

实用密封技术手册

夏廷栋 胥德孝 彭拾义
张庆德 杜绍武 编著

黑龙江科学技术出版社



实用密封技术手册

夏廷栋 胥德孝 彭拾义 编著
张庆德 杜绍武

黑龙江科学技术出版社

一九八五年·哈尔滨

内 容 提 要

本书全面而系统地介绍了各种机械设备的动、静密封技术及密封装置，同时还介绍了密封原理，有关的结构设计、加工制造、选择使用、维护修理等内容。全书共分七篇：第一篇概论；第二篇液压密封；第三篇气动与真空密封；第四篇机械密封；第五篇新型液体密封；第六篇其他密封；第七篇密封材料。

本书可供从事密封设计的工程技术人员、使用和维护人员及大专院校有关专业师生学习参考。

封面设计：刘连生

实用密封技术手册

SHIYONG MIFENG JISHU SHOUCHE

夏廷栋 胥德孝 彭拾义 张庆德 杜绍武 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

齐齐哈尔第一印刷厂印刷·黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/16·印张31.75·字数700千

1985年10月第一版·1985年10月第一次印刷

印数：1—7,590

书号：15217·134 定价：4.95元

前 言

随着科学技术的发展,密封技术已经广泛应用于工业、农业、国防和科学技术的各个领域。可以毫不夸张地讲,没有密封技术,一切现代机器设备都将无法正常运行。密封技术的迅速发展,同时又对液压、气动等技术的发展起了重要的推动作用。

实践表明,密封技术不仅是实现机械化自动化中一项必不可少的技术环节,而且也是节省能源的一种有效途径。众所周知,漏油、漏气、漏水(简称“三漏”)对产品的效率和性能具有极坏影响,如不解决,产品质量就不可能提高。

当前,泄漏是国内亟待解决的老大难问题。分析表明,泄漏的原因是复杂的,多方面的。诸如密封装置各部尺寸与有关参数选择(设计)得合理与否,制造工艺尤其是密封元件的工艺质量高低,使用装配的正确与否,密封材质的优劣及密封元件模具设计是否得当等,都是造成跑、冒、滴、漏的重要原因。

本书从发展现代密封技术与解决生产使用中实际存在的问题出发,系统而全面地阐述了液压、气动、真空、机械传动的各种密封与密封装置,以及密封元件的种类、功用、设计方法、使用基础、密封材料及有关基础理论、密封原理等。本书将以此为从事密封技术工作的工程技术人员、生产使用人员提供设计、制造、使用、维修等方面的经验与知识。

本书插图由林桂英绘制,在此谨致谢意。

由于我们水平有限,加之时间仓促,书中的缺点与错误在所难免,希望读者不吝指正。

目 录

第一篇	概论	1
第一章	密封装置的功用、分类、设计要求与选择	3
第一节	密封装置的功用	3
第二节	密封装置的分类	4
第三节	密封装置的设计要求	5
第四节	密封装置的选择	7
第二篇	液 压 密 封	11
第二章	O形密封圈	13
第一节	O形圈与密封沟槽的设计	13
第二节	旋转运动用O形圈	27
第三节	低摩擦用O形圈	31
第四节	O形圈的使用基础	39
第五节	O形圈的标准化	48
第三章	空心金属O形圈	62
第一节	空心金属O形圈的特点	62
第二节	空心金属O形圈的型式	63
第三节	空心金属O形圈与密封沟槽的设计	65
第四节	空心金属O形圈材料	67
第四章	油封	68
第一节	油封的密封原理	68
第二节	油封性能的影响因素	70
第三节	油封的种类与选择	75
第四节	油封的设计	82
第五节	油封的标准化	90
第六节	回流油封	97
第七节	油封的使用	106
第五章	唇形密封圈	113
第一节	V形密封圈	114
第二节	Y形密封圈	131
第三节	U形密封圈	162
第四节	L形密封圈	168
第五节	J形密封圈	173
第六节	新型复合唇形密封圈	176
第七节	唇形密封圈的装配	178

第六章	防尘密封圈	180
第一节	橡胶防尘圈	180
第二节	金属防尘圈	183
第三节	毛毡防尘圈	184
第七章	密封垫圈	189
第一节	管路密封垫圈	189
第二节	法兰密封垫圈	194
第八章	橡胶密封元件模具设计	211
第一节	模具的设计要求和工艺要求	211
第二节	模具的结构设计与计算	213
第三节	模具的寿命与使用保养	223
第三篇	气动与真空密封	224
第九章	气动密封	227
第一节	气动密封的种类	227
第二节	橡胶O形密封圈	230
第三节	唇形密封圈	246
第四节	气动滑环组合式密封圈	256
第五节	缓冲密封	257
第六节	漏气及其防止	260
第十章	真空密封	262
第一节	真空密封用O形圈	263
第四篇	机械密封	271
第十一章	机械密封装置的原理、应用及磨损	273
第一节	机械密封装置密封原理	273
第二节	机械密封装置的特点和应用	274
第三节	机械密封装置的摩擦功率与磨损	275
第十二章	机械密封装置的分类	278
第一节	按结构特点分类	278
第二节	按使用条件分类	282
第十三章	润滑、冲洗、冷却及过滤	291
第一节	润滑	291
第二节	冲洗与冷却	292
第三节	杂质过滤	298
第十四章	设计计算	300
第一节	摩擦副	300
第二节	弹簧元件	303
第三节	密封圈	306
第四节	轴套	307

第五节	动环传动方式	308
第六节	静环固定方式	311
第十五章	机械密封装置的材料选择及使用	313
第一节	机械密封装置材料的选择	313
第二节	机械密封装置的安装与使用	317
第三节	机械密封装置的故障与对策	318
第四节	机械密封装置的使用举例	320
第五节	机械密封装置的标准化	327
第五篇	新型液体密封	347
第十六章	高分子液体密封胶密封	349
第一节	高分子液体密封胶密封的基础理论	349
第二节	高分子液体密封胶的主要品种及应用	376
第十七章	厌氧胶密封	390
第一节	厌氧胶的基础理论	390
第二节	厌氧胶的主要品种	404
第十八章	密封腻子 and 灌注密封胶密封	411
第一节	密封腻子的分类	411
第二节	几种常用密封腻子	412
第三节	密封腻子的主要品种和性能	414
第四节	灌注密封胶	419
第十九章	其他材料密封	423
第一节	新型材料密封	423
第二节	动密封装置	426
第六篇	其他密封	431
第二十章	间隙密封	433
第二十一章	活塞环密封装置	438
第一节	活塞环的应用	438
第二节	活塞环结构	439
第三节	活塞环的泄漏量与摩擦功率的计算	450
第二十二章	迷宫密封	451
第一节	迷宫密封装置工作原理	451
第二节	迷宫密封装置的使用条件	452
第三节	迷宫密封装置的结构	453
第四节	迷宫密封装置泄漏量的计算	457
第七篇	密封材料	459
第二十三章	橡胶材料	461
第一节	橡胶密封材料的使用要求	461
第二节	橡胶密封材料的性能	462

第三节 橡胶密封材料的分类与应用	464
第二十四章 合成树脂	476
第一节 聚四氟乙烯	476
第二节 聚酰胺（尼龙）	479
第三节 聚甲醛	481
第二十五章 非金属与金属材料	482
第一节 非金属材料	482
第二节 金属材料	493

第一篇 概论

第一章 密封装置的功用、分类、设计要求与选择

密封技术广泛应用于工业、农业、国防和科学技术的各个技术领域。密封装置是机器设备所不可缺少的组成部分。大量的使用与试验证明，它们往往又是最薄弱环节。随着现代尖端科学（电子科学、原子能、火箭、导弹等）的迅速发展，密封装置的使用条件（压力、温度、工作介质、工作环境等）越来越苛刻。因此，保证密封的可靠性与寿命，则是当前密封装置的研究、设计、制造、使用等方面的重要任务。

第一节 密封装置的功用

防止工作介质的泄漏与防止外界的气体、灰尘等侵入的功用，一般称为密封。由密封元件、挡圈、支承环、压环、润滑介质（液体或减磨材料）、安装沟槽（几何形状、尺寸、表面特征、加工精度以及相对运动方式）等有关部分组合而成的密封机构整体，统称为密封装置。密封装置的好坏，是衡量与评价液压、气动、真空、机械传动设计与制造的重要技术指标。个别密封件的损坏所造成的损失，往往是密封件本身价值的千万倍。因此，不难看出，小小的密封件，在机器设备中所占的地位是何等的重要。

泄漏不仅降低机器的效率，造成能量损失，浪费了工作油液，而且污染机器设备和工作环境，甚至会引起火灾。工作介质的内部泄漏，亦应极力避免，严重的内部泄漏可导致建立不起来系统所需要的工作压力，实现不了机构所应完成的工作。密封装置的重要功用之一就是防止工作介质泄漏。

密封装置的另一个作用就是防止杂质进入工作系统。杂质一旦进入工作系统，即可引起液压元件精密工作副与密封元件的早期磨损与损坏。对液压传动而言，防止空气侵入也是非常重要的，空气进入将破坏传动的正常工作状态，引起冲击与噪音，造成油液的气蚀^①，使得液压泵容积效率下降，导致油液乳化变质。

由此可见，在液压与气动等各种传动系统中，根据机构的不同工作条件设计出相适应的合理的密封装置，防止工作介质的泄漏与空气、杂质等侵入，对提高产品的质量是非常重要的。

^① 在一定条件下，液体中产生大量气泡的现象，称为气穴。含有大量气泡的油液进入高压区后，气泡迅即溃灭。冲向气泡中心的油液互相冲撞，造成局部高温、高压，引起振动和噪音，并使附近的金属表面出现麻坑。气穴引起的这种金属表面的损坏称为气蚀。

第二节 密封装置的分类

密封装置依其工作状态的不同，通常可分为静密封装置与动密封装置两大类。

一、静密封装置

被密封部位的两个偶合件之间不存在相对运动的密封装置，统称静密封装置。此种密封装置，通常是將密封元件或密封涂料置于压力容器或管道的法兰面、机器或阀类的结合面以及其他固定平面之间，通过螺栓或其他紧固方法连接构成。静密封装置所采用的密封元件或涂料，属于非金属的主要有O形圈、橡胶垫圈、石棉橡胶垫圈、纸垫、尼龙垫、液体密封胶等；属于金属的主要有铜垫圈、铝垫圈、空心金属O形圈、组合垫圈等。图1-1所示为几种常见静密封装置的结构型式。

静密封装置可以实现无泄漏的绝对密封。

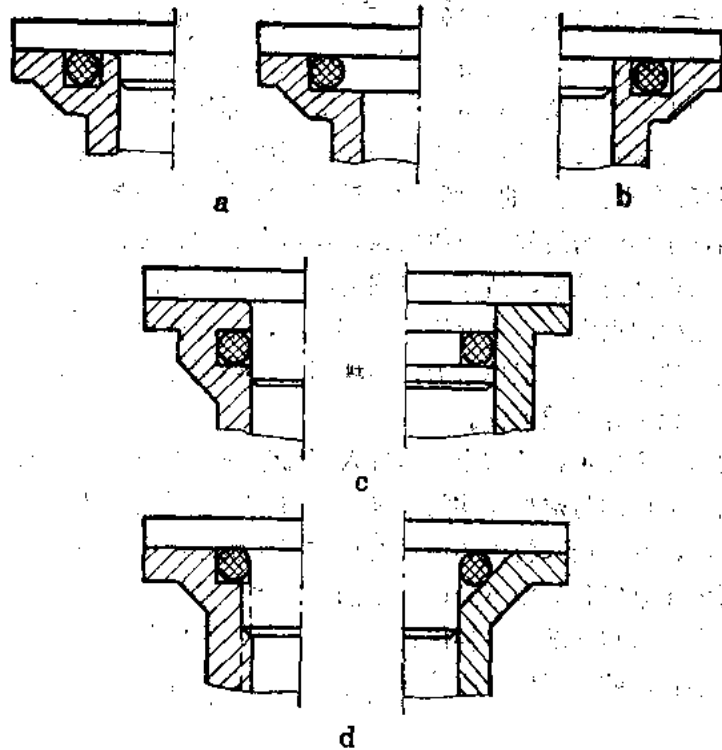


图1-1 静密封装置

a—受内压；b—受外压；c—受内（或外）压；d—受内压

二、动密封装置

被密封部位的两个偶合件之间具有相对运动的密封装置，统称动密封装置。根据相对运动的特点，动密封装置又可分成往复运动式和旋转运动式密封装置。

1. 往复运动式密封装置

在液压和气动设备中，这是一种常见的密封装置。液压缸（或液压马达）是用来完成机构动作的执行元件，在液压缸（图1—2）中，活塞作往复直线运动。为防止活塞1与缸筒4之间发生泄漏，在活塞1上的密封沟槽中，装有O形圈2与挡圈3。

2. 旋转运动式密封装置

密封装置的运动偶件是转动的，就是旋转运动式密封装置。在现代传动中，旋转运动式密封装置的结构型式很多。旋转运动的轴、螺旋运动的阀杆处的密封装置，一般采用油封、机械密封、O形圈等，其中O形圈（图1—3）最简单。

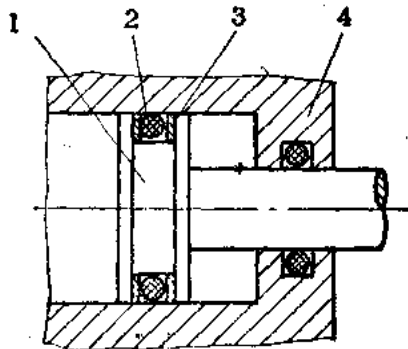


图1—2 往复运动式密封装置

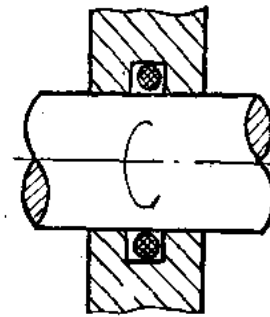
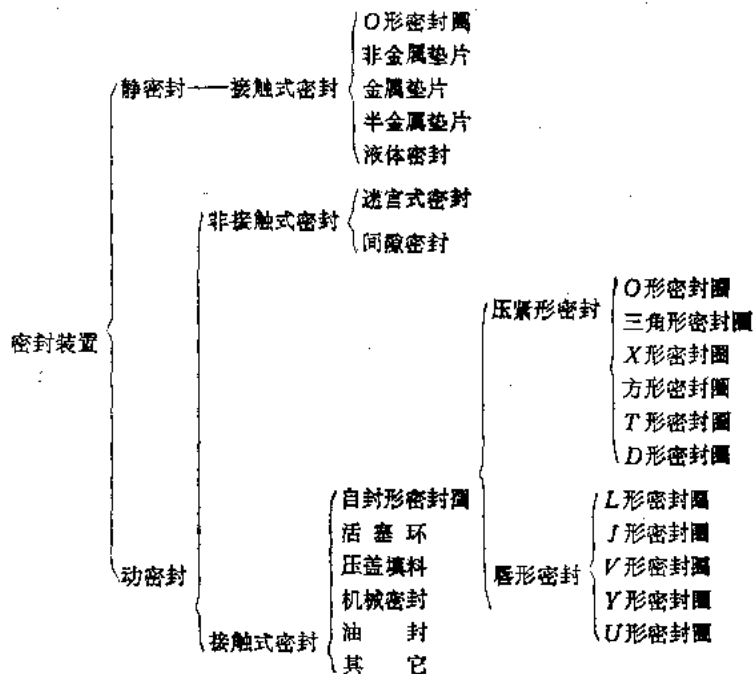


图1—3 旋转运动式密封装置

为清楚起见，也可用如下的分类法来进行密封装置的分类。



第三节 密封装置的设计要求

设计的优劣是密封装置的性能与寿命的重要影响因素之一。因此，对密封装置的设计

计, 必须给予足够重视, 密封装置设计的基本要求如下。

(1) 良好的密封性 在工作压力作用下, 具有良好的密封性能, 且随工作压力的增加或减少密封性能无明显变化。

(2) 尽可能长的使用寿命 要求密封元件具有小而稳定的摩擦系数与高的耐磨性, 以及对密封介质良好的相容性。

(3) 制造简单、拆装方便、成本低廉。

密封装置的这些要求, 是彼此关联而又相互制约的。良好的密封性和尽可能长的使用寿命是一切密封装置的两个既矛盾又统一的重要指标。在某些场合下, 需要确保密封装置具有良好的密封性能。例如, 飞机上某些液压元件伸出的连杆和小轴、轮式起重机支腿液压缸的活塞等处的密封装置, 必须具有绝对可靠的密封性, 否则将会造成严重事故。

在另外一些场合下, 保证密封装置具有尽可能长的使用寿命, 则显得尤为重要。例如, 大型机器设备中的密封元件, 更换一次非常困难, 特别是连续作业线上密封部位更换密封件不得不停机进行, 影响了整个流水线其它设备的正常工作。因此, 就要求动密封装置应有较高的机械效率与较小的磨损, 且允许有一定的泄漏量。早些时候, 根据美国空军的要求, 经液压缸活塞杆处的泄漏量, 规定活塞每25个循环不得超过一滴。苏联

表1—1 活塞杆处的外部泄漏的允许值

类别	泄 漏 允 许 值
1种	有些渗润, 活塞每移动100m, 泄漏量小于0.05ml
2种	活塞杆表面湿润, 并有油液滴下, 活塞每移动 100m, 泄漏量小于 0.2ml
3种	活塞每移动 100m, 泄漏量小于 1ml

- 注: (1) 静止时不得发生泄漏。
 (2) 在额定压力的范围内, 不论处于何种状态, 除活塞杆外, 不得有外部泄漏。
 (3) 一滴油液约为 0.05ml。

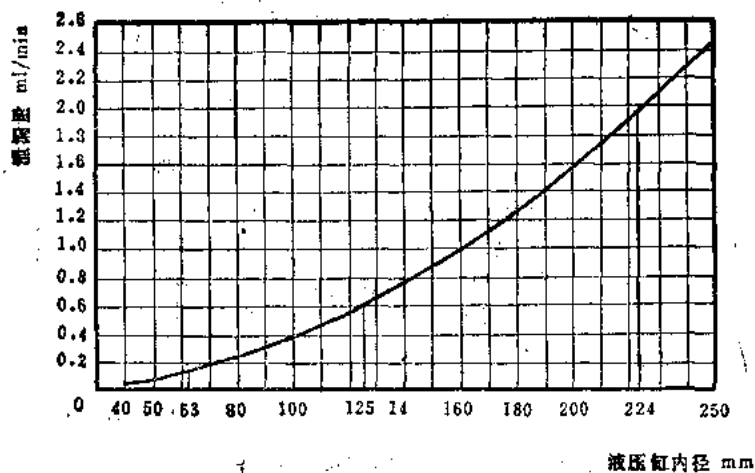


图1—4 活塞处内部泄漏的允许值
 (采用除活塞环以外的密封元件)

航空液压系统规定,液压缸每工作一小时,允许有1~20立方厘米的泄漏量。目前,有些国家已达到每万次行程的泄漏量不超过1~5滴。日本油压工业会技术委员会液压缸分会以实验为依据,在日本工业标准 *JIS B8354* 中对液压缸活塞杆处的外部泄漏与活塞处的内部泄漏的最大允许值,均分别做出规定(表1-1与图1-4)。

我国机械工业部标准 *JB 2146-77* 《液压元件出厂试验技术指标》对液压缸活塞内泄漏量允许值也做出规定(表1-2)。

表1-2 液压缸活塞内泄漏量允许值

液压缸直径 (mm)	内 泄 漏 量 (ml/min)	液压缸直径 (mm)	内 泄 漏 量 (ml/min)
≤ 40	0.1	140	1.5
50	0.20	160	2.0
55	0.25	180	2.5
63	0.30	200	3.10
70	0.40	220	3.80
80	0.50	250	5.00
90	0.60	320	8.00
100	0.80	400	13.00
110	0.90	≥500	19.00
125	1.10		

注:表中内泄漏量允许值是按液压缸以 $0.5\text{mm}/5\text{min}$ 的沉降量来计算的。

从制造的观点出发,密封装置应用最广泛的O形圈(图1-5), 90° 分模比 45° 分模的模具容易制造得多,但前者的密封性一般不如后者。通常用于静密封装置的O形圈多采用前者,而用于动密封装置则多采用后者。

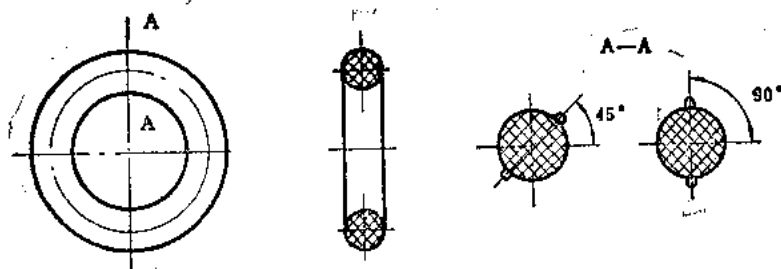


图1-5 O形密封圈的分模

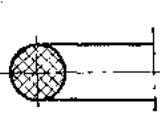
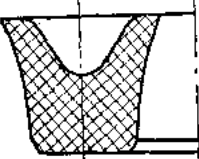
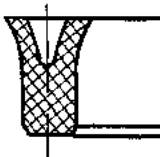

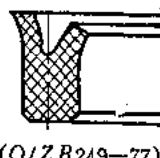
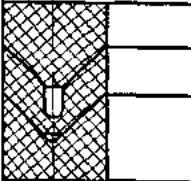
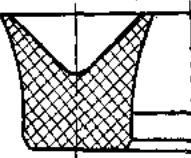
第四节 密封装置的选用

实践证明,尽管引起泄漏的因素很多,然而根据使用条件,正确地选择和使用密封装置则是诸因素中的首要因素。如果选用的合理,不仅能提高机械设备的性能和效率,而且可以延长密封装置的使用寿命。反之,若选用得不当,即使是高质量的密封元件也会发生过早的损坏与严重的泄漏,影响机器设备的正常工作。

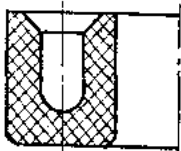
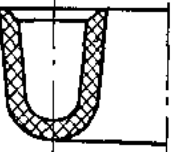
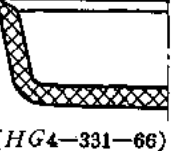

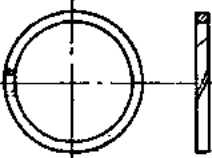

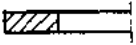
为了正确选出所需要的密封装置,必须熟悉各种密封装置的型式及特点,密封材料的性能与使用条件(工作压力、工作介质、温度、速度、润滑)等,并以此进行综合考虑。

为便于选用时的分析对比，现将国内常用的密封元件排列成表（表1—3）。







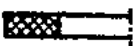
表1—3 常用密封元件的形式与应用

密封元件		工作条件				
名称	结构形式	材料	压力 Kgf/cm ²	温度 °C	介质	应用
O形密封圈	 (GB1235—76)	橡胶 I—3	<320	-40~+100	空气、水、矿物油等	静止、往复和旋转运动密封
		橡胶 II	<25	-25~+80	20% H ₂ SO ₄ 20% HCl 20% NaOH 20% KOH	
Y形密封圈	 (HG4—335—66)	橡胶 I	≤200	-25~+80	润滑油、燃料油、液压油等	往复运动密封
		橡胶 II		-40~+60	空气、水	
等Y _x 形密封圈脚		聚氨酯—4 橡胶 I—4	≤320	-20~+80	空气、矿物油	往复运动密封（耐磨性极好）
不等Y _x 形密封圈脚	孔用Y _x 形圈  (Q/ZB248—77)	聚氨酯—4 橡胶 I—4	≤320	-20~+80	空气、矿物油	往复运动密封（耐磨性极好）
	轴用Y _x 形圈  (Q/ZB249—77)					
V形密封圈	 (HG4—337—66)	橡胶 I	≤500	-25~+80	润滑油、燃料油、液压油等	压力高、运动速度大、柱塞直径较大情况下的往复运动密封
		橡胶 II		-40~+80	空气、水	
V形密封圈		聚氯乙烯	≤320	-10~+60	油、水	往复运动密封

(续)

密封元件			工作条件			
名称	结构形式	材料	压力 Kg/cm ²	温度 °C	介质	应用
U形橡胶密封圈	 (HG4-336-66)	橡胶 I	≤320	-25~+80	液体、气体	直径较小，运动速度慢的小柱塞往复运动密封
U形密封橡胶圈	 (HG4-334-66)	橡胶 I~I	—	-25~+80	液体	往复运动密封
L形密封橡胶圈	 (HG4-331-66)	橡胶 I	≤10	-25~+80	润滑油、燃料油、液压油等	液压、气动设备的往复运动密封
		橡胶 II		-40~+60	空气、水	
J形密封橡胶圈	 (HG4-332-66)	橡胶 I	≤10	-25~+80	空气、水	液压、气动设备的往复运动密封
		橡胶 II		-40~+60		
活塞环		HT20-40 HT18-36	≤200	—	液体、气体	液压或气动设备在高速、高温下的往复运动密封
组合密封垫圈	 (JB982-77)	金属与橡胶	≤400	-25~+100	空气、矿物油	静密封
金属密封垫圈	 (JB1002-77)	T3、L4	—	+300	液体、气体	静密封

(续)

密封元件			工作条件			
名称	结构形式	材料	压力 Kgf/cm ²	温度 ℃	介质	应用
骨架式橡胶油封	单唇型  (JB2600-80)	橡胶 I-2	—	-25~+100	润滑油、 燃料油、液 压油等	线速度为 6 m/s (低速型) 或 6~12m/s 的旋转轴的密封
	双唇型  (JB2600-80)					
	无簧型  (JB2600-80)					线速度为 6 m/s 的旋转轴 的密封
J形无骨架橡胶油封	 (HG4-338-66)	橡胶 I-2	—	-25~+100	润滑油、 燃料油、液 压油等	线速度低于 7m/s 旋转轴 的密封
U形无骨架橡胶油封	 (HG4-339-66)	橡胶 I-2	—	-25~+100	润滑油、 燃料油、液 压油等	线速度低于 7m/s 旋转轴 的密封
防尘圈	 (Q/ZB336-77)	橡胶 I-3 聚氨酯-4	—	-25~+100	润滑油、 燃料油、液 压油等	活塞杆或阀 杆外伸端防尘
防尘毡圈	 (Q/ZB68-77)	半粗羊毛毡	< 1	< 90	润滑油	线速度 5m/s 以下的旋转或 往复运动轴的 防尘

第二篇

液 压 密 封

第 二 章

第 三 章

第二章 O形密封圈

密封元件中用得最早、最多、最普遍的就是O形密封圈，简称O形圈。可号称“密封之王”。在现代密封装置里，每年所使用的数以万计的密封元件中，其中绝大多数(50%以上)是O形圈。

早在十九世纪中叶，有人用铸铁制成了断面呈圆形的铸铁密封环，首先用在蒸汽机气缸和活塞间的密封。1939年，美国人尼尔斯·克里斯坦森在水龙头的密封上，使用弹性良好的天然橡胶制作的O形密封圈获得成功，而获得美国和加拿大的专利。从此，O形圈便获得了如此广泛地应用。但天然橡胶，在空气中易老化，遇热变粘，在矿物油中易膨胀和溶解(目前，天然橡胶已极少采用)。1940年开始，就用合成橡胶来制作O形圈了。因其具有良好的密封性，在第二次世界大战中，开始应用于飞机液压系统中。第二次世界大战后，用作O形圈材料的合成橡胶急剧发展，使O形圈的应用，广泛而迅速地发展起来。

O形圈具有很多优点。例如，密封性好；寿命长；结构紧凑，所占空间小；动摩擦阻力小；对油液、温度和压力的适应性好；制造简单；拆装方便；成本低廉等。

恰当地选择合成橡胶的种类和配方，O形圈可在 $-66\sim+200^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内使用。O形圈使用压力的大小，受工作温度、运动速度和设计等因素的影响而异。用于静密封装置的O形圈，其密封压力可达 $2000\sim7000$ 公斤力/厘米²，用于动密封装置时，密封压力可达 4000 公斤力/厘米²。实验室用动密封压力，已高达 12000 公斤力/厘米²。

O形圈用于密封高压时，为防止O形圈的间隙挤出，常采用填充聚四氟乙烯(特氟隆)，皮革等制作的保护挡圈。

第一节 O形圈与密封沟槽的设计

一、O形圈的密封原理

1. 静密封装置的密封原理

如果静密封装置具有良好的设计与制造，那么，它可以实现无渗漏的绝对密封。图2-1所示为静密封装置用O形圈密封原理。O形圈装入密封沟槽后，其断面一般受到15~30%的压缩变形。在无液体压力下，由于O形圈具有良好的反弹力，对接触面产生接触压力 P_0 。(图2-1a)。当密封腔充入压力液体后，在液体压力 P 的作用下，O形圈移至沟槽的一边，封闭了密封间隙 S ，实现了无泄漏密封(图2-1b)。这时密封接触面的压力

$$P_n = P_0 + P \quad (2-1)$$

式中 P_0 ——O形圈的初始压力，即O形圈装配后弹性变形对接触面产生的平均单位压

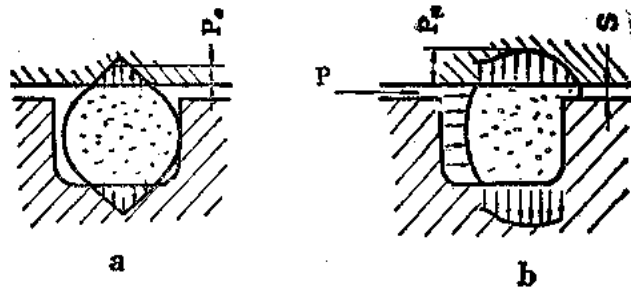


图2—1 静密封装置O形圈接触压力分布

力 (公斤力/厘米²);

P_n ——被密封的液体压力, 经O形圈传给接触面的接触压力 (公斤力/厘米²)

$$P_n = K \times P;$$

K ——压力传递系数, 对橡胶密封件 $K = 1$;

P ——被密封液体的压力 (公斤力/厘米²)。

很显然, 只要O形圈存在初始压力, 就能实现无泄漏密封。因为, 一般 $K \geq 1$, 所以 $P_n > P$ 。

2. 动密封装置的密封原理

动密封装置用O形圈的密封原理较为复杂。但用流体力学的观点来解释往复运动的泄漏, 还是比较容易理解的。

当液体在压力作用下, 由于液体分子与金属表面相互作用的结果, 油液中所含的“极性分子”, 便在金属表面上紧密而整齐地排列, 形成一个强固的边界层油膜, 且对轴产生极大的附着力 (亦称“呆滞力”)。该液体薄膜, 始终存在于密封元件与往复运动轴之间 (图2—2a)。这个液体薄膜从泄漏的角度讲, 是有害的。但它对运动密封面的再润滑, 却异常重要。当往复运动的轴, 向外拖出时, 轴上的液体薄膜便与轴一起拉出 (图2—2b)。由于密封元件的“擦拭”作用, 当往复运动的轴缩回时, 该液体薄膜便被密封元件阻留在外边。随着往复运动行程次数的增多, 阻留在外边的液体就越多, 最后形成油滴 (0.05毫升约合一滴), 从轴上落下 (图2—2c)。这就是往复运动式密封装置的泄漏。

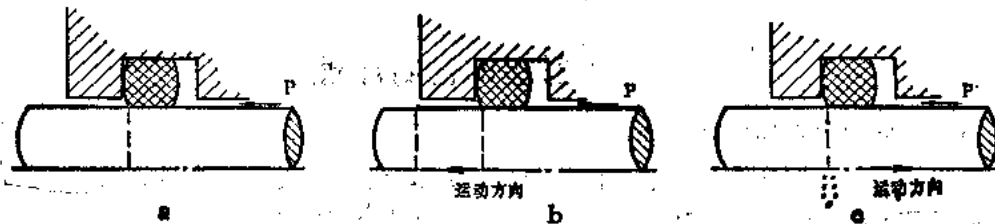


图2—2 往复运动式密封装置O形圈密封原理

二、O形圈设计的影响因素

1. 摩擦与密封零件表面的加工质量

经验证明, 在动密封装置中, 摩擦与磨损是O形圈损坏的重要影响因素。磨损的快慢, 主要取决于摩擦力的大小。当液体压力微小时, O形圈摩擦力的大小, 取决于它的

预压缩量。当工作液体承受压力时，摩擦力随工作压力的增加而相应增大。在工作压力小于200公斤力/厘米²以前，近似地呈线性关系（图2—3）。当压力大于200公斤力/厘米²时，随压力的增加，O形圈与金属表面接触面积的增加缓慢，因此，摩擦力的增加亦相应缓慢。在正常情况下，O形圈的工作寿命，随液体压力的升高，近似呈平方关系而减小。

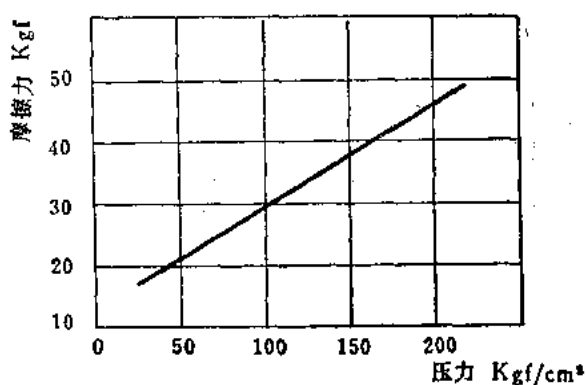


图2—3 摩擦力与工作压力的关系

摩擦力的增大，使得旋转或往复运动的轴与密封圈之间产生大量摩擦热。多数O形圈都是橡胶制作的，其导热性极差。这样，大量的摩擦热，势必引起橡胶的老化，导致O形圈失去密封性。摩擦，还可引起O形圈表面损伤，压缩量减小。严重的摩擦，甚至会很快引起O形圈表面损坏，使之失去密封性。

试验研究表明，摩擦力的大小，在很大程度上，取决于被密封的金属种类（材质）、表面硬度与表面光洁度等。

滑动零件的表面加工光洁度，是影响O形圈表面摩擦与磨损的直接因素。所以，一般滑动表面的光洁度都是很高的（▽9~11）。但试验表明，过高的表面光洁度（大于▽11），反而会对摩擦与磨损带来不利影响。原因是，微小的凹凸不平的表面，可以有效地保持必要的油滑油膜，使O形圈磨损降低。而过高的光洁度，零件表面是不能保持润滑油膜的。

试验证明，滑动表面与O形圈的材质，对O形圈的寿命有着重要影响。一般来说，滑动表面材质的硬度越大、耐磨性越高、保持光洁度的能力越强，则O形圈的寿命就越长。这就是液压缸活塞杆表面镀铬的重要原因。

因此，具有同样光洁度的铜、铝合金制零件的滑动表面，比钢制零件的滑动表面对密封圈的摩擦与磨损更为严重。低硬度、大压缩量比高硬度、小压缩量的密封圈的摩擦与磨损更为严重。

广州机床研究所，为研究O形圈的材质和零件滑动表面加工光洁度对O形圈的密封性能和寿命的影响，曾做过台架试验。图2—4所示为其试验台的原理图。

在被试的两阀中，第一阀装上表面光洁度较低（▽6~7）的推杆（图2—5）与南通橡胶社生产的45°开模的O形圈；第二阀装上表面光洁度较高（▽9~11）的推杆与广州团结橡胶厂制作的90°开模的O形圈。经100万次换向后，第一阀推杆处，开始微量泄

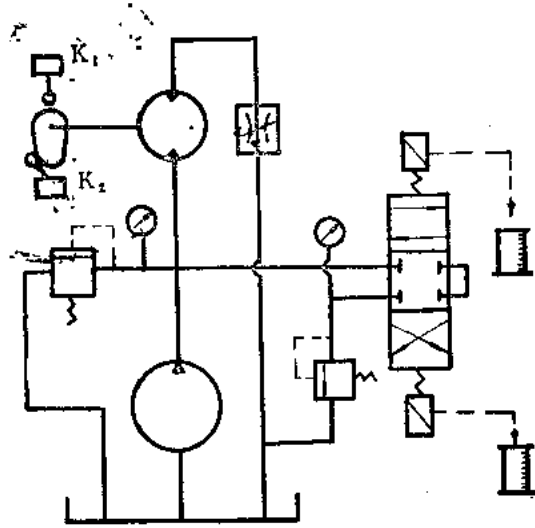


图2-4 电液阀O形圈试验台

漏。经220万次换向后，第二阀推杆处，采用低光洁度者，开始微量渗漏，而采用高光洁度者，未见渗漏。

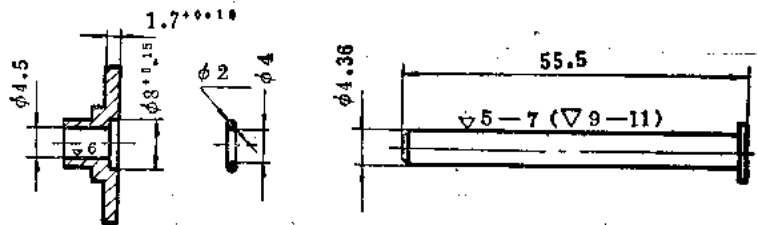


图2-5 电磁阀推杆密封部分尺寸

通过台架试验，可以得出下述结论：

(1) O形圈的材质对其寿命具有显著影响。

(2) 与O形圈配合的推杆表面光洁度，是影响O形圈寿命的重要因素。因此，采用无心磨加工推杆外圆，是不理想的。犹如螺纹一样的磨削纹痕，在推杆往复运动的过程中，对O形圈产生严重的拉削作用，加速了O形圈的损坏。经过研磨的推杆，改变了纹痕的分布，显著提高了O形圈的寿命。

2. 运动速度

使用和试验表明，某种密封装置，在一定速度下的工作是可靠的。但随着运动速度的提高，很可能产生越来越大的泄漏。图2-6表示某一往复运动式密封装置，具有不同表面光洁度运动杆的泄漏量与其运动速度的关系。这里清楚看出：随着运动速度的提高，泄漏量呈抛物线性增大；随运动杆表面光洁度的提高，泄漏量减小，且随运动速度的加快泄漏量增加缓慢。

旋转运动式密封装置的泄漏量与旋转轴转速的线性关系（图2-7）也是不难理解的。它与往复运动式O形圈所不同的是，旋转运动式O形圈对旋转轴线速度的限制更严

了。这不仅因为随转速的增加，泄漏量的急剧增加，更主要的是随轴转速的增加，轴与O形圈之间的摩擦也加剧，必将产生大量的摩擦热，引起导热性甚差的O形圈老化、龟裂而失效。

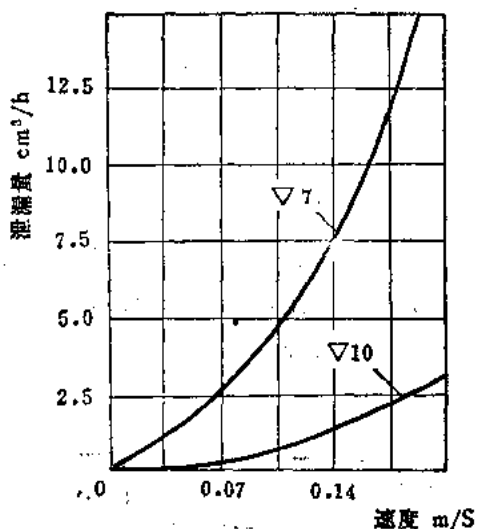


图2—6 泄漏量与光洁度和运动速度的关系

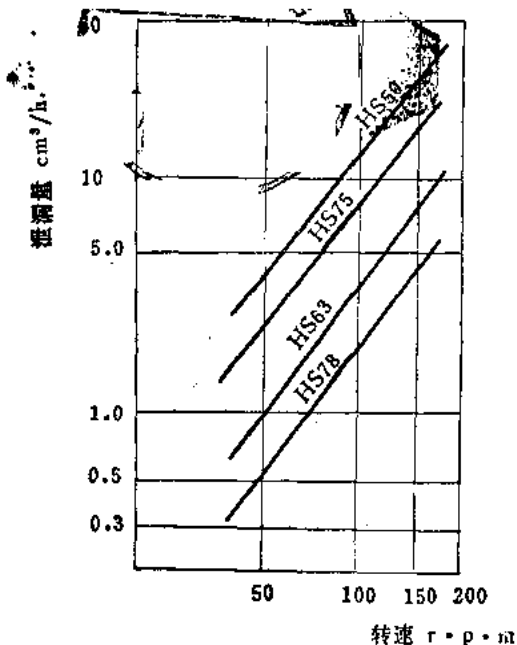


图2—7 泄漏量与转速的关系

3. 密封沟槽的同轴度与O形圈的扭转

密封沟槽的同轴度，对密封圈的密封性有着不容忽视的影响。由于密封沟槽的同轴度（图2—8）较差，引起密封高度不等（ $H_1 < H_2$ ），O形圈断面直径不均，可能使得O形圈的一部分压缩过大，另一部分过小或不受压缩。当沟槽的同轴度 e 大于O形圈的压缩量时，密封完全失效。

往往被人们忽视的密封沟槽同轴度的另一有害影响，是使O形圈沿圆周上压缩不匀，加之O形圈断面直径 d_0 的不匀，材质的硬度不匀，润滑油膜不匀，密封轴表面光洁度低等因素的综合，导致O形圈的一部分沿工作表面滑动，另一部分滚动，造成O形圈的扭转（图2—9）。O形圈的扭转，也是造成其损坏、泄漏的重要原因。提高密封沟槽的制作精

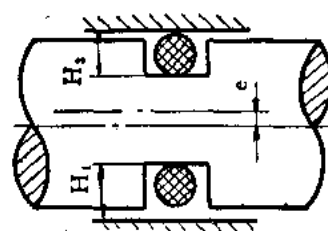


图2—8 密封沟槽的同轴度

度，减小同轴度 e ，是保证O形圈具有可靠的密封性和寿命的重要措施。不少国家对此都有严格要求。

4. 磨粒

侵入O形圈表面的各种硬粒，当被密封间隙具有相对运动时，这些硬粒便变成了可怕的磨粒，迅速破坏O形圈表面，使之失去密封性。因此，在往

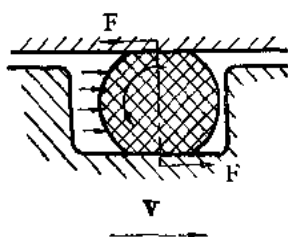


图2—9 O形圈的扭转

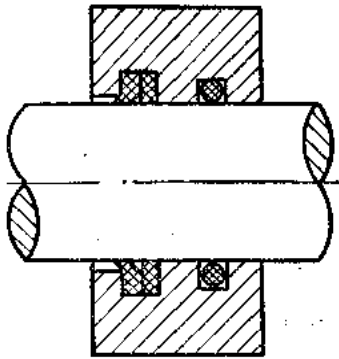


图2—10 防尘密封装置

复运动式密封装置的外伸轴端处，必须使用防尘密封圈（图2—10）。

5. 密封间隙与间隙挤出

动密封装置，由于运动学的原因及限于工艺上和装配上的原因，偶合件间留有一定的间隙是不可避免的。橡胶和所有液体一样，具有不可压缩的性质。但在外力作用下，它可产生弹性变形。因而，在一定液体压力作用下，O形圈的一部分被挤入间隙S中去（称为间隙挤出），引起O形圈的局部应力集中（图2—11a），且随液体压力与间隙的增加而增大，以致在运动过程中将其切掉（图2—11b）。当液体在高压、高频脉动时，O形圈更易发生间隙挤出现象。液体压力从一个方向和从两个方向的作用，O形圈损坏的状况是不同的（图2—11c）。使用和试验表明，这是O形圈损坏的重要原因之一。

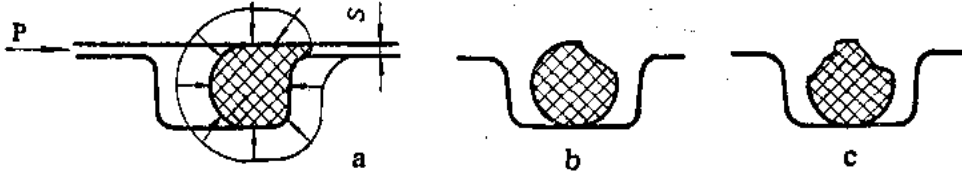


图2—11 O形圈的间隙挤出与损坏

特别值得一提的是，被密封零件的几何精度（圆度、圆柱度、同轴度）、零件间的不同心、高压下内径胀大等，都可引起间隙的扩大、间隙挤出的加剧。同时，O形圈的硬度，对它的间隙挤出，也有明显影响。液体压力愈高，O形圈的硬度愈小，则O形圈的间隙挤出就愈严重（图2—12）。所以，从设计和使用的角度讲，O形圈的硬度和密封间隙，都必须加以严格控制。

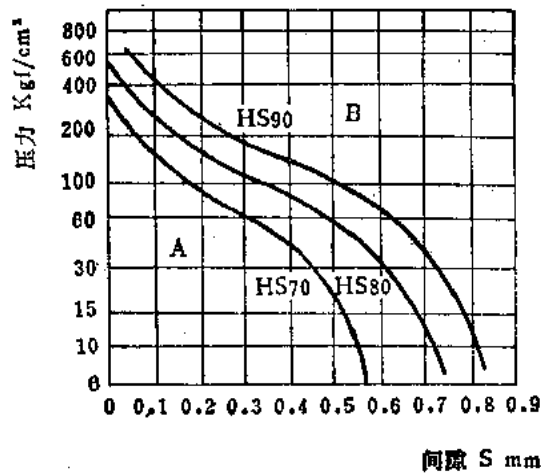


图2—12 间隙挤出与压力和间隙的关系

A—无挤出压； B—挤出区

表2—1、表2—2和表2—3所列为苏联、美国和日本无保护挡圈通用密封间隙（半径）

表2—1 苏联通用密封间隙与工作压力和硬度的关系

mm

间隙 压力 Kg/cm ²	硬度 HS		
	70	80	90
0~50	0.15~0.10	0.20~0.15	0.25~0.15
50~100	0.10~0.06	0.15~0.08	0.15~0.10
100~150	0.06~0.03	0.08~0.06	0.10~0.08
150~200	0.03~0.02	0.06~0.04	0.08~0.06

表2—2 美国通用密封间隙与工作压力和硬度的关系

mm

间隙 压力 Kg/cm ²	硬度 HS		
	70	80	90
0~15	0.25	0.25	0.38
15~35	0.20	0.25	0.25
35~70	0.12	0.20	0.25
70~100	0.075	0.12	0.20
100~150	—	0.10	0.12
150~200	—	0.075	0.10
200~350	—	—	0.075

表2—3 日本通用密封间隙与工作压力和硬度的关系

mm

硬度 HS		70				80				90			
断面 工作 直径 压力 d ₀ Kg/cm ²	1.70~1.78	3.10~3.30	5.33~5.60	6.98~8.30	1.70~1.78	3.10~3.30	5.33~5.60	6.98~8.30	1.70~1.78	3.10~3.20	5.33~5.60	6.98~8.30	
	1.78~1.90	3.30~3.50	5.60~5.70	8.30~8.40	1.78~1.90	3.30~3.50	5.60~5.70	8.30~8.40	—	—	—	—	
	1.90~2.25	3.50~3.53	—	—	1.90~2.25	3.50~3.53	—	—	—	—	—	—	
	2.25~2.40	—	—	—	2.25~2.40	—	—	—	—	—	—	—	
	2.40~2.40	—	—	—	2.40~2.40	—	—	—	—	—	—	—	
	2.40~2.62	—	—	—	2.40~2.62	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0~35	0.18~0.15	0.21~0.17	0.25~0.20	0.25	0.20~0.18	0.22~0.21	0.25	0.25	0.25~0.22	0.25	0.25	0.25	
35~70	0.15~0.09	0.17~0.10	0.20~0.12	0.23~0.15	0.18~0.12	0.21~0.14	0.25~0.18	0.25~0.22	0.22~0.15	0.25~0.18	0.25~0.15	0.25~0.18	
70~100	0.09~0.06	0.10~0.07	0.12~0.08	0.15~0.10	0.12~0.09	0.14~0.11	0.18~0.12	0.22~0.16	0.15~0.11	0.18~0.13	0.25~0.15	0.25~0.18	
100~150	—	—	—	—	0.09~0.07	0.11~0.08	0.12~0.10	0.16~0.12	0.11~0.08	0.13~0.10	0.15~0.12	0.18~0.14	
150~200	—	—	—	—	0.07~0.06	0.08~0.07	0.10~0.08	0.12~0.10	0.08~0.07	0.10~0.08	0.12~0.10	0.14~0.12	
200~350	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07~0.06	0.08~0.07	0.10~0.08	0.12~0.10	

与工作压力和O形圈硬度的关系。

为防止O形圈的间隙挤出，当工作压力超过一定值时，通用的行之有效的方法，就是采用保护挡圈（图2—13）。

对运动用O形圈，当工作压力 $P > 100$ 公斤力/厘米²时，如单向受压，在O形圈受压方向的对侧置一挡圈（图2—13b）；如双向受压，则在O形圈两侧各置一挡圈（图2—13a）；为减小摩擦力，也可采用楔形挡圈（图2—13c）。当压力液体从左方作用时，右方挡圈被推起，左方挡圈不工作——不与被密封表面接触（图2—13d），因此，摩擦力减小了。挡圈的采用，无疑会增大密封装置的摩擦力，因此，楔形挡圈的采用，对减小这种有害摩擦力，就具有十分重要的意义。

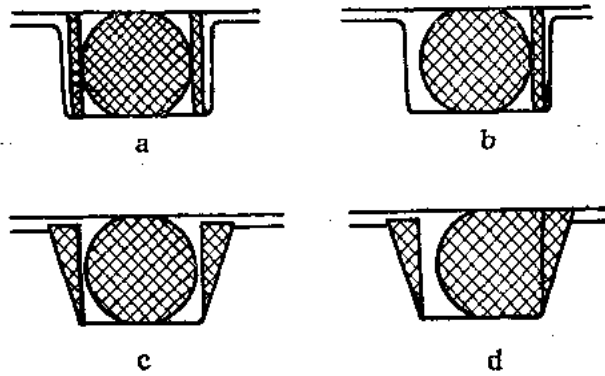


图2—13 挡圈的安装

对固定用O形圈，当工作压力 $P > 320$ 公斤力/厘米²时，也需在O形圈受压方向对侧置一挡圈。

O形圈使用挡圈后，工作压力可以大大提高。静密封压力，可以提高到2000—700公斤力/厘米²，动密封压力，可以提高到400公斤力/厘米²。

三、O形圈的设计原则

1. 压缩率

O形圈密封是典型的压缩型密封。O形圈断面直径 d_0 的压缩率 W （图2—14），是衡量O形圈密封性能和寿命的重要参数指标。通常用下式表示：

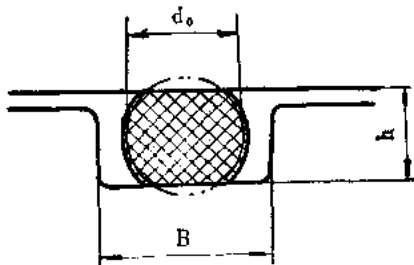


图2—14 O形密封圈压缩率

$$W = \frac{d_0 - h}{d_0} 100\% \quad (2-2)$$

式中 d_0 ——O形圈自由状态下的断面直径（毫米）；

h ——O形圈槽底与被密封表面的距离，即O形圈压缩后的断面高度（毫米）。

对O形圈压缩率的推荐值，国内外的经验基本是一致的（表2—4~表2—5）。对静密

封而言，分两种情况：

表2-4 O形圈压缩量和压缩率的比较

断面直径 d_0 (毫米)	平面静密封				圆柱面静密封与往复运动密封						
	中 国		日 本		中 国		日 本		瑞 士		
	毫米	%	毫米	%	毫米	%	毫米	%	毫米	%	
1.6±0.10										0.27	0.17
1.9±0.08 (1.9±0.09)	0.50	23.3	0.02~0.38	31.5~20.8	0.40	21.1	0.47~0.28	23.8~15.3			
2.4±0.09 (2.4±0.10)	0.60	25	0.72~0.48	29.2~21.5	0.40	16.7	0.47~0.27	19~11.6	0.50	21	
(3.0±0.10)										0.60	
3.1±0.10	0.70	22.6	0.85~0.55	26.6~18.3	0.60	19.4	0.70~0.40	21.9~13.2			
3.5±0.11 (3.5±0.10)	0.80	22.9	0.95~0.65	26.4~19.1	0.50	14.3	0.60~0.32	16.7~0.94			
5.7±0.14 (5.7±0.15)	1.20	21.1	1.30~0.90	22.2~16.2	0.70	12.3	0.85~0.45	14.5~8.1	1.00	17.5	
(5.7±0.10)											
8.4±0.15			1.70~1.30	19.9~15.8			1.05~0.65	12.3~2.9	15.5	18.5	
8.6±0.16	1.70	19.8			1.10	12.7					

注：圆括号号为日本数字，方括号为瑞士数字。

表2-5 O形圈压缩率与拉伸率的推荐值

密封型式	密封介质	拉伸率 α	压缩率 W %
平面静密封	油 空气	1.03~1.05 <1.01	15~30
圆柱面静密封	油 空气	1.02 <1.01	10~15
往复运动密封	油 空气	1.02 <1.01	10~15
旋转运动密封	油	0.95~1	3~8

(1) 圆柱面静密封装置和往复运动式密封装置一样，一般取 $W = 10 \sim 15\%$ ；

(2) 平面静密封装置，取 $W = 15 \sim 30\%$ 。

对动密封而言，可分三种情况：

(1) 往复运动密封，一般取 $W = 10 \sim 15\%$ 。

(2) 旋转运动密封用O形圈压缩率的选取，必须考虑“卡夫——焦耳效应”。一般来说，旋转运动用O形圈的内径比轴径大3~5%，外径的压缩率 $W = 3 \sim 8\%$ 。

(3) 低摩擦运动用O形圈，为减小摩擦阻力，一般均选取较小的压缩率 $W = 5 \sim 8\%$ 。如济南铸造锻压机械研究所设计的双气控换向阀所用O形圈压缩率取 $W = 5 \sim 8\%$ 时，始动摩擦阻力较小，为1.2~1.6公斤力。

O形圈压缩率的大小，对其密封性和寿命有着重要影响，设计时必须认真选取。压

缩率的选取，主要考虑如下几点：

- (1) 足够的密封面接触压力；
- (2) 尽量小的摩擦力；
- (3) 尽量小的永久变形。

选取O形圈压缩率的诸因素是彼此矛盾的。大的压缩率，可获得大的接触压力，但过大的压缩率，无疑会增大滑动摩擦力与永久变形；小的压缩率，摩擦力与永久变形当然会减小，但过小的压缩率，有可能由于密封沟槽的同轴度和O形圈公差波动等，而导致泄漏。

当然，衡量与评价O形圈密封性的基本指标乃是密封面的接触压力。该压力一定大于液体工作压力，才能保证密封装置的密封性。从密封原理可知，O形圈断面直径 d_o 的大小，直接影响密封面接触压力。所以，对密封性要求高的密封装置，在结构允许的条件下，适当加大 d_o 值，是可取的。表2—6为液压缸内径 D 与O形圈断面直径 d_o 的推荐值。

表2—6 液压缸内径与O形圈断面直径的推荐值 mm

缸筒内径 D	3~10	10~18	18~36	36~110	110~270
断面直径 d_o	1.9	2.4	3.1	5.7	8.6

图2—15所示为压缩率 R 与O形圈断面直径 d_o 的合理关系值。

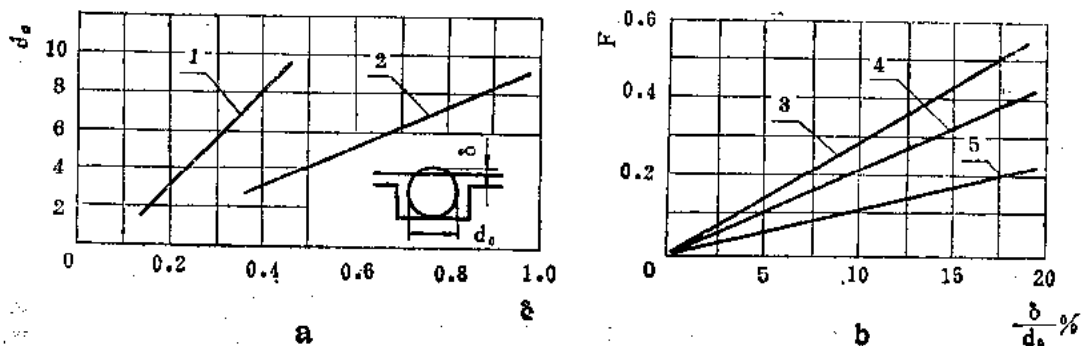


图2—15 O形圈压缩量与直径和摩擦力的关系

1—最小压缩；2—最大压缩；3— $HS=90\sim 95$ ；4— $HS=80\sim 90$ ；5— $HS=60\sim 75$

值得提出的是，O形圈装入密封沟槽后，其内、外径都受到压缩，其大小分别以 δ_1 和 δ_2 表示（图2—16）。从理论上讲，当 $\delta_1 = \delta_2$ 时，表明O形圈的中心线周长与沟槽中心线周长相等，对O形圈的寿命最为有利。因为，当 $\delta_1 > \delta_2$ 或 $\delta_1 < \delta_2$ 时，O形圈内、外径受压不均，尤其后者，O形圈的中心线被拉伸，对橡胶寿命不利。

目前，世界各国O形圈的内、外径压缩量（图2—16） δ_1 和 δ_2 的分布规律各不相同。美国（SAE J120K）、英国（BS1806—60运动用）捷克（CSNO29280—60运动用）等国，均为 $\delta_1 < \delta_2$ 。我国和日本则采用 $\delta_1 > \delta_2$ 的分布规律。究竟 δ_1 和 δ_2 如何分布为合理，尚需进一步试验研究。

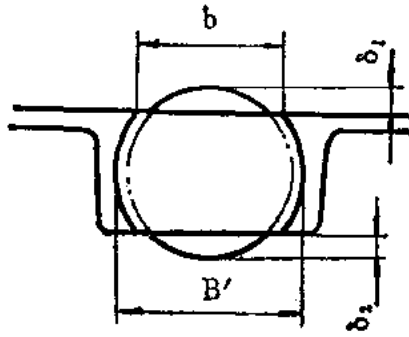


图2—16 O形圈内、外径压缩量与接触宽度

2. 拉伸率

通常，O形圈装入密封沟槽后，都具有一定的拉伸率。与压缩率一样，该值的大小，对O形圈的性能与寿命也有很大影响。过大，不但安装困难，同时也会因断面直径 d_0 的变化，使压缩率降低，从而导致泄漏。O形圈的拉伸率可用下式表示：

$$\alpha = \frac{d + d_0}{d_1 + d_0} \quad (2-3)$$

式中 d —— 轴径 (毫米)；

d_1 —— O形圈内径 (毫米)。

表2—5给出了有关O形圈拉伸率的推荐值。美国通用工业标准规定为1~5%。也可根据密封轴径的大小，按表2—7选取O形圈的拉伸率 α 。

大，为何？

通过对压缩率、拉伸率、接触宽度的计算发现：压缩率过大 $W = 19.4\%$ ，拉伸率太大 $\alpha = 1.018$ ，接触宽度亦太大 $b = 1.172$ 毫米。






因现场条件所限，把槽径放大至 $D = 70.5$ 毫米，槽宽加大至 $B = 3.5$ 毫米。这样，尽管对旋转用O形圈使用影响最大的拉伸率没变，但由于压缩率大大减小至 $W = 11.3\%$ ，接触宽度大大减小至 $b = 1.047$ ，修改后的使用效果较好。

四、密封沟槽的设计

密封沟槽的设计，是密封装置设计的重要组成部分。密封沟槽各尺寸参数的设计与选择，是影响密封装置的密封性和寿命的重要因素。

在密封装置中，矩形沟槽是应用最广泛的一种型式。此外，还有V形、半圆形、燕尾形和三角形等型式的沟槽（表2—8），但均应用较少。

表2—8 各种常用密封沟槽的形状与特点

沟槽形状	沟槽名称	特 点
	矩 形 沟 槽	适用于动密封和静密封，是应用最普遍的一种
	V 形 沟 槽	只适用于静密封或低压下的动密封，一般因摩擦阻力大，易挤入间隙，故不推荐
	半 圆 形 沟 槽	仅用于旋转密封，且不普遍
	燕 尾 形 沟 槽	适用于低摩擦密封，因工艺性差，故一般不采用
	三 角 形 沟 槽	仅用于法兰盘及螺栓颈部比较狭窄的地方

1. 矩形沟槽

矩形沟槽的设计如图2—17所示。沟槽的尺寸，由其宽度和深度来决定。它们必须保证各有关尺寸偏差在最坏的情况下，仍能使O形圈具有必要的压缩率。按体积计算时，通常要求矩形沟槽的尺寸比O形圈的体积大15%左右。这是因为：

(1) O形圈装入沟槽后，承受3~30%的压缩，而橡胶本身是不可压缩的，所以必须有容纳O形圈变形部分的空间。

(2) 处于油液中的O形圈，除油液的浸泡可能引起橡胶膨胀外，随液体工作温度的增高，橡胶圈的膨胀也是很大的。与金属相比，橡胶的膨胀系数要大10倍，故沟槽必须留有一定的余量。

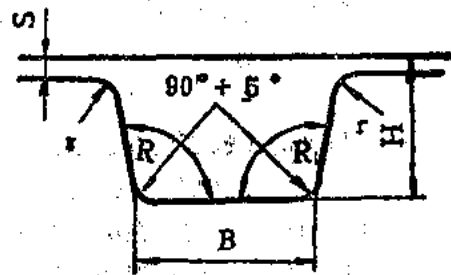


图2—17 矩形沟槽

(3) 为在运动情况下,能适应O形圈可能产生的轻微滚动。

通常,沟槽的外边口,采用较小的 $r = 0.1 \sim 0.2$ 毫米的圆角半径。这样,既可避免该处形成锋利的刃口,又不致于发生O形圈的间隙挤出。沟底圆角半径 R ,对动密封沟槽,可取 $R = 0.3 \sim 1$ 毫米;对静密封沟槽,可取 $R = d_0/2$ 。

2. 三角形沟槽

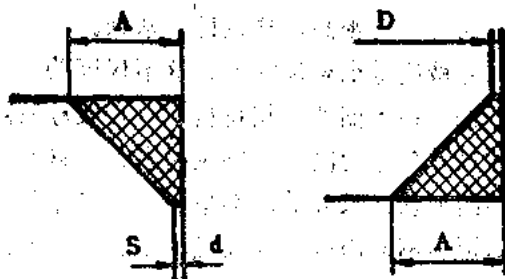
三角形槽式密封装置(图2-18),在英、美、日等国均有应用。良好的设计,可获得满意的密封效果。设计的原则是,O形圈内径的公称尺寸与轴径的公称尺寸相等。密封沟槽的宽度 A 可按下式计算:

$$A = d_0 \sqrt{\frac{\pi}{Y}} \quad (mm) \quad (2-6)$$

式中 Y ——系数,通常取 $Y = 1.8 \sim 1.9$ 。

三角形密封沟槽断面形状是以 A 为直角边的等边直角三角形。断面积约为O形圈断面积的1.05~1.10倍。表2-9为三角形密封沟槽尺寸系列。

表2-9 三角形密封沟槽尺寸系列



mm

沟槽尺寸系列			O形圈断面直径 d_0
D	d	A	
6~13	3~10	$2.5^{+0.08}$	1.9 ± 0.07
14~26	10~22	$3.2^{+0.12}$	2.4 ± 0.07
30~150	25~145	$4.2^{+0.20}$	3.1 ± 0.10
28~56	22~50	$4.7^{+0.20}$	3.5 ± 0.10
60~160	50~150	$7.6^{+0.30}$	5.7 ± 0.15
160~310	150~300	$7.6^{+0.30}$	5.7 ± 0.15
164~415	150~400	$11.2^{+0.45}$	8.4 ± 0.15

3. 密封沟槽的合理选择

使用和试验表明,密封沟槽型式的合理设计与结构参数的正确选择,是极为重要的。试以下例说明之。

【例】 FT06风动钻削动力头的换向控制阀滑套所用O形圈之沟槽,原为半径 $R=0.75$ 毫米的半圆形沟槽(图2—19),槽深为1.4毫米,槽宽与O形圈断面直径 d_0 相等。因为槽尺寸过小,O形圈安装后的变形部分被挤入密封间隙,导致早期损坏,最高使用寿命只有2000次左右。后来将沟槽改成矩形(图2—19),且宽度增大为2毫米,结果则完全克服了O形圈的早期损坏,寿命提高30倍多。由此可见,合理设计与选择密封沟槽是多么重要。

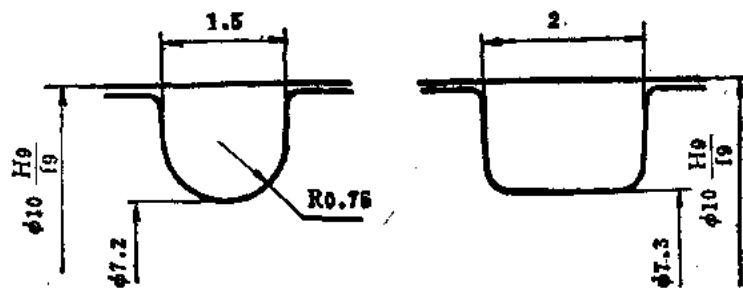


图2—19 密封沟槽的合理设计

密封沟槽的尺寸参数取决于O形圈的尺寸参数。因此,充分地认识与掌握O形圈性能与尺寸参数的真实含意,则是搞好密封沟槽设计的基础。

众所周知,O形圈的尺寸精度是很难保证的。这不仅因为O形圈模具制作的误差是不可避免的,更为重要的是制作O形圈的常用材料——合成橡胶的收缩率很难控制之故。橡胶收缩率是密封元件尺寸公差的决定性影响因素。原材料的产地、品位、配方、硫化条件、加工工艺和制品的形状、尺寸等,都是橡胶收缩率的直接影响因素,往往同一个配方,由于上述诸因素影响不同而得到的收缩率也会有所不同。

橡胶收缩率是如此地难以控制,致使橡胶制品的尺寸精度难以保证。因此,尽量提高密封沟槽的尺寸精度与几何精度就显得格外重要。

沟槽的深度与宽度是密封沟槽的重要结构参数,尤其是它们的公差,直接影响O形圈的密封性和沟槽制作的工艺性,必须认真选取。

沟槽的深度取决于O形圈所要求的压缩率,即沟槽的深度加上间隙 S ,至少必须小于自由状态下的O形圈断面直径 d_0 。一般可用下式表示:

$$H = (1 - W) d_0 \quad (2-7)$$

沟槽的宽度,则由使用条件而定。一般取 d_0 的1.1~1.5倍,即可用下式计算:

$$B = (1.1 \sim 1.5) d_0 \quad (2-8)$$

有挡圈时的宽度

$$B_1 = B - nT \quad (2-9)$$

式中 T ——挡圈宽度;

n ——挡圈数目。

静密封装置的压缩率较大，可取较大值。动密封装置的压缩率较小，可取较小值。由前述各种原因，装配后的O形圈与槽壁间留有适当间隙是必要的。但如果间隙过大，对O形圈的使用也是不利的。因过大的间隙，在交变压力的作用下，就会变成有害的“游隙”，增加O形圈的磨损。

密封沟槽的表面光洁度，既影响密封装置的密封性，又影响密封沟槽的工艺性。因此，合理选取密封沟槽的表面光洁度，也是重要的。

第二节 旋转运动用O形圈

一、旋转运动用O形圈的应用

在旋转运动式密封装置中，以往乃至目前，普遍采用油封和机械密封装置。但油封使用压力较低，且与图1—3所示旋转用O形圈相比，既显得庞大、复杂，且工艺性也差。机械密封装置，虽然可以用于高压（400公斤力/厘米²）、高速（60米/秒）、高温（400℃），但结构更加复杂、庞大、成本高，只适用于某些特殊石油、化工等重型机械设备上。

基于上述情况，近年来，国内、外对旋转运动用O形圈，进行了广泛深入的研究。旋转用O形圈的设计关键在于，根据橡胶的性能，正确地选择其结构参数，其中主要的是O形圈的拉伸率和压缩率。

最初，人们按往复运动用O形圈的设计原则，即采用O形圈内径比轴小（拉伸率 $\alpha = 1.02$ ）的常规，来设计旋转用O形圈，但都没获得成功。实践证明，采用内径比轴径稍大的O形圈，如25.4毫米的轴，采用26.54毫米内径的O形圈，获得了成功。大量试验研究表明，内径比轴径大3~5%的O形圈，是旋转用O形圈设计的最佳值。

如国外试验：轴径 $d = 25.25$ 毫米、转速 $V = 4.5$ 米/秒、工作介质是矿物油，先取内径为24.99毫米的O形圈（此时O形圈的拉伸率 $\alpha = 1.015$ ），运转4分钟后，油温从60℃升高到183℃，O形圈烧坏。尔后，把O形圈内径放大至 $d_1 = 26.52$ 毫米（比轴径大4.6%，拉伸率 $\alpha = 0.96$ ），当运转100小时时，油温升高至67℃后，便不再上升。连续运动400小时，尚无渗漏现象。

图2—20所示为日本用O形圈密封液压泵输出轴的例子。O形圈的内径 $d_1 = 23.39$ 毫米、断面直径 $d_0 = 3.53$ 毫米（压缩率 $W = 5.5\%$ 、拉伸率 $\alpha = 0.956$ ，比轴径大5.1%），材质为丁腈橡胶，硬度 $HS = 70$ ；轴径 $d = 22.2$ 毫米，转速 $V = 4.77$ 米/秒，工作介质为矿物油；工作压力 $P = 10$ 公斤力/厘米²；工作温度50℃。O形圈的工

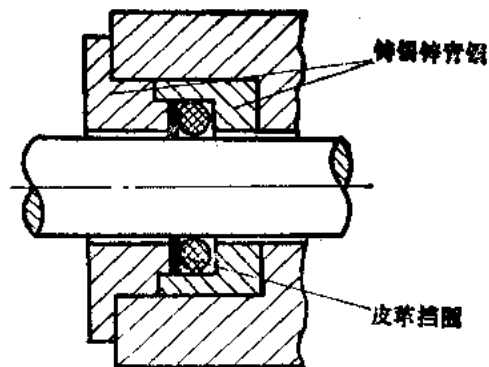


图2—20 旋转用O形圈示例

作寿命达二年。

我国某橡胶研究所曾为工程机械设计一旋转用氟橡胶O形圈，其内径 $d_1 = 49.6$ 毫米，断面直径 $d_0 = 4.3$ 毫米（压缩率 $W = 8\%$ 、拉伸率 $\alpha = 0.97$ ，比轴径大 3.3% ），轴径 $d = 48$ 毫米，转速5米/秒，工作介质为矿物油，工作压力 $P = 5 \sim 7$ 公斤力/厘米²，工作温度 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 。经长期试验，性能良好。

二、旋转运动用 O 形圈的设计原则

通常，橡胶受热后，会发生膨胀。但在拉伸状态受热后，则剧烈收缩。这就是早在100多年前，丁·卡夫和J·P·焦耳两人发现的“橡胶拉伸时发热。反之，加热时收缩”的所谓“卡夫——焦耳效应”。此即谓设计旋转用O形圈的基本原理。据此，就不难理解，照常规设计的旋转用O形圈，屡遭失败的原因。处于拉伸率较大的O形圈，其内径比轴径小。当轴旋转时，摩擦生热，使得处于拉伸状态的O形圈产生收缩，对旋转轴抱得愈紧。而对轴抱得愈紧，产生的摩擦热就愈多；摩擦热愈多，则对轴抱得更紧。如此恶性循环下去，则将引起导热性极差的橡胶O形圈的烧坏。

因此，旋转运动用O形圈的设计关键，就在于克服“卡夫——焦耳效应”。为克服在旋转运动密封中的这种恶性循环，使装入密封沟槽中的O形圈处于预压缩状态而不是拉伸状态地套在轴上。如此，在O形圈的外周产生径向压缩力 F_{r1} 、 F_{r2} 、 F_{r3} 和 F_{r4} （图2—21）。这些力被与它们成 90° 平面内的抗压缩力 F_{z1} 、 F_{z2} 、 F_{z3} 和 F_{z4} 所抵消。抗压缩力在反作用平面上产生的断面应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 和 σ_4 等产生了抵消“卡夫——焦耳”效应所产生有害力的平衡力。O形圈的内径虽稍大于轴径，但因其处于压缩状态，也与轴略有接触。随密封轴的运转与温度的升高所引起的O形圈的膨胀（橡胶的膨胀系数是金

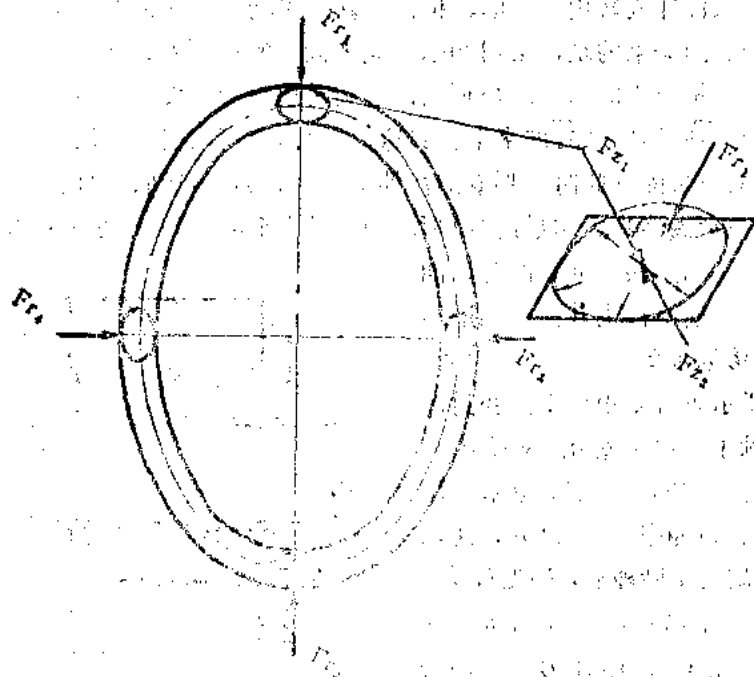


图2—21 旋转运动用O形圈压缩状态受力图解

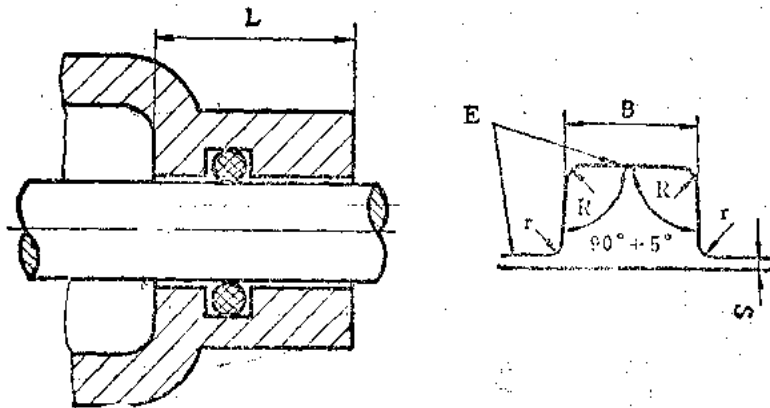
属的10倍)而对轴产生一定程度的抱紧,从而实现旋转轴的密封。

经验表明,为获得有效的断面应力,就需对O形圈加以适当的周向压缩,亦即使O形圈的中径大于沟槽的中径。通常取旋转运动用O形圈的内径比轴径大3~5%,O形圈的外径具有3~8%的压缩率。

旋转运动用O形圈,一般用丁基橡胶制作效果较好。转速达7.6米/秒,硬度HS=80为宜。表2-10为英国派克公司的旋转用密封沟槽的尺寸。

良好的旋转密封装置的设计,应能防止O形圈的转动。因O形圈的转动,对其寿命将产生有害影响。国外研究提出,O形圈的断面直径 d_0 愈小愈好。当然,对转速 $V < 1$ 米/秒时,通常是不严格的。转速 $V = 1 \sim 2$ 米/秒时,O形圈断面直径最大取 $d_0 = 3.53$ 毫

表2-10 旋转运动用O形圈密封沟槽尺寸



O形圈断面直径 d_0		最高转速 $r \cdot p \cdot m$	沟 槽 尺 寸						
公称尺寸	实际尺寸		H	B	S	L_{min}	R	r	同轴度 E'
1/16"	1.78±0.08	7.62	1.65~1.70	1.91~2.01	0.31~0.41	17.78	0.13~0.38	0.1	0.025
3/32"	2.62±0.08	3.05	2.40~2.52	2.74~2.85	0.31~0.41	26.16	0.13~0.38	0.1	0.025
1/8"	3.53±0.10	2.03	3.28~3.43	3.66~3.76	0.41~0.51	35.31	0.25~0.64	0.1	0.040

米;转速 $V = 2 \sim 3$ 米/秒时,直径最大取 $d_0 = 2.62$ 毫米。转速 $V = 3 \sim 6.72$ 米/秒时,取 $d_0 = 1.78$ 毫米。

目前,国内通常是根椐旋转轴径的大小,选取O形圈的断面直径。

工作温度的大小,是影响旋转用O形圈性能与寿命的重要因素。因此,在设计旋转用密封沟槽时,应尽量使之具有好的散热性。如适当加长轴承长度 L_{min} (表2-10)等。

旋转密封处的润滑,是影响旋转用O形圈性能与寿命的另一重要因素。设计时亦应充分考虑。图2-22是某凿岩机旋转用O形密封圈示例。在两O

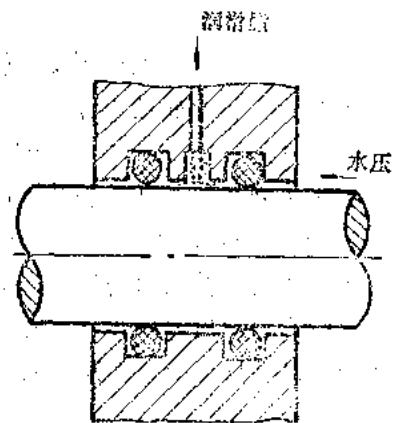


图2-22 旋转用O形圈的润滑

形圈之间开有润滑油槽，使处于旋转状态下的O形圈，具有良好的润滑，对O形圈寿命的提高很有好处。

三、斜槽式O形圈旋转密封装置的设计

O形圈用于旋转运动式密封装置，由于采用O形圈外圈受压缩，内径比轴径稍大的设计原则，克服了“卡夫——焦耳应用”引起的O形圈收缩磨损，提高了O形圈的寿命。但使用表明，橡胶材料的O形圈用于旋转密封装置时，易使轴表面磨损，出现粗糙不平的现象，甚至可以把轴的铬层磨掉。这是因为直槽式旋转密封装置用O形圈，与轴的接触，是一条极小的窄带，长时间摩擦而引起。研究表明，当PV值为71公斤力/厘米²·米/秒时，密封是令人满意的，超过此值就会引起轴的磨损。

图2—23所示O形圈斜槽式放置法，O形圈与轴之间的润滑是强制式的，而且每一转都有新的油液来润滑，即O形圈随轴转动的同时，沿轴表面前后摆动而涂抹润滑油，使接触区的润滑与热量的传导，获得显著改善。因此，O形圈与轴之间的摩擦扭矩减小。

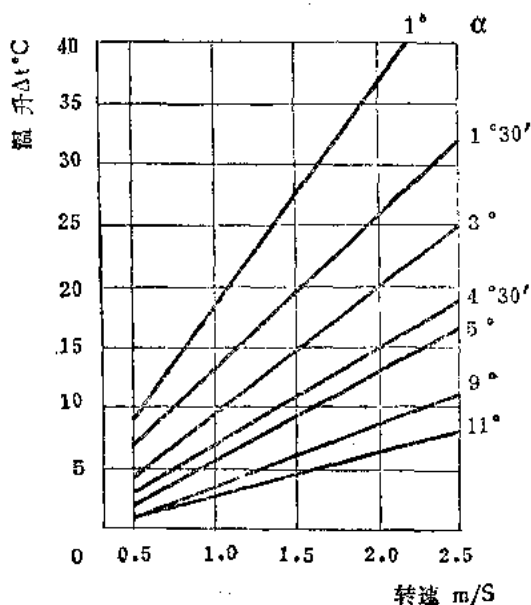


图2—25 密封沟槽的斜角 α 与轴的转速对工作温度下降 Δt 的影响

然，往复运动有加速和减速，其平均往复运动速度为：

$$U_n = dn\alpha \times 10^{-6} \quad (2-10)$$

式中 U_n ——平均往复运动速度（米/分）；

d ——轴径（毫米）；

n ——轴的转速（转/分）。

试验表明，平均往复运动速度 $U_n = 1.35$ 米/分时，轴的寿命可延长大约15倍。

第三节 低摩擦用 O 形圈

一、动密封装置用 O 形圈的摩擦阻力

摩擦与磨损是一切密封元件损坏的重要原因。它对 O 形圈的损害尤为严重。这是因为与 V 形、U 形、Y 形等唇形密封圈不同，O 形圈在使用时压缩率都比较大，所以，它的始动摩擦力也大（图2—26），试验表明，O 形圈的压缩率是动摩擦力的 3~4 倍。对于象气动机械那样工作压力很低（一般小于 10 公斤力/厘米²）的机器，如此大的始动阻力，就会严重影响机器的性能。过大的始动摩擦力，对一些低压液压装置，也会造成低压爬行，操纵困难等不良影响。

试验证明，摩擦阻力的大小，与 O 形圈的压缩率、硬度、安装后的停置时间等因素有着极为密切的关系。

在无压或微压时，O 形圈摩擦力的大小，主要取决于安装时所受压缩力的大小。单位长度上的压缩力，可用下述经验公式求出：

$$F/L = 4.8 \times 10^{-7} d_0^{1.2} W^{1.8} HS^{1.5} \quad (2-11)$$

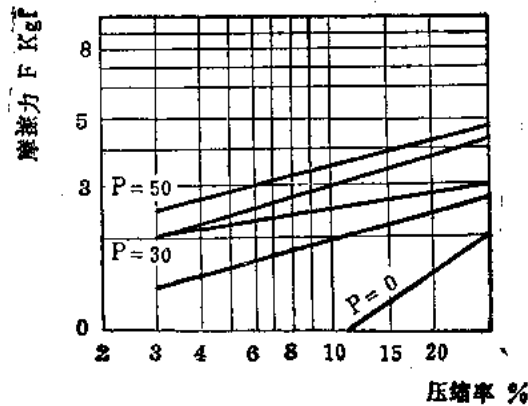


图2-26 始动摩擦力与压缩率和压力的关系

式中 F ——压缩力 (公斤力);

L ——O形圈的中径长度 $L = \pi(d_1 + d_0)$ (厘米);

d_1 ——O形圈的实际内径 (厘米)。

在有压力时, O形圈的始动摩擦力可由下式求出:

$$F = f\pi dbp_a \quad (2-12)$$

式中 F ——始动摩擦力 (公斤力);

f ——始动摩擦系数, 当往复运动时, $f = 0.02 \sim 0.30$; 当旋转运动时, $f = 0.05 \sim 0.90$;

d ——O形圈摩擦面直径 (毫米), 即旋转轴直径;

b ——接触宽度 (毫米), 由图2-27选取或由公式 (2-5) 求得;

P_a ——平均接触压力 (公斤力/厘米²) 当 $HS = 71$ 时 $P_a = 0.9p + 2.5$, 当 $HS = 88$ 时, $P_a = 0.9p + 3.5$;

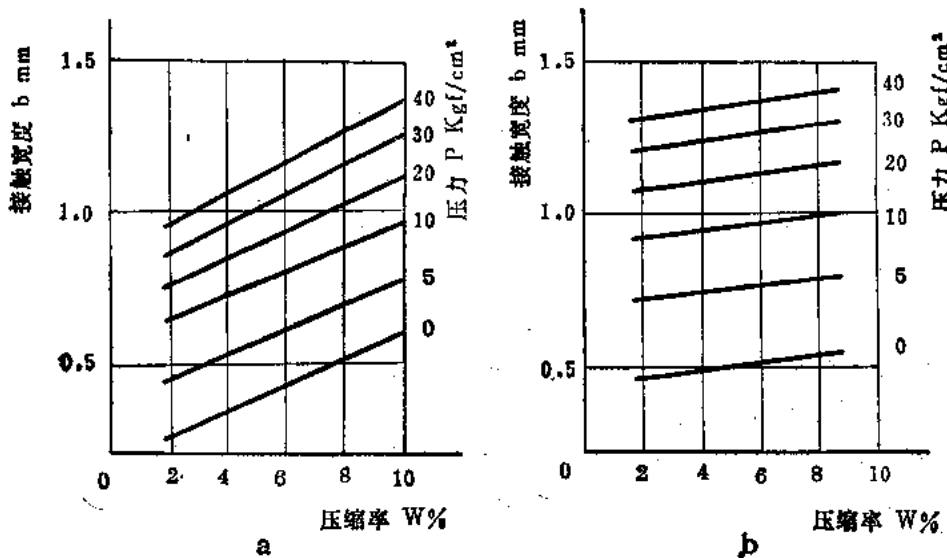


图2-27 O形圈的接触宽度

a—— $D=28.3$, $d_0=3.3$, $HS=88$, b—— $D=28.3$, $d_0=3.3$, $HS=71$

P ——工作压力 (公斤力/厘米²)。

压缩率的大小,是始动摩擦力的最大影响因素 (图2—26)。这是由于随压缩率的增大, O形圈的接触宽度增大之故 (图2—27)。这种增大, 将因 O形圈断面直径 d_0 之增大而急剧增大 (图2—15)。

O形圈的硬度和滑动表面的光洁度, 对始动摩擦力也有显著影响 (图2—28和2—29)。

特别值得注意的是, O形圈安装后的停放时间长短, 对始动摩擦力的影响甚大 (图2—29), 甚至可能造成在开始移动的瞬间, O形圈的局部被撕掉。试验表明, 停放时间在5~10秒钟以内, 静动摩擦力基本一样。但停放一分钟后, 始动摩擦力将增大二倍。之后, 随停放时间的增加, 始动摩擦力呈指数曲线增加。至30~40分钟后, 即可达到极值。

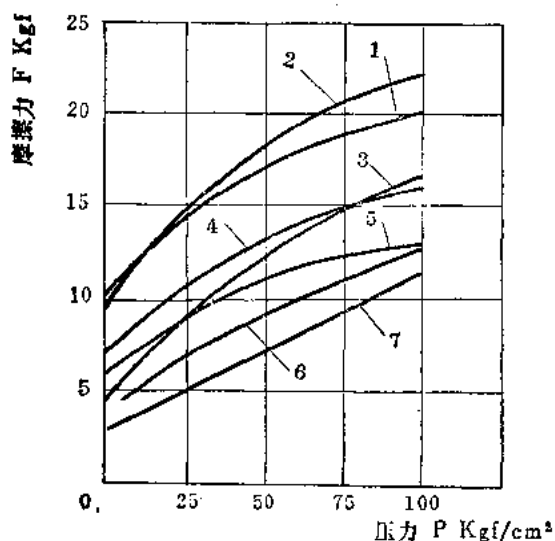


图2—28 始动摩擦力与压力和硬度的关系

- 1——HS=78;
- 2——HS=77;
- 3——HS=75;
- 4——HS=72;
- 5——HS=70;
- 6——HS=63;
- 7——HS=50

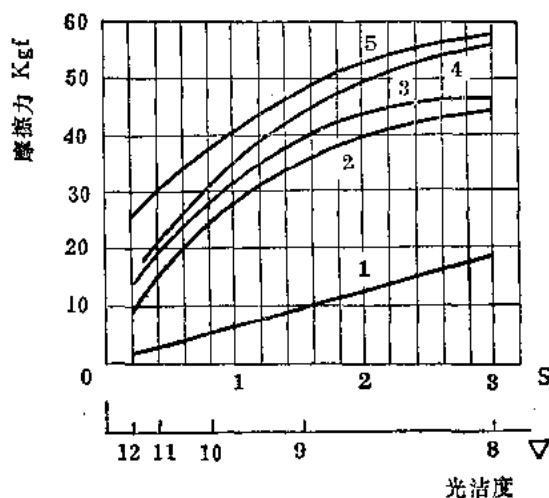


图2—29 始动摩擦力与滑动表面光洁度的关系

- 1—停放2.5秒、5秒、40分钟后的始动平均摩擦力 ($W=7.1\%$ 、 $P=35$ 公斤力/厘米²);
- 2—停放5分钟后的始动摩擦力 ($W=7.1\%$ 、 $P=35$ 公斤力/厘米²);
- 3—停放5分钟后的始动摩擦力 ($W=8.6\%$ 、 $P=35$ 公斤力/厘米²);
- 4—停放5分钟后的始动摩擦力 ($W=11\%$ 、 $P=70$ 公斤力/厘米²);
- 5—停放40分钟后的始动摩擦力 ($W=4.3\%$ 、 $P=70$ 公斤力/厘米²)

随停放时间的增长, 始动摩擦力增加。这是由于 O形圈和滑动表面发生粘着现象所致, 即处于较大压缩状态下的 O形圈, 嵌入滑动接触表面的凹处, 且发生轻度物理和化学融合现象以及油膜破坏。粘着强度与滑动表面光洁度、温度, 尤其滑动表面材质 (图2—30) 等有着密切关系。

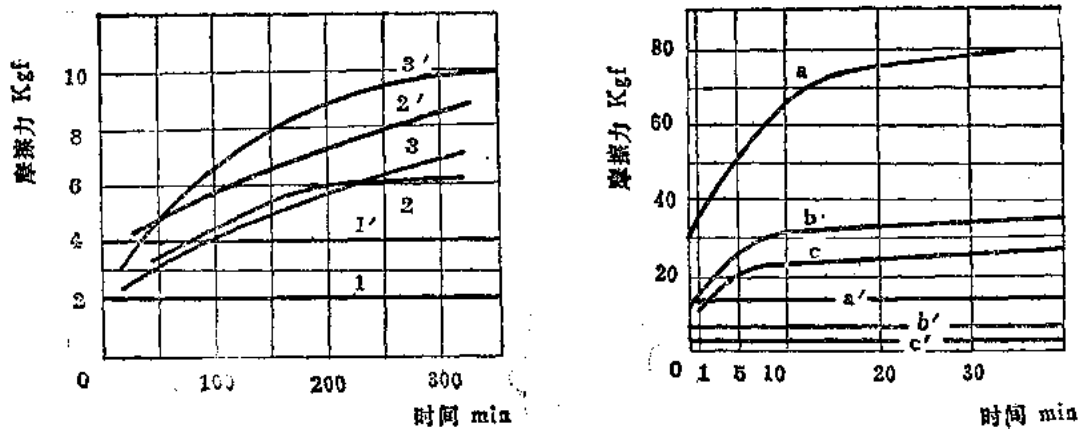


图2-30 始动摩擦力与停放时间的关系

1, 1'——玻璃湿、干摩擦；2, 2'——铜湿、干摩擦；3, 3'——钢湿、干摩擦；
 a, a'—— $P=105$ 公斤力/厘米²时的动、静摩擦；b, b'—— $P=70$ 公斤力/厘米²时的动、静摩擦；
 c, c'—— $P=35$ 公斤力/厘米²时的动、静摩擦

二、低摩擦用O形圈的设计与应用

实践证明，低摩擦用O形圈的设计与应用，是减小O形圈始动摩擦力的重要途径。一般采用下列措施来实现低摩擦密封。

1. 采用小压缩率

压缩率是O形圈始动摩擦力的重要影响因素。采用低硬度、小压缩率，是减小O形圈始动摩擦力的行之有效的方法。如外国某公司所用O形圈的压缩率，仅是正常情况的二分之一，即压缩率取 $W=1.5\sim6\%$ （表2-11），日本推荐值为 $W=3\sim8\%$ 。

表2-11 低摩擦用O形圈的压缩量与压缩率

断面直径 d_0 mm	最小压缩量与压缩率	
	压缩量 mm	压缩率 %
1.78±0.07	0.102	5.96
2.62±0.07	0.102	4.00
3.53±0.10	0.102	2.94
5.33±0.12	0.102	1.95
6.98±0.15	0.102	1.49

2. 采用浮动密封

所谓“浮动密封”（图2-31），就是O形圈装于沟槽后，与沟槽的低部，呈浮动状态，在压力作用下，使O形圈产生如图所示的形变，达到密封作用。

浮动密封，通常用于气动或低压液压装置等要求始动摩擦力小的机器设备上，可使始动摩擦力降低为正常情况的1/5，且该种密封沟槽的工艺性大大降低。但因始动时，易产生泄漏，所以，浮动密封用于允许有微量泄漏，始动摩擦力要求低的机器设备上，较

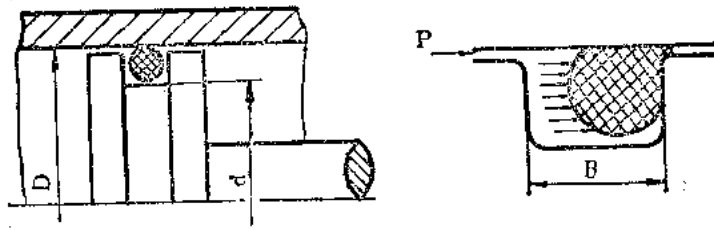


图2—31 浮动密封

为合适。美国波里西森公司规定：

$$D = 1.05(d_1 + 2d_2)$$

$$d = D - 2d_{0max}$$

$$B = d_{0max} + 0.1d_0$$

式中 d_1 ——O形圈实际内径 (mm)。

3. 采用低摩擦橡胶配方

在O形圈的胶料配比中，填加二硫化钼、石墨等减摩剂和润滑剂，可以降低O形圈的摩擦力。

4. 涂敷填充聚四氟乙烯

在O形橡胶圈的表面上，喷涂或涂敷一层耐磨性优异的填充聚四氟乙烯，可以增加O形圈的润滑性，降低摩擦系数，从而降低摩擦力。

5. 采用滑环组合式密封圈

滑环组合式密封圈是一种新型密封型式，与O形密封圈、Y形密封圈等相比，具有极好的自润滑性，与金属表面无粘着作用，动、静摩擦系数相近而小、耐磨性好、对油液污染不敏感、寿命长等一系列独具的优点。相近而小的动、静摩擦系数，对克服液压、气压等传动中的爬行现象具有重要意义。这为那些功率小要求运行速度低而又平稳无爬行的精密设备的制作，提供了极为有利的现实可能性。

滑环组合式密封圈是由滑环1与O形圈2组成(图2—32)。图2—32a为外径滑动(或转动)式，图2—32b为内径滑动(或转动)式。

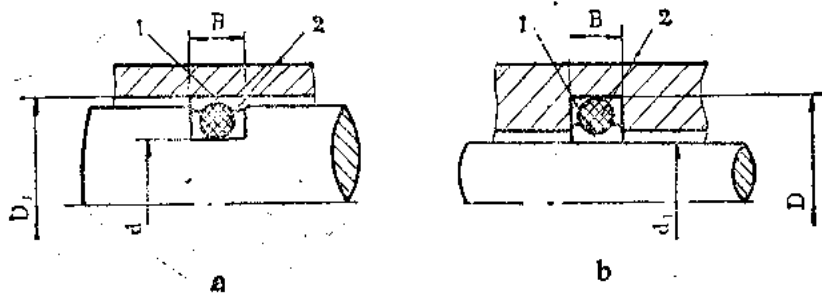


图2—32 滑环组合式密封圈

1——滑环；2——O形圈

填充聚四氟乙烯具有极其良好的自润滑性、耐磨性能优异、与金属表面无粘着作用、摩擦阻力小(摩擦系数为0.04)。因此，多用它制作直接与金属滑动表面接触的滑动件

—滑环。含石墨的聚酰胺树脂（尼龙1010），具有更优良的自润滑性，也是制作滑环的理想材料。

填充聚四氟乙烯的最大缺点是缺乏弹性，没有自密封能力。正是根据它的这一缺点，才采用了O形圈做它的弹性能源，对其施加必要的弹力，从而使滑环组合式密封圈具有自密封性和随液体压力升高而提高自密封能力。

很明显，滑环组合式密封圈是在O形圈的基础上发展起来的。它除保持了O形圈的结构简单，安装空间小，具有自密封能力等优点外，还增加了自润滑性好，动、静摩擦阻力小，工作平稳无爬行（起动冲击）现象（图2—33）等优点。因此，滑环组合式密封圈是一种比较理想的密封结构，尤其适于气动传动。

滑环组合式密封圈可用于内、外径的往复密封或旋转密封。

滑环组合式密封圈用于旋转密封装置（图2—34），因制作滑环的聚四氟乙烯，具有优异的自润滑性，可以不再用润滑装置，具有很高的寿命。

滑环、O形圈及密封沟槽等尺寸的恰当选取是使滑环组合式密封圈具有良好密封性能的关键。

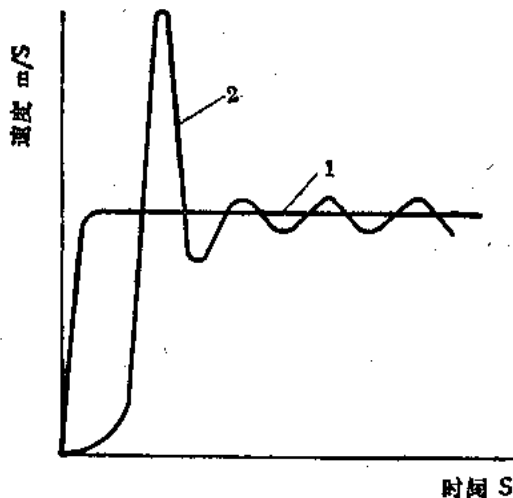


图2—33 滑环组合式密封圈与O形圈始动阻力比较
1—滑环组合式密封圈；2—O形圈

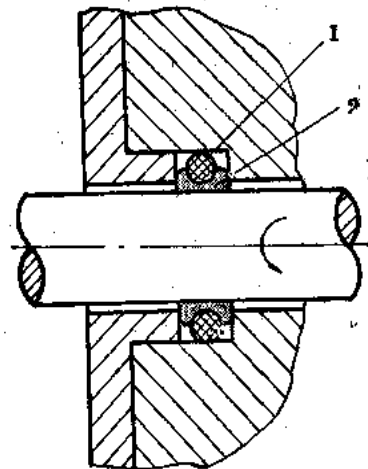


图2—34 旋转用滑环组合式密封圈示例
1—O形圈；2—聚四氟乙烯滑环

滑环的结构型式很重要。在液压、气动传动中，一般采用图2—35所示结构。在气压传动中，必须充分考虑滑环的热胀现象。聚四氟乙烯或聚酰胺树脂的线膨胀系数比钢大一个数量级（表2—12），所以气动用滑环作成缺口型（图2—35C），以保证滑环热胀后可自行伸长。

滑环是利用O形圈压缩变形的反弹力来实现密封的，因此，密封可靠性则取决于O形圈的压缩率大小。压缩率大，O形圈的反弹力亦大，密封性就好，但阻力亦大。对液压传动，一般取 $W = 10 \sim 25\%$ ，对气动传动，一般取 $W = 4 \sim 10\%$ 。

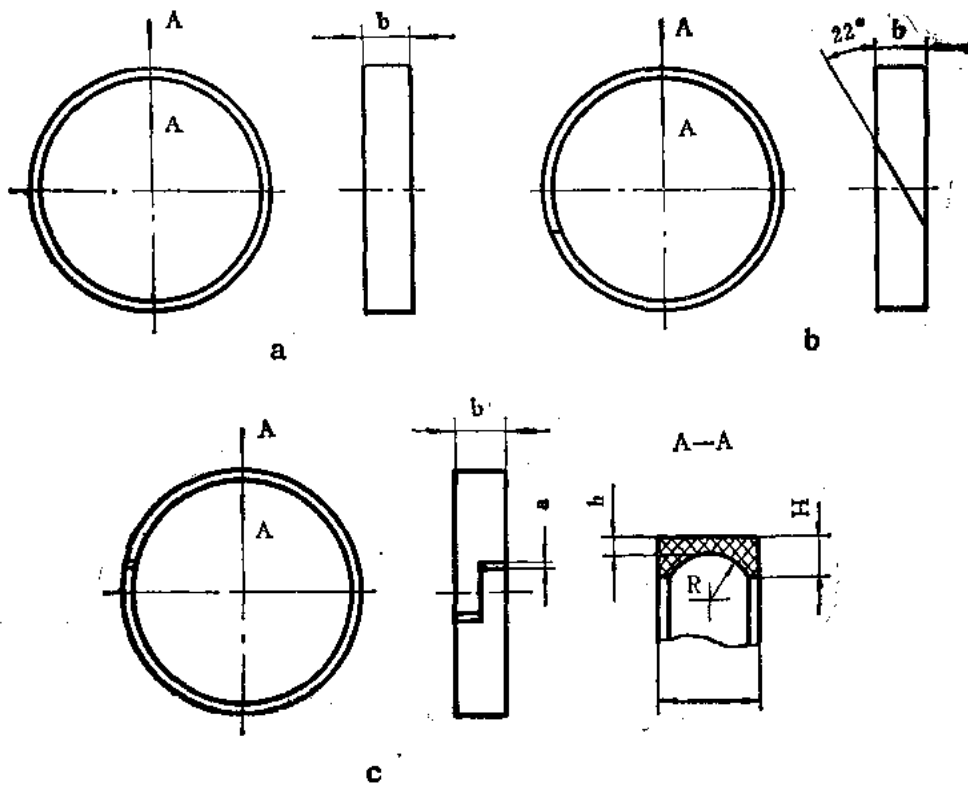


图2—35 滑环型式

表2—12 几种材料的线膨胀系数与导热系数比较

材 料	线 膨 胀 系 数 α (1/°C)	导 热 系 数 kcal/m · h · °C
碳 钢	$1.06 \sim 1.22 \times 10^{-5}$	40
铸 铁	1.66×10^{-5}	40~80
黄 铜	1.78×10^{-5}	80
聚 四 氟 乙 烯	1.23×10^{-4}	0.21
尼 龙 1010	1.05×10^{-4}	0.20

滑环的尺寸如下 (图2—35),

$$b = (1.25 \sim 1.30) d_0$$

$$R = (0.70 \sim 0.75) d_0$$

$$h = 0.5 \sim 1$$

$$a = 0.3 \sim 0.5$$

表 2—13 给出了滑环组合式密封圈与沟槽的参考尺寸。

试验表明, 滑环组合式密封圈的摩擦系数低、与金属表面无粘着性, 比单独用 O 形圈的始动摩擦力, 可以降低一半以上, 更为可贵的是, 始动摩擦阻力与停机时间无关 (表 2--14)。与 O 形圈相比, 组合式密封圈的寿命可提高 90 倍。用于气动传动时, 可对组合

表2—13 滑环组合式密封圈的参考尺寸

mm

O形圈断面直径与压缩率			尼 龙 密 封 圈					沟 槽 宽
d_0	δ	$W(\%)$	b	h	a	H	R	B
2.4 ± 0.09	0.20	3~10.9	3.0 ± 0.15	0.5	0.5	1.0	1.68	$3.2^{+0.15}_{+0.05}$
3.5 ± 0.11	0.35	3.5~10	4.5 ± 0.15	0.5	0.5	1.0	2.56	$4.7^{+0.15}_{+0.05}$
5.7 ± 0.14	0.45	4~8	7.0 ± 0.15	1.0	1.0	1.5	4.04	$7.5^{+0.15}_{+0.05}$

式密封圈与沟槽涂敷二硫化钼等润滑剂。如此，既可改善润滑条件，减小摩擦阻力，提高寿命，又可改善密封性，减小泄漏量。

与O形圈相比，组合式密封圈的密封性较差。所以，组合式密封圈用于允许有微量泄漏的机器设备更为合适。

表2—14 组合式密封圈与O形圈始动摩擦阻力比较

往复运动次数	停放时间 (min)	始动摩擦阻力 (Kgf)	
		组 合 式 密 封 圈	O 形 圈
0	0	4.5	5.5
0	2.5	4.5	5.5
0	40	4.5	7.5
10万次	0	3.5	4.0
10万次	2.5	3.5	4.0
10万次	40	3.5	4.4
10万次	18000	3.6	15

6. 采用燕尾形密封沟槽

燕尾形密封沟槽(图2—36)的采用，可以大大减小O形圈的始动摩擦力。这是因为装于燕尾形沟槽中的O形圈与滑动表面的接触宽度，不随压缩率和工作压力的增大而增加之故。因此，燕尾形密封沟槽，可用于要求摩擦力低的密封装置中。当O形圈被工作介质压向一侧时，为不致形成闭死容积，影响O形圈的密封性能——接触宽度(即摩擦力)的减小，开有排油小孔。如压力油单向作用，则小孔开在压力作用方向的对侧。

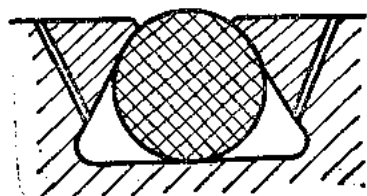


图2—36 燕尾形密封槽

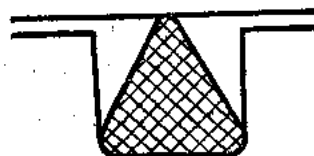


图2—37 三角形密封圈

如压力油双向作用，则沟槽两侧皆开有小孔。

7. 采用三角形断面密封圈

三角形断面密封圈（图2—37），具有良好的稳定性、高的抗扭转性和低的摩擦力。因此，采用三角形断面密封圈，是获得低摩擦始动阻力的有效方法。

8. 采用楔形断面的O形圈挡圈

楔形断面O形圈挡圈的采用（图2—13c），也是设计低摩擦密封装置切实可行的方法。

第四节 O形圈的使用基础

目前，国内应用液压传动的地方，泄漏是较普遍存在的现象。给人们造成的不良印象是，一提到液压传动，首先想到的就是到处漏油。似乎液压传动漏油，是不可克服的必然现象。其实一切采用液压传动的机器设备，都不允许、也不应该漏油。这也是先进的液压传动应该做到的，同时，也是完全可以做到的最基本的要求。当然，就当前国内情况而言，造成液压传动泄漏的原因是复杂的、多方面的。

密封装置各部分的尺寸与有关参数选择（设计）得合理与否，制造工艺尤其是密封元件的工艺质量的高低，装配使用的正确与否，密封材料的优劣与密封模具设计的好坏等，有重要关系。因而，要解决液压传动的泄漏问题，也必须从各方面入手。这里仅就O形圈使用与装配上的一些问题，加以阐述。

一、O形圈的永久变形

使用和试验表明，永久变形、弹力的消逝，是O形圈丧失密封能力的重要原因。因此，尽量减小O形圈的永久变形，乃是提高其寿命的重要途径。

1. 合理选择O形圈的压缩率和拉伸率

压缩率和拉伸率是O形圈永久变形最重要的影响因素。因此，根据不同使用条件，合理选择O形圈的压缩率和拉伸率甚为重要。制作O形圈各种配方的橡胶，在压缩状态下，都要产生压缩应力松弛现象，且压缩应力随时间的增长而减小。使用时间越长、压缩率和拉伸率越大，则由橡胶应力松弛而产生的应力下降就越大（图2—38），以致使O形圈丧失弹性，失去密封能力。因此，在使用允许的条件下，尽量选用小压缩率。但这里应该指出的是，人们在计算O形圈的压缩率时，往往忽略了O形圈在装配时，由于拉伸而引起的断面高度的减小。须知，O形圈断面积的变化，是与其周长的变化成反比的。同时，由于拉力的作用，O形圈的断面形状也发生了变化——高度减小（图2—39）。此外，在表面张力的作用下，O形圈的外表面变得更平了，这也促使其断面高度的减小。凡此种种，都将导致O形圈压缩应力的松弛和密封能力的丧失。

试验表明，O形圈断面高度变扁的程度，取决于O形圈材质的硬度（图2—40）。在相同拉伸率的情况，硬度大的O形圈，其断面高度减小的也大。因此，在使用允许的条件下，尽量选用低硬度的材质。

试验还证明，在液体压力和张力的作用下，橡胶O形圈也会逐渐发生塑性变形，使

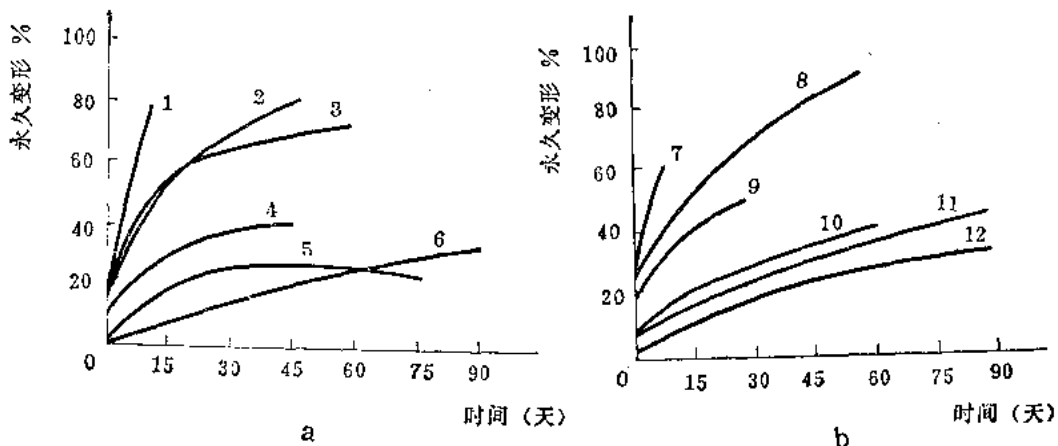


图2-38 O形圈的永久变形

a——永久变形与材质、温度的关系 ($d_0=3.53$, $HS=70$)

b——永久变形与温度、断面直径的关系

1, 2, 6——丁腈胶120℃、100℃、70℃; 3——氟胶140℃; 4——乙丙胶100℃;

5——特殊氟胶140℃; 7, 8, 9, 11—— $d_0=3.5$ 、温度120℃、100℃、80℃、70℃;

10, 12—— $d_0=12$ 、温度100℃、70℃

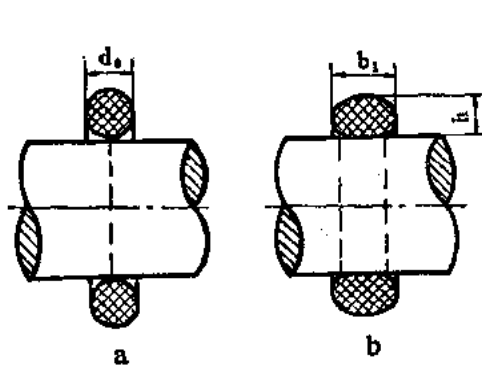


图2-39 O形圈拉伸后的高度变化

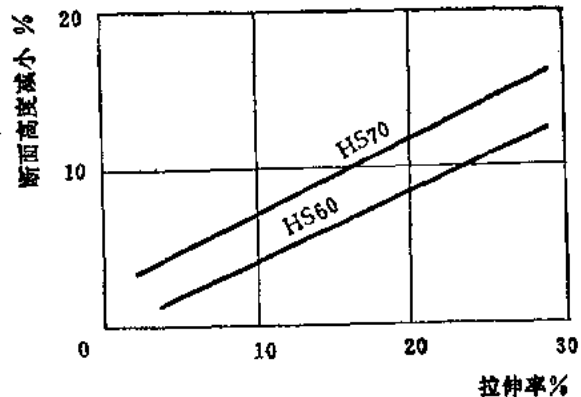


图2-40 拉伸后O形圈的硬度对其高度变化的影响

其断面高度随之逐渐减小, 以致最后失去密封性。

在拉伸状态下, O形圈的断面高度 h 可用下式验算:

$$h = d_0 \sqrt{\frac{1}{\alpha} [1 - (\alpha - 1) m d_0]} \quad (2-13)$$

式中 m ——常数。

对硬度 $HS = 55 \sim 70$ 的橡胶O形圈, 当断面直径 $d_0 = 4 \sim 7$ 毫米时, 可用下列公式:

$$h = d_0 \sqrt{\frac{1.31}{\alpha} - 0.31} \quad (2-14)$$

当 $d_0 = 2 \sim 4$ 毫米时, 可用下列公式:

$$h = d_0 \sqrt{\frac{1.21}{\alpha} - 0.21} \quad (2-15)$$

2. 温度与O形圈弛张过程的关系

使用温度是O形圈永久变形的另一重要因素。高温会加速橡胶的老化。因此，工作温度越高，O形圈的压缩永久变形越大（图2-38）。当永久变形大于40%时，O形圈即丧失密封能力而发生泄漏。实践证明，与高温的影响相比，低温对O形圈永久变形的影响，尤为严重。因压缩变形而在O形圈橡胶中形成的初始应力值，将随O形圈弛张过程和温度下降的作用，而逐渐降低和消逝。在零下温度工作的O形圈，其初始应力，可能由于温度的急剧降低，而减小或完全消逝。-50~-60℃的低温，可使不耐低温的橡胶，完全丧失初始应力。就是耐低温的橡胶，也不会具有20℃时初始应力的25%以上。这是因为O形圈的初始压缩值取决于线胀系数，而橡胶的线胀系数是金属的10倍。所以，在设计时，O形圈压缩率的选取，必须保证使其由于弛张过程和温度下降而造成应力下降后，仍能保持有足够的密封性。

在零下温度工作的O形圈性能指标，是橡胶的恢复指数和变形指数。

综上所述，尽量设计保证O形圈具有适宜的工作温度，或选用耐高、低温的O形圈材料，以延长其使用寿命。

3. 压力与永久变形

工作介质的压力，是引起O形圈永久变形的重要因素。现代液压传动的工作压力，日益提高。在实验室中用于实验的O形圈的工作压力，已高达12000公斤力/厘米²。长时间的高压作用，会使O形圈发生永久变形。因此，根据O形圈的工作压力，选择适当的耐压O形圈材料，是重要的。工作压力越高，越宜选用耐高压、高硬度的O形圈材料。

4. 增塑剂

为改善O形圈耐压性，增加O形圈的弹性，尤其是增加低温下的弹性，尽量降低材料的压缩永久变形，一般是改善胶料的配方，添加增塑剂。

5. 液体的影响

具有增塑剂的O形圈，长时间在工作介质中浸泡，其中的增塑剂会逐渐被工作介质所吸收，导致O形圈体积的收缩和减小（图2-41），有可能产生O形圈的负压缩（在O形圈和被密封表面间出现间隙）。为消除由于橡胶中增塑剂被吸收而使O形圈密封性遭到破坏的现象，在计算O形圈压缩率和模具设计时，应充分考虑到这些收缩量，以使压制出的O形圈，在工作介质中浸泡5~10昼夜后，仍能保持必要的尺寸。

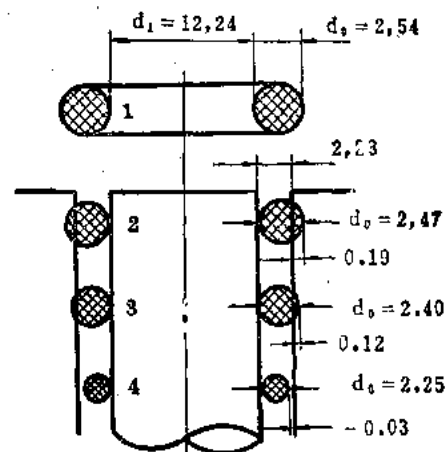


图2-41 油液对密封圈横断面变化的影响

- 1—自由状态； 2—计算值；
- 3—新O形圈的测量值（考虑到公差的最小尺寸）；
- 4—增塑剂消逝后的测量值

二、O形圈的间隙挤出

前已述及，由于O形圈的间隙挤出而引起的O形圈的间隙咬伤，可能引起严重事故。因此，对O形圈的间隙咬伤，必须引起使用者的高度注意。经验表明，O形圈的材料愈软，工作压力愈高，间隙挤出现象就愈严重。当压力超过一定限度时，O形圈就发生损坏而泄漏（图2—11）。

因此，防止或尽量减小O形圈的间隙挤出，是设计、制造、使用者的共同重要任务。

1. O形圈的硬度与密封间隙

夸张地讲，假如没有间隙，或者O形圈的硬度非常大，那么，当然就没有O形圈的间隙挤出可谈了。事实上，这是不可能的，也是不允许的。因此，根据实际使用情况，恰当的选取O形圈的硬度和密封间隙，就显得是重要的了。O形圈的硬度是比较好办的。当前，国内外常用的O形圈的硬度范围，一般在 $H_S = 60 \sim 90$ 之间。低硬度，用于低压；高硬度，用于高压。然而，精确而合理地选取密封间隙的大小，事实证明是困难的。这是因为，影响密封间隙值的因素众多而且复杂。诸如，被密封偶合件的材质、工作温度、工艺水平等。

例如，工程起重机的吊臂伸缩机构的伸缩油缸，已相继出现了3米、5米、7米以至10米的长缸筒。如此长的缸筒，它的几何精度，诸如圆度、圆柱度等，是很难保证的。弄得不好，未经调质处理的缸筒，从加工床子上卸下来，就可能发生 $0.03 \sim 0.07$ 毫米，甚至 0.10 毫米的圆度变形。

其次因为，这众多因素之间的关系又是复杂的。大量的试验，有待进一步去做。图2—12所示即为无挡圈密封间隙与工作介质的压力和O形圈硬度关系的一个实验结果，可供参考选用。

2. 挡圈的采用

随着液压元件向高压化发展、为防止O形圈的间隙挤出，则密封间隙必须相应减小。密封间隙的减小，无疑将给制作工艺带来困难，制作成本也将相应提高。O形圈保护挡圈的采用（图2—13），则完全改变了这种状态。它不仅大大改善了O形圈的工作条件、提高了寿命，同时也改善了液压元件的工艺性，这对长缸筒的制作，意义尤为重大。

基于此种情况，有关液压缸缸筒和活塞杆的尺寸公差和形位公差的推荐值，列成表2—15供参考。

在此，有必要澄清一个糊涂概念。当前，国内生产的所有液压缸缸筒和活塞杆的圆度要求，都是不大于公称尺寸公差之半。认真地讲，这一技术要求是不妥当的，甚至是莫明其妙的。

例如，缸径为 $\phi 125$ 毫米的液压缸，缸筒与活塞或活塞杆与导套的配合精度，一般为 $H9/f9$ 。缸筒为 $\phi 125H9(+0.10)$ ，活塞外径为 $\phi 125f9(-0.033)$ 。最大单边间隙 0.1215 毫米，最小单边间隙 0.0215 毫米。此时，密封装置的主要设计任务，就是选取为密封这样的间隙所需O形圈和密封沟槽尺寸参数。换言之，设计的密封装置，必须保证对密封间

表2-15 缸筒和活塞杆尺寸公差与圆度公差推荐值

mm

基本尺寸		18以下	18~30	30~50	50~80	80~120	120~180	180~250	250~315	315~400	400以上
尺寸公差	缸筒	—	+0.052 +0	+0.062 +0	+0.074 +0	+0.87 +0	+0.100 +0	+0.115 +0	+0.130 +0	+0.140 +0	+0.155 +0
	活塞杆	-0.016 -0.059	-0.020 -0.072	-0.025 -0.087	-0.030 -0.104	-0.036 -0.123	-0.043 -0.143	-0.05 -0.165	-0.056 -0.186	-0.062 -0.202	-0.068 -0.223
圆度	缸筒	—	0.052	0.062	0.074	0.087	0.100	0.115	0.130	0.140	0.155
	活塞杆	0.043	0.052	0.062	0.074	0.087	0.100	0.115	0.130	0.140	0.155

注：表中所给圆度公差，仅适用于橡胶、夹布橡胶、皮革等密封元件。

隙范围0.0215~0.1215毫米的良好密封。试问，给定的缸筒和活塞杆“形位公差”的圆度公差，为其尺寸公差之半的意义是什么呢？这是不经济的，也是不合理的。因为，这不但在理论上给零件的尺寸公差与形位公差的关系制造了矛盾、即同样一个零件，按尺寸公差的要求是合格的，而按形位公差要求，有可能就变成了废品；而在实践上，除了大大提高了诸如长缸的工艺难度外，对运动偶的密封装置也无补益。事实上，美、日、苏等国、在液压缸缸筒和活塞杆等形位公差的国家标准中，圆度一律规定为相应的整个尺寸公差(表2-16)。公差之半之说，在一切正式标准中，是没有的。只是在某些生产厂，根据它们的生产情况，为了适应某些运动偶分组选配的需要，才有公差之半的规定。且多用于间隙密封。如天津机械厂生产的FP₃75分配器的阀孔与滑阀，按其尺寸公差值，分别分成20组、0.004毫米为一组。因而，阀孔与滑阀的圆度公差规定为0.004毫米。

表2-16 日本缸筒与活塞杆尺寸公差与圆度公差

mm

基本尺寸		18以下	18~30	30~50	50~80	80~120	120~180	180以上
尺寸公差	缸筒	—	—	+0.062 +0	+0.074 +0	+0.087 +0	+0.100 +0	+0.115 +0
	活塞杆	-0.016 -0.043	-0.020 -0.052	-0.025 -0.063	-0.030 -0.076	-0.036 -0.090	-0.043 -0.106	-0.050 -0.122
圆度	缸筒	—	—	0.062	0.074	0.087	0.100	0.115
	活塞杆	0.027	0.033	0.039	0.046	0.054	0.063	0.072

注：1. 摘自日本工业标准JIS B8354。

2. 表中所给圆度公差仅适用于橡胶、夹布橡胶和皮革等密封元件。

三、O形圈的扭转

在使用过程中，O形圈的扭转，也常引起O形圈的损坏与泄漏。往复运动用O形圈

的扭转现象（图2—9），经常发生在使用初期。一旦发生扭转，O形圈即被切断、泄漏。断掉的O形圈，进入液压系统，可能造成重大事故。产生扭转的原因，主要有密封沟槽的偏心，O形圈断面直径过小且不匀，润滑不足等形成O形圈的局部摩擦过大而造成。

为防止O形圈的扭转，通常采用如下作法：

1. 尽量保证密封沟槽的同轴度。
2. 从模具的加工和O形圈的压制，尽量保证O形圈断面直径的均匀性。
3. 安装前，O形圈和密封沟槽，涂敷润滑脂。
4. 提高缸筒和活塞杆的表面光洁度。
5. 加大O形圈断面直径。因此，动密封装置用O形圈的断面直径，一般皆大于静密封装置用O形圈断面直径。
6. 采用低摩擦系数的材料制作O形圈。
7. 行程长、直径大（即长大型液压缸）的密封装置，尽量避免采用O形圈，而应代之以Y形、x形、三角形等密封圈。

四、润滑与防尘

毫无疑问，密封装置的适当润滑，以减小密封元件的摩擦，对提高密封元件的寿命是重要的。当然，对液压传动的密封装置、润滑的意义并不明显，但对水压、气动、真空机械而言，它们的工作介质是无润滑性的。因此，对这些密封装置的润滑，就应特别予以重视。一般，水压、气动、真空机械密封装置用O形圈和密封沟槽，均应充分涂敷高熔点润滑脂（表2—17）。

表2—17 O形圈用润滑脂

名 称	类 型	使用温度℃	适 用 范 围	O 形 圈 材 料
凡士林 (GB486—65)	矿物油	-30~+80	工作介质为燃料油 和矿物系液压油	丁腈橡胶 氯丁橡胶 氟橡胶 (不能用丁基橡胶)
钡基润滑脂 (Sy1406—74) 锂基润滑脂 (Sy1508—65)	钡皂基 锂皂基	-50~+200	压力为15Kgf/cm ² 的 低压系统和气动机械	丁腈橡胶、氯丁橡胶、氟 化橡胶（有的有收缩）硅橡 胶（有的有溶解）等
硅油 DC200	硅油 (2×10 ⁵ 厘沱)	-50~+200	高压、高速	硅橡胶、丁腈橡胶、丁基 橡胶、氯丁橡胶、氟橡胶
真空用 润滑脂	纤维素脂 或蓖麻油	-40~+55	真 空	丁腈橡胶、氯丁橡胶、氟 橡胶（氟橡胶有的收缩，硅 橡胶有的溶解）
润滑基脂 G—300	硅基润滑脂	-70~+200	210Kgf/cm ² 的 高压、气动、高速	丁腈橡胶、氯丁橡胶、氟 橡胶（氟橡胶有的收缩，硅 橡胶有的溶解）

图2—42所示为气动机械密封装置用O形圈两侧开设润滑脂槽,进行润滑的结构,润滑效果好。

如前所述,灰尘中的硬粒,一旦侵入O形圈滑动表面,便迅即将其表面划伤而引起泄漏。因此,像诸如液压缸活塞杆的外伸端等处,必须设置防尘装置(图2—10)。

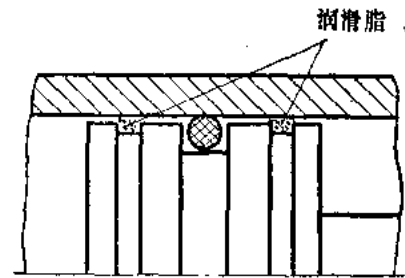


图2—42 开设润滑脂槽的示例

五、O形圈的尺寸精度

密封装置的密封可靠性,取决于O形圈的压缩率。一般情况下,这种压缩率都是很小的。绝对值只有十几到几十微米。如此微小的压缩率,就要求O形圈的尺寸公差有很高的精度。确保O形圈尺寸公差精度的关键,在于高精度的模具加工;精确地选取O形圈材质的收缩率。比较起来,高精度的模具加工,是比较容易做到的,而精确地掌握作为模具设计依据的O形圈材质的收缩率,则是困难的。仅就各种胶料而言,它们的收缩率是与很多因素有关的不定值。因此,一般只能通过实测,取得O形圈的收缩率。

经验表明,O形圈横断面收缩率很小,一般可不予考虑。只有当横断面直径大于8毫米时,才予以考虑。在配方和工艺条件一定的情况下,O形圈的收缩率随硬度的提高而减小;随其内径减小而提高。

一般,中等硬度($HS = 75 \pm 5$)、中等大小(内径 $d = 40 \sim 70$ 毫米)的O形圈,其内径收缩率约为1.5%。

六、O形圈的飞边

目前的工艺水平,O形圈在分模面上留有溢出余胶的飞边,是不可避免的。飞边的存在,无疑将影响O形圈的密封性。从使用的角度讲,45°分模最好(图1—6),但与90°分模相比,模具制作较难。因此,世界各国对O形圈的飞边都有所规定。我国规定飞边高度小于0.10毫米,厚度小于0.15毫米。美国航空标准规定,飞边高度不大于0.07毫米,厚度不大于0.12毫米。日本工业标准JIS B2401规定,飞边高度小于0.07毫米。苏联规定飞边高度不大于0.10毫米。

为了使O形圈的飞边薄而好修,上、下分模面,一定要平直、光洁。有时飞边呈桃形,顶部尖锐、底部宽厚。显然,这是模具加工进刀不良所致。采用样板刀加工较好。

目前,国内大多数厂家均系采用手工修边,生产率既低,质量又差。也有的厂家采用机械修边——磨边。质量虽有所保证,但生产率较低。

近年来,出现了新的修边工艺——冷冻修边法。生产率既高,质量又佳。这是一种先进的工艺方法。冷冻修边法,主要有三种方式。

1. 冷冻滚修法

这是早期的方法,滚修的装置主要是一个可旋转的圆筒,内加液态二氧化碳(即干冰),把磨料和制品一起投入其内,并使之转动,O形圈的飞边即可除之。

2. 冷冻喷修法

这是冷冻滚修法的改进。把制冷剂——干冰加入旋转的滚筒内，使置于滚筒内的O形圈温度降至 $-40\sim-70^{\circ}\text{C}$ ，在冷气流中持续20~30秒后，使飞边冷作硬化而变脆，此时开动弹丸抛射器，喷射出的钢珠将O形圈的飞边撞击而除之。每小时可喷修3吋的O形圈一万只。

3. 液氮冷冻修边法

干冰的降温能力只有 -79°C ，冷冻时间较长，且对某些耐寒性较高的橡胶，诸如硅橡胶等不适用。因此，采用沸点为 -196°C 的液态氮做致冷剂，可适用于所有橡胶的冷冻要求。此法系将液态氮喷入工作室，利用制品在转鼓内动时的碰撞和摩擦以及室内滚珠的撞击，除去制品的飞边。

液态氮冷冻修边法的效率高、废品率低且制品的外观好，避免了干冰冷冻法在制品表面沉积的一层灰色涂层，因此，不需要再行清洗。

美国的特异公司于1966年首次设计使用了液氮冷冻修边机。随后，英国空气制品公司和美国温太华橡胶公司等相继生产使用。

七、O形圈的安装

O形圈的安装质量，对O形圈的密封性与寿命均有重要影响。实践表明，使用中发生的很多泄漏问题，是由安装不善而造成。

1. 引入角与导套

为防止O形圈被尖角和螺纹等锐边所切伤或划伤，安装时，轴端和孔端应有 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的引入角。当O形圈需通过外螺纹时，应使用图2—43所示的薄壁金属导套。当安装O形圈时，如需要通过孔口，应将所要通过的孔口，倒成如图2—44所示的形状，以防O形圈被切伤。直径 D 不小于O形圈的实际外径；坡口的斜度 $\alpha = 120^{\circ}\sim 140^{\circ}$ 为好。

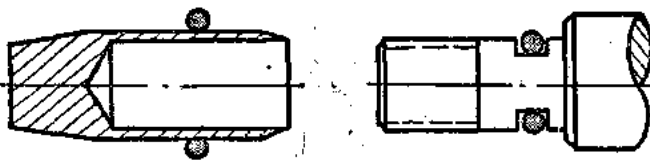


图2—43 利用导套安装O形圈

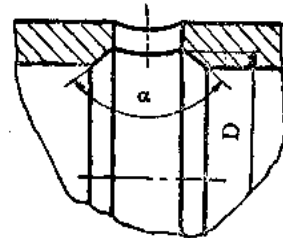


图2—44 孔口形状

2. 注意O形圈挡圈的安装方向

当工作压力超过一定值、需用挡圈时，应特别注意挡圈的安装方向。单边受压、装于反侧，切勿装错。

3. 切勿漏装

由于工作的疏忽而忘记装O形圈、特别是平面静密封圈、而造成的漏油现象，也是常常发生的。因此，在装配时，予先把需装的O形圈如数领好，放入油中，装配完毕，O形圈应即用完，如有剩余，必须重装。

4. 防止报废O形圈的再用

安装时换下来的或安装过程弄废的O形圈，一定立即剪断收回。为防止浪费，从地

上收集到的O形圈，一定要仔细检查，确认是合格品后，才能留用。O形圈的规格繁多，而且相邻的尺寸又相差很小，单凭目力，是难以辨别的。

5. 负压的密封

如果是自吸式油泵，或瞬时流速大于10米/秒的管路均可产生负压（真空）现象。负压和正压的密封完全不同。与正压漏油现象相反，负压是吸气。因此，它们的密封情况也截然相反（图2—45）。图2—45a用于正压；图2—45b用于负压（真空）。如不注意，误将图2—45a用于负压，则有可能在负压（真空）作用下，把O形圈吸进去，造成空气进入液压系统、引起油箱“开锅”现象。

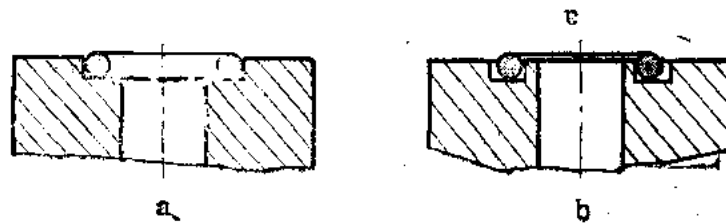


图2—45 正压与负压的密封
c——正压； b——负压

6. 密封装置固定螺孔深度不足

密封装置用固定螺孔的深度，容易发生孔的螺纹长度不够或孔的深度不够。这两种情况，一个结果：即两密封平面不能紧固，密封不严，产生泄漏，或在高压下把O形圈挤坏。

八、O形圈的寿命与保管

O形圈的寿命，取决于许多因素。它与使用条件、装配质量、运动偶的材质、加工精度、润滑状况、防尘措施等有直接关系。因此，很难给出某种O形圈的确切使用寿命。当然，就具体工作条件而言，还是可以粗略地给出O形圈的使用寿命（表2—18）。

表2—18 一般用O形圈的使用寿命

机械名称	O形圈尺寸 mm	工作压力 Kg/cm ²	使用温度 ℃	工作 介质	速 度 m/S	负荷 性质	滑动面 光洁度	泄漏 情况	断油 情况	使用后 的变化	寿 命
凿 岩 机	7.5×3.5×2	4.0~5.6	20~22	矿物油	0	连续	▽6	无	无	无	三个月以上
关 门 机	70.6×59.4×5.6	4~6	5~15	空 气	—	间歇	▽7	无	—	磨损不均匀	1年
液 压 虎 钳	8.1×4.1×1.7	真空度 30毫米汞柱	20	空 气	—	间歇	▽9	—	—	有变形	3年
吸 气 阀 调 节 器	11.5×7.75×1.7	15~20	20	矿物油	—	—	▽7	—	—	—	1年
油 泵	50.6×54.4×3.1	150	20	矿物油	0.075	间歇	▽8	—	—	磨损大	1年
液 压 元 件	55.7×42.7×3.5	360	-20~+40	机 油	0.04	间歇	▽10	—	—	—	1.5年
软 管 接 头	15.8×13×1.4	3~7	0~30	水	—	—	▽6	—	—	变形大	一个月
气 缸	28.2×21.6×3.3	4~10	20~30	空 气	—	间歇	▽7	无	无	无	一年
水 压 机	9.15×5.75×1.7	10~20	0~25	水	0.5~0.8	激烈	▽7	小	无	无	2年

为提高滑动表面的防腐性和耐磨性，通常滑动表面都进行电镀。经验表明，镀层的材质，对O形圈的寿命是有影响的（表2—19）。一般，高硬度的较好。目前，从防腐性、耐磨性、以及对O形圈的适应性等方面看，镀铬钢最好。因此，诸如活塞杆等滑动表面镀铬，是国内、外普遍采用的一种方法。

表2—19 O形圈对滑动表面镀层适应性比较

镀 料	耐腐蚀性	耐 磨 性	耐点蚀性污染	对钢的保护性	O形圈的适应性	
					静 密 封	动 密 封
镍	小	小	小	特 强	适	适
铬	特 强	特 强	特 强	小	适	适
铜	大	中	小	大	不 适	不 适
金	特 强	中	特 强	中	适	不 适
铁	小	大	小	大	适	适
铅	大	小	小	中	适	不 适
镍	大	大	中	大	适	适
铝	特 强	特 强	特 强	中	适	适
银	大	中	中	中	适	不 适
锡	大	小	大	中	适	不 适
铉	小	小	小	特 强	适	不 适

必须强调指出，O形圈保管的妥善与否，对其寿命有着极大影响。O形圈是一种易损件，是必不可缺的随机备件之一。因此，对O形圈的保管绝不容忽视。保管O形圈必须做到如下几点：

1. O形圈制品应根据类型、规格分别进行包装。包装O形圈的聚乙烯塑料袋，必须记载制品名称、规格、胶料、制造日期与制造厂名等。按先后次序使用。
2. 避免放在阳光直射，潮湿、空气流通的地方。因为这些都是加速O形圈老化的因素。存放O形圈的适宜温度为-15~+35℃，适宜的空气湿度为50~80%。
3. O形圈的存放处，必须远离加热设备1米以外、离开地面0.3米以上，且不允许放在有酸、碱的室内。
4. O形圈存放时，不允许使其受压，以免引起受压缩后的永久变形。
5. 橡胶O形圈的保管有效期为2~5年。

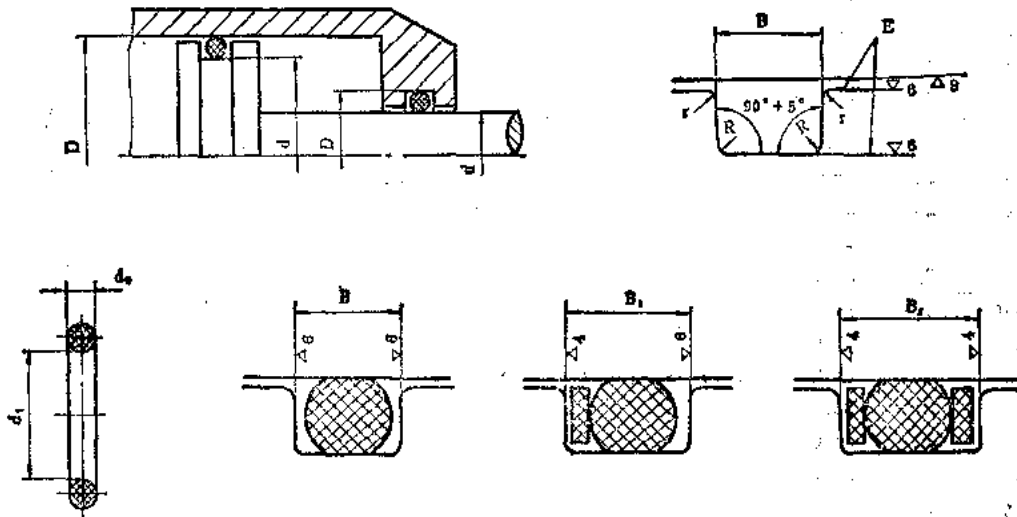
第五节 O形圈的标准化

O形橡胶密封圈是一种通用的密封元件，极其广泛地应用于各种机械设备的密封装置中。随着橡胶密封制品专业化生产的发展，世界各先进的工业国都有各自的国家标准。GB1235—76《O形橡胶密封圈尺寸系列》作为我国的国家标准，已于1976年10月发布试行。

国标GB1235—76对O形橡胶密封圈的结构尺寸系列与尺寸公差、密封沟槽的尺寸系列与尺寸公差、O形橡胶密封圈用挡圈的型式与尺寸系列、推荐的孔与轴的密封间隙、安装O形圈的孔与轴端部的尺寸加工、材料的物理机械性能等都作了规定。

根据动密封装置与静密封装置所用O形圈的不同，它们的密封沟槽也是不同的。为便于查阅与使用，参照国外的经验，将O形圈与沟槽的尺寸系列按动密封装置与静密封装置分别列表2—20与表2—21。表2—22所列O形橡胶密封圈用挡圈的型式与尺寸系列。

表2—20 往复运动密封装置用O形圈和沟槽的形状与尺寸系列
(根据GB1235—76)



标记示例:

O形圈的公称外径 $D = 125$ ，断面直径 $d_0 = 5.7$ ，材料为耐油普通橡胶1—4，记为

O形圈125×5.7 橡胶1—4 GB1235—76

mm

公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽直径							
		实际内径 d_1	断面直 径 d_0	宽 度				R	同轴度 E		
				B	B_1	B_2	允差				
5	2	1.7									
6	3	2.7									
7	4	3.7									
8	5	4.7									
9	6	5.7	± 0.12	1.9 ± 0.03	2.5	3.8	5.2	0.10	0.2	0.1	0.05
10	7	6.7									
11	8	7.7									
12	9	8.7									
13	10	9.7									
(14)	11	10.7									

(续)

公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽直径								
		实际内径 d_1	断面直 径 d_2	宽 度				R	r	同轴度 E		
				B	B_1	B_2	允差					
14	10	9.6										
15	11	10.6										
16	12	11.6										
18	14	13.6										
19	15	14.6	± 0.13	2.4 ± 0.09	3.2	4.5	5.9		0.2	0.05		
20	16	15.6										
22	18	17.6										
24	20	19.6										
25	21	20.6										
26	22	21.6										
28	22	21.6								0.1		
30	24	23.6										
31	25	24.6										
32	26	25.6						0.15				
34	28	27.6										
35	29	28.6										
36	30	29.6										
38	32	31.6	± 0.20	3.5 ± 0.11	4.5	6.2	7.7		0.3	0.07		
40	34	33.6										
41	35	34.6										
42	36	35.6										
44	38	37.6										
45	39	38.6										
46	40	39.6										
48	42	41.6										
50	44	43.6										
51	45	44.6										
54	48	47.6										
55	49	48.6										
56	50	49.6										
(50)	40	39.4										
(55)	45	44.4										
60	50	49.4										
63	53	52.4										
65	55	54.4										
70	60	59.4										
73	63	62.4										
75	65	64.4										
80	70	69.4	± 0.40	5.7 ± 0.14	7.5	9.6	11.7	0.2	0.4	0.2	0.10	
85	75	74.4										
90	80	79.4										
95	85	84.4										
100	90	89.4										

(续)

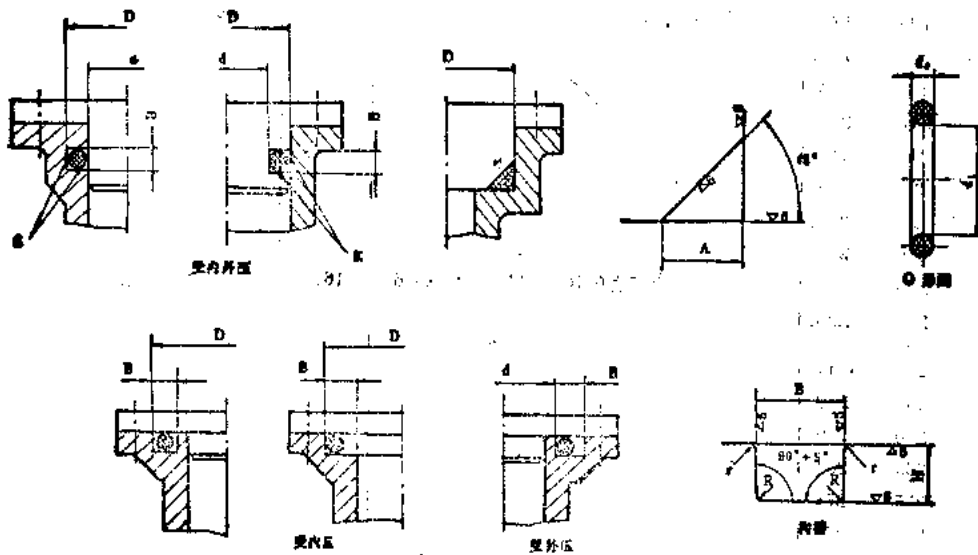
公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽直径							
		实际内径 d_1	断面直 径 d_s	宽 度				R	r	同轴度 E	
				B	B_1	B_2	允差				
105	95	94.4	± 0.40								
110	100	99.4									
115	105	104.4									
120	110	109.4	± 0.50	5.7 ± 0.14	7.5	9.6	11.7	0.4		0.1	
125	115	114.4									
130	120	119.4									
135	125	124.4									
140	130	129.4									
145	135	134.4									
150	140	139.4									
155	145	144.4									
160	150	149.4									
165	155	154.3									± 0.80
170	155	154.1									
175	160	159.1									
180	165	164.1									
185	170	169.1									
190	175	174.1									
195	180	179.1									
200	185	184.1									
205	190	189.1									
210	195	194.1									
215	200	199.1									
220	205	204.1									
225	210	209.1									
230	215	214.1									
235	220	219.1									
240	225	224.1									
245	230	229.1									
250	235	234.1	8.6 ± 0.16	11	13.6	16.3	0.5		0.12		
255	240	239.1									
260	245	244.1	± 0.10								
265	250	249.1									
275	260	259.1									
280	265	264.1									
290	275	274.1									
295	280	279.1									
300	285	284.1									
305	290	289.1									
315	300	299.3									
320	305	304.3									
330	315	314.3									
335	320	319.3									

(续)

公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽直径							
		实际内径 d_1	断面直 径 d_0	宽 度				R	r	同轴度 E	
				B	B_1	B_2	允差				
350	335	334.3	± 1.00	8.6	11	13.6	16.3	0.20	0.5	0.2	0.12
355	340	339.3									
360	345	344.3									
370	355	354.3									
375	360	359.3									
380	365	364.3									
390	375	374.3									
395	380	379.3									
400	385	384.3									
415	400	399.3									
420	405	404.3	± 1.20								
450	435	434.3									
480	465	464.3									
500	485	484.3									

注：凡打有括号者，均不推荐使用。

表2-21 静密封装置用O形圈和沟槽的形状与尺寸系列
(根据GB1235-76)



标记示例：

O形圈公称外径 $D = 125$ 、断面直径 $d_0 = 3.1$ 、材料为耐油普通橡胶 I-4，记为

O形圈125×3.1—橡胶 I-4—GB1235-76

公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽尺寸						同轴度 E
		实际内径 d_1	断面直 径 d_0	宽 度		深 度		R	r	
				B(A)	允差	H	允差			
5	2	1.7								
6	3	2.7								
7	4	3.7								
8	5	4.7								
9	6	5.7	±0.12	1.9±0.08	2.5 (2.6)	+0.10	1.4			
10	7	6.7								
11	8	7.7								
12	9	8.7								
13	10	9.7								
(14)	11	10.7								
14	10	9.6	±0.13	2.4±0.09	3.2	+0.15 (+0.10)	1.8			0.2
15	11	10.6								
16	12	11.6								
18	14	13.6								
19	15	14.6								
20	16	15.6								
22	18	17.6								
24	20	19.6								
25	21	20.6								
26	22	21.6								
38	23	22.5	±0.20							0.1
30	25	24.5								
32	27	26.5								
35	30	29.5								
37	32	31.5								
40	35	34.5								
45	40	39.5								
50	45	44.5								
55	50	49.5								
60	55	54.5								
63	58	57.5								
65	60	59.5								
68	63	62.5								
70	65	64.5								
75	70	69.5								
80	75	74.5								
85	80	79.5								
90	85	84.5								
95	90	89.5								
100	95	94.5								
105	100	99.5								
110	105	104.5								

(续)

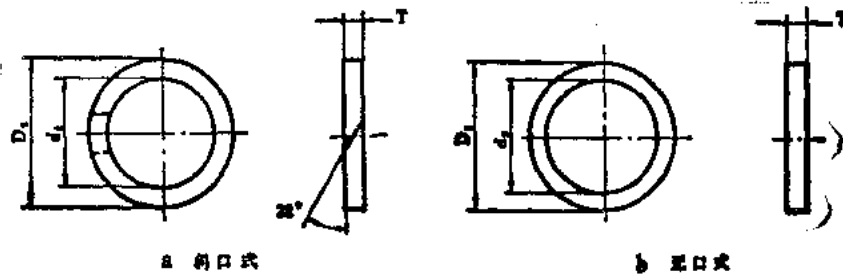
公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽尺寸							
		实际内径 d_1	断面直 径 d_2	宽 度		深 度		R	r	同轴度 E	
				$B(A)$	允差	H	允差				
115	110	109.5									
120	115	114.5									
125	120	119.5									
130	125	124.5									
135	130	129.5									
140	135	134.5	±0.50	3.1±0.10	4.0 (4.2)	+0.15 (+0.20)	2.4	0.3	0.1	0.07	
145	140	139.5									
150	145	144.5									
55	150	149.5									
160	155	154.5									
165	160	159.5									
170	160	159.3					-0.15				
175	165	164.3									
180	170	169.3									
185	175	174.3									
190	180	179.3									
195	185	184.3									
200	190	189.3									
205	195	194.3									
210	200	199.3	±0.80	5.7±0.14	7.5 (7.6)	+0.20 (+0.30)	4.5	0.4		0.10	
220	210	209.3									
230	220	219.3									
240	230	229.3									
250	240	239.3									
260	250	249.3									
270	260	259.3									
280	270	269.3	±1.00								
290	280	279.3									
300	290	289.3									
305	290	289.1							0.2		
315	300	299.3									
320	305	304.3									
330	315	314.3									
335	320	319.3									
350	335	334.3									
355	340	339.3	±1.00	8.6±0.16	11 (11.5)	+0.20 (+0.40)	6.9	-0.10	0.5	0.13	
360	345	344.3									
370	355	354.3									
375	360	359.3									
380	365	364.3									
390	375	374.3									
395	380	379.3									

(续)

公称 外径 D	公称 内径 d	O形圈尺寸		沟槽尺寸							
		实际内径 d_1	断面直 径 d_0	宽 度		深 度		R	r	同轴度 E	
				$B(A)$	允差	H	允差				
400 415	385 400	384.3 399.3	± 1.00	8.8±0.16	11 (11.5)	+0.20 (+0.40)	6.9	-0.10	0.5	0.2	0.12
420 450 480 500	405 435 465 485	404.3 434.3 464.3 484.3									

注：凡打有括号者，均不推荐使用。

表2—22 O形橡胶密封圈用挡圈的型式与尺寸系列
(根据GB1235—76)



标记示例：

外径 $D_1 = 125$ 、内径 $d_1 = 120$ 和 115 、材料为聚四氟乙烯的无口式挡圈，记为
 挡圈 $b125 \times 120$ 聚四氟乙烯 GB1235—76
 挡圈 $b125 \times 115$ 聚四氟乙烯 GB1235—76

mm

O形圈		挡圈尺寸				
公称 外径 D	断 面 直 径 d_0	外 径		内 径		厚 度 T
		D_1	公 差	d_1	公 差	
5	1.9	5	-0.14	2	-0.14	1.85±0.10
6		3				
7		4				
8		5				
9		6				
10		7				
11		8				
12		9				
13		10				
(14)		11				

(续)

O 形 圈		挡 圈 尺 寸					
公 称 外 径 D	断 面 直 径 d_0	外 径		内 径		厚 度 T	
		D_1	公 差	d_1	公 差		
14	2.4	14	-0.14	10	+0.14	1.25±0.10	
15							
16							
18							
19							
20							
22							
24							
25							
26							
28	3.1	28	-0.20	23	+0.20	1.5±0.12	
30							
32							
35							
38							
40							
45							
50							
55							
60		-0.25		60			+0.25
63							
65							
68							
70							
75							
80							
85							
90							
95							
100		-0.25	100	+0.25	95	+0.25	1.5±0.12
105							
110							
115							
120							
125							
130							
135							
140							
145							
150	-0.25	150	+0.25	145	+0.25	1.5±0.12	
155							
160							
165							
165							
165							

(续)

O 形 圈		挡 圈 尺 寸				
公 称 外 径 D	断 面 直 径 d_0	外 径		内 径		厚 度 T
		D_1	公 差	d_1	公 差	
28	3.5	28	-0.20	22	+0.20	1.5 ± 0.12
30						
31						
32						
34						
35						
36						
38						
40						
41						
42						
44						
45						
46						
48						
50						
51						
54						
55						
56						
(50)	5.7	50	-0.25	40	+0.25	2 ± 0.12
(55)		55		45		
60						
63						
65						
70						
73						
75						
80						
85						
90						
95						
100						
105						
110						
115						
120						
125						
130						
135						
140						
145						
150						

(续)

O 形 圈		挡 圈 尺 寸				
公 称 外 径 D	断 面 直 径 d_0	外 径		内 径		厚 度 T
		D_1	公 差	d_1	公 差	
155	5.7	155	-0.25	145	+0.25	2 ± 0.12
160		160		150		
165		165		155		
170		170		160		
175		175		165		
180		180		170		
185		185		175		
190		190		180		
195		195		185		
200		200		190		
205		205		195		
210		210		200		
220		220		210		
230		230		220		
240		240		230		
250		250		240		
260		260		250		
270		270		260		
280		280		270		
290		290		280		
300	300	290				
170	8.6	170	-0.25	155	+0.25	2.5 ± 0.15
175		175		160		
180		180		165		
185		185		170		
190		190		175		
195		195		180		
200		200		185		
205		205		190		
210		210		195		
215		215		200		
220		220		205		
225		225		210		
230		230		215		
235		235		220		
240		240		225		
245		245		230		
250		250		235		
255		255		240		
260		260		245		
265		265		250		
275	275	260				
280	280	265				

(续)

O形圈		挡圈尺寸				厚度 T
公称 外径 D	断面 直径 d ₀	外 径		内 径		
		D ₁	公差	d ₁	公差	
290	8.6	290	-0.25	275	+0.25	2.5±0.16
295		295		280		
300		300		285		
305		305		290		
315		315		300		
320		320		305		
330		330		315		
335		335		320		
350		350		335		
355		355		340		
360		360		345		
370		370		355		
375		375		360		
380		380		365		
390		390		375		
395		395		380		
400		400		385		
415		415		400		
420		420		405		
430		430		435		
435		435		435		
480		480		465		
500		500		485		

前面已经得出这样的结论：间隙挤出是O形密封圈损坏的重要原因之一，且密封间隙的大小与工作介质压力、O形密封圈硬度及其断面直径大小有关。表2—23所列为推荐的孔与轴密封间隙的允许值。

