

油缸用活塞密封系统的异响故障的原因和解决方法

1. 前言

近年来,作为对液压设备的要求,需要对随着液压系统的效率化产生高压、高温化、小型化、轻量化等多种多样的使用条件做出对应。因此,以液压油缸为代表,对液压油缸用密封圈提出的性能要求也变得多种多样,为提升各种密封圈的性能而进行了改良。

本公司也开发了高压油缸用密封系统,作为面向建筑机械市场的液压挖掘机用油缸的维护套件。在其开发阶段的实际设备评估中,发现在某个特定条件下,油缸会发生异响(爬行现象)。油缸发出异响,说明油缸工作时往复运动的密封圈的接触部发生了爬行现象,从而导致异音和振动,这被视为液压油缸的问题。

这次的异响故障,判断为密封圈与对象面接触部发生了油膜成形不良,下面将对通过密封圈的设计来提升油膜吸入特性,从而加以改善的事例进行说明。

2. 液压油缸用密封圈的构成示例

类似液压挖掘机用油缸的高压用油缸,通常如使用Figure1所示的多个密封圈与零件。¹⁾

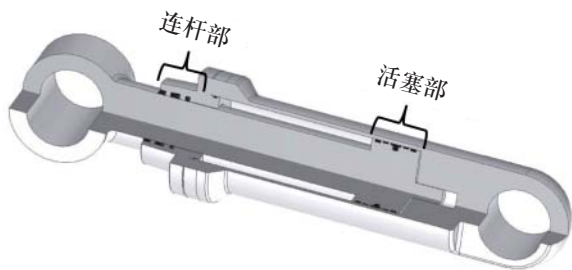


Figure1 液压油缸的构成

2-1) 连杆部的密封系统结构

连杆部使用的密封圈在防外部泄漏这一受到重视的油缸性能方面承担着重任。连杆部的密封系统结构如Figure2所示,构成零件的概要见表Table1。

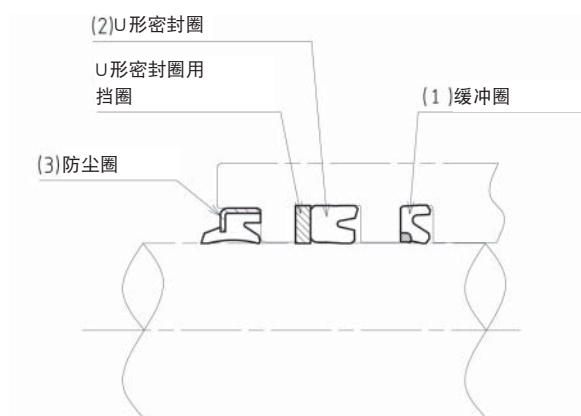
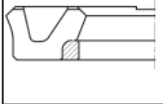
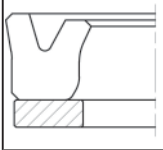
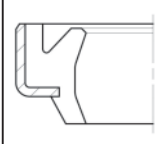


Figure2 连杆部的密封系统构成

Table1 连杆部的密封系统构成零件概要

<p>(1)缓冲圈</p> 	<p>用于承受初期高压,减轻对U形密封圈的负荷的密封圈。通过与高强度树脂材料挡圈组合使用,确保耐压性。</p>
<p>(2)U形密封圈</p> 	<p>用于防止外部漏油的主密封。通过与高强度树脂材料挡圈组合使用,确保耐压性。</p>
<p>(3)防尘圈</p> 	<p>用于防止外部异物、泥沙等侵入的密封圈。还具有防止来自U形密封圈的微量泄漏的功能</p>

2-2) 活塞部的密封系统构成

用于活塞部的密封圈在保持液压、使活塞具备适当的推力和负重保持能力之外，还负责驱动油缸。²⁾ 活塞部的密封系统结构如Figure3所示，构成零件的概要见Table2。

