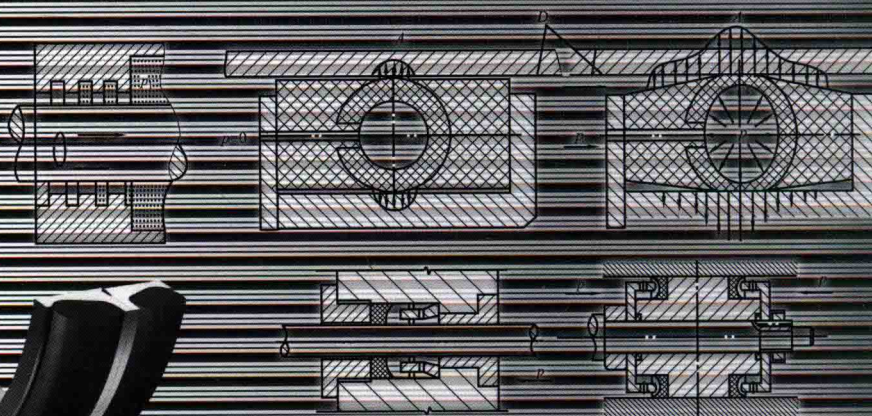


机械密封结构 图例及应用

孙开元 郝振洁 主编



JIXIE MIFENG JIEGOU
TULI JI YINGYONG



化学工业出版社

机械密封结构 图例及应用

孙开元 郝振洁 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了密封的作用、分类、原理和材料选择,静密封和动密封的分类及选型,详细阐述了各种机械密封的结构、特点、性能和适用条件,并介绍了机械密封的新技术及特殊场合机械密封的特点,同时,根据最新国家标准列出常用密封件参数,方便读者查阅选用,此外还介绍了机械密封性能检测及故障分析方法,最后列举了各个领域常见的密封结构应用图例。

本书适合于机械设计人员和工程施工技术人员或机械类专业教师、学生学习参考和查阅。

图书在版编目(CIP)数据

机械密封结构图例及应用/孙开元,郝振洁主编. —北京:化学工业出版社,2017.4

ISBN 978-7-122-29143-1

I. ①机… II. ①孙… ②郝… III. ①机械密封-结构图-图解 IV. ①TH136-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 035419 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:陈 喆

责任校对:吴 静

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张17 字数424千字 2017年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:89.00 元

版权所有 违者必究

前言

密封是机器设备中防止泄漏的唯一手段，起密封作用的零件称为密封件，密封件是机械产品中应用最广的零部件之一，它对整台机器设备、整套装置，甚至对整个工厂的安全生产影响都很大。系统中的工作介质或润滑剂的泄漏，会造成资源浪费，并且泄漏到环境中的物质会污染空气、水以及土壤，这些物质一般很难回收，严重影响人体健康和产品质量，甚至还会导致火灾、爆炸和人身伤亡等重大事故，因此，不仅要注意和避免肉眼可见的液体泄漏，还应避免不可见的气体逸出。

随着我国现代化工业的发展，密封技术在石油、化工、机械、冶金、电力、建材、轻工、纺织、交通运输及国防军工行业得到广泛应用，同时对密封的要求也越来越高，并迫切需要通过改进密封技术解决机器设备在安装、使用中出现的問題。因此，为了使机器设备能在高效率下安全可靠地长时间、连续运转，必须重视发展密封技术和培养掌握密封技术的工程技术人员，以解决生产上出现的有关密封问题。密封的设计、制造已逐步引起人们的重视，随着研究的不断深入，机械密封技术有了很大的发展，已经形成较完整的密封系统及设计方法。

本书概要介绍了密封的原理与分类，着重介绍了机械密封的各种结构及应用特点。不仅以表格形式介绍了各种密封件的结构参数，还通过实例介绍了密封系统，特别是各领域内机械密封的新技术及应用图例，为读者提供了直接的参考依据，有助于快速掌握机械密封的实用技术。由于篇幅有限，本书不能详细阐述各种密封结构的设计计算方法，请读者参阅相关技术设计手册。

在本书的编写过程中参阅了大量著作和网络资料，在此对参考文献作者表示感谢。本书由孙开元、郝振洁主编，张丽杰、柴树峰、马雅丽任副主编，参加编写工作的还有王文照、孙爱丽、李若蕾、刘雅倩、贾继红、冯淑忠、邵汉强、袁一、廖苓平、韩继富、刘宝萍、孙葳、孙振邦、孙佳璐、孙燕。本书由于战果主审。

书中若有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目录

言商

第1章 概述	1	3.2.6 螺旋密封	44
1.1 密封的作用	1	3.2.7 停车密封	47
1.1.1 泄漏与密封	1	3.2.8 磁流体密封	49
1.1.2 密封的基本方法	2	3.2.9 全封闭密封	52
1.1.3 密封的作用和意义	2	第4章 机械密封	56
1.2 密封的分类及选型	3	4.1 机械密封的基本结构和工作原理	56
1.2.1 密封的分类	3	4.1.1 机械密封的基本结构	56
1.2.2 密封的选型	8	4.1.2 机械密封的种类及应用	57
1.3 密封材料	8	4.1.3 机械密封的摩擦、磨损和润滑	63
1.3.1 密封材料要求	8	4.2 机械密封的结构	65
1.3.2 密封材料种类和用途	9	4.2.1 机械密封的结构选型	65
第2章 静密封	11	4.2.2 机械密封的主要零件	70
2.1 垫片密封	11	4.3 机械密封系统	76
2.1.1 垫片密封的工作原理、分类及 应用	11	4.3.1 机械密封系统的组成和布置	76
2.1.2 中低压设备和管道的垫片密封	15	4.3.2 机械密封系统的功能	79
2.2 胶密封	17	4.3.3 压力控制系统	86
2.2.1 密封胶的分类及性能	17	4.3.4 温度控制系统	88
2.2.2 密封胶的密封机理	19	4.3.5 流体替代系统	90
2.2.3 液体密封胶的选用	19	4.3.6 杂质清除系统	91
2.3 高压密封	20	4.4 机械密封的材料选择	93
2.3.1 高压容器密封结构的特点与 分类	20	4.4.1 密封副材料及选择	94
2.3.2 高压密封形式	20	4.4.2 辅助密封材料及选择	102
2.3.3 高压管道的密封结构与选用	22	4.4.3 弹性元件材料	104
2.3.4 超高压容器的密封结构	23	4.4.4 其他金属件材料	105
第3章 动密封	25	4.4.5 不同工况下机械密封材料的 选择	106
3.1 接触密封	25	4.5 机械密封新技术	108
3.1.1 软填料密封	25	4.5.1 流体阻塞密封技术	108
3.1.2 往复密封	31	4.5.2 表面改形密封技术	109
3.1.3 旋转轴唇形密封	31	4.5.3 平行面密封技术	111
3.1.4 机械密封	35	4.5.4 多端面密封技术	111
3.2 非接触密封	36	4.5.5 组合密封技术	112
3.2.1 间隙密封	36	4.5.6 可控机械密封	112
3.2.2 迷宫密封	37	4.5.7 控制平衡比密封技术	113
3.2.3 气膜密封	39	4.5.8 窄密封技术	114
3.2.4 液膜密封	41	4.5.9 安全密封技术	114
3.2.5 离心密封	42	4.6 特种机械密封	115
		4.6.1 釜用机械密封	115
		4.6.2 高温机械密封	118

