



《机械设计》课程

第7讲 齿轮传动

主讲 吴伟国



《机械设计》课程

第7讲 齿轮传动

7.13 圆柱齿轮传动主要参数的选择

7.13 圆柱齿轮传动主要参数的选择

• 7.13.1 概述

— 圆柱齿轮传动设计的应考虑的因素、设计的主要内容

• 7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

— 模数、齿数、齿宽系数、分度圆压力角/螺旋角等主要参数

7.13.1 圆柱齿轮传动设计 — 概述

• 齿轮传动设计时应考虑的主要因素

- 以传递运动为主、不传递载荷或载荷较小的齿轮传动
- 以传递运动和动力为主、结构无特殊要求的一般齿轮传动
- 以传递运动和动力为主、结构有特殊要求的齿轮传动

• 齿轮传动设计主要内容

- 选择材料及热处理方式
- 按设计准则进行强度设计计算和校核计算确定齿轮传动主要参数和几何尺寸
- 选择结构型式、设计齿轮结构并确定齿轮各部分结

构的尺寸

7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

• 模数 m 和齿数 z_1 的选择

– m -标准模数,教材P87表7.1。

表7.1 渐开线齿轮的标准模数 m (GB/T 1357-2008)

第一系列	1	1.25	1.5	2.0	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50
第一系列	1.125	1.375	1.75	2.75	3.5	4.5	5.5	(6.5)	7	9	11	14	18	22	28	35	45

注: 1.对于斜齿圆柱齿轮及人字齿轮,取法向模数为标准模数;对于锥齿轮,取大端模数为标准模数为标准模数;

2.优选第一系列,括号内的模数尽可能不用。

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_H = Z_E Z_H Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{KF_t}{bd_1} \frac{u \pm 1}{u}} \leq [\sigma]_H \\ \sigma_F = \frac{KF_t}{bm} Y_F Y_S Y_\varepsilon Y_\beta \leq [\sigma]_F \end{array} \right.$$

m 主要影响_____强度,对_____强度没有直接影响。

7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

- 模数 m 和齿数 z_1 的选择

- m -标准模数,教材P124表7.1。

- m 主要影响齿根弯曲疲劳强度，对齿面接触疲劳强度没有直接影响。

- 按接触疲劳强度计算出 a 后，可估算 $m=(0.01\sim0.02)a$ ，确定 m 。

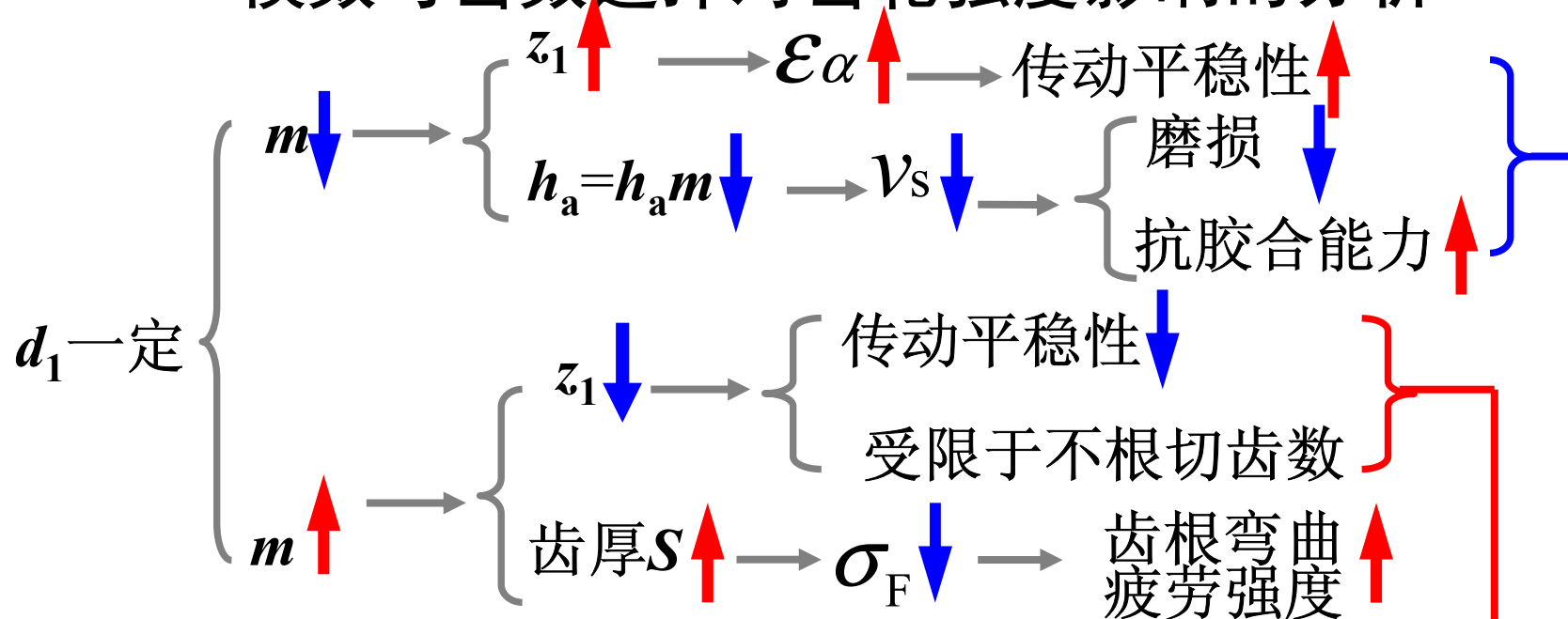
或者：选取 $z_1 \geq 18\sim 30$ ，由 a ，或 d_1 计算 m ，并取标准模数。

- 对于动力传动， $m \geq 1.5\sim 2\text{mm}$ ，以防短期过载断齿。

7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

• 模数 m 和齿数 z_1 的选择

– 模数与齿数选择对齿轮强度影响的分析



对闭式软齿面齿轮传动 m 取小些。

$z_1 \geq 18 \sim 30$

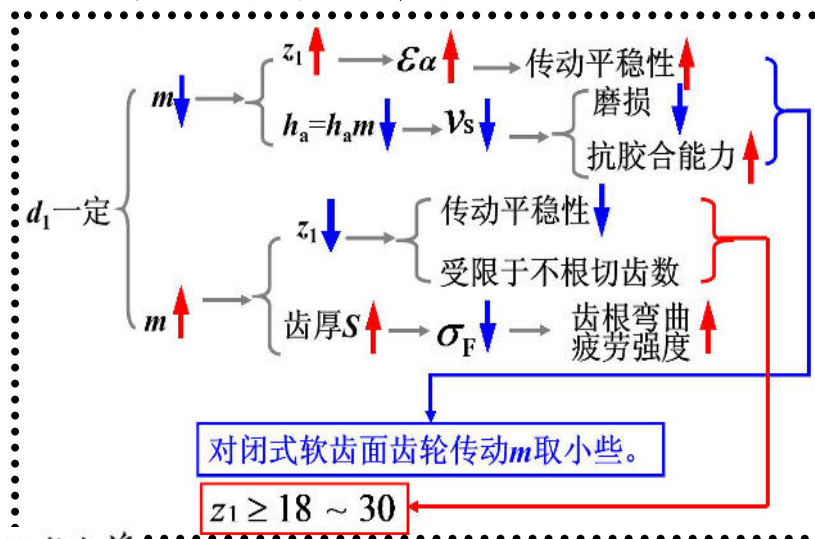
7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

