

一种间接作用式常开电爆阀

张晓东, 陈 健, 唐妹芳, 马海涛
(上海空间推进研究所, 上海 201112)

摘 要: 为解决在易燃易爆介质中柱塞结构的常开电爆阀工作时易出现安全故障的问题, 对常开电爆阀的各种结构形式进行了分析, 并设计出新结构方案, 避免了现有柱塞结构产品的隐患, 通过理论和仿真计算得到设计尺寸, 并最终通过试验验证。

关键词: 电爆阀; 间接式; 密封结构

中图分类号: V432-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2012) 01-0022-05

A new type of indirect normally open pyrovalve

ZHANG Xiao-dong, CHEN Jian, TANG Mei-fang, MA Hai-tao
(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 201112, China)

Abstract: In order to solve the normally open pyrovalve with piston structure prone to failure at work in inflammable and explosive media, various structures of the normal open pyrovalves are analyzed and a new structure is designed. The new structure eliminates potential failures of the existing normally open pyrovalves. Its design dimensions are worked out on the basis of theoretical and simulation calculation, and finally verified through experiments.

Keywords: pyrovalve; indirect type; sealing configuration

0 引言

电爆阀是液体火箭推进分系统的重要组成部分之一, 因其一次性工作的特点, 整阀可以设计的很轻巧, 这使得电爆阀比同等功用的其他种类阀门要轻, 并且在动作前后可以得到良好的密封效果。由于电爆阀具有体积小、重量轻、结构简单、动作迅速等优点, 常应用于系统管路中。

随着宇航推进分系统的不断发展, 对电爆阀

的产品研制要求不断提升, 其中最主要的方面体现在: ①系统工作条件恶劣, 在较高的压力下工作, 并且工作介质通常是易燃、易爆或者是腐蚀性介质, 要求电爆阀具有高安全性和可靠性; ②系统工作介质流量大, 要求电爆阀是具备大通径的产品。

因此, 传统的电爆阀结构能否适应新系统的要求, 能否有更为合理的结构应用于新系统是电爆阀研制面临的课题。

收稿日期: 2011-10-13; 修回日期: 2011-11-21

作者简介: 张晓东 (1977—), 男, 工程师, 研究领域为阀门设计

1 新型电爆阀的需求提出

某空间飞行器要求在系统管路中使用一种大通径的阀门, 能在阀门动作前保证易燃推进剂管路开启, 动作后有效关闭推进剂管路。由于整个系统结构紧凑, 所以要求该阀门不但质量要轻, 也不能引出多余管路等, 可实现此种功能的自锁阀由于质量大, 先导阀由于管路复杂等限制不能适用, 故考虑研制一种常开电爆阀, 以满足系统要求。

根据空间飞行器以及其工作环境的特点, 新型电爆阀必须具有如下特点: ①满足在易燃易爆的液体推进剂中可靠工作; ②具有较大的通径, 流阻小; ③具有良好的电爆前、后密封性。

常开电爆阀一般分为直接作用式和间接作用式两类。直接作用式电爆阀依靠电爆燃气直接推动阀芯截断流道, 阀芯越大, 所需要的电爆能量越大。直接作用式电爆阀一般为闸板式和柱塞式两种结构。由于结构的限制, 闸板式结构多用于小通径阀门, 柱塞式结构多用于中、小通径的阀门。

由于柱塞式电爆阀结构加工装配较为方便, 故常开电爆阀的研制方案首先考虑了直接作用柱塞式常开电爆阀, 但在经过摸底试验后发现, 柱塞式常开电爆阀工作时, 会对管路产生很大的水击, 并且柱塞在关闭时刻的硬密封会产生撞击摩擦, 如撞击摩擦产生足够高的温度, 在易燃易爆推进剂中会发生爆炸, 存在安全隐患。

