

密封

徐灏 编著

MIFENG

冶金工业出版社

密 封

徐 灏 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
1999

图书在版编目(CIP)数据

密封/徐灏编著. —北京:冶金工业出版社,1999. 3
ISBN 7-5024-2296-X

I. 密… II. 徐… III. 密封 IV. TB42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 38294 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 葛志祺 美术编辑 李心 责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

北京市顺义兴华印刷厂;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999 年 3 月第 1 版,1999 年 3 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;16 印张;430 千字;504 页;1-3000 册

34.00 元

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

在机械设备中密封的功能是防止泄漏。起密封作用的零部件称为密封件,简称密封。密封件是机械产品中应用最广的零部件之一。机器及设备在使用中大量发生的工作介质和润滑油的“跑、冒、滴、漏”现象,反映了密封的设计、制造所存在的问题。

密封的种类繁多,可归纳成接触型的和非接触型的两类。几乎全部静密封都属于接触型密封。动密封既有接触型的,也有非接触型的。接触型动密封又可分为非弹性体接触(密封面用金属、石墨等非弹性体材料制成)和弹性体接触两类。以橡胶密封制品为例,它是弹性体接触密封中应用最广的密封制品。可以这样说,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部件和配件。橡胶密封制品一般用于防止流体介质从机械或仪表中泄漏出来,也可防止外界灰尘、泥沙以及空气(对真空系统而言)进入密封系统内部。橡胶密封制品的使用条件复杂,要承受各种工作条件下的高温和各种被密封介质的腐蚀,并要求有良好的耐天候性、耐磨性、减震性及密封的稳定性等。橡胶密封制品的特点是量大面广,其质量的好坏会影响整机的性能及正常运转,甚至涉及人的健康和安

全。密封性能是评价机械产品质量的一个重要指标。密封学科在国民经济发展中占有重要的地位。

本书为从事机械设计的技术人员而写。从实用性出发,系统地阐述了各类密封的机理、密封结构、密封材料、密封性能分析和密封设计方法等,密封件采用现行标准。本书的特点是:密封种类多,覆盖面广,内容新,理论联系实际,注重实用。本书可供机械设计人

员从事密封装置设计使用,也可供高等院校机械类专业的教师和高年级学生参考。

徐 灏

1998 年 10 月



作者简介

徐灏 1919年3月生。江苏江阴人。1943年毕业于西南联合大学机械系。原东北工学院机械系主任、机械工程研究所所长、机械强度研究室主任。东北大学机械工程学院教授、博士生导师。国务院学位委员会第一、二届工科评议组成员，中国机械设计分会副理事长，《中国大百科全书·机械工程卷》编委。40多年来，系统地研究了具有广泛应用价值的力学、材料学与机械学相结合的一门边缘科学—疲劳强度学。结合教学和科研，出版了5本教材、10本专著，其中《疲劳强度设计》获第五届全国优秀科技图书二等奖。主编两套设计手册，其中《机械设计手册》（五卷本）获第七届全国优秀科技图书二等奖。撰写了90多篇论文，完成科研项目16项，其中国家“六五”科技攻关项目“疲劳设计基础研究”获国家“六五”科技进步三等奖。

内容简介

密封件是重要的机械零件之一。本书从实用性出发，系统地阐述了密封学科的主要内容和最新进展，是目前国内外覆盖面较广、内容较丰富的一本密封专著。

书中主要包括：垫密封、胶密封、填料密封、油封及防尘密封、机械密封、高压密封、真空密封、全封闭密封、浮环密封、迷宫密封、螺旋密封及磁流体密封等。本书可供机械设计人员使用，也可供高等院校机械类专业的教师、研究生和高年级学生参考。

目 录

1 概述	(1)
1.1 泄漏	(1)
1.2 密封的分类	(2)
1.3 密封的选型	(3)
1.4 密封材料	(4)
1.5 加工工艺	(11)
1.6 摩擦、磨损和润滑	(13)
2 垫密封	(21)
2.1 概述	(21)
2.2 石棉橡胶密封制品	(24)
2.3 密封垫的特征参数	(34)
2.4 密封垫的选用	(38)
3 胶密封	(51)
3.1 概述	(51)
3.2 密封胶的分类	(52)
3.3 密封胶的性能	(55)
3.4 常用密封胶的种类	(59)
3.5 液体密封胶的选用和施工工艺	(62)
3.6 国产密封胶	(69)
4 填料密封	(81)
4.1 绞合填料和编结填料	(81)

