

# 液氧主阀的方案及设计

程亚威, 李小明, 陈维宇

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

**摘要:** 简要叙述了液氧/煤油游动发动机发生器地面热试验系统与发动机试验系统的不同特点。根据发生器热试系统的要求, 设计的液氧主阀采用菌阀结构, 通过结构设计使阀门具备主动关闭功能, 产品经过常温和低温的验收试验检查, 满足发生器热试要求。设计的液氧主阀在发生器热试中, 按照指令动作准确, 工作正常, 圆满完成热试任务。

**关键词:** 游动发动机; 液氧主阀; 设计; 热试

**中图分类号:** V434.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** (2007) 02-0017-04

## The scheme of main liquid oxygen valve

Cheng Yawei, Li Xiaoming, Chen Weiyu

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** Different characteristics between the gas generator hot ground test system and the Liquid Oxygen (LOX) /Kerosene engine ground test system were described in this paper. Fungiform configuration was used in the main LOX valve to meet the demand of gas generator hot test system. The main LOX valve was designed to cut off automatically. The valve was checked by the nominal temperature test and low temperature test and it can operate accurately and work smoothly according to the signal which indicated that the valve satisfied the demands of gas generator hot test.

**Key words:** upper-stage engine; main LOX valve; design; hot test

### 1 引言

液氧/煤油游动发动机的主要用途是为运载火箭第二级提供姿态控制力矩, 其改进型也可以用作火箭上面级和航天器的轨道机动发动机。

液氧/煤油游动发动机采用富氧发生器补燃循

环。富氧发生器的地面热试验是发动机研制的重要组成部分, 是需要首先突破的关键技术。

游动发动机发生器地面热试验系统与其发动机试验系统不同, 发生器试验时, 液氧主阀是在额定工况的高压下直接打开, 关闭也受指令控制, 即具备主动关闭功能。我国现有型号发动机, 还没有一种阀能胜任游动发动机发生器地面

收稿日期: 2006-06-07; 修回日期: 2006-11-07。

作者简介: 程亚威 (1969—), 女, 高级工程师, 研究领域为液体火箭发动机自动器技术。

热试验的要求,因而必需重新研制液氧主阀。

本文将介绍液氧/煤油游动发动机发生器地面试验用液氧主阀的方案选择、结构设计及试验验证情况。

## 2 设计要求

### 2.1 功能

从功能上,发生器液氧主阀要求在入口高压液氧的条件下,供应控制压力使主阀打开,卸除控制压力主阀关闭。在发生器点火前主阀还应具备预冷排放功能。

### 2.2 设计参数要求

氧化剂最大流量	21 kg/s
最大工作压力	35MPa(表)
工作温度	-183℃~-196℃
控制氮气压力	18~24MPa(表)

## 3 方案确定

### 3.1 方案选择

根据发生器热试系统的要求,从能量损失、密封压力、使用寿命、流量等方面,考虑到发生器液氧主阀流量小、工作压力大并可多次使用的特点,宜采用菌阀结构形式。

为保证主阀能够根据指令关闭,切断液氧的功能,考虑发生器在热试时,若出现异常情况,主阀应能在控制气体中断时还能可靠关闭,为此采用气动活塞控制结构。当需要切断液氧供应时,阀门在控制腔撤气后,阀芯在弹簧力作用下可以可靠关闭。

主阀密封采用逆向常闭式结构,在主阀打开前,介质压力为高压,为保证高压下的低温介质(液氮、液氧)的可靠密封,采用全金属薄壁密封形式。该种结构属自紧式弹性密封,通过阀座材料的选择及薄壁尺寸的控制,可以保证低温高压下阀座的弹性,以达到多次重复工作能力。

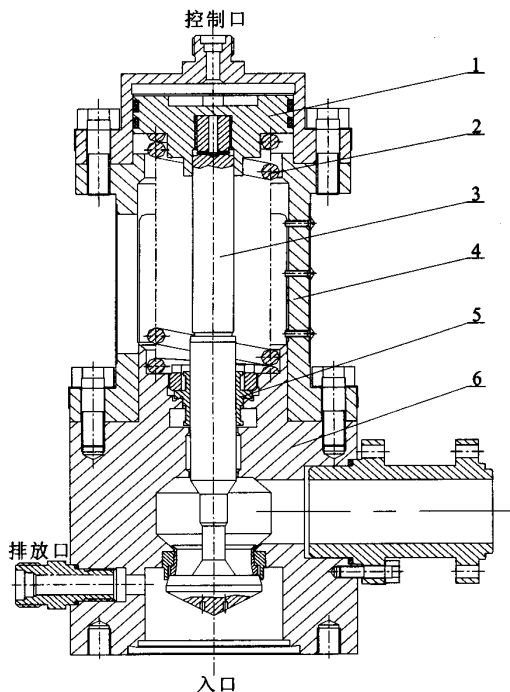
当主阀处于打开状态时,用密封套保证介质腔与控制腔之间的密封,密封套的结构为薄壁弹性自紧式密封结构,通过控制该零件尺寸(合理