因此, 需研制一种结构轻巧、大口径并且适用于易燃易爆推进剂液路工作的新结构常开电爆阀。

2 新型电爆阀方案

2.1 方案的设计要点

根据前期的研制经验, 新结构的常开电爆阀需要满足以下设计要求: ①工作介质为易燃易爆介质, 应避免火药燃气与介质有接触; ②应避免阀门关闭时, 系统管路出现较大的水击; ③应避

免金属零件互相强烈撞击和摩擦出现。

2.2 方案的借鉴

先期的试验说明直接作用式结构已经不能满足系统要求, 须研制一种间接作用式方案阀门。国内外资料公开的间接作用式结构方案, 多采用的是电爆燃气拔销结构, 即利用电爆燃气将定位阀芯的销子拔出, 此类拔销装置如图 1 所示。

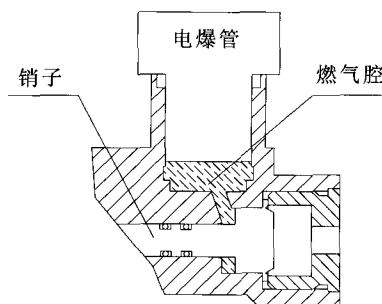


图 1 燃气拔销装置

Fig. 1 Pull pin device for gas

此类结构的优点是: 阀门可以满足大通径的要求。动作时产生水击较小, 避免了撞击摩擦; 但也具有一些缺点, 如: 燃气与推进剂的隔离仅是通过设置在销子上的几道密封圈隔离; 销子前后端要存在面积差; 需要设置固定销子切破部位或弹簧, 结构较复杂。另外, 如阀门工作之前万一管路有较强水击压力, 超过销子初始位置的限位力, 会导致阀门提前动作关闭。但其拔销解锁的机构原理可以作为新结构产品的借鉴。

2.3 方案的实现

参考上述的拔销原理, 在作动销子方式上进行改进, 设计了一种新的常开电爆阀结构方案, 不但动作水击小、无撞击摩擦, 同时也能满足使燃气远离工作介质, 阀门有抗大水击的能力。

图 2 给出了这种新结构常开电爆阀的原理结构图, 从原理结构图上分析, 新结构常开电爆阀的特点在于:

1) 销子结构简单, 无弹簧定位或特定薄弱点设计, 电爆前销子由解锁活塞锁定, 因此不存在工作前万一管路大水击下的失效问题;

2) 与推进剂接触的销子零件一端为易燃易爆工作介质, 一端为一隔离腔; 电爆后电爆燃气被密封在解锁活塞零件的上方, 电爆燃气远离易燃

易爆推进剂, 因此燃气与介质能有效隔离;

3) 电爆后推进剂介质本身的工作压力驱动销子一端进入解锁活塞的中孔中, 另一端脱离阀芯, 阀芯随即解锁, 在弹簧力作用下关闭, 阀芯解锁不需要电爆燃气直接驱动销子;

4) 阀门关闭时, 阀芯与阀座是“软”对“硬”接触, 根除了易燃易爆推进剂介质中金属结构间“硬”对“硬”撞击摩擦产生高温而引起的安全隐患。

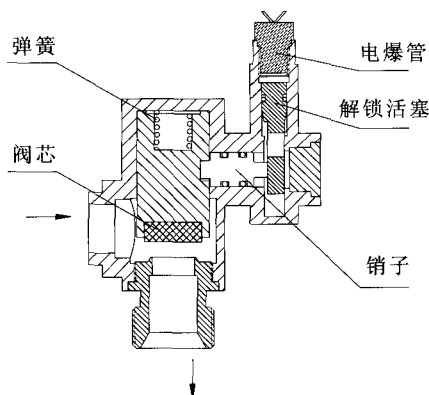


图 2 电爆阀结构图

Fig. 2 Pyrovalve structure

3 仿真计算

阀门流道存在直角拐弯, 并且阀芯可能会阻挡部分流道, 为满足系统的适用要求, 需对流阻进行评估。系统要求在额定水当量 1.9 kg/s 下, 流阻不能大于 0.10 MPa 。