表2—23 推荐的O形圈用孔与轴的密封间隙值

工作压力 kgf/cm ²	橡 胶 硬 度 HS					
	60~70		70~80		80~90	
	O形圈断面直径 d ₀					
	1.9; 3.1; 2.4; 3.5	(4.6); 5.7; 8.6	1.9; 3.1 2.4; 3.5	(4.6); 5.7; 8.6	1.9; 2.1 2.4; 3.5	(4.6); 5.7; 8.6
	间 隙					
0~25	<0.17 (H9/d9)	<0.25 (H9/d9)	<0.20 (H10/d11)	<0.25 (H9/d9)	<0.25 (H10/d11)	<0.25 (H9/d9)
>25~80	<0.11 (H9/d9)	<0.15 (H9/f8)	<0.15 (H9/d9)	<0.20 (H9/f8)	<0.18 (H10/f9)	<0.23 (H9/f9)
>80~160	—	—	<0.08 (H9/f8)	<0.11 (H8/f8或 H9/f7)	<0.11 (H9/f9)	<0.13 (H8/f8或 H9/f7)
>160~320	—	—	—	—	<0.07 (H8/f8或 H9/f7)	<0.09 (H8/f8或 H9/f7)

注：表中配合仅供参考，在保证间隙情况下，可根据需要选择其他配合。

安装O形圈时,为避免损伤,孔与轴的端部应按表2—24的规定进行加工。

表2—24 孔与轴端部加工规定

mm

O形圈断面直径 d_o	K	a	r	α
1.9	0.9	0.90	0.2~0.5	15°~30°
2.4	0.9	0.95		
3.1	1.0	1.10		
3.5	1.1	1.20		
(4.6)	1.2	1.40		
5.7	1.3	1.50		
8.8	1.5	2.10		

国标GB1235—76规定的O形密封圈材料共分I、II、III组,其特性与应用如表2—25所示。

表2—25 O形圈用胶料的特性与应用

组别	硬度 HS	应用条件		
		压力 Kgf/cm^2	温度 $^{\circ}C$	介质
I—1	65±5	<80	-35~+100	适用于空气、水和一般矿物类液压油
I—2	75±5	<160	-30~+100	
I—3	75±5	<160	-40~+100	
I—4	85±5	<320	-25~+100	
II—1	65±5	<25	-20~+200	
II—2	75±5	<160	-20~200	
III—1	65±5	<25	-20~+80	适用于浓度为20% H_2SO_4 、HCl、 NaOH、KOH
III—2	75±5	<25	-20~+80	
III—3	85±5	<35	-20~+80	

实践表明,就是从事密封技术工作的工程技术人员,对O形圈的运用也往往不是得心应手,而时常发生错误。为飡读者,这里试举两例,以说明O形圈的正确选用。

【例1】 往复运动密封装置与圆柱面静密封装置用O形圈的选择。图2—46所示液压缸为往复运动密封装置与圆柱面静密封装置的典型示例。试按图中给定尺寸标出O形圈、挡圈与沟槽尺寸。

【解】 ①按图2—46给定直径 $\phi 140$,由表2—20查得活塞处密封用O形圈140×5.7、沟槽底径 $\phi_2 = 130 h8(-0.003)$ 、沟槽宽 $B_1 = 11.7^{+0.20}$ 。②按O形圈140×5.7的公称外径140,由表2—22查得无口式挡圈B140×130。③按缸径 $\phi 140$,由表2—21查得导套与缸

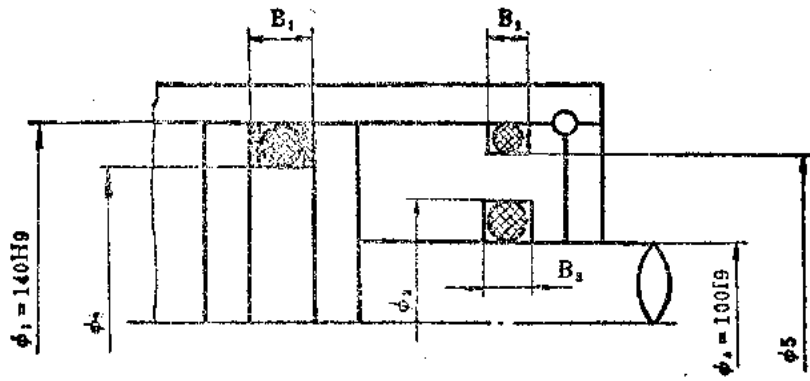


图2—46 往复运动密封装置与圆柱面静密封装置用O形圈的选择

筒间密封用O形圈 140×3.1 、沟槽底径 $\phi_0 = 135h8 (-0.005)$ 、沟槽宽 $B_2 = 4^{+0.15}$ 。④按活塞杆直径 $\phi 100f9$ 由表2—20查得活塞杆处密封用O形圈 110×5.7 、沟槽底径 $\phi_3 110H9 (-0.007)$ 、沟槽宽 $B_2 = 7.5^{+0.120}$ 。

【例2】平面静密封装置用O形圈的选择。图2—47所示为典型平面静密封装置示例。

【解】①按图2—47所示直径 $\phi 125$ ，由表2—21查得O形圈 125×3.1 、沟槽宽 $B_2 = 4^{+0.15}$ 深度 $h_1 = h_2 = 2.4_{-0.10}$ 。②按图示直径 $\phi 75$ ，查得O形圈 80×3.1 、沟槽宽 $B_3 = 4^{+0.15}$ 、深度 $h_3 = 2.4_{-0.10}$ 。

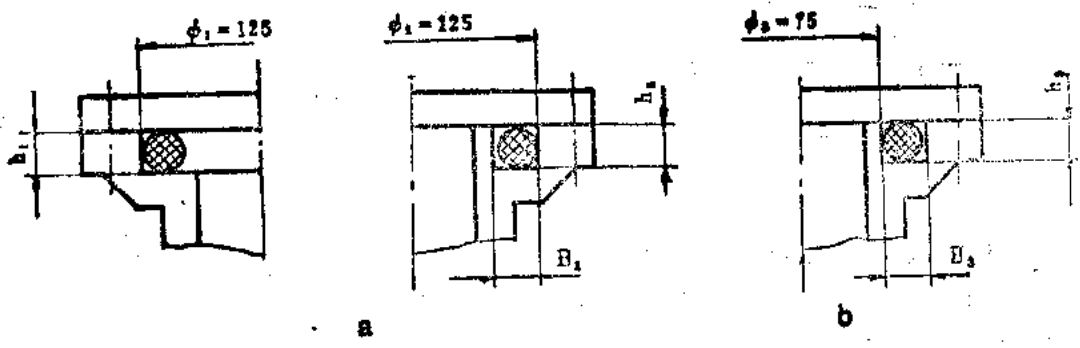


图2—47 平面静密封装置用O形圈的选择
a——受内压；b——受外压

第三章 空心金属O形圈

第一节 空心金属O形圈的特点

随着密封装置的工作温度和工作压力范围的巨大变化，空心金属O形圈日益显示出极大的优越性，完成了诸如橡胶O形圈等密封元件所不能完成的工作。所谓空心金属O形圈（简称空心圈）（图3-1），是属特殊型密封元件，由各种金属材质的薄壁管焊接而成。通常，只适用于静密封装置。如高温发动机、高压成形挤压机、超高真空机械，原子反应堆等高、低温液压和气动管路系统的静密封装置。

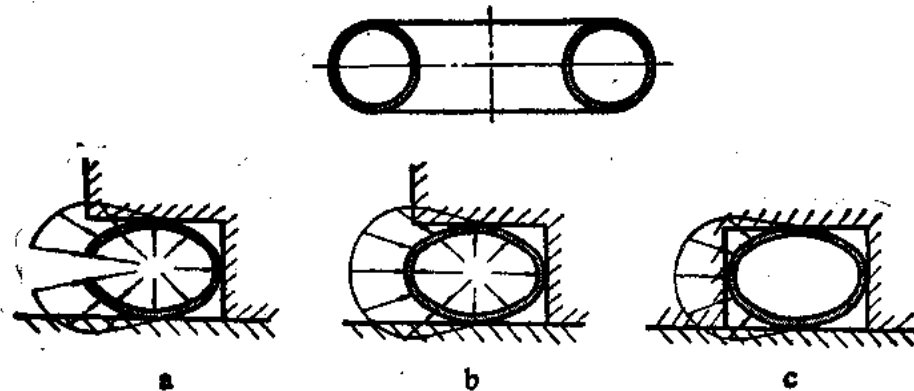


图3-1 空心金属O形圈

空心金属O形圈的特点是：

（1）极为良好的温度适应性 空心金属O形圈的工作温度，可以从 -250°C 的超低温到 900°C 的超高温。

（2）巨大的压力适应性 空心金属O形圈的工作压力范围，可从 10^{-12} 毫米汞柱的超高真空度，到 $3000\sim 20000$ 公斤力/厘米²的超高压。

（3）优异的工作介质的适应性 凡橡胶O形圈所不能适应的气体和液体（如有机溶剂）等密封介质，皆可使用空心金属O形圈（表3-1）。

（4）适用于大型化机器设备 密封装置的直径可达6000毫米。

表3—1 空心金属O形圈材质与工作介质的相容性

工作介质	涂敷和电镀金属O形圈								普通合金金属O形圈			
	聚四氟乙烯		银或金		镍		铬		不锈钢		合金	
丙酮	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好
醇类	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好
水液	良	好	—	—	—	—	—	—	良	好	—	—
无机液	良	好	—	—	—	—	—	—	良	好	—	—
磷酸	良	好	—	—	—	—	—	—	良	好	—	—
丁烷	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好
石炭酸	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
四氯化碳	良	好	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—
三氯化氮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
铬酸	差	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
油类	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
醚类	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好	良	好
液氮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
果汁	差	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
碳水化合物	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
盐	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
氢氟酸	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
液氮	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
肼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
过氧化氢	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
酮类	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
汞	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
熔化的塑料液体	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
氯化镍	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
硝酸	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
四氧化二氮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
油酸	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
液氧	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
海水	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
肥皂	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水汽	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
硫酸	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
焦油	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
三氯化乙烷	良	好	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第二节 空心金属O形圈的型式

空心圈基本上可分成普通型和开孔型两大类型（表3—2）。普通型又可分成中空型和充压型。可分别根据具体的使用条件，选择使用。

一、中空型金属O形圈

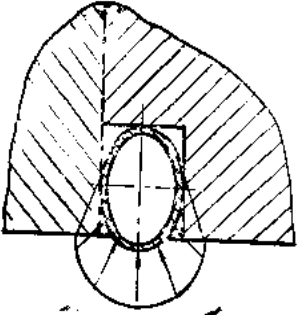
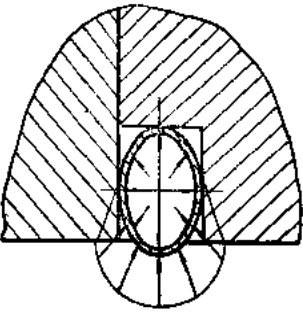
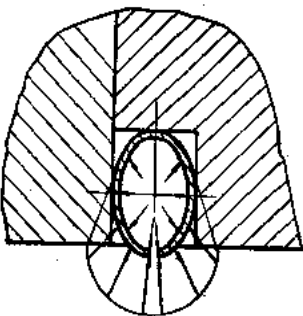
中空型金属O形圈制作简单，通常是把金属管弯成环状，将接头处焊接、磨光而成

(表3-2)。它的结构特点是，空心、弹性大、紧固力小。缺点是，高压下易瘪皱而损坏。故中空型金属O形圈，只适用于真空密封和小于70公斤力/厘米²压力的充压密封。

二、充压型金属O形圈

为提高空心圈承受高温、高压的能力，人们又研制成充压型金属O形圈（表3-2）。通常是在金属O形圈的空心里，充入诸如氮气等惰性气体。在室温下充入的气体压力有35、70、105公斤力/厘米²等三种。充入压力愈高，则它的耐热、耐压能力就愈大。

表3-2 空心金属O形圈的型式

型式	简 图	适 用 范 围
中 空 型		用在真空、较低压力及没有特殊要求的场合
充 压 型		在封闭的空心圈内充惰性气体，可增加空心圈的回弹能力，用于高温、高压场合
开 孔 型		在空心圈的内侧钻有若干小孔或开有缝隙，由于空心圈内压力随介质压力的增高而增高，使空心圈有自紧性能。用于高压、超高压场合

一般，金属O形圈的弹性和强度，皆随其工作温度的升高而急剧恶化。但空心中充有惰性气体的金属O形圈，当工作温度升高时，由于气体随工作温度的升高而急剧膨

胀，充压气体，在体积不变的情况下，所发生的状态变化是等容变化，将引起金属O形圈空心腔的压力急剧增加。由著名的查理定律得知：

$$P_t = P_0 (1 + rt) \quad (3-1)$$

式中 P_t ——在温度 t ℃时的压强；

P_0 ——在温度0℃时的压强；

r ——气体的压强系数， $r = \frac{1}{273}$ 。

假如，温度从0℃升高到 $t = 273$ ℃，则内部压力将增加一倍。即：

$$P_t = P_0 \left(1 + \frac{1}{273} \times 273\right) = 2P_0$$

如此巨大的压力变化，使空心圈具有良好的弹性，以适应工作介质的高温、高压变化。

三、开孔型金属O形圈

当工作压力大于276公斤力/厘米²时，即应在空心圈的侧壁开有若干小孔或缝隙(表3-2)，压力流体可通过这些小孔进入空心内部，使内部压力与介质压力相等。因开孔型金属O形圈具有优良的自密封性，所以，它可适用于各种压力。

第三节 空心金属O形圈与密封沟槽的设计

一、空心圈壁厚的选取

常用的空心圈的内径尺寸为6.35~1000毫米，断面直径为0.8~12.7毫米，壁厚常选取0.25~0.5毫米，最大2毫米。当密封介质为气体与易挥发的液体时，宜选用较厚的管子，当密封介质为粘重的液体时，宜选用较薄的管子。空心圈的压缩率为20~30%。

二、空心圈密封沟槽尺寸的确定

空心圈密封沟槽为矩形。沟槽的开设要和密封圈的直径相适应。对承受内压的密封装置而言，开口沟槽甚为理想(图3-1a、b)，且安装方便。对承受外压的密封装置，只能用整体沟槽(图3-1c)。

空心圈密封沟槽的尺寸(图3-2)可用下列公式求得：

沟槽深度

$$H = \eta d_0 + \delta \quad (3-2)$$

沟槽外径

$$D = D_2 + d_m \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) (1 - \eta) \quad (3-3)$$

沟槽内径 d ，开日式与闭日式分别为

$$d \leq D_2 - d_0 - \frac{\pi d}{2} (1 - \eta) \quad (3-4)$$

$$d \leq D_2 - 2d_0 - 2d_m \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) (1 - \eta) \quad (3-5)$$

式中 H ——沟槽深度 (cm);

d_0 ——自由状态下, 空心圈的断面直径 (cm);

η ——空心圈断面直径的压扁度。合理选取压扁度是保证空心圈具有初始密封性和提高自密封性能以及获得最佳密封性能的重要因素。一般推荐 $\eta = 0.6 \sim 0.75$;

δ ——空心圈的涂层厚度 (cm);

D_2 ——空心圈压扁前的外径 (cm);

d_m ——空心圈管子的平均直径 (cm)。

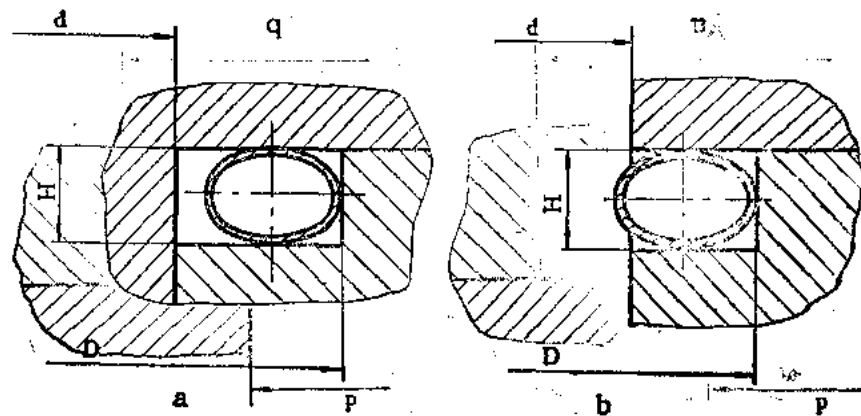


图 3—2 空心圈密封沟槽尺寸

a——闭口式; b——开口式;

沟槽和被密封表面的光洁度, 应尽量高一些为好。因为金属圈不同于弹性橡胶圈, 柔性较差。当密封气体和挥发性溶液时, 表面光洁度为 $\nabla 9$, 当密封其他液体时, 可为 $\nabla 8$ 。

三、空心圈的制作与充气

空心圈的制作工序包括下料、弯管、焊接、焊口修磨与表面抛光 ($\nabla 7$ 左右) 等。其中, 对焊是关键工序。拼焊方法可采用接触电阻焊与钨极自动氩弧焊。焊后需修磨光滑。

空心圈的充气, 一般采用在管子焊接前, 把固体二氧化碳或偶氮二异丁腈放入管内, 焊后气化而成气体。或者直接充入惰性气体达要求压力。

四、连接螺栓拉力计算

密封元件为空心圈的密封装置, 其螺栓连接力可用下式计算,

$$F = \frac{\pi}{4} D_o^2 P + \pi D_o q \quad (\text{kgf}) \quad (3-6)$$

式中 D_o ——空心圈的平均直径 (Cm);

P ——密封介质压力 (Kgf/Cm²);

q ——线密封比压 (Kgf/Cm)。对钢与不锈钢取 $q = 200 \sim 300$, 对铝取 $q = 100$, 对有电镀层者取 $q = 150 \sim 250$ 。

第四节 空心金属O形圈材料

一般, 经常用不锈钢来制作空心金属O形圈。日本常用的不锈钢号为 SUS29, 相当于我国钢号 1Cr18Ni 9Ti。在不同情况下, 也可用低碳钢管、铝管、因科镍管、蒙乃尔管等。不锈钢的使用温度范围是 $-250 \sim +540^\circ\text{C}$ 。超过 540°C 时, 宜采用镍铬铁耐热合金, 开孔镀银。当紧固力不大时, 也可选用铝合金管。此外, 当密封具有腐蚀性介质或真空时, 为了防止腐蚀和提高密封效果, 常采用电镀或涂敷的办法。当工作温度范围为 $-250 \sim +815^\circ\text{C}$ 时, 可电镀银; 当工作温度超过 815°C 时, 可电镀软镍。当金属圈用于密封挥发性液体、所有的化学药品及其溶液、气体和真空时, 涂敷填充聚四氟乙烯最为有效。电镀或涂敷层的厚度, 一般为 $0.02 \sim 0.05$ 毫米。

这里必须强调指出的是, 由于密封与被密封基体材质膨胀系数的不同, 空心圈在超高温或超低温工况下使用时, 可能使密封性遭到破坏。所以, 当出现此种工况时, 被密封偶、紧固件等有关零件和空心圈, 必须采用相同的材质。

第四章 油封

目前，在旋转运动式密封装置中，极其广泛地应用着油封，用以防止工作介质的泄漏和防止灰尘、水以及空气等侵入工作机体内部。最初，油封是用皮革制作，故又称“皮碗”。

按结构特点，油封乃是唇形密封圈的一种，只是因其种类繁多，且其唇部具有更大的回弹能力，故而从唇形圈的大家族中另列一类。

油封的应用，有着较为悠久的历史。早在本世纪初，人们就已制造并使用了皮革与金属油封。在二十年代中，相继出现了螺旋形和排列成螺旋形的石棉纤维层油封。但由于这些油封所固有的停机泄漏，密封效果差、且泄漏随转速增高而加剧等严重缺点，都被淘汰了。二次世界大战出现了合成橡胶油封。至1945年进而研制成功了现代所用的各种型式的油封。之后，进一步发展成直臂形断面、弯臂形断面油封。1969年之后，又进而研制成诸如丝扣形、流体动力形、波形以及正作用等所谓“回流油封”。

正是由于油封有着较为悠久的历史，设计、制造、使用等方面的经验比较成熟，所以才获得了广泛地应用。完全可以预见，随着号称“密封之王”的O形圈用于旋转运动式密封装置的研制成功，及其经验的日益积累，将向各种型式的油封提出严重挑战。作为旋转运动式密封装置的密封元件，O形圈具有无限强大的生命力。

第一节 油封的密封原理

油封的结构是比较简单的，一般由三部分组成（图4—1a）：油封体1、加强骨架2、自紧螺旋弹簧3。油封体1按不同部位又分为底部4、腰部5、刃口6和密封唇7等。

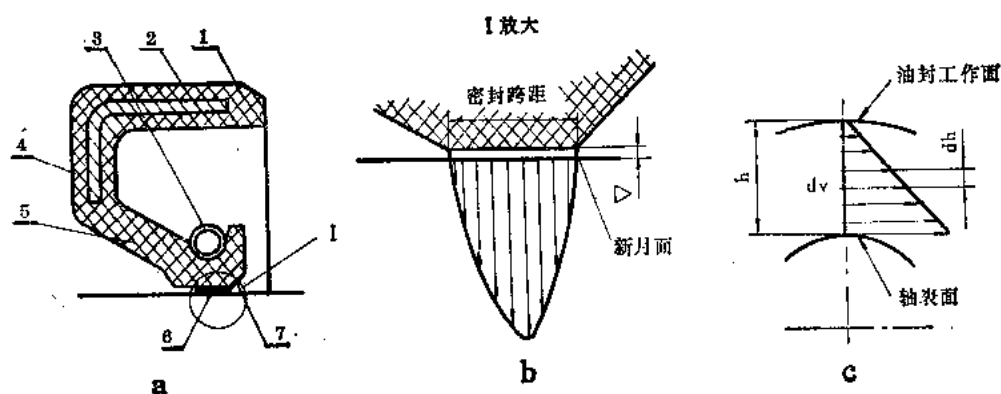


图4—1 油封的工作状态和接触压力分布

在自由状态下的油封，其内径比轴径小，即具有一定的“过盈量”。因此，当油封装

入油封座和轴上之后，油封刃口的压力和自紧螺旋弹簧的收缩力，对密封轴则产生一定的径向抱紧力，简称径向压力。油封刃口压力，经运动一段时间后，便会迅速减小乃至消逝。因而，需加弹簧，随时予以补偿自紧。所以，油封的较为确切的名称、应叫自紧油封。

油封的刃口，薄如刀刃，装入轴上后，发生了轻微的变形。当密封轴运转几小时之后，刀锋似的刃口，便有所磨损，形成一定的称之为“密封跨距”的接触带。其宽度约为0.25~0.5毫米。随着密封接触带的形成，油封与轴之间的摩擦力，便迅速由相当高的初始值，降至较低的约为原有摩擦力值的50%的稳定值（图4—2）。

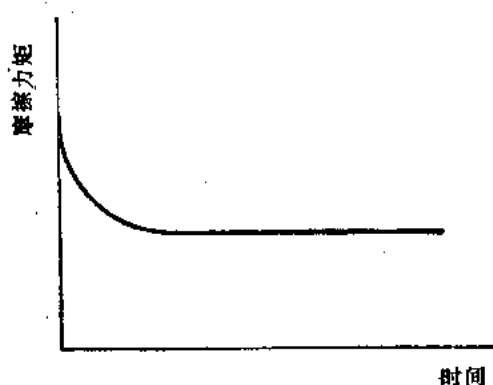


图4—2 摩擦力与运转时间的关系

油封的密封原理，与往复运动用O形圈的密封原理一样，是由于在油封与轴之间，存在着油封刃口控制的流体动力学油膜。此具有流体润滑特性的润滑油膜的存在，其刚度恰好使油膜与空气接触端，在液体表面张力的作用下，形成一个新月面，防止了工作介质的泄漏，实现了旋转轴的密封。因此，该新月面的形成与保持，则是油封密封的充分而必要的条件。油膜厚度用电溶法测得为2.5微米左右。油封密封接触带的宽度不均、径向压缩力的不等，所引起的密封唇的颤动，致使油膜厚度，在轴的运转过程中，发生20~25%的变化。

油封的密封能力，取决于流体动力学油膜的厚度。油膜厚度过大，油封泄漏；油膜厚度过小，可能发生干摩擦，引起油封磨损。最为理想的油膜厚度，即谓“临界油膜”。油膜厚度的直接影响因素，是油封刃口对密封轴的接触压力。此接触压力的分布，是不均匀的，利用光弹实验测得的压力分布曲线如图4—1b所示。图示刃口的局部最高尖端压力，对油封的密封性最为重要，只有最高压力处，才能形成临界油膜，密封效果最好（图4—3）。

油膜刃口对轴上油膜的接触压力，可分成如下三个部分：

- （1）由刃口初始过盈量引起的压力；
- （2）被密封液体的压力。对橡胶密封件而言，其值等于液体压力值，即公式（1—1）中的传递系数 $K = 1$ ；
- （3）经油膜厚度由密封件挠曲所引起的力。

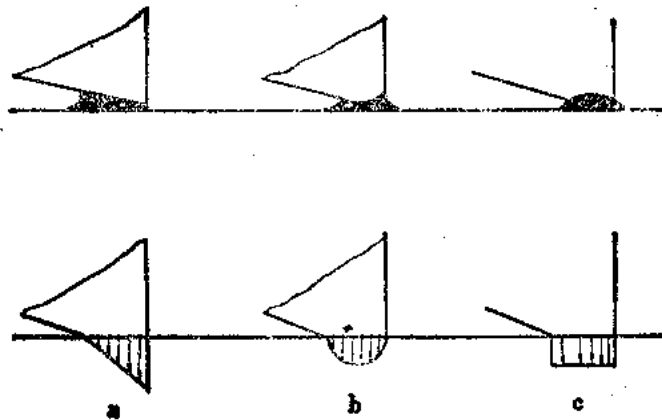


图4—3 油封径向压力与油膜的形成

试验表明，油封的结构和唇部形状（角度、厚度）的选择与设计合适与否，是油封密封性的最重要的影响因素。图4—3a所示的唇部形状密封性最好。因此，绝不能单纯地认为刃口对轴的抱紧力越大、密封性就越好。密封接触带的压力分布和适当的最高压力，才是油封具有良好密封性的关键。油封刃口宽度、抱紧力、轴的动偏心、圆度、油封材质等均可通过试验，探求出它们的最佳参数和配方。

第二节 油封性能的影响因素

“临界润滑”理论认为，油封刃口与轴之间，流体动力学油膜的形成与保持，是影响油封密封性能的决定因素。为提高油封的密封性，排除一切有碍临界润滑油膜形成的因素，则是重要的。

一、径向压力

油封的密封性、在很大程度上，取决于油封对轴的径向压力大小。径向压力过小，摩擦减小，油膜厚度增大、新月形油面被破坏，发生泄漏。如果有意识地在油封唇部外侧涂点润滑脂。那么、油封的密封性立遭破坏。这可解释为：油封唇部外侧润滑脂的存在，使得摩擦系数迅速降低，流体润滑领域扩大之故。径向压力过大，摩擦增大，油膜厚度减小以至破坏，发生干摩擦，引起油封温度升高，以至将其唇部烧坏。实践证明，这往往是由于油封结构设计不当，自紧螺旋弹簧选择错误，或油封的装配尺寸不合适，而造成的预紧力过大所致。过大的径向压力，并不能提供更好的密封。因此，最理想的情况，是采用低径向压力，而获得高密封性的油封（图4—4）。

油封径向压力的大小可用下式计算：

$$Pr = Pg + Py + q = \frac{\Delta dEA}{2R^2} + \frac{\Delta dES}{8l^3} + q$$

$$= \frac{\Delta dE}{2} \left(\frac{A}{R^2} + \frac{S}{4l^3} \right) + q \dots\dots\dots (4-1)$$

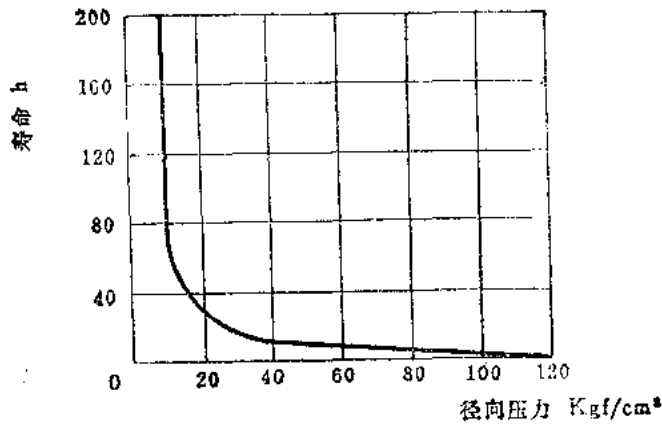


图 4—4 油封寿命与径向压力的关系
(丁腈胶, 线速度13.6米/秒油, 温110℃)

- 式中 P_g ——唇口过盈径向压力 (克/毫米);
 P_y ——腰部径向压力 (克/毫米);
 Δd ——油封刃口过盈量 (毫米)。 $\Delta d = d - d_1$, 其中 d 为轴径, d_1 为油封唇口直径;
 E ——橡胶的弹性模量 (克/毫米²);
 A ——唇口的断面积 (毫米²);
 R ——轴半径 (毫米);
 S ——腰部厚度 (毫米) (图 4—5);
 l ——腰部长度的 (毫米) (图 4—5);
 q ——弹簧径向压力 (克/毫米)。

一般油封径向压力取决于油封线速度的大小。当线速度大于4米/秒时, 径向压力 $P_r = 10 \sim 15$ 克/毫米; 当线速度小于4米/秒时, 径向压力 $P_r = 15 \sim 20$ 克/毫米。

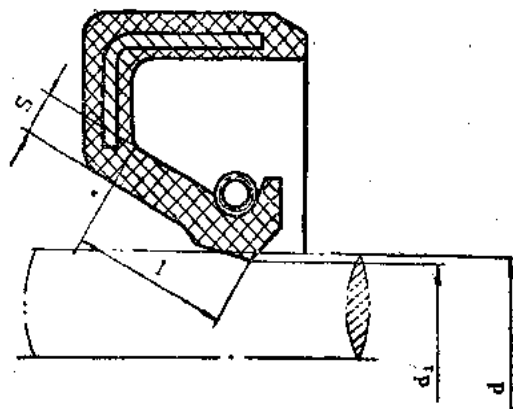


图 4—5 油封径向压力计算用图

当轴旋转时, 因径向压力而形成的油封唇口摩擦力矩的大小, 是影响油封寿命的重

要性能参数之一。因此，在满足密封性能要求的前提下，尽量减小油封的摩擦力矩是可取的。

油封摩擦力矩 M 可用下式计算：

$$M = 2\pi R^2 \mu Pr \quad (\text{克-毫米}) \quad (4-2)$$

式中 μ ——油封刃口与轴的摩擦系数（表4-1）。

表4-1 油封的几种常用摩擦系数

密封介质	摩擦系数 μ	
	最低	最高
润滑脂	0.30	0.80
锭子油	0.20	0.45
内燃机油	0.30	1.00
汽缸油	0.40	1.00

注：本表系直径为40mm轴用油封的摩擦系数。随轴径的增加，摩擦系数将与轴径的1/3次方成比例上升。

二、油封的磨损

油封刃口与轴之间适当的油膜厚度、既起润滑作用，又起密封作用。所以，必须经常保持一定的润滑油膜。但实验证明，油的清洁度，对油封的密封性，有着严重影响。图4-6是油中含有1% Al_2O_3 粉末时的磨损试验结果。试验结果表明，粉末的颗粒直径为0.3微米时，磨损最显著。理由很简单，直径0.3微米的磨粒，刚好和油膜厚度相近似，容易进入油封刃口和轴之间，加速磨损。较小的颗粒对磨损较小。较大的磨粒较难进入油膜里去，磨损亦较小。因此，为获得油封的理想性能——磨损极微的无泄漏油封，根据情况，对油进行滤清和定期更换是必要的。

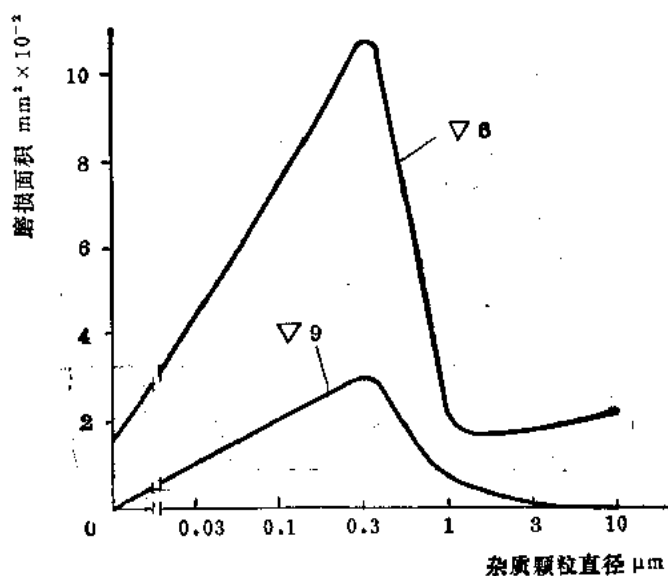


图4-6 油封的磨损与杂质颗粒直径和表面光洁度的关系

三、轴的偏心

油封刃口对轴表面的粘弹性“追随”而形成的油膜，是油封实现可靠密封的重要标志。轴的偏心，将引起油封刃口的跳动。此种跳动，使油封在产生噪音的同时，发生异常磨损，破坏油封的密封性。轴的允许偏心值（同轴度）与油封开始泄漏时的临界转速及刃口材质有着密切关系。图4—7表示在不同转速下，轴的允许偏心值。图4—8所示为日本最大的综合性油封生产公司——NOK公司（日本油封工业公司）给定的油封允许偏心值。

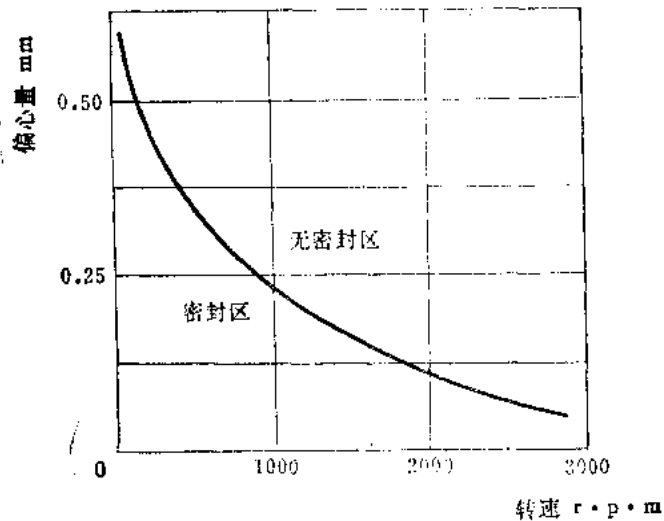


图4—7 轴的偏心量与转速的关系

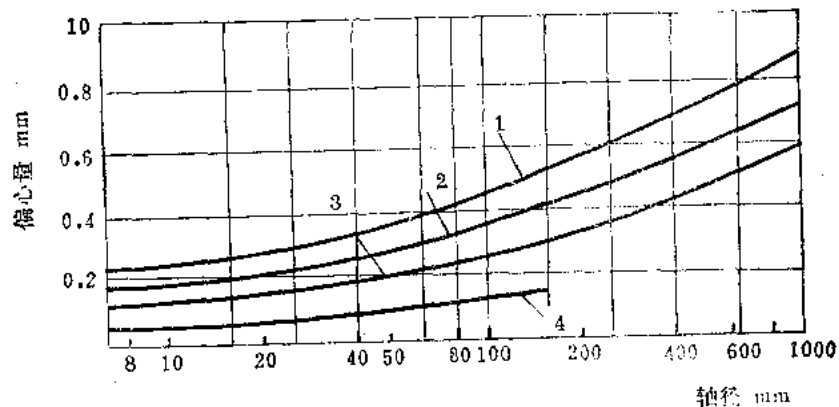


图4—8 轴径与允许偏心值 (装配偏心 + 1/2 动偏心)

一般，所谓偏心度可分为两种，即动态偏心度与静态偏心度。动态偏心度，即轴的运转跳动量，是由于轴的振动或轴承松动等造成的轴的偏心转动，通常不大于0.15毫米。静态偏心度，是指轴完全同心，只是由于油封装配时的偏心——油封座与轴的装配

偏心，或油封内、外圈的制造偏心。

两种偏心，一个结果，就是使油封唇部对轴表面接触压力分布不均匀，致使轴或油封产生偏磨损，造成漏油。为尽量减小偏心度，除应努力减小油封腰部断面厚度或增加腰部长度的外，还应将轴的偏心量控制在规定的范围内。轴的偏心与轴径大小关系密切，旋转轴的最大允许偏心值可参照表4—2选取。

表4—2 旋转轴的最大允许偏心值 *mm*

轴 径	最大允许偏心值
0~30	0.2
30~50	0.3
50~80	0.4
80~120	0.5
120~180	0.6
180~250	0.7

四、轴的转速、表面光洁度与硬度的影响

轴的转速，是油封工作可靠性与寿命的重要影响因素。转速的增高，必将产生大量的摩擦热，引起油封的温度升高，从而导致油封的老化、龟裂和损坏。如油封在50~70℃温度下工作的寿命，可达几千小时，而在120℃温度下工作的寿命，只有几个小时。

试验表明，轴的表面光洁度，对油封的磨损有着重要影响。轴的表面光洁度从0.1微米增至2微米，油封的摩擦系数将增大30%。提高轴的表面光洁度，可明显减小油封的磨损。

一般认为，当轴的转速小于4米/秒时，轴的表面光洁度可稍低(▽7~8)。当轴的转速大于4米/秒时，轴的表面光洁度不得低于▽9~10。试验表明，对产生高温的液压元件，轴的最佳表面光洁度为▽11~12。然而，一致的结论是，轴的超精加工，达到镜面程度，致使油膜不易形成，反而使油封刃口温度大大升高，而加速磨损。为使油封具有可靠的密封性和较长的寿命，轴表面加工的工艺方法是很重要的。经验表明，磨削精加工的磨粒，常常嵌入轴的表面，造成油封的加速磨损。如用直径为0.05毫米小玻璃球喷丸处理(表面粗糙度为2微米)的、表面具有很多微小凹陷的、非常有利于“临界油膜”形成的轴和只经磨削加工的轴，在相同条件(油压5公斤力/厘米²、转速6.6米/秒)工况下，所做500小时的比较性试验表明，前者的泄漏量为0.01厘米³/小时，而后者的泄漏量为0.13厘米³/小时，是前者的13倍。

使用表明，旋转轴密封破坏的50%以上的状态是轴与油封接触的地方，发生表面磨损。经验表明，与人们的想象相反，提高轴的表面硬度，非但不能提高轴的表面耐磨性，反而会随硬度的提高而使轴的耐磨性降低。例如，对用于密封元件的毛毡试验表明，钢制轴经淬火处理就比未经淬火处理的磨损量大。使用表明，在用橡胶作密封元件的情况下，过分提高轴的硬度，在大多数情况下，是不合适的。此时，轴的表面硬度，通常选取为HRC30~40。

有一个例外，镀铬后的轴，其表面硬度虽可高达 $HRc100$ ，但它的耐磨性非但不下降，反而可提高 $5 \sim 6$ 倍。这是因为铬层与各种密封元件材料具有良好的相容性。

第三节 油封的种类与选择

油封种类繁多，性能各异，按结构特点可分为骨架式与无架式油封、单唇型与双唇型油封、有簧式与无簧式油封、包胶式与包铁式油封。有簧式油封又分圆柱螺旋弹簧式与板簧式油封（图 4—9）。

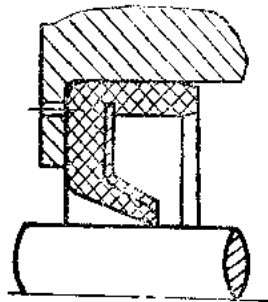


图 4—9 板簧油封

按工作线速度可分为低速型与高速型。

按材质可分为橡胶油封、皮革油封与塑料油封。

按唇口封闭方向可分为封轴油封与封孔油封。

按工作原理可分为普通型与流体动压型油封（亦称回流油封）。

此外，还有各种断面形状特殊的异型油封。

仅就使用条件而言，工作压力从 0.1 公斤力/厘米² 以上至 10 公斤力/厘米² 以下、工作转速从 $2 \sim 40$ 米/秒、工作温度从 $-40 \sim 230^\circ\text{C}$ 。因此，根据给定的使用条件，恰当的选择油封的种类，就显得非常重要。有人认为，密封技术就在于正确而恰当地选择密封元件种类的说法，并不过分。

一、油封的种类

1. 金属外圈骨架式油封

用以加强油封刚度的金属骨架，根据使用要求的不同，放置的位置亦不同。把金属骨架放在外边的，叫金属外圈骨架式油封。它的特点是，金属骨架与橡胶的配合强度高，油封的外圆刚性好，与油封座材质的温度协调性好。这后一点，是设计者所必须予以考虑的。为保证油封与油封座温度的协调性，当油封座使用钢、铸铁、黄铜等低膨胀系数材质时，只有采用铁壳外圈骨架式油封，才能保证油封在座孔中的过盈配合。当然，为使油封与座孔的配合具有良好的密封性，骨架外圆柱面和座孔表面具有较高的光洁度（ $\nabla 7 \sim 9$ ）是重要的。金属外圈骨架式油封与座孔，通常选用过盈配合。

一般按 $H8$ 级的座孔与油封外径的过盈配合，金属外圈骨架式油封的外径公差如表 4—3 所示。

国外，油压机械，一般皆采用金属外圈骨架式油封。

2. 金属骨架埋入式油封

因为，金属加强骨架是完全硫化于橡胶体内，所以此种油封，最适用于担心金属骨架生锈和担心轻金属骨架在高温时与橡胶结合强度降低的使用场合。金属骨架埋入式和无金属骨架式油封外圆橡胶的过盈值较大（表 4—3）。因此，油封座孔的光洁度可以放低一些（ $\nabla 5 \sim 6$ ）。

表 4—3 油封外径公差值

mm

外 径	公 差	
	外 圈 骨 架 式	骨 架 埋 入 式
30以下	+0.09, +0.04	+0.25, +0.10
30~50	+0.11, +0.05	+0.30, +0.10
50~80	+0.14, +0.06	+0.30, +0.10
80~120	+0.17, +0.08	+0.30, +0.10
120~180	+0.21, +0.11	+0.35, +0.15
180~300	+0.25, +0.12	+0.45, +0.15
300~350	+0.30, +0.14	+0.55, +0.15

国内，一般皆采用金属骨架埋入式油封。

3. 金属内圈骨架式油封

此种油封与前面两种油封相比，没有什么明显的优越性，所以，国内外都很少采用。

4. 无金属骨架式油封


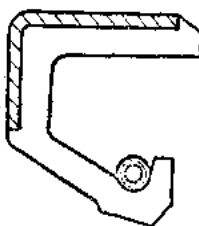
一般，无金属骨架式油封，是由橡胶内圈和层压棉织物外圈模压而成。此种油封独一无二的优点是，如果设计得合适，可以切开装配，仍能保持密封性。因此，这类油封特别适用于重型和大型等不能从轴端套装的场合，且装配简单。在装配过程中，因处理不当或不小心而引起油封损坏的可能性很小。

5. 特种异型油封


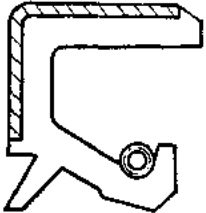
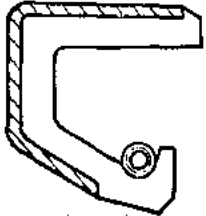
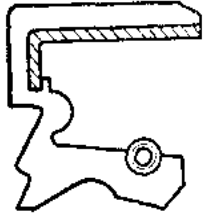
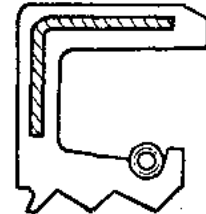
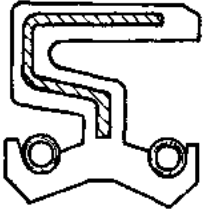
诸如，双面密封式(亦称双重式 二液分离式)、双唇式(既防泄漏又防灰尘入侵)、回流式等等，皆属特种油封。

目前，国内外常用油封的结构型式和特点如表 4—4 所例。

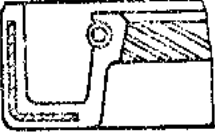
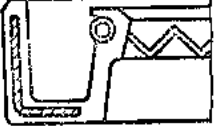
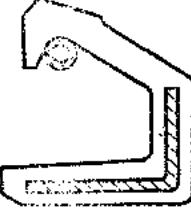
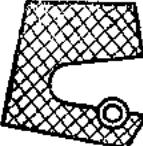
表 4—4 常用油封的结构特点与用途

断 面 形 状	类 型	特 点 与 用 途
	单唇口型	<p>最普通的形式，金属骨架埋入式，最适用于骨架易生锈和在高温时，骨架与橡胶体结合强度降低的场合。金属骨架外圆式，其外圆加工精度高，与油封座孔配合精确，装配性好</p> <p>适用于无尘密封，密封压力$0.2\sim 0.3\text{Kg}/\text{cm}^2$</p>
		

(续)

断面形状	类型	特点与用途
	双唇口形	有防尘副唇，副唇有各种形式，安装时两唇之间填充润滑脂 适用于有灰尘、泥、水等环境
		
	耐压型	骨架加强到唇部，且唇部短厚、耐压力强。一般耐压到 $3Kg/cm^2$ 适用于 $3Kg/cm^2$ 以下的压力密封
	抗偏心率	腰部呈w形，承受偏心能力强，适用于偏心较大的密封场合
	往复型	具有双重副唇，防止润滑油膜被刮掉，适用于往复运动偶的密封
	两侧密封型	亦称二液分离式，可同时密封两侧的不同油液不使之混合 适用于使两种油液分开的场合

(续)

断面形状	类型	特点与用途
	单向回流型	唇口外密封面上有斜筋等浅花纹, 正转时, 由于流体原理产生“回流效应”, 可把漏出的油泵回油的一侧, 转速越高、效果越好, 且唇口温升和扭矩下降, 但反转时, 漏油加剧
	双向回流型	唇口外密封面上, 有凹、凸三角形、正弦波形等浅花纹, 原理同上。但正、反转均不泄漏, 是新兴油封, 很有前途
	单层封孔型	适用于油封座孔绕静止轴旋转的密封场合, 自紧螺旋弹簧的设计较难
	无簧型	仅有骨架而无弹簧, 尺寸紧凑, 适用于低速、低压防尘
	无骨架型	断面呈丁形、U形无骨架橡胶油封, 适用于介质温度为 $-25\sim+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 线速度小于 7m/S 的旋转密封装置
		

二、油封的选择

不言而喻, 油封的正确选择, 是保证其具有良好的密封性和较长的使用寿命的重要手段和途径。当然, 能否实现这一良好的愿望, 前人的经验, 是十分可贵的。因此, 同类型机种的实际使用效果, 具有重要的参考价值。

油封的选择原则, 基本上不外乎油封的工作介质、工作温度及工作压力等基本因素与参数。

1. 工作介质、工作温度与转速

油封的各种橡胶材料，对不同工作介质的适应性，是有限度的。各种橡胶、长期在油中浸泡、都会发生软化、膨胀和硬化、龟裂等现象。一般，橡胶材料的膨胀系数，随油类的苯胺点^①的大小成反比而变化。橡胶对油类的适应性，可按油的苯胺点而大致划定（图4—10）。

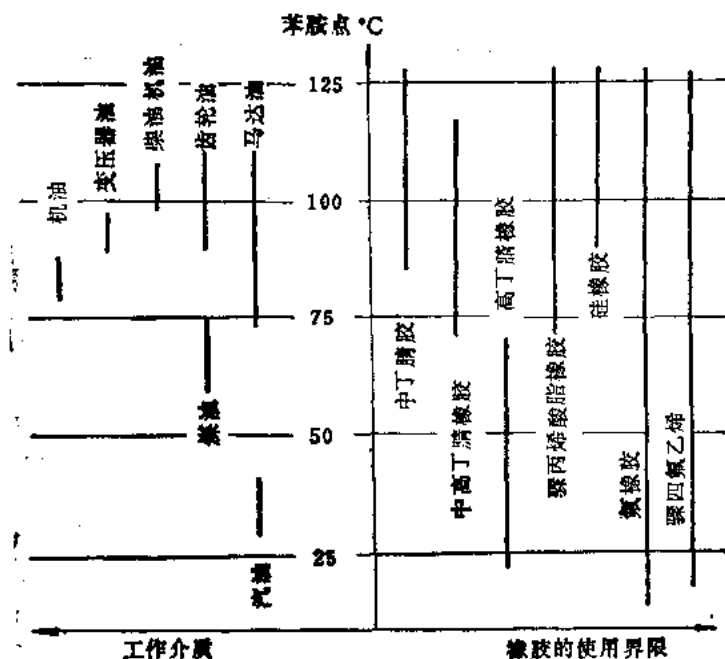


图4—10 工作介质的苯胺点与各种橡胶的使用范围

随密封技术的不断发展与提高，为适应高速、高温的要求，在密封材料的领域里，新材料不断相继出现。例如，硅橡胶、氟橡胶可在 $-50\sim+180^{\circ}\text{C}$ 温度范围内工作。耐双脂类航空润滑油和要求在 200°C 的温度下连续工作时，可采用氟橡胶。最新出现的氯醇橡胶，具有良好的弹性、耐热、耐寒和耐油性，是一种新兴的很有前途的胶种。已开始在油封工业中获得应用。

一般，要求密封材料对被密封介质具有良好的相容性，以保证油封长期在油中浸泡，并具有橡胶体积膨胀小、尺寸变形小以及橡胶材料添加剂、尤其是防老剂、增塑剂等被油液所溶解与吸收少。

表4—5给出了常用油封材料对工作介质的相容性。

弹性恢复能力——弹性恢复速度是密封材料的重要性能。它反应了油封唇口对轴的偏心度、轴表面的光洁度、几何精度等的粘弹性“追随”能力。“追随”能力的大小，直接影响油封唇口对轴偏心运转的补偿能力，亦即直接影响油封的密封性。“追随”能力小或补偿能力差的油封，高速运转时，必将发生泄漏。

^① 苯胺点：为等容之苯胺与石油产物之最低平衡溶液之温度。用于检定石油产物。

表 4—5 常用油封材料对工作介质的相容性

工作介质		胶 种		聚丙烯酸 脂 橡 胶	硅 橡 胶	氟 橡 胶	氯醇橡胶
		高丙烯腈含 量的丁腈胶	中丙烯腈含 量的丁腈胶				
润 滑 油	矿物油 (如机油)	优	优	优	优	优	优
	合成油 (如双脂类航空滑油)	可	可	可	可	优	可
液 压 油	矿物油 (如十号航空液压油)	优	良	优	良	优	优
	水/甘油	优	优	优	良	优	优
	磷酸脂	劣	劣	劣	可	优	劣
油—水乳液		优	可	优	可	优	优
水—油乳液		优	可	劣	劣	优	优
极压 (印) 齿轮油		良	良	优	劣	优	良
润滑脂		优	优	良	良	优	优
水		优	优	劣	优	优	优

试验表明, 橡胶的软化、膨胀和硬化, 龟裂等, 都随工作温度的升高而加剧。因此, 工作温度是油封寿命的重要影响因素 (图 4—11)。

一般, 油封唇口的温度比工作介质的温度高 20~40℃, 且以刃口处为最高 (图 4—12)。唇口的温升与轴的线速度有关, 线速度越大, 温升越高。

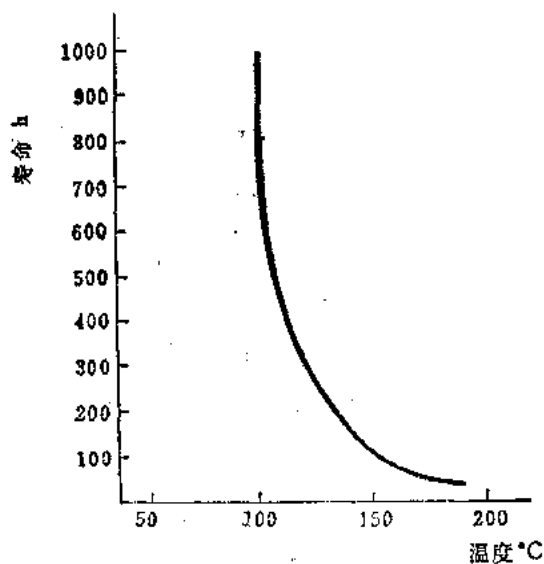


图 4—11 丁腈胶双向回流油封的寿命与工作温度的关系

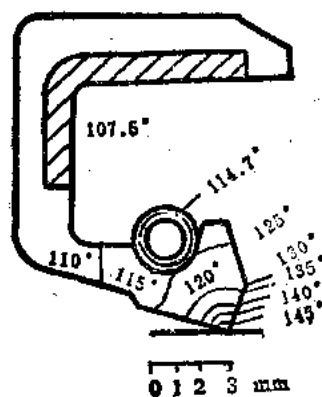


图 4—12 丁腈胶油封温度分布等温线 (油封 80×100×10, 油温 110℃, 环境温度 50℃, 唇口接触宽度 0.4 毫米, 刃口温度 150℃)

唇口的温升可以通过实验, 用唇部埋入热电偶的方法测出。也可用下式粗略算得:

$$\Delta T = 0.3K\sqrt{V} - 17.8 \quad (4-3)$$

式中 ΔT —— 油封刃口的温度与油温之差 (℃);

V ——轴的线速度 (米/分);

K ——常数 (视油封型式和润滑油而定), 取 $K = 1.5 \sim 2.5$ 。

上式适用温度范围为 $77 \sim 149^\circ \pm 6^\circ\text{C}$ 。

选择和评价油封材料的耐热性时, 必须计算唇口的温升。只有使油温和唇口温升之和小于所选材料的最高使用温度, 才能确保油封的正常工作。

图 4—13 给出了各种油封材料, 对工作介质和工作温度的适应范围。如高温、高速工况, 可选用聚丙烯酸酯橡胶和硅橡胶; 高速、低温工况, 可选用氟橡胶等。

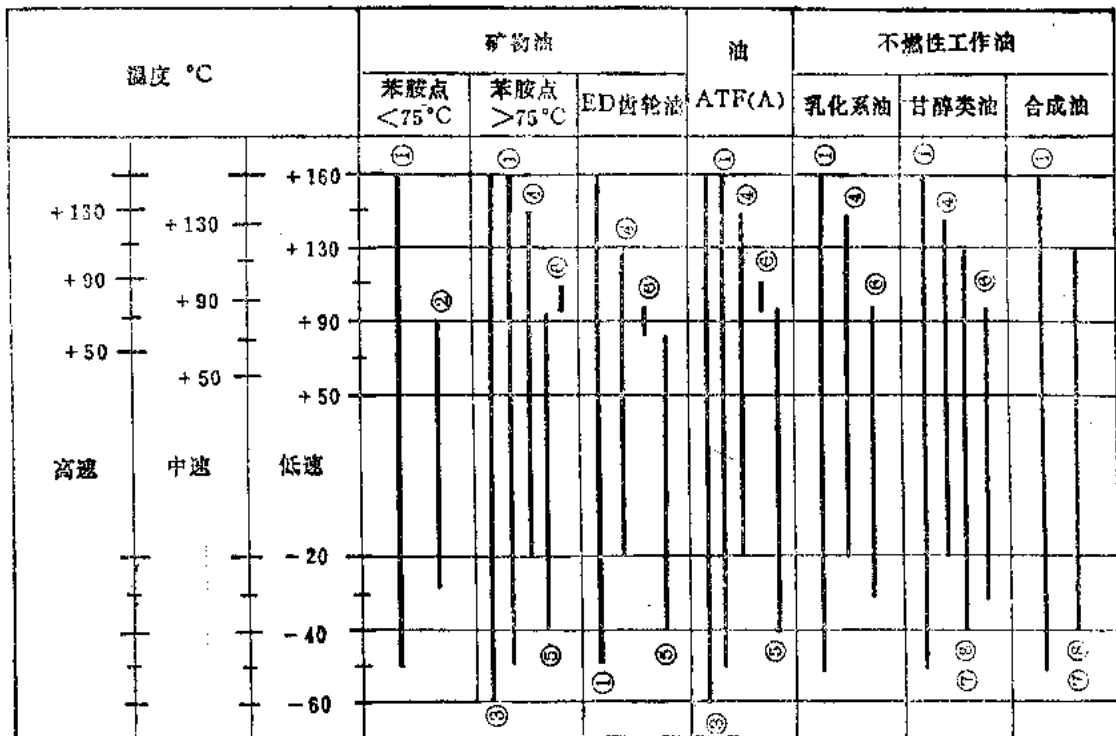


图 4—13 油封材料与工作介质和工作温度的适应范围

- ①——氟橡胶; ②——高丁腈橡胶; ③——硅橡胶; ④——聚丙烯酸酯橡胶; ⑤——中丁腈橡胶;
⑥——中高丁腈橡胶; ⑦——丁基橡胶; ⑧——乙丙橡胶

【例】国产 Z—450 装载机变速箱输出轴油封, 轴径 $d = 70$ 毫米、转速 $n = 3000$ 转/分、工作介质为 22 号汽轮机油、最高油温 90°C 。最高温度使用时间占全部运转时间 30% 以下。试问何种橡胶为佳?

唇口温升 ΔT 计算: 取 $K = 1.5$, 则 $\Delta T = 38^\circ\text{C}$;

唇口最高常用温度: $T + \Delta T = 90^\circ + 38^\circ = 128^\circ\text{C}$ 。

查图 4—13 得知: 适用的橡胶是聚丙烯酸酯橡胶、硅橡胶和氟橡胶。由于条件所限, 而采用特殊设计的耐热丁腈胶——过氧化物硫化丁腈胶, 且添加白炭黑填充剂, 以降低刃口温度。经装车使用 580 小时, 效果良好。

再如, 宝鸡工程机械厂柴油机用双头油封, 系采用锡镍体系硫化丁腈胶制作, 线速

度为16米/秒，使用寿命高达2300小时。

旋转轴的转速是油封密封性能与寿命的重要影响因素，速度愈高，油封对轴的摩擦愈大、温度愈高，则油封的寿命愈低。

2. 工作压力

油封的承压能力，通常都是很差的。普通标准型油封、当压力超过0.5公斤力/厘米²时，其腰部就开始被压弯、致使接触带宽度增加，摩擦加大，温度升高。此现象且随压力的增大而加剧（图4—14）。因此，对承受压力较高的油封，必须选用抗压型（腰部短粗、且以金属骨架加强）。就材料而言，随工作压力的增大，油封唇的温升亦高，选用耐高温的氟橡胶较好。

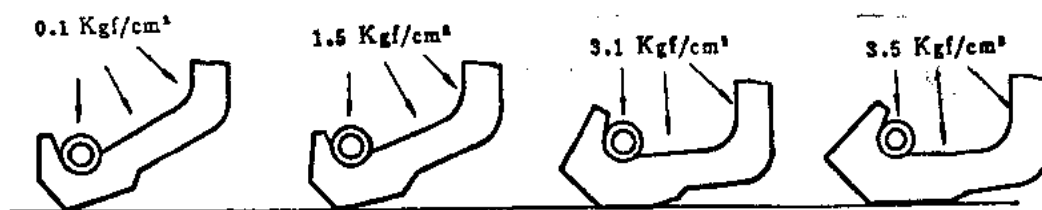


图4—14 油封腰部随压力增大而变化的示意图

例如、某工程机械上所用氟橡胶耐压型油封，在2.5~7公斤力/厘米²的压力下，经200小时随机试验后，情况正常。而用普通型丁腈胶油封，几个小时，即发生泄漏。

第四节 油封的设计

油封的结构及各部分参数的精心设计与选择，是其性能与寿命的决定性因素。

一、油封的结构设计

1. 油封体的设计

油封体是油封的橡胶部分，具有高弹性，它的断面几何形状对油封的密封性能与寿命影响极大。油封体设计的主要任务，就是选择与确定其几何形状与几何尺寸（图4—15）。

（1）油封刃口过盈量的选择 油封刃口过盈量 Δd 指在自由状态时，轴径 d 与唇口直径 d_1 之差，即 $\Delta d = d - d_1$ 。它的功用是产生无簧唇口径向压力与补偿轴的偏心。

油封刃口过盈量的大小，直接影响油封的密封性与寿命。过盈量太小，可能由于被密封轴的偏心量所致，而发生泄漏。但人们也往往错误地认为，增大油封的过盈量，可以使油封获得更高的密封性和寿命。其实，恰恰相反，过大的过盈量，将造成油封刃口过分拉伸、径向压力加大、磨损加剧，大量

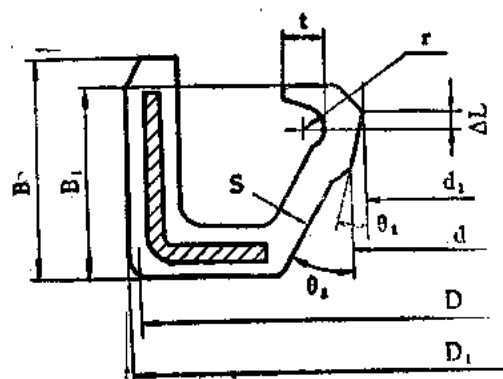


图4—15 油封体的几何形状与主要尺寸

的摩擦热，引起橡胶的老化，龟裂，进而导致密封性的降低和寿命的缩短。目前，市售油封的过盈量，往往较大，这也是市售油封短命的重要原因。

油封刃口过盈量选取的主要依据是，橡胶材料的弹性恢复速度与轴的几何精度（主要是轴的圆度与轴的同轴度）。橡胶材料弹性恢复速度大的油封，既或轴的几何精度差些，油封刃口过盈量也可取小值，反之，橡胶材料的弹性恢复速度小的油封，为适应旋转轴的高粘弹性“追随”的要求，油封刃口过盈量，则应取大值。

油封刃口过盈量的大小，可按表4—6选取。

表4—6 油封刃口过盈量与刃口偏心值 mm

轴 径	油 封 刃 口	
	过 盈 量 Δd	偏 心 值 ΔL
≤ 30	0.5~0.9	0.3~0.5
>30~50	0.6~1.0	0.4~0.8
>50~80	0.7~1.2	0.5~1.1
>80~120	0.8~1.3	0.6~1.4
>120~180	0.9~1.4	0.7~1.7
>180~220	1.0~1.5	0.8~2.0

(2) 油封刃口位 ΔL 置值的选择 油封刃口位置 ΔL 值是指油封刃口尖端平面至弹簧中心平面的距离(图4—15)。

表4—7与表4—8所列数据是研究油封结构参数与油封密封性能关系的试验结果。

表4—7 油封结构参数与密封性能的关系 mm

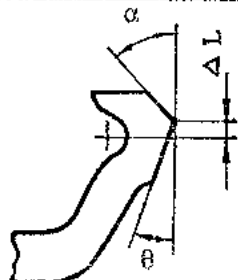
油封组号		甲	乙	丙	丁
前唇角 α 加工方法		48°进刀切割	锥度110°砂轮深磨	锥度125°砂轮深度	锥度125°砂轮浅磨
唇口过盈量 Δd		1.42	1.54	—	1.92
刃口位置 ΔL 值		0.72	1.04	1.29	1.55
接触宽度 δ		0.137	0.255	—	0.30
密封状况	一组	—	58小时25分仍密封	53小时15分仍密封	2小时已渗漏
	二组	53小时25分仍密封	61小时仍密封	—	50分已渗漏
	三组	72小时40分仍密封	—	—	1小时15分已渗漏

试验结果表明，油封唇口位置 ΔL 值的大小，直接影响油封刃口对轴的接触带宽度与“追随”能力，亦即直接影响油封的密封性能。随 ΔL 值的增大，接触宽度（亦称密封跨距） δ （图4—1）成直线性增大，直至油封发生泄漏（表4—7）；油封唇口的摩擦扭矩随 ΔL 值的增大而减小（表4—8），减小至一定值后，油封亦将发生泄漏；油封的密封性能，随过盈量 Δd 的增大而降低（表4—8）。

由油封密封原理可知，“临界油膜”的形成与保持，是保证油封密封性能的充分而必要的条件。具有相同刚度弹簧的油封，其径向压力可视为近似相等。这样，随着 ΔL 值的增

表 4—8 油封结构参数与唇口摩擦扭矩的关系

mm

油封的几何形状与尺寸	轴的转速 (r·p·m)	摩 擦 扭 矩 (Kg·m)	
		$\Delta d_1=1.11; \Delta L_1=1.7$ $\delta_1=0.735; \theta=16^\circ$ $\alpha=75^\circ$	$\Delta d_2=0.63; \Delta L_2=0.85$ $\delta_2=0.43; \theta=18^\circ$ $\alpha=53^\circ$
	125	33.5	52.5
	175	42.0	59.5
	250	49.0	64.7
	350	54.2	66.5
	500	57.7	68.2
	700	59.5	70.0
	1000	61.2	71.8
	1400	61.2	71.8

注：(1) 注脚数字“1”与“2”分别表示被试油封的序号。

(2) 被试油封弹簧刚度 $P'=14.23g/mm$ 。

大，接触带宽度（密封跨距） δ 的增大，而引起的单位径向压力的减小，致使油封刃口与轴之间的“临界油膜”润滑扩大成流体油膜润滑，摩擦扭矩减小，油封发生泄漏。

因此，通过试验选取油封刃口位置 ΔL 值的最佳值，是改善与提高油封密封性能的重要途径。当然， ΔL 值不能过小或等于零，否则，由于油封偏心工作，将引起泄漏。若 ΔL 值过大，除油封的接触带宽度随之增大外，刃口的变形加大，弹性恢复速度减慢，对偏心运转的适应能力降低，也会发生泄漏。

(3) 油封腰部厚度 S 的选择 油封的偏心运转是不可避免的。随着油封偏心运转而引起的唇部刃口的波动，致使油封腰部承受强烈的挠曲。同时，油封腰部还要承受由唇口与轴之间的摩擦阻力所引起的扭转变形。因此，无论是从增加油封腰部的刚性、以改善唇口与轴接触状态的稳定性，还是从增强橡胶的耐老化性方面而言，适当增大腰部厚度 S 都是可取的。后者是因为橡胶老化硬度提高的速率随橡胶厚度的增加而下降。但必须指出，由于明显的理由，过多的增加腰部厚度 S 也是不允许的。

油封腰部厚度 S ，可按表 4—9 选取。

(4) 油封外径过盈量的选择 为了保证油封装入座孔中牢固可靠，油封外径 D_1 对座孔直径 D 应有适当的过盈量 $\Delta D = D_1 - D$ 。过盈量 ΔD 的选取，必须考虑油封的装配性和油封座孔材料的膨胀系数。 ΔD 值过大、无疑会使装配困难， ΔD 值过小，可能发生泄漏，或使油封随轴一起旋转。须知，橡胶的膨胀系数是金属的十倍。

表 4—9 油封体有关几何尺寸的参考值

mm

油封厚度		唇部厚度 B_1	腰部厚度 S	腰部角度 θ_1
B	公差			
≤ 6	± 0.20	$B-1$	≤ 1.2	$\leq 8^\circ$
7~12	± 0.30	$B-1.5$	1.2~2	$8^\circ \sim 10^\circ$
13~16	± 0.40	$B-2$	1.7~2.5	$6^\circ \sim 10^\circ$
17~25	± 0.50	$B-2.5$	2.5~3	$6^\circ \sim 8^\circ$

金属外圈骨架式、金属骨架埋入式和金属内圈骨架式油封的外径公差，可按表4—2选取。与油封配合的座孔直径的公差，可按f78级选取。

(5) 主密封面夹角的选择 角度 θ_1 的大小，直接影响油封刃口接触带的宽度。后者又是油封密封性与寿命的重要影响因素。所以，须认真选取 θ_1 角。

目前，国内通常采用的 θ_1 角是：18°、21°、23°、25°、28°等几个度角。线速度越大、摩擦热亦越大。所以，应选较大的 θ_1 值。设计油封模具时，考虑到橡胶的收缩率，一般模具的 θ_1 值比油封（成品）小2°~4°。

(6) 油封顶面高度 t 的选择 为了避免自紧螺旋弹簧在安装时脱落，油封顶面高度 t ，通常选取为

$$t \geq \frac{4}{3} r \quad (4-4)$$

式中 r ——自紧螺旋弹簧槽半径。当其与自紧螺旋弹簧的断面半径 r_s 相等时，油封刃口接触带的应力分布最好。所以，在油封体设计时，取 $r = r_s$ 。

(7) 油封体的其余几何尺寸，可参考表4—9选取。

2. 自紧螺旋弹簧的设计

油封与轴之间具有一定厚度的油膜——临界油膜的形成与保持，是衡量油封密封性能与寿命的重要标志。油封唇口对轴的径向压力的大小，是临界油膜的形成与保持的重要影响因素。因此，径向压力的大小，是油封设计的主要参数之一。

一般，油封的工作压力都是比较低的。因此，所谓油封径向压力的大小，是指无压力作用下的径向压力——初始径向压力。对油封的受力分析表明，影响油封径向压力有如下因素：

- (1) 油封弹簧拉伸的收缩力；
- (2) 唇部刃口过盈量的收缩力；
- (3) 油封腰部变形的收缩力；
- (4) 油封底部变形的收缩力。

油封之所以能实现长时间对旋转轴的密封，就是依靠由这些力形成的油封径向压力的作用。但由于油封在一定温度的油液中工作，会受热膨胀、应力松弛、软化塑变等，使得上述因素中(2)、(3)、(4)的作用逐渐衰减，乃至消逝。因此，为保持油封对轴具有稳定的径向压力，以实现油封的可靠密封，在油封刃口处，需设置自紧螺旋弹簧（图4—16）。

油封的密封性，在很大程度上，取决于自紧螺旋弹簧的设计与制造质量。油封弹簧的特性曲线（图4—17），是自紧油封弹簧刚度的设计基础。曲线 OA 是克服弹簧材料预应力的变形。在此段内，微小的变形，即可引起较大负荷的变化，不符合自紧螺旋弹簧的实际使用要求——微小变形只引起微小负荷变化。线段 AB 是过度段。线段 BC 与线段 OA 相反，较大的变形，所引起的负荷变化微小，亦即弹簧长度的变化，对油封刃口径向压力的影响微小，很适合弹簧的工作要求。因此，线段 BC 是选择弹簧刚度较为理想的线段。

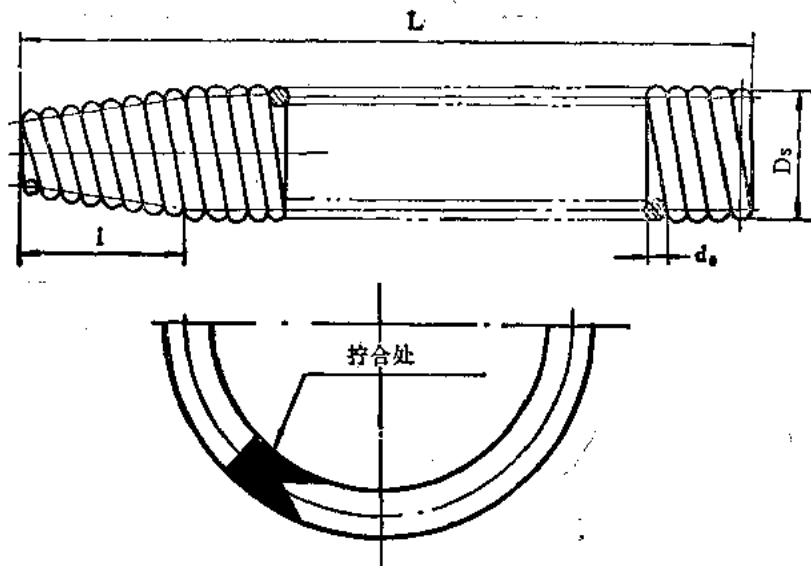


图 4—16 自紧螺旋弹簧

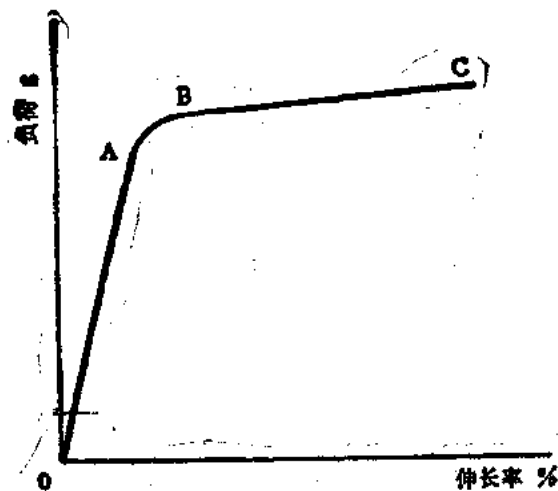


图 4—17 油封弹簧的应力应变特性曲线

自紧螺旋弹簧结构参数可按如下步骤选取：

(1) 弹簧外径 D_s 的选取 经验表明，当弹簧断面半径 r 与弹簧槽半径 r 相等时、油封唇部密封接触带的应力分布最佳，即此时油封刃口具有最佳密封性能。故此，在设计油封体与弹簧时，应取 $r_s = r$ 。这样，弹簧槽半径根据油封唇部断面结构确定之后，弹簧外径 D_s 也就确定了，即

$$D_s = 2r \quad (4-5)$$

(2) 钢丝直径 d_s 的确定 弹簧外径 D_s 确定之后，则可根据弹簧指数 C 的计算式，求出弹簧钢丝直径 d_s ，即

$$C = \frac{D_1 - d_0}{d_0} = \frac{D_2}{d_0} \quad (4-6)$$

$$d_0 = \frac{D_1}{1+C} = \frac{D_2}{C}$$

式中 C ——弹簧指数；
 D_1 ——弹簧外径 (mm)；
 D_2 ——弹簧中径 (mm)；
 d_0 ——弹簧钢丝直径 (mm)。

为保证所需的径向压力值与弹簧稳定性，弹簧指数 C 可在 5~7 的范围内选取 (表 4-10)。

一般， d_0 值可按表 4-10 选取。

(3) 自由状态弹簧长度 L 的计算 自由状态弹簧长度 L 可按下式计算：

$$L = \pi A \left(1 - \frac{Aq - B}{F} \right) + E \quad (4-7)$$

式中 L ——自由状态弹簧长度 (mm)；
 q ——弹簧的径向压力 (g/mm)，可根据轴的线速度，按表 4-11 选取；
 A 、 B 、 F 、 E ——计算系数，按表 4-10 选取。

表 4-10 油封弹簧结构参数与计算系数

mm

轴 d 径	结构参数			计 算 系 数				
	d_0	D_1	l	A	B	F	E	C
>5~10	0.2	1.8	2	$d+3.8$	96	200	2.6	8
		1.6		$d+3.5$	116			
>10~20	0.3	2.0	2.5	$d+4.5$	256	1000	3.5	5.3
		1.7		$d+4.2$	296			
>20~50	0.4	2.8	3.0	$d+5.5$	436	1500	4	6
		2.5		$d+5.2$	484			
>50~100	0.5	3.6	3.5	$d+6.3$	614	2100	4	6.2
		3.2		$d+5.7$	740			
>100~240	0.6	4.4	5	$d+7.7$	904	2440	4.5	6.7
		4.0		$d+7.0$	1032			

注： l 为入长度 (图 4-16)。

公式 4-7 的计算结果，往往由于钢丝材料及绕制工艺等原因，与实测值有差异。所以，计算结果，应根据实测值加以适当修正。

油封弹簧，一般由中级碳素弹簧钢丝冷绕而成。并经淬火和发蓝处理，以消除内应力和使用表面产生防锈氧化膜。

表 4—11 弹簧的径向压力 q 值

线速度(m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
径向压力(g/mm)	17	16.5	16	15.5	15	14.5	14	13.5	13	12.5	12	11.5	11	10.5	10

3. 骨架的设计

骨架的作用是，加强油封的刚性。因此，应根据使用条件和油封断面几何形状与尺寸，选取骨架的结构尺寸。骨架的厚度直接影响油封的刚性，选取适当的骨架厚度，是骨架设计的主要任务。骨架在油封体内的位置，可影响唇口性能及油封的装配性，亦应认真设计。

通常，根据油封外径 D 来选取骨架厚度 δ (表 4—12)。

骨架的材料，一般采用普通碳素钢。

表 4—12 油封金属骨架的厚度

mm

公称外径 D	骨架厚度 δ
≤ 30	0.8~1.0
$> 30 \sim 50$	1~1.5
$> 50 \sim 80$	1.5
$> 80 \sim 120$	1.5
$> 120 \sim 180$	1.5
$> 180 \sim 260$	1.8~2.0
$> 260 \sim 360$	2

二、油封座和密封轴的设计

油封的性能与寿命和油封座与密封轴的设计，关系十分密切。所以，为使油封获得良好的性能和较长的使用寿命，必须精心设计油封座和密封轴。

1. 油封座的设计

油封座孔与密封轴的同心度，是保证油封正常工作的关键。设计油封座的时候，必须从结构上予以保证。如放置油封的座盖，必须通过止口与轴承孔座体相配等 (图 4—18)。

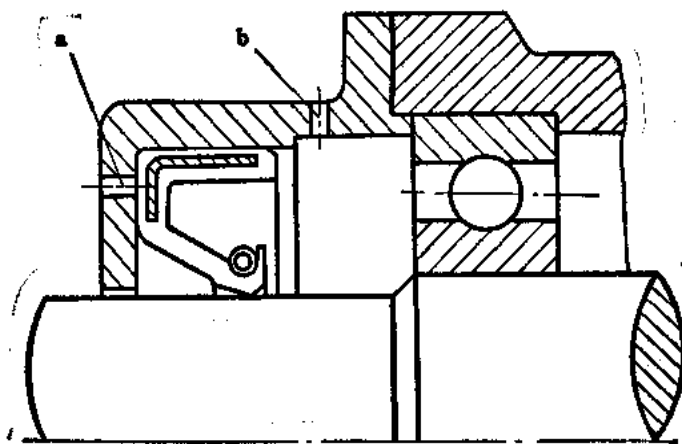


图 4—18 油封座孔结构与轴承座孔的配合

为保证油封装配的牢固性与可拆性,设计油封座孔时,它的材质膨胀必须系数,是予以考虑的。油封座孔的材质,一般常用软钢(含碳量小于0.25%者)、铸铁、黄铜、铸铝等。为使油封与座孔具有良好的温度协调性,当油封座采用钢、铸铁、黄铜等低膨胀系数的材质时,必须应用金属外圈骨架式油封。而当座孔采用诸如铸铝等高膨胀系数的轻合金时,必须采用金属骨架埋入式油封。

油封座孔的公差按H7或H8级选取。座孔的倒角 α 、深度 l 、圆角 r 等参考表4-13选取。

直径为3~6毫米的小孔 a (图4-18),供拆卸油封之用。

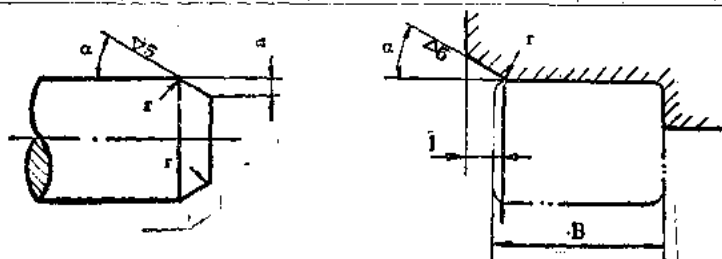
为避免装拆油封时将其外圆切伤,座孔不宜有径向小孔 b ,否则必须制成台阶形(图4-18)。

表4-13 轴和座孔的设计

mm

公称尺寸	轴 尺 寸				座 孔 尺 寸					
	公差 h8	倒 角			光洁度	公 差		r	倒 角	光 洁 度
		α	r	α		H7	H8			
>6~10	0 -0.022	1.5	2	30°	低速时 ▽8	+0.015	+0.022	3	$\alpha=15^\circ\sim 30^\circ$	金属外圈 ▽8
>10~18	0 -0.027					+0.018	+0.027			
>18~30	0 -0.033					+0.021	+0.033			
>30~50	0 -0.039	2	2	30°	低速时 ▽8	+0.025	+0.039	3	$\alpha=15^\circ\sim 30^\circ$	金属外圈 ▽8
>50~80	0 -0.046					+0.030	+0.046			
>80~120	0 -0.054					+0.035	+0.054			
>120~180	0 -0.063	2.5	2	30°	低速时 ▽8	+0.040	+0.063	3	$\alpha=15^\circ\sim 30^\circ$	金属外圈 ▽8
>180~250	0 -0.072					+0.046	+0.072			
>250~315	0 -0.081					+0.052	+0.081			
>315~400	0 -0.089	3	2	30°	低速时 ▽8	+0.057	+0.089	3	$\alpha=15^\circ\sim 30^\circ$	金属外圈 ▽8
>400~500	0 -0.097					+0.063	+0.097			
>500~630	-0.280 -0.370					+0.070	+0.110			
>630~800	-0.290 -0.415	5	2	20°	中高速时 ▽9	+0.080	+0.125	4	$l=(1.0\sim 0.15)B$	橡胶外圈 ▽9
>800~1000	-0.320 -0.460					+0.090	+0.140			
>1000~1250	-0.350 -0.515					+0.105	+0.165			

简
图



注: B为油封高度。

2. 密封轴的设计

密封轴与油封是否同心运转,是影响油封性能与寿命的重要因素。因此,必须尽量减小轴的偏心量。轴与油封的不同心运转,有如下两种情况:

(1) 静偏心运转,即轴同心,油封装配偏心的运转,对油封密封性影响较小。

(2) 动偏心运转,即轴、油封均处于偏心下的运转。

在偏心下运转,油封刃口时刻“追随”轴的表面,犹如高频率的振动。当振动频率随轴的转速增高而达一定值——共振频率时,油封刃口弹性变形对轴不能形成密切“追随”,而发生泄漏和使油封刃口产生异常磨损,寿命降低。轴的允许偏心量如图4—8与表4—2所示。

使用表明,轴的加工工艺,对油封的密封性是有影响的。经磨削加工的轴,表面会有很多微小的螺旋槽纹。当轴顺螺旋槽纹旋转时,泄漏增加;反之,逆螺旋槽纹旋转时,泄漏减小。所以,顺轴向进给的磨削加工是不好的。其他如车床加工,滚压加工和抛光加工等,均不适于密封轴的加工。

表面镀铬的轴,具有良好的耐磨性和耐腐蚀性。表面硬度虽高,橡胶油封对其有着良好的适应性。但镀铬后的抛光也是不适宜的。

一般,适于橡胶油封的密封轴的表面硬度为 $HRC30\sim40$ 。

轴的表面光洁度,必须控制在适宜的范围:旋转油封的轴为 $\nabla 8\sim 9$;往复运动的轴为 $\nabla 9\sim 11$ 。过低、过高都不适宜。

轴的公差按 $h8$ 级选取。

轴端的引入角及表面光洁度,可参考表4—13选取。

第五节 油封的标准化

旋转运动密封装置用油封与机械密封装置相比,其优点是结构紧凑、所占空间小、工艺性好、造价低廉、装配容易、密封效果好等。因此,油封极其广泛地应用于各种机械设备上。

国内外普遍采用金属骨架式油封。金属外圆骨架式油封被国外所广泛采用,而国内则采用金属骨架埋入式油封。这大概是由于通常所谓的设计工作的继承性的影响。设计师们一旦对某种密封型式的应用获得成功,取得经验,得心应手,以后就往往喜欢采用这种密封型式。并宁愿集中精力去研究它的改进,也不想去采用更为合适的密封型式。

油封同其他各种密封元件一样,均属易损件,需定期更换。因此,为了解决油封生产、使用修理的统一性与互换性,搞好油封的标准化,则是非常重要的。

部标准 $JB\ 2600-80$ 〈骨架式橡胶油封尺寸系列〉对旋转运动式密封装置用金属骨架埋入式橡胶油封的用途、型式规格、尺寸系列与公差等均作了规定。

金属骨架埋入式橡胶油封主要用以密封矿物油、润滑油与润滑脂等工作介质,其型号如表4—14所示。单唇型与双唇型橡胶油封,按旋转轴线速度的大小,又分成低速型与高速型。线速度小于6米/秒者为低速型,线速度在6~12米/秒范围内者为高速型。无簧

表 4-14 金属骨架埋入式橡胶油封的型式与使用条件

使用条件	型 式				
	普通型		双唇型		无簧型
	普通低速型PD	普通高速型PG	双唇低速型SD	双唇高速型SG	W
线速度(m/S)	6	6~12	6	6~12	6
介质温度(°C)	-40~+100°C, 当>100°C而<120°C时, 连续工作不超过2小时				
工作压力(Kgf/cm ²)	0.5				
通用范围	适用于汽车, 拖拉机及其他机械等旋转运动式密封装置				

型只适用于低速。它们代号的意义是：PD——普通单唇低速型；PG——普通单唇高速型；SD——双唇低速型；SG——双唇高速型；W——无簧型。高速型与低速型的主要区别就在于，前者的结构参数内径过盈量较小、唇口接触宽度较小、油面角较大，以此减小高速油封的摩擦生热，提高其使用寿命。

单唇型、双唇型与无簧型金属骨架埋入式橡胶油封的尺寸系列与公差见表 4-15。表中所列内径与外径的对应关系是：当轴径在 8 毫米以内时，一个内径只对应一个外径；当轴径在 10~18 毫米之内时，一个内径开始对应两个外径；当轴径在 20~100 毫米之内时，一个内径则对应三个外径；当轴径在 105~160 毫米之内时，一个内径又对应二个外径；当轴径在 170~300 毫米时，一个内径只对应一个外径。排列出单唇型与双唇型 120 种，无簧型 14 种，共 134 种金属骨架埋入式橡胶油封。这样的排列方法比较整齐，也基本上满足了当前我国机械产品的要求。

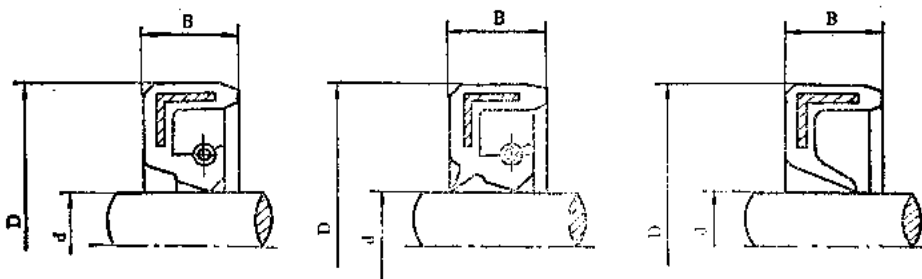
金属骨架埋入式油封用胶料特性与工作条件应满足表 4-19 之规定。

金属骨架埋入式橡胶油封沟槽尺寸与安装示例见表 4-16。

部标准 HG4-338-66《丁形无骨架橡胶油封》适用于工作介质温度 -25~+100°C、线速度低于 7 米/秒的旋转运动式密封装置，其尺寸系列与公差见表 4-17。

丁形无骨架橡胶油封沟槽尺寸与安装示例，见表 4-16。

表 4-15 骨架式橡胶油封尺寸系列 (根据 JB2600-80)



标记示例：

公称内径 $d = 20$ 、公称外径 $D = 40$ 、宽度 $B = 8$ 材料为耐油橡胶 I-1 的双唇高速型骨架式橡胶油封，记为
油封 SG20×40×8 橡胶 I-1 JB2600-80

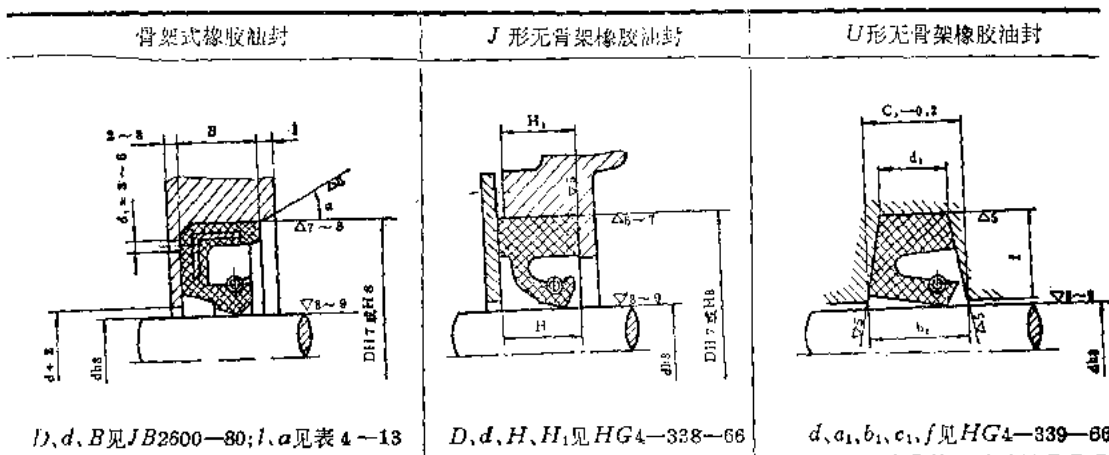
mm

型式	公称内径 <i>d</i>	公称外径		宽度 <i>B</i>	公称内径 <i>d</i>	公称外径		宽度 <i>B</i>	公称内径 <i>d</i>	公称外径		宽度 <i>B</i>		
		<i>D</i>	允差			<i>D</i>	允差			<i>D</i>	允差			
单 唇 型 与 双 唇 型	6	22		7 ± 0.30	30	45	$+0.20$ $+0.15$	8 ± 0.30	60	80	12 ± 0.40			
	8	50				85								
	10	22	$+0.25$		32	45			62	80				
		25				52				85				
	12	25	$+0.10$		35	55			65	90				
		32				55				90				
	15	30	$+0.30$ $+0.15$		38	50	$+0.40$ $+0.20$		70	85				
		35				55				90				
	16	30			8 ± 0.30	40			60	10 ± 0.40			72	95
		35							62					100
	17	20				42			65				75	105
		35							65					100
	18	30			45	70			80	105				
		35				70				105				
	20	40			50	75			85	110				
		45				75				110				
	22	38			52	80			90	115				
		40				75				115				
	24	40		55	85		95	120						
		45			80			120						
	25	40		55	85		95	125						
		42			85			125						
	28	44		55	85	$+0.45$ $+0.25$	95	130						
		47			85			130						
		50												

(续)

型式	公称内径		公称外径		宽度B	公称内径d	公称外径		宽度H	公称内径d	公称外径		宽度B
	d	D	允差	D			允差	D			允差		
有骨架	100	125	+0.55 +0.30	12±0.40	125	150	+0.55 +0.50	14±0.50	180	220	+0.65 +0.04	16±0.50	
		130				160				190			230
		140				160				200			240
	105	130	+0.55 +0.30	12±0.40	130	170	+0.55 +0.50	14±0.50	220	260	+0.75 +0.45	18±0.60	
		140				170				240			280
	110	140	+0.55 +0.30	12±0.40	140	180	+0.55 +0.50	14±0.50	250	290	+0.75 +0.45	18±0.60	
		150				180				260			300
	115	140	+0.55 +0.30	12±0.40	150	190	+0.55 +0.50	14±0.50	280	320	+0.75 +0.45	18±0.60	
		150				190				300			340
	120	150	+0.55 +0.30	12±0.40	160	200	+0.65 +0.40	16±0.50	300	340	+0.75 +0.45	18±0.60	
		160				200							
	无骨架	12	22	+0.25 +0.10	5±0.30	25	+0.30 +0.15	5±0.30	50	72	+0.40 +0.20	7±0.30	
25			30			45			60	80			
15		27	+0.25 +0.10	5±0.30	30	+0.30 +0.15	7±0.30	50	72	+0.40 +0.20	7±0.30		
		30			35							50	60
17		30	+0.30 +0.15	5±0.30	35	+0.30 +0.15	7±0.30	50	72	+0.40 +0.20	7±0.30		
		35			40							52	60
20		35	+0.30 +0.15	5±0.30	45	+0.40 +0.20	7±0.30	50	72	+0.40 +0.20	7±0.30		
		35			45							60	60

表4-16 橡胶油封沟槽尺寸与安装示例



油封常用合成橡胶材料的种类与特性如表4—18所列。

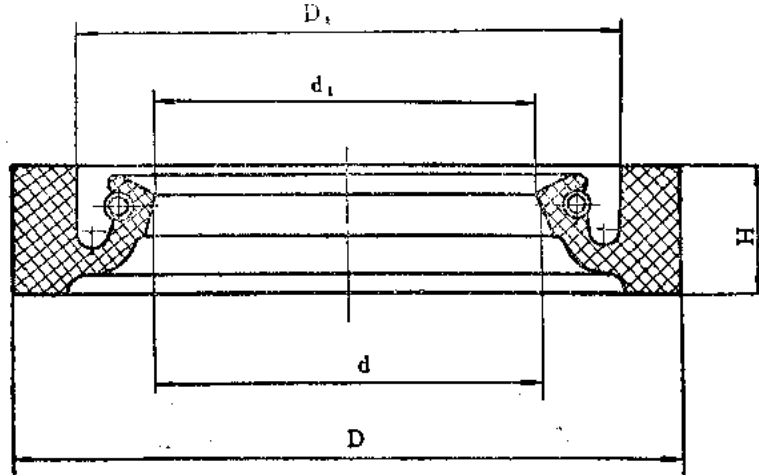
丁形无骨架橡胶油封用橡胶特性与工作条件应符合表4—19之规定。

部标准 HG4—338—66 《U形无骨架橡胶油封》，适用于工作温度 $-25 \sim +80^{\circ}\text{C}$ 、线速度低于7米/秒的旋转运动式密封装置，其尺寸系列与公差见表4—20。

U形无骨架橡胶油封沟槽尺寸与安装示例，见表4—16。

U形无骨架橡胶油封用胶料特性与工作条件应符合表4—19之规定。

表4—17 J形无骨架橡胶油封尺寸系列（根据HG4—338—66）



标记示例：

公称内径 $d = 50$ 、公称外径 $D = 75$ 、宽度 $H = 12$ 、材料为耐油橡胶 I—2 的 J形无骨架橡胶油封，记为

油封 $50 \times 75 \times 12$ 橡胶 I—2 HG4—338—66

77 77

公称内径 d	公称外径		宽度 H	公称内径 d	公称外径		宽度 B	公称内径 d	公称外径		宽度 B			
	D	允差			D	允差			D	允差				
30	55	+0.50 -0.30	12 +0.50 -0.30	90	115	+1.00 -0.50	12 +0.50 -0.30	200	235	+1.00 -0.50	18 +0.50 -0.30			
35	60			95	120			+0.50 -0.30	210			245		
40	65			100	130			+1.00 -0.50	220			255		
45	70			110	140				230			265		
50	75			120	150				240			275		
55	80			130	160				250			285		
60	85			140	170				260			300		
65	90			150	180				270			310		
70	95			160	190				280			320	+2.00 -1.00	20 +0.70 -0.30
75	100			170	200				290			330		
80	105	180	215	300	340									
85	110	190	225	+1.00 -0.50	310	350	13 +0.50 -0.30							

(续)

公称内径 <i>d</i>	公称外径		宽度 <i>H</i>	公称内径 <i>d</i>	公称外径		宽度 <i>B</i>	公称内径 <i>d</i>	公称外径		宽度 <i>B</i>
	<i>D</i>	允差			<i>D</i>	允差			<i>D</i>	允差	
320	330	+2.00 -1.00	20 +0.70 -0.30	420	480	公称值的 +0.5% -0.3%	25 +0.70 -0.30	540	590	公称值的 +0.5% -0.3%	32 +0.70 -0.30
330	370			440	490			550	600		
340	380			450	500			560	610		
350	390			460	510			570	620		
360	400			470	520			580	630		
370	410			480	530			590	640		
380	420			490	540			600	650		
390	430			500	550			630	680		
400	440			510	560			710	760		
410	460			520	570			800	850		
420	470	530	580								

注：如有特殊要求规格尺寸的订货，可与制造厂协商。

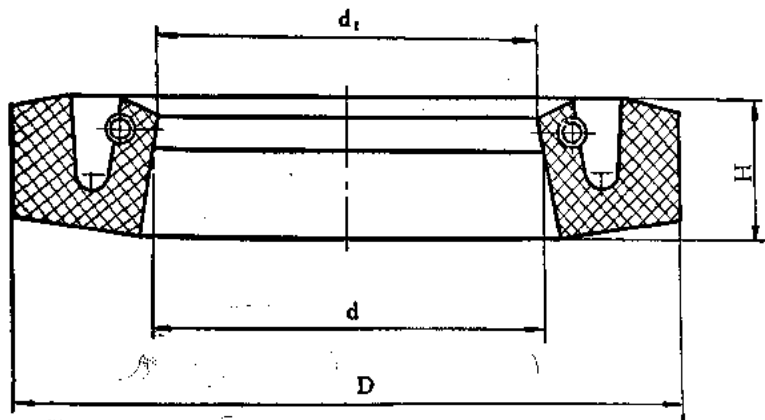
表 4—18 油封常用合成橡胶的种类与特性

橡胶种类	与工作介质相容性							适用范围
	润滑油			动力油			燃料油	
	一般矿物油	低苯胺点油	润滑油	石油类	水类	磷酸脂系		
丁腈橡胶 (NBR)	优	良	优	优	优	极差	良	耐油、耐热、耐老化好，是油封使用最多的一种，对一般机械几乎都能用。
聚丙烯酸酯橡胶 (ACM)	优	差	优	优	差	极差	极差	和丁腈橡胶具有同样的应用范围，只是耐热性稍差。
硅橡胶 (MVQ)	良	极差	良	差	差	可	极差	耐热、耐寒性非常好，但不耐高油压，高速润滑油添加剂，不耐使用油。
氟橡胶 (FPM)	优	优	优	优	优	优	优	是橡胶中耐热、耐油、耐老化最好的，使用范围最广。

表 4—19 国产油封用胶料特性与工作条件

组 别	硬度(度)	工 作 条 件		
		压 力	温 度℃	介 质
I—1	55±5	<25	-25~+80	液 压 油、润 滑 油、燃 料 油 等
I—2	65±5	>25~80		
I—3	75±5	>80~160	-20~+80	
I—4	85±5	>160~320		
II—1	55±5	<25	-40~+60	空 气、水、制 动 液 等
II—2	65±5	>25~80		
II—3	75±5	>80~160	-35~+60	
II—4	85±5	>160~320		
III—1	55±5	<25	-20~+120	水、空 气
III—2	65±5	>25~80		
III—3	75±5	>80~160		
IV—1	55±5	>80~160	-20~+60	20% H_2SO_4 、 HCl 、 $NaOH$ 、 KOH
IV—2	65±5			
IV—3	75±5			

表 4—20 U形无骨架橡胶油封尺寸系列(根据 HG 4—339—66)



标记示例:

公称内径 $d = 50$ 、公称外径 $D = 75$ 、宽度 $H = 12.5$ 材料为耐油橡胶I-2的U形无骨架橡胶油封, 记为

油封 $50 \times 75 \times 12.5$ 橡胶I-2 HG 4-339-66

公称内径 d	公称外径		宽度 H	公称内径 d	公称外径		宽度 B	公称内径 d	公称外径		宽度 B			
	D	允差			D	允差			D	允差				
30	55	+0.5 -0.3	12.5 ^{+0.5} -0.3	180	215	16 ^{+0.5} -0.3	400	440	公称值的 +0.5% -0.3%	22.5 ^{+0.7} -0.3				
35	60			190	225		410	460						
40	65			200	235		420	470						
45	70			210	245		430	480						
50	75			220	255		440	490						
55	80			230	265		450	500						
60	85			240	275		460	510						
65	90			250	285		470	520						
70	95			260	300		480	530						
75	100			270	310		490	540						
80	105			280	320		500	550						
85	110			290	330		510	560						
90	115			300	340		520	570						
95	120			310	350		530	580						
100	130			+1.0 -0.5	14 ^{+0.5} -0.3		320	360			+2.0 -1.0	540	590	18 ^{+0.7} -0.3
110	140						330	370				550	600	
120	150						340	380				560	610	
130	160	350	390			570	620							
140	170	360	400			580	630							
150	180	370	410			590	640							
160	190	380	420			600	650							
170	200	390	430											

第六节 回流油封

普通型油封的缺点是, 密封性能较差, 使用寿命较低。高速旋转工况、尤为严重。长期的实践, 人们发现, 旋转轴的表面特性, 对油封的密封性能有着明显影响。经顺轴向磨削过的轴, 其表面留有众多微小螺旋槽纹。当轴顺轴向转动时, 油封的泄漏增多;

当轴逆旋向转动时，由于螺旋槽的泵吸作用，使得油封的泄漏量明显减小。六十年代以来，人们相继研制成诸如三角形凸、凹槽油封、波谷形油封、波形唇口油封等新型结构油封——回流油封。

所谓回流油封，是指在普通油封工作唇的锥面上加工有各种不同形状的花纹棱槽，根据流体动力学原理，利用流体粘性摩擦剪切力特性，当这些棱槽，在旋转轴高速运转时，产生动液压力，强制经油封唇口泄漏的介质回流。这类油封，统称为回流油封。

回流油封的显著优点是密封性能好，泄漏量小，使用寿命长，对轴与油封本身的缺陷不敏感，能用于低粘度介质与高线速度等苛刻条件。

当前，根据回流油封的功能，可分成两大类。

(1) 单向回流油封 初期的回流油封，一般是将工作唇锥面上的花纹棱槽的方向制成与轴旋转方向相反、因此，当轴正转时，由于花纹棱槽的回流作用，使得油封泄漏减少，密封性能提高。但当轴反转时，油封泄漏增多。油封上的箭头即表示轴的正确旋转方向。

单向回流油封中应用最多的是双唇高速SG油封。英国安格斯(Angus)公司和日本基珀(Keeper)公司已系列化生产该种油封，以适用于转速高、偏心值大的密封装置。广泛用作诸如发动机曲轴后油封和变速箱油封等。

(2) 双向回流油封 随着机械工业的发展，不但需要作单方向回流密封，在某些情况下，如液压马达、各种车辆的桥等，同时需要双方向回流油封。因此，在单向回流油封的基础上又发展成双向回流油封。

双向回流油封中应用最多的有：三角形凸垫油封、三角形凹槽油封、正弦波形油封等。

旋转轴用回流油封，是国内外近年来兴起的一种新型密封元件，令人满意地减少或消除了普通油封的缺点，即大大改善了油封的密封性能，提高了油封的使用寿命。

一、回流效应分析

回流油封的密封性能与寿命，之所以比普通油封优异，就是因回流油封回流效应所致。产生回流的主要因素是：唇口工作面与旋转轴之间的流体动力学油膜的存在；唇口工作面的花纹棱槽的导流与增压作用。

1. 油膜流体动力学的影响

润滑油膜的形成与保持，是油封对旋转轴实现密封的充分而必要条件。试验观察指出，当轴旋转时，粘附在轴表面上的油膜，将以层流状态沿轴周向流动，各流层流动速度的分布(图4-1C)是随离开轴表面的距离而减小。油层间摩擦力与油层流速之间的关系，完全遵循粘性流体的牛顿内摩擦定律，即

$$\tau = \mu \frac{dv}{dh} \quad (4-8)$$

式中 τ ——油层间的内摩擦力 (Kgf/m^2)；
 μ ——流体的动力粘度 ($Kgf \cdot s/m^2$)；
 dv/dh ——流体层法线方向的速度梯度 ($1/s$)。

油封唇口工作面与旋转轴之间油膜的存在，且沿轴周向流动，是油封回流效应产生的第一因素。

2. 花纹棱槽的导流与增压作用

油封唇口工作面上的花纹棱槽（图4—19），当轴旋转时，粘附在轴上的油膜，在粘性摩擦剪切力的作用下，急速冲向“叶片”的 CD 边与 EF 边，且被其所阻留，在角 DCG 与 FEG 处的油，集聚起来，同时由于油膜的“油楔”作用，使 CD 与 EF 区段内的动液压力逐渐增高，最后超过该处唇口的径向压力，获得巨大动能的液体颗粒便从 C 、 E 点突破 $ABCEG$ 区内的油膜阻力，形成回流。因棱槽是对称的，所以，旋转轴逆转时，亦产生同样的回流效应。

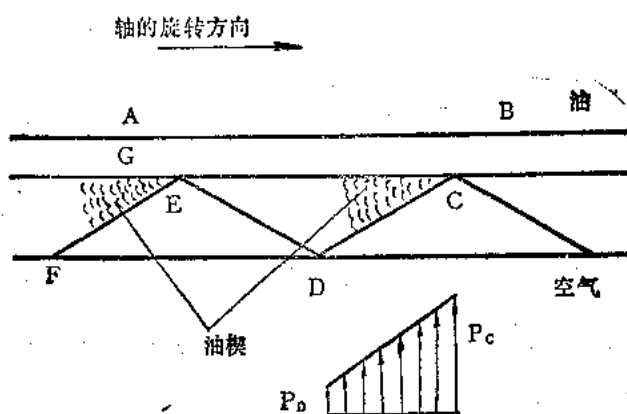


图4—19 回流效应示意图

回流油封的回流效应，除能大大改善油封的密封性能外，还由于工作介质的不断回流，油封唇口处散热的大大加强，唇口温升的降低（约降低25%）、老化龟裂的减少等，导致油封寿命的大大提高。油封许用线速度可高达50米/秒。

二、回流效应的影响因素

为考究回流油封回流效应的影响因素，北京橡胶工业研究所曾做了很好的试验。试验结果表明，既定结构的回流油封，其回流效应的主要影响因素有：油封径向压力；旋转轴的转速；工作介质的温度。

1. 油封径向压力的影响

径向压力是油封密封性能的最重要影响因素。油封径向压力试验，主要是通过油封弹簧长度的改变，以改变油封唇口的径向压力，在不同温度工况下，做正、反运转，测量回流效应（表4—21）。

试验结果表明，随油封弹簧长度的缩短、径向压力的增大，油封的回流效应加强；当油封弹簧长度即油封径向压力不变时，油封的回流效应随工作介质温度的升高而降低，泄漏增多。

试验结果再次证明，前述密封原理的正确性，即由于工作介质温度的升高，其粘度降低，回流减小，而使得泄漏增多。

油封径向压力的适当增大，油膜粘性剪切摩擦力增大，油膜厚度减小，动液压力增大，因而，油封回流效应加强。

表 4—21 径向压力对油封回流效应的影响

工 况			油封回流量 (ml/h)					
			50			90		
工作介质温度 (°C)								
弹簧长度 (mm)			228	231	225	238	231	225
油 封 型 号	PD-4	径向压力(g/cm)	143.6	181.0	217.3			
		正 转		38.7	61		12.1	12
	反 转		6	36.5		3.3	8	
	SG-1	径向压力 (g/cm)	190.3	212.3	236.3			
		正 转	72.5	63	91	38	27	
	凸三角-4	径向压力 (g/cm)		233	261.5			
正 转			142	192		197.5		
	反 转		238	254.5		215.5		

2. 旋转轴转速的影响

表 4—22 所列为旋转轴转速与油封回流效应试验的试验结果。试验结果表明：随旋转轴转速的提高，回流油封回流效应加强；工作介质的温度升高，油封回流效应降低，泄漏增多。

表 4—22 转速对油封回流效应的影响

油封型号及旋转方向			油封回流量 (ml/h)			
			50°C		90°C	
			2900r·p·m	1640r·p·m	2900r·p·m	1640r·p·m
PD-1	反 转	34.5	11.0	25.2	7.0	
PD-4	正 转	61.0	8.5	12.0	6.8	
SG-1	正 转	63.0	25.6	27.0	19.5	
凸三角-5	正 转	11.2	13.7	17.5	10.6	
	反 转	15.1	13.7	25.0	11.5	

油膜内摩擦力愈大、油封的回流效应亦愈强。公式 (4—8) 表明，油层内摩擦力与轴的线速度成正比，即油层内摩擦力随着轴的转速或线速度的提高而增大，“油楔”内液体颗粒冲越 ABC EG 区域的动能增加，所以，油封的回流效应也随之加强。

3. 工作介质温度的影响

表4—23所列为工作介质的温度与油封回流效应试验的试验结果。试验结果表明，随工作介质温度的增高，油封的回流效应降低。这是因为工作介质的粘度随其温度的增多而降低，油膜粘度降低，油层内摩擦力减小，所以，油封回流效应降低。

此外，表中数据还说明，由于油封花纹棱槽的对称性不佳、油封安装偏心、试验操作不良以及油封制作工艺性不稳定等原因，致使同一排号油封正、反转回流量的不相同，和同一型号不同排号油封正、反转回流量的不相同。

表4—23 工作介质温度对油封回流效应的影响

油封型号	油封回流量 (ml/h)					
	50℃		70℃		90℃	
	正转	反转	正转	反转	正转	反转
PD—1	无回流	3.45	无回流	27	无回流	25.2
PD—2	40.9	漏出44	34.8	漏出32.5	15	
PD—3	50.0	15.5	17.5	无回流		
PD—4	38.7	6.0	12.4	1	12.1	3.3
PD—5	漏出53	271.6	漏出68.5	238	漏出67.5	181
SG—1	63	20.5	56		27	
SG—2	230		221		213.5	
SG—6	176		50.5			
凸三角—4	142	238	152	218	197.5	215.5
凸三角—5	11.2	15.1	33	11.6	17.5	25
普—5	无回流	无回流	无回流	无回流		

三、回流油封的结构设计

1. 三角形回流油封

(1) 密封原理 三角形回流油封与普通油封的区别，就在于其唇部主密封锥面上，制有三角形凸垫或三角形凹槽。制有三角形凸垫者，称为三角形凸垫回流油封（图4—20）；制有三角形凹槽者，称为三角形凹槽回流油封（图4—21）。

在回流效应分析的基础上理解三角形回流油封的密封原理，就比较清楚了。油封装于轴上后，每个三角形的侧边，便形成一个偏转的表面，即所谓的“叶片”。当轴旋转时，附着在轴表面上的微小液体颗粒，被高速旋转的轴所拖带，急速冲向三角形侧边，被先导边（“叶片”）导向楔形空档——油楔（图4—20和图4—21），形成所谓增高的动液压力。在此动液压力的作用下，把从静密封带处泄漏出的油液、送回低压油侧，形成

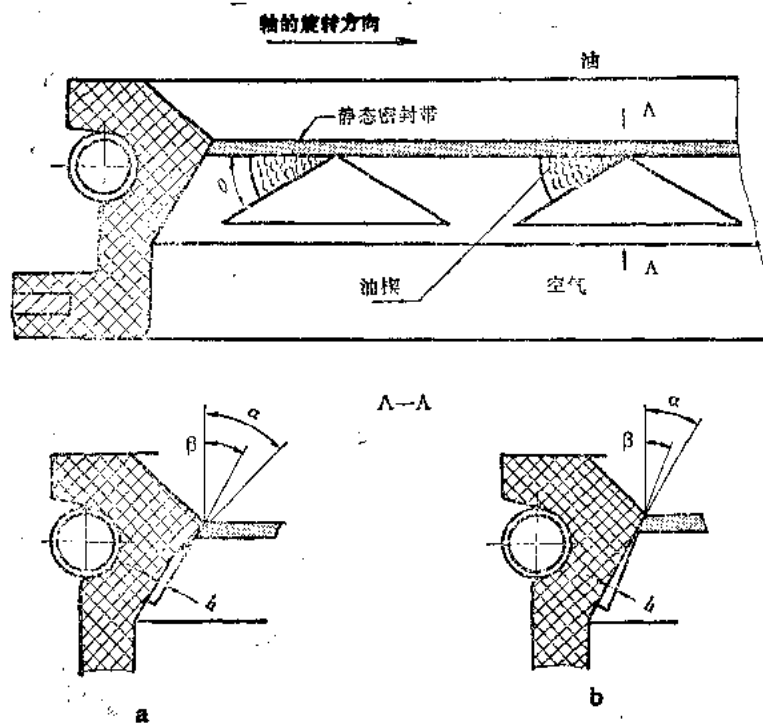


图 4—20 三角形凸垫回流油封

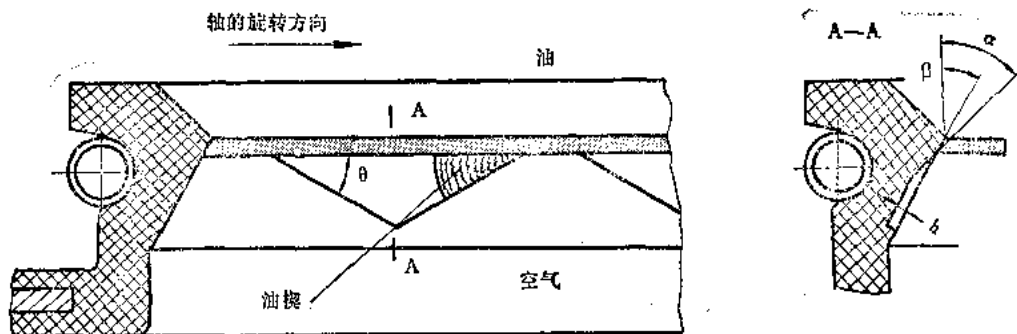


图 4—21 三角形凹槽回流油封

回流。因三角形具有明显的对称性，所以，当轴逆转时，油封仍具有同样的回流密封作用。

(2) 结构设计 为保证三角形回流油封，具有良好的静态密封性，必须保持油封刃口处形成连续静态密封带。

经验表明，三角形螺旋角取 $\theta = 20^\circ$ 、厚度取 $h = 0.08 \sim 0.10$ 毫米，是极为有利的。当然，要保证形成一条连续静态密封带的方法很多，通常采用的是角度改变法或厚度改变法。

角度改变法，是在三角形厚度不变的情况下，而使静态密封带与轴的夹角 α 大于三角形表面与轴的夹角 β (图 4—20)，且二者之差以 10° 为好。

三角形厚度改变法，是在角度不变的情况下，而使三角形的厚度逐渐改变 (图 4—20b)。三角形顶点 O 的理论厚度等于零。由此点开始，三角形的厚度 h 向着空气

侧，逐渐增加至最大。

2. 正弦波形回流油封

(1) 密封原理 正弦波形回流油封(图4-22),是回流油封中的重要一种。在它的主密封面上,具有两个或两个以上的呈正弦波状的弓形或半圆形的凸棱。

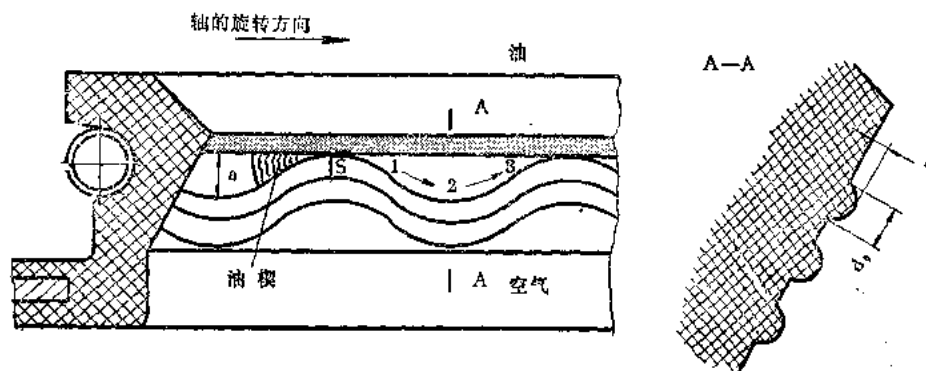


图4-22 正弦波形回流油封

密封原理基本上和三角形回流油封是一样的。正弦波形回流油封,装于轴上后,在静止状态时,静态密封带可以实现无泄漏密封。当轴旋转时,以油膜形式进入1、2、3区间的油液、在切向粘滞力的作用下,沿1、2、3范围运动,最后急速冲入棱形空档——油楔,使该处动液压力增高。因此,大部分油液被拖回低压油侧,形成回流。也可能有一小部分油液,沿静密封带返至1点处,开始又一个循环。

(2) 结构设计 正弦波形回流油封几何形状的精心的设计,是获得油封最佳性能的重要途径。

① 振幅 正弦波振幅的大小,不仅影响主密封面上正弦波凸棱的个数,也影响正弦波的周期 C_n ,因此,要认真选取。一般,振幅 a (图4-22)的推荐值为 $a=1.02\sim 1.27$ 毫米。

② 凸棱的高度、直径与距离 正弦波形回流油封主密封面上的凸棱横断面,通常为半圆形。但为了简化工艺,亦可设计成锯齿形或梯形。半圆形的直径 $d_0=0.075\sim 0.150$ 毫米。

凸棱的个数 Z ,可在设计过程中,适当选取,但必须使 $Z\geq 2$ 。凸棱之间距离应保持在 $S=0.25\sim 0.65$ 毫米的范围内。

③ 正弦波的周期 为保证所有正弦波都是完整的,正弦波的周期 C_n 应为整数。

周期 C_n 可用下式计算:

$$C_n = \frac{0.06d}{A} \quad (4-9)$$

式中 d ——轴径(毫米);

A ——2倍振幅。常取振幅 $a=1.02\sim 1.27$ 毫米。

3. 正弦波形刃口回流油封

(1) 密封原理 图4-23是正弦波形刃口回流油封的局部展开示意图。油封刃口展开后,是若干个完整的正弦波。

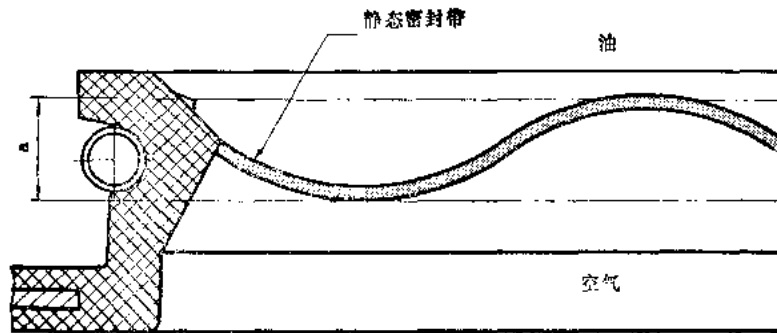


图 4—23 正弦波形刃口回流油封的局部展开图

在明了斜槽式旋转密封用O形圈工作原理（图 2—23）的基础上，正弦波形刃口回流油封的工作原理，也就不言而喻了（图 4—24）。当轴旋转时，在整个接触宽度 a （振幅）之内，时而充满油液，时而被油封刃口扫过。在空气一侧通过较小倒角 ϕ_1 （图 4—24）的润滑油膜，除给予油封刃口充分润滑外，更为重要的是散发出大量的热量。在油的一侧，处于接触带上的油液，被具有较大倒角 ϕ_2 的油封前唇边，刮回润滑系统中去。

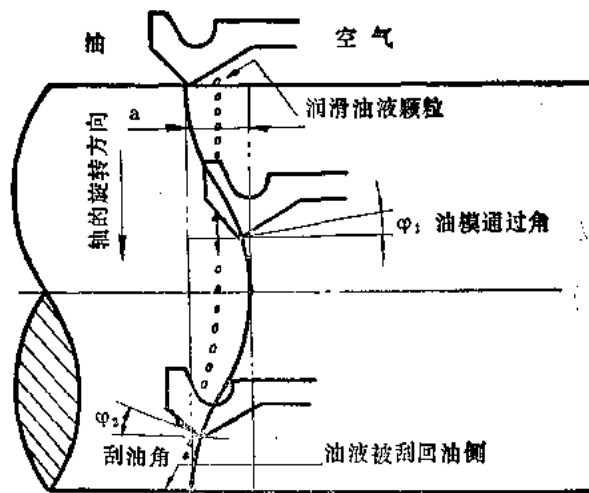


图 4—24 正弦波形刃口回流油封工作原理示意图

正弦波形刃口回流油封的最有意义的特点是，增大了油封对轴的相对运动所产生热量的散发范围，使密封唇部的温度降低25%（图 4—25）。因此，可以大大延长油封的使用寿命。

随着热量传递范围的增大，接触区域温度的降低以及油液的粘度和油膜厚度的增大，势必导致油封对轴的摩擦阻力、摩擦力矩的减小（图 4—26）。这也是提高油封寿命的重要原因。

（2）结构设计 正弦波形刃口回流油封的结构参数，基本上和正弦波形回流油封

相同。

正弦波形刃口回流油封的接触带（静态密封带），通常取为 0.127~0.254 毫米。设

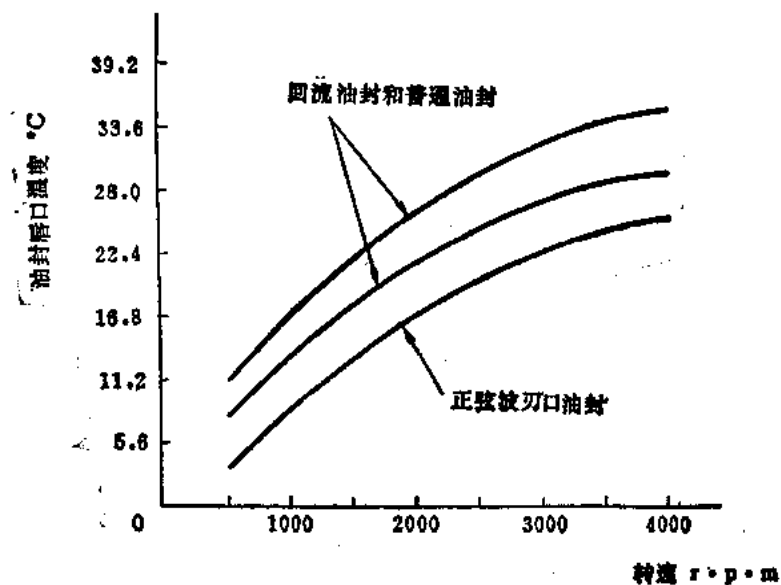


图 4—25 正弦波形刃口回流油封与其他形式油封唇口温度的比较

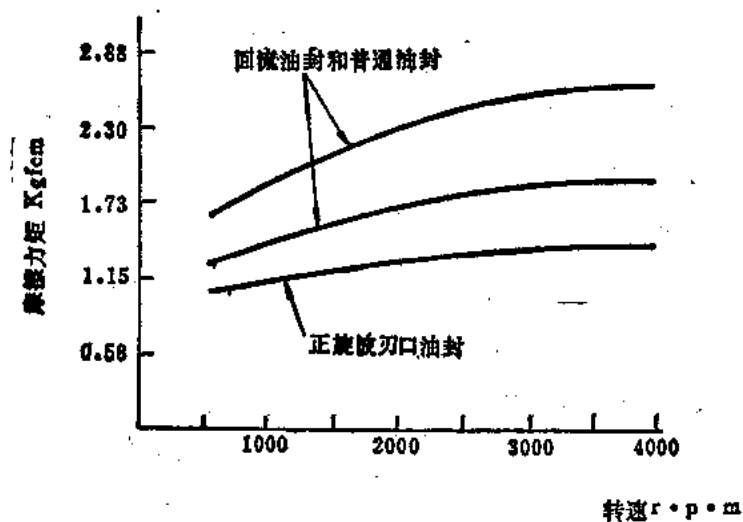


图 4—26 正弦波形刃口回流油封与其他形式油封摩擦力矩的比较

计时，可适当增大接触带的宽度。若此宽度增大 2%，则油封接触宽度 a 将相应增加 200%，即油封的散热范围扩大了。

油封前角大于油封后角，即 $\phi_2 > \phi_1$ 。

第七节 油封的使用

一、油封的寿命与泄漏标准

使用和试验表明，油封的使用寿命，取决于油封的结构、材质、工作介质、工作压力、工作温度以及密封轴的转速与其表面状态（几何精度、光洁度、硬度、润滑状况）等因素。其中最主要的影响因素，是工作温度和转速。

由图 4—11 可见，工作温度超过 100℃ 时，丁腈橡胶油封的寿命，便急剧降低。密封轴的转速，是影响油封使用寿命的另一重要因素。

图 4—27 给出了油封的寿命与密封轴线速度的关系。由图可见，线速度愈高，油封的寿命愈短。

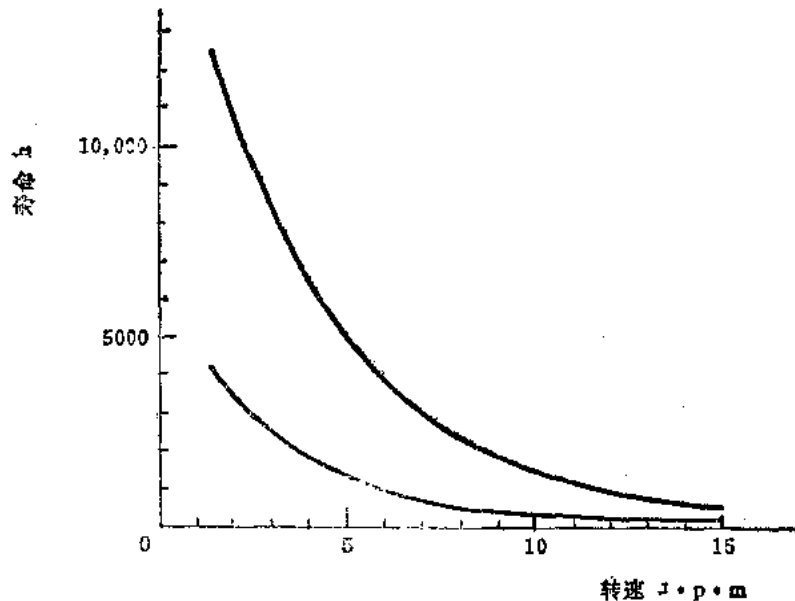


图 4—27 油封的使用寿命与轴转速的关系

关于油封的使用寿命，一般认为，使用不到 100 小时，发生泄漏者，为低寿命；使用在 100~500 小时，发生泄漏者，为中等寿命；使用在 500~1000 小时，发生泄漏者，为高寿命；使用超过 1000 小时，发生泄漏者，为特高寿命。国外一般汽车用油封使用寿命要求达 10 万公里，有的可达 15 万公里以上，若按小汽车平均转速 6000 转/分作台架试验，最少要作 1000 小时。

油封是属动密封元件。从密封原理可知，“临界油膜”的存在，是油封密封的充分而必要的条件。无泄漏密封是不允许的，也是不可能的。因为润滑油膜的存在，是保证油封刃口实现润滑摩擦，所必不可缺的。而润滑油膜的存在，一定量的泄漏又是不可避免的。

旋转用油封，在使用过程中，如果在运转初期的 50~100 小时之内，发生微量的泄

漏是允许的。随运转时间的加长，渗漏会逐渐停止，而往往这样油封的寿命比较长。经验表明，为避免油封运转初期的微量渗漏，而采取过大径向压力，即采取过大的油封刃口过盈量和过短弹簧的做法，是错误的。因为过大的径向压力，会使油封刃口接触带发生干摩擦而烧毁。

在正常情况下，衡量和评价油封使用寿命的标准，是油封的允许泄漏量。目前，我国尚缺乏这方面的经验积累。表4—24是部分国家的某些规范中规定的油封允许泄漏量。

表4—24 国外对油封允许泄漏量的规定

国别	标准代号	允许泄漏量	附注
美国	SAE J1100—1974 (汽车技术协会规范)	泄漏分类： (1) 从空气侧看不到轴与密封唇口间泄漏 (2) 许可有微量泄漏 (3) 密封外壳与唇口湿润 (4) 密封的接合板下没有油，试验后油封接触部分的硬度±10IRHD以下，材料的抗拉应变不低于50%，弹簧负载不得降低10%	—
	MIL-S-45005A(美军规范) 福特汽车公司规范 工程机械公司规范	0.5ml/24h, 停车不得泄漏 1 ml/24h 0.5ml/5h	合每小时1滴 合每小时1滴 合每小时1滴
	美刊《机械设计》	大多数油封为0.002g/h (每11小时1滴) 少数油封为0.002~0.1g/h	占80% 占15%
英国	BS 1399—1970	6个油封不允许超过6g/24h, 1个油封不允许超过1g/24h	—
西德	DIN 3700	未做规定	—
日本	JIS B2402	不允许漏油(指常温下不得有滴油、飞溅和渗润)	—
	菲亚特公司标准	每个油封0.03ml/h	—

注：0.05ml约合一滴。

二、油封的泄漏与防止

油封在有效使用期限内，不超出规定范围的正常泄漏是允许的。否则，是不允许的，必须找出原因，予以克服。

使用经验表明，尽管油封泄漏的原因多种多样，但如果归纳一下，则可用图4—28表示。表4—25所列为油封常见故障原因与排除方法。

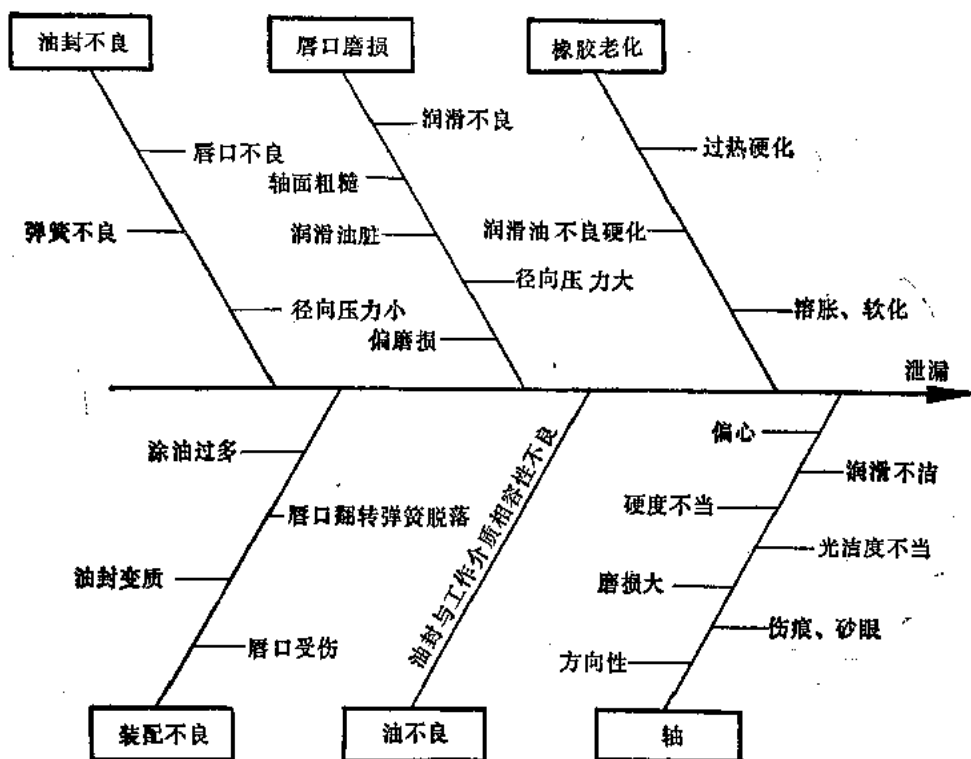


图 4—28 油封泄漏原因分析图

表 4—25 油封的常见故障、原因及排除方法

故 障	原 因	排 除 方 法
(1) 油封不良		
① 唇口不良, 早期泄漏	制造质量不佳, 刃口有毛刺或缺陷	去除毛刺或更换油封
② 弹簧质量不佳或失效, 早期泄漏	制造质量不佳	更换油封弹簧
③ 径向压力过小, 早期泄漏	弹簧过松, 抱紧力过小	调整油封弹簧
(2) 装配不良		
① 唇口有明显伤痕, 早期泄漏	装配时, 油封通过键槽或螺纹, 划伤唇口	更换油封; 重新装油封时, 要用护套, 以保护油封唇口
② 油封呈螺旋状变形	油封安装工具不当	重新设计、制造油封安装工具
③ 油封唇口逆装配方向翻转或弹簧脱落, 机器即发生泄漏	轴端倒角不当, 光洁度过低, 或装配用劲过大, 致使油封唇部翻转或弹簧脱落	用细砂纸打磨轴端倒角, 涂敷油脂, 小心安装
④ 油封唇部与轴表面涂敷油脂过多, 早期泄漏	装配时, 油封唇部与轴表面涂敷油脂过多	待轴运转一定时间后, 油脂即可减少而恢复正常

(续)

故 障	原 因	排 除 方 法
<p>(3) 唇口磨损</p> <p>① 润滑不良, 唇口工作面磨损严重, 宽度超过 1/3 以上, 呈现无光泽</p> <p>② 轴表面光洁度低于 $\nabla 8$</p> <p>③ 润滑油含有灰尘、杂质或无防尘装置, 灰尘、异物等侵入</p> <p>④ 唇口径向压力太大, 油膜中断, 发生干摩擦</p> <p>⑤ 安装偏心, 唇口滑动面出现异常磨损, 最大与最小磨损宽度呈对称分布; 主唇与副唇滑动面磨损痕迹的大小, 两者虽各自呈对称分布, 但大小位置相反</p>	<p>润滑不良, 唇口发生干摩擦</p> <p>轴表面光洁度低, 唇口磨损严重, 早期泄漏</p> <p>用油不洁, 液压管路系统太脏; 因灰尘等侵入唇部, 引起异常磨损; 轴上粘附粉末硬粒; 装配时, 铁屑等刺入唇口; 铸件型砂侵入唇口; 轴上或油封唇口误涂漆料; 油封弹簧抱得过紧</p> <p>箱体、端盖、轴不同心, 致使油封偏心运转; 油封座孔过小, 不适当地压入油封, 以致倾斜</p>	<p>保证润滑 (图 4-29)</p> <p>提高轴表面光洁度到 $\nabla 8$ 以上</p> <p>保证润滑油清洁, 加强管路系统清理; 为了防止灰尘等侵入唇部, 增设防尘装置; 装配时注意清洁, 去除误涂的漆料</p> <p>调整油封弹簧</p> <p>保证箱体、端盖、轴的同心率要求; 保证油封座孔尺寸要求</p>
<p>(4) 油封与工作介质相容性不良, 唇口软化、溶胀或硬化、龟裂</p>	<p>工作介质不适当</p>	<p>根据油封材料选用适宜的工作介质或根据工作介质选用适宜的油封材料</p>
<p>(5) 橡胶老化</p> <p>① 唇部过热硬化或龟裂</p> <p>② 润滑不良, 唇部硬化龟裂</p> <p>③ 唇部溶胀、软化</p>	<p>工作介质温度高于设计值, 超过橡胶的耐用限度</p> <p>润滑不良, 发生干摩擦</p> <p>橡胶对工作介质的相容性差; 油封长时间浸于洗油或汽油中, 使唇口溶胀</p>	<p>降低工作介质温度, 或换用耐热橡胶油封</p> <p>保证润滑</p> <p>选用相容于工作介质的橡胶材料或选用适于橡胶材料的工作介质; 不得用洗油或汽油清洗油封</p>
<p>(6) 轴</p> <p>① 表面光洁度, 低于 $\nabla 8$ 或高于 $\nabla 11$</p>	<p>表面粗糙, 磨损严重; 表面太光, 润滑油膜难以形成和保持, 发生干摩擦</p>	<p>提高表面光洁度到 $\nabla 8$ 以上; 降低表面光洁度至 $\nabla 11$ 以下</p>

(续)

故障	原因	排除方法
② 表面硬度不当, 高于HRC40	试验表明, 轴表面硬度高于HRC40时反而加速轴的磨损(表面镀铬除外)	表面硬度保持在HRC30~40, 表面镀铬最好
③ 润滑油含有杂质, 表面磨损严重	润滑油不清洁	保证润滑油清洁
④ 偏心过大, 轴径向摆动时有响声	轴承偏心; 轴本身偏心	更换轴承 改用耐偏心型油封
⑤ 唇口处有灰尘, 轴表面磨损严重	轴表面不洁, 粘附灰尘颗粒, 侵入油封唇口, 磨损轴表面; 侵入铸造型砂, 磨损轴表面; 外部侵入灰尘, 磨损轴表面; 润滑油劣化, 生成氧化物, 侵入油封唇口, 磨损轴表面	保证轴表面及油封等清洁; 为了防止外部侵入灰尘, 设置防尘装置; 改用优质润滑油
⑥ 轴的滑动表面有伤痕或砂眼	轴表面有工艺性龟裂或腐蚀点等, 加剧磨损而泄漏; 轴表面的伤痕、沙眼等与油封唇口之间形成间隙而泄漏; 轴表面划伤或碰伤	保证轴表面质量, 且勿磕碰
⑦ 轴表面的滑动部分有方向性的加工痕迹	轴表面留有微细螺旋旋槽等车削或磨削加工痕迹, 形成泵吸作用而泄漏	注意轴表精加工工艺, 试验证明, 采用直径为0.05毫米的小玻璃球进行喷丸处理最

油封刃口处“临界油膜”的存在, 对减小油封刃口磨损、增长油封的寿命, 是十分有益的。尤其当几个油封并列使用时, 更应特别注意润滑油(脂)的供给。否则, 将因缺油, 形成干摩擦, 致使油封被烧坏。锂基润滑脂最好。为保持润滑脂的清洁, 及时排除油脂中积存灰尘或其他有害杂质, 定期更换润滑脂是重要的。因此, 从结构的设计上, 必须留有注油孔和排油孔(图4-29)。为防止油封密封腔的温度升高, 开设通气孔, 有时也是重要的。

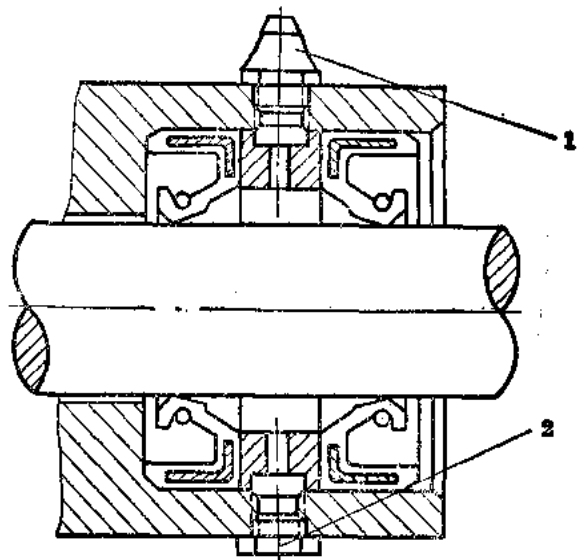


图4-29 润滑油的加注与排出
1—注油嘴; 2—排油堵

三、油封的安装与拆卸

油封的安装质量，对它的性能与寿命，具有不容忽视的影响。油封的高质量安装，可以使油封的安装偏心量和油封与轴心线的相交度最小，且保证油封刃口不受损伤。

专用工具的使用，是保证油封装配质量的重要手段。也是文明生产的有力标志。棒打锤敲的粗野作法，应绝对禁止。

1. 油封装入座孔的方法

油封装入座孔较为合理的方法是，采用专用的工具，均匀地将油封从正面或背面缓慢地压入座孔中（图4—30）。安装前，在两者接触面上涂以润滑油。

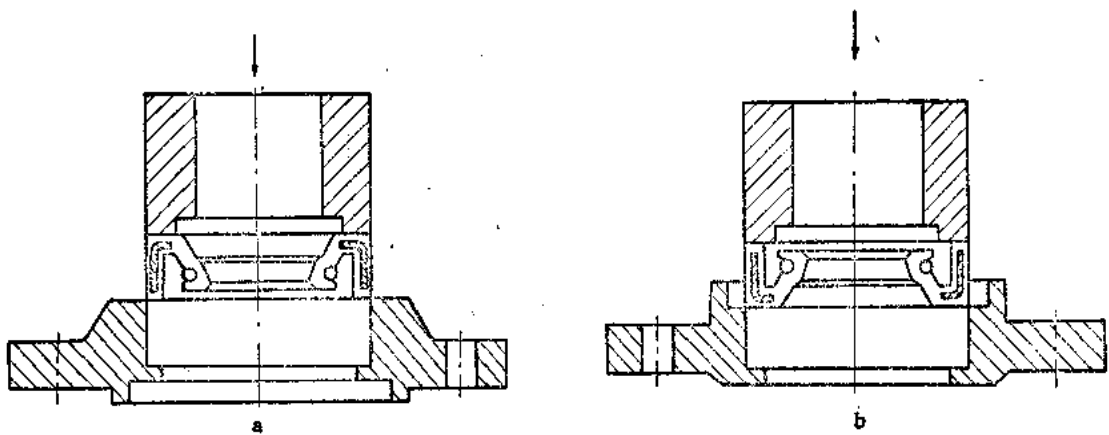


图4—30 油封装入座孔的方法

2. 油封对轴的安装方法

油封装入座孔后，应随即将其套入密封轴上。此时特别注意保护油封刃口。

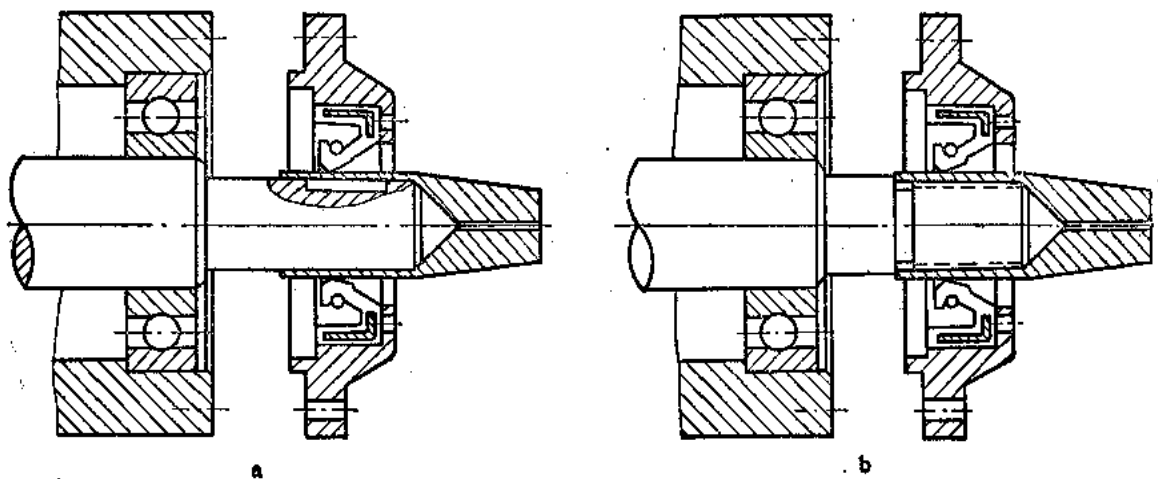


图4—31 油封对轴的安装方法

使其通过螺纹、键槽、花键等的时候，不受划伤。为此，专用的安装工具（图 4—31），是必不可缺少的。安装时，在轴上与油封刃口处，一定涂敷润滑油，防止油封在初运转时，发生干摩擦而使刃口烧坏。此时，尤其要注意的是，严防油封弹簧脱落。

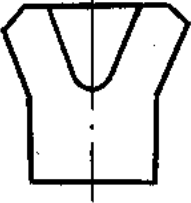
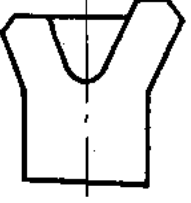
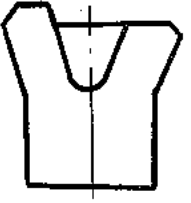
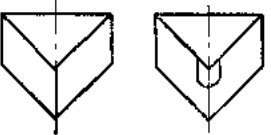
第五章 唇形密封圈

唇形密封圈是指密封部位具有各种唇形密封断面的环形密封圈。最初的唇形密封圈是用皮革制作的，因此，国内通常叫密封皮碗。这种类型的密封圈主要用于往复运动的活塞、柱塞或活塞杆等处的往复运动密封装置。由于唇部具有弹力，安装后在无压情况下，依靠唇口变形的反作用力实现密封。当有压力时，在液体压力作用下，使密封唇口对工作表面产生更大的密封压力，保证压力下的可靠密封。

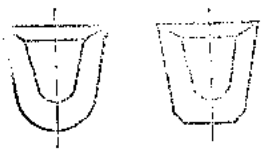



唇形密封圈的应用范围很广，既适用于大中小直径的活塞和柱塞的密封，也适用于高低速往复运动和低速旋转运动的密封。

唇形密封圈种类很多（表5—1），主要有V形、Y形、U形、L形和J形等。

表5—1 唇形密封圈的结构形式、特点与应用

形 状	名 称	特 点 与 应 用	
	Y形	适用于苛刻的工作条件，在压力波动很大时，需并用支承圈	使用压力：丁腈胶在140公斤力/厘米 ² 以下，若在140~300公斤力/厘米 ² 时，需加挡圈，聚氨酯橡胶在300公斤力/厘米 ² 以下，若在300~700公斤力/厘米 ² 时，需加挡圈
	孔用 Yx形	适用于表面滑动，一般不用支承圈，摩擦系数较小，安装简便	
	轴用 Yx形	适用于内面滑动，其余同上	
	V形	耐压和耐磨性好，可根据压力大小重叠使用。有纯胶和夹布两种。纯胶压力为300公斤力/厘米 ² ，夹布压力为600公斤力/厘米 ² ，适用于水压、油压的往复运动密封	

(续)

形状	名称	特点与应用
	U形	有纯胶和夹布两种。纯胶压力为100公斤力/厘米 ² ，夹布压力为320公斤力/厘米 ² 适用于低速、水压、油压的往复运动密封。缓慢旋转亦可用
	L形	适用于低、中油压、水压和空压机的活塞密封
	J形	适用于低、中油压、水压和空压机的活塞杆密封
	T形	适用于油压、水压和空压机的活塞杆处，防止灰尘等侵入

第一节 V形密封圈

V形密封圈系指断面形状呈“V”字形的唇形密封圈。它是唇形密封圈中应用最早、最广泛的一种(图5-1)。根据采用的材质不同，V形密封圈又分为V形夹织物橡胶密封圈、V形橡胶密封圈(图5-1a)和V形塑料密封圈(图5-1b)。目前，我国采用最多的是V形夹织物橡胶密封圈，分为A型与B型。A型密封圈适用工作压力小于或等于500公斤力/厘米²，使用温度为-20~+80℃，运动速度为0.5米/秒或更高；B型密封圈的断面比A型小些，适用于直径小于或等于250毫米密封装置。

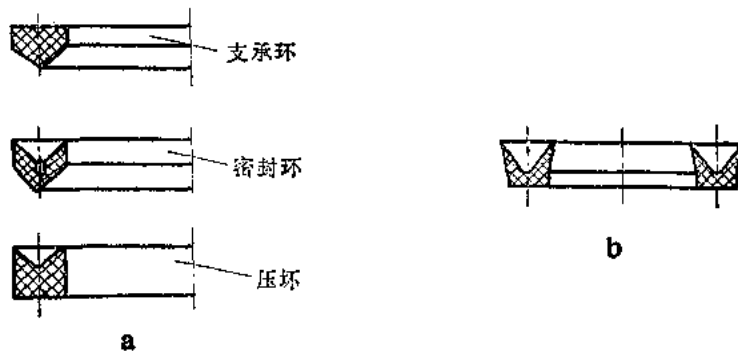


图5-1 V形密封圈

一、结构特点

(1) V形夹织物橡胶密封圈(图5—1a)是由一个压环,数个重叠的密封环和一个支承环组成。在使用时必须将这三部分有机的组合起来,不能单独使用。与其他类型密封圈的不同点是,松紧程度可以进行调节(图5—2)。压环和支承环可以直接从标准中选用。也可根据密封部位的具体要求进行设计。

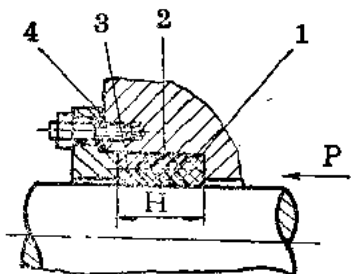


图5—2 V形密封圈装置

1—支承环; 2—密封环;
3—压环; 4—调整垫圈

采用V形密封圈时,首先要确定重叠密封环的数量。密封环重叠个数与介质的工作压力和柱塞(或活塞)直径大小有关;压力越高,直径越大,密封环重叠的个数就越多。当公称直径 D_z 小于或等于45毫米时,可参照表5—2之规定选取。

表5—2 密封环的个数与工作压力的关系

压力 Kgf/cm^2	63	100	200	320	400	500
个数	2—3	3	3	3	4	5

当公称直径 D_z 大于或等于50~2000毫米时,可参照表5—3之规定选取。

表5—3 密封环的个数与工作压力、公称直径的关系

公称内径 D_z	B	工作压力 Kgf/cm^2											
		63		100		200		320		400		500	
		n	H	n	H	n	H	n	H	n	H	n	H
50~100	12.5	3	23.2	3	33.2	4	38.5	5	43.8	6	49.1	7	54.4
120~300	15	3	40.5	3	40.5	4	45.9	5	53.3	6	59.1	7	66.1
320~650	20	3	52.2	4	60.7	5	69.2	6	77.7	7	86.2	8	94.7
730~1420	25	4	76	5	86.6	6	97.2	7	107.8	8	118.4	9	129
1500~2000	30	5	103.4	6	116.1	7	128.8	8	141.5	9	154.2	10	166.9

注: 1.表中B为密封环断面宽度。 2. n为密封环个数。

在V形密封圈装置中真正起密封作用的是密封环,而压环和支承环仅仅起支持作用。这种密封形式在高低压及无压情况下均能获得良好的密封性能。

V形密封圈的缺点是,结构复杂,需配用压环与支承环,体积大,摩擦阻力大,密封性能不稳定,随所用密封圈个数的多少,而急剧变化。

图5—3所示为V形密封圈重叠使用的个数与泄漏量,摩擦阻力的关系。由图可以看出,所用密封圈的个数越多,泄漏量虽小,但摩擦力却急剧增大。即V形密封圈的

密封性和摩擦阻力成正比。这是V形密封圈的致命缺点。

(2) V形圈用于柱塞密封，即使在偏心负荷的作用下做偏心运动，仍可获得满意的密封效果。这一点优于其它形式的密封。

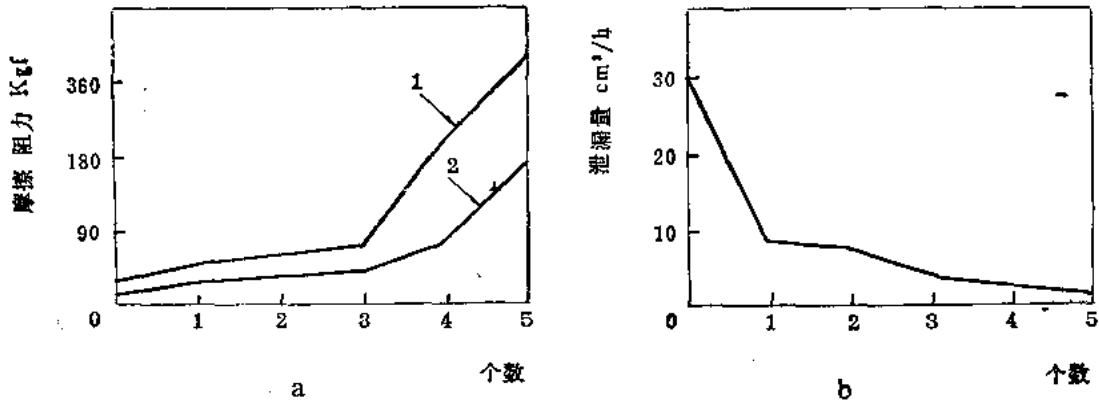


图 5—3 V形密封环的重叠个数和摩擦阻力及泄漏量的关系
1—压力 $p=210 \text{ Kg/cm}^2$; 2—压力 $p=0$

(3) V形密封圈具有增紧作用。因此，当密封圈磨损，变形和偏心运行出现有泄漏现象时，只要采取增减调整垫片，拧紧压盖螺栓改变其紧固力，即可使之消除（图 5—2）。

(4) 活塞用V形密封圈，因其尺寸较大，更换装卸不便，现已很少采用。

(5) V形夹织物橡胶密封圈，可以整体使用，也可以切口或用条料卷成使用。整体使用的尺寸，一般最大到400毫米左右。

当柱塞直径 D 大于或等于50毫米时，可以切口使用，这样给装卸带来方便。

二、设计原则

1. 密封环，支承环和压环

V形密封环安装在支承环和压环之间（图 5—4），通过压盖用螺栓固紧。在有液体压力作用时，由于压环紧紧地支承着密封环，防止了密封环的挤出。因此，它们的制作精度要求较高，压环和支承环断面的V形角应和密封环断面的V形角相等。密封环角度一般做成 90° 。故此压环和支承环V形角度也做成 90° 。在工作压力较低、摩擦阻力较小的情况下，压环和支承环的V形角度可做得大一些，一般取 $90^\circ \sim 100^\circ$ 。压环是密封圈的重要支承部分，所以设计时它应比支承环厚些，坚固些，尺寸精度高些。在设计支承环时，为使液体压力能充分作

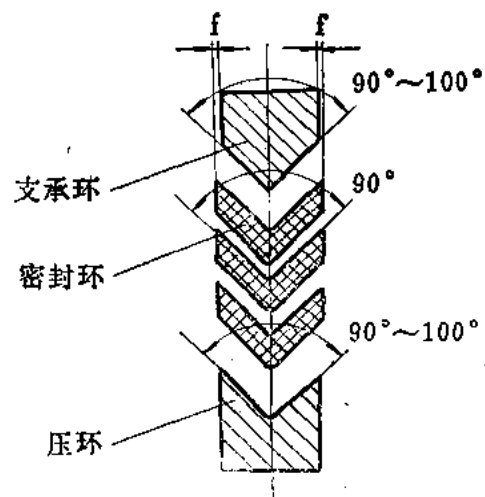


图 5—4 V形密封环断面设计

用到密封环的受压面上,以使密封唇很好地展开,支承环应与柱塞和缸壁之间形成一定的间隙 f (图5-4),一般 f 值取为0.25~0.4毫米,或者在支承环上开设油孔等。

