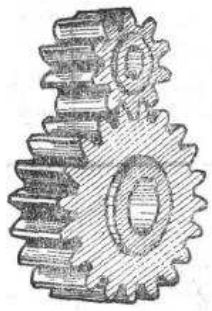
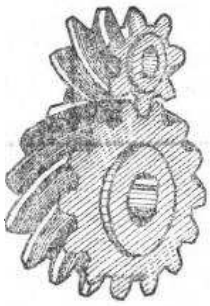
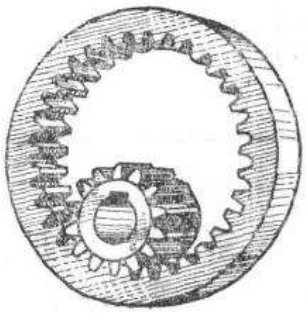
第11章　圆柱齿轮传动

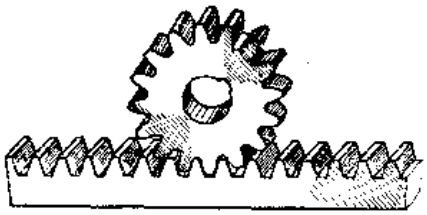
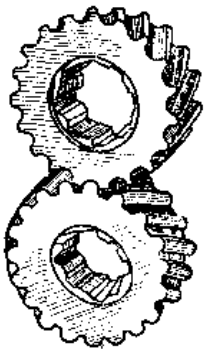
王秩信

圆柱齿轮传动是机械传动中应用最广泛的一种传动形式。圆柱齿轮按其齿廓可分为渐开线圆柱齿轮、摆线圆柱齿轮、圆弧圆柱齿轮、双圆弧圆柱齿轮；按其外形可分为圆柱齿轮、齿条；按其齿线的形状可分为直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、人字齿轮、直齿条、斜齿条。圆柱齿轮的分类列于表 11-0-1。

表11-0-1　圆柱齿轮的分类

种类	渐开线圆柱齿轮			
	平行轴传动			
	直齿轮	斜齿轮	人字齿轮	内齿轮
简图				
特点	加工容易，便于提高精度，装配维修简便，互换性好	大、小齿轮螺旋角相等，螺旋方向相反，重合度较大，传动平稳，缺点是传动时有轴向力	由两个螺旋角相同而螺旋方向相反的斜齿轮组成，除有斜齿轮的优点外，传动时对传动装置无轴向力	传动时外齿轮的凸齿面与内齿轮的凹齿面啮合，接触强度比外啮合齿轮大，无根切，两齿轮转动方向相同

（续）

种类	渐开线圆柱齿轮			圆弧圆柱齿轮	
	交错轴传动	齿轮齿条传动		单圆弧齿轮	双圆弧齿轮
	交错轴斜齿轮	直齿	斜齿		
简图					
特点	大、小齿轮的螺旋方向一般相同，也可以不同，大、小齿轮的螺旋角不一定相等，而与螺旋方向及轴交角有关，因此分度圆直径大小与齿数不一定成比例，小齿轮（齿数较少者）直径不一定比大齿轮小	能把回转运动转变为直线运动或者相反		小轮为凸面齿廓，大轮为凹面齿廓，接触强度高，磨损小而均匀，无根切，弯曲强度低于渐开线齿轮，端面重合度为零，故必须做成斜齿，一对齿轮要用两把刀具加工	整个齿形由凸凹圆弧组成，齿顶部分为凸圆弧，齿根为凹圆弧，凸凹圆弧齿廓分别同时啮合，故有两条啮合线，承载能力比单圆弧大，一对齿轮可用一把刀具加工

第1节　渐开线圆柱齿轮的常用术语及其代号

渐开线圆柱齿轮常用术语的定义（表11-1-1）主要是摘自国家标准 GB 3374—82《齿轮基本术语》，个别术语除了按 GB 3374—82定义之外，还作了些补充说明。

表11-1-2所列渐开线圆柱齿轮常用术语的代号主要是摘自国家标准GB2821—81《齿轮几何要素代号》，其中个别代号是采用GB3480—83《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》中的规定，还有个别代号是目前国内有关科技书刊中惯用的。

部分常用术语和代号如图 11-1-1～11-1-3 所示。

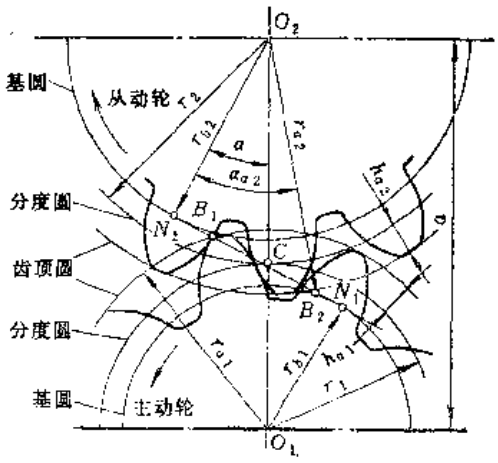


图11-1-1　直齿圆柱齿轮传动

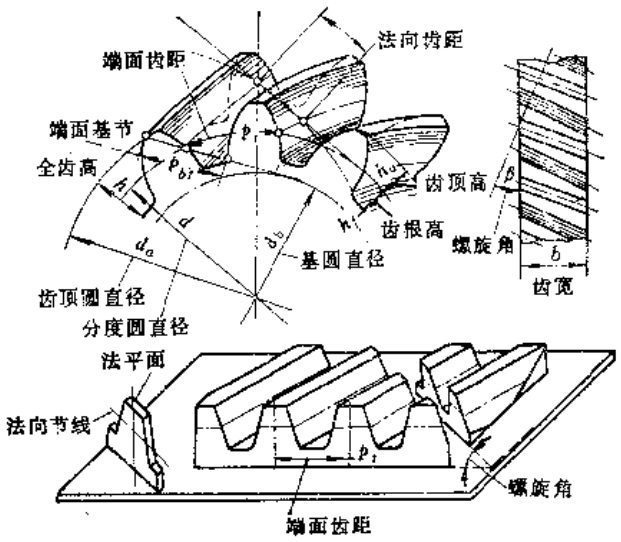


图11-1-2 斜齿圆柱齿轮

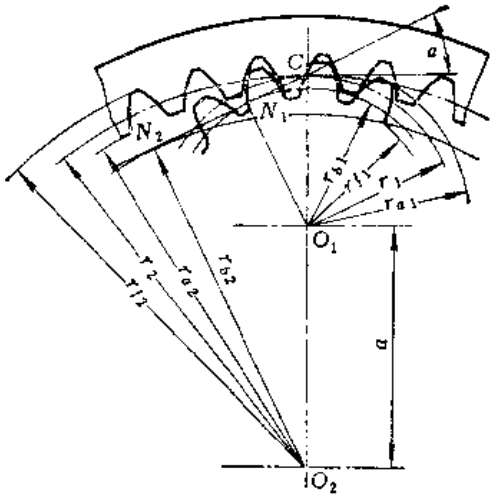


图11-1-3 圆柱内齿轮传动

表11-1-1 渐开线圆柱齿轮的常用术语及其定义

名　　称	代　号	定　　义
[标准]中心距	a	两齿轮分度圆柱相切时的中心距
角变位中心距	a'	角变位圆柱齿轮副啮合时的中心距
[啮合]节点	C	在一对相啮合的齿轮上，其两节圆的切点，也就是两啮合齿轮的啮合线与齿轮连心线的交点
分度圆直径	d	圆柱齿轮的分度圆柱面和分度圆的直径 分度圆是齿轮上的一个约定的假想圆，齿轮的轮齿尺寸均以此圆为基准面加以确定。对于标准齿轮，分度圆上的齿厚与齿槽宽各等于齿距的一半
节圆直径	d'	圆柱齿轮的节圆柱面和节圆的直径 节圆是齿轮节圆柱面与端平面的交线。而节圆柱面是在齿轮副中的任意一个齿轮上，其配对齿轮相对于该齿轮作回转运动时的瞬时轴的轨迹曲面。标准齿轮和高变位齿轮的节圆与分度圆相重合
基圆直径	d_b	圆柱齿轮的基圆柱面和基圆的直径 基圆是齿轮上的一个假想圆，形成渐开线齿廓的发生线在此假想圆的圆周上作纯滚动
啮合线长度	g_α	[端面]啮合线是齿轮副中的任意一对相啮合的端面齿廓，在其整个啮合过程中，其瞬时接触点在端平面上的运动轨迹。其端面啮合线与两相啮齿廓在其接触点处的、介于从动轮的齿顶圆与主动轮的齿顶圆两者之间的那一段公法线相重合。图11-1-1中的B_1B_2线段即为啮合线长度
传动比	i	在齿轮副或齿轮系中，其始端主动轮与末端从动轮的角速度比值
模数	m	齿距除以圆周率π所得的商，以mm计
齿距	p	在齿轮的某一个既定曲面上，一条给定的定斜曲线被两个相邻的同侧齿面所截取的长度
法向齿距	p_n	在斜齿轮的分度圆柱面上，其齿线的法向螺旋线在两个相邻的同侧齿面之间的弧长
[端面]齿距	p_t	在齿轮上，两个相邻而同侧的端面齿廓之间的分度圆弧长
轴向齿距	p_x	在斜齿轮的一个轴平面内，两个相邻的同侧齿廓之间的轴向距离

（续）

名　　称	代　号	定　　义
端面基圆齿距 （端面基节，基节）	p_{bt} （p_b）	在齿轮的一个端平面上，相邻的两个同侧齿廓的渐开线起始点之间的基圆弧长，它与这两个端面齿廓之间恒定的法向距离在数值上相等
径节	P	圆周率π除以齿距（以英寸计）所得的商 径节与模数的关系为：$m=\frac{25.4}{P}$
〔端面〕弦齿厚	$\bar{s}$	在齿轮的一个端平面上，一个齿的两侧端面齿廓之间的分度圆弧所对应的弦长
固定弦齿厚	$\bar{s}_c$	齿轮的一个齿和基本齿条的两个齿对称接触时，分布于该齿轮轮齿两侧齿面上的那两条接触线之间的最短距离
齿数比	u	齿轮副中，大齿轮齿数与小齿轮齿数的比值，$u>1$
公法线长度	W	对于外齿轮，相隔若干个齿的两外侧齿面分别与两平行平面之中的一个平面相切，此两平行平面之间的垂直距离称为该齿轮的公法线长度。对于内齿轮，指的是相隔若干个齿槽的两外侧齿面
〔径向〕变位系数	x	圆柱齿轮与产形齿条作紧密接触，齿轮的齿面与产形齿条的齿面一一相切时，介于齿轮的分度圆柱面与齿条的基准平面之间沿公垂线量度的距离，称为径向变位量。径向变位量除以模数所得的商称为〔径向〕变位系数。也就是说，切制变位齿轮时，产形齿条（齿条刀具）由标准位置（齿条的基准平面与被切齿轮的分度圆柱相切）沿径向移动的距离（即径向变位量）与模数的比值。按照惯例，基准平面与分度圆柱分离时，变位系数取正值；基准平面切割分度圆柱面时，取负值
中心距变动系数	y	角变位中心距与标准中心距之差除以模数所得到的商
齿顶高变动系数	ν	大小齿轮变位系数之和减去中心距变动系数之差
齿形角	α	基本齿条的法向压力角，也就是分度圆压力角
啮合角	α'	在一般情况下，两相啮轮齿的端面齿廓在接触点处的公法线与两节圆的内公切线所夹的锐角，称为啮合角。对于渐开线齿轮，指的是两相啮轮齿在节点上的端面压力角
法向压力角	α_n	过齿面上任意点处的径向直线与齿面在该点处的切平面所夹的锐角称为任意点的法向压力角。当任意点的位置限定在齿线上时，就称为法向压力角
〔端面〕压力角	α_t	在端平面内，过端面齿廓上任意点处的径向直线与齿廓在该点处的切线所夹的锐角称为任意点的〔端面〕压力角。当该点的位置限定在端面齿廓与分度圆相交的交点上时，就称为〔端面〕压力角
端面啮合角	α_t'	过齿廓与节圆相交点所作的径向直线与齿面在该点处的切平面所夹的锐角
螺旋角	β	斜齿轮分度圆螺旋线（分度圆柱面与齿面的交线称为分度圆螺旋线）的螺旋角 圆柱螺旋线的切线与通过切点的圆柱面直母线之间所夹的锐角
端面重合度	ε_α	端面作用角与齿距角的比值
纵向重合度	ε_β	纵向作用角与齿距角的比值
总重合度	ε_γ	总作用角与齿距角的比值
齿距角	τ	整个圆周（以角度单位表示）与齿数的比值，也就是端面齿距所对的圆心角
端面作用角	φ_α	端面作用弧所对圆心角
纵向作用角	φ_β	纵向作用弧所对圆心角
总作用角	φ_γ	总作用弧所对圆心角
基本齿廓		基本齿条的齿廓，它是确定某种齿制的轮齿尺寸比例的依据
基本齿条		在法截面内具有基本齿廓的假想齿条
产形齿条		一个能与基本齿条相贴合的齿条，其中一个齿条的齿恰好充满另一个齿条的齿槽
基准线		基本齿条的法平面与基准平面的交线，它是一条用于确定基本齿条的轮齿尺寸参数（齿厚与齿距的比值通常为0.5）的直线
基准平面		基本齿条上的一个假想平面，在该平面上，齿厚与齿距的比值为一个给定的标准值（通常为0.5）
齿面		位于齿顶曲面和齿根曲面之间的轮齿侧表面
齿廓		齿面被一个与齿线相交的既定曲面所截的截线
齿线		齿面与分度曲面的交线

（续）

名　　称	代　号	定　　义
标准齿轮		变位系数等于零的齿轮，又称非变位齿轮
共轭齿廓		一对相啮合的齿廓在整个啮合过程中，能按照预定的规律运动，既保持相切，而又不相互干涉
端面作用弧		齿轮在其啮合过程中，一个端面齿廓从啮合开始到啮合终止所转过的分度圆弧长
纵向作用弧		分别包含同一条齿线各一个端点的两个轴平面所截取的分度圆弧长
总作用弧		齿轮在其啮合过程中，一个齿面从啮合开始到啮合终止所转过的分度圆弧长

注：去掉〔 〕为全称。去掉〔 〕及其中的字为简称。在不引起误解和混淆的情况下可以用简称。

表11-1-2　渐开线圆柱齿轮几何计算常用代号（GB2821—81）

	代　号	名　　称	代　号	名　　称
主代号	a	中心距，标准中心距	v	线速度，分度圆上的线速度
	b	齿宽	W	公法线长度
	c	顶隙	x	〔径向〕变位系数
	C	节点	y	中心距变动系数
	d	直径，分度圆直径	z	齿数
	e	槽宽，分度圆槽宽		
	h	齿高，全齿高	α	压力角，齿形角，分度圆压力角
	i	传动比	β	螺旋角，分度圆螺旋角
	j	侧隙	γ	导程角
	k	跨越齿数，跨越槽数(用于内齿轮)	ε	重合度
	m	模数	η	槽宽半角，分度圆槽宽半角，滑动率
	M	量柱测量距，量球测量距	λ	齿顶高变动系数
	n	转数	ρ	曲率半径
	p	齿距，分度圆齿距	τ	齿距角
	P	径节	φ	作用角
	r	半径，分度圆半径	ψ	齿厚半角，几何压力系数
	s	齿厚，分度圆齿厚	ω	角速度
	u	齿数比	Σ	轴交角
下角标	a	齿顶的，齿顶高的	r	径的，径向的
	b	基圆的，基圆柱的	t	切向的，端面上的
	c	常值的，固定弦的	v	当量圆柱齿轮上的
	f	齿根的，齿根高的	x	轴的，轴向的
	k	跨齿数的，跨槽数的	y	任意点的，任意圆柱面上的
	n	法向的，法面上的	z	齿数的，螺旋线的
	0	刀具的	α	端面重合的，压力角的，齿高方向的
	1	小齿轮的	β	纵向重合的，螺旋角的，齿长方向的
	2	大齿轮的，内齿轮的	γ	总重合的
	Σ	总和的		
其它标记	$'$（一撇）	工作的，啮合的，节圆的（标注在主代号的右上角）	$''$（二撇）	测绘的，双面啮合的（标注在主代号的右上角）
	$*$（星号）	尺寸系数(尺寸与模数的比值)（标注在主代号的右上角）	—（横线）	弦的（标注在主代号的正上方）
复合代号	a'	角变位中心距	d'	节圆直径
	a_0'	切齿中心距	d_a	齿顶圆直径
	c^*	顶隙系数	d_{a0}	插齿刀齿顶圆直径

（续）

	代 号	名 称	代 号	名 称
	Δd_{a2}	内齿轮齿顶圆直径加大值	W_k	跨 k 齿的公法线长度
	d_b	基圆直径	W^*	$m=1$ 时的公法线长度
	d_f	齿根圆直径	x_n	法向变位系数
	d_M	量柱直径，量球直径(实际选用值)	x_t	端面变位系数
	d_M	量柱直径，量球直径(计算值)	x_τ	总变位模数
	d_0	插齿刀分度圆直径	x_Σ	总变位系数
	g_α	啮合线长度	x_{max}	齿顶变尖最大变位系数
	h_a	齿顶高	x_{min}	避免根切最小变位系数
	$\bar{h}_a$	弦齿高	x_0	插齿刀变位系数
	h_a^*	齿顶高系数	$y(y_t)$	中心距变动系数
	h_{a0}	刀具齿顶高	$y(y_t)$	齿顶高变动系数
	Δh^*_{a2}	内齿轮齿顶高减低系数	y_τ	中心距变动模数
	$\bar{h}_c$	固定弦齿高	z_{max}	最多齿数
复	h_f	齿根高	z_{min}	最少齿数
	i_0	插齿时的传动比	z_v	当量齿数
	$inv\alpha$	α 的渐开线函数	z_Σ	齿数和
	j_n	法向侧隙	z_0	插齿刀齿数
	j_t	圆周侧隙	z_{0min}	插齿刀最少齿数
合	m_n	法向模数	α'	啮合角
	m_t	端面模数	α_a	齿顶圆压力角
	p_b	基节	α_{a0}	插齿刀齿顶圆压力角
	p_{bn}	法向基节	α_{at}	端面齿顶圆压力角
代	p_{bt}	端面基节	α_M	量柱（或量球）中心所在圆的压力角
	p_n	法向齿距	α_n	法向压力角
	p_t	端面齿距	α_n'	法向啮合角
	p_x	轴向齿距	α_t	端面压力角
	p_z	导程	α_t'	端面啮合角
号	r'	节圆半径	α_0	插齿刀压力角
	r_a	齿顶圆半径	$\alpha_0'(\alpha_t'_0)$	切齿时啮合角
	r_b	基圆半径	β'	节圆螺旋角
	r_f	齿根圆半径	β_a	齿顶圆螺旋角
	r_0	插齿刀分度圆半径	β_b	基圆螺旋角
	$\bar{s}$	弦齿厚	ε_α	端面重合度
	s_a	齿顶厚	ε_β	纵向重合度
	s_a^*	齿顶厚系数	ε_γ	总重合度
	s_b	基圆[弧]齿厚	η_{max}	齿根最大滑动率
	$\bar{s}_c$	固定弦齿厚		

第2节 渐开线圆柱齿轮的基本知识

（一）渐开线的特性

（1）发生线沿基圆滚过的长度等于基圆上被滚过的圆弧长度，$\overset{\frown}{b_1c_1} = \overset{\frown}{ac_1}$（图11-2-1）；

（2）渐开线上任意一点的法线必与其基圆相切，反之，基圆上的切线必为渐开线上某点的法线；

（3）渐开线上各点的曲率半径 ρ 是不同的，越接近基圆的渐开线，其曲率半径越小。图11-2-1中，点 b_1 和 b_2 的曲率半径分别为 $\rho_1 = r_b tg\alpha_1$ 和 $\rho_2 = r_b tg\alpha_2$，因为 $\alpha_1 > \alpha_2$，所以 $\rho_1 > \rho_2$；

（4）渐开线的形状取决于其基圆的大小，基圆半径相等，则渐开线的形状完全相同，基圆越大，渐开线越平直，当基圆半径无穷大时，渐开线就成为直线（图11-2-2）；

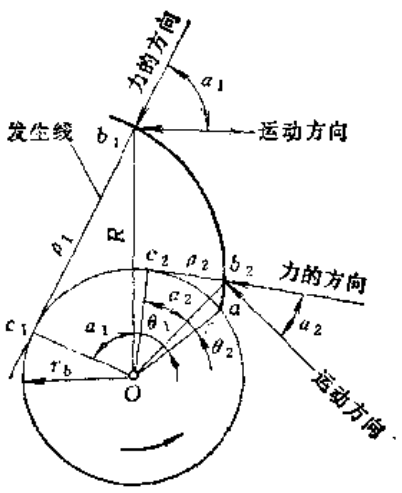


图11-2-1 渐开线的特性图之一

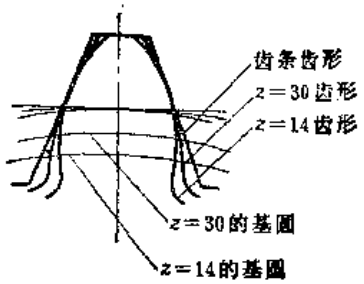


图11-2-2 渐开线的特性图之二

（5）同一基圆生成的两条同向的渐开线，彼此间法线距离相等，并等于两渐开线起始点的基圆弧长（图11-2-3 a），$a'_1 = \overset{\frown}{a_0a_1}$，$a'_2 = \overset{\frown}{a_1a_2}$；

（6）同一基圆生成的任意两条反向的渐开线，其公法线长度处处相等，$\overline{A_1B_1} = \overline{A_2B_2}$（图11-2-3 b）；

（7）基圆内无渐开线；

（8）渐开线上各点的压力角是不相等的，越接近基圆，压力角越小，图11-2-1中的$\alpha_2 < \alpha_1$，基圆上的压力角等于零，即$\alpha_b = 0$。

渐开线的极坐标方程为（图11-2-1），

$$R = \frac{r_b}{\cos\alpha}$$

$$\theta = \mathrm{inv}\,\alpha = \mathrm{tg}\,\alpha - \alpha$$

式中 R——渐开线上任意点的向径；

r_b——基圆半径；

θ——渐开线上任意点的渐开角，也称为压力角α的渐开线函数；

α——压力角，最后一项α按弧度(rad)计。

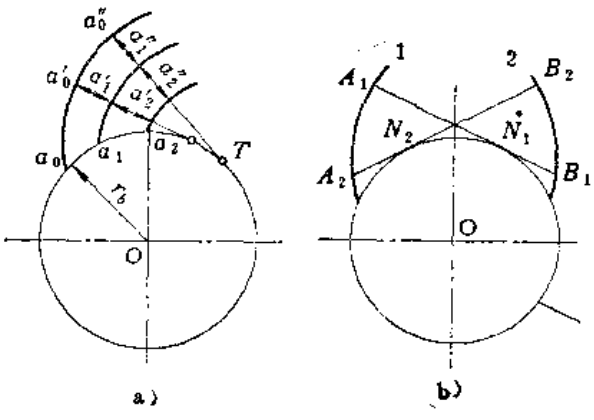


图11-2-3 渐开线的特性图之三

（二）渐开线齿廓啮合传动的特点

（1）传动比恒定不变；

（2）中心距的变动不影响传动比，即中心距的可分离性；

（3）两齿轮在节点处啮合时，齿面间的相对滑动速度为零，啮合点离节点愈远，齿面间的相对滑动速度也愈大，从而加速了齿面的磨损，使齿轮发热，对传动平稳性和传动效率都不利；

（4）外啮合齿轮传动是凸齿面对凸齿面的啮合传动，从接触强度看，承载能力较差；

（5）用范成法（如滚齿或插齿等）加工标准齿轮（$x = 0$）时，如果齿轮的齿数$z < z_{min}$时，齿形将发生根切（z_{min}见表11-2-1～11-2-4）。

（6）一对啮合的标准直齿轮，小轮的齿根厚度比大轮的薄，如果两轮采用相同的材料和相同的热处理工艺，则小轮齿根的弯曲强度较低；

（7）标准直齿轮齿根的滑动率大于齿顶的滑动率，而小轮齿根的滑动率又大于大轮齿根的滑动率，因此用同样材料制成的一对齿轮，小轮齿根的齿面磨损较快；

（8）啮合线是过节点的直线；

（9）能与直线齿廓的齿条啮合；

（10）可进行变位及各种修形、修缘，以适应提高传动质量的要求。

表11-2-1 用齿条型刀具加工标准直齿轮（$x=0$）不产生根切的最少齿数 z_{min}和最小变位系数x_{min}[18]

α	$14^1/_2°$		$15°$		$20°$		$25°$		$30°$	
h_a^*	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1
z_{min}	25	32	24	30	14	17	9	11	6.5	8
x_{min}	$\frac{25-z}{32}$	$\frac{32-z}{32}$	$\frac{24-z}{30}$	$\frac{30-z}{30}$	$\frac{14-z}{17}$	$\frac{17-z}{17}$	$\frac{9-z}{11}$	$\frac{11-z}{11}$	$\frac{6.5-z}{8}$	$\frac{8-z}{8}$
计算公式	$z_{min}=\frac{2h_a^*}{\sin^2\alpha}$				$x_{min}=\frac{h_a^*(z_{min}-z)}{z_{min}}=h_a^*-\frac{z\sin^2\alpha}{2}$					

表11-2-2 用齿条型刀具加工标准斜齿轮（$h_{a_n}^*=1$，$x=0$）不产生根切的最少齿数z_{min}[8]

α_n \ β	0°	10°	13°	19°	20°	23°	28°	30°	32°	35°	39°	40°	43°	47°	50°
$14^1/_2°$	32	30	29	27	26	25	22	21	19	17	15	14	12	10	8
15°	30	29	28	25	25	23	22	19	18	17	14	13	12	10	8
20°	17	16	16	14	14	13	12	10	10	10	8	7	7	6	6
计算公式	$z_{min}=\frac{2h_{a_t}^*}{\sin^2\alpha_t}=\frac{2h_{a_n}^*\cos^2\beta_b\cos\beta}{\sin^2\alpha_n}\approx\frac{2h_{a_n}^*\cos^3\beta}{\sin^2\alpha_n}$														

表11-2-3 用插齿刀（$x_0=0$）加工标准直齿轮（$x=0$）不产生根切的最少齿数z_{min}

α_n	h_a^*	切齿时齿数比 u_0						
		1	2	3	4	8	10	∞
$14^1/_2°$	1 0.8	22 17	26 20	28 22	29 23	30 24	30 24	32 25
15°	1 0.8	21 17	24 19	25 20	26 21	28 22	29 23	30 24
20°	1 0.8	13 10	14 11	15 12	16 12	16 13	17 13	17 14
25°	1 0.8	9 6	10 8	10 8	10 9	10 9	11 9	11 9
30°	1 0.8	6 5	6 5	7 5	7 6	8 6	8 6	8 6
计算公式	$z_{min}=\frac{2h_a^*\left[i_0+\sqrt{i_0^2+(2i_0+1)\sin^2\alpha}\right]}{(2i_0+1)\sin^2\alpha}$，$i_0=\frac{x_0}{z}$							

表11-2-4　用插齿刀（$x_0=0$）加工标准直齿轮（$x=0$）不产生根切的最少齿数z_{min}

（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$）

插齿刀齿数z_0	12～16	17～22	24～30	31～38	40～60	68～100
插齿刀齿顶高系数h_{a0}^*	1.3	1.3	1.3	1.25	1.25	1.25
最少齿数z_{min}	16	17	18	18	19	20
计算公式	$z_{min}=\sqrt{z_0^2+\frac{4h_{a0}^*}{\sin^2\alpha}(z_0+h_{a0}^*)}-z_0$					

注：表中z_{min}数值是按$\alpha_0=20°$，$x_0=0$时算出的。若刀具变位系数$x_0>0$，z_{min}将略小于表中值；若$x_0<0$，z_{min}将略大于表中值。此时（$x\neq 0$ z）$_{min}$的计算式为$z_{min}=\frac{\sqrt{(z_0+2h_{a0}^*+2x_0)^2-(z_0\cos\alpha)^2}}{\cos\alpha\,\mathrm{tg}\alpha_0'}-z_0$，式中$\alpha_0'$见表11-5-7表注。

（三）斜齿轮传动的特点

斜齿轮传动是在相互平行的两轴间进行，所以它的正确啮合条件是：两齿轮的法向基节相等（$p_{bn1}=p_{bn2}$）和两齿轮的分度圆螺旋角相等（$\beta_1=\beta_2$），螺旋方向相反。

斜齿轮的齿面和分度圆柱的交线是一条螺旋线，在垂直于轮齿螺旋线方向的法面上，其齿形与端面上的齿形是不同的。在端面上，斜齿轮具有渐开线齿形，而在法面上不是渐开线齿形。

用齿轮滚刀加工斜齿轮时，在被加工齿轮的法向截面上应具有与刀具相同的参数（如m_n和α_n）。但斜齿轮的端面齿形是渐开线齿形，其几何尺寸是按端面参数计算的。因此必须分清法向参数和端面参数的关系。例如$m_t=\frac{m_n}{\cos\beta}$，$\mathrm{tg}\,\alpha_t=\frac{\mathrm{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$，$p_t=\frac{p_n}{\cos\beta}$，$h_{at}^*=h_{an}^*\cos\beta$，$c_t^*\approx c_n^*\cos\beta$，$h_{an}^*m_n=h_{at}^*m_t$，$c_n^*m_n=c_t^*m_t$，$p_{bt}=\frac{p_{bn}}{\cos\beta_b}$，$p_{bt}=\pi m_t\cos\alpha_t$，$p_{bn}=\pi m_n\cos\alpha_n$，$s_t=s_n/\cos\beta$，$s_{bt}=s_{bn}/\cos\beta_b$等。

斜齿轮端面上的几何尺寸可利用直齿轮的有关公式来计算，但均须用端面参数代入。在计算分度圆弦齿厚、公法线长度时，公式中的齿数z不是按实际齿数，而是用当量齿数z_v代入，即：

$$z_v=\frac{z}{\cos\beta\cos^2\beta_b}\approx\frac{z}{\cos^3\beta}$$

斜齿轮的螺旋线导程p_z与螺旋角β的关系如下：

$$p_z=\frac{\pi d}{\mathrm{tg}\beta}$$

同一斜齿轮，其齿面上各点的导程是相等的，由于齿顶圆柱、分度圆柱和基圆柱的直径不同，所以各圆柱的螺旋角（分别为β_a，β，β_b）也是不同的，它们之间的关系如下：

$$\mathrm{tg}\beta_a=\frac{d_a}{d}\mathrm{tg}\,\beta$$

$$\mathrm{tg}\beta_b=\frac{d_b}{d}\mathrm{tg}\,\beta=\cos\alpha_t\mathrm{tg}\,\beta$$

