

环保型清洗剂在运载火箭伺服机构中的应用研究

马俊杰 戴莹 赵志强 常冬艳

(北京精密机电控制设备研究所, 北京 100076)



摘要: 针对运载火箭伺服机构装配过程中对安全环保型清洗剂的迫切需求, 提出原清洗剂替代方案。研究了某安全环保型清洗剂的适用性, 包括清洗力是否满足零件的清洗洁净度要求、清洗剂是否会腐蚀金属和损伤其表面处理、清洗剂是否会降低橡胶的物理机械性能以及是否会影

关键词: 清洗剂; 清洗力; 腐蚀; 密封圈

Applied Research of Environment Friendly Cleaning Agent in Servo-mechanisms of Launch Vehicles

Ma Junjie Dai Ying Zhao Zhiqiang Chang Dongyan

(Beijing Institute of Precision Mechatronics and Controls, Beijing 100076)

Abstract: A substitution to the former cleaning agent is proposed for the need of safe and environment-friendly cleaning agent in the assembly process of servo-mechanisms of launch vehicles. The applicability of a new type of cleaning agent was studied, including whether the cleaning force meet the merit rating, whether the cleaning agent will corrode the metal and damage the surface treatment, whether the cleaning agent will reduce the physical and mechanical properties of the rubber and whether will affect the sealing capability of sealing ring of the servo-mechanisms. A series of experiments showed its feasibility.

Key words: cleaning agent; cleaning force; corrosion; sealing ring

1 引言

精密清洗技术主要体现在清洗剂、清洗设备和清洗工艺, 其中清洗剂是关键^[1]。运载火箭伺服机构对多余物极为敏感, 装配过程中的零组件清洗是重要环节, 传统使用的高标号(120号)汽油虽然使用效果好, 但由于闪点低(-20℃), 操作中有安全隐患, 曾发生过燃烧事故, 长期使用影响工人健康, 因此长期以来迫切需要使用安全环保型清洗剂替代。

工业常用清洗剂一般分为三类: 溶剂型、水基和半水基。对于小批量生产的军工产品, 一般采用溶剂型清洗剂。后两种清洗剂虽然安全环保, 但稳定性较差, 清洗工艺复杂, 常用于大型或大批量生产的产品。

文献[2]介绍了某溶剂型清洗剂替代汽油用于弹药

弹筒表面清洗。但伺服机构有特殊要求, 不仅对洁净度有较高要求, 也不允许清洗剂对金属件及其表面处理产生损伤。同时, 组件中有大量密封圈, 通常需要在磨合后再次清洗, 密封圈不能取出, 要求清洗剂不影响密封性能。

因此, 研究适应伺服机构清洗的清洗剂, 开展试验研究, 验证可行性。

2 方案设计

2.1 清洗剂分析

清洗力是指清洗剂去除工件表面污垢的能力, 是清洗剂的基本性能, 直接决定工件的清洗洁净度。溶剂型清洗剂主要溶解一些不溶于水的物质(如油脂、

蜡、树脂、橡胶等)和多种有机污垢^[2],但在使用过程中可能分解出酸性物质,金属工件容易产生锈蚀,表面处理受到损伤或失去光泽。此外,橡胶分子具有部分交联的三维网状结构,溶剂中的某些成分可能浸入橡胶材料,橡胶中的成分也可能溶解到溶剂中,导致橡胶制品性能下降^[3]。

2.2 清洗剂选用

运载火箭伺服机构属于小批量生产的军工产品,针对其组件清洗的特殊要求,选择某新型溶剂型清洗剂。它是一种精制石油脱芳烃溶剂,主要成分为碳和氢,可彻底挥发,没有任何残留,具有良好的清洗力;其不含氯、硫等可能产生酸性的元素,因此不会锈蚀金属;同时它属于非极性清洗剂,对大部分塑料和橡胶没有溶解、溶胀和老化影响,不会引起伺服机构密封圈尺寸发生变化,导致密封性能下降。

该清洗剂闪点为37℃,远高于汽油闪点;不含 ODS 消耗大气臭氧层物质,苯及苯系物检测含量小于 0.04%,对人体和环境无害,安全性和环保性较汽油大大提高。

2.3 试验方案

为进一步验证该新型清洗剂用于伺服机构清洗的可行性,设计如下试验方案:清洗力试验,测试清洗剂清洗力,分析其清洗洁净度是否满足要求;金属腐蚀性试验和表面处理试验,分析清洗剂对金属件及其表面处理的影响;橡胶试样浸泡试验,分析清洗剂对橡胶材料的物理机械性能(包括硬度、拉伸强度、伸长率等)的影响;密封圈浸泡试验,分析清洗剂对密封圈密封性能的影响。