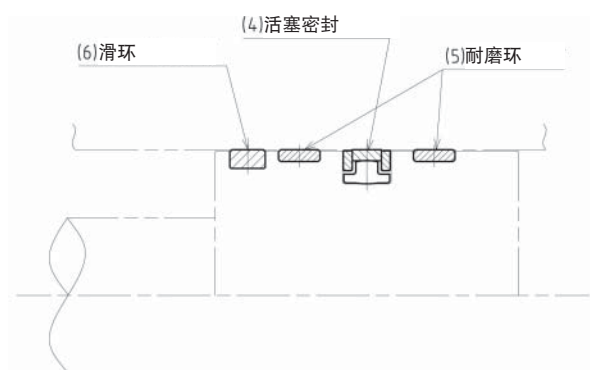


Figure3 活塞部的密封系统构成

Table2 活塞部的密封系统构成零件概要

(4) 活塞密封	
	用于在油缸工作时保持压力的主密封。有以下的多个零件构成。 ①：用于提高滑动特性的滑动环 ②：用于确保密封性的橡胶制衬圈 ③：用于加强耐压性的挡圈
(5) 耐磨环	
	在油缸工作时起到活塞的轴承功能。主要材料使用夹布酚醛树脂。
(6) 滑环	
	用于防止油中所含异物等侵入活塞密封。主要材料使用PTFE(聚四氟乙烯树脂)。

3. 异响（爬行现象）

爬行现象与作用在密封圈和对象面的接触面上的静摩擦力和动摩擦力有着密切的关系，是静摩擦力(启动阻力)产生作用时停的(粘着)状态和动摩擦力(滑动阻力)产生作用时走的(滑动)状态在接触面上瞬间且周期性发生的现象。²⁾³⁾

该现象根据液压油缸的使用条件，主要在低速区域发生，有的情况下会发出声音或产生振动。这种发出声音的现象被称为异响。²⁾⁴⁾

4. 异响评估

我们将本公司开发的高压油缸用密封系统安装在实际的液压挖掘机的油缸中，实施了油缸工作测试。测试的结果，在低速运行及油温高的情况下，油缸发生了异响(爬行现象)。在开发阶段的公司内部评估中，确认是不会发生异响的，这表明我们未能再现实际设备上的运行状况，让我们重新认识到异响评估的难度之高。

4-1) 内部评估

本公司在高压有油缸用密封系统开发阶段实施的内部评估(爬行试验)的内容如下所示。试验的结果并没有发生异响，未能确认有爬行现象。

爬行现象中，难以进行定量评估，需要在准确重现使用状况、环境，在充分掌握密封圈的特性的基础上，计划并实施试验。⁴⁾ 但是，在内部评估中，油缸的侧向负荷、及油温高导致的油粘度降低等实际运用情况未能再现。

Table3 爬行试验条件

项目	试验条件
油温	常温(自然温度, 约40℃)
速度	0.01m/sec
负荷	25kg
润滑油	液压油(运动粘度(40℃): 46.0mm ² /sec)
确认方法	通过油缸上下移动时的加速度计的波形进行判断

