



第11章 轴

第1节 概述

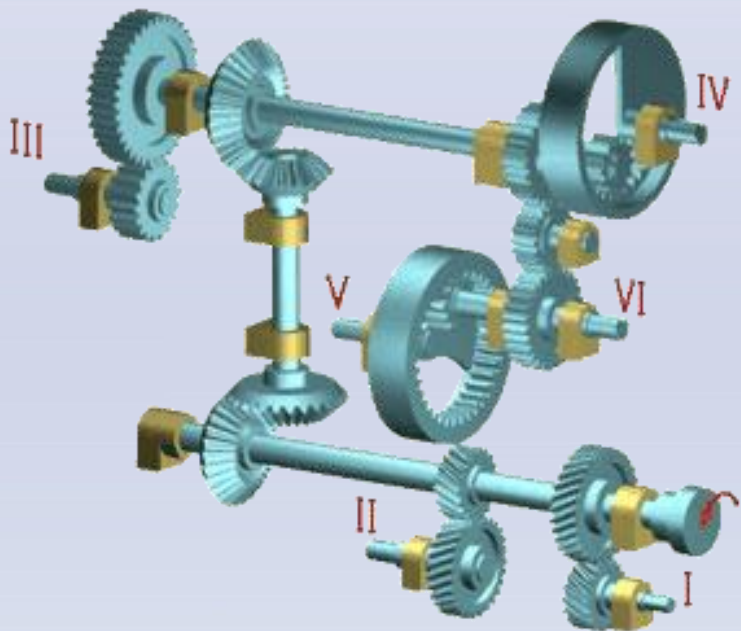
第2节 轴的结构设计

第3节 轴的强度计算



第1节 概述

轴是组成机器的重要零件，它主要用于支承作回转运动的零件(如带轮、齿轮、叶轮以及各种车轮等)，并传递运动和动力。





第1节 概述

一、轴的分类

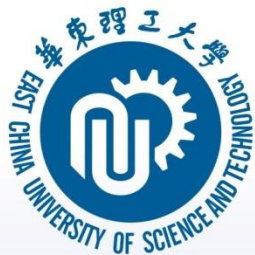
轴的分类方法很多，常用的有以下两种：

按照轴的受载情况分

{ 传动轴
心轴
转轴

按照轴线形状分

{ 直轴
曲轴
挠性轴



第1节 概述

一、轴的分类——按受载情况分类

传动轴：工作时只传递转矩而不承受弯矩，或承受很小弯矩的轴称为**传动轴**。

心轴：工作时只承受弯矩而不传递转矩的轴称为**心轴**。心轴可以是固定不动的，也可以是转动的。

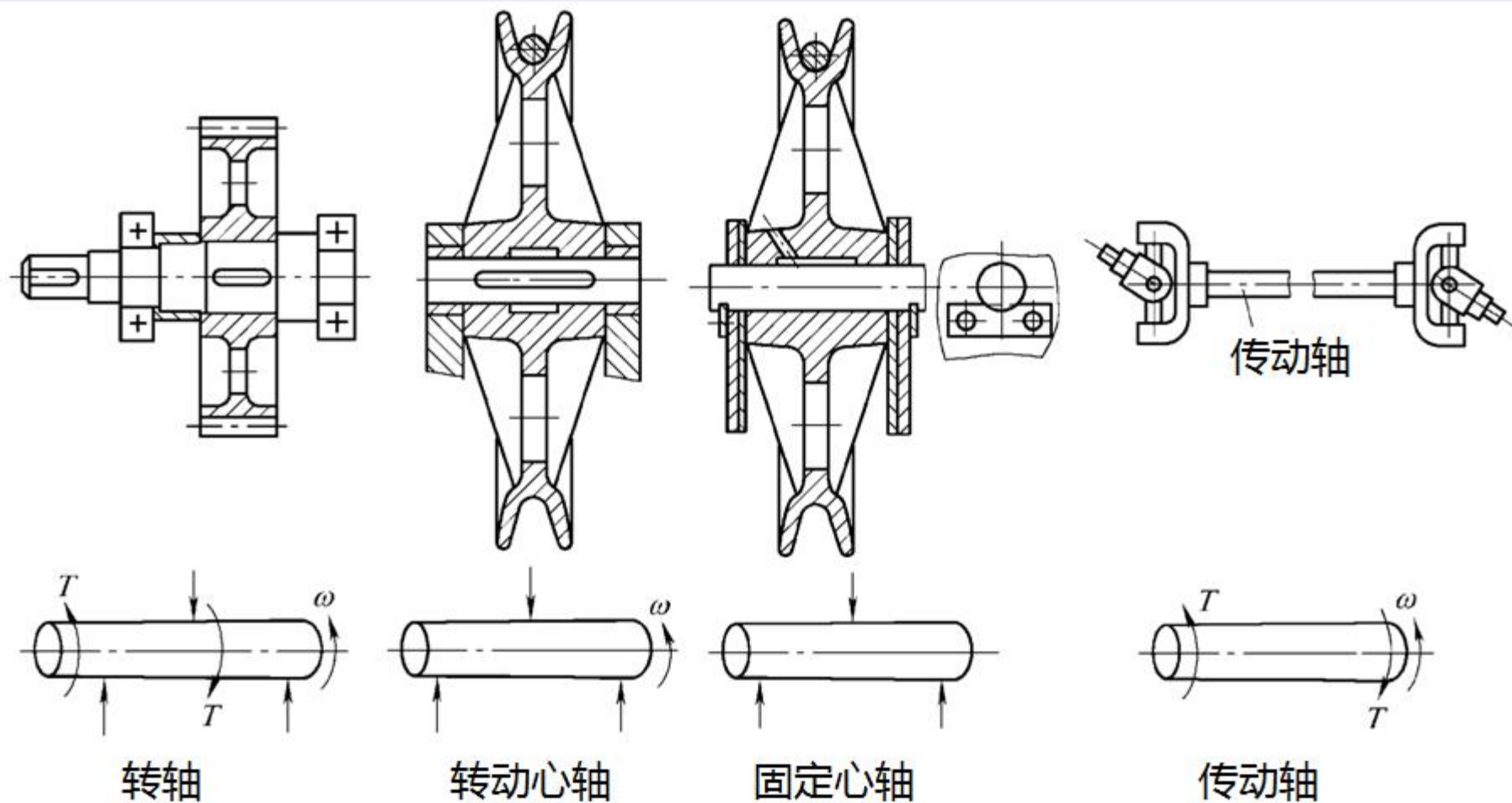
在静载荷作用下，固定的心轴产生静应力，转动的心轴产生对称循环应力。

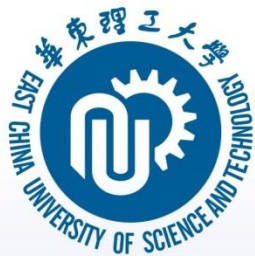
转轴：工作时既承受弯矩又传递转矩的轴称为**转轴**。

转轴是机械中最常见的轴，如带轮轴、齿轮轴等。

第1节 概述

轴的分类——按受载情况分类





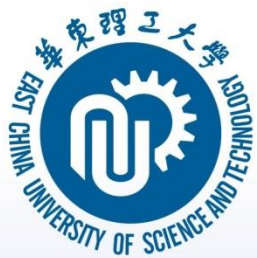
第1节 概述

轴的分类——按轴线形状分类

直轴——根据外形的不同，可分为**光轴**和**阶梯轴**。**阶梯轴**便于轴上零件的装拆和定位，省材料重量轻，应用普遍。直轴又可分为**实心轴**和**空心轴**。空心轴主要用于机械中的特殊要求，也可以减轻零件的质量。

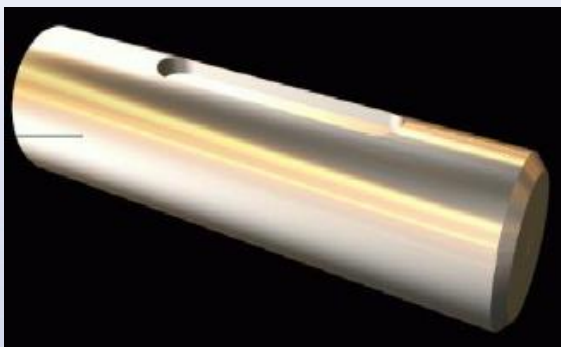
曲轴——是专用零件，常用于往复式机械中，实现运动方式的转换。

挠性轴——由几层紧贴在一起的钢丝卷绕而成，可以将转矩和回转运动灵活地传到空间任意位置，常用于医疗器械和小型机具中。



第1节 概述

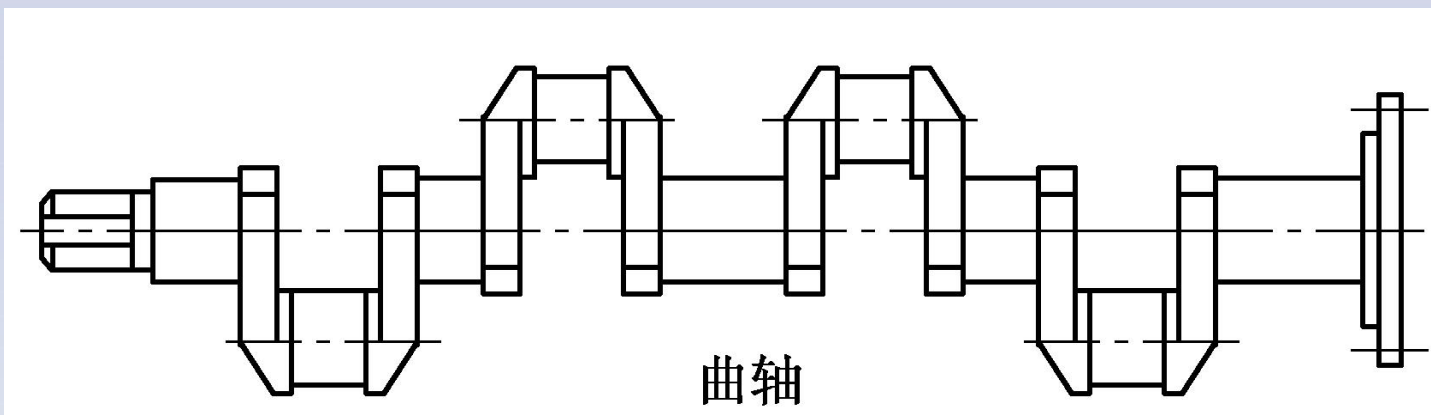
轴的分类——按轴线形状分类



光轴



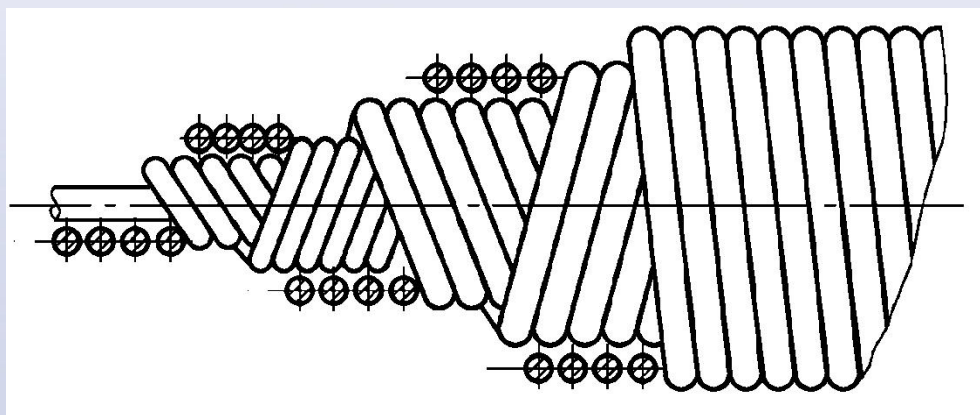
阶梯轴



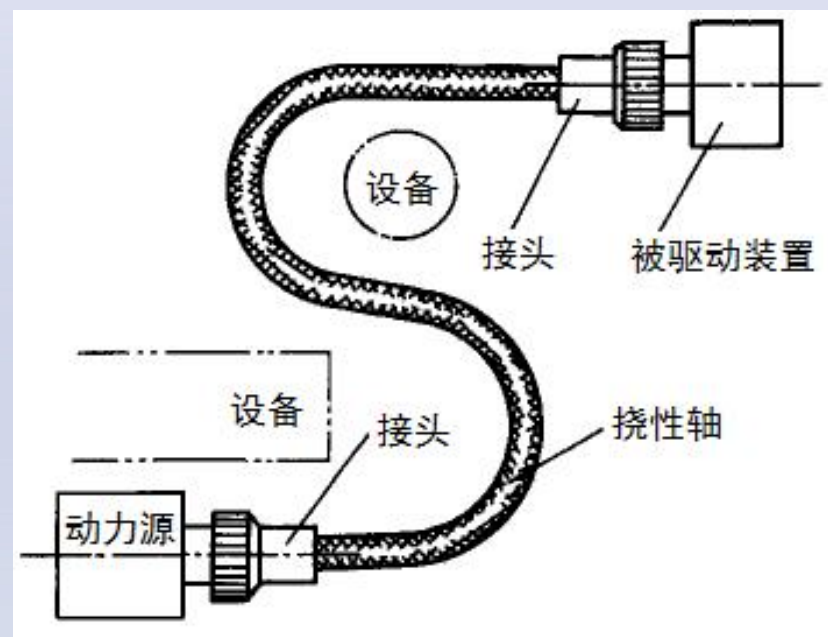
曲轴

第1节 概述

轴的分类——按轴线形状分类



挠性轴的绕制



挠性轴的应用



第1节 概述

二、轴设计的主要问题

轴设计的主要问题是选择轴的适宜材料，合理确定轴的结构，计算轴的工作能力。

一般情况下，轴的工作能力主要取决于它的强度。为了防止轴的断裂，应根据使用条件对轴进行强度计算；对于有刚度要求的轴，还要进行刚度计算，以防止产生不允许的变形量。对于高速运转的轴，还应进行振动稳定性计算，以防止共振现象产生。

