

齿轮

CHILUN

上海交通大学



数据加载失败，请稍后重试！



数据加载失败，请稍后重试！

毛主席语录

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

前 言

齿轮传动是目前机器中应用最广泛的一种传动形式。“社会的财富是工人、农民和劳动知识分子创造的。”齿轮这门知识，是劳动人民通过阶级斗争、生产斗争和科学实验三大革命运动总结出来的一门知识。

远在两千多年以前，我国劳动人民已在农业水利等方面应用了齿轮传动，到东汉时代，已有初级的人字齿轮传动出现。发展到现代，各个工业部门如机床、汽车、航空、仪表、造船等工业部门都普遍地应用了齿轮传动。

齿轮传动的主要优点为：

1. 传动比准确、传动平稳、传递运动工作可靠。
2. 适用范围很广：

传递功率有从很小（如仪表齿轮）到数万马力的；齿轮的圆周速度可从极小（如钟表齿轮等）到每秒钟 100 米以上的高速；齿轮的直径可做得很小（甚至小于一毫米）到 10 多米；传动比有用得很小到很大。由此可知，齿轮传动可在很广范围内应用。

3. 传动效率高，使用寿命长。

但是我们也要“一分为二”地看问题，齿轮传动也有一定的局限性和不足之处，例如传递距离较长的运动时不如皮带传动和链轮传动简单方便，传递直线运动时其平稳性不如液压传动。此外对于精度要求高的齿轮（如高速齿轮），制造比较复杂。为此，对齿轮传动尚需不断总结和提高，使之在社会主义建设中发挥更有效的作用。

