

液 压 传 动 的 密 封 与 密 封 装 置

夏 廷 栋 编

中 国 农 业 机 械 出 版 社

液压传动的密封与密封装置

夏廷栋 编

中国农业机械出版社

本书论述了液压传动的各种密封与密封装置，介绍密封元件、密封材料及模具设计等，并且阐述有关的基础理论和密封原理。可供工程技术人员、生产人员及大专院校师生参考。

液压传动的密封与密封装置

夏廷栋 编

*
中国农业机械出版社出版

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

787×1092 32开 5¹/₁₆ 印张 121千字

1982年4月北京第一版·1982年4月重庆第一次印刷

印数：00,001—12,400 定价0.59元

统一书号：15216·076

前 言

液压技术广泛应用于国民经济的各个部门。密封的好坏对液压技术的发展产生重大影响。密封装置的可靠性和寿命是评价液压传动的重要指标。密封不良则会引起泄漏，这是在液压传动中普遍存在的问题。密封装置各部分的尺寸与参数、制造工艺（特别是密封元件的工艺）、装配、使用以及密封材料和密封元件模具设计等都与泄漏有很大的关系。

编者曾在哈尔滨市工业先进技术交流馆主办的液压密封讲座上给哈尔滨部分厂矿企业、科研单位的工程技术人员和生产人员讲述密封与密封装置的问题。本书是在原讲义的基础上改写而成。书中论述了液压传动的各种密封与密封装置，介绍密封元件、密封材料及模具设计等，并且阐述有关的基础理论和密封原理。可供工程技术人员和生产人员在液压密封方面进行设计、制造、使用及维修等参考，也可供大专院校师生参阅。

由于水平有限，不妥之处，请读者指正。

编 者

一九八一年一月

目 录

| | |
|-----------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 密封与密封装置的功用 | 2 |
| 第二节 密封装置的种类 | 4 |
| 一、静密封装置 | 4 |
| 二、动密封装置 | 5 |
| 第三节 密封装置的设计要求 | 5 |
| 第二章 O形密封圈 | 7 |
| 第一节 O形圈及密封沟槽的设计 | 7 |
| 一、O形圈的密封原理 | 7 |
| 二、O形圈设计的影响因素 | 10 |
| 三、O形圈的设计原则 | 18 |
| 四、密封沟槽的设计 | 24 |
| 第二节 旋转运动用O形圈 | 28 |
| 一、旋转运动用O形圈的应用 | 28 |
| 二、旋转运动用O形圈的设计原则 | 29 |
| 第三节 低摩擦用O形圈 | 33 |
| 一、动密封用O形圈的摩擦阻力 | 33 |
| 二、低摩擦用O形圈的设计和应用 | 36 |
| 第四节 真空用O形圈 | 43 |
| 一、真空用O形圈的密封特点 | 43 |
| 二、真空度的分级 | 43 |
| 三、真空用O形圈密封沟槽 | 43 |
| 四、真空用O形圈材料 | 44 |
| 第五节 空心金属O形圈 | 47 |
| 一、空心金属O形圈的特点 | 47 |

