

机 修 手 册

(第 3 版)

第 8 卷
设备润滑

机械工业出版社

第10章 密封与治漏技术

古年年 骆玉琼

第 1 节 常见泄漏原因及其治理方法

(一) 概述

设备的泄漏是指从运动副的密封处越界漏出的少量不伴有功的流体的现象。而密封件则是用来防止流体或固体微粒从相邻结合面间泄漏以及外界杂质如灰尘、水份等侵入的零部件，较复杂的密封件称为密封装置。

设备的泄漏是一个不可忽视的问题，漏油、漏水、漏气严重影响设备的正常运转、外观、工作效率及使用寿命，并会引起环境污染，浪费能源。

造成泄漏的基本原因是密封部位内外两侧的压力差或浓度差使流体流动，以及密封面上有间隙，使流体溢出。但需注意的是相对运动的结合面间保持有适当的薄层流体膜并不会引起泄漏，而是起着降低密封部位的摩擦与磨损以及防止其发热的作用。

对密封件的基本要求有如下几点：

- 1) 在一定的压力和温度范围内具有良好的密封性能。
- 2) 摩擦阻力小，摩擦系数稳定。
- 3) 磨损小，磨损后在一定程度上能自动补偿，使用寿命长。
- 4) 与工作介质相适应。
- 5) 结构简单，装拆方便，价格低廉。

(二) 泄漏原因

机械设备的泄漏与配偶件结构设计，密封件制造质量、产品加工装配质量与储运保养以及工作条件有关。与密封性能有关的主要因素如图10-1-1所示。

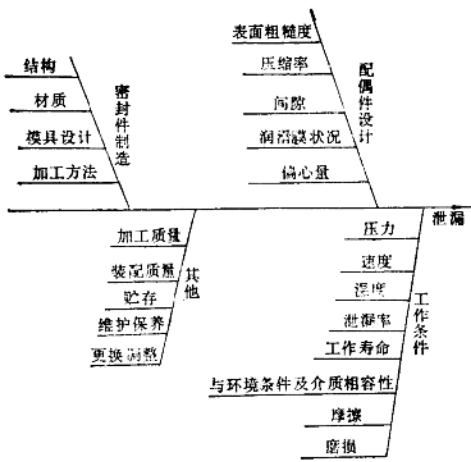


图10-1-1 与密封性能有关的主要因素

常见的机械设备泄漏原因有下列几点：

(1) 配偶件设计结构不合理 如选用的密封件不能满足工作压力、速度与温度方面的要求，与介质、环境条件不相适应，安装密封件的沟槽设计不当，间隙与压缩量选择不合理，以及未注意防腐蚀、防振、均压疏导等均属配偶件设计结构不合理。

(2) 配偶件制造与装配质量差 如配偶件的加工精度和表面粗糙度未达到要求，加工方法不合理（如加工纹理不当），当安装时密封件通过尖锐棱边与螺纹顶端时由于未加保护而损伤唇口，外界杂物的混入等。

(3) 密封件质量不好 如密封件结构设计不合理，材质不好，制造工艺和精度差，模具有缺陷，修边有缺陷等。

(4) 贮存运输及维护方面的原因 如贮存温度、湿度不当，受到氧和臭氧的侵蚀，堆放条件不当，以及维护保养不当等。

(三) 治理泄漏的方法

由于机械设备的泄漏，涉及到密封件的设计、生产、使用及机械本身结构的各个环节，因此需要运用系统观点分析、诊断泄漏原因，进行综合治理，预防、均压、疏导与封堵兼用。归纳起来，治理设备泄漏的途径如下：

(1) 合理改进产品结构 常用消除泄漏的结构措施有：

1) 均压 使密封部位内外侧的压力差均衡，如设置适当的通气帽，在介质通道中加设小型泵送元件，使动密封的接触压力分布均匀等。

2) 疏导 在零部件上开设回油槽、回油孔、挡油板等，将泄漏的流体引流回油池。

3) 封堵 应用密封技术封堵界面泄漏通道。如使用密封件、涂密封胶、缠绕密封带进行密封，或将不接合部位的表面焊合、钎合、压合、折边等，封死泄漏通道。

4) 增加流体阻力 加长泄漏通道或流动路程，以增加流体阻力。

5) 液膜阻隔 在设备的动密封配合面间采取提高配合精度控制间隙等方法，使其中保持有一层适当的润滑油膜，阻止或减少泄漏并润滑表面。

6) 回流抛甩 采用回流结构密封，在零件上增设螺旋槽等回流措施以及使用甩油环、甩油槽等将泄漏的油（或水）抛甩回油池。

7) 消除防腐 消除密封部位的振动、冲击，防止产生腐蚀。

8) 改用润滑脂及固体润滑剂进行润滑。

(2) 正确选用密封件 密封件的结构形式和材质很多，而且同样的结构形式也有不同的适用范围，因此要根据工况、使用要求和介质、环境条件

等正确选用密封件。

(3) 注意搞好生产工艺管理 在零件加工装配过程中，要注意防止零件及密封件表面碰伤、拉毛，严格检验密封沟槽尺寸、配合面平直度与轴的圆度以及表面粗糙度，使其达到规定要求。安装时注意拧紧螺钉，调整好间隙，防止密封件在通过零件棱边、螺纹时发生表面损伤而产生泄漏。

(4) 做好库存保管工作 外购密封件要严格做好入库验收及保管工作。橡胶密封件在仓库内的保管期限一般不超过两年，贮存环境要避免阳光对密封件的照射，环境温度最好低于25℃，但过低的温度又会使密封件变硬，因此当需要使用在低温下贮存的密封件时，为避免发生变形，要注意搬运及在稍高的室温下保持一段时间，使之升温。此外，还要避免贮存在过于潮湿的与含有臭氧的环境中，存放时不要将密封件重叠、加压堆放。

第2节 密封装置

(一) 密封装置的作用和种类

密封件的基本类型可分为静密封件和动密封件两大类。结合面静止的密封称为静密封，结合面发生相对运动的密封称为动密封。动密封还可按运动类型分为往复动密封和旋转动密封。或可按结合面接触形式分为非接触密封和接触密封。借密封力使密封面贴合靠紧甚至嵌入以减少或消除间隙的密封称为接触密封；密封面间预留间隙，无需密封力压紧密封面的密封称为非接触密封。

常用的密封件分类见图10-2-1。

常用静密封的种类和特性见表10-2-1。

常用动密封的种类和特性见表10-2-2。

表10-2-1 常用静密封的种类和特性

密封垫片		工作介质	工作压力 (MPa)	工作温度 (℃)	其 他	
材 料	形 状					
非 金 属	橡胶石棉板	平垫片	水、蒸汽、酸、酒精、盐、 煤气	≤5	≤400	耐冲击、耐振动
	通用耐油橡胶	平垫片 O形圈 X形圈等	水、油、蒸汽、空气	≤1	≤120	耐冲击和振动
	纸质	平垫片	水、空气	≤0.75	≤100	
	膨胀石墨	平垫片 O形圈 X形圈等	水、油、蒸汽、酸、碱	≤10~32	在空气中： -200~500 在惰性气体中： -200~2000	在强氧化性介质 中使用温度要降低

(续)