齿轮种类较多，目前生产中常见的齿轮传动大致可分两大类：两轴线互相平行的和两轴线交叉或相交的齿轮传动。

一、两轴线互相平行的圆柱齿轮传动

这类齿轮常见的有直齿的和斜齿的圆柱齿轮传动，是用来传递平行轴间的旋转运动。

1. 直齿圆柱齿轮传动（简称直齿轮传动，图 1）

直齿轮的轮齿方向因与其轴线平行，习惯上称为直齿。

直齿轮传动按要求又可分为外啮合齿轮传动（图 1，a）及内啮合齿轮传动（常称内齿轮传动，图 1，b）两种。

直齿轮制造比较单简些，在传动机构中应用最多。但是直齿轮传动时，由于每对轮齿都是同时接触和同时脱开，容易产生冲击和噪音，故传动平稳性较差。

要使传动比较平稳，有时就采用斜齿轮传动。

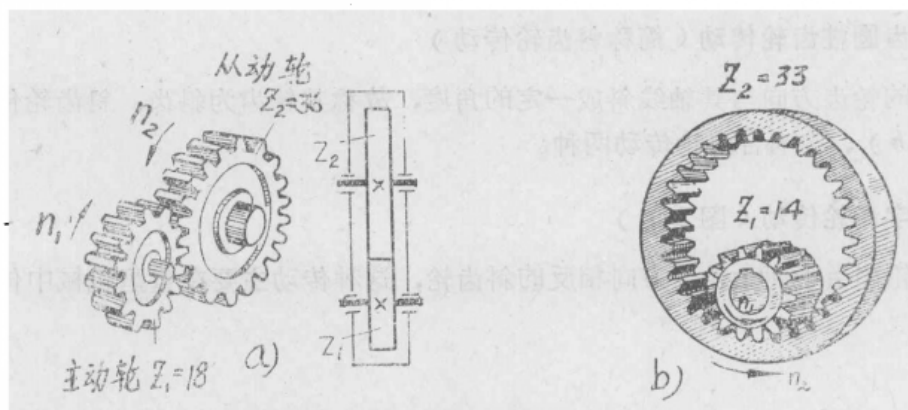


图 1 直齿轮传动

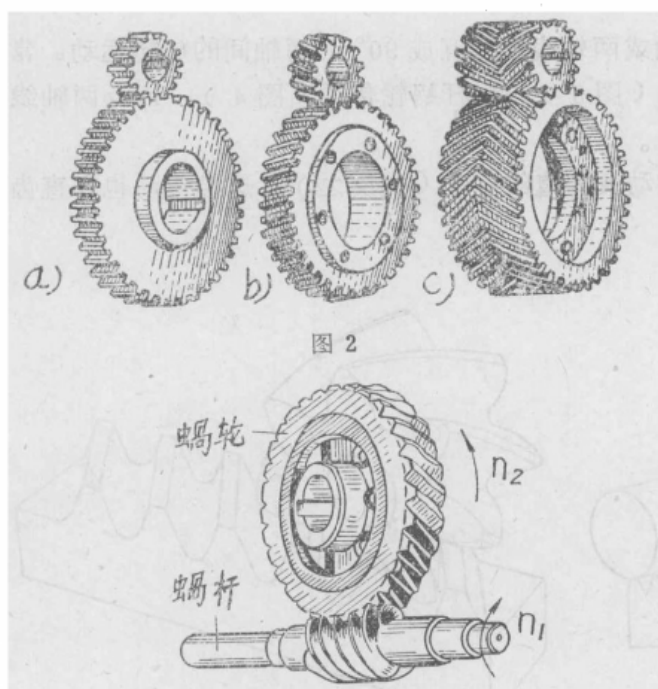


图 4 蜗杆蜗轮传动

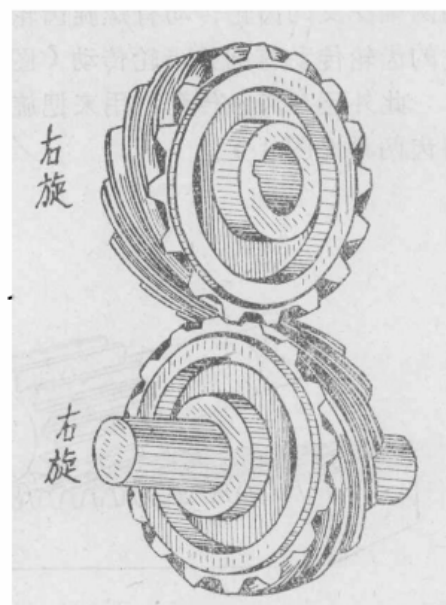


图 3 螺旋齿轮传动

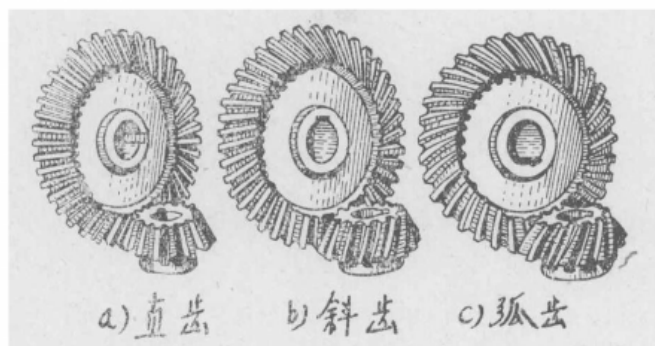


图 5 圆锥齿轮传动

2. 斜齿圆柱齿轮传动（简称斜齿轮传动）

斜齿轮的轮齿方向与其轴线斜成一定的角度，故称其轮齿为斜齿。斜齿轮传动也有外啮合（图 2,b）、内啮合齿轮传动两种。

3. 人字齿轮传动（图 2,c）

人字齿轮相当于两个轮齿方向相反的斜齿轮，这种传动主要在重型机械中传递大功率用。

二、两轴线交叉及相交的齿轮传动

这类齿轮传动用来传递两不平行轴或两轴线位置互成 90° 的两轴间的旋转运动。常见的两轴交叉的齿轮传动有螺旋齿轮传动（图 3）与蜗杆蜗轮传动（图 4），以及两轴线相交的齿轮传动有圆锥齿轮传动（图 5）。

此外还有齿条传动，用来把旋转运动变为直线运动（或反之）。这类传动也有直齿和斜齿两种（图 6）。

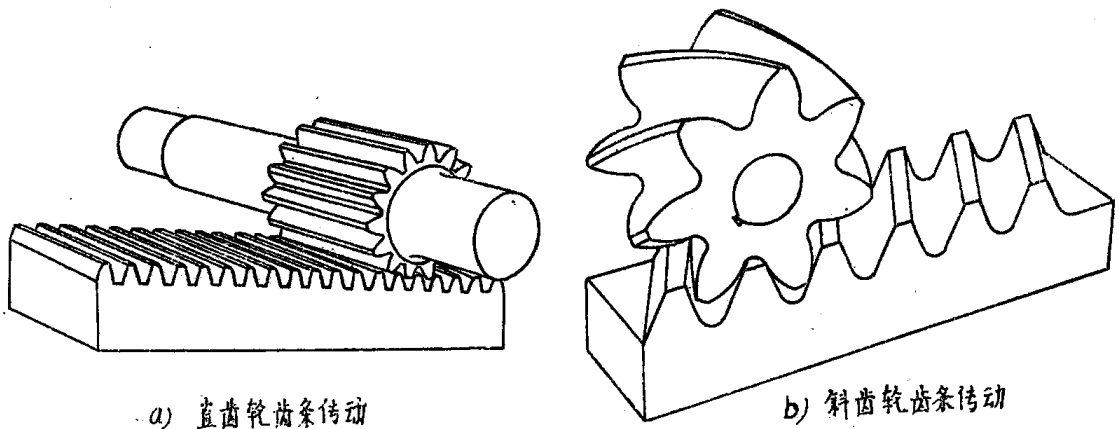


图 6

第一章 渐开线直齿圆柱齿轮 (直齿轮)

“理性认识依赖于感性认识，感性认识有待于发展到理性认识，这就是辩证唯物论的认识论。”

通过生产实践，我们对齿轮传动已有初步认识，并了解到机床中应用齿轮传动的部分情况以及有关齿轮传动计算等知识，但是对于齿轮本身的设计计算及其加工制造等问题尚须进一步分析研究。

为了有目的地讨论起见，我们先来看一看目前生产中所用的齿轮设计制造图。图 1-1 是渐开线直齿轮的设计制造图。看了该图后，我们可能会提出一些问题：

1. 直齿轮图上标注的一些几何尺寸如何确定的？
2. 模数、压力角等参数的概念是什么？又是怎样选取的？
3. 什么是渐开线？为什么轮齿（牙齿）的齿形常用渐开线？
4. 齿轮的精度等级及有关技术条件怎样考虑决定的？
5. 变位系数又是什么内容？
6. 渐开线齿轮是如何加工出来的？

