轴的概述

一、轴的用途及分类

轴的主要功用是支承回转零件及传递运动和动力。

按照承受载荷的不同,轴可分为:

心轴: 只承受弯矩的轴, 如火车车轮轴

传动轴: 只承受扭矩的轴, 如汽车的传动轴

转轴:同时承受弯矩和扭矩的轴,如减速器的轴

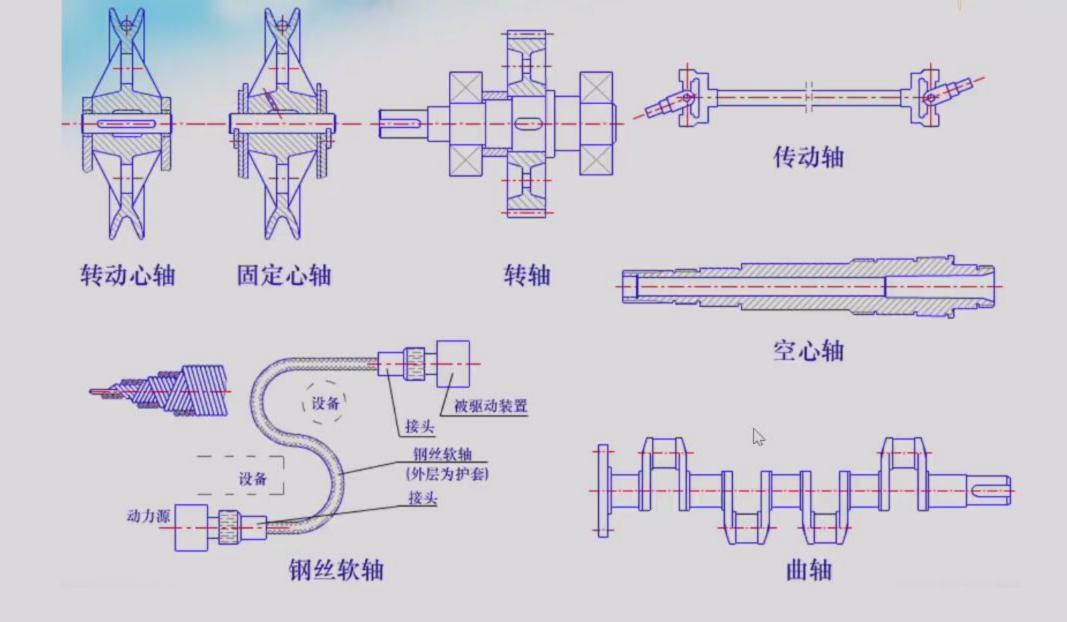
按照轴线形状的不同,轴可分为曲轴和直轴两大类。

直轴根据外形的不同,可分为光轴和阶梯轴。

轴一般是实心轴,有特殊要求时也可制成空心轴,如航空发动机的主轴。

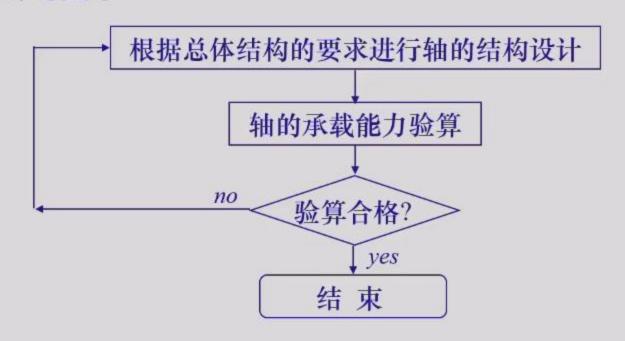
除了刚性轴外,还有钢丝软轴,可以把回转运动灵活地传到不开敞地空

间位置。



轴的概述

- 二、轴设计的主要内容
 - 轴的设计包括结构设计和工作能力验算两方面的内容。
- (1) 根据轴上零件的安装、定位以及轴的制造工艺等方面的要求,合理地确定轴的结构形式和尺寸。
- (2) 轴的承载能力验算指的是轴的强度、刚度和振动稳定性等方面的验算。 轴的设计过程是:



轴的概述

三、轴的材料

轴的材料主要是碳钢和合金钢,钢轴的毛坯多数用圆钢或锻件,各种 热处理和表面强化处理可以显著提高轴的抗疲劳强度。

碳钢比合金钢价廉,对应力集中的敏感性比较低,适用于一般要求的轴。 合金钢比碳钢有更高的力学性能和更好的淬火性能,在传递大功率并要求 减小尺寸和质量、要求高的耐磨性,以及处于高温、低温和腐蚀条件下的轴常 采用合金钢。

