

# 第 23 篇 密 封

(试 用 本)

机械工程手册  
电机工程手册

编辑委员会



机 械 工 业 出 版 社

62

3

T4-62

3

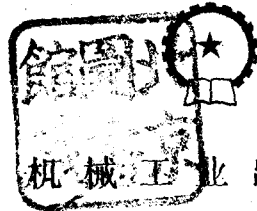
3:23

# 机械工程手册

第 23 篇 密 封

(试 用 本)

机械工程手册 编辑委员会  
电机工程手册



机械工业出版社

A740908

本书是《机械工程手册》第23篇——密封篇，介绍了各种密封的基本原理、结构、计算、选用、密封系统与密封材料。

对于广泛应用的标准密封，如中低压静密封，各种填料，油封，防尘密封，主要介绍选用方法。对于高参数密封，如高压静密封，机械密封，浮动环密封，迷宫密封，以介绍设计计算方法为重点。还扼要介绍了近代发展的新型密封，如动力密封、停车密封、磁流体密封、全封闭等。

本书可供工程技术人员、工人在进行密封装置的设计、制造、使用和维修工作中参考，也可作为高等院校的教学参考读物。

## 机 械 工 程 手 册

### 第 23 篇 密 封

(试 用 本)

第一机械工业部合肥通用机械研究所 主编

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092^{1/16}$  · 印张  $8^{3/4}$  · 字数 246 千字

1980年8月北京第一版·1980年8月北京第一次印刷

印数 00,001—27,600 · 定价 0.67 元

\*

统一书号: 15033·4664

## 编辑说明

(一) 我国自建国以来，机械工业在毛主席的革命路线指引下，贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验，同时采用国外先进技术，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式、数据、资料，关键问题以及发展趋势。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的，有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第23篇，由第一机械工业部合肥通用机械研究所主编，参加编写的还有上海汽轮机厂。许多单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册 编辑委员会编辑组  
电机工程手册

## 常用符号

$A$ ——双振幅 cm  
 漏泄截面积  $m^2$   
 $C_N$ ——螺旋密封的耗功系数  
 $C_p$ ——螺旋密封的增压系数  
 $c$ ——粘度的压力系数  $\eta = \eta_0 e^{cP}$   $m^2/kgf$   
 $c_p$ ——定压比热  $kcal/(kg \cdot ^\circ C)$   
 $E, E_1$ ——弹性模量  $kgf/cm^2$   $kgf/m^2$   
 $gf/mm^2$   
 $F$ ——密封的机械载荷  $kgf$   
 螺栓力  $kgf$   
 浮动环端面正压力  $kgf$   
 $F_h$ ——介质压力载荷  $kgf$   
 $F_c$ ——密封力  $kgf$   
 $F'$ ——工作状态螺栓力  $kgf$   
 $F''$ ——予紧状态螺栓力  $kgf$   
 $F_1, F_2, F_3$ ——活塞环的弹力  $kgf$   
 $F_s$ ——弹簧力  $kgf$   
 $F_t$ ——填料对轴的摩擦力  $kgf$   
 $f$ ——油封冠部截面积  $mm^2$   
 $G$ ——气体的质量流量  $kg/s$   
 $g_c$ ——换算因子  $980 \frac{kg \cdot cm}{(kgf \cdot s^2)}$   $9.8 \frac{kg \cdot m}{(kgf \cdot s^2)}$   
 $h$ ——密封的半径间隙  $m$   
 $H$ ——密封气隙中的磁场强度  $Oe$   
 螺旋迷宫的压头  $m$   
 $K$ ——载荷系数  
 填料侧压系数  
 磨损系数  $\frac{cm^3 \cdot s}{(kgf \cdot m \cdot h)}$   
 $l$ ——密封环的节流长度  $cm$  ( $m$ )  
 $M_1, M_2, M$ ——摩擦力矩  $kgf \cdot cm$   
 $M_w$ ——弯矩  $kgf \cdot cm$   
 $m$ ——垫片系数  
 气体多变过程指数  
 $N$ ——摩擦功率  $kW$   
 $n$ ——轴转速  $r/min$   
 $p$ ——介质压力  $kgf/cm^2$   $kgf/m^2$   
 $p_1$ ——密封前压力  $kgf/cm^2$   $kgf/m^2$   
 吸气压力  $kgf/cm^2$   
 $p_2$ ——密封后压力  $kgf/cm^2$   $kgf/m^2$   
 排气压力  $kgf/cm^2$   $kgf/m^2$   
 $p_3$ ——背压  $kgf/cm^2$   
 $p_c$ ——机械密封端面比压  $kgf/cm^2$

$p_s$ ——弹簧比压  $kgf/cm^2$   
 $Q$ ——密封的漏泄量  $m^3/s$   
 $Q_1$ ——螺旋迷宫的排量  $m^3/s$   
 $q$ ——线接触比压  $kgf/cm$   
 $R$ ——气体常数  $kgf \cdot m/(kg \cdot ^\circ K)$   
 $R, R_1, R_2$ ——半径  $cm$  ( $m$ )  
 浮动环端面摩擦力  $kgf$   
 $R_e$ ——雷诺数  
 $R_{e_u}$ ——周向流动的雷诺数  
 $R_{e_w}$ ——轴向流动的雷诺数  
 $S$ ——活塞环自由开口间隙  $cm$   
 硬填料接头间隙  $cm$   
 $T$ ——浮动环内表面的流体摩擦力  $kgf$   
 $T_1$ ——密封前气体温度 ( $^\circ K$ )  
 $V$ ——速度  $m/s$   
 $v$ ——气体比容  $m^3/kg$   
 $W$ ——浮动环油膜浮力  $kgf$   
 $w_1$ ——密封前气体流速  $m/s$   
 $\gamma$ ——填料、垫片压紧比压  $kgf/cm^2$   
 $\gamma_b$ ——由螺栓力产生的填料比压  $kgf/cm^2$   
 $\alpha$ ——流量系数  
 $\beta$ ——平衡系数  
 $\gamma$ ——直齿迷宫折算系数  
 $\delta$ ——直径间隙  $m$   
 $\Delta$ ——唇口半径过盈  $mm$   
 $\varepsilon$ ——相对偏心  
 $\eta$ ——动力粘度  $kgf \cdot s/m^2$   
 $\eta_0$ ——常压下的动力粘度  $kgf \cdot s/m^2$   
 $\lambda$ ——端面流体反压力系数  
 $\mu, \mu_0, \mu_r$ ——摩擦系数  
 $\nu$ ——运动粘度  $m^2/s$   
 $\rho$ ——密度  $kg/cm^3$   $kg/m^3$   
 $\sigma_w$ ——弯应力  $kgf/cm^2$   
 $\tau$ ——时间  $h$   
 $\omega$ ——角速度  $rad/s$