本章重点讨论轴的结构设计和强度计算问题。



第1节 概述

三、轴的材料

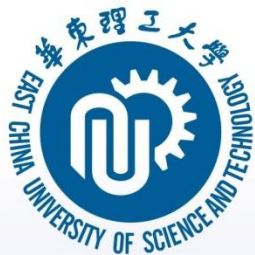
轴工作时产生的应力多为**交变应力**，使得轴的损坏常具有疲劳性质。因此，轴的材料应具有较高的抗疲劳强度、较低的应力集中敏感性和良好的加工性能等特点。

轴的主要材料

碳素钢

合金钢

球磨铸铁、合金铸铁



第1节 概述

碳素钢：比合金钢价廉，对应力集中的敏感性较低，可用热处理的方法提高其耐磨性和抗疲劳强度，应用较广。

常用的有35、45、50等优质中碳钢，其中以**45钢**应用最广。

合金钢：具有较高的力学性能和较好的可淬性，常用于受力较大且要求直径较小、质量较轻或耐磨性较好的轴。常用的有20Cr、40Cr、40MnB等。

注意：碳素钢和合金钢的弹性模量相差无几，因此，用合金钢代替碳素钢并不能提高轴的刚度。

球墨铸铁、合金铸铁：具有良好的吸振性和耐磨性，便于铸成复杂的形状，且对应力集中不敏感。可制造**形状复杂的轴**，如曲轴、凸轮轴等；其缺点是冲击韧度低、铸造品质不易控制，可靠性较差。

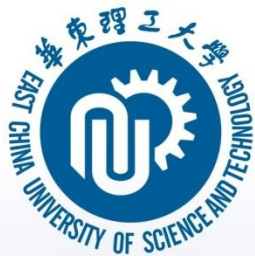


第2节 轴的结构设计

轴的结构设计：根据轴的受载情况和工作条件确定轴的形状和全部结构尺寸。

影响轴结构的主要因素：

- 1、轴上零件的类型（如带轮、齿轮、轴承等）、尺寸和数量。
- 2、轴上零件的布置及所受载荷的大小、方向和性质。
- 3、轴上零件的定位和固定方法。
- 4、轴的加工及装配工艺。
- 5、其他要求，如在车床中为减轻轴的质量和进料需要而设计空心轴等。



第2节 轴的结构设计

轴结构设计的基本要求：

- 1、轴及轴上零件要有**确定的工作位置**，而且**固定可靠**。
- 2、有的轴径须符合**标准直径系列**。
- 3、有利于提高轴的强度和刚度，力求轴的受力合理，尽量避免或减小应力集中。
- 4、具有良好的加工和装配工艺性能。

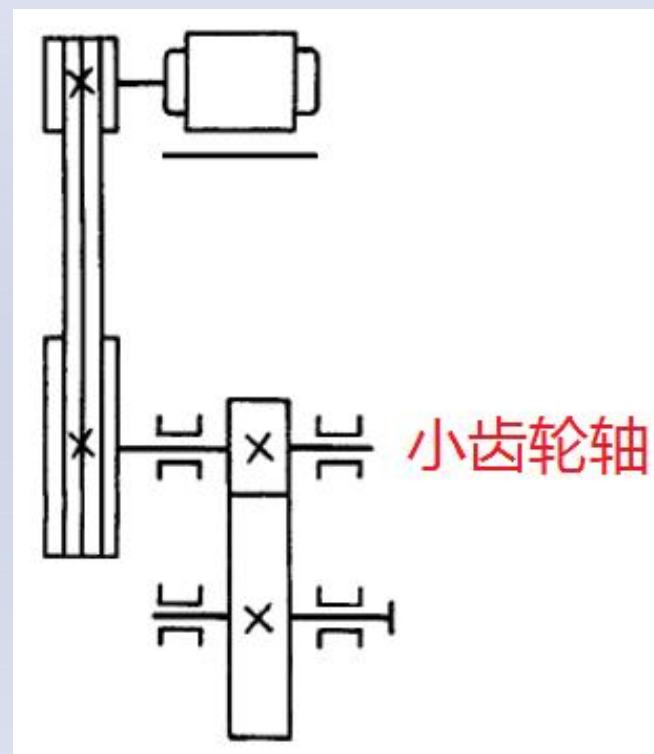
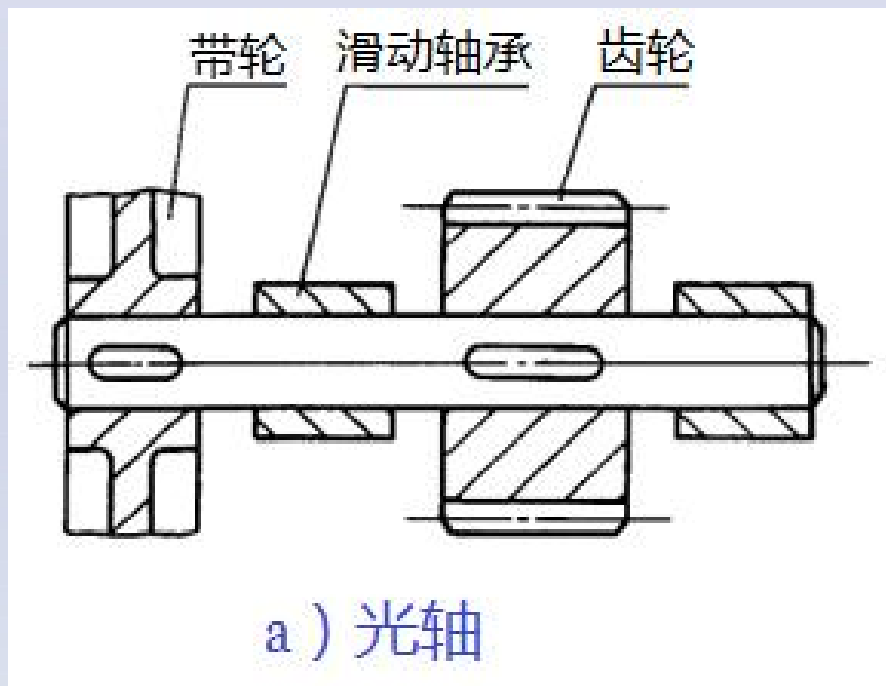
轴结构设计的总原则：在满足工作能力的前提下，力求轴的尺寸小，质量轻，工艺性好。



