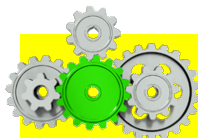


第8章 渐开线圆柱齿轮传动精度及检测



知识及技能目标

- 1.理解国家标准对单个渐开线圆柱齿轮、齿轮副公差项目及精度的规定。
- 2.掌握齿轮零件的检测指标及各指标的检测要求和方法。
- 3.会用公法线千分尺测量齿轮参数。
- 4.会用齿厚游标卡尺、万能测齿仪、径向跳动检查仪进行相关测量。



第8章 渐开线圆柱齿轮传动精度及检测



素质目标

- 1.通过对齿轮及检测的学习，培养学生具有对新技术的推广和现有技术进行革新的进取精神。
- 2.培养学生做一名具有理论素养，更具有实践动手能力的应用型人才，为国家富强、民族振兴服务。



第 8 章 渐开线圆柱齿轮传动精度及检测

8.1 概 述

8.2 齿轮精度的评定指标及检测

8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

8.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用

技能训练



8.1 概 述

齿轮传动在机器和仪器仪表中应用极为广泛，是一种重要的机械传动形式，通常用来传递运动或动力。国家标准有：GB/T 10095.1—2008《圆柱齿轮精度第1部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值》；GB/T 10095.2—2008《圆柱齿轮精度第2部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值》；GB/Z 18620.1~4—2008《圆柱齿轮检验实施规范》；GB/T 13924—2008《渐开线圆柱齿轮精度检验细则》。



8.1 概 述

一、齿轮传动的基本要求

现代工业对齿轮传动的基本要求

项目	齿轮传动的基本要求	应用示例
传递运动的准确性	要求齿轮在一转范围内,实际速比相对于理论速比的变动量限制在允许的范围内,以保证从动齿轮与主动齿轮的运动准确协调	精密机床的分度齿轮和测量仪器的读数装置中的齿轮传动,其特点是传动功率小、模数小和转速低,主要要求传递运动准确
传动的平稳性	要求齿轮在一齿范围内,瞬时速比的变动量限制在允许的范围内,以减小齿轮传动中的冲击、振动和噪声,保证传动平稳	机床、汽车、飞机的变速齿轮和汽轮机的减速齿轮,其特点是圆周速度高,传递功率大,主要要求传动平稳,振动小,噪声小
载荷分布的均匀性	要求齿轮啮合时,齿面接触良好,使载荷分布均匀,避免载荷集中于局部齿面,使齿面磨损加剧,影响齿轮的使用寿命	矿山机械、起重机械和轧钢机等低速动力齿轮,其特点是载荷大,传动功率大,转速低,主要要求啮合齿面接触良好,载荷分布均匀
侧隙的合理性	齿轮啮合时,非工作齿面间应有间隙,以便存储润滑油,补偿齿轮受力后的弹性塑性变形以及制造和安装中产生的误差,防止齿轮在传动中出现卡死	高速或重载齿轮的变形大,要求较大的侧隙;分度和读数齿轮则要求正/反转空程小,因此侧隙要小

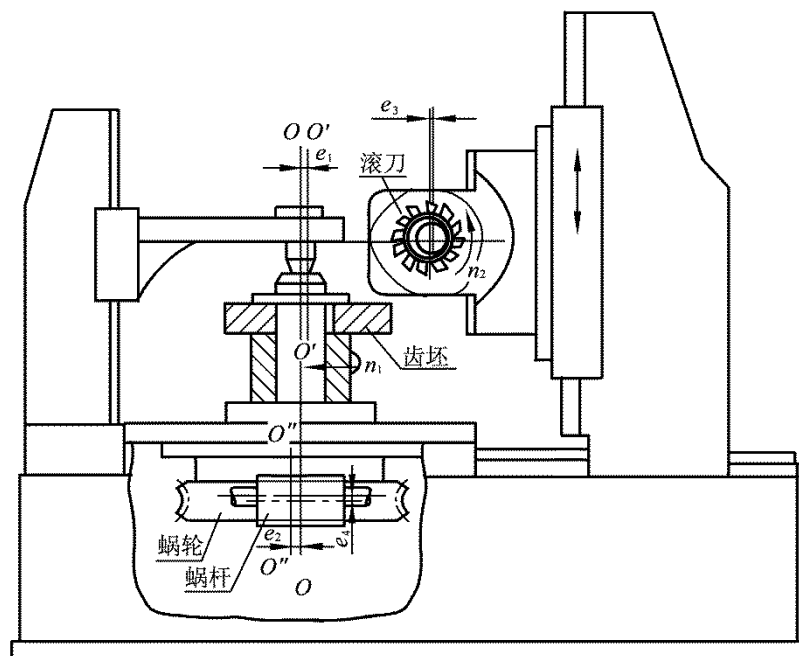


8.1 概述

二、齿轮的加工误差的主要来源及加工误差的分类

1 齿轮的加工误差的主要来源

产生齿轮加工误差的原因很多，其主要来源于齿轮加工系统中的机床、刀具、夹具和齿坯的加工误差及安装、调整误差。如图所示。



滚齿加工



8.1 概 述

二、齿轮的加工误差的主要来源及加工误差的分类

1 齿轮的加工误差的主要来源

加工误差的主要来源

项目	说 明	误 差
几何偏心	滚齿加工时齿坯定位孔与机床心轴之间的间隙等会造成齿坯孔基准轴线与机床工作台回转轴线不重合,产生几何偏心 e_1	引起齿轮径向误差
运动偏心	滚齿加工时机床分度蜗轮与工作台中心线有安装偏心时,就会使齿轮在加工过程中出现蜗轮蜗杆中心距周期性的变化,产生运动偏心 e_2	引起齿轮切向误差

以上两种偏心产生的误差在齿轮一转中只出现一次,属于长周期误差,其主要影响齿轮传递运动的准确性

滚刀误差	安装误差	滚刀的安装偏心 e_3 、 e_4 (图 9-1)使被加工齿轮产生径向误差。滚刀刀架导轨或齿坯轴线相对于工作台旋转轴线的倾斜及轴向窜动,使滚刀的进刀方向与轮齿的理论方向不一致,直接造成齿面沿轴向方向歪斜	产生齿向误差
	加工误差	滚刀的加工误差主要指滚刀的径向跳动、轴向窜动和齿形角误差等	产生基节偏差和齿形角误差
机床传动链误差		当机床的分度蜗杆存在安装误差和轴向窜动时,蜗轮转速发生周期性的变化,使被加工齿轮出现齿距偏差和齿廓偏差	产生切向误差

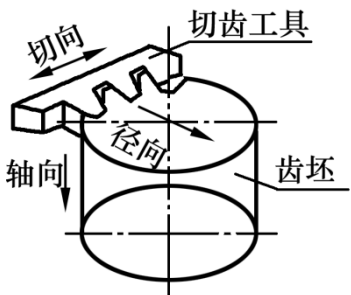
机床分度蜗杆造成的误差在齿轮一转中重复出现,属于短周期误差



8.1 概 述

二、齿轮的加工误差的主要来源及加工误差的分类

2 齿轮的加工误差的分类

误差项目	说 明	
齿廓误差	是指加工出来的支扩不是理论渐开线	
齿距误差	是指加工出来的齿廓相对于工件的旋转中心分布不均匀	
齿向误差	是指加工后的齿面沿齿轮轴线方向上的几何误差	
齿厚误差	是指加工出来的齿轮厚度相对于理论值在整个齿圈上不一致	
径向误差		是指沿被加工齿轮直径方向的(齿高方向)的误差
切向误差		是指沿被加工齿轮圆周方向(齿厚方向)的误差
轴向误差		是指沿被加工齿轮轴线方向(齿向方向)的误差