## 说明

本篇基本上采用重力制单位，为便于向SI单位制过渡，在涉及动力学计算时出现换算因子  $g_c = 9.8 kg \cdot m / (kgf \cdot s^2)$  (亦即  $9.8 N/kgf$ )。

本篇2~4章，主要涉及静力学计算，为计算方便，长度单位用厘米 ( $cm$ )。第5~6章，涉及动力学、热力学计算较多，为便于查找物理参数，使公式保持单位统一，长度单位用米 ( $m$ )。

# 目 录

编辑说明  
常用符号

## 第1章 概 述

- 1 阻漏机理与密封分类.....23-1
- 2 密封力、载荷系数与平衡系数.....23-3
- 3 追随性与卡紧.....23-3
- 4 密封系统.....23-4
  - 4.1 密封剂与隔离腔.....23-4
  - 4.2 润滑.....23-4
  - 4.3 冷却(保温、保冷)与冲洗.....23-4
- 5 常用密封性能范围.....23-7
- 6 经济分析.....23-7

## 第2章 静密封

- 1 法兰连接密封.....23-7
  - 1.1 法兰.....23-7
  - 1.2 密封垫片与密封胶.....23-10
  - 1.3 螺栓力计算.....23-13
- 2 管道连接密封.....23-17
- 3 高压容器密封.....23-19
  - 3.1 高压容器密封结构.....23-19
  - 3.2 平垫密封.....23-21
  - 3.3 双锥密封.....23-22
  - 3.4 C形环密封.....23-23
- 4 金属空心O形环密封.....23-23
  - 4.1 设计计算.....23-24
  - 4.2 O形环的制作和充气方法.....23-25
- 5 中分面密封.....23-25
  - 5.1 中分面.....23-25
  - 5.2 螺栓力.....23-25
- 6 高温、低温、真空条件下的密封.....23-26
  - 6.1 高温密封.....23-26
  - 6.2 低温密封.....23-26
  - 6.3 真空密封.....23-26

## 第3章 弹塑性体接触动密封

- 1 软填料密封.....23-27
  - 1.1 软填料及其应用.....23-27
  - 1.2 填料箱.....23-30
  - 1.3 软填料密封计算.....23-32
- 2 成型填料.....23-32
  - 2.1 橡胶挤压型密封圈.....23-32
  - 2.2 橡胶唇型密封圈.....23-36
  - 2.3 组合式橡胶密封圈.....23-40
  - 2.4 塑料密封圈.....23-40
  - 2.5 皮革密封圈.....23-43
- 3 油封.....23-43
  - 3.1 油封类型.....23-44
  - 3.2 油封性能参数与结构参数.....23-46
  - 3.3 标准型油封.....23-48
  - 3.4 油封安装结构.....23-48
  - 3.5 动压型油封.....23-50
- 4 防尘密封.....23-52
  - 4.1 旋转型防尘密封.....23-52
  - 4.2 往复型防尘密封.....23-56
  - 4.3 全封闭型防尘密封.....23-59

## 第4章 非弹性体接触动密封

- 1 机械密封.....23-59
  - 1.1 类型及标准.....23-59
  - 1.2 设计计算.....23-68
  - 1.3 润滑、冲洗和冷却.....23-70
  - 1.4 材料选用.....23-71
  - 1.5 应用.....23-71
  - 1.6 受控膜机械密封.....23-78
- 2 硬填料密封.....23-80
  - 2.1 密封环结构形式.....23-80
  - 2.2 硬填料密封组.....23-80
  - 2.3 计算.....23-84
- 3 活塞环.....23-86

|                               |        |                       |        |
|-------------------------------|--------|-----------------------|--------|
| 3.1 金属活塞环.....                | 23-86  | 4.1 自解脱式停车密封 .....    | 23-113 |
| 3.2 无油润滑活塞环.....              | 23-89  | 4.2 外操纵式停车密封 .....    | 23-115 |
| 3.3 涨圈旋转密封.....               | 23-90  | 5 铁磁流体密封 .....        | 23-116 |
| <b>第 5 章 流阻型非接触动密封</b>        |        |                       |        |
| 1 间隙密封 .....                  | 23-91  | 5.1 铁磁流体 .....        | 23-116 |
| 1.1 浮动环密封.....                | 23-92  | 5.2 密封结构 .....        | 23-116 |
| 1.2 石墨浮动环密封.....              | 23-98  | 5.3 铁磁流体密封的性能 .....   | 23-117 |
| 1.3 固定环密封.....                | 23-99  | 6 组合密封 .....          | 23-117 |
| 1.4 背压套筒密封 .....              | 23-101 | 6.1 多级串联 .....        | 23-117 |
| 2 迷宫密封 .....                  | 23-102 | 6.2 降压与阻漏结合 .....     | 23-117 |
| 2.1 工作原理 .....                | 23-102 | 6.3 分解处理 .....        | 23-117 |
| 2.2 漏泄量计算 .....               | 23-102 | 6.4 防尘密封与主密封的组合 ..... | 23-118 |
| 2.3 结构型式 .....                | 23-105 | 7 全封闭密封 .....         | 23-118 |
| 2.4 迷宫密封系统 .....              | 23-109 | <b>第 7 章 密封材料</b>     |        |
| <b>第 6 章 动力密封及特殊动密封</b>       |        |                       |        |
| 1 离心密封 .....                  | 23-109 | 1 石棉.....             | 23-121 |
| 1.1 离心密封的承压能力 .....           | 23-110 | 2 皮革.....             | 23-122 |
| 1.2 离心密封的功率消耗 .....           | 23-110 | 3 密封胶.....            | 23-123 |
| 2 螺旋密封 .....                  | 23-110 | 4 碳素材料.....           | 23-123 |
| 2.1 层流工况下的密封压差与<br>功率消耗 ..... | 23-110 | 5 橡胶.....             | 23-123 |
| 2.2 紊流工况 .....                | 23-112 | 6 塑料.....             | 23-127 |
| 2.3 封液的选择 .....               | 23-112 | 7 工程陶瓷.....           | 23-127 |
| 2.4 设计举例 .....                | 23-112 | 8 硬质合金.....           | 23-128 |
| 3 螺旋迷宫密封.....                 | 23-113 | 9 堆焊硬合金材料.....        | 23-128 |
| 4 停车密封 .....                  | 23-113 | 10 硬质涂层材料 .....       | 23-128 |
|                               |        | 11 铸铁 .....           | 23-130 |
|                               |        | 12 钢与有色金属 .....       | 23-130 |
|                               |        | 参考文献 .....            | 23-132 |