第2节 轴的结构设计

轴结构设计的主要问题

如图，小齿轮轴的结构简图，轴上装有带轮和齿轮，并用滑动轴承支承。



第2节 轴的结构设计

轴结构设计的主要问题

优点：

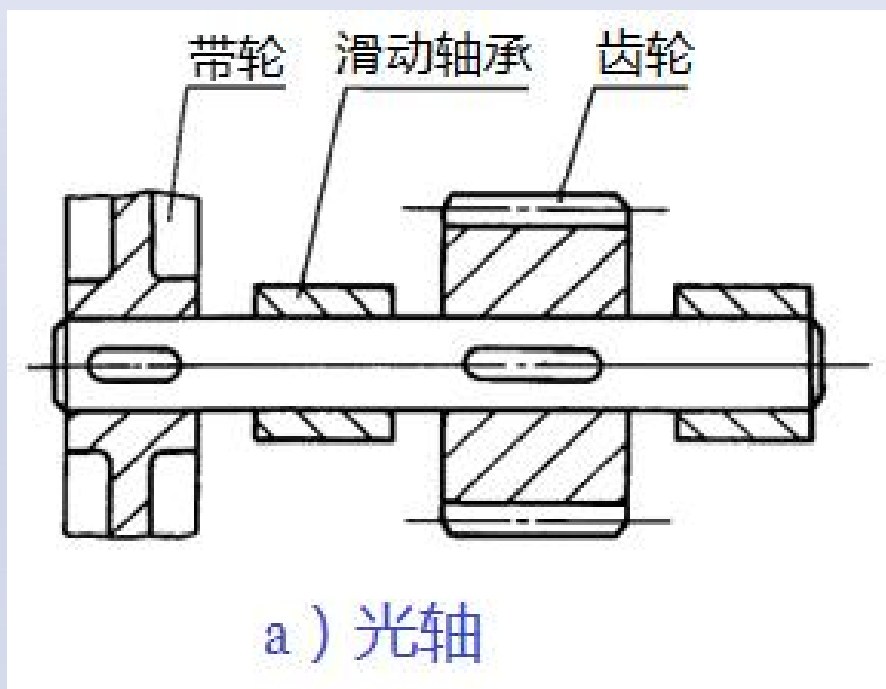
1) 光轴加工容易

缺点：

1) 轴上齿轮装拆困难

2) 齿轮和带轮的轴向位置不便于固定

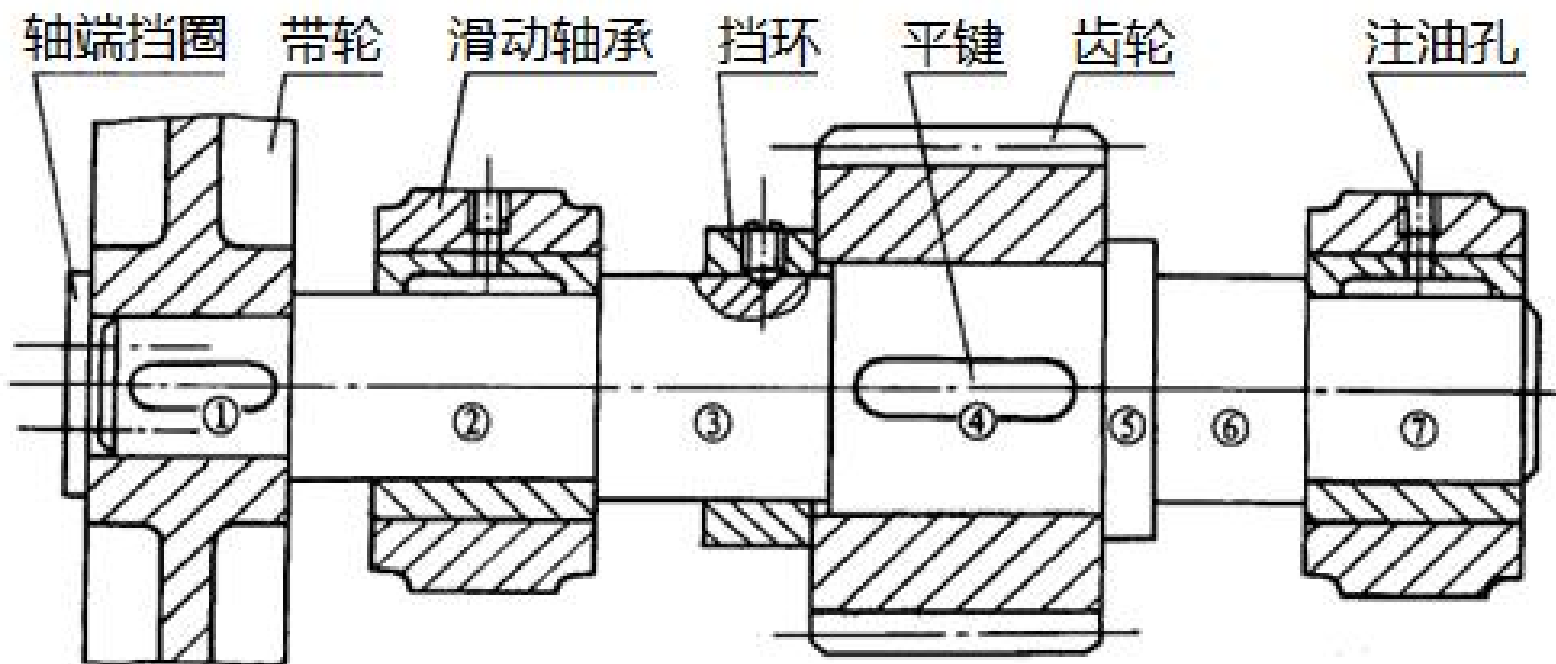
3) 轴在轴承中会发生轴向窜动



第2节 轴的结构设计

轴结构设计的主要问题

- 1) 轴上齿轮装拆困难
- 2) 齿轮和带轮的轴向位置不便于固定
- 3) 轴在轴承中会发生轴向窜动



b) 阶梯轴

第2节 轴的结构设计

轴的构成

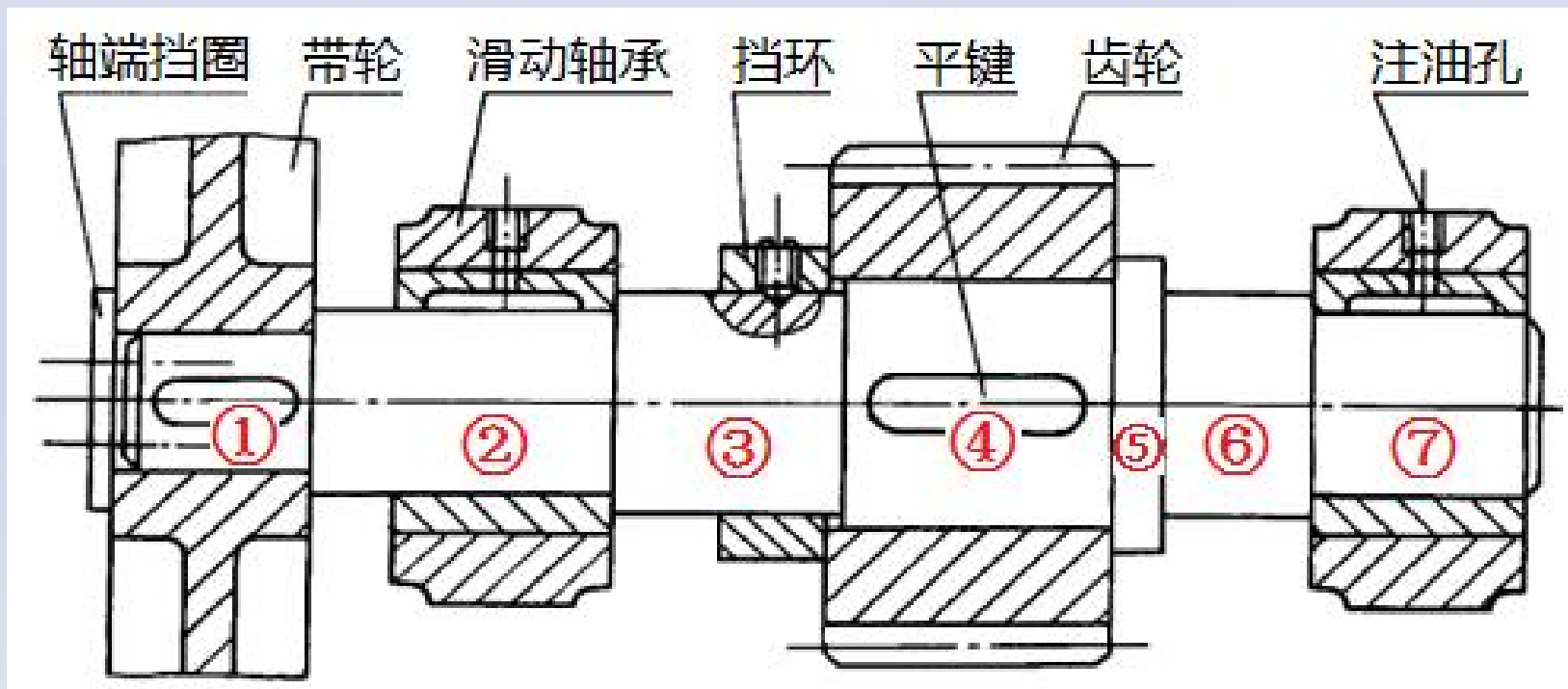
轴颈：轴与**轴承**配合的部分，如 ②、⑦

轴头：轴与**传动件轮毂**配合的部分，如 ①、④

轴身：联接轴颈和轴头的轴段，如 ③、⑥

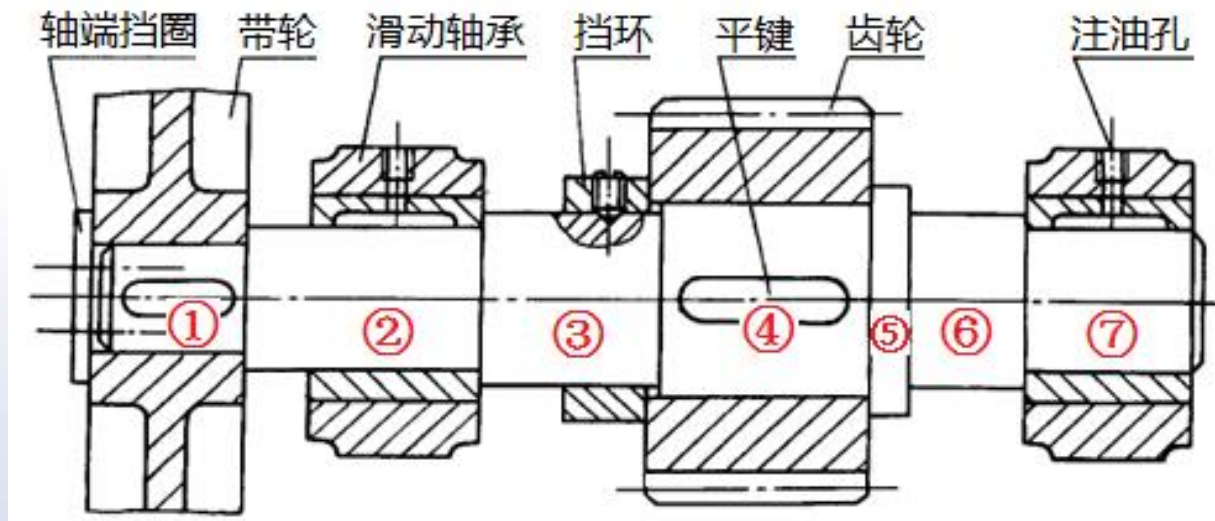
轴肩：阶梯轴上截面尺寸变化的部位

轴环：具有左右轴肩的短轴段，如 ⑤





轴结构设计需要解决的主要问题：



- 一、轴上零件的固定方法（轴向固定、周向固定）
- 二、轴各段轴径的确定
- 三、轴的各段长度应满足的要求
- 四、轴上零件的布置与结构
- 五、避免或减小应力集中
- 六、改善轴的结构工艺性



第2节 轴的结构设计

轴上零件的固定方法

为了保证机器的正常工作，轴上零件应定位准确，固定可靠。轴上零件的固定，可分轴向和周向上的固定。

1、轴上零件的轴向固定

- | | | |
|-------------|---------|---------|
| 1) 轴肩、轴环 | 2) 套筒 | 3) 圆螺母 |
| 4) 圆锥面和轴端挡圈 | 5) 弹性挡圈 | 6) 轴端卡板 |
| 7) 挡环和紧定螺钉 | 8) 销联接 | |

2、轴上零件的周向固定

- | | | |
|---------|-----------|--------|
| 1) 键联接 | 2) 紧定螺钉联接 | 3) 销联接 |
| 4) 过盈联接 | 5) 无键联接 | |

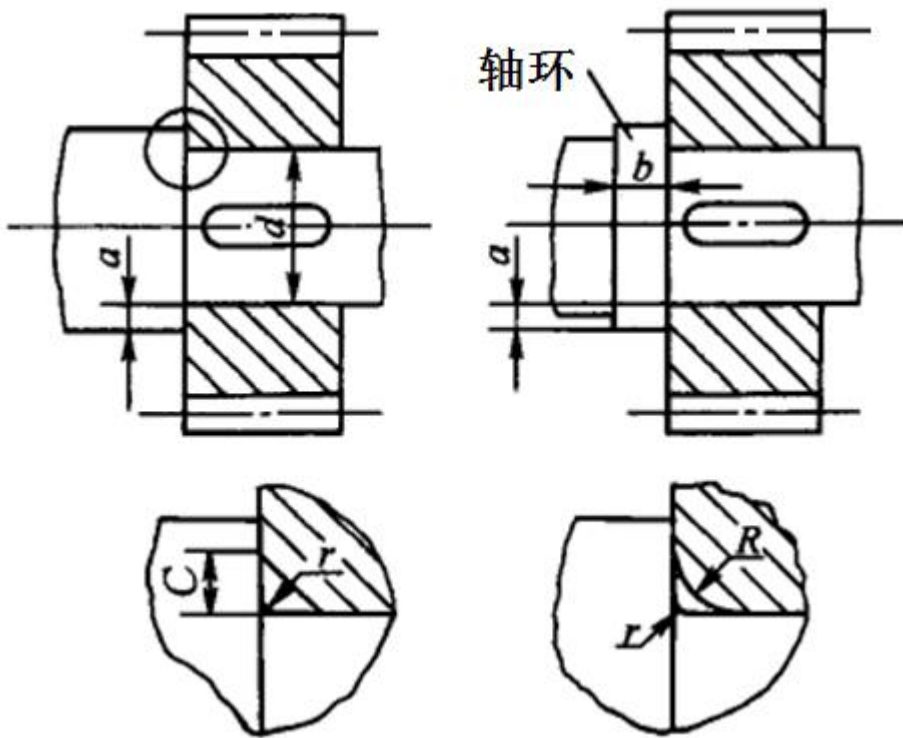


第2节 轴的结构设计

轴肩、轴环

简单可靠，能承受较大载荷

为了使零件端面与轴肩贴合，轴上圆角半径 r 应小于零件毂孔的圆角半径 R 或倒角高度 C ，即 $r < R$ 或 $r < C$ ；同时还须保证轴肩高度 $a > R$ （或 C ）。



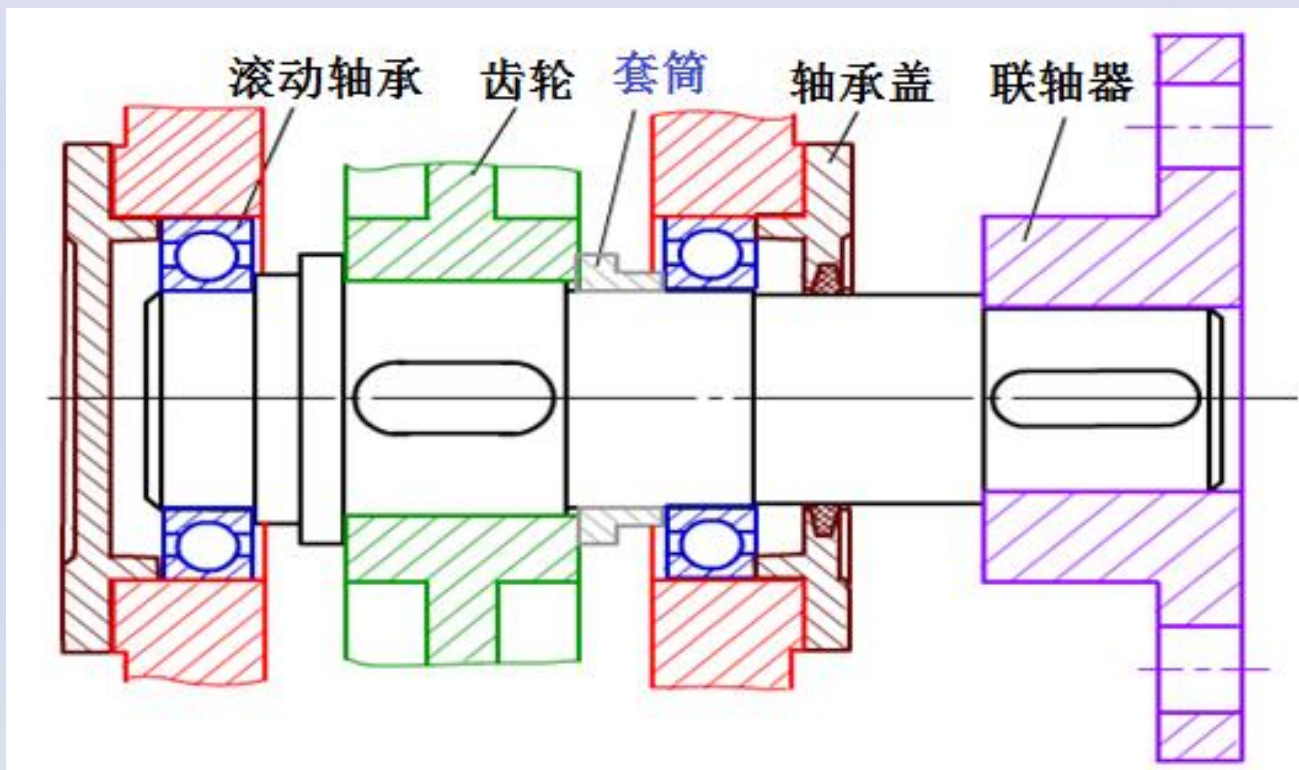
轴肩高度 $a \approx (0.07 \sim 0.1)d + 1 \sim 2 \text{ mm}$

