

盛 君 豪

提要 密封技术对液压技术的发展起着十分重要的作用。液压设备密封性能的好坏,是衡量设备质量的重要指标之一。本文介绍对密封装置的要求、密封件的分类及几种主要密封元件。

液压密封装置是用来防止工作介质内、外泄漏和外部杂质(如尘土、空气和水等)侵入液压系统的机构。液压设备密封性能的好坏,是衡量设备质量的重要指标之一。随着技术的发展,要求液压设备在高温(或低温)下,高压、高速、高精度地运转。这对液压设备的密封提出了更多、更高的要求。

密封装置的基本要求和

密封件的分类

密封装置的基本要求

a. 在一定的压力和温度范围内具有良好的密封性能;

b. 为避免出现运动件卡住或运动不均匀现象,要求密封装置的摩擦阻力小,摩擦系数稳定;

c. 磨损少,工作寿命长,磨损后在一定程度上能自动补偿;

d. 结构简单,装拆方便。

密封件的分类

密封件可分为静密封和动密封两大类,详细分类见图1。

a. 静密封

固定面之间的密封称为静密封,静密封一般不允许泄漏。

在液压系统中常用的静密封有O形圈、方形圈等以及各种垫片(如纸基、石棉橡胶基、橡胶或聚四氟乙烯等材料制成的平垫片等)以及密封胶和密封带等。

b. 动密封

按运动形式的不同,动密封可分为往复运动动密封和旋转运动动密封。

往复运动动密封主要采用自封形密封圈,此外还采用填料密封和活塞环密封等。

旋转运动动密封,以前常采用填料密封,目前机械密封和油封的应用范围日益扩大。

表 5

型 号	$\delta_{\text{实}} - \delta_{\text{计}}$ (100%)	$P_K(\text{bar, abs})$				
		3	4	5	6	7
K23Y-L3-T	计算值	2.30	-0.63	-0.9	0.00	1.79
	设计值	-3.30	-3.40	-2.4	0.00	2.79
K23M-L3	计算值	-0.90	-1.80	0.00	0.00	0.30
	设计值	-5.40	-2.10	-0.90	0.00	0.60

般应选择可调气阻、固定气容结构,在结构参数上按亚音速状态设计。

5. 设计条件方程(16)~(23)可作为检查结构参数合理性的判别式。

6. 从表5中可看出,气压对摩擦力产生的影响有利于提高延时精度。

7. 理论计算与实验结果的比较,说明了上述理论分析和计算方法的有效性。 □

密封元件

O形密封圈

O形密封圈的特点

O形密封圈是一种最常用的密封元件，具有如下特点：

1. 密封部位结构简单，易于安装。
2. 密封性能好，作静密封时几乎没有泄漏，作动密封时只在高速运动时才有些泄漏。
3. 运动时摩擦阻力较小。
4. 尺寸和沟槽已被标准化，选用和外购方便。

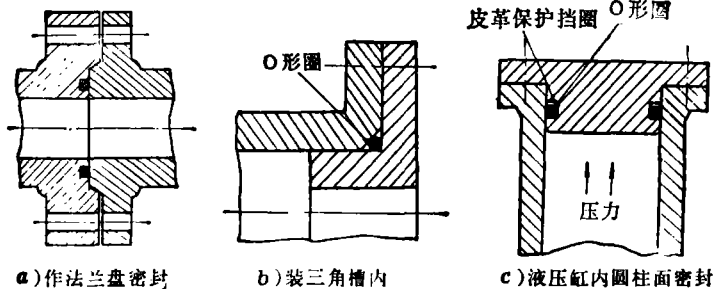
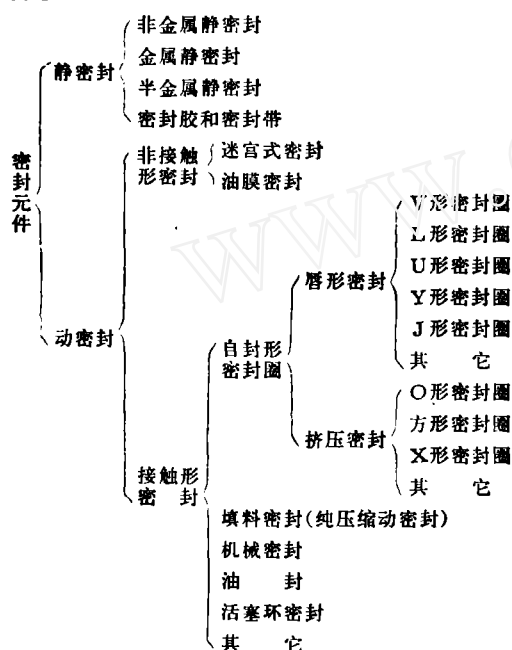