# 第1章 概述

密封的功用是阻止漏泄。起密封作用的零部件称为密封件，亦简称为密封。较复杂的密封，特别是带有附属系统的，称为密封装置。

相对静止的结合面（即密封面）间的密封称静密封。

相对运动的结合面间的密封称为动密封。

密封性能是评价机械产品质量的一个重要指标。设备中工作介质漏泄，会造成物资浪费并污染环境。易燃、易爆、剧毒、腐蚀性、放射性物质漏泄危及人身及设备的安全。环境中的气、尘、泥、水漏入机内会使轴承、齿轮等过早磨损报废或影响产品的纯度。流体机械的内部漏泄影响容积效率。连续性生产，如化工企业，密封故障是造成非计划停车的主要原因。据统计，60%非计划停车事例与密封故障有关。

对密封的基本要求是严密、可靠、寿命长，力

求结构紧凑、系统简单，制造维修方便，成本低廉。大多数密封件为易损件，应保证互换性，实现标准化、系列化。

## 1 阻漏机理与密封分类

通过密封的物质传递即为漏泄。造成漏泄的原因，一是密封面上有间隙，一是密封两侧有压力差或浓度差。消除（或减轻）任一因素均可阻止（或减少）漏泄，而以间隙因素对密封特性有最本质的影响。

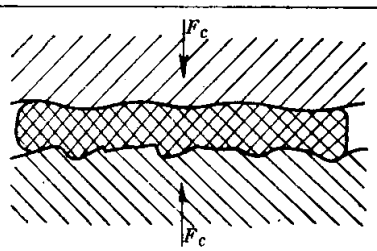
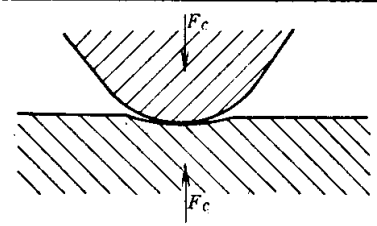
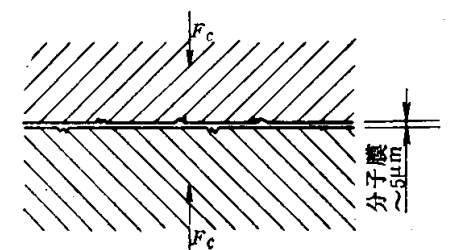
借密封力使密封面互相靠紧，接触甚或嵌入以减少或消除间隙的各类密封统称为接触型密封。

密封面间预留固定的装配间隙，无需密封力压紧密封面的各类密封统称为非接触型密封。

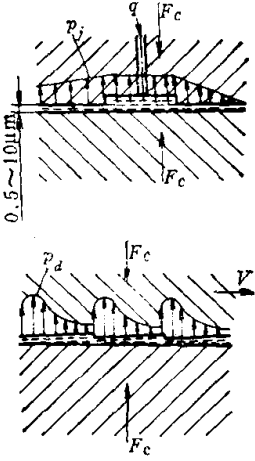
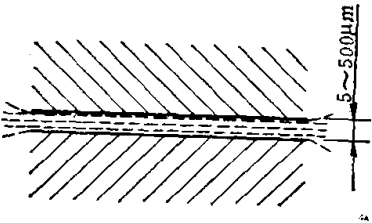
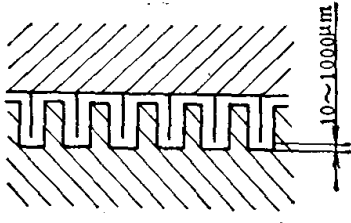
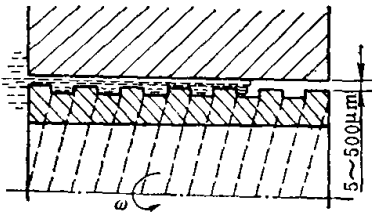
依密封面的接触状态和间隙性质还可再细分为

7种类型（表 23·1-1）。

表23·1-1 密封面的基本类型

|           | 原 理 图  | 特 点  |
|-----------|--|--|
| 接 触 型 密 封 |  <p>塑性面接触密封</p> | <p>密封面将软质垫片或填料压紧，使之产生弹塑性变形，以填塞密封面上的不平，消除间隙</p> <p>密封面上接触带较宽，比压分布均匀</p> <p>对加工精度要求不高，成本低廉，但耐拆次数及寿命均较低</p>   |
|           |  <p>弹性线接触密封</p> | <p>由两个曲率不同的精密成型表面相接触，构成闭合的接触线（一般是圆），靠接触线上材料的微小弹性变形来填塞密封面间的不平之处。要求制造精度高</p> <p>密封带极窄，弹性变形量很小，补偿能力小，耐多次装拆，适于高压、高温、重负荷密封</p>  |
|           |  <p>研合密封</p>    | <p>精密研磨的平面、圆柱面或锥面靠外力压紧密接，不产生明显的弹性和塑性变形。密封间隙主要取决于研磨精度，依工件尺寸大小不同，密封间隙可从分子膜厚至<math>5\mu\text{m}</math>量级</p> <p>阻漏机理：微间隙密封与固体表面的吸附力和液体的表面张力有关；小间隙的为流体阻力效应</p> <p>研合密封多用于高参数的动密封与静密封</p> |