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

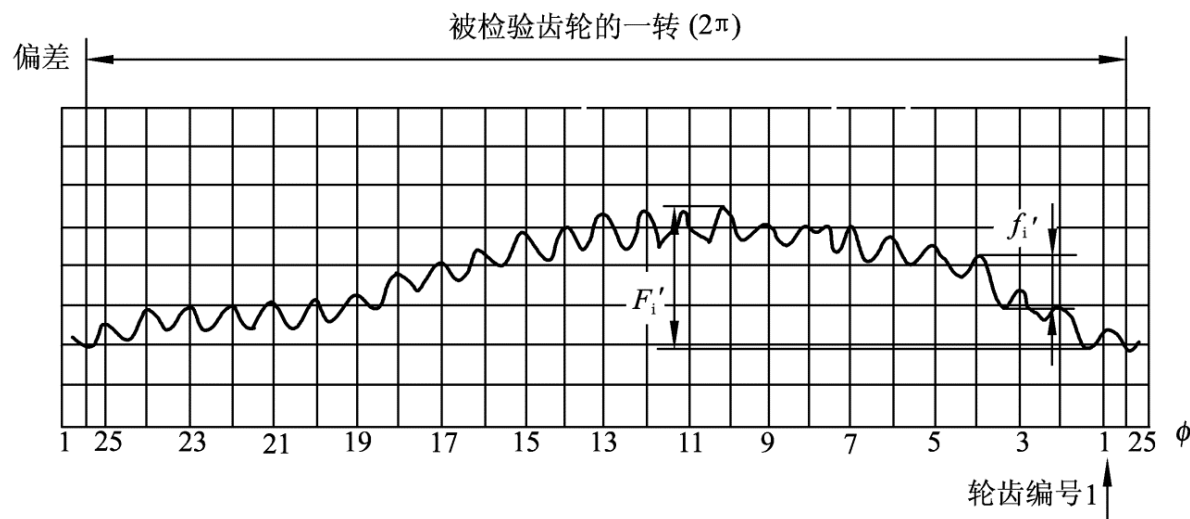
一、影响齿轮传动准确性的偏差及含义

1

切向综合总偏差 F_i'

(1)定义

F_i' 是指被测提取齿轮与拟合齿轮单面啮合检验时，在被测提取齿轮一转内，齿轮分度圆上实际圆周位移与理论圆周位移的最大差值，如图所示。



切向综合偏差



大连理工大学出版社



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

一、影响齿轮传动准确性的偏差及含义

1

切向综合总偏差 F_i'

(2)含义

F_i' 反映了几何偏心、运动偏心以及基节偏差、齿廓形状偏差等影响的综合结果，而且是在近似于齿轮工作状态下测得的，因此它是评定传递运动准确性较为完善的综合指标。



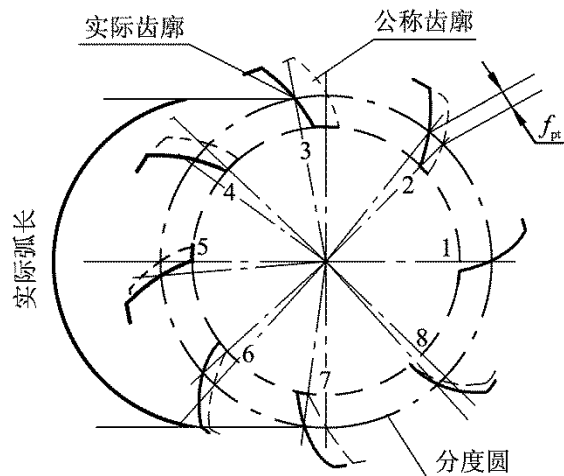
8.2 齿轮精度的评定指标及检测

影响齿轮传动准确性的偏差及含义

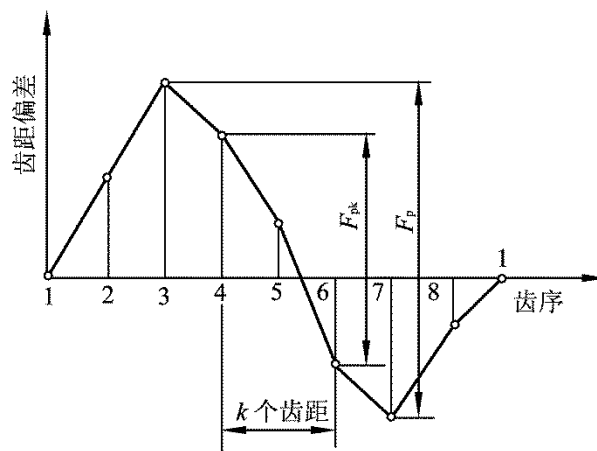
2 k 个齿距累积偏差 $\pm F_{pk}$ 与齿距累积总偏差 F_p

(1) 定义

F_{pk} 是指在端平面上，在接近齿高中部的一个与齿轮轴线同心的圆上，任意 k 个齿距的实际弧长与理论弧长之差的代数差。



(a) 截面误差图



(b) 齿距累积偏差曲线

齿距偏差与齿距累积偏差



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

一、影响齿轮传动准确性的偏差及含义

2 k 个齿距累积偏差 $\pm F_{pk}$ 与齿距累积总偏差 F_p

(2)含义

齿距累积偏差主要是由滚切齿形过程中几何偏心和运动偏心造成的。它能反映齿轮一转中偏心误差引起的转角误差，因此 $F_p(F_{pk})$ 可代替 F_i' 作为评定齿轮运动准确性的指标。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

一、影响齿轮传动准确性的偏差及含义

3

径向跳动 F_r

(1)定义

是指在齿轮一转范围内，将测头逐个放置在被测提取齿轮的齿槽内，在齿高中部双面接触，测头相对于齿轮轴线的最大和最小径向距离之差。

(2)含义

径向跳动的测量以齿轮孔的轴线为基准，只反映径向误差，齿轮一转中最大误差只出现一次，是长周期误差，仅作为影响传递运动准确性中属于径向性质的单项性指标。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

一、影响齿轮传动准确性的偏差及含义

4 径向综合总偏差 F_i''

(1)定义

是指被测提取齿轮与拟合精确的测量齿轮双面啮合时，在被测提取齿轮一转范围内双啮中心距的最大变动量，如图所示。

(2)含义

当齿轮存在径向误差（如几何偏心）及短期误差（如齿形误差、基节偏差等）时，齿轮与被测提取齿轮双面啮合时的中心距会发生变化，且 F_i'' 主要反映径向误差。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

一、影响齿轮传动准确性的偏差及含义

5

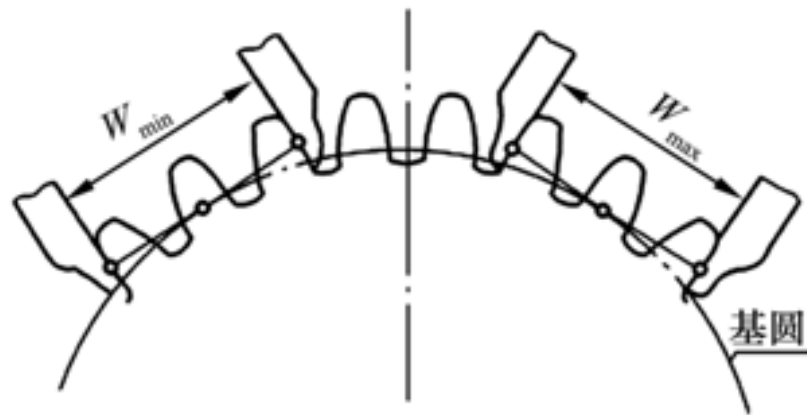
公法线长度变动量 F_w

(1)定义

是指在齿轮转一周范围内，实际公法线长度最大值与最小值之差，如图所示。

(2)含义

在齿轮现行标准中没有 F_w 此项参数，但从的齿轮实际生产情况看，经常用 F_r 和 F_w 组合来代替 F_p 或 F_i' ，这样检验成本不高且行之有效。



公法线长度变动量及测量



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

1

一齿切向综合偏差 f_i'

(1)定义

f_i' 是指在一个齿距内的切向综合偏差。

(2)含义

含义 f_i' 反映齿轮一齿内的转角误差，在齿轮一转中多次重复出现，是评定齿轮传动平稳性精度的一项指标。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

2

一齿径向综合偏差 f_i''