• 模数 m 和齿数 z_1 的选择

- m -标准模数,教材P124表7.1。
- m 主要影响___强度,对___强度没有直接影响。
- 按接触疲劳强度计算出 a 后,可估算 $m=(0.01\sim 0.02)a$ 确定 m 。

或者: 选取 $z_1 \geq 18\sim 30$,由 a ,或 d_1 计算 m ,并取标准模数。

- 对于动力传动, $m \geq 1.5\sim 2\text{mm}$,以防短期过载断齿。



思考题: 根据上述分析,如何在高速轻载和低速重载的齿轮传动考虑 m 与 z_1 的选取?

7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

• 模数 m 和齿数 z_1 的选择

– 按齿根弯曲疲劳强度设计时， z_1 取小些：

$$m_n \geq \sqrt[3]{\frac{2KT_1 Y_\varepsilon Y_\beta \cos^2 \beta}{\phi_d z_1^2} \cdot \frac{Y_F Y_S}{[\sigma]_F}}$$

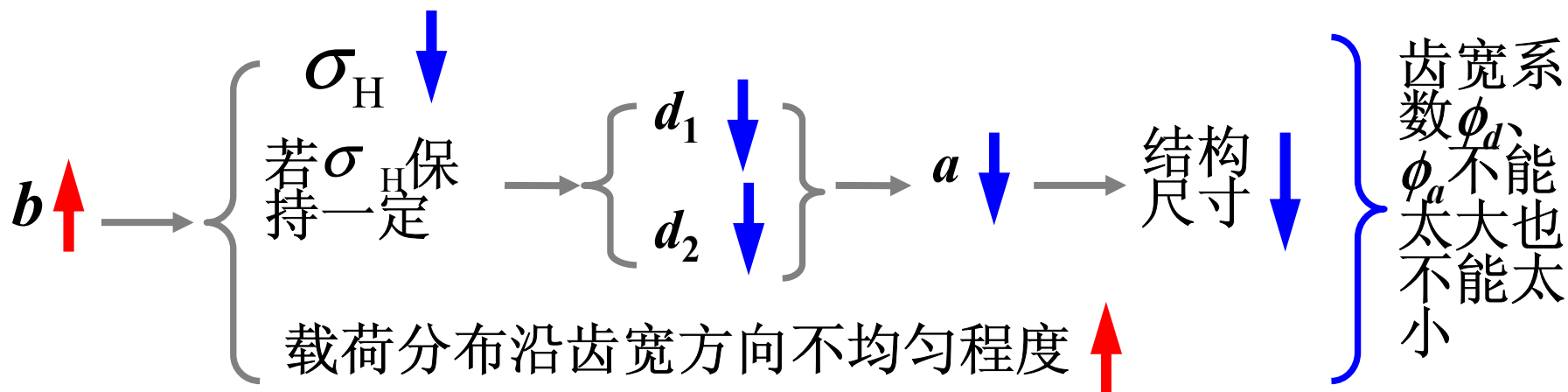
$$z_1 \geq 17 \sim 20$$

- 对开式齿轮传动：考虑齿面磨损，计算出 m 值后加大10~15%，再取标准模数。
- 按接触疲劳强度设计时： d_1 或 a 值应保证算到小数点后三位；中心距应尽可能圆整成0或5结尾，为此，圆整后应进行变位或设计成斜齿。

7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

- 模数齿宽系数 ϕ_d 、 ϕ_a

$$\begin{cases} \sigma_H = Z_E Z_H Z_\varepsilon Z_\beta \sqrt{\frac{KF_t}{bd_1} \frac{u \pm 1}{u}} \leq [\sigma]_H \\ \sigma_F = \frac{KF_t}{bm} Y_F Y_S Y_\varepsilon Y_\beta \leq [\sigma]_F \end{cases}$$



7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

• 模数齿宽系数 ϕ_d 、 ϕ_a

– ϕ_a 选取：一般 $\phi_a = 0.1 \sim 1.2$;

• 闭式传动 $\phi_a = 0.3 \sim 0.6$, 通用减速器取 $\phi_a = 0.4$;

• 开式传动 $\phi_a = 0.1 \sim 0.3$

– 两者关系：

$$\phi_d = \frac{b}{d_1} = \frac{b}{a} \frac{a}{d_1} = \phi_a \frac{1}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1} = \phi_a \frac{u + 1}{2}$$

