



第04章

轴承及轴设计

第03节 润滑与密封

宋超阳

songcy@ieee.org

本章要点概述

- 滑动轴承概述
- 滑动轴承的结构形式
- 轴瓦的材料和结构
- 非液体摩擦滑动轴承的设计
- 液体摩擦动压向心滑动轴承的设计
- 其他轴承简介
- 轴的结构设计
- 轴设计中的物理约束
- 轴的设计
- 轴毂连接计算
- 滚动轴承概述
- 滚动轴承的主要类型及其代号
- 滚动轴承的选择
- 滚动轴承的工作情况及设计约束
- 滚动轴承的校核计算
- 液动轴承的校核计算
- 新型轴承与滚动导轨简介
- 润滑
- 密封

润滑

润滑是减少摩擦和磨损的有效措施之一
在机械设计中，有关润滑的问题
主要涉及润滑剂和润滑方式的选择

润滑剂

- 生产中常用的润滑剂主要有

润滑油

- 有机油、矿物油和化学合成油

润滑脂

固体润滑剂

气体润滑剂

添加剂

- 其中，矿物油和皂基润滑脂性能稳定、成本低，应用最广
- 一般润滑剂不能满足各种特殊要求时，可以有针对性地加入少量的添加剂来改善润滑剂的黏度、油性、抗氧化、抗锈蚀等性能

润滑油的性能指标

(1) 黏度

- 流体的黏度即流体抵抗变形的能力，它表征液体内摩擦阻力的大小

(2) 油性

- 油性是指润滑油在金属表面上的吸附能力
- 工作过程中，润滑油中的极性分子在金属表面吸附，形成一层边界油膜
- 吸附能力愈强，油性愈好。一般认为，动、植物油和脂肪酸的油性较高

(3) 极压性能

- 润滑油的极压性能是指在边界润滑状态下，处于高温、高压下的摩擦表面与润滑油中的某些成分发生化学反应，生成一种低熔点、低剪切强度的反应膜，使表面变得平滑而且具有防止黏着和擦伤的性能
- 极压性能对高负荷条件下工作的齿轮、滚动轴承等有重要意义

(4) 氧化稳定性

- 使用过程中若发生氧化现象，会产生酸性物质并聚合成大分子的胶质、沥青等沉淀物，影响润滑性能，并对金属有腐蚀作用
- 润滑油的氧化稳定性不但与化学组成有关，而且受工作条件的影响，其氧化程度随工作温度升高、工作压力加大以及与空气接触面积增大而加强。一般在50—60℃，氧化速度加快；在150℃以上氧化剧烈

(5) 闪点和燃点

- 加热到一定程度，油蒸汽与空气的混合气体在接近火焰时有闪光发生，此油温称为闪点。闪点低表示油料在高温下稳定性不好
- 如果闪光时间长达5s以上，此油温称为燃点。高温下工作的机械，必须根据工作温度选用高闪点的润滑油以保证安全

(6) 凝固点

- 凝固点是润滑油开始失去流动性的极限温度
- 润滑油凝固后，润滑性能显著变差。对低温下工作的机械，必须选用低凝固点的润滑油

润滑油的黏度

- 流体的黏度：流体抵抗变形的能力，它表征液体内摩擦阻力的大小
- 根据牛顿关于黏性流体的黏性定律，有 $\tau = -\eta \frac{\delta v}{\delta y}$
 - τ ：流体单位面积上的剪切阻力
 - $\frac{\delta v}{\delta y}$ ：流体沿垂直于运动方向的速度梯度
 - η ：比例常数，即流体的动力黏度

润滑油的黏度：常用单位

① 动力黏度 η

- 长、宽、高各为 1 m 的液体，如果使两平行平面 a 和 b 发生 $v = 1\text{ m/s}$ 的相对滑动速度，所需施加的力 F 为 1 N 时，该液体的黏度为1个国际单位制的动力黏度，以 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ （帕·秒）表示

- $1\text{ Pa} \cdot \text{s} = 1\text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$

- 动力黏度又称绝对黏度，单位是 P （Poise），中文称泊

- P 的1% 称为 cP （厘泊），其换算单位为

- $1\text{ P} = 1\text{ dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2 = 100\text{ cP} = 0.1\text{ Pa} \cdot \text{s}$

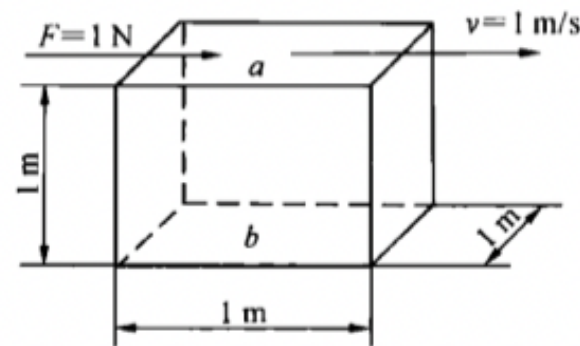


图 14-1 流体的动力黏度

润滑油的黏度：常用单位

• ② 运动黏度 ν

- 工业上常用动力黏度 η 与同温度下该液体的密度 ρ 的比值表示黏度，称为运动黏度

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

- 运动黏度的物理单位为 cm^2/s ，简称 St，中文称斯 cm^2/s 的 1% 称 cSt，中文称厘斯

$$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 100 \text{ cSt} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

- 温度和压力对黏度都有影响，其中，温度的影响尤其显著

润滑油的黏度：常用单位

- ① 温度对黏度的影响
 - 黏度随温度的升高而降低
 - 衡量温度对润滑油黏度影响的程度常用黏度指数 α_t 表示
 - α_t 大的油，其黏度受温度的影响小
 - $\alpha_t \leq 35$ 为低黏度指数
 - $35 < \alpha_t \leq 85$ 为中黏度指数
 - $85 < \alpha_t \leq 110$ 为高黏度指数
 - $\alpha_t > 110$ 为极高黏度指数

- ② 压力对黏度的影响
 - 润滑油的黏度随压力的升高而增大：
 - $\eta = \eta_0 e^{\alpha p}$
 - η ：压强 p 作用下的动力黏度
 - η_0 ：标准大气压下的动力黏度
 - e ：自然对数的底数
 - α ：黏度压力指数，其值可由查表

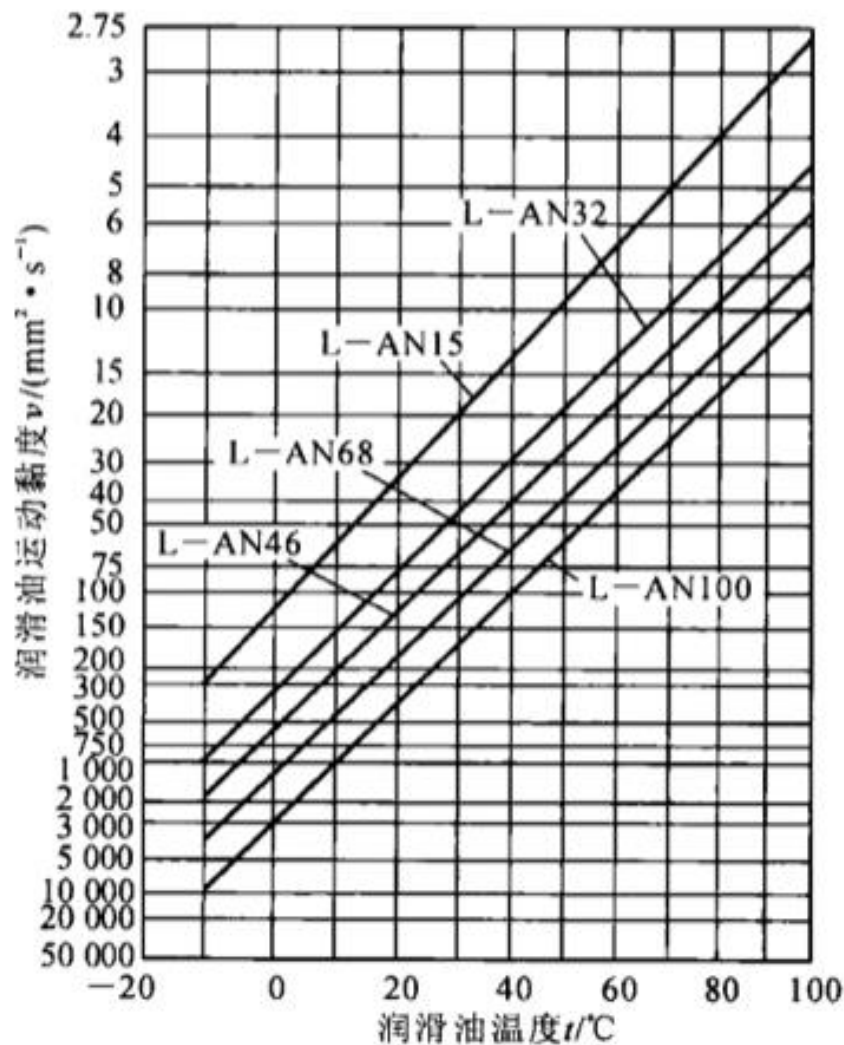


图 14-2 机械油系列黏度-温度曲线

润滑油的黏度：常用单位

压力在 5 Mpa 以下时，压力对黏度的影响一般很小，可以忽略不计
但压力在 100 MPa 以上时，黏度随压力变化很大，不可忽略

表 14-1 精制矿物油的黏度压力指数 $\alpha(\times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{N})$

