

# 液氧/煤油发动机燃料节流阀试验技术

张 萍

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

**摘 要:** 在长征系列发动机主泵试验系统现有的基础上经局部改造而建造了燃料节流阀试验系统。利用长征系列发动机主泵作为动力源, 提高其转速, 解决了燃料节流阀试验要求的高扬程、高背压等技术难题。设计改进了控制高压供气系统。在高入口压力下对节流阀的性能进行了成功试验。动态特性参数的测得为燃料节流阀工作特性的深入研究提供了有效依据。

**关键词:** 燃料节流阀; 试验技术

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2005)03-0059-04

## LOX/kerosene engine fuel throttle valve test technology

Zhang Ping

(Shaanxi Power Machine Design and Research Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** An engine main pump test system was improved to be both applicable for pump test and fuel throttle valve test. High delivery lift and high backpressure required in fuel throttle valve test were obtained through higher rotation speed of the main pump. The control system of the high pressure air supplier was modified. The valve performance was successfully tested under high inlet pressure. Dynamic characteristic parameters of the fuel throttle valve obtained allow further study of the valve operating characteristics.

**Key words:** fuel throttle valve; test technology

### 1 引言

为了充分利用箭载推进剂、减少推进剂的剩余量、尽可能地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。推进剂利用系统就是通过调节混合比, 达到使两种推进剂同时耗尽的目的。推进剂利用系统的关键设备节流阀安装在一级燃料泵之后至燃料主阀之间的管路上, 是推进剂利用系统的主要执行机构。在发动

收稿日期: 2005-01-24; 修回日期: 2005-05-19。

作者简介: 张萍(1963—), 女, 工程师, 研究领域为火箭发动机泵、阀水力性能试验研究。

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, 输送到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, 对启动过程而言, 燃料节流阀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, 保证启动过程平稳可靠。

燃料节流阀的试验目的是测量节流阀在高入口压力条件下的打开压力特性和关闭压力特性,

测量阀在不同背压条件下的动态特性参数, 为产品的设计、使用提供有效的依据。

## 2 问题的提出

考验节流阀在高入口压力条件下的性能, 按照设计人员提出的要求, 对燃料节流阀的打开压力特性和关闭压力特性进行了试验研究。其试验系统原理图见图 1。

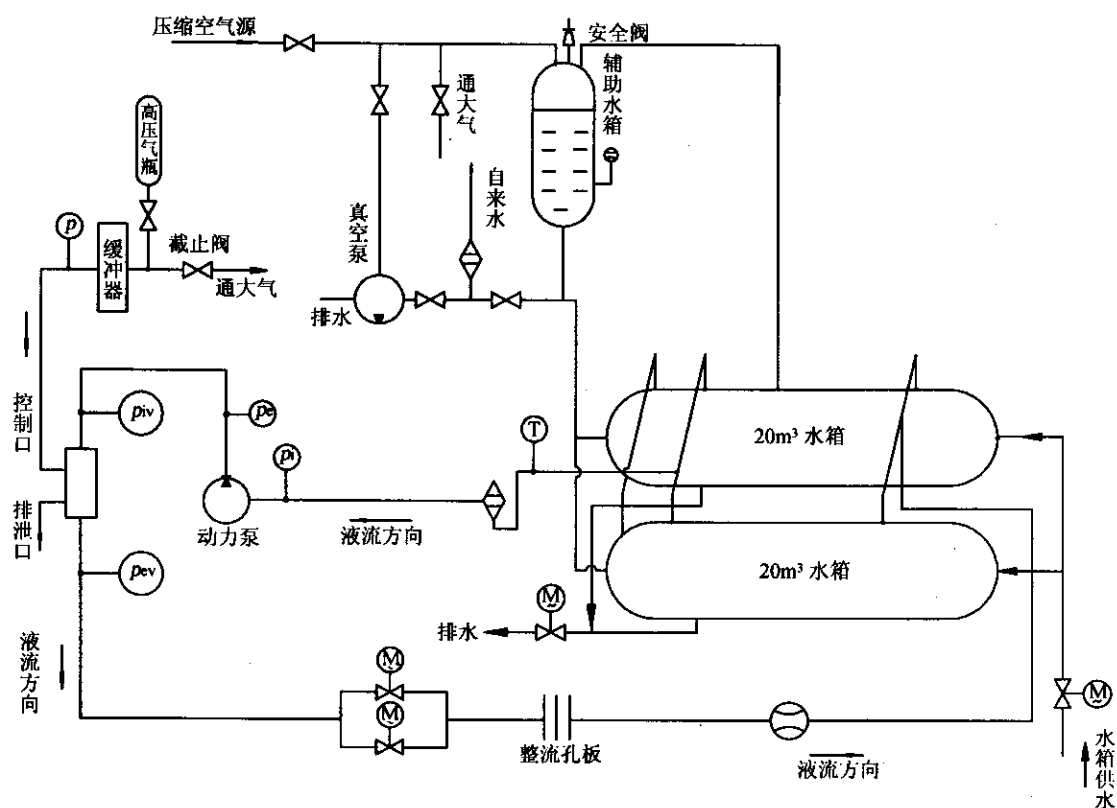


图 1 试验系统原理图

Fig.1 Scheme figure of test system

### 2.1 设计要求

(1) 给燃料节流阀控制腔分别通 16MPa、20MPa 压缩空气;