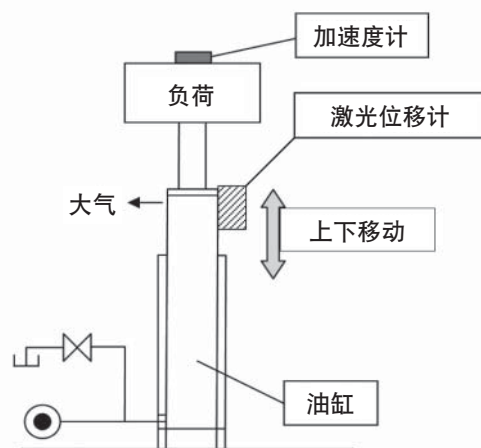


Figure 4 爬行试验装置

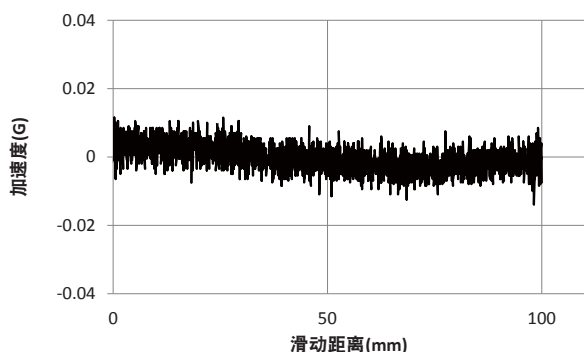


Figure5 爬行试验结果

5. 密封圈的爬行与油膜的关系

密封圈的爬行现象与接触面的润滑不良造成的摩擦阻力的影响有关，因接触面的粘着和滑动的周期性的重复而发生。此时，密封圈在粘着状态下发生变形并留在原地，在因外力等强制滑动时则恢复原状。密封圈的爬行现象会受到温度、速度、压力、表面粗糙度、液压油的粘度、油性等因素的影响，无法定量地加以明确。但是，在定性方面，有高压低速运行时、润滑油不足时、液压油粘度低且润滑膜容易发生断裂时等几种情况。⁵⁾

作为密封圈爬行现象的改善对策，可以降低整体的摩擦阻力。作为降低密封圈的摩擦阻力的方法，可以通过确保与对象面的滑动面间的油膜来加以改善。²⁾

5-1)密封圈的油膜形成

要在通常的往复用密封圈滑动面上维持适当的油膜，与密封圈的流体入口侧及大气开放侧的面压分布的压力梯度有很大关系。⁶⁾ 压力梯度的大小决定了是会吸入油膜，还是去除油膜，对油膜厚度和密封性产生影响。

本公司在开发高压用连杆密封(U形密封圈)时，着眼于踵部的形状与面压分布的压力梯度，证明了通过设定最佳的值可以开发出吸入特性良好的密封件。¹⁾

5-2)油膜形成方法向活塞密封系统的展开

发生异响的油缸的连杆密封系统中，采用了上述本公司开发的U形密封圈，能够维持适当的油膜，因此判断异响发生在活塞密封系统中。

根据实际设备的异响评估结果，异响在油温较高导致油粘度下降，且活塞密封系统承受横向负载时发生。承受

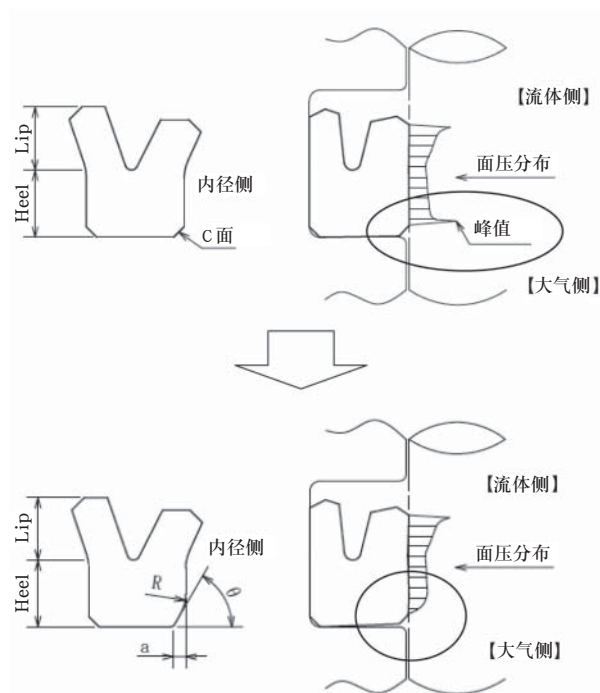


Figure6 开发产品中的油膜吸入技术

横向负载时，轴承的耐磨环被压紧在对象面上，在接触面上产生峰值面压，因此推测压力分布的压力梯度也变大。由以上几点，推测异响是因为耐磨环刮去油膜，导致摩擦阻力升高而发生的。