– 对于一对啮合的齿轮：

小齿轮	$b_1 = b + 5 \sim 10(\text{mm})$
大齿轮	$b_2 = b$

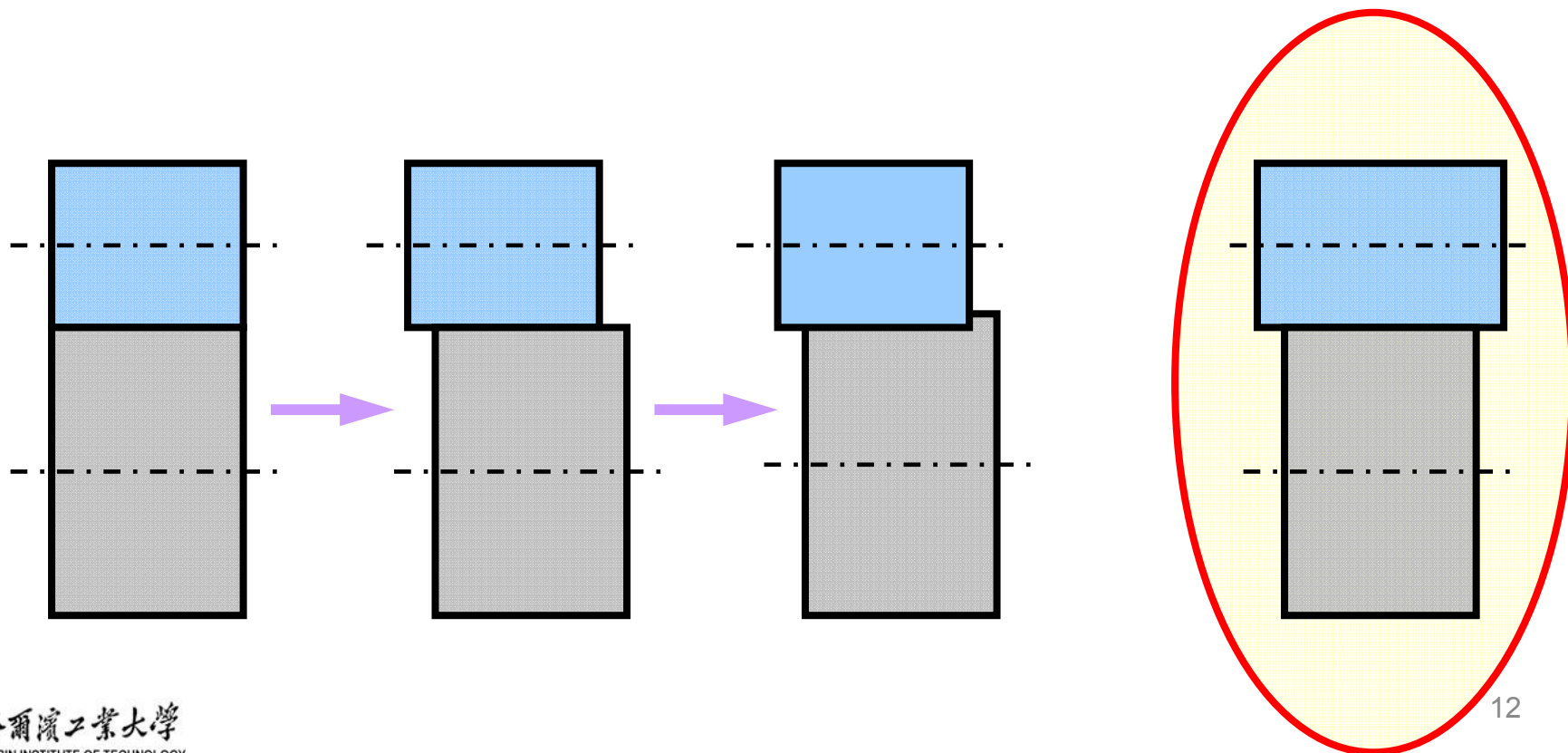
7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

- 模数齿宽系数 ϕ_d 、 ϕ_a

– 问题： { 小齿轮 $b_1 = b + 5 \sim 10(\text{mm})$

• 为什么： { 大齿轮 $b_2 = b$

• 或为什么小齿轮比大齿轮宽5~10mm?



7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

- 模数齿宽系数 ϕ_d 、 ϕ_a

$$\phi_d = \phi_a \frac{u+1}{2}$$
 - ϕ_a 选取：一般 $\phi_a = 0.1 \sim 1.2$ ；
 - 闭式传动 $\phi_a = 0.3 \sim 0.6$, 通用减速器取 $\phi_a = 0.4$;
 - 开式传动 $\phi_a = 0.1 \sim 0.3$
 - ϕ_d 选取：教材P104表7.6

表7.6 齿宽系数 ϕ_d

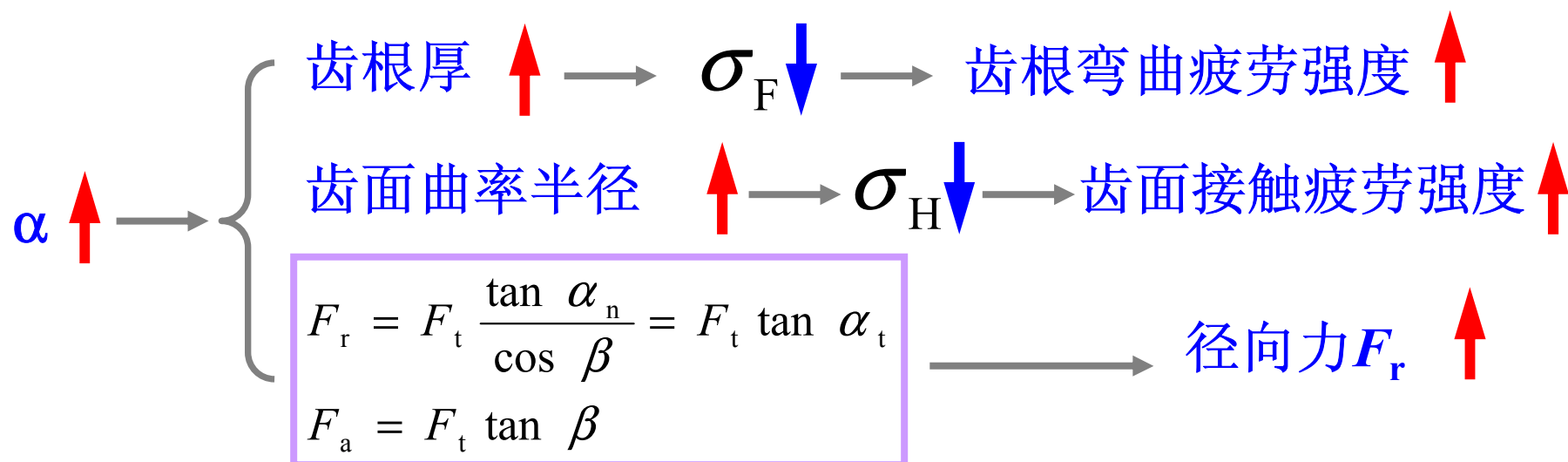
齿轮相对于轴承的位置	齿面硬度	
	软齿面	硬齿面
对称布置	0.8~1.4	0.4~0.9
非对称布置	0.6~1.2	0.3~0.6
悬臂布置	0.3~0.4	0.2~0.25