4.2	塑性填料	(87)
4.3	金属填料	(90)
4.4	碳纤维填料	(92)
4.5	填料密封机理	(94)
4.6	填料密封的摩擦、磨损与润滑	(99)
4.7	填料的选择	(103)
4.8	填料腔的结构设计	(106)
4.9	填料的合理装填和使用	(109)
5	成型填料密封	(112)
5.1	O形密封圈	(112)
5.2	V形密封圈	(141)
5.3	Y形密封圈	(160)
5.4	鼓形和山形密封圈	(181)
5.5	J形和L形密封圈	(189)
5.6	管路法兰连接结构中的U形密封圈	(193)
6	油封和防尘密封	(198)
6.1	油封	(198)
6.2	防尘密封	(231)
7	机械密封	(246)
7.1	机械密封的工作原理	(246)
7.2	机械密封的类型	(248)
7.3	机械密封的主要参数	(257)
7.4	机械密封设计	(280)
7.5	机械密封的辅助措施	(301)
7.6	机械密封材料	(314)

8 高压密封	(327)
8.1 平垫密封	(327)
8.2 卡扎里密封	(333)
8.3 楔形密封	(336)
8.4 伍德密封	(338)
8.5 双锥密封	(340)
8.6 C形环密封	(343)
8.7 空心金属O形环密封	(344)
8.8 B形环密封	(350)
8.9 八角垫密封和椭圆垫密封	(351)
8.10 三角垫密封.....	(357)
8.11 平垫自紧密封.....	(358)
9 真空密封	(361)
9.1 真空用橡胶密封圈	(362)
9.2 真空用金属密封圈	(380)
9.3 采用软件变形的动联接密封	(390)
9.4 真空用其他密封	(395)
10 离心、停车和全封闭密封	(403)
10.1 离心密封.....	(403)
10.2 停车密封.....	(410)
10.3 全封闭密封.....	(412)
11 浮环密封.....	(415)
11.1 浮环密封机理.....	(416)
11.2 浮动环.....	(419)
11.3 浮环密封的典型结构.....	(424)
11.4 浮环密封的特性分析和设计.....	(428)

12 迷宫密封	(440)
12.1 迷宫密封的密封机理.....	(440)
12.2 迷宫密封的结构型式.....	(444)
12.3 理想迷宫的泄漏计算.....	(447)
12.4 直通型迷宫的特性.....	(452)
12.5 错列型迷宫的特性.....	(459)
12.6 迷宫密封设计.....	(464)
13 螺旋密封	(469)
13.1 螺旋密封的密封机理.....	(469)
13.2 螺旋密封的影响因素.....	(474)
13.3 迷宫螺旋密封.....	(479)
14 磁流体密封	(484)
14.1 磁流体.....	(484)
14.2 磁流体密封的工作原理.....	(491)
14.3 磁流体密封的结构和材料.....	(498)
参考文献	(504)

1 概述

1.1 泄 漏

泄漏是机械设备常产生的故障之一。造成泄漏的原因主要有两方面：一是由于机械加工的结果，机械产品的表面必然存在各种缺陷和形状及尺寸偏差，因此，在机械零件联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。密封的作用就是将接合面间的间隙封住、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作功元件，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，还要考虑下面两种泄漏形式：

1) 渗漏。即在压力差作用下，被密封的介质通过密封件材料的毛细管的泄漏称为渗漏；

2) 扩散。即在浓度差作用下，被密封的介质通过密封间隙或密封材料的毛细管产生的物质传递称为扩散。在真空系统中习惯称为“密封材料的放气”。首先密封件通过吸附作用吸收气体，气体在密封件中扩散，从密封件的另一侧析出。真空密封的漏放气量与密封型式、密封材料、密封面加工精度及装配质量等因素有关。

密封作用的有效性用“密封度”来衡量。密封度可以用单位时间内介质的体积或质量的泄漏量，即泄漏率来表示。密封的泄漏量为零的理想情况称为“零泄漏”。一般讲来，静密封可能达到零泄漏，但对于动密封由于接触密封面的任何相对位移都会给接合表

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。工程上常对重要的密封规定密封度的许用值。

密封性能是评定机械产品质量的一个重要指标。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。易燃、易爆、剧毒、腐蚀性、放射性物质的泄漏,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,漏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。

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。

静密封主要有垫密封、胶密封和接触密封三大类。根据工作压力,静密封又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。