斜齿轮在啮合传动过程中，由于轮齿呈螺旋形，在啮合区内齿面上的接触线是斜线（图11-2-4），其总长度要比直齿轮的长，因此齿面上的单位压力较小，其同时参加啮合的齿数也比直齿轮多，所以斜齿轮比直齿轮的承载能力要大。

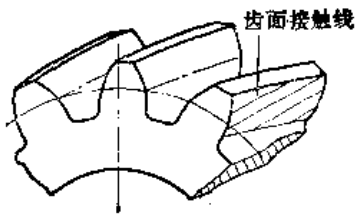


图11-2-4　斜齿轮齿面接触线

斜齿轮不发生根切的最少齿数z_{min}比直齿轮少（表11-2-2），传动平稳性也比直齿轮好，但在啮合传动时将产生轴向力，其大小将随螺旋角的增加而增大。

斜齿轮的压力角和螺旋角之间的关系列于表11-2-5。

表11-2-5 斜齿轮的压力角与螺旋角的关系[11]

压力角		螺旋角	
端面	法向	分度圆	基圆
$\sin\alpha_t=\frac{\sin\alpha_n}{\cos\beta_b}$	$\sin\alpha_n=\sin\alpha_t\cos\beta_b$	$\sin\beta=\frac{\sin\beta_b}{\cos\alpha_n}$	$\sin\beta_b=\sin\beta\cos\alpha_n$
$\cos\alpha_t=\frac{\operatorname{tg}\beta_b}{\operatorname{tg}\beta}$	$\cos\alpha_n=\frac{\sin\beta_b}{\sin\beta}$	$\cos\beta=\frac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\operatorname{tg}\alpha_t}$	$\cos\beta_b=\frac{\sin\alpha_n}{\sin\alpha_t}$
$\operatorname{tg}\alpha_t=\frac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$	$\operatorname{tg}\alpha_n=\operatorname{tg}\alpha_t\cos\beta$	$\operatorname{tg}\beta=\frac{\operatorname{tg}\beta_b}{\cos\alpha_t}$	$\operatorname{tg}\beta_b=\operatorname{tg}\beta\cos\alpha_t$
$\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_n}=\frac{\cos\beta}{\cos\beta_b}$	$\frac{\sin\alpha_t}{\sin2\alpha_n}=\frac{\sin\beta}{\sin2\beta_b}$	$\frac{\operatorname{tg}\alpha_t}{\sin\alpha_n}=\frac{\operatorname{tg}\beta}{\sin\beta_b}$	$\frac{\sin\alpha_t}{\operatorname{tg}\alpha_n}\frac{\sin\beta}{\operatorname{tg}\beta_b}=1$
$\operatorname{tg}\alpha_n'=\operatorname{tg}\alpha_t'\cos\beta'$	$\cos\alpha_t'=\frac{a}{a'}\cos\alpha_t=\frac{d}{d'}\cos\alpha_t$	$\operatorname{tg}\beta'=\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_t'}\operatorname{tg}\beta$	

式中 α_t——端面压力角；
α_n——法向压力角；
α_t'——端面啮合角；
α_n'——法向啮合角；
β——螺旋角；
β_b——基圆螺旋角；
β'——节圆螺旋角；
a——标准中心距；
a'——角变位中心距

（四）内齿轮传动的特点

内齿轮的齿厚相当于外齿轮的齿槽宽，而其齿槽宽则相当于外齿轮的齿厚。内齿轮啮合传动时，两轮的齿面是凹、凸齿接触，其接触强度比外啮合高。

内齿轮的齿顶圆和齿根圆位置与外齿轮恰恰相反，其齿顶圆小于齿根圆。

内齿轮的齿顶圆必须大于基圆，否则，由于基圆内无渐开线，将使齿顶高部分有一段为非渐开线，并产生啮合干涉，从而不能保证正确的啮合传动。基于这个原因，标准内齿轮的最少齿数 z_{min} 如表11-2-6所列。

表11-2-6 标准内齿轮（$x=0$）的最少齿数z_{min}

α \ h_a^*	1	0.8
20°	34	27
15°	59	47
$14^1/_2$°	63	51
计算公式	$z_{min}\geqslant\frac{2h_a^*}{1-\cos\alpha}$	

内齿轮传动时，其小齿轮放在内齿轮里面，两轮的中心O_1、O_2都在啮合节点的同一侧(图11-1-3)，其标准中心距为

$$a=\frac{m}{2}(z_2-z_1)$$

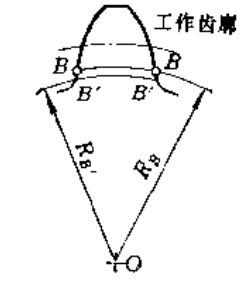
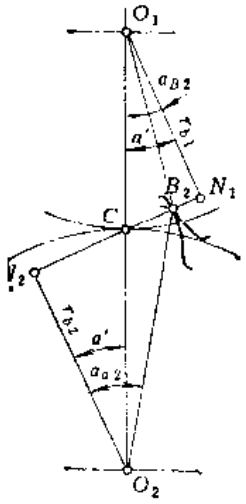
内齿轮传动的正确啮合条件除了 $p_{b1}=p_{b2}$ 外，还要求 $\varepsilon_\alpha>1$。为此，两轮的基圆必须相交（图11-1-3），只有这样才能使两基圆有公切线——啮合线，保证啮合角$\alpha'>0$。否则，如果两轮的基圆相切于一点，则$\alpha'=0$；如果小轮基圆在内齿轮基圆以内，则两轮无内公切线，即无啮合线，从而不能进行正确啮合。当两啮合齿轮的齿数差很小时就容易产生上述情况。

内齿轮传动时，两齿轮的旋转方向相同，与外啮合传动相比，其相对角速度较小，齿面间的相对滑动速度也较小，所以内啮合齿轮传动的齿面磨损也较少。

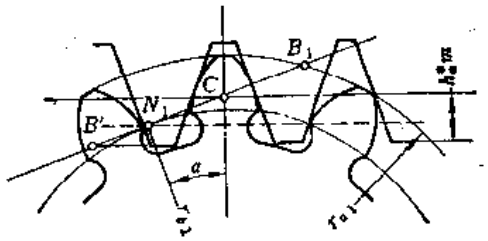
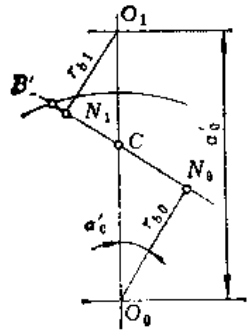
内齿轮无根切。

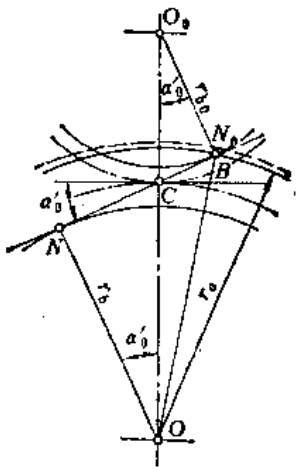
用插齿刀加工的内齿轮，其全齿高或齿根高有

表11-2-7　外齿轮副的传动干涉和根切、顶切

名称	图　　例	说　　明	不产生干涉的条件	防止干涉的措施
过渡曲线干涉	 	啮合传动时，一齿轮齿顶的渐开线与另一相啮合齿轮齿根的过渡曲线相接触称为过渡曲线干涉。一般情况，外齿轮不论用齿条刀具或插齿刀加工，都不会发生这种干涉。用滚刀加工变位系数绝对值过大的齿轮时[18]或插齿刀的齿数z_0小于与被切齿轮相啮合的齿轮齿数时，容易产生这种干涉	必须保证齿轮工作齿廓的边界点B不低于过渡曲线的起始点B'，$R_B>R_{B'}$，或齿廓工作段起始点的压力角α_{B2}必须大于或等于齿廓渐开线起始点的压力角$\alpha_{B'2}$① 用齿条刀具加工时， 对小齿轮 $$\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_2}{z_1}(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha')\geqslant\mathrm{tg}\alpha-\frac{4(h_a^*-x_1)}{z_1\sin 2\alpha}$$ 对大齿轮 $$\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_1}{z_2}(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha')\geqslant\mathrm{tg}\alpha-\frac{4(h_a^*-x_2)}{z_2\sin 2\alpha}$$ 用同一把插齿刀加工时， 对小齿轮 $$\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_2}{z_1}(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha')$$ $$\geqslant[(z_1+z_0)\mathrm{tg}\alpha_0'-z_0\mathrm{tg}\alpha_{a0}]\frac{1}{z_1}$$ 对大齿轮 $$\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_1}{z_2}(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha')$$ $$\geqslant[(z_2+z_0)\mathrm{tg}\alpha_0'-z_0\mathrm{tg}\alpha_{a0}]\frac{1}{z_2}$$	1.减小变位系数 2.插齿刀的齿数大于与被切齿轮相啮合的齿轮齿数

（续）

名称	图　　例	说　　明	不产生干涉的条件	防止干涉的措施
根切	 	用范成法切制齿数较少的齿轮时，刀具顶部切去轮齿齿根的一部分渐开线的现象称为根切。其根本原因在于切齿时，刀具的齿顶线（或齿顶圆）与啮合线的交点B'超出了齿轮基圆与啮合线的切点N_1	用齿条刀具切齿时： $z_{min}=\frac{2h_a^*}{\sin^2\alpha}$ （见表11-2-1） 用插齿刀切齿时： $z_{min}=\sqrt{x_0^2+\frac{4h_{a0}^*}{\sin^2\alpha}(x_0+h_{a0}^*)}-x_0$ （见表11-2-4）	1.减小齿顶高系数 2.加大齿形角 3.正变位修正

顶切		用插齿刀加工时，如轮坯的齿顶圆超过了啮合线与插齿刀基圆的切点N_0(如图中虚线所示)，则齿轮齿顶处的部分渐开线将被切去	用插齿刀加工标准齿轮不顶切的最多齿数： $z_{max}\approx\frac{z_0^2\sin^2\alpha-4h_a^{*2}}{4h_a^*-2z_0\sin^2\alpha}$ (见表11-2-9)	1.减小齿顶高系数 2.正变位修正 3.增加插齿刀的齿数

① 齿廓渐开线起始点的压力角$\alpha_{B'}$

齿条刀具加工时(见表11-2-13图 c，但B_2改为B'_2，α_{B2}改为$\alpha_{B'2}$)：

$$\mathrm{tg}\,\alpha_{B'2}=\mathrm{tg}\,\alpha-\frac{4(h_a^*-x)}{z\sin 2\alpha}$$

齿轮插刀切齿时(见本表图，但B_2改为B'_2，α_{B2}改为$\alpha_{B'2}$，α_{a2}改为α_{a0}，α'改为α'_0)：

$$\mathrm{tg}\alpha_{B'2}=\frac{1}{z}[(z+z_0)\mathrm{tg}\alpha'_0-z_0\mathrm{tg}\alpha_{a0}]$$

齿廓工作段起始点的压力角α_{B2}(见本表图)

对小齿轮：

$$\mathrm{tg}\alpha_{B2}=\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_2}{z_1}(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha')$$

对大齿轮：

$$\mathrm{tg}\alpha_{B1}=\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_1}{z_2}(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha')$$

时会出现小于标准值的现象。这是因为只有当插齿刀的变位系数x_0与被加工的内齿轮变位系数x_2相等（即$x_2-x_0=0$）时才能切出标准的齿高值。若$x_2\neq x_0$时，则切出的内齿轮全齿高或齿根高将比标准值小（见表11-5-10实例计算）。当x_2为正值，而x_0为负值时，全齿高或齿根高减小量较大，甚至不能保证正常的啮合传动。内齿轮的齿高是由插齿刀的齿顶圆直径d_{a0}和切齿时的中心距a_0'所决定的，所以内齿轮不能采用齿条型刀具加工齿轮的公式来计算齿高。

标准内齿轮和高变位内齿轮传动，为了避免过渡曲线干涉（见表11-2-8），内齿轮的齿顶圆直径应加大：

$$\Delta d_{a2}=\frac{2\,h_a^{*2}m}{z_2\mathrm{tg}^2\alpha}$$

（五）用插齿刀加工圆柱齿轮的几何特点

与用齿条型刀具相比，用插齿刀加工圆柱齿轮有以下的特点：

（1）用插齿刀可以切制齿数较少的齿轮而不发生根切（见表11-2-1、11-2-3）。

（2）用插齿刀切制的齿轮，齿根圆直径d_f随插齿刀的齿数z_0及其变位系数x_0的大小与重磨次数的多少而变化，即$d_f=2a_0'\mp d_{a0}$。其中a_0'为切齿时插齿刀与被加工齿轮的中心距，其计算公式见表11-5-7、11-5-13，d_{a0}为插齿刀的齿顶圆直径。大多数情况下，齿轮齿根圆直径比用齿条型刀具加工同样尺寸齿轮的齿根圆直径要小。

（3）用插齿刀加工变位齿轮时，齿顶高变动系数y值与用齿条型刀具加工时的y值不同。在用齿条型刀具加工的齿轮副中，不论正变位或负变位，其y均为正值，而且两啮合齿轮的y值相等；而在用插齿刀加工的齿轮副中，y有时为正值，有时为负值或为零值。而且如果相啮合的两齿轮不是用同一把插齿刀加工时，则由于它们的x_0不同，其y值也就可能不同。

（4）因上所述，用插齿刀加工的齿轮副的啮合顶隙不一定为标准值，顶隙的大小将随刀具刃磨后所得不同的x_0值而变化。只有当所使用的插齿刀的齿顶圆直径d_{a0}和刀具变位系数x_0与齿轮设计计算中所采用的数值相一致时，才能得到标准顶隙值c^*m。

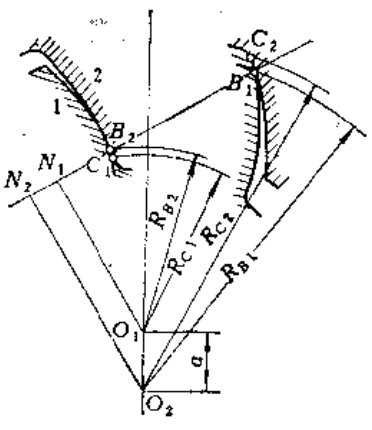
（5）用插齿刀加工齿轮，容易产生刀具齿根的非渐开线部分切去齿轮齿顶的顶切现象。

（6）用插齿刀可以切制较大变位系数的外齿轮。而用齿条型刀具切削变位系数大的齿轮时，由于齿根过渡曲线与渐开线的连接点迅速移向齿顶，以致渐开线部分无法完全形成。

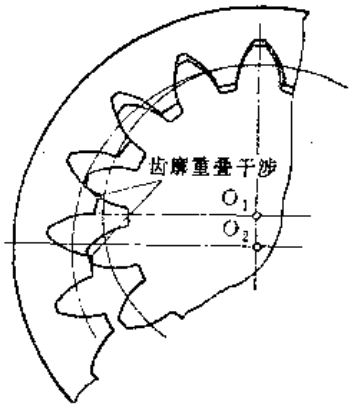
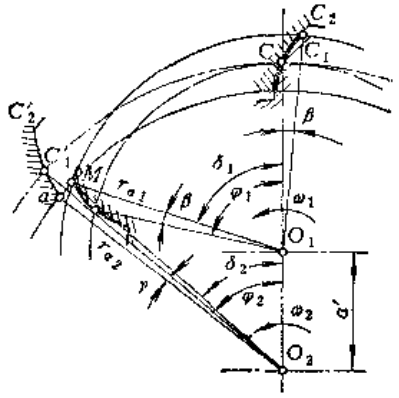
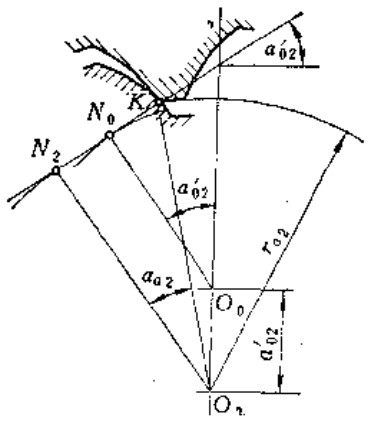
（六）圆柱齿轮的传动干涉与切削加工时的根切和顶切

圆柱齿轮的传动干涉与切削加工时的根切和顶切如表11-2-7、11-2-8所示。

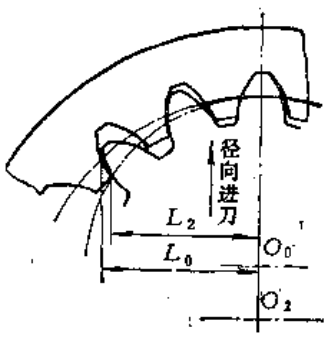
表11-2-8　内齿轮副的传动干涉和顶切

名称	图　　例	说　明	不产生干涉的条件	防止干涉的措施
过渡曲线干涉（或渐开线干涉）		当小（内）齿轮的齿顶与内（小）齿轮的齿根过渡曲线相接触时，便引起过渡曲线干涉。标准内齿轮副（$x_1=x_2=0$）容易产生这种干涉	对内齿轮：$R_{C2}\geqslant R_{B1}$，即： $z_{02}\mathrm{tg}\alpha_{a02}+(z_2-z_{02})\mathrm{tg}\alpha_{02}'$ $\geqslant z_1\mathrm{tg}\alpha_{a1}+(z_2-z_1)\mathrm{tg}\alpha'$ 对小齿轮：$R_{B2}\geqslant R_{C1}$，即： 用齿条刀具加工时 $z_2\mathrm{tg}\alpha_{a2}-(z_2-z_1)\mathrm{tg}\alpha'$ $\geqslant z_1\mathrm{tg}\alpha-\dfrac{4(h_a^*-x_1)}{\sin 2\alpha}$ 用齿轮插刀加工时 $z_2\mathrm{tg}\alpha_{a2}-(z_2-z_1)\mathrm{tg}\alpha'$ $\geqslant(z_1+z_{01})\mathrm{tg}\alpha_{01}'-z_{01}\mathrm{tg}\alpha_{a01}$	1.加大内齿轮的变位系数x_2，同时略增加小齿轮的变位系数x_1 2.加大内齿轮的齿顶圆直径，加大量为： $\Delta d_{a2}=\dfrac{2(h_a^*-x_2)^2m}{z_2\mathrm{tg}^2\alpha}$

（续）

名称	图　　例	说　　明	不产生干涉的条件	防止干涉的措施
齿廓重叠干涉	 	小齿轮轮齿结束啮合退出内齿轮齿槽时，小轮齿顶与内齿轮齿顶相互重叠称为齿廓重叠干涉。齿数差(z_2-z_1)越小，越容易产生这种干涉。$(z_2-z_1)\geqslant 10$时不会产生这种干涉	$(z_2-z_1)\text{inv}\alpha' + z_1(\text{inv}\alpha_{a1}+\delta_1) - z_2(\text{inv}\alpha_{a2}+\delta_2)\geqslant 0$ 式中 $\cos\delta_1 = \dfrac{d_{a2}^2 - 4a'^2 - d_{a1}^2}{4a' d_{a1}}$ $\cos\delta_2 = \dfrac{d_{a2}^2 + 4a'^2 - d_{a1}^2}{4a' d_{a2}}$ 或　$(z_2-z_1)\geqslant(z_2-z_1)_{min}$ $(z_2-z_1)_{min}$见表11-2-10	1.加大齿数差(z_2-z_1) 2.增大啮合角 3.减小齿顶高 4.加大x_2
内齿轮齿顶非渐开线干涉		内齿轮齿数z_2太少，以致于其基圆大于齿顶圆，使齿顶上存在一部分非渐开线齿廓，这种齿轮与小齿轮啮合时就会发生这种涉干	$d_{a2}\geqslant d_{b2}$ 或　$z_2\geqslant \dfrac{2(h_a^*-x_2)}{1-\cos\alpha}$（当$\Delta h_{a2}^*=0$时） 对于标准内齿轮 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$z_2\geqslant 34$ $\alpha=20°$，$h_a^*=0.8$，$z_2\geqslant 27$ （见表11-2-6）	1.增加内齿轮齿数z_2
范成顶切		加工内齿轮时，若内齿轮齿顶圆超过啮合线与插齿刀基圆的切点N_0时，内齿轮齿顶处一部分渐开线被切去，称为范成顶切	$N_2K\geqslant N_2N_0$，即： $\dfrac{z_{02}}{z_2}\geqslant 1-\dfrac{\text{tg}\alpha_{a2}}{\text{tg}\alpha'_{02}}$	1.加大啮合角 2.增加x_2 3.插齿刀齿数z_0不少于表11-2-11中的齿数

（续）

名称	图　　例	说　　明	不产生干涉的条件	防止干涉的措施
径向进刀顶切		在径向进刀时，插齿刀齿顶切去内齿轮齿顶的一部分而形成的顶切 齿数差(z_2-z_0)越小越易产生这种顶切 注：$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$x=0$，$(z_2-z_0)\geqslant 16$时不会产生这种顶切	$L_2-L_0\geqslant 0$ $L_2=r_{a2}\sqrt{1-\dfrac{u_{02}^2-\left(\dfrac{r_{a02}}{r_{a2}}u_{02}\right)^2}{u_{02}^2-1}}$ $L_0=r_{a02}\sqrt{1-\dfrac{\left(\dfrac{r_{a2}}{r_{a02}}\right)^2-1}{u_{02}^2-1}}$ 式中，$u_{02}=\dfrac{z_2}{z_{02}}$ 或按表11-2-12选用有关参数可免顶切	1.加大内齿轮和插齿刀的齿数差 2.增大齿形角 3.减小齿顶高 4.加大内齿轮的变位系数

注：干涉、顶切的验算实例见表11-5-13。

表11-2-9　插齿刀（$x_0=0$）加工直齿轮（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$x=0$）不产生顶切的z_{max}[18]

z_0	10	11	12	13	14	15	100	17
z_{max}	5	7	11	16	26	44	10	∞
计算公式	$z_{max}=\dfrac{z_0^2\sin^2\alpha-4h_a^{*2}}{4h_a^*-2z_0\sin^2\alpha}$							

表11-2-10　标准内齿轮（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$x=0$）不发生重叠干涉的$(z_2-z_1)_{min}$[18]

z_2		22～32	33～200	34～77	78～200
$(z_2-z_1)_{min}$	$d_{a2}=d_2-2m_n$	—	—	9	8
	$d_{a2}=d_2-2m_n+\dfrac{15.1m_n\cos^3\beta}{z_2}$	7	8	—	—

表11-2-11　标准内齿轮（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$x_2=x_0=0$）不产生范成顶切的z_{0min}[13]

内齿轮齿数z_2		22	23	26	27	34	35	36	37	38	40	45	50	55	60	70	90	150	200
z_{0min}	$h_a^*=1$					29	28	27	26	25	24	23	22	21	21	20	19	19	18
	$h_a^*=0.8$				24	19	18	18	18	18	18	17	17	16	16	16	15	15	15
	$h_a^*=1-\dfrac{7.55}{z_2}$	20	19	19	18														

注：1.加工正变位内齿轮时，z_{0min}可以小于表中的相应值。

2.标准内齿轮的齿顶高减小量为$\Delta h_{a2}=\dfrac{h_a^{*2}m}{z_2\mathrm{tg}^2\alpha}\left(\alpha=20°，\Delta h_{a2}=\dfrac{15.1m}{2z_2}\right)$时，则不论$z_2$多大，只要$z_0$大于18就可避免范成顶切。

表11-2-12 新直齿插齿刀基本参数和被切制内齿轮不产生径向切入顶切的最少齿数z_{2min}

插齿刀种类	插齿刀的基本参数 (mm)						x_{2min}								
							0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
	m	z_0	d_0	x_0	d_{a0}	h_{a0}^*	z_{2min}								
盘形直齿插齿刀(GR70—60或JB2496—78)	1	76	76	0.630	79.76	1.25	115	107	101	96	91	87	84	81	79
	1.25	60	75	0.583	79.58		96	89	83	78	74	70	67	65	62
	1.5	50	75	0.503	80.26		83	76	71	66	62	59	57	54	52
	1.75	43	75.25	0.464	81.24		74	68	62	58	54	51	49	47	45
	2	38	76	0.420	82.68		68	61	56	52	49	46	44	42	40
碗形直齿插齿刀(GR72—60或JB2496—78)	2.25	34	76.5	0.261	83.30		59	54	49	45	43	40	39	37	36
	2.5	30	75	0.230	82.41		54	49	44	41	38	34	34	33	31
	2.75	28	77	0.224	85.37		52	47	42	39	36	34	33	31	30
	3	25	75	0.167	83.81		48	43	38	35	33	31	29	28	26
	3.25	24	78	0.149	87.42	1.30	46	41	37	34	31	29	28	27	25
	3.5	22	77	0.126	86.98		44	39	35	31	29	27	26	25	23
盘形直齿插齿刀(GR70—60或JB2496—78)	3.75	20	75	0.105	85.55		41	36	32	29	27	25	24	22	21
	4	19	76	0.105	87.24	1.30	40	35	31	28	26	24	23	21	20
	4.25	18	76.5	0.107	88.46		39	34	30	27	25	23	22	20	19
	4.5	17	76.5	0.104	89.15		38	33	29	26	24	22	21	19	18
盘形直齿插齿刀(GR71—60或JB2496—78)	1	100	100	1.060	104.6	1.25	156	147	139	132	125	118	114	110	105
	1.25	80	100	0.842	105.22		126	118	111	105	99	94	91	87	83
	1.5	68	102	0.736	107.96		110	102	95	89	85	80	77	74	71
	1.75	58	101.5	0.661	108.19		96	89	83	77	73	69	66	63	61
	2	50	100	0.578	107.31		85	78	72	67	63	60	57	55	52
	2.25	45	101.25	0.528	109.29		78	71	66	61	57	54	52	49	47
	2.5	40	100	0.442	108.46		70	64	59	54	51	48	46	44	42
	2.75	36	99	0.401	108.36	1.30	65	58	53	49	47	44	42	40	38
	3	34	102	0.337	111.28		60	54	50	46	44	41	39	37	35
	3.25	31	100.75	0.275	110.98		56	50	46	42	40	37	36	34	33
	3.5	28	98	0.231	108.72		54	46	42	39	37	34	33	31	30
	3.75	27	101.25	0.180	112.34		49	44	40	37	35	33	31	30	28
	4	25	100	0.168	111.74		47	42	38	35	33	31	29	28	26
	4.5	22	99	0.105	111.65		42	38	34	31	29	27	26	24	23
	5	20	100	0.105	114.05		40	36	32	29	27	25	24	22	21
	5.5	19	104.5	0.105	119.96		39	35	31	28	26	24	23	21	20
	6	17	102	0.105	118.86		37	33	29	26	24	22	21	20	18
	6.5	16	104	0.105	122.27		36	32	28	25	23	21	20	18	17
锥柄直齿插齿刀(GR75—60或JB2496—78)	1.25	20	25	0.106	28.39	1.25	40	35	32	29	26	25	24	22	21
	1.5	18	27	0.103	31.06		38	33	30	27	24	23	22	20	19
	1.75	15	26.25	0.104	30.99		35	30	26	23	21	20	19	17	16
	2	13	26	0.085	31.34		34	28	24	21	19	17	17	15	14
	2.25	12	27	0.083	33.0		32	27	23	20	18	16	16	14	13
	2.5	10	25	0.042	31.46		30	25	21	18	16	14	14	12	11
	2.75	10	27.5	0.037	34.58		30	25	21	18	16	14	14	12	11

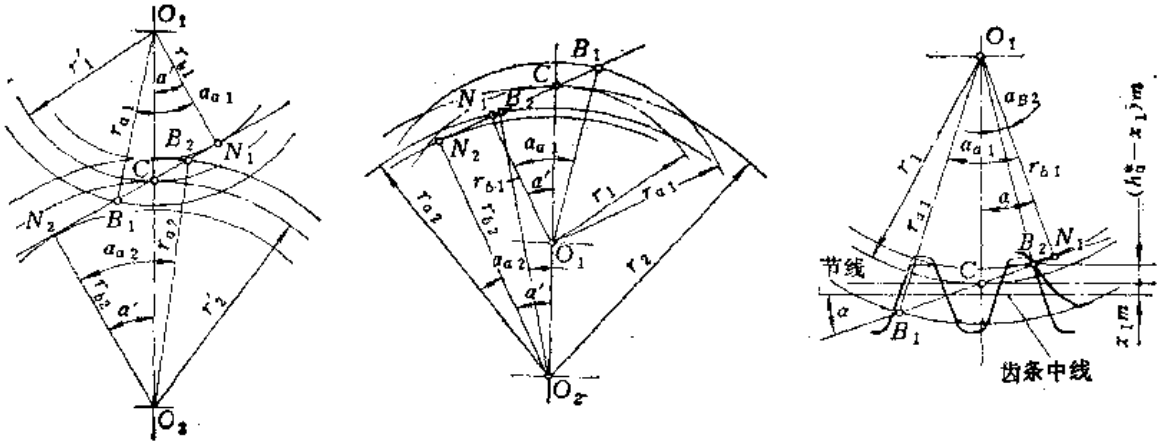
注：表中数值按新插齿刀和内齿轮齿顶圆直径$d_{a2}=d_2-2m(h_a^*-x_2)$计算而得，若用旧插齿刀或内齿轮齿顶圆直径加大$\Delta d_{a2}=\frac{15.1m}{z_2}$时，则更加安全。

（七）齿轮传动的质量指标

1. 重合度

重合度的计算公式列于表11-2-13。

表11-2-13 重合度的计算公式



a）外啮合传动的ε_α　　b）内啮合传动的ε_α　　c）齿轮齿条传动的ε_α

端面重合度的基本公式	$\varepsilon_\alpha=\dfrac{\text{端面实际啮合线长度}}{\text{端面基节}}=\dfrac{B_1B_2}{\pi m_t\cos\alpha_t}$ $=\dfrac{0.5(\sqrt{d_{a1}^2-d_{b1}^2}\pm\sqrt{d_{a2}^2-d_{b2}^2})-a'\sin\alpha'}{\pi m_t\cos\alpha_t}$	近似计算公式①	$\varepsilon_\alpha=\left[1.88-3.2\left(\dfrac{1}{z_1}\pm\dfrac{1}{z_2}\right)\right]\cos\beta$	