压环与柱塞和缸壁之间的间隙应尽可能小些。若间隙过大,在液体压力作用下,会将密封环挤入间隙造成过早损伤而泄漏,对软材质的密封环的情况则更严重。间隙的大小与密封环材质硬度有密切关系,如采用夹织物橡胶、硬质橡胶和皮革密封圈时,间隙值可以取大些。其中夹织物橡胶密封圈和皮革密封圈的耐压性好,不易挤入间隙。

在采用不同材质的V形密封圈时,其间隙可参考表5-4给出的密封圈最大允许径向间隙选取。

压环和支承环的材料,可选用铝青铜 ZQAl9-4、普通碳钢、尼龙或聚四氟乙稀等。

2. 密封间槽与导角

V形夹织物橡胶密封圈,是由压环,密封环和支承环组合起来装入密封沟槽中,形成对轴或孔的密封(图5-5)。

V形密封圈名义安装高度 H 的计算。表5-3列出了相应圈数下的 H 值,当选用表5-3以外的圈数时,可按下式计算:

$$H = H_2 + h_1 + (n-1)h_2 + h_3 + 0.26(R-r) - c(5-1)$$

式中 H ——V形密封圈高度(毫米);

表5-4 V形圈最大许用径向间隙

mm

V形圈		工作压力 Kgf/cm^2		
材 质	公称直径	0~25	>25~200	>200
夹 织 物 橡 胶 密 封 圈	<80	0.152	0.102	—
	80~200	0.203	0.152	—
	200~250	0.254	0.203	—
	250~300	0.305	0.254	—
皮 革 密 封 圈	<80	0.152	0.102	0.076
	80~200	0.203	0.152	0.102
	200~250	0.254	0.203	0.127
	250~300	0.305	0.254	0.152
	300~400	0.356	0.305	0.178
	400~600	0.406	0.356	0.203
橡 胶 密 封 圈	<25	0.152	0.127	—
	25~50	0.178	0.152	—
	50~125	0.229	0.178	—
	125~400	0.229	0.203	—

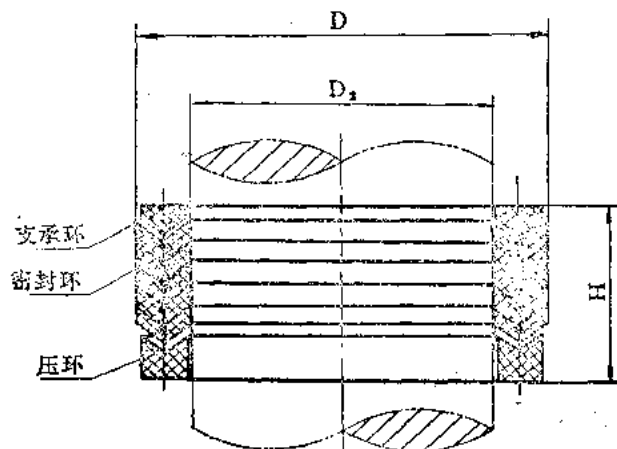


图 5—5 V形密封圈的组装

- h_1 ——支承环侧部高度 (毫米);
- h_2 ——密封环侧部高度 (毫米);
- n ——V形密封环个数;
- h_3 ——压环底部高度 (毫米);
- R ——V形密封环底部半径 (毫米);
- r ——压环上部半径 (毫米);
- c ——常数。当 $B = 12.5$ 毫米时, $c = 0.5$ 毫米; 当 $B = 15 \sim 30$ 毫米时, $c = 1$ 毫米。

V形密封圈的总高度是确定开设的密封沟槽高度的重要依据, 一般按表中规定选取, 也可按上式进行计算。

为便于安装密封圈并防止唇口损伤, 密封沟槽入口处应制成 $20^\circ \sim 30^\circ$ 的引入倒角 (图 5—6a) 或制成半径为 $0.5 \sim 1.5$ 毫米的圆角。也可做成如图 5—6b、图 5—6c 所示的梯形台阶, 配上专用的导套, 使密封圈易于装入。图 5—6b 是不带螺纹导套引入 V 形圈安装的结构形式, 图 5—6c 是带螺纹导套引入 V 形圈安装的结构形式。

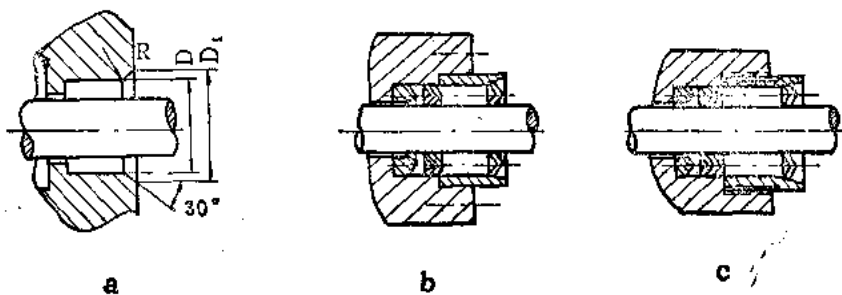


图 5—6 V形圈密封沟槽入口处的结构

a. 倒角装入 V 形圈的结构形式; b. 导套引入 V 形圈的结构形式; c. 带螺纹导套引入 V 形圈的结构形式

3. 与 V 形圈接触的滑动表面光洁度

一般认为 V 形密封圈与其它形式的密封圈相比, 其对应的滑动表面光洁度可以低

一些，这是因为V形密封圈唇部具有较强的增紧与补偿作用。当然，过分粗糙的滑动表面会使V形密封圈唇部加速磨损，使用寿命降低。因此，V形密封圈要求与它相接触的滑动表面应有合适的光洁度。V形密封圈的材质不同，对光洁度的要求也不一样。夹织物橡胶密封圈所要求的滑动表面光洁度是，柱塞表面一般为 $\nabla 7\sim 8$ ，不能低于 $\nabla 7$ ；缸筒内表面及活塞杆表面一般不低于 $\nabla 9$ 。橡胶密封圈要求滑动表面光洁度不低于 $\nabla 9$ 。当滑动表面加工得过于光滑时，由于润滑油膜容易被擦去，而导致密封圈唇口过早磨损。

三、异形V形密封圈

除前面介绍的几种V形密封圈外，设计者还可以根据不同结构和使用要求设计出其它异形密封圈，这是因为夹织物橡胶密封圈和橡胶密封圈均可用金属模具压制出所需要的各种形状。图5—7给出几种异形V形密封圈断面结构形式。

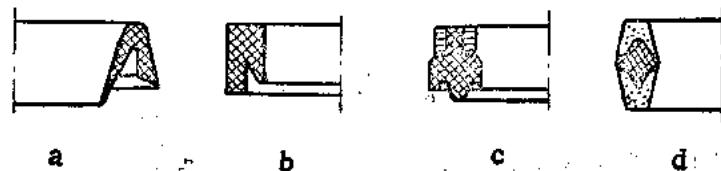


图5—7 异形V形圈断面结构形式

图5—7a所示是唇部厚度薄而长的V形密封圈。由于唇部柔软，密封接触应力较小，故此摩擦阻力小。但低压时泄漏量较大。

图5—7b与图5—7c所示是耐冲击力的密封圈，适用于剧烈的运动条件。

图5—7d所示密封圈是由中间的弹性橡胶体与两侧的强韧夹布橡胶体组成，适用于往复运动，寿命很高。

四、V形密封圈的安装

V形密封圈在安装前，首先要检查密封圈是否符合质量要求，例如，内侧V形槽的底部不应有裂纹，唇边不应有损伤等。其次，要检查被密封部位相关零件尺寸精度和光洁度是否达到设计要求。

V形密封圈在安装过程中，为防止划伤密封圈，要避免先将密封圈放进密封沟槽后再让柱塞或活塞杆从内孔穿过的办法。因为先装密封圈会使其内径变小，柱塞便难以装进。如果强行安装，则容易造成损伤。正确的安装办法是将V形密封圈一只一只细心地穿进柱塞或活塞杆后，再装入密封沟槽中，用压盖锁紧固定。

V形密封圈装入沟槽时，往往因空气堵在密封环之间使之难以装进。因此，应设法排出空气。一般采用勺状的工具进行安装调节，但要求工具端面必须加工光滑，以防止损伤密封圈。

V形夹织物橡胶密封圈的密封环，既可整体使用又可切口使用。整体使用者多为中小直径范围，对于大直径者多采用切口办法安装，这样可避免密封圈本身尺寸误差引起

过分箍紧柱塞，或者压紧沟槽内径造成的一侧出现间隙而泄漏的现象。切口使用时， 45° 的剖切角可保证密封环在液体压力作用下越压越紧，达到良好的密封效果。安装切口密封环时，应使相邻密封环的切口相互成 90° 角交错配置。如果密封环数量只有两个，则以 180° 角交错配置。当选用的标准规格不能满足设计要求时，可选用相邻较大一档的规格以 45° 剖口切去一段使用。注意，纯橡胶材料的V形密封圈不能切口使用。

在使用V形夹织物橡胶密封圈时，当活塞或柱塞直径大于45毫米时，其配合关系可按图5-8a与图5-8b选取。

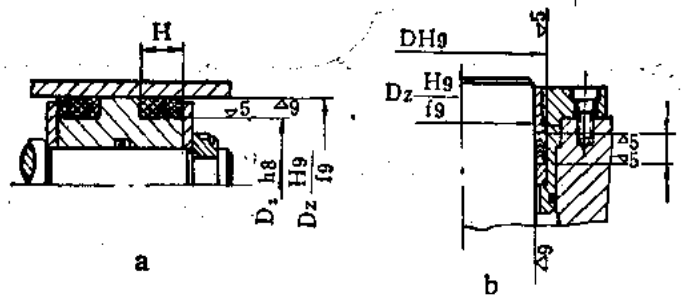


图5-8 V形夹织物橡胶密封圈与活塞及柱塞的配合

当活塞或柱塞直径小于或等于45毫米时，其配合关系可按图5-9a与图5-9b选取。

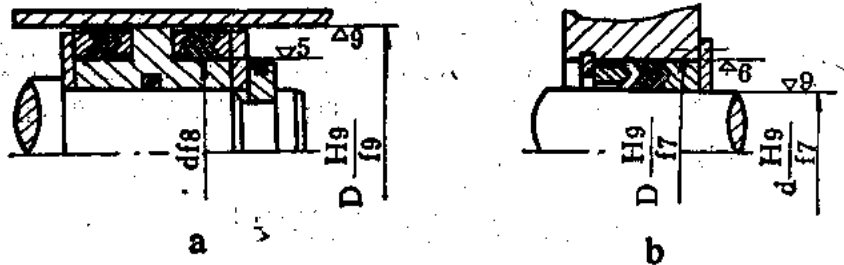


图5-9 V形夹织物橡胶密封圈与活塞及柱塞的配合

安装小直径V形密封圈的例子如图5-10所示。V形密封圈是靠螺纹压盖压紧，为

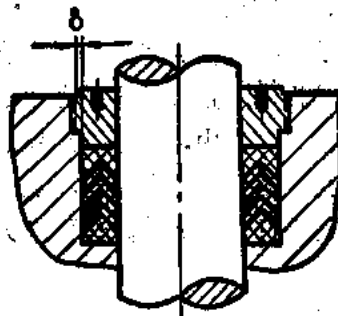


图5-10 小直径密封圈装配示例

防止在装入密封圈时损伤唇口，螺纹内径应与密封圈外径保持一定的间隙，此间隙 δ ，一般取大于或等于1.5毫米。为使扭转力不直接传到密封圈上，应采用压盖与压环制成分离的结构。

安装大直径密封圈的例子如图5—11所示。采用大直径密封圈时，一般是通过压盖与螺栓压紧。用螺栓紧固时，可以采取增减调整垫片厚度的办法，实现调节压紧力，使之达到理想的密封效果。

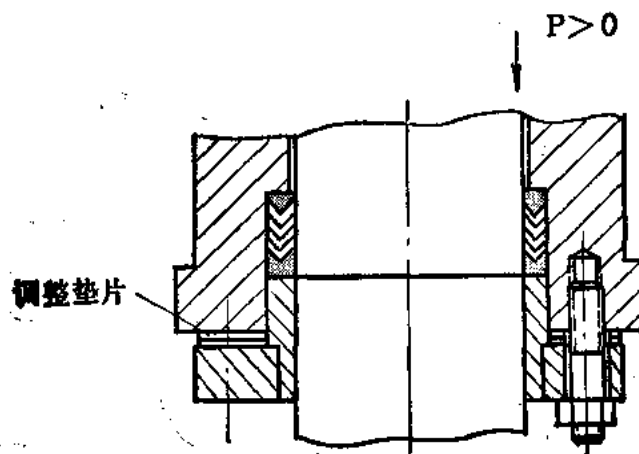
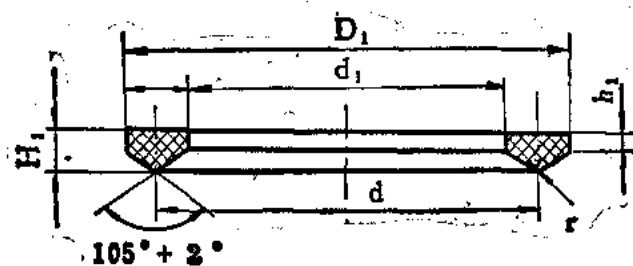


图5—11 大直径密封圈装配示例

五、标准化

我国所采用的V形密封圈多是夹织物橡胶V形圈，有较长的使用历史和使用经验。化工部标准HG4—337—66《V形夹织物橡胶密封圈》规定，V形密封圈分为A、B两种类型，各由支承环，密封环，压环三种部件组成，其结构、规格尺寸公差等见表5—5～表5—8。

表5—5 A型支承环的形状与尺寸系列 (HG4—337—66)



标记示例:

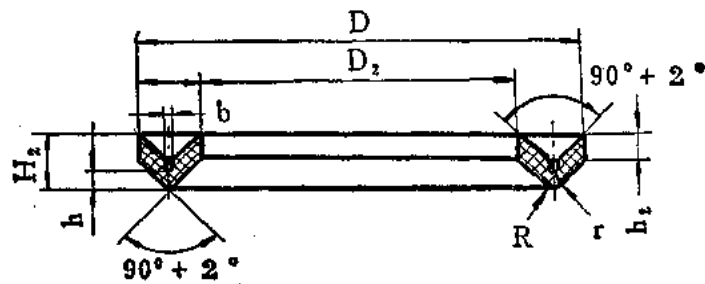
公称内径 $D_z = 160$ ，材料为ZQAl9—4的A型支承环，记为
 支承环A160 ZQAl9—4 HG4—337—66

Dz	d	D_1	d_1	B_0	H_1	h_1	r
50	62.5	74	51				
(55)	67.5	79	56				
60	72.5	84	61				
65	77.5	89	66				
70	82.5	94	71				
75	87.5	99	76	$11.5^{+0.4}_{-0.3}$	8	4	1.25
80	92.5	104	81				
85	97.5	109	86				
90	102.5	114	91				
(95)	107.5	119	96				
100	112.5	124	101				
(110)	125	138	112				
120	135	148	122				
130	145	158	132				
140	155	168	142				
160	175	188	162				
170	185	198	172				
180	195	208	182				
200	215	228	202	$13^{-0.7}_{+0.5}$	10	5.5	2
(220)	235	248	222				
230	245	258	232				
260	275	288	262				
270	285	298	272				
(280)	295	308	282				
300	315	328	302				
320	340	358	322				
360	380	398	362				
(380)	400	418	382				
400	420	438	402				
(420)	440	458	422				
450	470	488	452	$18^{+0.7}_{-0.5}$	12	5.6	2
520	540	558	522				
(560)	580	598	562				
580	600	618	582				
(630)	650	668	632				

(续)

D_z	d	D_1	d_1	B_0	H_1	h_1	r
650 (700)	670 720	688 738	652 702	$18^{+0.7}_{-0.5}$	12	5.6	2
730	755	778	732	$23^{+1}_{-0.7}$	15	7	3
820	845	868	822				
870	895	918	872				
920	945	968	922				
980	1005	1028	982				
1020	1045	1068	1022				
1080	1105	1128	1082				
1140	1165	1188	1142				
1200	1225	1248	1202				
1280	1305	1328	1282				
1350	1375	1398	1352				
1420	1445	1468	1422				
1500	1530	1558	1502	$28^{+1}_{-0.7}$	18	8	3
1600	1630	1658	1602				
1800	1830	1858	1802				
2000	2030	2058	2002				

表 5—6 A型密封环的形状与尺寸系列 (HG4—337—66)



标记示例:

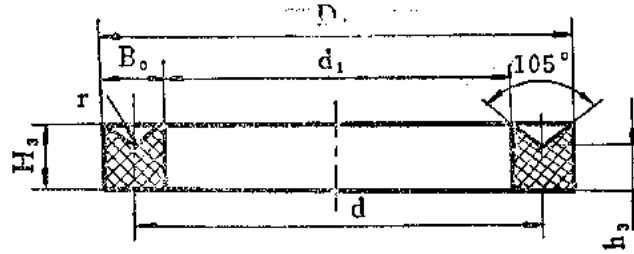
公称内径 $D_z = 160$, 材料为耐油橡胶 I—1 的 A 型密封环, 记为
密封环 A = 160, 橡胶 I—1, HG4—337—66

<i>mm</i>									
D_z	D	B	H_2	h	h_2	b	R	r	D_z, D 允许公差
10	26								
12	28								
16	32	8	6.5	1.5	3.4	1.5	2.25	0.75	± 0.15
18	34								
20	36								
(22)	42								
25	45								
(28)	48								
30	50								
(32)	52	10	8	2	4.2	2	3	1	± 0.6
35	55								
40	60								
45	65								
50	75								
(55)	80								
60	85								
65	90								
70	95								
75	100	$12.5^{+0.4}_{-0.3}$	10	2.5	5.3	2.5	3.75	1.25	± 0.8
80	105								
85	110								
90	115								
(95)	120								
100	125								
(110)	140								
(120)	150								
130	160								
140	170								
160	190								
170	200								
180	210	$15^{+0.7}_{-0.5}$	12	3	6.4	3	4.5	1.5	± 0.8
200	230								
(220)	250								

(续)

D_z	D	B	H_z	h	h_2	b	R	r	D_z, D 允许公差
230	260	$15^{+0.7}_{-0.5}$	12	3	6.4	3	4.5	1.5	± 0.8
260	290								
270	300								
(280)	310								
300	330								
320	360	$20^{+0.7}_{-0.5}$	16	4	8.5	4	6	2	± 0.8
360	400								
(380)	420								
400	440								
(420)	460								
450	490								
520	560								
(560)	600								
580	620								
(630)	670								
650	690								
(700)	740								
730	780	$25^{+1.0}_{-0.7}$	20	5	10.6	5	7.5	2.5	± 0.8
820	870								
870	920								
920	970								
980	1030								
1020	1070								
1080	1130								
1140	1190								
1200	1250								
1280	1330								
1350	1400								
1420	1470								
1500	1560	$30^{+1.0}_{-0.7}$	24	6	12.7	6	9	3	± 0.8
1600	1660								
1800	1860								
2000	2060								

表 5—7 A型压环的形状与尺寸系列 (HG4—337—66)



标记示例:

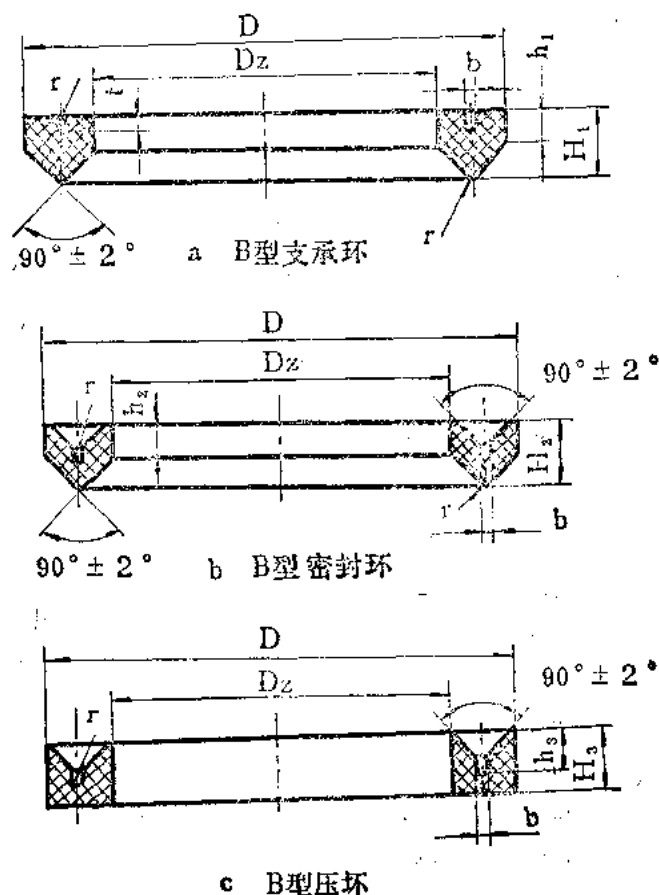
公称内径 $Dz = 160$, 材料为 ZQAl9—4 的 A 型压环, 记为
压环 A160, ZQAl9—4, HG4—337—66

mm							
Dz	d	D_1	d_1	B_0	H_3	h_3	r
50	62.5	74	51	11.5 ^{-0.4} _{+0.3}	12.5	8.4	1.25
(55)	67.5	79	56				
60	72.5	84	61				
65	77.5	89	66				
70	82.5	94	71				
75	87.5	99	76				
80	92.5	104	81				
85	97.5	109	86				
90	102.5	114	91				
95	107.5	119	96				
100	112.5	124	101				
(110)	125	138	112	13 ^{+0.7} _{-0.5}	15	10.5	2
120	135	148	122				
130	145	158	132				
140	155	168	142				
160	175	188	162				
170	185	198	172				
180	195	208	182				
200	215	228	202				
(220)	235	248	222				
230	245	258	232				
260	275	288	262				
270	285	298	272				
280	295	308	282				
300	315	328	302				

(续)

D_z	d	D_1	d_1	B_0	H_s	h_s	r
320	340	358	322				
360	380	398	362				
(380)	400	418	382				
400	420	438	402				
(420)	440	458	422				
450	470	488	452	$18^{+0.7}_{-0.5}$	20	13.6	2
520	540	558	522				
(560)	580	598	562				
580	600	618	582				
(630)	650	668	632				
650	670	688	652				
(700)	720	738	702				
730	755	778	732				
820	845	868	822				
870	895	918	872				
920	945	968	922				
980	1005	1028	982				
1020	1045	1068	1022	$23^{+1.0}_{-0.7}$	25	17	3
1080	1105	1128	1032				
1140	1165	1188	1142				
1200	1225	1248	1202				
1280	1305	1328	1282				
1350	1375	1398	1352				
1420	1445	1468	1422				
1500	1530	1558	1502				
1600	1630	1658	1602				
1800	1830	1858	1802	$28^{+1.0}_{-0.7}$	30	20	3
2000	2030	2058	2002				

表 5—8 B型支承环、密封环、压环的形状与尺寸系列 (HG4—337—66)



标记示例:

公称内径 $Dz=60$, 材料为ZQAl 9—4的B型支承环, 记为
支承环B60 ZQAl 9—4 HG4—337—66

公称内径 $Dz=60$, 材料为耐油橡胶I—1的B型密封环, 记为
密封环B60 橡胶I—4 HG4—337—66

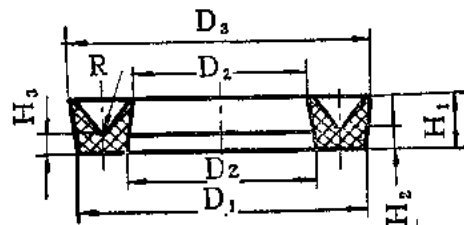
公称内径 $Dz=60$, 材料为ZQAl 9—4的B型压环, 记为
压环B60 ZQAl 9—4 HG4—337—66

D_z		D	b	H_3	H_1, H_2	h_1, h_2	h_3	r	t					
10	±0.5	20	±0.5	2	8	7.9	4.5	5	1	2.5				
12		24									5	4.9	2.3	3
16		30									6	5.6	3	3.5
18		33									7.6			
20		35												
22		38												
25		40												
30		45												
35	±0.6	55	±0.6	2.5	10	9.5	5	6	1.2	2.5				
40		60												
45		65												
50		70												
55		75												
60		80												
65		90												
75		100		3	12	12.4	7	9	2	3				
90		115												
105		130												
125		150												
140		170												
160	190	4	16	15.5	9	12	2.5	4						
180	210													
200	230													
250	280													

V型塑料密封圈，适用于工作压力小于或等于320公斤力/厘米²，工作温度在-10~+60℃，工作介质为油或水条件下的密封。

表5—9列出了V形塑料密封圈的形状，尺寸系列与公差值等。

表5—9 V形塑料密封圈的形状与尺寸系列



标记示例：

公称内径 $D_z = 100$ 、材料为聚氯乙烯的V形塑料密封圈，记为
V形圈100 聚氯乙烯

mm

D_2	D_1	D_2	D_3	D_2, D_1 公差	H_1	H_2	H_3	R	单位 (公斤)
(8)	24	5	27						0.003
10	26	7	29						0.004
12	28	9	31						0.004
14	30	11	33	± 0.3	10	4	3	1.65	0.005
16	32	13	35						0.005
18	34	15	37						0.005
20	36	17	39						0.006
(22)	42	18	46						0.01
25	45	21	49						0.011
(28)	48	24	52						0.012
30	50	26	54	± 0.4	12	5	4	1.65	0.013
(32)	52	28	56						0.013
35	55	31	59						0.014
40	60	36	64						0.016
45	65	41	69						0.017
50	75	45	80						0.031
(55)	80	50	85						0.033
60	85	55	90	± 0.5	14	6	5	1.65	0.036
65	90	60	95						0.038
70	95	65	100						0.041
75	100	70	105						0.043
80	105	75	110						0.046
85	110	80	115						0.048
90	115	85	120	± 0.5	14	6	5	1.65	0.05
95	120	90	125						0.053
100	125	95	130						0.055
110	140	104	146						0.098
120	150	114	156						0.11
130	160	124	166						0.11
140	170	134	176						0.12
150	180	144	186						0.13
160	190	154	196	± 0.6	18	9	8	2.5	0.14

(续)

D_2	D_1	D_2	D_3	D_2, D_1 公差	H_1	H_2	H_3	R	单位 (公斤)
170	200	164	206	± 0.6	18	9	8	2.5	0.15
180	210	174	216						0.15
200	230	194	236						0.17
220	250	214	256						0.18
260	290	254	296						0.22
280	310	274	316						0.23
300	320	294	336						0.25
320	360	312	368						0.47
360	400	352	408						0.52
380	420	372	428	± 0.8	23	11	10	3	0.55
400	440	392	448						0.58

注：带括号者不推荐使用。

〔例〕已知液压缸柱塞直径为360毫米，工作压力为200公斤力/厘米²，缸头部位的密封采用V形夹织物橡胶密封圈(图5—12)。试选出密封圈并标出密封部位的相关尺寸。

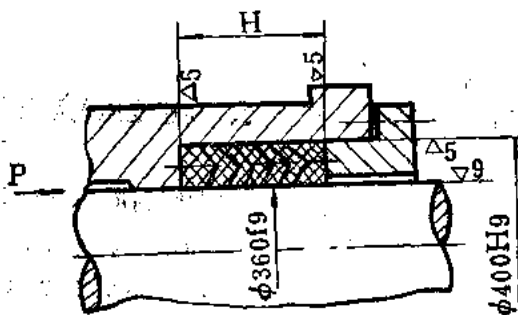


图5—12 V形密封圈的选用

〔解〕根据柱塞直径和工作压力，按表5—3确定密封环个数 $n=5$ ，密封圈总的名义高度 $H=69.2$ 毫米。再根据柱塞直径 $D_2=360$ 毫米，从表5—5、表5—6与表5—7查得支承环A360、密封环A360、压环A360。

与V形密封圈配合的相关尺寸及表面光洁度如图5—12所示。

第二节 Y形密封圈

Y形密封圈是指断面呈“Y”字形的密封圈，是一种新型的唇形密封圈，在国内外获得了广泛地应用。目前，Y形密封圈根据其断面形状和所采用材质的不同，主要可分成两种型式：Y形橡胶密封圈(图5—13a)；小Y形聚氨酯橡胶密封圈(图5—13b、c、d)。

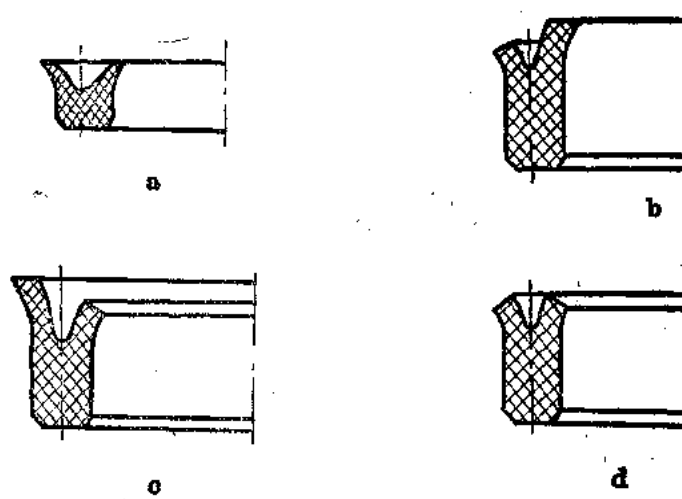


图 5—13 Y形密封圈的型式

一、结构特点

Y形密封圈与其它唇形密封圈相比，具有如下优点：

- (1) 密封性好；
- (2) 工作阻力小，运行平稳；
- (3) 稳定性好，适用于行程长、缸径大、高速变压的液压缸密封装置；
- (4) 密封装置结构简单，成本低廉。

Y形密封圈属于单圈使用即可实现密封的唇形密封圈（5—13a）。因此，Y形密封圈的摩擦阻力小，耐压性好，寿命长，适用于高低压液压、水压、气动机械的往复运动液压缸活塞和活塞杆的密封。在不加挡圈的情况下，可承受 200 公斤力/厘米²的压力，如辅之以挡圈，则可承受 300~700 公斤力/厘米²的压力，使用温度为 -30~+80℃。

二、设计原则

1. 形状效果

Y形密封圈的形状与其密封效果的关系极为密切。

(1) 唇部倒角 理论研究表明，Y形密封圈的外形可以有无穷多地变化。对性能与寿命有重大影响的是Y形圈的底部厚度与唇部长度之间、及唇部厚度与槽谷深度之间的关系。

使用表明，Y形圈前唇面的几何形状对密封效果有极大影响。通过对Y形圈唇部倒角—前唇角 θ （图5—14）的合理选择，可以大大减小泄漏量。试验表明， $\theta > 30^\circ$ 时的泄漏量只有 $\theta = 0^\circ$ 时的一半。其理由是，当用有机玻璃制接触带观察器，观察唇形圈刃口对玻璃轴接触带时，发现前唇角 $\theta > 30^\circ$ 时，唇部刃口对玻璃轴的接触带呈一明晰的连续

直线，密封性好；随着工作介质压力的增高，前唇角 $\theta > 30^\circ$ 的唇部刃口对被密封介质呈一刃边，且这一刃边不易被随同活塞杆或缸体运动的流体所产生的动液压力的作用所抬起，密封可靠。

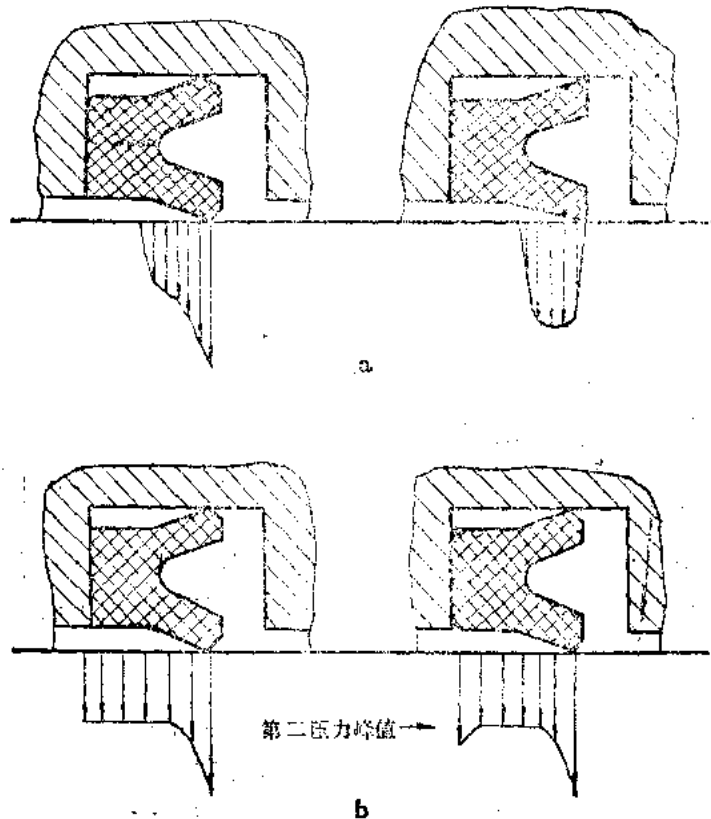


图 5—14 Y形密封圈形状效果的比较

a—唇部形状效果； b—跟部形状效果

唇部倒角可以提高Y形密封圈密封性能的机理，并不难理解。图5--14 a所示为Y形密封圈唇部有、无倒角的密封效果的比较。非常明显，与无倒角者相比，唇部有倒角者，其唇口密封接触带的压力分布有突峰，最能满足唇形密封圈密封的性能要求，因此，密封效果最佳。

(2) 跟部倒角 图5—14 b为Y形密封圈跟部有、无倒角的密封效果的比较。与唇部倒角相反，跟部倒角，在工作压力作用下、导致跟部产生第二压力峰值，阻止油液回流，而使泄漏增多。跟部无倒角者，无第二压力峰值，密封效果好。因此，Y形密封圈，以无跟部倒角者为佳。

2. 不等高唇部

使用试验表明，谷部开裂（图5—14）是Y形密封圈损坏的重要原因。引起唇形圈谷部开裂的主要影响因素是密封圈使用条件苛刻，唇部刚度不足，谷部反复出现应力集

中所造成。因此，除提高唇形圈材料硬度、撕裂强度和扯断强度外，不等高唇部的设计，滑动短唇（图5—15）的采用，是解决Y形圈谷部开裂的行之有效的办法。

不等高唇形圈是小Y形密封圈的一种。

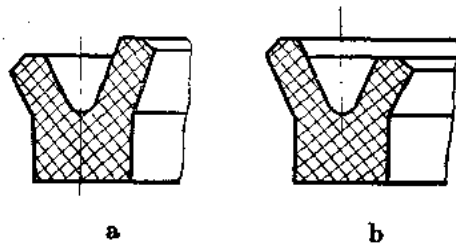


图5—15 不等高唇的Y形密封圈

a—孔用； b—轴用

3. 背压的消除

使用经验表明，由背压而造成的唇形圈的泄漏、损伤故障，是液压缸的最常见的故障之一，为数众多。

(1) 背压的定义 在液压缸活塞上两个背背相对的唇形圈之间，或在液压缸活塞杆与导套之间的两个唇形圈之间，由于它们的往复运动，逐渐产生了积油。随积油的增多

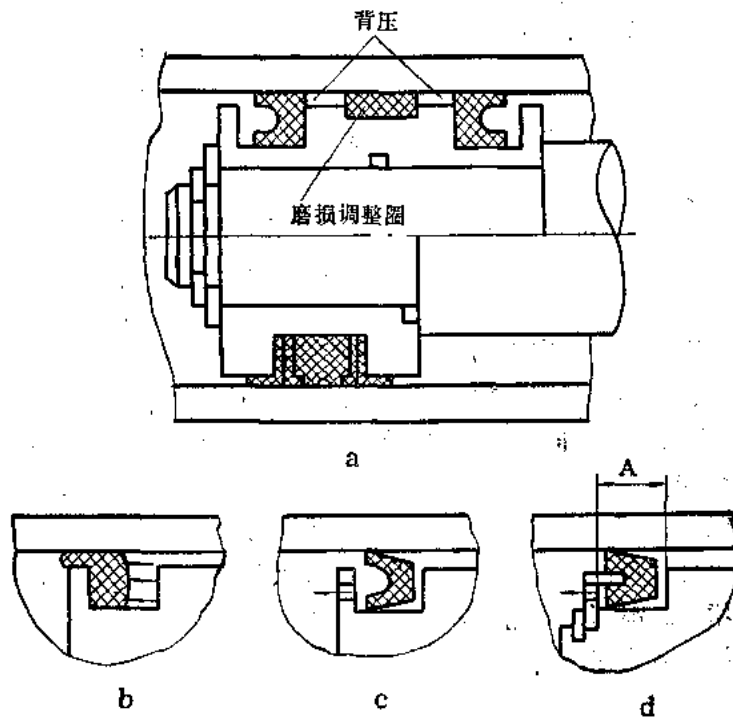


图5—16 Y形密封圈背压的产生和防止以及与复合密封圈的结构比较

而产生相当大的压力，该压力有时甚至会高于工作压力。此种压力都是发生在密封件承压面的背面压力，因此，称之为背压（图5—16）。

（2）背压产生时的现象 唇形圈的背压十分有害，常常把密封圈挤入密封间隙（图5—16 a），而使之发生咬伤，甚至撕裂，或者造成液压缸活塞杆防尘圈，突然从密封沟槽中飞出。活塞密封圈的咬伤或损坏，将造成液压缸动作不良或停机故障。

（3）背压形成的原因 背压形成的根本原因是唇形圈的唇口损伤。图5—17所示为液压缸活塞杆Y形圈与双唇防尘圈之间的背压形成图解。当来自液压缸的压力油，随着活塞杆的外伸运动，将通过损伤的Y形圈唇部，进入两密封件之间的蓄压区。其中一部分，将以油膜形式附着在活塞杆表面上，被带出防尘圈，形成泄漏，而另一部分，被防尘圈所阻留形成积油。随着活塞杆往复运动次数的积累与油液“楔形效应”的加强，蓄压区的压力增加，直至最后把防尘圈切断或挤飞。

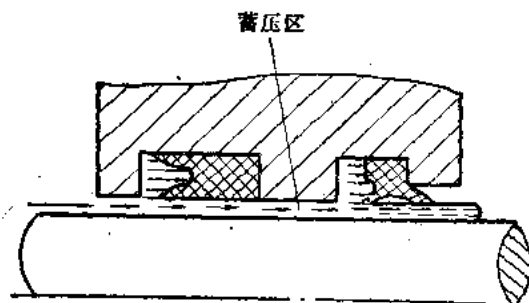


图 5—17 背压成因分析图

①密封圈唇口异常磨损而引起的背压 滑动表面光洁度不佳，是引起密封圈唇口异常磨损的最大影响因素。所谓光洁度不佳，一是指表面光洁度低于 $\nabla 9$ 或高于 $\nabla 11$ ；二是指滑动表面的加工方法。即同样的光洁度，若只经磨削，仍会留下刃口（图5—18 a），加速密封唇口的磨损；而经研磨抛光的滑动表面（图5—18 b），不但去除了表面微观刃口，同时波谷还有利于油膜的保持，所以，可延长密封唇的使用寿命。

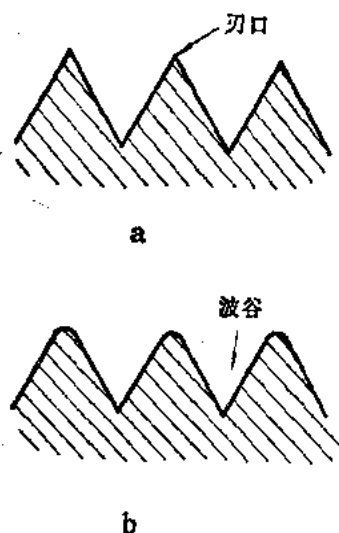


图 5—18 加工方法与表面粗糙度
a—磨削； b—磨削后研磨

密封唇口一旦发生异常磨损，唇部形状就发生不同程度的变化，因而，引起唇口接触压力分布状态的改变，泄漏增多，使阻留于密封件之间的积油产生背压，引起损伤。

②密封圈唇口伤痕引起的背压 一般，在双作用缸活塞上，均装入两个背背相对的密封圈（图5—16）。由于安装时，异物进入，损伤油缸内壁，或因活塞支承面积小，单位压力大，以及活塞

支承材料选择不当等，而卡伤缸体内壁。在这种情况下，往往由于缸体内部损伤，引起密封圈唇口损伤，泄漏增多，产生背压，加剧密封圈损伤。

或者在安装时，密封圈唇口通过缸体内壁的油口、螺纹、台阶，或通过活塞杆端部螺纹、键槽、台阶时被划伤，泄漏增多，产生背压，引起损伤。

此外，在使用铸造活塞时，由于铸件的气孔，疏松等缺陷，油也会进入两密封圈之间，产生背压，引起损伤。

(4) 背压的防止方法 背压的最大危害，就是损伤密封圈，造成液压缸工作不良或停机故障。因此，从密封装置的设计上，必须尽量设法消除唇形密封圈的背压。背压的消除方法很多。

①采用开孔压板 图5—16b所示，直径比缸体内径小几个毫米的压板，保证密封圈不致因背压的作用，而从密封沟槽中挤出。压板所开小孔，用以消除背压。

②采用带泄油孔的支承压板 图5—16c所示，带泄油孔的支承压板，把密封圈稳定地保持在密封沟槽中，蓄压区的油液从两路经密封圈的背部、唇部，顺利排出：一路从密封圈外径侧——密封圈与缸体内径之间排出；另一路从密封圈内径侧——密封圈与安装槽之间排出。为使内径侧排油流畅，支承压板上必须开出小孔，以免造成背压。

本方法与其他方法相比，性能稳定可靠。

③采用带金属骨架的防尘圈 在液压缸活塞杆处的密封圈与防尘圈之间产生的背压，可能使防尘圈变形，甚至飞出。因此，可采用带金属骨架的防尘圈，并用压板固定，以防防尘圈飞出。

4. 扭转与支承圈

Y形密封圈，由于运动摩擦力矩大于其本身的抗扭转能力（取决于横断面的高宽比）时，可能发生整周或局部扭转，引起密封圈的损坏失效。

支承环（图5—16c）和抗扭挡圈（图5—19b、c）的采用，完全避免了密封圈的扭曲，而使其始终保持正确位置。这对低压、摩擦阻力大、速度大和压力变化大的情况，尤为合适。

支承环和抗扭挡圈的采用，可以使Y形密封圈的密封性能提高，寿命增长。

当使用支承环时，尺寸A（图5—16c）可由下式确定

$$A = [(B + 0.5) + c]^{1.2-1.5} \quad (5-2)$$

式中 B——密封圈的名义厚度；

C——支承环的高度。

5. 间隙挤出与挡圈

Y形密封圈的跟部，在高压作用下，也会发生间隙挤出现象，引失密封圈的损坏失效。

防止密封圈间隙挤出的方法，也是采用挡圈。如硬度为90的聚氨酯橡胶Y形密封圈，采用挡圈后，可承受1000公斤力/厘米²的压力。

图5—19是几种挡圈的使用方法。图5—19b所示挡圈，既能防止密封间隙挤出，又能抗扭转。图5—19c所示为在橡胶中放置金属骨架以增强密封圈跟部的抗挤压能力。

挡圈的常用材料，一般是尼龙1010或聚甲醛，

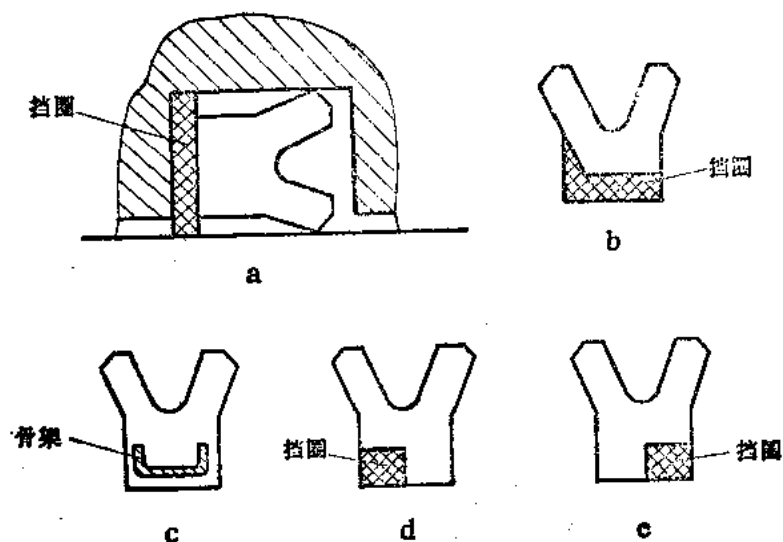


图 5—19 Y形密封圈挡圈使用方法示例

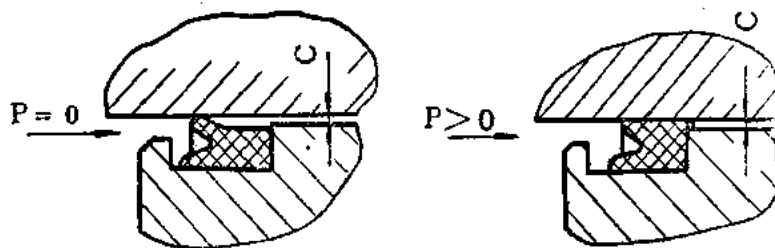
6. 跟部磨损

Y形密封圈跟部的严重磨损，会引起泄漏。密封圈过盈量过大，是其跟部磨损的主要原因。因此，合理选择密封圈的內、外径与缸径、轴径和沟槽尺寸的配合，是重要的。

轴用Y形密封圈（图 5—20 a）內径 d_1 宜大于轴径 d_2 ，即 $d_1 > d_2$ ；其外径 D_1 宜大于沟槽底径 D_2 ，即 $D_1 > D_2$ 。对孔用Y形密封圈（图 5—20 b）；其內径 d_3 宜小于沟槽內径 d_4 ，即 $d_3 < d_4$ ；其外径 D_3 宜小于缸径 D_4 ，即 $D_3 < D_4$ 。

经验表明，合理选取密封间隙是防止Y形圈跟部损坏的重要措施。密封间隙值 C 可按表 5—10选取。

表 5—10 Y形圈用孔与轴的密封间隙值 c



工作压力 Kg/cm ²	橡胶硬度 HS					
	60~70		>70~80		>80~90	
	Y 形 圈 断 面 宽 度					
	3: 4: 6	8: 12	3: 4: 6	8: 12	3: 4: 6	8: 12
	公 差 配 合 (间 隙 值 C)					
0~25	H9/d9 (0.06~0.18)	H9/d9 (0.18~0.30)	H9/f9 (0.09~0.24)	H9/d11 (0.24~0.45)	H10/d11 (0.10~0.28)	H10/d11 (0.28~0.52)
>25~80	H9/f8 (0.03~0.09)	H8/f8 (0.09~0.15)	H9/f9 (0.05~0.12)	H9/f9 (0.12~0.20)	H9/d9 (0.06~0.15)	H9/d9 (0.18~0.31)
>80~160	—	—	H9/f8 (0.03~0.09)	H8/f8 (0.08~0.15)	H8/f8或 H9/f7 (0.04~0.12)	H8/f8或 H9/f7 (0.09~0.18)
>160~320	—	—	—	—	H8/f8或 H9/f7 (0.03~0.08)	H8/f8或 H9/f7 (0.08~0.12)

注：括号中的密封间隙值为最大允许值，密封圈直径小者取小值。

7. 偏磨损与磨损调整圈

在偏心或负荷不均的情况下运动时，会引起Y形密封圈的偏磨损。因此，设计时，在活塞上装置磨损调整圈（图5—16），可以对偏磨损进行自动调整，使密封圈磨损均匀，寿命延长。

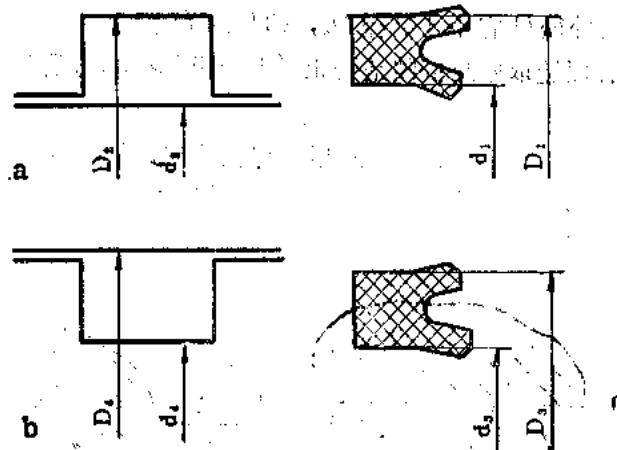


图 5—20 Y形密封圈与轴、孔合理配合示意图

a — 轴用: $d_1 > d_2, D_2 > D_1$; b — 孔用: $d_3 < d_4, D_3 < D_4$

调整圈的材料，通常是加入特殊填充剂的夹布酚醛塑料。供给充足的润滑油，是保证密封圈具有良好工作的重要条件。

8. 噪音的产生与防止

当液压缸在高压、低速工况下运行时，Y形密封圈容易产生噪音、振动或蠕动现象，引起操作者的疲劳和加速唇部磨损。

液压缸所用Y形密封圈，常常由于下列各种原因而使密封圈弹性体唇部时而牢固地粘附于滑动表面上，时而沿滑动表面滑动的周期性变化。这种周期性变化的结果，即导致Y形密封圈在工作时，产生噪音、振动或蠕动现象。

Y形密封圈产生噪音、振动或蠕动的主要原因如下：

- (1) Y滑动表面光洁度低于 $\nabla 8$ ；
- (2) 润滑不良，滑油粘度低，油膜中断；
- (3) 工作压力过高与速度过低；
- (4) 密封材料的动摩擦系数高。

Y形密封圈的噪音、振动或蠕动现象的危害很大，不仅会引起操作者的疲劳，还会导致密封圈的异常磨损，缩短使用寿命。因此，从设计与使用方面，尽量减小与避免Y形密封圈的噪音、振动或蠕动现象，则是十分重要的。

9. 防尘圈的采用

为防止灰尘、砂粒等侵入液压缸内部，损伤密封圈与滑动表面，引起背压，一般和密封圈配合使用防尘圈。

三、Y形密封圈

当前，Y形密封圈按其截面形状与制作材料的不同，除前面讲的以外，还有一种聚氨酯橡胶和丁腈橡胶制作的Y形密封圈，因其截面较小，故称小Y形密封圈。按唇部（也称脚）的长短，小Y形密封圈又可分成等唇与不等唇两种。等唇小Y形密封圈应用较少。不等唇小Y形密封圈又称Y形密封圈。与等唇小Y形密封圈相比，不等唇Y形密封圈，具有密封性能好、工作稳定、适于在高、低压或高速工况下工作，所以Y形密封圈获得了广泛地应用。

1. Y形密封圈的材料

Y形密封圈是一种用聚氨酯橡胶制作的新型密封结构。聚氨酯橡胶的主要特点是：

- (1) 机械强度高；
- (2) 摩擦系数小，耐磨性好，寿命长；
- (3) 耐油性好，在液压油、柴油、汽油等介质中，长期工作，不易膨胀变质；
- (4) 耐臭氧、天候性强；
- (5) 耐低温性好；
- (6) 耐高温性差，最高使用温度为 80°C ；
- (7) 耐水性差，高温易水解。

近年来，我国在生产聚氨酯橡胶制作的Y形密封圈的同时，又生产了丁腈橡胶制

作的Y形密封圈。丁腈橡胶Y形圈在加挡圈后,可承受320公斤力/厘米²的压力,耐热性比聚氨酯橡胶好,允许在120℃温度下长期使用。

2. Y形密封圈的结构特点

与Y形密封圈相比,Y形密封圈的结构特点是,截面尺寸小,其截面高度为宽度的2倍以上。短唇为工作唇,其与工作表面滑动摩擦阻力小,耐磨性好,寿命长;长唇与非运动表面有较大的过盈量,摩擦阻力大,这样使Y形密封圈稳定性好。即使在高压、高速工况下,不加支承圈,也不致发生扭转翻滚现象。

Y形圈的密封性能与其断面形状的关系极为密切。工作短唇的前唇倒角取为30°

(图5-101) Y形密封圈的工作唇与非运动表面形成密封且其唇与密封面接触压力分布均匀

3. Y形密封圈的应用

跟部间隙挤出,也是Y形密封圈损坏的重要原因之一。为防止Y形密封圈跟部的间隙挤出,除采用前述的挡圈之外,还必须尽量选用小的密封间隙 c (图5—22)与适当的胶料硬度。密封间隙 c 值可按表5—10选取,亦可参照图5—23选取。

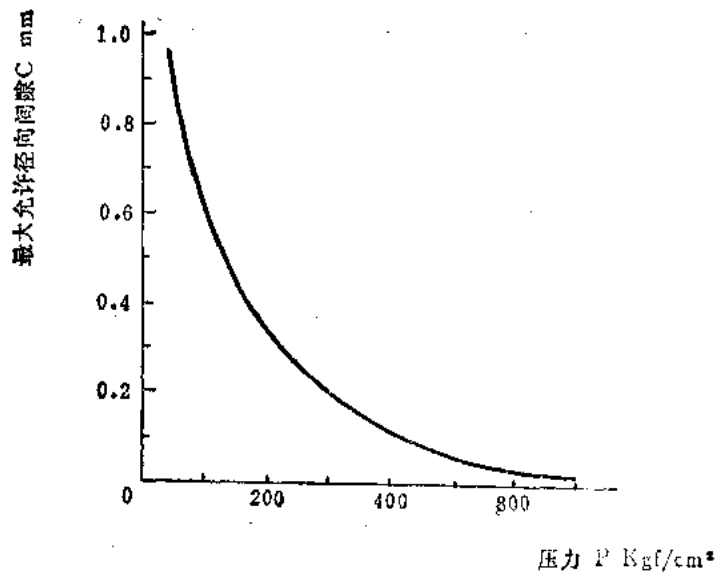


图 5—23 最大允许径向间隙与工作压力的关系

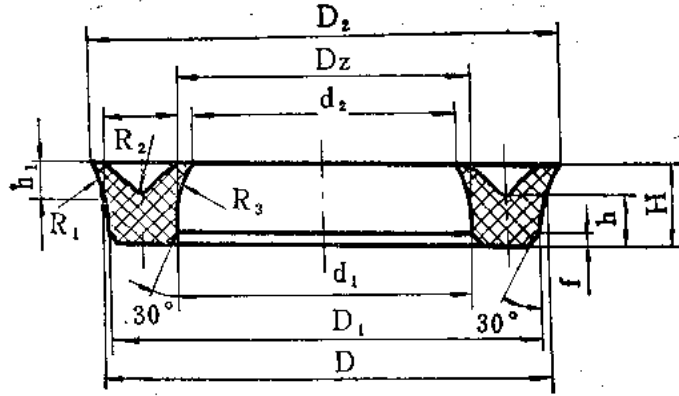
使用表明, Y形密封圈的耐磨性高、寿命长, 因此, 获得了日益广泛地应用。可以预料, 在不久的将来, Y形密封圈将全部取代Y形密封圈。

四、标准化

1. Y形密封圈

化工部标准HG4—335—66《Y形橡胶密封圈》适用于各种机械设备, 温度为 $-30\sim+80^{\circ}\text{C}$, 压力为200公斤力/厘米²以下, 对不同的液体、气体介质的密封, 其形状与尺寸系列见表5—11。

表 5-11 Y形橡胶密封圈的形状与尺寸系列 (HG-4-335-66)



标记示例:

公称内径 $D_z = 50$ 、外径 $D = 70$ 、材料为橡胶 I-2 的 Y 形橡胶密封圈, 记为
Y 形圈 50×70 橡胶 I-2 HG 4-335-66

mm

D_z	D	B	H		d_1	D_1	d_2	D_2	d_1, D_1 d_2, D_2		h	R_1	R_2	R_3	h_1	f
			公称尺寸	允差					公称尺寸	允差						
6	14	4	4	-0.2	6.4	13.6	4.8	15.2	±0.3	2	-0.15	10	8	1	2.5	0.6
7	(15)				7.4	14.6	5.8	16.2								
8	16				8.4	15.6	6.8	17.2								
9	(17)				9.4	16.6	7.8	18.2								
10	18				10.4	17.6	8.8	19.2								
12	20				12.4	19.6	10.8	21.2								
14	22				14.4	21.6	12.8	23.2								
16	(24)				16.4	23.6	14.8	25.2								
10	22	6	6	-0.3	10.6	21.4	8.2	23.8	±0.4	3	-0.2	15	4.5	1.5	3.8	1
12	(24)				12.6	23.4	10.2	25.8								
(13)	25				13.6	24.4	11.2	26.8								
16	28				16.6	27.4	14.2	29.8								
18	30				18.6	29.4	16.2	31.8								
20	32				20.6	31.4	18.2	33.8								
(23)	35				23.6	34.4	21.2	36.8								

Dz	D	B	H		d ₁	D ₁	d ₂	D ₂	d ₁ , D ₁ d ₂ , D ₂	h		R ₁	R ₂	R ₃	h ₁	f
			公称尺寸	允差						公称尺寸	允差					
14	30	8	8	-0.4	14.8	20.2	11.6	32.4	±0.5	4	-0.25	20	6	2	5.2	1.2
16	32				16.8	21.2	13.6	34.4								
(19)	35				19.8	34.2	16.6	37.4								
20	(36)				20.8	35.2	17.6	38.4								
22	38				22.8	37.2	19.6	40.4								
(24)	40				24.8	39.2	21.6	42.4								
20	40				10	10	-0.5	21								
22	42	23	41	19				45								
25	45	26	44	22				48								
28	48	29	47	25				51								
30	50	31	49	27				53								
32	52	33	51	29				55								
35	55	36	54	32				58								
38	(58)	39	57	35				61								
40	60	41	59	37				63								
42	(62)	43	61	39				65								
45	65	46	64	42				68								
48	(68)	49	67	45				71								
50	70	51	69	47				73								
52	(72)	53	71	49				75								
55	75	56	74	52				78								
60	80	61	79	57	83											
65	85	66	84	62	88											
70	90	71	89	67	93											
75	95	76	94	72	98											
80	100	81	99	77	103											
50	75	12.5	12.5	-0.6	51.3	73.7	46.3	78.7	±0.6	6.3	-0.4	31	9	3	8	1.8
55	80				56.3	78.7	51.3	83.7								
60	85				61.3	83.7	56.3	88.7								
65	90				66.3	88.7	61.3	93.7								
70	95				71.3	93.7	66.3	98.7								

(续)

D_2	D	B	H		d_1	D_1	d_2	D_2	d_1, D_1 d_2, D_2	h		R_1	R_2	R_3	h_1	f								
			公称尺寸	允差						公称尺寸	允差													
75	100	12.5	12.5	-0.6	76.3	98.7	71.3	103.7																
80	105				81.3	103.7	76.3	108.7																
85	110				86.3	108.7	81.3	113.7									6.3	-0.4	31	9	3	8	1.8	
45	75	15	15	-0.7	46.5	73.5	40.5	79.5																
50	80				51.5	78.5	45.5	84.5																
55	85				56.5	83.5	50.5	89.5																
60	90				61.5	88.5	55.5	94.5									±0.6							
65	95				66.5	83.5	60.5	99.5																
70	100				71.5	98.5	65.5	104.5																
75	105				76.5	103.5	70.5	109.5																
80	110				81.5	108.5	75.5	114.5																
90	120				91.5	118.5	85.5	124.5																
95	125				96.5	123.5	90.5	129.5									±0.8	7.5	-0.5	37.5	11	3.5	9.4	2.3
100	130				101.5	128.5	95.5	134.5																
105	(135)				106.5	133.5	100.5	139.5																
110	140				111.5	138.5	105.5	144.5																
120	150				121.5	148.5	115.5	154.5																
125	(155)				126.5	153.5	120.5	159.5																
130	160	131.5	158.5	125.5	164.5																			
140	170	141.5	168.5	135.5	174.5																			
150	180	151.5	178.5	145.5	184.5	±1.0																		
160	190	161.5	188.5	155.5	194.5																			
170	200	171.5	198.5	165.5	204.5																			
180	210	181.5	208.5	175.5	214.5																			
190	220	191.5	218.5	185.5	224.5																			
200	(230)	201.5	228.5	195.5	234.5																			
210	240	211.5	238.5	205.5	244.5	±1.2	7.5	-0.5	37.5	11	3.5	9.4	2.3											
180	220	182	218	174	228																			
190	(230)	192	228	184	236																			
200	240	202	238	194	246																			
210	250	212	248	204	256																			

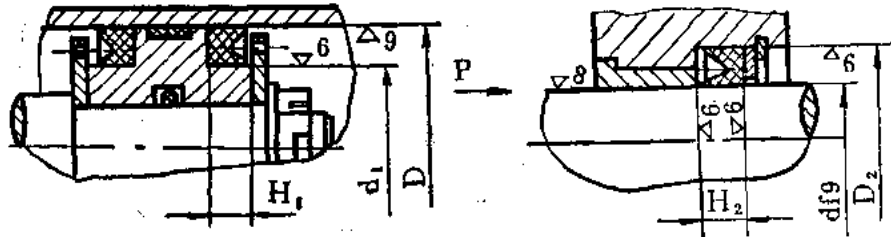
(续)

D_z	D	B	H		d_1	D_1	d_2	D_2	d_{1, D_1} d_{2, D_2}	h	R_1	R_2	R_3	h_1	f	
			公称尺寸	允差	公称尺寸	公称尺寸	公称尺寸	公称尺寸	允差	公称尺寸						允差
220	260	20	20	-1.0	222	258	214	266	±1.2	10	-0.6	50	14	5	12.4	3
240	280				242	278	234	286								
250	(290)				252	288	244	296								
260	300				262	298	254	306								
280	320				282	318	274	326								
300	340				302	338	294	346								

注：表中有括号者，不推荐使用。

Y形橡胶密封圈沟槽尺寸系列与表面光洁度按表5—12选取。

表5—12 Y形橡胶密封圈的沟槽尺寸系列 (HG4—335—66)



活塞直径 D		Y形密封圈 $D_z \times D$	d_1		H_1			
公称尺寸	配合		公称尺寸	允差	公称尺寸	允差		
20	H9/f9	12×20	12.4	-0.2	6	+0.36		
25		13×25	13.6		8			
32		20×32	20.7					
40		20×40	20.7					
50		30×50	30.7					
55		35×55	35.7					
63		12	70×90		70.8	+0.43		
65							45×65	45.7
70							50×70	50.8
75							55×75	55.8
80							60×80	60.8
85							65×85	65.8
90							70×90	70.8

(续)

mm

活塞直径D		Y形密封圈 $D_z \times D$	d_1		H_1	
公称尺寸	配合		公称尺寸	允差	公称尺寸	允差
95	H9/f7	75×95	75.8	-0.2	12	+0.43
100		80×100	80.8			
111		85×110	85.8			
125		95×125	95.8			
130		100×130	101	-0.3	18	
140		110×140	111			
150		120×150	121			
160		130×160	131.2			
180	150×180	151.2	-0.4	23	0.52	
200	170×200	171.2				
220	190×220	191.5				
250	210×250	211.5				
280	240×280	241.5				
320	280×320	281.5				

活塞杆直径D		Y形密封圈 $D_z \times D$	D_2		H_2		
公称尺寸	配合		公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	
10	f9	10×18	17.5	+0.2	6	+0.36	
12		12×20	19.5				
14		14×22	21.5				
16		16×24	23.4				
18		18×30	29.4				
20		20×40	39.3		8		
22		22×42	41.3				
25		25×45	44.3				
28		28×48	47.3				
32		32×52	51.3				
35		35×55	54.3		12	+0.43	
40		40×60	59.3				
45		45×65	64.2				
50		50×70	69.2				

(续)

活塞杆直径D		Y形密封圈 Dz×D	D ₂		H ₂			
公称尺寸	配合		公称尺寸	允差	公称尺寸	允差		
55	f9	55×75	74.2	+0.2	12	+0.43		
60		60×80	79.2	+0.3	18			
70		70×90	89.2					
80		80×100	99.2					
90		90×120	119.1					
100		100×130	129.1					
110		110×140	139					
125		125×155	154					
140		140×170	169					
160		160×190	189					
180		180×210	209					
200		200×240	238				22	+0.52
220		220×260	258					

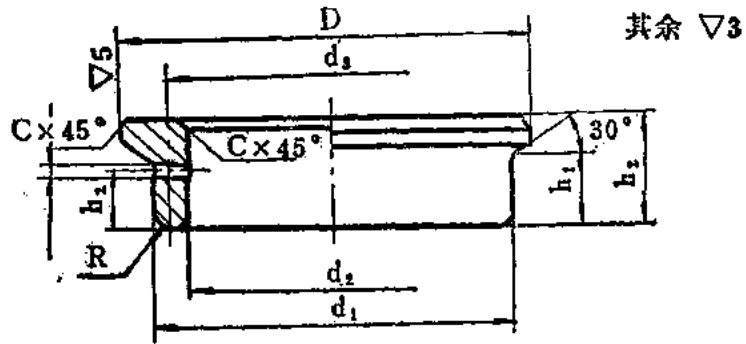
Y形橡胶密封圈支承环尺寸系列按表5—13选取。

表5—13 Y形橡胶圈支承环尺寸系列 (Q/ZB335—77)

标记示例:

公称内径 $D_z = 50$ 、
外径 $D = 70$ 、材料为
A3F的Y形密封圈支承
环, 记为

支承环 Q/ZB335·
22 A3F
Q/ZB335—77



代 号	公称 内径 Dz	D f9	d ₁	d ₂	d ₃	h	h ₁	h ₂	R	C	C ₁	n-d	重量 kg
Q/ZB335.1	10	18	16	12	14	7.5	3	2	1	0.5	0.5	2-φ2	0.006
Q/ZB335.2	12	20	18	14	16								0.008
Q/ZB335.3	14	22	20	16	18								0.008
Q/ZB335.4	10	22	19	13	16	9	4.5	3.5	1.5				0.009
Q/ZB335.5	16	28	25	19	22								0.009
Q/ZB335.6	18	30	27	21	24								0.010
Q/ZB335.7	20	32	29	23	26								0.010

代 号	公称 内径 D_z	D f_9	d_1	d_2	d_3	h	h_1	h_2	R		C_1	$n-d$	重量 kg
Q/Z B335.8	14	30	26	18	22								0.23
Q/Z B335.9	16	32	28	20	24	11.5	6	5	2	0.5	1		0.038
Q/Z B335.11	22	38	34	26	30								0.051
Q/Z B335.12	20	40	35	25	30								0.068
Q/Z B335.13	22	42	37	27	32								0.078
Q/Z B335.14	25	45	40	30	35								0.082
Q/Z B335.15	28	48	43	33	38								0.086
Q/Z B335.16	30	50	45	35	40								0.09
Q/Z B335.17	32	52	47	37	42								0.094
Q/Z B335.18	35	55	50	40	45								0.097
Q/Z B335.19	40	60	55	45	50								0.112
Q/Z B335.21	43	63	58	48	53	15	7.5	6.5	2.5	0.5	1.5	4- $\phi 2$	0.121
Q/Z B335.22	50	70	65	55	60								0.134
Q/Z B335.23	55	75	70	60	65								0.142
Q/Z B335.24	60	80	75	65	70								0.157
Q/Z B335.25	65	85	80	70	75								0.167
Q/Z B335.26	70	90	85	75	80								0.177
Q/Z B335.27	75	95	90	80	85								0.190
Q/Z B335.28	80	100	95	85	90								0.20
Q/Z B335.29	50	75	68.5	56.5	62.5								0.22
Q/Z B335.31	55	80	73.5	61.5	67.5								0.235
Q/Z B335.32	60	85	78.5	66.5	72.5								0.25
Q/Z B335.33	65	90	83.5	71.5	77.5								0.27
Q/Z B335.34	70	95	88.5	76.5	82.5	19	9.3	7.8	3	1	2		0.29
Q/Z B335.35	75	100	93.5	81.5	87.5								0.31
Q/Z B335.36	80	105	98.5	86.5	92.5								0.33
Q/Z B335.37	85	110	103.5	91.5	97.5							2- $\phi 3$	0.35
Q/Z B335.38	45	75	67	53	60								0.34
Q/Z B335.39	50	80	72	58	65								0.37
Q/Z B335.41	55	85	77	63	70								0.40
Q/Z B335.42	60	90	82	68	75								0.43
Q/Z B335.43	65	95	87	73	80								0.45
Q/Z B335.44	70	100	92	78	85								0.48

(续)

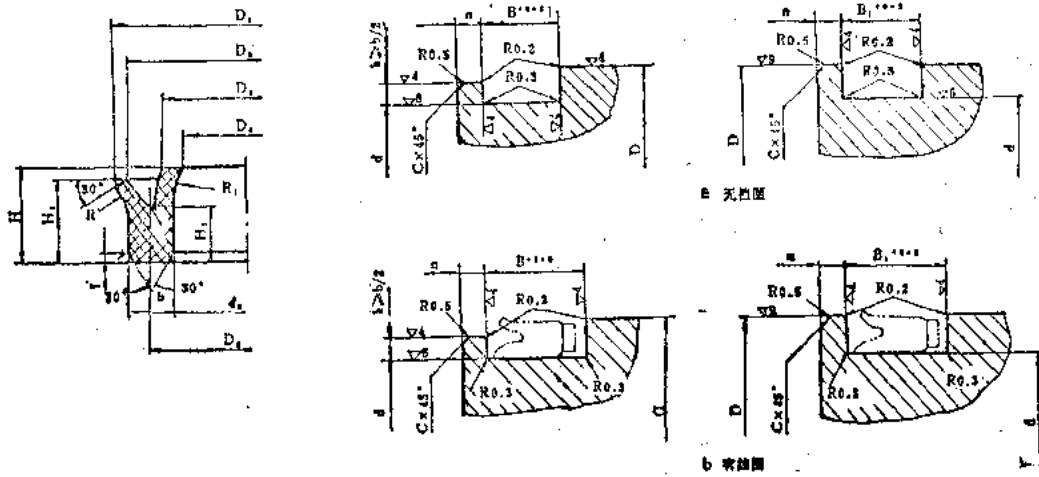
代 号	公称 内径 D_z	D f_9	d_1	d_2	d_3	h	h_1	h_2	R	C	C_1	$n-d$	重量 kg
Q/ZB335.45	75	105	97	83	90	22	11.25	9.75	3.5	1	2.5	4- $\phi 3$	0.50
Q/ZB335.46	80	110	102	88	95								0.52
Q/ZB335.47	90	120	112	98	105								0.54
Q/ZB335.48	95	125	117	103	110								0.55
Q/ZB335.49	100	130	122	108	115								0.60
Q/ZB335.51	110	140	132	118	125								0.65
Q/ZB335.52	120	150	142	128	135								0.70
Q/ZB335.53	130	160	152	138	145								0.75
Q/ZB335.54	140	170	162	148	155								0.78
Q/ZB335.55	150	180	172	158	165								0.81
Q/ZB335.56	160	190	182	168	175								0.85
Q/ZB335.57	170	200	192	178	185								0.90
Q/ZB335.58	180	210	202	188	195								0.95
Q/ZB335.59	190	220	212	198	205								1.02
Q/ZB335.61	210	240	232	218	225								1.10
Q/ZB335.62	180	220	210	190	200								1.73
Q/ZB335.63	200	240	230	210	220								1.81
Q/ZB335.64	210	250	240	220	230								1.92
Q/ZB335.65	220	260	250	230	240								2.01
Q/ZB335.66	240	280	270	250	260	2.15							
Q/ZB335.67	260	300	290	270	280	2.32							
Q/ZB335.68	280	320	310	290	300	2.47							
Q/ZB335.69	300	340	330	310	320	2.68							

2. Y.形密封圈

Y.形密封圈分为孔用与轴用两种。所谓孔用Y.形圈,是指其工作短唇与被密封孔的内表面相对滑动,而长唇与被密封轴相对静止;所谓轴用Y.形密封圈,是指其工作短唇与被密封轴的表面相对滑动,而长唇与被密封孔相对静止。

机械工业部重型机械行业标准Q/ZB248—77《孔用Y.形密封圈》对孔用Y.形密封圈与沟槽的尺寸系列(表5—14)、挡圈尺寸系列(表5—15)作出了规定。Q/ZB249—77《轴用Y.形密封圈》对轴用Y.形密封圈与沟槽的尺寸系列(表5—16)、挡圈尺寸系列(表5—17)作出了规定。

表 5-14 孔用Y形密封圈与沟槽的尺寸系列 (Q/ZB248-77)



标记示例:

公称外径D125、材料为聚氨酯-4的孔用Y形密封圈, 记为
Y形圈D125 聚氨酯-4 Q/ZB248-77

mm

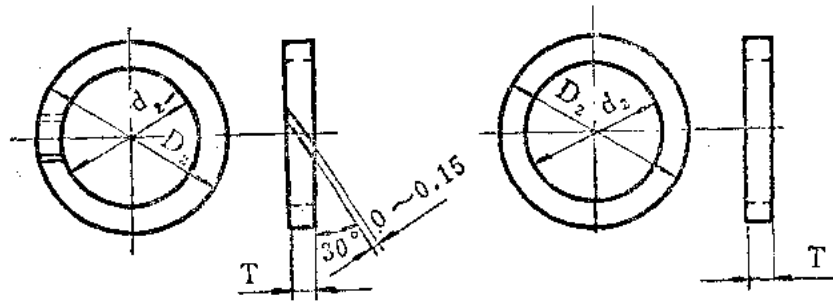
公称外径 D	公称内径 d	Y形密封圈尺寸										沟槽尺寸											
		内径		宽度		直径					H	H ₁	H ₂	RR ₁	r	f	B	B ₁	n	C			
		d ₀	允差	b	允差	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅													
16	10	9.8			17.3	+0.36 -0.12	15.9	10.7	8.6	+0.10 -0.30	13												
18	12	11.8			19.3		17.9	12.7	10.6		15												
20	14	13.8		3	21.3	+0.42 -0.14	19.9	14.7	12.6	+0.12 -0.36	17	8	7	4.6	5	14	0.3	0.7	9	10.5			
22	16	15.8			23.3		21.9	16.7	14.6		19												
25	19	18.8			26.3		24.9	19.7	17.6		22												
28	22	21.8	-0.4		29.3		27.9	22.7	20.6		25												
30	22	21.8			31.9		30	23.2	20		26.1									4	0.5		
32	24	23.8			33.9	+0.50 -0.17	32	25.2	22	+0.14 -0.42	28.1												
35	27	26.8			36.9		35	28.2	25		31.1												
40	32	31.8		4	41.9	+0.03 -0.24	40	33.2	30		36.1												
45	37	36.8			46.9		45	38.2	35		41.1	10	9	6	6	15	0.5	1	12	13.5			
50	42	41.8			51.9		50	43.2	40		46.1												
55	47	46.8			56.9		55	48.2	45	+0.17 -0.50	51.1												
60	48	47.7	-0.6		62.6		59.4	50.3	45.3		54.3												
63	51	50.7			65.6	+0.60 -0.20	62.4	53.3	48.6		57.2	14	12.5	3	5	8	22	0.7	1.5	16	18	5	1

(续)

公称外径 B	公称内径 d	Y形密封圈尺寸										沟槽尺寸												
		内径		宽度		直径						H	H_1	H_2	R	R_1	r	f	B	B_1	n	C		
		d_0	公差	b	公差	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	H	H_1	H_2	R	R_1	r	f	B	B_1	n	C
65	53	52.7				67.6	64.4	55.3	50.3	59.2														
70	58	57.7				72.6	69.4	60.3	55.3	64.2														
75	63	62.7				77.6	74.4	65.3	60.3	69.2														
80	68	67.7	-0.6			82.6	79.4	70.3	65.3	74.2														
85	73	72.7				87.6	84.4	75.3	70.3	79.2														
90	78	77.7				92.6	89.4	80.3	75.3	84.2														
95	83	82.7				97.6	94.4	85.3	80.3	89.2											16	18	5	1
100	88	87.7		6	+0.09	102.6	99.4	90.3	85.3	94.2														
105	93	92.7			-0.24	107.6	104.4	95.3	90.3	99.2														
110	98	97.7				112.6	109.4	100.3	95.3	104.2					14	12.5	8.5	8	22	0.7	1.5			
115	103	102.7				117.6	114.4	105.3	100.3	109.2														
120	108	107.7				122.6	119.4	110.3	105.3	114.2														
125	113	112.7				127.6	124.4	115.3	110.3	119.2														
130	118	117.7	-1.0			132.6	129.4	120.3	115.3	124.2														
140	128	127.7				142.6	139.4	130.3	125.3	134.2														
150	138	137.7				152.6	149.4	140.3	135.3	144.2														
160	148	147.7				162.6	159.4	150.3	145.3	154.2														
170	158	157.6				173.6	169.5	156.8	150.3	162.3					18	16	10.5	10	26	1	2	20	23.5	6
180	168	167.6				183.6	179.5	166.8	160.3	172.3														

公称内径 D		Y形密封圈尺寸										沟槽内径												
公称内径 d	公差	内径		宽度		直径						H	H ₁	H ₂	R	R ₁	r	f	B	B ₁	n	C		
		d ₀	公差	b	公差	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆													
190	174	173.6		103.6		183.5	176.8	170.3		192.3														
200	181	183.6		202.6		199.5	186.8	180.3		192.3														
230	204	202.6		223.6		219.5	206.8	200.3		212.3														
230	214	213.6	-0.10	233.6	-0.30	229.5	216.8	210.3	+0.90	222.3				18	16	10.5	26	1	2	20	22.5	6	1.5	
240	224	223.6		243.6		239.5	226.8	220.3	-0.30	232.3														
250	234	233.6		253.6		249.5	236.8	230.3		242.3														
265	249	248.6		268.6		264.5	251.8	245.3		257.3														
280	264	263.6	-1.5	283.6		279.5	266.8	260.3		272.3														
300	284	283.6		303.6	+1.00	299.5	286.8	280.3	-0.34	292.3														
320	296	295.5		325.2		318.7	300.7	290.7	+0.34	302.4														
340	316	315.5		345.2		338.7	320.7	310.7	-1.00	328.4														
360	326	325.5		365.2		358.7	340.7	330.7		348.4														
380	355	355.5		385.2	+1.10	378.7	360.7	350.7		358.4														
400	376	375.5		405.2	-0.38	398.7	380.7	370.7		388.4														
420	396	395.5		425.2		418.7	397.7	390.7	+0.38	408.4				24	22	14	32	1.5	2.5	26.5	30	7	2	
450	426	425.5		455.2	-0.12	448.7	430.7	420.7	-1.10	438.4														
480	456	455.5		485.2		478.7	460.7	450.7		468.4														
500	476	475.5		505.2	+1.35	498.7	480.7	470.7		488.4														
530	505	505.5		535.2	-0.45	528.7	510.7	500.7		518.4														
560	536	535.5	-20	565.2		558.7	540.7	530.7	+0.45	548.4														
600	576	575.5		605.2		598.7	580.7	570.7	-1.35	588.4														
630	606	605.5		635.2	+1.50	628.7	610.7	600.7		618.4														
650	626	625.5		655.2	-0.50	648.7	630.7	620.7		638.4														

表 5—15 孔用Y形密封圈挡圈的型式与尺寸系列 (Q/ZB248—77)



标记示例:

公称外径 $D = 125$ 、材料为聚四氟乙烯的整体式 (B型) 孔用 Y形密封圈挡圈, 记为

挡圈 B125 聚四氟乙烯 Q/ZB 248—77

mm

孔用Y形密封圈 公称外径 D	D_2		d_2		T	
	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差
16	16	-0.020	10	+0.03	1.5	± 0.10
18	18	-0.070	12	+0.055		
20	20	-0.025 -0.035	14			
22	22		16			
25	25		19			
28	28	-0.032 -0.100	22	+0.045		
30	30		22			
32	32		24			
35	35		27			
40	40	-0.040 -0.120	32	+0.050		
45	45		37			
50	50		42			
55	55		47			
60	60		48			
63	63	-0.040 -0.120	51	+0.080		
65	65		53			
70	70		58			
75	75		63			
80	80		68			

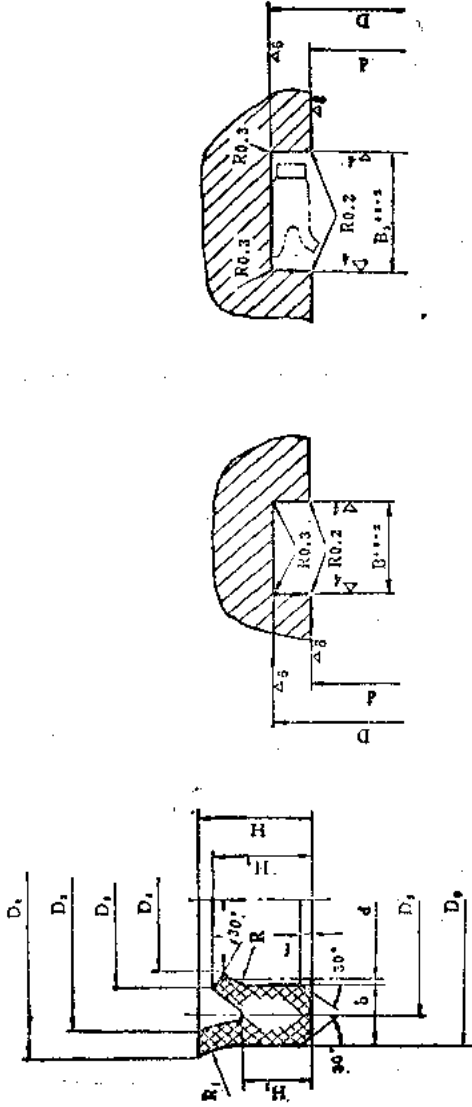
(续)

孔用Y形密封圈 公称外径D	挡								
	D_1		d_1		T				
	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差	公称尺寸	公 称			
85	85	-0.050 -0.140	73	+0.070 0	2	±0.15			
90	90		78						
95	95		83						
100	100		88						
105	105		93						
110	110		98						
115	115		103						
120	120		108						
125	125		113						
130	130		118						
140	140	-0.060 -0.165	128	+0.080 0	2				
150	150		138						
160	160		148						
170	170		154						
180	180		164						
190	190		174						
200	200		184						
220	220		204				+0.090 0	2.5	±0.15
230	230		214						
240	240		224						
250	250	234							
265	265	249							
280	280	264							
300	300	284							
320	320	296							
340	340	316							
360	360	336	+0.100 0	3	±0.20				
380	380	356							
400	400	376							
420	420	396				+0.120 0			

(续)

孔用Y形密封圈 公称外径D	挡				圆	
	D_1		d_2		T	
	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差
450	450	-0.185 -0.255	426	+0.120 0	3	±0.20
480	480		456			
500	500		476			
530	530	-0.120 -0.260	506	+0.140 0		
560	560		536			
600	600		576			
630	630		606			
650	650	-0.130 -0.280	626			

表 5—16 轴用 Y₂ 形密封圈与沟槽的尺寸系列 (Q/ZB249—77)



标记示例:

公称内径 $d = 125$, 材料为聚氨酯—4 的轴用 Y₂ 形密封圈, 记为

Y₂ 形圈 $d125$ 聚氨酯—4 Q/ZB249—77

mm

公称 外径 D	Y ₂ 形 密 封 圈 尺 寸															沟槽尺寸		
	外 径		宽 度 b	直 径					H	H_1	H_2	R	R_1	r	f	B	B_1	
	D_0	允差		D_1	允差	D_2	D_3	D_4										允差
14	8	14.2	15.4	+0.36 -0.12	13.3	8.1	6.7	+0.10 -0.30	11									
16	10	16.2	17.4		15.3	10.1	8.7		13									
18	12	18.2	19.4		17.3	12.1	10.7		15									
20	14	20.2	21.4		19.3	14.1	12.7		17									
22	16	22.2	23.4	+0.42 -0.14	21.3	16.1	14.7	+0.12 -0.36	19									
24	18	24.2	25.4		23.3	18.1	16.7		21									10.5

(续)

公称 外径 D	公称 内径 d	Y形 密封 圈 尺 寸										沟槽尺寸											
		外 径		宽 度		直 径		封 圈		尺 寸		R	f										
		D ₀	允差	b	允差	D ₁	允差	D ₂	D ₃	D ₄	允差			D ₅	H	H ₁	H ₂	R	R ₁	r			
26	20	26.2				27.4	+0.42	25.3	20.1	18.7		23											
28	22	28.2	+0.4	3	-0.09	29.4	-0.14	27.3	22.1	20.7		25	8	7		5	14	0.3	0.7	9		10.5	
31	25	31.2				32.4		30.3	25.1	23.7	+0.14	28											
34	28	34.2				35.4		33.3	28.1	26.7	-0.42	31											
38	30	38.2				40	+0.50	36.8	30	28.1		33.9											
40	32	40.2				42	+0.17	38.8	32	30.1		35.9											
43	35	43.2				45		41.8	35	33.1		38.9											
48	40	48.2				50		46.8	40	38.1	+0.17	43.9		10	9	6	15	0.5	1	12		13.5	
53	45	53.2	+0.6	4		55		51.8	45	43.1	-0.50	48.9											
58	50	58.2				60		56.8	50	48.1		53.9											
63	55	63.2				65		61.8	55	53.1		58.9											
72	60	72.3				74.7	+0.60	69.7	60.6	57.4	-0.20	65.8											
75	63	75.3				77.7		72.7	63.6	60.4		68.8											
77	65	77.3				79.7		74.7	65.6	62.4		70.8											
82	70	82.3				84.7		79.7	70.6	67.4		75.8											
87	75	87.3	-0.08			89.7	-0.24	81.7	75.6	72.4		80.8		14	12.5	8.5	22	0.7	1.5	16		13	
92	80	92.3				94.7	+0.70	80.7	80.6	77.4		85.8											
97	85	97.3				99.7	-0.28	94.7	85.6	82.4		90.8											
102	90	102.3				104.7		99.7	90.6	87.4	+0.28	95.8											

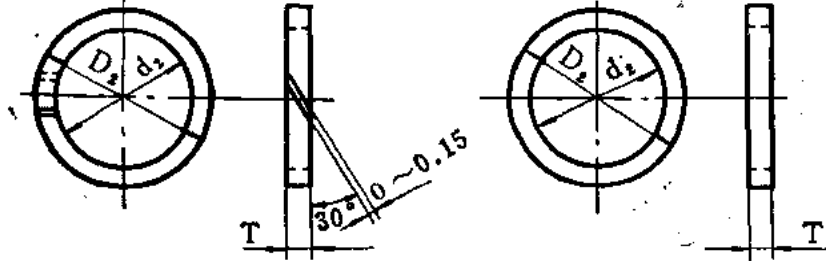
(续)

公称 外径 D	公称 内径 d	Y形 密封 圈 尺 寸											沟槽尺寸										
		外 径		宽 度		直 径					H	H ₁	H ₂	R	R ₁	r	f	B	B ₁				
		D ₁	允差	b	允差	D ₁	允差	D ₂	D ₃	D ₄										D ₅	D ₆	允差	
		D ₁	允差	b	允差	D ₁	允差	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	允差										
107	95	107.3				109.7	+0.70	104.7	95.6	92.4		100.8											
112	100	112.3				114.7	-0.23	109.7	100.6	97.4		105.8											
117	105	117.3	+1.0			119.7		114.7	105.6	102.4	+0.23	110.8											
122	110	122.3				124.7		119.7	110.6	107.4		115.8											
132	120	132.3		6	-0.08	134.7		129.7	120.6	117.4		125.8			14	12.8	8.5	8	22	0.7	1.5	16	15
137	125	137.3			-0.35	139.7		134.7	125.6	122.4		130.8											
142	130	142.3				144.7	+0.80	139.7	130.6	127.4		135.8											
152	140	152.3				154.7	-0.26	149.7	140.6	137.4		145.8											
162	150	162.3				164.7		159.7	150.6	147.4	+0.26	155.8											
172	160	172.3				174.7		169.7	160.6	157.4	-0.80	165.8											
186	170	186.4				189.7		183.2	170.5	166.4		177.7											
196	180	196.4				199.7		193.2	180.5	176.4		187.7											
208	190	206.4				209.7	+0.90	203.2	190.5	186.4		197.7											
216	200	216.4				219.7	-0.30	213.2	200.5	196.4		207.7											
236	220	236.4		8	-0.10	239.7		233.2	220.5	216.4	+0.30	227.7			18	16	10.5	10	26	1	2	20	22.5
266	250	266.4				269.7		263.2	250.5	246.4		257.7											
296	280	296.4	+1.5			299.7		293.2	280.5	276.4		287.7											
316	300	316.4				319.7	+1.00	313.2	300.5	296.4		307.7											
344	320	344.5		12	-0.12	349.3		343.3	331.3	324.8	-0.34	331.6			24	22	14	14	32	1.5	2.5	26.5	30

(续)

公称尺寸		Y形密封圈尺寸											为部尺寸										
		外径		宽度		直径					H				H ₂		R	R ₁	r	f	B	E ₁	
		D ₀	允差	b	允差	D ₁	允差	D ₂	D ₃	D ₄	允差	D ₅			H	H ₁							H ₂
364	340	364.5			369.3		359.3	341.3	334.8	334.8	+0.34	351.6											
384	360	384.5			389.3		379.3	361.3	354.8	354.8	-1.00	371.6											
404	380	404.5			409.3		399.3	381.3	374.8	374.8	+1.10	391.6											
424	400	424.5			429.3		419.3	401.3	394.8	394.8	-0.38	411.6											
444	420	444.5			449.3		439.3	421.3	414.8	414.8	+0.38	431.6											
474	450	474.5			479.3		469.3	451.3	444.8	444.8	-0.12	461.6											
504	480	504.5			509.3		499.3	481.3	474.8	474.8	-0.35	491.6											
524	500	524.5		+2.0	529.3		519.3	501.3	494.8	494.8	+1.35	511.6											
554	530	554.5			559.3		549.3	531.3	524.8	524.8	-0.45	541.6											
584	560	584.5			589.3		579.3	561.3	554.8	554.8	+0.45	571.6											
624	600	624.5			629.3		619.3	601.3	594.8	594.8	-1.35	611.6											
654	630	654.5			659.3		649.3	631.3	624.8	624.8	+1.50	641.6											
674	650	674.5			679.3		669.3	651.3	644.8	644.8	-0.50	661.4											

表 5-17 轴用Y形密封圈挡圈的型式与尺寸系列(Q/ZB249-77)



标记示例：公称内径 $d = 125$ ，材料为聚四氟乙烯的整体式(B型)轴用Y形密封圈，记为 挡圈B125 聚四氟乙烯 Q/ZB249-77 mm

轴用Y形密封圈公称内径 d	挡圈					
	d_1		D_1		T	
	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差
8	8	+0.030	14	-0.020 -0.070	1.5	± 0.10
10	10		16			
12	12	18				
14	14	+0.035	20	-0.025 -0.085		
16	16		22			
18	18	24				
20	20	26				
22	22	+0.045	28	-0.032 -0.100		
25	25		31			
28	28		34			
30	30	38				
32	32	40				
35	35	43				
40	40	+0.050	48	-0.040 -0.120		
45	45		53			
50	50	58				
55	55	63				
60	60	+0.060	72	2	± 0.15	
63	63		75			
65	65		77			
70	70		82			
75	75	87	-0.050 -0.140			
80	80	92				
85	85	97				

(续)

轴用 Y ₃ 形密封圈公称内径 d	挡				T	
	d ₁		D ₂		公称尺寸	允差
	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差		
90	90	+0.070	102	-0.050 -0.140	2	±0.15
95	95		107			
100	100		112			
105	105		117			
110	110		122			
120	120	132	-0.060 -0.165			
125	125	137				
130	130	142				
140	140	152				
150	150	162				
160	160	+0.080	172	-0.075 -0.195	2.5	
170	170		186			
180	180		196			
190	190		206			
200	200		216			
220	220	+0.090	236	-0.090 -0.225		
250	250		266			
280	280		296			
300	300		316			
320	320		344			
340	340	+0.100	364	-0.105 -0.255	±0.20	
360	360		384			
380	380		404			
400	400		424			
420	420		444			
450	450	+0.120	474	-0.120 -0.260		
480	480		504			
500	500		524			
530	530		554			
560	560		584			
600	600	+0.140	624	-0.130 -0.280		
630	630		654			
650	650		674			

第三节 U形密封圈

U形密封圈系指断面呈“U”字形的密封圈，也是一种广泛应用的唇形密封圈。

根据U形密封圈的断面形状和所采用的材质不同，主要分为两种：圆底形的U形橡胶密封圈（图5—24a），除橡胶外有时也用牛皮制作；平底形的U形夹织物橡胶密封圈（图5—24b）。

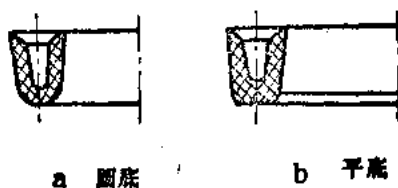


图5—24 U形密封圈的断面形状

一、结构特点

1. U形夹织物橡胶密封圈

U形夹织物橡胶密封圈属于单圈使用即可密封的唇形密封圈，它具有较低的摩擦力和较高的耐磨性，强度和寿命均比橡胶与牛皮制U形密封圈高。液压缸中的柱塞、活塞或活塞杆，采用U形密封圈作为高压密封是比较普遍的，小直径的柱塞上用这种密封件更为普遍。U形夹织物橡胶密封圈，安装简单，成本低廉，密封性能良好，适用于工作压力为320公斤力/厘米²，最高压力不超过500公斤力/厘米²，最大工作速度30~50毫米/秒，工作温度为-25~+80℃，工作介质为油、气的密封。

2. U形橡胶密封圈

U形橡胶密封圈也是单圈使用的唇形密封圈，具有较小的摩擦力，用于活塞和柱塞上的密封，密封性好，安装容易，成本低廉。U形橡胶密封圈的工作压力为200公斤力/厘米²，工作温度为-30~+80℃。

圆底U形橡胶密封圈使用时应加支承环（图5—25），否则，其根部有被高压液体挤入密封间隙而撕裂的可能，或使U形密封圈发生翻转。现在，此种密封圈已较少采用。

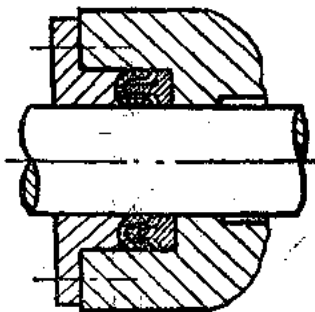


图5—25 U形橡胶密封圈的应用

*U*形橡胶密封圈的滑动工作面光洁度不低于 $\nabla 8\sim 9$ 。滑动表面最好镀铬，以提高*U*形密封圈的使用寿命。

二、设计原则

*U*形密封圈在使用时，经常配用支承环，如图5—26所示。支承环的作用是将密封圈压住，但压力不能过大或过小，不然达不到有效的密封；加支承环的另一个目的是，防止密封圈在工作过程中倾倒和扭曲。

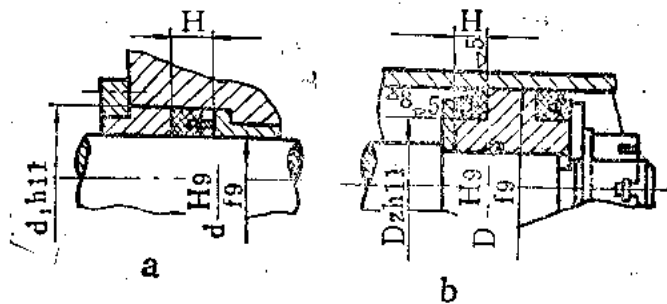


图5—26 配有支承环的*U*形密封圈安装示例

支承环是用金属制作的，侧面钻有小孔，以使液体能同时将密封圈内外唇边张开。采用支承环可提高密封圈使用寿命。

*U*形夹织物橡胶密封圈用在上下往复运动液压缸柱塞上作密封件时，也可不采用支承环（图5—27）。

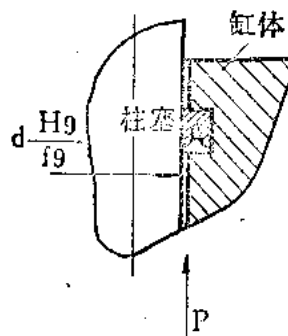


图5—27 不带支承环平底*U*形密封圈安装示例

在使用*U*形密封圈的地方，被密封的滑动工作面光洁度不低于 $\nabla 8\sim 9$ 。一般轴表面光洁度为 $\nabla 9$ ，孔表面光洁度为 $\nabla 8$ 。与密封圈作滑动运动的工作表面最好镀铬，以提高密封圈的使用寿命。

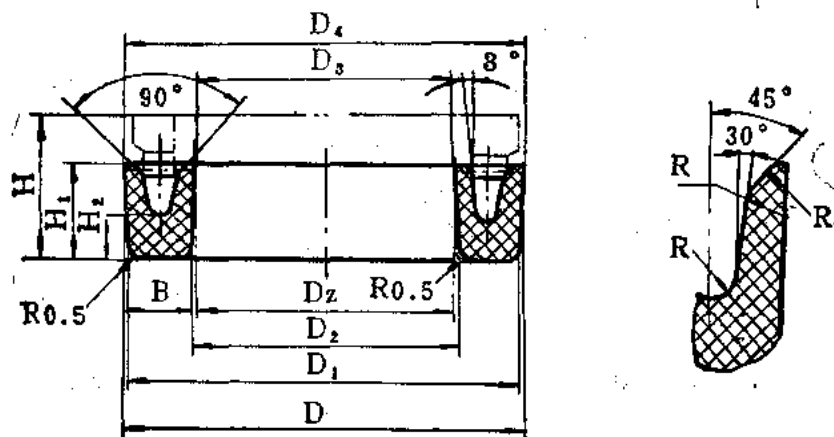
三、准 标 化

1. *U*形夹织物橡胶密封圈

化工部标准 HG 4—336—66《*U*形夹织物橡胶密封圈》，适用于各种机械设备，在温

度为 $-25\sim+80^{\circ}\text{C}$ 、工作压力为320公斤力/厘米²、工作介质为油、乳化液和气体的密封，其型式与尺寸系列见表5—18之规定。

表5—18 U形夹织物橡胶密封圈尺寸系列 (HG4—336—66)



标记示例:

公称内径 $D_2 = 100$ 、外径 $D = 125$ 、材料为耐油橡胶 I—2 的 U 形夹织物橡胶密封圈，记为

U 形圈 100 × 125 橡胶 I—2 HG4—336—66

mm

公称内径 D_2	D	D_1		D_2		D_3	D_4	D_5, D_6 允差	B	H	H_1	H_2	R	重量 公斤
		公称尺寸	允差	公称尺寸	允差									
(8)	24	23.5		8.5		7.2	24.8							0.004
	10	25.5		10.5		9.2	26.8							0.004
	12	27.5		12.5		11.2	28.8							0.005
	16	31.5	+0.2 -0.4	16.5	+0.4 -0.2	15.3	32.8	± 0.3	8	16		10.5-0.3	4.5 1.5	0.006
	18	33.5		18.5		17.2	34.8							0.006
	20	35.5		20.5		19.2	36.8							0.007
(22)	42	41.4		22.6		21	43							0.011
	25	44.4		25.6		24	46							0.013
(28)	48	47.4		28.6		27	49							0.014
	30	49.4	+0.4 -0.6	30.6	+0.6 -0.4	29	51	± 0.5	10	20		13-0.8	5.5 2	0.014
(32)	52	51.4		32.6		31	53							0.015
	35	54.4		35.6		34	56							0.016
	40	59.4		40.6		39	61							0.018
	45	64.4		45.6		44	66							0.020

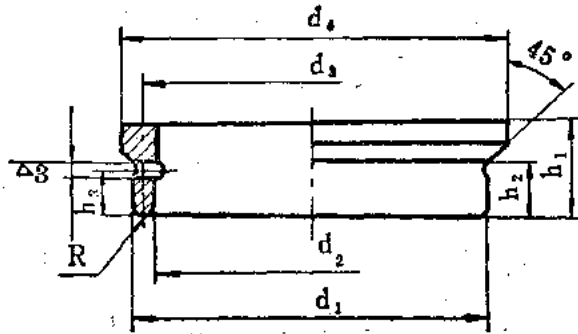
(续)

公称内径 D_2	D	D_1		D_2		D_3	D_4	D_5, D_6 允差	B	H	H_1	H_2	R	重量 公斤
		公称尺寸	允差	公称尺寸	允差									
50	75	74.3		50.7		48.7	76.3							0.035
(55)	80	79.3		55.7		53.7	81.3							0.038
60	85	84.3		60.7		58.7	86.3							0.040
65	90	89.3		65.7		63.7	91.3							0.043
70	95	94.3		70.7		68.7	96.3							0.046
75	100	99.3	+0.4	75.7	+0.8	73.7	101.3							0.049
80	103	104.3	-0.8	80.7	-0.4	78.7	106.3	±0.6	12.5	24	16-0.8	6.5	2.25	0.052
85	110	109.3		85.7		83.7	111.3							0.054
90	115	114.3		90.7		88.7	116.3							0.057
(95)	120	119.3		95.7		93.7	121.3							0.060
100	125	124.3		100.7		98.7	126.3							0.063
(110)	140	139.2		10.8		108.4	141.6							0.101
120	150	149.2		120.8		118.4	151.6							0.109
130	160	159.2		130.8		128.4	161.6							0.118
140	170	169.2		140.8		138.4	171.6							0.126
150	180	179.2		150.8		148.4	181.6							0.134
160	190	189.2		160.8		158.4	191.6							0.142
170	200	199.2	+0.4	170.8	+1.2	168.4	201.6							0.150
180	210	209.2	-1.2	180.8	-0.4	178.4	211.6	±0.8	15	30	19-0.1	7.5	2.5	0.158
200	230	229.2		200.8		198.4	231.6							0.174
220	250	249.2		220.8		218.4	251.6							0.190
230	260	259.2		230.8		228.4	261.6							0.203
260	290	289.2		260.8		258.4	291.6							0.223
(280)	310	309.2		280.8		278.4	311.6							0.239
300	330	329.2		300.8		298.4	331.6							0.252
320	360	359		321		318	362							0.487
360	400	399		361		358	402							0.544
(380)	420	419		381		378	422							0.574
400	440	439	+0.5	401	+1.3	398	442	±0.9	20	40	25-1.2	10	3	0.602
450	490	449	-1.3	491	-0.5	448	492							0.673
520	560	519		561		518	562							0.775
580	620	579		621		578	622							0.860

注：带括号不推荐使用。

U 形夹织物橡胶密封圈应和支承环配合使用,支承环的材料为ZQSn6-6-3, ZQA19-4等。部标准 JB 2004-76 《 U 形夹织物橡胶密封圈用支承环》的尺寸系列见表 5-19。

表 5—19 U形夹织物橡胶密封圈支承环尺寸系列 (JB2004—76)



标记示例:

公称内径 $D_z = 50$ 、材料为 ZQA19—4 的 U 形夹织物橡胶密封圈支承环, 记为
支承环 JB2004·16 ZQA19—4 JB2004—76

mm

代 号	公称内径 D_z	d_1	d_2	d_3	d_4	h_1	h_2	h_3	R	$n-d$	重量 公斤
JB2004.1	(8)	19	18	16	22						0.018
JB2004.2	10	21	15	18	24						0.020
JB2004.3	12	23	17	20	26	11.5	6	5	1.5	2-φ2	0.022
JB2004.4	16	27	21	24	30						0.027
JB2004.5	18	29	23	26	32						0.029
JB2004.6	20	31	25	28	34						0.031
JB2004.7	(22)	36	28	32	40						0.059
JB2004.8	25	39	31	35	43						0.065
JB2004.9	(28)	42	34	38	46						0.071
JB2004.11	30	44	36	40	48						0.074
JB2004.12	(32)	46	38	42	50	14.5	8	7	2	2-φ2	0.078
JB2004.13	35	49	41	45	53						0.084
JB2004.14	40	54	46	50	58						0.095
JB2004.15	45	59	51	55	63						0.102
JB2004.16	50	67	58	62.5	72						0.157
JB2004.17	(55)	72	63	67.5	77						0.170
JB2004.18	60	77	68	72.5	82						0.185
JB2004.19	65	82	73	77.5	87						0.195
JB2004.21	70	87	78	82.5	92						0.208
JB2004.22	75	92	83	87.5	97	17.5	10.5	9	2.25	2-φ3	0.221
JB2004.23	80	97	88	92.5	102						0.233
JB2004.24	85	102	93	97.5	107						0.246
JB2004.25	90	107	98	102.5	112						0.258
JB2004.26	(95)	112	103	107.5	117						0.271
JB2004.27	100	117	108	112.5	122						0.284

(续)

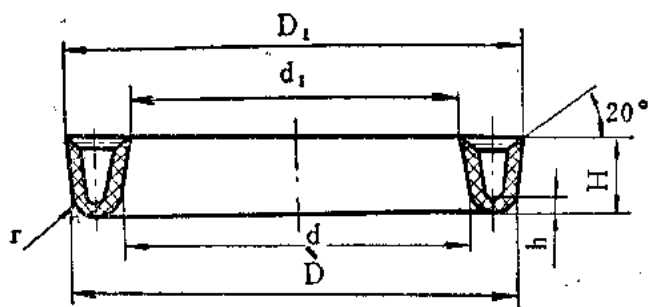
代 号	公称内径 D_2	d_1	d_2	d_3	d_4	h_1	h_2	h_3	R	$a-d$	重量公斤
JB2001.28	(110)	130	120	125	127						0.478
JB2001.29	120	140	130	135	147						0.516
JB2004.31	130	150	140	145	157						0.554
JB2004.32	140	160	150	155	167						0.593
JB2004.33	150	170	160	165	177						0.631
JB2004.34	160	180	170	175	187						0.669
JB2004.35	170	190	180	185	197	22.5	12.5	11	2.5	4- $\phi 3$	0.707
JB2004.36	180	200	190	195	207						0.746
JB2004.37	200	220	210	215	227						0.822
JB2004.38	220	240	230	235	247						0.899
JB2004.39	230	250	240	245	257						0.980
JB2004.41	260	280	270	275	287						1.052
JB2004.42	(280)	300	290	295	307						1.129
JB2004.43	300	320	310	315	327						1.205
JB2004.44	320	346	334	340	355						2.073
JB2004.45	360	386	374	380	395						2.316
JB2004.46	(380)	406	394	400	415						2.438
JB2004.47	400	426	414	420	435	30	18	16	3	4- $\phi 4$	2.560
JB2004.48	450	476	464	470	485						2.59
JB2004.49	520	546	534	540	555						3.40
JB2004.51	580	606	594	600	615						3.80

注：带括号者不推荐采用。

2. U形橡胶密封圈

化工部标准HG4—334—66《U形橡胶密封圈》适用于各种液压设备，在温度为-25~+80℃，工作压力为200公斤力/厘米²，工作介质为油、乳液和气体的密封，其型式和尺寸系列见表5—20规定。

表5—20 U形橡胶密封圈尺寸系列 (HG4—334—66)



标记示例：

轴径 $d = 16$ 、外径 $D = 30$ 、材料为耐油橡胶I—1的U形橡胶密封圈，记为
U形圈16×30 橡胶I—1 HG4—334—66

(续)

轴 径 d	d_1	D	D_1	H	h	r
16	15	30	31	8	2	3
(18)	17	32	33			
20	19	35	36			
22	21	37	38	10	2	3.5
25	24	40	41			
28	27	43	44			
30	29	45	46			
32	31	47	48			
36	35	55	56	12	2.5	4
40	39	60	61			
45	43	65	67			
50	48	70	72			
55	53	75	77	14	3	4.5
65	63	85	87			
75	73	100	102			
90	87	115	118			
105	102	130	133			
120	117	150	153	17	3.5	5
(125)	122	155	158			
150	147	180	183			
165	162	200	203			
180	177	215	218			
200	196	235	239		4	

注：带括号者，不推荐使用。

第四节 L形密封圈

L形密封圈是指断面呈“L”字形的唇形密封圈（图5—28），也是一种广泛应用较久

的密封圈。这种密封圈主要用作往复运动的密封，也可用作旋转运动密封和固定密封。



图 5—28 L形橡胶密封圈断面形状

一、结构特点

- (1) 与V形密封圈相比，装配简单方便，密封性能良好。
- (2) 小直径的L形密封圈可用于低压和中高压密封，大直径的只能用作低压密封。
- (3) L形密封圈要求活塞与缸筒之间的间隙不像V形密封圈那样严格，可以稍大一些。在这种情况下，应考虑设置挡圈，如图5—29所示。挡圈的材料可用聚四氟乙烯，尼龙6或皮革等。挡圈可以增加L形密封圈的使用寿命。

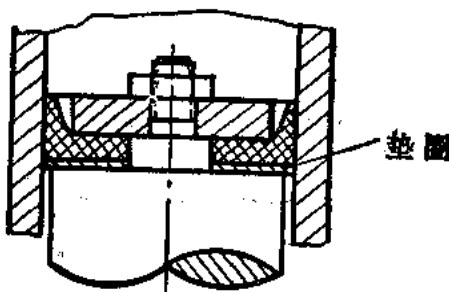


图 5—29 有挡圈的L形密封圈

(4) 与O形密封圈相比，所占安装空间较大。L形密封圈避免了扭转损伤，因此，对较大缸径用O形密封圈不适宜时，可用L形密封圈。

L形密封圈适用于工作压力 ≤ 10 公斤力/厘米²，工作温度在 $-25\sim +80^{\circ}\text{C}$ 情况下的密封。

二、设计原则

安装L形密封圈时，必须将密封圈固定住，防止运动中脱落。但紧固力不能过大，否则密封圈会向直径方向伸展，使其和缸筒表面的接触应力过大，摩擦阻力增加，加速密封圈的磨损。

L形密封圈的损坏，一般是弯角处磨损。产生这种磨损的原因主要有下列情况，当密封圈向着液体工作压力方向运动时（图5—30a），滑动面的摩擦阻力使外边缘弯角处压缩。当密封圈背着工作压力方向运动时（图5—30b），则外边缘弯角处被拉伸。因此，当密封圈作往复运动时，外边缘弯角处受到拉压的反复作用，使这一部位的强度减弱。同

时，密封圈这个薄弱部位在压紧力的作用下，又有向缸壁的方向膨胀的趋势（图5—30c），这样就引起该部位的严重磨损。为减缓这种磨损，一是减小外边缘处的外径，二是采用硬橡胶材料、夹布橡胶或在弯角处衬以金属芯等办法，使弯角处在压紧力的作用下，产生向外胀出的趋势减小。

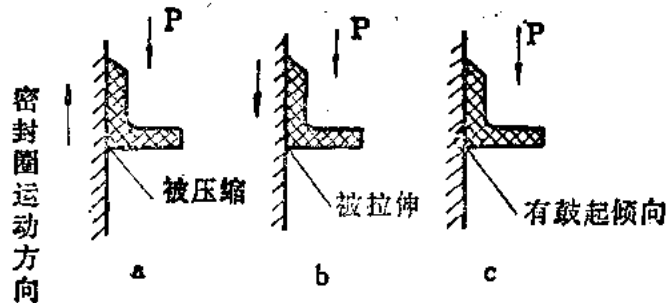


图 5—30 L形密封圈弯角处的磨损

安装L形密封圈时应注意以下几点：

(1) 支承面和压紧环 支承面一般作成平面，为防止密封圈唇口向里卷，可将压紧环的高度作成与密封圈内侧唇口具有同等高度（图5—29）或采用胀环将密封圈唇部和缸壁紧压（图5—31）。胀环一般用弹簧钢丝制作。

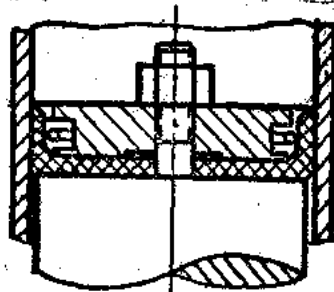


图 5—31 采用胀环的L形密封圈

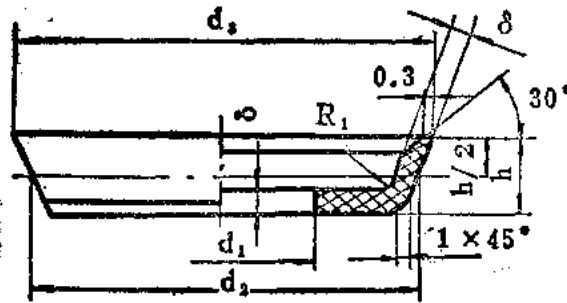
(2) 活塞与缸筒间隙 支承面的外径和缸筒之间的间隙应尽量小。其大小一般和采用V形密封圈时相同。

(3) 滑动表面光洁度 由于L形密封圈同相对运动表面接触面积较大。因而摩擦阻力也大，工作中磨损较快，为避免过早磨损，要求缸筒表面光洁度不得低于▽7。

三、标 准 化

化工部标准HG4—331—66《L形橡胶密封圈》，适用于液压与气动设备，在温度为 $-25\sim+80^{\circ}\text{C}$ 、压力不大于10公斤力/厘米²、工作介质为液体、气动的密封，其型式与尺寸系列见表5—21规定。

表5-21 L形橡胶密封圈尺寸系列 (HG4-331-66)



标记示例:

缸径 $D = 50$ 材料为耐油橡胶 I-2 的 L 形橡胶密封圈, 记为
L 形圈 50 橡胶 I-2 HG4-331-66

mm

缸径 D	d_2	d_3	d_2, d_3	d_1		h		δ		重量 公斤			
	公称尺寸	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差				
22	22	24	+0.4 -0.3	8	± 0.5	7	+0.8 -0.5	2	+0.6 -0.2	0.01			
25	25	27		9						0.01			
28	28	30		10						0.01			
30	30	32	+0.5 -0.4	11	± 0.6					8	2.5	2.5	0.01
32	32	34		12									0.01
35	35	37		15									0.01
38	38	40		18									0.01
40	40	43		20		0.01							
42	42	45	22	+0.8 -0.5	8	2.5	2.5	0.01					
45	45	48	25					0.01					
48	48	51	+0.8 -0.5	28	± 0.8	10	2.5	2.5	0.01				
50	50	53		30					0.01				
52	52	55		32					0.015				
55	55	58		35					0.015				
60	60	63		38					0.015				
65	65	68		40					0.015				
70	70	74		45					0.015				
75	75	79	48	0.015									
80	80	84	50	0.018									
85	85	89	55	0.020									

(续)

缸径D	d_2	d_3	d_2, d_3	d_1		h		δ		重量 公斤
	公称尺寸	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	
90	90	95	+1.1 -0.6	80	±1.0	12		3	+0.6 -0.2	0.026
95	95	100		85						0.028
100	100	105		90						0.030
105	105	110		95						0.032
110	110	116		100						0.034
120	120	126		110						0.040
125	125	131		120						0.05
130	130	136	+1.5 -0.7	100	±1.2	14	+1.0 -0.5	3.5	+0.6 -0.3	0.052
140	140	146		110						0.056
150	150	156		120						0.061
160	160	166		130						
170	170	176		130						
180	180	186		140						
190	190	196		150						
200	200	208	d_2, d_3 值的 +1.0% -0.5%	160	±1.5	17		4		
210	210	218		170						
220	220	228		180						
240	240	248		200						
250	250	258		205						
260	260	268		215						
280	280	288		235						
300	300	309	255	d_1 值的 ±1%	20		4.5	6		
320	320	329	275							
340	340	349	295							
360	360	369	310							
380	380	389	320							
400	400	409	350							
420	420	429	370							
450	450	459	400							
480	480	489	430							
500	500	509	460							

第五节 J形密封圈

J形密封圈是指断面呈“J”字形的唇形密封圈（图5—32a），也是一种广泛应用较久的密封圈。这种密封圈主要用于活塞杆部位的密封（图5—32b）或用作防尘圈（图5—32c）。

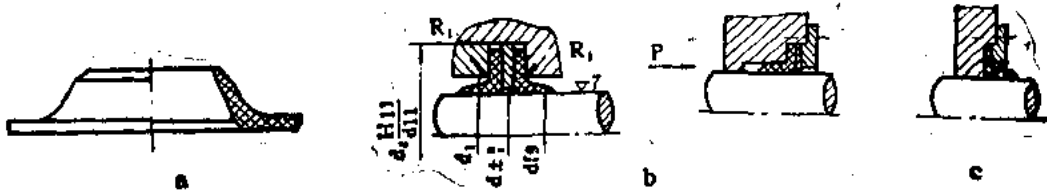


图 5—32 J形密封圈与应用

J形密封圈的特点和L形密封圈相似，这里不再重述，所不同之点是J形密封圈除了可以作密封圈外，还可作防尘圈。

安装J形密封圈时，须将密封圈固定以防止运动中脱落。但紧固力不能过大，否则密封圈会在直径方向上伸展，使其接触面积增大，摩擦阻力增加，因而加速了密封圈的磨损。

J形密封圈与滑动表面接触面积较大，因而摩擦阻力大，工作中磨损较快。为避免过早磨损，要求滑动表面光洁度不得低于 $\nabla 7$ 。

J形密封圈与相关件的配合尺寸见图5—32b和表5—22。

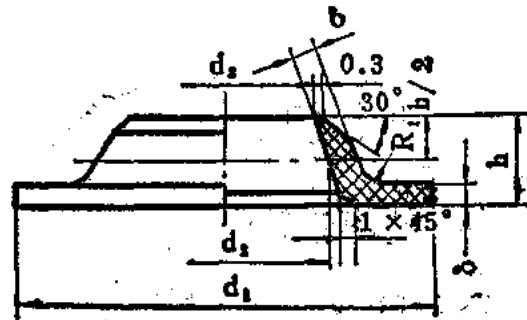
表 5—22 J形密封圈的配合尺寸系列

mm

活塞杆直径 d	d_1	d_2	活塞杆直径 d	d_1	d_2	活塞杆直径 d	d_1	d_2
20	27	42	75	85	110	210	222	255
22	29	44	80	90	115	220	232	265
25	32	47	85	95	120	140	252	285
28	35	50	90	100	125	250	262	295
30	37	52	95	105	130	260	272	305
32	39	59	100	110	135	280	292	325
35	43	62	105	115	140	300	312	345
38	46	65	110	120	145	320	332	375
40	48	68	120	130	160	340	352	395
42	50	70	125	135	165	360	372	415
45	52	73	130	140	170	380	392	435
48	56	76	140	150	180	400	412	455
50	58	78	150	160	195	420	432	475
52	62	85	160	170	205	450	462	505
55	65	90	170	180	215	480	492	535
60	70	95	180	190	225	500	512	555
65	75	100	190	200	235			
70	80	105	200	210	245			

化工部标准HG4—332—66《J形橡胶密封圈》适用于液压与气动设备，在工作温度为-25~+80℃、工作压力不大于10公斤力/厘米²、工作介质为液体、气体的密封，其型式与尺寸系列见表5—23之规定。

表5—23 J形橡胶密封圈尺寸系列 (HG4—332—66)



标记示例:

活塞杆直径 $d = 50$ 、材料为耐油橡胶 I—1 的 J 形橡胶密封圈，记为

J 形圈 50 橡胶 I—1 HG4—332—66

mm

活塞杆直径 d	d_2	d_3	d_2, d_3		d_1		h		δ		公差 (公斤)
	公称尺寸	公称尺寸	允	差	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	
4	4	2.8	+0.2 -0.3		18	±0.6	6		2		
5	5	3.5			20						
6	6	4.2			22						
7	7	5			23						
8	8	6			25						
9	9	7	+0.3 -0.4		26	±0.8	8	+0.8 -0.4	2		
10	10	8			28						
12	12	10			30						
14	14	11			32						
16	16	13			35						
18	18	15			38						
20	20	17			40						
22	22	19			42						
25	25	21			45						
28	28	24			48						
30	30	26	50	10	2.5				0.004		
										0.005	
										0.006	
										0.007	
										0.008	

(续)

活塞杆直径 d	d_2	d_3	d_2, d_3	d_1		h		δ		重量 (公斤)	
	公称尺寸	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差		
32	32	28	+0.3 -0.4	57	±1.0	10	+0.8 -0.4	2.5	+0.6 -0.2	0.01	
35	35	30	+0.4 -0.5	60		12	+1.0	+1.0 -0.5		3	0.013
38	38	33		63							0.014
40	40	35		65							0.015
42	42	37		67							0.015
45	45	40		70							0.016
48	48	43		73							0.017
50	50	45		75							0.018
52	52	46		82							0.025
55	55	49		85							0.027
60	60	54		90	±1.2				14		+1.0 -0.5
65	65	59	95	0.031							
70	70	64	100	0.034							
75	75	69	105	0.036							
80	80	74	110	0.038							
85	85	79	115	0.040							
90	90	84	120	0.042							
95	95	89	125	0.044							
100	100	94	130	0.046							
105	105	99	135	0.048							
110	110	102	140	±1.5	17	+1.0 -0.5	4	+0.6 -0.3	0.063		
120	120	112	155						0.075		
125	125	117	160						0.079		
130	130	122	165						0.082		
140	140	132	175						0.085		
150	150	142	190						0.102		
160	160	152	200						0.108		
170	170	162	210						0.113		
180	180	172	220						0.12		
190	190	182	230						0.126		
200	200	192	240	0.132							

(续)

活塞杆直径 d	d_2	d_3	d_2, d_3	d_1		h		δ		重量 (公斤)
	公称尺寸	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允 差	公称尺寸	允差	公称尺寸	允差	
210	210	202	+0.7 -1.5	250	±1.5	20	+1.0 -0.5	4.5	+0.6 -0.3	0.138
220	220	212		260						0.142
240	240	232		280						0.167
250	250	242		290						0.173
260	260	252	300		0.179					
280	280	272	320		0.189					
300	300	292	340		0.200					
320	320	311	370		0.212					
340	340	331	390	d_1 值的 ±1%	0.224					
360	360	351	410		0.234					
380	380	371	430		0.244					
400	400	391	450		0.264					
420	420	411	470		0.284					
450	450	441	500		0.300					
480	480	471	530		0.310					
500	500	491	550		0.320					

第六节 新型复合唇形密封圈

近年来, 往复运动密封开始采用新型复合唇形密封圈。所谓复合密封圈即是將纯橡胶和夹布橡胶并用制成一个复合密封体, 再与两个塑料抗挤压挡圈配合使用, 构成三元复合唇形密封圈。这种密封圈可在条件苛刻的情况下使用, 因此也称之为重型密封圈。

一、结构特点

复合唇形圈(图5—33)是由缩醛塑料挡圈1、夹布丁腈橡胶环2和丁腈橡胶体3等组成。它的特点是, 其唇部是一个具有两个唇尖的凹槽, 能够承受两个方向的压力。故此可用于双向密封。且因其没有象O形、Y形等密封元件通常所产生的间隙挤出现象, 所以, 无需另加挡圈。从而简化了密封装置的结构。与Y形、V形等密封装置相比(图5—16), 复合唇形密封圈装置结构简单, 性能可靠, 尤其适用于高压长液缸, 并可使其结构简化。

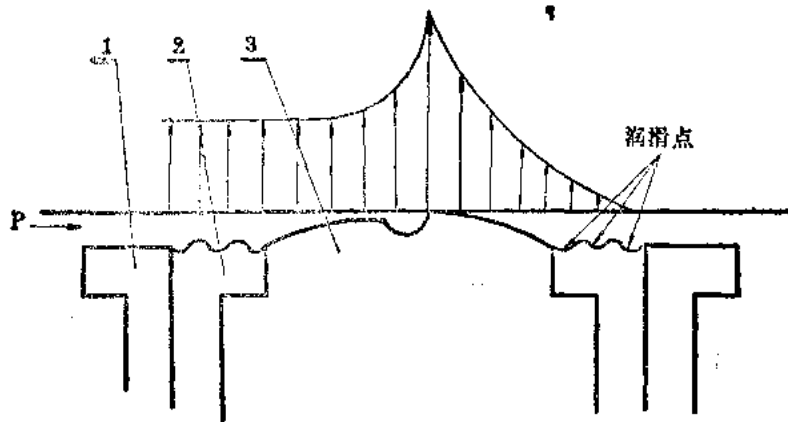


图 5—33 复合唇形密封圈的结构及密封原理

二、工作原理

复合唇形密封圈，同其他型式的密封圈一样，也是依密封唇的过盈量和工作介质压力所产生的径向压力，而实现密封作用。所不同的是，它具有双向密封性（图 5—33）：当压力油从左侧进入时，在压力油的作用下，密封唇的左侧凸缘收缩，产生一定的游隙，压力油沿游隙进入中间沟槽，同时推起右侧凸缘，使之紧紧贴附于缸壁，实现了可靠密封。反之亦然。

沟槽中一直有油液，非常令人满意的实现了自润滑作用。所以，与其他型式的密封元件相比较，动摩擦阻力小（图 5—34），寿命长，是复合唇形密封圈的压倒一切的优点。

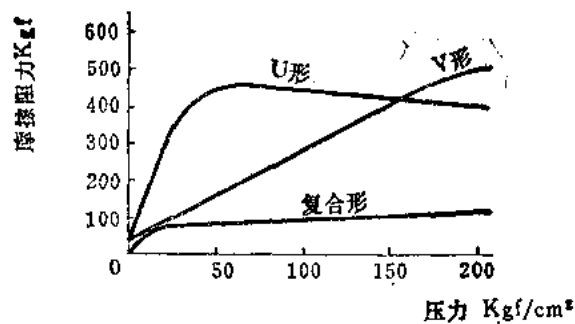


图 5—34 复合唇形密封圈与V形、U形密封圈摩擦阻力的比较

众所周知，O形、Y形等密封元件的动摩擦阻力，均随工作压力的增高而急剧增大。但复合唇形密封圈的滑动阻力，受工作压力的影响甚微（图 5—34）。

起动压力低，是复合唇形圈的又一重要特点。起动压力，一般密封元件为3~5公斤力/厘米²，在相同压力下，而复合唇形圈的起动压力只有0.5公斤力/厘米²。

通过上述对复合唇形圈的分析比较，可以看出，它与Y形等密封元件相比，具有结构紧凑，体积小、密封性能高、摩擦阻力小、寿命长等显著优点。因而，在往复运动密封装置中，复合唇形密封圈将有很大的发展前途。

第七节 唇形密封圈的装配

唇形密封圈的装配方法与质量对其密封性能与使用寿命，有着十分密切的关系。因此，唇形圈的装配应按一定要求进行。

(1) 唇形圈在安装前，首先要仔细检查密封圈是否符合质量要求，特别是唇口处不应有损伤，缺陷等。其次仔细检查被密封部位相关尺寸精度和光洁度是否达到要求。否则，是达不到预期效果的。

(2) 安装唇形圈的有关部位，如缸筒和活塞杆的端部，均需倒成 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的倒角（图5—35）。对Y形密封圈，C值一般取小于或等于密封沟槽深度的1/2。在安装过程中，可避免唇形圈唇部被划伤。

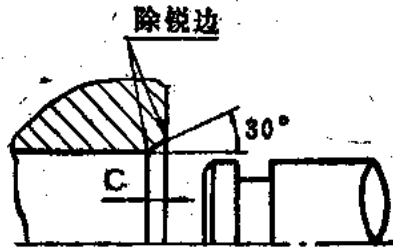


图 5—35 Y形密封圈装入处的倒角

(3) 在安装唇形圈时，如需通过螺纹表面和退刀槽时，必须在通过部位套上专用套筒，或者在设计时，使螺纹和退刀槽的直径小于唇形圈的内径。反之，在安装唇形圈时，如需通过内螺纹表面和孔口时，必须使通过部位的内径大于唇形圈的外径或加工出倒角（图 5—36）。

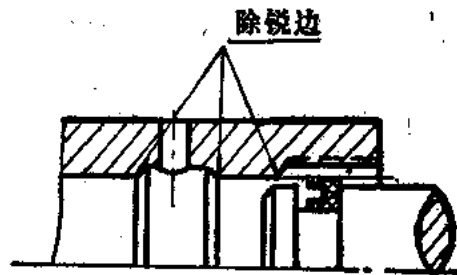


图 5—36 Y形密封圈安装时唇部损伤防止方法

(4) 在安装唇形圈时，为减少装配阻力，应将唇形圈与装入部位，涂敷肥皂基润滑脂或工作油。

(5) 在安装唇形圈时，应尽力避免使其有过大的拉伸，以免引起塑性变形。当装

配现场温度较低时，为便于安装，可将唇形圈放入60℃左右的热油中加热，切不可超过唇形圈的使用温度。

(6) 当工作压力超过 200公斤力/厘米²时，除复合唇形圈外，均须加挡圈，以防唇形圈的间隙挤出。挡圈均应装在唇形圈跟部一侧，当其随同唇形圈向缸筒里装入时，为防止挡圈斜切口被切断，放入沟槽后，用黄干油将斜切口粘接固定，再行装入。

开口式挡圈在使用中，有时可能在切口处出现间隙，影响密封效果。因此，在一般情况下，应尽量采用整体式挡圈。

聚四氟乙烯制作的挡圈，一旦拉伸，要恢复原尺寸，需要较长时间。因此，不应该将拉伸后装入活塞上的挡圈，立即装入缸筒内，须等其尺寸复原后，再行装配。

第六章 防尘密封圈

防尘密封圈的功用是，防止往复运动的液压缸、气缸活塞杆与各种旋转伸出轴端的灰尘、水、气、腐蚀性气体等有害杂质侵入和润滑剂外漏。一般防尘密封圈只适用于压力较低的常压密封。若压力较高，在采用其他型式主密封装置的同时，再辅之以防尘密封圈。

第一节 橡胶防尘圈

液压缸活塞杆或柱塞表面总是粘附一层油膜，工作环境中的灰尘与砂粒等，被油膜粘结，随同活塞杆的往复运动而进入缸内就是不可避免的。硬粒一旦停留在唇部刃口下面，即可划伤刃口或滑动表面，引起泄漏。

因此，在活塞杆密封圈外部设置靴形橡胶防尘圈（图6—1），即可有效地防止外部灰尘、砂粒等异物进入液压缸内，以提高液压元件与密封元件的寿命。

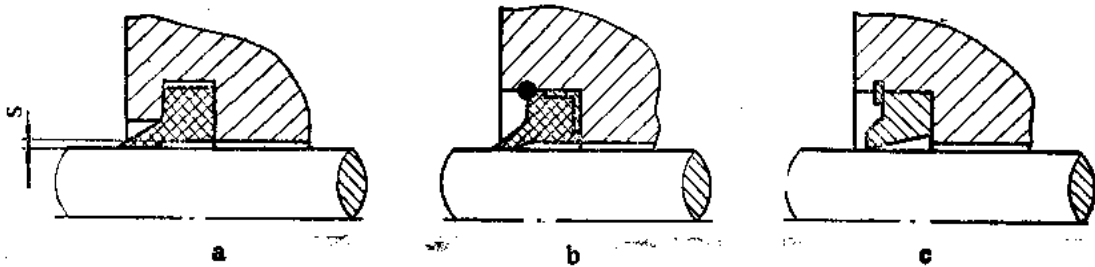


图6—1 防尘圈工作状态

橡胶防尘圈装入沟槽后，因其唇部对活塞杆具有一定的过盈量而使唇口紧紧抱住活塞杆表面。当活塞杆往复运动时，粘附其上的灰尘、砂粒等异物，随之被清除。防尘圈的唇部后段与活塞杆滑动表面之间的间隙 S 的功用是，减小防尘圈唇部与活塞杆表面间的摩擦力，以提高防尘圈的寿命；有助于克服背压的形成，保护密封件。

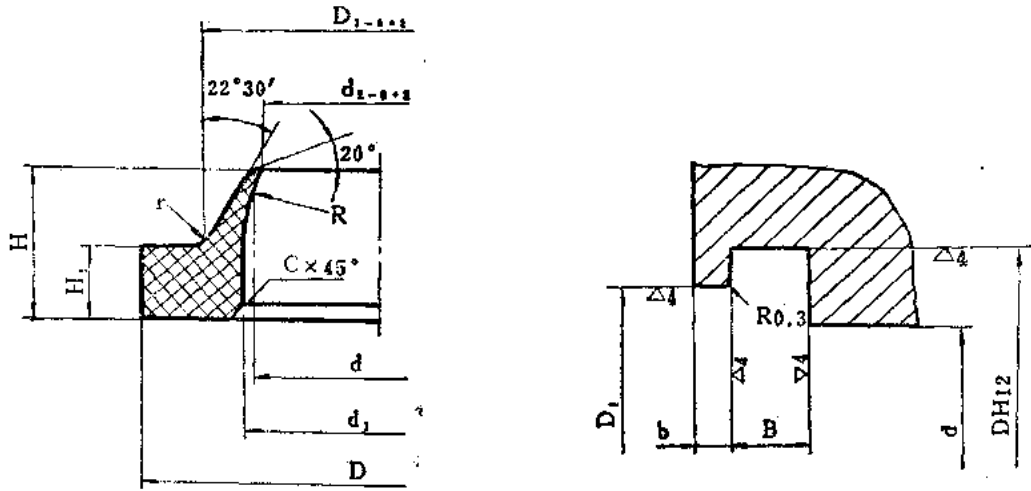
防尘圈是靠唇口除尘，因此，在工作过程中，唇口磨损较快。为提高防尘圈的使用寿命，必须保证活塞杆表面光洁度在 $\nabla 9\sim 11$ 的范围内。

防尘圈的型式有骨架式（图6—1b）与无骨架式（图6—1a）两种。因无骨架防尘圈支承部分尺寸较大，强度好，结构简单，装卸方便，防尘效果好。所以，无骨架式橡胶防尘圈在国内获得了广泛地应用。

无骨架式防尘圈，多采用丁腈胶 I—3 或聚氨酯—3 橡胶制作。

国产无骨架式橡胶防尘圈与沟槽的尺寸系列见表6—1规定。

表6-1无骨架防尘圈与沟槽的尺寸系列(Q/ZB336-77)



标记示例:

轴径 $d = 125$, 材料为耐油橡胶 I-3 的无骨架防尘圈, 记为
防尘圈 125 橡胶 I-3 Q/ZB336-77

mm

轴径 d	密封圈尺寸									沟槽尺寸		
	D	D_1 ①	d_1	d_2	H	H_1	R	V	C	D	B	b
18	25	22	19	17.2	5	2.5	8			26	2.2	2
20	28	24	21	19.2						28		
22	30	26	23	21.2						30		
25	33	29	26	24.2						33		
28	36	32	29	27.2						36		
30	38	34	31	29.2						38		
32	41	36	33	30.9	±0.10	0.5	0.5	41	±0.10			
35	44	39	36	33.9				44				
36	45	40	37	34.9				45				
40	49	44	41	38.9				49				
45	54	49	46	43.9				54				
50	59	54	51	48.9				59				
55	64	59	56	53.9	6	3	10			54	2.5	2.5
60	69	64	61	58.9						59		
63	72	67	64	61.9						64		
65	74	69	66	63.9						69		
70	82	75	71	68.5						72		
										74		

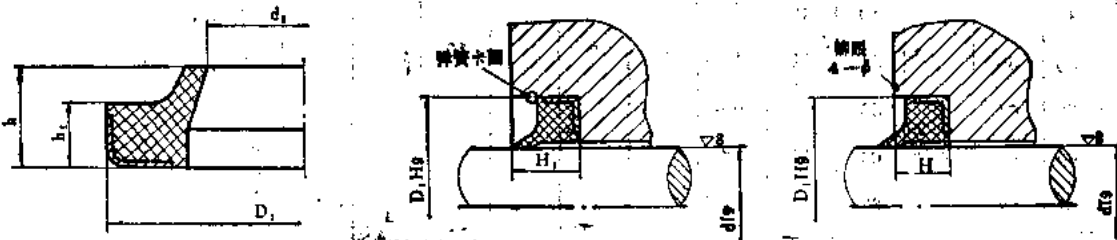
(续)

公称内径 d	密封圈尺寸									沟槽尺寸			
	D	D ①	d_1	d_2	H	H_1	R	V	C	D	B	b	
75	87		80	76	73.5						87		
80	92		85	81	78.5						92		
85	97		90	86	83.5						97		
90	102	-0.23 -0.70	95	91	88.5	8	4				102	3.2	± 0.12
95	107		100	96	93.5				1	1	107		
100	112		105	101	98.5						112		
105	117		110	104	103.5			± 0.12			117		
110	122		115	111	108.5						122		
120	132		125	121	118.5						132		
125	140		132	127	123				15		140		
130	145	-0.26 -0.80	137	133	129						145		
140	155		147	142	138	10	5				155	4	± 0.10 -0.20
150	165		157	152	148						165		
160	175		167	162	158						175		
180	195		187	182	178						195		
200	218	-0.30 -0.90	208	202	197.5				2	1.5	210		
220	238		228	222	217.5						238		
250	268		258	252	247.5						268	4.5	± 0.10 -0.35
280	298	-0.34 -1.00	288	282	277.5	12	6	± 0.15			298		
320	338		328	322	317.5						338		
360	378	-0.38 -1.10	368	362	357.5						378		

注：① 沟槽尺寸 D 同此。

表6—2列出了骨架式橡胶防尘圈（图6—1b）与沟槽的尺寸系列。

表6—2 骨架式橡胶防尘圈与沟槽尺寸系列



标记示例：

轴径 $d = 10$ 、外径 $D_1 = 20$ 的骨架式橡胶防尘圈，记为
防尘圈 10×20

mm

轴 径 d	防 尘 圈				沟 槽		
	D_1	d_2	h_1	h	H	H_1	ϕ
10~25	20~45	85~33.5	5	7	6	9	2
40~95	52~107	38~93	7	10	8	12	3
100~150	113~166	97.5~147.5	8	12	9	13	3
155~250	173~270	152~247	9	14	10	14	3

注：表中 d 、 D_1 、 d_2 以5进位。

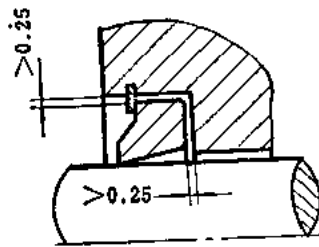
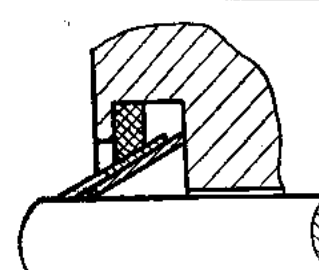
第二节 金属防尘圈

非金属唇形防尘圈的唇口刮擦能力不强，只适用于去除粘着力较小的污垢。金属唇形防尘圈（图6—1c）则有很强的刮削能力，可用于去除粘着力大的污垢，诸如盐类结晶，冻结的冰层，长期沉积的油垢等。

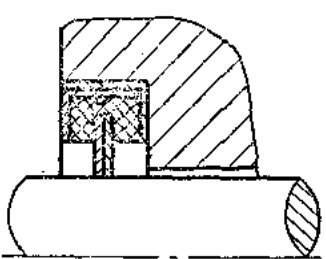
表6—3列出了金属唇形防尘圈的类型与特性。

金属唇形防尘圈的唇口对被密封表面的追随能力较差。因此，采用浮动式结构形式，则可显著改善其追随性能。表6—3所列J形防尘圈，即为浮动式。

表6—3 金属唇形防尘圈的类型与特性

名 称	型 式	特 性
J型防尘圈		浮动式结构追随性好，刮除污垢能力强
锥型防尘圈		橡胶垫式结构，唇口追随性好，除污能力强

(续)

名称	型式	特性
刮板防尘圈		类似锥型防尘圈，除污能力不如锥型防尘圈

第三节 毛毡防尘圈

在防尘密封装置中，毛毡防尘圈是最简单的一种密封元件，广泛应用于低速、常温、常压的电机、齿轮箱等机械中，用以密封润滑油（脂）与防尘。

毛毡圈材质的不同，密封效果也不一样。粗毛毡制作的毛毡圈，轴的线速度只允许在 $3m/s$ 以下；优质细毛毡制作的毛毡圈，允许线速度为 $6\sim 9m/s$ 。如果设计得好，润滑充分，毛毡圈可在 $20m/s$ 的高速下正常工作。毛毡圈的工作温度一般不超过 $90^{\circ}C$ ，压力低于 1 公斤力/厘米 2 。

图6—2所示为毛毡密封装置的结构型式。其中图6—2a所示结构应用最普遍。

要求密封严格时，可以使用两道毛毡圈（图6—2b）。一道用以防止润滑剂泄漏，另一道用以防止灰尘等异物侵入。毛毡具有天然弹性，内部呈多微孔海绵状，轴旋转时，将润滑油刮下贮存起来，实现自身润滑。同时，两道毛毡圈之间亦可贮存一定量的润滑油，使工作条件大大改善。有时为了贮存更多的润滑油，而将一道沟槽不装毛毡圈（图6—2c）。

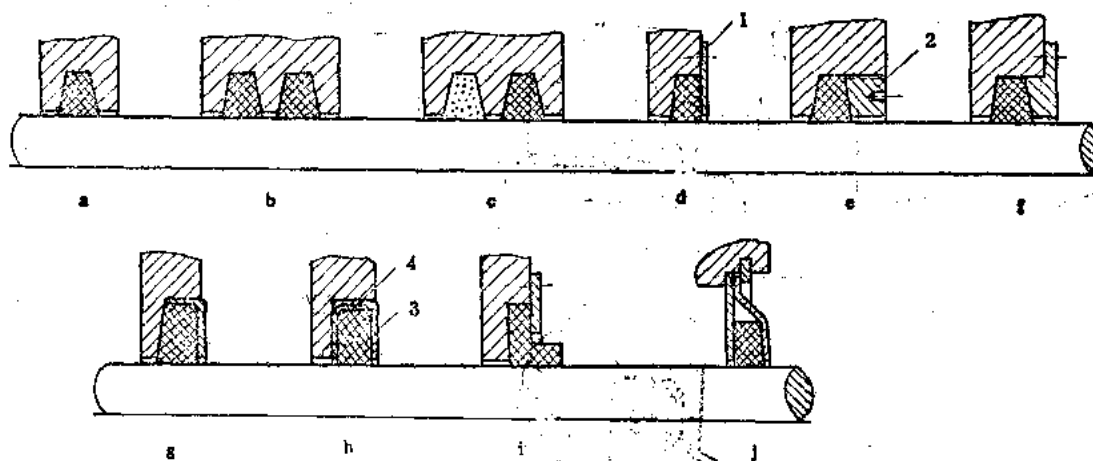


图6—2 毛毡圈密封装置结构型式

图6—2a、b、c所示毛毡圈密封装置，毛毡圈是自由放置的，无轴向压力调节，故

被密封的介质，只能是粘度较大的油剂。

图6—2d、e所示毛毡圈密封装置分别用压板1与压紧螺圈2压紧毛毡圈。其压紧力可调，如发现泄漏，可进行调节。

图6—2f所示结构的压紧件是由两半环组成，便于装卸与更换毛毡圈。

图6—2d、e、f所示结构，更换毛毡圈时，均不必拆下密封盖。

图6—2g与d所示结构基本相同，只是前者更为紧凑美观。

图6—2h的型式适于大量生产。前后压盖3、4与毛毡圈装成组件，毛毡圈已预受轴向压紧力。更换时，整个组件一起拆下。

图6—2i所示结构的特点是，毛毡圈与轴的接触面积大，密封效果好。

图6—2j所示为无密封盖的结构型式。毛毡圈与沟槽的尺寸如图6—3所示。

毛毡圈尺寸：

$$d_1 = d - 1 (mm);$$

$$D = d + (14 \sim 20) (mm);$$

$$b_1 = 6 \sim 14 (mm)。$$

沟槽尺寸

$$d_0 = d + (1 \sim 2) (mm);$$

$$D_0 = D + (1 \sim 2) (mm);$$

$$b = b_1 - (0.5 \sim 1.5) (mm)。$$

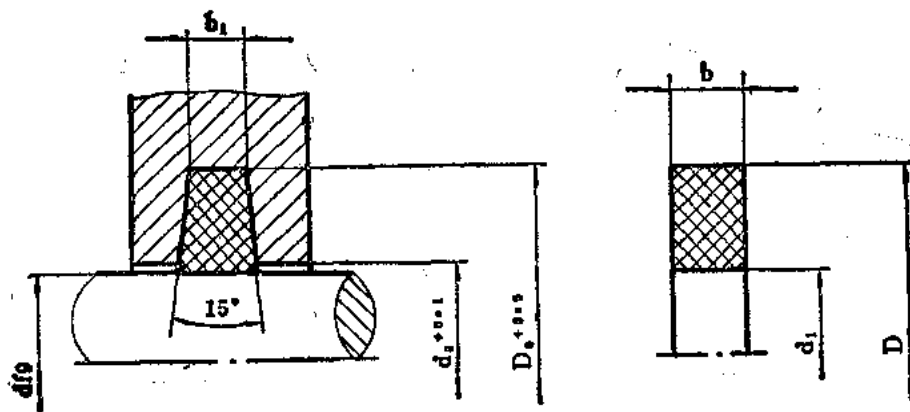
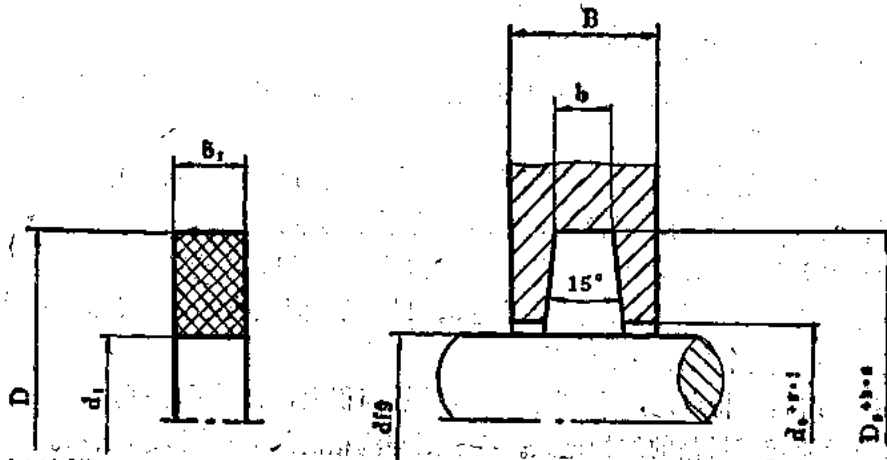


图6—3 毛毡圈与沟槽尺寸

毛毡圈装填于成15°斜角的梯形槽内使用，装填前要用油浸透。

表6—4列出了适用于矿山、石油、化工、起重运输等重型机械的毛毡圈与沟槽的尺寸系列(Q/ZB68—62)。

表6—4 重型机械用毛毡圈与沟槽尺寸系列 (ZB68—62)



标记示例:

轴径 $d = 40$ 、材料为半粗羊毛毡122—38 (FJ314—66) 的毛毡圈, 记为
毡圈40 毛毡122—38 (FJ314—66) Q/ZB68—62

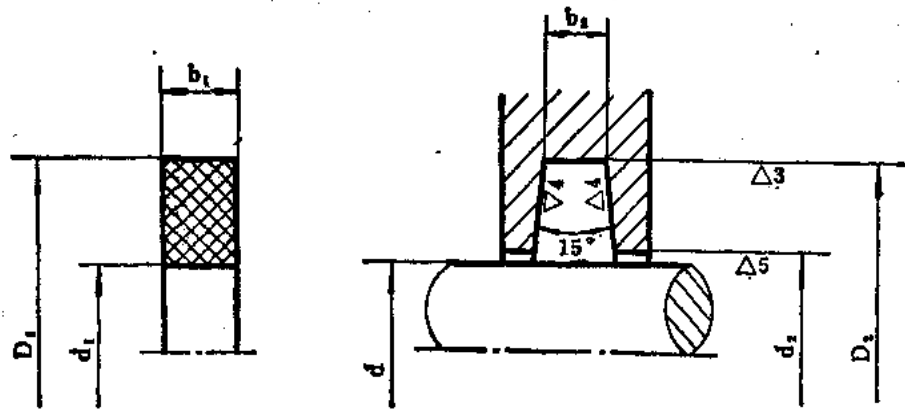
mm

轴 径 d	毛 毡 圈			沟 槽				
	D	d_1	b_1	D_0	d_0	b	B	
15	29	14	6	28	16	5	12	
20	33	19		32	21	5		
25	39	24		38	26	5		
30	45	29	7	44	31	6	15	
35	49	34		48	36			6
40	53	39		52	41			6
45	61	44	8	60	46	7	18	
50	69	49		68	51			7
55	74	53		72	56			7
60	80	58	9	78	61	8	20	
65	84	63		82	66			8
70	90	68		88	71			8
75	94	73	10	92	77	10	22	
80~90 ^①								
95~125 ^①								
130~135	$d+22$	$d-2$	12	$d+20$	$d+2$	10	18	
140~190 ^①			14			$d+3$	12	20
195								
200~240 ^②								

注: 1. 本标准适用线速度 $< 5m/s$ 。 2. ①的轴径为5进位, ②的轴径为10进位。

表6—5列出了适用于轻工、纺织等机械的毛毡圈与沟槽的尺寸系列 (FJ145—79)。

表6—5 轻纺机械用毛毡圈与沟槽尺寸系列 (FJ145—79)



标记示例:

轴径 $d = 40$ 、材料为细羊毛毡112—44(FJ314—66)的毛毡圈, 记为
毛毡圈40 毛毡112—44 (FJ314—66) FJ145—79

mm

轴径 d	毛毡圈			沟槽			轴径 d	毛毡圈			沟槽					
	d_1	D_1	b_1	d_2	D_2	b_2		d_1	D_1	b_1	d_2	D_2	t_2			
10	9	18	2.5	11	19	2	45	44	57	7	46	58	5			
12	11	20		13	21		48	47	60		49	61				
14	13	22		15	23		50	49	63		51	67				
15	14	23		16	24		55	54	71		58	72				
16	15	26		17	27		60	59	76		61	77				
18	17	28	3.5	19	29	3	65	64	81	7	66	82	6			
20	19	30		21	31		70	69	88		71	89				
22	21	32		23	33		75	74	93		76	94				
25	24	37		26	38		80	79	98		81	99				
28	27	40		29	41		85	84	103		86	104				
30	29	42	5	31	43	4	90	89	110	8.5	91	111	7			
32	31	44		33	45		95	94	115		96	116				
35	34	47		36	48		100	99	124		101	125				
38	37	50		39	51		105	104	129		106	130				
40	39	52		41	53		110	109	134		111	135				
42	41	54	5	43	55	4	120	119	148	9.5	121	149	8			

(续)

轴径	轴 套 圈			沟 槽			轴径	轴 套 圈			沟 槽		
	d_1	D_1	b_1	d_2	D_2	b_2		d	d_1'	D_1'	b_1	d_2	D_2
100	129	158		141	159	9	170	169	202		171	203	
140	139	168		141	169		180	179	213		181	219	
150	149	182	11.5	151	183		190	189	224	13	191	230	12
160	159	192		161	193	10	200	199	235		201	239	

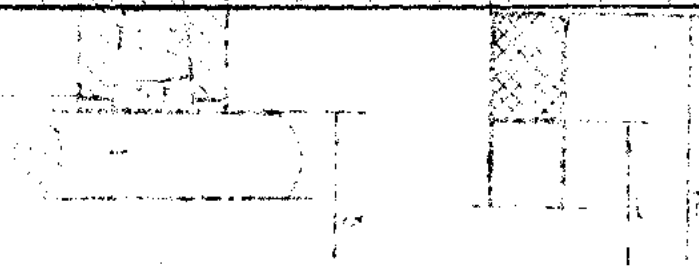


图 10-10 轴套圈与轴套圈配合尺寸表 (mm)

