

某发动机燃料节流阀特性研究

张赤民

中国航天科技集团公司第六研究院十一所

摘 要: 介绍了某发动机燃料节流阀的功能及结构特点, 对其工作过程和工作特性进行了试验研究, 提出了设计过程中满足发动机要求的具体措施。

关键词: 发动机; 燃料节流阀; 特性研究

中图分类号: V432

文献标识码: A

文章编号: (2004)01-0020-03

1 引言

为了充分利用箭载推进剂, 提高运载火箭的有效载荷, 在发动机系统中设置了推进剂利用系统。燃料节流阀安装在一级燃料泵后至燃料主阀之间的管路上, 是推进剂利用系统的执行机构。在发动机工作期间两种推进剂组元不断消耗, 传感器感受贮箱中液位的变化, 输送至计算机控制系统进行比较、计算、放大输出相应的控制指令, 使燃料节流阀按照指令调节发动机燃烧室的混合比, 从而达到两种推进剂同时耗尽。另外, 对起动过程而言, 能够改变一定时间内的燃料供应系统流阻, 从而控制燃烧室建压幅度和速度, 保证起动过程平稳可靠。

2 工作过程及结构特点

2.1 燃料节流阀功能

燃料节流阀结构原理图如图 1 所示。发动机起动时, 将控制气体通入燃料节流阀控制腔, 使阀芯限位于导向筒, 通过阀芯小孔的流量即为发动机起动工作阶段的燃料流量。

随着燃料泵后压力的不断升高, 当节流阀入口的介质压力作用在阀芯上的力大于控制气体

的作用力时, 阀芯移动至底座限位, 关闭阀芯上的小流量孔, 发动机转入大流量的主级工作状态。

当需要进行混合比调节时, 控制系统根据调节量的大小, 向电机供电, 使其转动, 带动齿轮轴旋转至需要的角度。随着齿条与底座间的节流缝隙变化, 燃料节流阀的节流压降也随之变化, 达到所要求的混合比节流压降。

2.2 燃料节流阀的主要结构特点

为满足大流量和小流量两种状态的功能要求, 将阀门设计为两工位节流阀, 保证了发动机起动阶段和主级阶段对推进剂的流量要求。

为提高燃料节流阀的调节精度, 减小进回程偏差, 采用步进电机加谐波齿轮作为传动机构, 用以控制阀门转角。步进电机的输出转角与输入脉冲数严格成正比, 输出角定位精度高, 输出负载力矩随输入脉冲频率变化而变化, 谐波齿轮的体积小、重量轻, 与一般减速齿轮相比, 在输出相同力矩情况下, 其体积减小 $2/3$ 、重量减轻 $1/3$, 同时谐波齿轮的侧隙小, 运动平稳 (同时啮合齿数可达总齿数的 20%), 传动比大 (单级传动比可达 $70 \sim 320$), 在额定工作频率下使电机的输出转矩大大提高, 精度高, 零件少, 结构简单, 可靠性高, 从而可以保证节流阀的调节精度。

收稿日期: 2003-07-25, 修回日期: 2003-08-21。

作者简介: 张赤民 (1969—), 男, 高级工程师, 研究领域为液体火箭发动机自动器。

在电机上设置了角位移传感器，可在节流阀工作过程中进行检测及向控制系统发出位置反馈信号。

为满足技术要求中对流阻特性的二次曲线高相关系数的要求，将阀座的流阻形面设计成不同角度的三段直线段，提高了试验流阻特性曲线的相关系数。

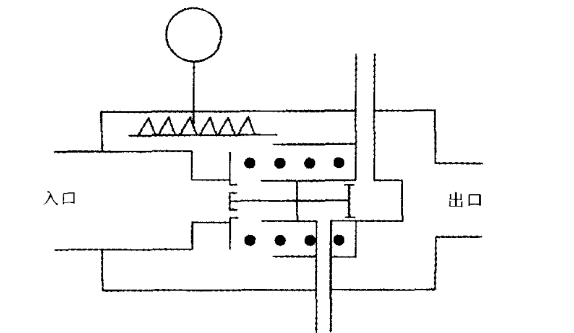


图 1 燃料节流阀结构原理图

3 满足发动机要求的具体措施

由于燃料节流阀设计要求工作压力高，工作介质流量大，调节压降范围宽，同时要求具有两工位调节能力，因此在结构形式、材料选择及流阻形面设计上有其特点。由于介质流量大，通径大，致使阀门的体积较大，采用一般的不锈钢材料将导致重量过重，因此设计时将主要零件壳体材料选为强度高，重量轻的合金材料，从而大大减轻节流阀的重量。流阻形面的设计是决定节流阀流阻特性好坏的关键，形面设计应以满足系统要求为前提，便于产品加工为原则，因此将流阻形面设计成不同角度的三段直线段以替代二次曲面，如图 2 所示。试验结果表明，液流试验流阻特性拟合曲线的相关系数在 0.999 以上，完全可以满足设计要求，证明设计方法正确可行。为实现节流阀的两工位调节功能，将阀芯设计成运动件，并由阀芯上的小孔来控制发动机起动段的小流量，主级状态工作时，阀芯在入口介质压力作用下，限于阀座，同时关闭小流量孔，由阀座的流阻形面与齿条间的间隙来完成大流量状态工作。

