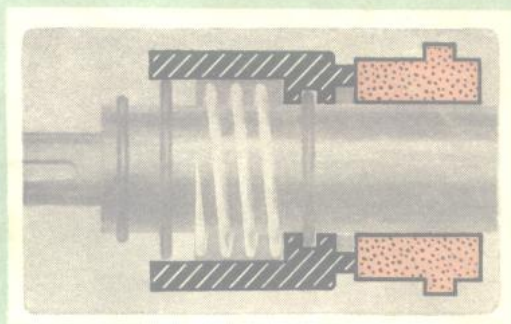




# 机械密封

上海化学  
工业设计院 石油、化工设备设计建设组组织编写

燃料化学工业出版社



# 机 械 密 封

上 海 化 学 石 油、化 工 设 备 设 计 建 设 组 组 织 编 写  
工 业 设 计 院

燃 料 化 学 工 业 出 版 社

## 内 容 简 介

本书比较系统地叙述了机械密封的结构、材料、设计计算、制造、安装和试车，并对填料密封如何改装成机械密封等问题也作了介绍。在附录中还列出了有关厂的机械密封标准和波纹管标准。

本书可作为石油、化学工业及其它工业部门从事密封工作的工人、工程技术人员以及大专院校的有关专业师生的参考书籍。

## 机 械 密 封

(只限国内发行)

上海化学工业设计院 石油、化工设备设计建设组组织编写

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

燃化工业出版社印刷二厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\* \* \*

开本850×1168  $1/32$

印张7  $13/16$

字数203千字

印数1—31,200

1974年5月第1版

1974年5月第1次印刷

\* \* \*

书号15063·内533(化-103)

定价0.99元

# 毛主席语录

人的正确思想是从那里来的？是从天上掉下来的嗎？不是。是自己头脑里固有的嗎？不是。人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结經驗，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

一个正确的認識，往往需要經過由物质到精神，由精神到物质，即由实践到認識，由認識到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是馬克思主义的認識論，就是辯証唯物論的認識論。

## 前 言

在石油、化工生产中，设备的转轴密封是关系到转动设备是否能正常运转的重要部件，它的失灵就会使物料外泄，造成厂房腐蚀、影响工人身体健康，特别在处理易燃、易爆、剧毒或贵重物料时其危害与损失就更大。我国广大工人和革命的技术人员，在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的光辉照耀下，成功地将机械密封应用于泵、反应釜和其他设备上。目前，国内一些水泵厂已成套地生产各种结构型式的机械密封，并对高压、高速、高温机器设备的机械密封进行了大量的试验研究，取得了较大的成绩。

为了总结、推广机械密封的设计、使用经验，我们组织了兰州合成橡胶厂、天津机械密封件厂、天津化工设计公司、南京化工机械厂、通用机械研究所、化工机械研究所、上海燎原化工厂与我院等八个单位的工人和技术人员编写了这本书。

在编写过程中，参加编写的同志曾到全国各地进行了调查，吸取了各方面意见。但由于机械密封是比较新的技术，同时也由于我们水平有限，在编写中一定会存在缺点和错误，希望广大读者批评指正。

上海化学工业设计院  
石油、化工设备设计建设组

# 目 录

## 前言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 概论</b> .....           | 1  |
| 一、机械密封原理 .....                | 1  |
| 二、机械密封优缺点 .....               | 3  |
| <b>第二章 机械密封的分类和结构设计</b> ..... | 4  |
| 一、机械密封的分类 .....               | 4  |
| (一) 单端面与双端面 .....             | 6  |
| (二) 内装式与外装式 .....             | 7  |
| (三) 平衡型与非平衡型 .....            | 8  |
| (四) 单弹簧与多弹簧 .....             | 12 |
| (五) 旋转式与静止式 .....             | 13 |
| (六) 内流式与外流式 .....             | 13 |
| 二、不同使用条件的机械密封 .....           | 13 |
| (一) 腐蚀性介质 .....               | 13 |
| (二) 高压 .....                  | 15 |
| (三) 高速 .....                  | 18 |
| (四) 高温 .....                  | 19 |
| (五) 低温 .....                  | 23 |
| (六) 真空 .....                  | 25 |
| (七) 带有固体颗粒的介质 .....           | 28 |
| 三、各种转动设备用机械密封 .....           | 30 |
| (一) 反应釜 .....                 | 30 |
| (二) 活塞推料离心机 .....             | 35 |
| (三) 迴转式真空过滤机 .....            | 36 |
| (四) 迴转圆筒设备 .....              | 36 |
| 四、填料密封改装机械密封 .....            | 37 |
| <b>第三章 冷却、过滤、润滑及其它</b> .....  | 40 |
| 一、冷却与冲洗 .....                 | 40 |