注：1. 直齿圆柱轮宜取偏小值，斜齿轮宜取偏大值，人字齿轮可取至2；2. 载荷稳定、轴刚度大时宜取大值，轴刚度小时宜取小值。

7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

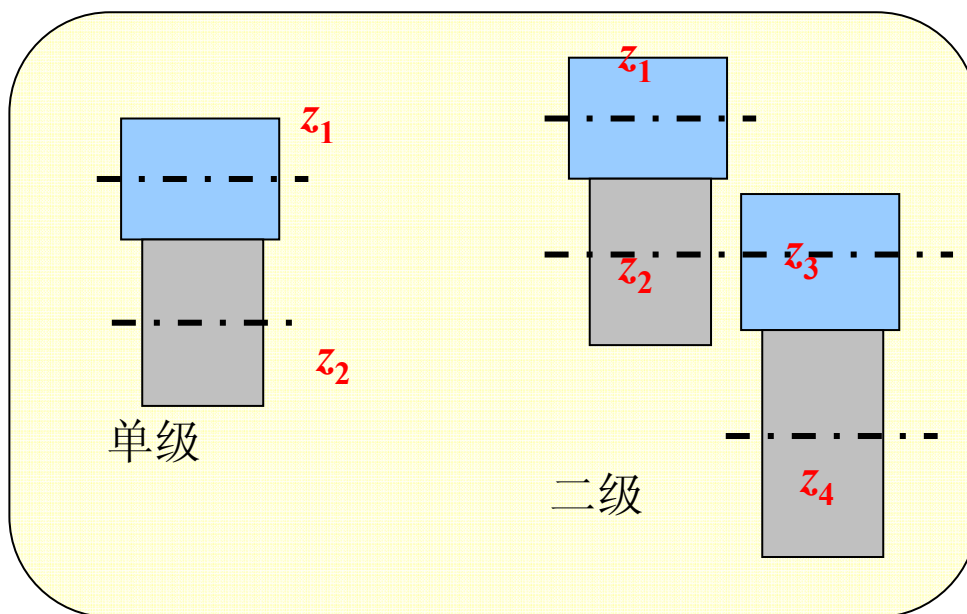
• 分度圆压力角 α

- 一般用途齿轮的标准压力角 $\alpha=20^\circ$ ；
- 我国航空齿轮标准中还规定了 $\alpha=25^\circ$ ；
- 分度圆压力角 α 大小对齿轮强度的影响分析：



7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

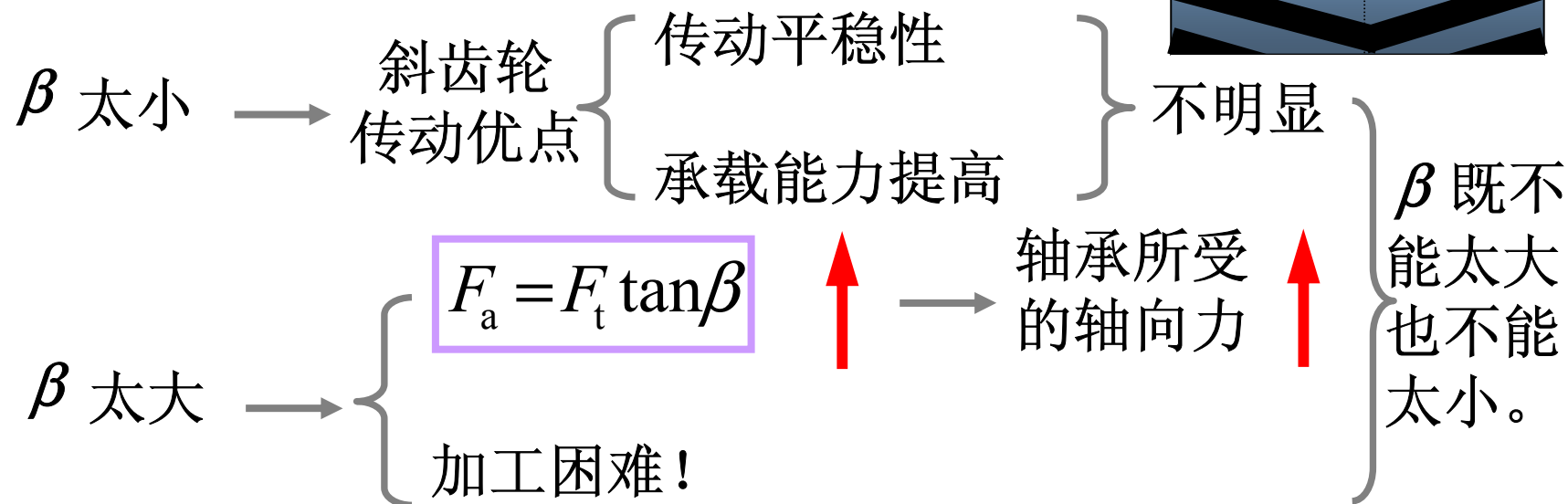
- 齿数比 $u = z_2/z_1$
 - 单级 $u \leq 7$;
 - 各级传动比的分配原则是使整个传动结构尺寸最小。



7.13.2 齿轮传动的主要参数选择

• 螺旋角 β

- β 一般为: $8\sim 15^\circ$;
- 对人字尺轮: $\beta=25\sim 30^\circ$;
- 分析:



问题：为什么人字齿轮 β 可以大些？



《机械设计》课程

第7讲 齿轮传动

7.15 齿轮结构设计的主要内容

7.15 齿轮结构设计的主要内容

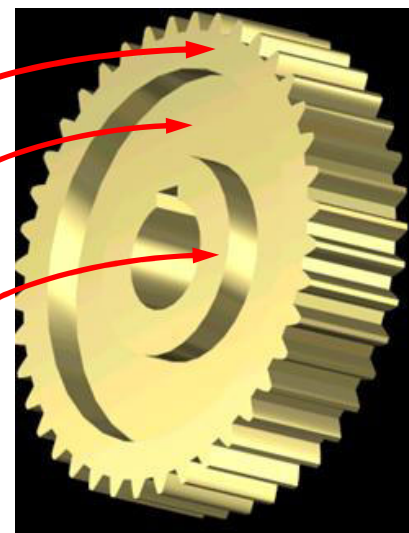
• 齿轮的结构

- 除实心式齿轮、齿轴一体的齿轮轴外，齿轮结构大体可分为：有齿的轮缘、轮毂和位于两者之间的轮辐三部分。

轮缘

轮辐

轮毂



• 强度计算合格后，需计算的主要几何尺寸

- $d_1, d_2, d_{a1}, d_{a2}, d_{f1}, d_{f2}, b_1, b_2, h_{a1}, h_{a2}, h_{f1}, h_{f2}, h_1, h_2$ 等，注意保留小数点后3位。

7.15 齿轮结构设计的主要内容

• 齿轮结构设计主要内容

- 根据齿轮尺寸大小、材料、加工方法等选择合适的结构型式；
 - 齿轮毛坯的制造方法：
 - 铸造毛坯
 - 锻造毛坯
 - 焊接毛坯
 - 批量大小：
 - 大批量
 - 中批量
 - 小批量
 - 单件
- 按着相应结构尺寸经验公式确定所有结构尺寸。



