



黄志坚 编著

# 现代 密封技术应用

—— 使用、维修方法  
与案例



# 现代密封技术应用

## ——使用、维修方法与案例

黄志坚 编著

图书在版编目(CIP)数据

现代密封技术应用——使用、维修方法与案例 / 黄志坚编著. — 北京: 机械工业出版社, 2008.1  
ISBN 958-7-117-53972-9

I. ①现… II. 黄… III. 密封技术—案例

0715  
黄志坚  
黄志坚

黄志坚

机械工业出版社

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,是现代流体机械和动力机械不可缺少的零部件。

全书共7章,主要介绍垫片密封、填料密封、机械密封及非接触密封的选型、安装、使用维护、修理、改进技术方法;注剂、粘接及焊接带压堵漏技术;以及设备泄漏的检测、监测与综合治理方法。

本书主要供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以及大中专院校相关专业的学生与教师参考、自学。

黄志坚 编

### 图书在版编目 (CIP) 数据

现代密封技术应用——使用、维修方法与案例/黄志坚编著. —北京:机械工业出版社,2008.5

ISBN 978-7-111-23979-6

I. 现… II. 黄… III. 密封-技术 IV. TB42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 054937 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:高依楠 版式设计:霍永明

责任校对:樊钟英 封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2008年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19印张·466千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23979-6

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

## 机械工业出版社机械行业标准出版信息

我社出版自 2002 年开始发布的现行机械行业标准 (JB), 其中包括机械、电工、仪表三大行业, 涉及设备、产品、工艺等几大类。为保证用户查询、购买方便, 特提供以下信息:

### 查询标准出版信息、网上订购

<http://www.cmpbook.com/standardbook/bzl.asp>

<http://www.golden-book.com>——机械工业出版社旗下大型科技图书网站

### 标准出版咨询

机械工业出版社机械分社电话: 010-88379778

010-88379779

### 电话订购

电话: 010-68993821      010-88379639

010-88379641      010-88379643

010-88379693      010-88379170

传真: 010-68990188 (可写明购书信息及联系方式)

地址: 北京市西城区百万庄大街 22 号

邮政编码: 100037

户名: 北京百万庄图书大厦有限公司

账号: 8085 1609 1908 0910 01

开户行: 中国银行北京百万庄支行

# 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，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，所处理的流体（气体、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，密封使用维修工作涉及面广、专业性强、难度大，对相关人员的理论基础、实践经验和科学思维方法均有较高的要求。为帮助广大读者更好地完成密封技术工作任务，作者编著了此书。

全书共7章。其中第1章是概述；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。

笔者在写作过程中，重视文字的概念清晰、通俗浅显；注重技术内容的翔实、具体，实用性与先进性。本书的重要特点是取材新颖，通过大量的实例介绍技术方法。

本书适合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、大专院校相关专业的学生与教师阅读和参考。

黄志坚

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 密封技术概述</b> .....	1
1.1 密封的概念 .....	1
1.2 密封的分类 .....	1
1.3 密封材料 .....	1
1.4 密封技术应用的历史 .....	4
1.5 国内外密封技术发展趋势 .....	5
1.5.1 橡塑密封材料发展动向 .....	5
1.5.2 国内外企业推出的新材料 .....	6
1.5.3 新的产品结构 .....	6
1.5.4 纳米磁性流体密封的发展 .....	6
1.5.5 制造装备及检测仪器的发展 .....	7
1.5.6 密封监控系统研究和应用 .....	8
<b>第 2 章 垫片密封的使用维修</b> .....	9
2.1 垫片密封概述 .....	9
2.1.1 垫片密封的原理和结构 .....	9
2.1.2 垫片的种类 .....	12
2.2 垫片密封使用维修方法 .....	14
2.2.1 垫片的选择 .....	14
2.2.2 垫片的保管 .....	17
2.2.3 垫片的安装 .....	17
2.2.4 密封垫片的替换 .....	19
2.2.5 垫片密封的失效 .....	20
2.2.6 垫片高温密封失效 .....	25
2.3 垫片密封使用维修实例 .....	26
2.3.1 管道密封垫片的分类与应用 .....	26
2.3.2 高压导气管法兰齿形密封垫片的失效 .....	28
2.3.3 喷油泵结合面密封垫片的改进 .....	31
2.3.4 供热站板式换热器密封垫片检测与分析 .....	32
<b>第 3 章 填料密封的使用维修</b> .....	37
3.1 盘根（软填料）密封的使用维修 .....	37
3.1.1 盘根（软填料）密封概述 .....	37
3.1.2 填料的选择、装填与使用维护 .....	38
3.1.3 抽油井井口新型盘根的应用 .....	43
3.1.4 调心式抽油井井口密封函及混合型盘根的应用 .....	45
3.1.5 R 型热水循环泵盘根密封结构改造 .....	45
3.1.6 水泵新型填料密封技术应用 .....	45