|                       |            |
|-----------------------|------------|
| 二、杂质过滤 .....          | 44         |
| 三、液膜润滑 .....          | 46         |
| 四、冷却液、润滑液的选择 .....    | 50         |
| 五、封液压力措施 .....        | 50         |
| <b>第四章 零件设计</b> ..... | <b>55</b>  |
| 一、摩擦副 .....           | 55         |
| (一) 摩擦副的设计 .....      | 55         |
| (二) 摩擦副环的技术要求 .....   | 58         |
| 二、弹性元件 .....          | 59         |
| (一) 弹性元件的作用 .....     | 59         |
| (二) 弹簧的设计 .....       | 59         |
| 三、辅助密封圈 .....         | 63         |
| (一) 辅助密封圈的作用和型式 ..... | 63         |
| (二) 辅助密封圈的设计 .....    | 63         |
| 四、其它零件 .....          | 73         |
| (一) 轴套 .....          | 73         |
| (二) 推环 .....          | 74         |
| (三) 弹簧座 .....         | 74         |
| (四) 压盖 .....          | 74         |
| 五、动环传动方式 .....        | 74         |
| 六、静环固定方式 .....        | 80         |
| <b>第五章 材料</b> .....   | <b>82</b>  |
| 一、摩擦副材料及其选择 .....     | 82         |
| (一) 非金属材料 .....       | 82         |
| (二) 金属材料 .....        | 93         |
| 二、辅助密封圈材料 .....       | 98         |
| (一) 橡胶密封圈 .....       | 98         |
| (二) 聚四氟乙烯塑料 .....     | 99         |
| (三) 软聚氯乙烯 .....       | 102        |
| 三、弹簧 .....            | 102        |
| 四、主要零件材料选用 .....      | 103        |
| <b>第六章 计算</b> .....   | <b>105</b> |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 一、比压的选择 .....                    | 106        |
| 二、端面比压的计算 .....                  | 107        |
| (一) 端面间介质压力的分布规律 .....           | 107        |
| (二) 平衡系数 $\beta$ 的确定 .....       | 108        |
| (三) 内装式 (平衡型及非平衡型) 端面比压的计算 ..... | 109        |
| (四) 外装式 (全平衡型、部分平衡型及非平衡型)        |            |
| 端面比压的计算 .....                    | 111        |
| (五) 双端面结构端面比压的计算 .....           | 112        |
| 三、端面尺寸 $D_1$ 和 $D_2$ 的计算 .....   | 114        |
| 四、弹簧计算 .....                     | 115        |
| (一) 圆柱螺旋弹簧 .....                 | 115        |
| (二) 波纹管 .....                    | 115        |
| 五、 $PV$ 值 .....                  | 118        |
| 六、机械密封耗费的摩擦功率 .....              | 121        |
| 七、计算举例 .....                     | 122        |
| <b>第七章 制造、安装及检验 .....</b>        | <b>128</b> |
| 一、摩擦副加工 .....                    | 128        |
| (一) 石墨浸渍树脂工艺 .....               | 128        |
| (二) 石墨浸渍金属工艺 .....               | 130        |
| (三) 酚醛、环氧塑料环压制 .....             | 132        |
| (四) 填充聚四氟乙烯烧结成型 .....            | 135        |
| (五) 陶瓷喷涂工艺 .....                 | 135        |
| (六) 陶瓷环加工 .....                  | 138        |
| (七) 高硅铸铁加工 .....                 | 138        |
| (八) 堆焊硬质合金及加工 .....              | 139        |
| (九) 端面研磨剂选用 .....                | 140        |
| (十) 研磨机 .....                    | 141        |
| 二、辅助密封圈制造 .....                  | 142        |
| (一) 聚四氟乙烯 O 形、V 形圈的制造 .....      | 142        |
| (二) 橡胶密封圈制造 .....                | 144        |
| 三、弹簧喷(浸)涂聚三氟氯乙烯 .....            | 146        |
| 四、机械密封的安装及使用 .....               | 149        |
| (一) 机械密封的安装 .....                | 149        |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| (二) 机械密封的使用 .....        | 151 |
| (三) 机械密封泄漏及处理措施 .....    | 152 |
| (四) 机械密封的试验 .....        | 153 |
| <b>附录</b> .....          | 154 |
| 一、天津机械密封件厂机械密封标准系列 ..... | 154 |
| 二、沈阳水泵厂机械密封标准系列 .....    | 179 |
| 三、上海水泵厂机械密封标准系列 .....    | 194 |
| 四、波纹管标准 .....            | 228 |
| 五、使用情况实例 .....           | 242 |

