

doi: 10.7690/bgzdh.2023.07.005

某型液压阻尼器启动力差异分析及改进

李 彬

(海军装备部, 成都 610000)

摘要: 为解决某型机载液压阻尼器前推与后拉启动力差异较大的问题, 对密封结构及阻尼腔排气结构进行改进设计。分析故障机理并确定原因是由密封设置不合理造成的启动力异常以及内部油液未充满造成的伸出方向阻尼性能下降, 共同导致了侧杆装置前推后拉启动力差异。验证结果表明: 该设计能提高阻尼器的密封性能, 满足系统启动力的要求。

关键词: 液压阻尼器; 启动力差异; 改进

中图分类号: TJ85 **文献标志码:** A

Analysis and Improvement of Starting Force Difference of Certain Type Hydraulic Damper

Li Bin

(Department of Naval Equipment, Chengdu 610000, China)

Abstract: In order to solve the problem of large power difference between forward pushing and backward pulling of a certain type of airborne hydraulic damper, the sealing structure and the exhaust structure of the damping chamber were improved. The failure mechanism was analyzed and it was determined that the abnormal starting force caused by the unreasonable seal setting and the decrease of the damping performance in the extension direction caused by the insufficient internal oil led to the difference of the starting force of the side rod device. The results show that the design can improve the sealing performance of the damper and meet the requirements of the starting force of the system.

Keywords: hydraulic damper; difference of starting force; improvement

0 引言

液压阻尼器可以吸收负载的振动和冲击, 限制负载的速度和位移, 防止设备产生共振, 补偿设备的热膨胀位移, 在系统中主要起稳定作用^[1-2]。液压阻尼器具有防腐性好、结构紧凑、呈对称结构、安装空间小、阻尼力大、动态响应时间短、寿命长等特点, 被广泛应用于重要的军事工程中^[3-5]。

在对某型飞机侧杆操纵装置进行启动力检查时, 发现侧杆操纵装置纵向操纵时前推与后拉的启动力差异较大, 初步确定是由 XXX-14 液压阻尼器在伸出与缩回时产生力出现异常。笔者对密封结构以及阻尼腔排气结构进行改进, 以提高阻尼器的密封性能并满足系统启动力的要求。

1 产品结构及功能

XXX-14 液压阻尼器的主要功能: 为驾驶员提供操纵阻尼, 抑制驾驶员过速操纵, 防止系统摆振。其结构如图 1 所示, 原理如图 2 所示。

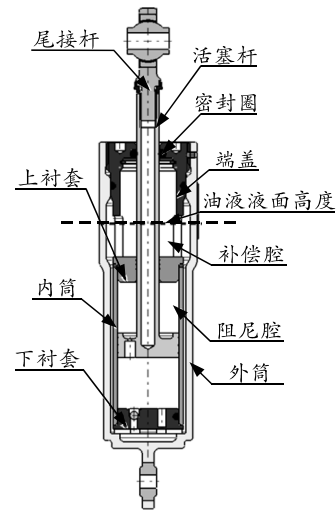


图 1 液压阻尼器结构

2 问题定位

XXX-14 液压阻尼器在伸出与缩回运动中会产生启动力以及阻尼力。产品在正常工作时是竖直向上放置, 启动力包含了零件的重力以及活动部位的摩擦力。通过对 XXX-14 液压阻尼器可能造成侧杆

收稿日期: 2023-03-10; 修回日期: 2023-04-16

作者简介: 李 彬(1983—), 男, 四川人, 硕士, 工程师, 从事航空机电研究。E-mail: 284971153@qq.com。

启动力差异的故障模式进行分析，确定了会造成侧杆启动力差异的故障模式为启动力异常以及阻尼性能下降，并对阻尼器可能造成启动力异常与阻尼性能下降的故障模式进行分析，故障树如图 3 所示。

