

密封设计手册

付平 常德功 主编



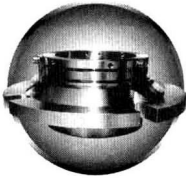
HANDBOOK OF SEAL DESIGN



化学工业出版社

密封设计手册

付平 常德功 主编



HANDBOOK
OF SEAL
DESIGN



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从机械设计的实用性出发,详细、系统地阐述了机械密封、液压与气动密封、垫密封、填料密封、胶密封、迷宫密封、螺旋密封、磁流体密封、高压密封等各种常见密封的原理、基本结构、特点、使用性能、适用条件,并介绍了如何根据使用条件,合理地选择密封材料、密封型式,正确进行密封结构的设计。另外,书中还给出了符合国家标准的各种密封件,方便读者选用。

本书适用于机械设计人员和工程施工技术人员,也可供高等院校机械类专业教师、学生学习、查阅和参考。

图书在版编目(CIP)数据

密封设计手册/付平,常德功主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 4
ISBN 978-7-122-04682-6

I. 密… II. ①付…②常… III. 密封-设计-手册
IV. TB42-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 011902 号

责任编辑:张兴辉
责任校对:陶燕华

文字编辑:张燕文
装帧设计:韩飞

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)
印刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装订:三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张21 $\frac{1}{2}$ 字数532千字 2009年4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: 56.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在机械设备中密封的功能是防止泄漏。起密封作用的零件称为密封件，简称密封。密封件是机械产品中应用最广的零部件之一。在石油、石化、化工等的生产、加工、储运乃至销售环节，常常伴随着易燃、易爆、高温、高压、有毒有害和腐蚀等危险因素，机器及设备在使用中工作介质和润滑油的“跑、冒、滴、漏”，给生产带来了极大危害。

设备中的工作介质或润滑剂的泄漏，会造成浪费并污染环境，泄漏到环境中的物质一般难以回收，严重污染了空气、水以及土壤。例如，很多化工厂区气味难闻，烟雾弥漫，对环境造成严重污染，严重危害职工的身心健康；易燃、易爆、剧毒、腐蚀性、放射性物质的泄漏，有可能发生着火、爆炸、中毒等事故，造成厂毁人亡，会危及人身及设备的安全；环境中的气体、灰尘、水等进入机械设备内会导致轴承、齿轮等过早地磨损报废，混入化工装置内会影响化工产品纯度；流体机械内部泄漏会影响容积效率等。随着生产装置的大型化，生产工艺向高温、高压、高速的方向发展，出现泄漏的机会越来越多，发生事故的危險越来越大，造成的经济损失也越来越大。往往一处管线、一台设备的泄漏就有可能导致一片油井、一套装置，乃至全厂停产，还极可能会引起火灾、爆炸，造成人员伤亡等重大事故发生。因此，密封性能已成为评定机械产品质量的一个重要指标。密封的设计、制造所存在的问题已逐步引起人们的高度重视。

目前可供参阅的书籍和文献很欠缺，没有系统介绍各种密封设计的手册供设计和管理、施工人员使用、查阅。基于此现状，本书从机械设计的实用性出发，详细、系统地阐述了机械密封、液压与气动密封、垫密封、填料密封、胶密封、迷宫密封、螺旋密封、磁流体密封、高压密封等各种常见密封的密封原理、基本结构、特点、使用性能、适用条件，并从理论上介绍了如何根据使用条件，合理地选择密封材料、密封型式，正确进行密封结构的设计。书中还给出了各种标准密封件，为设计人员选用提供了方便。本书可供机械设计人员和施工技术人员使用，也可供高等院校机械类专业教师、学生使用。

本书由付平、常德功主编，汪传生、周桂莲、吴俊飞副主编。第1、2章由付平编写，第3章由付平、常德功编写，第4章由汪传生、吴俊飞、栾德玉编写，第5章由付平、周桂莲、邹玉静编写。