选取薄壁的厚度)、形位公差、表面处理(摩擦面镀金)状态、冷处理等一系列措施,可以很好地保证低温高压下的密封性能。

为保证低温下相配合的零件表面运动的灵活性,配合间隙的选择尤为关键,相配合的零件材料的选取是保证配合间隙的前提,为避免零件由于热胀冷缩而使零件变形,所有配合零件均采用精加工前进行冷处理的工艺方法予以保证。

主阀控制腔的密封关系到液氧主阀能否正常工作,考虑到地面产品的特点对控制腔的活塞采用双橡胶O形圈冗余密封结构。为使介质腔的温度尽可能少地传到控制腔,特意加长了阀芯杆的长度。在控制腔和壳体之间由连接法兰将两部分联结在一起,为减少热量的传导,在连接法兰的圆柱面上采用掏空筋板结构,以减少热传导面积,提高阀芯杆的散热空间。

液氧主阀的结构简图见图1。



1-活塞; 2-弹簧; 3-阀芯; 4-连接法兰;  
5-密封套; 6-壳体

图1 液氧主阀的结构简图

Fig.1 Schematic of main LOX valve

3.2 工作原理

液氧主阀主要由壳体、阀芯、阀座、弹簧、活塞等零件组成。当控制腔没有压力时，主阀在弹簧的作用下处于关闭状态，在主阀入口壳体上设置一预冷排放口，这时进口与排放口连通；当给控制腔一定压力时，主阀打开，入口与出口连通（同时排放路上的控制阀将排放路关闭）；当控制压力卸除时，该阀在弹簧力和介质压力作用下关闭。

4 设计参数的确定

考虑液氧系统的流速不能太高，否则会产生静电，一般流速控制在 25m/s 内，由此确定出主阀的通路。由流量与损失可计算出主阀的行程。

根据主阀打开前阀座所必需密封的介质压力，控制氦气压力为 18~24MPa（表）时，主阀应完全打开的要求，可计算出弹簧的工作负荷；根据在控制腔没有压力时，主阀必需关闭的要求，可计算出弹簧的安装负荷。

在主阀结构及弹簧参数完全确定后，可以计算主阀打开的控制压力。计算时考虑了打开时主阀入口介质的压力，弹簧的工作负荷，密封套的摩擦力，两个橡胶 O 形圈的摩擦力。计算出在入口压力为高压，主阀打开的控制压力为 13MPa，小于控制气体的最小供给压力，满足设计要求。

根据壁厚计算公式，分别对液氧腔、控制腔、出口法兰等处最高压力下的壁厚进行了计算。为使介质腔的低温尽可能少地传到控制腔，保证控制腔的橡胶 O 形圈在工作中可靠密封，特意加长了阀芯杆的长度，使其长径比较大，按下式对阀芯杆的稳定性进行了校核：

$$\lambda_s = \frac{\mu l}{i}$$

式中， $\lambda_s$  为阀芯杆的柔度； $\mu$  为阀芯杆的长度系数； $l$  为阀芯杆的工作长度，mm； $i$  为阀芯杆危险剖面的惯性半径，mm；