	密封垫片		工作介质	工作压力 (MPa)	工作温度 (°C)	其 他
	材 料	形 状				
金 属	紫铜	平垫片	水、汽油、硝酸、硫酸及盐类	平垫片 ≤ 32	≤ 500	能耐不同的腐蚀性介质，耐冲击和振动
	铝	波纹形垫片		波纹形垫片 ≤ 5	≤ 150	
	铝	螺旋形垫片			≤ 140	
	10号钢	齿形垫片	水、油、蒸汽	≤ 20	≤ 450	
	合金钢	透钢垫片	酸、碱、盐类	≤ 20	≤ 800	
复合材料	夹金属丝网石棉	平垫片	水、油、蒸汽	≤ 20	≤ 450	耐冲击和振动
	金属缠绕网橡胶	平垫片	水、油、蒸汽	≤ 10	≤ 350	
	金属缠绕膨胀石棉	平垫片	水、油、蒸汽、酸、碱	≤ 32	≤ 500	
液态密封剂	干性	胶状或膏状	水、油、蒸汽、酸、碱	5~8	-40~180	允许最大间隙为0.1mm
	非干性			5~8	-40~150	
	半干性(硅酮型)			8~12	-60~250	允许最大间隙为0.6mm
	厌氧胶	液状	水、油、蒸汽、酸、碱	≥ 12	-40~150	允许最大间隙为0.3mm

表10-2-2 常用动密封的种类与特性

种	类	真空(绝压) (MPa)	压力 (表压) (MPa)	工作温度 (℃)	线速度 (m/s)	漏泄率 (ml/h)	使用寿命	应用举例	
接触型	压紧填料密封	1.3×10^{-3}	32	-240~600	20	10~1000	每周紧2~3次	清水离心泵、柱塞泵、阀杆密封	
	成型填料	挤压型	1.3×10^{-7}	100	-45~230	10	0.001~0.1	6月~1年	油压缸、水压缸
		唇型	1.3×10^{-9}				0.1~10		
	橡胶密封	旋转轴唇形	—	0.3	-30~150	12	—	3~6月	轴承封油与防尘
		防尘型旋转轴唇形						3月~1年	活塞杆密封
	硬填料密封	往复	—	300	-45~400①	—	—	3月~1年	航空发动机主轴承封油
		旋转						6月~1年	航空发动机主轴承封油
	脂圈密封	往复	1.3×10^{-3}	300	—	12	0.2%~1% 吸气容积	3~6月	汽油机、柴油机、压缩机、油缸、航空发动机主轴承封油
		旋转		0.2					
	机械密封	普通型	1.3×10^{-7}	8	-196~400①	30	0.1~150	6月~1年	化工用、电厂用、炼油厂用的离心泵大型泵、透平压缩机
液膜		—	32	-30~150	30~100	100~5000	1年以上	蒸汽透平、燃气透平、迷宫活塞压缩机	
			2	不限	不限	—			
非接触型	迷宫密封	1.3×10^{-5}	20	600	不限	大	3年以上	蒸汽透平、燃气透平、迷宫活塞压缩机	
	间隙密封	—	32	—	80	内漏 <8300	1年以上	泵、化工透平	
			1	-30~150	70		1年左右	制氧机 油泵、高压泵	
			1000	-30~100	2				
	离心密封	背叶轮	1.3×10^{-3}	0.25	0~50	30	—	1年以上	矿浆泵
		甩油环	—	0	不限	不限	—	非易损件	轴承封油与防尘
	旋转轴唇形 防尘型								
	螺旋密封	螺旋密封	1.3×10^{-3}	2.5	-30~100	30	—	取决于轴承 寿命	轴承封油、鼓风机封油
		螺旋迷宫密封	—		70				
	其它	铁丝网流体密封 全封闭密封	1.3×10^{-13}	4.2	-50~90	(70)	—	—	—

① 只供用非胶件者，适用温度同橡胶密封。

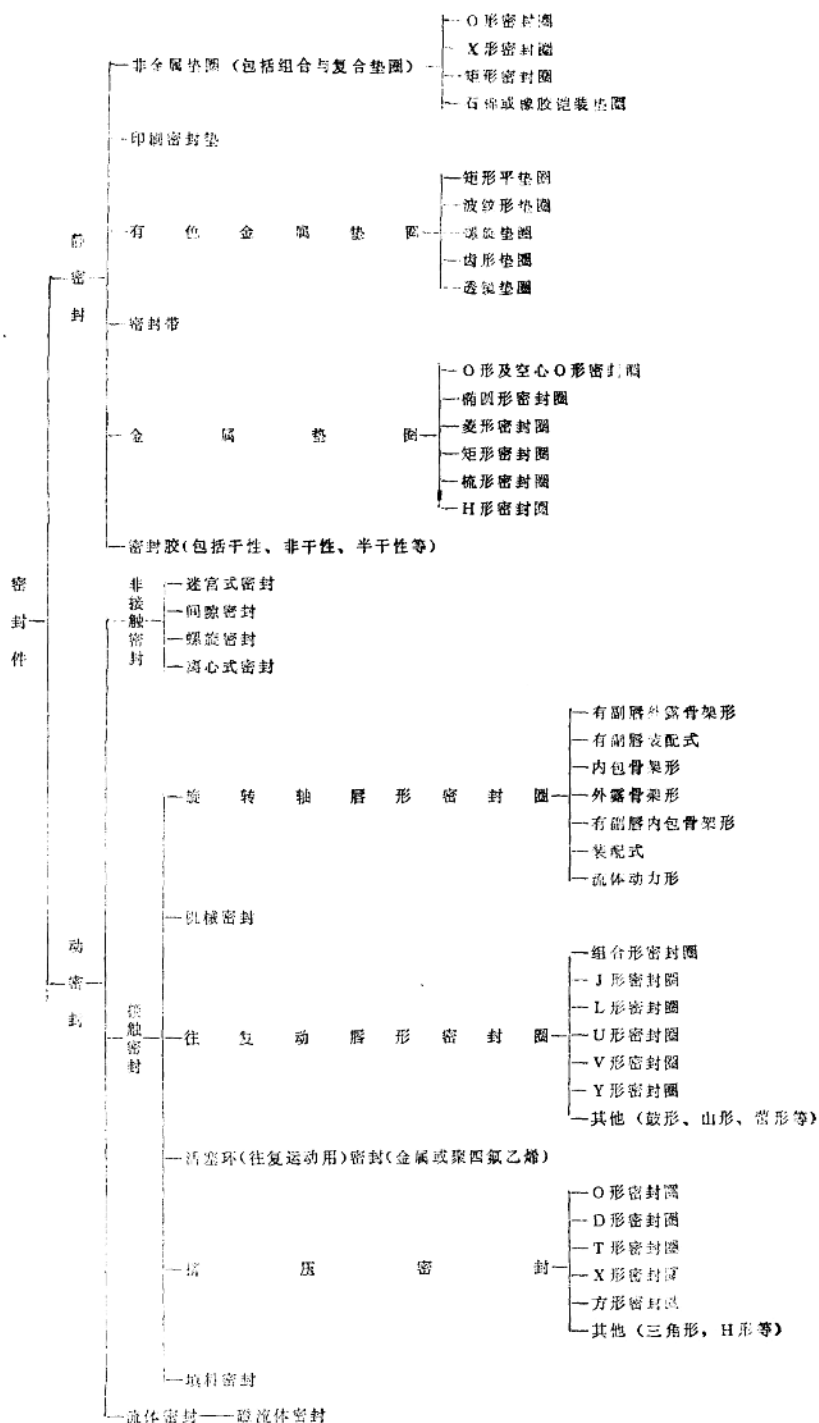


图10-2-1 密封件分类

(二) 密封装置的选用方法

密封装置的选择主要根据工况与环境介质、工作介质与使用性能等决定。如介质类型与相容性、温度（极限值与工作温度、试验温度）、压力（极限值与工作压力、密封部位内外侧压差）、轴与配合件的几何尺寸与表面粗糙度、空间尺寸、间隙、运动类型与速度、寿命、泄漏量、摩擦与磨损、振动、安装、调整与更换要求、价格等。其中以温度、压力、速度、介质、寿命、泄漏量为主要选择因素。