温度/°C	环 烷 基			石 蜡 基		
	锭子油	轻机油	重机油	轻机油	重机油	气缸油
30	2.1	2.6	2.8	2.2	2.4	3.4
60	1.6	2.0	2.3	1.9	2.1	2.8
90	1.3	1.6	1.8	1.4	1.6	2.2

常用润滑油

表 14-2 常用润滑油的主要性质及用途

名称	牌 号	运动黏度/cSt (40℃)	闪点(开口)/℃ ≥	凝固点/℃ ≤	主要用途
全损耗系统 用油 (GB443—1989)	L-AN10	9.00~11.00	130	-5	用以代替原来的高速机油和机械油。分别用于纺机锭子、静压轴承、机床主轴、冲压和铸造等重型设备对润滑无特殊要求的全损耗系统,但不适用于循环润滑系统
	L-AN15	13.5~16.5	150	-5	
	L-AN22	19.8~24.2	150	-5	
	L-AN32	28.8~35.2	150	-5	
	L-AN46	41.4~50.6	160	-5	
	L-AN68	61.2~74.8	160	-5	
	L-AN100	90.0~110	180	-5	
L-AN150	135~165	180	-5		
轴承油 (SH0017—1990)	L-FC10	9.00~11.00	140	-18	适用于锭子、轴承、液压系统、齿轮和汽轮机等机械设备
	L-FC15	13.5~16.5	140	-12	
	L-FC22	19.8~24.2	140	-12	
	L-FC32	28.8~35.2	160	-12	
	L-FC46	41.4~50.6	180	-12	
汽轮机油 (GB11120—1989)	L-TSA32	28.8~35.2	180	-7	适用于汽轮机、发电机等高速、高载荷轴承和各种小型液体润滑轴承
	L-TSA46	41.4~50.6	180	-7	
	L-TSA68	61.2~74.8	195	-7	
	L-TSA100	90.0~110	195	-7	

工业上常用润滑油的主要性质及用途如表所示

国家标准规定各种润滑油牌号的黏度为该油 40℃ 时运动黏度的平均值

润滑脂

• 润滑脂习惯上称为黄油或干油，是一种稠化的润滑油

(1) 钙基润滑脂 钙基润滑脂具有良好的抗水性，但耐热性能差，工作温度不宜超过 55~65℃。这种润滑脂的价格比较便宜

(2) 钠基润滑脂 钠基润滑脂有较高的耐热性，工作温度可达 120℃，但抗水性差，比钙基润滑脂有较好的防腐性

(3) 锂基润滑脂 锂基润滑脂既能抗水，又能耐高温，其最高温度可达 145℃，在 100℃ 条件下可长期工作。而且它有较好的机械安定性，是一种多用途的润滑脂，有取代钠基润滑脂的趋势

(4) 铝基润滑脂 铝基润滑脂有良好的抗水性，对金属表面有较高的吸附能力，有一定的防锈作用。它在 70℃ 时开始软化，只适用于 50℃ 以下的温度

• 润滑脂的主要性能指标

针入度

• 针入度是表征润滑脂稀稠度的指标。针入度越小，表示润滑脂越稠；反之，表示润滑脂流动性越大

滴点

• 滴点是表征润滑脂受热后开始滴落时的温度。润滑脂能够使用的工作温度应低于滴点 20~30℃，若能低于 40~60℃ 则更好

安定性

• 反映润滑脂在储存和使用过程中维持润滑性能的能力，包括抗水性、抗氧化性等

添加剂

- 为了改善润滑剂的性能而加入其中的某些物质
 - 极压添加剂、油性剂、黏度指数改进剂、抗腐蚀添加剂、消泡添加剂、降凝剂、防锈剂等
- 使用添加剂是现代改善润滑性能的重要手段，设计时应对其给予足够的重视
 - 在重载接触副中使用的极压添加剂，能在高温下分解出活性元素，与金属表面起化学反应，生成一种低剪切强度的金属化合物薄层，可以增进抗黏着能力
 - 例如，加有极压添加剂的90号极压工业齿轮油，其抗胶合能力较普通的90号工业齿轮油提高3~4倍

添加剂

表 14-3 常见的添加剂及其作用

目 的	添 加 剂	说 明
油性剂	脂肪、油脂肪、酸油	加入量 1%~3%
抗磨与极压添加剂	磷酸二甲酚酯, 环烷酸铅, 含硫、磷、氯的油与石蜡, MoS ₂ , 菜子油, 铅皂	加入量 0.1%~5%
抗氧化添加剂	二硫代磷酸锌、硫化烯、炔酚胺	加入量 0.25%~5%
抗腐蚀添加剂	2,6-二叔丁基对甲酚、N-苯基萘胺	
防锈剂	石油磺酸钙(或钡与钠)、二硫代磷酸醋、二硫代碳酸醋、羊毛脂	
降凝剂	聚甲基丙烯酸酯、聚丙烯酰胺、石蜡烷化酚	加入量 0.1%~1%, 用于低温工作的润滑油
增黏剂	聚异丁烯、聚丙烯酸酯	改善油的黏温特性, 使其适应较大的工作和温度范围, 加入量 3%~10%
消泡添加剂	硅酮、有机聚合物	

润滑剂的选用

• 选择润滑剂时可参考以下几个原则

(1) 类型选择

- 润滑油的润滑及散热效果较好，应用广泛
- 润滑脂易保持在润滑部位，润滑系统简单，密封性好
- 应根据工作要求首先合理选用润滑剂的类型。添加剂的加入能大大提高润滑剂的性能，应尽量发挥各种添加剂的作用

(2) 工作条件

- 轻载、高速条件下，选黏度低的润滑油，有利于减少润滑油的发热。高温、重载、低速条件下，选黏度高的润滑油或基础油黏度高的润滑脂，以利于形成油膜
- 受重载、间断或冲击载荷时，要加入油性剂或极压添加剂，以提高边界膜及极压膜的承载能力
- 一般，润滑油的工作温度最好不超过60℃，而润滑脂的工作温度应低于其滴点20~30℃。高温下工作的油常加抗氧化剂以防油变质。工作温度变化大的油，要加黏性添加剂以改善其黏温性能

(3) 结构特点及环境条件

- 润滑间隙小时应选用低黏度的润滑油，以保证油能充分流入；间隙大时应选用高黏度油，以避免油的流失
- 对于垂直润滑面、升降丝杆、开式齿轮、链条等，应采用高黏度油或润滑脂以保持较好的附着性
- 在电火花、赤热金属等有燃烧危险处，润滑油应有高闪点、高抗燃性，常用合成油。多尘、潮湿环境下宜采用抗水的钙基、锂基或铝基润滑脂
- 在具有酸碱化学介质的环境及真空辐射条件下常选用固体润滑剂

润滑方式

1) 手工定期润滑

- 对于低速、轻载或不连续运转的机械，需要油量较少，一般可采用简单的手工定期加油、加脂、滴油或采用油绳、油垫加油润滑方式
- 手工定期润滑所用的各种油嘴、油杯、油枪等均有国家标准，使用时可按国家标准选用

2) 油浴、油环及溅油润滑

- 对于中速、中载较重要的机械，要求连续供油并能起一定的冷却作用时，常采用油浴（浸油）、油环及溅油润滑方式
- 这种润滑方式，利用齿轮油环、油链等转动件，从油池中将油带入或溅流至摩擦副润滑部位

3) 油雾润滑

- 在高速、轻载下工作的齿轮及轴承等，发热大，用油雾润滑方式效果较好
- 油雾润滑是用压缩空气把润滑油从喷嘴喷出，润滑油雾化后随压缩空气弥漫至各摩擦表面而起润滑作用
- 采用这种润滑方式时，润滑油膜较薄，但较均匀，常用于 $dn > 600\,000 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 的高速滚动轴承， d 为轴承内径（mm）， n 为工作转速（r/min），和 $v > 5 \sim 15 \text{ m/s}$ 的齿轮传动中

4) 压力供油润滑

- 对于高速、重载、供油量要求大的重要部件，例如机床主轴箱、内燃机、锻压设备等，常采用循环压力供油润滑方式
- 指利用油泵使润滑油达到一定的工作压力，然后将其输送到各润滑部位进行润滑
- 采用这种润滑方式时，供油充分，油可循环使用，还可带走摩擦热，起冷却作用
- 压力供油润滑装置一般由油泵、油箱、过滤器、冷却器、压力调节阀、油量调节阀等组成，能调节油的流量、压力并对润滑油起过滤和冷却作用

润滑方式

- 在减速箱中，大齿轮浸入油中，转动时将油带至啮合部位（油浴润滑），并将油飞溅至箱盖，通过油沟将油送至轴承（溅油润滑）
- 这种润滑方式，需要利用转动件带油
 - 若零件转速太低，带油量过少，不能满足润滑的需要
 - 若转速过高，又会使油产生大量的泡沫和热，使之氧化变质
- 一般推荐转动件的圆周速度在 $1\text{ m/s} \leq v \leq 10\sim 15\text{ m/s}$ 范围之内
 - 浸油、飞溅润滑，能保证开车后油自动送入摩擦副，停车时自动停送，润滑可靠，耗油少，维护简单，在机床、减速器、内燃机等闭式传动广泛应用