# 第一章 概 論

旋转轴的各种密封常安装于泵、压缩机、透平机、风机、反应釜、发酵罐、液压传动和其它设备、机器与机构内，用来阻止工作介质（液体、气体）沿转轴伸出设备之处泄漏。机器、设备能否正常运转，很大程度上取决于密封结构的可靠性。

随着现代科学技术的发展，轴的密封结构也在逐步改进，以适应各种使用条件（温度、压力、旋转速度、腐蚀性介质、磨蚀性介质等）和机器设备的连续化、自动化的要求。

现在常用的旋转轴密封有填料函、密封圈、迷宫式密封、机械密封（也称端面密封）、具有停车密封的叶轮式或喷射式密封以及无填料密封、磁封等型式。近年来，密封性能良好，使用寿命较长，运转中维护最少的密封得到非常迅速的发展。属于这类密封型式的有机机械密封，具有停车密封的叶轮式或喷射式密封和无填料密封等。

因为机械密封具有密封性能可靠，泄漏量小，使用寿命长，功率损耗少，不需要经常维修等优点，且能满足生产自动化和高温、低温、高压、高真空、高速，各种易燃、易爆、腐蚀性、磨蚀性介质的密封要求，因此，它较其它密封获得更为迅速的发展和广泛的应用，越来越多地替代填料密封和其它密封，已应用到化工、石油化工、炼油、医药、航空、国防工业和其它工业部门中去。

## 一、机械密封原理

机械密封系指两块密封元件垂直于轴线的光洁而平直的表面相互贴合，并作相对转动而构成密封的装置。如图1—1所示。

它通常由静环1、动环2、弹簧加荷装置（包括推环3、弹簧4、弹簧座5、固定螺钉6、传动销7）、辅助密封圈（动环密

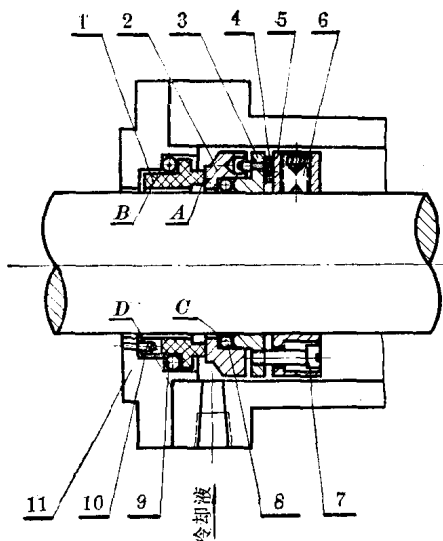


图 1—1 机械密封结构原理

封圈 8 和静环密封圈 9) 等元件组成。防转销 10 固定在压盖 11 上, 用以防止静环转动。

机械密封一般有四个密封点 (图 1—1 中的 A、B、C、D)。

A 点相对旋转密封: 是靠弹性元件 (弹簧, 波纹管) 和密封流体压力在相对运动的动环和静环的接触面 (端面) 上产生一适当的压紧力 (比压), 使这两个光洁、平直的端面紧密