		端面重合度ε_α(图11-2-5.8)		纵向重合度	总重合度
		标准齿	变位齿	ε_β	ε_γ
直齿轮		$\dfrac{1}{2\pi}[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha)\pm z_2(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha)]$	$\dfrac{1}{2\pi}[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha')\pm z_2(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha')]$	0	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$
斜齿轮		$\dfrac{1}{2\pi}[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{at1}-\mathrm{tg}\alpha_t)\pm z_2(\mathrm{tg}\alpha_{at2}-\mathrm{tg}\alpha_t)]$	$\dfrac{1}{2\pi}[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{at1}-\mathrm{tg}\alpha_t')\pm z_2(\mathrm{tg}\alpha_{at2}-\mathrm{tg}\alpha_t')]$	$\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$
齿轮与齿条	直齿	$\dfrac{1}{2\pi}\left[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha)+\dfrac{4h_a^*}{\sin2\alpha}\right]$	$\dfrac{1}{2\pi}\left[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha)+\dfrac{4(h_a^*-x_1)}{\sin2\alpha}\right]$	0	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$
	斜齿	$\dfrac{1}{2\pi}\left[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{at1}-\mathrm{tg}\alpha_t)+\dfrac{4h_{an}^*\cos\beta}{\sin2\alpha_t}\right]$	$\dfrac{1}{2\pi}\left[z_1(\mathrm{tg}\alpha_{at1}-\mathrm{tg}\alpha_t)+\dfrac{4(h_{an}^*-x_{n1})\cos\beta}{\sin2\alpha_t}\right]$	$\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$

注：“+”号用于外啮合传动，“-”号用于内啮合传动。

① 摘自天津大学编，《机械零件》，天津科学技术出版社，1983年版。

对于压力角α和齿顶高系数h_a^*为定值的标准齿轮，其重合度将随齿数z的增大而增大（见图11-2-9）。对于正常齿的标准齿轮传动，一般情况其ε_α不会小于许用值[ε]（见表11-2-14），可不必验算；而对于短齿齿轮传动，当其齿数较少时则需要验算重合度。对于变位齿轮，总变位系数增加时，重合度将会减小，因此对于啮合角α'较大的变位齿轮传动，应校核其重合度。各种压力角圆柱齿轮的最大端面重合度见表11-2-15。

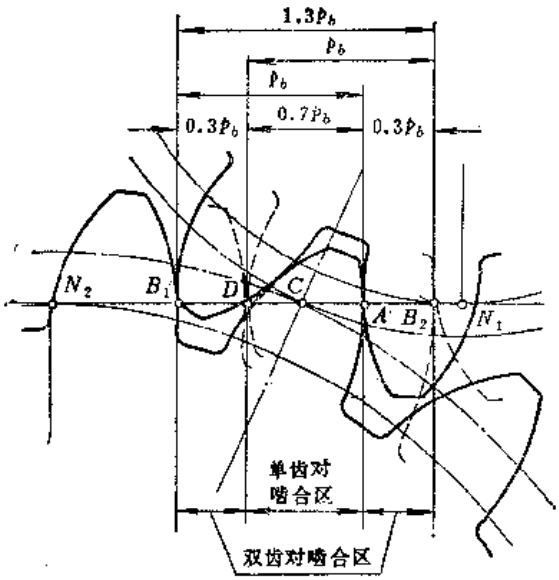


图11-2-5 重合度ε=1.3时轮齿的啮合情况[12]

表11-2-14 重合度的许用值[ε]

一般机械工业	机床工业	汽车拖拉机工业		
1.4	1.3	1.1～1.2		
齿轮精度等级	6	7	8	9
$\varepsilon_\alpha \geqslant$	1.05	1.08	1.15	1.35

表11-2-15 圆柱齿轮的最大端面重合度$\varepsilon_{\alpha max}$

α	20°	20°	15°	14½°	25°	计 算 公 式
h_a^*	1	0.8	1	1	1	$\varepsilon_{\alpha max}=\dfrac{4h_a^*}{\pi \sin 2\alpha}$
$\varepsilon_{\alpha max}$	1.981	1.585	2.546	2.626	1.662	

注：计算公式相当于两个齿条的啮合情况。

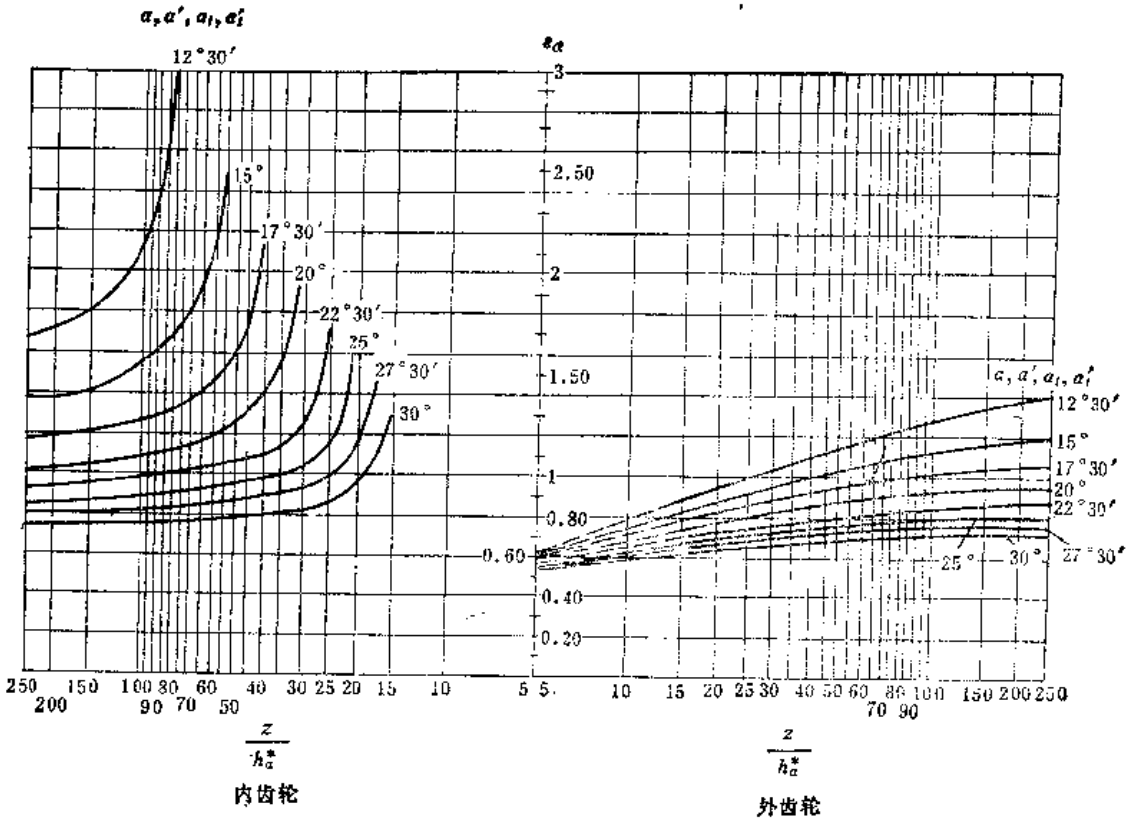


图11-2-6 直齿轮的重合度[103]

重合度的大小表示齿轮传动过程中轮齿同时啮合的对数，如$\varepsilon_\alpha=1$，表明齿轮传动过程中只有一对轮齿啮合，$\varepsilon_\alpha=2$，则表示同时啮合的有两对轮齿。ε_α如果不是整数，如$\varepsilon_\alpha=1.3$，说明在两个$0.3p_b$（基节）的长度上有两对齿同时啮合，在0.7p_b长度（AD段范围内）上只有一对齿啮合（图11-2-5）。图11-2-5中AD啮合区称为单齿对啮合区，B_1D和AB_2称为双齿对啮合区。

各种压力角（$\alpha=15°\sim30°$）直齿轮的重合度可由图11-2-6查得，图的右侧用于外齿轮，左侧用于内齿轮。并按下式计算：

$$\varepsilon_\alpha=h_{a1}^*\varepsilon_{a1}+h_{a2}^*\varepsilon_{a2}$$

图11-2-6使用举例：

$\alpha=20°$，$h_{a1}^*=1.2$，$h_{a2}^*=0.8$，$z_1=30$，$z_2=60$的内齿轮副。

先计算出$\frac{z_1}{h_{a1}^*}=\frac{30}{1.2}=25$，$\frac{z_2}{h_{a2}^*}=\frac{60}{0.8}=75$，

从图查得$\varepsilon_{a1}=0.8$，$\varepsilon_{a2}=1.1$，则：

$$\varepsilon_\alpha=h_{a1}^*\varepsilon_{a1}+h_{a2}^*\varepsilon_{a2}$$
$$=1.2\times0.8+0.8\times1.1=1.84$$

$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$z_1=30$，$z_2=60$的外齿轮副。计算出$\frac{z_1}{h_{a1}^*}$和$\frac{z_2}{h_{a2}^*}$，

从图查得　$\varepsilon_{a1}=0.83$，　$\varepsilon_{a2}=0.90$

则　$\varepsilon_\alpha=h_a^*\varepsilon_{a1}+h_a^*\varepsilon_{a2}$

$$=1\times0.83+1\times0.90=1.73$$

$\alpha_n=20°$角变位斜齿轮的端面重合度ε_α可查图11-2-7并按下式计算：

$$\varepsilon_\alpha=z_1\left(\frac{\varepsilon_{a1}}{z_1}\right)\pm z_2\left(\frac{\varepsilon_{a2}}{z_2}\right)$$

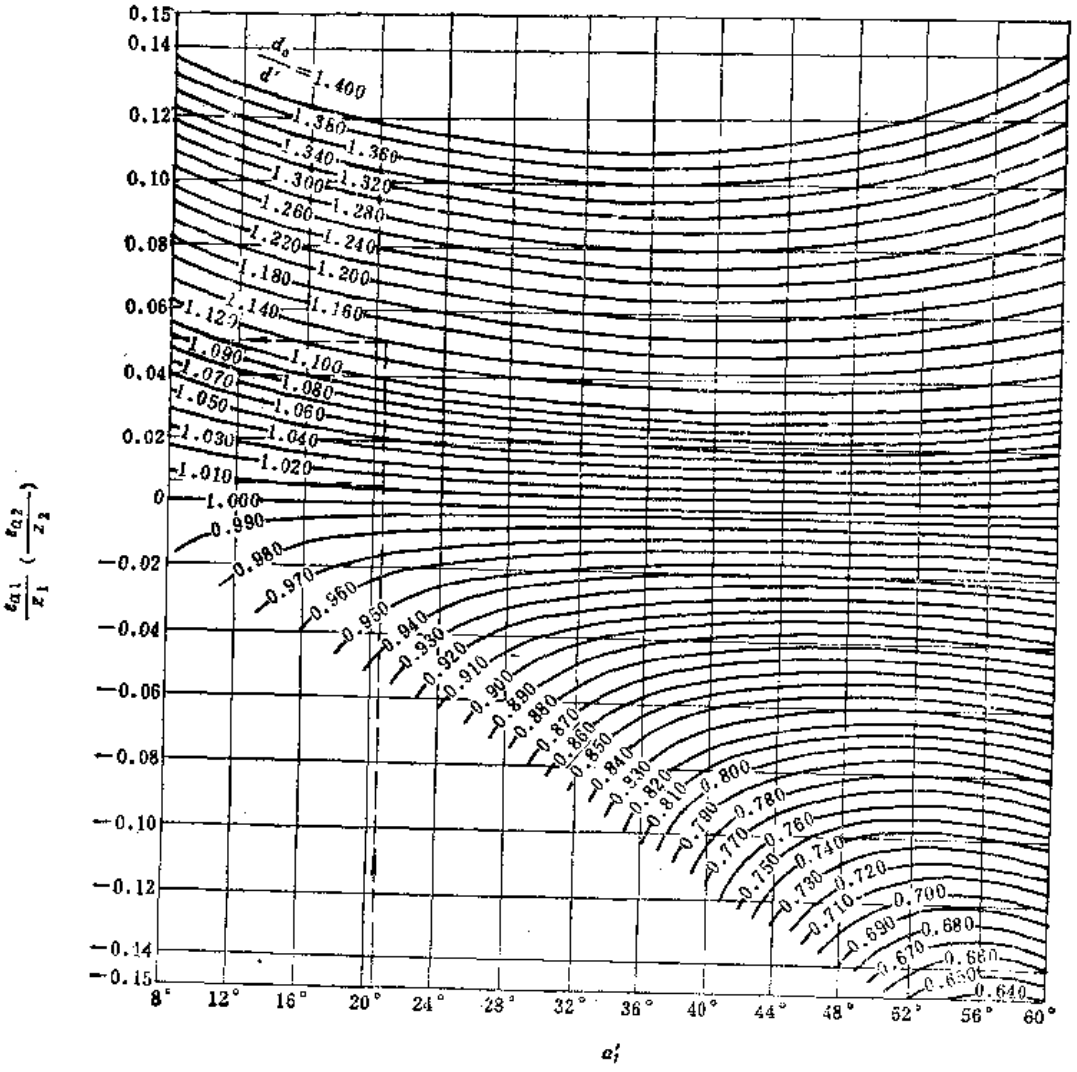


图11-2-7　确定$\frac{\varepsilon_\alpha}{z}$的线图（$\alpha_n=20°$）[18]

式中，$\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1}$和$\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2}$分别按$\alpha_t'$和$\frac{d}{d}$值从图11-2-7中查得，其中$\alpha_t'$按$\beta$和$(x_{n2}\pm x_{n1})/(z_2\pm z_1)$由图11-2-8查得。式中“+”号用于外啮合传动，“−”号用于内啮合传动。

角变位直齿轮的重合度也可从图11-2-7中查得，使用时用α'代替图中的α_t'。

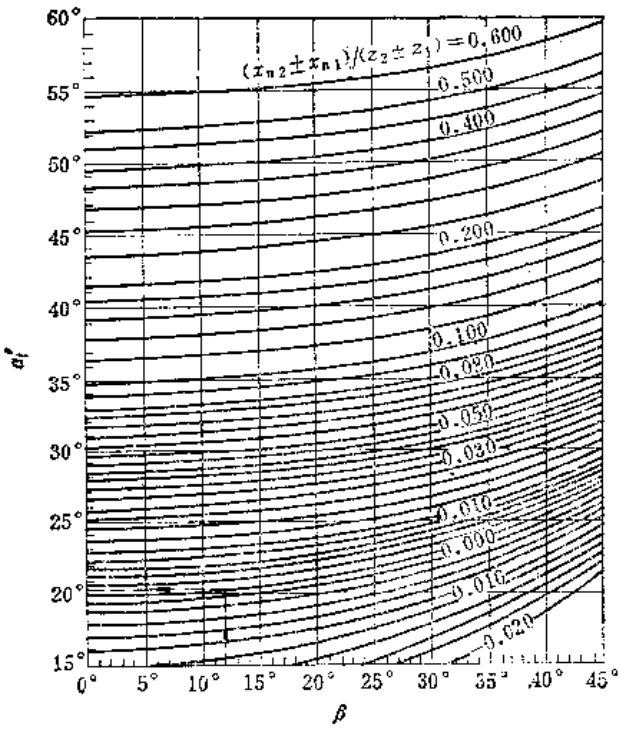


图11-2-8　端面啮合角α_t[13]

图11-2-7使用举例：

一对角变位斜齿轮，$z_1=21$，$z_2=74$，$m_n=3$，$\beta=12°$，$x_{n1}=0.5$，$x_{n2}=0.5$，$\alpha_n=20°$，$d_1'=65.176$mm，$d_2'=229.66$mm，$d_{a1}=70.89$mm，$d_{a2}=233.44$mm。

按$\beta=12°$和$\frac{x_{n2}+x_{n1}}{z_2+z_1}=0$，由图11-2-8查得（或按表11-5-6计算）$\alpha_t'=22.15°$。

$$\frac{d_{a1}}{d_1'}=\frac{70.89}{65.176}=1.09$$

$$\frac{d_{a2}}{d_2'}=\frac{233.44}{229.66}=1.013$$

按α_t'，d_{a1}/d_1'和d_{a2}/d_2'由图11-2-7查得$\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1}=0.035$，$\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2}=0.01$，则：

$$\varepsilon_\alpha=z_1\left(\frac{\varepsilon_{\alpha 1}}{z_1}\right)+z_2\left(\frac{\varepsilon_{\alpha 2}}{z_2}\right)$$
$$=21\times 0.035+74\times 0.01$$
$$=1.48$$

$\alpha=20°$，$h_a^*=1$的外啮合标准齿轮和高变位齿轮的端面重合度也可查图11-2-9。

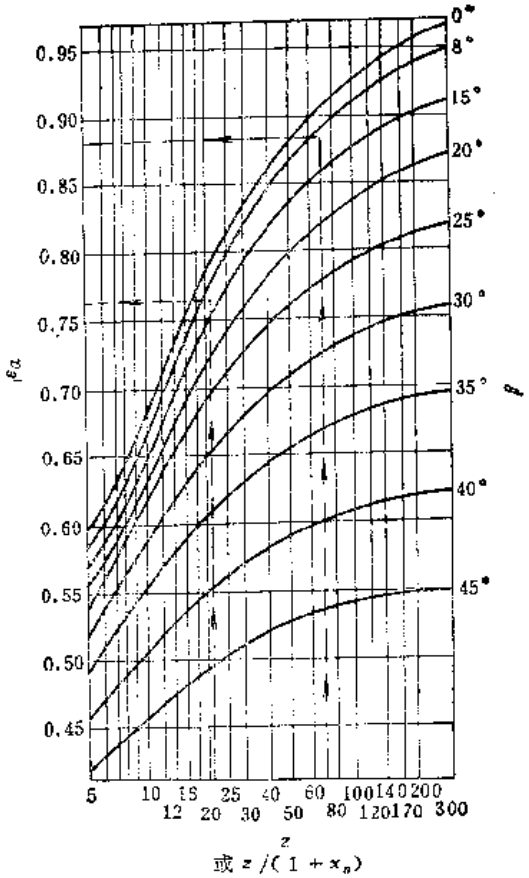


图11-2-9　$\alpha=20°$，$h_a^*=1$圆柱齿轮重合度ε_α

图11-2-9使用说明：

1. 标准齿轮：按z_1，z_2和β分别查出$\varepsilon_{\alpha 1}$，$\varepsilon_{\alpha 2}$，则：

$$\varepsilon_\alpha=\varepsilon_{\alpha 1}+\varepsilon_{\alpha 2}$$

2. 高变位齿轮：按$\frac{z_1}{1+x_{n1}}$，$\frac{z_2}{1+x_{n2}}$和β分别查出$\varepsilon_{\alpha 1}$，$\varepsilon_{\alpha 2}$则：

$$\varepsilon_\alpha=(1+x_{n1})\varepsilon_{\alpha 1}+(1+x_{n2})\varepsilon_{\alpha 2}$$

图11-2-9使用举例：

1. 斜齿标准齿轮，$\alpha_n=20°$，$\beta=10°$，$h_{an}^*=1$，$z_1=21$，$z_2=74$，从图查得

$$\varepsilon_\alpha=0.765+0.88=1.645$$

2. 高变位直齿轮，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$x_1=0.36$，$x_2=-0.36$，$z_1=11$，$z_2=49$。按$\frac{z_1}{1+0.36}=$

8.09，$\frac{z_2}{1-0.36}=76.56$，从图查得 $\varepsilon_{\alpha 1}=0.645$，$\varepsilon_{\alpha 2}=0.91$，则：

$$\varepsilon_\alpha=(1+0.36)\times 0.645+(1-0.36)\times 0.91=1.459$$

纵向重合度ε_β可由图11-2-10查得。

2．滑动率

滑动率的计算公式列于表11-2-16，最大滑动率许用值列于表11-2-17。

外啮合圆柱齿轮的滑动率可按图11-2-11查

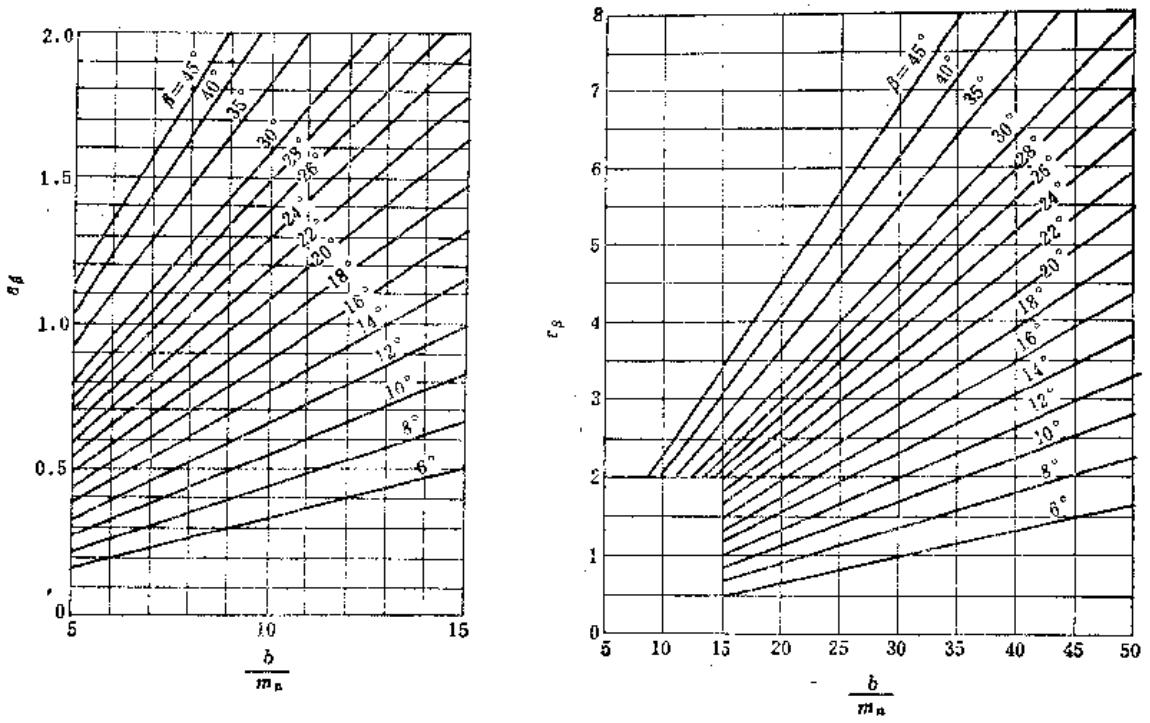
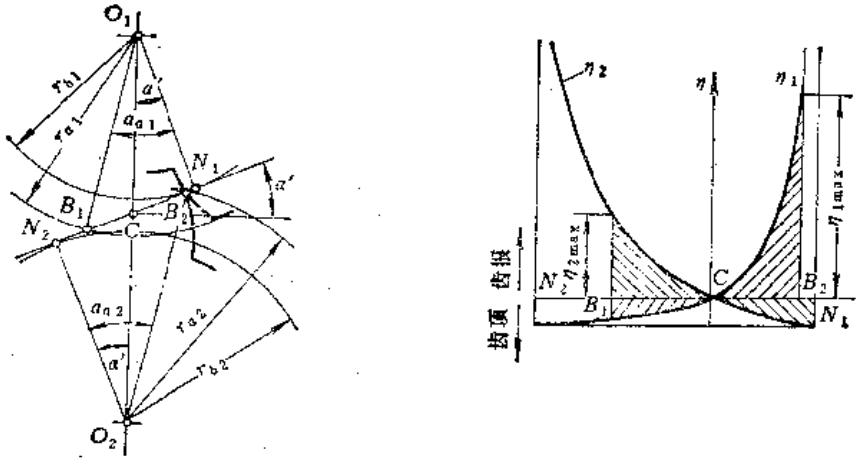


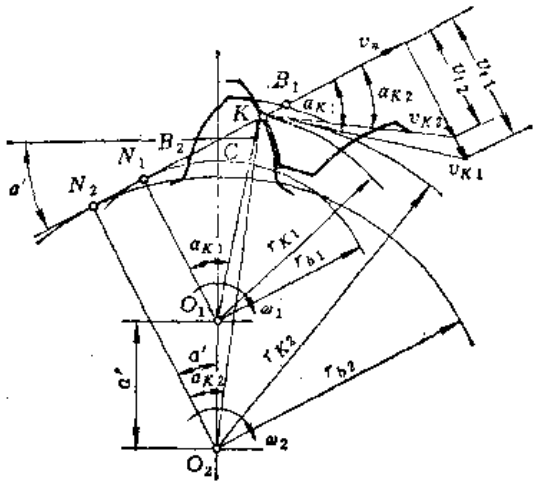
图11-2-10 纵向重合度ε_β[18]

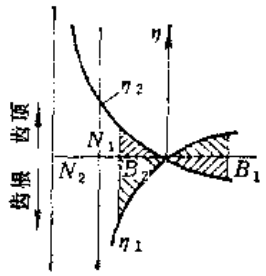
表11-2-16 滑动率η的计算公式[15]



a）外啮合

（续）





b）内啮合

基本公式	轮齿接触点处的滑动率 $\eta=\dfrac{\text{两齿面间的相对切向速度(即滑动速度)}}{\text{该点的切向速度}}$	
	小齿轮齿根最大滑动率	大齿轮齿根最大滑动率
	$\eta_{1max}=\dfrac{\pm\mathrm{tg}\alpha_{a2}\mp\mathrm{tg}\alpha'}{\left(\dfrac{1}{u}\pm1\right)\mathrm{tg}\alpha'\mp\mathrm{tg}\alpha_{a2}}\left(\dfrac{u\pm1}{u}\right)$	$\eta_{2max}=\dfrac{\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha'}{(u\pm1)\mathrm{tg}\alpha'\mp\mathrm{tg}\alpha_{a1}}(u\pm1)$

注：“±、∓”号，上面的用于外啮合传动，下面的用于内啮合传动。

表11-2-17　最大滑动率许用值[14]

节圆线速度(m/s)	>25	8～25	2～10	1～3	<1.5
η_{max}	1.5	3	4	6	8

取。

图11-2-11使用举例：

直齿变位外齿轮，$z_1=16$，$z_2=43$，$\alpha=20°$，$m=6$，$x_z=0.031186$，$\varepsilon_{a1}=0.80$，$\varepsilon_{a2}=0.56$ 则 $u=2.69$，$\frac{1}{u}=0.372$。

按 $x_z=0.031186$，$\varepsilon_{a2}=0.56$，$z_1=16$，$\frac{1}{u}=0.372$由图查得$\eta_1=1.37$。

按$x_z=0.031186$，$\varepsilon_{a1}=0.80$，$z_2=43$，$u=2.69$由图查得$\eta_2=1.30$。

滑动率的调整如下：

从表11-2-16中的图可以看出，齿轮齿根部的滑动率大于齿顶上的滑动率，而小齿轮的齿根滑动率（在B_2点）又大于大齿轮的（在B_1点）。一对啮合齿轮的齿数差越大时（即齿数比u越大时），B_2点越接近于N_1点，η_{1max}值就越大，以致可能超过

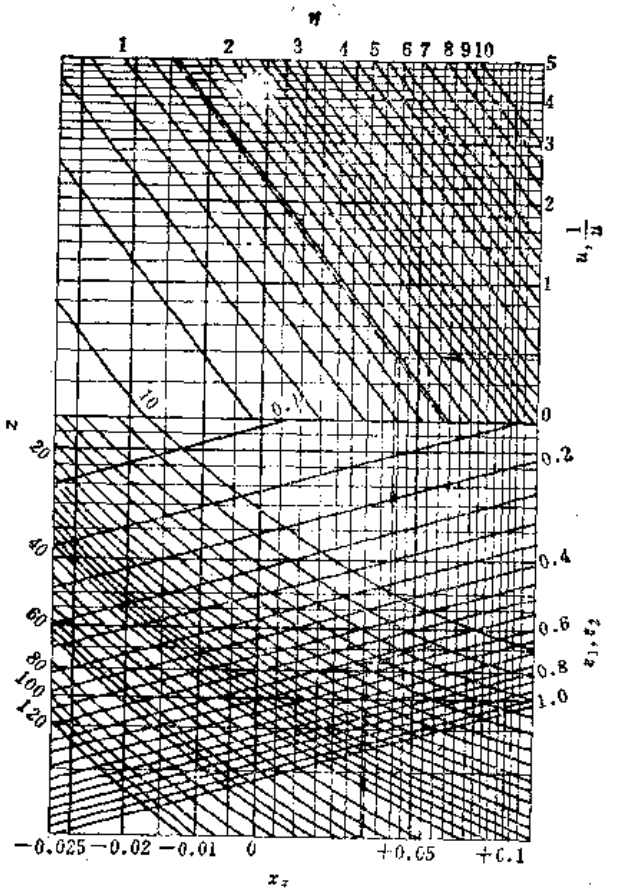
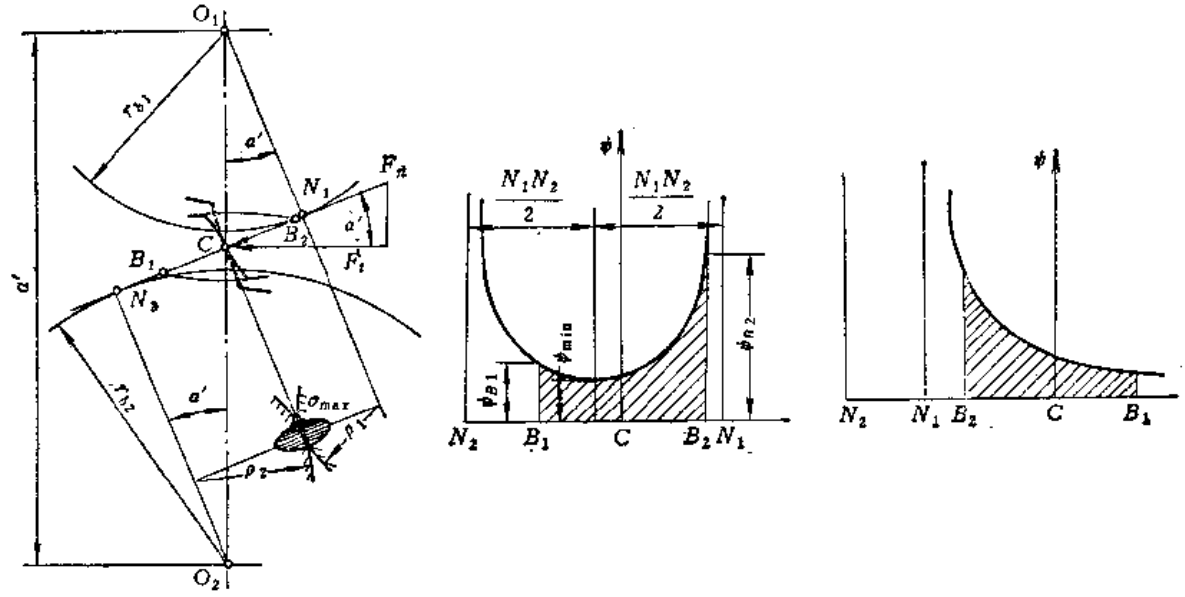


