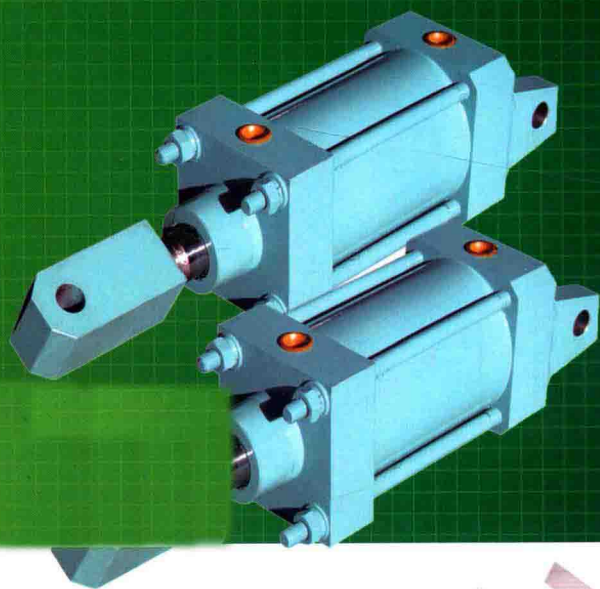


液压缸密封技术 及其应用

YEYAGANG MIFENG JISHU JIQI YINGYONG

唐颖达 编著



- 帮助您设计出适合的液压缸密封系统
- 帮助您制造出密封性能优良的液压缸
- 帮助您手到病除地解决液压缸的泄漏问题
- 帮助您在事故仲裁中分清责任



液压缸密封技术及其应用

唐颖达 编著



机械工业出版社

本书内容包括：液压缸密封技术基础、液压缸密封件及其沟槽、液压缸密封系统设计与制造、液压缸的泄漏及防治、液压缸密封技术工程应用设计实例、液压缸密封技术现场应用实例。

本书在编写过程中融入了作者30多年来液压技术设计与工程实践的经验积累，按照标准、全面、准确、实用、新颖的原则，对液压缸密封技术及其应用所涉及的一些问题做了较为详尽的阐释。

本书可供涉及液压系统及液压缸的相关人员，包括工程设计人员、加工制造人员、试验验收人员、现场维修维护人员、产品营销人员以及高等院校相关专业教师、学生等使用和参考。

图书在版编目（CIP）数据

液压缸密封技术及其应用/唐颖达编著. —北京：机械工业出版社，2016.5
ISBN 978-7-111-53563-8

I. ①液… II. ①唐… III. ①液压缸—机械密封 IV. ①TH137.51

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第080298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：崔滋恩 责任编辑：崔滋恩

版式设计：霍永明 责任校对：杜雨霏

封面设计：陈 沛 责任印制：李 洋

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2016年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.25印张·501千字

0001—3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-53563-8

定价：69.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

策划编辑：010-88379644

教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

前 言

液压缸是现今应用最为广泛的液压元件之一。液压缸设计也是工程技术人员最可能遇到的技术设计，液压缸密封技术设计是其最重要的组成部分。

液压缸密封技术不但是一门专业性很强的工程技术，而且更是一门理论与实践结合紧密的应用科学。

在液压传动系统中，功率是通过封闭回路内的受压液体来传递和控制的。该液体既是润滑剂，又是功率传递介质。液压缸的设计应满足规定的使用条件要求，并为使用者提供基本保证。

液压传动系统中的各种元件包括液压缸、附件和管路等均需密封。正确设计液压缸密封系统及密封沟槽，正确选用密封件或密封装置，是保证液压缸正常、可靠工作的关键环节。

液压缸是液压系统中的执行元件，用来驱动负载（或外部载荷）实现直线往复运动。GB/T 17446—2012 中界定的缸的定义是提供线性运动的执行元件。其特点是结构简单、制造容易、在主机中布置方便，故应用广泛。由于工程上对液压缸使用要求多种多样，所以液压缸种类繁多。尽管液压缸有标准产品，如冶金设备用液压缸、自卸汽车液压缸、（舰）船用液压缸、农用液压缸、采掘机械用液压缸等，但仍不能满足工程上对液压缸的要求，所以经常需要有针对性地设计液压缸。

液压缸设计需要遵循的原则之一就是液压缸密封设计要合理，在规定工况下密封性能可靠，即泄漏少、摩擦力小、导向好、防尘好、寿命长、更换密封件或密封装置简单、方便。液压缸密封设计具体来说包括：液压缸缸体（筒）与活塞之间密封及导向、活塞与活塞杆之间密封、缸盖（或导向套）与缸体（筒）及活塞杆之间密封，以及导向、活塞杆防尘（密封）及刮油、油口连接密封，可能还有缸筒与缸底（如螺纹连接缸底）密封、缓冲装置密封等。另外，液压缸密封设计关系到液压缸的性能、结构、尺寸等，所以在液压缸设计过程中必须优先考虑、确定。

液压缸密封设计存在的难点之一在于液压缸的实际使用工况在一般情况下很难确定准，即规定工况与实际工况不同。因此，液压缸密封设计时不但要满足规定工况的要求，同时还需预判实际使用工况中的极端（限）工况，例如活塞和活塞杆运动的瞬间极限速度、液压介质和环境温度及状况的突发变化、外部负载剧烈变化及压力峰值，尤其极端侧向载荷（偏载）情况、环境变化可能造成的污染等，这些极端工况可能发生时间很短，且不可重复，但确实可以造成液压缸密封失效，甚至演变成事故。

任何一个密封装置或密封系统都存在泄漏的可能，且不可能适应各种工况，所以规定工况（在运行或试验期间需要满足的工况）在液压缸密封设计中十分重要。

液压缸密封设计存在的难点之二在于某处密封采用单一密封件（装置）很难满足规定工况要求，且有可能一台液压缸的各处密封无法统一满足规定工况要求。因此，现在液压缸密封一般都采用密封装置组合密封，亦即采用密封系统密封。

