

对《固体火箭发动机喷管烧穿故障的试验分析》质疑^①

魏时发 顾宝林

(陕西动力机械研究所,西安,710025)

1 引言

吕振中等人署名的“固体火箭发动机喷管烧穿故障的试验分析”一文(刊在《推进技术》1997年第18卷第6期上),从内容分析,所述对象为我部某大型固体火箭发动机地面试车中的喷管烧穿故障。该文(以下简称吕文或吕课题)认为喷管的内型面半径对轴线的导函数在型面衔接点处不连续是导致烧穿故障的直接原因。吕文认为:“观察历次试车后的喷管烧蚀情况,这种型面喷管最先烧穿是在一个特定的型面上”,“看来有一定的必然性”。吕文经分析和试验后肯定,此特定截面就是扩张段圆弧和三次抛物线衔接点(以下称接点)处,是导数不连续为间断点引起。

但是该文违背了客观事实,该喷管在地面试车中前数台完全成功,之后连续两台出现故障。经全面反复分析、比较后认为,是由于热防护材料质量失控,存在严重的皱折、分层和疏松所致。采取针对性措施后,数台试车又获完全成功。设计评审时再次肯定了这一结论。

2 客观事实证明吕文是错误的

2.1 试验成功才是必然的结果

本喷管在地面试车中,前数台完全成功,之后的第一台工作近半时喷管全部被烧毁、碎片飞出,第二台工作结束前约9.5s时扩张段前、中部的外壁温度突升、应变突变。之后火焰向外喷出并迅速扩大。工作结束前2.3s时扩张段大部被烧毁、碎片飞出。经继续工作和余火的烧蚀后,留下包括扩张段前部在内的喷管其余部分的残骸。在这两台残骸碎片中发现热防护材料异常,其皱折、分层和疏松严重。

经全面反复分析、比较,认为出现故障的原因是热防护材料的质量严重下降引起。采取更新设备,严格控制原材料、工艺条件等针对性措施(扩张段内型面曲线没有改变)后,数台再试又获完全成功。至此已取得80%的成功率,证明试验成功才是必然的结果。

2.2 残骸上的断痕远离接点

在故障第二台的残骸上,其断痕远离接点截面,在其下游(轴向距离)约180mm。显然最先烧穿处更在其下游处。

2.3 试后在接点处及其附近的内型面仍然圆滑和连续

所有试后喷管(包括上述出现故障的喷管残骸在内)扩张段内型面接点处和其附近区域,仍然圆滑和连续,没有出现吕文所论的横向沟槽、低谷或凸台以及高峰现象;而且其内外结构

^① 收稿日期:1998-08-05

完全完整无损。由于最先烧穿处根本不是接点处,证明吕文所论是错误的;包括气动部分在内的喷管设计是成功的、正确的。

3 理论和实践问题讨论

3.1 吕文中的接点导数值可信吗?

吕文中说扩张段接点处的导数不连续,为间断点。其左端值 $Fd(x)=0.8538$ 。此值就是其切线对轴线的倾角为 $40^{\circ}29'$ 。这是吕文“提出的”的所谓重大问题。此角基本上(仅差一个微小量 δ ,以下类同,但不一定相等)就是喷管扩张段初始扩张半角(以下称始半角),它是喷管设计中的关键参数之一。

此角大大超出国内外喷管设计中最大的始半角。《NASASP-8115》中说,锥型扩张段中成功的在 $6^{\circ}\sim 28^{\circ}$ 之间变化,但大多数为 15° 或 $17^{\circ}30'$ 。对特型扩张段如双圆弧法、抛物线法或特征线网格流线法中,最大达 32° 也成功,最常用者为 $20^{\circ}\sim 26^{\circ}$ 。国内设计的喷管也是如此。本喷管扩张段接点左、右的切线对轴线的倾角和对应的始半角都在常用范围内,均小于 24° 。彼此相等或相差很小。对如此大的始半角,设计方面没有看到经过充分的理论分析和实验验证,证明其利大于弊的有关报告,是不可能选用的。

上述左端角与右端值 $Fd(x)=0.4368$ 对应的始半角约为 $23^{\circ}36'$ 相比,其差竟达 $16^{\circ}53'$ 。这也是空前未有的“奇迹”。设计上即使存在不完全相等,也相差很小,不会有如此严重的问题。

3.2 研制中的喷管不可能出现上述问题

喷管从设计到成品是集体的智慧和劳动凝聚的结果。即使个人设计中有误,发生了上述简单和异常明显的错误,也会及时被纠正。吕文既没有进行认真判断;又没有积极地进行查询;反而毫无根据地把这异常和错误加给设计方面。

3.3 制造中如何实现设计要求问题

在实施工艺方法如车削、工艺要求和设计中存在的 δ ,要求的形位及尺寸偏差等的综合结果,使实际的喷管内型面曲线,偏离设计的内型面曲线;而且其曲线导函数连续要求也成为泡影。但是,前者在其要求的范围内,自然是允许的;对后者要求圆滑过渡,工艺采取相应措施如磨削(打磨)后,就能解决包括接点在内的内型面圆滑和连续,及其曲线的导函数连续的问题。

经过地面试车前、后的检测表明,包括扩张段下游接点和附近区域的内型面都是圆滑和连续的。这些都证明了包括气动、热防护部分在内的喷管设计是成功的、正确的。

4 结 论

吕文的依据、分析和结论等与客观事实不符,所以是错误的。包括气动部分在内的喷管设计是成功的、正确的。此外,吕文的第二“作者”和在“致谢”中被“感谢”的关键人员,完全否认为吕课题工作或帮助过。王秉勋为第二作者,为什么要向他“致谢”,也违背常规。