

三、齿轮传动

第一节 齿轮传动的特点和类型

齿轮传动是目前机械传动中最重要的—种传动，它能适应各种不同的工作条件：无论两轴是平行布置的，还是相交的或是交错的，都能应用齿轮传动。

1. 齿轮传动的作用

传递任意两轴间的运动和动力。

2. 齿轮传动的优、缺点

优点:

- ①传动比恒定；传动平稳
- ②传动效率高, $\eta=99\%$ 以上；
- ③工作可靠性高；使用寿命长,可使用数年。
- ④适用的功率、速度范围广。
- ⑤结构紧凑，外廓尺寸小。

缺点:

- ①制造和安装精度要求较高；成本高。
- ②不适宜用于两轴轴间距离较大的传动。
- ③无过载保护功能。
- ④传动中有噪声和振动。

二、齿轮及其传动的类型

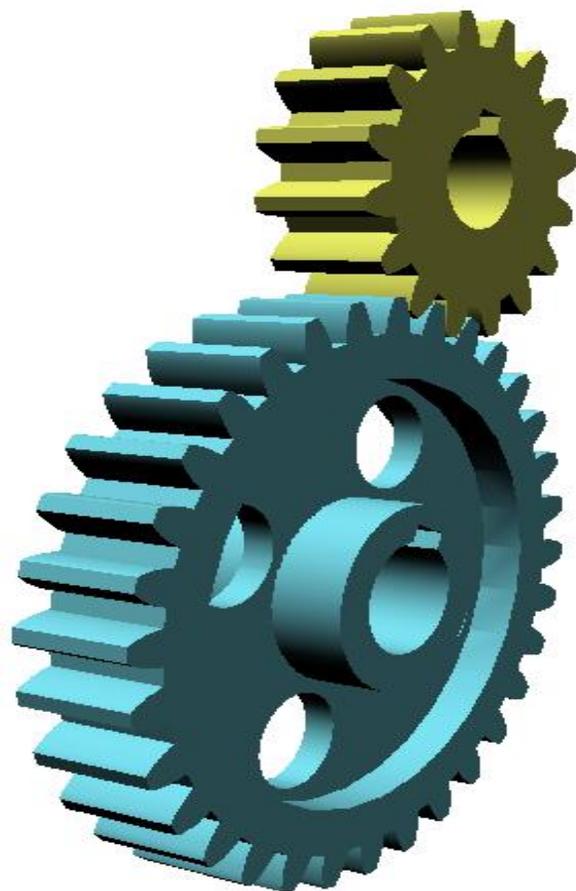
1、按齿轮的轮廓曲面分类

- (1) 渐开线齿轮—应用最广泛，重点讨论。
- (2) 圆弧齿轮—适用于高速重载的场合。
- (3) 摆线齿轮—主要用于摆线少齿差传动。

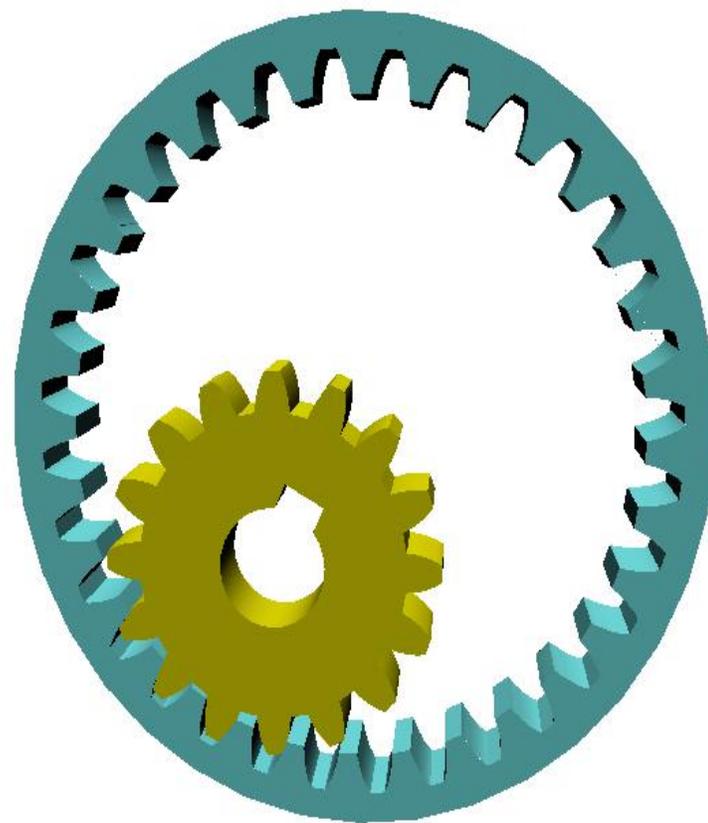
2、按齿轮传动相对运动分类

(1) 平面齿轮（两轴平行）

外啮合直齿轮



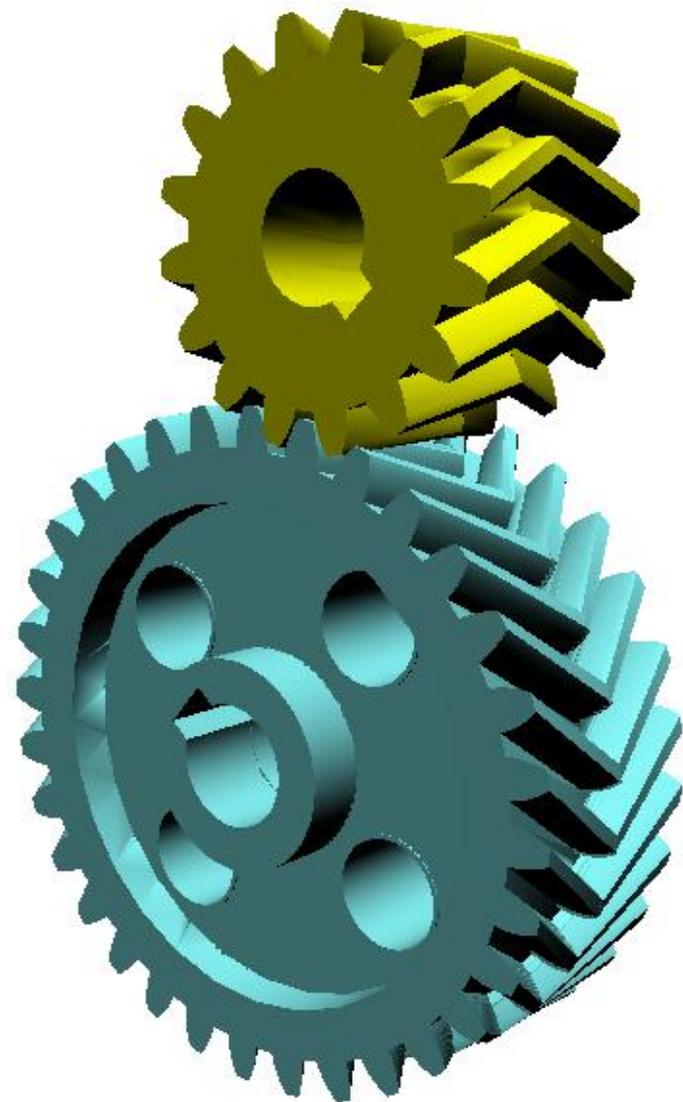
内啮合直齿轮



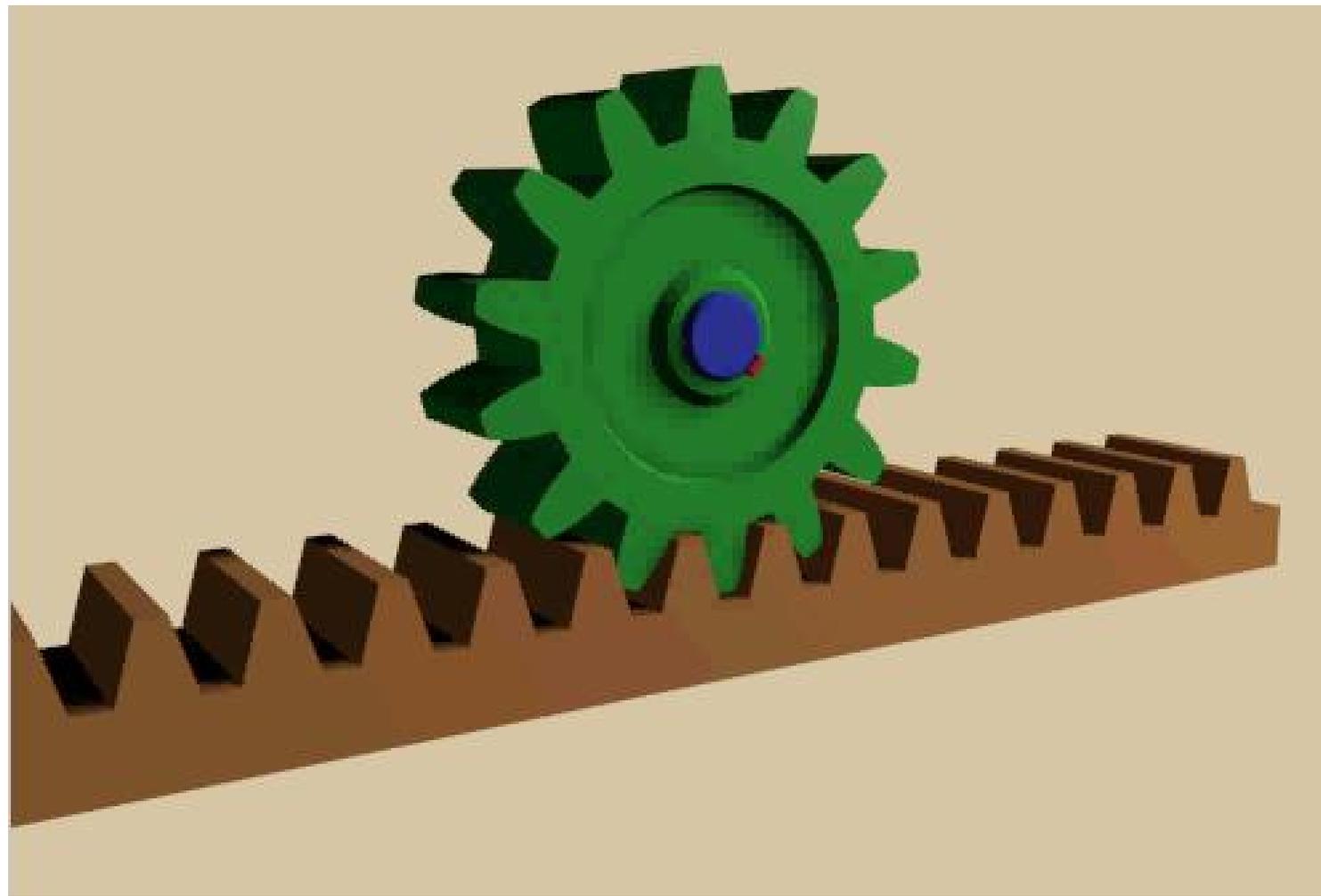
斜齿圆柱齿轮



人字齿圆柱齿轮

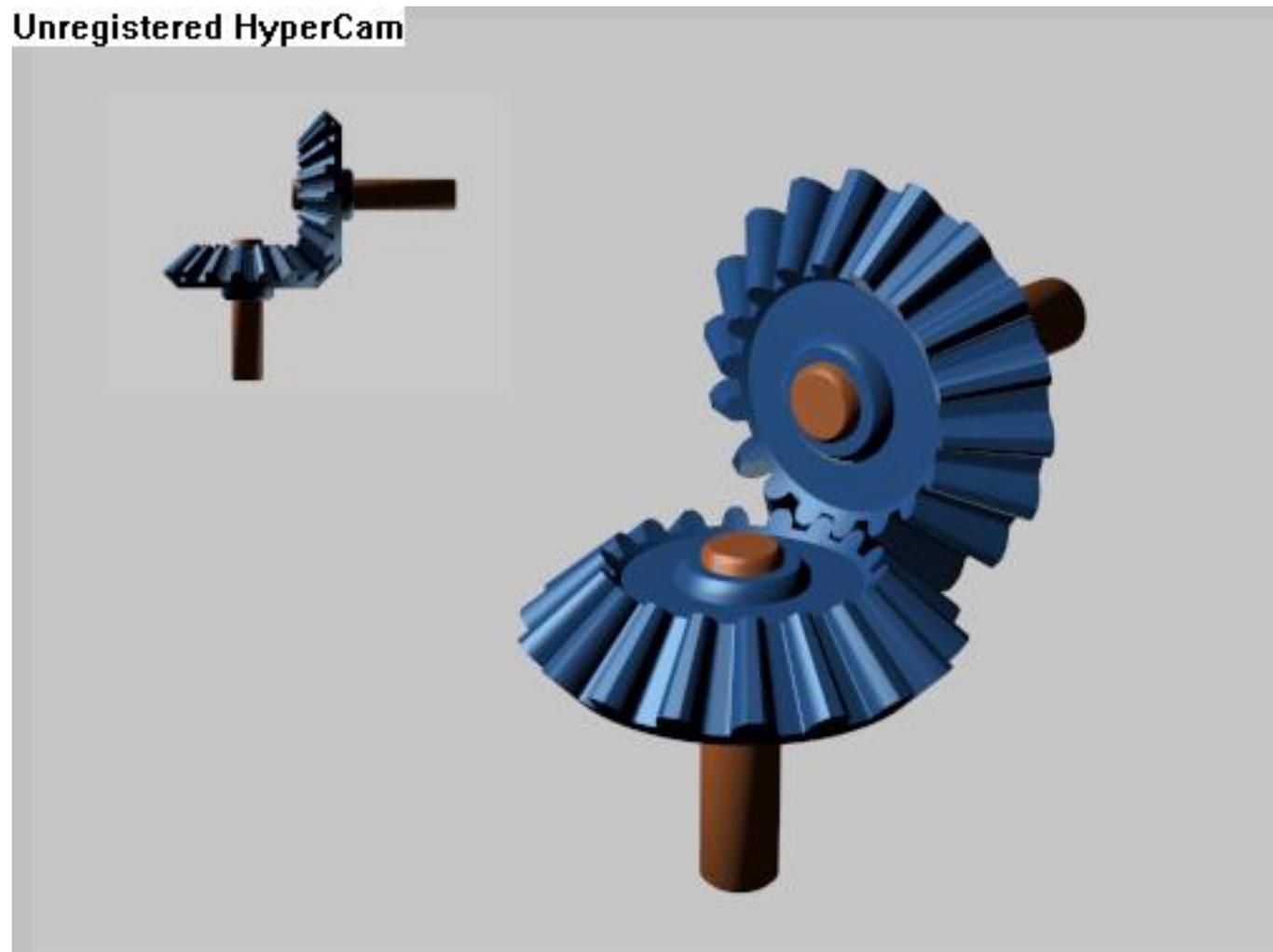


齿轮齿条传动

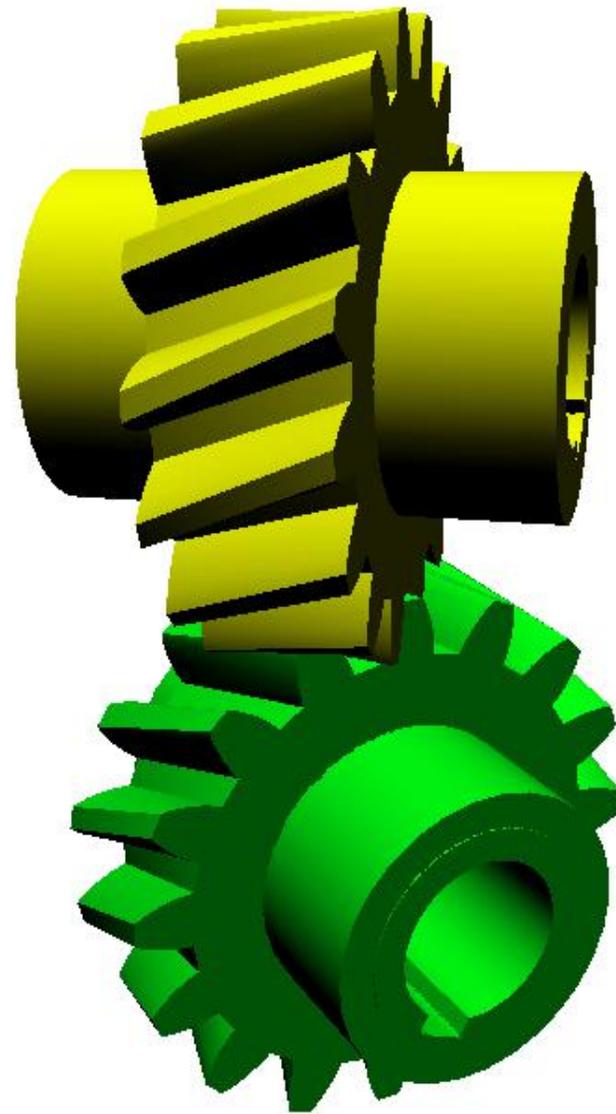


