

液压系统的密封概况

广州机床研究所情报室

提要 密封是液压系统的重要问题,必须给予极大的注意。本文着重介绍各类密封的发展过程和提高密封圈质量的途径,也介绍了密封件的试验。

在液压系统中,密封装置是用来防止液体工作介质泄漏的装置。一般在零件的沟槽里或偶合面之间安装密封件。在偶合面接触时,密封件发生弹性或塑性压缩变形而起到密封作用。

对密封装置的基本要求是:

(1)在一定的压力作用下和一定的温度变化范围内保持良好的密封性;

(2)不污染工作介质,对密封面无腐蚀;

(3)对动密封来说,动摩擦阻力小;

(4)使用寿命长,磨损小,最好能自动补偿磨损量;

(5)装拆方便,维修简单,制造容易。

在液压系统中使用密封件的数量每年在数千万件以上。随着液压系统的工作压力和运动速度的提高,防止泄漏已成为推广液压技术的一个重大技术关键问题。泄漏不仅是漏掉大量的液压油,污染环境,而且影响机械设备的性能,有时不得不停机检修造成停工损失。对一些在高温、易燃、易爆条件下工作的液压设备来说,还有引起火灾的危险。因此密封问题是液压行业不容忽视的重大问题之一,必须认真地加以解决。

密封装置的分类

密封装置可分为静密封和动密封两大类。在液压系统中,常用的静密封是O形圈和各种

垫片以及液体密封胶、密封带等。

动密封按运动形式的不同可分为往复动密封和旋转动密封两类。按密封形式又可分为机械密封、活塞环密封、挤压密封、间隙型密封、油封以及唇形密封(皮碗)等等。

密封发展概况

下面分别介绍O形圈、唇形密封(皮碗)和油封三类主要密封件的发展概况。

1. O形圈

1939年,美国的尼尔斯·克里斯坦森第一次申请O形密封圈的专利。以后,美国在飞机液压系统中采用了这种O形圈,并把密封圈材质由氯丁橡胶改进为丙烯腈与氯丁橡胶掺合而成的材料,使性能得到了改善。二次大战后,O形圈的应用已超过V形圈,并开始广泛采用丁腈胶作为密封材料。

O形圈的特点是:结构简单,体积小,安装方便,密封可靠,动摩擦阻力小,不需要调整,而且价格低廉。O形圈可在100公斤力/厘米²的压力下使用。目前,O形密封圈已得到广泛的使用。

此外,由O形圈还演变出一些异形断面密封圈,如X形圈、D形圈、T形圈、Z形圈、心形圈、O形密封垫和印刷垫圈等等。

2. 唇形密封(皮碗)

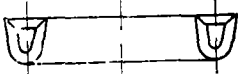
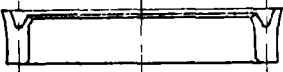
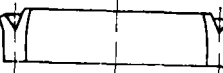
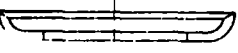
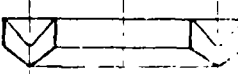
随着橡胶材料新品种的不断发展,各种弹

性垫圈、压缩型垫圈及皮碗等密封也得到迅速发展。皮碗最初由经过浸泡处理的皮革制成U形及V形,以后被橡胶及夹布橡胶取代,在形状上增加了J形、L形、Y形等等。1940年以后,开始采用合成橡胶作为材质。V形密封圈体积大,夹布型安装困难,摩擦阻力大;U形密封圈的摩擦阻力小,但易翻转,需加支撑环,因此又发展了Y形密封圈。近年来,小Y形断面的密封圈在往复密封特别是液压缸密封中的应用越来越多。所谓“小Y形”是指断面高宽比为2以上的Y形皮碗,它的稳定性比Y形皮碗好,不易翻转。小Y形皮碗的材质一般是丁腈橡胶或聚氨酯橡胶,也有采用氟橡胶的。