液压缸密封设计存在的难点之三在于规定工况本身可能就存在问题，例如，动密封一定

或多或少地存在泄漏，在液压缸运动部件（如活塞杆）静止（如耐压试验）时一些用作动密封的唇形密封件也有可能产生泄漏，但一些标准，如 JB/T 10205—2010《液压缸》中规定：“活塞杆静止时不得有渗（泄）漏。”

液压缸密封设计存在的难点之四在于各标准规定工况之间存在矛盾，或现有密封材料、密封件或密封装置及组合（密封系统）无法满足规定工况要求等。

液压缸密封设计是一门专业性很强的工程技术，涉及多门专业知识，且必须经过实践（实机）检验。到现在为止还没有一本从理论到实践都可以比较准确地指导读者进行液压缸密封设计的书。为此，本人经过几十年的积累和几年的努力，编写出本书，希望它能成为一本采用现行标准、密封理论完整准确、密封件（密封装置）种类齐全、密封系统设计实用、密封设计理论和实践问题回答得清楚的液压缸密封技术及其应用的专著。

一人之力终归有限，书中不足之处在所难免，敬请专家、同行批评指正。

编者

目 录

前言	
第 1 章 液压缸密封技术基础	1
1.1 液压缸密封技术概论	1
1.1.1 泄漏与密封	1
1.1.2 密封的分类	2
1.1.3 常用密封材料的分类与性能	9
1.1.4 液压缸工作介质与使用工况	15
1.1.5 液压缸常用密封件	17
1.1.6 液压缸密封技术的现状与进步	19
1.2 液压缸密封基础理论及机理	30
1.2.1 液压缸密封基础理论	30
1.2.2 液压缸密封机理	32
1.3 液压缸密封相关标准	37
1.3.1 液压缸密封相关标准目录	37
1.3.2 液压缸密封相关术语、词汇及其定义摘录	41
1.3.3 液压缸密封相关标准摘要	57
第 2 章 液压缸密封件及其沟槽	72
2.1 液压缸密封件质量的一般要求	72
2.1.1 液压缸橡胶密封材料的一般要求	72
2.1.2 液压缸密封件外观质量的一般要求	72
2.1.3 液压缸密封件的尺寸、公差及其测量	73
2.1.4 液压缸密封件其他性能的一般要求	74
2.1.5 橡胶密封材料及橡胶密封件的贮存	79
2.2 O 形橡胶密封圈及其沟槽	81
2.2.1 O 形圈的特点及其作用	81
2.2.2 O 形圈的密封机理	81
2.2.3 O 形圈的密封设计	83
2.2.4 O 形圈沟槽的设计方法	87
2.2.5 O 形圈的选用与安装	87
2.3 Y 形橡胶密封圈及其沟槽	89
2.3.1 Y 形圈的密封机理、分类及其特点	89
2.3.2 Y 形圈的密封设计	90
2.4 Yx 形橡胶密封圈及其沟槽	97
2.4.1 Yx 形圈及其特点	97
2.4.2 Yx 形圈的密封设计	99
2.5 V 形橡胶密封圈及其沟槽	104
2.5.1 V 形圈的密封机理	104
2.5.2 V 形圈的使用和特点	105
2.5.3 V 形圈的设计和选用原则	105
2.6 U 形橡胶密封圈及其沟槽	109
2.6.1 U 形圈的特点及其作用	109
2.6.2 U 形圈的密封机理	111
2.6.3 U 形圈产品及其沟槽	112
2.7 蕾形橡胶密封圈及其沟槽	126
2.7.1 蕾形圈的特点及其作用	126
2.7.2 蕾形圈的密封机理	127
2.7.3 蕾形圈产品及其沟槽	127
2.8 鼓形橡胶密封圈和山形橡胶密封圈及其沟槽	129
2.8.1 鼓形圈和山形圈的特点及其作用	129
2.8.2 鼓形圈和山形圈产品及其沟槽	130
2.9 同轴密封件及其沟槽	135
2.9.1 同轴密封件的特点及其作用	135
2.9.2 同轴密封件的密封机理	137
2.9.3 同轴密封件产品及其沟槽	138
2.10 几种非典型密封件及其沟槽	147
2.10.1 带挡圈的活塞杆组合密封圈	147
2.10.2 带支撑环的活塞单向密封圈及其沟槽	148
2.10.3 带挡圈的同轴密封件	149
2.10.4 低泄漏同轴密封件	150
2.11 防尘密封圈及其沟槽	152
2.11.1 标准橡胶防尘密封圈及其沟槽	152
2.11.2 其他防尘密封圈及其沟槽	159
2.12 支承环(导向环)及其沟槽	161