(2)、空间齿轮传动（两轴不平行）

直齿圆锥齿轮传动



两轴相交错的齿轮机构

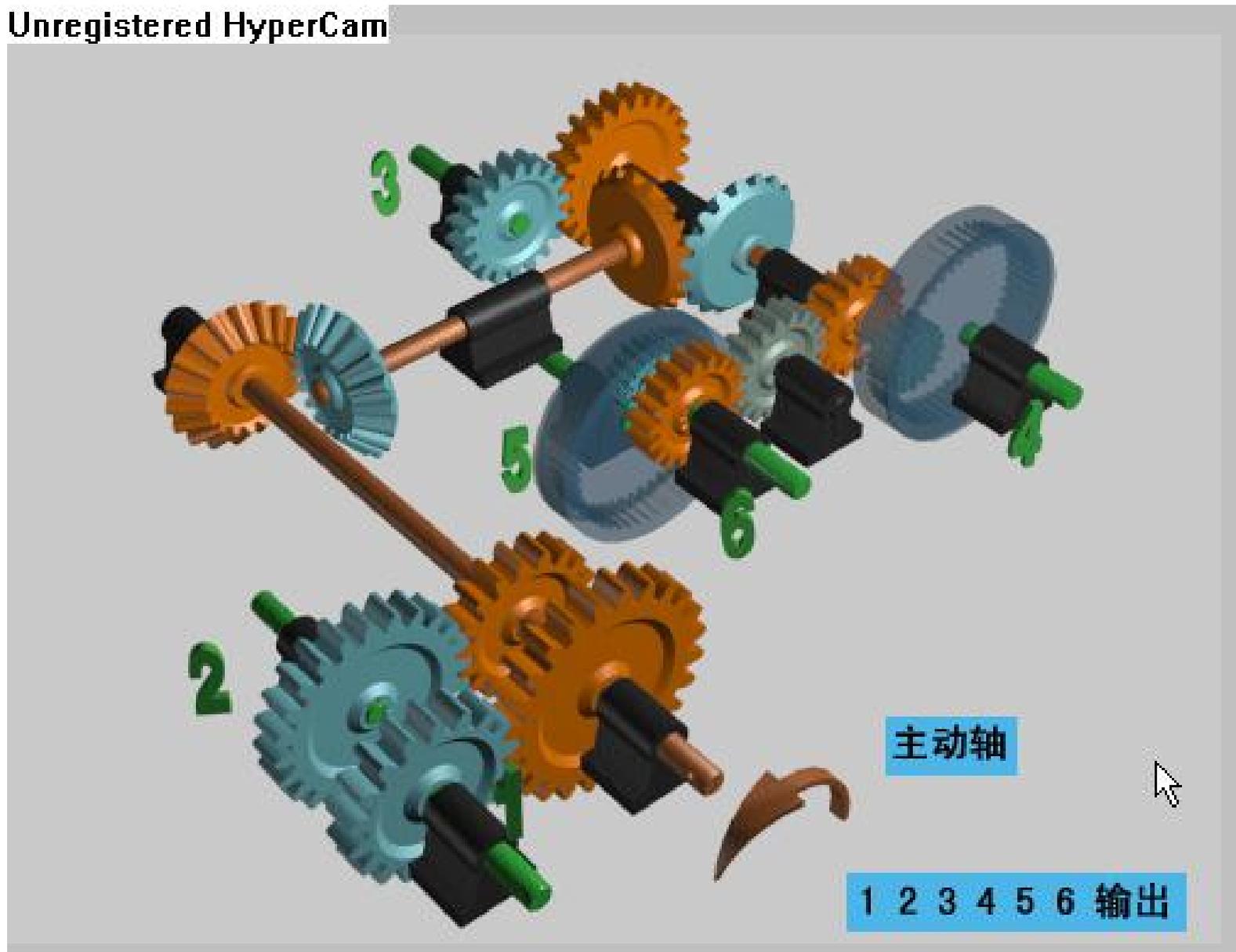


交错轴斜齿轮传动

蜗
轮
蜗
杆
传
动



多路齿轮机构传动



3、按齿轮传动工作条件分类

(1) 开式传动——指齿轮暴露在箱体之外的齿轮传动，适用于低速或不重要的场合。

(2) 半开式传动——只有简单的防护罩，适用于农业机械、建筑机械等。

(3) 闭式传动——齿轮安装在封闭的箱体内的齿轮传动。多用于重要的传动。

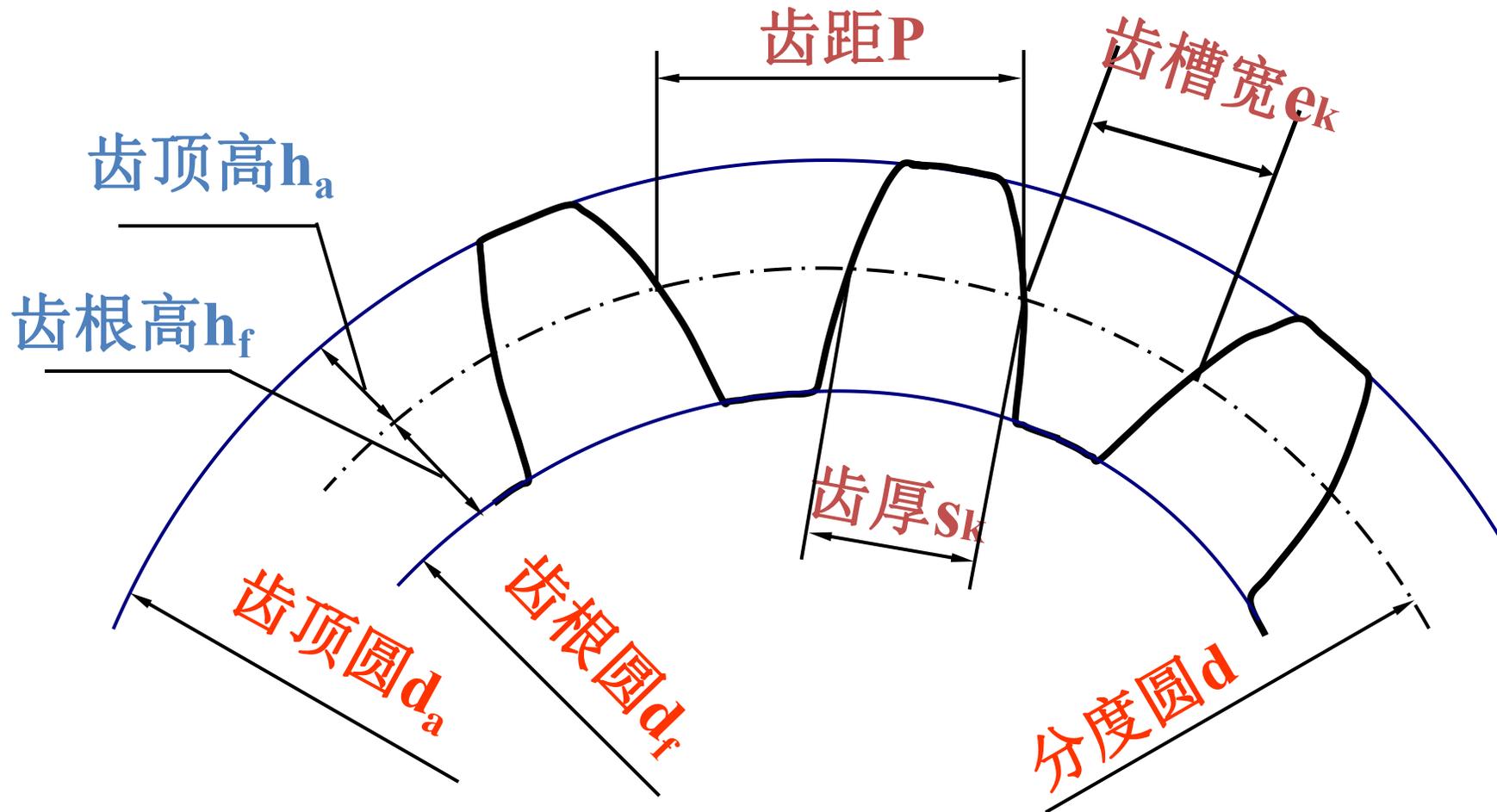
三、齿轮传动的基本要求

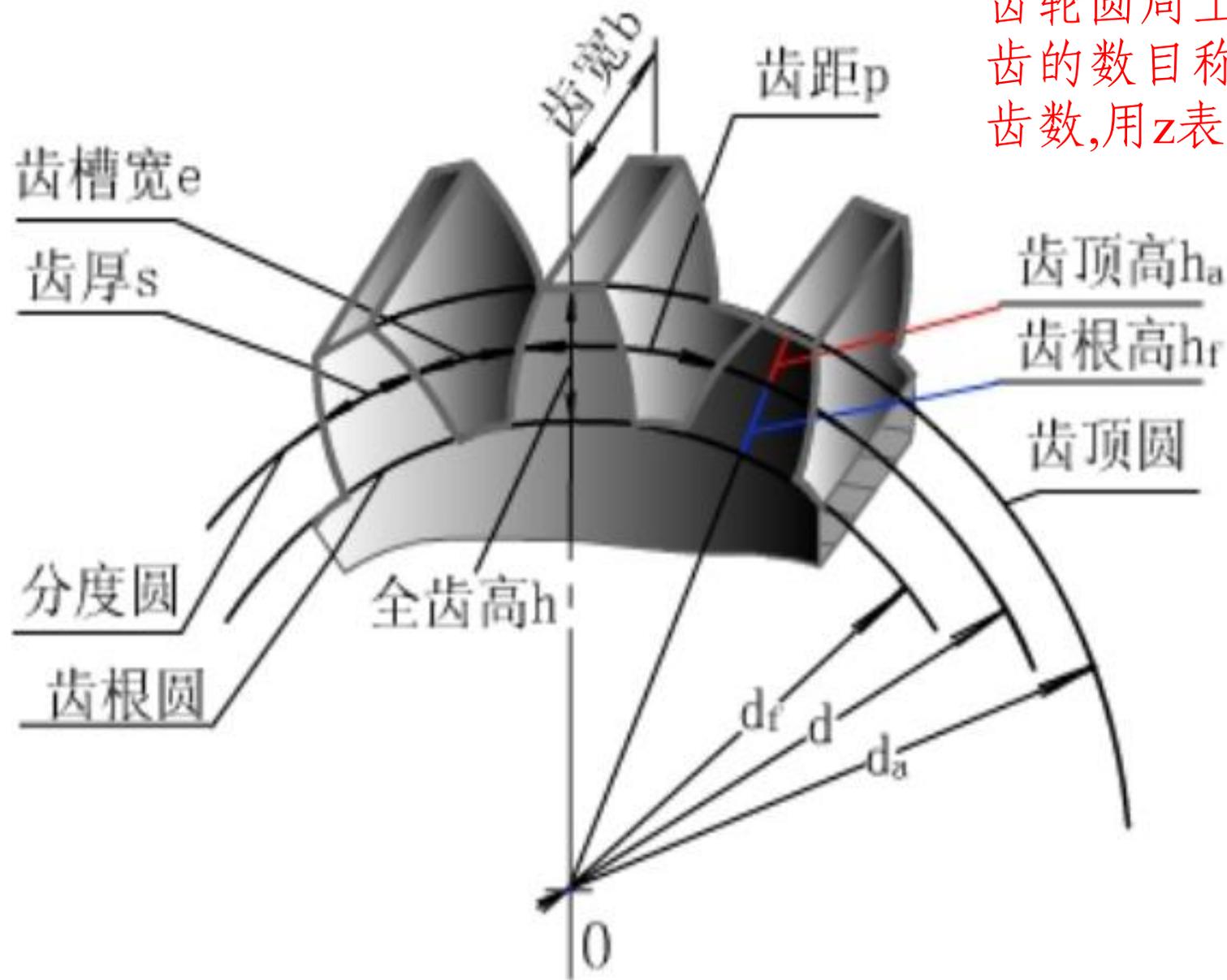
1、传动准确、平稳

2、承载能力强

第二节、渐开线齿轮的基本参数和几何尺寸

一、直齿圆柱齿轮的基本参数

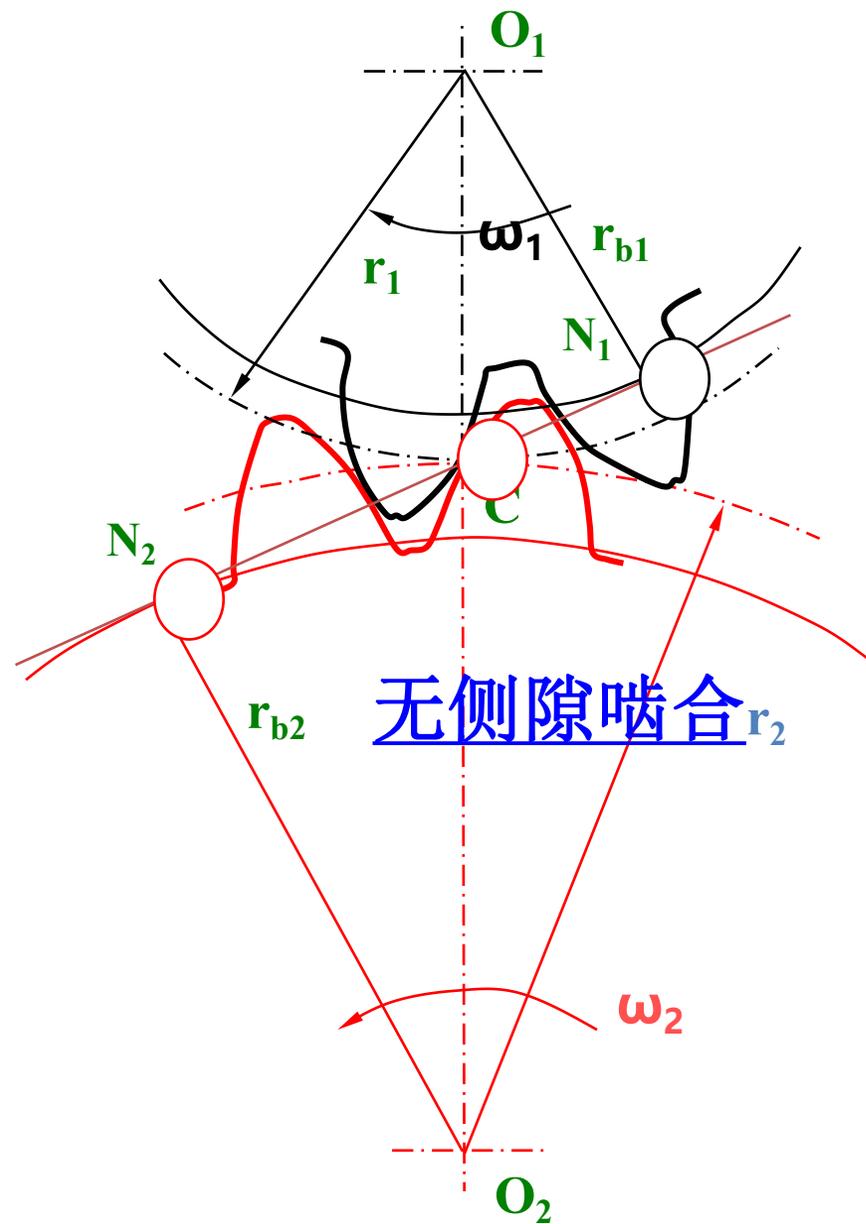




齿轮圆周上轮齿的数目称为齿数,用 z 表示。

3、渐开线直齿轮的 标准安装的条件

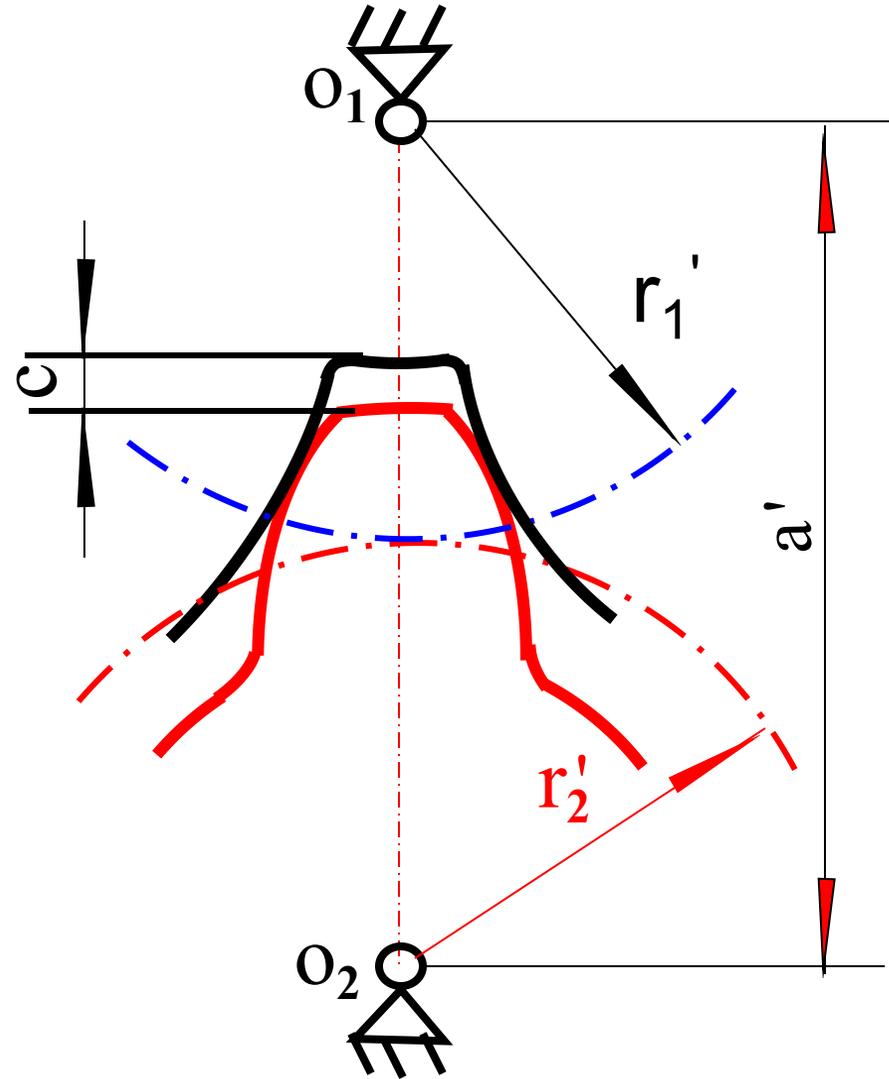
无侧隙啮合



标准齿轮传动的中心距

- 一对齿轮啮合传动时，中心距等于两节圆半径之和。
- 标准中心距（标准齿轮无侧隙传动中心距）

$$\begin{aligned} a &= r_1' + r_2' = r_1 + r_2 \\ &= \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \end{aligned}$$



