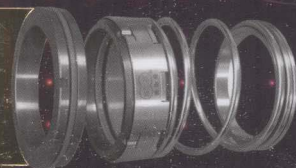
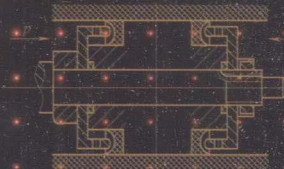
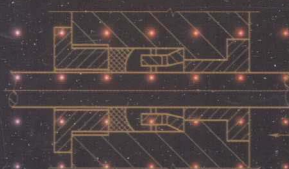
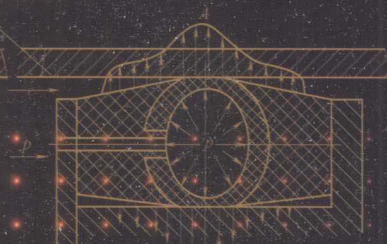
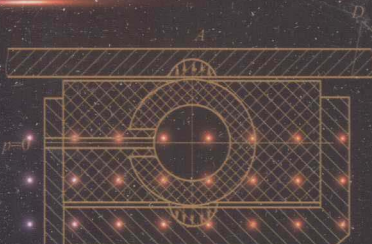


MIFENG YUANLI
YINGYONG YU WEIHU



密封原理、应用 与维护

黄志坚 编著



化学工业出版社

密封原理、应用与维护

黄志坚 编著



化学工业出版社

密封是机电产品中防止产品漏油、漏气、漏水以及外界环境介质和灰尘侵入的装置,它是现代流体机械和动力机械不可缺少的零部件。现代密封种类繁多,应用环境有较大的差异。密封使用维护工作涉及面广、专业性强,难度大,对相关人员的理论基础、实践经验均有较高的要求。

本书结合实例,系统地介绍了现代密封技术原理及使用维护方法。

全书共7章。其中第1章是密封技术概论;第2、3、4、5章分别介绍垫片密封、填料密封、机械密封及非接触密封的选型、安装、维护、修理、改进技术方法;第6章介绍注剂、粘接及焊接带压堵漏技术;第7章介绍设备泄漏的检测、监测与综合治理方法。

本书的读者主要是企业广大机械动力设备维修工程技术人员,密封设计开发与制造专业技术人员,大中专院校相关专业的学生与教师。

图书在版编目(CIP)数据

密封原理、应用与维护/黄志坚编著. —北京:化学工业出版社, 2013. 5

ISBN 978-7-122-16752-1

I. ①密… II. ①黄… III. ①密封-基本知识
IV. ①TB42

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第054391号

责任编辑:黄 滢

文字编辑:张绪瑞

责任校对:顾淑云

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 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17 $\frac{1}{4}$ 字数443千字 2013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:68.00元

版权所有 违者必究

前 言

密封是机电产品中防止产品漏油、漏气、漏水以及外界环境介质和灰尘侵入的装置。密封是现代流体机械和动力机械不可缺少的零部件。在一些企业中，所处理的流（气、液）体具有腐蚀性、可燃性、易爆性及毒性，一旦密封失效、介质泄漏，不仅污染环境、影响人体健康和产品质量，而且还会导致火灾、爆炸和人身伤亡等重大事故。正确选择、安装、使用与维修密封，对防止设备泄漏、减少环境污染、提高产品性能、节约能源与材料、保障人身安全，都有重要意义。

随着我国现代化工业的发展，密封技术已在石油、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。这些部门对各种密封的要求越来越高，迫切地要求通过密封技术解决生产设备使用、安装中出现的问题。现代密封种类繁多，应用环境有较大的差异。从学科角度，密封涉及固体和流体力学、传热学、化学、材料学、摩擦学等多门科学；从工程角度，它涉及材料、设计、制造、检验、运行、维护、故障诊断与排除、设备监测、技术改进和管理等多个技术门类与环节。显然，密封使用维护工作涉及面广、专业性强，难度大，对相关人员的理论基础、实践经验均有较高的要求。

为帮助广大读者更好地完成密封技术工作任务，本书结合实例，系统地介绍了现代密封技术原理及使用维护方法。

全书共7章。其中第1章是密封技术概论；第2、3、4、5章分别介绍垫片密封、填料密封、机械密封及非接触密封的选型、安装、维护、修理、改进技术方法；第6章介绍注剂、粘接及焊接带压堵漏技术；第7章介绍设备泄漏的检测、监测与综合治理方法。