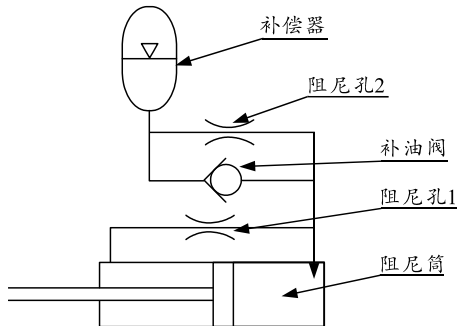


图 2 液压阻尼器原理

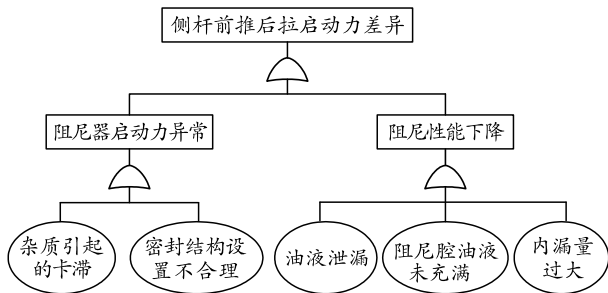


图 3 故障模式分析

2.1 阻尼器启动力异常

如图 1 所示，XXX-14 液压阻尼器的活动部件仅有活塞杆，活塞杆在运动时与其能够产生摩擦的部位为活塞杆与上衬套之间、活塞杆与内筒之间、活塞杆与密封圈之间。产品的启动力包含了活塞杆与上衬套之间的摩擦力，活塞杆与内筒间的摩擦力，活塞杆与密封圈之间的摩擦力以及活塞杆与尾接杆的重力。活塞杆与内筒和上衬套之间的摩擦副均为金属之间的摩擦，摩擦力占比较小。产品的启动力大部分来自活塞杆与密封圈之间的摩擦力。

当杂质进入阻尼器内部，并在产品使用过程中进入活塞杆与衬套之间或者活塞杆与内筒之间的间隙，就会造成液压阻尼器卡滞，启动力不满足要求。如果是由于杂质进入间隙造成卡滞，产品的伸出与缩回方向的启动力都应该增大，不符合侧杆装置前推后拉启动力差异的故障现象；因此，排除杂质进入阻尼器内部造成液压阻尼器启动力异常的故障。

对产品进行分解后发现，将端盖处的密封圈取下后进行启动力检查，发现产品伸出方向启动力为 0.8 N，基本与活塞杆和尾接杆的重力相等；因此，初步判定是由于活动密封处密封结构设置不合理造成产品缩回方向启动力不满足要求。

2.2 阻尼性能下降

如图 1 所示，产品内部上衬套与活塞杆之间是通过间隙进行密封，当间隙过大会导致内漏量过大，阻尼腔内部油液大量流过间隙从而导致产品阻尼性能下降。将出现空行程的产品返厂后分解产品，对上衬套的内孔与活塞杆的外径尺寸进行计量，尺寸均满足图纸要求。对产品进行重新注油并装配，重新装配的产品的阻尼性能恢复正常，未出现空行程的情况。排除内漏量过大引起的阻尼性能下降。

XXX-14 液压阻尼器在装配时对注油量有明确要求，需保证液面高度距外筒端面 30 mm。当内部阻尼腔进入气体后，阻尼腔的油液进入补偿腔会使油液液面升高。分解出现空行程的产品，取下端盖后测量油液液面高度发现液面升高，初步判定阻尼腔油液未充满造成产品阻尼性能下降。

综上所述，初步判定是由于密封设置不合理造成的启动力异常以及内部油液未充满造成的伸出方向阻尼性能下降共同导致的侧杆装置前推后拉启动力差异。

3 故障机理分析

3.1 密封结构设置不合理机理分析

XXX-14 液压阻尼器采用了 O 型密封圈的结构形式，O 型密封圈如图 4 所示，其依靠对象零件之间的挤压变形起密封作用；因此，密封面的正压力较大使摩擦力较大。

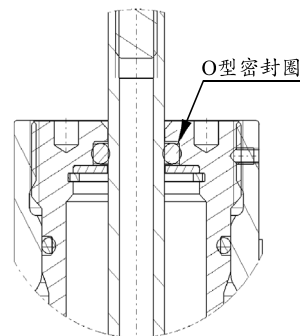


图 4 O 型密封圈结构

O 型密封圈用作往复运动密封时，有启动摩擦阻力大及易产生扭曲、翻转的缺点。当密封圈在密封沟槽内出现扭曲翻转时就可能出现伸出与缩回摩擦力出现差异的情况。当活塞杆缩回时，密封圈发生轻微扭转，此时的摩擦力包含了使密封圈发生扭转的扭矩，造成缩回方向的摩擦力增大；当活塞杆伸出时，密封圈扭转产生的扭矩是沿活塞杆伸出方向的，即活塞杆伸出时摩擦力相对缩回时较小。使