| | |
|--------------------|----|
| 二、空心金属O形圈的型式 | 48 |
| 三、空心金属O形圈密封沟槽 | 50 |
| 四、空心金属O形圈材料 | 51 |
| 第六节 O形圈的使用基础 | 51 |
| 一、O形圈的永久变形 | 51 |
| 二、O形圈的回隙挤出 | 55 |
| 三、O形圈的扭转 | 56 |
| 四、润滑与防尘 | 59 |
| 五、O形圈的尺寸精度 | 60 |
| 六、O形圈的飞边 | 60 |
| 七、O形圈的安装 | 61 |
| 八、O形圈的使用寿命 | 64 |
| 九、O形圈的保管 | 64 |
| 第三章 油封 | 67 |
| 第一节 油封的密封原理 | 67 |
| 第二节 油封性能的影响因素 | 70 |
| 一、径向压力的影响 | 70 |
| 二、油封的磨损 | 71 |
| 三、轴的偏心 | 72 |
| 四、轴的转速、表面光洁度及硬度的影响 | 74 |
| 第三节 油封的种类与选择 | 75 |
| 一、油封的种类 | 75 |
| 二、油封的选择 | 77 |
| 第四节 油封的设计 | 83 |
| 一、油封的结构设计 | 83 |
| 二、油封座和密封轴的设计 | 91 |
| 三、油封的标准化工作 | 94 |
| 第五节 回流油封 | 95 |
| 一、概述 | 95 |
| 二、回流效应分析 | 96 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 三、回流效应的影响因素 | 97 |
| 四、回流油封的结构设计 | 100 |
| 第六节 油封的使用 | 106 |
| 一、油封的使用寿命 | 106 |
| 二、油封的泄漏与防止 | 108 |
| 三、油封的安装与拆卸 | 109 |
| 第四章 唇形密封圈 | 116 |
| 第一节 Y形密封圈 | 118 |
| 一、结构特点 | 118 |
| 二、设计原则 | 119 |
| 三、Y ₂ 形密封圈 | 127 |
| 第二节 新型复合唇形密封圈 | 131 |
| 一、结构特点 | 131 |
| 二、密封原理 | 132 |
| 第三节 防尘圈 | 133 |
| 第四节 唇形密封圈的安装 | 134 |
| 第五章 密封材料 | 136 |
| 第一节 密封材料的使用要求 | 136 |
| 第二节 密封材料的性能 | 138 |
| 第三节 密封材料的种类和应用 | 141 |
| 一、合成橡胶 | 141 |
| 二、合成树脂 | 153 |
| 第六章 橡胶模具的设计 | 157 |
| 第一节 概述 | 157 |
| 一、模具的设计要求 | 157 |
| 二、模具的工艺要求 | 158 |
| 第二节 模具的结构设计和计算 | 159 |
| 一、结构设计 | 159 |
| 二、模具的尺寸计算 | 167 |
| 第三节 模具的使用寿命和保养 | 171 |

第一章 绪 论

液压技术正在突飞猛进地向前发展，它的水平与一个国家的现代化程度有关。液压传动是现代化设备的主要传动装置之一，广泛应用于国民经济的各个部门。太空中的飞行器、飞机、舰艇、火车、汽车、拖拉机、坦克、工程机械以及机床等都采用了液压传动。密封与密封装置是液压传动的重要组成部分。大量的使用经验和试验表明，这是液压传动的一个薄弱环节。随着现代尖端科学（电子科学、原子能、火箭、导弹等）的迅速发展，密封与密封装置的使用条件（压力、温度范围、工作介质、工作环境等）越来越苛刻，保证可靠的密封性和尽量提高使用寿命是当前密封与密封装置的研究、设计、制造、使用等方面的重要任务。

由于世界各国的普遍重视，密封技术已成为一种非常精密的科学。许多国家不仅设有专门的实验研究机构，组织密封元件的专业生产，而且进行定期与不定期的国内和国内的学术交流。例如，英国流体动力研究协会（BHRA）设立了专业性的液压密封研究机构，从1961年4月在英国召开第一次国际流体密封会议以来，每隔二、三年即举行一次国际密封会议，先后发表了24篇论文和学术报告。美国润滑工程师协会（ASLE）多次举行年会，讨论密封问题。日本成立了O形圈研究会。以东德的塑料、弹性企业联合会和柏林技术室专家协会为中心的东欧国家，也多次举行密封会议。1974年4月召开的第五次德雷斯登国际流体密封会议，有15个国

家参加,共有470名代表,分成几个专业组,对59个题目进行了交流。

不仅如此,国外的大公司和大型工厂很多都有自己的研究中心。日本的公司平均有6~10%的人员从事密封研究,过去偏重于密封元件与密封装置的结构及性能的研究,近年来已转向于密封的基本理论与密封机理的探讨。英国则着重于基本理论和密封元件的研究。总之,近十余年来,国外在密封机理、密封元件与密封装置的结构以及新材料、新工艺等方面进行了大量的、系统的实验研究,取得了成果。