2.12.1	支承环及其沟槽	161	3.5.2	O形密封圈装配的技术要求	238
2.12.2	支承环及其沟槽设计	169	3.5.3	唇形密封圈装配的技术要求	238
2.13	挡圈及其沟槽	172	3.5.4	同轴密封件装配的技术要求	239
2.13.1	O形圈用挡圈及其沟槽	172	3.5.5	支承环装配的技术要求	239
2.13.2	U形圈用挡圈及其沟槽	174	3.6	液压缸密封性能试验	240
2.14	组合密封垫圈及其沟槽	176	3.6.1	液压缸密封性能试验项目、条件 与试验装置	240
2.14.1	密封垫圈	176	3.6.2	液压缸密封性能试验方法与检验 规则	244
2.14.2	密封垫圈沟槽	178	3.6.3	液压缸密封性能试验注意事项	246
2.15	耐高温、高压密封圈	179	第4章	液压缸的泄漏及防治	247
2.15.1	密封材料的最高工作温度	180	4.1	液压缸密封失效的危害	248
2.15.2	密封圈的最高工作温度	180	4.1.1	液压缸外泄漏的危害	248
2.15.3	密封圈的最高工作压力	181	4.1.2	液压缸内泄漏的危害	249
2.15.4	耐高温、高压密封圈产品	181	4.2	液压缸密封失效的判据	250
2.16	旋转轴唇形密封圈及其腔体	184	4.3	液压缸密封的在线监测与故障诊断	251
2.16.1	旋转轴唇形密封圈相关标准	184	4.3.1	压力的在线监测	251
2.16.2	旋转轴唇形密封圈的密封 机理	185	4.3.2	内泄漏的在线监测	251
2.16.3	旋转轴唇形密封圈的腔体	186	4.3.3	温度的在线监测	251
2.16.4	旋转轴唇形密封圈的应用	189	4.3.4	液压缸密封故障诊断	252
2.17	液压设备中其他旋转密封	190	4.4	液压缸密封失效的原因	254
2.17.1	旋转密封件产品	191	4.5	液压缸泄漏的检测与防治	259
2.17.2	旋转轴密封件的应用及特点	191	4.5.1	液压缸泄漏的分析	259
2.17.3	旋转轴密封的沟槽设计	192	4.5.2	液压缸泄漏量的在线检测	260
第3章	液压缸密封系统设计及制造	195	4.5.3	液压缸泄漏的防治	262
3.1	液压缸密封技术要求	195	4.6	液压系统及液压缸污染的在线监测与 防治	270
3.1.1	液压缸密封的一般技术要求	195	4.6.1	工作介质污染度的在线监测	270
3.1.2	液压缸密封的特殊技术要求	199	4.6.2	液压缸污染的在线防治	270
3.1.3	液压缸密封工况的初步确定	201	第5章	液压缸密封技术工程应用设计 实例	273
3.2	液压缸密封系统设计	205	5.1	液压机用液压缸密封系统	273
3.2.1	液压缸密封系统的定义	205	5.1.1	8000 kN 塑料制品液压机主液缸 密封系统	273
3.2.2	液压缸密封系统工程应用设计	206	5.1.2	1.0 MN 平板硫化机修复用液缸 密封系统	274
3.2.3	液压缸密封系统工程应用设计 中的几个具体问题	218	5.1.3	2000 kN 成形液压机液缸密封 系统	274
3.2.4	液压缸密封系统设计禁忌	221	5.2	液压剪板机、板料折弯机用液缸密封 系统	275
3.3	液压缸密封沟槽的设计	224	5.2.1	液压闸式剪板机用液缸密封 系统	275
3.3.1	矩形密封沟槽的尺寸与公差	225			
3.3.2	矩形密封沟槽的几何公差	229			
3.3.3	矩形密封沟槽的表面粗糙度	230			
3.4	液压缸密封沟槽的机械加工艺	234			
3.4.1	活塞密封沟槽的加工	234			
3.4.2	导向套密封沟槽的加工	236			
3.5	液压缸密封件装配工艺	237			
3.5.1	密封件装配的一般技术要求	237			

5.2.2 液压摆式剪板机用液压缸密封系统	276	5.6.4 双顶液压缸密封系统	287
5.2.3 液压上动式板料折弯机用液压缸密封系统	276	5.6.5 石油机械用液压缸密封系统	287
5.2.4 数控同步液压板料折弯机用液压缸密封系统	277	5.7 带位(置)移传感器的液压缸密封系统	288
5.3 机床和其他设备用液压缸密封系统	277	5.7.1 带接近开关的拉杆式液压缸密封系统	288
5.3.1 机床用拉杆式液压缸密封系统	277	5.7.2 带位移传感器的重型液压缸密封系统	289
5.3.2 一种设备倾斜用液压缸密封系统	278	5.7.3 带位移传感器的双出杆液压缸密封系统	289
5.3.3 双出杆射头升降用液压缸密封系统	278	5.7.4 带位移传感器的串联液压缸密封系统	290
5.3.4 一种设备用带泄漏通道的翻转液压缸密封系统	279	5.8 伺服液压缸密封系统	290
5.3.5 两辊粉碎机用串联液压缸密封系统	279	5.8.1 1000kN 公称拉力的伺服液压缸密封系统	290
5.4 工程用液压缸密封系统	280	5.8.2 2000kN 输出力的双出杆伺服液压缸密封系统	291
5.4.1 单耳环安装的工程液压缸密封系统	280	5.9 高压开关操动机构用液压缸密封系统	292
5.4.2 中耳轴安装的工程液压缸密封系统	280	5.10 汽车及其他车辆用液压缸密封系统	292
5.4.3 前法兰安装的工程液压缸密封系统	281	5.10.1 汽车钳盘式液压制动器上的液压缸密封系统	292
5.4.4 后法兰安装的工程液压缸密封系统	281	5.10.2 汽车用转向液压缸密封系统	293
5.4.5 带支承阀的千斤顶密封系统	282	5.10.3 车辆用支撑液压缸密封系统	293
5.5 阀门、启闭机、升降机用液压缸密封系统	282	5.10.4 车辆用带液压锁的支腿液压缸密封系统	294
5.5.1 阀门开关用液压缸密封系统	282	5.11 伸缩缸密封系统	294
5.5.2 启闭机用液压缸密封系统	283	5.11.1 带支承阀的二级伸缩缸密封系统	294
5.5.3 剪式升降机用液压缸密封系统	284	5.11.2 四级伸缩缸密封系统	295
5.5.4 四导轨升降机用液压缸密封系统	284	5.12 增压器密封系统	296
5.6 钢铁、煤矿、石油机械用液压缸密封系统	285	5.13 汽车地毯发泡模架用摆动液压缸密封系统	296
5.6.1 使用磷酸酯抗燃油的冶金设备用液压缸密封系统	285	5.14 液压缸中旋转轴密封系统	297
5.6.2 采用铜合金支承环的冶金设备用液压缸密封系统	285	第6章 液压缸密封技术现场应用实例	298
5.6.3 辊盘式磨煤机用液压缸密封系统	286	6.1 液压缸活塞密封技术现场应用	299
		6.1.1 活塞密封失效 I 的处理	299
		6.1.2 活塞密封失效 II 的处理	299
		6.2 液压缸活塞杆密封技术现场应用	300
		6.2.1 活塞杆表面质量问题的处理	300
		6.2.2 活塞杆密封失效 I 的处理	301

