

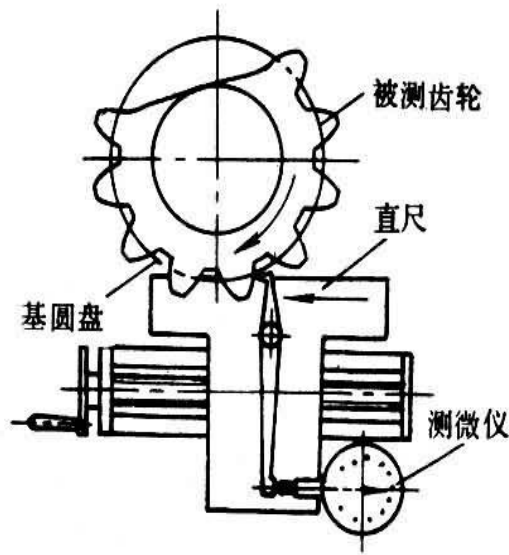
齿轮测量基本方法原理

长度计量技术中对齿轮参数的测量。测量圆柱齿轮和圆锥齿轮误差的方法有单项测量和综合测量两种。

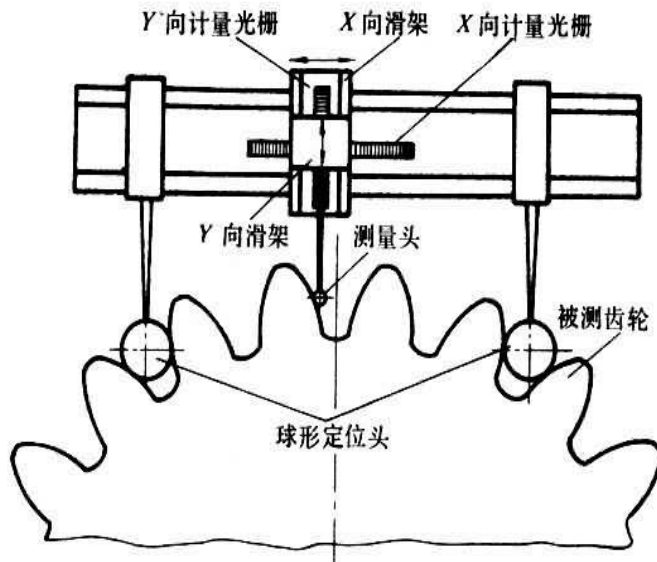
单项测量 主要是测量齿形误差、周节累积误差、周节偏差、齿向误差和齿圈径向跳动等。

齿形测量 图 1 为齿轮齿形测量的原理。常用的测量方法有展成法和坐标法。①展成法：基圆盘的直径等于被测渐开线理论基圆直径。当直尺带动与它紧密相切的基圆盘和与基圆盘同轴安装的被测齿轮转动时，与直尺工作面处于同一平面上的测量杠杆的刀口相对于被测齿轮回转运动的轨迹是一理论渐开线。以它与被测渐开线齿形比较，即可由测微仪（见比较仪）指示出齿形误差。利用此法测量齿形误差的工具具有单盘渐开线测量仪和万能渐开线测量仪（见渐开线测量仪）。②坐标法：按齿形形成原理列出齿廓上任一点的坐标方程式，然后计算出齿廓上若干点的理论坐标值，以此与实际测得的被测齿形上相应点的坐标值比较，即可得到被测齿形误差。有直角坐标法和法线展开角坐标法两种。前者的测量原理是被测齿廓上各点的坐标值 (x, y) 分别由 X 和 Y 方向的光栅测量系统（见光栅测长技术）测出，经电子计算机计算后得出齿形误差。此法适用于测量大型齿轮的齿形。法线展开角坐标法用于测量渐开线齿形。当与被测齿轮同轴安装的圆光栅转动一个展开角 φ 时，由长光栅测量系统测出被测渐开线基圆的展开弧长 ρ ，由电子计算机按计算式 $\rho = r_0\varphi$ （式中 r_0 为基圆半径）计算出被测弧长与理论弧长之差值。按需要在齿廓上测量若干点，由记录仪记录出齿形误差曲线图。

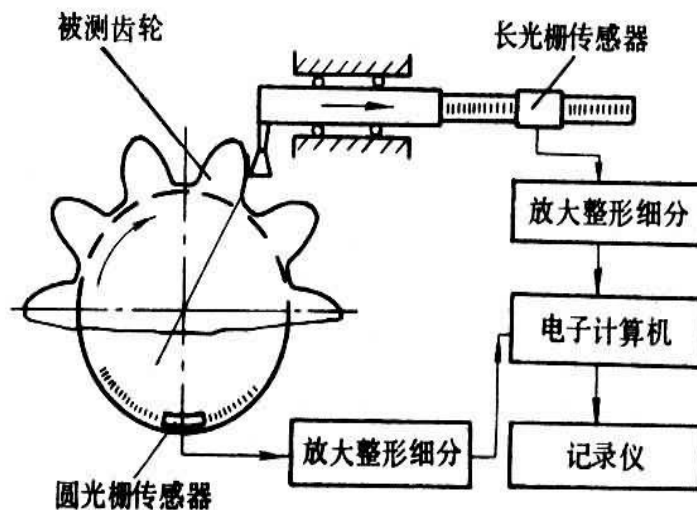
周节测量 图 2 为齿轮周节测量的原理。周节测量有绝对测量法和相对测量法。①绝对测量法：被测齿轮与圆光栅长度传感器同轴安装。测量时，被测齿轮缓慢回转，当电感式长度传感器的测头与齿面达到预定接触位置时，电感式长度传感器发出计数开始信号，利用电子计算机计算由圆光栅长度传感器发出的经过处理后得到的电脉冲数，直至测头与下一齿面达到预定接触位置为止。如此逐齿进行，测出相当于各实际周节的电脉冲数，经电子计算机处理后即可得出周节偏差和周节累积误差。②相对测量法：利用两电感式长度传感器的测头安置组成相当于被测齿轮任一实际周节，以此逐齿与所有其他各实际周节比较。测得的差值经过电子线路和电子计算机处理，即可得出周节偏差和周节累积误差。



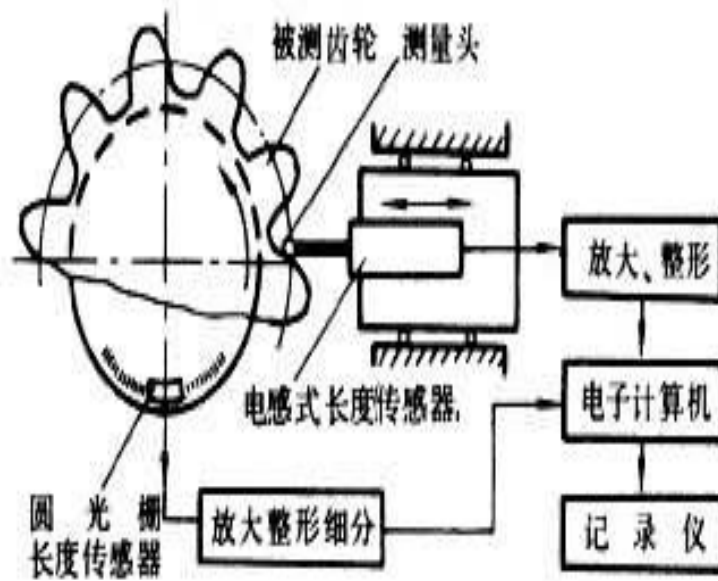
用展成法测量齿形误差



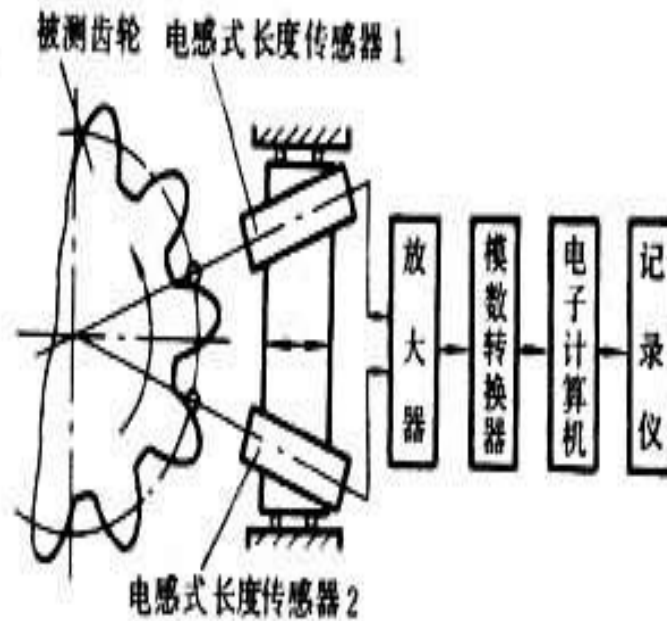
用直角坐标法测量齿形误差



用法线展开角坐标测量齿形误差



绝对测量法



相对测量法

图2 周节测量工作原理

GAEAS⁺

限公司

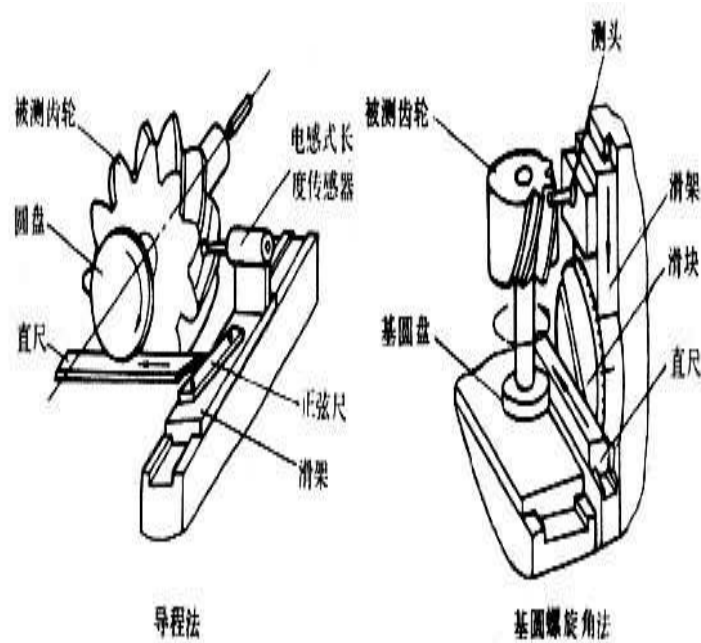


图3 齿向测量工作原理

齿向测量 图3为齿轮齿向测量的原理。齿向测量常用的有**导程法**和**基圆螺旋角法**。这两种方法都是根据斜齿轮回转一周，与齿面接触的任一点沿轴向移动一个导程的原理。①**导程法**：当滑架沿轴线方向移动时，安装在滑架上的正弦尺推动直尺并带动圆盘和与圆盘同轴安装的被测齿轮转动。正弦尺的倾斜角度是按计算导程的方法调整的，测量头相对于被测齿轮作螺旋运动而测出齿向误差。②**基圆螺旋角法**：在渐开线测量仪上增加度盘、测角读数显微镜（图中未表示）等进行测量。当直尺带动基圆盘和被测齿轮转动时，电感式长度传感器的测头由固定在直尺上的滑块和滑架圆盘上倾斜的直槽控制着向下移动。利用度盘等使直槽的倾斜角度等于被测齿轮的基圆螺旋角，因此测头相对于被测齿轮作螺旋运动而测出齿向误差。采用此法的齿轮测量工具通常称为渐开线和螺旋线测量仪。

20世纪70年代初，开始利用长光栅（或**激光**）、圆光栅等组成的测量系统、电子计算机自动控制系统和数据处理系统等组成的自动测量系统，在同一台齿轮量仪上测量齿向误差，齿形误差和周节偏差等。直齿圆柱齿轮的齿向误差也常在具有精密直线导轨的齿圈径向跳动仪上测量。

齿圈径向跳动测量 以被测齿轮轴心线定位，利用带有球形测头或锥角等于2倍齿形角的圆锥形测头的测微仪，使测头位于齿高中部与齿廓双面接触。测头相对于齿轮轴心线的最大变动量即齿圈径向跳动。测量齿圈径向跳动的仪器是齿圈径向跳动仪。

综合测量 通过测量齿轮与被测齿轮啮合传动来测量齿轮的传动精度。测量齿轮是一种精度比被测齿轮高两等级以上的齿轮，也有以测量蜗杆代替测量齿轮的。综合测量有双面啮合法和单面啮合法两种。

① **双面啮合法**：利用测量齿轮与被测齿轮作双面啮合转动，以被测齿轮转动一转内的中心距最大变动量表示被测齿轮的径向综合误差。利用此法的齿轮测量工具称为齿轮双面啮合检查仪（见**齿轮综合检查仪**）。

② **单面啮合法**：利用测量齿轮与被测齿轮在公称中心距下啮合转动，以转角误差形式表示被测齿轮的切向综合误差。采用此法的齿轮测量工具有齿轮单面啮合检查仪和齿轮单面啮合整体误差测量仪（见**齿轮整体误差测量技术**）。

综合测量还可用于检查齿轮副接触斑点和噪声等。

对于圆锥齿轮，一般采用综合测量，以检验齿轮副的接触斑点为主，也有测量齿轮副径向综合误差、齿轮副切向综合误差和噪声的。单项测量一般是测量周节累积误差和齿圈径向跳动，测量方法与圆柱齿轮的相同，但要保持测量头轴线垂直于圆锥素线。70年代后期，人们开始利用三坐标测量机测量圆锥齿轮的齿形，并用绘图仪描绘出被测齿面的轮廓图形。



(一) 工艺过程分析

图 9-17 所示为一双联齿轮，材料为 40Cr，精度为 7-6-6 级，其加工工艺过程见表 9-6。

从表中可见，齿轮加工工艺过程大致要经过如下几个阶段：毛坯热处理、齿坯加工、齿形加工、齿端加工、齿面热处理、精基准修正及齿形精加工等。

齿号

I

II

齿号

I

II

模数

2

2

基节偏差

±0.016

±0.016

齿数

28

42

齿形公差

0.017

0.018

精度等级

7GK

7JL

齿向公差

0.017

0.017

公法线长度变动量

0.039

0.024

公法线平均长度

21.36 0—0.05

27.6 0—0.05

齿圈径向跳动

0.050

0.042

跨齿数

4

5

表 9—6 双联齿轮加工工艺过程

序号

工序内容

定位基准

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

毛坯锻造

正火

粗车外圆及端面，留余量 1.5~2mm，钻镗花键底孔至尺寸 $\phi 30H12$

拉花键孔

钳工去毛刺

上芯轴，精车外圆，端面及槽至要求

检验

滚齿 ($z=42$)，留剃余量 0.07~0.10 mm

插齿 ($z=28$)，留剃余量 0.04~0.06 mm

倒角 (I、II 齿 12° 牙角)

钳工去毛刺

剃齿 ($z=42$)，公法线长度至尺寸上限

剃齿 ($z=28$)，采用螺旋角度为 5° 的剃齿刀，剃齿后公法线长度至尺寸上限

齿部高频淬火: G52

推孔

珩齿

总检入库

外圆及端面

φ30H12 孔及 A 面



花键孔及 A 面

花键孔及 B 面

花键孔及 A 面

花键孔及端面

花键孔及 A 面

花键孔及 A 面

花键孔及 A 面

花键孔及 A 面

加工的第一阶段是齿坯最初进入机械加工的阶段。由于齿轮的传动精度主要决定于齿形精度和齿距分布均匀性，而这与切齿时采用的定位基准（孔和端面）的精度有着直接的关系，所以，这个阶段主要是为下一阶段加工齿形准备精基准，使齿的内孔和端面的精度基本达到规定的技术要求。在这个阶段中除了加工出基准外，对于齿形以外的次要表面的加工，也应尽量在这一阶段的后期加以完成。

第二阶段是齿形的加工。对于不需要淬火的齿轮，一般来说这个阶段也就是齿轮的最后加工阶段，经过这个阶段就应当加工出完全符合图样要求的齿轮来。对于需要淬硬的齿轮，必须在这个阶段中加工出能满足齿形的最后精加工所要求的齿形精度，所以这个阶段的加工是保证齿轮加工精度的关键阶段。应予以特别注意。

加工的第三阶段是热处理阶段。在这个阶段中主要对齿面的淬火处理，使齿面达到规定的硬度要求。

加工的最后阶段是齿形的精加工阶段。这个阶段的目的，在于修正齿轮经过淬火后所引起的齿形变形，进一步提高齿形精度和降低表面粗糙度，使之达到最终的精度要求。在这个阶段中首先应对定位基准面（孔和端面）进行修整，因淬火以后齿轮的内孔和端面均会产生变形，如果在淬火后直接采用这样的孔和端面作为基准进行齿形精加工，是很难达到齿轮精加工的要求的。以修整过的基准面定位进行齿形精加工，可以使定位准确可靠，余量分布也比较均匀，以便达到精加工的目的。

（二）定位基准的确定

定位基准的精度对齿形加工精度有直接的影响。轴类齿轮的齿形加工一般选择顶尖孔定位，某些大模数的轴类齿轮多选择齿轮轴颈和一端面定位。盘套类齿轮的齿形加工常采用两种定位基准。

1) 内孔和端面定位 选择既是设计基准又是测量和装配基准的内孔作为定位基准，既符合“基准重合”原则，又能使齿形加工等工序基准统一，只要严格控制内孔精度，在专用芯轴上定位时不需要找正。故生产率高，广泛用于成批生产中。

2) 外圆和端面定位 齿坯内孔在通用芯轴上安装，用找正外圆来决定孔中心位置，故要求齿坯外圆对内孔的径向跳动要小。因找正效率低，一般用于单件小批生产。

（三）齿端加工

如图 9—18 所示，齿轮的齿端加工有倒圆、倒尖、倒棱，和去毛刺等。倒圆、倒尖后的齿轮，沿轴向滑动时容易进入啮合。倒棱可去除齿端的锐边，这些锐边经渗碳淬火后很脆，在齿轮传动中易崩裂。

用铣刀进行齿端倒圆，如图 9—19 所示。倒圆时，铣刀在高速旋转的同时沿圆弧作往复摆动（每加工一齿往复摆动一次）。加工完一个齿后工件沿径向退出，分度后再送进加工下一个齿端。

