

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作用功的流体的现象。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。但值得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。

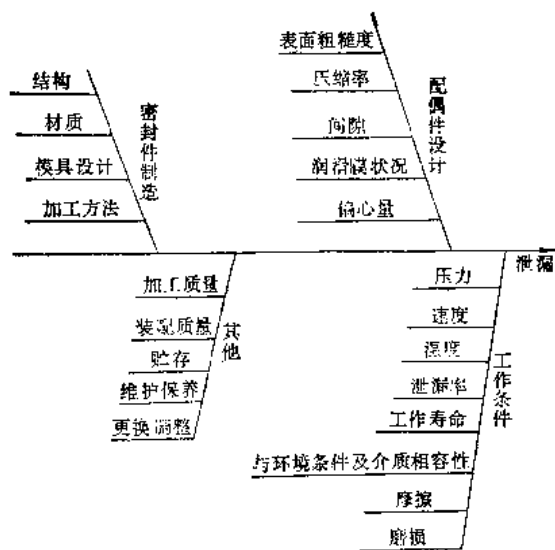


图10-1-1 与密封性能有关的主要因素

常见的机械设备泄漏原因有以下几点：

(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，堆放条件不适当，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、铆合、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) 消振防腐 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 (°C)	其他
材料	形状				
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	
膨脹石墨	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	碳钢	水、汽油、硝酸、硫酸及 盐类	平垫片 ≤ 32 波紋形垫片 ≤ 5	≤ 500	能耐不同的腐蚀 性介质, 耐冲击和 振动
	铅			≤ 150	
	铝			≤ 140	
	10号钢	水、油、蒸汽	≤ 20	≤ 450	
	合金钢	酸、碱、盐类	≤ 20	≤ 800	
复 合 材 料	夹金属丝网石棉	水、油、蒸汽	≤ 20	≤ 450	耐冲击和振动
	金属缠绕网橡胶	水、油、蒸汽	≤ 10	≤ 350	
	金属缠绕膨胀石棉	水、油、蒸汽、酸、碱	≤ 32	≤ 500	
液 态 密 封 胶	干性	水、油、蒸汽、酸、碱	5~8	-40~180	允许最大间隙为 0.1mm
	非干性			-40~150	
	半干性(硅酮型)			-60~250	
	厌氧胶	液状	≥ 12	-40~150	

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 (°C)	线速度 (m/s)	漏泄率 (ml/h)	使用寿命	应用举例			
压紧填料密封	1.3×10^{-8}	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	油缸缸、水压缸		
	唇型	1.3×10^{-9}								
橡胶密封	旋转轴唇形 防尘型旋转轴唇形	—	0.3	-30~150	12	0.1~10	3~6月	轴承封油与防尘		
	硬填料 密封	—	300	-45~400①	—	—	3月~1年	活塞杆密封		
型 圆 密 封	往复	—	300	—	—	—	6月~1年	航空发动机主 轴密封油		
	旋转	1.3×10^{-3}	0.2	—	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		
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		
	液膜	—	32	-30~150	30~100	100~5000	1年以上	大型泵、透平压 缩机		
	气膜	—	2	不限	不限	—	—	航空发动机		
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			
非 接 触 密 封	液膜浮环	—	32	—	80	内漏	1年以上	泵、化工透平		
	气体浮环	—	1	-30~150	70	< 8300	1年左右	制氧机 油泵、高压泵		
	套筒密封	—	1000	-30~100	2					
接 触 密 封	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	旋转轴唇形 防尘型	—	0	不限	不限	—	非易损件	轴承封油与防尘	
	螺旋 密封	螺旋密封	1.3×10^{-8}	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	嵌流流体密封 全封闭密封	1.3×10^{-13}	4.2	-50~90	(70)	—	—	—	—	

① 凡使用橡胶件者, 适用温度同橡胶密封。

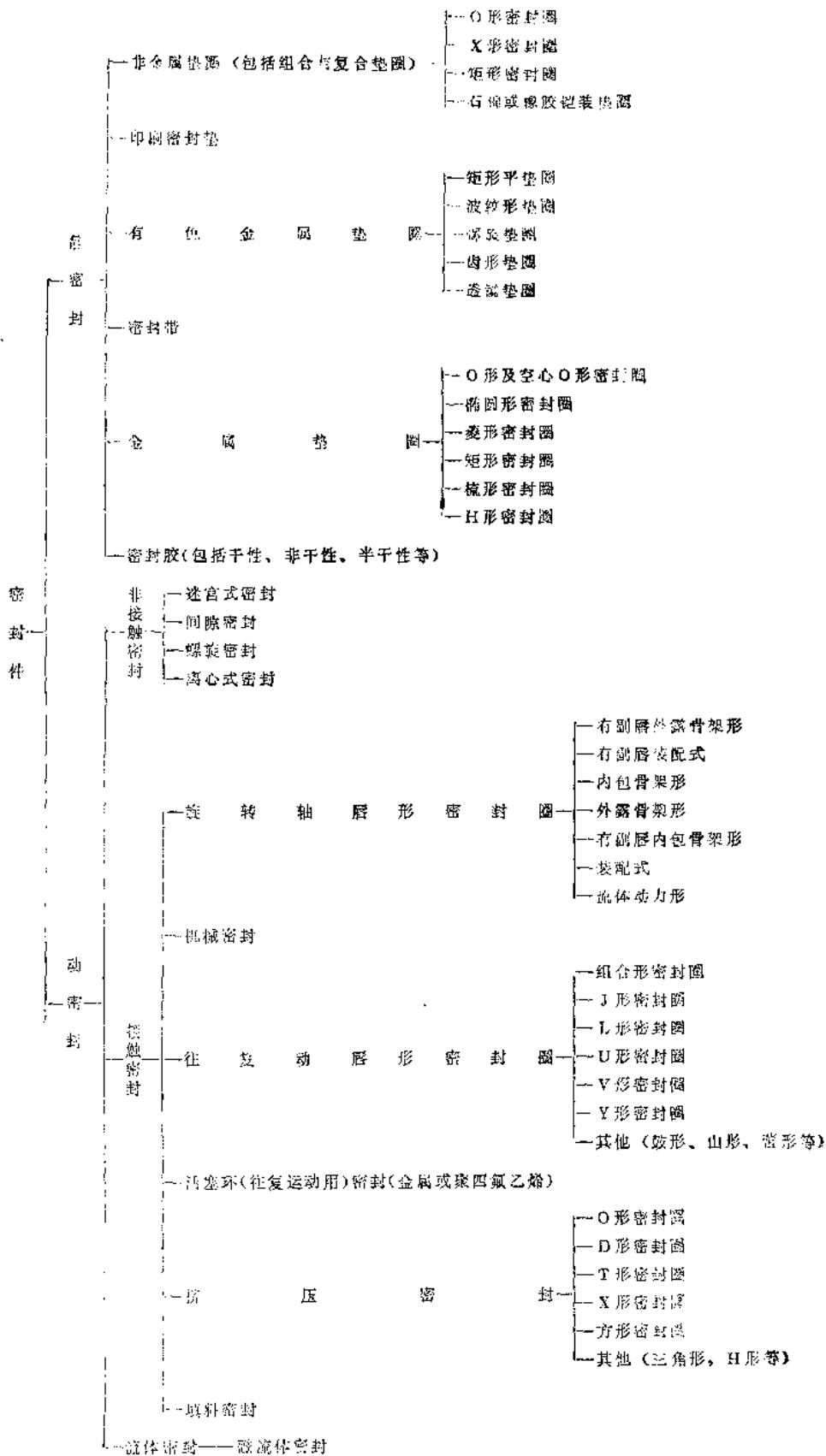


图10-2-1 密封件分类

(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，使用与装拆方便，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。

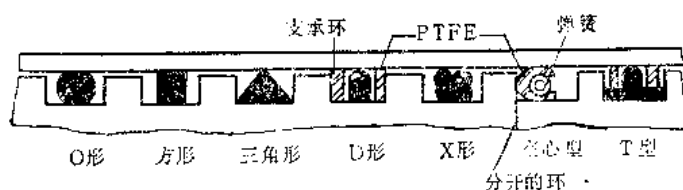


图10-2-2 典型挤压型密封圈

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

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

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

$$K = \frac{\delta}{d_0} \times 100\%$$

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、密封配合件的表面加工等。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	机壳部位	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 设计和安装的偏心度要小。
- 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油。
- 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, 应使用薄壁金属导套, 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°~30°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, 利用橡胶的弹性与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3.5MPa)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。丁腈胶制品使用压力为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

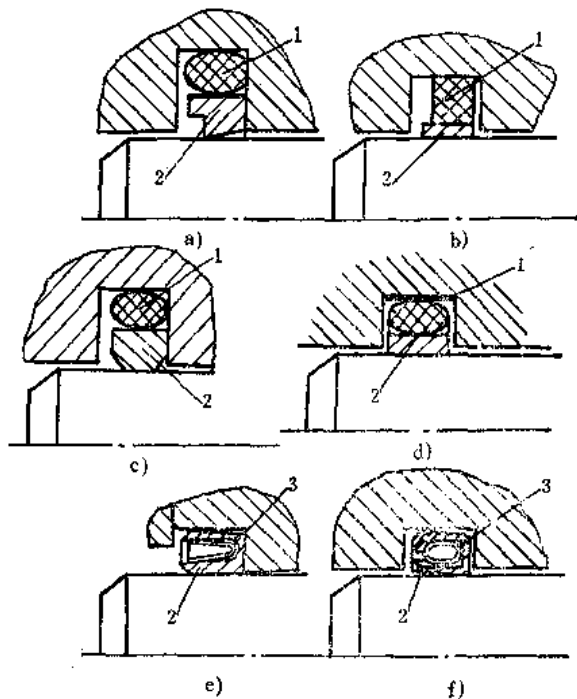


图10-2-4 典型组合唇形密封

- 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

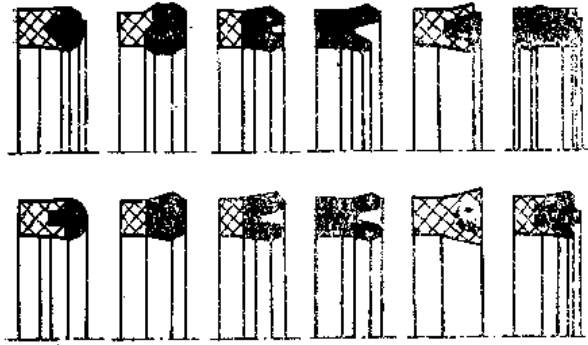


图10-2-5 典型复合唇形密封

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，采用不等高唇的结构。

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 $R_a 0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ；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，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，重迭数量应视压力的大小而定。

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

(续)

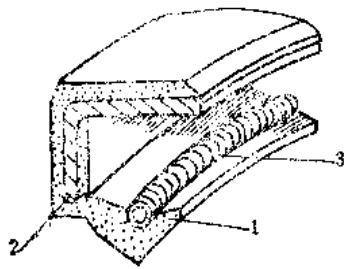


图10-2-6 橡胶旋转轴唇形密封圈剖面图
1—弹性橡胶 2—合金骨架 3—弹簧圈

表10-2-6 常用旋转轴唇形密封圈的结构形式与特征

断面形状	类型	特 征
	内包骨型	这是一种较普通的油封结构形式，用于无尘埃的环境。耐压(0.02~0.03MPa)。
	有骨架型	带有合金骨架，用于有尘埃、泥、水的环境。安装时两唇之间最好填充润滑油。
	无骨架型	用于密封润滑油或防尘。可与单唇型并用。
	耐压型	唇部延伸到唇部，而且唇部较厚，唇部也厚且硬，防止在压力作用下唇部变形，一般能耐0.3MPa的压力。
	抗偏心型	唇部呈W型，可在偏心较大的部位起密封作用。
	有骨架型	主唇起密封作用，副唇(外唇)可以防止润滑油被刮回腔内。适用于往复运动密封。

断面形状	类型	特 征
	双侧密封型	同时密封两侧的油，不便两种润滑油混合。
	单向流体动力型	唇口外侧面上设有螺旋形花纹。正转时由于流体的动液止原理产生“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线花纹，如凹▽块凸▽块、V字、8字形等浅花纹。原理同效果同上，但正反转均不泄漏。 回流油封(单向和双向)能改善唇口的润滑条件，使唇口磨损和扭矩下降，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。骨架刚度大，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率 轴粗糙度和偏心率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, 旋转轴唇形密封圈干摩擦容易烧伤, 引起泄漏。轴表面太粗糙, 摩擦磨损加剧, 影响寿命。轴的偏心率会使轴的中心线与旋转轴唇形密封圈内径中心线不重合, 偏心率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。轴的偏心率一般可控制在表 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率 (mm)

轴 径	过 盈 量	轴的偏心率
≤ 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 0.5MPa (此时速度低于 15m/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 20m/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%~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 0.5mm 。

③ 装配前, 要把轴擦干净, 确保旋转轴唇形密封圈清洁无损, 然后涂点润滑油, 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 当轴端不带倒角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用

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	丁苯橡胶	丁腈橡胶	氟橡胶	硅橡胶	聚丙烯酸酯橡胶	聚氨酯橡胶	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
	SEBR	NBR	FPM	SI	ACM	AU或EU	ECO(共聚)	CR	EPM	CSM(40型)	IIR	PTFE
主要特性												
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
耐老化性	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	苯	×	×	△	×	×	×	△	×	×	△~○	○
	氯乙烯	×	×	△	×	×	×	△	×	×	△~○	○

(续)

弹性体 代号	丁苯 橡胶	丁腈 橡胶	氟橡 胶	硅橡 胶	聚丙 烯酸 酯橡 胶	聚硫 橡胶	氯醇 橡胶	氯丁 橡胶	乙丙 橡胶	氢化 丁腈 橡胶	丁基 橡胶	聚四氟 乙烯	
	SBR	NBR	FPM	SI	ACM	AL或 EU	ECO (共聚)	CR	EPM	CSM (40型)	BR	PTFE	
主要特性	乙醇	○	○	○	○	×	△	○	○	○	△	○	○
	甘油	○		○	○	×	×	○	○	○	—	○	○
	丙酮	△~○	×	×	△	×	×	△	△	○	△	○	○
	乙醚	×	×	—	—	—	—	×	×	—	△	○	○
	醚	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	○
	磷酸乙酯	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	○

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1000h时可称为长寿命；400~600h即开始泄漏称为中等寿命；100h内泄漏称为短寿命。径向唇形密封圈使用超过1000h可称为长寿命；400~800h称为中等寿命；100h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100h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。

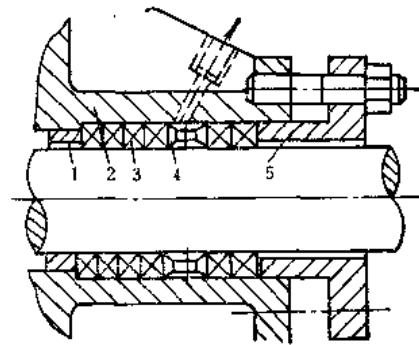


图10-2-7 软填料密封装置

1—底衬套 2—填料箱体 3—填料
4—封液环 5—压盖

(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

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，并经过多次调整后还需更新。

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 20m/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。

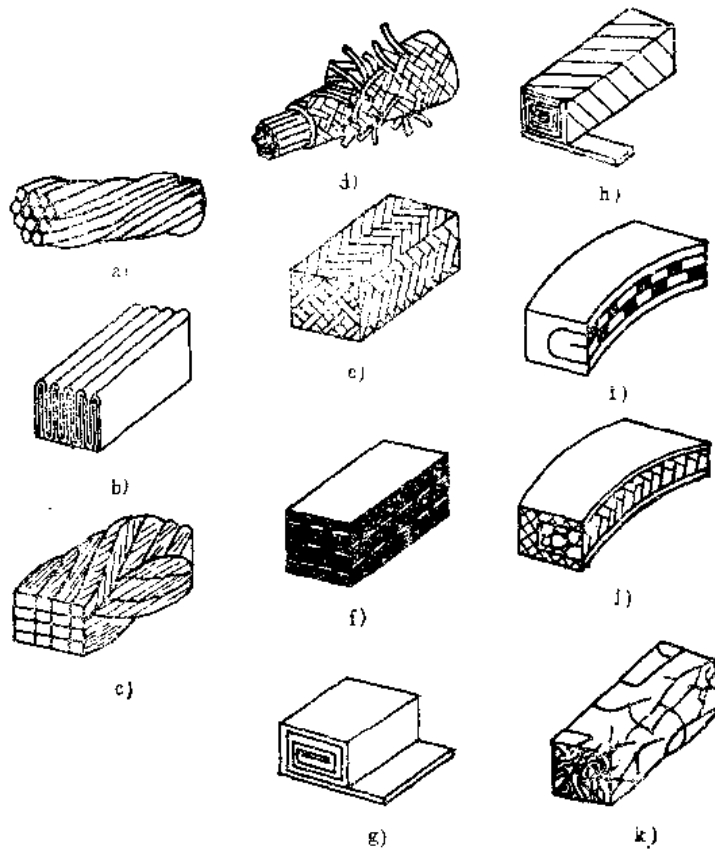


图10-2-8 典型软填料密封

- a) 扭结(黄线)密封 b) 折叠布密封 c) 穿心编织矩形密封 d) 穿心编织圆形密封
 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) 折纸与盘绕密封

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	活塞式汽缸	阀 杆
酸和碱	石棉(蓝色) 金属 塑料(柔韧) 半金属 TFE氟碳化物 树脂和碳绳	石棉(蓝色) 塑料(柔韧) 半金属 TFE氟碳化物 树脂和碳绳 石墨绳	TFE氟碳化物 树脂	石棉(蓝色) 塑料(柔韧) 半金属 TFE氟碳化物 树脂和碳绳 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
氢	氟乙氧橡胶 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	大麻或黄麻纤维	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 石棉布或石棉带	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 或干石棉带	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 石棉带	方	白色温石棉如黄铜丝 (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	一种阀或泵用的填料
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铜箔	石墨或矿物润滑油	-40	250 (铅) 540 (铜)	20	溶剂、热油, 气体、锅炉给水, 铅用于高速和高压
干聚四氟 乙烯布	方	聚四氟乙烯	无	-275	230		腐蚀性介质

(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	往复或低速转架
干碳丝布	方	碳纤维	无		340		腐蚀性介质、高温、 在非氧化环境可达 650°C
铜网	方	铜线	无		800	0.5	高温铜杆
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—抵抗热震用

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装
沿密封压盖沿密封压盖外侧泄漏	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
填料外表面积被研伤, 可能沿压盖外侧泄漏	由于填料外径太小, 故不能固定而使轴转动	检查壳体和填料尺寸
靠近压盖一侧的填料环压得太紧	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, 用清洗液体冲洗填料盒
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。润滑油剂被搅掉, 轴件偏心。填料盒膨胀	更换一种相容性好的填料, 如采用包泊式填料, 可检查轴件旋转方向是否相应于泊重卷的方向。更换能抵抗密封液体作用的填料, 检查轴的振摆, 检查轴的支承情况, 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 $-50 \sim 125^{\circ}\text{C}$, 最高工作速度为 10 m/s , 毡圈价廉并且易于更换。毡圈能收纳外界的砂尘, 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、石蜡或胶体石墨, 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

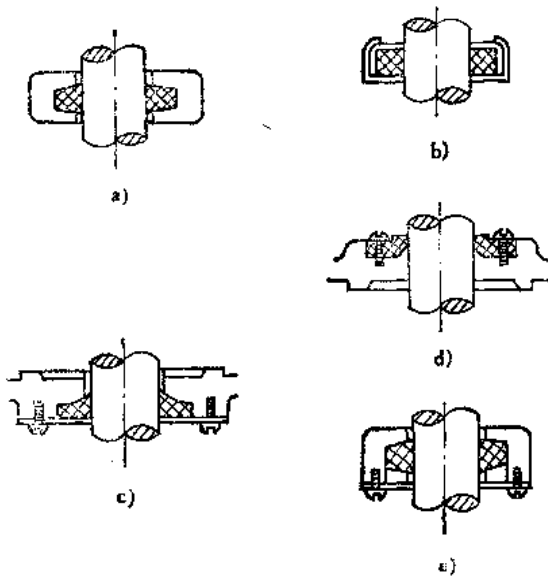


图10-2-9 毡圈密封装置的结构型式
a) 通用毡圈 b) 盒装毡圈 c) 填料盒形毡圈
d) 帽形毡圈 e) 半穿孔夹板毡圈

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	压缩性或弹性低, 故要求凸缘表面精度较好	适于高温高压的用途, 承压可达20MPa	达800°C	可用于水、蒸汽、压缩空气, 多种油和有机溶剂、氨、氨和浓酸
编织石棉材料(有纯石棉, 上胶或金属加强等型式)	常制成各种截形的卷带	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	不锈钢丝加强型可超过800°C	按其上胶或金属加强方法可用于蒸汽、溶剂和酸等
粘结石棉板		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480°C	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°C	冷热水、低压蒸汽、滑油、稀释的酸和碱氨等, 按橡胶类型而定
软木(蛋白或树脂粘剂)	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°C	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°C	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)	造纸强度低、成本也低,不致引起锈蚀,有高度渗透性。浸渍处理过的纸,强度比软木组合的高,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	造纸只用于排除尘埃,起到油绳的作用。浸渍过的纸用于要求薄垫片的地方,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(其中以氟乙烷聚四氟乙烯用得较多)	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。氟乙烷和聚四氟乙烯化学稳定性好,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胀度,要求很紧的卡紧压力	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为限制	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粗糙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密封严密不漏,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。

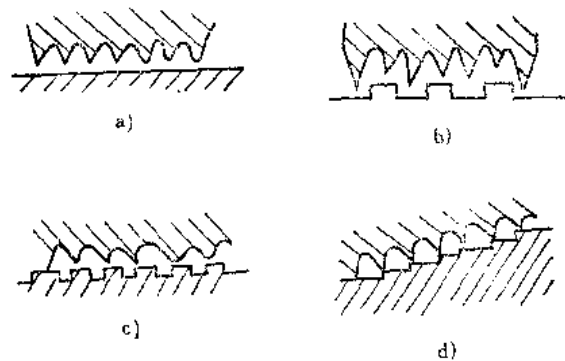


图10-2-10 迷宫形式
a) 直通形密封 b) 参差形密封 c) 复合直通形密封 d) 阶梯形密封

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

(续)

组别	使用机械	使用部位	介质种类	迷宫形式	内轮运动方向	备注
1	离心式压缩机	轴封护罩	空气、其他气体	参差形、直通形以及径向密封	转动	
2	真空泵与真空装置	轴封	空气及其他稀薄气体	参差形、直通形及径向密封	转动、螺旋形转动	对不同的真空度有不同的效果
3	无油润滑往复式压缩机	活塞与活塞杆	空气、氧及其他气体	直通形	往复	往复速度和压力周期性的变化
4	罗茨鼓风机	轴封转子	空气、其他气体	直通形	往复	级数少, 压差小
	旋转式压缩机	轴封转子	空气或其他气体	直通形	往复	级数少, 压差小
5	回转蓄热式换热器	密封瓦	空气或气体	直通形	往复	运动速度慢、膨胀室大, 容积输送量大, 压差小
6	各种转动机械	油封(轴承)	润滑油 润滑脂	参差形 直通形	转动、螺旋运动	

设计迷宫密封时应注意如下事项:

- 1) 齿片设计得尽量多些。
- 2) 齿片的顶端尽可能锐利。
- 3) 间隙要尽可能的小。
- 4) 因为很难做到完全密封, 要避免用于密封有毒及有危险性的液体。
- 5) 轴尽可能不振动。

5. 磁流体密封

磁流体密封是用铁磁流体封堵泄漏通道的无接触的半流体密封。铁磁流体是将铁磁性物质(如 $Fe_3O_4 \cdot CrO_2$ 等)的超细微粒悬浮在低挥发性载液中

