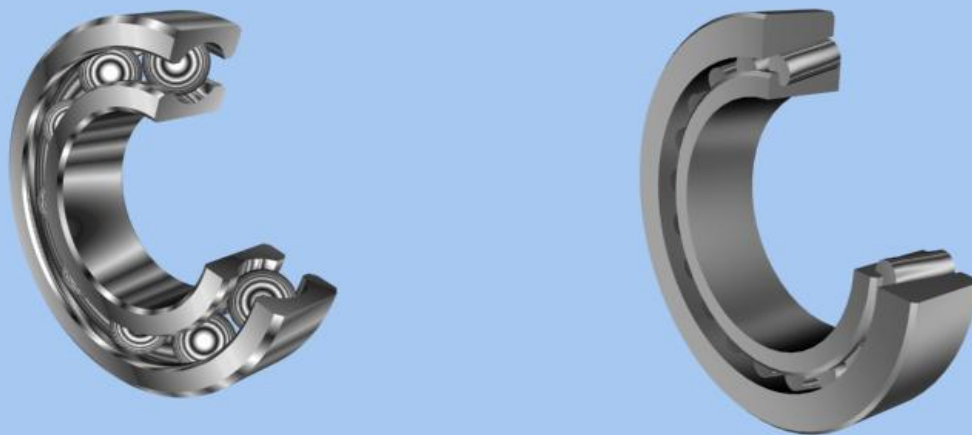
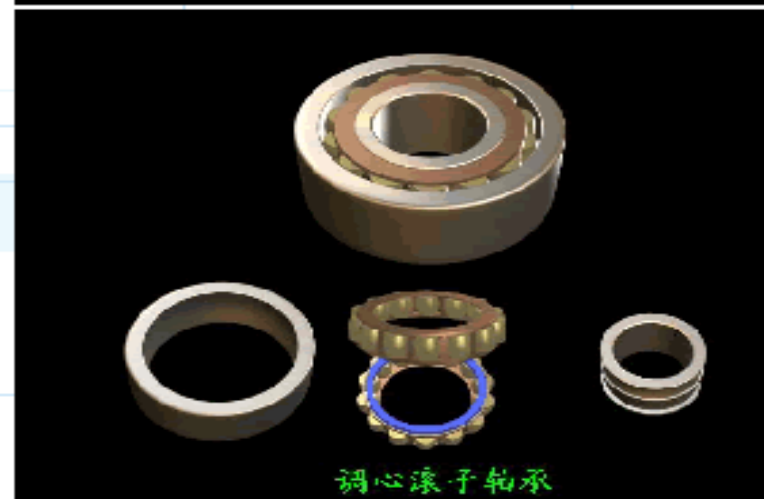
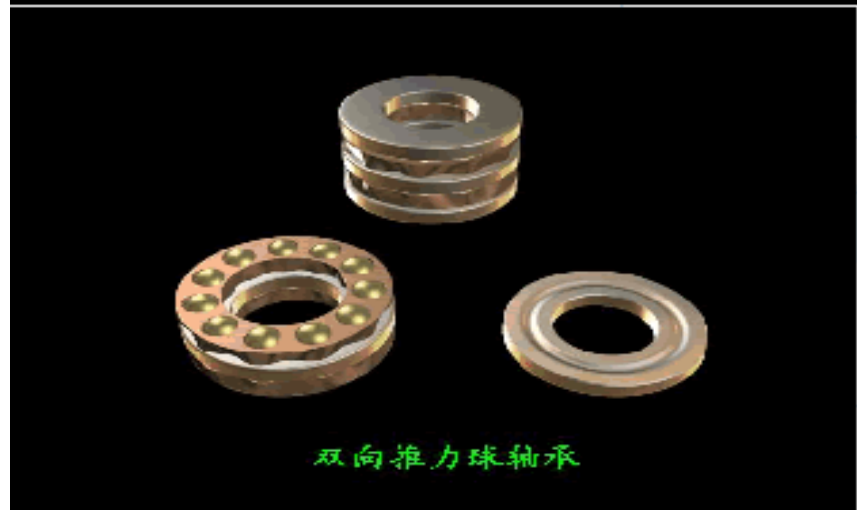
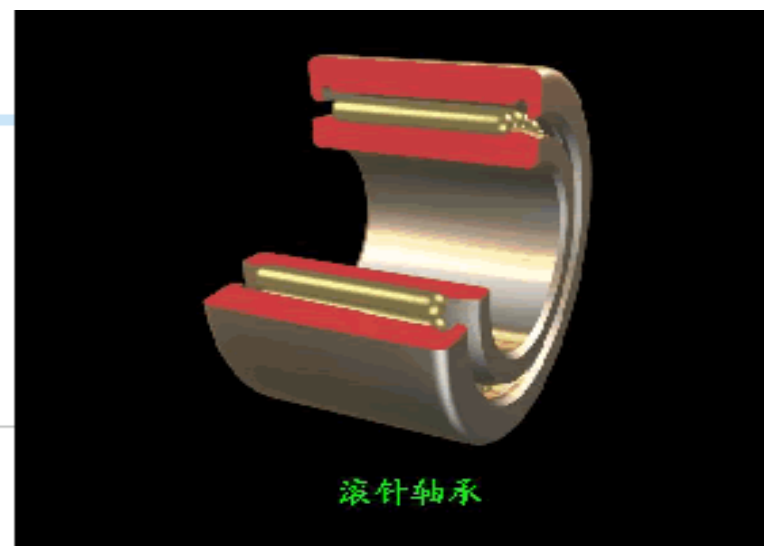
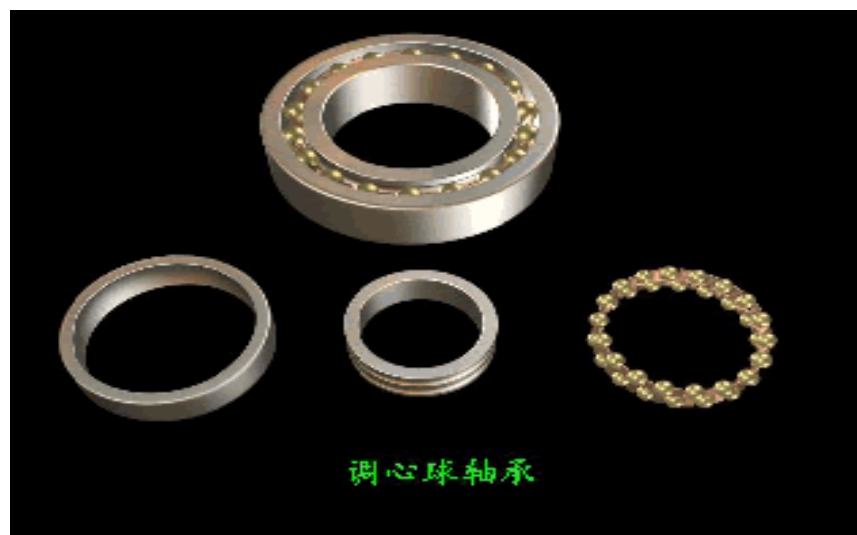