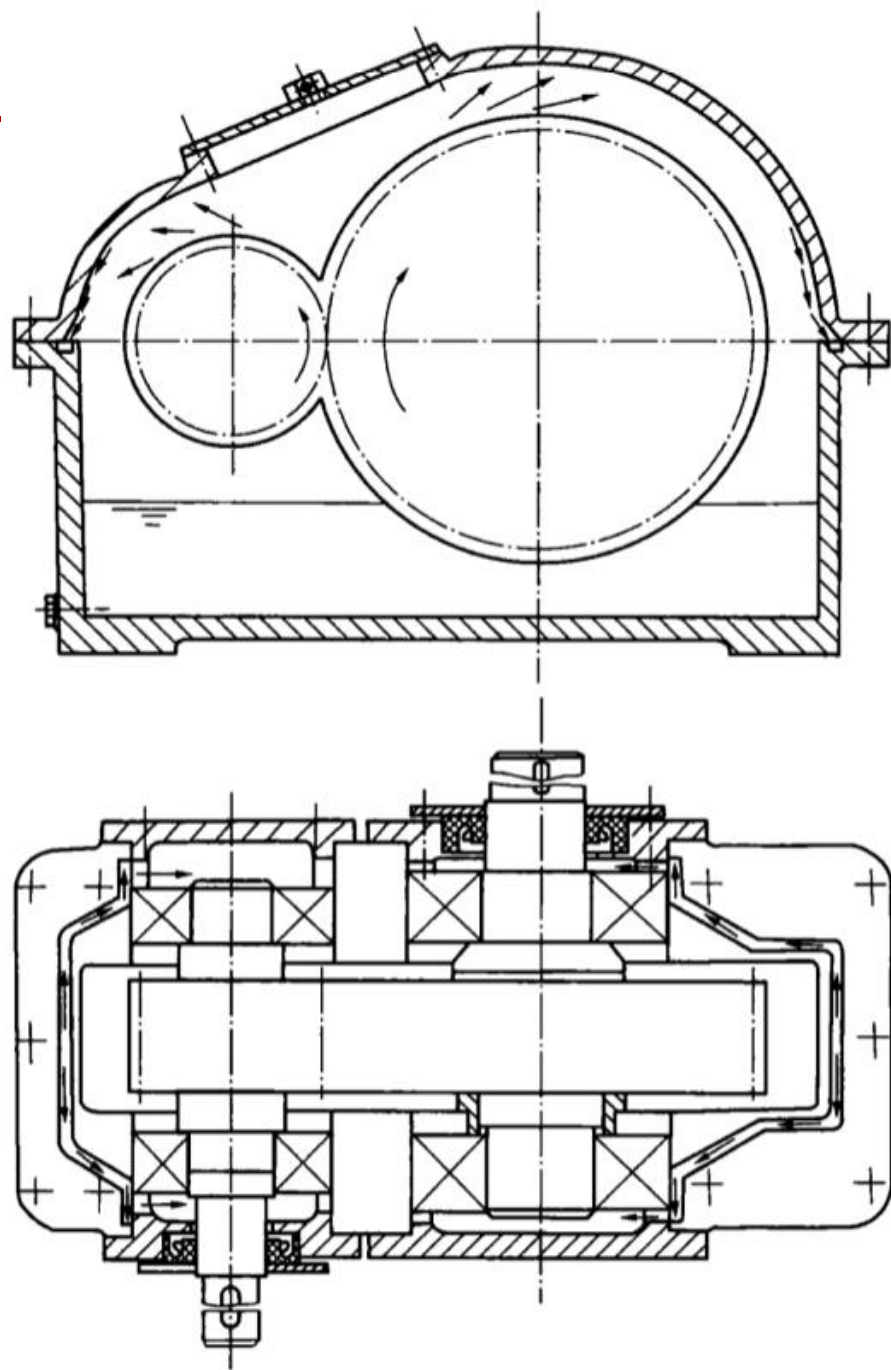


图 14-3 减速箱的润滑

润滑方式

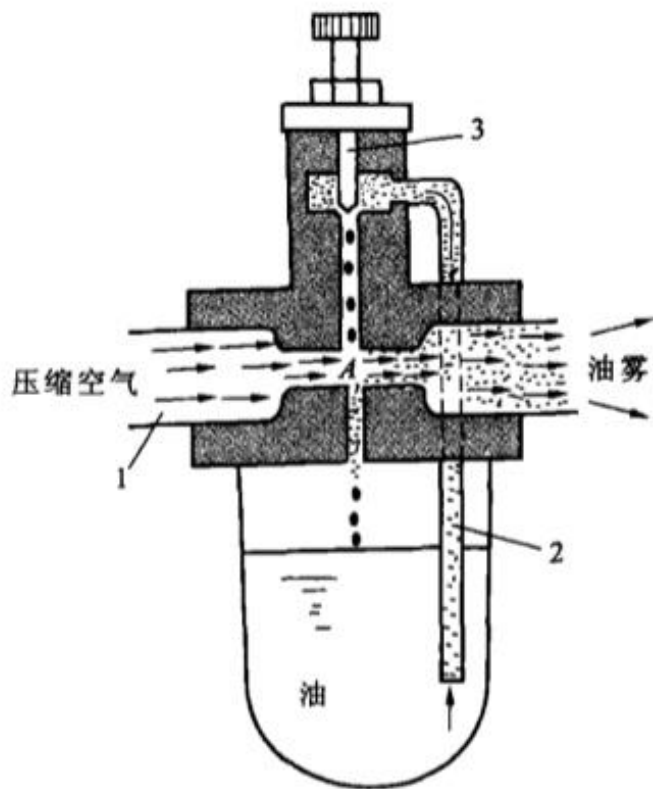


图 14-4 油雾润滑装置

1—压缩空气喷管；2—吸油管；3—油量调节器

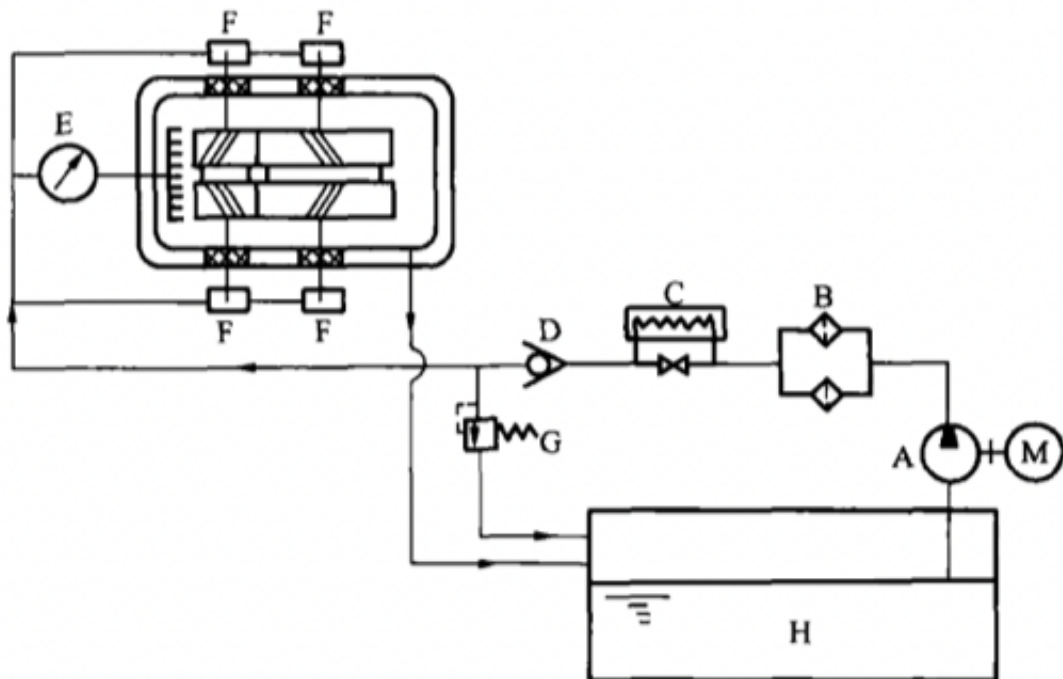


图 14-5 齿轮减速器的压力供油系统简图

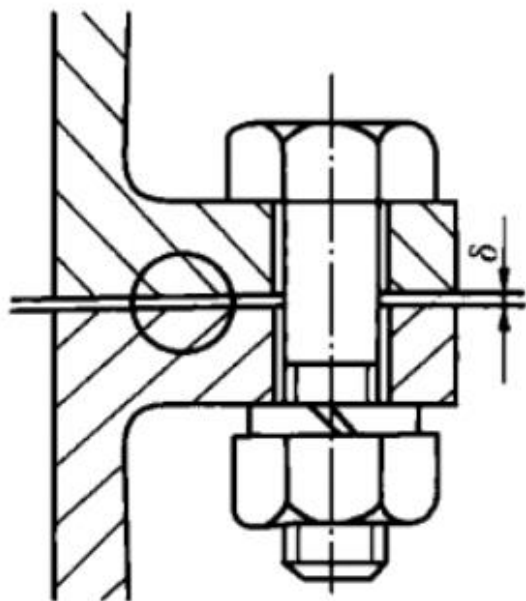
A—油泵；B—复式过滤器；C—冷却器；D—单向阀；
E—压力表；F—流量控制阀；G—调压阀；H—油槽