用 O 型密封圈存在伸出缩回摩擦力差异的风险。

3.2 阻尼腔油液未充满机理分析

XXX-14 液压阻尼器采用阻尼油作为工作介质，阻尼小孔作为节流元件。如图 2 所示，当一个阻尼腔中的油液在活塞的压缩下通过阻尼小孔流到另一腔时，在两腔之间形成压力差，该压力差作用在阻尼活塞上时产生与运动方向相反的力；因此，阻尼腔内必须充满油液。

如图 1 所示，产品在竖直向上放置时虚线下方为油液，上方为气体。在正常情况下补偿腔内的气体一直处于补偿腔的顶端不会进入阻尼腔。当气体进入阻尼腔后，由于产品是竖直向上放置气体会积聚在阻尼腔的上端。此时拉动液压阻尼器伸出时会因为阻尼腔顶部有气体而导致液压阻尼器伸出时阻尼力下降甚至消失。

通过分析，产品内部阻尼腔出现气体的原因：在产品平放或倒置的状态下，补偿腔上方的气体会通过下衬套上的补油阀以及阻尼孔进入阻尼腔。将产品竖直放置后，气体集中在阻尼腔顶端无法排出到补偿腔。由于集体积聚在产品顶部，因此会导致活塞杆伸出运动时出现空行程，产品伸出方向阻尼性能下降。

补偿腔设置在产品的上方，产品如果一直保持竖直向上放置就不会出现气体进入阻尼腔造成产品伸出方向阻尼性能下降的情况。通过查阅相关资料，具有类似结构的空客 A340 飞机上的液压阻尼器要求产品在运输和使用过程中必须保持竖直向上放置；因此，前期采取的措施是在产品包装盒上做好标识，保证产品在使用与运输过程中不会倒置与水平放置。

但由于产品交付后的装调和运输过程中不可避免地出现产品水平放置以及倒置的情况，在使用过程中有气体进入阻尼腔造成伸出方向阻尼性能下降的风险；因此，通过使产品一直保持竖直向上放置来避免产品内部阻尼腔进入气体的方式可操作性较差。

4 设计改进及验证情况

4.1 密封结构设置不合理改进

通过对现阶段的需求进行分析，需要一种摩擦力较小并且伸出与缩回方向摩擦力一致性较好的密封结构。通过前期的验证，将密封结构更改为 Y 型密封圈，Y 型密封圈具有寿命高、摩擦力较小，

动、静摩擦力变化小的优点。改进后的密封结构如图 5 所示。

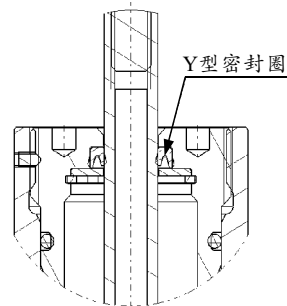


图 5 Y 型密封圈结构

Y 型密封圈的密封原理与 O 型密封圈不同，Y 型密封圈是通过自身的形变进行密封，其密封面处的正压力大小是由产品内部的压力决定。XXX-14 液压阻尼器作为独立型液压阻尼器产品内部压力仅为大气压力，使用 Y 型密封圈具有较小的摩擦力。并且 Y 型密封圈的结构形式保证了密封圈在密封沟槽内不易发生扭转，往复运动的摩擦力差异较小。

4.2 阻尼腔油液未充满改进

通过故障机理分析，液压阻尼器出现伸出方向阻尼性能下降故障的主要原因是阻尼腔进入气体后无法排出，依靠保持产品竖直放置来避免气体进入阻尼腔的可操作性较差。产品倒置或水平放置后气体会进入阻尼腔，为排出产品尾接杆朝上竖直放置时集中在阻尼腔顶端的气体，在上衬套处增加了一个排气孔，如图 6 所示。