(续)

|                       | 原 理 图  | 特 点   |
|-----------------------|--|---|
| 接<br>触<br>型<br>密<br>封 |  <p>a) 静压式</p> <p>b) 动压式</p> <p>受控膜接触密封</p> | <p>密封间隙受两种因素控制：密封力的作用使密封间隙趋向缩小，甚至接触；而间隙中的流体压力使间隙趋向扩大，两种因素互相制约共同调节密封的工作间隙</p> <p>根据控制间隙的力的性质分静压式和动压式，此外还有外控制式（利用调节阀原理调节间隙）和热胀冷缩控制式等</p> <p>密封间隙在<math>0.5\sim 10\mu\text{m}</math>范围以内。适用于高压、高速。尚可实现气体润滑</p> |
| 非<br>接<br>触           |  <p>间隙密封</p>                               | <p>利用光滑间隙对流体的阻力限漏。因间隙较小，为防擦碰，要借助于润滑膜的动压力维持间隙。间隙通常在<math>10\sim 500\mu\text{m}</math>范围内，能用于高速、高压机械</p>  |
| 接<br>触<br>型           |  <p>迷宫密封</p>                              | <p>气体通过密封齿和膨胀空腔因节流、膨胀和涡流摩擦耗能、降压，接近于等焓膨胀过程</p> <p>间隙大，无磨损，不需润滑，寿命长，不受温度、速度限制，是级间密封的基本型式</p>  |
| 密<br>封                |  <p>动力密封</p>                              | <p>在密封间隙内有小型动力元件，当运转时能对流体做功产生压头，以克服漏泄</p> <p>无磨损，寿命长，漏泄少；但停车时无密封能力，如需保压，须辅以停车密封</p>   |

注：符号说明  $F_c$ ——密封力； $p_j$ ——静压； $p_d$ ——动压； $q$ ——充压孔； $V$ ——相对速度。

几乎全部静密封都属于接触型密封（气柜水封等例外）。

动密封既有接触型的，也有非接触型的。一般说来，接触型密封比较严密，因受摩擦磨损限制，适于密封面线速度较低的情况。但是，采用有效的润滑与冷却措施，可使接触型密封所能达到的速度不低于非接触型密封。非接触型密封与此相反，一般

说来严密性较差，而适于较高速度。但是如果借助于密封剂的隔离作用以及与停车密封的合理组合，非接触型密封的严密性可不低于接触型密封。

接触型动密封可分为弹性体密封和非弹性体密封二类。

弹性体密封是用高分子弹性体材料制成的，可利用密封材料的弹塑性变形补偿磨损，严密性好，

结构简单，尺寸紧凑，价值低廉，但耐热耐寒范围较窄、寿命较低，通常用作较低参数的密封。

非弹性体密封的密封面是用金属、石墨等非弹性体材料制成的，需要较复杂的磨损补偿机构，对加工精度要求高，尺寸较大，价值较高，耐热性耐寒性优良，寿命较长，适于较高参数的密封。

非接触型动密封可分为流阻型与动力型二类。

流阻型密封包括间隙密封与迷宫密封，系利用流体在间隙内的节流效应限漏。因为它们的漏泄量较大，如无辅属系统，通常是用于级间密封等对严密性要求不高的场合。带有循环油系统的间隙密封或带有充、抽气系统的迷宫密封可作为条件极为苛刻的高参数动力装置的主要密封。

动力密封靠动力元件产生压头抵消密封两侧的压力差以克服漏泄，允许保持较大的密封间隙，因而可以在保证高度严密性的同时，又保持无磨损、高寿命。但在有限的尺寸内用动力元件难以得到高压头，在高参数下散热困难以及某些动力密封能耗过大等缺点限制了动力密封的应用。

## 2 密封力、载荷系数与平衡系数

作用于接触型密封面上的接触力称为密封力，单位面积上的密封力叫比压，单位长度上的密封力叫线比压。

密封力的大小影响到接触型密封的严密性、可靠性和寿命。密封力是机械载荷（靠紧固件、弹性件、重力的作用）、压力载荷（流体压力的作用）和

热载荷等作用的合力。

压力载荷使密封力有减少的趋势者叫强制密封。一般法兰连接和压紧式填料均属之。压力载荷使密封力有增加趋势者叫自紧密封。自紧程度以载荷系数体现，载荷系数为流体压力作用面积  $f_1$  对密封面积  $f_2$  之比值  $K$ 。高压静密封的载荷系数一般大于 3；动密封的载荷系数一般为 0.5~1.5。载荷系数低于 1.0 的密封称为平衡型密封，并称系数  $\beta = 1 - K$  为平衡系数（图 23·1-1）。

## 3 追随性与卡紧

动密封零件除了作旋转或往复的主体相对运动外，还伴随着轴向与径向的振动、摆动、串动等附加运动，会引起密封面分离而导致漏泄。特别是在高速和冲击力大的机械上更为严重。这就要求密封面具有良好的追随性，能及时弥合因振摆而产生的密封间隙。保持追随性的条件是恢复力大于干扰力。

振动引起的干扰力等于  $\frac{1}{2}m A \omega^2$  ( $m$ ——振动系统的质量； $A$ ——双振幅； $\omega$ ——圆频率)。恢复力由密封材料的弹力、弹簧力、流体膜的动压力、静压力等构成。

卡紧是密封件因自锁性摩擦造成的运动障碍。如主体运动受限制，则密封面会发生严重烧伤、拉毛，如追随运动受限制则会发生异常漏泄。

除制造和装配误差造成的卡紧外，设计上应特别注意静、动件之间的热膨胀匹配，构件受压变形

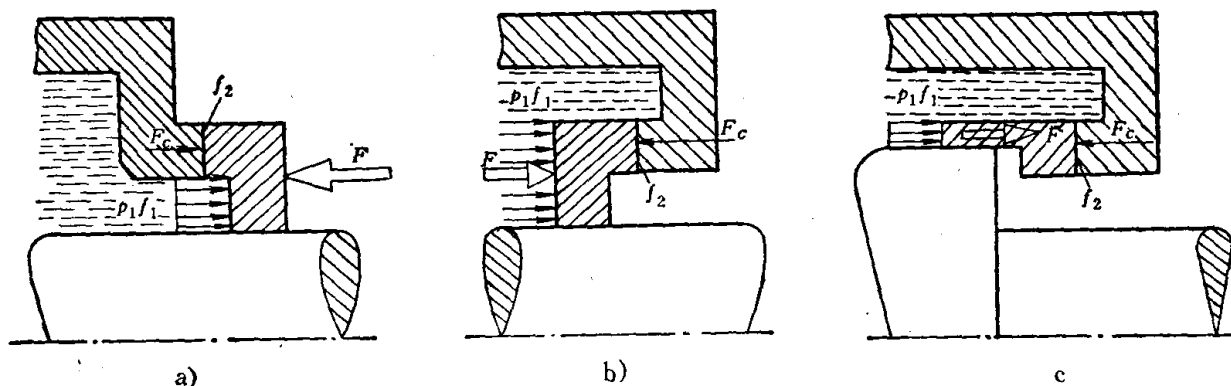


图23·1-1 强制、自紧与平衡

a—强制密封 b—自紧密封(非平衡)  $\frac{f_1}{f_2} \geq 1$  c—自紧密封(平衡)  $\frac{f_1}{f_2} < 1$

$p_1 f_1$ —压力载荷  $F$ —机械载荷(由紧固件、弹簧等产生)  $F_c$ —密封力  $f_1$ —流体压力作用面积  
 $f_2$ —密封面积