这些问题我们在设计齿轮时希望理解和掌握的。本章将讨论前面的三个问题，其余的将在以后的章节中予以讨论。

§ 1-1 渐开线直齿轮的尺寸基本参数

一、直齿轮各部分名称和尺寸计算

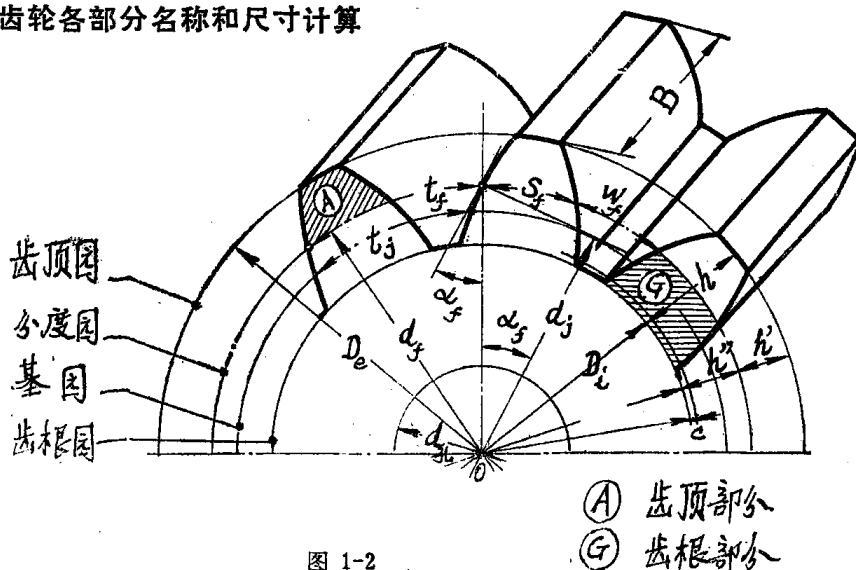
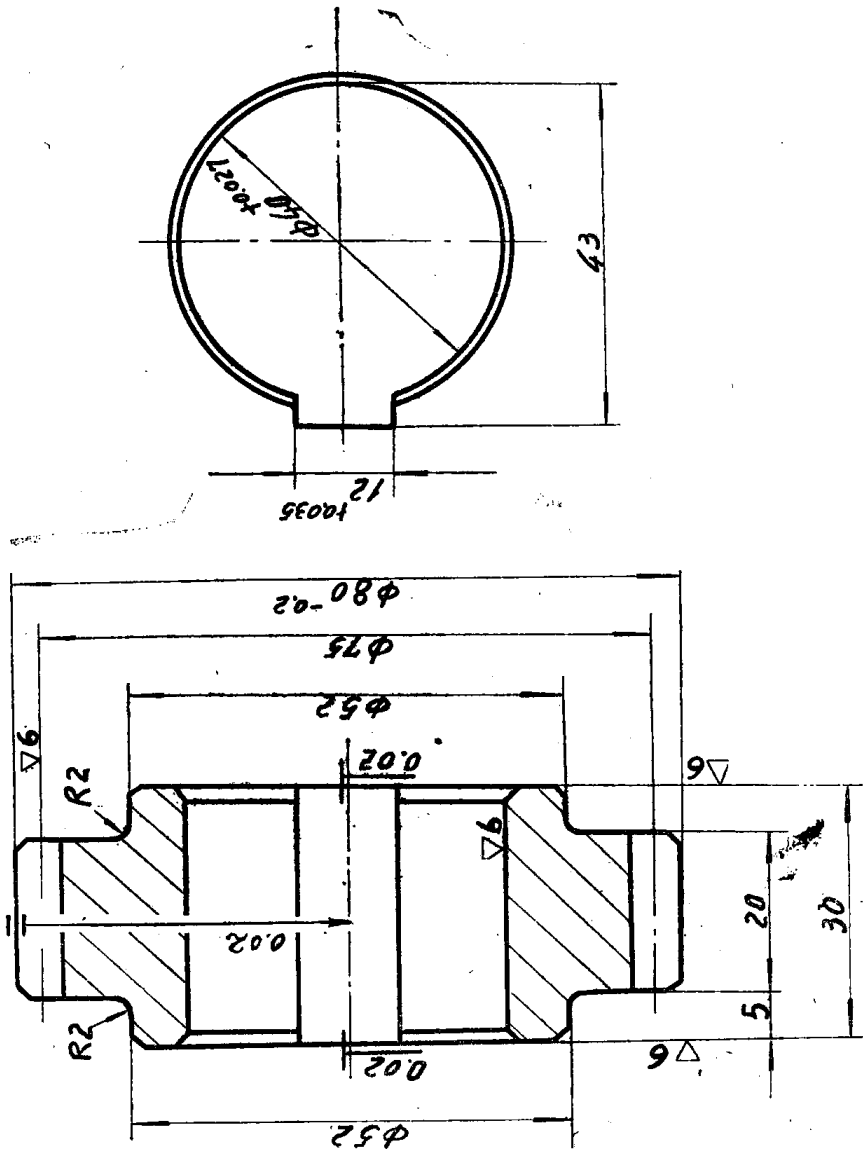


图 1-2

其余 ∇_5



模数	m	2.5
压力角	α_f	20°
齿数	Z	30
变位系数	ξ	0
精度等级		$7 D_c$
公法线长度	L	$26.882_{-0.155}^{-0.105}$
跨齿数	n	4
啮合齿数	Z_2	50

技 术 条 件

1. 齿面高频淬火 $HR_c=52$

2. 倒角 $1 \times 45^\circ$

零件名称	直 齿 轮		
件号			
材料	45钢	件数	比例 1:1

图 1-1

1. 各部分名称及所用符号(图 1-2)

(1) 全齿高——整个轮齿(牙齿)的高度,用符号 h 表示之。轮齿加工时基本上以它作为刀具进刀的切削深度。全齿高包括齿顶高 h' 与齿根高 h'' 两部分,即 $h = h' + h''$ 。

(2) 齿顶圆——齿轮上每个轮齿的顶部所联成的圆称齿顶圆,简称“顶圆”。它的直径和半径各用符号 D_e 和 R_e 表示。这个直径尺寸直接关系到齿轮毛坯直径(外径)尺寸。