6.2.3 活塞杆密封失效Ⅱ的处理 302

6.3 液压缸导向套静密封技术现场应用 ... 303

6.3.1 导向套静密封失效的处理 303

6.3.2 O形圈安装问题的处理 304

6.4 液压缸防尘与密封技术现场应用 304

6.4.1 防尘密封圈处泄漏Ⅰ的处理 304

6.4.2 防尘密封圈处泄漏Ⅱ的处理 305

6.4.3 防尘密封圈损坏的处理 305

6.5 液压缸支承与导向技术现场应用 306

6.5.1 支承环沟槽问题的处理 306

6.5.2 支承环装配问题的处理 306

6.6 液压缸油口连接密封技术现场应用 ... 307

6.6.1 油口垂直度问题的处理 307

6.6.2 密封垫圈选用问题的处理 308

6.6.3 铰平密封面直径及其他问题的
处理 308

附录 311

附录 A 硫化橡胶或热塑性橡胶硬度的测定及
压入硬度试验方法 311

附录 B 实心硫化 O 形橡胶密封圈耐液体试验
结果的计算 312

附录 C 橡胶制品的贮存指南 313

附录 D 静密封用 O 形橡胶密封圈的贮存和
使用寿命预测 314

参考文献 315

1.1 液压缸密封技术概论

1.1.1 泄漏与密封

液压缸是一种密闭的特殊压力容器,依靠封闭在无杆腔和/或有杆腔(以活塞式单活塞杆双作用液压缸为例)的液压工作介质体积的变化驱动活塞(活塞杆)相对液压缸体(筒)运动,将液压能转换成机械能。液压工作介质是受压的,有时压力会很高,也就是说有公称压力超过32MPa的超高压液压缸^①。例如作者制造过的一台10MN模膛挤压液压机的主缸就是公称压力125MPa的液压缸,还有多台六面顶金刚石液压机增压液压缸(器)等。一般来说液压工作介质压力越高,泄漏越严重,密封越困难。但液压工作介质压力在低压(0~2.5)MPa、中压2.5~8.0MPa时也不可忽视,实践中确实遇到过液压缸高压16.0~31.5MPa、超高压 ≥ 32 MPa时不泄漏,而在中低压时泄漏。液压缸的泄漏是指液压工作介质越过容腔边界,由高压侧向低压侧流出现象。泄漏一般分内泄漏和外泄漏,如无杆腔液压工作介质向有杆腔泄漏或有杆腔液压工作介质向无杆腔泄漏,称为内泄漏(串腔);向液压缸周围环境泄漏液压工作介质的称为外泄漏,如焊接式缸底的液压缸焊缝处漏油、活塞杆伸出带油等。GB/T 17446—2012《流体传动系统及元件 词汇》中定义泄漏为:不做有用功并引起能量损失的相对少量的流体流动;定义内泄漏为元件内腔间的泄漏;定义外泄漏为从元件或配管的内部向周围环境的泄漏。液压缸泄漏的原因,一是配合零件偶合面间存在间隙;二是偶合面两侧存在压差(压力)。内泄漏影响液压缸的效率、速度及输出力等,同时使液压工作介质进一步升温,也可能引发事故;外泄漏浪费液压工作介质、污染环境、易引发事故。作者曾亲见一台为汽车厂配套生产产品的液压机用液压缸活塞杆与缸盖间的密封圈损坏,因无法停机检修,一周就外泄漏一桶抗磨液压油,且一直漏了近两个月才有机会停机检修。所以,液压缸不管是内泄漏或是外泄漏,都可能是很严重的事故。内泄漏(量)和外泄漏(量)都是液压缸出厂试验的必检项目,具体请参见JB/T 10205—2010《液压缸》及GB/T 15622—2005《液压缸试验方法》。液压缸的泄漏主要是窜(穿、串)漏^②。

① 超高压液压机是工作介质压力不低于32MPa的液压机,具体请见GB/T 8541—2012《锻压术语》。公称压力 ≥ 32 MPa的液压缸相应亦可称为超高压液压缸。

② 为了区别“渗漏”,一些参考文献使用“穿漏”描述液压缸密封泄漏,但“穿漏”有刺穿或通过孔泄漏的含义,这与液压缸泄漏的实际情况不完全不符。本书倾向使用“窜漏”,但仍以“穿漏”“串漏”作为其同义词使用。

能够防止或减少泄漏的装置一般称为密封或密封装置，密封装置是由一个或多个密封件和/或配套件（如挡圈、弹簧、金属壳）组合成的装置。密封装置中用于防止泄漏和/或污染物进入的元件称为密封件，也有将密封圈、挡圈、导向环（支承环）和防尘圈统称为密封件的（参见 MT/T 1164—2011）。密封的作用就是封住偶合面间隙，切断泄漏通道或增加泄漏通道的阻力，以减少或阻止泄漏。衡量密封性能好坏的主要指标是泄漏率（泄漏量/时间或泄漏量/累计行程等）、使用寿命和使用条件（压力、速度、温度等）。现在，由于我国的液压缸密封设计标准及水平、加工工艺及设备、密封件结构型式与参数、密封（橡胶和塑料等）材料和添加剂及检测等都有很大进步，液压缸的密封性能也有很大提高。总之，液压缸的压力、速度、温度、产品档次、使用寿命（耐久性）和可靠性等技术性能在很大程度上取决于液压缸密封装置（系统）及其设计。

除上述密封就是防止或减少泄漏的措施（行为或做法即处理办法）这一种含义外，“密封”就相对“泄漏”而言，还具有表述与泄漏这种现象或状态相反的另一含义[⊖]。

1.1.2 密封的分类

密封分为动密封和静密封。动密封的密封偶合（配偶、配合）件间有相对运动；静密封的密封偶合（配偶、配合）件间没有相对运动。这两种不同的密封工作状态，对密封件的要求有许多区别。

动密封件除了要承受液压工作介质压力外，还必须耐受偶合件相对运动引起的摩擦、磨损（或磨耗）；既要保证一定的密封性能，又要满足运动性能的各项要求，包括运动零部件的支承和导向要求。根据密封偶合件间是滑动还是旋转运动，动密封又分为往复（运）动密封与旋转动密封。液压缸中的缸体（筒）与活塞、活塞杆与导向套间密封都是往复运动密封。根据密封件与偶合件的密封面的接触关系，往复运动密封又可分为孔用密封（或称外径密封、活塞密封）与轴用密封（或称内径密封、活塞杆密封）。孔用密封的密封件与孔有相对运动，轴用密封的密封件与轴有相对运动，如图 1-1 所示。

