 概述

喷管环境适应性与发动机相同,在设计任务书中给定,若未明确给定,一般可按3.4.2~3.4.6的规定执行。

3.4.2 温度循环及温度冲击环境

喷管温度环境应满足GJB 5021—2001中4.2、4.4、4.6规定的保温温度、升(降)温速率、保温时间要求。

3.4.3 冲击环境

喷管冲击环境应满足QJ 1136A—2002中4.3.1、4.3.2、4.3.3规定的标准脉冲冲击波形、严酷度、冲击方向及试验次数要求。

3.4.4 振动环境

喷管振动环境应满足QJ 1135A—2002中4.2、4.3规定的试验量值、激励施加方向要求。

3.4.5 其它环境

贮存和使用中温度、湿度、盐雾、核辐射、噪声等环境适应性应满足各型号任务书规定。

3.5 可靠性

喷管可靠性应按任务书规定执行,若任务书未明确要求,可按下述要求执行:

- a) 战略导弹置信度0.7时,可靠度不小于0.985;
- b) 战术导弹置信度0.8时,可靠度不小于0.99或置信度0.7时,可靠度不小于0.993。

3.6 安全性

喷管堵盖打开压强应大于发动机气密检验压强3倍。

3.7 运输性

喷管可单独运输或随发动机一起运输。运输时应能适应以下要求:

- a) 铁路:最大速度不超过120km/h;总里程不大于15000km;
- b) 公路:最大速度,二级公路不超过60km/h;四级公路不超过40km/h;总里程不大于8000km;
- c) 海运:能适应5级海情,距离不限;
- d) 空运:高度不大于11km,能适应飞机着陆冲击环境,距离不限。

3.8 尺寸

喷管结构尺寸及其偏差应符合任务书的有关规定。

3.9 重量

喷管重量及其偏差应符合任务书的有关规定。

3.10 标志和代号

喷管标志，一般应包括产品代号、批次、序号及出厂日期等内容。标志的制作、标注方法、标记部位应符合相关详细规范的规定；产品标志和代号一般由任务书给定并符合相关详细规范的规定。

3.11 外观质量和颜色

喷管外观质量和颜色一般有以下要求：

- a) 喷管金属壳体非配合外表面应涂刷任务书规定颜色的防锈漆或其它涂层，如有碰伤、划伤应修补；
- b) 喷管金属壳体配合表面和螺纹部分应刷防锈软膜保护，不应存在超出详细规范规定的碰伤、划伤，螺纹部分不可存在毛刺、断扣、乱扣等；
- c) 非金属材料外表面应刷清漆保持原色，不应存在超出详细规范规定的掉块、裂纹、疏松、碰伤和划伤等。

4 质量保证规定

4.1 检验分类

本规范规定的检验分类如下：

- a) 鉴定检验；
- b) 质量一致性检验。

4.2 检验条件

4.2.1 喷管随发动机进行的各种地面静止试验的环境条件按 GJB 1026 有关规定执行；温度循环及温度冲击试验，运输试验，贮存和使用中温度、湿度、盐雾、核辐射、噪声等环境试验在各自相应环境中进行；其它环境试验、喷管及其零部件的检测和冷态各项试验一般在厂房内进行，厂房内温度 $10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 90%。

4.2.2 检验中所用的量具、衡具、仪器、仪表、专用控制测试系统等都应检定合格，并在有效期内使用。

4.3 鉴定检验

4.3.1 鉴定检验条件

属于以下情况之一的产品应进行鉴定检验：

- a) 产品定型；
- b) 定型后主要原材料或工艺有重大变更时（该情况下具体鉴定项目可按订货方和承制方协议执行）；
- c) 转厂或停产三年（战术型号）、五年（战略型号）以上，或按订购方和承制方协议执行。

