

文章编号: 1003-1480 (2009) 05-0005-03

基于节流和泄压结构的新型火工分离装置

高洁, 杨军, 李怀念

(中国航天科技集团公司第4研究院第41所 固体火箭发动机燃烧、热结构与内流场
国防科技重点实验室, 陕西 西安, 710025)

摘要: 通过分析某型号火箭弹在研制过程中出现的分离故障, 对火工分离装置的结构进行了改进设计。研究设置了新型节流和泄压结构。验证试验结果表明, 新型火工分离装置将点火压强峰值下降 65%, 并实现了点火压强峰值的精确控制, 满足了分离速度和冲击过载的指标要求, 并且型号应用成功。通过调节节流泄压参数, 该改进设计可以满足不同火箭弹弹射分离要求。

关键词: 火工分离装置; 节流; 泄压; 点火压强峰值

中图分类号: TJ45⁺9 文献标识码: A

A New-type Pyrotechnics Separation Device Based on Throttle and Pressure Relief Structure

GAO Jie, YANG Jun, LI Huai-nian

(The 41st Institute of the Fourth Academy of CASC, Xi'an, 710025)

Abstract: Based on analysis of separation failure of a rocket projectile during research and development process, the structure of pyrotechnic separation device was improved, throttle and pressure relief structure was designed and set in the device. The verification test results indicated that the new-type pyrotechnic separation device can reduce the value of ignition pressure peak about 65%, and realize accurate control of the value. The new structure meet with the requirement of separation velocity as well as impact overload. Finally, the effective method has been applied successfully for the rocket projectile. Through adjusting parameters of throttle and pressure relief, the improved structure can be applied to separation of different rocket projectile.

Key words: Pyrotechnic separation device; Throttle; Pressure relief; Ignition pressure peak

某型号火箭弹飞行到一定阶段后, 要求火工分离装置点火, 产生高温高压燃气, 剪断连接螺钉, 可靠实现头体分离。在研制初期, 由于电点火管输出能量偏高并且输出压力散布比较大, 存在点火压强峰值过高, 难以控制在要求的精确范围内, 导致冲击过载不能满足指标要求的问题。如果单纯减少点火药量不仅不能保证冲击过载满足指标要求, 而且使得分离速度降低, 导致严重的分离故障。

笔者通过对火工分离装置的结构进行改进, 设计

了基于节流和泄压结构的火工分离装置。这种新型火工分离装置显著减缓了压强的上升速度, 使得点火压强峰值大大降低, 并将其精确地控制在要求范围内, 同时确保了分离速度和冲击过载的指标要求。本文介绍了新型火工分离装置的改进过程及试验应用情况。

1 分离系统简介

分离系统的工作原理是: 当火箭弹飞行到预定时间

收稿日期: 2009-07-08

作者简介: 高洁 (1975-), 女, 工程师, 主要从事固体火箭发动机及导弹火工品技术研究。

间,火工分离装置点火,产生高温高压燃气,压力通过活塞作用到仪器座上,剪断整流罩与伞舱之间、伞舱与仪器座之间的8个螺钉。在火工分离装置气体作用下,活塞推动火箭头、探测仪器和降落伞向前运动,并推出分离舱壳体,从而完成头体分离任务。

主要技术指标及设计参数:弹射质量为10.5kg;初始容积为2000cm³;最大点火压强为0.30~0.35MPa(常温下);分离速度大于10m/s;冲击过载小于120g;发火电流为(2±0.5)A;工作电压为(9±2.8)V;要求两个电点火管并联点火,以提高分离的可靠性。

分离系统简图及组成见图1。

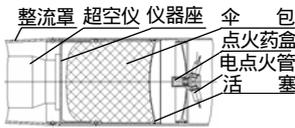


图1 分离系统简图

Fig.1 Schematic of separation system

2 初始设计状态及试验

火工分离装置初始设计状态为药盒式结构,内装BPN-1药片,电点火管根据总体电性能要求选择2个电点火管。分离系统在初始结构状态下采用不同点火药量进行了5发分离试验,试验结果见表1。