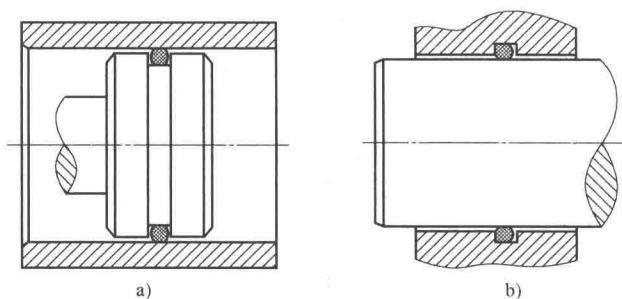


图 1-1 往复运动密封示意图

a) 径向密封的活塞密封（孔用密封、外径密封） b) 径向密封的活塞杆密封（轴用密封、内径密封）

静密封又可分为平面静密封（轴向静密封）、圆柱静密封（径向静密封）及角静密封，

⊖ “密封”是“泄漏”的反义词，但这一术语未见 GB/T 17446—2012《流体传动系统及元件 词汇》及其他液压缸密封相关标准中定义。

它们的泄漏间隙分别是轴向间隙和径向间隙。根据液压工作介质压力作用于密封圈的内径还是外径，平面静密封又有受内压与受外压之分。液压工作介质可能从内向外泄漏的称为受内压平面静密封（外流式），液压工作介质可能从外向内泄漏的称为受外压平面静密封（内流式），如图 1-2 所示。圆柱静密封（径向静密封）可参考图 1-1。

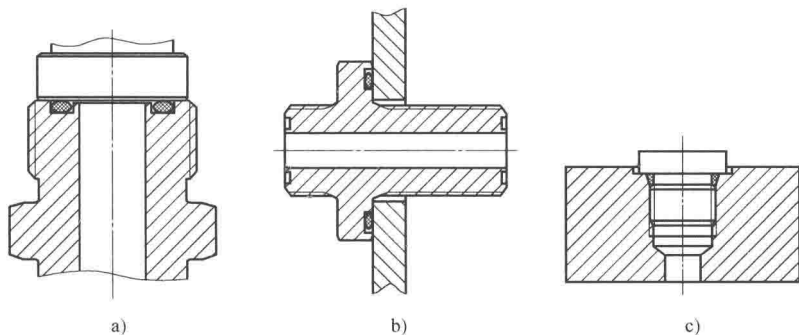


图 1-2 静密封示意图

a) 受内压轴向静密封（外流式） b) 受外压轴向静密封（内流式） c) 角静密封

按密封件的形状及密封型式，密封又可分为成型填料（模压制品或模压成型密封件）密封和胶密封、带密封、填料密封。成型密封或成型填料密封（件）^①泛指橡胶、塑料等材料模压成型的环状密封圈，如 O 形橡胶密封圈、Y 形橡胶密封圈和 V 形组合密封圈等。其结构简单紧凑、品种规格多、工作参数范围广、安装使用方便。

动密封根据密封偶合件的偶合面的接触型式还可分为接触型与非接触型密封。接触型密封靠密封件在强制压力作用下，紧贴在偶合件密封面上，密封面与密封件之间处于仅有一层极薄的液压介质隔开的摩擦接触状态。这种密封方式密封性能好，但受摩擦、磨损条件限制，密封面相对运动速度不能太高，液压元件的大多数往复动密封都属于这种情况。接触式密封又分为压缩型密封和压力赋能型密封：压缩型密封靠挤压装在密封沟槽中的密封填料，使其沿径向扩张，紧压在轴或孔上实现密封；压力赋能型密封是一种有自封能力的密封，成形密封圈中的如 O 形橡胶圈、Y 形密封圈等都属于这种密封。它们的工作原理是将密封圈装入密封沟槽中并与偶合件装配后，密封件通过弹性变形即对偶合件施以一个预压力，当密封件在一个方向受到密封工作介质的压力作用后，密封件进一步变形，密封面（线）接触压力（应力）增加。以适应密封工作介质压力的增加，保证密封。压力赋能型密封有挤压型和唇型两大类。挤压型的代表型式是 O 形橡胶密封圈，唇形的代表型式是 Y 形密封圈。非接触式密封是一种间隙密封，如活塞间隙密封，由于密封偶合面没有接触和摩擦，所以这种密封摩擦、磨损小，起动压力低，使用寿命长，但密封性能较差。

按密封件在密封装置所起的作用，又有主要密封与辅助密封之分。辅助密封的作用就是保护主密封件不受损坏，延长主密封件的使用寿命，提高其密封性能。如防尘圈、挡圈、缓冲圈、防污保护圈等。

此外，密封件还可按密封工作介质、密封材料、所密封的工作介质压力的不同等进行

① 成型填料密封（件）是大部分参考文献中的一般表述，更为准确的定义请见下文“说明”。

分类。

液压缸常用密封件类型见表 1-1。

表 1-1 液压缸常用密封件类型

分 类		常用密封件	
静密封	橡胶密封	O 形圈、蕾形圈等	
	金属密封	垫圈 DQG	
	橡胶 + 金属	组合密封垫圈	
	其他	密封胶、密封带	
动密封	成型密封	挤压型密封	O 形圈、X (星) 形圈、同轴密封件等
		唇型密封	Y 形圈、Yx 形圈、U 形圈、L 形圈、J 形圈、防尘密封圈等
	成型填料密封	V 形组合密封圈	
	旋转密封	旋转轴唇形密封圈等	
	其他	挡圈、导向环 (耐磨环、导向带)、支承环、支撑环、压环等	

相关说明如下：

1) 根据 MT/T 1165—2011 《液压支架立柱、千斤顶密封件第 2 部分：沟槽型式、尺寸和公差》，蕾形密封圈和 Y 形密封圈可用于静密封。

2) JB/T 966—2005 《用于流体传动和一般用途的金属管接头 O 形圈平面密封接头》规定了垫圈 DQG，并代替 JB 1002—1977 《密封垫圈》。