标准顶隙

顶隙即为一个齿轮的齿顶与另一个齿轮的齿根间的空隙，其标准值为 $c^* m$ 。

在齿轮设计中，齿顶圆半径的设计原则：

在保证一对齿轮作无侧隙啮合条件下，具有标准的顶隙 $c^* m$ 。

结论：一对标准齿轮，按标准中心距安装，节圆与分度圆重合，满足正确安装条件。

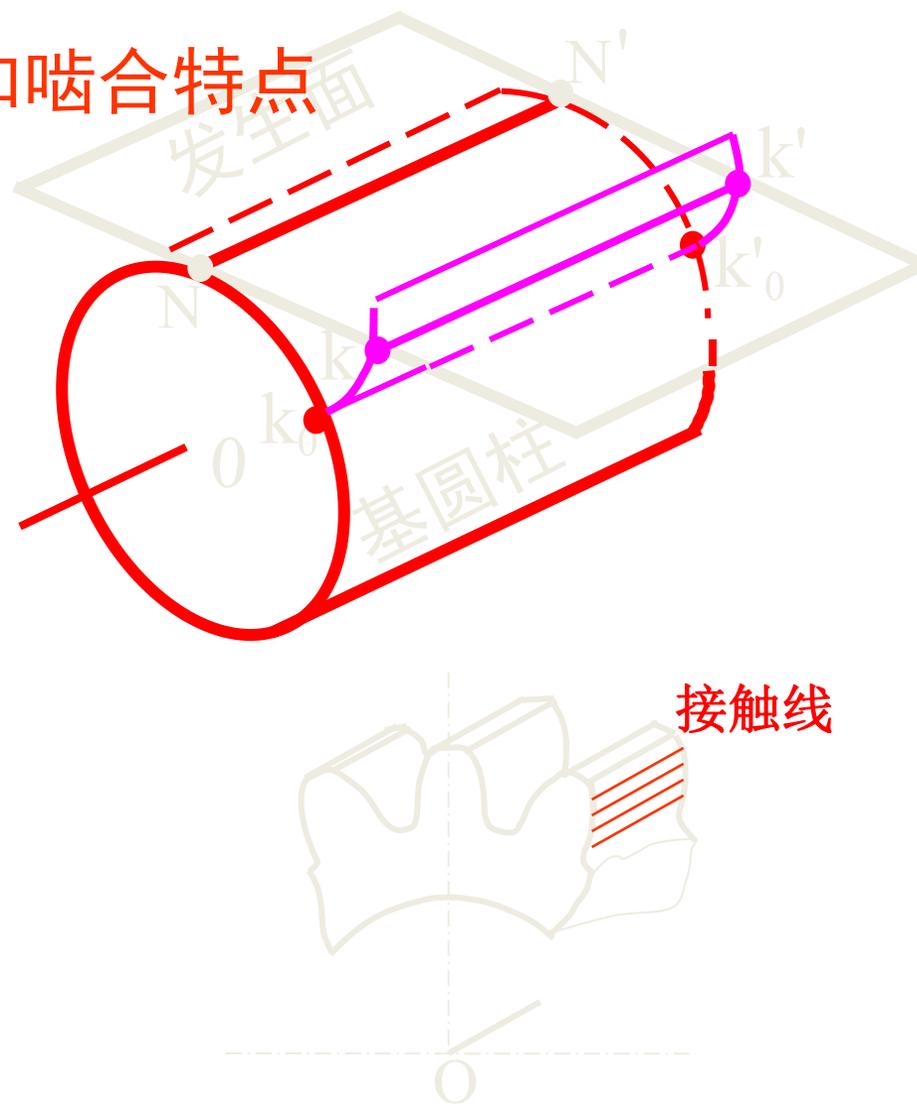
第三节 标准斜齿圆柱齿轮传动

一、斜齿轮齿齿面的形成和啮合特点

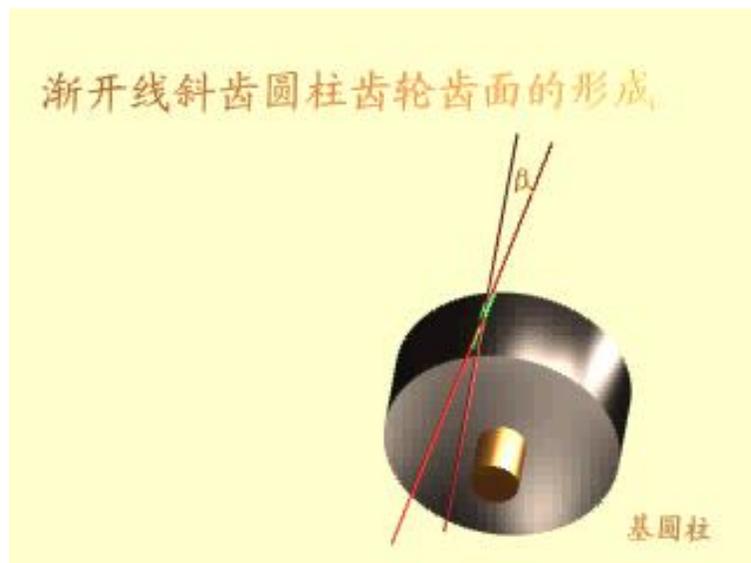
1、斜齿圆柱齿轮齿面的形成

直齿轮传动 (传动视频)

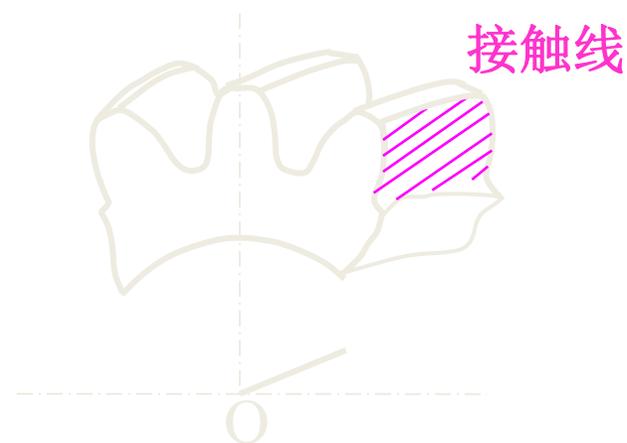
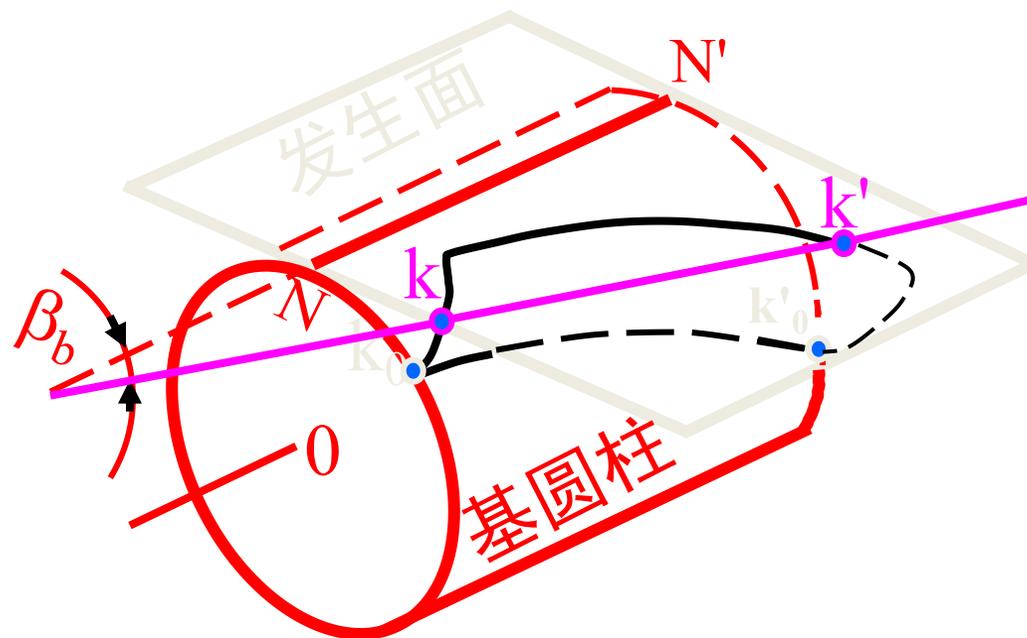
当发生面沿基圆柱作纯滚动时，若平行于齿轮的轴线的直线 kk' 在空间的轨迹为直齿圆柱齿轮的齿面。



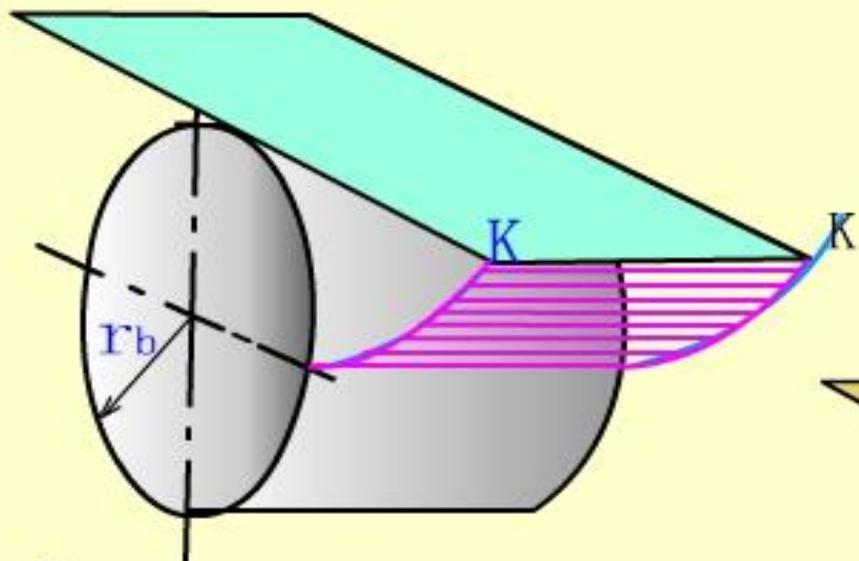
渐开线斜齿圆柱齿轮齿面的形成 (动画演示)



当发生面沿基圆柱作纯滚动时，
而若与基圆柱母线成一夹角 β_b 的直
线在空间的轨迹则为斜齿圆柱齿轮
的渐开螺旋面。

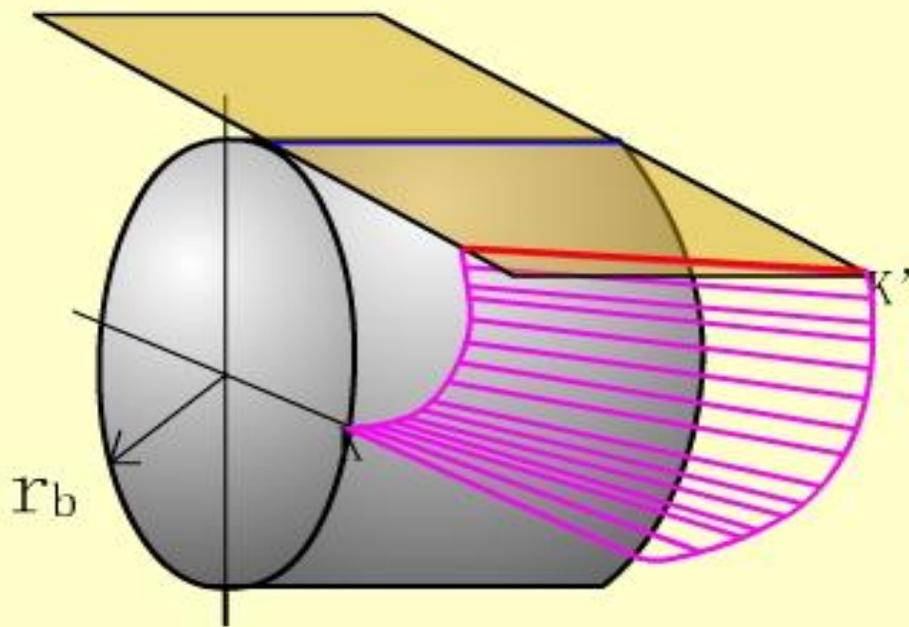


直齿轮和斜齿轮渐开线形成对比



直齿圆柱齿轮
轮齿的接触线

斜齿圆柱齿轮
轮齿的接触线



斜齿圆柱齿轮传动：传递平行轴之间的运动（线接触）

交错轴斜齿轮传动：传递交错轴之间的运动（点接触）



Unregistered HyperCam





第四节 标准直齿圆锥齿轮传动简介

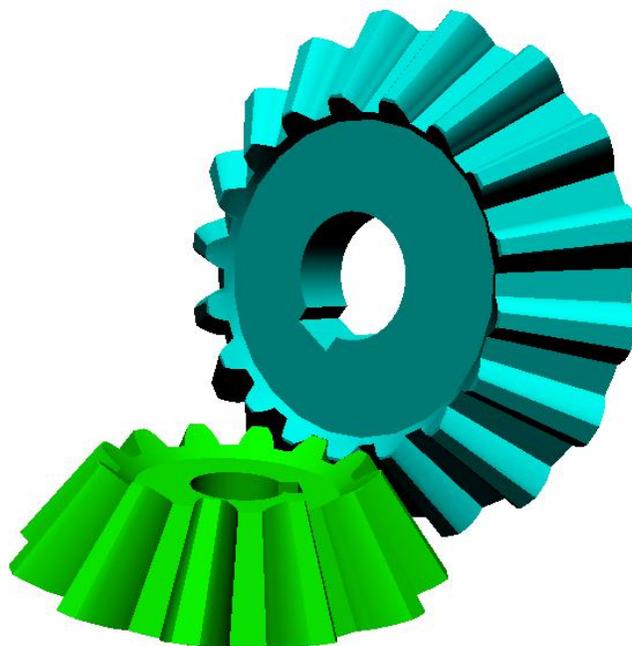
一、圆锥齿轮传动的特点和应用

作用：传递两相交轴之间的运动和动力。

结构特点：轮齿分布在锥体表面上，
轮齿大小逐渐由大变小。

为了计算和测量的方便，
取大端参数(如 m)为标准值。

在一般机械中，多采用 $\Sigma = 90^\circ$
的传动。



第五节 轮齿的失效形式及齿轮传动的设计计算准则

- 交变应力和疲劳破坏
- 大多数的零件是受静载荷作用的, 应力不随时间而变化, 称为正应力.
- 但有些零件在工作中长期受到随时间作周期变化的载荷作用, 这种应力称为交变应力. 齿轮在转动一周中, 齿根应力由零增加到最大值, 然后又为零.
- 长期在交变应力下工作的零件, 常常会发生疲劳断裂。
- 过程如下: 形成小裂纹——裂纹扩展——突然断裂

一、齿轮传动的失效形式

1. 轮齿折断

(1) 疲劳折断

现象：齿根处产生裂纹 → 扩展 → 断齿

原因：根部受交变弯曲应力作用 $\sigma_F > \sigma_{F \text{ lim}}$

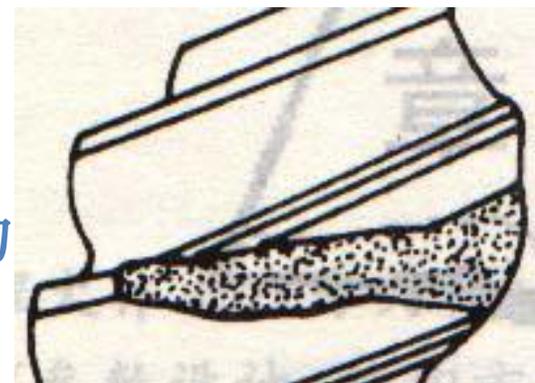
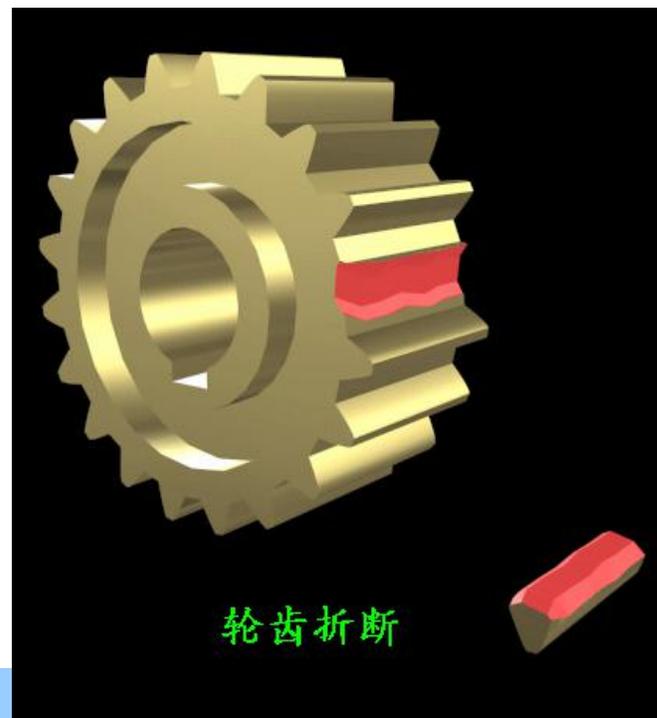
根部应力集中，材料较脆

弯曲疲劳极限

(2) 过载折断 (静强度问题)