由于编者水平所限，书中难免存在不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 密封技术基础	1
1.1 概述	1
1.2 密封的分类	2
1.2.1 静密封的分类、特点及 应用	2
1.2.2 动密封的分类、特点及 应用	3
1.3 密封的选型	6
1.4 密封材料	7
1.5 加工工艺	8
第 2 章 机械密封	12
2.1 机械密封的基本结构、工作 原理和特点	12
2.1.1 机械密封的基本结构、 工作原理	12
2.1.2 机械密封的基本类型	14
2.1.3 机械密封的特点	17
2.2 机械密封的计算	18
2.2.1 端面液膜压力	18
2.2.2 载荷系数	20
2.2.3 端面比压	21
2.2.4 几何参数计算	26
2.2.5 p_v 值	28
2.2.6 摩擦功率	29
2.3 机械密封结构设计	31
2.3.1 机械密封的设计步骤	31
2.3.2 机械密封的结构选型	31
2.3.3 机械密封的主要零件	36
2.4 机械密封常用材料及选择	43
2.4.1 密封副材料及选择	43
2.4.2 辅助密封材料及选择	47
2.4.3 弹簧和波纹管材料及 选择	50
2.4.4 金属构件材料	51
2.4.5 典型工况下机械密封 材料选择	51
2.5 机械密封的典型结构	53
2.5.1 泵用机械密封	53
2.5.2 压缩机用机械密封	75
2.5.3 工艺设备用机械密封	76
2.6 机械密封辅助系统	85
2.6.1 冲洗	85
2.6.2 冷却	87
2.6.3 过滤	90
2.6.4 润滑	90
2.7 机械密封技术的新进展	95
2.7.1 流体阻塞密封技术	96
2.7.2 表面改性密封技术	98
2.7.3 控制平衡比密封技术	100
2.7.4 平行面密封技术	101
2.7.5 多端面密封技术	101
2.7.6 组合密封技术	102
2.7.7 可控机械密封	102
第 3 章 液压、气动密封	104
3.1 液压、气动密封概述	104
3.1.1 液压、气动密封类型	104
3.1.2 液压、气动工作介质	110
3.1.3 液压、气动密封用 材料	111
3.2 液压密封	119

3.2.1	对液压密封的基本要求	119	3.4.4	O形密封圈的设计	129
3.2.2	弹性体密封的基本原理	119	3.5	唇型密封圈	133
3.3	气动密封	124	3.5.1	V形密封圈	134
3.3.1	对气动密封的基本要求	124	3.5.2	Y形密封圈	137
3.3.2	气动密封典型唇口结构	125	3.5.3	蕾形密封圈	139
3.3.3	常见气动密封型式及特点	125	3.5.4	U形密封圈	140
3.3.4	无油润滑气动密封	127	3.5.5	J形与L形密封圈	142
3.4	O形密封圈	127	3.6	组合式密封圈	144
3.4.1	O形圈的密封机理	128	3.6.1	鼓形和山形密封圈	144
3.4.2	旋转运动用O形密封圈	129	3.6.2	同轴密封圈	145
3.4.3	O形密封圈的材料	129	3.6.3	旋转格来圈	146
			3.7	旋转轴唇型密封圈	147
			3.7.1	密封原理	147
			3.7.2	油封结构	153
			3.7.3	油封材料	153
			3.7.4	油封的选择与设计	154
			3.7.5	旋转轴用防尘密封圈	155
第4章	其他密封	156			
4.1	垫片密封	156	4.4.1	迷宫密封的密封机理	198
4.1.1	垫片密封作用原理	156	4.4.2	迷宫式密封槽型式及尺寸	199
4.1.2	垫片的分类	158	4.5	螺旋密封	200
4.1.3	常用垫片类型与应用	159	4.5.1	螺旋密封的密封机理	200
4.1.4	管道法兰垫片选择	160	4.5.2	螺旋密封方式、特点及应用	201
4.1.5	垫片的重要性能	162	4.5.3	螺旋密封设计要点	201
4.2	填料密封	170	4.5.4	矩形螺纹的密封计算	203
4.2.1	基本结构	171	4.6	磁流体密封	206
4.2.2	填料的分类、材料和结构	171	4.6.1	磁流体的性质	206
4.2.3	软填料密封的原理	176	4.6.2	磁流体密封的工作原理	208
4.2.4	软填料密封类型与结构特点	179	4.6.3	磁流体密封的材料	209
4.2.5	软填料密封计算	183	4.7	高压密封	211
4.2.6	毛毡密封型式	186	4.7.1	平垫密封	212
4.3	胶密封	186	4.7.2	卡扎里密封	214
4.3.1	密封胶的分类	187	4.7.3	楔形密封	215
4.3.2	密封胶的性能	189	4.7.4	伍德密封	216
4.3.3	常用密封胶的种类	190	4.7.5	B形、C形环密封	217
4.3.4	密封胶的密封机理	194	4.7.6	三角垫密封	219
4.3.5	液体密封胶的选用	195	4.7.7	平垫自紧密封	220
4.3.6	密封胶的涂胶工艺	197	4.7.8	空心金属O形环密封	221
4.4	迷宫密封	198			