4.6.3 高压机械密封	119	(JB/ZQ 4264—2006)	174
4.6.4 高速机械密封	121	5.9.2 轴用 Y _x 形密封圈 (JB/ZQ 4265—2006)	178
4.6.5 低温机械密封	121	5.10 双向密封橡胶密封圈 (GB/T 10708.2—2000)	180
4.6.6 耐腐蚀机械密封	122	5.11 往复运动用橡胶防尘密封圈 (GB/T 10708.3—2000)	183
4.6.7 含有磨料介质和高黏度介质的 机械密封	123	5.11.1 A 型防尘圈	183
4.6.8 真空机械密封	124	5.11.2 B 型防尘圈	184
第 5 章 密封件	125	5.11.3 C 型防尘圈	186
5.1 油封皮圈、油封纸圈	125	5.12 同轴密封圈 (GB/T 15242.1— 2001)	187
5.2 圆橡胶、圆橡胶管密封 (JB/ZQ 4609—2006)	125	5.12.1 活塞杆密封用阶梯形同轴密 封件	187
5.3 毡圈油封	126	5.12.2 活塞杆密封用方形同轴 密封件	189
5.4 Z 形橡胶油封 (JB/ZQ 4075— 2006)	127	5.13 车氏组合密封	191
5.5 O 形橡胶圈密封	129	5.13.1 使用范围	191
5.5.1 液压、气动用 O 形橡胶密封圈 尺寸及公差 (GB/T 3452.1— 2005)	129	5.13.2 密封材料	191
5.5.2 液压、气动用 O 形圈径向密封沟槽 尺寸 (摘自 GB/T 3452.1— 2005)	132	5.13.3 直角滑环式组合密封	192
5.5.3 O 形圈轴向密封沟槽尺寸 (GB/T 3452.3—2005)	154	5.13.4 脚形滑环式组合密封	193
5.5.4 沟槽和配合偶件表面的粗糙度 (GB/T 3452.3—2005)	157	5.13.5 齿形滑环式组合密封	194
5.5.5 O 形橡胶密封圈用挡圈	158	5.13.6 C 形滑环式组合密封	195
5.6 旋转轴唇形密封圈 (GB 13871— 2007)	158	5.13.7 TZF 型组合防尘圈	196
5.7 V ₀ 形橡胶密封圈 (JB/T 6994— 2007)	160	5.14 气缸用密封圈 (JB/T 6657— 1993)	197
5.8 单向密封橡胶密封圈 (GB/T 10708.1—2000)	163	5.14.1 气缸活塞密封用 QY 型 密封圈	197
5.8.1 单向密封橡胶密封圈结构形式 及使用条件	163	5.14.2 气缸活塞杆密封用 QY 型 密封圈	198
5.8.2 活塞杆用短型 (L ₁) 密封沟槽及 Y 形圈	164	5.14.3 气缸活塞杆用 J 型防尘圈	199
5.8.3 活塞用短型 (L ₁) 密封沟槽及 Y 形圈	165	5.14.4 气缸用 QH 型外露骨架橡胶 缓冲密封圈	200
5.8.4 活塞杆用中型 (L ₂) 密封沟槽 及 Y 形圈、蕾形圈	166	5.15 管法兰用非金属平垫片	201
5.8.5 活塞用中型 (L ₂) 密封沟槽及 Y 形圈、蕾形圈	169	5.15.1 平面管法兰 (FF) 用非金属平垫 片 (GB/T 9126—2008)	201
5.8.6 活塞杆用长型 (L ₃) 密封沟槽及 V 形圈、压环和塑料支撑环	169	5.15.2 突面管法兰 (RF) 用 I 型非金属 平垫片 (GB/T 9126— 2008)	202
5.8.7 活塞用长型 (L ₃) 密封沟槽及 V 形圈、压环和弹性密封圈	173	5.15.3 突面管法兰 (RF) 用 II 型及凹凸面 管法兰 (MF) 和榫槽面管法兰 (JG) 用非金属平垫片 (GB/T 9126—2008)	203
5.9 Y _x 形密封圈	174	5.15.4 管法兰用非金属平垫片技术 条件 (GB/T 9129—2008)	206
5.9.1 孔用 Y _x 形密封圈		5.16 钢制管法兰用金属环垫 (GB/T 9128—2008)	206
		5.17 管法兰用缠绕式垫片	209

5.17.1 缠绕式垫片型式、代号及标记 (GB/T 4622.1—2008)	209
5.17.2 管法兰用缠绕式垫片尺寸 (GB/T 4622.2—2008)	209
5.18 管法兰用金属包覆垫片 (GB/T 15601—2013)	215

第6章 机械密封性能检测和故障

分析	217
6.1 机械密封性能检测	217
6.1.1 摩擦副端面摩擦扭矩测量	217
6.1.2 端面磨损量测量	218
6.1.3 温度测量	219
6.1.4 泄漏量测量	219
6.1.5 弹簧性能检测	220
6.1.6 金属波纹管性能检测	221
6.1.7 密封圈密封性能检测	222
6.1.8 摩擦副端面平面度检查	222
6.2 机械密封的故障	223
6.2.1 密封故障产生原因	223
6.2.2 常见故障模式	225
6.3 机械密封故障分析方法	226
6.3.1 一般故障诊断的方法	226
6.3.2 威布尔指数可靠性分析结合的 故障分析方法	227
6.3.3 相态分析结合的故障分析 方法	227
6.3.4 故障树分析方法	228
6.3.5 磨损图像分析方法	230
6.3.6 平晶平直度检查和判断	232
6.4 机械密封故障处理措施	233
6.4.1 典型密封故障机理及分析	233
6.4.2 典型故障处理措施	236