图2

5. 其缺点是起动时摩擦阻力较大。

O形密封圈的用途及其密封原理

1. 作静密封

图2所示为用O形圈作静密封的几个例子。

O形密封圈属于挤压密封，所以压缩量的大小是直接影响其使用性能和寿命的重要参数（压缩量一般在8~25%范围内选取）。它使O形圈在流体介质没有压力或者压力很小的情况下，仍能给予密封接触面以一定的压力，以保证密封。图3所示为微压下密封接触面的压力分布。

在高压流体作用下，O形圈接触面的压力分布如图4所示。在这种情况下密封接触面的压力 p_m ，除了安装时的接触压力 p_i 外，还增加了由于流体压力 p 的作用产生的接触面压力，这样就大大地提高了密封效果。密封圈的这种特性称为自封作用。

2. 作往复运动密封

往复运动用O形圈的泄漏量与往复运动的速度、油的粘度、O形圈的尺寸、光洁度、工作压力等因素有关，并具有如下关系式：

$$Q \propto D \nu^{1.5} v^2 F(p) / F(H)$$

式中 Q ——O形圈的泄漏量（厘米³/小时）；

D ——轴的直径（厘米）；

ν ——油液的运动粘度（厘斯）；

v ——往复运动平均速度（厘米/秒）；

$F(p)$ ——与压力有关的函数；

$F(H)$ ——与硬度有关的函数。

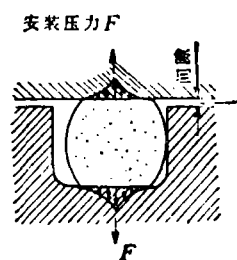


图3 微压下O形圈接触面的压力分布

从上式可以看出,当油液的粘度、往复运动的速度和工作压力越高则泄漏量越大。但提高O形圈的硬度可以减少泄漏量。由于液压油的粘度随温度的升高而降低,所以液压设备在低温下启动时,在运动开始时泄漏较大,随着运动过程中因各种损失引起温升高,泄漏量也逐渐减少。

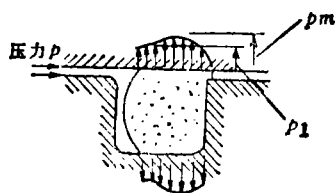


图4 在高压流体作用下O形圈接触面的压力分布(不产生泄漏条件为 $P_m > P$)

下面讨论往复运动时O形圈的泄漏原因。图5a为密封结构简图,O形圈的左方作用着油压力。如将O形圈与轴的接触处放大(图5b),可以看到其接触表面是凹凸不平的。由于自封作用,O形圈给予金属接触面的压力比 p_1 大,所以在静止时不会产生泄漏。当轴开始向右运动时(图5c),就会把粘在轴上的液体向O形圈前方的楔形缝处拖曳,从而使这部分液体的压力大于 p_1 ,当它大于O形圈的接触压力时,就会掀起接触处使液体进入凹形区(图5d)。重复上述过程,凹形区一个接一个地侵入液体,这就形成了沿轴运动方向的泄漏。相反,当轴从右向左运动时,由于轴的运动方向与液压力的方向相反,所以泄漏很少。轴在两个方向运动后的泄漏量就是一次往复运动漏到外部的油量。

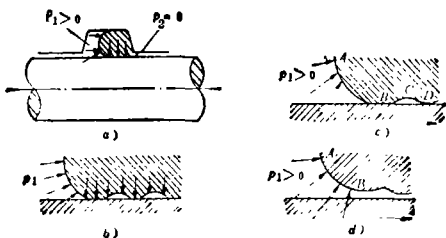


图5 往复运动O形圈的泄漏原因

3. 作旋转运动密封

O形圈用于旋转运动时,O形圈与旋转轴的接触处产生摩擦热,热量使这些接触部位温度不断上升,由此引起断油现象,造成磨损,且橡胶因受热而老化,降低了O形圈的使用寿命。最近,由于研制成功了耐热氟橡胶及耐磨聚氨酯橡胶,并设计能克服焦耳热效应的新型O形圈,使O形圈能够用于高速高压旋转运动。

所谓橡胶的焦耳热效应,就是处于拉伸状态的橡胶遇热产生收缩的现象。在安装O形圈时为了使它在沟槽内不产生窜动,在用作往复运动密封时不产生拧扭现象,一般使它处于某种程度拉伸状态。但如果将这种安装方法用于旋转运动,就会产生不良的结果。本来已紧箍在旋转轴上的O形圈,因旋转运动产生的摩擦热而收缩,进而使这种箍紧力增大,这样,产生摩擦热→收缩→箍紧力增大→产生摩擦热→……,反复循环,就大大地促进了橡胶的老化和磨损。