齿端加工必须安排在齿轮淬火之前，通常多在滚（插）齿之后。

齿轮轴的加工工艺及设备刀具:

- 1、下料----锯床。
- 2、粗车----车床。
- 3、热处理----箱式炉。
- 4、精车----车床。
- 5、铣键槽----铣床。
- 6、滚齿-----滚齿机。
- 7、齿面淬火---高频淬火机床。
- 8、磨---外圆磨床。

锥齿轮用铣床可以加工

第一步当然是下料，锯切

第二步，车，外形

第三步，铣，齿形

如果需要可以磨削和淬火或调质

细长轴的齿轮轴加工工艺（以 45 号钢为例）：

- 一、毛坯下料
- 二、调质处理（提高齿轮轴的韧性和轴的刚度）
- 三、带跟刀架、用皂化液充分冷却的前提下，粗车齿轮轴
- 四、去应力退火
- 五、精车齿坯至尺寸（带跟刀架、用皂化液充分冷却）
- 六、若轴上有键槽时，可先加工键槽等
- 七、滚齿
- 八、齿面高频淬火，淬火硬度 HRC48-58（具体硬度值需要依据工况、载荷等因素而定）
- 九、磨齿
- 十、成品的最终检验

注：细长轴类零件的放置一定要垂吊放置（用铁丝系住，悬挂在挂架上），不得平放！

希望以上回答能够对你有所帮助。

用于中小型轧钢机传动箱体中的齿轮轴，设计上一般为软齿面，即小齿轮轴硬度为 280~320HB，大齿轮轴硬度为 250~290HB，模数 $mn=8\sim 25$ ，技术要求一般为调质处理。这种零件在无感应加热淬火设备的工厂中加工时，其加工工艺路线为：锻毛坯→粗加工→调质→精加工→制齿→磨轴颈。按这样的工艺流程生产出来的模数 $mn\leq 10$ 的齿轮轴，使用情况基本良好，但模数 $mn\geq 12$ 时，使用寿命短。突出表现为轮齿不耐磨，使用半年以后，齿面已有明显磨痕，当发生较大冲击时，还会出现断齿现象。针对这种情况，我们对原有工艺进行了分析，找出工艺路线中所存在的缺陷，并提出了新的制作工艺方法。

1 原工艺路线存在的问题

原加工工艺路线中的粗加工，即粗车毛坯的外圆及轴向长度。调质后，经过精加工外圆及轴向尺寸，最后制齿。这样轮齿的硬度分布如图 1 所示，齿顶处的硬度最高，齿根处的硬度最低。轮齿的硬度分布显然与图 2 所示的实际受力要求的硬度分布不符。这种情况随着模数的增大越显突出，有时齿根接触部根本无硬化层，齿轮的耐磨性大大降低。由于齿根部的强度显著降低，这样就削弱了轮齿的弯曲强度，此时一旦发生冲击，便可能断齿。

2 工艺改进探索

增加表面淬火工序针对存在的问题，首先提出的解决方案是采用火焰表面淬火，即在原工艺路线的最后增加火焰表面淬火工序。从理论上讲，采用火焰表面淬火能够改善轮齿的硬度，且能显著提高轮齿的弯曲疲劳强度，延长齿轮轴的使用寿命。但实际操作中却难以控制。主要表现在以下两个方面。

模数的大小影响淬火后的表面硬度。小模数的轮齿，由于齿槽小，如图 3 所示，随着 A 面的淬火，已淬过火的 B 面发生了回火。这种情况常发生在 $mn \leq 16$ 的轮齿淬火中。由于回火，轮齿表面硬度常常达不到要求，但比不经过表面淬火工序的轮齿质量要好。

淬火操作的可实施性差，且常发生局部过热及烧熔现象。由于齿轮轴的结构各不相同，甚至存在很大差异，生产中难以做到用机械自动法进行火焰表面淬火，大多数采用人工操作。造成同一齿轮上不同部位的轮齿，由于淬火的先后顺序及操作者的熟练程度不同，使淬火后的硬度也不同，且差距明显。更为严重的是常发生局部齿面过热、烧熔而生成硬度很高的凸点和凹坑，对齿轮运动精度、接触精度及工作平稳性均有严重影响。

基于以上两个难以解决的问题，于是我们把机加工与热处理结合起来，采用了下面的工艺方法。

粗制齿、后调质、精制齿工艺原调质工艺最大的缺点在于轮齿表面的硬度沿齿高分布不合理。如果使轮齿的表面硬度沿齿高方向分布均匀，则轮齿的强度及使用寿命就会有很大提高。从这个方面考虑，我们将工艺调整为：锻毛坯→粗车外圆及端面→粗制齿→热处理→精车外圆及端面→精制齿→磨轴颈。该工艺的重点在粗制齿，让工件的轮齿成形后再热处理，从而实现硬度沿齿面的均匀分布。该工艺经详细确定各工序工艺参数后，并多次试行，逐一解决了各工序的工艺难点，但需要注意以下几个方面的问题。

热处理变形。影响热处理变形的因素有轮齿的螺旋角、齿向宽度及材质。对于螺旋角较大、齿向宽度较大的齿轮轴，粗制齿时轮齿受到较大的偏挤压力作用，齿形内部存在着较大的内应力，并有着朝减小螺旋角方向变形的趋势。正因为有内应力和变形趋势的存在，在热处理过程中会发生齿向翘曲变形，导致热处理后轮齿螺旋角变小。这种情况常发生在螺旋角 $b \geq 25^\circ$ 及齿向宽度 $B \geq 350\text{mm}$ 以上的齿轮轴中。制作中遇到这类齿轮轴时，应注意粗制齿余量要偏大，否则会发生精制齿后留有黑皮的情况。在注意上述情况的同时，还要根据材料的

不同，结合螺旋角的大小，调整淬火温度。通常材质为 45 钢的齿轮轴，其淬火温度应比正常同材质的工件低 10~15℃。合金材质的齿轮轴其淬火温度应比正常同材质的同类工件低 10℃左右，为避免淬裂，冷却要在油中进行。

车床断续硬车削。粗制齿热处理后的齿轮轴，其齿顶的精加工是断续的，精加工层的硬度常在 290~320HB 之间。要在普通车床上完成该工序(我厂在 CW61100×8000 车床上完成)，首先必须认真检修机床，保证主轴的回转精度好，进刀机构的刚性和精度好。其次选择既硬而结实又具有韧性的刀具。

粗加工余量的大小。粗车外圆及端面 and 粗制齿所留余量的大小，对热处理及其后的精加工有极大影响。如余量留大，精车外圆难度就大，精制齿费工多，且难以保证齿面的硬度分布合理；余量留小后，热处理变形控制难，可能无法实现精制齿。对此，总体上可按模数越大，螺旋角越大，齿面宽度越大，余量便留大的原则来控制余量。经我厂所加工的模数 $mn \geq 12$ 、螺旋角 $b=24^\circ \sim 31^\circ$ 、齿面宽 $B=300 \sim 960\text{mm}$ 的齿轮轴，粗加工最小余量为 2mm，最大余量为 4mm。

3 结论

模数 $mn \geq 12$ 的齿轮轴，采用粗制齿后调质、精制齿工艺后，轮齿的表面硬度在 280HB 以上，完全能够满足技术要求，并经使用证明其耐磨性及寿命均较以前大大提高。

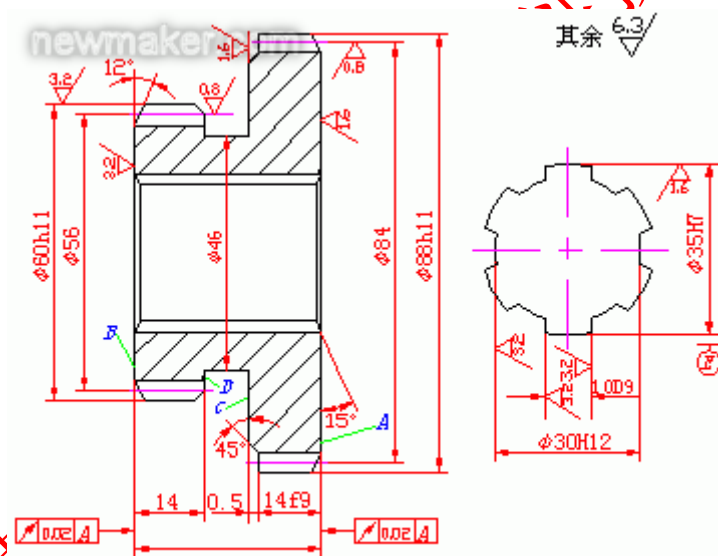
圆柱齿轮加工工艺过程常因齿轮的结构形状、精度等级、生产批量及生产条件不同而采用不同的工艺方案。下面列出两个精度要求不同的齿轮典型工艺过程供分析比较。

一、普通精度齿轮加工工艺分析

(一) 工艺过程分析

图示为一双联齿轮，材料为 40Cr，精度为 7-6-6 级，其加工工艺过程见表 1。

从表中可见，齿轮加工工艺过程大致要经过如下几个阶段：毛坯热处理、齿坯加工、齿形加工、齿端加工、齿面热处理、精基准修正及齿形精加工等。



双联齿轮

齿号	I	II	齿号	I	II
模数	2	2	基节偏差	±0.016	±0.016
齿数	28	42	齿形公差	0.017	0.018
精度等级	7GK	7JL	齿向公差	0.017	0.017
公法线长度变动量	0.039	0.024	公法线平均长度	21.36 0-0.05	27.6 0-0.05
齿圈径向跳动	0.050	0.042	跨齿数	4	5

双联齿轮加工工艺过程

序号	工序内容	定位基准
1	毛坯锻造	外圆及端面
2	正火	$\phi 30H12$ 孔及A面
3	粗车外圆及端面，留余量 $1.5 \sim 2 \text{mm}$ ，钻花键底孔至尺寸 $\phi 30H12$	花键孔及A面
4	拉花键孔	花键孔及D面
5	钳工去毛刺	花键孔及A面
6	上芯轴，精车外圆，端面及槽至要求	花键孔及端面
7	检验	花键孔及A面
8	滚齿 ($z=42$)：留剃余量 $0.1 \sim 0.10 \text{mm}$	花键孔及A面
9	插齿 ($z=28$)：留剃余量 $0.04 \sim 0.06 \text{mm}$	花键孔及A面
10	倒角 (I、II齿 12° 牙角)	花键孔及A面
11	钳工去毛刺	
12	剃齿 ($z=42$)：公法线长度至尺寸上限	
13	剃齿 ($z=28$)：采用螺旋角度为 5° 的剃齿刀，剃齿后公法线长度至尺寸上限	
15	齿部高频淬火：G52	
	推孔	
	研齿	
	总检入库	

加工的第一阶段是齿坯最初进入机械加工的阶段。由于齿轮的传动精度主要决定于齿形精度和齿距分布均匀性，而这与切齿时采用的定位基准（孔和端面）的精度有着直接的关系，所以，这个阶段主要是为下一阶段加工齿形准备精基准，使齿的内孔和端面的精度基本达到规定的技术要求。在这个阶段中除了加工出基准外，对于齿形以外的次要表面的加工，也应尽量在这一阶段的后期加以完成。

第二阶段是齿形的加工。对于不需要淬火的齿轮，一般来说这个阶段也就是齿轮的最后加工阶段，经过这个阶段就应当加工出完全符合图样要求的齿轮来。对于需要淬硬的齿轮，必须在这个阶段中加工出能满足齿形的最后精加工所要求的齿形精度，所以这个阶段的加工是保证齿轮加工精度的关键阶段。应予以特别注意。

加工的第三阶段是热处理阶段。在这个阶段中主要对齿面的淬火处理，使齿面达到规定的硬度要求。

加工的最后阶段是齿形的精加工阶段。这个阶段的目的，在于修正齿轮经过淬火后所引起的齿形变形，进一步提高齿形精度和降低表面粗糙度，使之达到最终的精度要求。在这个阶段中首先应对定位基准面（孔和端面）进行修整，因淬火以后齿轮的内孔和端面均会产生变形，如果在淬火后直接采用这样的孔和端面作为基准进行齿形精加工，是很难达到齿轮精度的要求的。以修整过的基准面定位进行齿形精加工，可以使定位准确可靠，余量分布也比较均匀，以便达到精加工的目的。

（二）定位基准的确定

定位基准的精度对齿形加工精度有直接的影响。轴类齿轮的齿形加工一般选择顶尖孔定位，某些大模数的轴类齿轮多选择齿轮轴颈和端面定位。盘套类齿轮的齿形加工常采用两种定位基准。

1) 内孔和端面定位选择既是设计基准又是测量和装配基准的内孔作为定位基准，既符合“基准重合”原则，又能使齿形加工等工序基准统一，只要严格控制内孔精度，在专用芯轴上定位时不需要找正。故生产率高，广泛用于成批生产中。

2) 外圆和端面定位齿坯内孔在通用心轴上安装，用找正外圆来决定孔中心位置，故要求齿坯外圆对内孔的径向跳动要小。因找正效率低，一般用于单件小批生产。

（三）齿端加工

如图所示，齿轮的齿端加工有倒圆、倒尖、倒棱，和去毛刺等。倒圆、倒尖后的齿轮，沿轴向滑动时容易进入啮合。倒棱可去除齿端的锐边，这些锐边经渗碳淬火后很脆，在齿轮传动中易崩裂。



图 9-18 齿端加工形式

用铣刀进行齿端倒圆，如图 9—19 所示。倒圆时，铣刀在高速旋转的同时沿圆弧作往复摆动（每加工一齿往复摆动一次）。加工完一个齿后工件沿径向退出，分度后再送进加工下一个齿端。

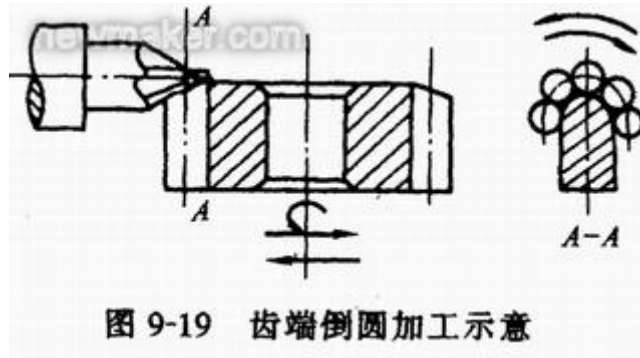


图 9-19 齿端倒圆加工示意

齿端加工必须安排在齿轮淬火之前，通常多在滚（插）齿之后。

（四）精基准修正

齿轮淬火后基准孔产生变形，为保证齿形精加工质量，对基准孔必须给予修正。

对外径定心的花键孔齿轮，通常用花键推刀修正。推孔时要防止歪斜，有的工厂采用加长推刀前引导来防止歪斜，已取得较好效果。

对圆柱孔齿轮的修正，可采用推孔或磨孔，推孔生产率高，常用于未淬硬齿轮；磨孔精度高，但生产率低，对于整体淬火后内孔变形大硬度高的齿轮，或内孔较大、厚度较薄的齿轮，则以磨孔为宜。

磨孔时一般以齿轮分度圆定心，如图 9-20 所示，这样可使磨孔后的齿圈径向跳动较小，对以后磨齿或珩齿有利。为提高生产率，有的工厂以金刚镗代替磨孔也取得了较好的效果。

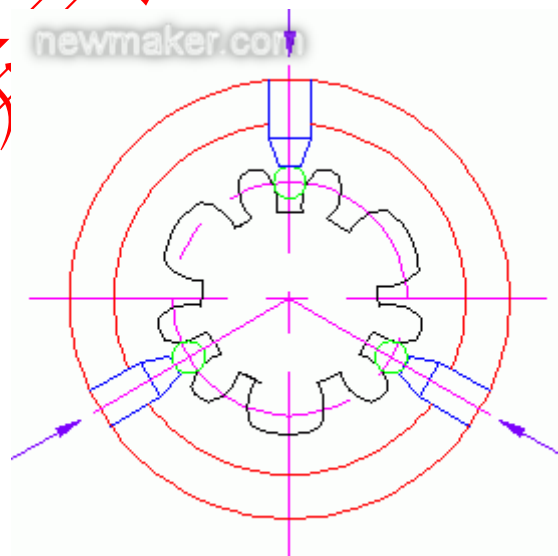


图 9-20 齿轮分度圆定心示意

二、高精度齿轮加工工艺特点

(一) 高精度齿轮加工工艺路线

图 9-21 所示为一高精度齿轮，材料为 40Cr，精度为 6-5-5 级，其工艺路线见表 9-7。

序号	工序内容	定位基准
1	毛坯锻造	外圆及端面
2	正火	$\phi 30H12$ 孔及A面
3	粗车外圆及端面，留余量1.5~2mm，钻透花键底孔至尺寸 $\phi 30H12$	花键孔及A面
4	拉花键孔	花键孔及D面
5	钳工去毛刺	花键孔及A面
6	上芯轴，精车外圆，端面及槽至要求	花键孔及端面
7	检验	花键孔及A面
8	滚齿 ($z=42$)：留制余量 $L_{j1} \sim 0.10 \text{ mm}$	花键孔及A面
9	插齿 ($z=28$)：留制余量 $C_{j,4} \sim 0.08 \text{ mm}$	花键孔及A面
10	倒角 (I、II齿 12° 牙角)	花键孔及A面
11	钳工去毛刺	
12	剃齿 ($z=42$)：公法线长度至尺寸上限	
13	剃齿 ($z=28$)：采用螺旋角度为 5° 的剃齿刀，剃齿后公法线长度至尺寸上限	
14	齿部高频淬火：G52	
	推孔	
	珩齿	
	总检入库	

模数	3.5	基节累积误差	0.045	齿向公差	0.007
齿数	63	基节极限偏差	± 0.0065	公法线平均长度	70.130-0.05
精度等级	655KM	齿形公差	0.007	跨齿数	7