(2) 保证燃料节流阀出口压力(称背压)分别为 2MPa、4MPa、6MPa、9MPa, 将燃料节流阀的角度分别调至  $250^\circ$ 、 $210^\circ$ 、 $170^\circ$ 、 $130^\circ$ 、 $90^\circ$ , 提高燃料节流阀的入口压力, 测定阀芯在不同转角下的打开压力特性;

(3) 降低燃料节流阀的入口压力, 测定阀芯在不同转角、背压下的关闭压力特性;

(4) 考验节流阀的性能。将燃料节流阀转角调至  $140^\circ$ , 提高节流阀的入口压力至 15MPa, 节流阀控制口和排出口同时通 16MPa 空气, 当节流阀的入口压力达到 15MPa 时, 降低节流阀的入口压力, 当压力降至 3MPa 时, 放掉节流阀控制口和排出口的高压气, 随后结束试验。

## 2.2 现有试验条件

作为泵水力试验台,本身没有高压水源,只有做泵试验时,才能产生泵的高出口压力,所以要创造节流阀试验所需的高压条件,需要选一台高扬程的泵。

### 2.2.1 泵的动力源

可以作为动力源的泵有两种,一是液氧/煤油发动机的煤油主泵;二是长征系列火箭发动机的燃料主泵。如果用煤油主泵作为动力源,需要对试验系统进行重大改造;如果用长征系列燃料主泵作为动力源,要达到节流阀试验要求的高扬程,就必需提高泵的转速。

### 2.2.2 燃料节流阀出口压力

设计要求燃料节流阀出口压力其中一项为9MPa,此项要求将造成作为动力源泵的零流量状态,存在严重的水击现象,会造成试验系统剧烈振动,对动力源泵将产生破坏性损害。

### 2.2.3 节流阀内控压力

采用35MPa,7L的高压气瓶,给燃料节流阀控制腔供高压气,试验中出现的现象是:燃料节流阀阀芯打开前控制腔压力调定为2MPa,在阀芯打开后压力升至23MPa,设计要求在控制腔压力为20MPa时,降低节流阀入口压力使阀芯关闭,测试节流阀的关闭压力特性,23MPa的控制腔压力就改变了关闭供气状态。原因是供气系统无缓冲装置,不能解决节流阀阀芯在突然打开时造成的节流阀内控压力的急剧增高。

## 2.3 试验需要解决的技术难题

### 2.3.1 阀的入口压力问题

燃料节流阀的入口压力需要15MPa,而试验台本身不能提供这么高的压力,为了解决这个问题,我们对上述两种泵的使用方案进行了反复比较后认为:

(1) 用煤油泵作为动力源,煤油泵一级出口的压力可以达到16MPa以上;试验台的试验系统复杂,在出口系统上改造困难较大,改造费用高,时间长,所以放弃了此方案。

(2) 用长征系列燃料主泵作为动力源,系统改造较为简单,改造费用低,相对试验台的改造要省时、省力。要使泵的出口压力达到15MPa,需要提高泵转速。

### 2.3.2 燃料节流阀控制腔供高压气的缓冲问题

### 2.3.3 泵的强度问题

燃料节流阀的高背压试验,将会产生严重的水击现象,会对泵造成破坏性的问题,因此对泵的强度要求较高。

## 3 解决技术难题的总体思路和技术途径

根据现有试验设备的具体情况,我们进行了反复研究,分析了被试产品的特性情况,认为采用常规的试验方法是无法达到设计要求的,只能以现有的试验技术为基础,经过改进和创新改造才能解决试验中的技术难题。

### 3.1 提高节流阀入口压力

提高节流阀入口压力至15MPa,就要提高动力源泵的出口压力,提高泵的出口压力,提高泵的转速,现有测功轴将不能承受转速的扭矩。因此首先要解决电机与泵的联轴问题,经过认真分析,反复计算,认为泵的功耗不会超过电机的输出功率,电机能够满足提高转速的要求。决定换掉测功轴,不测泵功率,设计了一根光轴,只起联接作用,解决了电机与泵的联轴问题,这种方法可以保护测功轴、电机和动力源泵,又可以使试验正常进行。