## 第十六章 滚动轴承



# 内容

- 滚动轴承的基本类型和特点
- 滚动轴承的代号
- 滚动轴承的选择计算
- 滚动轴承的润滑和密封
- 滚动轴承的组合设计





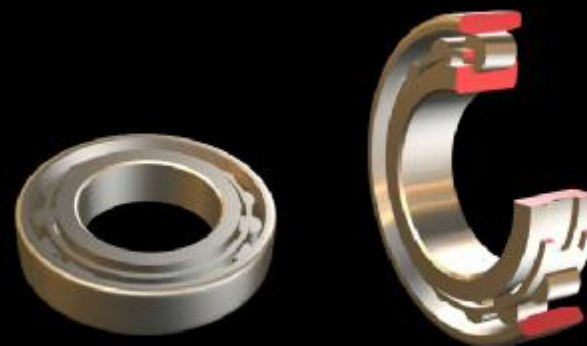
圆锥滚子轴承



内圈有单挡边圆柱滚子轴承



内圈无挡边圆柱滚子轴承



外圈无挡边圆柱滚子轴承

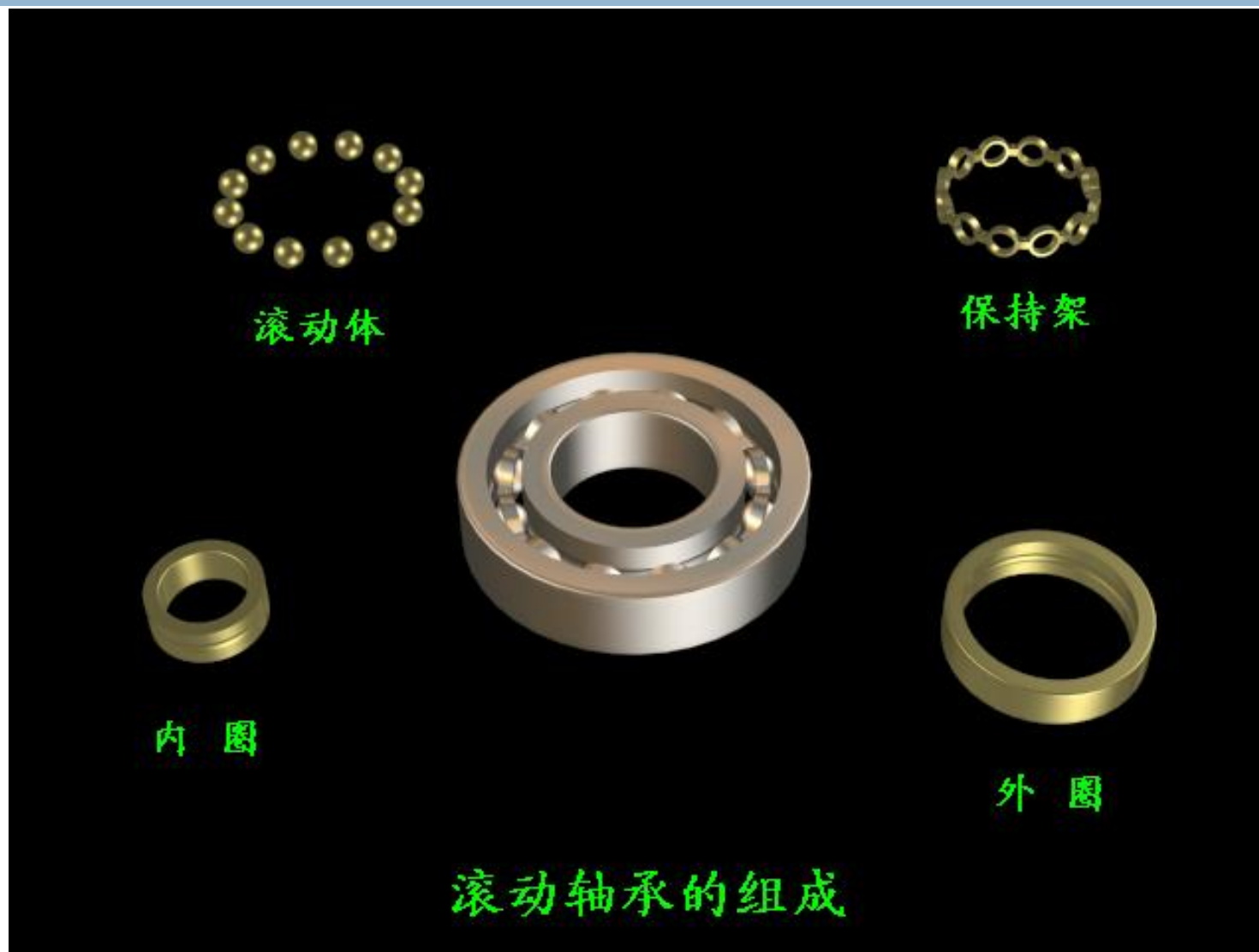
# 滚动轴承的组成

- .. **内圈**——外表面有滚道
- .. **外圈**——内表面有滚道
- .. **滚动体**——多种形状

材料具有较高的硬度，良好的接触疲劳强度，耐磨性和冲击韧性，一般用铬合金钢，轴承钢，热处理后硬度：**HRc61-65**

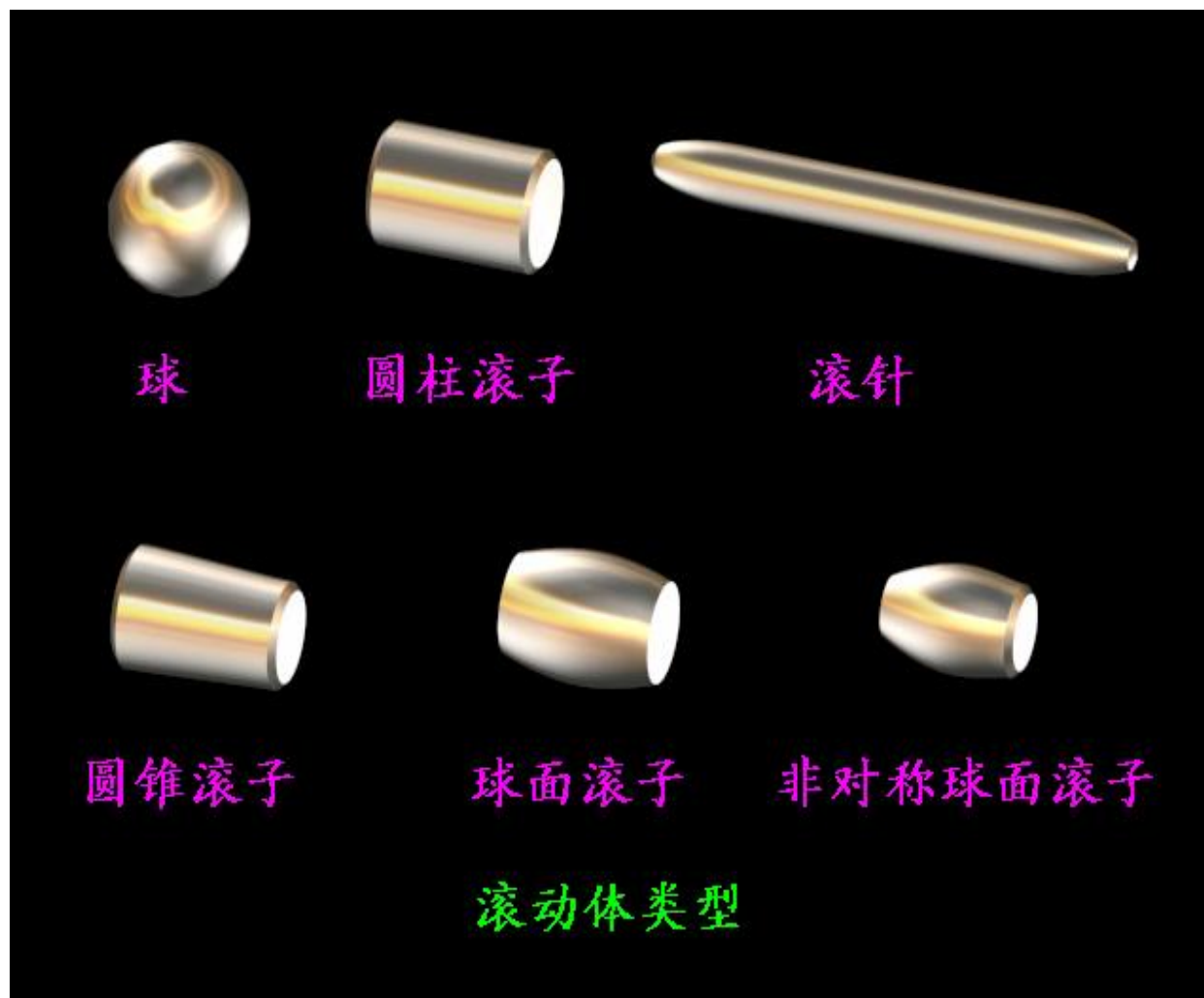
- .. **保持架**——将滚动体隔开，并均匀分布：低碳钢、有色金属、非金属

# 滚动轴承的组成



# 滚动体的形状

- .. 球形 —— 球轴承
- .. 圆柱形 —— 圆柱滚子轴承
- .. 圆锥形 —— 圆锥滚子轴承
- .. 鼓形
- .. 针形 —— 滚针轴承



# 滚动轴承的尺寸范围



- .. 小到外径小于**1毫米**的微型轴承
- .. 外径达**几米**的大型轴承



# 工作原理

- .. 内 圈——与轴一同旋转
- .. 外 圈——不动
- .. 滚动体——自转与公转
- .. 保持架——避免滚动体相互接触而加剧摩擦与磨损

# 特点

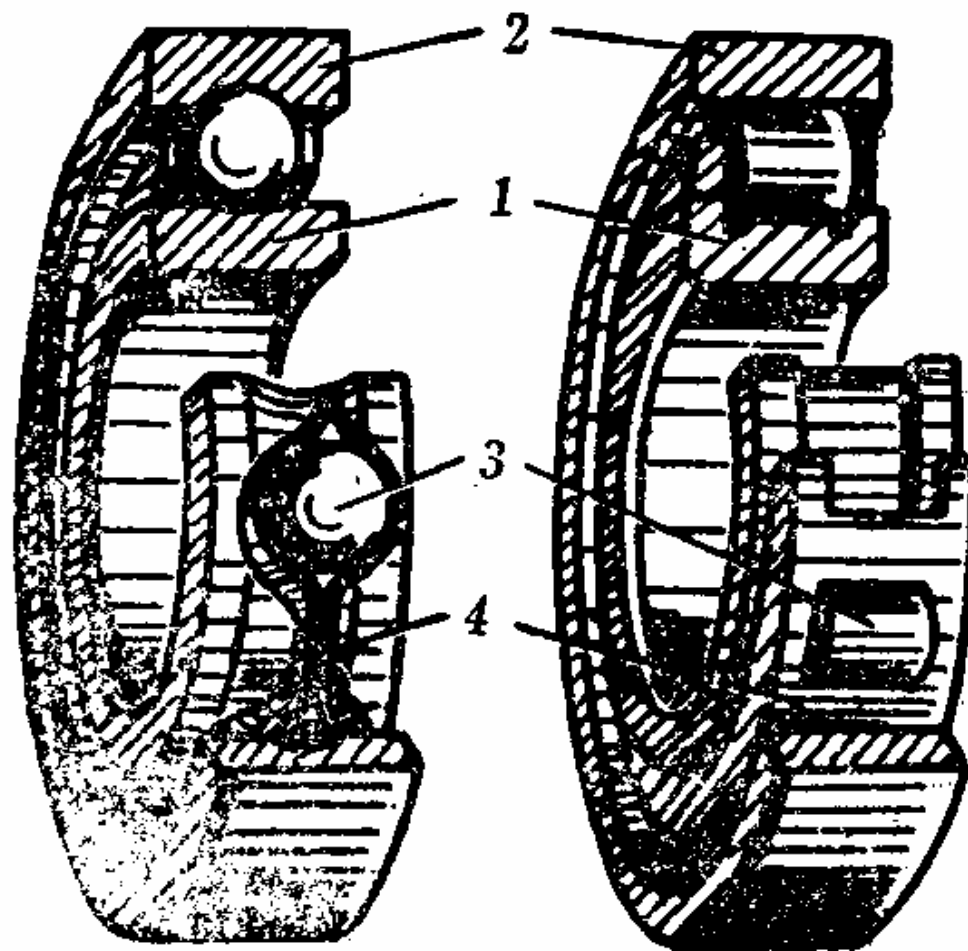
- .. 摩擦阻力小，起动灵活，效率高， 润滑简易， 互换性好
- .. 抗冲击能力差，高速时噪音大， 寿命低于液体摩擦的滑动轴承

# 已经标准化



- .. 由专门的轴承工厂成批生产的标准件
- .. 任务：熟悉标准和轴承的性能，  
能够正确选用

## 16-1 滚动轴承的基本类型和特点



# 滚动轴承的基本类型和代号

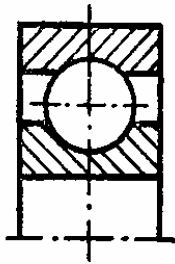
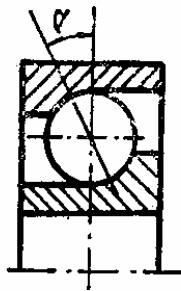
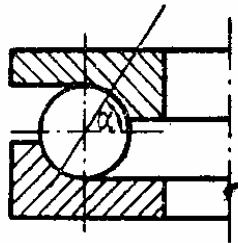
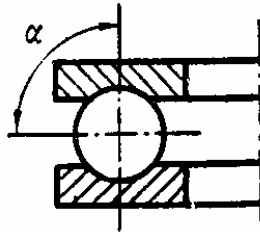
- 按其能承受的载荷方向可分为
  - ✧ 向心轴承——主要或只能承受径向载荷
  - ✧ 推力轴承——主要承受轴向载荷
- 角接触向心轴承——能同时承受径向载荷和轴向载荷

# 轴承类型

## 接触角

公称接触角

实际接触角

轴承种类	向 心 轴 承		推 力 轴 承	
	径向接触	角接触	角接触	轴向接触
公称接触角 $\alpha$	$\alpha = 0^\circ$	$0^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	$45^\circ < \alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
图例(以球轴承为例)				

# 轴承类型

- 按接触角分:向心轴承,推力轴承
- 按滚动体的形状分

- ✧ 球轴承

- ✧ 滚子轴承

- n 圆柱

- n 圆锥

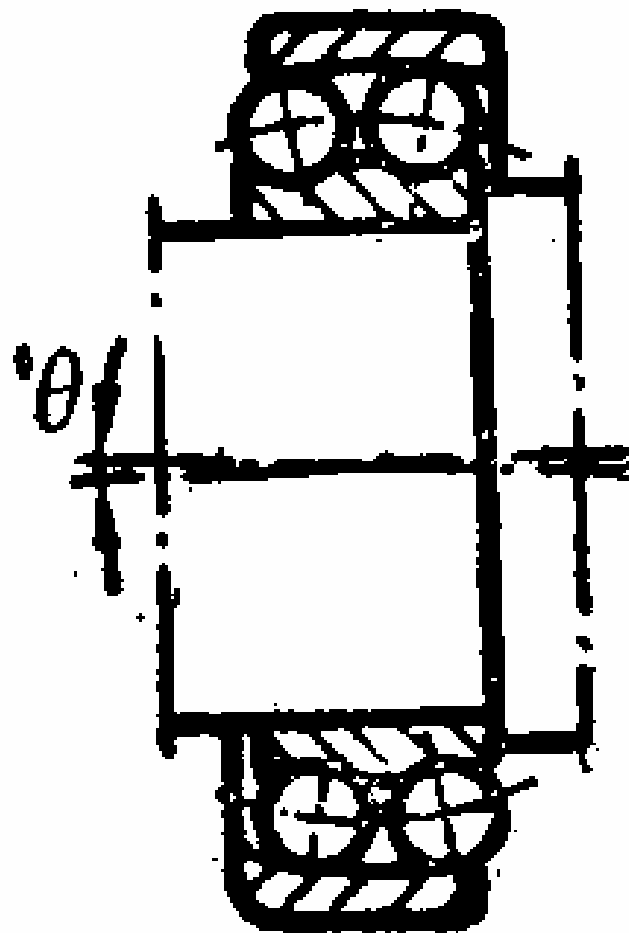
- n 球面

- n 滚针



# 按能否调心分

- .. 刚性轴承
- .. 调心轴承





# 我国常用轴承的类型和特性

表 16-2 滚动轴承的主要类型和特性

轴承名称、类型代号	结构简图	承载方向	极限转速	允许角偏差	主要特性和应用
向心球轴承 ( $\alpha=0^\circ$ ) [单列向心球轴承] 0			高	$8' \sim 16'$	主要承受径向载荷, 同时也可承受一定量的轴向载荷。当转速很高而轴向载荷不太大时, 可代替推力球轴承承受纯轴向载荷
调心球轴承 [双列向心球面球轴承] 1 自位球			中	$2^\circ \sim 3^\circ$	主要承受径向载荷, 同时也能承受少量的轴向载荷。因为外圈滚道表面是以轴承中点为中心的球面, 故能调心
圆柱滚子轴承 [单列向心短圆柱滚子轴承] 2			较高	$2' \sim 4'$	能承受较大的径向载荷, 不能承受轴向载荷。因系线接触, 内外圈只允许有极小的相对偏转
调心滚子轴承 [双列向心球面滚子轴承] 3			低	$0.5^\circ \sim 2^\circ$	能承受很大的径向载荷和少量轴向载荷, 承载能力大, 具有调心性能
滚针轴承 [滚针轴承] 4	 a) 74000型 b) 84000型		低	不允许	只能承受径向载荷, 承载能力大, 径向尺寸特小, 一般无保持架, 因而滚针间有摩擦, 轴承极限转速低。这类轴承不允许有角偏差。可以不带内圈
螺旋滚子轴承 [螺旋滚子轴承] 5			低	—	滚动体是空心螺旋滚子, 弹性好, 故适用于承受冲击, 振动载荷处, 但只能承受径向载荷

轴承名称、类型代号	结构简图	承载方向	极限转速	允许角偏差	主要特性和应用
角接触向心球轴承 [向心推力球轴承] 6			较高	$2' \sim 10'$	能同时承受径向、轴向联合载荷, 公称接触角越大, 轴向承载能力也越大。公称接触角 $\alpha$ 有 $15^\circ$ (类型代号为36000)、 $25^\circ$ (46000)、 $40^\circ$ (66000) 三种。通常成对使用, 可以分装于两个支点或同装于一个支点上
角接触向心滚子轴承 [向心推力滚子轴承] 7			中	$2'$	能同时承受较大的径向、轴向联合载荷, 因系线接触, 承载能力大于“6”类轴承。公称接触角有 $\alpha=11^\circ \sim 16^\circ$ (类型代号为7000)、 $\alpha=25^\circ \sim 29^\circ$ (27000) 两种。内外圈可分离, 装拆方便, 成对使用
推力球轴承 ( $\alpha=90^\circ$ ) [推力球轴承] 8	 a) 单列 b) 双列		—	不允许	只能承受轴向载荷, 而且载荷作用线必须与轴线相重合, 不允许有角偏差。有两种类型: 单列—承受单向推力; 双列—承受双向推力。 高速时, 因滚动体离心力大, 球与保持架摩擦发热严重, 寿命较低, 可用于轴向载荷大转速不高之处
角接触推力滚子轴承 [推力向心球面滚子轴承] 9			低	$2^\circ \sim 3^\circ$	能同时承受很大的轴向载荷和不大的径向载荷。滚子是腰鼓形, 外圈滚道是球面, 故能调心