3.1.7	循环水泵盘根密封技术改造	48
3.2	硬填料密封的使用维修	49
3.2.1	硬填料密封圈	49
3.2.2	活塞环的选配、安装与修磨	51
3.2.3	活塞环使用维修中的误区	54
3.2.4	摩托车发动机活塞环磨损的快速检查	55
3.2.5	活塞环在环槽内折断的原因	55
3.2.6	柴油机密封的使用维护	56
3.2.7	内燃机活塞环的漏气及其应对措施	59
3.2.8	密封件泄漏机理	63
3.2.9	2V—6/8 型空气压缩机密封环的改进	65
3.3	橡胶密封件的使用维修	66
3.3.1	橡胶密封件概述	66
3.3.2	常用往复密封件的选型与应用	68
3.3.3	密封材料与工作介质的适应性	74
3.3.4	新型密封件的应用	76
3.3.5	旋转往复运动液压缸中的车氏滑环式组合密封件	80
3.3.6	油膜轴承 DF 密封与水封常见损坏形式与对策	83
3.3.7	O 形密封圈的压缩率	86
3.3.8	大型液压缸 Yx 密封件的装配	86
3.3.9	工程机械橡胶密封件的选择与安装	87
3.3.10	压缩机密封圈泄漏问题的分析与检修	88
3.3.11	鱼雷武器橡胶密封件使用期限分析	90
3.4	油封的使用维修	92
3.4.1	油封概述	92
3.4.2	油封安装注意事项	94
3.4.3	油封的润滑与漏油	95
3.4.4	骨架油封的维护	97
3.4.5	变速器油封使用和装配	98
3.4.6	车用橡胶油封的使用与维修	100
3.4.7	油封密封中降低旋转轴磨损的对策	101
<b>第 4 章</b>	<b>机械密封的使用维修</b>	<b>103</b>
4.1	机械密封技术概述	103
4.1.1	机械密封的基本结构、作用原理和特点	103
4.1.2	机械密封的分类	104
4.1.3	机械密封的材料	106
4.1.4	动压型机械密封技术的应用和发展	107
4.1.5	第三代集装式机械密封	111
4.2	机械密封的安装维护	114
4.2.1	泵用机械密封的安装维护要点	114
4.2.2	泵机械密封泄漏的处理	115
4.2.3	机械密封维修中的几个误区	116
4.2.4	机械密封使用维修中的注意事项	117