本书的读者主要是企业机械动力设备及物料介质传输系统维修工程技术人员，密封设计开发与制造专业技术人员，大中专院校相关专业的学生与教师。

编著者

目 录

第 1 章 密封技术概述	1
1.1 密封的概念与分类	1
1.1.1 密封的概念	1
1.1.2 密封的分类	1
1.2 密封材料	2
1.2.1 常用密封材料	2
1.2.2 新型密封材料	3
1.3 密封技术新进展	4
1.3.1 新的产品结构	4
1.3.2 纳米磁性流体密封	5
1.3.3 制造装备及检测仪器	5
1.3.4 带压堵漏技术	6
1.3.5 密封与泄漏监控技术	6
第 2 章 垫片密封的使用与维护	8
2.1 垫片密封	8
2.1.1 垫片密封的原理和结构	8
2.1.2 垫片的种类	11
2.1.3 发动机用高性能复合密封垫片	13
2.1.4 板式换热器的橡胶密封垫片	17
2.1.5 燃气输送管道法兰新型密封垫片	19
2.2 垫片密封使用维护方法	22
2.2.1 垫片的选择	22
2.2.2 垫片的保管	24
2.2.3 垫片的安装	25
2.2.4 密封垫片的替换	27
2.3 垫片密封故障分析与处理	29
2.3.1 垫片密封的失效	29
2.3.2 高温下垫片的蠕变失效	32
2.3.3 延迟焦化装置法兰泄漏原因分析及对策	35
第 3 章 填料密封的使用与维护	38
3.1 软填料（盘根）密封的使用与维护	38
3.1.1 软填料（盘根）密封	38
3.1.2 填料的选择、装填与使用维护	39
3.1.3 抽油井井口新型盘根的应用	43
3.1.4 R 型热水循环泵盘根密封结构改造	45
3.1.5 水泵新型填料密封技术应用	45
3.1.6 循环水泵盘根密封技术改造	48
3.1.7 无油润滑填料密封的改进	49
3.2 硬填料密封的使用与维护	51
3.2.1 硬填料密封圈	51
3.2.2 活塞环的选配、安装与修磨	54
3.2.3 活塞环使用维修中的误区	56
3.2.4 摩托车发动机活塞环磨损的快速检查	57
3.2.5 活塞环在环槽内折断的原因	57
3.2.6 柴油机密封的使用维护	58
3.2.7 内燃机活塞环的漏气及其应对措施	61
3.2.8 2V-6/8 型空气压缩机密封环的改进	64
3.2.9 新型活塞环的润滑密封性	66
3.3 橡胶密封件及使用与维护	68
3.3.1 橡胶密封件	68
3.3.2 常用往复密封件的选型与应用	69
3.3.3 密封材料与工作介质的适应性	75
3.3.4 新型密封件	77
3.3.5 O 形密封圈的压缩率	81
3.3.6 大型液压缸 Yx 密封件的装配	82
3.3.7 气动密封的特点	82
3.3.8 油膜轴承 DF 密封与水封常见损坏形式与对策	84
3.4 油封的使用与维护	87
3.4.1 油封	87
3.4.2 油封安装注意事项	89
3.4.3 油封的润滑与漏油	90
3.4.4 油封早期失效的原因	91
3.4.5 降低油封与旋转轴磨损的对策	93

3.4.6 骨架油封的维护	94
---------------------	----

第4章 机械密封的使用与维护	96
-----------------------------	-----------

4.1 机械密封	96	4.3 机械密封故障及排除	113
4.1.1 机械密封的基本结构、作用原理和特点	96	4.3.1 机械密封的密封失效原因分析	113
4.1.2 机械密封的分类	97	4.3.2 密封失效的重要特征	115
4.1.3 机械密封的材料	99	4.3.3 根据机械密封摩擦副磨损情况分析故障原因	116
4.1.4 动压型机械密封技术的应用和发展	100	4.3.4 炼油厂泵类设备机械密封故障分析	118
4.1.5 第三代集装式机械密封	103	4.3.5 热油泵机械密封泄漏原因及处理	119
4.2 机械密封的安装维护	105	4.3.6 给水泵机械密封事故的原因分析	122
4.2.1 泵用机械密封的安装维护要点	105	4.3.7 LMV-333 型高速泵的机械密封泄漏原因分析与处理	124
4.2.2 泵机械密封泄漏的处理	106	4.3.8 波纹管机械密封系统在沥青循环泵上的应用	128
4.2.3 机械密封维修中的几个误区	107	4.3.9 金属锯主轴密封的改进	130
4.2.4 机械密封使用维修注意事项	108		
4.2.5 机械密封的腐蚀与防护	109		

第5章 非接触型密封的使用与维护	132
-------------------------------	------------

5.1 间隙密封的使用与维修	132	5.4.7 除尘风机轴承箱密封方式的比较	159
5.1.1 间隙密封	132	5.5 磁流体密封的使用与维护	161
5.1.2 填充尼龙在离心泵密封环上的应用	132	5.5.1 磁流体密封	161
5.1.3 ZJ 系列渣浆泵的应用	134	5.5.2 磁流体密封技术在反应釜中的应用	163
5.2 迷宫密封的使用与维护	135	5.5.3 磁流体密封技术在 SF6 负荷开关中的应用	164
5.2.1 迷宫密封	135	5.5.4 真空干燥循环风机磁流体密封的改进	166
5.2.2 双级迷宫密封离心式低温液体泵的使用维修	137	5.6 全封闭密封的使用与维护	168
5.2.3 汽动给水泵油中进水问题的分析处理	138	5.6.1 隔膜传动	168
5.3 浮环密封的使用与维护	139	5.6.2 GEHO 隔膜泵的操作要点与工艺改进	168
5.3.1 浮环密封	140	5.6.3 SGMB100/3 隔膜泵推进液系统故障及排除	170
5.3.2 离心式压缩机浮环密封失效原因分析	141	5.6.4 HMD-G-32-0250 型隔膜泵故障检修及分析	171
5.3.3 减少浮环密封油损耗的措施	143	5.6.5 磁力传动	173
5.3.4 裂解气压缩机浮环密封的结构及控制系统	144	5.6.6 磁力泵泄漏原因分析和处理	174
5.4 动力密封的使用与维护	149	5.6.7 磁力机械密封在连铸移钢机上的应用	176
5.4.1 离心密封	149	5.7 干气密封的使用维护	177
5.4.2 副叶轮密封在液尿泵上的应用	151	5.7.1 干气密封	177
5.4.3 离心泵动力密封装置的使用与维修	153	5.7.2 泵用干气密封典型结构	179
5.4.4 螺旋密封	154	5.7.3 串联干气密封在合成氨压缩机的应用	183
5.4.5 D 型输油泵螺旋密封改造	156		
5.4.6 锅炉给水泵螺旋密封装置的改进	157		