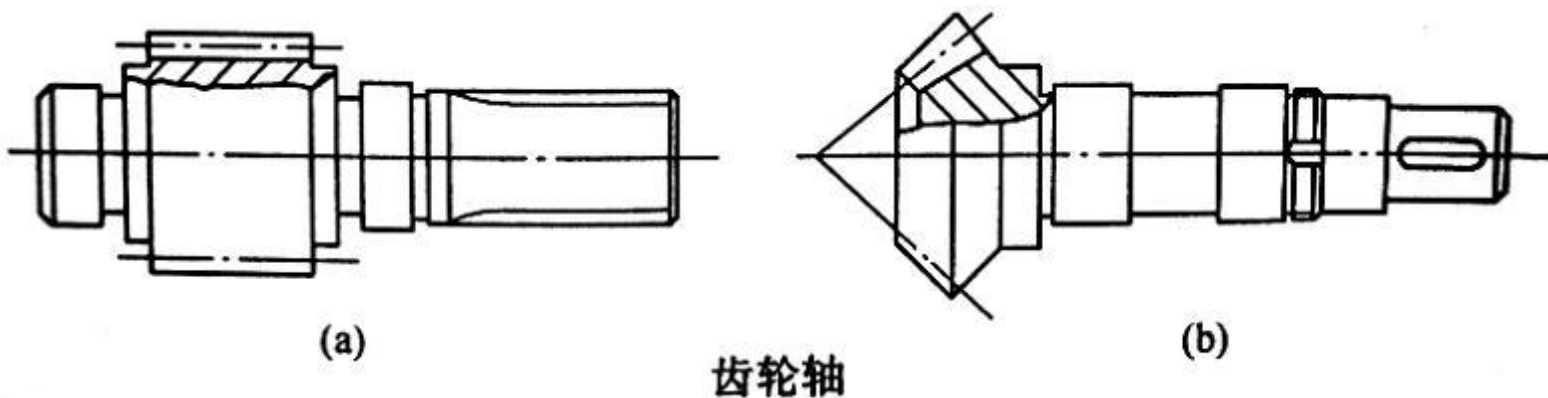
《机械设计》课程

第7讲 齿轮传动

7.16 齿轮常用结构型式与尺寸确定

7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

• 齿轮轴



什么情况下设计成齿轮轴？

$$e \leq 2.5m \text{ (或 } m_n)$$



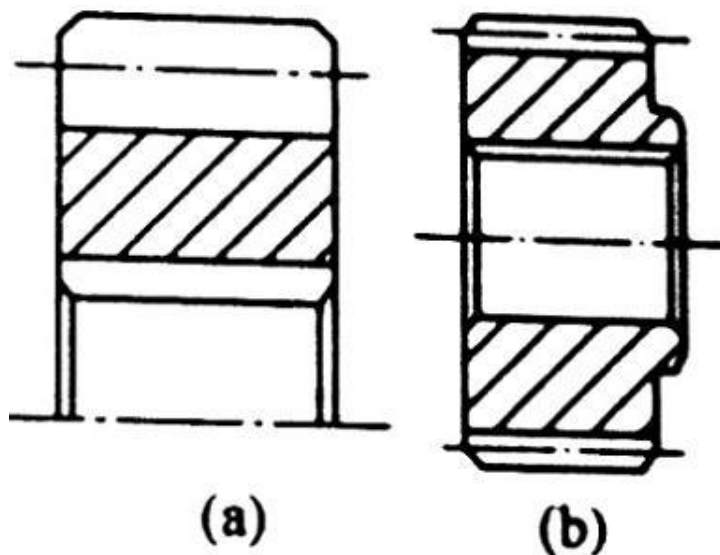
7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

• 实心式齿轮

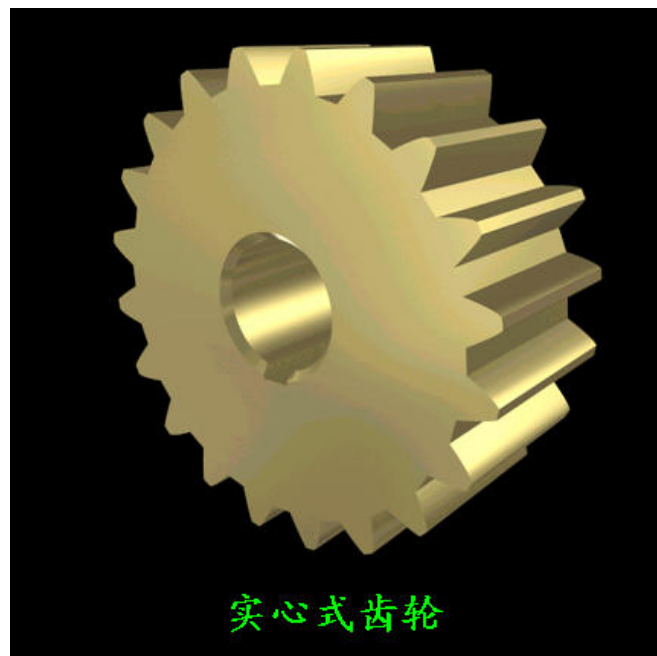
当 $d_a \leq 200\text{mm}$,且 $e > 2.5m (m_n)$,则可做
成实心式。



$e > 2.5m$ (或 m_n)



实心结构的齿轮

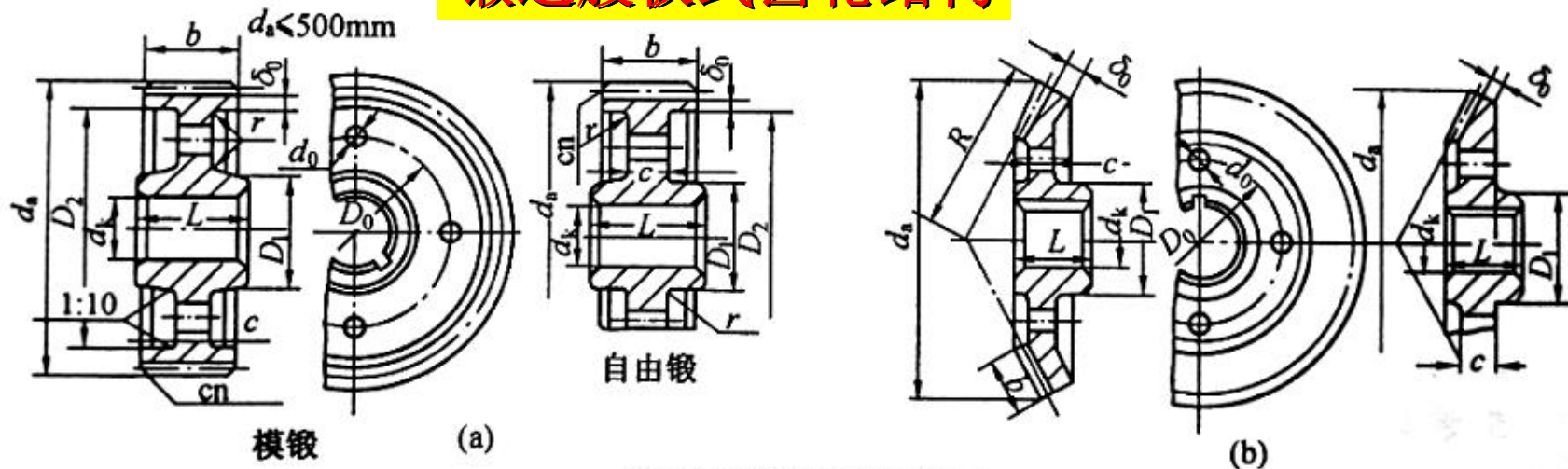


7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

• 腹板式齿轮

当 $d_a \leq 500\text{mm}$ 时, 为了减少质量和节约材料, 通常采用腹板式结构。

锻造腹板式齿轮结构



腹板式锻造齿轮结构图

$D_1 \approx 1.6 d_k$; $D_2 \approx d_a - 10m$; $L = (1.2 \sim 1.5) d_k$; $r = 0.5c$; 圆柱齿轮: $D_0 \approx 0.5(D_1 + D_2)$; $d_0 \approx 0.25(D_2 - D_1)$; $\delta_0 = (2.5 \sim 4)m$ (或 m_n) $\geq 10 \text{ mm}$; $c = (0.2 \sim 0.3)b$; 锥齿轮: $\delta_0 = (3 \sim 4)m \geq 10 \text{ mm}$; 或 $\delta_0 \approx 0.2R$; D_0 、 d_0 由结构设计确定