所形成的稳定胶体。将它置于密封间隙中, 利用永久磁环在间隙中形成的环形磁场力作用下, 可使磁流体磁化而形成强韧的液体, 从而阻止泄漏。

载液一般使用多苯醚、全氟碳化合物、氟醚化合物、合成润滑油(如癸二酸二异辛酯)等。在载液中还加有表面活性剂, 吸附在微粒表面使微粒均匀悬浮在载液中。

磁流体密封可用于高速及高真空系统, 最高转速可达 60000 r/min, 温度范围为 $-60 \sim +150^\circ C$ 。

某些载液及铁磁流体的特性见表 10-2-14 及表 10-2-15。

表10-2-14 载液体特性

名称	密度 ρ_{20}	饱和蒸汽压 (kPa)	粘度 $\mu_{20^\circ C} (Pa \cdot s)$	粘度指数 $\frac{\mu_{50^\circ C}}{\mu_{10^\circ C}}$
二酯润滑油	0.912~0.918	$1.3 \times 10^{-4}/115^\circ C$	2.4×10^{-2}	2.3
氟碳润滑油	2.076	1.3/140~180 $^\circ C$	5.2	10.6
氟醚润滑油	1.891	$1.3 \times 10^{-2}/240 \sim 280^\circ C$	0.37	5.45

表10-2-15 铁磁流体的性能指标

类型	型号	密度 ρ_{20}	饱和磁化强度 (高斯)①	粘度 $\mu_{20^\circ C} (Pa \cdot s)$	粘度指数 $\frac{\mu_{50^\circ C}}{\mu_{10^\circ C}}$
二酯基铁磁流体	R ₂ -350	1.280	350	0.102	3.04
氟碳基铁磁流体	FT-250	2.210	250	3.7	13.2
氟醚基铁磁流体	FM-300	2.205	300	—	—

① 1 高斯 = $10^{-4} (V \cdot s) / m^2$

(五) 机械密封

1. 机械密封装置的结构、原理和分类

机械密封的定义为：由至少一对垂直于旋转轴线的端面在流体压力和补偿机构弹力（或磁力）的作用以及辅助密封的配合下，保持贴合并相对滑动而构成的防止流体泄漏的装置。

机械密封结构如图10-2-11所示。

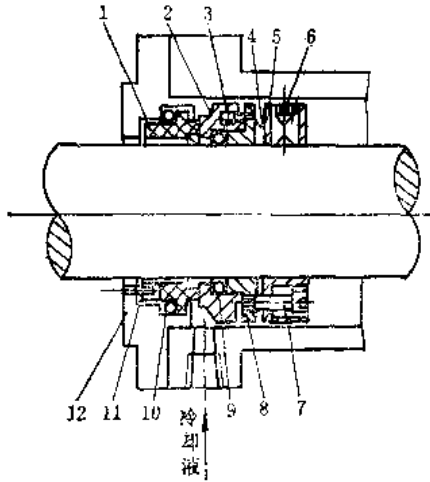


图10-2-11 机械密封结构

- 1—静环 2—动环 3—传动销 4—弹簧
- 5—弹簧座 6—紧固螺钉 7—传动螺钉
- 8—推环 9—动环密封圈 10—静环密封圈
- 11—防转销 12—压盖

机械密封一般有4个密封点，下面分别介绍各密封点的特点。

1) 静环和压盖之间的密封，这是一个静密封，通常用各种形状的弹性辅助密封圈来防止介质从静环和压盖之间的间隙泄漏。

2) 动环与轴之间的密封，是一个相对静止的密封，但在端面磨损时，密封环要作补偿磨损的轴向运动。

3) 压盖与密封腔体的密封，此处是一个静密封。

4) 动环和静环贴合面的密封，它是靠弹簧在接触面上产生适当的比压，使光洁、平直的两端面紧密贴合，形成一层极薄的流体膜，保证端面的润滑和密封。

机械密封工作时，由密封流体压力和弹性元件的弹力（或磁性元件的磁力）等引起的闭合压力使动环与静环端面互相贴合，并在两端面间极小的间隙中维持一层极薄的液体膜。由于这些极薄的液体膜具有液体动压力和静压力，因此，它一方面对端面有润滑作用，使之具有较长的使用寿命，另一方面起着平衡压力的作用，从而获得良好的密封性能。

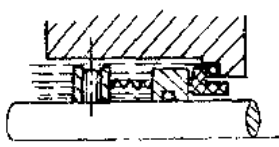
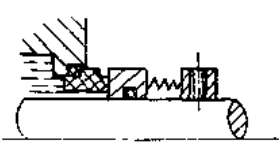
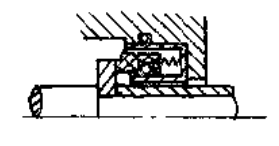
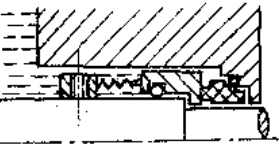
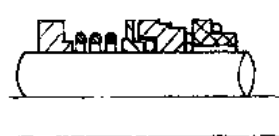
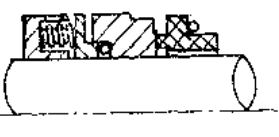

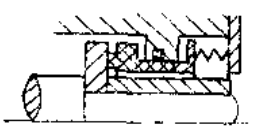
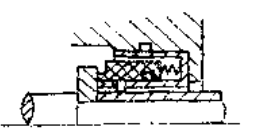
一般机械密封工作参数可达到如下水平：工作压力：42MPa 以下；工作温度：-190~450℃；线速度：150m/s 以下；使用寿命：一年以上。


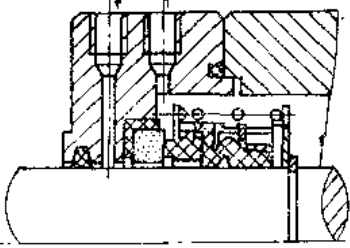
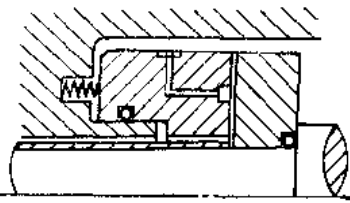
根据机械密封的原理和结构，其分类如表10-2-16。

表10-2-16 机械密封的分类

名称	分类依据	图	备 注
单端面	按摩擦副数目及布置	一 对	常用，结构简单
双端面		两 对	能引入密封液进行封堵、润滑、冲洗、冷却，封液压力应比介质压力高 0.05~0.1MPa

(续)

名称	分类依据	图例	备注
内装式	按弹簧是否与介质接触		摩擦副受力状态好, 漏泄量小, 冷却与润滑好
外装式			用于强腐蚀、高粘度、结晶性介质, 工作压力较低, 漏泄量较大
非平衡型	按介质压力卸荷程度		用于低压条件, 通常在 0.7MPa 以下
平衡型			用于中、高压条件, 通常在 0.5MPa 以上
单弹簧	按弹簧数目		用于较小轴径(不超过 80~150mm)
多弹簧			用于较大轴径, 摩擦副端面弹簧力分布较均匀, 但弹簧丝细, 对腐蚀较敏感
旋转式	按弹簧的运动状态		常用, 但不宜用于高速条件 (<30 m/s)
静止式			用于高速条件 (>30 m/s)
内流式	按介质泄漏方向		常用, 漏泄量较小

名称	分类依据		图 例	备 注
外 溢 式	按介质泄漏方向	离心方向		漏泄量较大
波 纹 管 式	按辅助密封型式	波 纹 管	冷却水冲洗液 	能在低温或高温条件应用, 耐温: -200~+650℃
受 控 膜 型	按端面摩擦状况	全 液 摩 擦		用于高速或高压条件, 包括流体动压型及流体静压型, 漏泄量较大(约1~100 l/h), 结构复杂, 有时需附加密封液循环系统

2. 机械密封的优缺点

机械密封的优点如下:

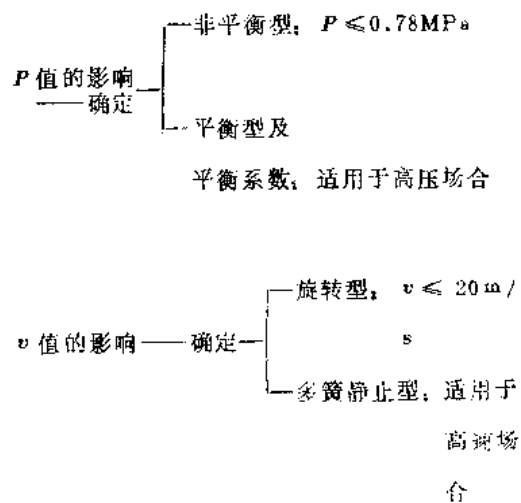
- 1) 密封性好, 机械密封泄漏量一般在3~5ml/h以下, 特殊工况也可限制在0.01ml/h以下。
- 2) 工作寿命长, 可达一年甚至更长时间。
- 3) 不需要经常调整, 使用方便, 适合连续化、自动化生产。
- 4) 摩擦功率消耗小, 一般约为填料密封的10%~50%。
- 5) 轴和轴套不产生磨损。
- 6) 对旋转轴的振摆和对壳体孔的偏斜不敏感, 耐振性强。
- 7) 使用范围广, 尤其在解决高温、低温、强腐蚀、高速等恶劣工况下的密封时更显示其优越性。

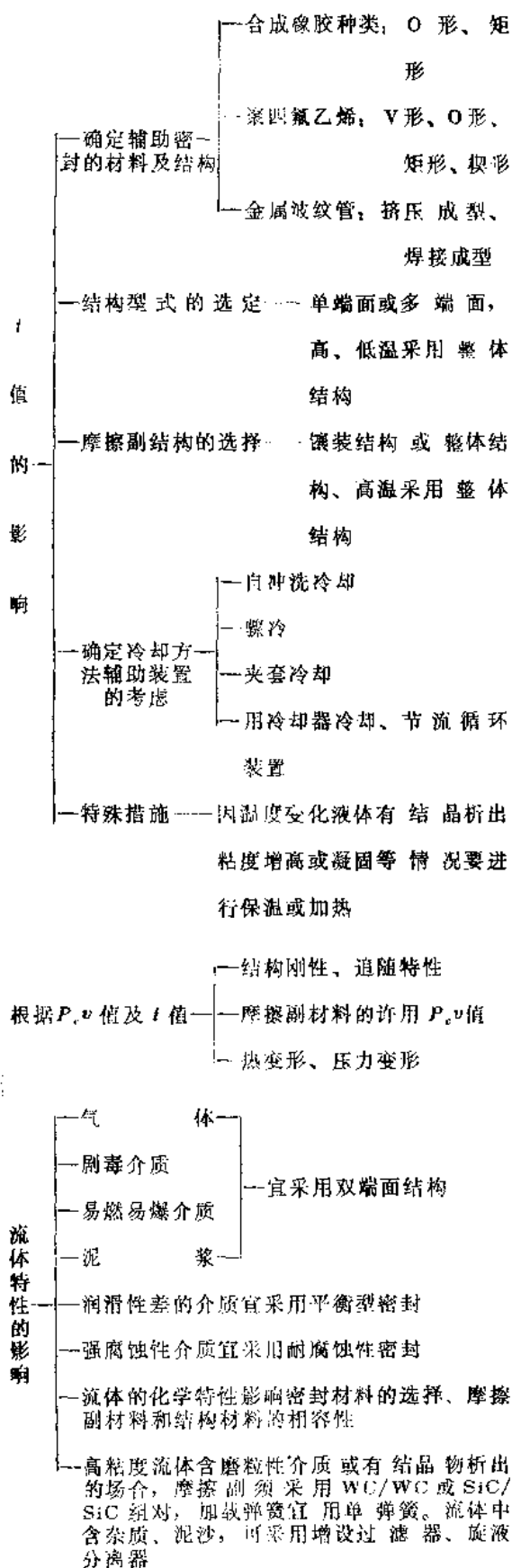
但是机械密封也有缺点, 如结构复杂, 加工要求高, 需要一定的安装技术, 价格较高等。

3. 机械密封的选型方法

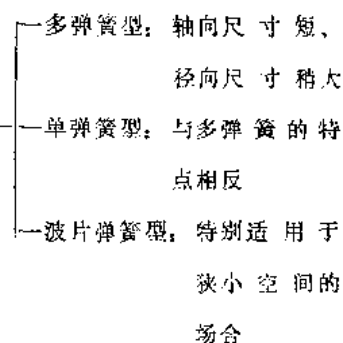
机械密封选型的主要参数有: P —— 密封腔体

压力 (MPa), t —— 流体温度 (°C), v —— 工作速度 (m/s), $p_c v$ —— 密封端面比压 p_c 与密封端面平均线速度 v 的乘积 (MPa·m/s), $D \times L$ —— 密封部位的轴径和轴向尺寸的乘积 (mm²); 流体的特性; 机器结构以及安装密封件的有效空间等。选择的要点可归纳如下。





$D \times L$ 值影响密封的结构 (安装密封的有效空间) 与型式



4. 机械密封中主要元件的材料及其性能

(1) 摩擦副材料 摩擦副材料性能要求如下:

- 1) 能抵抗介质的腐蚀、磨蚀、溶解、溶胀等。
- 2) 要有高的弹性模量、强度、 $[P, v]$ 值, 低的滑动摩擦系数、膨胀系数, 优良的耐磨性和自润滑性以及良好的不渗透性和湿附性能。
- 3) 要有很好的导热性、耐热、耐寒性和耐温度的急变性。
- 4) 来源方便, 加工容易, 成本低廉。

常用摩擦副材料及一般性能见表10-2-17。

(2) 辅助密封圈材料 辅助密封圈材料性能要求如下: 良好的弹性, 较低的摩擦系数和一定的耐磨性, 耐介质的腐蚀、溶胀、溶解, 不易老化等。在压缩之后及长期工作中残余变形小, 耐热、耐寒。

橡胶材料的一般性能见表10-2-8。

聚四氟乙烯材料的一般性能见表10-2-17。

软聚氯乙烯塑料是具有一定弹性的热塑性塑料, 具有相当好的耐油和耐腐蚀性能, 同时价格低廉, 来源方便, 适用于温度不高和压力不大的场合。

(3) 常用弹簧材料的一般性能

- 1) 磷青铜: 在海水、油类中使用良好。
- 2) 碳素弹簧钢 (60Si₂Mn, 65Mn, 50CrV 等); 60Si₂Mn 和 65Mn 等用于温度较低的无腐蚀性介质; 50CrV 主要用于高温 (300°C) 无腐蚀性介质。
- 3) 铬钢 (3Cr13, 4Cr13); 用于弱腐蚀性介质。
- 4) 不锈钢 (1Cr18Ni9, 1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti); 用于强腐蚀性介质。

(4) 机械密封材料的选择 表10-2-18列举了在典型工况下机械密封材料的选择。

表10-2-17 常用摩擦副材料及一般性能

类别	一般性能
石墨	<p>纯石墨</p> <p>有优良的耐腐蚀性, 较好的自润滑性能和低的摩擦系数(石墨与金属对磨时摩擦系数为0.04~0.05), 很高的导热系数(116~128W/m·K), 抗热冲击性好, 热膨胀系数低($2 \sim 10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 良好的加工性。缺点是机械强度低, 气孔率大</p>
	<p>浸渍树脂石墨</p> <p>浸渍树脂石墨可克服石墨强度低, 气孔率大的缺点。一般来说, 浸渍树脂的石墨耐腐蚀性较好, 但不耐高温(一般耐温为170~200$^{\circ}\text{C}$)。常用的浸渍树脂有酚醛树脂、呋喃树脂、环氧树脂等</p> <p>石墨浸渍酚醛树脂耐酸不耐碱, 浸渍呋喃树脂耐酸也耐碱, 浸渍环氧树脂耐碱性较好</p>
	<p>浸渍金属石墨</p> <p>浸渍金属石墨耐高温较好(一般可达400~500$^{\circ}\text{C}$)。常用的浸渍金属石墨有浸渍巴氏合金、青铜、钎、铅等。浸渍金属的石墨其耐腐蚀性能与所浸渍的金属相当</p>
聚四氟乙烯	<p>聚四氟乙烯具有优异的耐腐蚀性能, 即使在高温下与浓酸、浓碱或强氧化剂也不发生任何作用。目前仅发现熔融状态的碱金属、三氟化氯及元素氟对它起作用, 但也只有在高温作用下才显著。它有很高的耐热性和耐寒性(使用温度为-180~+250$^{\circ}\text{C}$), 在高温使用时抗拉强度低, 柔性和伸长率增加, 而低温时则相反。有很低的摩擦系数(聚四氟乙烯对聚四氟乙烯为0.04, 聚四氟乙烯对镜面金属摩擦为0.09~0.12), 良好的自润滑性, 耐水性、耐候性、抗老化性以及加工性能都很好。但存在机械强度较低、耐磨性不高、刚性差、弹性小、线膨胀系数随温度升高而增大, 有冷流动性和导热系数低等缺点</p> <p>为了克服聚四氟乙烯不足之处, 可将聚四氟乙烯填充玻璃粉、玻璃纤维、二硫化钼、石墨、炭黑、钛白以及各种金属粉(如青铜、铜)等, 来改善聚四氟乙烯物理机械性能</p>
酚醛塑料	<p>酚醛塑料与石墨相比, 致密性好、韧性好, 与一般热塑性塑料相比, 它的刚性大、冷流性小、耐热性较高。在水润滑条件下有极低的摩擦系数($f = 0.01 \sim 0.03$)以及较高的[P_{CV}]值, 而且有良好的耐磨性, 良好的耐酸性能, 来源方便, 成本低廉。但存在质脆, 零件成型工艺复杂, 不耐碱的腐蚀, 安全使用温度低(为120$^{\circ}\text{C}$, 高于170$^{\circ}\text{C}$就发生碳化)等缺点</p>
陶瓷	<p>陶瓷具有很高的硬度及耐磨性, 优良的耐腐蚀性, 除氢氟酸、氟硅酸及浓碱外, 几乎能耐各种介质的腐蚀, 是比较理想的摩擦副材料。但脆性大, 硬度高, 机械加工困难。目前比较多的是采用氧化铝陶瓷, 它具有良好的导热性、机械强度、耐温性、对温度急变性和耐磨性, 且线膨胀系数小, 硬度比一般陶瓷都高。另外金属陶瓷作为摩擦副材料, 可改善陶瓷的韧性, 增加强度</p>
堆焊硬质合金	<p>在碳钢、铬钢、铬镍钢的密封面上堆焊硬质合金(通常在0Cr13和1Cr13基体上进行堆焊)来提高硬度和耐磨性</p> <p>目前比较广泛的是采用上焊69A钴基焊条, 可用于要求耐磨、耐腐蚀或气蚀的场合, 使用温度<500$^{\circ}\text{C}$</p> <p>堆焊硬质合金环的制造工艺比较复杂, 易产生气孔、夹渣、表面硬度不均等缺陷, 在实际使用中耐磨性不十分理想, 有时出现龟裂, 因此使用受到一定限制</p>
碳化钨硬质合金	<p>碳化钨是由硬度极高的难熔金属碳化物(碳化钨、碳化钽)加粘结剂用粉末冶金方法压制烧结而成。具有极高的硬度和强度, 良好的耐磨性, 抗颗粒冲刷性和耐腐蚀性(能耐一般温度下的硫酸和氢氟酸以及沸点下的苛性钠等的腐蚀, 不耐盐酸和硝酸), 线膨胀系数较低。但材料脆性大, 机械加工困难</p> <p>用作机械密封摩擦副材料的有YG6、YG8、YG15等</p>
青铜	<p>常用的青铜材料有磷青铜、锡磷青铜(ZQSn6-6-3, ZQSn10-1, ZQSn5-25), 弹性模量大, 具有良好的导热性、耐磨性、加工性以及硬质材料的耐磨性。但质软, 耐腐蚀性较差, 适用海水、油等中性介质</p>
高硅铸铁	<p>高硅铸铁是含硅14%~16%的合金材料, 具有高的硬度(HRC45~50)。在强氧化性酸中有很高的耐腐蚀性, 但不耐碱和氢氟酸, 对还原性酸的耐蚀性能也较差, 质脆, 耐冲击性差, 机械加工困难</p>

表10-2-18 典型使用工况下机械密封材料的选择

介 质			动环 (或静环)	静环 (或动环)	辅助密封圈	弹 簧
名称	浓度 (%)	温 度 (°C)				
清水	—	常温	9Cr13, 1Cr13堆焊钴铬钨、铸铁、金属陶瓷	浸渍树脂石墨、青铜、酚醛塑料	丁腈橡胶、氟丁橡胶	3Cr13, 4Cr13, 1Cr18Ni9Ti, 铍青铜、磷青铜
河水	含泥沙		碳化钨	碳化钨		
海水	—		碳化钨、1Cr13堆焊钴铬钨、铸铁	浸渍树脂或青铜石墨、碳化钨、金属陶瓷		
过热水	—	>100			硅橡胶	
汽油、机油、液压油等	—	常温	碳钢、铸铁、碳化钨、1Cr13堆焊钴铬钨、陶瓷	浸渍树脂或巴氏合金石墨、酚醛塑料、铜合金	丁腈橡胶	3Cr13, 4Cr13, 65Mn, 60Si2Mn, 50CrV
	—	>100	碳化钨、1Cr13堆焊钴铬钨	浸青铜或树脂石墨	聚四氟乙烯、氟橡胶	
	含颗粒	—	碳化钨	碳化钨	丁腈橡胶	
重油	—	—	铸铁、陶瓷、碳钢、碳化钨	浸渍铅石墨、铜、碳化钨		
石油	—	—	碳化钨、陶瓷	浸渍树脂石墨	聚四氟乙烯	
液化石油气	—	—			丁腈橡胶、聚四氟乙烯	
染色液	—	—				
液氧、液氮	—	—	金属镍铬、碳化钨	浸渍树脂或金属石墨	丁腈橡胶	奥氏体金属
硫酸	1~75	常温	陶瓷、高硅铸铁	填充聚四氟乙烯、浸渍树脂石墨	氟橡胶	Cr18Ni12Mo2Ti 镍钼合金(Hastelloy-B)
	42	100				
	浓	—	陶瓷	填充聚四氟乙烯	聚四氟乙烯	高镍合金(Inconel) 高镍铬钢(Carpenter-20)
	发烟	<60				
硝酸	3	常温	陶瓷、高硅铸铁	填充聚四氟乙烯、浸渍树脂石墨	聚四氟乙烯、氟橡胶	1Cr18Ni9Ti Cr18Ni12Mo2Ti 高镍合金(Inconel)
	10	30~85		填充聚四氟乙烯		
	<66	常温~沸腾	陶瓷			
	浓	30~100			聚四氟乙烯	
	发烟	—				
盐酸	<36	常温	陶瓷	填充聚四氟乙烯、浸渍树脂石墨	聚四氟乙烯、氟橡胶	镍钼合金(Hastelloy-B) 钛钼合金(Ti32Mo)
	任意	沸点以下		填充聚四氟乙烯		
醋酸	任意	沸点以下	陶瓷、高硅铸铁、不锈钢	填充聚四氟乙烯、浸渍树脂石墨	聚四氟乙烯、丁基橡胶	1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti

介 质			动环 (或静环)	静环 (或动环)	辅助密封圈	弹 簧
名称	浓度 (%)	温 度 (°C)				
碱	任意	常温	碳化钨、陶瓷、铬钒 淬火、镍铸铁、堆焊硬 质合金、镍铜合金	填充聚四氟乙烯、浸 渍树脂石墨	聚四氟乙 烯、丁腈橡胶、 氯丁橡胶	1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni12 Mo2Ti
	含颗粒	<120 >120	碳化钨	碳化钨	聚四氟乙 烯、硅橡胶	
有 机 物	尿素	99.6	碳化钨、铬钒堆焊钻 铬的、铸铁	浸渍树脂石墨、填充 聚四氟乙烯、酚醛塑料	聚四氟乙 烯、聚硫橡胶	3Cr13、4Cr13
	苯	<100			聚四氟乙 烯	
	酮、醇	—				
	胺、醚	—				
		沸点以 下				