轴环宽度 $b \approx 1.4a$

第2节 轴的结构设计

套筒

两零件相隔距离不大时，用套筒固定轴向零件，结构简单，可减少轴的阶梯数，但不适用于转速较高的轴。

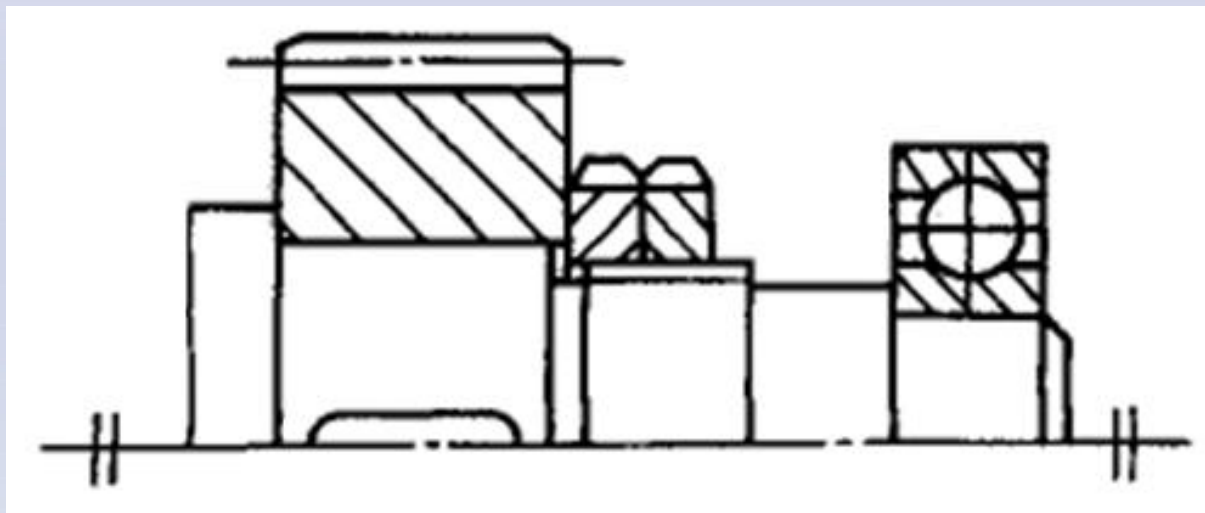


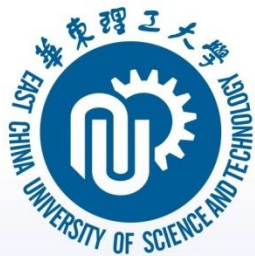


第2节 轴的结构设计

圆螺母

固定可靠，可承受大的轴向力。用于固定轴中部的零件时，可避免采用过长的套筒，以减轻质量，但轴上须车制螺纹和退刀槽，应力集中较大，故常用于轴端零件固定。



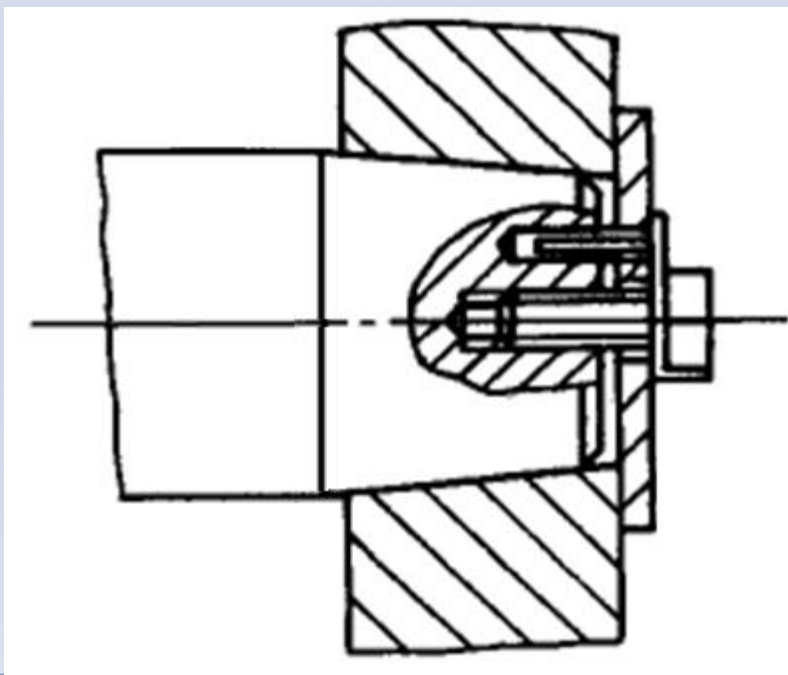


第2节 轴的结构设计

圆锥面和轴端挡圈

用圆锥面配合可使轴和轮毂间无径向间隙，能承受冲击和振动载荷，定心精度高，拆卸容易。但加工圆锥表面配合比较困难。

轴端挡圈（又称压板），用于轴端零件的固定，**可承受较大的轴向力。**

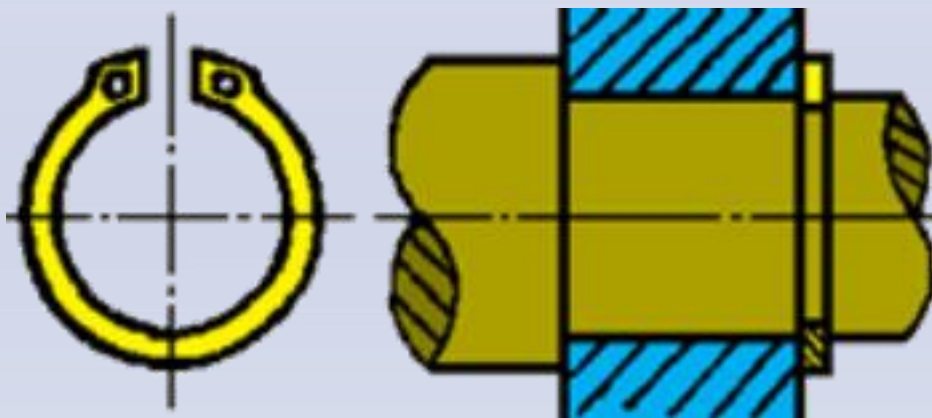




第2节 轴的结构设计

弹性挡圈

结构简单、紧凑，只能承受较小的轴向力，且可靠性差，常用于滚动轴承的轴向固定。

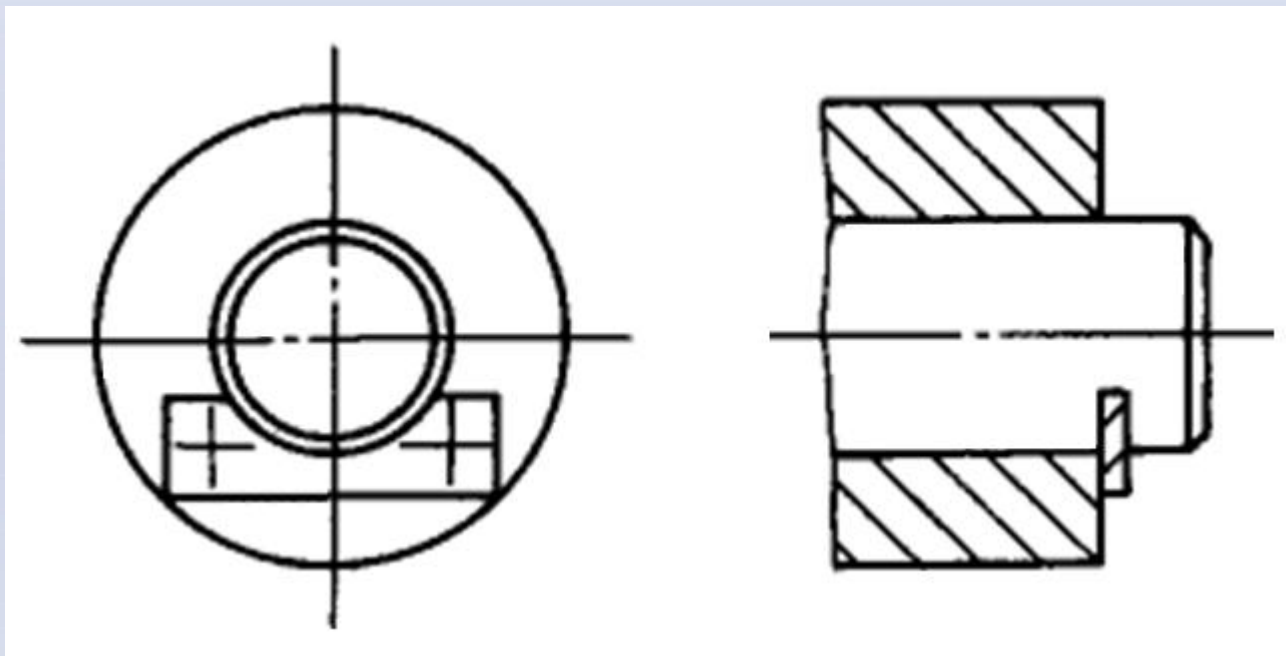




第2节 轴的结构设计

轴端卡板

适用于心轴轴端零件的固定，只能承受较小的轴向力。



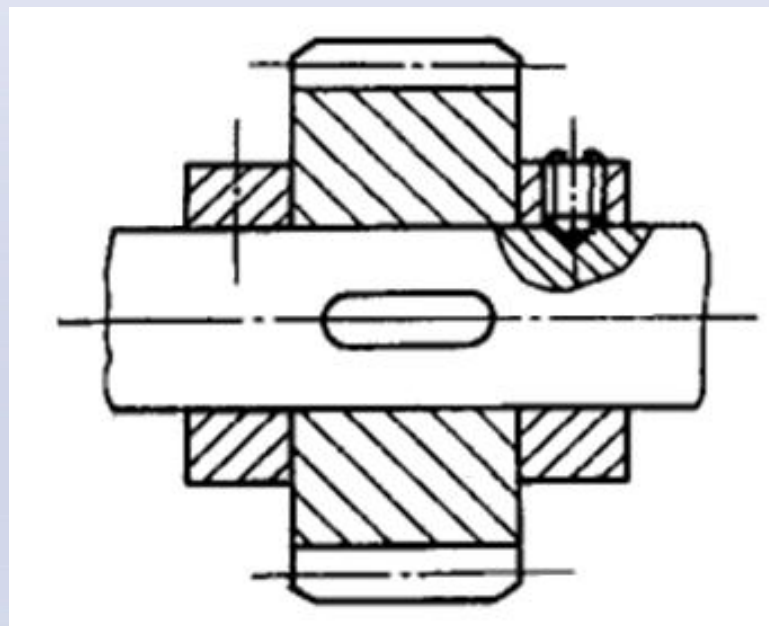


第2节 轴的结构设计

挡环和紧定螺钉

挡环用紧定螺钉与轴固定，结构简单，但不能承受大的轴向力。

紧定螺钉适用于轴向力很小、转速很低或仅为防止偶然轴向滑移的场合。同时可起周向固定作用。

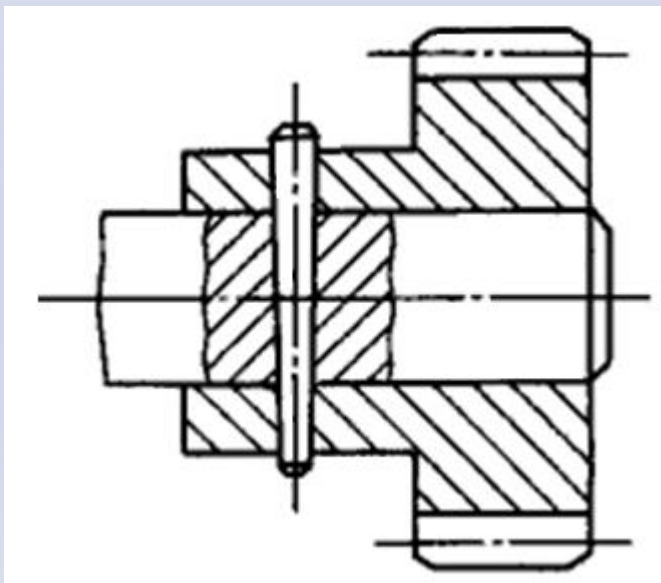


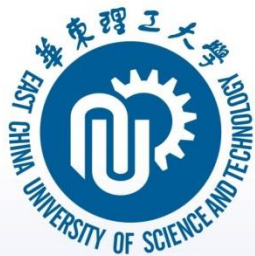


第2节 轴的结构设计

销联接

结构简单，但轴的应力集中较大，用于受力不大、同时需要周向固定的场合





第2节 轴的结构设计

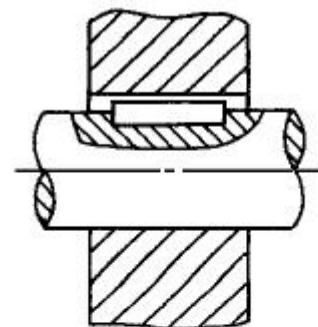
周向固定

键联接

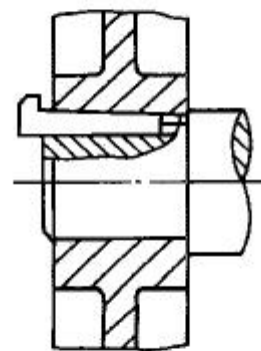
平键联接：定心性好，可用于较高精度、高转速及受冲击或变载荷作用的场合。

楔键联接：不适用于要求严格对中、有冲击载荷或高速回转的场合。能承受单向轴向力。

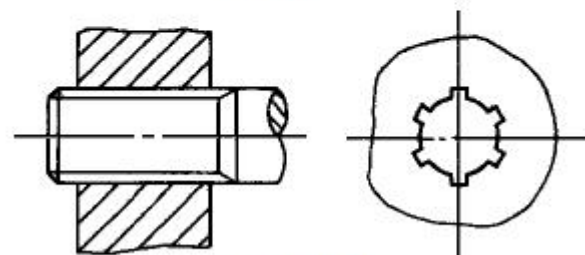
花键联接：承载能力高，对中性 and 导向性好，但制造比较困难，成本高。