(3) 齿根圆——齿轮的轮齿最深部分所联成的圆,简称“根圆”。它的直径和半径各用符号 D_f 和 R_f 表示。

(4) 分度圆——它是计算 D_e 和 D_f 等直径时的基准圆;也是把整个轮齿划分成齿顶部分和齿根部分的基准。

对于标准直齿轮,每个轮齿在分度圆上的齿厚 S_f 和齿槽宽 W_f 是彼此相等的,即 $S_f = W_f$ 。由此可以方便地沿着分度圆的圆周均匀地分出一个一个轮齿来,分度圆中的“分度”含义,可从这个意义上去理解。

分度圆的直径和半径各用符号 d_f 和 r_f 表示。

(5) 周节——相邻两个轮齿的同侧齿形(齿廓)在分度圆圆周上的弧线距离(弧长)称为周节,它用符号 t_f 表示。

由图 1-2 可知,周节是由弧齿厚 S_f 和弧齿槽 W_f 组成的,所以

$$t_f = S_f + W_f$$

2. 各部分尺寸计算

渐开线齿轮在世界各国都已标准化,所以计算公式都已定型。现将我国常用的计算公式列成表 1-1,供参考。

二、直齿轮的基本参数 $m \alpha Z B$

(一) 模数 m

1. 模数的概念

从表 1-1 可见,齿轮的尺寸是通过模数 m 来计算的,所以模数 m 是齿轮的一个重要参数。但是为什么在其它传动零件没有这种参数,而对齿轮一定要规定一个“模数”的参数呢?

让我们先来看一看齿轮的分度圆直径 d_f 在一般情况下如何计算的?

如已知周节 t_f , 因 $t_f = 2\pi r_f / Z = \pi d_f / Z$

$$\text{故分度圆直径} \quad d_f = \frac{t_f}{\pi} \cdot Z \quad (1-1)$$

式(1-1)中因“ π ”是个无理数, $\pi = 3.14159265358979 \dots$, 尽管齿数 Z 是个整数,计算所得的分度圆直径 d_f 也一定是个无理数。这样对齿轮的计算和加工等方面工作带来很不方便。为了解决这个矛盾,为了使 d_f 成为有理数,必须使比值 t_f/π 成为有理数。制订齿轮标准时考虑了这个问题,把比值 t_f/π 称为模数,用符号“ m ”表示,即

$$m = \frac{t_f}{\pi} \dots \text{单位: 毫米 (mm)} \quad (1-2)$$

$$\text{这样分度圆直径} \quad d_f = mZ = \text{有理数} \quad (1-3)$$

表 1-1 标准直齿轮尺寸计算

名 称	符 号	计 算 式	实例计算 (图 1-1)
模 数	m	设 计 确 定	$m=2.5$ 毫米
齿 数	z	设 计 确 定	$z=30 (z_1=30, z_2=50)$
压 力 角	α_f	标准齿数 $\alpha_f=20^\circ$	$\alpha_f=20^\circ$
分度圆直径	d_f	$d_f=mz$	$d_f=2.5 \times 30=75$ 毫米
齿 顶 高	h'	$h'=f_0m$ 式中: f_0 ——齿高系数 标准齿用 $c_0=0.25$ 矮 齿 用 $c_0=0.30$	$h'=1 \times 2.5=2.5$ 毫米
齿 根 高	h''	$h''=(f_0+c_0)m$ 式中: c_0 ——径向间隙系数 标准齿用 $c_0=0.25$ 矮 齿 用 $c_0=0.30$	$h''=1.25m=1.25 \times 2.5$ $=3.125$ 毫米
全 齿 高	h	$h=h'+h''$ 标准齿 $h=2.25m$ 矮 齿 $h=1.9m$	$h=2.25 \times 2.5=5.625$ 或 $h=2.5+3.125=5.625$ 毫米
齿顶圆直径	D_e	$D_e=d_f+2h'=m(z+2)$	$D_e=2.5(30+2)=80$ 毫米
齿根圆直径	D_i	$D_i=d_f-2h''=m(z-2.5)$	$D_i=2.5(30-2.5)=68.75$ 毫米
齿 轮 宽 度	B	设计确定。 $B=\psi \cdot m$ 一般机床齿轮 $B=(6\sim 10)m$ (式中齿宽系数 $\psi=6\sim 10$)	取 $\psi=8$ $B=8m=8 \times 2.5=20$ 毫米
内 孔 直 径	$d_{\text{孔}}$	按齿轮安装轴直径确定	$d_{\text{孔}}=40$ 毫米
公法线长度	L	$L=m\cos\alpha_f[\pi(n-0.5)+z\operatorname{inv}\alpha_f]$	$L=26.882$ 毫米
跨 齿 数	n	标准直齿轮 $n=0.111z+0.5$	$n=4$
周 节	t_f	$t_f=\pi m$	$t_f=3.1416(2.5)=7.854$ 毫米
分圆齿厚	s_f	$s_f=t_f/2=\pi m/2$	$s_f=7.854/2=3.927$ 毫米
基圆直径	d_f	$d_f=d_f\cos\alpha_f=mz\cos\alpha_f$	$d_f=75\cos 20^\circ=70.477$ 毫米
标准中心距	A_o	$A_o=\frac{1}{2}(d_{f1}+d_{f2})=\frac{1}{2}m(z_1+z_2)$	$A_o=\frac{1}{2} \times 2.5 \times (30+50)=100$ 毫米

我国机械工业通用标准 (JB 111—60) 还规定了模数的标准系列, 如表 1-2。

表 1-2 齿轮模数系列 (JB 111—60)