(1)定义

f_i'' 是指被测齿轮在径向(双面)综合检验时, 对应一个齿距角($360^\circ / z$)的径向综合偏差值。

(2)含义

f_i'' 反映齿轮的短周期径向误差, 由于仪器结构简单, 操作方便, 所以在成批生产中广泛使用。



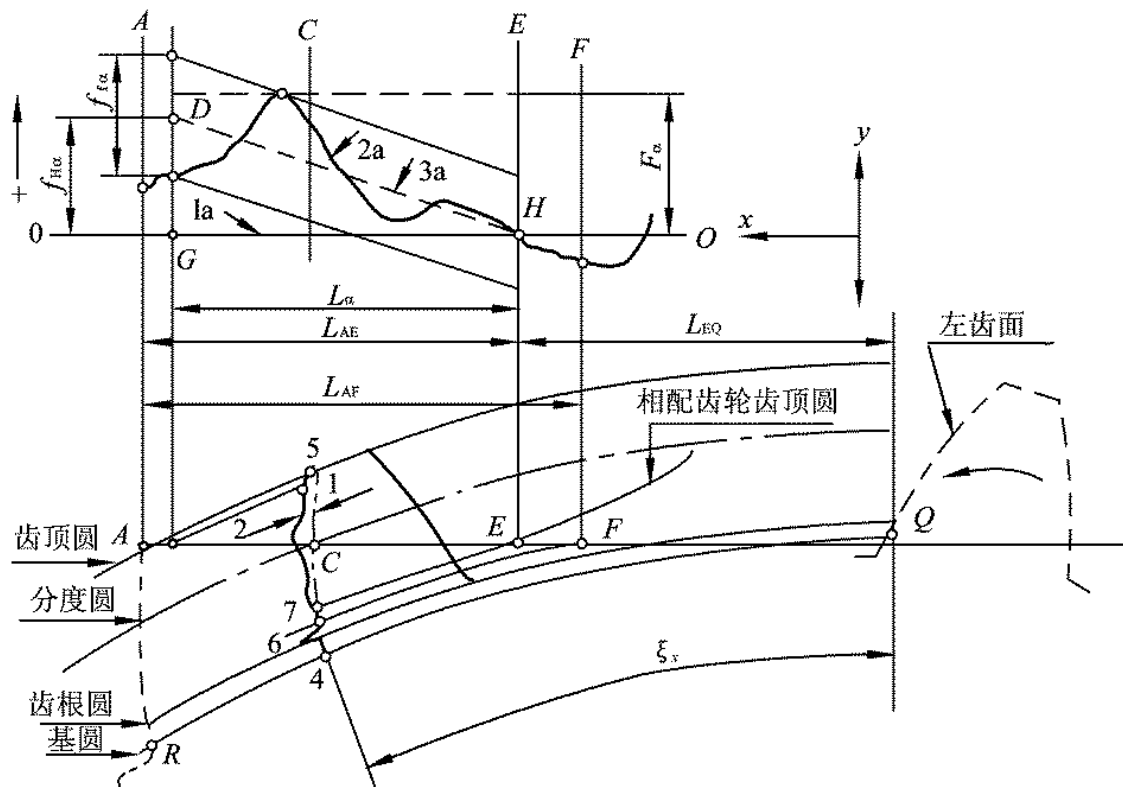
8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

3

齿廓偏差

(1) 齿廓总偏差 F_α



渐开线齿廓偏差展开图



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

3

齿廓偏差

(1)定义

在齿廓计值范围 L_α 内，包容实际齿廓迹线的两条设计齿廓迹线间的距离，即在图中过齿廓迹线最高、最低点作设计齿廓迹线的两条平行直线间距离为 F_α 。

(2)含义

齿廓总偏差 F_α 主要影响齿轮传动平稳性，因为有 F_α 的齿轮，其齿廓不是标准正确的渐开线，不能保证瞬时传动比为常数，易产生振动与噪音。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

3

齿廓偏差

(2) 齿廓形状偏差 f_{fa}

①定义 f_{fa} 是指在计值范围内，包容实际齿廓迹线的两条与平均齿廓迹线完全相同的曲线间的距离，且两条曲线与平均齿廓迹线的距离为常数。

②含义 设计齿廓迹线可能为曲线)。取值时，首先用最小二乘法画出一条平均齿廓迹线(3a)，然后过曲线的最高、最低点作其平行线，则两平行线间沿y轴方向的距离即 f_{fa} 。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

3

齿廓偏差

(3) 齿廓倾斜偏差 $f_{H\alpha}$

定义 在计值范围两端与平均齿廓迹线相交的两条设计齿廓迹线间的距离。计值范围的左端与平均齿廓迹线相交于 D 点，右端与平均齿廓迹线相交于 H 点，则 GD 即 $f_{H\alpha}$ 值。

齿廓偏差的存在使两齿面啮合时产生传动的瞬时变动，从而影响齿轮运动的平稳性。



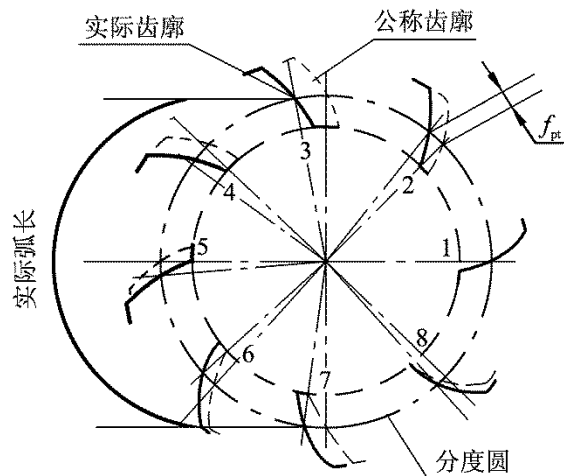
8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

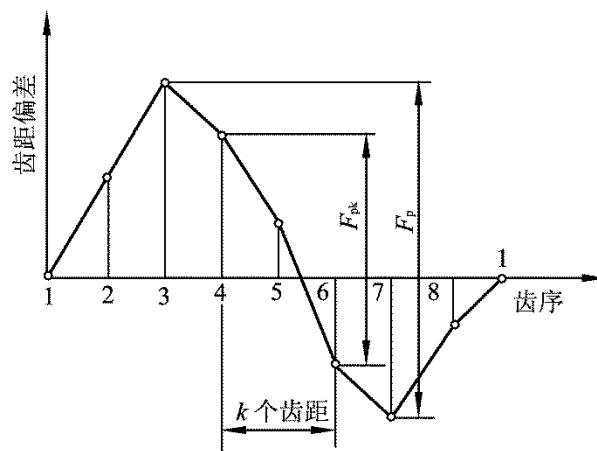
4 单个齿距偏差 f_{pt} 与单个齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$

(1) 定义

f_{pt} 是指在端平面上，在接近齿高中部的一个与齿轮轴线同心的圆上，实际齿距与理论齿距的代数差，如图所示为第1个齿距的齿距偏差。



(a) 截面误差图



(b) 齿距累积偏差曲线

齿距偏差与齿距累积偏差



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

二、影响齿轮传动平稳性的偏差及含义

4 单个齿距偏差 f_{pt} 与单个齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$

(2)含义

$\pm f_{pt}$ 是允许单个齿距偏差 f_{pt} 的两个极限值。当齿轮存在齿距偏差时，不管是正值还是负值都会在一对齿啮合完毕而另一对齿进入啮合时，主动齿轮与被动齿轮发生冲撞，影响齿轮传动平稳性。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