注: 方括号内的轴承名称为该类型轴承的旧称。

# 几个主要的使用性能

- 承载能力

- ✧ 球轴承

- ✧ 滚子轴承

- ✧ 角接触

- 极限转速

- 角偏差

# 承载能力

..  $W(\text{滚子}) = 1.5 \sim 3 W(\text{球})$

- .. 深沟球
- .. 圆柱滚子
- .. 角接触轴承
- .. 圆锥滚子

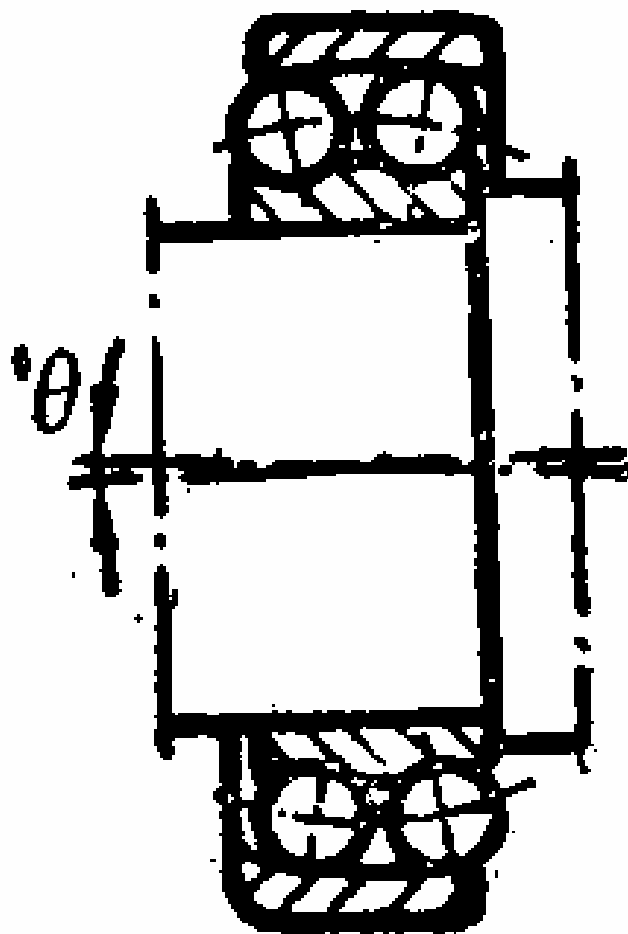
$d \geq 20 \text{ mm}$

# 极限转速

- .. 在一定载荷和润滑条件下,最高转速
- .. 提高精度、加大间隙、良好润滑、冷却, 青铜做保持架

# 角偏差

.. 见表16-2

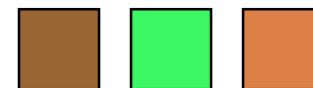


## 16-2 滚动轴承的代号

前置代号

基本代号  
5 位数字

后置代号



类型代号

宽度系列代号

直径系列

内径尺寸代号

精度等级

结构特点代号

# 例外

---

- .. **00: 内径10mm**
- .. **01 : 内径12mm**
- .. **02 : 内径15mm**
- .. **03 : 内径17mm**

# 16-3 滚动轴承的选择计算

- .. 一 失效形式
- .. 二 轴承寿命
- .. 三 当量动载荷的计算
- .. 四 角接触向心轴承轴向载荷的计算
- .. 五 滚动轴承的静载荷计算



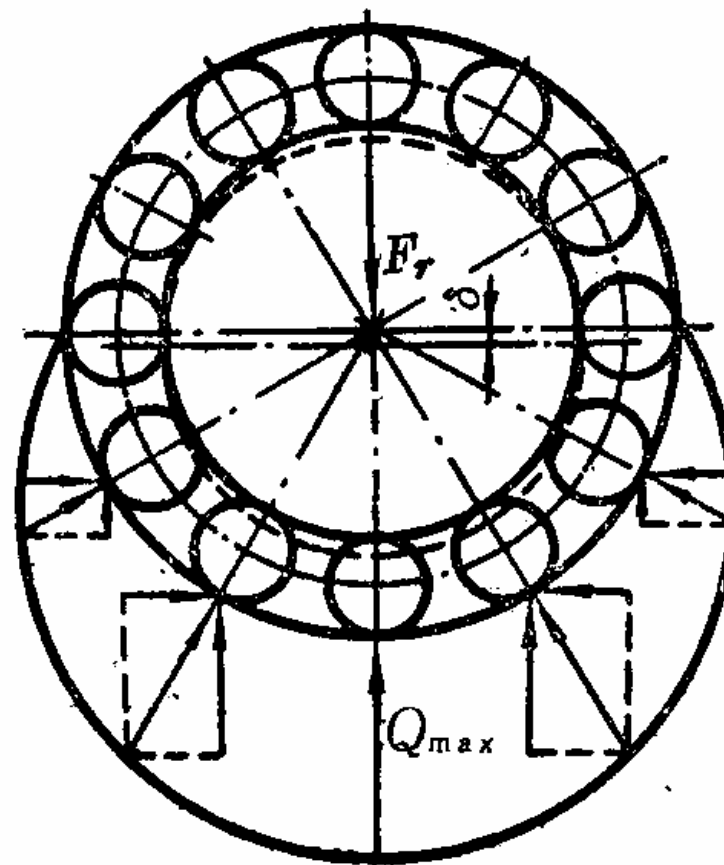
# 滚动轴承中各滚动体的受力

- 纯轴向载荷作用时——各滚动体受力是相同的
- 受纯径向载荷时——内外圈之间在径向有相对位移，各滚动体上的受力不同

# 滚动体上的受力特点

- .. 滚动：位置变化，  
受力变化
- .. 接触点变化：某一点  
的受力情况变化
- .. 脉动循环

$$F_{\max} \gg \frac{5F_r}{z}$$



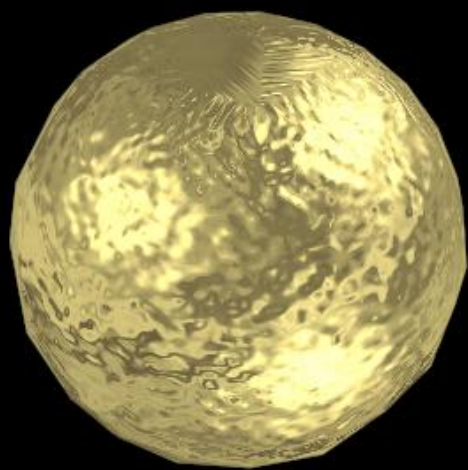
# 失效形式



- .. 疲劳破坏——疲劳点蚀
- .. 永久变形
- .. 早期磨损、胶合、破损等

# 疲劳点蚀

- .. 滚动体和滚道表面在接触载荷的反复作用下，首先在次表面产生疲劳裂纹，继而扩展到表面，产生表面点蚀而失效
- .. 是滚动轴承正常使用时的主要失效形式



滚动体点蚀



内圈滚道点蚀

# 永久变形

- .. 由于过大的静载荷或冲击载荷的作用，使滚动体或滚道表面发生永久的塑性变形

早期磨损、胶合、破损等

- 温度升高、冷却不好
- 使用不当、动载荷等

## 二 滚动轴承的寿命

- 滚动轴承的一个套圈或滚动体首次出现疲劳点蚀前，一个套圈相对另一套圈的转数，还可以换算成“小时”

# 滚动轴承寿命的可靠度

- .. 对于一组同型号的轴承，由于材料、热处理、制造工艺等很多随机因素的影响，即使在相同的条件下，各轴承的寿命也不一样。
- .. 但大量的轴承寿命试验表明，轴承的可靠性与寿命之间有一定的关系



# 可靠度R

● 一组相同的轴承在一定条件下能达到或超过规定寿命的百分率称为轴承寿命的可靠度，用R表示

● 见图16-6

# 基本额定寿命

- .. 一组相同型号轴承在相同条件下运转，其可靠度为**90%**时，能达到或超过的寿命称为滚动轴承的**额定寿命**
- .. 单位：百万转 ( $10^6 r$ ) (h)
- .. 换言之：**90%**的轴承在发生疲劳点蚀前能达到或超过该寿命
- .. 对于单个轴承而言，在达到此寿命前不发生破坏的概率为**90%**

# 基本额定动载荷

- 基本额定寿命  $L=1$  百万转，可靠度为 **90%** 时，轴承所能承受的载荷，用 **C** 表示。

$C_r$        $C_a$

# 基本额定动载荷及寿命计算

- 试验表明，在一同载荷下，相同型号的 轴承额定寿命 $L$ 与载荷 $F$ 间符合以下关系

$$L_1 F_1^e = L_2 F_2^e = L_3 F_3^e = L$$

$$L_1 F_1^e = L_2 F_2^e = L_3 F_3^e = L = 1' C^e$$

$$LF^e = 1' C^e$$

# 轴承寿命计算公式

$$L = \left( \frac{C}{F} \right)^e (10^6 \text{ 转})$$

- **$e$**  为寿命系数，对于球轴承为**3**，滚子轴承为**10/3**

# 轴承寿命计算公式

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{F} \right)^e \quad \text{h}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{f_t C}{f_p P} \right)^{\frac{e}{\epsilon}} \quad \text{h}$$

$$C = \frac{f_p P}{f_t} \left( \frac{60n}{10^6} L_h \right)^{\frac{1}{e}} \quad \text{N}$$

# 寿命公式的修正

- .. 温度大于**100° C**时，缩短寿命，用温度系数修正  $f_t$  ——表**16-8**
- .. 工作中冲击振动，用载荷系数修正  $f_p$   
——表**16-9**
- .. 各种机器中的滚动轴承的预期 寿命:表**16-10**

# 三 当量动载荷的计算

.. 当量动载荷:

**额定动载荷**是在一定的条件确定的，  
如果轴承的实际载荷与上述条件不一样，  
必须换算为与上述条件相同的载荷后，才  
能与额定动载荷比较。



- .. 换算后的假定载荷为当量动载荷

$$P = XF_r + YF_a$$

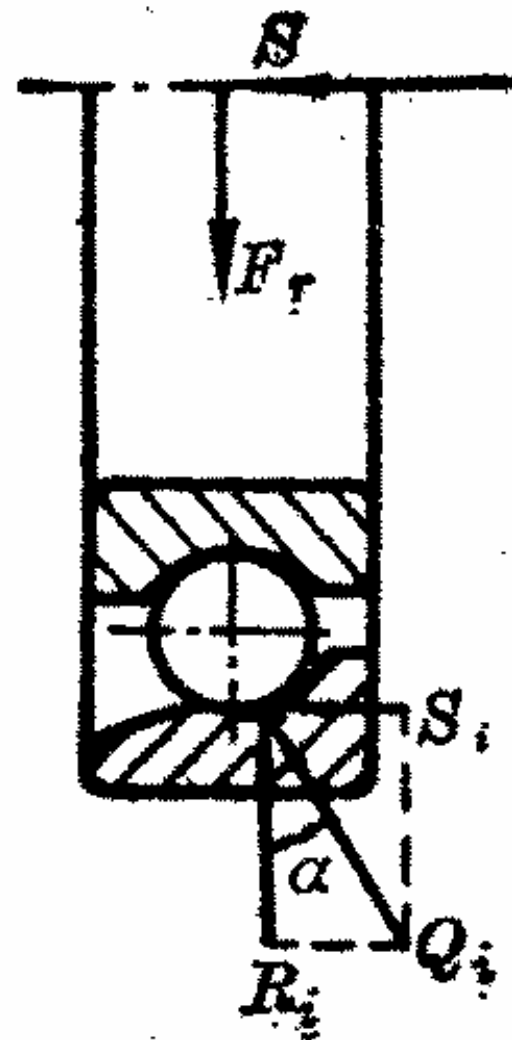
- .. 向心轴承承受纯径向载荷  $P = F_r$
- .. 推力轴承受纯轴向载荷时  $P = F_a$

## 四 角接触向心轴承轴向载荷的计算

角接触轴承的结构特点

✧ 存在接触角

✧ 法向力分解为轴向和径向



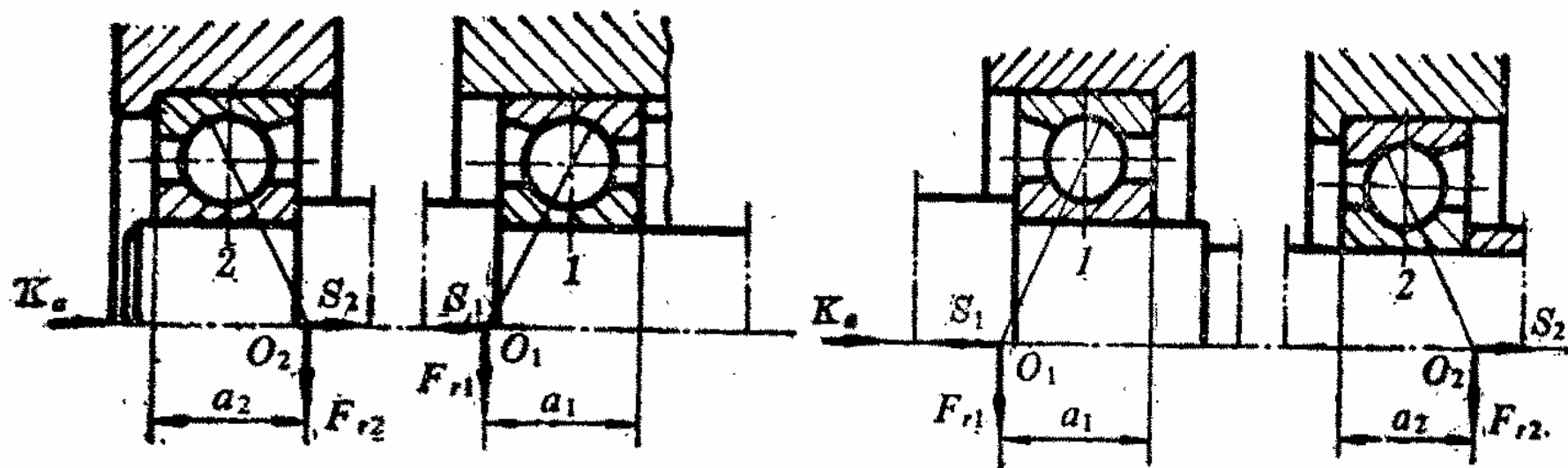
# 轴承所受轴向力的计算

- .. 由滚动轴承结构特点决定的
- .. 各种轴承的内部轴向力的计算由接触角决定
- .. 表**16-12**
- .. 计算公式

$$S = 1.25 F_r \operatorname{tg} a$$

# 轴承应用

- .. 为了平衡，须成对使用
- .. 安装方式：



正装

反装

# 内部轴向力的计算

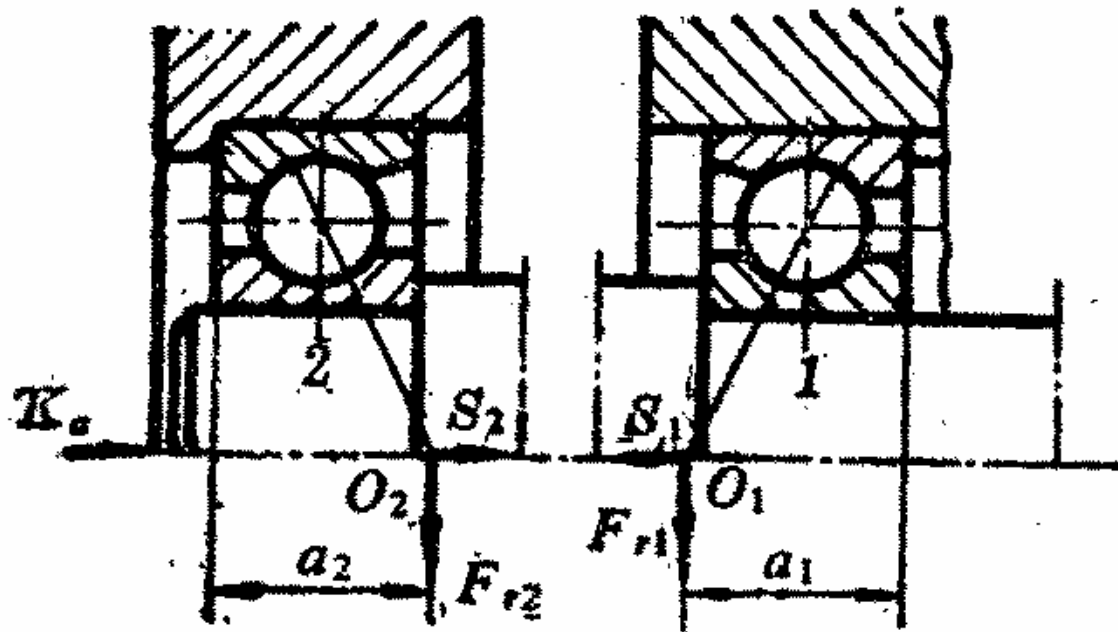
- 面对面（正装）
- 方向：
- 大小：

$$F_{a1} = F_A + F_2$$

$$F_{a2} = F_1$$

$$F_{a1} = F_1$$

$$F_{a2} = F_2 - F_A$$



# 轴承轴向力的计算

- .. 被压紧轴承的轴向力为除其本身内部轴向力之外的所有轴向力之和
- .. 被松轴承的轴向力为其自己的内部轴向力

# 背靠背（反装）

.. 方向:

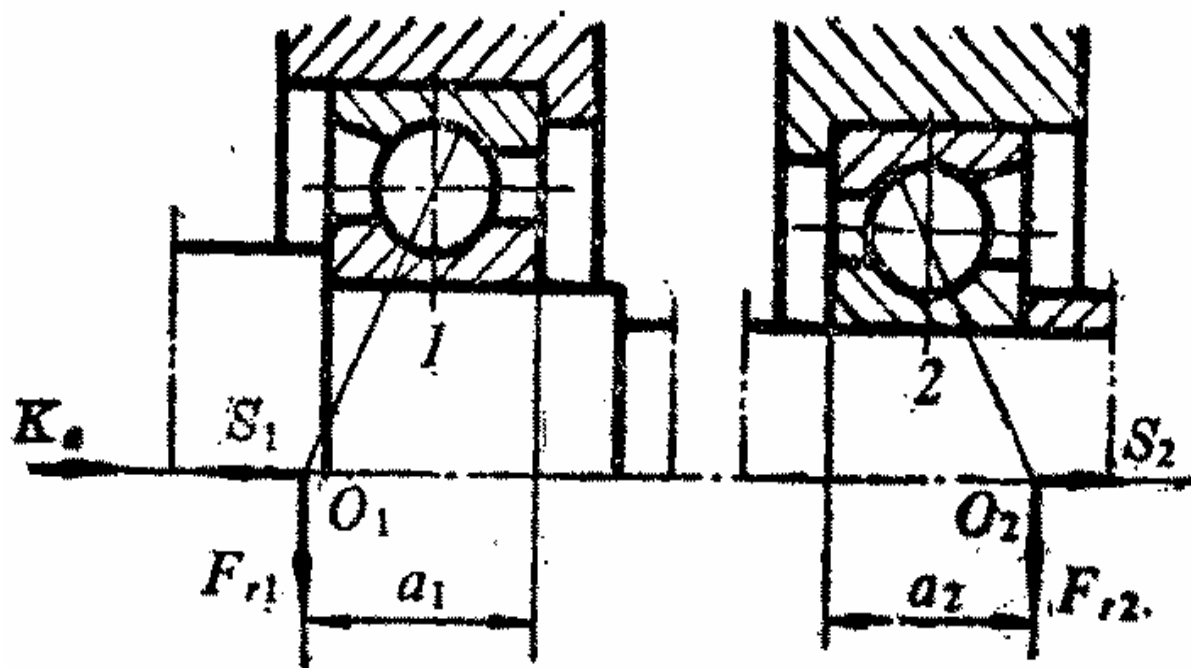
.. 大小:

$$F_{a1} = F_A + F_2$$

$$F_{a2} = F_2$$

$$F_{a1} = F_1$$

$$F_{a2} = F_1 - F_A$$



## 五 滚动轴承的静载荷计算

- .. 在纯径向或轴向载荷作用下，应力最大的滚动体和套圈间的接触永久总变形量为滚动体直径的万分之一的静载荷
- .. 当量静载荷：一种换算后的假定载荷，应力最大的滚动体和套圈间的接触永久总变形量与实际载荷作用下的总变形量相等



## 16-4 滚动轴承的润滑和密封

- 润滑的目的

- ✕ 减磨
- ✕ 减摩
- ✕ 吸振
- ✕ 降温

- 密封的目的

- ✕ 灰尘
- ✕ 水分
- ✕ 润滑油

# 一 滚动轴承的润滑

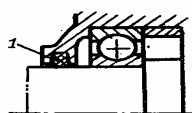
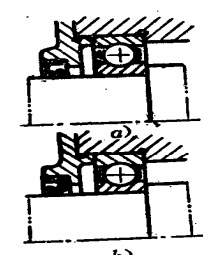
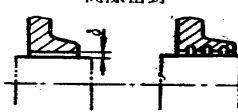
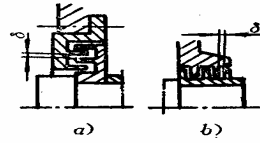
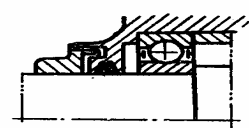
- .. 润滑剂: 脂 油 固体
- .. 润滑剂的选择

$$dn < (1.5 \sim 2) \times 10^5 \text{ mm r/min}$$

# 滚动轴承的密封

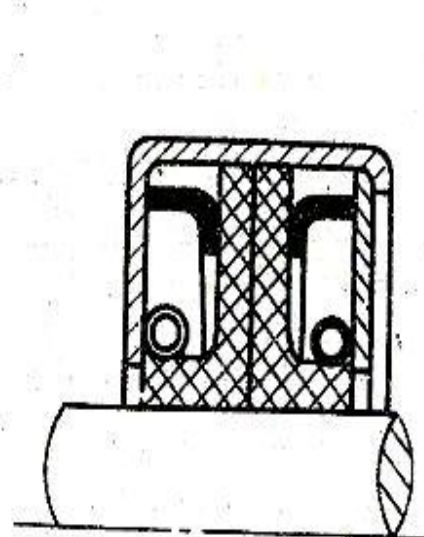
- 方式:
  - 接触式
  - 非接触式

表 16-9 常用的滚动轴承密封型式

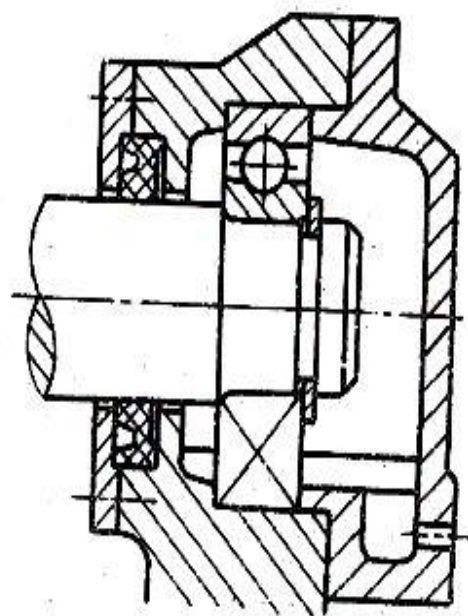
密封类型	图 例	适 用 场 合	说 明
接触式密封	毛毡圈密封 	脂润滑。要求环境清洁，轴颈圆周速度 $v$ 不大于 $4 \sim 5 \text{ m/s}$ ，工作温度不超过 $90^\circ\text{C}$	矩形断面的毛毡圈1被安装在梯形槽内，它对轴产生一定的压力而起到密封作用
	皮碗密封 	脂或油润滑。轴颈圆周速度 $v < 7 \text{ m/s}$ ，工作温度范围 $-40 \sim 100^\circ\text{C}$	皮碗用皮革、塑料或耐油橡胶制成，有的具有金属骨架，有的没有骨架，皮碗是标准件。图 a) 密封唇朝里，目的防漏油；图 b) 密封唇朝外，主要目的防灰尘、杂质进入
非接触式密封	间隙密封 	脂润滑。干燥清洁环境	靠轴与盖间的细小环形间隙密封，间隙愈小愈长，效果愈好，间隙 $\delta$ 取 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$
	迷宫式密封 	脂润滑或油润滑。工作温度不高于密封用脂的滴点。这种密封效果可靠	将旋转件与静止件之间的间隙做成迷宫(曲路)形式，在间隙中充填润滑油或润滑脂以加强密封效果。分径向、轴向两种：图 a) 径向曲路，径向间隙 $\delta$ 不大于 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ ；图 b) 轴向曲路，因考虑到轴要伸长，间隙取大些， $\delta = 1.5 \sim 2 \text{ mm}$
组合密封	毛毡加迷宫密封 	适用于脂润滑或油润滑	这是组合密封的一种型式，毛毡加迷宫，可充分发挥各自优点，提高密封效果。组合方式很多，不一一列举

# 轴承的密封

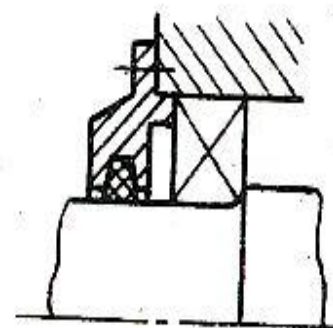
- 接触式密封——毛毡、橡胶（低速）  
——磨损，精度低
- 非接触式密封——油沟、迷宫（高速）  
——结构复杂，可靠性差
- 组合使用



(a)



(b)



(c)