3 试验研究

3.1 清洗力试验

准备标准试片,使用酒精擦洗干净,编号并称重 m_1 。选取两种伺服机构典型污染物作为浸泡液,分别将试片放入浸泡液 2min,然后取出沥干 10min,称重 m_2 。分别将试片放入新型清洗剂和汽油中浸泡 5min,称重 m_3 。注意每次称重前先在(40±2)℃的烘箱中干燥 30min,然后在干燥器中冷却至室温。

试验通过获取同等条件下新型清洗剂和汽油去除污染物的重量,计算清洗力如式(1):

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

(1)

相同试验进行三次取平均值,详见表 1,可见新型

清洗剂清洗力与汽油相当,经长期实践检验,120 号汽油清洗力满足伺服机构清洗要求,故该清洗剂同样满足要求。

表 1 清洗力对比 %

清洗剂		切削液	润滑脂
清洗力	120#汽油	99.32	71.31
	新型清洗剂	99.24	71.59

3.2 金属腐蚀性及表面处理影响试验

选取伺服机构常用金属铜、钢、铝和不锈钢等金属材料进行腐蚀性试验,试验方法和评价标准按照标准 QB/T 2117—95 和 Q/12NK 5119—2015。同种材料试片准备 2 件,称重 m_1 ,盛有清洗剂的烧杯放入恒温 (25±2)℃水浴锅中,将 2 件试片浸入新型清洗剂中,2h 后取出在丙酮中漂洗,称重 m_2 。注意每次称重前先在 (40±2)℃的烘箱中干燥 30min,然后在干燥器中冷却至室温。计算腐蚀量如式(2):

$$m_0 = m_1 - m_2$$

(2)

试验取 2 件试片的平均值,结果见表 2,可见该清洗剂对伺服机构金属件无腐蚀。

表 2 金属腐蚀性检测

项目名称	标准值			判定结果
腐蚀性 (25±2)℃, 2h	45#钢	腐蚀量/mg	2	合格
		外观	0 级	合格
	H62 黄铜	腐蚀量/mg	2	合格
		外观	0 级	合格
	1Cr18Ni9Ti	腐蚀量/mg	2	合格
		外观	0 级	合格
	LY12 铝	腐蚀量/mg	2	合格
		外观	0 级	合格

选针对伺服机构金属件常用的表面处理方法,准备 4 件试件,分别为经过表面铬酸阳极化和硬质阳极化的铝件、表面镀锌和 QPQ 处理的不锈钢件。在试件的中间部位做标记,一半浸入新型清洗剂中 2h 后晾干,另一半不做处理,采用体式显微镜和扫描电镜分别检测其微观形貌和表面能谱。

对比 4 件试件原始表面与浸泡后表面的微观形貌和能谱分析,发现其表面未有裂纹、凹坑等微观形貌变化,表面主成分含量未发生变化,该清洗剂对金属件表面处理无损伤。

3.3 橡胶试样浸泡试验

选取伺服机构常用密封圈胶料丁腈橡胶 5080 和氟橡胶 7108,按照 GB/T 528 I 型标准制备哑铃状试样各

10 件,用于测试拉伸强度和伸长率,同时制备硬度测试试样各 10 件。试样分为两组,每组 5 件,每件标号,一组直接用于物理机械性能测试,另一组浸泡在新型清洗剂中,10min 之后取出吹干,浸泡时间根据伺服机构实际清洗过程中零件与清洗剂接触的最长时间确定。按 GB/T 531 进行硬度测试,按 GB/T 528 进行拉伸强度和伸长率测试。

分析浸泡前后各 5 件试样的硬度、拉伸强度和伸长率,氟橡胶见图 1,丁腈橡胶见图 2。可见试验批次胶料的物理机械性能均满足指标要求,为合格产品,浸泡后各项性能仍满足要求,且浸泡前后各项参数相当,该清洗剂不会降低两种橡胶的物理机械性能。