密封

在机械设备中，为了阻止液体、气体工作介质或润滑剂泄漏，防止灰尘、水分进入润滑部位，必须设有密封装置

密封不仅能大量节约润滑剂，保证机器正常工作，提高机器寿命，而且对改善工厂环境卫生、保障工人健康也有很大作用，有利于降低成本、提高生产水平

静密封



根据被密封表面间是否有相对运动，密封可分为

- 静密封
- 动密封

接触式密封

- 所有静密封和大部分动密封都借助密封力使密封面相互靠近或嵌入，以减小甚至消除间隙

非接触式密封

- 密封面间预留固定间隙，依靠各种方法减小密封间隙两侧压力差而阻漏

$\delta > 0.2 \text{ mm}$

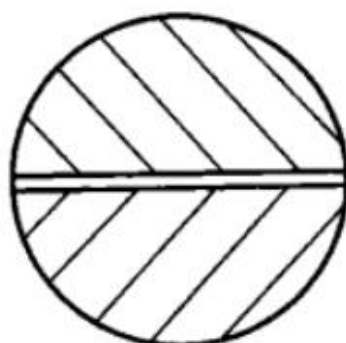
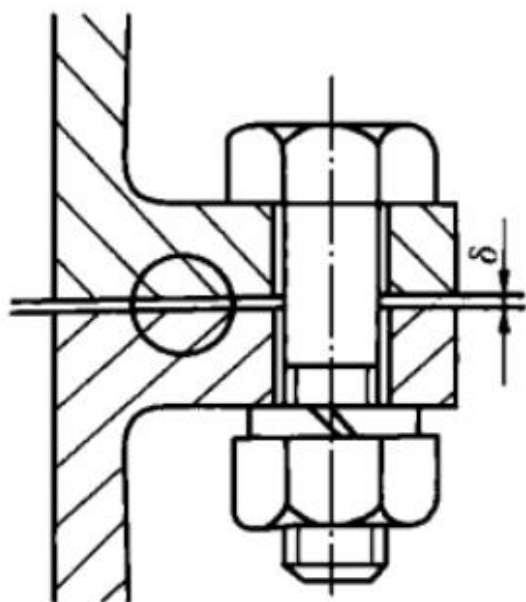
(d)

$\delta < 0.1 \text{ mm}$

(e)

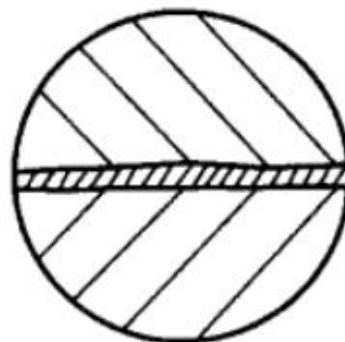
(f)

静密封

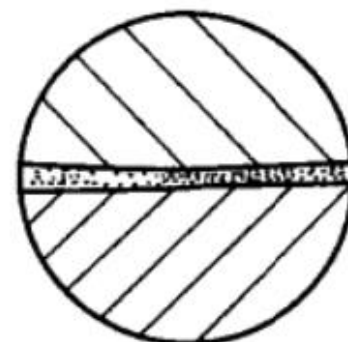


$\delta < 5 \mu\text{m}$

(a)

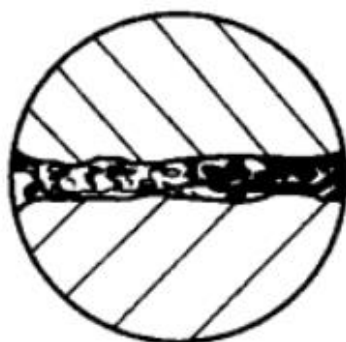


(b)



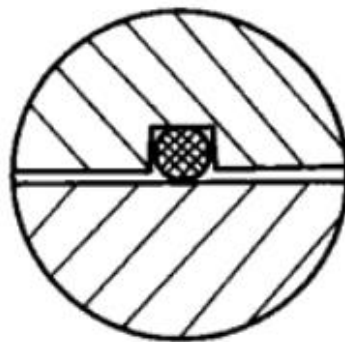
$\delta < 0.1 \text{ mm}$

(c)

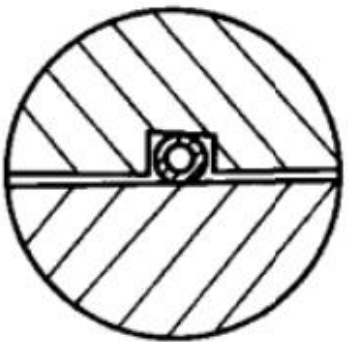


$\delta > 0.2 \text{ mm}$

(d)

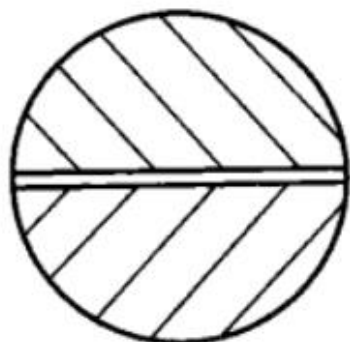
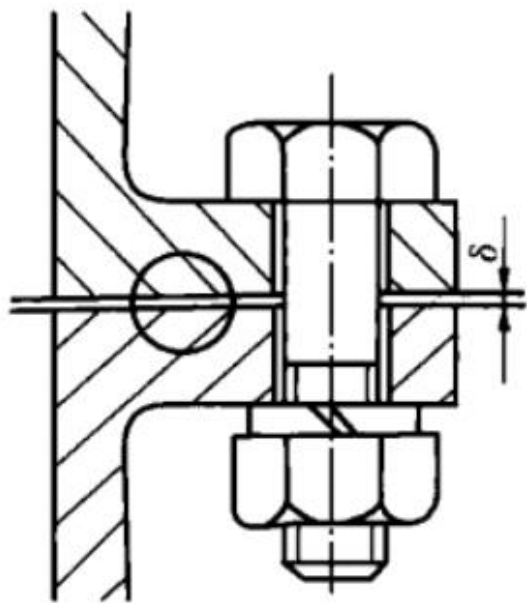


(e)



(f)

静密封



$$\delta < 5 \mu\text{m}$$

(a)



$$\delta > 0.2 \text{ mm}$$

(d)

最简单的静密封靠结合面加工平整、光洁，在螺栓固紧压力下贴紧密封，一般间隙小于 $5 \mu\text{m}$ ，结合面需研磨加工

(b)



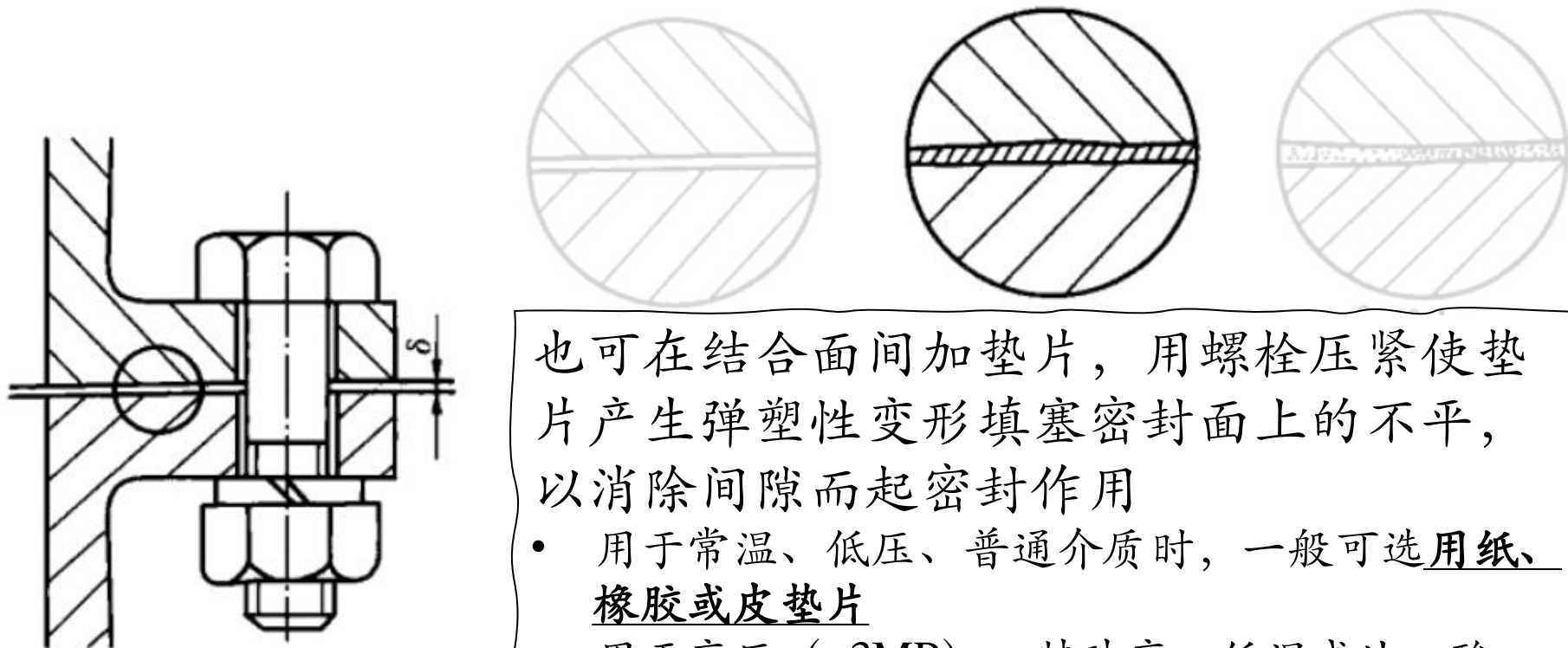
(e)

(c)



(f)