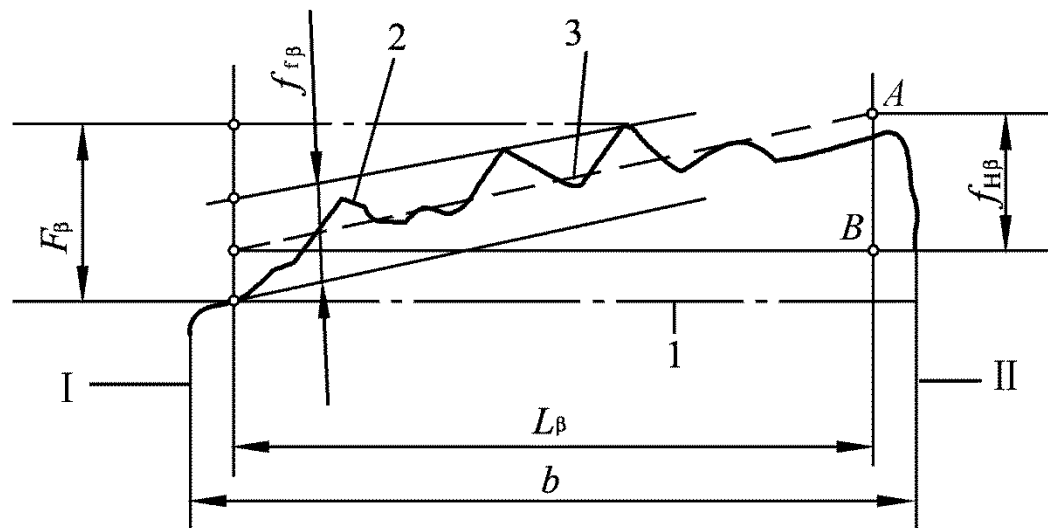
三、影响齿轮载荷分布均匀性的偏差及含义

1

螺旋线总偏差 F_{β}

(1)定义

F_{β} 是指在计值范围内，包容实际螺旋线迹线的两条设计螺旋线迹线间的距离，如图所示。



螺旋线偏差展开图

(2)含义

该项偏差主要影响齿面接触精度。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

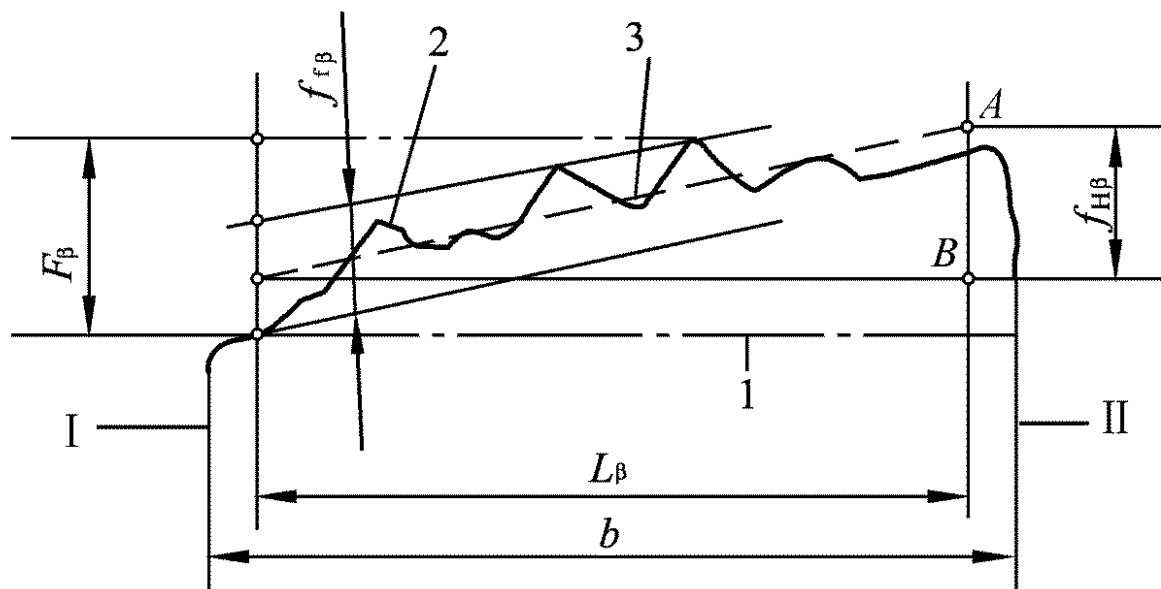
三、影响齿轮载荷分布均匀性的偏差及含义

2

螺旋线形状偏差 $f_{f\beta}$

定义

对于非修形的螺旋线来说， $f_{f\beta}$ 是在计值范围内，包容实际螺旋线迹线的与平均螺旋线迹线平行的两条直线间距离(图示)。



螺旋线偏差展开图



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

三、影响齿轮载荷分布均匀性的偏差及含义

3

螺旋线倾斜偏差 $f_{H\beta}$

(1)定义

$f_{H\beta}$ 是指在计值范围的两端与平均螺旋线迹线相交的设计螺旋线迹线间的距离。

(2)含义

有时出于某种目的，将齿轮设计成修形螺旋线，则设计螺旋线迹线不再是直线。



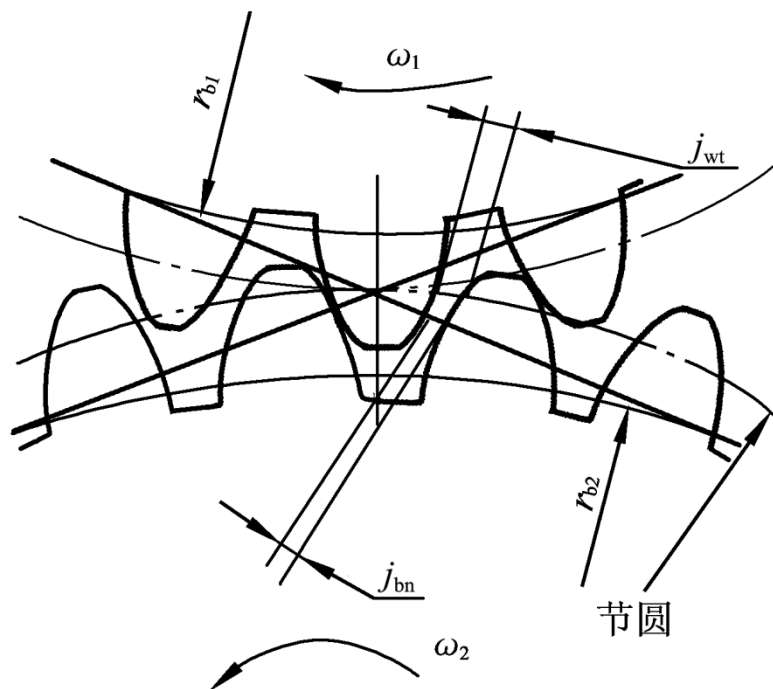
8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

1

齿侧间隙

齿侧间隙通常有两种表示方法，即圆周侧隙 j_{wt} 和法向侧隙 j_{bn} ，如图所示。



齿轮侧隙



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

1

齿侧间隙

(1) 圆周侧隙 j_{wt}

是指安装好的齿轮副，当其中一个齿轮固定时，另一个齿轮圆周的晃动量，以分度圆上弧长计值。

(2) 法向侧隙 j_{bn}

是指安装好的齿轮副，当工作齿面接触时，非工作齿面之间的最短距离。



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

1

齿侧间隙

测量 j_{bn} 需在基圆切线方向，也就是在啮合线方向上测量，一般可以通过压铅丝法测量，即齿轮啮合过程中在齿间放入一段铅丝，啮合后取出压扁了的铅丝测量其厚度，也可以用塞尺直接测量 j_{bn} 。

理论上 j_{bn} 与 j_{wt} 存在以下关系

$$j_{bn} = j_{wt} \cos \alpha_{wt} \cos \beta_b \quad (8-1)$$



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

2 最小侧隙 j_{bnmin} 的确定

齿轮传动时，必须保证有足够的最小侧隙 j_{bnmin} ，以保证齿轮机构正常工作。对于用黑色金属材料齿轮和黑色金属材料箱体的齿轮传动，工作时齿轮节圆线速度小于15 m/s，其箱体、轴和轴承都采用常用的商业制造公差， j_{bnmin} 的计算公式为

$$j_{bnmin} = \frac{2}{3}(0.06 + 0.000\ 5a + 0.03m_n) \quad (8-2)$$



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

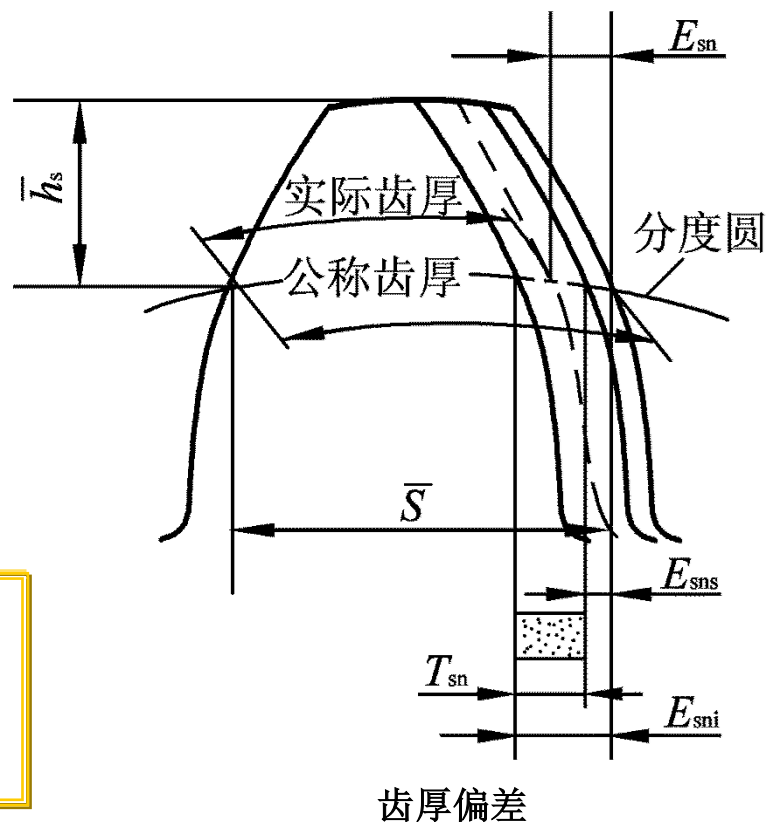
3 齿侧间隙的获得和检验项目

(1) 用齿厚极限偏差控制齿厚

为了获得最小侧隙 j_{bnmin} ，齿厚应保证有最小减薄量，它是由分度圆齿厚上极限偏差 E_{sns} 形成的，如图所示。

$$j_{bnmin} = 2 |E_{sns}| \cos \alpha_n \quad (8-3)$$

$$E_{sns} = \frac{j_{bnmin}}{2 \cos \alpha_n} \quad (8-4)$$



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

3 齿侧间隙的获得和检验项目

(1) 用齿厚极限偏差控制齿厚

齿厚公差的选择要适当，公差过小势必增加齿轮制造成本；公差过大会使侧隙加大，使齿轮正/反转时空行程过大。齿厚公差 T_{sn} 的计算公式为

为了使齿侧间隙不至于过大，在齿轮加工中还需根据加工设备的情况适当地控制齿厚下极限偏差 E_{sni} ， E_{sni} 的计算公式为

$$T_{sn} = \sqrt{F_r^2 + b_r^2} \cdot 2 \tan \alpha_n \quad (8-5)$$

$$E_{sni} = E_{sns} - T_{sn} \quad (8-6)$$



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

3 齿侧间隙的获得和检验项目

(1) 用齿厚极限偏差控制齿厚

一般用齿厚游标卡尺测量分度圆弦齿厚，如图所示。

对于非变位直齿轮， $\bar{s}$ 与 $\bar{h}_a$ 的计算公式为

$$\bar{s} = 2r \sin \frac{90^\circ}{z} = mz \sin \frac{90^\circ}{z} \quad (8-7)$$

$$\bar{h}_a = m \left[1 + \frac{z}{2} \left(1 - \cos \frac{90^\circ}{z} \right) \right] \quad (8-8)$$