考虑到焦耳热效应的影响,可将旋转用O形圈设计成与旋转轴直径相等或稍大(试验表明O形圈内径比轴直径大3~5%是有效的)。在安装时使O形圈从外径向里压缩,并将断面的压缩量也设计得小一些(压缩量约为5%)。这样将使O形圈的工作情况大为改善。可用于最高线速达4米/秒的旋转轴密封。此外,在设计时还应尽量采用受热影响较小的O形圈材料,并考虑O形圈安装处的散热。

设计、安装和使用中的几个问题

1. O形圈材质的选择

液压设备的设计者必须根据机器特性和使用条件合理地选用O形圈的材质,在选择O形圈材质时应特别注意工作温度和工作介质。因为,如材质不合适,则无论设计得怎样正确,也不会收到很好的密封效果。

表1所列为各种密封材料及其特性比较。表2所列为各种橡胶材料的特性及其适

各种密封材料及其特点比较 表 1

密封材料	优 点	缺 点
合成橡胶	①能制成任意形状的密封制品, 制品的质地均匀, 尺寸精度高, 价格也较便宜 ②可选择合适的配方, 以适应各种特性的工作油 ③密封效果好 ④可获得耐热、耐寒 ($-50\sim+200^{\circ}\text{C}$) 的制品	①由于密封效果过好, 有破坏油膜的可能, 滑动阻抗稍大于皮革密封 ②滑动表面的光洁度须在 $\nabla 8\sim\nabla 9$, 要求间隙很小
夹布合成橡胶	①除具有合成橡胶的优点外, 耐压性高于纯橡胶制品, 寿命较长 ②表面光洁度允许在 $\nabla 7\sim\nabla 8$ 左右	①当压力过高时, 会出现橡胶与夹布剥离的现象 ②密封效果不如纯橡胶密封, 故希望夹布橡胶与纯橡胶组合使用
皮革	①可密封的最高压力达 1000公斤力/厘米^2 ②滑动面的光洁度允许在 $\nabla 7$ 左右 ③因是多孔材料, 故能自润滑, 滑动阻力小 ④耐油性、耐磨性、耐压性优良, 寿命长	①不耐化学药品 ②耐热性在 $-60\sim+100^{\circ}\text{C}$ ③由于材料为牛皮, 难以得到均质制品, 尺寸误差也大, 制作和保管较困难, 成本高
聚四氟乙烯	①耐化学药品性好, 尤其适用于抗燃性工作油 ②滑动阻力小 ③耐热性好 ($-40\sim+250^{\circ}\text{C}$)	由于聚四氟乙烯本身没有弹性, 因此需和别的橡胶配合使用

用范围。

2. 密封沟槽

由于矩形和三角形沟槽的尺寸、光洁度等都可以从标准中查得, 所以这里只介绍一下确定沟槽的简单原则。

安装 O 形圈的沟槽有矩形、V 形、半圆形、燕尾形和三角形等, 其中应用最广的是矩形沟槽。三角形沟槽只适用于静密封, 如 O 形圈在工作介质中膨胀或收缩量较大时可考虑采用斜底形沟槽。