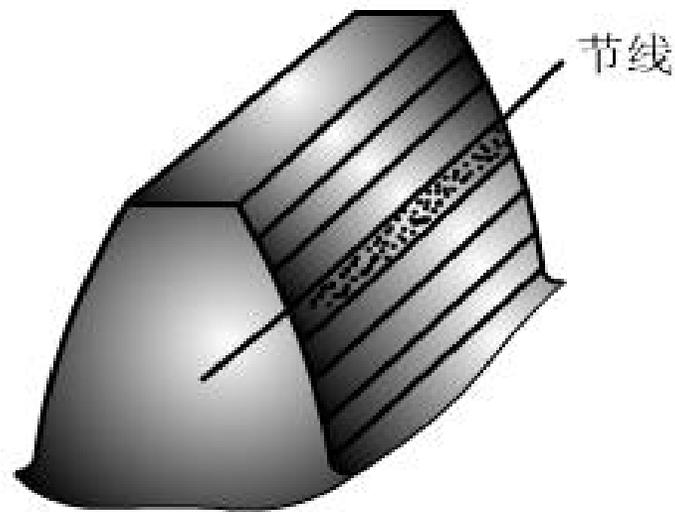
原因：脆性材料或突然过载或冲击

防止措施：增大齿根厚度，降低齿根的应力集中等。



2. 齿面点蚀

轮齿工作时，齿面接触处产生很大的接触应力，脱离啮合后接触应力消失，对齿面某一固定点来说它受到的接触应力是周期变化的脉动循环应力。当这种接触应力超过了轮齿材料的接触疲劳极限时，齿面产生裂纹，裂纹扩展致使表层金属微粒脱落，形成一些浅坑(小麻点)，这种现象称为齿面点蚀。 点蚀是闭式传动常见的失效形式。

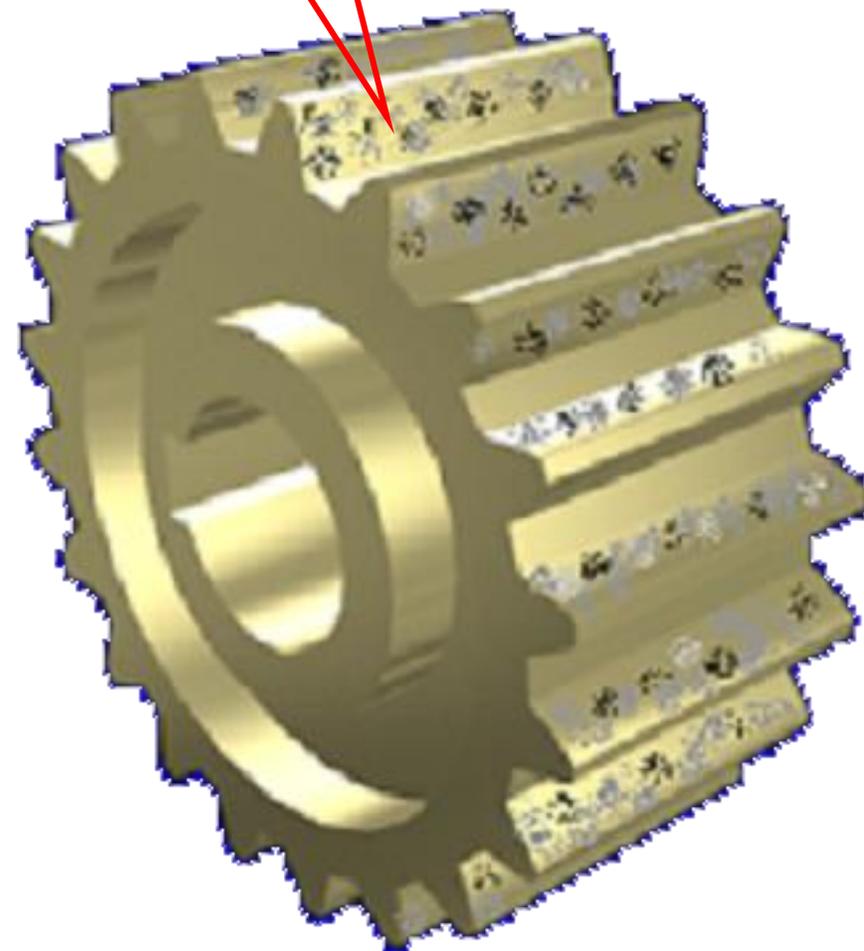


点蚀首先出现在靠近节线的齿根上。

防止措施：提高齿面硬度，降低齿面粗糙度等。



齿面点蚀



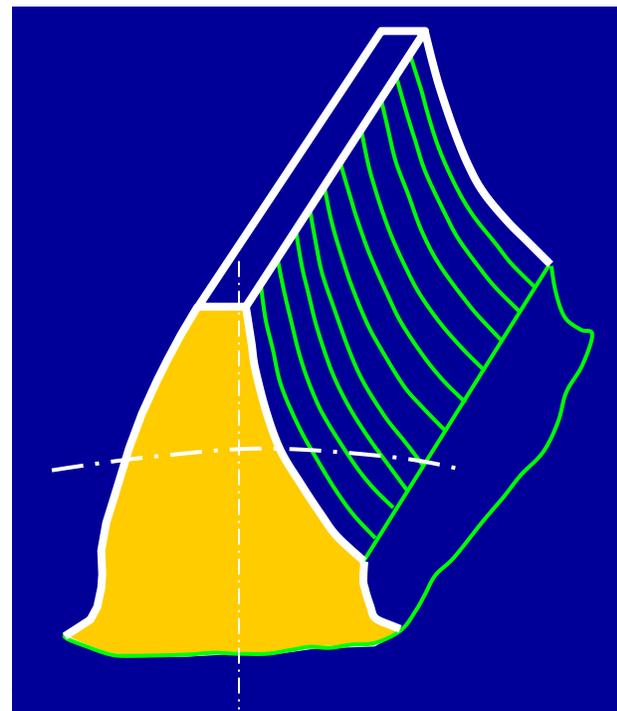
3. 齿面磨损

轮齿在啮合过程中存在相对滑动，致使齿面间产生摩擦、磨损。

当金属微粒、砂粒、灰尘等硬质磨粒进入轮齿间时引起磨粒磨损。齿面磨损使渐开线齿廓

破坏，齿厚减薄，致使侧隙增大而引起冲击和振动。

严重时会使齿厚减薄使强度降低而导致轮齿折断。



齿面磨损

闭式齿轮传动中，只要经常注意润滑油的更换和清洁，一般不会发生磨粒磨损，所以齿面磨损是开式齿轮传动的主要失效形式，并且在开式齿轮传动中，由于磨损速度较快，通常齿面还来不及达到点蚀的程度，就引起磨粒磨损，因此点蚀现象一般不会发生。

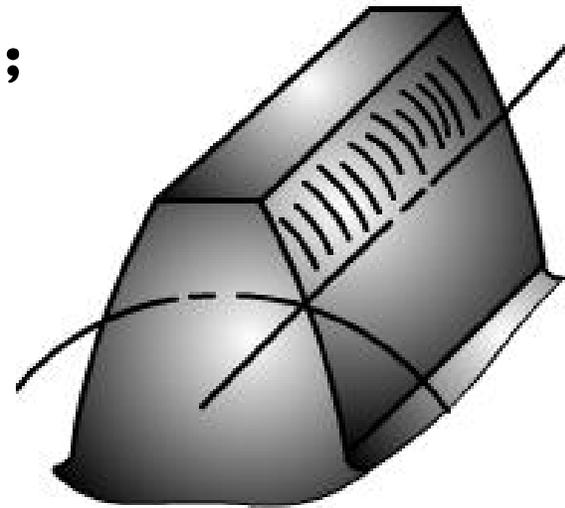
避免齿面磨损的主要措施：采用闭式传动；提高齿面硬度；降低齿面粗糙度；经常更换润滑油。采用开式传动：定期清洁和润滑齿轮。



4. 齿面胶合

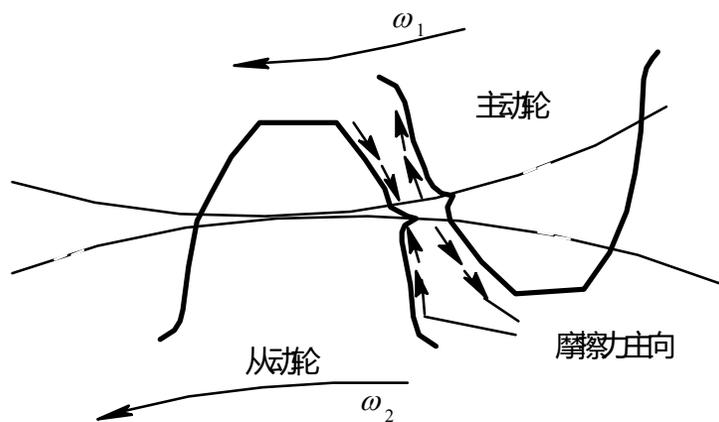
高速重载传动中，齿面间压力大，瞬时温度高，润滑油膜被破坏，齿面间会发生粘接在一起的现象，在轮齿表面沿滑动方向出现条状伤痕，称为胶合。

防止胶合的措施：提高齿面硬度；
降低齿面粗糙度；增大润滑
油粘度；限制油温。

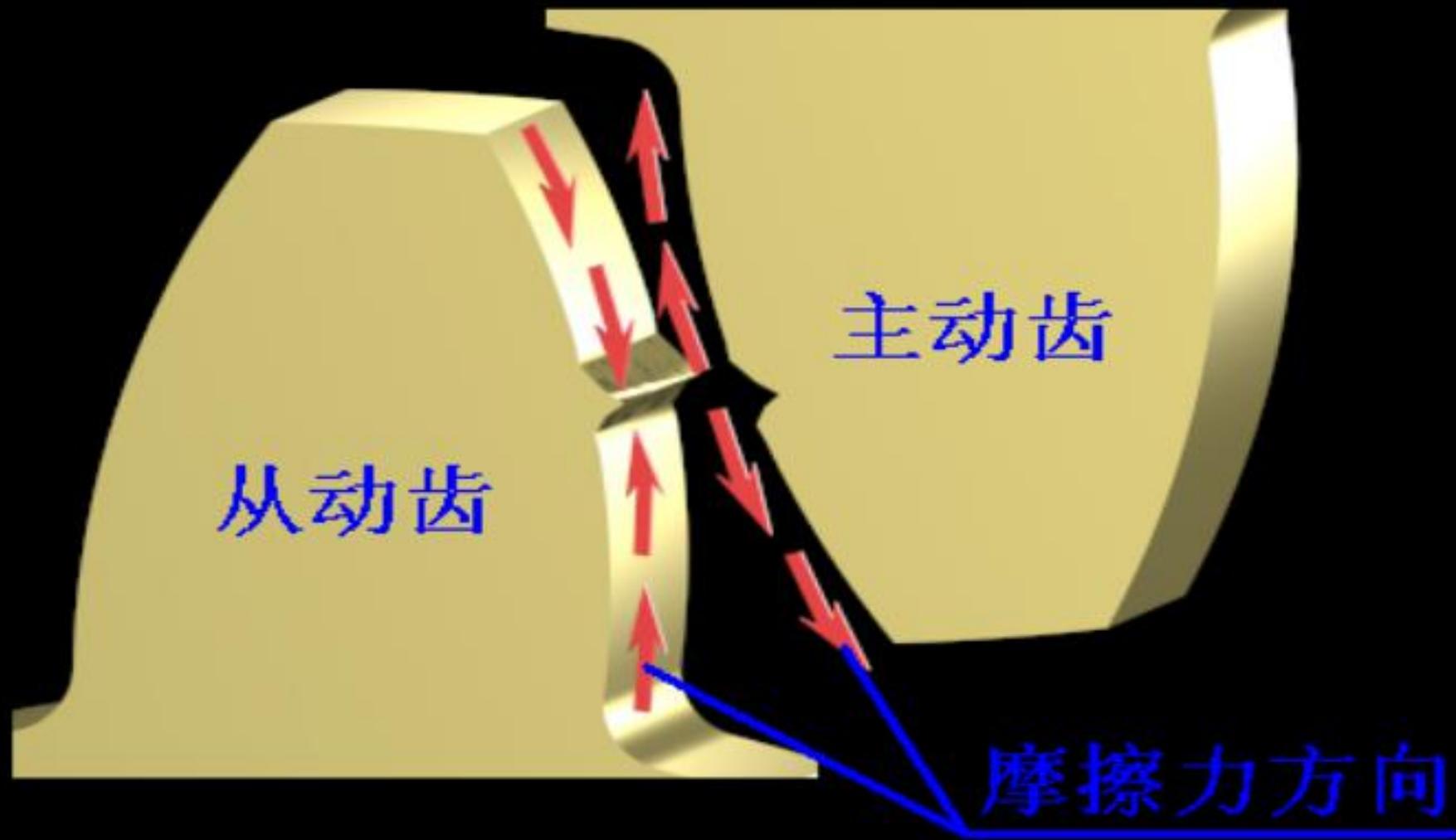


5. 齿面塑性变形

重载且摩擦力很大时，齿面较软的轮齿表面就会沿摩擦力方向产生塑性变形。主动齿轮齿面所受摩擦力背离节线，齿面在节线附近下凹；从动齿轮齿面所受摩擦力指向节线，齿面在节线附近上凸。



防止塑性变形的措施：提高齿面硬度；增大润滑油粘度。



齿面塑性变形

二、齿轮传动设计计算准则

1、闭式齿轮传动

1) 软齿面齿轮（齿面硬度 $\leq 350\text{HBS}$ ） 主要失效形式是齿面点蚀，故可按齿面接触疲劳强度进行设计计算，按齿根弯曲疲劳强度校核。

2) 硬齿面齿轮（齿面硬度 $> 350\text{HBS}$ ）或铸铁齿轮 由于抗点蚀能力较高，轮齿折断的可能性较大，故可按齿根弯曲疲劳强度进行设计计算，按齿面接触疲劳强度校核。



2、开式齿轮传动

齿面磨损为其主要失效形式，通常按照齿根弯曲疲劳强度进行设计，确定齿轮的模数，考虑磨损因素，再将模数增大10% —15%，无需校核接触强度。



第六节 齿轮结构及齿轮传动的润滑

1、齿轮结构

一般齿轮结构由齿轮尺寸（齿顶圆直径）：

1. $d_a \leq 500\text{mm}$ **锻造齿轮**（锻造机械性

(1) 齿轮轴 齿根圆直径与轴的直径相

(2) 实心式齿轮 齿根圆直径比轴的直径

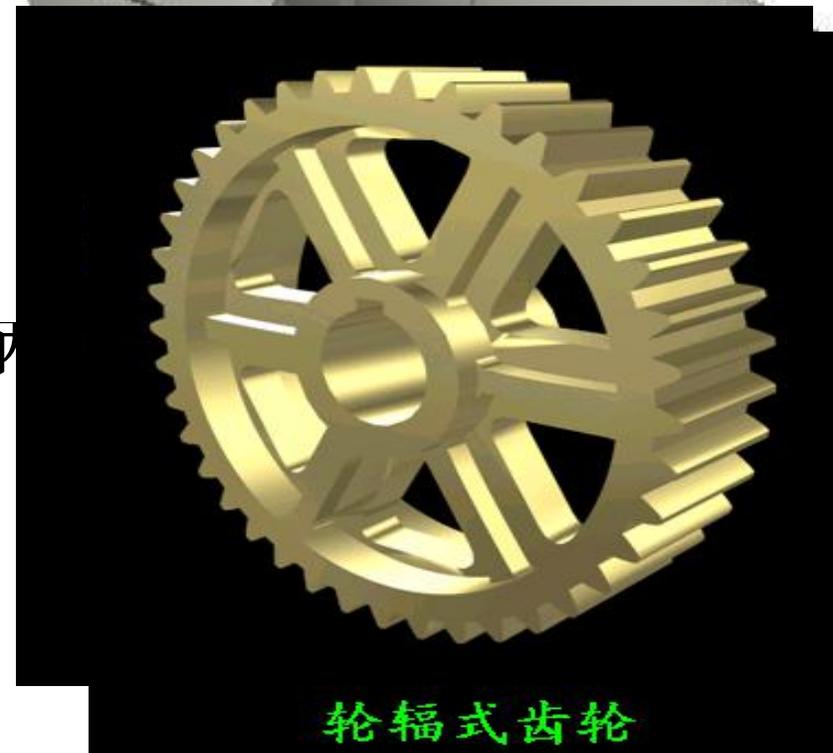
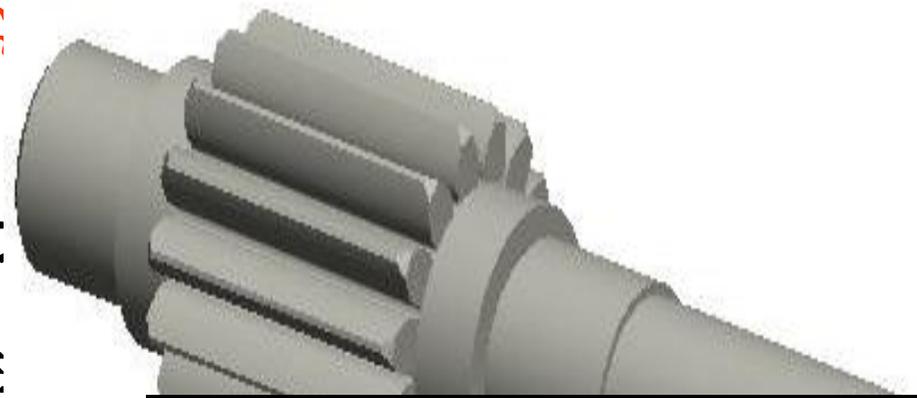
且 $d_a \leq 200\text{mm}$