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

3 齿侧间隙的获得和检验项目

(2)用公法线平均长度极限偏差控制齿厚

齿轮齿厚的变化必然引起公法线长度的变化。测量公法线长度同样可以控制齿侧间隙。公法线长度的上极限偏差 E_{bns} 和下极限偏差 E_{bni} 与齿厚偏差有如下关系

$$E_{\text{bns}} = E_{\text{sns}} \cos \alpha_n \quad (8-9)$$

$$E_{\text{bni}} = E_{\text{sni}} \cos \alpha_n \quad (8-10)$$



8.2 齿轮精度的评定指标及检测

四、齿侧间隙及其检验项目

3 齿侧间隙的获得和检验项目

(2)用公法线平均长度极限偏差控制齿厚

直齿轮测量公法线时的卡量齿数 k 通常为

$$k = \frac{z}{9} + 0.5 \text{ (取相近的整数)} \quad (8-11)$$

非变位的齿形角为 20° 的直齿轮公法线长度为

$$W_k = m[2.952(k - 0.5) + 0.014z] \quad (8-12)$$



8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

一、齿轮副的精度指标

1

中心距极限偏差 $\pm f_a$

(1)定义 $\pm f_a$ 是指在齿轮副的齿宽中间平面内，实际中心距与公称中心距之差。

(2)含义 $\pm f_a$ 主要影响齿轮副侧隙。

中心距极限偏差 $\pm f_a$ (μm)		
齿轮精度等级 中心距 a/mm	5、6	7、8
$>50\sim80$	15	23
$>80\sim120$	17.5	27
$>120\sim180$	20	31.5
$>180\sim250$	23	36
$>250\sim315$	26	40.5
$>315\sim400$	28.5	44.5
$>400\sim500$	31.5	48.5



8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

一、齿轮副的精度指标

2 轴线平行度偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 、 $f_{\Sigma\beta}$

(1) 定义

轴线平面内的平行度偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 是在两轴线的公共平面上测量的；垂直平面上的平行度偏差 $f_{\Sigma\beta}$ 是在与轴线公共平面相垂直平面上测量的。 $f_{\Sigma\delta}$ 与 $f_{\Sigma\beta}$ 的最大推荐值为

$$f_{\Sigma\delta} = 2f_{\Sigma\beta} \quad (8-13)$$

$$f_{\Sigma\beta} = 0.5 \left(\frac{L}{h} \right) F_{\beta} \quad (8-14)$$



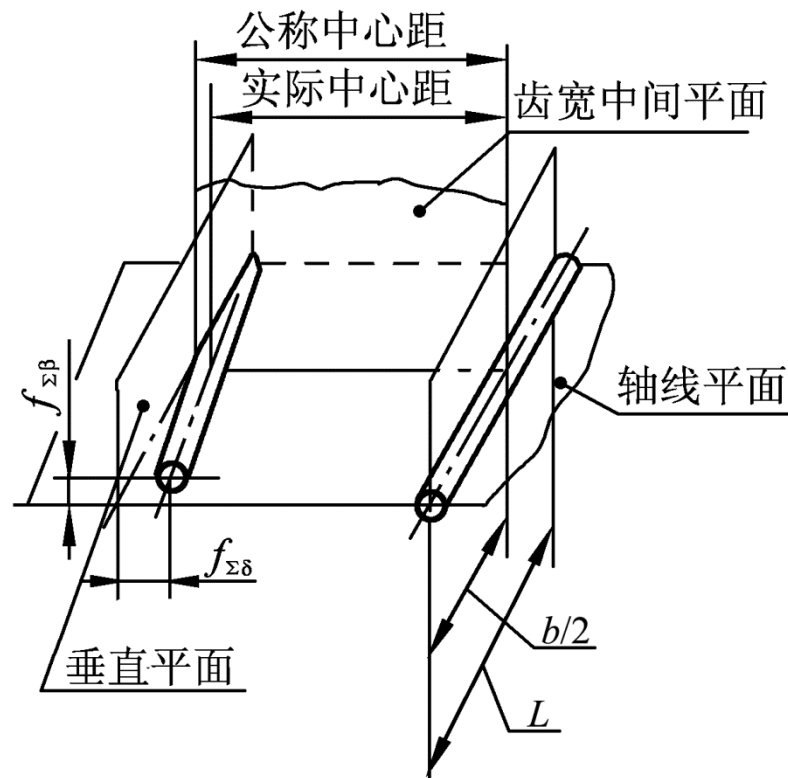
8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

一、齿轮副的精度指标

2 轴线平行度偏差 $f_{\Sigma\delta}$ 、 $f_{\Sigma\beta}$

(2)含义

如果一对啮合的圆柱齿轮的两条轴线不平行，形成了空间的异面(交叉)直线，则将影响齿轮的接触精度，因此必须加以控制，如图所示。



接触斑点分布



8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

一、齿轮副的精度指标

3

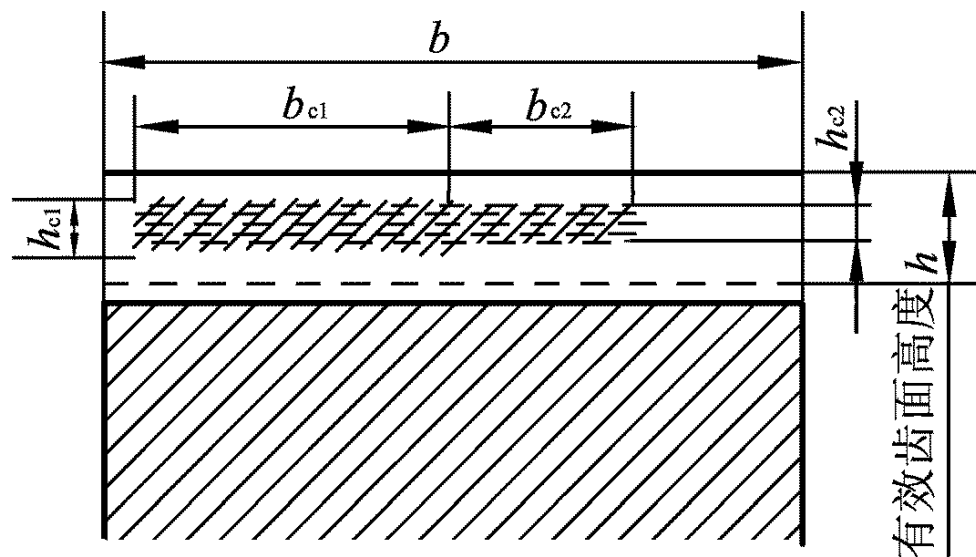
接触斑点

(1)定义

齿轮副的接触斑点是指安装好的齿轮副，在轻微制动下，运转后齿面上分布的接触擦亮痕迹。

(2)含义

如图所示为接触斑点分布示意图，其中 b_{c1} 为接触斑点的较大长度， b_{c2} 为接触斑点的较小长度， h_{c1} 为接触斑点的较大高度， h_{c2} 为接触斑点的较小高度。