图 6-35 接触式密封装置  
(a)双皮碗;(b)单皮碗;(c)毡圈。

# 16-5 滚动轴承的组合设计

- .. 解决轴承的轴向定位
- .. 固定
- .. 轴承与其它零件的配合
- .. 间隙调整
- .. 装拆
- .. 密封

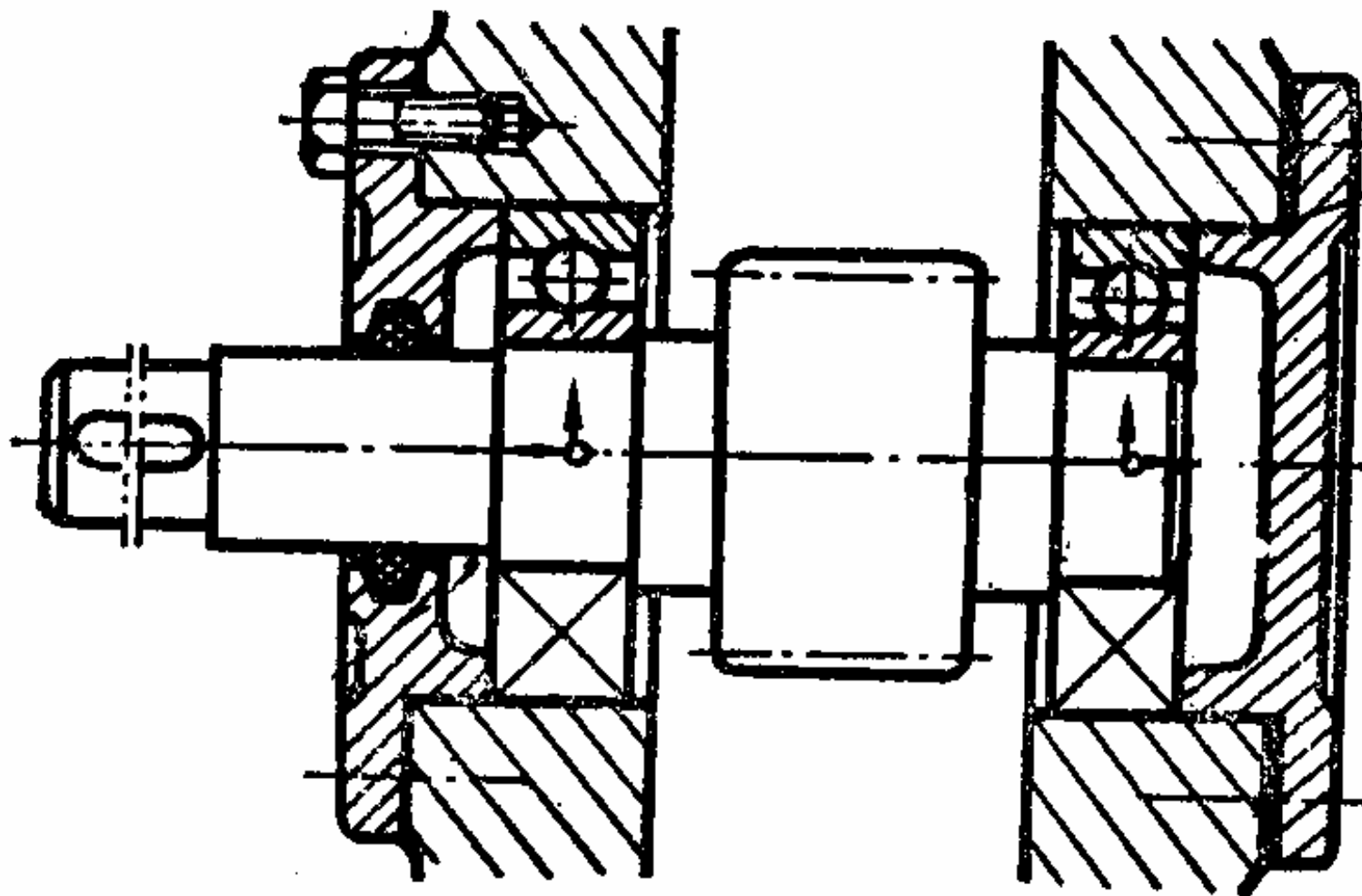
是轴系零部件正常工作的前提

# 一 轴承的固定

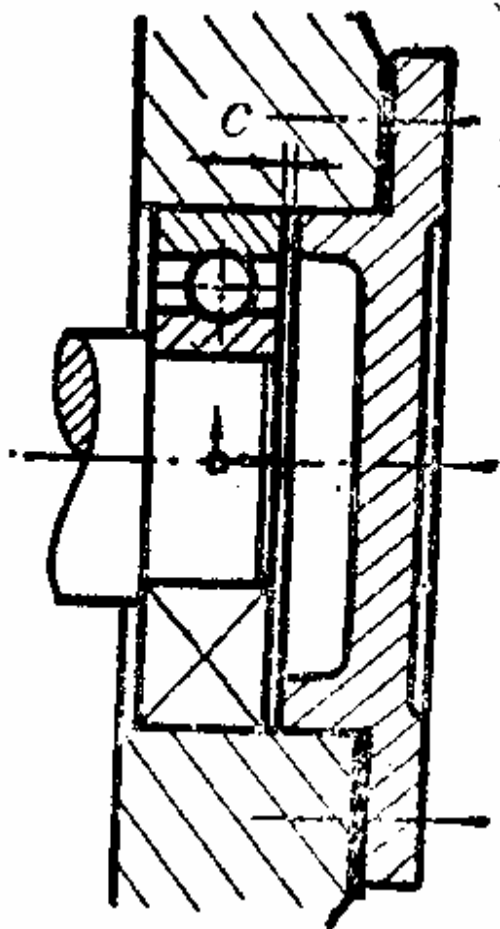
---

- .. 两端固定
- .. 一端固定一端游动

# 两端固定







$$C = 0.2 \sim 0.3mm$$

# 一端固定一端游动

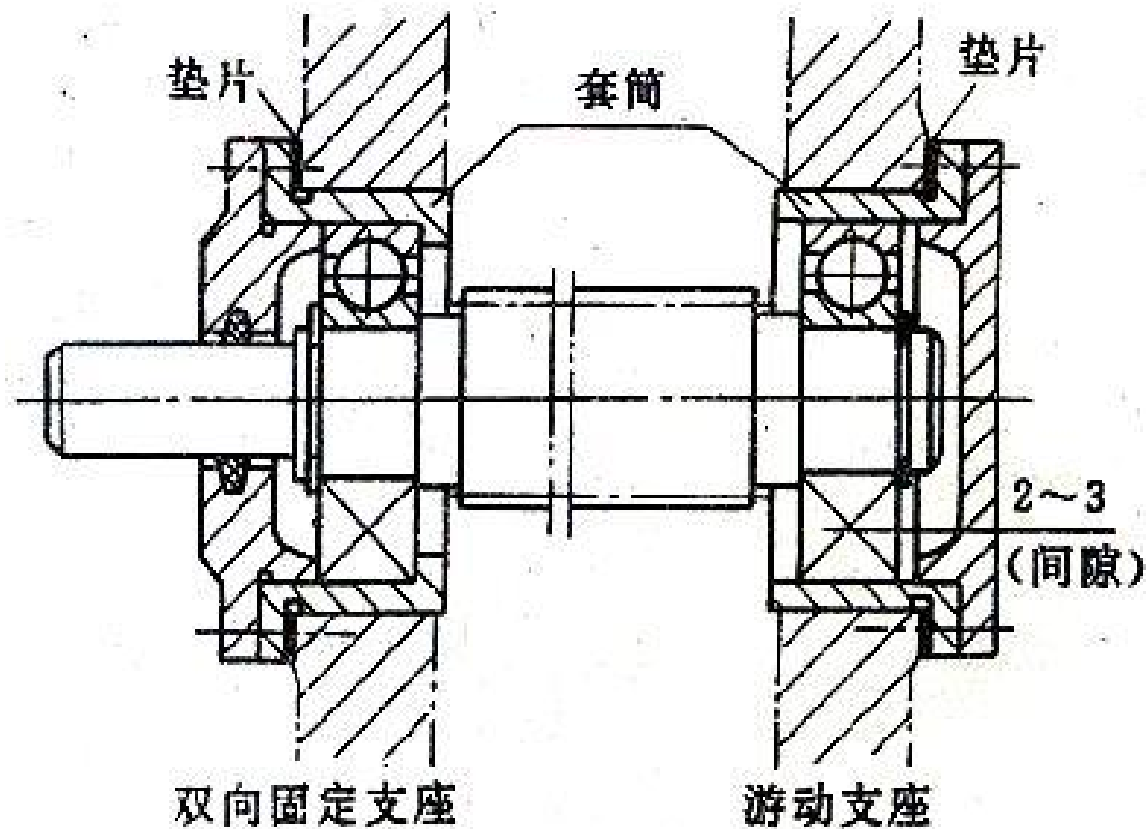
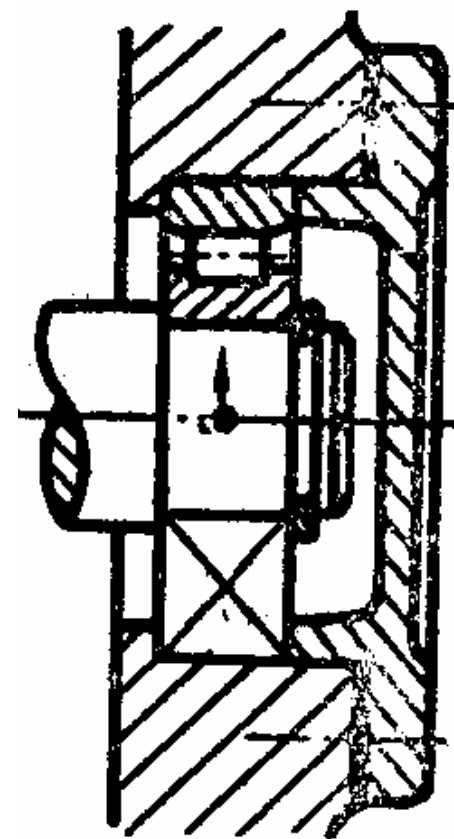
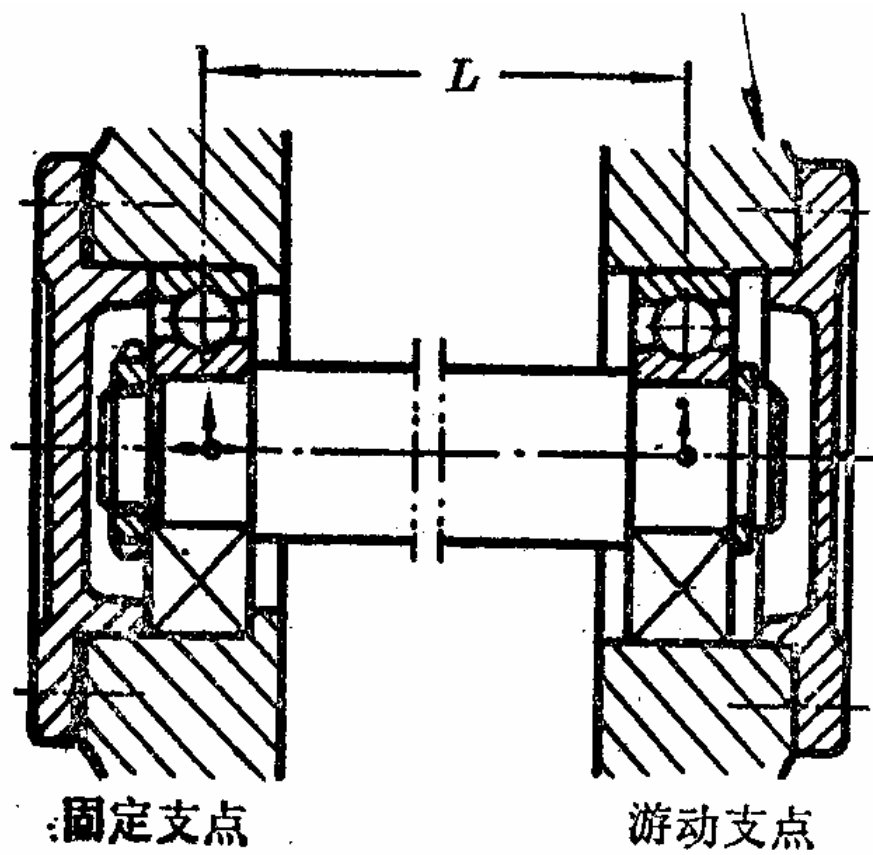