(三) 橡胶密封件

1. 挤压型密封圈

挤压型密封圈的特点是尺寸与沟槽已标准化，结构简单，所需空间小，动摩擦阻力小，使用与拆装方便，无须经常调整，密封可靠，价格低廉，容易制造等。但对剖面与外形尺寸、配合间隙、所用材料、沟槽尺寸、配合面的表面粗糙度与波纹度等均有一定的要求。图10-2-2为典型挤压型密封圈。

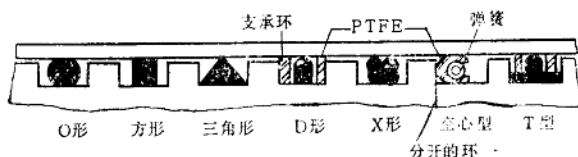


图10-2-2 典型挤压型密封圈

在挤压型密封圈中，O形圈应用最为广泛，主要用作静密封，也可用于低速动密封。在液压系统中应用，O形圈工作压力可达10.5MPa，如加保护档圈可达21MPa；在气动系统中，工作压力为0.14MPa。一般O形圈不能在承受重载的回转中应用。

在设计应用中，O形圈的选取主要考虑其拉伸量和压缩量。O形圈压缩量示意，见图10-2-3。计算公式为：



图10-2-3 O形圈压缩量示意图

拉伸量

$$a = \frac{d_1 + d_0}{d' + d_0}$$

$$\text{压缩量 } \delta = d_0 - \frac{D_1 - d_1}{2}$$

$$K = \frac{\delta}{\delta_0} \times 100\%$$

式中 a —— O形圈的拉伸量；

d_1 —— 活塞沟槽底径或活塞杆径(mm)；

d' —— O形圈实际内径(mm)；

d_0 —— O形圈断面直径(mm)；

δ —— O形圈压缩量；

K —— O形圈压缩率%；

D_1 —— 缸径或缸体上开沟槽时的沟槽底径。

表10-2-3为O形圈的压缩率和拉伸量的一般选取范围。

此外，还必须考虑沟槽形状及其配合尺寸，密封间隙、密封配偶件的表面加工等。例如，密封间隙大小的选择与压力、橡胶硬度、O形圈断面直径有关，O形圈在高压下使用时应尽量减少密封间隙，选用硬度高的材质，并加保护档圈。表10-2-4是按标准规定的密封部位的相应粗糙度 R_a 值。

O形圈在实际应用中必须注意如下一些问题：

1) O形圈要有较小的压缩永久变形。除了从橡胶材质及配方设计方面改善压缩永久变形外，还必须注意避免O形圈使用温度过高或沟槽配合的不合理。

表10-2-3 O形圈的压缩率和拉伸量的一般选取范围

密封形式	密封介质	压缩率(K) %	拉伸量
静密封	油 空气	15~25	1.03~1.04 <1.01
往复密封	油 空气	12~17	1.02 <1.01
旋转密封	油	5~10	0.95~1.0

2) 防止O形圈的挤出损伤。选用适当的胶料硬度和较小的密封间隙。在低压下，一般选较软的胶料（硬度，邵尔A型60~70度），在高压下，硬度要适当增加（硬度邵尔A型70~85度），并加

表10-2-4 密封部位相应粗糙度 R_a 值

(μm)			
机器部位	运动用	机器部位	固定用
缸内表面	0.20	法兰面等接触面	3.2
杆外表面	1.6	沟槽底面	3.2
沟槽底面	1.6		
沟槽侧面无档圈	1.6		
沟槽侧面有档圈	6.3	沟槽侧面	3.2

档圈以防止胶圈被挤出。

3) 防止O形圈的扭转现象。解决办法如下:

① 设计和安装的偏心率要小。

② O形圈断面直径要均匀, 安装时要小心, 并在密封部位涂润滑剂。

③ 应尽量避免使用于直径大的活塞上。

④ 采用不易扭转的D形圈、T形圈代替O形圈。

⑤ 低压时的扭转现象, 可用档圈或斜底沟槽解决。

4) 注意润滑与防尘。

5) 安装时注意事项。

① 应避免O形圈在安装时被尖角划伤, 密封圈所通过的轴和孔的端部应倒角。

② 在O形圈越过螺纹牙或其他尖锐部位时, 应使用带壁金属导套, 使O形圈从上面通过。

③ O形圈在孔道经过时, 必须把孔口处倒成 $0^\circ \sim 30^\circ$ 的斜面, 否则O形圈在经过孔口时很容易划伤。

2. 径向唇形密封圈

唇形密封圈的受压面呈唇状, 使唇缘与密封面充分接触产生密封作用, 相当广泛地应用于往复油缸动密封。表10-2-5为唇形密封圈的分类和特性。

此外, 还有各种组合、复合的唇形密封应用于各种场合。例如, 橡塑组合密封件, 利用橡胶的弹性和塑料的良好的摩擦磨损润滑性能组合而获得较好的密封效果。目前, 进口设备应用较多的格来圈(Glyd-Ring)、斯特封(Stepseal)等就是属于这一类型的产品, 典型组合唇形密封件见图10-2-4。

图10-2-5为典型复合唇形密封。

表10-2-5 唇形密封的分类及特性

类别	特 性
J形	用于低、中压(约4.5MPa)往复密封
L形	用于低、中压(约3.5MPa)往复密封
U形	用于中、低速往复动密封, 也可用作缓慢旋转密封。摩擦阻力小, 但易翻转, 需加支承。最高使用压力: 纯橡胶制品为10MPa, 夹布橡胶制品为32MPa
Y形	小Y形圈分为孔封和轴封, 具有摩擦阻力小, 安装简便, 一般可不用支承环等优点。一般Y形圈适用于苛刻工作条件, 在压力和运动速度变化较大时要并用支承环。T牌胶制品使用压力为14MPa以下, 在14~30MPa时要加档圈, 聚氨酯橡胶制品用于30MPa, 30~70MPa时要加档圈
V形	根据压力可将若干个重叠使用, 故适用于低压到高压的往复动密封, 但体积大, 摩擦阻力也大。纯橡胶制品最高压力为30MPa, 夹布橡胶制品最高使用压力可达60MPa

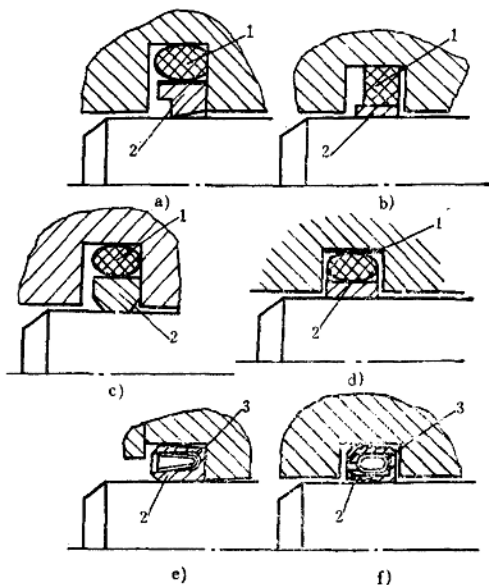


图10-2-4 典型组合唇形密封

a) Stepseal (斯特封) b)、c)、d) Glyd-Ring (格来圈) e)、f) Variseal (泛塞)