4.3.2 检验项目

鉴定检验项目见表1中。根据产品种类和特性，允许对表中项目裁剪或增补。

表1 检验项目表

| 序号 | 检验项目 | 鉴定 检验 | 质量一致性检验 | | 要求章条号 | 检验方法 章条号 | |
|----|--------------------|-------------------------|---------|------|------------------|-------------|--------|
| | | | A组检验 | C组检验 | | | |
| 1 | 标志和代号 | ● | ● | — | 3.10 | 4.6.1 | |
| 2 | 外观质量和颜色 | ● | ● | — | 3.11 | 4.6.2 | |
| 3 | 尺寸 | ● | ● | — | 3.8 | 4.6.3 | |
| 4 | 内部质量 | ● | ● | — | 3.2.1.3、3.2.2 b) | 4.6.4 | |
| 5 | 重量 | ● | ● | — | 3.9 | 4.6.5 | |
| 6 | 喷管气密性能 | ● | ● | — | 3.2.2 d) | 4.6.6 | |
| 7 | 喷管摆动性能 | ● | ● | — | 3.2.2 e)、3.3 c) | 4.6.7 | |
| 8 | 喷管温度循环及温度冲击 | ● | — | — | 3.4.2 | 4.6.8 | |
| 9 | 冲击 | ● | — | — | 3.4.3 | 4.6.9 | |
| 10 | 振动 | ● | — | — | 3.4.4 | 4.6.10 | |
| 11 | 运输性 | ● | — | — | 3.7 | 4.6.11 | |
| 12 | 喷管摆动寿命 | ● | — | — | 3.3 g) | 4.6.12 | |
| 13 | 喷管结构刚度 | ● | — | — | 3.3 d) | 4.6.13 | |
| 14 | 喷管模态特性 | ● | — | — | 3.3 e) | 4.6.14 | |
| 15 | 喷管地面 静止性能 试验 | 喉径烧蚀率 | ● | — | ● | 3.3 a) | 4.6.15 |
| | | 堵盖打开压强、打开时间、 打开同步性 | ● | — | ● | 3.3 b) | |
| | | 喷管摆动特性 | ● | — | ● | 3.3 c) | |
| | | 喷管零位补偿量 | ● | — | ● | 3.3 f) | |
| | | 喷管效率 | ● | — | ● | 3.3 h) | |
| 16 | 飞行性能 试验 | 喉径烧蚀率 | ● | — | ● | 3.3 a) | 4.6.16 |
| | | 堵盖打开打开压强、打开时间、 打开同步性 | ● | — | ● | 3.3 b) | |
| | | 喷管摆动特性 | ● | — | ● | 3.3 c) | |
| | | 喷管零位补偿量 | ● | — | ● | 3.3 f) | |
| 17 | 柔性接头气密性能 | ● | ● | — | 3.2.2 c) | 4.6.17 | |
| 18 | 柔性接头摆动性能 | ● | ● | — | 3.2.2 c) | 4.6.18 | |
| 19 | 柔性接头摆动疲劳 | ● | — | ● | 3.2.2 c) | 4.6.19 | |
| 20 | 喷管壳体或固定体壳体结构强度 | ● | ● | — | 3.1.3.2 h) | 4.6.20 | |
| 21 | 珠承喷管防扭装置性能 | ● | ● | — | 3.3 d) | 4.6.21 | |
| 22 | 可靠性 | ● | — | — | 3.5 | 4.6.22 | |
| 23 | 安全性 | ● | — | — | 3.6 | 4.6.23 | |

注：●必检项目；—不检项目。

4.3.3 检验顺序

除特殊规定规定外，检验一般按如下顺序：

- a) 表1中1~5项；
- b) 表1中6、7、17、18、20、21项；
- c) 表1中8、9、10、11、13、14、19、23项；
- d) 摆动寿命及喷管地面静止性能试验，表1中12、15项；
- e) 飞行性能试验，表1中16项；
- f) 通过以上试验综合评估可靠性，表1中22项。

4.3.4 合格判据

4.3.4.1 喷管按表1规定项目检验结果全部满足第3章中规定的相关要求，判为合格。

4.3.4.2 影响产品使用性能的重要项目（具体项目应根据各型号实际情况确定）一次鉴定检验未通过时，允许查清原因，采取有效措施后重新组织鉴定检验，如果还不满足要求，判为不合格。