图11-2-11　滑动率η[14]

表11-2-17中的许用值。因此为了满足齿轮的使用要求，必须设法减小η_{1max}值。方法是改变实际啮合线$\overline{B_1B_2}$与理论啮合线$\overline{N_1N_2}$的相对位置，即增大B_2、N_1两点间的距离。这可以利用变位来实现(见表11-4-10、11-4-12)。要使大小两啮合齿轮的最大滑动率接近相等，可按图11-4-11的方法来选择

表11-2-18　几何压力系数ψ的计算公式[15]



a）齿廓曲率半径和接触应力　　b）外啮合传动的几何压力系数　　c）内啮合传动的几何压力系数

齿廓接触区的最大应力σ_{max}：

$$\sigma_{max}=0.418\sqrt{\frac{F_nE}{b\rho}}=\left(0.418\sqrt{\frac{F_tE}{ba'}}\right)\left(a'\sqrt{\frac{\mathrm{tg}\alpha'}{\rho_1\rho_2}}\right)\quad(\mathrm{MPa})$$

式中　F_n、F_t——分别为接触点处的正压力、圆周力(N)

E——当量弹性模量(MPa)，$E=\dfrac{2E_1E_2}{E_1+E_2}$，$E_1$、$E_2$分别为两齿轮材料的弹性模量

b——齿轮宽度(mm)

a'——角变位中心距

α'——啮合角

ρ——当量曲率半径(mm)，$\dfrac{1}{\rho}=\dfrac{\rho_2\pm\rho_1}{\rho_1\rho_2}$，$\rho_1$、$\rho_2$为接触点处两齿廓的曲率半径，“+”号用于外啮合传动，“−”号用于内啮合传动

几何压力系数ψ：

$$\psi=a'\sqrt{\frac{\mathrm{tg}\alpha'}{\rho_1\rho_2}}$$

外啮合传动齿轮在啮合线$\overline{N_1N_2}$(图b)中点啮合时，几何压力系数将达到最小值ψ_{min}：

$$\psi_{min}=\sqrt{\frac{8}{\sin 2\alpha'}}$$

节点处的几何压力系数ψ_C：

$$\psi_C=(z_1+z_2)\sqrt{\frac{2}{z_1z_2\sin 2\alpha'}}$$

由上式可知，齿面承载能力与$\sin 2\alpha'$成正比，因此变位齿轮齿面承载能力比标准齿轮承载能力提高的程度，可用φ表示：

$$\varphi=\frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha}$$

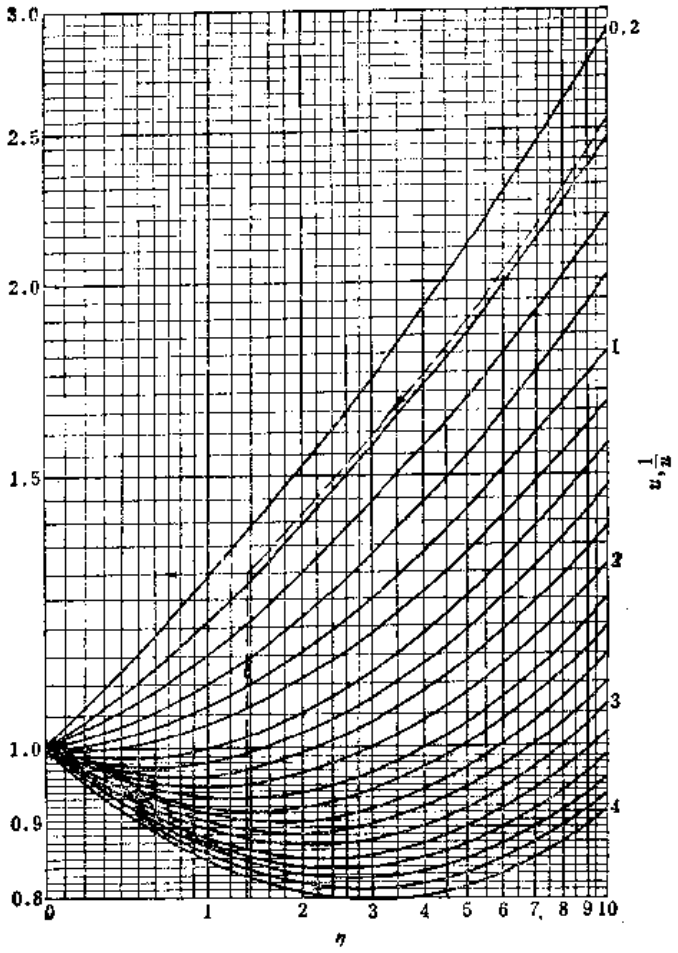


图11-2-12 压强比ζ[14]

变位系数。

3. 几何压力系数

几何压力系数的计算公式列于表11-2-18。

4. 压强比

压强比的计算公式列于表11-2-19，最大许用值列于表11-2-20。

表11-2-19 压强比ζ的计算公式

小齿轮齿根处	大齿轮齿根处
$\zeta_1=\dfrac{1}{\sqrt{\left(1-\dfrac{g_{a2}}{\rho_1}\right)\left(1+\dfrac{g_{a2}}{\rho_2}\right)}}$	$\zeta_2=\dfrac{1}{\sqrt{\left(1+\dfrac{g_{a1}}{\rho_1}\right)\left(1-\dfrac{g_{a1}}{\rho_2}\right)}}$

式中

$g_{a1}=r_{a1}\sin\alpha_{a1}-r_1\sin\alpha$，

$g_{a2}=\pm r_{a2}\sin\alpha_{a2}\mp r_2\sin\alpha$①

$\rho_1=r_1'\sin\alpha'$，　　$\rho_2=r_2'\sin\alpha'$

① “±、∓”号，上面的用于外啮合传动，下面的用于内啮合传动。

外啮合圆柱齿轮的压强比也可由图11-2-12查取。

表11-2-20 压强比的最大许用值

齿面硬度	≤350HB	>350HB
ζ_{max}	1.4	1.4～1.7

图11-2-12使用说明：

按η_1，$\dfrac{1}{u}$查取ζ_1，按η_2，u查取ζ_2。

图11-2-12使用举例：

$\eta_1=1.36$，$\dfrac{1}{u}=0.372$，由图查得$\zeta_1=1.30$

$\eta_2=1.30$，$u=2.69$，由图查得$\zeta_2=0.89$

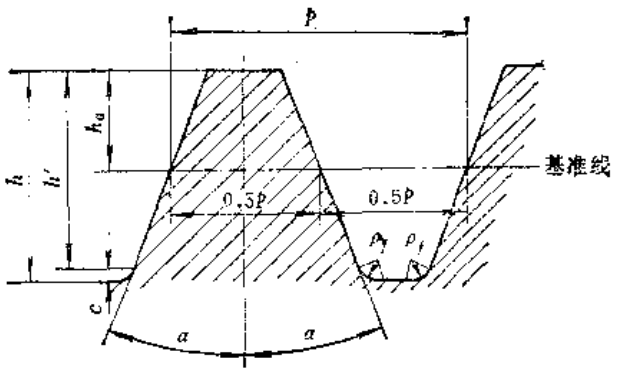
$\therefore\ \zeta_{max}=\zeta_1=1.30$

第3节 渐开线圆柱齿轮的基本齿廓和模数系列

（一）基本齿廓（基准齿形）

GB 1356—87《渐开线圆柱齿轮基本齿廓》规

表11-3-1 渐开线圆柱齿轮基本齿廓及其参数（GB 1356—87）



参数	代号	数值
齿顶高	h_a	m
工作高度	h'	$2m$
顶隙	c	$0.25m$
全齿高	h	$2.25m$
齿距	p	πm
齿根圆角半径	ρ_f	$\approx 0.38m$

表11-3-2 渐开线圆柱齿轮基准齿形参数

（GB 1356—87）

名称	代号	标准齿	短齿	大齿形角齿
齿形角	α	20°	20°	25°
齿顶高系数	h_a^*	1.0	0.8	1.0
工作齿高	h'	$2m$	$1.6m$	$2m$
径向间隙	c	$0.25m$	$0.3m$	$0.2m$
齿根圆角半径	ρ_f	$0.38m$ $0.35m$ 用于插齿，刻齿及磨齿 $0.25m$ 用于刻齿和磨齿	$0.46m$	$0.35m$（单圆弧）

注：1.为提高齿根强度，对于标准齿，在传动时不产生干涉的条件下，允许增大齿根圆角半径，也允许做成单圆弧。

2.为提高综合强度需增大齿形角时，推荐 $\alpha=25°$。

3.为改善传动质量，允许齿顶修缘。

定的基本齿廓是指基本齿条的法向齿廓，该标准适用于模数 $m \geqslant 1$ mm，齿形角 $\alpha=20°$ 的圆柱齿轮，规定的基本齿廓及其参数如表11-3-1所示。该标准还允许齿顶修缘，其修缘量由设计者计算确定。

旧国标GB 1356—78规定的渐开线圆柱齿轮基准齿形及其参数如表11-3-2所示，供使用参考。

各国渐开线圆柱齿轮齿形制的基本参数如表11-3-3所示。

（二）齿形修缘

（1）外啮合齿轮的圆周速度大于表10-3-4所列数值而需要修缘时（图11-3-2），推荐使用修缘高度 $h_x=0.45m$，修缘深度为 c_a^*m，齿形修缘系数 c_a^* 见表11-3-5。

（2）在下列情况下，齿轮不应进行修缘：

1）如修缘后使直齿轮传动中的重合度小于1.089，或斜齿轮的端面重合度小于1时；

2）当斜齿轮的螺旋角大于17°45′时。

表11-3-3 各国渐开线圆柱齿轮齿形制的基本参数

国别	齿形种类	标准代号	模数或径节	齿形角 α	齿顶高系数 h_a^*	顶隙系数 c^*	齿根圆半径 ρ_f	附注
国际标准化组织	标准齿	ISO R 53	m	20°	1	0.25	$0.4m$	
瑞士	标准齿	VSM 15520	m	20°	1	0.25 0.167		
	马格齿形		m	20° 15°	1	0.167		
联邦德国	标准齿	DIN 867	m	20°	1	0.1～0.3		
	短齿		m	20°	0.8	0.1～0.3		
	标准齿	旧	m	20° 15°	1	0.166		
捷克斯洛伐克	标准齿	CSN 014607	m	20°	1	0.25		
			m	15°	1			
法国	标准齿	NF E23—011	m	20°	1	0.25	$0.4m$	
	短齿		m	20°	0.75	0.20		
日本	标准齿	JIS B1701—73	m	20°	1	0.25		
		JIS B1701—53	m	$14^1/_2°$	1	0.25		
英国	标准齿	BS 436—70	m	20°	1	0.25	$0.25m$～	
	A1级复合齿形	BSS 436—1940	P	20°	1	0.44	$0.39m$	
	A2，B，C，D级复合齿形	BSS 436—1940	P	20°	1	0.25		
	标准齿		P	$14^1/_2°$	1	0.157		
			P	20°	1	0.35		
	短齿		P	20°	0.8	0.30		
	长齿	BS 1807	P	16°	1.2	0.30～0.45		
美国	标准齿	ASA B6.1	P	$14^1/_2°$	1	0.157	0.157	
		ASA B6.1	P	20°	1	0.157		
		ASA B6.19	P	20°	1	0.20～0.35		＜P20制
		ASA B6.1—1968	P	25°	1	0.20～0.35		＞P20制
	短齿	ASA B6.1	P	20°	0.8	0.20		
苏联	标准齿	ГОСТ 3058—54	m	20°	1	0.25	$0.4m$	
	短齿	ГОСТ 3058—54	m	20°	0.8	0.30		
	标准齿	ОСТ ВКС6922	m	20°	1	0.20		
	短齿		m	28°	0.9	0.184	$0.347m$	非标准
	长齿		m	20°	1.2	0.2314	$0.3516m$	非标准

表11-3-4 圆周速度（JB 110—60）

齿轮类型	齿轮精度等级（第Ⅱ公差组）		
	6	7	8
直齿轮	>10	>6	>4
斜齿轮	>16	>10	>6

表11-3-5 齿形修缘系数c_a^*

(JB110—60) (mm)

齿轮精度等级(第Ⅱ公差组)					
6		7		8	
m	c_a^*	m	c_a^*	m	c_a^*
2～2.75	0.01	2～2.5	0.015	2～2.75	0.02
3～4.5	0.00[illegible]	2.75～3.5	0.012	3～3.5	0.0175
5～10	0.006	3.75～5	0.010	3.75～5	0.015
>10～16	0.005	5.5 ～7	0.009	5.5～8	0.012
		8～11	0.008	9～16	0.010
		12～20	0.007	18～25	0.009
		22～30	0.006	28～30	0.008

注：原始齿形上的修缘是一条直线，但允许修缘部分作成凸形的曲线。

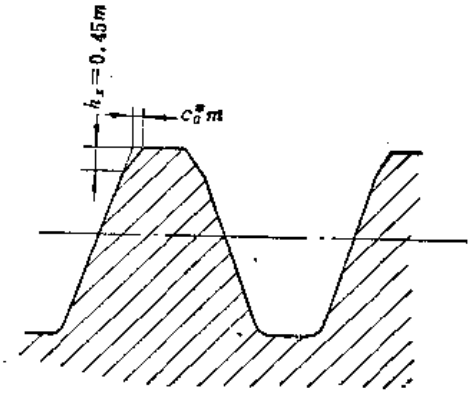


图11-3-1 齿形修缘

(三) 模数系列

渐开线圆柱齿轮模数系列按GB 1357—87规定列于表11-3-6。

第4节 渐开线圆柱齿轮的变位

(一) 变位原理

用范成法加工齿轮时，当齿条型刀具（或齿轮型插齿刀）的中线（或分度圆）与齿轮的分度圆相切，并作纯滚动时，所切出的齿轮不但模数和齿形角均与刀具的相同，而且分度圆上的齿厚与齿槽宽相等，齿轮的齿根高与刀具的齿顶高相等，这种齿轮称为标准齿轮（或非变位齿轮）。如果不改变工件与刀具的传动比，而只改变刀具同工件的相对位置，即将刀具沿径向移离或移近工件的中心，此时，被加工齿轮的分度圆与刀具的中线（或分度圆）不相切，这样加工出来的齿轮称为变位齿轮。变位齿轮的模数和齿形角仍与刀具的相同，但由于切齿时刀具位置的改变，使得切出来的齿形不再位于标准齿轮齿形的渐开线段上，从而使齿轮的齿形、齿厚、齿顶高、齿根高与过渡曲线的位置都发生了变化。利用变位齿轮的这一形成原理，将刀具移离工件的中心，使刀具的齿顶线（或齿顶圆）与啮合线交于工件的极限啮合点N或N以内，就可避免齿轮根切或改善齿轮的传动性能。图11-4-1中的B'点是虚线齿条刀具的中线与被加工齿轮分度圆相切时，齿条刀具齿顶线与啮合线的交点，B'点位于极限啮合点N之外，所以产生根切（如虚线所示的齿形）。当齿条刀具移离工件中心使B'与N重合或位于N以内时，就可避免根切（如实线齿形所示）。

齿轮变位后，其齿形虽仍是同一基圆的渐开线，但所占取的部位不同。正变位时，渐开线离基圆较远，齿形的平均曲率半径较大（图11-4-2），

表11-3-6 齿轮模数m系列 (GB 1357—87) (mm)

第一系列	1	1.25	1.5	2	2.5	3		4	5	6			
第二系列			1.75	2.25	2.75	(3.25)	3.5	(3.75)	4.5	5.5	(6.5)		
第一系列	8		10	12	16	20	25		32	40	50		
第二系列	7	9	(11)	14	18	22	28	36	45				

注：1.对斜齿轮是指法向模数m_n。

2.优先选用第一系列，括号内的模数尽可能不用。

3.标准中$m<1$部分从略。

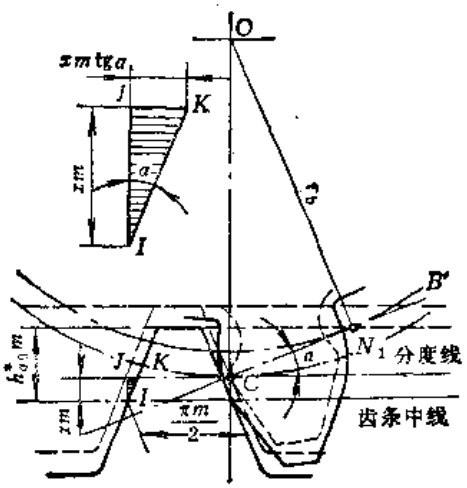


图11-4-1 变位原理

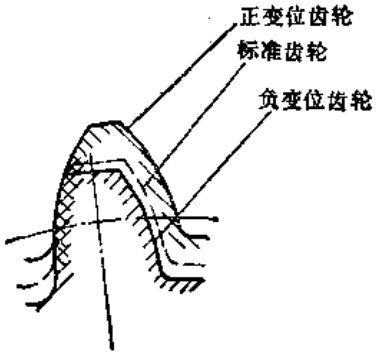


图11-4-2 变位齿轮的齿形

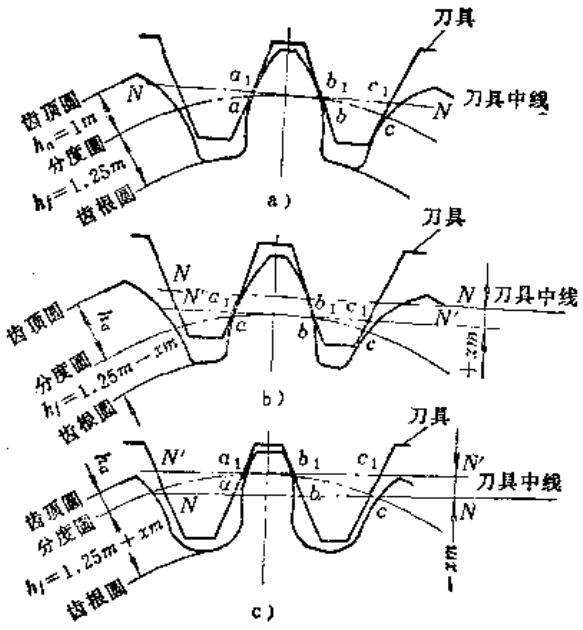


图11-4-3 正变位与负变位

负变位时，渐开线段离基圆较近，齿形的平均曲率半径也就较小。

刀具移位时的移动距离称为径向变位量（变位量），以xm来表示（x是变位系数，m是模数）。刀具移离工件中心时，变位系数为正值（$x>0$）称为正变位（图11-4-3 b）；刀具移近工件中心时，变位系数为负值（$x<0$），称为负变位（图11-4-3 c）。

由变位齿轮的形成原理还可看出，切制变位齿轮时并不需要采用专用的刀具和对机床进行特殊的调整。正由于有这个特点，使变位齿轮得到了广泛的应用。

（二）变位齿轮的种类及其特点

变位齿轮分为高变位和角变位两种。

高变位齿轮副的啮合中心距与标准齿轮的中心距相等。相啮合两齿轮的变位系数x_1和x_2大小相等，符号相反，一般小齿轮为正变位，大齿轮为负变位，即$x_1=-x_2$，$x_\Sigma=x_1+x_2=0$（图11-4-4）。

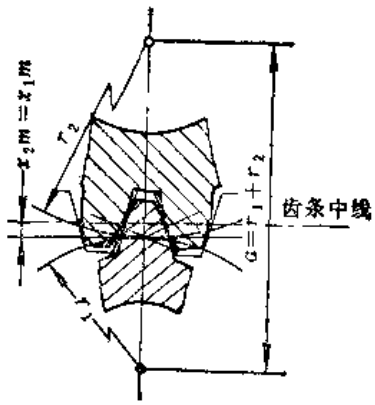


图11-4-4 高变位

角变位齿轮副的啮合中心距a'与标准齿轮中心距a不相等。相啮合两齿轮的变位系数之和大于零即$x_\Sigma=x_1+x_2>0$，或$a'>a$时为正角变位；两齿轮的变位系数之和小于零即$x_\Sigma=x_1+x_2<0$，或$a'<a$时为负角变位。

图11-4-5所示为小齿轮1和大齿轮2与齿条啮合的情况，即相当于它们用齿条型刀具加工的位置。小齿轮的变位量为x_1m，大齿轮的变位量为x_2m，两轮的啮合中心距为：

$$a'=\frac{(z_1+z_2)m}{2}+(x_1+x_2)m$$

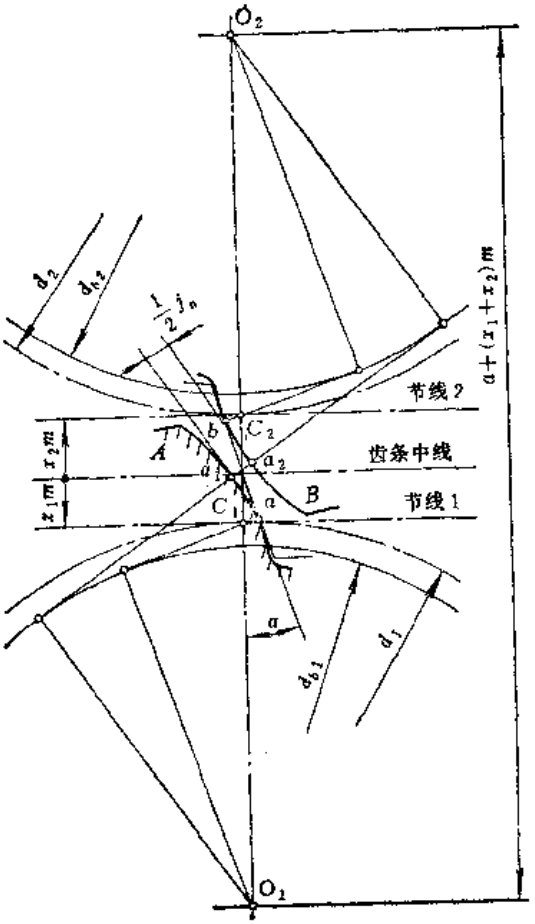


图11-4-5 角变位

两啮合齿轮都具有标准的齿顶隙和标准的齿高，但齿条刀具与大小齿轮齿廓的接触点 a、b 不相重合，而且 a、b 两点都不在啮合线上，故两轮齿廓互不接触，虽然亦能啮合传动，不过传动时有较大的齿侧隙㊀。为了使两啮合轮齿齿廓相接触，需将中心距减小ym。因此，角变位齿轮的中心距应为：

$$a' = \frac{(z_2+z_1)\,m}{2} + (x_1+x_2)\,m - ym$$

$$= a + (x_1+x_2)\,m - ym$$

$$= a + ym$$

式中 y ——齿顶高变动系数，

y ——中心距变动系数。

角变位中心距a'也可以用啮合角α'来表示，即：

$$a' = a\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}$$

而啮合角α'可由无侧隙啮合方程确定：

$$\mathrm{inv}\alpha' = \frac{2(x_1+x_2)\,\mathrm{tg}\,\alpha}{z_1+z_2} + \mathrm{inv}\,\alpha$$

由于中心距减少了 ym，从而减小了齿顶隙，因此为了保持标准顶隙不变，需要将大小齿轮的齿顶高均减小同一 ym值。所以角变位齿轮的齿高比高变位齿轮和标准齿轮的齿高都要小些，即：

$$h = (2h_a^* + c^* - y)\,m$$

这是最常用的齿高计算法，称为标准间隙法。此外还有两种计算齿高的方法——DIN计算法和比例分配法。DIN 计算法不考虑齿顶高变动系数 y 的影响，变位后的齿高仍等于标准齿高，即：

$$h = (2h_a^* + c^*)\,m$$

此法只用于 y 值较小的齿轮副。

比例分配法的计算出发点是使变位后的径向间隙与齿高的比值仍等于标准齿轮相应的比值，即：

$$h = \left[\,2h_a^* + c^* - \frac{2h_a^* + c^*}{2(h_a^* + c^*)}\,y\,\right]m$$

此法通常用于变位系数较大的齿轮副。

若将常用的$h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$代入以上各式，则可得到上述三种计算方法的通用公式：

$$h = (2.25 - Ky)\,m$$

其中K值如下表所示：

系　数	K
标准间隙法	1
DIN计算法	0
比例分配法	0.9

变位齿轮的功用如下：

（1）避免齿轮根切；

（2）提高齿面的接触强度；

（3）提高齿根的弯曲强度；

（4）提高齿面的抗胶合和耐磨损能力；

（5）配凑中心距；

（6）修复旧齿轮。

变位齿轮的种类及其特点如表11-4-1所示。

㊀ 侧隙的计算方法可参见第五节(三)油泵齿轮的变位计算的附注。

表11-4-1 变位齿轮的种类及其特点

传动类型		标准齿轮传动	变位齿轮传动		
			高变位	正角变位	负角变位
变位系数		$x_1=x_2=0$	$x_\Sigma=x_2\pm x_1=0$	$x_\Sigma=(x_2\pm x_1)>0$	$x_\Sigma=(x_2\pm x_1)<0$
主要几何尺寸	分度圆直径 基圆直径 齿距(周节)	$d=mz$ $d_b=mz\cos\alpha$ $p=\pi m$			
	中心距	$a=\frac{m(z_2\pm z_1)}{2}$		$a'>a$	$a'<a$
	啮合角	$\alpha'=\alpha$		$\alpha'>\alpha$	$\alpha'<\alpha$
	节圆直径	$d'=d$		$d'>d$	$d'<d$
	齿顶高	$h_a=h_a^*m$ 内齿轮要减去$\Delta h_{a2}m$	外齿轮：正变位，增大；负变位，减小 内齿轮：正变位，减小；负变位，增大		
	齿根高	$h_f=(h_a^*+c^*)m$	外齿轮：正变位，减小；负变位，增大 内齿轮：正变位，增大；负变位，减小		
	全齿高(齿高)	$h=h_a+h_f$	不变	外齿轮：略减 内齿轮：略增	
	分度圆齿厚	$s=\frac{\pi m}{2}$	外齿轮：正变位，增大；负变位，减小 内齿轮：正变位，减小；负变位，增加		
	齿顶厚	$s_a=d_a\left(\frac{\pi}{2z}\pm\mathrm{inv}\alpha\mp\mathrm{inv}\alpha_a\right)$	正变位，减小；负变位，增大		
	齿根厚	$s_f=d_f\left(\frac{\pi}{2z}\pm\mathrm{inv}\alpha\mp\mathrm{inv}\alpha_f\right)$	外齿轮：正变位，增大；负变位，减小 内齿轮：正变位，减小；负变位，增加		
	中心距变动系数	$y=\frac{a'-a}{m}=0$	$y=0$	$y>0$	$y<0$
	齿顶高变动系数	$\nu=x_\Sigma-y=0$	$\nu=0$	标准顶隙时 $\nu>0$	
齿数限制(对外啮合传动)		$z_1>z_{min}$	$(z_1+z_2)\geqslant 2z_{min}$ z_1可以小于z_{min}而不根切	(z_1+z_2)可以小于$2z_{min}$	$(z_1+z_2)\geqslant 2z_{min}$
互换性		较大	较小		
传动质量指标	重合度	一般不小于许用值 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$z>17$直齿轮 外啮合：$1.3<\varepsilon_\alpha<2.0$ 内啮合：$1.7<\varepsilon_\alpha<2.2$	略减	减小得很多，随x_Σ增大而减小	增加
	滑动率	小齿轮齿根的滑动率大于大齿轮齿根的滑动率	可以减小小轮齿根的滑动率，并使$\eta_1\approx\eta_2$		两轮的滑动率都增大
	几何压力系数	小齿轮齿根有较大的几何压力系数	小轮的几何压力系数可以减小，并使$\psi_1\approx\psi_2$		两轮的几何压力系数都增大

（续）

传动类型		标准齿轮传动	变位齿轮传动		
			高变位	正角变位	负角变位
变位系数		$x_1=x_2=0$	$x_\Sigma=x_2\pm x_1=0$	$x_\Sigma=(x_2\pm x_1)>0$	$x_\Sigma=(x_2\pm x_1)<0$
对强度的影响	弯曲强度	小齿轮弯曲强度较弱	一般：正变位，增加；负变位，减小 对外啮合齿轮，齿数较少时，弯曲强度随 x 的增加而提高；齿数较多时，变位对强度影响并不显著；对高精度齿轮，增加 x 时，由于 ε 的降低，消减了变位对提高强度的影响 对内齿轮，变位可以提高强度，但它不仅与 x_2 和 z_2 有关，而且很大程度上受 z_0 的影响		
	接触强度		一般无影响，只有当啮合节点处于双齿对啮合区时，才能提高强度	正角变位传动齿轮的承载能力可提高 $\sin2\alpha'/\sin2\alpha$ 倍，因此接触强度随 x_Σ 的增加而提高，当啮合节点位于双齿对啮合区时，对接触强度更为有利，但也因为 ε 的减小而消弱有利的影响，这对斜齿轮更为显著	
传动效率			提高		降低
应用范围		广泛应用于各种传动	1.用于要求与标准齿轮相同的中心距 2.用于提高齿轮强度，均衡大小齿轮的弯曲强度和滑动率，而又不使 ε_α 过多地减小 3.多用于 z_2+z_1 较大的场合	1.用于结构紧凑，允许与标准齿轮不同的中心距 2.用于提高齿轮强度，均衡大小齿轮的弯曲强度和滑动率而对 ε_α 无特殊要求的场合 3.用于 $z_2\pm z_1$ 较小的场合 4.用于凑配中心距	一般用于凑配中心距或要求较大的 ε_α 的场合，应用较少