1—加力弹性体 2—聚四氟乙烯密封件

3—不锈钢加力弹簧

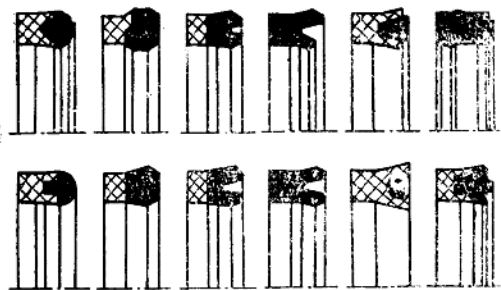


图10-2-5 典型复合唇形密封

在材质上, 径向唇形密封圈除了橡胶或夹布橡胶以外, 在某些使用场合下, 采用皮革、聚四氟乙烯、金属等材质。目前, 橡胶—塑料共混新材料在唇形密封中的应用取得了较好的效果。

在实际应用中, 径向唇形密封必须注意如下问题:

1) 形状效果 一般认为, 为了达到较好的压力分布形状, 取得好的密封效果, 密封圈一般采用唇口倒角, 根部不倒角的结构形式。

2) 谷部开裂 防止谷部开裂的办法有: 提高橡胶的硬度、抗撕裂强度和扯断强度, 采用不等唇的结构。

3) 背压 成对安装作双向密封的唇形密封, 由于泄漏而在两个密封圈之间形成背压, 把低压侧的密封圈挤入间隙。在压板上开孔或加设带泄油孔的支承环, 可消除密封圈所受的背压。

4) 扭转 防止扭转的办法, 除了提高胶料硬度外, 应着重在结构上加以改进, 如采用高低唇密封圈, 加档圈等。

5) 挤出 为防止密封圈根部挤入间隙, 首先应合理设计密封间隙, 其次可采用提高胶料硬度、增加抗挤出档圈, 使用带金属骨架的密封圈等办法。

6) 根部磨损 防止根部磨损的措施有: 合理选择密封圈的压缩率, 改善配合面的粗糙度, 采用耐磨性好的胶料, 采用金属骨架等根部增强的密封件。

7) 润滑与防尘 对高速或重载条件应用的密封圈应给予补充润滑; 在粉尘等恶劣环境中工作的密封圈应增设防尘圈。

8) 偏磨 增设导向环可以防止由于有偏心运

动或负荷不均匀而造成的偏磨损。

9) 粘—滑现象 液压缸在高压低速工作时, 橡胶与金属接触产生短时间的周期性的粘着—滑动—粘着—滑动而形成不稳定的润滑状态, 发出“辟哩辟哩”的声音, 使密封圈寿命缩短。解决的办法有: 降低胶料摩擦系数; 滑动面粗糙度在 $R_{a0.4} \sim 0.8 \mu m$; 滑动面要有适当的润滑油膜; 避免使用粘度过低的液压油; 使用刚性大的油缸。

10) 成对装填与重迭装填 径向唇形密封圈仅有单向密封能力, 在双向介质压力中使用时, 须成对装填, 分别以唇口朝向压力方向。V形圈在高压场合应用时, 可以重迭使用, 重迭数量视压力的大小而定。

11) 安装 径向唇形密封圈装配时可能触及的孔和轴的端部必须倒角 (30°), 以防止密封唇边损伤。如活塞杆头部的螺纹或退刀槽直径与活塞杆相同, 须使用专用套筒安装, 也可在螺纹部分缠绕胶布后进行安装, 如密封圈通过部位的缸壁上有孔, 应将孔的边缘倒角或倒圆。安装密封圈时应防止带入铁屑、砂土、棉纱或其它杂物。

3. 旋转轴唇形密封圈

旋转轴唇形密封圈又称油封, 主要是作为低压流体介质的旋转轴用密封件, 其作用是防止介质沿轴向外泄漏及外部灰尘、杂质侵入。旋转轴唇形密封圈的优点是所需空间小, 价格低廉易装卸, 密封有效性高等。不足之处是使用压力范围有限, 寿命较短, 易发生粘—滑 (爬行) 现象而引起泄漏, 需要润滑等。

旋转轴唇形密封圈的密封机理, 普遍认为是密封圈唇部和轴之间的接触表面上同时并存在干摩擦、边界润滑和流体润滑三种情况, 不断交替产生。干摩擦产生磨损, 流体润滑产生泄漏, 在边界润滑下, 密封圈唇口与轴的界面之间形成一层稳定的流体动压油膜, 这层油膜除用作润滑之外, 还起密封作用。油膜太厚, 液体就会泄漏; 油膜太薄, 如不能形成流体润滑膜, 唇部就会磨损。因此, 在结构设计、橡胶配方和使用上都要为形成薄而稳定的油膜提供条件。

橡胶旋转轴唇形密封圈一般由橡胶、金属骨架和弹簧三部分组成, 见图10-2-6。

常用旋转轴唇形密封圈的结构型式和特征见表10-2-6。

影响旋转轴唇形密封圈使用性能和工作寿命的

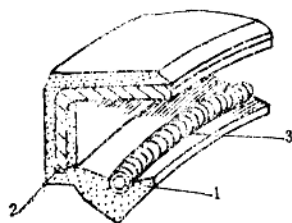


图10-2-6 橡胶旋转轴唇形密封圈的剖面图

1—弹性橡胶 2—金属骨架 3—弹簧圈

表10-2-6 常用旋转轴唇形密封圈的结构形式与特征

唇面形状	类型	特 征
	内包骨型 (B型)	这是一种普通的油封结构，用于无尘埃的环境。耐压 $0.02 \sim 0.03 \text{ MPa}$ 。
	内包骨带弹簧型 (FB型)	带有防尘副唇，用于有尘埃、泥、水的环境。安装时两唇之间最好填充润滑脂。
	无骨架型	用于密封润滑脂或防尘。可与单唇型并用。
	耐压型	骨架延伸到唇部，而且唇部较厚，唇部也厚且短，防止在压力作用下唇部变形，一般能后 0.3 MPa 的压力。
	抗偏心型	唇部是W型，可在偏心较大的部位起密封作用。
	橡胶型	主唇起密封作用，副唇（外唇）可以防止润滑油膜被刮掉。适用于往复运动密封。

(续)

唇面形状	类型	特 征
	双向密封型	同时密封两侧的油，不使两种润滑油混合。
	单向流体动力型	唇口外侧面上设有螺旋状花纹。正转时由于流体的动液压力原理产生“回流效应”，把漏出的油泵回油腔。但反转时却漏油。
	双向流体动力型	唇口外侧面上设有对称的浅花纹，如凹▽块凸▽块、V字、8字形等浅花纹。原理同效果同上，但正反转均不漏油。 回流油封(单向和双向)能改善唇口的润滑条件，使唇口温升和扭矩下降，对轴的局部磨损也大大减轻，适应于更高转速和较大的轴跳动量或偏心，提高了密封可靠性和工作寿命。
	外露骨架型	定位准确，同轴度高，安装方便，骨架散热性好。
	有副唇外露骨架型	
	外露骨架型	用于安装在大型、精密设备中。骨架刚性大，外形导向好，不易变形产生安装偏心。
	有副唇外露骨架型	