液压技术取得的成就是与密封技术的进步分不开的,因此,对液压传动的密封与密封装置的研究必须得到应有的重视。

第一节 密封与密封装置的功用

在液压传动中,密封与密封装置是用来防止工作介质的泄漏及外界的气体、灰尘等侵入。密封与密封装置的工作可靠性和使用寿命是液压系统设计与制造质量的重要指标。泄漏造成工作油液的浪费,而且也会脏污机器,污染环境,甚至引起火灾。

工作介质的内漏(从一个工作腔漏入另一个工作腔),尤其是应当避免。严重的内漏会引起液压系统容积效率急剧下降,达不到所需的工作压力。液压缸提升缓慢,甚至不能提升所配带的机具(如推土铲、铲斗、抓斗、悬挂犁等),在很多情况下就是由于密封不良所致。如图1-1所示,往往由于O形圈1的密封不可靠或损坏,使得工作腔A中的油液漏入非工作腔B中,结果使活塞杆2提升缓慢或不能提升。

密封与密封装置的另一不容忽视的重要功用，就是严防空气和灰尘等进入液压系统。空气进入液压系统后会对正常工作产生严重的影响。所以在设计时就应注意避免空气进入液压系统。

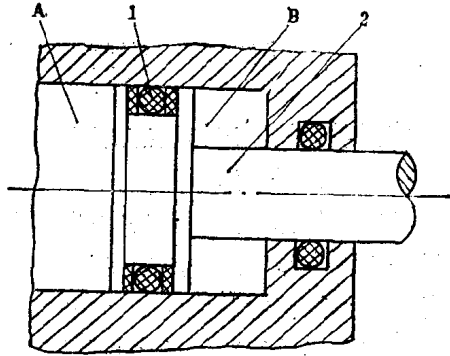


图 1-1 往复运动式密封装置

液压系统的工作油液经常处于循环的扰动状态，进入油液中的气体就以小气泡的形式析出，并呈悬浮状态而长期存在于油液中，对油液的物理机械性能和化学稳定性产生极坏的影响。

空气进入液压系统会造成：

1. 破坏液压泵的正常工_作，在运转时发生冲击、噪音、气蚀[⊖]以至容积效率下降。
2. 导致油液“乳化”变质。严重者产生大量泡沫，从油箱加油口溢出，形成油箱的所谓“开锅”。

液压系统还应极力避免灰尘侵入。极微小的灰尘颗粒也会引起液压元件精密工作副和密封元件加剧磨损与损坏。

⊖ 在一定条件下，液体产生大量气泡的现象，称为气穴，含有大量气泡的油液进入高压区后，气泡迅即溃灭，冲向气泡中心的油液互相冲撞，造成局部高温高压，引起振动和噪音，并使附近的金属表面出现麻坑。气穴引起的这种金属表面的损坏，就是气蚀。