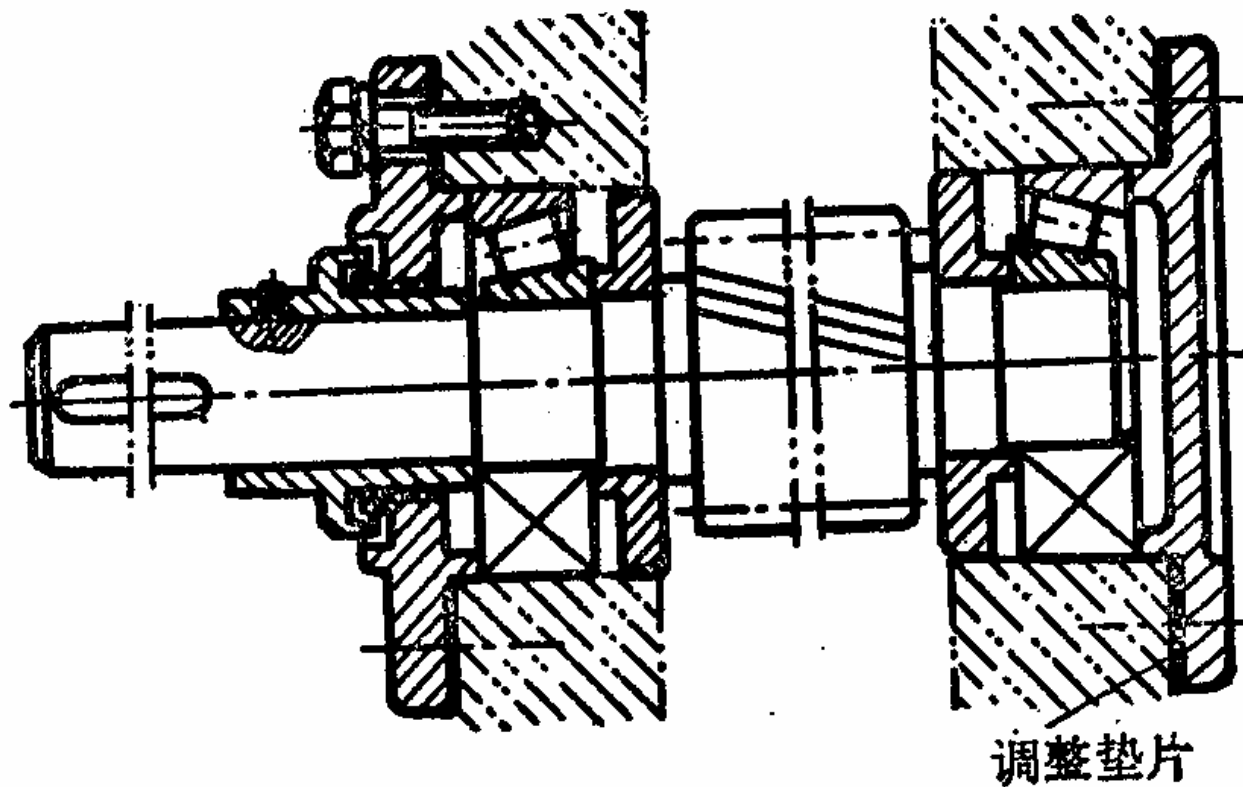
图 6-31 固定、游动式支承结构之一

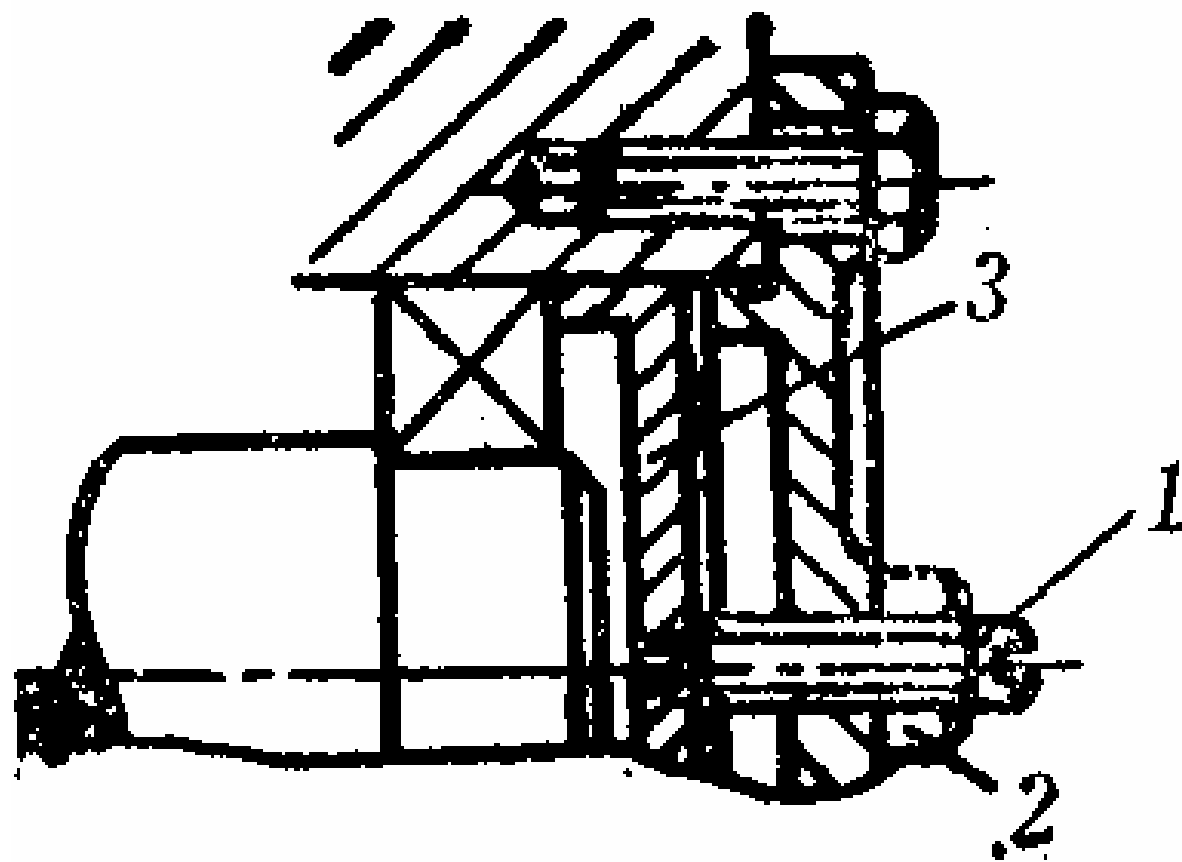
# 游动方式



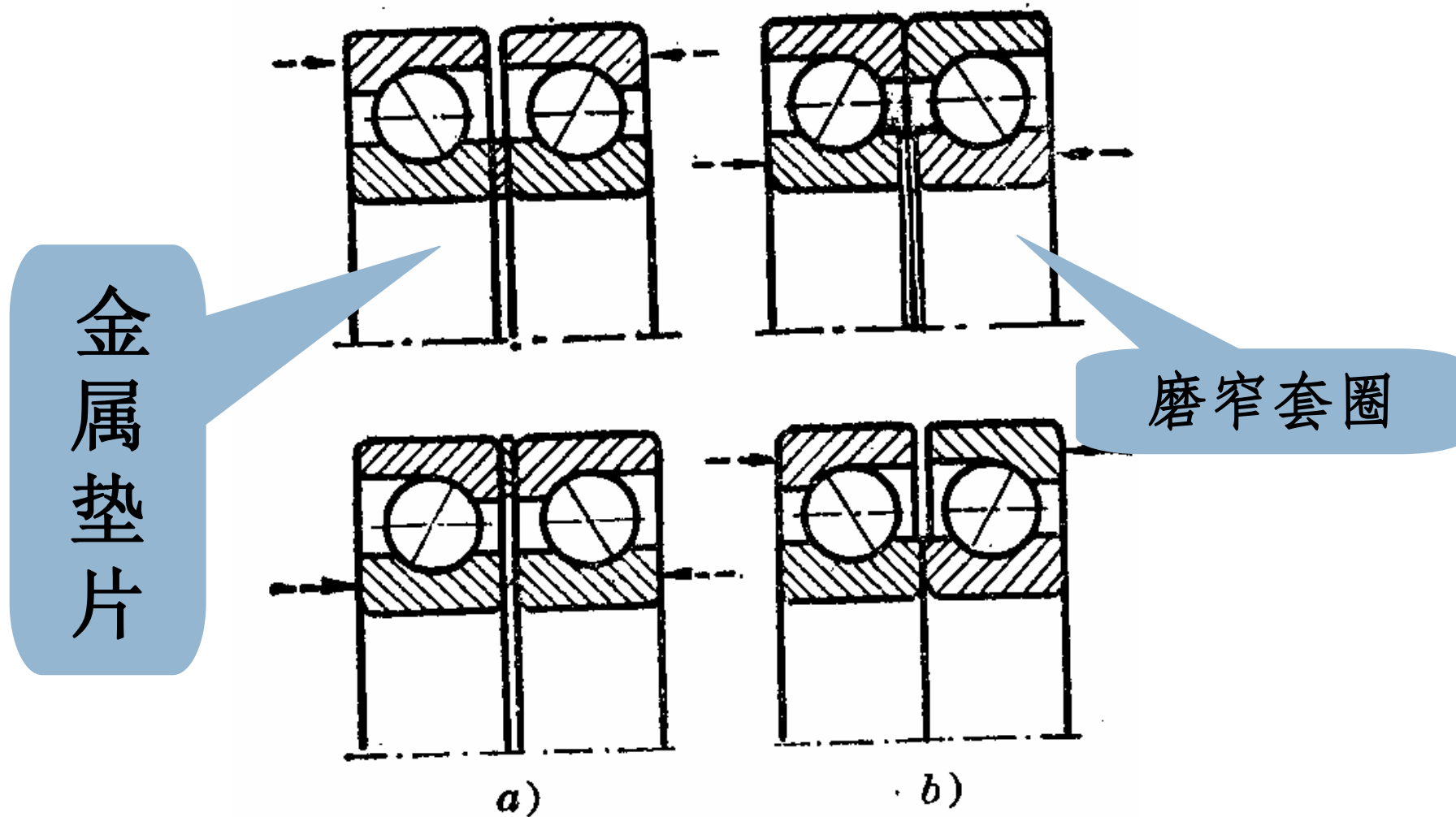
## 二 轴承组合的调整

### 1 轴承间隙的调整

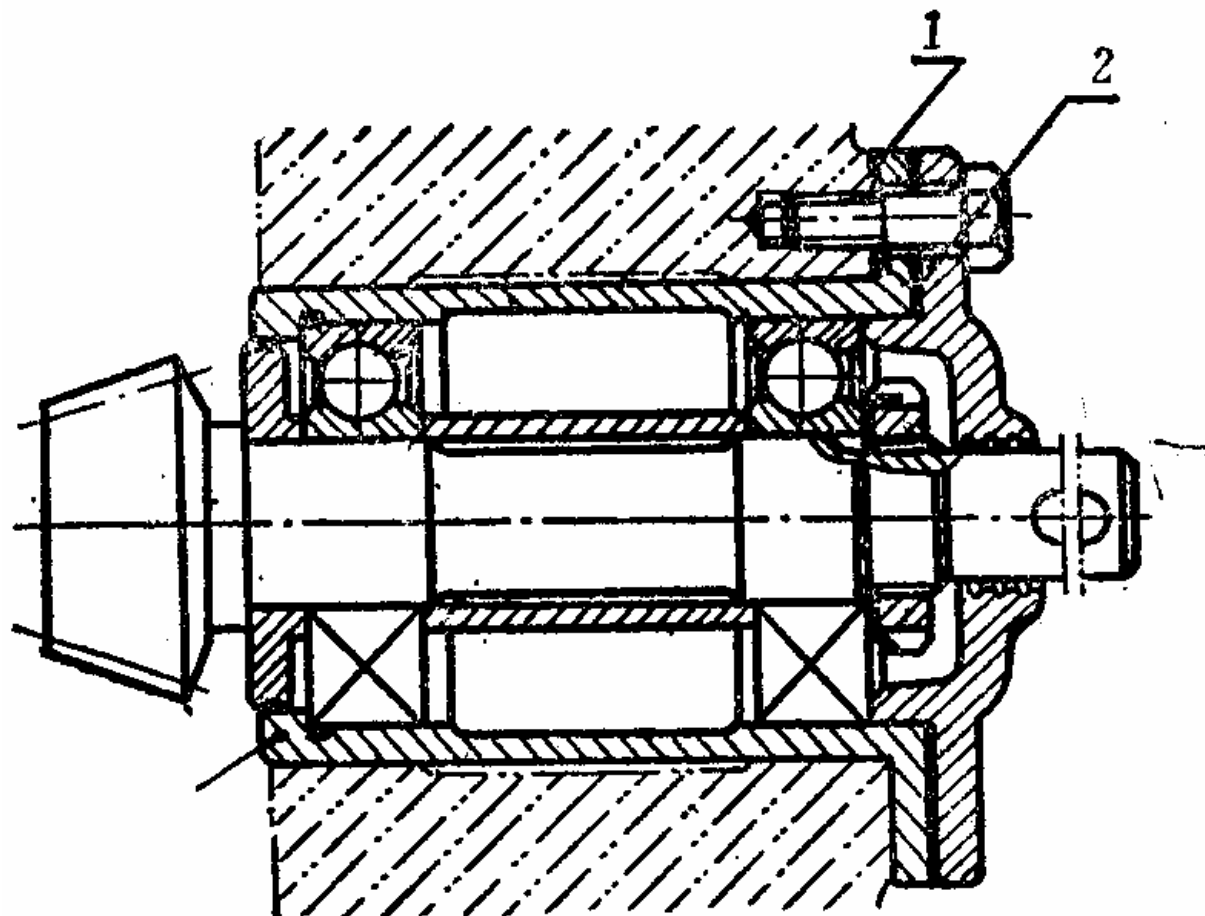




## 2 轴承的预紧



### 3 轴承组合位置的调整



# 三 轴承的配合

- .. 轴承：标准件
- .. 配合以轴承为标准