沟槽的深度取决于 O 形圈所要求的压缩

各种橡胶材料的特性及其适用范围 表 2

橡胶材料	特 点	适 用 范 围
天然橡胶合 成天然橡胶	富有弹性、 耐磨性等	水和乙醇, 不能用于矿物油。使用温度 $-50\sim+120^{\circ}\text{C}$
丁苯橡胶	耐磨性、耐 老化性好	水、乙醇及汽车刹车油, 不能用于矿物油。使用温度 $-30\sim+120^{\circ}\text{C}$
丁二烯橡胶	耐磨性、弹 性好	同天然橡胶。使用温度 $-70\sim+120^{\circ}\text{C}$
氯丁橡胶	耐风化, 耐 磨和耐油性好	适用于气动和耐蚀密封及苯氨点高的矿物油中。使用温度 $-40\sim+130^{\circ}\text{C}$
丁基橡胶	耐臭氧性、 耐化学药品性 好	适用于水—乙二醇类、磷酸酯液压油, 不可用于矿物油。使用温度 $-30\sim+150^{\circ}\text{C}$
丁腈橡胶	耐油、耐磨 耐老化	适用于矿物油和水, 是最常用的耐油橡胶, 不适用于磷酸酯液压油, 使用温度 $-50\sim+120^{\circ}\text{C}$
乙丙橡胶	耐热、耐臭 氧, 与纤维结 合性好	适用于磷酸酯类工作油和加热蒸汽, 不能用于矿物油中, 使用温度 $-50\sim+150^{\circ}\text{C}$
聚氨酯橡胶	耐磨性和机 械强度高	特别适用于有耐磨性要求的场合, 不能用作高温水的密封, 使用温度 $-30\sim+80^{\circ}\text{C}$
聚丙烯橡胶	在高温下耐 油性好, 耐寒 性差, 回弹率 永久变形和耐 磨性较差	适用于高温液压密封, 使用温度 $-10\sim+180^{\circ}\text{C}$
硅橡胶	耐油、耐热、 耐寒; 强度差、 抗高压水蒸汽 性能差	高温用(只作静密封)使用温度 $-70\sim+230^{\circ}\text{C}$
氟橡胶	耐高温、耐 油、耐磨	适用于高温液压设备及磷酸酯液压油。使用温度 $-30\sim+200^{\circ}\text{C}$
聚硫橡胶	耐油、耐溶 剂性极好, 机 械强度差	适用于各种矿物油及溶剂, 但只能作静密封。使用温度 $0\sim+80^{\circ}\text{C}$
氯磺化聚乙烯 橡胶	耐风化、耐 臭氧、耐腐蚀、 耐热性好	适用于高温和需耐化学药品的场合。使用温度 $-30\sim+150^{\circ}\text{C}$

量, 沟槽的宽度则由使用条件而定。矩形沟槽的宽度一般为O形圈断面直径的1.3~1.5倍。静密封的压缩量较大, 沟槽宽度应取偏大值, 往复运动时可取稍小值。若所用油液会使橡胶膨胀, 则沟槽的宽度可大些。作旋转轴密封用的O形圈沟槽宽度应为O形圈断面直径的1.05~1.1倍。

3. 间隙咬伤及拧扭现象

试验表明, 如密封装置各部分设计合理, 单纯提高压力, 并不会造成O形圈的破坏。

当O形圈的材质较软、密封间隙较大时, 如压力较高就容易挤入间隙, 造成间隙咬伤(见图6)。由于间隙咬伤所引起事故很多, 因此O形圈在高压下使用时应尽量减少小密封间隙, 选用硬度较高的材料, 并配有密封圈保护挡圈。

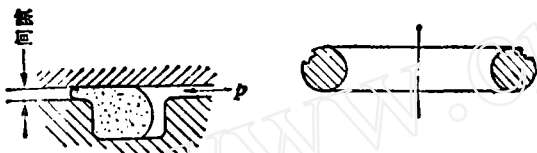


图6 O形圈挤入间隙的情况和间隙咬伤

运动用O形圈易因拧扭而损坏。拧扭损伤的原因很多, 其中最主要是由于活塞、活塞杆和缸筒的间隙不均匀、偏心过大、O形圈断面直径不均等, 使O形圈的某些部分摩擦较大而造成的。此外, 断面尺寸较小的O形圈, 容易产生摩擦不均匀, 造成拧扭(运动用O形圈比固定用O形圈的断面直径大就是这个道理)。应该引起注意的是, 安装密封圈时不应使它处于拧扭状态, 假如在安装时就拧扭着, 则拧扭损伤就会很快发生。在工作中, 拧扭现象会使O形圈断裂, 产生大量漏油, 而且断裂了的O形圈会混到液压系统的其它部位, 造成重大事故。为了防止O形圈的拧扭损伤, 在设计时应注意如下几点:

O形圈安装沟槽的不同心度大小, 应从加工方便和不产生拧扭现象两个方面来考

虑。

O形圈断面尺寸应均匀, 且在每次安装时都应在密封部位充分涂抹润滑油或润滑脂。有时也可采用浸透润滑油的毡圈式加油装置。

O形圈应避免用作大直径活塞的密封。

在低压下也易产生拧扭损伤的地方, 可配有密封圈保护挡圈, 但这样会使摩擦阻力增加。

可用不易产生拧扭现象的密封圈代替O形圈。特别是容易产生冲击的地方, 行程长的活塞杆或缸筒等处的密封容易产生拧扭现象, 可用多边形密封圈、D形圈、T形圈来代替O形圈。