(二) 高精度齿轮加工工艺特点

(1) 定位基准的精度要求较高由图 9—21 可见，作为定位基准的内孔其尺寸精度标注为 $\phi 85H5$ ，基准端面的粗糙度较细，为 $Ra1.6 \mu m$ ，它对基准孔的跳动为 $0.014mm$ ，这几项均比一般精度的齿轮要求为高，因此，在齿坯加工中，除了要注意控制端面与内孔的垂直度外，尚需留一定的余量进行精加工。精加工孔和端面采用磨削，先以齿轮分度圆和端面作为定位基准磨孔，再以孔为定位基准磨端面，控制端面跳动要求，以确保齿形精加工用的精基准的精确度。

高精度齿轮加工工艺过程



序号	工序内容	定位基准
1	毛坯锻造	外圆及端面
2	正火	外圆及端面
3	粗车各部分，留余量 $1.5 \sim 2mm$	内孔及A面
4	精车各部分，内孔至 $\phi 84.8H7$ ，总长留加工余量 $0.2 mm$ ，其余至尺寸	内孔及A面
5	检验	内孔（找正用）及A面
6	滚齿（齿厚留磨加工余量 $0.10 \sim 0.15 mm$ ）	分度圆和A面（找正用）
7	倒角	内孔
8	钳工去毛刺	A面
9	齿部高频淬火：G52	内孔及A面
10	插键槽	
11	磨内孔至 $\phi 85H5$	
12	靠磨大端A面	
13	平面磨B面至总长度尺寸	
	磨齿	
	总检入库	

(2) 齿形精度要求高图上标注 6—5—5 级。为满足齿形精度要求，其加工方案应选择磨齿方案，即滚（插）齿—齿端加工—高频淬火—修正基准—磨齿。

磨齿精度可达 4 级，但生产率低。本例齿面热处理采用高频淬火，变形较小，故留磨余量可缩小到 0.1 mm 左右，以提高磨齿效率。（

第十章 圆柱齿轮公差与检测

要求一般理解与掌握的内容有：

齿轮传动的使用要求，影响齿轮传动的误差和公差。

要求深刻理解与熟练掌握的重点内容有：

齿轮的必检精度指标、侧隙指标及其检测。

6-1 概述

一、齿轮传动互换性的使用要求：（三性一隙）

齿轮传动是机器及仪器中常用的一种机械传动形式，它广泛地用于传递运动和动力。齿轮传动的质量将影响到机器或仪器的工作性能、承载能力、使用寿命和工作精度。因此，现代工业中的各种机器和仪器对齿轮传动互换性的使用提出了多方面的要求，归纳起来主要有四个方面：

（一）传递运动的准确性

齿轮传动理论上应按设计规定的传动比来传递运动，即主动轮转过一个角度时，从动轮应按传动比关系转过一个相应的角度。由于齿轮存在有加工误差和安装误差，实际齿轮传动中要保持恒定的传动比是不可能的，因而使得从动轮的实际转角产生了转角误差。传递运动的准确性就是要求齿轮在转一周范围内，传动比的变化要小，其最大转角误差应限制在一定范围内，以保证一对齿轮 z_1 和 z_2 啮合时，满足齿廓啮合基本定律 $i = n_1/n_2 = z_2/z_1 = \text{常量}$ 。机床的一些传动齿轮对传递运动准确性的精度较高。

（二）传动的平稳性

齿轮任一瞬时传动比的变化，将会使从动轮转速在不断变化，从而产生瞬时加速度和惯性冲击力，引起齿轮传动中的冲击、振动和噪声。传动的平稳性就是要求齿轮在一转范围内，多次重复的瞬时传动比要小，一齿转角内的最大转角误差要限制在一定范围内。千分表、机床变速箱等对传动平稳性的要求较高。

（三）载荷分布的均匀性

载荷分布的均匀性是指为了使齿轮传动有较高的承载能力和较长的使用寿命，要求啮合齿面在齿宽与齿高方向上能较全面地接触，使齿面上的载荷分布均匀，避免载荷集中于齿面的一端而造成轮齿折断。重型机械的传动齿轮对此比较偏重。

（四）传动侧隙

在齿轮传动中，为了贮存润滑油，补偿齿轮受力变形和热变形以及齿轮制造和安装误差，齿轮相啮合轮齿的非工作面应留有一定的齿侧间隙。否则齿轮传动过程中可能会出现卡死或烧伤的现象。但该侧隙也不能过大，尤其是对于经常需要正反转的传动齿轮，侧隙过大，会产生空程，引起换向冲击。因此应合理确定侧隙的数值。

为了保证齿轮传动具有较好的工作性能，对上述四个方面均要有一定的要求。但用途和工作条件不同的齿轮，对上述四方面应有不同的侧重。

运动精度：是指传递运动的准确性。为了保证齿轮传动的运动精度，应限制齿轮一转中最大转角误差 Δi_{Σ} 。

运动平稳性精度：要求齿轮运转平稳，没有冲击、振动和噪声。要限制一齿距角范围内转角误差的最大值 i_R 。

接触精度：要求齿轮在接触过程中，载荷分布要均匀，接触良好，以免引起应力集中，造成局部磨损，影响齿轮的使用寿命。

齿侧间隙：在齿轮传动过程中，非接触面一定要有合理的间隙。一方面为了贮存润滑油，一方面为了补偿齿轮的制造和变形误差。



图 7-1

不同圆柱齿轮的传动精度要求

- 上述 4 项要求，对于不同用途、不同工作条件的齿轮其侧重点也应有所不同。
- 如：对于分度机构，仪器仪表中读数机构的齿轮，齿轮一转中的转角误差不超过 $1' \sim 2'$ ，甚至是几秒，此时，传递运动准确性是主要的；
- 对于高速、大功率传动装置中用的齿轮，如汽轮机减速器上的齿轮，圆周速度高，传递功率大，其运动精度、工作平稳性精度及接触精度要求都很高，特别是瞬时传动比的变化要求小，以减少振动和噪声；
- 对于轧钢机、起重机、运输机、透平机等低速重载机械，传递动力大，但圆周速度不高，故齿轮接触精度要求较高，齿侧间隙也应足够大，而对其运动精度则要求不高。

渐开线圆柱齿轮的制造误差

- 影响上述 4 项要求的误差因素，主要包括齿轮的加工误差和齿轮副的安装误差。
- 为了便于分析齿轮的各种制造误差对齿轮传动质量的影响，按误差相对于齿轮的方向特征，可分为径向误差、切向误差和轴向误差；
- 齿轮为圆周分度零件，其误差具有周期性，按误差在齿轮一转中是否多次出现，即在齿轮一转中出现的周期或频率，可分为以齿轮一转为周期的长周期误差，或低频误差，它主要影响传递运动的准确性；以齿轮一齿为周期短周期误差，或高频误差，它主要影响工作平稳性。

几何偏心误差

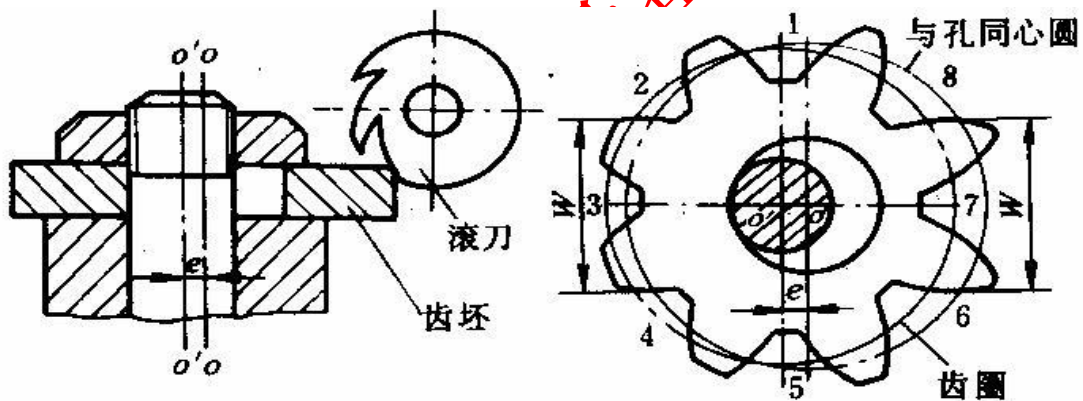


图 7-2

- 以滚切直齿圆柱齿轮为例，分析在切齿过程中所产生的主要加工误差。
- 齿坯孔与机床心轴的安装偏心 (e)，也称几何偏心，是齿坯在机床上安装时，齿坯基准轴线 O_1O_1 与工作台回转轴线 OO 不重合形成的偏心 e 。加工时，滚刀轴线与工作台回转轴线 OO 距离保持不变，但与齿坯基准轴线 O_1O_1 的距离不断变化（最大变化量为 $2e$ ）。滚切成如图所示的齿轮，使齿面位置相对于齿轮基准中心在径向发生了变化，故称为径向误差。工作时产生以一转为周期的转角误差，使传动比不断改变。

运动偏心误差

- 分度蜗轮轴线与工作台中心线的安装偏心 (eK)。 O_2O_2 为机床分度蜗轮的轴线，它与机床心轴的轴线 OO 不重合，形成安装偏心 eK 。这时尽管螺杆匀速旋转，蜗杆与蜗轮啮合节点的线速度相同，但由于蜗轮上的半径不断改变，从而使蜗轮和齿坯产生不均匀回转，角速度在 $(\omega + \Delta\omega)$ 和 $(\omega - \Delta\omega)$ 之间，以一转为周期变化。运动偏心并不产生径向误差，而往齿轮产生切向误差。

- 以上两项误差均以齿坯一转周期，是长周期误差。

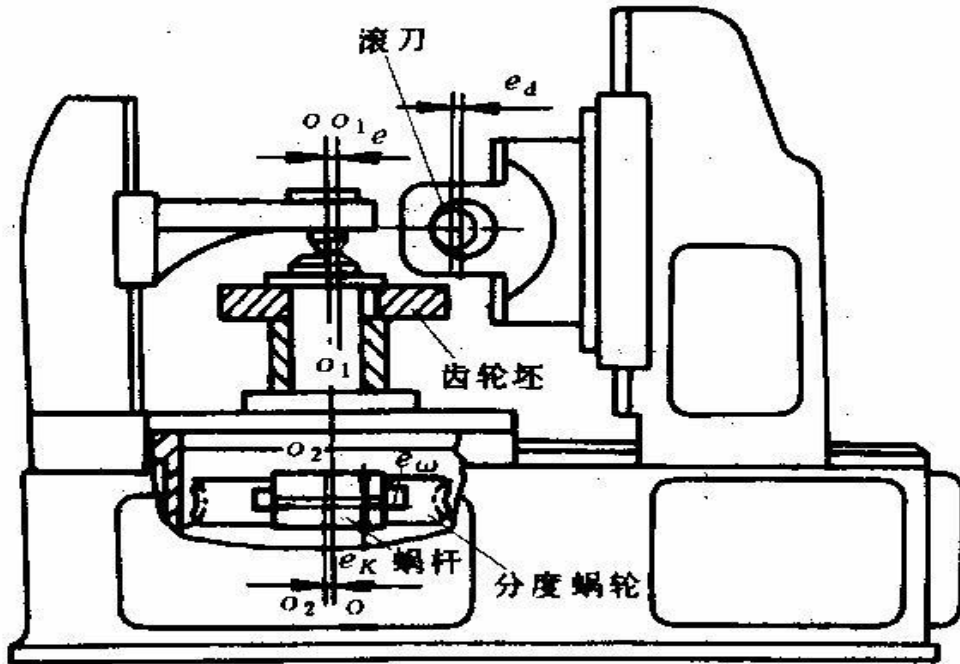


图 7-3

短周期误差

- 机床分度蜗轮的安裝偏心 (e_w) 和轴向窜动。此误差使蜗轮 (齿坯) 转速不均匀, 加工出的齿轮有齿距偏差和齿形偏差, 如蜗杆为单头, 蜗轮为 n 牙, 则在蜗轮 (齿坯) 一转中产生 n 次误差。
- 滚刀偏心 (e_d)、轴线倾斜及轴向窜动。此误差使加工出的齿轮径向和轴向都产生误差, 如滚刀单头, 齿轮 z 牙, 则在齿坯一转中产生 z 次误差。
- 滚刀本身的基节、齿形等制造误差, 此误差会复映到被加工齿轮的每一齿上, 使之产生基节偏差和齿形误差。

以上三项误差在齿坯一转中多次重复出现, 为短周期误差。

圆柱齿轮传动精度的评定指标

- 根据齿轮精度要求, 把齿轮的误差分成影响运动准确性误差、影响运动平稳性误差、影响载荷分布均匀性误差和影响侧隙的误差。并相应提出精度评定指标。
- 运动精度的评定指标
- 平稳性的评定指标
- 接触精度的评定指标
- 侧隙的评定指标
- 齿轮副精度的评定指标

运动精度的评定指标

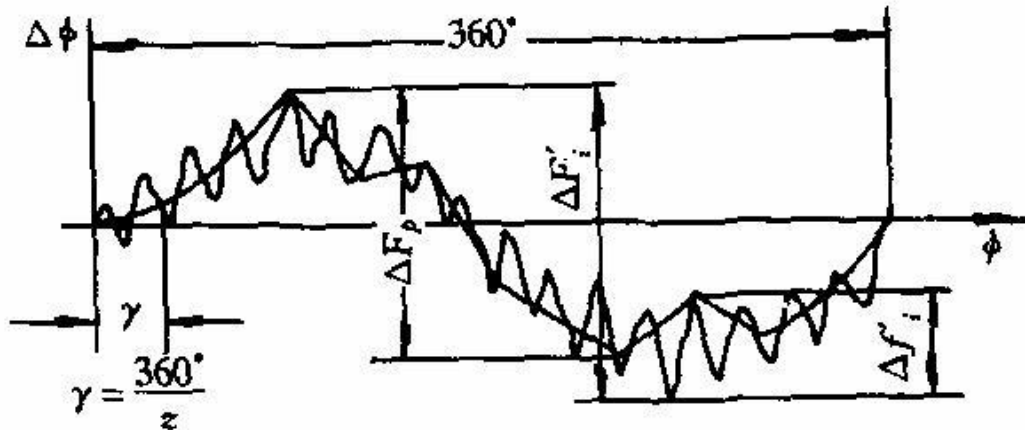
- 切向综合误差 ($\Delta F_i'$)
- 齿距累积误差 (ΔF_p) 及 K 个齿距累积误差 (ΔF_{pk})
- 齿圈径向跳动 (ΔF_r)
- 径向综合误差 ($\Delta F_i''$)
- 公法线长度变动 (ΔF_w)

切向综合误差 ($\Delta F_i'$)

- 切向综合误差 ($\Delta F_i'$) 指被测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合时, 在被测齿轮一转内, 实际转角

与公称转角之差的总幅度值。它以分度圆弧长计值。

- $\Delta F_i'$ 是指在齿轮单面啮合情况下测得的齿轮一转内转角误差的总幅度值，该误差是几何偏心、运动偏心加工误差的综合反映，因而是评定齿轮传递运动准确性的最佳综合评定指标。
- 但因切向综合误差是在单面啮合综合检查仪（简称单啮仪）上进行测量的，单啮仪结构复杂，价格昂贵，在生产车间很少使用。



齿距累积误差 (ΔF_p) 及 K 个齿距累积误差 (ΔF_{pk})

- 在分度圆上，任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的最大绝对值为齿距累积误差。 K 个齿距累积误差是指在分度圆上， K 个齿距间的实际弧长与公称弧长之差的最大绝对值， K 为 2 到小于 $Z/2$ 的整数
- 规定 ΔF_{pk} 是为了限制齿距累积误差集中在局部圆周上。
- 齿距累积误差反映了一转内任意个齿距的最大变化，它直接反映齿轮的转角误差，是几何偏心和运动偏心的综合结果。因而可以较为全面地反映齿轮的传递运动准确性，是一项综合性的评定项目。但因为只在分度圆上测量，故不如切向综合误差反映的全面。

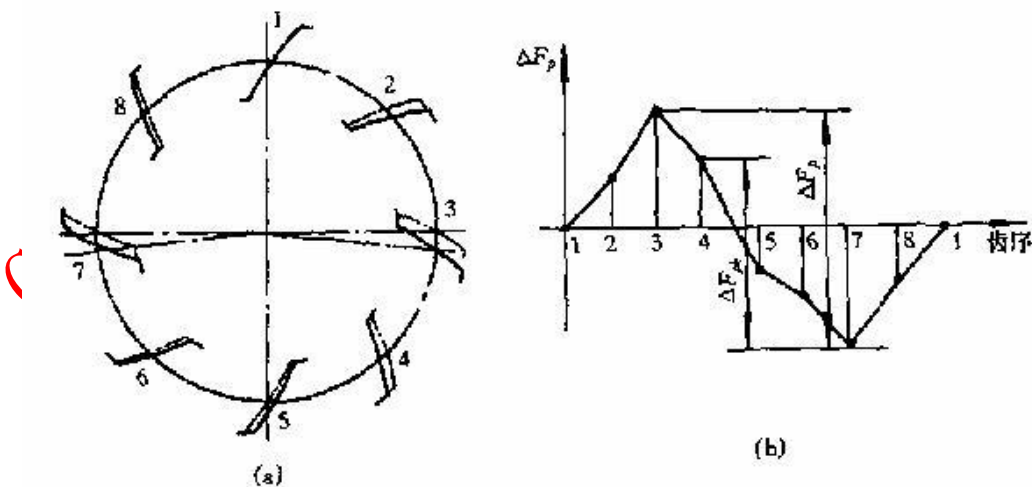


图 7-5

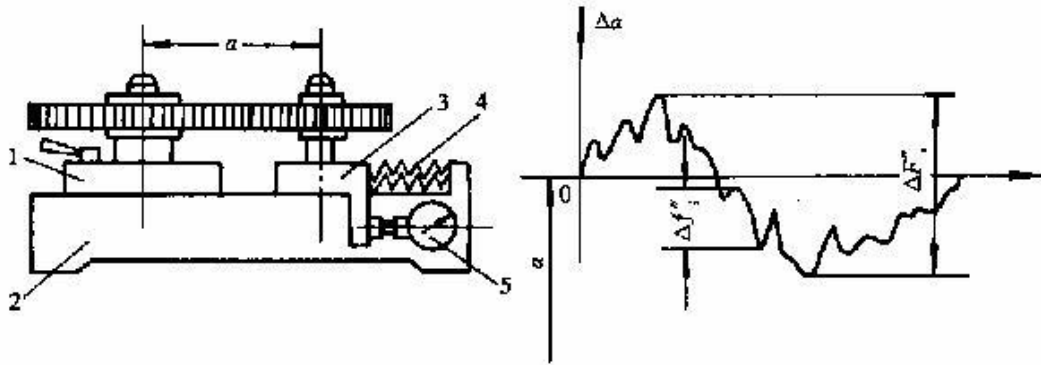
齿圈径向跳动 (ΔFr)