5.7.4 循环氢压缩机干气密封损坏的分析	及处理	185
第6章 带压堵漏技术		190
6.1 带压堵漏概述	堵漏工艺	190
6.1.1 带压堵漏的概念	6.3.3 带压粘接密封技术在石化大型装置	206
6.1.2 常用的带压堵漏方法	维修中的应用	208
6.1.3 研究现状与发展趋势	6.3.4 粘接密封技术在制碱设备上的	210
6.2 注剂带压堵漏技术	应用	210
6.2.1 注剂带压堵漏原理与方法	6.3.5 带压冷处理管道裂纹	211
6.2.2 注剂带压堵漏的特点	6.4 带压焊接堵漏技术	212
6.2.3 注剂带压堵漏技术应用关键技术	6.4.1 承压设备的带压引流焊接密封	212
6.2.4 几种在线带压堵漏夹具及应用	6.4.2 带压引流焊接密封操作注意事项	216
6.2.5 管道带压堵漏密封夹具机构设计	6.3.3 带压引流焊接堵漏应用实例	217
6.2.6 液化石油气储配站带压堵漏	6.4.4 带压堵漏技术在硫黄制酸装置上的	218
6.2.7 中压蒸汽阀盖的带压堵漏	应用	218
6.2.8 特殊位置管道带压堵漏	6.4.5 其他带压焊接补漏方法	221
6.3 粘接带压堵漏技术	6.5 带压堵漏安全技术	222
6.3.1 胶粘接法在天然气管线带压堵漏中	6.5.1 带压堵漏安全规范	222
的应用	6.5.2 带压堵漏的安全管理要点	223
6.3.2 储输油设备“一堵二补三固化”	6.5.3 带压堵漏施工安全注意事项	223
第7章 泄漏的检测、监测与治理		225
7.1 泄漏的检测	7.2.4 冷库氨气无线监测系统与泄漏点	249
7.1.1 差压法用于检测压力气体泄漏	定位	249
7.1.2 泄漏检测中的流量法	7.2.5 BLD型锅炉泄漏在线监测系统	254
7.1.3 炉内管道泄漏声检测与定位	火力发电厂的应用	254
7.1.4 基于声波原理检测供水管道泄漏	7.3 泄漏的治理	258
7.1.5 液压缸内泄漏的检测	7.3.1 泄漏管理	258
7.2 泄漏的监测	7.3.2 锻造厂无泄漏达标治理实践与	261
7.2.1 基于虚拟仪器的原油管道泄漏实时	成效	261
监测与定位系统	7.3.3 汽车自动变速器液压油泄漏故障	263
7.2.2 智能音波技术在天然气长输管道	诊断分析	263
泄漏监测中的应用	7.3.4 稀油润滑系统泄漏故障诊断及	264
7.2.3 卫星监测技术在输油管道泄漏监测	预防	264
中的应用	7.3.5 天然气泄漏与治理措施	265
参考文献		268

第 1 章 密封技术概述

1.1 密封的概念与分类

1.1.1 密封的概念

密封是防止流体或固体微粒从相邻结合面间泄漏以及防止外界杂质如灰尘与水分等侵入机器设备内部的零部件或措施。较复杂的密封件，称为密封装置。

设备的泄漏是一个不可忽视的质量问题，漏油、漏水、漏气严重影响设备的正常运转、外观、工作效率及使用寿命，并会引起环境污染，浪费能源。因此产品的密封性能是评价其性能、质量的重要指标。

对密封件的基本要求有如下几点：

- ① 在一定的压力和温度范围内具有良好的密封性能。
- ② 摩擦阻力小，摩擦因数稳定。
- ③ 磨损小，磨损后在一定程度上能自动补偿，工作寿命长。
- ④ 与工作介质相适应。
- ⑤ 结构简单，装拆方便，价格低廉。
- ⑥ 应保证互换性，实现标准化，系列化。

密封件是机械产品的重要基础元件，其制造精度要求较高，密封件产品无论在结构上还是材料上都需要高精的技术和装备支撑。

1.1.2 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。

静密封主要有点密封、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。按密封件与其作用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。

密封的种类与应用范围见表 1-1。

表 1-1 密封的种类与应用范围

种类		真空(绝对 压力) /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
接 触 型	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

续表

种类			真空(绝对 压力) /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	
接触型	成型 填料	挤紧型	1.33×10 ⁻⁷	98.07	-45~230	10	0.001~0.1	6个月~ 1年	液压缸、水压缸	
		唇型	1.33×10 ⁻⁹							
	橡胶 油料	油封	—	0.29	-30~150	12	0.1~10	3~ 6个月	轴承防油与防尘	
		防尘油封								
	硬填 料密封	往复	—	294.20	-45~ 400 ^①	—	3个月~ 1年	活塞杆密封		
		旋转							6个月~ 1年	航空发电机、主 轴承封油
	机械 密封	普通型	1.33×10 ⁻⁷	7.85	-196~400	30	0.1~150	6个月~ 1年	化工、电厂、炼油 厂用的离心泵	
		液膜	—	31.38	-30~150	30~100	100~5000	1年以上	大型泵、透平压 缩机	
		气膜		1.96	不限	不限	—		航空发电机	
	非接触型	迷宫密封		1.33×10 ⁻⁵	19.61	600	不限	大	3年以上	蒸汽透平、燃气 透平、迷宫活塞压 缩机
浮环密封		1.33×10 ⁻⁵	32	-100~200	40~90	大	1年以上	离心式压缩机		
动力 密封		离心 密封	背叶轮	1.33×10 ⁻³	0.25	0~50	30	—	1年以上	矿浆泵
			甩油环	油封	0	不限	不限	—	非易损件	轴承封油与防尘
		防尘		—						
		螺旋 密封	螺旋 密封	1.33×10 ⁻³	2.45	-30~100	30	—	取决于 轴承寿命	轴承封油、鼓风 机封油
			螺旋迷 宫密封	—			70			锅炉给水泵辅助 密封
其他		磁流体密封	1.33× 10 ⁻¹³	(4.12)	(-50~ 90)	(70)	—	—	—	
		全封闭密封								

