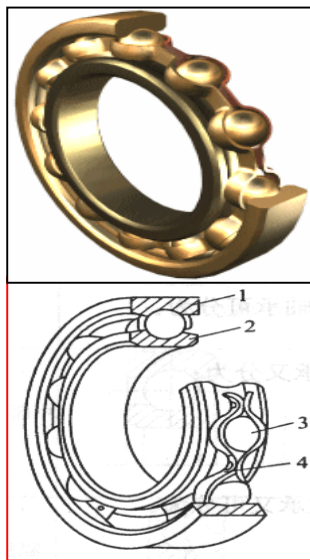


# 第11章 滚动轴承

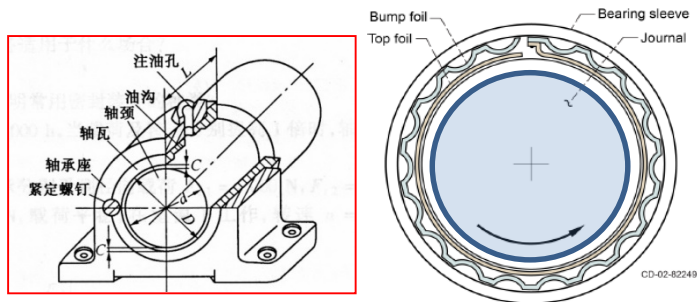
## Rolling Element Bearing

# 补充：轴承类别

滚动轴承；滑动轴承；磁悬浮轴承



滚动轴承

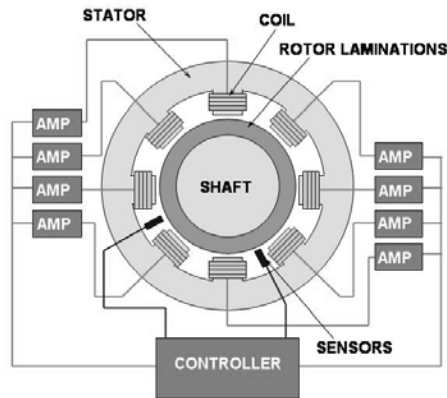


液体滑动轴承

气体滑动轴承

滑动轴承

Journal Bearing

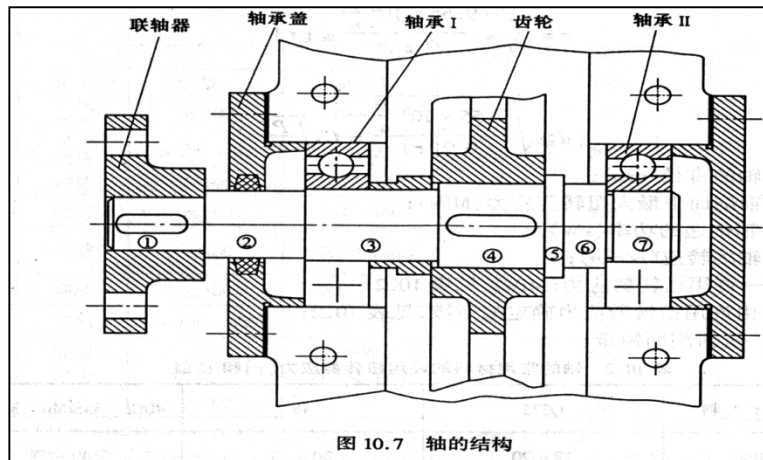


磁悬浮轴承

Magnetic Bearing

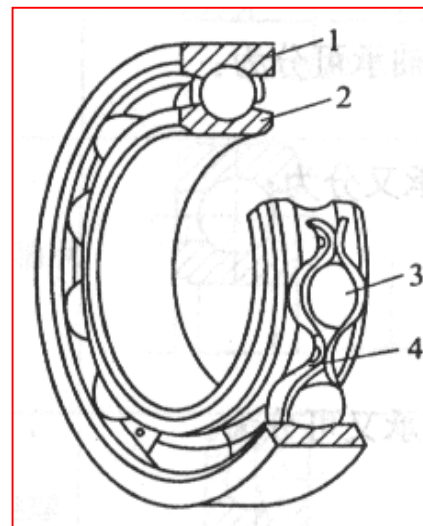
# 补充：轴承（Bearings）简介

- 支撑旋转或者直线运动的轴系，传力，隔离运动件和静止件
- Since there is no model in nature for guiding wheels on axles or axle journals, man faced a great task in designing bearings—a task which has not lost its importance and attraction to this day



# 11.1 滚动轴承的构造和特点

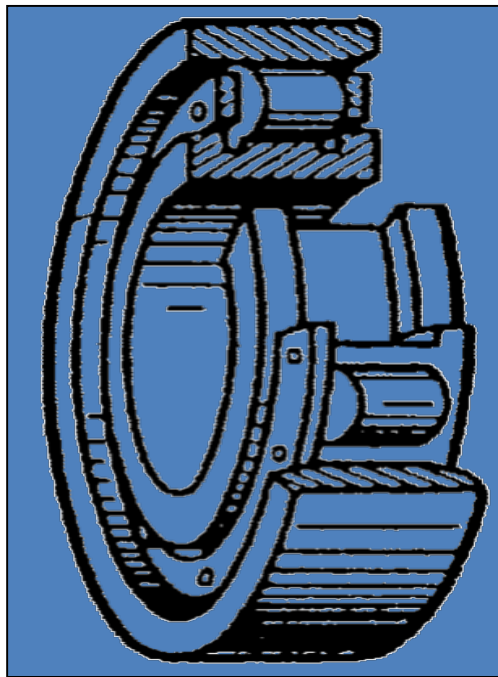
## 1、球轴承（Ball bearings）



普通深沟球轴承

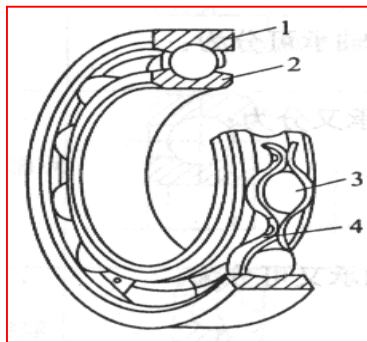
# 11.1 滚动轴承的构造和特点

## 2、滚子轴承（Roller bearings）

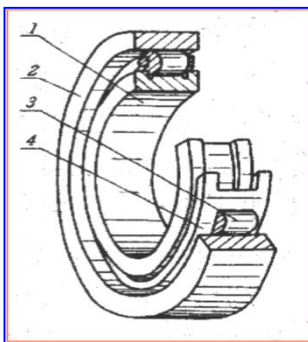


## 11.1 滚动轴承的构造和特点

- ◆ 基本结构：一般由外圈、内圈、滚动体和保持架组成，但有时可以没有内圈、外圈、保持架等



球轴承(Ball bearing)

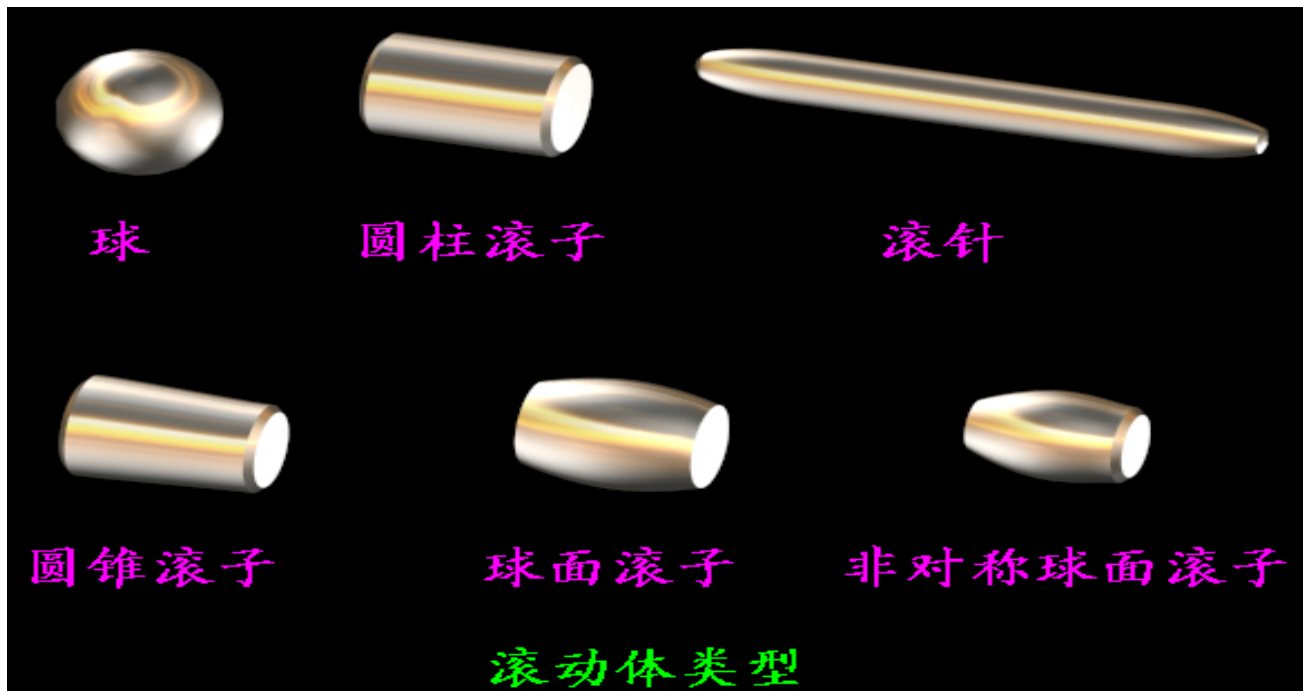


滚子轴承(Roller Bearings)



# 11.1 滚动轴承的构造和特点

## ◆ 滚动体的种类：球和滚子（balls and rollers）



# ◆ 滚动轴承中的承载形式：点(球轴承)或线接触(滚子轴承)

接触应力可以分别高达4 200MPa 和4 000MPa；

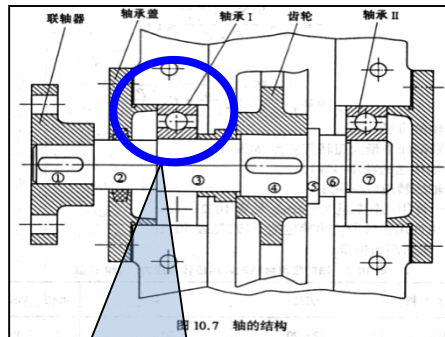
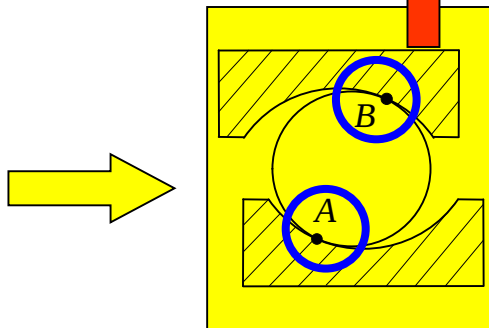
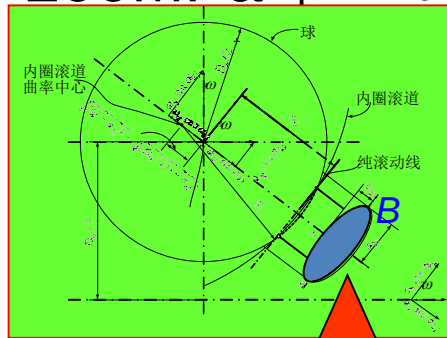


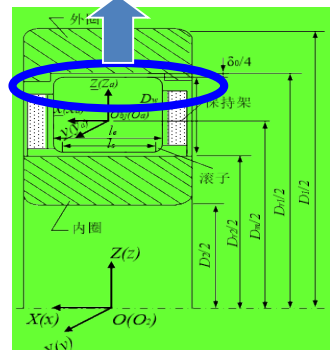
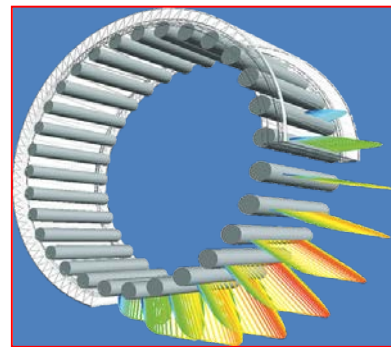
图 10.7 轴的结构



高速精密滚动轴承



球轴承接触区域



滚子轴承接触区域

# ◆ 材料、热处理及用途

1) 套圈及滚动体：特有的抗接触疲劳材料体系，  
淬硬表面>HRC60

|      |   |                                         |       |
|------|---|-----------------------------------------|-------|
| 一般工业 | { | GCr15 (42100)                           | —普通   |
|      |   | 9Cr18 (440C)                            | —不锈钢  |
| 航空工业 | { | 8Cr4Mo4V (M50)                          | —高温   |
|      |   | G13Cr4Mo4Ni4V (M50NiL)                  | —高温   |
| 军民两用 | { | 氮化硅陶瓷 (Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> ) | —特殊环境 |
|      |   | 高氮钢 (Cronidur 30)                       | —不锈钢钢 |

2) 保持架

低碳钢

合金钢

铜

夹布胶木

高聚物

复合材料

## ◆特点（与滑动轴承相比）

- 1) 摩擦系数小,  $f=0.001\sim0.004$ , 效率高
- 2) 启动灵活, 控制等方便
- 3) 润滑容易
- 4) 标准化、互换, 维护容易
- 5) 但抗冲击差, 重载能力差（点或者线接触）
- 6) 有限寿命（高速时离心力和发热尤其严重）
- 7) 径向尺寸大
- 8) 很难做成剖分式（目前德国可以做到）

## ◆尺寸范围

- 1) 微小型:  $< \phi 10\text{mm}$
- 2) 通用型:  $\phi 10\sim \phi 500\text{mm}$
- 3) 大型或特大型:  $> \phi 500\text{mm}$

# 11.2 滚动轴承的类型和选择

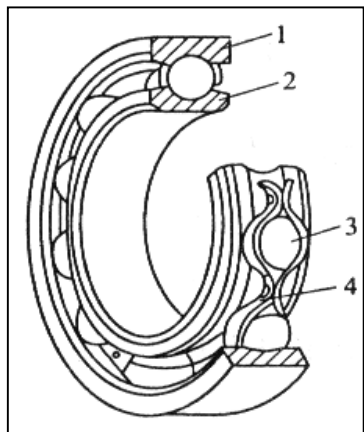
## 11.2.1 滚动轴承的类型

◆ 按滚动体的形状

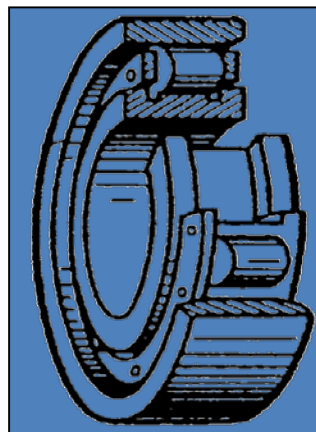


球轴承

滚子轴承



球轴承



滚子轴承



# ◆ 按公称接触角 $\alpha$ 分类:

**公称接触角 $\alpha$ :** 滚动体与套圈滚道接触点的法线和轴承径向的夹角

- 1) 向心轴承 { 径向接触轴承( $\alpha = 0^\circ$ ) , 如图(a)、(b)  
向心角接触承( $0^\circ < \alpha < 45^\circ$ ) , 如图(e) (f)
- 2) 推力轴承 { 轴向接触轴承( $\alpha = 90^\circ$ ) , 如图(c)  
推力角接触轴承( $45^\circ < \alpha < 90^\circ$ ) , 如图(d)

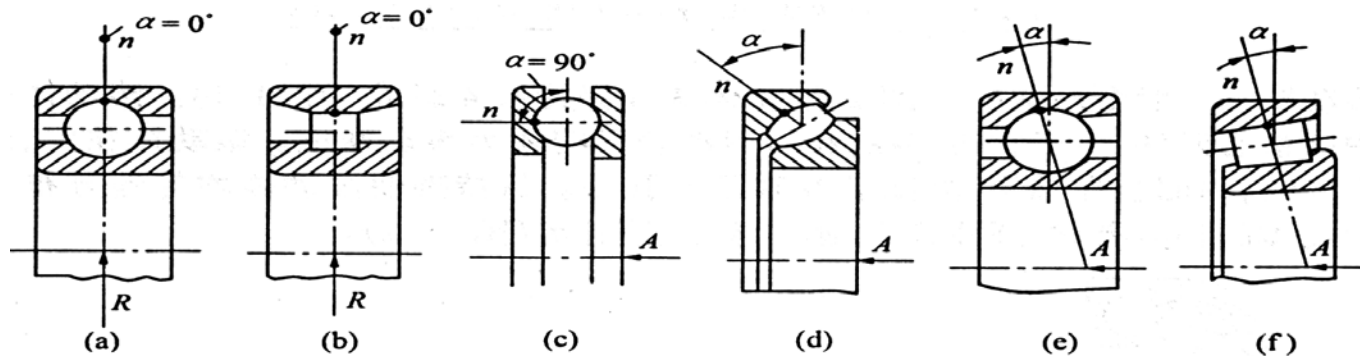


图 11.3 滚动轴承接触角

# ◆ 滚动轴承的组装与允许偏位角（补充）

轴承装配三维动画



轴承装配



偏位角：内圈相对于外圈的极限偏转角

表11.1 常用轴承的主要类型和特性

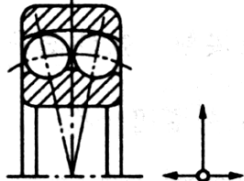
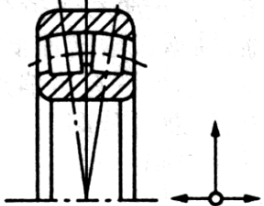
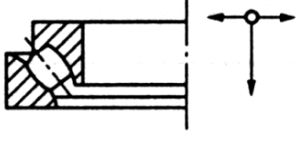
| 轴承名称<br>类型代号  | 结构简图                                                                              | 承载方向 | 极限转速 | 允许偏位角                        | 主要特性和应用                                                                                                |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 调心球轴承<br>1    |  | 中    | 中    | $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$   | <p>主要承受径向载荷, 同时也能承受少量的轴向载荷</p> <p>因为外圈滚道表面是以轴承中点为中心的球面, 故能调心</p> <p>允许偏转角为在保证轴承正常工作条件下内、外圈轴线间的最大夹角</p> |
| 调心滚子轴承<br>2   |  | 低    | 低    | $0.5^{\circ} \sim 2^{\circ}$ | <p>能承受很大的径向载荷和少量轴向载荷, 承载能力较大</p> <p>滚动体为鼓形, 外圈滚道为球面, 因而具有调心性能</p>                                      |
| 推力调心滚子轴承<br>2 |  | 低    | 低    | $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$   | <p>能同时承受很大的轴向载荷和不大的径向载荷</p> <p>滚子呈腰鼓形, 外圈滚道是球面, 故能调心</p>                                               |

表11.1 常用轴承的主要类型和特性 (续)

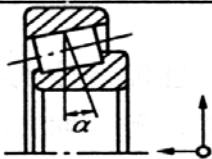
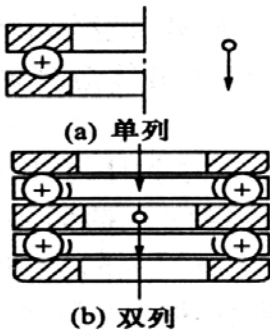
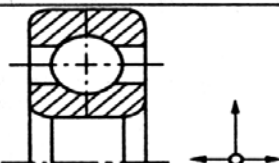
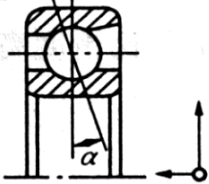
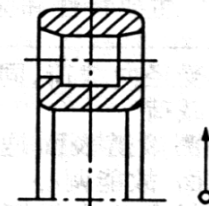
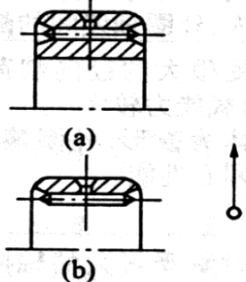
|             |                                                                                   |   |          |                                                                                                                                                                   |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 圆锥滚子轴承<br>3 |  | 中 | 2'       | 能同时承受较大的径向、轴向联合载荷,因为是线接触,承载能力大于“7”类轴承<br>内、外圈可分离,装拆方便,成对使用                                                                                                        |
| 推力球轴承<br>5  |  | 低 | 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<br>具体有两种类型:<br>单列——承受单向推力<br>双列——承受双向推力<br>高速时,因滚动体离心力大,球与保持架摩擦发热严重,寿命降低,故仅适用于轴向载荷大、转速不高之处<br>紧圈内孔直径小,装在轴上;松圈内孔直径大,与轴之间有间隙,装在机座上 |
| 深沟球轴承<br>6  |  | 高 | 8' ~ 16' | 主要承受径向载荷,同时也可承受一定量的轴向载荷<br>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                                                                                                         |