4.7.9	八角垫密封和椭圆垫	密封	222
第5章 密封件			
5.1	油封皮圈、油封纸圈	沟槽及V形圈、压环和塑料支撑环	225
5.2	圆橡胶、圆橡胶管密封 (JB/ZQ 4609—1997)		225
5.3	毡圈油封		226
5.4	Z形橡胶油封 (JB/ZQ 4075—1997)		227
5.5	O形橡胶密封圈		229
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)		229
5.5.2	液压、气动用O形圈径向密封沟槽尺寸(摘自GB/T 3452.3—2005)		233
5.5.3	O形圈轴向密封沟槽尺寸(GB/T 3452.3—2005)		260
5.5.4	沟槽和配合偶件表面的表面粗糙度(GB/T 3452.3—2005)		263
5.5.5	O形橡胶密封圈用挡圈		264
5.6	旋转轴唇型密封圈 (GB 13871—1992)		264
5.7	V _D 形橡胶密封圈 (JB/T 6994—1993)		266
5.8	单向密封橡胶密封圈 (GB/T 10708.1—2000)		270
5.8.1	单向密封橡胶密封圈结构型式及使用条件		270
5.8.2	活塞杆用短型(L ₁)密封沟槽及Y形圈		270
5.8.3	活塞用短型(L ₁)密封沟槽及Y形圈		271
5.8.4	活塞杆用中型(L ₂)密封沟槽及Y形圈、蕾形圈		273
5.8.5	活塞用中型(L ₂)密封沟槽及Y形圈、蕾形圈		276
5.8.6	活塞杆用长型(L ₃)密封		276
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		281
5.9	Y _x 形密封圈		282
5.9.1	孔用Y _x 形密封圈 (JB/ZQ 4264—1997)		282
5.9.2	轴用Y _x 形密封圈 (JB/ZQ 4265—1997)		286
5.10	双向密封橡胶密封圈 (GB/T 10708.2—2000)		289
5.11	往复运动用橡胶防尘密封圈 (GB/T 10708.3—2000)		292
5.11.1	A型防尘圈		292
5.11.2	B型防尘圈		293
5.11.3	C型防尘圈		294
5.12	同轴密封圈(GB/T 15242.1—1994)		296
5.12.1	活塞杆密封用阶梯形同轴密封件		296
5.12.2	活塞杆密封用方形同轴密封件		298
5.13	车氏组合密封		300
5.13.1	使用范围		300
5.13.2	密封材料		301
5.13.3	直角滑环式组合密封		301
5.13.4	脚形滑环式组合密封		303
5.13.5	齿形滑环式组合密封		304
5.13.6	C形滑环式组合密封		304
5.13.7	TZF型组合防尘圈		305
5.14	气缸用密封圈(JB/T 6657—1993)		306
5.14.1	气缸活塞密封用QY型密封圈		306
5.14.2	气缸活塞杆密封用QY型密封圈		307
5.14.3	气缸活塞杆用J型防尘圈		308