注：表中“±”、“∓”号，上面的用于外啮合传动，下面的用于内啮合传动。

（三）变位系数的选择

1. 变位系数选择的基本原则

变位系数选择的基本原则（表11-4-2）如下：

（1）对于一般机械的齿轮，要求具有较好的综合质量。

（2）对于承受振动和冲击载荷的齿轮，如轧钢机的齿轮要特别强调具有较好的弯曲强度，建议采用较大的总变位系数，由此引起的重合度的减小不会产生明显的不良结果，因为工作噪声在这里不是主要的。

（3）对于工作噪声有严格要求的齿轮，推荐采用适中的总变位系数，甚至考虑采用负变位，但

表11-4-2 变位系数选择的基本原则

传动型式		变位系数选择基本原则
闭式传动 润滑条件良好	软齿面 HB<350	选择尽可能大的总变位系数，尽量增大啮合角，以提高轮齿的接触强度
	硬齿面 HB>350	选择变位系数使大小两轮的弯曲强度尽量增大并使其相等
开式传动	软齿面	采用尽可能大啮合角的正角变位传动，并合理分配变位系数，使两轮齿根处的最大滑动率降到最低值并接近相等
	硬齿面	选择变位系数力求提高弯曲强度
高速重载，低速重载传动		选择变位系数尽可能增大啮合角，以减小其接触应力，并适当分配变位系数，使大小两轮的滑动率相等

（续）

传动型式	变位系数选择基本原则
高精度（7级以上）重载传动	选择变位系数适当减小啮合角，以减小振动和噪声。有时还要适当分配变位系数，使啮合节点处于双齿对啮合区，以分担载荷提高承载能力

一定要在合理的限度以内。

2. 外啮合齿轮选择变位系数的限制条件

外啮合齿轮选择变位系数的限制条件列于表11-4-3。

3. 外啮合齿轮变位系数的选择方法

外啮合齿轮变位系数的选择和分配如表11-4-6所示。

表11-4-3 外啮合齿轮选择变位系数的限制条件

限制条件	计算公式	说明
切齿时不产生根切	用齿条型刀具时： 用于直齿 $x_{min}=\frac{h_a^*(z_{min}-z)}{z_{min}}=h_a^*-\frac{z\sin^2\alpha}{2}$ 用于斜齿 $x_{tmin}=h_{at}^*-\frac{z\sin^2\alpha_t}{2}$ 用齿轮型插齿刀时： $x_{min}=\frac{1}{2}\left[\sqrt{(z_0+2h_a^*{}_0)^2+(z^2+2zz_0)\cos^2\alpha}-(z_0+z)\right]$	直齿轮的x_{min}见表11-4-4 斜齿轮的x_{tmin}见图11-4-6 z_{min}见表11-2-1、11-2-2
保证必要的齿顶厚①	$s_a=d_a\left(\frac{\pi}{2z}+\frac{2x\,tg\alpha}{z}+inv\alpha-inv\alpha_a\right)$ 传动型式：闭式传动（齿面硬度≤350HB或进给、辅助机构；齿面硬度＜350HB或主传动）；开式传动 s_a推荐值：$>(0.15\sim0.25)m$；$>(0.25\sim0.4)m$；$>(0.4\sim0.5)m$	齿顶变尖时的x_{max}见表11-4-5 根据s_a值由图11-4-7～11-4-9选取x值
保证一定的重合度	见表11-2-14	按图11-2-6～11-2-9选取或计算ε
不产生过渡曲线干涉	见表11-2-7	变位系数绝对值过大时，容易产生这种干涉
保证渐开线齿形的完整性	$\left[z_1(tg\alpha_{a1}-tg\alpha)+\frac{4(h_a^*-x)}{\sin2\alpha}\right]>\left[z_1(tg\alpha_{a1}-tg\alpha)+z_2(tg\alpha_{a2}-tg\alpha)\right]$ 对于大模数，齿数较多的齿轮： $l>d_a\sin(\alpha_a-\alpha)+0.5\pi m$ 式中 l——滚刀的螺纹部分长度	切齿时齿条刀具与被切齿轮的实际啮合线长度要大于齿轮副传动时的实际啮合线长度。x越大，实际啮合线长度越短，就可能使被切齿轮齿廓的工作部分不能制成完整的渐开线齿形

① 当变位后的齿顶厚s_a不能满足表中的推荐值时，如果条件许可，则改变变位系数的取值来增加s_a值。另一种方法是减小齿顶高。其计算方法如下：

$$\delta h_a=K_a\Delta s_a$$

式中 δh_a——齿顶高减小量；

K_a——系数，从图11-4-9中查取；

Δs_a——s_a推荐值与设计计算的s_a值的差值。

例如一开式传动直齿轮，$z=11$，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$m=5mm$，$x=0.5mm$。s_a的计算值可按齿厚计算一节中的公式计算，亦可从图11-4-9中查取s_a^*，则$s_a=s_a^*m=0.24\times5=1.2mm$，$s_a$的推荐值为$0.45\times5=2.25mm$（表11-4-3），则$\Delta s_a=2.25-1.2=1.05mm$。从图14-4-9查得$K_a\approx0.57$，则齿顶高减小量$\delta h_a=K_a\Delta s_a=0.57\times1.05\approx0.6mm$。即，要保持齿顶厚$s_a=0.45m$的话，该齿轮的齿顶圆直径除按照几何计算一节中有关公式计算出d_a值外，还须再减小$2\delta h_a$。

此时，必须按照齿顶圆直径验算重合度。

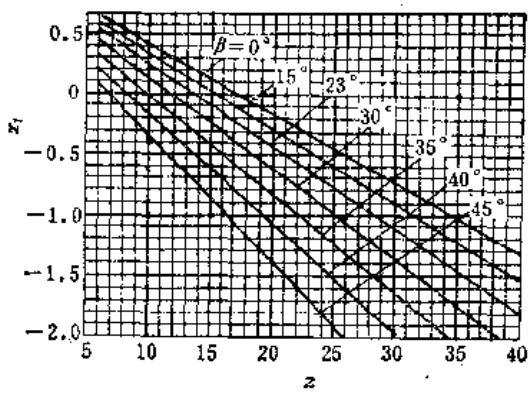


图11-4-6 用齿条形刀具切削斜齿圆柱齿轮时不产生根切的变位系数

($\alpha_n=20°$, $h_{a*}^*=1$)

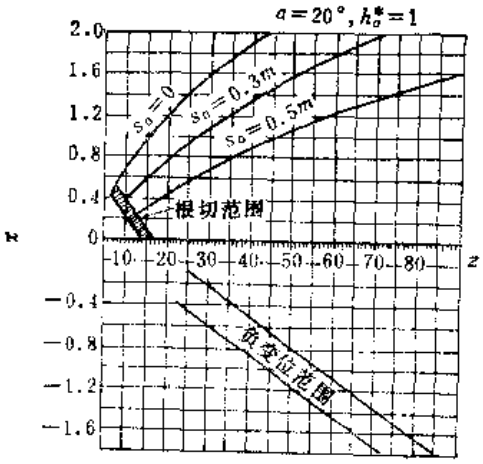


图11-4-7 变位系数选择范围(一)

($\alpha=20°$, $h_a^*=1$)

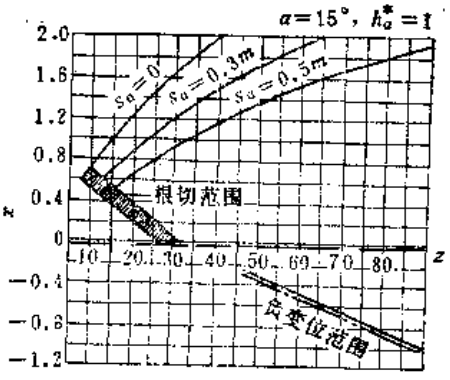


图11-4-8 变位系数选择范围(二)

($\alpha=15°$, $h_a^*=1$)

表11-4-4 不产生根切的最小变位系数x_{min}[8]

z \ α, h_a^*	20°, 1	20°, 0.8	15°, 1	14½°, 1
8	0.532	0.332	0.732	0.749
9	0.474	0.274	0.699	0.718
10	0.415	0.215	0.665	0.687
11	0.357	0.157	0.632	0.655
12	0.298	0.098	0.598	0.624
13	0.240	0.040	0.565	0.593
14	0.181	−0.019	0.531	0.561
15	0.123	−0.077	0.498	0.530
16	0.064	−0.136	0.464	0.499
17	0.006	−0.194	0.431	0.467
18	−0.053	−0.253	0.397	0.436
19	−0.111	−0.311	0.364	0.404
20	−0.170	−0.370	0.330	0.373
21	−0.228	−0.428	0.297	0.342
22	−0.287	−0.487	0.263	0.310
23	−0.345	−0.545	0.230	0.279
24	−0.404	−0.604	0.196	0.248
25	−0.462	−0.662	0.163	0.216
26	−0.521	−0.721	0.129	0.185
27	−0.579	−0.779	0.096	0.154
28	−0.638	−0.838	0.062	0.122
29	−0.696	−0.896	0.029	0.091
30	−0.755	−0.955	−0.005	0.060
31	−0.813	−1.013	−0.038	0.028
32	−0.872	−1.072	−0.072	−0.003
33	−0.930	−1.130	−0.105	−0.034
34	−0.989	−1.189	−0.139	−0.066
35	−1.047	−1.247	−0.172	−0.097
36	−1.106	−1.306	−0.206	−0.128
37	−1.164	−1.364	−0.239	−0.160
38	−1.223	−1.423	−0.273	−0.191
39	−1.281	−1.481	−0.306	−0.222
40	−1.340	−1.540	−0.340	−0.254
41	−1.398	−1.598	−0.373	−0.285
42	−1.457	−1.657	−0.407	−0.316
43	−1.515	−1.715	−0.440	−0.348
44	−1.574	−1.774	−0.474	−0.379
45	−1.632	−1.832	−0.507	−0.411
46	−1.690	−1.890	−0.541	−0.442
47	−1.749	−1.949	−0.574	−0.473
48	−1.807	−2.007	−0.608	−0.505
49	−1.866	−2.066	−0.641	−0.536
50	−1.924	−2.124	−0.675	−0.567
51	−1.983	−2.183	−0.708	−0.599

使用表11-4-8～表11-4-10时，如果齿数介于表列齿数之间，可按较小的表列数值选用。如果x_Σ超过表中$x_{\Sigma min}$和$x_{\Sigma max}$范围时，应验算啮合情况。当x_Σ介于$x_{\Sigma min}$和$x_{\Sigma max}$之间时，可用内插值法求之，其公式如下：

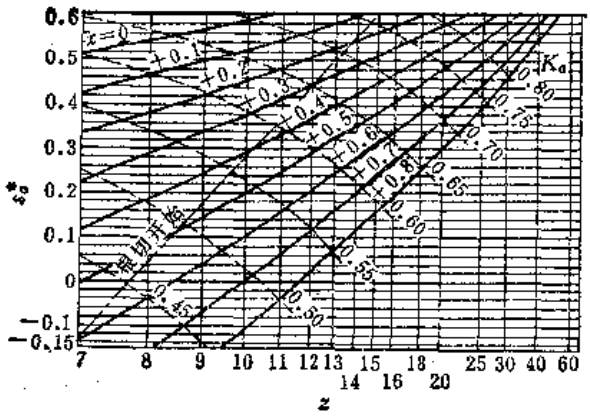


图11-4-9 齿顶厚系数$s_a^* = \frac{s_a}{m}$与 x 的关系[4]

($\alpha = 20°$, $h_a^* = 1$)

表11-4-5 直齿轮齿顶变尖时的变位系数

x_{max}($\alpha = 20°$, $h_a^* = 1$)

z	x_{max}		
	$s_a = 0$	$s_a = 0.3m$	$s_a = 0.4m$
8	0.565	0.28	0.18
9	0.635	0.34	0.22
10	0.700	0.39	0.27
11	0.760	0.44	0.31
12	0.820	0.48	0.35
13	0.877	0.53	0.39
14	0.930	0.57	0.43
15	0.983	0.61	0.46
16	1.034	0.65	0.50
17	1.083	0.69	0.53
18	1.130	0.72	0.56
19	1.177	0.76	0.59
20	1.222	0.80	0.63
21	1.266	0.83	0.66
22	1.309	0.87	0.69
23	1.351	0.90	0.72
24	1.392	0.93	0.75
25	1.433	0.96	0.78
计算公式	$s_a = 0$ 时 $x_{max} = \frac{2z(\mathrm{inv}\alpha_a - \mathrm{inv}\alpha) - \pi}{4\tan\alpha}$		

$$x_1 = x_{1min} + (x_\Sigma - x_{\Sigma min})\frac{x_{1max} - x_{1min}}{x_{\Sigma max} - x_{\Sigma min}}$$

$$x_2 = x_\Sigma - x_1$$

（1）封闭图法 封闭图综合考虑各种性能指标，因而能根据齿轮传动要求，比较合理地选择变位系数。它是按照规定的齿数（z_1和z_2）和齿形参数（α和h_a^*），根据变位系数的限制条件绘制而成的。

图 11-4-10是用齿条型刀具加工外啮合变位齿轮用的封闭图。图中有三个封闭区，其中Ⅰ是节点

表11-4-6 外啮合齿轮变位系数的选择和分配

变位目的	变位方式	变位系数的选择和分配	附 注
避免根切	高变位	表11-4-4（直齿轮），图11-4-6(斜齿轮)	
提高接触强度	角变位	表11-4-7（直齿轮），图11-4-13(斜齿轮)	
提高弯曲强度	角变位 高变位	表11-4-8，11-4-9 表11-4-11	
提高耐磨性及抗胶合能力	角变位 高变位	表11-4-10 表11-4-12	
实现节点处于双齿对啮合区以提高接触强度	高变位	图11-4-12	参见图11-2-5和图11-4-12的说明
实现节点外啮合以避免或减小齿面在节点处产生点蚀现象	角变位	图11-4-10	参见下页页下注
提高齿轮的综合性能	角变位	图11-4-11 当中心距不受限制时，对于$z_1 \geqslant 14$，$z_2 \geqslant 30$的直齿轮，可采用$x_1 = x_2 = 0.5$	
使大小齿轮的滑动率接近相等	角变位 高变位	图11-4-11左侧线图	
配凑中心距①	角变位	按已知中心距用无侧隙啮合方程来确定x_Σ，然后按要求进行分配。当$x_1 < z_{min}$时首先要避免根切	

① 当中心距已定时，角变位齿轮的变位系数也可按下式确定：

$$x_1 = 0.5\left[x_\Sigma - \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1}(x_\Sigma - y)\right]$$

$$x_2 = x_\Sigma - x_1$$

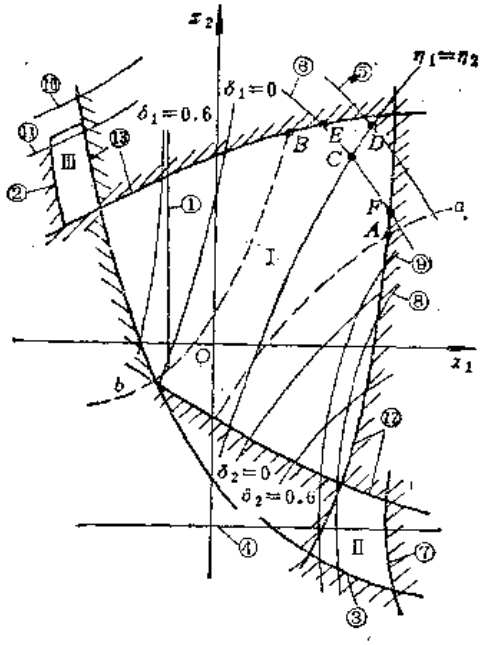


图11-4-10 封闭图

位于啮合区内的许用区，Ⅱ和Ⅲ是节点外啮合㊀许用区。在此三个区域内选择变位系数 x_1和x_2，均能满足各项限制条件。

封闭图由下列曲线组成：

1和4分别为小齿轮和大齿轮不根切的最小变位系数$x_{1\min}$和$x_{2\min}$的限制曲线；

2和3分别为小齿轮和大齿轮根切不超过其工作齿廓的限制曲线；

5和6分别为重合度 $\varepsilon=1.0$和 $\varepsilon=1.2$的限制曲线；

7为齿顶厚$s_{a1}=0$的限制曲线；

8和9分别为齿顶宽$s_{a1}=0.25m$和$s_{a1}=0.4m$的限制曲线；

10和11分别为齿顶宽$s_{a2}=0.25m$和$s_{a2}=0.4m$的限制曲线；

12和13分别为小齿轮和大齿轮齿根发生过渡曲线干涉的限制曲线。

图中还绘制了几条质量指标曲线：

a和b分别为小齿轮主动或大齿轮主动时轮齿等弯曲强度的曲线；

η_1和η_2分别为实际啮合线两端点处，齿根滑动率相等的曲线；

$\delta_1=0$和$\delta_2=0$分别为节点位于单齿对啮合区和双齿对啮合区的分界点上的曲线；

$\delta_1=0.6$和$\delta_2=0.6$分别为节点在小轮齿顶与大轮齿根接触和大轮齿顶与小轮齿根接触的双齿对啮合区内，深度为0.6 m的曲线。

限于篇幅，读者可参见参考文献〔16〕、〔5〕。

（2）线图法和表格法 图11-4-11是用齿条刀具加工外齿轮 $z_1\geqslant12$时选择变位系数的线图。该图用于角变位时可以获得良好的综合性能，即能保证：

1）加工时无根切；

2）齿顶厚$s_a>0.4m$（个别情况s_a在0.4 m和0.25 m之间）；

3）重合度$\varepsilon\geqslant1.2$（在许用区上方的边界线上选取x_Σ时，也只有少数情况是 $\varepsilon=1.1\sim1.2$）；

4）啮合传动时无干涉现象；

5）大小两轮的最大滑动率接近相等，$\eta_1\approx\eta_2$；

6）在模数限制线（图中 $m=6.5$、$m=7$……）下方选取变位系数时，用标准滚刀加工该模数的齿轮不会产生不完全切削现象。

图11-4-11用于高变位时，可以使$\eta_1\approx\eta_2$，提高齿轮的耐磨性和抗胶合能力。

该图也可用于斜齿轮，但须以$z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$来代替$z$，图中的$x$应为$x_n$。

该图分左右两部分，右边线图用来选择总变位系数x_Σ，其横坐标为齿数和z_Σ，纵坐标为x_Σ；左边线图用来分配变位系数，其纵坐标仍为总变位系数x_Σ，横坐标为x_1（从坐标原点o向左为正值，向右为负值）。右边线图中阴影线以内为许用区，许用区内各射线是同一啮合角（如18°30′，19°，……26°30′）时总变位系数x_Σ与齿数和z_Σ的函数关系。

使用图11-4-11时，先根据齿数和z_Σ及其它要求在右边许用区内选择总变位系数x_Σ，然后按左边五条斜线，根据x_Σ和齿数比$u=\dfrac{z_2}{z_1}$即可确定x_1和$x_2=x_\Sigma-x_1$。

对同一齿数和z_Σ，当所选的x_Σ越大时，啮合角

㊀ 所谓节点外啮合是指适当地选择变位系数，使啮合节点C位于实际啮合线之外，目的在于避免或减少齿面在节点附近产生点蚀现象。为此，大齿轮必须选取小于－1的负变位系数，使$r_{a2}<r_2'$，只有当大轮齿数较多时才能实现这种变位，以免发生根切〔15〕。

表11-4-7 正角变位齿轮传动接触强度最有利的变位系数值（$\alpha=20°$）[10]

z_1		z_2												
		12	15	18	22	28	34	42	50	65	80	100	125	155	190
12	x_1	0.38	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30			
	x_2	0.38	0.50	0.61	0.66	0.88	1.03	1.30	1.43	1.69	1.96	2.30			
	α'	26°55′	26°36′	26°43′	26°22′	26°34′	26°28′	26°36′	26°18′	25°57′	25°43′	25°28′			
	k_α	0.927	0.930	0.928	0.931	0.930	0.931	0.924	0.932	0.935	0.937	0.939			
15	x_1		0.45	0.34	0.38	0.26	0.13	0.20	0.25	0.26	0.30	0.35			
	x_2		0.45	0.64	0.75	1.04	1.42	1.53	1.65	1.87	2.14	2.32			
	α'		26°39′	26°36′	26°45′	26°41′	26°55′	26°44′	26°32′	26°06′	25°55′	25°30′			
	k_α		0.929	0.930	0.928	0.928	0.930	0.928	0.930	0.933	0.936	0.939			
18	x_1			0.54	0.60	0.40	0.30	0.29	0.32	0.41	0.48	0.52			
	x_2			0.54	0.64	1.02	1.30	1.48	1.63	1.89	2.08	2.31			
	α'			26°39′	26°49′	26°48′	26°47′	26°34′	26°27′	26°16′	26°00′	25°37′			
	k_α			0.929	0.927	0.928	0.928	0.930	0.931	0.932	0.934	0.938			
22	x_1				0.68	0.59	0.48	0.40	0.43	0.53	0.61	0.65	0.75		
	x_2				0.68	0.94	1.20	1.48	1.60	1.80	1.99	2.19	2.43		
	α'				26°48′	26°45′	26°39′	26°34′	26°23′	26°07′	25°53′	25°29′	25°11′		
	k_α				0.928	0.928	0.929	0.930	0.931	0.933	0.935	0.938	0.941		
28	x_1					0.86	0.80	0.72	0.64	0.70	0.75	0.80	0.83	0.82	
	x_2					0.86	1.08	2.33	1.60	1.84	2.04	2.26	2.47	2.66	
	α'					26°46′	26°43′	26°32′	26°26′	26°12′	25°57′	25°36′	25°10′	24°40′	
	k_α					0.928	0.928	0.930	0.931	0.932	0.935	0.937	0.942	0.946	
34	x_1						1.01	0.90	0.80	0.83	0.89	0.94	1.00	1.05	1.03
	x_2						1.01	1.30	1.58	1.79	1.97	2.22	2.46	2.67	2.90
	α'						26°36′	26°29′	26°24′	26°03′	25°49′	25°33′	25°12′	24°47′	24°23′
	k_α						0.930	0.930	0.930	0.934	0.936	0.938	0.941	0.945	0.949
42	x_1							1.17	1.11	1.05	1.09	1.12	1.36	1.34	1.39
	x_2							1.17	1.41	1.75	1.95	2.20	2.52	2.72	2.99
	α'							26°17′	26°14′	26°00′	25°47′	25°31′	25°30′	24°59′	24°39′
	k_α							0.932	0.932	0.934	0.936	0.939	0.939	0.943	0.946
50	x_1								1.34	1.32	1.26	1.28	1.44	1.40	1.43
	x_2								1.34	1.60	1.89	2.13	2.42	2.62	2.78
	α'								26°07′	25°52′	25°39′	25°36′	25°19′	24°47′	24°23′
	k_α								0.933	0.935	0.937	0.937	0.940	0.945	0.949
65	x_1									1.58	1.57	1.55	1.54	1.50	1.50
	x_2									1.58	1.83	2.10	2.32	2.48	2.60
	α'									25°40′	25°31′	25°22′	24°57′	24°29′	24°05′
	k_α									0.937	0.939	0.940	0.943	0.948	0.951
80	x_1										1.82	1.76	1.70	1.63	1.57
	x_2										1.82	2.00	2.16	2.33	2.48
	α'										25°23′	25°02′	24°38′	24°14′	23°51′
	k_α										0.940	0.943	0.946	0.950	0.954
100	x_1											1.90	1.79	1.71	1.65
	x_2											1.90	2.05	2.19	2.38
	α'											24°40′	24°11′	23°38′	23°37′
	k_α											0.946	0.950	0.956	0.956

注：$k_\alpha=\sqrt[3]{\dfrac{\sin 40°}{\sin 2\alpha'}}$，式中，$\alpha'$为啮合角。

表11-4-8　角变位齿轮传动弯曲强度最有利的变位系数值[14]（小齿轮z_1为主动齿轮，适用

z_2 \ z_1	14		16		18		20		22		25	
	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}
14	0.16 0.16	0.84 0.54										
16	−0.05 0.10	0.87 0.58	−0.07 0.05	0.95 0.64								
18	−0.15 0.07	0.90 0.60	−0.20 0.00	1.00 0.67	−0.18 0.00	1.05 0.71						
20	−0.20 0.10	0.93 0.65	−0.30 0.00	1.07 0.73	0.33 0.00	1.13 0.76	−0.30 0.02	1.20 0.85				
22	−0.20 0.11	1.00 0.69	−0.34 0.04	1.10 0.75	−0.43 0.00	1.20 0.83	−0.45 −0.04	1.25 0.35	−0.47 −0.11	1.31 0.93		
25	−0.27 0.15	1.00 0.71	−0.35 0.04	1.13 0.76	−0.47 0.01	1.20 0.84	−0.50 −0.04	1.29 0.91	−0.53 −0.09	1.40 0.96	−0.60 −0.18	1.47 1.05
28	−0.31 0.16	1.07 0.78	−0.40 0.07	1.20 0.82	−0.47 0.01	1.25 0.87	−0.50 0.00	1.33 0.96	−0.50 −0.04	1.42 0.98	−0.58 −0.11	1.60 1.11
31	−0.34 0.18	1.10 0.80	−0.44 0.09	1.24 0.84	−0.45 0.07	1.27 0.90	−0.50 0.03	1.40 1.00	−0.49 0.00	1.49 1.07	−0.55 −0.07	1.58 1.18
34	−0.35 0.18	1.10 0.83	−0.44 0.11	1.24 0.87	−0.47 0.10	1.27 0.93	−0.47 0.05	1.40 1.00	−0.47 0.00	1.45 1.07	−0.55 −0.05	1.55 1.20
38	−0.40 0.20	1.15 0.84	−0.40 0.15	1.36 0.98	−0.40 0.14	1.36 1.00	−0.44 0.09	1.44 1.05	−0.45 0.09	1.54 1.11	−0.47 0.00	1.65 1.27
42	−0.38 0.24	1.20 0.90	−0.38 0.20	1.27 0.95	−0.40 0.18	1.40 1.02	−0.40 0.14	1.50 1.09	−0.45 0.11	1.56 1.16	−0.49 0.07	1.69 1.25
46	−0.38 0.20	1.23 0.90	−0.40 0.22	1.31 0.96	−0.40 0.21	1.40 1.05	−0.40 0.18	1.51 1.11	−0.38 0.16	1.64 1.20	−0.44 0.11	1.65 1.24
50	−0.35 0.27	1.23 0.93	−0.35 0.25	1.30 0.98	−0.35 0.27	1.40 1.04	−0.40 0.20	1.50 1.11	−0.40 0.20	1.64 1.20	−0.42 0.15	1.60 1.23
65	−0.35 0.36	1.30 0.96	−0.33 0.34	1.34 1.00	−0.38 0.31	1.56 1.11	−0.38 0.27	1.53 1.15	−0.36 0.31	1.50 1.16	−0.38 0.29	1.47 1.18
80			−0.31 0.40	1.51 1.07	−0.30 0.44	1.50 1.14	−0.31 0.41	1.50 1.13	−0.33 0.40	1.44 1.16	−0.34 0.34	1.44 1.18
100					−0.27 0.47	1.51 1.11	−0.30 0.45	1.40 1.10	−0.25 0.49	1.44 1.16	−0.27 0.47	1.33 1.13

于用 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$的标准齿条形刀具切制的齿轮，$\varepsilon\geqslant1.2$，$s_{a\min}\geqslant0.25m$）

28			31			34			42			50			65		
$x_{\Sigma\min}$	x_Σ	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	x_Σ	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	x_Σ	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	x_Σ	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	x_Σ	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	x_Σ	$x_{\Sigma\max}$
$x_{1\min}$	x_1	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	x_1	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	x_1	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	x_1	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	x_1	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	x_1	$x_{1\max}$
−0.58	—	1.69															
−0.18	—	1.25															
−0.56	-	1.76	−0.54	0.40	1.74												
−0.13	—	1.30	−0.07	0.40	1.34												
−0.53	—	1.76	−0.51	0.51	1.69	−0.56	0.47	1.70									
−0.07	—	1.33	−0.07	0.51	1.34	−0.11	0.47	1.34									
−0.51	0.60	1.56	−0.49	0.60	1.60	−0.51	0.65	1.63									
0.00	0.60	1.27	0.00	0.60	1.31	−0.07	0.65	1.33									
−0.45	0.60	1.58	−0.51	0.51	1.54	−0.49	0.73	1.55	−0.53	0.71	1.56						
0.07	0.60	1.25	0.04	0.60	1.27	0.00	0.73	1.29	−0.05	0.71	1.34						
−0.45	0.70	1.51	−0.47	0.75	1.53	−0.51	0.76	1.50	−0.51	0.71	1.47						
0.09	0.70	1.24	0.07	0.75	1.25	0.04	0.76	1.29	−0.05	0.74	1.33						
−0.44	0.76	1.47	−0.44	0.80	1.49	−0.47	0.80	1.49	−0.49	0.76	1.45	−0.50	0.60	1.38			
0.11	0.76	1.24	0.11	0.80	1.25	0.05	0.80	1.29	−0.05	0.80	1.33	0.00	0.70	1.36			
−0.36	0.47	1.40	−0.40	0.44	1.38	−0.42	0.40	1.38	−0.40	0.50	1.27	−0.51	0.40	1.22	−0.50	0.40	1.16
0.27	0.67	1.20	0.24	0.64	1.24	0.18	0.60	1.24	0.20	0.71	1.27	0.11	0.62	1.27	0.07	0.67	1.31
−0.33	0.55	1.35	−0.31	0.64	1.27	−0.36	0.40	1.27	−0.36	0.40	1.09	−0.42	0.30	1.05	−0.44	0.40	1.00
0.38	0.75	1.14	0.34	0.80	1.20	0.33	0.69	1.20	0.31	0.71	1.18	0.24	0.65	1.20	0.20	0.73	1.25
−0.27	0.53	1.20	−0.27	0.51	1.20	−0.31	0.40	1.15	−0.33	—	0.95	−0.35	0.40	0.89	−0.36	—	0.85
0.47	0.80	1.14	0.47	0.80	1.16	0.40	0.74	1.15	0.40	—	1.14	0.38	0.80	1.15	0.34	—	1.20

