

插拔装置密封件的有限元分析

高 健 吴福迪 王立峰 皂伟涛 赵云峰

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 针对一种插拔装置不能灵活分离的问题,使用有限元法计算并比较“Y”形、“L”形、“T”形与“O”形密封圈插入和拔出时结构与密封圈接触部位接触力,通过气密考核试验及分离力试验对计算结果进行验证。结果表明,异形密封圈密封性能良好,且能显著降低结构拆卸时的摩擦力,有利于结构拆卸灵活、顺畅。

关键词 插拔装置, 异型密封圈, 有限元法, 摩擦力

Finite Element Analysis of Plug Seal Structure

Gao Jian Wu Fudi Wang Lifeng Zao Weitao Zhao Yunfeng

(Aerospace Research Institute of Material & Proceeding Technology, Beijing 100076)

Abstract In order to solve the difficult separate problem of a type of plug seal structure, the finite element analysis was used to calculate the interaction pressure of seal zone of “Y”, “L”, “T” and “O” seal ring, The sealing experiment and separating experiment has been conducted to prove the finite element results. The results show that the sealing of shaped structure is finer and the structure can lower the friction of plug, which will lead to the separation flexible.

Key words Plug seal structure, Shaped seal ring, Finite element, Separating

0 引言

橡胶密封材料及其制品在航天、航空产品上的应用极其广泛,所应用部位往往对密封材料及密封结构有特殊的要求。以一种插拔装置为例,要求研制的橡胶密封圈不仅满足给定工作温度、工作压力条件下漏率 $\geq 40 \text{ mPa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 的指标,而且能满足插拔装置对接灵活、顺畅的要求。该插拔装置金属结构件与密封件装配时,需在密封件表面涂抹润滑脂。插入过程中,由于在密封件端部涂有润滑脂,摩擦因数较低。拔出过程,由于润滑脂引起密封件溶胀及介质浸泡的影响,摩擦因数增加,导致结构拆卸时的摩擦力显著增大,影响了插拔装置灵活、顺畅对接。

本文使用有限元法^[1]计算并比较“Y”形、“L”形、“T”形和“O”形密封圈插入和拔出时结构与密封圈接触部位的接触力,并对插拔结构的密封性及分离力进行考核试验。

1 插拔装置密封结构的有限元分析

1.1 有限元模型建立

插拔装置密封结构如图1所示,主要由密封圈、径向活塞杆、壳体组成,在密封槽结构、尺寸不得改变

的前提下,要求插拔装置密封件满足密封性能要求,且对接灵活、顺畅。

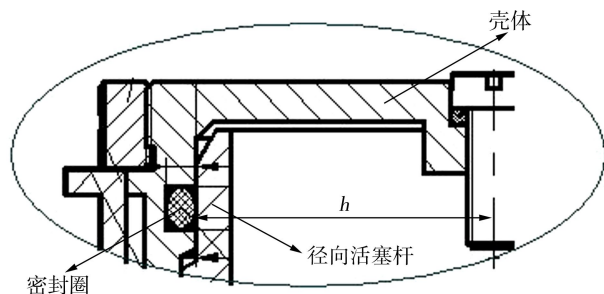


图1 密封结构示意图

Fig. 1 Figure of seal structure

结构对称于通过杆中心的水平线,只需模拟半个截面,将应用的单元数减少,自由度数量减半。创建三个轴对称部件:一个变形体部件代表橡胶密封圈,两个刚性部件分别代表径向活塞杆和壳体密封槽。典型的橡胶材料的应力—应变行为是弹性且高度非线性,即超弹性^[2]。模拟超弹性材料时,事先假设:(1)材料的行为是弹性且各向同性;(2)模拟将考虑几何非线性效应。

问题涉及超弹性材料的大变形运算,且多处部位

收稿日期:2012-11-05

作者简介:高健,1978年出生,博士,主要从事航天密封技术研究。E-mail:daiyulin12@163.com

存在接触,为橡胶块选择 CPE4R 单元-显式(Explicit)单元库、平面应变单元族,几何阶次为线性;为刚性套筒和刚性槽选择 R2D2 单元-显式(Explicit)单