在一般工作温度下(低于200°),各种碳钢和合金钢的弹性模量均相差不多,因此相同尺寸的碳钢和合金钢轴的刚度相差不多。

高强度铸铁和球墨铸铁可用于制造外形复杂的轴,且具有价廉、良好的吸 振性和耐磨性,以及对应力集中的敏感性较低等优点,但是质较脆。

材料牌号	热处理	毛坯 直径 (mm)	硬度 (HBS)	抗拉 强度	屈服 极限	弯曲疲 劳极限 エコ	剪切疲 劳极限 ₹-1	备 注	
				(MPa)					
Q235	_	>16~40	_	440	240	180	105	用于不重要或承载不 大的轴	
Q275	-	>16~40	-	550	265	220	127		
45	正火	≤100	170~217	600	300	240	140	应用最广泛	
	调质	≤200	217~255	650	360	275	155		
40Cr		25	=	1000	800	485	280		
		≤100	241~286	750	550	350	200	用于载荷较大而无律 大冲击的重要的轴。	
	调质	>100~300	229~269	700	500	320	185	八叶田田至文印州。	
40M nB	-	25	-	100	800	485	280	性能接近 40Cr,用引	
	调质	≤200	241~286	750	500	335	195	重要的轴。	
35CrMo	调质	≤100	207~269	750	550	350	200	用于重要的轴。	
20Cr	渗碳	≤15		850	550	375	215	用于要求强度和韧	
	淬火 回火	>15~60	表面 56~62 HRC	650	400	280	160	均较高的轴(如某些齿轮轴、蜗杆等)。	
1Cr18Ni9Ti	淬火	≤60 >60~180	≤192	550 540	220 200	205 195	120 115	用于高、低温及强腐 蚀条件下工作的轴。	
QT500-7	1 3	-	187~255	500	380	180	155	用于制造复杂外形的 轴(如曲轴等)	
QT600-3	_	_	197~269	600	420	215	185		

轴的结构设计

轴的结构设计应该确定:轴的合理外形和全部结构尺寸。轴的结构设计应该保证:

- ◆ 轴和装在轴上的零件要有准确的工作位置
- ◆ 轴上的零件应便于装拆和调整
- ◆轴应具有良好的制造工艺性等
- 一、拟定轴上零件的装配方案

轴上零件的装配方案不同,则轴的结构形状也不相同。设计时可拟定几种装配方案,进行分析与选择。▶

二、轴上零件的定位

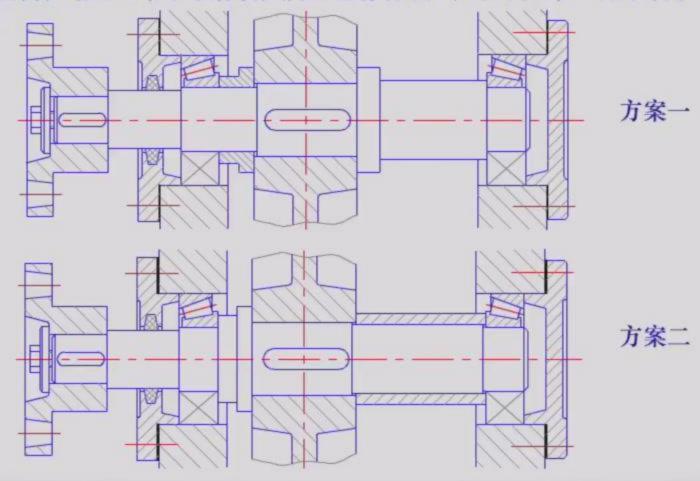
轴上零件的轴向定位是以轴肩、套筒、轴端挡圈和圆螺母等来保证的。 轴上零件的周向定位是通过键、花键、销、紧定螺钉以及过盈配合来实 现的。

拟定轴上零件的装配方案



轴上零件的装配方案对轴的结构形式有很大的影响。

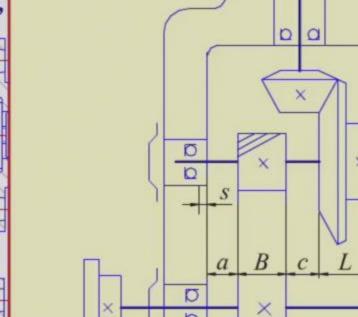
以下是减速器输出轴的两种装配方案。显然,第二种方案需要一个用于轴向定位的长套筒,给加工带来了麻烦,质量也有所增大,故不如第一种方案好。



紀方案 🧼



轴上零件 以下是调 位的长套筒,



D

a

a Ø 要一个用于轴向定 种方案好。

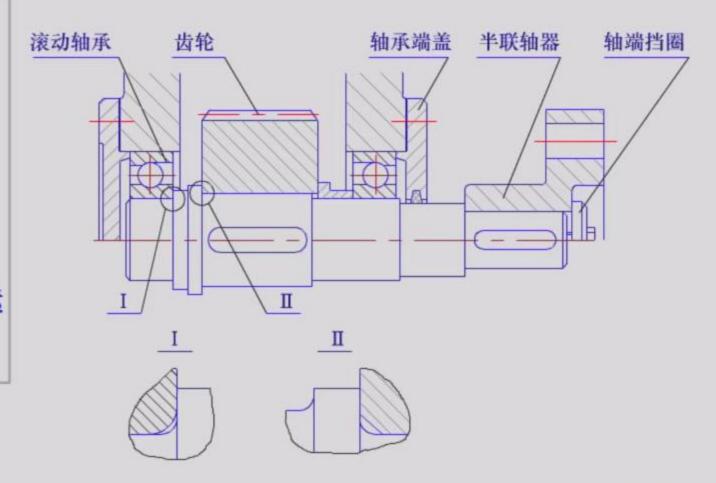
方案一

方案二



- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - .●套筒
 - ..●圆螺母
 - ..●弹性档圈
 - .●圆锥面
 - ·●轴端挡圈
 - · ●锁紧挡圈
- :....●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