6.4.3 故障诊断记录	238
第7章 机械密封应用实例	240
7.1 泵用机械密封	240
7.1.1 高温油泵机械密封	240
7.1.2 搪瓷泵机械密封	243
7.1.3 液氧泵机械密封	243
7.1.4 低温甲烷泵机械密封	244
7.1.5 潜水泵机械密封	245
7.1.6 高速增压泵机械密封	246
7.2 压缩机用机械密封	248
7.2.1 原料气压缩机低压缸密封	249
7.2.2 离心制冷机机械密封	249
7.2.3 冰机进口端密封	250
7.2.4 高速机械密封静环密封圈 结构	251
7.2.5 高速双端面机械密封	253
7.3 釜用密封	253
7.3.1 釜用双端面平衡型机械密封	253
7.3.2 卧式反应釜用机械密封	254
7.3.3 搪瓷釜耐腐蚀机械密封	256
7.3.4 高压搪瓷釜机械密封	258
7.3.5 30m ³ 聚合釜传动装置及机械 密封	258
7.3.6 20m ³ 聚合塔底搅拌机机械密封	261
7.4 其他机械密封	262
7.4.1 风机用机械密封	262
7.4.2 高速真空腔试验设备机械 密封	263
7.4.3 能轴向移动的机械密封	263
7.4.4 水陆两用车传动端机械密封	264
7.4.5 中和滚动加料斗机械密封	264
参考文献	266

第1章

概述

1.1 密封的作用

1.1.1 泄漏与密封

泄漏是自然界常见的现象。日常生活中如自来水、煤气的泄漏常常给人们带来不便甚至危害；工业中如压力容器、管道、反应器、阀门、液压设备、运输工具一旦发生泄漏，轻则造成能源和原材料的大量浪费、设备不能正常工作，重则导致设备报废、整个工厂或系统陷于瘫痪、人员伤亡和严重的环境污染。因此，人们在生产实践中千方百计地设法防止和消除泄漏。

泄漏是指介质，如气体、液体、固体或它们的混合物，从一个空间进入另一个空间的人们不希望发生的现象。单位时间内泄漏的介质质量称为泄漏率。

由于机械加工的结果，机械产品的表面必然存在各种缺陷以及形状和尺寸偏差。因此在机械零件的接触处不可避免地会产生微小的间隙，当存在压力差或浓度差时，工作介质就会通过间隙而泄漏。密封是指机器、设备的连接处没有泄漏的现象。能起密封作用的零部件称密封件。较复杂的密封连接称为密封系统或密封装置。

在工程实践中，常用密封性或紧密性这个概念来评价密封连接的有效性。系统和设备的紧密性可以通过泄漏率的大小来评定。从物理意义上讲，并不存在绝对的紧密性。所谓紧密性应该像其他物理量一样，可以定量地加以衡量。文献将连接的紧密性定义为：“在一定的操作条件下，连接的泄漏率低于某一规定的指标泄漏率；或在规定的泄漏率指标下，连接能够承受特定的操作条件。满足上述条件的连接是紧密的，反之则认为是不紧密的”。实际上连接的泄漏率大小是与检漏条件、检漏方法、检漏人员等密切相关的。不同的测试人员或采用不同的检漏方法、不同的检漏设备所得到的测试结果往往不一致。因而，文献对系统和设备的紧密性作了较为严格的定义：“在某一特定的操作条件下，采用指定的、具有相应测试分辨率的检漏方法测得的泄漏率低于某一规定的指标泄漏率。满足上述条件的系统和设备是紧密的，反之是不紧密的”。

不同的工业部门对系统和设备的紧密性有不同的要求。例如，我国国家标准 GB/T 4622.3—2007《缠绕式垫片技术条件》中所规定的四级泄漏率指标 ($1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^3/\text{s}$) 可基本满足一般工业和某些石油化工企业装置的紧密性要求。对核能和某些重要的化工设备，其泄漏率则应控制在 $10^{-7} \text{ cm}^3/\text{s}$ 以下。而心脏起搏器所用同位素电池的泄漏率数量级约为 $10^{-12} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

泄漏率通常用体积流率、质量流率以及 pV 流率来表示，其常用的单位为 cm^3/s 、 g/s 、

$\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 等。

密封技术所要解决的问题就是防止或减少泄漏。

1.1.2 密封的基本方法

密封的本质在于阻止被密封的空间与周围介质之间的质量交换。密封装置所要解决的问题就是设法防止或减少泄漏，方法有很多，目前的密封方法大致可归纳为以下几种：

(1) 尽量减少密封部位

在进行容器和设备设计时，应尽可能少设置密封部位。特别是对于那些处理易燃、易爆、有毒、强腐蚀性介质的容器和设备，更应少采用密封连接。例如，当可以同时选择单级单吸和单级双吸离心泵输送上述物料时，则宜用前者，因为单吸离心泵比双吸离心泵少一处密封。

(2) 堵塞或隔离泄漏通道

静密封采用的各种密封垫、密封胶、胶黏剂就属于这一类。由于垫片或密封胶均具有良好的变形特性，因此容易与被连接元件表面贴合，填满表面的微间隙，堵塞或减小被密封流体的泄漏通道，实现密封。

对于动密封，泄漏主要发生在高低压相连通且具有相对运动的部位，由于有相对运动，因此必然存在间隙。设法把间隙堵塞住，即可做到防止或减少泄漏，软填料密封即属于这一类。隔离泄漏通道，就是在泄漏通道中设置障碍，使通道切断（泄漏亦被切断），机械密封、油封等接触式密封都属于这一类。

(3) 增加泄漏通道中的流动阻力

介质通过泄漏通道泄漏时会遇到阻力。流动阻力与泄漏通道的长度成正比，与泄漏通道的当量半径的4次方（对于层流状态）或3次方（对于分子流状态）成反比。因此，在同样的压差下，可把通道加设很多齿，或开各式沟槽，以增加泄漏时的阻力，从而阻止或减少泄漏，如迷宫密封、间隙密封等。对于垫片密封来说，适当增加垫片宽度，即增加泄漏通道长度，提高垫片的密封比压，即减小泄漏通道的当量半径，可增加泄漏阻力，改善连接的密封。

(4) 采用永久性或半永久性连接

采用焊接、钎焊或利用胶黏剂可形成永久性或半永久性连接。

(5) 引出或注入

将泄漏流体引回吸入室或通常为低压的吸入侧（例如抽气密封、抽射器密封等）或将对被密封流体无害的流体注入密封室，阻止被密封流体的泄漏（例如缓冲气密封、氮气密封等）。

(6) 在通道中增设做功元件

因加设做功元件，工作时做功元件对泄漏液造成反压力，与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡（大小相等，方向相反），以阻止介质泄漏。离心密封、螺旋密封即属于这一类。