通过计算，阀芯杆的长径比为 30.5，小于 40，稳定性满足使用要求。

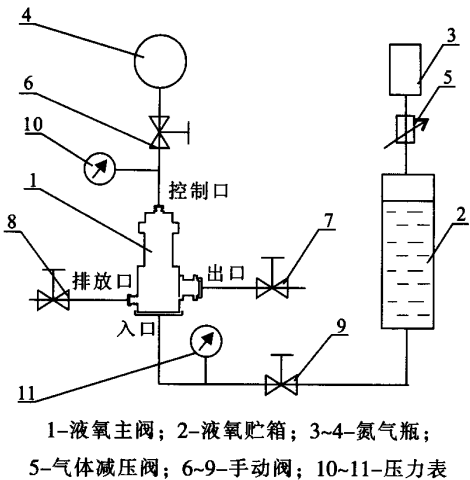
液氧主阀的主要设计参数见表 1。

表 1 液氧主阀主要设计参数  
Fig.1 Parameters of main LOX valve

参 数		要求值或计算值
最大流量/(kg/s)		21
最大工作压力/MPa		35
工作温度/℃		-183~-196
通径/mm		32
行程/mm		10
长径比		30.5
入口要求压力下阀门打开的控制压力/MPa		13
壁厚 δ/mm	液氧腔	30
	控制腔	4.6
	出口法兰	3

5 试验

产品在生产后，根据要求进行了验收试验，试验包括常温及低温的气密检查、主阀打开压力的测定。其中低温试验系统见图 2。低温试验前，先打开手动阀 8，手动阀 9 对产品进行预冷，使液氮从入口进入，经排放口排出，当产品预冷温度达到给出值后，关闭手动阀 8。打开气体减压阀 5，给液氮贮箱 2 增压至规定值，打开手动阀 7，用气泡收集法从出口测量产品阀座的泄漏量。



1-液氧主阀；2-液氧贮箱；3-4-氮气瓶；  
5-气体减压阀；6-9-手动阀；10-11-压力表

图 2 液氧主阀低温试验系统图  
Fig.2 Schematic of low-temperature test system of the main LOX valve

(下转第 52 页)

发动机研制反复改进的特点和调节器对发动机性能的关键作用,决定了调节器的研制过程是一个不断改进和完善的动态过程,与之相适应的质量控制过程也必然是一个实时调整的过程,确保这一动态过程收敛的措施就是实现全过程质量的闭环控制。整个控制流程中,设计人员作为技术载体,是串联、反馈和控制的关键环节,体现了技术在控制产品质量中的重要作用。在不断改进和完善调节器研制过程中,设计人员对调节器设计技术的认识也不断深入,反过来又进一步指导了研制工作,这一技术认识过程的动态闭环,保证了调节器质量的稳步提升。本文根据发动机系统对调节器性能和可靠性的要求从研制过程中归纳的质量控制流程,保证了调节器的交付质

量,其有效性经过了多次试车考核。随着研制进展,调节器研制的质量控制工作也必然随之日趋完善,质量控制过程中获得的经验也为今后其它型号产品的研制提供参考和借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 李伟民. 液氧/煤油发动机试验起动过程推进剂供应技术[J]. 火箭推进, 2006, 3.
- [2] 王海燕, 刘红军. 液体火箭发动机性能可靠性的随机仿真方法[J]. 火箭推进, 2006, 4.

(编辑: 王建喜)

(上接第 19 页)

液氧主阀的常温气密检查及打开压力经测量全部满足要求,但低温液氮试验的泄漏量超出规定值,分析认为,造成此原因主要因为阀座的加工质量未满足图样要求,因发生器热试前氧系统的预冷是在低压下进行,发生器上吹除路处于弱吹状态,当预冷温度达到要求后,开始进行加压预冷,这时发生器上吹除路开始强吹,泄漏进发生器的液氧在吹除气体的吹除下不会使发生器温度下降,且热试开始时是液氧先进入发生器,故本次产品的泄漏量对发生器热试不会造成影响,可以用于发生器热试。

液氧主阀随后在发生器两次地面热试中,按照指令均正常打开、关闭,动作准确,工作正常,圆满完成热试任务。

## 6 结论

根据发生器地面热试要求所设计的液氧主

阀,虽然低温下阀座处泄漏量超出设计要求,通过分析认为该处泄漏对发生器热试影响不大,通过验收试验及热试的考核,证明其方案及设计满足发生器地面热试的要求。

#### 参考文献:

- [1] 章华友, 晏泽荣, 陈元芳, 等. 球阀设计与选用[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1994.
- [2] 濮良贵. 机械设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [3] 罗军. 低温阀门性能检查试验 [D]. 西安: 西安航天动力研究所, 2001.
- [4] 郑德馨, 袁秀玲. 低温工质热物理性质表和图 [M]. 北京: 机械工业出版社.
- [5] 尤裕荣, 曾维亮. 逆向卸荷式气体减压阀的动态特性仿真 [J]. 火箭推进, 2006, 3.

(编辑: 马 杰)