- 齿轮一转范围内，测头在齿槽内与齿高中部双面接触，测头相对于齿轮轴线的最大变动量称齿圈径向跳动。
- ΔFr 主要反映由于齿坯偏心引起的齿轮径向长周期误差。可用齿圈径向跳动检查仪测量，测头可以用球形或锥形。



图 7-6

径向综合误差



($\Delta Fi''$)

- 与理想精确的测量齿轮双面啮合时，在被测齿轮一转内，双啮中心距的最大变动量称为径向综合误差 $\Delta Fi''$ 。
- 当被测齿轮的齿廓存在径向误差及一些短周期误差（如齿形误差、基节偏差等）时，若它与测量齿轮保持双面啮合转动，其中心距就会在转动过程中不断改变，因此，径向综合误差主要反映由几何偏心引起的径向误差及一些短周期误差。
- 被测齿轮由于双面啮合综合测量时的啮合情况与切齿时的啮合情况相似，能够反映齿轮坯和刀具安装调整误差。测量所用仪器远比单啮仪简单，操作方便，测量效率高，故在大批量生产中应用很普通。但它只能反映径向误差，且测量状况与齿轮实际工作状况不完全相符。

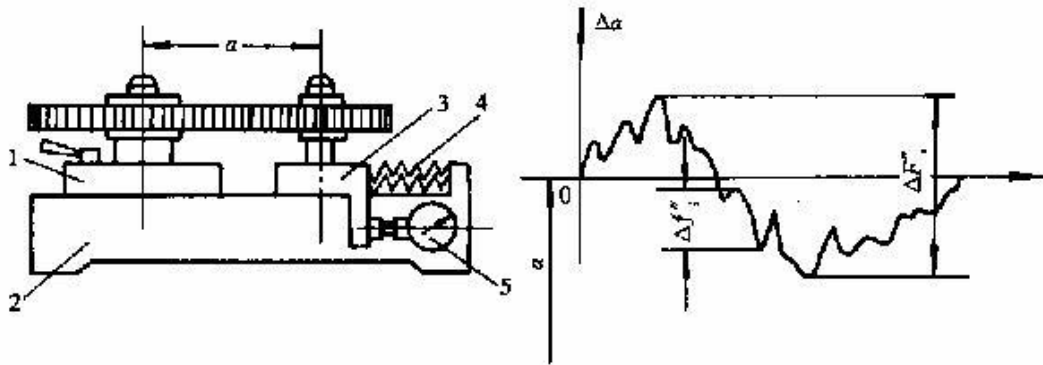


图 7-7

公法线长度变动 (ΔF_w)

- 在被测齿轮一周范围内，实际公法线长度的最大值与最小值之差称为公法线长度变动， $\Delta F_w = W_{max} - W_{min}$ 。
- 公法线长度的变动说明齿廓沿基圆切线方向有误差，因此公法线长度变动可以反映滚齿时由运动偏心影响引起的切向误差。由于测量公法线长度与齿轮基准轴线无关，因此公法线长度变动可用公法线千分尺、公法线卡尺等测量。



图 7-8

平稳性的评定指标

- 一齿切向综合误差 ($\Delta f_i'$)
- 一齿径向综合误差 ($\Delta f_i''$)
- 基节偏差 (Δf_{pb})
- 齿形误差 (Δf_f)
- 齿距偏差 (Δf_{pt})

一齿切向综合误差 ($\Delta f_i'$)

• 实测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合时，在被测齿轮一齿距角内，实际转角与公称转角之差的最大幅度值。

- $\Delta f_i'$ 主要反映由刀具和分度蜗杆的安装及制造误差所造成的，齿轮上齿形、齿距等各项短周期综合误差，

是综合性指标。其测量仪器与测量 $\Delta F_i'$ 相同，如图，切向综合误差曲线上的高频波纹即为 $\Delta f_i'$ 。

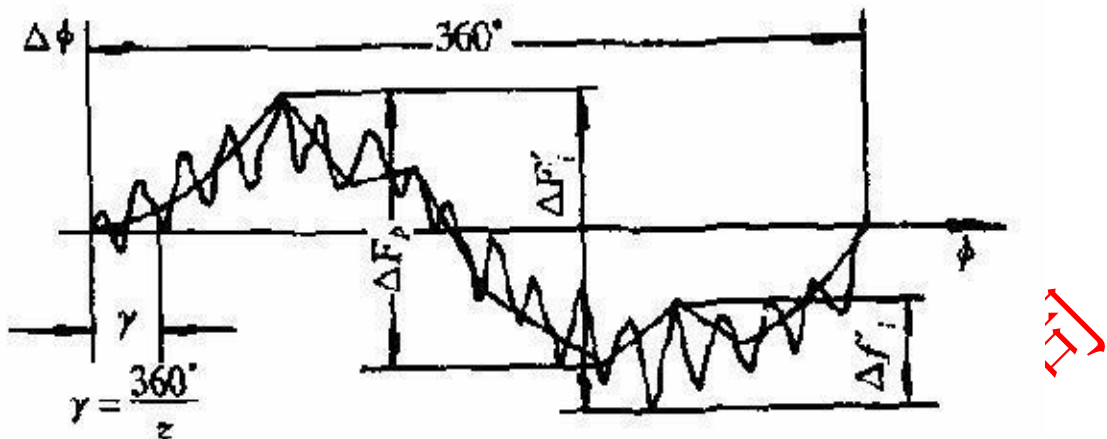


图 7-9

一齿径向综合误差 ($\Delta f_i''$)

- 被测齿轮与理想精确的测量齿轮双面啮合时，在被测齿轮一齿角内的最大变动量。
- $\Delta f_i''$ 综合反映了由于刀具安装偏心及制造所产生的基节和齿形误差，属综合性项目。可在测量径向综合误差时得出，即从记录曲线上量得高频波纹的最大幅度值。由于这种测量受左右齿面的共同影响，因而不如一齿切向综合误差反映那么全面。不宜采用这种方法来验收高精度的齿轮，但因在双啮仪上测量简单，操作方便，故该项目适用于大批量生产的场合。

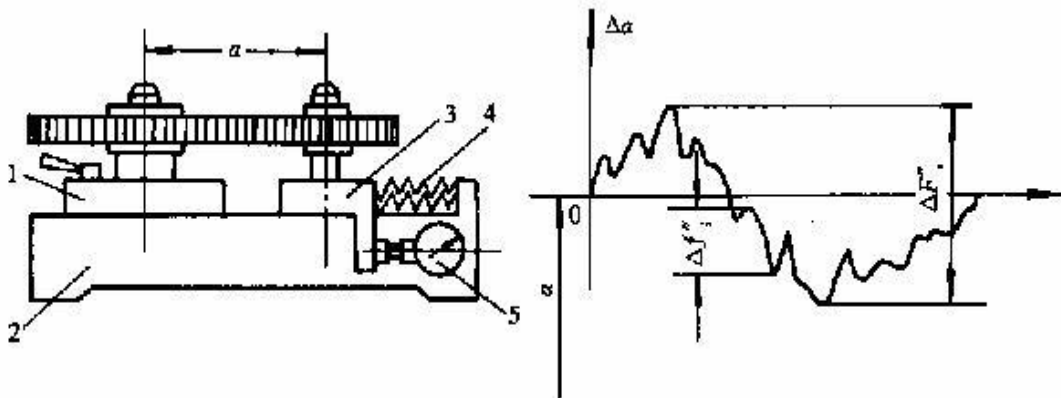


图 7-10

基节偏差 (Δf_{pb})

- 基节偏差是指实际基节与公称基节之差。
- 一对齿轮正常啮合时，当第一个轮齿尚未脱离啮合时，第二个轮齿应进入啮合。当两齿轮基节相等时，这种啮合过程将平稳地连续进行，若齿轮具有基节偏差，则这种啮合过程将被破坏，使瞬时速度比发生变化，产生冲击、振动。
- 基节偏差可用基节仪和万能测齿仪进行测量。

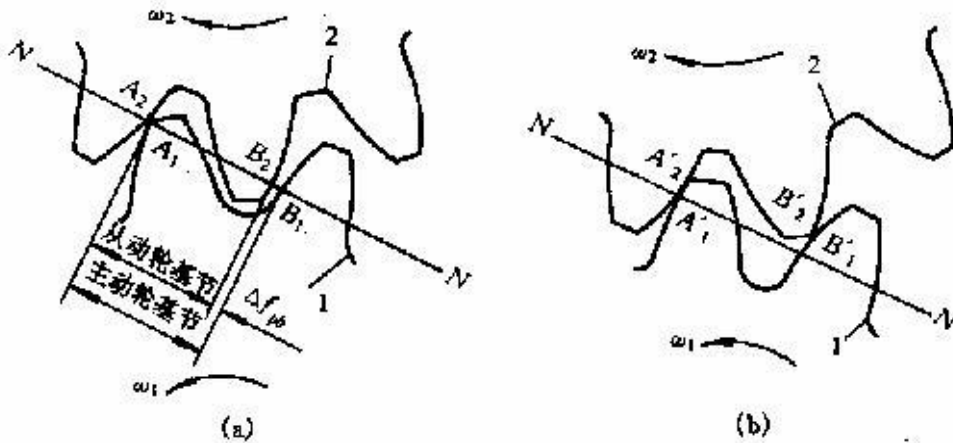


图 7-11

齿形误差 (Δf)

- 齿形误差是在端截面上，齿形工作部分内（齿顶部分除外），包容实际齿形且距离为最小的两条设计齿形间的法向距离。设计齿形可以根据工作条件对理论渐开线进行修正为凸齿形或修缘齿形。
- 齿形误差会造成齿廓面在啮合过程中使接触点偏离啮合线，引起瞬时传动比的变化，破坏了传动的平稳性。



图 7-12

齿距偏差 (Δf_{pt})

- 齿距偏差是指在分度圆上，实际齿距与公称齿距之差。
- 齿距偏差 Δf_{pt} 也将和基节偏差、齿形误差一样，在每一次转齿和换齿的啮合过程中产生转角误差。
- 齿距偏差可在测量齿距累积误差时得到，所以比较简单。该项偏差主要由机床误差产生。



图 7-13

接触精度的评定指标

- 齿轮工作时，两齿面接触良好，才能保证齿面上载荷分布均匀。在齿高方向上，齿形误差会影响两齿面的接触；在齿宽方向上，齿向误差会影响两齿面的接触。
- 齿向误差 (ΔF_{β})：在分度圆柱面上，齿宽有效部分范围内（端部倒角部分除外），包容实际齿线且距离为最小的两条设计齿向线之间的端面距离为齿向误差。
- 齿向线是齿面和分度圆柱面的交线。通常直齿轮的齿向线为直线，斜齿轮的齿向线是螺旋线。



图 7-14

侧隙的评定指标

- 为使齿轮啮合时有一定的侧隙,应将箱体中心距加大或将轮齿减薄。考虑到箱体加工与齿轮加工的特点,宜采用减薄齿厚的方法获得齿侧间隙(即基中心距制)。齿厚减薄量是通过调整刀具与毛坯的径向位置而获得的,其误差将影响侧隙的大小。此外,几何偏心和运动偏心也会引起齿厚不均匀,使齿轮工作时的侧隙也不均匀。

- 为控制齿厚减薄量,以获得必要的侧隙,可以采用下列评定指标:齿厚偏差(ΔES),公法线平均长度偏差(ΔEWm)

齿厚偏差(ΔES)

- 齿厚偏差是指在齿轮分度圆柱面上,齿厚的实际值与公称值之差。对于斜齿轮,指法向齿厚。
- 为了保证一定的齿侧间隙,齿厚的上偏差(ESS),下偏差(ESi)一般都为负值。



图 7-15

公法线平均长度偏差(ΔEWm)

- 公法线平均长度偏差 ΔEW 是指在齿轮一周内,公法线长度平均值与公称值之差。即
- $\Delta EWm = (W1+W2+\dots+Wn) / z - W$ 公称
- 齿轮因齿厚减薄使公法线长度也相应减小,所以可用公法线平均长度偏差作为反映侧隙的一项指标。通常是通过跨一定齿数测量公法线长度来检查齿厚偏差的。

齿轮副精度的评定指标

- 齿轮副切向综合误差 $\Delta Fic'$:装配好的齿轮副,在啮合转动足够多的转数内,一个齿轮相对于另一个齿轮的实际转角与公称转角之差的最大幅值。
- 齿轮副的一齿切向综合误差 $\Delta fic'$:装配好的齿轮副,在啮合转动足够多的转数内,一个齿轮相对于另一个齿轮的一个齿距的实际转角与公称转角之差的最大幅值。
- 齿轮副的接触斑点: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
- 齿轮副的侧隙:齿轮副的侧隙分圆周侧隙和法向侧隙。

渐开线圆柱齿轮传动精度的设计

- 齿轮精度等级的确定
- 齿轮误差检验组的选择
- 齿轮副侧隙的确定
- 图样标注

齿轮精度等级的确定

- 齿轮及齿轮副共规定有 12 个精度等级,用 1, 2, ..., 12 表示。其中 1 级精度最高,12 级精度最低。
- 齿轮和齿轮副的误差项目都规定了相应的公差或极限偏差,除接触斑点外,其余项目的公差代号均为对应的误差代号去掉 Δ ;并将单个齿轮的公差项目分为 I、II、III 公差组,各公差组中的公差项目、代号、所用公差值符号、公差值计算公式及齿轮副的有关公差列于表。

齿轮精度等级的确定(续)

- 齿轮的精度等级应根据齿轮的用途、使用要求、传递功率及圆周速度及其它技术要求而定,同时考虑切齿工艺及经济性。齿轮 3 个公差组的精度等级应分别规定,可采用同级,也可以不同级,但同一公差组中的项目必须同级。齿轮副中两齿轮对应公差组的精度采用同级,也允许不同级。
- 一般齿轮传动多按齿轮圆周线速度确定第 II 公差组的精度等级。当对传递运动准确性没有特别要求时,第 I 公差组的精度常比第 II 公差组低一个等级,当所传递的功率不特别大时,第 III 公差组一般采用和第 II 公差组相同的精度等级。

齿轮误差检验组的选择

- 按照表确定每一公差组的误差检验组时，应综合考虑检测的目的、齿轮的精度等级、生产规模及现有测量器具等因素。
- 检测目的。当齿轮的检测是为了验收产品，判断产品是否合格时，宜选用综合性项目。若测量的目的是为了进行工艺分析，查找误差原因时，宜选择单项检测项目。
- 精度等级。高精度的齿轮用于重要场合，因此应选择反映误差较为全面的综合性项目或较为重要的单项检测项目。对 6 级以上的齿轮，第 II 公差组采用单项检测项目时，必须检测 Δf_f 。而对于中低精度的齿轮可以用 ΔF_r 或 ΔF_w 进行单项检测。

齿轮误差检验组的选择（续）

- 加工工艺。如第 II 公差组用 Δf_f 与 Δf_{pt} 组合，适用于磨齿加工， Δf_f 反映砂轮齿形角误差， Δf_{pt} 反映机床分度误差。 Δf_f 与 Δf_{pb} 组合适合于滚齿和插齿加工，这时 Δf_f 反映齿轮齿面形状误差， Δf_{pb} 反映齿形角误差。
- 生产批量及检测设备。生产批量大时，应选择检测效率高的项目。如汽车、拖拉机行业，第 I 公差组多用 ΔF_i 的 ΔF_w 组合，因为 ΔF_i 检测方便迅速，可全数检验， ΔF_w 只需抽检即可。同时应尽量用同一台仪器测量多项误差。如第 I 公差组检验 ΔF_p ，第 II 公差组就应当选择 Δf_{pt} 与其它项目组合，因为两者测量方法相同。

齿轮副的最小法向极限侧隙 j_{nmin}

- 齿轮副的最小极限侧隙应根据齿轮工作时的温度和润滑条件确定，与齿轮的精度等级无关。高温工作的传动齿轮，为保证正常润滑，避免发热卡死，要求有较大的侧隙；而需正反转或读数机构的齿轮，为避免空程，则要求较小的侧隙。故设计选定的最小法向极限侧隙 j_{nmin} 。
- j_{nmin} 应等于为补偿温升变形而引起的最小侧隙量 j_{n1} 和为保证齿轮工作面的正常工作润滑所需的最小侧隙 j_{n2} 之和。即：

侧隙获得方法和齿厚极限偏差代号

- 获得侧隙的方法有两种，一种是基齿厚制，即固定齿厚的极限偏差，通过改变中心距的基本偏差来获得不同的最小极限侧隙，此方法用于中心距可调的机构。另一种方法是基中心距制，即固定中心距的极限偏差，通过改变齿厚的上偏差来得到不同的最小极限侧隙，国标采用后一种。
- 国标规定了 14 种齿厚极限偏差的数值，并用 14 个大写的英文字母表示。每一种代号代表的齿厚极限偏差的数值均以齿距极限偏差 (f_{pt}) 的倍数表示。