4. 安装时的注意点

应避免O形圈在安装时被尖角划伤, 安装时要通过的轴和孔的端部应倒角。

为防止在安装O形圈时被螺纹或其它锐棱部分划伤, 应使用如图7所示的薄壁金属导套。

装配O形圈时应将所经过的孔口处倒成如图8b所示的形状, 否则O形圈在经过孔口时很易咬伤。

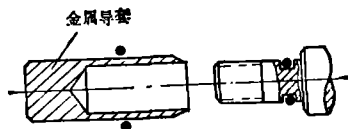


图7 利用金属导套安装O形圈

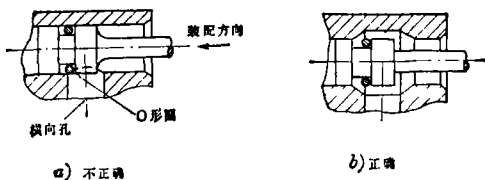


图8 横孔的处理

5. 防尘

O形圈在灰尘多的地方使用时, 应用毛毡油圈等来防尘。在易结冰和易粘附泥土的地方使用时, 可用金属防尘圈。在O形圈的

滑动部分必须严格避免尘土侵入。

6. O形密封圈的粘接

非标准规格或尺寸大于标准规格的O形圈可采用粘接的办法来解决。大尺寸的O形圈可用断面尺寸符合O形圈标准的橡胶条粘接,尺寸较小者可用大一挡以上的O形圈切掉一段进行粘接。粘接时,按所需长度截取橡胶条,然后将粘合剂均匀涂在断面上,放在带弧槽的样板上迅速压合(应注意接合处不能错位)。

特殊O形圈

1. 特殊形状O形圈

除圆形断面O形圈外,还有D形、X形、T形等特殊形状O形圈

2. 其它材料O形圈

聚四氟乙烯O形圈

聚四氟乙烯O形圈比普通橡胶制O形圈耐热、耐寒,其使用温度范围是 $-40\sim+250^{\circ}\text{C}$ 。并且有耐一般浓酸(如硫酸、硝酸)、浓碱和有机溶剂(如丙酮、酮)的性能。近年来在液压设备中为了防火采用了磷酸酯抗燃液压油等,由于聚四氟乙烯不受这些液压油的侵蚀,故适宜作这种介质的密封。因为聚四氟乙烯O形圈比橡胶O形圈的弹性差,所以也有将密封圈作成如图9所示的切槽式断面。

聚四氟乙烯O形圈主要用作静密封,但也可用于缓慢的往复运动和旋转运动密封。聚四氟乙烯树脂质地致密不易透气,且摩擦阻力小,所以还可用于气体阀类的密封。

聚四氟乙烯O形圈的安装沟槽和普通O形圈沟槽的形状一样,呈矩形或三角形,最近也有采用半圆形沟槽的,这种沟槽比矩形沟槽的宽度窄。

由于聚四氟乙烯的刚性较大,所以在设计密封安装部位的结构时应尽量避免有过大的拉伸。图10所示为这种O形圈的安装例子,采用分割式沟槽便于聚四氟乙烯O形圈的安装。

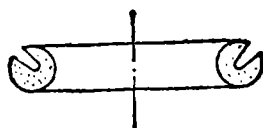


图9 切槽式O形圈

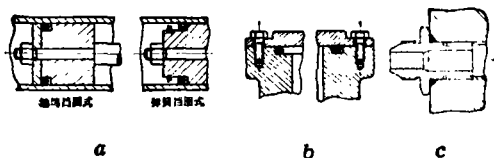


图10 聚四氟乙烯O形圈的安装

a)作活塞密封; b)作法兰盘密封; c)作管接头密封

空心金属O形圈

空心金属O形圈(简称金属圈)是用不锈钢管或镍合金管焊成的高精度环形圈,可用作高温发动机、高压成形机、挤压机以及真空机械、原子反应堆等管路系统和压力容器的静密封。金属密封圈的特点是

a.使用温度范围很广($-250\sim+540^{\circ}\text{C}$)。

b.使用压力范围广,从 10^{-12} 毫米汞柱的超真空到3000公斤力/厘米²以上的高压(甚至可达20000公斤力/厘米²)。

c.可在橡胶O形圈不能使用的气体和液体(例如有机溶剂)中使用。

金属O形圈有基本型、开孔型和充压型三类(图11),可根据具体的工作条件选择使用。

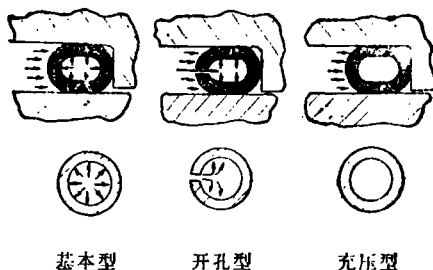


图11 金属O形圈

(待续)