(7) 几种密封方法的组合

把两种或两种以上密封组合在一起来达到密封。例如填料-迷宫密封、螺旋-填料密封、迷宫-浮环密封等。

(8) 其他新型密封

如磁流体密封、封闭式密封、刷式密封、指尖密封等。

1.1.3 密封的作用和意义

(1) 密封的作用

① 提高机器效率、降低能耗。

- a. 减少机器的内漏、外漏和穿漏,提高机器容积效率。
- b. 减少摩擦损失,提高机器的机械效率。例如,将双端面密封改为单端面密封、非平衡型改为平衡型、双支承减底泵封闭一端减少密封都能减少摩擦损失,提高机械效率。
- c. 改变密封方式,提高机器或机组的效率。例如,将屏蔽泵改用机械密封泵,使电动机效率提高;采用磁力传动泵,提高机器效率。
- d. 改变辅助系统,减少能耗,提高机组效率。例如,热油泵自冲洗改为小叶轮循环冲洗;双端面密封改为单端面密封,节省封油辅助系统的能耗。

② 节约原材料。例如,工艺流体回收,减少或消除动力蒸汽和工艺流体的损耗,减少封油损耗等。

③ 提高机器可靠性。例如,轴封的漏损和寿命决定轴封和机器的可靠性。

④ 安全和环境保护。

(2) 密封的意义

① 密封技术虽然不是领先性技术,但却是决定性技术。例如,美国挑战号航天飞机由于密封事故而坠落;核电站循环泵为了安全可靠,由有轴封泵改成无轴封泵,改进机械密封后因工作可靠,又由无轴封泵改回成有轴封泵,从而提高了电动机效率。这两件事情充分说明机械密封虽然不是领先性技术,但却是决定性技术。

② 密封件虽然不大,只是个零部件,但却能决定机器设备的安全性、可靠性和耐久性。

在石油化工厂机泵釜中的轴封不大,一旦发生产品泄漏事故,不仅会影响到机泵设备的工作,还会发生燃烧或爆炸,造成工艺装置停工和人身伤亡等。

③ 机械密封在日常机泵釜等设备维修工作中,工作量约占 50%。通过对国内外几个石化企业的调查,都说明了在日常机泵釜等设备维修中,机械密封的维修工作量几乎占 50%。离心泵的维修费大约有 70% 是用于处理密封故障。在离心式压缩机失效原因中,润滑和密封系统的故障占 55%~60%。密封系统价格占机组价格的 20%~40%。美国的密封技术工作者认为,由于开发密封技术,仅汽轮机一项,每年节约能源费用 3 亿美元。全世界轴承年销售额为 90 多亿美元,其中 90% 的轴承都未达到设计寿命,而在轴承早期失效故障中,有 75% 是由于油封失效,仅此一项就花掉 60 多亿美元。

1.2 密封的分类及选型

1.2.1 密封的分类

密封可分为相对静止结合面间的静密封和相对运动结合面间的动密封两大类。静密封的密封部位是静止的,如管道法兰、螺纹连接、压力容器与盖间的密封等。动密封的密封部位有相对运动,可分为旋转密封和往复密封,还可以分为接触式密封和非接触式密封及无轴封密封三类。

(1) 静密封的分类、特点及应用

根据工作压力,静密封可分为中、低压静密封和高压静密封。中、低压静密封常用材质较软、垫片较宽的垫密封,高压静密封则用材料较硬、接触宽度很窄的金属垫片。

根据工作原理,静密封又可分为法兰连接垫片密封、自紧密封、研合面密封、O 形环密封、胶圈密封、填料密封、螺纹连接垫片密封、螺纹连接密封、承插连接密封、密封胶密封。

法兰连接垫片密封是指在两连接件(如法兰)的密封面之间垫上不同型式的密封垫片,如非金属、非金属与金属的复合垫片或金属垫片,然后将螺纹或螺栓拧紧,拧紧力使垫片产生弹性和塑性变形,填满密封面的不平处,达到密封目的。密封垫的型式有非金属垫片、金

属垫片和金属复合垫片。非金属垫片有橡胶、石棉橡胶板、柔性石墨、聚四氟乙烯、聚氯乙烯等,截面形状都是矩形。金属垫片有铝、铜、钢材等材料,类型有平垫片、环形垫、齿形垫、透镜垫、三角垫、双锥垫、金属丝垫等。金属复合垫包括各种金属包垫、金属缠绕垫。螺旋缠绕垫片由多个金属同心环构成,两金属环之间的空隙以前用石棉填充,现在改用特氟隆、膨胀石墨、陶瓷、石英及石墨/石英。法兰连接垫片密封广泛用于各种工艺管道、阀门、设备、机、泵法兰连接处,设备上的人孔、手孔、视镜、大盖法兰连接处等。密封压力和温度与连接件的型式及垫片的形状、材料有关。通常,法兰连接密封可用于温度范围为 $-70\sim 600^{\circ}\text{C}$,压力大于 1.333kPa (绝压)、小于或等于 35MPa 的条件下;若采用特殊垫片,则可用于更高的压力。

自紧密封是指密封元件不仅受外部连接件施加的力进行密封,而且还依靠介质的压力压紧密封元件进行密封,介质压力越高,对密封元件施加的压紧力就越大。采用平垫自紧密封时介质压力作用在盖上并通过盖压紧垫片,主要用于介质压力在 100MPa 以下、温度为 350°C 的高压容器、气包的手孔密封。采用自紧密封环时介质压力直接作用在密封环上,利用密封环的弹性变形压紧在法兰的端面上,用于高压容器法兰的密封。

研合面密封是靠两密封面的精密研配消除间隙,用外力压紧(如螺栓)来保证密封。实际使用中,密封面往往涂敷密封胶,以提高严密性。两密封面的粗糙度 Ra 要达到 $2\sim 5\mu\text{m}$,自由状态下,两密封面之间的间隙不大于 0.05mm 。通常用于密封压力在 100MPa 以下、温度为 550°C 的介质,如汽轮机、燃气轮机的气缸接合面,此时螺栓受力较大。