表11-4-9　角变位齿轮传动弯曲强度最有利的变位系数值[14]（大齿轮z_2为主动齿轮，适用于用

z_1 \ z_2	16		18		20		22		25		28	
	$x_{\Sigma min}$ x_{2min}	$x_{\Sigma max}$ x_{2max}	$x_{\Sigma min}$ x_{2min}	$x_{\Sigma max}$ x_{2max}	$x_{\Sigma min}$ x_{2min}	$x_{\Sigma max}$ x_{2max}	$x_{\Sigma min}$ x_{2min}	$x_{\Sigma max}$ x_{2max}	$x_{\Sigma min}$ x_{2min}	$x_{\Sigma max}$ x_{2max}	$x_{\Sigma min}$ x_{2min}	$x_{\Sigma max}$ x_{2max}
14	0.09 0.09	0.87 0.55	0.10 0.10	0.95 0.56	0.09 0.07	1.00 0.65	0.10 0.08	1.10 0.73	0.10 0.05	1.15 0.76	0.07 0.00	1.27 0.84
16	−0.07 0.05	0.95 0.64	−0.02 0.05	1.02 0.67	−0.04 0.04	1.13 0.71	−0.07 0.00	1.20 0.75	−0.07 0.00	1.24 0.83	−0.13 −0.09	1.30 0.91
18			−0.18 0.00	1.05 0.71	−0.18 0.00	1.20 0.78	−0.24 −0.05	1.25 0.85	−0.20 −0.05	1.33 0.91	−0.30 −0.13	1.40 1.00
20					−0.30 0.02	1.20 0.85			−0.35 −0.09	1.38 0.98	−0.40 −0.15	1.47 1.07
22							−0.47 −0.11	1.31 0.93	−0.49 −0.11	1.49 1.00	−0.53 −0.20	1.53 1.09
25									−0.60 −0.18	1.47 1.05	−0.60 −0.20	1.60 1.13
28											−0.58 −0.18	1.69 1.25
31												
34												
38												
42												
46												
50												
65												
80												

注：1.表中x_{min}和x_{max}是按不产生过渡曲线干涉时大、小齿轮轮齿等弯曲强度的条件确定的。

2.表中x_Σ和x_2是推荐的较为适当的变位系数值。

3.用齿轮形插齿刀加工时，应验算过渡曲线干涉。

$\alpha = 20°$，$h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$的标准齿条形刀具切制的齿轮，$\varepsilon \geqslant 1.2$，$s_{amin} \geqslant 0.25m$）

31			34			42			50			65			80		
$x_{\Sigma min}$	x_Σ	$x_{\Sigma max}$	$x_{\Sigma min}$	x_Σ	$x_{\Sigma max}$	$x_{\Sigma min}$	x_Σ	$x_{\Sigma max}$	$x_{\Sigma min}$	x_Σ	$x_{\Sigma max}$	$x_{\Sigma min}$	x_Σ	$x_{\Sigma max}$	$x_{\Sigma min}$	x_Σ	$x_{\Sigma max}$
x_{2min}	x_2	x_{2max}	x_{2min}	x_2	x_{2max}	x_{2min}	x_2	x_{2max}	x_{2min}	x_2	x_{2max}	x_{2min}	x_2	x_{2max}	x_{2min}	x_2	x_{2max}
0.05	—	1.27	0.05	—	1.44	0.07	—	1.62									
-0.02	—	0.89	-0.05	—	1.00	-0.05	—	1.20									
-0.13	—	1.42	-0.16	—	1.53	-0.16	1.00	1.73	-0.20	1.05	1.87						
-0.09	—	1.00	-0.13	—	1.11	-0.16	0.70	1.31	-0.20	0.80	1.50						
-0.29	0.70	1.50	-0.30	0.87	1.36	-0.35	0.80	1.76	-0.38	0.84	1.93						
-0.15	0.50	1.10	-0.20	0.60	1.15	-0.24	0.55	1.35	-0.29	0.60	1.65						
-0.40	0.60	1.55	-0.40	0.80	1.67	-0.49	0.80	1.84	-0.53	1.00	1.95						
-0.18	0.45	1.11	-0.20	0.58	1.24	-0.31	0.56	1.44	-0.35	0.76	1.65						
-0.53	0.80	1.60	-0.58	0.66	1.71	-0.56	0.80	1.85	-0.53	0.80	1.95	-0.56	1.20	2.00			
-0.20	0.60	1.20	-0.27	0.47	1.29	-0.31	0.60	1.44	-0.35	0.58	1.62	-0.40	0.93	1.71			
-0.60	0.80	1.70	-0.64	0.75	1.73	-0.60	1.00	1.95	-0.56	1.04	1.84	-0.60	1.20	1.90	-0.62	0.90	1.80
-0.20	0.60	1.27	-0.27	0.60	1.35	-0.31	0.76	1.56	-0.31	0.80	1.56	-0.36	0.93	1.70	-0.35	0.78	1.73
-0.58	0.71	1.73	-0.58	1.00	1.84	-0.60	1.00	1.84	-0.60	1.00	1.78	-0.60	1.00	1.84	-0.58	1.00	1.87
-0.18	0.60	1.30	-0.22	0.00	1.44	-0.24	0.80	1.50	-0.27	0.80	1.55	-0.35	0.80	1.64	-0.38	0.84	1.78
-0.54	0.40	1.74	-0.60	1.00	1.78	-0.62	0.70	1.75	-0.62	0.95	1.70	-0.65	1.00	1.73	-0.62	1.11	1.71
-0.07	0.40	1.34	-0.15	0.82	1.44	-0.20	0.62	1.47	-0.27	0.80	1.50	-0.31	0.89	1.60	-0.35	1.00	1.65
			-0.56	0.47	1.70	-0.62	0.80	1.67	-0.67	0.80	1.60	-0.67	0.87	1.64	-0.67	0.80	1.64
			-0.11	0.47	1.34	-0.16	0.73	1.42	-0.25	0.71	1.44	-0.31	0.80	1.51	-0.31	0.76	1.62
						-0.57	0.80	1.58	-0.62	0.80	1.55	-0.64	0.87	1.60	-0.67	0.80	1.55
						-0.11	0.74	1.38	-0.18	0.74	1.42	-0.27	0.81	1.49	-0.29	0.80	1.55
						-0.53	0.71	1.50	-0.58	0.70	1.50	-0.62	0.70	1.55	-0.67	0.76	1.47
						-0.05	0.71	1.34	-0.11	0.70	1.40	-0.24	0.70	1.47	-0.27	0.80	1.51
									-0.54	0.70	1.44	-0.63	0.70	1.45	-0.66	0.76	1.31
									-0.05	0.65	1.38	-0.18	0.76	1.45	-0.21	0.85	1.47
									-0.50	0.60	1.38	-0.60	0.67	1.36	-0.64	0.30	1.31
									0.00	0.70	1.36	-0.13	0.80	1.44	-0.15	0.50	1.44
												-0.50	0.40	1.16	-0.56	0.53	1.10
												0.07	0.67	1.31	0.00	0.80	1.35
															-0.48	0.40	0.90
															0.16	0.76	1.26

表11-4-10　角变位齿轮传动耐磨损抗胶

（适用于 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$的标准齿条形刀具

z_2 \ z_1	14		16		18		20		22		25	
	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}	$x_{\Sigma min}$ x_{1min}	$x_{\Sigma max}$ x_{1max}
14	−0.05 0.03	0.85 0.44										
16	−0.11 0.05	0.87 0.45	−0.18 −0.09	0.96 0.47								
18	−0.16 0.11	0.95 0.47	−0.22 0.00	1.04 0.51	−0.30 −0.15	1.07 0.53						
20	−0.27 0.15	1.00 0.51	−0.30 0.00	1.10 0.56	−0.35 −0.07	1.16 0.58	−0.44 −0.22	1.24 0.62				
22	−0.35 0.16	1.04 0.55	−0.40 0.04	1.16 0.56	−0.47 −0.07	1.24 0.58	−0.53 −0.18	1.27 0.64	−0.58 −0.29	1.36 0.68		
25	−0.30 0.38	1.10 0.56	−0.44 0.09	1.20 0.60	−0.45 0.03	1.30 0.62	−0.51 −0.05	1.36 0.67	−0.55 −0.18	1.45 0.71	−0.64 −0.31	1.53 0.75
28	−0.34 0.25	1.20 0.60	−0.40 0.14	1.24 0.60	−0.44 0.07	1.38 0.64	−0.50 0.00	1.44 0.69	−0.53 −0.11	1.50 0.71	−0.60 −0.22	1.64 0.78
31	−0.35 0.25	1.24 0.64	−0.40 0.16	1.35 0.64	−0.42 0.13	1.44 0.65	−0.49 0.04	1.50 0.69	−0.49 −0.04	1.60 0.75	−0.60 −0.15	1.75 0.82
34	−0.31 0.31	1.30 0.65	−0.40 0.22	1.40 0.65	−0.45 0.09	1.47 0.65	−0.45 0.11	1.60 0.71	−0.47 0.00	1.67 0.77	−0.53 −0.04	1.80 0.80
38	−0.35 0.35	1.35 0.64	−0.38 0.22	1.58 0.67	−0.38① 0.22	1.56 0.67	−0.44 0.13	1.65 0.71	−0.45 0.07	1.73 0.75	−0.47 0.00	1.91 0.85
42	−0.31 0.35	1.49 0.65	−0.35 0.26	1.56 0.67	−0.36 0.24	1.65 0.67	−0.40 0.18	1.73 0.75	−0.43 0.09	1.76 0.75	−0.51 0.04	1.93 0.84
46	−0.29 0.40	1.55 0.67	−0.35 0.27	1.67 0.67	−0.35 0.29	1.70 0.70	−0.40 0.20	1.80 0.75	−0.40 0.15	1.90 0.78	−0.47 0.04	2.00 0.85
50	−0.29 0.40	1.58 0.65	−0.31 0.31	1.70 0.67	−0.33 0.27	1.78 0.71	−0.36 0.24	1.84 0.73	−0.40 0.16	1.96 0.76	−0.44 0.09	2.09 0.85
65	−0.29 0.44	1.80 0.67	−0.31 0.36	1.90 0.68	−0.40 0.31	2.10 0.71	−0.36 0.27	2.11 0.71	−0.38 0.24	2.20 0.76	−0.44 0.16	2.35 0.84
80	−0.29 0.47	1.93 0.67	−0.30 0.40	2.13 0.69	−0.35 0.36	2.30 0.71	−0.31 0.33	2.44 0.73	−0.36 0.29	2.55 0.78	−0.40 0.21	2.73 0.87
100					−0.30 0.31	2.60 0.71	−0.33 0.35	2.84 0.74	−0.35 0.29	2.76 0.78	−0.38 0.24	2.81 0.84

① 参考文献[14]原为 $^{-0.38}_{-0.22}$，疑有误。

合最有利的变位系数值[44]

切制的齿轮，$\varepsilon = 1.2$，$s_{a\min} \geqslant 0.25m$）

28		31		34		42		50		65	
$x_{\Sigma\min}$	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	$x_{\Sigma\max}$	$x_{\Sigma\min}$	$x_{\Sigma\max}$
$x_{1\min}$	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	$x_{1\max}$	$x_{1\min}$	$x_{1\max}$
−0.64	1.75										
−0.31	0.84										
−0.60	1.80	−0.60	1.84								
−0.24	0.89	−0.29	0.91								
−0.56	1.87	−0.63	2.15	−0.65	2.00						
−0.15	0.84	−0.25	0.95	−0.33	1.00						
−0.58	1.95	−0.58	2.00	−0.62	2.10						
−0.13	0.89	−0.20	0.96	−0.24	1.02						
−0.51	2.00	−0.58	2.07	−0.60	2.16	−0.64	2.30				
−0.07	0.91	−0.15	0.93	−0.18	1.00	−0.31	1.16				
−0.51	2.11	−0.55	2.16	−0.58	2.27	−0.62	2.40				
0.00	0.89	−0.07	0.93	−0.15	1.04	−0.26	1.16				
−0.45	2.20	−0.49	2.27	−0.56	2.30	−0.60	2.50	−0.65	2.65		
0.05	0.89	−0.02	0.94	−0.11	1.00	−0.20	1.16	−0.31	1.33		
−0.43	2.49	−0.49	2.50	−0.51	2.56	−0.56	2.78	−0.64	2.90	−0.71	3.11
0.16	0.89	0.05	0.91	0.00	1.00	−0.11	1.20	−0.18	1.31	−0.35	1.55
−0.40	2.60	−0.44	2.75	−0.50	2.76	−0.51	3.00	−0.60	3.13	−0.67	3.35
0.20	0.85	0.13	0.91	0.02	1.00	−0.02	1.20	−0.13	1.27	−0.25	1.53
−0.38	3.00	−0.40	3.09	−0.49	3.10	−0.50	3.27	−0.56	3.25	−0.60	3.47
0.27	0.87	0.16	0.91	0.11	1.00	0.04	1.15	−0.05	1.18	−0.16	1.40

表11-4-11 高变位齿轮传动弯曲强度最有利的[14] [16]变位系数x_1值

（相啮合齿轮材料和齿芯硬度相同时，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$\varepsilon\geqslant1.2$，$s_{amin}\geqslant0.25m$）

z_2 \ z_1	14	16	18	20	22	25	28	31	34	42	50	65	80	100
16	0.13 —	0.07 -0.07												
18	0.15	0.09 -0.06	0.09 -0.09											
20	0.16 —	0.14 -0.05	0.13 -0.08	0.14 -0.14										
22	0.18 —	0.18 -0.05	0.16 -0.07	0.15 -0.11	0.15 -0.15									
25	0.24 —	0.20 -0.04	0.20 -0.05	0.19 -0.08	0.18 -0.12	0.14 -0.14								
28	0.27 —	0.22 0.00	0.22 -0.04	0.22 -0.07	0.21 -0.10	0.19 -0.14	0.18 -0.18							
31	0.39 —	0.27 0.02	0.27 -0.02	0.26 -0.05	0.25 -0.08	0.23 -0.12	0.21 -0.16	0.18 -0.18						
34	0.31 —	0.29 0.02	0.29 0.00	0.29 -0.04	0.28 -0.07	0.26 -0.11	0.24 -0.15	0.22 -0.18	0.20 -0.20					
38	0.32 —	0.31 0.02	0.31 0.02	0.31 -0.03	0.30 -0.05	0.28 -0.10	0.27 -0.14	0.25 -0.16	0.24 -0.19					
42	0.33 —	0.34 0.04	0.34 0.03	0.33 -0.01	0.32 -0.04	0.31 -0.09	0.29 -0.13	0.28 -0.15	0.27 -0.18	0.26 -0.26				
46	0.37 —	0.36 0.04	0.36 0.04	0.35 0.00	0.35 -0.03	0.34 -0.07	0.32 -0.11	0.31 -0.14	0.30 -0.17	0.28 -0.23				
50	0.40 0.09	0.39 0.05	0.39 0.05	0.38 0.02	0.37 -0.02	0.37 -0.06	0.35 -0.10	0.34 -0.13	0.33 -0.16	0.30 -0.22	0.29 -0.29			
65	0.45 0.11	0.45 0.09	0.45 0.07	0.45 0.03	0.45 0.00	0.44 -0.04	0.44 -0.07	0.43 -0.11	0.42 -0.14	0.40 -0.20	0.38 -0.27	0.38 -0.38		
80		0.51 0.13	0.51 0.09	0.51 0.05	0.51 0.02	0.50 -0.03	0.50 -0.05	0.49 -0.09	0.48 -0.13	0.47 -0.18	0.45 -0.26	0.46 -0.38	0.46 -0.46	
100			0.56 0.11	0.56 0.08	0.56 0.04	0.56 0.00	0.56 -0.03	0.56 -0.08	0.55 -0.12	0.55 -0.17	0.54 -0.26	0.55 -0.38	0.58 -0.50	0.60 -0.60
125					0.56 0.04	0.56 0.00	0.56 -0.03	0.56 -0.08	0.55 -0.12	0.55 -0.17	0.54 -0.26	0.55 -0.38	0.58 -0.50	0.60 -0.60
155							0.56 -0.03	0.56 -0.08	0.55 -0.12	0.55 -0.17	0.54 -0.26	0.55 -0.38	0.58 -0.50	0.60 -0.60
190									0.55 -0.12	0.55 -0.17	0.54 -0.26	0.55 -0.38	0.58 -0.50	0.60 -0.60

注：1.z_1为主动轮时用表中上面的数值；z_1为从动轮时用下面的数值。

2.用齿轮形插齿刀加工时，应验算过渡曲线干涉。用齿条形刀具切齿时可不必验算。

表11-4-12　高度位齿轮传动耐磨损、抗胶合最有利的变位系数值[16]

z_1 \ z_2	17	18	19	20	21	22	24	27	28	32	34	40	42	50	60	65	72	80	90	100	110	140	170	210
10							0.458	0.475	0.480	0.499	0.507	0.529	0.535	0.554	0.570	0.576	0.582	0.588						
11							0.408	0.430	0.436	0.460	0.470	0.495	0.503	0.520	0.540	0.547	0.554	0.559	0.563		0.566			
12						0.328	0.357	0.389	0.396	0.422	0.432	0.460	0.466	0.487	0.510	0.518	0.527	0.534	0.537		0.541			
13					0.264	0.283	0.313	0.347	0.356	0.385	0.398	0.427	0.434	0.457	0.479	0.488	0.499	0.507	0.511		0.515			
14				0.199	0.220	0.239	0.271	0.308	0.318	0.360	0.363	0.395	0.404	0.427	0.450	0.461	0.472	0.479	0.485		0.493	0.499		
15			0.134	0.159	0.181	0.201	0.235	0.271	0.281	0.315	0.329	0.363	0.372	0.398	0.423	0.434	0.445	0.454	0.462		0.472	0.479		
16		0.062	0.094	0.120	0.144	0.165	0.199	0.232	0.249	0.282	0.296	0.333	0.342	0.373	0.397	0.408	0.421	0.428	0.440	0.448	0.452	0.462	0.468	
17	0.000	0.032	0.060	0.086	0.110	0.131	0.165	0.205	0.216	0.251	0.265	0.306	0.316	0.348	0.374	0.385	0.398	0.408	0.418	0.428	0.433	0.445	0.451	0.458
18		0.000	0.036	0.056	0.080	0.101	0.136	0.178	0.189	0.224	0.238	0.282	0.288	0.326	0.353	0.364	0.378	0.390	0.400	0.408	0.414	0.427	0.434	0.440
19			0.000	0.027	0.052	0.073	0.109	0.132	0.163	0.200	0.215	0.260	0.270	0.305	0.334	0.347	0.361	0.373	0.382	0.390	0.396	0.410	0.418	0.424
20				0.000	0.025	0.047	0.085	0.128	0.140	0.178	0.194	0.240	0.250	0.285	0.316	0.329	0.344	0.355	0.365	0.373	0.379	0.393	0.402	0.408
21					0.000	0.023	0.052	0.107	0.119	0.159	0.175	0.222	0.234	0.268	0.299	0.312	0.328	0.341	0.350	0.357	0.364	0.379	0.389	0.395
22						0.000	0.041	0.087	0.100	0.141	0.158	0.205	0.216	0.251	0.283	0.297	0.313	0.326	0.335	0.342	0.350	0.366	0.379	0.382
24							0.000	0.051	0.064	0.110	0.130	0.173	0.184	0.219	0.252	0.266	0.281	0.310	0.305		0.324	0.341	0.351	0.358
27								0.000	0.017	0.065	0.085	0.129	0.141	0.176	0.212	0.226	0.243	0.257	0.267		0.289	0.308	0.318	0.328
28									0.000	0.051	0.070	0.116	0.128	0.164	0.199	0.214	0.231	0.245	0.255					
30										0.025	0.047	0.089	0.101	0.138	0.178	0.192	0.208	0.222	0.235		0.259	0.278	0.292	0.302
33												0.057		0.108	0.149		0.180		0.206		0.232	0.252	0.267	0.280
36												0.029		0.082	0.122		0.154		0.181		0.208	0.230	0.247	0.262
40												0.000		0.052	0.090		0.124		0.151		0.178	0.203	0.222	0.239

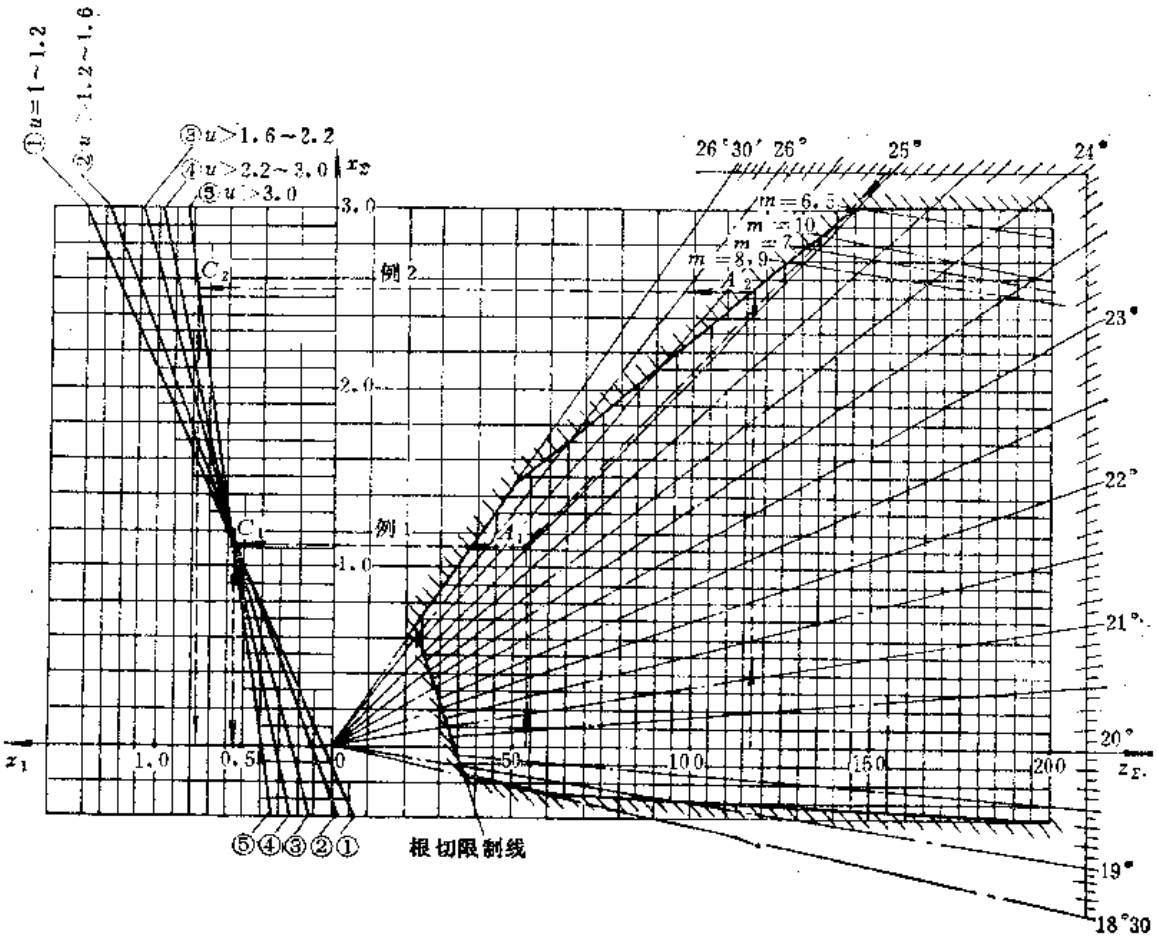


图11-4-11 选择变位系数的线图[18]（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$）

用于斜齿轮时须以$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$，$x_n$分别代替$z$，$x$

越大，重合度越小（越接近于$\varepsilon=1.2$）。

用于高变位时，由于$\alpha'=\alpha=20°$，$x_\Sigma=0$，故变位系数x_1可按齿数比u由线图左边五条斜线与$x_\Sigma=0$的水平线（即横坐标轴）的交点来确定。

例1 已知某变速箱中的一对直齿轮，$z_1=21$，$z_2=33$，$m=2.5$，$\alpha=20°$，$a'=70$ mm，$\alpha'=25°1'25''$，试确定其变位系数。

1）在图11-4-11中，由0点按$\alpha'=25°1'25''$作射线，与$z_\Sigma=21+33=54$处向上所引垂线相交于A_1点，A_1点的纵坐标值即为所求的$x_\Sigma=1.12$，A_1点在线图的许用区内，故可用。

2）根据齿数比$u=\frac{z_2}{z_1}=\frac{33}{21}=1.57$，应按线图11-4-11左侧的斜线②分配$x_1$。自$A_1$点作水平线与斜线②相交于$C_1$点，$C_1$点的横坐标值为$x_1$，即$x_1=0.55$，则$x_2=1.12-0.55=0.57$。

例2 已知齿轮的齿数$z_1=17$，$z_2=100$，要求尽可能提高接触强度，试确定其变位系数。

为提高齿面接触强度，应按最大啮合角选取总变位系数。在图11-4-11中，自$z_\Sigma=17+100=117$处向上引垂线与图中上边界线相交于A_2点，A_2点的啮合角值，即为该齿轮副的最佳许用啮合角，$\alpha'=25°12'$。A_2点的纵坐标值即为所求的总变位系数$x_\Sigma=2.54$。这对齿轮的齿数比$u=\frac{100}{17}=5.9>3$，按线图左侧斜线⑤分配变位系数，得$x_1=0.77$，则$x_2=2.54-0.77=1.77$。

例3 齿轮副的齿数$z_1=15$，$z_2=28$，试确定其高变位啮合时的变位系数。

这对齿轮的齿数比$u=\frac{28}{15}=1.87$。由图11-4-11左侧斜线③与横坐标轴的交点来确定$x_1=-x_2=0.23$。

线图11-4-12用于选择高变位啮合齿轮的变位

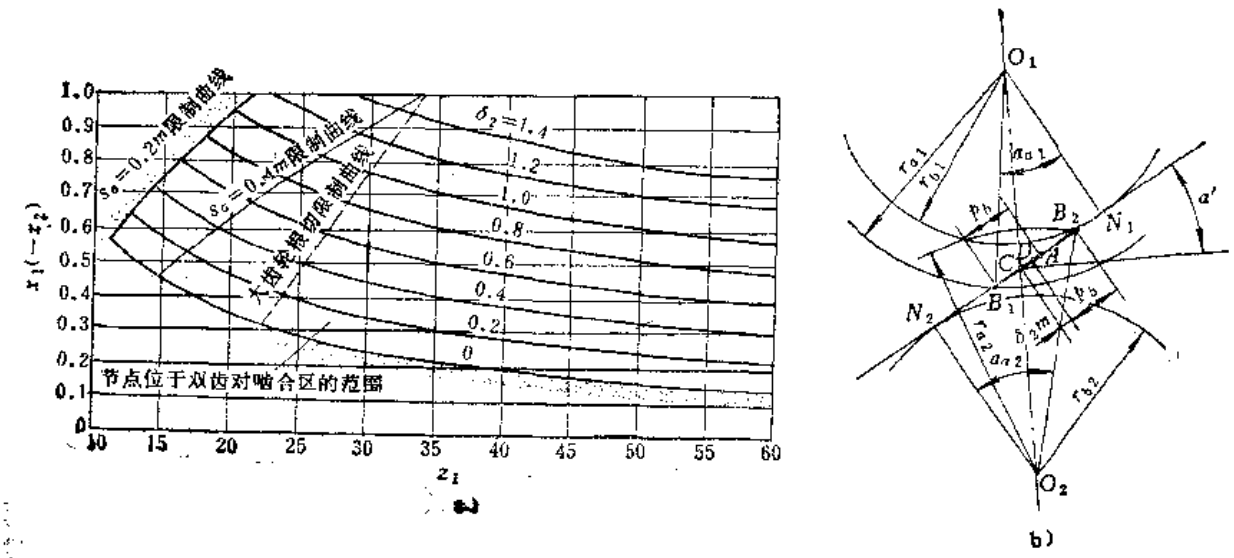


图11-4-12 高变位使节点处于双齿对啮合区的变位系数值($\alpha=20°$, $h_a^*=1$)

C—节点 B_1B_2—实际啮合线 B_2A、DB_1—双齿对啮合区 AD—单齿对啮合区 CD—节点处于双齿对啮合区的深度

系数，可使啮合节点处于双齿对啮合区（单齿对啮合区位于小轮的齿顶部分），以提高齿轮的接触强度。节点位于双齿对啮合区的深度δ_2一般可选在$0.2m\sim0.6m$之间。当齿数比u较小时，为避免过多的削弱大齿轮的弯曲强度，应选取较小值；u值较大时，可取较大值，把大齿轮根部容易出现点蚀的区域包括在双齿对啮合区内。按图11-4-12选择x时，对于$z_2\leqslant33$的大齿轮，应校验其是否发生根切。即以z_2为横坐标，$-x_2$为纵坐标所确定的变位点不得落在图11-4-12中虚线（大齿轮根切限制曲线）的左侧，否则，大齿轮将发生根切。实例计算见表11-5-5。

（四）斜齿轮的变位

斜齿轮的变位原理与直齿轮相同，也可采用高变位和角变位。但斜齿轮不产生根切的最少齿数z_{min}较小（参见表11-2-2和图11-4-6），而且可以通过改变螺旋角β的大小来达到配凑中心距等目的，因此一般不需要变位。

如果用变位来消除根切，通常也采用高变位，按图11-4-6来选取变位系数x_1。为了提高小齿轮的弯曲强度，并使大小齿轮等强度，以及提高耐磨性等也可采用角变位。斜齿轮的变位系数也可采用直齿轮的有关变位系数表（表11-4-7～11-4-12）及线图11-4-11，但图表中齿数z须以当量齿数$z_v(=z/\cos^3\beta)$来代替，表中的x值则为x_n。

斜齿轮采用正角变位有利于提高接触强度，但采用较大的总变位系数后，又会使轮齿的啮合接触线缩短，有可能反而降低承载能力。因此，斜齿轮采用正角变位对提高接触强度的效果并不显著。当大小齿轮的齿面存在高硬度差（$HB_1\geqslant2HB_2$）时，接触强度最有利的角变位系数见图11-4-13。