5. 机械密封的安装

(1) 机械密封安装使用的一般原则

- 1) 弄清设备情况，要了解设备转轴的转速、轴径、设备制造精度及密封腔尺寸。
- 2) 估算介质压力。
- 3) 弄清密封介质性能。
- 4) 合理选型。

(2) 机械密封的安装要求 机械密封的安装要求见表10-2-19。

表10-2-19 机械密封安装要求

安装顺序	方 法	注意事项
位置 的选择	根据装配图确定旋转件 安装位置	注意弹簧的压缩量
旋转部分 安装	在轴或轴套表面涂上润 滑油，按图纸依次装入各 零件，弹簧就位后将紧 定螺钉拧紧	不要损伤密封圈及 密封端面，注意弹簧 座不要倾斜，紧定螺 钉要均匀拧紧
静环 密封圈	将静环密封圈装入静环	
静止部分 安装	将静环和静环密封圈装 入静环压盖，然后将压盖 装到泵体上，均匀压紧	要保证静环密封端 面与转轴的同心度， 不要损伤密封圈及密 封端面
总调试	检查密封腔是否充满介 质，辅助系统是否接通。用 手盘车观察有无不正常现 象，进行静压试验及综合 试验，合格后再正式使用	

6. 机械密封的泄漏故障及防止措施

机械密封的泄漏故障及防止措施见表10-2-20。

表10-2-20 机械密封的泄漏故障及防止措施

泄 漏	位 置	泄 漏 原 因	防 止 措 施
密封盖周围	密封盖接触面	垂直度精度低，加工 欠佳，螺栓拧的不均匀， 垫圈不好	使用夹具修正， 调整、更换
	密封环	装配不适当，密封盖 变形、开裂，注液润滑 过大或过小，由石墨中 浸出	调整或更换，调 节注液润滑，检查 调节孔隙，更换材 料
轴 的 周 围	端面 欠佳	组合材质形状和尺寸 不合适，轴上密封圈的 缓冲性不足，研磨不理 想	回修或更换，消 除产生的原因或更 换，重新研磨
	端面 不正常 磨损	干运转，腐蚀，混入 固体物质	重新加工，消除 产生的原因或更换 材料，重新研磨
	安装 不当	松动，螺栓拧得不 紧，振动	消除产生的原因
	选择 不当	使用条件未充分掌握	对设计重新研究
轴的周围 泄漏	从轴 的周围	轴密封圈的材质尺寸 不合适，轴密封圈装配 时损伤，轴的尺寸公差 不合适，加工不当	更换，重新加工

(续)

位置	位置	泄漏原因	防止措施
间接原因	振动以及其他的不正常现象	泵本身轴安装运转条件变化	对基础、动平衡、轴弯曲、轴套变形等进行测定,修正检查联轴器 and 轴承,找中心并进行管路检查

(六) 典型密封举例

1. 170t载重汽车转向缸密封

(1) 转向缸工作条件

密封介质: 液压油

压力: 17.6MPa

温度: 80°C以下

(2) 说明

1) 图10-2-12中O形圈用作静密封。液压装

置中O形圈一般采用邵氏硬度A型70度的橡胶材料,当压力超过7MPa时,要用挡圈,以防挤出。硬度为邵尔A型90度的D形圈和挡圈并用,可用于更高压的密封。挡圈的材质采用PTFE的最多,也有用皮革、尼龙、聚醚树脂等。

2) 图10-2-12中孔封和轴封的结构形式为典型的液压缸动密封形式,由高硬度的丁腈胶或橡塑复合材料制成的Y形圈和较低硬度的O形圈组合而成的复合密封件。其中Y形圈在高压下运动时可有效地防止挤出,O形圈则可提供较高的弹性。

3) 防尘圈一般采用橡胶材料制成,可有效地防止外部尘埃和杂质进入液压缸内部。

2. 原料气压缩机低压缸密封

(1) 工作条件 主轴转速 $n=10720\text{ r/min}$,端面平均速度高达 72 m/s 。

(2) 说明 图10-2-13中的密封特点是:介质端采用平衡型机械密封(接触式密封);大气端采用浮环密封(非接触式密封)。在两密封之间用

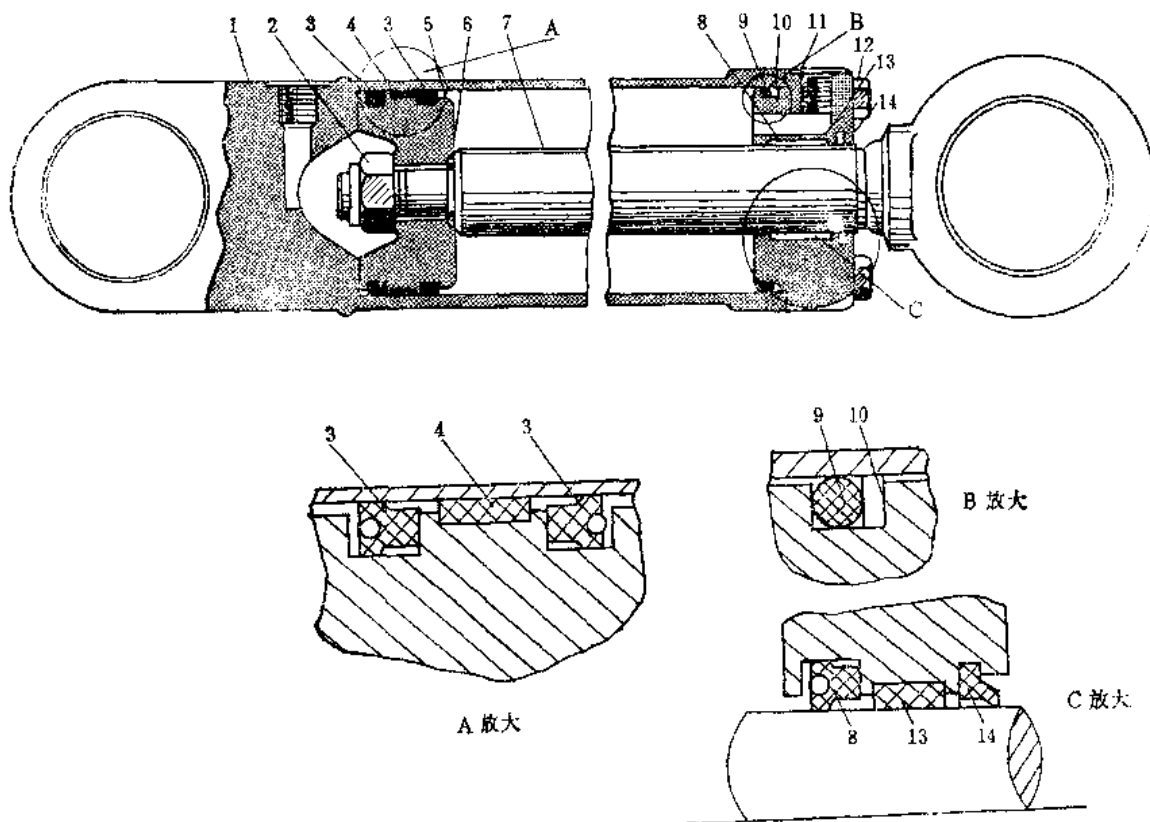


图10-2-12 170t载重汽车转向缸密封

1—缸体 2—螺母 3—孔封 4—导向环 5—活塞 6—O形圈 7—轴 8—轴封 9—O形圈
10—挡圈 11—缸盖 12—螺栓 13—导向环 14—防尘圈

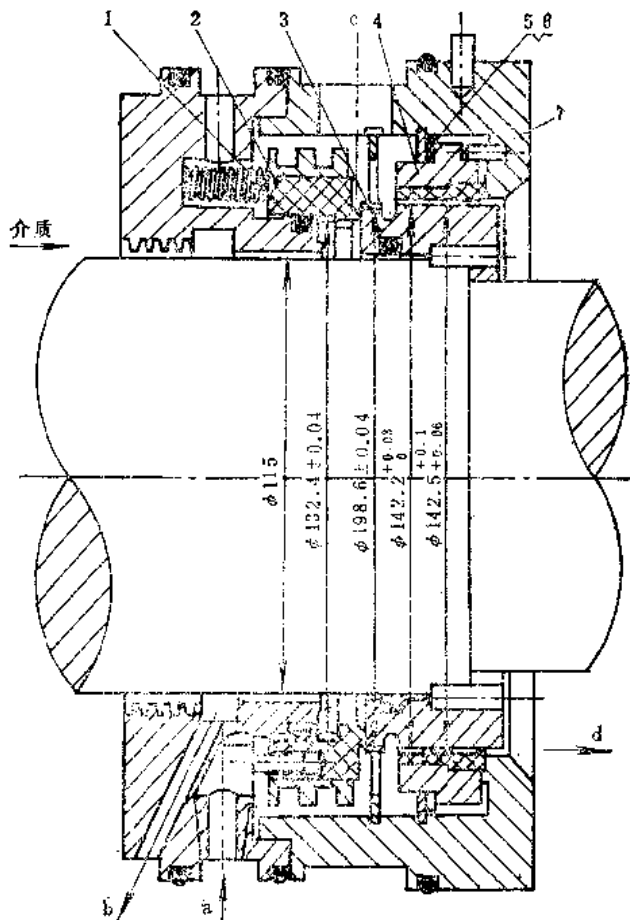


图10-2-13 原料气压缩机低压缸机械密封

- 1—静环 2—O形密封圈 3—动环 4—浮环 5—挡圈
6—波环形弹簧 7—衬套盒
a—密封液进口 b—泄漏的介质或密封液出口 c—密封液出口 d—密封液自浮环间隙中的泄漏

密封油进行强制循环，起冷却和润滑端面的作用。密封油的压力要比介质压力略高些，目的是防止介质外漏而允许微量密封油向介质一端的泄漏。浮环密封实际上与端面机械密封中的外端面起相同的作用。因为它是一种非接触式密封，基本上没有磨损和因摩擦产生出大量热量，因此，使用寿命长，特别适用于高速情况下，但是泄漏量比接触式的端面密封要大。

(七) 橡胶密封件和机械密封部分国家标准目录

- 1) GB5719—87《橡胶密封制品术语》
- 2) GB9881—88《橡胶与橡胶制品通用术语》
- 3) GB5721—85《橡胶密封制品标志、包装、运

输的一般规定》

- 4) GB5722—85《橡胶密封制品贮存的一般规定》
- 5) GB3672—83《橡胶实心模压和压出制品尺寸公差》
- 6) GB3452.1—82《液压气动用O形橡胶密封圈尺寸系列及公差》
- 7) GB3452.3—88《液压气动用O形橡胶密封圈沟槽尺寸和设计计算准则》
- 8) GB5720—85《O形橡胶密封圈试验的标准方法》
- 9) GB2879—86《液压缸活塞和活塞杆宽断面动密封沟槽型式尺寸和公差》
- 10) GB2880—86《液压缸活塞和活塞杆窄断面动密封沟槽型式尺寸和公差》
- 11) GB6578—86《液压缸活塞杆用防尘圈沟槽型式、尺寸和公差》
- 12) GB10708.1—89《往复运动橡胶密封圈结构尺寸系列 第一部分单向橡胶密封圈》
- 13) GB10708.2—89《往复运动橡胶密封圈结构尺寸系列 第二部分双向橡胶密封圈》
- 14) GB10708.3—89《往复运动橡胶密封圈结构尺寸系列 第三部分橡胶防尘密封圈》
- 15) GB6577—86《液压缸活塞用带支撑环密封沟槽、型式、尺寸和公差》
- 16) GB9877.1~3—88《旋转轴唇形密封圈结构尺寸系列》
- 17) GB539—83《耐油石棉橡胶板》
- 18) GB7526—87《车辆门窗橡胶密封条》
- 19) GB7524—87《汽车液压制动橡胶皮碗》
- 20) GB7525—87《汽车制动气室橡胶隔膜》
- 21) GB5574—85《工业用硫化橡胶板》
- 22) GB10706—89《水坝橡胶密封件》

- 23) GB7041—86《静密封橡胶零件储存期快速测定方法》
- 24) GB9880—88《液压气动用多层唇形密封组件测量叠层高度的方法》
- 25) GB3452.2—87《O形橡胶密封圈外观质量检验标准》
- 26) GB7529—87《模压和压出橡胶制品外观质量的一般规定》
- 27) GB7038—86《普通液压系统用O形橡胶密封圈胶料》
- 28) GB7039—86《往复运动用密封圈胶料》
- 29) GB7049—86《旋转轴唇型密封圈用胶料》
- 30) GB9879—88《石油基油类输送管道及连接件用橡胶制品胶料》
- 31) GB9876—88《给排水管道用橡胶密封圈胶料》
- 32) GB7527—87《燃油用O形橡胶密封圈胶料》
- 33) GB9878—87《燃气输送管配件用橡胶密封圈胶料》
- 34) GB10709—89《110℃以下热水输送管橡胶密封圈材料规范》
- 35) GB6556—86《机械密封的型式、主要尺寸、材料和识别标志》
- 36) GB5894—86《机械密封名词术语》
- 37) GB5661—85《轴向吸入离心泵机械密封和软填料用的空腔尺寸》

第3节 机械产品防漏密封胶

(一) 液态密封胶

1. 概述

液态密封胶是一种新型的液体高分子静密封材料，它的起始形态一般呈液状，在涂敷前是一种具有流动性的粘稠物，能容易地填满两个接合面之间的缝隙而形成（或经过一定的干燥时间后形成）一种具有粘性、粘弹性或可剥性的、均匀的、稳定的连续薄膜。这种薄膜对密封介质具有良好的稳定性，对金属不腐蚀，依靠这种薄膜的填充作用，并靠外加螺栓紧固力夹紧，使两个接合面连接密封，从而有较好的密封性能。常用于机电产品的静接合面间的密封。也用于接合面较复杂的螺纹等部位，防止油、水、气等物质的泄漏。

2. 分类

液态密封胶又称液态垫圈、液体垫片，是一种呈液态状的密封垫料，按其化学组成、应用范围、使用场合和涂敷后成膜性状等不同而分成许多类型。

1) 按化学成份分类，可分为树脂型、橡胶型及油改性型及天然高分子型，这种分类法能根据高分子材料的特性，推测出它的耐热性，密封性和对各种介质的稳定性。

2) 按应用范围及其使用场所分类，可分为耐热型、耐寒型、耐压型、耐油型、耐水型、耐溶剂型、耐化学药品型和绝缘型，这种分类法为使用者提供了方便。

3) 按其涂敷后成膜性状分类，可分为干性附着型、干性可剥型、非干性粘型和半干性粘弹型四种。这种分类法目前在国内最常用，不论对使用者或制造者都很方便。但这种分类法容易被人误解。所谓干性、非干性和半干性并不是指有无溶剂挥发或是否含有溶剂而言，而是指涂敷后成膜形态是硬、不硬或半硬的意思。

目前国内液态密封胶已形成了通用型体系、无溶剂硅酮型体系、厌氧型密封胶体系。而通用型体系既是国内开发研究最早又是目前应用最广泛、销售量最大的一个体系。

(1) 通用型体系 通用型液态密封胶一般都含有有机溶剂，它包括干性附着型，干性可剥型，非干性粘型和半干性粘弹型四种。

1) 干性附着型 是最早使用的一种液态密封胶，含有溶剂，呈液态，涂敷后溶剂挥发而牢固地附着于接合面上。耐压、耐热性较好，但可拆性、耐振动和冲击性能较差，拆卸时易损伤金属表面，形成的胶膜硬，易产生龟裂，所含溶剂具有一定毒性，目前这种胶已极少被采用。

2) 干性可剥型 这种胶一般由橡胶配制而成。含有溶剂，呈液状，涂敷后溶剂挥发而形成具有橡胶那样柔软而有弹性的薄膜，具有可剥性，耐振动和冲击性较好，可用于间隙较大和坡度的部位，因溶剂挥发快，不适用于大面积涂布。

3) 非干性粘型 这种胶在涂布后成膜长期不硬，且保持粘性，受机械振动或冲击时，形成的膜不产生龟裂和脱落现象。适用于受振动和冲击以及经常拆卸的部位，由于没有溶剂或含极少溶剂，无需干燥，特别适用于紧急维修和流水生产作业场合。

4) 半干性粘弹型 这种胶大多以橡胶为主配制而成, 其性能介于干性和非干性之间, 兼有两者的优点。含有溶剂, 涂布后溶剂挥发, 形成的膜半硬或不硬, 具有粘弹性。

(2) 无溶剂硅酮型体系 硅酮密封胶是以硅橡胶为基料, 加入填充剂、催化剂、交联剂和其他助剂所组成。按其化学组成、固化条件、应用范围、使用场合、取代基不同可分为许多不同的类型。下面以固化条件不同和取代基不同简述如下:

1) 按固化条件分类

① 热固化型硅酮密封胶 这种胶是先将硅橡胶同填料以及其他配合剂混炼后模压加热成型, 可通过加热或辐射(γ 射线或电子束)。这类胶主要用于制作机械零件的代用品或做填隙微孔用。

② 缩合型RTV硅酮密封胶 这种胶呈液态状或膏状, 在室温下固化。它又分为单组份型和双组份型硅酮密封胶, 这些密封胶根据使用场合、使用范围不同又可分为粘接型和非粘接型(即平面密封型)硅酮密封胶。由于在室温下固化, 所以使用十分方便, 深受用户欢迎。

③ 加成型硅酮密封胶 这种胶呈液状或膏状, 它通过硅氧键与双键的加成反应而固化。其固化可分为室温和加热两种类型。它的工艺性好, 耐热性、电性能、尺寸稳定性好。因此发展很快。国外已制成单包装, 可以注射成型, 加工简便。

2) 按取代的有机硅基团分类 将硅橡胶的取代基团置换成其他基团而成的。如苯基硅橡胶(耐低温)、氟硅橡胶(耐汽油的)、苯撑硅橡胶(耐汽油)、苯撑硅橡胶(耐辐射等)。

目前国内以缩合型单组分RTV硅酮密封胶研究、生产和应用为多。

所谓单组份型指的是单组分RTV硅橡胶的基体含有羟基的二甲基聚硅氧烷, 当它与胶联剂混合后反应生成一种可水解的端基封闭的聚硅氧烷, 这种生成物借助空气中的微量水份, 进行水解交联反应, 生成具有弹性体的硅酮密封胶, 这种反应称缩合反应。

在缩合反应中, 加入的胶联剂不同, 缩合反应固化时, 放出的低分子物也不同, 根据放出的物质不同又分为脱酸型、脱醇型、脱脲型、脱胺型等。

由于化学组分不同, 应用场合不同以及化学组分中各成分含量不同, 上述脱酸、脱醇、脱脲型等硅酮密封胶又分为粘接型和密封型两种。作为粘接

用的硅酮密封胶以脱醇型为主, 主要应用于航天、航空设备部件, 仪表、家用电器的粘接; 而脱酸型硅酮密封胶, 则主要应用于建筑工业上的相窗、门窗等粘接灌注等。

作为密封用的硅酮密封胶主要以单组分RTV室温固化硅酮密封胶为主。它包括脱酸、脱醇、脱脲型, 尤以脱脲型为主, 被称为液态硅酮密封胶, 又称“一液型”硅酮密封胶。其特性具有耐压强高(在高温 200°C F可耐 12MPa 以上油压), 使用温度范围广($-60\sim+250^{\circ}\text{C}$), 密封填隙能力较强($0.1\sim 0.6\text{mm}$), 能耐各种有机溶剂、油类等介质, 并且耐辐射能力也强。因此已广泛应用于机械电子工业产品的防漏与密封, 特别适用于大型机械设备、数控机床、出口精密磨床、仪器仪表等部位的平面接合面和螺纹管接头密封, 现简述如下:

① 脱酸型 是最早研制和使用的一种硅酮密封胶, 粘接力强, 固化速度快, 不含溶剂, 耐压、耐热、耐介质性能好, 密封填隙能力强, 所以既用于建筑工业上粘接, 又用于机电产品上的防漏与密封, 应用面广。脱酸型胶唯一不足之处是固化时放出的低分子物为醋酸蒸汽, 具有一定气味相对金属有微量的腐蚀。但作密封用时, 因化学组分改变, 腐蚀性更少。

② 脱醇型 这种胶以烷氧基硅烷作交联剂, 缩合反应固化时放出的低分子物为醇类, 没有气味没有腐蚀性, 特别适用于军工、航空航天设备部件和仪表、电器的粘接和密封。该胶粘接力很强, 耐压、耐热、耐介质性能好, 密封填隙能力强, 因此适用于机电产品的粘接与密封, 但固化速度慢, 不适用在机电产品流水生产装配作业上使用。

③ 脱脲型 这种胶主要用于密封, 可拆性好, 粘接强度低, 无溶剂, 快速固化, 耐压、耐热、耐介质性能好, 具有优异的耐汽油性, 特别适用于机电产品防漏与密封。具有“万能型”之称。但固化时放出的低分子物脲酮对铜、黄铜有些腐蚀, 因此不适用于含铜金属工作的密封。

(3) 厌氧型密封胶体系 厌氧胶是以丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯类为单体, 加入引发剂、促进剂和其他助剂配制而成。

厌氧胶是一种既可用于粘接又可用于密封的新型胶种。其特点是厌氧性固化, 即胶在空(氧)气中呈液态, 当渗入金属(非金属)工件的缝隙, 与空气隔绝时, 常温下自行聚合固化, 使工件胶接或

密封。

厌氧胶由于组成成分多，所以品种繁多。一般按用途分类，可分为下列六种类型：紧固件锁紧；管道接头密封；平面密封取代垫圈，粘接固持；浸渗补漏和维护修理。目前国内以紧固件锁紧和粘接固持用途最广、用量最多。而平面密封和管道专用厌氧密封胶在整个厌氧胶体系中占的份量较少。它主要用在机电产品的法兰平面或箱体结合面的密封，可以取代通常采用的纸、石棉、橡胶、塑料等固态垫圈。

厌氧型密封胶在间隙使用范围内（0.1~0.3mm内）既能填满密封面的全部缝隙，又能使结合面达到彼此贴合，对接面有一定的胶接作用。因此能有效防止密封面的泄漏。这种胶呈液态状，固化后成膜具有柔软性，因此称厌氧型液态密封胶。

厌氧胶具有常稠固化、浸渗性好、固化后收缩少、收握防松性好、不含溶剂等特性，因此广泛应用于军工航空产品、仪表、电器、机械及汽车螺栓的防松粘接和密封。但它的可拆性差，除去时须加热200°C以上趁热拆开，涂胶前要求密封面用溶剂清洗除油，并用脱脂棉纱擦净，因此限制了它的应用。

3. 特性

液态密封胶本身呈液态，因此流动性好，能在金属的接合面的窄缝中充满缝隙，形成一种具有粘性、粘弹性或弹性、可剥性的均匀、稳定、连续的薄膜，从而使在设备各部件的接合面之间起密封作用。

液态密封胶在一定紧固力下密封性能好，耐压、耐热、耐油性能好。对介质（油、水）有良好的稳定性，对金属不腐蚀，同时，它是液态状不像固体垫圈那样在起密封作用时必须要有压缩变形，因此，也就不存在内应力、松弛、蠕变和弹性疲劳等导致泄漏因素。由于它具有流动性和触变性，可以充满接合面之间凹陷和缝隙，消除了固体垫圈在使用中出现的界面泄漏现象。密封胶是一种具有良好粘弹性的物质，在受到振动、冲击以及过度压缩时，不会像固体垫圈那样产生龟裂、脱落等破坏性泄漏现象。此外，密封胶制造工艺简单、价格便宜，贮存方便，因此它是一种理想的机械产品静密封材料。

4. 组成

在研究密封胶的组成之前，要研究一下具备什么条件的粘稠状液体才能作为密封胶来用。一种实用的液态密封胶必须具备以下几个条件：

1) 填充性 当金属表面很粗糙时，也能填充

所有的凹陷，并对金属表面有很好的浸润性。

2) 致密性 在间隙中的液态密封胶本身是致密的和柔韧的。

3) 吻合性 与金属表面有很好的粘附性，受振动时仍然粘附在金属表面。

4) 连续性 成膜必须是连续的。

5) 高粘度 胶液粘度要高，并且随温度的变化要小。

6) 稳定性 胶液本身对金属不腐蚀，对密封的介质稳定，不发生化学反应。

7) 适应性 适应外界环境介质和温度条件变化，不因外界条件发生变化而失去密封性。

为了具备上述条件，液态密封胶除由具有一定粘度的高分子物质做基体外，还必须加入适当的填充剂，溶剂及一些添加剂，现将其组成成分述如下：

(1) 基料 构成液态密封胶的主体原材料称为基料。液态密封胶的耐热、耐压、耐介质性能主要取决于基料的选择，作为基料的高分子材料见表10-3-1。

表10-3-1 用于液态密封胶的高分子材料

类别	品种
合成树脂	聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、酚醛树脂、硅树脂、聚丙烯酸酯、环氧树脂、聚氨酯、聚酰胺、石油树脂、过氧乙酰树脂等
合成橡胶	丁腈橡胶、氯丁橡胶、聚丁二烯、聚异丁烯、聚硫橡胶、硅橡胶、氟橡胶、丁苯橡胶、乙丙橡胶等
天然有机物	松香及其衍生物、植物油、天然树脂、天然橡胶等