第一系列	1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 30, 36, 40, 45, 50
第二系列	1.75, 2.25, (2.75), (3.25), 3.5, (3.75), 4.5, (5.5), (6.5), 7, 9, (11), (13), (15), 28, 33

注: 选用模数时, 优先采用第一系列, 其次是第二系列, 括弧内的模数尽可能不用。

齿轮有了模数 m 这个参数, 不但对齿轮本身计算带来了方便 (表 1-1), 而且对于轮齿制造和测量工作也大为简便。更有了模数系列, 对于齿轮刀具等设计制造工作量也大为减少。

模数 m 这个参数尽管不是直接反映齿轮上的具体尺寸, 但实际上模数的大小表示了齿轮的大小, 模数愈大表示轮齿 (牙齿) 愈高大, 模数愈小表示轮齿 (牙齿) 愈矮小 (图 1-3, a)。

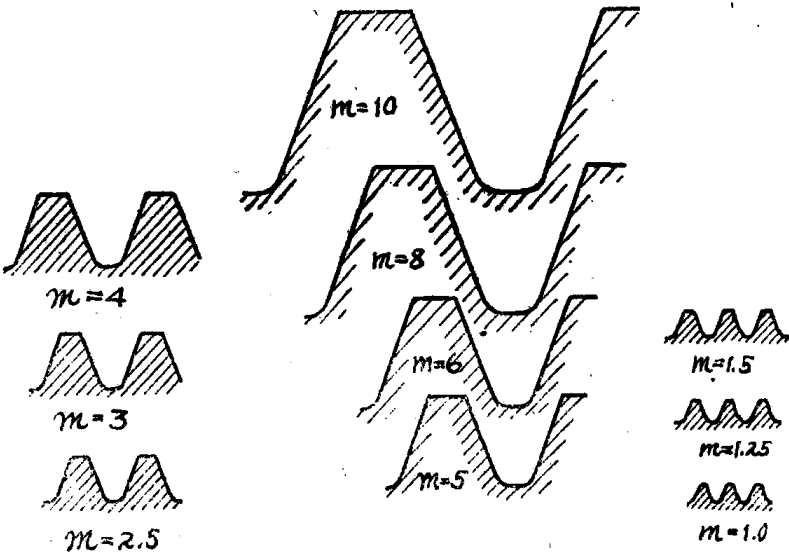


图 1-3 (a)

在世界各国中采用的齿轮标准制中基本上有两类: 一种是绝大多数国家采用的, 公制标准, 也就是我国所用的模数制标准; 另一种是少数国家 (主要是英、美等) 还在使用“径节”制齿轮, 俗称 DP 齿轮或英制齿轮。英制齿轮用径节 DP 作为齿轮标准化的基本参数, 其单位是“1/吋”。用它计算分度圆直径 d_f 时:

$$d_f = \frac{Z}{DP} \quad \text{单位是吋或英寸}$$

如果把此式等于公制标准时的 d_f (式 1-3), 则

$$\frac{Z}{DP} \times 25.4 = mZ$$

$$m = \frac{1}{DP} \times 25.4 \text{ 毫米} \quad (1-4)$$

式 (1-4) 说明, DP 与模数成为倒数关系, 也就是说 DP 愈大时表示轮齿愈矮小, DP 愈小表示轮齿愈高大 (图 1-3, b)。

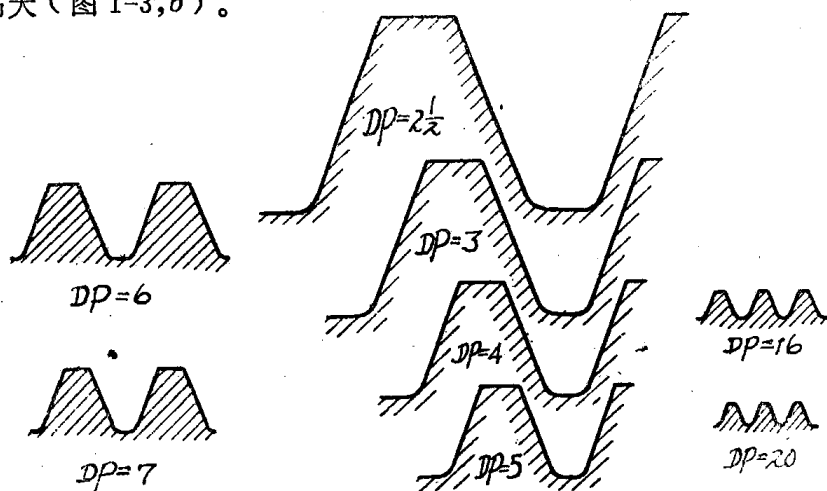


图 1-3 (b)

2. 模数选取时的一些考虑

模数 m 是齿轮计算时的基本参数, 模数大小会影响轮齿尺寸的大小, 但是如何合理选取呢? 这就要求我们对齿轮传动时存在的矛盾进行大概的了解和分析。齿轮传动的主要任务有两个: 传递动力和传递运动。当传递动力时, 力作用在轮齿上, 要使轮齿破坏, 而齿轮轮齿依靠自身的一定尺寸和材料性能来反抗破坏。破坏和反抗破坏这是齿轮在工作过程中始终存在的一对矛盾。一般把齿轮轮齿反抗破坏的能力称作齿轮的强度。