结构简单、可靠、能承受较大的轴向力,应用广泛。

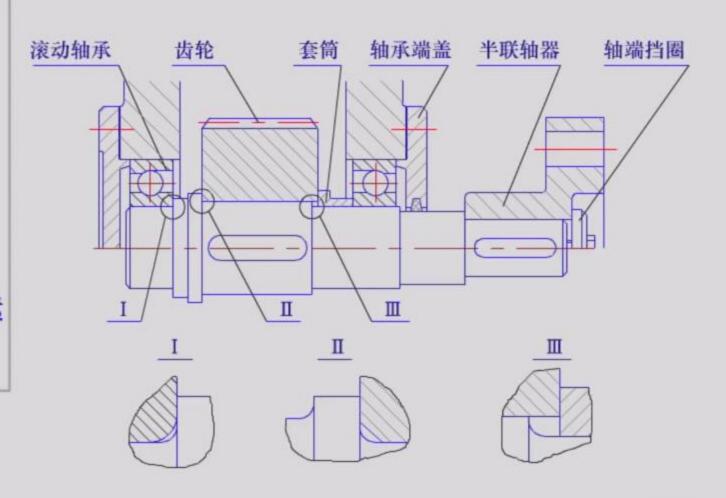


25

轴上零件定位方法

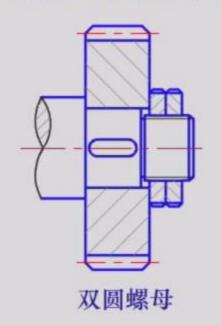
- ◆零件的轴向定位方法
 - ·●轴肩、轴环
 - .●套筒
 - .●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - .●圆锥面
 - …●轴端挡圈
 - •锁紧挡圈
- 紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

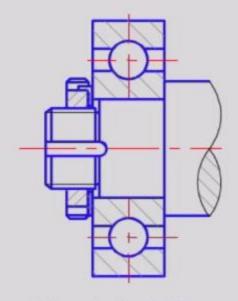
一般用于轴上两零件间距离不大时, 不宜用于高速轴。



- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - .●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - ..●圆锥面
 - ..●轴端挡圈
 - …●锁紧挡圈
-●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

定位可靠、能承受较大的轴向力。但对轴的疲劳强度 削弱较大,因此多用于轴端。



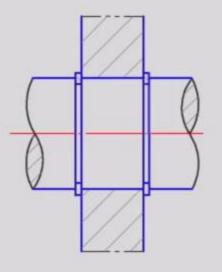


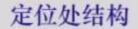
圆螺母与止动垫圈

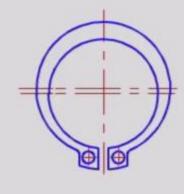
圆螺母定位

- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - .●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - ..●圆锥面
 - ·●轴端挡圈
 - ·●锁紧挡圈
-●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

结构简单、紧凑, 只承受较小的轴向力, 常用于固定滚动轴承。







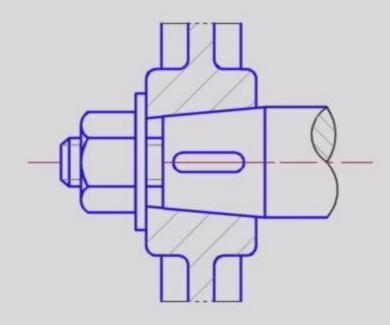
轴用弹性挡圈

弹性档圈定位



- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - …●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - …●圆锥面
 - ..●轴端挡圈
 - …●锁紧挡圈
-●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

能承受冲击载荷,用于同心度要求较高的轴端零件。

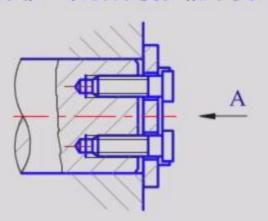


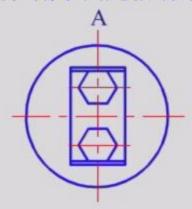
圆锥面定位

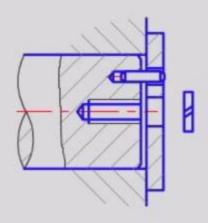


- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - ·●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - …●圆锥面
 - ·●轴端挡圈
 - …●锁紧挡圈
- ●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