斜齿轮传动的无侧隙啮合方程为

$$\mathrm{inv}\alpha_t'=\mathrm{inv}\alpha_t+\frac{2(x_{n2}+x_{n1})}{z_2+z_1}\mathrm{tg}\alpha_n$$

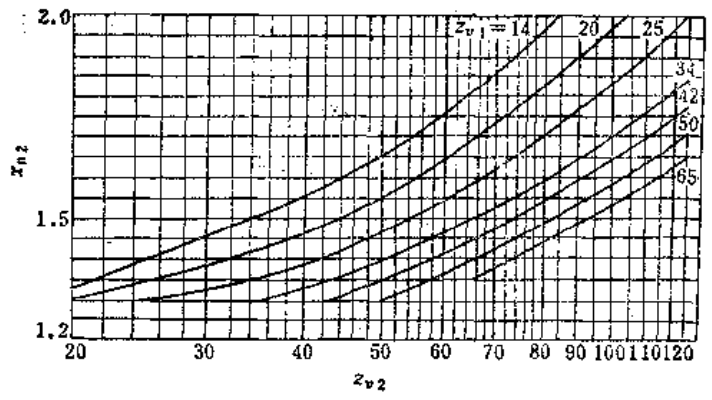


图11-4-13 确定斜齿轮角变位系数x_{n2}的线图[12]

($HB_1\geqslant2HB_2$, $x_{n1}=0$)

切制变位斜齿轮时，刀具的法向变位量与端面变位量相等，$x_n m_n = x_t m_t$。由此可得端面、法向变位系数的关系式如下：

$$x_t = x_n \cos\beta$$

中心距变动系数和齿顶高变动系数的关系式分别如下：

$$y_t = y_n \cos\beta$$

$$\nu_t = \nu_n \cos\beta$$

（五）内齿轮的变位

内啮合齿轮的无侧隙啮合方程为

$$\mathrm{inv}\alpha = \mathrm{inv}\alpha + \frac{2(x_2 - x_1)}{z_2 - z_1}\mathrm{tg}\alpha$$

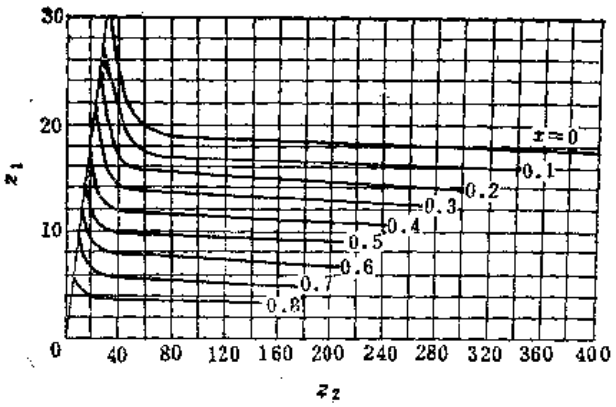
内啮合齿轮传动也有高变位和角变位。但内齿轮的变位并不象外齿轮那样能显著地提高强度，因为内齿轮没有根切现象。另外，内啮合齿轮副是凹凸齿接触，其接触强度较高。因此内齿轮的变位通常是为了避免加工时的顶切和传动啮合时的干涉，有时则为了凑配中心距。

对内齿轮进行变位虽然可以提高其弯曲强度，但内齿轮的弯曲强度不仅与其齿数和变位系数有关，而且还与加工时所用插齿刀的齿数z_0有关。当$z_0 \geqslant 18$时，x_2越大，弯曲强度越低，此时宜采用负变位或小的正变位；当$z_0 < 18$时，x_2越大，弯曲强度越高，此时宜采用正变位。

内齿轮变位符号的意义与外齿轮相同，但是变位后齿厚的变化情况则与外齿轮相反。内齿轮加工时，刀具离开内齿轮中心为正变位，其齿厚将减薄；刀具移近工件中心时为负变位，其齿厚将增大。因此内齿轮副高变位时，小齿轮的x_1为正值，内齿轮的x_2也为正值，即$x_2 - x_1 = 0$。

内啮合齿轮传动的变位系数可按表 11-4-13 进行选择或计算。

表11-4-13　内啮合齿轮传动变位系数的选择

变位目的	变位方式	变位系数的选择和计算	附　　注
避免传动时的渐开线干涉	高变位		适用于$z_1 < 30$的直齿轮，而且$(z_2 - z_1)$大于或等于表 11-4-14 中的$(z_2 - z_1)_{min}$
避免内齿轮非渐开线干涉	高变位	对直齿轮： $x_2 \geqslant h_a^* - \frac{z_2(1-\cos\alpha)}{2} - \Delta h_{a2}^*$ 对斜齿轮： $x_{n2} \geqslant h_{an}^* - \frac{z_2(1-\cos\alpha_t)}{2\cos\beta} - \Delta h_{a2}^*$	当$z_2 < 34$时
避免负啮合角现象	角变位	传动时： $(x_2 - x_1) \geqslant \frac{-(z_2 - z_1)\mathrm{inv}\alpha}{2\mathrm{tg}\alpha}$ 插齿加工时： $(x_2 - x_0) \geqslant \frac{-(z_2 - z_0)\mathrm{inv}\alpha}{2\mathrm{tg}\alpha}$	

（续）

变位目的	变位方式	变位系数的选择和计算	附　　注
避免传动时重叠干涉	角变位	对齿数差较小的齿轮副，按附注中的数值选取啮合角α'，再假定x_1一个值，然后计算x_2	z_2-z_1 | α' 1 | 54°～56° 2 | 40°～42° 3 | 28°～40° 4 | 25°～26°
避免径向进刀顶切	内齿轮正变位	按表11-2-12选择与z_{2min}有关的x_{2min}	
凑配中心距	角变位	$x_1=\frac{(z_2+z_1)(x_\Sigma-y)}{2(z_2-z_1)}-\frac{x_\Sigma}{2}+y$ $x_2=x_\Sigma+x_1$	

注：内齿轮的最小变位系数应保证齿顶圆大于基圆，最大变位系数应使齿顶不变尖。

表11-4-14　$(z_2-z_1)_{min}$值[14]

z_1	10～14	15～18	19～40	41～70	71～120	>120
$(z_2-z_1)_{min}$	7	8	9	8	9	10

（六）齿条齿轮传动的变位

齿条齿轮传动也可以进行变位。通常由齿轮进行变位，而齿条的尺寸则不变，仍为标准尺寸。变位啮合传动时，齿条的中线不与齿轮的分度圆相切，而另有一条节线与分度圆相切（图11-4-14）。啮合线仍然是一条与齿轮基圆相切并与齿条齿廓相垂直的直线NN，啮合角仍然等于齿形角。所以齿条齿轮变位传动时，齿轮的节圆总是与分度圆相重合，其啮合角亦总是等于齿形角。这种变位可以当作高变位看待。齿条齿轮在下列情况下进行变位。

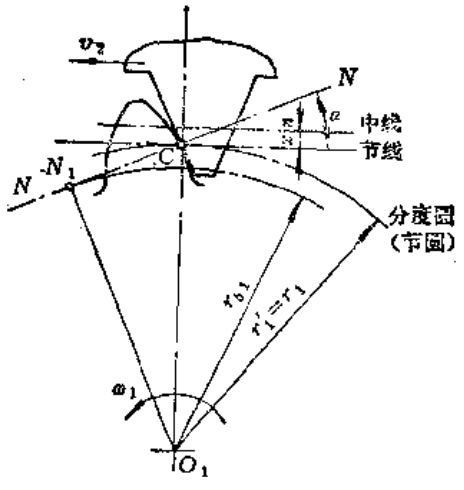


图11-4-14　齿条位移后的啮合情况

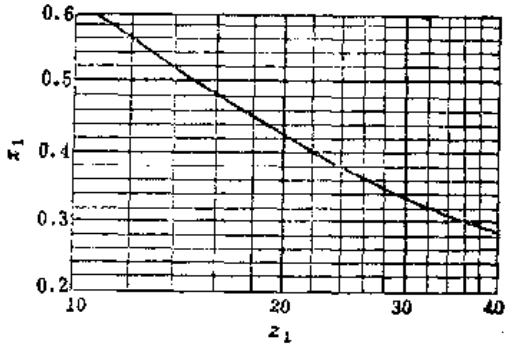


图11-4-15　提高耐磨性的变位系数x_1[14]

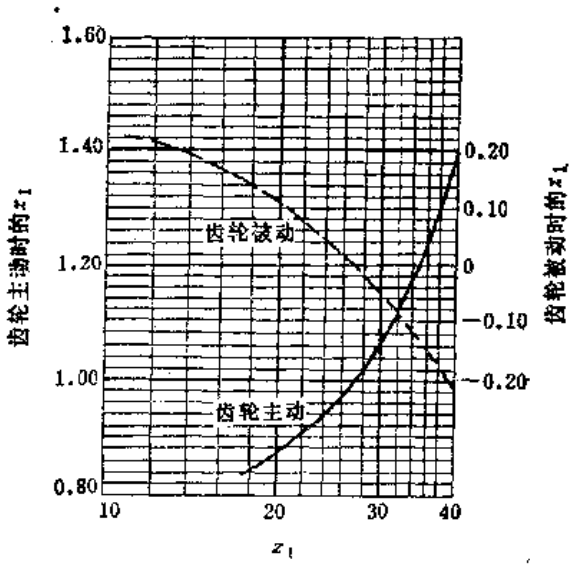


图11-4-16　轮齿具有等弯曲强度的变位系数x_1[14]

（1）避免根切，变位系数的选择见表11-4-4、表11-4-5；

（2）提高耐磨性，变位系数的选择见图11-4-15；

（3）凑配安装距，变位系数根据具体情况确定；

（4）使轮齿具有等弯曲强度，变位系数的选择见图11-4-16。

综上所述，变位系数的改变对啮合质量的影响列于表11-4-15。

表11-4-15 变位系数的改变对啮合质量的影响[5]

序号	名称	代号	变化关系								与齿数比 u 的关系
	小齿轮变位系数	x_1	↑	↑	↑	→	↓	↓	↓	→	
	大齿轮变位系数	x_2	↑	→	↓	↓	↓	→	↑	↑	
1	小齿轮齿顶厚	s_{a1}	→	↓	↓↓	↓	→	↑	↑↑	↑	—
	大齿轮齿顶厚	s_{a2}	→	↑	↑↑	↑	→	↓	↓↓	↓	$1 \leqslant u \leqslant 1.5$时
2	重合度	ε	↓↓	↓	→	↑	↑↑	↑	→	↓	—
3	小齿轮齿根与大齿轮齿顶在啮合线终点处的滑动率和压强比	η_1 ζ_1	↓	↓↓	↓	→	↑	↑↑	↑	→	$u > 1.5$时
	滑动率和压强比的较大值	η ζ	↓↓	→	↑	↑	↑↑	↑	↑	→	$1 \leqslant u \leqslant 1.5$时
4	小齿轮齿根处的名义弯曲应力	σ_{F1}	↓	↓↓	↓	→	↑	↑↑	↑	→	—
	大齿轮齿根处的名义弯曲应力	σ_{F2}	↓	→	↑	↑↑	↑	→	↓	↓↓	—
5	小齿轮齿根处的有效弯曲应力集中系数	$K_{\sigma 1}$	↑	↑↑	↑	→	↓	↓↓	↓	→	—
	大齿轮齿根处的有效弯曲应力集中系数	$K_{\sigma 2}$	↑	→	↓	↓↓	↓	→	↑	↑↑	—
6	啮合节点处的接触应力	σ_{HC}	↓↓	↓	→	↑	↑↑	↑	→	↓	—
7	传动效率		↑↑	↑	↓	↓	↓↓	↓	↓	↑	—

注：1.箭头符号表示意义：↑增加，↓减少，↑↑显著增加，↓↓显著减少，→接近不变。

2.粗黑线框内表示不良的改变。

第5节 渐开线圆柱齿轮传动的几何计算

（一）圆柱齿轮传动设计时基本参数的选择

圆柱齿轮传动设计时基本参数的选择如表11-5-1所示。

（二）外啮合齿轮传动的几何计算

外啮合齿轮传动的几何计算如表11-5-2～表11-5-7所示。

表11-5-2～7的外啮合圆柱齿轮传动的几何计算公式均适用于用滚刀切齿的齿轮。如果用插齿刀切齿时，其齿顶圆直径d_a和齿根圆直径d_f应按下式计算：

$$d_f = 2a'_0 - d_{a0}$$

表11-5-1 圆柱齿轮传动设计时基本参数的选择

项目	代号	选择原则及常用数值
压力角	α	1.尽量采用标准值，$\alpha=20°$ 2.为了提高承载能力或选用齿数较少以避免根切，可加大压力角，建议采用$\alpha=25°$。但这将使端面重合度降低，传动平稳性较差，噪声增大，径向力加大，增加轴承承受的载荷，轴承跨距较大时，还容易引起振动
模数	m	1.在强度和结构允许的条件下，应选取较小的模数 2.模数应按表11-3-6选取标准值
齿数	z	1.应保证选择的齿数大于发生根切的最小齿数z_{min}(表11-2-1～表11-2-4)，对内啮合传动齿轮要避免发生干涉（表11-2-6，表11-2-8～表11-2-11） 2.在满足弯曲强度的条件下选用较多的齿数 3.软齿面闭式传动齿轮，宜取较多的齿数和较小的模数，以增大重合度，提高传动平稳性 4.硬齿面闭式传动齿轮，宜取较少齿数和较大的模数，以增加齿厚，提高轮齿弯曲强度 5.在满足传动要求的条件下，应尽量使z_1和z_2互为质数，以便分散或消除齿轮制造误差对传动的影响
螺旋角	β	1.一般斜齿轮采用$\beta=8°$～$15°$，也有到20°的，人字齿轮采用$\beta=25°$～$40°$，常用30° 2.加大螺旋角β，可增大重合度，使传动平稳，但轴向力也随之增加 3.适当调整螺旋角β值，使中心距获得整数值
齿顶高系数	h_a^*	1.尽量采用标准值，$h_a^*=1$ 2.为了选用不产生根切的最少齿数，可选用短齿，即$h_a^*=0.8$。但这将使重合度减小，影响传动平稳性，噪声增大

表11-5-2 外啮合标准（$x_1=x_2=0$）圆柱齿轮传动的几何计算 （mm）

序号	名称	代号	计算公式		实例计算
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	
	已知参数		α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	斜齿轮副$\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$，$z_1=25$，$z_2=123$，$b=30$，$\beta=9.37°=9°22'$
1	端面压力角 端面啮合角	α_t α'_t	—	$\alpha_t=\alpha'_t=\arctg\frac{\tg\alpha_n}{\cos\beta}$	$\alpha_t=\alpha'_t=\arctg\frac{\tg20°}{\cos9.37°}$ $=20.2486°=20°14'55''$
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\frac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	$m_t=\frac{2}{\cos9.37°}=2.027$
3	当量齿数	z_v	—	$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$ 表11-5-14	$z_{v1}=\frac{25}{\cos^3\beta}=26.03$ $z_{v2}=\frac{123}{\cos^3\beta}=128.06$
4	分度圆直径 节圆直径	d d'	$d=d'=zm$	$d=d'=zm_t=z\frac{m_n}{\cos\beta}$	$d_1=25\times2.027=50.675$ $d_2=123\times2.027=249.321$
5	中心距	a	$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)$		$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)=150$
6	齿顶高	h_a	$h_a=h_a^*m$	$h_a=h_{an}^*m_n$	$h_a=1\times2=2$
7	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*+c^*)m$	$h_f=(h_{an}^*+c_n^*)m_n$	$h_f=(1+0.25)\times2=2.5$

（续）

序号	名　称	代号	计　算　公　式		实　例　计　算
			直　齿　轮	斜齿(人字齿)齿轮	
	已知参数		a，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	斜齿轮副 $\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$，$z_1=25$，$z_2=123$，$b=30$，$\beta=9.37°=9°22'$
8	齿高	h	$h=h_a+h_f$		$h=2+2.5=4.5$
9	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$		$d_{a1}=50.675+2\times2=54.675$ $d_{a2}=249.321+2\times2=253.321$
10	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$		$d_{f1}=50.675-2\times2.5=45.675$ $d_{f2}=249.321-2\times2.5=244.321$
11	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=50.675\cos\alpha_t=47.543$ $d_{b2}=249.321\cos\alpha_t=233.913$
12	齿距	p	$p=\pi m$	$p_n=\pi m_n$ $p_t=\pi m_t$	$p_n=2\pi=6.2832$ $p_t=2.027\pi=6.368$
13	基节	p_b	$p_b=p\cos\alpha$	$p_{bn}=p_n\cos\alpha_n$ $p_{bt}=p_t\cos\alpha_t$	$p_{bn}=p_n\cos\alpha_n=5.9043$ $p_{bt}=p_t\cos\alpha_t=5.9744$
14	齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at1}=\arccos\frac{47.543}{54.675}=29.5929°=29°35'34''$ $\alpha_{at2}=\arccos\frac{233.913}{253.321}=22.5738°=22°34'26''$
15	跨越齿数	k	$k=\frac{z\alpha}{180°}+0.5$ 表11-6-5～7	$k=\frac{z_v\alpha_n}{180°}+0.5$ 图11-6-3	$k_1=3$，$k_2=14$
16	公法线长度	W_k	$W_k=m\cos\alpha[\pi(k-0.5)+z\mathrm{inv}\alpha]$ 表11-6-5～7	$W_k=m_n\cos\alpha_n[\pi(k-0.5)+z\mathrm{inv}\alpha_t]$ 表11-6-4	$W_3=(7.3803+25\times0.01567)\times2=15.544$ $W_{14}=(39.8537+123\times0.01567)\times2=83.562$
17	端面重合度	ε_α	$\varepsilon_\alpha=\frac{z_1}{2\pi}(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha)+\frac{z_2}{2\pi}(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha)$	$\varepsilon_\alpha=\frac{z_1}{2\pi}(\mathrm{tg}\alpha_{at1}-\mathrm{tg}\alpha_t)+\frac{z_2}{2\pi}(\mathrm{tg}\alpha_{at2}-\mathrm{tg}\alpha_t)$	$\varepsilon_\alpha=0.792+0.917=1.709$
18	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta=0$	$\varepsilon_\beta=\frac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	$\varepsilon_\beta=\frac{30\sin\beta}{2\pi}=0.777$
19	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.709+0.777=2.486$

$$d_{a1}=2a'-d_{f2}-2c^*m$$
$$d_{a2}=2a'-d_{f1}-2c^*m$$

式中，a_0'按下式计算：

切齿时的啮合角

$$\mathrm{inv}\alpha_0'=\frac{2(x+x_0)}{z+z_0}\mathrm{tg}\alpha+\mathrm{inv}\alpha$$

切齿中心距　　$a_0'=\frac{m(z+z_0)\cos\alpha}{2\cos\alpha_0'}$

插齿刀变位系数　　$x_0=\frac{d_{a0}}{2m}-\frac{z_0+2h_{a0}^*}{2}$

式中，d_{a0}为插齿刀的齿顶圆直径，h_{a0}^*为插齿刀的齿顶高系数，z_0为插齿刀齿数（假定插齿刀的变位系数$x_0=0$）。

（三）油泵齿轮的变位计算

在机床的液压传动系统和润滑系统中，经常用

表11-5-3 双模数制直齿轮传动的几何计算 (mm)

序号	名称	代号	计算公式	实例计算	
				小齿轮	大齿轮
1	计算分度圆直径的模数	m	按标准选取	$m=2.5$	
2	计算齿高的模数	m_a		$m_a=2$	
3	压力角 啮合角	α α'		$\alpha=\alpha'=20°$	
4	齿数	z		$z_1=20$	$z_2=39$
5	齿顶高系数	h_a^*		$h_a^*=1$	
6	顶隙系数	c^*		$c^*=0.25$	
7	分度圆直径 节圆直径	d d'	$d=d'=zm$	$d_1=20\times2.5=50$	$d_2=39\times2.5=97.5$
8	齿顶高	h_a	$h_a=h_a^*m_a$	$h_a=1\times2=2$	
9	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*+c^*)m_a$	$h_f=(1+0.25)\times2=2.5$	
10	齿高	h	$h=h_a+h_f$	$h=2+2.5=4.5$	
11	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$	$d_{a1}=50+2\times2=54$	$d_{a2}=97.5+2\times2=101.5$
12	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$	$d_{f1}=50-2\times2.5=45$	$d_{f2}=97.5-2\times2.5=92.5$
13	中心距	a	$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)$	$a=\frac{1}{2}(50+97.5)=73.75$	
14	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_{b1}=50\cos20°=46.985$	$d_{b2}=97.5\cos20°=91.620$
15	齿距	p	$p=\pi m$	$p=\pi\times2.5=7.854$	
16	基节	p_b	$p_b=\pi m\cos\alpha$	$p_b=p\cos20°=7.380$	
17	跨越齿数	k	表11-6-5～7	$k=3$	$k=5$
18	公法线长度	W_k	表11-6-5～7	$W_3=7.6604\times2.5=19.15$	$W_5=13.8308\times2.5=34.58$
19	齿顶圆压力角	α_a	$\alpha_a=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a1}=\arccos\frac{46.985}{54}=29.5306°=29°31'50''$	$\alpha_{a2}=\arccos\frac{91.62}{101.5}=25.49°=25°29'24''$
20	重合度	ε_α	表11-2-13 图11-2-9	$\varepsilon_\alpha=0.79+0.86=1.65$	

表11-5-4 径节制标准直齿轮传动的几何计算 (mm)

序号	名称	代号	计算公式	实例计算	
				小齿轮	大齿轮
1	径节	P	按标准选取	$P=10\left(m=\frac{25.4}{P}=2.54\right)$	
2	压力角 啮合角	α α'		$\alpha=\alpha'=14\frac{1}{2}^\circ$	
3	齿高系数	h_a^*		$h_a^*=1$	
4	顶隙系数	c^*		$c^*=0.157$	
5	齿数	z		$z_1=35$	$z_2=37$
6	分度圆直径 节圆直径	d d'	$d=d'=\frac{z}{P}\times 25.4$	$d_1=d_1'=88.9$	$d_2=d_2'=93.98$
7	齿顶高	h_a	$h_a=h_a^*\frac{25.4}{P}$	$h_a=1\times\frac{25.4}{10}=2.54$	
8	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*+c^*)\frac{25.4}{P}$	$h_f=(1+0.157)\times\frac{2.54}{10}=2.94$	
9	齿高	h	$h=h_a+h_f$	$h=2.54+2.94=5.48$	
10	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$	$d_{a1}=88.9+2\times2.54=93.98$	$d_{a2}=93.98+2\times2.54=99.06$
11	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$	$d_{f1}=88.9-2\times2.94=83.02$	$d_{f2}=93.98-2\times2.94=88.1$
12	中心距	a	$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)$	$a=\frac{1}{2}\times(88.9+93.98)=91.44$	
13	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_{b1}=88.9\cos14\frac{1}{2}^\circ=86.07$	$d_{b2}=93.98\cos14\frac{1}{2}^\circ=90.99$
14	齿距	p	$p=\frac{\pi\times25.4}{P}$	$p=\frac{\pi\times25.4}{10}=7.9796$	
15	基节	p_b	$p_b=p\cos\alpha$	$p_b=p\cos14\frac{1}{2}^\circ=7.7255$	
16	跨越齿数	k	图11-6-2 表11-6-7	$k_1=3$	$k_2=4$
17	公法线长度	W_k	表11-6-7	$W_3=7.7917\times2.54=19.79$	$W_4=10.844\times2.54=27.54$
18	齿顶圆压力角	α_a	$\alpha_a=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a1}=\arccos\frac{86.07}{93.98}=23.6757^\circ=23^\circ40'32''$	$\alpha_{a2}=\arccos\frac{90.99}{99.06}=23.2873^\circ=23^\circ17'14''$
19	重合度	ε_α	表11-2-13	$\varepsilon_\alpha=1.002+1.0116=2.0136$	

表11-5-5 外啮合高变位圆柱齿轮传动的几何计算 (mm)

序号	名称	代号	计算公式		实例计算：①
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=2$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$z_1=15$，$z_2=31$，$u=2.07$，使节点处于双齿对啮合区，$\delta_2=0.4$（参见图11-2-5，图11-4-12）
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
1	端面压力角 端面啮合角	α_t $\alpha't$	—	$\alpha_t=\alpha't=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$	—
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$	—
3	当量齿数	z_v	—	表11-5-14 $z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$	—
4	变位系数	x	根据需要按表11-4-6选取 $x_1=-x_2$	$x_{n1}=-x_{n2}$	按图11-4-12查得 $x_1=0.7$，$x_2=-0.7$
5	分度圆直径 节圆直径	d d'	$d=d'=zm$	$d=d'=zm_t$	$d_1=d_1'=15\times2=30$ $d_2=d_2'=31\times2=62$
6	齿顶高	h_a	$h_a=(h_a^*+x)m$	$h_a=(h_{an}^*+x_n)m_n$	$h_{a1}=(1+0.7)\times2=3.4$ $h_{a2}=(1-0.7)\times2=0.6$
7	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*-x+c^*)m$	$h_f=(h_{an}^*-x_n+c_n^*)m_n$	$h_{f1}=(1+0.25-0.7)\times2=1.1$ $h_{f2}=(1+0.7+0.25)\times2=3.9$
8	齿高	h	$h=h_a+h_f$		$h_1=3.4+1.1=4.5$ $h_2=0.6+3.9=4.5$
9	中心距	a	$a=\dfrac{1}{2}(d_1+d_2)$		$a=\dfrac{1}{2}\times(30+62)=46$
10	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$		$d_{a1}=30+2\times3.4=36.8$ $d_{a2}=62+2\times0.6=63.2$
11	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$		$d_{f1}=30-2\times1.1=27.8$ $d_{f2}=62-2\times3.9=54.2$
12	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=30\cos20°=28.191$ $d_{b2}=62\cos20°=58.261$
13	齿距	p	$p=\pi m$	$p_n=\pi m_n$ $p_t=\pi m_t$	$p=\pi\times2=6.2832$
14	基节	p_b	$p_b=p\cos\alpha$	$p_{bn}=p_n\cos\alpha_n$ $p_{bt}=p_t\cos\alpha_t$	$p_b=6.2832\cos20°=5.904$
15	齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a1}=\arccos\dfrac{28.191}{36.8}=39.9986°$ $=39°59'55''$ $\alpha_{a2}=\arccos\dfrac{58.261}{63.2}=22.8017°$ $=22°48'06''$
16	跨越齿数	k	图11-6-1、2	图11-6-3、4	$k_1=3$ $k_2=2$（图11-6-1）
17	公法线长度	W_k	表11-6-4～8	表11-6-4	$W_3=7.5904\times2+0.9576=16.14$ $W_2=4.8624\times2-0.9576=8.77$
18	端面重合度	ε_α	表11-2-13		$\varepsilon_\alpha=1.134+0.278=1.412$
19	纵向重合度	ε_β	—	$\varepsilon_\beta=\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$	—
20	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	图11-2-10 $\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha-\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha=1.412$

① 此例由于$z_2<33$，须验算大齿轮是否有根切。按图11-4-12，以$z_2=31$为横坐标，$x_2=-0.7$为纵坐标，两坐标的交点落在图中虚线的右侧，说明大齿轮取$x=-0.7$时无根切。

表11-5-6 外啮合角变位圆柱齿轮传动的几何计算(中心距a'未定时) (mm)

序号	名称	代号	计算公式		实例计算： 直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=6$，$z_1=16$，$z_2=43$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，提高弯曲强度
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
1	端面压力角	α_t	—	$\alpha_t=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
3	当量齿数	z_v	—	$z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$ 表11-5-14	—
4	分度圆直径	d	$d=mz$	$d=m_tz$	$d_1=6\times16=96$ $d_2=6\times43=258$
5	标准中心距($x=0$)	a	$a=\dfrac{1}{2}(d_1+d_2)$		$a=\dfrac{1}{2}\times(96+258)=177$
6	变位系数	x	根据需要按表11-4-7～10选取 x_1，x_2	x_{n1}，x_{n2}	$x_1=0.51$ $x_2=0.41$ (表11-4-8)
7	总变位系数	x_Σ	$x_\Sigma=x_1+x_2$	$x_{n\Sigma}=x_{n1}+x_{n2}$ $x_{t\Sigma}=x_{n\Sigma}\cos\beta$	$x_\Sigma=0.51+0.41=0.92$
8	总变位模数	x_z	$x_z=\dfrac{2x_\Sigma}{z_1+z_2}$		$x_z=0.0311864$
9	啮合角① 端面啮合角	α' α_t'	$\operatorname{inv}\alpha'=\dfrac{2x_\Sigma}{z_1+z_2}\operatorname{tg}\alpha+\operatorname{inv}\alpha$ 或表11-5-16(按x_z取值)	$\operatorname{inv}\alpha_t'=\dfrac{2x_{t\Sigma}}{z_1+z_2}\operatorname{tg}\alpha_t+\operatorname{inv}\alpha_t$ 或图11-2-8	$\alpha'=23.9727°=23°58'32''$
10	角变位中心距	a'	$a'=\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}a=a+ym$ $=a+(x_\Sigma-v)m$	$a'=\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_t'}a=a+y_tm_t$ $=a+(x_{t\Sigma}-v_t)m_t$	$a'=\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}\times177=182.027$
11	中心距变动系数①	y y_t	$y=\dfrac{a'-a}{m}=\dfrac{z_1+z_2}{2}\times\left(\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}-1\right)$	$y_t=\dfrac{a'-a}{m_t}=\dfrac{z_1+z_2}{2}\times\left(\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_t'}-1\right)$	$y=\dfrac{182.027-177}{6}=0.838$
12	齿顶高变动系数①	v v_t	$v=x_\Sigma-y$	$v_t=x_{t\Sigma}-y_t$	$v=0.92-0.838=0.082$
13	齿顶高	h_a	$h_a=(h_a^*+x-v)m$	$h_a=(h_{an}^*+x_n)m_n-v_tm_t$	$h_{a1}=(1+0.51-0.082)\times6=8.57$ $h_{a2}=(1+0.41-0.082)\times6=7.97$
14	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*-x+c^*)m$	$h_f=(h_{an}^*-x_n+c_n^*)m_n$	$h_{f1}=(1-0.51+0.25)\times6=4.44$ $h_{f2}=(1-0.41+0.25)\times6=5.04$
15	齿高	h	$h=h_a+h_f$		$h_1=8.57+4.44=13.01$ $h_2=7.97+5.04=13.01$
16	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$		$d_{a1}=96+2\times8.57=113.14$ $d_{a2}=258+2\times7.97=273.94$