贴合; 端面间维持一层极薄的流体膜 (这层膜具有流体动压力与静压力, 它起着平衡压力和润滑端面的作用) 而达到密封之目的。两端面之所以必须高度光洁平直, 是为了给端面创造完全贴合和使比压均匀的条件。

B 点静环与压盖之间的密封: 这是一静密封, 通常系用各种形状有弹性的辅助密封圈来防止流体从静环与压盖之间隙漏。

C 点动环与轴 (或轴套) 之间的密封: 这也是一个静止密封, 但在端面磨损时, 允许其作补偿磨损的轴向移动。

D 点一般是指压盖上的垫圈, 这种静密封比较容易处理, 很少发生问题。

为了适应不同条件的需要, 机械密封可以设计成各种各样的型式和结构, 但实际上, 各种型式和结构都具有相同的基本元件和工作原理。

## 二、机械密封优缺点

与软填料密封相比较，机械密封有许多优点：

1. 密封可靠，在一个较长的使用期中，不会泄漏或很少泄漏。

2. 使用寿命长，正确选择摩擦副材料和比压的机械密封可用2~5年，最长有用到9年的。

3. 维修周期长，在正常工作的情况下，不需要维修。

4. 摩擦功率耗损小，一般约为填料密封的10~50%。

5. 轴或轴套不受磨损。

6. 对旋转轴的振摆和轴对壳体孔的偏斜不敏感。

7. 适用范围广，能用于低温、高温、高真空、高压、各种转速以及各种腐蚀性、磨蚀性、易燃、易爆、有毒介质的密封。

机械密封不仅解决生产操作中的“跑、冒、滴、漏”问题，改善工业卫生，保障工人健康，同时为国家节约大量原材料，降低动力损耗，节省检修劳动力。因此，它在政治上，经济上都有很大意义。

但是机械密封也有缺点，如结构比填料密封复杂，需要一定的加工精度和安装技术。但实践证明是完全可以克服和掌握的。

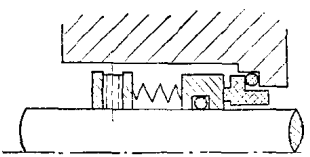
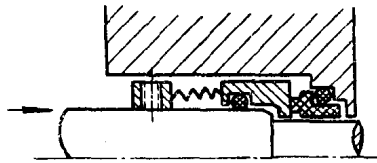
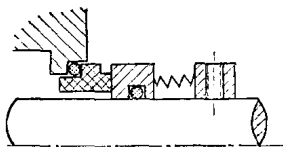
## 第二章 机械密封的分类和结构设计

### 一、机械密封的分类

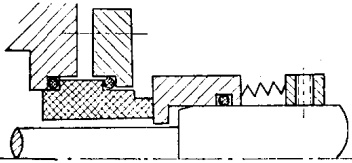
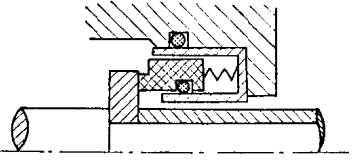
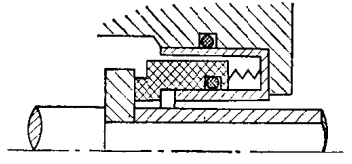
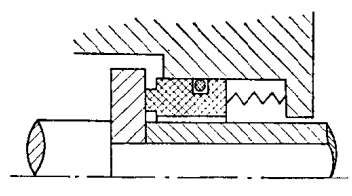
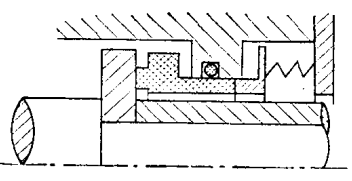
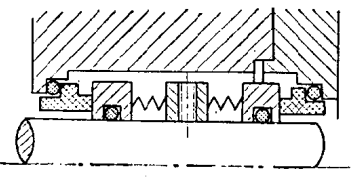
机械密封的结构型式很多，分类方法也各有差别，通常是根  
据结构特点进行分类；其常用型式工作简图示于表2—1。