定位可靠、装拆方便, 能承受冲击载荷, 用于固定轴端零件。





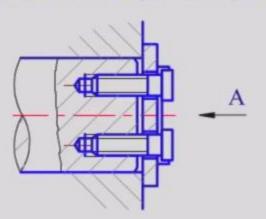


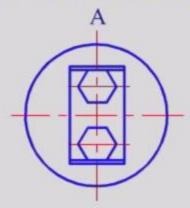
轴端挡圈定位

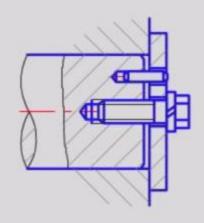


- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - ·●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - ..●圆锥面
 - · ●轴端挡圈
 - …●锁紧挡圈
-●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

定位可靠、装拆方便, 能承受冲击载荷, 用于固定轴端零件。





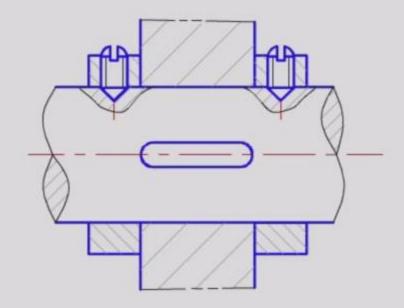


轴端挡圈定位



- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - ·●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - …●圆锥面
 - …●轴端挡圈
 - …●锁紧挡圈
-●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

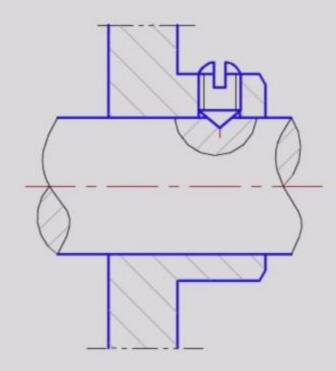
结构简单,不能承受大的轴向力,常用于光轴上零件的固定。



锁紧挡圈

- ◆零件的轴向定位方法
 - ..●轴肩、轴环
 - ·●套筒
 - …●圆螺母
 - …●弹性档圈
 - …●圆锥面
 - …●轴端挡圈
 - …●锁紧挡圈
-●紧定螺钉
- ◆零件的周向定位方法

结构简单, 轴上零件位置可调, 轴向承载能力较小。

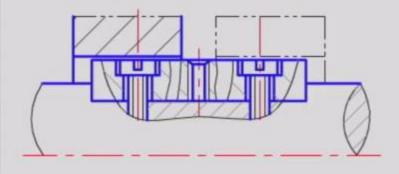


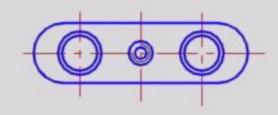
紧定螺钉定位

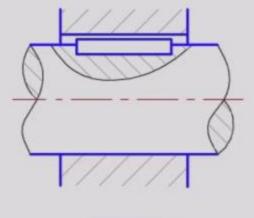
- ◆零件的轴向定位方法
- ◆零件的周向定位方法
- -------平键
 - "●半圆键
 - …●楔键
 - "●切向键
 - · 花键

 - ●过盈联接
 - ●型面联接
 - ..●胀紧联接

普通平键用于静联接,对中性好、应用广泛;导向平键 用于一般要求的导向联接中。







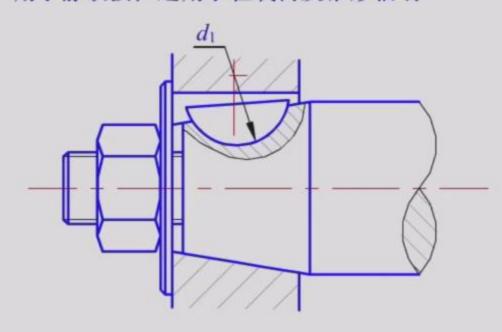
导向平键

普通平键

- ◆零件的轴向定位方法
- ◆零件的周向定位方法
 - … ●平键
 - "●半圆键
- ---・|| | | | | | | |
 - …●切问键
 - ●花键

 - ●过盈联接
 - ●型面联接
 - ●胀紧联接

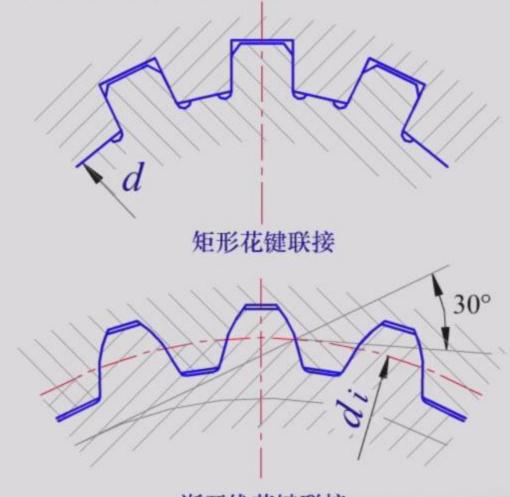
用于静联接,适用于轻载荷及锥形轴端。



半圆键

- ◆零件的轴向定位方法
- ◆零件的周向定位方法
 - …●平键
 - ●半圆键
 - · 楔键
 - ●切向键
 - ●花键
 - ●销
 - ●过盈联接
 - ●型面联接
 - ⋅ 胀紧联接