元库、离散刚体单元族,几何阶次为线性。图 2 为典型橡胶密封圈截面示意图。

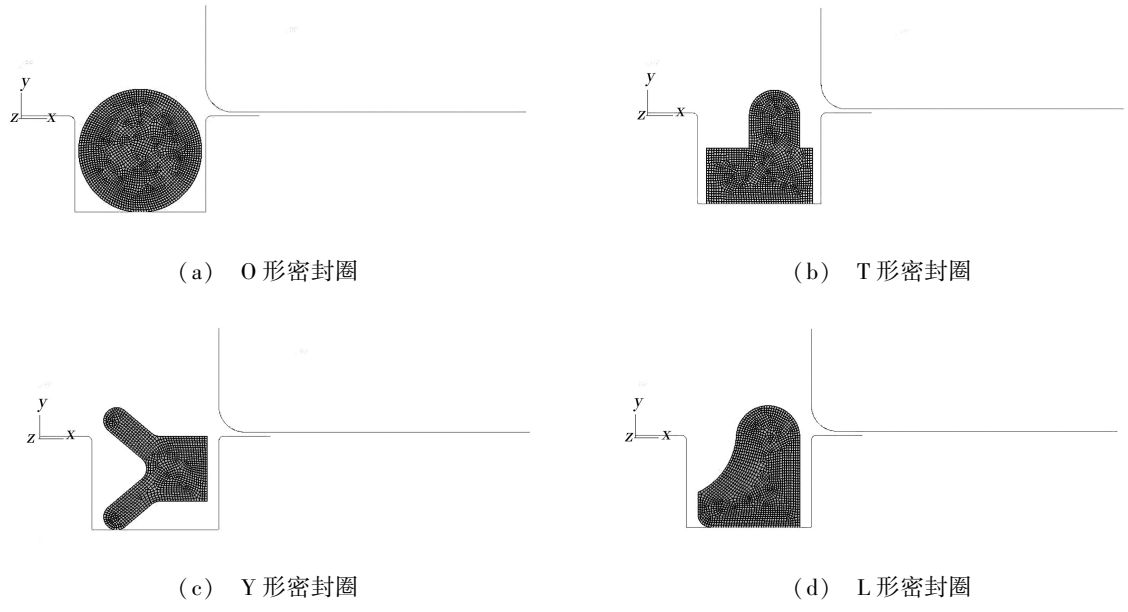


图 2 密封圈示意图
Fig. 2 Figure of seal ring

在计算中施加辅助约束消除刚体位移,将活塞杆与密封圈、密封槽与密封圈之间设置接触连接,法向为“硬”接触,切向为库伦摩擦接触。建模和计算所用的软件为 Abaqus 程序^[3]。

密封圈接触部位接触应力^[4]平均值为 0.4 MPa,拔出时活塞杆与密封圈接触部位接触应力平均值为 0.41 MPa。将计算结果代入式(1),得到活塞杆插入过程中 $P=217.5\text{ N}$,拔出过程中 $P=218\text{ N}$ 。插入过程中,由于在活塞杆端部涂有润滑脂,摩擦因数较低,将 P 代入式(2),得到活塞杆插入过程中 $M=217.5 \times 0.2 = 43.4\text{ N}$;拔出过程中,由于润滑脂引起密封件溶胀及介质浸泡的影响,摩擦因数显著增加, $M=218 \times 0.9 = 196.2\text{ N}$ 。

$$P = S \times Q = \pi \times h \times Q \times d \quad (1)$$

$$M = \mu \times P \quad (2)$$

式中, P 为活塞杆与密封圈接触力, Q 为活塞杆与密封圈平均接触应力, S 为活塞杆与密封圈接触部位面积, h 为壳体内径, d 为活塞杆与密封圈接触区域宽度, M 为活塞杆与密封圈间的摩擦力。