轴径	轴套圈内径	轴套圈外径	轴套圈宽度	轴套圈内径	轴套圈外径	轴套圈宽度
100	129	158	9	141	159	9
140	139	168		141	169	
150	149	182	11.5	151	183	
160	159	192		161	193	10
170	169	202		171	203	
180	179	213		181	219	
190	189	224	13	191	230	12
200	199	235		201	239	
210	209	246		211	251	
220	219	257		221	262	
230	229	268		231	273	
240	239	279		241	284	
250	249	290		251	295	
260	259	301		261	306	
270	269	312		271	317	
280	279	323		281	328	
290	289	334		291	339	
300	299	345		301	350	
310	309	356		311	361	
320	319	367		321	372	
330	329	378		331	383	
340	339	389		341	394	
350	349	400		351	405	
360	359	411		361	416	
370	369	422		371	427	
380	379	433		381	438	
390	389	444		391	449	
400	399	455		401	460	
410	409	466		411	471	
420	419	477		421	482	
430	429	488		431	493	
440	439	499		441	504	
450	449	510		451	515	
460	459	521		461	526	
470	469	532		471	537	
480	479	543		481	548	
490	489	554		491	559	
500	499	565		501	570	
510	509	576		511	581	
520	519	587		521	592	
530	529	598		531	603	
540	539	609		541	614	
550	549	620		551	625	
560	559	631		561	636	
570	569	642		571	647	
580	579	653		581	658	
590	589	664		591	669	
600	599	675		601	680	
610	609	686		611	691	
620	619	697		621	702	
630	629	708		631	713	
640	639	719		641	724	
650	649	730		651	735	
660	659	741		661	746	
670	669	752		671	757	
680	679	763		681	768	
690	689	774		691	779	
700	699	785		701	790	
710	709	796		711	801	
720	719	807		721	812	
730	729	818		731	823	
740	739	829		741	834	
750	749	840		751	845	
760	759	851		761	856	
770	769	862		771	867	
780	779	873		781	878	
790	789	884		791	889	
800	799	895		801	900	
810	809	906		811	911	
820	819	917		821	922	
830	829	928		831	933	
840	839	939		841	944	
850	849	950		851	955	
860	859	961		861	966	
870	869	972		871	977	
880	879	983		881	988	
890	889	994		891	999	
900	899	1005		901	1010	
910	909	1016		911	1021	
920	919	1027		921	1032	
930	929	1038		931	1043	
940	939	1049		941	1054	
950	949	1060		951	1065	
960	959	1071		961	1076	
970	969	1082		971	1087	
980	979	1093		981	1098	
990	989	1104		991	1109	
1000	999	1115		1001	1120	

第七章 密封垫圈

密封垫圈作为静密封装置用密封元件，广泛应用于管路连接、压力容器与各种传动装置法兰接合面等处的密封装置中。密封垫圈的种类繁多，这里仅按其用途分别予以介绍。

第一节 管路密封垫圈

在液压与气动传动的管路系统中，极其广泛地应用着管路密封垫圈。

一、组合密封垫圈

组合密封垫圈（图7—1）由橡胶体1与金属环2硫化胶合而成。在密封介质压力作用下，橡胶体1的两唇张开，形成对两密封面的可靠密封。

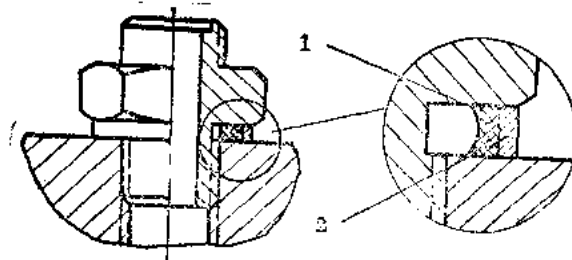


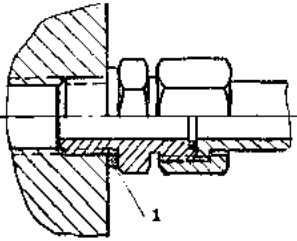
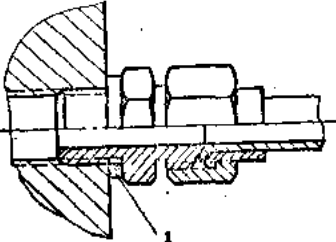
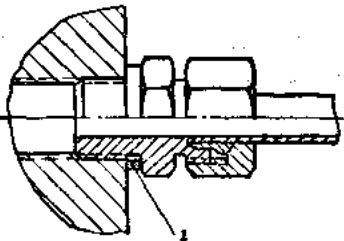
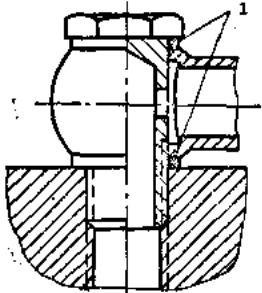
图7—1 组合密封垫圈工作示例

1—橡胶体； 2—金属环

组合密封垫圈具有结构简单紧凑，工艺性好，不需开设密封沟槽，承受压力高，密封可靠等优点。因此，广泛应用于螺纹尺寸为60毫米或60毫米以下的螺纹连接管路系统。

组合密封垫圈的适用温度 $-25\sim+100^{\circ}\text{C}$ 、工作压力400公斤力/厘米²。一般多用作焊接式、卡套式、扩口式、铰接式管接头（表7—1）与螺塞（油塞）等处的密封。连接处平面的表面光洁度为 $\nabla 5\sim 6$ 。

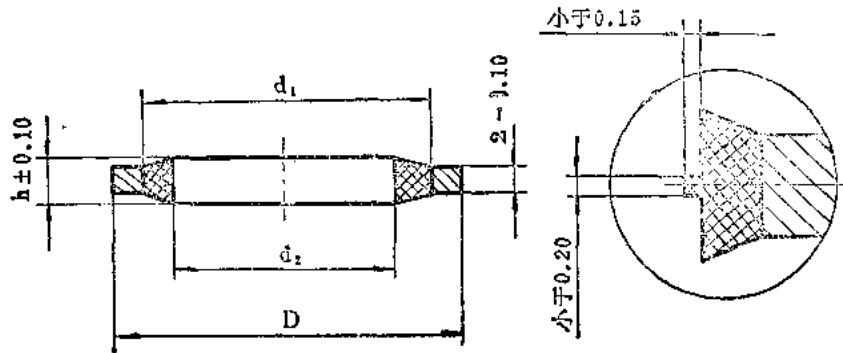
表7—1 管路连接的密封型式

名称	型 式	特 点 与 应 用
焊接式管接头	 <p style="text-align: center;">(JB966—77等)</p>	适用于以油、水、气为工作介质、工作温度为 $-25\sim+100^{\circ}\text{C}$ 、工作压力为 $320\text{Kg}/\text{cm}^2$ 的管路系统
卡套式管接头	 <p style="text-align: center;">(JB1942—77等)</p>	适用于以油、水、气为工作介质、工作温度为 $-25\sim+100^{\circ}\text{C}$ 、工作压力为 $320\text{Kg}/\text{cm}^2$ 的管路系统
扩口式管接头	 <p style="text-align: center;">(JB1902—77等)</p>	适用于以油、水、气为工作介质、工作温度为 $-25\sim+100^{\circ}\text{C}$ 工作压力为 $320\text{Kg}/\text{cm}^2$ 的管路系统
铰接式管接头	 <p style="text-align: center;">(JB978—77等)</p>	适用于以油、水、气为工作介质、工作温度为 $-25\sim+100^{\circ}\text{C}$ 、工作压力为 $320\text{Kg}/\text{cm}^2$ 的管路系统

注：表中插图指号为组合密封垫圈。

表7—2所列为组合密封垫圈尺寸系列 (JB982—77)。

表7-2 组合密封垫圈的尺寸系列 (JB932-77)



标记示例:

公称直径为30的组合密封垫圈, 记为
垫圈30 JB932-77

mm

公称 直径	d_1		d_2		D		$h \pm 0.10$	孔 d_2 公差 带H7/g6	通过螺紋 尺寸	
	尺寸	公差	尺寸	公差	尺寸	公差				
8	8.4	± 0.12	10	$+0.24$	14	-0.21	0.7	0.10	M8	
10	10.4		12		16				M10(G3/8 [*])	
12	12.4		14		18				M12	
14	14.4		16		20				M14(G1/4 [*])	
16	16.4	18	22	M16						
18	18.4	20	25	M18(G3/8 [*])						
20	20.5	23	28	M20						
22	22.5	25	30	M22(G1/2 [*])						
24	24.5	± 0.14	27	$+0.28$	32	-0.34			0.15	M24
27	27.5	30	35		M27(G3/4 [*])					
30	30.5	33	38		M30					
33	33.5	36	42		M33(G1 [*])					
36	36.6	± 0.17	40	$+0.34$	46		2.0	0.40		M36
39	39.6		43	50	M39					
42	42.6		46	53	M42(G1/4 [*])					
45	45.6		49	56	M45					
48	48.7	52	60	M48						
52	52.7	± 0.20	56	$+0.40$	66					M52
60	60.7		64		75	M60(G2 [*])				

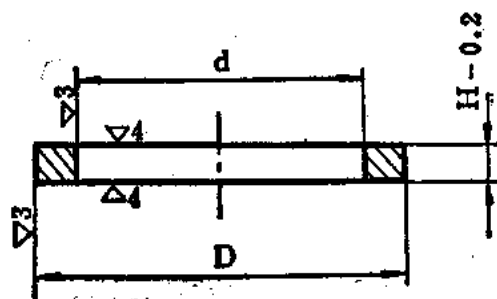
二、金属密封垫圈

金属密封垫圈，通常系指用紫铜、纯铝、软钢、不锈钢、合金钢等制作的金属环。其中纯铝、紫铜制作的密封垫圈用得最多。因靠垫圈自身受压变形实现密封作用，所以，要求制作密封垫圈的金属硬度较低。对纯铝、紫铜而言，退火后 $HB32\sim 45$ 即可。

金属密封垫圈的结构简单紧凑，工艺性好，适用的温度范围（ $-25\sim +600^{\circ}\text{C}$ ）很大，可在温度较高（ 600°C ）的工况下长期使用。工作压力为 10^{-12} 毫米汞柱至200公斤力/厘米²。工作介质为油、水、气等。

部标准JB1002—77《密封垫圈》，适用于螺纹直径为60毫米或60毫米以下的焊接式、卡套式、扩口式、铰接式管接头（表7—1）与螺塞（油塞）等处的密封，其尺寸系列见表7—3。

表7—3 金属密封垫圈尺寸系列（JB1002—77）



标记示例：

公称直径为27、材料为紫铜T3的金属密封垫圈，记为
垫圈27 T3 JB1002—77

77171

公称直径	d		D		H	同轴度	适用螺纹	
	尺寸	公差	尺寸	公差			螺栓	螺孔
4	4.2	+0.24	7.9	-0.14	1.5	0.10	—	M10×1
5	5.2		8.9				—	M12×1.25
7	7.2		10.9				—	M14×1.5
8	8.2		11.9				M8	—
10	10.2		13.9				M10	—
12	12.2		15.9				—	M18×1.5
13	13.2		16.9				—	M20×1.5
14	14.2		17.9				M14	—
15	15.2		18.9				—	M22×1.5

(续)

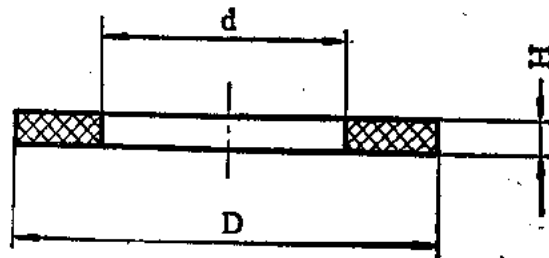
公直 称径	d		D		H	同轴度	适用螺栓	
	尺寸	公差	尺寸	公差			螺栓	螺孔
16	16.2	+0.28	19.9	-0.28	2	0.15	M16	—
18	18.2		22.9				M27×2	
20	20.2		24.9				M20	—
22	22.2		26.9				M22	—
24	24.2		28.9				—	M33×2
27	27.2		31.9				M27	—
30	30.2	35.9	-0.34	0.20		M30	—	
32	32.2	37.9				—	M42×2	
33	33.2	38.9				M33	—	
36	36.2	41.9				M36	M48×2	
39	39.2	45.9				M39	—	
40	40.2	46.9				M40	—	
42	42.2	48.9	-0.40	0.25	M42	—		
45	45.2	51.9			M45	—		
48	48.2	54.9			M48	M60×2		
52	52.2	59.9			M52	—		
60	60.2	+0.40			67.9	M60	—	

三、非金属密封垫圈

非金属密封垫圈，一般系指用各种非金属材料，橡胶板（HG4—400—66）、石棉橡胶板（JC125—66）、耐油石棉橡胶板（GB539—65）、衬垫密封纸板等制作的密封垫圈。广泛应用于汽车、拖拉机、矿山、工程、建筑安装，起重运输等机器设备中，作密封、减震、缓冲等元件。

表7—4所列为常用橡胶密封垫圈的尺寸系列（HG4—330—66），适用于各种机器设备，在规定的温度范围内与各种介质中，实现密封、减震、缓冲作用。

表7—4 橡胶密封垫圈的尺寸系列（HG4—330—66）



标记示例:

螺纹直径 $d_0 = 20$ 、材料为耐油橡胶I-4的橡胶密封垫圈, 记为
垫圈20 橡胶I-4 HG4-330-66

螺纹直径 d_0	d	D	H	螺纹直径 d_0	d	D	H
6	7	14	2 ± 0.3	22	23	44	$3 \begin{matrix} +0.6 \\ -0.4 \end{matrix}$
8	9	18		24	25	46	
10	11	22		27	28	52	$4 \begin{matrix} +1.0 \\ -0.5 \end{matrix}$
12	13	28		30	31	55	
14	15	30	36	38	68		
16	17	34	42	44	80		
18	19	33	$3 \begin{matrix} +0.6 \\ -0.4 \end{matrix}$	48	50	90	
20	21	40					

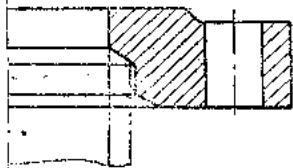
注: 各组胶料特性及工作条件应符合表4-19之规定。

第二节 法兰密封垫圈


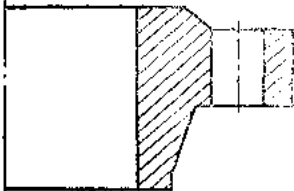
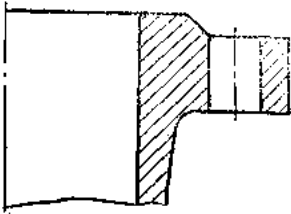
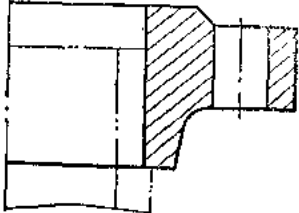
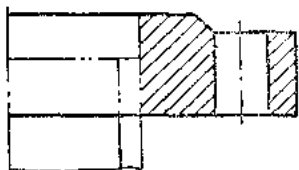
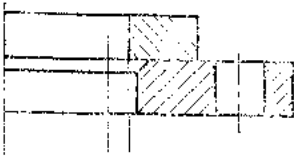
一、法兰的结构型式与应用

法兰连接的应用极广, 法兰的结构型式种类繁多。按结构可分为整体式、松套式与螺纹连接式。按用途可分为管路法兰、压力与真空容器法兰以及各种传动装置法兰等。一般尺寸从10~4000毫米。表7-5所列为几种常用法兰的结构型式与适用范围。法兰结构型式的选择, 主要根据工作压力, 工作温度, 工作介质及对密封的要求等。一般当压力在16公斤力/厘米²以下时, 可选用光滑密封面; 当压力在25~64公斤力/厘米²或剧毒介质、密封要求严格的场合时, 宜选用凹凸密封面和榫槽式密封面; 当压力大于64公斤力/厘米²时, 宜选用梯形槽式和透镜式密封面。

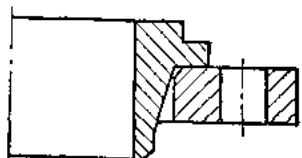
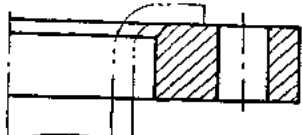
表7-5 几种常用法兰连接的结构型式

标准名称	简 图	适 用 范 围
甲型平焊法兰 (JB1158-73)		适用工作压力2.5~16Kg/cm ² , 介质温度≤300℃, 公称通径300~2200mm

(续)

标准名称	简图	适用范围
乙型平焊法兰 (JB1159-73)		通用工作压力 $2.5\sim 40\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 350^\circ\text{C}$, 公称直径 $100\sim 3000\text{mm}$
长颈对焊法兰 (JB82-59, JB1160-73)		JB82-59通用工作压力 $2.5\sim 200\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 500^\circ\text{C}$, 公称直径 $10\sim 1500\text{mm}$ JB1160-73通用工作压力 $6\sim 64\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 500^\circ\text{C}$, 公称直径 $100\sim 2000\text{mm}$
铸钢法兰 (JB78-59) (GB1052-70)		通用工作压力 $2.5\sim 25\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 500^\circ\text{C}$, 公称直径 $15\sim 4000\text{mm}$
铸铁螺纹法兰 (JB80-59)		通用工作压力 $2.5\sim 25\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 250^\circ\text{C}$, 公称直径 $10\sim 150\text{mm}$
平焊钢法兰 (JB81-59)		通用工作压力 $2.5\sim 25\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 300^\circ\text{C}$, 公称直径 $10\sim 1600\text{mm}$
平焊松套法兰 (JB83-59)		通用工作压力 $2.5\sim 25\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $\leq 300^\circ\text{C}$, 公称直径 $10\sim 500\text{mm}$

(续)

标准名称	简图	适用范围
对焊松套钢法兰 (JB84-59)		适用工作压力 $40\sim 100\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $< 425^\circ\text{C}$, 公称通径 $10\sim 400\text{mm}$
卷边松套钢法兰 (JB85-59)		适用工作压力 $2.5\sim 6\text{Kg}/\text{cm}^2$, 介质温度 $< 300^\circ\text{C}$, 公称通径 $10\sim 500\text{mm}$

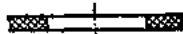
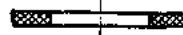
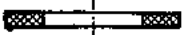
二、法兰用密封垫圈

为确保法兰连接具有可靠的密封性, 选用合适的法兰密封垫圈, 则是非常重要的, 宜认真选取。

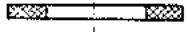
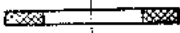
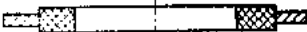
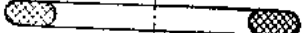
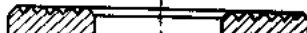
一般根据密封压力、温度与介质的腐蚀性并结合被密封表面的结构型式, 选择法兰密封垫圈。当在常温低压时, 选用非金属垫圈; 当在中压高温时, 选用半金属(即金属与非金属组合)垫圈或金属垫圈; 当在压力温度有较大波动时, 选用回弹性好或自紧式垫圈; 当在低温高腐蚀性介质或真空时, 选用具有特殊性能的密封垫圈。

表7-6介绍了几种常用密封垫圈及其适用范围。

表7-6 几种常用密封垫圈及其适用范围

名称	材料	使用条件		
		压力 Kg/cm^2	温度 $^\circ\text{C}$	介质
皮革密封垫圈 	牛皮或浸油、蜡、合成橡胶、合成树脂牛皮		$-60\sim +100$	油、水、空气等
纸密封垫圈 	软钢纸板 (QB365-63)	< 4	< 120	润滑油、燃料油、水等
橡胶密封垫圈 	天然橡胶	10^{-3}mm $\text{Hg}\sim 6$	$-60\sim +100$	水、海水、空气、惰性气体、盐类水溶剂、稀盐酸稀硫酸等
	普通橡胶板 (HG4-329-66)		$-40\sim +60$	水、空气、制动液等

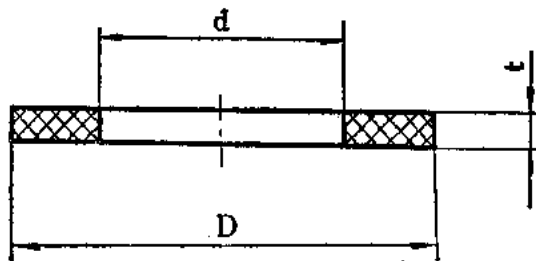
(续)

名 称	材 料	使 用 条 件		
		压力 Kgf/cm^2	温度 $^{\circ}C$	介 质
夹布石棉橡胶板  (GB583—65) (JB1161—73) (JB87—59)	夹布石棉橡胶板	6~64	-30~+450	海水、淡水、空气、润滑油、燃料油等
聚四氟乙烯密封垫圈 	聚四氟乙烯板 (HG4—534—67)	≤ 30	-180~+250	浓酸、浓碱、溶剂、油类
半金属密封垫圈  (JB1162—73)  (JB1163—73)	金属：紫铜、铝、软钢、合铁钢等 非金属：石棉带(板)、石棉橡胶带(板)、聚四氟乙烯带(板)、陶瓷纤维等	≤ 64	≤ 600	油、水、气等
齿形金属密封垫圈 (JB88—59) 	10 (08) 钢、1Cr13 不锈钢	40~200	≤ 600	油、水、气等

1. 非金属密封垫圈

表7—7所列夹布石棉橡胶板密封垫圈 (GB583—65)，适用工作压力 6~60 公斤力/厘米²、介质温度 -30~+450 $^{\circ}C$ ，工作介质有润滑油，燃料油、空气、水（淡水、海水）等。

表7—7 法兰用软垫圈 (GB583—65)



标记示例：

外径 $D=60$ ，内径 $d=34$ ，厚度 $t=2$ ，材料为石棉橡胶板的法兰垫圈记为
 垫圈 60×34 石棉橡胶板2 (GB539~544-65) GB583-65

mm

公称直径 D_g	公称压力 P_g Kgf/cm^2						
	6	10	16	25	6, 10, 16, 25	40, 64	40, 64
	D				d	D	d
15	42	—	—	—	20	—	—
20	52	52	52	52	26	51	35
25	60	60	60	60	34	58	42
32	68	68	68	68	42	66	50
40	78	78	78	78	50	76	60
50	88	88	88	88	62	88	72
65	108	108	115	115	78	110	94
80	123	123	130	130	94	121	105
100	143	143	150	150	114	150	128
125	163	168	170	174	140	176	154
150	193	193	200	205	165	204	182
(175)	223	231	235	240	196	234	212
200	249	256	259	265	222	260	238
(225)	279	284	285	290	248	287	265
250	309	314	315	320	276	313	291
300	364	369	370	375	328	364	342
350	414	419	421	431	380	422	394
400	464	470	476	481	431	—	—
450	514	525	526	—	483	—	—
500	569	575	581	—	535	—	—

表7—8所列为法兰用软垫圈的材料及其适用范围。

表7—8 法兰用软垫圈材料及其适用范围

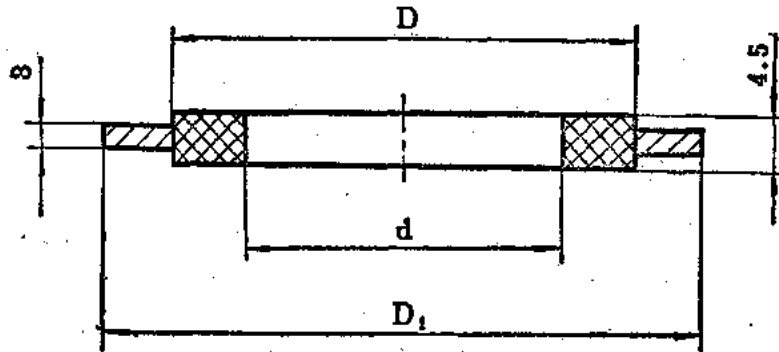
名 称	使 用 条 件		
	压力 P_g Kgf/cm^2	温 度 $^{\circ}C$	适 用 介 质
耐油石棉橡胶板 (GB539~544-65)	64	+100	润滑油与燃料油
高压石棉橡胶板 (JC125-66)	60	+450	过热蒸汽、饱和蒸汽、海水、淡水、氨、碱液、 空气、烟气和惰性气体等
中压石棉橡胶板 (JC125-66)	40	+350	
低压石棉橡胶板 (JC125-66)	15	+200	
中等硬度与中等弹性夹布橡皮	6	-30~+60	海水、淡水(饮用水除外)、空气、润滑油、燃料油
不含锌质的中等弹性夹布 橡皮	6	-30~+150	饮用水

2. 半金属密封垫圈

表7-9与表7-10所列为半金属——金属缠绕式密封垫圈尺寸系列 (JB1162-73)。表7-9适用于密封光滑表面。表7-10适用于密封凹凸式与榫槽式表面。

表7-11与表7-12所列为半金属——金属包裹式密封垫圈尺寸系列 (JB1163-73)。表7-11适用于光滑表面的密封。表7-12适用于凹凸式与榫槽式表面的密封。

表7-9 光滑表面用缠绕式密封垫圈尺寸系列 (JB1162-73)



标记示例.

外径 $D_1 = 1070$ 、内径 $d = 1020$ 的缠绕式密封垫圈, 记为
垫圈 1070×1020 JB1162-73

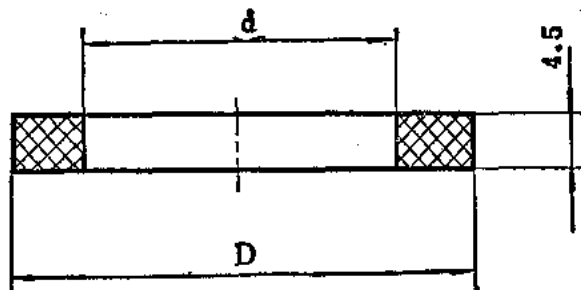
公称直径 D_g	内径 d	公称压力 P_g (Kgf/cm ²)															
		2.5		6		10		16		25		40		64			
		外 径															
		D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1
300	320					384	364	355	370			356	336			384	391
(350)	370					398	414	405	420			406	430			414	441
400	420					448	464	455	470			458	480			464	491
(450)	470					498	514	505	520			506	530			514	541
500	520			548	564			555	570	558	580			564	591	564	613
(550)	570			598	614			605	620	606	650			614	641	614	663
600	620			648	664			655	670	650	680			664	691	694 (642)	720
(650)	670			698	714			705	720	706	730	714	741	714	763	744 (692)	770
700	720	748	764			755	770					764	791	764	813	814 (762)	841
800	820	848	864			855	870					864	891	864	913	914 (832)	944

(续)

公称直径 D_g	内径 d	公称压力 P_g (Kgf/cm ²)															
		2.5		6		10		16		25		40		64			
		外 径															
		D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	$\frac{D}{(d)}$	D_1
900	920	928	964			955	970			964	991			964	1013		
1000	1020					1055	1070			1064	1091			1064	1113		
(1100)	1120			1155	1170	1164	1191			1164	1191	1164	1213				
1200	1220			1255	1270	1264	1291			1264	1291	1264	1313				
(1300)	1320			1355	1370	1364	1391			1364	1391	1364	1413				
1400	1420			1455	1470	1464	1491			1464	1491	1464	1513				
(1500)	1520			1555	1570	1564	1591			1564	1613						
1600	1620			1655	1670	1664	1691			1664	1713						
(1700)	1720	1755	1770			1764	1791			1764	1813						
1800	1820	1855	1870			1864	1891			1864	1913						
(1900)	1920	1955	1970	1964	1991	1964	2013										
2000	2020	2055	2070	2064	2091	2064	2113										
2200	2220	2255	2270	2264	2291												
2400	2420			2264	2491												
2600	2620	2664	2691														
2800	2820	2864	2891														
3000	3020	3064	3091														

- 注: 1. 表中空格内的尺寸与高一级公称压力的规格尺寸相同。
 2. 表中粗实线范围内的尺寸适用于甲型平焊法兰。
 3. 4个括号内的内径用于与其对应的外径。

表7-10 凹凸式与榫槽式密封表面用缠绕式密封垫圈尺寸系列 (JB1162-73)



标记示例:

外径 $D = 1044$ 、内径 $d = 1016$ 的缠绕式密封垫圈, 记为

• 200 •

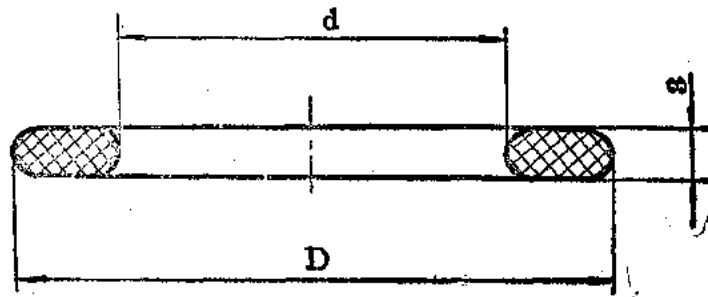
垫圈1044×1016 JB1162-73

mm

公称直径 D_g	公称压力 P_g (Kgf/cm ²)															
	2.5		6		10		16		25		40		64			
	垫圈外、内直径															
	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d
300					339	311	344	316							354	320
(350)					389	361	394	366							404	370
400					439	411	444	416							454	420
(450)					489	461	494	466							504	470
500			539	511			544	516							554	520
(550)			589	561			594	566							604	570
600			639	611			644	616				654	626	670	647	
(650)			689	661			694	666				704	676	720	697	
700	789	711			744	716						754	726	790	767	
800	839	811			844	816						854	826	890	867	
900	939	911			944	916						954	926			
1000					1044	1016						1054	1026			
(1100)			1144	1112	1159	1127					1159	1127				
1200			1244	1212	1259	1227					1259	1227				
(1300)			1344	1312	1359	1327					1359	1327				
1400			1444	1412	1459	1427					1459	1427				
(1500)			1544	1512	1559	1527			1559	1527						
1600			1644	1612	1659	1627			1659	1627						
(1700)	1744	1712			1759	1727			1759	1727						
1800	1844	1812			1859	1827			1859	1827						
(1900)	1944	1912			1959	1927										
2000	2044	2012			2059	2027										
2200	2244	2212	2259	2227												
2400			2459	2427												
2600	2659	2627														
2800	2859	2827														
3000	3059	3027														

注: 1. 表中空格内的尺寸与高一级公称压力的规格尺寸相同。
2. 表中粗实线范围内的尺寸适用于甲型平焊法兰。

表7-11 光滑表面用金属包裹式密封垫圈的尺寸系列 (JB1163-73)



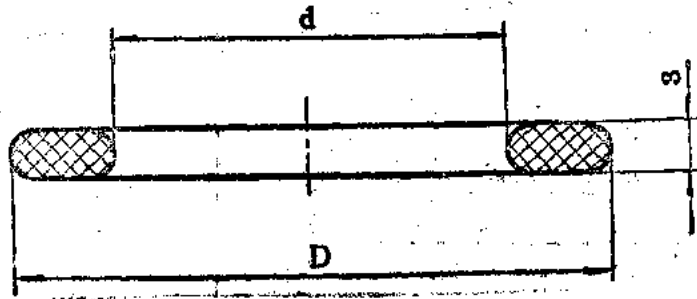
标记示例:

外径 $D = 1070$ 、内径 $d = 1038$ 的金属包裹式密封垫圈, 记为
垫圈 1070×1038 JB1163-73

公称直径 Dg	内 径 d	公称压力 P_g Kgf/cm^2						
		2.5	6	10	16	25	40	64
		外 径						
300	338					365	870	
(350)	388					415	420	
400	438					465	470	
(450)	488					515	520	
500	538					565	570	
(550)	588					615	620	
600	638					665	670 700(664)	
(650)	688					715	720 750(714)	
700	738						770 820(784)	
800	838						870 920(884)	
900	938						970	
1000	1038						1070	
(1100)	1138					1170		
1200	1238					1270		
(1300)	1338					1370		
1400	1438					1470		
(1500)	1538							
1600	1638					1570		
(1700)	1738					1670		
1800	1838					1770		
(1900)	1938					1870		
2000	2038					1970		
2200	2238					2070		
2400	2438				2270			
2600	2638				2470			
2800	2838			2670				
3000	3038			2870				
				3070				

注: 1. 表中空格内的尺寸与高一公称压力的规格相同。
2. $P_g 64$ 栏内4个括号内的尺寸为用于与其对应外径的内径。

表7-12 凹凸式与榫槽式表面用金属包裹式密封垫圈尺寸系列
(JB1163-73)



标记示例:

外径 $D = 1054$ 、内径 $d = 1026$ 金属包裹式密封垫圈, 记为
垫圈 1054×1026 JB1163-73

mm

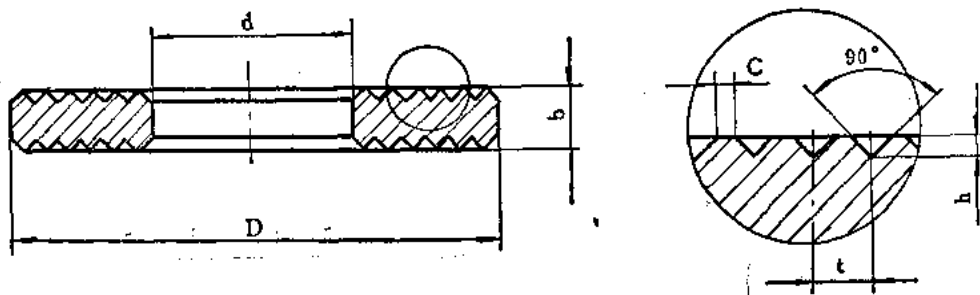
公称直径 D_g	内 径 d	公称压力 P_g Kgf/cm^2						
		2.5	6	10	16	25	40	64
		外 径 D						
300	326							354
(350)	376							404
400	426							454
(450)	476							504
500	526							554
(550)	576							604
600	626						654	679(647)
(650)	676						704	729(697)
700	726						754	799(767)
800	826						854	899(867)
900	926						954	
1000	1026						1054	
(1100)	1127							1159
1200	1227							1259
(1300)	1327							1359
1400	1427							1459
(1500)	1527							1559
1600	1627							1659
(1700)	1727							1759
1800	1827							1859
(1900)	1927							1959
2000	2027							2059
2200	2227							2259
2400	2427							2459
2600	2627							2659
2800	2827							2859
3000	3027							3059

注: 1. 表中空格内尺寸与高一級公称压力的规格尺寸相同。
2. $P_g 64$ 栏内4个括号内的尺寸为用于与其对应外径的内径。

3. 金属密封垫圈

表7—13所列齿形金属垫圈尺寸系列 (JB88—59), 适用于凹凸式表面的密封。工作压力40~200公斤力/厘米², 温度≤530℃, 介质为油、水、气等。

表7—13 凹凸式表面用齿形金属垫圈 (JB88—59)



标记示例:

直径 $D=120$ 、内径 $d=87$ 、材料为1Cr13的齿形金属密封垫圈, 记为
垫圈120×87 1Cr13 JB88—59

mm								
公称压力	公称通径 D_g	外径 D	内径 d	齿距 t	齿宽 C	厚度 b	齿高 h	齿数
Pg=40.64、100和160Kg/cm ²	10	84	13	1.5	0.2	3	0.65	7
	15	39	18	1.5	0.2	3	0.65	7
	20	50	23	1.5	0.2	3	0.65	9
	25	57	27	1.5	0.2	3	0.65	10
	32	65	35	1.5	0.2	3	0.65	10
	40	75	45	1.5	0.2	3	0.65	10
	50	87	57	1.5	0.2	3	0.65	10
	65	109	76	1.5	0.2	3	0.65	11
	80	120	87	1.5	0.3	3	0.65	11
	100	149	105	2	0.3	4	0.85	11
	125	175	131	2	0.3	4	0.85	11
	150	203	155	2	0.3	4	0.85	12
	175	233	185	2	0.3	4	0.85	12
	200	259	211	2	0.3	4	0.85	12
	225	286	234	2	0.3	4	0.85	13
	250	312	260	2	0.3	4	0.85	13
	300	363	311	2	0.3	4	0.85	13
	350	421	361	2	0.3	4	0.85	15
	400	473	413	2	0.3	4	0.85	15
	450	523	463	2	0.3	4	0.85	15
500	575	515	2	0.3	5	0.85	15	
600	677	613	2	0.3	5	0.85	16	
700	767	703	2	0.3	5	0.85	16	
800	875	811	2	0.3	5	0.85	16	

(续)

公称压力	公称通径 D_g	外径 D	内径 d	齿距 t	齿宽 C	厚度 b	齿高 h	齿数
$P_g=200\text{Kg/cm}^2$	15	27	15	1.5	0.2	3	0.65	4
	20	34	22	1.5	0.2	3	0.65	4
	25	41	26	1.5	0.2	3	0.65	5
	32	49	34	1.5	0.2	3	0.65	5
	40	55	40	1.5	0.2	3	0.65	5
	50	69	51	1.5	0.2	3	0.65	6
	65	96	72	1.5	0.2	3	0.65	8
	80	115	88	1.5	0.2	3	0.65	9
	100	137	105	2	0.3	4	0.85	8
	125	169	133	2	0.3	4	0.85	9
	150	189	153	2	0.3	4	0.85	9
	175	218	177	2	0.3	4	0.85	9
	200	244	204	2	0.3	4	0.85	10
	225	267	227	2	0.3	4	0.85	10
	250	318	258	2	0.3	4	0.85	10

注: 1. 垫圈材料为10号钢、1Cr13不锈钢, 其适用温度分别为: $\leq 450^\circ\text{C}$ 、 $\leq 530^\circ\text{C}$ 。

2. 垫圈两端之平行度为每100mm直径长度不大于 $\pm 0.05\text{mm}$ 。

三、法兰连接螺栓的拧紧力计算

法兰连接螺栓拧紧力的大小是设计计算螺栓的依据, 是法兰连接密封可靠性的重要因素, 必须通过计算选取。

图7-2为法兰连接受力分析示意图。根据法兰受力分析, 可按两种状态进行螺栓拧紧力的计算。

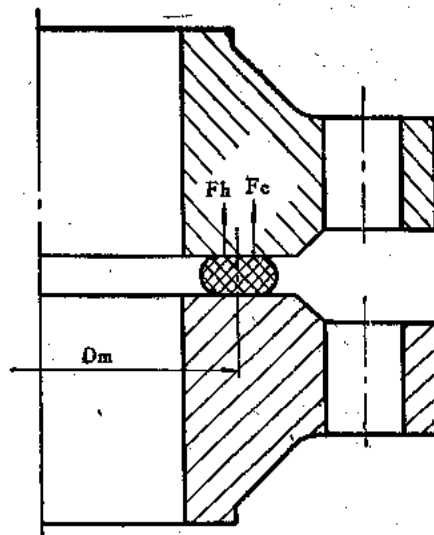


图7-2 法兰连接受力图

1. 工作状态下的螺栓拉力

为保证法兰连接在工作状态时的密封，可按下式计算螺栓拉力：

$$F_1 = F_h + F_c = \frac{\pi}{4} D_n^2 P + 2 \pi D_n b m P \quad (7-1)$$

式中 F_h ——工作介质压力产生的轴向力(Kgf)；

F_c ——密封力(Kgf)；

D_n ——密封力直径 (cm)，当 $b_0 \leq 0.64$ cm时， $D_n =$ 密封垫圈接触面平均直径 D_m ，
当 $b_0 > 0.64$ cm时， $D_n = D_m - 2b_0$ ；

b ——密封垫圈的有效密封宽度cm，与其基本宽度 b_0 有关 (表7-14)，当 $b_0 \leq 0.64$ cm时， $b = b_0$ ，当 $b_0 > 0.64$ cm时 $b = 0.8\sqrt{b_0}$ ；

m ——密封垫圈系数 (表7-15)。

2. 常温常态时的螺栓拉力

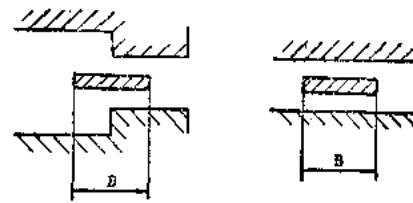
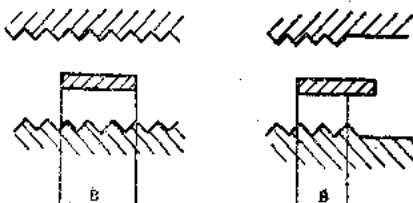
螺栓连接在常温常态时的拉力，可按下式计算：

$$F_2 = \pi D_n b y \quad (7-2)$$

式中 y ——密封垫圈比压(Kgf/cm²) (表7-14)。

通过计算，取 F_1 与 F_2 两者中的大值，作为法兰连接螺栓的设计拉力。

表7-14 密封面形状与密封垫圈有效密封宽度

密封面形状示意图		密封垫圈基本宽度 b_0	
代号	形状	I 列	II 列
1			
2			

(续)

密封面形状示意图		密封垫圈基本宽度 b_0	
代号	形状	I 列	II 列
3	<p>$B_1 \leq B$</p>		
4	<p>$B_1 \leq B$</p>	<p>$\frac{B_1 + \delta}{2}$ 或 $\frac{B_1 + \delta}{2}$ 最大</p>	
5	<p>$B_1 \leq \frac{B}{2}$</p>	$\frac{B_1 + B}{4}$	$\frac{B_1 + 3B}{8}$
6	<p>$B_1 \leq \frac{B}{2}$</p>	$\frac{B_1}{2}$ 或 $\frac{B}{4}$ 最小	$\frac{B_1 + B}{4}$ 或 $\frac{3B}{8}$ 最小

(续)

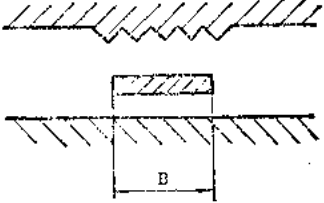
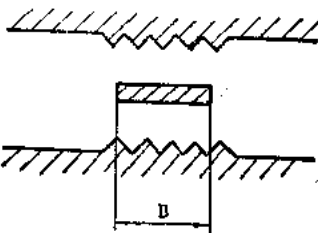
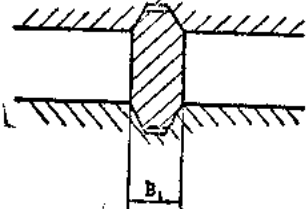
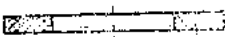
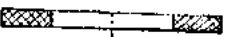
密封面形状示意图		密封垫圈基本宽度 b_0	
代号	形 状	I 列	II 列
7		$\frac{3B}{8}$	$\frac{7B}{16}$
8		$\frac{B}{4}$	$\frac{3B}{8}$
9		$\frac{B_1}{8}$	—

表7—15 密封垫圈材料与 m 、 y 的推荐值

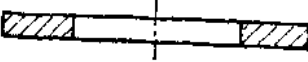
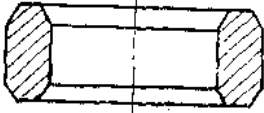
材 料	垫圈系数 m	垫圈比压 Kgf/cm^2	形 状	应用(见表7—14)	
				密封面形状代号	列号
自紧式垫圈, O形圈、金属的、合成橡胶及其它自紧式垫圈	0	0	—	—	I
无织物或石棉纤维 不高的合成橡胶	$H < 75$ 0.50 $H \geq 75$ 1.00	0 14		—	
具有供操作时用的 适当加固物的石棉	3mm 1.5mm 0.75mm	2.00 2.75 3.50	112 230 457	1.2 3.4 7.8	
内有棉纤维的橡胶	1.25	28		—	

(续)

材 料	热圈系数 m	热圈比压 Kgf/cm ²	形 状	应用(见表 7-14)	
				密封面形 状代号	列号
金属丝增强石棉橡胶板	3层	2.25	115		
	2层	2.50	204		
	1层	2.75	260		
植物纤维	1.75	77			
金属石棉缠绕垫圈	碳钢	2.50	204		
	不锈钢或蒙乃尔	3.90	316		
波纹状金属内填石棉或波纹状金属夹壳内填石棉	软铝	2.50	204		1.2
	软铜或黄铜、铁	2.75	260		
	或软钢蒙乃尔或	3.00	316		
	4~6%铬钢不锈钢	3.25	387		
		3.50	457		
波形状金属	软铝	2.75	260		1.2 3.4
	软铜或黄铜	3.00	316		
	铁或软钢	3.25	387		
	蒙乃尔或4~6%铬钢	3.50	457		
	不锈钢	3.75	534		
金属包裹石棉	软铝	3.25	387		1.2
	软铜或黄铜	3.50	457		
	铁或软钢	3.75	534		
	蒙乃尔	3.50	562		
	4~6%铬钢	3.75	633		
	不锈钢	3.75	633		
齿形金属垫圈	软铝	3.25	387		1.2 3.4 5.6
	软铜或黄铜	3.50	457		
	铁或软钢	3.75	534		
	蒙乃尔或4~6%铬钢	3.75	633		
	不锈钢	4.25	710		

3+
4+
5
(折叠处
不应放在
法兰密封
面上)

(续)

材 料		垫圈系数 <i>m</i>	垫圈比压 <i>Kgf/cm²</i>	形 状	应用 (见表 7-14)	
					密封面形 状代号	列号
金属垫圈	软铝	4.00	619		1.2	I
	软铜或黄铜	4.75	914		3.4	
	铁或软钢	5.50	1266		5.6	
	蒙乃尔或4~6% 铬钢	6.00	1533		7.8	
	不锈钢	6.50	1828			
金属椭圆形或八角形 垫圈	铁或软钢	5.50	1266		9	
	蒙乃尔或4~6% 铬钢	6.00	1533			
	不锈钢	6.50	1828			

第八章 橡胶密封元件模具设计

模具是生产橡胶密封元件的重要工具。橡胶模具的设计和制造质量,是密封元件密封性能和寿命以及密封元件生产率的重要影响因素,是解决当前密封装置泄漏的一个重要环节。

O形圈质量的影响因素有胶料材质、模具设计、制造修边等。其中模具设计与制造对O形圈的形状与尺寸影响较大。日本东京油封公司加工的O形圈模具精度达0.03毫米, O形圈压制飞边在0.1毫米以内。目前,国内O形圈模具制作精度较低,一般为0.05毫米。O形圈横断面常加工成椭圆,分型面错位,飞边厚(有的高达0.4毫米)。这些都严重地影响了O形圈的密封效果。因此,橡胶模具的优良设计与加工精度的提高,对保证密封元件质量具有十分重要作用。

橡胶密封元件制作工艺的不同,橡胶模具的要求和结构也就不同。目前,国内外密封元件的生产方法,基本有三种:模压法、移模法和注压法。

注压工艺是近年来才发展起来的一种新兴工艺方法。所谓注压工艺,是把胶料直接加入注压机,在料筒中加热塑化后,自动注压入模腔,进行高温快速硫化,最后自动开模,取出制件。生产率比模压法高20倍以上。因此,橡胶密封元件的注压工艺,无疑是今后的发展方向。

当然,做为一种新工艺,注压法尚存在一些缺点,所以,限制了它的应用。这些缺点主要是:

- (1) 模具要承受高温、高压,需用特种材料制作,且结构复杂、加工精度高,造价比模压法用模具高2~5倍;
- (2) 注压机造价昂贵;
- (3) 尚不能制作大尺寸,多构件的制品;
- (4) 较适于大批量生产。

模压法与注压法相比,生产率虽低,但因其设备简单,操作方便,可变性大,故模压法在目前,仍被国内外所广泛采用。所以,这里只重点论述模压法所用模具的设计。

第一节 模具的设计要求和工艺要求

一、模具的设计要求

正确的领会和掌握模具的设计要求,是搞好模具设计的前提条件。对模具的设计要求是:

- (1) 密封元件是很精密的橡胶制品,因而,充分了解它的设计、使用技术要求,做到设计模具所压制的制品,完全符合图纸给定的形状尺寸和几何精度的要求。

- (2) 模具工艺性好，操作简便，生产率高。
- (3) 模具具有足够的强度、刚度和耐磨性。
- (4) 结构简单，修理方便。

为此，模具设计时，必须注意如下几点：

- (1) 结合橡胶配方、硬度、含胶率等，正确确定所用橡胶的收缩率（橡胶厂实验给出）。这是保证达到密封元件精度要求的关键。
- (2) 为保证上、下模板的同心，要求定位可靠，耐用。
- (3) 模腔尺寸公差按产品公差提高两级。
- (4) 在尽量做到操作轻便的条件下，适当增加模腔的数量，以提高生产率。

当然，模腔的数量也不宜过多，否则，不仅模具庞大笨重、操作困难，而且还会因每个模腔填充胶料时间不等造成硫化深度不均现象。如果制品数量特多，则可制作几副完全相同的模具。

当遇有形状复杂，加工难度高的模具，不宜制成一模多腔时，则应使其高度一致，以便一次压模。不同制品，只要条件许可，其模具也应尽量做成统一高度（高度允差小于0.05毫米）。

- (5) 模腔与分型面镀铬，以增强模具耐磨性，提高模具寿命。
- (6) 开设溢胶槽与排气孔。
- (7) 合理选择分型面。
- (8) 不易达到要求的模腔，应留有修整的余地。

二、模具的工艺要求

1. 材料

模具上、下模板，通常选用中碳钢45，其来源广，调质后，易于切削加工，且能满足强度要求。

定位销、定位套，通常用碳素工具钢T8、或T8A制作。淬火硬度HRC58~63。

2. 模具的技术要求

(1) 表面处理与光洁度 为提高模腔表面与分型面的硬度、耐磨性及防腐性，通常采用表面镀铬。镀层厚为0.005~0.01毫米。镀前表面光洁度为▽7以上，镀后抛光。其余各面的光洁度为：

- 分型面▽6以上；
- 定位销▽7以上；
- 定位套▽6以上；
- 外形▽4。

(2) 公差与配合 经验表明，模具型腔的精度应比O形圈的精度提高两级为好。一般来说，定位销与定位套的配合，通常选择固定端为过盈配合H7/s7；活动端为间隙配合H7/f8。

支承销与下模板通常采用过盈配合H7/s7。

锥面为间隙配合H8/f8，且标注于大端。

模具表面的平行度误差，不得大于0.05毫米。模具同心度偏差，不得大于0.05毫米。模具的未注公差按《GB1804—79》的H13或h13、或JS13、或js13。

第二节 模具的结构设计与计算

同样的一种密封元件，可以设计出不同结构的模具；而不同的模具结构，可能会获得不同的效果。只有结构简单而又能获得最佳效果者，才能被认为是经济合理的模具。因此，合理的进行模具结构的设计，则是极其重要的。

一、结构设计

1. 分型面的选择

模腔通常是由模板、镶块等组合而成。把模腔分成2个或2个以上的可以活动分离部分的平面、曲面、折面，统称为模具的分型面。

分型面的选择，是模具结构设计优劣的第一个关键。分型面选择不同，胶料在模腔

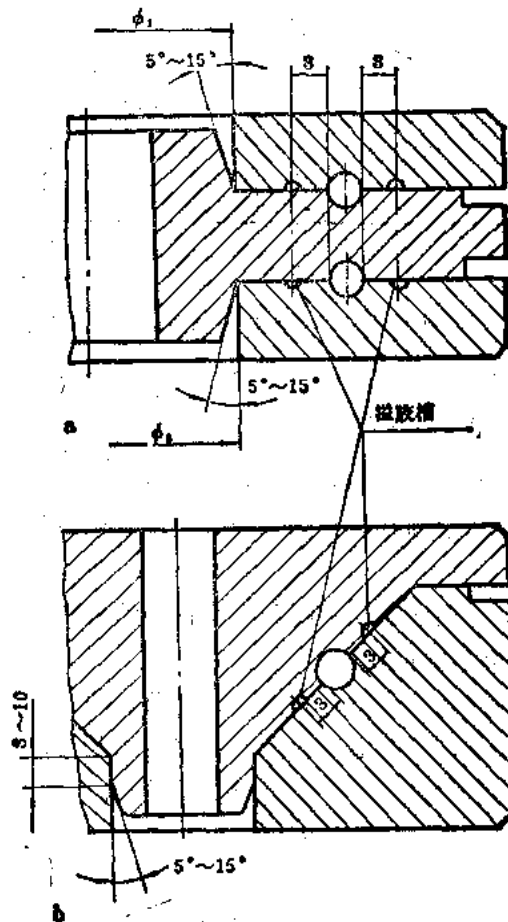


图8—1 O形圈模具分型面

●—90°分型： b—45°分型

里的安放位置就不同，它直接影响胶料的填充、压实和取出。亦即直接影响产品质量。

例如，为保证密封圈的良好密封性，其模具的分型面，宜尽量避开制品的工作面。

图8—1所示为O形圈模腔的两种分型面。90°分型多用于静密封，45°分型多用于往复和旋转密封。但45°分型的模具，工艺性差。随着冷冻修边工艺的应用和修边质量的提高，在国内外45°分型已几乎被逐渐淘汰。

再如，为了保持油封内径 d 的精度，常将油封的上、下模分型面开在非工作面上(图8—2)。但此时必须保证 $t \leq b/3$ ，否则起模时，将轧坏油封的前唇面。

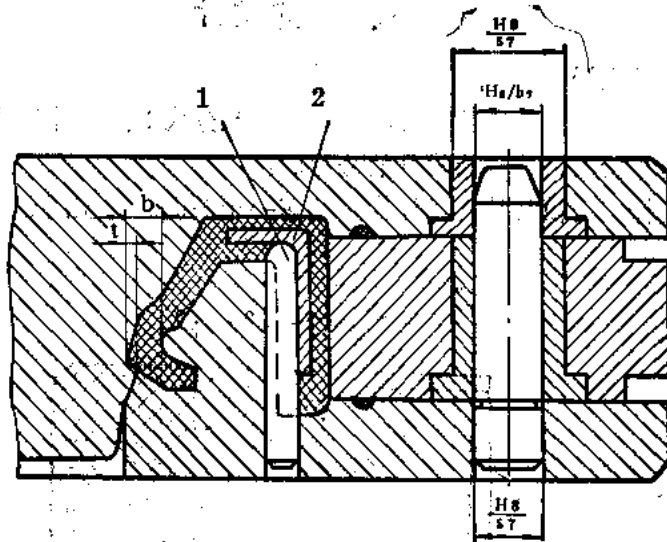


图8—2 骨架油封的分型面、埋入件支承与模具定位

1—支承销； 2—埋入件

2. 溢胶槽的开设

为保证制品的压实，放入模腔的胶料，必须稍有余量。为使余量的胶料，在模压过程中不致形成过厚的飞边，必须在模腔的周围开设溢胶槽(图8—1)，使余量胶料，溢入槽中。

溢胶槽的合理设计，对保证制品精度和提高制品的外观质量，具有很大作用，是模具设计的一个不可忽视的组成部分。

溢胶槽过大，可能使胶料尚未完全充满模腔之前，即流入溢胶槽，致使密封制品形成缺胶；反之，溢胶槽过小，可能由于容纳不下多余的胶料，引起密封制品飞边过厚，且易出现气泡。因此，溢胶槽的大小，需通过计算给出。

溢胶槽的形状及位置，视具体结构而定。

3. 模腔数量的确定

前面已经讲到，为提高硫化生产率，一般均将模具设计成多模腔型。模腔数量，通常根据其尺寸大小确定。O形圈的模腔数量与其尺寸大小的关系可按表8—1选取。

对于规格大、产量高，不宜制成多模腔模具时，为提高硫化生产率，可采用叠模结构

表8—1 O形圈模腔数量与尺寸的关系

O形圈内径 d_i mm	<20	>20~40	>40~50	>50~65	>65~90	>90
模腔个数(个)	25	16	9	6	4	1

(图8—1a)。

必须强调指出,为防止由于模板转向后翻转造成废品,对于不能翻转模板的设计,使上、下模板具有明显差异,以示区别。对于允许翻转的模板,则必须保证翻转后,仍具有相同的精度。如图8—1所示,允许翻转时,可使 $\phi_1 = \phi_2$ 。否则应使 ϕ_1 、 ϕ_2 有明显差别。

4. 埋入件的支承

在密封元件中,如油封等,为加强它的强度和刚度,常在油封体内埋入加强金属骨架。为保证骨架在油封体内的预定位置,常在下模板上钻出小孔,插入三个支承销(图8—2)。

5. 模具的定位

一般,模具总是由两块或两块以上模板组成。因此,模板与模板之间,必须具有可靠的定位,以保证制品的同心度。

(1) 圆锥面定位 锥面定位的斜度,一般采用 $5^\circ \sim 15^\circ$,高度6~10毫米(图8—1a)。此种定位能自动定心,具有导向作用,易于起模,故应用较广。

(2) 中央圆柱面定位 中央圆柱配合面长度,可取为3~10毫米,为起模方便。其余部分宜做成 $3^\circ \sim 10^\circ$ 的斜度(图8—1b)。

(3) 定位销、定位套定位 非轴心对称的模具,一般均有定位销和定位套定位(图8—2)。在活动模板上镶入定位套,当二者的配合间隙因磨损增大后,通过更换定位套的方法,获得模具的有效使用期的增长。

6. 模具的开启

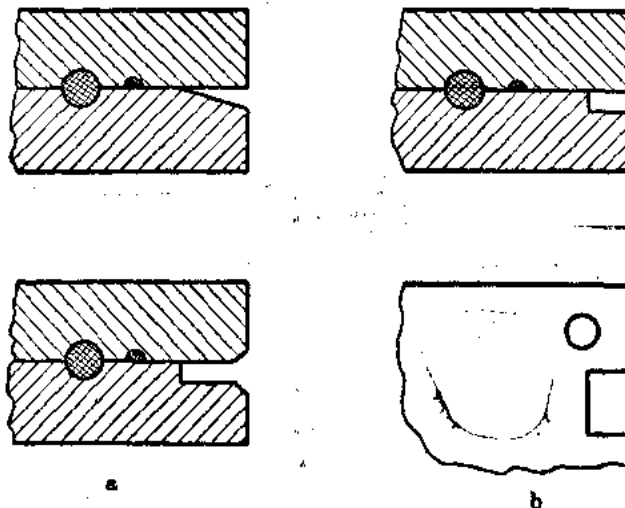


图8—3 模具推口的开设
a—不正确的推口; b—正确的推口

为便于起模取出制品，模具必须设置撬口和备制必须的起模工具。

撬口不要开成斜口，不要倒角，不要太深，且宜开在定位销处，以免撬模时，模板变形。图8—3所示为各种撬口形状。

7. 常用密封元件的模具结构

各种常用密封元件的模具结构见图8—4~图8—10。

图8—4为单孔、双孔90°分型O形圈模具结构图。

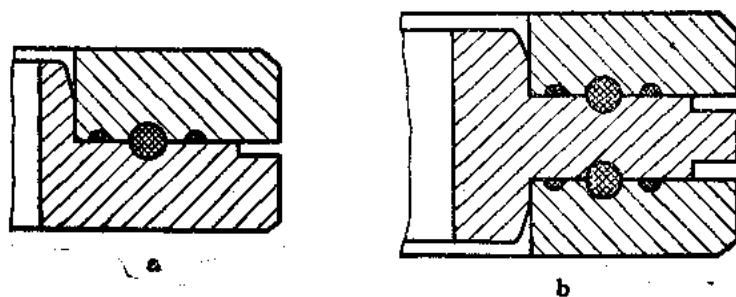


图8—4 单孔与双孔O形圈模具

a—单孔；b—双孔

图8—5为多孔O形圈90°分型模具结构图。

图8—6为45°分型O形圈模具结构图。图8—6c中的小锥面，多余胶料易流入溢胶槽。台肩是为了增加模具的加工基准。

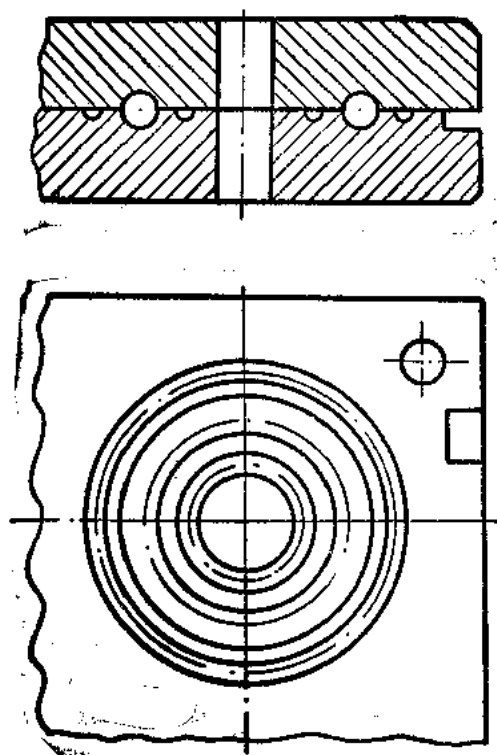


图8—5 多孔O形圈模具

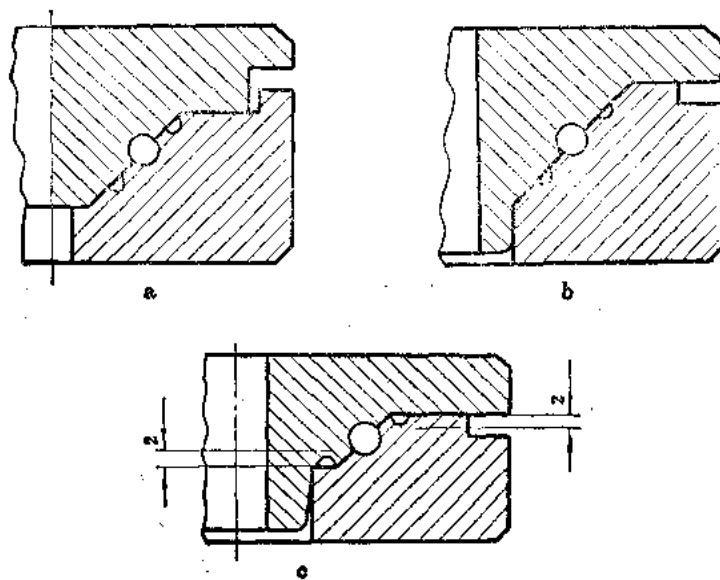


图8—6 O形圈45°分型模具

a—中径<20; b—中径>20; c—小锥面带台肩

图8—7为V形密封圈和支承环、压环模具结构图。

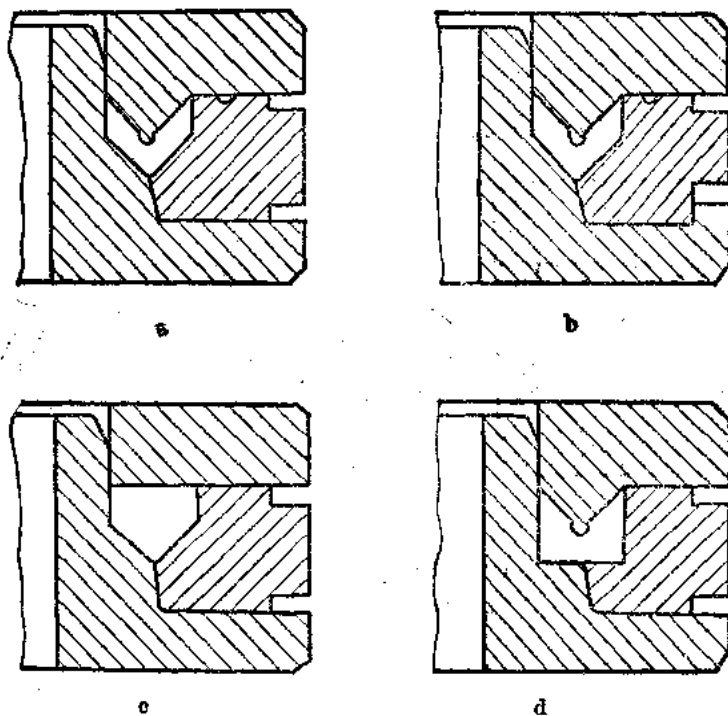


图8—7 V形密封圈和支承环、压环的模具

a—外径<140; b—外径>140; c—支承环; d—压环

图8—8a为J形密封圈模具结构图; 图8—8b为L形密封圈模具结构图。

图8—9a为Y形密封圈模具结构图; 图8—9b为U形密封圈模具结构图。

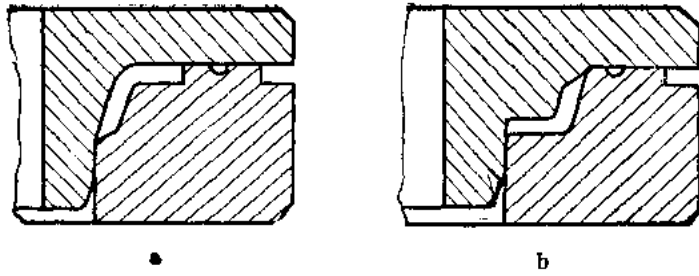


图8—8 J形和L形密封圈模具
a—J形；b—L形

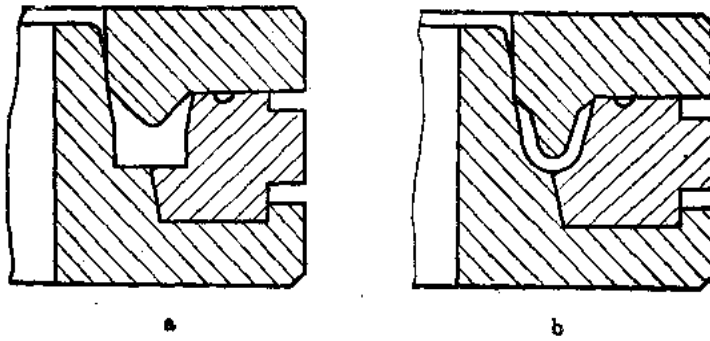


图8—9 Y形和U形密封圈模具
a—Y形；b—U形

图8—10a为X形密封圈模具结构图；图8—10b为油封模具结构图。为避免起模时轧坏油封前唇面，必须保证 $t \leq b/3$ 。

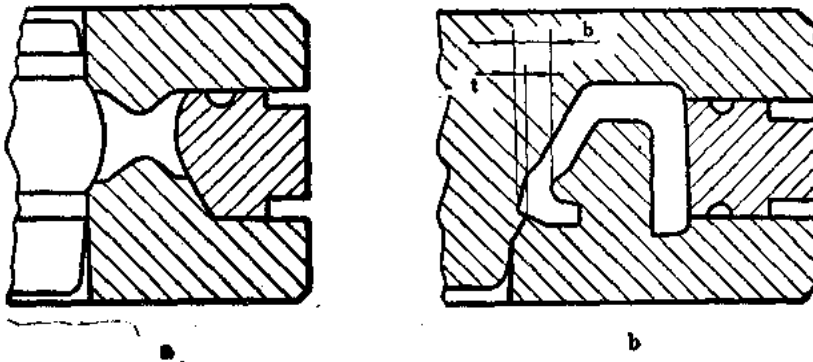


图8—10 X形密封圈和油封模具
a—X形密封圈；b—油封

二、尺寸计算

1. 胶料收缩率

橡胶密封元件的密封性和寿命，除与橡胶的性能有密切关系外，还取决于制品的公差、表面光洁度及压实程度等。

众所周知，在正常情况下，橡胶也像金属一样，具有冷缩热胀的性质。因此，在高温下压出的制品，取出后置于室温中，它的外形尺寸是会收缩的。尺寸收缩的大小，因胶料不同而异。胶料的收缩率是密封制品公差等的决定性影响因素。因此，胶料收缩率的正确选取与测定，则是模具计算的基础。

胶料收缩率是指模腔尺寸与橡胶制品在室温下的尺寸即公称尺寸之差，同橡胶制品公称尺寸的百分比。通常以 K 表示：

$$K = \frac{D_1 - D'}{D} 100\%$$

式中 K ——橡胶收缩率(%)；

D ——橡胶制品的公称尺寸(mm)；

D_1 ——模腔尺寸(mm)；

D' ——硫化后橡胶制品在室温下的尺寸(mm)。

模具设计必须保证 $D' = D$ ，故上式可写成：

$$K = \frac{D_1 - D}{D} 100\% \quad (8-1)$$

胶料收缩率的影响因素很多。其中主要的影响因素有：胶料、硬度、含胶率和硫化程度等。

- (1) 就胶料而言 天然胶<氯丁胶<丁腈液<丁苯胶<氟橡胶<硅橡胶。
- (2) 就硬度而言 胶料的收缩率与硬度的关系如图8—11所示。

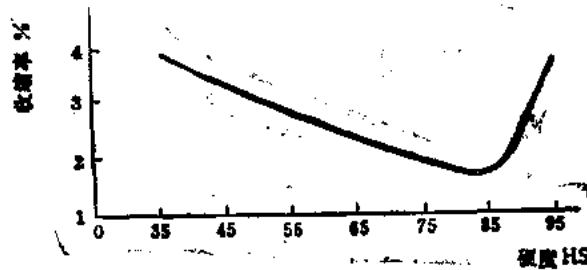


图8—11 胶料收缩率与硬度的关系

- (3) 就含胶率而言 胶料收缩率与含胶率的关系如图8—12所示。
- (4) 就硫化程度而言 胶料收缩率与硫化程度的关系如图8—13所示。

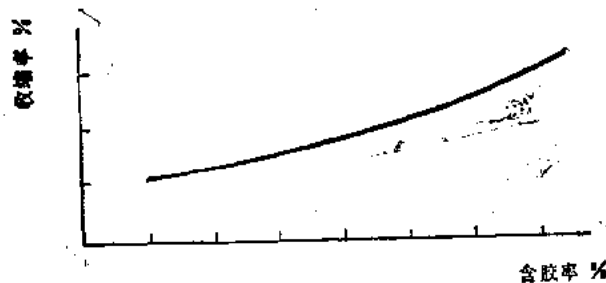


图8—12 胶料收缩率与含胶率的关系

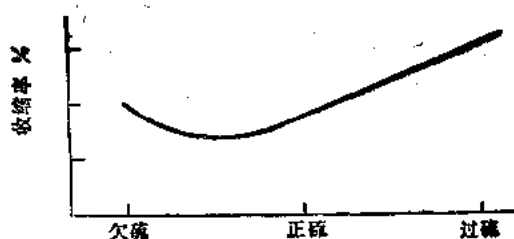


图8-13 收缩率与硫化程度的关系

此外，胶料收缩率还与压制工艺、有无埋入件等有关。一般，注压小于模压；埋入金属骨架者，收缩率较小，且朝金属异向收缩。

通常，胶料收缩率的数值均由橡胶厂实验给出。

试验证明，密封元件尺寸大小对胶料收缩率具有很大影响。同一配方，同样结构的密封元件，尺寸大者，收缩率小；反之，尺寸小者、收缩率大。

表8-2与表8-3所列为不同内径与断面直径时测得的胶料收缩率，供参考。

表8-2 O形圈内径与胶料收缩率

表8-3 O形圈断面直径与胶料收缩率

公称 内径 d(mm)	收 缩 率 K%			
	胶 料 配 方 编 号			
	207	7160	7170	8060
7	2.02	2.00	1.96	2.00
12	1.75	1.94	1.95	1.99
21	1.73	1.78	1.88	1.97
23	1.76	1.74	1.73	1.95
25	1.73	1.73	1.70	1.92
30	1.64	1.70	1.67	1.85
40	1.60	1.63	1.62	1.82
50	1.56	1.58	1.60	1.78
60	1.45	1.55	1.55	1.75
80	1.49	1.50	1.42	1.73
100	1.14	1.27	1.25	1.39

断面 直径 d。(mm)	收 缩 率 K%			
	胶 料 配 方 编 号			
	207	7160	7170	8060
1.9	2.04	2.06	2.04	2.20
2.4	1.97	2.01	1.99	2.14
3.1	1.87	1.91	1.97	2.08
3.5	1.82	1.85	1.92	1.99
5.7	1.68	1.84	1.86	1.88

一般耐油O形圈胶料的收缩率，也可参考表8-4选取。

表8-4 耐油胶料收缩率的参考值

mm

O形圈尺寸	50以下	50~150	150~250	250~350	350以上
收缩率K%	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4

2. 模腔尺寸的计算

抛开工艺影响因素不谈，仅就胶料收缩率的众多影响因素而言，正确地标出模腔尺寸也是相当困难的。即使同种胶料，在不同的温度、压力、模腔几何形状下，从实验测定的胶料收缩率，也只是一个近似值。

为获得更精确的膜腔尺寸，通常采用下述方法。

(1) 对较小的橡胶制品，胶料收缩率的误差小于橡胶制品的公差，因此，采用提高模腔公差精度的标注方法，可保证制品的尺寸公差。一般，模腔尺寸公差所提高的精度值，为制品尺寸公差的1/3~1/4。此时，可用下式计算模腔的直径 D_1 (图8-14)：

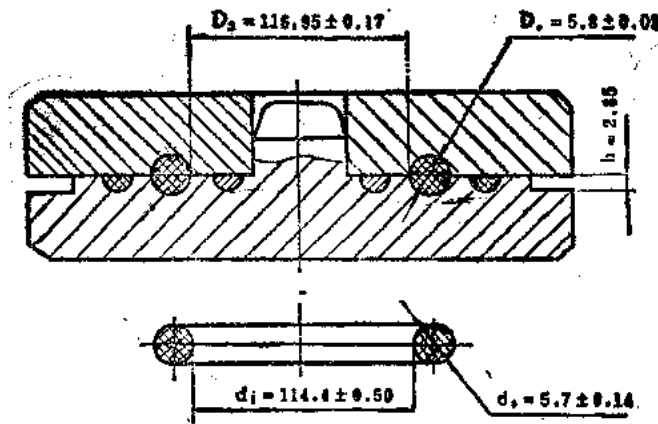


图8-14 O形圈与模具尺寸之标注

$$D_1 = D(1+K) \pm (1/3 \sim 1/4)\Delta \quad (8-2)$$

式中 Δ ——制品给定的尺寸公差。

模腔断面尺寸 D_0 (图8-14) 可用下式计算：

$$D_0 = d_0(1+K) \pm (1/3 \sim 1/4)\Delta \quad (8-3)$$

式中 d_0 ——制品断面公称直径。

根据生产实践的经验，模腔内径和断面直径的收缩率误差，一般分别不超过0.10和0.05毫米，故公式(8-2)、(8-3)可改写成下式：

$$D_1 = D(1+K)\Delta \mp 0.10 \quad (8-4)$$

$$D_0 = d_0(1+K)\Delta \mp 0.05 \quad (8-5)$$

(2) 对较大尺寸的橡胶制品，如果仍按上述提高膜腔尺寸公差精度的方法，势必给模具制造带来更大困难。因为随着制品尺寸的增大，胶料的收缩率误差将比制品尺寸公差大，无论如何提高模腔的尺寸精度，都无济于事。此时，必须用类似形状大小的模具试压，测取胶料的收缩率，且应考虑模腔开制后的修整。

考虑到模具的修整和磨损，模腔应取较小外型尺寸和较大内型尺寸。因模腔外型尺寸总是越修越大，内型尺寸则是越修越小。

O形圈模腔，一般均由两个半径为 R 的半圆组成。但由于飞边的存在，圆槽的深度 H 小于半径 R (图8-15)。 H 值可按下列式计算：

$$H = \left[\frac{d_0(1+K) - A}{2} \right] + \Delta \quad (mm) \quad (8-6)$$

式中 Δ ——半圆槽深度公差(mm)，取 $\Delta = 0.05$ 毫米；

A ——飞边厚度(mm)，按国标GB1235-76选取。

8. 溢胶槽尺寸的计算

溢胶槽大小，直接影响密封制品的质量。因此，

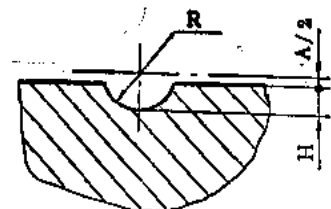


图8-15 模腔圆槽深度与半径 R 的关系

槽的尺寸,应通过计算给出。在进行溢胶槽尺寸计算时,必须考虑它与模腔之间的飞边。因为溢胶槽的深浅与飞边有关。

溢胶槽的深度 h (图8-14)可按下式计算:

$$h = \frac{d_0(1+K) - A}{2} \quad (8-7)$$

式中 h ——溢胶槽的深度。

4. 其他尺寸的确定

(1) 模具高度 为提高密封制品硫化生产率,可以将几副高度相等的模具一次压模,因此在模具设计时,对其高度应分等。但须注意,模具的外形与高度之比不得小于2:1。否则,由于传热不均,产生废品。

一般, O形圈模具的高度等级常分为 20 ± 0.1 , 30 ± 0.1 , 35 ± 0.1 , 40 ± 0.1 , 45 ± 0.2 ; 50 ± 0.2 。

(2) 模具最小外形尺寸

目前,国内一些密封件厂家,所用模具过小,易使硫化平板早期损坏。因此,模具的最小外形尺寸,一般不得小于 $\phi 100$ 毫米或 100×100 平方毫米。

5. 实例

计算与标注按国标GB1235-76规定的内径 $d_1 = 114.4 \pm 0.50$ 毫米、断面直径 $d_2 = 5.7 \pm 0.14$ 毫米O形圈模腔与溢胶槽的尺寸与公差。

(1) 模腔尺寸计算 按表8-2查得 $K = 1.7\%$

根据公式(8-2)、(8-3)算得模腔内径 D_1 、断面直径 D_0 分别为:

$$\begin{aligned} D_1 &= D(1+K) \pm (1/3 \sim 1/4) \Delta \\ &= 115(1+0.017) \pm 1/3 \times 0.5 \\ &= 116.95 \pm 0.17 \text{毫米} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_0 &= d_0(1+K) \pm (1/3 \sim 1/4) \Delta \\ &= 5.7(1+0.017) \pm 1/3 \times 0.14 \\ &= 5.8 \pm 0.05 \text{毫米} \end{aligned}$$

由国标GB1235-76查得飞边的厚度 $A = 0.10$,取半圆槽深度公差 $\Delta = 0.05$,根据公式(8-6)算得模腔半圆槽深度 H 为:

$$\begin{aligned} H &= \left[\frac{d_0(1+K) - A}{2} \right] + \Delta \\ &= \left[\frac{5.7(1+0.017) - 0.10}{2} \right] + 0.05 \\ &= 2.85^{+0.05} \text{毫米} \end{aligned}$$

(2) 溢胶槽尺寸计算 按公式(8-7)算得溢胶槽的尺寸:

$$\begin{aligned} h &= \frac{d_0(1+K) - A}{2} \\ &= \frac{5.7(1+0.017) - 0.10}{2} \\ &= 2.85 \text{毫米} \end{aligned}$$

图8—14给出了模腔尺寸与溢胶槽尺寸的标注。

第三节 模具的寿命与使用保养

橡胶密封元件模具制造的难度,还是比较大的。因此,保持模具具有高的使用寿命,则是很重要的。

用于要求高、产量大的密封元件模具,选用优质钢材、提高热处理质量、表面镀铬等,来提高模具的寿命是切实可行的。镀铬层厚度为0.005~0.01毫米,且要求镀层长期在160~200℃的温度下工作,不脱落。

模具的寿命和它的结构、制作精度也有很大关系。结构合理、精度高的模具,将大大改善模具操作的方便性与灵活性,避免和减小了因操作不慎而引起的损坏事故。

当然,模具的正确使用和及时保养,也是提高模具寿命的行之有效的途径。

起模撬棒的硬度,须低于撬口处模板硬度,以防撬坏模板。为保持模腔的锐边,不得敲击和用砂纸打磨模膜。

模具长期不用,必须涂油,同时切忌放于潮湿处,以防锈蚀。

模腔的表面光洁度,直接影响制品的外观质量和使用质量,因此,保持模腔具有高的表面光洁度,极为重要。为此,模具在使用时,必须经常进行模具的拭擦和清洗,以保持表面光洁。必要时,可以把模具放入含苛性钠20%的水溶液中浸泡、清洗。浸泡3~4小时后,用毛刷仔细刷洗模腔表面,再用清水冲洗,擦干、涂油,使用或放好。模压前,把模腔涂敷中性肥皂水、硅油等隔离剂或润滑油,以便脱膜,且不致使模腔积存胶积物等。

第三篇

气动与真空密封

第九章 气动密封

气动技术是实现生产机械化和自动化的一种重要手段，它具有结构简单、工作可靠、经济性好、没有污染、能防火防爆等一系列优点。由于气动机械的空气需要净化、压缩、输送等，因此，气动机械的泄漏，便成为气动技术中一项很关键的问题。为了防止泄漏，除了提高密封元件的性能外，还应根据不同的工作条件、采取相适应的密封元件和密封装置，来保证气动机械的可靠密封。

在气动密封装置中，采用的密封元件形式虽然很多，但主要的有O形、V形、Y形、U形、L形和J形等。由于新型密封材料的不断出现，其他形式的密封元件也将在此基础上得到发展。

第一节 气动密封的种类

在气动元件（气缸、气动马达、气阀等）中所采用的密封装置，依其工作状态的不同，通常可分为静密封装置和动密封装置两大类（图9—1）。

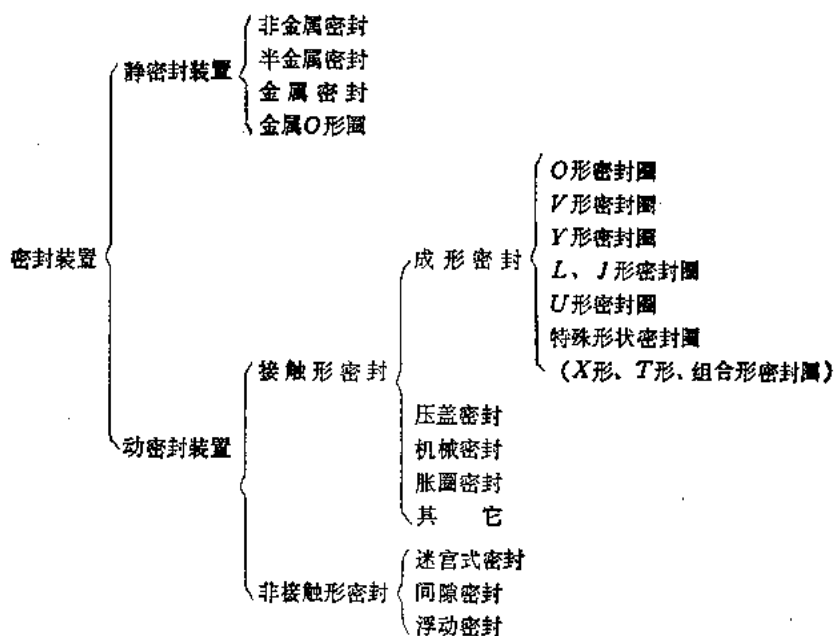


图9—1 气动密封装置的分类

一、静密封装置

被密封的部位也就是被密封的两个偶合件之间无相对运动的密封形式称为静密封装置。放置在压力容器或管道的法兰面、机器的接合面及其他固定面之间的密封元件，通

过螺栓或其他方法紧固,即可构成静密封装置。最常见的是在两个被密封表面之间加O形圈或石棉板、纤维板、软钢纸板垫圈等,其装配结构形式如图9—2所示。也有的静密封装置是靠两个连接表面之间的紧固,使其本身密封面产生变形达到密封目的。

表9—1给出了几种常用静密封垫圈的结构形式。

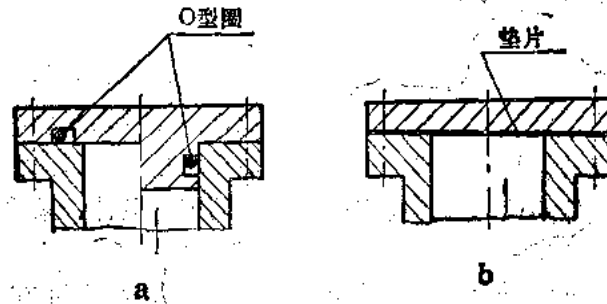


图9—2 静密封装置

表9—1 几种常用气动静密封垫圈的结构形式

形 状	材 质	适 用 范 围		
		压力 Kgf/cm ²	温度℃	介 质
	牛皮或浸油、蜡、合成橡胶、合成树脂牛皮	—	-60~100	空气
	软钢纸板	<4	<120	空气
	天然橡胶 普通橡胶板 夹布橡胶	≈6	-60~100	空气, 惰性气体。
		≈6	-40~60 -30~60	空气 空气
	软聚氯乙烯板	≤16	<60	具有氧化性蒸汽及气体
	高压石棉橡胶板 中压石棉橡胶板 低压石棉橡胶板	≤60	≤450	空气, 压缩空气、惰性气体、蒸汽, 气态氮, 焦炉气等
		≤40	≤350	
		≤15	≤200	
	耐油、耐低温、耐高温橡胶	320	-60~200	空气, 水蒸汽、热空气等
	紫铜、铝、软钢、铅、不锈钢	200	<600	蒸汽、氢气、压缩空气、天然气、裂介气变换气等
	10(08)钢, 1Cr13铝, 合金钢	≥40	600	蒸汽、氢气、压缩空气、天然气、裂介气、变换气等
	10钢, 不锈钢合金钢等	≥84	600	蒸汽、氢气、压缩空气、天然气、裂介气、变换气等
	铜、铝、低碳钢 不锈钢, 合金钢	真空 高压	低温 高温	蒸汽、氢气、压缩空气 天然气、裂介气、变换气等

二、动密封装置

两个具有相对运动的偶合件之间的密封，称为动密封装置。根据相对运动的特点，动密封装置分为往复运动和旋转运动两种结构形式。

1. 往复运动式密封装置

往复运动式密封装置形式很多，主要有软质密封、活塞环密封和间隙密封等。

(1) 软质密封装置 在两个相对运动表面之间依靠软质密封元件进行的密封，如

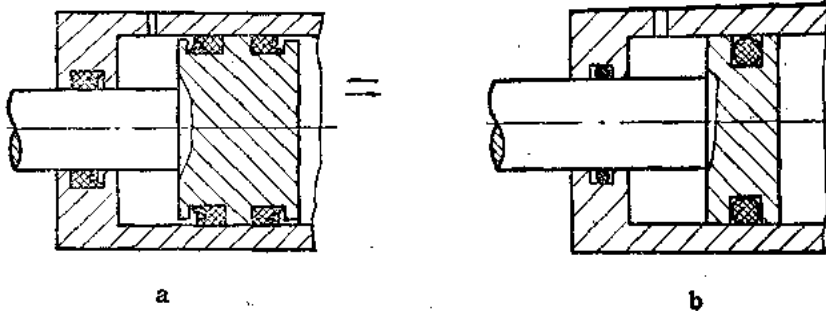


图9-3 往复运动用软质密封装置

图9-3所示。图9-3b为采用O形圈作为活塞和活塞杆的密封元件，图9-3a为采用Y形密封圈作为活塞及活塞杆的密封元件。这是气缸中最常见的往复运动式密封装置。

(2) 金属活塞环密封装置 金属活塞环也可以用于往复运动气缸的密封装置，其结构形式如图9-4所示。它的优点是温度和压力范围宽，工作寿命长，其缺点是对缺陷敏感，要有足够的润滑。

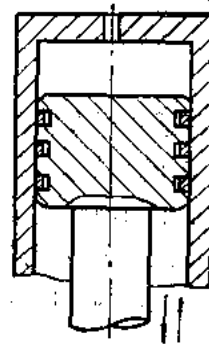


图9-4 气缸用活塞环密封装置

(3) 间隙密封 间隙密封是非接触式密

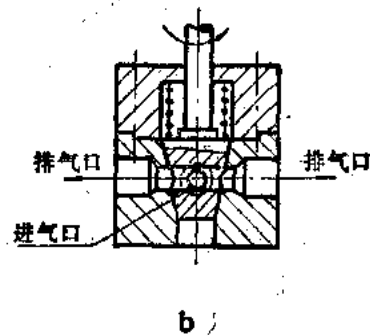
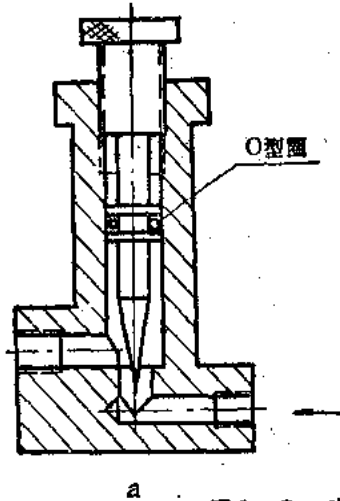


图9-5 旋转运动式密封装置

封。目前阀类和气动马达采用间隙密封的较多，这种密封形式可适应不同的温度和介质，其特点是靠相对运动件配合面之间的微小间隙防止泄漏。

2. 旋转运动式密封装置

旋转运动式和往复运动式密封装置主要区别是，前者的运动偶是转动的。在气动传动中，旋转运动式密封装置的结构形式很多，如旋转气缸和气阀的密封等。气阀旋转轴的密封如图9—5所示。图9—5a采用的是O形密封圈，图9—5b是间隙密封。

第二节 橡胶O形密封圈

O形密封圈是指断面形状为圆形的橡胶环，它是气动密封元件中应用最多最广泛的一种，属于压紧型密封圈，其结构形式如图9—6所示。可以用作静密封元件、往复运动密封元件，也可以作为旋转运动密封元件。

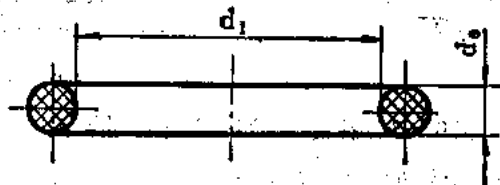


图9—6 O形密封圈断面形状

O形圈不仅适用于液压设备上的密封，也用于气动设备上的密封，除此之外，在水压设备上也广泛采用。目前，我国采用的气动的O形密封圈标准和液压水压上用的O形圈标准一样，都是采用国标GB1235—76。当标准中O形圈尺寸和断面直径不能满足设计需要时，可自行设计小断面或大断面的O形圈，以满足结构的需要。但需另行开设模具，经济效果不好，因此应尽量选用标准O形密封圈。

O形圈用于气动密封具有很多优点，密封性能可靠，单圈即可实现两个压力方向的密封，动摩擦阻力小，安装部位紧凑，密封沟槽简单，装拆方便，体积小、成本低，选用方便，备件容易解决。其缺点是沟槽加工要求严格，相对运动表面光洁度较高，需要进行润滑，用作动密封时，始动摩擦阻力较大，特别是静止时间较长时，始动摩擦阻力的增加，有引起操作失灵的可能，设计时一定要注意这一点。

安装在密封沟槽中的O形圈，在无压和微压下，是靠其本身预压缩所产生的弹性变形，使接触部位形成一定的压力，封住气体，达到密封的目的。随气体压力的增加，在压力作用下，使O形圈被挤向沟槽的一侧，变形增大，接触面加宽，堵塞了气体泄漏通道，达到密封作用。接触面压力分布情况和O形圈在液压作用下完全一样。

O形密封圈一般适用于气体工作压力在10公斤力/厘米²以下，经常用于4~6公斤力/厘米²，个别情况也有在320公斤力/厘米²以下作静密封用，均获得良好的密封效果。

一、压缩率

O形圈是典型的压紧密封元件，为达到密封要求，安装后的密封圈应有一定的压缩

率。对不同介质和工作条件下，压缩率的大小也不一样。压缩率大小直接影响密封装置的摩擦阻力、性能与寿命，它是衡量密封性能和摩擦阻力的重要指标，须认真选取。

压缩量是指O形圈在自由状态下断面尺寸与安装后径向尺寸的差值（图2—14），可用下式表示：

$$\delta = d_0 - \frac{D-d}{2} = \frac{d_0-H}{2} \quad (9-1)$$

式中 δ ——O形圈压缩量(毫米)；

d_0 ——自由状态下O形圈断面直径(毫米)；

D ——沟槽外径，即O形圈公称外径(毫米)；

d ——沟槽内径，即O形圈公称内径(毫米)；

H ——密封沟槽高度(毫米)。

压缩量 δ 与O形圈自由状态下断面直径 d_0 的百分比称为O形圈压缩率 W ，可用下式表示：

$$W = \frac{\delta}{d_0} \times 100\% = \frac{d_0-H}{d_0} \times 100\% \quad (9-2)$$

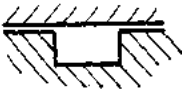


气动静密封装置的压缩率和液压静密封装置压缩率一样，一般取 $W = 10 \sim 30\%$ ，压缩量再大，就容易破坏O形圈的弹性，降低使用寿命。

动密封装置的压缩率大小直接影响O形圈对相对运动表面的摩擦阻力、密封性能和使用寿命。因此，对气动密封装置，要求采用小压缩率，比液压动密封压缩率二分之一还要小些，一般取 $W = 3 \sim 10\%$ ，最佳值为 $5 \sim 8\%$ ，最好不超过 10% 。否则因压缩率过大，使得压缩应力增大，摩擦阻力相应增加，特别是始动摩擦力增大，运动件会出现卡死现象。国外气动密封的标准压缩率取 $2 \sim 7\%$ 。



二、沟槽的形状和尺寸

密封沟槽几何形状很多，其中矩形沟槽应用最广泛。除矩形沟槽外，还有三角形、V形、燕尾形和梯形等（表9—2）。

表9—2 气动O形密封圈的沟槽形式

名 称	形 状	应 用 范 围
矩 形		最常用的沟槽形式，既适于静密封，也适于动密封
三 角 形		适用于静密封
V 形		适用于压力不变的静密封

(续)

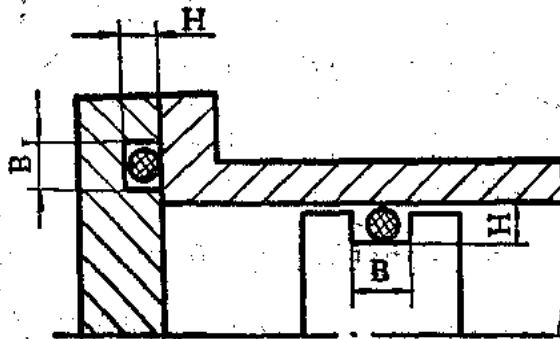
名称	形状	适用范围
燕尾形		适用于要求摩擦力小的动密封
梯形		适用于极低温下, O形圈具有能相应的膨胀和收缩特点的场所

矩形沟槽的主要尺寸参数是沟槽高度 H 和宽度 B (图2—17)。压缩率的大小取决于沟槽的高度,高度越大则压缩率越小,但不能低于规定的最小压缩率,高度越小则压缩量越大,但不能超过最大压缩率。宽度大小是以容纳受压缩变形后O形圈体积为准,只能大而不能小,否则O形圈将被压坏。

按体积计算,密封沟槽的体积一般取为O形圈体积的1.15倍。

目前,我国尚未颁布气动密封装置用O形圈与沟槽的尺寸系列标准。因此,关于气动密封用O形圈密封沟槽的形式和尺寸可按国标GB1235—76选用(表9—3)。

表9—3 气动密封用O形圈沟槽尺寸

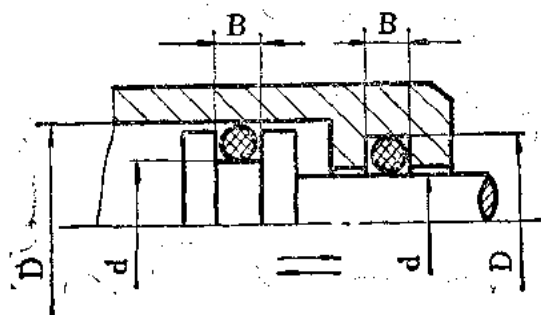


mm

O形圈断面直径 d_o	往 复 运 动 密 封			静 密 封		
	H	B	压缩率 W	H	B	压缩率 W
1.9	1.7	2.1	10.5%	1.4—0.05	$2.5^{+0.10}$	26.5%
2.4	2.2	2.6	8.3%	1.8—0.05	$3.2^{+0.10}$	25%
3.1	2.9	3.5	6.45%	2.4—0.05	$4^{+0.10}$	22.6%
3.5	3.3	3.9	5.5%	2.7—0.05	$4.5^{+0.10}$	22.8%
4.6	4.4	5.1	4.35%	3.6—0.05	$6.1^{+0.20}$	21.8%
5.7	5.4	6.4	5.26%	4.5—0.05	$7.5^{+0.20}$	21.1%
8.6	8.2	9.6	4.88%	6.9—0.10	$11^{+0.20}$	19.8%

表9-4列出了基本接近我国O形圈标准的日本气动密封沟槽标准 (JIS B2401),供参考。

表9-4 日本气动密封用O形圈沟槽尺寸 (JIS B2401)

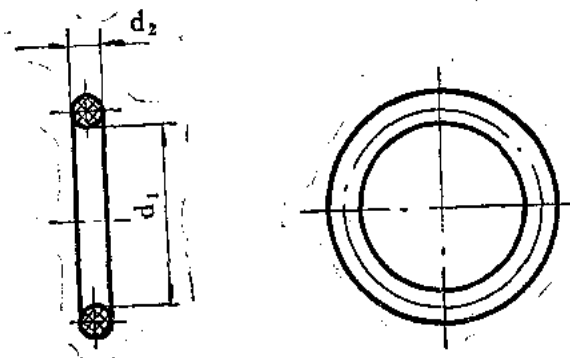


mm

O形圈				往复运动密封沟槽尺寸								宽度	
d ₀	允差	d ₁	允差	内圈滑动时				外圈滑动时				B	公差
				d	公差	D	公差	d	公差	D	公差		
1.9	±0.07	2.8~9.8	±0.12	3~10	-0.05	6.2~13.2	+0.05	2.8~9.8	-0.05	6~13	+0.05	2.5	+0.25
2.4	±0.07	9.8~21.8	±0.12	10~22	-0.06	14.36~26.36	+0.06	9.64~21.64	-0.06	14~26	+0.06	3.2	+0.25
3.5	±0.10	21.7~49.7	±0.15	22~50	-0.08	28.44~56.44	+0.08	21.56~49.56	-0.08	28~56	+0.08	4.7	+0.25
5.7	±0.15	47.6~149.6	±0.15	50~150	-0.1	58.64~160.64	+0.1	47.36~149.36	-0.1	58~160	+0.1	7.5	+0.25
8.4	±0.15	149.5~339.5	±0.15	150~400	-0.1	166.06~416.06	+0.1	148.94~398.94	-0.1	165~405	+0.1	11	+0.25

表9-5列出了国际标准ISO3601/O形圈尺寸系列。

表9-5 国际标准ISO3601/O形圈尺寸系列



(续)

内 径		断 面 d_2 和 公 差					内 径		断 面 d_2 和 公 差					
d_1	公差	1.80± 0.08	2.65± 0.09	3.55± 0.10	5.3± 0.13	7.00± 0.15	d_1	公差	1.80± 0.08	2.65± 0.09	3.55± 0.10	5.3± 0.13	7.00± 0.15	
1.80		√					13.2	√						
2.00	±0.13	√					14.0	±0.19	√	√				
2.24		√					15.0	±0.20	√	√				
2.50		√					16.0		√	√				
2.80	±0.14	√					17.0	±0.21	√	√				
3.10		√					18.0		√	√				
3.55		√					19.0	±0.22	√	√				
3.75		√					20.0		√	√				
4.00		√					21.2		±0.23	√	√			
4.50		√					22.4	√		√				
4.87		±0.15	√					23.6	±0.24	√	√			
5.00	√						25.0	±0.25		√	√			
5.15	√						25.3	±0.26	√	√				
5.30	√						26.5		√	√				
5.60	√						28.0		±0.28	√	√			
6.00	√						30.0	±0.29		√	√			
6.30	√						31.5	±0.31	√	√				
6.70	±0.16		√					32.5	±0.32	√	√			
6.90			√					33.6		√	√			
7.10			√					34.5	±0.33	√	√			
7.50		√					35.5	±0.34	√	√				
8.00		√					36.5	±0.35	√	√				
8.50		√					37.5	±0.36	√	√				
8.76		√					38.7	±0.37	√	√				
9.00		±0.17	√					40.0	±0.38	√	√			
9.50	√						41.2	±0.39	√	√				
10.0	√						42.5	±0.40	√	√				
10.6	±0.18	√					43.7	±0.41	√	√				
11.2		√					45.0	±0.42	√	√				
11.8	±0.19	√					45.2	±0.43	√	√				
12.5		√					47.5	±0.44	√	√				

(续)

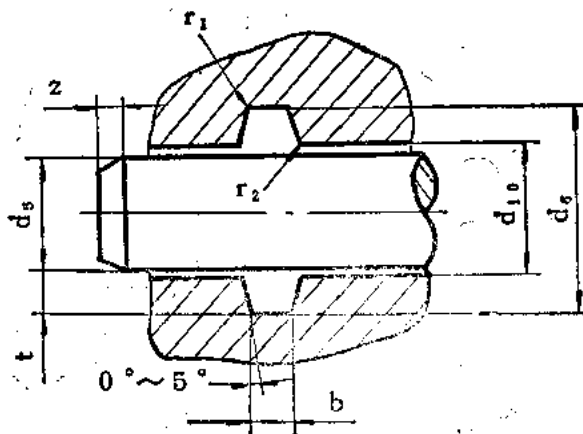
内 径		断 面 d_2 和 公 差					内 径		断 面 d_2 和 公 差				
d_1	公差	1.80± 0.08	2.65± 0.09	3.55± 0.10	5.30± 0.13	7.00± 0.15	d_1	公差	1.80± 0.08	2.65± 0.09	3.55± 0.10	5.30± 0.13	7.00± 0.15
48.7	±0.45			√	√		118	±0.97			√	√	
50.0	±0.46			√	√		122	±1.0			√	√	
51.5	±0.47			√	√		125	±1.03			√	√	
53.0	±0.48			√	√		128	±1.05			√	√	
54.5	±0.50			√	√		132	±1.08			√	√	
56.0	±0.51			√	√		136	±1.10			√	√	
58.0	±0.52			√	√		140	±1.13			√	√	
60.0	±0.54			√	√		145	±1.17			√	√	
61.5	±0.55			√	√		150	±1.20			√	√	
63.0	±0.56			√	√		155	±1.24			√	√	
65.0	±0.58			√	√		160	±1.27			√	√	
67.0	±0.59			√	√		165	±1.31			√	√	
69.0	±0.61			√	√		170	±1.34			√	√	
71.0	±0.63			√	√		175	±1.38			√	√	
73.0	±0.64			√	√		180	±1.41			√	√	
75.0	±0.66			√	√		185	±1.44			√	√	
77.5	±0.67			√	√		190	±1.48			√	√	
80.0	±0.69			√	√		195	±1.51			√	√	
82.5	±0.71			√	√		200	±1.55			√	√	
85.0	±0.73			√	√		206	±1.59				√	√
87.5	±0.75			√	√		212	±1.63				√	√
90.0	±0.77			√	√		218	±1.67				√	√
92.5	±0.79			√	√		224	±1.71				√	√
95.0	±0.81			√	√		230	±1.75				√	√
97.5	±0.83			√	√		236	±1.79				√	√
100	±0.84			√	√		243	±1.83				√	√
103	±0.87			√	√		250	±1.88				√	√
106	±0.89			√	√		258	±1.93				√	√
109	±0.91			√	√		265	±1.93				√	√
112	±0.93			√	√		272	±2.02				√	√
115	±0.95			√	√		280	±2.08				√	√

(续)

内 径		断 面 d_2 和 公 差					内 径		断 面 d_2 和 公 差				
d_1	公差	1.80± 0.03	2.65± 0.09	3.55± 0.10	5.30± 0.13	7.00± 0.15	d_1	公差	1.80± 0.03	2.65± 0.09	3.55± 0.10	5.30± 0.13	7.00± 0.15
290	±2.14				√	√	450	±3.15					√
300	±2.21				√	√	462	±3.22					√
307	±2.25				√	√	475	±3.30					√
315	±2.30				√	√	487	±3.37					√
325	±2.27				√	√	500	±3.45					√
335	±2.43				√	√	515	±3.54					√
345	±2.49				√	√	530	±3.63					√
355	±2.56				√	√	545	±3.72					√
365	±2.62				√	√	560	±3.81					√
375	±2.68				√	√	580	±3.95					√
387	±2.76				√	√	600	±4.05					√
400	±2.84				√	√	615	±4.13					√
412	±2.91					√	630	±4.22					√
425	±2.99					√	660	±4.34					√
437	±3.07					√	670	±4.46					√

表9—6列出了ISO3601/IO形圈用于符合ISO3320中规定的气动密封场合下的活塞杆密封沟槽尺寸系列。

表9—6 气动密封活塞杆密封沟槽尺寸系列(ISO3320)



O形圈规格代号		d_1	d_2	b	r_1	r_2	Z_{min}	d_{10} 与 d_1 同轴度
1800	400	4	7.1	2.2	0.5 _{max}	0.1/0.3	1.1	0.025
1800	0487	5	8.13					
1800	0600	6	9.1					
1800	0800	8	11.127					
1800	1000	10	13.127					
1800	1180	12	15.124					
2650	1400	14	18.724	3.4	0.5 _{max}	0.1/0.3	1.5	
2650	1600	16	20.724					
2650	1800	18	22.724					
2650	2000	20	24.72					
2650	2240	22	26.72					
3550	1800	18	24.464	4.6	1.0 _{max}	0.2/0.4	1.8	
3550	2000	20	26.46					
3550	2240	22	28.46					
3550	2500	25	31.46					
3550	2800	28	34.46					
3550	3250	32	38.455					
3550	3650	36	42.455					
3550	4000	40	46.455					
530	04000	40	49.695	6.9	1.0 _{max}	0.2/0.4	2.7	
530	04500	45	54.695					
530	05000	50	59.695					
530	05600	56	65.69					
530	06300	63	72.69					
530	07100	70	79.69					
530	08000	80	89.69					
530	09000	90	99.684					
530	10000	100	109.684					
530	11200	110	119.684					
700	11200	110	122.824					9.9
700	12500	125	137.817					
700	14000	140	152.817					
700	16000	160	172.817					
700	18000	180	192.817					
700	20000	200	212.81					
700	22400	220	232.81					
700	25000	250	262.81					

注：规格代号说明：

国际标准O形圈规格代号由八位数字组成,前三位数表示断面直径(d_2),乘以毫米的1/100即为其真值,后五位数表示内径(d_1),也是乘以毫米的1/100即为其真值,如:

$$18000355 = d_2 \times d_1 = 1.80 \times 3.55$$

$$26503450 = d_2 \times d_1 = 2.65 \times 34.5$$

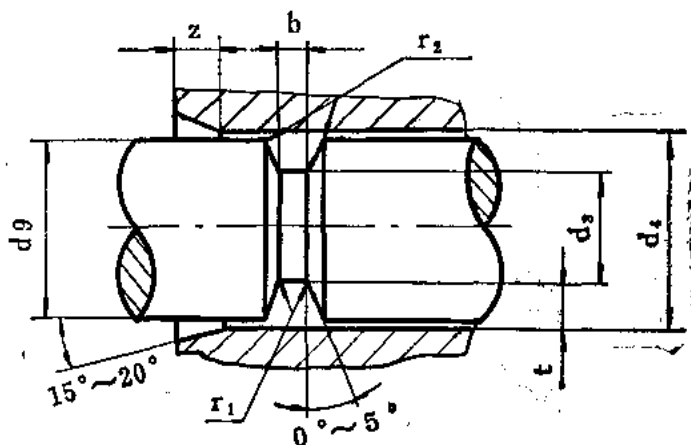
$$35505000 = d_2 \times d_1 = 3.55 \times 50$$

$$53023000 = d_2 \times d_1 = 5.30 \times 230$$

$$70046200 = d_2 \times d_1 = 7.00 \times 462$$

表9—7列出了ISO3601/O形圈用于符合ISO3320中规定的气动密封场合下的活塞密封沟槽尺寸系列。

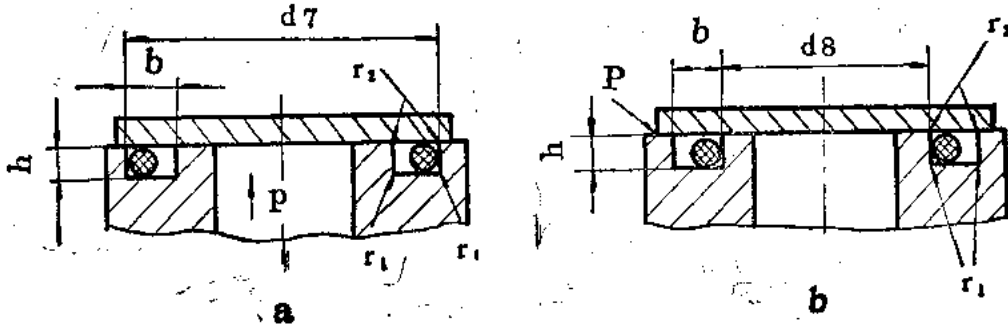
表9—7 气动密封活塞密封沟槽尺寸系列(ISO3320)



mm							
O形圈规格代号	d_4	d_3	b	r_1	r_2	Z_{min}	d_4 与 d_3 同轴度
1800 0487	8	6.08					
1800 0670	10	7.08	2.2	0.5 _{max}	0.1/0.3	1.1	
1800 0875	12	9.08					
1800 1250	16	13.08					
2650 1500	20	15.54	3.4	0.5 _{max}	0.1/0.3	1.5	0.025
2650 2000	25	20.54					
355 01800	25	18.94	4.6	0.5 _{max}	0.1/0.3	1.8	
355 02500	32	25.94					
355 03350	40	33.94					
530 04090	50	40.78	6.9	1.0 _{max}	0.2/0.4	2.7	0.050
530 05300	63	53.70					
530 06900	80	70.78					
530 08000	100	90.70					
530 11200	125	115.70					
700 10900	125	112.60	9.3	1.0 _{max}	0.2/0.4	3.6	
700 14500	160	147.60					
700 18500	200	187.60					
700 25600	250	237.60					

表9—8列出了 ISO3601/I O形圈用于气动端面静密封装置时, 推荐的密封沟槽尺寸系列。

表9—8 ISO3601/IO形圈用于气动端面静密封沟槽尺寸系列



O 形圈 规格代号	d_7	d_8	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆 角		O 形圈 规格代号	d_7	d_8	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆 角			
					r_1	r_2						r_1	r_2		
18000	180	5.40	1.80				18000	690	10.50	6.90					
	200	5.60	2.00					710	10.70	7.10					
	224	5.84	2.24					750	11.10	7.50					
	250	6.10	2.50					800	11.60	8.00					
	280	6.40	2.80					850	12.10	8.50					
	315	6.75	3.15					875	12.35	8.75					
	355	7.15	3.55					900	12.60	9.00					
	375	7.35	3.75					950	13.10	9.50					
	400	7.60	4.00	2.6	1.28	0.5 _{max}	0.1/0.3	1000	13.60	10.00	2.6	1.28	0.5 _{max}	0.1/0.3	
	450	8.10	4.50					1000	14.20	10.60					
	487	8.47	4.87					1120	14.80	11.20					
	500	8.60	5.00					1180	15.40	11.30					
	515	8.75	5.15					1250	16.10	12.50					
	530	8.90	5.30					1320	16.80	13.20					
	560	9.20	5.60					1400	17.60	14.00					
	600	9.60	6.00					1500	18.60	15.00					
	630	9.90	6.30					1600	19.60	16.00					
	670	10.30	6.70					1700	20.60	17.00					
2650	1400	19.30	14.00					2650	2650	31.80	26.50				
	1500	20.30	15.00					2800	33.30	28.00					
	1600	21.30	16.00					3000	35.30	30.00					
	1700	22.30	17.00					3150	36.80	31.50					
	1800	23.30	18.00					3250	37.80	32.50					
	1900	24.30	19.00	3.8	1.97	0.5 _{max}	0.1/0.3	3350	38.80	33.50	3.8	1.97	0.5 _{max}	0.1/0.3	
	2000	25.30	20.00					3450	39.80	34.50					
	2120	26.50	21.20					3550	40.80	35.50					
	2240	27.70	22.40					3650	41.80	36.50					
	2360	28.90	23.60					3750	42.80	37.50					
	2500	30.30	25.00					3870	44.00	32.70					
	2580	31.10	25.80												

(续)

O形圈 规格代号	d_7	d_8	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆 角		O形圈 规格代号	d_7	b_2	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆 角			
					r_1	r_2						r_1	r_2		
3550	1800	25.10	18.00				3550	2800	35.10	28.00					
	1900	26.10	19.00					3000	37.10	30.00					
	2000	27.10	20.00					3150	38.60	31.50					
	2120	28.30	21.20					3250	39.60	32.50					
	2240	29.50	22.40					3350	40.60	33.50					
	2360	30.70	23.60					3450	41.60	34.50					
	2500	32.10	25.00					3550	42.60	35.50					
	2580	32.90	25.80					3650	43.60	36.50					
	2650	33.60	26.50					3750	44.60	37.50					
	3870	45.80	33.70					9000	97.10	90.00					
	4000	47.10	40.00					9250	99.00	92.50					
	4120	48.30	41.20	5.0	2.75	1.0 _{max}	0.2/0.4	9500	102.10	95.00	5.0	2.75	1.0 _{max}	0.2/0.4	
	4250	49.60	42.50					9750	104.60	97.50					
	4370	50.80	43.70					10000	107.10	100.00					
	4600	52.10	45.00					10300	110.10	103.00					
	4620	53.30	46.20					10600	113.10	106.00					
	4750	54.60	47.50					10900	116.10	109.00					
	4870	55.80	48.70					11200	117.10	112.00					
	5000	57.10	50.00					11500	122.10	115.00					
	5150	58.60	51.50					11800	125.10	118.00					
	5350	60.10	53.00					12200	129.10	122.00					
	5450	61.60	54.50					12500	132.10	125.00					
	5600	63.10	56.00					12800	135.10	128.00					
	5800	65.10	58.00					13200	139.10	132.00					
	6000	67.10	60.00					13600	143.10	136.00					
	6150	68.60	61.50					14000	147.10	140.00					
	6300	70.10	63.00					14500	152.10	145.00					
	6500	72.10	65.00					15000	157.10	150.00					
	6700	74.10	67.00					15500	162.10	155.00					
	6900	76.10	69.00					16000	167.10	160.00					
	7100	78.10	71.00	5.0	2.75	1.0 _{max}	0.2/0.4	16500	172.10	165.00	5.0	2.75	1.0 _{max}	0.2/0.4	
	7300	80.10	73.00					17000	177.10	170.00					
	7500	82.10	75.00					17500	182.10	175.00					
	7750	84.60	77.50					18000	187.10	180.00					
	8000	87.10	80.00					18500	192.10	185.00					
	8250	89.00	82.50					19000	197.10	190.00					
	8500	92.10	85.00					19500	202.10	195.00					
	8750	94.60	87.50					20000	207.10	200.00					
5300	4000	60.60	40.00					5300	5000	60.60	50.00				
	4120	51.80	41.20						5150	62.10	51.50				
	4250	53.10	42.50						5300	63.60	53.00				
	4370	54.30	43.70	7.3	4.24	1.0 _{max}	0.2/0.4		5450	65.10	54.50	7.3	4.24	1.0 _{max}	0.2/0.4
	4500	55.60	45.00						5600	66.60	56.00				
	4620	56.80	46.20						5800	68.60	58.00				

(续)

O形圈 规格代号	d_T	d_A	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆角		O形圈 规格代号	d_T	d_A	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆角		
					r_1	r_2						r_1	r_2	
5300	4750	58.10	47.50											
	4870	59.30	48.70											
	6000	70.60	60.00				5300	16000	170.60	160.00				
	6150	72.10	61.50					16500	175.60	165.00				
	6300	73.60	63.00					17000	180.60	170.00				
	6500	75.60	65.00	7.3	4.24	1.0 _{max}	0.2/0.4	17500	185.60	175.00	7.3	4.24	1.0 _{max}	0.2/0.4
	6700	77.60	67.00					18000	190.60	180.00				
	6900	79.60	69.00					18500	195.60	185.00				
	7100	81.60	71.00					19000	200.60	190.00				
	7500	83.60	73.00					19500	205.60	195.00				
	7500	85.60	75.00					20000	210.60	200.00				
	7750	88.10	77.50					20600	216.60	206.00				
	8000	90.60	80.00					91200	222.60	212.00				
	8250	93.10	82.50					21800	228.60	218.00				
	8500	95.60	85.00					22400	234.60	224.00				
	8750	98.10	87.50					23000	240.60	230.00				
	9000	100.60	90.00					23600	246.60	236.00				
	9250	103.10	92.50					24300	253.60	243.00				
	9500	105.60	95.00					25000	260.60	250.00				
	9750	108.10	97.50					25800	268.60	258.00				
	10000	110.60	100.00					26500	275.60	265.00				
	10300	113.60	103.00	7.3	4.42	0.1 _{max}	0.2/0.4	27200	282.60	272.00	7.3	4.42	1.0 _{max}	0.2/0.4
	10600	116.60	106.00					28000	290.60	280.00				
	10900	119.60	109.00					29000	300.60	290.00				
	11200	122.60	112.00					30000	310.60	300.00				
	11500	125.60	115.00					30700	317.60	307.00				
	11800	128.60	118.00					31500	325.60	315.00				
	12200	132.60	122.00					32500	335.60	325.00				
	12500	135.60	125.00					32600	345.60	335.00				
	12800	138.60	128.00					34500	355.60	345.00				
	13200	142.60	132.00					35500	365.60	355.00				
	13600	146.60	136.00					36500	375.60	365.00				
	14000	150.60	140.00					37500	385.60	375.00				
	14500	155.60	145.00					38700	397.60	387.00				
	15000	160.60	150.00					40000	410.60	400.00				
	15300	165.60	155.00											
700	10900	123.00	109.00					700	30000	314.00	300.00			
	11200	126.00	112.00						30700	321.00	307.00			
	11500	129.00	115.00	9.7	7.52	1.0 _{max}	0.2/0.4	31500	329.00	315.00	9.7	7.52	1.0 _{max}	0.2/0.4
	11800	132.00	118.00					32500	339.00	325.00				
	12200	136.00	122.00					33500	349.00	335.00				
	12500	139.00	125.00					34500	359.00	345.00				
	12800	142.00	128.00	9.7	5.72	1.0 _{max}	0.2/0.4	35500	369.00	355.00	9.7	5.72	1.0 _{max}	0.2/0.4
	13200	146.00	132.00					36500	379.00	365.00				

(续)

O形圈 规格代号	d_7	d_8	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆 角		O形圈 规格代号	d_7	d_8	$b^{+0.25}_0$	$h^{+0.10}_0$	圆 角	
					r_1	r_2						r_1	r_2
700 13600	150.00	136.00					700 27200	286.00	272.00				
14000	154.00	140.00					28000	294.00	280.00				
14500	159.00	145.00					29000	304.00	290.00				
15000	164.00	150.00					37500	389.00	375.00				
15500	169.00	155.00					38700	401.00	387.00				
16000	174.00	160.00					40000	414.00	400.00				
16500	179.00	165.00					41200	426.00	412.00				
17000	184.00	170.00					42500	439.00	425.00				
17500	189.00	175.00					43700	451.00	437.00				
18000	194.00	180.00					45000	464.00	450.00				
18500	199.00	185.00					46200	476.00	462.00				
19000	204.00	190.00					47500	489.00	475.00				
19500	209.00	195.00	9.7	5.72	1.0 _{max}	0.2/0.4	48700	501.00	487.00	9.7	5.72	1.0 _{max}	0.2/0.4
20000	214.00	200.00					50000	514.00	500.00				
20600	220.00	206.00					51500	529.00	515.00				
21200	226.00	212.00					52000	544.00	520.00				
21800	232.00	218.00					54500	559.00	545.00				
22400	238.00	224.00					56000	574.00	560.00				
23000	244.00	230.00					58000	594.00	580.00				
23600	250.00	236.00					60000	614.00	600.00				
24300	257.00	243.00					61500	629.00	615.00				
25000	264.00	250.00					63000	644.00	630.00				
25800	272.00	258.00					65000	664.00	650.00				
26500	279.00	265.00					67000	684.00	670.00				

密封沟槽和被密封偶合件的表面光洁度 R_a 和 R_{max} 见表9—9。

表9—9 表面光洁度

表 面	应用场合	压 力	表 面 光 洁 度 μm (∇)	
			R_a	R_{max}
密封沟槽的底面和侧面	静 态	非交变和非脉冲	3.2($\nabla 8$)	12.5($\nabla 6$)
		交 变 或 脉 冲	1.6($\nabla 9$)	6.3($\nabla 7$)
配 合 表 面	静 态	非交变和非脉冲	1.6($\nabla 9$)	6.3($\nabla 7$)
		交 变 或 脉 冲	0.8($\nabla 10$)	3.2($\nabla 8$)
	动 态		0.4($\nabla 11$)	1.6($\nabla 9$)

注：本表也适用于液压密封。

表9—10列出了除ISO3320规定以外的气动动密封活塞和活塞杆密封沟槽深度和宽度尺寸。

表9—10 除ISO3320之外的气动密封活塞和活塞杆沟槽深度和宽度尺寸

mm

O形圈断面直径 d_2	沟 槽 深 度 t				沟 槽 宽 度 b	
	活 塞 沟 槽 活 塞 杆 沟 槽				动态气动	静态径向
	动态气动	静态径向	动态气动	静态径向		
1.80	1.46	1.38	1.57	1.42	2.2	2.4
2.65	2.23	2.07	2.37	2.15	3.4	3.6
3.55	3.03	2.74	3.24	2.85	4.6	4.8
5.30	4.65	4.19	4.86	4.36	6.9	7.1
7.00	6.20	5.67	6.43	5.89	9.3	9.5

在动态径向密封应用中，沟槽直径的计算方法如下：

活塞沟槽（表9—7图）

$$d_{2max} = d_{4min} - 2t$$

活塞杆沟槽（表9—6图）

$$d_{3min} = d_{5max} + 2t$$

当然也可以从O形圈的伸长或压缩等设计准则来推导出沟槽尺寸。

对于活塞沟槽（表9—7图），只允许O形圈内径拉伸，即不允许 d_3 和 d_1 （O形圈内径）之间有间隙。

最小伸长率 = 0

因此，只允许 $d_3 = d_{1max}$ 。

最大伸长率（表9—11）

$$x\%_{max} = \frac{\text{允许的最大 } d_3 - d_{1min}}{d_{1min}} \times 100\%$$

对于柱塞沟槽（表9—6图），O形圈外径只允许压缩，即 d_4 和 $(d_1 + 2d_2)$ 之间不允许有间隙。

最小压缩率 = 0

因此，只允许 $d_4 = d_{1min} + 2d_{2min}$ 。

最大压缩率（表9—11）

$$x\%_{max} = \frac{(d_{1min} + 2d_{2max}) - \text{允许的最小 } d_4}{d_{1max} + 2d_{2max}}$$

表9—11 O形圈直径最大拉伸率和压缩率 $x\%$

应用场合	内径 d_1 mm	内径 d_1 的最大拉伸率 $x\%$	外径 $(d_1 + 2d_2)$ 的最大压缩率 $x\%$
动态和静态	4.87~13.2	8	8
	14.0~38.7	6	6
	40.0~97.5	5	5
	100~200	4	4
	206~250	3	3
仅静态	258~400	3	2
	412~670	2	2

三、摩擦力与寿命

在动密封装置中，气体工作压力很低，一般皆小于10公斤力/厘米²。因此，摩擦阻力就成了突出的矛盾，它的大小对机器的性能有很大影响。这一点与液体密封不同，液体压力高，且对摩擦阻力影响小，相比之下，可以忽略。气动密封则不然，因此，必须认真解决气动密封摩擦阻力大的问题。

O形密封圈安装后的压缩率比Y形和U形密封圈大，摩擦阻力也大。O形圈摩擦阻力分为始动摩擦阻力和动摩擦阻力两种。在往复运动过程中，O形圈的动摩擦阻力比其它形式的密封圈小，但始动摩擦阻力却很大。试验证明，始动摩擦阻力是动摩擦阻力的3~4倍，这是O形圈作为动密封的一个很大缺点。一般来讲，压力和压缩率对动摩擦阻力和始动摩擦阻力影响并不一样，始动摩擦阻力与压力及压缩率成正比，而且O形圈硬度越大，被密封滑动表面光洁度越低，始动摩擦阻力越大。然而对动摩擦阻力影响却不显著。另一方面，始动摩擦阻力与O形圈在机构中静止停放时间长短有关。安装后两秒钟左右，始动摩擦阻力和动摩擦阻力几乎相等，但随着静止时间的增长，始动摩擦阻力开始增大，静止30~40分钟后，始动摩擦阻力达到恒定值。

O形圈静止停放时间增长，始动摩擦阻力将不断增加(图9-7)。始动摩擦阻力增加的原因是由于O形橡胶圈和滑动表面发生粘着现象所致，O形圈受压缩嵌入滑动表面的凹处，接触表面发生轻度物理和化学触合现象，相对滑动表面光洁度越低，接触时间越长，嵌入凹凸部分的材质越多，始动摩擦力就越大。

O形橡胶密封圈对滑动表面的粘着强度与金属表面材质、温度、光洁度等有关(图2-28~图2-30)。从图中可看出，光洁度高、有润滑，粘着强度小，而且黄铜比钢大，玻璃及氟塑料基本没有因时间增长使始动摩擦力增大的现象。

为了减少摩擦力，在橡胶圈上涂敷一层聚四氟乙烯，可以增加O形圈的润滑性、降低摩擦阻力。

始动摩擦阻力和动摩擦阻力的比较，不能笼统以定量形式反映出来，它是个变量，要在一定的温度、压力、压缩率等参数下来确定，即需将相应的参数确定，方可比较。否则，比较出来的始动摩擦阻力没有实际意义。

降低摩擦阻力的措施很多，详见第二篇第二章。下面再补充一种可降低摩擦阻力的新型密封结构(图9-8)。

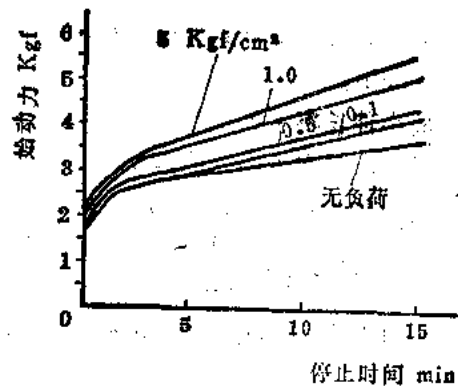


图9-7 始动摩擦阻力与静止时间的关系

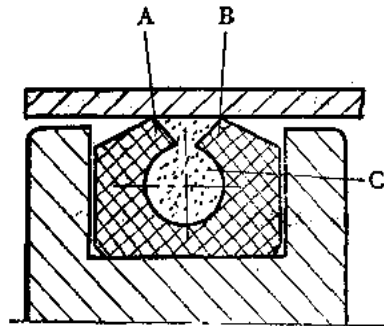


图9-8 新型气动密封结构

一般的密封结构应用在气缸密封中都需要供给润滑油，而在图9—8所示双唇口A、B中间的凹槽C中充填有润滑剂（脂），无需再从外部供给，就可以实现滑动表面的润滑。双唇口对密封表面具有充分的张紧余量，实现双向密封。在密封空气的同时，也起到密封润滑剂的作用。润滑剂是在密封唇口间的凹槽C内循环回转，泄漏甚微，故可保持很长时间，从而使密封圈寿命延长。

密封圈的寿命主要是用磨损来衡量。为了减少磨损，O形圈本身的材质要选择合适的，使其物理性能满足机械强度的需要。根据橡胶膨胀率比金属大，在低温收缩变硬的特点，在露天、低温、超低温的机械上采用时，应对硬度进行合理选择，否则将失去恢复形状的能力，磨损增加，寿命降低。例如气动滑阀所采用的O形圈材质为丁腈橡胶，使用表明，其硬度HS可选取 55 ± 5 。

磨损快慢取决于摩擦力的大小，特别是动摩擦力的大小。前已述及，动摩擦力的大小与被密封表面的材质、表面硬度、表面光洁度以及沟槽的加工质量等因素有关。金属表面愈硬、光洁度愈高，磨损就愈小。在阀中如果采用45号钢作阀杆，需进行调质镀铬，如果采用铝材作阀杆，必须进行硬质阳极化处理，以提高阀杆硬度与耐磨性，然后进行磨削加工。但滑动表面光洁度不能太高，当光洁度高于 $\nabla 11$ 时，不仅给加工造成困难，而且也破坏了油膜，降低了密封圈寿命。因此，一般滑动表面光洁度为 $\nabla 8 \sim 10$ 较合适。

为了提高O形圈的使用寿命，适当润滑是非常重要的，因为气动密封所采用的介质是没有润滑性的。这时如不采取供润滑油措施，就会造成O形圈的磨损。因此，气动密封装置中作动密封的O形圈和沟槽应充分地涂敷、填满高熔点润滑脂（表2—17）。

也可采用在气缸活塞O形密封圈的两侧开设润滑油（脂）槽进行润滑的结构（图2—42），其润滑效果较好。

飞机空气压缩系统的密封装置是采用硅润滑脂进行润滑的。压力在70公斤力/厘米以上的高温气动系统中采用特殊的润滑油。当然，为提高O形圈的寿命，在灰尘多的场合下，须采用防尘圈，以防止尘粒等侵入气压系统。

四、O形圈的使用

在设计O形圈密封装置时，必须根据机械的种类和使用条件合理地选择O形圈的材质、密封部位的尺寸和其它设计参数。在选择O形圈材质时，应特别注意其工作温度和工作介质。当选用的材质不合适时，无论设计怎样正确，都不会得到好的密封效果。

气动密封装置，一般工作压力为 $4 \sim 6$ 公斤力/厘米²。为使在较低压力下工作的密封圈获得良好的密封效果，保证机构工作正常，密封圈及相关部位应满足以下要求：

（1）气阀和气缸的正常动作与密封圈的摩擦力密切相关。采用软质材料的密封圈安装在要求动作灵活的气阀和气缸等元件内，由于这种O形圈压缩率很小，所以当O形圈的断面尺寸和安装沟槽的尺寸精度较差时，因轴、孔偏心导致摩擦阻力过大或过小（泄漏），影响机械正常工作。因此，要选用尺寸公差合格的密封圈并提高沟槽的制造精度。同时，为了使动作灵活，还应该在滑动表面涂敷足够的润滑剂，以减少摩擦阻力。

（2）在工作速度快、行程长或缸径大的场合下使用时，O形圈容易产生扭转损

伤,造成泄漏。扭转的原因很多,其中最主要的是由于活塞、活塞杆和缸筒的间隙不均匀,偏心过大, O形圈断面直径不均匀等使 O形圈局部摩擦较大而造成。此外,断面尺寸较小的 O形圈容易产生摩擦的不均匀,出现扭伤; 润滑剂供给不足、O形圈材质的强度不足以抵抗扭转时也易产生扭伤(因此,运动密封用 O形圈比静密封用 O形圈的直径大)。另外在安装时,处于扭转状态的 O形圈,更易发生扭转损伤。因此,为避免扭伤,应提高沟槽的同轴度,严格按照沟槽形状和尺寸标准制造,提高径向间隙精度,减小偏心,减小密封圈径向变形,并使 O形圈安装在沟槽中拉伸率处在 3~5%之间。O形圈拉伸率可由公式(2-3)计算。

气动密封装置用 O形圈的拉伸率 α 可按表9-12选取。美国 BBC 标准, α 取 0~2%, 美国通用工业标准, α 取 1~5%。

表9-12 气动密封用 O形圈拉伸率

轴径 d mm	10~20	20~70	70~100	>100
拉伸率 α	1.025~1.02	1.02~1.05	1.05~1.0	1.01

温度对 O形圈尺寸变化影响也很大,在低温状态下,由于温度低将引起 O形圈收缩,使 O形圈预压缩量减小,降低密封性能。O形圈收缩率取决于橡胶的温度膨胀系数,橡胶的温度膨胀系数比钢大 10 倍,在设计低温下工作的机构时,应考虑到这个收缩率。温度下降使 O形圈变硬,严重影响橡胶的弹性,如果温度降低到 $-50\sim-60^{\circ}\text{C}$ 时,丁腈橡胶可能完全丧失接触能力,在低温下工作的密封圈应选用耐低温橡胶。在高温下, O形圈容易老化松弛,亦会失去弹性,同样使密封圈丧失接触能力,失去密封作用,也需要通过选用耐热橡胶的办法来解决。因此,在选用 O形圈材质的时候,首先要满足工作温度范围的要求:丁腈橡胶工作温度为 $-40\sim+120^{\circ}\text{C}$; 聚氨酯橡胶为 $-40\sim+80^{\circ}\text{C}$; 硅橡胶为 $-70\sim+230^{\circ}\text{C}$; 氯丁橡胶为 $-40\sim+120^{\circ}\text{C}$; 氟橡胶为 $-20\sim+200^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 为防止装入沟槽中的 O形圈损伤,沟槽及引入导角均应倒圆,并将积于槽中的屑粒清洗干净,相对运动表面光洁度要达到要求,并且不得有碰伤和划痕,如果轴上出现伤痕,会产生局部磨损,引起泄漏。径向出现伤痕,会引起 O形圈扭曲等事故。因此,在加工、存放、运输、装配被密封的运动件时,一定要防止其表面损伤。

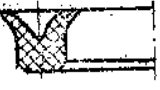



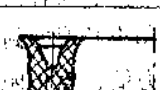
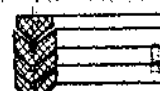
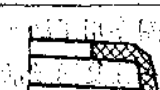


(4) 在安装 O形圈的时候,先要均匀的涂敷润滑剂,避免其弯曲扭转状态下装在沟槽中,并注意 O形圈上不得有线头、铁屑和其他异物。润滑剂中不得混入杂质。在通过孔口或螺纹时,不得碰伤 O形圈。

(5) 要保存好 O形圈(详见第二篇第二章)。

第三节 唇形密封圈

气动用唇形密封圈主要有 Y形、U形、V形、L形和 J形等。其中 U形密封圈又分为平底形和圆底形两种,在应用中以平底形为主。唇形密封圈的种类、断面形状及应用特点见表9-13。

表9—13 气动密封用唇形密封圈

类 型	断 面 形 状	应 用 特 点
Y形 密 封 圈		可密封轴与孔，结构简单，工作位置较稳定，用于往复密封
		密封孔用，截面高宽比等于或大于2，工作稳定，密封性能好，结构简单，耐磨性好，寿命高，用于往复运动密封
		密封轴用，其它同孔用Y形密封圈
		可密封轴与孔，结构简单，工作性能稳定，用于往复运动密封
		可密封轴与孔，结构简单，性能可靠，摩擦阻力大，用于往复运动和气阀阀杆的旋转运动密封
V形		可密封轴与孔，多个重叠使用，摩擦阻力大，不紧凑，可用于大直径，条件苛刻的情况下做往复运动密封
L形		密封孔用，适于直径较大的活塞上密封，作往复运动有较好的单向密封性，回程时摩擦阻力小，不紧凑
J形		密封轴用，适于活塞杆密封或防尘
QY形（气动用）		气动专用密封，可密封轴与孔，始动摩擦阻力小，用于往复运动

注：QY形密封圈，目前沈阳皮革制品厂已有企业标准。

由于V形和U形密封圈在气动机械中采用的越来越少，因此，这里主要叙述Y形、Y_△形、L形和J形以及气动专用密封圈。

气动用唇形密封圈密封机理和液压用唇形密封圈一样，也是靠气压把唇边压紧在被密封表面上实现密封作用。低压下密封效果稍差，随着压力增加，密封性能提高。随活塞运动速度地提高，密封圈唇部密封能力减弱，这是因为密封圈断面形状恢复能力较差，不易填充微小的低凹处之故。因此，对滑动表面光洁度要求较高。

气动用唇形密封圈在使用中具有以下特点：

(1) 与滑动表面接触面积比O形圈大10倍,故接触面积所受到的压力要比O形圈小,对金属粘附性小,始动摩擦力也小。

(2) 唇形密封圈的密封性,随气压提高而加强。

(3) 唇部与滑动表面之间常有油膜存在,故能保持一定的润滑性。

(4) 唇形密封圈缓冲效果高,适于大直径缸在低速重载、长行程的条件下进行工作。

(5) 能够适应恶劣的工作条件,唇部对颗粒状杂质和机械损伤不敏感,有补偿能力,寿命较高。

气动机械的工作压力一般在10公斤力/厘米²以下,工作压力较低,摩擦阻力的大小显得尤为重要。同时,由于介质无润滑作用,气动机械密封装置处应及时补给适当的润滑剂,不然,会造成泄漏和密封圈的过早磨损,使寿命降低。这也是设计气动机械密封装置时应该注意的。

Y形密封圈根据断面结构和材质不同,可分为Y形橡胶密封圈、Y₁、Y₂形聚氨酯橡胶密封圈(也称为小Y形密封圈)和QY形气动密封圈。这几种密封圈主要应用在往复运动密封装置中,在旋转和静密封处应用较少。Y形和小Y形密封圈是液压和气动合用的一种密封圈。但作气动密封时,必须考虑到气动压力低、摩擦阻力小的要求,选择低硬度材质,并用减少压缩率的办法来实现动作灵活,达到降低摩擦阻力的目的。

一、Y形橡胶密封圈

Y形橡胶密封圈用于气动密封时,要求沟槽深度比液压用的沟槽深度大些,其目的是减少对密封圈的压缩率,以降低摩擦阻力。Y形密封圈多用于活塞和活塞杆上密封,单圈即可保证一个方向上的密封作用,密封性能稳定。在往复运动活塞上采用时,需装两只密封圈(图9—9a),在活塞杆上采用时,只需一只密封圈(图9—9b)。

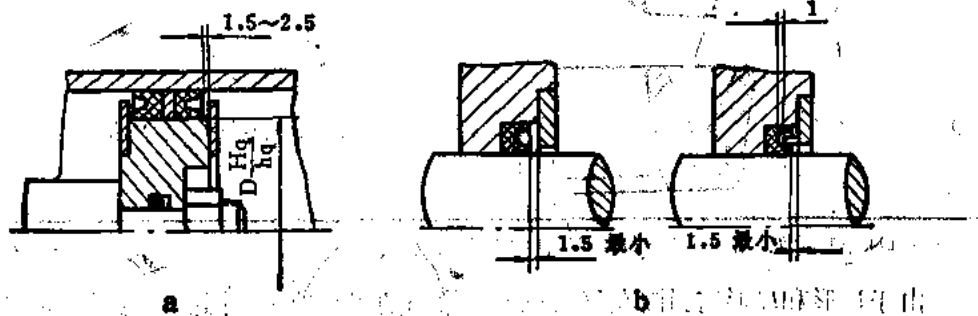


图9—9 Y形密封圈在活塞及活塞杆上的应用

Y形橡胶密封圈(表5—11)安装简单,成本低,一般用于直径大于100毫米以上的气缸中,工作温度为-30~+80℃。

滑动表面的光洁度对Y形橡胶密封圈使用寿命和密封性能影响很大,因此,相对滑动表面光洁度一般取▽8~9。

二、小Y形密封圈

气动用小Y形密封圈指的是Y形和Y₁形密封圈，也是液压和气动通用的元件。由于其断面高度是宽度的两倍以上，在运动速度很高的工作条件下，稳定性仍然很好，在沟槽中不易发生扭转和翻滚现象。特别是Y形密封圈，内外唇边高低不一样，短唇边与滑动表面相接触，摩擦阻力较小，高唇边与非滑动表面相接触，有较大的压缩量，使摩擦阻力增加，稳定性好，能防止密封圈窜动，避免了逆压作用使密封圈唇边挤出现象发生。

采用Y形和Y₁形密封圈作为活塞和活塞杆密封时，最好用低硬度的材质，并使压缩率比用于液压密封时小些，以降低摩擦阻力。

Y形密封圈结构简单，密封性能可靠，安装方便，采用聚氨酯橡胶材质（也可用丁腈胶）时寿命很高。

Y形密封圈分为孔用和轴用两种，都有系列标准，孔用为Q/ZB248—77（表5—14），轴用为Q/ZB249—77（表5—16）。冶金设备用气缸标准（JB1444~1448—77）中活塞及活塞杆的密封均采用这种密封圈。

沟槽尺寸和光洁度对密封性能有很大影响，一般孔用沟槽内径光洁度不低于▽6，公差按f9选取，轴用沟槽外径光洁度不低于▽6，公差按H9选取，配合公差按H9/f9选取。滑动表面光洁度高低直接影响密封圈的性能和寿命，因此要求滑动表面光洁度为▽8~9。

Y₁形密封圈与Y形不同，轴和孔同用一个密封圈，节省了一整套系列模具，并具有良好的密封性能，寿命高，本身材质为聚氨酯（也可用丁腈橡胶）。与Y形密封圈相比，Y₁形圈在沟槽中能窜动，不能避免逆压作用使唇边发生咬入现象。Y₁形密封圈常用于活塞及活塞杆密封。

三、气动专用QY形密封圈

气动机械中采用气液通用的Y形密封圈时，由于唇部设计按液压条件进行，因此用在气压上，使用效果并不理想，始动摩擦力和动摩擦阻力较大，影响气缸工作的灵敏度。

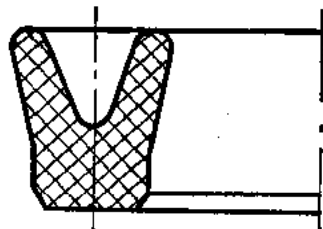


图9—10 气动专用QY形密封圈断面形状

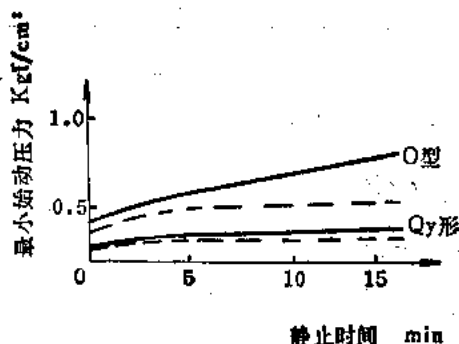


图9—11 气动专用QY形密封圈与O形圈始动压力比较

为解决这个矛盾，目前已出现气动专用QY形密封圈，其断面形状如图9—10所示。

QY形密封圈的特点是唇边较薄，呈半圆形，易变形。与缸孔和活塞杆之间能保存少量润滑剂，这样既不损坏密封效果，又能改善密封圈的始动摩擦阻力，提高使用寿命。和其它类型的密封圈——Y形、L形和J形、O形密封圈相比，其始动摩擦力只有它们的1/4~1/2。图9—11所示为气动专用QY形密封圈与O形圈始动压力比较。

QY形密封圈在有充分润滑和滑动表面光滑的情况下工作时，寿命很高。使用的润滑剂一般是锂皂基润滑脂或90号透平油。

采用QY形密封圈装置时，应注意以下几点：

- (1) 装配前应把密封圈及其相对滑动表面涂敷充足的润滑脂。
- (2) 相对滑动表面光洁度必须在 $\nabla 9$ 左右。如果表面镀铬，不但密封效果好，还能防止腐蚀。镀后应进行抛光或研磨，镀层厚度一般为0.01~0.03毫米。沟槽底部光洁度为 $\nabla 8$ ，两侧光洁度为 $\nabla 6$ 。
- (3) 工作中应经常加注润滑油，一般采用90号透平油即可。
- (4) 密封圈装入处应按表9—14倒角。
- (5) 密封部位的间隙应按表9—15选取。

表9—14 密封圈导入角

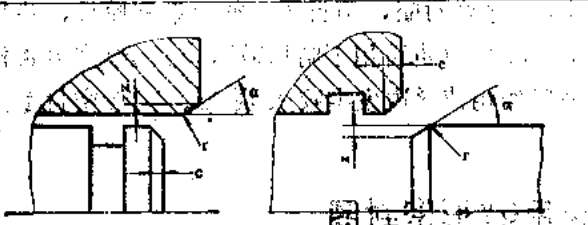
筒 图	轴 径 d	引 入 角			
		Z	r	C	α
	16~28	0.8	1	1	20°~30°
	20~80	1.0	1	1	
	85~165	1.5	2	2	

表9—15 密封部位的间隙


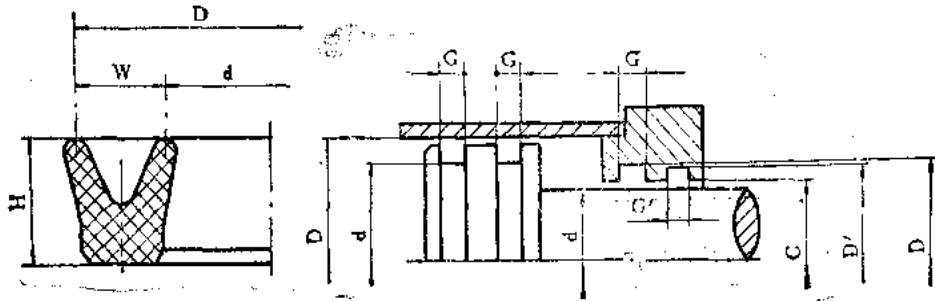
筒 图	轴 径 d	最 大 间 隙	
		a	b
	16~28	0.20	0.9
	30~60	0.25	1.1
	85~165	0.30	1.3

表9—16所列为国外气动用Y形密封圈型式尺寸，供参考。

表9-16 气动密封用Y形密封圈尺寸系列



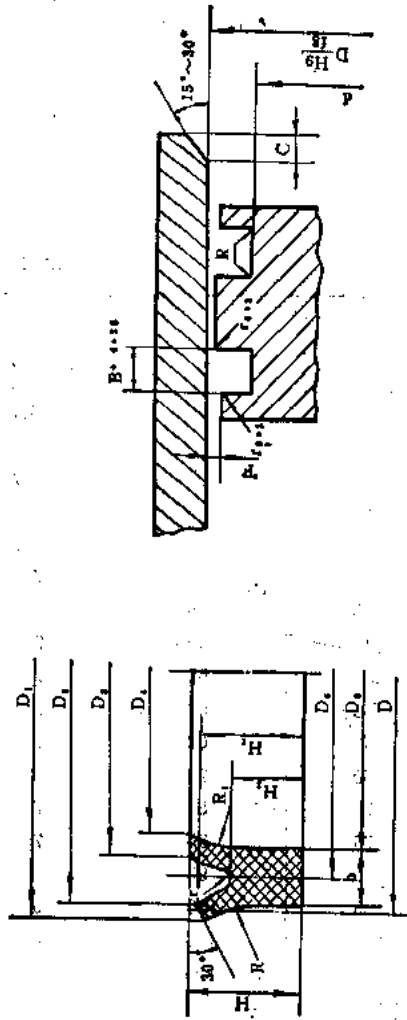
mm

公 称 尺 寸				密 封 部 位 尺 寸		
<i>d</i>	<i>D</i>	<i>W</i>	<i>H</i>	<i>d</i> (f8)	<i>D</i> (H8或H9)	<i>G</i> ⁰⁻²⁵
16	24	4	5	16	24	5.7
18	26	4	5	18	26	5.7
20	28	4	5	20	28	5.7
25	33	4	5	25	33	5.7
28	36	4	5	28	36	5.7
30	40	5	6	30	40	7
35	45	5	6	35	45	7
40	50	5	6	40	50	7
45	55	5	6	45	55	7
50	60	5	6	50	60	7
53	63	5	6	53	63	7
60	70	5	6	60	70	7
70	80	5	6	70	80	7
75	85	5	6	75	85	7
80	90	5	6	80	90	7
85	100	7.5	9	85	100	10
105	120	7.5	9	105	120	10
110	125	7.5	9	110	125	10
125	140	7.5	9	125	140	10
135	150	7.5	9	135	150	10
145	160	7.5	9	145	160	10
165	180	7.5	9	165	180	10

国内气动QY形密封圈作为企标，由沈阳市皮革装具厂生产，适用于往复运动密封，工作压力 ≤ 10 公斤力/厘米²，空气介质温度为 $-40 \sim +80$ ℃，其材质为聚氨酯橡胶，邵氏硬度 $HS = 75 \pm 5A$ 。

QY形密封圈分为孔用与轴用两种。孔用QY形密封圈与沟槽尺寸系列见表9-17，轴用QY形密封圈与沟槽尺寸见表9-18。

表 9-17 气动孔用 QY 形密封圈与沟槽尺寸系列 (SJM05-1)



标记示例:

公称外径 $D = 150$ 的孔用 QY 形密封圈, 记为

QY 形圈 $D150$ SJM05-1

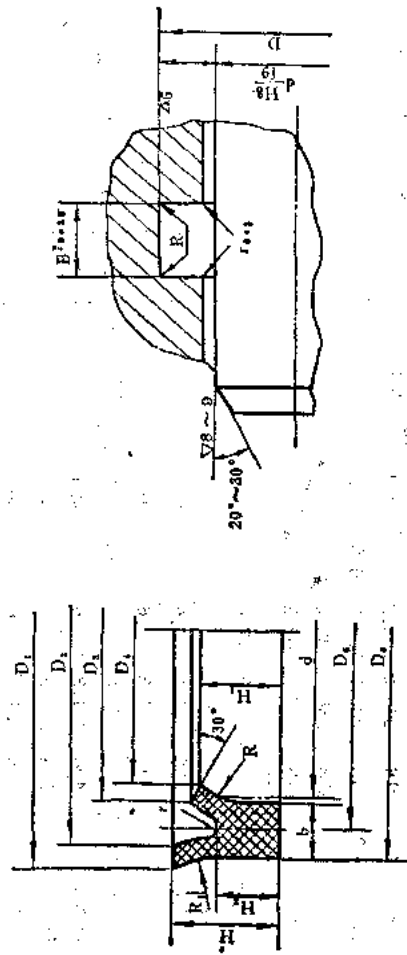
mm

公称 外径 D	密封圈		尺寸										沟槽尺寸								
	d_0 尺寸	公差	b	D_1 尺寸	公差	D_2	D_3	D_4 尺寸	公差	D_5	D_6	H_1	H_2	R	R_1	r	B	$C >$	$R \leq$	F	
20	11.8			21.4		19.2	12.8	10.6	16												
25	16.8	-0.4		26.4		24.2	17.8	15.6	21												
32	23.8			33.4		31.2	24.8	22.6	28												
36	27.8		$4_{-0.08}^{-0.24}$	37.4	$+0.3$	35.2	28.8	26.6	32	-0.3		7	4	6	18	0.75	9	2	0.3	0.5	
40	31.8			41.4		39.2	32.8	30.6	36												
50	41.8			51.4		49.2	42.8	40.6	46												
56	47.8			57.4		55.2	48.8	46.6	52												
63	50.8			64.8		61.8	52.4	49.4	57												
65	52.8	-0.5	$6_{-0.08}^{-0.24}$	66.8	$+0.4$	63.8	54.4	51.4	59	-0.4		10.5	6	8	22	1	13	2.5	0.4	1	
70	57.8			71.8		68.8	59.1	56.4	64												

(续)

公称 外径 D	密封										沟槽										
	尺寸		b	D ₁		D ₂	D ₃		D ₄	D ₅	D ₆	H	H ₁	H ₂	R	R ₁	r	B	C>	R≤	F
	尺寸	公差		尺寸	公差		尺寸	公差													
80	67.8		81.8		78.8	69.4	68.4	74													
90	77.8	-0.6	91.8		88.8	79.4	76.4	84													
100	87.8		101.8		98.8	89.4	85.4	94													
110	97.8		111.8	+0.4	108.8	99.4	96.4	104	-0.4		12 ^{+0.3} _{-0.1}	10.5	6	8	22	1	13	2.5	0.4	1	
125	112.8		126.8		122.8	114.4	111.4	114													
130	117.8	-1.0	131.8		128.8	119.4	116.4	124													
140	127.8		141.8		138.8	129.4	126.4	134													
160	147.8		161.8		158.8	149.4	146.4	154													
170	153.8		172		168	156.2	152.2	162													
180	163.8		182	+0.5	178	166.2	162.2	172	0.5												
190	173.8		192		188	176.2	172.2	182													
200	183.8	-1.0	202	8 ^{-0.10} _{-0.30}	198	185.2	182.2	192			16 ^{+0.5} _{-0.2}	14	8	9	26	1.5	17	4	0.6	1.5	
220	203.8		222		218	206.2	202.2	212													
250	233.8		252		248	236.2	232.2	242	0.6												
300	283.8		302		298	286.2	282.2	292													
320	303.8		322		318	306.2	302.2	312													
340	319.7		342.6		338	321.8	317.6	350													
360	339.7		362.6		358	342.8	337.6	350													
400	379.7		402.6		398	381.8	377.6	390													
450	429.7		452.6		448	431.8	427.6	440													
480	459.7	-1.2	482.6	10 ^{-0.12} _{-0.36}	478	461.8	457.6	470	-0.8		20 ^{+0.6} _{-0.2}	18	10	14	32	2	21	5	0.8	2	
500	479.7		502.6		498	481.8	477.6	490													
560	539.7		562.6		558	541.8	537.6	550													
600	579.7		602.6		598	581.8	577.6	590													
630	609.7		632.6		628	611.8	607.6	620													

表9-18 气动辅助用QY形密封圈与沟槽尺寸系列(SJM05-2)



标记示例:

公称内径 $d=50$ 的QY形密封圈, 记为

QY形圈 $d50$ SJM05-2

mm

公称 外径 D_0	公称 内径 d	D_0		b	D_1		D_2	D_3		D_4	尺寸 公差	D_5	H	H_1	H_2	R	R_1	r	B	$C >$	$R \leq$	F	
		尺寸	公差		尺寸	公差		尺寸	公差														
20	15	20.1		21.4		19.2	12.8	10.6	16														
22	14	22.1		23.4		21.2	14.8	12.6	18														
24	13	24.1		25.4		23.2	15.8	14.6	20														
26	18	26.1	+0.05 -0.12	27.4	+0.05	25.2	16.8	16.6	22				8 ⁺ _{-0.10}	7	4	6	18	0.75	9	2	0.3	0.5	
28	20	28.1		29.4		27.2	20.8	18.6	24														
30	22	30.1		31.4		29.2	22.8	20.6	26														
33	25	33.1		34.4		32.2	25.8	23.6	29														
36	28	36.1		37.4		35.2	28.8	26.6	32														
40	32	40.1		41.4	+0.4	39.2	32.8	30.6	36														
44	36	44.1		45.4		43.2	36.8	34.6	40														

(续)