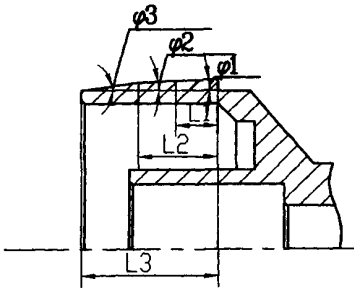


图 2 流阻形面结构示意图

4 特性试验研究

4.1 小流量状态流阻试验

小流量状态为控制燃烧室建压速度而设置，流阻系数大，推进剂进入燃烧室的流量小，则燃烧室建压速度慢，反之则快。为满足系统使用要求，设计了四种流阻系数的阀芯，并进行了液流试验。不同流阻系数阀芯的小流量流阻曲线见图 3。

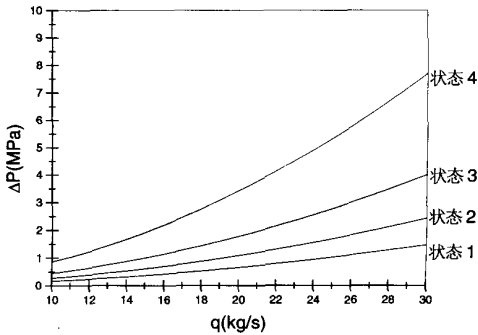


图 3 不同流阻系数阀芯的小流量流阻曲线

4.2 打开压力试验

打开压力试验是在给燃料节流阀控制腔通一定压力控制气时，逐步提高入口压力，直至阀芯打开，燃料节流阀从小流量状态转为大流量状态，此时的入口压力即为打开压力。打开压力过低，在发动机起动阶段，大量推进剂过早进入燃烧室，可能使室压高于预燃室压力和泵后压力，造成推进剂断流甚至倒流，从而导致发动机无法起动。

最初设计状态的阀芯的引压孔在流量孔附近（见图 4），试验结果表明，此状态下的阀芯在额定控制压力时，打开压力过低。经分析认为，在介质通过流量孔时的高速流动过程中，产生的引射作

用,使弹簧腔内压力降低,造成打开压力过低。

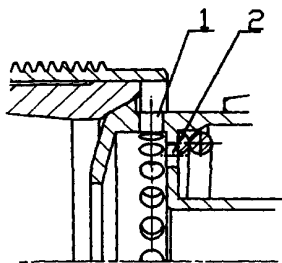


图 4 阀芯初始状态示意图

1—阀芯流量孔; 2—阀芯引压孔

为了提高打开压力,对阀芯结构进行了改进,将阀芯引压孔改在阀芯侧面(见图 5),避免了引射作用,使阀门入口压力直接充入弹簧腔,同样条件下进行试验,阀芯打开压力提高了一倍。

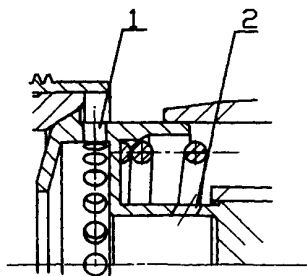


图 5 改进后阀芯结构示意图

1—阀芯流量孔; 2—阀芯引压孔

另外,为进一步提高打开压力,通过适当减小入口压力作用在阀芯上的面积,使燃料节流阀的打开压力在额定控制压力时提高了2.5倍左右。同时,为了减小燃料节流阀出口压力对打开压力的影响,将阀芯与导向筒间最初设计的面接触形式改为线接触形式(见图 6)。

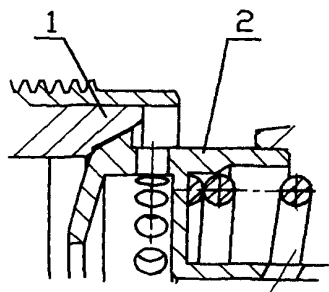


图 6 阀芯接触形式示意图

1—导向筒; 2—阀芯

4.3 额定状态流阻试验

主级状态的流阻特性为燃料节流阀流阻与刻度盘转角的关系,流阻特性的好坏,直接影响发动机混合比的调节。由于燃料节流阀工作压力高,额定流量大,目前现有的试验能力不能满足试验要求,因此需在相对较低的压力和流量下进行试验,通过流阻系数相同的原则进行换算到额定状态,实际试验是在流量 70kg/s 和入口压力 9MPa 的条件下进行的。

试验流阻拟合曲线见图 7。近似方程的相关系数为 0.9996,满足技术要求中大于 0.9988 的要求。 Δp 的 2 倍标准偏差 2σ 为 0.022%,满足技术要求中不大于 3.5% 的要求。将试验结果换算到额定流量时的压降调节范围完全满足技术要求及完全打开时的压降要求。

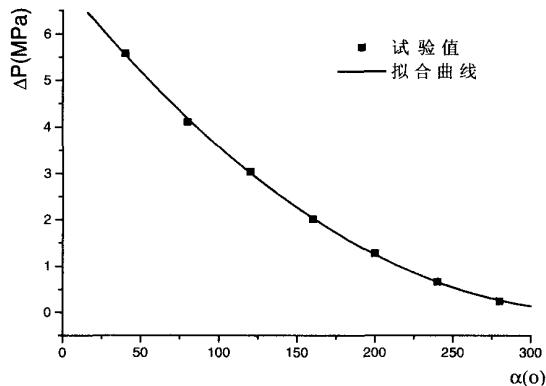


图 7 试验流阻拟合曲线

5 结论

通过对某型号发动机中的燃料节流阀的特性进行分析研究,得出以下结论:

- (1) 燃料节流阀具有两工位调节功能;
- (2) 额定流量下全开状态时的压降满足技术任务书要求;
- (3) 额定流量下压降调节范围满足技术任务书要求。

综上所述,所研制燃料节流阀满足使用功能及流阻特性要求。

参考文献:

- [1] 朱宁昌,等. 液体火箭发动机设计(上、下). 宇航出版社,1994.