(3) 腹板式齿轮 齿根圆直径比轴的直径大出两

当 $d_a = 200 \sim 500\text{mm}$

2. $d_a \geq 500\text{mm}$ **铸造齿轮**

$d_a > 500\text{mm}$ 轮辐式结构



二、 齿轮传动的润滑

润滑作用：减小摩擦，提高效率，冷却齿轮，润滑油膜缓冲吸震，降低冲击和噪声。保证良好润滑条件是日常维护中非常重要的工作

1. 齿轮传动的润滑方式：浸油润滑和喷油润滑

闭式齿轮传动浸入**润滑油池**或**喷油润滑**

开式齿轮传动速度低，一般采用**润滑脂**或**定时滴油润滑**

1) 将大齿轮**浸入润滑油池**中 适用于齿轮圆周速度

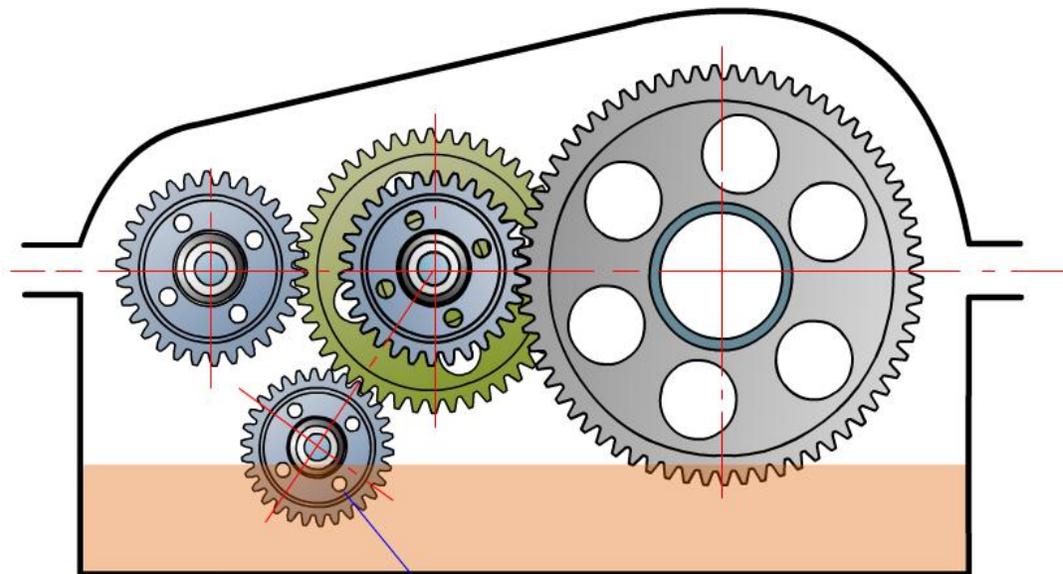
$\leq 15\text{m/s}$ 的情况下。

2) **喷油润滑**

适用于齿轮圆周速度 $v > 15\text{m/s}$ 的情况下。

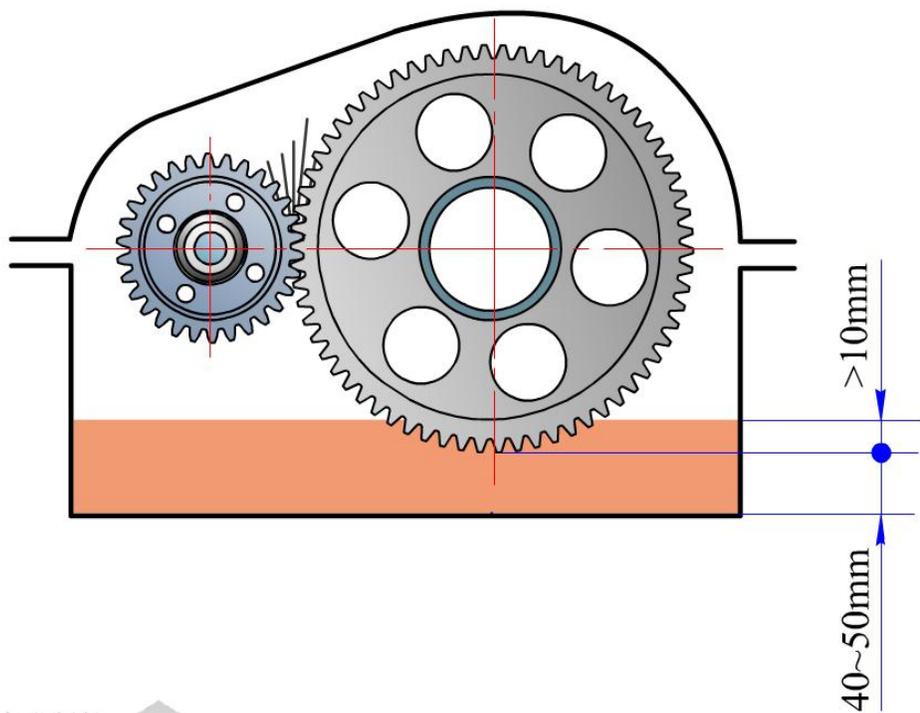
将油用液压泵喷嘴直接喷到啮合齿面，避免齿轮搅动油造成的功率损耗。由于离心力大，齿面的油易被甩掉。





带油轮

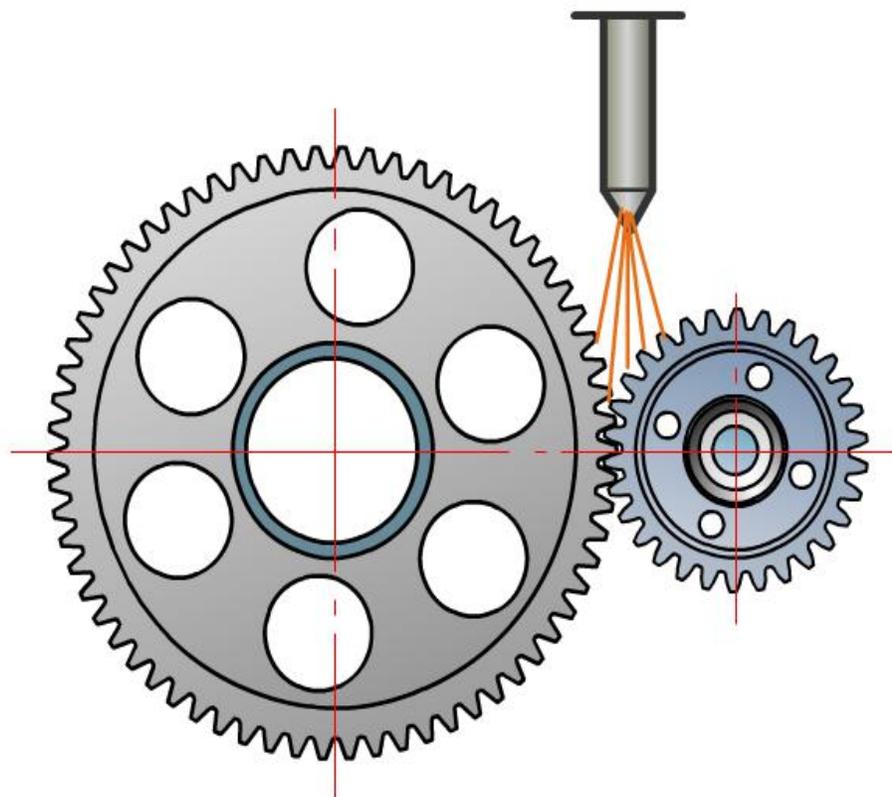
多级传动



浸油润滑



喷油润滑



2. 润滑剂的选择

在选择润滑油时，先根据齿轮的工作条件以及圆周速度由下表查得运动粘度值，再根据选定的粘度值确定润滑油的牌号。参照表6—13选用。



第七节 齿轮传动机构的装配

一、 齿轮传动机构的装配技术要求

1. 齿轮孔与轴的配合要适当，能满足使用要求。空套齿轮在轴上不得有晃动现象；滑动齿轮不应有咬死或阻滞现象；固定齿轮不得有偏心或歪斜现象。
2. 保证齿轮有准确的安装中心距和适当的齿侧间隙。齿侧间隙系指齿轮副非工作表面法线方向距离。侧隙过小，齿轮传动不灵活，热胀时易卡齿，加剧磨损；侧隙过大，则易产生冲击，振动。
3. 保证齿面有一定的接触面积和正确的接触位置。
4. 进行必要的平衡试验

二、圆柱齿轮机构的装配

圆柱齿轮装配一般分两步进行：先把齿轮装在轴上，再把齿轮轴部件装入箱体。

1. 齿轮与轴的装配：

在轴上空套或滑移的齿轮：一般与轴为间隙配合，装配精度主要取决于零件本身的加工精度，这类齿轮装配较方便，注意检查轴、孔尺寸。

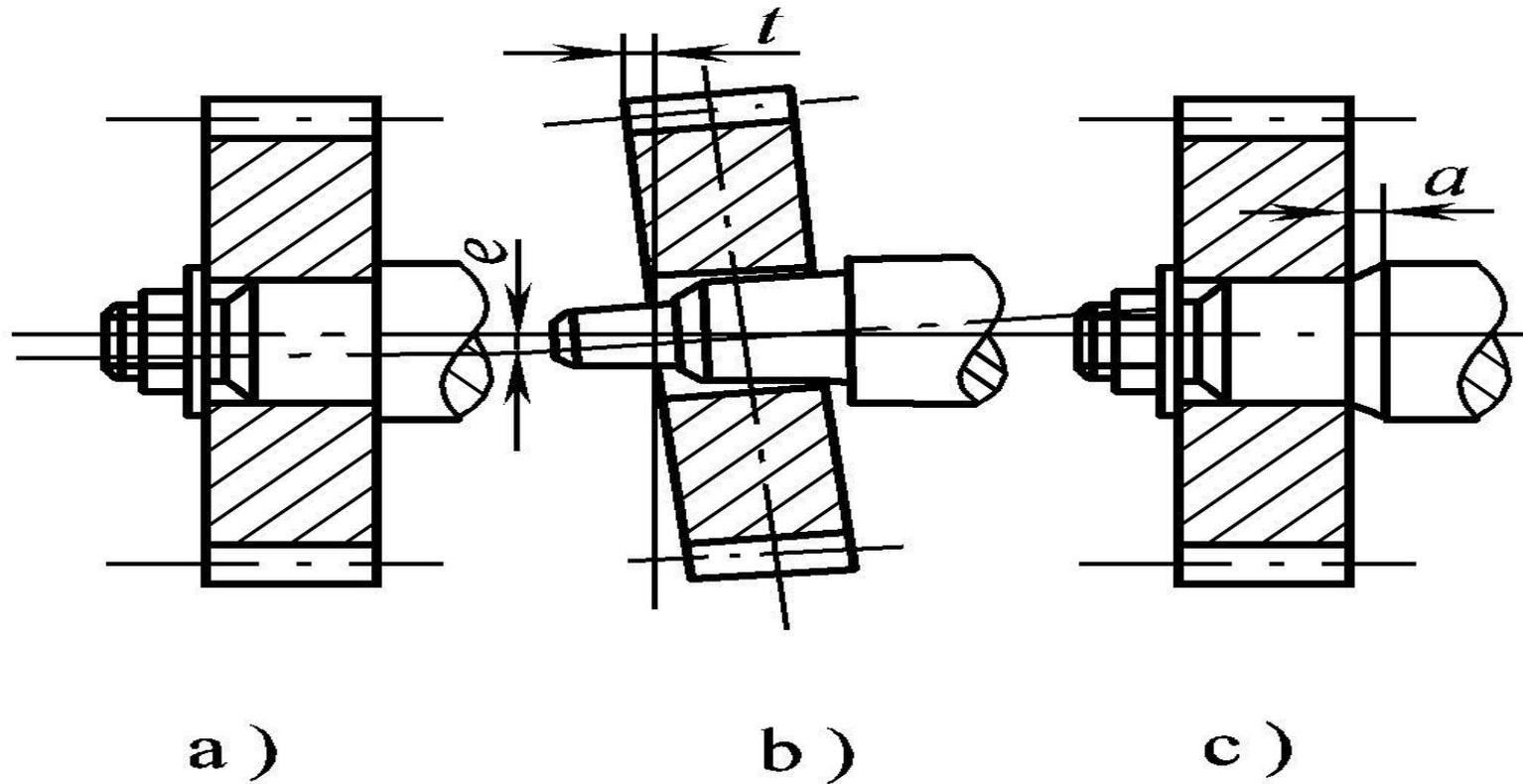


图1—齿轮在轴上的安装误差

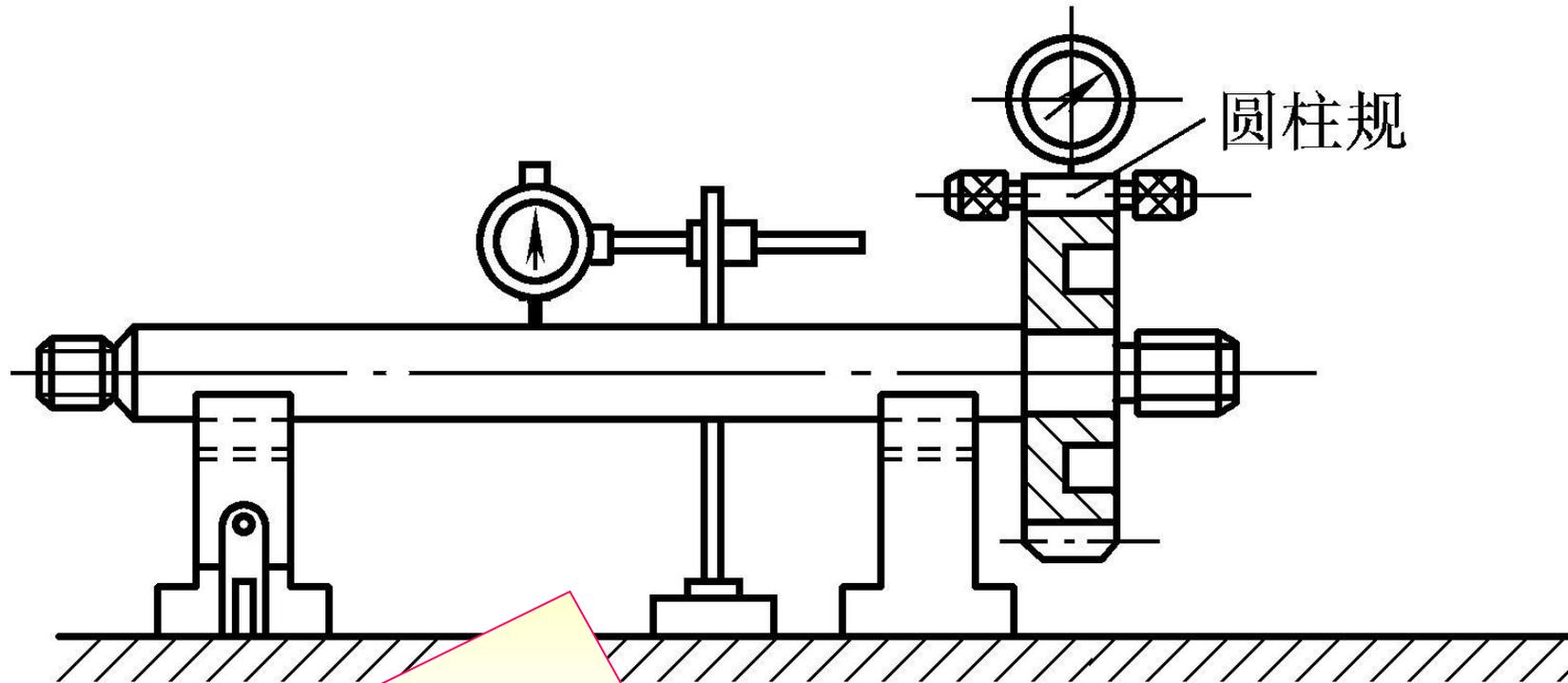
a) 齿轮偏心

b) 齿轮歪斜

c) 齿轮端面未紧贴轴肩

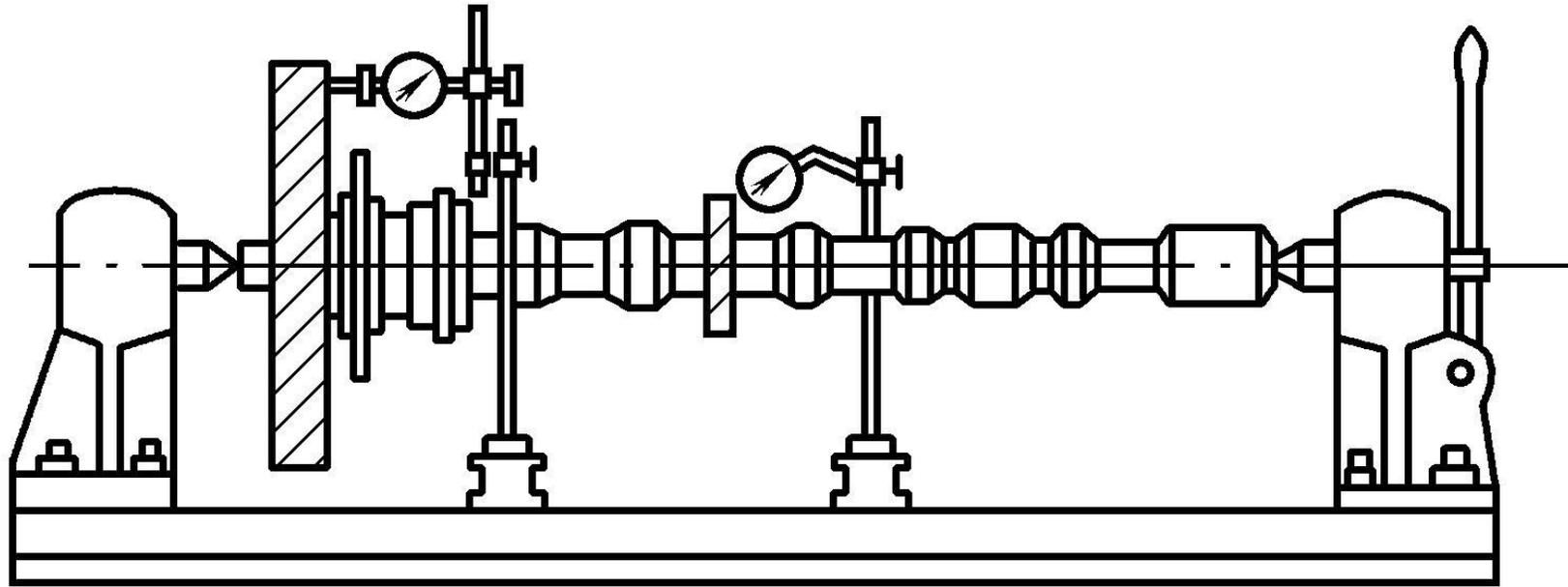
在轴上固定的齿轮，与轴的配合多为过渡配合，有少量的过盈。如过盈量不大时，用手工工具敲击装入，过盈量较大时可用压力机压装；过盈量很大的齿轮则需采用液压套合的装配方法。压装齿轮时要尽量避免齿轮偏心、歪斜和端面未紧贴轴肩等安装误差，如图1所示