4.2.5	机械密封的腐蚀与防护	118
4.3	机械密封故障及排除	122
4.3.1	机械密封的密封失效原因分析	123
4.3.2	密封失效的重要特征	124
4.3.3	根据机械密封摩擦副磨损情况分析故障原因	126
4.3.4	炼油厂泵类设备机械密封故障分析实例	128
4.3.5	热油泵机械密封泄漏原因及处理实例	129
4.3.6	给水泵机械密封事故原因分析实例	132
4.4	机械密封的技术改进	134
4.4.1	CHZE200—250 型循环水泵机械密封损坏分析与改进	134
4.4.2	泵串联机械密封及系统改造	135
4.4.3	高温泵机械密封失效分析与改进	137
4.4.4	甲铵泵机械密封的改造	139
4.4.5	凝聚釜机械密封的改造	140
4.4.6	热媒循环泵机械密封失效及改进	142
4.4.7	乳液聚合物输送泵机械密封的改造及应用	144
4.4.8	双端面机械密封的封液系统改造	148
4.4.9	变工况釜机械密封国产化改造中的问题及解决措施	149
4.4.10	污水泵机械密封的改造	151
<b>第5章</b>	<b>非接触型密封的使用维修</b>	<b>154</b>
5.1	间隙密封的使用维修	154
5.1.1	概述	154
5.1.2	填充尼龙在离心泵密封环上的应用	154
5.1.3	ZJ 系列渣浆泵在选煤厂的应用	156
5.2	迷宫密封的使用维修	157
5.2.1	迷宫密封概述	157
5.2.2	双级迷宫密封离心式低温液体泵的使用维修	159
5.2.3	汽动给水泵油中进水问题的分析处理	161
5.2.4	机械密封的迷宫改造	162
5.2.5	球团竖炉齿辊密封改造	164
5.3	浮环密封的使用维修	165
5.3.1	浮环密封概述	165
5.3.2	浮环密封失效原因分析	167
5.3.3	减少浮环密封密封油损耗的措施	168
5.3.4	103—J 型合成气压缩机浮环密封漏油分析	170
5.4	动力密封的使用维修	173
5.4.1	离心密封	174
5.4.2	副叶轮密封在液尿泵上的应用	176
5.4.3	离心泵动力密封装置的使用维修	178
5.4.4	离心泵的动力密封改造	179
5.4.5	螺旋密封	183
5.4.6	螺旋密封式给水泵密封水压差小跳泵的处理	185
5.4.7	吸气现象与密封破坏现象对螺旋密封的影响	186



5.4.8	D 型输油泵螺旋密封改造	189
5.4.9	200DI—65×10 输油泵反螺旋密封的改进和修复	190
5.4.10	锅炉给水泵螺旋密封装置的改进	191
5.4.11	螺旋密封在灰渣泵轴封上的应用	193
5.4.12	聚酯装置中熔体泵螺旋密封改造	194
5.5	磁流体密封的使用维修	196
5.5.1	磁流体密封概述	196
5.5.2	磁流体旋转轴液体密封的应用	198
5.5.3	极靴结构对磁流体密封能力的影响	201
5.5.4	磁流体密封技术在反应釜中的应用	202
5.5.5	磁流体密封技术在 SF6 负荷开关中的应用	204
5.6	全封闭密封的使用维修	206
5.6.1	全封闭密封的原理	206
5.6.2	隔膜传动	206
5.6.3	GEHO 隔膜泵的操作要点与工艺改进	207
5.6.4	SGMB100/3 隔膜泵推进液系统故障及排除	208
5.6.5	HMD—G—32—0250 型隔膜泵故障检修及分析	210
5.6.6	ZPM11×20×1250 隔膜泵的隔膜故障	212
5.6.7	磁力传动	213
5.6.8	磁力泵泄漏原因分析和处理	214
5.6.9	磁力机械密封在连铸移钢机上的应用	215
5.6.10	全封闭多级磁力密封技术烧结机上的应用	217
5.6.11	提高海密梯克磁力泵运行可靠性的途径	220
<b>第 6 章 带压堵漏技术</b>		223
6.1	注剂带压堵漏技术	223
6.1.1	概述	223
6.1.2	注剂带压堵漏的特点	224
6.1.3	带压堵漏技术应用技术关键	225
6.1.4	几种在线带压堵漏夹具及应用	227
6.1.5	液化石油气储配站带压堵漏	228
6.1.6	中压蒸汽阀盖的带压堵漏	231
6.2	粘接带压堵漏技术	232
6.2.1	储输油设备“一堵二补三固化”堵漏工艺	232
6.2.2	带压粘接密封技术在石化大型装置维修中的应用	234
6.2.3	粘接密封技术在制碱设备上的应用	235
6.3	带压焊接堵漏技术	236
6.3.1	承压设备的带压引流焊接密封	237
6.3.2	带压引流焊接密封操作注意事项	240
6.3.3	带压引流焊接堵漏应用实例	241
6.3.4	其他带压焊接补漏方法	242
6.4	带压堵漏安全技术	243
6.4.1	带压堵漏安全规范	243
6.4.2	带压堵漏的安全管理要点	244