① 凡使用橡胶者，适用温度同成型填料。

1.2 密封材料

1.2.1 常用密封材料

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应性。对密封材料的要求一般是：材料致密性好，不易泄漏介质；有适当的机械强度和硬度；压缩性和回弹性好，永久变形小；高温下不软化，不分解，低温下不硬化，不脆裂；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；摩擦因数小，耐磨性好；具有与密封面结合的柔软性；耐老化性好，经久耐用；加工制造方便，价格便宜，取材容易。橡胶是最常用的密封材料。适合于做密封材料的还有石墨、聚四氟乙烯以及各种密封胶等。

丁腈橡胶耐油、耐热、耐磨性好,广泛用于制作密封制品,但不适用于磷酸酯系列液压油及含极性添加剂的齿轮油,使用温度为 $-40\sim 120^{\circ}\text{C}$ 。用于制作O形圈、油封,适用于一般的液压、气动系统。

氢化丁腈橡胶强度高、耐油、耐磨、耐热、耐老化,使用温度为 $-40\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。用于高温、高速的往复密封和旋转密封。

橡塑胶材料弹性模量大,强度高,其他性能同上,使用温度为 $-30\sim 80^{\circ}\text{C}$ 。用于制作O形圈、Y形圈、防尘圈等,应用于工程机械及高压液压系统的密封。

氟橡胶耐热、耐酸碱及其他化学药品、耐油(包括磷酸酯系列液压油),适用于所有润滑油、汽油、液压油、合成油,使用温度为 $-20\sim 200^{\circ}\text{C}$ 。适用于耐高温、化学药品、耐燃液压油的密封,在冶金、电力等行业用途广泛。

聚氨酯耐磨性能优异、强度高、耐老化性能好,使用温度为 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$,适用于工程机械和冶金设备中的高压、高速系统密封。

硅橡胶耐热、耐寒性好。压缩永久变形小,但机械强度低,使用温度为 $-60\sim 230^{\circ}\text{C}$,适用于高、低温下的高速旋转密封及食品机械的密封。

聚丙烯酸酯耐热性优于NBR(丁腈橡胶),可在含极性添加剂的各种润滑油、液压油、石油系液压油中工作,耐水性较差。使用温度为 $-20\sim 150^{\circ}\text{C}$,可用于各种小汽车油封及各种齿轮箱、变速箱,可耐中高温。

乙丙橡胶耐气候性能好,在空气中耐老化、耐油性能一般,能耐氟里昂及多种制冷剂,使用温度为 $-50\sim 150^{\circ}\text{C}$,应用于冰箱及制冷机械的密封。

聚四氟乙烯化学稳定性好,耐热、耐寒性好,耐油、水、汽、药品等各种介质。机械强度较高,耐高温、耐磨,摩擦因数极低,自润滑性好,使用温度为 $-55\sim 260^{\circ}\text{C}$,用于制作耐磨环、导向环、挡圈,为机械上常用的密封材料,广泛用于冶金、石化、工程机械、轻工机械。

尼龙耐油、耐热、耐磨性好,抗压强度高,抗冲击性能好,但尺寸稳定性差,使用温度为 $-40\sim 120^{\circ}\text{C}$,用于制作导向环、支撑环、压环、挡圈。

聚甲醛耐油、耐热、耐磨性好,抗压强度高,抗冲击性能好,有较好的自润滑性能,尺寸稳定性好,但屈挠性差,使用温度为 $-40\sim 140^{\circ}\text{C}$,用于制作导向环、挡圈。

常用密封材料及适用范围见表1-2。

1.2.2 新型密封材料

(1) 全氟橡胶(FFKM)

全氟橡胶(FFKM)耐高温($250\sim 320^{\circ}\text{C}$),耐燃气和强烈的化学腐蚀,弹性好,压缩永久变形低,适应一些十分苛刻的工况条件。在化工、食品、印刷、半导体等行业应用。Parker、Evco 等公司推出。

(2) 氟塑料包覆橡胶产品

FEP(氟化丙烯)和PFA(全氟化合物)等氟塑料品种,包覆橡胶O形圈和橡胶垫片(如板式换热器密封),提高橡胶产品耐介质性能(溶剂、强酸、强碱),上海亿冈、EVCO、Fluorten 等公司推出。

(3) 独特的聚氨酯材料

聚氨酯材料PU92AU21100具有良好的润滑性,耐超低温性能达到20K(-253°C),应用于耐超低温工况。Simrit 独家推出。

(4) 聚四氟乙烯(PTFE)复合与改性

表 1-2 常用密封材料及适用范围

类 别		材 料	用 途
液体		高分子材料	液态密封胶、厌氧胶、热熔型密封胶
纤维	植物纤维	棉、麻、纸、软木	垫片、软填料、防尘密封件、夹布橡胶密封件
	动物纤维	毛、毡、皮革	垫片、软填料、防尘密封件、夹布橡胶密封件
纤维	矿物纤维	石棉	垫片、软填料
	人造纤维	有机合成纤维、玻璃纤维、碳纤维、陶瓷纤维	软填料、夹布橡胶密封件
弹塑性胶	橡胶	合成橡胶、天然橡胶	垫片、成型填料、油封、软填料、防尘密封件、全封闭密封件
	塑料	氟塑料、尼龙、聚乙烯、酚醛塑料、氯化聚醚、聚苯硫醚	垫片、成型填料、油封、软填料、硬填料、活塞环、机械密封、防尘密封件、全封闭密封件
	密封胶	液态密封胶、厌氧胶	垫片、导管连接、螺纹密封
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、间隙密封
	工程陶瓷	氧化铝瓷、滑石瓷、金属陶瓷、氧化硅、碳化铬	
金属	有色金属	铜、铝、铅、锌、锡及其合金	垫片、软填料、机械密封、迷宫密封、硬填料、间隙密封
	黑色金属	碳钢、铸铁、不锈钢、堆焊合金、喷涂粉末	垫片、硬填料、机械密封、活塞环、间隙密封、防尘密封件、全封闭密封件、成型填料
	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、钽	高真空密封、高压密封、低温密封