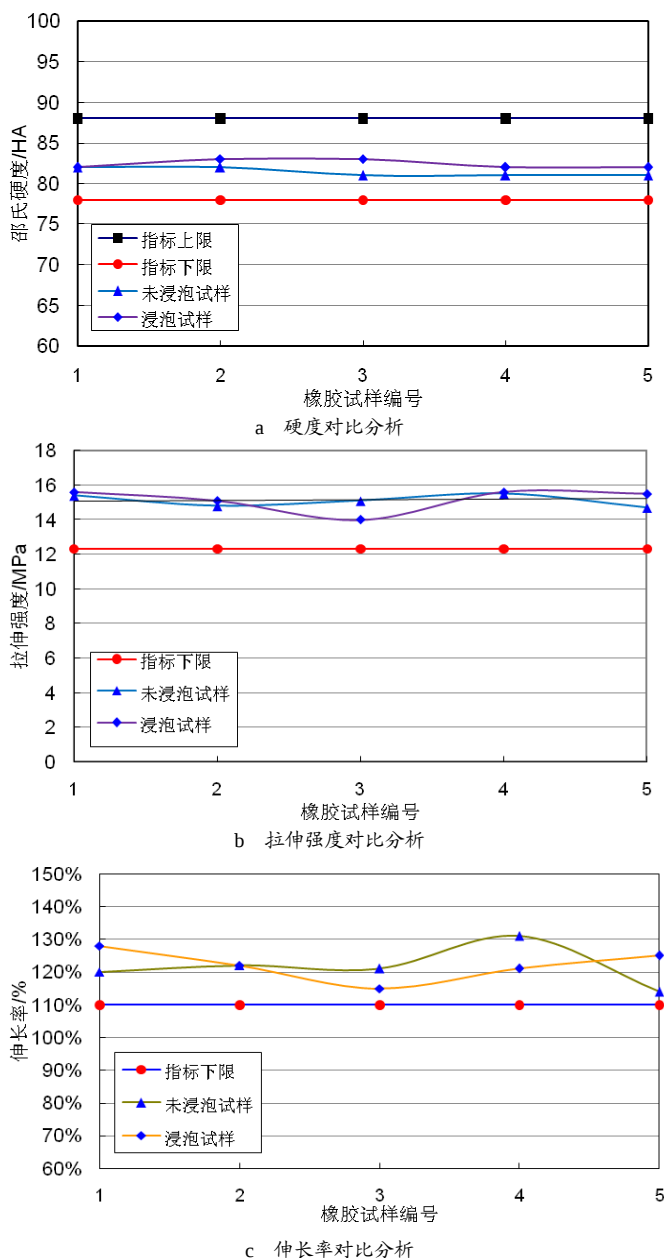


图 1 氟橡胶 7108 浸泡前后物理机械性能对比

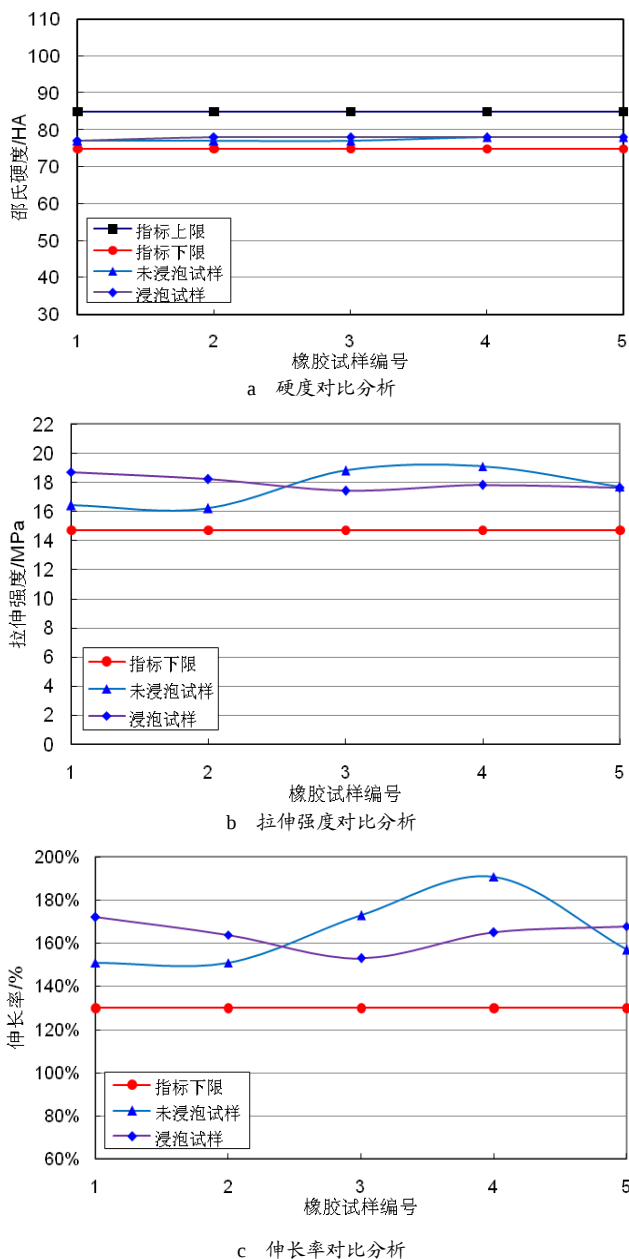


图 2 丁腈橡胶 5080 浸泡前后物理机械性能对比

3.4 密封圈浸泡试验

选取伺服机构常用胶料的 10 种规格密封圈,每种规格各 6 件,批次相同,分两组,每件放入对应编号的密封袋。准备 6 只烧杯,分两组,每只编号,分别盛有新型清洗剂和汽油。将一种规格两组密封圈按照编号测量内径和截面直径,记录 x_1 ,按编号放入对应烧杯中浸泡,10min 后取出吹干,测量内径和截面直径,记录 x_2 ;按上述方法完成剩余 9 种密封圈浸泡试验。计算密封圈内径和截面直径的变化率为:

$$\eta = \frac{x_2 - x_1}{x_1} \times 100\% \quad (3)$$

分析数据, 浸泡前和浸泡后, 60 件密封圈的内径和截面直径均合格。浸泡汽油后, 密封圈内径和截面直径的变化率分别为 $0 \sim 0.091\%$ 和 $0 \sim 0.56\%$, 浸泡新