7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

- 腹板式齿轮

3D结构图

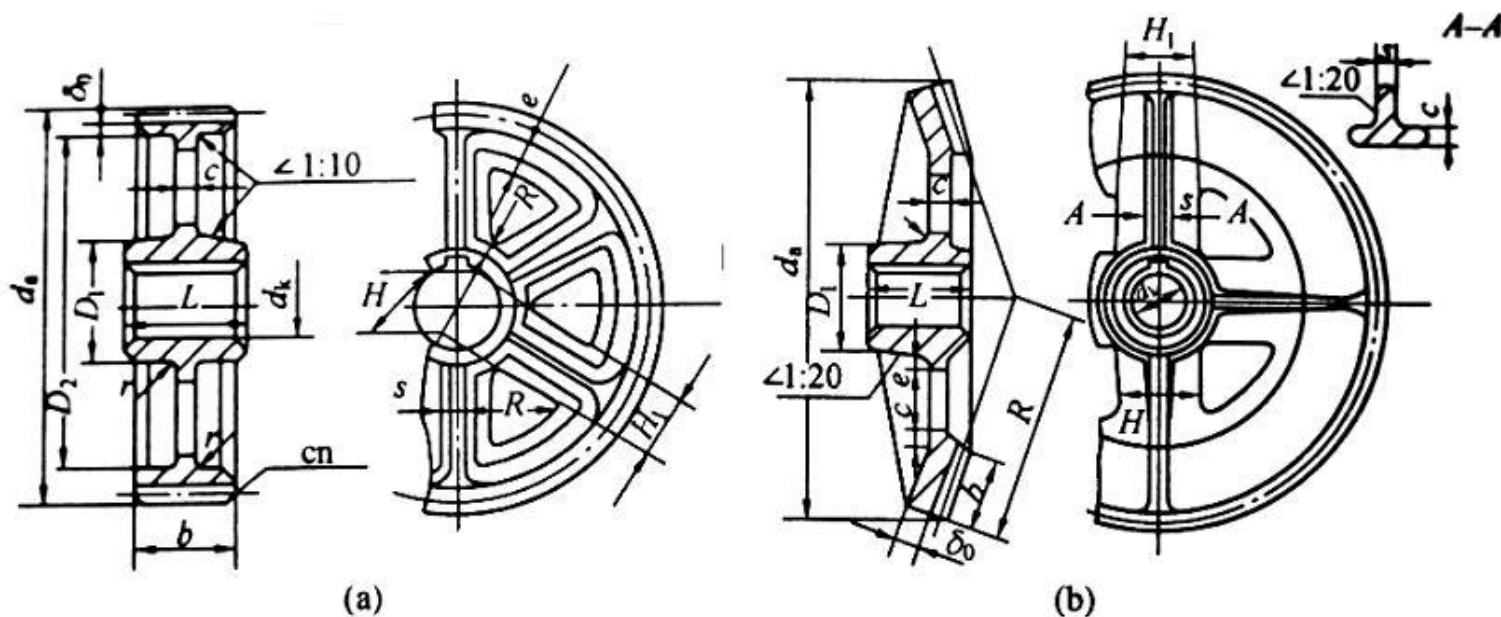
铸造腹板式齿轮结构：要有拔模斜度
材料：铸铁或铸钢，不重要齿轮



7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

• 轮辐式齿轮

$d_a=500\sim 1000\text{mm}$,多采用轮辐式的铸造结构。



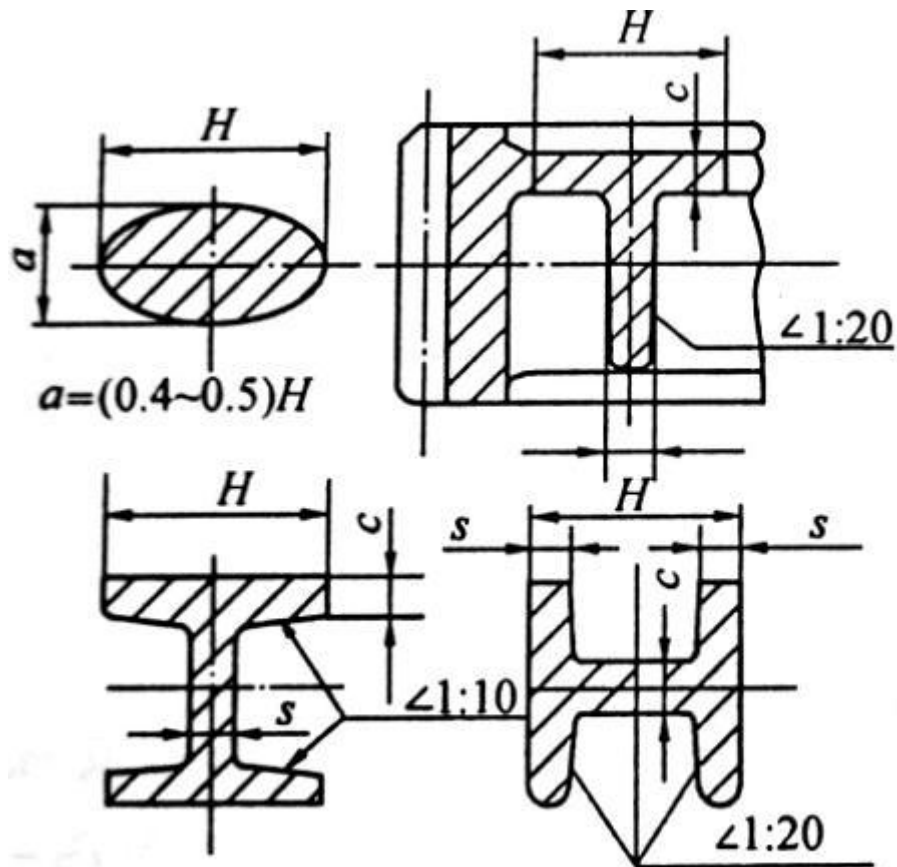
轮辐式铸造齿轮结构图

$D_1 = (1.6 \sim 1.8) d_k$; $L = (1.2 \sim 1.5) d_k \geq b$; $D_2 \approx d_a - 10m$ (或 m_n); $H \approx 0.8 d_k$; $H_1 \approx 0.8 H$;
 $c \approx 0.2 H$; $S \approx H/6$; r, R 由结构确定。对锥齿轮: $L = (1.0 \sim 1.2) d_k$; $\delta_0 = (3 \sim 4) m \geq 10 \text{ mm}$;
 $c = (0.1 \sim 0.17) R \geq 10 \text{ mm}$; $S \approx 0.8 c \geq 10 \text{ mm}$