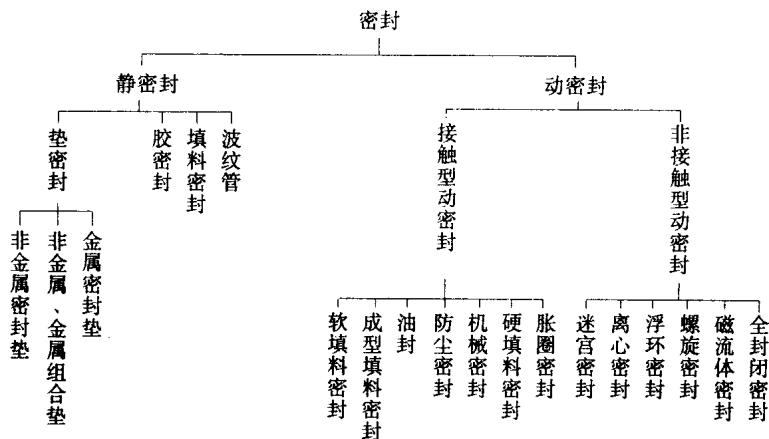
动密封可以分为旋转密封和往复密封两种基本类型。按密封件与其作相对运动的零部件是否接触,可以分为接触式密封和非接触式密封。一般说来,接触式密封的密封性好,但受摩擦磨损限制,适用于密封面线速度较低的场合。非接触式密封的密封性较差,适用于较高速度的场合。在接触式密封中,按密封件的接触位置又可分为圆周(径向)密封和端面(轴向)密封。端面密封又称为机械密封。

非接触动密封有迷宫密封和动力密封等。前者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,起动功率小,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。

根据密封结构的类型、密封机理、密封件形状和材料等,密封的分类见表 1-1。

表1-1 密封的分类



1.3 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 1-2 列出了各种常用密封方法的特征。表 1-3 为动密封的种类与应用范围,以供参考。

表 1-2 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	往复同时，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

1.4 密封材料

1.4.1 密封材料的种类和用途

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；

表 1-3 动密封的种类与应用范围

种 类	真空(绝压) /MPa	压力(表压) /MPa	工作温度 /℃	线速度 /m·s ⁻¹	泄漏率 /mL·h ⁻¹	使用期限	应用举例
压紧填料密封	1.33×10 ⁻³	31.38	-240~600	20	10~1000		清水离心泵、柱塞泵、阀杆密封
	1.33×10 ⁻⁷						
成型填料 唇 型	1.33×10 ⁻⁷	98.07	-45~230	10	0.001~0.1	6个月~1年	油压缸、水压缸
	1.33×10 ⁻⁹						
橡胶密封 防尘油封		0.29	-30~150	12	0.1~10	3~6个月	轴承封油与防尘
硬填料 密封		294.2	-45~400 ^①			3个月~1年	活塞杆密封
						6个月~1年	航空发动机主轴承封油
胀圈密封 旋 转		300		12	0.2%~1% 吸气容积	3~6个月	汽油机、柴油机、压缩机、油缸、航空 发动机主轴承封油
	1.33×10 ⁻³	0.2					
普通型 液 膜	1.33×10 ⁻⁷	7.85	-196~400 ^③	30	0.1~150	6个月~1年	化工用、电厂用、炼油厂用的离心泵
		31.38			100~5000	1年以上	大型泵、透平压缩机
机械密封 气 膜		1.96	不限	不限			航空发动机

接 触 型

续表 1-3

种 类		真空(绝压) /MPa	压力(表压) /MPa	工作温度 /℃	线速度 /m·s ⁻¹	泄漏率 /mL·h ⁻¹	使用期限	应用举例
迷宫密封	液膜	1.33×10^{-5}	19.61	600	不限	大	3年以上	蒸汽透平、燃气透平、活塞压缩机
浮环密封	气体		31.38	—30~150	80	内漏	1年以上	泵、化工透平
离心密封	背叶轮	1.33×10^{-3}	0.98	0~50	70	<8300	约1年	制氧机
动力密封	油封		0	不限	30		1年以上	矿浆泵
螺旋密封	螺旋密封	1.33×10^{-3}	2.45	—30~100	30		非易损件	轴承封油与防尘
螺旋密封	螺旋密封		2.45	—30~100	70		取决于轴承寿命	轴承封油、鼓风机封油
磁流体密封	螺旋密封		2.45	—30~100	70		取决于轴承寿命	锅炉给水泵辅助轴承
全封闭密封	螺旋密封	1.33×10^{-13}	4.12	—50~90	70			

① 凡使用橡胶件者,适用温度同成型填料。