对间隙的影响以及液压卡紧等。

#### 4 密封系统

如密封的工作压力、温度过高，介质润滑性差，含固相杂质或对漏泄造成的污染有严格限制、采用简单密封件有问题时，可采用组合密封（见第6章），并配以适当的密封系统来改善密封的工作条件。

##### 4.1 密封剂与隔离腔

密封剂是为维持密封正常工作条件而供给的工作流体，其作用为：隔离不相容的介质；分配压力负荷；为密封提供润滑、冷却、冲洗等条件。

容纳密封剂以及排出漏泄物的腔室叫隔离腔，各腔室被密封分隔开（图 23·1-2）。

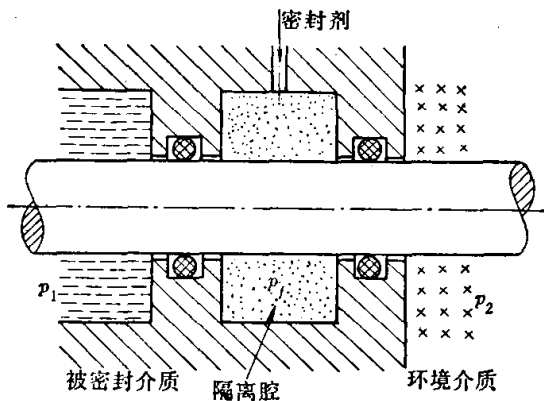


图 23·1-2 隔离腔与密封剂

$p_f$ —密封剂压力  $p_1$ —被密封介质压力  
 $p_2$ —环境介质压力

密封剂的压力  $p_f$  依据工作条件选择：主要用以改善润滑条件的，应使  $p_f > p_1, p_2$ ；主要用以起隔离作用的，应使  $p_f > p_1, p_2$  或  $p_f \ll p_1, p_2$ ；主要用以使两级密封负荷均匀分配的，应使  $p_f \approx \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$ 。

密封剂为液体者称为封液，其密封作用称为液封。

密封剂为气体者称为封气，其密封作用称为气封。

密封剂须不与被密封介质发生有害的物理、化学作用。常用的有空气、氮气、水蒸汽、贫气（含高碳组分较少的天然气和炼厂气）、油雾、水及水溶液、水乳液、润滑油、润滑脂、液压油、不冻液、

水银、低熔点金属、铁磁流体等。

##### 4.2 润 滑

摩擦、磨损是限制动密封工作性能和降低动密封寿命的重要因素。润滑是克服摩擦、磨损的有效手段。

大多数密封不需外加润滑剂，它们靠密封材料本身的自润滑性或被密封介质的润滑性维持工作。密封材料内浸渍以油、脂、蜡或掺入石墨、聚四氟乙烯等可改善其自润滑性。油类介质具有良好的润滑性能，而水溶液类介质的润滑性则与密封材料的性质有关。石墨、酚醛夹布胶木等都是良好的水润滑减磨材料。

中等参数及高参数密封采用滴油润滑或压力油循环润滑。当润滑剂直接注入介质腔时，多采用滴油润滑方式，以限制介质带油。当润滑腔与介质腔分开时，可采用多种润滑方式。压力油循环润滑不仅可提供充分的润滑，而且可带走摩擦热。

液体动压润滑和液体静压润滑，能在密封面上形成稳定的液膜，提高密封的抗干扰能力，适于高参数密封。气体静压润滑和气体动压润滑在密封技术上已有应用，如航空透平等，具有极低的摩擦，耐高速、高温，性能优异。

某些情况要求润滑剂绝对不能与介质相混，即所谓“无油润滑”问题，通常有三种解决密封问题的方式：一）用固体自润滑材料的接触型密封；二）用迷宫密封；三）用全封闭密封。

##### 4.3 冷却（保温、保冷）与冲洗

密封受热会引起材料变性、零件变形、负荷改变，损害密封的工作性能，甚至烧毁。为控制密封温度，视热负荷的大小，可采取自然冷却，水套冷却，内循环冲洗冷却，外冲洗冷却，轴内冷却，外循环冲洗冷却等各种方式（图 23·1-3）。冲洗可加强冷却效果，并防止固体杂质的积聚。