5.14.4	气缸用QH型外露骨架 橡胶缓冲密封圈·····	310	5.16.3	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—2003)·····	317
5.15	密封圈材料·····	310	5.16.4	管法兰用非金属平垫片 技术条件(GB/T 9129—2003)·····	318
5.15.1	O形密封圈材料(HG/T 2579—1994)·····	310	5.17	钢制管法兰用金属环垫 (GB/T 9128—2003)·····	319
5.15.2	真空用O形橡胶圈材料 (HG/T 2333—1992)·····	311	5.18	管法兰用缠绕式垫片·····	322
5.15.3	耐高温润滑油O形圈材料 (HG/T 2333—1992)·····	312	5.18.1	缠绕式垫片型式、代号 及标记(GB/T 4622.1—2003)·····	322
5.15.4	耐酸用O形橡胶圈材料 (HG/T 2181—1991)·····	312	5.18.2	管法兰用缠绕式垫片 尺寸(GB/T 4622.2— 2003)·····	323
5.15.5	往复运动密封圈材料 (HG/T 2810—1996)·····	313	5.19	管法兰用聚四氟 乙烯包覆垫片(GB/T 13404—1992)·····	330
5.15.6	旋转轴唇型密封圈橡胶 材料(HG/T 2811— 1996)·····	314	5.20	管法兰用金属包覆垫片 (GB/T 15601—1995)·····	331
5.16	管法兰用非金属平垫片·····	315			
5.16.1	平面管法兰(FF)用非 金属平垫片(GB/T 9126—2003)·····	315			
5.16.2	突面管法兰(RF)用 Ⅰ型非金属平垫片 (GB/T 9126—2003)·····	316			

参考文献	·····	333
------	-------	-----

第 1 章 密封技术基础

1.1 概述

在石油、石化、化工等的生产、加工、储运乃至销售环节，常常伴随着易燃、易爆、高温、高压、有毒有害和腐蚀等危险因素，“跑、冒、滴、漏”在工业生产中普遍存在，是个“老、大、难”问题。泄漏给生产带来了极大危害。随着生产装置的大型化，生产工艺向高温、高压、高速的方向发展，出现泄漏的机会越来越多，发生事故的危险越来越大，造成的经济损失也越来越大。往往一处管线、一台设备的泄漏就有可能导致一片油井、一套装置，乃至全厂停产，还极可能会引起火灾、爆炸，造成人员伤亡等重大事故。可以说，泄漏对工业安全生产有很大的威胁。

泄漏是指由于密闭的容器、管道、设备等内外两侧存在压力差，因此在其使用过程中，内部介质在不允许流动的部位通过孔、毛细管等缺陷渗出、漏失或允许流动的部位流量超过允许量的一种现象。设备中的工作介质或润滑剂的泄漏，会造成浪费并污染环境，泄漏到环境中的物质一般难以回收，严重污染了空气、水以及土壤。例如，很多化工厂区气味难闻，烟雾弥漫，对环境造成严重污染，严重危害职工的身体健康；易燃、易爆、剧毒、腐蚀性、放射性物质的泄漏，有可能发生着火、爆炸、中毒等事故，造成厂毁人亡，会危及人身及设备的安全；环境中的气体、灰尘、水等进入机械设备内会导致轴承、齿轮等过早地磨损报废，混入化工装置内会影响化工产品纯度；流体机械内部泄漏会影响容积效率等。化工企业连续生产中的密封故障是造成非计划停车的主要原因。据统计，60%的非计划停车事故与密封故障有关。密封性能是评定机械产品质量的一个重要指标。

造成泄漏的原因主要有两方面：一是由于机械加工的结果，机械产品的表面存在各种缺陷和形状及尺寸误差，因此在机械零件连接处不可避免地会产生间隙；二是密封两侧存在压力差，工作介质就会通过间隙而泄漏。消除或减少任一因素都可以阻止或减少泄漏。就一般设备而言，减小或消除间隙是阻止泄漏的主要途径。密封的作用就是将结合面间的间隙封住、隔离或切断泄漏通道，增加泄漏通道中的阻力，或者在通道中加设小型做功元件，对泄漏物质造成压力，与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡，以阻止泄漏。对于真空系统的密封，除上述密封介质直接通过密封面泄漏外，还要考虑渗漏和扩散两种泄漏形式。

密封作用的有效性可以用密封度来衡量。密封度是指单位时间内介质的体积或质量的泄漏量，用泄漏率来表示。密封的泄漏量为零的理想情况称为零泄漏。对于离心泵、离心式压缩机、离心式风机、管式加热炉、塔、管壳式换热器、贮罐、汽轮机、锅炉、电动机等通用设备的完好标准，都要求做到无泄漏。一般来讲，静密封可能达到无泄漏，但对于动密封由于接触密封面的任何相对位移都会给结合表面上的粗糙处泄漏介质创造条件，要达到零泄漏是特别困难的，甚至是不可能的。无泄漏是指泄漏量在规定的范围内，如泄漏率经常保持在0.5%以下，并无明显泄漏。工程上常对重要的密封规定密封度的许用值。