用聚氨酯橡胶做的小Y形皮碗,耐磨性、耐老化及耐高压性能好,但耐热性和耐水性不好。皮碗的主要品种和特点见表1。

V形皮碗在直径大、压力高、速度快、行程长等苛刻条件下使用仍然具有一定的长处。近年来,发展了一种“复合密封圈”(Polypac),它是将夹布橡胶皮碗1和橡胶皮碗2用聚甲醛粘合而成的(图1),也有把夹布橡胶1和橡胶2通过硫化模压在一起的,如单作用的“蕾形密封圈”和双作用的双V形密封圈(图2),使之兼有两者的优点(因为单用夹布橡胶V形皮碗虽耐压、耐磨,但密封能力比纯胶的低)。

表1 皮碗的主要品种和特点

形 状	类 别	特 点
	U 形	用于油压和水压往复密封。纯胶最高使用压力为100公斤力/厘米 ² ,夹布胶最高使用压力为320公斤力/厘米 ² 。摩擦阻力小,要用支撑圈。不适用于快速运动,可用于缓慢旋转
	Y 形	用于内面滑动,一般不用支承圈。摩擦系数较小,安装简便,广泛用于液压机器
		用于外面滑动,一般不用支承圈。摩擦系数较小,安装简便,广泛用于液压机器
		适用于苛刻的液压工作条件。在压力波动很大时,要与支承圈并用
	L 形	用于低、中油压、水压和气动活塞密封
	J 形	用于低压和中压的往复密封。
	V 形	在低压到高压范围内广泛用于水压和油压的往复密封。有纯胶和夹布胶两种。可根据压力将若干个皮碗重叠使用。耐压和耐久性均好。纯胶最高使用压力为300公斤力/厘米 ² ,夹布胶最高使用压力为600公斤力/厘米 ²

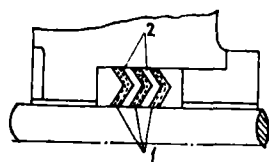


图1

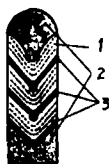


图2

3. 油封

在油封(旋转动密封)方面,最早使用皮革与金属等制造,在经过浸泡处理的皮革上加放钢环或自紧弹簧。在二十年代中,出现了螺旋形油封和排列成螺旋形的石棉纤维层油封,这

表2 常用油封的结构形式和特征

断面形状	类型	特征
	单唇口型	最普遍的形式,用于无尘埃的环境。金属骨架外露者,安装正确。但骨架与油封座配合要精确,骨架外表面加工精度高。压力: $0.2 \sim 0.3$ 公斤力/厘米 ²
	双唇口型	有防尘副唇,用于有尘埃、泥、水的环境。安装时两唇之间最好填充润滑脂。副唇有各种形式
	无弹簧型	用于密封润滑脂或除尘。可与单唇型并用
	耐压型	一般耐压到3公斤力/厘米 ² 。骨架延伸到唇部,而且唇部短厚
	抗偏心型	唇部呈W型,可在偏心较大的部位起密封作用
	往复型	往复运动用,主唇起封油作用,副唇(外唇)防止润滑油膜被刮掉
	两侧密封型	同时密封两侧的油,不使两种润滑剂混合
	单向回流型	唇口外侧面上有浅花纹。正转时,由于“回流效应”,能把漏出的油抽回被密封腔从而提高密封性,但反转时漏油
	双向回流型	唇口外侧面上有对称的浅花纹,如凹▽块、凸△块、V字形或波形等。原理和效果同上,正反转均不泄漏

些油封往往在停车时就泄漏,而且一旦间隙增大、转速增高和轴挠曲加大,就会出现严重泄漏。1935年出现了用合成橡胶制造的油封。到1945年,创制了现在所用的这种断面形状的油封。1950年后,油封结构有了进一步发展(见表2)。以后又出现一种用来密封表面上加工有螺旋印迹的轴的油封(图3)。1955年先出现直臂形断面、后发展成弯臂形断面的油封。1969年以后,又出现了“回流油封”,包括丝扣油封、流体动力油封、波形油封以及正作用油封等等。这些油封成为目前较新型的油封,其特点是使漏出的油向里流回被密封腔。