齿轮模数的大小和材料好坏是决定齿轮强度的主要因素。而齿轮受力的大小、传动速度的高低、工作时间的长短、工作条件的优劣等等则是引起齿轮破坏的主要因素。如果破坏因素上升为矛盾的主要方面, 就要相应地增大反抗破坏的能力; 如果反抗破坏方面中的某一因素减弱了, 那就要加强另外的因素以保持一定的反抗破坏的能力。例如, 轮齿受力大时, 齿轮的模数也要大; 齿轮传动速度高时, 轮齿上的动负荷大、磨损快, 齿轮的模数也要相应增大; 齿轮的使用寿命要求长时, 这时齿轮要能够在较长时间内承受较大的负荷并且磨损缓慢, 则模数也宜增大; 齿轮的工作条件 (如露天工作的开式传动和用油润滑的闭式传动) 以及加工装配的质量等都对确定模数的大小有影响。此外, 当齿轮材料较好, 热处理质量较好或者齿宽较大时, 齿轮的抗破坏能力提高, 齿轮的模数就可以相应减小。

在齿轮设计时, 要求齿轮具有足够的强度和使用寿命, 这样齿轮的模数要适当大些, 材料也要选优质的; 但是另一方面又要齿轮的尺寸小、重量轻、成本低。这两者要求间是互相矛盾的, 设计时, 必须正确处理这对矛盾。要根据齿轮使用的具体条件适当地选择齿轮的材料和热处理方法, 然后合理地确定齿轮的模数。一般情况下, 按传递扭矩 (或功率) 的大小和所选用的齿轮材料以及热处理方法来选取齿轮模数的大小。

3. 模数 m 选取的方法

(1) 类比法

在设计齿轮传动机构或机器时，常常对工作条件、传递功率、使用转速相近的同类型机器进行调查，比较某齿轮传动机构中实际使用的齿轮模数，而后再根据我们所设计的具体情况来确定齿轮的模数。这种确定模数的方法常称为类比法。它是生产上常用的经验设计方法。例如，我们在确定铣削动力头中齿轮的模数时，可以主要参考传动相同功率的铣床主轴箱中的模数来定。显然，这种方法是直接经验的运用。

(2) 经验估算法

生产中有时用下列经验计算式来估算机床传动齿轮的模数 m 。

已知条件为：小齿轮 $Z_1=20$ 左右，齿宽系数 $\psi_m=6\sim8$ ，

齿轮材料为中碳钢，高频淬火硬度 $HR_c\geq 45\sim 50$ ，

传递的功率为 N ，齿轮转速 n 。

a) 考虑到轮齿的弯曲疲劳破坏情况，齿轮模数 m 用下式计算

$$m \geq (31\sim 34) \sqrt[3]{\frac{N}{nZ}} \quad (1-5)$$

b) 考虑到轮齿齿面的点蚀情况：

$$\text{中心距 } A_o \geq 370 \sqrt[3]{\frac{N}{n_2}} \quad (\text{式中 } n_2 \text{ 为齿轮 } Z_2 \text{ 的转速}) \quad (1-6)$$

根据 A_o 及齿数 Z_1 、 Z_2 计算模数 m

$$m = \frac{2A_o}{Z_1 + Z_2} \quad (1-7)$$

(3) 计算法

当设计新型机器时，常常会碰到既无同类机器可类比，又无相近机器可参考的情况，或者要对现有齿轮的强度和使用寿命进行进一步的研究和改进，这样就必须对影响齿轮模数的各个因素进行更深入的分析，并要求把各个因素的影响用数量的关系表达出来，这就是确定模数的计算方法，常称为齿轮的强度计算。这部分内容将在第八章中详细讨论。

确定齿轮模数时，为了考虑到制造和修配的方便，希望选用标准模数，以及在同一台机床中所选用的模数种类，也尽可能地加以集中。

(二) 压力角 (齿形角) α

我国齿轮标准规定，渐开线齿形在分度圆上的压力角，简称分圆压力角 $\alpha_f=20^\circ$ 。有关这方面的内容将在下节讨论。

(三) 齿数 Z

一对齿轮转动，一般先决定小齿轮的齿数 Z_1 ，然后按传动比 i (速比) 要求决定大齿轮的齿数 Z_2 。

选取齿轮的齿数 Z_1 时，希望考虑下列情况：

1) 传动机构宜紧凑些

齿轮的齿数 Z 选取得多一些，传动比较平稳，但齿数取得较多时，齿轮的尺寸就较大，使传动机构的尺寸增大。齿数 Z 选取得较少时，传动机构尺寸就较紧凑。在不影响传动平稳要求的情况下，齿数宜取得少些。

2) 对于标准直齿轮的最少齿数希望不少于 17 牙

当齿数 Z 取得过少时，在齿轮加工时将出现根切现象，这会影响轮齿的弯曲强度，故对于 $\alpha_f=20^\circ$ 的标准直齿轮，其最少齿数希望 $Z_{\min} \geq 17$ 。如果必须取更少的齿数，则宜用变位齿轮，将在第五章讨论。

3) 要保证齿轮的轮体有一定的强度

如图 1-4 所示，应保证轮体的最小厚度 $l_r > 5$ 毫米，才能保持齿轮传动顺利进行。

此外，对于传动精度要求高的及高速齿轮传动，大小齿轮的齿数希望互为质数（即没有公约数），这样轮齿磨损就较均匀且传动精度较高。

（四）齿宽（轮齿宽度） B

齿宽取得大些，齿轮的承载能力就提高，因而相应地可减小些齿轮的径向尺寸，使传动结构紧凑。但齿宽 B 如取得过大，一方面由于轮齿受力后沿齿宽方向的载荷分布是不均匀的，另一方面，齿轮制造时的齿宽方向（齿向）误差也较大，更造成啮合传动时载荷分布的不均匀，齿越宽，这种不均匀现象越严重，以致可能造成啮合齿面加速磨损，轮齿提早损坏。为了解决这类矛盾，生产中常用经验公式计算齿宽 B 。