1.2 密封的分类

密封可分为相对静止接合面间的静密封和相对运动接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三类。

1.2.1 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,形状有平垫片、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。螺旋缠绕垫片是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 。若采用特殊垫片,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,主要用于介质压力为 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 R_a 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 100MPa 以下的压力及 550°C 的介质,如汽轮机、燃气轮机等汽缸接合面,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。根据选择不同的密封圈材料,可在 $-100\sim 20^{\circ}\text{C}$ 的温度范围使用;密封压力可达 100MPa ,主要用于汽缸、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 0.25~0.5mm, 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 -250~600℃ 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℃, 工作压力为 0.4MPa, 若压力较高或者为了密封更加可靠, 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。螺纹连接密封结构简单、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℃ 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。

1.2.2 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，可贮存润滑油和防尘。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，轴转速可高，反之，转速要低。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。分瓣密封环靠圈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压紧各级填料盒，而不作用在各级填料环上。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型式，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，温度达 $-60 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ，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，比挤压型密封有更显著的自紧作用。结构有 Y 形、V 形、U 形、L 形、J 形。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，而使其外圆因紧贴在壳体

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例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, 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, 但需注意在周速大于 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。转速愈高, 密封效果愈好, 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而达到; 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 $10000\sim 20000\text{r/min}$ 、线速度为 100m/s 以上的流体机械, 如气体压缩机、泵类等高速、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。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，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，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，如隔膜式、屏蔽式、磁力传动式。

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，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，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，达到完全无泄漏，目前常用于传递功率在 75kW 以下的场合。

1.3 密封的选型

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，根据被密封的介质的不同以及设备工作条件的不同，选择结构紧凑、系统简单、密封性好、制造维修方便，成本低廉、安全可靠、寿命长的密封类型。

表 1-1 列出了各种常用密封类型的特征。

表 1-1 各种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、编织填料或成型填料
O形密封	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	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	多用石墨制作滑环
迷宫密封	优	优	优	优	优	优	优	汽轮机、泵、压气机	往复运动,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	不可	优	良	良	良	良	优	泵	
螺旋密封	不可	优	良	良	良	良	优	泵	
磁流体密封	不可	优	可	优	良	优	优	压气机	只用于气体介质

1.4 密封材料

对密封材料的要求一般是：致密性好，不易泄漏介质；有适当的机械强度和硬度；在工作介质中有良好的化学稳定性，对工作装置中的液压油和润滑油有一定耐受性，不溶胀、不收缩、不软化、不硬化；压缩性和回弹性好，永久变形小，能够消除因活塞或活塞杆偏心引起的间隙；有一定的温度适应能力，高温下不软化、不分解，低温下不硬化、不脆裂；耐腐蚀性能好，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；摩擦因数小，耐磨性好；与密封面结合的柔软性和弹性好；耐臭氧性和耐老化性好，经久耐用；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。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。除橡胶外，适合于作密封材料的还有石墨带、聚四氟乙烯以及各种密封胶等，表 1-2 列出了密封材料的种类和用途。