3) 根据 GB/T 17446—2012 《流体传动系统及元件 词汇》：“3.2.499 填料密封件：由一个或多个相配的可变形件组合的密封装置，通常承受可调整的轴向压缩以获得有效径向密封。”只有 V 形组合密封圈符合此定义。

4) 还有非接触式密封，如 JB/T 3042—2011 规定的组合机床夹紧液压缸、DB44/T 1169.1—2014 规定的伺服液压缸上的间隙密封等，但在其他液压缸密封中很少采用。

1. 成型挤压型密封圈

在挤压型密封圈中橡胶挤压型密封圈应用最广，类型最多。按 GB/T 5719—2006 《橡胶密封制品 词汇》以其截面形状命名的橡胶密封制品（橡胶密封圈）就有：O 形橡胶密封圈、D 形橡胶密封圈、X 形橡胶密封圈、W 形橡胶密封圈、U 形橡胶密封圈、V 形橡胶密封圈、Y 形橡胶密封圈、L 形橡胶密封圈、J 形橡胶密封圈、矩形橡胶密封圈、蕾形橡胶密封圈、鼓形橡胶密封圈及橡胶防尘圈等。

其他见于各密封件制造商样本的还有：角-O 形橡胶密封圈、方（矩）形橡胶密封圈、三角形橡胶密封圈、T 形橡胶密封圈、心形橡胶密封圈、哑铃形橡胶密封圈及多边形橡胶密封圈等。

O 形圈和异形截面 O 形圈如图 1-3 所示。

(1) O 形橡胶密封圈

1) 截面为 O 形的橡胶密封圈。O 形橡胶密封圈一般多用合成橡胶模压制成，是一种在自然状态下（横）截面形状为 O 形的橡胶密封件（或称横截面呈圆形的橡胶密封圈）。O 形橡胶密封圈（以下简称 O 形圈）具有良好的密封性能，能在静止或运动条件下使用，可以单独使用即能密封双向流体；其结构简单、尺寸紧凑、拆装容易，对安装技术要求不高；在

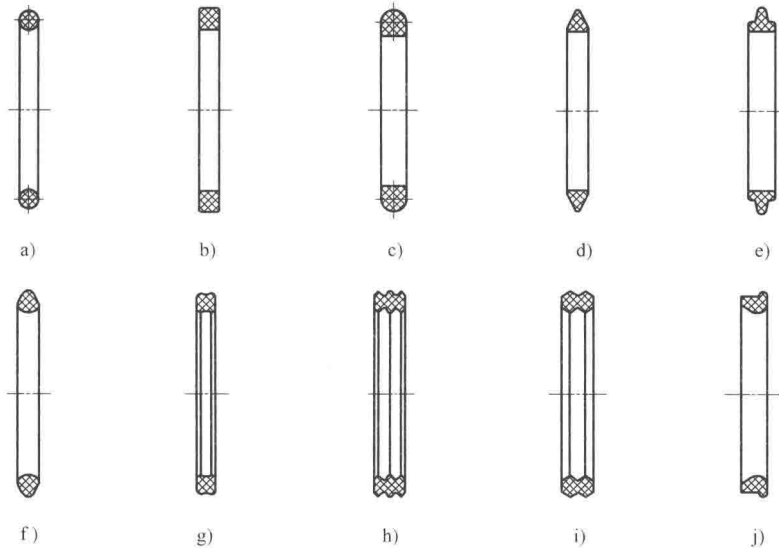


图 1-3 O形圈和异形截面 O形圈

a) O形圈 b) 方(矩)形圈 c) D形圈 d) 三角形圈 e) T形圈
f) 心形圈 g) X形圈 h) 角-O形圈 i) 哑铃形圈 j) 多边形圈

工作面上有磨损, 高压或/和间隙大时需要采用(加装)挡圈以防止挤出而损坏; O形圈工作时, 在其内径上、端面上或其他任意表面上均可形成密封。因此其适用工作参数范围广, 工作压力在静止条件下可达 63MPa 或更高(有文献介绍可达 200MPa), 往复运动条件下可达 35MPa; 选用不同的密封材料其工作温度范围约为 $-60 \sim 200^{\circ}\text{C}$; 线速度可达 3m/s (一般限定在 0.5m/s 以下); 轴径可达 3000mm。

O形圈用作往复运动密封时, 有启动摩擦阻力大及易产生扭曲、翻滚的缺点; 特别是在间隙不均匀、偏心量较大及在较高往复运动速度下使用时, 更容易扭曲破坏。随着偶合件直(内)径的增大, 扭曲倾向也会增大。因此, O形圈用于动密封时只能是在轻载工况或内部(活塞密封)往复动密封中使用较为合理, 具体地讲, 就是在小直径活塞、短行程、中低压力的场合应用比较合适。

O形圈也可用作低速旋转运动及运行周期较短的摆转轴密封。

2) 异形截面橡胶 O形圈不同于 O形圈截面的其他一些特殊截面形状的挤压型密封圈, 或可称之为异形截面 O形圈。常用的是 X形圈, 也称为星形圈。

异形截面 O形圈的开发与使用主要是为了克服 O形圈的缺点, 如翻滚、扭转和启动摩擦力大等缺点。以四个密封唇 X形圈为例, 与 O形圈相比, 由于 X形圈的其中两个与运动表面接触的密封唇间可形成润滑容腔, 因此具有较小的摩擦阻力和启动阻力。由于成型模具分型面开在截面凹处(与 45° 分型面 O形圈道理相同), 所以密封效果好。其非圆形截面可避免在往复运动时发生翻滚, 现已有系列产品, 一般可以在标准 O形圈密封沟槽中使用。根据 X形的上述特点, X形圈主要用于动密封, 但也可用于静密封, 如其组合在低泄漏同轴密封件中的应用等。除 X形圈、哑铃形圈在后面还有专门介绍外, 其他异形截面 O形圈很少在液压缸上实际使用, 下面只做一些简单介绍。