承载能力高,定心性及导向性好,适用于载荷较大、定心 精度要求较高的静联接和动联接。



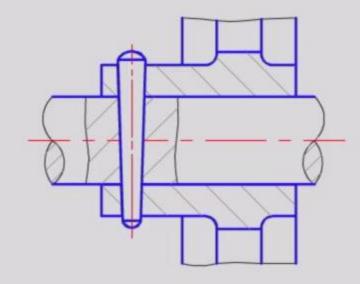
渐开线花键联接



- ◆零件的轴向定位方法
- ◆零件的周向定位方法
 - …●平键
 - ·· ●<u>半圆键</u>
 - ●楔键
 - "●切向键
 - ●花键

 - ●过盈联接
 - ●型面联接
 - ●胀紧联接

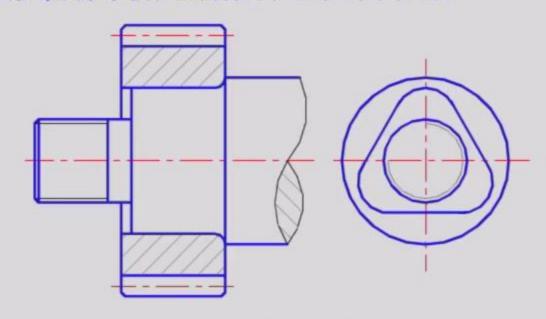
用于固定不太重要、受转矩不大且同时需要轴向定位的零件。



- ◆零件的轴向定位方法
- ◆零件的周向定位方法
 - … ●平键
 - "●半圆键
 - · 楔键
 - "●切向键
 - ●花键

 - ●过盈联接
 - ..●型面联接
-●胀紧联接

用于静联接。等距曲线成形联接, 无应力集中源, 对中性 好; 方形等成形联接, 应力集中严重, 对中性差。

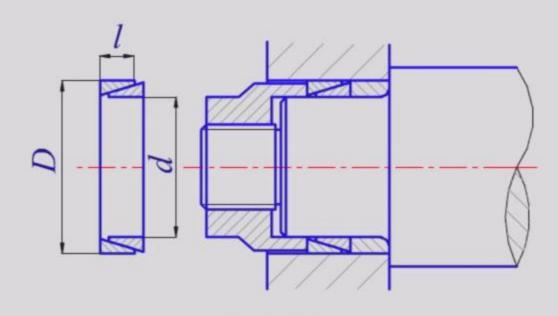


型面联接

- ◆零件的轴向定位方法
- ◆零件的周向定位方法
 - … 平键
 - "●半圆键
 - .. ●楔键
 - "●切向键
 - ●花键

 - ●过盈联接
 - ●型面联接
-•胀紧联接

用于静联接,对中性好,承载能力大,联接处径向尺寸大。



Z1型胀套

轴的结构设计

轴的结构设计应该确定:轴的合理外形和全部结构尺寸。轴的结构设计应该保证:

- ◆ 轴和装在轴上的零件要有准确的工作位置
- ◆ 轴上的零件应便于装拆和调整
- ◆轴应具有良好的制造工艺性等
- 一、拟定轴上零件的装配方案

轴上零件的装配方案不同,则轴的结构形状也不相同。设计时可拟定几种装配方案,进行分析与选择。◆<u></u>

二、轴上零件的定位

轴上零件的轴向定位是以轴肩、套筒、轴端挡圈和圆螺母等来保证的。 轴上零件的周向定位是通过键、花键、销、紧定螺钉以及过盈配合来实 现的。

轴的结构设计

- 三、各轴毂直径和长度的确定
 - ◆ 首先按轴所受的扭矩估算轴径,作为轴的最小轴径d_{min}。
 - ◆ 有配合要求的轴段,应尽量采用标准直径。
 - ◆ 安装标准件的轴径,应满足<u>装配尺寸要求</u>。
 - ◆有配合要求的零件要便于装拆。
 - ◆ 应保证轴上零件能可靠的轴向固定。

四、提高轴的强度的常用措施

- ◆ 合理<u>布置轴上零件</u>以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴上零件的结构以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴的结构以减小应力集中的影响
- ◆ 改进轴的表面质量以提高轴的疲劳强度

标准尺寸(部分摘录)(GB2822-81)

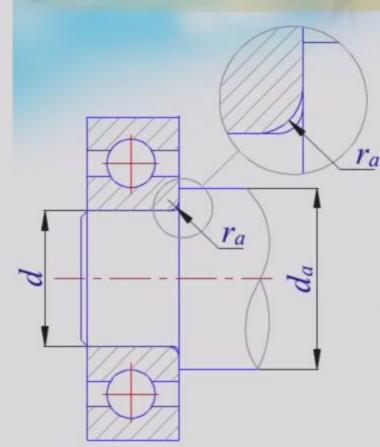


标准尺寸适用于有互换性或系列化要求的主要尺寸,如安装尺寸,联接尺寸 和配合尺寸等。选择尺寸时一般优先选用R系列,按照R10, R20, R40顺序;若 必须将数值圆整,可选择Ra系列,按照Ra10, Ra20, Ra40顺序选择。