为了克服 PTFE 的冷流性、导热性差等缺点，减少产品磨损，采用 PTFE 材料为基体与碳纤维、聚酰亚胺（PI）、聚醚醚酮（PEEK）、聚苯硫醚（PPS）等材料复合，开发无油润滑密封件（活塞环、导向环、填料环），在中高压无油润滑压缩机广泛应用。广研密封开发的该类密封件，用在国内多家知名压缩机中。

膨体聚四氟乙烯经拉伸、膨化后形成的具有强韧而多孔型、高度纤维化的新材料，不但保持了聚四氟乙烯本身独特的化学稳定性、极低的摩擦因数、广阔的操作温度，而且它的微纤维化内部结构更使其制品具有超乎想象的坚韧性。

1.3 密封技术新进展

1.3.1 新的产品结构

近年来，随着人们对密封技术的重视，新的密封结构不断涌现，在技术水平、质量水平、性价比等方面满足国内市场需求并推向国际市场。

新型油封：该油封配备有测试密封（旋转密封）泄漏量的传感器，可用于设备泄漏的在线状态检测，由 Simrit 公司推出。

Evd 密封系统：油缸密封件磨损和变形后，通过一个专用装置，调节密封件（弹性体）的内部压力，消除泄漏，用于可靠性要求非常高的装备（如伺服油缸、水利油缸）。由 Hunger 公司推出。

采用新型 SETCO Air Shield TM 密封的主轴集成了摩擦密封与迷宫式密封的优点。压

缩空气切向送入固定前轴承座的循环槽,与主轴一起构成一个封闭的迷宫。空气在槽内环绕主轴流动。类似于涡流的运动会产生均匀的压力,以均匀的流量散发气流。其与柔性密封唇结合,外泄气流会将污物从主轴,主要是轴承处吹走。

聚四氟乙烯密封件的结构创新:PTFE密封件衍生出许多新结构,应用于往复密封、旋转密封、静密封,如AQ封、PTFE-V形圈、泛塞封等密封系统用主密封。

1.3.2 纳米磁性流体密封

具有实用价值的纳米磁性流体诞生于20世纪70年代,最初拟将其用于航天工业,用来处理在外层空间失重环境下的火箭液体燃料推进剂的密封。虽然在这一领域所做的工作由于不久之后固体燃料取代了液体燃料而未能坚持继续做下去,然而纳米铁磁性流体技术的先进性及其在工业上的应用价值已逐渐为人们认识。其中在旋转轴密封领域的应用是它的最重要、最广泛的应用之一。目前正形成庞大的市场。防尘用密封装置和真空密封装置的市场不断增长。目前国外已有几千万台计算机的磁盘驱动器采用了纳米磁性流体防尘密封,以保证磁盘工作环境的超纯净状态。真空密封装置也已用于半导体制造设备上。另外,大规模集成电路、CVD装置、溅射、等离子体蚀刻以及真空蒸镀工艺等在必须保持高真空度的部位,都可使用纳米磁性流体密封。在制药和化学领域,以及石油化工生产方面,都需要这种零泄漏、无污染的轴封装置。

就现在的发展水平而言,纳米磁性流体密封气体,其承压能力达3.5MPa,密封真空可使其真空度达 1.332×10^{-6} 。

目前,纳米磁性流体密封正向巨型化和微型化发展,巨型化是指纳米磁性流体密封正逐渐向大轴径、高速化发展,逐渐应用到石油、化工、机械等工业上。微型化是指随着产品的微型化发展,导致其密封结构的微型化的发展,微型化的关键在于开发可靠性高的密封装置。在日本已取得初步进展。

生产和科学技术的发展对转轴密封技术提出了更高的要求,传统的纳米磁性流体转轴密封结构形式已远远不能满足一些有特殊密封要求的场合。近年来,纳米磁性流体密封技术有了新的发展,出现了几种有代表性的纳米磁性流体密封新结构,如:防液体密封、纳米磁性流体-离心组合密封、柔性磁极密封、筒式防尘密封、带有散结构的密封等。

纳米磁性流体密封气体和真空技术早已进入实用阶段,密封液体尚处于研究阶段。美国已申请了纳米磁性流体水密封的专利,随着研究手段的不断提高,在这方面会有所突破。

1.3.3 制造装备及检测仪器

密封件生产装备和检测技术正朝着自动化、低成本、高可靠性的方向发展。在胶料混炼装备上,配备自动配料和混炼过程全自动控制的密炼机系统,有效实现节能高效,减少对环境的污染,同时制造出高品质的混炼胶料。为了提高密炼效果和效率,制造商研究重点放在密炼机转子形状上。日本神户炼钢厂和法雷儿公司分别开发了4WH转子和ST转子密炼机,日本三菱重工开发的GK-E转子侧重生产效率。

成型工艺方面,国外广泛应用高效、先进、高品质的橡胶注射成型加工技术。生产小制品的螺杆往复注射机、大规格制品用螺杆柱塞式注射机,均有效提高了密封件外观质量和性能、节省原料。Paker公司生产O形圈,采用注射机做出飞边很小的产品,配合液氮冷冻修边、塑料粒修边及水石洗三道工序,产品外观达到了相当高的水平。