对基料的要求主要是：

1) 对接合面的材料和内部介质要有良好的化学稳定性。

2) 所形成的薄膜或薄层应坚固，并具有粘弹性。

3) 对接合面应具有良好的附着性和浸润性。

4) 能在较宽的温度范围内使用，粘度随温度的变化小。

5) 耐老化性好，能长期使用。

表10-3-2列举了高分子材料的结构与性能的关系，表10-3-3介绍了高分子材料对不同介质的化学稳定性。

表10-3-2 高分子材料的结构与性能的关系

	耐热性		耐油性		耐水性	
	降 低	提 高	降 低	提 高	降 低	提 高
高分子材料的官能团	-CH ₃ -C _n H _{2n+1} -OCH ₃ -COOR 等	-OH -COOR -CONH 等	-CH ₃ -OCH ₃ -COOR 等	-OH -CO -O- 等	-OH -NH ₂ -HSO ₃ -COOR	-CH ₃ -C _n H _{2n+1} -COOR 等
链 长	短	长	×	×	×	×
支 链	○	○	大	小	大	小
网状结构数	少	多	少	多	少	多

注：×为影响小，○为影响大。

表10-3-3 高分子材料耐介质性能

材料名称	介 质		耐 燃 料 油	抗 热 老 化	粘 合 性
	耐水性	耐油性			
天然橡胶	优	劣	劣	可	良
硅橡胶	优	良	劣	优	劣
氟橡胶	优	优	优	优	良
聚硫橡胶	优	优	优	良	良
聚氨酯橡胶	可	良	优	良	优
氯丁橡胶	优	优	良	良	良
丁腈橡胶	优	优	良	良	良
聚酯树脂	可	优	可	良	良
酚醛树脂	可	优	良	良	良
氯化聚酯	优	优	优	良	可
聚丙烯酸酯	优	优	良	劣	良
聚丁二烯	优	优	劣	可	优
环氧树脂	可	优	可	优	优
聚丙烯酸乙酯	优	优	优	优	劣

(2) 填充剂 填充剂可增加基料的粘度和变形能，提高触变性能和耐热性、耐压性、减小液态密封胶和接合面的热膨胀系数的差异，起到增强或补强作用。加入填充剂还可降低成本。

填充剂的种类、颗粒度、形状及添加量等，对液态密封胶的性能有较大的影响。因此，应针对不同的使用要求，选择适当的填充剂。如果要获得导电性好，液态密封胶可以加入银粉、铝粉、铜粉、石墨等物质。

加入填充剂量根据基料不同适当选用，它与填充剂的种类，粒子大小和形状，以及吸附树脂能力有关，一般要通过试验选择。

一般对填充剂有下列要求：

- 1) 无活性，有良好的化学稳定性。
- 2) 不含水分和油。
- 3) 颗粒大小均匀。
- 4) 高耐热性。
- 5) 良好的分散性。
- 6) 对基料有良好的被浸润性和触变性。

表10-3-4列举了可用作液态密封胶填充剂的种类及其特性。

表10-3-4 常用填充剂的种类和特性

名 称	色 泽	主 要 成 分	密 度 g/cm ³	吸 油 量 %
氧化锌	白	ZnO	5.606	25~35
钛白粉	白	TiO ₂	3.88	18~20
立德粉	白	ZnS·BaSO ₄	4.29	17~19
轻质碳酸钙	白	CaCO ₃	2.71	15~60
滑石粉	白	3MgO·4SiO ₂ ·H ₂ O	2.85	27
瓷土	白	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	2.6	36
云母粉	白	KAl ₂ (Al ₂ Si ₃ O ₁₀)(OH) ₂	2.76~ 3.6 3.1	47.5
白炭粉	白	SiO ₂	2.6	25
天然碳酸钙	白	CaCO ₃	3.037	—
铁黑	黑	Fe ₃ O ₄	4.73	26~52
石墨粉	黑	C	2.25	—
铅粉	黑	Pb	11.34	—
锌粉	灰	Zn	7.06	5.6
重质碳酸钙		CaCO ₃	2.71	14~25

填充剂用量要随基料的种类而变化,对同一种基料而言,各填充剂的补强效果也有所不同。

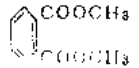
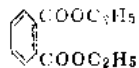
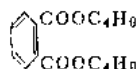
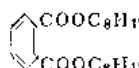
(3) 增塑剂 增塑剂的主要作用是增加基料的可塑性,是一种难以挥发的化合物。对增塑剂最主要的要求是能够与基料互相溶解。因此应具有适当的极性,一般是用具有中等程度极性的酯类,其次还要求有好的抗迁移性和优良的溶剂化作用。应用芳香性与极性增塑剂,可以得到较好的溶剂化作用。

对增塑剂的具体要求是:

- 1) 能溶解大多数高分子物质。
- 2) 挥发性小。
- 3) 热稳定性好。
- 4) 无毒。
- 5) 耐介质性好。
- 6) 迁移性低。

常用的增塑剂性能见表10-3-5。

表10-3-5 常用增塑剂

名 称	分 子 式	沸点 °C	缩 写
邻苯二甲酸二甲酯		285	DMP
邻苯二甲酸二乙酯		295	DEP
邻苯二甲酸二丁酯		295	DBP
邻苯二甲酸二辛酯		350(1.33kPa)	DCP
磷酸三苯酯	$(C_6H_5)_3PO_4$	245(1.46kPa)	TPP
磷酸三甲苯酯	$(CH_3C_6H_4)_3PO_4$	295(1.73kPa)	TCP
磷酸三氯乙烷	$(ClC_2H_5)_3PO_4$	286	TCEP
二辛基癸二酸	$C_4H_9OOC(CH_2)_4COOC_8H_{17}$	314	DOS
二乙基己二酸	$C_2H_5OOC(CH_2)_4COOC_2H_5$	386	DEA
二辛基癸二酸	$C_8H_{17}OOC(CH_2)_4COOC_8H_{17}$	248(0.5kPa)	DOS

(4) 软化剂 有一些粘度较大的聚合物与固体高分子物质混合后也能使固体高分子物质具有可塑性,这样的物质称为软化剂。这种软化剂的挥发性比增塑剂小,没有增塑剂那种迁移性。如聚苯、乙烯可用聚异丁烯作软化剂使其软化;聚氯乙烯可用液体丁腈橡胶使其软化;酚醛树脂可用聚乙烯醇缩丁醛软化等。

配制液态密封胶最好选用分子量较低、流动性较好,受热时敏感性小的树脂或橡胶做软化剂,以防液态密封胶受热急剧变化。

(5) 溶剂 液态密封胶加入溶剂可以溶解基料和稀释软化剂,也可降低胶液的粘度,改善施工,便于涂敷,并使液态密封胶易于填满接合面的凹陷和缝隙,从而使接合面连接得更严密,密封性能更好。但加入溶剂后需进行干燥而延长施工时间,这就使大批量产品装配流水作业线上难以应用密封胶。此外,由于溶剂易燃、有毒、挥发快,使胶液变硬,缩短贮存期。因此使溶剂型液态密封胶的应用而受限制。所以目前以非干性和半干性液态密封胶应用最广。

选用溶剂一般由基料的种类和性质来决定,它

的挥发性和加入量都有一定的限制，一般都选用混合溶剂，沸点在70~100℃之间为宜，若加入量多，

胶液收缩性大、耐压性下降。
常用溶剂见表10-3-6。

表10-3-6 常用溶剂

溶剂	相对密度 (20°/4°)	沸点 (°C)	闪点 (°C)	溶解性(20°C) 水重量(%)	蒸气压(20°C) (kPa)	
醇	甲醇	0.796	64.72	6.5	完全溶解	12.8
	乙醇	0.789	78.32	14.0	完全溶解	5.84
	丁醇	0.8098	117.7	35.0	7.7	0.57
醚	乙醚	0.7135	34.6	-40	7.0	58.7
	四氢呋喃	0.889	64	-22.5		
	二噁烷	1.3333	101.3	8.0	完全溶解	3.59
酮	丙酮	0.7906	56.24	-17	完全溶解	24.4
	丁酮	0.8047	79.57	-5.5	26.8	9.54
	环己酮	0.947	156.5	46	完全溶解	
酯类	醋酸乙酯	0.9005	77.15	-2	8.42	9.68
	醋酸丁酯	0.8820	126	37.8	0.7	13.3
	醋酸甲酯	0.8338	56.95	-13	25容量%(22°C)	23.3
	乳酸乙酯	1.029(25°/4°)	154.5	49	完全溶解	
芳香烃	苯	0.8791	80.1	8	0.1	9.94
	甲苯	0.8668	110.7	7	0.1	2.95
	二甲苯	0.8635	138~140	30	不溶解	0.8(115°C)
氯化烃	氯甲烷	1.3259	39.95	不燃	1.8(15°C)	41.9(23.5°C)
	三氯乙烷	1.4648	86.95	不燃	0.032	7.71

(6) 其他助剂

1) 稳定剂 液态密封胶主要由合成树脂或合成橡胶组成，在使用过程中受光、热的作用易产生老化，使密封胶的密封性能下降，加入稳定剂可以弥补这种缺点。

2) 防沉淀剂 液态密封胶在贮存中，所含比重大的填充剂、颜料等易发生沉淀，造成胶液分层，影响使用，因此必须加入防沉淀剂。

3) 着色剂 为便于鉴别胶液或某种连接部件的特殊需要而加入染料或颜料作着色剂。

4) 防结皮剂 在液态密封胶中若含有沸点低或挥发性较大的溶剂，在涂敷后会因溶剂迅速挥发而使表面生成皮膜，影响胶液内部溶剂挥发，致使密封胶的密封性能下降，因此要加入防结皮剂。

5) 干燥剂(又称催干剂) 为使胶液中溶剂迅速挥发，以缩短施工涂胶期，因此加入了干燥剂。如环烷酸钴等。

6) 香料 通用型液态密封胶中一般都含有有机溶剂，它对操作人员有刺激性，为此可加入香料以改善气味。但加入的香料必须能溶解于有机溶剂里。香料用量随溶剂种类和用量而定，一般为0.2%~2%为宜。

5. 性能测试

(1) 液态密封胶的性能测试分类

1) 常规理化性能测试 即液态密封胶的形状、比重、粘度、不挥发干燥时间、粘合力、外观等。

2) 密封性能测试 即液态密封胶的耐高低

温、耐压以及耐介质性能的测试，这是选择使用液态密封胶的主要依据。

3) 应用试验 液态密封胶的实用性能和使用部位的结构参数，如形状、尺寸大小，加工精度，表面平整度，紧固力等有关。所以在选用时还必须进行必要的模拟试验或台架寿命试验等。

(2) 理化性能和密封性能简易测试法

1) 密度 可用量筒法测定液态密封胶的密度，将一只100毫升的干净量筒的水称重 (W_2)，准确装满100毫升液态密封胶，称量 (W_1)，然后按下式算出液态密封胶的比重。

$$G(\text{密度}) = \frac{W_1 - W_2}{100}$$

要求数据更准确的可用比重杯法，详见有关标准进行测定。

2) 粘度 液态密封胶的粘度是指产品出厂的粘度，而不是涂敷后待溶剂挥发再连接紧固时胶膜的粘度。即为产品本身的粘度。

液态密封胶一般常用旋转粘度计来测定粘度，例如上海天平仪器厂出产的NDJ-1或NDJ-2型旋转粘度计等。它的特点是适用于非牛顿流体粘度的测定，测定时数据重复性较好，测定非常方便。NDJ-1型测定的粘度范围为 $10^{-2} \sim 10^{-8} \text{Pa}\cdot\text{s}$ ，而NDJ-2型测定的粘度范围更广。

3) 不挥发份 不挥发份系液态密封胶中溶剂挥发后胶状物的含量。

测定步骤：用称量瓶称取样品 $5 \sim 10 \text{g}$ (g_1)，然后放在 $100 \sim 105^\circ\text{C}$ 恒温箱中烘干3h，然后在干燥器中抽真空干燥0.5h，称量 (g_2)。得：

$$\text{不挥发份 } S = \frac{g_2}{g_1} \times 100\%$$

$$\text{挥发份 } V = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \times 100\%$$

4) 粘合力 这是为了测定液态密封胶对接合面的附着性能和连接紧固后的性能。测试试件如图10-3-1。

测试步骤：将试样涂敷于试件的两面复合后，经干燥，然后在拉力试验机上测定抗拉载荷 P (N)。试件的表面积为 S (cm^2)。

$$\text{粘合力 } T = \frac{P}{S} (\text{MPa})$$

(测试时的拉伸速度为 $14 \text{cm}/\text{min}$)

5) 流动性 流动性试验是测定液态密封胶在涂敷后在垂直状态下的流动情况，是衡量液态密封

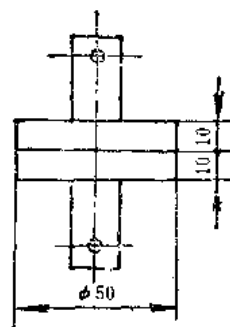


图10-3-1 接合力测试试件 (材料为普通碳钢)

胶的施工工艺性能的一个指标。

流动性试片如图10-3-2所示。

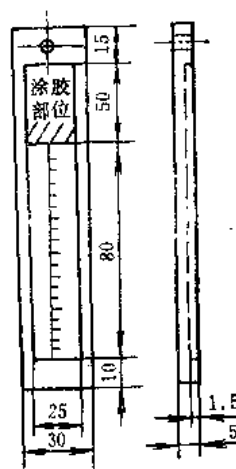


图10-3-2 流动性试片

测定步骤：将试样涂敷于试片刻度以上的部位，即把试片垂直放置于固定架上，并开始计时。

$$\text{流动性 } V = \frac{l}{t} (\text{cm}/\text{min})$$

式中 l —— 流动距离 (cm)；

t —— 流动时间 (min)。

6) 热分解温度 热分解温度是指高分子物质在受热情况下大分子裂解时的温度，是测定高分子物质耐热性能的指标之一。测定热分解温度的方法很多，现采用的方法是差热分析法。可利用上海天平仪器厂生产的CDR-1型差动热分析仪，用来测定物质在热反应时吸收或放出的热量，以及发生热反应时的温度。当高分子物质发生热分解时即发生热反应，此时显示的温度即为热分解温度 (即曲线出现一个明显的波峰时)。

7) 耐介质性能 耐介质性能测试用试片，如图10-3-3所示。

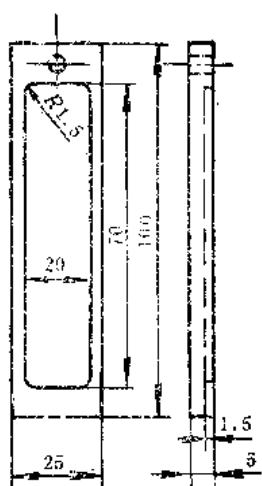


图10-3-3 耐介质试片

测试步骤：先准确称取试片重量 W_1 ，将试样涂于试片凹处，置于 80°C 烘箱中干燥 2 h，再在干燥器中放至室温，如此重复至恒重 W_2 为止，然后将试片浸于介质中，在一定温度下放置一定的时间（温度和时间可按标准选定或自订）取出，用乙醇（介质为水）或石油醚（介质为油类）洗涤 30 s，晾干，再于 80°C 烘箱烘 2 h，在干燥器内放至室温，再称重量 W_3 ，求得重量变化率 K 为：

$$K = \frac{W_3 - W_2}{W_2 - W_1} \times 100\%$$

其浸渍温度和时间根据介质和要求，可按以下条件选或自定：

浸渍水为 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，48 h；

$90 \sim 95^{\circ}\text{C}$ ，24 h。

浸渍 20 号机油为 $80 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，48 h；

$90 \sim 95^{\circ}\text{C}$ ，24 h。

浸渍 120 号溶剂汽油为 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，48 h；

$45 \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，24 h。

8) 密封性 密封性能是用耐压和耐冷热性能

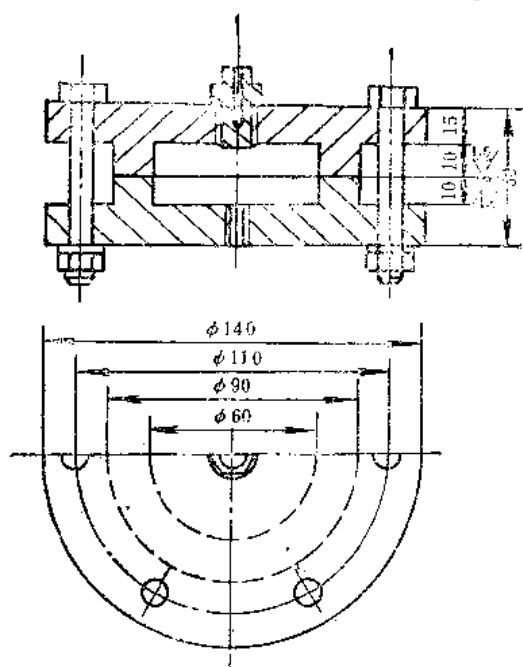


图10-3-4 密封性能测试装置

质（一般为 90 号汽轮机油）加热至规定温度，在夹具内部没有残余空气的情况下加压介质，用加压泵对介质直接加压。

规定的温度分室温、 $80 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、 $150 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 五种。

升压的速度为 0.49 MPa/min ，每阶段保压 5 ~ 10 min，以发现有泄漏的情况即为此温度下的耐压性，并重复试一次。

② 耐冷热性的测定 测试步骤：试验装置与夹具同①。将试样均匀地涂布于夹具法兰的两个接合面上，在室温下干燥 3 ~ 10 min，用螺钉拧紧，在 $-40 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的低温箱中冷却 2 h，取出后在 $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中保持 3 h，取出冷却至室温，在室温下测出它的耐压性，此即为它的耐冷热性。

法兰的上紧，加压介质及加压方法同前。

目前国内还有对环状密封胶的统一测试方

表10-3-7 日本标准JISK6820液
状カスケツト(液态垫圈)液态
密封胶的特性

试验项目	非干性粘型	半干性粘弹型
粘度 (Pa·s)	5以上	1以上
比重	0.80以上	0.80以上
加热残分 (%)	65.0以上	20.0以上
耐压性 (MPa)		
室温	8.82以上	7.84以上
80±5°C	6.86以上	6.86以上
150±5°C	5.92以上	6.86以上
耐冷热性 (MPa)	4.9以上	4.9以上
耐水性 (%)	0±5	0±5
耐油性 (%)	0±5	0±5
耐汽油性 (%)	0±5	0±5
耐蚀性	合格	合格

表10-3-8 美军标准MIL-S-45180 C
(摘录) MIL-S-45180 C
的要求值

项 目	1 型	2 型	3 型
	(干性)	(不干性)	(不干性) (低粘度)
溶解性 燃料油 1号%	12以下	10以下	15以下
乙二醇%	8以下	5以下	13以下
蒸馏水%	4以下	6以下	2以下
ASTM No.1油%	8以下	10以下	4以下
挥发分 (%)	15±3	15±3	24±3
流下性	1/4in以下	1/4in以下	1/4in以下
粘度 (Pa·s)	4~20	4~2	0.05~0.68
灰分 (%)	48±5	48±5	15±3
针入度 (25°C)	290±30	360±30	
水溶性物质			1%以下
腐蚀性①马口铁	0.7	0.7	0.7
钢	0.7	0.7	0.7
铝合金	0.1	0.1	0.1
铸铁	1.2	1.0	1.2
黄铜	0.3	0.3	0.3
铜	0.2	0.2	0.2
闪点 (°C)	21.1以上	21.1以上	21.1以上
柔软性 (T)		-30±2	-30±2
作业性	硬刷、刮刀	硬刷、刮刀	棉签用刷子
毒性	无	无	无
外观	无异物	无异物	无异物

① 多组份以1cm²表面上增减毫克数表示

(1) 温度 液态密封胶的基体大都是高分子聚合物, 这些聚合物都有不同的使用温度范围, 因此, 使用时必须加以选择。液态密封胶的耐热性可用其胶液的热分解温度或软化温度来表示, 密封胶的耐热性取决于聚合物的耐热性, 聚合物的耐热性高, 胶的耐热性也高。

(2) 干燥时间 大多数通用型液态密封胶都含有溶剂, 溶剂挥发完全与否对它的密封性能影响很大, 胶液涂在接合面后, 过迟或过早连接紧固都会降低其密封性能。一般而言, 对干性可剥型密封胶, 连接紧固前要晾干 2~3 min, 对含有溶剂的非干性粘型、半干性粘弹型, 则需要 3~6 min。而硅酮型和厌氧型液态密封胶都不含溶剂, 尤需有干燥时间, 但硅酮型密封胶固化时必须吸收空气中微量水份才能起密封作用, 这个过程对硅酮密封胶而言称为“吸湿”过程。

(3) 紧固扭矩 接合面被紧固时, 紧固力越大, 接合面间隙就越小, 胶液在间隙中的流动性越差, 同时胶液对金属的粘附力越大, 因此胶的耐压性越高。

(4) 接合面形状 接合面的形状大小、宽度、所用螺栓个数等, 对密封胶的密封性能也有很大的影响。综上所述, 可概括以下几点。

1) 如果法兰接合面面积受压一定, 法兰内径越小, 液态密封胶的耐压力越高。

2) 如果法兰接合面内径和单位面积承受压力一定, 则法兰接合面越宽, 胶的耐压力越高。

3) 任意法兰单位面积承受压力越大, 即紧固扭矩越大, 则胶的耐压力越高。

4) 如果法兰接合面内外径同时变化, 接合面单位面积承受压力保持一定, 当法兰接合面外径面积变化大于内径面积变化时, 则胶的耐压力越高。

5) 密封胶的粘力越大, 则胶的耐压力越高。

(5) 表面粗糙度 如果连接面很平, 表面粗糙度数值越小, 胶的耐压力就越高。但表面粗糙度数值过小, 胶液易于变形和流动, 承受压力后胶液易被挤出, 不利于密封, 使耐压性降低。因此表面粗糙度在 $R_a 6.3 \sim R_a 0.63$ 为宜。这样还可降低加工费用。

(6) 平面度 如果接合面本身不平, 连接紧固后, 胶液在接合面间的厚度不一样, 厚度较大处的胶液流动时所遇到的摩擦阻力小, 容易变形, 在介质压力作用下, 易产生泄漏, 胶的耐压性降低。

(7) 保压时间和耐压力 液态密封胶在使用过程中, 短时间内可承受较高的压力, 随着保压时间的增长, 耐压力有所下降, 但到 2 h 后耐压力又趋向稳定。

(8) 液态密封胶与固态垫片合用 在通常情况下, 接合面间隙在 0.1mm 以内, 通用型液态密封胶可以单独使用; 当间隙超过 0.1mm 或工作条件较苛刻时, 可将通用型液态密封胶与固体垫片并用, 其密封效果更好。在两者并用的情况下, 固体垫片主要起着防止接合面因间隙过大而发生的泄漏, 而液态密封胶则起着充满接合面凹陷的作用。

(9) 耐介质性能 选用液态密封胶时, 要考虑它对接触介质的稳定性, 这种稳定可用重量变化率来衡量, 通常重量变化率在 $\pm 10\%$ 以下可认为是稳定的。

7. 应用

(1) 应用范围 液态密封胶的应用范围很广, 它除了在原来使用固体垫片的场所替代使用或与固体垫片并用外, 还可代替白铅油缠麻丝用于管道螺纹密封。该胶主要用于:

1) 机械产品 用于机床、压缩机、泵和液压系统、阀门等的箱盖、油标和油窗, 各种法兰接合面等处的密封。

2) 管道工程 上下水道、煤气、天然气、液化石油气以及各种化工管道的螺纹连接处的密封, 法兰面密封。

3) 交通运输 在汽车、拖拉机、船舶、内燃机等的气缸、油底壳、齿轮变速箱、减速机箱、油箱、消音器, 各油、水、气管道等部位的密封。

4) 电器和电机产品 用于发电机、电动机、汽轮机、变压器等设备所需密封部位。

5) 仪器仪表产品 用于仪器仪表各种接合面及螺纹的连接密封。

(2) 使用方法 液态密封胶和固体垫片相比有许多优越性, 但如果使用方法不正确, 就不能达到预期的密封效果, 因此必须按操作程序正确掌握使用工艺。

液态密封胶的应用工艺比较简单, 所有的液态密封胶基本上都按如下几个步骤进行: 预处理 → 涂胶 → 干燥 → 连接紧固 → 后清理。现就各个操作步骤简介如下。

1) 预处理 机电产品接合面或管接头螺栓间在涂胶前必须进行预处理, 以除去油污、铁屑、灰

尘、锈迹。通常用干净棉纱抹净油污等杂物即可。如果油污较多可用汽油、或煤油清洗, 然后用干净棉纱抹净。如果金属接合面上锈迹较多, 可用砂纸、钢丝刷或其他除锈剂除锈, 并用丙酮或酒精清洗, 再用干净棉纱抹净。

2) 涂胶 金属表面经过预处理后进行涂胶, 液态密封胶一般是装在铁罐或软管中出售的。用刷子、刮刀或毛笔均匀涂敷是最简单的涂胶方法。对面积大的接合面或在生产装配流水线上可用挤压枪、自动、半自动涂布机涂敷, 涂布时胶液要连续、均匀、不能缺胶。涂胶的厚度要视接合面的加工精度、平整度、间隙距离等具体情况而定。

一般以填平接合面上的凹陷为准, 对通用型液态密封胶而言, 以两面各为 0.1mm 左右为宜; 对硅酮型密封胶而言, 以两面各为 0.2~0.6mm 左右为好, 涂层太厚, 不仅干燥时间长, 而且在紧固时将多余的胶料挤出, 既浪费胶液又污染环境。

3) 干燥 含有溶剂的液态密封胶在涂胶后一定要经过干燥才能连接紧固, 否则溶剂夹在接合面之间仍会逐渐挥发, 使胶层收缩变形, 产生气泡, 降低密封性能。所需干燥时间视所用溶剂种类、胶液类型、涂胶厚薄而定。一般沸点高的溶剂, 干燥时间长, 沸点低的溶剂, 干燥时间短; 胶层厚的干燥时间长, 胶层薄的干燥时间短。

通用型液态密封胶除非干性粘型外都含有溶剂, 但有时为了施工涂敷方便, 在非干性密封胶中加入一定量的溶剂或稀释剂。而硅酮型以及厌氧型液态密封胶都不含溶剂, 但硅酮密封胶固化时必须吸收空气中微量水分才能起密封作用, 这个过程对硅酮密封胶而言则称为吸湿过程。

4) 连接紧固 液态密封胶是一种呈液态状的粘稠物, 本身不起固化、粘结或紧固作用, 因此使用时必须给予一定的紧固力, 使之连接和紧固。紧固时要求各处用力均匀恰当, 密封面尽量避免错位, 才能达到密封效果。

一般而言, 紧固扭矩越大, 接合面间隙越小, 胶的内聚力增加, 从而提高了密封胶的耐压性, 因此密封效果好。

5) 后清理 含有溶剂的干性或半干性液态密封胶, 涂胶后虽已经过一定的干燥时间, 溶剂已大部分挥发, 但这二个类型的胶种, 所含溶剂量多, 要使胶膜完全干燥, 所需时间更长。一般是连接紧固后 12~16 h 才能试车或使用。

表10-3-9 国产液态密封胶性能表

序号	液态密封胶名称	外观形态		粘度 mPa·s	相对不挥发物 %	耐压性MPa		耐冷 热性 MPa	耐介质性%		可拆 卸性 cm/ min	热分 解温 度 °C	使用温度 范围 °C	供货单位
		颜色	类型			150°C	80°C		I-AN32 全损耗系 统用油	70号 汽油				
1	M-3-1密封胶	黄色	非干	1.5~2.0×10 ³	1.3	99	8.32	7.85	-3.49	-0.24	+0.36	322	-40~200	黑龙江省化工研 究所实验厂
2	M-3-3密封胶	黄色	非干	1.5~2.0×10 ³	1.5	99	8.32	7.85	-13.7	-0.76	+1.02	324	-40~200	
3	M-1-密封胶(液体尼龙密封胶)	棕黄色	半干	0.7~1.5×10 ⁴	1.1	58	8.83	6.86	-9.05	-3.01	-2.19	316	-50~150	
4	CMF耐油密封胶	棕褐色	半干	0.5~1.0×10 ⁴	1.0	67	8.83	7.85	-9.47	-2.88	-4.24	310	-40~150	
5	603液态密封胶	米灰色	半干	3.0~4.0×10 ⁴	1.2	89	8.83	6.86	-1.17	+0.39	+1.45	315	-40~150	上海新光化工厂
6	603液态密封胶	蓝色	非干	0.5~1.0×10 ⁴	1.2	99	8.83	6.86	-1.41	-2.09	<-15	220	-40~140	
7	604液态密封胶	红棕色	非干	0.5~1.0×10 ⁵	1.5	99	8.83	6.86	-0.61	<-15	<-15	324	-30~350	
8	605液态密封胶	蓝灰色	非干	1.5~2.0×10 ⁵	1.2	98	8.83	6.86	<-15	+1.59	<-15	195	-30~150	
9	609液态密封胶	米色	干性	0.5~1.0×10 ⁴	1.1	37	8.83	6.34	-2.98	+3.39	+1.75	319	-40~180	
10	LG-31高分子液体密封胶	浅灰色	半干	1.0~1.5×10 ⁴	1.2	41	8.83	7.85	-0.85	-4.45	-11.9	315	-40~150	湖北省襄樊胶粘 技术研究院
11	WS-1不干性密封胶	黄褐色	非干	2.5~3.0×10 ⁴	1.1	80	8.83	6.37	-3.16	+0.04	<-15	283	-40~150	
12	WS-11不干性密封胶	棕褐色	非干	2.0~3.0×10 ⁴	1.0	97	8.83	7.35	-6.32	-6.88	<-15	306	-40~150	
13	1104液体密封胶(十)	黄褐色	干性	5.0~10×10 ³	1.2	40	8.83	7.85	-0.85	+4.11	-6.78	315	-40~150	大连橡胶二厂
14	MF-84耐油防锈密封胶	黄褐色	半干	0.7~1.0×10 ⁴	1.1	38	8.83	7.85	-0.38	+1.02	+1.36	310	-40~150	
15	DM-1油空功性能密封胶	深灰色	非干	2.5~3.0×10 ⁵	1.2	98	9.32	8.83	-1.11	+0.52	<-15	230	-40~150	浙江李化胶精剂 厂
16	MF-1非干性密封胶	灰红色	非干	2.0~2.5×10 ⁵	1.4	95	8.83	7.85	+4.79	+6.96	<-15	230	-30~120	
17	MF-2非干性密封胶	浅黄色	非干	2.0~2.5×10 ⁵	1.5	98	9.32	8.83	+2.87	+4.76	<-15	270	-40~150	广州机床研、研 研棉城厂
18	MF-3半干性密封胶	浅灰色	半干	0.7~1.2×10 ⁴	1.3	48	8.83	7.85	-0.35	-3.49	-11.6	255	-40~150	
19	MF-4厌氧性液态密封胶	浅棕色	厌氧	1500	1.3	99	>12	>10				300	-40~150	广州机床研研所 广州机床研研所
20	MF-6半干性密封胶	褐色	半干	0.6~1.0×10 ⁴	1.1	45	8.83	7.85	-1.44	-1.51	-4.15	315	-40~150	
21	MF-G11硅耐密封胶	灰色	半干	0.5~1.4×10 ⁴	1.1	98	12	12	+0.07	+3.58	-6.29	340	-60~250	广州机床研、无 锡胶精剂厂
22	MF-G12硅耐密封胶	白色	半干	0.7~1.0×10 ⁴	1.1	99	12	12	+0.09	+7.18	-6.92	325	-60~250	

无溶剂型硅酮密封胶固化时要吸收空气中的微量水分后才起连接密封作用。因此连接紧固后亦需一定的吸湿时间,一般是连接紧固后8~12h才能试车和使用。

另外,接合面在连接紧固后需要清除流展出来的多余胶液,保持工件外部清洁美观。

(3) 液态密封胶及其使用部位的选用 目前液态密封胶品种较多,牌号较杂,使用时必须对密封胶的类型、牌号以及胶本身的性能进行合理的选择,才能达到预期的密封效果。

1) 液态密封胶的选用 如前所述,目前国内液态密封胶基本上以通用型(包括干性、非干性、半干性)、厌氧型、无溶剂硅酮型形成了整个液态密封胶体系。目前国产液态密封胶品,其性能指标详见表10-3-9。

2) 设备使用部位的选用 在选用液态密封胶的时候,必须同时对设备的具体使用部位、使用条件进行合理的选择,才能达到最佳的密封效果。主要根据下面几点来考虑。

① 设备部位使用条件 是否要经常拆卸,是否需要耐震、耐压、耐高温和低温。

② 接合面条件 加工精度、接合面形状、宽度、耐压大小、间隙大小。

③ 工作介质 液态密封胶本身耐介质性能。

④ 使用工艺条件 是否允许有干燥时间、对色泽的要求、操作方便、防燃要求等等。

综上所述,建议按下面几种情况选用液态密封胶:

① 经常拆卸部位 应选用通用型密封胶中的非干性或半干性密封胶以及硅酮型密封胶。因为非干性和半干性可拆性好,易去除,硅酮型密封胶形成的膜具有弹性,去除容易。这些胶的型号详见表10-3-9。

② 振动性和冲击性较大的部位 应选用硅酮型密封胶(包括脱酸、脱醇、脱脲型硅酮密封胶)、厌氧型密封胶以及通用型密封胶中的非干性、半干性和干性可剥型密封胶。

因为硅酮密封胶固化后形成的胶膜具有弹性,能耐大的冲击和振动性。厌氧型密封胶固化后形成的胶膜具有柔软性,能耐冲击和振动。非干性密封胶形成的膜为非干性粘型,当密封件受冲击或振动时,粘膜不易破碎,保持良好的密封性。半干性或干性可剥型形成的膜为粘弹性或弹性,当密封件受

冲击或振动时胶膜不易被撕破,仍保持良好的密封性。

③ 密封面间隙较大的部位 应选用硅酮型、厌氧型和通用型中的干性可剥或非干性与固体垫片并用。

由于硅酮密封胶的填隙能力强(使用允许值为0.1~0.6mm),厌氧胶亦可使用在间隙较大的部位(0.3mm内),如果使用这两个类型的胶种,密封性能优异。因此,硅酮型密封胶特别应用于大型机械设备,取代进口硅酮密封胶以及应用于出口的各类机电产品。

通用型密封胶虽只能用在0.1mm以下的密封间隙面,但干性可剥型密封胶含有溶剂,若间隙大,先涂敷一次,待溶剂挥发后再涂第二次、第三次,直至达到间隙要求为止。非干性粘型密封胶可与固体垫片(如纸、橡胶、石棉垫片等)并用时(先将密封胶涂在固体垫片和被密封面上),达到密封间隙使用要求。

④ 密封面有坡度和复杂的部位 应选用硅酮型和厌氧型以及通用型中的干性可剥性密封胶。硅酮型密封胶是靠吸收空气中微量水分固化成弹性薄膜,当它暴露在空气中流动性变小,所以可用在密封面有坡度或复杂的部位厌氧型密封胶流动性小,当它涂敷在有坡度或复杂的密封面后,在隔绝空气条件下很快固化。所以流动性小,易于密封。干性可剥型密封胶因含有低沸点溶剂,涂敷在有坡度或复杂部位时,溶剂很快挥发,所以密封性好。

⑤ 设备紧急维修和产品装配流水线上用胶 应选用非干性粘型和硅酮型中的脱酸型硅酮密封胶。因为非干性粘型密封胶不含溶剂,不需要有干燥时间,特别适用于设备紧急维修,即随修随用,以及用于产品装配流水线上。

脱酸型硅酮密封胶因固化较快,因此也常用于设备紧急维修和产品装配流水线上。液态密封胶的应用部位见图10-3-5。

表10-3-10列举了不同类型的液态密封胶的适用范围(在此仅供用户参考)。

(4) 使用液态密封胶失效的原因 液态密封胶是一种很理想的静密封材料,但在某些条件下使用,仍会失去防漏密封效果。其原因归纳如下。

1) 使用方法不对 涂敷不均匀、缺胶,表面粘附的杂质未消除干净,干燥时间过长或过短,涂层内有较大的气泡。

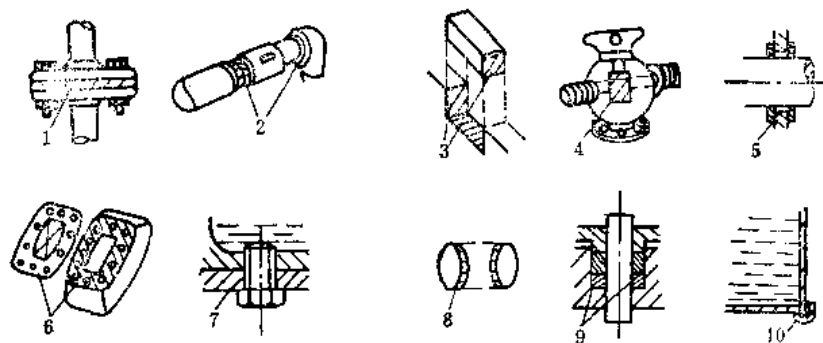


图10-3-5 液态密封胶的应用部位

1—法兰连接 2—配管螺纹连接 3—嵌嵌连接 4—嵌塞密封 5—轴承固定与密封 6—平面压盖密封 7—螺栓连接密封 8—盲板密封 9—压盖填料密封 10—卷边密封

表10-3-10 液态密封胶的适用范围选择

性能	类别	通用型				硅酮型			厌氧型
		干性附着型	干性可剥型	非干性粘型	半干性粘弹型	脱酸型	脱醇型	脱脂型	
耐热性		良	良	良~优	良	优	优	优	良
耐压性		优	良	优	良	优	优	优	良
耐振动		不可	良	优	良	优	优	优	优
适用部位	平面	优	优	优	优	优	优	优	优
	螺栓	不可	不可	优	可	优	优	优	良
	嵌入	不可	不可	优	良	优	优	优	不可
	滑动	不可	不可	可	不可	良	良	优	不可
间隙较大		优	优	不可	可	优	优	优	可
去除性		较难	较易	易	易	易	较易	易	难
与固态垫片合用时的耐压密封性		良	优	优	优	优	优	优	优

2) 机械原因 紧固力不够, 螺栓松动, 紧固力不均匀, 结构不合理, 尤其是冲压件, 因尺寸公差波动太大, 不适宜单独用液态密封胶进行密封。

3) 密封面间隙过大 通用型液态密封胶只允许在0.1mm内的间隙密封面使用, 超过0.1mm时必须与固体垫片并用。否则密封性不好, 硅酮密封胶的使用允许值在0.6mm内, 厌氧胶的使用允许值在0.3mm内, 超过这些允许值都不能保证有良好的密封效果。

4) 选用型号不对 对不同的工况条件或不同的工作介质应选用合适的胶种, 否则会产生泄漏。

5) 胶液变质 液态密封胶一般都有一定的贮存保管期, 若保管不妥或贮存期过长, 可能引起胶

液变硬或变质。

(5) 使用液态密封胶应注意的一些问题

1) 使用含有溶剂的液态密封胶时, 必须有干燥时间, 让溶剂充分挥发, 然后紧固, 使之产生一定的内压, 以防止漏油, 对硅酮密封胶而言, 必须要有一个吸湿过程, 让其充分固化, 才能真正发挥硅酮密封胶的密封效果。

2) 涂胶要均匀, 切勿漏涂和让气泡进入。

3) 液态密封胶多数含有填充剂和溶剂, 使用前要搅匀, 使用后有剩余必须将盖盖紧, 以防溶剂挥发而失效。

4) 液态密封胶, 特别是橡胶型密封胶, 在贮存或运输过程中, 要密闭包装容器和放在阴暗处,

以防变质和加速化学反应，从而失去有效使用期。

5) 使用液态密封胶时，要根据接合面的具体条件，如温度、面压、接合面的形状、间隙大小等选用胶种，以达到防漏密封效果。

6) 液态密封胶在使用过程中，若沾污手指或衣服，可用该胶所用的溶剂洗擦，不留痕迹。

(二) 厌氧胶粘剂

1. 概述

厌氧胶全称厌氧性密封胶粘剂，是一种既可用于胶接又可用于密封的胶。其特点是厌氧性固化，即胶在空（气）中呈液态，当渗入金属（非金属）工件的缝隙，与空气隔绝时，常温下就自行聚合固化，使工件牢固地胶接和密封。

厌氧胶的主要优点有：

- 1) 使用方便，不用配比调混，没有操作时间的限制，余胶露在空气中不会固化，除去方便。
- 2) 常温固化，节约能源。
- 3) 浸渗性好，能填满细微的缝隙。
- 4) 固化后无明显收缩，有极好的密封性。
- 5) 吸振防松性能好。
- 6) 不含溶剂，无公害。
- 7) 固化的胶具有良好的耐介质性能。
- 8) 可胶接多种金属和非金属材料，有一定的胶接强度，又可拆卸。
- 9) 胶层有防锈、绝缘和防止电偶腐蚀作用。
- 10) 贮存期都在一年以上。

这些优越的性能适用于机电产品的锁紧、密封、粘接固持和铸件微气孔渗补等多种用途。因此，厌氧胶得到日益广泛应用。

厌氧胶是50年代初由美国乐泰（Loctite）公司发明和研制成功，经过多年的改进和发展，现已达到相当水平，基本上适应了应用的需要。

国内自中国科学院大连化学物理所70年代初开始研制厌氧胶以来，现在投入市场的厌氧胶商品已有几十种，大多属于锁紧粘固用胶，初步形成了从低强度到高强度的等级。

由中国科学院广州化学研究所研制的GY厌氧胶系列产品，正在广泛应用于各类机械产品中螺纹件的锁固防松、平面接合面及管接头的密封防漏、轴承等轴套配合件及工艺孔塞的装配固定，铸件铸件砂眼孔隙的堵封、压铸件及粉末冶金的真空浸渍等等。

但总的看来，目前国产厌氧胶的应用水平，与国外相比还有一定差距，因此必须充分重视其应用技术和推广应用工作。

2. 分类

厌氧胶由多种成分组成，改变其中某个成分，都有可能获得新的性能。因此，厌氧胶有众多的品种。为方便选胶，需要恰当地分类。沿用的分类方法有按胶的单体种类分，按胶的粘度和胶接强度分和按胶的用途分。

随着厌氧胶品种的开发，应用范围逐渐扩大，胶的分类方法转向以主要用途来划分。就当前厌氧胶的主要用途而言，可分为下列六类：紧固件锁紧；管道接头密封；平面密封取代垫圈；粘接固持；浸渗补漏和维护修理。

下面简单介绍各类厌氧胶的应用性能要求和应用范围：

(1) 紧固件锁紧 紧固件螺纹用厌氧胶锁紧防松是厌氧胶最早的应用领域，胶液能填满螺纹啮合处的全部缝隙，挤出空气而“绝氧固化”，在螺纹配合面形成不溶不熔的高聚物，有极好的吸振防松作用，啮合螺纹仍可用常规工具拆卸，并可再次涂胶组装。这种锁紧防松的措施要比常用的机械方法简单可靠，而且费用比普通的弹簧垫圈低，锁紧的螺纹还有很好的密封性。

国外已形成等级齐全的锁紧形厌氧胶系列，能适应从眼镜架上的小螺钉到巨型冲床的双头螺栓的锁紧需要，应用范围很广。一般多用于如下方面：

1) 用于调整螺钉的锁紧 有继电器、热电偶、汽车汽化器、电器开关、仪表、机床等产品的调整螺钉。

2) 用于螺栓的锁紧 可取代各种机械防松方法，应用范围几乎遍及各类机械产品，尤其是在振动大的空压机、铸造机械、风动工具、汽车发动机、柴油机、带锯、冲床、电器开关，以及建筑、矿山机械等。加拿大还用在铁路路轨螺钉的防松，原来是几天检查一次，用胶后每6个月检查一次。

3) 用于双头螺栓的锁紧、密封 可取代螺纹的过盈配合，广泛用在各类内燃机、压缩机的缸头螺栓，还用在冲床、液压件、泵、机床以及飞轮、砂轮、压辊等部件。

4) 用于军工产品的螺纹锁紧 美国、日本、前苏联、西欧各国军工产品中广泛使用厌氧胶锁紧，一些军工产品如黄蜂型直升飞机的发动机、斯

型飞机发动机以及各种海军舰艇的发动机等都有应用。

5) 日用品螺纹的锁紧 在国外, 厌氧胶已成为生活用胶之一, 广泛用于日用品如眼镜架螺钉、录音(像)带盒螺钉、滑雪鞋螺钉, 各种玩具的螺钉以及家用电器等。

(2) 管道接头密封 利用厌氧胶固化形成的高聚物能充分填满间隙的能力以及良好的耐介质性和耐温性, 厌氧胶已成为管道接头理想的密封材料, 有资料介绍国外用于锁紧和密封的厌氧胶约占总销售量的60%。它们的应用范围很广, 可用于液压管道和蒸汽管道耐温可达204℃。不含填料的管道密封厌氧胶可用在有精滤装置的液压系统; 可用在氟里昂为工作介质的制冷机管道的密封, 并有可能取代锡焊。用厌氧胶密封管道接头的产品包括: 机床、内燃机、建筑机械、工程机械、仪表、电器、石油化工机械、纺织机械、废气处理设备、电镀锌线等各种气、液、蒸汽和其它管接头。

管接头密封用厌氧胶的选用特性有:

1) 较低的胶接强度 对密封应用来说, 胶接强度已不是主要测试的指标, 为便于拆卸和保护螺纹, 扭矩强度应控制得较低, 牵出扭矩应接近于零。

2) 较高的粘度 为防止流淌, 胶液大都含有触变性, 加入适量的增稠剂, 可提高粘度, 提高其填隙和即时密封能力, 管道密封用厌氧胶的粘度一般在50000mPa·s以上。

3) 固化速度不宜过快 为适应某些管道接头在总装时位置还需要作微量调整的需要, 常要求涂胶后数小时内还可稍移动管螺纹位置, 仍能保持密封。因此, 某些专用厌氧胶的完全固化时间甚至超过72h。

对某些既需要密封又需要一定胶接强度的密封, 则可选用填隙能力较好的中等强度的粘固用胶或高强度锁紧用胶。

(3) 平面密封、取代垫圈 厌氧胶用在机械产品的法兰平面或箱体结合平面的密封, 可以取代通常采用的纸、石棉、橡胶、塑料等固态垫圈。厌氧胶既能填满密封面的全部缝隙, 又能使结合面达到彼此贴实。固化后的胶层是致密的高聚物, 对结合面有一定胶接作用, 因此, 能有效地防止密封面的泄漏。

这种胶使用非常方便, 能随意涂成各种形状,

被称为“牙膏管内的万能垫圈”, 很受用户欢迎。

国外已开发了多种品种, 有不同的填隙和密封性能, 还研制了固化后有弹性的柔性密封厌氧胶。应用范围也很广。如用在各类泵、空压机的法兰面; 内燃机的齿轮箱、曲轴箱等箱体的接合面; 汽车、拖拉机的减速箱、差速器、进气管等的接合面以及各种管法兰等平面的密封。

平面密封用厌氧胶的选用特性有:

1) 低的胶接强度 拆装时用楔子能方便地将密封的接合面分开。

2) 足够的填隙能力 法兰和箱体接合面的密封面积大, 不易作得很平, 组装后会有一定缝隙, 用填隙能力差的厌氧胶种往往会因空气隔绝不尽而不能完全固化, 达不到密封的目的。因此要求平面密封用胶有较大的粘度(大于50000mPa·s), 有触变性, 能堆垛成条, 填隙能力不低于0.2mm。

3) 有较好的可剥性 拆装时, 固化的胶层最好能方便地剥落, 余胶清理方便, 不影响再次组装的精度。

4) 希望胶层有一定回弹性 固化后胶层最好是柔性的, 有一定的延伸率和弹性, 有利于有振动的条件下长期工作, 并能承受冷热交变的恶劣工况。

(4) 粘接固持 厌氧胶用于套(嵌)接结构可起到结构胶的作用, 因此能取代部分压配合、键、铆、焊等机械联接。

工件套(嵌)接组装时厌氧胶能渗入全部缝隙, 固化后使工件100%接触, 达到粘接固持、兼有防松、密封的作用, 并可将工件组装配合改为滑配合, 加工精度, 粗糙度都可以适当降低, 还消除了压装时引起的变形, 提高了组装精度, 因此, 有一举多得的作用。对于过盈配合量不大的轴承、衬套, 改用厌氧胶粘固尤为合适。这对薄壁、高速、精密的轴承, 意义更为突出, 还有助于降低噪声和振动。

粘固用厌氧胶也有各种强度和粘度等级, 以满足不同工件的要求, 国外主要应用在各种轴承、衬套的粘固。取代压配合; 齿轮、皮带轮、手轮、凸轮和轴的粘固取代键或压配合; 小型电机转子和轴的粘固, 柴油机缸套、水堵的粘固; 散热器管子粘固取代钎焊; 电器、仪表的各种套(嵌)件的粘固, 以及用于加强原有的键、销等机械联接。国内还用在中模、量具、刀具的粘固、轻纺机件的粘固。

粘固用厌氧胶的选用特性有:

1) 要有一定的胶接强度 粘固用套(嵌)接件要承受一定外力,因此,作为粘固用厌氧胶其胶接剪切强度一般应大于15MPa。对轴承、衬套等轻载常换件的粘固则可选用较低强度的胶,以便于拆装。

2) 要有合适的粘度 套(嵌)接配合的间隙对接强度影响很大,一般讲,间隙小,胶接强度高。粘固用胶一般粘度较低,如50~100mPa·s,适应小间隙的需要。若用于间隙较大的套(嵌)接件,为避免胶液流失,也可选用粘度大到几个mPa·s的胶。

(5) 浸渗补漏 厌氧胶有很好的渗透性,能渗入微小孔隙,挤去空气,自行固化形成高聚物将小孔堵塞。利用这一特性,实现了铸件、压铸件、焊缝、多孔件(如粉末冶金件)等的微气孔的渗胶密封补漏。目前,用厌氧胶真空浸渗或局部浸渗工艺消除微气孔渗漏,在国外已作为成熟工艺广泛应用。

在国外,受压铸件有微气孔渗漏的约占20%,国内则高达40%,其中大部分可用厌氧胶渗补修复。因此,渗补是一项经济效益很高的新技术。国外已用在各类铸件如泵、压缩机、内燃机缸头、化油器、电器件以及枪支等的微气孔渗补,工件材料可以是钢、铁、铅、锌、镁等,还用在各类粉末冶金件和其他烧结制品的浸渗密封,以便作为受压工件或进行电镀。国内已将厌氧胶局部浸渗在压缩机、各种阀门、柴油机部件,石油机械等产品。

浸渗用厌氧胶的选用特性有:

1) 优异的渗透性 这类胶要求有很低的粘度(7~20mPa·s)。对各种材料铸件有优良的湿润性,能渗透并充满微气孔。

2) 有配套的封口剂 封口剂能使进入微气孔的胶液不外泄,孔口很快封闭,促使孔内胶液快速固化。

3) 能与水形成乳化液、便于清洗 一般的厌氧胶液能溶于有机溶剂,而浸渗用厌氧胶应能和水乳化,便于浸渗后工件上的余胶能用水洗去。

4) 有良好的稳定性和再生能力 用于真空浸渗的厌氧胶,因为工件浸入胶中,所以要求胶有很高的稳定性,对金属离子不敏感,并有不断再生活化的能力。

(6) 维护修理

厌氧胶使用工艺简便,室温固化,定位时间不长,很适用于机械的现场维护和应急修理。上述的各类厌氧胶都可用于维修,但为满足维修工作的特殊需要,国外已提供了维修用厌氧胶,其特点为:

1) 可用于有油面、脏面 维修中往往难以彻底清除油污的部位。

2) 快速定位、快速固化 定位时间从几十秒到数分钟,半小时能达到总强度的50%,满足了应急的需要。

3) 能胶接多种材料 包括各种金属、玻璃、陶瓷、木材、塑料、橡胶等。

4) 较大的填隙能力 适用于配合面因腐蚀等各种原因加大的间隙的胶接。

3. 特性

厌氧胶是一种单一组分、不含溶剂的胶液,含有单聚物和游离基,与空气接触时,因空气被隔离并且与金属接触,游离基引起单体聚合变为高聚物,从而自行固化成为一种坚韧的热固型塑料。因此其主要特点有:

1) 具有各种不同粘度、不同强度和抗剪力的品种,用户可根据不同要求进行选择采用。

2) 快速固化,并具有优良的耐溶剂、耐燃料油、汽油、耐低温性、密封、耐压等性能。

3) 厌氧胶为单组分,不含溶剂,无公害,不污染环境。

4) 厌氧胶呈胶液状,流动性和润滑性好,涂敷容易,收缩率小,燃烧性低,贮存方便。

4. 组成

厌氧胶有多种成份构成。主要有单体、引发剂、稳定剂、染料、增稠剂等。

(1) 单体 单体是胶的基本成分,一般占胶的总含量的80%~95%。固化后形成体型网状结构的聚合物,决定了胶的基本性能。厌氧胶所用单体品种繁多,主要可归纳为三类:

1) 丙烯酸或甲基丙烯酸和醇形成的单酯或多酯,也可以由(甲基)丙烯酸甲酯和相应的醇进行酯交换制取。有甲基丙烯酸缩乙二醇双酯等,这一类单体最早用于配制厌氧胶。目前除了作为单体使用外,还可用作调节胶的粘度和胶接强度等。其缺点是合成净化周期较长,反应中常用到有机溶剂,易造成对环境的污染。

2) 丙烯酸或甲基丙烯酸和环氧树脂形成的环氧丙烯酸酯,这类单体有良好的耐温性、耐介质

性、强度较高，但冲击韧性较差。

3) 甲基丙烯酸羟乙酯或羟丙酯和异氰化合物形成的丙烯酸氨基甲酸酯，这类单体配制的胶具有良好的耐低温性、耐冲击性、强度也高，但其耐介质性，特别是耐碱性，往往不如环氧丙烯酸酯类。

在配制厌氧胶中可以选取某一类单体，也可以将几类单体配混在一起以得到所需要的性能。

除上述三类外，还有其他单体和一些改性、变型的单体，如为提高油面粘附能力，在单体结构中引入B、P、Cl、Br、Ca、Mg等元素。厌氧胶中常用的一些单体有甲基丙烯酸羟乙酯、甲基丙烯酸羟丙酯、二甲基丙烯酸缩乙二醇酯、二甲基丙烯酸双酚A型环氧树脂、甲基丙烯酸酐缩水甘油环氧树脂、苯胍—缩乙二醇—甲基丙烯酸反应物、TDT—双酚A—甲基丙烯酸羟乙酯加成物、三甲基丙烯酸三羟甲基丙烷酯、TDT—缩聚乙二醇醚—甲基丙烯酸羟乙酯加成物等。

(2) 引发剂 引发剂产生游离基，从而引发单体聚合，在贮存期间，依靠氢和稳定剂的作用，这类游离基被不断消耗，使胶不致聚合，而且隔绝氧气，其引发产生的游离基就能使单体很快聚合。厌氧胶采用的引发剂常为各种过氧化物。主要有三类：有机过氧化物和过氧化氢物；过羧酸；过氧化酯类。活性不大是其主要特点。常用的有异丙苯过氧化氢(C—HPO)，叔丁基过氧化氢(B—HPO)，过氧化甲乙酮等。一般用量为1%~3%，也有达10%的。实验表明，一般情况下，随着引发剂用量加大，胶液稳定性略有下降，而在用量较大时(如超过10%)，胶液稳定性反而趋于稳定。有人认为，这是由于有机过氧化物在胶中同时起着引发和抑制聚合双重作用的缘故。常用引发剂见表10-3-11。

(3) 促进剂 促进剂的作用是当厌氧胶隔绝空气时，提高引发速率，促使被引发的单体快速聚合。常用的促进剂为有机胺类，也有用胍、砒及其衍生物的。合适的促进剂应该既不影响胶的贮存寿命，又能加快绝氧条件下胶的固化速度。其作用机理可能是，隔绝氧时，除去了氧的阻聚作用，促进剂和引发剂容易发生下述反应，产生游离基，从而提高了引发速率。

促进剂是厌氧胶组分中最富于变化的一个组分，它对厌氧胶在隔绝氧气后的固化速度起着决定

表10-3-11 常用引发剂

编号	名称	半衰期为10h 的温度(°C)	半衰期为1 min的温度
1	叔丁基过氧化物	126	153
2	叔丁基过氧化氢	107	179
3	2,5-二甲基-2,5-二 过氧化氢己烷	154	
4	异丙苯过氧化氢	158	
5	异丙苯过氧化物	115	
6	苯甲酸过氧化叔丁酯	105	166
7	酞酸过氧化叔丁酯		160
8	过氧化甲乙酮		171

性的作用。20多年来对厌氧胶的性能改进，实质上主要是促进剂的改进。

为了更好地发挥促进剂的作用，有时还在胶中加助促进剂，它们在单独使用时无明显促进作用，但与促进剂同时用，就能明显增强促进效果。常用的有邻磺酰苯甲酰亚胺等。

为了加快厌氧胶的固化速度(如定位时间缩短至15s~5min)或提高填隙能力(如提高到1mm以上)，常使用底剂(外用促进剂)，一般将这种促进剂溶于丙酮、三氯乙烯等有机溶剂中，需要时先涂(喷)一层于待胶接的表面，等溶剂挥发后，再涂胶装配。由于没有严格的用量要求，所以使用时比双组分环氧胶等要方便。常用的这类促进剂有：2-硫醇基苯并噻唑(促进剂M)，过渡金属盐类等。常用的促进剂有三乙胺、N,N-二甲基苯胺、N,N-二乙基对甲苯胺、 α -氨基吡啶、1,2,3,4-四氢喹啉、1,2-丙二胺、三乙醇胺、二甲基酰胺、苯胍、十二烷基硫醇、三乙胺丙酮铝、二乙酰丙酮镍等。

(4) 稳定剂(阻聚剂) 厌氧胶是室温固化的单组分胶，如果单靠氧气的阻聚作用，还难以保证良好的贮存稳定性，为此，需在胶中加入稳定剂。常用的有对苯醌、对苯二酚等，对苯醌与对苯二酚在这里所起作用实质上是一样的，因二者互为氧化还原产物，在具有氧化还原引发体系的厌氧胶中，不管加入醌和酚，在胶中一定是既有醌又有酚。苯醌易与初级游离基发生反应。

(5) 染料 为便于分等区别，方便使用单位选购和识别，国外的厌氧胶几乎全部经着色处理，国内也已有单位使用。用于厌氧胶的染料不应影响胶的贮存稳定性、固化速度和强度等主要指标。国

际上习惯将高、中、低强度的厌氧胶分别着成绿、红、兰色，以方便使用者，有时为了检查方便，还使用带荧光的染料，这在自动线上用仪器监测工件有无漏涂胶液时十分有效。此外，在用厌氧胶渗补铸件时，由于带有荧光，在检查渗入深度时也很简便。

(6) 增稠剂 在使用中，常对厌氧胶的粘度提出各种要求，如为了对铸件微气孔进行浸渗，需要粘度很小的胶，而用于法兰和箱体结合面密封、代替固态垫片时，又要求具有很高的粘度，以增强填隙能力和防止流失。为了适应这类使用需求，就要加入各种增稠剂。增稠剂一般为可溶于胶液又不损害其基本性能的高聚物，如聚醋酸乙烯酯、聚酯、苯乙稀-丙烯酸酯的共聚物、邻苯二甲酸二丙稀酯的均聚物、聚甲基丙烯酸等。有时为取得良好的“堆垛性”，防止垂直面施工时胶液流淌，常加入各种触变剂，使之具有“触变性”，即在给予一定动能（如搅拌）时，胶液迅速变稀，在取消动能后，胶液立即呈高粘度状态，不会自动流淌。常用的触变剂有气相二氧化硅、硅藻土。一般触变剂不溶于厌氧胶，在胶中呈微细颗粒状。

(7) 其他 为了适应某些特殊需要，尚需在胶中加入其他成分。如光敏性厌氧胶，需在胶中加入适量的紫外线敏感剂。一些用于管螺纹密封的厌氧胶，为了防止拆卸时因牵出扭矩过大，损坏螺纹，需要加入一些螺纹保护剂，使牵出扭矩非常小。为了提高胶的耐温性，除选用合适的单体外，也可采取加入适量的耐温剂的办法来解决。为了提高冲击韧性和平面密封性，加入适量的液态橡胶也是途径之一。

5. 性能测试

厌氧胶由于具有独特的厌氧性，因此，测试方法不能套用通用的胶粘剂测试标准。

目前国内尚无统一的厌氧胶测试标准。国际上主要以美国军用技术标准参照，因为在美军标中不但制定了厌氧胶的测试方法，而且对厌氧胶的分类及技术性能都作了规定。甚至还制定了一些技术性能要求相当高的规定，不是所有厌氧胶产品的技术性能都能达到。

厌氧胶采用的美军标准主要有 MIL-S-22473 D、MIL-S-46163、MIL-R-46082A (MR) 三个。

日本胶粘剂协会参照上述美军标准于1978年制

定了协会标准 JAI-6 厌氧胶测试方法等。对于密封及浸渗用厌氧胶还只能参照有关企业标准。各种厌氧胶的测试如下。

(1) 锁固型厌氧胶的测试 测试内容分未聚合的厌氧胶和聚合后的厌氧胶两部分。

1) 未聚合的厌氧胶 测试项目有：颜色、外观、荧光性、粘度、闪点、可溶性、湿润性、腐蚀性、贮存稳定性和毒性等 9 项。测试方法为：

① 外观颜色 用 $\phi 12\text{mm}$ 玻璃试管装胶 50mm 高，在散射的日光下目视观察，胶液应色泽均匀，无硬化物或异物混合。

② 荧光性 为便于测试，有些厌氧胶加有荧光剂，在紫外灯照射下呈荧光色。检验方法是将胶液滴在金属板一端，用玻璃片将胶液分布至整个表面，用紫外线灯照金属板，胶应呈荧光色。

③ 粘度 在 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 下用旋转粘度计测试。触变性的胶液测试前，应先将旋转粘度计转动 10 min，分别测得转速为 20r/min 和 2r/min 的粘度值，其比值就作为触变性指数。

④ 闪点 用开口杯闪点仪测试。

⑤ 可溶性 将 1mL 胶液放在 10mL 的含 5% (体积比) 丙酮的三氯乙烯溶液中，充分摇匀后，在穿透光下检查，混合液应清晰，没有沉淀。

⑥ 湿润性 将钢、铝、黄铜板除油，用 400 号砂布砂光表面，在每块试板上滴上一滴 (约 0.03mL) 胶，如能蔓延开来，就认为有湿润性。

⑦ 腐蚀性 按湿润性试验作准备，滴胶后室温下放置 10 天，再用带水或三氯乙烯的湿布将胶擦去，金属板上不应有永久性的变色膜，否则就认为是锈蚀。

⑧ 贮存稳定性 将 5 瓶商品包装的胶液放在热风循环的恒温箱中，在 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 下保存 10 天，取出，冷却到室温，测定胶的粘度和胶接强度。若粘度增大不大于 50%，胶接强度符合原规定值，则试验通过。

还有一种非正规的快速测定贮存稳定性的方法，可作对比参考用。将胶液放在聚乙烯试箱中，放在 $82 \pm 1^\circ\text{C}$ (水浴或恒温箱)，如 30min 不凝胶，则认为该胶的室温贮存稳定期至少 1 年。

⑨ 毒性 按卫生部门有关标准检查。

以上项目中第 1、3 和 8 项是常规例行测试项目，其余各项在新胶验收时进行。

2) 聚合 (固化) 后的厌氧胶 测试项目包括

胶接强度（即扭矩强度或静剪切强度）、浸泡介质后的胶接强度、固化程度、热强度、热老化强度、低温强度、密封性和抗霉菌性等8项，测试方法如下：

① 胶接强度 锁紧用厌氧胶测扭矩强度，粘固用厌氧胶测静剪切强度。

a. 扭矩强度：国内采用GB30—76《六角头螺栓》中的钢制螺栓M10×25和GB52—76《六角螺母》中的螺母作为试件，螺纹精度为2级。经溶剂除油后，应避免用手直接接触螺纹。试验前应认真检查螺纹，不应有损伤、过松或过紧。于螺栓和螺母的螺纹啮合处涂胶，拧上螺母至螺栓头至少露出三扣，以保证胶液充分复盖啮合面，在20~25℃下固化24h后，用相应的扭力扳手拧松螺母，记录其破坏时扭矩值称为破坏扭矩，拧松1/4、1/2、3/4和1转时的扭矩值，其平均值称为牵出扭矩值。试件数为5件，以其平均值为准。

b. 静剪切强度：试件为钢制的销子和套圈组成，见图10-3-6，溶剂除油后，应避免用手接触配合面，在销子上涂胶，将套圈边转边套入至中部，室温下固化24h，在材料试验机上将销子自套圈层离，试验机移动速度约为1.5mm/min，测得胶接面静剪切强度。试件为5件，以其平均值为准。

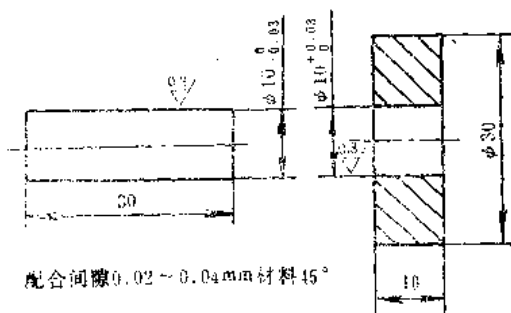


图10-3-6 剪切试验试件

② 浸泡介质后的胶接强度 试件同①胶接好，完全固化后浸泡在温度为 $86.7 \pm 2.8^\circ\text{C}$ 的各种介质中168h，取出后冷至室温，测其胶接强度。对螺栓副试件，允许扭矩强度降低50%。对套接试件，静剪切强度允许降到预定值。浸泡介质有蒸馏水、正丁醇、甲苯、乙二醇、润滑油、航空燃油和液压油等，或按需要定，每项试件数为5件。

③ 固化速度(胶接强度发现件) 试件同①，

胶接后，测试不同固化时间的胶接强度，以评定其固化速度。固化时间分别取 $3 \pm \frac{1}{4}$ h， $6 \pm \frac{1}{4}$ h和24h，试件各为5件。

④ 热强度 按第一项制备试件，固化后放入恒温箱，在指定温度下加热2h，取出试件，30s内测其扭矩或剪切强度。加热温度有100℃、120℃、150℃等，或按需要定，试件数各5件。

⑤ 热老化 试件按①准备，固化后，放入恒温箱加热至指定温度，保持1000h，取出试样，冷至室温，测其胶接强度。加热温度有100℃、120℃、150℃等，或按需要定，试件数各5件。

⑥ 低温强度 测法同前，只是温度为 -56°C ，或按需要定，试件为5件。

⑦ 密封试验 用普通的1/2"管接头，螺纹处涂厌氧胶，组装联接如图10-3-7，室温固化后，用透平油以每分钟0.5MPa的速度加压。测试联接处密封耐压性。

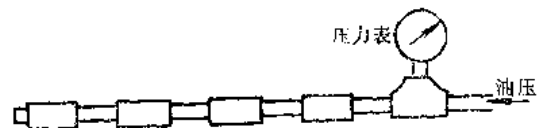


图10-3-7 1/2"管接头耐压试验

⑧ 抗霉菌性试验 由专门的抗霉试验室进行。

以上试验中胶接强度和固化速度项是常规例行测试项目，其余各项在新胶验收时进行。

(2) 密封用厌氧胶的测试 密封和取代垫片的厌氧胶因使用要求和性能都和锁固型厌氧胶有一定差别，测试方法应有所不同，但目前国外也没有专用标准，现参照美国乐泰公司技术资料，日本有关液态垫圈的标准JIS-K-6820和美国军用技术条件MIL-S-45180C等，确定下列测试方法。

1) 未固化的胶 测试外观、粘度、比重、腐蚀性、贮存稳定性、毒性等6项，除比重按量筒称重法测定外，其余都可参照锁固厌氧胶测试方法进行。

2) 固化后的胶 测试胶接强度、热老化强度、固化速度、密封性、耐冷热交变性、耐介质性等6项。

① 胶接强度 用于管接头密封的胶则测试扭矩强度，取代垫片用的胶则测试剪切强度和抗拉强

度。

a. 扭矩强度：试件为1/2"铸铁管接头副，除油后在螺纹啮合处涂胶，组装拧紧。预紧扭矩为2.744N·m，室温固化后，测其拧松时的破坏扭矩强度。试件为5件，取其平均值。

b. 剪切强度和抗拉强度 按胶粘剂通用的测试方法进行。试件材料用钢材。剪切强度用搭接的试片测试，抗拉强度用对接的试件测试。

② 热老化强度 试件按前①项准备，固化后放入恒温箱在指定温度下保持200~1000h，取出试件，冷至室温，测其胶接强度。温度可选取100°C、120°C、和150°C或按需要定。试件数每项5件。

③ 固化速度 试件按前①项准备，室温下经不同的固化时间，测其胶接强度，以衡量固化速度。固化时间可取3h、6h、24h。

④ 密封性 有两种测法，管接头密封性测试方法同锁固型厌氧胶，法兰平面密封性试验参照JISK6820。

试验用的钢制法兰如图10-3-4，将胶涂在法兰面上，法兰用6只M12螺栓紧固，螺栓预紧扭矩为2.744N·m。固化后，分别在室温，80±5°C、150±5°C下以透平油试验其密封性，加热速率为50°C/min。加压从20%额定压力开始，以每分钟加压0.5MPa的速率增压，每次保压5min，观察有否泄漏，记录其密封压力。

⑤ 耐冷热交变性 有两种试验方法：管接头密封冷热交变试验和法兰面冷热交变试验。

a. 管接头密封冷热交变试验：按管接头密封试验准备试件，完全固化后，在-55°C下保持12h和150°C下保持12h的交变方法，反复循环二周后，取出试件，冷至室温，测其密封耐压性。

b. 法兰面密封冷热交变试验：按法兰面密封试验准备试件，完全固化后，在-40±5°C下放置2h，立即转入100±5°C下保持3h，冷至室温，再按密封性试验测其耐压值。

⑥ 耐介质试验 将固化的胶块5g干燥称重后，分别浸泡在温度为86.7±2.8°C的各种介质中168h，取出后，经65±5°C下干燥24h，称重，求得重量变化率W。

$$W = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \cdot 100\%$$

式中 W₂——浸泡后的重量（g）；

W₁——浸泡前的重量（g）。

试验介质推荐为蒸馏水、50%乙二醇、润滑油、柴油、航空燃油等、或按需要定。

上述试验项目中固化速度、密封性试验是常规例行项目，其余为新产品评定测试用。

厌氧胶测试技术正随着厌氧胶的发展，在不断完善中，目前还没有形成统一的测试标准。上述测试方法可推荐作为测试时的参照。

6. 应用

(1) 应用范围 请见前面2(3)部分。

(2) 胶的选择 要选择合适的厌氧胶，必须了解现有厌氧胶的主要性能。一些常用的国产厌氧胶性能见表10-3-12和表10-3-13；美国乐泰公司厌氧胶性能见表10-3-14~表10-3-17；广州化学所与美国乐泰公司产品的对应关系见表10-3-18~表10-3-20。