表11.1 常用轴承的主要类型和特性 (续)

|             |                                                                                   |    |               |                                                                                                                                               |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 角接触球轴承<br>7 |  | 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<br>公称接触角 $\alpha$ 有 $15^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $40^\circ$ 三种, 内部结构代号分别为 C、AC 和 B。通常成对使用, 可以分装于两个支点或同装于一个支点上 |
| 圆柱滚子轴承<br>N |  | 较高 | $2' \sim 4'$  | 能承受较大的径向载荷, 不能承受轴向载荷<br>因是线接触, 内、外圈只允许有极小的相对偏转<br>轴承内、外圈可分离                                                                                   |
| 滚针轴承<br>NA  |  | 低  | 不允许           | 只能承受径向载荷, 承载能力大, 径向尺寸很小, 一般无保持架, 因而滚针间有摩擦, 轴承极限转速低<br>这类轴承不允许有角偏差<br>轴承内、外圈可分离<br>可以不带内圈                                                      |

## ◆ 特种结构滚动轴承（扩展）

---

根据整机设计需要，结构集成或者智能化

## 11.2.2 滚动轴承类型的选择

◆ 选择滚动轴承类型时可参考以下几点：

- (1) 载荷大小、构成、波动情况：载荷大小/冲击
- (2) 工况条件：转速、温度等
- (3) 环 境：温度变化、清洁程度、膨胀等
- (4) 结 构：分离、调心、游动等
- (5) 使用要求：刚度、寿命、价格等

## 11.2.2 滚动轴承类型的选择

(1) 大载荷或有冲击，宜选滚子轴承；载荷小，宜选球轴承

(2) 承受径向载荷 $F_r$ ，或轴向载荷小，选向心轴承

$$\frac{F_a}{F_r} < \frac{1}{3}$$

◆ 承受轴向载荷 $F_a$ ，一般应选推力轴承；

◆ 径向和轴向载荷都大，选角接触轴承或者圆锥滚子轴承

(3) 转速高，球轴承； 转速低，滚子轴承、球轴承

## 11.2.2 滚动轴承类型的选择

- (4) 当要求支承具有较大刚度时，应选滚子轴承。
- (5) 当轴的挠曲变形大或轴承座孔不同、跨度大而对支承有调心要求时，应选调心轴承。
- (6) 便于轴承装拆和游动，可选内、外圈分离的轴承
- (7) 价格：球轴承比滚子轴承便宜，低精度轴承比高精度轴承便宜，普通结构轴承比特殊结构的轴承便宜

# 11.3 滚动轴承代号(标准化、系列化、专业化生产)

代号由三部分构成：前置代号、基本代号、后置代号

表 11.2 滚动轴承代号的构成

| 前置代号    | 基本代号 |        |      | 后 置 代 号 |                |              |          |        |       |      |    |
|---------|------|--------|------|---------|----------------|--------------|----------|--------|-------|------|----|
| 成套轴承分部件 | 类型代号 | 尺寸系列代号 | 内径代号 | 内部结构代号  | 密封、防尘与外圈形状变化代号 | 保持架结构及材料变化代号 | 轴承材料变化代号 | 公差等级代号 | 游隙组代号 | 配置代号 | 其他 |
|         |      |        |      |         |                |              |          |        |       |      |    |

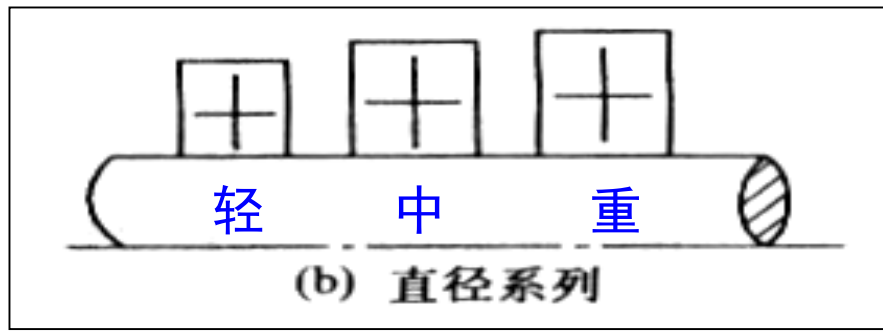
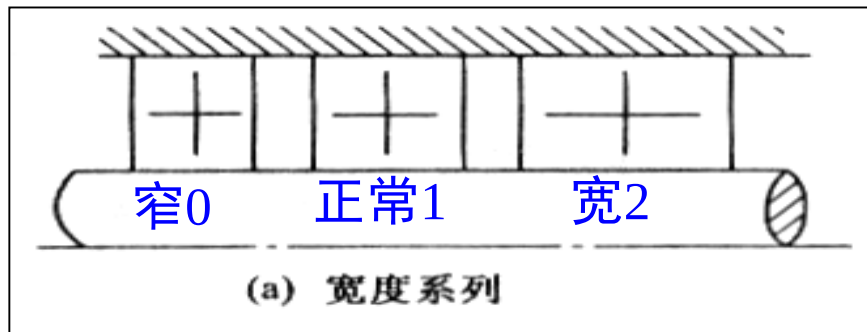
# 1. 类型代号, 占1~2位

## 滚动轴承主要类型代号表

| 轴承类型     | 代号 | 轴承类型     | 代号 |
|----------|----|----------|----|
| 双列角接触球轴承 | 0  | 角接触球轴承   | 7  |
| 双列调心球轴承  | 1  | 推力滚子轴承   | 8  |
| 双列调心滚子轴承 | 2  | 推力圆锥滚子轴承 | 9  |
| 推力调心滚子轴承 | 29 | 圆柱滚子轴承   | N  |
| 圆锥滚子轴承   | 3  | 滚针轴承     | NA |
| 双列深沟球轴承  | 4  | 外球面球轴承   | U  |
| 推力球轴承    | 5  | 直线轴承     | L  |
| 深沟球轴承    | 6  |          |    |

## 2. 尺寸系列代号：占2位，分别是宽度系列与直径系列

| 宽度系列代号 |      |     | 直径系列 |
|--------|------|-----|------|
| 窄 0    | 正常 1 | 宽 2 | 代号   |
| 02     | 12   | 22  | 轻 2  |
| 03     | 13   | 23  | 中 3  |
| 04     | 14   | 24  | 重 4  |



### 3. 内径代号：占两位

| 轴承内径 d/ (mm)                |    | 内径代号                                          | 示例                      |
|-----------------------------|----|-----------------------------------------------|-------------------------|
| 10~17                       | 10 | 00                                            | 深沟球轴承 6201<br>内径 d=12mm |
|                             | 12 | 01                                            |                         |
|                             | 15 | 02                                            |                         |
|                             | 17 | 03                                            |                         |
| 20~495<br>(22、28、32 除<br>外) |    | 用内径除以 5 得的商数表示。<br>当商数只有个位数时，需在十<br>位数处用 0 占位 | 深沟球轴承 6210<br>内径 d=50mm |

## 4. 内部结构代号

| 代号 | 示例                  |                           |          |
|----|---------------------|---------------------------|----------|
| C  | 角接触球轴承              | 公称接触角 $\alpha = 15^\circ$ | 如 7210C  |
| AC | 角接触球轴承              | 公称接触角 $\alpha = 25^\circ$ | 如 7210AC |
| B  | 角接触球轴承              | 公称接触角 $\alpha = 40^\circ$ | 如 7210B  |
|    | 圆锥滚子轴承              | 接触角加大                     | 32310B   |
| E  | 加强型, 改进结构设计, 增大承载能力 |                           | NU207E   |

◆ 轴承游隙(径向或轴向)：一个套圈固定，另一个极限双向移动距离

◆ 游隙代号：游隙Clearance，分1、2、0、3、4、5共六个组别

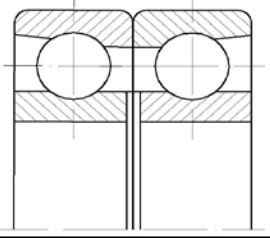
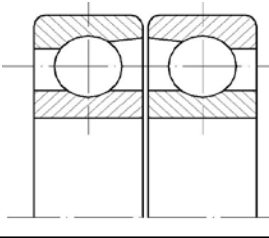
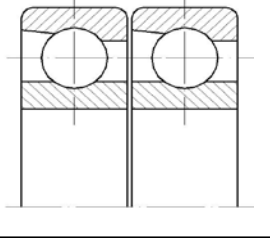
游隙值：小  大

以/C1、/C2、/C3、/C4、/C5为代号，C0组不标注

## 5. 精度等级代号

|       |                           |     |     |     |     |         |
|-------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|---------|
|       | 精度低 $\longrightarrow$ 精度高 |     |     |     |     | 示例      |
|       | /P0                       | /P6 | /P5 | /P4 | /P2 | 6206/P5 |
| 对应旧标准 | G                         | E   | D   | C   | B   | D206    |

## 6. 成对使用的配置代号

| 代号 | /DB                                                                               | /DF                                                                                | /DT                                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 含义 | 背对背安装方式                                                                           | 面对面安装方式                                                                            | 串联安装方式                                                                              |
| 示例 |  |  |  |
|    | <b>7210C/DB</b>                                                                   | <b>7210C/DF</b>                                                                    | <b>7210C/DT</b>                                                                     |

## 7. 轴承代号的编制规则

- (1) 轴承代号按表11. 2所列的顺序从左至右排列。
- (2) 当轴承类型代号用字母表示时, 字母与其后的数字之间应空一个字符。
- (3) 基本代号与后置代号之间应空一个字符, 但当后置代号中有“-”号或“/”号时, 不再留空。
- (4) 在尺寸系列代号中, 位于括号中的数字省略不写
- (5) 公差等级代号中的/P0省略不写。

例如: 7210 C/P5/DF

7 2 10 C /P5 /DF

面对面配置

轴承精度等级为P5级

公称接触角  $\alpha = 15^\circ$

空一个字符

轴承内径  $d = 5 \times 10 = 50\text{mm}$

尺寸系列代号,其中  
宽度类型代号为0,窄系列,省略不写  
直径系列代号为2,轻系列

轴承类型为角接触球轴承

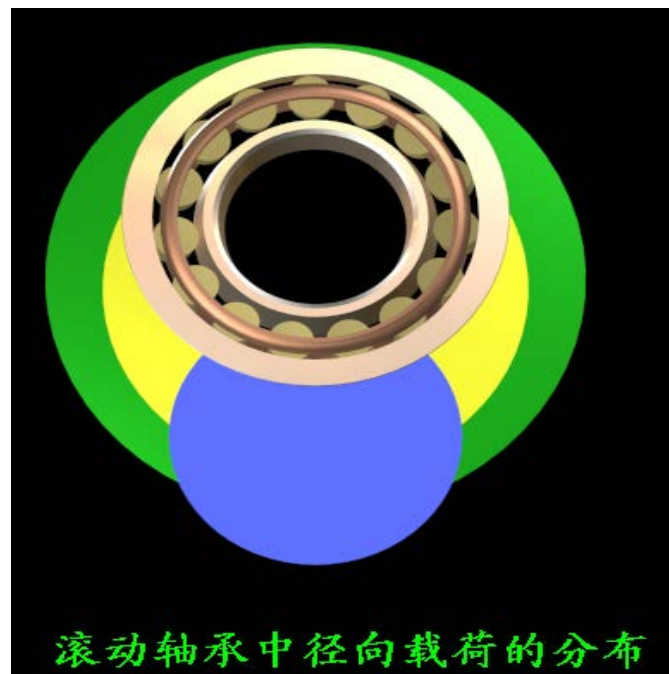
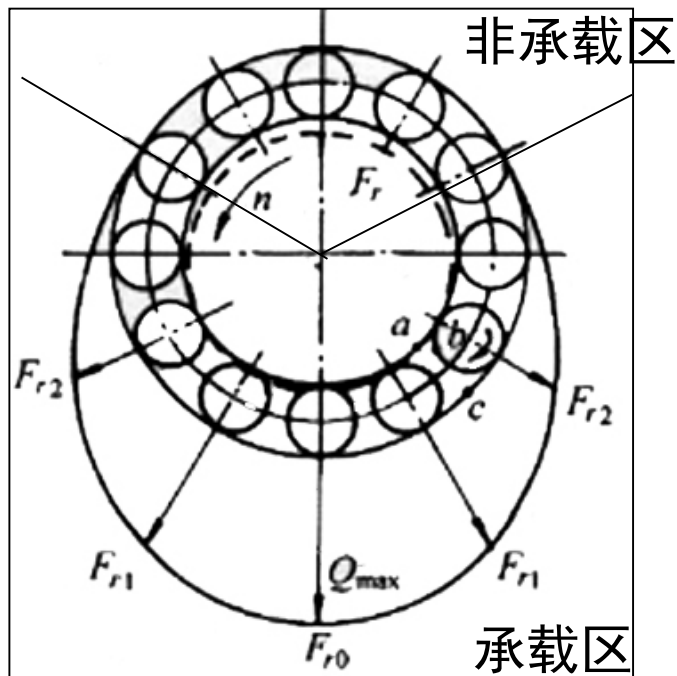
## 11.4 滚动轴承的失效形式和计算准则

### 11.4.1 滚动轴承的失效形式（部位/后果/改进措施）

分清楚哪些是良性的、哪些是恶性的失效？

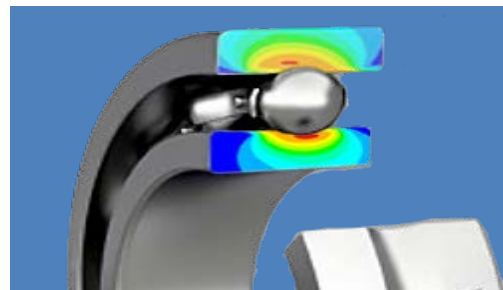
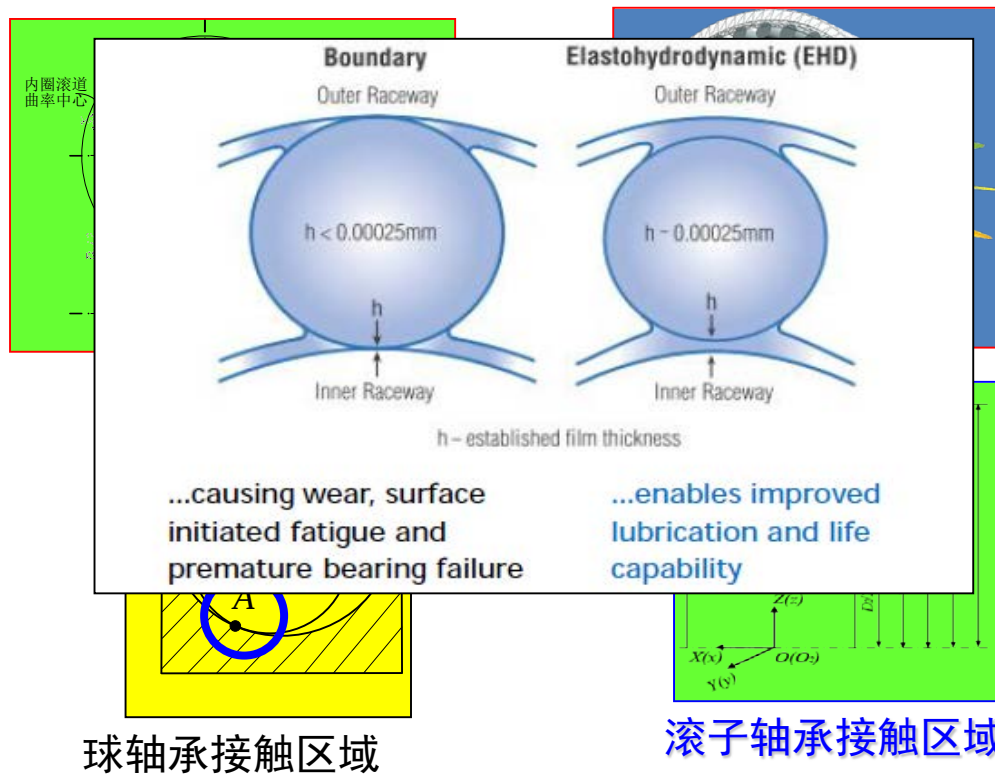
异常失效

- 1) 疲劳点蚀：一般工况下的正常失效，良性渐进性
- 2) 塑性变形：重载、冲击条件下
- 3) 严重磨损：工作区磨粒、冲蚀条件下
- 4) 胶合：环境过热,或高速打滑,表面粘着撕裂、咬死
- 5) 元件断裂：局部受力过大或者卡滞
- 6) 热失稳：高速、润滑不足



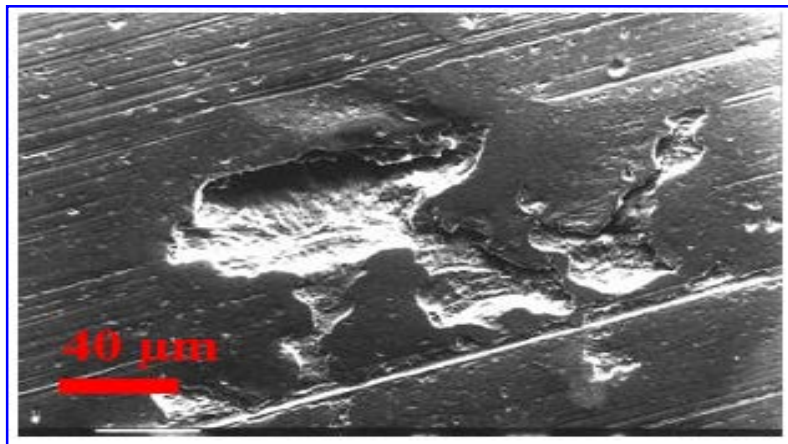
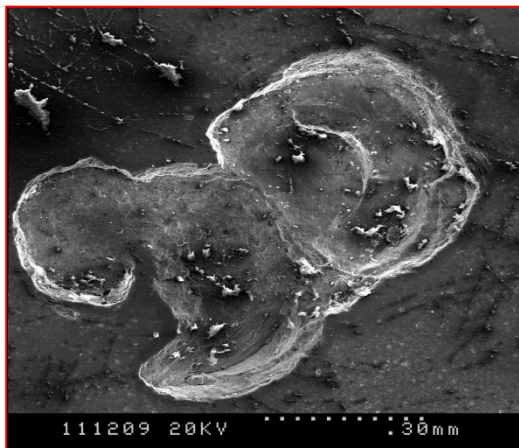
由于轴承内部存在游隙，套圈受载时偏向一侧，存在非承载区

# 11.4 滚动轴承的失效形式和计算准则



受接触区域高载荷、  
高温、疲劳、磨损、胶  
合等失效限制，**轴承是制  
约旋转机械极限转速、承  
载能力、稳定性和可靠性  
的直接原因**

# 1. 疲劳点蚀



## 2. 塑性变形（过大或冲击载荷）



### 3. 严重磨损（磨粒/冲击/胶合等磨损）

---

## 4. 胶合（高温发兰/发黑/冷焊）

---

## 5. 膨胀卡死/元件断裂

---

## 6. 热失稳

---

## 7. 腐蚀



介质腐蚀



电流腐蚀

## 11.4.2 滚动轴承的计算准则

- 1) 转动的滚动轴承，正常使用条件下，**疲劳点蚀**是主要失效形式，**主要计算接触疲劳寿命**，必要时校核**静强度**（如接触应力超过一定值，与材料有关）
- 2) 对于不转动、低速或摆动的轴承，**局部塑性变形**是主要失效形式，**主要计算静强度**
- 3) 对于高速轴承，疲劳、**过热**以至**胶合**是其主要失效形式，**计算疲劳寿命**，**校核极限转速**