齿轮径向圆跳动的检查



齿轮在轴上装好后，对精度要求高应检查齿轮径向跳动量和端面跳动量，检查径向圆跳动误差的方法如图2所示，在齿轮旋转一周内，百分表的最大与最小读数之差，就是齿轮分度圆上的径向圆跳动误差。

齿轮端面圆跳动的检查



齿轮端面圆跳动误差如图所示，在齿轮旋转一周范围内，百分表的最大与最小读数之差即为齿轮端面圆跳动误差

2. 齿轮装入箱体

齿轮啮合质量的好坏，除了齿轮本身的制造精度外，箱体孔的尺寸精度，形位精度也对其有直接的影响，所以在齿轮轴组件装入箱体前，应对箱体进行检查。装前对箱体检查包括：

①孔距 相互啮合的一对齿轮的安装中心距是影响其齿侧间隙的主要因素，应在规定的公差范围内。孔距检查方法如图6a. 用游标卡尺分别测得，然后计算出中心距

$$A = L_1 + \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} \right)$$

$$A = L_2 - \left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} \right)$$

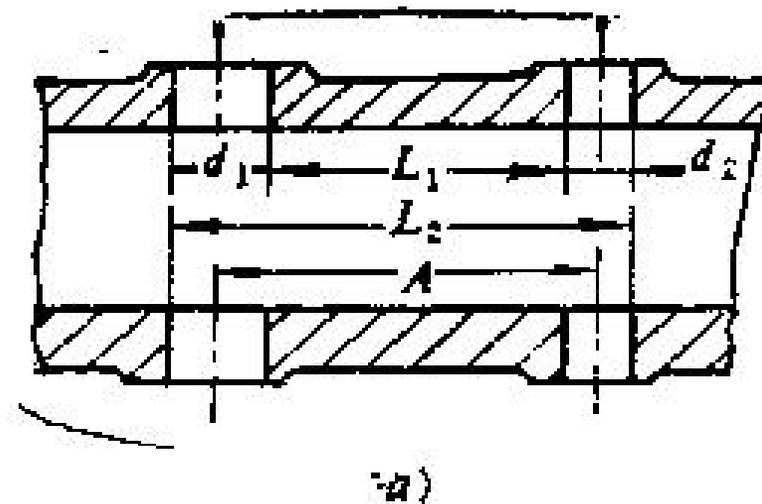


图6a

用游标卡尺测量

2. 孔系（轴系） 平行度检验：

孔系平行度影响齿轮的啮合位置和面积，检验方法如图7b所示。分别测出心棒两端尺寸 L_1 和 L_2 ，就是两空轴线的平行度误差值。

$$A = \frac{L_1 + L_2}{2} - \frac{d_1 + d_2}{2}$$

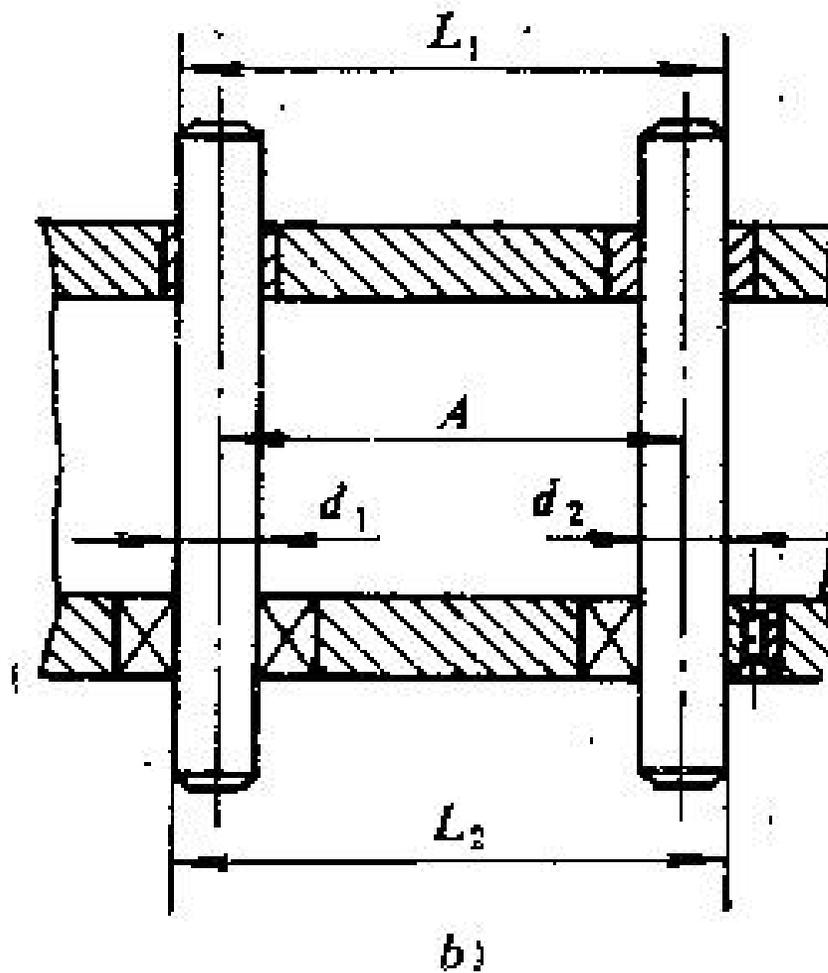


图7b

用游标卡尺和心棒测量

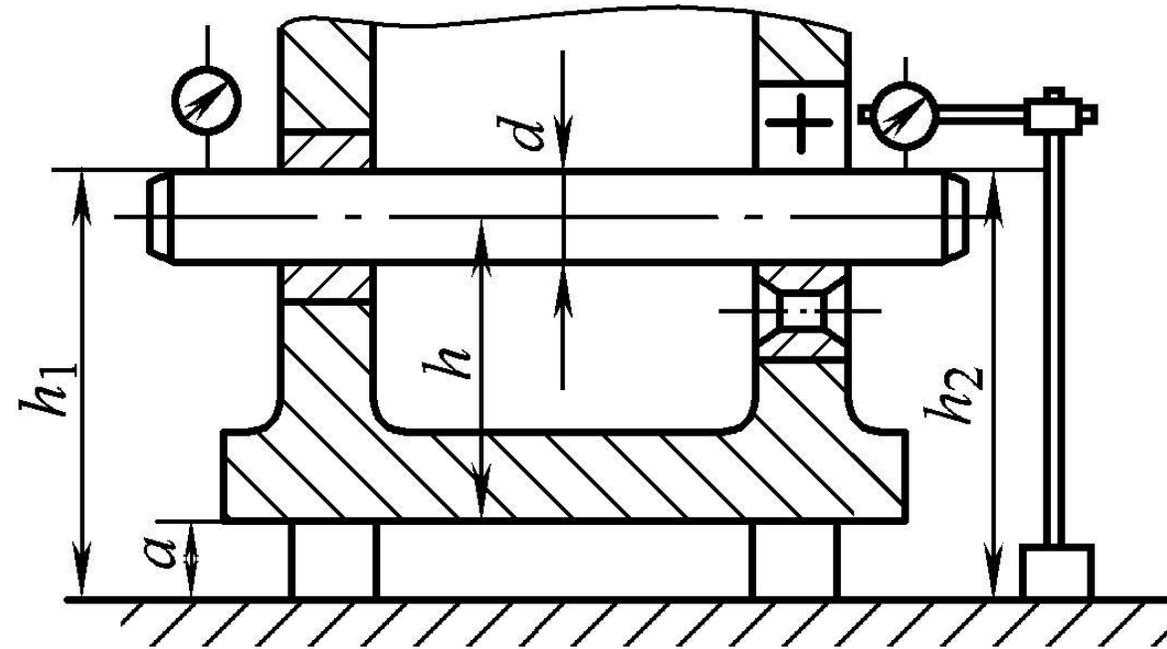
③轴线与基面距离尺寸精度和平行度检验

检验方法如图8所示，箱体用等高垫块支承在平板上，心棒与孔紧密配合，用高度尺测量心棒两端尺寸 h_1 和 h_2 ，则轴线与基面的距离：

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2} - \frac{d}{2} - a$$

平行度误差为：

$$\Delta = h_1 - h_2$$

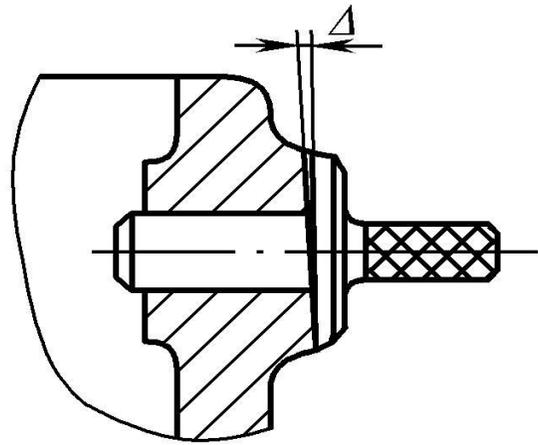


孔轴线与基面距离和平行度检验

平行度误差太大时，可用刮削基面的方法纠正

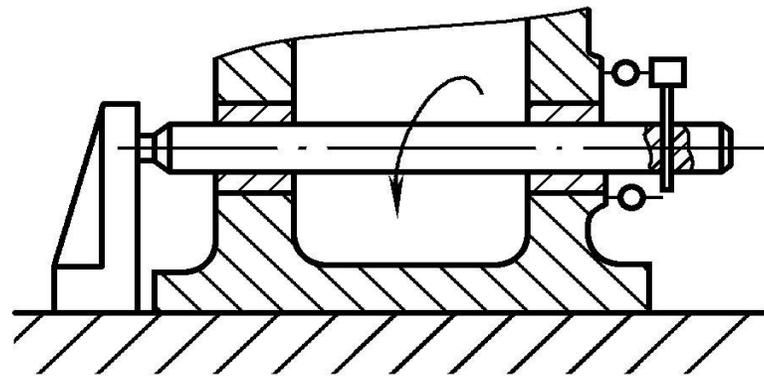
④孔中心线与端面垂直度检验

如图8所示。图a是将带圆盘的专用心棒插入孔中，用涂色法或塞尺检查孔中心线与端面的垂直度。图b是用心棒和百分表检查，心棒转动一周读数最大与最小值之差，即为端面对孔中心线的垂直度误差。



a)

a) 专用心棒检验

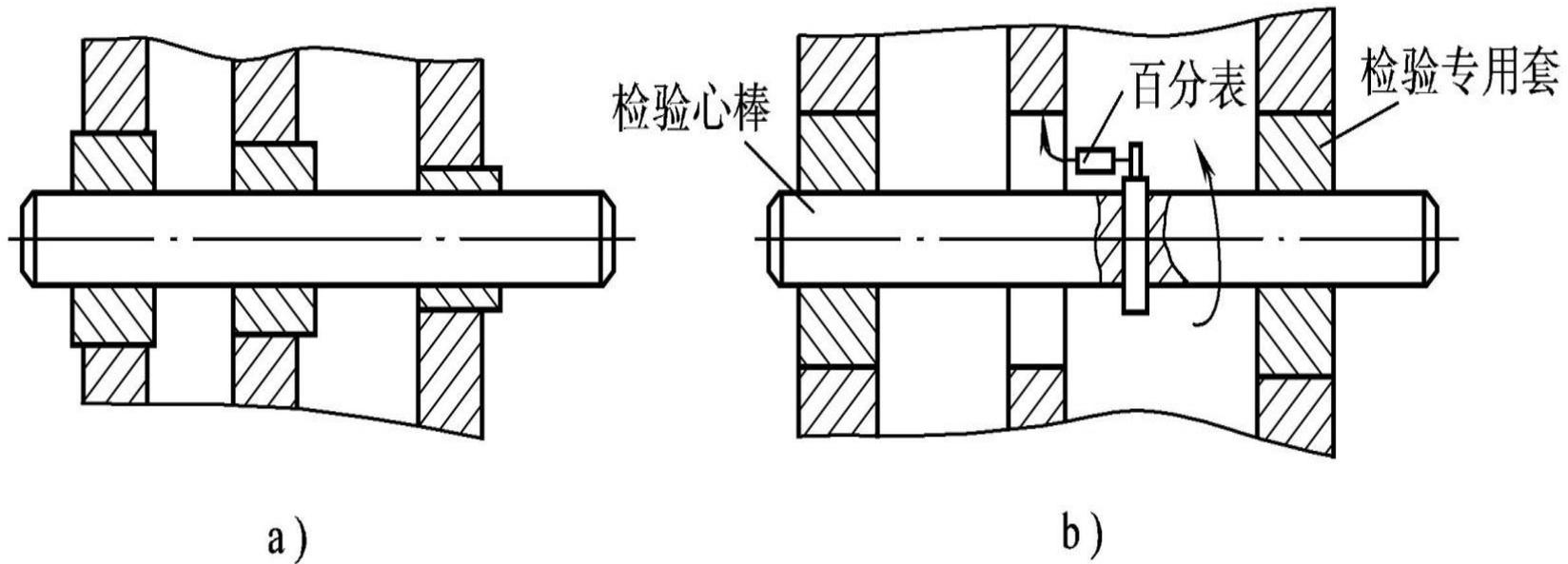


b)

b) 用百分表及心棒检验

如发现误差超过规定值，可用刮削端面方法纠正。

⑤孔中心线同轴度检验



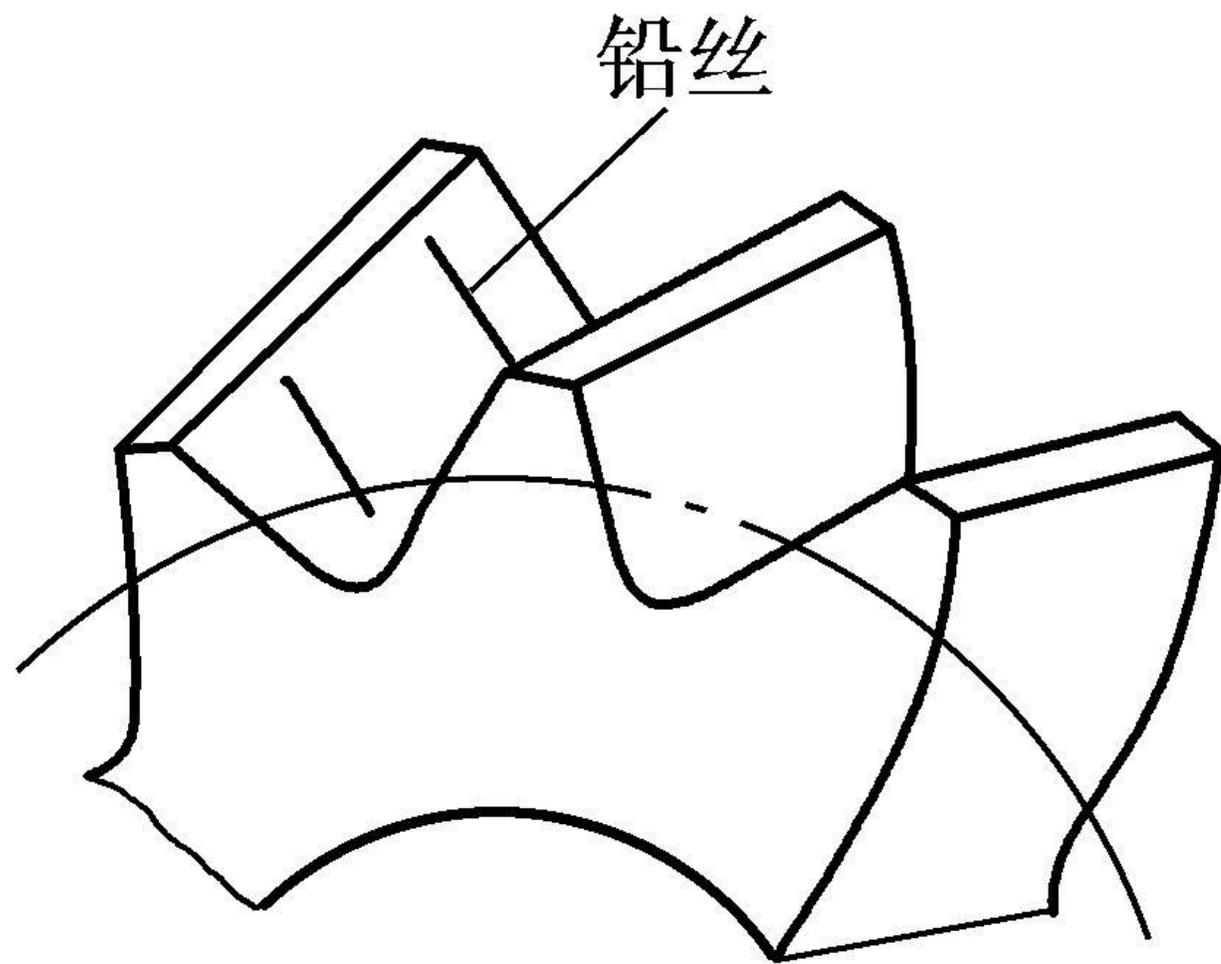
a) 专用心棒检验

b) 用百分表及心棒检验

图9孔中心线同轴度检验

如图9所示 图a为成批生产时，用专用心棒进行检验若心棒能自由地推入几个孔中，即表明孔同轴度合格。

如图9所示为用百分表心棒检验转动心棒一周内，百分表最大读数与最小读数之差的一半即为同轴度误差值



用压铅丝法

3. 齿轮啮合质量的检验

齿轮轴组件装入箱体后，应对齿轮啮合质量进行检验。齿轮的啮合质量包括齿侧间隙和接触精度两项。

(1) 齿侧间隙的检验 齿侧间隙最简单最直观的检验方法是压铅丝法。如图7—23所示，在齿宽两端的齿面上，平行放两条直径约为齿侧间隙4倍的铅丝(宽齿应放置3~4条)，转动啮合齿轮挤压铅丝，铅丝初挤压后最薄处的厚度尺寸就是齿侧间隙。