对于在降低温度时会凝固或析出结晶的物质，不可过度冷却，而应保持密封温度在一定范围内。

对于低沸点物质，如冷冻工质、液化石油气等，密封工作性能与其过冷度有密切关系，需采取保冷措施，防止气化。

表23·1-2 静密封种类与特性

| 种           | 类                                     | 真空        |                   | 压力<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 温度<br>°C | 通用流体类型    | 尺寸范围<br>mm | 典型用<br>例        |
|-------------|---------------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------|----------|-----------|------------|-----------------|
|             |                                       | mm Hg     | mm                |                           |          |           |            |                 |
| 强<br>制<br>压 | 型<br>性<br>垫<br>片                      | 纤维质垫片     | 10 <sup>-1</sup>  | 25                        | 200(450) | 油、水、气、酸、碱 | 不限         | 设备法兰、管法兰        |
|             |                                       | 橡胶垫片      | 10 <sup>-6</sup>  | 16                        | -70~200  | 真空、油、水、气  | 不限         | 真空设备            |
|             |                                       | 塑料垫片      | 10 <sup>-1</sup>  | 6                         | -180~250 | 酸、碱       | 不限         | 酸管钱             |
|             |                                       | 金属包垫片     |                   | 64                        | 450(600) | 油、蒸汽、燃气   | 不限         | 内燃机气缸垫          |
|             |                                       | 金属缠绕垫片    |                   | 64                        | 450(600) | 油、蒸汽、燃气   | 不限         | 炼油厂设备、管道连接      |
| 压           | 垫<br>片                                | 橡胶O形环     | 10 <sup>-6</sup>  | 1000                      | -70~200  | 油、水、气、酸、碱 | 不限         | 液压元件、真空设备       |
|             |                                       | 密封胶       |                   |                           |          | 油、水、气     | 不限         | 减速机壳中分面、鼓风机壳中分面 |
|             |                                       | 密封条、带     |                   |                           |          |           | 不限         | 门窗封口、密封舱        |
|             |                                       | 金属平垫片     | 10 <sup>-12</sup> | 200                       | 600      | 油、合成原料气   | 1000       | 化工设备、超高真空       |
|             |                                       |           |                   |                           |          |           |            |                 |
| 紧<br>类      | 弹<br>性<br>线<br>接<br>触                 | 金属椭圆及八角形环 |                   | ≥64                       | 600      | 同上        | 800        | 化工高压设备          |
|             |                                       | 卡札里密封     |                   | 320                       | 350      | 同上        | >1000      | 同上              |
|             |                                       | 单锥密封      |                   | 1500                      | 350      | 同上        | <500       | 高压管接头           |
|             |                                       | 金属透视镜垫    |                   | 160, 320, 3000            | 350      | 同上        | <250       | 高压管法兰           |
|             |                                       | 金属中空O形环   |                   | 3000                      | 600      | 放射性、高压气   | <6000      | 核电站用容器封口        |
| 自<br>紧<br>类 | 研<br>合<br>研<br>合<br>自<br>紧<br>密封<br>环 | 研合密封面     |                   | 10 <sup>-1</sup> ~1000    | 550      | 油、水、气、汽   | 不限         | 闸板、气缸中分面        |
|             |                                       | 双锥密封      |                   | 700                       | 350      | 合成原料气等    | 1300(2800) | 化工高压容器          |
|             |                                       | 三角垫密封     |                   | 320                       | 350      | 同上        |            | 同上              |
|             |                                       | C形环密封     |                   | 320                       | 350      | 同上        | <1000      | 同上              |
|             |                                       | B形环密封     |                   | 3000                      | 350      | 聚乙烯原料气等   |            | 同上              |
| 自<br>紧<br>类 | 自<br>紧<br>顶<br>盖                      | 平垫自紧密封    |                   | 1000                      | 350      | 合成氨原料气    | 350        | 试验室用超高压容器、汽包人孔  |
|             |                                       | 楔形垫密封     |                   | 320                       | 350      | 同上        | 1000       | 化工高压容器、试验室设备    |
|             |                                       | 组合式密封(伍德) |                   | 320                       | 350      | 同上        | 1000       | 化工高压容器          |

表23-1-3 动密封种类与特性

| 种 类    | 真空<br>mmHg       | 压 力<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 工作温度<br>°C | 线速度<br>m/s | 漏 漏<br>cm <sup>3</sup> /h | 平均寿命        | 应 用 举 例                | 其 它 特 点 |           |
|--------|------------------|----------------------------|------------|------------|---------------------------|-------------|------------------------|---------|-----------|
|        |                  |                            |            |            |                           |             |                        | 运动方式    | 介质②       |
| 压紧填料密封 | 10               | 320                        | -240~600   | 20         | 10~10000                  | 每周紧2~3次     | 清水离心泵、柱塞泵、阀杆密封         | 往复、旋转   | 气、液、干、半、全 |
| 成型填料   | 挤紧型              | 1000                       | -45~230    | 10         | 0.001~0.1                 | 6月~1年       | 油缸、水缸                  | 同上      | 同上        |
|        | 唇型               | 1000                       | -45~230    | 10         | 0.1~10                    | 6月~1年       | 油缸、水缸                  | 同上      | 同上        |
| 橡胶油封   | —                | 3                          | -30~150    | 12         | —                         | 3~6月        | 轴承封油与防尘                | 旋转      | 同上        |
| 硬填料密封  | —                | 3000                       | -45~400①   | 12         | —                         | 3月~1年       | 活塞杆密封                  | 往复      | 气、液       |
|        | —                | 3000                       |            | —          | 6月~1年                     | 航空发动机主轴密封油  | 旋转                     | 同上      | 同上        |
| 胀圈密封   | 10               | 2                          | —          | 12         | 0.2~1%吸<br>气容积            | 3月~6月       | 汽油机、柴油机、压缩机、油缸、航空发动机轴封 | 往复      | 同上        |
|        | —                | —                          | —          | —          | —                         | —           | —                      | 旋转      | 同上        |
| 机械密封   | 普通型              | 80                         | -196~400①  | 30         | 0.1~150                   | 3月~1年       | 化工用、电厂用、炼油厂用的离心泵       | 同上      | 同上        |
|        | 液膜               | 320                        | -30~150    | 30~100     | 100~5000                  | 1年以上        | 大型泵、透平压缩机              | 同上      | 同上        |
|        | 气膜               | 20                         | 不限         | 不限         | —                         | 1年以上        | 航空发动机                  | 同上      | 气         |
| 迷宫密封   | 10 <sup>-1</sup> | 200                        | 600        | 不限         | 大                         | 3年以上        | 蒸汽透平、燃气透平、迷宫活塞压缩机      | 同上      | 气、液、粉     |
| 间隙密封   | 液膜               | 320                        | —          | 80         | 内漏<br><200 l/日            | 1年以上        | 泵、化工透平                 | 往复      | 气、液       |
|        | 气体               | 10                         | -30~150    | 70         | —                         | 1年左右        | 制氧机                    | 往复、旋转   | 气         |
|        | 套筒密封             | 10000                      | -30~100    | 2          | —                         | 1年左右        | 油泵、高压泵                 | 同上      | 气、液       |
| 离心密封   | 背叶轮              | 2.5                        | 0~50       | 30         | —                         | 1年以上        | 矿浆泵                    | 旋转      | 液、粉       |
|        | 用油环              | 0                          | 不限         | 不限         | —                         | 非易损件        | 轴承封油与防尘                | 同上      | 同上        |
| 螺旋密封   | 螺旋密封             | 25                         | -30~100    | 30         | —                         | 取决于轴承<br>寿命 | 轴承封油、鼓风机封油             | 同上      | 气、液       |
|        | 螺旋迷宫密封           | 25                         | -30~100    | 70         | —                         |             | 锅炉给水泵辅密封               | 同上      | 液         |
| 其它     | 铁磁流体密封<br>全封闭密封  | (42)                       | (-50~90)   | (70)       | —                         | —           | —                      | 同上      | 气、液       |