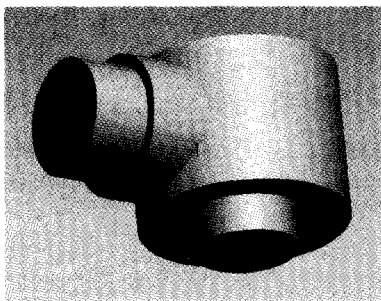


图 3 流道模型

Fig. 3 Model of flow channel

如图 3 所示, 通过 Pro/E 三维制图建模形成

流道模型, 然后利用 CFXdesign 软件, 输入设计参数, 利用仿真软件进行流阻的计算, 再根据计算值不断改进阀芯处的结构尺寸, 最终得到满足系统要求的阀体内部结构尺寸。

图 4 为流道中心剖面的压力分布情况。可见流阻最大为 0.089 MPa , 满足不大于 0.1 MPa 流阻 (额定流量) 的需求。

根据图 4、图 5 流道中心剖面的压力和速度分布情况, 可见推进剂在阀芯周边的运速度基本为 0, 此处的压力最大也基本稳定, 此处安装的销子零件将承受稳定的液压推力。

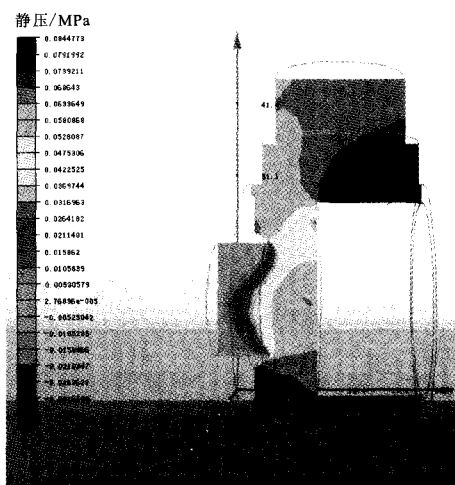


图 4 阀内流道压力分布图

Fig. 4 Pressure distribution in flow channel inside pyrovalve

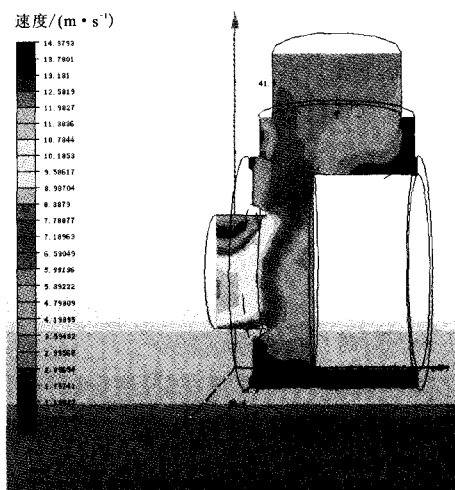


图 5 阀内流道速度分布图

Fig. 5 Velocity distribution in flow channel inside pyrovalve

4 试验情况

根据新方案和理论计算确定最终尺寸生产出的电爆阀外貌如图 6 所示。该阀门进行了多次系统状态的推进剂电爆试验, 试验过程中均无异常现象出现, 阀门有效关闭流道, 根除了直接作用柱塞式结构关闭时刻撞击摩擦所导致的爆燃问题。