平键



楔键



花键联接

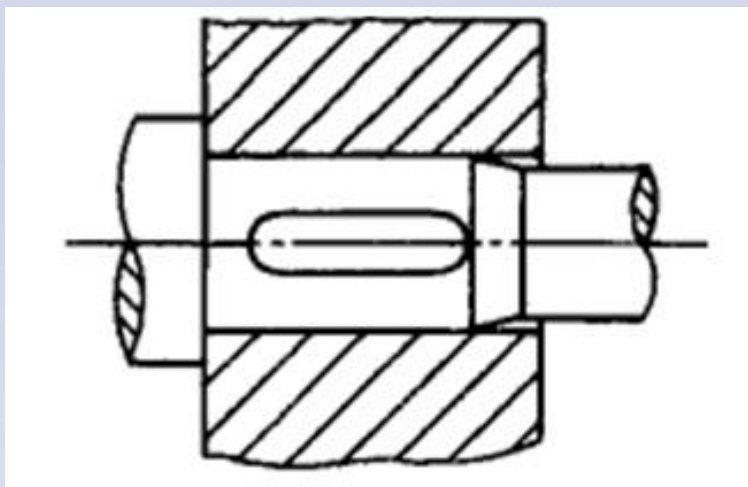


第2节 轴的结构设计

过盈配合联接

结构简单，对中性好，承载能力高，可同时起轴向固定作用，但不宜用于经常拆卸的场合。

常与平键联接联合使用，以承受大的循环变化载荷、振动或冲击载荷。



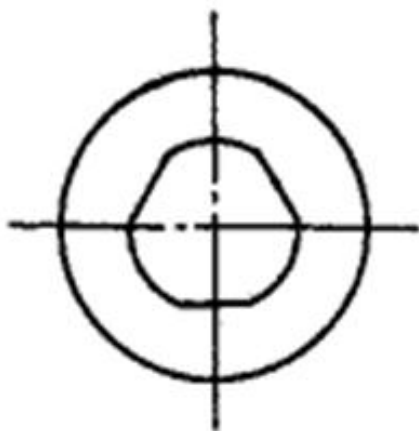


第2节 轴的结构设计

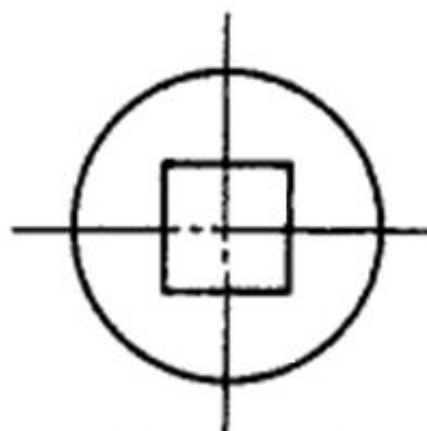
无键联接

成形联接：可承受大载荷，但制造困难

方形联接：多用于轴端和手动机构中



成形联接



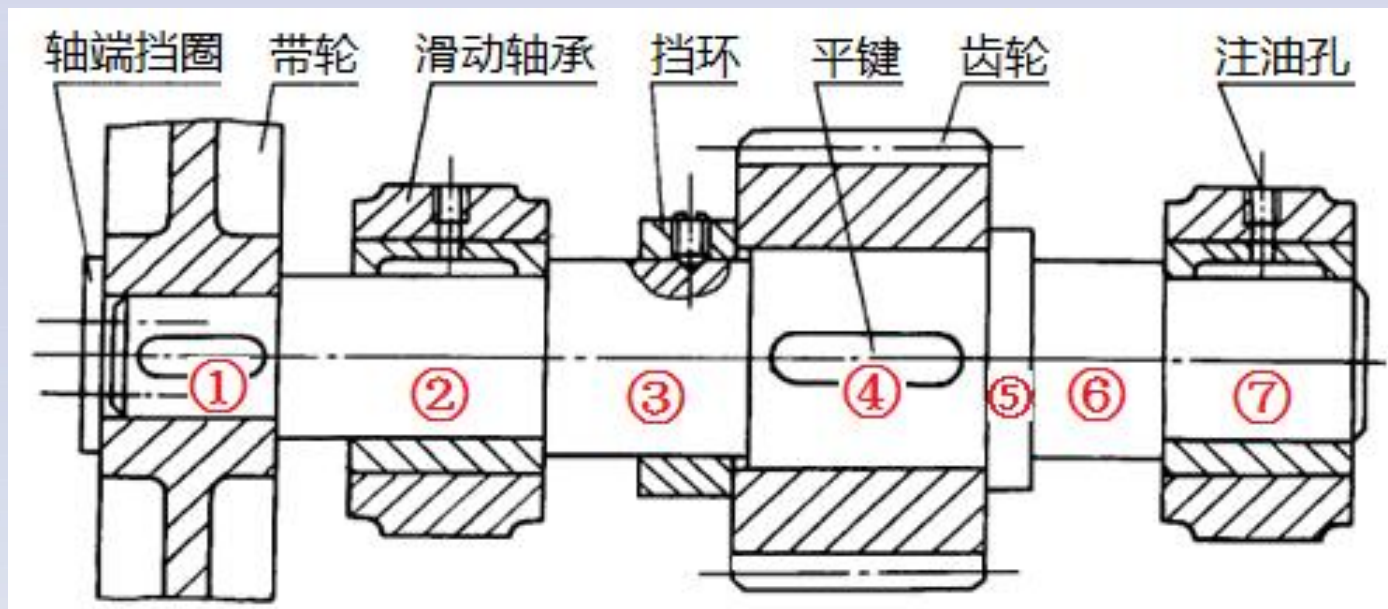
方形联接

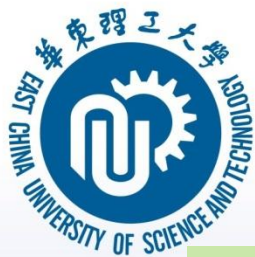
第2节 轴的结构设计

二、各段轴径与长度的确定

轴各段直径的确定：在根据轴所传递的转矩初步估算出最小直径 d_{\min} 的基础上，考虑轴上零件的安装与固定等因素逐一确定的。遵循的原则：

1) 有配合要求的轴段（如图中①、④）取标准直径（见附表11-1）。





第2节 轴的结构设计

二、各段轴径与长度的确定

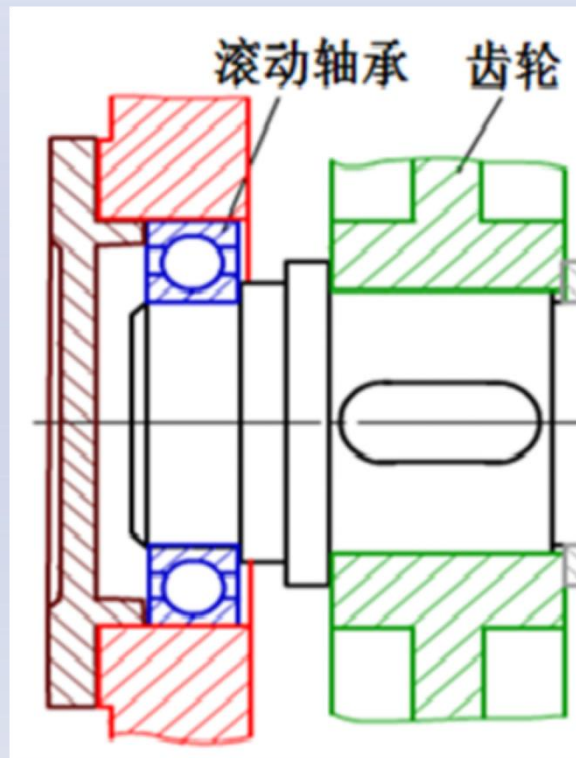
2) 与标准件相配合的轴段直径，采用相应的标准值。例如，与滚动轴承相配合的轴颈，应按滚动轴承标准规定的内孔直径选取。

3) 轴肩分定位轴肩和非定位轴肩两种。

定位轴肩的高度按：

$a \approx (0.07 \sim 0.1) d + 1 \sim 2 \text{mm}$ 确定。

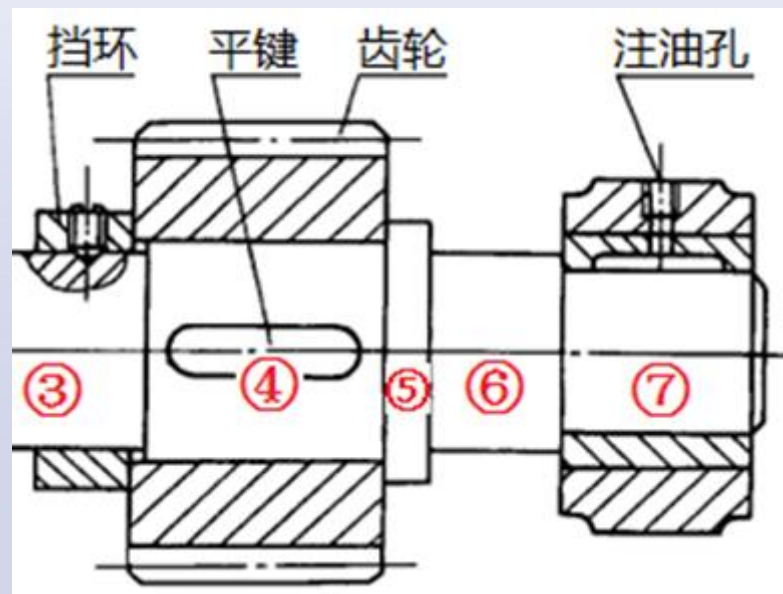
滚动轴承的定位轴肩高度应该低于轴承内圈的高度，以便于轴承的拆卸，见滚动轴承标准。



第2节 轴的结构设计

二、各段轴径与长度的确定

非定位轴肩是为便于轴上零件的安装而设置的工艺轴肩（如图中③与④间的轴肩），其高度可以很小，但仍须符合1）（即④处与齿轮配合，取标准直径）的要求。

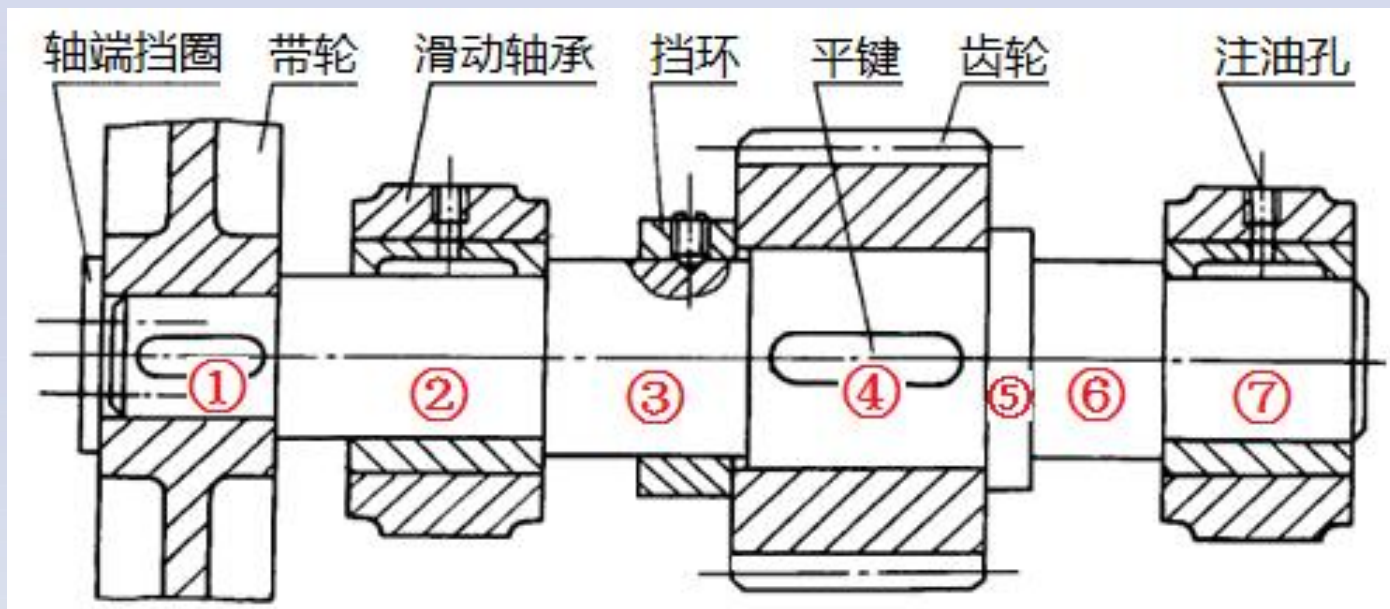


为了减少轴的阶梯数，可不设非定位轴肩，按相同轴径上不同的轴段采用不同的**公差带**达到便于轴上零件安装的目的。

第2节 轴的结构设计

二、各段轴径与长度的确定

4) 轴中间装有过盈配合零件时，如齿轮④，该零件装配时需要通过的其他轴段（图中①、②、③）直径应小于零件毂孔直径，而且在轴头的装入端设置导入锥或倒角，以便于安装。