1.2 计算结果与分析

图 3 为“O”形橡胶密封圈在活塞杆插入和拔出时接触应力分布情况,可以看出,插入时活塞杆与密

封圈接触部位接触应力^[4]平均值为 0.4 MPa,拔出时活塞杆与密封圈接触部位接触应力平均值为 0.41 MPa。从图 4 可以看出,“Y”形、“L”形橡胶密封圈在装配过程中可能会引起密封件的挤压、切削。

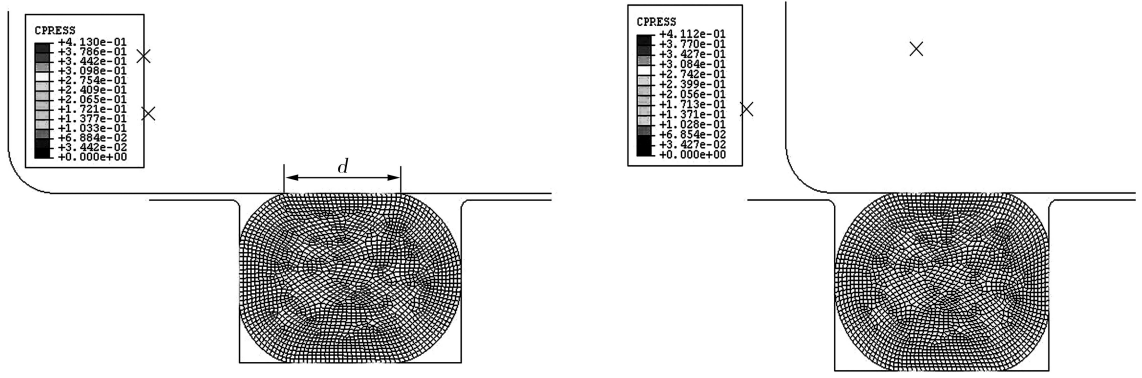


图 3 “O”形橡胶密封圈插、拔接触应力分布
Fig. 3 Stress of plug seal ring

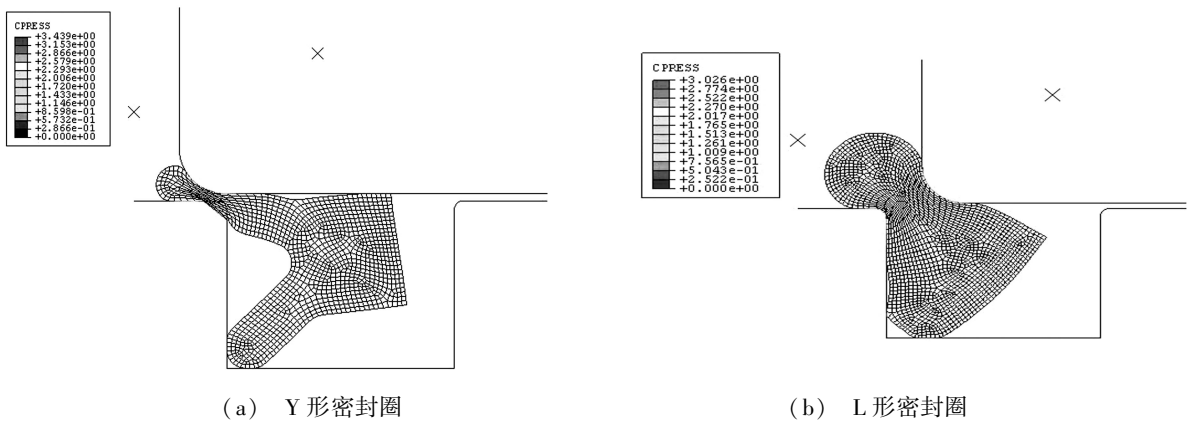


图4 “Y”形、“L”形橡胶密封圈计算结果

Fig.4 Stress of “Y” and “L” seal ring

图5给出活塞杆“T”形橡胶密封圈在插入和拔出时接触应力分布情况,可以看出,插入时活塞杆与密封圈接触部位接触应力平均值为0.31 MPa,拔出时0.68 MPa。将计算结果代入式(1),得到活塞杆插入过程中 $P=58\text{ N}$,拔出过程中 $P=142\text{ N}$ 。插入过程