## 11.5 滚动轴承的（疲劳）寿命计算

### 11.5.1 基本公式

- ◆ 一批滚动轴承的寿命是离散的，具有统计特征
- ◆ **基本额定寿命 $L_{10}$** ：对于一批相同型号的轴承，在相同的条件下运转，在其中10%的轴承发生失效以前所运转的转数( $\times 10^6 r$ )
- ◆ **基本额定动负荷 $C$** ：轴承工作温度在 $100^\circ\text{C}$ 以下，基本额定寿命 $L=1 \times 10^6 r$ 时，轴承所能承受的最大载荷

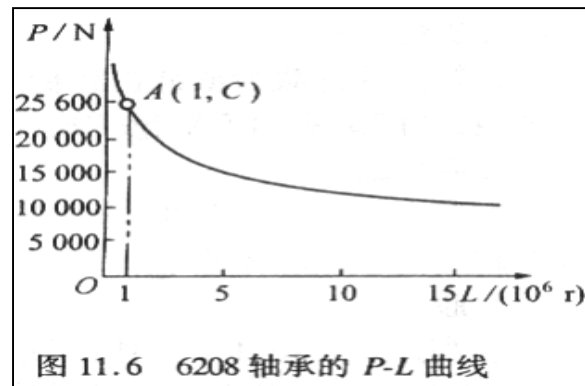
## ◆ 基本额定动负荷C的方向:

- 1) 对于向心轴承, C为径向载荷(Radial Load)
- 2) 对于推力轴承, C为中心轴向载荷(Axial load)
- 3) 对于角接触向心轴承, C为载荷的径向分量

## ◆ 滚动轴承的载荷与寿命之间的关系

$$P^\varepsilon L = \text{常数}$$

$$C^\varepsilon \cdot 1 = P^\varepsilon \cdot L$$

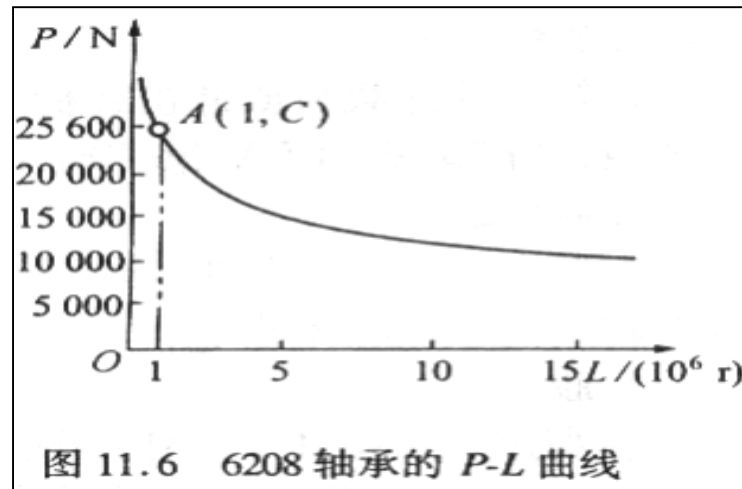


$\varepsilon$  —— 寿命指数: 对于球轴承,  $\varepsilon = 3$ ; 对于滚子轴承,  $\varepsilon = 10/3$

- ◆ 对可靠度 $R=0.9$  (累计失效概率10%)，轴承在当量动载荷 $P$ 作用下的基本额定寿命为 $L_{10}$ ：

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^{\varepsilon}, (\times 10^6 r)$$

$$L_{10, h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^{\varepsilon}, h$$



- ◆ 普通轴承钢GCr15/9Cr18，120℃下使用；180℃下使用时需高温回火（强度有所下降）；超过180℃不能使用

# ◆ 对计算寿命进行修正:

1) 高温超过120℃、有冲击载荷时修正:  $L'_{10, h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{f_T C}{f_P P} \right)^\varepsilon, h$

普通轴承钢高温回火  
(课本中, 正确)

普通轴承钢无法使用  
高温轴承钢无需修正

| 表 11.9 温度系数 $f_T$                                                                                                                |            |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 轴承工作温度 $t/^\circ\text{C}$                                                                                                        | $\leq 105$ | 125  | 150  | 175  | 200  | 225  | 250  | 300  | 350  |
| 温度系数 $f_T$                                                                                                                       | 1.0        | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 0.75 | 0.70 | 0.60 | 0.50 |
| 注: $f_T$ 亦可按下式计算: 当温度 $t \leq 105^\circ\text{C}$ , $f_T = 1$ ; 当 $t = 105 \sim 250^\circ\text{C}$ , $f_T = 150 / (108 + 0.4t)$ 。 |            |      |      |      |      |      |      |      |      |

| 表 11.10 载荷系数 $f_P$ |                        |           |
|--------------------|------------------------|-----------|
| 载荷性质               | 举 例                    | $f_P$     |
| 无冲击或轻微冲击           | 电动机、汽轮机、通风机、水泵         | 1.0 ~ 1.2 |
| 中等冲击               | 车辆、机床、起重机、冶金设备、内燃机、减速器 | 1.2 ~ 1.8 |
| 剧烈冲击               | 破碎机、轧钢机、石油钻机、振动筛       | 1.8 ~ 3.0 |

## ◆ 常用工程领域滚动轴承的推荐寿命

表 11.11 轴承预期寿命  $L_h$  的推荐值

| 机械的种类及其工作情况                                                        | 轴承预期寿命/h         |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|
| 不经常使用的仪器和设备,例如:汽车方向指示器、门窗开闭装置                                      | 500              |
| 航空发动机                                                              | 1 000 ~ 2 000    |
| 短期或间断使用的机械,中断使用不致引起严重后果,例如:轻便手提式工具、农业机械、车间用升降滑车、装配吊车、自动运输设备等       | 4 000 ~ 8 000    |
| 间断使用的机械,中断使用能引起严重后果,例如:发电站辅助设备、供暖降温用电机、流水作业线自动传送装置、带式运输机、不经常使用的机床等 | 8 000 ~ 14 000   |
| 每天 8 h 工作的机械,例如:<br>一般齿轮传动装置                                       | 14 000 ~ 20 000  |
| 固定电机                                                               | 16 000 ~ 24 000  |
| 机床、中间传动轴、一般机械、木材加工机械                                               | 20 000 ~ 30 000  |
| 24 h 连续工作的机械,例如:<br>空压机、水泵、矿山升降机                                   | 50 000 ~ 60 000  |
| 船舶螺旋桨轴推力轴承                                                         | 60 000 ~ 100 000 |
| 24 h 连续工作,中断使用能引起严重后果,例如:纤维和造纸机械、电站主要设备、给排水装置、矿井水泵等                | > 100 000        |

## 2) 对可靠度 $R>0.9$ 的使用, 进行寿命修正 (扩充)

- ◆ 在某些场所, 要求可靠度 $R>0.9$ , 如航空、铁路等
- ◆ 设累计失效概率为 $n$ :

$$L_n = \alpha_1 \bullet L_{10} \quad \text{或者} \quad L_{n,h} = \alpha_1 \bullet L_{10,h}$$

参照: GB/T6391-1995 (与ISO 281-2007不同)

补充: 可靠度不为90%时的额定寿命修正系数 $a_1$  (GB/T6391-1995)

| 可靠度/% | 90       | 95    | 96    | 97    | 98    | 99    |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $L_n$ | $L_{10}$ | $L_5$ | $L_4$ | $L_3$ | $L_2$ | $L_1$ |
| $a_1$ | 1.0      | 0.62  | 0.53  | 0.44  | 0.3   | 0.21  |

| 可靠度/% | 90 | 95   | 96   | 97   | 98   | 99   |
|-------|----|------|------|------|------|------|
| $a_1$ | 1  | 0.64 | 0.55 | 0.47 | 0.37 | 0.25 |

(ISO 281-2007)

# 11.5.2 当量动载荷

对于同时作用有径向载荷和切向载荷时，为了和基本额定动负荷 $C$ 进行比较，将实际载荷折算成与基本额定动负荷的方向相同的一假想载荷，使假想载荷作用下的寿命与实际载荷作用下的寿命相同。

当量动载荷 $P$ 的计算式为

$$P = XF_r + YF_a$$

$F_r$ 、 $F_a$ ——轴承的径向载荷和轴向载荷

$X$ 、 $Y$ ——径向系数和轴向系数

$X$ 、 $Y$ 查取按 $F_a/C_0$ 在表11.12中

表 11.12 向心轴承当量动载荷的  $X$ 、 $Y$  值

| 轴承类型   |                     | $\frac{F_a}{C_0}$ | $e$               | $F_a/F_r > e$     |                    | $F_a/F_r \leq e$  |                    |
|--------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|        |                     |                   |                   | $X$               | $Y$                | $X$               | $Y$                |
| 深沟球轴承  |                     | 0.014             | 0.19              | 0.56              | 2.30               | 1                 | 0                  |
|        |                     | 0.028             | 0.22              |                   | 1.99               |                   |                    |
|        |                     | 0.056             | 0.26              |                   | 1.71               |                   |                    |
|        |                     | 0.084             | 0.28              |                   | 1.55               |                   |                    |
|        |                     | 0.11              | 0.30              |                   | 1.45               |                   |                    |
|        |                     | 0.17              | 0.34              |                   | 1.31               |                   |                    |
|        |                     | 0.28              | 0.38              |                   | 1.15               |                   |                    |
|        |                     | 0.42              | 0.42              |                   | 1.04               |                   |                    |
|        |                     | 0.56              | 0.44              |                   | 1.00               |                   |                    |
| 角接触球轴承 | $\alpha = 15^\circ$ | 0.015             | 0.38              | 0.44              | 1.47               | 1                 | 0                  |
|        |                     | 0.029             | 0.40              |                   | 1.40               |                   |                    |
|        |                     | 0.058             | 0.43              |                   | 1.30               |                   |                    |
|        |                     | 0.087             | 0.46              |                   | 1.23               |                   |                    |
|        |                     | 0.12              | 0.47              |                   | 1.19               |                   |                    |
|        |                     | 0.17              | 0.50              |                   | 1.12               |                   |                    |
|        |                     | 0.29              | 0.55              |                   | 1.02               |                   |                    |
|        |                     | 0.44              | 0.56              |                   | 1.00               |                   |                    |
|        |                     | 0.58              | 0.56              |                   | 1.00               |                   |                    |
|        | $\alpha = 25^\circ$ | —                 | 0.68              | 0.41              | 0.87               | 1                 | 0                  |
|        | $\alpha = 40^\circ$ | —                 | 1.14              | 0.35              | 0.57               | 1                 | 0                  |
|        | 圆锥滚子轴承<br>(单列)      |                   | —                 | $1.5 \tan \alpha$ | 0.4                | $0.4 \cot \alpha$ | 1                  |
| 调心球轴承  |                     | —                 | $1.5 \tan \alpha$ | 0.65              | $0.65 \cot \alpha$ | 1                 | $0.42 \cot \alpha$ |

# 11.5.3 角接触轴承的内部轴向力 $S$

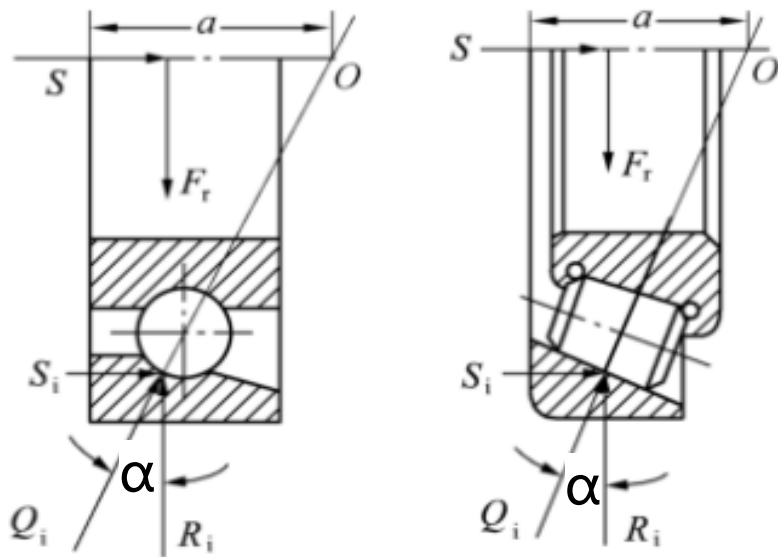


图 11.7 内部轴向力

表 11.13 角接触轴承的内部轴向力  $S$

| 轴承类型 | 角接触球轴承                           |                                   |                                  | 圆锥滚子轴承   |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------|
|      | 7000 C 型 ( $\alpha = 15^\circ$ ) | 7000 AC 型 ( $\alpha = 25^\circ$ ) | 7000 B 型 ( $\alpha = 40^\circ$ ) |          |
| $S$  | $0.4 F_r$                        | $0.7 F_r$                         | $F_r$                            | $F_r/2Y$ |

## 11.5.3 角接触轴承的内部轴向力

设：轴上的轴向力为 $A$ ；  
 轴承1的径向力 $F_{r1}$ ；  
 产生内部轴向力 $S_1$ ；  
 轴承2的径向力 $F_{r2}$ ；  
 产生内部轴向力 $S_2$ ；

取分离体，若：

$$S_1 + A > S_2$$

则轴承2有被压紧的  
 趋势，基体有力 $W$ 支撑，  
 因此，作用在轴承2上的  
 轴向载荷为： $F_{a2} = W + S_2 = A + S_1$

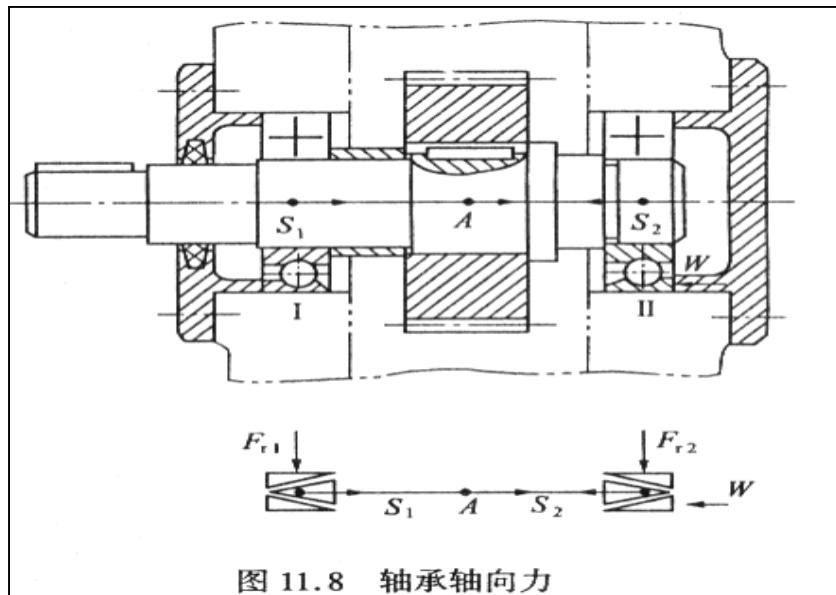


图 11.8 轴承轴向力

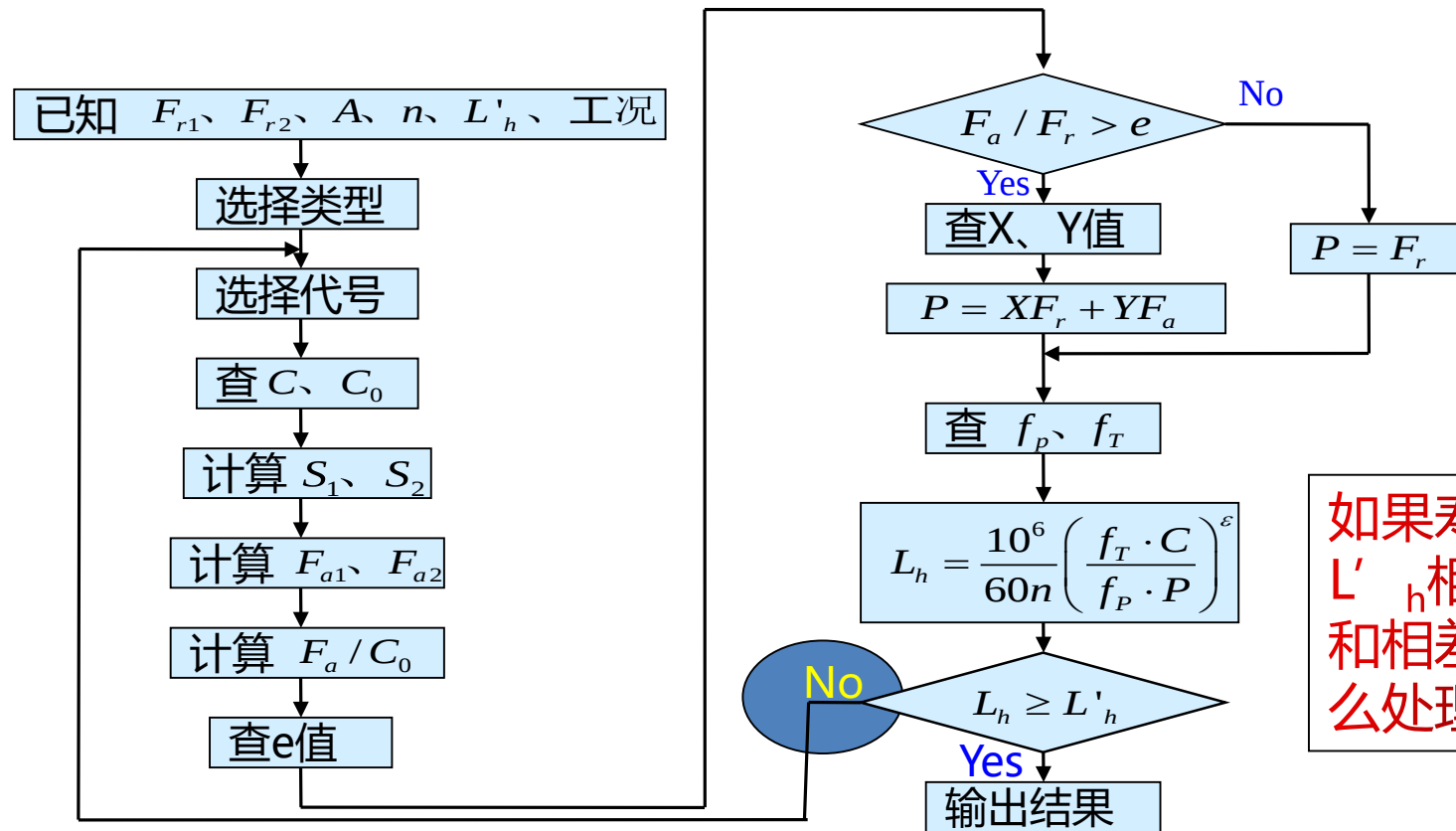
作用在轴承Ⅱ上的轴向载  
 荷只有自身的内部轴向力，  
 即  $F_{a1} = S_1$

## 11.5.3 角接触轴承的内部轴向力

◆ 轴承本身承受轴向力 $F_{ai}$ 的总结（记住）：

- 1、在轴上的轴向载荷和轴承的内部轴向载荷同时作用下，  
有一个轴承有被压紧的趋势，另一个有放松的趋势；
- 2、被放松的轴承的轴向力，等于自身的内部轴向力；
- 3、被压紧的轴承轴向力，等于除自身以外的轴向力之和。

# 11.5.4 轴承寿命计算程序框图



如果寿命 $L_h$ 和 $L'_h$ 相差不大和相差很大怎么处理？

## 11.6 滚动轴承的静强度计算

- ◆ 低速 ( $\leq 10\text{r/min}$ ) 或者静止、摆动的轴承，不容易产生疲劳，但容易产生冲击塑性变形
- ◆ 滚动轴承中受载最大的滚动体与套圈滚道的接触应力为4200MPa (球轴承)、或者4000MPa (滚子轴承) 时的载荷，是轴承的**基本额定静负荷** $C_0$  (P223)  
**ISO 76-2006**