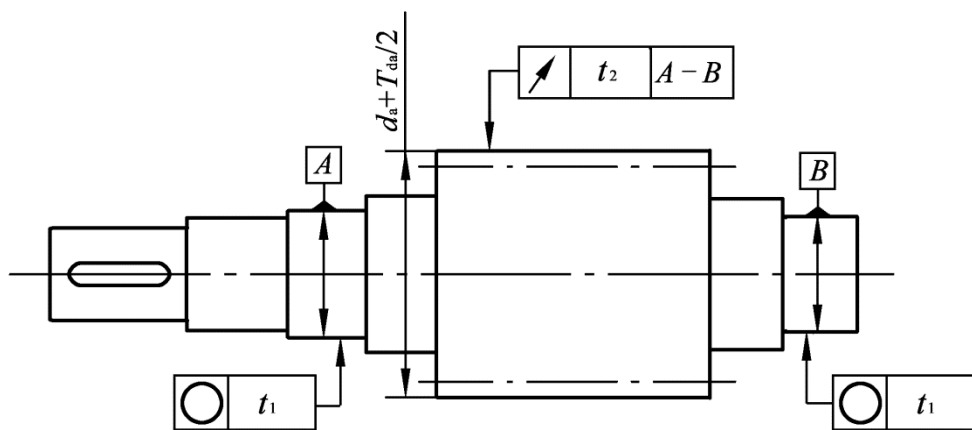
接触斑点分布



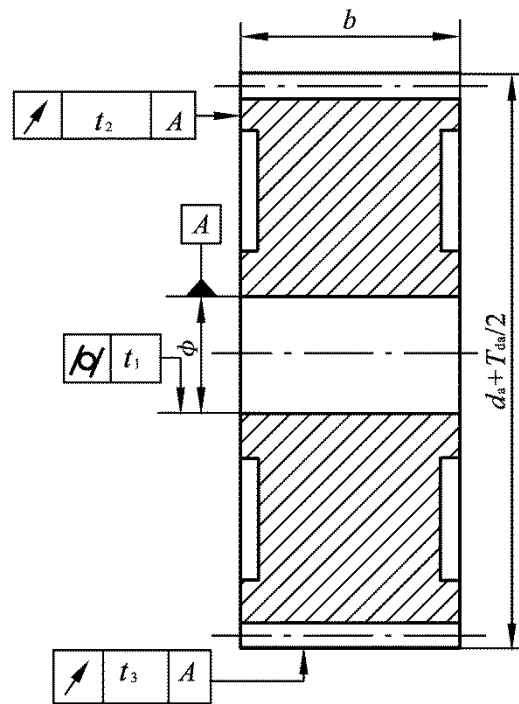
8.3 齿轮副和齿坯的精度评定指标

一、齿坯精度指标

齿轮的工作基准是其基准轴线，而基准轴线通常都是由某些基准来确定的，如图所示为两种常用的齿轮结构形式。



用两个“短”基准面确定基准轴线



用一个“长”基准面确定基准轴线

8.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用

GB/T 10095.1—2008和GB/T 10095.2—2008对齿轮规定了精度等级及各项偏差的允许值。

一、精度等级及其选择

标准对单个齿轮规定了13个精度等级，分别用阿拉伯数字0、1、2、...、12表示。其中，0级精度最高，依次降低，12级精度最低。其中5级精度为基本等级，是计算其他等级偏差允许值的基础。0~2级目前加工工艺尚未达到标准要求，是为将来发展而规定的特别精密的齿轮；3~5级为高精度齿轮；6~8级为中等精度齿轮；9~12级为低精度(粗糙)齿轮。



8.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用

三、检验项目的选用

齿轮加工方式	滚齿加工时，机床分度蜗轮偏心产生公法线长度变动偏差，而磨齿加工时则由于分度机构误差将产生齿距累积偏差，故应根据不同的加工方式采用不同的检验项目。
齿轮精度	齿轮精度低，机床精度可足够保证，由机床产生的误差可不检验。齿轮精度高，可选用综合性检验项目，以反映全面情况。
检验目的	终结检验应选用综合性检验项目，工艺检验可选用单项指标以便于分析误差原因。
齿轮规格	直径 ≤ 400 mm的齿轮可放在固定仪器上进行检验。大尺寸齿轮一般将量具放在齿轮上进行单项检验。
生产规模	大批量应采用综合性检验项目，以提高效率，单件小批生产一般采用单项检验。
设备条件	选择检验项目时还应考虑工厂仪器设备条件及习惯检验方法。



8.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用

五、齿轮在图样上的标注

1 齿轮精度等级的标注方法示例

(1) 7GB/T 10095.1表示齿轮各项偏差项目均应符合GB/T 10095.1的要求，精度均为7级。

(2) $7F_p6(F_\alpha, F_\beta)$ GB/T 10095.1表示偏差 F_p 、 F_α 、 F_β 均按GB/T 10095.1要求，但是 F_p 为7级， F_α 与 F_β 均为6级。

(3) $6(F_i'', f_i'')$ GB/T 10095.2表示偏差 F_i'' 、 f_i'' 均按GB/T 10095.2要求，精度均为6级。



8.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用

五、齿轮在图样上的标注

2

齿厚偏差常用标注方法

(1) $S_n^{E_{sns}}_{E_{sni}}$ 其中 S_n 为法向公称齿厚, E_{sns} 为齿厚上极限偏差, E_{sni} 为

齿厚下极限偏差。

(2) $W_k^{E_{bns}}_{E_{bni}}$ 其中 W_k 为跨 k 个齿的公法线公称长度, E_{bns} 为公法线长

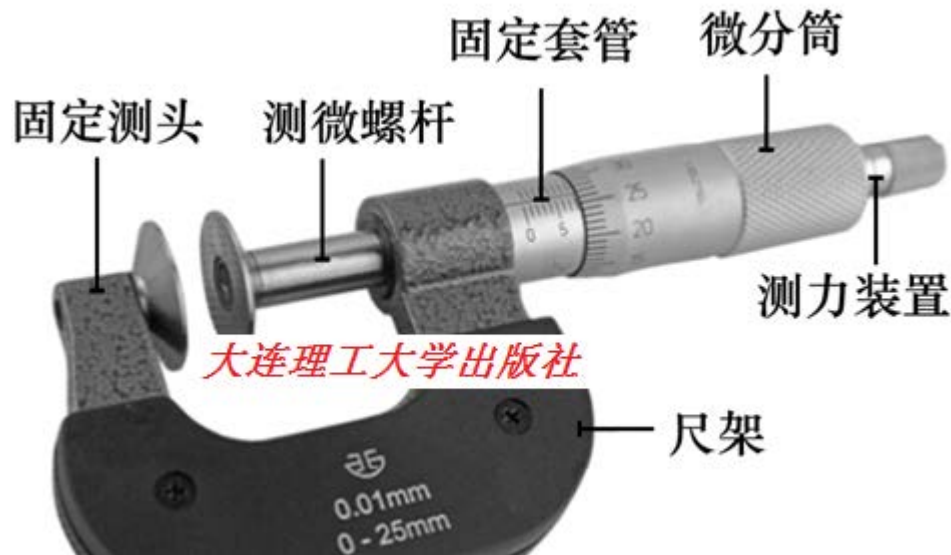
度上极限偏差, E_{bni} 为公法线长度下极限偏差。



实训1 用公法线千分尺测量齿轮参数

1 公法线千分尺的组成及原理

是利用螺旋副原理，对弧形尺架上两盘形测量面分隔的距离进行读数的齿轮公法线测量器具。主要用于测量齿轮的公法线长度，其读数方法与普通千分尺相同，如图所示。



公法线千分尺

实训1 用公法线千分尺测量齿轮参数

2

测量方法

- (1) 选择公法线千分尺的规格。
- (2) 确定公法线公称长度理论值 W 和跨齿数 W_n 。



测量公法线

- (3) 检查和校对公法线千分尺的零位。
- (4) 将平均值减去公称值，即公法线平均长度偏差 ΔE_w 。
- (5) 测得的最大值与最小值之差即公法线长度变动量 ΔF_w 。