图 7(a)为前期试制的柱塞式阀门动作时产生的水击波动曲线, 图 7(b)给出了试验期间管路压力的波动曲线。可见新结构阀门关闭时产生的水击小很多。

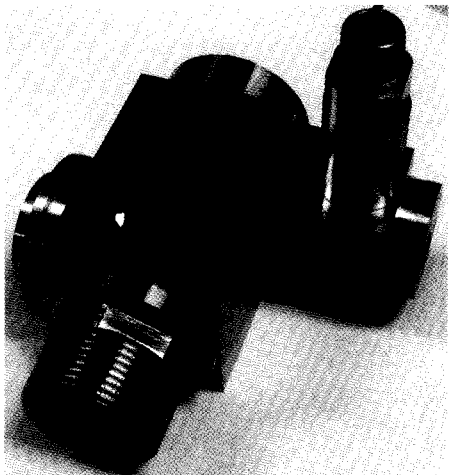


图 6 阀门外形图
Fig. 6 Photo of pyrovalve

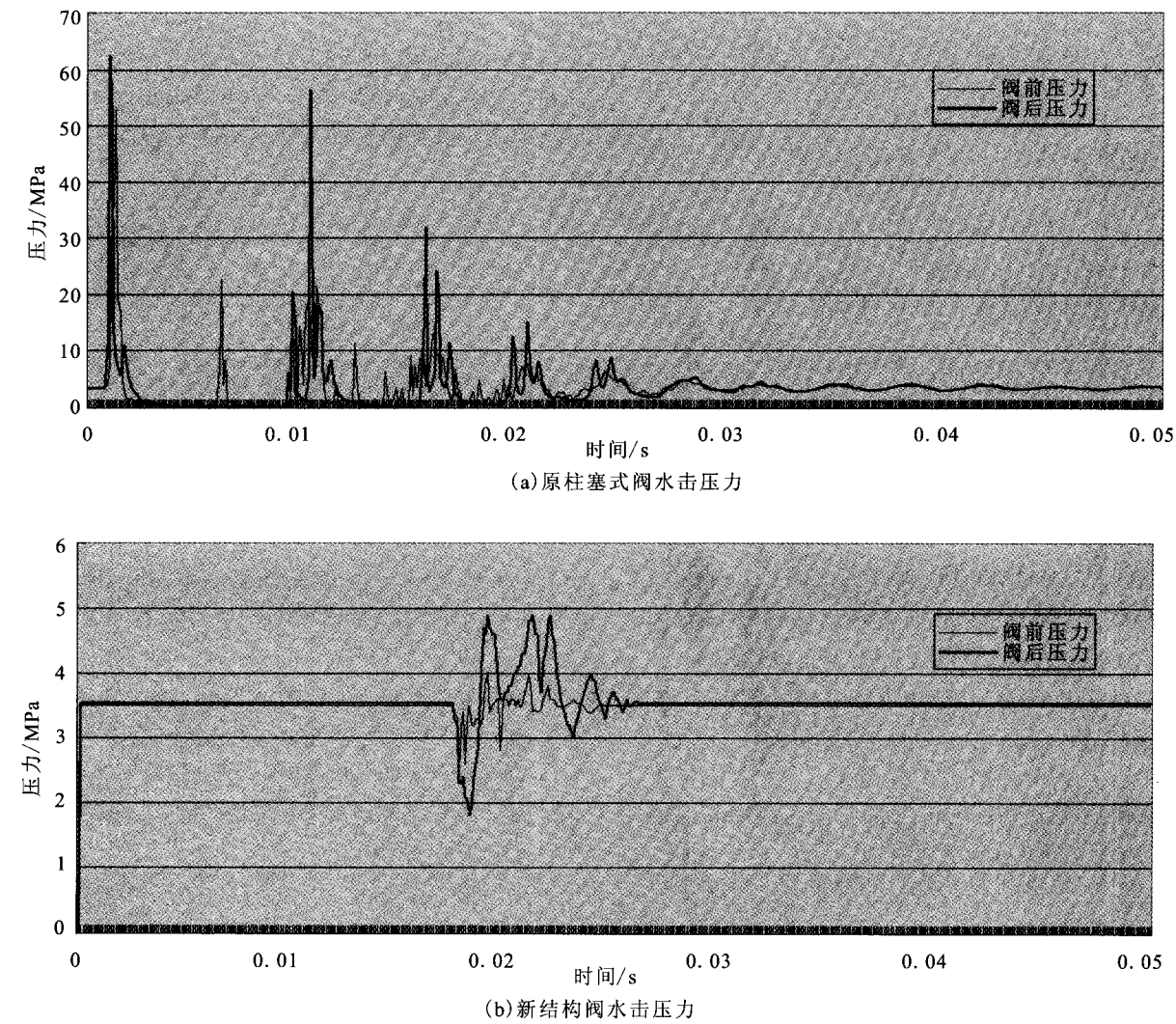


图 7 水击压力曲线对比图
Fig. 7 Contrast of water hammer pressure curves

对试验后的产品进行密封性检查,密封性能达到了系统要求压力下的 $1 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 量级。

5 结束语

作为系统级阀门组件,电爆阀的结构和工作原理虽然简单,但其工作瞬间会涉及到火工品爆炸、电爆燃气密封、金属受冲击和变形等多方面的因素,因此,在更改工作条件后,能否继续选用现有的结构产品需要仔细分析其适应性。

新结构的电爆阀由于其燃气与介质能有效隔离,工作产生水击小,关闭时刻推进剂流道中阀芯和阀座之间不存在金属间撞击和摩擦,可适用于大多数的易燃易爆介质的工作环境。

参考文献:

[1] 刘国球. 液体火箭发动机原理 [M]. 北京: 宇航出版社.

1993.

- [2] 朱宁昌. 液体火箭发动机设计(下)[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
- [3] 沃林 R H. 密封件与密封件手测[M]. 宋学义, 张正义, 译. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [4] PATEL A, LAWRIE A, MELLOR B. Pyrovalve function testing with MON oxidizer, AIAA 2003-4928[R]. USA: AIAA, 2003.
- [5] 阀门管件设计编译组. 美国阀门管件设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [6] 张晓东, 李路路, 柳珊, 等. 闸板式常开电爆阀密封结构的设计与仿真[J]. 火箭推进, 2011, 37(1): 51-56.
- [7] 詹永麒. 液压传动[M]. 上海: 上海交通大学出版社. 1999.