7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

- 轮辐式齿轮

3D结构图



轮辐结构型式

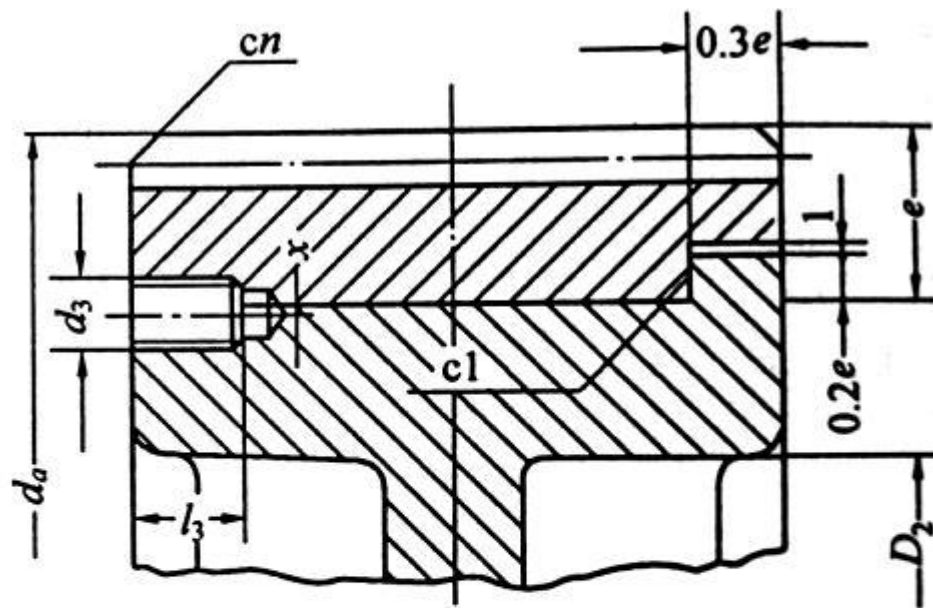


轮辐式齿轮

7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

• 镶套式齿轮

大直径的齿轮，为节省材料，可采用镶套式齿圈。



镶套式齿轮

$$e \approx 5m; d_3 \approx 0.05 d_k (d_k \text{ 为轴径});$$

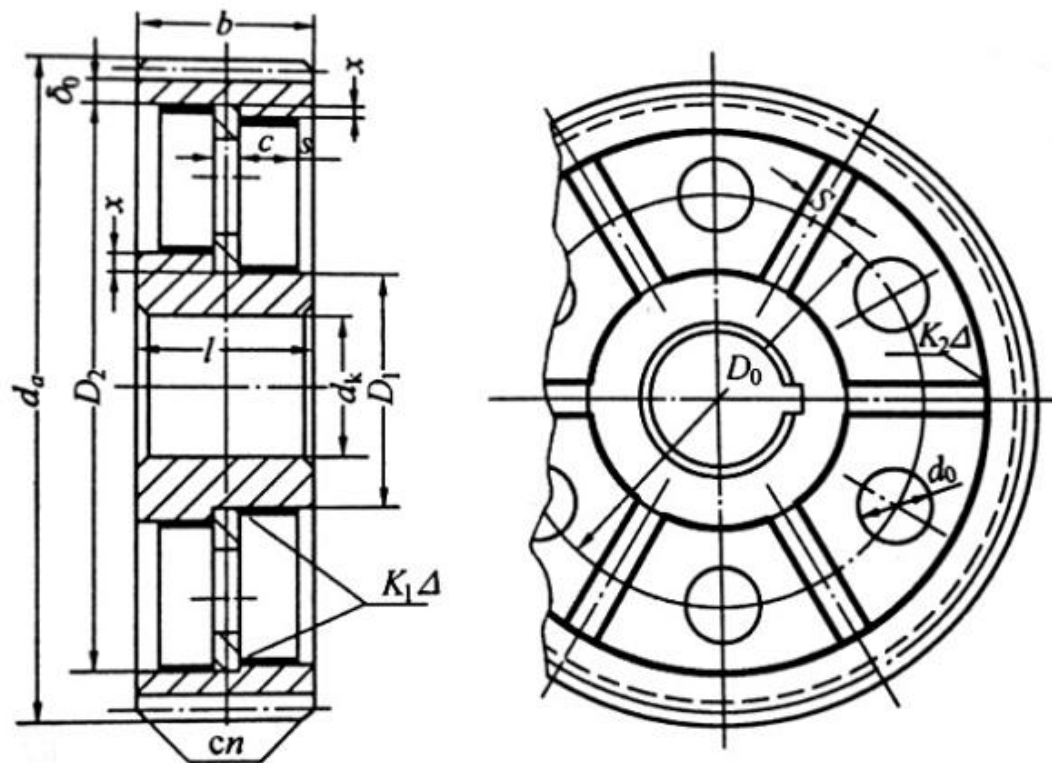
$$D_2 \approx d_a - 18m; l_3 \approx 0.15 d_k;$$