① 凡使用橡胶件者，适用温度同成型填料。  
 ② 介质，泛指被密封介质，密封工作流体和环境物质。粉，代表粉尘。  
 ③ 干——干摩擦；半——半干摩擦；全——全液膜润滑；非——非接触密封，不依赖润滑。

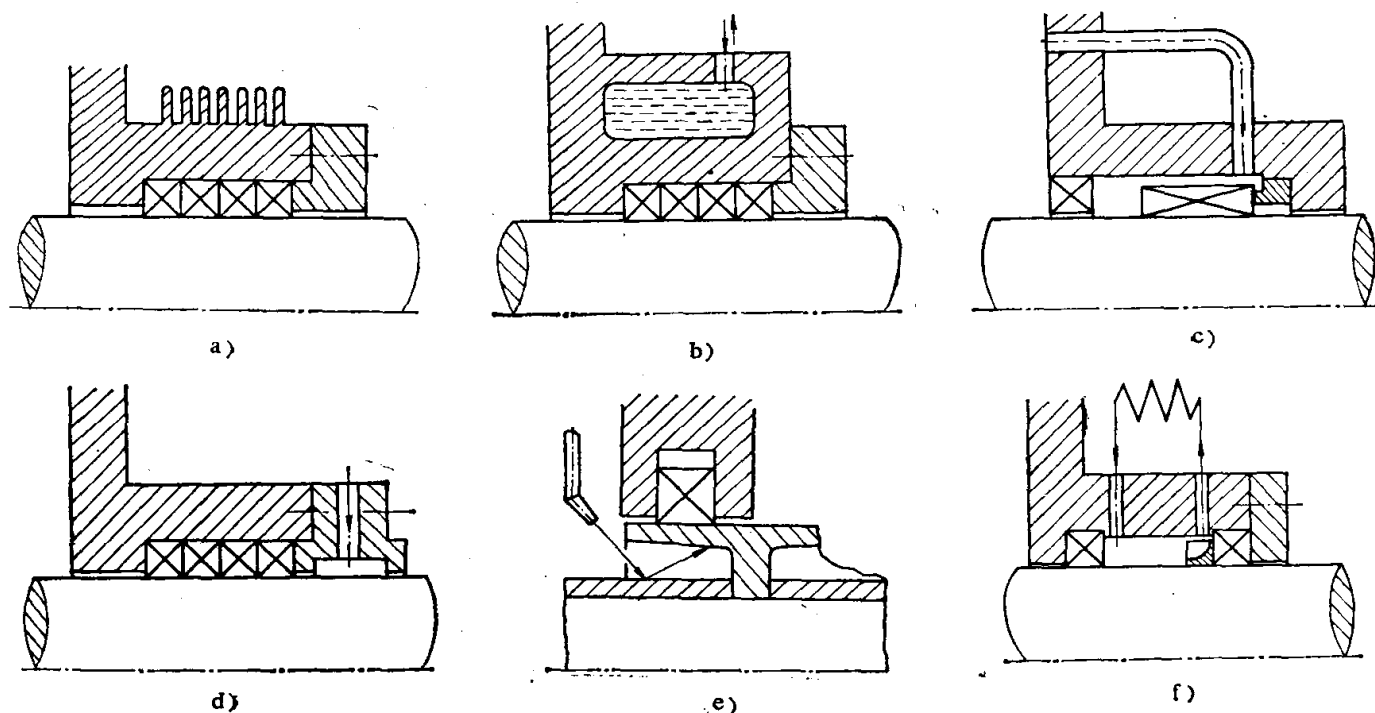


图23-1-3 密封冷却方式

a—自然冷却 b—水套冷却 c—内循环冲洗冷却 d—外冲洗冷却 e—轴内冷却 f—外循环冲洗冷却

### 5 常用密封性能范围

常用静密封性能范围见表 23·1-2。常用动密封性能范围见表 23·1-3。表内压力、温度均指作用于密封部位的工作条件，且为单项指标。当采用改进的结构、系统或高性能的材料时，可采用高于表列数值的参数。

### 6 经济分析

密封的使用条件各异，类型繁多，选择密封应该在技术上现实的前提下力求符合节约原则。在几种方案间进行经济对比，可分析以下项目：

#### a. 经常费

密封的内漏、外漏及摩擦损耗的动力费；  
密封系统的动力费；  
密封外漏物质损失费；  
维修费。

#### b. 固定资产与折旧

密封装置的价值及其折旧费；  
因密封装置不可靠需要多增加的备机台份引起的折旧费。

#### c. 间接费

污染后果引起的费用（三废处理费、污染赔偿费）；  
因密封失效引起的非计划停车损失。

## 第2章 静密封

静密封广泛应用于管道连接、压力容器以及传动装置的接合面的密封中。静密封的类型示于图 23·2-1。

### 1 法兰连接密封

#### 1.1 法兰

##### a. 结构形式 法兰的结构形式可分为整体式

法兰，松套法兰和螺纹法兰。整体法兰即与管子或筒体焊接起来，可视为一个整体，如对焊长颈法兰和平焊法兰。法兰通常用轧材、锻钢和铸钢制造。法兰的结构形式及适用范围见表 23·2-1。