	R			Ra	
R10	R20	R40	Ra10	Ra20	Ra40
10.0	10.0		10	10	
	11.2			11	
12.5	12.5	12.5	12	12	12
	13.2	14.0			13
	14.0	15.0		14	14
16.0	16.0	16.0	16	16	16
		17.0			17
	18.0	18.0		18	18
		19.0			19
20.0	20.0	20.0	20	20	20
5753500		21.2	1000		21
	22.4	22.4			22
	Table 1900	23.6			24
250	25.0	25.0	25	25	25
		26.5			26
	28.0	28.0			28
		30.0			30
31.5	31.5	31.5	32	32	32
		33.5			34
	35.5	35.5			36
		37.5			38
40.0	40.0	40.0	40	40	40

滚动轴承的安装尺寸



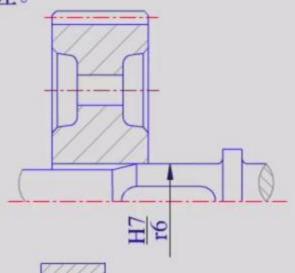


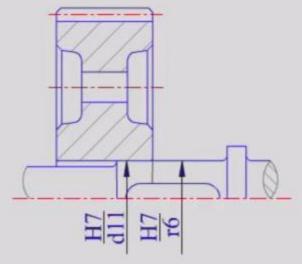
轴承型号	d	$d_{ m rmin}$	P amin
6107	35	41	1
6207	35	42	1
6307	35	44	1.5
6407	35	44	1.5
6108	40	46	1
6208	40	47	1
6308	40	48	1.5
6408	40	50	2

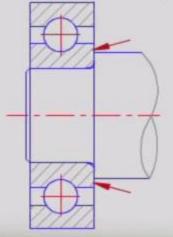
零件要便于装拆



有配合的轴段为了便于装拆,并减少配合表面的擦伤,在配合轴段前应采用较小的直径。为了使与轴作过盈配合的零件易于装配,轴段上应有装配锥度,或采用不同的尺寸公差。







滚动轴承的定位轴肩高度应低于轴承内圈端面 的高度,以便拆卸轴承。

轴的结构设计

- 三、各轴毂直径和长度的确定
 - ◆ 首先按轴所受的扭矩估算轴径,作为轴的最小轴径d_{min}。
 - ◆ 有配合要求的轴段,应尽量采用标准直径。
 - ◆ 安装标准件的轴径,应满足装配尺寸要求。
 - ◆有配合要求的零件要便于装拆。
 - ◆ 应保证轴上零件能可靠的轴向固定。

四、提高轴的强度的常用措施

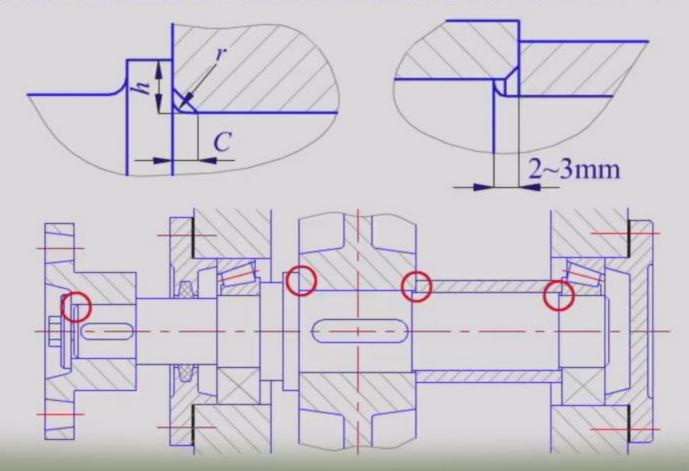
- ◆ 合理布置轴上零件以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴上零件的结构以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴的结构以减小应力集中的影响
- ◆ 改进轴的表面质量以提高轴的疲劳强度

可靠的轴向固定

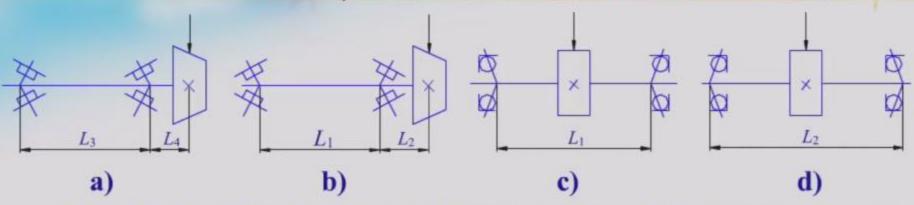


为了使轴上零件能可靠的轴向固定,应注意以下问题:

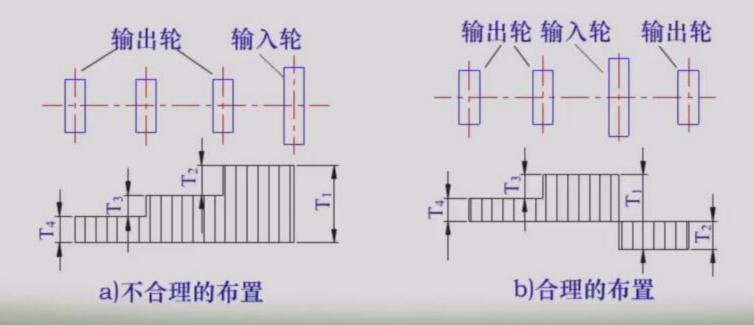
- ◆与齿轮或联轴器等零件相配合部分的轴段长度一般应比轴毂长度短2~3mm。
- ◆定位轴肩的高度h应达到定位零件毂孔端部倒角尺寸C的2~3倍,即h≥(2~3)C。
- ◆定位轴肩处的过渡圆角半径r应小于定位零件毂孔端部倒角尺寸C,即r<C。



合理布置轴上零件以减小轴的载荷



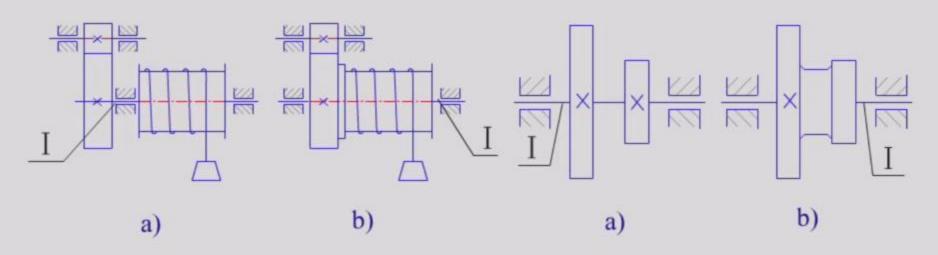
不同的支承方案将影响轴的支承跨距和刚度,方案a)、d)的支承跨距大,b)、c)的 跨距小,但a)的悬臂短,b)的悬臂长。



改进轴上零件的结构以减小轴的载荷



通过改进轴上零件的结构也可减小轴上的载荷。



a)方案中轴 I 既受弯矩又受扭矩

b)方案中轴 I 只受弯矩

轴的结构设计

- 三、各轴毂直径和长度的确定
 - ◆ 首先按轴所受的扭矩估算轴径,作为轴的最小轴径d_{min}。
 - ◆ 有配合要求的轴段,应尽量采用标准直径。
 - ◆ 安装标准件的轴径,应满足装配尺寸要求。
 - ◆有配合要求的零件要便于装拆。
 - ◆ 应保证轴上零件能可靠的轴向固定。

四、提高轴的强度的常用措施

- ◆ 合理布置轴上零件以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴上零件的结构以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴的结构以减小应力集中的影响
- ◆ 改进轴的表面质量以提高轴的疲劳强度

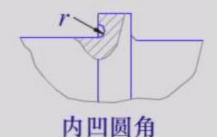
13

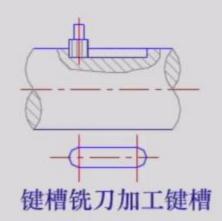


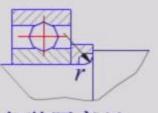
减小应力集中的影响



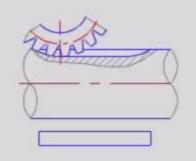
轴通常是在变应力作用下工作的,轴的截面尺寸发生突变处要产生应力集中,轴的疲劳破坏往往在此发生。为了提高轴的疲劳强度,应尽量减少应力集中源和降低应力集中程度。







加装隔离环



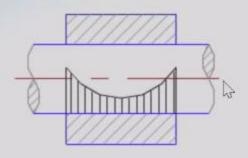
盘状铣刀加工键槽

用盘状铣刀加工的键槽比用键槽铣刀加工的键槽在过渡处对轴的截面削弱 较为平缓,因而应力集中较小。

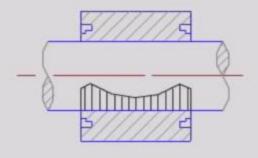
减小应力集中的影响



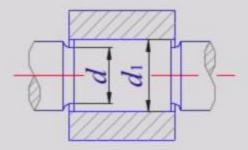
当轴与轮毂为过盈配合时,配合边缘处会产生较大的应力集中。



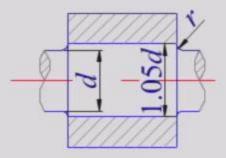
过盈配合处的应力集中



轮毂上开卸载槽 (应力集中系数减小15~25%)



轴上开卸载槽 应力集中系数减小40% d_1 =(1.06~1.08)d



増大配合处直径 应力集中系数减小30~40% r>(0.1~0.2)d

改善轴的表面质量



轴的表面粗糙度和表面强化处理方法也会对轴的疲劳强度产生 影响。当采用对应力集中甚为敏感的高强度材料制作轴时,表面质 量尤应予以注意。

- ◆ 轴的表面愈粗糙,疲劳强度也愈低。因此,应合理减小轴的表面 及圆角处的加工粗糙度值。
- ◆表面强化处理的方法有:
 - ★表面高频淬火等热处理;
 - ★表面渗碳、氰化、氮化等化学热处理;
- ★ 碾压、喷丸等强化处理。 通过碾压、喷丸进行表面强化处理时可使轴的表层产生预压应 力,从而提高轴的抗疲劳能力。