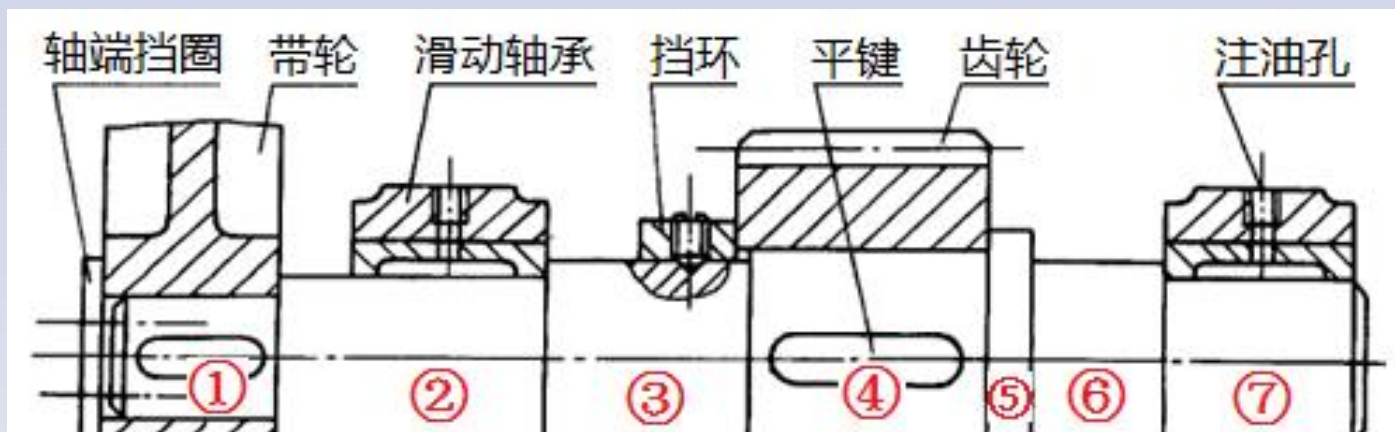


第2节 轴的结构设计

二、各段轴径与长度的确定

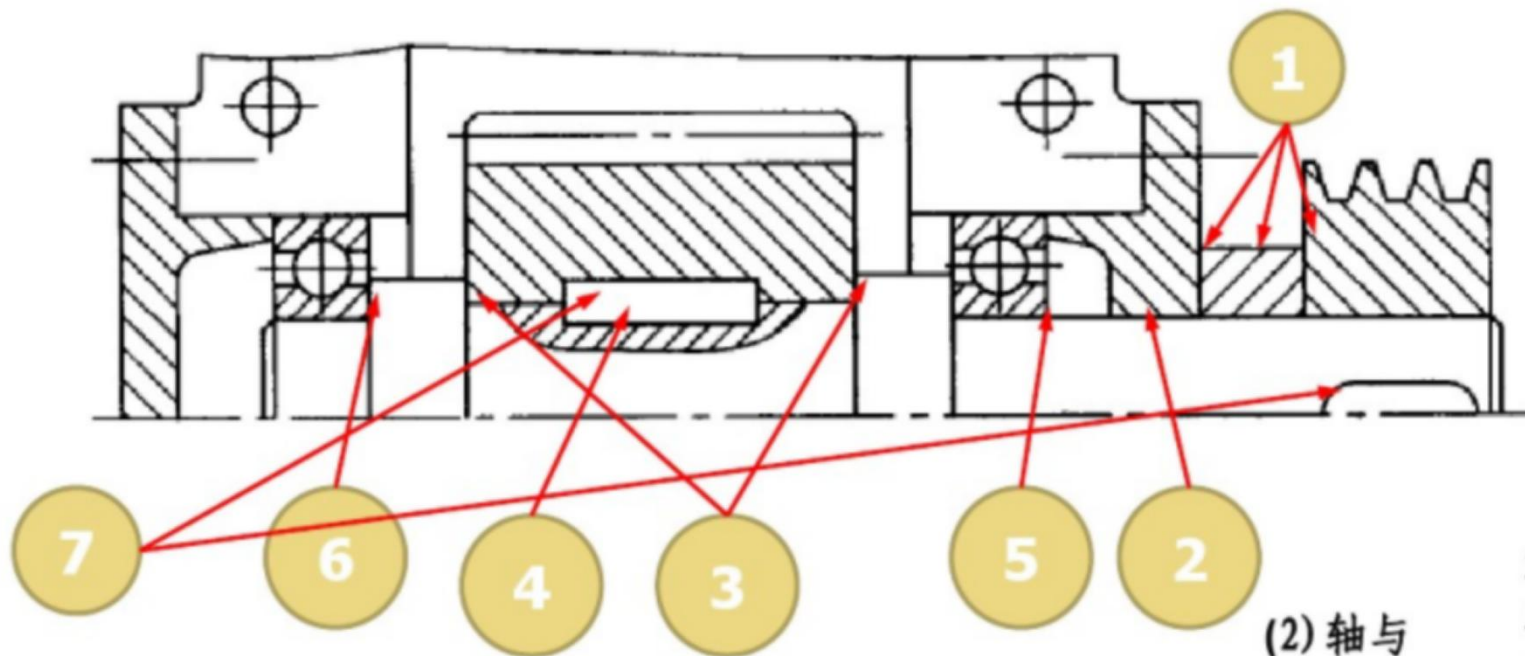
轴的各段长度：根据轴上零件的轴向尺寸及轴系结构的总体布置确定。

- 1) **轴头**与**传动件轮毂**相配合部分的长度，如① ④，一般应小于轮毂长度 $1\sim 2\text{mm}$ ，以保证传动件能够得到可靠的轴向固定。
- 2) **轴颈**的长度一般等于轴承的宽度，但也不尽然，应视具体结构和功用而定。
- 3) 各段**轴身**的长度，可根据总体结构的需要（如轴上零件间的相互位置、装拆要求、轴承间隙的调整等）来确定。



第2节 轴的结构设计

结构分析题：指出下图中轴系的结构错误，并改正



(7) 轴上有两个键，但两个键不在同一母线上。

(6) 因轴肩过高，两个轴承拆卸困难

(4) 齿轮上的键槽没打通，既无法加工也无法装配。

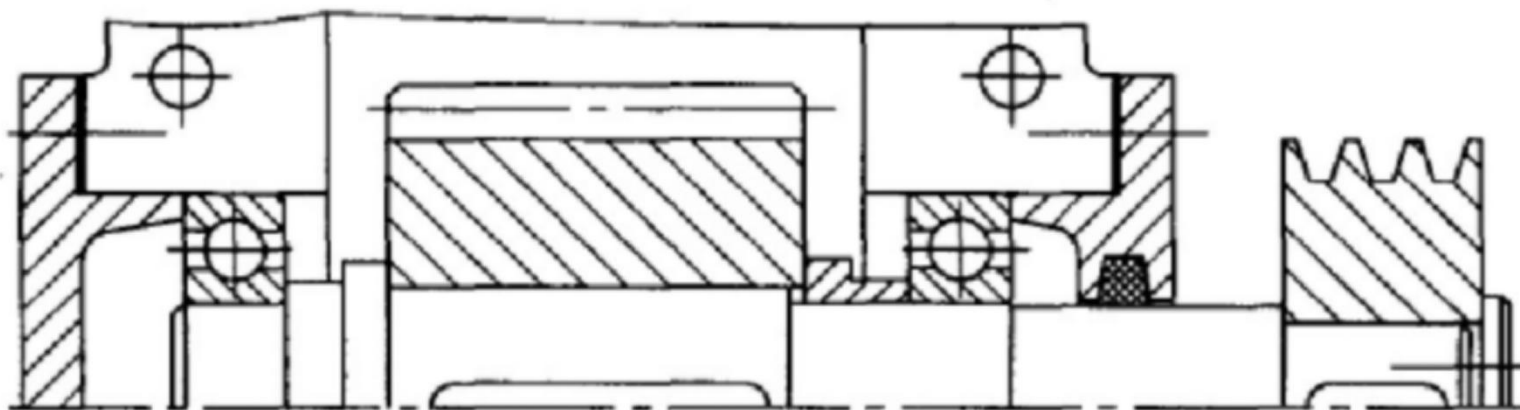
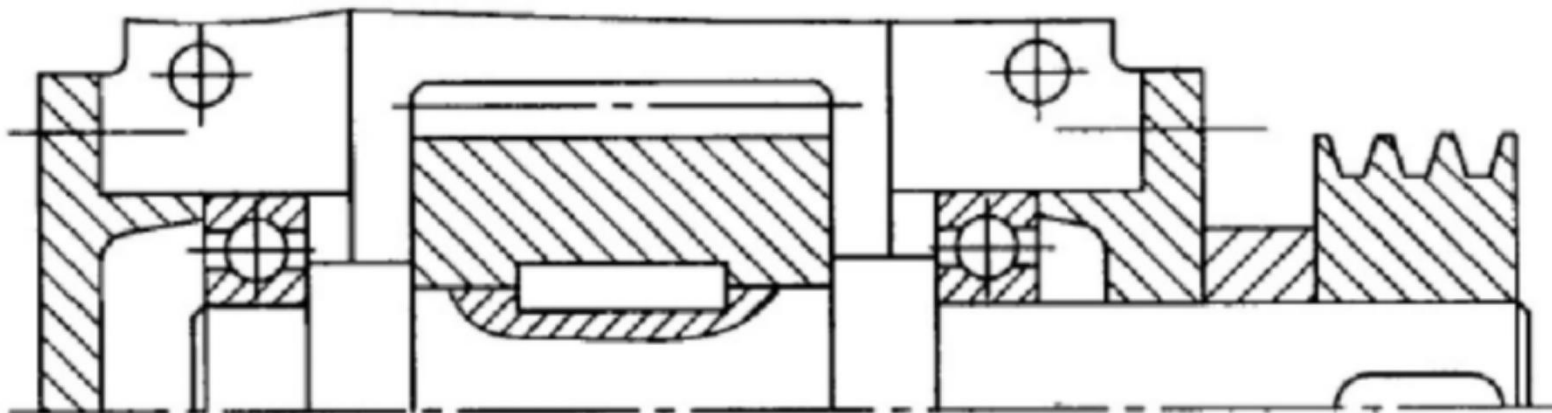
3) 齿轮两侧都是轴环，无法安装到位