6.4.3	带压堵漏施工安全注意事项	244
<b>第7章</b>	<b>泄漏的检测、监测与治理</b>	<b>246</b>
7.1	泄漏的检测	246
7.1.1	管道泄漏检测技术	246
7.1.2	海底管道泄漏检测	251
7.1.3	密封容器泄漏压力检测法	253
7.1.4	板翅式换热器泄漏的形成及检测	254
7.1.5	汽车驱动桥泄漏在线检测	257
7.2	泄漏的监测	259
7.2.1	油品管输工程输油管道泄漏监测系统	259
7.2.2	管道漏油监测系统在铁秦线的试验与应用	261
7.2.3	冷却器泄漏在线监测	264
7.2.4	天然气发动机冷却液泄漏与监测	267
7.3	泄漏的治理	268
7.3.1	螺旋输送机轴封泄漏治理	268
7.3.2	200MW 汽轮机盘车无泄漏治理	270
7.3.3	蒸汽锤泄漏的治理	273
7.3.4	烧结机漏风的治理	274
7.3.5	线材轧钢设备的泄漏与治理	279
7.3.6	水泥工艺设备漏油原因与对策	281
7.3.7	煤矿液压支架液压系统泄漏治理	284
7.3.8	O形密封圈在机载雷达液压系统改进中的应用	286
<b>参考文献</b>		<b>289</b>

# 第 1 章 密封技术概述

## 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。所谓泄漏则是指从运动副的密封处，越界漏出的少量不作用功的流体的现象。

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如下：

- 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持。

## 1.2 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。

静密封主要有垫片密封、胶密封和接触密封三大类。根据工作压力，静密封由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。

## 1.3 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，

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)	漏泄率/(mL/h)	使用期限	应用举例	
接 触 型	压紧填料密封	$1.33 \times 10^{-3}$	31.38	-240 ~ 600	20	10 ~ 1000	—	清水离心泵、柱塞泵、阀杆密封	
	成型填料	挤紧型	$1.33 \times 10^{-7}$	98.07	-45 ~ 230	10	0.001 ~ 0.1	6个月 ~ 1年	液压缸、水压缸
		唇型	$1.33 \times 10^{-9}$						
	橡胶油料	油封	—	0.29	-30 ~ 150	12	0.1 ~ 10	3 ~ 6个月	轴承封油与防尘
		防尘油封	—						
	硬填料密封	往复	—	294.20	-45 ~ 400 <sup>①</sup>	—	—	3个月 ~ 1年	活塞杆密封
		旋转	—					6个月 ~ 1年	航空发电机、主轴密封油
	机械密封	普通型	$1.33 \times 10^{-7}$	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
迷宫密封		$1.33 \times 10^{-5}$	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		$1.33 \times 10^{-5}$	32	-100 ~ 200	40 ~ 90	大	1年以上	离心式压缩机	
非 接 触 型	离心密封	背叶轮	$1.33 \times 10^{-3}$	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
	防尘								
	螺旋密封	螺旋密封	$1.33 \times 10^{-3}$	2.45	-30 ~ 100	30	—	取决于轴承寿命	轴承油封、鼓风机机械密封油
		螺旋迷宫密封	—						70
其他	磁流体密封	$(1.33 \times 10^{-13})$	(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。

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；耐蚀性能好，在酸，碱，油等介质中能长期工作，其体积和硬度变化小，且不粘附在金属表面上；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及含极性添加剂的齿轮油，使用温度为 -40 ~ 120℃。用于制作 O 形圈、油封，适用于一般的液压、气动系统。

氟化丁腈橡胶强度高、耐油、耐磨、耐热、耐老化，使用温度为 -40 ~ 150℃。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），可用于所有润滑油、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，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、变速器，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，可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。

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
	动物纤维	毛、毡、皮革
	矿物纤维	石棉
	人造纤维	有机合成纤维、玻璃纤维、碳纤维、陶瓷纤维
弹塑性胶	橡胶	合成橡胶、天然橡胶
	塑料	氟塑料、尼龙、聚乙烯、酚醛塑料、氯化聚醚、聚苯硫醚
	密封胶	液态密封胶、厌氧胶
无机材料	柔性石墨	天然石墨
	碳石墨	焙烧碳、电化石墨
	工程陶瓷	氧化铝瓷、滑石瓷、金属陶瓷、氧化硅、硼化铬

(续)