公称 外径 D	密封										尺寸					沟槽尺寸				
	D_0		b	D_1		D_2	D_3	D_4		D_5	H	H_1	H_2	R	R_1	r	B	$C >$	$R \leq$	F
	尺寸	允差		尺寸	允差			尺寸	允差											
48	48.1	+0.3	49.4	+0.4	47.2	40.8	38.6	+0.4	44	8 ^{+0.20} 8 ^{-0.10}	7	4	6	18	0.75	9	2	0.3	0.5	
53	53.1	4 ^{-0.08} 4 ^{-0.12}	54.4		52.2	45.8	43.6		49											
60	60.2		63.6		60.6	51.2	49.2		56											
60	68.2		69.6		66.6	57.2	54.2		62											
70	72.2		73.6		70.6	61.2	58.2		66											
73	75.2		76.6		73.6	64.2	61.2		69											
80	82.2		83.6		80.6	71.2	68.2		78											
90	92.2	+0.5 ^{-0.08} 5 ^{-0.12}	93.6	+0.5	90.6	81.2	78.2	+0.5	88	12 ^{+0.30} 12 ^{-0.15}	10.5	6	8	22	1	13	2.5	0.4	1	
100	102.2		103.6		100.6	91.2	88.2		96											
110	112.2		113.6		110.6	101.2	98.2		106											
120	122.2		123.6		120.6	111.2	108.2		116											
135	137.2		138.6		135.8	126.2	132.2		136											
150	152.2		153.8		150.8	141.2	138.2		146											
175	176.2		178		174	162	167		188											
195	196.2		198		194	182	178		188											
215	216.2		218		214	202	198		208											
235	236.2	+0.8 ^{-0.10} 8 ^{-0.30}	238	+0.7	234	222	218	+0.7	228	16 ^{+0.40} 16 ^{-0.20}	14	8	9	26	1.5	17	4	0.6	1.5	
265	266.2		268		264	252	248		258											
395	396.2		398		394	382	378		388											
335	336.2		338		334	322	318		328											
360	360.3		362.4		358.2	342	337.4		350											
380	380.3		382.4		378.2	362	357.4		370											
420	420.3		422.4		418.2	402	397.4		410											
470	470.3	+1.2 ¹⁰ 10 ^{-0.36}	472.4	+0.8	468.2	452	447.4	+0.8	460	20 ^{+0.60} 20 ^{-0.20}	18	10	14	32	2	21	5	0.6	1.5	
520	520.3		522.4		518.2	502	497.4		510											
580	580.3		582.4		578.2	562	557.4		570											
650	650.3		652.4		648.2	632	627.4		640											

在设计Y形密封圈密封装置时，除应保证密封沟槽及相对滑动表面光洁度外，还应做到密封部位简单、紧凑、容易装拆，密封圈所通过的锐角应倒钝，避免在缸壁或活塞杆上开孔道。在砂土或灰尘环境下工作时，应配设防尘圈。安装时，应涂润滑油，并避免使密封圈有较大的拉伸，以及不要将密封圈的方向装反等。

四、L形和J形密封圈

气动用L形和J形密封圈是一种使用历史较久的气液通用密封元件。主要用作往复运动大直径上的密封（图9—12），密封性能良好，密封间隙要求不高。但是大多数L形和J形密封圈摩擦阻力较大，因此容易造成故障。

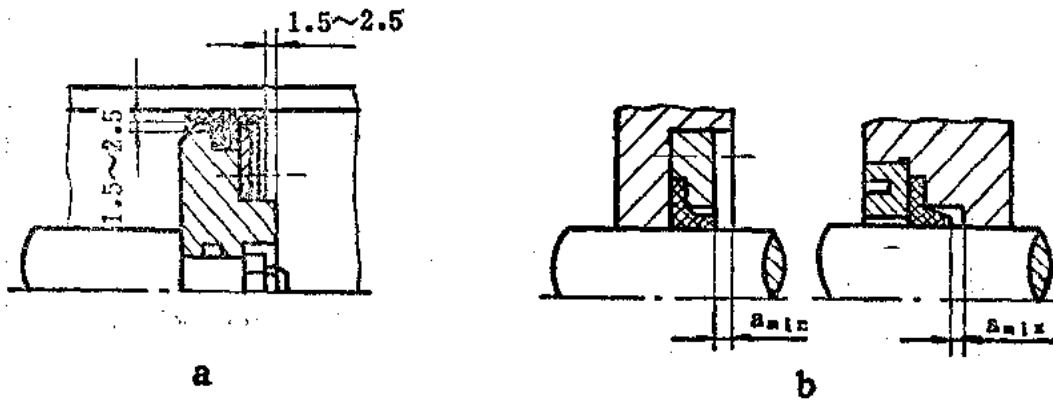


图9—12 活塞与活塞杆用L形和J形密封圈

采用丁腈橡胶材料的L形和J形密封圈，对相对滑动表面光洁度要求较高，一般为 $\nabla 9$ 左右。而皮革材料的L形和J形密封圈要求滑动表面光洁度为 $\nabla 7 \sim 8$ 。皮革材质耐用、寿命长，在润滑剂供应不足时，也不会像橡胶圈那样产生严重磨损。但皮革密封圈比橡胶密封圈泄漏量大。

L形密封圈(HG4-331-66)和J形密封圈(HG4-332-66)用于气动机械密封装置时，工作压力 ≤ 10 公斤力/厘米²，温度为 $-25 \sim +80$ ℃（表5—21与表5—22）。

第四节 气动滑环组合式密封圈

在第二章液压密封中，已对液压密封用滑环组合式密封圈作了详细介绍。并且提到，作为新型密封元件的滑环组合式密封圈，尤其适用于气压传动密封。

用作气压传动密封的滑环组合式密封圈，亦可称为气动滑环组合式密封圈。作为气动密封元件，这里予以粗略介绍。

一、结构特点

气动滑环组合式密封圈（图2—35）的优点是，与金属表面无粘着现象，始动摩擦阻力小，具有自润滑性，耐磨性好，寿命长，是一种优良的新型气动密封元件，适用于往复运动与旋转运动的气动密封。

气动滑环组合式密封圈的缺点是，气密性稍差，有微量泄漏。

二、密封装置

1. O形圈

气动滑环组合式密封圈中的O形圈，其规格尺寸按GB1235-76选取，一般用邵氏硬度 $HS \leq 60^\circ$ 的耐油橡胶制作。

O形圈的压缩率 W 一般取为4~10%。考虑到气压传动的工作压力较低，一般在2~6Kgf/cm²范围内，所以为尽可能地减少始动摩擦力，在满足密封性能要求的条件下，尽量选取小的 W 值。

2. 滑环

在气动机械中，即使是采用油雾润滑，也难以使密封装置得到良好的润滑。为减少密封元件的磨损，应选用耐磨性高、摩擦系数低的材料制作滑环。使用与试验表明，填充聚四氟乙烯与聚酰胺（尼龙）是制作滑环的理想材料，其中含石墨的聚酰胺1010具有极好的自润滑性，尤为合适。

3. 沟槽尺寸

当内径滑动时（图2—32），轴的直径为

$$d_1 = D - 2(h + d_0 - \delta) \quad (mm) \quad (9-3)$$

式中 D ——O形圈公称外径 mm 。

当外径滑动时（图2—32）孔的直径为

$$D_1 = d + 2(h + d_0 - \delta) \quad (mm) \quad (9-4)$$

式中 d ——O形圈公称内径 mm 。

沟槽的其余尺寸见表2—13。

三、使用

正确使用，不仅可以提高气动滑环组合式密封圈的寿命，还可以大大减少气缸中零件的磨损，延长其使用寿命。

(1) 为减少摩擦阻力，组合密封圈中的O形圈其压缩率一般较小。因此，应严格控制O形圈、滑环与沟槽的尺寸公差，以确保O形圈具有稳定的压缩率。

(2) 对直径较大的活塞，可采用相距为10~15mm的两道密封圈。开口式尼龙滑环的缺口相错180°，使活塞外径尺寸公差降低，且获得好的密封性。

(3) 对组合式密封圈与沟槽涂敷二硫化钼等润滑脂，既可提高密封性，减少泄漏，又能改善润滑条件，减少始动阻力，延长使用寿命。

第五节 缓冲密封

液压缸中活塞在运动过程中，由于速度较慢，所以运行比较平稳。而气缸则不同，动作速度较快，一般为100~300毫米/秒。在气缸中快速运动着的活塞到达行程终点时，会产生剧烈的冲击，不仅有噪音，更主要的是损坏气缸。为了避免这种现象的发

生，一般在高速运动的气缸中都配有缓冲装置。其作用是吸收活塞及活塞杆等运动部分在气缸行程末段的能量，防止冲击而造成的破坏。缓冲装置的结构形式很多，这里仅介绍常用的几种。

一、间隙缓冲装置

间隙缓冲装置的原理是利用缓冲杆进入缓冲孔时，流体通过间隙所产生的阻力实现缓冲作用（图9—13）。因为气体的粘度比液体小，所以不仅要求缓冲杆与缓冲孔的加工尺寸精度高，而且配合间隙也小。一般，缓冲间隙取为0.02~0.04毫米。间隙缓冲装置的特点是不需要附设其它密封件，结构简单，工艺性好，无需加工密封槽孔。但间隙缓冲装置的效果较差。

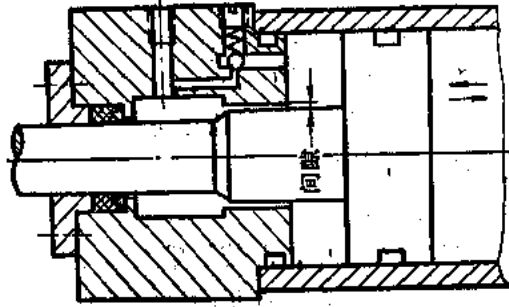


图9—13 间隙缓冲装置

二、O形圈缓冲装置

O形圈缓冲装置与间隙缓冲装置不同之处是，缓冲孔中装O形圈。当缓冲杆进入缓冲孔时，O形圈和缓冲杆之间形成密封，因此，缓冲效果较好（图9—14）。其缺点是在高速运动的情况下，由于冲击力很高，O形圈耐用性较差，容易挤出造成破坏，而且缓冲间隙小，加工与装配均较难。

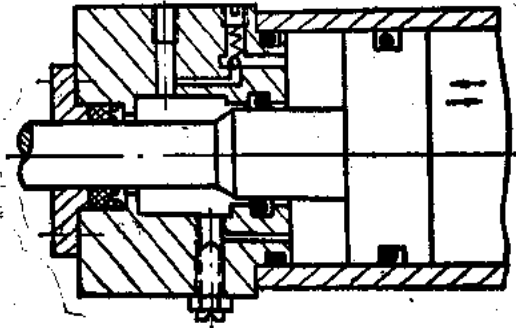


图9—14 O形圈缓冲装置

三、唇形密封圈缓冲装置

缓冲用唇形密封圈，简称唇形缓冲圈，是由金属环与合成橡胶粘接而成，其形状如图9—15所示。金属环起支承和装配固定的作用。唇形缓冲圈摩擦阻力小，缓冲效果好。

采用唇形缓冲密封圈的缓冲装置，不需要配置单向阀，因为唇形缓冲密封圈本身就具有单向阀的作用。与前面两种缓冲装置相比，其优点是结构简单，耐磨性比O形圈好得多。安装密封圈的槽孔也容易加工，配合精度要求不高。唇形圈缓冲装置的缓冲过程如图9—16所示。图9—16a为活塞处于缓冲行程，图9—16b为活塞处于返回行程。

唇形缓冲密封圈装入缓冲孔的方法如下。

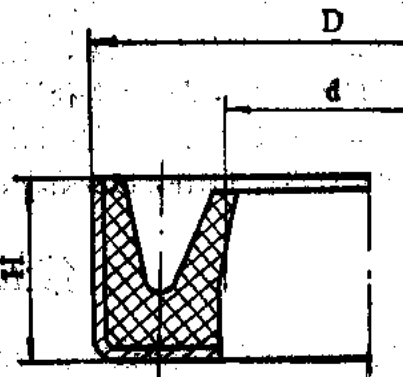


图9—15 唇形缓冲密封圈

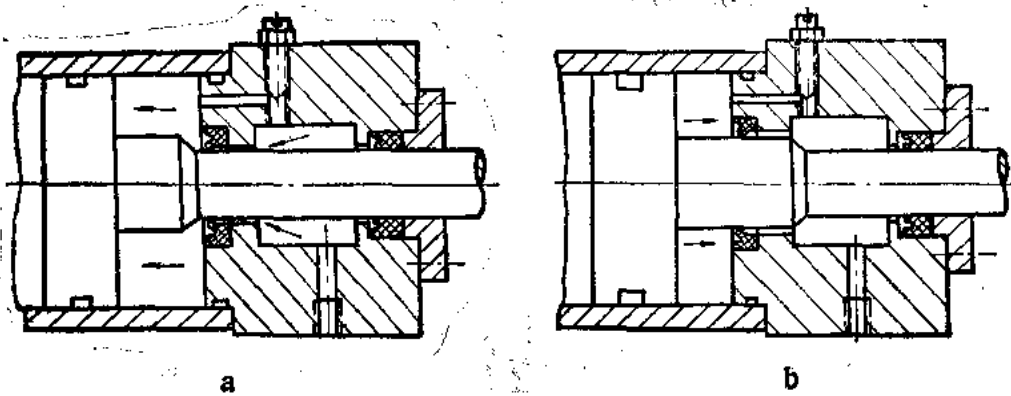


图9—16 唇形缓冲密封圈的缓冲过程

1. 压入法

当缓冲密封圈和安装槽孔间有过盈配合时，可采用如图9—17所示压入法装配。

2. 挤压法

当缓冲密封圈和安装槽孔间有间隙时：

(1) 将安装槽孔边缘2~3点均布挤压(铆压)，以防密封圈脱出，如图9—18所示。

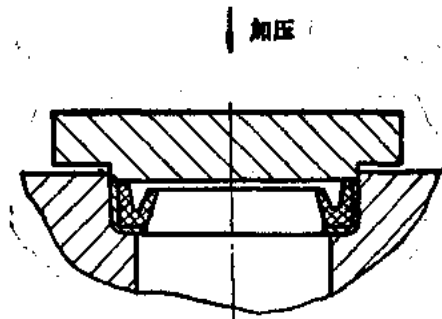


图9—17 压入法装配缓冲圈

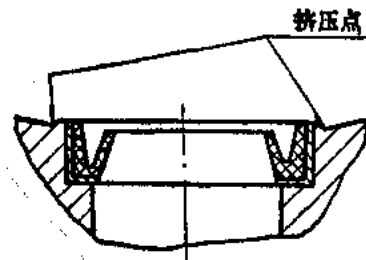


图9—18 挤压法装配缓冲圈

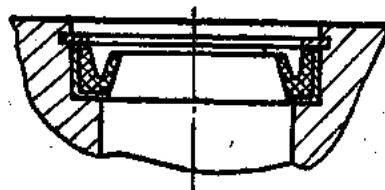


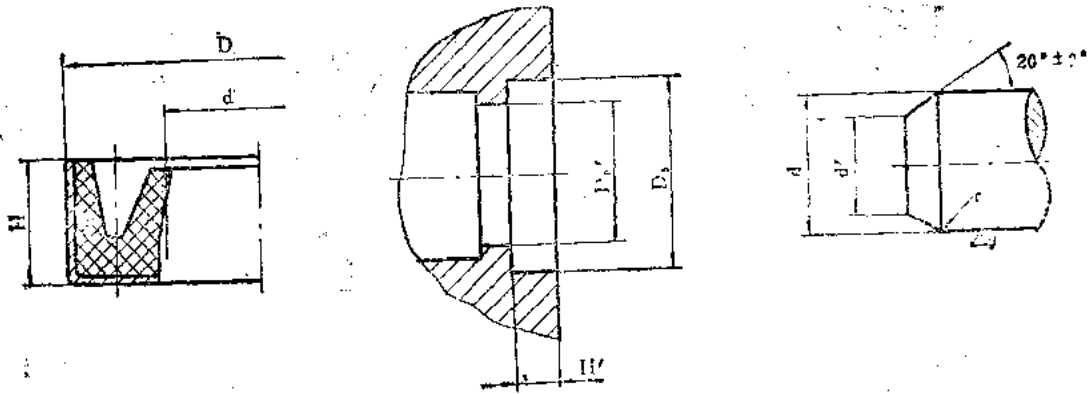
图9—19 用挡圈法装配缓冲圈

(2) 用弹簧挡圈挡住缓冲密封圈，如图9—19所示。

(3) 采用粘接剂将金属外圈与槽孔粘住。

目前，我国尚无唇形缓冲密封圈标准，表9—19所列为国外气动缓冲密封圈与沟槽尺寸系列，供参考。

表9—19 气动缓冲密封圈与沟槽尺寸系列



mm

缓 冲 密 封 圈			沟		槽	活 塞 杆	
d	D	H	$D_0(H7或H8)$	$D'_0\pm 0.1$	$H'^{+0.2}$	$d(h8)$	d'
18.0	26.0	5	26.0	20.5	5	18.0	16.0
20.0	28.0	5	28.0	22.5	5	20.0	18.0
22.0	30.0	5	30.0	24.5	5	22.0	20.0
22.4	30.4	5	30.4	24.9	5	22.4	20.4
24.0	32.0	5	32.0	26.5	5	24.0	22.0
28.0	36.0	5	36.0	30.5	5	28.0	26.0
30.0	40.0	6	40.0	33.0	6	30.0	28.0
31.5	41.5	6	41.5	34.5	6	31.5	29.5
35.0	45.0	6	45.0	38.0	6	35.0	33.0
35.5	45.5	6	45.5	38.5	6	35.5	33.5
38.0	48.0	6	48.0	41.0	6	38.0	36.0
40.0	50.0	6	50.0	43.0	6	40.0	38.0
45.0	55.0	6	55.0	50.0	6	45.0	43.0
50.0	62.0	7	62.0	53.0	7	50.0	48.0
55.0	67.0	7	67.0	58.0	7	55.0	53.0
56.0	68.0	7	68.0	59.0	7	56.0	54.0
60.0	72.0	7	72.0	63.0	7	60.0	58.0
65.0	77.0	7	77.0	68.0	7	65.0	63.0

第六节 漏气及其防止

气动机械密封，不论是动密封还是静密封，有时会发生较大的泄漏。严重漏气不但浪费能源，而且会使机器失去工作能力。

产生大量漏气的原因主要是安装密封圈时，损伤唇部或在运动过程中产生较大的磨耗损伤。特别是O形圈在行程大、运动速度快的场合下，容易发生扭转损伤。当密封间隙过大时，O形圈还会产生挤出损伤，造成泄漏量过大。

防止泄漏的对策与液压机械密封相同。但在气动机械中，为防止压缩空气产生的冷

凝水，腐蚀缸壁和活塞杆表面，往往采用镀层。如镀后不进行抛光，则容易产生磨损。其次，滑动表面的尖锐加工伤痕、划撞伤痕等都会损伤密封圈，引起泄漏。因此，安装时必须认真检查滑动表面，确保表面质量。

不少的气动机械是在低温 -35°C 以下或在高温 $+100^{\circ}\text{C}$ 以上的场合中使用，一般橡胶材质的密封圈（工作温度为 $-20\sim+80^{\circ}\text{C}$ ）就满足不了这样的温度条件而发生泄漏。因此，必须认真选择密封圈的材质。

第十章 真空密封

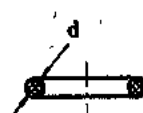
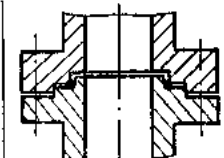
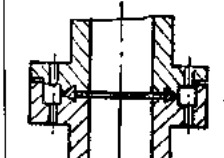
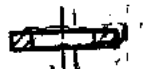
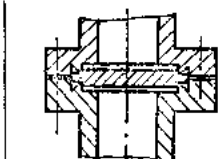

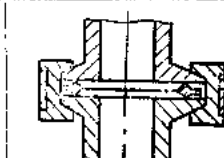
随着真空机械的应用和发展，对真空密封提出了更高要求，真空机械密封不好，机器的性能就要受到影响。为此采用各种形式的密封元件进行密封，以提高机器的性能和质量。

真空密封通常分为低真空、高真空和超高真空的密封。从表面上看，真空机械的密封，似乎比充压机械的密封容易，但实际上却不然。充压机械需要的密封压力差一般较高，有时达到几百公斤力/厘米²以上，而且大多数情况允许有微小泄漏。对真空机械却不是这样，虽然需要的密封压力差最高只有1公斤力/厘米²，但大多数不允许有丝毫泄漏，因为极微量的泄漏也严重的影响高真空度的建立。

一般用真空机械，多选用橡胶材料O形圈，就可以达到密封要求。对超高真空机械的密封，可采用金属材料制成的空心金属O形圈。金属材料作密封，其特点是使用温度范围广，从-250~+540℃，使用压力范围大，可达10⁻¹²毫米汞柱，在橡胶O形圈不能使用的地方也可使用。对空心金属O形圈的结构和使用情况可见第二篇第三章空心金属O形圈。

除真空用O形圈外，还有其它形式的超真空密封元件，如表10-1所示。表中的

表10-1 金属超高真空密封结构

密封圈	密封结构	材料及规格	口径范围mm	温度范围℃	密封漏气率 1·mmHg/s
		金丝、银丝 $d=0.5\sim 1.5mm$	10~1000	-196~450	1×10^{-11}
		无氧铜丝、高纯铝丝、 铜丝 $d=2\sim 2.5mm$	300~1600	-196~450	1×10^{-11}
		无氧铜板、紫铜板 $\delta=2mm$	10~200	-196~450	1×10^{-11}
		高纯铝板	50~250	150	2×10^{-10}

封结构具有耐烘烤温度、耐低温、放气量小的特点，缺点是需要的压紧力大、材料价格昂贵。

第一节 真空密封用O形圈

一、真空密封用O形圈的密封特点

真空机械密封，因其压力差很小，O形圈表面和密封部位的金属表面凸凹处不能完全密合，产生间隙，易造成泄漏。为保证真空机械能够建立足够高的真空度，必须提高相应密封接触表面的光洁度，密封沟槽的表面也要达到 $\nabla 9$ ，这一点大大高于液压和气动密封沟槽 $\nabla 4\sim 6$ 的表面光洁度。以使O形圈和密封表面接触部分的凸凹处嵌填紧密，确保密封。O形圈的材料也必须选用透气性小，不升华的材料。

通常工业用的真空机械，真空度一般都在 10^{-5} 毫米汞柱左右，真空O形圈常用材料为硬度较低(HS60)的丁腈橡胶。也有用双重密封圈结构(图10-1)者。这种结构的优点是在内O形圈和外O形圈之间设有排气腔，它使内O形圈的压力差在真空泵抽气后，比单层时密封小，密封效果好，但在两O形圈间的排气腔体积不能过大。当用丁腈橡胶O形圈时，真空度可达 10^{-5} 毫米汞柱。

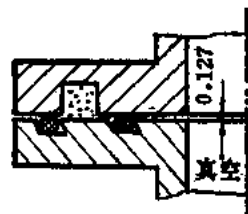


图10-1 双重密封圈结构

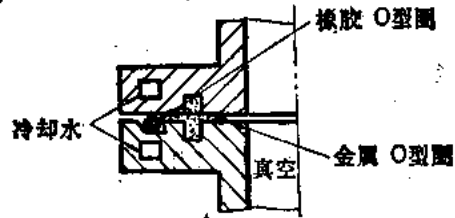


图10-2 超真空密封结构

真空用O形圈材质本身的透气性和升华(或蒸发)现象——即当真空度达一定值时，O形圈表面产生材质汽化而挥发的现象。这是密封性能的重要影响因素。在真空度为 $10^{-5}\sim 10^{-6}$ 毫米汞柱左右时，透气性影响最显著；在真空度为 $10^{-7}\sim 10^{-9}$ 毫米汞柱时，升华影响最显著。因此，根据所需要的密封真空度大小，选取适当的密封材料，是真空用O形圈设计的关键问题。

外侧采用橡胶O形圈、内侧采用金属O形圈的超高真空密封装置结构如图10-2所示。如果真空密封的温度较高时，外侧O形圈因材质为橡胶，耐高温较差，可用水进行冷却，防止橡胶遇热老化。也可以将金属O形圈外表面涂敷聚四氟乙烯(特氟隆)，保证接触面间的凸凹部分完全填满、贴合紧密、提高密封性能。同时，要将橡胶O形圈和金属O形圈之间的空腔抽到 10^{-5} 毫米汞柱真空度，以使内腔易于达到超高真空。

一般，真空用O形圈材料可选用天然橡胶、氯丁橡胶、丁基橡胶、丁腈橡胶、氟橡胶、硅橡胶以及聚四氟乙烯等合成树脂。当超高真空时，可用金属O形圈。

二、真空度的分级

真空机械的最高密封压力差只有1公斤力/厘米²，而一般只有一个工程压力的若干

万分之一，单位微小不便记忆，因此用毫米汞柱（毫米水银柱 $mmHg$ ）高做为真空度的计算单位。如 10^{-6} 毫米汞柱 = 0.000000136公斤力/厘米²，前者简单，记忆方便。

一般，真空度分为三级（表10—2）。

表10—2 真空度的分级

低 真 空	$10^{-3} \sim 10^{-6}$ 毫米汞柱
高 真 空	$10^{-6} \sim 10^{-9}$ 毫米汞柱
超 高 真 空	$10^{-9} \sim 10^{-13}$ 毫米汞柱

三、真空用O形圈密封沟槽

用于真空机械密封装置的O形圈，其沟槽同一般机械密封用的槽形一样；多为矩形。

当O形圈用于真空机械运动部位的密封装置时，不仅要注意提高相对滑动表面的光洁度，而且也要注意其润滑，这对保证真空度和提高密封元件寿命具有重要作用。

氟橡胶是一种耐热性好，透气性低，升华小的良好真空密封材料。它的透气性虽然比丁基橡胶稍大些，但因它升华现象很少，在 10^{-9} 毫米汞柱的真空中，因气体升华而减少的重量，只有2%左右，并不影响密封。所以，可用于 $10^{-7}\sim 10^{-10}$ 毫米汞柱的高真空密封。

6. 硅橡胶

硅橡胶具有良好的耐热性和耐寒性，但它的透气性却很大（表10—3）。因此，仅适用于真空度低的高温或低温场合的真空密封。

表10—3 常用真空密封材料的比较

性能	氯丁橡胶	丁基橡胶	丁腈橡胶	氟橡胶-A	硅橡胶	聚四氟乙烯
透气性	1.0	0.2	1.3	0.8	115.0	0.7
耐热性	2	3	2	1	1	1
耐寒性	3~2	2	2	3	1	1
抗扯裂性	2	3~2	2	2	4	1
冷变形	2	2	2~1	3	2	4
耐油性	3~2	4~3	1	1	3	1
耐臭氧性	2~1	2~1	4	1	1	1

注：1. 表中透气性是指压力差为760毫米汞柱时的空气透过量。

单位是： $\frac{\text{毫升} \times \text{厘米}}{\text{秒} \times \text{厘米}^2} \times 10^{-3}$

2. 表中数字1→4表示优→劣。

7. 填充聚四氟乙烯

填充聚四氟乙烯缺乏橡胶那样的弹性，它的透气性和气体升华量小，是一种优良的高真空用密封材料。其缺点是长期用于真空机械，在安装应力作用下易产生塑性变形，过早的丧失密封性。

8. 空心金属O形圈

空心金属O形圈（详见第二篇第三章），在高温（900℃）、低温（-250℃）情况下使用时，比通常用的非金属密封圈具有很大优越性，适用于真空度为 10^{-12} 毫米汞柱超高真空的密封。作为特殊用途时，金属O形圈还可以镀银、镍、或涂敷聚四氟乙烯（特氟隆）等。沟槽表面光洁度要求很高，一般为 $\nabla 9$ 。金属O形圈的应用结构如图10—3所示。

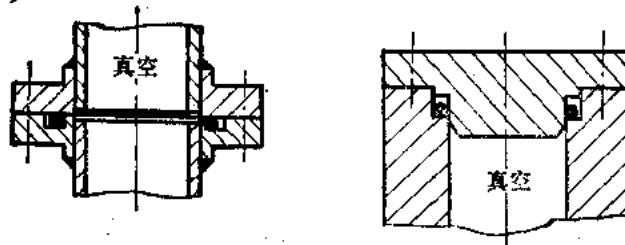


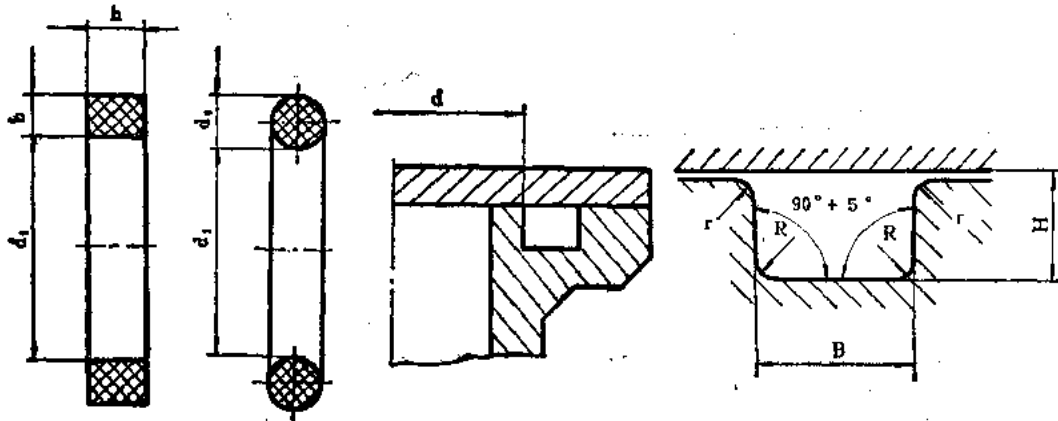
图10—3 金属O形圈的应用

五、真空密封的标准化

1. 真空密封用橡胶密封圈

部标准 JB921—75《真空管路附件法兰用橡胶密封圈》适用于在压强不低于 $10^{-7}mmHg$ ，温度为 $-30\sim+90^{\circ}C$ 范围内工作。密封圈的形状，尺寸系列及其所用耐油真空橡胶和真空橡胶的性能见表10—4与表10—5之规定

表10—4 真空密封用橡胶密封圈与沟槽的尺寸系列 (JB921—75)



标记示例:

公称通径 $Dg = 125$ ，材料为耐油真空橡胶的真空密封用矩形与 O 形密封圈，分别记为

矩形圈 125 耐油真空橡胶 JB921—75

O形圈 125 耐油真空橡胶 JB921—75

公称通径 Dg	密封圈					沟槽								
	内径		矩形		O形	内径		I型		I型		槽宽 槽深公差	倒角	
	d_1	允差	d	h	d_2	d	允差	槽宽 B	槽深	槽宽 B	槽深		R	r
10	12.8					13								
15	18.8	+0.2				19								
20	23.8					24								
25	28.5					29								
32	35.5	+0.5	4 ± 0.10	4 ± 0.10	4 ± 0.10	36	+0.2	5.8	3	4	2.4	0.1	1	0.5
40	43.5					44								
50	54.5					55								
65	69					70								
80	84	+1.0				85	+0.5							
100	104					105								
125	130					131								

(续)

mm

公称 直径	密封圈					沟槽									
	内径		矩 形		O 形	内径		I 型		II 型		槽宽 槽深公差	倒		
	d_1	允差	d	h	d_1	d	允差	槽宽 B	槽深	槽宽 B	槽深		R	r	
150	154					156	+0.6								
175	181	+2.0	6 ± 0.15	6 ± 0.15	6 ± 0.15	183		8	4.5	6	3.6		1	0.5	
200	205					208									
225	230					233									
250	255					258									
300	305					308	+1.0								
350	355	+3.0	7 ± 0.20	8 ± 0.20	8 ± 0.20	358		10	5.5	8	4.8	0.1			
400	405					410									
450	455					460									
500	505					510									
600	605	+0.5	8 ± 0.20	10 ± 0.30	10 ± 0.30	610		12	7	10	6		1.5	0.18	
700	705					710									
800	805					815									
900	905					915									
1000	1005					1016	+2.0								
1200	1210	+0.5	12 ± 0.40	14 ± 0.40	14 ± 0.40	1220		17	10	14	9		2	1	
1400	1410					1420									
1600	1620	+0.5	16 ± 0.50	18 ± 0.50	18 ± 0.50	1630	+3.0	23	13	18	12		2	1	

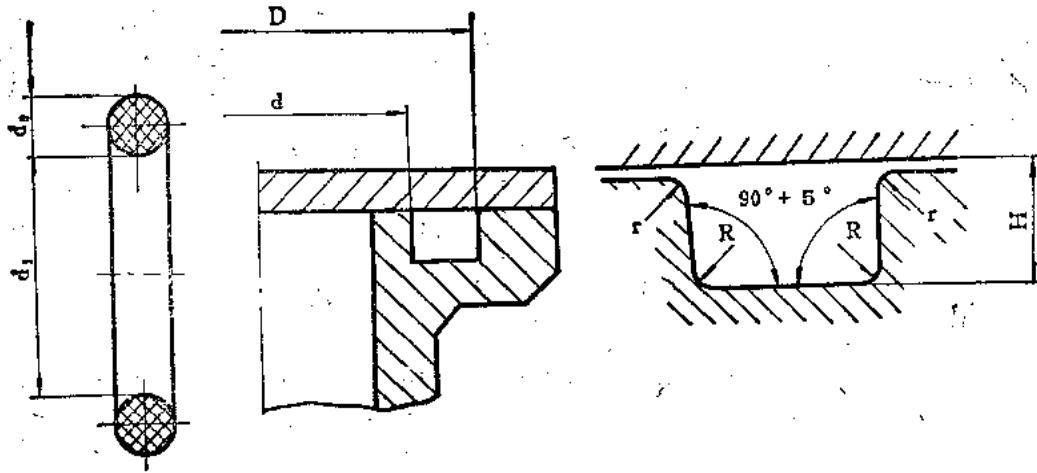
表10—5 耐油真空橡胶与真空橡胶性能 (JB921—75)

性 能	规 定 值	
	耐油真空橡胶	真 空 橡 胶
扯断力	≥ 100	≥ 170
伸长率	350	550
永久变形	≤ 14	≤ 20
邵尔硬度	50~60	40~50
在温度70℃经24小时橡胶在凡士林油中膨胀%	≤ 6	≤ 90
压缩后的永久变形(压缩比30%)%	≤ 15	≤ 10
在室温下, 1小时内放气率 毛·升/秒·厘米 ²	$\leq 10^{-2}$	$\leq 10^{-3}$

2. 真空密封用O形橡胶密封圈

一般真空机械用O形橡胶密封圈与沟槽尺寸系列见表10—6所列。

表10-6 一般真空机械用O形圈与沟槽尺寸系列



标记示例:

公称外径 $D = 63$ 材料为耐油真空橡胶O形密封圈, 记为
O形圈63 耐油真空橡胶

		<i>mm</i>				
公称外径 D	公称内径 d	O形圈实际尺寸		沟槽尺寸		
		d_1 与公差	d_2	H	R	r
23	15	14.5	± 0.15	4 ± 0.10	3.3 ± 0.10	0.1~0.2
32	24	23.5				
42	34	33.5				
48	40	39.5				
63	55	54.5	± 0.25	4 ± 0.10	3.3 ± 0.10	0.1~0.2
78	70	69.0				
93	85	84.0				
108	100	99.0				
128	120	119.0	± 0.40	4 ± 0.10	3.3 ± 0.10	0.1~0.2
158	150	148.5				
183	175	170.0				
237	225	222.5				
387	275	272.0	± 0.80	6 ± 0.15	5 ± 0.15	0.1~0.2
337	325	321.5				
392	380	376.0				
442	430	425.5				
500	480	475.0	± 1.20	10 ± 0.30	8 ± 0.30	1.0

(续)

公称外径 D	公称内径 d	O 形 圈 实 际 尺 寸		沟 槽 尺 寸			
		d_1 与公差	d_2	H	R	r	
550	530	524.5	± 1.60	10 ± 0.30	8 ± 0.30	1.0	0.1~0.2
605	585	579.0					
660	640	633.5					
710	690	683.0					
860	740	732.5	± 2.00				
810	790	782.0					
865	845	836.5					
970	950	940.5	± 2.50				
1075	1055	1044.0	± 3.00				

第 四 篇

机 械 密 封

1 2 3 4

第十一章 机械密封装置的原理、应用及磨损

旋转轴的密封，是密封技术领域的重要课题。随着现代工业技术的发展，对旋转轴的密封，提出了日益艰苛的要求。为满足各种使用条件（温度、压力、转速、介质）和现代工业机械化、自动化的要求，旋转轴的密封结构也相应地改进、完善与发展。

机械密封装置作为旋转轴密封的结构型式，是上世纪末发明的。本世纪四十年代才真正获得应用。五十年代以后，才成为一种完善的理想的密封结构。机械密封装置具有密封性能可靠，使用寿命长，功率损耗少，不需要经常维护等优点，且能满足生产自动化和高温、低温、高压、高真空、高速以及各种易燃、易爆、腐蚀性、磨蚀性介质的密封要求。因此，较其他密封型式获得了更加广泛、更加迅速地应用与发展。

第一节 机械密封装置密封原理

机械密封装置是指由绕旋转轴转动的垂直于旋转轴线的被密封表面（摩擦副）和具有弹性密封元件等构成的轴向磨损补偿机构以及润滑、冲洗、冷却、过滤系统所组成的密封体系。因被密封表面是垂直于旋转轴的两端面，故又称端面密封装置。

机械密封装置密封原理如图11—1所示。轴1带动动环2旋转，静环5固定不动，依靠动环2和静环5之间接触端面的滑动摩擦保持密封。在长期工作摩擦表面磨损过程中，弹簧3不断地推动动环2，以保证动环2与静环5接触而无间隙。为了防止介质通过动环2与轴1之间的间隙泄漏，装有密封圈7；为了防止介质通过静环5与壳体4之间的间隙泄漏，装有密封圈6。

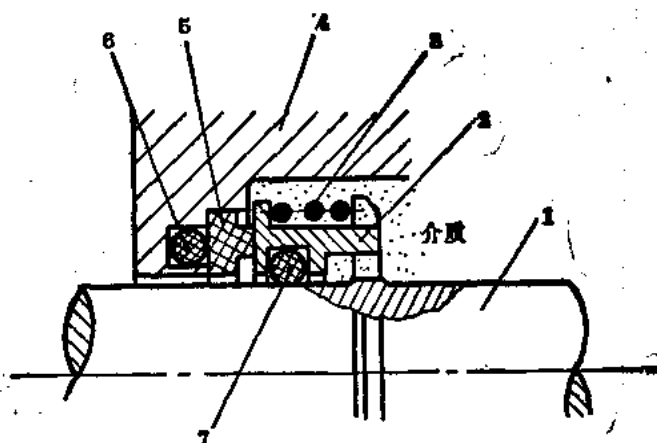


图11—1 机械密封装置

1—轴；2—动环；3—弹簧；4—壳体；5—静环；6—静环密封圈；7—动环密封圈

第二节 机械密封装置的特点和应用

由图11—1可见，机械密封装置的结构是浮动的，故转轴的径向跳动，轻微的轴向窜动，以及转轴的弯曲变形等，都不会严重地影响密封效果，由于摩擦仅产生于动环与静环之间的接触端面，而与转轴无相对摩擦，故经长期使用后，仅动环与静环有磨损，轴本身完好无恙。

机械密封装置的摩擦件之一，往往采用石墨（故机械密封装置有时又称石墨密封装置）。石墨有自润滑作用，在润滑条件不良，甚至完全没有液体润滑的恶劣条件下也能工作，故机械密封装置还可以用于对气体介质的密封。石墨的摩擦系数小，摩擦功率的消耗也小，约为填料密封的10~50%。石墨的耐腐蚀性好，与许多酸、碱、盐介质接触不起化学变化，某些类型的石墨有非常良好的散热性与接近于贵铜的导热性能，石墨还有良好的抗热冲击能力和良好的加工性，这些都为机械密封装置的广泛应用提供了条件。

机械密封装置工作可靠，泄漏少，甚至可以完全不泄漏，使用寿命长，适用于超低温、高温、高真空、高压、高速、大直径，以及各种腐蚀性、易燃、易爆、有毒放射性的危险介质、贵重介质等条件，故机械密封装置已在火箭技术、航空工业、化学工业、制冷设备、机械工业等许多重要的工业部门广泛应用。其工作压力从 10^{-3} 毫米汞柱到400公斤力/厘米²，温度由-196℃到500℃，线速度达150米/秒。但一般使用的，其工作压力小于45公斤力/厘米²，温度低于300℃，线速度小于50米/秒，使用寿命半年以上。

机械密封装置成本较高，有些零件需要精密加工。有些机械密封装置结构相当复杂，维护不便，故使其应用暂时受到一定限制。

设 P_c 为接触面上的平均压力（比压）， V 为端面的滑动速度，则两者之积 $P_c V$ 的许用值，一般用衡量密封能力的标准。许用 $P_c V$ 值（单位为 $Kgf/cm^2 \cdot m/s$ ）取决于润滑状态，介质粘度，摩擦副的材料，加工精度、光洁度等，通称 $[PV]$ 值。粗略估算时，对于气体介质干摩擦，许用 $[PV]$ 值应小于5，对于润滑性较差的易挥发介质应小于15，对于中等润滑性的常温水应小于50，对于润滑性良好的油类应小于150。对于特殊设计

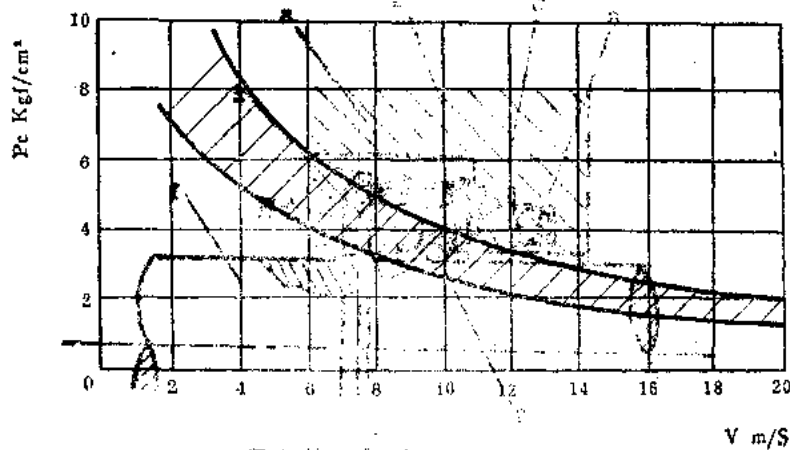


图11—2 极限 $P_c V$ 值

的机械密封装置许用 $[PV]$ 值，也有高达200~300以上的。对于沸点低、高温、低粘度的介质，其取值应降低。

图11-2 为石墨摩擦副的机械密封装置，介质为常温水的极限 P_cV 值。

第三节 机械密封装置的摩擦功率与磨损

机械密封装置端面的摩擦功率 $N(KW)$ 为

$$N = 2.02 \times 10^{-8} + f P_c (D_1 + D_2)^2 (D_2 - D_1) n \quad (11-1)$$

式中 f —— 端面摩擦系数。摩擦接触面的比压 P_c 为1~5公斤力/厘米²，而摩擦速度 V 为6~100米/秒时， $f = 0.04 \sim 0.15$ ；当 P_c 较小、 V 较大时， f 取上限；当完全没有油润滑时， $f = 0.23$ 。通常估算取 $f = 0.1$ ；

P_c —— 接触端面的比压（公斤力/厘米²），包括弹簧压力和介质压力，一般 $P_c = 5 \sim 6$ 公斤力/厘米²；

D_1 —— 接触端面外径（厘米）（图12-3）；

D_2 —— 接触端面内径（厘米）（图12-3）；

n —— 轴的转速（转/分）。

机械密封装置的摩擦功率很小，一般可略去不计。

干摩擦或液膜全部被汽化时，磨损很快。当干摩擦的比压与滑动速度之积 $P_cV = 25$

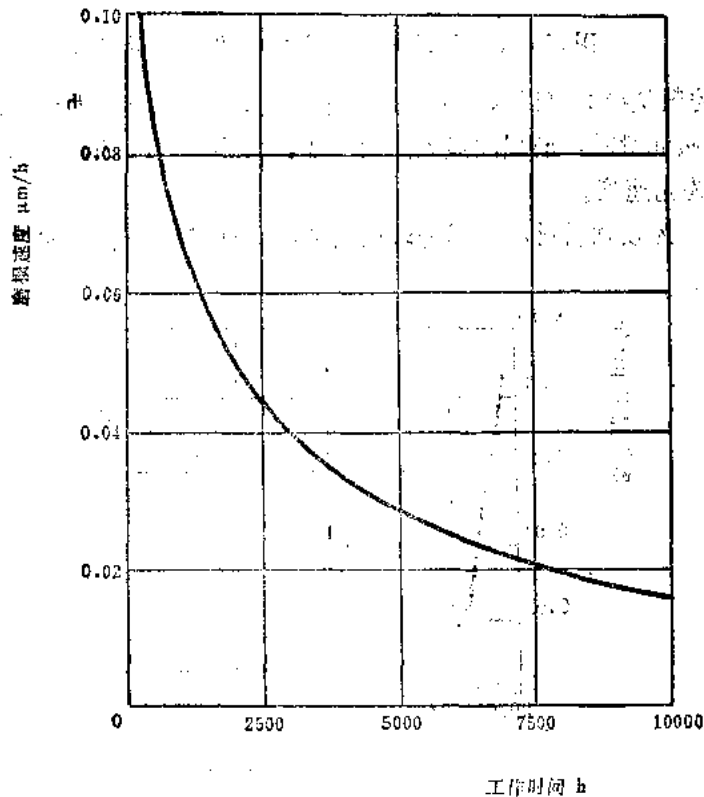


图11-3 用水润滑时石墨的磨损速度

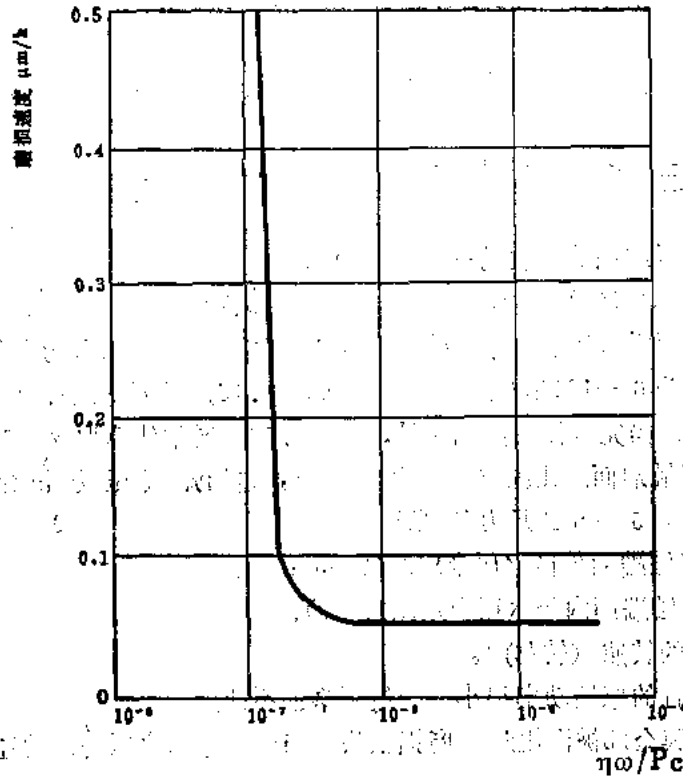


图11—4 磨损速度与流体动力参数的关系

时,石墨环磨损的数量级为10微米/小时。有水润滑时,石墨的磨损曲线如图11—3所示,有不同粘性的介质润滑时,磨损曲线如图11—4,其中 $\eta\omega/P_c$ 为流体动力参数, η 为流体动力粘度, ω 为角速度。

当摩擦副之一为较软材料,之二为较硬材料时,两者磨损速度的粗略关系为

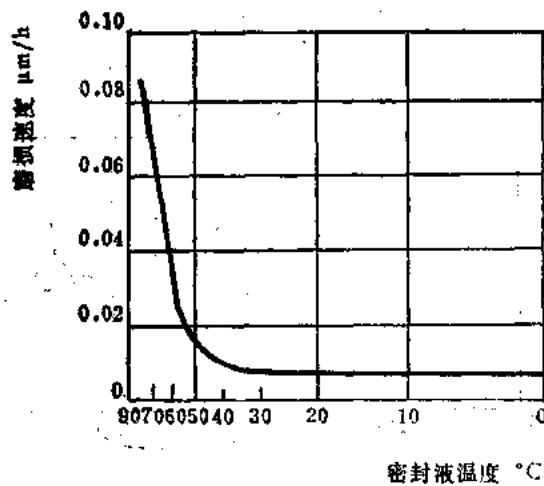


图11—5 磨损速度与温度的关系

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^2 \quad (11-2)$$

式中 h_1 、 h_2 ——分别为较软、较硬材料的磨损深度；

σ_1 、 σ_2 ——分别为较软、较硬材料的屈服点。

磨损速度与密封液体温度的关系如图11—5所示。可见，当温度超过50℃时，石墨磨损的速度骤增(线速度32米/秒，压力20公斤力/厘米²)。

第十二章 机械密封装置的分类

第一节 按结构特点分类

一、内装弹簧和外装弹簧机械密封装置

按弹簧是否与工作介质接触而分，可分为内装弹簧和外装弹簧机械密封装置。弹簧与工作介质接触的，称内装。弹簧不与介质接触的，称外装（图12-1）。

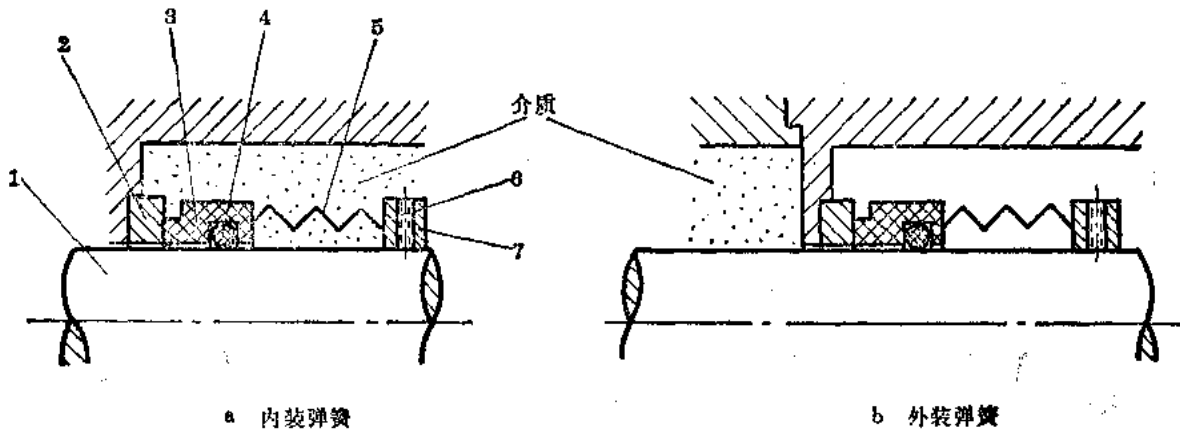


图12-1 内装弹簧和外装弹簧机械密封装置

1—轴；2—静环；3—动环；4—密封圈；5—弹簧；6—紧定螺钉；7—弹簧座

内装弹簧的端面比压随介质压力的增加而增大，故密封可靠。一般内装弹簧的介质泄漏方向与旋转离心力的方向相反，即泄漏方向自外沿半径方向向内流动，故又称内流机械密封装置。内装（内流）的泄漏量比外装（外流）的泄漏量少，故尽可能采用内装。

如果工作介质对弹簧有腐蚀作用，或介质的粘度太高，或介质容易产生结晶，影响弹簧正常工作时，只好采用外装（外流）机械密封装置。但由于外装的介质压力方向与弹簧力方向相反，故介质压力若有波动时，则影响密封可靠性。

二、单弹簧和多弹簧机械密封装置

单弹簧机械密封装置内只有一个大弹簧，该弹簧与转轴同心。多弹簧机械密封装置装有许多个小弹簧，沿转轴的圆周均匀分布，如图12-2所示。

一般负荷较轻，轴径较小（不大于80~150毫米）的机械密封装置用单弹簧。但单弹簧的弹簧力对端面的压力不均匀，轴径较大则压力不均匀尤甚，而且更换弹簧不便。多弹簧的弹簧力对端面的压力较均匀，而且调节弹簧力较容易（可增、减弹簧个数），故多弹簧一般用于轴径较大、要求较高的场合。但多弹簧的弹簧钢丝直径较小，腐蚀对弹簧力的影响与脏物和结晶介质对弹簧的正常工作的影响均较大。

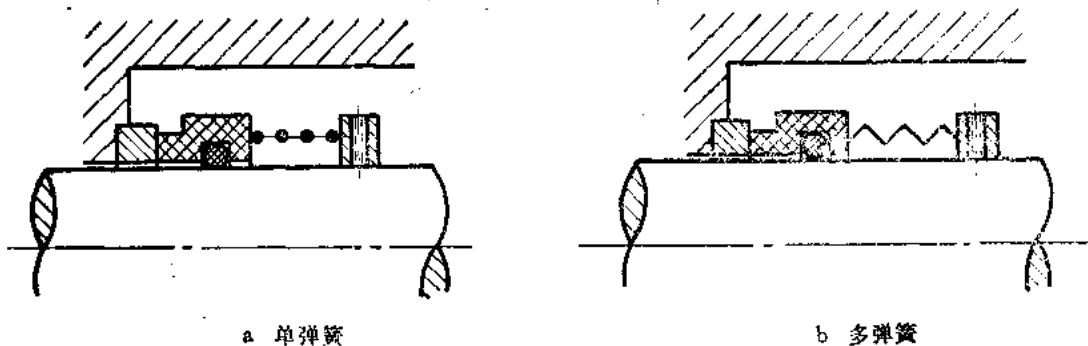


图12-2 单弹簧和多弹簧机械密封装置

三、旋转弹簧和静止弹簧机械密封装置

弹簧随轴一起旋转的，称旋转弹簧机械密封装置；弹簧静止不动的称静止弹簧机械密封装置，如图12-3所示。

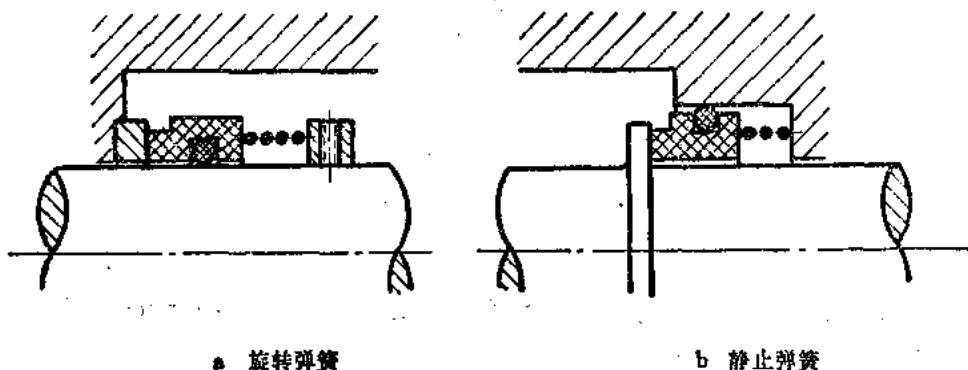


图12-3 旋转弹簧和静止弹簧机械密封装置

图12-3是示意图，实际结构一般是旋转弹簧较静止弹簧简单，故通常多采用旋转弹簧；但对于速度大于30米/秒的高速密封装置，弹簧旋转件的离心力对密封质量及转子的平衡都不利，此时宜采用静止弹簧机械密封装置。

四、非平衡和平衡机械密封装置

介质压力作用在端面上不卸荷的，称非平衡机械密封装置，卸荷的称平衡机械密封装置（图12-4）。

图12-4为内装弹簧机械密封装置，介质压力及弹簧力作用于端面上的比压

$$P_c = P_s + \frac{(D_2^2 - d^2) P_s}{D_2^2 - D_1^2} \quad (12-1)$$

式中 P_s ——弹簧力作用对端面产生的比压（公斤力/厘米²）；
 P_s ——介质压力（公斤力/厘米²）；
 D_2 、 D_1 、 d ——直径（厘米）。

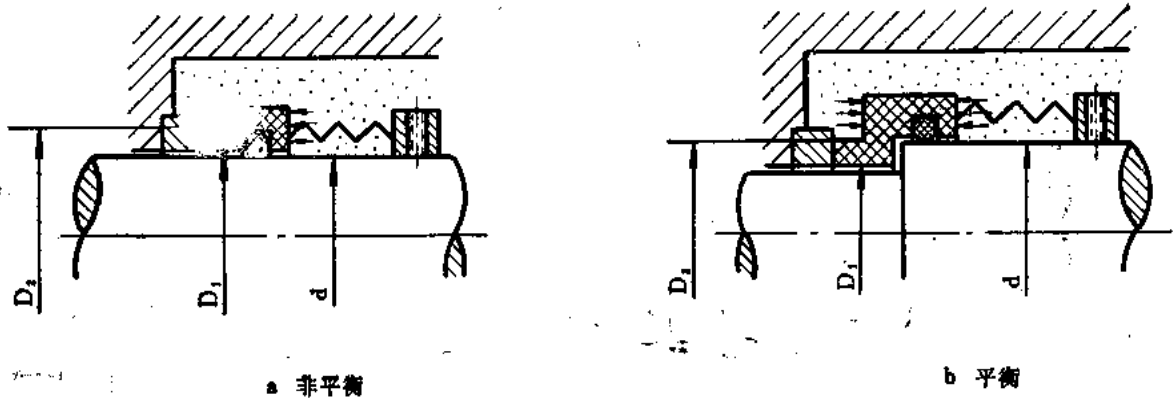


图12—4 内装弹簧的非平衡和平衡机械密封装置

$$\text{令 } k_i = \frac{D_2^2 - d^2}{D_2^2 - D_1^2} \quad (12-2)$$

k_i 值即为动环的轴面受压面积与端面贴合面积之比，称为内装弹簧机械密封装置的载荷系数。因此公式(12—1)可变成

$$P_o = P_s + k_i P_s \quad (12-3)$$

$$\text{令 } \beta = 1 - k_i \quad (12-4)$$

β 称为平衡系数，表示介质压力作用于摩擦端面上的卸荷程度。

因内装平衡机械密封装置的轴或轴套必须加工成台阶式，而非平衡结构则为简单光轴，故尽可能采用非平衡结构。

图12—5为外装弹簧机械密封装置，由介质压力及弹簧力引起的端面比压

$$P_o = P_s + \frac{(D_3^2 - D_1^2)}{D_2^2 - D_1^2} P_s \quad (12-5)$$

令外装弹簧机械密封装置的载荷系数为 k_o ，即

$$k_o = \frac{D_3^2 - D_1^2}{D_2^2 - D_1^2} \quad (12-6)$$

$$\beta = 1 - k_o \quad (12-7)$$

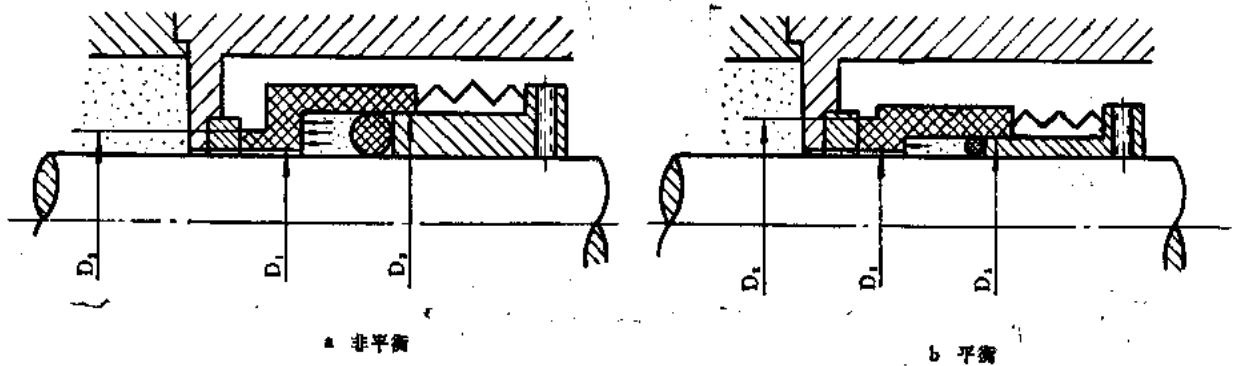


图12—5 外装弹簧的非平衡和平衡机械密封装置

根据卸荷程度，平衡机械密封装置又分为部分平衡和过平衡两种（表12—1）。

表12—1 机械密封装置的平衡类型

机械密封装置 型 式	非 平 衡		平 衡			
			部 分 平 衡		过 平 衡	
	内 装	外 装	内 装	外 装	内 装	外 装
载 荷 系 数	$k_i \geq 1$	$k_o \geq 1$	$0 < k_i < 1$	$0 < k_o < 1$	$k_i \leq 0$	$k_o \leq 0$
平 衡 系 数	$\beta \leq 0$		$0 < \beta < 1$		$\beta \geq 1$	
适用压力Kgf/cm ²	<6~9	少 用	>6~9	<16	过平衡液膜 机械密封用	<2

五、普通和液膜机械密封装置

普通机械密封装置是指摩擦端面呈边界摩擦或半液体摩擦；若呈全液体润滑，则称液膜机械密封装置，全液机械密封装置的发热量和磨损量小，摩擦系数低，能在高速、高压条件下工作，但结构复杂，泄漏量大。

对于液体介质，当线速度大于30米/秒时，可考虑采用液膜机械密封装置，若介质压力大于70公斤力/厘米²，即使线速度只有10米/秒，也可考虑采用液膜机械密封装置。

将液体（可利用自身的工作介质或另外输入其他液体）引入至摩擦端面。如果只利用液体本身的静压力进入环槽M（图12—13），在摩擦端面上建立一层静压液膜，则构成静压液膜机械密封装置或流体静力密封装置。如果在摩擦端面上设润滑槽，如同滑动轴承的油槽那样，当轴旋转时产生“油楔”径油槽N（图12—13）挤入摩擦面，建立一层动压液膜，则构成动压液膜机械密封装置或流体动力密封装置（图12—13）。

六、单端面 and 双端面机械密封装置

只有一对摩擦副的是单端面机械密封装置，其结构简单，最常用。若对密封要求很严，例如工作介质有毒、易爆、易燃、易挥发、高温，或工作介质是气体（不能利用气体本身对摩擦端面起润滑作用），或对于高真空度的密封，可用两对摩擦副，即双端面机械密封装置，如图12—6所示。

双端面之间的密封腔可以引入封液进行堵封、润滑和冷却。封液可以是自身的工作介质，也可以另选用其他适当的介质。为了能够封住工作介质，封液的压力应比工作介质压力大0.5~3公斤力/厘米²。

若工作介质压力很高，可采用多端面（三端面、四端面……）机械密封装置，使密封腔的压力逐级降低，不至外漏。多端面密封很少采用。

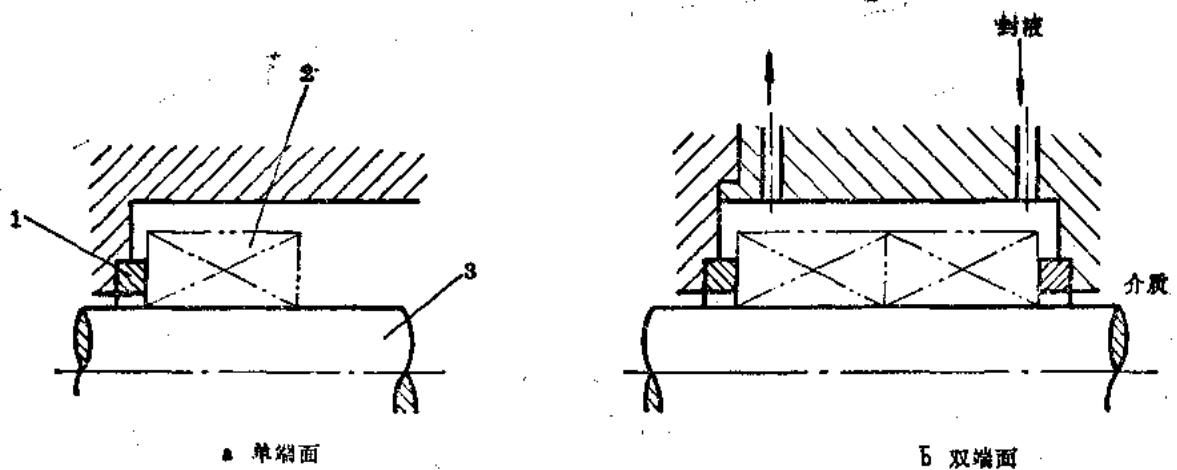


图12—6 单端面 and 双端面机械密封装置
1——静环；2——密封组件；3——轴

第二节 按使用条件分类

一、高压机械密封装置

一般认为，介质压力在 $40\sim 400\text{Kg}/\text{cm}^2$ 之间的，称为高压机械密封装置。

高压会引起密封端面比压升高，液膜破坏，发热与磨损，高压可导致摩擦副变形与破坏，从而使密封失效。因此，高压机械密封装置，必须从结构型式、材质、冷却与润滑等做出合理地选择。

- (1) 必须采用平衡结构与采用较大的平衡系数 β （但不大于0.5）。
- (2) 考虑采用液膜机械密封装置。
- (3) 采用多端面机械密封装置。利用前后密封腔的压力降，减少每一密封面所承受的压力。
- (4) 摩擦副可采用硬环与硬环相配，例如陶瓷对陶瓷、硬质合金对陶瓷等高硬度而又耐高压的材料。
- (5) 转轴对动环的传动必须坚实可靠，例如采用键或其他可靠的传动方式。
- (6) 考虑摩擦副的冷却。

图12—7是一种标准系列的高压机械密封装置，亦即轴径从 $20\sim 200$ 毫米，介质压力到 250 公斤力/厘米²，线速度至 20 米/秒，温度不大于 180°C ，外装弹簧、外流式、平衡型、双端面动压液膜机械密封装置。在静环2和4的端面上开有4个油槽（图12—7 A—A剖视），产生“油楔”形成动压液膜。密封腔引入封液，封液的压力较工作介质压力高 $2\sim 3$ 公斤力/厘米²。

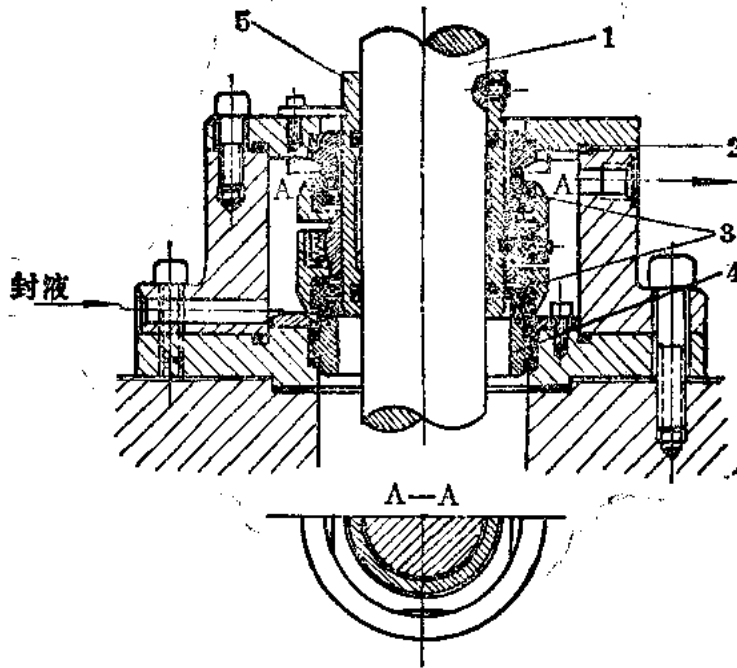


图12-7 高压机械密封装置

1—轴；2—静环；3—动环；4—静环；5—轴套

二、高速机械密封装置

摩擦端面线速度超过25米/秒的，称为高速机械密封装置。高速会使摩擦副的热量 and 磨损增大，高速可导致转动件的离心力增大，振动加剧。因此，高速机械密封装置，必须从动平衡、减振润滑、冷却等作出认真地考虑。

(1) 高速离心力大，对旋转件的动平衡要求严格，要尽量减少转动件，故多采用静止弹簧机械密封装置。图12-8 只有动环2随轴1 旋转，线速度54米/秒，转速13000转/分，该密封装置是用以防止左腔润滑轴承的润滑油漏入右腔。

- (2) 采用液膜机械密封装置。
- (3) 加强润滑与冷却。
- (4) 减小端面摩擦面的宽度和比压，以减小摩擦热。
- (5) 选择许用 $[PV]$ 值较高的材料作摩擦副。

三、高温机械密封装置

工作温度超过80℃的称为高温机械密封装置。高温会造成液膜汽化，密封材料变质，腐蚀性加剧，零件变形，配合性质(间隙或过盈)改变。因此，对高温机械密封装置，必须注意其冷却措施与耐高温材料的选取。

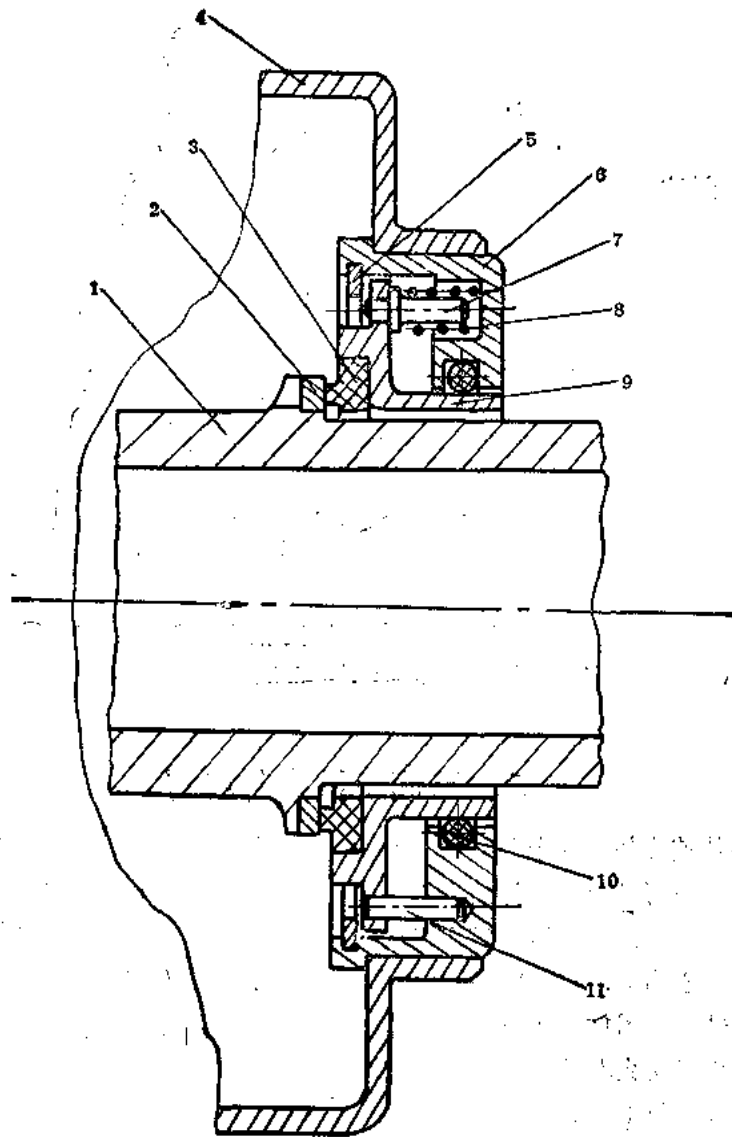


图12-8 高速机械密封装置

1—轴；2—动环；3—静环；4—壳体；5—卡圈；6—密封盖；7—弹簧销；
8—弹簧；9—推环；10—密封圈；11—销子

(1) 橡胶密封圈不耐高温，必要时可采用不锈钢波纹管，如图12-9。波纹管5和8两端焊接；石墨环3自由地夹在静环4与动环2之间（以便损坏后更换），根据其两端面的摩擦、润滑情况，石墨环3可能静止，也可能徐徐转动；波纹管8弹力足够，故不另设弹簧。

(2) 选用适当的耐高温材料。几种常用材料的工作温度上限见表12-2。

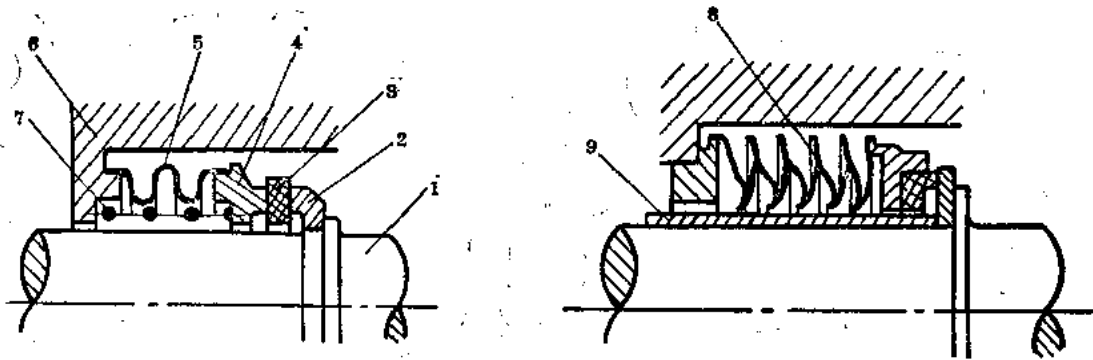


图12-9 高温机械密封装置

1—轴；2—动环；3—石墨环；4—静环；5—波纹管；6—壳体；7—弹簧；
8—波纹管（兼起弹簧作用）；9—轴套

表12-2 几种常用机械密封装置材料的工作温度

材 料	工作温度℃，不大于
普通橡胶	80
硅橡胶、氟橡胶	200
聚四氟乙烯	250
不锈钢波纹管	450
浸巴氏合金石墨	150
浸树脂石墨	180
浸铜、浸铅石墨	400

- (3) 加强冷却。采用两端面密封，用封液冷却。
- (4) 对有关零件作稳定性热处理，以免在高温下工作增加热变形。
- (5) 尽可能采用热膨胀系数相互接近的材料。

四、超低温机械密封装置

工作温度低于 -50°C 为超低温机械密封装置。

低温会使密封件材料发生冷脆与老化现象，大气中的水汽在低温下，可能冻结在密封元件大气一侧的表面上，配合性质（间隙或过盈）可因低温而改变。

因此，超低温机械密封装置，应充分注意下述问题。

(1) 超低温会使材料出现冷脆性，因此，超低温机械密封装置不能采用橡胶密封圈，必须用波纹管。同时，为了避免零件疲劳破坏，应采用静止弹簧机械密封。

(2) 低温机械密封装置（ $0\sim-50^{\circ}\text{C}$ ）仍可用橡胶密封圈。氟橡胶工作低温可到 -20°C ，硅橡胶和聚四氟乙烯工作低温可到 -50°C 。

(3) 有些高温机械密封装置也可用于超低温。

图12—10为液氧泵机械密封装置，是静止弹簧、内装、内流、非平衡型结构，介质温度 -183°C 。超低温常用铜合金或不锈钢作波纹管。图示波纹管5是用两层厚度为0.15毫米的黄铜管制成。动环1的材料为铬钼钒钢 $9\text{Cr}18\text{MoV}$ ，静环2的材料为含青铜石墨的聚四氟乙烯，其重量成分比为：聚四氟乙烯100，玻璃纤维18，青铜粉10，石墨5。

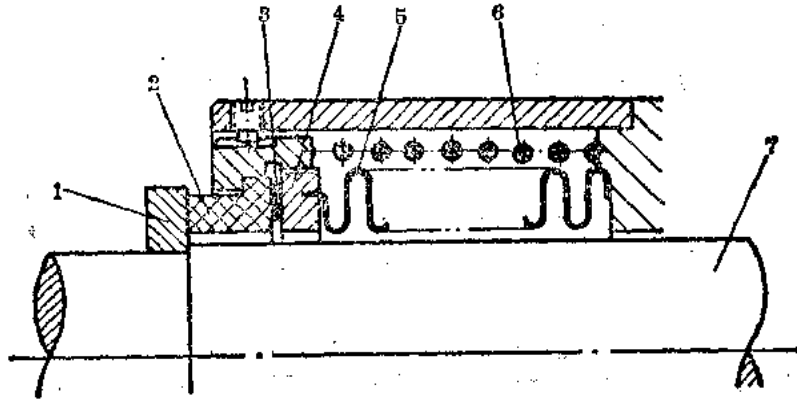


图12—10 超低温机械密封装置

1—动环；2—静环；3—垫片；4—静环；5—波纹管；6—弹簧；7—轴

有些超低温机械密封装置，在波纹管与轴之间输入干燥氮气喷吹，以遮隔大气，使波纹管内部不致结冰。也有采用如图12—11所示的双端面机械密封装置1，其密封腔7内充以适当压力的冷冻机油，用加热器6和恒温器自动调节其温度至 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ ；在密封腔7与下部的超低温 (-99°C) 甲烷液泵体之间，还设有温度缓冲室5。泵里的甲烷液通过减压轴承4的间隙，由套管3进入缓冲室5后，因减压和受外界温度影响而汽化。当蒸汽压与液体压力平衡后，蒸发停止。温度缓冲室5的气体温度使密封腔7内的冷冻机油不冻结，并保证甲烷泵在超低温条件下正常工作。泵出口工作压力为33公斤力/厘米²。

五、真空机械密封装置

工作压力低于大气压力的，称为真空机械密封装置。真空密封的压差很小，但密封要求却非常严格，而且润滑条件差（气体介质干摩擦），故应特别注意下列问题。

(1) 对于立轴真空密封，可用油池盛封液润滑摩擦端面，油池且可起封严作用（图12—12）。

(2) 采用双端面机械密封装置，并输入封液以确保封严（图12—6）。

(3) 单端面密封也可输入封液（图12—13）。封液沿轴向输入静环3的环槽M，而形成静压液膜机械密封装置；此外，在孔H出口有倒角油槽N，当轴旋转时产生“油楔”而形成动压液膜机械密封装置。

(4) 封液宜采用真空油或其他难于挥发的液体，这样可减少对真空度的影响。

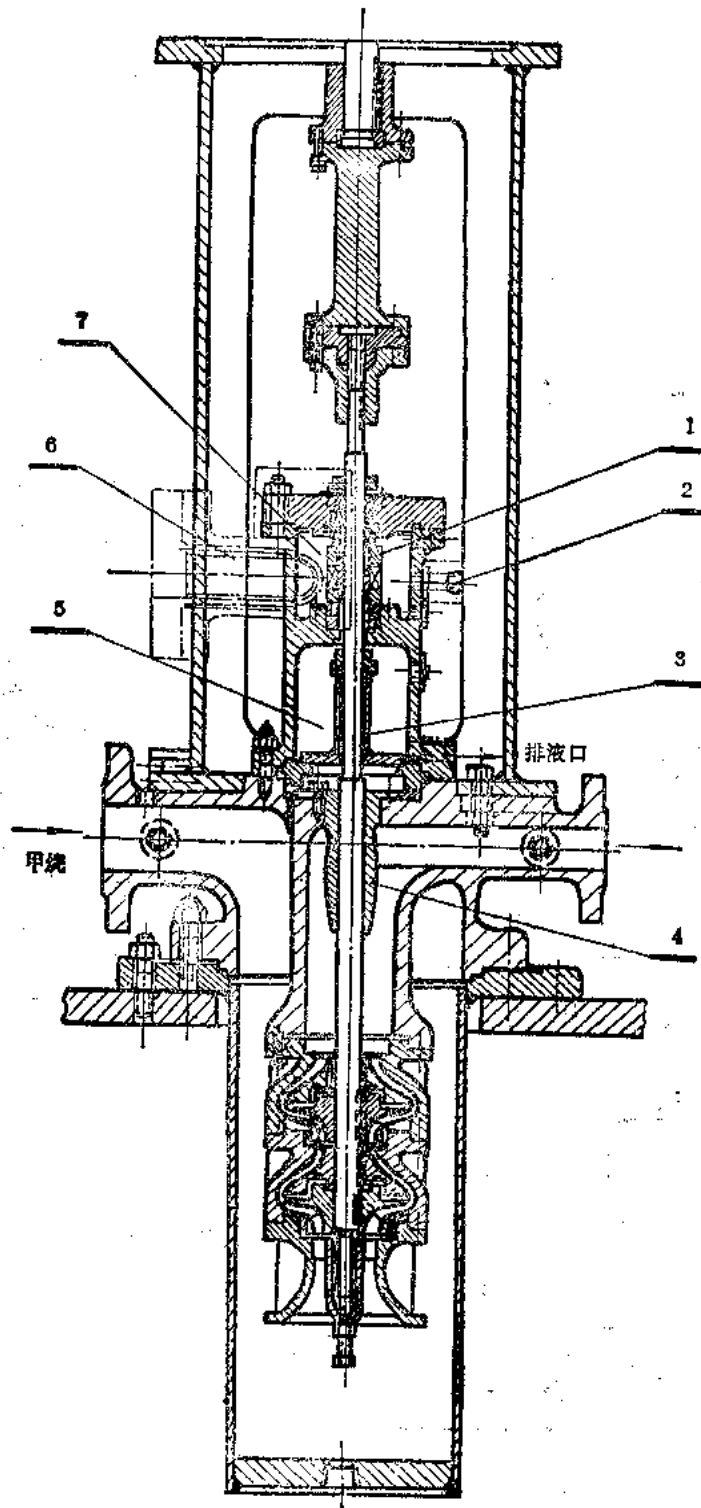


图12-11 甲烷泵

- 1——双端面机械密封装置；2——安装恒温器的接口；3——套筒；4——减压轴承；
5——温度缓冲室；6——加热器；7——密封腔

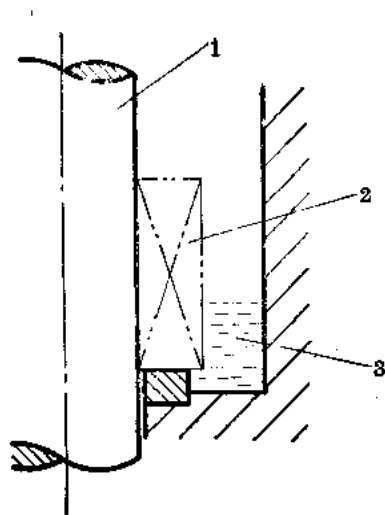


图12—12 油池真空密封装置
1—轴；2—机械密封装置；3—封液

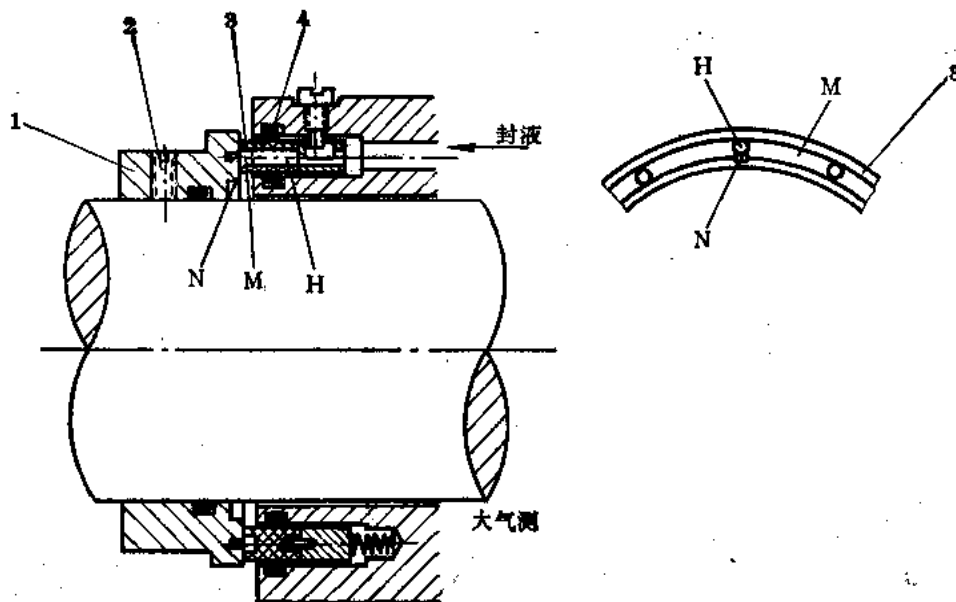


图12—13 液膜真空机械密封装置

1—动环；2—传动螺钉；3—静环；4—密封圈

(5) 微小的漏泄对高真空度的建立也会带来不利影响。为了排除动环密封圈7和静环密封圈6处(图11—1)可能的微量泄漏,最好采用波纹管焊接结构(图12—9),代替橡胶密封圈。

六、抗腐蚀性介质机械密封装置

腐蚀介质使密封元件承受强烈侵蚀，腐蚀速度很大。这是因为摩擦端面上具有能降低腐蚀速度的生成物一旦产生，随即被摩擦所破坏之故。该现象通常叫磨蚀现象。

漏出腐蚀介质，可能危害设备、基础、厂房、人员等。因此，机械密封装置的抗腐蚀介质能力，就异常重要，须慎重对待。

(1) 采用能耐腐蚀的密封材料。表12—3 所列为几种常用耐腐蚀材料。

(2) 采用外装弹簧机械密封装置(图12—14)。在弹簧3的外表面套上耐腐蚀的软管，两端封好；或在弹簧外表面喷涂抗腐蚀层，如聚四氟化烯等，以避免腐蚀性介质与密封件接触。

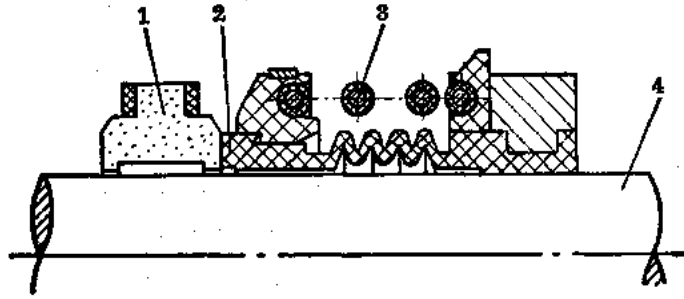


图12—14 抗腐蚀性介质的机械密封装置

1——静环；2——动环；3——弹簧；4——轴

(3) 采用波纹管结构，并与动环2(图12—14)制成一体，以减小一个泄漏点。

表12—3 几种常用耐腐蚀材料

工作介质	30%盐酸 (常温)	50%硫酸 (常温)	98%以上硝酸 (常温)	含微粒、含氟离子的碱液(<150℃)
动环 (或静环)	陶瓷、氮化硅、 微晶玻璃	陶瓷、硅铁、氮化 硅、微晶玻璃	氮化硅、陶瓷、 微晶玻璃	碳化钨、氮化硅
静环 (或动环)	浸酚醛石墨	浸环氧石墨	填充玻璃纤维或二 氧化钛的聚四氟乙烯	碳化钨、氮化硅
弹簧防转销	Ti32Mo合金、海 氏合金B、F	Ti32合金 914钢	因康镍合金、Cr18 Ni12Mo2Ti海氏合金	Ti32Mo合金
轴套	氮化硅、陶瓷、填 充聚四氟乙烯、聚三 氟氯乙烯、硬聚氯乙烯	氮化硅、陶瓷、填 充聚四氟乙烯、聚三 氟氯乙烯、硅铁	氮化硅、陶瓷、填充 聚四氟乙烯、聚三氟 氯乙烯	氮化硅、陶瓷、硅 铁

(4) 采用双端面机械密封装置，并输入封液（图12—6），使弹簧等密封件浸没在无腐蚀性的封液中受到保护。

(5) 应设有漏出液回收或稀释装置，以免腐蚀性介质从机械密封装置漏出后危害周围设备和人体。

七、抗颗粒机械密封装置

介质中含有的粉尘、晶粒、纤维等固态粒子进入摩擦副便成为研磨剂，使密封表面发生急剧磨损而泄漏。介质颗粒与纤维沉积在动环密封圈处或沉积在弹簧上就会使动环失去浮动，干扰弹簧的工作。因此，对介质中的颗粒与纤维等应根据不同情况采取不同措施。

(1) 介质中的颗粒或纤维物质会卡死弹簧，故应将弹簧封闭起来，不与介质接触，（图12—15），即用橡胶套2保护弹簧1。

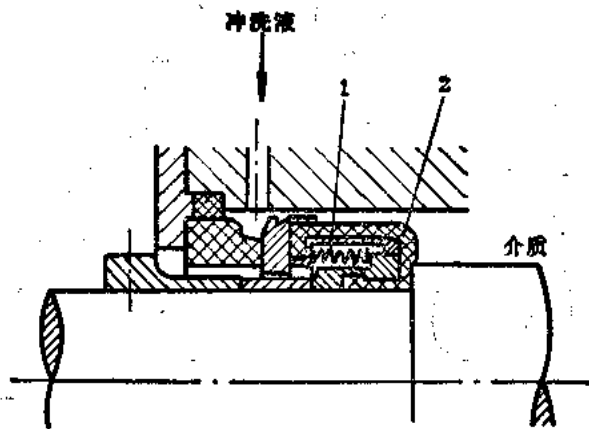


图12—15 抗颗粒机械密封装置

1——弹簧；2——橡胶套

(2) 使用冲洗液对摩擦端面进行冲洗（图12—15），以免颗粒进入摩擦面（冲洗液可用经过过滤净化的自身介质），而且采用内流式密封，利用离心力作用，使固体颗粒或纤维物质难于沿摩擦端面自外向内流入。

(3) 采用双端面密封，内充封液（图12—6）。因封液压力大于工作介质压力，故泄漏方向是从封液到介质，有利于阻止介质夹带着颗粒进入摩擦副。

(4) 摩擦副用硬对硬的材料，如硬质合金对硬质合金，陶瓷对陶瓷，一旦少量颗粒进入摩擦面，可将颗粒磨碎，不致引起密封端面拉毛而严重影响密封。

(5) 摩擦面的边缘保持尖锐，使微粒难以进入摩擦面。

(6) 有些介质在低温下才析出结晶，如果用加热法使介质不结晶，那么也就不存在结晶微粒进入摩擦面。

(7) 在机械密封装置之前设置离心甩砂盘或油毛毡等，以甩除或阻挡砂粒等进入。

第十三章 润滑、冲洗、冷却及过滤

润滑、冲洗、冷却与过滤是机械密封装置性能与寿命的四大影响因素。

润滑与摩擦副磨损的关系密切。受控腔膜机械密封装置，在全液润滑条件下，摩擦副端面磨损率低于 $0.001\text{mm}/100\text{h}$ 。普通型机械密封装置在边界润滑条件下，摩擦副端面磨损速率约为 $0.01\text{mm}/100\text{h}$ 。如果液膜破坏变成干摩擦，则摩擦副端面磨损率将成百倍陡增，甚至烧毁。冲洗与冷却是遣散摩擦热、降低密封腔工作温度，防止润滑液膜汽化，改善润滑，避免杂质沉积，阻止介质结晶，稀释和带走外漏介质的重要手段。过滤是去除介质中杂质、减少摩擦副磨损唯一行之有效的方法。

因此，对机械密封装置，尤其对高压、高速、高温条件下工作的机械密封装置的润滑、冲洗、冷却与过滤，必须予以足够的重视。

第一节 润 滑

机械密封装置摩擦面的润滑，与对泄漏量的要求、使用寿命、介质性质、压力、温度、滑动速度、密封结构等许多因素有关。为了保证运转平稳、减少磨损、延长寿命，必须加强润滑。但润滑越好，泄漏量就越大。故一般机械密封装置，由于受到允许泄漏量的限制，摩擦副仅维持在不充分的边界润滑或半液体润滑状态。

对于气体介质或真空密封，因其不能利用自身介质作润滑剂，需要另外添加。如果是立轴结构机械密封装置（图12—12），可设置油池盛润滑液；如果是卧轴结构机械密封装置，则要采用双端面密封，向密封腔输入封液，以“堵封”和润滑（图12—6）。

在高速、高压下，不得不加强摩擦面的润滑时，可采用静压液膜或动压液膜机械密封装置。静压液膜（图12—13）是靠环槽 M 中的静压液体产生；动压液膜是靠孔 H 出口处的润滑槽 N ，当轴旋转时产生。动压润滑槽可设在静环上，或动环上，但槽口必须通向液体介质。动环和静环不应同时设置润滑槽，以免破坏动压的油楔作用。如果密封的泄漏是内流式，润滑槽最好设在动环上，借旋转离心力将介质中的固体杂质甩开，以免进入摩擦面；反之，外流式密封的润滑槽最好设在静环上，以免动环的离心力将杂质吸入摩擦面。

改善润滑的最简单方法是偏心设计，即动环相对于静环有一偏心距离，当动环旋转时，便不断将润滑液带进摩擦表面。对于高速密封，最好动环不偏心而静环偏心，这样可避免由于偏心而引起不平衡离心力增大。

在高速、高压条件下不得不加强润滑时，只好放宽对泄漏量的要求。

第二节 冲洗与冷却

一、冲 洗

冲洗与冷却的概念完全不同，但冲洗也有冷却效果，而冷却液的冷却冲刷也起冲洗作用。根据冲洗介质的不同，冲洗可分为自液冲洗和外液冲洗两种。自液冲洗是直接利用自身的液体介质，经净化后用作冲洗液；外液冲洗是当自身介质不便用作冲洗液（如高粘度介质）时，应另外附加一套冲洗液系统，利用与介质相溶的另一种液体作冲洗液来冲洗。

根据冲洗部位的不同，机械密封装置又可分为内冲洗和外冲洗两种结构。如图13—1所示，干净的冲洗液从a进入，在介质密封腔的同侧冲洗即为内冲洗。内冲洗常用于对含有污物介质的冲洗，以防污物进入摩擦副。冲洗液的压力应比介质压力大0.5~1公斤力/厘米²，流量约为2~5升/分。外冲洗冲洗液从b进入，压力约为1公斤力/厘米²，在介质密封腔的外侧冲洗，以冲洗并带走对设备、人体产生有害影响的外漏介质，冷却转轴，防止静环与转轴之间沉积污物与介质结晶。

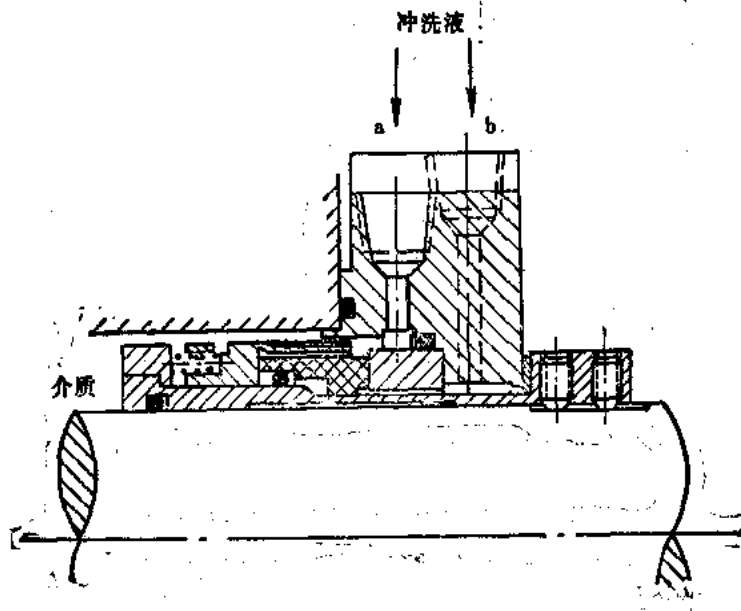


图13—1 内冲洗与外冲洗

冲洗孔的轴向位置最好对准摩擦端面，或使冲洗液冲刷在导热好的材料上（以加强冷却）其径向位置应在摩擦端面的切线方向（图13—2），这样冲洗效果最佳。外冲洗的回液孔设在正下方最低点，径向。也可将冲洗孔改为冲洗环（图13—3）。

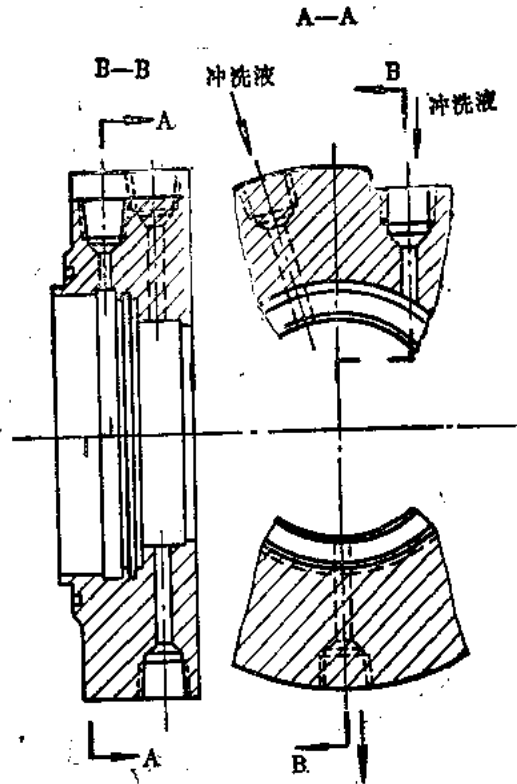


图13—2 切向冲洗孔

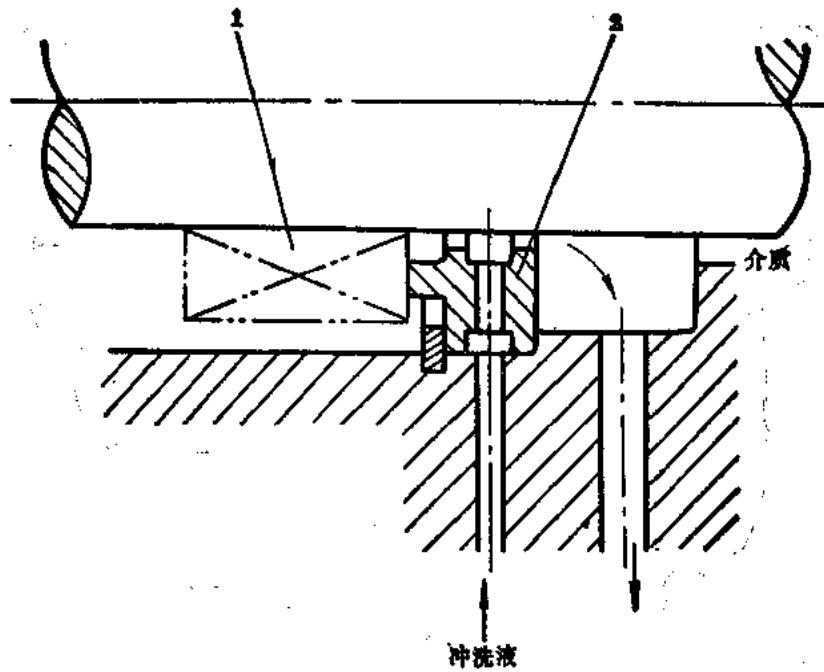


图13—3 冲洗环

1—机械密封装置；2—冲洗环

二、冷 却

根据冷却部位的不同，机械密封装置的冷却可分为动环冷却（图13—4），冷却液从 *b* 口进入的静环冷却（图13—5），冷却液从 *c* 口进入的轴套冷却（图13—5），冷却液从 *a* 进入的壳体冷却（图13—5），以及冷却液进入蛇管1的蛇管冷却（图13—5）等。

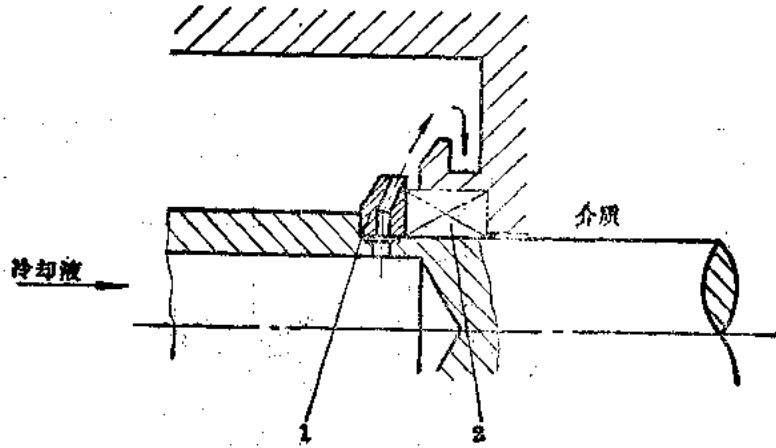


图13—4 动环冷却

1—动环；2—机械密封装置

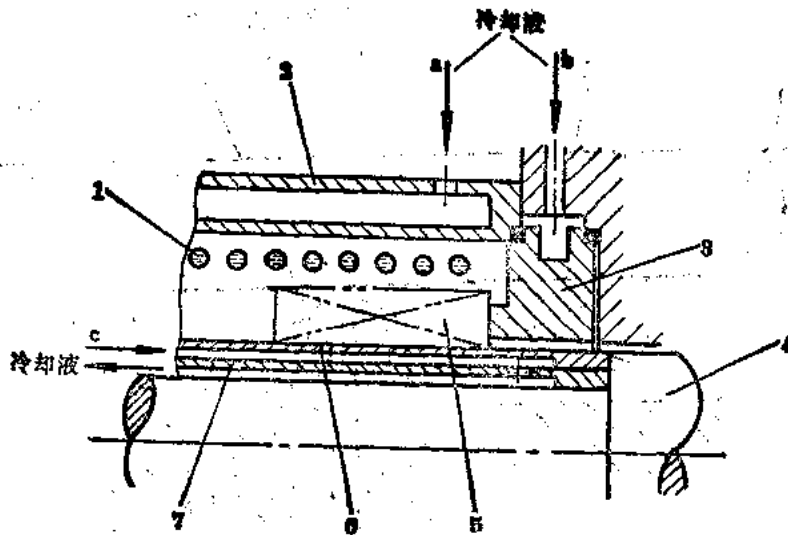


图13—5 机械密封装置的冷却

1—蛇管；2—壳体；3—静环；4—轴；5—机械密封装置；6—外轴套；7—内轴套

机械密封装置的内部冷却所用冷却介质，多为液体。机械密封装置的外部冷却多用气体（图13—6），由转轴带动风扇5，以冷却密封箱的外壳。其内部冷却所用冷却液（封液）靠温差对流循环，密封腔与液罐7连接成封闭回路，罐7带散热片，罐中冷却液经空冷后与密封腔中较热的液体形成自然对流。

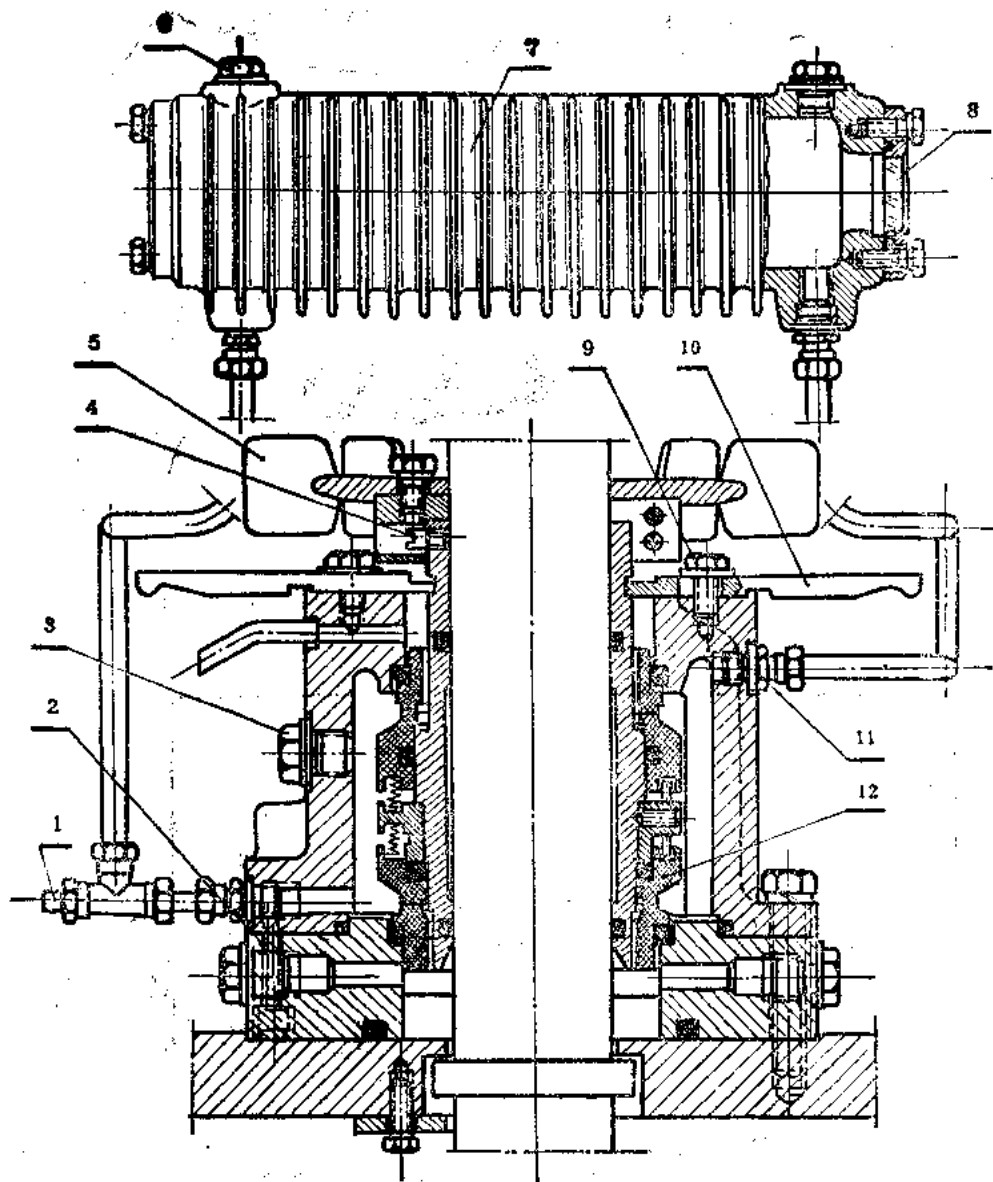


图13-6 外部冷却和内部冷却

- 1——排液口塞子；2——封液进口；3——温度计接口；4——固定螺钉；5——风扇；6——封液补充口；
7——液罐；8——观察窗；9——螺钉；10——手柄；11——封液出口；12——机械密封装置

为提高外部冷却效果，壳体4和端盖1带散热片（图13—7）。

利用温差形成的自身循环作内部冷却时，冷却液的循环速度及散热量都很小。为了加强内部冷却效果，可采用离心泵或齿轮泵加速冷却液的散热循环。如图13—8所示，齿轮泵2将液罐1的冷却液（封液）输入双端面的密封腔，其压力比介质压力大2公斤力/厘米²；冷却液流出密封腔后，经磁性过滤器7过滤，再经散热器3冷却，然后回到液罐1。

为了简化结构，可在密封装置中加工螺旋副d（图13—9），用作螺旋泵而代替专门设置泵和电机。再进一步简化，还可在转子圆周上均匀分布加工若干径向槽1或径向孔2（图13—10），借离心力加速冷却液的循环。

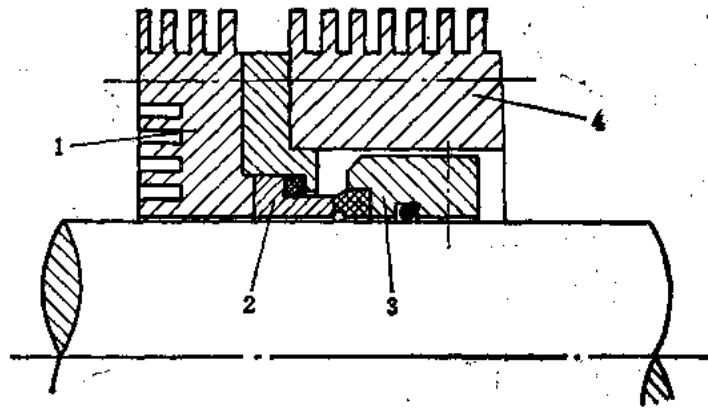


图13—7 壳体带散热片

1—端盖；2—静环；3—动环组合；4—壳体

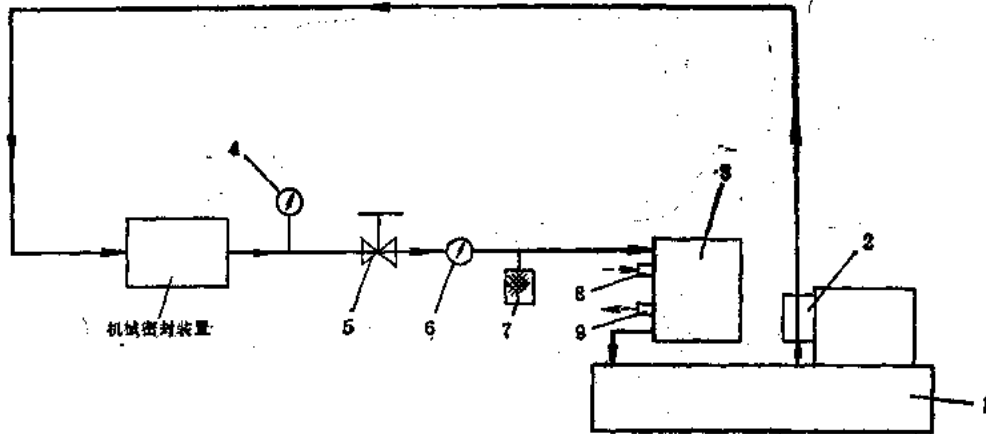


图13—8 泵循环冷却

1—液罐；2—齿轮泵电机；3—散热器；4—压力表；5—调节阀；6—温度表；
7—磁性过滤器；8—冷却水进口；9—冷却水出口

冷却液（或双端面机械密封装置的封液）不断循环，把机械密封装置的热量带至散热器。水冷散热器（图13—11）冷却液的进口2和出口1与两个同心蛇管6和7并联。

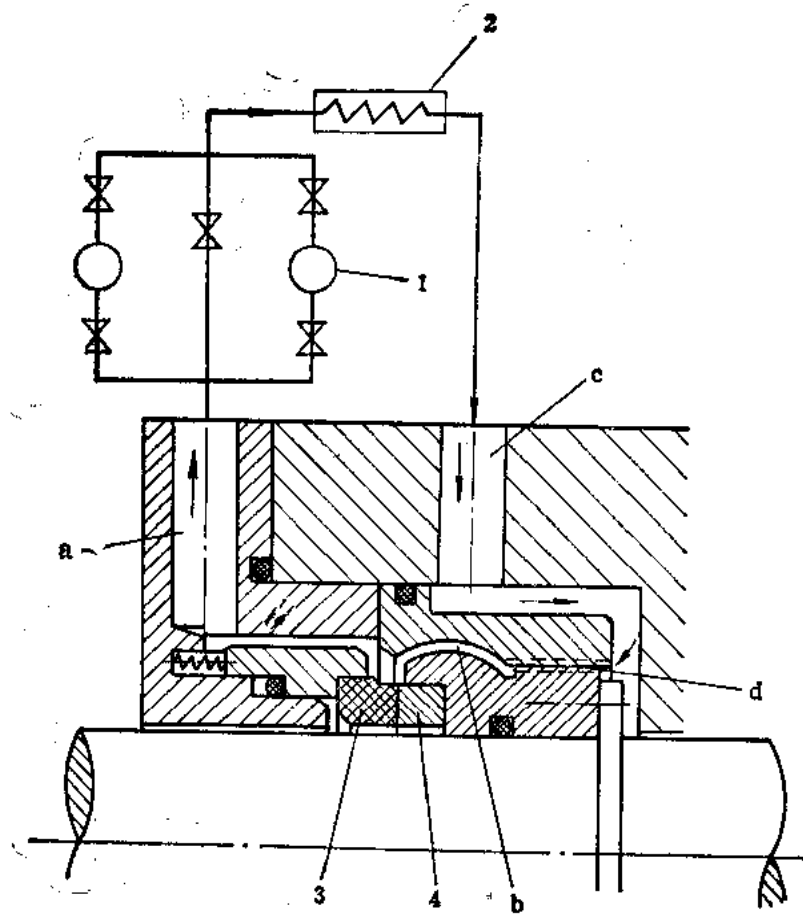


图13—9 带螺旋泵的机械密封装置

1—磁性过滤器；2—散热器；3—静环；4—动环；a—冷却液出口；b—螺旋泵出口；
c—冷却液入口；d—螺旋副

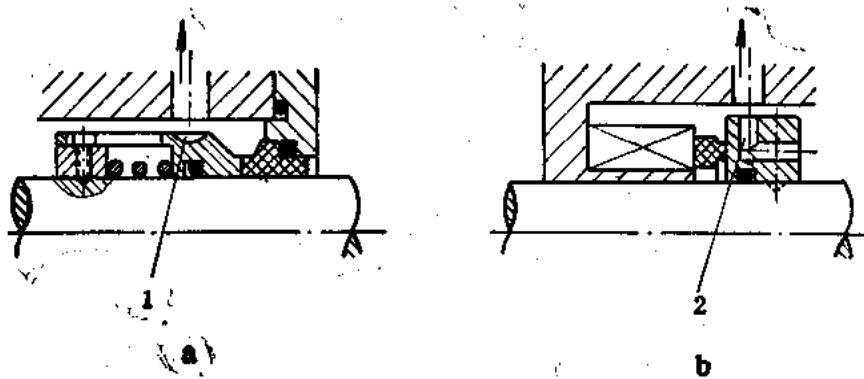


图13—10 有泵作用的机械密封装置

1—径向槽；2—径向孔

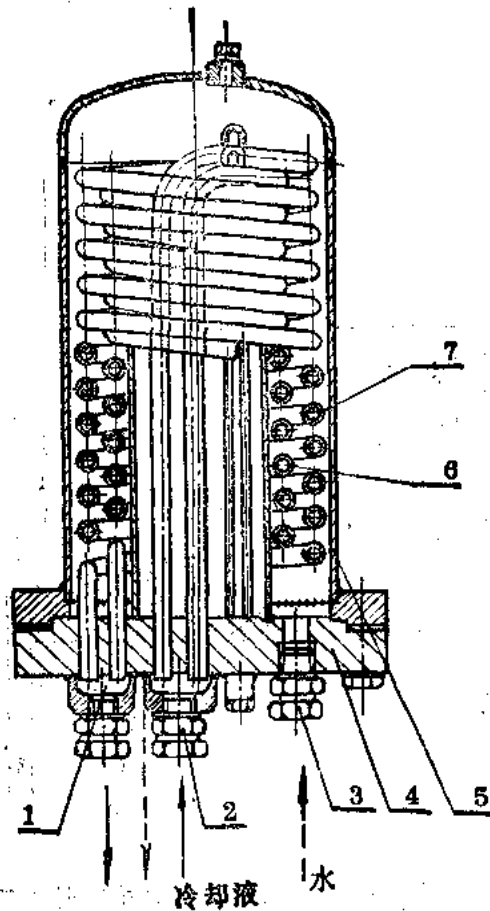


图13—11 散热器

1——冷却液出口；2——冷却液进口；3——水进口；4——盖子；
5——壳体；6——内蛇管；7——外蛇管

第三节 杂质过滤

冲洗液（冷却液或封液）在循环中不断混入杂质，必须予以过滤。

为了在清洗过滤器时不必停车，可并联安装两个过滤器，图13—9所示磁性过滤器1的构造如图13—12所示，磁套2吸附铁屑，滤网3过滤其他固体杂质。

机械密封装置除了利用磁体和筛网过滤杂质外，还有的利用离心力进行过滤，如图13—13所示，污液沿切线方向进入锥壁，在锥孔内形成强烈旋涡，在离心力和重力作用下，固体杂质下沉，而清洁的净化液从顶端流出继续循环。

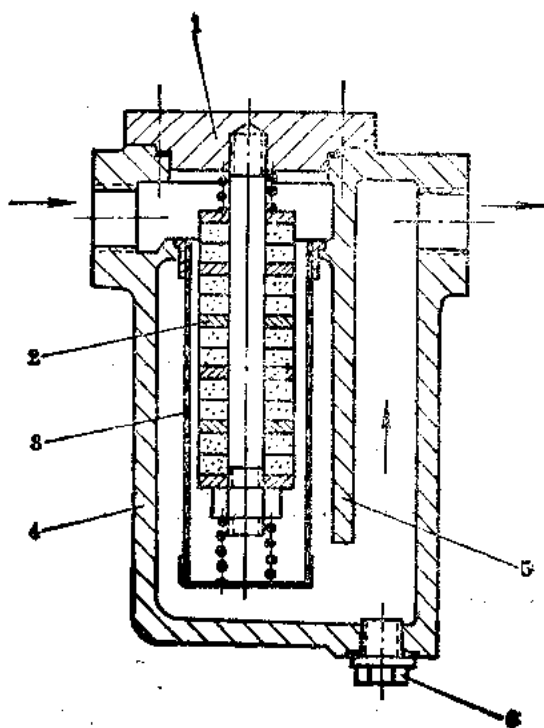


图13—12 磁性过滤器

- 1—盖子； 2—磁套； 3—滤网；
4—壳体； 5—隔板； 6—放液螺塞

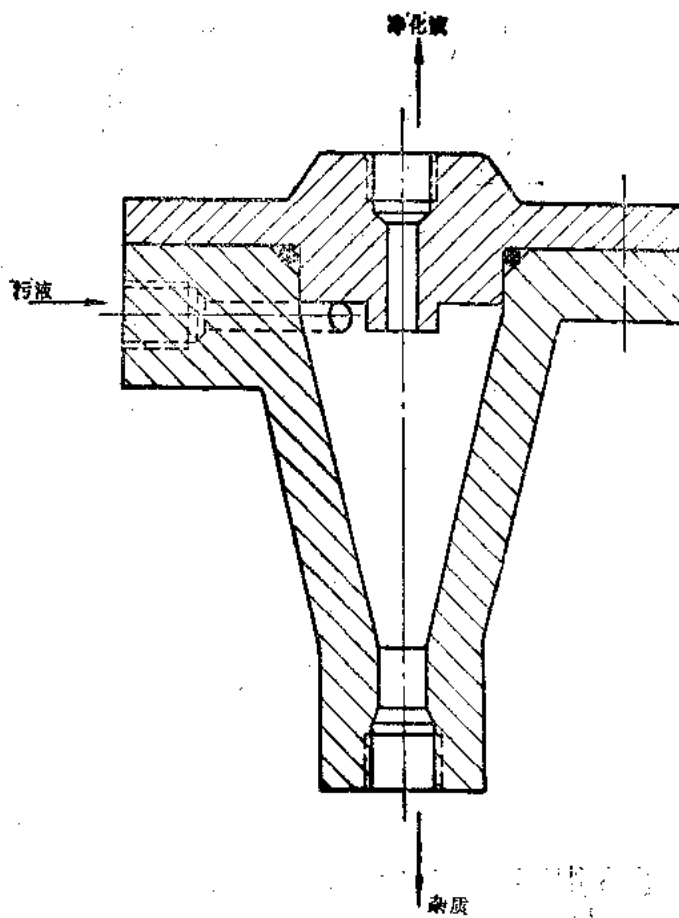


图13—13 离心过滤器

第十四章 设计计算

第一节 摩擦副

机械密封装置最关键的零件是由动环和静环组成的摩擦副。摩擦副的好坏是机械密封装置性能与寿命的决定性影响因素。摩擦副一般由一硬环和一软环组成。通常采用动环是硬环，静环是软环。软环的宽度 b 较硬环小（图14—1），这样，当软环磨损后，不致嵌入硬环中。如果工作介质带有固体颗粒，则动环和静环均由硬材料制造，两环取相同宽度 b 。

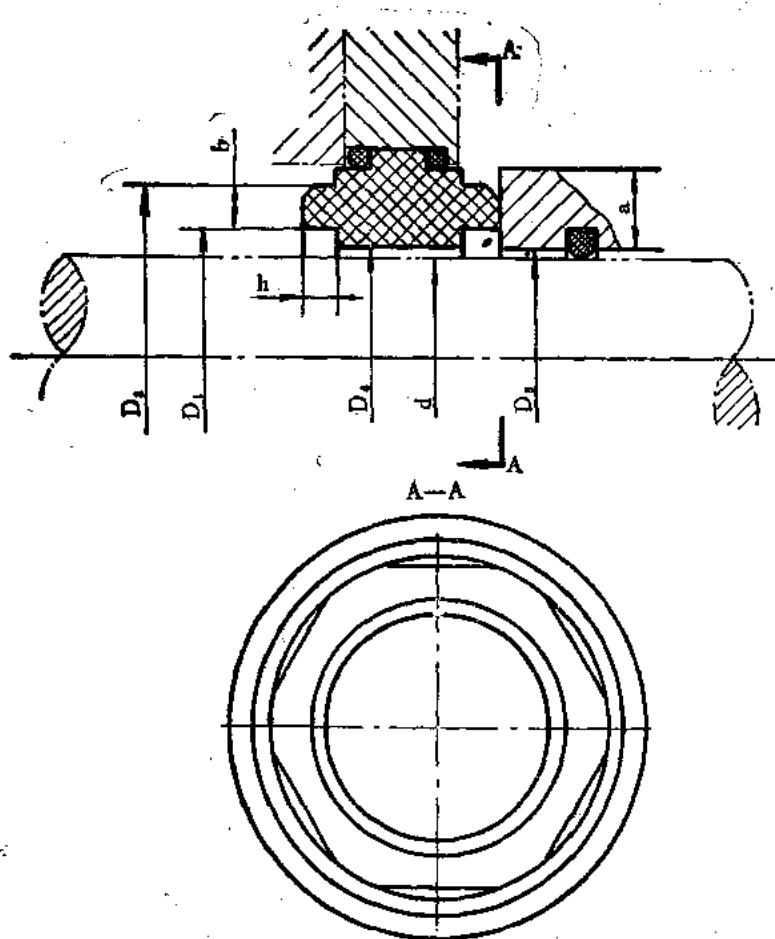


图14—1 摩擦副的尺寸

摩擦副最重要的尺寸是端面宽度 b ，在不影响强度、刚度的条件下，尽可能取较小的 b 值。这是因为，宽度太大，会导致冷却，润滑效果降低，端面磨损增大，摩擦功率

增加；宽度减小，环的内外径差值减小，端面平面度高，磨损均匀，摩擦热减少。因此，端面宽度 b 应根据轴径、工作介质、压力、转速、摩擦副材料进行综合考虑。

一般，端面宽度 $b = 2 \sim 6 \text{ mm}$ 。试验表明，只有在 b 小于 6 mm 的情况下，才符合流体力学的关系。否则，泄漏量随宽度的增大而增加。

表14—1所列为端面宽度 b 的参考数值。

表14—1 端面宽度 b 的参考值

mm

轴 径 d	非 平 衡 型 b				平 衡 型 b		
	石 墨	硬质合金	填充聚四 氟乙烯	青 铜	硬质合金	石 墨	青 铜
10~22	3	2	3	2	2	2.5	2
25~28	3	2	3	2	2	3	2
30	4	2.5	4	2.5	2.5	3	2.5
35~40	4	2.5	4	2.5	2.5	4	2.5
35~60	5	2.5	5	2.5	2.75	4	2.75
65	5.5	2.5	5.5	2.5	2.75	4	2.75
70	5.5	3	5.5	3	2.75	5	2.75
75~80	6	3	5.5	3	3	5	3
85~100	6	3	—	3	3	5.5	3
110~120	6	3.5	—	2.5	3	6	3

端面的高度 $h = 2 \sim 3$ 毫米。对于石墨、填充聚四氟乙烯、青铜等取 3 毫米；对于硬质合金取 2 毫米。

硬环的端面宽度 a 应比软环宽度 b 大些，取 $a = b + (1 \sim 3)$ 毫米。若动环和静环都是硬材料，则取 $a = b = 2.5 \sim 3$ 毫米。

端面内直径 D_1 取决于对介质压力的卸荷程度。对于内装弹簧密封（图12—4），

$$D_1 = \sqrt{2b\beta + \sqrt{d^2 - 4b^2\beta(1-\beta)}} \quad (14-1)$$

对于外装弹簧密封（图12—5），

$$D_1 = -2b(1-\beta) + \sqrt{D_2^2 - 4b^2\beta(1-\beta)} \quad (14-2)$$

式中 β ——平衡系数。

平衡系数 β 表示卸荷程度。其值与介质粘度、温度、汽化压力，转速、摩擦副材料等有关。通常取 $\beta = 0.15 \sim 0.45$ 。粘度小则取大值，如常温水、汽油、煤油等取 $\beta = 0.4 \sim 0.45$ ；粘度大则取小值，如粘度较大的油类，常取 $\beta = 0.3 \sim 0.4$ 。此外，介质压力越大， β 取值也越大；反之，越小。

其余尺寸：

$$D_2 = D_1 + 2b$$

$$D_4 = d + (1 \sim 2)$$

$$D_5 = d + (0.5 \sim 1)$$

图14-1的静环两边对称，故两端面都可用，一边磨损后还可使用另一边，以提高利用率。

为了节省耐磨材料，可采用堆焊、镶块结构。在图14-2a的静环1的不锈钢端面上堆焊了2毫米的钴基硬质合金2，动环3由填充聚四氟乙烯制成；图14-2b的陶瓷块1是胶接的；图14-2c的陶瓷块1座入聚四氟乙烯垫4上，用压板5固定，动环镶块3的材料是硬质合金；图14-2d的动环和静环采用热套过盈配合，镶入陶瓷块1与3。

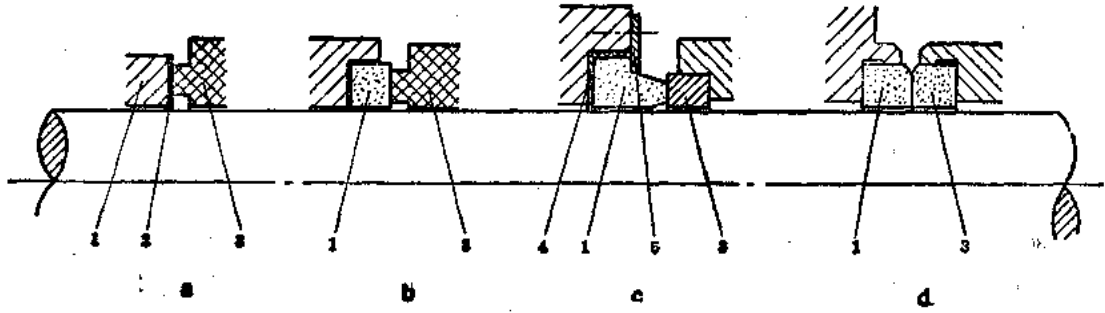


图14-2 组合式摩擦副

1——静环；2——堆焊硬质合金；3——动环；4——聚四氟乙烯垫；5——压板

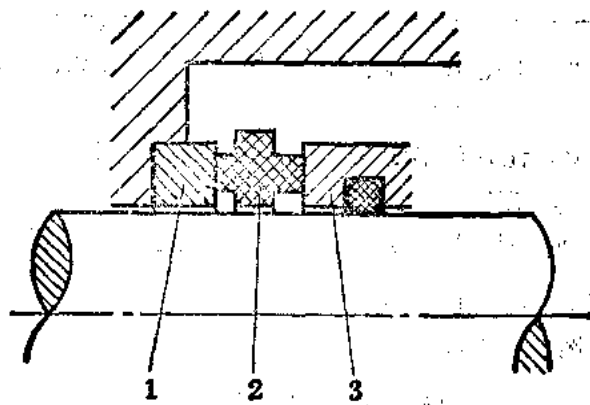


图14-3 带中间浮动环的摩擦副

1——静环；2——中间浮动环；3——动环

为了降低摩擦面的滑动速度，减少磨损，可采用中间浮动环2（图14-3），使其在静环1与动环3之间浮动。根据两端面的摩擦、润滑情况，浮动环2的转速是变化的，约为动环3转速的一半，故其摩擦面的线速度也减半，但增加了一个摩擦面，故增加了泄漏的可能，这种结构不大采用。

根据化工部标准HG5-751-78~HG5-756-78的规定，动环和静环密封端面的平面度允差不大于0.001毫米，光洁度不低于▽9。

第二节 弹性元件

弹性元件是机械密封装置的重要元件之一，如图14—4所示，它有如下功用：

(1) 借弹簧5的弹力给摩擦副以恒定的压紧力，以使摩擦面贴合紧密，保证在运转及停车的情况下，构成良好的密封。

(2) 缓和与补偿旋转轴的跳动和当摩擦面磨损时，推动摩擦环作轴向移动，使其继续保持紧密接触。

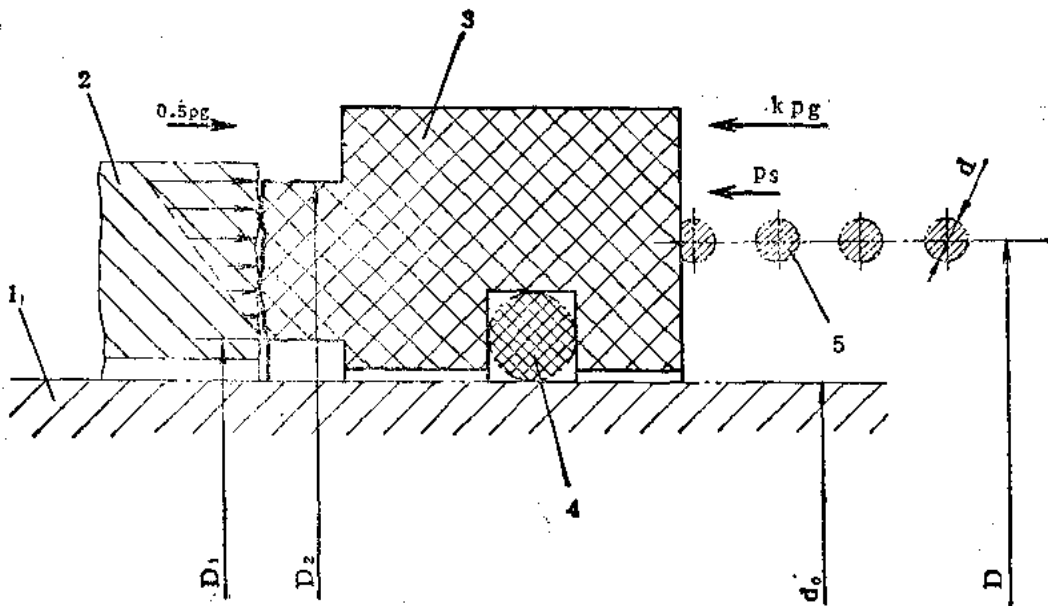


图14—4 弹簧的计算

1—轴；2—静环；3—动环；4—密封圈；5—弹簧

端面比压 P_s 的计算公式(12—3)和(12—5)，是在假定动环与静环之间绝对密封而没有介质存在的条件下给出的。实际上摩擦端面渗有液体介质(半液体摩擦)，其压力分布近似为三角形(图14—4)，平均反压约为介质压力 P_s 的一半。略去密封圈4的摩擦力，则内装弹簧机械密封装置端面的比压应为

$$P_s = P_s + k_i P_s - 0.5 P_s = P_s + (k_i - 0.5) P_s \quad (14-3)$$

对于液体介质，一般取 $P_s = 3 \sim 6$ 公斤力/厘米²。若介质润滑性好，压力高，还可取更大值，但若润滑性差，易挥发，则取小值。对于气体介质取值更小，约 $P_s = 1 \sim 3$ 公斤力/厘米²。

载荷系数 k_i 、介质压力 P_s 已知，故可按公式(14—3)计算弹簧比压

$$P_s = P_s - (k_i - 0.5) P_s \quad (14-4)$$

因此可按下式求出弹簧力

$$F_s = \frac{\pi}{4m} (D_2^2 - D_1^2) P_s \quad (14-5)$$

式中 m —— 弹簧个数 (表14-2)。

弹簧力 F_s 靠工作状态下弹簧的压缩量 f 来保证

$$f = \frac{8nF_s D^3}{Gd^4} \text{ (mm)} \quad (14-6)$$

式中 n —— 弹簧的工作圈数。对于大弹簧 $n = 2 \sim 4$ ；小弹簧 $n = 8 \sim 15$ ；

D —— 弹簧中径 (mm)。大弹簧 $D = d_s + (6 - 12)$ ；小弹簧 $D = 6 \sim 10$ ；

G —— 剪切弹性模数。对于钢 $G = 8000$ 公斤力/毫米²；

d_s —— 弹簧钢丝直径 mm (表14-2)。

表14-2 圆柱螺旋弹簧主要参数

mm

弹簧类型	轴 径 d																		
	16	13~20	22~25	28~30	35	40	45	50	55~60	65~70	75	80	85~90	95	100	110~120			
大 弹 簧 d_s	1.6	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5	6	6	7	7	7	7	8			
小 弹 簧	d_s				不适用				0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	1	1	1		
	m (个)				不适用				8	8	8	10	10	8	10	10	12	13	13

一般大弹簧的压缩量 $f = 10 \sim 30$ 毫米，小弹簧不大于10毫米。

校核弹簧的扭转应力 τ_s (公斤力/毫米²)

$$\tau_s = \frac{8KDF_s}{\pi d_s^3} \leq [\tau] \quad (14-7)$$

式中 K —— 弹簧曲度系数， $K = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0.615}{c}$ ，其中 c 为弹簧指数，即 $c = \frac{D}{d}$ ；

$[\tau]$ —— 许用扭转应力 (公斤力/毫米²) (表14-3)。

校核弹簧的许用极限负荷 F (公斤力)

$$F = \frac{\pi d^3}{8KD} \tau \geq 1.25F_s \quad (14-8)$$

式中 τ —— 扭转极限应力 (公斤力/毫米²) (表14-3)。

表14-3 几种常用螺旋弹簧材料的机械性能

材 料	钢丝直径 d_s mm	许用扭转应力 (τ) Kgf/cm ²	扭转极限应力 τ Kgf/cm ²	工作温度℃
碳 钢 I 组	0.5~8	0.4 σ_s	0.5 σ_s	-40~+120
65Mn	5~10	40	50	-40~+120
60Si2Mn	5~10	60	75	-40~+220
50CrVA	5~10	36	45	-40~+400

注： σ_s 为材料抗拉强度极限 Kgf/cm²。

对于外装弹簧机械密封装置，其端面比压为

$$P_e = P_s + (k_o - 0.5) P_s \quad (14-9)$$

内装及外装弹簧的载荷系数 k_i 及 k_o 见公式(12-2)及公式(12-6)。

对双端面机械密封装置(图12-6)

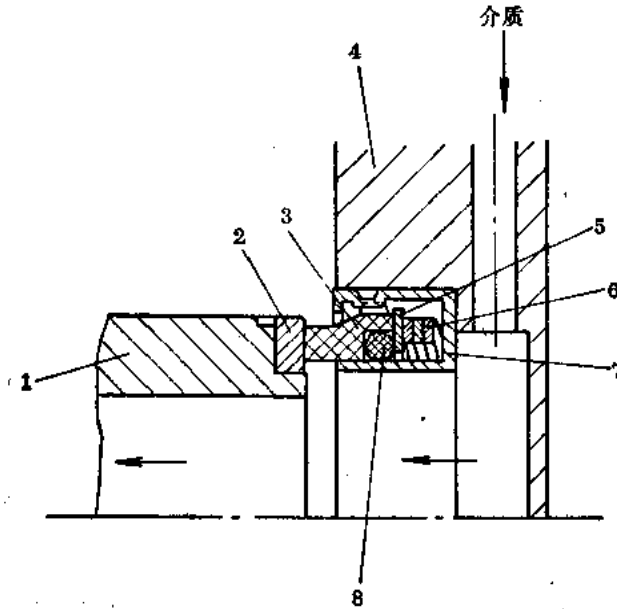


图14-5 带波形弹簧的机械密封装置

1——轴；2——动环；3——静环；4——壳体；5——垫圈；
6——波形弹簧；7——密封盒；8——密封圈

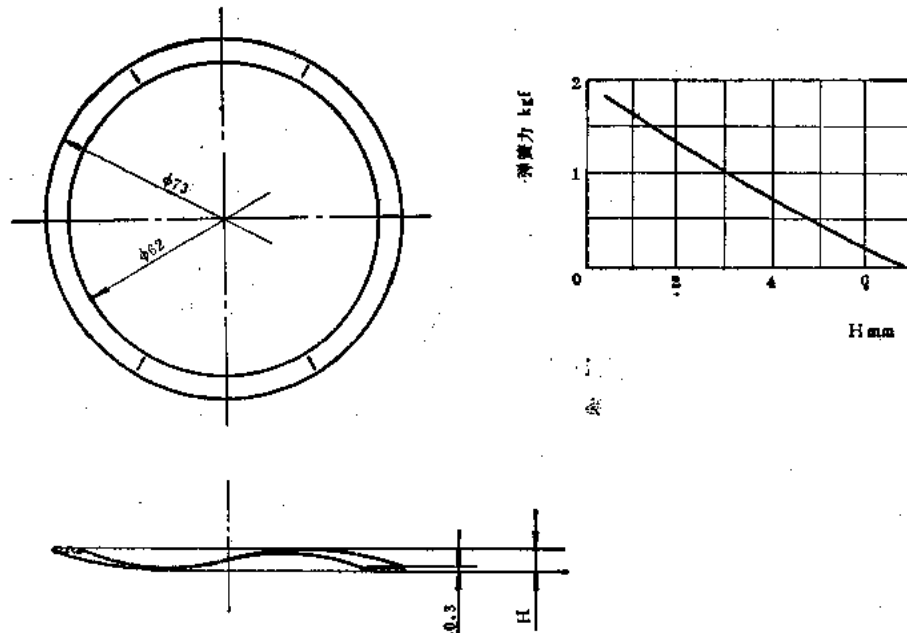


图14-6 波形弹簧

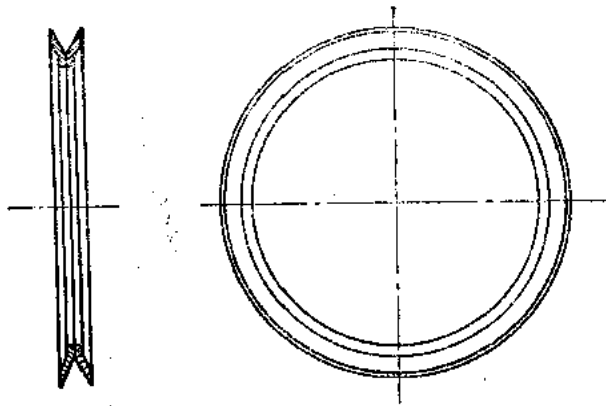


图14-7 蝶形弹簧

$$P_s = P_i + (k_i - 0.5)P_i + (k_s - 0.5)P_s \quad (14-10)$$

式中 P_i ——封液的压力(公斤力/厘米²)。

当摩擦端面磨损时,随着弹簧的逐渐伸长,弹力逐渐减弱,直至摩擦副磨损到不能使用为止。但弹簧弹力的变化不得大于10~20%。

除了上述使用最广的圆柱螺旋弹簧外,还有采用波纹管8(图12-9)兼作弹簧。为了减小轴向尺寸,使密封装置更加紧凑,可采用波形弹簧或蝶形弹簧,如图14-5所示,采用三个波形弹簧6(图14-6)。也可用蝶形弹簧(图14-7)代替波形弹簧。

第三节 密封圈

密封圈是机械密封装置的重要组成元件,既是密封元件,用以防止工作介质的泄漏,又是缓冲元件,用以缓冲和补偿旋转轴的跳动与加工误差。图11-1所示,静环密封圈6用以防止介质通过静环5与壳体4之间的间隙泄漏,动环密封圈7用以防止介质通过动环2与轴1之间的间隙泄漏。静环密封圈6与动环密封圈7,均属静密封用O形圈。虽然当摩擦副磨损时,在弹簧3的推动下动环2与密封圈7一起左移,但因密封圈7的滑动速度与距离极其微小,完全可以忽略。

密封圈,作为机械密封装置用密封元件,具有很多形式。有O形、方形、八角形、X形,空心金属O形圈(图14-8a、b、c、d、e)等。其中O形橡胶密封圈应用最广泛。聚四氟乙烯V形圈(图14-9)也有应用。

国标GB1235-76《O形橡胶密封圈》,作为密封元件,极其广泛地应用于液压、气动、真空等密封装置中,为密封技术积累了十分丰富的经验。

国标GB1235-76 O形圈的规格很多,共有171种,适用范围广泛。压力范围为25~320Kg/cm²,静密封用O形圈,如加挡圈,可承受压力高达2000~7000Kg/cm²。工作温度范围为-40~+200℃。工作介质为油、水、气、酸、碱等。

机械密封装置用O形橡胶密封圈与沟槽尺寸系列,挡圈尺寸系列,可按表2-20,表2-21与表2-22选取。

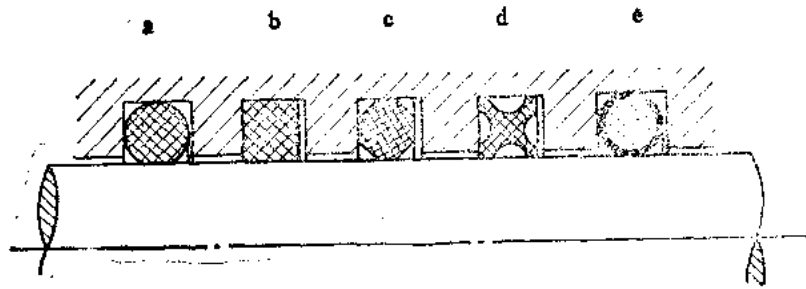


图14-8 动环密封圈

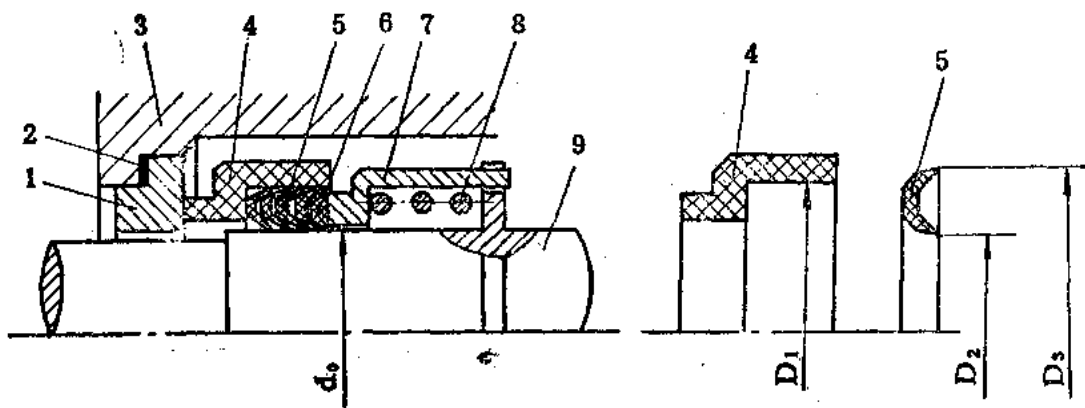


图14-9 带V形密封圈的机械密封装置

- 1—静环；2—静环密封圈；3—壳体；4—动环；5—动环密封圈；
6—刮环；7—弹簧座；8—弹簧；9—轴

聚四氟乙烯V形圈主要靠介质压力及弹簧力使其两翼张开而保证密封，为了在介质压力较低时也有良好的密封性能，V形圈的两翼也有0.4~0.5毫米的压缩量，即 $D_2 = d_s - (0.4 \sim 0.5)$ ； $D_3 = D_1 + (0.4 \sim 0.5)$ 。

若采用金属波纹管（图12-9波纹管5和8），非金属波纹管（图12-4带波纹管的动环2）或橡胶套（图12-15橡胶套4），可取消动环密封圈。

第四节 轴 套

图12-7装有轴套5，图12-9装有轴套9。装上轴套后，光轴可成为台阶轴，直径尺寸较小的轴可变成直径尺寸较大的轴。因此，有些机械密封装置设置轴套，就是为了将光轴变成台阶轴，以适应平衡型机械密封装置的需要（图12-4），或为了将小尺寸的轴径变大，以便选用标准尺寸的机械密封装置。有时也为了装拆方便，在设备外预先将机械密封装置零件组装在轴套上，然后一起装入设备中。轴套并非必不可少的零件，视需要配置。

图14—10所示为典型的轴套结构。设计轴套时应注意如下几点：

- (1) 当轴套的固定采用轴套随转轴一起转动的型式时，轴套的固定应牢固可靠；
- (2) 轴套应设置密封圈，用以防止介质通过轴套与轴之间的间隙渗漏；
- (3) 轴套末端应有光滑过渡的锥面（图14—10C），以便装入动环密封圈。

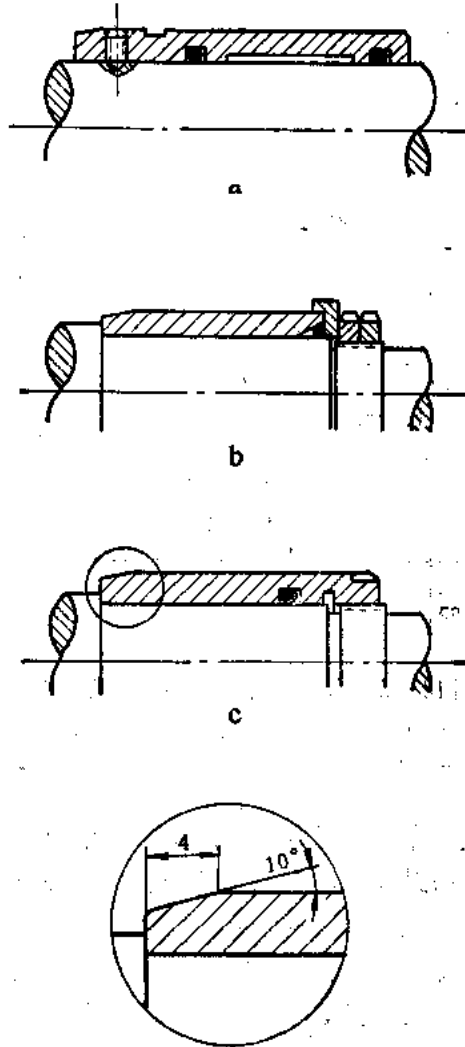


图14—10 轴 套

第五节 动环传动方式

机械密封装置的动环与静环之间具有相对运动，为克服两者间的摩擦力矩，使动环与轴一起旋转，转轴需通过一定方式驱动动环。

动环传动方式与密封元件形式密封相关。常用动环传动方式有下列几种。

一、转轴直接传动动环

1. 动环与转轴1 制成一体 (图14—11)。
2. 动环2 靠过盈紧套在转轴1 上 (图14—5)。
3. 动环靠轴套、螺钉、销子、键等固定在转轴上 (图14—12)。为了防止介质通过动环与转轴之间的间隙泄漏, 故该处设置密封圈。

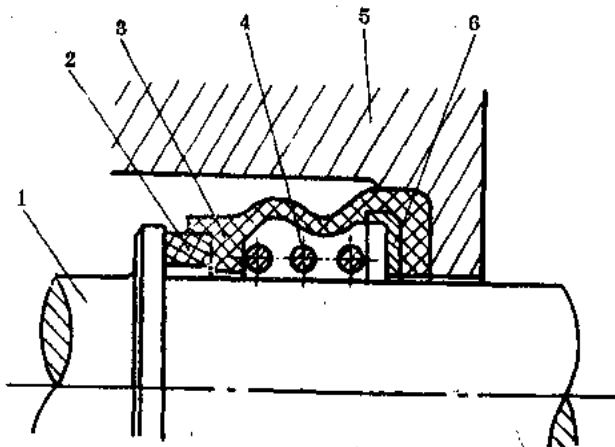


图14—11 动环与转轴制成一体

- 1—轴; 2—静环; 3—波纹管;
4—弹簧; 5—壳体; 6—骨架

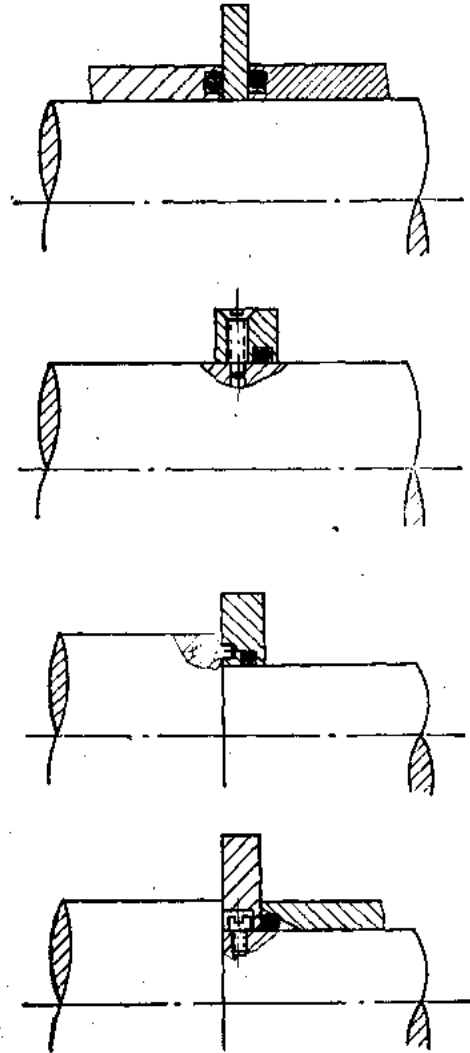


图14—12 转轴直接传动动环

二、弹簧座传动动环

1. 摩擦力传动

图14—9中的弹簧8, 推动弹簧座7, 压紧推环6和4个V形密封圈5, 动环4在

摩擦力的驱动下转动。

2. 机械传动

图14—13的弹簧座1的一端用螺钉2固定在轴6上,另一端用凹槽(见A—A剖面),或用螺钉7传动动环3。当然,还可以用其他机械方法,使弹簧座得以将扭矩传给动环,只要不妨碍动环的轴向移动即可。

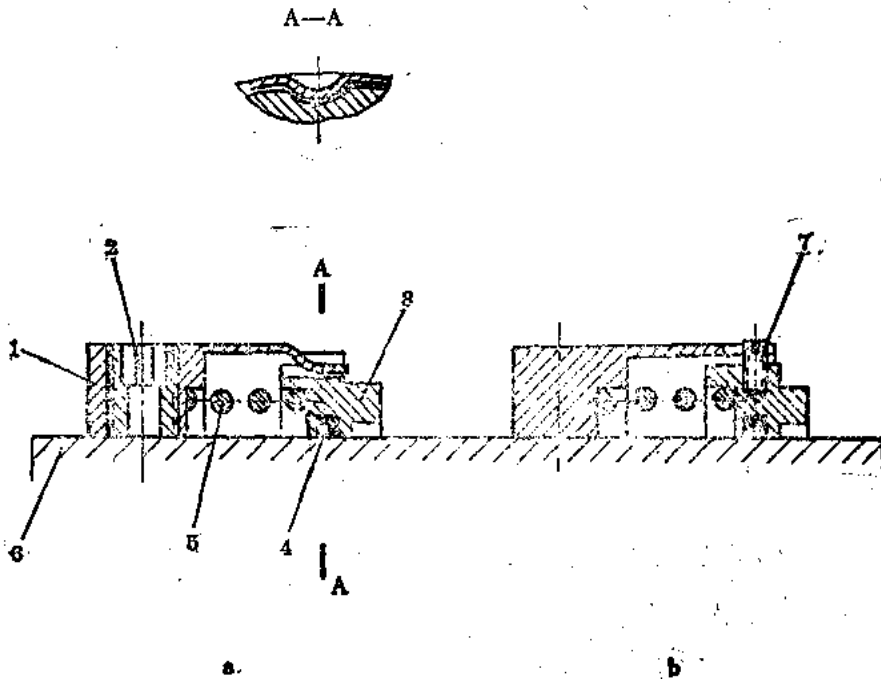


图14—13 弹簧座传动动环

1—弹簧座; 2—螺钉; 3—动环; 4—密封圈; 5—弹簧; 6—轴; 7—螺钉

三、弹簧传动动环

1. 动环焊接在弹簧上,或焊接在兼作弹簧的金属波纹管上。
2. 弹簧4的两末端分别钩住弹簧座2和动环5(图14—14)。

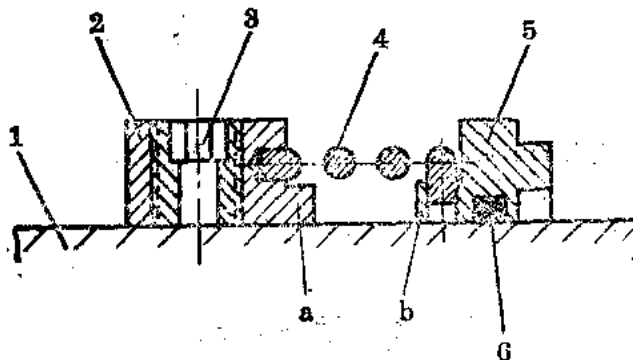


图14—14 弹簧传动动环

1—轴; 2—弹簧座; 3—螺钉; 4—弹簧; 5—动环; 6—密封圈

3. 弹簧的两末端分别箍紧弹簧座和动环 (图14—14), 即弹簧 4 的两末端内径小, 而凸台 a 和 b 的外径大时, 借弹簧力箍紧凸台 a 和 b 而带动动环。

