柔性喷管推力向量试验中多余物的控制

易 青 李信元 闫彩玲
（西安航天动力技术研究所，西安 710025）

摘要：阐述了在固体火箭发动机柔性喷管推力向量试验中多余物的危害性，对柔性喷管推力向量试验中发现的多余物进行了分类，并分析了各类多余物产生的原因，在实践基础上总结了推力向量试验中多余物的预防、检查与排除方法，并基于推力向量试验多余物的控制对柔性喷管的设计、工艺、装配、检验等工序提出了针对性的建议。

关键词：柔性喷管；推力向量试验；多余物；控制

Spilth Control of SRM Flexible Nozzle in Thrust Vector Test

Yi Qing Li Xinyuan Yan Cailing
(Xi'an Aerospace Propulsion Technology Institute, Xi'an 710025)

Abstract: This paper expatiates spilth's harm to SRM flexible nozzle during SRM test and sorts, as well as the reason that spilth is sorted and made. Based on a lot of practice, the methods for preventing, checking and eliminating spilth in thrust vector test of SRM flexible nozzle are presented. Some specific advices are given to design, craftwork, assembly and test of SRM flexible nozzle.

Key words: flexible nozzle; thrust vector test; spilth; control

1 引言

柔性喷管是一种借助柔性接头实施喷管摆动，达到推力向量控制目的的摆动喷管。每一台柔性喷管在进行发动机总装之前均需进行推力向量性能试验，以考核喷管的摆角、力矩等性能。由于固体发动机柔性喷管结构的特殊性，在喷管的某些部位较容易存在多余物，如果不采取针对性的预防措施，没有及时检查、排除，在进行推力向量试验时，轻则影响试验产品的装配，重则严重破坏产品，危及现场试验人员的生命安全。因此，在固体发动机柔性喷管推力向量试验中多余物的控制是一个需要引起高度重视的问题。

2 柔性喷管推力向量试验中多余物的危害

2.1 多余物在航天产品中的危害

多余物是指产品中存在的由外部进入或内部产生的与规定要求无关的所有物质。多余物是航天产品的大敌，航天产品中存在多余物，一般会引起划伤、管路堵塞、机械失灵、电气绝缘破坏和电器短路等严重事故，甚至导致发射试验失败，在航天史上多起灾难性的发射事故都是因为多余物引起的。所以在航天产品生产、试验和装配的全过程，必须对多余物采取严格的控制措施。

2.2 典型的柔性喷管结构

典型的固体发动机柔性喷管的结构见图1。由该图可看出，当柔性喷管处于扩张段出口竖直向上的放置、转运或试验状态时，结构尺寸较大的扩张段出口处极易从外部进入多余物质，同样喷管固定体和扩张段之间存在一个锥形环状空隙，空隙上宽下窄，最小间隙位于中部，仅为10mm左右，如果不采取控制措施，其他物品极易落入，并且一旦落入，极不容易发