表 1-2 密封材料的种类和用途

类别	材 料	用 途
液体	高分子材料	液体密封胶、厌氧胶、热熔密封胶
纤维	植物纤维:麻、棉、纸张、软木	夹布橡胶密封件、防尘密封、垫片、软填料
	动物纤维:毛毡、皮革	软填料、垫片、成型填料、皮革油封、防尘密封
	矿物纤维:石棉	高温用垫片、软填料
	人造纤维:玻璃纤维、碳纤维、有机合成纤维、陶瓷纤维	夹布橡胶密封件、软填料
弹塑性体	橡胶:合成橡胶、天然橡胶	成型密封件、垫片、油封、软填料、防尘密封件
	塑料:氟塑料、尼龙、聚乙烯、酚醛塑料、氯化聚醚、聚苯硫醚等	成型密封件、软填料、硬填料、垫片、油封、活塞环、机械密封、防尘密封件
	密封胶:液体密封胶、厌氧胶	螺纹密封、导管连接、垫片
无机材料	柔性石墨:天然石墨	垫片、软填料、密封件
	碳石墨:焙烧碳、电化石墨	机械密封、硬填料、动力密封、浮环密封
	工程陶瓷:氧化铝瓷、滑石瓷、金属陶瓷、氧化硅、硼化铝	机械密封、硬填料、动力密封、浮环密封
金属	有色金属:铜、铝、铅、锌、锡及合金	垫片、软填料、机械密封、迷宫密封、硬填料、浮环密封
	黑色金属:碳钢、铸铁、不锈钢、堆焊合金、喷涂粉末	垫片、机械密封、硬填料、活塞环、浮环密封、防尘密封、成型密封件
	硬质合金:钨钴硬质合金、钨钴钛硬质合金	机械密封
	贵金属:金、银、钨、钼	高真空密封、高压密封、低温密封

1.5 加工工艺

与密封有关的加工工艺包括模压、浸渍、喷涂、烧结、焊接、电镀和表面热处理等。良好的加工工艺和成型工艺是保证密封件尺寸精度、表面特性以及提高耐腐蚀和耐磨性能的有效手段。同一材料,如果处理工艺不同,其特性会有很大的差别。就密封件制造中最常用的模压工艺来讲,如果压出来的成品在形状、尺寸等方面误差很大,分型面上存在飞边和毛刺,对于密封都是很不利。以橡胶 O 形圈为例,它是靠给定的压缩变形量来保证密封的,如果由于尺寸精度差而保证不了必要的压缩变形量,就会出现泄漏。此外,由于 O 形圈是以预拉伸状态安装于密封部位,当运动摩擦发热时,O 形圈不是膨胀,而是收缩(拉伸状态下的橡胶受热收缩,称为焦耳效应),这也可能使工作时的压缩变形量减小而发生泄漏。因此,设计时必须严格给定尺寸精度,并应考虑到各种影响因素。例如,与密封件相接触的零件和沟槽的尺寸精度、表面粗糙度等,都有一定的要求。一般标准密封件都配有相应的沟槽型式、尺寸和公差标准。

表 1-3 为常用摩擦副材料的摩擦因数。表 1-4 列出了各种密封垫所要求的法兰表面粗糙度的经验数据。

表 1-3 常用摩擦副材料的摩擦因数

摩擦副材料	摩擦因数	
	无润滑剂	有润滑剂
钢-钢	0.15 ^①	0.1~0.12 ^①
	0.1	0.05~0.1
钢-软钢	0.2	0.1~0.2
钢-不淬火的 T8 钢	0.15	0.03
钢-铸铁	0.2~0.3 ^①	0.05~0.15
	0.16~0.18	
钢-黄铜	0.19	0.03
钢-青铜	0.15~0.18	0.1~0.15 ^①
		0.07
钢-铝	0.17	0.02
钢-轴承合金	0.2	0.04
钢-夹布胶布	0.22	
钢-冰	0.027 ^①	
	0.014	
石棉基材料-铸铁或钢	0.25~0.4	0.08~0.12
皮革-铸铁或钢	0.3~0.5	0.12~0.15
硬木-铸铁或钢	0.2~0.35	0.12~0.16
软木-铸铁或钢	0.3~0.5	0.15~0.25
毛毡-铸铁或钢	0.22	0.18
软钢-铸铁	0.2	0.05~0.15
	0.18	
软钢-青铜	0.2	0.07~0.15
	0.18	
铸铁-铸铁	0.15	0.15~0.16 ^①
		0.07~0.12
铸铁-青铜	0.28 ^①	0.16 ^①
	0.15~0.21	0.07~0.15
铸铁-皮革	0.55 ^①	0.15 ^①
	0.28	0.12
铸铁-橡胶	0.8	0.5
皮革-木材	0.4~0.5 ^①	
	0.03~0.05	
铜-铜	0.2	
黄铜-黄铜	0.17	0.02
黄铜-硬橡胶	0.25	
黄铜-钢	0.3	0.02