主要因素如下:

1) 密封材料 根据具体使用条件, 选择化学稳定性好, 具有一定强度、耐热性、耐磨性、抗弯曲挠性、抗老化性好的橡胶材料。目前所使用的弹性体主要有丁腈橡胶, 丙烯酸酯橡胶、硅橡胶、氟橡胶四种, 但以丁腈橡胶为主。

2) 轴表面粗糙度和偏心度 轴粗糙度和偏心度对旋转轴唇形密封圈使用性能影响甚大。轴表面粗糙度一般规定为 $1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 。表面太光滑, 不利于形成和保持油膜, 旋转轴唇形密封圈于摩擦容易烧伤, 引起泄漏。轴表面太粗糙, 摩擦磨损加剧, 影响寿命。轴的偏心度会使轴的中心线与旋转轴唇形密封圈内径中心线不重合, 偏心度大会使油封唇部接触应力的分布状态发生变化而引起泄漏。轴的偏心量一般可控制在表 10-2-7 规定的范围内。

表10-2-7 旋转轴唇形密封圈过盈量和轴的偏心量 (mm)

轴 径	过 盈 量	轴的偏心量
≤ 30	0.5~0.9	0.2
30~50	0.6~1.0	0.3
50~80	0.7~1.2	0.4
80~120	0.8~1.3	0.5
120~180	0.9~1.4	0.6
180~220	1.0~1.5	0.7

3) 唇口过盈量 它是指旋转轴唇形密封圈唇口未装弹簧时在自由状态下的直径与轴径的差值。它可产生唇口无簧径向力并补偿轴的偏心。唇口过盈量应控制在表10-2-7所规定的范围内。一般情况下, 高速型比低速型要小些。

4) 压力 旋转轴唇形密封圈通常在 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$ 的压力下工作, 特殊结构的可在 0.5 MPa (此时速度低于 15 m/s) 压力下工作。

5) 速度 一般旋转轴唇形密封圈的最高线速度约 20 m/s 左右, 流体动力旋转轴唇形密封圈可达 $25 \sim 32 \text{ m/s}$ 。高速旋转轴唇形密封圈应用于较低压力, 油膜厚度可达 $0.5 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 。高速旋转轴唇形密封圈在结构上(如过盈量、唇口、断面尺寸等)有所不同, 应引起注意。

6) 温度 旋转轴唇形密封圈工作温度由弹性体性能而定。丁腈橡胶密封圈只能在 100°C 以下油

温工作。旋转轴唇形密封圈唇口温度较高, 温升约 $10 \sim 30^\circ\text{C}$ (密封圈50%浸在介质内), 流体动力旋转轴唇形密封圈的温升比一般旋转轴唇形密封圈低 $15\% \sim 30\%$ 。

7) 旋转轴唇形密封圈的装配与保管 旋转轴唇形密封圈是一种精密零件, 如果装配和保管不当, 也会影响使用性能。保管旋转轴唇形密封圈时要防止灰尘、生锈和变形, 不能直接受太阳光照射, 更不能受重物压。安装在轴上的旋转轴唇形密封圈, 应防止轴生锈。拆装旋转轴唇形密封圈时, 要注意下列事项:

① 应注意旋转轴唇形密封圈的方向, 开口面向压力大的一面。

② 与旋转轴唇形密封圈配合的密封圈座, 端面要有 $15^\circ \sim 30^\circ$ 倒角, 座孔不允许有损伤, 底面圆角 R 不大于 0.5 mm 。

③ 装配前, 要把轴擦干净, 确保旋转轴唇形密封圈清洁无损, 然后涂点润滑脂, 再进行装配。

④ 安装旋转轴唇形密封圈时最好用压力机压入, 也可用锤子轻轻敲打(注意用力均匀), 使旋转轴唇形密封圈平行进入密封圈座。

⑤ 当轴端不带圆锥和圆角且有花键或花纹时, 要用套筒夹具进行装配, 否则容易把旋转轴唇形密封圈唇口划伤而影响密封性能。

4. 橡胶密封件材料的选择

密封材料的选择, 主要是根据密封元件的工作环境, 如温度、压力、介质以及运动方式来选择。对密封材料的基本要求如下:

1) 具有一定的物理机械性能, 如抗张强度、定伸强度、伸长率等。

2) 有一定的弹性, 硬度合适, 并且压缩永久变形小。

3) 与工作介质相适应, 不产生溶胀、分解、硬化等。

4) 耐磨损, 不腐蚀金属。

5) 具有耐高温、低温的老化性能。

6) 易于成型加工, 价格低廉。

密封件用胶料的性能可参看国家标准 GB7038—86《普通液压系统用O形橡胶密封圈胶料》、GB7039—86《往复运动用密封胶圈料》、GB7040—86《旋转轴唇形密封圈用胶料》。

常用橡胶材料品种及特性见表10-2-8。

表10-2-8 常用橡胶(塑料)材料主要品种及特性

弹性体 主要特性	丁苯 橡胶	丁腈 橡胶	氟橡 胶	硅橡 胶	聚丙烯 酸酯橡 胶	聚氯 酯橡 胶	氯醇 橡胶	氯丁 橡胶	乙丙 橡胶	氯磺 化聚 乙烯	丁基 橡胶	聚四氟 乙烯
	SEI	NBR	FPM	SI	ACM	AU或 EU	ECO (非聚)	CR	EPM	CSM (40型)	IR	PTFE
常用温度范围℃	-30~ +120	-40~ +120	-20~ +200	-60~ +200	-20~ +170	-30~ +80	-40~ +135	-40~ +130	-45~ +150	-20~ +150	-30~ +150	-200~ +250
耐油性	优	好	优	可—好	可—好	优	可—好	好—优	好—优	优	可—好	可
抗撕裂性	差	好	好	差	可	好	—	好—优	好—优	可—优	好	—
耐压缩永久变形	好	优	可	差	差—可	可	好	好	可—好	差—可	优	差
回弹性	好	好	可	差	差—可	好	优	好	好	可—好	差	差
耐候性	差—可	好	优	优	优	好—优	优	优	优	优	优	优
耐臭氧性	差	差	优	优	优	优	优	优	优	优	优	优
耐辐射性	可—好	可—好	可—好	好—优	差—可	好	可—好	可—好	差	可—好	差	优
抗蒸汽性	好	好	优	优	差	差	可	差	优	优	优	优
耐水性	好—优	优	优	好	差—可	差	可	优	优	好	好—优	优
耐冲击性能	优	可	差—可	差—可	差	优	好	好	好	可—好	好	优
润滑油(矿物)	发动机油	×	○	○	○	○	○	△	×	○	×	○
	齿轮油	×	○	△	△	○	○	△	×	○	×	○
	机械油	×	○	○	○	○	○	△	×	○	×	○
	主轴油	×	○	○	△	○	○	×	×	○	×	○
	冷冻机油	×	○	○	△	○	○	△	×	○	×	○
	锂基脂	×	○	○	○	△	○	○	×	○	×	○
	硅基脂	○	○	○	×	△	○	○	○	○	○	○
液压油	汽轮机油	×	○	○	○	○	○	△	×	○	×	○
	乳化液	△	○	○	△	×	△	○	△	○	△	○
	磷酸酯系	×	×	○	○	×	×	×	○	○	○	○
	乙二醇	○	○	○	△	×	△	○	○	○	○	○
	刹车油	○	△	△	○	×	×	○	○	○	○	○
变压器油	×	△	○	△	○	△	○	×	×	○	×	○
燃料油	重油	×	△	○	×	×	○	×	×	○	×	○
	轻油	×	○	○	×	○	○	○	×	○	×	○
	汽油	×	○	○	×	○	○	○	×	○	×	○
化学药品	浓碱	○	○	△	△	○	×	△	○	○	△	○
	稀盐酸	○	○	○	×	○	×	○	○	△	○	○
	稀硫酸	○	×	○	×	×	×	○	×	×	○	○
	氨水	×	○	×	○	×	×	○	×	×	○	○
	苯	×	×	△	×	×	×	△	×	×	△	○
	三氯乙烯	×	×	△	×	×	×	△	×	×	△	○