中,由于在活塞杆端部涂有润滑脂,摩擦因数较低,将 P 代入式(2),得到活塞杆插入过程中 $M=58\times 0.2=11.6\text{ N}$;拔出过程中,由于润滑脂引起密封件溶胀及介质浸泡的影响,摩擦因数显著增加, $M=142\times 0.9=127.8\text{ N}$ 。

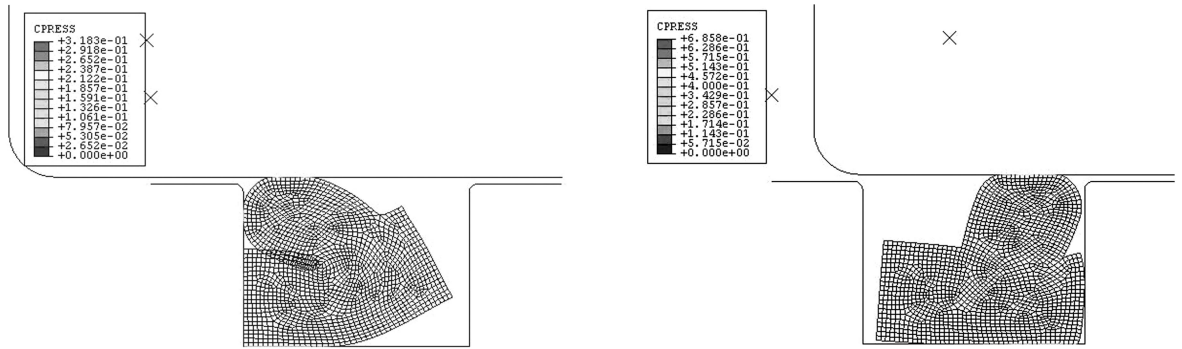


图5 “T”形橡胶密封圈插、拔接触应力分布

Fig.5 Stress of “T” seal ring

表1为四种典型密封结构模拟对比分析结果。

验系统如图6所示。

表1 四种密封圈插拔力对比

Tab.1 Plug force of sealing ring

密封圈	插入摩擦力/N	拔出摩擦力/N
O形	43	196.2
Y形	挤出破坏	-
L形	挤出破坏	-
T形	11.6	127.8

从表1可见,“Y”形及“L”形橡胶密封圈在设计中存在明显不足,在活塞杆装配过程中可能会引起密封件的挤出破坏;在活塞杆与密封件接触部位,“O”形产生的摩擦力较“T”形明显偏大,如果采用“T”形活塞杆在拔出过程中将使用更小的力。

2 试验验证结果与分析

为考核该插拔装置密封件的密封性能,设计模拟试验工装。工装结构形式及尺寸遵循“密封槽结构、尺寸按照图纸不得改变”的要求进行设计加工。试

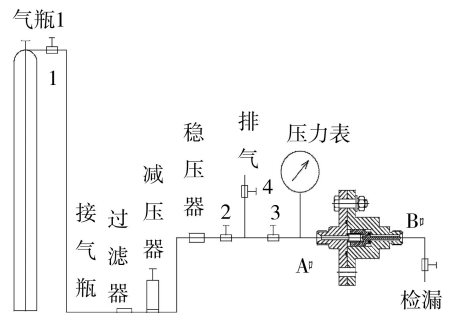


图6 试验系统

Fig.6 Experimental system

选择“O”形密封件进行了常温、低温气密考核试验,结果表明,“O”形密封圈在压缩率大于6.5%时能够满足给定工作温度、工作压力条件下,漏率 $\geq 40\text{ mPa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 的密封性能要求。对装配“T”形密封圈活塞杆模拟工装进行了常温、低温气密考核试验。从试验结果看,改进设计后的“T”形密封件可以满足给定