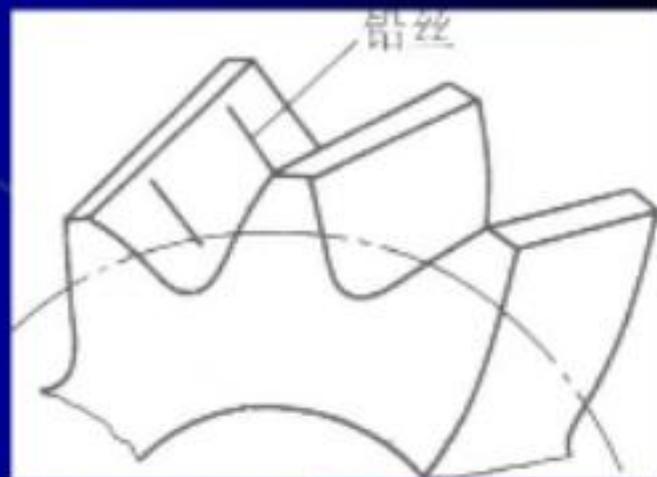


图7—23 铅丝检验侧隙

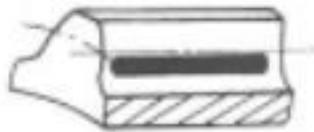
(2)接触精度的检验 接触精度指接触印痕面积大小和接触位置，一般用涂色法检验。检验时，将红丹粉涂于齿轮齿面上，然后转动主动齿轮并轻微制动被动齿轮。对于双向工作的齿轮，正反两个方向都要进行检验。

齿轮上接触印痕的面积大小，应根据精度要求而定。一般传动齿轮在齿廓的高度上接触斑点不少于**30%~50%**，在齿廓的宽度上不少于**40%~70%**，其位置应在节圆处上下对称分布。

影响接触精度的主要因素是齿形制造精度及安装精度。当接触位置正确而接触面积太小时，是由于齿形误差太大所致，应在齿面上加研磨剂并使两齿轮转动进行研磨，以增加接触面积。齿形正确而安装有误差造成接触不良的原因及调整方法见表7—2。

表7-2 渐开线圆柱齿轮由安装造成接触不良的原因及调整方法

接触斑点	原因分析	调整方法
 <p data-bbox="631 1011 784 1043">正常接触</p>		
	中心距太大	

接触斑点	原因分析	调整方法
	中心距太小	可在中心距允差范围内，刮削轴瓦或调整轴承座
 <p>同向偏接触</p>	两齿轮轴线不平行	
 <p>异向偏接触</p>	两齿轮轴线歪斜	
 <p>单面偏接触</p>	两齿轮轴线不平行，同时歪斜	
 <p>游离接触 (在整个齿圈上接触区由一边逐渐移至另一边)</p>	齿轮端面与回转中心线不垂直	检查并校正齿轮端面与回转中心线的垂直度
不规则接触（有时齿面一个点接触，有时在端面边线上接触）	齿面有毛刺或有碰伤隆起	去除毛刺，修整

三、圆锥齿轮传动机构的装配

装配圆锥齿轮传动机构与装配圆柱齿轮传动机构的顺序相似。圆锥齿轮传动机构装配的关键是正确确定圆锥齿轮的两轴夹角、轴向位置和啮合质量的检测与调整。

1. 箱体检查



圆锥齿轮传动

圆锥齿轮传动一般是传递相互垂直的两轴之间的运动。将已装配好的两锥齿轮轴组件装入箱体之前，需检验箱体两安装孔轴线的垂直度和相交程度。

图7—24为检验同一平面内两孔中心线垂直度和相交程度的检验方法。图a为检验垂直度的方法，将百分表装在心棒1上，在心棒1上装有定位套筒，以防止心棒轴向窜动，旋转心棒1，百分表在心棒2上L长度的两点读数差即为两孔在L长度内的垂直度误差。图b为两孔轴线相交程度检查。心棒1的测量端做成叉形槽，心棒2的测量端为a)检验垂直度b)检验两孔轴线相交程度阶台形，即为过端或止端。检验时，若过端能通过叉形槽，而止端不能通过，则相交程度合格，否则为超差。

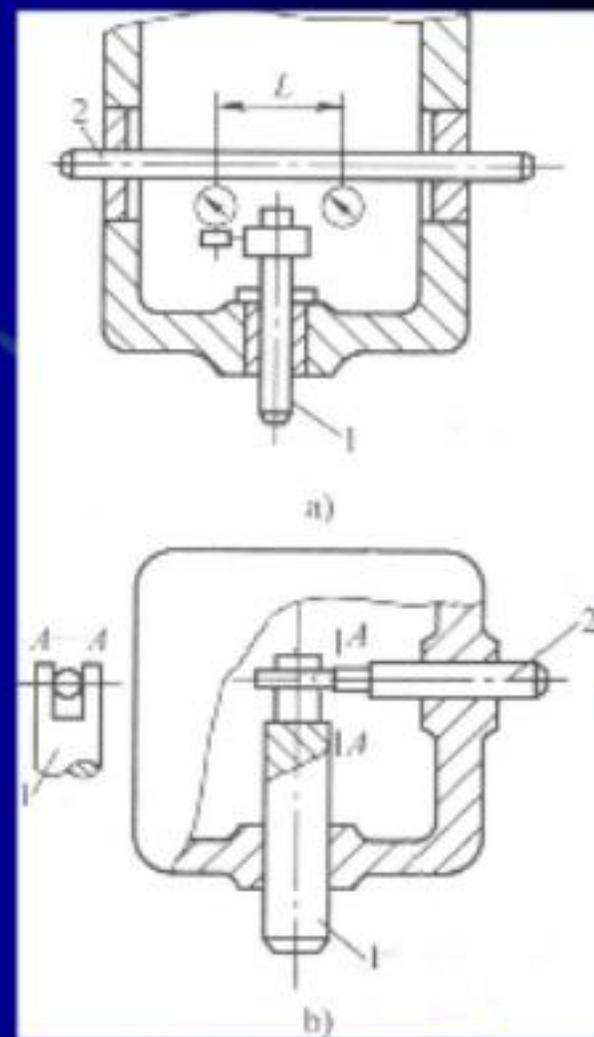


图7—24同一平面内垂直两孔中心线垂直度和相交程度的检验
a)检验垂直度b)检验两孔轴线相交程度

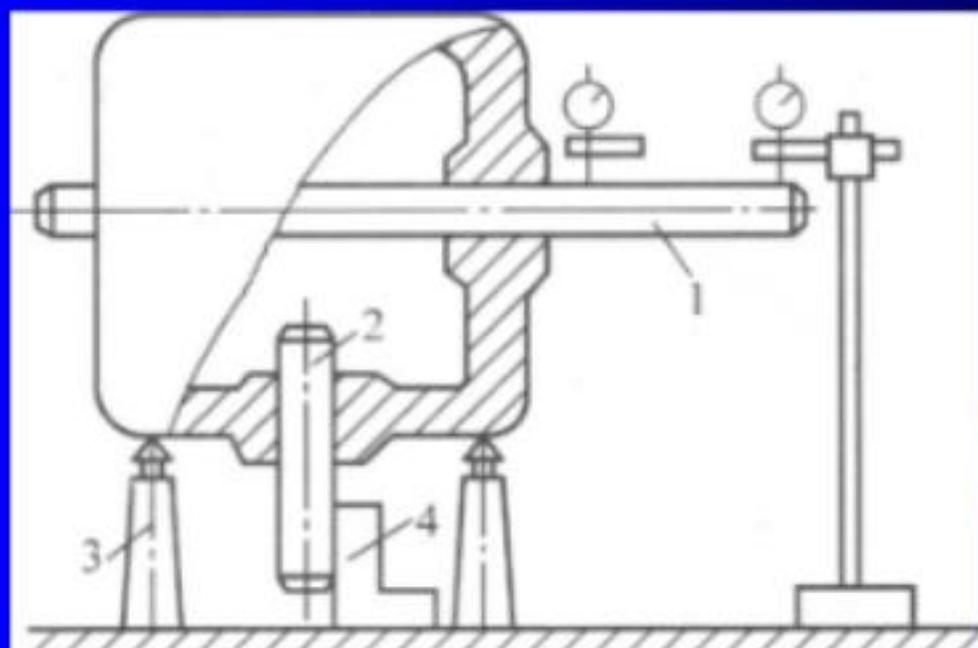


图7--25不在同一平面内的两孔中心线垂直度的检验

图7—25为不在同一平面内的两孔中心线垂直度的检验方法。箱体用千斤顶3支承在平板上，用直角尺4将心棒2调成垂直位置。此时测量心棒1对平板的平行度误差即为两孔轴线垂直度误差。在机械大修理后，都要进行箱体检查，一般中、小修理可不作检查。

2. 两圆锥齿轮轴向位置的确定

当一对标准的圆锥齿轮传动时，必须使两齿轮分度圆锥相切，锥顶重合，装配时据此来确定小齿轮的轴向位置，即小齿轮轴向位置按安装距离(小齿轮基准面至大齿轮轴的距离，如图7--26所示)来确定。如此时大齿轮尚未装好，可用工艺轴代替，然后按侧隙要求决定大齿轮轴向位置。

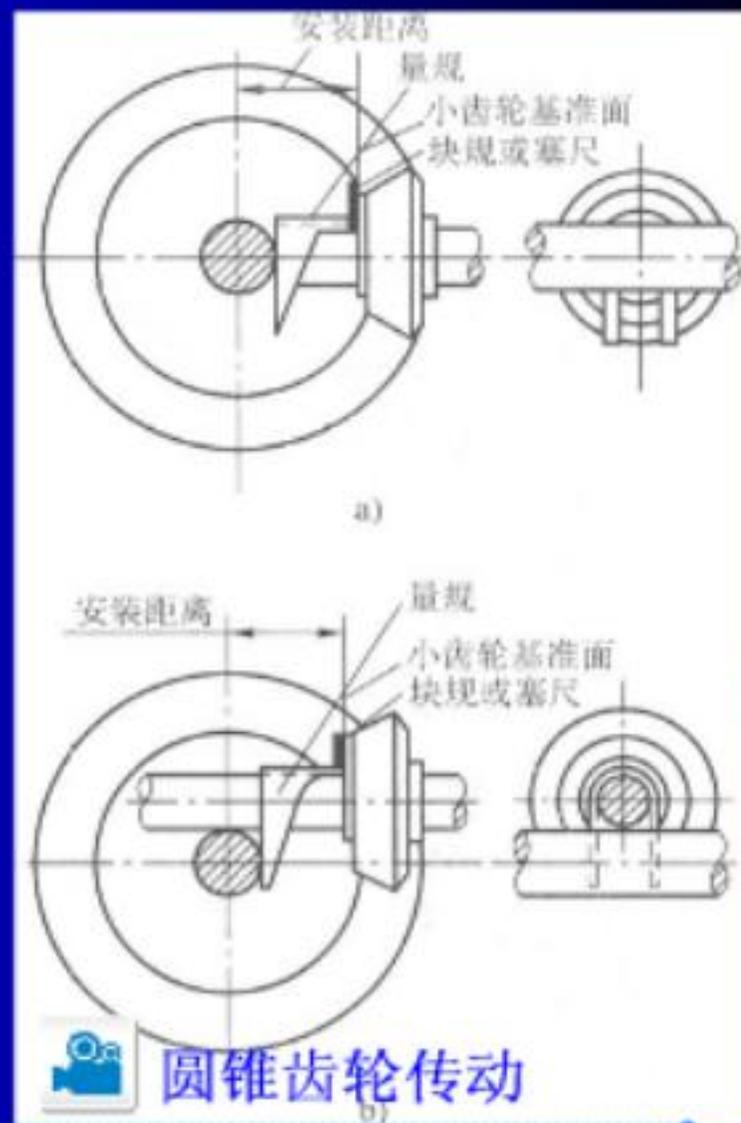


图7--26小圆锥齿轮轴向定位
a)正交圆锥齿轮 b)偏置圆锥齿轮

有些用背锥面作基准的圆锥齿轮，装配时将背锥面对齐对平，就可以保证两齿轮的正确装配位置。

圆锥齿轮轴向位置确定后，一般采用改变调整垫片厚度或改变固定套圈的位置等方法进行固定。如图7—27所示。

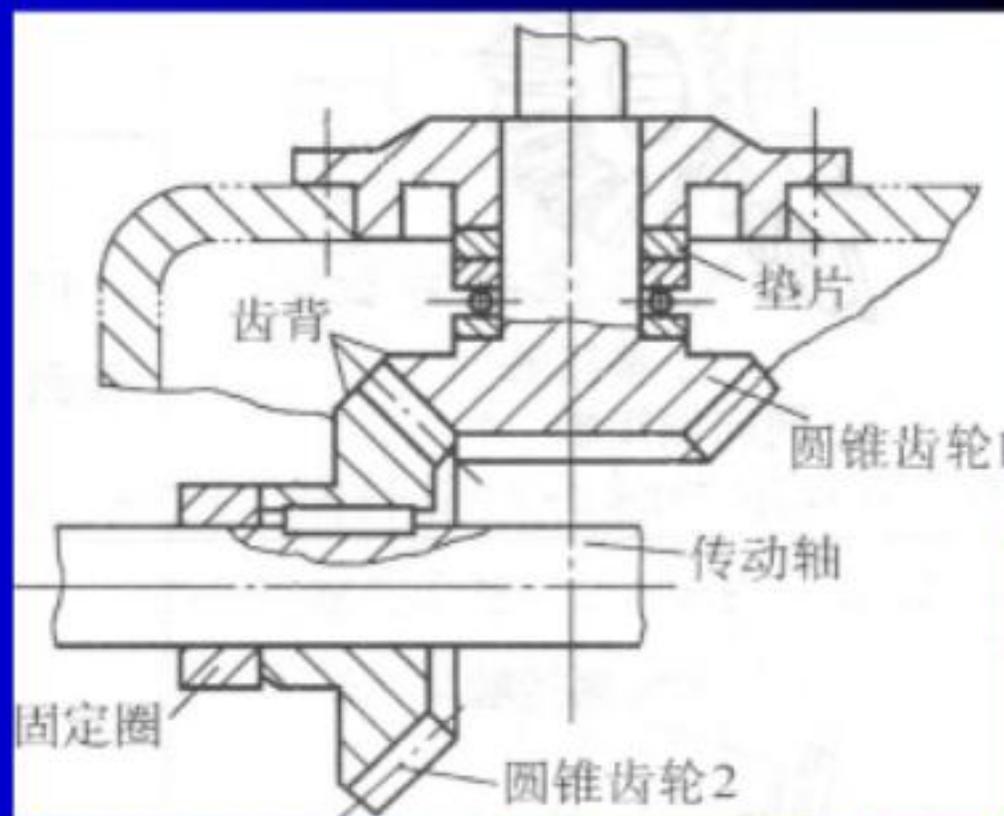


图7—27圆锥齿轮传动机构的装配调整

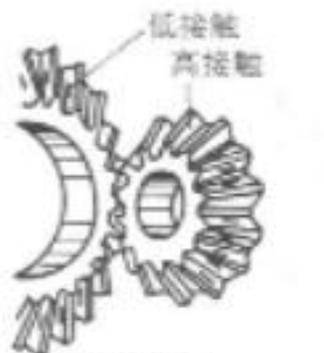
3. 圆锥齿轮啮合质量的检验

啮合质量的检验包括齿侧间隙的检验和接触斑点的检验。

(1) 齿侧间隙的检验一般采用压铅丝法检验，与圆柱齿轮基本相同。

(2) 接触斑点检验 一般用涂色法检验。在无载荷时，接触斑点应靠近轮齿小端；满载时，接触斑点在齿高和齿宽方向应不少于**40%~60%**(随齿轮精度而定)。直齿圆锥齿轮涂色检查时的各种误差情况及调整方法见表7—3。

表7-3 直齿圆锥齿轮接触斑点状况分析及调整方法

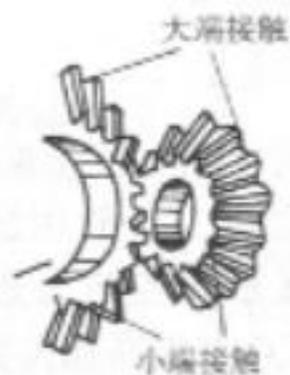
接触斑点	接触状况及原因	调整方法
 <p>正常接触(中部偏小齿接触)</p>	<p>在轻微负荷下，接触区在齿宽中部，略宽于齿宽的一半，稍近于小端，在小齿轮齿面上较高，大齿轮齿面上较低，但都不到齿顶</p>	
 <p>高低接触</p>	<p>小齿轮接触区太高，大齿轮太低。由小齿轮轴向定位误差所致</p>	<p>小齿轮沿轴向移出；如侧隙过大，可将大齿轮沿轴向移进</p>
	<p>小齿轮接触区太低，大齿轮太高。原因同上，但误差方向相反</p>	<p>小齿轮沿轴向移进；如侧隙过小，则将大齿轮沿轴向移出</p>
	<p>在同一齿的一侧接触区高，另一侧低。如小齿轮定位正确且侧隙正常，则为加工不良所致</p>	<p>装配无法调整，需调换零件。若只作单向传动，可按以上两种方法调整</p>