$$\text{骑缝螺钉数为 } 4 \sim 8; x = (1 \sim 3)\text{mm}$$

7.16 齿轮的常用结构型式与尺寸确定

• 焊接式齿轮

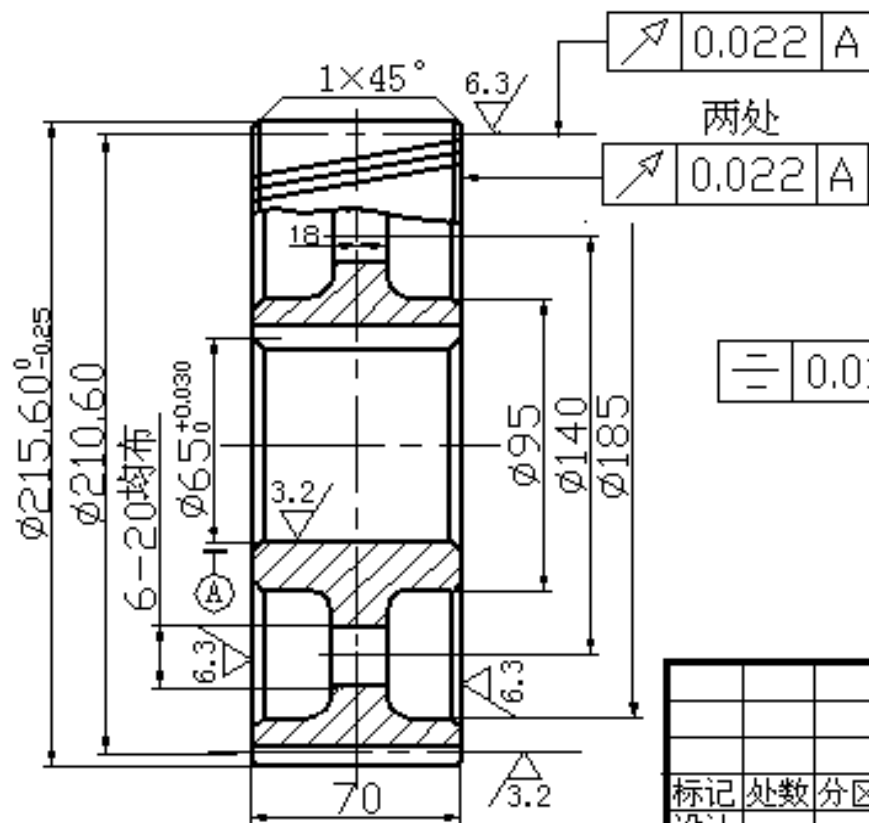
单件生产而尺寸过大又不利于铸造的齿轮,可采用焊接结构。



焊接齿轮

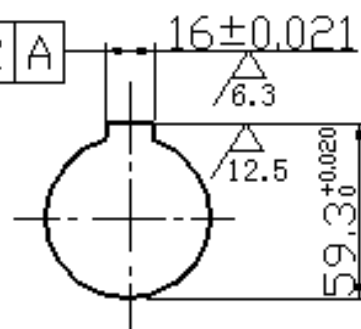
$$D_1 = 1.6 d_k; L = (1.2 \sim 1.5) d_k \geq b; \delta_0 \approx 2.5m (\text{或 } m_n) \geq 8 \text{ mm}; c = (0.1 \sim 0.15) b \geq 8 \text{ mm}; S \approx 0.8c; x = 5 \text{ mm}; D_0 \approx 0.5(D_1 + D_2); d_0 \approx 0.2(D_2 - D_1); n = 0.5m \text{ 或 } (m_n); K_1 = \frac{2}{3}c; K_2 = \frac{2}{3}c$$

其余 $\sqrt{25}$



法向模数	m_n	2.5	公差组	检 验 项 目	公差值
齿 数	z_1	81			
齿 形 角	α	20°	I	F_r	0.063
齿顶高系数	h_a^*	1.0		F_w	0.050
螺旋角	β	$15^\circ 56' 33''$	II	f_{pt}	± 0.022
螺旋方向	左			f_f	0.018
变位系数	x	0	III	F_β	0.025
精度等级	8HJGB10095-88			齿 厚	公法线平均长度及其上、下偏差
中 心 距	$a \pm f_n$	130 ± 0.031	跨 齿 数		
配对 齿轮 图号				z_1	19
齿 数					

$\sqrt{0.012}$ A



技术条件

1. 正火处理 162~217HB
2. 未注明倒角 $2 \times 45^\circ$, 圆角 R5

齿轮零件工作图 图号 13

						45		(单位名称)	
								齿 轮	
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年月日	阶段标记	重量	比例	(图样代号)
设计					标准化				
描图						共 张		第 张	
审核						批准			
工艺									

齿轮零件工作图 图号 13



《机械设计》课程

第7讲 齿轮传动

7.17 齿轮传动的润滑

7.17 齿轮传动的润滑方式

- 齿轮传动润滑的理由
 - 齿轮传动时,相啮合的齿面间承受很大压力,又有相对滑动,所以必须进行润滑。
- 润滑的作用
 - 润滑油除减小摩擦
 - 散热
 - 减小振动、噪声等作用。
- 齿轮传动润滑方式
 - 开式和半开式齿轮传动
 - 因速度低,一般是人工定期加油或在齿面涂抹润滑脂。

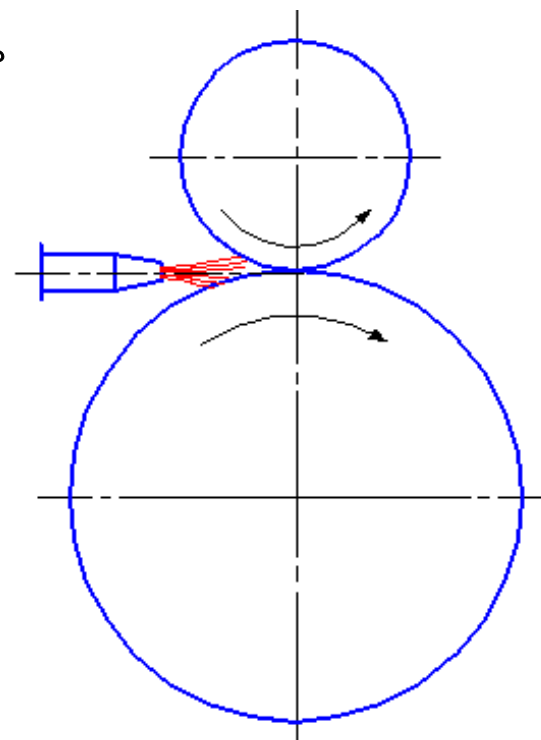
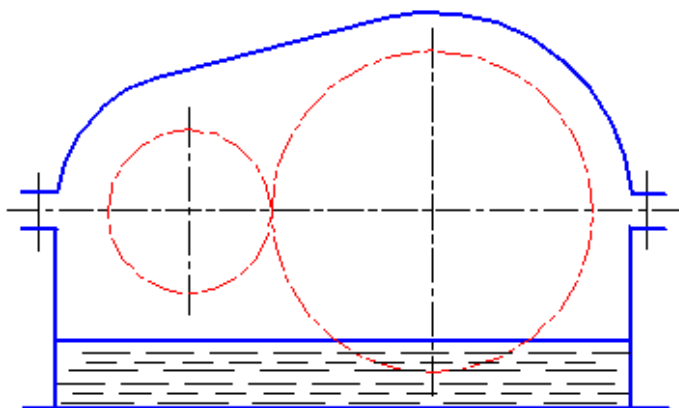
7.17 齿轮传动的润滑方式

- 齿轮传动润滑方式

- 开式和半开式齿轮传动

- 闭式齿轮传动

- 润滑方式取决于齿轮的圆周速度 v 。
- 当 $v \leq 10\text{m/s}$ 时，可采用浸油润滑。
- 当 $v > 10\text{m/s}$ 时，可采用喷油润滑。



7.17 润滑剂的选择

- 润滑剂的选择

- 根据齿轮材料、圆周速度选择润滑油。见《教材》P142表7.8。