### 3.2 燃料节流阀控制腔供高压气

要解决节流阀控制腔压力的缓冲问题,需要设计一套压力缓冲装置系统,首先要设计缓冲瓶,20MPa的缓冲瓶属于压力容器,设计、加工需要很长时间,无法按时完成试验。经过反复讨论和查找其它系统缓冲瓶的设计图纸,进行承压计算,最后决定借用液氧、煤油主泵试验台的缓冲瓶,此缓冲瓶承压21MPa,容积为7L,基本能够满足试验要求。利用该容器为节流阀控制腔供气制作了一套供气缓冲系统,对被试产品实施了有效保护,经试验验证,使用后完全解决了试验中节流阀阀芯打开后压力升高现象。

### 3.3 燃料节流阀的高背压试验

燃料节流阀的高背压试验时,消除水击现象的燃料节流阀的高背压试验即背压9MPa时,因为与节流阀的入口压力几乎接近,使试验流量很小,已经到了8L/s,造成动力源泵处于零流量状态,

泵达到最高扬程时, 泵内流体的温度升高很快, 部分流体汽化。燃料节流阀安装在动力源泵的出口管路上, 当节流阀打开和关闭时都会产生严重水击现象, 造成试验系统的剧烈震动, 对动力源泵造成很大的冲击, 多次长时间进行此状态的试验将对泵及试验系统造成致命损坏。每台阀要进行几十个工况的试验, 其中高背压 9MPa 的试验每台要进行 10 个工况的试验, 大约运转 20 分钟, 剧烈振动和冲击会使泵的壳体破裂, 可能造成重大的质量事故和人员伤亡事故, 因此, 这一工况的试验需要慎重考虑。如何确保人员和设备的安全, 又能满足试验的要求呢? 经过反复论证, 决定避开此点采用阀背压为 7.5MPa 进行试验, 同时, 选用新泵作为动力源, 原来的动力源泵使用了近十年, 各种性能都有所下降, 为了提高可靠性, 这次选用了当年生产的性能较好的新泵, 这样既可以满足设计要求, 又可以保证试验系统的安全。

## 4 试验方法及过程

(1) 给燃料节流阀的控制口供 20MPa 压缩空气, 打开节流阀排泄口, 在排泄口处放一个水盆, 试验开始, 动力源泵启动, 随着转速升高, 泵扬程不断升高, 阀的入口压力随着泵扬程的升高而逐渐升高, 观察排泄口水盆, 当排泄口出气泡时, 确定阀已打开, 要立刻降低阀的入口压力, 通过降低动力源泵的转速降低阀的入口压力, 当阀入口压力降至 4MPa 时, 观察流量, 当流量突然变小, 可以确定阀已关闭。再提高动力源泵转速至阀打开, 以此类推, 按照上述方法, 分别做转角  $250^\circ$ 、 $210^\circ$ 、 $170^\circ$ 、 $130^\circ$ 、 $90^\circ$  的试验。试验中动力源泵要反复升、降转速。

(2) 给燃料节流阀的控制口供 16MPa 压缩空气, 试验方法同上。重复进行试验, 测阀的打开压力和关闭压力特性等。

(3) 考验节流阀性能试验。调节节流阀转角为  $140^\circ$ , 控制口和排泄口同时通 16MPa 压缩空气,

动力源泵升速, 当燃料节流阀入口压力达到 15MPa 时, 泵降速, 节流阀入口压力逐步降低到 3MPa 时, 放掉节流阀控制口和排泄口的高压气, 记录过程中的各测量参数, 然后停泵结束试验。

## 5 结束语

通过改进试验系统和方法, 完成了液氧/煤油发动机燃料节流阀的打开压力特性和关闭压力特性试验, 并在阀的高入口压力下对燃料节流阀的性能进行了考验, 事实证明了此试验技术是成功的, 达到了预期的目的, 并在试验中发现了有一种产品的阀芯在任何转角下关闭时都会产生较为严重的水击现象, 为燃料节流阀的进一步改进和深入研究提供了实践经验。

试验系统是在长征系列发动机主泵现有的基础上经局部改造而建造的, 新建成的系统可同时用于长征系列发动机主泵和燃料节流阀的试验, 是一种多功能的、经济合理的、实用的试验系统。为液氧/煤油发动机的研制争取了时间, 也为下个阶段燃料节流阀试验积累了丰富经验。

### 参考文献:

- [1] 海因 A H 著, 易孟林等译, 流体力学系统的故障诊断及排除[M], 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 陈卓如等, 工程流体力学[M], 黑龙江: 哈尔滨工业大学出版社, 1987.
- [3] 刘婷, 段茂强, 工艺管路对节流阀性能参数影响的分析[J], 火箭推进, 2004, (5).
- [4] 张萍, 预压涡轮泵水力性能试验系统[J], 火箭推进, 2003, (6).
- [5] 休泽耳 D K 等著, 赵元修等译, 液体推进剂火箭发动机设计[M], 北京: 国防工业出版社, 1972.
- [6] 关醒凡著, 离心轮理论与设计[M], 北京: 机械工业出版社, 1987.

(编辑: 侯 早)