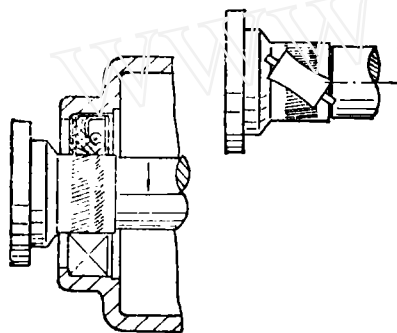


图 8

提高密封圈质量的途径

提高密封圈质量防止泄漏的途径有:

1. 密封圈的几何形状和尺寸必须符合公差要求。
2. 根据产品使用的条件,合理选择密封材质。如在较高温度下使用的密封圈,可选用氟橡胶及硅橡胶;对于用磷酸酯等抗燃液压油作为工作介质的液压系统,可选用乙丙橡胶作为密封圈的材质(见表3)。
3. 正确选择密封圈的沟槽尺寸和形式,保证密封所需的压缩量。避免变形过大或过小造成挤入间隙、失圆、扭转损伤和过大的摩擦阻力。
4. 掌握通用和特种橡胶的配方和制作工艺。液压系统中的密封件常用丁腈橡胶制造,

其中丙烯腈含量较高的密封件,耐油性能较好,而且使用时体积膨胀较小,但和丙烯腈含量低者相比,耐压缩永久变形性能、弹性恢复性能以及耐寒冷性能均较差;有时还可采用两类牌号的丁腈橡胶并用的配方和其它并用技术,如丁腈橡胶与聚氯乙烯并用的配方,可提高耐油、耐磨、耐热、耐寒性能;丁腈橡胶和三元尼龙并用的配方,可提高耐磨、耐油、耐热和耐气候老化性能,可延长使用寿命;在丁腈橡胶中掺入氯磺化聚乙烯,可提高密封件在高压下抗挤入间隙性能等等。近年来还有用过氧化物及钨镁硫化、防老剂、喷雾炭黑等方法来提高丁腈橡胶本身的耐热性、耐老化性和减小压缩永久变形。

5. 采用新工艺、新设备,加强模具和密封件产品的测试工作,保持产品尺寸精度的稳定性,提高半成品和成品的质量。

在模压橡胶密封件的制造方面有两个值得注意的工艺:注压工艺和修边工艺。

注压工艺是1964年以后出现的一种新工艺,它是把胶料直接加入注塑机后,在料筒中加热塑化并自动注入模具进行高温快速硫化,最后自动启开模具的。这种新工艺操作简单,生产效率高,质量有保证,是一种值得注意的发展方向。这种新工艺在我国已有使用,证明效果较好。此外,还试验成功了在普通平板硫化机上采用注胶式多腔油封硫化模。注压工艺的缺点是注塑机比较贵、模具结构复杂、换模困难,一般宜在大批量制造时采用;此外,注塑机尚不能制造大尺寸多构件的密封制品。

修边工艺,最早是用手工修边,以后改用机械修边,近年来出现了对O形圈采用冷冻修边法,即用干冰(固态二氧化碳)或液氮将置于滚筒内的密封制品降温至 $-40^{\circ}\text{C}\sim-70^{\circ}\text{C}$ 甚至更低温度,使其飞边变硬变脆,被滚筒内一起旋转的磨料或小钢珠撞击而除去,这种冷冻修边法效率高,修边质量好。我国也开始试用了这种先进的修边工艺。