类别	材料	用途
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、钨、钼	高真空密封、高压密封、低温密封

## 1.4 密封技术应用的历史

早在15世纪，达·芬奇就应用有弹性的材料为当时的提水机制作了“密封件”。这种“密封件”一直被沿用到1700年左右。那时的提水机内加入了一种皮制的衬垫，即为密封件。

工业上应用弹塑性材料作为密封件始于19世纪。1856年，一种圆形的、用弹塑性材料做成的圈被应用于蒸汽机上。类似的密封技术被载入1886年的法国专利，并被应用到流体泵上。关于此类圆形圈的进一步的研究开发和应用，是由丹麦的发明家和机械制造家克利斯登森(Niels A. Christensen)完成的。在1926年到1933年，他在美国的米德兰带钢公司(Midland Steel)，固特异公司(Good Year)及ACME公司工作期间，设计了液压制动缸和与之相配的密封系统。此技术于1930年公开发布，1933年，他申请的关于液压缸的圆圈状的密封件，获得了1938年颁发的大奖(美国专利号2115, 383)。然而，在实际的应用中，很快就显示出了这种圆形圈在动态密封(往复运动)中的局限性。这就导致了有截面形状，且被装入沟槽中用以防止其移动的密封件的发展，例如1940年，道格拉斯公司(Douglas)生产的“三角形密封件”(图1-1)。这种形状的密封件在当时的航空工业上得到了广泛的应用，而且至今它还对那些要求在低温下，具有高度安全性和高寿命的密封件的设计有着相当大的影响。

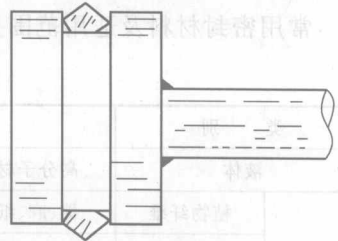


图1-1 道格拉斯公司的三角形密封件

派克公司(Parker)是世界上最早生产O形圈和带有截面形状的密封圈的公司之一。早在1947年，派克公司就通过了美国航空工业种种苛刻的检查，获准为其生产密封件。派克公司在德国的分公司帕蒂法(Parker Prädifa)更继承了这种传统，且在开发能力及产品质量方面都有了进一步的发展。

当代的带有截面形状的密封件的起源，都可以追溯到弹性橡胶发明之前。那时由麻类植物、动物皮毛及棉花合成的密封材料，统称为Packing，意为有许多层组成的衬垫。

在1930年，传统的液压介质由水改为工业油和其他更加粘稠并且润滑性能更好的介质，导致了密封件材料及其截面几何形状的进一步发展。

应用水作为液压介质的一个例子就是伦敦的塔桥。它建于1885年到1894年之间。塔桥



的液压缸由水压机和活塞泵驱动。这种驱动形式一直沿用了许多年，这座“会动”的塔桥及其整套的驱动系统都是由阿姆斯特朗·米切尔（Armstrong Mitchel）设计的，并于1890年安装成功。今天，这座塔桥平均每周开合9次，每次持续12min。从塔桥建成至今，在这么长的时间内，它的密封件的工作都非常的安全可靠，从未发生过桥面上升过程中突然落下之类的事件。

现代工业对密封件提出了越来越高的要求，如体积小、耐高压、有出色的物理化学性能等，这就导致了无论是应用橡胶还是其他热塑性材料在密封方面进行演变的多样性。与此同时，针对密封件在不同工作环境下的应用，人们开发出了许多具有优良物理性能的材料，由此也出现了许多不同类型，不同材料的产品。

近年来，随着科研人员和密封件生产厂家对密封技术研究的不断深入，对密封系统实践经验的不断丰富，密封系统已基本满足各行业在不同工作环境下不同的要求。

人们为了寻求完美的密封系统已进行了几百年不懈的努力。随着科技的发展和密封理论的更加完善，可以预见，密封产品的发展趋势是集密封功能和导向功能为一体，即整合式密封系统。

## 1.5 国内外密封技术发展趋势

### 1.5.1 橡塑密封材料发展动向

橡塑密封件常用的丁腈、氢化丁腈、氟橡胶、丙烯酸酯橡胶、聚四氟乙烯等特种橡塑材料的配方及加工工艺研究，提高材料适用性能和利用率仍然是工作重点，而纳米材料的应用也将提升橡塑材料的力学性能和特殊功能。