第二节 密封装置的种类

密封装置按其工作状态的不同，通常可分两大类如下：

一、静密封装置

被密封的部位，也就是在两个偶合件之间，在机器的运动过程中没有相对运动，这就是静密封装置。图 1-2 所示为各种常见静密封装置的结构型式。

使用和实验表明，静密封装置设计良好，就可保证具有

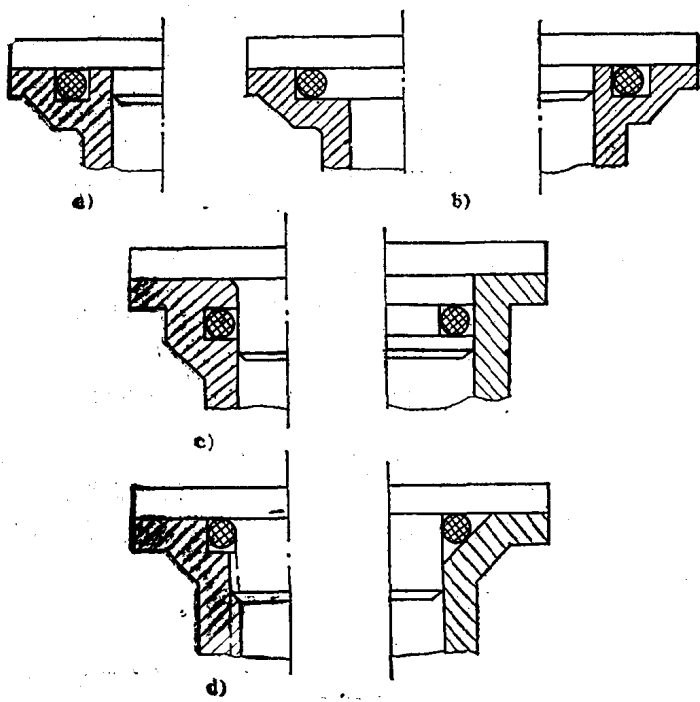


图 1-2 静密封装置

a)受内压 b)受外压 c)受内压 d)受内压

绝对的密封性。

二、动密封装置

被密封的部位，也就是在两个偶合件之间，在机器的运动过程中具有相对运动，这就是动密封装置。根据其相对运动的特点，动密封装置又可分成两种结构型式如下：

1. 往复运动式密封装置

在液压传动中，这是一种最常见的密封装置。图 1-1 所示为液压缸中的活塞和缸筒之间的密封装置，对于往复运动偶来说，这是最简单和通用性最广的结构型式。

2. 旋转运动式密封装置

密封运动偶是转动的。这种密封装置的结构型式很多。图 1-3 所示为西德早期生产的“Alufron”高压齿轮油泵采用的 O 形圈密封装置，用于旋转运动。

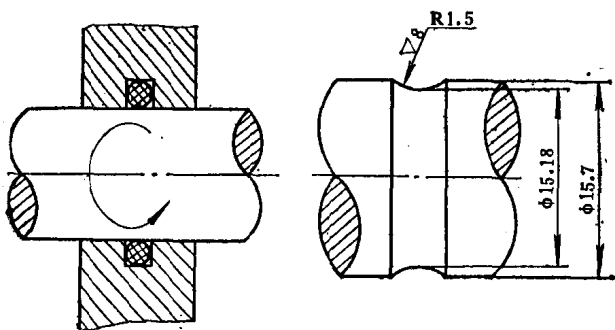


图 1-3 旋转运动式密封装置

第三节 密封装置的设计要求

密封装置设计的主要要求有：

1. 良好的密封性。

2. 使用寿命尽可能长。
3. 制造简单, 拆装方便, 成本低。

这些要求是彼此关联而又相互制约的。良好的密封性和尽可能长的使用寿命是一切密封装置的既矛盾又统一两个方面。在某些情况下, 保证密封装置具有良好的密封性, 是头等重要的, 例如飞机上某些液压元件伸出的连杆和小轴处的密封装置等。轮式起重机支腿的液压缸处于工作状态时, 必须具有绝对可靠的密封性, 否则将会造成严重的事故。在另外一些情况下, 为了保证具有尽可能长的使用寿命, 动密封装置应有较高的机械效率, 即要求机械磨损较小。为此, 密封装置有一定的泄漏是允许的。早些时候, 美国根据空军的要求, 在液压缸中经过活塞杆处的泄漏量, 规定活塞每25个循环不得超过1滴。苏联也规定, 在航空液压系统中, 液压缸每工作1小时, 允许有1~20厘米³的泄漏量。目前国外已达到每万次行程的泄漏量不超过1~5滴的纪录。

从制造的观点出发, 对于密封装置中应用最广的O形圈(图1-4)来说, 其模具采用90°分模比45°分模容易制造得多, 但是前者的密封性一般不如后者。制造静密封装置的O形圈时, 可采用前者, 而动密封装置的O形圈则采用后者。