(3) 使用方法

1) 表面准备 清除胶接触面锈蚀或污物，过于光洁的表面(R_a1.6μm以上)最好用砂布打毛(R_a12.5~3.2μm)，否则将影响胶接强度。

2) 清洗除油 除去胶接面的油脂，推荐用汽油清洗二次并使溶剂全部挥发。

3) 涂胶 需要用促进剂(底剂)的厌氧胶，先在胶接面涂促进剂，待溶剂挥发后，再均匀涂胶。不需底剂的厌氧胶可直接涂胶。涂胶量要适当，应确保胶接面充分填满。涂胶方法可用滴、刷、浸等合适的手工或机械方法。

4) 胶接 将涂好胶的工件组装，应适当地使胶接面相互运动，以达到胶层均匀，注意是否漏胶，应保证胶液填满配合的缝隙。组装后，擦去余胶。

5) 固化 一般国产胶可在10~30min内达到初步定位(手拧不动)，24h后完全固化，从定位到完全固化期间，胶正处在聚合过程，不应变动胶接面相对位置，否则将严重影响胶接强度。

(4) 使用厌氧胶应注意的一些问题

1) 保管 厌氧胶在贮存期间要注意与空气充分接触，最好用250g以下的小包装。装在深色的高压聚乙烯瓶中，至少留20%的空隙，保存于20°C温度下，置于避免阴暗处，贮存稳定期一般不低于一年。

2) 拆卸 一般可用常规工具拆卸，高强度拆卸有困难时，可将组件加热至200~250°C，此时胶

表10-3-12 国产厌氧胶部分性能表 (一)

牌号	Y-150	Y-82①	Y-86①	GY-340①	GY-168①	YY-101	YY-102	YY-301	ZY-801	ZY-802	ZY-803	ZY-814	ZY-S1
颜色	茶色	茶色	茶色	茶色	茶色	黄	黄	黄	绿	红	兰	黄	棕绿
粘度(mPa·s)	150~300	185	164	150~300	1.5 × 10 ³	50~70	15~20	15~20	80	350	850	(5~8) × 10 ³	10~16
最大模数(mm)				0.18	0.25				0.1	0.2	0.1	0.3	孔径0.20
扭矩	7.84~9.02	7.84	3.92	19.60		20.60	23.50	8.53	33.32~36.48	17.64~21.56	3.02~6.86		10.00~24.50
(N·m) 牵出	34.30~41.20	14.70	9.80	39.20		36.26			39.20~49.00	29.40~39.20	14.70~24.50		24.50~29.40
剪切强度(MPa)	13~16	7	4	19		10.7	8	5	25~30	18~22			
固化速度/全固化	10min/24h					5min/24h	5min/24h	5min/24h	5min/24h	5min/24h	5min/24h	/24h	
无促进剂				10min/2~6h	12~24h				20min/48h	20min/48h	/48h	/72h	20min/24h
适用温度(°C)	-50~150	~100	~100	-55~150	-55~150	~150	~150	~150	-40~150	~40~150	-40~100	-40~150	-40~150
主要用途和特点	粘接、密封	粘接、密封	粘接、密封	粘接、密封	取代垫片②	紧固、密封	紧固、密封	紧固、密封	粘固密封	紧固、密封	锁紧密封	取代垫片②、管道密封	密封、密封
主要生产单位	威德生化所 大定第二有机化工厂	大定第二有机化工厂	大定第二有机化工厂	大连第二有机化工厂 广州永红化工厂	大连第二有机化工厂	天津合成材料研究所	天津合成材料研究所	天津合成材料研究所	浙江省机械科学研究所	浙江省机械科学研究所	浙江省机械科学研究所	浙江省机械科学研究所	浙江省机械科学研究所

① 为生产或研制单位提供的数据。其余均为浙江省机械科学研究所试验数据。引测试方法不同，两者不宜作为对比依据。

② ZY-814平面密封>10MPa，管螺纹密封>40MPa，GY-168平面密封>10MPa。

表10-3-13 国产厌氧胶部分性能表(二)

牌 号	铁锚-350	铁锚-351	铁锚-352	铁锚-302	BN-601	
颜色	棕红	桔红	桔红	淡黄	褐	
粘度 (mPa·s)	1400	300~500	400~600	10~20		
最大填隙 (mm)	0.1				0.1	
抗 矩 (N·m)	破 坏	18.60	>29.40	>29.40	>29.40	17.64~22.54
	牵 出	>29.40	>39.20	>39.20	>39.20	25.48~36.26
剪切强度 (MPa)	18~20	21.8	22.8		16.5~18	
固化速度定 位/全固化	有促进剂	10min/24h				15min/48h
	无促进剂		/24h	/24h	/24h	
适用温度 (°C)	-30~120	-30~120	-30~120		-30~120	
主要用途和特点	锁紧、密封粘固	锁紧、密封粘接固持	锁紧、密封粘接固持	密封渗补	锁紧、密封固持	
主要生产单位	上海新光化工厂				济南五三研究所	

表10-3-14 美国乐泰公司厌氧胶产品的主要性能表(一)

牌 号	222	242	262	271	277	290	
颜色	紫	兰	红	红	红	绿	
填隙 (mm)	0.127	0.127		0.127	0.254	0.127	
粘度 (mPa·s)	1000	1000	1500	500	6500	12	
抗矩① (N·m)	破 坏	4.41	6.66	20.28	18.03	11.27	6.76
	牵 出	2.20	3.92	16.95	24.49	16.36	22.54
* 剪切强度 (MPa)	2.3	11		17.2	26	12.4	
适用温度 (°C)	-55~150	-55~150		-55~150	-55~150	-55~150	
固化速度定 位/全固化	无促进剂	20min/6h	20min/6h	20min/1~2h	30min/6h	10min/1h	
	有促进剂	5min/2h	5min/2h	5min/ $\frac{1}{2}$ ~1h	10min/2h	-	
主要用途和特点	小螺钉锁紧	螺栓锁紧	强力锁紧	1吋以下的螺栓锁紧密封	1吋以上的螺栓锁紧密封	渗透锁紧渗补	

① 按MIL-S-46162测试。

表10-3-15 美国乐泰公司厌氧胶产品的主要性能表(二)

牌 号	306	312	317	319	324	325
颜色	琥珀色	琥珀色	琥珀色	琥珀色	琥珀色	琥珀色
填隙 (mm)	0.127	0.127		0.127	1.016	1.016
粘度 (mPa·s)	至少 10000	900~1100	3000	3000	15000~25000	20000~40000
剪切强度抗拉强度 (MPa)	13.8/20.7	20.7/34.5	24.5/42	26.7/34.5	24.1/47.3	24.5/42
适用温度 (°C)	-55~204	-55~80	-55~135	-55~120	-55~135	-55~180

(续)

牌 号	306	312	317	319	324	325
固化速度定	无促进剂	—	—	—	10min/24h	—
位/全固化	有促进剂	1min/12~ 24h	$\frac{1}{2}$ min/4~24h	—	$\frac{1}{2}$ min/2~24h	2min/12~ 24h
主要用途及特点	耐高温	快速固化	耐冲击	快速固化	耐冲击	耐介质性好
	平面粘接各种材料, 包括非金属, 如玻璃、陶瓷等					

表10-3-16 美国乐泰公司厌氧胶产品的主要性能表 (三)

牌 号	504	510	515	568	master gasket	PST	液压密封 (H/S)	不锈钢 PST
颜色	橙	红	紫	红	紫	白	棕	白
填隙 (mm)	0.764	有促0.5 无促0.25	1.27 0.25	0.5 0.25	1.27	0.5	0.127	0.5
粘度 (mPa·s)	$10^0 \sim 2 \times 10^0$	$7 \times 10^5 \sim$ 12×10^5	$2 \times 10^5 \sim$ 5×10^5	5000~7000	$2 \times 10^5 \sim$ 7×10^5	200000	400	400000
剪切强度抗拉强度耐压 性① (MPa)	9/9.3	9.3/13.8	13.8/13.1	—	—	70	70	70
适用温度 (°C)	-55~150	-55~204	-55~150	-55~150	-55~150	-55~204	-55~150	-55~260
固化速度定	无促进剂	30min/12h	4h/12h	1h/12h	12~24h	—	24/72h	45min/2h
位/全固化	有促进剂	—	30min/4h	15min/2h	6~12h	15min/12h	15min/5h	—
主要用途和特点	大间隙	耐高温	柔性	高温	柔性	24h内可 调节位置	液压精滤 系统	不锈钢管 道
	取 代 固 态 垫 圈 用						管 道 密 封 用	

① 用 $\frac{1}{2}$ " 管螺纹接头联接, 室温固化72h后作油压试验。

表10-3-17 美国乐泰公司厌氧胶产品的主要性能表 (四)

牌 号	601	620	635	640	680
颜色	绿	绿	绿	绿	绿
填隙 (mm)	0.127	0.38	0.254	0.177	0.38
粘度 (mPa·s)	100	7000	1000~3000	500~300	2000
适用温度 (°C)	-55~150	-55~232	-55~150	-55~204	-55~150
*抗剪强度 (MPa)	20.7	27.6	27.6	20.7	27.6
固化速度定	无促进剂	10min/1~6h	30min/3~10h	4h/48h	4h/48h
位/全固化	有促进剂	5min/30min	5min/8~10h	5min/12h	5min/12h
主要用途及特点	通 用	高 温	强 力	高 温	强 力
	粘 接 固 持 用				

注: 按MIL-R-46082测试

表10-3-18 锁固密封用厌氧胶对应表(一)

分 类	MIL-S-46163	相应广州GY产品	相应乐泰产品	近似或可能代用的乐泰产品	应用特点
密封用标准粘度型	—	210	221		低强度(<M12)
	—	(211)		259	低强度(<M12)
	J	(230)	241	(274, 672)	中强度(<M12)
	—	(231)		(566, 569)	中强度
	K	250	270, 271	273	高强度(<M20)
	L	255	277		高强度(<M36)
耐变性润滑性型	M	220	222		低强度(<M36)
	N	240	242		中强度(<M36)
	—	245		245	中强度(<M56)
	O	260	262		高强度(<M36)
	—	(265)	275		高强度(<M56)
低粘度渗入型	R	280	290		微孔、间隙填充密封与镀层

注：乐泰672原为中强度级较低粘度装配固定胶，乐泰566、569原为液压密封用，强度属中强度级。

表10-3-19 装配固定用厌氧胶对应表(二)

分 类	MIL-R-46082A(MR)	相应GY产品	相应乐泰产品	相近的其他乐泰产品	特 点
RC-I	I	340	601, 609	675	通用快固型
RC-II	II	360	620	640, 648	高温型
RC-III	III	380	680	658, 635	高强度
—	—	330	641	(672)	中强型

注：乐泰672为中强度低粘度型，粘度比641低。乐泰620粘度大于美军标规定范围。

表10-3-20 其他产品对应表(三)

名 称	GY产品	相应乐泰产品	近似或可能代用的乐泰产品
通用型柔性密封胶	168	515	
含聚四氟乙烯配管密封胶	190	PST, 592	(572)
底剂(促进剂)	GYT	T(747)	
	GYN	N(763, 764)	
预涂干膜胶囊胶	540	Dri-Loc	
真空浸渍胶	601	PMS-10 E	

注：763即N(液)液，GYN(浓)。

(续)

的强度大幅度下降，可以方便地拆卸。

3) 毒性 厌氧胶本身毒性小，但对皮肤略有刺激，使用后用清水洗净，不可让小孩和眼睛直接接触。

7. GY—系列厌氧胶简介

GY 厌氧胶各系列产品由中国科学院广州化学研究所研制并生产，是一类具有厌氧固化特性的粘合密封胶。GY 厌氧胶由各种甲基丙烯酸双酯、改性剂、添加剂、填料及氧化还原催化剂、稳定剂所组成，其中触变型加入了触变剂以使胶液在涂布时不易流淌。适合于各种机械产品中螺纹件的锁固防松，平面接合面及接头的密封防漏，轴承等轴套配合件及工艺孔塞的装配固定，焊件铸件砂眼孔隙的堵封，压铸件及粉末冶金件的真空浸渍等等用途。现已生产的产品有 GY-100 (密封用) 系列、GY-200 (螺纹锁固密封) 系列、GY-300 (轴套配合件装配固定) 系列、GY-500 (微胶囊型可预涂厌氧胶)、GY-600 (真空浸渍厌氧胶) 及 GYT、GYN 固化促进剂 (底剂) 等 20 多个品种，现介绍较有代表性的品种约 20 个品种。

(1) 分类牌号及用途 参看表 10-3-21~表 10-3-26。

(2) 主要技术指标或性能 参看表 10-3-27~表 10-3-32。

表10-3-21 密封用厌氧胶系列

牌 号	主要特点	用 途
GY-168	固化后为弹性体的柔性密封胶	平面接合面及部分螺纹件的密封、耐压、取代垫片
GY-190	含聚四氟乙烯填料的配管密封胶	螺纹接头的耐压密封

表10-3-22 螺纹件锁固密封厌氧胶系列

分 类	牌 号	主要特点	用 途
标 准 封 固 型	GY-210	低强度低粘度，较易拆卸	≤M12螺纹件锁固密封
	GY-230	中强度低粘度，可拆卸	≤M12螺纹件锁固密封
	GY-250	高强度中粘度	≤M26螺纹件锁固密封
	GY-265	高强度高粘度	≤M56螺纹件锁固密封

分 类	牌 号	主要特点	用 途
触 变 性 型	GY-220	低强度中粘度，较易拆卸	≤M36螺纹件锁固密封
	GY-240	中强度中粘度，较易拆卸	≤M36螺纹件锁固密封
	GY-245	中强度高粘度，可拆卸	≤M56螺纹件锁固密封
	GY-260	高强度中粘度，较易拆卸	≤M36螺纹件锁固密封
	GY-265	高强度高粘度，涂布工艺性好，不易流淌	较大螺纹件锁固密封
渗 入 型	GY-280	粘度很低渗透性好	用于需预先装配调整的螺纹件、滑动配合件的固定与密封，焊件铸件砂眼焊缝的局部渗入填封

表10-3-23 轴套 (滑动) 配合件装配固定厌氧胶系列

牌 号	主要特点	用 途
GY-340	通用型胶	轴套、齿轮、键、工艺孔塞等固定密封，螺纹件锁固密封，砂眼填封轴套配合件、螺纹件的固定，轴套配合件固定
GY-360	可较长期耐温至 230℃	
GY-380	较高静剪切强度	
GY-330	中强度级，低触变性	

表10-3-24 微胶囊型可预涂厌氧胶

牌 号	主 要 特 点	用 途
GY-540	中强度级，双组分水剂型微胶囊厌氧胶，可预先涂布制成带有预涂胶的螺纹件后贮存，使用方便不需现场涂胶	螺纹件锁固密封

表10-3-25 真空浸渍厌氧胶

牌 号	主要特点	用 途
GY-601	低粘度	粉末冶金件、正铸件及多孔、砂
GY-610	较低粘度	眼浸封

表10-3-26 固化促进剂(底剂)

牌 号	主要组成	用 途
GYT	硫醇基苯并咪唑①	GYT、GYN均用于加速在低温下或惰性材料上使用的厌氧胶固化, GYT为通用型
GYN	铜盐①	

① 均用三氧乙烷作溶剂。

表10-3-27 密封用厌氧胶系列

牌 号	外观与粘度	破坏扭矩强度 (N·m)	耐压 (MPa)	伸 长 率 (%)	固化速度, h			工作温度(°C)
					初 固	固 化	完 成	
GY-168	糊状约15Pa·s	约10	≥10	≥30	≤2	6	24	-55~+120
GY-190	白色膏状	5.0~15	≥5	—	≤2	6~12	24~48	-55~+150

表10-3-28 螺紋件鎖固密封厌氧胶系列

牌 号	粘度 (mPa·s)	破坏扭矩 (N·m)	平均松出扭矩 (N·m)	固化速度 (h)			工作温度 (°C)
				初 固	固 化	完 成	
GY-210	100~150	5.5~11.5	1.5~6.0	≤0.5	1.5	24	-55~+150
GY-230	100~150	10.0~22.5	2.0~7.0	≤0.5	1.5	24	-55~+150
GY-250	400~800	20.0~30.0	20.0~35.0	≤0.5	1.5	24	-55~+150
GY-255	4000~7000	20.0~40.0	15.0~35.0	≤0.5	1.5	24	-55~+150
GY-220	800~3000	5.5~11.5	1.5~6.0	≤0.5	1	24	-55~+150
GY-240	800~3000	10.0~22.5	2.0~7.0	≤0.5	1	24	-55~+150
GY-245	4000~7000	10.0~22.5	2.0~7.0	≤0.5	1	24	-55~+150
GY-260	800~3000	20.0~40.0	10.0~30.0	≤0.5	1	24	-55~+150
GY-265	5000~15000	15.0~30.0	25.0~40.0	≤0.5	1	24	-55~+150
GY-280	10~25	2.5~11.5	17.5~35.0	≤0.5	1	24	-55~+150

注: 扭矩强度试验为指M10螺栓试件试验。

表10-3-29 轴套(滑动)配合件装配固定厌氧胶系列

牌 号	粘 度 (mPa·s)	静剪切强度 (MPa)	破坏扭矩 (N·m)	平均松出扭矩 (N·m)	固化速度			工作温度 (°C)
					初 固	固 化	完 成	
GY-340	150~300	≥14	14.5	19.5	≤0.5	1	24	-55~+150
GY-360	1500~3500	≥15	—	—	≤1	6	24	-55~+230
GY-380	1500~3500	≥20	—	—	≤1	6	24	-55~+150
GY-330	500~1500	8~12	—	—	≤0.5	6	24	-55~+150

注: 静剪切强度试验用钢试件, 压缩速度1.5~2.0mm/min

表10-3-30 微胶囊型可预涂厌氧胶

牌号	外 观	预涂螺紋件的性能			
		破坏扭矩 (N·m)	固化速度, h		工作温度 (°C)
			初 固	完 成	
GY-510	水剂双组分型, A组分红色微胶囊, 平均直径0.1~0.3mm, B组分为稠状粘附剂	10.0~25.0	1~2	24~48	-55~+120

注: 破坏扭矩强度试验用预涂的M10螺栓, 23±2°C固化48h。

表10-3-31 真空浸渍厌氧胶

牌 号	粘 度 (mPa·s)	表面张力 (N/cm)	工作温度 (°C)
GY-601	约12	约30 × 10 ⁻⁵	-55~+150
GY-610	约80		

表10-3-32 固化促进剂(底剂)

牌 号	外 观	初固时间 (min)	完成固化时间 (h)
GYT	黄色液体	≤10	24
GYH	绿色液体		

(3) 使用方法

1) GY-100、200、300系列的使用方法 在钢铁、铜等活性表面材料的配件上使用时,先用溶剂(如丙酮)洗去油污,干后滴涂胶液,进行装配静置固化。注意用胶量足以填充全部间隙并不留空隙(空气泡)。对于低粘度渗入型胶应先将零件的砂眼、间隙等除去油、水及污物,干后再在外部滴涂胶液渗入封固。

2) GY-540微胶囊型预涂厌氧胶的使用方法 按重量比A:B=1.2:1.0混合均匀,并在不断搅动胶液的情况下再均匀涂布于脱脂螺栓上,通风在65~70°C下干燥20~40min,即可制成预涂胶螺栓贮存备用。A:B可在1.0~1.5:1.0范围变化但粘度与性能有所变化,亦可据需要加水稀释。

3) 真空浸渍厌氧胶的使用 此胶需要在专门的浸渍罐中进行。过程为:将需浸渍之零件放入罐中,减压抽空,再注入胶液,片刻后恢复出常压,取出零件清洗及固化。

4) 固化促进剂 在脱脂零件上均匀涂覆一层促进剂,待5~10min溶剂挥发后再涂滴胶液进行零件装配及固化。

(4) 储存运输及注意事项 除促进剂外所有产品闪点(开口杯)均大于90°C,不属于危险品,但应注意在避光阴凉处储存及运输,使用注意避免被金属沾污胶液。促进剂因含大量三氯乙烷,应按有关三氯乙烷规定进行贮运。

(5) 包装形式 聚乙烯塑料瓶(管)包装,每瓶(管)容量分别有50g及250g,每瓶中亦留有

1/2~1/3空间(空气)。

8. 美国军用技术标准

美军标准是厌氧胶的技术标准中影响较大的技术标准。它不但有测试方法而更重要的是对厌氧胶的分类以及技术性能都作出了规定。

厌氧胶的美军标准主要有MIL-S-22473D、MIL-S-46163、MIL-R-46082A(MR)三个。其中MIL-S-22473D将厌氧胶分为从AA至JV等15个等级,见表10-3-33。

MIL-S-46163是单组分锁固密封厌氧胶标准。它把厌氧胶分为密封用标准粘度型、触变润滑性型及渗入用低粘度型,共3类9个规格见表10-3-34。它对性能的要求主要有按规定条件试验后强度仍达指标下限值50%以上为合格,见表10-3-35。

表10-3-33 MIL-S-22473D规定的分类表

级 别	扭矩强度		粘 度 (mPa·s)	颜 色
	(N·cm)	(16 f·in)		
AA	1695~4234	(150~375)	10~25	绿
A	1127~2744	(100~250)	10~25	红
D	1127~2744	(100~250)	40~80	橙
AV	1127~2744	(100~250)	100~250	红
AVV	1127~2744	(100~250)	1000~10000	红
B	783~1980	(70~175)	100~200	黄
C	441~1127	(40~100)	10~25	蓝
CV	441~1127	(40~100)	100~250	蓝
CVV	441~1127	(40~100)	1000~10000	蓝
E	220~568	(20~50)	10~25	紫
EV	220~568	(20~50)	100~250	紫
H	118~293	(10~25)	10~25	棕
HV	118~293	(10~25)	100~250	棕
HVV	118~293	(10~25)	1000~10000	棕
JV	78~147	(7~13)	100~250	黄

注:扭矩强度试件用3/8吋(24牙)钢制螺栓制。

表10-3-34 MIL-S-46163

分 类		破坏扭矩 (N·m)	松开平均 扭矩 (N·m)	粘 度 (mPa·s)	颜 色
I型, 密封用标 准粘度型	J	31.3~22.6	5.7~17.0	100~135	蓝
	K	22.6~34.0	24.3~35.6	450~650	红
	L	22.6~34.0	27.6~33.0	6000~8000	红
II型, 触变润滑 性型	M	5.7~11.3	2.6~5.7	900~5000	蓝
	N	11.3~22.6	3.4~6.8	900~5000	蓝
	O	11.3~22.6	5.7~17.0	100~2500	红

(续)

分 类	破坏扭矩 (N·m)	松出平均 扭矩 (N·m)	粘 度 (mPa·s)	颜色	
I型 渗入程度 精度等	P	2.3~17.5	1.3~17.3	10~25	黄
	Q	2.3~17.3	1.3~22.6	10~25	黄
	R	2.3~17.3	2.3~39.6	10~25	绿

注：强度为3/8吋钢螺紋的室温下固化24~26 h测试。

表10-3-35 MIL-S-46163部分测试条件

性 能	测试条件(均测扭矩强度)要点
固化速度	固化时间：I型1.5h；II型1h；III R型：15min。室温测
高温强度	K、O、R型149°C、J、L、M、P、Q型121°C、N型93°C均为2h，趁热测
热老化性能	K、O、R型149°C、J、L、M、P、Q型121°C、N型93°C1000h后室温测
耐介质性能	在指定介质下，87°C、168h，室温测
贮存性	胶液在49°C、28天后测固化速度、1天强度合格及粘度变化小于50%

注：试验合格均指(如性能下降时)不低于指标下限值的50%。除固化速度外，试件均室温固化24~26h。

MIL-R-46082A (MR) 为装配固定用厌氧胶标准，共分三个类型，见表10-3-36。此美军标准的强度测试均为静剪切强度，要求是轴与套的接合面表面粗糙度为 $R_a 0.8 \sim 1.6 \mu m$ (最佳间隙不应超过 $0.05 mm$)，测试时压缩速度 $1.5 mm/min$ ，在其他性能要求方面，固化速度I型在75min达强度指标；149°C高温下的强度，I型与II型大于6.89 MPa，II型大于10.34 MPa；149°C热老化1000h后，I与II型强度大于10.34 MPa，II型大于12.4 MPa，耐介质试验在指定介质中，87°C、168h后，