表3 液压密封制品用国产橡胶和合成树脂的主要品种、特点和用途

材 料		代 号	使用温度(℃)	特 点	主 要 用 途
丁基橡胶		IIR	-30~+150	耐热、耐天候和耐寒性优良。对动植物 油、磷酸酯基抗燃液压油、水和化学药品(酸、 碱等)的抵抗力大,但不适用于汽油、矿物油 基润滑油和液压油。透气性小,适用于真空密 封	耐酸碱的密封圈、 煤气管垫圈、真空容器 密封圈等
乙丙橡胶		(三元乙丙胶) EPDM(二元 乙丙胶)EPM	-50~+150	耐热、耐寒和耐天候性优良。对磷酸酯基 抗燃液压油、水、高压蒸气、化学药品等的抵 抗力大。不适用于一般矿物油基润滑油和液压 油	耐热垫圈、橡胶气 封等
丁 腈 橡 胶	中 丙 烯 腈 (丁腈-26)	NBR	-30~+120	在耐油密封制品中使用最广泛,兼有良好的 耐油、耐热和耐天候性能。但不能在弱酸、强 碱、液压油中以及含极压添加剂的齿轮油中使 用	大量使用于O形圈 、油封、纯胶或夹布的 皮碗等
	高 丙 烯 腈 (丁腈-40)		-20~+120	耐燃料油、汽油和低苯胺点的矿物油性能 最好,但耐寒性较差	要求耐油性高、耐 寒性较次要的油封和O 形圈等
聚氯醚橡胶(分聚醚 型和聚酯型,或分混炼 型和浇注型)		AU EU	-30~+80	耐油和耐磨性能优良,机械强度高,但耐 热性较差,而且在含水分的液体中于高温下发 生水解。怕酸、碱	主要用于往复液压 机械活塞杆和活塞的U 形、Y形和V形密封圈
聚丙烯酸酯橡胶		ACM ANM	-20~+150	耐热和耐油性均优于丁腈胶,而且可以 耐含极压添加剂的润滑油。适用于齿轮油、马 达润滑油、机油、石油基液压油等,但耐水和 耐寒性能差	正在研制高速高温 油封等。 国外用于汽车前后 轴油封和齿轮泵油封
硅橡胶		MPVQ MVQ	-65~+230	耐热耐寒性和压缩永久变形性极佳,适用 于高低温及低压下高速旋转的密封件。缺点是 机械强度低、耐磨性能不好,在汽油、苯等溶剂 中膨胀很大,在高压水蒸汽中发生分解,不适 用于低苯胺点的矿物油和含极压添加剂的齿 轮油	耐高温和低温的O 形圈、油封等,特别适 用于高速旋转油封
氟橡胶		FPM	-20~+200	耐油、耐热和耐药品性极佳,几乎对所有 润滑油、燃料油和汽油都适用。适用于高真空 密封。在酸和碱类溶剂中不适用。在含极压添 加剂的高温油中亦不易硬化。缺点是耐寒和压 缩变形不好,高温下耐磨较差	耐高温的油封、O 形圈和旋转轴用O形圈、 高真空O形圈等
聚甲醛		—	-40~+100	具有良好的抗拉强度、冲击韧性、刚性、 疲劳强度和抗蠕变性,耐有机溶剂及化学腐 蚀。耐磨损,摩擦系数小	国外已用作O形圈 和U、Y形密封圈的挡圈 材料

密封件的试验及其他

一般密封件生产厂必须对密封件材质、半成品和成品的性能进行考核,还要对成品进行寿命试验,达到标准规定的指标,以保证产品质量。各国都有试验的标准。

对胶料的主要技术要求有硬度、压缩永久

变形、耐油性、耐磨性以及耐热油老化性等指标。表4是O形圈的压缩永久变形指标比较。压缩永久变形过大,密封圈将丧失弹性引起泄漏。

密封件成品试验项目包括检查成品断面尺寸、外形尺寸、径向力、摩擦力矩、油封的油膜厚度以及寿命等等,有些项目是抽查的。

英国Dowty密封件公司对O形圈的试验项

表4 O形圈的压缩永久变形指标

标准或生产厂	材 料		压 缩 永 久 变 形 (%)				注
	胶 种	硬 度	70℃×24 小时	100℃×24 小时	100℃×70 小时	120℃×70 小时	
中国国标(草案)	耐油通用胶	65±5		≤50			预压缩 20%
		75±5		≤55			
		85±5		≤50			
中国国标推荐的18个 生产配方	丁腈橡胶	60~80	10.6~21.7	18.3~54.1			
日本JIS-B-2401 (-30~+120℃)	中丙烯腈	70±5				≤40	预压缩 25%
	丁腈橡胶	90±5				≤40	
	高丙烯腈 丁腈橡胶	70±5			≤25		
美国SAE J130H	丁腈橡胶	70±5			≤25		
美国Precision公司	丁腈橡胶	78		7.8~29.4			预压缩 30%