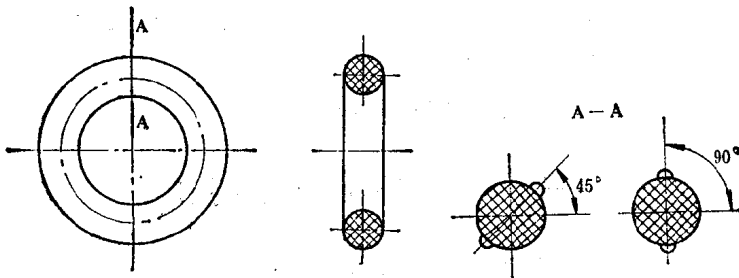


图 1-4 O形密封圈

第二章 O形密封圈

密封元件中用得最早、最多、最普遍的就是O形密封圈，简称O形圈。液压传动的密封装置所使用的密封元件，大多数是O形圈。

O形圈的主要优点是：密封性好；寿命长；结构紧凑；所占空间小；动摩擦阻力小；对油液、温度和压力的适应性好以及制造简单、拆装方便、成本低等。

恰当地选择合成橡胶的种类和配方，所制成的O形圈可在 $-66^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内使用。O形圈使用压力的大小则按设计要求、工作温度及运动速度等因素来确定。用于静密封装置的O形圈，其密封压力可达 $200\sim 700$ 公斤力/厘米²；用于动密封装置者一般可达 4000 公斤力/厘米²，而实验室用动密封压力已高达 12000 公斤力/厘米²。

O形圈用于高压密封时，为了防止O形圈的间隙挤出，往往采用由聚四氟乙烯、皮革等制成的保护挡圈来填充。

第一节 O形圈及密封沟槽的设计

一、O形圈的密封原理

1. 在静密封装置中使用

图2-1所示为静密封装置所用的O形圈的密封原理。O形圈装入密封沟槽后，其截面一般受到 $15\sim 30\%$ 的压缩变形。在无液体压力的情况下，由于O形圈具有良好的弹性，

对接触面产生接触压力 P_0 (图2-1a)。密封腔充入压力液体后, 在液体压力 P 的作用下, O 形圈移至沟槽的一边, 封闭了密封间隙 S , 实现无泄漏密封(图2-1b)。这时密封接触面

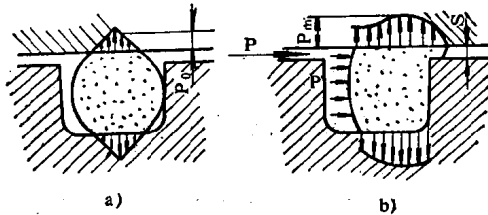


图 2-1 静密封装置中 O 形圈接触压力的分布

的压力 P_m (公斤力/厘米²) 为

$$P_m = P_0 + P_H \quad (2-1)$$

式中 P_0 —— O 形圈的初始压力 (公斤力/厘米²) (O 形圈装配后变形对接触面产生的平均单位压力);

P_H ——经 O 形圈传给接触面的接触压力 (公斤力/厘米²) ($P_H = K \times P$)。

K 为压力传递系数, 对橡胶密封件 $K = 1$;