轴承的周向配合

● 轴承内孔——轴

较紧配合，基孔制

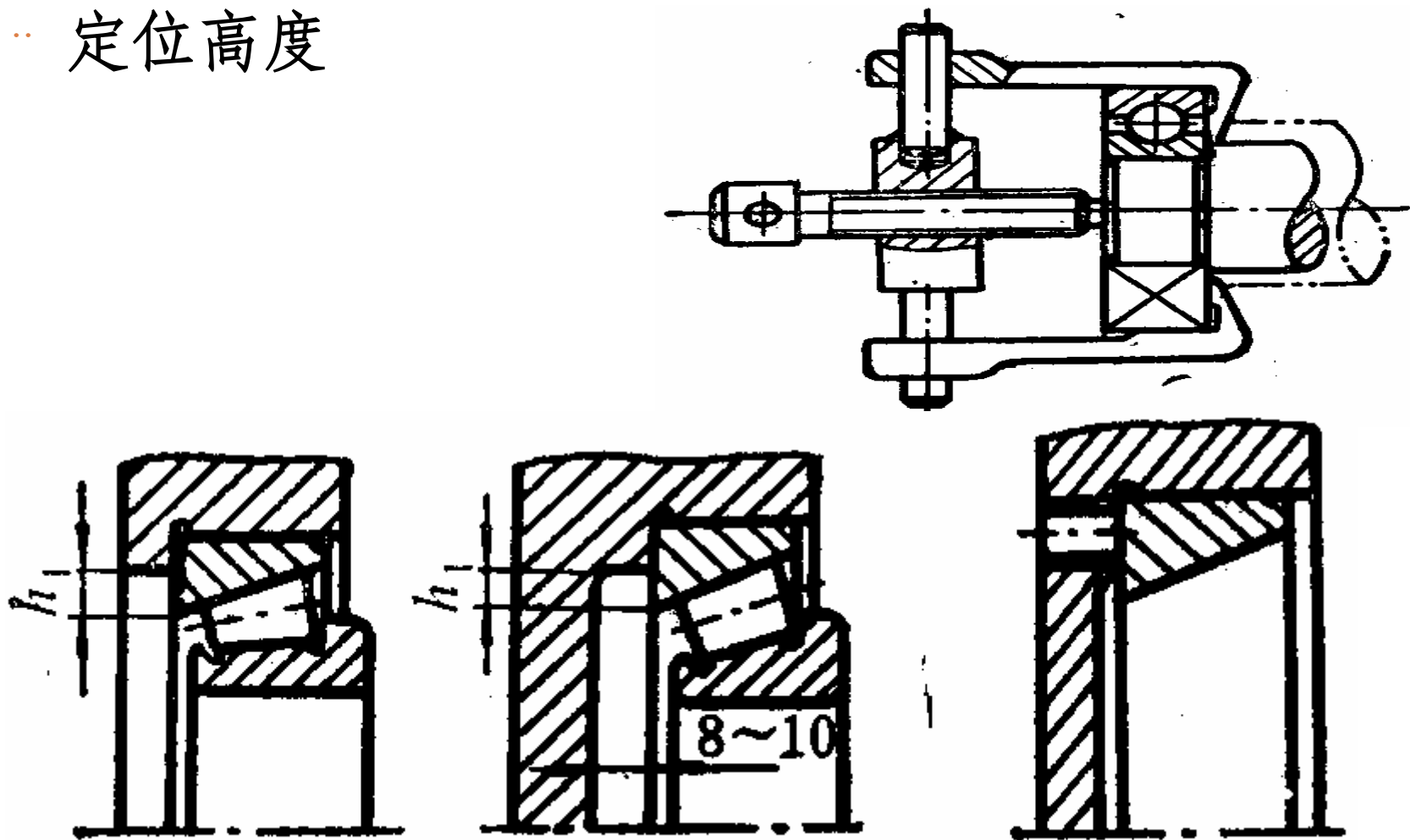
● 轴承外圆——机座

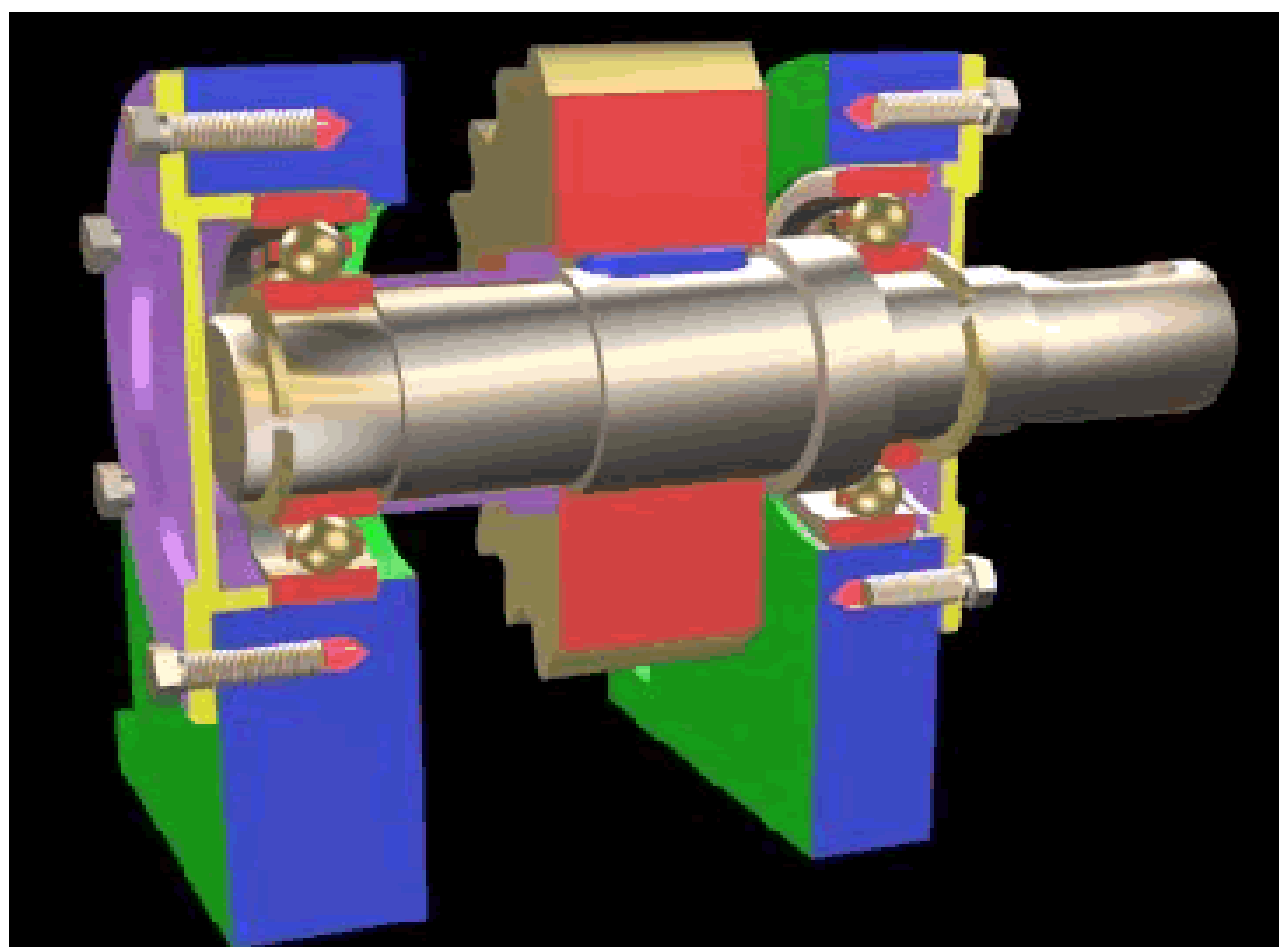
小间隙配合，基轴制



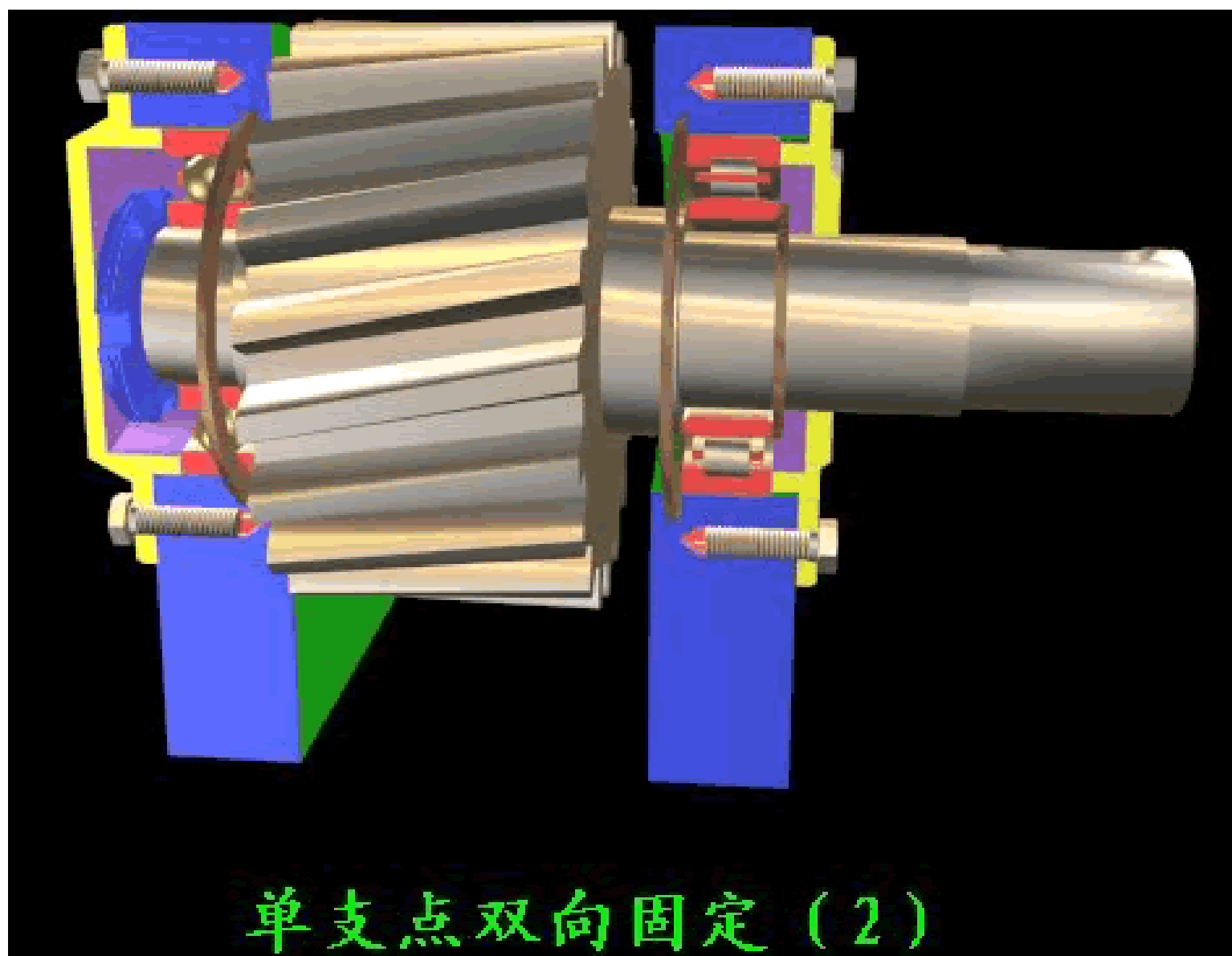
## 四 轴承的拆卸

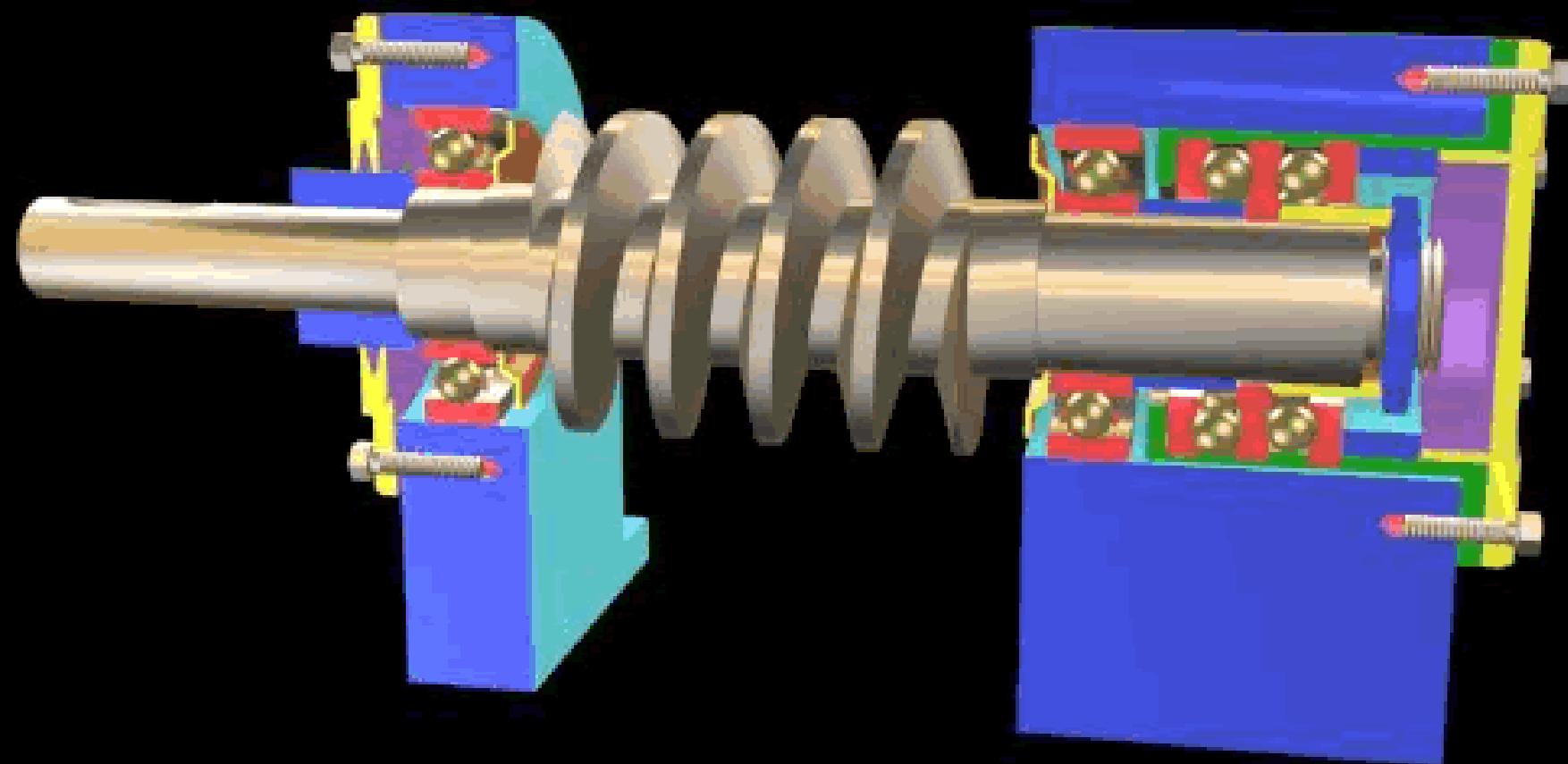
.. 定位高度



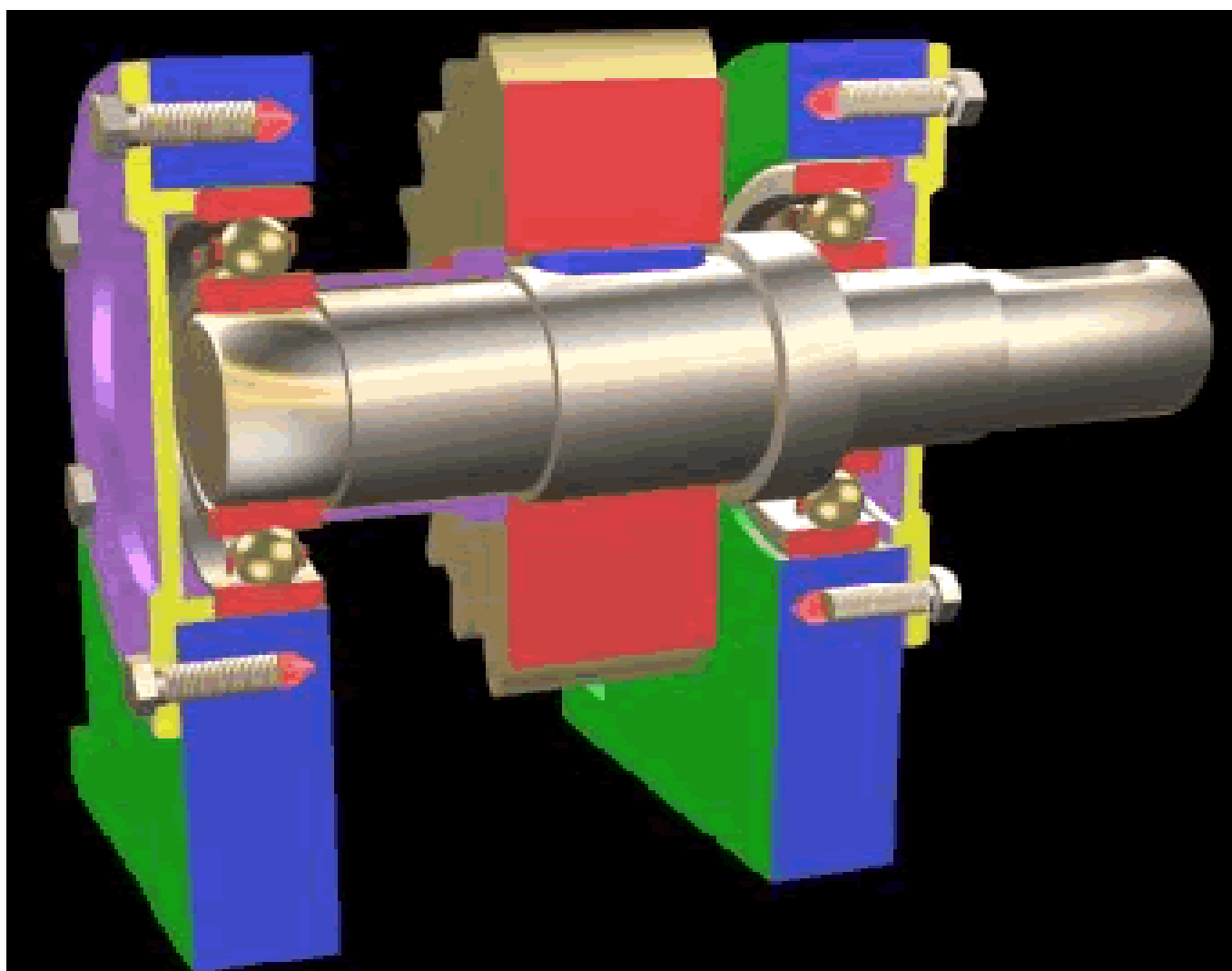


单支点双向固定 (1)