硫化工艺装备方面,目前国内许多密封件厂家装备了真空平板机和注射机,对于普通平板硫化机也进行循环油加热改造,以保证工艺稳定性。

奥地利的爱科诺莫斯公司,在密封圈传统制作上有较大的突破。该公司生产密封件的机

加工设备,可采用机加工的方式生产密封件,适用于多种材料密封件生产,其市场份额正逐年扩大。

同时厂家亦很重视设计软件的二次开发,具备良好的模具型腔材料的加工流动性分析能力,加工制造方面已普遍采用了数控装备模具的精度,表观质量均达到相当高的水平。大大地促进了我国橡塑密封行业的技术发展。

检测技术方面,最新的发展是采用光学系统,如:Freudenbezy 等公司采用 KMK 公司开发的第三代新型光学系统,完全取代了人工检测,成功将密封件的质量检测完全集成到生产过程中,这种图像处理系统达到了极高的检测速度和检测精度,可检测密封件表面最微小的缺陷,如裂缝、气泡、杂质和滑移线等。

国内密封件企业也引进了测量油封唇口张力为主要依据的油封检测装置,以检测气压变化测量油封唇口密封性能的气敏检测仪(意大利),具有较高的检测速率,每小时可检测 1200~1800 个油封。

在加工制造方面已普遍采用了数控机床,专业模具制造公司已基本实现全数控化。模具的精度、表观质量均达到相当高的水平。目前,国内橡塑密封件企业中也有不少企业装备了数控加工设备,在模具设计和加工应用 CAD/CAM 方面积累了不少经验。

1.3.4 带压堵漏技术

阀门与管道用于控制各种设备及其管路上流体介质,泄漏常发生在填料、法兰密封及阀体上,长时间泄漏可造成阀杆和法兰密封面的冲蚀,最终可使阀门报废,加上介质流体的损失,使企业的消耗增加,成本上升,经济效益下降。如果介质流体有毒、易燃、易爆、腐蚀性等发生外泄漏,则容易发生中毒、火灾、爆炸等伤亡事故和加快厂房设备的腐蚀速度,缩短其使用寿命,严重时污染周边环境,破坏企业生产,损害人们的身体健康。泄漏的存在严重威胁着安全生产,使企业的非计划停机事故增多。

带压堵漏技术的应用在工程中具有重要意义。很多需要停车才能处理的问题现在不停车的情况下便得到了有效的解决。

带压堵漏的优点:不需要停机或对系统进行隔离;不需要对系统进行泄压;节省大量的能源和人力;大大减少了因设备隔离或停机而带来的电量损失;减少了社会经济损失。

带压堵漏是属于一种应急抢修性质的工作。带压堵漏处理的漏点是一种临时处理措施,有一定的局限性和时效性。在有条件的情况下,还是要对泄漏部位进行彻底检修。消除现场的“跑、冒、滴、漏”现象,提高设备运行健康水平的根本方法是计划检修的合理性和改进设备检修维护的工艺。

带压堵漏的工作环境恶劣、作业时间长、劳动强度大,作业中不确定因素多、作业风险大。工作前的安全准备工作非常重要,作业前的风险分析一定要充分,安全措施的实施一定要到位。

带压堵漏是一门专业性很强的技术,要求作业人员的现场应变能力、对机械专业知识掌握以及带压堵漏专用工具使用等都有很高的要求。

带压堵漏是一种新技术,它还有一个不断改进和完善的过程,它有自身的局限性和适用范围。带压堵漏并不能解决一切泄漏问题,现在还处在探索和完善阶段。

1.3.5 密封与泄漏监控技术

密封的压力、温度会对密封性能产生直接的影响,造成密封泄漏。如何实时地监测管道泄漏,并及时定位泄漏点,及时发现系统的安全隐患,降低泄漏带来的损失,使灾害不至于扩大,成为大型系统设计中的重要内容。

工业运转周期延长迫切需求开展这方面的研究,以便测量和记录现场实际工作条件,并由此确定对密封性能的影响。随着设备向高参数发展以及环保给密封提出更高的要求,迫切要求密封系统有自动监测和调控功能。

密封与泄漏监控涉及微电子学、传感器及测控技术。

目前,信息技术得到广泛应用。泄漏监测技术引入了先进的信号处理、模式识别和人工智能技术。在遥感卫星发射费用和数据费用降低的条件下,利用遥感卫星进行管道泄漏监测将成为可能,并可实时、准确地进行管道检测和预警,为管道安全运行提供依据。

泄漏在线监测技术以现代科学理论中的系统论、控制论、可靠性理论、失效理论、信息论等为理论基础,以包括传感器在内的仪表设备、计算机、人工智能为技术手段,并综合考虑各对象的特殊规律及客观要求,因此它具有现代科技系统先进性、应用性、复杂性和综合性的特征。泄漏远程诊断系统是计算机科学、通信技术与故障诊断技术相结合的一种新的设备故障诊断模式。远程诊断系统的诊断对象是现场设备及相关系统。网上传输的是运行的状态信息及故障诊断所需的信息。

第 2 章 垫片密封的使用与维护

垫片密封是工业装置中压力容器、工艺设备、动力机器和连接管道等可拆连接处最主要的静密封形式。它们所处的工况条件十分复杂，接触的流体介质范围相当广泛。防止液体或气体通过这些连接处泄漏出来，是工厂面对的最重要也是最困难的任务。虽然法兰连接接头与泵轴、阀杆、搅拌器等密封相比，其泄漏量不及它们大，但法兰连接接头的数量则比它们多得多，因此它们成为过程装备泄漏的主要来源。泄漏带来的环境污染、产品损失，使垫片密封的重要性不言而喻。由于它们通常采用螺栓法兰连接结构，因此装配时要将螺栓预紧到足以达到初步密封的要求，而精确地控制预紧水平恰恰是一个十分棘手的问题；其次，这一结构中的垫片更是一个受很多因素影响的密封元件。