(续)

弹性体 代号		丁苯	丁腈	氟橡	硅橡	聚丙	聚氯	氯醇	氯丁	乙丙	硅酮	丁基	聚四氟
		橡胶	橡胶	胶	胶	烯酸	乙烯	橡胶	橡胶	橡胶	化聚	橡胶	乙烯
主要特性		SBR	NBR	FPM	SI	ACM	AEU或EU	ECO(共聚)	CR	EPM	CSM(40型)	ILR	PTFE
化学药品	乙醇	○	○	○	○	×	△	○	○	○	△	○	○
	甘油	○	○	○	○	×	×	○	○	○	—	○	○
	丙酮	△~○	×	×	△	×	×	△	△	○	△	○	○
	乙醚	×	×	—	—	—	—	×	×	—	△	○	○
	醚	×	×	×	×	×	×	×~△	×~△	△	△	△	○
	醋酸乙酯	×~△	×~△	×	×	×	△	×~△	×~△	○	×	○	○

注：○——适用；△——可用、有选择性；×——不可用；——不推荐。

5. 橡胶密封件的寿命及其失效原因

橡胶密封件的使用寿命一般分为长寿命、中等寿命和短寿命。例如，旋转轴唇形密封圈寿命大于1000 h时可称为长寿命；400~600 h即开始泄漏称为中等寿命；100 h内泄漏称为短寿命。径向唇形密封圈使用超过1000 h可称为长寿命；400~800 h称为中等寿命；100 h以下则称为短寿命。

选用适当的橡胶密封件，其使用寿命均可达到中、长寿命。此时，密封件失效原因主要是橡胶材质的老化或是密封件唇部磨损。而使用寿命低于100 h的密封件，失效原因通常是由于密封结构、弹性体或轴的粗糙度选择不当，必须查出原因，加以改进。

(四) 其他密封装置

1. 软填料密封

软填料密封用来密封轴或壳体孔，由一些可变形的密封圈或长绳状的材料沿轴或杆缠绕而成。填料压盖将软质密封填料轴向压紧，使其产生径向弹性变形堵塞间隙而密封。填料磨损后，产生泄漏可拧紧填料压盖螺栓保持密封，使用到一定周期，更换填料。软填料密封装置见图10-2-7。对软填料密封的主要要求如下：

- 1) 在压盖压力下有足够的塑性。填充所有的松孔，缝隙从而堵塞泄漏。
- 2) 不受密封的液体、气体和润滑液体的侵蚀。
- 3) 有足够的弹性以吸收轴任何意外的脉动。
- 4) 有自动松弛的余地，而不致产生破坏性的

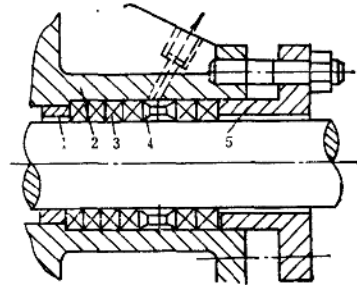


图10-2-7 软填料密封装置

1—底衬套 2—填料箱体 3—填料
4—封液环 5—压盖

摩擦和热。

5) 不致研伤、锈蚀轴或连杆。

6) 磨损速度低，能经历较长时间才需要小量的调整，并经过多次调整后才行更新。

软填料密封的结构特点是结构简单，装拆方便，成本低廉，使用安全可靠。软填料常制成圆形、长形、长方形、楔形、三角形、锥套形等多种形状。典型软填料密封结构见图10-2-8。

软填料密封在材料上可分为金属材料、纤维织物填料、橡胶与塑料填料、复合材料四大类型。各种工况条件用软填料密封材料见表10-2-9。

软填料密封适用范围广泛：介质压力由真空 $1.3 \times 10^{-3} \sim 35 \text{ MPa}$ ，工作温度 $-50 \sim 600^\circ \text{C}$ ，密封面线速度至 20 m/s 。阀门软填料密封工作参数尚可高出上述范围。表10-2-10为软填料密封用填料的形状、材料、润滑剂及其应用温度、速度范围。

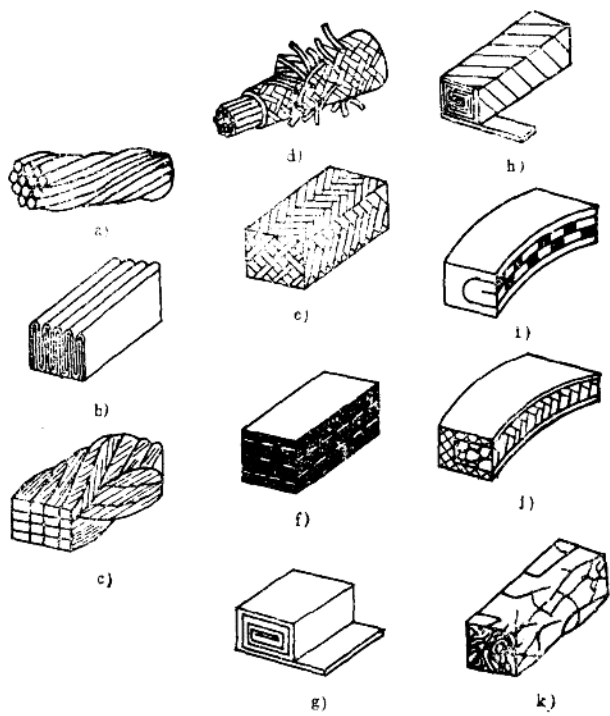


图10-2-8 典型软填料密封

a) 扭结(盘绕)密封 b) 折叠布密封 c) 穿心编织矩形密封 d) 夹心编织圆形密封
e) 交替编织密封 f) 层状布密封 g) 布卷形密封 h) 螺旋编织密封 i) 金属
芯密封 j) 编织芯密封 k) 折卷与盘绕密封

表10-2-9 各种工作条件用软填料密封材料

流体介质	工 作 条 件			
	往复运动轴	旋 转 轴	立式汽缸	阀 杆
酸和碱	石棉(蓝色) 金属 塑料(柔韧) 半金属 TFE氟碳化合物 树脂和线绳	石棉(蓝色) 塑料(柔韧) 半金属 TFE氟碳化合物 树脂和线绳 石墨绳	TFE氟碳化合物 树脂	石棉(蓝色) 塑料(柔韧) 半金属 TFE氟碳化合物 树脂和线绳 石墨绳
空气	石棉 金属 塑料(柔韧) 半金属	石棉 塑料(柔韧) 半金属	皮革 金属	石棉 塑料(柔韧) 半金属
氨	帆布和橡胶 金属 半金属	石棉 半金属	帆布和橡胶	石棉 帆布和橡胶 半金属
气体	石棉 金属 半金属	石棉 半金属	皮革 金属	石棉 半金属
冷汽油和油	石棉 塑料(柔韧) 半金属	石棉 塑料(柔韧) 半金属	皮革	石棉 塑料(柔韧) 半金属