4.3.4.3 不影响产品使用性能的项目（具体项目应根据各型号实际情况确定）不符合要求，又无法返修纠正时，允许按相关规定办理超差手续，批准后备定为通过。

4.4 质量一致性检验

4.4.1 检验项目

质量一致性检验项目见表1。根据产品种类和特性，允许对表中项目裁剪或增补。

4.4.2 检验顺序

除特殊规定规定外，检验一般按如下顺序：

- a) 表1中1~5项；
- b) 表1中6、7、17、18、20、21项；
- c) 柔性接头摆动疲劳，表1中19项；
- d) 摆动寿命及喷管地面静止性能试验，表1中12、15项；
- e) 飞行性能试验，表1中16项；

4.4.3 合格判据

不影响喷管使用性能的项目（具体项目应根据各型号实际情况确定）不符合要求，又无法返修纠正时，允许按相关规定办理超差手续，批准后备定为通过。

4.5 抽样

4.5.1 抽样项目

喷管抽样项目按订购方和承制方协议执行，若无协议，一般抽样进行喷管地面静止试验和飞行性能试验。

4.5.2 抽样数量

喷管抽样数量按订购方和承制方协议执行；若无协议，一般按下列规定执行：

- a) 战略导弹发动机喷管和大型地—地导弹发动机喷管每批抽二台，一台参加喷管地面静止性能试验，一台参加飞行性能试验；
- b) 战术导弹发动机喷管按25台~30台抽二台的比例进行抽样（最少为2台），50%参加喷管地面静止性能试验，50%参加飞行性能试验。

4.5.3 合格判据

抽试合格判据按订购方和承制方协议执行；若无协议，一般按下列规定执行：

- a) 喷管地面静止试验和飞行试验全部成功,性能全部满足任务书要求,全批产品判为合格;
- b) 喷管地面静止试验有一台失败,应加倍抽试,如再有一台失败,则全批产品判为不合格;
- c) 喷管地面静止试验抽试合格后才能进行飞行试验抽试,飞行试验有一台失败,应加倍进行飞行试验抽试,如再有一台失败,则全批产品判为不合格。

4.6 检验方法

4.6.1 标志和代号

喷管的标志和代号用目视方法检验。

4.6.2 外观质量和颜色

喷管外观质量和颜色一般用目视方法检验,必要时可用放大镜或内窥镜检验。

4.6.3 尺寸

采用精度符合设计文件要求的量具和工装对喷管(含零、部件)的尺寸进行检验。

4.6.4 内部质量

4.6.4.1 喉衬材料一般先用X射线探伤,如果不清楚或难判断时,再用γ射线或CT进行探伤,具体探伤方法和判伤准则按相关的详细规范执行。

4.6.4.2 各种绝热层和粘结界面先用超声波或X射线探伤,如果不清楚或难判断时,用CT进行探伤,具体探伤方法和判伤准则按相关的详细规范执行。

4.6.5 重量

采用精度符合设计文件要求的衡具称量喷管(含零、部件)的质量。

4.6.6 喷管气密性能

组装好的喷管装在专用压力容器上进行气密性试验,充气压强、气体种类、保压时间、允许泄漏量和环境温度等按各型号设计文件的规定执行。

4.6.7 摆动性能

喷管组装气密合格后,装在冷试容器上,用伺服作动器按专用的测试程序进行。

4.6.8 温度循环及温度冲击

喷管温度循环及温度冲击试验可单独进行,也可与发动机一起进行。与发动机一起进行时,试验方法按GJB 5021—2001规定执行。

4.6.9 冲击

喷管冲击试验可单独进行,也可与发动机一起进行。与发动机一起进行时,试验方法按QJ 1136A—2002规定执行。

4.6.10 振动

喷管振动试验可单独进行,也可与发动机一起进行。与发动机一起进行时,试验方法按QJ 1135A—2002规定执行。

4.6.11 运输性

喷管运输试验可单独进行,也可与发动机一起进行,试验一般在铁路、公路、海洋、空中等实际环境中进行,也可在振动台上进行模拟运输模拟试验来代替,具体试验方法按各试验任务书或相关详细规范执行。