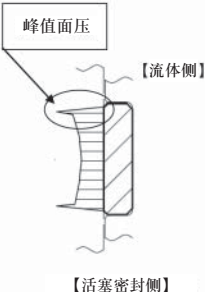
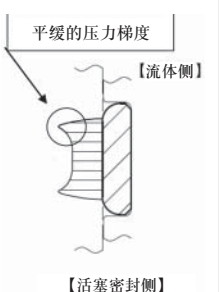
为验证这一情况，通过FEA对耐磨环的面压分布进行确认，结果发现两端部的C倒角部的峰值面压及压力梯度较大。

作为对策，决定运用新开发的U形密封圈中得到确认的油膜刮除及油膜吸入特性。分析结果及其对策产品研究结果如Table4所示。

为运用U形密封圈的吸入性，在滑动面上形成适当的油膜，耐磨环两端部的形状被加工成圆弧形。

使用该耐磨环在实际设备上进行了异响评估的结果，未发生异响。根据这一结果，判断可以维持适当的油膜。

Table4 耐磨环的分析结果、及对策产品验证结果

项目	分析结果	对策产品验证结果
端部形状	C倒角(边缘) C倒角 C倒角	圆弧形状 R R
滑动面的面压分布	端部的C倒角部发生面压的局部峰值。  【流体侧】 【活塞密封侧】	通过将端部加工成圆弧形,降低了压力梯度。  【流体侧】 【活塞密封侧】
材料特性	产品材质是夹玻璃纤维尼龙。相比PTFE和夹布酚醛树脂等具有代表性的材料,价格实惠且强度高。摩擦特性不如PTFE,因此还有在滑动面进行滚花加工的产品。 ²⁾	出于成本考虑,材料没有做改变。

6. 实际油缸的异响评估

在前项所述对策前和对策后,对实际的液压挖掘机进行异响评估,Figure7所示为对异响声音通过频率加以可视化的确认图。对策后的异响评估结果,未发现异响波形。

7. 结语

检验发现,通过在液压油缸用密封圈中维持适当的油

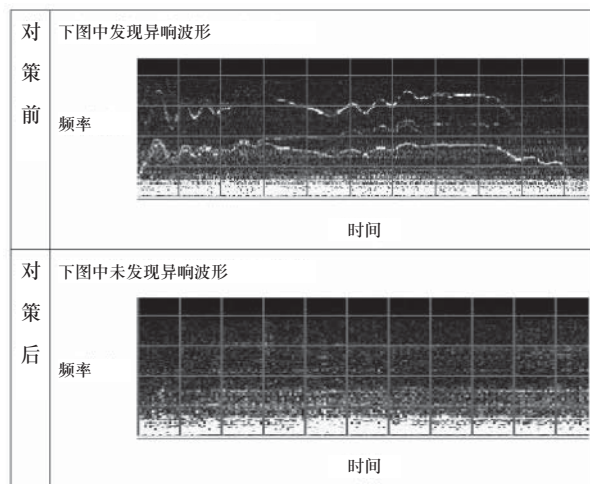


Figure7 油缸的异响评估结果

膜,可以改善异响现象。要维持适当的油膜,油膜刮除和吸入特性是不可或缺的元素。通过了解这种特性,可以形成在其他产品中展开的改善异响和降低摩擦阻力的技术。但是,由于尚无法数值化地掌握不同使用条件和不同产品的适当油膜厚度等,还存在多个课题,需要通过今后的产品开发进行验证。

8. 参考文献

- 1)山下纯一, 华尔卡技术期刊, No 30, 3-8,(2016).
- 2)安藤忠, 油空压技术, 2003年5月号, 28-33.
- 3)中野健, 日本橡胶协会期刊, 第80卷, 第4号, 134-139,(2007).
- 4)高牟礼辰雄, 辻和明, 村松晃, 吉田勉, 油空压技术, 2003年5月号, 34-37.
- 5)赤井英夫, 油空压技术, 2003年5月号, 13-20.
- 6)兼田祐宏, 日本橡胶协会期刊, 第72卷, 第4号, 194-201,(1999).



高桥 谦一
研究开发本部 开发部