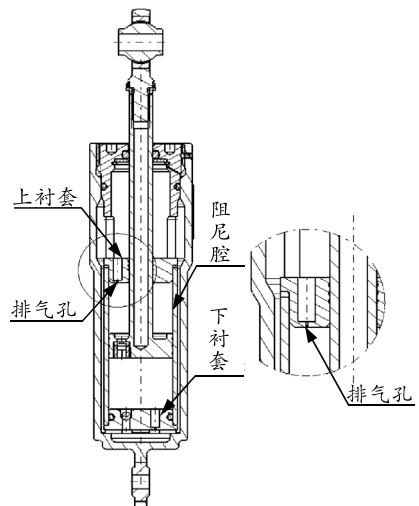


图 6 增加排气孔结构

增加排气孔后，积聚在阻尼腔上端的气体能够通过排气孔排出到补偿腔内，保证阻尼腔内部能够完全充满油液。

5 设计改进验证

更换为 Y 型密封圈后的产品进行了启动力检查、高温密封性检查、低温密封性检查以及常温密封性检查, 产品在各种温度环境下均未出现漏油现象, 密封性能良好。启动力检查实测指标如表 1 所示。

表 1 更换 Y 型密封圈后启动力指标实测值 N

产品号	伸出启动力	缩回启动力	伸出摩擦力	缩回摩擦力
4#	3.5	2.0	2.78	2.72
5#	3.0	1.5	2.28	2.22

产品进行启动力检查时竖直向上放置, 此时检测的启动力包含了零件的重量。产品活塞杆以及尾接杆重量为 0.073 kg(约 0.72 N); 因此, 不考虑零件重量时, 产品伸出与缩回摩擦力基本一致。

对产品水平放置 24 h 后以及倒置工作循环后的 2 种情况下进行了功能性能检查。产品水平放置 24 h 后进行阻尼性能检查, 出现了阻尼性能下降的情况。恢复竖直向上放置, 拉动活塞杆进行 10 个工作循环后产品阻尼性能恢复正常。产品倒置工作循环后出现了空行程以及阻尼性能下降的情况。恢复竖直向上放置, 拉动活塞杆进行 10 个工作循环后产品空行程情况消失, 阻尼性能恢复正常。产品在机上状态一直保持尾接杆朝上竖直向上放置, 产品在竖直向上放置时不会出现阻尼性能下降的情况。倒

(上接第 9 页)

- [11] HONG T P, TSENG L H, WANG S L. Learning rules from incomplete training examples by rough sets[J]. Expert Systems with Application, 2002, 22(4): 285-293.
- [12] 龚本刚, 华中生, 檀大水. 一种语言评价信息不完全的多属性群决策方法[J]. 中国管理科学, 2007, 15(1): 88-93.
- [13] 姚爽. 不完全信息综合评价方法与应用[M]. 北京: 经济科学出版社, 2015: 74-77.
- [14] 段嘉璐, 应黎明, 罗先成, 等. 基于诱导有序加权证据

置与水平放置的情况只可能出现在运输与装调过程中, 出现阻尼性能下降情况后只需工作 10 个工作循环即可恢复正常; 因此, 能满足侧杆装置的使用需求。改进后的产品在机上进行了系统联试, 产品能够满足系统的启动力要求; 同时, 换装改进后阻尼器的侧杆操纵装置在冲击环境下的零位电压也能够满足要求。

6 结论

验证结果表明: 笔者所提改进设计方案为液压阻尼器设计提供了新的密封设计理念和排气结构设计方案, 可为同类型液压阻尼器的研制提供参考。

参考文献:

- [1] 梁海毅, 王纪森, 黎文, 等. 一种飞机液压阻尼器动态试验系统的设计与实现[J]. 机床与液压, 2016, 5(44): 135.
- [2] 解绍伟, 尚增温, 郝安民, 等. 液压阻尼器试验系统设计[J]. 液压与气动, 2005(12): 9.
- [3] 谢龙, 丁凯, 苗中华, 等. 一种新型液压阻尼器设计、建模与仿真[J]. 流体传动与控制, 2010(1): 17.
- [4] 刘海清. 液压阻尼器建模及仿真[J]. 中国科技信息, 2020(12): 90.
- [5] 吴文涛, 艾建波, 郭俊贤. 某旋翼液压阻尼器动密封故障分析[J]. 直升机技术, 2013(4): 37-39.
- 推理方法的不完全信息下继电保护系统健康状态评价[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 106-112.
- [15] 姚爽. 不完全信息下的综合评价方法研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2010: 32-36.
- [16] XU Z S. An overview of methods for determining OWA weights[J]. International journal of intelligent systems, 2005, 20(8): 843-865.
- [17] 王博. 基于模糊综合评判的炮兵营装备使用质量评价[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(4): 182-185.
- [18] 王博. 陆军现役装备使用质量评价方法研究[D]. 石家庄: 陆军工程大学, 2018: 89-92.