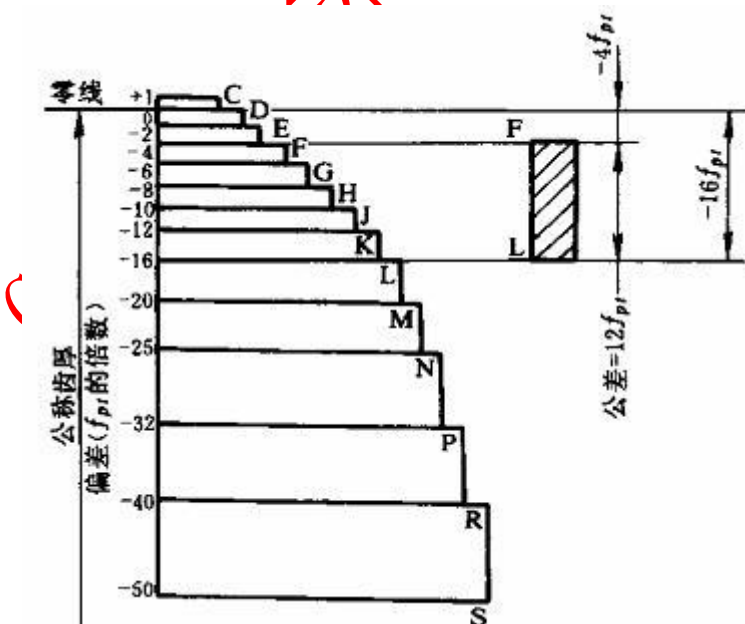


图 7-16

齿厚极限偏差的确定

- 选取齿厚极限偏差代号前，先根据齿轮副所要求的最小侧隙 j_{nmin} 等计算出齿厚上偏差 E_{ss} ，然后再根据切齿时进刀误差和能引起齿厚变化的齿圈径向跳动等算出齿厚的公差，最后再算出齿厚的下偏差 E_{si} 。
- 将算出的齿厚上、下偏差分别除以齿距极限偏差 f_{pt} ，再按所得的商值从上图中选取适当的齿厚偏差代号。国标规定，当计算所得的数值不能正好以 14 种偏差代号表示时，允许另行规定，在图样上直接标注齿厚极限偏差的数值。 HOME

图样标注

- 齿轮的结构尺寸及形式根据设计需要并参考有关手册而定。齿坯公差直接标注在工作图上，齿轮的主要参数（如模数 m_n 、齿数 z 、齿形角 α 、螺旋角 β 、变位系数 x 等）、精度等级及齿厚极限偏差代号，所选用的公差（或极限偏差）均应列表标注。
- 齿轮精度等级及齿厚极限偏差代号的标注见以下示例。

标注示例

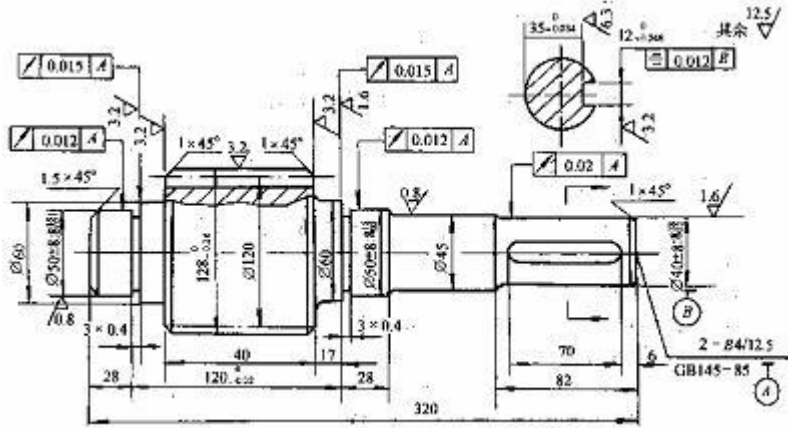
- 例：7—6—6 G M GB10095—88
- 表示齿轮第 I、II、III 公差组的精度分别为 7 级、6 级、6 级，齿厚上、下偏差代号分别为 G、M。
- 如果三个公差组的精度等级相同，则只需标注的一个数字：
- 例：7 F L G B 10095—88
- 表示齿轮第 I、II、III 公差组的精度同为 7 级，齿厚上、下偏差代号分别为 F、L。
- 例：4 () G B 10095—88
- 表示齿轮第 I、II、III 公差组的精度同为 4 级，齿厚上、下偏差值分别为 -0.330mm、-0.495mm。

标注示例

- 齿轮装配图上应标注齿轮副精度等级和齿轮副的极限侧隙：
- 例：副 7—6—6 () t G B 10095—88
- 表示齿轮副切向综合误差精度为 7 级，切向一齿综合误差精度为 6 级，接触斑点精度为 6 级，齿轮副最小、最大圆周侧隙分别为 +0.223mm、+0.388mm。

小齿轮工作图及标注


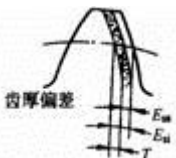
- 模数 m 4 基本极限偏差 $\pm f_{pb}$ ± 0.018
- 齿数 z 96 齿向公差 $F\beta$ 0.011
- 齿形角 α 20° 公法线平均长度极限偏差 129.37mm
- 精度等级 8—7—7 GK GB10095—88 跨齿数 n 11
- 齿圈径向跳动公差 F_r 0.071
- 公法线长度变动公差 F_w 0.050
- 齿形公差 f_f 0.016
- 技术要求：
 1. 正火 170~210HB；
 2. 未注圆角半径 R5，倒角 $2 \times 45^\circ$

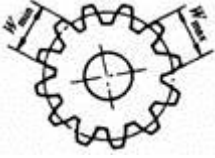

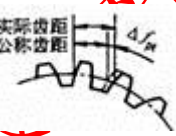


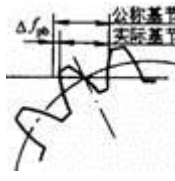
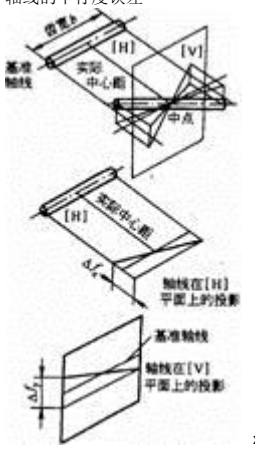

第九节 渐开线圆柱齿轮、圆锥齿轮精度和圆柱蜗杆、蜗轮精度

本标准摘自 GB 10095-88, 适用于平行轴传动的渐开线圆柱齿轮及其齿轮副, 其法向模数 $m_n = 1 \sim 40 \text{mm}$, 基本齿廓按 GB 1356-88.

表 9-9.1 常用的圆柱齿轮和齿轮副误差的定义和代号

名称	代号	定义	名称	代号	定义
 齿圈径向跳动	ΔF_r	在齿轮一转范围内, 测头在齿槽内于齿高中部双面接触, 测头相对于齿轮轴线的最大变动量	 齿厚偏差	ΔE_s	分度圆柱面上 ^① 齿厚实际值与公称值之差对于斜齿轮, 指法向齿厚
齿圈径向跳动公差	F_r		上偏差 下偏差 公差	E_{s+} E_{s-} T_s	

<p>公法线长度变动</p> 	<p>ΔF_w</p> <p>F_w</p>	<p>在齿轮一周范围内, 实际公法线长度最大值与最小值之差: $\Delta F_w = F_{w\max} - F_{w\min}$</p>	<p>公法线平均长度偏差 公法线平均长度极限偏差 上偏差 下偏差 公差</p>	<p>ΔF_{wm}</p> <p>F_{wm}</p> <p>F_{wm}</p> <p>F_{wm}</p>	<p>在齿轮一周内, 公法线长度平均值与公称值之差</p>
<p>公法线长度变动公差</p> <p>齿形误差</p> 	<p>Δf_i</p> <p>f_i</p>	<p>在端截面上^①, 齿形工作部分内 (齿顶倒棱部分除外), 包容实际齿形的两条最近的设计齿形间的法向距离 设计齿形可以是修正的理论渐开线, 包括修缘齿形、凸齿形等</p>	<p>齿轮副的中心距偏差</p> <p>齿轮副的中心距极限偏差</p> <p>齿距偏差</p>  <p>齿距极限偏差</p>	<p>Δf_o</p> <p>$\pm f_o$</p> <p>Δf_{po}</p> <p>$\pm f_{po}$</p>	<p>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</p> <p>在分度圆上, 实际齿距与公称齿距之差公称是指所有实际齿距的平均值</p>

<p>基节偏差</p>  <p>Δf_{pb}</p>	<p>Δf_{pb}</p> <p>实际基节与公称基节之差实际基节是指基圆柱切平面所截两相邻同侧齿面之间的法向距离</p> <p>$\pm f_{pb}$</p>	<p>轴线的平行度误差</p>  <p>方向轴线的平行度误差 y 方向轴线的平行度误差</p>	<p>Δf_x Δf_y</p> <p>一对齿轮的轴线在其基准平面[H]上投影的平行度误差 在等于齿宽的长度上测量 一对齿轮的轴线,在垂直于基准平面,并且平行于基准轴线的平面[V]上投影的平行度误差 在等于齿宽的长度上测量 注: 包含基准轴线并通过由另一轴线与齿宽中间平面相交的点所形成的平面,称为基准平面。两条轴线中任何一条轴线都可作为基准轴线</p>
<p>基节极限偏差</p> <p>齿向误差</p>  <p>ΔF_{β}</p> <p>F_{β}</p>	<p>在分度圆柱面上, 齿宽有效部分范围内 (端部倒角部分除外), 包容实际齿线的两条设计齿线之间的端面距离, 设计齿线可以是修正的圆柱螺旋线, 包括鼓形线、齿端修薄及其他修形曲线</p>	<p>方向轴线的平行度误差 y 方向轴线的平行度误差</p>	

齿向误差

- ① 允许用检查被测齿轮和测量蜗杆啮合时齿轮齿面上的接触迹线 (可称为“啮合齿形”) 代替, 但应按基圆切线方向计值。
- ② 允许在齿高中部测量, 但仍按分度圆柱面上计值。

一、渐开线圆柱齿轮精度

1. 精度等级及检验要求

本标准对齿轮及齿轮副规定了 12 个精度等级, 第 1 级的精度最高, 第 12 级精度最低。

按照误差的特性及它们对传动性能的主要影响, 将齿轮的各项公差分成三个组 (见表 9-9.2)。允许各公差组选用不同的精度等级, 但在同一公差组内, 各项公差与极限偏差应保持相同的精度等级。

表 9-9.2 齿轮各项公差的分组

公差组	公差与极限偏差项目	误差特性	对传动性能的主要影响
I	$F_p, F_{p\alpha}, F_{pb}, F_{\beta}, F_w$	以齿轮一转为期误差	传递运动的准确性
II	$f_{\alpha}, f_{\alpha'}, \pm f_{\alpha\alpha}, \pm f_{\alpha\alpha'}, f_{\beta}, f_{\beta'}$	在齿轮一周内, 多次周期地重复出现的误差	传动的平稳性、噪声、振动
III	$F_{\beta}, F_b, \pm F_{\beta\alpha}$	齿向线的误差	载荷分布的均匀性

注: F' 一切向综合公差; F'_o 一齿距累积公差; F'_{ok} 一K个齿距累积公差; F'_r 一径向综合公差; F'_r 一齿圈径向跳动公差; F'_w 一公法线长度变动公差; f'_i 一一切向综合公差; f'_r 一齿形公差; $\pm f'_{ol}$ 一齿距极限偏差; $\pm f'_{ob}$ 一基节极限偏差; f''_i 一齿径向综合公差; f''_o 一螺旋线波度公差; F''_o 一齿向公差; F''_b 一接触线公差; $\pm F''_{ox}$ 一轴向齿距极限偏差。

齿轮精度应根据传动的用途、使用条件、传递功率、圆周速度等要素来决定。齿轮第 II 组精度与圆周速度的关系见表 9-9.3。

根据具体的工作要求和生产规模,对每个齿轮,必须在三个公差组中选一个检验组来检验,另外再选择第四检验组来检验齿轮副的精度及侧隙大小。表 9-9.4 列出了减速器中常见的 7~9 级精度的齿轮检验项目。

表 9-9.3 齿轮第 II 组精度与圆周速度的关系

齿的种类	齿面硬度 /HBS	第 II 组精度等级				
		6	7	8	9	10
		圆周速度 / (m/s)				
直齿	≤350	≤18	≤12	≤6	≤4	≤3
	>350	≤15	≤10	≤5	≤3	≤2
斜齿	≥350	≤36	≤25	≤12	≤8	≤5
	>350	≤30	≤20	≤9	≤6	≤1.5

注: 此表不属于国家标准内容,仅供参考。

表 9-9.4 推荐的圆柱齿轮和齿轮副检验项目

项目	精度等级	精度等级	
		7~8	9
公差组	I	F'_r 与 F'_w	
	II	f'_i 与 $\pm f'_{ob}$ 或 f'_r 与 $\pm f'_{ol}$	$\pm f'_{ol}$ 与 $\pm f'_{ob}$
	III	接触斑点或 F''_b	
齿轮副	对齿轮	F'_w 或 F'_r	
	对传动	接触斑点, $\pm f''_o$	
	对箱体	f''_x, f''_r	
齿轮毛坯公差		项圆直径公差, 基准面的径向跳动公差, 基准面的端面跳动公差	

2. 齿轮副侧隙的规定

齿轮副的侧隙是通过选择适当的中心距偏差, 齿厚极限偏差 (或公法线平均长度偏差) 等来保证。标准中规定了 14 种齿厚的极限偏差, 分别用代号 C、D、E、……S 来表示, 见表 9-9.5。齿厚的极限偏差中的上偏差 E_s 和下偏差 E_i 分别用两个偏差代号来确定。例如上偏差选用 F 下偏差选用 L , 则齿厚极限偏差用代号 FL 表示,如图 9-4 所示。

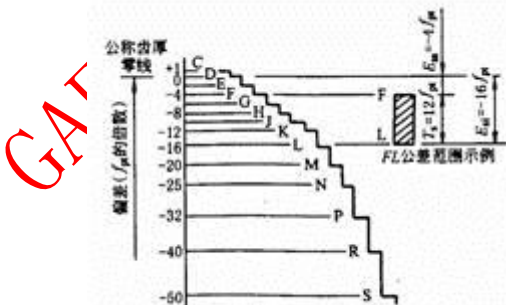


表 9-9.5 齿厚极限偏差

C +1 f_{ot}	G -6 f_{ot}	L -16 f_{ot}	R -40 f_{ot}
D 0	H -8 f_{ot}	M -20 f_{ot}	S -50 f_{ot}
E -2 f_{ot}	J -10 f_{ot}	N -25 f_{ot}	
F -4 f_{ot}	K -12 f_{ot}	P -32 f_{ot}	

注: 对外啮合齿轮

公法线平均长度上偏差 $E_{wms} = E_{ss} \cos \alpha - 0.72F_r \sin \alpha$
 公法线平均长度下偏差 $E_{wmi} = E_{si} \cos \alpha - 0.72F_r \sin \alpha$
 公法线平均长度公差 $T_{wm} = T_s \cos \alpha - 1.44F_r \sin \alpha$

图 9-4 齿厚极限偏差代号

表 9-9.6 齿厚极限偏差 E_s 参考值

μm

II 组 精度	法向模数 m_n /mm	分度圆直径 /mm							
		≤ 80	>80 ~125	>125 ~180	>180 ~250	>250 ~315	>315 ~400	>400 ~500	>500 ~630
7	$\geq 1 \sim 3.5$	HR $\begin{pmatrix} -112 \\ -148 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -112 \\ -148 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -128 \\ -192 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -128 \\ -192 \end{pmatrix}$	JL $\begin{pmatrix} -140 \\ -254 \end{pmatrix}$	KL $\begin{pmatrix} -192 \\ -254 \end{pmatrix}$	JL $\begin{pmatrix} -180 \\ -288 \end{pmatrix}$	KM $\begin{pmatrix} -214 \\ -340 \end{pmatrix}$
	$>3.5 \sim 6.3$	GJ $\begin{pmatrix} -108 \\ -180 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -108 \\ -180 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -120 \\ -200 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -120 \\ -240 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -140 \\ -240 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -140 \\ -240 \end{pmatrix}$	JL $\begin{pmatrix} -200 \\ -320 \end{pmatrix}$	JL $\begin{pmatrix} -200 \\ -320 \end{pmatrix}$
	$>6.3 \sim 10$	GH $\begin{pmatrix} -120 \\ -140 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -120 \\ -140 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -132 \\ -220 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -132 \\ -220 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -174 \\ -244 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -174 \\ -244 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -174 \\ -244 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -200 \\ -300 \end{pmatrix}$
8	$\geq 1 \sim 3.5$	GJ $\begin{pmatrix} -120 \\ -200 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -120 \\ -200 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -132 \\ -220 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -174 \\ -244 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -174 \\ -244 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -174 \\ -244 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -200 \\ -300 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -200 \\ -300 \end{pmatrix}$
	$>3.5 \sim 6.3$	FG $\begin{pmatrix} -100 \\ -150 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -150 \\ -200 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -168 \\ -280 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -168 \\ -280 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -168 \\ -280 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -168 \\ -280 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -224 \\ -334 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -224 \\ -334 \end{pmatrix}$
	$>6.3 \sim 10$	FG $\begin{pmatrix} -112 \\ -148 \end{pmatrix}$	FG $\begin{pmatrix} -112 \\ -148 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -128 \\ -234 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -192 \\ -234 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -192 \\ -234 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -192 \\ -234 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -214 \\ -238 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -214 \\ -340 \end{pmatrix}$
9	$\geq 1 \sim 3.5$	FH $\begin{pmatrix} -112 \\ -224 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -168 \\ -280 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -192 \\ -320 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -192 \\ -320 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -192 \\ -320 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -274 \\ -364 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -288 \\ -432 \end{pmatrix}$	HR $\begin{pmatrix} -288 \\ -432 \end{pmatrix}$
	$>3.5 \sim 6.3$	FG $\begin{pmatrix} -144 \\ -216 \end{pmatrix}$	FG $\begin{pmatrix} -144 \\ -216 \end{pmatrix}$	FH $\begin{pmatrix} -160 \\ -320 \end{pmatrix}$	FH $\begin{pmatrix} -160 \\ -320 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -240 \\ -400 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -240 \\ -400 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -240 \\ -400 \end{pmatrix}$	GJ $\begin{pmatrix} -240 \\ -400 \end{pmatrix}$
	$>6.3 \sim 10$	FG $\begin{pmatrix} -160 \\ -240 \end{pmatrix}$	FG $\begin{pmatrix} -160 \\ -240 \end{pmatrix}$	FG $\begin{pmatrix} -180 \\ -270 \end{pmatrix}$	FG $\begin{pmatrix} -180 \\ -270 \end{pmatrix}$	FG $\begin{pmatrix} -180 \\ -270 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -270 \\ -340 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -300 \\ -400 \end{pmatrix}$	GH $\begin{pmatrix} -300 \\ -400 \end{pmatrix}$