O形环密封包括非金属O形环和金属空心O形环两种。非金属O形环装入密封沟槽后,其截面一般受到 $15\%\sim 30\%$ 的压缩变形,在介质压力作用下,移至沟槽的一边,封闭需密封的间隙,达到密封目的。非金属O形环密封性能好,寿命长,结构紧凑,装拆方便。根据要求选择不同的密封圈材料,可在 $-100\sim 20^{\circ}\text{C}$ 的温度下使用,密封压力可达 100MPa ,主要用于气缸、油缸的缸体密封。金属空心O形环的断面形状为长圆形,当环被压紧时,利用环的弹性变形进行密封。金属空心O形环用管材焊接而成,常用材料为不锈钢管,也可用低碳钢管、铝管和铜管等。为提高密封性能,O形环表面需镀覆或涂以金、银、铂、铜、氟塑料等。管子壁厚一般选取 $0.25\sim 0.5\text{mm}$,最大为 1mm 。用于密封气体或易挥发的液体,应选用较厚的管子;用于密封黏性液体,应选用较薄的管子。金属空心O形环分为充气式和自紧式两种。充气式是在封闭的O形环内充惰性气体,可增加环的回弹力,用于高温场合。自紧式是在环的内侧圆周上钻有若干小孔,因管内压力随同介质压力增高而增高,使环具有自紧性能,用于高压场合。金属空心O形环密封适用于高温、高压、高真空、低温等条件,可用于直径达 6000mm 、压力为 280MPa 、温度为 $-250\sim 600^{\circ}\text{C}$ 的场合。

胶圈密封由壳体、橡胶圈、V形槽、管子组成,结构简单,重量轻,密封可靠,适用于快速装拆的场合。O形环材料一般为橡胶,最高使用温度为 200°C ,工作压力为 0.4MPa ,若压力较高或者为了密封更加可靠,则可用两个O形环。

填料密封是指在钢管与壳体之间充以填料(俗称盘根),用压盖和螺钉压紧,以堵塞调节出的间隙,达到密封的目的。多用于化学、石油、制药等工业设备可拆式内伸接管的密封。根据充填材料不同,可用于不同的温度和压力。

螺纹连接垫片密封由接头体、螺母、金属平垫、接管组成,适用于小直径螺纹连接或管道连接的密封。在拧紧螺纹时,非金属软垫片不仅承受压紧力,而且还承受转矩,垫片容易产生扭转变形,因此非金属软垫片密封常用于介质压力不高的场合。金属平垫密封,又称“活接头”,结构紧凑,使用方便。垫片为金属垫,适用压力为 32MPa ,管道公称直径 $DN\leq 32\text{mm}$ 。

螺纹连接密封是把两根管子之间用接管套连接。其结构简单、加工方便,用于管道公称

直径 $DN \leq 50\text{mm}$ 的密封。由于螺纹间配合间隙较大,需在螺纹处放置密封材料,如铅油麻丝、聚四氟乙烯胶带、密封胶等,最高使用压力为 1.6MPa 。铅油麻丝等溶剂型填料在液态时能填满间隙,固化后溶剂蒸发,导致收缩龟裂,而且耐介质腐蚀性能差,很容易泄漏。聚四氟乙烯胶带不可能完全紧密填充,调整时容易断丝,易堵塞管路阀门,而且聚四氟乙烯和金属的摩擦因数低,管螺纹接头很容易松动,密封效果也不是很好。液态密封胶是较理想的螺纹密封剂,涂在螺纹表面,拧紧后即开始固化,形成致密坚硬的胶层,固化后不收缩,能保证螺纹间隙充满,不渗不漏。

承插连接密封主要用于常压下铸铁管材、陶瓷管材、水泥管材等不重要的管道连接密封。在管子连接处充填矿物纤维或植物纤维进行堵封,且需要耐介质的腐蚀。

密封胶密封是用刮涂、压注等方法将密封胶涂在要紧压的两个面上,靠胶的浸润性填满密封面凹凸不平处,形成一层薄膜,能有效地起到密封作用。密封胶密封适用于非金属材料,如塑料、玻璃、皮革、橡胶,以及金属材料制成的管道或其他零件的密封。这种密封牢固,结构简单,密封效果好,但耐温性差,通常用于 150°C 以下,用于汽车、船舶、机车、压缩机、油泵、管道以及电动机、发动机等的平面法兰、螺纹连接、承插连接的胶封。

(2) 动密封的分类、特点及应用

根据密封面间是滑动还是旋转运动,动密封可以分为往复密封和旋转密封两种基本类型。根据密封件与其做相对运动的零部件是否接触,可以分为接触式、非接触式、无轴封三大类密封。组合式密封则是把接触式密封或非接触式密封几种结合起来,以满足较高的密封要求。一般来讲,接触式密封的密封面相互靠紧、接触,甚至嵌入,以减少间隙或消除间隙达到密封,因此密封性好,但受摩擦磨损限制,适用于密封面线速度较低的场合。非接触式密封的密封件不直接接触,预留有固定的装配间隙,因而没有机械摩擦和磨损,密封件工作寿命长,但密封性较差,适用于较高速度的场合。

① 接触式动密封 在接触式动密封中,按密封件的接触位置又可分为圆周(径向)密封和端面(轴向)密封。端面密封又称为机械密封。按密封原理可分为填料密封、油封密封、涨圈密封、机械密封。其中机械密封既有接触式密封,也有非接触式密封。

填料密封包括毛毡密封、软填料密封、硬填料密封、挤压型密封和唇型密封。

毛毡密封是在壳体槽内填以毛毡圈,以堵塞泄漏间隙,达到密封的目的。毛毡具有天然弹性,呈松孔海绵状,可储存润滑油和防尘。轴旋转时,毛毡又将润滑油从轴上刮下反复自行润滑。一般用于低速、常温、常压的电机、齿轮箱等机械中,温度不超过 90°C ,用以密封润滑脂、油、黏度大的液体及防尘,但不宜用于气体密封。适用转速:粗毛毡, $v_c \leq 3\text{m/s}$; 优质细毛毡且轴经过抛光, $v_c \leq 10\text{m/s}$ 。

软填料密封又称压盖填料密封,是在轴与壳体之间充填软填料(俗称盘根),然后用压盖和螺钉将填料压紧在轴的表面,以达到密封的目的。填料压紧力沿轴向分布不均匀,轴在靠近压盖处磨损最快。压力低时,轴转速较高,反之,转速较低。软填料密封主要用于液体或气体介质往复运动和旋转运动时的密封,如各种阀门、水泵、真空泵等,泄漏率为 $10 \sim 1000\text{mL/h}$ 。常见的填料主要有橡胶、合成纤维、石棉、合成树脂、柔性填料、油浸石墨填料等。选择适当填料材料及结构,可用于压力不大于 35MPa 、温度不大于 600°C 和速度不大于 20m/s 的场合。