① 方(矩)形圈。其虽容易成型,但安装不便,密封性较差,摩擦阻力较大,常作为静密封件使用。不过有一个特例,就是在汽车钳盘式液压制动器上的液压缸密封中使用。

② D形圈。其工作时位置稳定,适用于双向密封交变压力场合,主要用于往复运动密封。高压时要防止受到挤出破坏而引起密封失效。

③ 三角形圈。其工作时位置稳定,但摩擦阻力比较大,使用寿命短,一般只适用于特殊用途的密封。

④ T形圈。其工作时位置稳定,耐振动,摩擦阻力小,采用5%沟槽压缩率即能达到密封,一般用于中低压有振动的场合,高压时要防止挤出破坏。

⑤ 心形圈。其断面与O形圈断面相似,但摩擦阻力比O形圈小,一般适用于低压旋转轴的密封。

⑥ X形圈。形似两个O形圈,截面有四个突出密封部,在沟槽中位置稳定,摩擦阻力小,采用1%的沟槽压缩率即可达到密封,允许工作线速度较高。可用于旋转及往复运动而又要求摩擦阻力小的轴的密封。X形圈静密封也可采用,但主要用于动密封。

⑦ 角-O形圈。形似三个O形圈,有三个突出部分,外侧两个突出部分较高,使其在沟槽中位置稳定且压缩率大,有参考文献介绍工作压力可达210MPa[⊖]。

⑧ 哑铃形圈。可以替代O形圈加挡圈用于静密封,非常耐挤出、耐扭曲,寿命长,工作压力最高可达50MPa,适用于有压力脉动和有污染物侵入的工况,在工程机械液压缸等上有应用。

⑨ 多边形圈。其摩擦阻力比O形圈小,泄漏量也比O形圈低。工作压力可达14MPa,在液压缸柱塞密封上有应用。

(2) 非橡胶O形密封圈 常见的非橡胶材料O形圈是聚四氟乙烯O形圈(含包覆聚四氟乙烯O形圈)和不锈钢空心O形圈。由于聚四氟乙烯有工作温度范围较宽、耐工作介质能力强、低摩擦因数等其他材料不具备的特性,所以在一些特殊场合也被制成O形圈来使用。聚四氟乙烯的弹性比橡胶差,在使用标准O形圈密封沟槽时,需要重新设计和试验,一般压缩率不应超过7%,且主要用于静密封。

(3) 同轴密封件 它是一种组合式密封组件,其特点是通过将不同材料、不同功能的密封件组合一体,得到结构尺寸紧凑、低摩擦、轻型、寿命长的密封组件。一般同轴密封件都是以塑料为滑环、橡胶为弹性体组成的,所以也有将这种组合密封件定义为滑环式组合密封。由于滑环是由具有低摩擦因数或自润滑塑料制成,因此具有上述优点。其缺点是一般泄漏量比唇形密封件大,安装较为困难,经常需采用专用工具和规定的工艺方法安装。

1) 国标件。GB/T 15242.1—1994《液压缸活塞和活塞杆动密封装置用同轴密封件尺寸系列和公差》中规定了方形和阶梯形两种同轴密封件,适用于工作压力 $\leq 40\text{MPa}$,速度 $\leq 5\text{m/s}$,温度范围 $-40\sim 200^\circ\text{C}$ 的往复运动液压缸活塞和活塞杆的密封。

① 方形同轴密封件。它是一种活塞密封的双向密封件,由滑环为矩形塑料环与O形密封圈组合而成。其温度范围取决于O形圈密封材料。

② 阶梯形同轴密封件。它是一种活塞杆密封的单向密封件,由滑环为阶梯形塑料环与O形密封圈组合而成。其工作温度范围常取决于O形圈密封材料性能。

⊖ 在参考文献[10]及其前一版中都有如上“可达210MPa”的表述,但作者未做过实机检验。



2) 行标件。JB/T 8241—1996《同轴密封件词汇》中还定义了两种同轴密封件：

① 山形多件组合圈。由塑料圈与截面呈山形的橡胶件多件同轴组合，由中间的塑料圈作为摩擦密封面的同轴密封件。其仅有定义，但没有产品标准。

② 齿形多件组合圈。由塑料圈与截面呈锯齿形的橡胶件多件同轴组合，由中间的塑料圈作为摩擦密封面的同轴密封件。其仅有定义，但没有产品标准。

2. 唇形橡胶密封圈

唇形橡胶密封圈具有至少一个挠性的密封（防尘）凸起部分，且作用于唇部一侧的流体压力保持其另一侧与相配表面接触贴紧形成密封。更直白地描述：在它们的截面轮廓中，都包含一个或多个角形的带有腰部的所谓唇口（或称为刃口）。按其（横）截面形状命名的唇形橡胶密封圈有：Y形橡胶密封圈、Yx形橡胶密封圈、V形橡胶密封圈、U形橡胶密封圈、L形橡胶密封圈、J形橡胶密封圈等，其中Yx形橡胶密封圈没有被GB/T 5719—2006定义。

上述唇形密封圈的截面形状如图1-4所示。

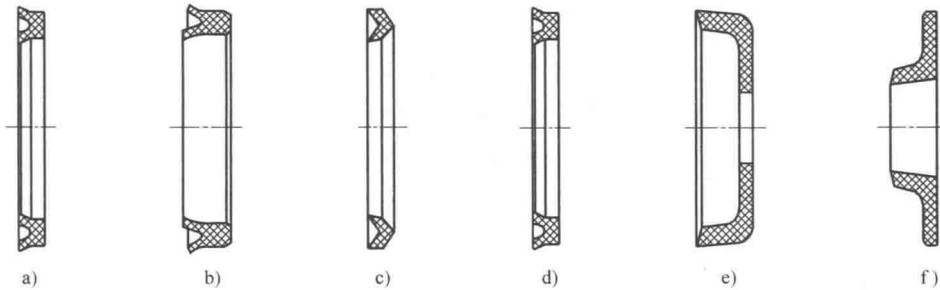


图1-4 唇形密封圈的截面形状

a) Y形圈 b) Yx形圈 c) V形圈 d) U形圈 e) L形圈 f) J形圈

(1) Y形橡胶密封圈 Y形橡胶密封圈（以下简称Y形圈）分为等高唇Y形圈和不等高唇（高低唇）Y形圈；根据其截面宽窄（截面的高度与宽度比例不同），又分为宽截面Y形圈和窄截面Y形圈。一般宽截面等高唇Y形圈简称为Y形圈；窄截面等高唇Y形圈称为EY形圈[⊖]。