注：本表不属于 GB 10095-38，仅供参考。表中偏差值适用于一般传动。

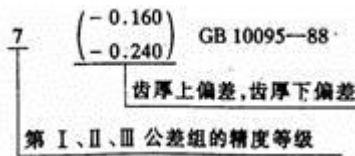
3. 图样标注

在齿轮工作图上应标注齿轮的精度等级和齿厚极限偏差的字母代号。标注示例：



① 齿轮第 I 公差组精度为 7 级，第 II 公差组精度为 8 级，第 III 公差组精度为 8 级，齿厚上偏差为 G，齿厚下偏差为 J。

② 齿轮的三个公差组精度同为 7 级，其齿厚上偏差为 $-160^{\mu m}$ ，下偏差为 $-240^{\mu m}$ 。



4. 齿轮精度数值表

表 9-9.7 齿轮有关 F_r 、 F_w 、 f_r 、 f_{Dv} 、 f_{ob} 及 F_{θ} 值

μm

分度圆	法向模数	第 I 公差组	第 II 公差组	第 III 公差组
-----	------	---------	----------	-----------

直径 /mm	m_a /mm	齿圈径向跳动 公差 F_r			公法线长度变 动公差 F_w			齿形公差 f_r			齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$			基节极限偏差 $\pm f_{pb}$			齿向公差 F_β						
		7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	齿轮 宽度 /mm	精度等级					
大于 到	125	$\geq 1 \sim 3.5$	36	45	71				11	14	22	14	20	28	13	18		25	—	40	11	18	28
		$> 3.5 \sim 6.3$	40	50	80	28	40	56	14	20	32	18	25	36	16	22	32	40		100	16	25	40
		$> 6.3 \sim 10$	45	56	90				17	22	36	20	28	40	18	25	36	40		100	16	25	40
125	400	$\geq 1 \sim 3.5$	50	63	80				13	18	28	16	22	32	14	20	30	40	100	160	20	32	50
		$> 3.5 \sim 6.3$	56	71	100	36	50	71	16	22	36	20	28	40	18	25	36		100	160	20	32	50
		$> 6.3 \sim 10$	63	86	112				19	28	45	22	32	45	20	30	40		100	160	20	32	50
400	800	$\geq 1 \sim 3.5$	63	80	100				17	25	40	18	25	36	16	22	32	160	250	24	38	60	
		$> 3.5 \sim 6.3$	71	90	112	45	63	90	20	28	45	20	28	40	18	25	36		160	250	24	38	60
		$> 6.3 \sim 10$	80	100	125				24	36	56	25	36	50	22	32	45		160	250	24	38	60

表 9-9.8 接触斑点

接触斑点	单位	精度等级		
		7	8	9
按高度不小于	%	45 (35)	40 (30)	30
按长度不小于	%	60	50	40

注: 1.接触斑点的分布位置应趋近齿面中部, 齿顶和两端部棱边处不允许接触。

2.括号内数值, 用于轴重合度 $\Delta_s > 0.8$ 的斜齿。

表 9-9.9 中心距极限偏差 $\pm f_a$ 值

μm

表 9-9.10 齿坯尺寸和形状公差

第 II 公差组精度等级		7, 8	9
f_a		$\frac{1}{2} IT8$	$\frac{1}{4} IT9$
齿	大于 30	19.5	31
	到 50	23	37
副	80	27	43.5
	120	31.5	50
中	180	36	57.5
	250	40.5	65
心	315	44.5	70
	400	48.5	77.5
距	500	55	87
	630		

齿轮精度等级 ^①		7, 8	9
孔	尺寸公差	IT7	IT8
	形状公差		
轴	尺寸公差	IT6	IT7
	形状公差		
顶圆直径 ^②		IT8	IT9

①当三个公差组的精度等级不同时, 按最高的精度等级确定公差值。

②当顶圆不作测量齿厚的基准时, 尺寸公差按 IT11 给定, 但不大于

$0.1 m_a$ 。

表 9-9.11 轴线平行度公差

x 方向轴线平行公差 $f_s = F_\beta$	F_β 见表 9-9.7
y 方向轴线平行公差 $f_y = \frac{1}{2} F_\beta$	

表 9-9.12 齿坯基准面径向和端面圆跳动公差 μm

分度圆直径/mm		精度等级	
大于	到	7, 8	9

表 9-9.13 齿轮表面粗糙度 R_a 推荐值 μm

—	125	18	28
125	400	22	36
400	800	32	50

注：当以顶圆作基准面时，本栏就指顶圆的径向跳动。

第II组 精度 等级	表面粗糙度				
	齿顶 圆柱面	基准 端面	齿面	基准孔	基准轴
	7	1.6	1.6 3.2	0.8 1.6	0.8
8	3.2		1.6		
9	6.3	3.2		1.6	

表 9-9.14 公法线长度 L' ($m=1, \alpha=20^\circ$) mm

齿轮 齿数	跨测 齿数	公法线长度 L'	齿轮 齿数	跨测 齿数	公法线长度 L'	齿轮 齿数	跨测 齿数	公法线长度 L'	齿轮 齿数	跨测 齿数	公法线长度 L'	齿轮 齿数	跨测 齿数	公法线长度 L'
36	5	13.7888	71	8	1353	106	12	4340	141	16	7327			
37	5	13.8028	72	9	26.1015	107	12	4481	142	16	7468			
38	5	8168	73	9	26.1155	108	13	38.4142	143	16	7608			
39	5	8308	74	9	1295	109	13	38.4282	144	17	50.7270			
40	5	8448	75	9	1435	110	13	4422	145	17	50.7409			
41	5	13.8588	76	9	1575	111	13	4562	146	17	7549			
42	5	8728	77	9	1715	112	13	4702	147	17	7689			
43	5	8868	78	9	1855	113	13	4842	148	18	7829			
44	5	9008	79	9	1995	114	13	4982	149	18	7969			
45	6	16.8670	80	9	2135	115	13	5122	150	18	8109			
46	6	16.8810	81	10	29.1797	116	13	5262	151	18	8249			
47	6	8950	82	10	29.1937	117	14	41.4924	152	18	8389			
48	6	9090	83	10	2077	118	14	41.5064	153	18	53.8051			
49	6	9230	84	10	2217	119	14	5204	154	18	53.8191			
50	6	9370	85	10	2357	120	14	5344	155	18	8331			
51	6	9510	86	10	2497	121	14	41.5484	156	19	8471			
52	6	9660	87	10	2637	122	14	5624	157	19	8611			
53	6	9790	88	10	2777	123	14	5764	158	19	8751			
54	7	19.9452	89	10	2917	124	14	5904	159	19	8891			
55	7	19.9591	90	11	32.2579	125	14	6044	160	19	9031			
56	7	19.9731	91	11	32.2718	126	15	44.5706	161	19	53.9171			
57	7	9871	92	11	2858	127	15	44.5846	162	19	56.8833			
58	7	20.0011	93	11	2998	128	15	5986	163	19	56.8972			
59	7	20.0152	94	11	3138	129	15	6126	164	19	9113			
60	7	0292	95	11	3279	130	15	6266	165	19	9253			

26	3	7445	61	7	0432	96	11	32.3419	131	15	6406	166	19	9393
27	4	10.7106	62	7	0572	97	11	3559	132	15	6546	167	19	9533
28	4	10.7246	63	8	23.0233	98	11	3699	133	15	6686	168	19	9673
29	4	7386	64	8	23.0373	99	12	35.3361	134	15	6826	169	19	9813
30	4	7526	65	8	0513	100	12	35.3500	135	16	47.6490	170	19	9953
31	4	7666	66	8	0653	101	12	3640	136	16	47.6627	171	20	59.9615
32	4	7806	67	8	0793	102	12	3780	137	16	6767	172	20	59.9754
33	4	7946	68	8	0933	103	12	3920	138	16	6907	173	20	9894
34	4	8086	69	8	1073	104	12	4060	139	16	7047	174	20	60.0034
35	4	8226	70	8	1213	105	12	4200	140	16	7187	175	20	0174

注：1. 对标准直齿圆柱齿轮，公法线长度 $L = L'm$ ； L' 为 $m = 1mm$ ， $\alpha = 20^\circ$ 时的公法线长度。
2. 对变位直齿圆柱齿轮，当变位系数较小， $|k| < 0.3$ 时，跨测齿数 n 不变，按照上表查出；而公法线长度 $L = (L' + 0.684x)m$ ， x 为变位系数；当变位系数 x 较大， $|k| > 0.3$ 时跨测齿数 n' ，可按下式计算：

$$n' = z \frac{\alpha_n}{180^\circ} + 0.5 \quad \text{式中 } \alpha_n = \arccos \frac{2d \cos \alpha}{d_n + d_f}$$

而公法线长度为 $L = [2.952(n' - 0.5) + 0.014z + 0.684x]m$

3. 斜齿轮的公法线长度在法面内测量，其值可按上表确定，但必须根据假想齿数 z' 查表， z' 按下式计算：
式中 κ 与分度圆柱上齿的螺旋角 β 有关的假想齿数系数，见表 9-9.15。

假想齿数常非整数，其小数部分 $\Delta z'$ 所对应的公法线长度 $\Delta L'$ 可查表 9-9.16。

故总的公法线长度 $L_n = (L' + \Delta L')m_n$

式中 m_n 一法面模数， L' 一与假想齿数 z' 整数部分相对应的公法线长度，查表 9-9.15。

表 9-9.15 假想齿数系数 κ ($\alpha = 20^\circ$)

β (°)	κ	差值	β (°)	κ	差值	β (°)	κ	差值	β (°)	κ	差值
1	1.000	0.002	11	1.054	0.011	21	1.216	0.024	31	1.548	0.047
2	1.002	0.002	12	1.065	0.012	22	1.240	0.026	32	1.595	0.051
3	1.004	0.003	13	1.077	0.013	23	1.266	0.027	33	1.646	0.054
4	1.007	0.004	14	1.090	0.014	24	1.293	0.030	34	1.700	0.058
5	1.011	0.005	15	1.114	0.015	25	1.323	0.031	35	1.758	0.062
6	1.016	0.006	16	1.119	0.017	26	1.354	0.034	36	1.820	0.067
7	1.022	0.006	17	1.136	0.018	27	1.388	0.036	37	1.887	0.072
8	1.028	0.008	18	1.154	0.019	28	1.424	0.038	38	1.959	0.077
9	1.036	0.009	19	1.173	0.021	29	1.462	0.042	39	2.036	0.083
10	1.045	0.009	20	1.194	0.022	30	1.504	0.044	40	2.119	0.088

注：对于 β 中插值的系数 κ 和差值可按内插法求出。

表 9-9.16 $\Delta z'$ 的公法线长度 $\Delta L'$ mm

$\Delta z'$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0001	0.0003	0.0004	0.0006	0.0007	0.0008	0.0010	0.0011	0.0013
0.1	0.0014	0.0015	0.0017	0.0018	0.0020	0.0021	0.0022	0.0024	0.0025	0.0027
0.2	0.0028	0.0029	0.0031	0.0032	0.0034	0.0035	0.0036	0.0038	0.0039	0.0041
0.3	0.0042	0.0043	0.0045	0.0046	0.0048	0.0049	0.0051	0.0052	0.0053	0.0055
0.4	0.0056	0.0057	0.0059	0.0060	0.0061	0.0063	0.0064	0.0066	0.0067	0.0069
0.5	0.0070	0.0071	0.0073	0.0074	0.0076	0.0077	0.0079	0.0080	0.0081	0.0083
0.6	0.0084	0.0085	0.0087	0.0088	0.0089	0.0091	0.0092	0.0094	0.0095	0.0097



0.7	0.0098	0.0099	0.0101	0.0102	0.0104	0.0105	0.0106	0.0108	0.0109	0.0111
0.8	0.0112	0.0114	0.0115	0.0116	0.0118	0.0119	0.0120	0.0122	0.0123	0.0124
0.9	0.0126	0.0127	0.0129	0.0132	0.0130	0.0133	0.0135	0.0136	0.0137	0.0139

注: 如 $\Delta s' = 0.47$ 时, 由上表查得 $\Delta s = 0.0066$

表 9-9.17 非变位直齿圆柱齿轮分度圆上弦齿厚及弦齿高 ($\alpha = 20^\circ, k'_a = 1$)

弦齿厚 $S_n = X_n m$			弦齿高 $h_n = X_n m$								
齿数 z	X_1	X_2	齿数 z	X_1	X_2	齿数 z	X_1	X_2	齿数 z	X_1	X_2
10	1.5643	1.0616	41		1.0150	73		1.0085	106		1.0058
11	1.5655	1.0560	42	1.5704	1.0147	74	1.5707	1.0084	107		1.0058
12	1.5663	1.0514	43		1.0143	75		1.0083	108	1.5707	1.0057
13	1.5670	1.0474	44		1.0140	76		1.0081	109		1.0057
14	1.5675	1.0440	45		1.0137	77		1.0080	110		1.0056
15	1.5679	1.0411	46		1.0134	78	1.5707	1.0079	111		1.0056
16	1.5883	1.0385	47		1.0131	79		1.0078	112		1.0055
17	1.5686	1.0362	48	1.5705	1.0128	80		1.0077	113	1.5707	1.0055
18	1.5688	1.0342	49		1.0126	81		1.0076	114		1.0054
19	1.5690	1.0324	50		1.0123	82		1.0075	115		1.0054
20	1.5692	1.0308	51		1.0121	83	1.5707	1.0074	116		1.0053
21	1.5694	1.0294	52		1.0119	84		1.0073	117		1.0053
22	1.5695	1.0281	53		1.0116	85		1.0072	118	1.5707	1.0053
23	1.5696	1.0268	54	1.5705	1.0114	86		1.0072	119		1.0052
24	1.5697	1.0257	55		1.0112	87		1.0071	120		1.0052
25		1.0247	56		1.0110	88	1.5707	1.0070	121		1.0051
26	1.5698	1.0237	57		1.0108	89		1.0069	122		1.0051
27		1.0228	58	1.5706	1.0106	90		1.0068	123	1.5707	1.0050
28	1.5699	1.0220	59		1.0105	91		1.0068	124		1.0050
29		1.0213	60		1.0102	92		1.0067	125		1.0049
30	1.5700	1.0206	61		1.0101	93	1.5707	1.0066	126		1.0049
31		1.0199	62		1.0100	94		1.0065	127		1.0049
32	1.5701	1.0193	63	1.5706	1.0098	95		1.0064	128	1.5707	1.0048
33		1.0187	64		1.0097	96		1.0064	129		1.0048
34	1.5702	1.0181	65		1.0095	97		1.0064	130		1.0047
35		1.0176	66		1.0094	98	1.5707	1.0063	131		1.0047
36	1.5703	1.0171	67	1.5706	1.0092	99		1.0062	132		1.0047
37		1.0167	68		1.0091	100		1.0061	133	1.5708	1.0047
38	1.5704	1.0162	69		1.0090	101		1.0061	134		1.0046
39		1.0158	70	1.5707	1.0088	102	1.5707	1.0060	135		1.0046
			71	1.5707	1.0087	103		1.0060	140	1.57081	1.0044

40	1.0154	72	1.0086	104	1.0059	145	1.0042
				105	1.0059	150	1.0041
						齿条	1.0000

注: 1.对于斜齿圆柱齿轮和圆锥齿轮, 使用本表时, 应以当量齿数 z_v 代替 z (斜齿轮: $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$; 锥齿轮 $z_v = \frac{z}{\cos \delta}$)。

2. z_v 非整数时, 可用插值法求出。

二、渐开线圆锥齿轮精度

本标准摘自 GB 11365—89, 适用于中点法向模数 $m_n \geq 1\text{mm}$ 的直齿、斜齿、曲线齿锥齿轮和准双曲面齿轮。

1. 精度等级及检验要求

本标准对锥齿轮及齿轮副规定了 12 个精度等级, 1 级精度最高, 12 级精度最低。

按照公差的特性对传动性能的影响, 将锥齿轮与齿轮副的公差项目分成三个公差组 (见表 9-9.18)。根据使用要求的不同, 允许各公差组以不同精度等级组合, 但对齿轮副中两齿轮的同一公差组, 应规定同一精度等级。

锥齿轮的精度应根据传动用途、使用条件、传递功率、圆周速度及其他技术要求决定。锥齿轮第 II 组公差的精度等级可参考表 9-9.19 进行选择。

锥齿轮及齿轮副的检验项目应根据工作要求和生产规模确定。对于 7、8、9 级精度的一般齿轮传动, 推荐的检验项目见表 9-9.20。

表 9-9.18 锥齿轮各项公差的分组

公差组	公差与极限偏差项目	误差特性	对传动性能的主要影响
I	$F_t, F_r, F_{p1}, F_{p2}, F_{\Sigma}$	在齿轮一转周期的误差	传递运动的准确性
II	$f_{t1}, f_{t2}, f_{\Sigma}, \pm f_{p1}, \pm f_{p2}$	在齿轮一周内, 多次周期地重复出现的误差	传动的平稳性
III	接触斑点	齿向线的误差	载荷分布的均匀性

注: F_t — 切向综合公差; F_p — 齿距累积公差; F_{pk} — k 个齿距累积公差; F_r — 齿圈跳动公差; F_{Σ} — 轴交角综合公差;
 f_t — 齿切向综合公差; f_{Σ} — 齿轴交角综合公差; f_{pi} — 一周期误差的公差; $\pm f_{pi}$ — 齿距极限偏差; f_{Σ} — 齿形相对误差的公差。

表 9-9.19 锥齿轮第 II 组精度等级的选择

第 II 组 精度等级	直齿		非直齿	
	$\leq 350\text{HBS}$	$> 350\text{HBS}$	$\leq 350\text{HBS}$	$> 350\text{HBS}$
	圆周速度 (\leq) (m/s)			
7	7	6	16	13
8	4	3	9	7
9	3	2.5	6	5