工作温度、工作压力条件下,漏率 $\geq 40 \text{ mPa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 的密封性能要求。

设计专用试验工装,采用试验机将安置好的试验工装拉开,记录试验过程的拉力值。“O”形与“T”形密封圈分离力试验结果见表2,活塞杆进行装配力和分离力试验图见图7。

表2 “O”形与“T”形密封圈分离力试验结果对比

Tab.2 Plug force of “O” and “T” ring

状态	密封件状态	启动摩擦力/N
涂抹润滑脂 72h	O形	220
涂抹润滑脂 72h	T形	110



图7 活塞杆装配力和分离力试验图

Fig.7 Figure of separating experiment

结果表明,涂抹润滑脂72h后“T”形启动摩擦力较“O”形密封圈明显偏低,且试验结果与数值计算结果接近;“T”形密封圈能够显著降低活塞杆拆卸时的摩擦力,且密封性能满足要求。

3 结论

(1)使用有限元法对“O”形等6种密封圈进行仿真计算,结果表明,“Y”形及“L”形橡胶密封圈存在明显不足,在活塞杆装配过程中有可能引起密封件的挤出破坏。

(2)涂抹润滑脂72h后,“O”形较“T”形橡胶密封圈产生的摩擦力明显偏大,“T”形密封圈能够显著降低活塞杆拆卸时的摩擦力。

(3)异形密封圈密封性能良好,且能显著降低结构拆卸时的摩擦力,有利于结构拆卸灵活、顺畅。

参考文献

- [1] 王勖成.有限单元法[M].北京:清华大学出版社,2003:134
- [2] 石亦平,周玉蓉. Abaqus有限元分析实例详解[M].北京:机械工业出版社,2006:6
- [3] 导弹结构强度计算手册[M].北京:国防工业出版社,1978:9
- [4] 曹金凤,石亦平. Abaqus有限元分析常见问题解答[M].北京:机械工业出版社,2009:22

(编辑 李洪泉)

《宇航材料工艺》2013年征订启事

- 中国科技论文统计源用刊 · 中国中文核心期刊
- 国际宇航文摘(IAA)、美国化学文摘(CA)、金属文摘(METADDEX)收录核心期刊
- 《宇航材料工艺》创刊于1971年,是国内外公开发行的国家级技术类期刊
- 由航天材料及工艺研究所主办
- 入《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网及万方数据资源系统数字化期刊群等
- 在第二届国家期刊奖评比活动中获百种重点期刊奖
- 主要报道我国材料及工艺的科技进展、科研成果和工程实践
- 主要栏目有:专论、综述、计算材料学、新材料新工艺、测试分析、工程实践、知识窗、科技信息、成果简介以及会议信息等
- 适合于航空航天、冶金、石油化工、机械电子、轻工、汽车、造船等部门,从事材料工艺研究生产的科研技术人员、管理人员及高校师生阅读。

· 刊号 CN 11—1824/V,国际标准刊号 ISSN 1007—2330,双月刊90页,国际大大16开本,激光照排,逢双月出版,每期15.00元,全年90.00元,2013年的征订工作已经开始,欢迎各界读者从速订阅。

本刊参加了天津半导体杂志社的联合征订,可汇款至天津半导体杂志社,邮编300220,注明“订阅《宇航材料工艺》,代号9769”。也可直接在编辑部订阅。

信汇开户行:北京市工商银行东高地支行

户名:航天材料及工艺研究所

账号:0200006509008800374(务必将订单与银行回执复印件寄回)

邮汇地址:100076 北京市9200信箱73分箱18号《宇航材料工艺》编辑部

电话:010-68383269 E-mail:703@china.com

联系人:任涛

网址:http://www.yhclgy.com