- ◆ 滚动轴承的静强度校核公式为

$$C_0 \geq S_0 P_0$$

$S_0$  —— 静强度安全系数

$P_0$  —— 当量静载荷,  $N$

## 11.6 滚动轴承的静强度计算

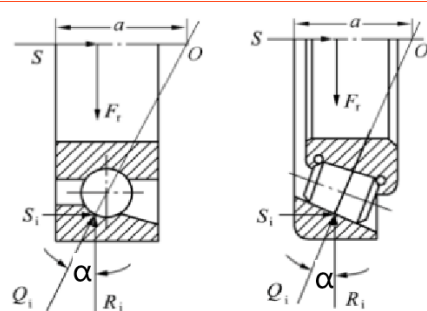
- ◆ 当量静载荷 $P_0$ 是一个假想载荷，其作用方向与基本额定静负荷相同，而在当量静载荷作用下，轴承的受载最大滚动体与滚道接触处的**塑性变形总量**与实际载荷作用下的**塑性变形总量相同**。
- ◆ 对于向心轴承、角接触轴承，当量静载荷取下面两式中计算出的较大值（P223）

$$\begin{cases} P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \\ P_0 = F_r \end{cases}$$

$X_0$ 、 $Y_0$ ——分别为静径向系数和静轴向系数

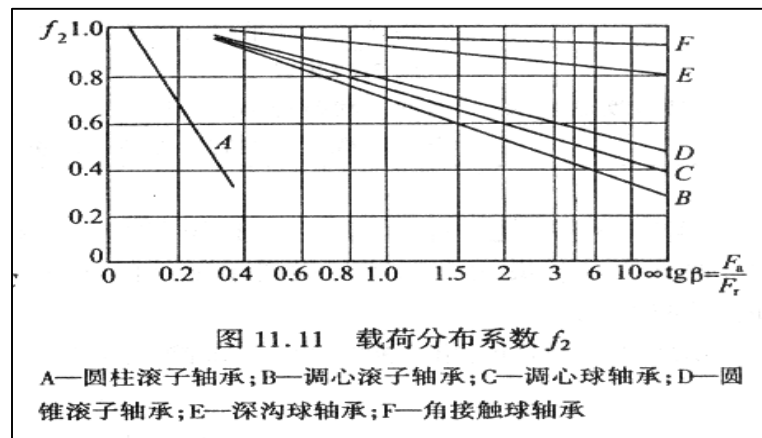
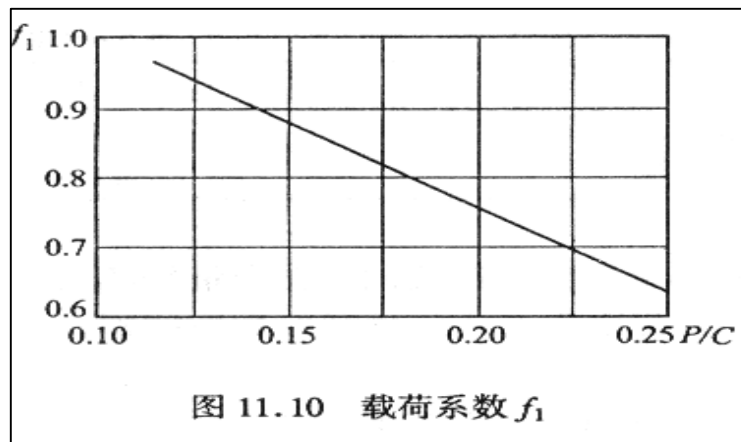
## 11.7 滚动轴承的极限转速

- 滚动轴承的速度特性指标 $dn$ , mm. r/min
- $dn \uparrow$ , 1) 离心力 $\uparrow$ , 接触应力 $\uparrow$ , 寿命 $\downarrow$   
2) 摩擦功耗 $\uparrow$ , 发热胶合 $\uparrow$ ;  
3) 温度升高, 油的黏度 $\downarrow$ , 不易润滑



- 滚动轴承的极限转速:  $n_{lim}$  是指轴承在一定载荷和润滑条件下温度稳定在某个范围内, 所允许的最高转速.
- 当轴承的当量动负荷 $P$ 超过0.1C时, 需将手册中的极限转速乘以小于 $f_1$ 的载荷系数(载荷增大对速度性能和润滑不利)
- 于是, 轴承允许的极限转速为:  $n'_{lim} = f_1 f_2 n_{lim}$

# 11.7 滚动轴承的极限转速



\* 提高极限转速 $n_{lim}$ 的途径：

- 1) 提高轴承精度
- 2) 改用更可靠的润滑条件：滴油、浸油、喷油、油雾、油气
- 3) 采用新材料：陶瓷、青铜保持架、PTFE保持架、空心滚子、合理分担载荷、小滚子

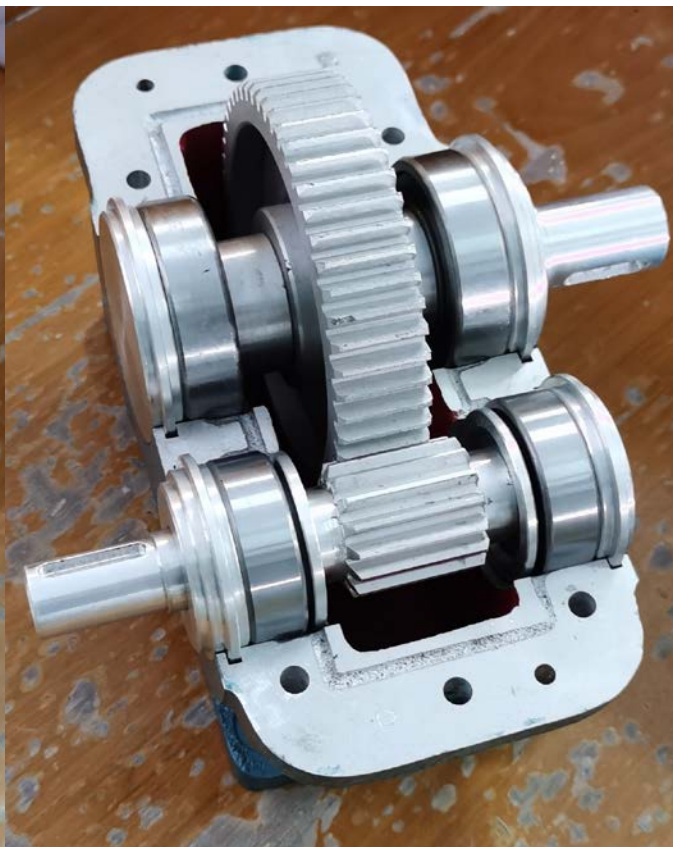
## 11.8 滚动轴承部件结构设计

1、在  
机  
2、滚  
1)

2)

3)

\* 掌握



## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）

### 1. 两端固定支承（向左向右的传力或者力封闭路线）

跨距较小， $l < 300 \sim 350\text{mm}$ （经验）

温度变化较小，热膨胀影响小

轴承外圈与轴承端盖的轴向间隙（不是游隙） $c = 0.25 \sim 0.35\text{mm}$

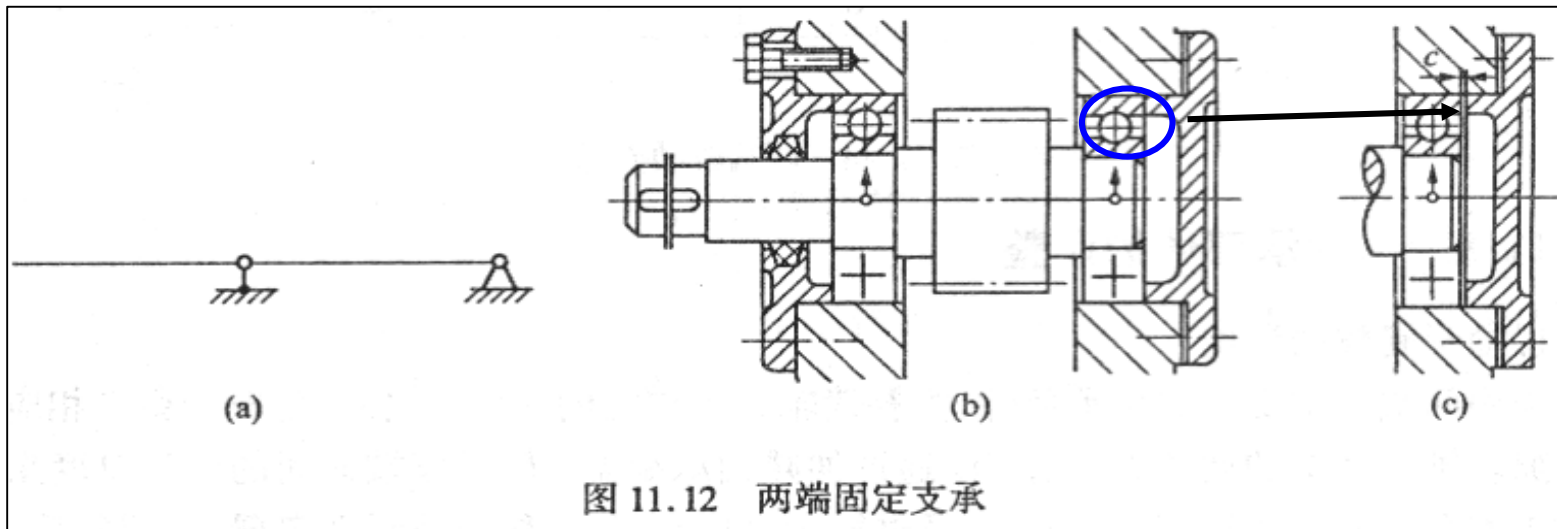
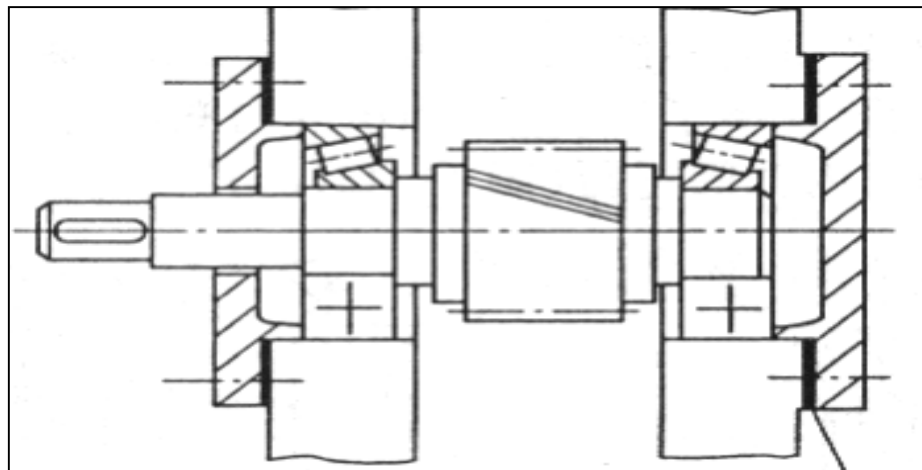


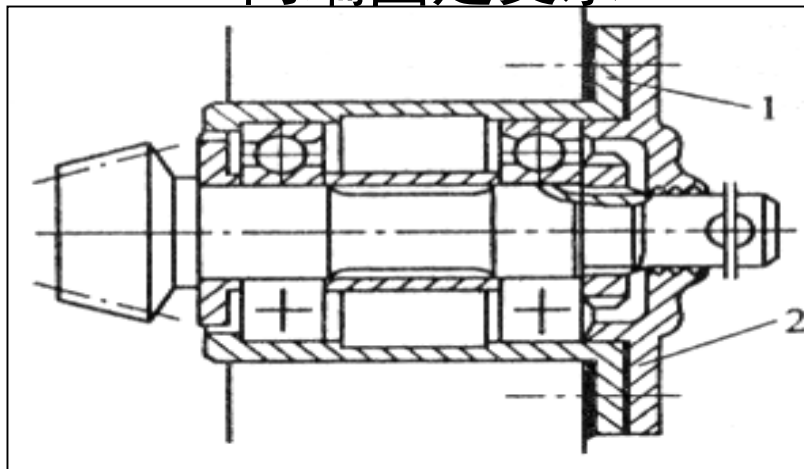
图 11.12 两端固定支承

## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）



两端固定支承

两端固定支承



## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）

### 2. 一端固定、一端游动支承（轴向传力分析）

跨距较大， $l > 300\text{mm}$ ；温度变化较大，热影响大  
 轴向游动距离 $C=2\sim 3\text{mm}$ ，严格的地方，需要计算  
 轴承内、外圈分别与轴、和孔的固定方式  
 对固定端轴承和游动端轴承类型的限制

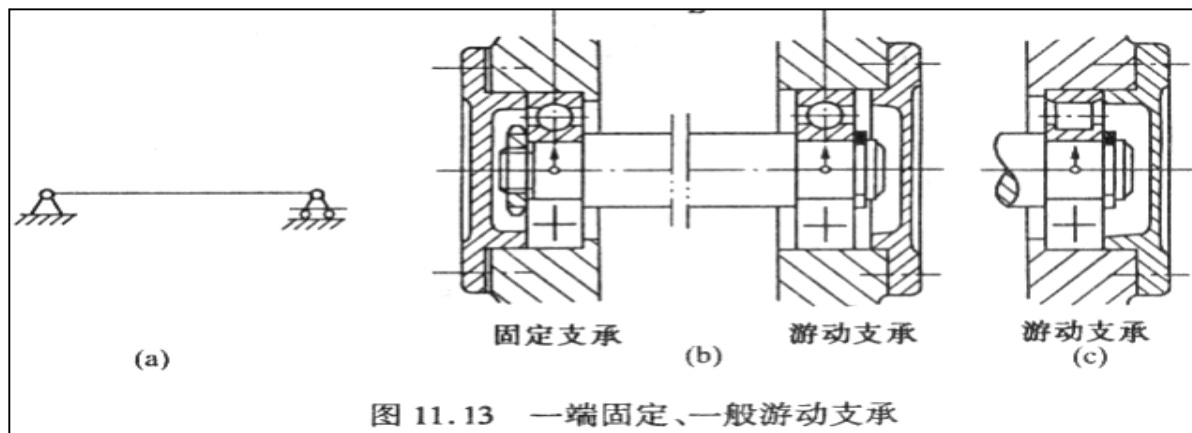


图 11.13 一端固定、一般游动支承

## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）

---

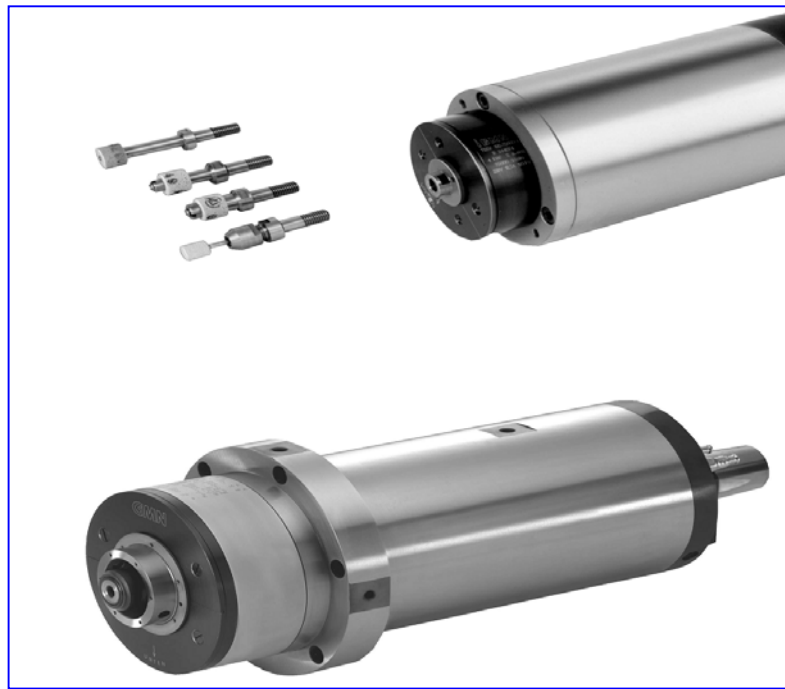
### 短跨距轴系部件游动方案

## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）

---

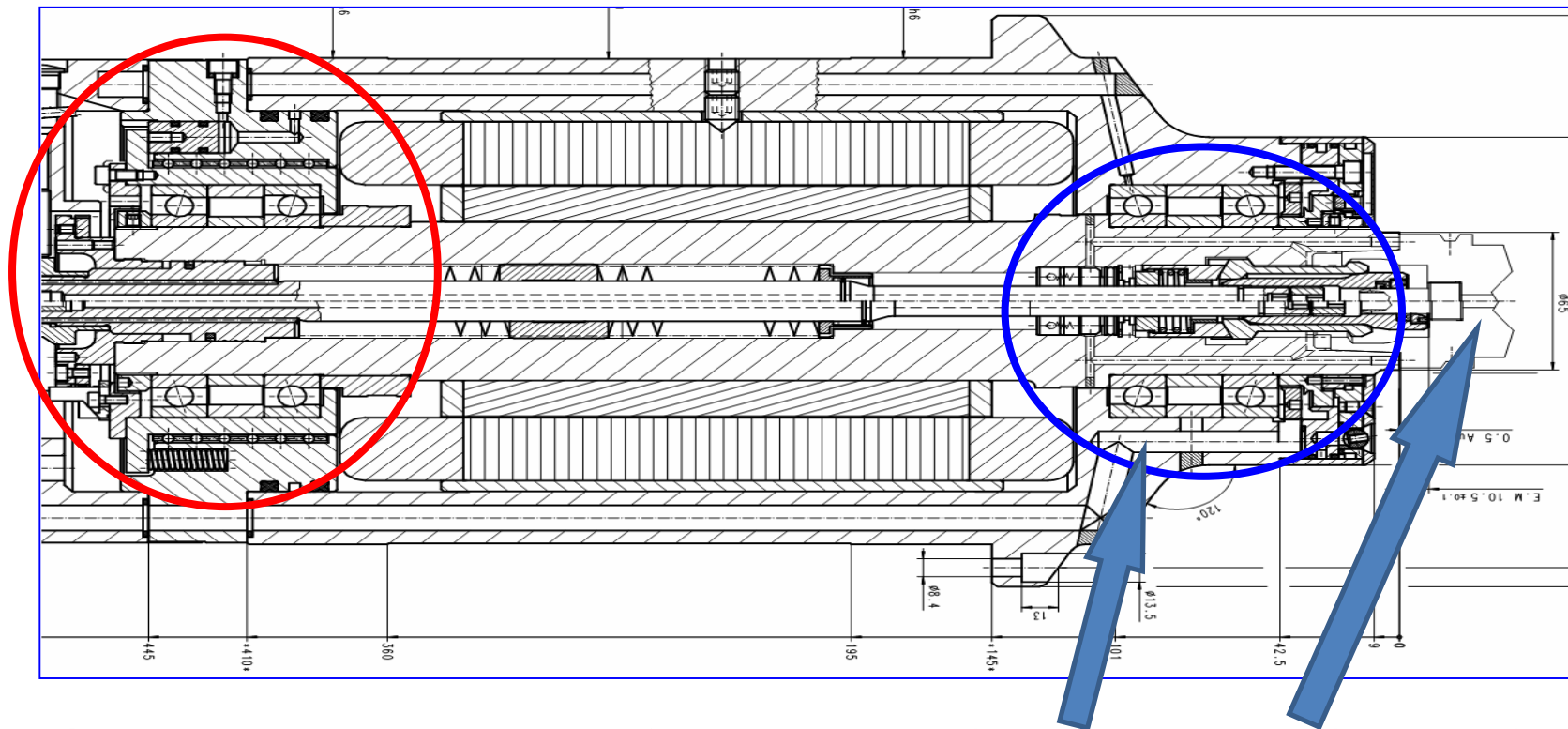
大温差下长跨距的轴系部件游动端  
（内圈与滚动体之间相对运动）

## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）



数控机床动力：内装式电机和主轴——高速高精度主轴单元

## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）



高速高精度主轴单元轴承部件——一端固定（刀柄端）一端游动

## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）

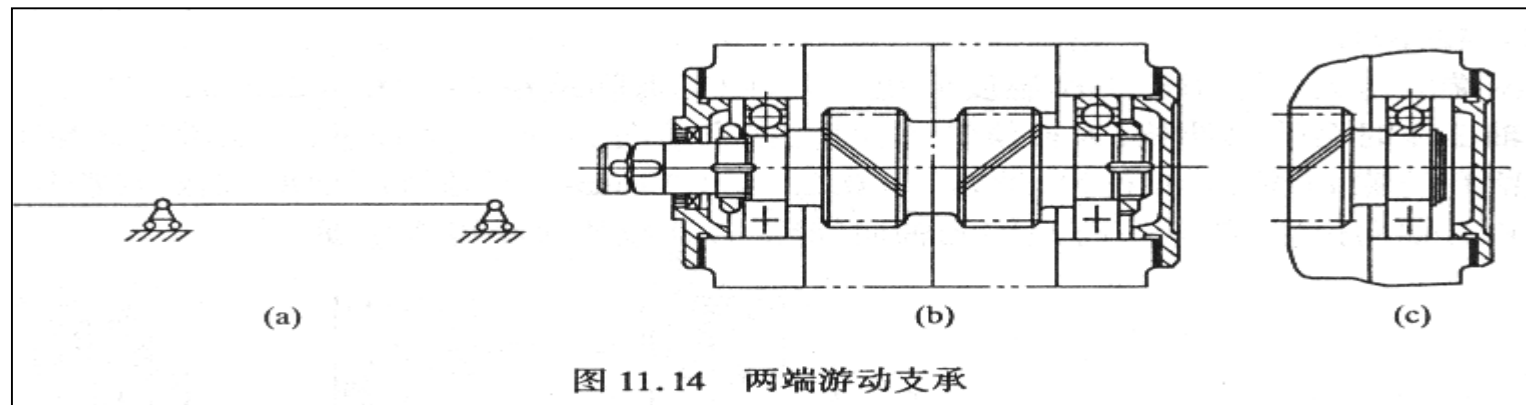
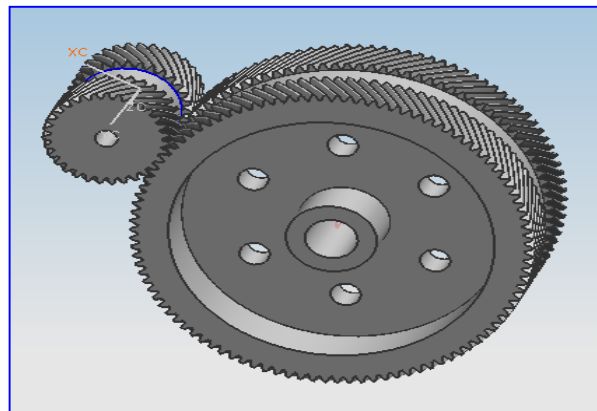
### 3. 两端游动支承