##### b. 法兰密封面 法兰密封面形式（见表 23·2-2）的选择，主要应根据工作压力，工作介质的性质以及对密封的要求，并配以相应的垫片，以确保

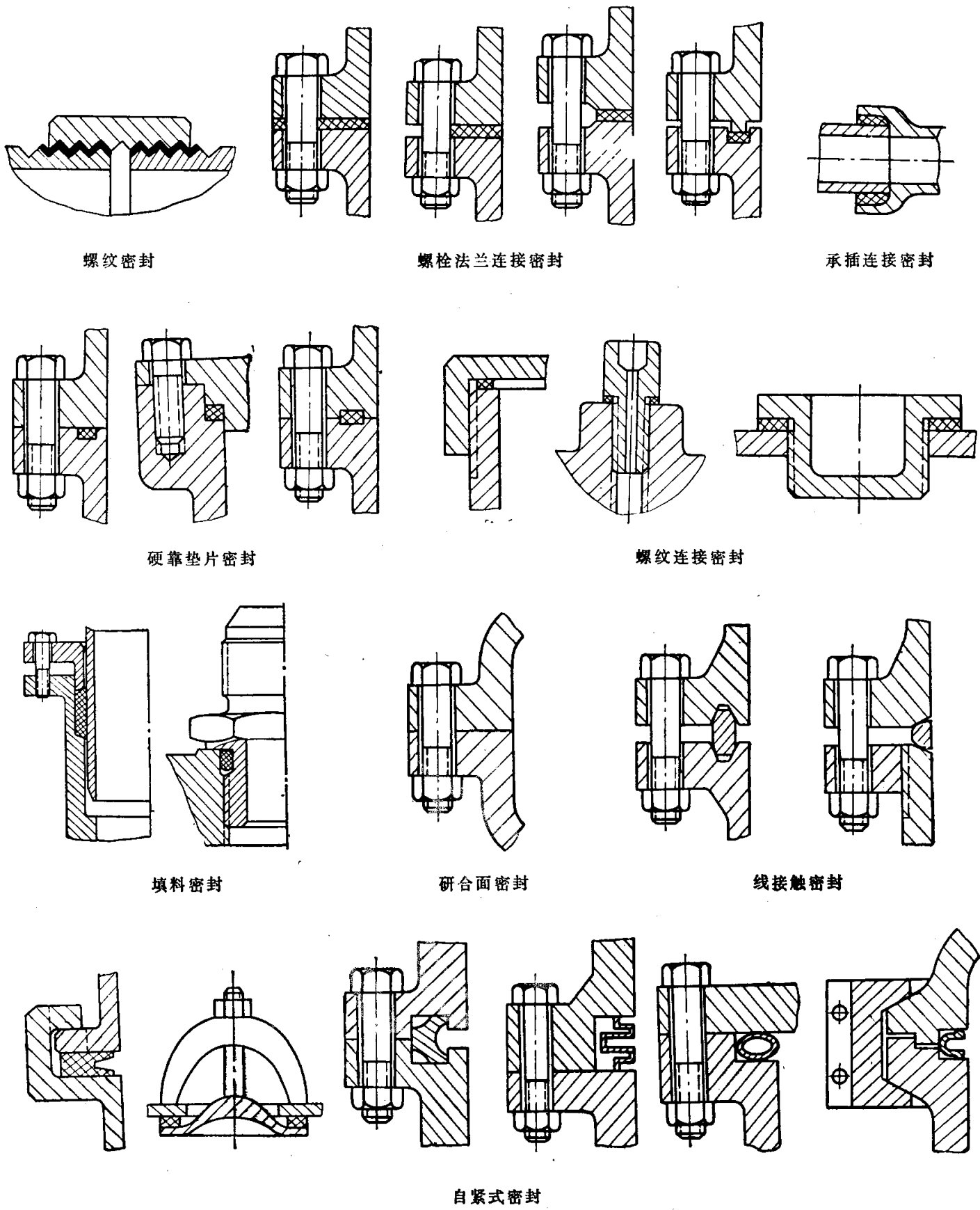



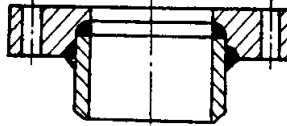
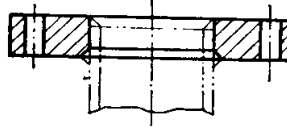

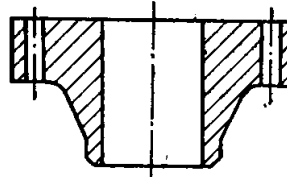
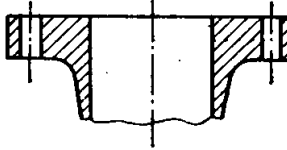
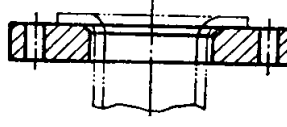
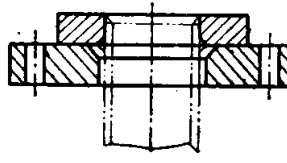
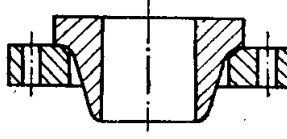
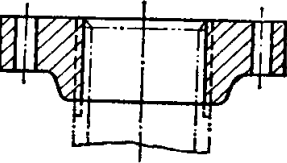
图23-2-1 各种静密封类型

密封可靠。当压力在  $16 \text{ kgf/cm}^2$  以下时，可选用光滑密封面；压力在  $25 \text{ kgf/cm}^2$  至  $64 \text{ kgf/cm}^2$  时，或剧毒介质、密封要求严格的场合，宜选用凹凸密封

面和榫槽密封面；压力大于  $64 \text{ kgf/cm}^2$  时，宜选用梯形槽式和透镜式密封面。



表23-2-1 法兰的结构形式

| 名称      | 简图  | 适用范围  |
|---------|---|---|
| 甲型平焊法兰  |    | JB 1158-73<br>$P_g$ 2.5~16 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 300~2200 mm   |
| 乙型平焊法兰  |    | JB 1159-73<br>$P_g$ 2.5~40 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 300~3000 mm   |
| 平焊钢法兰   |    | JB 81-59<br>$P_g$ 2.5~25 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 10~1600 mm  |
| 焊接钢法兰   |   | JB 919~921-75<br>$P_g$ 10 <sup>-4</sup> ~10 <sup>-7</sup> mm Hg<br>$D_g$ 10~1600 mm   |
| 长颈对焊钢法兰 |  | JB82-59 JB 1160-73<br>$P_g$ 2.5~200kgf/cm <sup>2</sup> , $P_g$ 6~64kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 10~1600mm, $D_g$ 300~2000mm |
| 铸铁法兰    |  | JB 78-59<br>$P_g$ 2.5~25 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 15~4000 mm  |
| 卷边松套钢法兰 |  | JB 85-59<br>$P_g$ 2.5~6 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 10~500 mm  |
| 平焊松套钢法兰 |  | JB 83-59<br>$P_g$ 2.5~25 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 10~500 mm   |
| 对焊松套钢法兰 |  | JB 84-59<br>$P_g$ 40~100 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 10~400 mm   |
| 铸铁螺纹法兰  |  | JB 80-59<br>$P_g$ 2.5~25 kgf/cm <sup>2</sup><br>$D_g$ 10~150 mm   |