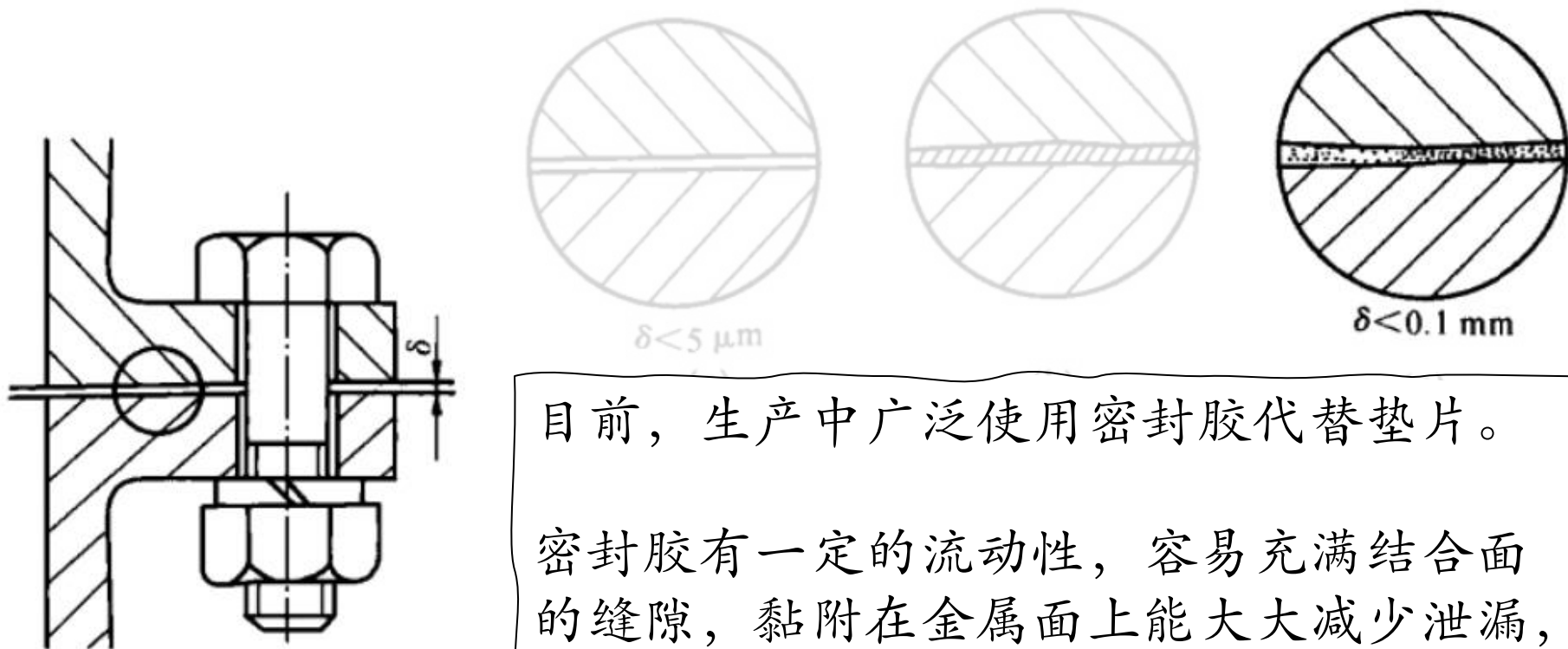
静密封



也可在结合面间加垫片，用螺栓压紧使垫片产生弹塑性变形填塞密封面上的不平，以消除间隙而起密封作用

- 用于常温、低压、普通介质时，一般可选用纸、橡胶或皮垫片
- 用于高压（ $\approx 3\text{MP}$ ），特殊高、低温或油、酸、碱、特殊介质等时，应选用聚四氟乙烯垫片
- 用于高温、高压或同时要控制密封间隙大小时，常选用铜、铝、低碳钢等制成的软金属垫片

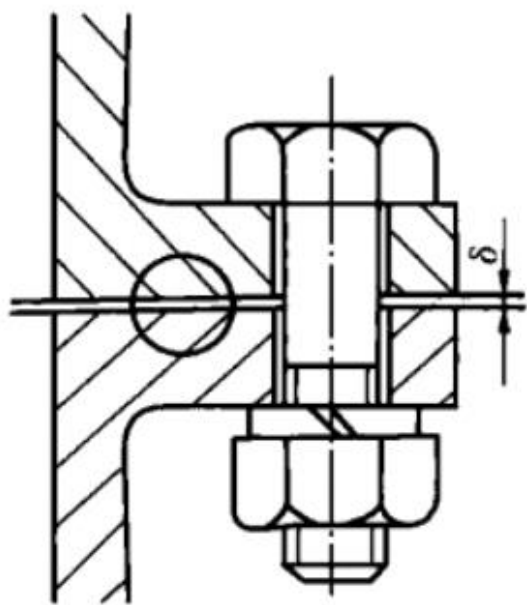
静密封



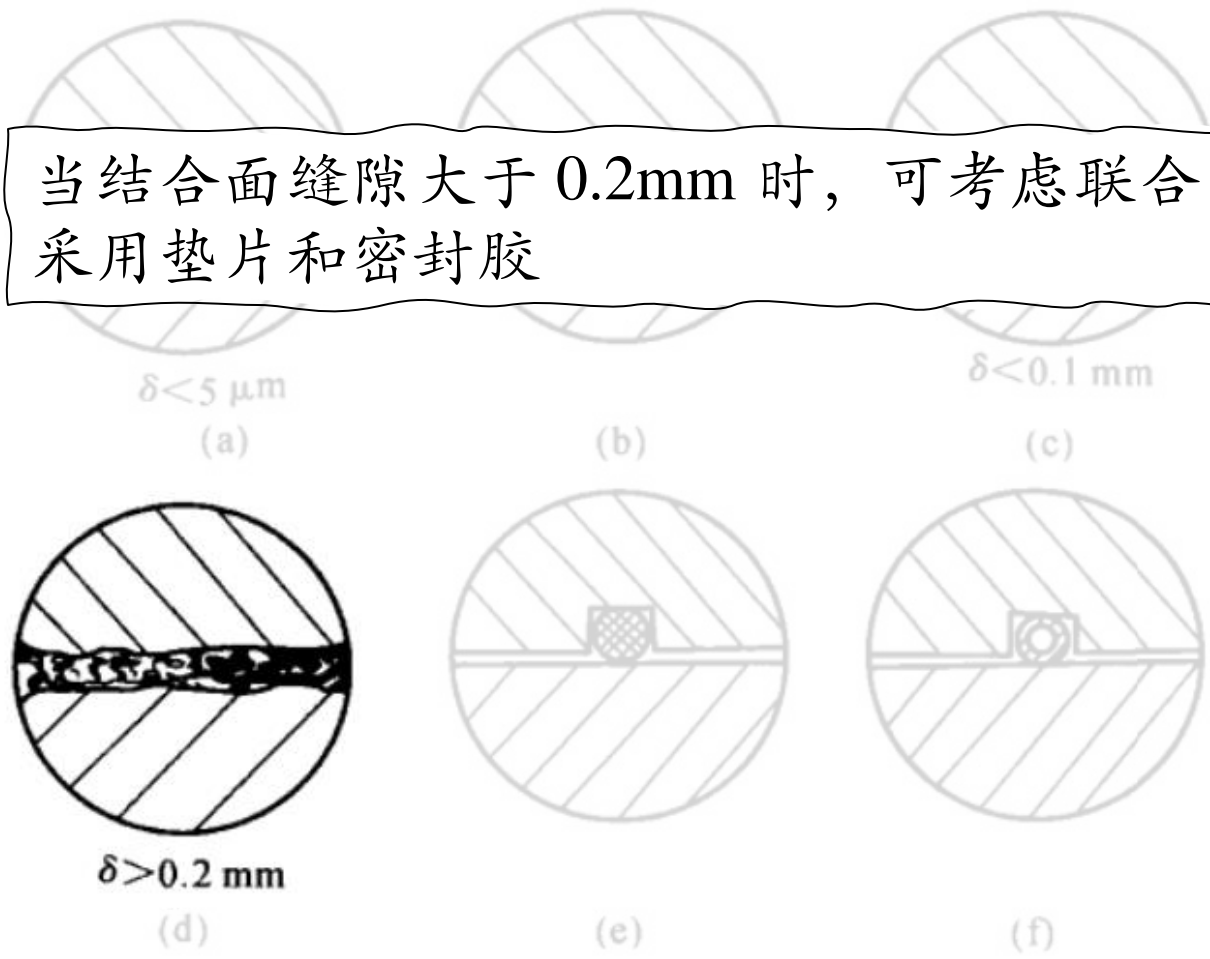
目前，生产中广泛使用密封胶代替垫片。

密封胶有一定的流动性，容易充满结合面的缝隙，黏附在金属面上能大大减少泄漏，即使在较粗糙的加工表面上，密封效果也很好

静密封



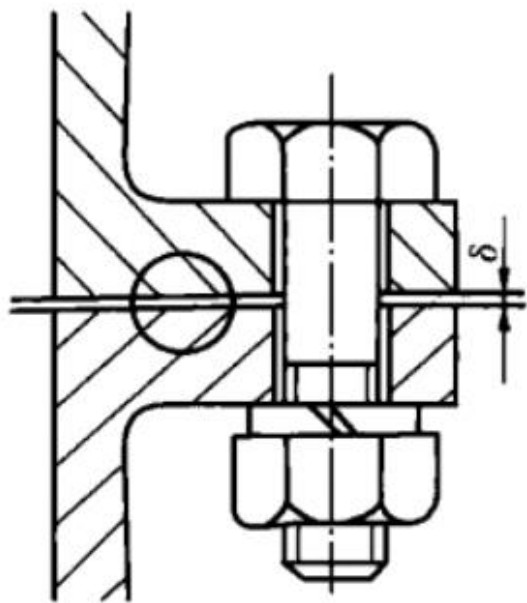
当结合面缝隙大于 0.2mm 时，可考虑联合采用垫片和密封胶



静密封

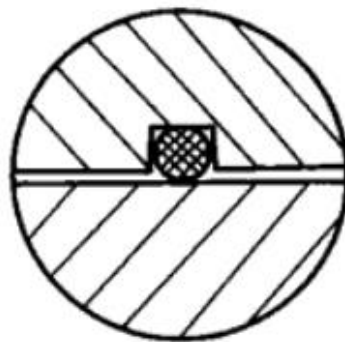
O形橡胶密封圈在结合面间能形成严密的压力区，但在结合面上要开密封槽，故应用较少

在温度、压力有很大波动时，可采用金属空心O形环，利用其恢复变形的“自紧作用”，能得到很好的密封效果

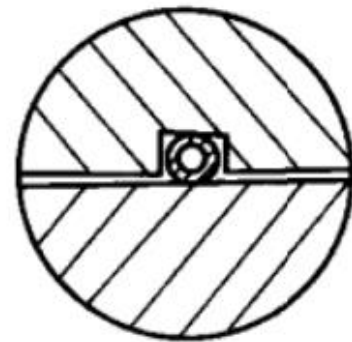


$\delta > 0.2 \text{ mm}$

(d)