（轴向力如何封闭？）

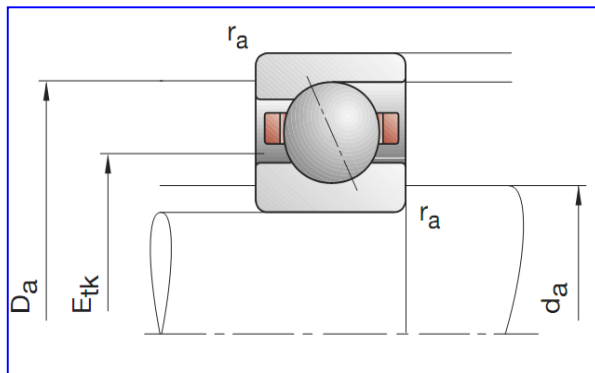
传动件自身定位；

多用于人字齿轮传动；

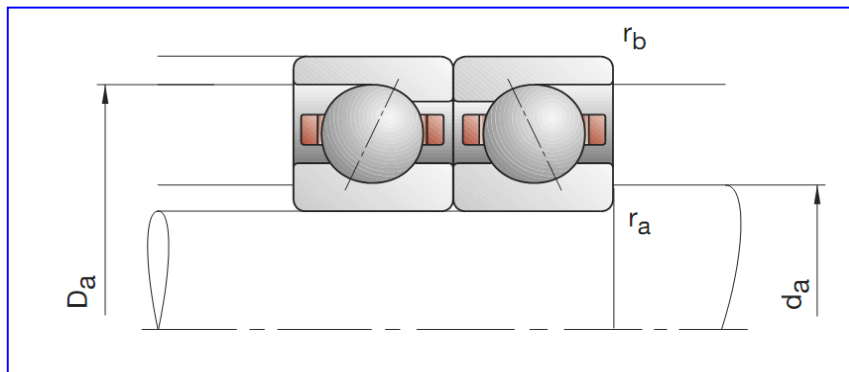
◆ 但大齿轮轴两端必须固定



## 11.8.1 轴承部件的轴向固定（对轴系整体而言）



注意：轴承的安装  
尺寸  $D_a$ 、 $d_a$ 、 $r_a$



## 11.8.2 轴承部件的调整

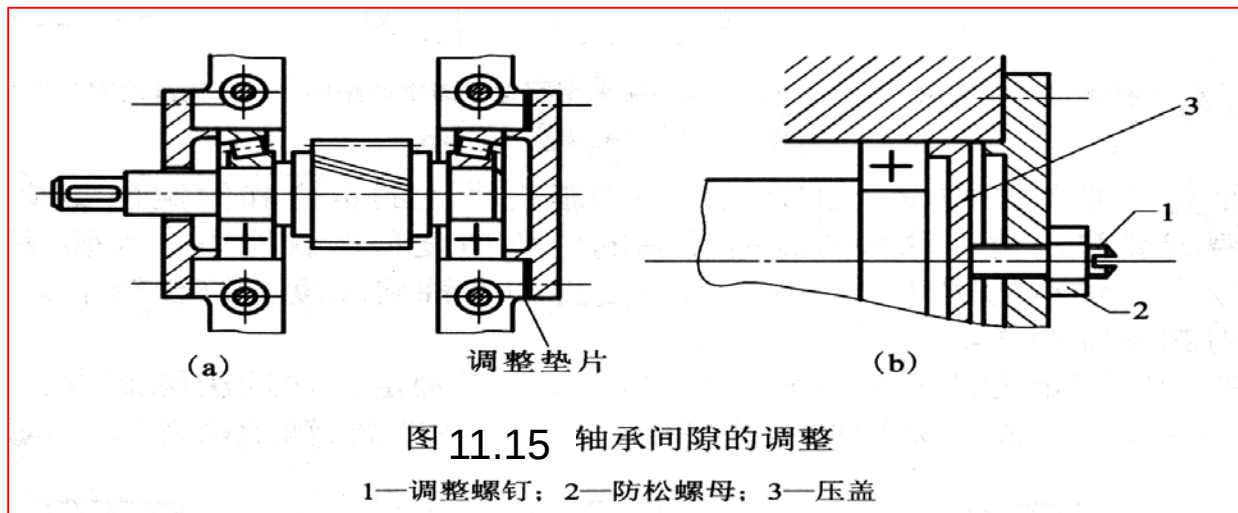
调整的目的：

- 1) 补偿加工误差
- 2) 弥补热膨胀

调整的方法：

- 1) 垫片
- 2) 调整螺钉法

### 1. 轴承间隙的调整（垫片或螺钉）

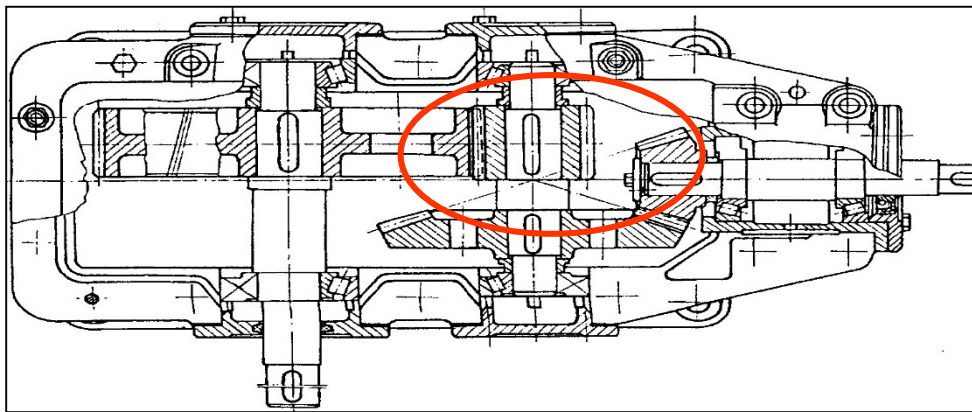


## 2. 轴上传动件位置的调整

(如何兼顾轴承间隙和传动件位置调整：两次调整)

位置需要调整的零件：

- 1) 圆锥齿轮的顶点调整（保证大小锥齿轮顶点重合）
- 2) 蜗杆传动的中间平面调整



# 位置需要调整的零件：

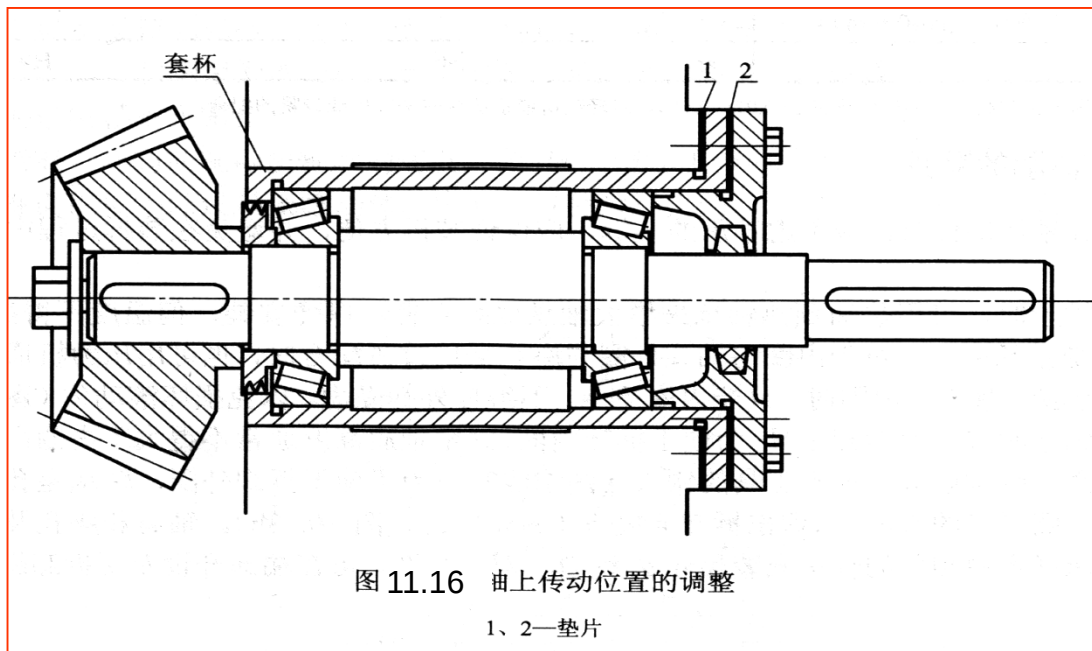
## 1) 圆锥齿轮的锥顶点调整

◆ 两组垫片两种功能

◆ 垫片的功能与顺序

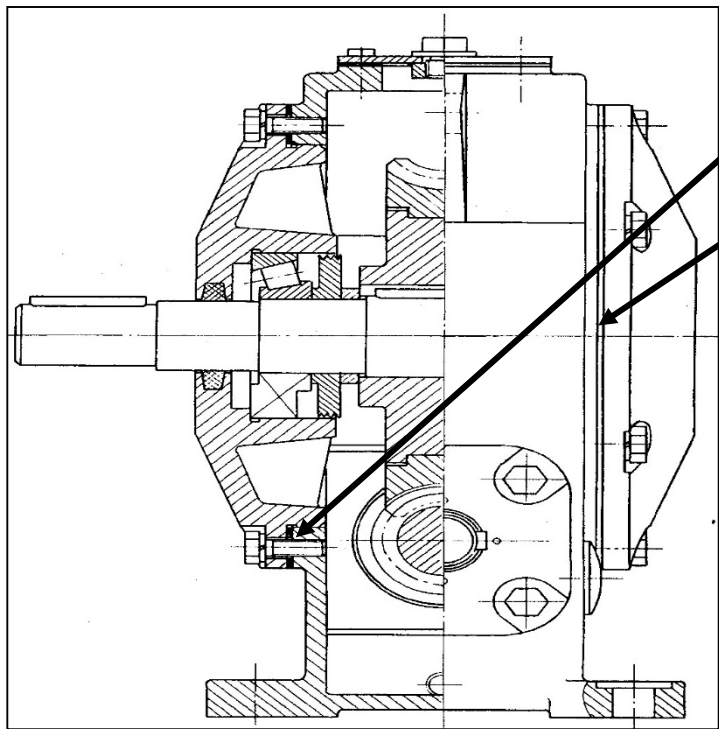
垫片2调轴承间隙

垫片1调锥齿轮顶点



# 位置需要调整的零件：

## 2) 蜗杆传动的中间平面调整

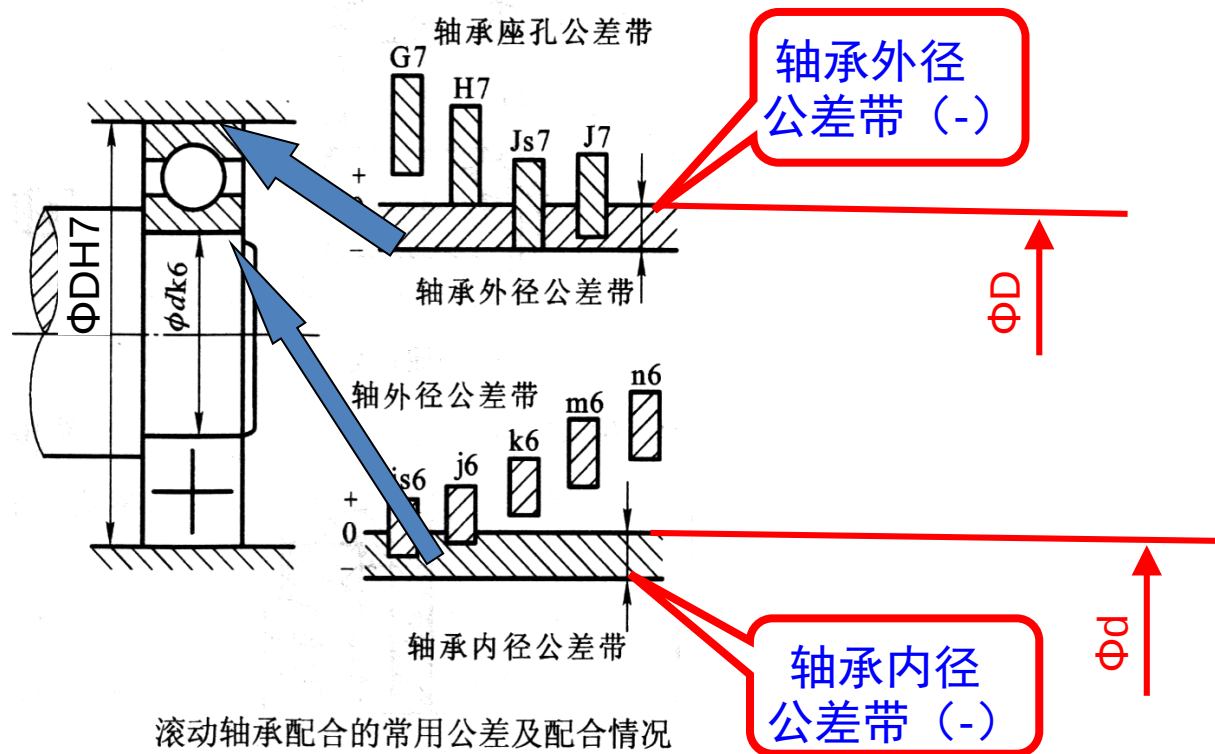


一组垫片两种功能：  
调整中间平面和轴承间隙，两侧垫片厚度怎么分配？

## 11.8.3 滚动轴承的配合

- 1、轴承为标准件：内圈和外圈均为负偏差制，由轴承精度等级决定
- 2、与轴之间为基孔制，与轴承座孔之间为基轴制
- 3、轴承和座孔、和轴的配合只标注座孔或轴的配合代号，轴承本身的公差代号不标注
- 4、一般情况下
  - 1) 外圈与座孔之间采用小间隙的过渡配合，允许非承载区缓慢转动；
  - 2) 内圈与轴之间采用小过盈配合，
  - 3) 高速、大载荷、温升高用过盈配合
  - 4) 游动端轴承确保游动可靠、无卡滞

# 11.8.3 滚动轴承的配合



## 11.8.4 轴承的装拆

- 1、压力装配（需要防止滚动体直接承受装配载荷）
- 2、轴承预热装配
- 3、快速感应加热装置
- 4、螺纹套、油压装配等

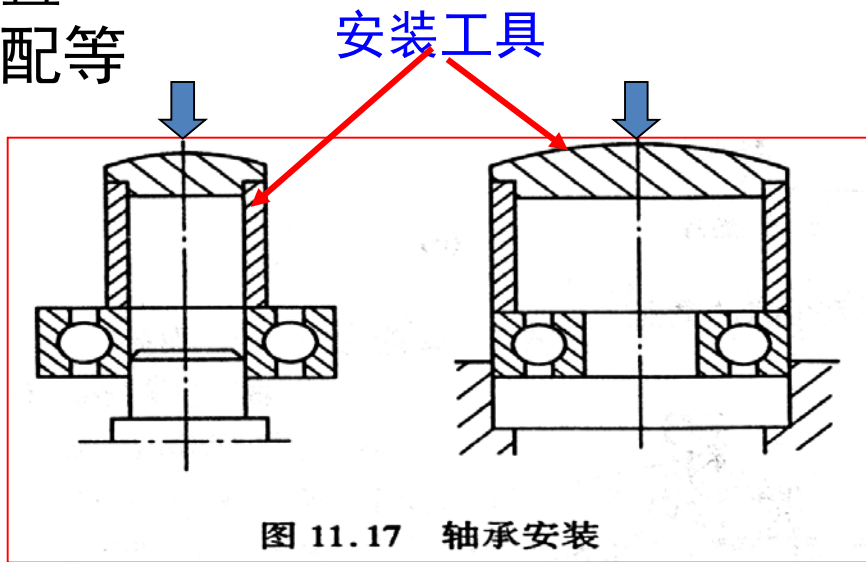
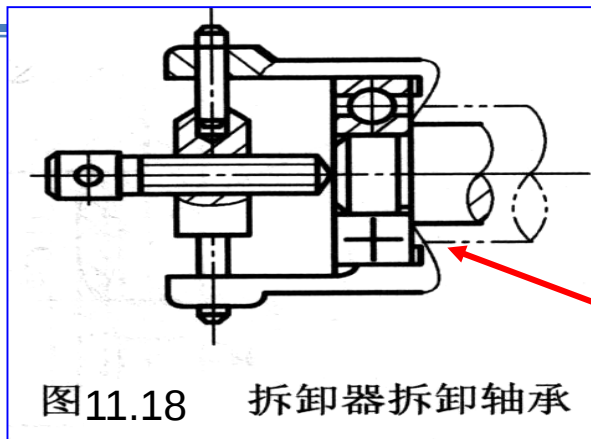


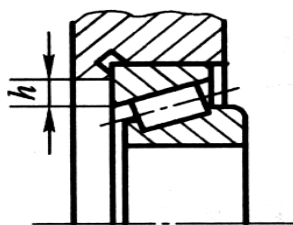
图 11.17 轴承安装

# ◆ 拆卸方法

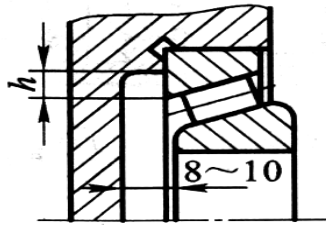


轴肩太高  
无法拆卸

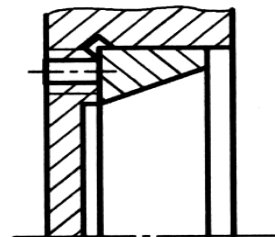
图11.18 拆卸器拆卸轴承



(a)