Y形圈是一种单向密封圈，等高唇Y形圈有轴、孔通用的，也有同不等高唇Y形圈一样分轴用、孔用两种，尽管等高唇Y形圈轴用、孔用的截面形状区别不大，但确实分为轴用、孔用的。如活塞用Y形圈——孔用等高唇Y形圈标记为：Y80×65×9.5；活塞杆用Y形圈——轴用等高唇Y形圈密封圈标记为：Y70×85×9.5，具体可参见GB/T 10708.1—2000。

Y形圈的使用寿命和密封性能均高于O形圈。由于Y形圈的唇部比单一的V形圈宽，所以它的密封性能更好。Y形圈的动、静摩擦力变化小，在液压缸密封系统的往复运动密封装置中最为常用；但由于是单向密封，如要用于活塞这类需要双向密封的场合就要使用一对Y形圈，因此增加了轴向尺寸；且安装也有一定困难，有时不得已还要把沟槽做成分离（开）式的。

⊖ 作者不同意在有些文献中把窄截面不等高唇Y形圈称为Yx圈的说法。

Y形圈的特点在于使用单个密封圈只能实现单向密封,且可以用于较苛刻的工作条件。如往复运动速度为 0.5m/s ,间隙 f 为 0.2mm 时,工作压力范围为 $0\sim 15\text{MPa}$,间隙为 0.1mm 时,工作压力范围为 $0\sim 20\text{MPa}$;往复运动速度 0.15m/s ,间隙 0.2mm 时,工作压力范围为 $0\sim 20\text{MPa}$,间隙 0.1mm 时,工作压力范围为 $0\sim 25\text{MPa}$ 。一般用于制造Y形圈的密封材料为丁腈橡胶、聚氨酯橡胶和氟橡胶,这三种密封材料的Y形圈产品在 $-20\sim 80^\circ\text{C}$ 温度范围内使用都没有问题。

关于Y形圈是否需要加装支撑环和挡圈问题,GB/T 10708.1—2000《往复运动橡胶密封圈结构尺寸系列 第1部分:单向密封橡胶密封圈》中没有提及。但有的文献中介绍,在压力波动很大时等高唇Y形圈需要使用支撑环,而不等高唇Y形圈不需要使用支撑环。使用丁腈橡胶制造的Y形密封圈,在工作压力范围为 $14\sim 31.5\text{MPa}$ 时,使用聚氨酯橡胶制造的Y形圈;在工作压力范围为 $31.5\sim 70\text{MPa}$ 时,需要使用挡圈。Y形圈使用支撑环作者没有经验,但使用挡圈却有实践经验,就是比照Yx形圈使用挡圈条件决定是否设置挡圈的,即在工作压力 16MPa 以上就考虑加装挡圈,工作压力 25MPa 及以上压力的就加装挡圈,且实际效果很好。

(2) Yx形密封圈 Yx形密封圈(以下简称Yx圈)也是一种唇形橡胶密封圈,分轴用、孔用两种,分别有如下标准:JB/ZQ4265—2006《轴用Yx形密封圈》和JB/ZQ4264—2006《孔用Yx形密封圈》。这两个标准分别规定了Yx形圈的型式、密封沟槽的尺寸和极限偏差。Yx形圈在温度 $-20\sim 80^\circ\text{C}$ 、工作压力 $\leq 31.5\text{MPa}$ 条件下使用。

Yx形圈的截面高度比厚度大1倍或者还多,使用时不易在沟槽内翻转,即使在工作压力和运动速度变化较大时,也不需要加装支撑环。使用Yx形圈时,一般不设挡圈。当工作压力大于 16MPa 时,或因运动副有较大偏心量及间隙较大情况下,在密封圈支承面放置一个挡圈。再说明一点,有的文献将GB/T 2879—2005《液压缸活塞和活塞杆动密封沟槽尺寸与公差》中所规定的沟槽指成是Yx形圈规定使用的沟槽,这是不正确的。

(3) V形橡胶密封圈 V形橡胶密封圈(以下简称V形圈)是唇形橡胶密封圈的典型型式,也是唇形橡胶密封圈中应用最早和最广泛的一种。根据GB/T 17446—2012《流体传动系统及元件 词汇》中定义的术语(词汇),现将其归类为填料密封件。其特点是耐压和耐磨性好,可根据压力大小,重叠数个一起使用,但缺点是体积大、摩擦阻力大,且必须采用分离(开)式密封沟槽,一般还需密封沟槽长度尺寸可调节。在液压缸上主要用于活塞和活塞杆的往复运动密封上,既可密封孔(活塞密封),又可密封轴(活塞杆密封)。但它很少用于旋转密封和静密封。V形圈很少单独使用,它通常与压环和弹性密封圈或支撑环叠合使用,称为V形组合密封圈。在具体使用中,通常由 $1\sim 6$ 个V形圈与压环和支撑环(或弹性密封圈)叠加一起组成的一个V形组合密封圈,构成一道或多道密封,具有很好的密封效果。这样一个V形组合密封圈工作压力可达 60MPa 或更高。V形圈的工作压力为:橡胶V形圈一般为 31.5MPa ,夹布橡胶V形圈可达 60MPa ,或更高;工作温度范围为 $-30\sim 100^\circ\text{C}$,或更高。

(4) U形橡胶密封圈 U形橡胶密封圈(以下简称U形圈)是现在液压缸密封中使用最广泛的密封圈之一,它也是一种唇形橡胶密封圈,无论是用于活塞或是活塞杆密封都能获得良好的密封效果。

但奇怪的是作者几乎查遍了现行的国内标准也没有找到U形圈,只是在GB/T 5719—