(e)



(f)

动密封

• 回转轴的密封属动密封

- 接触式密封有：毡圈密封、密封圈密封、机械密封等
- 非接触式密封有：间隙密封、迷宫密封等

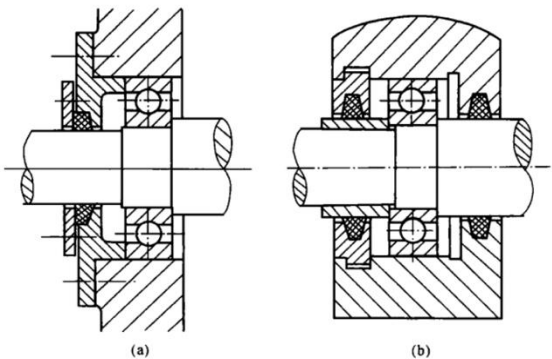


图 14-7 毡圈密封

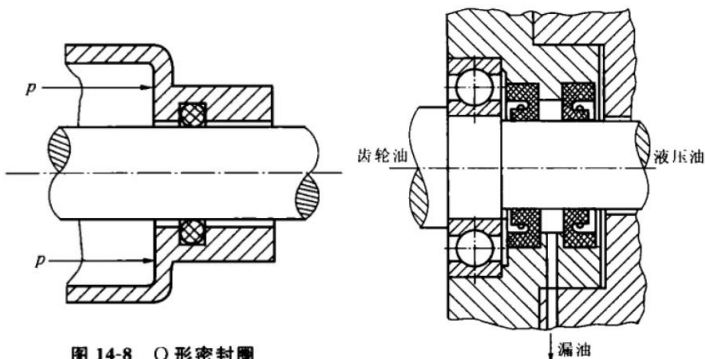


图 14-8 O形密封圈

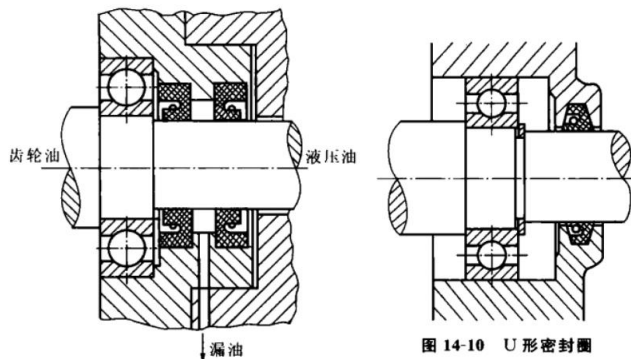


图 14-9 J形密封圈

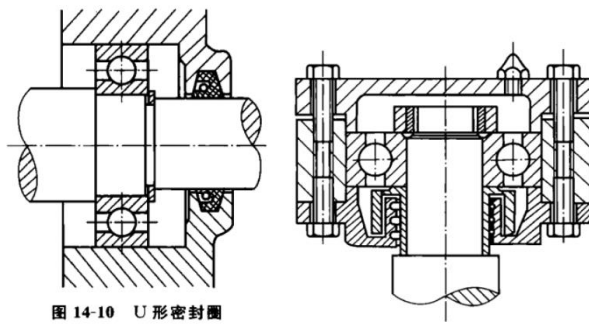


图 14-10 U形密封圈

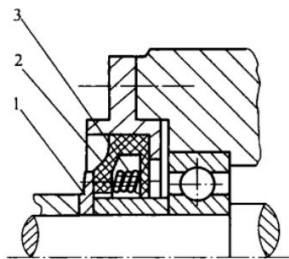


图 14-11 机械密封

1—动密封环;2—静密封环;3—弹簧

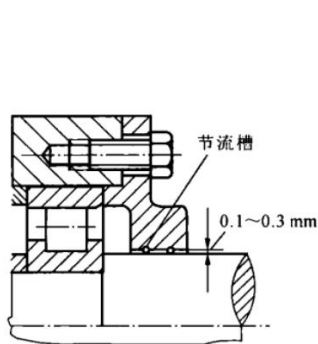


图 14-12 间隙密封

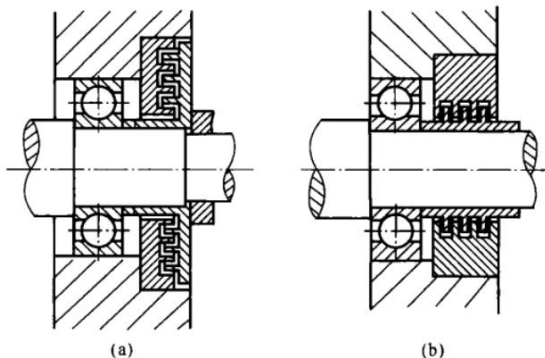


图 14-13 迷宫密封

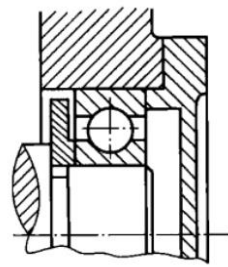


图 14-14 离心式密封

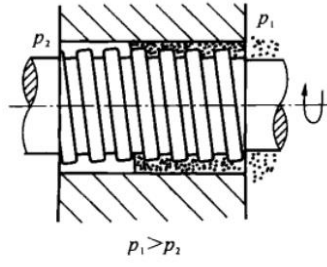
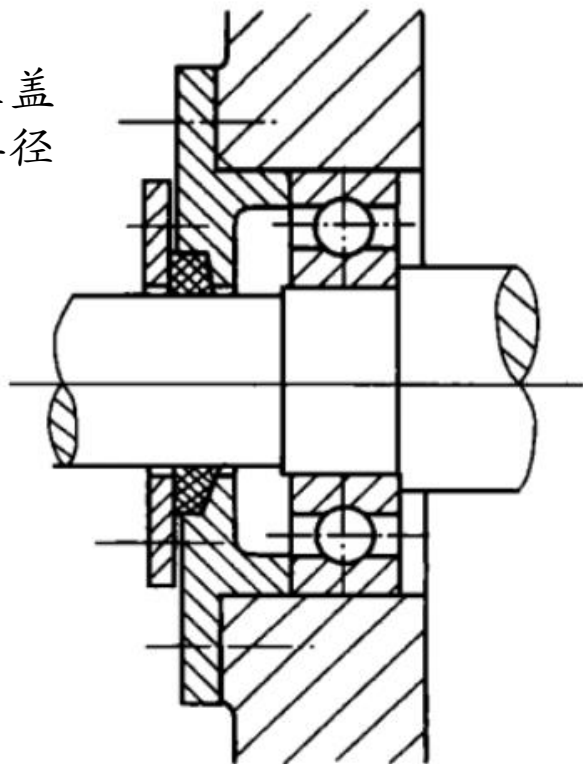


图 14-15 螺旋密封

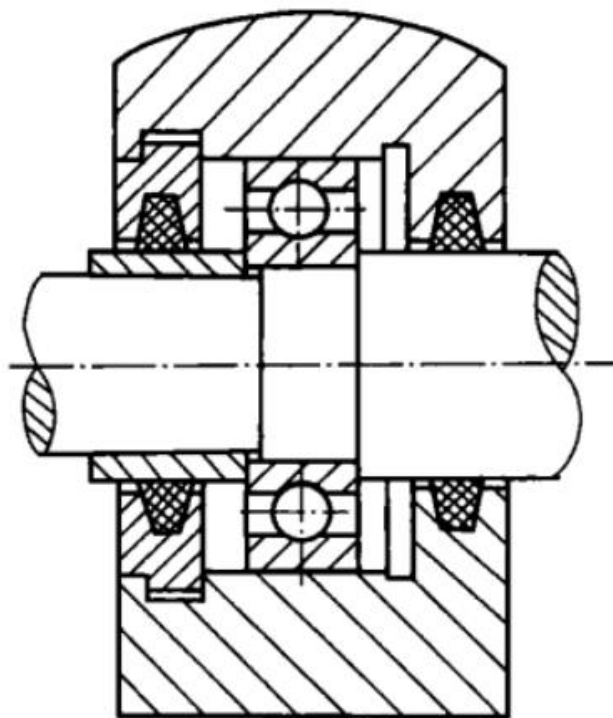
动密封：毡圈密封

- 属填料密封，将毛毡、石棉、橡胶或塑料等密封材料作为填料，用压盖轴向压紧，使填料受压而产生径向压力抱在轴上，达到密封的目的

可用压盖
调整其径
向压力



不可用压盖调整
其径向压力



结构简单，一般
只用于低速
($v < 4 \sim 5 \text{ m/s}$)
脂润滑处，主要
起防尘作用

动密封：密封图密封

- 密封圈用耐油橡胶、塑料或皮革等弹性体制成，靠本身的弹力或弹簧的作用，以一定的压紧力套在轴上起密封作用

O形密封圈的断面为O形，结构简单，装卸方便

- 当液体油要向外泄漏时密封圈借助流体的压力挤向沟槽的一侧，在接触边缘上压力增高，构成有效的密封，这种随介质压力升高而提高密封效果的性能称为“自紧作用”