2.1 垫片密封

垫片的应用范围极其广泛，垫片需要的预紧载荷也各不相同，如低压水泵薄法兰用的垫片需要的压紧载荷较低，而压力容器和管道法兰垫片，需要较大的压紧载荷和刚性较好的连接结构。对后者通常有标准可查，相对于特殊要求的垫片密封，没有标准的连接尺寸，如法兰厚度、螺栓尺寸、螺栓间距等，需要考虑专门的设计。

2.1.1 垫片密封的原理和结构

(1) 垫片密封的原理

垫片是一种夹持在两个独立连接件之间的材料或材料的组合，其作用是在预定的使用寿命内，保持两个连接件间的密封。垫片必须能够密封结合面，使密封介质不渗透和不被密封介质腐蚀，并能经受温度和压力等的作用。

就垫片密封而言，通常密封流体在垫片结合处的泄漏情况如图 2-1 所示。

一是两连接表面（即密封面），从机械加工的微观纹理来看存在粗糙度和变形，它们与垫片之间总是存在泄漏通道，由此产生的流体泄漏称为界面泄漏，其泄漏量占总泄漏量的 80%~90%。

二是对非金属材料而言，从材料的微观结构来看，本身存在微小缝隙或细微的毛细管，具有一定压力的流体自然容易通过它们渗漏出来，此称为渗透泄漏，它占总泄漏量的 10%~20%。

当夹紧垫片的总载荷因各种原因减少到几乎等于作用在连接件端部的流体静压力，导致了密封面的分离。这时若增加密封面的压力，则对于机械完整性很差的垫片，如操作期间材料发生劣化，则沿垫片径向作用的流体压力会将其撕裂，引起密封流体的大量泄漏，此被称为吹出泄漏，它属于一种事故性泄漏。

对于渗透泄漏通常可采用不同材料的复合或机械组合形成不渗透性结构，或者使用较大的夹紧力使材料更加密实，减少以至消除泄漏；而对于界面泄漏和事故性泄漏与垫片材料的

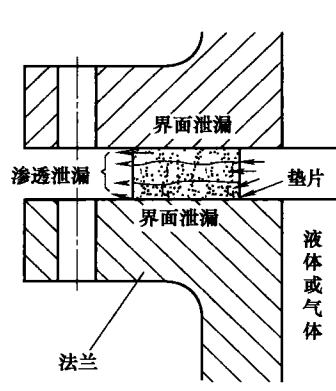


图 2-1 垫片泄漏形式

性质、接头的机械特征、密封面的性质与状态、密封流体的特性以及紧固件夹紧程度有关。它们也是解决垫片密封设计、安装、使用以及失效分析等问题的关键。

垫片密封是靠外力压紧密封垫片，使其本身发生弹性或塑性变形，以填满密封面上的微观凹凸不平来实现密封。也就是利用密封面上的比压使介质通过密封面的阻力大于密封面两侧的介质压力差来实现密封。它包括初始密封和工作密封两部分。

初始密封即垫片用于对两个连接件密封面产生初始装配密封和保持工作密封。理论上如果密封面完全光滑、平行，并有足够的刚度，它们可直接用紧固件夹持在一起，不用垫片即可达到密封的目的（即直接接触密封）。但在实际生产中，连接件的两个密封面上存在粗糙度，也不是绝对平行的，刚度也是有限的，加上紧固件的韧性不同及分散排列，因此垫片接受的载荷是不均匀的，为弥补不均匀的载荷和相应变形，在两连接密封面间插入一垫片，使之适应密封面的不规则性，以达到密封的目的。显然，产生初始密封的基本要求是使垫片压缩，在密封面间产生足够的压紧力，即垫片预紧应力（也称初始密封比压），以阻止介质通过垫片本身的渗漏，同时保证垫片对连接件有较大的适应性，即垫片压缩后产生弹性或塑性变形，能够填塞密封面的变形及其表面粗糙而出现的微观凹凸不平，以堵塞介质泄漏的通道。

当初始垫片应力加在垫片上之后，它必须在装置的设计寿命内保持足够的压紧应力，以维持允许的密封度。因为当接头受到流体压力作用时，密封面将被迫发生分离，此时要求垫片能释放出足够的弹性应变能，以弥补这一分离量，并且留下足以保持密封所需要的工作垫片应力，这就是工作密封的概念。此外，这一弹性应变能还要补偿装置在长期运行过程中，任何可能发生的垫片应力的松弛。因为各种垫片材料在长期的应力作用下，都会发生不同程度的应力降低。此外，接头不均匀的热变形，例如连接件与紧固件材料的不同，热膨胀系数不同，引起各自的热膨胀量不同，导致垫片应力的降低或升高；或者紧固件因受热引起应力松弛而减少作用在密封垫片上应力等。

任何形式的垫片密封，首先要在连接件的密封面与垫片表面之间产生一种垫片预紧力，其大小与装配垫片时的“预紧压缩量”以及垫片材料的弹性模量等有关，而其分布状况与垫片截面的几何形状有关。理论上垫片预紧应力愈大，垫片中储存的弹性应变能也愈大，因而可用于补偿分离或松弛的余地也就愈大，当然要以密封材料本身最大弹性变形能力为极限。就实际使用而言，垫片预紧应力的合理取值取决于密封材料与结构、密封要求、环境因素、使用寿命及经济性等。

（2）垫片密封的结构

典型的垫片密封结构，一般由连接件、垫片和紧固件等组成。垫片工作正常或失效与否，除了取决于设计选用的垫片本身性能，还取决于密封系统的刚度和变形、结合面的粗糙度和不平行度、紧固载荷的大小和均匀性等。