流体介质	工 作 条 件			
	往复运动轴	旋 转 轴	活塞式汽缸	阀 杆
热汽油和油	石棉 塑料 (柔韧) 半金属	石棉 塑料 (柔韧) 半金属 石墨绳		石棉 塑料 (柔韧) 半金属 石墨绳
低压蒸汽	石棉 帆布和橡胶 金属 塑料 (柔韧) 半金属	石棉 金属 塑料 (柔韧) 半金属	轻帆布和橡胶 金属	石棉 帆布和橡胶 塑料 (柔韧) 半金属
高压蒸汽	石棉 金属 塑料 (柔韧) 半金属	石棉 金属 塑料 (柔韧) 半金属	金属	石棉 金属 塑料 (柔韧) 半金属
冷水	帆布和橡胶 黄麻、亚麻和大麻	石棉 棉花和人造纤维 大麻、亚麻或黄麻	帆布和橡胶	石棉 帆布和橡胶 大麻和棉花 塑料 (柔韧)
热水	帆布和橡胶 皮革 塑料 (柔韧) 半金属	石棉 塑料 (柔韧) 半金属	半金属和橡胶	帆布 石棉 帆布和橡胶 塑料 (柔韧) 半金属

表10-2-10 软填料密封用填料的形状、材料、润滑剂及其应用温度速度范围

型 式	形状	纤维种类	润 滑 剂	温度 (°C)		速度 m/s	典型应用
				最低	最高		
加润滑的 棉织品	方	长纤维棉	石墨或云母占成品重的 5%~15% 矿物润滑油或石油脂或钙基脂占成品重的 40%~50%		65		离心泵
加润滑的 大麻布或亚麻布	方	大麻或黄麻屑	石墨或云母占成品重 5%~15% 牛油或矿物润滑油重占成品重的 35%~45%		65	6	高压往复泵, 食品加工装置 (非矿物润滑油)
加润滑的 石棉布或石棉屑	圆或方	白色温石棉	石墨或云母占成品重 5%~15% 矿物润滑油 (400mm ² /s 138°C), 闪点 ≥ 205°C 占成品重 23%~33%	-40	300	10	高压蒸汽 (达 4MPa) 凝结过程液体阀门
干石棉布 或干石棉屑	圆或方	白色温石棉	无		500	25	压热器锅炉封闭阀
金属线加强的 石棉布或金属线加强的 石棉屑	方	白色温石棉加黄铜丝 (或 Ni-CN, Ni-C ₂ -F ₂ 或不锈钢)	云母或石墨占成品重的 3% 以上	-40	800	25	锅炉封闭阀 (非酸或碱的)
硬石棉	散纤维	白色温石棉带有非硫化橡胶包住纤维	无		450	25	一种阀或填料盒的填料
加润滑的 纤维状石棉	松散纤维	白色温石棉	石墨 (或云母)		540		一种阀或填料盒的填料
加润滑的 金属箔	方	绕成螺旋形的铅线或铝线	石墨或矿物润滑油	-40	250 (铅) 540 (铝)	20	溶剂、热油、气体、锅炉给水, 铅用于高速和高压
干聚四氟 乙烯	方	聚四氟乙烯	无	-275	230		侵蚀介质

(续)

型 式	形状	纤维种类	润 滑 剂	温度 (°C)		速度 m/s	典型应用
				最低	最高		
涂橡胶棉纤维	方	涂橡胶的棉层布	无		120	12	往复或低速泵
干碳丝布	方	碳纤维	无		340		锈蚀介质、高温、在非氧化环境可达650°C
铜网	方	铜线	无		800	0.5	高压杆杆
用铜线加强的铝-硅布	方	铝硅纤维	无		1200	0.2	静密封或特低速运动—抵抗热磨损

软填料密封的故障及其排除方法列于表 10-2-11。

表10-2-11 软填料密封的故障及解决办法

故障现象	故障原因	排除方法
填料被挤进轴件和壳体或轴件和压盖之间的间隙中	设计的间隙过大，或部件为砂尘所磨损，或轴件与其轴承不同轴度大	减小间隙，检查同轴度
填料环挤入邻近的环中	填料环切得太短	用正确切成的环重新填充
沿密封压盖泄漏	填料装得不适当，或壳体孔有破坏	首先检查孔的情况再仔细重装
填料外表面被研伤，可能沿压盖外侧泄漏	由于填料外径太小，故不能固定而随轴转动	检查壳体和填料尺寸
靠近压盖一端的填料环压得太紧	填料装得不适当	仔细重装
填料孔焦化或变黑，轴件材料可能粘在填料上	润滑失效	更换带有更适当润滑剂的填料，或装入带能补给润滑剂的灯笼环
轴件沿其长度上严重磨损	润滑失效 液体中有砂尘	更换带有更适当润滑剂的填料，或装入带能补给润滑剂的灯笼环 装入过滤器，用清洁液体冲洗填料盒
泄漏过大	填料膨胀或破坏，使通过接头泄漏。填料环切得太短或装配错误。润滑剂被洗掉，轴件偏心 填料盒膨胀	更换一种相容性好的填料，如果用包泊式填料，可检查轴件旋转方向是否相应于泊重叠的方向。更换能抵抗密封液体作用的填料，检查轴的振型，检查轴的文承情况，检查填料盒材料，如填料盒易于发热，应安排冷却

2. 毡圈密封

毡圈密封结构简单，制作方便，可以发挥密封、储油、过滤、抛光等有利效果。应用的温度范围为 -50~125°C，最高工作速度为10 m/s，毡圈价廉并且易于更换。毡圈能收拢外界的砂尘，可以保护轴件，但也会由于保存了这些砂尘而变成磨料，使轴件磨损加剧。此外，毡圈易于吸潮而使轴件腐蚀。这种密封不宜使用于较低粘度的润滑油或保持有压力的油的密封。

毡圈是用一种或几种动植物纤维如新旧羊毛、驼毛、麻丝或合成纤维等加工而成。其加工方法如下：毡圈从整张的毡布裁剪而成，毡布有单层的也有多层叠合而成的。单层或叠合而成的毡布均可夹入一种或多种材料，以适应不同的需要。在毡布内浸渍油脂、石腊或胶体石墨，能加强其对水和泥污的抵抗力，提高耐压能力，并降低其摩擦系数。在毡圈装入机器前，应用较机器润滑油粘度稍高的油脂加以饱和，以使毡圈在装入机器后就能对轴承提供有效的保护，起到抛光的作用。

图10-2-9为毡圈密封的常见结构型式。

3. 密封垫片

垫片是静密封的填料，它的作用是填充相对静止的两配合表面间的不规则构型，以防止液体的泄漏与侵入。垫片的密封原理是：由具有一定强度的材料置于两法兰密封面之间，垫片受力时产生弹塑性变形，填补由于法兰密封面凹凸不平而在它们之间所造成的间隙，以阻止流体泄漏，达到密封的目的，而保证垫片密封所需要的载荷由法兰螺栓提供。