4.6.12 摆动寿命

喷管装在冷试容器或发动机上,用伺服作动器按专用程序和规定程序次数进行。

4.6.13 喷管结构刚度

喷管刚度特性试验一般在冷试喷管上进行，轴向、径向、扭转分别进行。

4.6.14 喷管模态特性

喷管模态特性试验应采用正式产品进行，在自由和支撑状态下用锤击法进行试验。

4.6.15 喷管地面静止性能试验

喷管地面静止试验随发动机一起进行。固定喷管地面静止试验按GJB 2365A—2004和QJ 1004A—2004执行，摆动喷管地面静止试验按照相关详细规范执行。

4.6.16 飞行性能试验

喷管飞行性能试验随全弹进行，按全弹飞行试验任务书规定执行。

4.6.17 柔性接头气密性能试验

柔性接头气密性能试验在专用容器上进行，按顺序进行充气、稳压、检漏、放气的试验程序。

4.6.18 柔性接头摆动性能

柔性接头摆动性能试验在专用容器上，用专用工装、伺服作动器和按含方波、正弦波、三角波的专用摆动程序进行。

4.6.19 柔性接头摆动疲劳

柔性接头摆动疲劳试验在专用容器上，用专用工装、伺服作动器和按含方波、正弦波、三角波的专用摆动程序进行。每批抽样一台进行试验。

4.6.20 喷管壳体或固定体壳体结构强度

喷管壳体或固定体壳体结构强度试验一般应与燃烧室壳体水压试验一起进行，也可在专用容器上进行。

4.6.21 珠承喷管防扭装置性能

防扭装置性能试验用专用工装在扭转试验机上进行，具体的试验方法按相应试验任务书规定执行。

4.6.22 可靠性试验

按产品可靠性保证大纲规定，进行各项地面冷态试验、地面静止试验、飞行试验和可靠性增长试验，按任务书规定的评估计算方法，给出产品可靠度。可靠性增长试验项目、方法和测试要求按相应试验任务书规定执行。

4.6.23 安全性试验

抽取的喷管堵盖，按产品正式工艺粘接到模拟喉衬上，在专用容器上进行加压打开试验。一般一次性加压打开试验应有不少于3个连续成功子样；多次交替加压、降压（次数根据实际使用中充压次数加上安全裕度确定）后再打开试验应有不少于2个连续成功子样。

5 交货准备

5.1 包装

5.1.1 大尺寸喷管在中转和运输过程中应固定在专用架上，小尺寸喷管先用塑料布包装，再装入专用包装箱，应采取缓冲、固定等防护措施，可用一个包装箱装多个喷管。

5.1.2 摆动喷管应调好零位，再用四根保护支撑杆撑紧固定，确保柔性接头或珠承接头处于受压状态，并在摆动间隙中填充软质保护材料，再用帆布或塑料布将喷管全部包裹好。

5.1.3 包装标志应按相关的详细技术要求或规范执行。

5.2 运输

5.2.1 喷管在包装状态下运输，按包装标志要求和相关的详细技术要求进行。

5.2.2 喷管用专用支架单独运输时应将包装好的喷管垂直状态固定在运输车上，确保运输中不受碰撞、移动，运输速度和距离按相关的详细技术要求进行。

5.3 贮存

喷管贮存中，贮存库房通风良好，温度、湿度应符合发动机对贮存库房规定的要求。

中华人民共和国航天行业标准
固体火箭发动机喷管通用规范

QJ 3284—2006

•

中国航天标准化研究所出版
北京西城区月坛北小街2号
邮政编码：100830

北京航标印务中心印刷
中国航天标准化研究所发行
版权专有 不得翻印

•

2007年5月出版