作者简介：易青（1972-），高工，机械设计与制造专业；研究方向：柔性喷管推力向量试验和喷管刚度试验。
收稿日期：2012-12-25

现、排除。

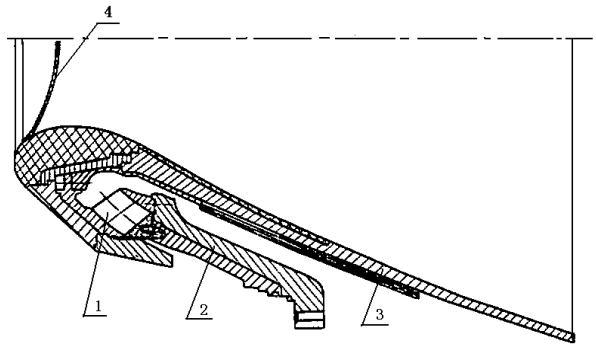

图1 一种典型的柔性喷管

1—柔性接头 2—固定体 3—扩张段 4—喷管堵盖

2.3 柔性喷管推力向量试验中多余物的危害

在固体发动机柔性喷管推力向量试验测试和试验前后的转运过程中，如果试验任务书中没有特别要求，柔性喷管一般处于扩张段出口竖直向上的状态。在试验前，柔性喷管需从转运架上调运至试验容器上方进行装配，装配现场存在大量装配工具和零部件，如活动扳手、梅花扳手、螺丝刀、螺钉、螺母、弹簧垫圈、平垫圈、开口销、容器堵头、转接头等，如果没有严格的控制措施，这些物品极易进入喷管内部成为多余物。

在推力向量试验中，伺服系统作动器产生的瞬时最大作动力可达数万牛以上，最大摆动频率可高达上百赫兹，如果多余物从扩张段出口进入、存在于堵盖和喉衬处，轻则划伤喉衬表面，重则会使喉衬发生结构破坏；如果多余物落入固定体和扩张段之间的环状缝隙中，轻则影响喷管的正常摆动，严重的会使整个喷管产生结构破坏，甚至危及在场的试验人员生命安全。因此，在柔性喷管推力向量试验中，多余物具有极大的危害。

3 推力向量试验中多余物的分类

柔性喷管推力向量试验中，较常见的多余物一般分为非金属多余物、多余零部件和其它多余物等三类，按其危害程度可分为严重多余物和一般多余物等。

3.1 按多余物的性质分类

非金属多余物：主要有漆皮、胶液残留物、硅橡胶、腻子、环氧树脂块、玻璃丝纤维、橡胶垫块、塑料垫片等。这些多余物主要与柔性喷管的生产工艺有关。柔性喷管除金属结构件外，喉衬、背壁绝热层、扩张段绝热层和柔性接头弹性件等均为非金属材料，各部件之间的连接也大多采用环氧树脂胶结工艺，在连接装配过程中，各部件之间会产生摩擦、挤压等，会有碎屑、纤维丝掉落，胶液溢流等现象，如果不及时清理，这些装配过程中产生的多余物会遗留在喷管内部。

多余零部件：主要有螺钉、弹簧垫圈、弹簧垫圈碎块、平垫圈、开口销、螺母等。柔性接头和扩张段组件、柔性接头与固定体、固定体与试验容器之间的装配采用螺钉或螺栓配合弹垫与平垫圈装配，当喷管处于扩张段出口竖直向上状态时，这些零部件容易滑落或遗留其中。

其它多余物：灰尘、墙皮、毛发、棉线头等。主要是喷管在储存、转运时，没有采取完善周密的保护措施，致使周围环境中的多余物落入。

3.2 按多余物的危险性分类

严重多余物：使试验产品造成整体或者局部结构破坏，使产品丧失工作性能或工作性能降低，具有一定危险性的多余物。主要是上述所说的多余零部件等。

一般多余物：指不影响柔性喷管产品的工作性能，对产品的结构或表面不会产生破坏，一般情况下也不会产生严重后果的多余物。主要是上述所说的非金属多余物与其它多余物。

4 推力向量试验中多余物的控制

多余物对柔性喷管推力向量试验存在较大的危害，有的甚至是严重的危害，所以必须从柔性喷管的设计、加工制造工艺、试验、转运等各个环节对多余物制定严格的控制措施，防止多余物进入产品内部或在产品内部生成。

4.1 设计环节对多余物的控制

航天产品在设计阶段就应充分考虑到多余物的危害，并予以控制。

a. 由于固体发动机柔性喷管需要经受高温、高速燃气的冲刷，必须具备耐高温、抗烧蚀、轻质、高强度等特点，所以多选用非金属材料，因此必须控制非金属材料在装配过程中相互挤压、摩擦产生的掉渣、掉块和纤维丝，在不影响使用的前提下，非金属端面的棱边和其他部位的尖角处需要进行倒角；

（下转第70页）