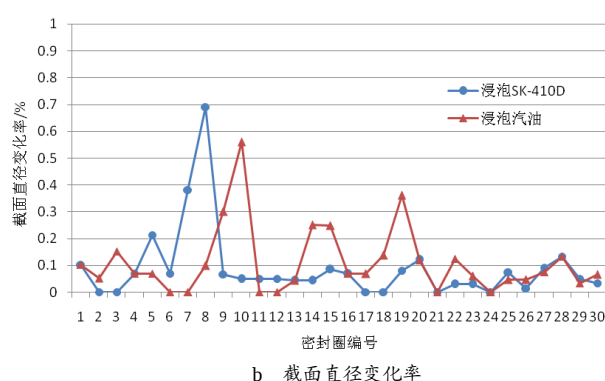
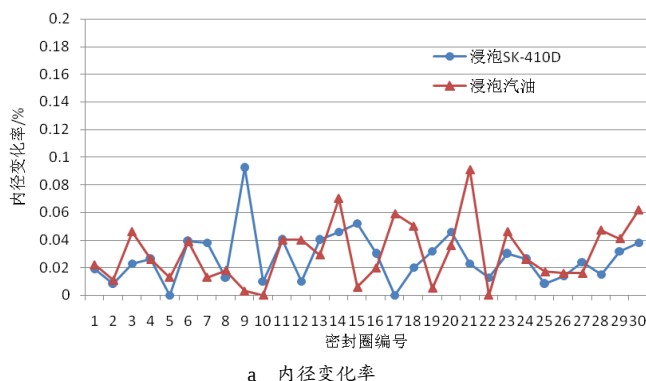


图3 密封圈尺寸变化率

4 结束语

通过分析运载火箭伺服机构清洗特点,选取某安全环保型清洗剂,设计试验验证了其应用的可行性。目前该溶剂型清洗剂已经应用于伺服机构装配过程中的清洗,效果较好,且产品完成多次飞行试验考核。另外,该清洗剂也可借鉴应用于其他同类产品的清洗,本文设计的试验方案对其他产品的清洗剂替代具有指导意义。

参考文献

- 1 瞿德勤, 郑安新, 王计桥. 精密清洗技术[J]. 清洗世界, 2011, 6(6): 17~22
- 2 张武, 胡延臣, 李松成. 某新型清洗剂在弹药筒表面清洗上的应用[J]. 表面技术, 2017, 4(4): 270~273
- 3 宋丙红, 莫建华, 李海宏, 等. 一种替代 180 号航空汽油清洗工作的高闪点深度精制石油溶剂[J]. 清洗世界, 2010, 5(5): 24~28

（上接第 37 页）

表2 热空气出口处的参数

运行时间/min	热气温度/℃		热气压力/kPa		热气流量/kg h ⁻¹		热气湿度/g m ⁻³	
	设定值	实测值	设定值	实测值	设定值	实测值	设定值	实测值
15	280	279.6	500	500.9	1000	988	26	26.4
18		280.1		501.3		998		26.1
21		280.3		500.6		997		26.3
24		281.1		499.5		1005		25.9
27		280.6		500.4		997		26.1

5 结束语

首先, 根据环控系统自身特性以及直升机的应用环境, 明确提出了直升机环控系统的试验需求, 从而针对性地提出了环境模拟系统具体方案:

其次, 本系统采用模块化设计, 根据环控系统的试验对象和试验条件, 建立了各相关分系统, 经综合

集成形成完整的环境模拟系统,使用方便,维护简单;

最后,本环境模拟系统根据环控系统实际工况进行模拟试验,其结果表明该模拟系统既可模拟高、低温,高、低湿,低压以及太阳辐照等直升机飞行包线内的环境,也可模拟直升机环控系统所需的高温高压高湿空气。因此该环境模拟系统满足直升机环控系统试验所必需的环境要素。

参考文献

- 1 王浚, 黄本诚, 万才大. 环境模拟技术, 第三章[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996
- 2 王忠明, 许永华, 黄泽阳, 等. 基于大型复合低压舱的模拟环境系统研制[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32(12): 13~14
- 3 田宏民, 郑向东, 汤洁, 等. 大气低压模拟舱研制与初步应用[J]. 气象科技, 2011, 43(1): 30~35