特种工程弹性体取代低性能耐油橡胶；对橡胶亮面进行表面处理；通过纳米技术对橡塑材料改性及应用液体橡胶材料，诸如此类的材料技术近年都取得了一些进展。特别是近期一些新材料应用，对橡塑密封技术进步起了极大的推动作用。

我国在密封件中应用相对较少的热塑性弹性体（TPE），具有硫化橡胶的物理性能和热塑性树脂的工艺加工性能，成型工艺不需要硫化，因而被作为第三代橡胶。主要品种中的动态硫化弹性体（TPV）、聚烯烃热塑性弹性体（TPO）、聚氨酯热塑性弹性体（TPU）在世界范围已得到广泛应用。

TPV在汽车行业的应用年均增长15%，一般是三元乙丙胶（EPDM）和聚丙烯（PP）的全交联化合物，其综合了高拉伸强度、耐油耐热等性能，可长期耐150℃热油工况条件，可用于替代三元乙丙橡胶（EPDM）生产汽车密封件等制品。

TPO目前用得较多的是由三元乙丙橡胶与聚乙烯组分构成，生产工艺有机械共混法和动态硫化法。动态硫化法生产的TPO中，橡胶的质量分数高达60%~70%，耐磨性、耐臭氧、撕裂强度高、压缩变形小，综合性能优于三元乙丙硫化橡胶。美国、西欧和亚洲均在继续增建TPO生产装置。

TPU具有塑料优良的加工性能和橡胶的物理性能，其耐磨、耐低温、耐辐射性能优良，在汽车、航空航天、医疗卫生、生活用品、军用物资等行业应用均有很大进展。TPU可广泛用于汽车减振垫、轴衬、轴瓦、轴套、气囊等零部件。



## 1.5.2 国内外企业推出的新材料

### 1. 全氟橡胶 (FFKM)

它具有耐高温 (250 ~ 320℃), 耐燃气和强烈的化学腐蚀, 弹性好, 压缩永久变形低等优点。适应一些十分苛刻的工作条件, 在化工、食品、印刷、半导体等行业应用。全氟橡胶由派克、EVC0 等公司推出。

### 2. 氟塑料包覆橡胶产品

此产品包括氟化丙烯 (FEP) 和全氟化合物 (PFA) 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)。氟塑料包覆可提高橡胶产品耐介质性能 (溶剂、强酸、强碱)。此类产品由上海亿冈、EVC0、弗罗伊登 (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, 和耐超低温性能, 达到 20K (-253℃) 耐超低温工况。由西姆瑞特公司 (Simrit) 独家推出。

### 4. 聚四氟乙烯 (PTFE) 复合与改性

为了克服聚四氟乙烯的冷流性、导热性差等缺点, 减少产品磨损, 采用聚四氟乙烯材料为基体, 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中广泛应用。

膨体聚四氟乙烯经拉伸、膨化后, 形成具有强韧而多孔型、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。

## 1.5.3 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。

1) 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, 由西姆瑞特公司推出。

2) Evd 密封系统。液压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 (如同服液压缸、水利液压缸)。由洪格尔公司推出。

3) 采用新型 SETCO 公司的空气密封的主轴, 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。

4) 聚四氟乙烯密封件的结构创新。聚四氟乙烯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。

## 1.5.4 纳米磁性流体密封的发展

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最重要、最广泛的应用之一。目前，防尘用密封装置和真空密封装置的市场不断增长，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，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  $1.332 \times 10^{-6}$  Pa。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。微型化是指产品的微型化发展，导致其密封结构的微型化。微型化的关键在于开发可靠性高的密封装置，这项技术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，例如：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。

### 1.5.5 制造装备及检测仪器的的发展

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，可实现节能高效，并减少了对环境的污染，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（Farrere）公司分别开发了 4WH 转子和 ST 转子密炼机，日本三菱重工开发了侧重生产效率的 GK-E 转子。

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，均能有效提高密封件外观质量和性能，节省原料。派克公司生产 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（Economos）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。

我国厂家亦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：弗罗伊登贝克（Freudenberg）等公