硬填料密封是指在密封箱内装有若干密封盒,盒内装有一组密封环。分瓣密封环靠弹簧和介质压力差贴附于轴上。填料环在填料盒内有适当的轴向和径向间隙,使其能随轴自由浮动。填料箱上的锁紧螺钉的作用只用于压紧各级填料盒,而不用于各级填料环上。密封环材料通常为青铜、巴氏合金、石墨等。硬填料密封主要用于往复运动轴的密封,如往复式压缩机的活塞杆密封。为了能补偿密封环的磨损和追随轴的跳动,可采用分瓣环、开口环等。通

过选择适当的密封结构和密封环形式,硬填料密封也适用于旋转轴的密封,如高压搅拌轴的密封。硬填料密封适用于介质压力为 350MPa、线速度为 12m/s、温度为 $-45\sim 400^{\circ}\text{C}$ 的场合,但需要对填料进行冷却或加热。

挤压型密封按密封圈截面形状分有 O 形、方形等,以 O 形应用最广。挤压型密封就是在流体介质没有压力或低压的情况下,靠密封圈安装在槽内预先被挤压,产生压紧力,工作时又靠介质压力挤压密封圈,使其变形增大,封闭密封间隙,达到密封的目的。挤压型密封结构紧凑,所占空间小,动摩擦阻力小,拆卸方便,成本低,用于往复及旋转运动,密封压力从 $1.33\times 10^{-5}\text{ Pa}$ 的真空到 40MPa 的高压,温度为 $-60\sim 200^{\circ}\text{C}$,线速度小于或等于 3.5m/s。

唇型密封依靠密封唇的过盈量和工作介质压力所产生的径向压力即自紧作用,使密封件产生弹性变形,堵住漏出间隙,达到密封的目的,与挤压型密封相比有更显著的自紧作用。其结构有 Y 形、V 形、U 形、L 形、J 形之分,与 O 形环密封相比,结构较复杂,体积大,摩擦阻力大,装填方便,更换迅速。主要用于往复运动的密封。选用适当材料的油封,可用于压力达 100MPa 的场合。常用密封材料有橡胶、皮革、聚四氟乙烯等。

油封密封常用于防止轴承润滑油的泄漏,因此得名。油封也是一种自紧式唇型密封,在自由状态下,油封内径比轴径小,即有一定的过盈量。油封装到轴上后,其刃口的压力和自紧弹簧的收缩力对密封轴产生一定的径向抱紧力,遮断泄漏间隙,达到密封目的。油封分有骨架与无骨架、有弹簧与无弹簧几种型式。油封安装位置小,轴向尺寸小,使机器结构简单、尺寸紧凑,密封性能好,使用寿命较长,装拆容易,检修方便,成本低廉,对机器的振动和主轴的偏心都有一定的适应性,但不能承受高压。油封常用于液体密封,尤其广泛用于尺寸不大的旋转传动装置中密封润滑油,也用于封气或防尘。

涨圈密封将带切口的弹性环放入槽中,由于涨圈本身的弹力,而使其外圆紧贴在壳体上,涨圈外径与壳体间无相对转动。由于介质压力的作用,涨圈一端面贴合在涨圈槽的一侧产生相对运动,用液体进行润滑和堵漏,从而达到密封的目的。涨圈密封广泛用于使用密封油的装置。一般用于液体介质密封(因涨圈密封必须以液体润滑),用于气体密封时,要有油润滑摩擦面。适用范围:工作温度不大于 200°C ,线速度不大于 10m/s,往复运动时压力不大于 70MPa,旋转运动时压力不大于 1.5MPa。

机械密封的主要部件是动环和静环,一个随主轴旋转,一个固定不动。光滑而平直的动环和静环的端面,靠弹性构件和密封介质的压力使其互相贴合并作相对转动,端面间维持一层极薄的液体膜而达到密封的目的。机械密封密封性能好,寿命长,广泛用于密封各种不同黏度、有毒、易燃、易爆、强腐蚀性和含磨蚀性固体颗粒的介质,寿命可达 25000h,一般不低于 8000h。目前已达到如下技术指标:轴径为 $5\sim 2000\text{ mm}$,压力为 10^{-6} MPa 的真空到 45MPa 的高压,温度为 $-200\sim 450^{\circ}\text{C}$,线速度为 150m/s。

② 非接触式动密封 非接触式动密封有迷宫密封和动力密封等。迷宫密封是利用流体在间隙内的节流效应限漏,泄漏量较大,通常用在级间密封等密封性要求不高的场合。动力密封有离心密封、浮环密封、螺旋密封、气压密封、喷射密封、水力密封、磁流密封等,是靠动力元件产生压头抵消密封两侧的压力差以克服泄漏,它有很高的密封性,但能耗大,且难以获得高压头。非接触式密封,由于密封面不直接接触,启动功率小,寿命长。如果设计得合理,则泄漏量也不会太大,但这类密封是利用流体力学的平衡状态而工作的,如果运转条件发生变化,就会引起泄漏量很大的波动,而且市场上不能直接购到这类密封件,基本上都由用户自行设计。

迷宫密封也称梳齿密封,主要用于气体密封,可用于液体、固体等的密封。它可以通过在旋转件和固定件之间形成的很小的曲折间隙内充以润滑脂来实现密封,适用于高速场合,

但需注意在圆周速度大于 5m/s 时可能使润滑脂由曲路中甩出。它还可以使流体经过许多节流间隙与膨胀空腔组成的通道,经过多次节流而产生很大的能量损耗,流体压头大为下降,使流体难以渗漏,以达到密封的目的。这种密封不受转速和温度的限制,与其他密封配合后的效果更好,在离心压缩机、蒸汽透平、燃气透平、鼓风机等机器中作为级间密封和轴端密封,有着广泛的用途。

离心密封包括叶轮密封和甩液环密封,是借离心力作用(甩油盘)将液体介质沿径向甩出,阻止液体进入泄漏缝隙,从而达到密封目的的。其转速愈高,密封效果愈好,若转速太低或静止不动,则密封无效。其结构简单,成本低,没有磨损,不需维护。离心密封用于密封润滑油及其他液体,不适用于气体介质,广泛用于高温、高速的各种传动装置,以及压差为零或接近于零的场合。