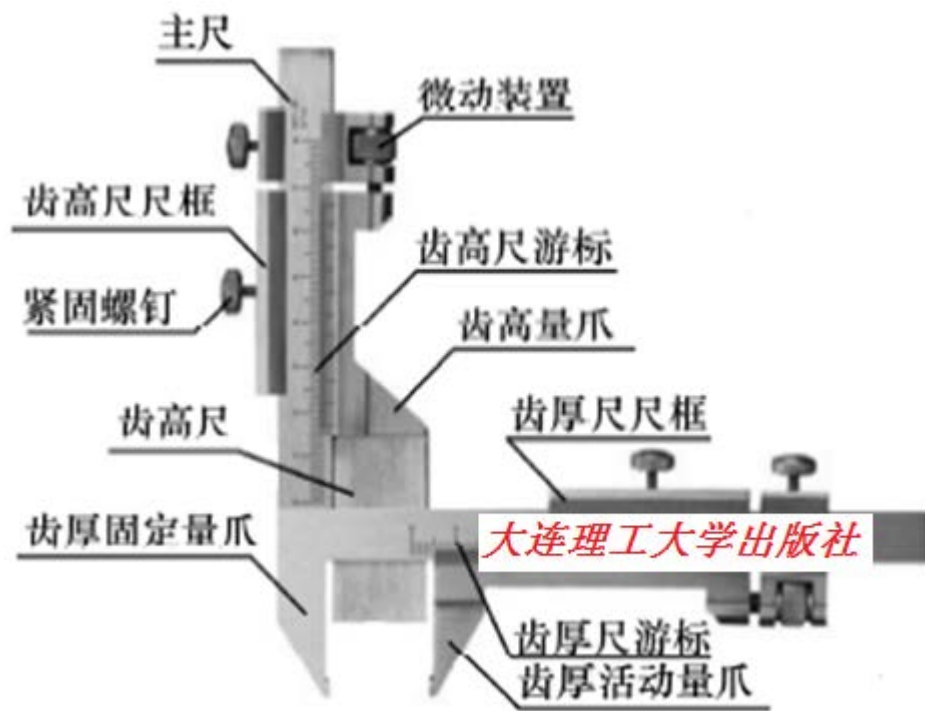
技能训练

实训2 用齿厚游标卡尺测量齿轮轮齿的齿厚偏差

1

齿厚游标卡尺的结构及原理

齿厚游标卡尺是利用游标原理，以齿高尺定位对齿厚尺两测量爪相对移动分隔的距离进行读数的齿厚测量器具，如图所示。



齿厚游标卡尺



实训2 用齿厚游标卡尺测量齿轮轮齿的齿厚偏差

2

测量方法

- (1) 测量被测提取齿轮的齿顶圆直径。
- (2) 计算公称弦齿厚和实际分度圆弦齿高。



测量
公法
线

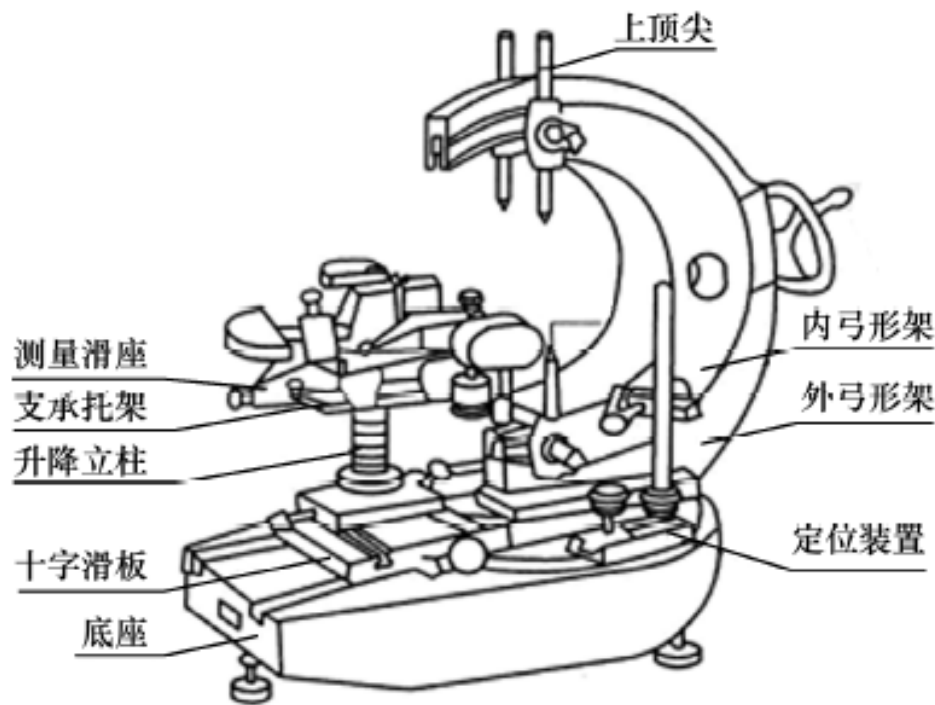
- (3) 从水平游标尺上读出分度圆弦齿厚实际值。
- (4) 均匀测量几个点；
- (5) 记下读数，计算实际齿厚，实际齿厚与理论齿厚的差值即齿厚偏差。



3. 用万能测齿仪测量齿轮参数

1 万能测齿仪的组成及原理

万能测齿仪是以被测提取齿轮轴心线为基准，上、下顶尖定位，采用指示表类器具测量齿轮、蜗轮的齿距误差及偏差、公法线长度、齿圈径向跳动等的测量仪器，如图所示。



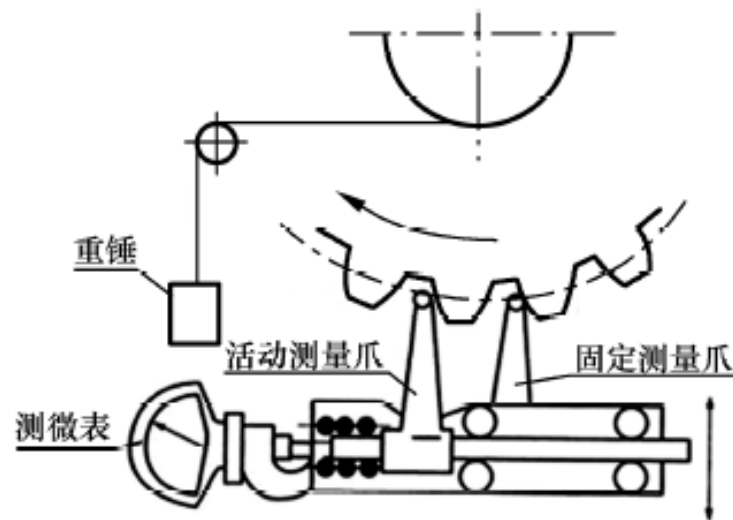
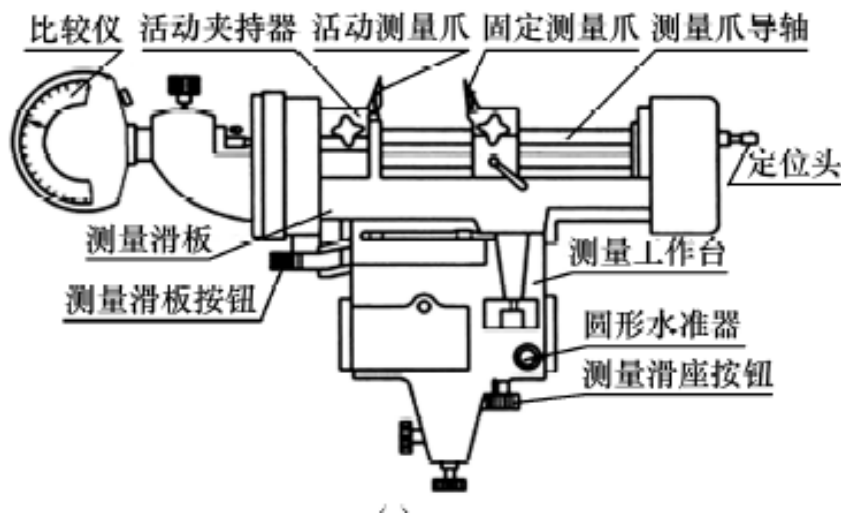
万能测齿仪的结构