机械密封的分类主要是根据摩擦副的对数，弹簧与介质接触  
与否，介质在端面上引起的比压情况，弹簧的个数，弹簧的运转  
和静止，以及介质的泄漏方向等来加以区别，以便合理的选择机  
械密封的结构型式，最大限度的发挥其结构特点和工作特性，满  
足长期稳定、安全、可靠的密封性能。

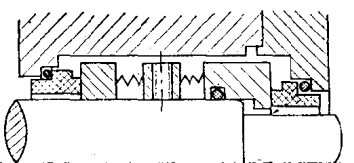
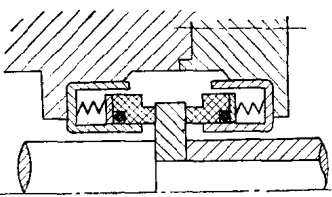
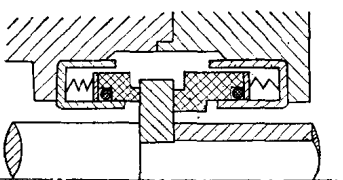
表 2—1 机 械 结 构 型 式

| 序号 | 简 图                                                                                 | 结 构 型 式 名 称                             |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1  |   | 旋转式内装内流非平衡型<br>单端面密封<br>简称：<br>内装非平衡型   |
| 2  |  | 旋转式内装内流部分平衡型<br>单端面密封<br>简称：<br>内装部分平衡型 |
| 3  |  | 旋转式外装外流全平衡型<br>单端面密封<br>简称：<br>外装全平衡型   |

续表

| 序号 | 简 图                                                                                 | 结 构 型 式 名 称                             |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 4  |    | 旋转式外装外流部分平衡型<br>单端面密封<br>简称:<br>外装部分平衡型 |
| 5  |    | 固定式内装内流非平衡型<br>单端面密封<br>简称:<br>固定非平衡型   |
| 6  |    | 固定式内装内流部分平衡型<br>单端面密封<br>简称:<br>固定部分平衡型 |
| 7  |   | 固定式外装内流全平衡型<br>单端面密封<br>简称:<br>固定外装全平衡型 |
| 8  |  | 固定式外装内流部分平衡型<br>单端面密封<br>简称:<br>外装部分平衡型 |
| 9  |  | 旋转式非平衡型<br>双端面密封<br>简称:<br>非平衡型双端面密封    |

续表

| 序号 | 简图                                                                                | 结构型式名称                                      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 10 |  | 旋转型部分平衡型<br>双端面密封<br>简称:<br>部分平衡型双端面密封      |
| 11 |  | 固定式面对面非平衡型<br>双端面密封<br>简称:<br>固定非平衡型双端面密封   |
| 12 |  | 固定式面对面部分平衡型<br>双端面密封<br>简称:<br>固定部分平衡型双端面密封 |