表1 初始结构的分离试验测试结果

Tab.1 Test results of separation test for initial structure

点火药量/g	点火压强峰值/MPa	延迟时间/ms	分离速度/(m·s ⁻¹)	冲击过载×g	试验结果
3.5	1.553	4.3	>10	350	分离成功
1.0	1.135	4.6	>10	275	分离成功
0.9	1.041	4.9	>10	250	分离成功
0.8	0.790	5.5	>10	200	分离成功
0	0.855	4.8	-	200	分离失败

从试验结果可以看出:(1)点火压强峰值远远高于指标要求的0.30~0.35MPa,冲击过载远大于120g,不满足使用要求。(2)点火压强峰值随点火药量的减少呈降低趋势,但线性差,非比例关系降低。(3)单纯靠降低点火药量来降低压强峰值,不仅不能解决问题,而且还造成了分离失败的严重后果。必须施加一定的点火药量,以保证分离可靠性。(4)当点火药量降为0时,压强峰依然存在,这说明点火压强峰值主要是由2个电点火管的瞬时爆压太高而产生的。

对已定型的电点火管采取了一些措施,但效果并不理想。经过多次研究之后,决定从结构设计上采取措施,以降低压强峰值,保证分离成功和过载要求。

3 基于节流和泄压新型结构的改进及试验

3.1 改进原理

火工装置发火后的 $P-t$ 曲线如图2所示。根据火药爆热能量值一定的原理,曲线与 t 轴所形成的积分面积应该基本不变。因此,考虑到若点火作用时间加长,压力上升阶段变缓,则压强峰值应该会下降,且点火作用时间越长,则做功时间越长,对加大分离速度越有利。另外,增加电点火管的能量损失会使压力上升阶段变缓,延迟时间加长,从而降低压强峰值。

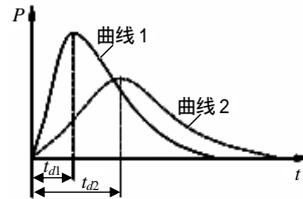


图2 改进的原理图

Fig.2 Principle diagram of improvement

3.2 改进方案

根据以上原理,确定改进方案为:(1)设置节流措施。在电点火管与点火药盒之间设置节流舱和节流板,在其上设计若干节流孔,以限制电点火管燃气的流量及速度,从而延长点火作用时间,降低压强峰值。(2)设置泄压结构。在节流舱侧壁上设计若干细小的泄压孔,增加电点火管爆压燃气的能量损失,同时使点燃点火药的能源降低,分离腔内压强缓慢上升,而非爆压上升。新型火工分离装置的工作过程见图3。

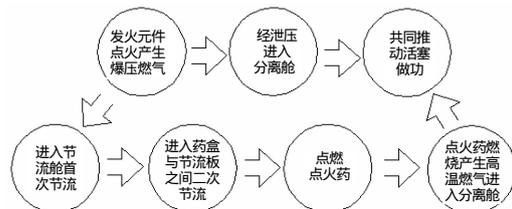


图3 新型火工分离装置工作过程

Fig.3 Working process of new-type pyrotechnic separation device

3.3 改进结构的分离试验

对采用节流与泄压结构的新型火工分离装置进行

了10发常温地面分离试验,其试验结果见表2。

表2 新型火工分离装置分离试验数据
Tab.2 Separation test data of new-type pyrotechnic separation device

点火药量 /g	点火压强峰值 /MPa	延迟时间 /ms	分离速度 $/(m \cdot s^{-1})$	冲击过载 $\times g$	试验结果
0.90	0.375	41	>10	118	分离成功
0.80	0.368	42	>10	104	分离成功
0.75	0.345	35	>10	96	分离成功
0.75	0.342	37	>10	92	分离成功
0.75	0.338	43	>10	88	分离成功
0.75	0.335	40	>10	86	分离成功
0.75	0.344	39	>10	94	分离成功
0.75	0.327	40	>10	85	分离成功
0.75	0.330	41	>10	86	分离成功
0.75	0.341	38	>10	92	分离成功