技能训练

3. 用万能测齿仪测量齿轮参数

1 万能测齿仪的组成及原理

测量工作台装有特制的单列向心球轴承组成纵、横向导轨，使工作台纵、横方向的运动精密而灵活，保证测头能顺利进入测量位置。



万能测齿仪工作原理



3. 用万能测齿仪测量齿轮参数

2

测量方法

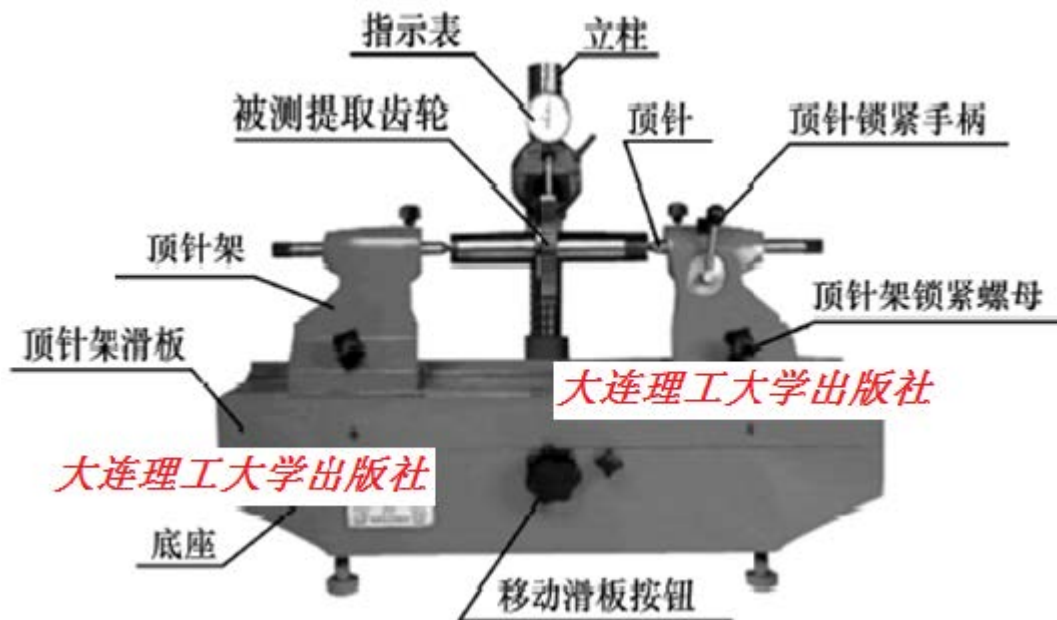
- (1) 将被测提取齿轮套在心轴上，并一起安装在仪器的两顶尖上。
- (2) 使两上测头进入齿间，在分度圆附近与相邻两个同侧齿面接触。
- (3) 在齿轮心轴上挂上重锤，利用重力使齿面紧靠测头。
- (4) 以被测提取齿轮的任一齿距作为基准齿距，调整指示表的零位。
- (5) 测量时，推进测头，接触齿面，读取测微表上的读数。

技能训练

实训4. 用齿轮径向跳动测量仪检测齿轮的径向跳动

1 齿轮径向跳动测量仪的结构及原理

本仪器属于纯机械结构，导轨面采用磨削后刮研工艺，读数直观（千分表示值），精度高，操作方便。



齿轮径向跳动测量仪



技能训练

实训4. 用齿轮径向跳动测量仪检测齿轮的径向跳动

2

测量方法

- (1) 安装好指示表支架的位置，以指示表测头与被测提取齿轮齿槽接触。
- (2) 按分度圆直径选择相应直径的指示表测头。
- (3) 指示表测头从调零开始逐齿测取读数，直至测完全部齿槽为止。
- (4) 在记录的全部读数中，取其最大与最小值之差，即被测齿轮的径向跳动。

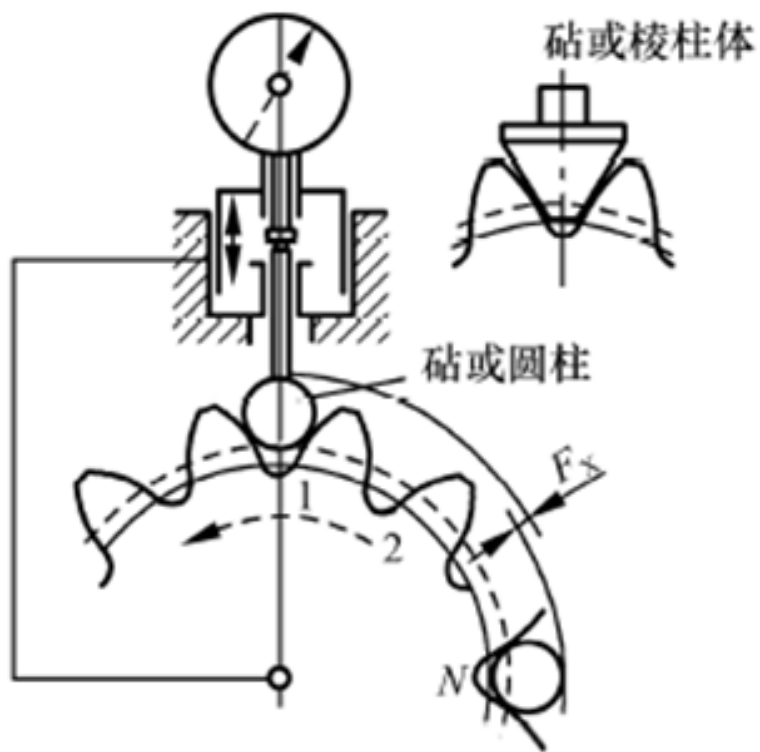


技能训练

实训4. 用齿轮径向跳动测量仪检测齿轮的径向跳动

2

测量方法



齿圈径向跳动测量



实训5. 用三坐标测量仪检测零件

1

仪器简介

三坐标测量仪是指在一个六面体的空间范围内，能够表现几何形状、长度及圆周分度等测量能力的仪器，又称为三坐标测量机或三坐标量床。

三坐标测量仪又可定义“一种具有可做三个方向移动的探测器，三坐标测量仪的测量功能应包括尺寸精度、定位精度、几何精度及轮廓精度等。



实训5. 用三坐标测量仪检测零件

2

仪器基本组成

- (1) 测量仪主机
- (2) 控制系统
- (3) 计算机
- (4) 测头系统



三坐标测量仪

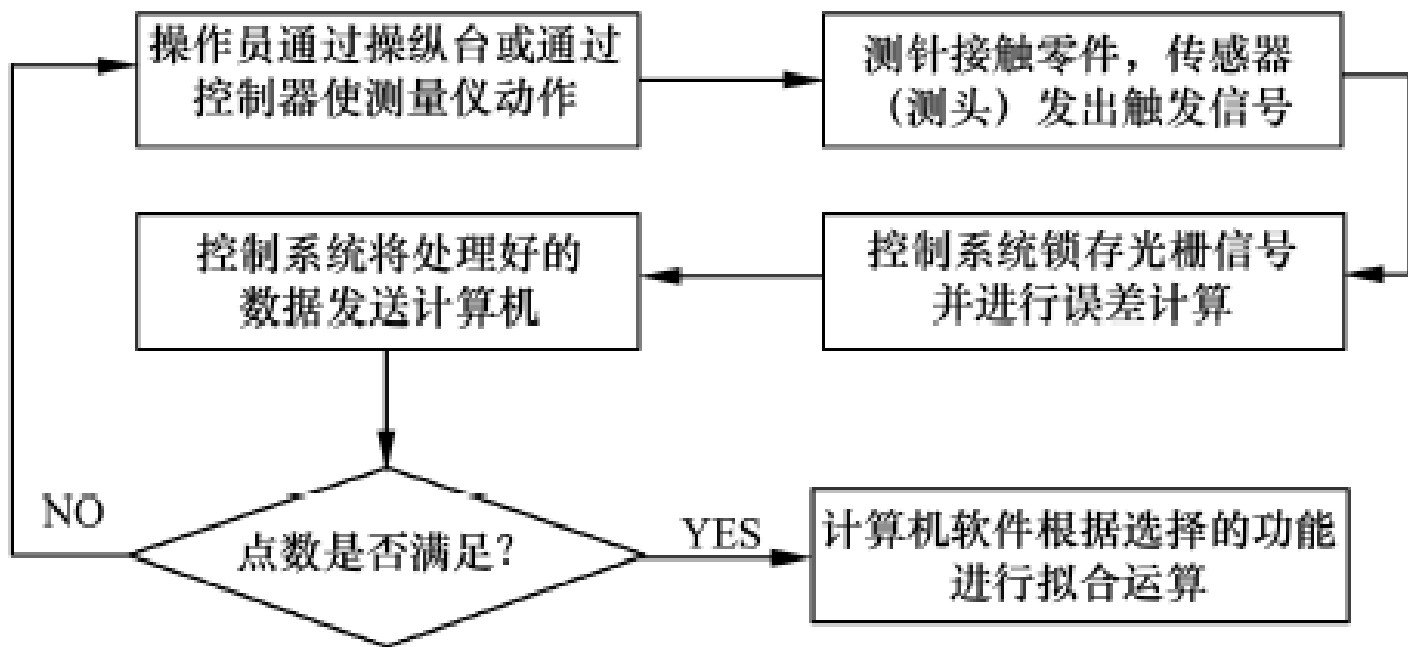


实训5. 用三坐标测量仪检测零件

3

测量原理

测量点的过程



实训5.用三坐标测量仪检测零件

3

测量原理

- (1) 在三坐标空间中,可以用坐标来描述每一个点的位置。
- (2) 多个点可以用数学方法拟合成几何元素。
- (3) 利用几何元素的特征,计算这些几何元素之间的距离和位置关系、进行几何公差的评价。
- (4) 将复杂的数学公式编写成程序软件,利用软件可以进行特殊零件的检测。
- (5) 主要算法采用最小二乘法。



实训5.用三坐标测量仪检测零件

4

操作方法

- (1) 工作前的准备
- (2) 检测工作中
- (3) 关机及整理工作