(b)



(c)

图11.19 拆卸高度

## 11.8.5 滚动轴承的润滑和密封

### 1、滚动轴承的润滑

#### 1) 滚动轴承润滑的目的

- (1) 形成油膜, 减少 $f$ , 使效率损失小
- (2) 带走热量, 降低温度
- (3) 吸振
- (4) 防锈

#### 2) 润滑剂

润滑脂

(占90%, 由 $dn$ 值定)

低速、中温  
高速、高温

润滑油

精制矿物油

合成油

高温氟碳油

燃油直接润滑

### 3) 润滑剂选用及用量

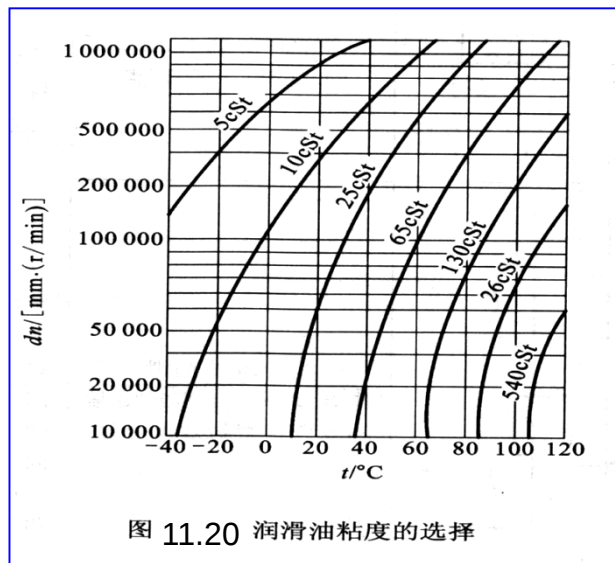
- 1) 重载低速;
- 2) 轻载高速;
- 3) 高温

### 4) 润滑方式

dn  
值  
增  
大  
方  
向  
↓

注脂润滑 (用脂量)  
定期注油/滴油润滑;  
浸油润滑 (油面高度)  
喷油润滑 (用油量)  
油雾润滑 (有污染)  
油气润滑

- 润滑脂的填充量不超过自有空间的1/3-1/2;
- 润滑油的黏度根据dn值选择



## 4) 润滑方式



补充：滚动轴承的油气润滑

## 2. 滚动轴承的密封

- 1) 目的：防止润滑油泄漏；防止异物进入
- 2) 密封方法：
  - (a) 自带密封或者防尘盖——与轴承一体
  - (b) 接触式密封：低速
  - (c) 非接触式密封：高速

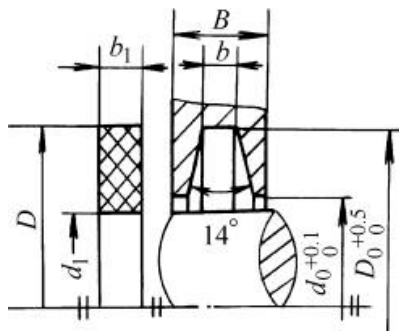
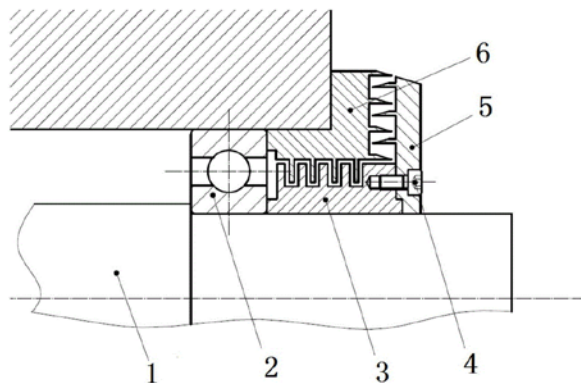
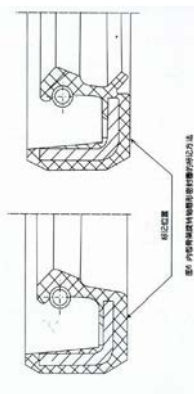
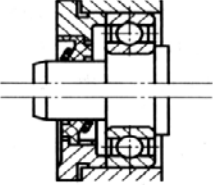
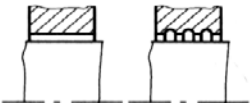
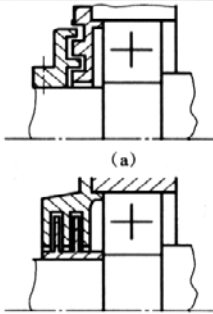


表 11.16 常用的滚动轴承密封型式

| 密封类型 | 图 例                                                                                          | 适用场合                                                                  | 说 明                                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
|      | <br>毛毡圈密封 | 脂润滑。要求环境清洁,轴颈圆周速度 $v$ 不大于 $4 \sim 5$ m/s,工作温度不超过 $90^{\circ}\text{C}$ | 矩形断面的毛毡圈被安装在梯形槽内,它对轴产生一定的压力而起到密封作用 |

## 2. 滚动轴承的密封



| 密封类型   | 图 例                                                                                                                                                                                                            | 适用场合                                                                   | 说 明                                                                                                                                            |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 接触式密封  |  <p data-bbox="1006 418 1112 440">唇形圈密封</p>                                                                                  | 脂或油润滑。轴颈圆周速度 $v < 7 \text{ m/s}$ ，工作温度范围为 $-40 \sim 100^\circ\text{C}$ | 唇形密封圈用皮革、塑料或耐油橡胶制成，有的具有金属骨架，有的没有骨架，是标准件<br>单向密封                                                                                                |
| 非接触式密封 |  <p data-bbox="1016 565 1103 587">间隙密封</p>                                                                                   | 脂润滑。干燥清洁环境                                                             | 靠轴与盖间的细小环形间隙密封，间隙愈小越长，效果越好，间隙 $\delta$ 取 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$                                                                             |
|        |  <p data-bbox="1039 942 1070 964">(a)</p> <p data-bbox="1039 942 1070 964">(b)</p> <p data-bbox="996 975 1112 996">迷宫式密封</p> | 脂润滑或油润滑。工作温度不高于密封用脂的滴点。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）型式，在间隙中充填润滑油或润滑脂以加强密封效果。迷宫式密封分径向、轴向两种：图 a 为径向曲路，径向间隙 $\delta$ 不大于 $0.2 \text{ mm}$ ；图 b 为轴向曲路，因考虑到轴要伸长，间隙取大些，同时轴承端盖应采用两半的 |

# 轴承部件组合设计习题课

## 第五次综合大作业：轴系部件设计

(做完“轴系部件测绘与分析”实验后再做)

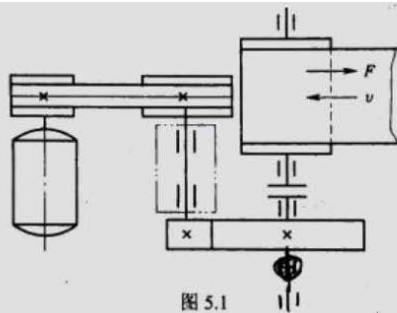
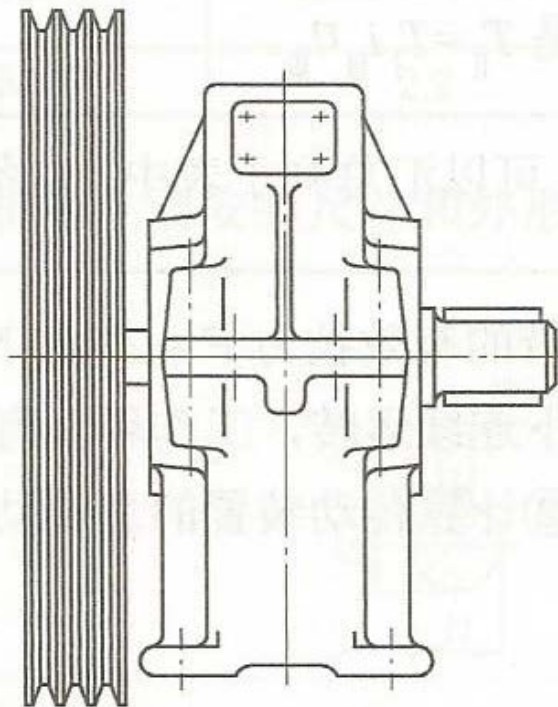


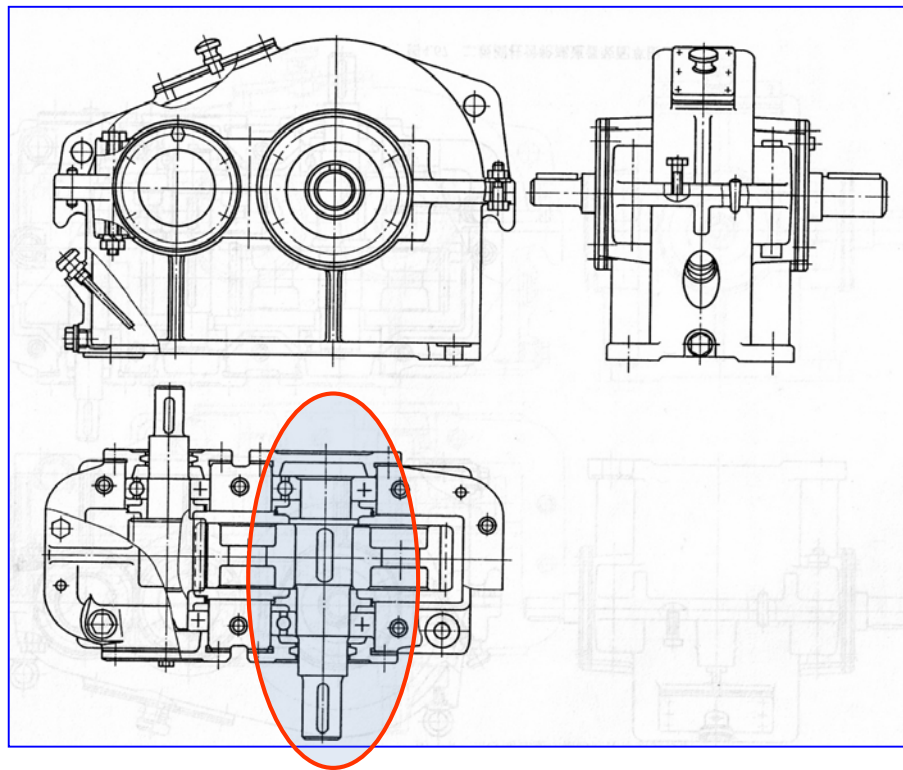
图 5.1

表 5.1 带式输送机中 V 带传动的已知数据

| 方 案   | 电动机工作功率 $P_g/\text{kW}$ | 电动机满载转速 $n_m/(\text{r/min})$ | 工作机的转速 $n_w/(\text{r/min})$ | 第一级传动比 $i_1$ | 轴承座中心高 $H/\text{mm}$ | 最短工作年限  | 工作环境     |
|-------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|---------|----------|
| 5.1.1 | 3                       | 960                          | 90                          | 1.8          | 150                  | 8 年 1 班 | 室外、有尘    |
| 5.1.2 | 4                       | 960                          | 100                         | 2            | 180                  | 3 年 3 班 | 室外、有尘    |
| 5.1.3 | 3                       | 960                          | 110                         | 2            | 180                  | 5 年 2 班 | 室外、有尘    |
| 5.1.4 | 2.2                     | 940                          | 80                          | 2.1          | 160                  | 5 年 2 班 | 室内<br>清洁 |
| 5.1.5 | 3                       | 710                          | 80                          | 2            | 170                  | 3 年 3 班 | 室内<br>清洁 |



## 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计



一级圆柱齿轮减速器

## 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

圆柱齿轮减速器由输入轴部件、输出轴部件和机体组成。

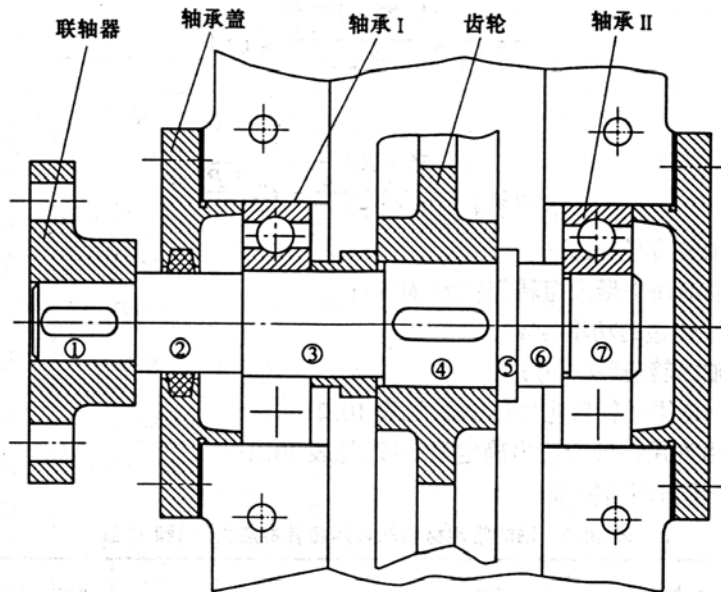
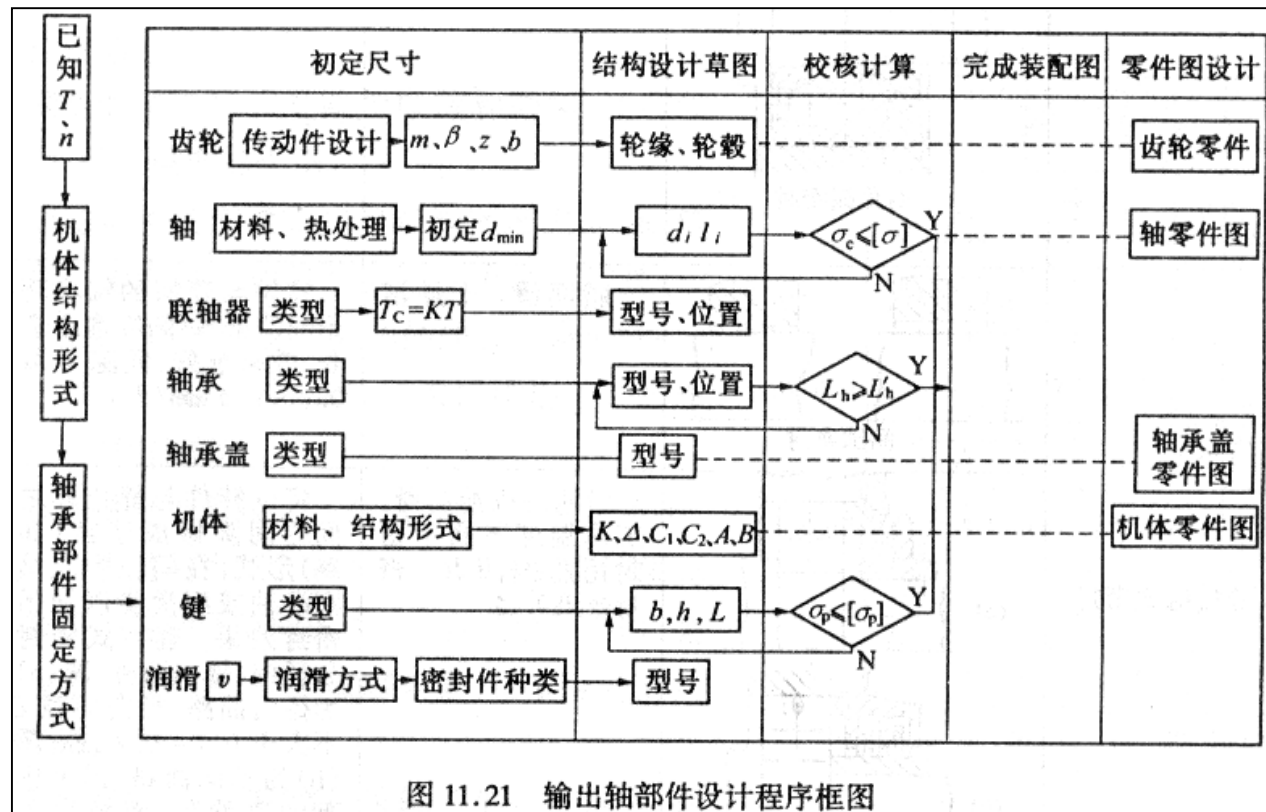
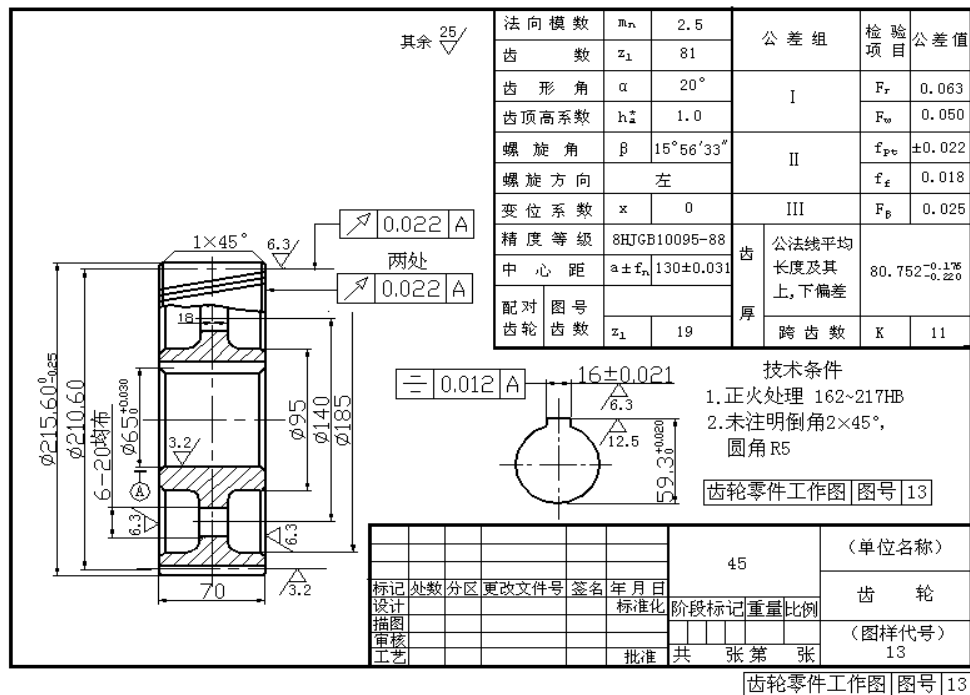


图 10.7 轴的结构

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

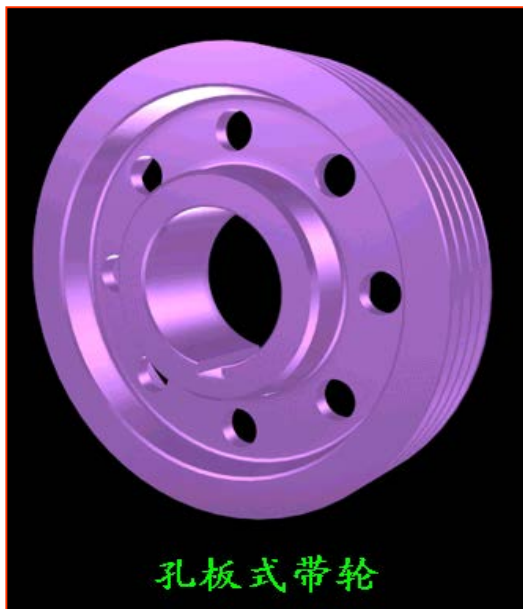


# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

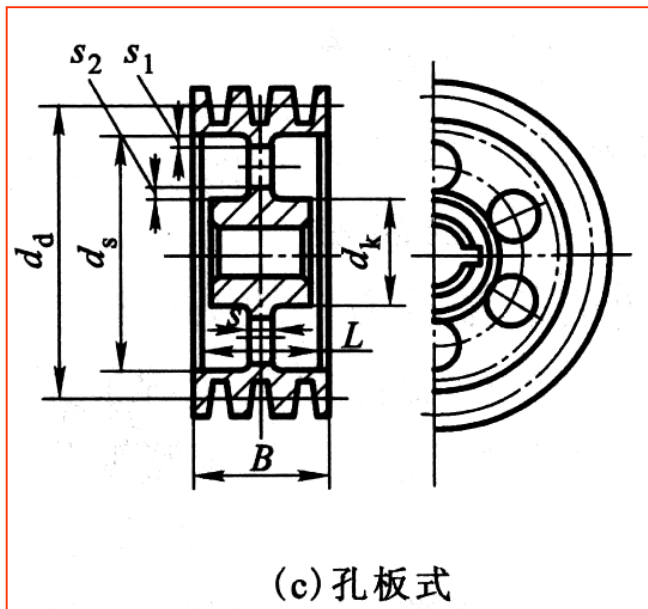


已经设计过的圆柱齿轮：请注意轮缘与轮毂宽度是否一致、轮毂是否偏置（P163）

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计



孔板式带轮



(c) 孔板式

已经设计过的带轮：请注意带轮的安装位置、轮缘与轮毂宽度是否一致、轮毂是否偏置（P107）

## 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

输出轴部件设计过程主要包括：

- (1) 初定尺寸（传动件、轴的最小直径、轴承尺寸等）
- (2) 画结构草图（确定主要零件位置、结构、相互关系、载荷作用点及轴承跨距等）
- (3) 校核计算（强度、刚度、寿命、安全系数、共振转速等）
- (4) 完成部件图设计（确定部件结构、尺寸、定位和固定）
- (5) 完成零件图设计（完成零件加工图设计：尺寸、公差等）