注: 1.表中的圆周速度按圆锥齿轮平均直径计算。

2.此表不属于国家标准内容, 仅供参考。

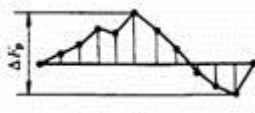


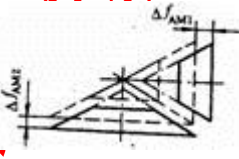
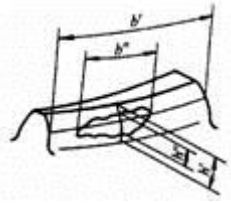
表 9-9.20 推荐的锥齿轮和锥齿轮副检验项目

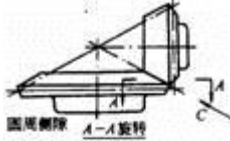

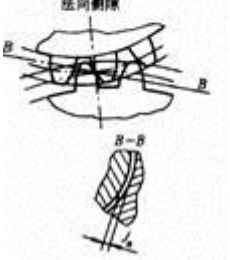
项目	精度等级		
	7	8	9
公差组	I	F_t 或 F_r	F_r
	II	$\pm f_{pi}$	
	III	接触斑点	
锥齿轮副	对锥齿轮	F_n, E_n	
	对箱体	$\pm f_{\Sigma}$	

表 9-9.21 推荐的锥齿轮和锥齿轮副检验项目的名称、代号和定义

	对传动	$\pm f_{\alpha}$, $\pm f_{\beta}$, $\pm F_{\alpha}$, f_{α}
齿轮毛坯公差		齿坯顶锥母线跳动公差
		基准端面跳动公差
		外径尺寸极限偏差
		齿坯轮冠距和顶锥角极限偏差

注：本表推荐项目的名称、代号和定义见表 9-9.21。

名称	代号	定义	名称	代号	定义
齿距累计误差 	ΔF_{α} F_{α}	在中点分度圆 ^① 上,任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的绝对值。	齿圈跳动 	ΔF_r F_r	齿轮一转范围内,测头在齿槽内与齿面中部双面接触时,沿分锥法向相对齿轮轴线的最大变动量。
齿距累计公差			齿圈跳动公差		
齿距误差 	Δf_{DL} $+f_{DL}$ $-f_{DL}$	在中点分度圆 ^① 上,实际齿距与公称齿距之差。	齿圈轴向位移 	Δf_{AM} $+f_{AM}$ $-f_{AM}$	齿轮装配后,齿圈相对于滚动检查机上确定的最佳啮合位置的轴向位移量。
齿距极限偏差 上偏差 下偏差			齿圈轴向位移极限偏差 上偏差 下偏差		
接触斑点 		安装好的齿轮副(或被测齿轮与测量齿轮)在轻微力的制动下运转后,在齿轮工作面上得到的接触痕迹。 接触斑点包括形状、位置、大小三个方面。	齿轮副侧隙 圆周侧隙 法向侧隙	j_L j_n	齿轮副按规定的位置安装后,其中一个齿轮固定时,另一个齿轮从工作齿面接触到非工作齿面接触所绕过的齿宽中点分度圆弧长 齿轮副按规定的位置安装后,工作齿面接触时,到

齿轮副轴间偏差	$4\phi_a$	齿轮副实际轴间距与公称轴间距之差。		非工作齿面间的最小距离。以齿宽中点处计 $j_a = j_a \cos \beta \cdot \cos \alpha$
齿轮副轴间距极限偏差 上偏差 下偏差	$+j_a$ $-j_a$			
齿轮副轴交角偏差	ΔE_Σ	齿轮副实际轴交角与公称轴交角之差，以齿宽中点处线值计算。		
齿轮副轴交角极限偏差 上偏差 下偏差	$+E_\Sigma$ $-E_\Sigma$			
齿厚偏差	ΔE_s	齿宽中点法向弦齿厚的实际值与公称值之差。		$j_{a\max}$ $j_{a\min}$ $j_{a\max}$ $j_{a\min}$
齿厚极限偏差 上偏差 下偏差 公差	E_{s1} E_{s2} T_s			

①允许在齿面中部测量。

2. 锥齿轮副的侧隙规定

本标准规定锥齿轮副的最小法向侧隙种类为 6 种，a、b、c、d、e 和 h。最小法向侧隙值 a 为最大，依次递减，h 为零，如图 9-5 所示。最小法向侧隙种类与精度等级无关，其值见表 9-9.22。最小法向侧隙种类确定后，可按表 9-9.24 查取齿厚上偏差 E_{s1} 。

最大法向侧隙 $j_{a\max}$ 按下式计算：

$$j_{a\max} = (|E_{s1} + E_{s2}| + T_{s1} + T_{s2} + E_{s\Delta 1} + E_{s\Delta 2}) \cos \alpha_a$$

式中 $E_{s\Delta}$ 为制造误差的补偿部分，由表 9-9.24 查取。齿厚公差 T_s 按表 9-9.23 查取。

本标准规定锥齿轮副的法向侧隙公差种类为 5 种：A、B、C、D 和 H。在一般情况下，推荐法向侧隙公差种类与最小侧隙种类的对应关系如图 9-5 所示。

表 9-9.22 最小法向侧隙值 $j_{a\min}$

中点锥距/mm		小轮分锥角 (°)		最小法向侧隙 j_{min} 值		
				最小法向侧隙种类		
大于	到	大于	到	d	c	b
—	50	—	15	22	36	58
		15	25	33	52	84
		25	—	39	62	100
50	100	—	15	33	52	84
		15	25	39	62	100
		25	—	46	74	120
100	200	—	15	39	62	100
		15	25	54	87	140
		25	—	63	100	160

表 9-9.23 齿厚公差 T_s 值 μm

齿圈跳动公差		法向间隙公差种类		
>	到	D	C	B
32	40	55	70	85
40	50	65	80	100
50	60	75	95	120
60	80	90	110	130
80	100	110	140	170
100	125	130	170	200
200	400	—	15	46
		15	25	72
		25	—	81
				74
				115
				130
				120
				185
				210

注: 1.表中数值用于 $\alpha = 20^\circ$ 的正交齿轮副。

2.对正交齿轮副按中点锥距 R 值查取 j_{min} 值。

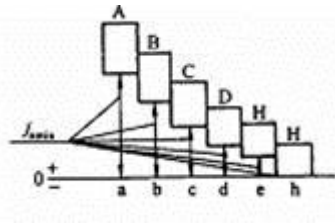


图 9-5 法向侧隙公差种类与最小侧隙种类对应关系

表 9-9.24 锥齿轮有关 F_{β} 与 $F_{\beta\Delta}$ 值

中点 法向 模数 基本值 /mm	齿厚上偏差值 F_{β}			最大法向侧隙值 $j_{\beta max}$ 的制造误差补偿部分 $F_{\beta\Delta}$ 值																																
	中点分度圆直径/mm			第 II 组精度等级																																
				7			8			9																										
	中点分度圆直径/mm			≤125			>125~400			>400~800																										
分锥角 (°)			≤125			>125~400			>400~800																											
1~3.5	20	20	22	28	32	30	36	50	45	22	22	24	30	36	32	40	55	50	24	24	25	32	38	36	45	65	55									
3.5~6.3	22	22	25	32	32	30	38	55	55	22	22	25	32	32	30	38	55	45	24	24	28	36	36	32	42	60	50	25	25	30	38	38	36	45	65	55
6.3~10	25	25	28	36	36	34	40	55	55	25	25	28	36	36	34	40	55	50	28	28	30	40	40	38	45	60	55	30	30	32	45	45	40	48	65	60

注：各最小法向侧隙种类的各种精度等级齿轮的 F_{β} 值，由本表查出基本值乘以系数得出。

3. 锥齿轮精度数值表

表 9-9.25 锥齿轮有关 F_r 、 $\pm f_{pa}$ 值

中点分度圆直径/mm	中点法向模数/mm	齿圈径向跳动公差 F_r			齿距极限偏差 $\pm f_{pa}$			
		第 I 组精度等级			第 II 组精度等级			
		7	8	9	7	8	9	
—	125	≥1~3.5	36	45	56	14	20	28
		>3.5~6.3	40	50	63	18	25	36
		>6.3~10	45	56	71	20	28	40
125	400	≥1~3.5	50	63	80	16	22	32
		>3.5~6.3	56	71	90	20	28	40
		>6.3~10	63	80	100	22	32	45
400	800	≥1~3.5	63	80	100	18	25	36
		>3.5~6.3	71	90	112	20	28	40
		>6.3~10	80	100	125	25	36	50

表 9-9.26 锥齿轮齿距累积公差 F_{β} 值

中点分度圆弧长 L/mm		I 组精度等级			中点分度圆弧长 L/mm		I 组精度等级		
>	到	7	8	9	>	到	7	8	9
32	50	32	45	63	315	630	90	125	180
50	80	36	50	71	630	1000	112	160	224
80	160	45	63	90	1000	1600	140	200	280
160	315	63	90	125	1600	2500	160	224	315

注: f_D 按中点分度圆弧长 L(mm)查表,

$$f_D = \frac{m_m^2}{2} - \frac{m_m^2 \cos^2 \beta}{2 \cos \beta}$$

式中 β —锥齿轮螺旋角, m_m —中点法向模数; d_m —齿宽中点分度圆直径。

表 9-9.27 接触斑点 %

III组精度等级	7	8, 9
沿齿长方向	50~70	35~65
沿齿高方向	55~75	40~70

注: 1. 表中数值范围用于齿面修形的齿轮。

对齿面不作修形的齿轮, 其接触斑点大小不小于其平均值。

2. 接触痕迹的大小按百分比确定:

沿齿长方向——接触痕迹长度 b'' 与工作长度 b' 之比, 即 $b''/b' \times 100\%$

沿齿高方向——接触痕迹高度 h'' 与接触痕迹中部的工作齿高 h' 之比, 即 $h''/h' \times 100\%$

表 9-9.28 锥齿轮副检验安装误差项目 $\pm f_a$ 、 $\pm f_{AM}$ 与 $\pm F_z$ 值 μm

中点锥距 /mm	轴间距极限 偏差 $\pm f_a$		齿圈轴向位移极限偏差 $\pm f_{AM}$											轴交角极限偏差 $\pm F_z$							
	第 II 组精度等级			分锥角 (°)			第 II 组精度等级						小轮 分锥角 (°)		最小法向 间隙种类						
	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	7	8	9	大于	到	d	c	b	
>	到	7	8	9	>	到	≥ 1	>3.5	>6.3	≥ 1	>3.5	>6.3	≥ 1	>3.5	>6.3	大于	到	d	c	b	
		7	8	9			~ 3.5	~ 6.3	~ 10	~ 3.5	~ 6.3	~ 10	~ 3.5	~ 6.3	~ 10						
—	50	18	28	36	20	45	20	11	—	28	16	—	40	22	—	—	15	11	18	30	
					45	—	71	4	—	10	5.6	—	14	8	—	25	—	19	30	50	
50	100	20	30	45	20	45	20	67	38	24	95	53	34	140	75	50	—	15	16	26	42
					45	—	24	13	8.5	34	17	12	48	26	17	25	—	22	32	60	
100	200	25	36	55	20	45	20	150	80	53	200	120	75	300	160	105	—	15	19	30	50
					45	—	53	30	19	75	40	26	105	60	38	25	—	32	50	80	
200	400	30	45	75	20	45	20	340	180	120	480	250	170	670	360	240	—	15	22	32	60
					45	—	120	63	40	170	90	60	240	130	85	25	—	40	63	100	

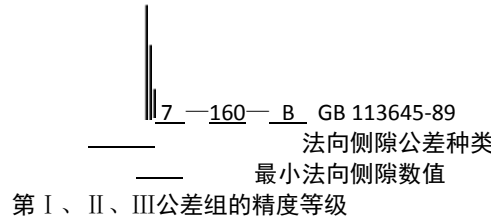
注: 1.表中 $\pm f_a$ 值用于无纵向修形的齿轮副。

2.表中 $\pm f_{AM}$ 值用于 $\alpha = 20^\circ$ 的非修形齿轮。

3.表中 $\pm F_z$ 值的公差带位置相对于零线, 可以不对称或取在一侧。

4.表中 $\pm F_z$ 值用于 $\alpha = 20^\circ$ 的正交齿轮副。

4. 锥齿轮的齿坯公差



三、圆柱蜗杆、蜗轮精度

本标准摘自 GB 10089—88，适用于轴交角 $\Sigma=90^\circ$ ，模数 $m \geq 1\text{mm}$ 的圆柱蜗杆、蜗轮及传动。其蜗杆分度圆直径 $d_1 \leq 400\text{mm}$ ，蜗轮分度圆直径 $d_2 \leq 4000\text{mm}$ 。

1. 精度等级与检验要求

本标准对蜗杆、蜗轮和蜗杆传动规定了 12 个精度等级，1 级精度等级最高，12 级精度等级最低。对于动力传动的蜗杆、蜗轮，一般采用 7~9 级。

按照公差特性对传动性能的主要保证作用，将蜗杆、蜗轮和蜗杆传动的公差（或极限偏差）分成三个公差组，见表 9-9.33。根据使用要求不同，允许各公差组选用不同的精度等级组合，但在同一公差组中，各项公差与极限偏差，应保持相同的精度等级。

表 9-9.33 蜗杆、蜗轮和蜗杆各项公差的分组

公差组	检验对象	公差与极限偏差项目	误差特性	对传动性能的主要影响
I	蜗杆 蜗轮 传动	$F_1, F_2, F_0, F_{0k}, F_1, F_{1c}$	一转为周期的 误差	传递运动的准确性
II	蜗杆 蜗轮 传动	$f_b, f_{bL}, \pm f_{dx}, f_{dL}, f_1, f_2, f_{1c}, f_{2c}, f_{1c}$	一周内多次周期 重复出现的误差	传动的平稳性、噪声、振动
III	蜗杆 蜗轮 传动	$f_{r1}, f_{r2}, \text{接触斑点}, \pm f_a, \pm f_{\Sigma}, \pm f_x$	齿向线的误差	载荷分布的均匀性

注： F_1 —蜗轮切向综合公差； F_2 —蜗轮径向综合公差； F_0 —蜗轮齿距累积公差； F_{0k} —蜗轮 k 个齿距累积公差； F_1 —蜗轮齿圈径向跳动公差； F_1 —蜗杆副的切向综合公差； f_b —蜗杆一转螺旋线公差； f_{bL} —蜗杆螺旋线公差； $\pm f_{dx}$ —蜗杆轴向齿距极限偏差； f_{dL} —蜗杆轴向齿距累积公差； f_1 —蜗杆齿槽径向跳动公差； f_2 —蜗轮一齿切向综合公差； f_{1c} —蜗轮一齿径向综合公差； $\pm f_{1c}$ —蜗轮齿距极限偏差； f_{1c} —蜗杆副的一齿切向综合公差； f_{2c} —蜗杆齿形公差； f_{2c} —蜗轮齿形公差； $\pm f_a$ —蜗杆副的中心距极限偏差； $\pm f_{\Sigma}$ —蜗杆副的轴交角极限偏差； $\pm f_x$ —蜗杆副的中间平面极限偏差。

蜗杆、蜗轮精度应根据传动用途、使用条件、传递功率、圆周速度以及其他技术要求决定，其中第 II 公差组主要由蜗轮圆周速度决定，见表 9-9.34。

表 9-9.34 第 II 公差组精度等级与蜗轮圆周速度关系

项目	第 II 公差组精度等级		
	7	8	9
蜗轮圆周速度 / (m/s)	≤ 7.5	≤ 3	≤ 1.5

注：此表不属于国家标准内容，仅供参考。

蜗杆、蜗轮和蜗杆传动的检验项目应根据工作要求、生产规模和生产条件确定。对于动力传动的一般圆柱蜗杆传动，推荐的检测项目见表 9-9.35。

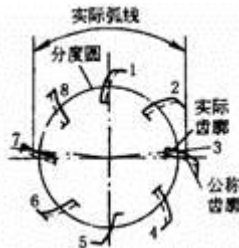
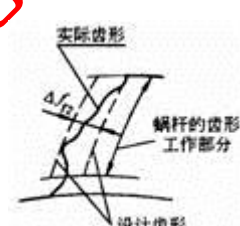
表 9-9.35 推荐的圆柱蜗杆、蜗轮和蜗杆传动的检验项目


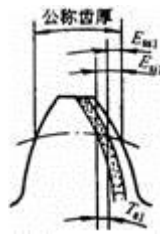
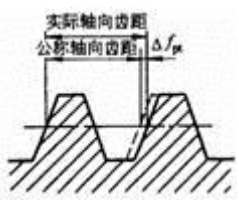

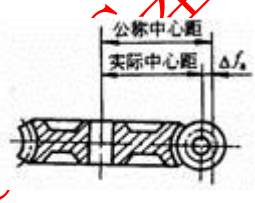
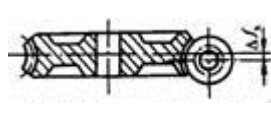
项目		精度等级		
		7	8	9
公差组	I	蜗杆	—	
		蜗轮	F_D	F_r
	II	蜗杆	$\pm f_{0.1}, f_{0.2}$	
		蜗轮	$\pm f_{0r}$	
	III	蜗杆	f_{r1}	
		蜗轮	f_{r2}	
蜗杆副	对蜗杆	$E_{2.11}, E_{2.11}$		
	对蜗轮	$E_{2.12}, E_{2.12}$		
	对箱体	$\pm f_a, \pm f_b, \pm f_g$		
	对传动	接触斑点, $\pm f_a, f_{smc}$		
毛坯公差		蜗杆、蜗轮齿坯尺寸公差, 形状公差, 基准面径向和端面跳动公差		

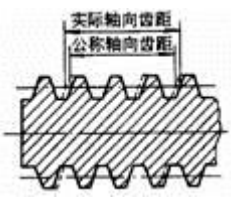
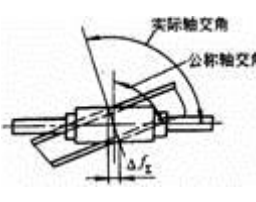
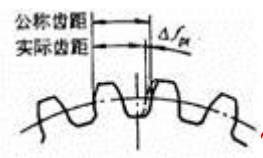
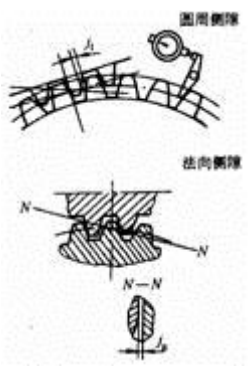
注: 1.当蜗杆副的接触斑点有要求时, 蜗轮的齿形误差 f_{r2} 可不检验。