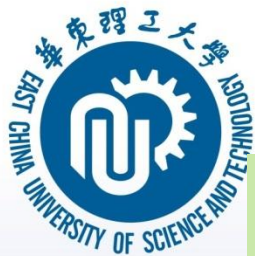
(5) 右轴承的右侧轴上应有工艺轴肩，轴承装拆路线长（精加工面长），装拆困难

(2) 轴与右端盖之间不能接触，应有间隙，并有密封措施

(1) 轴右端的带轮不能通过套筒利用轴承端盖定位，转动零件与固定零件不能接触。

第2节 轴的结构设计





第2节 轴的结构设计

三、轴上零件的布置与结构

轴上零件的布置与结构形式等都直接影响到轴的受力状态，从而影响其强度和刚度。

1、尽量减小轴上的载荷

- 1) 合理安排动力传递路线可以减小轴的受载。
- 2) 改变轴上零件的结构也可以减轻轴所受载荷。

2、减小轴的变形

为了减小轴的弯曲变形量，应尽可能将轴上受力较大的零件放在靠近轴承处，或缩短轴的长度。当轴的长度不能再缩短时，方可考虑适当增大轴的直径，以满足轴的刚度要求。

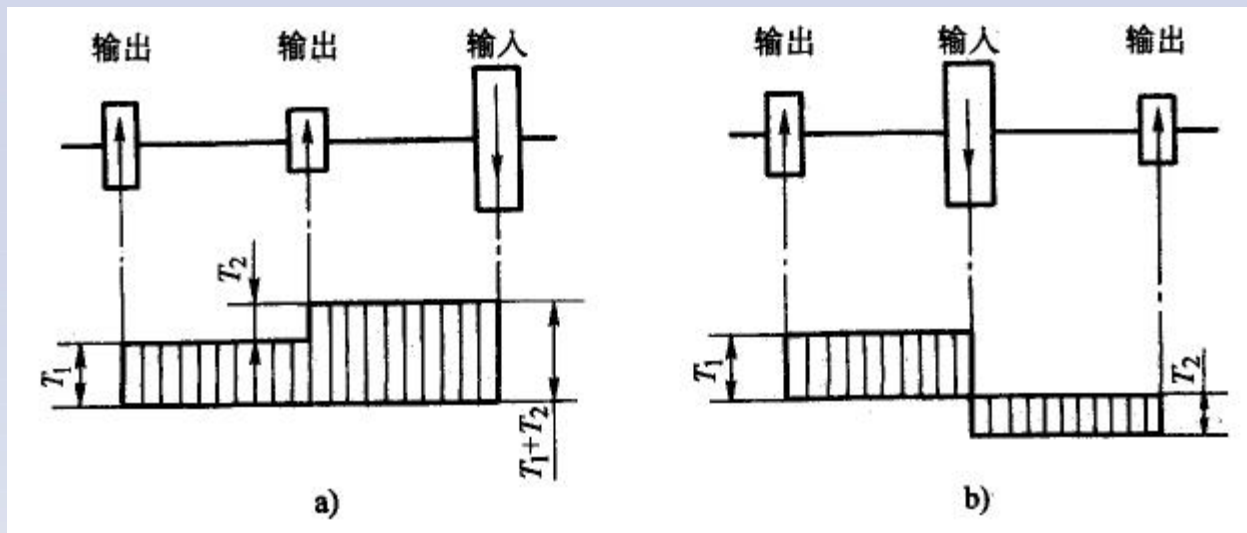
第2节 轴的结构设计

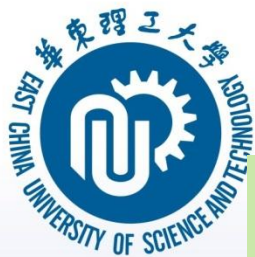
三、轴上零件的布置与结构

1) 合理安排动力传递路线可以减小轴的受载

图a布置，输入转矩为 T_1+T_2 ，也是轴所受的最大转矩；图b布置，输入转矩同样是 T_1+T_2 ，但轴所受的最大转矩是 T_1 。

在实际设计中，当轴上动力需要两个或两个以上的零件输出时，应尽可能将动力输入零件布置在输出零件的中间。





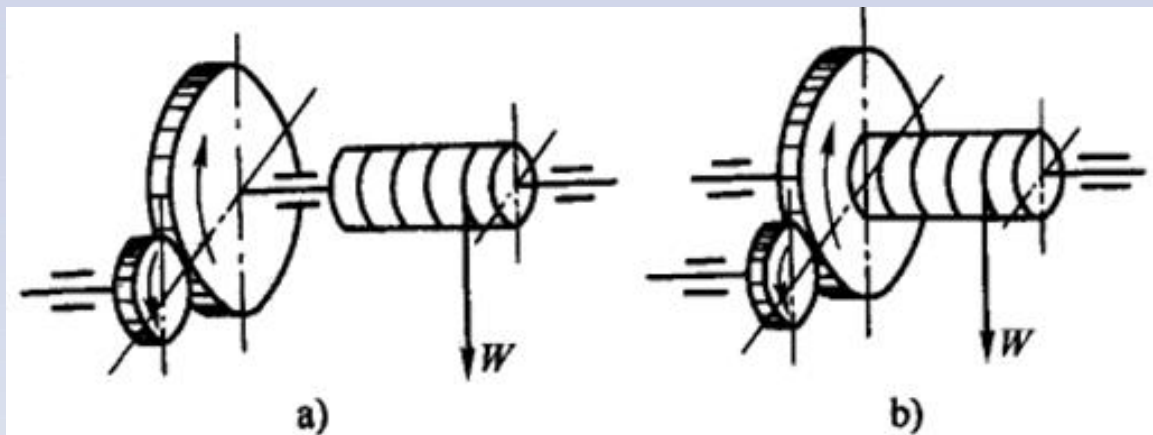
第2节 轴的结构设计

三、轴上零件的布置与结构

2) 改变轴上零件的结构也可以减轻轴所受载荷

如图起重卷筒，图a，将大齿轮和卷筒分别与轴固联成一体，转矩经轴传给卷筒，这样卷筒轴既承受弯矩又传递转矩；图b，将大齿轮和卷筒直接固联成一体，转矩经大齿轮直接传给卷筒，这时卷筒轴只承受弯矩而不传递转矩。

两种结构相比，当起吊同样的载荷 w 时，图b结构所需卷筒轴的直径较小。





第2节 轴的结构设计

四、避免或减小应力集中

应力集中常常是产生疲劳裂纹的根源。为了提高轴的疲劳强度，应从结构设计、加工工艺等方面采取措施，减小应力集中，对于用合金钢制造的轴尤其应注意。

- 1、尽量避免在轴上，特别是应力较大的部位，安排应力集中严重的结构，如螺纹、横孔、凹槽等。
- 2、当应力集中不可避免时，应采取减小应力集中的措施。

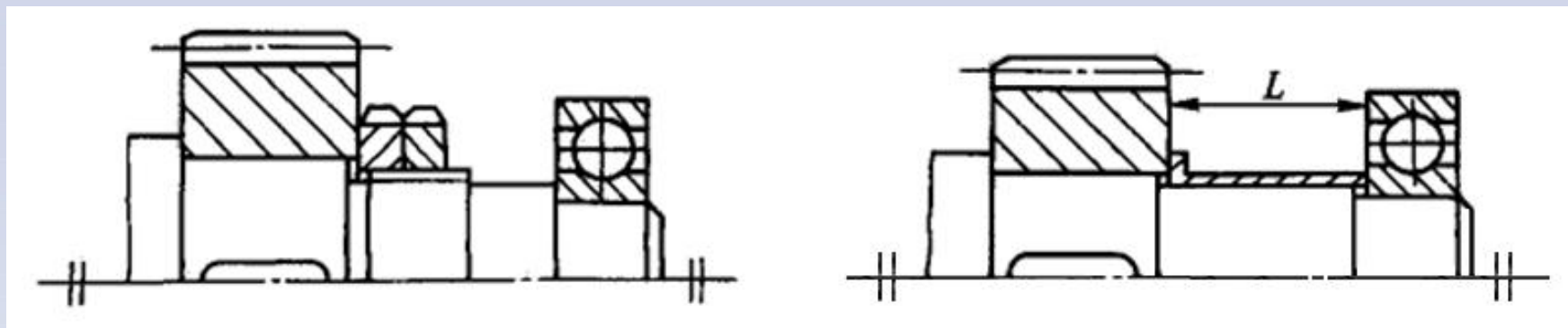


第2节 轴的结构设计

四、避免或减小应力集中

1、尽量避免在轴上，特别是应力较大的部位，安排应力集中严重的结构，如螺纹、横孔、凹槽等。

图a) 中的螺纹及退刀槽引起的应力集中都比较大，改用图b) 中的套筒固定齿轮，既可简化轴的结构，又可减小应力集中。



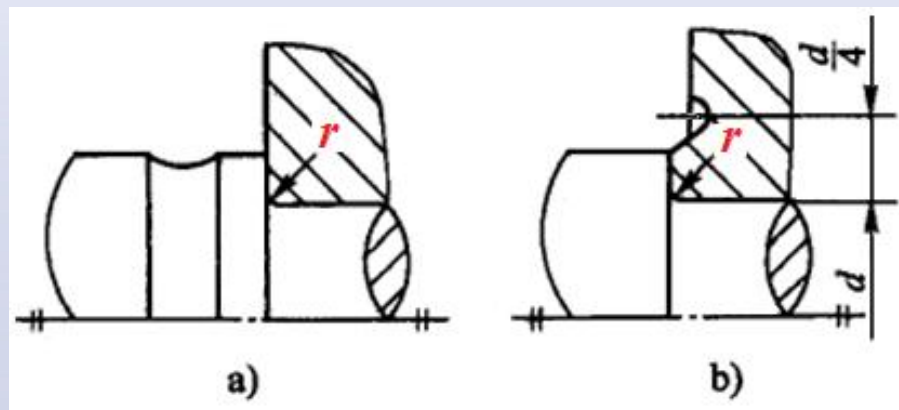


第2节 轴的结构设计

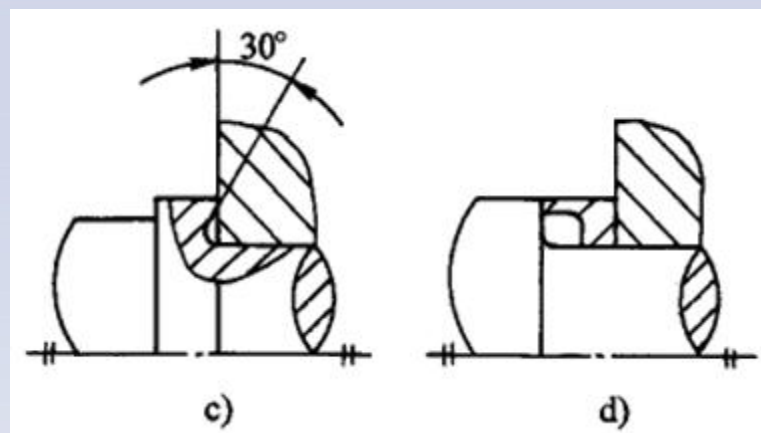
四、避免或减小应力集中

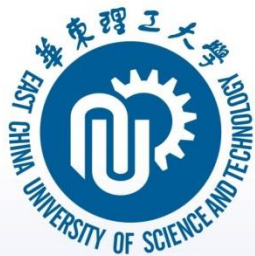
2、当应力集中不可避免时，应采取减小应力集中的措施。

如：适当加大阶梯轴轴肩处的圆角半径（图a）、在轴上或轮毂上设置卸载槽（图b）等。



由于轴上零件的端面应与轴肩定位面靠紧，使得轴的圆角半径常常受到限制，这时可采用凹切圆槽（图c）或过渡肩环（图d）等结构。





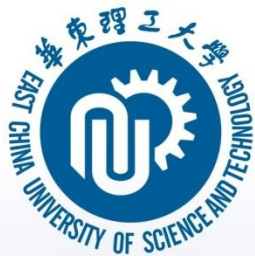
第2节 轴的结构设计

五、改善轴的结构工艺性

轴的结构应便于加工和装配，以提高劳动生产率和降低成本。

例如：为了便于切削加工，一根轴上的圆角应尽可能取相同的圆角半径，退刀槽或砂轮越程槽取相同的宽度，倒角尺寸取相同；键槽的设置也应在同一加工直线上。

为了便于装配，轴端应加工出 45° （或 30° 、 60° ）倒角，过盈配合零件装入端常加工出导向锥面。



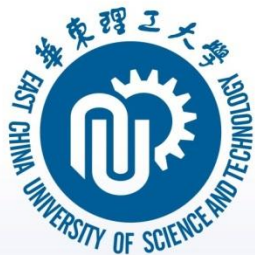
第3节 轴的强度计算

轴的强度计算，通常是在初步完成轴的结构设计之后进行。
对于不同受载和应力性质的轴，采用不同的计算方法。

一、传动轴的强度计算：按扭转强度计算

二、心轴的强度计算：按弯曲强度计算

三、转轴的强度计算：按弯扭合成强度计算



第3节 轴的强度计算

一、传动轴的强度计算：按扭转强度计算

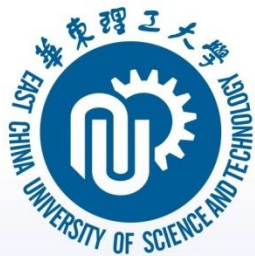
传动轴工作时受扭，由材料力学知，圆截面轴的抗扭强度条件为：

$$\tau_T = \frac{T}{W_T} = \frac{9.55 \times 10^6 \frac{P}{n}}{0.2d^3} \leq [\tau_T]$$

计算轴的直径时，上式可以写成：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2[\tau_T]n}} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$

式中： d 为轴的直径，mm； τ_T 为轴的扭切应力（MPa）； T 为轴传递的转矩（N·mm）； P 为轴传递的功率（kW）； n 为轴的转速（r/min）； W_T 为轴的抗扭截面系数（mm³），实心轴 $W_T = \pi d^3 / 16 \approx 0.2d^3$ ； $[\tau_T]$ 为许用扭切应力（已考虑弯矩对轴的影响）（MPa）； C 是与轴的材料有关的系数。



第3节 轴的强度计算

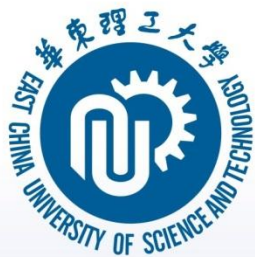
一、传动轴的强度计算：按扭转强度计算

说明：

1、按设计公式求得的直径，还应考虑轴上键槽对轴强度削弱的影响。一般情况下，**开一个键槽**，轴径应增大3%；**开两个键槽**，增大7%，然后**取标准直径**。

2、在**转轴**的设计中，常用传动轴的设计公式作**结构设计前轴径的初步估算**，把估算的直径作为轴上受扭段的最小直径（有时也可作轴的最小直径）。

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2 [\tau_T] n}} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$



第3节 轴的强度计算

二、心轴的强度计算：按弯曲强度计算

一般情况下，作用在轴上的载荷方向不变，心轴的抗弯曲强度条件为：

$$\sigma_w = \frac{M}{W} = \frac{M}{0.1d^3} \leq [\sigma_w]$$

计算轴的直径时，上式可以写成：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M}{0.1[\sigma_w]}}$$

式中， σ_w 是轴的弯曲应力（MPa）； M 是作用在轴上的弯矩（N·mm）； W 是轴的抗弯截面系数，取 $W \approx 0.1d^3$ ； d 是轴的计算直径； $[\sigma_w]$ 是轴材料的许用弯曲应力（MPa）。



第3节 轴的强度计算

三、转轴的强度计算：按弯扭合成强度计算

转轴的结构设计初步完成之后，轴的支点位置及轴上所受载荷的大小、方向和作用点均为已知。可求出轴的支承反力，画出弯矩图和转矩图，按弯曲和扭转合成强度条件计算轴的直径。