轴的结构设计

- 三、各轴毂直径和长度的确定
 - ◆ 首先按轴所受的扭矩估算轴径,作为轴的最小轴径d_{min}。
 - ◆ 有配合要求的轴段,应尽量采用标准直径。
 - ◆ 安装标准件的轴径,应满足装配尺寸要求。
 - ◆有配合要求的零件要便于装拆。
 - ◆ 应保证轴上零件能可靠的轴向固定。

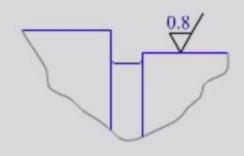
四、提高轴的强度的常用措施

- ◆ 合理<u>布置轴上零件</u>以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴上零件的结构以减小轴的载荷
- ◆ 改进轴的结构以减小应力集中的影响
- ◆ 改进轴的表面质量以提高轴的疲劳强度

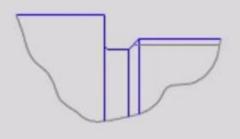
轴的结构设计

五、轴的结构工艺性

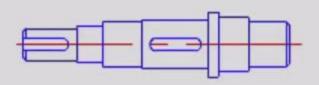
在满足使用要求的前提下,轴的结构越简单,工艺性越好。 轴上应有满足加工和装配所要求的倒角、圆角、螺纹退刀槽和砂轮越程槽等。



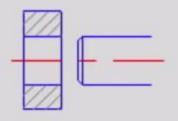
磨削加工的轴段应留有砂轮越程槽



切制螺纹的轴段应留有退刀槽



不同轴段键槽布置在同一母线上



轴端制出倒角以便于装配

- 一、轴的强度校核计算
- 1. 扭转强度条件计算

这种方法用于只受扭矩或主要受扭矩的不太重要的轴的强度计算。在 作轴的结构设计时,通常用这种方法初步估算轴径。

轴的扭转强度条件为

$$\tau_T = \frac{T}{W_T} \approx \frac{9550 \times 10^3 \frac{P}{n}}{0.2d^3} \le [\tau_T]$$

实心轴的直径为:

$$d \ge \sqrt[3]{\frac{9550 \times 10^3 P}{0.2[\tau_T] \cdot n}} = \sqrt[3]{\frac{9550 \times 10^3}{0.2[\tau_T]}} \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = C\sqrt[3]{\frac{P}{n}}$$

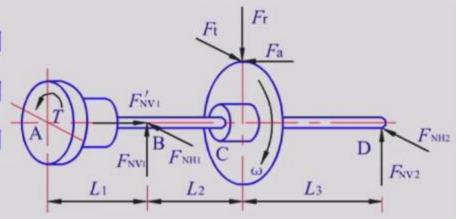
C值可查表12-2。

为了计及键槽对轴的削弱,可按以下方式修正轴径

	有一个键槽	有两个键槽
轴径d>100mm	轴径增大3%	轴径增大7%
轴径d≤100mm	轴径增大5%~7%	轴径增大10%~15%

- 2. 按弯扭合成进行强度条件验算
 - 一般的转轴强度用这种方法验算。计算步骤如下:
 - ① 轴的弯矩与扭矩分析

水平面受力及弯矩图 铅垂面受力及弯矩图 水平铅垂弯矩合成图 扭矩图



- 2. 按弯扭合成进行强度条件验算
 - 一般的转轴强度用这种方法验算。计算步骤如下:
 - ① 轴的弯矩与扭矩分析
 - ② 校核轴的强度 轴的弯扭合成强度条件为:

$$\sigma_{ca} = \sqrt{\left(\frac{M}{W}\right)^2 + 4\left(\frac{\alpha T}{2W}\right)^2} = \frac{\sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{W} \le [\sigma_{-1}]$$

式中[σ₋₁]为对称循环变应力时轴的许用弯曲应力,见表12-3 α为考虑弯曲应力和扭转切应力循环特性不同时的折合系数。

	扭转切应力			
	静应力	脉动循环变应力	对称循环变应力	
弯曲应力为对 称循环变应力	<i>α</i> ≈0.3	$\alpha \approx 0.6$	α = 1	

3. 按疲劳强度条件进行校核

在已知轴的外形、尺寸及载荷的情况下,可对轴的疲劳强度进行校核, 轴的疲劳强度条件为

$$S_{ca} = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \ge S$$

4. 按静强度条件进行校核

对于瞬时过载很大,或应力循环的不对称性较为严重的轴,应当进行静强度条件校核。轴的静强度条件为:

$$S_{Sca} = \frac{S_{S\sigma}S_{S\tau}}{\sqrt{S_{S\sigma}^2 + S_{S\tau}^2}} \ge S_S$$