目包括密封试验、压缩应力试验、模拟寿命试验等。其中密封试验方法是：将O形圈放在夹具的槽内，将各个装有O形圈的夹具叠起来夹紧，每个O形圈的压缩量应根据胶料硬度不同，控制一定的缝隙，缝隙的大小在上夹具时用塞尺测量。上好夹具以后其中心形成一个管道，然后通以0~280公斤力/厘米²的脉冲液压力，每分钟30次，连续试验72小时，检查泄漏情况。该公司对新结构零件都要经过模拟寿命试验，在往复试验台上进行，试验温度为-70~150℃，往复频率为120次/分，压力为315公斤力/厘米²，寿命试验往复次数一般为20~30万

次，密封件总寿命为300万次。

汽车用的油封使用寿命一般要求达到10万公里，有的可达15万公里以上。若按平均转速为6000转/分对小汽车作台架试验，至少要作1000小时试验。

表5是部分国家规定的油封允许泄漏量。

表6是日本工业标准(JIS-B-8354)规定的从液压缸活塞杆处外泄漏的允许值。

据日刊介绍，液压缸标准密封的寿命为300~500公里(平均400公里)；气缸标准密封的寿命为800~1600公里(平均为1200公里)。

表5 油封的允许泄漏量

国 别	资 料 来 源	允 许 泄 漏 量
美 国	美刊Machine Design MIL-S-45005A 福特汽车公司规范 C公司规范	一般机械为0.002~0.1克/小时 0.5毫升/24小时，停车时不允许泄漏 1毫升/24小时 0.5克/5小时
英 国	BS 1399	6个油封泄漏不允许超过6克/24小时 每个油封泄漏不得超过1克/24小时
日 本	JIS-B-2402 基珀公司标准	不允许漏油(即在常温下不得有滴油、飞溅和渗润) 每个油封泄漏0.03毫升/小时

气动用换向阀 流量特性的测试

全玉清

提要 流量特性是气动用换向阀的主要性能特性之一。本文介绍表示流量特性的几种性能参数及其测试方法。

在气压传动系统中,换向阀的流量特性对执行元件的运动速度有着直接的影响。目前,表示流量特性常用三种方法,即用流通能力C或Cv值、用有效截面积S或用额定流量下阀的

表6 日本工业标准允许活塞杆处外泄漏值

等 级	漏 油 程 度
1 等	活塞每移动100米,低于0.05毫升
2 等	活塞每移动100米,低于0.2毫升
3 等	活塞每移动100米,低于1毫升

注:静止时不得泄漏;0.05毫升约合1滴。

参 考 文 献

1. 北京橡胶工业研究所:橡胶密封制品的现状和发展,《橡胶工业》,1975年,第6期,47~82页。

2. 《机床与液压》,1973年第4期,1975年第5期。

3. 铁岭化工橡胶研究所:国内外橡胶密封制品发展概况,《机床与液压》1974年第4期,2~15页。

4. 天津市东风橡胶厂:关于聚酯型聚氨酯浇注橡胶的性能和产品的推广应用情况,《机床与液压》1974年第4期,16~22页。

5. 铁岭化工橡胶研究所情报室:国外橡胶密封制品科研工作概况,《橡胶技术》,

1976年第1期,18~23页。

6. Warring R.H., The Significance of Seals and Packings in Fluid Power, 《Hydraulic Pneumatic Power》, 1971, Vol.17, No.198, p286~293.

7. 近森德重:油·空压机器用シールの概況と問題点,《油压技术》1975, Vol.14, No.6, No.8, No.9, No.12.

8. 特集:パッキン・シールと油圧機器,《油压技术》,1973, Vol.12, No.13.

9. 大竹惟雄:往复动用シールの最近の研究ともれの理论,《油压技术》1973, Vol.12, No.10.

10. 大竹惟雄,平林弘:往复动用シールの密封原理と問題点,《油压と空气压》,1975, Vol.6, No.6.

11. 特集:油漏れ防止対策の決め手,《油压化设计》,1975, Vol.13, No.7.

12. 特集:シール,《润滑》,1969, Vol.14, No.5.

13. 三井田正敏:油空压シール寿命の略算式,《油空压化设计》,1976, Vol.14, No.12.