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

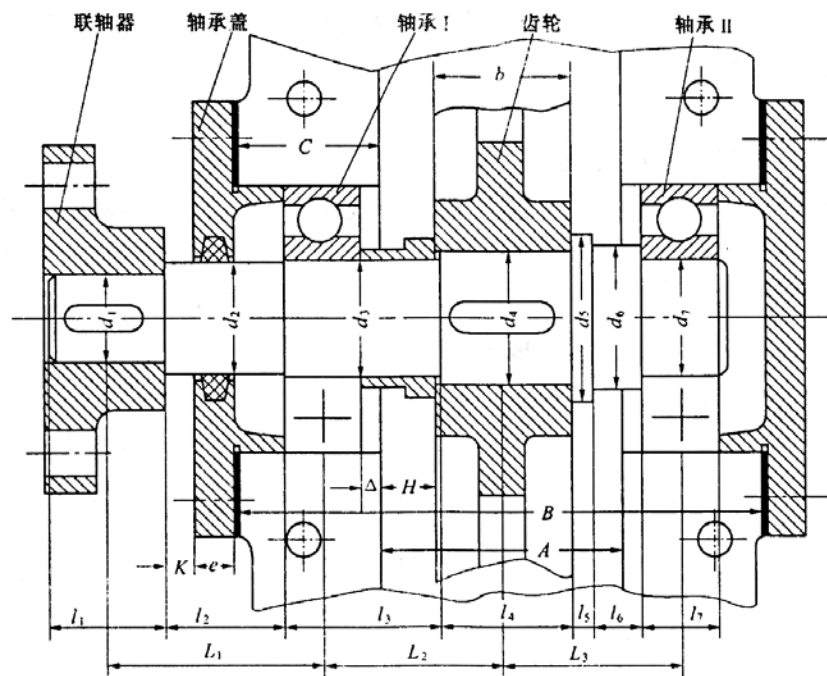


图 10.16 轴的结构设计

已知：

输出轴 $P$ 和 $n$ ；

传动件的 $d$ 、 $b$ 、 $F_t$ 、 $F_r$ 和 $F_a$ ；

寿命：5年2班；

载荷平稳；

大批量生产；

清洁环境；

单向旋转。

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

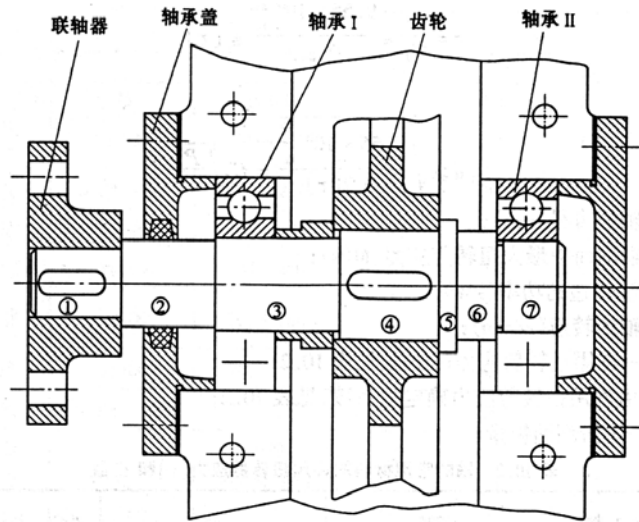


图 10.7 轴的结构

1、轴的材料：常用材料45钢，  
调质处理

2、初算最小轴径：

按扭转强度

$$d_{\min} \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6 \frac{P}{n}}{0.2[\tau]}} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 33.05 \text{ mm}$$

考虑一个键槽影响，加大

$$d_{\min}^{5\%} \geq 33.05 \times 1.05 = 34.7 \text{ mm}$$



# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

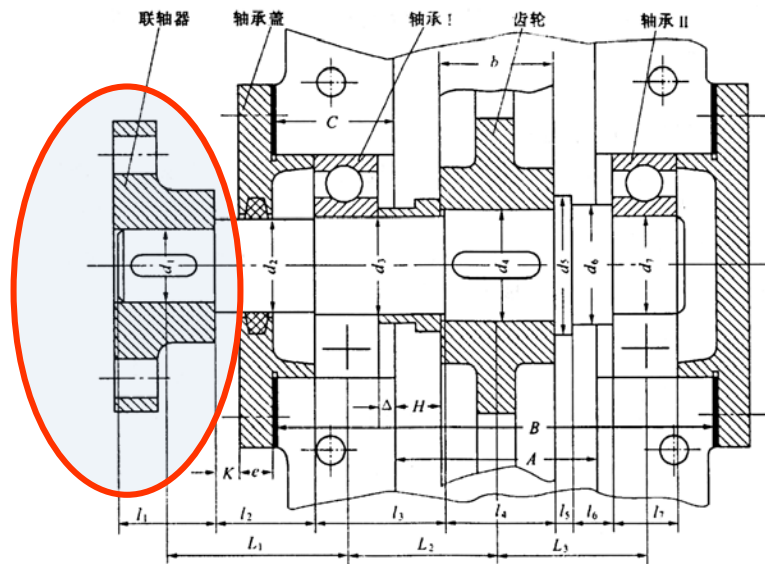
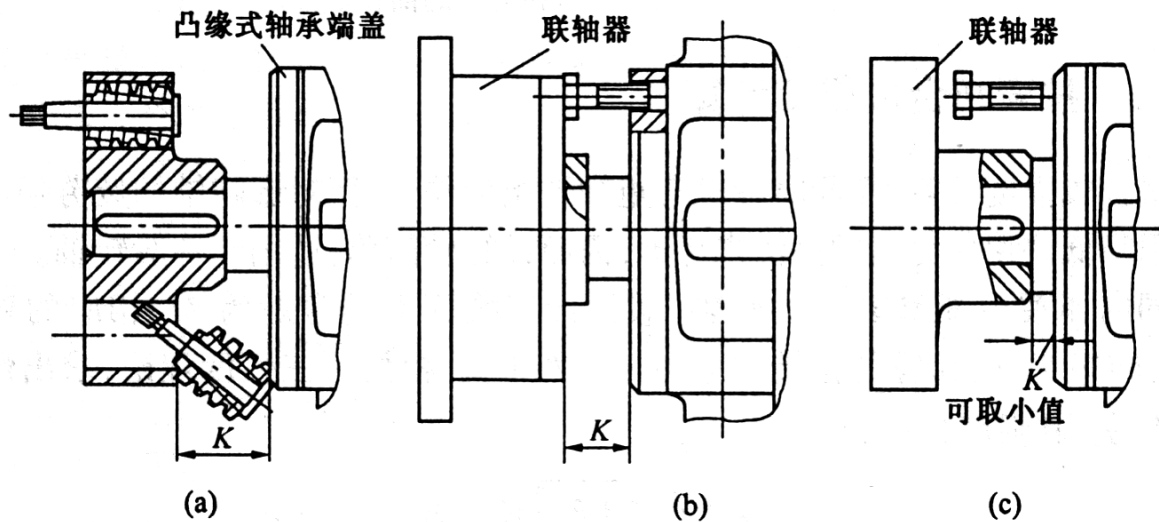


图 10.16 轴的结构设计

2) 根据  $d_{\min} \geq 34.7$  选联轴器。查手册，选弹性柱销联轴器 LX2 (GB/T 5014-2003)，得到半联轴器的孔径  $d_1$  为  $\Phi 35\text{mm}$ ，长度 60mm，轴段长度取 58mm。安装无特殊要求

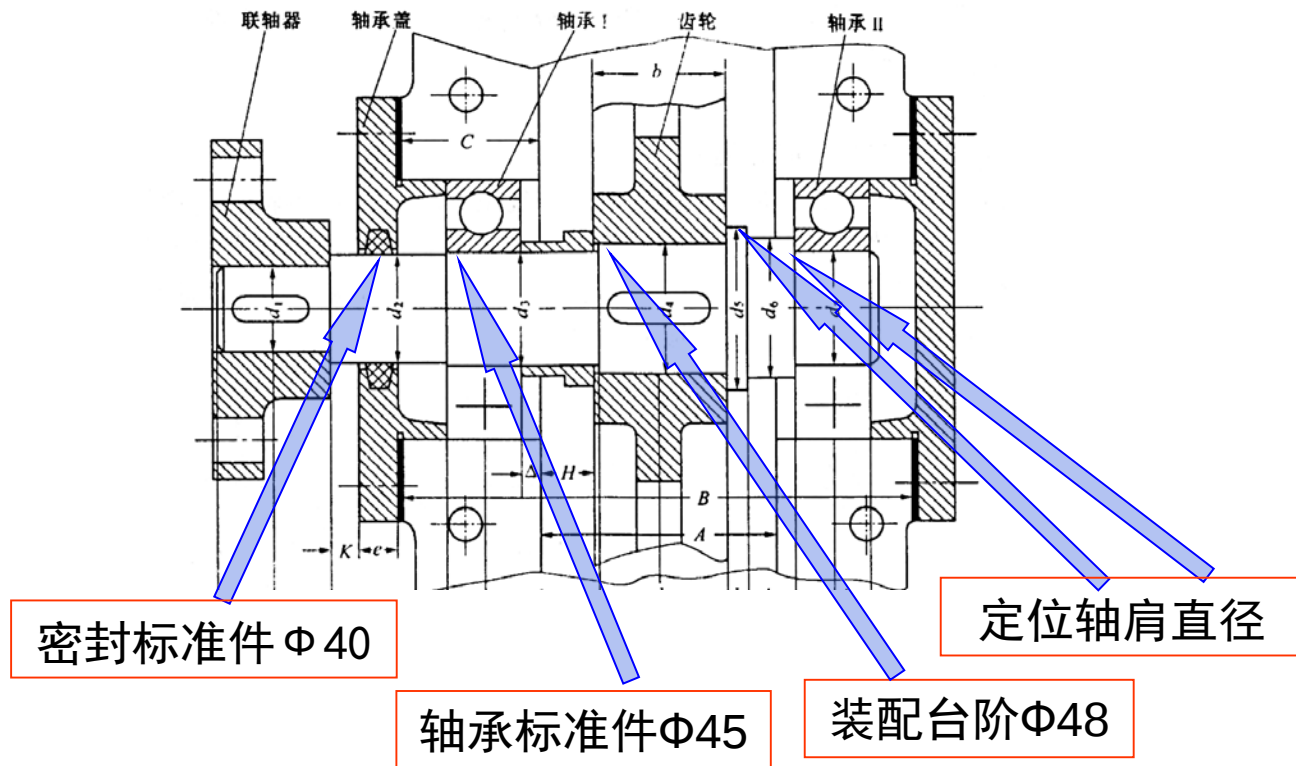
# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计



$K$ 值：安装无特殊要求

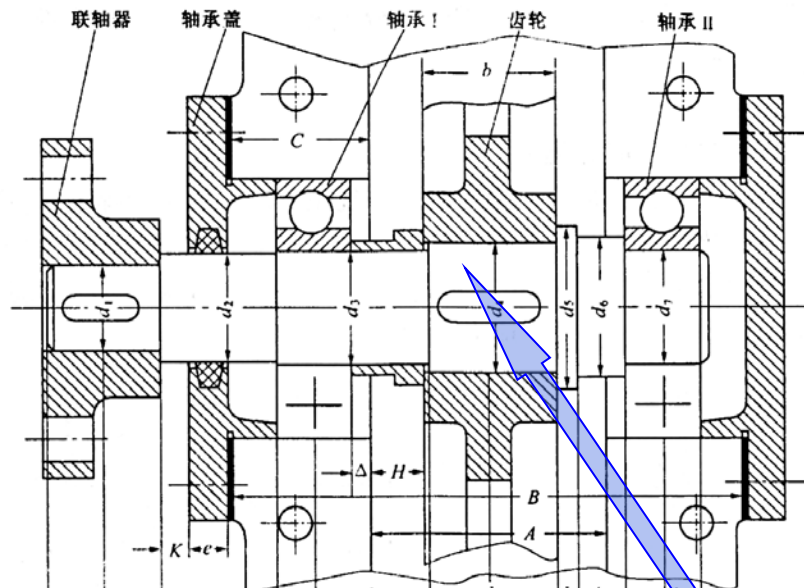
# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

2) 其余轴段 $d_i$ 的确定，由外向内依次按标准件取



# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

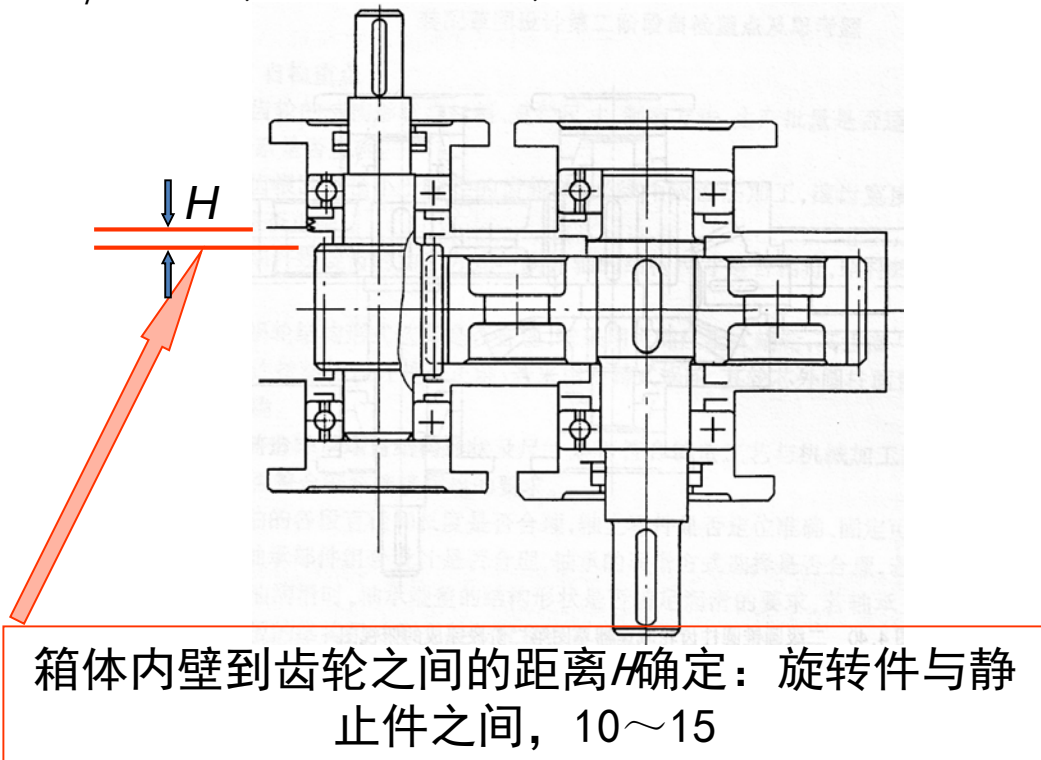
3) 轴段 $L_i$ 的确定，从齿轮开始，由内向外依次确定



轴段④长度略短于轮毂长度 ( $b?$ )

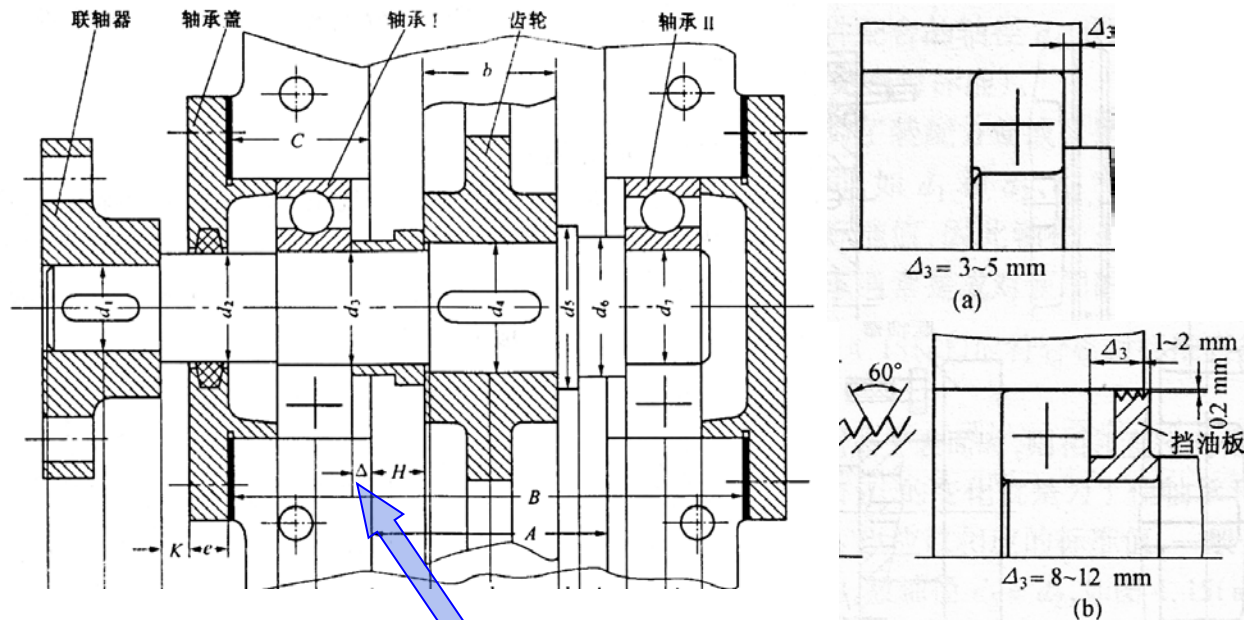
## 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