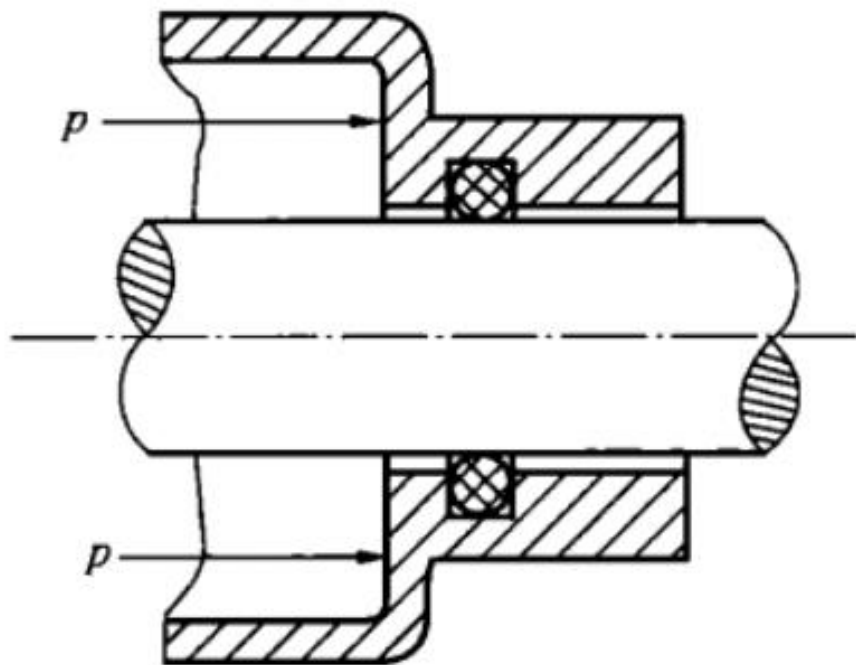


图 14-8 O形密封圈

动密封：密封图密封

- 密封圈用耐油橡胶、塑料或皮革等弹性体制成，靠本身的弹力或弹簧的作用，以一定的压紧力套在轴上起密封作用

左侧密封齿轮油，
右侧密封液压油

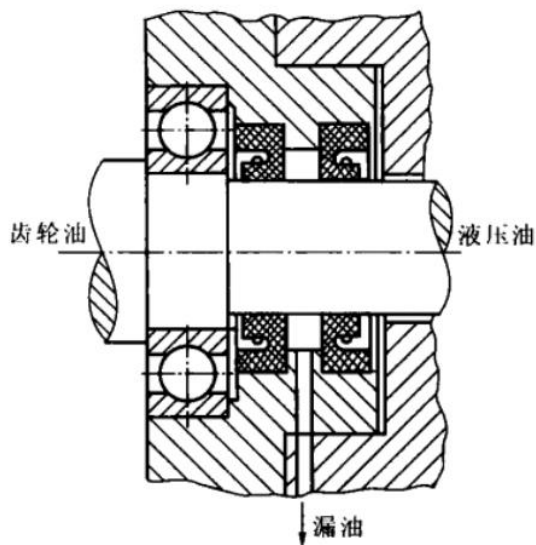


图 14-9 J形密封圈

J形和U形密封圈具有唇形结构，使用时将开口面向密封介质，介质压力越大，密封唇与轴贴得越紧，也有“自紧作用”

- 密封唇与轴的接触面积比O形圈大，在稍高的速度下也有较好的密封效果。这类密封圈往往带有弹簧箍以增大密封压力，有的还有金属外壳，可与机座较精确地配装
- 这样组成的密封件常称为“油封”，它安装方便，使用效果好，有标准件
- 若要密封两种介质，或又防漏又防尘，最好将油封成对使用

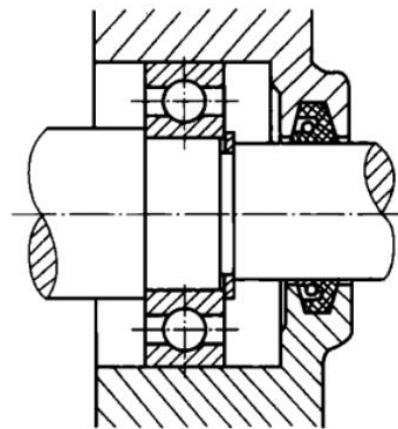


图 14-10 U形密封圈

动密封：机械密封（端面密封）

- 对于在高速、高压、高低温或腐蚀介质工作条件下的回转轴，要求选用密封性能可靠、功率损耗小、使用寿命长、对轴没有损伤的密封装置

最简单的机械密封形式如图所示，它是由金属、石墨、塑料等低摩擦耐磨材料制成的密封环1、2及弹簧3等组成

- 动环1与轴固定，随轴转动
- 静环2固定于机座端盖

由于动环与静环端面在弹簧压力下相互贴合，起到很好的密封作用，故又称端面密封

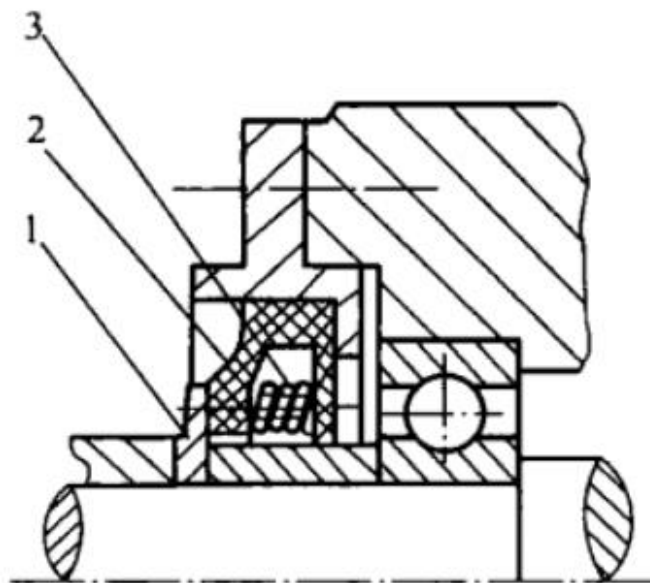


图 14-11 机械密封

1—动密封环；2—静密封环；3—弹簧

优点：

- 动、静环端面相对滑动，摩擦及磨损集中在密封元件上，对轴没有损伤
- 密封环若有磨损，在弹簧作用下仍能保持密合，有自动补偿作用
- 密封性能可靠
- 使用寿命长

缺点：

- 组成的零件较多，加工、装配比较复杂

动密封： 间隙密封和迷宫密封

- 轴转速较高时，常采用非接触式的间隙密封和迷宫密封
 - 静止件和转动件之间有 $0.1\sim 0.3\text{ mm}$ 的间隙
 - 利用节流槽或曲折间隙的节流效应起到防尘和防漏作用