P 为被密封液体的压力 (公斤力/厘米²)。

由此可见, 只要 O 形圈存在初始压力, 就能实现无泄漏密封。由于一般 $K \geq 1$, 所以 $P_m > P$ 。

2. 在动密封装置中使用

动密封装置所用的 O 形圈的密封原理较为复杂。但是用流体力学的观点来解释往复运动式密封装置的泄漏, 还是比较容易理解的。

液体在压力作用下由于液体分子与金属表面相互作用的结果, 油液中所含的“极性分子”在金属表面上紧密而整齐地排列起来, 形成一个坚固的边界层油膜, 且对轴产生极大

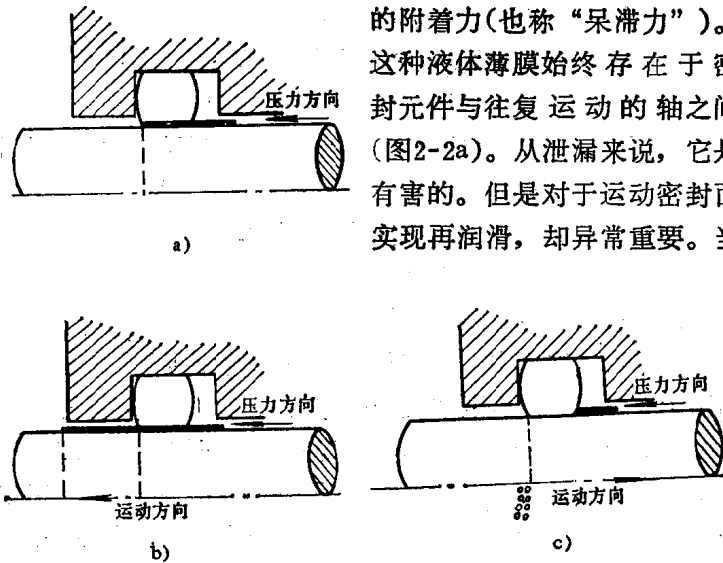


图 2-2 往复运动式密封装置中O形圈的密封原理

往复运动的轴向外伸出时，轴上的液体薄膜便与轴一起拉出（图2-2b）。由于密封元件的“擦拭”作用，当往复运动的轴缩回时，液体薄膜便被密封元件阻留在外边。随着往复次数的增多，阻留在外边的液体就越多，最后形成油滴（一滴大约为0.05毫升），从轴上落下（图2-2c），这就是往复运动式密封装置的泄漏。泄漏量可用下式表示：

$$Q_{\text{漏}} \propto \left(\frac{\delta^3 \Delta P}{\gamma \nu b} \pm V^2 \delta \right) d / F(H) \quad (2-2)$$

式中 $Q_{\text{漏}}$ ——泄漏量（厘米³/小时）；

ΔP ——密封间隙的压力降（公斤力/厘米²），即密封间隙的始端压力和末端压力之差；

d ——轴径（厘米）；

b ——O形圈接触宽度（毫米）；

δ ——油膜厚度（毫米）；

γ ——液体重度（公斤力/厘米³）；

ν ——液体的运动粘度（厘沲）；

V ——轴的运动速度（米/秒），当 V 与液体的泄漏方向相同时取“+”，反向时取“-”；

$F(H)$ ——与O形圈硬度有关的系数。

二、O形圈设计的影响因素

1. 摩擦与密封表面的加工质量

在动密封装置中，摩擦与磨损是O形圈损坏的重要因素。磨损程度主要取决于摩擦力的大小。当液体压力微小时，O形圈摩擦力的大小取决于它的预压缩量。当工作液体承受压力时，摩擦力随着工作压力的增加而增大。在工作压力小于200公斤力/厘米²的情况下，近似地呈线性关系（图2-3）。压力大于200公斤力/厘米²者，随着压力的增加，O形圈与金属表面接触面积的增加也就缓慢，因此，摩擦力的增加相应缓慢。在正常情况下，O形圈的使用寿命随液体压力的升高将会近似地呈平方关系而减小。

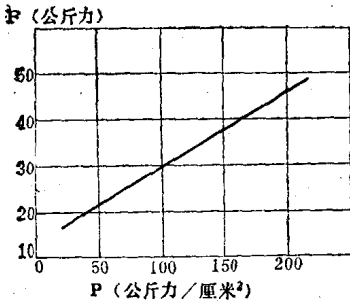


图 2-3 摩擦力与工作压力
力的关系

摩擦力的增大，使得旋转或往复运动的轴与密封圈之间产生大量的摩擦热。多数O形圈都是用橡胶制成的，导热性极差。这样，摩擦热势必引起橡胶的老化，导致O形圈失效，而破坏其密封性。摩擦会引起O形圈表面损伤，压

缩量减小。严重的摩擦还会很快引起O形圈表面损坏，