3) 轴段 $L_7$ 的确定，从齿轮开始，由内向外依次确定



# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

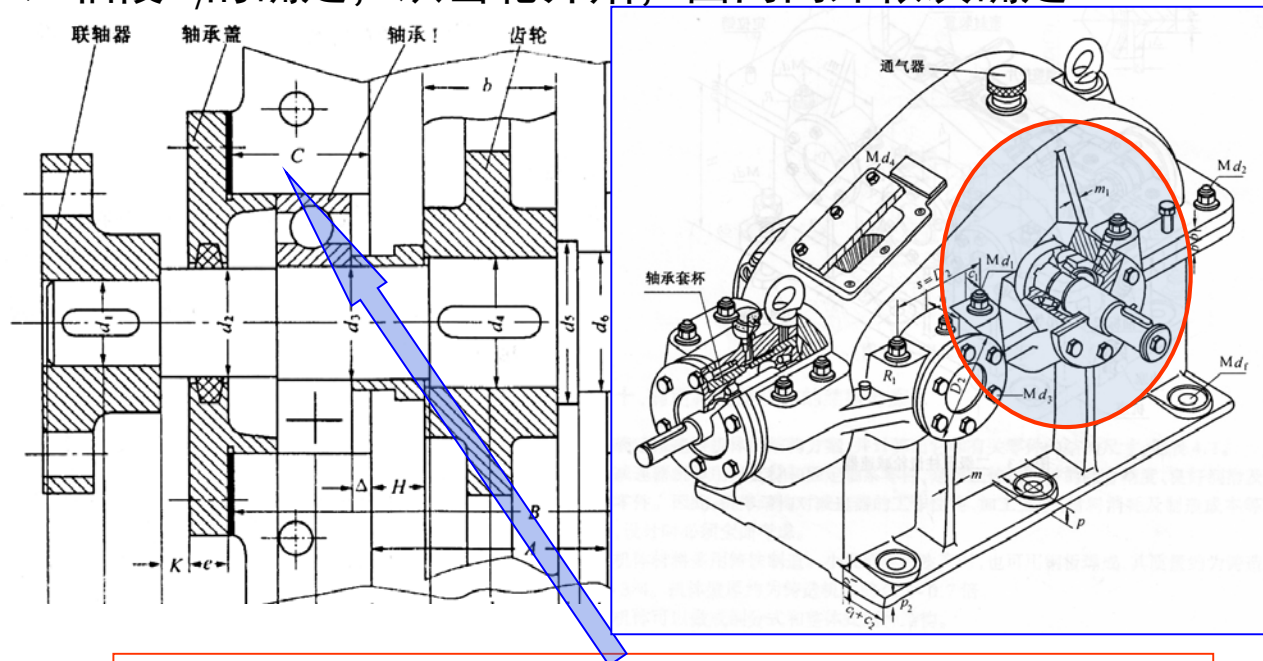
3) 轴段 $L_i$ 的确定，从齿轮开始，由内向外依次确定



轴承在轴承座孔中的位置 (a) 油润滑 (b) 脂润滑

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

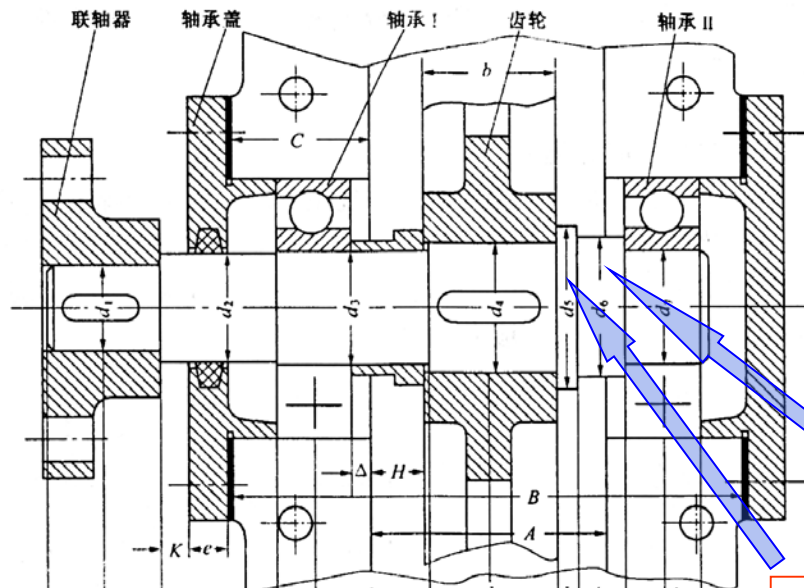
## 3) 轴段 $L$ 的确定，从齿轮开始，由内向外依次确定



轴承座孔的长度 $C$ 由箱体壁厚、螺栓安装要求、加工面和非加工面之间的凸出量确定

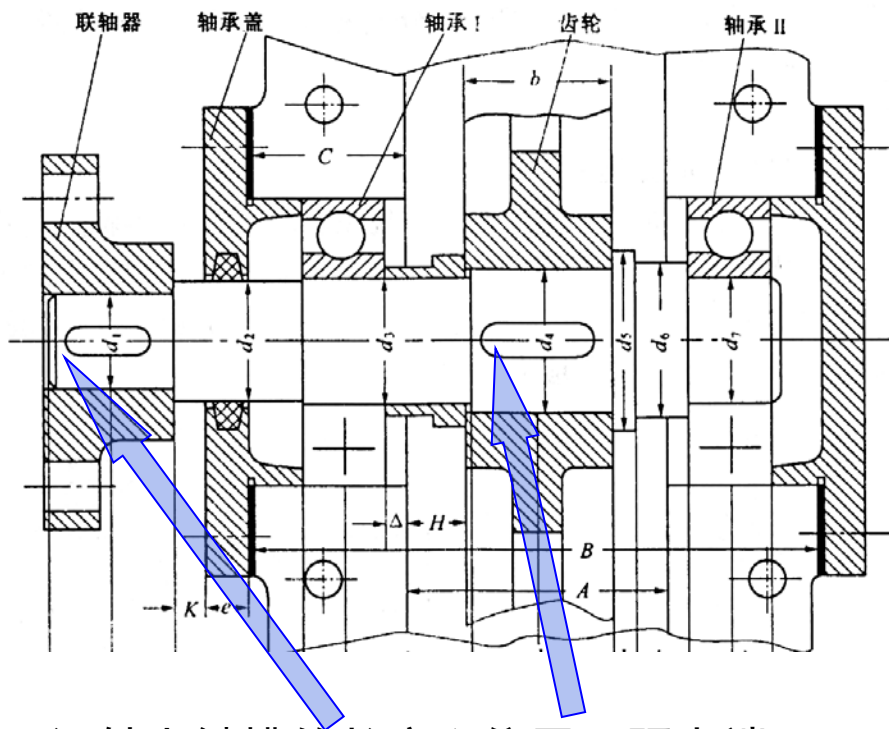
# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

3) 轴段 $L_i$ 的确定，从齿轮开始，由内向外依次确定



定位轴肩长度

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计



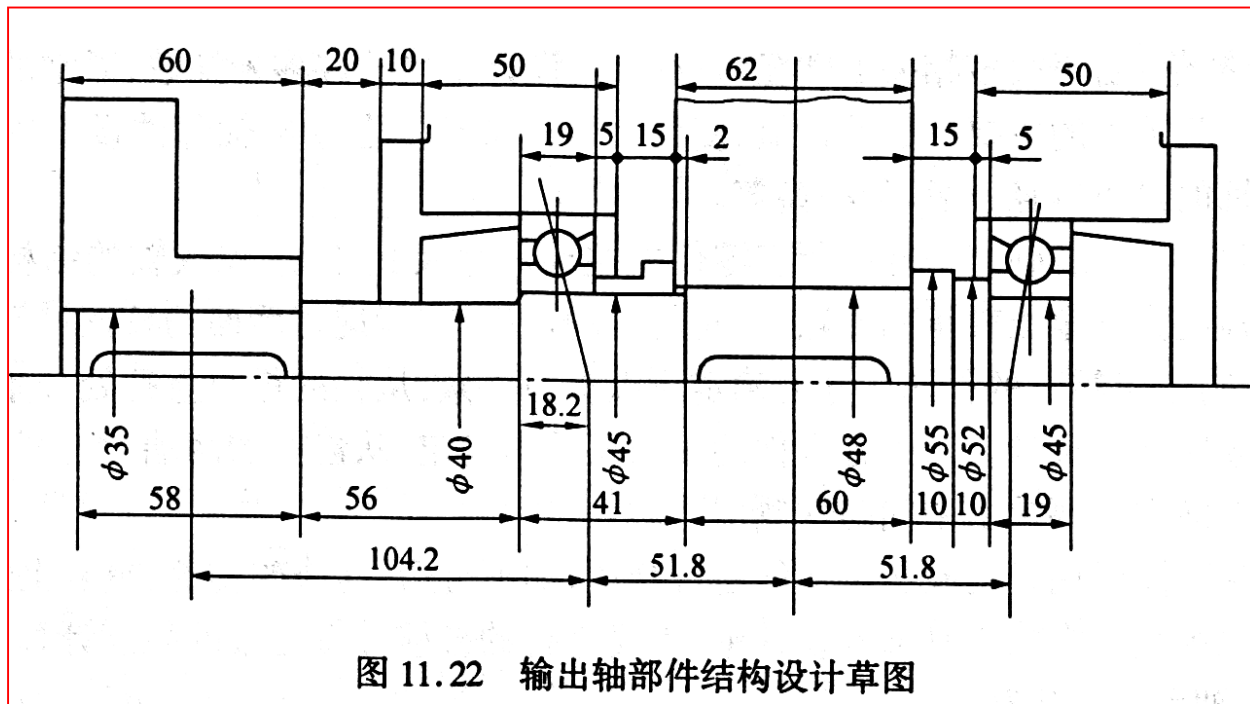
4) 轴上键槽的长度和位置：距小端1~3mm

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

表 10.3 轴的结构设计(参看图 10.16)

| 径向尺寸             | 确 定 原 则                                               | 轴向尺寸                       | 确 定 原 则                                                                                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_1$            | 初算轴径,并根据联轴器尺寸定轴径                                      | $l_1$                      | 根据联轴器尺寸确定                                                                                                                     |
| $d_2$            | 联轴器轴向固定<br>$h = (0.07 \sim 0.1) d_1$                  | $l_4$                      | $l_4 = b - (2 \sim 3) \text{ mm}$                                                                                             |
| $d_3$            | $d_3 = d_2 + (1 \sim 2) \text{ mm}$ , 满足轴承内径系列,便于轴承安装 | $l_5$                      | $l_5 = 1.4 h$                                                                                                                 |
| $d_4$            | $d_4 = d_3 + (1 \sim 2) \text{ mm}$ , 便于齿轮安装          | $l_7$                      | $l_7 = B$ , $B$ ——轴承宽度                                                                                                        |
| $d_5$            | 齿轮轴向固定, $h = (0.07 \sim 0.1) d_4$                     | 齿轮至壳体<br>内壁的距离<br>$H$      | 动和不动零件间要有间隔,以避免干涉<br>$H = 10 \sim 15 \text{ mm}$                                                                              |
| $d_6$            | 轴承轴向固定,符合轴承拆卸尺寸,查轴承手册                                 | 轴承至壳体<br>内壁的距离<br>$\Delta$ | 考虑壳体铸造误差:<br>$\Delta = \begin{cases} 5 \sim 10 \text{ mm} (\text{轴承油润滑}) \\ 10 \sim 15 \text{ mm} (\text{轴承脂润滑}) \end{cases}$ |
| $d_7$            | 一根轴上的两轴承型号相同, $d_7 = d_3$                             | 轴承座宽度<br>$C$               | $C = C_1 + C_2 + \delta + (5 \sim 10) \text{ mm}$ ; $\delta$ ——壳体壁厚; $C_1$ 、 $C_2$ ——由轴承旁连接螺栓直径确定,查机械零件设计手册                   |
| 键宽 $b$<br>槽深 $t$ | 根据轴的直径查手册                                             | 轴承盖厚 $e$                   | 见机械零件设计手册                                                                                                                     |
| 键长 $L$           | $L \approx 0.85 l$ , $l$ ——有键槽的轴段的长度,并查手册取标准长度 $L$    | 联轴器至轴<br>承盖的距离<br>$K$      | 考虑动与不动零件间的有一定距离,并保证联轴器易损件的更换所需空间,或拆卸轴承端盖螺栓所需空间                                                                                |
|                  |                                                       | $l_2$ 、 $l_3$ 、 $l_6$      | 在齿轮、壳体、轴承、轴承盖、联轴器的位置确定后,通过作图得到                                                                                                |

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计



# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

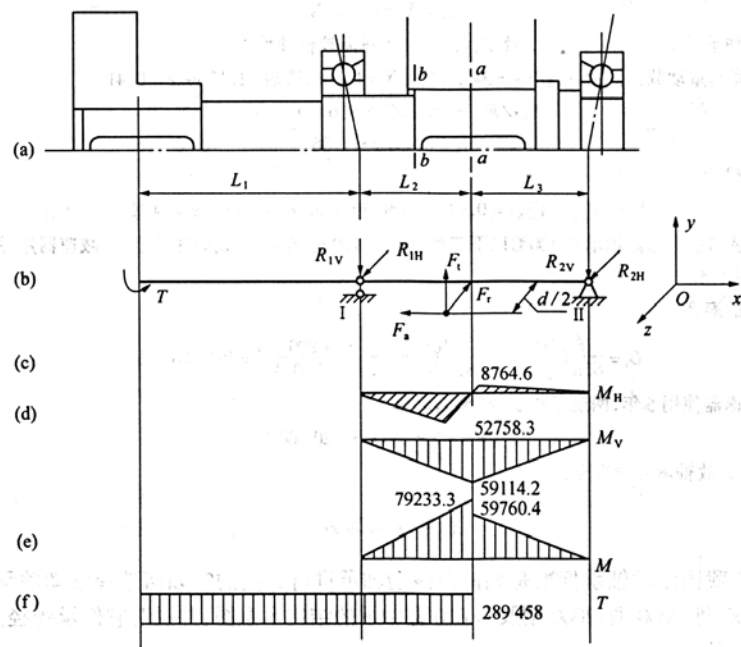


图 11.23 轴的受力分析

## 4、轴的受力分析

### 1) 轴承支反力

$$R_{H1}、R_{V1}、R_{H2}、R_{V2}$$

### 2) 弯矩图

对应结构简图

### 3) 危险截面分析

三个基本条件

### 4) 强度精确校核

弯扭合成强度，或者安全系数精确校核

危险截面a-a、b-b

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

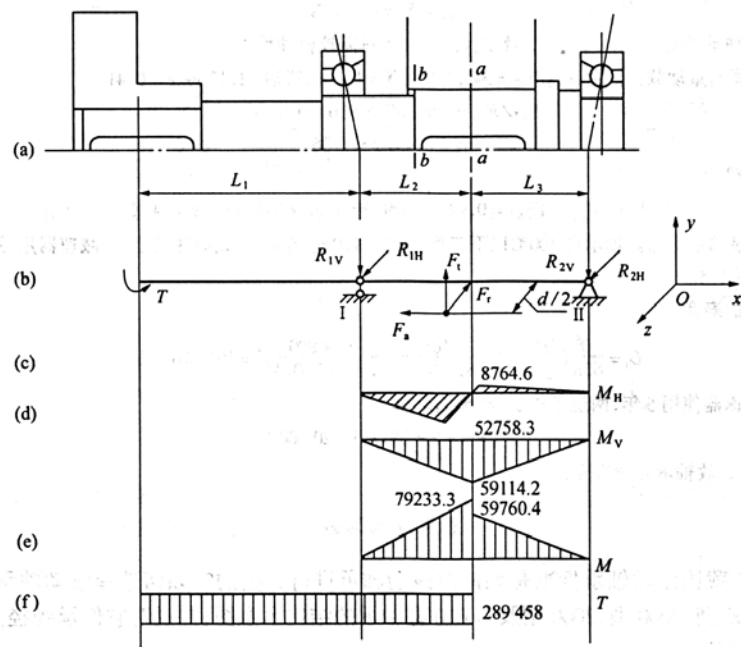


图 11.23 轴的受力分析

## 5、轴承寿命校核

1)  $F_{r1}$ 、 $F_{r2}$ 、 $F_{a1}$ 和 $F_{a2}$

符号不一样，含义相同，灵活处理

合成总径向力

两个轴承都计算

2)  $L_h$ 计算

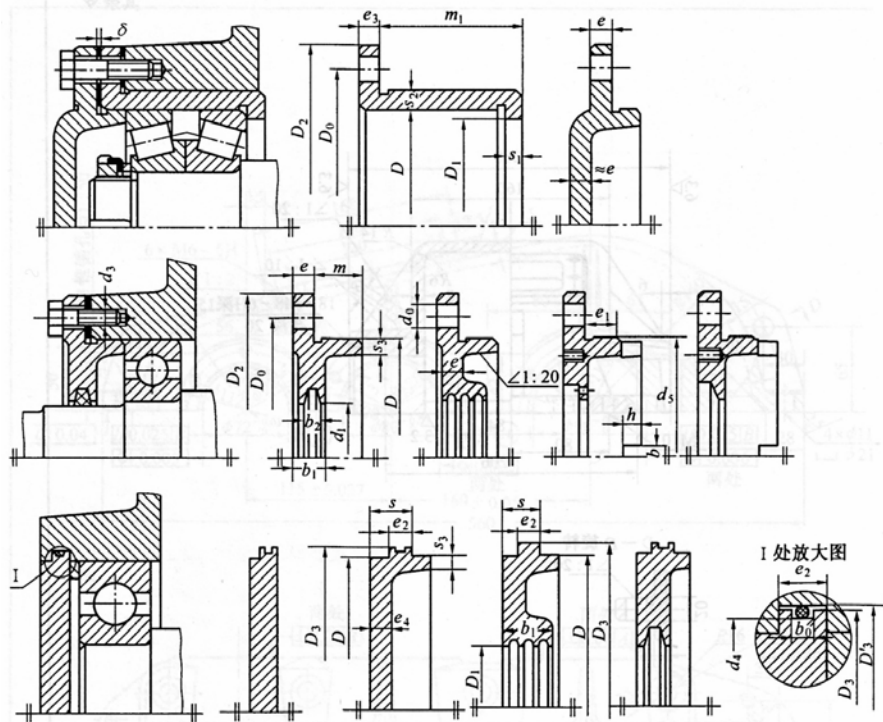
3) 计算寿命近10倍

如何处理？

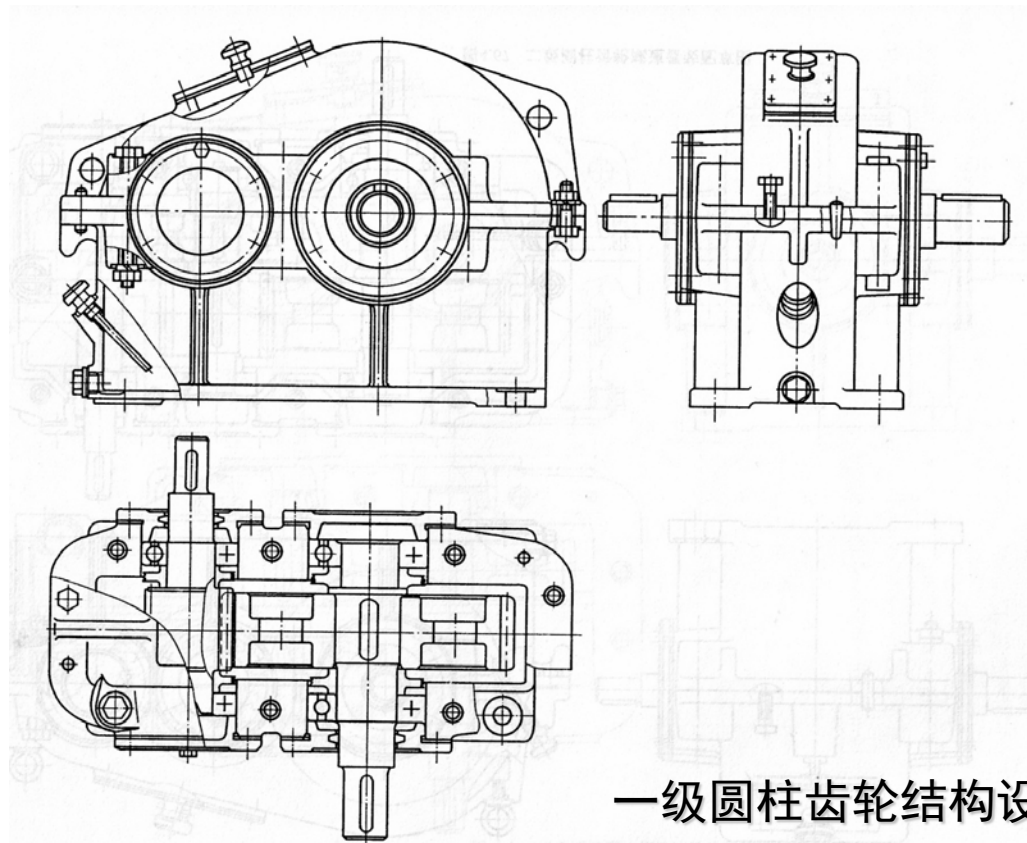
## 6、键的强度计算

# 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

轴承端盖结构如下：



## 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计



一级圆柱齿轮结构设计草图

## 习题课：11.9 减速器输出轴部件设计

结构改错：