2.本表推荐项目的名称, 代号和定义见表 9-9.36。

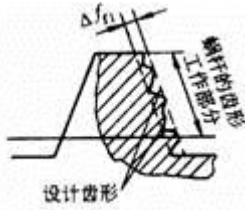
表 9-9.36 推荐的圆柱蜗杆、蜗轮和蜗杆传动检验项目的名称、代号和定义

名称	代号	定义	名称	代号	定义
蜗轮齿距累计误差	ΔF_D	在蜗轮分度圆上, 任意两个同侧齿面间的实际弧长与公称弧长之差的最大绝对值	蜗轮齿形误差	Δf_{r2}	在蜗轮轮齿给定截面上的齿形工作部分内, 包容实际齿形且距离为最小的两条设计齿形间的法向距离
					当两条设计齿形线为非等距离曲线时, 应在靠近齿形内的设计齿形线的法线上确定其两者间的法向距离
蜗轮齿距累计公差			蜗轮齿形公差	f_{r2}	

<p>蜗轮齿圈径向跳动</p> 	<p>ΔF_r</p>	<p>在蜗轮一转范围内，测头在靠近中间平面的齿槽内与齿高中部的齿面双面接触，其测头相对于蜗轮轴线径向距离的最大变动量</p>	 <p>蜗杆齿厚偏差</p>	<p>ΔE_{r1}</p> <p>在蜗杆分度圆柱上，法向齿厚的实际值与公称值之差</p> <p>E_{r1}</p> <p>E_{r1}</p> <p>T_{r1}</p>
<p>蜗轮齿圈径向跳动公差</p>			<p>蜗杆齿厚极限偏差 上偏差</p> <p>下偏差</p> <p>蜗杆齿厚公差</p>	
<p>蜗杆轴向齿距偏差</p> 	<p>Δf_{pa}</p>	<p>在蜗杆轴向截面上实际齿距与公称齿距之差。</p>	<p>蜗轮齿厚偏差</p> 	<p>ΔE_{s2}</p> <p>在蜗轮中间平面上，分度圆齿厚的实际值与公称值之差</p> <p>E_{s2}</p> <p>E_{s2}</p> <p>T_{s2}</p>
<p>蜗杆轴向齿距极限偏差</p> <p>上偏差</p> <p>下偏差</p>	<p>$+f_{pa}$</p> <p>$-f_{pa}$</p>		<p>蜗轮齿厚极限偏差 上偏差</p> <p>下偏差</p> <p>蜗轮齿厚公差</p>	
<p>蜗杆副的中心距偏差</p> 	<p>Δa</p>	<p>在安装好的蜗杆副中间平面内，实际中心距与公称中心距之差</p>	<p>蜗杆副的中间平面偏移</p> 	<p>Δa</p> <p>在安装好的蜗杆副中，蜗轮中间平面与传动中间平面之间的距离</p> <p>$+a$</p> <p>$-a$</p>
			<p>蜗杆副的中间平面极限偏差</p> <p>上偏差</p>	

<p>蜗杆副的中心距极限偏差</p> <p>上偏差</p> <p>下偏差</p>		<p>下偏差</p>	
<p>蜗杆轴向齿距累计误差</p> 	<p>Δf_{pa}</p> <p>在蜗杆轴向截面上的工作齿宽范围（两端不完整部分应除外）内，任意两个同侧面间实际轴向距离与公称轴向距离之差的绝对值的最大绝对值。</p> <p>f_{pa}</p>	<p>蜗杆副的轴交角偏差</p>  <p>蜗杆副的轴交角极限偏差</p> <p>上偏差</p> <p>下偏差</p>	<p>Δf_{Σ}</p> <p>在安装好的蜗杆副中，实际轴交角与公称轴交角之差</p> <p>偏差值按蜗轮齿宽确定，以其线性值计</p> <p>$+f_{\Sigma}$</p> <p>$-f_{\Sigma}$</p>
<p>蜗轮齿距偏差</p>  <p>蜗轮齿距极限偏差 上偏差</p> <p>下偏差</p>	<p>Δf_p</p> <p>在蜗轮分度圆上，实际齿距与公称齿距之差</p> <p>用相对法测量时，公称齿距是指所有实际齿距的平均值</p> <p>$+f_p$</p> <p>$-f_p$</p>	<p>蜗杆副的侧隙</p> 	<p>j</p> <p>在安装好的蜗杆副中，蜗杆固定不动时，蜗轮从工作齿面接触到非工作齿面接触所转过的分度圆弧长</p> <p>在安装好的蜗杆副中，蜗杆和蜗轮的工作齿面接触时，两非工作齿面间的最小距离</p> <p>j_{lim}</p> <p>j_{min}</p> <p>j_{max}</p> <p>j_{min}</p>

蜗杆齿形误差



Δf_{r1}	在蜗杆轮齿给定截面上的齿形工作部分内, 包容实际齿形且距离为最小的两条设计齿形间的法向距离		
f_{r1}	当两条设计齿形线为非等距离的曲线时, 应在靠近齿体内设计齿形线的法线上确定其两者间的法向距离	最小圆周侧隙 最大圆周侧隙 最小法向侧隙 最大法向侧隙	

蜗杆齿形公差

2. 蜗杆传动的侧隙规定

本标准按蜗杆传动的最小法向侧隙 J_{nmin} 的大小, 将侧隙种类分为 8 种: a, b, c, d, e, f, g 和 h。a 的最小法向侧隙最大, 其他依次减小, h 为零。如图 9-6 所示。侧隙种类与精度等级无关。

蜗杆传动的侧隙种类, 应根据工作条件和使用要求选定, 用代号 (字母) 表示。传动一般采用的最小法向侧隙种类及其值, 按表 9-9.37 的规定。

表 9-9.37 最小法向侧隙 J_{nmin} 值

传动中心距 a/mm	侧隙种类		
	b	c	d
≤30	84	52	33
>30~50	106	62	39
>50~80	120	74	46
>80~120	140	87	54
>120~180	160	100	63
>180~250	185	115	72
>250~315	210	130	81
>315~400	230	140	89

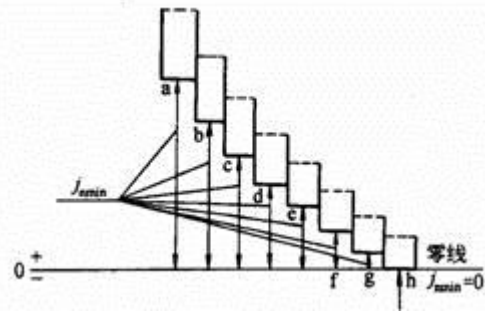


图 9-6 侧隙种类和最小法向侧隙

注: 传动的最小圆周侧隙 $J_{min} = J_{nmin} / \cos \gamma' \cos \alpha_n$

式中 γ' — 蜗杆节圆柱导程角;

α_n — 蜗杆法向齿形角。

齿厚下偏差 $E_{s1} = E_{s1} - T_{s1}$ 。最大法向侧隙由蜗轮齿厚公差 T_{s2} 、 T_{s1} 确定。蜗轮齿厚上偏差 $E_{s2} = 0$, 下偏差 $E_{s2} = -T_{s2}$ 。对精度为 7, 8, 9 级的 E_{s1} , T_{s1} 和 T_{s2} 的值, 按表 9-9.38、表 9-9.39 和表 9-9.40 的规定。

传动的最小法向侧隙由蜗杆齿厚的减薄量来保证 $E_{s1} = J_{nmin} / \cos \alpha_n + E_{s1}$ (E_{s1} 为制造误差的补偿部分),

表 9-9.38 蜗杆齿厚上偏差 (F_{s1}) 中的制造误差补偿部分 F_{s2} 值 μm

传动中心距 a /mm	精度等级														
	7					8					9				
	模数 m /mm														
	≥ 1	>3.5	>6.3	>10	>16	≥ 1	>3.5	>6.3	>10	>16	≥ 1	>3.5	>6.3	>10	>16
	~ 3.5	~ 6.3	~ 10	~ 16	~ 25	~ 3.5	~ 6.3	~ 10	~ 16	~ 25	~ 3.5	~ 6.3	~ 10	~ 16	~ 25
≤ 30	45	50	60	—	—	50	68	80	—	—	75	90	110	—	—
$>30\sim 50$	48	56	63	—	—	56	71	85	—	—	80	95	115	—	—
$>50\sim 80$	50	58	65	—	—	58	75	90	—	—	90	100	120	—	—
$>80\sim 120$	56	63	71	80	—	63	78	90	110	—	95	105	125	160	—
$>120\sim 180$	60	68	75	85	115	68	80	95	115	150	100	110	130	165	215
$>180\sim 250$	71	75	80	90	120	75	85	100	115	155	110	120	140	170	220
$>250\sim 315$	75	80	85	95	120	80	90	100	120	155	120	130	145	180	225
$>315\sim 400$	80	85	90	100	125	85	95	105	125	160	130	140	155	185	230

注：精度等级按蜗杆的第 II 公差组确定。

表 9-9.39 蜗杆齿厚公差 F_{s1} 值 μm

模数 m /mm	精度等级			模数 m /mm	精度等级		
	7	8	9		7	8	9
$\geq 1\sim 3.5$	45	53	67	$>10\sim 16$	95	120	150
$>3.5\sim 6.3$	56	71	90	$>16\sim 25$	130	160	200
$>6.3\sim 10$	71	90	110				

注：1. F_{s1} 按蜗杆第 II 公差组精度等级确定。

2. 当传动最大法向侧隙 $j_{n\max}$ 无要求时，允许 F_{s1} 增大，最大不超过表中值的两倍。

表 9-9.40 蜗轮齿厚公差 F_{s2} 值 μm

模数 m /mm	蜗轮分度圆直径 d_2 /mm								
	≤ 125			$>125\sim 400$			$>400\sim 800$		
	精度等级								
	7	8	9	7	8	9	7	8	9
$\geq 1\sim 3.5$	90	110	130	100	120	140	110	130	160
$>3.5\sim 6.3$	110	130	160	120	140	170	120	140	170
$>6.3\sim 10$	120	140	170	130	160	190	130	160	190
$>10\sim 16$	—	—	—	140	170	210	160	190	230
$>16\sim 25$	—	—	—	170	210	260	190	230	290

注：1. F_{s2} 按蜗轮第 II 公差组精度等级确定

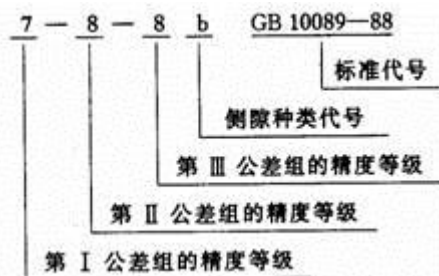
2. 在最小侧隙能保证的条件下， F_{s2} 公差带允许采用对称分布。

3. 图样标注

(1) 在蜗杆、蜗轮工作图上，应分别标注其精度等级、齿厚偏差或相应的侧隙种类代号和国标代号。

标注示例：

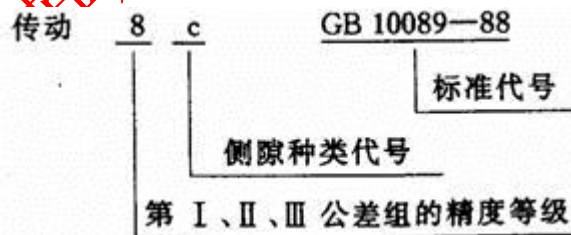
①蜗杆的 II、III 级公差组的精度等级是 7 级、齿厚偏差为标准值，相配的侧隙种类是 c，标注为

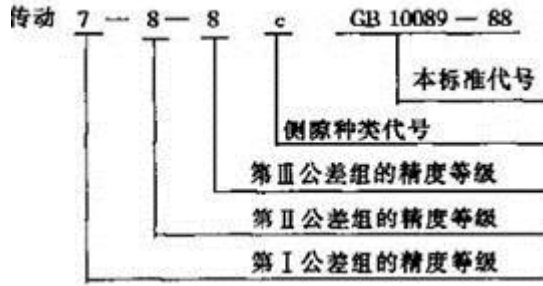


②蜗轮的**第 I 公差组**为 7 级精度，第 II、III 公差组同为 8 级精度。齿厚偏差为标准值，相配侧隙种类为 b。
标准为

(2) 对传动、应标出相应的精度等级、侧隙种类代号和国标代号、标注示例：

①传动的三个公差组的精度同为 8 级，侧隙种类为 c，标注为





②传动的第 I 公差组的精度为 7 级，第 II、III 公差组的精度为 8 级，侧隙种类为 d，则标注为

4. 蜗杆、蜗轮和蜗杆传动的精度数值表

表 9-9.41 蜗杆的公差和极限偏差 $\pm f_{pa}$ 、 f_{paL} 和 f_{pn} 值 μm

模数 m /mm	蜗杆轴向齿距偏差 $\pm f_{pa}$			蜗杆轴向齿距累积公差 f_{paL}			蜗杆齿形公差 f_{pn}		
	精度等级								
	7	8	9	7	8	9	7	8	9
$\geq 1 \sim 3.5$	11	14	20	18	25	36	16	22	32
$> 3.5 \sim 6.3$	14	20	25	24	34	48	22	32	45
$> 6.3 \sim 10$	17	25	32	32	45	63	28	40	53
$> 10 \sim 16$	22	32	46	40	56	80	36	53	75
$> 16 \sim 25$	32	45	63	53	75	100	53	75	100

表 9-9.42 蜗轮齿距累积公差 F_{σ} μm

精度等级	分度圆弧长 L/mm									
	≤ 11.2	> 11.2	> 20	> 32	> 50	> 80	> 160	> 315	> 630	> 1000
7	16	22	28	32	36	45	63	90	112	140
8	22	32	40	45	50	63	90	125	160	200
9	32	45	56	63	71	90	125	180	224	280

注: F_{σ} 按分度圆弧长 $L = \frac{1}{2} m z_2 = \frac{1}{2} m z_1 z_2$ 查表。

表 9-9.43 蜗轮的公差和极限偏差 F_1 、 $\pm f_{pa}$ 和 f_{pn} 值 μm

分度圆直径 d_2 /mm	模数 m /mm	蜗轮齿圆径向跳动公差 F_1			蜗轮齿距极限偏差 $\pm f_{pa}$			蜗轮齿形公差 f_{pn}		
		精度等级								
		7	8	9	7	8	9	7	8	9
≤ 125	$\geq 1 \sim 3.5$	40	50	63	14	20	28	11	14	22
	$> 3.5 \sim 6.3$	50	63	80	18	25	36	14	20	32

	>6.3~10	56	71	90	20	28	40	17	22	36
>125~400	≥1~3.5	45	56	71	16	22	32	13	18	28
	>3.5~6.3	56	71	90	20	28	40	16	22	36
	>6.3~10	63	80	100	22	32	45	19	28	45
	>10~16	71	90	112	25	36	50	22	32	50
>400~800	≥1~3.5	63	80	100	18	25	36	17	25	40
	>3.5~6.3	71	90	112	20	28	40	20	23	45
	>6.3~10	80	100	125	25	36	50	24	36	56
	>10~16	100	125	160	28	40	56	26	40	63
	>16~25	125	160	200	36	50	71	36	56	90

表 9-9.44 传动有关的极限偏差 $\pm f_a$ 、 $\pm f_s$ 和 $\pm f_z$ 值 μm

传动中心距 a /mm	蜗杆副的中心距极限偏差 $\pm f_a$			蜗杆副的中间平面极限偏差 $\pm f_s$			蜗轮宽度 b /mm	蜗杆副的轴交角极限偏差 $\pm f_z$		
	精度等级									
	7	8	9	7	8	9		7	8	9
≤30	26		42	21		34	≤30 >30~50 >50~80	12	17	24
>30~50	31		50	25		40		14	19	28
>50~80	37		60	30		48		16	22	32
>80~120	44		70	36		56				
>120~180	50		80	40		64	>120~180 >180~250 >180~250 >250~315	19	24	36
>180~250	58		92	47		74		22	28	42
>250~315	65		105	52		85		25	32	48
>315~400	70		115	56		92				

表 9-9.45 接触斑点

精度等级	接触面积的百分比 /%		接触位置
	沿齿高不小于	沿齿长不小于	
7, 8	55	50	接触斑点痕迹应偏于啮出端, 但不允许在齿顶和啮入、啮出端的棱边接触。
9	45	40	

注: 采用修形齿面的蜗杆传动, 接触斑点的要求可不受本标准规定的限制。

5. 蜗杆、蜗轮的齿坯公差

表 9-9.46 蜗杆、蜗轮齿坯尺寸和形状公差

精度等级		7	8	9
孔	尺寸公差	IT7		
	形状公差	IT6		
轴	尺寸公差	IT6		
	形状公差	IT5		
齿顶圆直径公差		IT8		
		IT9		

注: 1. 当三个公差组的精度等级不同时, 按最高精度等级确定公差。

2. 当齿顶圆不作测量齿厚基准时, 尺寸公差按 IT11 确定

表 9-9.47 蜗杆、蜗轮齿坯基准面径向和端面跳动公差 μm

基准面直径 d_f /mm	精度等级		基准面直径 d_f /mm	精度等级	
	7, 8	9		7, 8	9
≤ 31.5	7	10	$>125\sim 400$	18	28
$>31.5\sim 63$	10	16	$>400\sim 800$	22	36
$>63\sim 125$	14	22			

注: 1.当三个公差组的精度等级不同时,按最高精度等级确定公差。

2.当以齿顶圆作为测量基准时,也即为蜗杆、蜗轮的齿坯基准面。

表 9-9.48 蜗杆、蜗轮表面粗糙度 R_a 推荐值 μm

精度等级	齿面		齿顶	
	蜗杆	蜗轮	蜗杆	蜗轮
7	0.8		1.6	3.2
8	1.6			
9	3.2		3.2	6.3

GAEAS基英示自动化设备科技有限公司