$$B = \psi \cdot m \quad \text{或} \quad B = \psi_A \cdot A$$

式中： ψ ——与模数 m 有关的齿宽系数，见表 1-3；

ψ_A ——与中心距 A 有关的齿宽系数，见表 1-3。

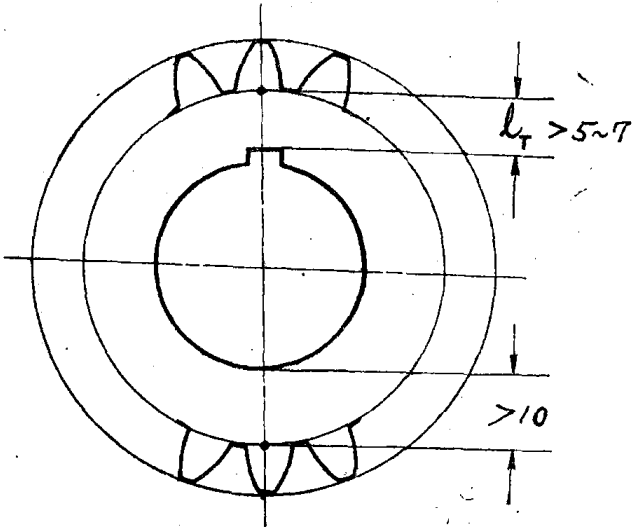


图 1-4 轮体最小厚度

表 1-3 齿宽系数建议表

齿宽系数 ψ		$\psi = \psi_m = B/m$	$\psi_A = B/A$	说 明
用 途				
机汽车 床车 变速箱	一 般 齿 轮	6 ~ 10	0.1 ~ 0.2	考虑到齿轮传动精度要求较高，以及结构地位较紧凑，故齿宽系数取得较小些。
	滑 动 齿 轮	6 ~ 8	0.1 ~ 0.15	
冶矿 金山 用 减速器	轻型减速器		0.2 ~ 0.4	传递功率大，要求轮齿的承载能力大，强度高，故齿宽系数选得大些。
	中型减速器		0.4 ~ 0.6	
	重型减速器		0.8 ~ 1.2	
开式传动齿轮		< 5 ~ 15	< 0.1 ~ 0.3	考虑到齿轮安装精度差，以及齿轮的径向尺寸一般不受限制，故齿宽系数也取得不大。

§ 1-2 齿轮常用的齿形曲线——渐开线

齿轮传动中主动轮的轮齿依次按从动轮的轮齿实现一定传动比的传动。在机器运转时经常要求齿轮传递的运动均匀没有冲击，这就要保证在任何瞬时传递的传动比都保持不变。是否齿轮上任何形状的轮齿都能达到这个“瞬时传动比”不变的传动要求呢？不是的。如图 1-5 中轮齿是长方形的齿轮，在传动中虽然主动轮是等速转动，而被动轮的转动则是或快或慢很不均匀。

在图 1-5 中，当主动轮轮齿从位置 I 转到位置 II 时转过角度为 φ_1 ，而从动轮转过角为 φ_2 。经过同样的瞬时，主动轮从位置 II 转到位置 III，同样转过 φ_1 角（等速转动），而从动轮转过的角度为 φ'_2 。显然 $\varphi'_2 > \varphi_2$ 。所以从动轮的瞬时速度是变化的。这是齿轮传动中不希望产生的情况。

因此，要保证瞬时传动比不变，对齿轮的轮齿形状（简称齿形）应有一定的要求。劳动人民在生产斗争的长期实践中逐渐认识了齿轮传动中对齿轮齿形曲线的这个要求。以后就出现了渐开线齿形、摆线齿形等不同齿形的齿轮。这些齿形都能满足瞬时传动比不变的要求，因此在生产中都得到了应用。而渐开线齿形由于制造容易，安装方便等特点，直到目前为止，在大多数齿轮传动中被广泛采用。

一、渐开线的形成及其特性

1. 渐开线的形成

如果在一个半径为 r_f 的圆盘的圆周上绕一根线，线的一头固定在圆周上（图 1-6, a），线的另一头 b 处栓上一支铅笔，并把线拉紧，然后将线逐渐展开，这时铅笔尖画出一条曲线 b_0b ，就是渐开线。

我们也可从另一图 1-6, b 来看渐开线的形成原理。当有一条直线（常称发生线）在一个半径为 r_f 的固定圆的圆周上作纯滚动（没有滑动的滚动）时，直线上任意点 B 的运动轨迹线 B_0B 就是形成的渐开线。图中半径为 r_f 的固定圆称为渐开线的基圆。

对比图 1-6, a 和图 1-6, b 可知， $\overline{b_0g}$ 相当于发生线 $\overline{BG_0}$ ，圆盘相当于基圆，所以曲线 b_0b 与 B_0B 都是渐开线。