- [8] GADEBY J V. Lessons learned from pyrovalve testing, AIAA 96-2753 [R]. USA: AIAA, 1996.
- [9] 赵双龙, 许长华, 魏超. 滑阀液动力的计算与分析[J]. 火箭推进, 2006, 32(3): 18-23.
- [10] 马海涛, 陈健, 魏青, 等. 一种在轨补加用浮动断接器设计[J]. 火箭推进, 2011, 37(2): 45-49.

(编辑: 陈红霞)

(上接第 16 页)

参考文献:

- [1] FREI T E, MAYBEE J C, WHITEHEAD J C. Recent test results of a warm gas pumped monopropellant propulsion system, AIAA 94-3393 [R]. USA: AIAA, 1994.
- [2] WHITEHEAD J C, LEE C P, COLLELLA N J. Design and flight testing of a reciprocating pump fed rocket, AIAA 94-3031 [R]. USA: AIAA, 1994.
- [3] WHITEHEAD J C. Bipropellant propulsion with reciprocating pumps, AIAA 93-2121 [R]. USA: AIAA, 1993.

- [4] WHITEHEAD J C. Test results of a reciprocating pump powered by decomposed hydrogen peroxide, AIAA 2001-3839 [R]. USA: AIAA, 2001.
- [5] WHITEHEAD J C. Performance of a new lightweight reciprocating pump, AIAA 2005-3921[R]. USA: AIAA, 2005.
- [6] WHITEHEAD J C. Thermal performance of a reciprocating pump, AIAA 2006-4692 [R]. USA: AIAA, 2006.
- [7] 邹宇, 李平. 自增压系统在轨/姿控发动机系统中的应用[J]. 火箭推进, 2010, 36(2): 15-19.

(编辑: 陈红霞)