使用弹簧传动时, 弹簧的螺旋方向应使弹簧力增加而不是减少。因此, 从密封端面
向弹簧方向看, 如果轴的旋转方向向右, 则应采取右旋弹簧; 反之, 采取左旋弹簧。

第六节 静环固定方式

静环的固定方式与安装质量是影响泄漏的重要因素, 前者是决定性的。因此, 需认真选择静环的固定方式。

常用静环固定方式有如下三种。

一、紧固式静环

1. 静环与壳体制成一体 (图14—15a)。此种固定方式仅适用于要求不高, 或密封装置不常用的场合。

2. 静环采用过盈配合装在壳体上 (图14—15b)。

3. 用机械方法固定静环 (图14—15c)。

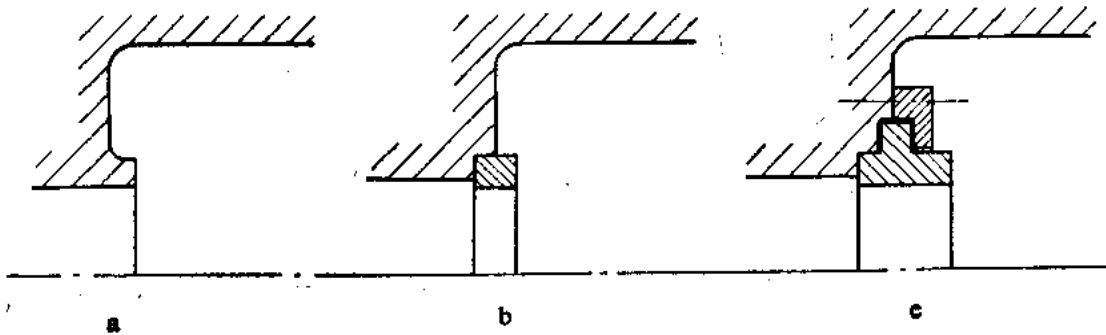


图14—15 紧固式静环

二、浮动式静环

静环可略浮动而不固死, 有利于静环自动调位以保证摩擦副的紧密贴合, 而且对于

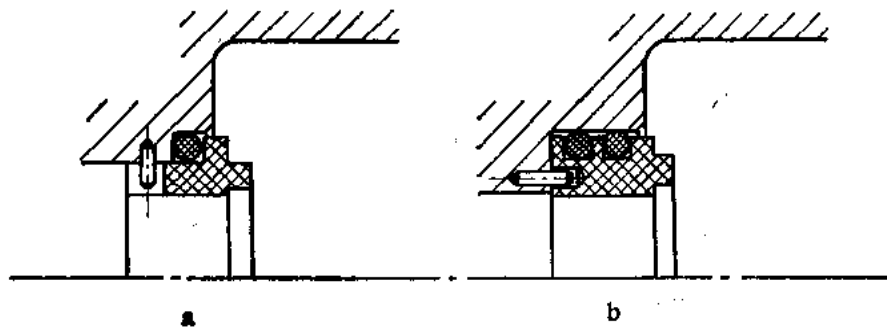


图14—16 浮动式静环

保护脆性材料制造的静环以防折断也有好处。静环与壳体之间所设密封圈，既可防止介质从此渗漏，又可使静环可略浮动调位。密封圈可采用一个或两个断面为圆形的或V形的。根据具体情况，可用销子防止静环转动，销子或径向安装（图14—16a），或轴向安装（图14—16b）。

三、轴向移动式静环

图12—3中静止弹簧式机械密封装置，其静环不但可径向浮动，而且可轴向移动。图12—8、图12—9、图12—10、图12—13、图12—14、图14—5、图14—11等所示静环均为轴向移动式。

第十五章 机械密封装置的材料选择及使用

第一节 机械密封装置材料的选择

机械密封装置的工作质量好坏，以及工作寿命的长短，在很大程度上取决于能否合理地选择摩擦副、密封圈、弹簧及其他零件材料（详见第七篇密封材料）。

一、摩擦副材料

摩擦副材料选择的主要依据是，工作介质、压力、温度、滑动速度以及摩擦副在启动或液膜破坏时，短时间在于摩擦下工作的能力等。

工作介质要求摩擦副材料具有耐腐蚀、磨蚀、溶解和溶胀性；物理机械性能方面要求摩擦副材料具有高的弹性模数、强度， $[PV]$ 值，低的摩擦系数、膨胀系数，优良的耐磨性和自润滑性，良好的不渗透性和湿附性，以及好的导热性，耐高低温和温度的急变性。

摩擦副材料有非金属与金属两大类。常用的非金属材料有石墨、聚四氟乙烯、陶瓷等。常用的金属材料有铸铁、碳钢、青铜、合金钢及硬质合金等。

表15—1 所列常用机械密封装置摩擦副材料。

表15—1 常用动环、静环材料及其适用范围 (HG5—748—78)

动环、静环材料	代 号	适 用 范 围
浸渍酚醛石墨	M_1	酸： $t \leq 170^\circ\text{C}$ ，除硝酸等强氧化性酸外
热压酚醛石墨	M_2	酸： $t \leq 170^\circ\text{C}$ ，除硝酸等强氧化性酸外
浸渍呋喃石墨	M_3	酸、碱： $t \leq 200^\circ\text{C}$ ，除硝酸等强氧化性酸外
浸渍环氧石墨	M_4	弱酸、碱： $t \leq 180^\circ\text{C}$ ，除硝酸等强氧化性酸外
浸渍铜石墨	M_5	油、热水、海水、丙酮、氯化溶剂、乙醚、乙苯、醋酸乙酯、苯、苯乙烯、丙烯酸等
浸渍巴氏合金石墨	M_6	盐、轻油、海水、丙酮、氯化溶剂、乙醚、乙苯、醋酸乙酯、苯、苯乙烯、丙烯酸等
氧化铝陶瓷（整体）	L	除氢氟酸、高浓度碱外

(续)

氧化铝陶瓷 (聚四氟乙烯 L 型垫)	L_f	适用范围同上, 但介质温度 $t \leq 50^\circ\text{C}$
氧化铝陶瓷 (粘接)	L_s	视粘接剂的性能定
不锈钢堆焊硬质合金	D_s	$t < 200^\circ\text{C}$ 的油、液态烃、弱酸、弱碱、水、醇、硝基苯、二甲苯等
钨钴硬质合金 (YG8、YG6、YG15)	W	$t > 200^\circ\text{C}$ 的油、污水、弱酸、碱、含有颗粒介质
铸结硬质合金	G_s	液态烃、油、污水、含少量颗粒介质
填充聚四氟乙烯	F_s	氧化性酸、氨、氢氧化钾、乙二胺、尿素、高锰酸钾、过氧化氢、二氧化硫等
氮化硅	D_A	各种介质
锡磷青铜	T_s	油、盐、醇、脂肪酸、海水
硅 铁	G_s	硫酸、硝酸、盐酸等
耐 磨 铸 铁	N_s	醇、油、脂肪酸
整体不锈钢	Z_s	酸、除盐酸、氢氟酸等

表15—2给出了常用摩擦副配偶材料与适用介质。

表15—2 常用摩擦副的配偶材料与适用介质

摩 擦 副 材 料	适用介质
(1) 碳石墨 (包括浸渍铜石墨、浸渍巴氏合金石墨) 配: 青铜、奥氏体铁、陶瓷、司太立特、碳化钨、不锈钢、浸渍碳的聚四氟乙烯、浸渍玻璃的聚四氟乙烯、镀铬、不锈钢喷镀陶瓷 (2) 碳化钨配: 碳化钨	水
(1) 碳巴氏合金配: 铝青铜 (2) 不锈钢堆焊司太立特配: 铝青铜 (3) 碳化钨配: 碳化钨	海水

(续)

碳石墨配: 铸铁、浸渍碳聚四氟乙烯、浸渍玻璃聚四氟乙烯、奥氏体铸铁、氯化铝、 陶瓷、不锈钢堆焊司太立特	汽 油
(1) 碳石墨配: 青铜、奥氏体铸铁、铸铁、陶瓷、不锈钢堆焊司太立特、碳化钨、浸渍碳的 聚四氟乙烯、浸渍玻璃的聚四氟乙烯、淬火氮化钢、淬火工具钢、 (2) 铸铁配: 青 铜 (3) 浸渍铜石墨配: 青 铜	油 料
(1) 碳石墨配: 不锈钢堆焊硬质合金、司太立特、铬化铜、陶瓷、镍钼合金 (<i>Hastellog</i> <i>A、B或C</i>)、浸渍石墨聚四氟乙烯 (2) 陶瓷配: 司太立特、浸渍玻璃聚四氟乙烯、聚四氟乙烯	酸
(1) 碳石墨配: 不锈钢、陶瓷 (2) 陶瓷配: 不锈钢喷涂陶瓷、陶瓷 (3) 碳巴氏合金配: 磷 青 铜	盐
碳石墨配: 浸渍石墨的聚四氟乙烯、不锈钢堆焊司太立特	碱

二、密封圈材料

机械密封装置密封圈的功用是，既能防止介质泄漏又能减缓旋转轴的冲击与补偿加工误差。因此，要求密封圈材料具有良好的密封性，较小的摩擦系数，高的耐磨性与良好的弹性以及抗介质的腐蚀、溶解、溶胀、老化等性能。

各种合成橡胶，聚四氟乙烯，聚酰胺，聚甲醛等被广泛用于制作机械密封装置用密封圈。

表15—3所列为几种常用机械密封装置密封圈材料与适用范围。

表15-3 常用密封圈材料及其适用范围

密封圈材料	代号	适用范围
丁腈橡胶O形圈	1	-20℃~100℃油、水、醇等
硅橡胶O形圈	2	-60℃~200℃醇、碱溶液
氟橡胶O形圈	3	-40℃~200℃耐溶剂、耐酸
氯丁橡胶O形圈	4	-40℃~120℃无机酸、碱溶液、水、醇
聚四氟乙烯O形圈	5	-180℃~250℃各种腐蚀性介质
聚四氟乙烯V形圈	6	-180℃~250℃各种腐蚀性介质

三、弹簧材料

常用的弹簧材料有青铜、弹簧钢与不锈钢等。

锡青铜QSn6.5-0.4、铍青铜QBe2，用于温度不高的油、海水介质，效果良好。
 弹簧钢60Si2Mn、65Mn、磷青铜C12、合金钢50CrV。适用于低温于腐蚀性介质

(续)

1Cr13, 3Cr13, 1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Mo2Ti	碱
2Cr13 4Cr13	尿素、苯、酮、醇、醛、醚等有机物

近年来, 为保护弹簧免遭强腐蚀介质的侵蚀, 采用了各种弹簧保护法。

1. 保护套法

把弹簧套入橡胶、塑料软管内, 将管的两端封严, 以保护弹簧不受强腐蚀介质的侵蚀破坏。

2. 喷涂法

用耐腐蚀涂料喷涂弹簧钢丝表面, 以防弹簧受腐蚀介质的侵蚀, 且不影响弹簧特性。

常用涂料为聚三氟氯乙烯, 具有良好的化学稳定性, 适用于各种浓度的酸、碱、无机盐类以及低温下的强氧化剂等介质, 温度范围为 $-80 \sim +150^{\circ}\text{C}$ 。在室温下可用于一般有机溶剂, 但不耐高温的浓硝酸、发烟硝酸、浓盐酸、氢氟酸以及强有机酸。

四、其他零件材料

其他零件材料在一般情况下, 常用1Cr13、2Cr13等, 在强介质中选用1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni12Mo2Ti等 (表15-5)。

表15-5 与介质接触零件的材料及其适用范围 (HG5-748-78)

与介质接触零件材料	代 号	适 用 范 围
碳 钢	T	一般介质
1Cr18Ni9Ti	S ₁	除盐酸、氢氟酸等以外的酸类, 介质需保持清洁
1Cr18Ni12Mo2Ti	S ₂	尿素、硝酸等

第二节 机械密封装置的安装与使用

机械密封是很精密的装置, 但采用机械密封装置的机器设备却多数是普通的。

人们对机械密封装置的安装与使用常常不甚注意, 以致发生密封元件损坏而造成泄漏等事故。因此, 注意机械密封装置的安装与使用是很重要的。

一、机械密封装置的安装

机械密封装置安装时要注意下列各项:

- (1) 检查各密封件有无损坏、变形。

(2) 检查主要零件的技术要求。例如，按HG5-751-78~HG5-756-78《釜用机械密封标准》的规定，轴的光洁度不低于 $\nabla 6$ ，轴外径公差 $h9$ ，动环及静环密封表面光洁度不低于 $\nabla 9$ ，不平度不大于0.001毫米。

(3) 检查跳动量。仍按上述标准要求，轴的轴向窜动不大于 ± 0.5 毫米，轴在静环处的径向摆动量：轴径 ≤ 65 毫米时，摆动量不大于0.5毫米；轴径 ≥ 80 毫米时，摆动量不大于1毫米。

(4) 找正静环端面，保证其端面与轴线不垂直度小于0.05毫米。

(5) 对于多弹簧的机械密封装置，各弹簧的长度应一致，刚度应相同。

(6) 摩擦副应清洁无灰尘、杂质，并在动环与静环表面上涂敷机油或透平油。

(7) 安装时，不允许用工具敲击密封元件，以免其损坏。

二、机械密封装置的使用

1. 起动前的注意事项及准备工作

(1) 检查机械密封装置的附设装置，如润滑、冲洗、冷却及过滤系统是否完善、通畅。

(2) 清洗物料管线，以防铁锈杂质等进入。

(3) 安装后，用手转动旋转轴，检查转轴的灵活性。

(4) 装配完毕后，进行气密试验，压力为公称压力，要求不产生连续小气泡为合格；或进行静压试验，采用工作介质，其压力为公称压力的1.5倍，检查是否泄漏和泄漏是否严重。

2. 试运转

(1) 常压运转 运转前密封腔内应充满液体介质，以保证摩擦面的润滑。

起动主机与附设系统，检查旋转轴的摆动，窜动，温升等。如有轻微泄漏，可继续磨合一段时间，使摩擦副接触更好，泄漏可能逐渐减小到正常状态。否则，如运转1~3小时后，泄漏仍不减少，则需停机解体检查。

(2) 升压升温运转 经常压试运转后的机械密封装置，即可缓慢升至工作压力、温度，做升压升温运转。按要求，如一切正常，即可投入使用。

3. 停 车

先停主机，后停冷却及密封液系统等。

第三节 机械密封装置的故障与对策

常用机械密封装置的故障有振动、发热、发烟、泄出磨损生成物以及工作介质的泄漏等。

表15-6 所列为机械密封装置常见故障与对策。

表15—6 机械密封装置常见故障原因及排除

故 障	原 因	排 除
振动、发热、发烟、磨损严重、泄出磨损生成物	转轴碰撞密封箱体	保证旋转轴与密封箱体之间的距离，至少不小于0.7mm
	冷却不足，润滑恶劣	加强与改善冷却、润滑条件
	端面宽度太大	减小端面宽度，降低弹簧压力
	端面比压太大	减小弹簧力
	端面粗糙	提高端面光洁度
	端面材料耐腐蚀性，耐高温性不良，配偶不当，PV值太小	更换端面材料，合理选配，改善结构
端面泄漏	弹簧力不够，比压不足端面磨损，补偿作用消失	增加弹簧力
	杂质固化，堵塞在密封圈与弹簧处，卡死弹簧，以致端面磨损后丧失补偿能力	清洗杂质，以防再入
	摩擦端面与轴不垂直	重新调整，确保垂直
	双端面密封的封液压力太小，不能保证动环、静环紧密接触	提高封液压力
	固体颗粒进入摩擦端面	加强冲洗，提高摩擦面硬度
	动、静环浮动性差	改进结构，增加密封圈弹性，适当增加动、静环与旋转轴的间隙
	摩擦端面宽度太小	适当增加端面宽度
	摩擦端面不平	保证端面平面度要求
轴向泄漏	密封圈卷边、扭曲	适当选取密封圈压缩率，仔细安装
	密封圈与沟槽设计不当，密封圈与轴的配合过松或过紧	选择合理的配合尺寸与密封圈压缩率
	密封圈材料太软、太硬或耐腐蚀、耐高温不好，变形、老化、粘盖	选择合适的密封材料
	杂质夹在密封圈与轴之间	清洗杂质

第四节 机械密封装置的使用举例

下面介绍若干使用实例，并简要说明其结构特点，供选用参考。

一、单端面釜用机械密封装置

图15—1是搪瓷反应釜用的单端面外装弹簧机械密封装置，密封压力3公斤力/厘米²，轴径 $d = 50 \sim 70$ 毫米。传动环8由两半合成，垫上软橡胶垫片9后，用螺钉夹紧搪瓷釜的搅拌轴10，带动弹簧座7和动环3。动环3材料是填充聚四氟乙烯，静环2是不锈钢堆焊钴基硬质合金；为了润滑，还设有油槽1。

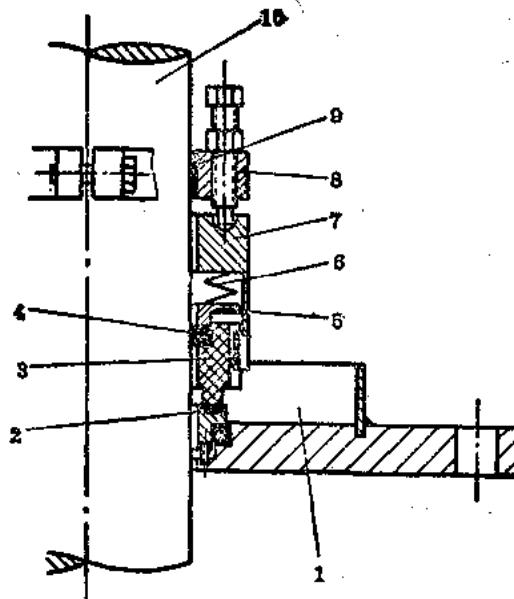


图15—1 单端面釜用机械密封装置

1——油槽；2——静环；3——动环；4——动环密封圈；5——推环；6——弹簧；
7——弹簧座；8——传动环；9——垫片；10——搪瓷搅拌轴；

二、双端面釜用机械密封装置

图15—2是一种小型聚合釜用双端面机械密封装置，密封压力40公斤力/厘米²，温度200℃，转速150~302转/分。有两个冷却水套，密封装置外围有水套4，冷却水从接嘴上进入，经接嘴b流出；密封装置与釜体之间有水套1，冷却水从接嘴a进入，经接嘴f流出。另外，封液从c进入，d是排气口。两静环材料是石墨浸渍呋喃树脂，两动环是不锈钢堆焊钴基硬质合金。

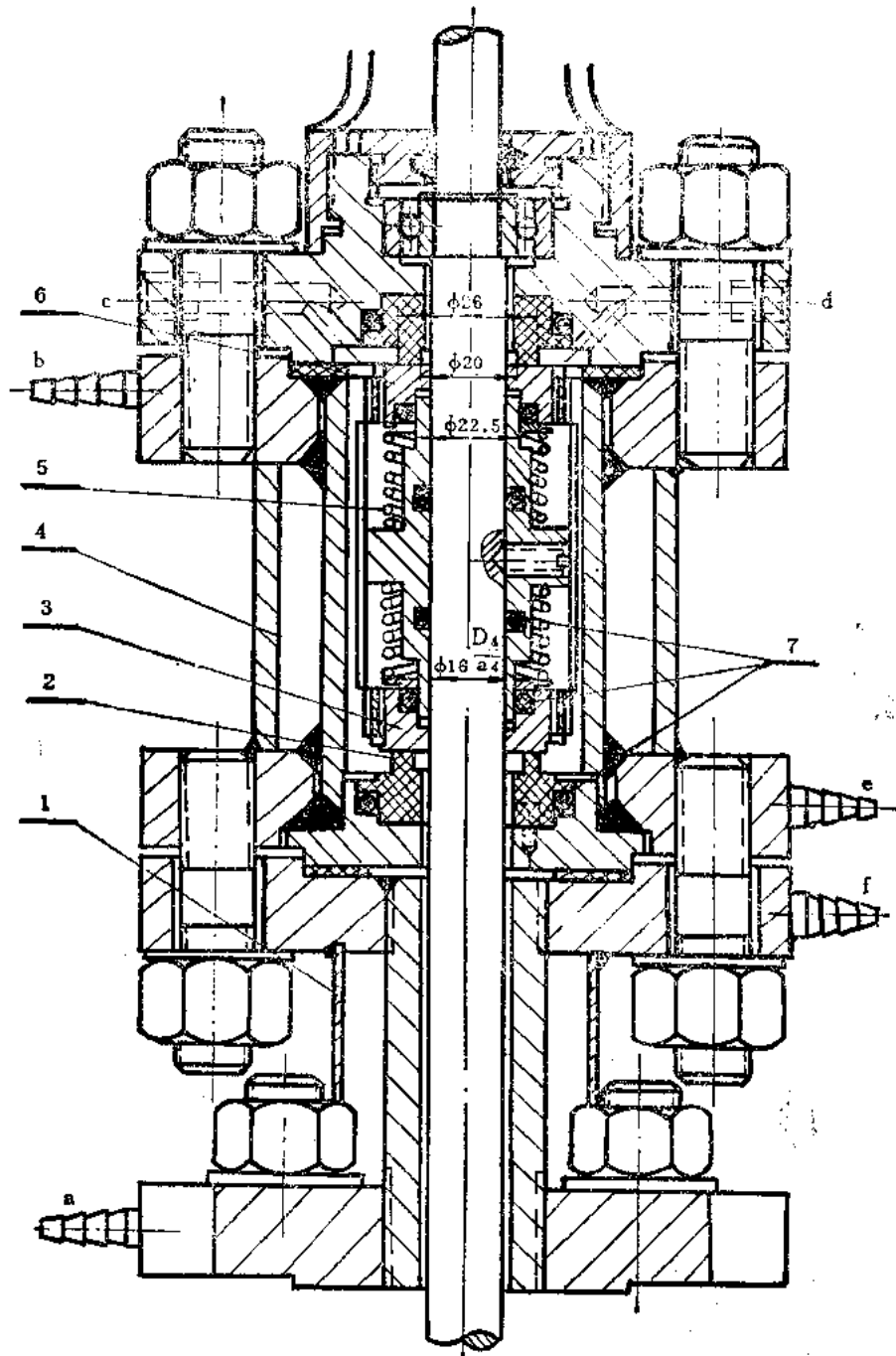


图15—2 双端面釜用机械密封装置

1—水套；2—静环；3—下动环；4—水套；5—弹簧；6—上动环；7—密封圈

三、径向双端面釜用机械密封装置

常用的双端面机械密封装置是轴向的，即两端面之间有一定的轴向距离。为了缩短密封装置的轴向尺寸，可采用径向双端面机械密封装置（图15—3），将两个摩擦端面合

并在同一平面上，共用同一个动环1；两个静环分别为外静环3和内静环2，且分别有各自的弹簧机构，各有不同的端面比压和平衡系数。内、外静环之间设有导流片4，以引导封液进入两摩擦端面之间的环槽，起润滑、冷却和堵封作用。这种结构实际应用不如轴向双端面机械密封装置广泛。

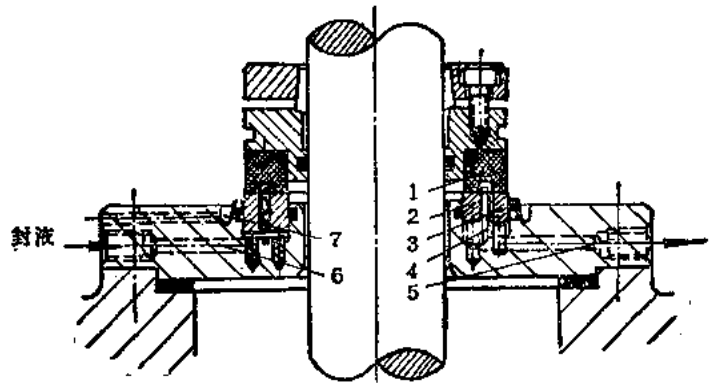


图15-3 径向双端面釜用机械密封装置

- 1—动环；2—内静环；3—外静环；4—导流片；
5—封液出口；6—封液进口；7—漏液收集槽

四、单端面泵用机械密封装置

图15-4所示为单端面泵用机械密封装置，弹簧机构采用薄板冲压成型，结构简单，成本低廉，宜于大量生产。动环3装在弹性很好的橡胶波纹管4的端面上，静环2装在橡胶垫1上，故摩擦副有良好的浮动性能；其内侧用冲洗液冲洗摩擦端面，外侧用水冷却。该密封用于压力不大于10公斤力/厘米²、温度为-20~+100℃的场合。

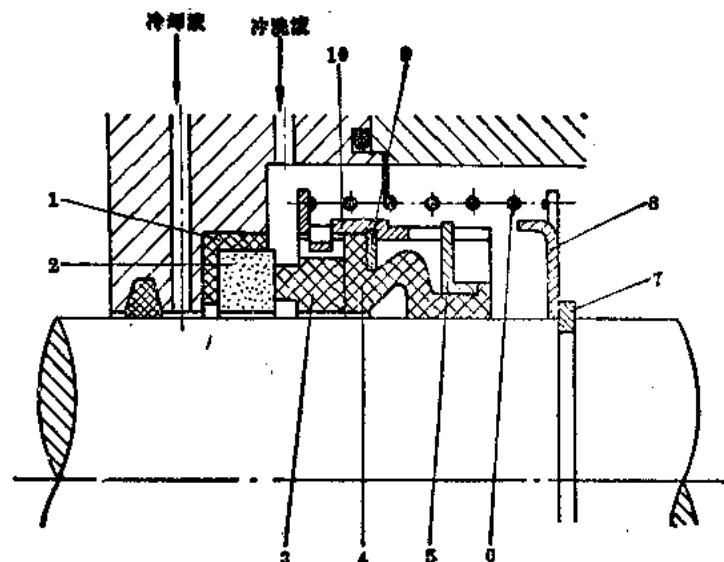


图15-4 单端面泵用机械密封装置

- 1—橡胶垫；2—静环；3—动环；4—橡胶波纹管；5—波纹管骨架；6—弹簧；
7—卡圈；8—弹簧座；9—卡圈；10—推环

五、双端面泵用机械密封装置

图15—5所示为用于泵的介质中有固体颗粒的机械密封装置。采用双端面，封液由 *c* 进入密封腔，经 *b* 流出，因封液压力大于介质压力，故漏泄方向是从密封腔漏到介质腔，从而减少介质夹带着固体颗粒窜入摩擦副的可能性。一旦颗粒进入摩擦副，颗粒将被磨碎，而摩擦副不受损害，因为静环10和动环9都是硬对硬配偶，采用陶瓷或碳化钨材料，并采取相同的端面宽度。

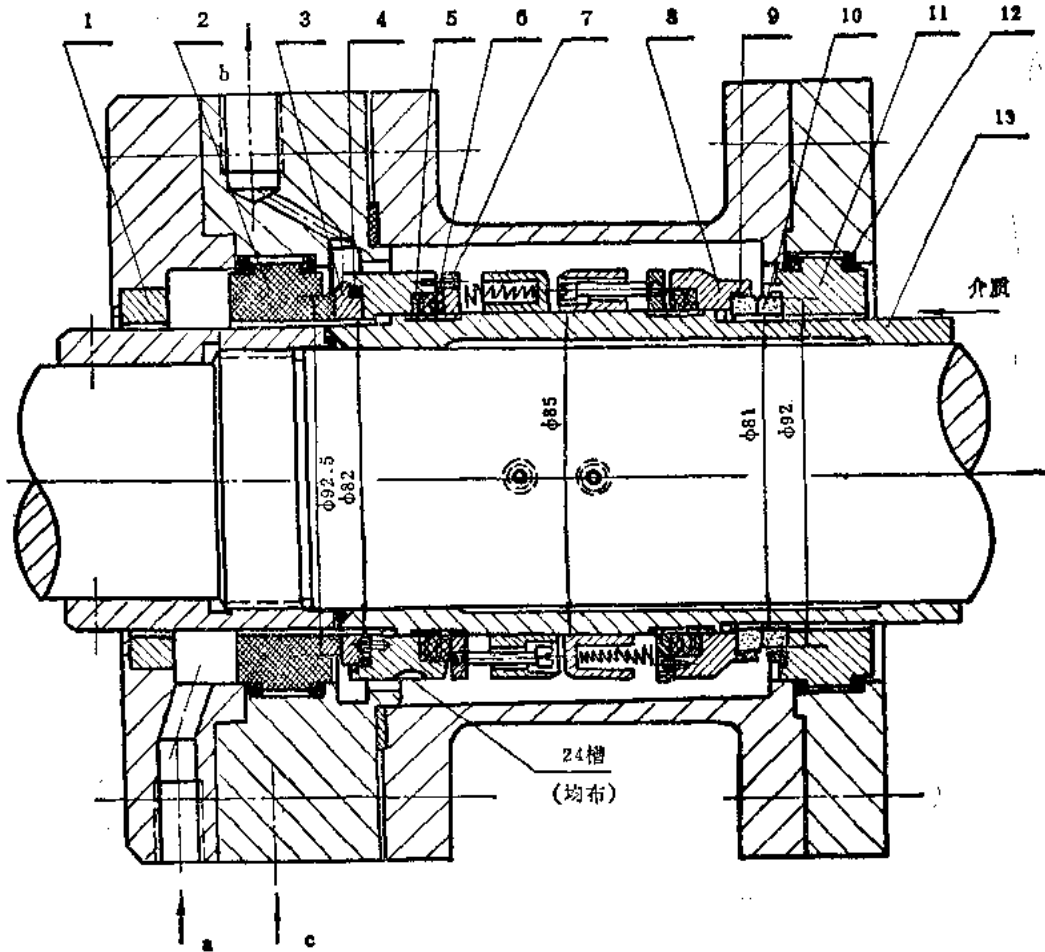


图15—5 双端面泵用机械密封装置

- 1—节流环；2—静环；3—动环；4—O形圈；5—V形圈；6—撑环；7—推环；
8—动环座；9—动环；10—静环；11—静环座；12—O形圈；13—轴套

为了使摩擦副有更好的浮动性，两个静环2和11各采用两个O形圈支承，大气端的硬动环3也支承在O形圈上。由于振动，V形圈5会磨损轴套13，故在轴套相应的配合位置上喷涂陶瓷或硬铬。此外，还在大气端自 *a* 进入冷却水加强冷却。

六、单端面火箭发动机用机械密封装置

图15—6所示，火箭发动机氧化剂供给泵的泵轴1左侧为介质腔，右侧为高温涡

轮，采用耐高温的波纹管机械密封装置，以防止左侧的氧化剂漏向右侧。波纹管7的两端用夹紧环5和8夹压固定，采用静止弹簧式以适应高转速的需要。静环3材料是石墨，动环2是耐磨合金。

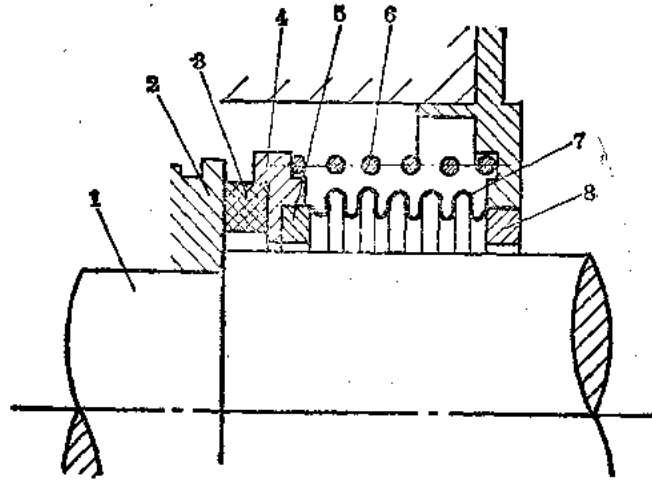


图15—6 单端面火箭发动机用机械密封装置

- 1—泵轴；2—动环；3—静环；4—推环；5—夹紧环；6—弹簧；
7—波纹管；8—夹紧环

轴向的波纹管可以变态为径向波纹板（图15—7）。径向波纹板1，既作为弹簧使用，又用作密封腔的一个壁面。这样密封装置更紧凑。这种设置一般用于小型的、要求不高的地方。

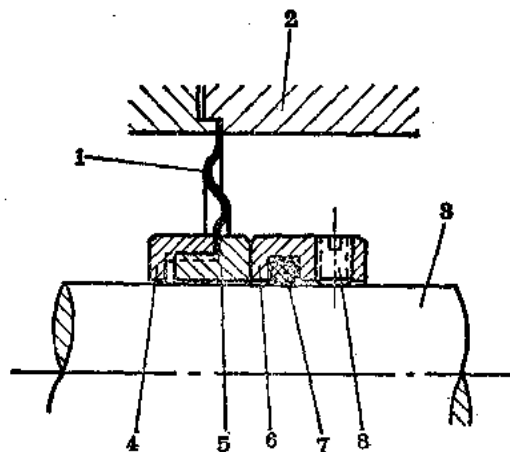


图15—7 波纹板小型机械密封装置

- 1—波纹板；2—壳体；3—轴；4—螺母；5—静环；
6—动环；7—密封圈；8—固定螺钉

七、双端面喷气发动机用机械密封装置

图15—8 所示机械密封装置，用于喷气发动机，使燃油从静止的壳体1输入高速旋

转（33500转/分）的转子7的轴内。由于高速，故采用静止弹簧式。第一道密封由圆柱弹簧8推静环9，使与动环10紧密贴合；第二道密封由波形弹簧3推静环5，使与转子7的摩擦端面贴合，转子7的摩擦端面堆焊耐磨合金6。波纹弹簧3的弹力用改变调整垫片2的厚度来调节。

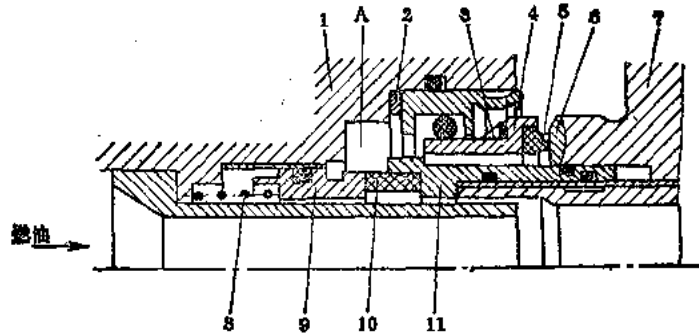


图15—8 双端面喷气发动机用机械密封装置

- 1——壳体；2——调整垫片；3——波形弹簧；4——推环；5——静环；6——耐磨合金；
7——转子；8——圆柱弹簧；9——静环；10——动环；11——衬套

图15—8所示的双端面密封装置与一般双端面密封装置不同，一般在两个密封端面之间充以封液起“堵封”作用。但图15—8在两个密封端面之间的A腔却与外界大气相通，当燃油通过摩擦副10漏到A腔，或发动机内的滑油通过摩擦副5漏到A腔时，A腔就把这些外漏的余油排出机外，以免燃油与滑油互相渗混。

八、多端面机械密封装置

将两个或两个以上的单端面或双端面密封装置串联在一起，成为多端面密封装置。

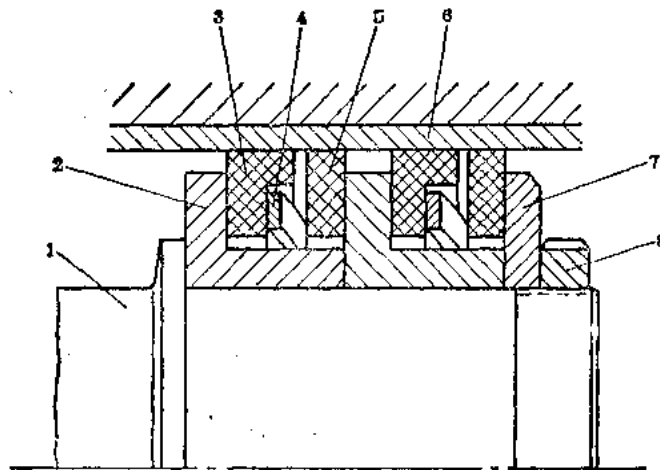


图15—9 四端面机械密封装置

- 1——轴；2——动环；3——静环；4——波形弹簧；5——静环；
6——壳体衬套；7——摩擦片；8——螺母

一般采用双端面密封装置内充封液就可以满足密封要求了，多端面机械密封装置结构复杂，故极少应用。下面仅介绍一些特殊结构的多端面密封装置。

图15—9为四端面机械密封装置，用以防止高温、高压的压缩空气漏入轴承腔，并防止轴承腔的润滑油漏入压缩空气腔。静环3和静环4加工成涨圈型，装入壳体衬套6后，涨圈仅有0.1毫米的切口间隙，涨圈靠自身的弹力与衬套6紧配合，故不随轴1转动，借波形弹簧4，使静环3和静环5与两个动环2端面接触，动环2与摩擦片7的摩擦表面镀铬。

图15—10是另一种型式的多端面机械密封装置，用以从固定不动的导管6引滑油到转轴1内。四个动环3和四个静环4都是带切口的涨圈，动环3的弹力向外与衬套2紧配合，随轴1转动；静环4的弹力向内与固定导管6紧配合，静止不动。

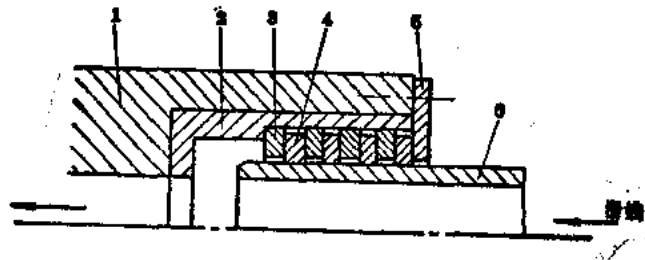


图15—10 多端面机械密封装置

1—轴；2—衬套；3—动环；4—静环；5—摩擦片；6—固定导管

九、机械密封装置与离心密封装置的组合

图15—11，所示为高速轴承的机械密封装置用以防止轴承1左边的润滑油漏到右边：第一道采用离心密封装置，即借助于甩油盘2的离心力将大部分滑油甩开，使滑油从下

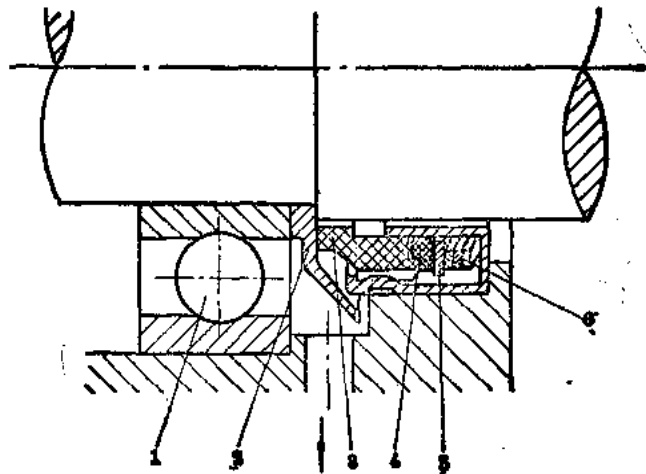


图15—11 高速轴承的机械密封装置

1—轴承；2—甩油盘；3—静环；4—密封圈；5—垫圈；6—波形弹簧

方的回油孔回油，第二道采用机械密封装置，由3个波形弹簧6，迫使石墨制成的静环3与甩油盘2紧密贴合。甩油盘2同时兼作动环；由于转速很高，故采用静止弹簧结构，旋转部分只有一个形状简单的甩油盘2。

图15—12是一种内燃机水泵轴承的机械密封装置，用以防止轴承1右边水泵工作腔的水漏入左边的轴承腔。第一道采用机械密封装置，由水泵叶轮轴5末端的4个爪带动动环3，动环3用夹布胶板制成。如果水已通过摩擦副漏出，则还有甩水盘2遮挡，迫使水经由下方的漏水孔漏出，以免水进入轴承腔。

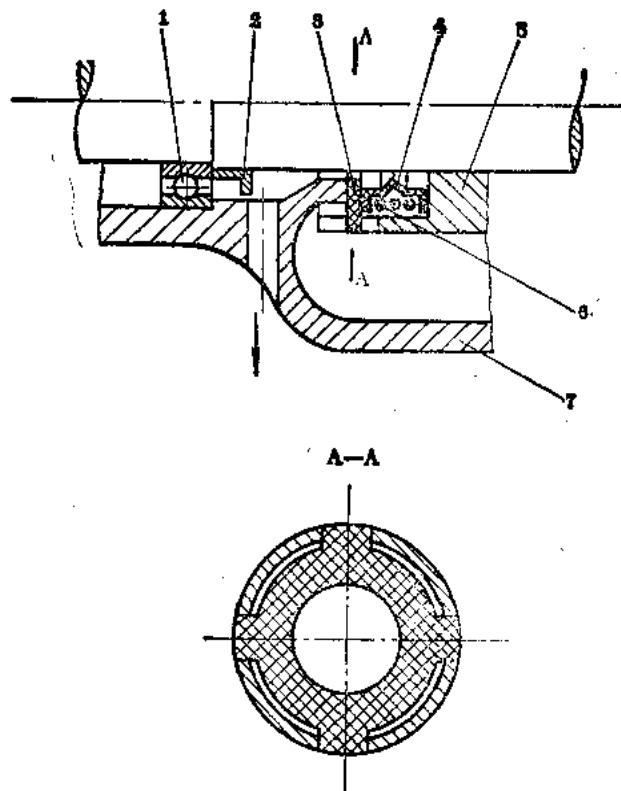


图15—12 水泵轴承的机械密封装置

1——轴承；2——甩水盘；3——动环；4——橡胶套；5——叶轮轴；6——弹簧；7——水泵壳体

第五节 机械密封装置标准化

一、泵用机械密封装置标准

机械工业部1975年颁布的部标准JB1472—75《泵用机械密封标准》，共有7种型式（代号为103、104、105、109、110、111、114）计139个规格，适用公称压力最大到30公斤力/厘米²，轴径从16到120毫米中分为23种标准直径，适用温度范围-45~200℃，转速不大于3000转/分（表15—7至表15—17）。

表15-7 泵用机械密封装置及其使用范围

型式	内装单端面单 弹簧非平衡型	内装单端面单 弹簧非平衡型	内装单端面多 弹簧非平衡型	内装单端面单 弹簧平衡型	内装单端面单 弹簧平衡型	内装单端面多 弹簧平衡型	外装单端面单弹 簧外流平衡型
代号	103	104	105	109	110	111	114
图形	(表15-11)	(表15-12)	(表15-13)	(表15-14)	(表15-15)	(表15-16)	(表15-17)
压力 Kgfl cm ²	介质粘 度大, 润滑性 好	0~8	0~8	0~8	8~30	8~30	8~30
	介质粘 度小, 润滑性 差	0~5	0~5	0~5	5~30	5~30	5~30
温度℃	-45~+200						0~+80
转速r·p·m	≤300						
介质	汽油、煤油、柴油、蜡油、原油、重油、润滑油、 丙酮、苯、酚、吡啶、醚、稀硝酸、浓硫酸、醋酸、 尿素、碱液、海水等				汽油、煤油、柴油、 原油、重油、润滑油、 丙酮、苯、酚、吡啶、 醚、稀硝酸、浓硫酸、醋 酸、尿素、碱液、海水等		腐蚀性介 质, 如: 浓硫 酸、稀硫酸、 40%以下的硝 酸、磷酸、30% 以下的盐酸、 碱等

表15-8 动环、静环的材料、结构和代号

材 料	结 构	动环代号	静环代号
氧化铝陶瓷	整 体	L	L
氧化铝陶瓷	聚四氟乙烯L垫	L ₁	
氧化铝陶瓷	粘 结	L ₂	
金属陶瓷	整 体	J	J
金属陶瓷	聚四氟乙烯L垫	J ₁	
金属陶瓷	粘 结	J ₂	
1Cr13堆焊TDCr-1 (52) 合金		D ₁	
填充聚四氟乙烯		F ₁	F ₁
钴钨硬质合金 (YG6, YG8, YG15)		W	W
浸渍酚醛石墨		M ₁	M ₁
浸渍呋喃石墨		M ₂	M ₂
浸渍环氧石墨		M ₃	M ₃
浸渍铜石墨			M ₄
浸渍巴氏合金 (CHSnSb11-6) 石墨			M ₅
硅铁			G
锡磷青铜 (ZQSn10-1)			T ₁
锡锌青铜 (ZQSn6-6-3)			T ₂

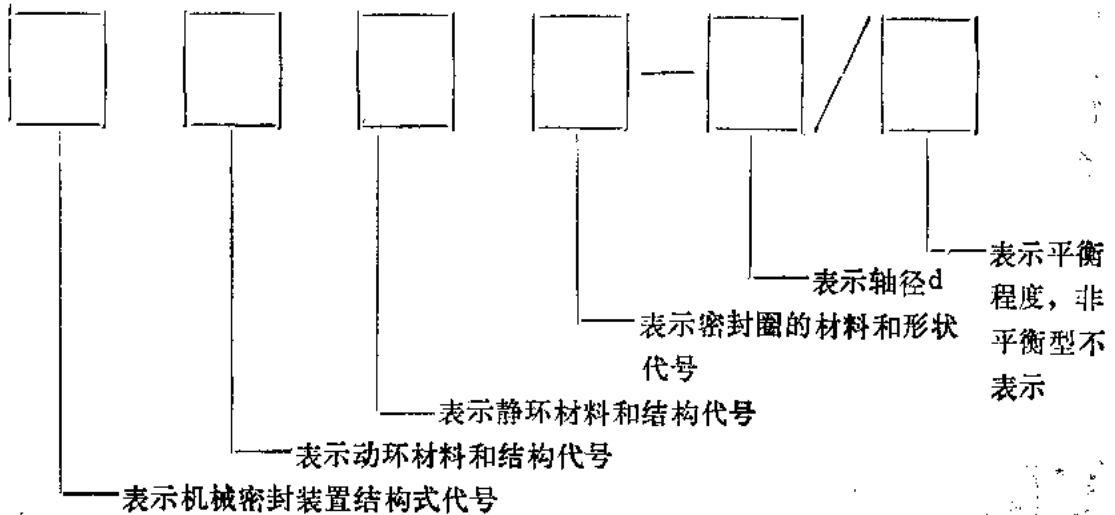
表15—9 密封圈的材料、形状和代号

材 料	形 状	代 号
丁腈-40橡胶	O 形	1
	方 形	2
氟橡胶 (F-28)	O 形	3
	方 形	4
聚四氟乙烯	V 形	5

表15—10 平衡程度的代号

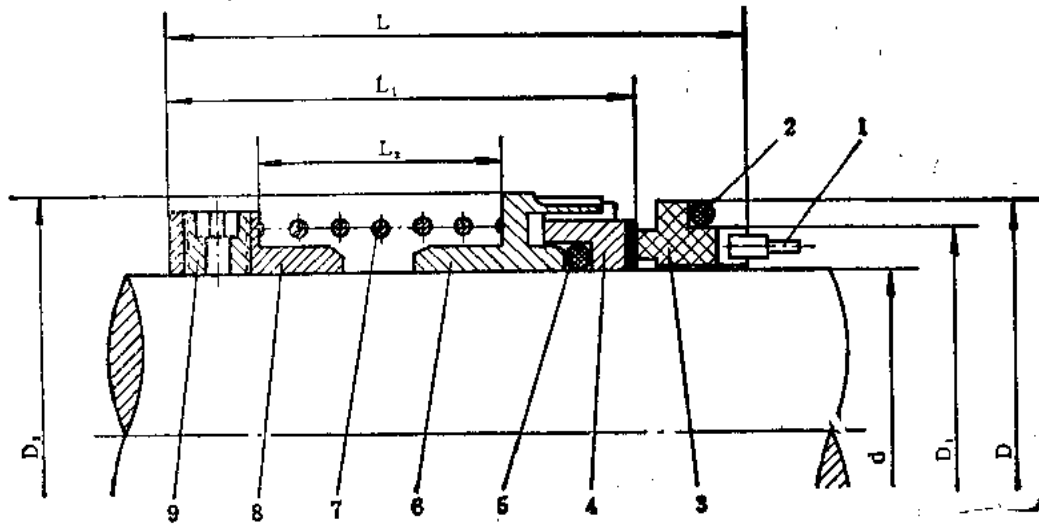
平衡程度 $\beta\%$	15	20	25	30	40
代 号	15	20	25	30	40

泵用机械密封装置标准的型号表示方法:



例：“111L₁M₁5-50/20”表示内装单端面多弹簧平衡型机械密封装置(代号111), 动环为氧化铝陶瓷带聚四氟乙烯L₁垫结构(代号L₁), 静环为浸渍呋喃石墨(代号M₁), 密封圈为聚四氟乙烯V形圈(代号5), 轴或轴套外径50毫米(代号50), 平衡程度 $\beta = 20\%$ (代号20)。

表15-11 103型机械密封装置尺寸系列

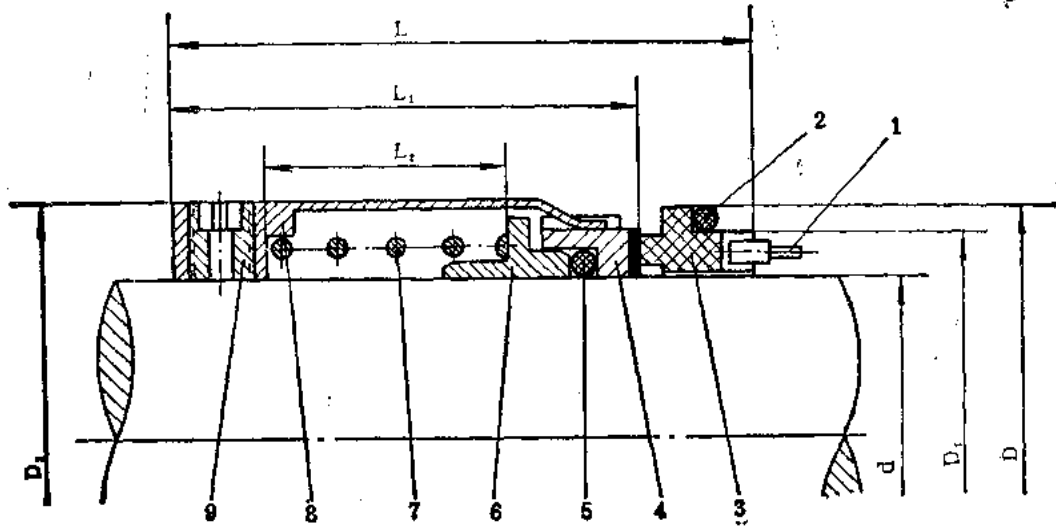


- 1—防转销；2—密封圈；3—静环；4—动环；5—密封圈；6—推环；
7—弹簧；8—弹簧座；9—紧定螺钉

mm

d	D_2	D_1	D	L	L_1	L_2	d	D_2	D_1	D	L	L_1	L_2
16	33	25	33	56	40	12	60	82	70	80	98	77	42
13	35	28	36		44	16	65	92	80	90	111	89	50
20	37	30	40	63	44	16	70	97	85	97	116	91	52
22	39	32	42	67	48	20	75	102	90	102	116	91	52
25	42	35	45	67	48	20	80	107	95	107	123	98	59
28	45	38	48	69	50	22	85	112	100	112	125	100	59
30	52	40	50	75	58	22	90	117	105	117	126	101	60
35	57	45	55	79	60	28	95	122	110	122	128	101	60
40	62	50	60	83	64	30	100	127	115	127	126	101	60
45	67	55	65	90	71	36	110	141	130	142	153	126	80
50	72	60	70	94	75	40	120	151	140	152	153	126	80
55	77	65	75	96	77	42							

表15-12 104型机械密封装置尺寸系列

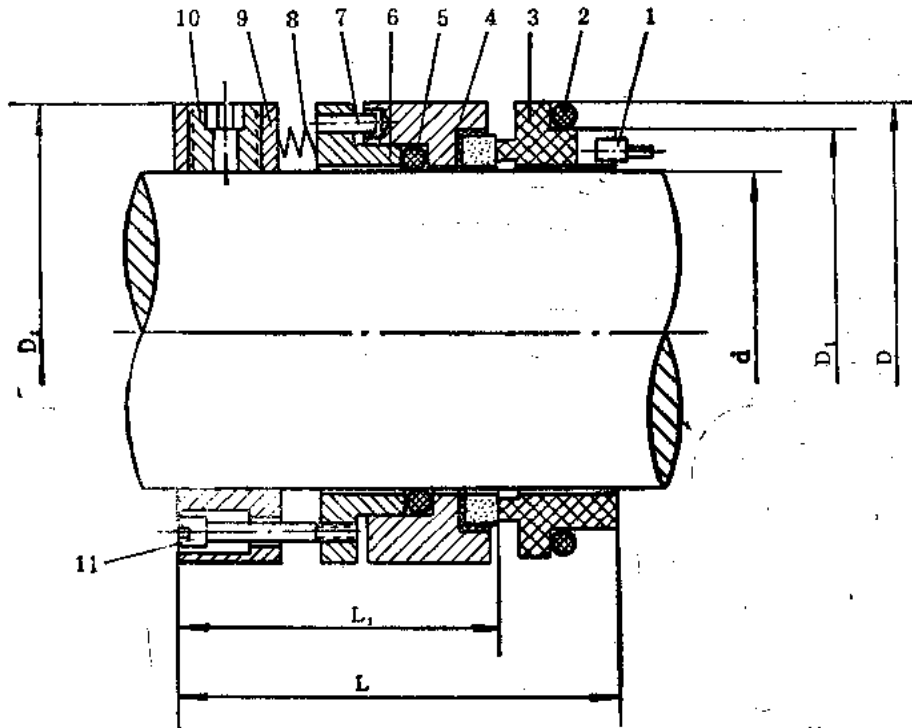


1——防转销；2——密封圈；3——静环；4——动环；5——密封圈；6——推环；
7——弹簧；8——弹簧座；9——紧定螺钉

mm

d	D ₂	D ₁	D	L	L ₁	L ₂	d	D ₂	D ₁	D	L	L ₁	L ₂
16	33	25	33	53	37	8	60	82	70	80	84	65	30
18	35	28	36	56	40	11	65	92	75	90	96	74	35
20	37	30	40	59	40	11	70	97	85	97	101	76	37
22	39	32	42	62	43	14	75	102	90	102	101	76	37
25	42	35	45	62	43	14	80	107	95	107	106	81	42
28	45	38	48	63	44	15	85	112	100	112	107	82	42
30	52	40	50	68	49	15	90	117	105	117	108	83	43
35	57	45	55	70	51	17	95	122	110	122	108	83	43
40	62	50	60	73	54	20	100	127	115	127	108	83	43
45	67	55	65	79	60	25	110	141	130	142	132	105	60
50	72	60	70	82	63	28	120	151	140	152	132	105	60
55	77	65	75	84	65	30							

表15-13 105型机械密封装置尺寸系列

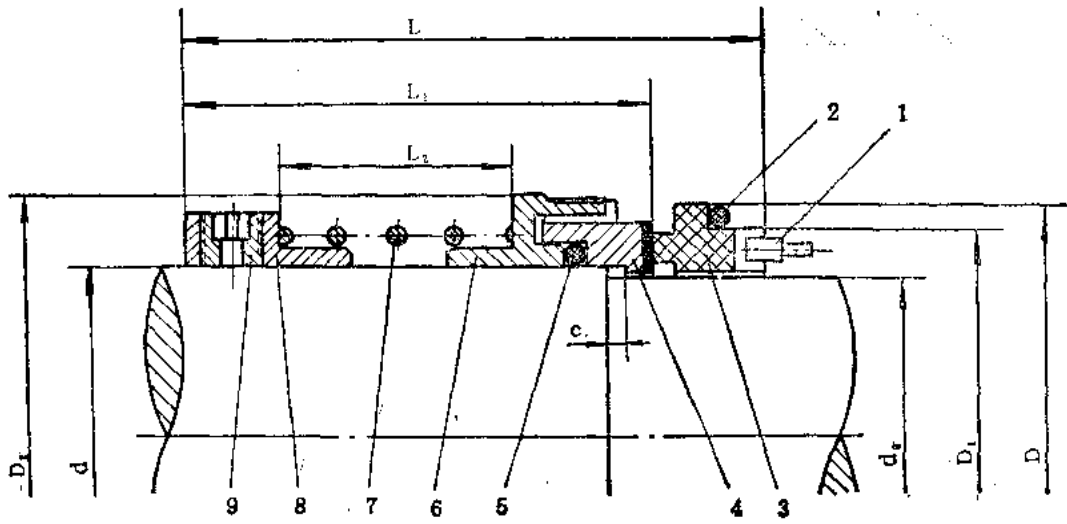


- 1—防转销；2—密封圈；3—静环；4—动环；5—密封圈；6—推环；
7—传动销；8—弹簧；9—弹簧座；10—紧定螺钉；11—传动螺钉

mm

d	D_2	D_1	D	L	L_1	d	D_2	D_1	D	L	L_1
16	—	—	—	—	—	60	82	70	80	58	39
18	—	—	—	—	—	65	91	80	90	66	44
20	—	—	—	—	—	70	96	85	97	69	44
22	—	—	—	—	—	75	101	90	102	69	44
25	—	—	—	—	—	80	106	95	107	69	44
28	—	—	—	—	—	85	111	100	112	71	46
30	—	—	—	—	—	90	116	105	117	71	46
35	57	45	55	57	38	95	121	110	122	71	46
40	62	50	60	57	38	100	126	115	127	71	46
45	67	55	65	58	39	110	140	130	142	78	51
50	72	60	70	58	39	120	150	140	152	78	51
55	77	65	75	58	39						

表15-14 109型机械密封装置尺寸系列

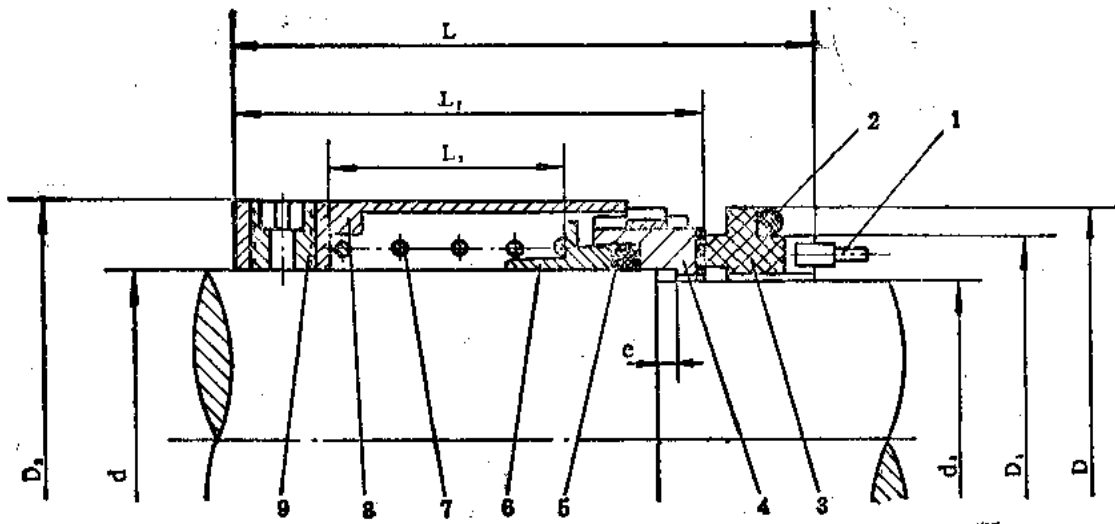


- 1 — 防转销; 2 — 密封圈; 3 — 静环; 4 — 动环; 5 — 密封圈; 6 — 推环;
7 — 弹簧; 8 — 弹簧座; 9 — 紧定螺钉

mm

d	d_0	D_2	D_1	D	L	L_1	L_2	e	d	d_0	D_2	D_1	D	L	L_1	L_2	e
16	11	33	25	33	64	48	12	2	60	52	82	70	80	106	87	42	3
18	13	35	28	36	68	52	16	2	65	58	92	80	90	118	96	50	3
20	15	37	30	40	71	52	16	2	70	62	97	85	97	126	101	62	3
22	17	39	32	42	75	56	20	2	75	66	102	90	102	126	101	52	3
25	20	42	35	45	75	56	20	2	80	72	107	95	107	133	108	59	3
28	22	45	38	48	77	58	22	3	85	76	112	100	112	135	110	59	3
30	25	52	40	50	84	65	22	3	90	82	117	105	117	136	111	60	3
35	28	57	45	55	89	70	26	3	95	85	122	110	122	136	111	60	3
40	34	62	50	60	93	74	30	3	100	90	127	115	127	136	111	60	3
45	38	67	55	65	100	81	36	3	110	100	141	130	142	165	138	80	3
50	44	72	60	70	104	85	40	3	120	110	151	140	152	165	138	80	3
55	48	77	65	75	106	87	42	3									

表15-15 110型机械密封装置尺寸系列

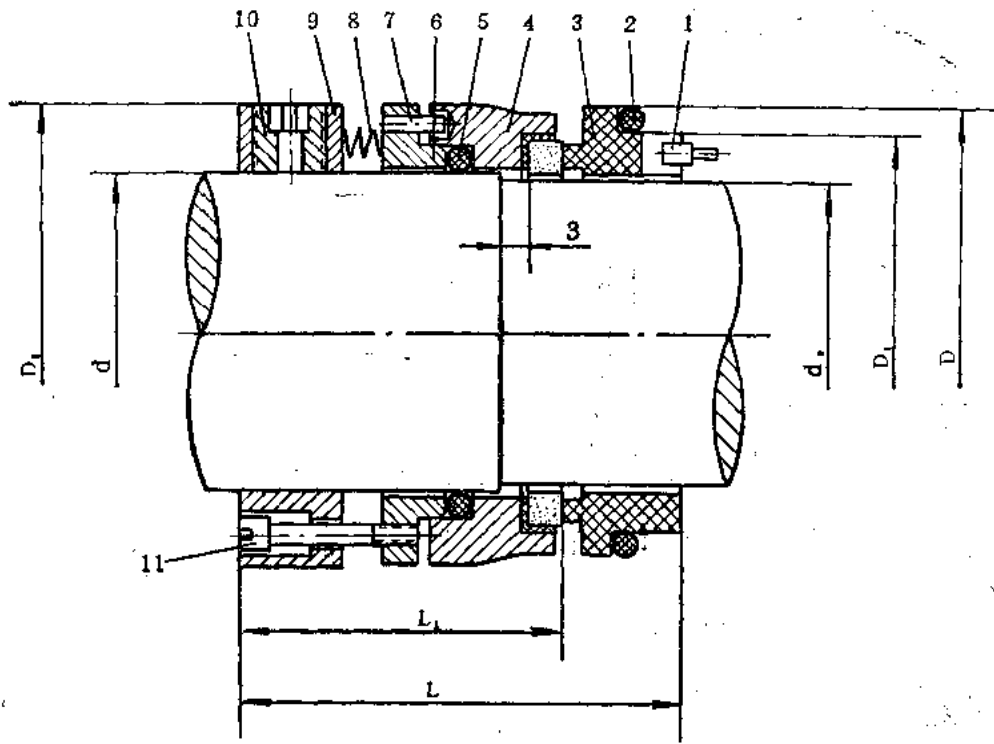


- 1—防转销；2—密封圈；3—静环；4—动环；5—密封圈；6—推环；
7—弹簧；8—弹簧座；9—紧定螺钉

mm

d	d ₀	D ₂	D ₁	D	L	L ₁	L ₂	e	d	d ₀	D ₂	D ₁	D	L	L ₁	L ₂	e
16	11	33	25	33	61	45	8	2	60	52	82	70	80	94	75	30	3
18	13	35	28	36	64	48	11	2	65	58	92	80	90	103	81	35	3
20	15	37	30	40	67	48	11	2	70	62	97	85	97	111	86	37	3
22	17	39	32	42	70	51	14	2	75	66	102	90	102	111	86	37	3
25	20	42	35	45	70	51	14	2	80	72	107	95	101	116	91	42	3
28	22	45	38	48	71	62	15	3	85	76	112	100	112	117	92	42	3
30	25	52	40	50	77	58	15	3	90	82	117	105	117	118	93	43	3
35	28	57	45	55	80	61	17	3	95	85	122	110	122	118	93	43	3
40	34	62	50	60	83	64	20	3	100	90	127	115	127	118	93	43	3
45	38	67	55	65	89	70	25	3	110	100	141	130	142	144	117	60	3
50	44	72	60	70	92	73	28	3	120	110	151	140	152	144	117	60	3
55	48	77	65	75	94	75	30	3									

表15—16 111型机械密封装置尺寸系列

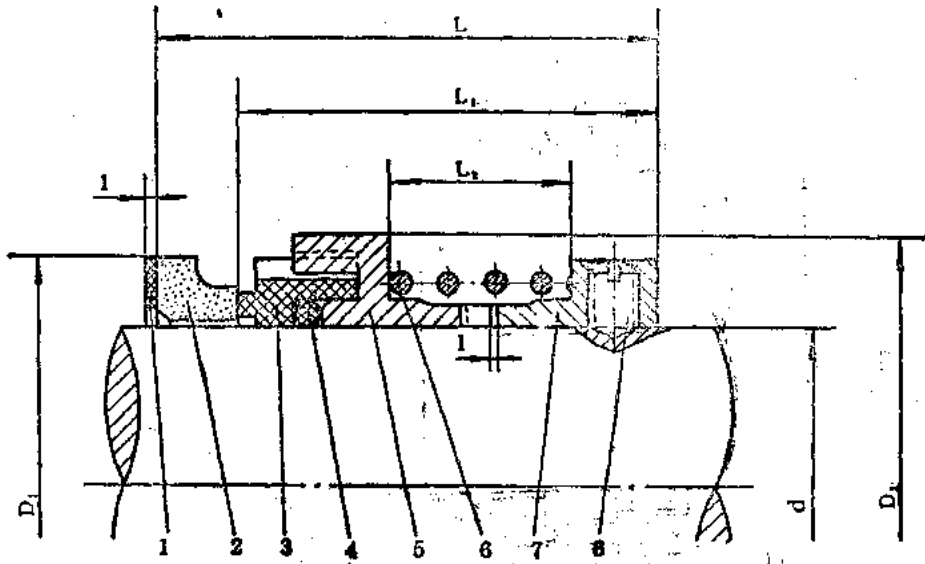


- 1—防转销；2—密封圈；3—静环；4—动环；5—密封圈；6—推环；
7—传动销；8—弹簧；9—弹簧座；10—紧定螺钉；11—传动螺钉

mm

d	d_0	D_2	D_1	D	L	L_1	d	d_0	D_2	D_1	D	L	L_1
35	28	57	45	55	67	48	75	66	101	90	102	79	54
40	34	62	50	60	67	48	80	72	106	95	107	79	54
45	38	67	55	65	68	49	85	76	111	100	112	81	56
50	44	72	60	70	68	49	90	82	116	105	117	81	56
55	48	77	65	75	68	49	95	85	121	110	122	81	56
60	52	82	70	80	68	49	100	90	126	115	127	81	56
65	58	91	80	90	73	51	110	100	140	130	142	90	63
70	62	96	85	97	79	54	120	110	150	140	152	90	63

表15-17 114型机械密封装置尺寸系列



- 1——密封圈；2——静环；3——动环；4——密封唇；5——推环；6——弹簧；
7——弹簧座；8——紧定螺钉

mm

d	D_1	D_2	L	L_1	L_2	d	D_1	D_2	L	L_1	L_2
16	34	40	55	44	11	40	63	74	81	70	30
18	36	42	55	44	11	45	68	79	89	75	34
20	38	44	58	47	14	50	73	84	89	75	34
22	40	46	60	49	16	55	78	89	89	75	34
25	43	49	64	53	20	60	83	94	97	83	42
28	46	52	64	53	20	65	92	103	100	86	42
30	53	64	73	62	22	70	97	110	100	86	42
35	58	69	76	65	25						

二、釜用机械密封装置标准

化工部1978年颁布的部标准HG5-748-78《釜用机械密封标准》，共有6种型式(代号为201、202、203、204、205、206)，计108个规格，适用于公称压力 P_g 为1、2.5、6、10、16公斤力/厘米²及绝对压力 10^{-1} 毫米汞柱的搅拌轴轴封，轴径(毫米)为30、40、50、65、80、95、110、适用温度范围 $-40\sim+250^{\circ}\text{C}$ ，转速不大于500转/分(表15~18至表15~24与表15-1至表15-3)。

表15-18 釜用机械密封装置型式及其使用范围

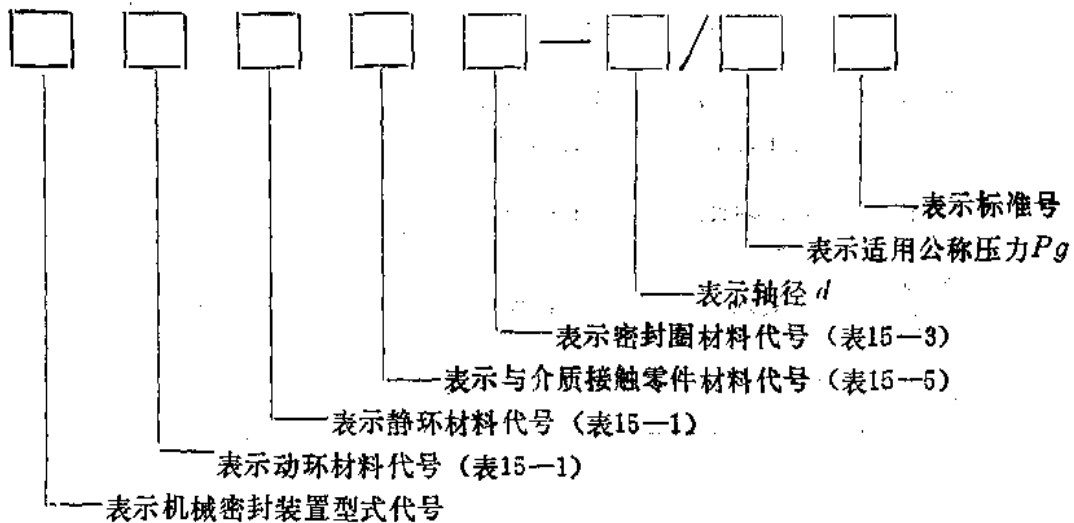
标准号	HG5-751-78	HG5-752-78	HG5-753-78						
型式	单端面大弹簧非平衡型	单端面小弹簧非平衡型	单端面大弹簧平衡型						
代号	201	202	203						
图 形	表15-19	表15-20	表15-21						
		公称压力 P_g Kg/cm ²							
		1	2.5	1	2.5	2.5	6	10	16
适 用 范 围	轴径 mm	30	30	30	30	30	30	30	30
		40	40	40	40	40	40	40	40
		50	50	50	50	50	50	50	50
		65	65	65	65	65	65	65	65
		—	—	80	80	—	—	—	—
		—	—	95	95	—	—	—	—
		—	—	110	110	—	—	—	—
压 力 Kg/cm ²	$\geq 740\text{mmHg}$	$\geq 740\text{mmHg}$	2.5~16						
	1.1~2.5	1.1~2.5							
温 度 $^{\circ}\text{C}$	$-40\sim+250$	$-40\sim+250$	$-40\sim+200$						
转 速 r.p.m	≤ 500	≤ 500	≤ 500						
使 用	一 般 使 用								

(续)

标准号	HG5-754-78				HG5-755-78				HG5-756-78		
型式	单端面小弹簧平衡型				双端面小弹簧非平衡型				双端面小弹簧平衡型		
代号	204				205				206		
图形	表15-22				表15-23				表15-24		
		公称压力 P_g Kgf/cm^2									
		2.5	6	10	16	10^{-1} $mmHg$	2.5	6	6	10	16
适用范围	轴径 mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
		95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
		110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
范围	压力 Kgf/cm^2	2.5~16				$10^{-1}mmHg$ 0~8			6~16		
	温度 $^{\circ}C$	-40~+200				-40~+250					
	转速 $r.p.m$	≤ 500									
	使用	一般使用				对密封要求较高的场合, 如易燃、易爆、强腐蚀、带颗粒、低温等介质以及真空下的反应釜轴封					

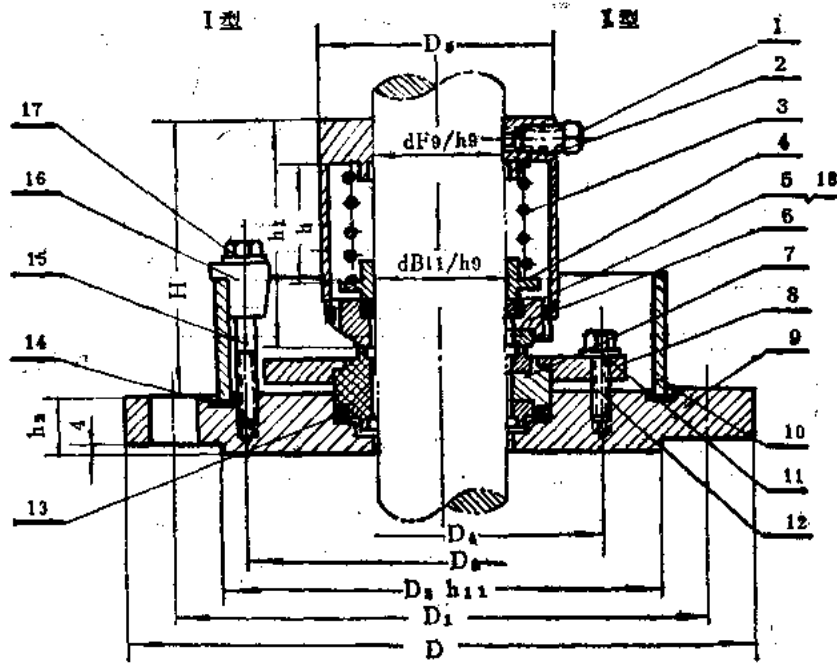
- 注: 1. 压力、温度指密封腔内介质的压力和温度。
2. O形密封圈用于 $\leq 200^{\circ}C$; V形密封圈用于 $\leq 250^{\circ}C$ 。

釜用机械密封装置标准的型号表示方法



例：“201DgMgT₁-40/2.5 HG5-751-78”表示单端面大弹簧非平衡型机械密封装置(代号201),动环材料为不锈钢堆焊硬质合金(代号Dg,表15—1),静环材料为浸渍酚醛石墨(代号Mg,表15—1),与介质接触零件材料为碳钢(代号T,表15—5),密封圈材料为丁腈橡胶(代号1,表15—3),轴径*d*为40毫米(代号40),公称压力*P_g*为2.5公斤力/厘米²(代号2.5),标准号为HG5-751-78。

表15—19 201型机械密封装置尺寸系列(HG5—751—78)

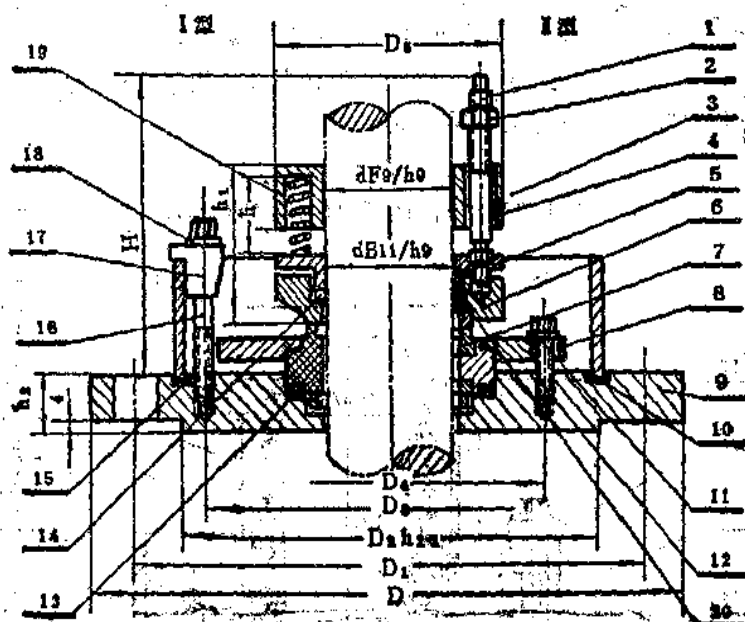


- 1—螺钉; 2—弹簧座; 3—弹簧; 4—推环; 5—密封圈; 6—动环; 7—静环;
 8—静环压盖; 9—釜口法兰; 10—润滑液槽; 11—垫圈; 12—螺栓; 13—静环密封圈;
 14—润滑液槽密封垫; 15—螺栓; 16—角形压板; 17—垫圈; 18—撑环

mm

轴 径	<i>d</i> (h9)	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄	<i>D</i> ₅	<i>D</i> ₆	<i>D</i>	<i>h</i>		<i>h</i> ₁		<i>h</i> ₂	<i>H</i>		重量 ≈ Kg
									<i>P_g</i> 1	<i>P_g</i> 2.5	<i>P_g</i> 1	<i>P_g</i> 2.5		<i>P_g</i> 1	<i>P_g</i> 2.5	
30	30	150	116	101	75	66	185	25.9	28.4	65.9	68.4	20	80.5	83	2.45	
40	40	170	135	119	95	74	205	35.1	33.7	75.0	73.6	20	89.6	88.2	3.07	
50	50	200	164	146	120	87	235	45.3	44.9	85.2	84.8	22	100.4	100.0	4.64	
65	65	200	164	146	120	100	235	53.7	50.1	93.7	90.1	22	108.9	105.3	5.19	

表15-20 202型机械密封装置尺寸系列

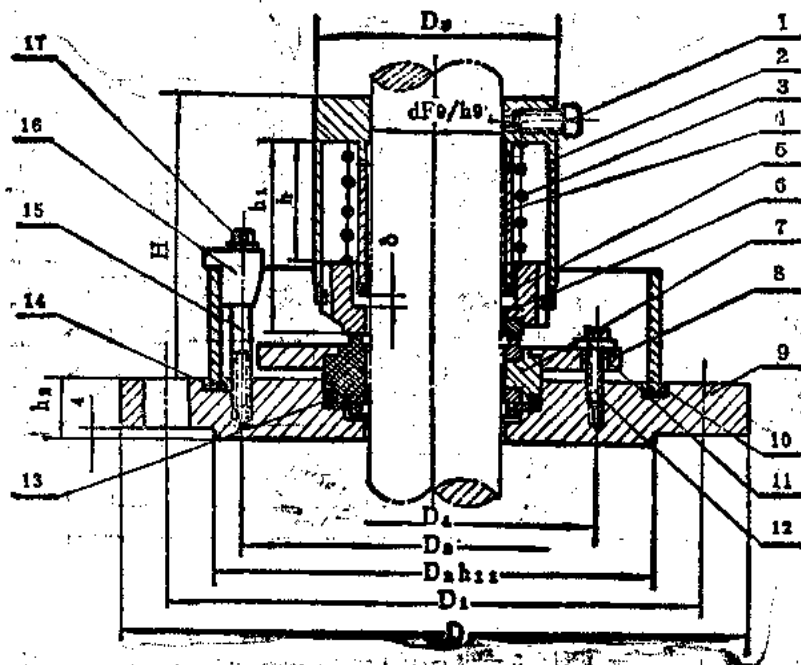


- 1—传动螺钉；2—螺母；3—螺钉；4—弹簧座；5—推环；6—动环；
 7—静环；8—静环压盖；9—釜口法兰；10—润滑油槽；11—垫圈；12—螺栓；
 13—静环密封圈；14—密封圈；15—润滑油槽密封垫；16—螺栓；17—角形压板；
 18—垫圈；19—弹簧；20—掉环

mm

轴径	d (h9)	D ₁	D ₂ (h11)	D ₃	D ₄	D ₅	D	h	h ₁	h ₂	H	重量 ≈Kg
30	30	150	115	101	75	84	125			20		3.16
40	40	170	135	119	95	78	205			20	100	4.07
50	50	200	164	146	120	88	235		62	22		6.33
65	65	200	164	146	120	103	235	30		22		5.83
80	80	225	188	172	140	118	260			22		7.32
95	95	225	220	195	160	135	290		63	24	101	8.98
110	110	280	245	219	180	150	315			24		10.67

表15—21 203型机械密封装置尺寸系列 (HG5—753—78)

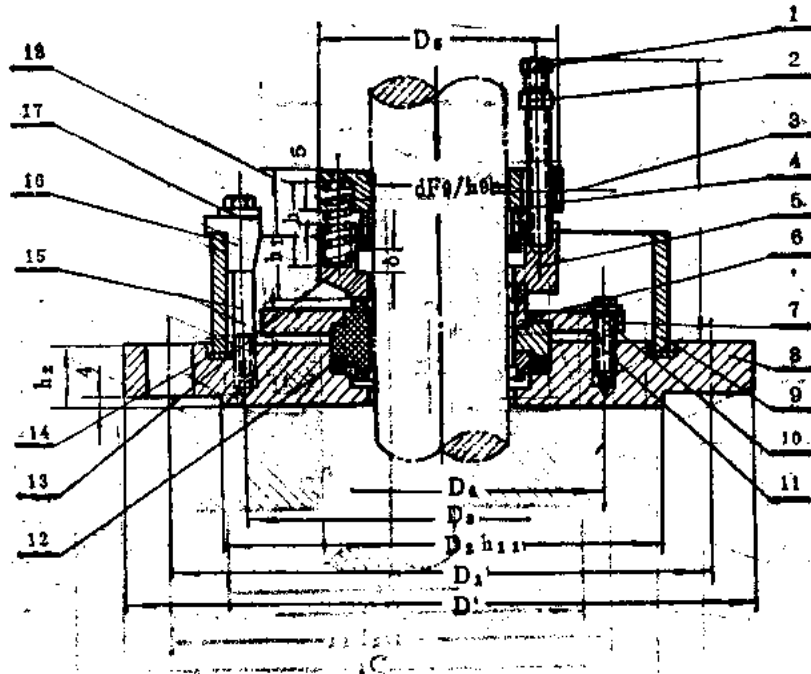


- 1—螺钉；2—弹簧座；3—弹簧；4—推环；5—动环密封圈；6—动环；
 7—静环；8—静环压盖；9—釜口法兰；10—润滑油槽；11—垫圈；12—螺栓；
 13—静环密封圈；14—润滑油槽密封垫；15—螺栓；16—形角压板；17—垫圈

mm

轴径	d (h9)	D_1	D_2 (h11)	D_3	D_4	D_5	D	h	h_1	h_2	H	重量 $\approx Kg$
30	30	150	116	101	76	68	185	25.9	67.9	20	82.9	2.37
40	40	170	135	119	95	74	225	35.1	77.1		92.1	2.82
50	50	200	164	146	120	87	235	45.3	87.3	22	102.3	4.42
65	65	200	164	146	120	100	235	53.7	87.6		112.6	4.87

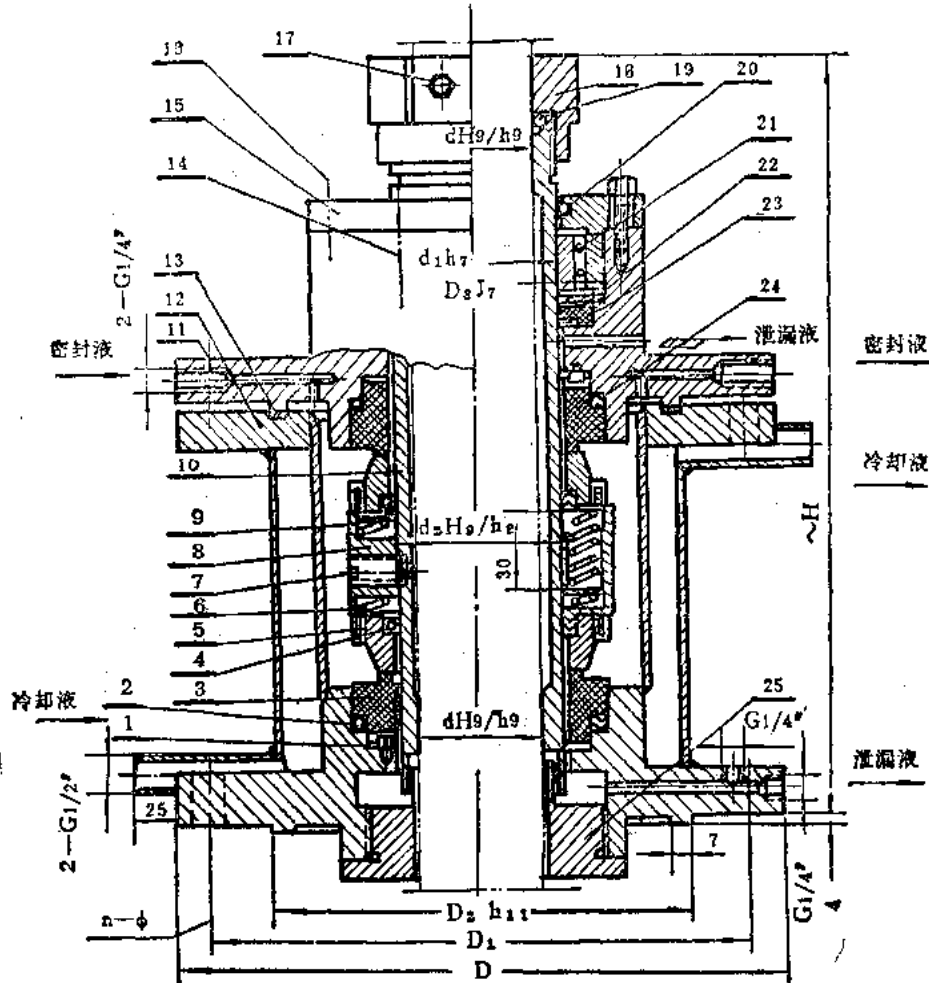
表15-22 204型机械密封装置尺寸系列



- 1—传动螺钉；2—螺母；3—螺钉；4—弹簧座；5—动环；6—静环；
 7—静环压盖；8—釜口法兰；9—润滑油槽；10—垫圈；11—螺栓；12—静环密封圈；
 13—动环密封圈；14—润滑油密封垫；15—螺栓；16—角形压板；17—垫圈；18—弹簧

轴径	mm											重量 ≈Kg
	d (h9)	D_1	D_2 (h11)	D_3	D_4	D_5	D	h	h_1	h_2	H	
30	30	150	116	101	75	64	185			20		2.91
40	40	170	135	119	95	76	225			20		3.73
50	50	200	164	149	120	88	235			22		4.94
65	65	200	164	149	120	103	235	30	47	22	114	5.40
80	80	225	188	172	140	118	260			22		6.80
95	95	225	220	195	160	133	290			24		8.46
110	110	230	245	219	180	150	315			24		10.11

表15-23 205型机械密封装置尺寸系列
I型 I型



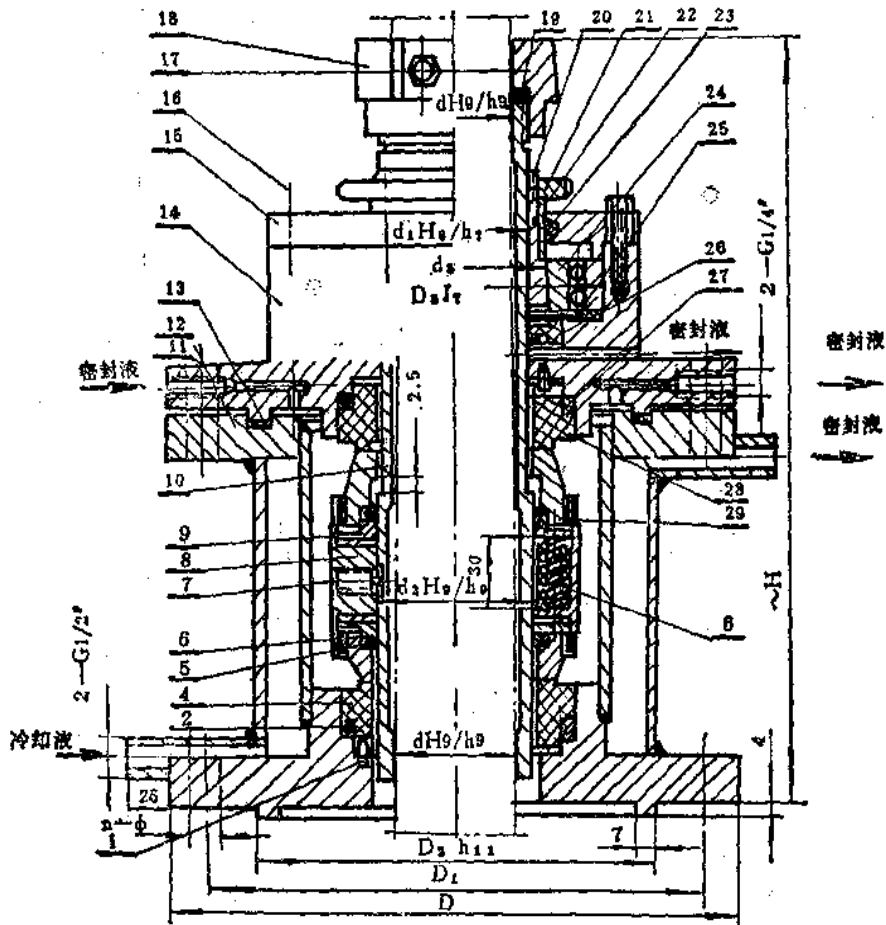
- 1—防转销；2—密封圈；3—静环；4—密封圈；5—动环；6—小弹簧；7—螺钉M8×20；
8—弹簧座；9—推环；10—轴套；11—螺栓；12—密封箱体；13—密封垫；
14—密封箱盖；15—轴承盖；16—螺栓；17—螺钉；18—螺母；19—O形密封圈；
20—毡圈；21—轴承；22—垫板；23—J形油封；24—撑环；25—盛油底盘

17771

轴径	d (h9)	d_1 (h7)	d_2 (h9)	D_1	D_2 (h11)	D_3 (J7)	D	H	$n-\phi$	重量 $\approx Kg$
30	30	45	45	150	116	85	185	295		20.85
40	40	55	55	170	135	100	225	297	4-φ18	28.65
50	50	65	65	200	164	120	235	308	8-φ18	34.49
65	65	80	80	200	164	140	235	311		37.52
80	80	95	95	225	188	170	260	339	12-φ18	52.26
95	95	110	110	255	220	200	290	357		71.81
110	110	130	130	280	245	230	315	360		91.95

表15—24 206型机械密封装置尺寸系列

I型 I型



- 1—防转销; 2—密封圈; 3—下静环; 4—密封圈; 5—下动环; 6—小弹簧;
 7—螺钉M8×20; 8—弹簧座; 9—推环; 10—轴套; 11—螺栓; 12—密封箱体;
 13—密封垫; 14—密封箱盖; 15—轴承盖; 16—螺栓; 17—螺钉; 18—螺母;
 19—O形密封圈; 20—紧定套; 21—紧定螺母; 22—调节套; 23—毡圈;
 24—轴承; 25—垫板; 26—J形油封; 27—撑环; 28—上静环; 29—上动环

mm

轴径	d (h9)	d_1 (h9)	d_2 (h9)	d_3 -0.2 -0.3	D_1	D_2 (h11)	D_3 (J7)	D	H	$n-\phi$	重量 Kg
30	30	40	45	45	150	116	85	185	292	4- ϕ 18	23.00
40	40	50	55	55	170	135	100	205	295		28.11
50	50	60	65	65	200	164	120	235	307	8- ϕ 18	33.05
65	65	75	85	85	200	164	150	235	314		37.18
80	80	90	95	100	225	188	180	260	351	12- ϕ 18	52.34
95	95	115	115	120	255	220	215	290	372		70.00
110	110	125	130	140	280	245	250	315	335		91.23

三、机械密封装置的技术要求

(1) 与密封装置配合部分轴的外径尺寸公差为 $h9$ 、光洁度不低于 $\nabla 6$ 。

(2) 动环及静环的密封表面的不平度允差不大于0.001毫米、表面光洁度不低于 $\nabla 9$ 。

(3) 201、202、203、204型机械密封装置作气密性试验，其压力按公称压力，要求不产生连续小气泡为合格；205、206型机械密封装置作水压试验，压力为公称压力的1.5倍，但不小于3公斤力/厘米²，泄漏量不大于10毫升/时。205和206型还规定密封液压力应大于釜内压力0.5~1.0公斤力/厘米²。

(4) 密封使用寿命半年以上。

1. 项目背景与意义

随着全球经济的快速发展和技术的不断进步，企业面临着日益激烈的市场竞争和不断变化的客户需求。为了在竞争中脱颖而出，企业需要不断创新，提升产品和服务的质量。本项目旨在通过引入先进的管理理念和先进的技术手段，优化企业的运营流程，提高生产效率和产品质量，从而增强企业的核心竞争力。

2. 项目目标与范围

本项目的总体目标是实现企业运营效率的提升和产品质量的优化。具体目标包括：缩短生产周期、降低生产成本、提高客户满意度、提升员工工作效率等。项目范围涵盖了企业的生产、销售、物流和售后服务等各个环节。

3. 项目组织与分工

项目组织由项目经理、项目助理、各部门负责人和项目实施人员组成。项目经理负责项目的整体协调和进度控制；项目助理负责项目的日常管理和沟通；各部门负责人负责本部门的工作落实；项目实施人员负责具体的项目实施工作。

4. 项目进度与里程碑

项目进度计划如下：

- 项目启动：2023年10月1日 - 2023年10月15日
- 需求分析：2023年10月16日 - 2023年11月15日
- 方案设计：2023年11月16日 - 2024年1月15日
- 实施部署：2024年1月16日 - 2024年3月15日
- 验收评估：2024年3月16日 - 2024年4月15日

5. 项目风险与应对措施

项目风险包括：技术风险、管理风险、资源风险和沟通风险。应对措施包括：加强技术攻关、完善管理制度、合理配置资源、加强沟通协作等。

第五篇

新型液体密封

2023年12月

2023年12月

第十六章 高分子液体密封胶密封

第一节 高分子液体密封胶密封的基础理论

一、高分子液体密封胶的由来

各种机械设备、容器、飞机、船舶、车辆、管道和建筑物等，它们都是由许多零部件组合装配而成的。装配时在它们的接合面处，均要求有良好的密封性能，以防止气体或液体的泄出和其它颗粒等侵入，保证机器的正常运行。在静止部位（如法兰）的密封中，人们最早使用的是橡胶密封垫、石棉垫、铜垫、铝垫、纸垫等，它们统称为固体密封垫圈。固体垫圈的密封作用，主要是靠设备接合面的紧固压力和固体垫圈的弹性作用。但是它们在使用过程中，由于固体垫圈材料的弹性破坏和疲劳破坏，常常造成设备的泄漏。为达到令人满意的密封效果，人们在实践中研制出高分子液体密封胶来代替固体垫圈。

1964年，日本三键公司研究出来的高分子液体密封胶，首先被日本的JIS工业标准所承认。1972年，日本三键公司的高分子液体密封胶已发展到二十多个品种，年产量达1500多吨。它的主要品种有3B2号（非干性粘型）、3B4号（非干性粘弹性）、3B5号（干性可剥型）、3B7号（非干性粘型）等。

表16—1与表16—2所列为日本三键公司生产的高分子液体密封胶与厌氧胶的性能和应用，供参考。

美国生产的高分子液体密封胶，按其应用的范围不同，可分为四类：

(1) 耐燃料油类密封胶 主要是 *Permatex* 公司的产品，主要品种有1号A型垫片 (*Form-A-Gasket No1*)，2号A型垫片 (*Form-A-Gasket No2*)，垫片胶 (*Gasket Cement*)，高粘性密封胶 (*High-Tack*)，51号管接头密封胶 (*Pipe Joint Compound No51*)，高级A型垫片300 (*Supor 300 Form-A-Gasket*)，N型密封粘接剂 (*Stick-N-Seal*)。

(2) 耐热性密封胶 这种胶是美国 *Copal tite* 公司生产的，既能适用于温度510℃，压力84kgf/cm²的过热蒸汽，还能在-190~+820℃的温度范围内，用于汽轮机高压泵等要求苛刻的地方。

(3) 液压系统密封胶 主要是美国的起重机 (*Crane*) 填料公司的产品，商标为 *Johon*，主要产品为塑料铅封 (*Plastic Lead Seal* 简称 *PLS*，如 *PLS1*号，*PLS2*号)、*PLS4*号及雷德垫片 (*Rad Plate*) 等。

(4) 气压系统密封胶 主要品种有1号密封胶 (*Tite Seal No1*)，4号密封胶，太特轻质密封胶 (*Tite Seal Light Weight*) 和太特重质密封胶 (*Tite Seal Heavy height*) 等。

表16-1-1 日本三健（スリーボンド）公司高分子液体密封胶

项 目	有 溶 剂 型			无 溶 剂 型			水 溶 型			无 溶 剂 型 (硅 酮 类)			
	1102	1103	1104	1105	1107	1101	1121	乙 烯 系 树 脂	水 性 丙 烯 系 树 脂	丙 烯 系 树 脂	硅 酮	硅 酮	硅 酮
主要成份	改性醇酸系树脂	纤维素酯系树脂	合成橡胶	合成橡胶	合成树脂 油金属胶体	脂肪醇改性 醇酸系树脂	改性醇 系树脂	乙 烯 系 树 脂	水性丙 烯系树脂	丙 烯 系 树 脂	硅 酮	硅 酮	硅 酮
颜色	黄色	黑色	灰色	黑色或银色	黑色	褐色	灰色	淡黄色	灰色	淡黄色	白色	白色	灰色
粘度C.P., 25°C	6900	3300	9530	350	4000	1000000	500000	9000	15000	50000	油灰状	油灰状	7000
比重25°C	1.33	0.87	1.56	0.92	3.00	1.42	1.45	1.22	1.28	1.07	1.01	1.05	1.09
不挥发份%	79	24	56	26	94	无溶剂	无溶剂	49	70	无溶剂	无溶剂	无溶剂	无溶剂
干燥后的状态	非干性	干性可剥型	半干性	干性可剥型	非干性	非干性	非干性	干性	干性	硬化	半干性	半干性	半干性
有橡胶弹性	非干性	干性可剥型	半干性	干性可剥型	非干性	非干性	非干性	无	无	无	有	有	有
耐压性	25°C, Kg/cm ² 75	80	85	85	80	70	90	90	95	120	120	95	100
	80°C, Kg/cm ² 60	20	65	65	65	35	70	75	80	100	120	95	100
	150°C, Kg/cm ² 75	5	55	55	55	5	63	25	70	95	120	95	100
耐汽热性 Kg/cm ²	5	5	5	5	5	5	70	50	70	100	120	95	100
耐水性 95°C	5	5	5	5	5	5	4	1	5	5	5	5	5
耐油性 50°C	5	1	5	4	1	1	4	5	5	5	3	1	3
耐粘性 100°C	5	5	5	4	1	2	5	5	5	5	5	5	5
10%苛性钠水溶液	5	4	5	5	2	2	1	1	2	5	5	5	5
10%硫酸水溶液	5	3	5	5	2	3	1	5	2	5	5	5	5

(续)

	3	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	5	5	
堆起性	3	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	5	5	
拆卸难易性	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	
粘接性	有	无	无	无	无	有	无	有	有	无	无	无	无	无	
使用温度范围℃	-40~150	-40~150	-40~110	-40~150	-40~400	-40~80	-40~130	-40~140	-40~150	-60~250	-60~250	-60~250	-60~250	-60~250	
稀释溶剂	2081溶剂	2081溶剂	2082溶剂	2081溶剂	2083溶剂	—	—	水	—	—	—	—	—	—	
包装	200g筒 1Kg缶	200g筒 1Kg缶	150g筒 1Kg缶	200g筒 1Kg缶	1Kg缶	200g筒 1Kg缶	220g筒 1Kg缶	1Kg缶	1Kg缶	100g筒	100g筒	100g筒	350g带 喷雾器	250g筒	
主要特点	广泛用于运输设备上, 粘接高、长久不干燥	广泛用于运输设备上, 对液化气、制冷剂有优良性质	适用于密封器及较小的接合面, 干燥后形成可剥性膜	干燥后可形成弹性膜, 对剧烈的振动有耐性	尤其对受热部位的密封及防止烧伤腐蚀面使用, 效果	尤其对海水有优良介质的耐蚀性, 塑料、橡胶	不腐蚀塑料、橡胶, 对螺旋部位密封能发挥作用	对有机溶剂有良好的耐蚀性, 无着火性, 保管、不腐蚀橡胶、塑料	无着火点, 易保管, 不腐蚀橡胶、塑料	与空气隔离, 便于硬化、适用于螺纹部位的密封	有流动性、作业性好	没有流动性, 堆积性特别优秀	在硅酮系密封胶中硬化速度最快	在硅酮系密封胶中硬化速度最快	在硅酮系密封胶中硬化速度最快

注: 表中5——极其优秀; 4——优秀; 3——一般; 2——根据部位可以使用; 1——不适用。

表16-2 日本三健公司厌氧性密封粘合剂

品 种	颜 色	粘度 cps± 20%	① 扭矩Kgf/cm		② 剪切强度 (铁-铁) Kgf/ cm ²	固化时间h		最适宜 间 隙 mm	最大间 隙 mm	适用温 度 ℃	特点与应用
			破坏	牵出		达到固 定强度	达到最 终强度				
1303	绿	150	300~ 350	250~ 350	250~ 350	0.5~2	24	0.005 ~0.01	0.15	-80 ~150	粘接力强， 硬化快；适用 于配合部分的 固定，螺纹部 分的固定强度 高
1305	绿	600	300~ 350	250~ 350	250~ 350	0.5~2	24	0.01 ~0.02	0.30	-80 ~150	
1322	红	150	100~ 150	250~ 350	150~ 200	1~2	24	0.005 ~0.01	0.15	-80 ~150	粘 固 力 一 般，对皮肤很 安全。螺纹部 分固定强度和 密封中等，润 滑性良好。适 用于高强度螺 栓连接法兰部 分的密封和间 隙较大的配合 部分的密封
1324	红	600	100~ 150	250~ 350	150~ 200	1~2	24	0.01 ~0.02	0.30	-80 ~150	
1374	红	750	100~ 150	150~ 200	150~ 200	1~2	24	0.01 ~0.02	0.50	-80 ~150	
1327	红	2500	200~ 300	200~ 250	200~ 300	1~2	24	0.02 ~0.05	0.50	-80 ~150	
1342	蓝	150	50~ 70	50~ 70	100~ 160	1~2	24	0.005 ~0.01	0.15	-80 ~150	粘接力低， 适用于可拆卸 螺纹的固定和 密封
1344	蓝	600	50~ 70	50~ 70	100~ 160	1~2	24	0.01 ~0.02	0.30	-80 ~150	

注：①使用M10, JIS2级软钢螺栓。

②材质：铁 (SS-41), 销、套环直径6、接触长度15, 粗糙度6S。

表16-3 所列为美国乐泰 (Loctite) 公司生产的厌氧胶的用途与性能。

海罗马 (Hyromay) 是英国高分子液体密封胶的产品。它是在以高级汽车、喷气发动机等而闻名的Rolls Royce公司的研究和监督下，由Martson Lubricants公司生产的。主要产品为海罗马SQ32-S、海罗马SQ32-H、海罗马SQ32-M、海罗马SQ32-L及海罗马SQ32-R，它们的基料组成基本相同，只是根据使用的部位不同而调制不同的粘度。它们均可在-50~+300℃的温度范围内使用，主要用于飞机发动机各部位上的密封。

Teroson Atomogit 品种是西德Feroson Berg公司生产的高分子液体密封胶产品。Teroson Atomogit的品种有：321-0101, 321-0102, 321-0105, 321-0106和321-0107。这是一种独特的以合成橡胶为主体，干燥后成膜，易于剥下的可剥型密封胶。主要应用于汽车，飞机、船舶和一般机械工业的密封。

表16-3 美国乐泰 (Loctite) 公司厌氧性密封剂

用途	乐泰型号	颜色	模 量 mm	粘 力	平均 粘 度	组 织 (公斤·厘米 ²)	强 度 (公斤力/厘米 ²)	使用 温度 °C	固化速度	有 效 量	底 胶
锁	中强、一般用途	蓝	0.127	69/40	1000	112/—	—55~149	20分/6小时	5分/2小时	T	
	高强、直径时以下螺钉钉	红	0.178	184/295	500	175/—	—55~149	20分/1~2小时	5分/0.5小时	T	
	高强、直径时以上螺钉钉	红	0.254	115/167	6500	236/—	—55~149	30分/6小时	10分/2小时	T	
	低强、小螺钉钉	紫	0.127	46/23	1000	63/—	—55~149	20分/6小时	5分/2小时	T	
	中高强予装紧固件	绿	0.127	69/230	12	123/—	—55~204	10分/1~2小时	—	—	
垫	螺旋密封一般用途	PST漆	0.50	—	200000	—	—55~240	24小时/72小时	15分/3小时	NF	
	液压系统垫圈	Hycraulic Sealant	0.127	—	400	—	—55~149	45分/2小时	—	—	
	不锈钢螺纹垫圈	不锈钢PST	0.50	—	400000	—	—55~230	30分/3小时 不锈钢-3小时/24小时	5分/0.5~1小时	N	
	焊接件压铸件气孔密封	290	0.127	—	12	—	—55~149	10分/1~2小时	—	—	
	冷冻/化学/气体	271	0.178	—	500	—	—55~149	20分/1~2小时	5分/0.5~1小时	T	
取 代 垫 片	一般用途	515※	无底胶0.254 有底胶1.27	—	200000~ 500000	140/133	—55~144	1小时/2小时	15分/2小时	N	
	高温	510	无底胶0.254 有底胶0.500	—	700000~ 12000000	94.5/140	—55~204	4小时/12小时	30分/4小时	N	

(续)

用途	乐泰牌号	颜色	填能 mm	平 粘 度 厘泊	扭 矩 (公斤·厘米) 破坏/牵出	强 度 (公斤力/厘米) 剪切/拉力	使用 温度 ℃	无底胶室 温固化速度 定位/完全	有底胶室 温固化速度 定位/完全	底 胶
取代垫片	大同隙·快速	桔色	0.760	100000~ 200000	—	91/94.5	-55~149	30分/12小时	—	—
	修理维修	Master Gasket	1.270	200000~ 500000	—	140/133	-55~149	—	15分/2小时	Master Gasket底胶
	高粘度/结构强度	568	无底胶0.254 有底胶0.50	6000~ 70000	—	—/350	-55~149	12小时/24小时	6小时/12小时	T
粘 固	一般用途	Re/301※	0.127	100	—	钢210/ 铝42/—	-55~149	钢10分/4~6小时	钢5分/30分	T
	高 强	Re/681	0.380	200	—	钢280/ 铝42/—	-55~149	钢30分/4~6小时	钢5分/8~10 小时	T
	高 温	Re/620	0.385	700	—	钢280/ 铝42/—	-55~232	钢30分/8~10小时	钢5分/8~10 小时	T
粘	高强快速粘接	324	1.00	20000	—	210/315	-55~135	—	钢5分/24小时	促进剂707
	高温快速粘接	306	0.254	10000	—	140/210	-55~204	—	1分/12~24小时	T
	玻璃金属粘接	312	0.127	900~ 1100	—	210/350	-55~80	—	0.5分/4~24 小时	NF
粘	快速结构胶	319	0.380	3000	—	210/350	-55~120	10分/24小时	1分/2~24小时	N
	快速粘接	325	1.000	20000~ 40000	—	245/420	-55~180	—	2分/12~24小时	促进剂707

※最常用的品种。

国内从1965年开始研究和生产高分子液体密封胶，目前已有许多品种在工农业生产中得到应用。

高分子液体密封胶是介于涂料和胶粘剂之间的一类新型密封材料。它和胶粘剂在应用中起着互相补偿的作用。胶粘剂有着良好的胶接强度，又能起密封作用，但是涂胶固化后不能拆卸。而高分子液体密封胶既具有优良的密封性能，又有良好的可拆性。由于高分子液体密封胶均有流动性，所以它又有液体垫圈之称。高分子液体密封胶出现后，由于它在实际应用中显示出了许多优越性能，所以获得了人们普遍重视。

二、高分子液体密封胶的应用

高分子液体密封胶的应用范围极广，除了在原来使用垫片的场合可以应用外，还可以代替白铅油麻丝，用于管道螺纹连接和丝堵的密封。

目前，高分子液体密封胶已经广泛应用于国民经济的各工业部门，如机械工业的压缩机、机床、油泵、水泵、阀门等的密封；管道工程的煤气管道、液化气及其它化工气体管道、石油管道等的密封；交通运输工业的汽车、船舶、飞机、机车、拖拉机的密封；电气工业的电动机、发电机、变压器等的密封；仪表工业的各种仪表的接合面及螺栓等接连的密封。日本三键公司的高分子液体密封胶广泛应用于各工业部门（图16—1）

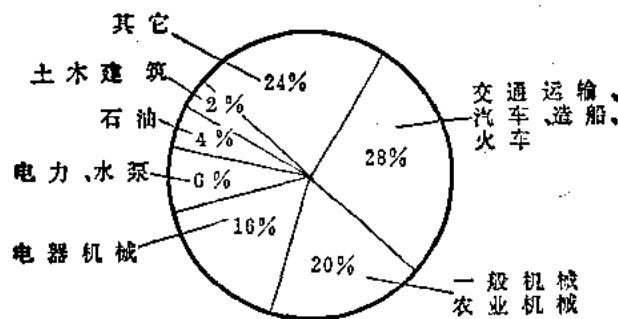


图16—1 日本“三键公司”产品使用比例

三、高分子液体密封胶的密封机理

高分子液体密封胶的起始形态，一般是呈液状。但是由于配方、类型和基体的高分子化合物本身性能各不相同，所以，在使用过程中最终表现出来的形态也不相同。因此，解释高分子液体密封胶的密封机理，必须结合它们在接合面之间的性状做具体分析。比如，对于干性固着型的高分子液体密封胶，由于它们呈固态，而且弹性较差，在受到外力紧固后的情况与固体垫圈相似，所以可用固体垫圈的密封机理来分析。对于性剥离型除与干性固着型在最终状态相似外，还表现出优良的粘弹性和受压下的回复能力。因此，在密封机理上也不尽相同。而对于半干性粘弹型和不干性粘着型的高分子液体密封胶，在接合面之间的最终状态都是一种粘稠的物质，所以其密封机理介乎于弹性力学和流体力学之间。因此，近年来人们分别用粘性流动理论和能量吸收理论来研究和探讨高分子液体密封胶的密封机理。

1. 固体垫圈密封机理

虽然干性固着型和干性可剥型高分子液体密封胶，在使用前均为粘稠状液体，但是涂在接合面上待溶剂充分挥发后，便牢固地附着于接合面上，呈干性薄层或弹性固状皮膜。所以，它们在使用过程中所表现出的形态与固体垫圈基本相似。因此，可用固体垫圈的密封机理作近似的解释。

假设固体垫圈放在图16-2所示的法兰接合面上。

垫圈厚度为 T ，法兰内径为 d ，外径为 D ，螺栓个数为 n ，每根螺栓的断面直径为 d_0 。当法兰合上，旋上紧固螺栓，内部未输送液体，未产生内压力时，螺栓的张力为 W_1 ，螺栓伸长到 L_1 ，固体垫圈从 T 压缩到 T_1 。

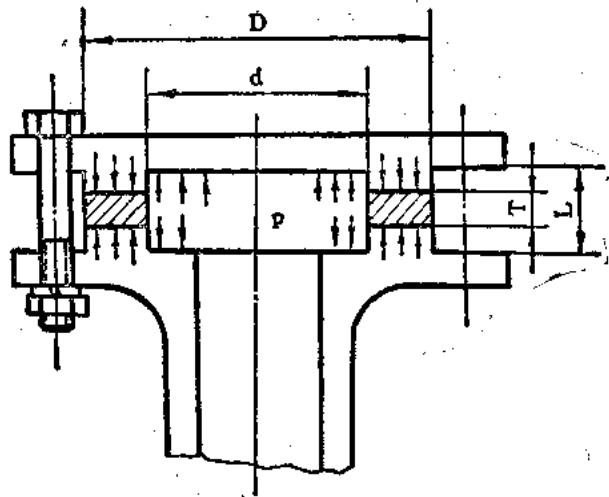


图16-2 固体垫圈放在法兰面上

当内部开始输送流体，产生内压力 P_2 时，就有相应的 W_2 ， L_2 和 T_2 。由内压力引起螺栓伸长后，法兰间隙相应增大，这就要求垫圈有相应的复原以补偿增大了的间隙，否则就会因此而造成泄漏。即需满足

$$L_2 - L_1 = T_2 - T_1 \quad (16-1)$$

如果以 C_g 为被压缩的固体垫圈在复原时所需要的能量，则 C_g 可用下式表示

$$C_g = \frac{E_g \cdot A_g}{T} = \frac{E_g \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)}{T} \quad (16-2)$$

式中 A_g ——固体垫圈的接触面积；

E_g ——被压缩点上复原的弹性系数。

如果以 C_s 为螺栓的总弹性常数，则 C_s 可用下式表示

$$C_s = \frac{E_s \cdot A_s}{L} = \frac{E_s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 n}{L} \quad (16-3)$$

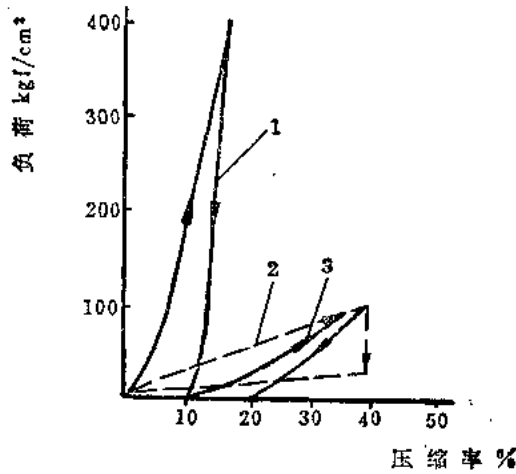


图16—3 固体垫圈压缩——复原曲线

式中 E_b ——螺栓弹性系数；
 A_b ——螺栓总截面积。

从图16—3可知，内部压力 P 抵消了一部分紧固压力，使紧固垫圈复原，厚度增大，即

$$T_2 - T_1 = \frac{W_1 - W_2}{C_g} \quad (16-4)$$

此时，螺栓的伸长为

$$L_2 - L_1 = \frac{W_2 + W_p - W_1}{C_b} \quad (16-5)$$

式中 W_1, W_2 ——分别为开始和工作时螺栓紧固力；
 W_p ——受内压影响下螺栓的抗张负荷。

根据公式 (16—1)，可写出下式

$$\frac{W_1 - W_2}{C_g} = \frac{W_2 + W_p - W_1}{C_b} \quad (16-6)$$

从式 (16—6) 可知，要保证施加内压时，也能保持充分的密封，则初始紧固力必须满足下式

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{C_g}{C_g + C_b} W_p + W_2 \\ &= W_p \left(\frac{1}{1 + \frac{A_b E_b T}{A_g E_g T}} + \frac{W_2}{W_p} \right) \end{aligned} \quad (16-7)$$

如果以 P_0 为初始紧固面压， P 为内压， P_e 为施加内压时的有效紧固面压，以 $P_e/P = m$ 作为垫圈系数，则上式可化为

$$P_0 (D^2 - d^2) = Pd^2 \left(\frac{1}{\frac{1 + Ebd_s^2 nT}{Eg(D^2 - d^2)L}} + m \frac{D^2 - d^2}{d^2} \right) \quad (16-8)$$

括号内是螺栓紧固力系数，它随法兰的尺寸、固体垫圈材料的不同而异。如果以 K 代表括号内的数值，则密封条件式简化为

$$P_0 (D^2 - d^2) \geq Pd^2 K \quad (16-9)$$

从式 (16-9) 可知，为使固体垫圈获得优良的密封性能和较高的耐压力，就必须增大初始紧固力 P_0 ，减小内径 d ，增大法兰接合端面尺寸 $(D-d)$ ，并最好采用垫圈系数 m 小的品种和弹性好的材料 (表 7-15)。

使用弹性好 (Eg 值小)、复原力好 (Cg 值小) 的垫圈时， $Cg/(Cg + C_s) \approx 0$ ，因此 $W_1 \approx W_2$ ，即不会因法兰的大小或内压的变化而发生显著影响，能保持较稳定的耐压性。高分子液体密封胶，正是具备这样的性能，因此，它的密封性能一般优于固体垫圈。

2. 粘性流动理论

假设半干性粘弹型和不干性粘着型高分子液体密封胶为牛顿流体，接合面为理想平面，则密封胶在接合面内作平行流动 (图 16-4)。

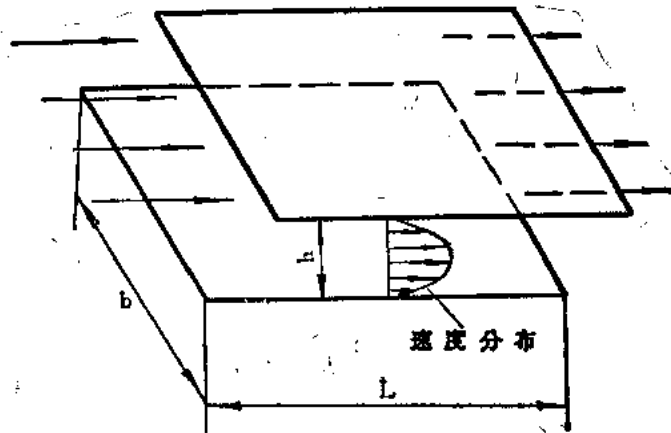


图 16-4 平行板间的流动

此时，流量为

$$Q = \frac{9.8 \times 10^5 b h^3}{12 \eta L} P \quad (16-10)$$

式中 b ——接合面宽度；
 L ——接合面长度；
 h ——接合面缝隙；
 η ——密封胶粘度；
 P ——内压。

如果高分子液体密封胶处于圆形接合部位，胶液则以放射状流动在平行间隙之间 (图 16-5)。此时的流量为

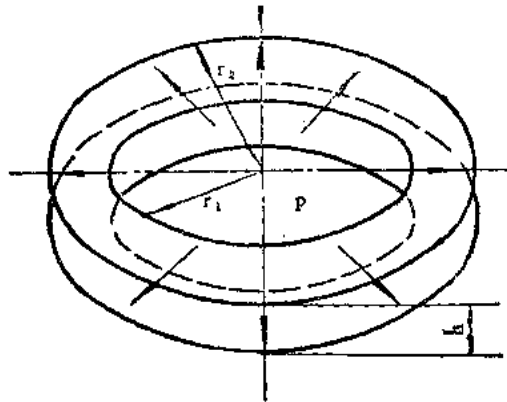


图16—5 圆板间的流动

$$Q = \frac{9.8 \times 10^5 \pi h^3}{13.9 \eta \log(r_2/r_1)} P \quad (16-11)$$

式中 r_2 ——外径；

r_1 ——内径。

如果高分子液体密封胶处于圆筒形接合部位，则胶液在两个同心圆筒的间隙流动（图16—6），此时流量为

$$Q = \frac{9.8 \times 10^5 \pi r_1 h^3}{6 \eta L} P \quad (16-12)$$

式中 r_1 ——接合面半径；

L ——圆筒长度。

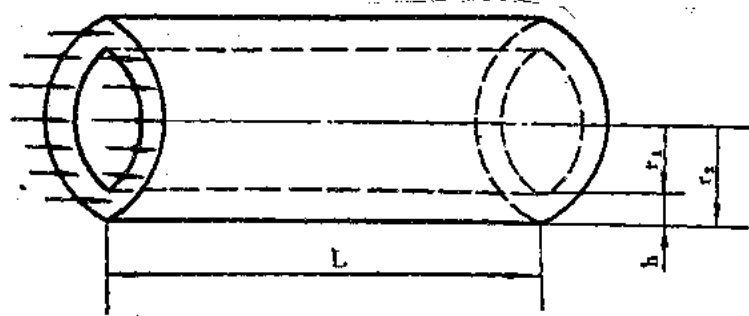


图16—6 圆筒间的流动

但事实上，高分子液体密封胶并非是牛顿流体，接合部位也不是理想的平行面或同心圆，亦不可能处于完全平行滑动的状态。因此，式（16—10）、（16—11）与（16—12）必须加以修正

$$Q \approx \frac{n^2}{\eta L} P \quad (16-13)$$

式中 n ——校正系数 $n > 1$ 。

由式（16—13）可以得到如下结论：

(1) 高分子液体密封胶的粘度 η 越大越好。这里是指密封胶在涂敷后的最终状态的粘度。对于含有溶剂的类型来说, 溶剂每挥发10%, 粘度约增加一倍。

(2) 接合面的间隙 h 越小越好。这里是指间隙的名义值。由于高分子液体密封胶呈粘稠状, 可以充分填满金属表面的凹陷与缝隙, 在粗加工的金属表面间更难发生粘性流动。因此, 使用密封胶时, 可以降低金属表面加工精度而得到同样的密封效果。但要保证接合面具有一定的平整度。因此, 密封胶在一般情况下, 只适用于经过加工的, 那怕是很粗糙的表面, 因为其平面度好, 而不适用于平面度较差的冲压件或焊接件的接合面。当采用密封胶与固体垫圈并用的方法时, 固体垫圈起减少间隙的作用。

(3) 接合表面的宽度 L 越大越好。

3. 流动能量理论

用粘性流动理论, 解释半干性和不干性密封胶的密封机理时, 是以密封胶是牛顿流体为前提的, 与实际情况对照, 只能作近似的理论探讨。近年来出现的流动能量理论, 认为密封胶在接合面上承受内压而发生变形的过程中, 可不断地吸收内压的能量, 使内压产生的能量不足以导致泄漏, 从而保证了接合面的密封。也就是说, 使密封胶从变形至泄漏所需要的能量, 一般不大于内压在接合面上所产生的能量。

假定密封胶介于图16—7a PQ平板(法兰)间的 $ABCD$ 位置, 密封胶与平板接合表面处于无缝隙充分浸润, 紧固力不大的状态。如果把 PQ 间的距离 h (接合面的间隙) 扩大 dh , 那么, 密封胶就从 $ABCD$ 变形到 $A'B'C'D'$, $ABCD$ 和 $A'B'C'D'$ 体积相等。即图中影线部分是相等的。若将变形情况简化如图16—7b, 则密封胶体积 V , 接合表面积 S , 和其余表面积 S_1 分别可用下式表示

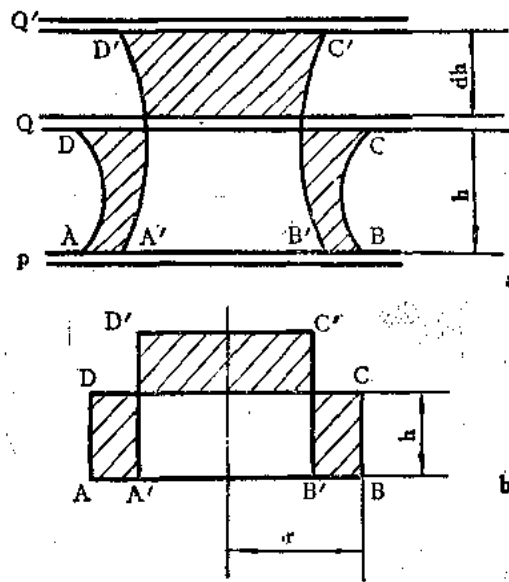


图16—7 纵向移动

$$V = \pi r^2 h \quad (16-14)$$

$$S_1 = \pi r^2 \quad (16-15)$$

$$S_1 = 2\pi rh \quad (16-16)$$

当PQ平板在内压P的作用下，变形了dh距离（即从ABCD变形至A'B'C'D'）时，所需要的能量等于密封胶的接合表面积S。缩小时所吸收的能量W₀与其余表面积S₁增大时所吸收的能量W₁之和，即

$$PS_0 dh = W_0 + W_1 \quad (16-17)$$

而W₀和W₁分别为

$$W_0 = 2f_0 S_0 dr \quad (16-18)$$

$$W_1 = f_1 S_1 dh \quad (16-19)$$

式中 f₀——S₀缩小时，密封胶的吸收力；

f₁——S₁增大时，密封胶的内聚力。

将(16-18)、(16-19)式代入(16-17)式，则得

$$PS_0 dh = 2f_0 S_0 dr + f_1 S_1 dh$$

$$P = 2f_0 \frac{dr}{dh} + f_1 \frac{S_1}{S_0} \quad (16-20)$$

将(16-15)、(16-16)两式及 $\frac{dr}{dh} = \frac{r}{2h}$ 代入(16-20)式，则得

$$P = f_0 + \frac{r}{h} + f_1 \frac{2h}{r} \quad (16-21)$$

在通常情况下， $r \gg b$ ($b = 10^{-2} \sim 10^{-4} \text{cm}$)， r/h 可达到 $>10^4$ 的数值。因此，要使密封胶在接合面之间发生变形，导致泄漏所需要的能量是很大的。

以上是纵向移动情况下的能量分析。下面分析一下横向移动的情况（图16-8）。

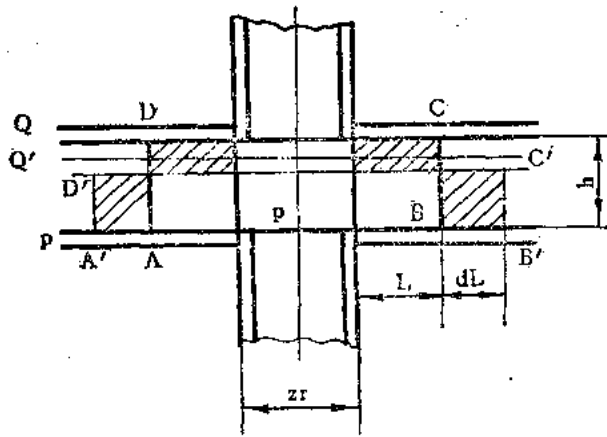


图16-8 横向移动

假定密封胶介于PQ平板之间在半径为r的管道接合面（如法兰）上，密封胶涂敷宽度为L，在内压P的作用下密封胶发生横向移动，以ABCD变形到A'B'C'D'的位置。此时，使密封胶发生dL变形所需要的能量也与纵向移动一样。因此，可得出相似的公式

$$2\pi r h p dL = W_0 + W_1 = 2f_0 S_0 (dL - L) + f_1 [S_1 dL + S_2 (dL - L)]$$

经简化

$$P = f_0 \cdot \frac{L}{h} \cdot \frac{L+2r}{L+r} + 2f_1 \quad (16-22)$$

同样 $L \gg b$, $L/h > 10^4$ 。因此, 处于横向移动的情况, 内压要达到能使密封胶变形导致泄漏的能量也是较困难的, 除非内压十分大。

上述三种理论虽然与实际情况相比还未十分完善, 但其结论还是比较一致的。所以, 在还没有一种更完善的理论出现之前, 这些理论是值得人们重视的。

固体密封, 是由于固体垫圈安装在接合面之间受螺栓的紧固力的压缩而产生弹性变形, 因而将界面缝隙密闭而实现。但是, 由于金属面一般都不能是理想的平面, 故在一定条件下, 将会产生泄漏。通常, 固体密封的泄漏有三种情况, 即接触界面泄漏, 层内渗透泄漏和破坏泄漏。接触界面泄漏占总泄漏量的80~90%, 这是由于接合面的加工精度、变形、杂质造成的间隙和摩擦力引起的偏移滑动所造成的。

层内渗透泄漏占总泄漏量的10~20%, 这是被密封介质渗透垫圈的纤维和粒子集团而透过垫圈本身的泄漏。

破坏泄漏是由于固体垫圈在装拆时位置不当, 压缩过度等原因, 或垫圈长期受内压力的影响而产生弹性疲劳破坏、蠕变或老化等原因所致。

因为高分子液体密封胶在接合面的窄缝中, 能充分填满缝隙, 使其最大限度地减少了界面泄漏量, 所以高分子液体密封胶密封比固体垫圈密封的密封效果好得多。

四、高分子液体密封胶的特性

高分子液体密封胶的密封机理告诉我们, 高分子液体密封胶具有下述效果。

1. 表面效果

一般机械加工的金属表面, 从微观看都是高低不平的。因为高分子液体密封胶在使用时均为液体, 具有流动性, 当涂敷在金属接合表面上时, 能完全填满接合表面的凹凸处, 从而可取得良好的界面密封效果。

2. 粘着效果

高分子液体密封胶对金属表面具有良好的粘着性, 因而可以防止界面泄漏。

3. 薄膜效果

假如两块玻璃板之间的间隙较大, 在内压作用下, 水就不能停留在间隙内而流出。但是, 若间隙很小, 即使内压很大, 甚至用力压两块玻璃板, 间隙中呈薄膜状的水也不会流出。

当接合面上涂敷高分子液体密封胶后, 在两金属接合面之间就形成了一层很薄的薄膜。单分子薄膜理论证明, 它具有极高的耐压性。耐压越高, 密封性越好。

4. 流动效果

当液体的一端受压时, 压力就迅速而均匀地传递到各个部位, 产生不可逆流动。按照流体力学的原理, 液体流动决定于液体的粘度。在管中的流速又是管壁距离的函数。因此, 由于密封胶涂敷紧固后粘度很大, 厚度很薄, 实际上很难发生流动, 所以能起密封作用。

5. 容积变化

与固体垫圈不一样，高分子液体密封胶在受压后，仅产生流动而没有容积的变化，不存在固体垫圈因疲劳破坏而产生泄漏的问题，所以接合面可保持良好的密封。

高分子液体密封胶性能方面具有如下几点：

(1) 气密性好，耐压性高。在固体垫圈密封的泄漏中，界面泄漏占80~90%，而高分子液体密封胶由于对金属表面有良好的充填性和粘着性，又没有弹性疲劳现象，所以就不会产生界面泄漏。一般的高分子液体密封胶，可以连续使用于耐压20Kg/cm²的场合。如果接合面好，特殊品种可耐上百甚至几百个压力的场合。

(2) 对金属表面有保护作用。各种类型的高分子液体密封胶对金属表面均无腐蚀性，当与接合面紧密接合时，可以保护金属表面免遭腐蚀。

(3) 能耐油、水等各种介质。

(4) 有较宽的使用温度范围。一般的高分子液体密封胶可使用于-40~+130℃，特殊的品种可用于-40~+300℃，甚至700~800℃。而且耐老化性好，可作半永久性密封材料。比如用于汽车发动机部位的密封，在二年大修周期内可行驶5万公里，不发生泄漏。

(5) 有良好的电气绝缘性能。

(6) 耐机械冲击和振动。

(7) 在间隙较大的场合下，可与廉价的固体垫圈并用，以提高耐压性能。

在经济性和操作方面高分子液体密封胶还具有如下特点：

(1) 可降低金属表面的加工精度，缩短加工工时。一般的固体垫圈要求金属表面光洁度为▽7，而高分子液体密封胶可以使用于表面光洁度为▽5~6的场合。

(2) 涂敷量小。如以日本三键公司的产品3B2号为例，若单面涂胶20um厚时，1Kg高分子液体密封胶，可以涂敷17m²的面积。

(3) 因为它的耐压高，所以可缩小接合面宽度，减少螺栓数量，节省钢材，减轻机器重量。

(4) 当设计变更时，不致造成密封材料的损失。

(5) 通常2~3种高分子液体密封胶，就能满足一般工厂的要求，从而可简化仓库的管理。

(6) 使用操作方便，拆卸容易，垂直面施工也不会掉下。

(7) 高分子液体密封胶的颜色，浓度和干燥时间，可视需要自由调节。

五、高分子液体密封胶的组成和分类

1. 高分子液体密封胶的组成

具备什么样条件的粘稠状液体才能当作高分子液体密封胶来使用呢？实践证明，一种实用的高分子液体密封胶必须具备如下几个条件：

(1) 填充性好 当金属表面很粗糙时，也能填充所有的凹陷处，并对金属表面有很好的浸润性。

(2) 致密封好 在接合面间隙中的高分子液体密封胶本身是密致的和柔韧的。

(3) 吻合性好 高分子液体密封胶与金属接合面有很好的粘附性,受振动时仍能粘附在金属表面上。

(4) 连续性好 高分子液体密封胶涂敷在金属接合面的薄膜,必须是连续的。

(5) 高粘度 高分子液体密封胶的粘度要高,并且随温度的变化要小。

(6) 稳定性好 高分子液体密封胶对金属表面不腐蚀,对被密封的介质稳定,不发生化学反应。

(7) 适应性强 不因外界机械和温度等条件发生变化而失去密封性能。

为具备上述条件,高分子液体密封胶的组成,必须是由具有一定粘度的高分子物质做基料,再加入适量的填充剂,助剂和溶剂等。

高分子液体密封胶的基料,必须具备下述条件:

(1) 对被密封表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当是坚固的,具有粘弹性的。

(3) 对被密封表面要有良好的附着性和浸润性。

(4) 能在较宽的温度范围内使用,粘度随温度的变化要小。

(5) 耐老化性好,能长期使用。

目前,广泛使用的基料,主要是高分子合成树脂和合成橡胶或一些天然高分子有机物(表16-4)。

表16-4 常用高分子液体密封胶基料

类 别	品 种
合 成 树 脂	聚酰胺、醇酸、酚醛、聚酯、聚氨酯、有机硅、环氧、聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、纤维素等树脂
合 成 橡 胶	氯丁、丁腈、氯磺化聚乙烯、聚异丁烯、聚硫、丁苯、乙丙、硅胶等橡胶
天 然 有 机 物	天然树脂、天然橡胶、松香、植物油等

填充剂(填料),一般有反应型和非反应型两种。填充剂的功能,主要是降低主体材料分子的活化性能,增加交联密度和弹性。通常可起到增加基料的粘度和变形性,提高触变性能和耐热性,耐压性,减少高分子液体密封胶和接合面的热膨胀系数的差异,实现增强或补强的作用。

填充剂的种类、颗粒度、形状及添加量等,对高分子液体密封胶的性能有较大影响。因此,应针对不同的使用要求,选择适当的填充剂。比如,要获得导电性好的高分子液体密封胶时,就可以加入银粉、铝粉、铜粉、石墨等物质。

填充剂的添加量,可根据基料的不同而异。添加量与填充剂的种类,粒子的大小和形状,以及吸附树脂能力等有关。

填充剂应满足下述要求:

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

表16—5 列举了填充剂的种类及其特性。

表16—5 填充剂的种类及特性

种 类	色 泽	比 重	粒子平均直径 mm	吸油量 $l/100g$
铅 白	白	6.90	0.75~1.21	11~8
锌 钡 白	白	4.30	0.40	12.8~14.0
硅 藻 土	白	1.90~2.31	2~40	22~185
滑 石 粉	白	2.73	5~10	29~34
石 棉 粉	白	2.85	—	16~28
铅 丹	红	8.90	2~4	5.5~11
黄 氧 化 铁	黄	3.90	0.10~1.00	28.5
炭 黑	黑	1.75	0.02~0.10	80~112
油	黑	1.68~1.83	0.40	60~158
铅 粉	灰	2.48~2.57	—	15~25
锌 粉	灰	7.06	21	5.6

增塑剂的主要作用是增加基料的可塑性，它是一种难于挥发的化合物。在分子液体密封胶中，对增塑剂主要的要求是能够与基料互相溶解。因此，增塑剂应有适当的极性，一般采用具有中等程度极性的酯类。另外还要求有好的抗迁性和优良的溶剂化作用。应用芳香型极性增塑剂，可以得到较好的溶剂化作用。

对增塑剂有如下具体要求：

- (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。

高分子液体密封胶中常用的增塑剂见表16—6。

溶剂的主要作用是溶解基料，以改善施工操作，便于涂胶与使密封胶能充满细小的凹陷和缝隙，以使接合面连接的更严密。另外还可以将残留在接合面上的油污溶解，使之与密封胶互相渗透为一体，从而避免因油污存在而引起的泄漏。常用溶剂见表16—7。

表16-6 常用增塑剂

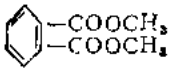
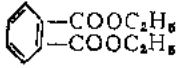
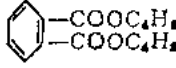
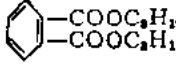
名 称	编 号	分 子 式	沸 点℃
酞酸二甲酯	DMP		285
酞酸二乙酯	DEP		295
酞酸二丁酯	DBP		295
酞酸二辛酯	DOP		350(10mm)
磷酸三苯酯	TPP	$(C_6H_5)_3PO_4$	245(11mm)
磷酸三甲苯酯	TCP	$(CH_2C_6H_4)_3PO_4$	295(13mm)
磷酸三氯乙烷	TCEP	$(ClC_2H_4)_3PO_4$	286
癸二酸二丁酯	DBS	$C_{10}H_{18}OOC(CH_2)_4COOC_4H_9$	314
二乙基己二酸酯	DEA	$C_8H_{16}OOC(CH_2)_4COOC_2H_5$	386
癸二酸二辛酯	DOS	$C_{10}H_{18}OOC(CH_2)_4COOC_8H_{17}$	248(4mm)

表16-7 常用溶剂

名 称	性 能	比 重 $d_{4}^{20}/4$	沸 点 ℃	闪 点 C°	溶 解 性 20℃ (水)重量%	蒸 汽 压 20℃ mmHg
醇	甲 醇	0.7960	64.72	6.5	完全溶解	95.1
	乙 醇	0.7890	78.32	14.0	完全溶解	43.9
	丁 醇	0.8098	117.70	35.0	7.700	4.3
醚	乙 醚	0.7135	34.60	-40	7.000	442.0
	四氢呋喃	0.8890	64	-22.5	—	—
	二 氧 烷	1.3330	101.30	8.0	完全溶解	27.0
酮	丙 酮	0.7906	56.24	-17	完全溶解	184.0
	丁 酮	0.8147	79.57	-5.5	26.800	71.7
	环 己 酮	0.9470	156.50	46	完全溶解	—
酯 类	醋酸乙酯	0.9005	77.15	-2.0	8.420	72.8
	醋酸丁酯	0.8820	126	37.8	0.700	10.0
	醋酸甲酯	0.9338	56.95	-13	—	175.0
	乳酸乙酯	1.0290	154.50	49	完全溶解	—

(续)

性能名称	比重 d_{20}^{20}	沸点 $^{\circ}\text{C}$	闪点 $^{\circ}\text{C}$	溶解性 20 $^{\circ}\text{C}$ (水)重量%	蒸汽压 20 $^{\circ}\text{C}$ mmHg	
芳香烃	苯	0.8791	80.10	8.0	0.100	74.7
	甲苯	0.8668	110.70	7.0	0.100	22.2
	二甲苯	0.8635	138-140	30	不溶	6.0
卤代烃	氯甲烷	1.8259	39.95	不燃	1.800	315.4
	三氯乙烯	1.4649	86.95	不燃	0.032	53.0

其它助剂,主要有防老剂、防沉淀剂、催干剂、防止成皮剂、稳定剂、增粘剂、香料和染料等。

由于高分子液体密封胶的基料为合成橡胶和合成树脂,它们在长期受热、光、放射线等作用下,会产生老化。因此,必须加入防老剂。高分子液体密封胶在贮存时,因其组成中的比重大的填料会沉淀出来,影响使用,所以要加入防止沉淀剂。有溶剂的高分子液体密封胶只有在充分干燥后,才能上盖贴合。因此,为使溶剂迅速挥发,必须加催干剂,如铅、锰、钴的氧化物,也可用硼酸盐、脂肪酸皂、环烷酸皂等,一般常用环烷酸铅。在分子液体密封胶中,如果加入挥发度大的或沸点低的溶剂,则在涂胶后会因溶剂迅速挥发而表面成皮,使内部溶剂不能进一步充分干燥。为防止这一情况发生,就要加入防止成皮剂。另外,为使高分子液体密封胶的品种容易鉴别和某些接合部件产品的需要,还应加入各种染料。

2. 高分子液体密封胶的分类

(1) 按原料成分分类 高分子液体密封胶可分为树脂型、橡胶型、油改性型和其它型。这种分类可以较方便地根据高分子材料的性能来推测出它对接触介质的稳定性,耐热性及机械强度等化学和物理性能。但是,由于大部分高分子液体密封胶都是由两种以上的高分子材料制成的,因此,单纯以原料组分来分类是不全面的。

(2) 按有无溶剂分类 高分子液体密封胶可分为溶剂型和非溶剂型。

(3) 按应用范围及使用场所分类,高分子液体密封胶可以分为耐热型、耐寒型、耐压型、耐油型、耐水型、耐溶剂型、耐化学药品型等。

(4) 按有无反应分类 高分子液体密封胶可分为反应型和非反应型。

(5) 按反应类型分类 高分子液体密封胶可分为热反应型、湿反应型、触媒反应型等。

(6) 按涂敷后成膜的性状分类 高分子液体密封胶可分为干性可剥型,干性附着型、非干性粘型,半干性粘弹型。目前,这种分类方法最常用。

①干性可剥型 干性可剥型高分子液体密封胶在涂敷后,溶剂迅速挥发,形成柔软而有弹性的薄膜。这种薄膜能耐振动,附着严密,并有良好的可剥性,容易从接合面上剥下来。由于可按涂敷数量的多少来控制膜的厚度,所以可用于间隙较大和有坡度的部位,但是这种高分子液体密封胶涂敷后,溶剂挥发过于迅速,所以在接合面大的部位使用就困难了。它一般都是橡胶型的。

②干性附着型 干性附着型是最早的一类树脂型高分子液体密封胶,含有溶剂,

为液体状。涂敷后溶剂挥发而牢固地附着于接合面上，有较好的耐热性和耐压性，但是可拆性差，拆除时容易损伤金属接合面，而且它的耐振动和耐冲击性能较差。

③非干性粘型 非干性粘型高分子液体密封胶在涂敷后长期不硬，又保持粘性。因此，在受到机械振动和冲击时，不发生龟裂和脱落现象，又容易从金属面上去除，具有良好的可拆性，主要用于承受振动和冲击及需要经常拆卸的部位。它又分为有溶剂和无溶剂两类。有溶剂的为液体状，无溶剂的为膏状。无溶剂的可在涂敷后经干燥马上连接，也可在涂敷后经数日、数周后再连接。因此，既可用于紧急修理，也可用于准备装配的场合预先涂敷。

④半干性粘弹型 半干性粘弹型高分子液体密封胶介于干性与非干性之间，兼具两者的优点。一般含有溶剂，涂敷后溶剂很快挥发，形成的薄膜长期不硬，永久保持粘弹性。具有耐压和柔软的特点，并易于拆卸，是目前应用最普遍的一类高分子液体密封胶。

按涂敷后膜的性状分类，对于制造者和使用者都很方便，因此，它是当前最常用的一种分类方法。这里所谓干性、非干性和半干性，不是指有无溶剂挥发，或是否含溶剂而言，而是指涂敷后成膜形态即硬、不硬和半硬而言。

六、高分子液体密封胶的使用方法

高分子液体密封胶比起固体垫圈有许多优越性。但是，如果使用方法不正确，就不能达到预期的密封效果，有时甚至反而不如固体垫圈。所以，正确掌握密封胶的使用方法，是应用中的一个十分重要的环节。

密封胶的使用，通常可分下列几个步骤：预处理，涂敷，干燥与连接紧固。

1. 预处理

涂敷高分子液体密封胶时，对接合表面的要求，虽然不象胶粘剂那样进行复杂的处理，但是在接合面涂胶前也要进行预处理。接合面上的油污，水或灰尘，应擦拭干净。如果金属接合面上有锈蚀时，应尽量用砂布，或钢丝刷将它去掉。以便使高分子液体密封胶能润湿其表面，充分填平表面凹陷处，并和接合面牢固接合。否则密封性能就下降。

虽然新加工的金属表面有增水作用，但是放在大气中经过一段时间后，就会被空气中的氧氧化，而生成一层薄薄的极性氧化层，会被水浸润，所以也要处理。接合面上有少量油脂，对溶剂型的高分子液体密封胶影响较小，因为有机溶剂能够溶解少量油脂。但是有较多的油脂时，如不加擦拭，当接合面紧固时，就会把胶很快挤掉，失去密封性。

此外，在涂胶后，应对接合面的机械条件，如加工精度，平面度，波纹及间隙距离等，作充分考虑，必要时应作一定的处置。接合面间隙大于0.2毫米时就不保险了，这时必须和固体垫圈并用。高分子液体密封胶仅适合于机加工件接合面的密封，那怕是较粗糙的也可以，但是不适用于冲制件和焊接件接合面的密封。

2. 涂胶

高分子液体密封胶在金属接合表面上的分布不是凭借扩散作用，而是需要借外力来涂敷。涂胶的方法要根据装配过程，作业条件，涂胶面的形状，大小等来选择。常用的涂胶工具与方法有刷子，刮板、喷枪、挤压、滚子和浸渍法等。

高分子液体密封胶，一般是装在小缶或软管里。软管装的密封胶挤出后用刷子或刮

板均匀地涂敷即可。有时软管上配有塑料鸭嘴，涂敷就更方便了。装缶的高分子液体密封胶，若呈液体时，可用刷子涂敷，若呈膏状时，可用刮板涂敷。上述方法是最常用的方法，适合于涂敷面积不太大的场合。缺点是涂敷厚度不均匀，对大面积的接合面和速干性高分子液体密封胶的涂敷是不适合的，对于大面积涂敷，最好用喷枪，因为这种方法涂敷时间短，而且均匀，适合于流水作业。缺点是涂敷前要稀释高分子液体密封胶，使其粘度下降。喷涂工具可用涂料用的喷枪。

通过压力使高分子液体密封胶挤出的涂敷方法，称之为挤压涂敷。使用的工具为特制的挤压喷枪。挤压涂敷可直接使用原高分子液体密封胶，不用再稀释，这种方法没有溶剂挥发的损失，工作效率高，经济适用。

使用橡胶滚，海棉滚也可把高分子液体密封胶，按一定的宽度均匀地涂敷一定的厚度，工作效率也很高。但是使用这种方法时，被涂敷的表面必须平整到如同油印板一样，否则不宜采用。用这种方法在固体垫圈上涂敷高分子液体密封胶最方便，但是必须注意，使用的滚子不能被溶剂所浸蚀。

对于螺纹部分，细小零件及垫片等，最好用浸渍法，通常需要把高分子液体密封胶稀释后再用。

高分子液体密封胶的涂敷厚度，以填平连接面上的凹陷处为准。当然，这要看接合面的加工精度、平面度、间隙大小的具体情况而定。但在一般的情况下，涂胶厚度为接合面两面各涂胶0.06~0.10毫米。若按涂胶厚度为0.08毫米计算，则一公斤高分子液体密封胶可涂敷1.25平方米的面积。若涂胶厚度太大，不但需要干燥的时间长，而且多余的部分在紧固时会被挤出来，这样不但浪费，还要污染设备，有时甚至会堵塞部件的通道。

3. 干燥

高分子液体密封胶一般含有溶剂，有时为了操作方便，还要补加溶剂进行稀释，所以涂胶后一定要有一定的干燥时间。一般要求干燥到不粘手或溶剂基本挥发出来时，再进行连接紧固，放至完全干燥。

高分子液体密封胶涂敷在接合表面上的干燥时间，是与所用的品种不同，溶剂不同以及涂胶厚度，周围环境温度和湿度，是敞开的还是密闭的等条件有关。

通常，高分子液体密封胶在涂胶后，要干燥到不粘手为止，所需要的时间大致为4~8分钟。其中干性剥离型高分子液体密封胶，涂敷后2~4分钟左右就可呈现出剥离的膜，同时失去粘性，所以接合面连接需要在上述时间内进行。对于干性固着型高分子液体密封胶，如果干燥时间过长，溶剂挥发后表面就会固化而失去粘性，所以当不粘手时必须马上连接和紧固。对于半干性粘弹型高分子液体密封胶，待溶剂挥发后，仍保持一定的粘性，所以干燥到不粘手时，就可以连接和紧固。而对于不干性粘型高分子液体密封胶，待溶剂挥发后，仍保持粘性，所以干燥后的任何时间连接和紧固都可以。

4. 连接和紧固

高分子液体密封胶涂敷在接合面上，待干燥后就可以连接和紧固。这是使用高分子液体密封胶发挥其防漏作用必不可少的一个操作过程。

涂敷有高分子液体密封胶的连接面，最好是在胶还有粘性时连接和紧固。通常两个接合面一下就连接的很吻合是有困难的，连接时为了对准螺孔，套管口或找中心线，是要移动连接面的。这对于富有粘性的不干性或半干性的高分子液体密封胶，是可以顺连接面移动的，对接合面连接是不会有太大影响的。但是对于粘性比较差的干性可剥型高分子液体密封胶，在连接后移动接合面时，由于粘着力下降，有时会从接合面上脱落下来。所以两个连接面最好一次对难，不宜再次移动。

高分子液体密封胶接合面的紧固方法同固体垫片的紧固方法相同。紧固力随螺栓粗细，材质、接合面大小、内压力及螺栓数目等不同而异。紧固力越大，接合面间隙越小，在接合面间的高分子液体密封胶就越薄。这样就会产生单分子薄膜效应，胶的内聚力增加，接合面内胶的流动也就越困难，从而可以提高耐压性。

高分子液体密封胶在实际应用中的效果，除了与本身的物理、化学性质有关外，其所处的工作条件对高分子液体密封胶的使用效果影响很大。

高分子液体密封胶在使用过程中，必须考虑如下因素：

1. 温度

高分子液体密封胶的基料大都是高分子化合物，这些物质都有不同的使用温度范围。因此，在使用高分子液体密封胶时，必须加以选择。图16—9列举了各种不同成分的高分子液体密封胶的使用温度与泄漏压力的关系。图16—10是高分子液体密封胶的种类同使用温度与泄漏压力的关系。

2. 接合面形状

接合面的形状，大小，宽度，所用螺栓个数等，对密封性能也有很大影响。比如以法兰连接为例，若紧固力和法兰内径为一定值，则法兰端面越宽，其单位面积承受的压力越小，高分子液体密封胶受压的程度越小，则泄漏压力越低。但若面压固定，则法兰内径越大，泄漏压力也越低（图16—11）。

3. 紧固力

接合面紧固时，紧固力越大，则高分子液体密封胶的耐泄漏压力越大（图16—12）。

从图16—12紧固力与泄漏压力的关系可知，当紧固力为100Kg·cm时，泄漏压力为55Kg/cm²。而当紧固力提高到400Kg·cm时，泄漏压力可达到150Kg/cm²。

在一般情况下，温度升高，会使高分子液体密封胶的耐压性下降。但是，如果增加扭矩，增加螺栓的紧固力，则会使耐压性得到改善（表16—8）。

4. 高分子液体密封胶与固体垫圈并用

在通常的情况下，高分子液体密封胶是单独使用的。但是，在有些工作条件苛刻的部位，单用高分子液体密封胶不能解决泄漏问题，单用固体垫圈也不能解决，这就要考虑二者并用。在并用的情况下，固体垫圈起着防止接合面因间隙过大而发生的泄漏，而

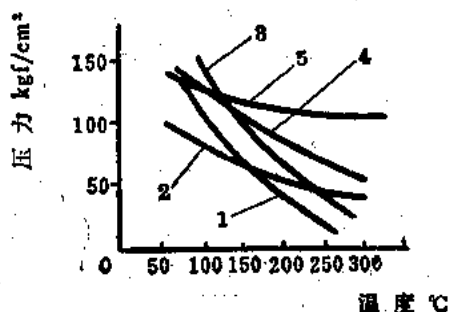


图16—9 不同成分的高分子液体密封胶的使用温度与泄漏压力的关系

- 1——非干性溶剂型； 2——干性可剥型；
- 3——半干性粘弹型； 4——干性附着型；
- 5——非干性粘型

高分子液体密封胶起着充满接合面的凹陷处的作用（图16—13）。

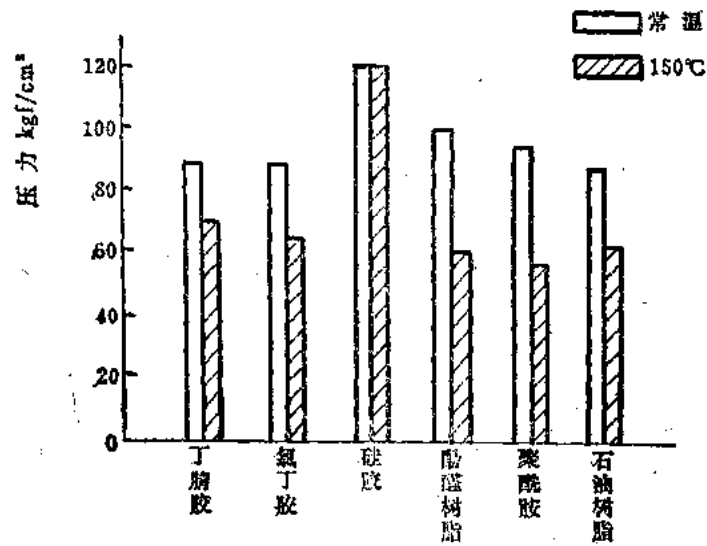


图16—10 高分子液体密封胶种类同使用温度与漏压力关系

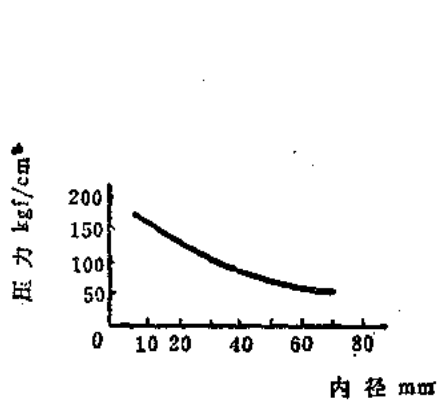


图16—11 法兰内经与密封胶泄漏压力的关系。

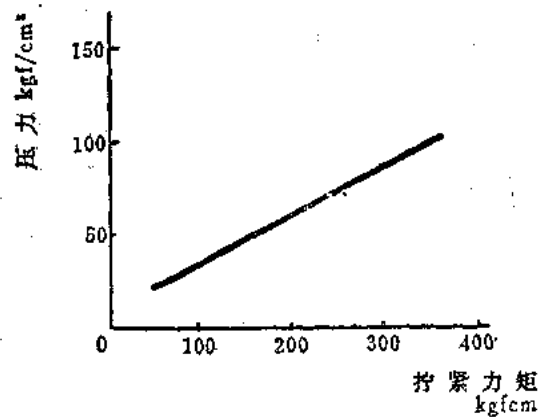


图16—12 紧固力与泄漏压力的关系

表 16—8 高分子液体密封胶的耐压性与扭矩和温度的关系 Kgf/cm^2

温度°C		25		100		150	
扭矩 $Kgf \cdot cm$		60	—	60	65	60	70
胶 型	非干性粘型	40	—	37	38	30	37
	干性粘弹型	37	—	32	35	25	30
	干性附着型	45	—	37	—	20	—