根据垫片的构型，可大致分为平板型、圆环型、纤维加工型、模制橡胶垫片型、组合型共五种

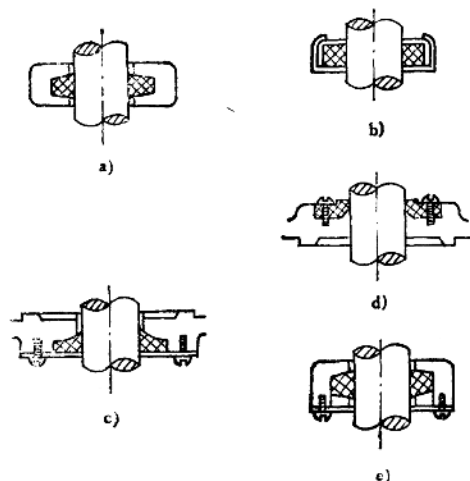


图10-2-9 毡圈密封装置的结构型式

a) 通用毡圈 b) 盒装毡圈 c) 填料盒形毡圈
d) 帽形毡圈 e) 半通孔夹板毡圈

类型。

垫片材料必须符合如下基本要求:

1) 无渗透性, 不致让液体渗透溢出, 降低密封的效果。

2) 在压紧时能塑性流动, 填充接合表面间的空缺位置, 堵塞泄漏的途径。

3) 能适应温度和压力的变化, 甚至老化后仍能维持密封的作用。

4) 具有较高的强度和刚度, 有一定抵抗外来破坏的能力。

各种垫片材料的性能用途列于表10-2-12。

使用垫片密封必须注意如下事项:

1) 垫片的工作温度对其材料的选择有决定的意义。此外, 在实际应用中, 还必须考虑适应温度的变化并消除在承受载荷后出现的松动。

2) 垫片对液体介质的相容性各不相同, 而其不相容的影响方面和深度也相差很大。不受约束的垫片特别是模铸型的应注意避免液体和垫片接触后产生的膨胀、收缩或严重的侵蚀。

表10-2-12 垫片材料的使用性能

材料种类	使用性能	应用范围	耐温程度	相容性
压制石棉板 编织石棉材料(有纯石棉, 上胶或金属加强等型式) 粘结石棉板	压缩性或弹性极低, 故要求凸缘表面精度较好 常制成各种截形的卷带	适于高温高压的用途, 承压可达20MPa。 按其上胶或加强办法而有极广的应用, 如锅炉的人孔门, 热煮锅等高温高压装置 适用于干燥热空气和化学装置凸缘、排污系统和化学管道接头、炉门、电闸等	达800℃ 不锈钢丝加强型可超过800℃ 达480℃	可用于水、蒸汽、压缩空气, 多种油和有机溶剂、氨、氨和浓酸 按其上胶或金属加强方法可用于蒸汽、溶剂和酸等 热空气、多种化学剂、抗火
橡胶(单纯或与纤维组合或用网纱加强)	不能压缩, 故在受压时伸展。如有需要可在装配时让其展开或者变形, 一般不能渗透。其配料、纤维加强、硬度、模数可在大范围内调整	适用于低、中压力的凸缘接头、闸门盖、人孔等处	-30~ +150℃	冷热水、低压蒸汽、滑油、稀释的酸和碱等, 按橡胶类型而定
软木(蛋白或树脂粘结)	质轻价廉, 有一定压缩量, 在长期压缩后仍能回弹恢复原状, 但只容许小量伸展或扭曲, 过量时就不免崩裂破坏	轻负荷凸缘, 加工精度低的接合表面, 一般用于低压的油封如汽车发动机曲轴箱等	最高150℃	润滑油与变压器油
软木橡胶组合材料(利用天然或合成橡胶粘合)	强度较高不易崩裂、尺寸较稳定	重负荷低压凸缘, 工业和船用柴油机曲轴箱、齿轮箱、变压器等	-30~15℃	矿物基和合成基润滑油、燃油、冷却液、水等按其粘合用橡胶类型而定

(续)

材料种类	使用性能	应用范围	耐温程度	相容性
纸(单纯或浸渍的)	纸质强度低、成本也低,不致引起腐蚀,有高度渗透性。浸渍处理过的纸,强度比软木组合的为高,但压缩性降低。其中有一些如经过往复干湿变化的循环,会引起收缩和硬化	纸质只用于排除尘埃,起到油绳的作用。浸渍过的纸用于要求露垫片的地方,如化油器、油泵、发动机曲轴箱等处	最高150℃	抗滑油和汽油性能好
塑料(其中以氟乙基聚四氟乙基用得较多)	和橡胶相似,一般不能压缩和渗透,并在配料、纤维加强,硬度、模数可以大范围调整。氟乙基和聚四氟乙基的化学稳定性好,抗高温、介电损失小	主要用在多种化工设备上,因有冷流现象,一般不用整体形式	-250~260℃	能抗大多数化学剂
金属	用在极高温度和压力,但不能补偿凸缘表面的不规则构形和其不同轴度,要求很大的夹紧压力	各种苛酷的高温、真空、蒸汽、液压、压力容器、制氧、油田等装置,耐压最高可达160MPa	受金属本身耐温程度的限制	选用与密封介质相容的金属

3) 垫片材料在压紧负荷下的变形和压缩程度对密封的作用有密切的联系。要垫片起到密封作用所需的压缩程度视接合面的表面精度和材料有关性能而定,一般将易于压缩的材料应用在低压的装置上。

4. 迷宫密封

迷宫密封就是使流体经过曲折的间隙通道,经过多次节流而产生较大的流体阻力,使流体难于渗漏,以达到密封的目的。迷宫密封具有如下特点:

- 1) 对一般密封所不能胜任的高温、高压、高速和大尺寸密封部位可以做到封严不漏,特别是高速下密封性能好。
- 2) 通常不需要采用其他密封材料,密封零件可以在制造机器本体时一并设计制造。
- 3) 只要密封件加工装配良好,在运行中就不致发生其他密封件经常发生的事故,一般不需要额外加以维护。

4) 无摩擦、功耗少,使用寿命长。

迷宫密封的缺点是加工精度高,难于装配,间隙非常小,常常因机器运转不良而磨损。

迷宫密封主要有四种结构型式,见图10-2-10。

迷宫密封的用途及分类列于表10-2-13。

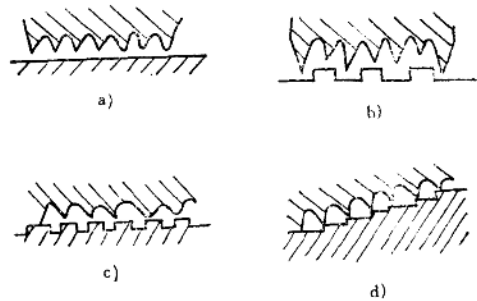


图10-2-10 迷宫形式

a) 直通形密封 b) 参差形密封 c) 复合直通形密封 d) 阶梯形密封

表10-2-13 迷宫密封的用途分类表

组别	使用机械	使用部位	介质种类	迷宫形式	齿轮运动方向	备注
1	汽轮机	轴封级间密封	蒸汽	主要是参差形	转动	压力高的情况下作级间密封,周速要大
	燃气轮机	轴封级间密封	燃气	参差形和直通形	转动	压差小时、转速高温度高
	轴流式压缩机	轴封级间密封	空气、氧其他气体	参差形或直通形	转动	根据不同的气体,考虑选用。对惰性气体可完全密封,也可以采用其他密封