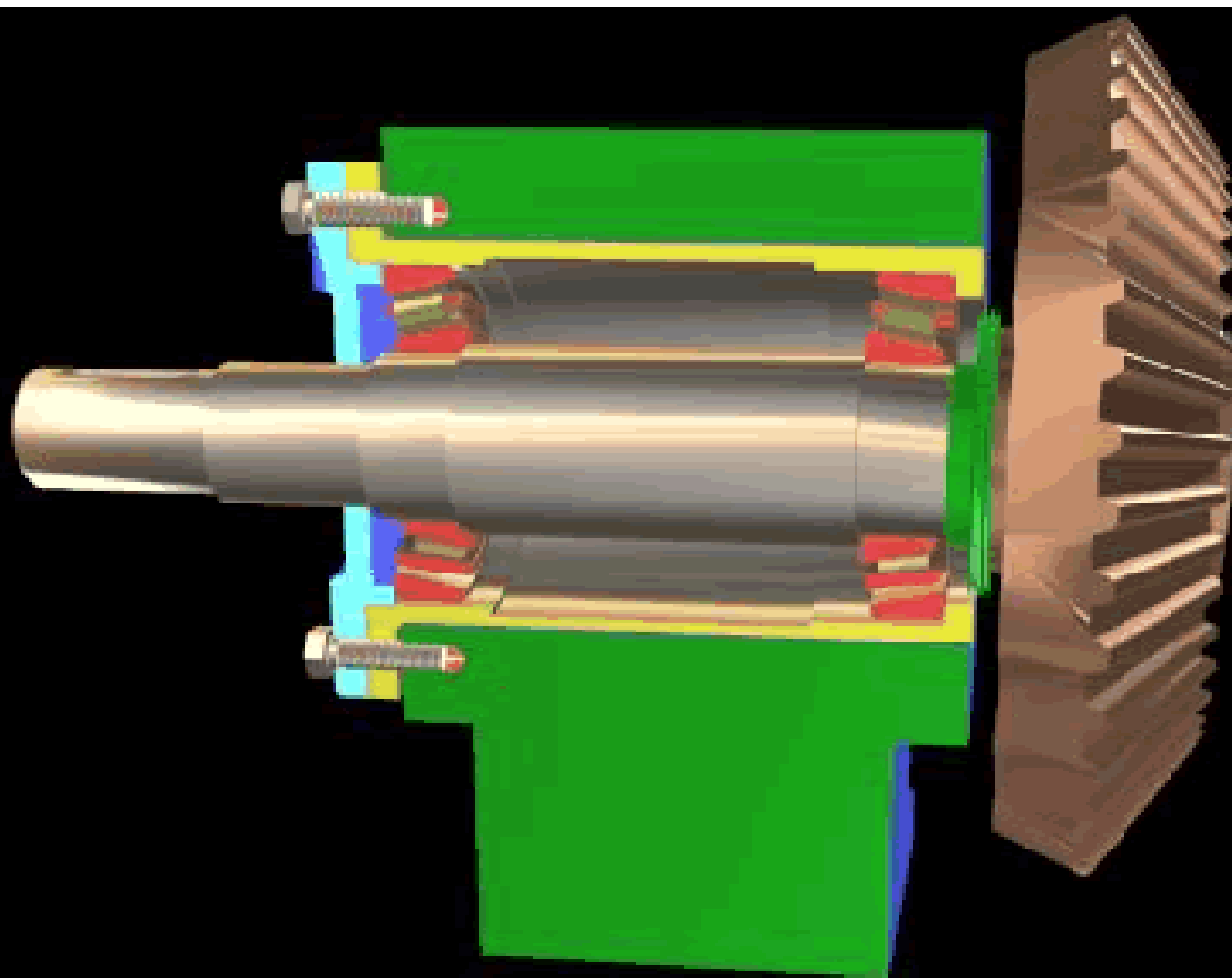




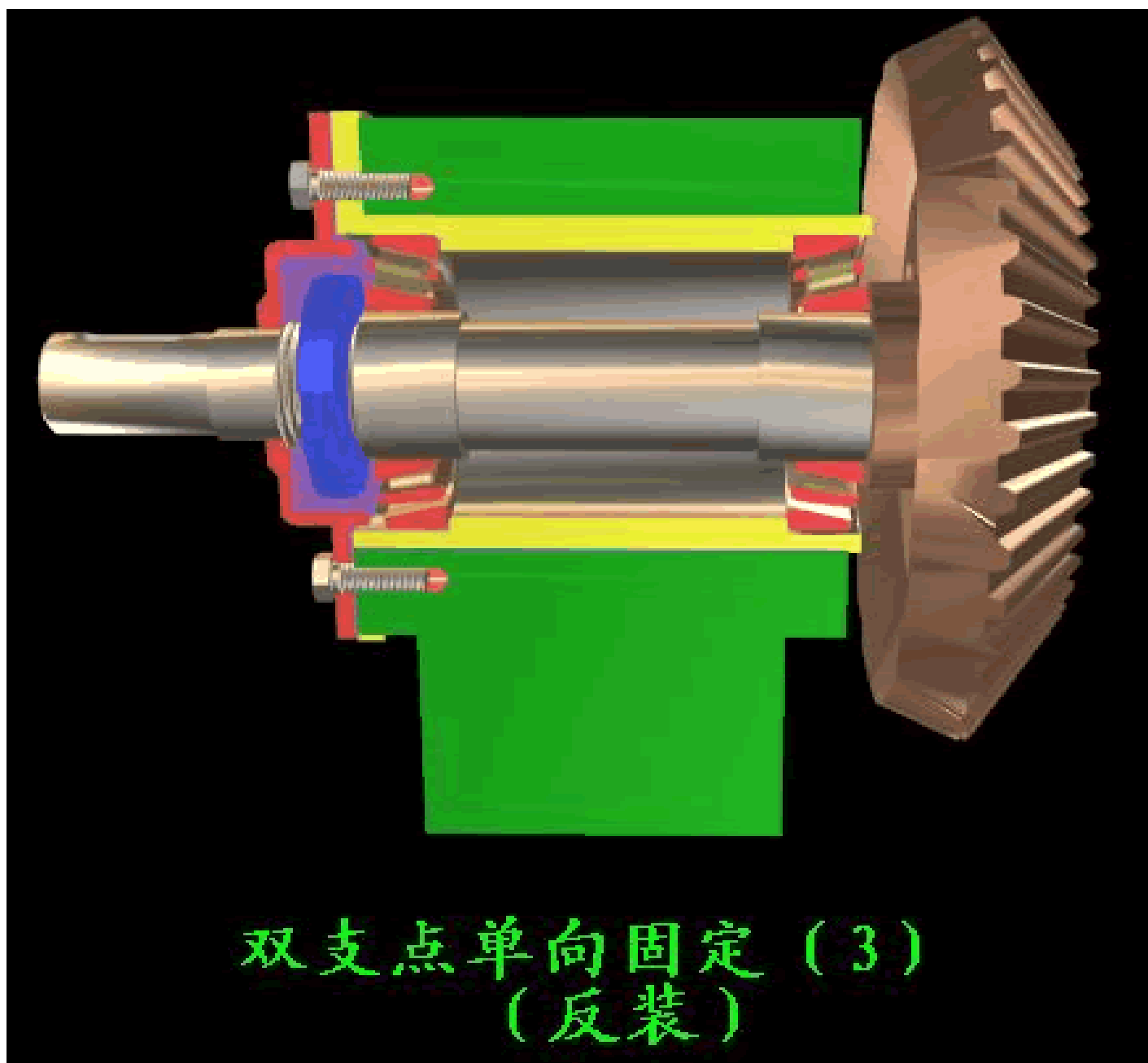
单支点双向固定 (3)

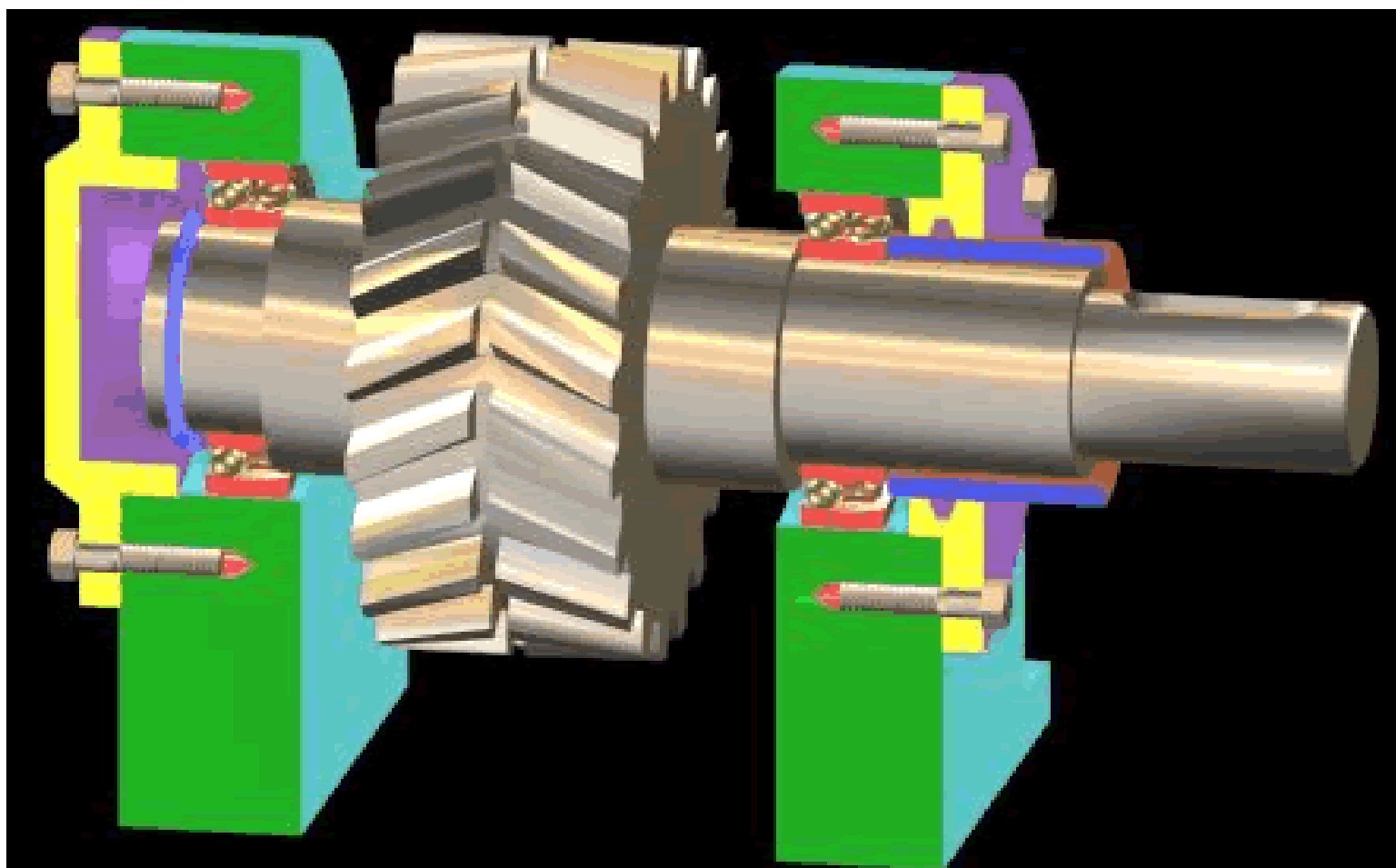


双支点单向固定 (1)



双支点单向固定 (2)  
(正装)





两端游动支承



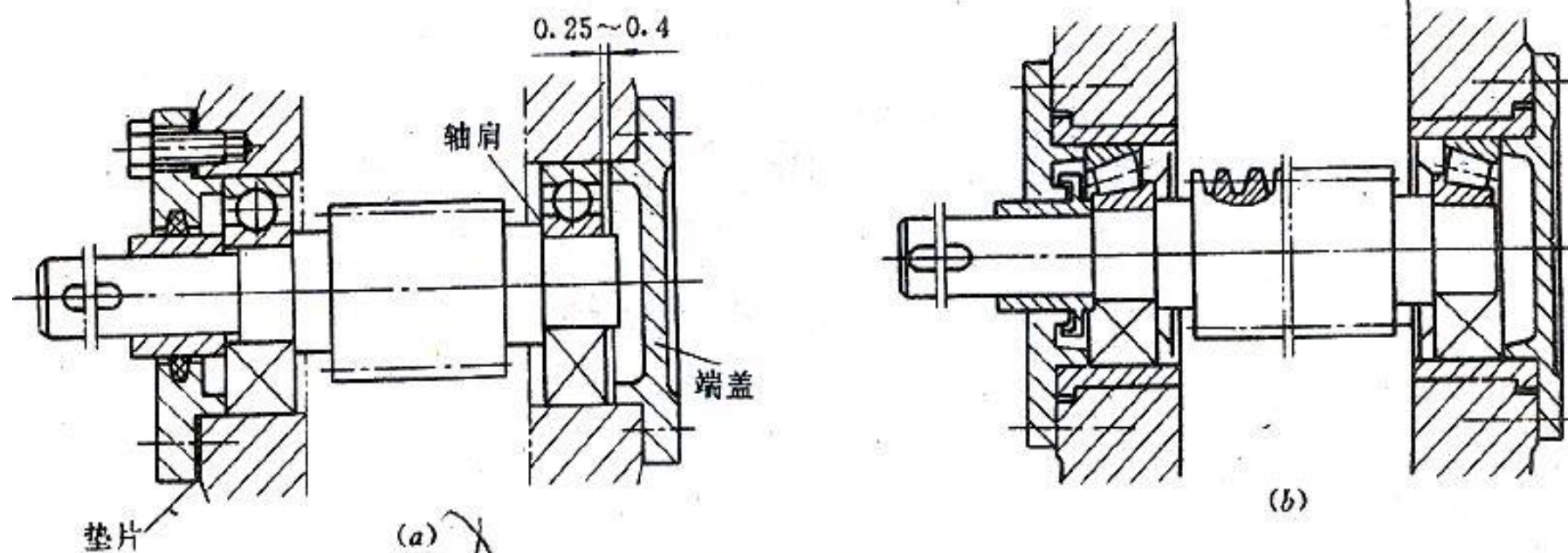


图 6-29 两支承单向固定  
(a)深沟球轴承;(b)圆锥滚子轴承。

(2)一支承双向固定另一支承游动 典型的结构组合如图 6-31 所示。图中左支承限