两齿轮的齿两侧同在小端接触。
由轴线交角太大所致

不能用一般方法调整，必要时修刮轴瓦

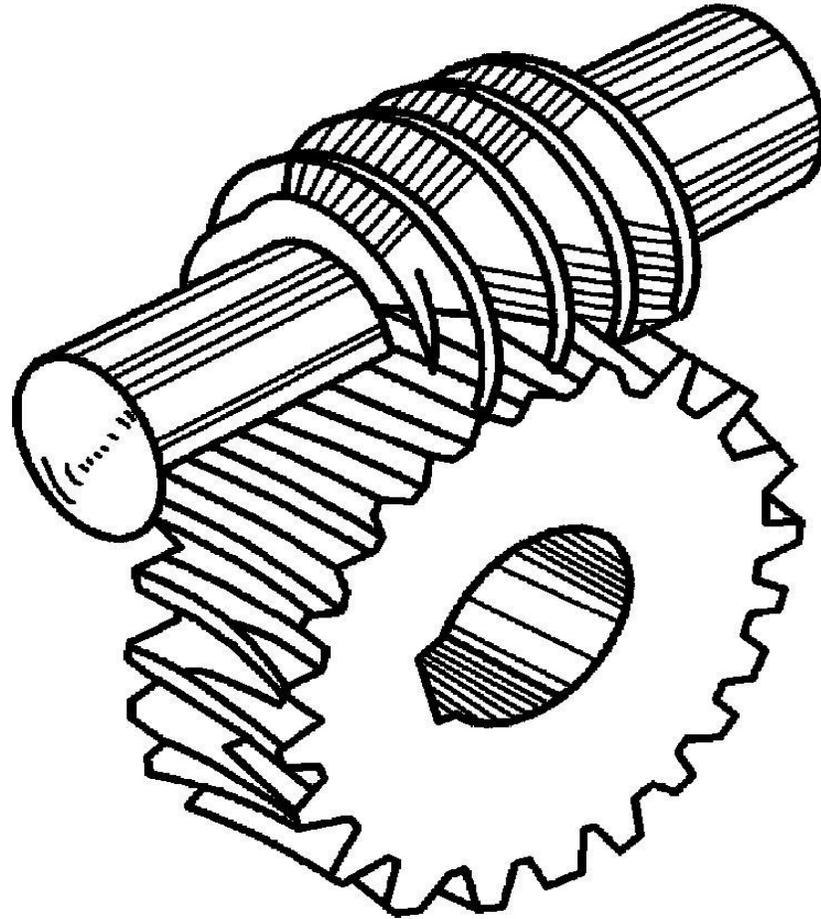
同在大端接触。由轴线交角太小所致



大小齿轮在齿的一侧接触于大端，
另一侧接触于小端。由两轴心线偏
移所致

应检查零件加工误差，必要时修刮轴瓦

四、蜗杆传动机构的装配



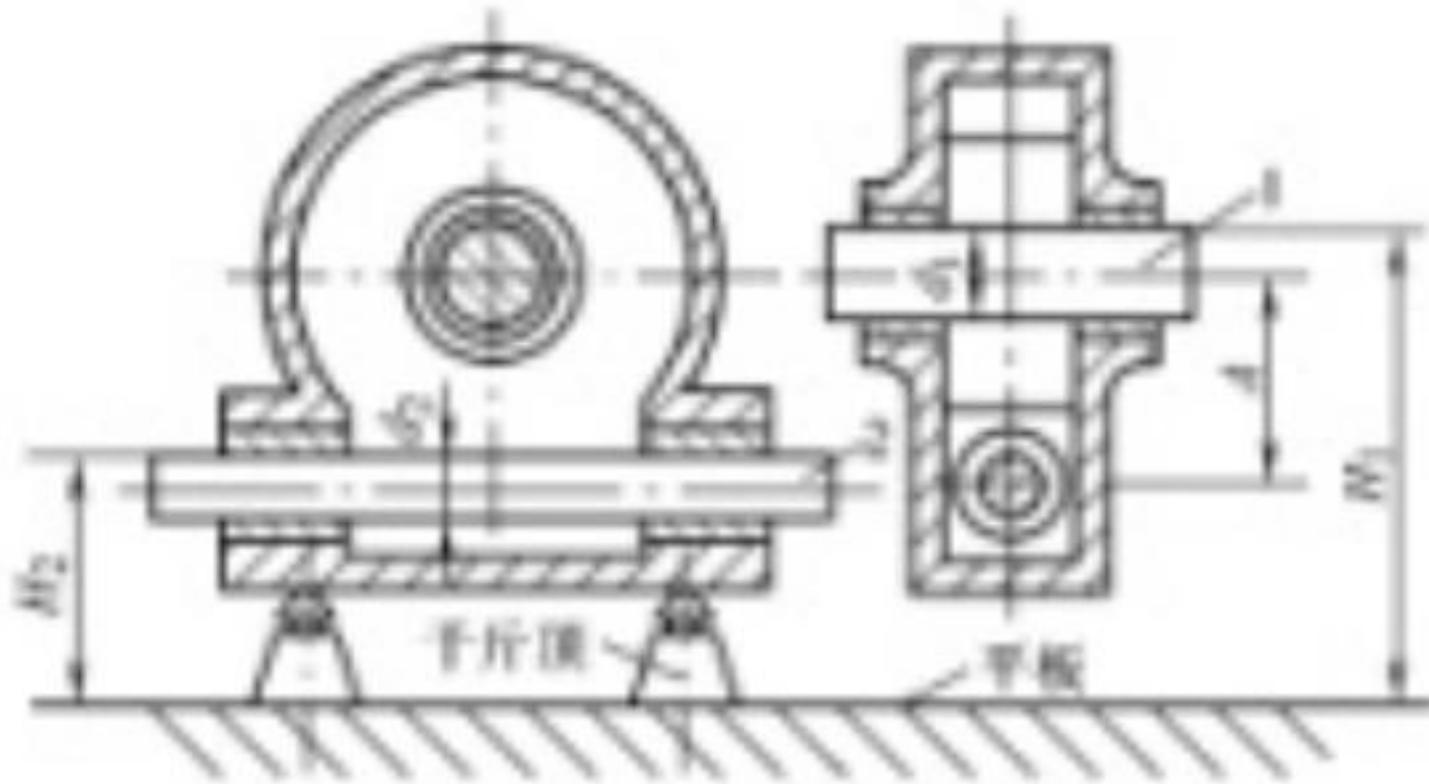
蜗杆传动机构

(一) 蜗杆传动的技术要求

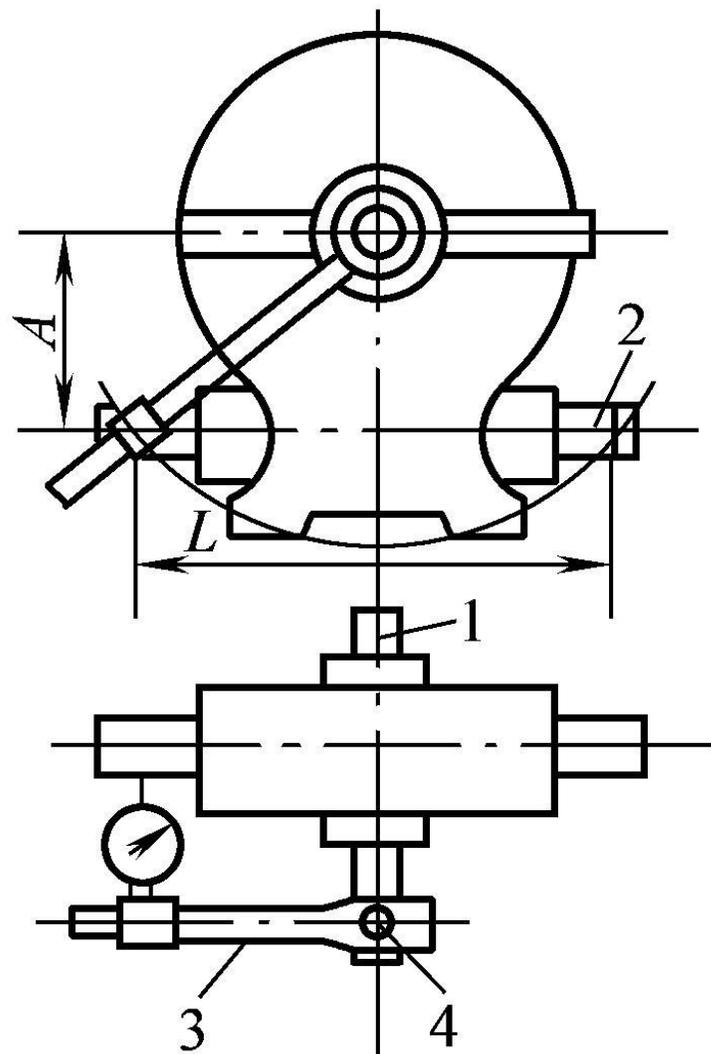
- 1)蜗杆轴线应与蜗轮轴线垂直。
- 2)蜗杆的轴线应在蜗轮轮齿的对称中心平面内。
- 3)蜗杆、蜗轮间的中心距要准确。
- 4)有适当的齿侧间隙。
- 5)有正确的接触斑点。

(二) 蜗杆传动机构箱体的装前检验

1. 蜗杆孔与蜗轮孔两轴线间中心距的检验
2. 蜗杆孔轴线与蜗轮孔轴线垂直度的检验



蜗杆轴孔与蜗轮轴孔中心距的检验



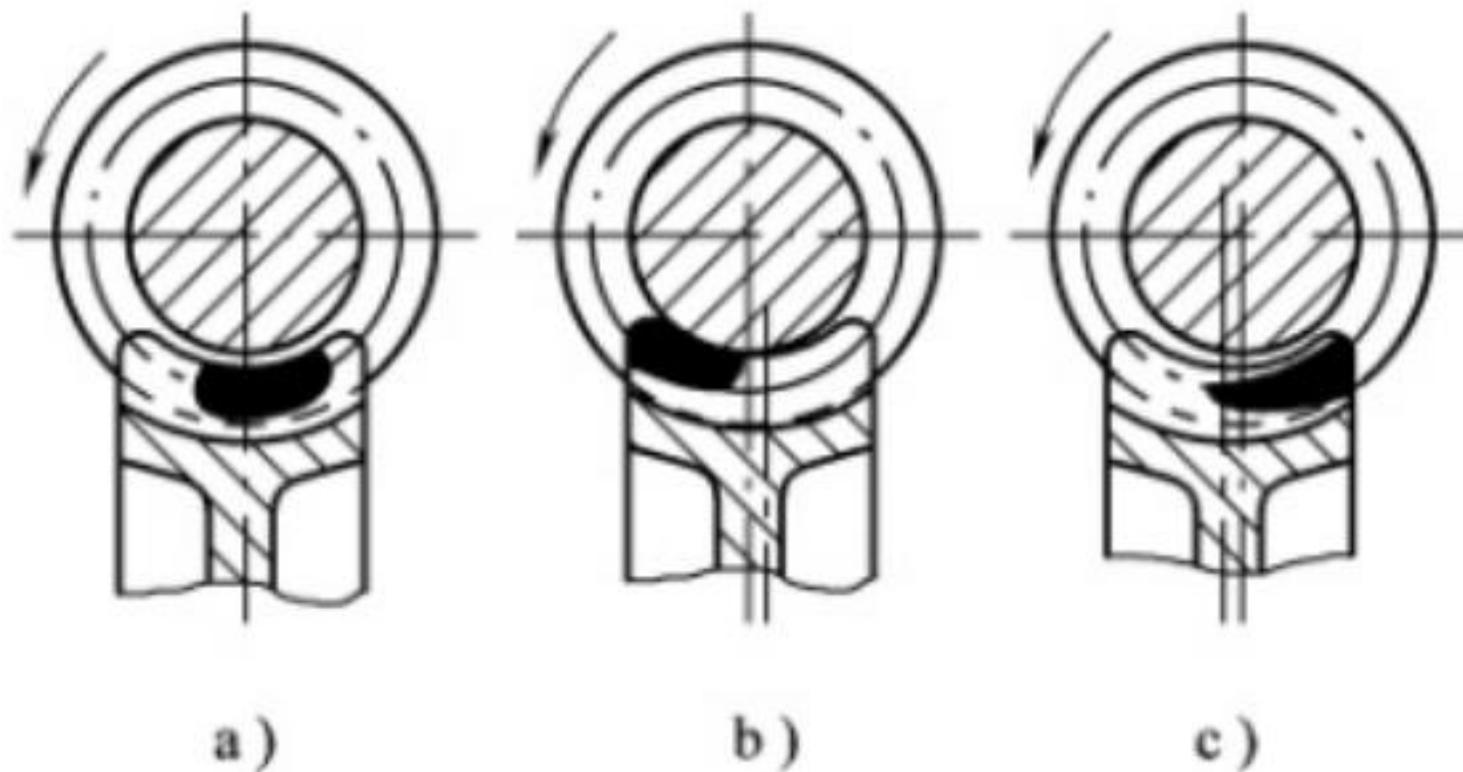
蜗杆箱体孔轴线垂直度的检验

(三) 蜗杆机构的装配过程

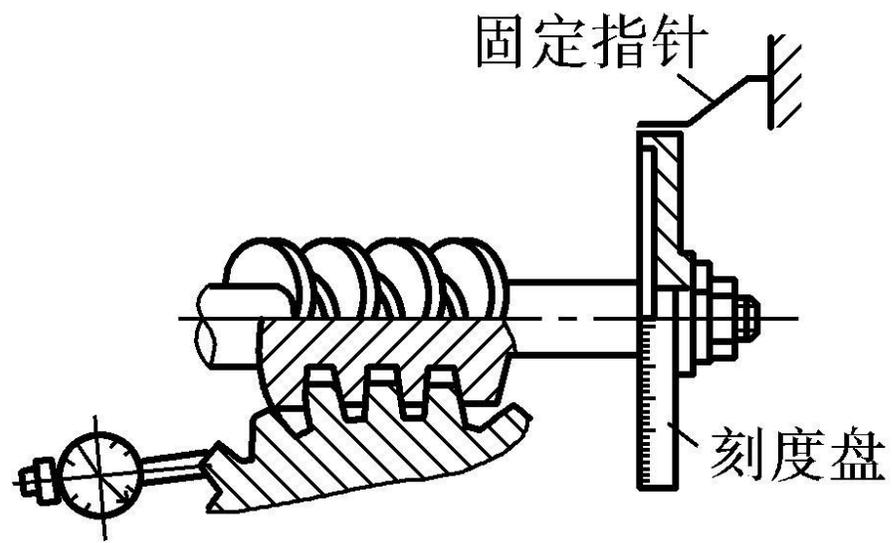
- 1)组合式蜗轮应先将蜗轮齿圈压装在轮毂上，并用螺钉加以固定。
- 2)将蜗轮装在轴上，其安装及检验方法与圆柱齿轮相同。
- 3)把蜗轮轴装入箱体，然后再装入蜗杆。

(四) 蜗杆传动机构啮合质量的检验

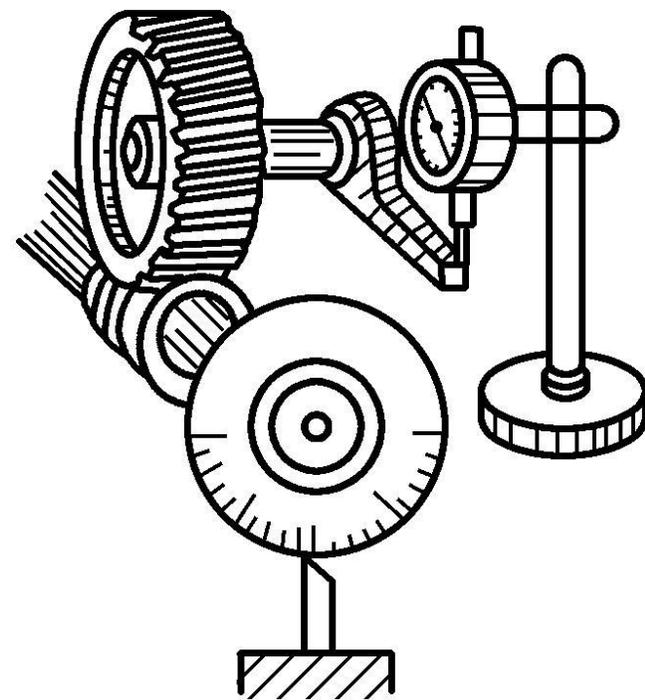
1. 蜗轮的轴向位置及接触斑点的检验
2. 齿侧间隙的检验



用涂色法检验蜗轮齿面接触斑点



a)



b)

蜗杆传动机构侧隙的检验

五、齿轮传动机构的修复

齿轮传动机构工作一段时间后，会产生磨损、润滑不良或过载，使磨损加剧。齿面出现点蚀、胶合和塑性变形，齿侧间隙增大，噪声增加，传动精度降低，严重时甚至发生轮齿断裂。

(1) 齿轮磨损严重或轮齿断裂时，应更换新的齿轮。

(2) 如果是小齿轮与大齿轮啮合，一般小齿轮比大齿轮磨损严重，应及时更换小齿轮，以免加速大齿轮磨损。

(3)大模数、低转速的齿轮，个别轮齿断裂时，可用镶齿法修复。

(4)大型齿轮轮齿磨损严重时，可采用更换轮缘法修复，具有较好的经济性。

(5)锥齿轮因轮齿磨损或调整垫圈磨损而造成侧隙增大时，应进行调整。调整时，将2个锥齿轮沿轴向移近，使侧隙减小，再选配调整垫圈厚度来固定两齿轮的位置。