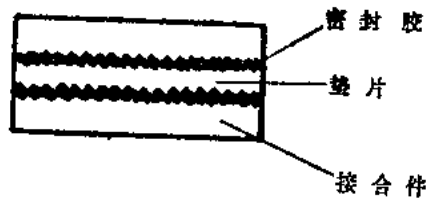


图16—13 高分子液体密封胶与固体垫圈并用

通常接合面间隙大于0.2mm时，就要进行固体垫圈和高分子密封胶并用。比如，汽车发动机的34个需要密封的部位上，就有18处是采用并用措施的。

七、高分子液体密封胶品种的选用

高分子液体密封胶的类型和品种很多，因此在应用时，必须根据具体条件合理的选择品种，才能达到预期的密封效果。在选择时，要考虑如下几个方面。

- (1) 要考虑拆卸，耐振动，耐压，耐热及耐温差方面的要求。
- (2) 从接合面条件方面考虑，要看其接合面的加工精度，接合面形状，宽度，面压力大小，是立面还是平面，间隙大小等。
- (3) 高分子液体密封胶的耐介质性能。
- (4) 操作方面要考虑到涂敷是否方便，是否能允许有干燥时间，对色泽的要求，对人体是否有害及防燃要求等。

表16—9 可供选用高分子液体密封胶时参考。

表16—9 高分子液体密封胶选用参考表

类 型		非干性粘型	半干性粘弹型	干性附着型	干性可剥型
耐 热 性		良	可	优	可
耐 压 性		良	可	优	可
间 隙 较 大		良	可	优	可
耐 振 动 性		优	可	不可	良
剥 离 性		可	可	不可	优
适 用 部 位	平 面	优	优	优	优
	螺 栓	优	可	优	不可
	嵌 入	优	良	优	不可
	滑 动	可	不可	不可	不可
与垫片并用时的耐热耐压性		优	优	良	优

高分子液体密封胶是一种很理想的密封材料，但是在若干情况下，也可能失去密封作用。主要原因有如下几种：

(1) 使用方法不对 比如涂胶不完全，缺胶，干燥时间过长或过短，表面粘附的油污太多，涂胶层内夹有气泡等。

(2) 间隙过大 通常接合面间隙大于0.2毫米就不保险了。

(3) 温度或压力 超过限定的使用范围。

(4) 机械原因 接合面紧固力不够，螺纹连接松动。或设备结构不合理，特别是对冲制件而言，因其尺寸波动太大，所以不宜单用高分子液体密封胶。

(5) 型号不对 对不同的密封介质，有不同的高分子液体密封胶型号，使用型号不对，就要泄漏。

(6) 变质 高分子液体密封胶各个品种都有一定的贮存期，若保管不好或存放时间过长，就要变质，或在使用中溶剂挥发，失去了涂敷性能。

八、高分子液体密封胶性能测试方法

高分子液体密封胶性能测试，通常分为三大类。

(1) 物理化学性能测试 包括高分子液体密封胶的性状，比重，粘度，不挥发分，干燥时间，贮存期等。

(2) 密封性能测试 包括高分子液体密封胶的耐高温，耐低温，耐压及耐各种介质性能的测试。这些是选择使用高分子液体密封胶的主要依据。

(3) 应用试验 因为高分子液体密封胶的实用性能与使用部件的结构形状，尺寸大小，加工精度，平面度，螺栓个数，紧固力大小，接合面间隙距离等有关。所以，在选用时，必须预先进行模拟试验或应用试验。

高分子液体密封胶的性能测试方法简述如下。

1. 比重

用量筒法测定高分子液体密封胶的比重。称得一只100ml干净量筒的重量 W_2 ，准确装满100ml高分子液体密封胶，称得其重量 W_1 。所测高分子液体密封胶的比重可用下式算出

$$\text{比重} = \frac{W_1 - W_2}{100} (\text{g/ml}) \quad (16-23)$$

2. 粘度

目前，测定高分子液体密封胶的粘度，大多数是采用旋转式粘度计，测量简便。

旋转式粘度计的最大特点是适于非牛顿流体粘度的测定。粘度测定范围为 $10^3 \sim 10^{12}$ 厘泊。

3. 不挥发分

不挥发分是指高分子液体密封胶中溶剂挥发后固状物的含量。测定方法是用称量瓶取样品5~10g (g_1)，将它放在100~105℃恒温箱中烘干1~3小时，然后取出放在干燥器中，抽空干燥半小时，称重 (g_2)，得不挥发分

$$S = g_2/g_1 \times 100\% \quad (16-24)$$

挥发分

$$V = g_1 - g_2/g_1 \times 100\% \quad (16-25)$$

4. 接合力

接合力是用以测定高分子液体密封胶对接合面的附着性能和接合后的可拆性能。

测试试件如图16—14所示。

测试方法是将被测密封胶试样涂敷在试件两接合面上，经接合干燥后放在拉力试验机上，在拉伸速度为14cm/min的条件下，测得抗拉强度 F ，则可利用下式算得所测接合力

$$T = F/S(Kgf) \quad (16-26)$$

式中 F ——抗拉强度 Kgf/cm^2 ，
 S ——被测试件接合面积 cm^2 。

5. 流动性

流动性试验是测定高分子液体密封胶的施工工艺性的一个指标。流动性试片如图16—15所示。

测试方法是将被测密封胶试样涂敷在试片刻度以上部位，随即把试片垂直放置在固定架上后，开始计时。则得被测高分子液体密封胶的流动性

$$V = \frac{S}{t} (cm/min) \quad (16-27)$$

式中 S ——流动距离 cm ，
 t ——流动时间 min 。

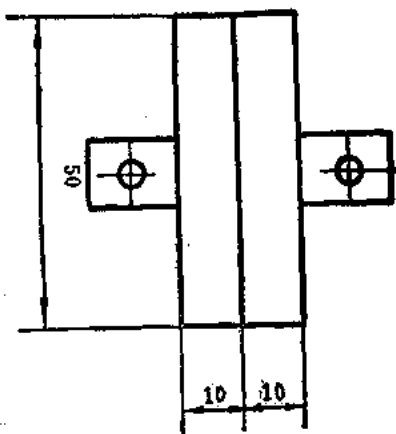


图16—14 接合力测试试件

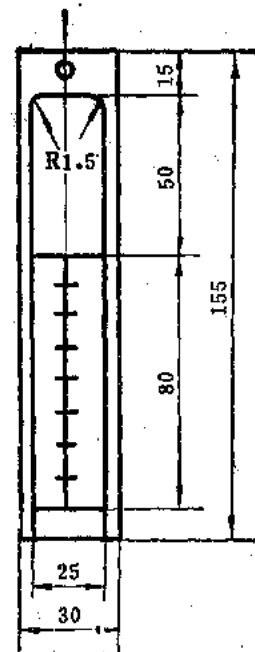


图16—15 流动性试片

6. 热分解温度

热分解温度是指高分子物质在受热的情况下，大分子裂解时的温度，是测定高分子物质的耐热性质的指标之一。通常是以压力法测定高分子物质分解时所产生的压力差，来测定它的分解温度。图16—16是压力法所用装置示意图。当加热时，随温度升高，试样逐渐出现分解现象，放出的裂解气体，使水银柱产生一个压力差（称为分解压力）。开始加热时，试样大分子的裂开不显著，当达到一定温度时，试样分解而放出大量的裂解气体，使分解压力剧增，在压力曲线上出现明显的拐点D（图16—17），对应这个拐点的温度 T_D ，就是试样的热分解温度。

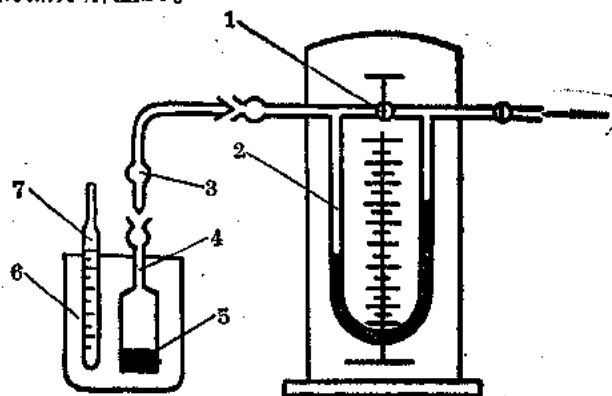


图16—16 压力法仪器装置示意图

1——活塞；2——水银压力表；3——集液器；4——加热管；5——试样；6——加热浴；7——温度计

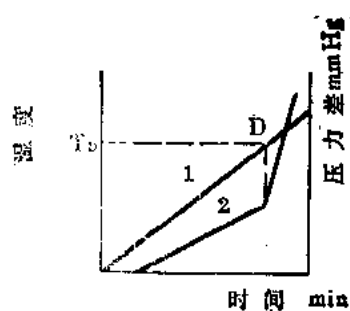


图16—17 分解温度与压力差关系

1——等速升温线；2——压力变化曲线

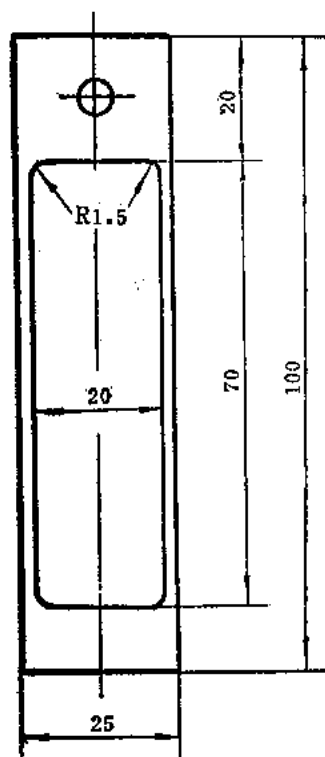


图16—18 耐热质试片

7. 耐介质性

图16—18 所示为耐介质性试片。

耐介质性能测试方法是，首先准确称取试片重量 W_1 ，将试样涂在试片凹处，置于 80°C 烘箱中，干燥2小时，再在干燥器中放至室温，如此反复至恒重 W_2 。然后将试片浸于介质（油、水、有机溶剂、化学试剂等）之中，浸泡48小时，取出，用石油醚洗净，再放入 80°C 烘箱中，干燥2小时，且在干燥器内放至室温，取出称重 W_3 。用下式求得重量变化率 K 值

$$K = \frac{W_3 - W_2}{W_2 - W_1} \times 100\% \quad (16-28)$$

涂胶试片浸泡温度依介质不同而异。如水为 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，20号机油为 $80 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，120号溶剂汽油为 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 等。

8. 密封性

高分子液体密封胶的密封性能是用它的耐压性和耐热性表示的（图16—19）。

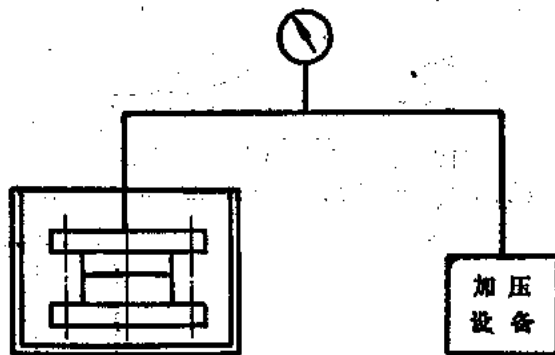


图16—19 密封性能测试装置

密封性能测试方法是，在夹具的接合面上涂敷试样，在室温下干燥5~10分钟，然后将接合面连接上，使用扭矩测力器将螺栓紧固，紧固力矩为 $2.5\text{Kgf}\cdot\text{cm}$ 。之后将这个装置放在油液中，升温速度为 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，升压速度为 $5\text{Kgf}/\text{min}$ ，升压介质为二氧化碳或氮气等惰性气体。在固定温度下升压，可测得耐压性，在固定压力下升温，可测得耐热性。

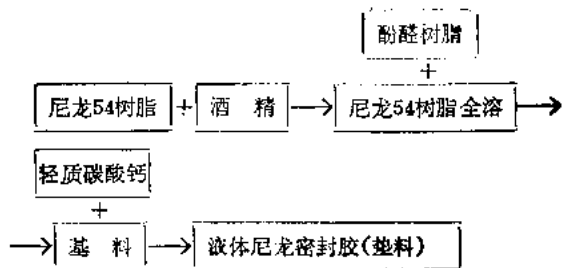
第二节 高分子液体密封胶的主要品种及应用

一、液体尼龙密封胶（垫料）

液体尼龙密封胶，一般叫液体尼龙密封垫料（HYJM—01胶），是一种半干性粘弹型高分子液体密封胶。它是目前应用最广的品种之一，广泛地应用于中小型设备的连接平面接合面的密封和螺纹连接的密封。它是由尼龙54树脂（尼龙66盐和己内酰胺共聚物）和5121热固性酚醛树脂交联改性物为基料制备而成。

1. 制胶工艺流程

• 278 •



2. 性能

(1) 温度特性 (表16-10)

表16-10 液体尼龙密封胶 (垫料) 的温度特性

性能指标	规定值
加热残分	60%
热分解温度	320℃
长期使用温度	150℃
最高瞬间使用温度	200℃
耐寒性	-50℃

(2) 耐压性能 常温下承压 $14Kgf/cm^2$ (标准法测定)。

(3) 耐介质性能 (表17-11)

表17-11 液体尼龙密封胶 (垫料) 的耐介质性能

介质名称及条件	稳定性	重量变化率
汽油(40℃)	稳定	+1.1%
变压器油(100℃)	稳定	-1.8%
沸水	稳定	-0.6%
自来水	稳定	+0.5%
5%氯化钠	稳定	+0.8%
25%氢氧化钠	不稳定	不可用
25%硫酸	不稳定	不可用

(4) 其它性能

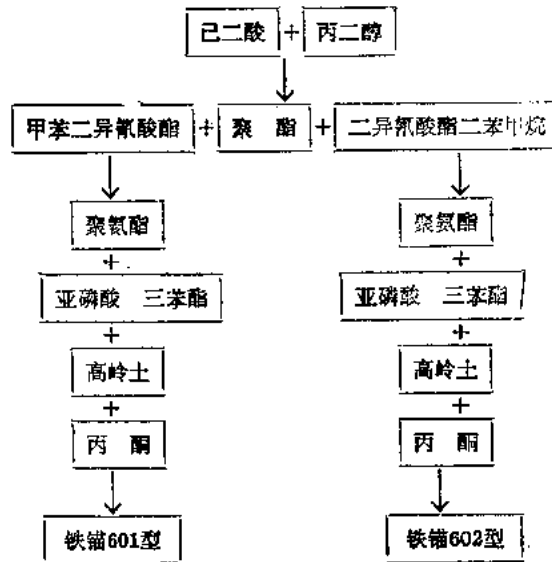
液体尼龙密封胶 (垫料) 呈浅黄色, 粘度 $1.5\sim 1.6\times 10^3$ 厘泊 (类似铅油粘度, 可用酒精调稀), 接合力为 $1.22Kgf/cm^2$, 比重为0.95, 流动速度为 $10.8cm/min$, 溶剂为醇类和氯代烃, 无腐蚀性, 对人体无害。保存期为二年。

二、铁锚601型与602型密封胶

铁锚601型和铁锚602型均系半干性粘弹型高分子液体密封胶。它们是以己二酸丙二醇聚酯与异氰酸酯改性生成聚氨酯为基料制备而成, 干燥后不成膜, 拆卸容易, 适用

于经常拆卸的接合面部件的密封。

1. 制胶工艺流程



2. 性能

铁锚601型与铁锚602型液体密封胶的性能见表16—12所示。

表16—12 铁锚601型与铁锚602型液体密封胶的物理机械性能

型 号		铁锚601型	铁锚602型
外 观		灰色粘稠胶液	
物理性能	比 重	1.2	1.8
	粘 度 厘泊	$3.9 \sim 4.4 \times 10^4$	$2.8 \sim 3.2 \times 10^5$
	不挥发分 %	35.2	20.7
	接合力 Kgf/cm^2	0.84	15.4
	流动性 cm/min	—	0.23
	热分解温度 $^{\circ}C$	319	332
密封性	耐温性 $^{\circ}C$	200	200
	耐压性 Kgf/cm^2	14	14
耐介质 (重量变化%)	水 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-0.46	-1.41
	20号机油 (80 $^{\circ}C$, 24h)	+3.94	-0.19
	120号汽油 (25 $^{\circ}C$, 24h)	+2.70	-26.7
施工性能	涂敷性	好	好
	去除性	较易	较易

三、MF-1型密封胶

MF-1型密封胶是一种非干性粘型高分子液体密封胶。它是以10号酚醛树脂为基料，脱水蓖麻油为溶剂制备而成。主要应用于液压系统中阀的接合面，管接头，盖板螺堵和其他机械固定接合面的密封。目前，MF-1型密封胶，不但用在设备维修上，而且已用在定型产品上，是机床行业中解决液压系统漏油较好的密封材料。

1. 制胶工艺流程

将蓖麻油和活性氧化铝，过氯乙烯和葵二酸二辛酯，酚醛树脂和丙酮——醋酸丁酯，氧化镁分别加入釜中，加热搅拌均匀，再在三辊机上墨炼而成MF-1型密封胶。

2. 性能

MF-1型液体密封胶的物理机械性能见表16—13所示。

表16—13 MF-1型液体密封胶的物理机械性能

性 能	MF-1型密封胶	
外 观	灰红色粘稠状胶液	
比 重	1.4	
粘 度 厘泊	2~2.4×10 ⁵	
不挥发分 %	30.8	
接合力 Kg/cm ²	0.75	
流 动 性 cm/min	0.05	
热分解温度℃	230	
耐温性℃	200	
耐 压 性 Kg/cm ²	11	
耐介质性能 (质量变化率)%	水 (25℃, 24h)	-0.7
	20号机油 (80℃, 24h)	6.18
	120号汽油 (25℃, 24h)	-26.7
施 工 性 能	涂 敷 性	好
	去 除 性	较易

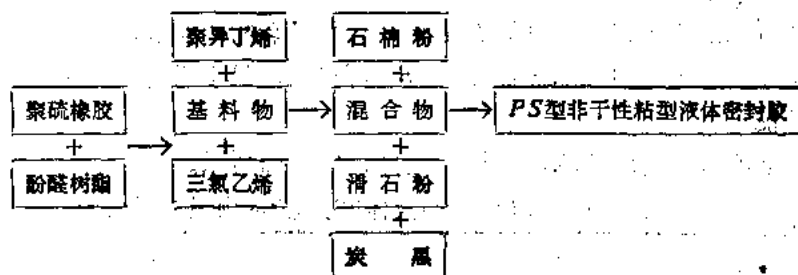
四、PS型密封胶 (垫料)

PS型密封胶 (HYJM-02), 是一种非干性粘型液体密封胶。它的特点是, 涂敷后

长期不硬化，而且又保持粘性。所以，它可在涂胶后不经干燥马上连接，也可在涂胶后数日或数周后再连接。因此，PS型胶既可用于紧急检修与流水线作业部件的密封，又可用于准备装配的场合下预先涂敷。由于在设备受到振动和冲击时，PS型密封胶不发生龟裂和出现脱落现象，又有较好的去除性和可拆性，所以它可用于承受机械振动和冲击性大，需要经常拆卸及大面积涂胶密封的设备上。

PS型密封胶是由液体聚硫橡胶的酚醛树脂改性物为基料制备而成。

1. 制胶工艺流程



2. 性能

PS型密封胶的物理机械性能见表16—14所示。

表16—14 PS型密封胶的物理机械性能

性 能		PS型密封胶
物 理 性 能	性 别	非干性粘型
	色 泽	黑色粘稠液体
	比 重	1.46
	不挥发分 %	88.5
	热分解温度℃	280~300
	最高使用温度℃	200
	最低使用温度℃	-40
密 封 性	室温耐压 Kgf/cm^2	50
	200℃耐压 Kgf/cm^2	20
耐介质性: 80号汽油		稳定
施 工 性	涂 敷 性	涂胶后可马上连接也可数日后连接
	去 除 性	较易
	贮 存 期	1~2年

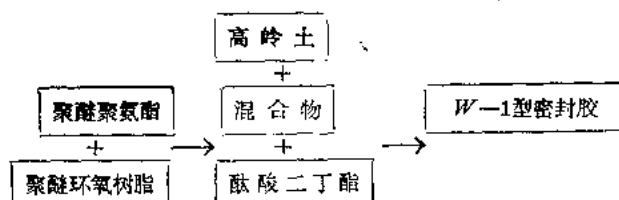
五、W-1型密封胶

W-1型密封胶是由聚氨酯和聚醚环氧树脂为基料制备而成的非干性粘型高分子液体密封胶。由于聚醚带有醚键，其柔韧性和耐低温性好，聚氨酯富有粘弹性，内聚力强，所以W-1型高分子液体密封胶具有良好的粘弹性，附着性，触变性和表面张力，

可以紧密地附着在接合面上，充满凹陷和间隙，在-10℃时仍有好的涂敷性，能在140℃和8Kgf/cm²压力下广泛应用。又因为它是无溶剂的，所以施工工艺简便，贮存期长，起始粘度高。

W-1型是一种通用型的高分子液体密封胶。

1. 制胶工艺流程



2. 性能

W-1型密封胶的物理机械性能见表16-15所示。

表16-15 铁锚603型与W-4型密封胶的物理机械性能

型 号		W-1型	W-4型
物 理 性 能	外 观	蓝色粘稠胶液	绿色粘稠胶液
	粘 度 厘泊	4~4.2×10 ⁵	5.5~6.0×10 ⁵
	比 重	1.2	2.4
	不挥发分%	48.1	48.3
	接合力 Kg/cm ²	0.47	0.64
	流动性 cm/min	0	0
	热分解温度℃	220	241
密 封 性	耐温性℃	160	160
	耐压性 Kg/cm ²	13	13
(重 量 变 化 率) 耐 介 质 性 %	水 (25℃, 24h)	+0.66	-7.19
	20号机油 (80℃, 24h)	+14.23	+3.56
	120号汽油 (25℃, 24h)	-5.47	+3.53
施 工 性	涂 敷 性	较好	较好
	去 除 性	较易	较易
	贮 存 期	一年	一年

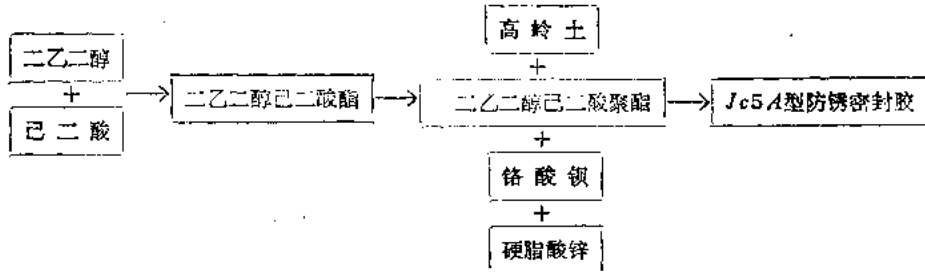
注: W-4型胶以聚氨酯为基料、丙酮作溶剂。

六、JC5A型防锈密封胶

JC5A型防锈密封胶 (HYJM-03)，是一种非干性粘型高分子液体密封胶。它是以前乙二醇己二酸聚酯为基料制备而成。其特点是既防锈又密封，可广泛应用于设备接合面

部位的密封，也适用于飞机和精密仪器接合面的密封。是目前国内广泛应用，性能最佳的品种之一。

1. 制胶工艺流程



2. 性能

JC5A型防锈密封胶的物理机械性能如表16—16所示。

表16—16 JC5A型防锈密封胶的物理机械性能

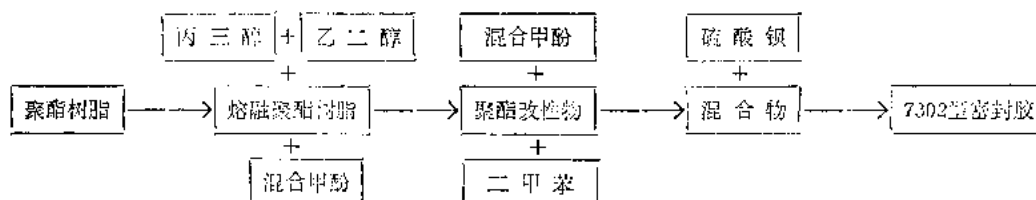
性 能		指 标
物 理 性 能	外 观	浅黄色粘稠状胶体
	成膜形态	不干性粘型
	粘 度 厘泊	120~150
	不挥发分 %	99
	使用温度范围 ℃	-50~250
密 封 性	25℃ Kgf/cm^2	15
	250℃ Kgf/cm^2	12
	-40℃ Kgf/cm^2	12
防 腐 性	按HC136-60标准、对45号钢、纯铝、硬铝、不锈钢等。	无腐蚀
耐 介 质 变 化 率 %	航空煤油、60℃/7天	-1.18
	水、25℃/24h	-2.55
	20号机油、80℃/24h	-0.97
	120号汽油、25℃/24h	-0.40
施 工 性	涂 敷 性	好
	去 除 性	易
贮 存 期		2年

七、7302型密封胶

7302型密封胶是一种非干性粘型，在80℃以上时为干性附着型高分子液体密封胶。

由聚酯树脂、丙三醇的改性物为基料制备而成。由于它在不同温度下有不同的成膜性，所以在选用时一定要注意。

1. 制胶工艺流程



2. 性能 (表16—17)

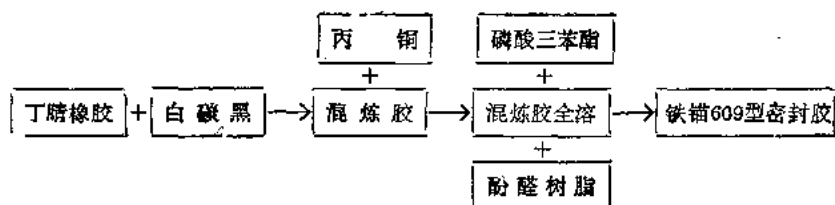
表16—17 7302型液体密封胶的物理机械性能

性 能		7302型密封胶
物 理 性 能	外 观	棕黄色粘稠胶液
	比 重	1.7
	粘 度 厘泊	$2.3 \sim 2.8 \times 10^6$
	不挥发分 %	64.5
	接合力 Kgf/cm^2	0.91
	流 动 性 cm/min	9.7
	热分解温度 $^{\circ}C$	318
密 封 性	耐 温 性 $^{\circ}C$	120
	耐 压 性 Kgf/cm^2	11
耐 久 性 (温 度 变 化 范 围 内 的 耐 久 性) %	水 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-9.06
	20号机油 (80 $^{\circ}C$, 24h)	-9.24
	120号汽油 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-0.92
施 工 性	涂 敷 性	较好
	去 除 性	难

八、铁锚609型密封胶

铁锚609型密封胶是一种干性可剥型高分子液体密封胶，用丁腈橡胶的酚醛树脂改性物为基料制备而成。

1. 制胶工艺流程



2. 性能

铁锚609型密封胶的物理机械性能见表16—18所示。

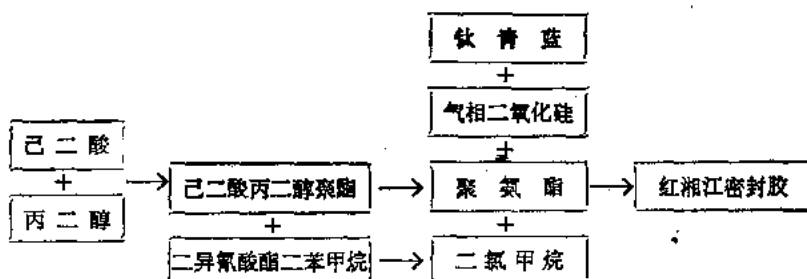
表16—18 铁锚609型密封胶的物理机械性能

性 能		铁锚609型密封胶
物 理 性 能	外 观	灰色粘液体
	比 重	1.8
	粘 度 厘泊	$3\sim 7\times 10^4$
	不挥发分 %	22.3
	接合力 Kgf/cm^2	1.93
	流 动 性 cm/min	7.7
	热分解温度 $^{\circ}C$	370
密 封 性	耐 温 性 $^{\circ}C$	140
	耐 压 性 Kgf/cm^2	12
(重 量 变 化 率) 耐 介 质 性 %)	水 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-2.05
	20号机油 (80 $^{\circ}C$, 24h)	+5.66
	120号汽油 (25 $^{\circ}C$, 24h)	+1.15
施 工 性	涂 敷 性	稍差
	去 除 性	易

九、红湘江密封胶（膏）

红湘江密封胶（膏）是一种非干性粘型高分子液体密封胶，由丙二醇己二酸聚酯与二异氰酸酯二苯甲烷合成的，聚氨酯为基料制备而成。是一种耐油、耐酸、耐碱性能较好的密封材料。

1. 制胶工艺流程



2. 性能 (表16—19)

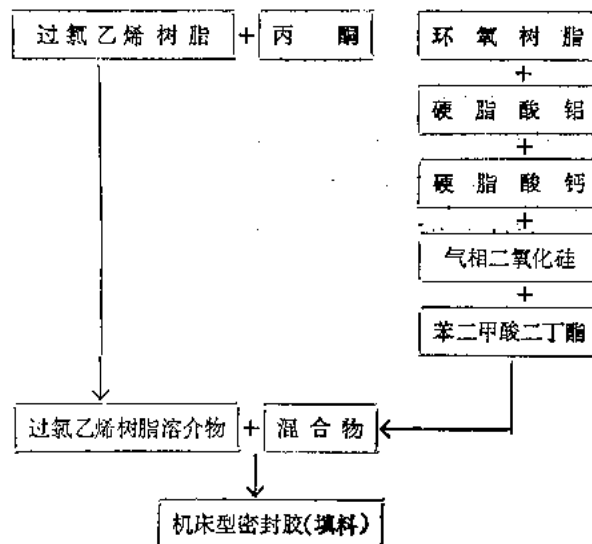
表16—19 红湘江密封胶(膏)的性能

性 能		红湘江型密封胶
物理性能	外 观	蓝色粘稠液体
	长期使用温度℃	-50~+250
	短期使用温度℃	300
	耐 压 性 Kgf/cm^2	20
耐介质性	耐水、油、醇类化合物、耐氧气、氨气、耐50%以下 H_2SO_4 、7%以下 HCl 、85%以下 HNO_3 、20%以下的 $NaOH$	

十、机床型密封胶 (填料)

机床型密封胶(填料)是干性附着型高分子液体密封胶。由过氯乙烯为基料制备而成,具有成膜性快,机械性能好的特点,可广泛地应用于铸件的汽孔、砂眼裂纹,螺钉孔、管路系统和设备接合面的密封。

1. 制胶工艺流程



2. 性能 (表16—20)

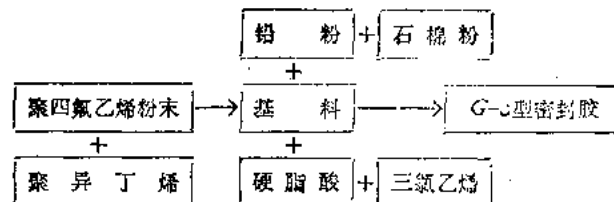
表16—20 机床型密封胶的物理机械性能

性 能		机床型密封胶
物 理 性 能	外 观	浅灰色粘稠液
	比 重	1.1
	粘 度 厘泊	$2.6 \sim 2.8 \times 10^3$
	不挥发分 %	11.7
	接合力 Kgf/cm^2	3.16
	流 动 性 cm/min	9.1
	热分解温度 $^{\circ}C$	219
密 封 性	耐温性 $^{\circ}C$	140
	耐 压 性 Kgf/cm^2	12
耐 介 质 性 能 (重%)	水 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-4.16
	20号机油(80 $^{\circ}C$, 24h)	-4.6
	120号汽油(25 $^{\circ}C$, 24h)	+5.44
施 工 性	涂 敷 性	好
	去 除 性	较难

十一、G-3型密封胶

G-3型密封胶是一种非干性粘型高分子液体密封胶。由聚四氟乙烯树脂和聚异丁烯橡胶为基料与耐高温填充剂铅粉制备而成。G-3型密封胶在常温到200 $^{\circ}C$ 的温度范围内,主要由聚异丁烯和聚四氟乙烯的粘弹附着性起密封作用,而铅粉在此时起填料作用。在温度再升高时,树脂和橡胶受热分解碳化,而铅粉开始熔融形成粘性金属薄膜,这时分解碳化的树脂和橡胶起填料作用,因此在高温下仍有良好的密封性能。

1. 制胶工艺流程



2. 性能 (表16—21)

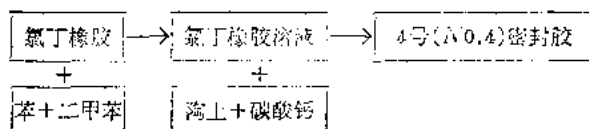
表16—21 G-3型密封胶的物理机械性能

性 能		G-3型密封胶
物 理 性 能	外 观	灰黑色粘稠液体
	比 重	5
	粘 度 厘泊	$2.5 \sim 3.0 \times 10^5$
	不挥发分 %	70.5
	接合力 Kgf/cm^2	0.63
	流动性 cm/min	0
	热分解温度 $^{\circ}C$	620
密 封 性	耐温 $^{\circ}C$	300
	耐压性 Kgf/cm^2	13.5
耐 介 质 性 能 (%)	水 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-7.19
	20号机油 (80 $^{\circ}C$, 24h)	-2.56
	120号汽油 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-26.6
施 工 性	涂敷性	较好
	去除性	易
	贮存期	一年

十二、4号 (N0.4) 密封胶

4号(N0.4) 密封胶是以氯丁橡胶(或丁腈橡胶)为基料而制成的一种干性可剥型高分子液体密封胶。可用于一般设备接合面的密封。

1. 制胶工艺流程



2. 性能 (按10—22)

表16—22 4号 (N0.4) 密封胶的物理机械性能

性 能		4号密封胶
物 理 性 能	外 观	灰色粘液
	比 重	1.2
	粘 度 厘泊	$5\sim 7\times 10^3$
	不挥发分 %	46.8
	接合力 Kgf/cm^2	3.52
	流 动 性 cm/min	20
	热分解温度 $^{\circ}C$	290
密 封 性	耐温性 $^{\circ}C$	140
	耐 压 性 Kgf/cm^2	12
耐 介 质 变 化 率 (重 %)	水 (25 $^{\circ}C$, 24h)	+0.66
	20号机油 (80 $^{\circ}C$, 24h)	+14.23
	120号汽油 (25 $^{\circ}C$, 24h)	-5.47
施 工 性	涂 敷 性	好
	去 除 性	可 (但加热后去除难)

十三、7303型密封胶

7303型密封胶为半干性粘型密封胶，主要是以聚酯酚醛改性物为基料的酒精胶液。

1. 性能 (表16—23)

表16—23 7303型密封胶的物理机械性能

性 能		7303型密封胶
物 理 性 能	外 观	乳白或黄色粘弹性液体
	比 重	1.2
	不挥发分 %	85
	最高使用温度 $^{\circ}C$	200
	耐 压 性 Kgf/cm^2	10
耐介质性	可在水、蒸汽、盐水、汽油、机油、甲苯、稀硫酸、稀盐酸等介质中使用	
	去 除 性 稀释剂和清洗剂	易 丙酮、甲酮、乙酮

十四、国产高分子液体密封胶的主要品种

表16—24所列为国产高分子液体密封胶的主要品种。

表16—24 国产高分子液体密封胶的主要品种

注	品 种	非干性粘型					半干性粘弹型		干性可剥型
		MF-1	铁锚603	7302	PS	JC5A	液体尼龙	铁锚601	铁锚609
理化性能	外观	灰红色	蓝色	乳黄色	黑色	黄色	乳黄色	灰色	浅灰色
	比重	1.4	1.2	1.7	1.46	—	0.95	1.2	1.8
	粘度 厘泊	2~2.4 ×10 ⁵	4~4.2 ×10 ⁵	2.8~2.8 ×10 ⁵	—	>1×10 ⁵	1.5~1.6 ×10 ⁵	3.7~4 ×10 ⁴	3~7×10 ⁵
	不挥发分%	30.8	48.1	64.5	88.5	90	43.1	35.2	22.3
	接合力Kgf/cm ²	0.75	0.47	0.91	—	—	1.22	0.84	1.93
	流动性cm/min	2.00	6.50	9.70	—	—	10.20	6.90	7.70
	热分解温度℃	230	220	318	300	400	317	319	370
密封性	耐高温℃	200	160	120	200	250	220	200	150
	耐压Kgf/cm ²	14	14	13	14	15	14	14	14
耐介质	水(25℃, 24h)	-0.60	-0.10	-9.06	-1.19	-2.55	-15.91	-0.46	-2.06
	20号机油(80℃, 24h)	+5.70	+1.34	-9.24	-0.99	-0.97	-7.13	+3.94	+5.66
	120号汽油(25℃, 24h)	-23.8	+5.69	-0.92	-0.88	-0.40	-19.4	+2.70	+1.15
施工性	涂敷性	好	好	好	好	好	好	好	稍差
	去除性	易	易	较易	易	易	较易	易	较易

第十七章 厌氧胶密封

第一节 厌氧胶的基础理论

一、厌氧胶的由来

一般胶粘剂多数是双成分的，在使用前必须经过严格的混合调配，在涂敷后，多数胶粘剂要在一定的压力和温度下进行固化，这给胶接工艺造成不少困难。50年代初，美国乐泰 (Loctite) 公司的创始人维诺·柯利贝尔 (Vernono Kreible) 首先发明了厌氧性密封胶粘剂，又叫嫌气性密封剂、嫌气性密封粘接剂或螺纹锁紧剂等，通常简称厌氧胶。它的特性很快就受到人们的注意。初始产品仅适应于铁金属的粘接。60年代初，美国首先生产了粘接非铁金属的厌氧胶，甚至对塑料也适用。直到60年代中期，才获得了真正的厌氧胶，并开始工业化生产。

继美国之后，日本、西德、法国、英国等也先后着手研制和生产厌氧胶。特别是由于丙稀直接氧化制备丙烯酸的工业生产后，使得丙烯酸酯类的厌氧胶得到迅速发展。

大多数厌氧胶可在 $-50\sim+150^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内使用，但在 200°C 时开始老化而变质。1975年Bernard M Malofsky研制了一种厌氧胶，粘接后，在 232°C 的高温下老化77天仍保持 $352\text{kgf}/\text{cm}^2$ 的剪切强度。其它强力型厌氧胶品种也在不断出现。

自1964年生产厌氧胶以来到1972年，世界范围内在紧固螺栓，密封和定位方面的应用就已经增加到一百万磅 (450吨) 以上。厌氧胶主要由美国的乐泰公司和日本的三键公司供应。

厌氧胶产量的增长速率，在连续15年内每年都为25%，而且价格始终未变动过。

国内从70年代初，开始了厌氧胶的研制和生产，深受工程机械、航空、交通运输、化工和电机等部门的广泛重视。实际应用证明，厌氧胶对提高产品质量，简化工艺和降低成本等方面，都有很大的效果。

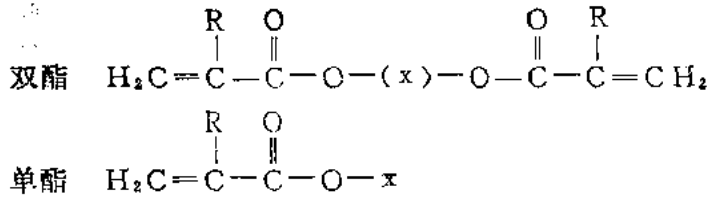
二、厌氧胶的组成和固化机理

厌氧胶的固化机理是由它的组分特性决定的，所以首先介绍一下厌氧胶的组成。通常，厌氧胶是一种单组分无溶剂的胶种。但却是一个多成分的体系，一般包括有可聚合的单体、引发剂、促进剂、稳定剂、增稠剂和染料等。它的每一个成分都起着特定的作用。

1. 单体

单体是厌氧胶的主要成分，占胶总重量的80~95%。单体固化后，形成聚合物层，起着粘接和密封的作用。单体的结构和性质决定了厌氧胶的性能。厌氧胶所用单体种类非常多，但同属一个类型——丙烯酸酯类，多数是它的双酯和单酯，以及它们的衍生物。

通式如下:

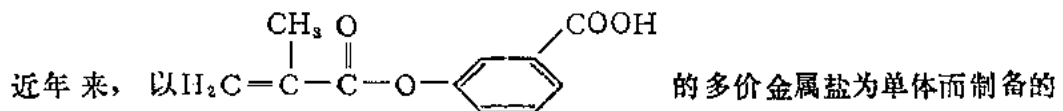


式中R为H或低级烷基或卤素，x为多元醇，二元酸，二元酚，磷及羟烷基胺等。而丙烯酸多酯类化合物也可应用。

由于对厌氧胶的性能要求不同，所以它的化学结构也不同。一般常用的树脂单体有β-甲基丙烯酸丙酯、α、ω-甲基丙烯酸乙二醇双酯、α、ω-甲基丙烯酸二缩三乙二醇双酯、α、ω-甲基丙烯酸三缩四乙二醇双酯、α、ω-丙烯酸二缩三乙二醇双酯、1、3-丙烯酸丙二醇双酯、三羟基丙烷三甲基丙烯酸酯等。

上述单体在厌氧胶中应用的历史最长，用它们制备的厌氧胶品种很多。多酯型单体可以提高交联度，对耐高温性能和强度皆有帮助。结构简单的多酯可由三羟基丙烷、甘油、季戊四醇制得。有的单体除本身做厌氧胶的主体外，还可作为活化性稀释剂来调解胶液的流动性。比如，二甲基丙烯酸乙酯、甲基丙烯酸四氢呋喃酯等。通常用含环醇基的甲基丙烯酸环单酯和甲基丙环多乙二醇双酯合用，在物理机械性能方面能提高1.5~3倍。

单体中酯基的结构对厌氧胶性能影响很大。比如丙烯酸酯类的改性物像甲基丙烯酸改性聚氨酯，能赋予胶层弹性而更有利于防震，同时，由于氢键密度增大而显著提高粘接强度。如果将双环A、氢化双酚、双酚A环氧引入单体中酯基的结构中，像甲基丙烯酸改性环氧树脂，它在耐腐蚀、耐老化性能和粘接强度上都有很好的增进。



厌氧胶，闯开油面粘接的新途径。也有人把S、Si、P等元素引入丙烯酸酯中，用来改进耐热性和阻燃性。另外也有用在单体中混入一定量的双马来酰亚胺在粘接固化时发生共聚，以阻止分子热降解的链锁反应，从而提高耐热性。表17-1是厌氧胶中单体结构对聚合速度的影响。表17-2是厌氧胶的典型单体结构和制备方法。

表17-1 单体结构对厌氧胶聚合速度的影响

单 体	扭 矩 (Kg/cm)		
	固 化 时 间 (min)		
	10	15	20
β—甲基丙烯酸羟丙酯	0	0	0.93
α、ω—甲基丙烯酸乙二醇双酯	0.14	0.84	1.54
α、ω—甲基丙烯酸二缩三乙醇双酯	0.42	1.90	2.91
α、ω—甲基丙烯酸三缩四乙醇双酯	0.84	21.0	3.10
α、ω—丙烯酸二缩三乙二醇双酯	2.10	2.66	2.80
1、3—丙烯酸丙二醇双酯	0.70	1.54	1.68
三羟基丙烷三甲基丙烯酸酯	1.12	1.82	3.92

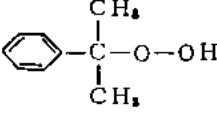
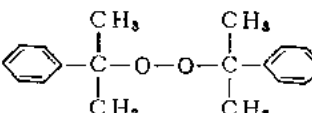
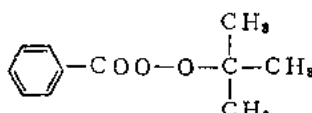
表17-2 厌氧胶典型单体结构和制备方法

名称	结构式	制备方法
丙烯酸缩乙二醇酯	$\text{CH}_2=\overset{\text{R}}{\text{C}}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{O}-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{R}}{\text{C}}=\text{CH}_2$ <p>R=H, CH₃, n=1~4</p>	(1) 缩乙二醇与丙烯酸或甲基丙烯酸酯化 (2) 缩乙二醇与丙烯酸甲酯或甲基丙烯酸甲酯交换
甲基丙烯酸羟基乙酯或羟基丙酯	$\text{CH}_2=\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{COOCH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ $\text{CH}_2=\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{COOCH}_2-\overset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	甲基丙烯酸与环氧乙烷或环氧丙烷反应
丙苯酐-乙二醇-甲基丙烯酸反应物		(1) 苯酐、乙二醇、甲基丙烯酸酯化 (2) 苯酐与甲基丙烯酸酯乙酐反应
双酚A-甲苯二异氰酸酯-甲基丙烯酸羟乙酯加成物	CH_3 $\text{CH} \left(\text{C}_6\text{H}_4 \right)_2 \text{O} \text{CONH} \left(\text{C}_6\text{H}_4 \right)_2 \text{CH}_3$ $\text{NHCOOCH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2$	双酚A、甲苯二异氰酸酯与甲基丙烯酸羟乙酯反应
甲苯二异氰酸酯与甲基丙烯酸羟丙酯加成物	CH_3 $\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}-\text{COOCH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{OOC}=\text{CH}_2$ $\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}-\text{COOCH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{OOC}=\overset{\text{CH}_3}{\text{CH}}_2$	甲苯二异氰酸酯与甲基丙烯酸羟丙酯加成反应
双酚A环氧丙烯酸	CH_3 $\text{CH} \left(\text{C}_6\text{H}_4 \right)_2 \text{O} \text{CH}_2-\overset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{OO}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}=\text{CH}_2$	低分子环氧树脂与丙烯酸反应

2. 引发剂

在厌氧胶中另一个重要的组分是引发剂，它保证了厌氧胶胶液有较快的固化速度。但是为了贮存稳定性不受破坏，对引发剂的品种和含量必须加以选择和控制。通常，引发剂是活性小的有机过氧化氢化合物和有机过氧化物。活性小是一个重要条件，如果活性大，配制的胶将失去贮存期。引发剂的加入量是使之含0.1~1.5%的活泼氧较为适宜。常用引发剂如表17-3所列。

表17—3 厌氧胶常用引发剂

名称	结构式	半衰期 10小时的温度℃
异丙苯过氧化氢	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} - \text{O} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 	158
叔丁基过氧化氢	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{O} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	167
2,5-二甲基- 2,5-二过氧化氢己 烷	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{O} - \text{OH} \qquad \qquad \text{O} - \text{OH} \end{array}$	151
异丙苯过氧化物	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{C} - \text{O} - \text{O} - \text{C} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$ 	115
叔丁基过氧化物	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{O} - \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$	124
苯甲酸过氧化叔丁酯	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 	104

除表17—3例举的引发剂外，过氧化甲乙酮及其酯，过碳酸盐，过硼酸盐这样的过酸酯型化合物，以及某些水解或分解后能形成过氧化氢的化合物等皆可作引发剂。而过氧化氢也可和过氧化物混合使用，但必须严格控制比例。最常用的是异丙苯过氧化氢，应用于约70%的厌氧胶中。

3. 促进剂

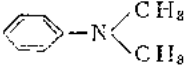
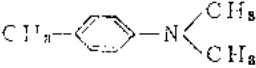
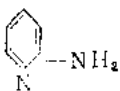

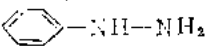
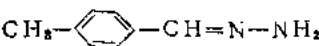
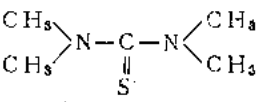
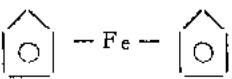
促进剂是厌氧胶中第三个重要组分。好的促进剂，不仅不损坏厌氧胶的稳定性，而且在厌氧的条件下，又能大大加快固化速度。它是一类不含氧的具有潜在性的促进厌氧胶固化的促进剂。一般是单胺和叔胺化合物，常用的促进剂见表17—4所列。

有时还加入助促进剂来加快厌氧胶的固化速度，如加入0.5%的邻磺酰苯酰亚胺(糖精)作助促进剂。

4. 稳定剂

为了获得较长的存放期，一般在厌氧胶中加入稳定剂。厌氧胶的主要稳定剂有对苯二酚和苯酸之类化合物。加入量在50~800ppm范围内，过量反而会成为游离基的来源，

表17-4 常用厌氧胶促进剂

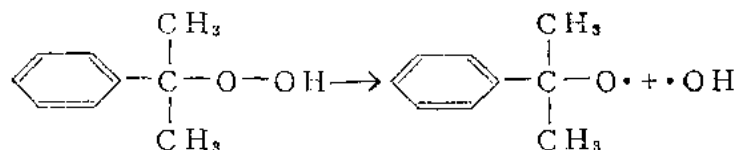
类 型	名 称	结 构 式	用量(%)
叔 胺	二甲基苯胺		0.5~1.0
叔 胺	二甲基对甲苯胺		0.1~1.0
叔 胺	3-乙胺	$(\text{CH}_3-\text{CH}_2)_3\text{N}$	0.5~3.0
伯 胺	辛 胺	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$	0.5~3.0
杂环化合物(叔胺)	α -氨基吡啶		0.5~2.0
杂环化合物(叔胺)	四氢咪啉		0.5~2.0
多 胺	丙二胺	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	0.1~1.0
醇 胺	三乙醇胺	$\text{N}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$	0.5~3.0
脲 胺	二甲基甲酰胺	$\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$	1.0~3.0
胍	苯 胍		~1.0
脘	对甲苯脘		~1.0
取代硫脲	四甲基硫脲		0.5~1.5
硫 醇	十二碳硫醇	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{SH}$	~0.5
有机金属化合物	二茂铁		~0.001
有机金属化合物	三乙酰丙酮铝	$(\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COCH}_3)_3\text{Al}$	0.1~1.0

对厌氧胶的稳定性不利。目前，也有用氮氧游离基作稳定剂的，可以降低厌氧胶的活性。但因合成工艺复杂，尚未在生产上应用。也可在厌氧胶组分内加入0.01~10 ppm多元醇，以使厌氧胶有较长的活性期。

对厌氧胶的固化机理至今还没有透彻的了解。一般认为厌氧胶的固化是游离基反应，所以它包括链的引发、增长、终止和转移过程。

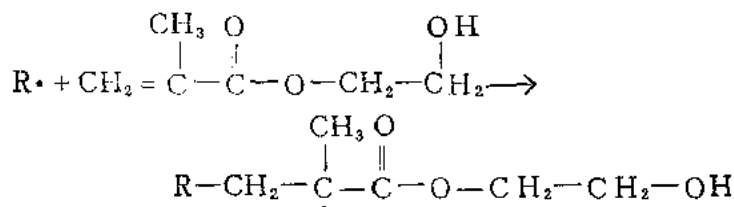
(1) 链的引发 厌氧胶所用引发剂，是属过氧化物和氧化还原体系引发的混合引发体系。下面以过氧化物引发剂为例说明。

B 表示引发剂、 R 表示其分解的初级游离基，即 $B \rightarrow 2R$ 。例如：



当 R 作用于厌氧胶单体、激发双键上的 π 电子，使之分离为二个独电子， $R\cdot$ 与其中一个独电子结合，放出一定能量后，生成游离基 $RM\cdot$ 。

例如：



这一步链引发速率比上一步初级游离基 $R\cdot$ 的生成速率快得多，所以单体游离基 $RM\cdot$ 主要取决于引发剂的分解速率

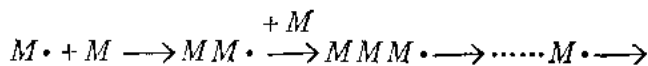
$$\frac{d[RM\cdot]}{dt} \propto 2k[B] \quad (17-1)$$

这个结论同样适用于链较长的游离基。若以 $M\cdot$ 表示系统中各种游离基的总和，链引发速率 V 可以表示如下：

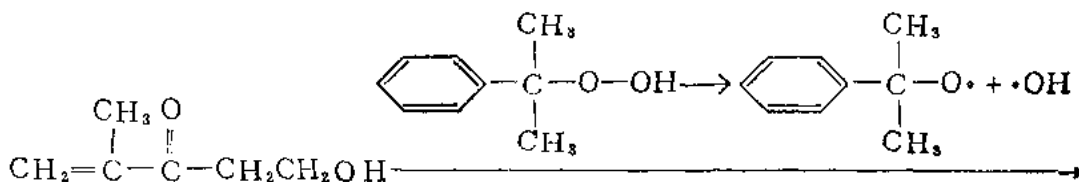
$$V = \frac{d(RM\cdot)}{dt} \propto 2k[B] \quad (17-2)$$

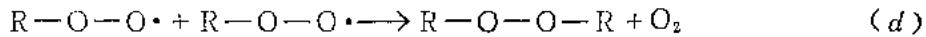
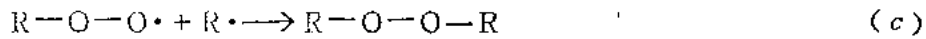
为使厌氧胶有较长的贮存期，要控制引发速率不致太高，因此，不能使用分解速率高，活性大的引发剂。

(2) 链的增长 链引发后即进行链增长：



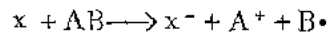
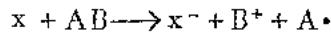
以单体甲基丙烯酸羟丙酯为例：



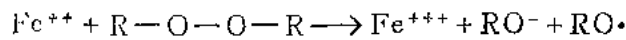


式(c)、(d)生成的过氧键在一般条件下是比较稳定的。因此，厌氧胶在有氧气存在时不会很快聚合，在隔绝氧气后，失去了氧的阻聚作用，厌氧胶便开始聚合。

为了加快固化(聚合)，还需加入具有还原性的促进剂，组成氧化还原体系，其引发作用是靠氧化还原反应，使化学键发生单电子转移。



如亚铁离子与前述(c)、(d)式中过氧化物作用：



$\text{RO}\cdot$ 即可引发聚合反应。

这也就是说明为什么铜、铁等金属离子对厌氧胶的固化有促进作用。

为了保证厌氧胶有一定的贮存稳定性，氧化还原引发体系也不能用活性太大的物质，一般采用有机胺类。

三、厌氧胶表面处理剂

厌氧胶与一般胶粘剂不同之处，除粘接时必须排除空气之外，还与它的固化速度和固化后的强度与粘接对象的材料有非常大的关系。一般来说，厌氧胶粘接铁、铜等速度大，但粘接铬、锌、锡、不锈钢以及玻璃、陶瓷、塑料等非金属，固化的慢，强度也要小。

为了提高厌氧胶对镀铬、镀锌、镀锡表面及非金属表面等的粘接速度，加入足够量的有效促进剂是一个办法，但不足以完全解决这一问题。原因是促进剂加入胶中，常常使胶的稳定性变坏，甚至完全丧失稳定性。所以，如果将有效的促进剂成分不直接加入到胶中，而用来处理材料的粘接面，这就是厌氧胶的表面处理。用以处理粘接表面的溶液称之为表面处理剂。

对粘接材料进行表面处理，在很大程度上改进了厌氧胶对“不锈”金属或非金属粘接速度慢和强度低的缺陷。另一方面，铁、铜等对厌氧胶呈“活泼”的金属，经表面处理之后，粘接速度可以由几小时缩短到几分钟乃至几秒钟。这对于提高功效，尤其是提高生产流水线作业的功效是极其重要的。

表面处理剂的基本类型与促进剂相类似，大致上也分为含氮化合物，含硫化合物和金属化合物等几个类型。表17-5列出了常用的几个表面处理剂的配方。

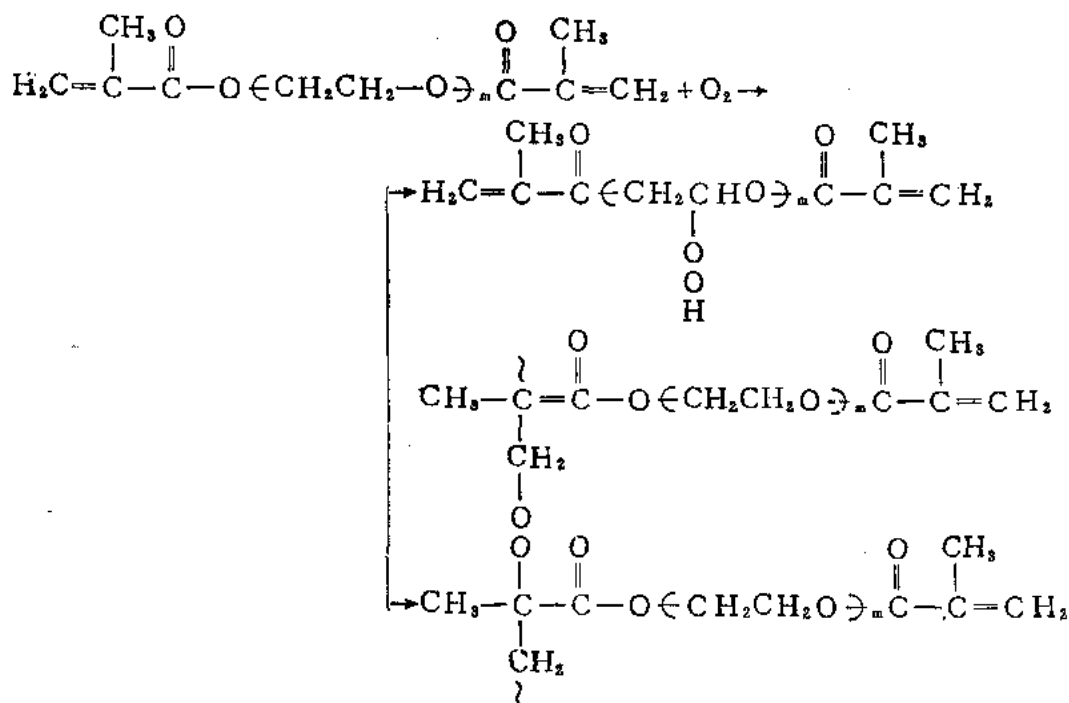
厌氧胶的反应机理至今尚不十分清楚。但通常可以这样理解，人们已经知道，空气中的氧对丙烯酸酯的聚合速度发生两种相反的显著影响。一种是初级游离基易于氧化而生成不活泼的新游离基，它们一般不能引发单体，而只能和另一个游离基结合。这实际上是消耗游离基阻止聚合反应的进行。另一种是在某些条件下(如温度、隔氧等)生成的过氧化物极易分解产生游离基而加速聚合反应的进行。厌氧胶的组成本身包含着一个

表17-5 常用厌氧胶表面处理剂配方

表 面 处 理 剂	溶 剂	粘接(初步固化)时间S
二茂铁-三氯醋酸 (0.01) (1)	二氯甲烷 (100)	两玻璃片 300
醋酸铜-抗坏血酸 (0.01) (1)	甲 醇 (100)	两玻璃片 8~9
四 甲 基 硫 脲 (4)	氯 仿 (100)	两玻璃片 35
苯 基 硫 脲 (5)	甲 醇 (100)	螺栓-螺母 60
糖 精-抗 坏 血 酸 (2) (2)	甲醇-三氯乙烯 (50) (50)	螺栓-螺母 180~300

注: 1. 初步固化: 两玻璃片轻轻推一片, 无相对位移, 螺栓、螺母用手拧不动。
 2. 括号内的数字为重量百分比。
 3. 固化温度为20~25℃。

氧化还原体系, 因此在隔氧的情况下, 后一种影响在厌氧胶中占优势。这样大量的氧抑制其聚合的发生, 而使厌氧胶有较长的存放期。然而极微量的氧却能加速其聚合, 而使厌氧胶有较快的因此速度。据此, 有人提出, 厌氧胶单体首先和氧反应生成低分子的聚合物。即



然后和过氧化氢一起继续反应, 分解成游离基而加速聚合反应。

一般认为它的聚合反应为游离基反应，而某些金属离子能促进作为引发剂的过氧化氢分解，从而加速聚合反应。所以，实际上厌氧胶对铜、铁等金属的粘接要比对不锈钢、锌、玻璃和热固性塑性材料等容易得多。

丙烯酸酯的聚合速度比一般饱和聚酯快，而且渗透性好，体积收缩甚微。双酯和多酯经粘接固化，聚合成不熔的韧性网状结构。它的粘接强度大。因此，厌氧胶具有优良的密封、防震性能和良好的耐油、水及有机溶剂等介质的性能。

四、厌氧胶的增稠

厌氧胶使用于不同的场合时，对其粘度要求也不一样。当用来堵塞结构细缝、铸件砂眼、封固螺栓、螺母、密封管线螺纹等时，粘度不要太高，以获得厌氧胶的渗透性和流动性。当用来堵塞宽一些的裂缝，做箱体接合面，法兰面等的密封剂以及做平面件粘接剂时，粘度要求高，以免流失。

常用于制备厌氧胶单体的甲基丙烯酸缩乙二醇酯、甲基丙烯酸羟基丙醇酯等的粘度，一般在十几厘泊到几十厘泊，配制低粘度厌氧胶是可取的，但配制高粘度厌氧胶时，必须增稠。

增稠的办法主要是添加一定量可溶于胶的又不损害其性质的高聚物。如分子量1000~6000的聚酯，分子量3000左右苯乙烯-丙烯酸聚酯的共聚物，磷苯二甲酸二丙烯酸酯的均聚物，一定分子量的氯乙烯聚合物以及其它聚合物等均可用来作厌氧胶的增稠剂。

增稠聚合物的添加量，根据不同要求，可以变化很大，一般为胶量的1~30%。

聚合物加到胶内，除增稠外，还起到调解强度，增加粘接层韧性等作用。如加橡胶组分来提高抗冲击性、韧性，加顺丁烯二酸酯或桐油改性物来增加可拆卸性等。

如果将厌氧胶的粘度增加很大，将它涂在螺纹槽中，外面再喷涂一层 α -氰基丙烯酸酯（即501、502胶），其所成膜将高粘度胶包在螺纹槽里，空气透过膜来维持胶的稳定。这种螺纹使用很方便，不必临时涂胶。

一个类似的方法是利用SO₂等气体能使厌氧胶迅速固化的特点，将浸涂厌氧胶的螺纹在SO₂气中放置一定时间，螺纹槽中的胶被由它自己聚合所形成的膜包住。使用时只要将螺母拧上即可。

如果将具有一定熔点而不溶于胶的有机物，如聚乙二醇，石蜡、硬脂酸等机械地分散到厌氧胶中，调解其用量，可以制得具有不同熔点的厌氧胶。如缩乙二醇双甲基丙烯酸甲酯的厌氧胶，机械分散17%和30%的聚乙二醇（分子量20000，熔点82℃），所得厌氧胶的熔点分别为30℃和60℃。这种具有低熔点的胶，在熔点以上，浸涂到螺纹上，冷却后固结在螺纹槽中，用时不必再涂胶。

如果加到厌氧胶中的聚合物是可溶的，加量又比较大（胶的40~80%），再加适量的低沸点溶剂冲稀，调制均一的溶液，将溶液平涂在涂腊的平板上，溶剂挥发，留下的薄膜或薄板具有厌氧胶的性质，可以用来做密封垫片或密封膜等。

微囊式厌氧胶是胶囊大小为0.2~0.8mm，胶含量是总重量的70~80%，空气透过囊壁，来维持囊内胶液的稳定性。使用时，因粘接面的挤压，囊壁破裂，胶液流出，在

不接触空气的情况下，很快聚合固化。

小胶囊可以单独作胶粘剂或密封剂用，但主要是将它封固在螺纹槽中，制成专用螺纹。其方法是将小胶囊搅合在6%的聚乙烯醇水溶液中，混以色料制成糊状物（内含小胶囊50%），用专用机械将此糊状物涂到螺纹上，再浸以2%硼砂，5%水杨酸、苯胺的水溶液，3~5秒内，聚乙烯醇固结成膜，将小胶囊固住在螺纹槽中。这种螺纹一但拧上螺母，室温下5分钟，拆卸力矩可达到50Kgfcm，3小时可达200Kgfcm。

五、厌氧胶的性能

厌氧胶的突出性能表现在如下几个方面。

(1) 单体、引发剂、促进剂配在一起，组成一个组分。这个组分，靠氧气的阻聚作用来维持稳定性。使用时，只要将氧气排除，就可以在室温下很快聚合固化。因此，厌氧胶具有工艺简单、使用方便、省工、省料等优点。同时，它是单一组分，避免了像大部分胶粘剂那样用时临时调配，用剩全部报废的现象。厌氧胶是室温固化，因此，不必将粘接件与密封件进行加热处理。

(2) 由厌氧胶的组分可知，单体、引发剂、促进剂的种类多，赋予厌氧胶适应范围广，可以针对不同用途，配制成各式各样的厌氧胶，以满足各个方面的需要。

(3) 用于配制厌氧胶的单体是带极性的或者是可以交联的，或者既带极性又有交联性的丙烯酸酯，从而使厌氧胶的固化物粘接力大，韧性强，耐热、耐溶剂性好。此外，由于厌氧胶是无溶剂的，形成的聚合物膜致密，所以密封性能特别优良。

比如说，为防止松动，用厌氧胶封固螺钉与螺母，在一个M10的钢质螺钉上滴1~2滴厌氧胶，只要不将螺母拧上，一个月、二个月也不会干固，但是一旦将螺母拧上，由于排除了空气，螺纹槽中的厌氧胶在室温下，2~3小时就固化了。一昼夜后，如要将这个螺母拧下来，所需加的扭力矩达200~300Kgfcm。同样，粘接两块平整薄铁板，一昼夜后，要将这两块铁板拉开，需要100~150Kgf/cm²的剪切力。

(4) 厌氧胶固化形成的聚合物，一般是交联的体型结构，不溶不熔，耐温、耐油、耐溶剂，耐酸碱性都比较好。如果将上面已固化的螺钉与螺母在150℃加热，不会形成聚合物膜的破坏。将它浸在油、溶剂、酸、碱液中，一周后再测要拧下螺母所要加的力矩时，一般是不会下降或下降的很小。

目前，厌氧胶性能达到的水平是：

(1) 固化时间 固化时间为10~12分钟定位，2~6小时完全固化。若加促进剂可在5分钟内定位，2小时完全固化。

(2) 胶接强度 螺纹锁紧用的厌氧胶，以M10螺栓作测试标准，其定位扭矩分若干等级，大致在20~350Kgfcm范围内。粘接用的厌氧胶，其剪切强度（钢—钢）可达到300Kgf/m²。

(3) 填隙能力 锁紧、粘接用胶，一般最大允许间隙值为0.1~0.3mm，密封用胶可达0.75mm，加用促进剂可达1.27mm。

(4) 工作温度 一般的厌氧胶都能在-55~+150℃的温度范围内长期工作。耐高温的胶种可在204℃以下工作，密封不锈钢件的专用厌氧胶可在260℃以下工作。

(5) 可胶接的材料和表面 厌氧胶可以胶接各种金属及其表面处理的镀层, 用促进剂时可以胶接玻璃、陶瓷、磁石、木器等非金属材料。油面性厌氧胶, 还可以直接用在油面和脏面上。

六、厌氧胶的分类与应用

1. 厌氧胶的分类

目前, 厌氧胶主要是按其应用范围进行分类。

(1) 锁紧用厌氧胶 根据各类螺纹紧固件的锁紧要求, 发展了各种等级的厌氧胶, 其变位扭矩范围为 $20\sim 350\text{Kgfc}\cdot\text{m}$ (以 $M10$ 螺栓作为测试标准)。作为锁紧螺纹用的厌氧胶, 使用量最多的是扭矩为 $40\sim 80\text{Kgfc}\cdot\text{m}$ 的等级。为方便生产线上使用, 目前又发展了一种微胶囊型厌氧胶, 胶液包在微小的胶囊中。胶囊预涂在螺纹上, 螺栓在组装时挤破胶囊, 流出胶液, 产生胶接作用。

(2) 管道密封用厌氧胶 混有聚四氟乙烯的厌氧胶, 可广泛用于管道接头的密封。用胶后在24小时内还允许作调整定位。此外还发展了不锈钢、冷冻机等专用的耐热(260°C)、耐压($700\text{Kg}/\text{m}^2$)等管道密封专用厌氧胶。

(3) 法兰面密封用厌氧胶 这类厌氧胶可取代传统的固体垫圈, 使用方便可靠。有的品种固化后仍有柔性、回弹性, 在 120°C 下回弹为 0.11mm 。使用促进剂时, 垫隙可达 1.27mm 。

(4) 粘固用厌氧胶 厌氧胶用于套接、嵌合件粘固, 可起结构胶的作用。目前出现的粘固用厌氧胶的剪切强度, 最高可达 $300\text{Kg}/\text{cm}^2$ 左右。

(5) 浸渍用厌氧胶 厌氧胶作为浸渍剂用, 可以解决铸件的微孔泄漏。采用真空浸渍法, 可以填住尺寸为 0.2mm 以下的微孔, 耐压力可达到 $140\sim 210\text{Kg}/\text{cm}^2$ 。

(6) 维修胶接用厌氧胶 根据维修的工作条件, 这一类厌氧胶能用在油面、脏面上, 且能快速固化。如美国乐泰公司的“Depend”厌氧胶, 可在 $1\sim 2$ 分钟定位, $20\sim 30$ 分钟可达到50%的强度。

此外, 为适应自动线上快速固化的要求, 又出现了光敏性厌氧胶, 在紫外线的光照下, 在数分钟内即可固化。为满足特殊用胶, 目前厌氧性压敏胶带, 铸造泥芯用的厌氧胶新品种正在研制之中。

2. 厌氧胶的应用

厌氧胶, 一般用于不仅需要密封而且又需要固定的接合面和承插部位。

(1) 用于管道螺纹接头、螺纹件及一些较小接合面的耐压密封, 可以省去规格繁多的密封圈, 垫片等。对液压件的接头及阀门接合面密封也有良好的效果。特别是在密封油压较高的管接头 ($50\sim 320\text{Kg}/\text{cm}^2$) 时, 更显示出其优越性。

(2) 在振动冲击条件下工作的机器中, 不经拆卸的螺钉、螺母及双头螺栓的紧固, 防松、防漏、可以省去防松弹簧垫圈, 或其它紧固密封零

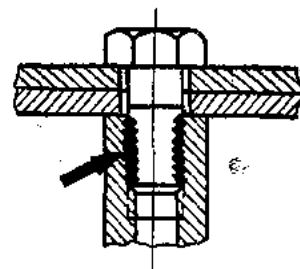


图17—1 厌氧胶用于各种螺纹连接的密封与防松

件。既能紧固又能密封，这是其它密封胶所望尘莫及的。

(3) 用于轴承的固定与密封，以及填充堵塞漏隙裂缝等。

目前，厌氧胶以其优异的密封与紧固性能，以及简便的工艺性能，在工程机械、汽车、拖拉机、电机、船舶、航空、机床甚至电冰箱、洗衣机等行业中，获得越来越广泛地应用。

厌氧胶的应用实例如图17—1至图17—3。

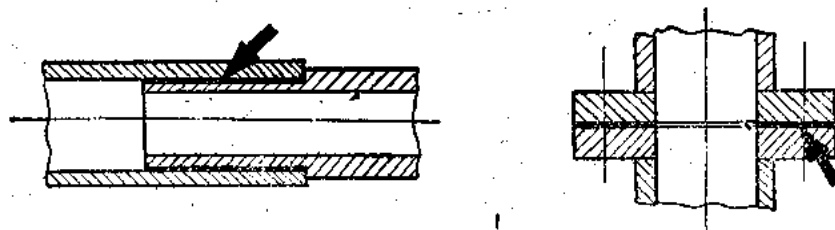


图17—2 厌氧胶用于各种管接头的连接密封

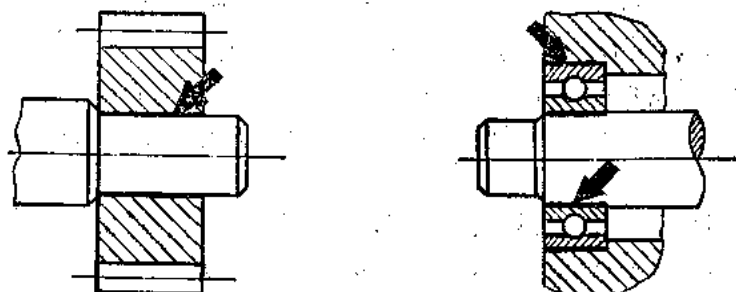


图17—3 厌氧胶用于轴承座圈、齿轮、蜗轮的固定

七、厌氧胶的使用方法

任何一种材料都不是万能的，厌氧胶也同其它密封胶一样，使用方法正确，才能达到预期的效果。厌氧胶的使用方法比较简单，分为三个步骤。

1. 预处理

接合面或螺纹件需要进行预处理，去除油污污染物或锈蚀等，以使厌氧胶胶液能发挥更好的作用。预处理的要求与机件及工作要求有关。对一般机件的清洗要求不是很高的，用汽油等抹除即可；对耐压要求不高的地方只用于净棉纱抹净油污即可；但对耐压和防松要求高的地方，必须把接合面处理清洁，除油彻底。虽然少量油类可与胶液混溶而固化，但较多的油污存在，会使胶的密封或紧固效果有明显下降。

2. 涂敷

厌氧胶一般是装在油壶状塑料瓶中。因此，可以挤出或用毛笔涂敷，也可以把胶液倒入杯中，再把零件置于其中浸渍上胶。因为厌氧胶不含溶剂，所以用量少。涂胶量以使需要密封的间隙全部填满即可，过多则被挤出造成浪费和污染设备。

对于裂缝或不便拆卸的螺纹件，也可以使胶液渗入到间隙中以后，自行固化。

对于平面密封，要注意工件的加工精度，使间隙最好在0.1mm以内，一般最大不超

过0.3mm。否则，因厌氧胶不易固化而影响密封效果。当然，也可以与固体垫圈并用，以克服间隙过大且便于拆卸。

3. 固化

厌氧胶涂敷后，把零件合上并固定。如在法兰面上涂胶并上紧固定螺栓，然后在室温下放置，胶液即能自动聚合固化。对于螺纹件，拧上后最好根据需要加上一定的预紧力，这样可以获得更好的密封和紧固效果。

固化时间与厌氧胶胶种及是否加有促进剂有关。一般的厌氧胶，在室温下固化一天以上，设备即可投入工作。加入促进剂时，数分钟即开始固化，1小时后即可投入工作。

最近出现的新型厌氧胶，数分钟内开始固化，约半小时后设备即可投入使用。如加用促进剂，数十秒钟开始固化，5分钟后设备即可投入使用。

由于厌氧胶在空气中暴露时不易固化，工件表面多余的胶液很易抹去，因此，表面一般没有胶液残留而显得干净美观。

促进剂的使用方法是，对已除油污的接合面（一面或两面），涂上促进剂，待其溶剂（一般为丙酮）蒸发后，再涂上厌氧胶，即可贴合。对于螺纹件，也可以在表面上涂上促进剂，待溶剂蒸发后，再涂上厌氧胶立即拧上。但是操作时要注意，不要使沾有促进剂的工具再去接触塑料瓶内胶液，以免沾污胶液，缩短使用期或使胶液凝固。

通常在下述情况下，应加促进剂：

- （1）设备急需投入生产，需要快速固化；
- （2）环境温度较低，固化缓慢；
- （3）对铁、铜以外的金属如铝、锌、铬、镉等，因固化比较慢，强度低，加入促进剂后，可以得到良好的效果；
- （4）因胶液存放时间太长，或贮存不当（但胶液未凝固）。一般加用促进剂后，仍可使用，避免胶液的浪费。

厌氧胶的拆卸方法。厌氧胶固化后为固体，粘接力较大，拆卸困难，故通常可用加大扭力或局部加热的方法拆开。对于多数脆性厌氧胶的平面密封连接，可以用缓和的撞击或用尖劈楔入接合面间隙而拆开。厌氧胶层拆开，多成粉末状，可用适当工具，如刮刀、钩子或砂纸等将其去除。

厌氧胶为有机液体，与一般有机物一样，不应用于高压及液态氧中，以免发生意外。厌氧胶毒性小，如不小心被胶液沾污皮肤，用肥皂水洗去即可。至于个别人对化学药物过敏者，应加以注意。使用时，可以在手上涂上雪花膏或凡士林等作防护，也可以带聚乙烯手套操作。

通常厌氧胶在室温下贮存一年，性能无较大下降。但在贮存时，应避免光照和高温，只能装在聚乙烯瓶中，与空气充分接触，不能放入金属容器内保存。

八、厌氧胶的性能测试方法

厌氧胶的性状、比重、粘度等理化性能测试方法与高分子液体密封胶一样。根据厌氧胶的固有特性，尚需进行如下的性能测试。

1. 贮存期

厌氧胶用在 $82 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 温度下固化速度来衡量贮存期。

试验方法是将厌氧胶注入直径为 8mm 的试管中，然后放入温度为 $82 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的烘箱内，每分钟用玻璃棒触动一下，视其是否固化。固化前5分钟为凝胶时间，一般认为凝胶时间30分钟，贮存期为一年。

2. 扭矩

将冷镦光六角 $M10$ 的螺栓清洗去油，然后注上（或不注）促进剂，待溶剂挥发后上胶，再拧上螺母，此时不加力，即预加扭矩为零。

经固化后，用扭矩测力器扭动，螺母松动时扭矩测力器所指读数为破坏扭矩。旋转 90° 时，扭矩测力器的平均指数为拆卸扭矩。

测试耐高、低温的破坏扭矩和拆卸扭矩，是将厌氧胶已固化的螺栓、螺母放置在所需测的温度内1小时以上，然后用扭矩测力器测定。

测试耐介质性能，需将厌氧胶已固化的螺栓、螺母泡在所测介质中一个星期，然后取出，擦去介质，再用扭矩测力器测定。

3. 振动及冲击试验

将 $M10$ 钢质冷镦光六角螺栓，用平垫圈、弹簧垫圈和厌氧胶分别拧在相同条件的钢板上，预加相同的扭矩，然后在一定的振动频率，振幅及加速度下振动相同时间，经振动或在冲击试验机上冲击后，再分别测其破坏扭矩和拆卸扭矩。

4. 胶接强度

厌氧胶的剪切强度是用 $20 \times 60\text{mm}^2$ ，厚 $2 \sim 3\text{mm}$ 的材料作试片，搭接胶接（搭接面积为 $20 \times 15\text{mm}^2$ ），固化后，在材料试验机上进行拉力试验，所得拉力除以搭接面积即为剪切强度。

5. 耐压试验

平面法兰耐压试验与高分子液体密封胶的测试方法相同。螺纹件密封的耐压试验，目前尚无标准方法，一般都是生产厂家自订一定规格的接头密封，然后进行油（水）耐压试验。

其它如老化及耐腐蚀试验，与一般胶粘剂的测试方法相同。

第二节 厌氧胶的主要品种

一、Y-150型厌氧胶

Y-150型厌氧胶是由双酚A环氧树脂与甲基丙烯酸反应而生成不饱和环氧树脂和甲基丙烯酸二缩三乙二醇酯为主体制备而成的高强度厌氧胶。

1. 胶液性状

Y-150型厌氧胶为外观呈茶黄色液体，粘度为 $150 \sim 300$ 厘泊、比重 1.12 ± 0.01 、固化后的工作温度范围 $-55 \sim +150^\circ\text{C}$ ，有效使用期为一年。

2. 固化速度与粘接强度

Y-150型厌氧胶是慢固化型、高粘接强度的厌氧胶。在一般情况下，室温（ 25°C ）

固化24小时以上，或加用促进剂固化60分钟以上，即可使用。固化时间与粘接强度见表17—6所列。

表17—6 Y-150型厌氧胶固化时间与粘接强度

促 进 剂	固 化 时 间 h	破 坏 扭 矩 $Kg\cdot cm$
未 用	24	270
未 用	72	380
C-2	0.5	100(150)
C-2	1	210(270)
C-2	24	310

- 注 1. 试件经溶剂除油。
2. 拧上螺母不加力，即予扭矩为零。
3. 括号内数值为最大牵出扭矩。

3. 老化及耐腐蚀性能

粘接试片在55℃，相对湿度100%的条件下经800小时，室温剪切强度变化小于5%，而100℃的剪切强度变化仅为8.15%，但在150℃时的剪切强度下降较大。

粘接试片在丙酮，汽油、机油、3.5%的氯化钠水溶液，10%氢氧化钠水溶液中，在室温下，浸泡30天，其剪切强度均未下降。

4. 固化性能（表17—7）

表17—7 Y-150型厌氧胶性能

性 能		数 值
扭 矩 $Kg\cdot cm$	破 坏	80—92
	牵 出	350—420
剪 切 强 度 (钢—钢) Kgf/cm^2		130—180
定 位 min		10
固 化 时 间 h	无 促 进 剂	24
	有 促 进 剂	24
填 隙 能 力 mm		0.5

二、Y-82型厌氧胶

Y-82型厌氧胶是以双甲基丙烯酸醇酯为主要成分制备而成的中强度厌氧胶。

Y-82型厌氧胶的性能及应用见表17—8所示。

表17—8 Y-82型厌氧胶性能及应用

性 能		应 用
外 观		适用于液压轴承、键、螺母等的防松, 对水、各种油类、有机溶剂等的密封
比 重		
粘度 厘泊		
使用温度 ℃		
扭矩 Kg/cm	破 坏	
	牵 出	
剪切强度 (钢—钢) Kg/cm^2		

三、Y-80型厌氧胶

Y-80型厌氧胶是以双甲基丙烯酸醇酯为主要成分制备而成的中强度厌氧胶。

Y-80型厌氧胶的性能与应用见表17—9所示。

表17—9 Y-80型厌氧胶的性能与应用

性 能		应 用
外 观		适用于经常拆卸和小型设备仪器上螺母紧固、密封, 液压密封与轴承、键等的固定
粘度 厘泊		
最高使用温度 ℃		
室温固化时间 h		
扭矩 Kg/cm	破 坏	
	牵 出	
剪切强度 (钢—钢) Kg/cm^2		

四、GY-340型厌氧胶

GY-340型厌氧胶是由甲基丙烯酸环氧树脂为主要组分制备而成的强度高、单组分、室温快速固化机械用厌氧胶。

GY-340型厌氧胶的性能与应用见表17—10所示。

表17-10 Gy-840型厌氧胶的性能与应用

性		能	应	用
外观		茶色液体	适用于螺纹件、轴承以及轴孔配合件的密封与防松	
粘度 厘泊		150~200		
固化时间h	初 固	0.4		
	全 部 固 化	2~6		
使用温度℃		-55~+150		
剥离Kgf/cm	破 坏	200		
	牵 出	400		
剪切强度Kgf/cm ²	硬铝——硬铝	100		
	钢——钢	190		

注：使用温度在150℃时，接合强度有所下降，当温度在250℃以上时，强度为零。

五、GY-168型厌氧胶

Gy-168型厌氧胶是以厌氧性甲基丙烯酸酯为主要组分制备而成的接合面密封用厌氧胶。

Gy-168型厌氧胶的性能与应用见表17-11所示。

表17-11 Gy-168型厌氧胶的性能与应用

性		能	应	用
粘度 厘泊		150	适用工作介质为柴油、机油、汽油、水的静密封，如平面、立平面、螺纹连接、泵箱等壳体平面的密封	
固化时间h		12~24		
剪切强度(钢—钢)Kgf/cm ²		60		
固化后伸长率%		30		
固化后硬度HSA		65		
工作温度℃		-55~+120		
耐压(28℃, 24h)Kgf/cm ²		>100		
填充间隙mm		<0.25		

六、铁锚300型厌氧胶

铁锚300型厌氧胶是以甲基丙烯酸羟丙酯、过氧化氢异丙苯、二甲基苯胺为主要组分制备而成的中强度厌氧胶。

1. 胶液性状

铁锚300型厌氧胶，外观呈淡黄色透明液体，比重为 1.02 ± 0.02 ，粘度9厘泊，长期使用温度范围 $-30 \sim +60^{\circ}\text{C}$ 。

2. 机械性能

$M10 \times 0.1$ 的钢质螺栓，装配时不加预紧力，即原扭矩为零，涂胶固化后，破坏扭矩为 200Kgfc ，牵出扭矩为 250Kgfc 。

3. 耐介质性能

在汽油、机油、醋酸乙酯、自来水、10%硫酸、10%苛性钠介质中，浸泡一星期后，其破坏扭矩和牵出扭矩均未下降。

4. 耐振动性能

$M10 \times 1.5$ 钢质螺栓、螺母，涂胶后在 20°C ，放置24小时，再进行振动试验。振动条件：频率50赫兹，振幅 $\pm 2.77\text{mm}$ ，加速度10，时间2小时。预加扭矩 86Kgfc ，振动前破坏扭矩 165Kgfc ，牵出扭矩 300Kgfc ，振动后破坏扭矩 160Kgfc ，牵出扭矩 300Kgfc 。

七、铁锚350型厌氧胶

铁锚350型厌氧胶是以甲基丙烯酸聚氨酯、甲基丙烯酸羟丙酯、三乙胺、丙烯酸为基料制备而成的高强度厌氧胶。

1. 胶液性状

铁锚350型厌氧胶为棕黄色透明液体，粘度为1400厘泊，比重 1.09 ± 0.02 (20°C)， 82°C 稳定期25分钟以上，长期使用温度范围 $-30^{\circ} \sim +120^{\circ}\text{C}$ 。

2. 机械性能

$M10 \times 1.5$ 的钢质螺栓，在温度 20°C ，固化24小时。破坏扭矩 200Kgfc ，牵出扭矩大于 300Kgfc ，剪切强度，硬铝对硬铝为 $130 \sim 140\text{Kg}/\text{cm}^2$ ，钢对钢为 $180 \sim 200\text{Kg}/\text{cm}^2$ 。

3. 耐振动性能

$M10 \times 1.5$ 钢质螺栓，预加扭矩 86Kgfc ，在温度 20°C ，固化24小时。振动前牵出扭矩 200Kgfc ，振动后牵出扭矩 200Kgfc 。

4. 耐介质性能

铁锚350型厌氧胶固化后，浸于各种介质中，一星期后测定。浸泡前破坏扭矩为 230Kgfc ，牵出扭矩为 260Kgfc 。测定数据见表17—12所列。

表17—12 铁锚 350 型厌氧胶耐介质性能

扭矩 Kgfc _m	介 质	汽 油	机 油	醋酸乙酯	自来水	10%硫酸	10%苛性钠
破坏扭矩		259	230	230	216	191	174
牵出扭矩		316	288	260	240	191	174

八、YN-601型厌氧胶

yn-601 型厌氧胶是以甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酸羟基丙酯、甲基丙烯酸为基料制备而成的高强度厌氧胶。

yn-601型厌氧胶的性能与应用见表17—13所示。

表17—13 yn-601型厌氧胶的性能与应用

性 能		应 用	
外 观		适用于钢、铝、铜等金属和陶瓷、玻璃、硬质塑料等非金属材料的粘接。具有固化快，强度高和密封性能好的特点，但不适用于太大缝隙与多孔材料的粘接，且固化后韧性欠佳	
固化时间	初固min		1~5
	完全固化h		48 (加促进剂)
扭矩Kgfc _m	破 坏		180~230
	牵 出		260~370
剪切强度(钢—钢)Kg/cm ²			165~180
适用温度℃			-40~+100
填隙能力mm			0,10

九、YY-101型、YY-102型、yy-103型厌氧胶

YY-101型、YY-102型、YY-103型厌氧胶是以甲基丙烯酸酯类，异丙苯过氧化氢为基料制备而成的厌氧胶。

YY-101型、YY-102型、YY-103型厌氧胶的性能与应用见表17—14所例。

表17—14 YY-101型、YY-102型、YY-103型厌氧胶的性能与应用

性能		YY-101型	YY-102型	YY-103型
外观		黄色液体		
粘度 厘泊		50~70	15~20	15~20
扭矩Kgfcm	破坏	210	240	87
	牵出	370	—	—
剪切强度Kgf/cm ²	硬铝—硬铝	57	60	28
	钢—钢	107	780	730
定位min		5	5	5
固化时间(有促进剂)h		24	24	24
适用温度℃		<150	<150	<150
应用		粘度较小, 耐热性较高, 适用于浸渍或渗透部件的密封与防松		

十、Zy-801型、Zy-802型、Zy-803型厌氧胶

ZY系厌氧胶中, ZY-801型为高强度厌氧胶, ZY-802型为中强度厌氧胶, ZY-803型为低强度厌氧胶; ZY-802型和ZY-803型为单组份厌氧胶, 使用方便。

ZY系厌氧胶的性能见表17—15所列。

表17—15 Zy系厌氧胶的性能

性能		ZY-801型	ZY-802型	ZY-803型
外观		绿色液体	红色液体	蓝色液体
粘度 厘泊		80	350	850
扭矩Kgfcm	破坏	340~360	180~220	40~70
	牵出	400~500	300~400	150~250
剪切强度(钢—钢)Kgf/cm ²		250~300	180~220	—
定位min		10	<5	<5
固化时间h	无促进剂	48	24	24
	有促进剂	24	24	24
适用温度℃		-40~+150	-40~+150	-40~+100
填隙能力mm		0.10	0.20	0.10

第十八章 密封腻子 and 灌注密封胶密封

第一节 密封腻子的分类

密封腻子和胶粘剂是胶腻子材料的两个组成部分，具有不同的功能。胶粘剂的作用是粘接被粘接体，而密封腻子的作用是密封，起到防尘，防污水和防化学试剂，同时也起到防止机械或化学侵袭，减轻噪音，改进外观等作用。当然也具有一定的粘接作用。

密封腻子的品种十分庞杂，按原料来源可分为橡胶基和树脂基两大类。橡胶基主要包括聚硫橡胶、聚氨酯橡胶、硅氟橡胶、氯丁橡胶、丁基橡胶、氯磺化聚乙烯等品种；树脂基主要包括环氧树脂、改性环氧树脂、聚酯、丙烯酸酯等品种。按固化后形态特性，可分为干性和非干性两类。而干性又分为硬性和挠性两种。

密封腻子是多组分产品，只要配方组分稍有变化，就会导致性能方面的重大变化。因而在设计腻子配方时，须认真考虑配方组分与各项性能的关系。这些性能主要有：

1. 温度

最高使用温度上限波动范围以及温度交变频率。

2. 耐天候性

对于水、热、冷、紫外线及太阳辐射的抵抗能力，其中特别是紫外线对某些腻子有极大的危害性。

3. 机械性能

强度、伸长、压缩弹性模量，抗撕及耐曲拆疲劳等机械性能对腻子的使用性能与寿命都有密切关系。

4. 耐磨性

抓痕和机械磨损对腻子性能都会带来严重损害。但是挠性良好的聚氨酯和氯丁腻子具有较好的耐磨性。

5. 粘性

粘性取决于密封腻子和施工表面之间的相互作用，表面形状及底漆等。

6. 电性能

对于供电气方面使用的腻子，需要考虑击穿电压、介电常数、体积电阻及介电损耗因素等电性能。

7. 色泽稳定性，可燃性及毒性。

8. 可修复性

这主要是对不干性腻子而言。

9. 固化特性

固化特性是指固化方法、固化时间和活性长短等。一般，工艺上的固化时间，只考虑到不粘手为止。未完成部分可在贮运中任其完成，化学促进剂可以缩短固化过程。

第二节 几种常用密封腻子

一、聚硫腻子

早在1932年,美国的Thiokol公司就开始生产聚硫腻子。1936年初用于道格勒斯公司的Dc-3型民航客机中。飞行记录说明,它的性能优良,其中一架Dc-3型飞机总共飞行64310小时(17.71×10^8 公里)之后,油箱部分仍然完好。

凡是供电气方面应用的聚硫腻子,配用非极性填充剂后,可使体积电阻率提高到 $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$,可以做印刷电路上的弹性涂层及灌封胶等。军用的聚硫腻子通常为双组分(室温硫化),单组分的用在建筑工程方面。

聚硫腻子在军事上主要用于飞机整体油箱涂层和飞机加压舱的密封。

聚硫腻子的硫化特性:

(1) 活动期(活性期)为10分钟~几小时。

(2) 硫化期为2小时~几天。

(3) 充分硫化期为2天~1周。

美国MiL-S-8802B标准中规定的聚硫腻子的机械性能见表18-1所示。

表18-1 聚硫腻子的机械性能

剪切强度	剥离强度	伸长率	体积电阻(Ω/cm)	
			25℃	65℃
Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	%		
14	4	200	2×10^{10}	2×10^{10}

注:美国MiL-S-8802B标准

二、硅橡胶腻子

硅橡胶腻子在军事上有如下用途:

(1) 作为宇航及电子工业上的一般密封用。

(2) 作为超低温条件下的密封用。

(3) 作为压敏胶带的涂层用。

(4) 作为密封用的烧蚀材料。

硅橡胶腻子的特性:

(1) 耐热性良好,能长时间耐232℃,短时间耐426℃。

(2) 耐低温性好,在-60℃仍然保持优良的柔软性,甚至到-73℃时还不发脆。

(3) 有优良的电气绝缘性能。

(4) 能在室温下固化,无需加热。

(5) 施工方便, 即硅橡胶腻子具有良好的流动扩散性和充填孔隙的特性。

(6) 低收缩性。因为硅橡胶腻子是无溶剂的, 所以不存在因挥发而导致的收缩问题。

目前, 国外高强度型RTV双组分和单组分硅橡胶腻子性能如表18—2和表18—3所示。

表18—2 高强度型RTV双组分硅橡胶腻子性能

适用温度范围℃	-65~+275
200℃×24小时失重%	0.1~1.0
抗张强度Kgf/cm ²	42~55
伸长率%	300~400
硬度HSA	30~60
抗撕强度Kgf/cm	36~45
剥离力Kgf/2.5cm	23~45

表18—3 高强度型KTV单组分硅橡胶腻子性能

适用温度范围℃	-65~+300
200℃×24小时失重%	<0.9
抗张强度Kgf/cm ²	24.5~49
伸长率%	300~600
硬度HSA	25~35
抗撕强度Kgf/cm	20~45

三、氟硅橡胶腻子

氟硅橡胶腻子的用途很窄, 主要是作超音速军用飞机整体油箱的密封。它除综合了硅橡胶腻子的耐高低温 (-56~+26℃) 特性和聚硫橡胶耐燃料油的特点外, 还有能在室温下固化, 与金属的粘合性能好, 可在整体油箱中, 根据不同要求, 制成充填型腻子 (粘度较小) 和半固态的槽型密封腻子。后者主要起填隙密封作用。

美国杜康宁公司生产的 Dc-94-002 为充填型腻子, Dc-94-011 为槽型腻子。1972年商品化的 Silasticls-2332-U 氟硅腻子具有良好的综合性能。其抗拉强度达 88Kgf/cm²、伸长率500%、抗撕强度44.5Kgf/cm²对金属的粘合性能良好。

四、氟橡胶腻子

氟橡胶腻子类产品, 早在60年代初期就开始了研究应用。美国空军材料研究所进行的以氟橡胶维通 (Viton) A和B分别与低分子氟油 VitonLM 掺合, 得到固体含量高, 施工性能良好 (能在室温下固化) 的腻子。耐高温可达300℃。

第三节 密封腻子的主要品种和性能

一、聚硫橡胶密封腻子

表18—4 所列为聚硫橡胶密封腻子的型号、性能及应用。

表18—4 聚硫橡胶密封腻子的型号、性能及应用

性能		型号	XM-1型	XM-15型	XM-16型	XM-18型	风档胶粘剂	BT1/2型	快速修补胶
物理性能	外观		黑色三组分	黑色三组分	黑色四组分	黑色四组分	黑色三组分	黑色双组分	草绿色双组分
	硫化条件		常温/10天, 70℃/24h	常温/10天, 70~80℃/ 24h	常温/10天, 70℃/24h	常温/10天, 100℃/8h	常温/24h 初步硫化	常温/7天, 70℃/24h	常用/4h
	适用期		—	15~30℃, 相对湿度30~ 85%, 2~ 6h	常温/ 2~5h	2~8h	金属胶接抗 剪强度99~	常温/2h	常用/30分
机械性能	抗拉强度Kg/cm ²		≥25	≥30	≥25	≥30	140Kg/cm ² 玻璃胶	26	27
	相对伸长率%		≥140	≥300	≥250	≥550	接56Kg/cm ²	160	150
	永久变形%		≤10	≤10	≤10	≤20	cm ² 固化硬 度4天为	3	5
	抗剥强度Kg/cm ²		≥6	≥6	≥5	≥9	HSA 55,	—	—
	脆性温度℃		-40	-40	<-40	<-40	11天为 HSA 57	<-40	<-40
	使用温度范围℃		-60~130	-55~130	-50~130	-60~150		-50~130	-50~130
应用		用于螺栓、 铆钉和其他 金属结构密 封	耐老化性 与耐燃油性 较好, 适用 于金属的粘 接	耐油耐热 性较好, 适 用于螺栓、 铆钉和其他 结构缝隙或 表面密封	弹性、耐 热、耐水、 耐燃油性良 好, 适用于 金属与涂漆 表面粘接	用于小车 前后风档玻 璃粘接和密 封	用于螺 栓、铆钉及 结构缝隙密 封	固化速度 快, 用于螺 栓、铆钉及 缝隙快速修 补	

二、室温硫化硅橡胶密封腻子

表18—5 所列为室温硫化硅橡胶密封腻子的型号、性能及应用。

表18-5 室温硫化硅橡胶密封腻子的型号、性能及应用

性 能		716型	G-3型	耐烧蚀腻子	GD-405型	GT-1型	GD-402型
物 理 性 能	外 观	红褐色	—	—	草绿色	乳白色 双组份	白色或 草绿色
	硫化条件℃/时间	常温/10~ 30分	常温/30分	常温/7天	常温/30 ~60分	150℃/1h	接触压常温 /1~2h
机 械 性 能	抗拉强度Kgf/cm ²	>15	>30	35	20	23	15
	伸长率%	>60	>50	170	300	体积电阻 2.05×10 ¹⁴ Ω·cm	250
	硬度HSA	65~75	70	—	35	—	35
	脆性温度℃	<-60	-60	—	<-70	—	<-70
	使用温度范围℃	-60~200	-60~200	-60~200	-60~200	—	-60~200
应 用	适用于耐 烧蚀密封腻 子和耐高、 低温绝缘、 防潮密封材 料	适用于耐 烧蚀密封腻 子和耐高、 低温绝缘防 潮密封材料	适用于抗 火焰烧蚀材 料、耐热弹 性密封胶、 硅橡胶与金 属的胶粘剂	适用于耐 高、低温绝 缘、防潮、 防震的密封 材料	适用于可 控硅元件的 表面密封	适用于可 控硅元件表 面保护、电 子、光学仪 器的密封和 胶接	

三、其他密封腻子

1. 氯磺化聚乙烯腻子

氯磺化聚乙烯腻子，又名110-1腻子，是以氯磺化聚乙烯橡胶为主体材料制备而成的双组分（甲组分：乙组分=8.5:1.0）腻子，具有优良的耐日光老化性、粘接密封性和工艺性能。

表18-6 所列为氯磺化聚乙烯腻子的性能及应用。

表18—6 氯磺化聚乙烯腻子的性能与应用

性 能	指 标	
适 用 期	>8h	
硫 化 条 件	常温/3~6天	
机 械 性 能	抗剪强度(玻璃钢—玻璃钢) Kgf/cm^2	30
	抗拉强度 Kgf/cm^2	105
	伸长率%	490
	耐臭氧动态拉伸疲劳(臭氧浓度50ppm, 伸长50%, 60℃)	拉伸1万次未断
电 性 能	介电损耗用正切 $\tan \delta$	9.4×10^{-3}
	介电常数 ϵ	4.9
应 用	用于大型DAP玻璃钢雷达天线罩等户外装置的防漏水弹性密封材料	

2. 1602腻子

1602腻子是以聚异丁烯橡胶为主体材料制备而成的不干性腻子, 可用于飞机, 导弹等结构上的铆接缝和各种接合面的密封。

1602腻子的性能如表18—7所示。

表18—7 1602腻子的性能

性 能	指 标
抗剪强度 Kgf/cm^2	0.485
耐热性 (70℃×1h)	20mm
耐寒性 (-50℃×2h, 弯曲180°)	良好
镁铝合金腐蚀性 (常温15天)	不腐蚀

3. 211腻子

211腻子是以丁基橡胶为主体材料制备而成的不干性腻子。可用于电缆穿线盒的密封和造船工业方面的密封。

211腻子的性能如表18—8所示。

4. 6712橡胶腻子

6712橡胶腻子是一种以腻子橡胶为主体材料制备而成的粘接性腻子。主要用于木船和木甲板的防水嵌缝密封, 具有耐海水、耐酸碱、耐海生物腐蚀作用, 耐老化、耐油和粘接力高的特点, 是造船工业等部门中重要的密封材料。

表18—8 211膩子的性能

性 能	指 标
比 重	1.20~1.45
可塑度(威氏)	0.30~0.45
抗张强度 Kgf/cm^2	>1.2
耐寒性(-25℃)	保持密封
自燃温度℃	>260
软化温度℃	>200
膨胀率(海水浸泡3天)	<1%

硫化后的膩子，具有良好的弹性，并与木板牢固粘接，当船木板因四季气温变化而产生热胀冷缩时，能随冷热产生相应的变形，不会裂开。

也可用于解决防水的密封窗，密封舱等。

5. XM—17密封膩子

XM—17密封膩子是以低分子顺丁橡胶为主体材料制备而成的密封膩子。主要用于夹层和铆接、螺栓孔及镶玻璃的缝隙密封。

XM—17密封膩子的性能如表18—9所示。

表18—9 XM—17密封膩子的性能

性 能	指 标
常温抗剪强度(阳极化铝合金)	$\geq 0.4Kgf/cm^2$
剪切强度(100℃/200A, 130℃/50A)	$\geq 0.4Kgf/cm^2$
可 塑 性	30~70S
耐寒性(-40℃)	不产生裂纹和断裂
使用温度范围℃	-55~+100

6. 聚醚聚氨酯弹性密封胶

聚醚聚氨酯弹性密封胶是以聚醚聚氨酯预聚体为主体材料制备而成的双组分密封膩子。可用于船甲板的木质捻缝和要求具有一定弹性的混凝土建筑物的嵌缝等。

聚醚聚氨酯弹性密封胶的性能如表18—10所示。

7. 密封1胶

密封1胶是以环氧树脂为主体材料制备而成的双组分(甲:乙=100:6~10)干性密封膩子。其性能如下:

- (1) 固化条件为常温2天。
- (2) 常温抗剪强度(钢—钢)大于 $40Kgf/cm^2$ 。
- (3) 150℃抗剪强度(钢—钢)大于 $15Kgf/cm^2$ 。

表18-10 聚醚聚氨酯弹性密封胶的性能

性 能		指 标
固 化 条 件	常温下初凝时间min	25~40
	终凝时间h	5~8
机 械 性 能	抗张强度Kgf/cm ²	7~9
	伸长率%	300~400
	剪切强度(木—木) Kgf/cm ²	8~10
使用温度℃		常温
特 点		弹性好, 施工方便

密封1胶可用于精密仪器、仪表的胶接和固定。在200℃下, 可用于真空密封和堵漏。

8. F-5, F-7, EM-3真空密封胶

F-5, F-7和EM-3这三种真空密封胶均为以环氧树脂为主体材料制备而成的干性密封腻子。用于真空密封和管道接头紧固密封。其性能如下:

(1) F-5, F-7可在常温固化; EM-3在温度大于35℃时固化。

(2) 不同温度下的抗剪强度(表18-11)

表18-11 F-5, F-7, EM-3不同温度下的抗剪强度

条 件	抗 剪 强 度 Kgf/cm ²		
	F-5	F-7	EM-3
干 冰	160	150~160	—
常 温	150	140~160	200~220
100℃	50	60~70	110~120

注: 胶接材料为铝—铝

(3) 空气的渗透系数P(表18-12)

表18-12空气的渗透系数P

	P·CCm·m/cm ² ·S·cm·Kgf
F-5	0.25×10 ⁻¹⁰
F-7	0.78×10 ⁻¹⁰
EM-3	1.10~1.50×10 ⁻¹⁰

(4) 在 $10^{-5}mmHg$ 真空中试验,脱气率与氟橡胶相当。

(5) 在干冰, 常温及 $100^{\circ}C$ 高、低温交变5次后,用氦质谱真空检查仪检查,未发现漏孔现象。经电子辐照亦未见变化。

第四节 灌注密封胶

灌注密封胶,习惯称密封用灌注材料,在性能和应用上,与密封腻子不同。通常灌注密封胶,具有较宽的使用温度范围($-60\sim+200^{\circ}C$),优良的电气绝缘性能(体积电阻约为 $2\times 10^5\Omega\cdot cm$, $tg\delta\approx 2\times 10^{-3}$, $\epsilon=3$,击穿电压= $20KV/mm$),好的防潮、防震、密封性等。广泛地应用于电子工业上的电子元件的保护涂层和密封,以及变压器、各种线圈的密封等。

目前,国内的灌注密封胶,主要是有机硅密封灌注材料。按主体材料又可分为硅橡胶灌注密封胶和硅树脂灌注密封胶两大类。

一、硅橡胶类灌注密封胶

1. 南大701型灌注密封胶

南大701型灌注密封胶简称南大701胶,是以无水硅橡胶(107 硅橡胶脱水)为主体材料制备而成的,单组分密封灌注材料。可在 $-60^{\circ}C\sim 200^{\circ}C$,用于各种金属和非金属材料之间的密封和粘合,亦可用于小型电子元件的保护涂层和灌注密封。

性能见表18—13所示。

表18—13 南大701型灌注密封胶的性能

性 能	指 标
外 观	白色稠状液体
粘 度	稠·中·稀三种
剪切强度(铝—铝) Kgf/cm^2	12
高真空密封度 $mmHg$	10^{-5}
表面电阻 Ω	5×10^{12}
体积电阻 $\Omega\cdot cm$	25×10^{12}
介电损耗角正切 $tg\delta$	5.0×10^{-3}
介电常数 ϵ	4.0
击穿电压 KV/mm	25

2. GD—401型灌注密封胶(简称GD—401胶)

GD—401胶是以硅橡胶SDL—1—41和甲基三丙脞基硅烷甲苯溶液为主体材料制备而成的单组份密封灌注胶。可用于高低温防潮、绝缘、防震密封。如可控硅元件的保护涂层,电子光学仪器的胶接密封,灌注等。

特点是粘度低,使用时可自行调色或添加材料增稠,无腐蚀性,在硫化过程中不放

刺激气味，耐湿耐臭氧、耐电晕、耐气候老化耐冲击振动性良好。

GD-401胶的机械性能及电性能见表18-14所示。

表18-14 GD-401胶的性能

性 能	指 标	
外 观	乳白或浅黄半透明液体	
硫化时间(常温) h	1~2	
耐老化性	硬 度 HSA	30
	抗张强度 Kgf/cm^2	10
	伸长率%	300
脆性温度 $^{\circ}C$	≤ -70	
体积电阻 $\Omega \cdot cm$	2×10^{18}	
介电损耗角正切 $tg\delta$	1.6×10^{-3}	
介电常数 ϵ	2.9	
击穿电压 KV/mm	19	

注：耐老化性数据为胶料经200 $^{\circ}C$ ×168小时后测得。

表18-15 GD-404胶的性能

性 能	指 标	
外 观	乳白半透明液体	
固化时间常温 min	30~60	
硬度 HSA	30	
抗张强度 Kgf/cm^2	10	
伸长率%	300	
脆性温度 $^{\circ}C$	≤ -70	
体积电阻 $\Omega \cdot cm$	3.4×10^{18}	
介电损耗角正切 $tg\delta$	1.28×10^{-3}	
介电常数 ϵ	3	
击穿电压 KV/mm	17	
耐老化性	硬度 HSA	25
	抗拉强度	7
	伸长率	250

注：耐老化性数据为胶料经200 $^{\circ}C$ ×168小时后测得。

3. GD-404型灌注密封胶 (简称GD404—胶)

GD-404胶是以硅橡胶SDL-1-41和甲基三乙酰氧基硅烷为主体材料制备而成的单组分密封灌注胶。可用于耐高低温绝缘、防潮、防震密封,也可用于电子元件的灌注密封或涂敷。

特点是粘度低、易流动。固化快,粘接性好,耐湿耐臭氧、耐电晕、耐气候老化,耐冲击振动,电性能良好。详见表18-15所列。

4. GT-3型透明灌注密封胶

GT-3型透明灌注密封胶是以硅橡胶107号为主体材料制备而成的双组分密封灌注密封胶。可用于电子计算器存储器,磁芯板灌封及半导体线路组合元件,变压器等各种电子,半导体组合件的灌封。

硫化条件为常温/24小时或80℃/4小时。

二、硅树脂类灌注密封胶

1. GN-501型灌注密封胶

GN-501型是以聚二甲基硅氧烷等五组分组成的双包装灌注密封胶。可在-65~200℃中使用,应用在电子工业中的各种电子元件的灌封及高频电子元件封装。特点是固化后具有弹性,对金属无腐蚀作用,是良好的H极电绝缘材料。性能见表18-16所示。

2. GN-502型灌注密封胶

GN-502型是以聚二甲基硅氧烷等四组分组成的双包装灌注密封胶。用途同GN-501。特点是,耐氧及臭氧、防潮、电性能好、耐高低温、弹性好,线收缩率小。性能见表18-17所示。

表18-16 GN-501型灌注密封胶的性能

适 用 期 h	1~2
固化条件℃/h	70~80/4
外 观	无色或微黄色透明液体
粘度 厘泊	1500~2500
介电常数 ϵ	2.9
介电损耗角正切 $\text{tg}\delta$	2×10^{-4}
体积电阻 Ω/cm	1×10^{16}
击穿电压KV/mm	25

表18-17 GN-502型灌注密封胶性能

适用期min	20~40
固化条件℃/h	25/20或70~80/0.5~1
外 观	无色或浅黄透明液体
粘度 厘泊	1500~2500
透光率%	>90
介电常数 ϵ	3.0
介电损耗角正切 $\text{tg}\delta$	2×10^{-4}
体积电阻 Ω/cm	1×10^{16}
击穿电压KV/mm	25

3. GN—511型灌注密封胶

GN—511型是以聚二甲基硅氧烷等五组分（各组分比例不同于GN—501型）组成的双包装灌注密封胶。用途同GN—501型。并可制成无壳封装物。它除具有GN—501型的全部特性外，尚具有良好的机械强度和热冲击性能。如在-55~155℃的高低温交变10次，其抗张强度为60~70Kgf/cm²，比一般常温硫化型硅橡胶好。性能见表18—18所示。

表18—18 GN—511型灌注密封胶

适 用 期 h	1~2
固化条件℃/h	70~80/4
外 观	微黄色透明液体
粘度 厘泊	5000~6000
硬度HSA	40~50
抗拉强度Kgf/cm ²	60~70
伸长率%	80~150
介电常数ε	3.0
介电损耗角正切tgδ	1.73×10 ⁻³
体积电阻Ω·cm	1×10 ¹³
击穿电压KV/mm	19

4. GN—512型灌注密封胶

GN—512型是以聚二甲基硅氧烷等四组分（不同于GN—502型组分的比例）组成的双包装灌注密封胶，用途及特点同GN—511。性能见表18—19所示。

表18—19 GN—512型灌注密封胶的性能

适 用 期 min	20~40
固化条件℃/h	常温/24 70~80/1~2
外 观	微黄色透明液体
粘度 厘泊	2500~3500
硬度HSA	40~50
抗张强度Kgf/cm ²	50~60
伸长率%	90~130
介电损耗角正切tgδ	1.4×10 ⁻³
体积电阻Ω/cm	3.7×10 ¹⁴
介电常数ε	3.0
击穿电压KV/mm	19~20

第十九章 其它材料密封

第一节 新型材料密封

近年来，国外密封胶或类似密封胶的密封材料以及新型的机械用密封材料纷纷出现，并且已在各个密封方面得到广泛应用。下面对常用新型材料密封作一简单介绍。

一、粉末材料密封

粉末密封材料是由粉末状(短纤维)材料在加压后熔融粘接成型为垫片，做为密封元件，主要用于作填料盖垫片。这种材料装在填料函中，压紧压盖，粉末就被压紧而粘结，产生坚固而柔软的垫片。

目前，通用粉末状材料是用特殊胶粘剂处理氟树脂粉末而制成的，具有氟树脂的优异特性。

(1) 自由成型性好。粉末材料与填料函大小和形状无关，只要装入填料盖，一经压紧即可。

(2) 使用方便，不需要加热和其它设备与工具等。

(3) 耐热性好。工作温度范围很广，可以在 $-200\sim+260^{\circ}\text{C}$ 的范围内使用。

(4) 润滑性好，摩擦系数极小。

(5) 化学稳定性好，对许多流体和化学药品均适用。

(6) 耐污染性好，灰尘和油污等不易粘附其上。

粉末材料主要用于各种泵，阀门等填料压盖部位以及推进轴，罩盖，油压机的填料函中。

表19—1 列出美国粉末垫片波克兰 (Pachlon) 粉末的特性。

表19—1 粉末垫片波克兰粉末的特性

特 性	指 标	特 性	指 标
颜 色	白 色	冷流压力	850Kgf/cm ²
形 状	粉 末	保存期	无期限
使用温度范围	$-200\sim+260^{\circ}\text{C}$	耐油性	优良
熔 点	430 $^{\circ}\text{C}$	含水率	0.4%
摩擦系数	0.02~0.04	在256 $^{\circ}\text{C}$ 的分解率	0
耐压性	703Kgf/cm ²		

二、棒状材料密封

棒状材料密封是把密封胶加工成腊笔样的棒状而加以使用。使用时将其涂擦在螺栓及法兰面上即可实现密封作用。

美国莱克 (Lake) 化学公司根据不同用途, 生产了以下五种棒状材料。

- (1) 管道胶棒;
- (2) 耐油胶棒;
- (3) 补裂胶棒;
- (4) 热封胶棒;
- (5) 塑性接缝棒。

其中的热封胶棒, 可用于受压及真空装置。将开裂部位加热至 210°C 以上, 热封胶棒嵌压填充其内, 经 $30\sim 60$ 秒即可完成, 甚为方便。

棒状材料密封, 可以不必考虑像一般密封胶那种由于溶剂挥发而带来的损耗以及诸如干燥时间, 对操作者的毒性, 易燃易爆等问题。

表19—2 所列为这些棒状材料的特性和用途。

使用方便是棒状材料的最大特点。但是, 其密封性能尚不及密封胶。使用在 2 寸以上大口径管螺纹接头时, 效果不佳。如果棒状材料与厌氧胶并用, 加入到被胶接部位的缝隙中, 效果良好。

表19—2 美国棒状材料的特性与用途

名 称	形 状	用 途
管道胶棒	固体棒状	非干性、无毒, 用于金属连接部位, 给排水管, 空气管、滤气管、冷冻机, 化工机械等
耐油胶棒	固体棒状	用于润滑油、燃料油、植物油、汽油等管道以及油压机械的螺纹、法兰等
补裂胶棒	固体棒状	耐压 $2\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以下, 用于油类以外的水、气、汽、碱、稀酸等流体的密封与下水管、辐射器、柱子、桶的龟裂修补
热封胶棒	固体棒状	耐热 177°C 、耐压 $17.5\text{Kg}/\text{cm}^2$ 加热使用, 耐氟里昂、氨、二氧化硫、空气、水、蒸气、油等, 用于金属、陶瓷、玻璃的修补
塑性接缝棒	固体棒状	非干性、无毒、防震、耐油、耐溶剂, 用于塑料管, 金属管密封

三、带状材料密封

氟树脂细粉未经加工而成柔软的带状材料, 已使用在各种机器的防泄漏上。带状密封材料, 在管路、贮槽、受压容器, 离心泵等的法兰连接部位上, 作为垫片使用。具有不拘大小与形状, 能够切成适当长度, 安装简单, 替换容易, 密封固定力小, 库存管理方便等优点。

四、螺栓材料密封

在螺栓、螺塞等各种采用螺纹连接的设备上,为防止泄漏,以前都是采用在该部位上涂敷密封胶或者卷绕氟树脂的带状材料密封,最近,出现的不需要涂敷和卷绕操作的树脂加工螺栓或供加工用的螺栓材料,引起了各方面的注意。

图19—1所示,为在螺栓表面上,用高分子树脂加工而得到的产品。即把螺栓在密封材料(树脂)中浸渍、烘烤、干燥,经加工而成。

这种用树脂加工的螺栓,除加工简单外,还具备下述优点:

- (1) 耐压性好;
- (2) 不需要其它密封材料;
- (3) 装配效率高;
- (4) 有防锈效果;
- (5) 有防震、防松动效果;
- (6) 可以随时调整或拆卸,又可反复使用。

加工螺栓的材料,现在有以硬质树脂为主体的和以有柔软性多组分树脂为主体的两种。基料有醇酸树脂、聚酰胺树脂、环氧树脂、聚氨酯树脂等。

表19—3所示,为有柔软性的多组分树脂加工的嵌入螺栓的耐压试验结果。从表中数据可以看到,与目前经常使用在螺纹部位的密封胶相比,用树脂加工螺栓的性能要好得多。

表19—3 M10嵌入螺栓的耐压试验

表面处理	耐压力Kgf/cm ²	
	室温	80±5℃
用树脂加工	30	25
涂密封胶	5	3
无处理	1	1

注:耐压试验用M10螺栓,压紧扭矩为110Kgfcm,介质为90号汽轮机油。

在各种机械装置中,除了从法兰、套、罩、活塞、轴等处引起泄漏外,在螺栓、螺塞等螺纹部位也经常引起泄漏。因此,螺纹密封技术的发展是很有前途的。

五、气溶胶

气溶胶是用于运输车辆内胎(汽车、摩托车、自行车等)瞬间放炮的修补。修补时不需要工具(千斤顶等)和拆卸,在20~45秒钟内即可完成。

气溶胶是以丁基胶胶乳或丁腈橡胶胶乳为基料材料,在铝制容器内压入氟里昂气体构成。根据使用车辆的不同,使用不同容量的容器包装。汽车和摩托车的容量分别为

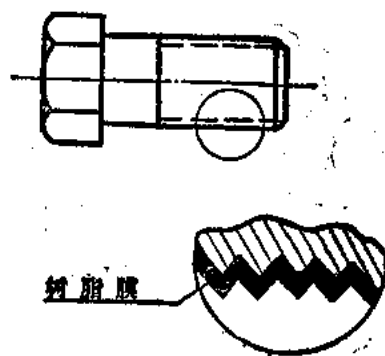


图19—1 用树脂加工的螺栓

420ml和180ml, 压力为4.5Kgf/cm²。

气溶胶的使用方法简便。用前将装有气溶胶的容器充分摇晃使之均匀(冬季在-5~-10℃使用时, 用手温热后摇晃), 然后将容器的接管插到内胎的气嘴里, 待气体充满后, 取下容器的气嘴, 立即行驶2~3公里。使内胎里的气体 and 胶乳均匀地扩散而形成薄膜。修补的内胎使用期限, 视“放炮”程度不同而有很大差异, 一般可使用一年到半年。

第二节 动密封装置

动密封, 特别是轴的密封, 一直是人们十分关心的问题。近年来, 随着高速、高温、高压的应用, 要达到安全生产, 环境清洁及降低维护费用, 填料函这种老的传统轴密封方式, 越来越不适合现时的要求了。

一、波纹管密封装置

近年来, 人们在机械密封装置方面作了大量的研究工作。而其中最突出的发展之一, 莫过于波纹管密封概念的引入。波纹管密封装置是美国密封公司最先开展研制的。其应用正在全世界工业中迅速扩大, 并已被公认为新型机械密封技术。波纹管密封装置的应用范围很广, 与其它端面机械密封装置相比, 具有若干独特的优点。

(1) 应用范围广。适用于高温和低温, 而且由于取消了限制端面型密封装置的橡胶件, 扩大了与化学药品相容性的范围。

(2) 可提供不需轴肩的平衡密封。

(3) 没有与轴或轴套相接触的移动零件或滑动的橡胶件, 从而消除了这些零件的磨损。而这种磨损正是端面密封装置的主要缺点。

(4) 没有滑动的橡胶件, 可避免密封件卡住。而这大概是O形密封圈失效最主要的一种原因。

(5) 结构紧凑(特别对于较大的尺寸)。

密封公司提供的高温用金属波纹管密封装置, 可在-217~+426℃的温度范围内使用。其中层迭波纹管可承受703Kgf/cm²的压力。

二、粘性密封装置

粘性密封也是近年发展起来的新型动密封技术。粘性密封装置的结构如图19-2所示。这是一个带螺旋的轴在套筒内旋转, 像螺杆一样, 漏出的油液被螺旋反压回去, 而起密封作用。因此, 对轴的螺纹牙与密封面的间隙要适当小, 而被密封的液体的粘度很小时, 需要在螺纹内充入硅液。粘性密封与密封面无直接接触, 所以, 寿命长, 密封可靠。可在高温下使用。主要用于液态金属泵, 水银润滑轴承

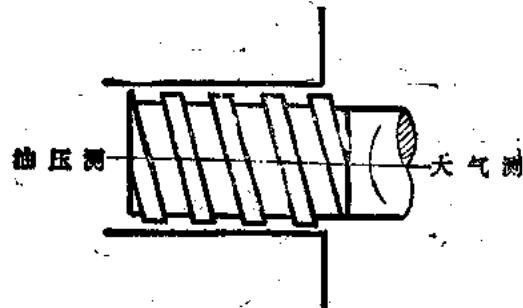


图19-2 粘性密封装置

以及原子反应堆的冷却器上。

三、磁性流体密封装置

磁性流体密封装置是70年代发展起来的一种新技术。这种新技术的特点是，把流体和磁性结合起来。这种结合使我们可以利用磁场对流体的位置进行控制，从而使磁性流体在动密封装置上得到了广泛应用。

磁性流体是由 Fe_3O_4 磁性微粒、稳定剂（表面活性剂）、分散媒（载流体）制备而成。

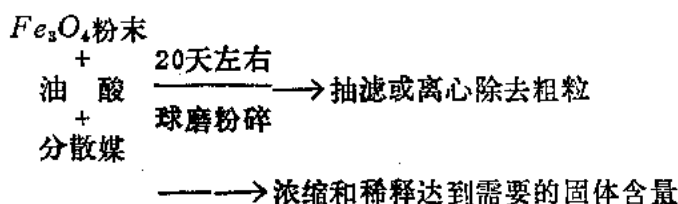
磁性流体的性能是由它本身的粘度和磁饱和强度决定的。通常，磁性流体在15000~20000Gs（奥斯特）的磁场强度下，其磁饱和强度为200~500Gs（高斯）。可承受 0.5^5 Kgf/cm^2 的压差，实际使用的压差，每级不超过 $0.35Kgf/cm^2$ 。

1. 磁性流体的制备方法

磁性流体的制备方法归纳起来分为两大类：物理方法与化学方法。

物理方法包括如下两种：

(1) 机械粉碎法 机械粉碎法是把 Fe_3O_4 粉末，放在含有油酸的有机体中，长时间的粉碎。其中油酸是表面活性剂，有机体是分散媒。其工艺过程是：



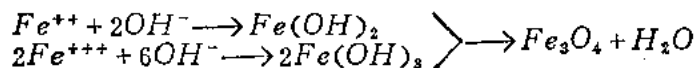
(2) 轴承废液再加工法 把抛光滚珠用过的废液，加热到 $240^\circ C$ 左右，或先同煤油稀释后再加热到 $180^\circ C$ （煤油的沸点），然后冷却至室温，再用过滤或离心的方法除去非胶状的粗铁粒子和其它杂质。最后经表面活性剂处理，加上分散媒即可获得磁性流体。

化学法包括如下两种：

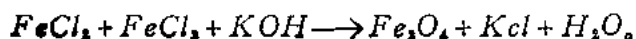
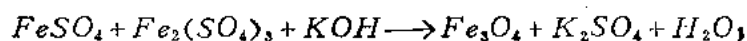
(1) 有机物分散法 有机物分散法，是把磁性氧化物 Fe_3O_4 胶体粉末，极其稳定的分散在非极性分散媒（像水和油）中，使其吸附油酸离子，经水洗，脱水后，进行分散处理。再将不饱和脂肪酸或其盐类为主要成分的表面活性剂，加到 Fe_3O_4 微粒水悬浊液中，使其吸附在 Fe_3O_4 微粒的表面上。最后加入二酯基溶剂，使其分散即可。

(2) 解胶法 解胶法是把 Fe^{++} 和 Fe^{+++} 铁离子共存的液体，加碱后脱水即可。

解胶法的反应原理为：



例如，



工艺过程是，分别将定量的带结晶水的二价铁盐和三价铁盐溶解于定量的水中。然后合并在一起，将其加入到沸腾的定量碱液（ KOH 或 NH_4OH ）中稍许搅拌。在室温下静止沉淀后，倾析出上面的电介质液体。再用热的极稀碱水溶液洗涤 n 次，待 pH 值升至9左右。过滤、保持沉淀物含有50%的水分（wt%）。再把表面活性剂加入，在 $90^\circ C$ 下搅拌几分钟。过滤，加入另一种通常是复合型表面活性剂，加热至 $90^\circ C$ ，搅拌几分钟，过滤。最后加入分散媒，在室温下搅拌即可。

通常是选用解胶法制备磁流体。理由是，机械粉碎法周期长，工艺复杂；轴承抛光胶液组成十分复杂，很难处理干净，有机相分散法在目前很难制备出合乎要求的 Fe_3O_4 粉末；解胶法制备 Fe_3O_4 粉末技术成熟，方法简单。

2. 磁性流体的性质

磁性流体是一种胶体溶液，它既有磁性（实际上是超顺磁性），又有一定的粘性。所以，一般用粘度和磁饱和强度值，表示其特性。但要全面衡量它的特性，还必须考虑到它的密度、沸点，起始导磁率，表面张力，导热率和热膨胀系数。但主要特性还是由粘度和磁饱和强度决定。

(1) 磁性 磁性流体中的磁性微粒，在磁场作用下，显示磁性，呈定向排列，也就是排成一行。开始时，磁化强度随磁场强度近似线性增加，以后增大率逐步缓慢，最后达到饱和。当磁场移开时，在很短的时间内集中退磁，呈无序排列。

在一定的磁场中，磁性流体的磁化，可以认为是磁性流体中固体微粒的磁化总和。如果磁性流体的密度做为变量，则磁性流体的磁化强度可用下式表示：

$$\sigma = \rho_2(\sigma_s/\rho)(\rho - \rho_1)/(\rho_2 - \rho_1) \quad (19-1)$$

式中 σ ——磁性流体的磁化强度；

ρ, ρ_1, ρ_2 ——分别是磁流体、微粒、分散媒的密度 g/ml 。

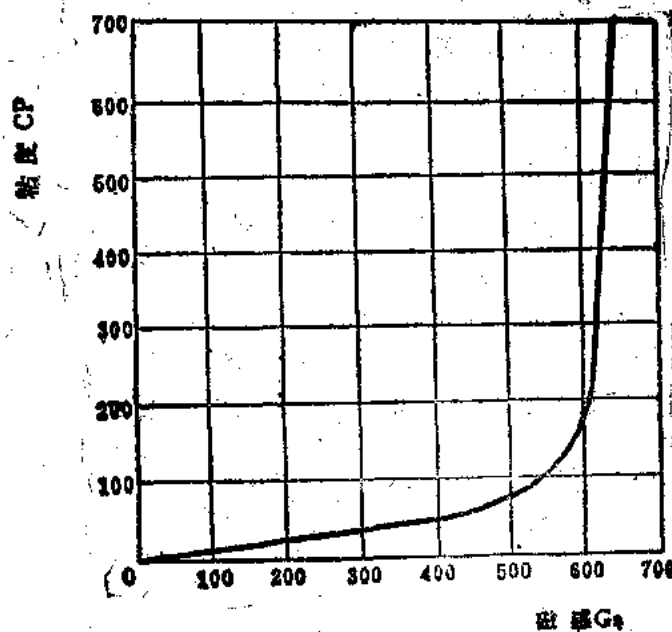


图19-3 铁磁流体的粘磁曲线

式(19-1)指出,磁性流体密度对磁化强度影响很大。所以,一般为了提高磁性流体的磁饱和强度,往往通过增加磁性微粒的量来达到。但增加量是有一定限度的。通常磁场强度在15000~20000Gs时,磁饱和强度为200~500Gs。

(2) 粘度 磁性流体的粘性服从牛顿的内摩擦定律。如果粘性过小,则吸附性差;粘度过大,则摩擦阻力增大。粘性还受附加磁场的影响(图19-3)。

为了提高磁性流体的性能,获得较大的磁化强度,可采用高浓度的磁性流体。当然浓度又不宜过大,因为过大时加大了内摩擦力。

例如,以煤油为分散媒, Fe_3O_4 微粒为固体时,则磁性流体的浓度大约为100ml的煤油中含有 Fe_3O_4 微粒70g为宜。若大于此值时,其粘度就会很大。特别是磁性流体在磁场的作用下,其粘度就更大。

(3) 磁性流体密封 磁性流体密封是由磁性流体和磁结构组合而成。其中磁结构是由永久磁铁(或电磁铁)和一个铁极靴以及在极靴上或者在铁磁性轴上加工成的磁极组成。

磁性流体密封原理是,磁结构产生的磁场梯度,把磁性流体保持在旋转元件和固定元件的两个表面之间的环形空间内,形成液体“O形圈”,使两个表面之间的间隙被紧密地密封起来。因此,对磁性流体要求的主要参数是:

- ① 磁饱和强度(一般要求在200~500Gs)。
- ② 磁聚焦结构所产生的磁场梯度(一般在15000~20000Gs)。
- ③ 磁性流体的粘度及粘度与温度的关系(如二酯基的磁性流体为400厘泊,氟碳基为2500厘泊左右)。

对磁结构要求的主要参数是:

- ① 单级长度与径向间隙之比(常用的半径间隙为0.05~0.12mm,大尺寸时为0.25mm)。
- ② 间隙内磁通量的大小及磁场数目(对于小直径轴的密封,每级间距为1mm左右。例如轴长为22.9cm,直径为12cm,径向间隙为0.02cm,则可做28级)。

冷却液采用50%(wt%)的乙二醇水溶液。磁性流体密封结构详见图19-4至图19-5。

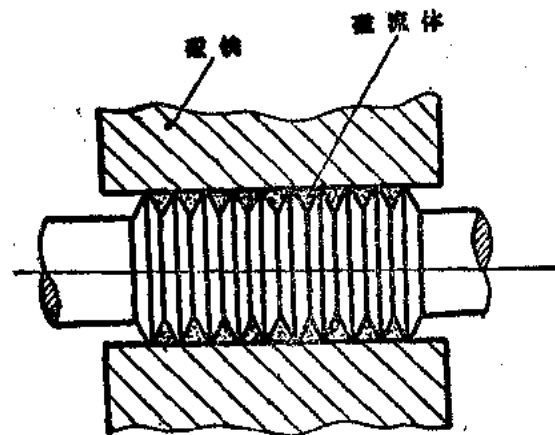


图19-4 磁力密封结构

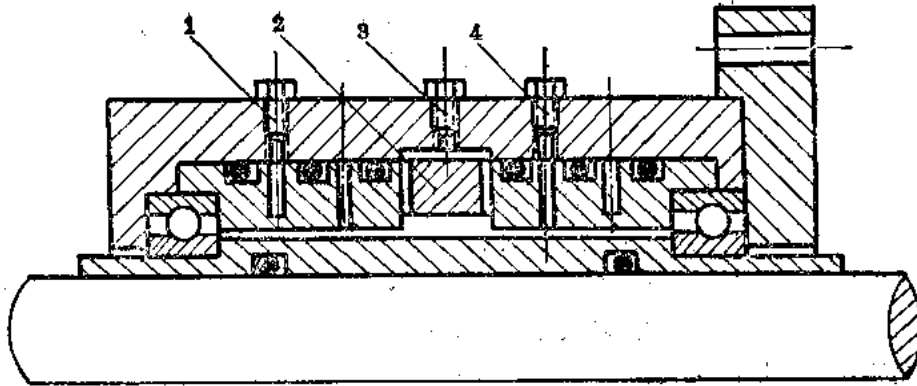


图19-5 磁性流体密封结构

1—冷却口；2—磁体；3—压力测试口；4—磁流体加入口

磁性流体密封装置每级压差为 $5 \sim 7 \times 10^4$ 牛顿/米²，约等于 0.5Kg/cm^2 ，实际要求为 3.5×10^4 牛顿/米²。根据磁性流体密封装置的破坏压力等于该密封破坏之前的总压力负载量，在多级密封中，当一级达到破坏压力时，在环形空间一点的针孔处泄漏量使次一级的级间腔内的压力增加，这个过程一直重复下去，直到总压力所需的级数达到有效为止。这样最高耐压可达到 24×10^6 牛顿/米² (24Kg/cm^2 左右)

工作温度在 $-40 \sim +100^\circ\text{C}$ 左右，转速为几千至上万 $r.p.m.$ 。

磁性流体的密封优点是，具有抗蚀能力，并有机械及动压密封的特点，即磨损小，密封表面的精度和粗糙度要求低，允许较高的速度，振动小，无噪音，不需要外加润滑系统，寿命长等。所以，它可以广泛地用于各种回转机械（离心式压缩机、增压泵、螺杆式压缩机、风扇及罗茨鼓风机等）的密封。冶金高温过程的密封，航空微波雷达转动部位的密封，多晶硅真空炉中的拉晶轴的密封，高能激光器输出窗的密封，X-射线装置内直接驱动阳极的密封，核的扫描器在真空容器中旋转支承架的密封，人造卫星抵抗恶劣环境相对运动部位的密封，以及石油、化工机械的密封等。

第六篇

其他密封

第二十章 间隙密封

间隙密封为非接触式密封，它是依靠相对运动件配合面之间的微小间隙阻止油液泄漏实现密封作用的。这是一种不需要任何密封件的密封方法，在直径较小或压力较低的柱塞油泵、液压马达和阀类中广泛采用。

间隙密封的常见型式主要有两种，平面配合表面和圆柱形配合表面。

图20—1所示轴向柱塞泵的缸体和配油盘之间的间隙密封，就是常见的平面配合表面的间隙密封结构型式。其优点是可以采用液压或弹簧压紧的方法来补偿磨损的影响。为了保证平面间隙小，对两个配合平面的加工要求较高，其光洁度应为 $\nabla 9 \sim 10$ ，同时两个零件要用耐磨材料制造或者进行热处理增加其配合面的耐磨性。

图20—1所示轴向柱塞泵的柱塞与缸体的配合，又是典型的圆柱形配合表面间隙密封结构型式。这种间隙密封的零件（柱塞或活塞）配合表面上往往开几条等距的环形油沟，以增大油液从高压腔泄漏到低压腔的阻力。因此，在同样压差时，使泄漏量减少。其次有了这些沟槽，能使压力沿周向分布均匀，径向液压力彼此平衡，防止柱塞的中心线在液体压力作用下发生偏移，减少两配合面的磨损，以使柱塞移动灵活，防止轴向卡滞现象发生。油沟的尺寸可根据柱塞（或活塞）的尺寸而定，在阀杆表面所开的油沟尺寸，一般沟宽取为0.3~0.5毫米，深为0.5~1.0毫米，两条油沟间距为3~4毫米。

圆柱形间隙密封磨损后，不能自动补偿以保持原有的密封能力。磨损后间隙增大，密封性能降低，又无法采用其它措施来补偿磨损的影响。在尺寸较大的液压缸中未能推广，是因为要达到间隙密封所要求的加工精度比较困难，经济效果较差。

圆柱形密封间隙大小的选取，是根据允许泄漏量来决定的。一般可按公式计算或根据实践经验来确定。大量生产的液压元件中圆柱表面配合间隙推荐值见表20—1规定。

生产实践证明，分组选配，是保证液压分配阀的阀孔与阀杆具有一定径向密封间隙的先进工艺方法。天津机械厂生产的各种分配阀，多年来一直分组选配。如四位四通分配器FP₃75，阀孔直径 $25^{+0.08}$ ，按最小尺寸分成20组（表20—2）。阀杆直径 25 ± 0.002 ，按最大尺寸分成20组（表20—3）。用电火花打上分组号，装配时，使径向间隙保持在0.004~0.008毫米之间。

间隙密封结构简单，摩擦阻力小，但不可避免地会有泄漏，而且随着压力增高泄漏加剧，长期工作因磨损会使间隙加大，泄漏也相应增加。因此，这种密封形式不能用来完全防止外泄漏。

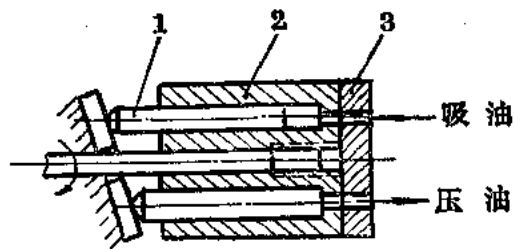


图20—1 轴向柱塞泵结构原理简图

1—柱塞；2—缸体；3—配油盘

表20—1 液压元件间隙的推荐值

mm

公称直径	孔 D 公差	轴 d 公差	最小间隙	最大间隙
6	+0.0060	-0.0040	0.0025	0.0125
12	+0.0075	-0.0050	0.0050	0.0175
20	+0.0100	-0.0060	0.0075	0.0235
25	+0.0125	-0.0075	0.0125	0.0325
50	+0.0150	-0.0100	0.0200	0.0450
75	+0.0200	-0.0125	0.0250	0.0575
100	+0.0200	-0.0125	0.0320	0.0645
125	+0.0250	-0.0150	0.0430	0.0830
200	+0.0300	-0.0200	0.0500	0.1000

注：对往复运动或旋转运动的零件，建议选取表中最小间隙。

表20—2 阀孔尺寸分组

mm

组别	尺寸值	组别	尺寸值
1	25.000~25.004	11	25.040~25.044
2	25.004~25.008	12	25.044~25.048
3	25.008~25.012	13	25.048~25.052
4	25.012~25.016	14	25.052~25.056
5	25.016~25.020	15	25.056~25.060
6	25.020~25.024	16	25.060~25.064
7	25.024~25.028	17	25.064~25.068
8	25.028~25.032	18	25.068~25.072
9	25.032~25.036	19	25.072~25.076
10	25.036~25.040	20	25.076~25.080

表20—3 阀杆尺寸分组

mm

组别	尺寸值	组别	尺寸值
1	24.988~24.992	11	25.028~25.032
2	24.992~24.996	12	25.032~25.036
3	24.996~25.000	13	25.036~25.040
4	25.000~25.004	14	25.040~25.044
5	25.004~25.008	15	25.044~25.048
6	25.008~25.012	16	25.048~25.052
7	25.012~25.016	17	25.052~25.056
8	25.016~25.020	18	25.056~25.060
9	25.020~25.024	19	25.060~25.064
10	25.024~25.028	20	25.064~25.068

间隙密封的密封性能好坏与间隙大小、压力差、配合表面的长度、直径大小和加工质量等因素有关，其中以间隙大小和均匀性对密封性能影响最大，通过计算可说明这种关系。

液体经过间隙的泄漏量，可按下面公式计算。

一、平面间隙泄漏量计算

液体流经两个固定平面间隙（图16—4）的泄漏量可按式求得

$$Q = \frac{490bh^3 \Delta p}{r\nu L} \quad (20-1)$$

式中 Q ——油液经过平面间隙的泄漏量（升/分）；
 b ——平面间隙垂直于液流方向的宽度（厘米）；
 h ——间隙大小（厘米）；
 Δp ——流经间隙前后油液压力差（公斤力/厘米²）；
 r ——液体重度（公斤/厘米³）；
 ν ——液体的运动粘度（厘沲）；
 L ——间隙沿液流方向长度（厘米）。

由上式可以看出，油液流经平面间隙的泄漏量和间隙 h 的三次方成正比。因此，为提高密封性能，应尽可能缩小间隙量，以便减少高压油的泄漏量。

二、环状间隙泄漏量计算

环状间隙（图20—2）的横截面中， δ 表示径向间隙， d 为阀杆直径，沿液流方向间隙长度为 L 。如果将环状间隙圆周展开，就相当于一个平面间隙，用 πd 代替平面间隙的宽度 b ，就可以得出油液流经环状间隙泄漏量的计算公式

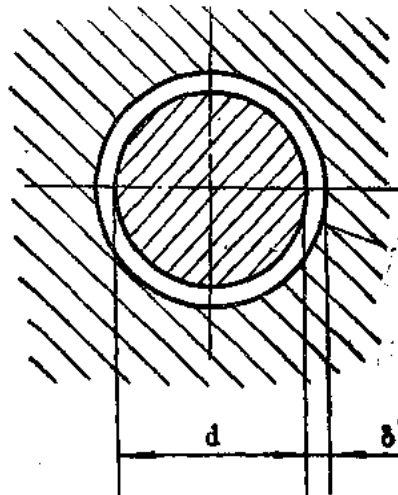


图20—2 环状间隙示意图

$$Q = \frac{1.54d \cdot \delta^3 \cdot \Delta p}{r \cdot \nu \cdot L} \times 10^3 \quad (20-2)$$

式中 d ——阀杆直径（厘米）。

三、当形成间隙的一个表面有移动时，泄漏量的计算

上述油液流经平面间隙和环状缝隙的泄漏量的计算方法，是以形成间隙的两个面都是处于静止状态为前题。但在实际的液压机构中，两个平面往往有一个是运动的，如活塞和油缸、阀杆和阀套所形成的环状间隙，均作往复直线运动。因此，在作间隙泄漏量计算时，应考虑到这一因素。

如果形成平面间隙的一个平面有移动时，该平面的移动速度将影响到液流的速度，若平面移动的方向与原来液体运动方向相同，液流的速度将增大。方向相反时，液流的速度将减小，并且靠移动平面愈近的液体层，受到的影响愈大。这直接影响流经间隙的泄漏量，因此，泄漏量计算公式(20-1)、(20-2)应在原来的基础上作如下改变。

当形成平面间隙的一个平面移动时，其泄漏量计算公式为

$$Q = \left(\frac{490\delta^3 \Delta p}{rvL} \pm \frac{3\delta V}{100} \right) b \quad (20-3)$$

式中 V ——形成平面间隙的运动平面的移动速度 (cm/s)。当 V 与液体径间隙的泄漏方向相同时，取“+”号，反向时，取“-”号。

同理，形成环形间隙的一个圆柱面作直线移动时，泄漏量计算公式为

$$Q = \left(\frac{1.54\delta^3 \Delta p \times 10^3}{rvL} \pm \frac{9.42\delta V}{100} \right) d \quad (20-4)$$

式中 V ——圆柱面作直线运动的速度 (cm/s)。当 V 与油液径间隙的泄漏方向相同时，取“+”号，反向时，取“-”号。

四、偏心环状间隙的泄漏量计算

上式表示的油液经环状间隙的泄漏量公式，是以形成间隙的两个圆柱面处于同心为前题。但在实际的液压机构中往往不是这样，如活塞和液压缸有时可能不是同心的，而且有一个偏心量，形成偏心环状间隙(图20-3)。此时，其泄漏量的计算公式为

$$Q = \frac{1.54d\delta^3 \Delta p}{rvL} \times 10^3 (1 + 1.5e^2) \quad (20-5)$$

式中 e ——相对偏心度 $e = \frac{e}{\delta}$;

e ——偏心距 (厘米)。

当偏心距达到最大值时， $e = \delta$ ，即 $e = 1$ ，代入上式(20-5)，可得通过偏心环状间隙的最大流量

$$Q_{\dots} = \frac{1.54d\delta^3 \Delta p}{rvL} \times 10^3 (1 + 1.5)$$

即 $Q_{\dots} = 2.5Q \quad (20-6)$

式中 Q ——通过同心环状间隙的泄漏量。

由上式可知，环状间隙由于偏心可使泄漏量增大，当偏心最大时，泄漏量增大至2.5倍。

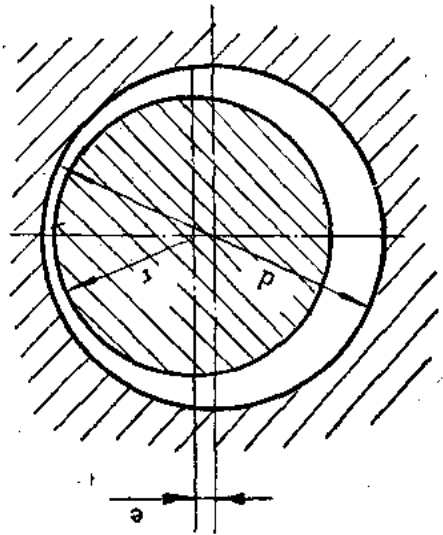


图20-3 偏心环状间隙示意图

五、圆环形平面间隙泄漏量计算

油液经圆环形平面间隙的情况，在静压止推平面中经常遇到，如轴向柱塞泵的滑履等（图20-4）。

油液经上面中心孔进入油室，并经圆环形平面间隙流出，设圆环的大半径和小半径分别为 R_1 和 R_2 ，间隙为 δ ，间隙前后油液的压力差 $\Delta p = p_1 - p_2$ ，则油液流过圆环形平面间隙的泄漏量可用下式计算

$$Q = \frac{3.08 \delta^3 \Delta p}{r \gamma l \cdot \frac{R_1}{R_2}} \times 10^8 \quad (20-5)$$

式中 R_1 ——圆环大半径（厘米），
 R_2 ——圆环小半径（厘米）。

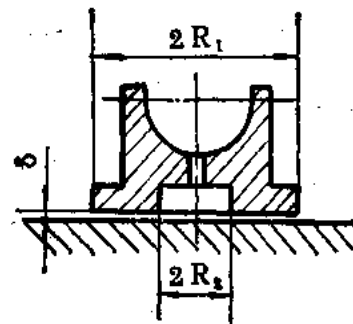


图20-4 轴向柱塞泵滑履副

通过液体流经各种间隙泄漏量的计算，清楚表明，间隙大小对泄漏量的影响极大，成三次方的关系。因此，为减少间隙密封的泄漏量，应尽量缩小密封间隙。

美国航空用液压分配阀阀孔与阀杆的径向间隙，约为0.001毫米左右。

当然，密封间隙不能太小，以免发生圆柱滑阀的轴向卡滞现象。

一般，阀孔与阀杆的环状间隙可用下式计算

$$\delta_s = \delta_{s_0} + d(\alpha + \beta)(t - t_0) \quad (20-6)$$

式中 d ——阀杆直径（毫米）；

α 、 β ——阀体、阀杆材料的线胀系数；

t 、 t_0 ——阀体、阀杆的工作温度、初始温度；

δ_{s_0} ——在初始温度下的阀孔与阀杆的间隙。

第二十一章 活塞环密封装置

第一节 活塞环的应用

活塞环密封装置也是一种应用很久的古老密封型式(图21-1)。作为密封元件的活塞环又称涨圈,可用于往复运动密封,也可用于旋转运动密封。

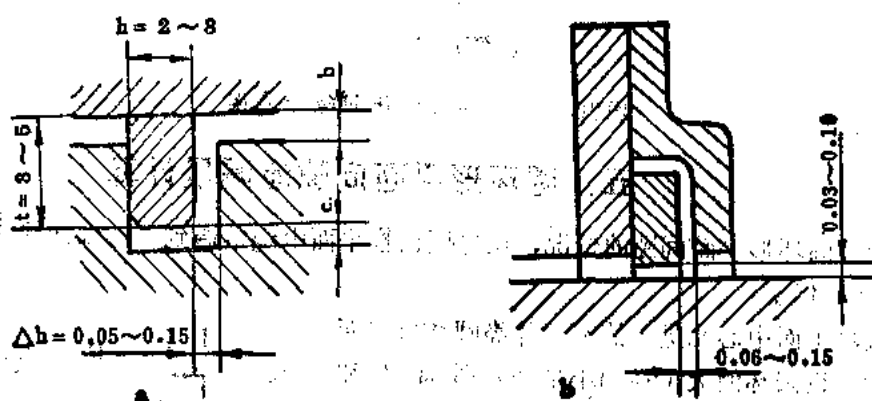


图21-1 活塞环的基本尺寸

活塞环,一般为金属制自胀性带切口的弹性环,以其弹力与被密封表面紧密贴合,实现对密封介质的密封。

浮动环(图21-10)是一个没有开口,没有弹性的整体环,是活塞环的特例。浮动环与被密封表面的间隙较大,可在槽内自由径向浮动,故称浮动环。

活塞环有如下主要优点:

- (1) 工作压力范围广,一般 $\leq 200 \text{Kg/cm}^2$,活塞直径小于600mm时,最高工作压力可达 320Kg/cm^2 。
- (2) 运动速度高。轴承油封的涨圈,线速度为 10m/s ,航空用涨圈一般线速度为 $60 \sim 80 \text{m/s}$,有时高达 100m/s 。
- (3) 适用温度范围宽。一般为 200°C 。
- (4) 工作可靠,寿命长。
- (5) 磨损补偿能力强。
- (6) 摩擦阻力小。

活塞环的缺点是,由于其开口的存在,不可避免地要有一定量的泄漏,只适用于液压缸和马达活塞或柱塞等允许有微量泄漏之处的密封。

活塞环一般适用于对液体介质的密封，以提供润滑性，也可用于密封气体介质，但必须解决摩擦面的润滑问题。像发动机那样，气环与油环配合使用，或采用无润滑活塞环。

为增强活塞环密封装置的密封可靠性，除提高活塞环工作表面光洁度（ $\nabla 8$ 以上）外，还应保证活塞环与被密封表面贴合的紧密性。用透光法检查活塞环外圆与被密封表面的透光度，要求严格者，其透光度不大于0.01毫米。

活塞环端面与环槽侧面贴合良好的标志，一般规定涨圈在其自重的作用下，可通过宽度为 B 的量规自由下落。 B 的宽度等于活塞环宽度加上0.03~0.05毫米。

活塞环的常用材料有铸铁、合金铸铁、锡青铜等，有时也可用硅锰钢制作。表面光洁度达 $\nabla 8$ 以上。

为提高密封性与便于磨合，可在活塞环表面上电镀银、铅、镉、铅锡合金等软金属。

为了保证活塞环具有更好的密封性，其外圆应保持锐边，而不应倒角与倒圆。

第二节 活塞环结构

一、基本尺寸与断面形状

图21-1a所示为常用活塞环的基本尺寸。

活塞环径向厚度直接影响环的径向压力，对铸铁活塞环取

$$t = (1/22 \sim 1/36) d \quad (21-1)$$

式中 t —— 活塞环径向厚度 (mm)，一般常取 $t = 3 \sim 5\text{mm}$ ；

d —— 活塞环工作状态下的外径 (mm)。

活塞环轴向高度，一般取

$$h = (0.4 \sim 1.4) t \quad (21-2)$$

常用 $h = 2 \sim 3\text{mm}$ 。

活塞环自由状态下的开口间隙与环的弹力有关，一般可取

$$S = (3 \sim 4) t \quad (21-3)$$

活塞环工作状态下的开口间隙，称为开口热间隙。其功用是防止高温工况下，活塞环与缸孔因热膨胀卡死。

在常温下把活塞环装在等于缸孔直径的环规内所测得的开口间隙，即为开口热间隙。内燃机用活塞环，开口热间隙取

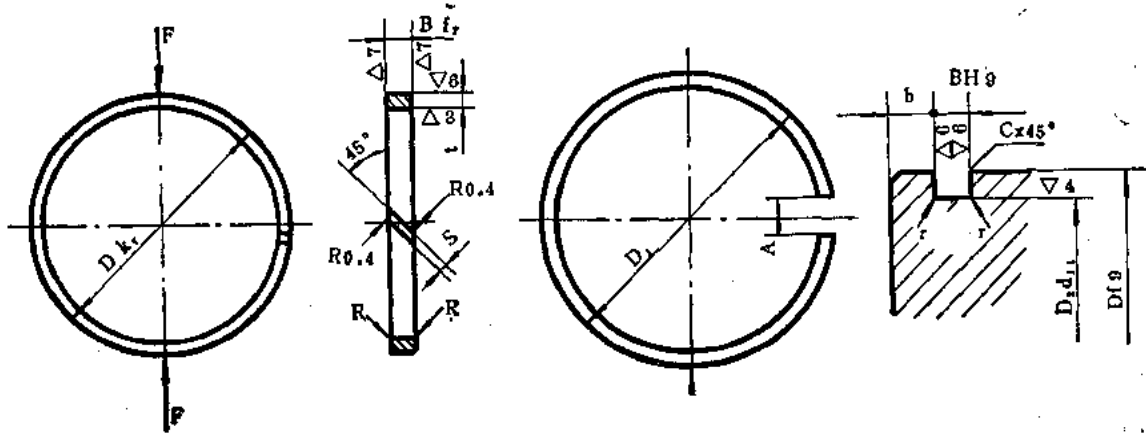
$$a = (0.0035 \sim 0.006) d \quad (21-4)$$