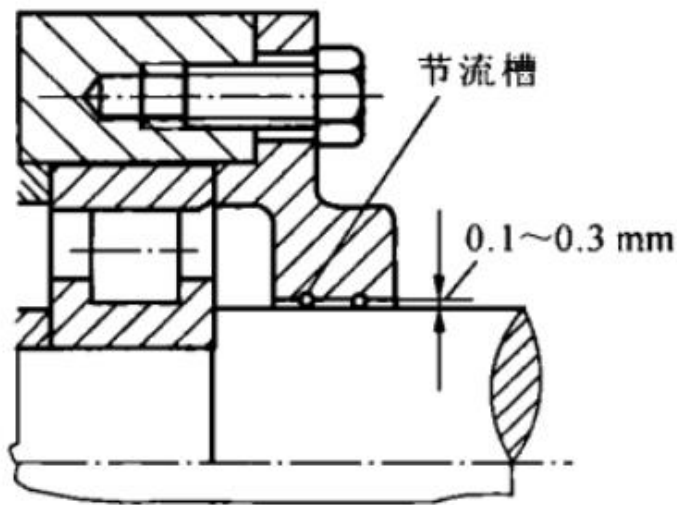


图 14-12 间隙密封

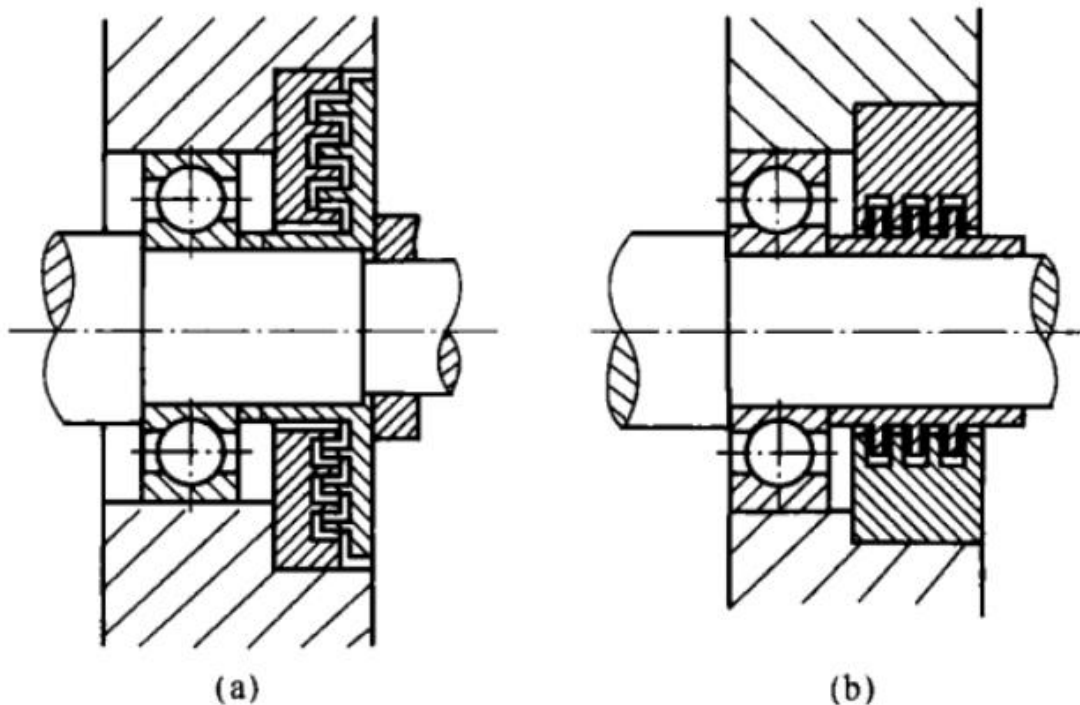


图 14-13 迷宫密封

动密封：离心式密封和螺旋密封

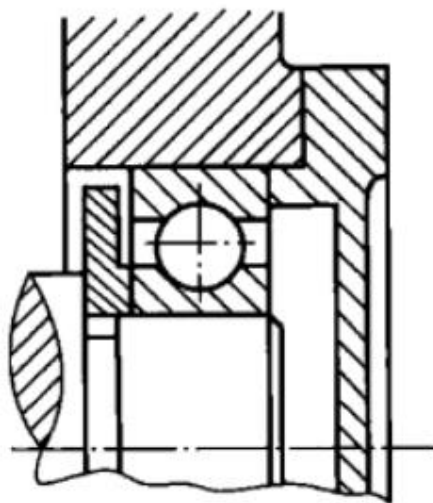


图 14-14 离心式密封

利用旋转件带动流体产生离心力以克服泄漏的密封称

其上的旋转挡圈既有遮挡又有离心作用，可用以挡尘和防止润滑油进入用润滑脂润滑的轴承中

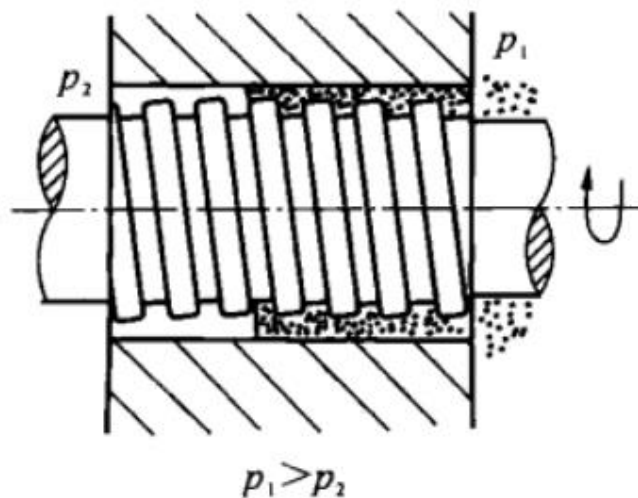


图 14-15 螺旋密封

在需要密封的轴或孔的表面上制有螺旋槽（由轴的转向决定其旋向）。当轴转动时，螺旋槽相当于一个螺旋泵，对充满在介质内的黏性流体产生压力，与被密封介质的压力相平衡，从而达到防漏的目的

密封效果很好，但轴不转动时，没有这种防漏效果，因此要与停车密封同时使用

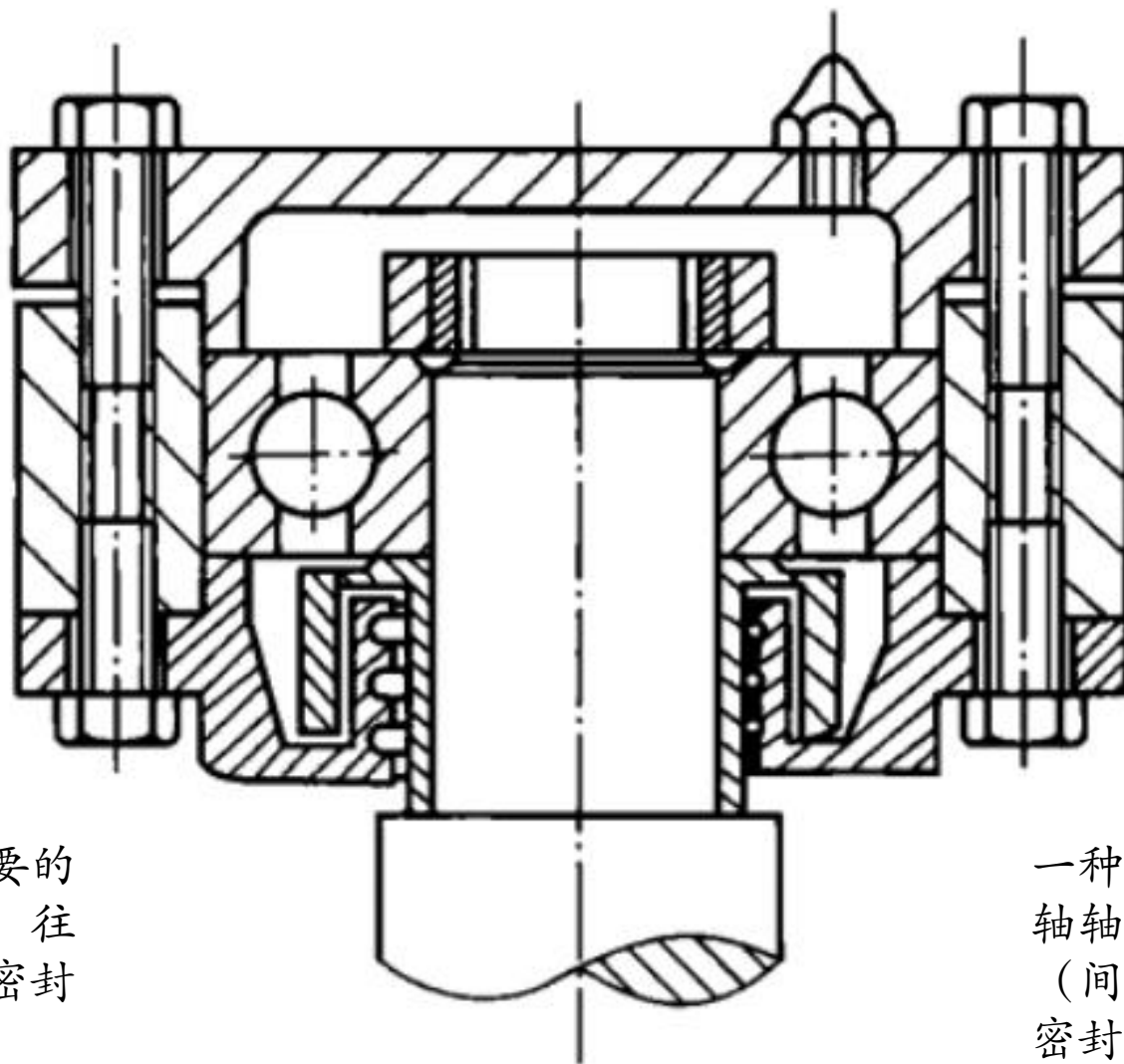
动密封：密封的选择

各种密封的作用与原理不同，使用时，应根据压力、速度、工作温度等具体工作条件，选择出经济、合理的密封类型和结构

密封件大部分都有相应的标准和规格，应尽量选用标准件

密封形式		最高工作速度 /(m·s ⁻¹)	最大压力 /MPa	温度/℃	备注		
动密封	接触式密封	毡圈	5	0.1	90	用于脂润滑，主要作用是防尘	
		填料密封	20	32	-45~230		
		O形密封圈	3	35	-60~200	单向密封，有骨架，用于高速场合	
		J形密封圈	4~12	3	-30~150		
		机械密封	30	8	-196~400		
	非接触式密封	间隙密封	不限		600	停车时无密封作用	
		迷宫密封					
		离心式密封	叶轮	30	0.25		50
			甩油环	不限			不限
螺旋密封	30	2.5	-30~100				
静密封	研合密封面			0.01~100	550	加工要求高	
	垫片	橡胶		1.6	-70~200		
		塑料		0.6	-180~250		
		金属		20	600		
	密封胶		1.2~1.5	140~220	结合面间隙小于0.1~0.2 mm		
	厌氧胶		5~30	100~150	能起密封及连接结合面作用		
	O形橡胶密封圈		100	-60~200	结合面上要开槽		
	O形中空金属环		300	600			

动密封：组合密封



在一些重要的密封部位，往往将几种密封组合使用

一种用于脂润滑立轴轴承的组合密封（间隙密封与迷宫密封的组合）形式



机械设计

Design & Learning Research Group

谢谢~

宋超阳
songcy@ieee.org