### (一) 单端面与双端面

单端面系在密封机构中仅有一对摩擦副，简图如表2—1中序号1；双端面即在密封机构中有两对摩擦副，且两对摩擦副处于相同封液压力作用下，简图如表2—1中序号9。

密封机构中有两对或两对以上的摩擦副，且密封腔的压力逐级降低，根据摩擦副的对数分别称为双端面（二端面）、三端面、……多端面。双端面密封如图2—1所示。

对于多端面密封，由于结构极为复杂，仅适用于高压情况，目前应用较少。这里只重点介绍单端面及双端面型式。

从结构比较来看，单端面比双端面简单，在制造和装拆上较容易，因而使用很普遍。双端面因要通入带压液体（封液）至密封腔内，起“堵封”和润滑等作用，就需另设一套装置。

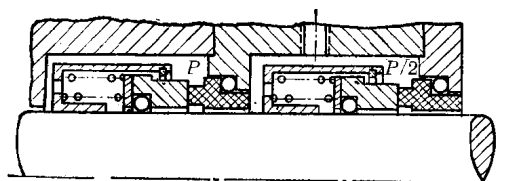


图 2—1 双端面密封

双端面密封腔中封液的选取须注意应不影响密封介质之性能，又是无毒、无腐蚀性，同时要求润滑性能好，汽化温度高等。

一般封液压力需超过工作介质压力 $0.5 \sim 1.5$  公斤/厘米<sup>2</sup>才起“堵”的作用，以使易燃、易爆、有毒介质不外漏；真空时空气不内漏。用封液可以对高温、高压介质的密封，进行冷却和润滑，对于易挥发、低粘度介质，可选择润滑性能好的封液，改善、润滑条件。封液对于气体介质，可使气相密封转化为液相密封，有利于润滑；对于带颗粒的介质，可使颗粒不进入摩擦副；对于腐蚀性介质，起到保护零件的作用。

双端面适应范围比单端面广。它适用于强腐蚀、高温、带悬浮颗粒及纤维的介质、气体介质、易燃易爆介质、易挥发粘度低的介质、高真空、贵重物料及要求介质与空气隔绝且允许内漏的情况。

单端面只适用于一般场合，理论上单端面不可能完全消除介质的泄漏，但单端面与其它辅助装置并用时，也可应用到如带悬浮颗粒、高温、高压……等等情况。

## (二) 内装式与外装式

- 内装式是弹簧置于工作介质之内，简图如表2—1中序号1，2。外装式是弹簧置于工作介质之外，简图如表2—1中序号3，4。

外装式的特点，一般来说大部分机械密封零件不与介质接触且暴露在设备外，便于观察及维修安装。但是由于外装式结构的



介质作用力与弹簧力相反（指常用结构，一般用全平衡型较多），当介质压力有波动或升高的情况下，弹簧力余量又不大时，会出现密封不稳定以致产生泄漏。而当介质压力降低时，因弹簧力不变，在摩擦面上受负荷增大，特别在低压启动时，摩擦副的表面间尚未构成液膜，此时比压又是最大，容易擦伤端面。

内装式受力情况较好，刚开车时介质压力较低，用不太大的弹簧力即可对摩擦面构成初始的密封，此时因端面比压较小，容易形成液膜。内装式端面比压随介质压力增大而增大，因而增加了密封的可靠性。

一般情况下内装式的介质泄漏方向与离心力方向相反，泄漏情况较外装式为好。所以在介质无腐蚀性以及不影响弹簧机能时，应尽可能采用内装式结构。

外装式结构仅适用在下列情况：

①密封零件、弹簧材料不耐介质腐蚀。

②介质易结晶，影响弹簧机能（应选外装内流式结构，简图如表2—1中序号7、8）。

③粘稠介质（弹簧在介质中不能很好工作）。

④安装上的要求。

⑤压力较低的场合。

### （三）平衡型与非平衡型

根据介质压力在端面上所引起的比压的卸载情况，可将密封分为平衡与非平衡两种类型。不卸荷的称非平衡型；卸荷的称平衡型（部分卸荷称部分平衡型；全部卸荷称全平衡型）。

内装式平衡型与非平衡型机械密封受力图如图2—2所示。

当不计摩擦副间反压力及密封圈摩擦力时，作用在端面上的比压为：

$$P_{比} = P_{介} + \frac{D_2^2 - d_0^2}{D_2^2 - D_1^2} P_{介}$$

式中  $P_{比}$ ——端面比压 公斤/厘米<sup>2</sup>

$P_{介}$ ——介质压力 公斤/厘米<sup>2</sup>