通常，可取 $a = 0.10 \sim 0.25\text{mm}$ 。

活塞环工作状态下的侧面间隙与径向间隙，可根据经验选取。一般，侧面间隙 Δb 取0.05~0.15毫米；径向间隙 b 取0.5~0.75毫米， c 取0.2~1毫米。

液压与气动用活塞环和沟槽的尺寸系列见表21-1所列。

表21—1 液压与气动用活塞环和沟槽尺寸系列



mm

D	B	t	s	R	D ₁	A	F (Kgf)	D ₂	C	r	b	
40	3	1.6	+0.01 -0.09	0.05~0.1	0.5	41.78	5.6	1.5~3	0.15	0.3	5	
45		46.94				6.2	1.7~3.3	41				
50	3.5	2				52.26	7.1	2.3~4.4				45.5
55		2.2	57.48	7.8	2.6~4.9	50						
60	4	2.35	+0.01 -0.1	0.08~0.18	1	62.8	8.9	2.9~5.6	0.3	0.6	7	
65		2.5				68.18	10	3.3~6.2				59.5
70		2.7				73.5	11	3.7~6.6				64
75		2.85				78.6	11.25					69
80		3	83.66	11.5		73.5						
85		3.2	89	12.25		3.8~6.8	78					
90		3.3	94.15	13		3.9~7	83					
100	5	3.6	+0.015 -0.12	0.15~0.25	104.78	15	4.3~7.4	0.3	0.6	9		
110		4	114.9		15.5	5.7~10						
120		4.25	125.3		16.7	6.2~11	10					
130	6	4.5	135.7	17								
140		4.8	146	19	7.3~ 12.4	12						
150	7	5.2	+0.015 -0.13	0.2~0.3	156.7		21	8.4~14	0.3	0.6	14	
160		5.5	167.3		23	10~16						
180		6	187.6		24	11~18.5	14					
200		6.5	208.3		26							
200	8	7	+0.025 -0.15	0.025~0.15	229.5	29						

(续)

D	B	t	S	R	D _≈	A	F (Kgf)	D ₁	C	r	b
240	8	8	+0.025 -0.15	0.25~0.35	1	249.8	30.7	12~20	0.3	0.6	14
260	9	8.5				270	31.5	13.4~22			
280		9	290.8	34		15~25	261				
300	10	9.5	311.4	36		17~29	280				
320		10	+0.025 -0.17	0.3~0.4	322.1	38	19~31	299			
340		10.5			353	41		318			
360	11	11	0.35~0.5	1.5	374	44	21~39	337			
380		11.5			396.6	46		356			
400	12	12	+0.025 -0.19		0.35~0.5	415.3	48	24~43	375		
420		12.5				436	50.4	27.5~46	394		
450	13	13.5	0.45~0.7		1.5	467.2	54	30.5~49	422		
480		14.5				498.4	57.6	33.5~54	450		
500	14	15	+0.025 -0.23	0.45~0.7		519.1	60	36~58	469		
530		16				551.2	66.9	39~63	497		
560	17	583.6	74	41~68		525					
600	18	624.8	78	47~78		563					

注: F为把活塞环切口压紧的力。

活塞环的断面形状是其工作效果的重要影响因素。图21—2所示为活塞环的主要断

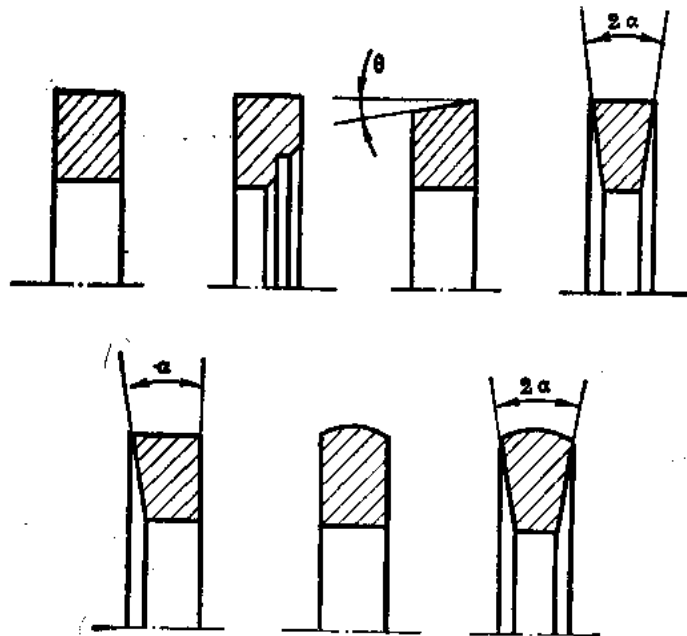


图21—2 活塞环的断面形状

面形状。矩形环为基本型。锥形环、桶形环有利于油楔的形成 ($Q = 30' \pm 10'$)，耐磨性高。扭曲环是利用不对称断面受热时产生扭曲变形获得锥形外圆面，达到锥形环的同样效果。梯形环的双向适应能力强。

二、开口形状

活塞环的开口形状 (图21-3)，既影响密封性又影响工艺性，应认真选取。

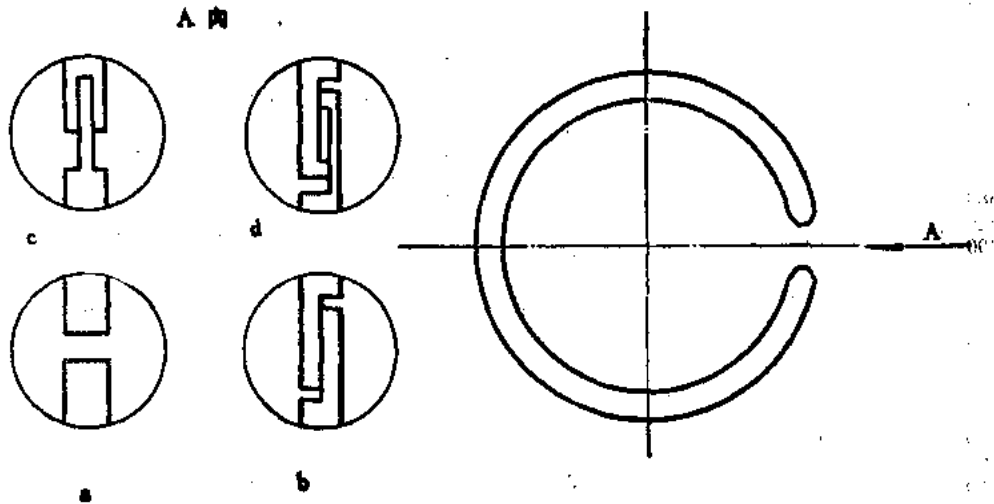


图21-3 活塞环的开口形状

图21-3a所示的直开口形状，工艺简单，应用最广，但密封性较差。对密封要求严格的场合，可采用图21-3b、c、d所示的开口形状。密封性好，工艺性差，应用较少。

为更有效地克服直开口活塞环的泄漏，可采用图21-4所示的组合式活塞环。图21-4a所示结构特点是，两个直开口活塞环的开口错开 180° 安装，结构简单，密封效果好。但在压差较大时，工作介质仍可沿开口间隙处泄漏 (图21-4a中箭头所示)。带直开口间隙的弹性内环3 (图21-4b)的采用，完全封住了开口间隙处的泄漏，提高了活塞环的密封性能。

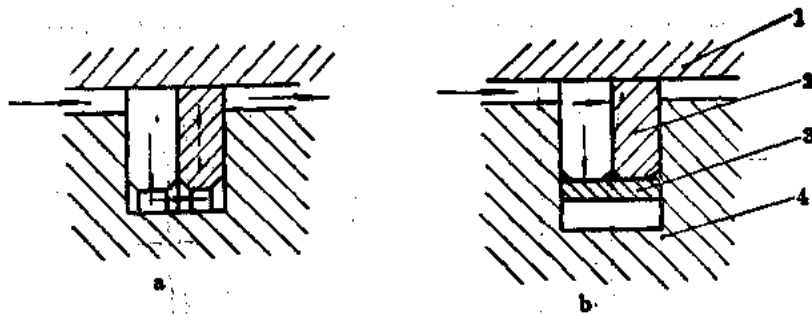


图21-4 组合式活塞环

1—孔； 2—活塞环； 3—内环； 4—轴

三、环数与沟槽

活塞环的个数直接影响其密封可靠性，取决于活塞直径与工作压力，可按下式计算：

$$Z = \sqrt{\Delta P} \quad (21-5)$$

式中 Z ——活塞环个数（圆整成整数）；

ΔP ——压差 Kgf/cm^2 。

近代，无增压的柴油机与汽油机，趋于采用3道活塞环活塞，其中2道气环，1道油环。70年代试用2道活塞环活塞，即1道气环，1道油环。

液压与气动活塞用活塞环的个数，可按表21—2选取。

表21—2 活塞环个数的选择

D 毫米	活 塞 环 个 数				D 毫米	活 塞 环 个 数			
	工作压力 (Kgf/cm^2)					工作压力 (Kgf/cm^2)			
	64	100	200	320		64	100	200	320
40~45	2	3	3	3	200~260	3	4	4	6
50~90	3			4	5			280~360	5
100~130			380~500					6	8
140~180			530~600					7	9

活塞环沟槽可以开在轴上，也可以开在孔上(图21—5)。开在轴上的沟槽是最常用的结构。在孔旋转而轴静止不动的情况下，或当轴的转速不高且为薄壁空心时，都应采用孔上开设沟槽的结构。

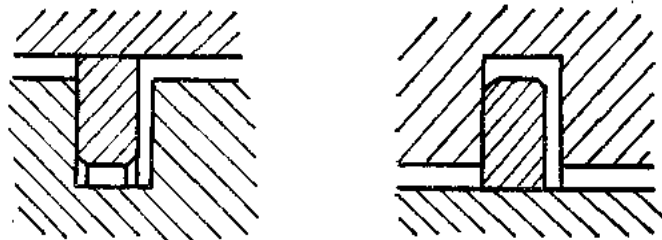


图21—5 活塞环沟槽

为了不使活塞环与轴、孔直接摩擦接触，以便于更换修理，可采用图21—6所示结构，增设衬套2和沟槽体4。活塞环3用锡铅青铜制作，表面镀铅；衬套2和沟槽体4经氮化处理。活塞环上直径为1毫米的小孔，用以引出润滑油，润滑摩擦表面。摩擦表面的线速度为 $9.8m/s$ 。

为便于装入活塞环，衬套2加工出 $15^\circ \sim 30^\circ$ 的引入导角，外径 D_s 比活塞环自由状态下的最大外径大 $0.5 \sim 2$ 毫米。

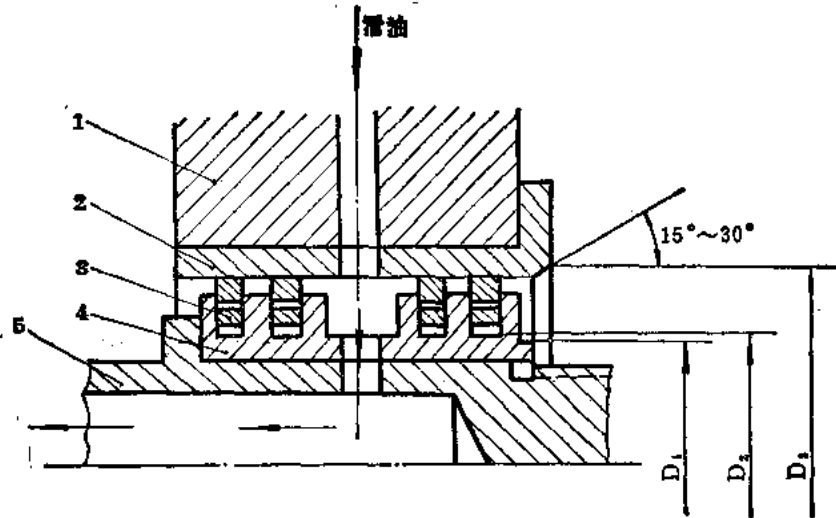


图21—6 引油活塞环沟槽

1—孔； 2—衬套； 3—活塞环； 4—沟槽体； 5—轴

为防止沟槽体4窜动，需用锁紧螺母（图中未画出）将其固定在轴5上。螺母压紧面留有台肩，台肩外径 D_1 小于沟槽底径 D_2 ，以防沟槽变形而夹持活塞环。

这样，被密封的工作介质通过静止的孔座1，引入旋转轴5。

图21—7与图21—8所示为轴承密封装置用活塞环沟槽。活塞环6用稀土球墨铸铁制作，沟槽体5、8及隔板7经氟化处理，衬套4渗碳。活塞环6在装配状态下的开口热间隙0.2毫米，侧面间隙0.15毫米，摩擦面线速度 $24m/s$ 。

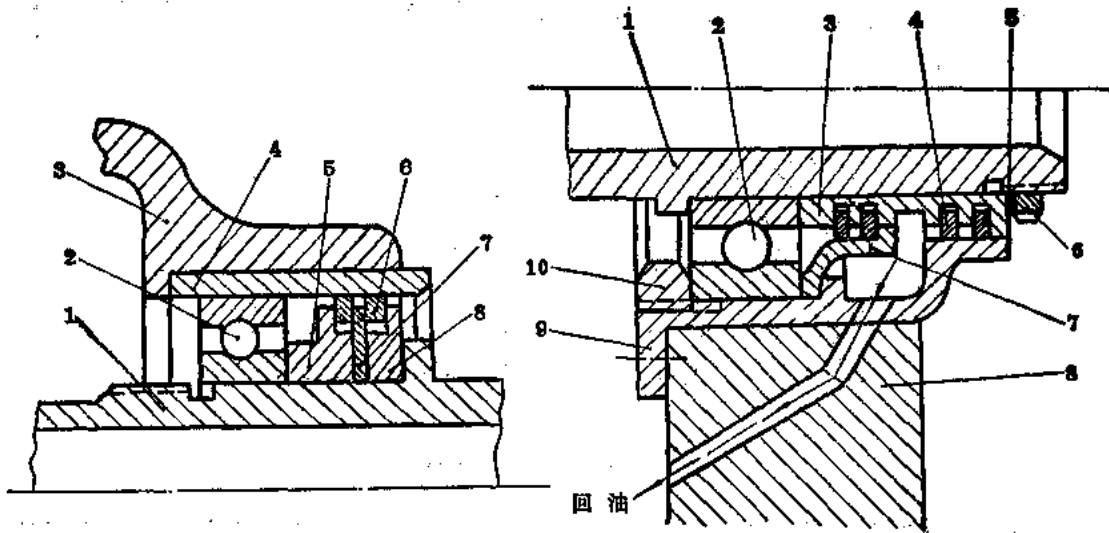


图21—7 轴承密封装置用活塞环沟槽

1—轴； 2—轴承； 3—壳体； 4—衬套；
5—内沟槽体； 6—活塞环； 7—隔板；
8—外沟槽体

图21—8 双重活塞环沟槽

1—轴； 2—轴承； 3—沟槽内套；
4—活塞环； 5—锁片； 6—螺母；
7—沟槽外套； 8—壳体； 9—衬套；
10—螺圈

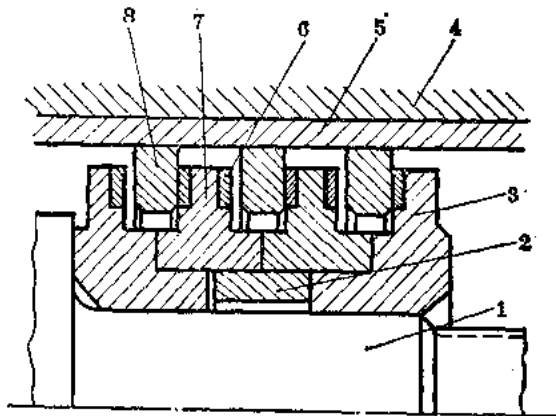


图21—9 摩擦面为烧结石墨青铜的
活塞环沟槽

- | | | |
|--------|--------|-----------|
| 1—轴; | 2—定位环; | 3—沟槽体; |
| 4—壳体; | 5—衬套; | 6—烧结石墨青铜; |
| 7—沟槽体; | 8—活塞环 | |

图21—9所示活塞环密封装置，适用于少油甚至缺油条件下工作。因此，活塞环沟槽摩擦面采用烧结石墨青铜，为便于烧结、加工及磨损后更换，将其分成4块。

活塞环用 $60Si_2MnA$ 制作，表面镀铅。衬套5用 $38CrMoAlA$ 制作，渗氮处理。沟槽体3、7的基体为20号钢，摩擦面烧结一层厚1毫米的石墨青铜，石墨青铜以铜粉为基，加入7.5~9.5%的石墨粉、6~7%的锡粉和10~12%的铅粉。烧结后浸油、进行机械加工。

四、浮动活塞环

浮动环（图21—10）的外径与内径既不与孔接触，也不与轴接触，可沿径向浮动。因此，浮动环的密封压差很小。在低压时，时转时停；在高压时，浮动环被压往沟槽端面，停止转动。

目前，浮动环主要应用于航空发动机与液体火箭发动机，用以密封液体与气体。

一般，浮动环的侧面间隙取0.06~0.15毫米，径向间隙取0.03~0.10（有时0.15）毫米（图21—10）。

为使密封更加可靠，可采用多层浮动环（图21—10）。多段沟槽体4与轴套6的采用，其目的是便于装入浮动环，而且便于磨损后的更换。

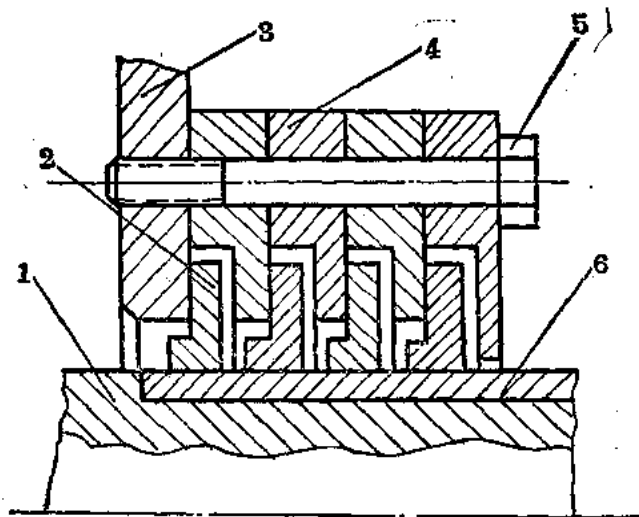


图21—10 多层浮动环密封装置

- | | | | |
|-------|--------|-------|--------|
| 1—轴; | 2—浮动环; | 3—壳体; | 4—沟槽体; |
| 5—螺钉; | 6—轴套 | | |

图21—11所示结构为浮动衬套密封装置,与同样轴向宽度的多层浮动环(图21—10)相比,两者的密封机理不完全一样,后者具有迷宫密封的性质。

弹簧2使浮动衬套7的右端面与密封盖4贴紧,实现平面密封。销子5用以防止浮动衬套7转动。浮动衬套内孔浇铸巴氏合金或其他耐磨材料,以增加耐磨性。

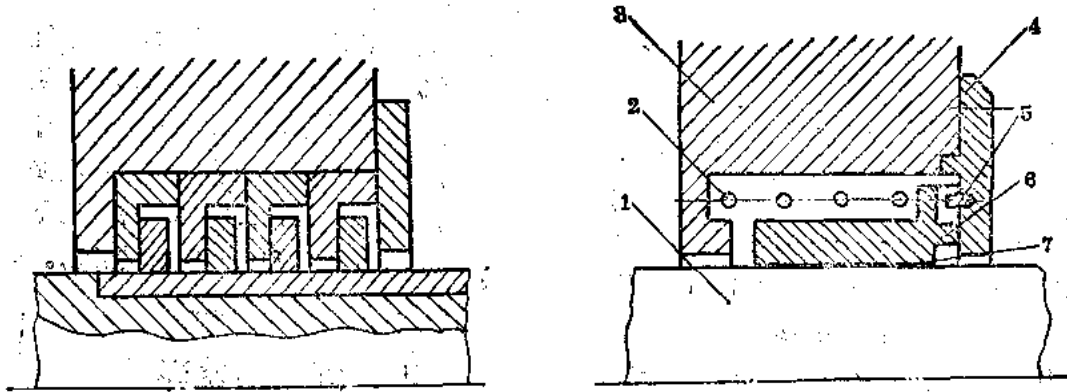


图21—11 浮动衬套密封装置
1—轴; 2—弹簧; 3—壳体; 4—密封盖; 5—销子;
6—耐磨合金; 7—浮动衬套

图21—12所示引油密封装置是把浮动衬套密封装置的浮动衬套(图21—11)分成两个面构成。浮动衬套5用锡青铜制作,内孔镀银,轴6摩擦面氧化、垫圈3渗碳、轴的线速度为 $2.8m/s$ 。

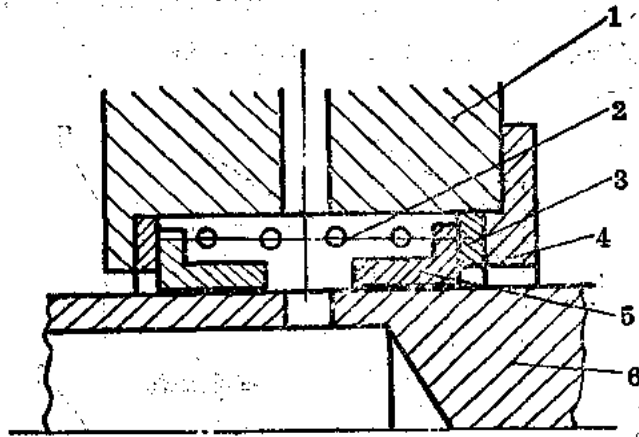


图21—12 浮动衬套引油密封装置
1—壳体; 2—弹簧; 3—垫圈; 4—端盖;
5—浮动衬套; 6—轴

图15—10所示摩擦片密封装置是介于活塞环与浮动环之间的一种设计。动片3随轴1转动,静片4与油管6固定不动,润滑油经油管6进入轴1腔内。

图15—7和图3—1所示密封结构均为金属接触式密封装置。它们的密封元件都具有浮动环的性质。

五、涨圈

旋转密封装置用活塞环又名涨圈

活塞环的工作面是其外（或内）圆柱面，而涨圈的工作面为其端面，且滑动线速度较高，故两者的设计有所不同。

在正常工况下，涨圈不转动，其外圆与缸孔不能跑合，因此，对外圆的透光度有严格的要求。开口间隙对泄漏的影响较往复运动密封活塞环的开口间隙大，常用搭接口活塞环和重迭活塞环，以减少泄漏。

1. 涨圈转动的危害

涨圈转动引起其外圆与缸孔磨损，开口间隙扩大，泄漏增加。缸孔磨损，形成沟槽，遇有偶然性轴向窜动时，沟槽使活塞环卡住，造成恶性事故。磨出沟槽的活塞环，很难拆卸和更换。

2. 防转设计

为防止涨圈的转动，设计时，要使作用于涨圈端面的摩擦力矩 M_1 ，小于涨圈外圆的摩擦力矩 M_2 ，若取安全系数为 1.2，则下式可以保证涨圈不随轴转动：

$$M_2 \geq 1.2 M_1 \quad (21-6)$$

作用于涨圈工作面的摩擦力矩（图21-13）

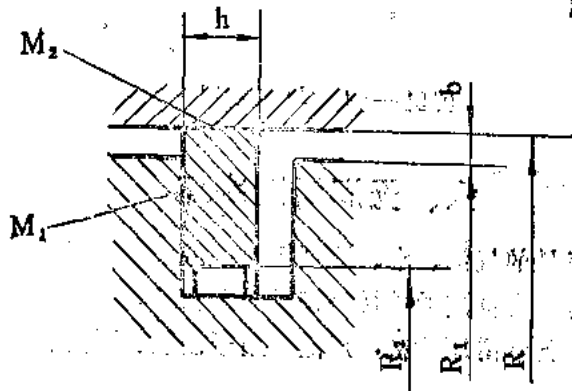


图21-13 涨圈防转设计

$$M_1 = \frac{2}{3} \pi (R_2^3 - R_1^3) \mu_x P_x \quad (21-7)$$

作用于涨圈外圆的摩擦力矩

$$M_2 = 2\pi R^2 h \mu_r P_r \quad (21-8)$$

式中 P_x 、 P_r ——涨圈端面与外径比压 (Kgf/cm^2)

μ_x 、 μ_r ——涨圈端面与外圆的摩擦系数。

端面比压

$$P_x = \Delta P \left(\frac{R_2^3 - R_1^3}{R_2^2 - R_1^2} - 0.5 \right) (Kgf/cm^2) \quad (21-9)$$

外径比压

$$P_r = P_s + \frac{1}{2} \Delta P \quad \text{Kg/cm}^2 \quad (21-10)$$

涨圈径向压力

$$P_s = \frac{ES}{7.07d(d/t-1)^2} \quad \text{(Kg/cm}^2\text{)} \quad (21-11)$$

3. 卸压

当涨圈两端的压差 ΔP 很大时, 为减缓涨圈工作面的剧烈磨损, 可采用卸压式涨圈 (图21-14), 两端面加工出环槽, 两环槽以直径为1毫米的小孔相通, 既改善了摩擦面的润滑, 又使端面卸压。

卸压后涨圈端面比压

$$P_x' = \Delta P (R^2 - 0.6R_2^2 - 0.5R_1^2) / (R^2 - R_1^2) \quad \text{(Kg/cm}^2\text{)} \quad (21-12)$$

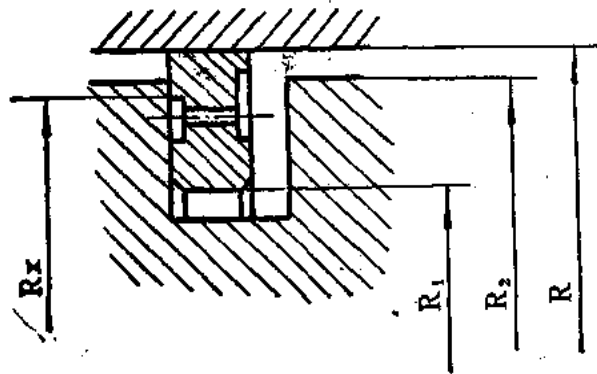


图21-14 卸压涨圈

六、无润滑活塞环

当工作介质为无润滑性的气体、水、溶剂等时, 可采用由石墨、填充聚四氟乙烯、聚酰胺 (尼龙)、聚甲醛等具有自润滑性材料制成的无润滑活塞环, 可无润滑运行, 避免了润滑油对气体的掺杂。无润滑压缩机, 广泛应用于制氧、医药、仪用气源、食品等工业部门。

石墨活塞环散热良好, 耐热达 370°C 。有少量水雾、油雾时, 摩擦系数为 0.04, 干摩擦为 0.20。适用于低负荷、高速工况。但易生粉尘、性脆, 现已少用, 而代之以氟塑料。

表21-3 填充聚四氟乙烯活塞环断面尺寸

缸 径	轴向高度h	径向厚度l
25~75	3~4.5	3~4.5
76~150	4.5~9	4.5~9
151~225	6~12	6~12
226~300	9~18	9~18
>300	>12	>12

填充聚四氟乙烯、聚酰胺、聚甲醛的性能与应用详见第七篇密封材料。

1. 无润滑活塞环的使用特点

(1) 许用 $[PV]$ 值不超过 $5 \text{Kg/cm}^2 \cdot \text{m/s}$ 。

(2) 断面尺寸较大 (表21-3)。

四氟环与石墨环的断面尺寸可按式确定:

四氟环

$$h = t = 2.2\sqrt[3]{d} \quad (21-13)$$

石墨环

$$h = \sqrt{d}, \quad t = 1.2h \quad (21-14)$$

(3) 因石墨、填充聚四氟乙烯的弹性小, 需与弹力环并用。

(4) 填充聚四氟乙烯的热膨胀系数是钢的10倍, 为防卡死, 需留较大的槽宽间隙 (表21-4)。

表21-4 填充聚四氟乙烯活塞环槽宽间隙

槽宽	间隙	
	最小	最大
6.4	0.23	0.33
8.0	0.25	0.38
9.5	0.30	0.41
12.6	0.38	0.51
16	0.46	0.58

(5) 无润滑活塞环切忌偏磨, 活塞与缸筒的同心度与运动直线性要求高, 卧式气缸应有自润滑托瓦。

表21-5 推荐用活塞环个数

压力 Kg/cm ²	环数	压力 Kg/cm ²	环数
0~10	2~4	100~150	5~7
10~20	3~5	150~200	5~7
50~100	5~6	200~250	6~8

(6) 冷却对保证氟塑料环稳定工作至为重要。

(7) 活塞环个数 (表21-5), 常受结构限制, 可取少于表列环数。

2. 磨损与寿命

无润滑活塞环的磨损量可用下式计算

$$U = \frac{K P_m V_m \tau}{Z} \quad (21-15)$$

式中 U ——活塞环的磨损量 (cm);

P_m ——活塞环组的平均有效压差 (Kg/cm²);

V_m ——活塞环的平均速度 (m/s);

τ ——运转时间 (h);

Z ——环数;

K ——磨损系数 $\left(\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{s}}{\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{h}}\right)$ (表21-6)。

表21-6 自润滑材料的磨损系数 K

材 料	$K \left(\frac{\text{cm}^3 \cdot \text{s}}{\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{h}}\right)$
碳 石 墨	$(0.2 \sim 1.3) \times 10^{-5}$
100PTFE	70×10^{-5}
100PTFE+35%石墨	$(2.5 \sim 3.5) \times 10^{-5}$
100PTFE+25%玻璃纤维	$(0.8 \sim 1.3) \times 10^{-5}$
100PTFE, 25%玻璃纤维, 5% M_oS_2	$(0.4 \sim 0.8) \times 10^{-5}$
100PTFE+40%青铜	$(0.15 \sim 0.3) \times 10^{-5}$

活塞环组的平均有效压力 P_m 是取活塞环组瞬时 PV 值对时间积分的平均值。

双作用活塞

$$P_m = x (P_2 - P_1) \quad (21-16)$$

单作用活塞

$$P_m = \frac{x}{2} (P_2 - P_1) + P_1 - P_3 \quad (21-17)$$

式中 P_1 ——吸气压力;
 P_2 ——排气压力;
 P_3 ——背压;
 x ——系数 (表21-7)。

表21-7 系数 x

P_2/P_1	1	1.5	2	3	4	5
x	1	0.83	0.77	0.67	0.61	0.56

第三节 活塞环的泄漏量和摩擦功率的计算

一、泄 漏 量

为简化计算,假设活塞环的外圆与端面贴合紧密无渗漏,泄漏仅产生于活塞环的切口间隙。

当密封液体介质时,其泄漏量

$$Q_{液} = \frac{APd^3b}{12\mu h} \quad (cm^3/s) \quad (21-18)$$

当密封气体时,其泄漏量

$$Q_{气} = ab\sqrt{2g\frac{\Delta P}{r}} \quad (cm^3/s) \quad (21-19)$$

式中 a, b, h ——见图21-1;

μ ——液体动力粘度系数 ($Kgf \cdot s/cm^2$);

r ——气体比重 (Kg/cm^3);

g ——重力加速度 ($g = 980cm/s^2$)。

二、摩 擦 功 率

活塞环端面与沟槽侧面的摩擦功率可用下式计算

$$N = 1.03 \times 10^{-6} M_1 n \quad (KW) \quad (21-20)$$

式中 M_1 ——活塞环端面与沟槽侧面的摩擦力矩 ($Kgf \cdot cm$), 用式 (21-7) 计算;
 n ——轴的转速 ($r.p.m$)。

第二十二章 迷宫密封

迷宫密封装置主要用于密封气体。所谓迷宫密封装置，是指被密封介质通过曲折如迷宫式的间隙，产生节流效应，以减少泄漏而实现密封的。

第一节 迷宫密封装置工作原理

在转轴的周围设置若干个依次排列的环形密封齿，齿与轴之间形成一系列节流间隙与膨胀空腔（图22—1），气体介质每通过一道密封齿，必将遇到很大的阻力，产生节流效应而起密封作用。在压差作用下，气体经间隙以高速进入齿与轴之间的环形空腔后，突然膨胀而形成强烈漩涡，使大部分能量转化为热量而散失掉，使焓值恢复到接近于间隙前的值，而气体的压力不能恢复到原来的压力。气体每通过一道密封齿，压力顺序逐

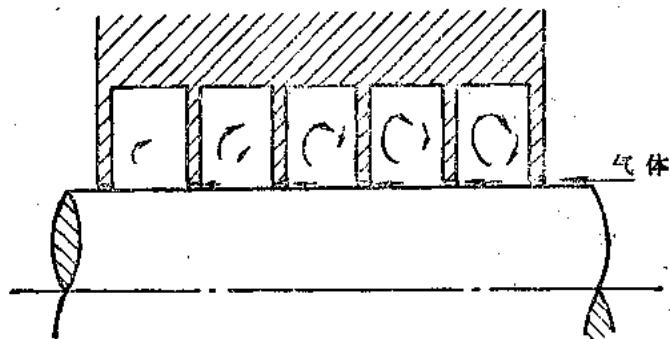


图22—1 迷宫密封装置密封原理

级下降。可以设想，如果密封齿的数目足够多，那么不论气体介质压力有多高，都可作到完全密封不漏。但实际上，密封齿数目的增加，使得轴向尺寸增大，因此，过多地增设密封齿在工程上是难以办到的。

为了提高密封效果，原则上应当是：

- (1) 齿与转轴之间的间隙越小越好；
- (2) 密封齿尽可能薄，且应保持尖角，不应倒圆；
- (3) 齿与齿之间要有足够距离，两齿之间的膨胀空腔，越大越好；
- (4) 密封齿的数目越多越好；
- (5) 轴的直径越小越好；
- (6) 台阶轴，迫使气流沿轴与齿之间的间隙多次转折改变方向，因此，密封效果比光轴好。

第二节 迷宫密封装置的使用条件

迷宫密封装置的主要型式是齿形结构。齿形迷宫密封装置，广泛用于对气体的密封，有时也用于对液体和固体（微尘）的密封。图22—2所示装置用于密封液体，防止润滑滑动轴承2的油液外漏，由动齿7、8和不动齿4、5组成。动齿7除了起迷宫节流作用外，还起离心甩油作用，以提高密封效果。出口处动齿8兼起防尘作用，阻止外界固体微粒窜入机器内。这里介绍的主要是密封气体介质的齿形迷宫密封装置。

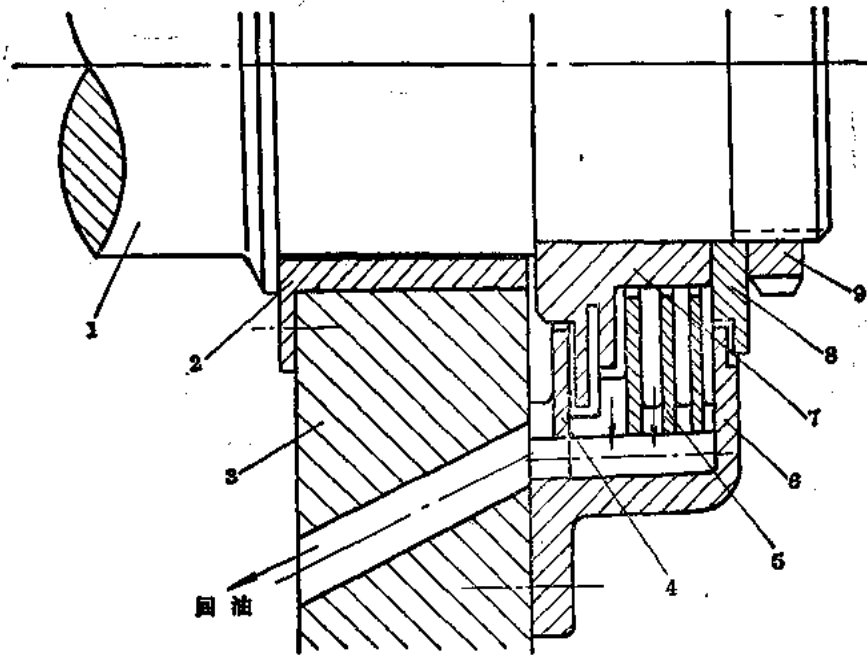


图22—2 迷宫封油装置

- 1—轴； 2—滑动轴承； 3—壳体； 4、5—不动齿；
6—端盖； 7、8—动齿； 9—螺母

迷宫密封装置，因其齿与转轴之间有一定的间隙，故属于非接触式密封装置，没有摩擦副，没有磨损，使用寿命长，一般无需经常维修。对于光轴来说，允许轴向任意自由膨胀，不受阻碍。适用于高速、高温；如果密封齿数目足够多，也可用于高压。

由于迷宫密封装置存在间隙，而密封齿数目又不可能太多，故与接触式密封比较，其泄漏量较大。因此，对于危险气体（例如有毒、易燃、易爆），应采用封气来“堵封”，这与机械密封装置的双端面密封在密封腔内输入封液堵封的原理一样（图12—6）。如图22—3所示，在两个迷宫密封2和3之间输入压力应略高于介质压力的封气，封气采用安全气体——空气或其他对介质不产生有害作用的气体。

也可以不输入封气，而在两迷宫密封装置2和3之间引气或强迫抽气，将已漏出迷宫密封装置3的有害气体引出到指定的地方。

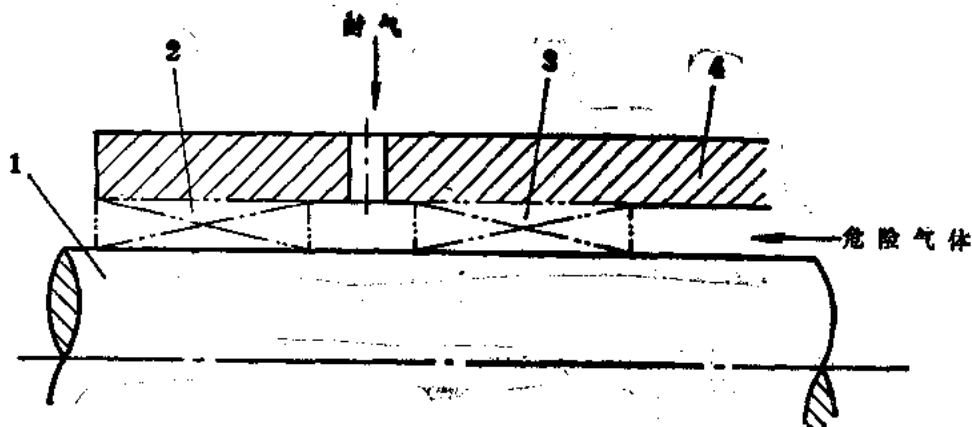


图22—3 迷宫密封装置的堵封

1—轴； 2,3—迷宫密封装置； 4—壳体

第三节 迷宫密封装置的结构

以气体为工作介质的机械，如鼓风机、压缩机、汽轮机、燃气轮机、喷气发动机等，广泛使用齿形迷宫密封装置，用以密封气体介质。密封齿可以设在转轴上，也可设在静止的壳体上，对于密封效果影响不大，重要的是密封齿的泄漏间隙越小越好。但由于加工误差、振动、运转时的变形、轴承间隙……等原因，间隙不能太小，以免碰坏，故对于高压气体有一定的泄漏量是不可避免的。人们设计出多种多样的迷宫结构，其目的是尽可能地减少泄漏量。总之，迷宫结构应尽量使泄漏的气流经许多转折，而且转折越急剧越好，转折的次数越多以及间隙越小越好。

常用的迷宫密封装置可分为整体式、镶片式和组合式三种。整体式迷宫密封装置如图22—4所示，多用于燃气轮机，密封齿与壳体或转轴是一体的，即在壳体或转轴上直接加工出直齿或斜齿。直齿用于双向密封，斜齿用于单向密封。图22—4f、g为斜齿，用于防止左边的气体漏向右边，其密封效果比直齿的好。高低齿的密封（图22—4d）又比平齿（图22—4b）好。当然高低齿必须把壳体做成对开的两半，才能将转轴装得进去。

镶片式迷宫密封装置如图22—5所示。用于鼓风机的迷宫密封装置镶片，一般采用铝板（图22—5a、b、c）。铝板镶入槽后，其根部压紧固定，然后加工密封齿内孔的配合表面。用于汽轮机的迷宫密封装置镶片，是用薄至0.2毫米的不锈钢带（图22—5d）制作，用不锈钢丝嵌入槽中固定而成；由于镶片薄而软，故偶尔相碰时，镶片可以弯曲躲避，减少磨损，但因其刚性差，不能用于高压级密封装置。图22—5e、f可用于高压；e用于双向密封，f用于单向密封，防止右边的高压气体漏向左边。

复合式迷宫密封装置如图22—6所示，在一个复合件上分枝出很多密封齿，而一个密封环则由若干块这样的扇形复合件组成。图22—6a、b所示复合件装入槽后，槽中还有板片弹簧使复合件紧靠下方，一旦转子与复合件相碰，复合件可以弹开而减小磨损；图

22-6c没有这个好处。复合式迷宫密封装置的密封效果好，但加工复杂，一般用于汽轮机的高压级。

此外，压缩机还采用蜂窝迷宫密封结构（图22-7）。蜂窝3用不锈钢箔制成，厚度只有零点零几毫米，用钢焊将蜂窝3焊在蜂窝环1上，转轴可以是光轴，也可以带密封齿。当转轴碰到蜂窝3时，将碰的地方压平，形成最小的间隙。蜂窝的六角形边长1~6毫米，蜂窝的高度2~5毫米。

为了获得最小的泄漏间隙，航空工业往往采用石墨涂层或安装石墨块代替上述的蜂窝，如图22-8所示。不管有意或无意，当密封齿碰到石墨时，只在石墨上刮下一圈而已，齿和壳体的金属都受到保护。此时，齿与石墨之间自然形成“若即若离”的最小间

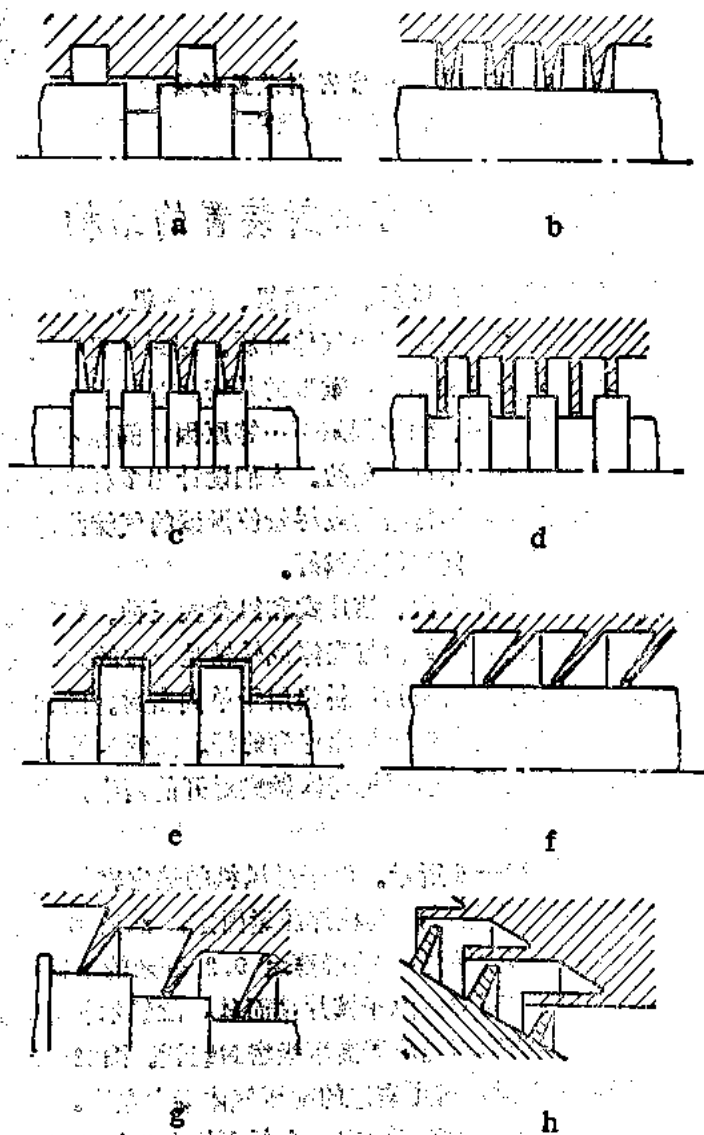


图22-7 整体式迷宫密封装置

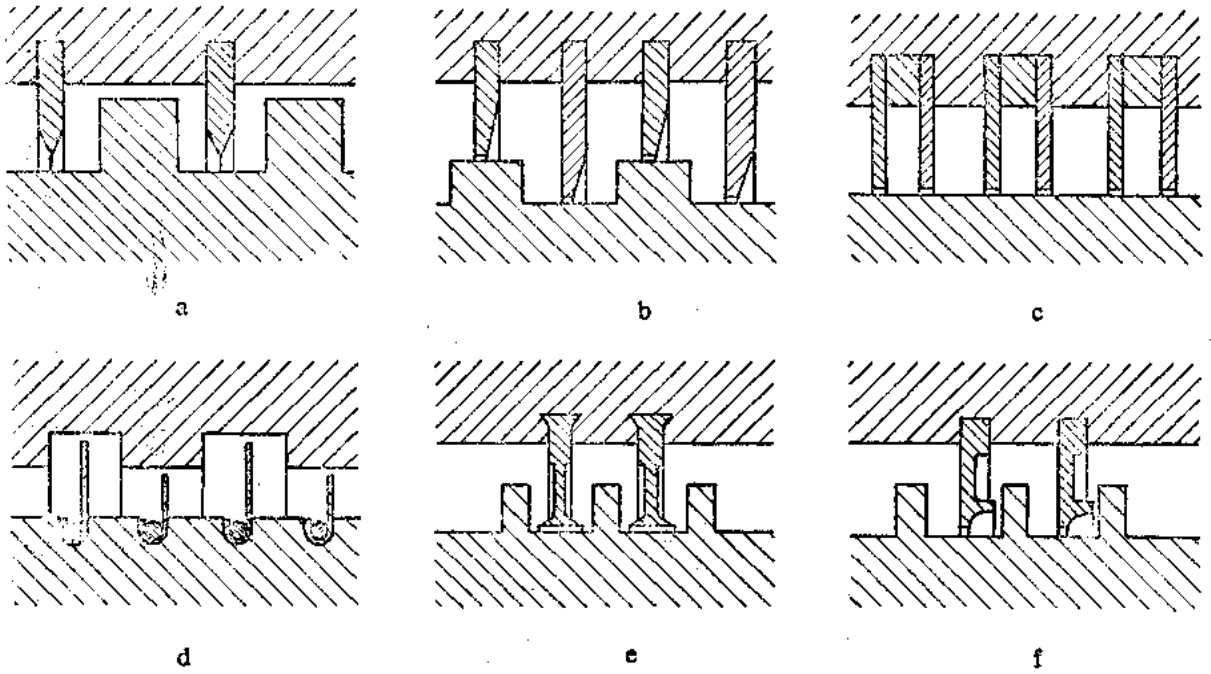


图22—5 镶片式迷宫密封装置

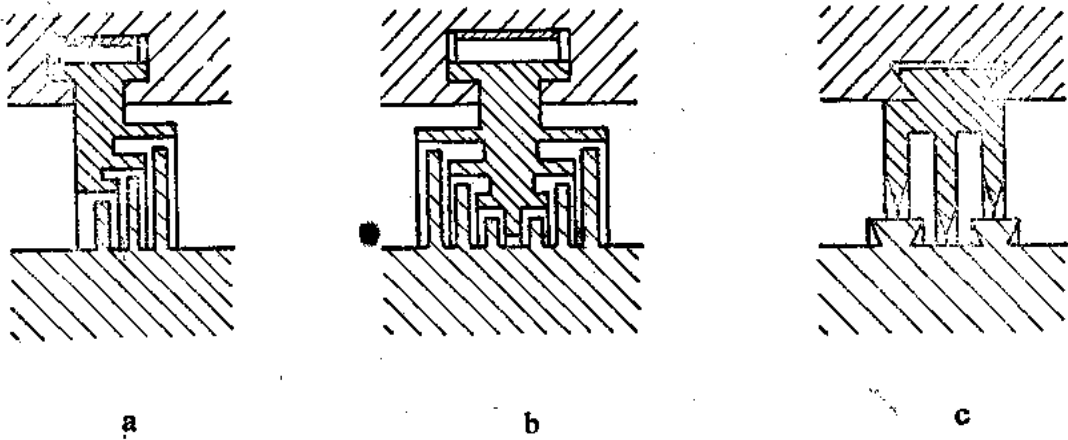


图22—6 复合式迷宫密封装置

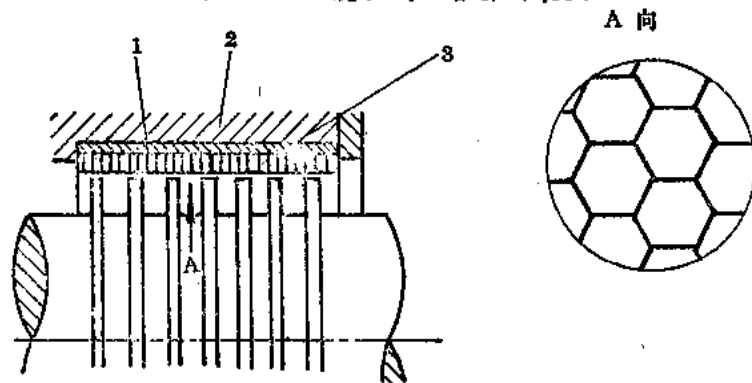


图22—7 蜂窝式迷宫密封装置

1—蜂窝环； 2—壳体； 3—蜂窝

隙。图22—8a所示的石墨涂层，如用于密封压缩空气时，是由铅粉、石棉丝、胶质石墨和高温漆组成；用于密封高温气体的石墨层，是由胶质石墨、滑石粉、碳石墨、水玻璃和水组成。为了增加石墨层的结合力，涂石墨的地方先加工出螺纹槽，然后在螺纹槽上涂石墨；涂层厚度不超过3毫米，太厚容易剥落。用于密封接近800℃的高温燃气时，要采用石墨块代替涂石墨层（图22—8b）。石墨块制成弧形，在同一圆周上装满这样的石墨块后，加工石墨块与密封齿相配的密封表面。对于一般机械工业，也有采用巴氏合金、聚四氟乙烯代替石墨作保护层。

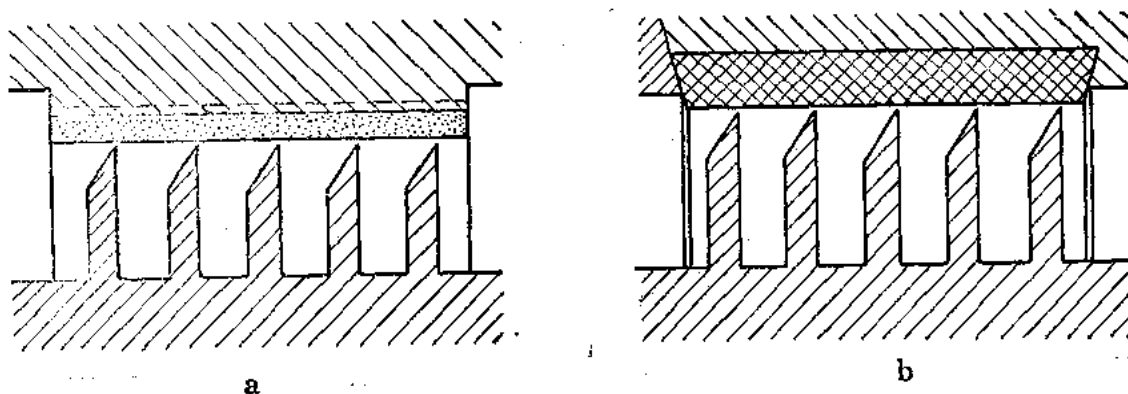


图22—8 带石墨保护层的迷宫密封装置

虽然斜齿比直齿的密封效果好，但是整体式斜齿加工不便，所以航空工业，有时采用斜齿组合式结构（图22—9）。

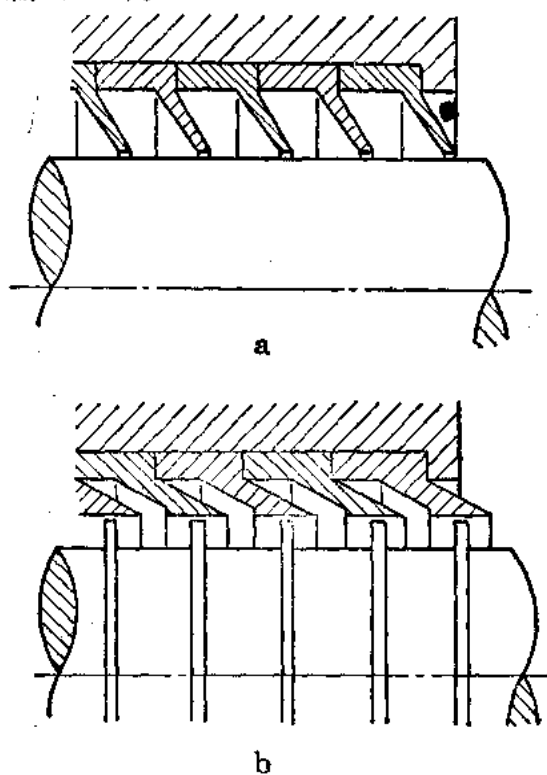


图22—9 斜齿组合式迷宫密封装置

图22—10所示密封结构为四层式迷宫密封装置，用以防止右边约800℃的高温燃气漏入左边的轴承腔损害轴承。为增加密封可靠性，在高温燃气腔与轴承腔之间通入压缩空气堵封，压缩空气的压力略高于高温燃气的压力。第一道迷宫装有石墨块9，第二、三、四道迷宫的中密封环7的内表面与内密封环4的内、外表面涂敷石墨层；为防止万一高温燃气通过第一、第二道迷宫抵达A腔后，继续通过第三、第四道迷宫进入轴承腔，则借对A腔的抽气作用，强行将燃气抽走。

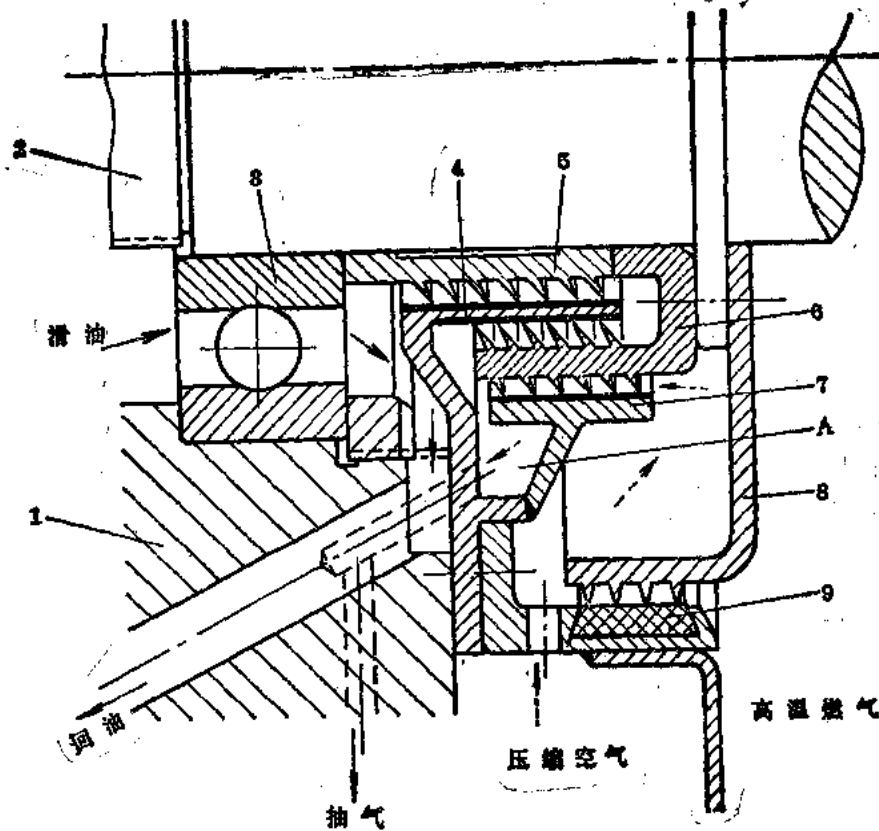


图22—10 多层迷宫密封装置

1—壳体； 2—轴； 3—轴承； 4—内密封环； 5—内齿；
6—中间齿； 7—中密封环； 8—外齿； 9—石墨块

第四节 迷宫密封装置泄漏量的计算

当用齿形迷宫密封装置防止压力为 P_1 的高压腔气体漏入压力为 P_2 的低压腔时，其漏泄量 G 可按以下公式近似计算，公式适用于包括水蒸汽在内的各种气体介质。

当 P_2 大于临界压力时，即

$$P_2 > \frac{0.85P_1}{\sqrt{Z+1.5}} \quad (22-1)$$

式中 Z ——密封齿数。

则泄漏量

$$G = kf \sqrt{\frac{g(P_1^2 - P_2^2)}{Z P_1}} \gamma_1 \quad (Kgf/s) \quad (22-2)$$

式中 f —— 齿与轴之间的环形缝隙截面积(厘米)², $f = \pi D \delta$, 其中 D 为环形缝隙的平均直径(厘米), δ 为半径间隙(厘米);

g —— 重力加速度, $g = 980$ 厘米/秒²;

γ_1 —— 高压腔气体的比重, 公斤力/厘米³;

k —— 试验修正系数。试验时, 取泄漏间隙 $\delta = 0.1 \sim 0.4$ 毫米, 密封齿数 $Z = 7$, 则得表22-1修正系数 k 。

表22-1 修正系数 k

结 构	图22-4 b	图22-4 f	图22-4 g	图22-4 d
k	1.27	1.15	0.85	0.7

由上表可见, 图22-4b、d、f、g四种结构中, 密封效果最好的是高低齿(图22-4d), 其次是带台阶轴的斜齿(图22-4g), 再其次是光轴的斜齿(图22-4f), 最差的是光轴直齿(图22-4b)。

当 P_2 小于或等于临界压力时, 即

$$P_2 \leq \frac{0.85 P_1}{\sqrt{Z + 1.5}} \quad (22-3)$$

则泄漏量

$$G = kf \sqrt{\frac{g P_1 \gamma_1}{Z + 1.5}} \quad (Kg/s) \quad (22-4)$$

第七篇

密封材料

第二十三章 橡胶材料

第一节 橡胶密封材料的使用要求

随着密封元件使用条件的日趋艰刻，对橡胶密封材料的使用要求，也日益提高。一般有如下主要要求。

1. 良好的温度适应性

在现代机器设备中，密封装置的工作温度，在越来越大的范围内变化。仅就液压与气动密封装置而言，其工作温度变化范围一般为 $-40\sim+100^{\circ}\text{C}$ 。但对某些特殊工况下的密封装置，诸如宇宙开发机械和在极寒冷环境中飞行的飞机、导弹等装置的密封材料，则必须能适应 $-245\sim+150^{\circ}\text{C}$ 的巨大温度范围。美国宇航局 (NASA) 要求宇宙飞船和火箭发动机用密封材料，必须能耐 -253°C 的超低温。

温度越来越大的变化，对橡胶密封材料的物理机械性能有着极大影响。

(1) 材料的高温效应 密封材料长时间在高温工况下工作，除引起它的延伸率、弹性、硬度、抗张强度等变坏外，高温还会引起如下现象：

①弹性体的发泡现象 密封元件的气泡常出现在空气侧，造成泄漏；

②弹性体的复原现象。橡胶复原后，密封元件即行解体而毁坏；

③弹性体的热裂现象。弹性体长时间在高温油内浸泡会硬化。硬化速度随温度的升高而加快。严重硬化即发生龟裂，使密封失效。

(2) 材料的低温效应 一般机械的低温是指 $-30\sim-50^{\circ}\text{C}$ 的范围。北美和加拿大室外使用的环境低温为 -30°C 的情况很多。我国的东北、苏联的西伯利亚、美国的阿拉斯加、日本的北海道等低温地带所使用的建筑机械的液压与气动密封的最低温度在 $-40\sim-50^{\circ}\text{C}$ 的范围。

在低温工况下，就是典型的橡胶材料也会变硬变脆。橡胶材料的弹性模量，随温度的降低而增大，使得密封弹性体的形状与弹性恢复能力逐渐丧失、硬度增加，甚至脆化，引起密封失效。

2. 良好的耐油性

使用和试验表明，油液对橡胶密封圈的硬度、抗张力、延伸率和残余变形等物理机械性能均有明显影响。各种橡胶密封材料，由于工作介质的影响，都将发生膨胀、软化、收缩和分解等。

图23—1表示了丁腈胶的体积膨胀和扯断强度的关系。作动密封的材料，其膨胀率

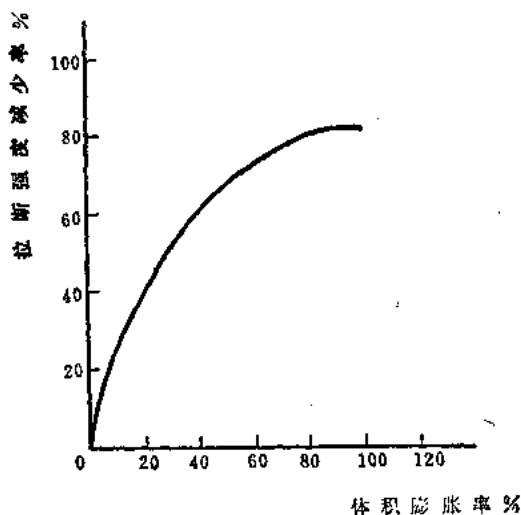


图23—1 丁腈橡胶的体积膨胀和扯断强度的关系

不得大于15~20%。

为增加橡胶密封圈的弹性，一般在胶料中皆加入增塑剂。但由于密封圈和油液的接触，其中的增塑剂逐渐被油液吸收，引起橡胶体积的收缩和减小，导致密封性能的破坏（图2—41）。

橡胶内的添加剂，随着橡胶圈在油中浸泡时间的加长，逐渐被溶解，液体侵入，结果使橡胶的体积与重量增加，而硬度减小，以致“软化”，丧失密封性。

3. 摩擦系数小，耐磨性能好。
4. 耐压性能好，具有高的弹性和压缩性，永久变形小。
5. 对金属表面和工作介质的化学稳定性好。

同时满足上述要求的密封材料，可以说是没有的。因此，只能根据密封元件的不同使用条件，选取不同的密封材料。

第二节 橡胶密封材料的性能

密封材料的物理机械性能，是衡量和评价其优劣的标准。每种密封材料都各自具有其独特的物理机械性能。这些性能是密封装置设计者选用密封材料的依据。因此，明了密封材料的性能，是设计与使用者所必须具备的基本知识。

非金属弹性体的橡胶是密封材料中应用最广泛的一种，下面仅对橡胶材料的物理机械性能作一介绍

1. 密度

在一定温度下，单位体积所占有的质量，即为橡胶的密度。标准代号 d ，常用单位克/厘米³。其值的大小，直接影响弹性体的透气性。在进行胶料的配比计算时，需要用到它。

2. 硬度

橡胶的硬度是指当密封元件用橡胶试样承受外力压缩时，其所产生的抵抗变形的能力。

硬度是橡胶材料的一个重要指标。硬度值的大小，取决于橡胶材料的配方。根据橡胶材料的特点，国内外都采用邵氏（亦称肖氏）硬度来度量。一般是将一个2.5克重的冲头，从254毫米高度处落到待测的试件上，以冲头回跳的高度，来定试件的硬度。通用代号为 HS 。

《橡胶制品统一分类、命名及名词术语》（HG4—542—67）中规定，赵氏硬度（ H ）是指在 1000 ± 2 克负荷下，试样受钢球压缩经过30秒钟后，所测得直径5毫米的钢球沉入试样的深度（单位毫米）；邵氏A型（也称肖氏）硬度（ HS ）是指在试样受试验器的钝针压入时，指针所表示的度数（单位度）。

常用橡胶材料的硬度范围为40~95（表23—1）。在大多数情况下，70左右的硬度即可满足要求。

3. 拉伸强度和伸长率

拉伸强度和伸长率是密封材料的重要性能指标。直接影响到密封元件在装配时，偶然划伤的可能性和可拉伸的程度。

密封材料的拉伸强度，一般用扯断强度表示。橡胶的扯断强度是指橡胶试样在被扯断时，原横断面上单位面积所受的力（公斤力/厘米²）。

表23—1 常用密封材料的硬度与一般特性

名 称	硬 度HS	特 性 与 应 用
天 然 橡 胶	30~90	强度与耐磨性好、不宜用于油
丁 基 橡 胶	45~85	耐化学性特好，不宜用于油
氯 丁 橡 胶	40~90	耐天候老化性特好，对油的相容性中等
低、中丁腈橡胶	40~90	耐油性良好
中、高丁腈橡胶	50~95	耐油性有所改进
氟 橡 胶	65~80	耐化学性特好
氟 硅 橡 胶	60~80	高、低温性能特好，耐油性良好
晴 橡 胶	40~80	高、低温性能特好，强度低，耐油性中等
乙 丙 橡 胶	45~85	耐化学性特好

图23—2 给出了各种常用硫化橡胶的最大扯断强度比较。随扯断强度的增大，密封材料的耐磨性亦提高。

用于动密封的密封材料，要有140公斤力/厘米²以上的扯断强度。

橡胶伸长率是指橡胶试样在拉伸时，被拉伸的长度与原来长度的比值（%）。

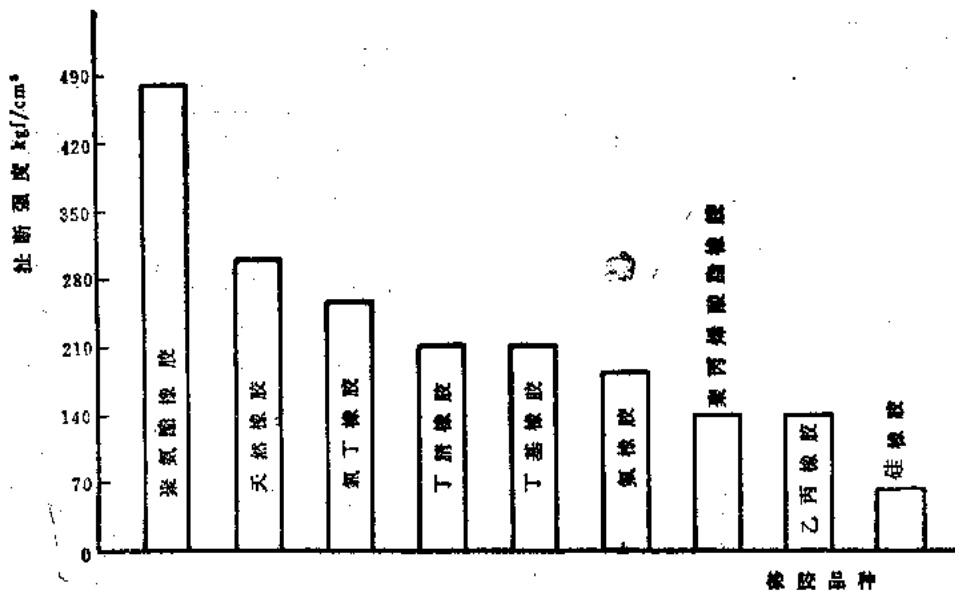


图23—2 不同橡胶的扯断强度比较

4. 压缩性

在使用条件相同的情况下，密封可靠性，取决于密封元件的压缩率。而密封元件弹性体所允许的不致引起压缩永久变形的最大压缩率，主要决定于弹性体本身。因此，弹性体的压缩性、或称压缩强度，也是密封材料的重要指标。所谓密封元件弹性体的压缩性是指密封元件弹性体所允许的不致引起压缩永久变形的性能。

密封元件压缩率 ϵ 的大小，取决于弹性体压缩强度的大小。因此，密封弹性体压缩强度是密封可靠性的重要影响因素。

5. 耐磨性

在正常情况下，摩擦与磨损是动密封元件损坏失效的重要原因。因此，提高密封材料的耐磨性，是提高密封元件寿命的重要手段。一般，密封材料的耐磨性随其硬度的增加而提高，拉伸强度大者，其耐磨性也好。

经验表明，不同密封材料的耐磨性也不同。如聚氨酯橡胶的耐磨性好，而硅橡胶的耐磨性却很差。选用材料时，必须注意。

6. 老化效应

橡胶材料，随时间的加长而发生的硬化或软化，即谓之橡胶材料的老化。随材料的老化而发生的永久性质变的现象，即谓之材料的老化效应。

尽管引起橡胶老化的因素很多（表23—2），但它的本质却是一样的，即在空气中的氧气作用下，橡胶的被氧化。

表23—2 橡胶的老化因素

内 在 因 素	外 在 因 素
生 胶 类 型	氧
硫化程度和方式	助氧剂（各种有害金属）
所用的促进剂	热
防 老 剂	臭氧
其 它 配 剂	疲劳
操 作 因 素	光及天气
	核辐射

密封材料的老化，是密封元件失效的又一重要原因。因此，除选用不易老化的或添加防老化剂的橡胶材料外，注意密封材料的保存，也是重要的。

7. 溶胀、收缩与相容性

密封元件长期与液体介质接触时，会吸收一定数量的液体介质，引起材料溶胀、体积增大。反之，侵入密封体的介质，使密封体内所含增塑剂溶解，引起密封体的收缩。过度的溶胀或收缩，都会使密封材料的强度、硬度、弹性和耐磨性等物理机械性能降低，导致密封失效。此即谓工作介质对密封材料的不相容性。

8. 透气性

所谓透气性，是指气体透过密封体的能力。对液体密封元件而言，弹性体的透气性，是无关紧要的。但对气动和真空密封而言，却很重要，必须加以控制。

第三节 橡胶密封材料的分类与应用

一、合成橡胶的品种与特点

目前，合成橡胶依然是制取各种密封元件的主要材料。随着密封技术的发展，合成橡胶的品种日益增多。因此，根据密封元件的密封介质（油、水、空气等）和使用条件（温度、压力、速度）等，合理选择密封材料，就显得格外重要。

表23—3 给出了密封元件用国产合成橡胶的主要品种和特点。表中所列密封材料的

品种与国外基本相当。

表23—3 密封元件用国产橡胶和合成树脂的主要品种、特点与应用

名 称	代 号	使用温度℃	特 点	应 用
天然橡胶 合成天然橡胶 (异戊胶)	NR IR	-50~+120	弹性和低温性能好, 适宜于在水、醇、汽车刹车油中工作。高温性能差, 不能在高温空气中使用。耐油性差, 不宜在石油系液压油与燃料油中使用 在空气中易老化, 因此, 应避免紫外线与日光直接照射和臭氧的侵蚀	适用于制作汽车刹车唇形圈与不要求耐油耐热的密封垫圈等
顺丁橡胶	BR	-50~+80	基本与天然橡胶相当, 因其耐磨性能优于天然橡胶, 常与天然橡胶并用	适用于制作汽车刹车唇形圈等
丁基橡胶	SBR	-40~+120	比天然橡胶的耐热、耐磨、耐油、耐老化性能好, 适用于刹车油、动植物油、甘醇、乙醇、水等液体 机械强度和弹性较差, 对一般矿物系润滑油膨胀大, 不适用	适用于制作O形圈、密封垫圈等
丁基橡胶	IIR	-30~+150	耐热、耐寒与耐天候性佳, 透气性小, 对动植物油, 磷酸脂系不燃性液压油、水和化学药品(酸、碱等)的抗力大 不适用汽油、矿物系润滑油和液压油	适用于制作耐酸、碱的密封圈, 煤气管垫圈、真空密封圈等
乙丙橡胶 (三元乙丙胶, 二元乙丙胶)	EPDM EPM	-50~+150	耐热、耐寒、耐磨、耐天候性佳, 对磷酸脂系不燃性液压油、水、高压蒸汽、化学药品等的抗力大 不适用矿物系润滑油和液压油	适用于制作耐热垫圈、蒸汽用密封圈等
丁腈橡胶	低丙烯腈 (丁腈-18)	-40~+100	低温性能好, 耐油性稍差	适用于寒冷地区火车等用制动唇形圈等
	中丙烯腈 (丁腈-26)	-30~+120	耐油、耐热、耐磨性好, 但不能在磷酸脂系液压油中含极压添加剂的齿轮油中使用	适用于耐油密封元件, 大量使用在O形圈、油封、纯胶或夹布等的唇形圈中
	高丙烯腈 (丁腈-40)	-20~+120	耐燃料油、汽油和低苯胺点矿物油性能极好且稳定, 耐寒性较差	适用于耐油性高而耐寒性较差O形圈和油封等
聚氨酯橡胶	AU EU	-30~+180	耐油、耐磨性佳, 机械强度大, 耐热性差, 遇水易水解, 不耐酸、碱, 采用注塑工艺可制作形状复杂和大尺寸零件	适用于制作往复运动用U形、V形、Y形等唇形圈

(续):

名 称	代 号	使用温度℃	特 点	应 用
氯 醇 橡 胶	CHR CHC	-40~+130	耐油、耐寒、耐天候性能佳、耐热比丁腈胶高。加工困难、对模具有腐蚀作用 适用于低苯胺点的油	在油井封隔器和薄膜制品中使用效果良好。正研制油封、唇形圈等
聚 丙 烯 酸 酯 橡 胶	ACM ANM	-20~+150	耐热、耐油性能均优于丁腈胶。能在含极压添加剂的润滑油、齿轮油、石油系液压油中工作 耐水、耐寒性差	适用于制作高温、高速液压密封元件，尤其适用于制作加入高温、高速添加剂的液压密封元件及高温、高速油封等
硅 橡 胶	MPUQ MUQ	-65~+250	耐热、耐寒性与耐压缩永久变形性极佳、机械强度差，耐磨性差，在汽油、苯等溶剂中膨胀大，在高压水蒸汽中发生分解，不适于低苯胺点的矿物油和含极压添加剂的齿轮油	适用于制作高温、低温、高速旋转的密封件，如O形圈、油封等，尤其适用于作高速旋转油封以及食品工业用密封件
氟 橡 胶	FPM	-20~+250	耐油、耐热、耐天候性、耐真空性和耐化学药品性能极佳。几乎对所有润滑油、燃料油、汽油都适用，在含极压添加剂的高温油中亦不老化 耐寒性、耐压缩永久变形性不好。对酯类溶剂不适用	适用于制作耐药、耐高温的油封，O形圈，尤其适用制作旋转用O形圈与高真空度O形圈
硅 氟 橡 胶	—	+65~+200	耐热、耐寒性能同硅橡胶，高温下耐油性和耐化学药品性能如氟橡胶 机械强度差	适用于制作阀门密封、油封等
聚 硫 橡 胶	T	0~+80	耐油性、耐溶剂性能极佳，在汽油中几乎不膨胀 撕裂强度、耐磨性能差，使用温度范围狭窄，不能作运动密封	适用于作绝对不膨胀的静密封圈、密封腻子或速度很低的O形圈
氯 磺 化 聚 乙 烯 橡 胶 (海 波 隆)	CSM	-20~+150	耐天候、耐臭氧、耐化学药品和耐热性皆好（与氯丁、丁基和氟胶相近）耐油性稍优于氯丁橡胶 机械强度极佳，掺入丁腈胶中可提高密封件的抗压强度与延长使用寿命。耐寒性差	适用于制作高温 液压密封元件、汽车筒式减震油封等
填充聚四氟乙烯 (特 氟 隆)	PTFE	-260~+280	耐磨性极佳、耐热性、耐寒性优良，几乎耐一切化学药品、溶剂、油和几乎所有液体。弹性极差，热胀系数大	适用于制作各种挡圈、支承环、压环；与橡胶O形圈组合成低摩擦用滑环组合式密封圈；涂敷O形圈表面，降低摩擦；制作防漏密封带等

(续)

名 称	代 号	使用温度℃	特 点	应 用
聚酰胺(尼龙)	—	-45~+100	耐溶性能佳(优于铜和一般钢材),耐弱酸弱碱和普通水、醇等溶剂。冲击韧性较好,有一定的机械强度。抗强酸蚀力差,溶于浓硫酸和苯酚。具有吸水性及冷流性	适用于制作高压、耐油密封圈、挡圈、支承环、压环、活塞环、机械密封件、防尘密封件等。三元尼龙与丁腈胶并用,可改善密封性,用以制作医疗、纺织等器械用密封圈
聚 甲 醛	—	-40~+140	摩擦系数小、耐磨性好、动静摩擦系数一样、耐有机溶剂及化学腐蚀。具有良好的抗拉强度、冲击性、刚性、疲劳强度和抗蠕变性	适用于制作O形、U形、Y形密封圈与挡圈、防尘圈等

二、合成橡胶的应用

1. 丁腈橡胶

国产丁腈橡胶自1962年正式投产以来,已获得了迅速发展。目前,已有三种牌号,丁腈—18、丁腈—26和丁腈—40(数字表示丙烯腈含量)。质量已达国际水平。由于丁腈胶具有较高的耐油性、耐热性,所以,丁腈胶大量地用以制作液压、气动传动中的各种密封元件,如O形圈、油封和唇形圈等。例如,在24个较佳O形圈的配方中,有18个用的是丁腈胶。而在这18个丁腈胶的配方中,用丁腈—26者为13个、占72%。

丁腈胶制作的O形圈可承受1200公斤力/厘米²的高压。丁腈胶具有较好的耐透气性,可承受10⁻⁸毫米汞柱高的真空度。丁腈胶的良好耐水性,使其在水压机械和各种阀门的密封中,获得广泛应用。

(1) 丁腈胶的性能 按丙烯腈含量而分的丁腈—18、26和40等国产丁腈胶,丙烯腈含量越高,耐油性和耐水性越好,透气性减小;丙烯腈含量越低,耐寒性和弹性越好。

丁腈胶的连续使用温度为120℃,如在不接触空气的油中,可使用到150℃。

(2) 丁腈胶的并用 近年来,为了改善丁腈胶的性能,并用技术有了进一步地发展。

①丁腈胶与尼龙并用 通常,丁腈胶和单元尼龙1010、二元尼龙66和6、三元尼龙1010、66和6等并用。与三元尼龙的并用效果最好。并用尼龙量在10~25%之间为好。并用量如超过25%,必须相应减小炭黑量。否则,耐热性下降,压缩变形增大。并用温度为150~160℃。

丁腈胶与尼龙并用,提高了密封元件的耐磨性、耐寒性、耐热性和耐臭氧性等。

②丁腈胶与聚氯乙烯并用 二者的并用,已取得良好效果。并用30%聚氯乙烯的胶料,在提高了耐臭氧性、耐天候老化性、耐磨性、耐油性和拉伸性的同时,改善了加工性能,在密封元件的制作中,获得了广泛地应用。

一般,并用温度为150~160℃。

③丁腈胶与其他材料的并用 近年来,国内在丁腈胶与其他材料的并用方面,进行

了大量的研究工作。其中丁腈胶与氯化聚醚的并用效果最好。用以制作 O 形圈 更为合适。

(3) 丁腈胶的配方 近年来,我国丁腈胶密封元件的配方有了很大发展。表23—4 是不同硫化系统丁腈胶的配方举例。

表23—4 丁腈胶配方举例

配 方	一般硫磺量	低硫磺量	过氧化物	铜镁硫化
丁腈橡胶	100	100	100	100
硫磺	2	0.3	0.3	0.4
促进剂 TMTD	0.3	2.5	2.5	—
促进剂 DM	1.5	2.5	2.5	3.5
氧化镁	—	10	—	10
二乙基二硫化氨基甲酸铜	—	—	—	2
氧化隔	—	—	—	3.5
氧化锌	5	10	5	—
硬脂酸	1	1	1	1.5
防老剂 D	1.5	—	—	—
防老剂 4010	—	1	—	—
防老剂 MB	—	1	2	—
通用炭黑	50	70	25	50
喷雾炭黑	35	—	45	—
古马龙	4	—	—	—
癸二酸二辛酯	10	5	5	—
二异丙苯过氧化物	—	—	2	—
合 计	210.3	203.3	185	170.9

近年来,丁腈胶配方技术的发展,预示着今后将会有更多更好的丁腈胶配方,用于密封元件。

2. 聚氨酯橡胶

聚氨酯橡胶是一种新兴的胶种。目前,包括我国在内,已有十多个国家,上百家公司生产聚氨酯橡胶。

(1) 聚氨酯橡胶的性能 聚氨酯橡胶的分子结构中,含有氨基甲酸基团 $\left(\begin{array}{c} \text{—N—C—O—} \\ | \quad || \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right)$, 所以,它的机械强度高达200~600公斤力/厘米²,为一般丁腈胶的1~4倍。耐磨性能优异,为天然橡胶的10~15倍。有高耐油性,为丁腈胶的5倍以上。耐臭氧、耐老化、耐辐射等性能均好。

表23—5表明,聚氨酯橡胶密封圈,用于低温工况,耐油、耐磨性均较优越。其使用寿命比丁腈胶长。

必须指出,作为一个新兴的胶料,聚氨酯橡胶,目前,尚存如下一些缺点。

①耐高温性能差 一般,聚氨酯橡胶的最高使用温度都不超过100℃。高于100℃时,材质的物理机械性能变化很大(表23—6)。当使用温度150~200℃时,聚氨酯橡胶,则开始熔化。

②耐水性差 在水乳化液、潮湿的环境中,聚氨酯橡胶本身即发生水解现象,机械

表23 — 6 国产聚氨酯橡胶的部分应用效果

使用机械与部位	使用条件					密封元件	聚氨酯牌号	使用寿命	
	工作介质	温度℃	压力公斤力/厘米 ²	运动方式	速率			聚氨酯	丁腈胶
—	柴油、机油	70~80	400~500	往复	220次/分	—	HA-1	良好	—
预制梁拉制机千斤顶	—	—	—	往复	—	—	D-1	10片梁以上	1片梁
高压高频设备	—	—	—	往复	—	—	S-1	30天	几分钟
200吨油压机主油缸	20~30号矿物油	40	100	往复	—	Y形	东风-1	44个月	12个月
45吨油压机	20~30号矿物油	70~80	200	往复	—	Y形	东风-1	3~11个月	1.5~5个月
45吨油压机柱塞泵	20~30号矿物油	常温	240	往复	300次/分	U形	东风-1	6个月	7天
45吨和60吨油压机柱塞泵	20号汽轮机油、60号机油	常温	320	往复	—	U形	东风-1	6个月以上	7~8天
—	—	—	180~210	往复	—	Yx形	—	30天以上	—
—	—	—	—	旋转	1米/秒	Yx形	—	300~4000小时	20多小时
碾砂机定量斗气缸	空气	室温	4~6	往复	—	Yx形	—	8个月(10万次)未坏	15~30天

表23—6 交联浇注型聚氨酯橡胶的耐热性

温度℃	硬度 HS	压缩变形		100%拉伸强度 Kg/cm ²	扯断强度 Kg/cm ²
		负荷28Kg/cm ² , 22小时后			
		压缩率%	永久变形%		
室温	92	9.0	0.6	72	325
70	92	9.5	1.6	72	140
100	92	9.5	3.7	70	86
120	91	19.0	19.0	61	68

强度明显下降。同时，对酸、碱的相容性也差。

③耐高速性差 聚氨酯橡胶的摩擦生热和动态生热大，所以，在高速摩擦情况下，还是以丁腈橡胶制作密封元件为好。

(2) 聚氨酯橡胶的应用

国产聚氨酯橡胶有多种牌号(表23—7)。聚氨酯橡胶的强度比丁腈胶优越(表23—8)，比较更适用于制作高压往复运动和承受冲击的密封圈。在液压往复运动密封元件等的应用中，获得良好效果。

表23-7 密封元件用国产聚氨酯橡胶的主要品种

化学分类	加工分类	牌 号	主 要 原 料	生 产 单 位	国 外 类 似 牌 号
聚 酯 型	混炼型	HA-1	己二酸、己二醇、丙三醇、甘油、MDI	太原化工研究所	Glnhan-S
		D型聚氨酯	己二酸、己二醇、丙三醇、甘油TDI	—	Glnhan-S
		S型聚氨酯	己二酸、己二醇、丙三醇、烯丙基缩水甘油醚、TDI	南京橡胶厂	—
	浇注型	东风-1	—	天津东风橡胶厂	—
		JA-3	己二酸、己二醇、TDI、MOCA	太原化工研究所	—
		—	—	上海伟星机用皮件厂	—
热塑型	热塑性聚氨酯	MDI、二元醇、低分子聚酯	沈阳皮革装具厂	Tlxm'	
聚 醚 型	浇注型	JA-1	聚丙二醇、TDI、MOCA	太原化工研究所	—
		JA-2	四氢呋喃、环氧丙烷、TDI、MOCA	太原化工研究所	Adiprinl
		JA-5	ε-己丙醇、一缩己二醇、TDM、MOCA	—	Pan dex (日)
		—	—	上海橡胶制品二厂	—

表23-6 丁腈橡胶与浇注型聚氨酯橡胶的性能比较

名 称	硬 度 (HS)	扯断强度 (Kg/cm ²)	伸 长 率 (%)
丁 腈 橡 胶	60	230	600
	70	220	410
	80	220	270
	90	210	180
聚 氨 酯 橡 胶 (浇 注 型)	60	280	500
	70	330	400
	80	350	—
	90	450	450

3. 氟橡胶

氟橡胶的特点是，耐热性能优异，耐多种化学药品性能卓越；同时，具有良好的耐油性和耐高真空性能。因此，氟橡胶广泛应用于现代宇宙航行等尖端技术和石油、化工、汽车、拖拉机、工程机械、机床等工业部门。

目前，国产氟橡胶主要有26型和23型两种型号。

(1) 26型氟橡胶 26型氟橡胶是氟橡胶中最通用的一种。占氟橡胶总消耗量的90%以上。它可以在250℃下长期工作，在300℃下亦可短期工作。其耐压缩永久变形性也好，故被广泛应用。

26型氟橡胶，是制作真空密封元件的好材料，在一定温度下，它的透气性低、升华值小。所以，在真空度为10⁻⁵毫米汞柱下使用的O形圈，国内外大都采用26型氟橡胶。

(2) 23型氟橡胶 23型氟橡胶，由于加工困难，发展受到限制。目前，除用于耐氧化，特别是耐发烟强酸外，其他方面已被26型氟胶所代替。

氟橡胶在日光、臭氧和天候的作用下，具有良好的稳定性。

4. 硅橡胶

硅橡胶的工业生产，开始于本世纪40年代。由于它的使用温度范围广，适应多种用途。因此，受到各国重视，发展较快。目前，国际上硅橡胶的牌号达60余种。

国产几种牌号的硅橡胶，共同的特点是，具有良好的耐热性、耐寒性（-65~250℃）和优异的抗压缩变形性能。适合制作在高、低温中使用的静密封用O形圈。

硅橡胶与油接触溶胀后，产生“自润滑现象”，从而使摩擦和局部热积聚减小。因此，硅橡胶用以制作高温、高速油封，则是十分有利的。现已制成转速为50米/秒、温度为-65~+160℃、偏心0.5毫米的高速油封。

硅橡胶的缺点是，在常温下，机械强度和耐磨性、耐酸、碱性能均较差，而且价格较贵，故应用较少。

5. 聚丙烯酸酯橡胶

聚丙烯酸酯橡胶，是一种耐热、耐油橡胶，可在150~170℃的热油中工作。此时，比用氟橡胶经济合理。其最大特点是耐含极压添加剂的油^①。此时，如用丁腈胶便会老化、变硬发脆。

目前，聚丙烯酸酯橡胶，主要用以制作高速、高温及含极压添加剂油的使用条件的油封。

聚丙烯酸酯橡胶的最大缺点是，耐水性、耐寒性和耐酸碱性差。

6. 氯醇橡胶

氯醇橡胶是一种更加新型的胶种。美国于1964年开始生产。我国和日本相继于1967年开始研制。

国产氯醇橡胶主要有均聚型和共聚型两个品种。它们的特点是，既耐热又耐寒，可在-40~+150℃温度范围内工作。耐油性、耐臭氧性及耐透气性极佳。耐油性可与丁腈橡胶匹敌。尤其共聚型的性能更佳。在制作油封、O形圈等方面，氯醇橡胶的耐热油、耐空气老化和低温弹性均好，且能在一面是空气，一面是热油的情况下，密封性好、寿命长。因此，在制作油封方面，大有取代聚丙烯酸酯橡胶之势。这是因为聚丙烯酸酯橡胶的强度较低、永久变形大，且不耐水。

目前，作为一个新兴的胶种，氯醇橡胶尽管还有耐磨性较差，加工性差，对模具有腐蚀作用等缺点，仍不失为一个大有发展前途的胶种。

三、密封元件用橡胶的标准化

随着我国橡胶工业的发展，一些密封元件用橡胶已经标准化，这对保证密封元件质量的稳定与统一，发挥了十分重要的作用。

国家标准GB1235-76《O形橡胶密封圈》，对适用于各种机械设备上，在规定的温度、压力以及不同的液体与气体介质中，在静止或运动状态下实现密封作用的O形圈及各种断面形状的密封元件用耐油、耐热、耐酸、碱等胶料的物理机械性能与工作范围，作出了规定（表23-9）。

^① 为提高耐高温、耐高压能力，而加入含铅、磷或硫的化合物的润滑油，称之为耐含极压添加剂的油或EP油。含铅、磷或硫的化合物的添加剂，称之为极压添加剂。

表23—9 O形圈用胶料的物理机械性能与应用

性能与应用	耐油橡胶				耐油耐高温橡胶		耐酸碱橡胶				
	I-1	I-2	I-3	I-4	I-1	I-2	II-1	II-2	II-3		
	硬度范围										
	低	中		高	低	中	低	中	高		
邵尔A型硬度	65±5	75±5	75±5	85±5	65±5	75±5	65±5	75±5	85±5		
扯断强度Kgf/cm ²	100	100	100	120	100	120	80	100	100		
扯断伸长率%	250	200	180	150	120	120	400	350	300		
扯断永久变形%	20	15	15	15	20	15	35	30	30		
恒定压缩率(20%)	空气100℃×24小时		50	55	55	50	—	—	70	70	70
永久变形%不大于	空气200℃×24小时		—	—	—	—	50	50	—	—	—
脆性温度℃	不高于										
	-35	-30	-40	-25	-20	-20	-30	-30	-25		
伸长老化系数	100℃×24小时		0.70	0.70	0.70	0.70	—	—	0.70	0.70	0.70
不小于	200℃×24小时		—	—	—	—	0.85	0.85	—	—	—
耐油重量变化率%	不大于										
	120号汽油(75份)+苯(25份)(18~28℃)×24小时										
	+20	+20	+20	+15	—	+10	—	—	—		
耐油体积变化率%	20号机油		+6	+5	+5	±5	—	±2	—	—	—
不超过	100°±2℃×24小时		-8	-7	-7	±5	—	±2	—	—	—
	40—2上稠液压油		±15	±12	±12	±10	—	±2	—	—	—
	100°±2℃×24小时										
耐酸碱系数不小于	20%硫酸和盐酸(18~28℃)×24小时		—	—	—	—	—	—	0.80	0.80	0.80
	20%NaOH或KOH(18~28℃)×24小时		—	—	—	—	—	—	0.80	0.80	0.80
胶料特性	耐油				耐油耐高温		耐酸碱				
工作温度范围℃	-35~+100	-30~+100	-40~+100	-25~+100	-20~+200		-25~+80				
工作压力Kgf/cm ²	80	160	160	320	25	160	25				
工作介质	空气、水、矿物油等						20% H ₂ SO ₄ , 20% HCl, 20% NaOH, 20% KOH				

化学工业部标准 HG4—329—66《环状密封橡胶制品》，对适用于各种机械设备，在规定的温度、压力以及不同的液体与气体介质中，实现密封、缓冲、减震作用除O形圈之外，各种断面形状的密封元件用耐油、耐热、耐酸、碱等胶料的物理机械性能与应用范围，作出了规定（表23—10）。

表23—11所列密封用橡胶板的物理机械性能与应用范围（HG4—400—66）。橡胶板适用于工矿企业，交通运输等部门制作密封圈、缓冲、减震垫以及铺地板。

表23—12所列橡胶板的规格尺寸与理论重量。

表23—10 环状密封元件用胶料的物理机械性能与应用 (HG4—329—66)

性能与应用	耐油橡胶				普通橡胶				耐热橡胶				耐酸碱橡胶			
	I-1	I-2	I-3	I-4	I-1	I-2	I-3	I-4	I-1	I-2	I-3	I-4	II-1	II-2	II-3	II-4
	低	中	高	高	低	中	高	高	低	中	高	高	低	中	高	高
邵尔A型硬度	55±5	65±5	75±5	85±5	55±5	65±5	75±5	85±5	55±5	65±5	75±5	85±5	55±5	65±5	75±5	85±5
扯断强度 Kgf/cm^2	80	100	100	100	150	150	150	120	80	100	100	100	80	100	100	100
扯断伸长率%	380	800	250	150	450	400	300	200	400	350	300	300	400	350	300	300
扯断永久变形%	80	25	25	20	35	30	30	25	35	30	30	25	35	30	30	30
脆性温度 $^{\circ}C$	-35	-30	-30	-25	-40	-40	-35	-35	-	-	-	-	-30	-30	-30	-30
老化系数 (70 $^{\circ}$ ±2 $^{\circ}$ C×96小时)	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.85	0.85	0.85	0.7	0.75	0.75	0.75	0.75
耐油重量变化率%	+25	+25	+25	+20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
不大于	+5	+5	+5	+4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
不小于	-3	-3	-3	-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
耐酸碱系数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	0.8	0.8	0.8
不小于	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	0.8	0.8	0.8
胶料特性	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐	耐
工作压力 Kgf/cm^2	<25	>25 ~80	>80~160	>80~160	<25	>25 ~80	>80~160	>80~160	<25	>25 ~80	>80~160	>80~160	<25	>25~80	>25~80	<25
工作温度范围 $^{\circ}C$	-	-25~+80	-	-	-20~+80	-20~+80	-40~+60	-40~+60	-35~+60	-35~+60	-35~+60	-35~+60	-20~+60	-20~+60	-20~+60	-20~+60
工作介质	润滑油、燃料油、液压油等	润滑油、燃料油、液压油等	润滑油、燃料油、液压油等	润滑油、燃料油、液压油等	空气、水、制动液等	空气、水、制动液等	空气、水、制动液等	空气、水、制动液等	水、空气	水、空气	水、空气	水、空气	20%以下 H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, KOH	20%以下 H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, KOH	20%以下 H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, KOH	20%以下 H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, KOH

注：工作压力仅供参考。

表23-11 密封用橡胶板的物理机械性能与应用 (HG4-400-66)

	普通橡胶板								耐酸碱橡胶板		耐油橡胶板		耐热橡胶板		
	1120	1125	1130	1140	1250	1260	2030	2040	3001	3002	4001	4002			
邵尔A型硬度	60~75	60~75	60~75	55~70	50~65	45~60	60~75	55~70	60~75	60~75	65~75	55~70			
扯断强度 Kgf/cm^2	30	50	60	80	130	150	70	90	70	90	80	100			
扯断伸长率%	250	280	300	350	400	500	300	350	250	250	300	350			
永久变形%	35	35	35	35	30	30	35	35	25	25	35	35			
老化系数 (70℃×72小时)	0.65	0.65	0.70	0.75	0.80	0.80	0.70	0.75	0.75	0.75	0.60①	0.80①			
变压器油重量变化% (70℃×24小时)	—	—	—	—	—	—	—	—	+8	+20	—	—			
耐油质量变化% (汽油75份+苯25份, 20~30℃×24小时)	—	—	—	—	—	—	—	—	+20	+35	—	—			
耐碱系数 (20% H_2SO_4 或 HCl , 20~30℃×24小时)	—	—	—	—	—	—	0.8	0.8	—	—	—	—			
耐酸系数 (20% $NaOH$ 或 KOH , 20~30℃×24小时)	—	—	—	—	—	—	0.8	0.8	—	—	—	—			
胶料特性	—								耐	酸	碱	耐	油	耐	热
工作压力 Kgf/cm^2	<25								—		—		<25		
工作温度 ℃	—30~+60								—		—30~+100		—30~+100		
工作介质	空气								气		机油、变压器油、汽油、溶剂		蒸汽、热空气		
其他物理机械性能	低	—	一般	较好	②	弹性高	耐	酸	碱	耐	溶剂与介质膨胀性较好	耐	热	性好	

注: ①为100℃×48小时后的老化系数。

②耐磨性和弹性较好。

表23—12 橡胶板的规格尺寸与理论重量

厚 度	宽 度	重 Kg/m ²	厚 度	宽 度	重 Kg/m ²
0.5±0.15	500~1000, ±2%	0.75	12 ^{+1.2} _{-0.5}	500~1000, ±2%	18
1.0±0.2		1.50	14 ^{+1.2} _{-0.5}		21
1.5 ^{+0.3} _{-0.2}		2.25	16 ^{+1.5} _{-0.5}		24
2.0 ^{+0.4} _{-0.3}		3.00	18 ^{+1.5} _{-0.5}		27
2.5 ^{+0.5} _{-0.4}		3.75	20 ^{+1.5} _{-1.0}		30
3.0 ^{+0.6} _{-0.4}		4.50	22 ^{+1.5} _{-1.0}		33
4.0 ^{+0.7} _{-0.5}		6.00	25 ^{+1.5} _{-1.0}		37.5
5.0 ^{+0.7} _{-0.5}		7.50	30 ^{+2.0} _{-1.0}		45
6.0 ^{+0.9} _{-0.5}		9.00	40 ^{+2.0} _{-1.0}		60
8.0 ^{+1.0} _{-0.5}		12	50 ^{+2.0} _{-1.0}		75
10 ^{+1.0} _{-0.5}		15			

第二十四章 合成树脂

随着密封技术的发展，密封材料的种类与品种有了很大的发展。合成树脂用作密封材料，就是这方面的重要成果。

合成树脂是一种新型的高分子合成材料，具有良好的塑性，比重小（一般在0.9~2.2之间、仅为钢铁的1/4~1/8）、耐磨、耐油、抗腐蚀、隔热、绝缘好等一系列优点。

密封元件用合成树脂，通常有聚四氟乙烯、聚酰胺（尼龙）、聚甲醛、聚乙烯等。当前，合成树脂的品种正在日新月异地向前发展。不同的品种，其物理机械性能往往具有很大差别。欲取得满意的密封效果，根据密封元件的工作条件、使用要求，正确地选择合成树脂的品种，则是十分重要的。

密封元件用国产合成树脂的主要品种、特点与应用见表23—3。

第一节 聚四氟乙烯

合成树脂用作密封材料的典型代表，就是通常所说的聚四氟乙烯。

近年来，密封材料用聚四氟乙烯的应用范围，有了迅速发展。最初只能制作密封挡圈。而现今已能制作O形、Y形、V形、U形、L形、J形等各种形式的密封圈、油封、活塞环、机械密封摩擦副环、耐磨涂料等。

一、聚四氟乙烯与填充剂

聚四氟乙烯是氟塑料（含氟塑料）的一种。虽具有稳定的不受化学药剂侵蚀的化学性能、良好的耐高、低温性能（工作温度范围在-100~+250℃）、摩擦系数低（0.03~0.25），适宜用作自润滑密封材料和轴承材料、耐腐蚀性好等优点。但在许多情况下，它的机械强度、耐磨性和导热性差，柔软且易冷流。这些又大大妨碍了它的应用。

密封材料的研究人员，在物理化学、力学领域的研究和实践的基础上，提出种种设想。例如，应用物理化学方法，在聚四氟乙烯的高聚物分子结构中，加入各种不同的填充物，使填料的粒子成为高聚物网状结构的节点，从而提高了聚四氟乙烯的机械性能。这是一个具有很大实际意义的方向性的启示。从此，含有各种填料的填充聚四氟乙烯，便立即获得了新的发展与应用。

随使用要求的不同，在聚四氟乙烯中所加入的填料也是各种各样的。常用的有石墨、二硫化钼、炭黑、云母、石英、玻璃丝、青铜粉、石棉、陶瓷等等。

玻璃丝是最常用的填充剂，它的重要特点是，对聚四氟乙烯的化学性能、电气性能影响很小，但却提高了它的机械性能。

石墨的作用是，提高聚四氟乙烯的机械性能，增大润滑性，减小磨损，适合高速运转的场合。

青铜的作用是，增加聚四氟乙烯的散热性，使之更适合于产生有害摩擦的场合。

二硫化钼的作用是，增加聚四氟乙烯的耐磨性、刚性和硬度。当大量加入时，可提高其导热性。

图24-1曲线说明，在聚四氟乙烯中加入不同填料时，可以获得降低线膨胀的显著效果。大的膨胀性，严重限制了聚四氟乙烯的应用。膨胀性降低的填充聚四氟乙烯，在实际应用中，大大改善了密封件尺寸的稳定性。

表24-1所列具有各种填料的填充聚四氟乙烯的耐磨性和导热性的比较。表中所列数据说明，各种填充聚四氟乙烯的耐磨性、导热性比之无填充聚四氟乙烯，均有了显著提高。如含铜填充聚四氟乙烯的耐磨性，提高6倍。无填充聚四氟乙烯的导热性很差，约为金属的几百分之一，填充铜粉后的填充聚四氟乙烯，其导热性提高2倍。

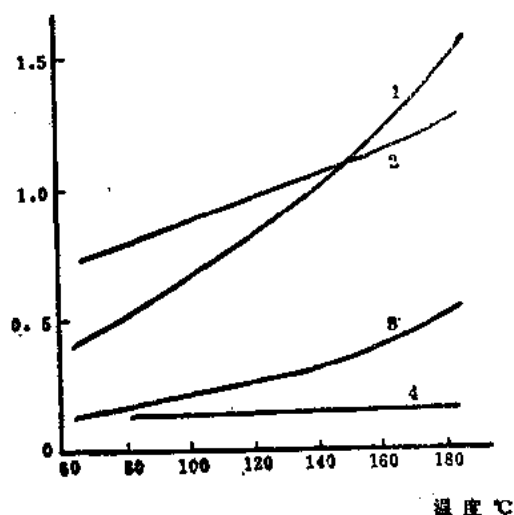


图24-1 填充剂对聚四氟乙烯热膨胀的影响

1—无填充剂； 2—填充石英粉
3—填充石墨； 4—填充铜粉

表24-1 填充聚四氟乙烯的耐磨性和导热性

填 料	摩擦系数	磨痕宽度mm	导热系数Kcal/m·h·°C
无 填 料	0.24	13.0	0.096
石 墨	0.22	5.0	0.153
二 硫 化 钼	0.30	3.4	0.101
玻 璃 纤 维	0.24	4.2	0.101
铜 粉	0.26	2.0	0.187
石 英 粉	0.24	2.7	0.153
氮 化 硼	0.24	2.0	—
三 氧 化 二 铬	—	—	0.125
铅 粉	—	—	0.167

注：填充量除铜粉为30%（体积）、铅粉25%（体积）以外，其余均为20%（体积）。

各种填料的应用，给填充聚四氟乙烯开创了日益广阔的前途。

研究表明，在聚四氟乙烯中填充各种不同填料后，其物理机械性能一般均可提高。耐磨性可以提高5~9倍，抗压强度提高40%，硬度提高10~15%，抗负荷变形能力提高30%，导热性提高至5倍，尺寸稳定性增大一倍。

目前，国内生产和使用的填充聚四氟乙烯配方技术发展很快，已研制出多种填充配方。表24-2所列几种常用填充聚四氟乙烯配方制品的物理机械性能。

表24—2 几种常用填充聚四氟乙烯的配方与物理机械性能

性能	配 方				
	68%聚四氟乙烯	70% (体 积) 聚 四 氟 乙 烯	65%聚四氟乙烯	59%聚四氟乙烯	
	22%二氧化硅	15% (体 积) 青 铜 粉	20%铜 粉	23%青 铜 粉	
	10%二硫化铝	15% (体 积) 玻 璃 纤 维	10%玻 璃 纤 维	12%玻 璃 纤 维	
密度 g/cm^3	2.37	3.22	—	2.70	
扯断强度 Kgf/cm^2	145	149	96	159	
扯断伸长率 %	160	—	15	171	
导热系数 $Kcal/m \cdot h \cdot ^\circ C$	0.16	—	—	0.37	
线膨胀系数 $1/^\circ C$	—	—	$7 \sim 10 \times 10^{-4}$	1.62×10^{-4}	
铁 姆 肯 (Timkin) 磨损 与润滑剂试验机	摩擦系数	0.22	0.22	M200型 0.12~0.14	MNIM 0.17
	磨痕宽度 mm	2.4	1.83	摩擦磨损 试验机 3.5~4.3	磨痕试验 机 3.6
					mg/40min

注：配方中除注明按体积百分比外，其余均为重量百分比。

二、填充聚四氟乙烯的应用

填充聚四氟乙烯，具有优异的耐高温性、高耐磨性（自润滑性）、高度的化学稳定性、小的透气性和良好的机械性能。所以，填充聚四氟乙烯，日益广泛地被用于制作既耐高温，又要有自润滑性或化学稳定性的各种密封元件如O形、Y形、U形、V形、J形、

L形密封圈和骨架油封、活塞环、机械密封摩擦付环、耐磨涂料等。在少油或无油条件下，可在温度为 $-260 \sim +260^\circ C$ 、压力为 $300 \sim 400$ 公斤力/厘米²的范围内应用。

1. 填充聚四氟乙烯挡圈

O形圈的保护挡圈，最初多用工业用皮革制作。试验表明，无论是摩擦阻力、耐热性，还是使用寿命，用填充聚四氟乙烯制作的挡圈，远比皮革挡圈为好（图25—2）。因此，国内外极其广泛地采用填充聚四氟乙烯制作挡圈。

2. 填充聚四氟乙烯密封圈

填充聚四氟乙烯，用以制作各种型式的密封圈，如果结构设计得合理，密封元件的质量保证，密封效果还是令人满意的。

表24—3 所列为填充聚四氟乙烯制品目前在国内外应用的部分实例。

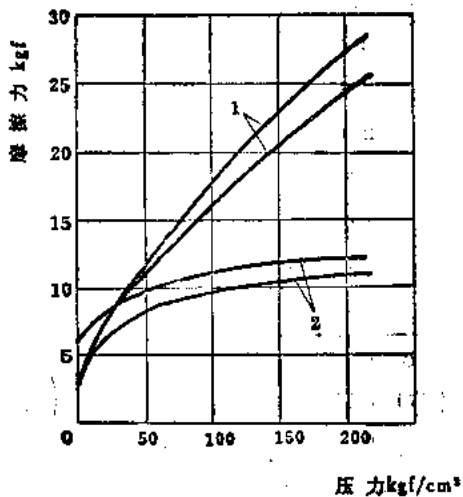


图24—2 填充聚四氟乙烯与皮革挡圈摩擦力的比较

1—皮革挡圈； 2—填充聚四氟乙烯

表24—3 填充聚四氟乙烯密封元件应用实例

聚四氟 乙烯	配方 (重量百分比%)						密封 元件 形式	工 作 条 件				介 质	效 果	
	玻 璃 纤 维	青 铜 粉	石 墨	二 硫 化 钼	二 氧 化 硅	氧 化 钨		气 量 m ³ / min	转 速 r.p.m	压 力 Kgf/ cm ²	温 度℃			
									进 口	出 口				
65	12	5	—	5	—	—	活塞环	1.25	360	140	—	—	氢气	运转2个月,情况良好, 仍在运转中
65	10	20	—	5	—	—	密封圈							
100	—	60	—	10①	20	—	活塞环	4.5	—	35~150	—	200	—	压缩机使用5760小时
65	10	20	5	—	—	—	活塞环 支承环	—	—	—	—	—	天然气	4M16型压缩机使用 8640小时
100份	20份	40份	10份	—	—	—	活塞环	3	150	285		<50	氮、氢 微量氧	运转半年以上
50	—	—	—	—	—	50	活塞环	13	420	320	—	—	氮、氢	运转半年以上
余量	—	10	8~10	—	—	10~15	活塞环 密封圈	3	150~200	320	—	—	氮、氢 微量氧	8个月以上 1~2个月
68	—	—	—	10	22	—	活塞环 密封圈	3	150~200	320			氮、氢 微量氧	活塞环使用8个月以 上,密封圈使用3~4个月
68	—	—	—	10	22	—	活塞环 密封圈	—	250	13	-13	130	氮	运转一年九个月后仍在 使用
68	—	—	—	10	22	—	密封圈	0.03 (液压)	167	130~150 (液压)	80	26	醋酸亚 硝酸二氧	正常运动2800小时以 上,泄漏量大大减小
68	—	—	—	10	22	—	活塞环 密封圈	3~4.5	400	4~4.0	34	180	氮	运转4个月
68	—	—	—	10	22	—	活塞环	88	214	4~21	50	80	乙烯 甲烷	运转15120小时后,仍 在运转
70	15	15	—	—	—	—	套筒式 密封	0.018	560	50	—	—	氧	运转200小时后,仍可 运转

① 该值为二硫化钨。

第二节 聚酰胺 (尼龙)

聚酰胺是具有许多重复的酰胺基团的线热塑性树脂的总称。各种聚酰胺的化学名称很长,因此,习惯上把聚酰胺统称为尼龙。

聚酰胺的品种很多。其中常用的有聚酰胺6、聚酰胺66、聚酰胺610、聚酰胺1010、单体浇铸聚酰胺(MC尼龙)等。

聚酰胺的共同特点是,机械强度高、韧性高、自润滑性优异、耐磨性特好,摩擦系数低,耐化学药品、耐碱性、耐无机盐溶液性、耐有机溶剂性、耐油性等好。

聚酰胺的共同缺点是,吸水性大,影响制品尺寸稳定性。可以用调湿、热处理或加入玻璃纤维等方法,提高聚酰胺的耐水性。亦可选用聚酰胺11、12、13等吸水性低的品种。

聚酰胺的性能优异,随着工程塑料工业的发展,获得了日益广泛地应用。作为密封挡圈、密封圈等,可在-40~+100℃温度范围内使用。

聚酰胺粉末还可喷涂在金属零部件表面上,以提高其耐磨性与密封性。

填充剂的采用,可以大大改善聚酰胺的机械性能。

聚酰胺的熔点虽高,但热变形温度却相当低,约为熔点的四分之一。玻璃纤维填充剂的采用,可使聚酰胺的强度提高三倍,线膨胀系数降低,模塑收缩率减少到原有的三分之一,表面硬度提高一倍。

填充剂二硫化钼、石墨等可以大大改善聚酰胺的耐磨性。

聚酰胺的性能与应用见表24—4与23—3。

表24-4 聚酰胺的性能

性能	品种	6						66			610			1010		MC									
		未增强		30%玻纤增强		含水3.5%		未增强		20~40%玻纤增强		含水2.3%		未增强		含水1.5%		未增强		增强		未增强		增强	
		740~780	900	1100~1300	1300~1400	520~540	600	700	830	984~2179	1055~1689	565	600	910~2450	470	520~550	1963	890	916	1068	1115	1547			
抗拉强度 Kg/cm ²		740~780	900	1100~1300	1300~1400	520~540	600	700	830	984~2179	1055~1689	565	600	910~2450	470	520~550	1963	890	916	1068	1115	1547			
抗压强度 Kg/cm ²		900	1200	1055~1689	900	1000~1100	1265~2812	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
抗弯强度 Kg/cm ²		1000	1200~1400	700	1000~1100	1265~2812	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
冲击强度 Kg·cm/cm ²	有缺口	9.1	10~15	>55	3.9	12~27.3	13.8	3.5~1.5	6.5~32.5	9.8	4~5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	无缺口	9.1	10~15	>55	5.4~10.8	12~27.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
硬度	洛氏	R114	M92~94	R85	R113	M94~E75	R100	R113	M94~E75	R90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
	布氏	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
比重		1.13~1.15	1.34	—	1.14~1.15	1.30~1.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
吸水率 %		1.9	—	—	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
成型收缩率 %		0.8~1.5	—	—	1.5~2.0	0.1~0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
马丁耐热 °C		40~50	—	—	50~60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
随性温度 °C		-20~-30	—	—	-25~-30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
线胀系数 ×10 ⁻³ /°C		7.9~8.7	2.0~3.0	—	9.1~10.0	1.2~3.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

注：洛氏硬度按 R、L、M、E、K 依次递增。

第三节 聚甲醛

聚甲醛具有优良的综合性能，机械强度高，刚性大，耐蠕变性好，尺寸稳定性好（吸水率小）、抗冲击、耐疲劳性好、耐油、水与耐化学性好。

聚甲醛具有优良的耐摩擦、磨损性能和自润滑性，对金属的摩擦系数低，如用聚四氟乙烯为填充剂的聚甲醛，其摩擦系数显著下降（如与表面光洁度为▽9的45钢摩擦时，摩擦系数从0.44降至0.21），且动、静摩擦系数接近。

聚甲醛的使用温度范围很大，为-40~+149℃。

聚甲醛根据其生产技术路线或生产方法的不同，分成共聚甲醛和均聚甲醛两种。

聚甲醛的原料甲醛来源丰富，价格便宜，生产设备和工艺简单，具有广泛的发展前途。

聚甲醛具有接近金属的机械强度，可以代替各种有色金属与合金，用以制作密封圈、垫圈、挡圈、压环、支承环、活塞环、防尘圈、机械密封件等。

聚甲醛与填充聚甲醛的性能与应用见表24—5与表23—3。

表24—5 聚甲醛与填充聚甲醛的性能

性能	均聚体	共聚体	25%玻纤增强	聚四氟乙烯增强	
抗拉强度 Kgf/cm^2	700	620	1200	483(23℃)	
抗压强度 Kgf/cm^2	1270	1130	—	770	
抗弯强度 Kgf/cm^2	980	910	1920	—	
冲击强度 $Kgf·cm/cm^2$	有缺口	7.6	6.5	8.1	3.8
	无缺口	108	90~100	—	—
硬度(洛氏)	M94	M76	—	M73, R118	
比重	1.425	1.410	1.61	1.54	
吸水率 %	0.25	0.22	0.29	0.22	
成型收缩 %	2~2.5	2.5~2.8	0.2~0.5	1.0~2.5	
马丁耐热 ℃	60~64	57~62	—	—	
脆性温度 ℃	-40	-40	—	—	
线胀系数 $\times 10^{-3}/\text{℃}$	8.1~10.0	9~11	3.4~4.27	8~9.6	

注：洛氏硬度按 R、L、M、E、K 依次递增。

第二十五章 非金属与金属

第一节 非金属材料

在应用广泛的非金属密封材料领域里，除了橡胶与合成树脂之外，经常采用的还有皮革、毛毡、纸、石棉、石墨与陶瓷等。

一、皮 革

皮革是人们最早用来制作唇形密封圈（亦称“皮碗”）的材料。皮革的基体是骨胶原蛋白纤维，经鞣制去除易腐烂物质后而成。鞣制而成的皮革叫做鞣革。鞣革的主要种类分述如下。

（1）丹宁革又名植鞣革，是用植物丹宁酸鞣制而成。革质坚硬，抗拉强度大，伸长率小，经蜡或油脂填充处理后，可用以制作气压与水压密封圈。

（2）铬鞣革，是用碱性铬盐鞣制而成。

（3）混合鞣革又名再鞣革，是先用碱性铬盐鞣制后，再用丹宁酸鞣制而成。

铬鞣革与混合鞣革的耐热性比丹宁革好（可用于 100℃ 的油中），耐油、耐水性好。用合成树脂或合成橡胶进行填充处理后，可用以制作水压、液压密封圈。

表25—1 列出了各种皮革的性能与应用以及与丁腈橡胶的比较。

表25—1 皮革的性能与应用

材 料	抗拉强度 Kgf/cm^2	伸长率%	硬度HS	工作温度℃	工作压力 Kgf/cm^2	应 用
丹 宁 革	>250	<15~50	70	-40~+70	500	适用于制作密封油、水、气的密封圈、挡圈等
铬 鞣 革	>300	<20~55	70	-40~+115	500~1000	
丁 腈 橡 胶	>170	<120~300	65~90	-20~+120	300	

为提高皮革制密封圈的密封可靠性，皮革在鞣化后，须进行填充处理，对皮革纤维组织的间隙予以填满，以防被密封介质的渗漏。填充剂的选取与加工是填充皮革密封圈性能的决定性影响因素

表25—2 所列是各种经填充处理皮革的耐压性。

经填充处理后的皮革，可根据不同使用要求，模压而成V形、U形、L形、J形等密封圈。

皮革密封圈具有下述特点。

（1）组织致密、强韧、抗拉强度大、伸长率小。高压下比橡胶的伸长小，因此，皮革特别适于制作高压密封圈（表25—1）。

表25—2 填充皮革密封圈的耐压性

填充革类型	应用	耐压性 Kgf/cm^2
油脂丹宁革	气动用密封	10
蜡丹宁革	水压用密封	500
合成橡胶铬革	液压用密封	50
合成树脂铬革	液压用密封	500
合成树脂铬革	液压用密封	1000

(2) 弹性小。皮革与橡胶相比，其弹性小、伸长率小。因此，为了使皮革制密封圈唇部与被密封表面接触良好，一般需采用金属或合成橡胶制支承环（图25—1）。考虑到皮革在吸附油、水后膨胀的特点，支承环与密封圈间应留有一定的轴向间隙（表25—3）。

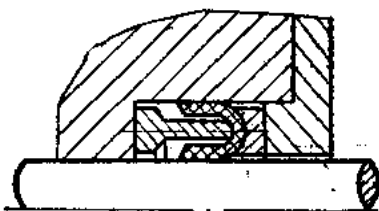


图25—1 皮革U形圈用支承环的应用

表25—3 皮革密封圈与支承环之间的最佳间隙

皮革厚	使用介质		皮革厚度	使用介质	
	水	矿物液压油		水	矿物液压油
1.5	0.4	0.4	4.0	1.6	1.2
2.5	0.8	0.4	5.0	1.6	1.2
3.0	1.2	0.8	5.0	1.6	1.2

皮革密封圈的弹性小，伸长率小，唇部不易挤入密封间隙。所以，皮革密封圈用作往复运动活塞或活塞杆处的密封元件时，其径向间隙可比橡胶密封元件的径向间隙大。表25—4 所列为皮革密封圈、夹布橡胶密封圈和橡胶密封圈在各种工作压力下的最大径向间隙值。为了使密封圈对被密封表面的接触良好，一般采用弹簧压环，或菊花状压环，或在密封圈的凹处塞以橡胶环、金属环等（图25—2）。

(3) 吸附油、水能力强，具有良好的自润滑性、寿命长，几乎适用于所有矿物液压油与水类介质（表25—5）。但水溶液介质的碱性应在 $pH = 8$ 以下、酸性在 $pH = 4.5$ 以上。

表25—6 所列为皮革密封圈与橡胶密封圈特性的比较。

(5) 摩擦系数高，摩擦阻力大(图24—2)。因此，不适于低压气动与要求低压无爬行的液压密封。

表25—6 皮革密封圈与橡胶密封圈特性的比较

密封圈类型		皮革密封圈	合成橡胶密封圈	夹布橡胶密封圈
使用介质	水、空气	特别适用	加润滑油时可用	
	矿物油	可用	可用	
	高压水蒸汽	不适用		
	酸碱溶液	pH3~8.5内可用	应选用合适的橡胶材料	
	不燃性液压油	可用		
使用温度范围℃		-60~+100	-60~+200	-25~+200
被密封面的金属材料		铁, 有色金属	镀铬钢及硬的有色金属	
相对滑动表面光洁度		▽7	▽9	▽8
最大间隙		可大些	很小	中等
耐磨性		大	中	中
最大工作压力Kgf/cm ²		1000	500	550
耐振性		很大	中	大
寿命		很大	中	大
泄漏		较大	小	中

(6) 密封圈用皮革，应是高质量的。牛身上不同部位的皮革，抗拉强度是不同的。只有牛的脊背两侧的皮革，才适于制作密封圈。因此，皮革的取材难、成本高。

二、毛毡

工业用毛毡，作为密封材料，广泛应用于液压、气动、真空、机械等传动的密封装置。工业用毛毡，按类型与用途可分成：细羊毛毡(亦称航空用毛毡)、半粗羊毛毡与粗羊毛毡。实际上，又往往根据毛毡制成零件之不同，把工业用毛毡分成如下几种：

(1) 油封毛毡——用以制作保持与防止润滑油(脂)的泄漏和防止灰尘、水等侵入的油封。

(2) 衬垫毛毡——用以制作防止金属表面腐蚀、擦伤与减轻冲击、震动的衬垫。

(3) 过滤毛毡——用以制作滤油器与其他液体用的过滤物。

工业用毛毡的物理机械性能与化学性能按表25—7之规定。

表25-7 工业用毛毡的物理机械性能与化学性能 (FJ314-66)

类型	牌 号	比重g/cm ³	断裂强度 Kgf/cm ² ≥	断 裂 伸 长 率 % ≤	游离硫 酸含 量 % ≤	植 物 杂 质 含 量 % ≤	矿 物 杂 质 含 量 % ≤	毛 毡 管 作 用 (厚度<10mm时) mm ≥		
								5分	10分	20分
细 羊 毛 毡	112-44	0.44±0.02	50	90	0.30	0.35	0.12	—	—	—
	112-41	0.41±0.02	47	105	0.30	0.35	0.12	—	—	—
	112-39	0.39±0.02	45	110	0.30	0.40	0.12	—	—	—
	112-36	0.36±0.02	35	115	0.30	0.40	0.12	—	—	—
	112-32	0.32±0.02	25	120	0.30	0.40	0.12	—	—	—
	112-30	0.30±0.02	—	—	0.15	0.35	0.12	35	40	45
	112-25	0.25±0.02	—	—	0.15	0.35	0.12	35	40	45
	112-14	0.14±0.02	—	—	—	0.50	—	—	—	—
	112-09	0.09±0.02	—	—	—	0.50	—	—	—	—
半 粗 羊 毛 毡	122-38	0.38±0.02	40	95	0.40	0.60	0.15	—	—	—
	122-36	0.36±0.02	30	—	0.40	—	—	—	—	—
	122-34	0.34±0.02	25	110	0.40	0.60	0.15	—	—	—
	122-30	0.30±0.02	25	125	0.40	0.60	0.15	—	—	—
	122-24	0.24±0.02	—	—	0.15	0.50	0.15	25	35	45
	222-36	0.36±0.02	—	—	0.40	—	—	—	—	—
	222-34	0.34±0.02	—	—	0.40	—	—	—	—	—
粗 羊 毛 毡	132-38	0.38±0.02	30	110	0.40	0.70	0.20	—	—	—
	132-32	0.32±0.02	25	130	0.40	0.70	0.20	—	—	—
	132-24	0.24±0.02	—	—	0.15	0.50	0.20	25	35	45
	132-23	0.23±0.02	30	110	0.20	0.50	—	—	—	—
	232-36	0.36±0.02	—	—	0.40	—	—	—	—	—

表25-8 所列为工业用毛毡的尺寸规格。

汽车标准Q/Q206-64《汽车用细、半粗、粗毛毡》，对油封、衬垫与滤芯用毛毡的主要质量指标做出了规定（表25-9）。

表25-8 工业用毛毡的尺寸规格

mm

厚 度		2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
允许偏差	细羊毛毡	±0.5		±1	±1.5			±2				
	半粗羊毛毡	—			±2			±2.5				
	粗羊毛毡	—				±2			±2.5		±3	
宽 度		500~1900										
长 度		1000~5000										

三、纸

工业纸板，用以制作密封元件，可谓物美价廉，应予推广使用。密封纸板，主要用以制作衬垫和密封垫片。

表25—9 油封、衬垫与滤芯用毛毡的主要质量指标
(Q/Q206—64)

序号	项 目	种 类	质 量 指 标		
			油封用	衬垫用	滤芯用
1	含水率%不大于	细羊毛毡 半粗羊毛毡 粗羊毛毡	14	14	14
2	比重(毛毡含水率为14%) g/cm ³	细羊毛毡	0.44±0.02	0.39±0.02	0.25±0.02
		半粗羊毛毡	0.38±0.02	0.34±0.02	0.24±0.02
		粗羊毛毡	0.36±0.02	0.32±0.02	0.24±0.02
3	扯断强度(毛毡厚度为5cm) Kgf/cm ² 不小于	细羊毛毡	55	50	—
		半粗羊毛毡	50	30	—
		粗羊毛毡	40	30	—
4	扯断伸长率(%) 不大于	细羊毛毡	80	80	—
		半粗羊毛毡	90	90	—
		粗羊毛毡	100	100	—
5	游离H ₂ SO ₄ 含量(毛毡含水量为14%)% 不大于	细羊毛毡	0.50	0.50	0.15
		半粗羊毛毡	0.80	0.65	0.15
		粗羊毛毡	0.80	0.65	0.15
6	植物杂质含量(毛毡含水率为14%)% 不大于	细羊毛毡	0.50	0.50	0.50
		半粗羊毛毡	1.0	1.0	1.0
		粗羊毛毡	1.0	1.0	1.0
7	矿物杂质含量(砂子及植物杂质灰分)(毛毡含水率为14%)% 不大于	细羊毛毡	0.12	0.12	0.12
		半粗羊毛毡	0.15	0.15	0.15
		粗羊毛毡	0.20	0.20	0.20
8	毛细管现象(毛毡厚度≤10cm) cm 不小于 5分钟	细羊毛毡	—	—	35
		半粗羊毛毡	—	—	25
		粗羊毛毡	—	—	25
	10分 钟	细羊毛毡	—	—	40
		半粗羊毛毡	—	—	35
		粗羊毛毡	—	—	35
20分 钟	细羊毛毡	—	—	45	
	半粗羊毛毡	—	—	45	
	粗羊毛毡	—	—	45	

1. 衬垫纸板

衬垫纸板分未浸渍衬垫纸板和浸渍衬垫纸板两种。未浸渍衬垫纸板系用未加填料和胶料的硫酸盐木浆压制而成的一种有弹性、吸水性较大(略吸收油、汽油)的纸板。主要用以制作法兰和其他平面连接处的密封垫片。浸渍衬垫纸板是指加入胶料的木浆模压成品、经甘油的水溶液浸渍而成的纸板。其特点是弹性较好,吸水性小、对油、汽油的吸收性低,广泛用于制作一切与汽油、润滑油或水相接触的车辆、柴油机等机器设备中接合平面的密封垫片。

衬垫纸板的技术指标如表25—10所示。

表25—10 衬垫纸板的技术指标

技 术 指 标		厚 度 (mm) 与 指 标 值			
		未 浸 渍 衬 垫 纸 板		浸 渍 衬 垫 纸 板	
		0.3; 0.5	0.8; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5	0.3~0.8	1.0~1.5
比 重 g/cm^3		0.75~0.9	0.75~0.9	0.9	0.95
含 水 率		8~12	8~12	13	11
吸 收 能 力 % 不 大 于	水 (24小时后)	175	140	—	—
	水 (6小时后)	—	—	60	60
	汽油 (6小时后)	—	—	35	35
	润滑油 (6小时后)	—	—	35	30
抗 拉 强 度 不 小 于 Kgf/cm^2	纵 向	平均 2.5	平均 3.0	2.0	2.0
	横 向			1.0	1.0
直 线 变 形 % 不 大 于	纵 向	—	—	0.25	0.25
	横 向	4	4	1	1
耐 折 度 (反 复 弯 折 数) 不 小 于		400	—	—	—
40 Kgf/cm^2 下 的 压 缩 性 % 不 小 于		—	—	28	25
除 荷 重 后 的 弹 性 变 形 % 不 小 于		—	—	85	85

2. 软钢纸板

软钢纸板是由纸类经氯化锌、甘油、蓖麻油处理而成的软性纤维纸板。强度比衬垫纸板大，用以制作汽车、拖拉机发动机与其他工业设备上的密封垫片。

软钢纸板的技术指标按表25—11之规定。

表25—11 软钢纸板的技术指标 (QB365—63)

技 术 指 标	规 定 值	允 差
厚 度 mm	0.5~0.8	±0.12
	0.9~1.0	±0.15
	1.1~2.0	±0.15
	2.1~3.0	±0.20
比 重 g/cm^3	1.1~1.4	—
抗 拉 强 度 (横 向) Kgf/cm^2 大 小 于	300	—
含 氮 量 % 不 大 于	0.075	—
水 分 %	6~10	—

四、石 棉

石棉是广泛用以制作软填料和密封垫片的主体材料。其特点是具有可纺纱性、高的耐热性和高的油、水吸附力。

石棉共分蛇纹石石棉（亦称温石棉或白石棉）和角闪石石棉两大类。后者包括青石棉、铁石棉、热石棉、阳起石棉、直闪石棉等五种。其中只有白石棉、青石棉、直闪石棉等用来制作密封填料。

常用石棉的性质如表25—12所示。

表25—12 几种常用石棉的性能

性 能	白 石 棉 $3MgO_2 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$	蓝 石 棉 $NaFe(SiO_3)_2 - FeSiO_3 \cdot H_2O (FeMg)SiO_3(1\sim5\%)H_2O$	直 闪 石 棉
比 重	2.4~2.6	3.2~3.3	3.1~3.25
色 彩	白绿、浅灰、淡绿、有丝绸光泽	蓝	灰、黄、茶
抗拉强度 Kgf/cm^2	12~330	70~200	10~65
可纺纱性	好	中	中
耐 热 性	高于 600℃ 失去结晶水，机械强度剧降，至1521℃ 熔融	高于 500℃ 失去结晶水，机械强度剧降，至1194℃ 熔融	高于 400℃，其氧化亚铁被氧化，机械强度剧降，至1400℃ 熔融
耐 酸 性	差	优	优
耐 碱 性	优	良	良

石棉密封制品的应用很广，其中许多品种已经标准化。

1. 石棉橡胶板 (JC125—66)

石棉橡胶板是以石棉橡胶为主体而制成的密封衬垫材料，主要用以密封温度450℃、压力60 Kgf/cm^2 以下的水、饱和蒸汽、空气、煤气、氨、碱液、惰性气体等。

石棉橡胶板的技术指标和规格尺寸，如表26—13与表26—14所示。

2. 耐油石棉橡胶板 (GB539—65)

耐油石棉橡胶板是以石棉、丁腈橡胶为主体制成的密封衬垫材料，用以密封航空发动机的燃油、润滑油、冷却系统的水等。

耐油石棉橡胶板的技术指标如表25—15所示。

表25—13 石棉橡胶板的技术指标 (JC125—66)

技 术 指 标	$XB 450$ (紫色)	$XB350$ (红色)	$XB 200$ (灰色)	
比 重 g/cm^3	1.5~2.0			
灼热减量% 不大于	28			
老化系数 (10) 于2℃×24小时 不小于	0.9			
抗拉强度 (室温下) Kgf/cm^2	纵向 不小于	450	300	170
	横向 不小于	200	125	70
密 封 试 验	温度 ℃	440~450	340~350	195~200
	压力 Kgf/cm^2	110~120	70~80	25~30
适 用 范 围	温度 ℃	450	350	200
	压力 Kgf/cm^2	60	40	15

3. 衬垫石棉板 (JG69—84)

衬垫石棉板是以石棉纤维与结合材料混合制成的板状材料, 用作汽车、拖拉机、发动机等连接件上密封垫片的内衬物, 以防止空气、热气体、水与油的泄漏。

表25—14 石棉橡胶板的规格尺寸 (JC125—86)

778 778

规格		XB450			XB350和XB200			
厚度	公称尺寸	0.5	1.5	2.5	0.8	1.5	2.5	3.5; 4.0 4.5; 5.0 5.5; 6.0
	允差	±0.10	±0.15	±0.20	±0.10	±0.15	±0.20	±0.25
宽度		500, 620, 1260, 1500(±6%)						
长度		500, 620, 1000, 1260, 4000(±6%)						

表25—15 耐油石棉橡胶板的技术指标 (GB539—65)

技术指标		规定值	技术指标	规定值	
厚度	0.4; 0.5; 0.6; 0.8; 1.0	±0.10	腐蚀试验	对硬铝板或低碳钢板应无腐蚀作用, 试件从金属板上分开时, 板应无分层现象	
	1.2; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0	±10%			
比重 g/cm^3 不大于		1.5~2.0			
耐油性 (浸油后重量增加率) % 不超过	浸于150℃的20号航空润滑油中24小时	23	密封试验	在15~30℃下, 耐压强度不小于 $150Kg/cm^2$, 且应保证在喷气燃料和润滑油介质中密封处的完全气密性	
	在室温15~30℃下, 喷气燃料和70号航空汽油中24小时	8~22			
抗拉强度 Kgf/cm^2 不小于	纵向	15~30℃未浸油	340	弹性试验 (浸入喷气燃料24小时后, 再试验时也符合要求)	在空气和油类中, 板绕在一定直径的圆柱上作弯曲180°试验时, 不应发生破裂
		15~30℃喷气燃料和70号航空汽油中24小时	190		
		150±2℃的20号航空润滑油中24小时	300		
不小于	横向	15~30℃未浸油	130	外观	表面不允许有疙瘩、裂缝、凹坑、皱纹或任何外来杂质
		15~30℃喷气燃料和70号航空汽油中24小时	80		
		150~2℃的20号航空润滑油中24小时	110		

衬垫石棉板的技术指标如表25—16所示。

表25—16 衬垫石棉板的技术指标 (JG69—64)

技术指标	规定值	
厚度 mm	1.6±0.10	
表面缺陷允许范围	外来杂质, 每面不多于1处, 每处面积≤ 8 mm ² 凹陷或凸起, 每面不多于2处, 且其高度不大于 0.4mm, 每处面积不大于10mm ²	
水分 % 不大于	3 (如超过, 允许将超过部分扣除计量, 但应≤ 5)	
灼热减量 % 不大于		18
比重 g/cm ³		1.10~1.45
抗拉强度 Kg/cm ² 不小于		纵向25; 横向15

五、石 墨

目前, 石墨是一种比较理想的摩擦副材料, 在机械密封装置中获得广泛应用。

石墨有良好的自润滑性和耐磨性能, 其摩擦系数小, 当石墨与金属对磨时, 摩擦系数为0.04~0.05。石墨的导热性好, 导热系数为100~110千卡/米·小时·度, 其线膨胀系数低 ($2\sim 3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 有较高的耐热性和耐温度急剧变化的性能, 在空气中超过400℃才开始氧化。此外, 石墨是很好的化学惰性材料, 能耐绝大部分酸、碱、盐及一切有机化合物的腐蚀。

石墨具有良好的可加工性, 能进行各种机械加工。

石墨有两种形态。一种是烧结的硬质石墨, 即碳石墨, 其特点是质硬、脆。另一种是石墨纤维, 其特点是质软、强度低、自润滑性良好。

一般, 石墨的机械强度低、孔隙率高达18~22%。故用于机械密封装置的石墨, 一般都需经过浸渍、渗碳处理, 使孔隙率下降到2~5%。同时提高其抗压强度和抗弯强度, 浸渍有助于形成界面间润滑油膜, 所以耐磨性也有显著提高。根据浸渍材料的不同, 石墨有浸渍树脂和浸渍金属两种。常用浸渍树脂有酚醛树脂、环氧树脂、呋喃树脂; 常用浸渍金属有巴氏合金、青铜、铝和铅等。一般, 浸渍酚醛树脂石墨, 耐酸不耐碱, 浸渍环氧树脂石墨耐碱性好, 浸渍呋喃树脂石墨, 既耐酸也耐碱。

以浸渍酚醛树脂石墨为例。将石墨放入釜中, 抽真空, 真空度达750毫米汞柱; 利用真空将树脂抽入釜内 (室温)。10分钟后压到4~5公斤力/厘米², 保持数小时, 然后将石墨放在5%的氢氧化钠溶液中洗去表面的树脂, 再用清水除去表面的碱液, 经过常温干燥后, 放在釜内, 加压至5公斤力/厘米², 温度由室温缓慢升高到110℃。在110~120℃下保持5小时, 浸渍酚醛即固化完毕。如此, 便获得浸渍酚醛石墨。

浸渍石墨的耐热温度及其化工适用范围见表25—17, 其机械性能见表26—18。

六、陶 瓷

陶瓷有很高硬度, 耐磨, 几乎能耐所有各种介质的腐蚀 (氢氟酸、氟硅酸、浓碱除外)。可用作机械密封装置摩擦副硬环的陶瓷有氧化物陶瓷、氮化物陶瓷和硼化物陶瓷。

表25—17 浸渍石墨的适用范围

名 称	耐热温度	化 工 适 用 范 围
浸渍酚醛石墨	170℃	酸类（硝酸等强氧化酸除外）
热压酚醛石墨	170℃	酸类（硝酸等强氧化性酸除外）
浸渍呋喃石墨	200℃	酸类、碱类（硝酸等强氧化性酸除外）
浸渍环氧石墨	180℃	弱酸、碱类
浸渍铜石墨	500℃	油、热水、海水、丙酮、氯化溶剂、乙醚、乙苯、醋酸乙酯、苯、苯乙烯、丙烯腈等
浸渍巴氏合金石墨	200℃	盐类、轻油、海水、丙酮、氯化溶剂、乙醚、乙苯、醋酸乙酯、苯、苯乙烯、丙烯腈等

表25—18 浸渍石墨的机械性能

类 别	型 号	肖氏硬度 不大于	抗压强度Kgf/cm ²	抗折强度Kgf/cm ²	
碳 石 墨	M 161	40	600	250	
电 化 石 墨	M 204	40	750	300	
	M 208	45	700	300	
	M 252	30	400	200	
	M 276	40	600	250	
	M 277	40	400	200	
浸 渍 石 墨	浸渍酚醛树脂	M 102 F	50	1000	400
		M 201 F	40	800	350
		M 202 F	45	950	400
		M 208 F	65	1200	450
		M 216 F	48	1000	430
浸 渍 石 墨	浸渍环氧树脂	M 204 H	60	1300	500
		M 252 H	45	800	400
		M 254 H	40	800	350
		M 276 H	60	1000	500
		M 277 H	60	800	400
浸 渍 石 墨	浸渍呋喃树脂	M 204 K	60	1400	400
		M 252 K	50	900	350
		M 276 K	60	900	450
		M 277 K	60	800	350

常用的是氧化铝瓷（表25—19），其中以刚玉瓷或称烧结氧化铝瓷用得较多。刚玉瓷

表25—19 氧化铝陶瓷的性能

名 称	成 分	硬 度	抗弯强度Kgf/cm ²	热膨胀系数 ×10 ⁻⁶ /℃
刚 玉 瓷	Al ₂ O ₃ 99% MgO 1%	HRA85~90	35~55	5.3
滑 石 瓷	海城煅烧滑石 60% 海城生滑石 24% 碳酸钡 10% 苏州土 6%	莫氏 6.3 度	—	5.3

用99%的 Al_2O_3 和1%的 MgO 在 1800°C 左右的高温下烧结而成，硬度很高，耐磨、耐腐蚀性好，但抗热震性稍差，脆性较大。滑石瓷按表中成分经球磨、成型、烧结而成，成本低，抗热震性较好，但硬度较低。

用于机械密封装置的陶瓷，可以是整体的或镶嵌的，也可以是喷涂的。喷涂陶瓷可以缓和其脆性大、加工困难的缺点。如图25—3所示，用氧炔火焰将陶瓷棒5熔化，借压缩空气将熔融的陶瓷喷在预先加工好的金属基体1的弧形槽内。乙炔压力为 $1.2\sim 1.4$ 公斤力/厘米²，氧压力 $4\sim 6$ 公斤力/厘米²，空气压力 $5\sim 6$ 公斤力/厘米²。喷涂时金属环1徐徐转动，并在金属环的背面用水冷却，以免基本金属温度过高。

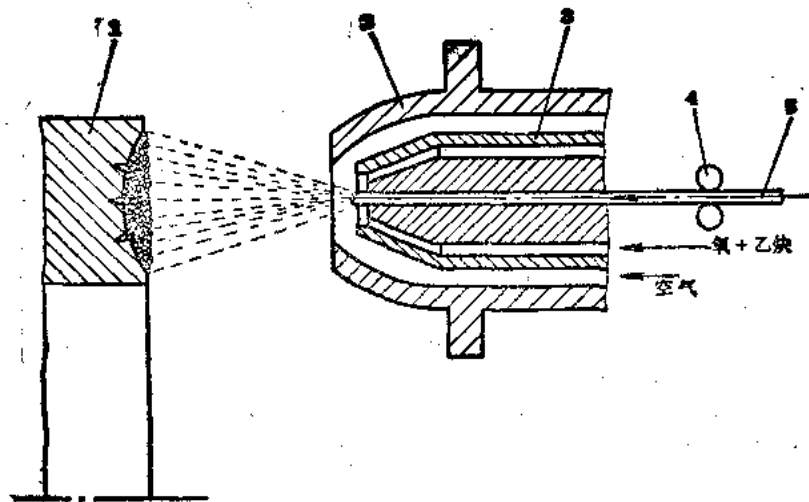


图25—3 喷涂陶瓷

1—金属环 2—空气帽 3—喷嘴 4—送进轮 5—陶瓷棒

陶瓷涂层的气孔率较大（约10%），要浸渍酚醛树脂或其他填补剂。浸渍金属的称金属陶瓷，金属陶瓷的抗热震性较好，脆性和耐腐蚀性略下降。

第二节 金属材料

金属是密封材料的一部分，也是摩擦副所不可缺少的材料。常用金属材料的主要品种有铸铁、碳钢、铬钢、铬镍钢、青铜与硬质合金等（表25—20）。

一、铁与钢

密封材料用铸铁有灰铁与球铁。它们具有良好的耐磨性，尤其球铁，因其用镁、硅等作球化剂，石墨在铁体中呈球状，所以使其既具有铸铁的良好耐磨性，又兼有钢的强度高，和好的抗氧化性、减振性以及小的缺口敏感性，是一种较好的摩擦副材料，适用于油类与中性介质。

表25—20 常用金属密封材料的主要品种

名 称	应 用				附 注
	摩擦副	弹 簧	金 属 波纹管	其他零件	
灰铸铁	0	—	—	0	—
球墨铸铁	0	—	—	0	—
铜、铬等耐磨合金铸铁	0	—	—	0	—
高铬、高镍等耐蚀合金铸铁	—	—	—	—	—
碳钢	—	0	—	0	—
0 Cr13, 1Cr13, 2Cr13, 3Cr13	—	—	—	0	—
4 Cr13	—	0	—	—	—
1 Cr17Ni 2	—	0	—	0	—
1 Cr28	0	—	—	0	—
1 Cr18Ni 9	—	—	—	0	—
1 Cr18Ni 9 Ti	—	0	0	0	—
1 Cr18Ni12Mo 2 Ti	—	0	—	0	—
0 Cr18Ni18Mo 2 Cu 2 Ti	—	0	—	0	—
0 Cr23Ni28Mo 3 Cu 3 Ti	—	0	—	0	—
0 Cr12Ni25Mo 3 Cu 3 Si 2 Nb	—	0	—	0	近似于 Carpenter 20
GCr15, 9 Cr18, 9 CrSi	0	—	—	—	—
65 Mn, 60 Si 2 Mn, 50 CrVA	—	0	—	—	—
镍钼合金 Ni62Mo28Fe 5 Si	0	0	—	0	即 Hastelloy B
镍铬钼合金 Ni58Cr15Mo17Te5W4	0	0	—	0	即 Hastelloy C
镍铜合金 Ni63Cu30Si 4 Fe 2	0	0	—	0	即 S—Monel
镍铬合金 Ni76Cr16Fe 8	0	—	0	0	即 Inconel 600
Inconel 718	—	0	—	—	—
0 Cr17Ni 4 Cu 4 Nb	—	0	—	0	即沉淀硬化不锈钢 17—4pH、
0 Cr17Ni 7 Al	—	0	—	0	17—7pH
锡青铜 QSn6.5—0.4	0	0	—	0	—
铸锡青铜 ZQSn5—5—5	0	—	—	0	—
铍青铜 QBe 2	—	0	0	—	—
紫铜 T 3、T 4	—	—	—	—	制作密封垫圈等
锡铍轴承合金 ZChSnSb11—8	—	—	—	—	硬填料、浮动密封用减摩材料
铅、铝、银、金、钨	—	—	—	—	制作密封垫片、迷宫片、填料、金属 O 形圈镀层、金丝封等

高硅铸铁(含Si为14~16%),具有较高的硬度(HRC45~50)。在强氧化性酸中,高硅铸铁表面生成二氧化硅薄膜,对硝酸、硫酸、磷酸、醋酸等有很高的耐腐蚀性(表25—21)。

高硅铸铁不耐碱和氢氟酸,对还原性盐酸、草酸等的耐腐蚀性差,质脆,耐冲击性能也差,机械加工困难。

高硅铸铁中加入3.5~4%的钼或加入稀土,则可提高其耐盐酸能力、或改善其脆性及加工性能。

机械密封装置摩擦副常用的钢种有45钢、铬钢、铬镍铬等。

45钢来源广,经调质、淬火后,易于切削加工,并有较高的机械性能和良好的耐腐蚀性,适用于中性化学介质。

表25-21 高硅铸铁的耐化学腐蚀性能

钠蚀介质	浓 度 %	温 度 ℃	耐蚀等级	腐蚀介质	浓 度 %	温度 ℃	耐腐等级	
硝 酸	10~90	20	1	混 酸	H_2SO_4 0.16~0.2%	65	4	
	30	沸 点	2		HNO_3 0.05%			
	50		2		H_2O 99.65%			
	60		2		H_2SO_4 93.8%	20	1	
硫 酸	0.5		190 (12~14大气压)		1	HNO_3 1.3%	50	1
	2~95	20~50	1		混 酸	90	1	
	2~80	100	2					
	25	190 (12~14大气压)	3					120
95	100	1	H_2SO_4 88.7%					50
盐 酸	10	30	3		HNO_3 4.7%	50	1	
	35	80	4		H_2SO_4 77.2%			
磷 酸	10	20~沸点	1		HNO_3 12.5%	50	1	
	40	20	1		H_2SO_4 50%			
	40	沸 点	2		HNO_3 20%	40	1	
	80	20	1	H_2SO_4 94%				
	80	60	1	HCl 0.3%	20	1		
	80	110	2	HNO_3 67%				
	80	120	2	HCl 0.3%	沸 点	2		
	80	沸 点	2	蚁 酸	10	20~70	1	
醋 酸	10~100	20	1		50	100	3	
	10~80	沸 点	2			20~70	1	
乳 酸	100	氟 点	2		浓 的	100	2	
	10~浓的	沸 点	1	氢 氧 化 钠	20	沸 点	4	
氨	25	20	1		34	100	2	
		沸 点	2		熔 融 的	318	5	
氢 氧 化 钾	10~50	20	1					
	10	沸 点	2					
	25		3					
	50~浓的		4					
	熔融的		360					5

注: 1. 1级耐蚀为完全耐蚀, 耐蚀速度小于0.1克/米²·小时。
 2. 2级耐蚀为足够耐蚀, 耐蚀速度大于0.1~1.0克/米²·小时。
 3. 3级耐蚀为比较耐蚀, 耐蚀速度大于1.0~3.0克/米²·小时。
 4. 4级耐蚀为不大耐蚀, 耐蚀速度大于3.0~10.0克/米²·小时。
 5. 5级耐蚀为不耐蚀, 耐蚀速度大于10.0克/米²·小时。

铬钢3Cr13、4Cr13、9Cr18等，经淬火后有较高的硬度和强于碳钢的耐磨性，适用于弱腐蚀性介质。

铬镍钢1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni12Mo2Ti等，耐腐蚀性优良，韧性大，硬度低、耐磨性低，适用于强腐蚀性介质。

二、铜

铜密封材料有青铜与紫铜。常用的青铜有磷青铜、锡磷青铜（ZQSn66—3、ZQSn10—1、ZQSn5—25）、其弹性模数大，导热性优良、耐磨性好、加工性好、对硬材质的顺从性好，可用以制作适用于海水、油等中性介质的摩擦副。

紫铜T3、T4可用以制作密封油、水、气等介质的密封垫圈。

三、硬质合金

硬质合金是制作机械密封装置摩擦副的良好材料，近年来，获得了广泛地应用。

硬质合金是由硬度极高的难溶性金属碳化物——碳化钨、碳化钛加粘结剂、用粉末冶金方法压制烧结而成，故又名金属碳化钨，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（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）。对耐腐蚀性能有更高要求的场合，可选用WC-TaC型硬质合金，除浓氢氟酸外，可适用于所有油、水、气和酸、碱、盐等介质。

常用的硬质合金有钨钴（YG）类和钨钴钛（YT）类。表25—22所列为几种常用国产碳化钨硬质合金的机械性能。

表25—22 几种常用国产硬质合金的机械性能

类别	牌 号	物 理 机 械 性 能		
		比 重 g/cm^3	抗 弯 强 度 Kg/cm^2 不低于	硬 度 RA 不低于
钨 钴 类	YG2	15.0~15.4	100	91
	YG3	14.9~15.3	105	91
	YG6	14.6~15.0	140	89.5
	YG8	14.4~14.8	150	89
	YG11	14.0~14.4	180	88
	YG15	13.9~14.1	190	87
	YG20	13.4~14.5	260	85.5
钨 钴 钛 类	YT5	12.5~13.2	130	89.5
	YT5—7	12.6~13.4	125	90
	YT14	11.2~12.4	120	90.5
	YT15	11.4~11.7	115	91
	YT30	9.4~9.8	90	92.8
	YT60	6.5~7.0	75	91.5

四、堆焊硬质合金材料与硬质涂料

目前，为提高机械密封装置硬环与密封轴套表面硬度和耐磨性，广泛采用堆焊硬质合金。

表25—23列出了几种常用国产硬质合金堆焊气焊条的机械性能。

表25—23 几种常用国产硬质合金堆焊气焊条的机械性能

型 号	名 称	硬 度 HRC	抗 拉 强 度 $\sigma_b, \text{Kg}/\text{cm}^2$	冲 击 值 $\text{Kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$
SDCrC-1	铬 基1号	48~54	35~45	0.25
SDCoCr-1	钴 基1号	40~45	65~75	0.70
SDCoCr-2	钴 基2号	46~50	50~60	0.50
TDCrC-1(52)	上 焊69A	52	—	—

铬基1号焊条的堆焊层,具有良好的耐气蚀、耐腐蚀性能;钴基1号焊条的堆焊层,具有较高的硬度与良好的耐酸性;钴基2号焊条的堆焊层,具有耐高温、高压及在高温下保持高硬度的特性;上焊69A焊条的堆焊层,具有良好的耐气蚀、耐腐蚀性。

为提高机械密封装置摩擦副硬环或轴套表面的耐磨性、与密封结构的通用性以及有利于散热,可在它们的摩擦面上喷焊与喷涂硬质涂层材料。常用的喷焊硬质材料为在司太立特合金成分的基础上添加适当的B、Si等造渣剂而成。常用的喷涂硬质材料为各种陶瓷。

硬质涂层可能出现的涂层剥落与气孔,可用浸渍树脂消除。

主要参考文献

1. 夏廷栋编《液压传动的密封与密封装置》中国农业机械出版社1982
2. 胥往孝编《液压和气动设备的密封》机械工业出版社1979
3. 彭拾义编《旋转密封装置》国防工业出版社1976
4. 〈日〉近森德重著、朱仁杰译《O形密封圈》《唇形密封圈》机械工业出版社1976
5. 《机械工程手册第23篇密封》机械工业出版社1980
6. 济南铸锻研究所编《气动密封》1976
7. 上海科技情报所编译《密封技术译文集》上海科技文献出版社1978
8. 〈日〉岩浪繁藏、近森德重编著《パッキン技術便覧》1973
9. 上海化工设计院编《机械密封》燃化工业出版社1974
10. 化工部化工设备设计技术中心站主编《机械密封新结构图册》上海科技出版社1980
11. 日本接着协会编《接着ハンドブック》日刊工业新闻社1980
12. 《密封胶及其应用》广州机床研究所1976
13. 龚云表、石安富《密封胶密封机理的探讨》润滑与密封1979.4。