表10-3-36 MIL-R-46082 A (MR)

类 型	I 通用快固化型	II 耐热型	III 高强度型
静剪切强度MPa	>13.78	>13.78	>24.1
粘度mPa·s	100~500	400~800	1500~2500

注：本标准的分类，胶等中常用RC-I，RC-II，RC-III为简称。

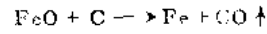
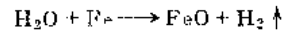
强度均大于10.34 MPa为合格，但此美军标准在贮存性方面仅测试49°C、10天的结果。

(三) 浸渗技术

1. 概述

浸渗又称浸渍、渗透等，是指流体物质渗入多孔物质中的现象。在工业中应用面很广，如织物印染、木材防腐等等。本章叙述的浸渗技术主要指机械产品中铸件、焊缝和多孔材料制品(如粉末冶金件)等的微孔浸渗密封技术。

微孔渗现象是机械产品生产中的常见故障，以铸造产生微气孔为例，铸造金属在熔触过程中的化学反应中会产生多种气体，如：



这些气体在熔触的金属中的溶解度远比固态时大。因此，当金属冷却凝固时，就有气体逸出。在实际生产中，因工件截面不均匀，冷却速度不一致，浇注温度不适宜等等原因，小气泡被夹在铸件中，形成微气孔。当这些气孔成串，彼此相连就会引起泄漏。

铸件内在的微气孔，对铸件结构强度的影响，远没有铸件的表面缺陷影响大。但微气孔所产生的泄漏，即使是肉眼难以见到的微气孔产生的泄漏，却往往是铸件使用中所不能容许的。因此，针对解决微气孔泄漏而开发的浸渗密封技术受到世界各国的重视。用一定的浸渗工艺将液态的浸渗胶(剂)，渗入工件的微气孔中，固化为固态物质，填补气孔通道，即可达到密封耐压。

2. 浸渗技术的作用和应用范围

(1) 浸渗技术的作用 用于密封微气孔的浸渗技术的作用主要有密封耐压，防止腐蚀，提高表面质量，改善切削性能等作用。

1) 密封耐压 有微气孔的工件在气压或液压作用下将产生泄漏，而经过浸渗，微气孔中填入的浸渗胶固化后使微气孔密封耐压。密封耐压程度，随浸渗工艺的不同而异。

2) 防止腐蚀，提高表面质量 浸渗技术可作为工件电镀、涂饰前的处理工序，经浸渗的工件因微气孔中已有固化胶层，不会积存残留溶液，可以避免电镀液等残留溶液留在微气孔中导致工件内部腐蚀而破坏工件表面电镀或涂饰层。

3) 改善切削性能 有微气孔的工件尤其是粉

未冶金件等多孔件切削时,当切削刃部通过微孔开口处,将产生断续切削,容易崩刃,切削加工性差,刀具寿命低。微气孔中填入浸渗胶后,就成为连续切削,改善了切削性能。某些浸渗胶有一定的润滑作用。

4) 促进铸件薄壁化 由于浸渗技术解决了薄壁铸件、压铸件经常存在的疏松和微气孔泄漏问题,从而使铸件的设计可以进一步薄壁化。可用薄壁的压铸件取代砂模铸件,用有色金属压铸件取代黑色金属铸件。这样能大幅度降低产品重量,节省材料。

(2) 应用范围 微气孔浸渗密封技术在机械产品中主要用在铸件、压铸件和焊缝中微气孔的密封。国外广泛用于汽车、拖拉机发动机的缸头、缸体、变速箱、离合器及曲轴箱的箱体、化油器、活塞的铸件,阀、泵、压缩机和液压部件等铸件,测试仪表、流量计、气压管路部件等铸件的微气孔的密封。

浸渗技术可用于粉末冶金件的密封,如液压泵阀端板、水泵和压缩机壳体、活塞等受压制品。经浸渗后的粉末冶金件不会产生内部锈蚀,因而可进行电镀、涂漆。

浸渗技术可用于热交换器、变压器、管子、船壳等焊接件焊缝中微气孔的密封。

浸渗的工件可以是钢、铁、铜、锌、镁等多种金属材料。能密封的最大微气孔直径、耐压和耐温程度都与浸渗工艺有关。一般地讲,能密封的最大微气孔直径范围为 $0.1\sim 0.3\text{mm}$,耐压为 $0.098\sim 19.6\text{MPa}$ 以上;耐热,经有机浸渗胶浸渗后工件的工作温度在 200°C 以内,而用无机胶浸渗后的工件的工作温度可达 800°C 。

即使在上述应用范围内应用浸渗技术,还应注意下列一些限制条件:

1) 一般讲,浸渗不会提高铸件、焊缝或粉末冶金件的结构强度。

2) 对于有裂纹的工件要采用浸渗方法修复时,应采取有效的止裂措施(如加止裂孔等)。因为浸渗是无法阻止裂纹扩展的。

3) 浸渗胶,尤其是无机浸渗胶主要靠机械嵌接与微气孔孔壁连接。因此在机械冲击和热冲击的条件下工作的工件应慎重选择浸渗胶。以避免一些脆性材料可能裂开,而使浸渗密封失败。

4) 对壁厚过薄的工件(如对无机浸渗胶,

壁厚小于 1mm 的情况),无法保证浸渗胶填满气孔,不适宜浸渗胶密封。

5) 对压力容器焊缝中微气孔的浸渗密封要慎重,应严格按照压力容器的焊接技术条件,避免因浸渗密封掩盖结构性的缺陷。

6) 根据工件接触的介质情况,选用合适的浸渗胶,以满足在该介质中长期工作的条件。

3. 浸渗方法和浸渗胶

(1) 浸渗方法 用于微气孔密封的浸渗方法可归纳为两大类:局部浸渗法和整体浸渗法。前者是只在工件泄漏部位局部涂浸渗胶,它又可分为常压刷(喷)涂法和真空刷(喷)涂法;后者是工件整体和浸渗胶接触,它也可分为常压浸渗法、内压浸渗法、真空浸渗法等。下面对这些方法作简要的介绍。

1) 常压刷(喷)涂法 这种方法必须预先知道部件泄漏的部位。其特点是施工方便,特别适应于就地对大型部件如电站设备、机床、大型热交换器等浸渗密封。也适应于中小批量或单件生产的产品密封。这种方法不必添置任何复杂的装置,浸渗是局部进行,浸渗胶耗量少,成本低。刷涂法是根据浸渗胶的要求,将工件泄漏部位在常温或预热的条件下,进行局部刷胶,靠微气孔的毛细管作用渗入。喷涂法是将装有浸渗胶的喷枪,对准泄漏部位喷胶,使胶渗入微气孔。

2) 真空刷(喷)涂法 它是将工件内腔密闭后抽到一定的真空度,在已知的工件泄漏部位局部涂浸渗胶,借内外压力差和毛细管作用使胶渗入微孔。这种方法能使工件得到很好的密封,但工艺比前一种方法复杂,并且需要真空抽气装置,因此成本高。

3) 常压浸渗法 它是最古老的处理方法。它将工件整体浸入装有浸渗胶的容器中进行浸渗。这种浸渗方法渗入深度浅,效果较差,而且表面往往留有一层胶不宜清除,其优点是工艺简便,不需要复杂的浸渗设备。

4) 内压浸渗法 它是将浸渗件的开口堵住,留一加压用的接口,在工件内腔灌满浸渗胶,从接口处加压,迫使浸渗胶渗入泄漏的微气孔中,从而达到密封的目的。这种方法适用于大型的不宜整体浸渗的工件和超长件(如小管等)。这种方法成本较高,而且操作不便。

5) 真空加压浸渗法 它适用于各种材料的浸

渗。浸渗时工件在浸渗缸中先经真空减压处理，排除微气孔中的空气。然后在罐内导入浸渗胶，恢复到常压。再由压缩空气加压，将浸渗胶压入微气孔。然后降压，放出浸渗胶，取出工件。这种方法浸渗效率高、周期短，浸渗质量可靠性高，但需要专门的浸渗设备。

6) 真空浸渗法 主要用于厌氧胶真空浸渗。方法大致同真空压法类似，只是浸渗胶不靠空气加压渗入，而是在常压下渗入。如GY-601，GY-610用真空浸渗法把胶液浸入被浸产品中。

(2) 浸渗胶 浸渗胶按化学属性可分为无机浸渗胶和有机浸渗胶两大类。无机浸渗胶有碱金属硅酸盐、硫酸盐、氯化物等。有机浸渗胶有合成树脂（包括环氧聚酯等）、厌氧型浸渗胶等。从浸渗密封效果出发，当前有碱金属硅酸盐、厌氧胶和聚酯等三大类为最佳。

1) 碱金属硅酸盐 通常这类无机浸渗胶是以碱金属硅酸盐（其中以钠盐为主）作为主要基料进行改性而成。它具有室温固化（25℃）、贮存性能好、水洗除性好、耐有机介质、无毒或低毒、成本低、来料来源广泛等优点，且它的耐热性是三类浸渗胶中最高的，能耐800℃高温，其缺点是固体含量低，收缩率大、性脆、易龟裂。它渗补孔隙的能力小于0.15mm，对于孔隙较大的工件通常需二次、甚至三次重复处理。但由于它成本低，易贮存，因此它是当前浸渗技术中应用最广泛，销售量最大的一类。

2) 厌氧浸渗胶 它是一种新型的、生命力强的浸渗胶，它具有固化性能好、粘度小、浸渗效率高，无溶剂，固化时不收缩和膨胀等优点，它的浸渗孔隙能力通常为0.3mm，最大可浸渗0.4~0.5mm。其不足是胶的价格较高，真空浸渗设备较复杂，整体浸渗时，初期投资较大，它在国外应用较广。

3) 聚酯类浸渗胶 它具有较小的表面张力，浸渗效率高，收缩率小，耐介质性能好，耐高压等优点，可渗补0.2mm以内的孔隙，一次渗补成功率高。但这种浸渗剂洗除性差，作业条件不好（需通风和加热100~135℃固化），价格较硅酸盐类浸渗胶高。但由于它一次浸渗成功率高，浸渗后的工件可承受高压（承受密封能力可达68.6MPa左右）等优异性能，因此它仍是今天国外应用较广、研究较多的种类之一。

4. 无机浸渗胶的应用技术

(1) 无机浸渗胶 无机浸渗胶在国内外都较早应用于机械产品的微气孔密封，胶种较多，工艺也比较成熟，这里将从实用性出发介绍无机浸渗胶的分类、品种、浸渗工艺等，并着重介绍离子型硅酸盐浸渗胶的性能，至于浸渗胶的性能测试等在此不作介绍。

1) 无机浸渗胶的分类 国内外已有的无机浸渗胶可分为三类。

① 双组分型（浸渗胶） 这类浸渗胶分甲乙组分。甲组分以碱金属铝酸盐或硅酸盐为主体，乙组分以二、三价金属的盐为主体。浸渗分两步，先于甲组分中浸渗，而后放入乙组分液中促进甲组分固化。这是一类最早的浸渗胶，浸渗工艺复杂，周期长，现已基本上被淘汰。

② 化学腐蚀型（浸渗胶） 这种浸渗剂有硫酸铜溶液，氯化铵溶液以及它们的混合溶液等。它是利用这些溶液能对某些材料进行反应，产生的盐类沉积于孔隙中而达到堵漏的目的。但这种浸渗周期长，适应材料单一，无法处理较大的空隙。硫酸铜毒性大，氯化铵具有刺激性。作业条件恶劣。因此近年来已不被采用。

③ 碱金属硅酸盐类 它是一种一直被研究最多、应用最广的无机浸渗胶。这类浸渗剂包括基体、固化剂、稳定剂、活性剂、增韧剂、填料等六个组分。除基体外其它组分均属改性成分。基体通常采用钠水玻璃，不含其它组分。但由于表面张力大，耐水性差，质地极脆，易龟裂等，因而浸渗效果不好，承受压力也低。为此，常在基料中加入2~3份金属的磷酸盐、硅酸盐、硼酸盐等和提高水玻璃的模数4~5，并加入稳定剂和表面活性剂、增韧剂等，从而提高这种浸渗剂的耐水性、韧性、防止龟裂。

2) 离子型硅酸盐浸渗胶的性能 离子型硅酸盐浸渗胶是在水玻璃中引进一些金属离子、非金属离子、增韧剂、表面活性剂成分，使之成为一种低粘度，低表面张力、低pH值，不龟裂，半透明的浸渗胶。使用时毋须加热和搅拌，可用于常温常压浸渗，可适用于铸铁、铜合金、铝合金、锌合金、镁合金、铸钢、陶瓷等多种材质。它水洗除性能好，粘附带出量少，贮存性能好。湖南省机械所的WJJ8201浸渗胶是属于这种类型。WJJ8201胶的物理性能和浸渗性能分别见表10-3-37和表10-3-38。

表10-3-37 WJJ8201胶的物理性能

状 态	性 能	WJJ8201	三 键	
			实 测	报 道
液 态	外观色泽	黄色半透明的液体	微黄色半透明液体	
	pH值	11.3~11.5	11.8	11.8
	粘度, 25°C时(mPa·s)	14~18	15.6	1.3
	表面张力N/cm	$(37\sim40)\times 10^{-5}$	35.7×10^{-5}	35.2×10^{-5}
	比重, 25°C时	1.28~1.29	1.27	1.27
	固体性能25°C时	20 h	20 h	24 h
	80°C时	1 h	1 h	2 h
固 化 物	耐水性	良	良	良
	耐介质性(除氢氟酸、强碱外)	优	优	优
	耐油性(机油240 h)	优	优	优
	耐有机介质(苯240 h)	优	优	优
	耐热性(80°C固化)① (110°C固化)①	优 优	优 优	优 优

① 系指300°C或600°C热冲击1 h。

表10-3-38 WJJ8201胶的浸渗性能

项 目	条 件	WJJ8201	三键ナタルシール	
			实 测	报 道
浸渗效率(%)		84	85	
	真空度1.3~5.3kPa 压力0.49MPa	98	98	98
耐热性	80°C固化, 300°C冲击1 h	泄漏扩大 5~6 倍	泄漏扩大 6~7 倍	
	110°C固化, 300°C冲击1 h	泄漏不扩大	泄漏不扩大	
	110°C固化, 600°C冲击1 h	泄漏不扩大	泄漏不扩大	
耐水性	冷水浸8 h	泄漏扩大 50%~100%	泄漏扩大200%~300%	
粘附带出量	铸钢直通(746.6 g)	附着量 5.7 g	附着量 5.3 g	
	铸铁件(999.9 g)	1.8 g	1.7 g	
水洗除性	导电法	2次	2次	2次

(2) 浸渗工艺 无机浸渗胶用于微气孔密封主要采用真空加压浸渗法。其工艺流程如下。

1) 脱脂除油 对需要浸渗密封的工件, 国外普遍采用三氯乙烯、全氯乙烯蒸汽脱脂除油效果很好。国内因缺乏蒸汽除油装置可采用丙酮等溶液清洗除油, 或在200~300°C烘烤除去内部油类, 效果比前者差。

2) 减压 将浸渗件放入浸渗罐, 减压至1.3~9.3kPa, 15min后, 吸入浸渗胶, 恢复至常压。

3) 加压 加0.49MPa气压, 15min后降压, 放出浸渗胶。

4) 清洗 从浸渗罐取出浸渗件, 用水漂洗10min。

5) 固化 在25°C下固化24 h, 或在80°C下固化1 h。

5. 厌氧浸渗胶的应用技术

厌氧胶浸渗密封微气孔的基本原理在于利用其“厌氧固化”的特点。胶液一旦渗入工件微气孔中, 就将孔中空气挤出, 形成绝氧固化的条件, 在室温下自行聚合成实体型高聚物。这样既填充了微气孔, 又牢固地粘附在孔壁上, 因此有很好的密封、抗震作用。同时它还保持了厌氧胶原有的耐

水、耐油、耐溶剂的优良耐介质性能，使浸渗过的工件具有良好的密封耐蚀性能。

(1) 厌氧胶局部浸渗技术

1) 作用原理 常压下的局部浸渗技术就是在工件上有微气孔泄漏的部位刷(喷)涂厌氧胶，利用浸渗用的厌氧胶具有良好渗透性能，靠毛细管作用渗入微气孔中、将孔中空气挤出，形成绝氧固化，使固化的胶液填充了微气孔而起到密封作用。

2) 局部浸渗用的厌氧胶 用于局部浸渗的厌氧胶一般是粘度较低(在 $500\text{mPa}\cdot\text{s}$ 以下)的品种，国内目前有中科院广州化学研究所的GY-280、浙江机械研究所的ZY-SI和上海新光化工厂的铁锚302胶。经过性能测试，工件浸渗ZY-SI胶后工作温度可达 200°C ，浸渗GY-280胶可达 150°C ，浸渗302胶可达 100°C ，耐压密封性能和耐介质性能测试都能满足实际使用要求，自此说明了上述三个局部浸渗胶可用于机械产品的铸件、焊缝的微气孔密封或粉末冶金件的密封。

3) 厌氧胶局部浸渗工艺 局部浸渗工艺简便，主要工艺流程为：工件泄漏部位的判断、局部(或整体)清洗除油，微气孔内的清理，局部渗胶，固化，余胶清理等。

① 泄漏部位的判断 一般是通过试压方法判断工件泄漏的具体部位，并作好标记。试压介质用压缩空气或水，以便容易将微气孔中的剩液清除。

② 工件的清洗、除油 由于是局部浸渗，工件清洗的只要求将浸渗的部位及其周围擦净，除油。清洗工件时，尽可能避免因污物，溶剂进入微气孔而增加微气孔清理的困难。

③ 微气孔内的清理 这是局部浸渗工艺中成败的关键之一，因为微气孔内若有水、油等污物存在，孔不是空的，就失去了毛细管作用，浸渗液也就无法渗入，因此，对微气孔内的清理必须要严格，常用的清理方法如下：

a. 烘烤法：即工件加热，迫使微气孔中的水分或油等污物挥发或烘烤(除水时，工件加热到 110°C ，除油时，工件加热至 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$)。加热时可视工件壁厚薄而异，一般要2h以上。加热时可将已经清洗除油过的整个工件放在烘箱中烘烤，或用喷灯、焊枪在微气孔部位局部加热至微气孔不冒烟为止。

b. 蒸汽除油法：国外普遍采用除油能力强的

三氯乙烯、全氯乙烯蒸汽脱脂除油，其方法是将工件和溶剂放入封闭的容器中加热，进行反复的蒸发和冷凝循环，使装入容器中的工件在溶剂蒸汽和冷凝循环作用下快速除油，使微气孔内部达到净化的目的。

④ 局部渗胶 局部渗胶的方法大致有两种：刷涂和喷涂。喷涂适用于大面积或一定生产批量的产品，涂布效率高，涂层均匀。但目前广泛应用的是刷涂，因为刷涂工具简单，胶耗量少。

涂胶时要求有足够的胶量渗透微气孔，以保证反复刷涂用胶的需要。实际应用中，人们采用一种简单而有效的供胶办法，在微气孔处放一块已吸满胶的棉花团，让胶不断地流入微气孔中，以保证涂胶时有足够胶量供应的需要。

⑤ 渗入速度和固化速度 这是渗胶过程中必须掌握好的两个主要工艺参数。

a. 渗入速度：是指胶渗入工件达到一定深度所需的时间。对掌握用胶量、浸渗质量等都有很大的影响。对一个微气孔而言，开始渗入时速度快，而后逐渐减慢。

b. 固化速度：一般讲，局部浸渗用的厌氧胶不需要有很快的固化速度。因为胶的渗入需要有一定的时间，过快的固化速度将限制胶的渗入速度，当然固化速度太慢，也往往会造成交在渗透后的流失，要合理选择固化速度。

⑥ 固化 一般情况下渗胶后室温下放置24h都能完成胶的固化。低温时可以采用加热固化或采用封口剂封口固化的办法。

封口固化是采用专用的封口剂涂在微气孔两端，促使两端的胶迅速固化，使胶液封闭在微气孔中，这样既能防止胶液流失，又能加速胶液的厌氧固化。

⑦ 余胶清理 局部浸渗后余胶的清理是很方便的，经过局部浸渗后留在工件表面的余胶因与空气始终保持接触，不会固化，可以方便地擦除或用溶剂洗去即可。

(四) 密封带

密封带是一种介于固体密封胶和液态密封胶之间的密封材料。一般可分为无弹性、半弹性和弹性三种类型。这里所说的弹性，主要是指胶带本身被压缩后的回复能力。

常用的密封带是聚四氟乙烯生料带或条，属于

无弹性胶带，它是由未经烧结的聚四氟乙烯树脂等所组成，与烧结的熟料制品不同，所以它有较大的可塑性、较高的耐热性（最高使用温度可达260℃）、优异的耐腐蚀介质性能，因此将这种密封带使用在管道螺纹上时显示出优良的密封效果，特别是用作承受高温高压的管道螺纹与化工管道螺纹的密封等。

聚四氟乙烯生料带的厚度在0.1mm左右，一般是用分散法制得的聚四氟乙烯树脂，加入其他助剂等领压成坯后再经推压和辊压而成。

聚四氟乙烯生料带的密封原理是：生料带在外力作用下产生塑化变形的同时也产生较大的自然回复倾向和内力。塑性变形起填充作用，自然回复倾向使两个接合面密合，而内力能使其完整和连续。由此构成了可靠的连续密封的薄膜。根据单分子膜理论，越薄的膜，自然回复倾向越大，因而越有利于密封。

还有一种截面呈椭圆的密封带，是由弹性较好的聚酰胺树脂（尼龙）制成，属于半弹性胶带，可以和液态密封胶并用以解决大面积接合部位的密封，特别是一些对于平整度要求较高的端面密封的部位。使用时先在接合表面均匀涂敷一层薄薄的液态密封胶，然后将尼龙胶带置于密封胶上，位于接合界面的边缘。待接合面连接并用螺钉压紧后，胶带中间的圆柱体受到挤压变形，能很好地填平接合表面的凹陷，补偿因平整度不好而造成的缝隙，从而在使用中防止泄漏。

在使用密封带以前，同样必须将接合面上的油污清洗干净，然后将胶带在管件螺纹部分缠绕2~3圈（缠绕圈数视管件螺纹间隙大小而定，间隙大，绕圈多，反之，则绕圈少，随即将螺纹上紧，便可投入使用。因此操作简便，可拆性好，可降低对接合面的加工精度的要求，节省工时。

参 考 文 献

- [1] 中国机械工程学会摩擦学会《润滑工程》编写组，润滑工程，北京：机械工业出版社，1986
- [2] 《机械设计手册》联合编写组编，机械设计手册，第二版，北京：化学工业出版社，1979
- [3] 日本液压气动协会编，液压气动手册，手册翻译组译，北京：机械工业出版社，1984
- [4] 周雍鑫，润滑工实用问答，北京：机械工业出版社，1989
- [5] 合肥通用机械研究所主编，机械工程手册第23篇：密封，北京：机械工业出版社，1980
- [6] 李继和等，机械密封技术，北京：化学出版社，1988
- [7] 化工部化工设备设计中心编，机械密封新结构图册，上海：上海科学技术出版社，1980
- [8] 渡部荣介，液状ガスケット，机械设计，1969，13（5）
- [9] 赵世荣，液体聚合物密封材料，北京：化学工业出版社，1980
- [10] 龚云表，高分子密封材料，上海：上海科学技术出版社，1983
- [11] 龚云表，石安富，密封胶密封机理的探讨，润滑与密封，1979（4），30~35
- [12] 机械产品防漏座谈会密封资料编写组，液态密封胶的基本知识，润滑与密封，1977，（1），90~98；（2），79~93
- [13] 龚克诚，高聚物胶粘基础，上海：上海科学技术出版社，1983
- [14] 沈公铭，骆玉琼，钟汉荣，国产液态密封胶联评结果及密封胶的选择原则和使用方法，机床与液压，1991，（2），42~49
- [15] 喻华清，胶粘剂产品汇编，襄樊：粘接杂志，1983