中低压设备和管道的垫片密封主要是如图 2-2 所示的法兰连接密封，其连接件和紧固件主要是法兰和连接螺栓、螺母等。法兰密封面的形式、大小与垫片的形式、使用场合及工作条件有关。常用的法兰密封面形式有全平面、突面、凹凸面、榫槽面和环连接面（或称梯形槽）等几种，如图 2-3 所示。其中以突面、凹凸面、榫槽面最为常用。

对全平面的法兰，垫片覆盖了整个法兰密封面，由于垫

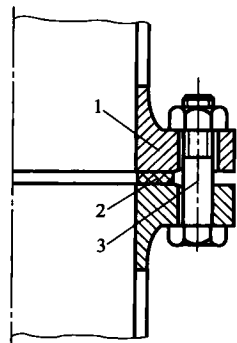


图 2-2 垫片-螺栓-法兰连接

1—法兰；2—垫片；3—螺栓螺母

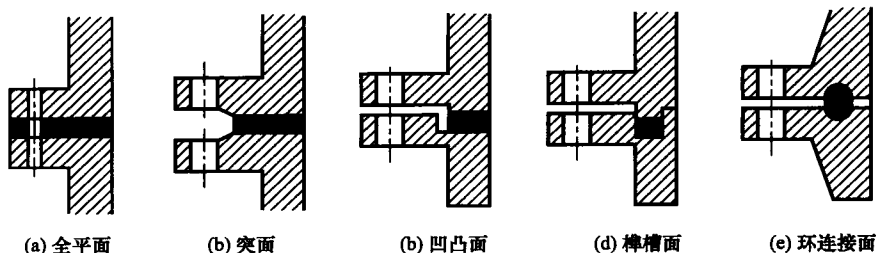


图 2-3 法兰密封面形式

片与法兰的接触面积较大, 给定的螺栓载荷下垫片上的压缩应力较低, 因此全平面法兰适用于柔软材料垫片或铸铁、搪瓷、塑料等低压法兰的场合。

对于突面法兰, 尽管为了定位需要垫片的外径通常延伸到与螺栓接触, 但起密封作用的仅是螺栓圆以内法兰凸面与垫片接触的部分, 因此相对同样螺栓载荷下的全平面法兰而言, 它能产生较高的垫片应力, 适用于较硬垫片材料和较高压力的场合。突面结构简单、加工方便、装拆容易, 且便于进行防腐衬里。压紧面可做成平滑的, 也可以在压紧面上开 2~4 条、宽×深为 $0.8\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ 、截面为三角形的周向沟槽。这种带沟槽的突面能较为有效地防止非金属垫片被挤出压紧面, 因而适用范围更广。一般完全平滑的突面适用于公称压力 $P_N \leq 2.5\text{MPa}$ 的场合, 带沟槽后容器法兰可用至 6.4MPa , 管法兰甚至可用至 $25 \sim 42\text{MPa}$, 但随公称压力的提高, 适用的公称直径相应减小。各种非金属垫片、包覆垫、金属包垫、缠绕式垫片等均可用于该密封面。

凹凸形密封面法兰是由一凹和一凸两法兰相配而成, 垫片放于凹面内。其优点是安装时易于对中, 能有效地防止垫片被挤出, 并使垫片免于遭受吹出。其密封性能好于突面密封面, 可适用于 $P_N \leq 6.4\text{MPa}$ 的容器法兰和管法兰。但对于操作温度高、密封口直径大的设备, 使用该种密封面时, 垫片仍有被挤出的可能, 此时可采用榫槽面法兰或带有两道止口的凹凸面法兰等加以解决。各种非金属垫片, 包覆垫, 金属包垫, 缠绕式垫片, 金属波形垫, 金属平垫, 金属齿形垫等适用于该密封面。

榫槽形密封面法兰比凹凸形密封面法兰的密封面更窄, 它是由一榫面和一槽面相配合而成的, 垫片置于槽内。由于垫片较窄, 压紧面积小, 且因受到槽面的阻挡, 垫片不会挤出压紧面, 受介质冲刷和腐蚀的倾向少, 安装时也易于对中, 垫片受力均匀, 密封可靠。可用于高压、易燃、易爆和有毒介质等对密封要求严格的场合, 当公称压力 $P_N = 20\text{MPa}$ 时, 可用于公称直径 $DN = 800\text{mm}$ 的场合。当压力更低时, 则可用于直径范围更大的场合, 但该种密封面的加工和更换垫片比较困难。金属或非金属平垫, 金属包垫, 缠绕式垫片都适用于该种密封结构。

环连接面法兰是与椭圆形或八角形的金属垫片配合使用的。它是靠梯形槽的内外锥面和金属垫片形成线接触而达到密封的, 具有一定的自紧作用, 密封可靠。适用于压力和温度存在波动、介质渗透性大的场合, 允许使用的最大公称压力为 70MPa 。梯形槽材料的硬度值比垫圈材料硬度高 $30 \sim 40\text{HB}$ 。

除了上述的密封面形式外, 还有配用 O 形环、透镜垫等特殊形式的密封面, 如图 2-4 所示。它在单面法兰上开一环形凹槽, 内装垫片, 螺栓预紧后, 两法兰直接接触。这种结构的主要特点是将垫片压缩到预定厚度后, 继续追加螺栓载荷直至两法兰面直接接触。所以当存在介质压

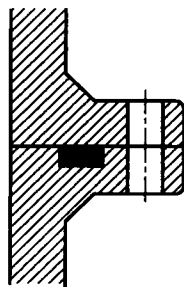


图 2-4 金属与金属接触