浮环密封中的浮动环可以在轴上径向浮动,密封腔内通入比介质压力高的密封油。径向密封靠作用在浮动环上的弹簧力和密封油压力与隔离环贴合来实现;轴向密封靠浮动环与轴之间的狭小径向间隙对密封油产生节流来实现。这种密封结构简单,检修方便,但制造精度高,需采用复杂的自动化供油系统,适用于介质压力大于 10MPa 、转速为 $10000\sim 20000\text{r/min}$ 、线速度在 100m/s 以上的流体机械,如气体压缩机、泵类等的高速、高压、强腐蚀介质的轴封。

螺旋密封是在原密封腔内和传动轴上分别加工出一定角度的螺旋,利用螺杆泵原理,当液体介质沿泄漏间隙渗漏时,借螺旋作用而将液体介质赶回去,以保证密封。在设计螺旋密封装置时,对于螺旋赶油的方向要特别注意。假设轴的旋转方向从右向左看为顺时针方向,则液体介质与壳体的摩擦力为逆时针方向,而摩擦力在该右螺纹的螺旋线上的分力向右,故液体介质被赶向右方。其结构简单,制造、安装精度要求不高,维修方便,使用寿命长,适用于高温、高速、深冷、腐蚀甚至带颗粒的液体密封,不适用于气体密封。

气压密封利用空气压力来堵住旋转轴的泄漏间隙,以保证密封。这种密封结构简单,但要有一定压力的气源供气,气源的空气压力比密封介质的压力大 $0.03\sim 0.05\text{MPa}$ 。气压密封不受速度、温度限制,一般用于压差不大的地方,如用以防止轴承腔的润滑油漏出;也可用于气体的密封,如防止高温燃气漏入轴承腔内。气压密封往往与迷宫密封或螺旋密封组合使用。

喷射密封通过在泵的出口处引出高压流体高速通过喷射器,将密封腔内泄漏的流体吸入泵的入口处,以达到密封的目的,但需设置停泵密封装置。其结构简单,制造、安装方便,密封效果好,但容积效率低,适用于无固体颗粒、低温、低压、腐蚀性介质。

水力密封利用旋转的液封盘将液体旋转产生离心压力来堵住泄漏间隙,以达到密封的目的。液封盘可制成光面,也可制成带有径向叶片的形式,以增大水的离心力。为了减小液封盘两侧的压差,在液封盘的高压区设有迷宫密封。水力密封可用于气体或液体的密封,能达到完全不漏,故常用于对密封要求严格之处,如用于易燃、易爆或有毒气体的气体风机,在汽轮机上用以密封蒸汽。这种密封消耗功率大,温升高,为防止油品高温焦化,切向速度不宜超过 50m/s 。

磁流体密封是将微小磁性颗粒悬浮在甘油等载流体中,而形成铁磁流体,填充在密封腔内。壳体采用非磁性材料,转轴用磁性材料制成。磁极尖端磁通密度大,磁场强度高,与轴构成磁路,使铁磁流体集中而形成磁流体圆形环,起到密封作用,可达到无泄漏、无磨损。轴不需要高精度,不需外润滑系统,但不耐高温,适用于高真空、高速度的场合。

③ 无轴封密封 动密封还包括无轴封密封,其形式分为隔膜式、屏蔽式、磁力传动式等。

隔膜式是在柱塞泵缸前加一隔膜使输送介质与泵缸隔开,并防止输送介质在动密封处泄

漏。柱塞在缸内做往复运动，使缸内油产生压力，推动隔膜在隔膜腔内左右鼓动，达到吸排的目的。隔膜式密封多用于介质压力小于 50MPa 的剧毒、易燃、易爆或贵重介质的场合，如用于隔膜计量泵、隔膜阀、隔膜压缩机等往复运动的机械，以达到完全无泄漏。

屏蔽式是将叶轮装在电机伸出轴上，泵送设备与电机组成一个整体。电机定子内腔和转子表面各有一层金属薄套保护，称屏蔽套，以防止输送介质进入定子和转子。轴承靠输送介质润滑。屏蔽式密封多用于介质为剧毒、易燃、易爆或贵重介质的场合，如用于屏蔽泵、屏蔽压缩机、搅拌釜、制冷机等旋转机械，以达到完全无泄漏。

磁力传动式是将内磁转子装在泵轴端，并用密封套封闭在泵体内部，形成静密封。外磁转子装在电机轴端，套入密封套外部，使内外磁转子处于完全偶合状态。内外转子间的磁场力透过密封套而相互作用，进行力矩的传递。磁力传动式密封多用于介质为剧毒、易燃、易爆或贵重介质的场合，如用于磁力泵、搅拌器等旋转机械，以达到完全无泄漏，目前常用于传递功率在 75kW 以下的场合。

1.2.2 密封的选型

对密封的基本要求是密封性好，安全可靠，寿命长，并应力求结构紧凑，系统简单，制造维修方便，成本低廉。大多数密封件是易损件，应保证互换性，实现标准化、系列化。

各种型式的密封，均有其特点和使用范围，设计密封时应先进行分析比较。表 1-1 列出了各种常用密封方法的特征。

表 1-1 常用密封类型的特征

密封类型	使用条件		耐压性	耐高 速性	耐热性	耐寒性	耐久性	用途	备注
	往复运动	转动							
填料密封	良	良	良	良	良	可	可	泵、水轮机、阀、高压釜	可用缠绕填料、编织填料或成形填料
O 形圈密封	良	可	良	可/良	可/良	可	可	活塞密封	可广泛用作静密封，此时耐久性良好
Y 形圈密封	优		优	良	可/良	可	可	活塞密封	有时作静密封
机械密封		优	优	优	优	优	优	泵、水轮机、高压釜、压气机、搅拌机	可用不同的材料组合，包括金属波纹管密封
油封	(可)	优	可	优	可/良	可	可	轴承密封	或与其他密封并用，防尘
分瓣滑环密封	可	良	优	优	优	优	优	水轮机、汽轮机	多用石墨作滑环
迷宫式密封	优	优	优	优	优	优	优	汽轮机、泵、压气机	适宜高速；低速不用
浮环密封	可	良	优	优	优	优	优	泵、压气机	
离心密封		优	良	良	良	良	优	泵	
螺旋密封		优	良	良	良	良	优	泵	
磁流体密封		优	可	优	良	优	优	压气机	只用于气体介质

1.3 密封材料

1.3.1 密封材料要求

密封材料应满足密封功能的要求。由于被密封的介质不同，以及设备的工作条件不同，

要求密封材料具有不同的适用性。对密封材料的要求一般是:

- ① 材料致密性好, 不易泄漏介质。
- ② 有适当的机械强度和硬度。
- ③ 压缩性和回弹性好, 永久变形小。
- ④ 高温下不软化、不分解, 低温下不硬化、不脆裂。
- ⑤ 抗腐蚀性能好, 在酸、碱、油等介质中能长期工作, 其体积和硬度变化小, 且不黏附在金属表面上。
- ⑥ 摩擦因数小, 耐磨性好。
- ⑦ 具有与密封面接合的柔软性。
- ⑧ 耐老化性好, 经久耐用。
- ⑨ 加工制造方便, 价格便宜, 取材容易。

显然, 任何一种材料要完全满足上述要求是不可能的, 但具有优异密封性能的材料能够满足上述大部分要求。

橡胶是最常用的密封材料。除橡胶外, 适合于做密封材料的还有石墨带、聚四氟乙烯以及各种密封胶等。

1.3.2 密封材料种类和用途

通用橡胶密封制品在国防、化工、煤炭、石油、冶金、交通运输和机械制造工业等方面的应用越来越广泛, 已成为各种行业中的基础件和配件。橡胶密封制品的主要特点是量大面广。除工业部门外, 家用电器如家用冰箱、洗衣机和电视机等, 也大量使用橡胶密封制品。

橡胶密封制品的品种繁多, 最常用的有: O形密封圈、旋转轴唇形密封圈、各种截面的成型填料密封圈、隔膜、阀垫、密封垫片和门窗密封胶条等。根据使用状态可分为静态密封件、动态密封件及高真空密封件三种。

橡胶密封制品常用材料如下。

(1) 丁腈橡胶

丁腈橡胶具有优良的耐燃料油及芳香溶剂等性能, 但不耐酮、酯和氯化烃等介质, 因此耐油密封制品以采用丁腈橡胶为主。丁腈橡胶的耐油性随丙烯腈含量增加而提高, 但丙烯腈含量高的丁腈橡胶耐寒性较差。采用丁腈橡胶制作的密封制品, 其耐热性能一般在 100°C 左右, 若用无硫或有机过氧化物硫化时, 则可提高其耐热性能达 140°C 。常用的增塑剂有邻苯二甲酸二丁酯和癸二酸二辛酯, 对于耐热性能要求较高的密封制品, 采用磷酸三甲苯酯作为增塑剂效果较好。

丁腈橡胶是通用橡胶密封制品中使用量较大的胶种, 为了提高其使用价值, 在混炼时采用聚氯乙烯进行改性, 以提高丁腈橡胶的定伸应力、撕裂强度和耐老化性能。若将三元尼龙掺合于橡胶胶料中, 则可提高拉伸强度和抗撕裂性能。特殊的填充剂如碳纤维、氮化硅、二硫化钼、聚四氟乙烯、石墨等的使用, 可以提高丁腈橡胶的耐热和耐磨性能。

(2) 氯丁橡胶

氯丁橡胶具有良好的耐油和耐溶剂性能。它有良好的耐齿轮油和变压器油性能, 但不耐芳香族油。氯丁橡胶还具有优良的耐天候老化和耐臭氧老化性能。氯丁橡胶的交联断裂温度在 200°C 以上, 通常用氯丁橡胶制作门窗密封条。氯丁橡胶对于无机酸也有良好的耐腐蚀性。此外, 由于氯丁橡胶还具有良好的挠曲性和不透气性, 因此可制成膜片或真空用的密封制品。

(3) 天然橡胶

天然橡胶与多数合成橡胶相比, 具有良好的综合力学性能、耐寒性、较高的回弹性及耐

磨性。天然橡胶不耐矿物油，但在植物油和醇类中较稳定。在以正丁醇与精制蓖麻油混合液组成的制动液的液压制动系统中作为密封件的胶碗、胶圈均用天然橡胶制造，一般密封胶条也常用天然橡胶制造。

(4) 氟橡胶

氟橡胶具有突出的耐热（200~250℃）、耐油性能，可用于制造气缸套密封圈、胶碗和旋转轴唇形密封圈。

(5) 硅橡胶

硅橡胶具有突出的耐高低温、耐臭氧及耐天候老化性能，在-70~260℃的工作温度范围内能保持其特有的使用弹性及耐臭氧、耐天候等优点，适宜制作热机构中所需的密封垫，如强光源灯罩密封衬圈、阀垫等。由于硅橡胶不耐油，机械强度低，价格昂贵，因此不宜制作耐油密封制品。

(6) 三元乙丙橡胶

三元乙丙橡胶的主链是不含双键的完全饱和的直链型结构，其侧链上有二烯烃，这样就可硫黄硫化。由于三元乙丙橡胶内聚能低，无庞大侧基阻碍分子链运动，因而能在较宽的温度范围内保持分子链的柔性和弹性。三元乙丙橡胶具有优良的耐老化性、耐臭氧性、耐候性、耐热性（可在120℃环境中长期使用）、耐化学性（如醇、酸、强碱、氧化剂），但不耐脂肪族和芳香族类溶剂侵蚀。三元乙丙橡胶在橡胶中是密度最低的，有高填充的特性，但缺乏自粘性和互粘性。此外，三元乙丙橡胶有突出的耐蒸汽性能，可制作耐蒸汽膜片等密封制品。三元乙丙橡胶已广泛用于制作洗衣机、电视机中的配件和门窗密封制品，或多种复合体剖面的胶条生产中。

(7) 聚氨酯橡胶

聚氨酯橡胶具有优异的耐磨性和良好的不透气性，使用温度范围一般为-20~80℃；此外，还具有中等耐油、耐氧及耐臭氧老化特性，但不耐酸碱、水、蒸汽和酮类等；适于制造各种橡胶密封制品，如油封、O形圈和隔膜等。

(8) 氯醚橡胶

氯醚橡胶兼有丁腈橡胶、氯丁橡胶、丙烯酸酯橡胶的优点，其耐油、耐热、耐臭氧、耐燃、耐碱、耐水及耐有机溶剂性能都很好，并有良好的工艺性能，但耐寒性较差。在使用温度不太低的情况下，氯醚橡胶仍是制造油封、各种密封圈、垫片、隔膜和防尘罩等密封制品的良好材料。

(9) 丙烯酸酯橡胶

丙烯酸酯橡胶具有耐热油（矿物油、润滑油和燃料油）特别是在高温下（一般可达175℃）的耐油稳定性能，间隙使用或短时间内耐温可达200℃以上。它的缺点是耐寒性差。因此适合在非寒冷地区制作耐高温油的油封，但不适合作高温下受拉伸或压缩应力的密封制品。