由图 1-6, b 还可知，当发生线在基圆上作纯滚动时发生线上的一些任意点如 C, E, F 都会展出渐开线。尽管这些渐开线的位置不同，但渐开线的形状则相同。

渐开线齿轮的轮齿齿形就是由两条对称的渐开线所形成（图 1-7 及图 1-13）。

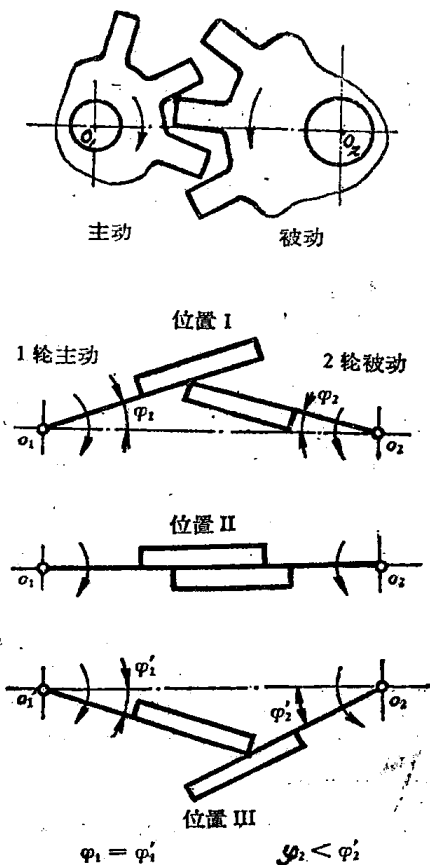


图 1-5

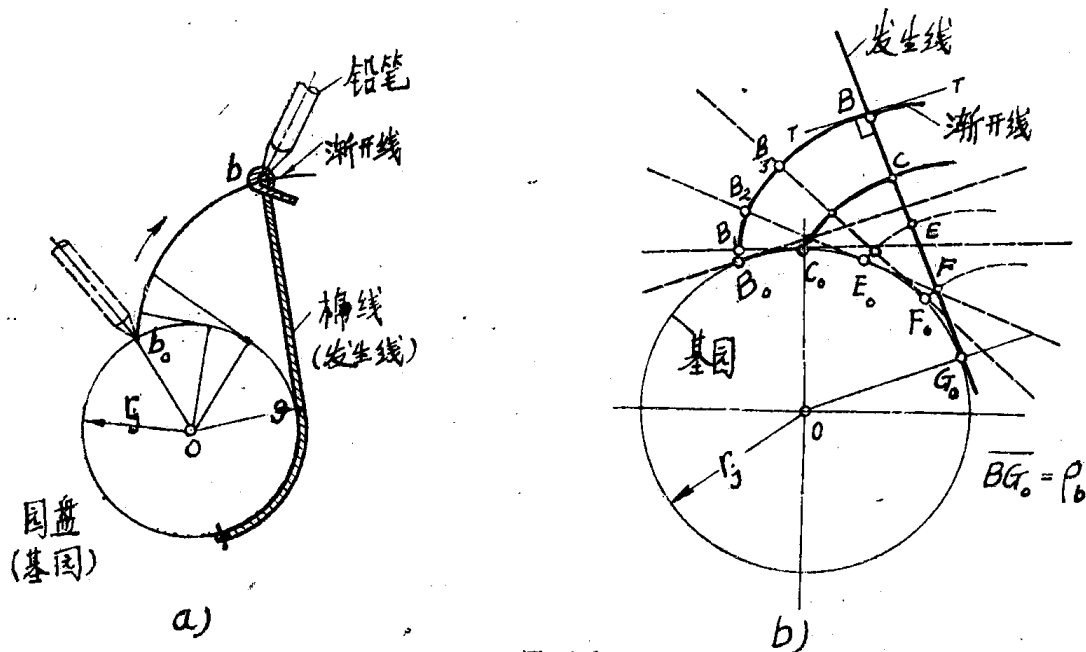


图 1-6

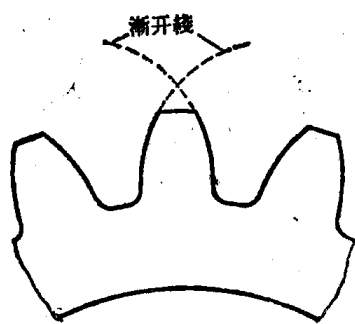


图 1-7

2. 渐开线特性

1) 渐开线自基圆开始，基圆外面才有渐开线，基圆以内无渐开线。

2) 渐开线上任意点都与发生线垂直的，故发生线就是渐开线上任意点的法线，该法线总与基圆相切的。如图 1-6, b 中，渐开线上任意点 B 的切线为 $\overline{TT}$ ，其法线 $\overline{BG_0}$ 就是发生线，并与基圆相切于 G_0 点。

又因渐开线上任意点 B 的发生线在该瞬时是以 $\overline{BG_0}$ 为半径绕切点 G_0 转动的，因此法线 $\overline{BG_0}$ 就是渐开线上 B 点的曲率半径 ρ_b ，点 G_0 是曲率中心。同理，渐开线上点 B_3 的曲率半径 $\rho_{b3} = \overline{B_3F_0}$ 、点 B_2 的曲率半径 $\rho_{b2} = \overline{B_2E_0}$...，由此可见，渐开线上各点的曲率半径 ρ 是变化的，离基圆越远，其曲率半径越大，说明渐开线越平坦些。

3) 渐开线上任意点的法线长度（也是曲率半径）等于发生线在基圆上滚过的弧长。如图 1-6, b 所示， $\overline{BG_0} = \widehat{B_0G_0}$ ， $\overline{B_3F_0} = \widehat{B_0F_0}$...

这可从图 1-6, a 中看出，因为法线 $\overline{bg}$ （发生线）原来是绕在基圆盘上的，而后从 b_0 处展开到 b 点的，所以法线长度 $\overline{bg} = \widehat{b_0g}$ 。

4) 渐开线的形状决定于基圆的大小

基圆愈小，渐开线愈弯曲（图 1-8，渐开线 1）；基圆愈大，渐开线愈平坦些（因曲率半径愈大的关系）；基圆半径 $r_b = \infty$ ，则渐开线变成成为直线（图 1-8 中的齿条齿形 3）。

二、压力角

在机械运动中常常会遇到压力角这个名词，它究竟指的是那一个角度呢？

当我们在导轨上推动拖板时，图 1-9，显然平推最有力。如果我们用的力是斜着向下