3.4 分离试验结果分析

3.4.1 试验原理验证

取0.9g点火药量对两种不同结构的分离试验的 $P-t$ 曲线做比较,见图4~5。

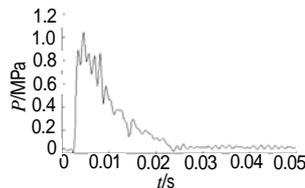


图4 初始结构的 $P-t$ 曲线

Fig.4 $P-t$ curve of initial structure

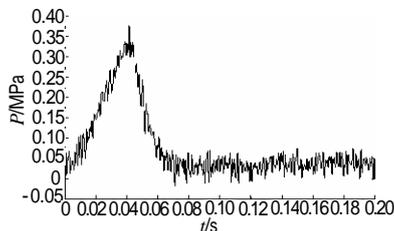


图5 改进结构的 $P-t$ 曲线

Fig.5 $P-t$ curve of improved structure

计算其积分面积,初始结构和改进结构的 $P-t$ 曲线与 t 轴的积分面积分别为 $132\text{MPa} \cdot \text{ms}$ 和 $146\text{MPa} \cdot \text{ms}$,两者基本相等,且延迟时间加长,点火压强峰值明显降低,表明改进基于的原理正确。

3.4.2 对点火压强峰值的影响

从试验结果可以明显看出,新型结构使得点火压强峰值大幅度下降,由约 1MPa 下降至 0.35MPa 左右,降幅达 65% ,解决了研制初期点火压强峰值居高不下的难题。而且新型结构点火压强峰值的精度很高,10发分离试验的误差非常小,保证了火箭弹头体分离的稳定性。根据试验结果最终确定点火药量为 0.75g ,点火压强峰值满足 $0.30\sim 0.35\text{MPa}$ (常温下)高精度要求。

3.4.3 对分离可靠性的影响

新型结构保证了点火压强峰值的精确控制,使得冲击过载由 200g 以上稳定地降低到 100g 以内,保证了探测设备的使用性能。同时由于点火延迟时间从 5ms 左右增加至 40ms 左右,使得火药做功时间增加,在最大压强降低的同时也能保证分离速度大于 10m/s 。新型结构使研制前期出现的冲击过载过大和分离失败的故障均得以解决,试验获得圆满成功。

3.5 加严裕度试验

为了确保头体分离的高可靠性,对分离机构进行了加严裕度试验:(1)采用1个电点火管进行分离试验2发均获得成功;(2)减少 0.25g 点火药进行分离试验,2发均获得成功;(3)增大 10% 节流力度和泄压力度进行分离试验,4发均获得成功;(4)增大剪切螺钉直径 10% 进行分离试验,4发均分离成功。12发加严裕度试验表明,新型火工分离装置有足够的分离裕度,能够保证分离的高可靠性。

4 结语

采用该节流与泄压结构的新型火工分离装置先后参加了某气象火箭多次飞行试验,头体分离均获得圆满成功。飞行试验虽未测试点火压强峰值,但冲击过载和分离速度都满足弹总体指标要求,表明这种新型火工分离装置能满足该型号火箭弹的试验任务要求。

基于节流和泄压结构的新型火工分离装置设计,解决了类似型号火箭弹的头体分离过载大、压强不稳定的技术难题。且装置的节流、泄压参数可调,可配合点火药量的调整来获得一定范围不同的分离参数,从而满足不同规格火箭弹或航天器弹射分离的需要。

参考文献:

- [1] 王伯羲.火药燃烧理论[M].北京:北京理工大学出版社,1994.
- [2] 宋忠保.探空火箭设计[M].北京:宇航出版社,1993.
- [3] 王希季.航天器进入与返回技术[M].北京:宇航出版社,2003.