轴的支点位置，对于滑动轴承和滚动轴承不全是在轴承宽度的中点上。为了简化计算，通常均将支点位置取在轴承宽度的中点上。



第3节 轴的强度计算

三、转轴的强度计算：按弯扭合成强度计算

由弯矩图和转矩图初步判断轴的危险截面。根据危险截面上产生的弯曲应力 σ_w 和扭切应力 τ_T ，按照第三强度理论求出钢制轴在复合应力作用下危险截面的当量弯曲应力 σ_{ew} ，其强度条件为：

$$\sigma_{ew} = \sqrt{\sigma_w^2 + 4\tau_T^2} = \sqrt{\left(\frac{M}{W}\right)^2 + 4\left(\frac{T}{W_T}\right)^2} \leq [\sigma_w]$$

将 $W_T \approx 2W$ 代入上式，得

$$\sigma_{ew} = \sqrt{\left(\frac{M}{W}\right)^2 + 4\left(\frac{T}{2W}\right)^2} = \frac{1}{W} \sqrt{M^2 + T^2} \leq [\sigma_w]$$



第3节 轴的强度计算

三、转轴的强度计算：按弯扭合成强度计算

一般转轴， σ_w 为对称循环变应力， τ_T 的循环特性随转矩 T 的性质而定。考虑弯曲应力与扭切应力循环特性的差异，将上式中的转矩 T 乘以应力校正系数 α ，即有：

$$\begin{aligned}\sigma_{ew} &= \frac{1}{W} \sqrt{(M)^2 + (\alpha T)^2} \\ &= \frac{M_e}{W} \leq [\sigma_{-1w}]\end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{不变的转矩} & \alpha = \frac{[\sigma_{-1w}]}{[\sigma_{+1w}]} \approx 0.3 \\ \text{脉冲循环的转矩} & \alpha = \frac{[\sigma_{-1w}]}{[\sigma_{0w}]} \approx 0.6 \\ \text{对称循环的转矩} & \alpha = \frac{[\sigma_{-1w}]}{[\sigma_{-1w}]} \approx 1 \end{array} \right.$$

M_e 当量弯矩 (N·mm) , $M_e = \sqrt{(M)^2 + (\alpha T)^2}$



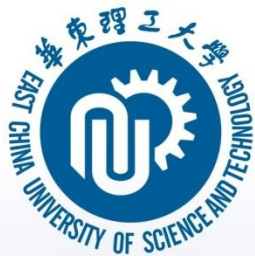
第3节 轴的强度计算

三、转轴的强度计算：按弯扭合成强度计算

由下式求转轴的计算直径，进行强度校核，即：

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_e}{0.1[\sigma_{-1w}]}}$$

另外，也需要考虑键槽对轴强度削弱的影响，按上式求得的直径应增大4%~7%，单键槽时取较小值，双键槽时取较大值。



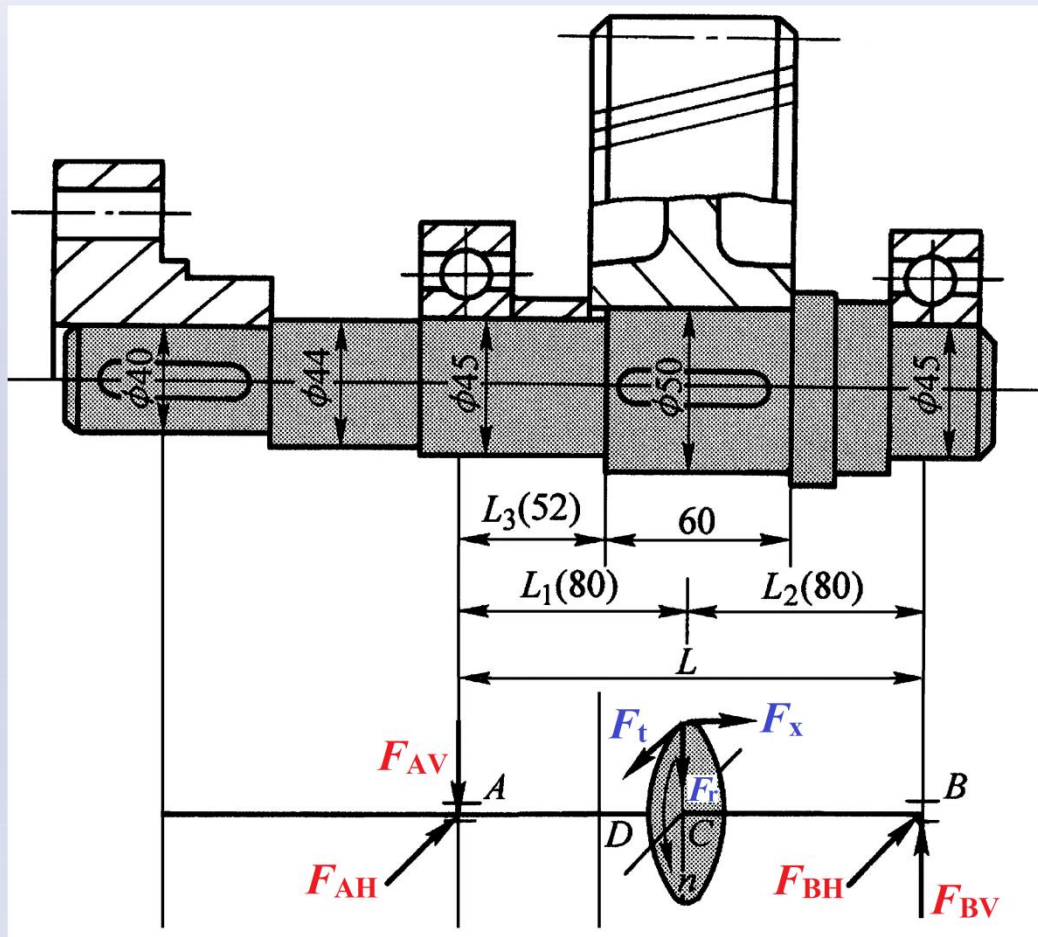
第3节 轴的强度计算

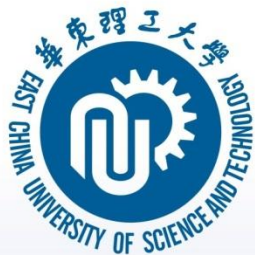
三、转轴的强度计算：按弯扭合成强度计算

- 1、按照**扭转强度**估算轴径，作为轴上受扭段的最小直径；
- 2、按照**结构设计**要求，进行轴的初步结构设计，确定**轴**的外形和尺寸；
- 3、按**弯扭合成强度**条件进行校核。若初定轴的直径较小，不能满足强度要求，则需要修改结构设计，直到满足强度要求；若初定轴的直径较大，一般先不修改结构设计，通常是在计算完轴承后再综合考虑是否进行修改设计。

第3节 轴的强度计算

【例7-2】某单级斜齿圆柱齿轮减速器，经初步结构设计，确定输出轴的结构和尺寸及空间受力如图所示。已知轴上齿轮的分度圆直径 $d=280\text{mm}$ ，作用在齿轮上的切向力 $F_t=5500\text{N}$ ，径向力 $F_r=2072\text{N}$ ，轴向力 $F_x=1474\text{N}$ ，传动不逆转，轴的材料为45钢，进行调质处理，试校核轴的强度。



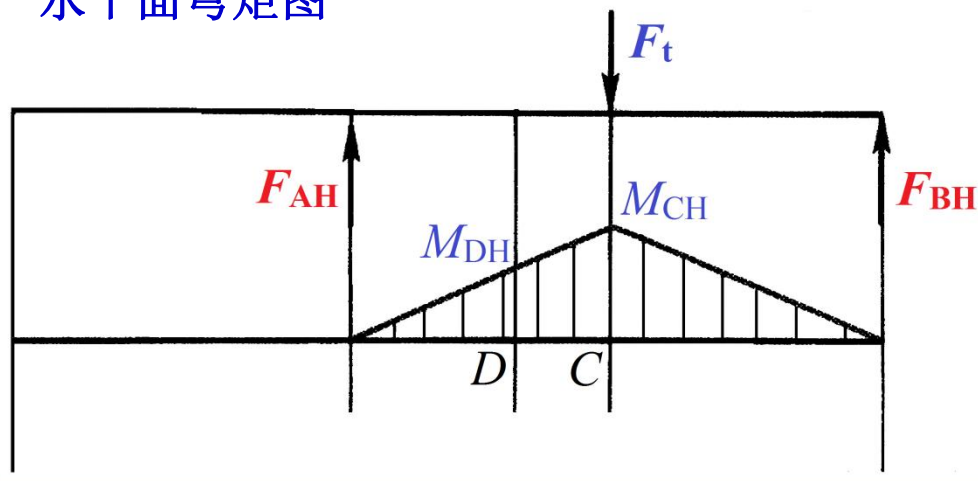


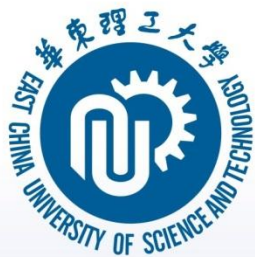
第3节 轴的强度计算

【解】

- 1) 求水平支反力
- 2) 绘水平面弯矩图 M_H
- 3) 求垂直面支反力
- 4) 绘垂直面弯矩图 M_V
- 5) 绘合成面弯矩图 M
- 6) 绘转矩 T 图
- 7) 绘当量弯矩图（确定危险截面D，C）
- 8) 求危险截面处轴的计算直径
- 9) 检查轴的强度

水平面弯矩图





第3节 轴的强度计算

【解】

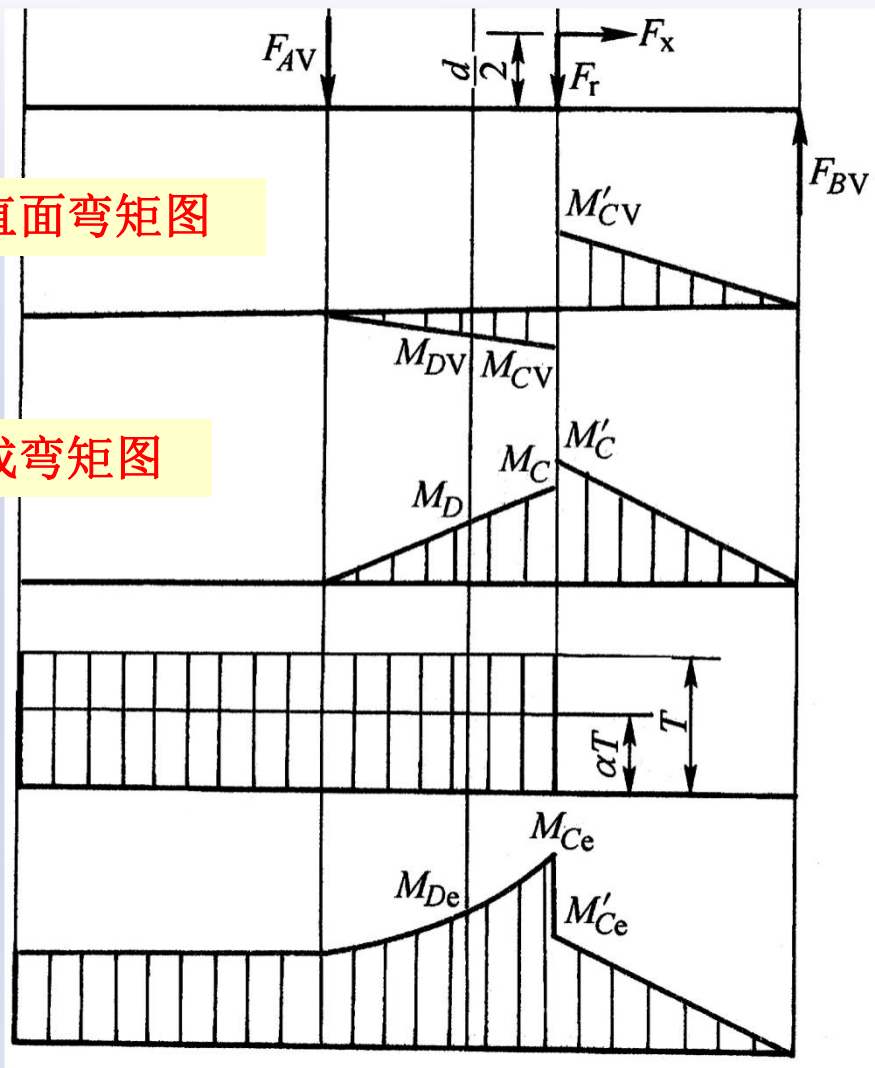
- 1) 求水平支反力
- 2) 绘水平面弯矩图 M_H
- 3) 求垂直面支反力
- 4) 绘垂直面弯矩图 M_V
- 5) 绘合成面弯矩图 M
- 6) 绘转矩 T 图
- 7) 绘当量弯矩图 (确定危险截面)
- 8) 求危险截面处轴的计算直径
- 9) 检查轴的强度

垂直面弯矩图

合成弯矩图

转矩 T 图

当量弯矩图





本章小结

- 轴的结构设计（轴上零件的轴向固定，周向固定）
- 轴的强度计算（转轴的强度计算）