（续）

序号	名　称	代号	计　算　公　式		实例计算： 直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=6$，$z_1=16$，$z_2=43$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$
			直　齿　轮	斜齿(人字齿)齿轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，x	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，x，β，b	
17	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$		$d_{f1}=96-2\times4.44=87.12$ $d_{f2}=258-2\times5.04=247.92$
18	节圆直径②	d'	$d_1'=\dfrac{2a'z_1}{z_1+z_2}$	$d_2'=2a'-d_1'$	$d_1'=\dfrac{2\times182.027\times16}{16+43}=98.73$ $d_2'=2\times182.027-98.73=265.32$
19	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=96\times\cos20°=90.2105$ $d_{b2}=258\times\cos20°=242.4407$
20	齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at1}=37.1236°=37°07'25''$ $\alpha_{at2}=27.7468°=27°44'48''$
21	跨越齿数	k	表11-6-3，图11-6-1、2	表11-6-3，图11-6-3、4	$k_1=3$，$k_2=6$
22	公法线长度	W_k	表11-6-4～9	表11-6-4，11-6-8～13	$W_3=7.6044\times6+2\times0.51\times6\sin20°=47.72$ $W_6=16.8390\times6+2\times0.41\times6\sin20°=102.71$
23	端面重合度	ε_α	表11-2-13		$\varepsilon_\alpha=0.795+0.557=1.352$
24	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta=0$	$\varepsilon_\beta=\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	—
25	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.352$

① 为了简化啮合角α'、中心距变动系数y和齿顶高变动系数ν的计算，对于$\alpha=20°$的直齿轮可用查表法求得。方法是根据所计算的总变位模数x_z值，在表11-5-16中可找到相应的啮合角α'、中心距变动模数y_z和齿顶高变动模数ν_z三个数值，则$y=\dfrac{z_1+z_2}{2}y_z$，$\nu=\dfrac{z_1+z_2}{2}\nu_z$。例如本表实例计算的$x_z=0.0311864$，可用插值法求得$\alpha'=23.9726797°$（表中计算值$\alpha'=23.9727°$），$y_z=0.0284034$，$y=\dfrac{z_1+z_2}{2}y_z=0.8379$（表中计算值$y=0.838$），$\nu_z=0.0027830$，$\nu=\dfrac{z_1+z_2}{2}\nu_z=0.082089$（表中计算值$\nu=0.082$）。

② 节圆直径也可按下式计算：

$$d'=\frac{zm\cos\alpha}{\cos\alpha'}\text{（直齿）或}\frac{zm_t\cos\alpha_t}{\cos\alpha_t'}\text{（斜齿）}$$

表11-5-7 外啮合角变位圆柱齿轮传动的几何计算（中心距a'已定时） （mm）

序号	名称	代号	计算公式		实例计算：
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	斜齿轮副 $\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$，$z_1=13$，$z_2=29$，$\beta=18°$，$b=15$，$a'=46$ 按接触强度最有利分配 x
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z，a'	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b，a'	
1	端面压力角	α_t		$\alpha_t=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	$\alpha_t=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}20°}{\cos18°}=20.9419°$ $=20°56'31''$
2	端面模数	m_t		$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	$m_t=\dfrac{2}{\cos18°}=2.103$
3	当量齿数	z_v		$z_v=\dfrac{z}{\cos^2\beta}$	$z_{v1}=13\times1.162468=15.11$ $z_{v2}=29\times1.162468=33.71$
4	分度圆直径	d	$d=zm$	表11-5-14 $d=zm_t$	$d_1=13\times2.103=27.339$ $d_2=29\times2.103=60.987$
5	标准中心距（$x=0$）	a	$a=\dfrac{1}{2}(d_1+d_2)$		$a=44.163$
6	啮合角① 端面啮合角	α' $\alpha't$	$\alpha'=\arccos\left(\dfrac{a}{a'}\cos\alpha\right)$	$\alpha't=\arccos\left(\dfrac{a}{a'}\cos\alpha_t\right)$	$\alpha't=\arccos\left(\dfrac{44.163}{46}\cos\alpha_t\right)$ $=26.2793°=26°16'45''$
7	中心距变动系数	y y_t	$y=\dfrac{a'-a}{m}$	$y_t=\dfrac{a'-a}{m_t}$	$y_t=\dfrac{46-44.163}{2.103}=0.8735$
8	总变位模数①	x_Σ $x_{\Sigma t}$	$x_\Sigma=\dfrac{\operatorname{inv}\alpha'-\operatorname{inv}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha}$ 表11-5-16	$x_{\Sigma t}=\dfrac{\operatorname{inv}\alpha't-\operatorname{inv}\alpha_t}{\operatorname{tg}\alpha_t}$	$\operatorname{inv}\alpha't=0.0351210$ $\operatorname{inv}\alpha_t=0.0171949$, $x_{\Sigma t}=0.04684$
9	总变位系数	x_Σ	$x_\Sigma=\dfrac{z_1+z_2}{2}x_\Sigma$	$x_{t\Sigma}=\dfrac{z_1+z_2}{2}x_{\Sigma t}$ $x_{n\Sigma}=\dfrac{x_{t\Sigma}}{\cos\beta}=\dfrac{z_1+z_2}{2\operatorname{tg}\alpha_n}\times(\operatorname{inv}\alpha't-\operatorname{inv}\alpha_t)$	$x_{t\Sigma}=\dfrac{13+29}{2}\times0.04684=0.98$ $x_{n\Sigma}=\dfrac{0.98}{\cos18°}=1.03$
10	齿顶高变动系数①	v v_t	$v=x_\Sigma-y$ 按具体要求进行分配(表11-4-6)	$v_t=x_{t\Sigma}-y_t$	$v_t=0.98-0.8735=0.11$
11	变位系数	x	$x_1+x_2=x_\Sigma$	$x_{n1}+x_{n2}=x_{n\Sigma}$	$x_{n1}=0.25$ $x_{n2}=0.78$ （参见表11-4-7）
12	齿顶高	h_a	$h_a=(h_a^*+x-v)m$	$h_a=(h_{an}^*+x_n)m_n-v_tm_t$	$h_{a1}=(1+0.25)\times2-0.11\times2.103=2.27$ $h_{a2}=(1+0.78)\times2-0.11\times2.103=3.33$
13	齿根高	h_f	$h_f=(h_a^*+c^*-x)m$	$h_f=(h_{an}^*+c_n^*-x_n)m_n$	$h_{f1}=(1+0.25-0.25)\times2=2$ $h_{f2}=(1+0.25-0.78)\times2=0.94$
14	齿高	h	$h=h_a+h_f$		$h_1=2.27+2=4.27$ $h_2=3.33+0.94=4.27$
15	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$		$d_{a1}=27.339+2\times2.27=31.88$ $d_{a2}=60.987+2\times3.33=67.65$

（续）

序号	名　称	代号	计　算　公　式		实例计算： 斜齿轮副$\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$，$z_1=13$，$z_2=29$，$\beta=18°$，$b=15$，$a'=46$ 按接触强度最有利分配x
			直　齿　轮	斜齿(人字齿)齿轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z，a'	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b，a'	
16	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$		$d_{f1}=27.339-2\times2=23.34$ $d_{f2}=60.987-2\times0.94=59.11$
17	节圆直径	d'	$d_1'=\frac{2a'z_1}{z_1+z_2}$，$d_2'=2a'-d_1'$		$d_1'=\frac{2\times46\times13}{13+29}=28.476$ $d_2'=2\times46-28.476=63.524$
18	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=27.339\cos20.9419°=25.533$ $d_{b2}=60.987\cos20.9419°=56.958$
19	齿距	p	$p=\pi m$	$p_n=\pi m_n$ $p_t=\pi m_t$	$p_n=6.2832$，$p_t=6.6068$
20	基节	p_b	$p_b=\pi m\cos\alpha$	$p_{bn}=\pi m_n\cos\alpha_t$ $p_{bt}=\pi m_t\cos\alpha_t$	$p_{bn}=5.8681$，$p_{bt}=6.1704$
21	跨测齿数	k	表11-6-3，图11-6-1、2	表11-6-3，图11-6-3、4	$k_1=2$，$k_2=5$
22	公法线长度	W_k	表11-6-4～9	表11-6-4，11-6-8～13	$W_2=4.4282\times2+0.016159\times13\times2+0.342=9.62$ $W_{28}=13.28459\times2+0.016159\times29\times2+1.067=28.57$
23	齿顶圆压力角 齿顶圆端面压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at1}=36.7829°=36°46'59''$ $\alpha_{at2}=32.6533°=32°39'12''$
24	端面重合度	ε_α	表11-2-13		$\varepsilon_\alpha=0.525+0.678=1.203$
25	纵向重合度	ε_β	—	$\varepsilon_\beta=\frac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	$\varepsilon_\beta=\frac{15\times\sin18°}{\pi\times2}=0.74$
26	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.203+0.74=1.943$

① 为了简化啮合角α'、总变位模数x_z和齿顶高变动系数ν的计算，对于$\alpha=20°$的直齿轮可用查表法求得。方法是根据所计算的中心距变动系数y，换算成中心距变动模数$y_z=\frac{2y}{z_1+z_2}$，再查表11-5-16用插值法求得相应的α'、x_z和ν_z三个数值，并按式$\nu=\frac{z_1+z_2}{2}\nu_z$算出$\nu$值。

齿轮泵来输送液体。为了减小泵的外廓尺寸，采用的齿轮齿数都很少。液压传动中的油泵齿轮一般为10～20齿，润滑系统中的油泵齿轮一般为5～10齿。为了改善传动的流体动力性能和免除根切，就需要采用变位齿轮。但是有的齿轮泵，即使齿轮齿数$z\leqslant10$，也有不变位的。如榆次液压元件厂生产的CB型齿轮泵，$z=9$，也不变位。

油泵齿轮的压力角$\alpha=20°$，也有的$\alpha=25°$，28°或30°（如榆次厂CB型）。齿顶高系数一般为$h_a^*=1$，也有大于1的，也有小于1的（如榆次厂CB型$h_a^*=0.95$）。

在机床制造业中，为了增大传动的平稳性，一般齿轮传动的重合度取为1.3左右。但对于油泵齿轮，为了避免液体憋死在啮合齿轮的两对齿之间，重合度应尽量取接近于1。

关于油泵齿轮的变位计算，大体有两种方法，一种是简化计算法，一种是角变位计算法。

1. 简化计算法

齿数相等的一对油泵齿轮均取正变位，即$x_1=x_2=x$。齿轮的有关几何尺寸按下列公式计算：

（1） $d=mz$

（2） $d_a=(z+2+2x)m$

（3） $d_f=(z-2.4-2x)m$

（4） $a'=m(z+2x)$

这种油泵齿轮的变位系数一般取为0.5，或按表11-5-8的数值选用。

表11-5-8 油泵齿轮变位系数

z	x	z	x	z	x
6	0.48	11	0.38	16	0.28
7	0.46	12	0.36	17	0.26
8	0.44	13	0.34	18	0.24
9	0.42	14	0.32	19	0.22
10	0.40	15	0.30	20	0.20

这种计算方法的中心距变动量$\Delta a=2mx$，与角变位齿轮（表11-5-6）相比较，其中心距要大ym。因此齿侧隙较大㊀，从而产生齿轮的冲击和噪声。这种情形虽然并不理想，但由于这种计算的重合度未作严格控制，侧隙增大反而有利于消除啮合齿之间产生的憋油现象，同时，由于啮合齿之间有油液存在，产生的冲击现象也较缓和。

按照这种计算方法，齿顶高变动系数$y=0$。当变位系数较大时，如$z\leqslant10$，$x\geqslant0.40$，则齿顶厚$s_a<0.3m$，齿顶变尖，这对齿轮的强度和寿命都是不利的。

由上述可知，这种计算方法并不完全合理。但由于计算比较简单，且对于一般机床润滑系统用的油泵齿轮，其计算结果可以满足实际要求，因此，这种方法在实际上是采用的，如机床润滑齿轮泵R11-1型就是按这种方法计算的。

2．角变位计算法

用角变位计算法计算的油泵直齿轮的主要数据列于表11-5-9。

其计算公式为：

1） $d'=a'=(z+2x-y)m$

2） $d_a=(z+2+2x-2y)m$

3） $k=(2.25-y)m$

式中 y——齿顶高变动系数；

k——公法线长度W的跨越齿数。

这种油泵齿轮的计算与角变位齿轮相同。但表11-5-9中规定的变位系数值与角变位不同，它随齿数的增加而增大。从表11-4-15可知，当x_1和x_2都增大时，重合度会显著降低；同时又从图11-2-9可知，其它条件相同时，齿轮的齿数越多，其重合度就越大。由此可见，随齿数增加而增大x的目的在于保持重合度接近于1的数值（表11-5-9所列油泵齿轮的重合度为1.03～1.06）。

由表11-5-9所列数据还可看出，存在齿顶高减小量ym。这既为保持适当的顶隙所必需，又可增大齿顶厚度，尤其是当$x>x_{max}$时（表11-4-5），以利于提高强度。同时还需指出，在机修工作中修复油泵齿轮时，会遇到算出的齿顶圆直径与泵体内腔不能形成所需配合的情形。这时，可以适当调整ym的数值。但如果变动的幅度较大，则需校核其重合度。

表11-5-9 油泵直齿轮的主要数据[8] （mm）

z	x	d	d'	a'	d_a	W	k	α'	h	y
7	0.32	7	7.521	7.521	9.402	4.745	2	29°	2.13	0.119
8	0.365	8	8.594	8.594	10.458	4.790	2	29°	2.11	0.136
9	0.41	9	9.668	9.668	11.516	4.834	2	29°	2.10	0.152
10	0.46	10	10.749	10.749	12.578	4.882	2	29°	2.08	0.171
11	0.50	11	11.815	11.815	13.630	4.924	2	29°	2.07	0.189
12	0.55	12	12.895	12.895	14.690	4.972	2	29°	2.05	0.205
13	0.59	13	13.962	13.962	15.744	5.013	2	29°	2.03	0.218
14	0.64	14	15.042	15.042	16.804	8.014	3	29°	2.01	0.238
15	0.68	15	15.109	15.109	17.858	8.055	3	29°	2.00	0.251
16	0.73	16	17.189	17.189	18.918	8.103	3	29°	1.98	0.271
17	0.77	17	18.255	18.255	19.970	8.145	3	29°	1.97	0.285
18	0.82	18	19.336	19.336	21.032	8.193	3	29°	1.95	0.304

㊀ 在这种情况下，齿侧隙可按下式计算：如油泵齿轮$\alpha=20°$，$z_1=z_2=10$，$m=2.5$，$x_1=x_2=0.4$，$a'=m(z+2x)=2.5\times(10+2\times0.4)=27$，$\alpha_x=\arccos\dfrac{z\cos\alpha}{z+2x}=\arccos\dfrac{10\cos\alpha}{10+2\times0.4}=29.5314°$，$j_n=(p'-2s')\cos\alpha=2(z+2x)m\cos\alpha\left[(\mathrm{inv}\alpha_x-\mathrm{inv}\alpha)-\dfrac{2x}{z}\mathrm{tg}\alpha\right]=20\times2.5\cos\alpha(\mathrm{inv}\alpha_x-\mathrm{inv}\alpha)-2\times0.8\times2.5\sin\alpha\approx0.36\mathrm{mm}$。

（四）内啮合齿轮传动的几何计算

内啮合齿轮传动的几何计算如表11-5-10～表11-5-13 所示。

表11-5-10　内啮合标准（$x_1=x_2=0$）圆柱齿轮传动的几何计算　　（mm）

序号	名　称	代号	计算公式		实例计算： 直齿轮 $\alpha=20°$，$m=1.5$，$h_a^*=1$ $c^*=0.25$，$z_1=21$，$z_2=60$ 小轮滚齿，内齿轮插齿 $d_{z0}=41.54$，$z_0=25$，$h_{a0}^*=1.25$
			直　齿　轮	斜齿（人字齿）齿轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
1	端面压力角 端面啮合角	α_t α_t'	—	$\alpha_t=\alpha_t'=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
3	当量齿数	z_v	—	$z_v=\dfrac{z}{\cos^2\beta}$ 表11-5-14	—
4	分度圆直径 节圆直径	d d'	$d=d'=zm$	$d=d'=zm_t$	$d_1=21\times1.5=31.5$ $d_2=60\times1.5=90$
5	中心距	a	$a=\dfrac{1}{2}(d_2-d_1)$	$a=\dfrac{1}{2}(d_2-d_1)$	$a=\dfrac{1}{2}(90-31.5)=29.25$
6	内齿轮齿顶高减低系数	Δh_{a2}^*	$\Delta h_{a2}^*=\dfrac{h_a^{*2}}{z_2\operatorname{tg}^2\alpha}$	$\Delta h_{a2}^*=\dfrac{h_{an}^{*2}\cos^2\beta}{z_2\operatorname{tg}^2\alpha_n}$	$\Delta h_{a2}^*=\dfrac{1}{60\operatorname{tg}^2\alpha}=0.126$
7	齿顶高	h_a	$h_{a1}=h_a^*m$ $h_{a2}=(h_a^*-\Delta h_{a2}^*)m$	$h_{a1}=h_{an}^*m_n$ $h_{a2}=(h_{an}^*-\Delta h_{a2}^*)m_n$	$h_{a1}=1\times1.5=1.5$ $h_{a2}=(1-0.126)1.5=1.31$
8	齿顶圆直径	d_a	$d_{a1}=d_1+2h_{a1}$，$d_{a2}=d_2-2h_{a2}$		$d_{a1}=31.5+2\times1.5=34.5$ $d_{a2}=90-2\times1.31=87.38$
9	插齿刀变位系数	x_0	$x_0=\dfrac{d_{a0}}{2m}-\dfrac{z_0+2h_{a0}^*}{2}$	$x_{n0}=\dfrac{d_{a0}}{2m_n}-\dfrac{z_0}{2\cos\beta}+h_{an0}^*$	$x_0=\dfrac{41.54}{2\times1.5}-\dfrac{25+2\times1.25}{2}$ $=0.097$
10	插内齿轮时的啮合角 插内齿轮时的端面啮合角	α_{02}' α_{t02}'	$\operatorname{inv}\alpha_{02}'=\operatorname{inv}\alpha-\dfrac{2x_0}{z_2-z_0}\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{inv}\alpha_{t02}'=\operatorname{inv}\alpha_t-\dfrac{2x_{n0}}{z_2-z_0}\times\operatorname{tg}\alpha_n$	$\operatorname{inv}\alpha_{02}'=\operatorname{inv}\alpha-\dfrac{2\times0.097}{60-25}\operatorname{tg}\alpha$ $=0.01288696$， $\alpha_{02}'=19.0827°=19°04'58''$
11	插内齿轮时的中心距	a_{02}'	$a_{02}'=\dfrac{m}{2}(z_2-z_0)\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{02}'}$	$a_{02}'=\dfrac{m_t}{2}(z_2-z_0)\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{t02}'}$	$a_{02}'=\dfrac{1.5}{2}(60-25)\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{02}'}$ $=26.10$
12	齿根圆直径	d_f	$d_{f1}=d_1-2(h_a^*+c^*)m$ $d_{f2}=2a_{02}'+d_{a0}$	$d_{f1}=d_1-2(h_{an}^*+c^*)m_n$ $d_{f2}=2a_{02}'+d_{a0}$	$d_{f1}=31.5-2(1+0.25)1.5$ $=27.75$ $d_{f2}=2\times26.10+41.54=93.74$

（续）

序号	名称	代号	计算公式		实例计算：直齿轮 $\alpha=20°$，$m=1.5$，$h_a^*=1$ $c^*=0.25$，$z_1=21$，$z_2=60$ 小轮滚齿，内齿轮插齿 $d_{a0}=41.54$，$z_0=25$，$h_{a0}^*=1.25$
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	
	已知参数		α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
13	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=31.5\times\cos\alpha=29.60$ $d_{b2}=90\times\cos\alpha=84.572$
14	齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at1}=\arccos\frac{29.60}{34.50}=30.9105°$ $=30°54'38''$ $\alpha_{at2}=\arccos\frac{84.572}{87.38}=14.5646°$ $=14°33'53''$
15	端面重合度	ε_α	表11-2-13		$\varepsilon_{\alpha1}=0.785+0.995=1.78$
16	纵向重合度	ε_β	—	$\varepsilon_\beta=\frac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	—
17	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.78$
18	小齿轮跨越齿数	k_1	表11-6-5～7	图11-6-3、4	$k_1=3$
19	小齿轮公法线长度	W_k	表11-6-5～7	表11-6-4～13	$W_3=7.6744\times1.5=11.51$
20	内齿轮测量M值用量柱直径（计算值）	d_{w2}	$d_{w2}=1.44m$ 或表11-6-26	$d_{w2}=(1.44\sim1.68)m$	$d_{w2}=1.44\times1.5=2.16$
21	实际选用量柱直径	d_{M2}			$d_{M2}=2.5$
22	内齿轮量柱中心所在圆的压力角	α_{M2} α_{Mt2}	$\text{inv}\alpha_{M2}=\text{inv}\alpha-\frac{d_M}{d_b}+\frac{\pi}{2z_2}$	$\text{inv}\alpha_{Mt2}=\text{inv}\alpha_t-\frac{d_M}{zm_n\cos\alpha_n}+\frac{\pi}{2z_2}$	$\text{inv}\alpha_{M2}=\text{inv}\alpha+\frac{\pi}{2\times60}-\frac{2.5}{84.572}$ $=0.011523727$ $\alpha_{M2}=18.4044°=18°24'19''$
23	内齿轮的量柱测量距	M_2	$M_2=\frac{d_{b2}}{\cos\alpha_{M2}}-d_M$（偶数齿） $M_2=\frac{d_{b2}}{\cos\alpha_{M2}}\cos\frac{90°}{z_2}-d_M$（奇数齿）	$M_2=\frac{d_{b2}}{\cos\alpha_{Mt2}}-d_M$（偶数齿） $M_2=\frac{d_{b2}}{\cos\alpha_{Mt2}}\cos\frac{90°}{z_2}-d_M$（奇数齿）	$M_2=\frac{84.572}{\cos\alpha_{Mt2}}-2.5=86.631$

表11-5-11　内啮合高变位圆柱齿轮传动的几何计算　(mm)

序号	名称	代号	计算公式		实例计算：直齿轮副 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$m=3$，$z_1=15$，$z_2=51$，小齿轮滚齿，内齿轮插齿，$z_0=12$，$d_{a0}=43.74$，$h_{a0}^*=1.25$
			直齿轮	斜齿(人字齿)轮	
	已知参数		α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
1	端面压力角 端面啮合角	α_t α_t'	—	$\alpha_t=\alpha_t'=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
3	当量齿数	z_v	—	$z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$ 表11-5-14	—
4	分度圆直径 节圆直径	d d'	$d=d'=mz$	$d=d'=m_tz$	$d_1=15\times3=45$ $d_2=51\times3=153$
5	中心距	a	$a=\dfrac{m}{2}(z_2-z_1)$	$a=\dfrac{m_t}{2}(z_2-z_1)$	$a=\dfrac{1}{2}(51-15)3=54$
6	变位系数	x	按具体要求(表11-4-13)		按表11-4-13中的图选取 $x_1=0.25$，$x_2=0.26$
7	内齿轮齿顶高减低系数	Δh_{a2}^*	$\Delta h_{a2}^*=\dfrac{(h_a^*-x_2)^2}{z_2\operatorname{tg}^2\alpha}$	$\Delta h_{a2}^*=\dfrac{(h_{an}^*-x_{n2})^2}{z_2\operatorname{tg}^2\alpha_n}\times\cos^2\beta$	$\Delta h_{a2}^*=\dfrac{(1-0.25)^2}{51\operatorname{tg}^2\alpha}=0.083$
8	齿顶高	h_a	$h_{a1}=(h_a^*+x_1)m$ $h_{a2}=(h_a^*-x_2-\Delta h_{a2}^*)m$	$h_{a1}=(h_{an}^*+x_{n1})m_n$ $h_{a2}=(h_{an}^*-x_{n2}-\Delta h_{a2}^*)m_n$	$h_{a1}=(1+0.25)3=3.75$ $h_{a2}=(1-0.25-0.083)3=2.0$
9	插齿刀的变位系数	x_0	$x_0=\dfrac{d_{a0}}{2m}-\dfrac{z_0+2h_{a0}^*}{2}$	$x_{n0}=\dfrac{d_{a0}}{2m_n}-\dfrac{z_0+2h_{an0}^*\cos\beta_0}{2\cos\beta_0}$	$x_0=\dfrac{43.7^{d}}{2\times3}-\dfrac{12+2\times1.25}{2}$ $=0.04$
10	插内齿时的啮合角 插内齿时的端面啮合角	α_{t02}' α_{t02}	$\operatorname{inv}\alpha_{t02}=\operatorname{inv}\alpha+\dfrac{2(x_2-x_0)}{z_2-z_0}\times\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{inv}\alpha_{t02}'=\operatorname{inv}\alpha_t+\dfrac{2(x_{n2}-x_{n0})}{z_2-z_0}\times\operatorname{tg}\alpha_n$	$\operatorname{inv}\alpha_{02}'=\operatorname{inv}\alpha+\dfrac{2(0.25-0.04)}{51-12}\times\operatorname{tg}\alpha$ $=0.0188241$ $\alpha_{02}'=21.5587°$
11	插内齿时的中心距	a_{02}'	$a_{02}'=\dfrac{m}{2}(z_2-z_0)\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{t02}'}$	$a_{02}'=\dfrac{m_t}{2}(z_2-z_0)\times\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{t02}'}$	$a_{02}'=\dfrac{3}{2}(51-12)\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{02}'}$ $=59.11$

（续）

序号	名　称	代号	计　算　公　式		实例计算： 直齿轮副 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$m=3$，$z_1=15$，$z_2=51$，小齿轮滚齿，内齿轮插齿，$z_0=12$，$d_{a0}=43.74$，$h_{a0}^*=1.25$
			直　齿　轮	斜齿(人字齿)　轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
12	齿根圆直径	d_f	$d_{f1}=d_1-2(h_a^*+c^*-x_1)m$ $d_{f2}=2a'_{02}+d_{a0}$	$d_{f1}=d_1-2(h_{an}^*+c_n^*-x_{n1})m_n$ $d_{f2}=2a'_{02}+d_{a0}$	$d_{f1}=45-2(1+0.25-0.25)3=39$ $d_{f2}=2\times59.11+43.74=161.96$
13	齿顶圆直径	d_a	$d_{a1}=d_1+2h_{a1}$ $d_{a2}=d_2-2h_{a2}$		$d_{a1}=45+2\times3.75=52.5$ $d_{a2}=153-2\times2=149$
14	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=45\cos\alpha=42.2862$ $d_{b2}=153\cos\alpha=143.7730$
15	齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a1}=\arccos\frac{d_{b1}}{d_{a1}}=36.3462°$ $\alpha_{a2}=\arccos\frac{d_{b2}}{d_{a2}}=15.2212°$
16	端面重合度	ε_α	表11-2-13	表11-2-13	$\varepsilon_\alpha=0.888-(-0.745)=1.633$
17	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta=0$	$\varepsilon_\beta=\frac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	$\varepsilon_\beta=0$
18	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.633$
19	小齿轮跨越齿数	k_1	图11-6-1、2	图11-6-3、4	$k_1=3$
20	公法线长度	W_k	表11-6-4	表11-6-4、	$W_3=7.5904\times3+0.513=23.28$
21	内齿轮测量齿厚用量柱(球)直径	d_M	图11-6-6		$d_M=d_0^*m=1.56\times3=4.68$
22	实际选用量柱(球)直径	d_M			$d_M=5$ 从表11-6-24查得 $K_p=0.164708$
23	量柱(球)中心所在圆的压力角	α_{M2}	表11-6-23		$\mathrm{inv}\alpha_{M2}=\mathrm{inv}\alpha-\frac{5-1.64708\times3}{143.7730}$ $=0.0144957$ $\alpha_{M2}=19.82°$
24	内齿轮量柱(球)测量距	M_2	表11-6-23		$M_2=\frac{d_{b2}}{\cos\alpha_M}\cos\frac{90°}{z}-d_M$ $=149.52$

表11-5-12　内啮合角变位圆柱齿轮传动的几何计算（中心距a'已定时）　（mm）

序号	名　称	代号	计算公式		实例计算：
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=5$，$h_a^*=1$，$c^*=0.3$，$z_1=15$，$z_2=60$，$a'=114$ 小轮滚齿，内轮插齿 $z_{02}=20$，$d_{a02}=113.9$，$h_{a02}^*=1.3$，$\alpha_{a02}=34.4099°$
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z，a'	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b，a'	
1	端面压力角	α_t	—	$\alpha_t=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
3	当量齿数	z_v	—	$z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$ 表11-5-14	—
4	分度圆直径	d	$d=mz$	$d=m_tz$	$d_1=15\times5=75$ $d_2=60\times5=300$
5	标准中心距（$x=0$）	a	$a=\dfrac{1}{2}(d_2-d_1)$		$a=\dfrac{1}{2}(300-75)=112.5$
6	啮合角 端面啮合角	α' α_t'	$\alpha'=\arccos\left(\dfrac{a}{a'}\cos\alpha\right)$	$\alpha_t'=\arccos\left(\dfrac{a}{a'}\cos\alpha_t\right)$	$\alpha'=\arccos\left(\dfrac{112.5}{114}\cos\alpha\right)$ $=21.9779°=21°58'40''$
7	中心距变动模数	y_z	$y_z=\dfrac{a'-a}{a}$ 或按α'由表11-5-16查取	$y_z=\dfrac{a'-a}{a}$	$y_z=\dfrac{114-112.5}{112.5}=0.01333$
8	中心距变动系数	y	$y=\dfrac{a'-a}{m}=\dfrac{z_2-z_1}{2}y_z$	$y_n=\dfrac{a'-a}{m_n}$，$y_t=\dfrac{a'-a}{m_t}$	$y=\dfrac{114-112.5}{5}=0.3$
9	总变位系数	x_Σ	$x_\Sigma=\dfrac{z_2-z_1}{2\operatorname{tg}\alpha}(\operatorname{inv}\alpha'-\operatorname{inv}\alpha)$	$x_{t\Sigma}=\dfrac{z_2-z_1}{2\operatorname{tg}\alpha_t}(\operatorname{inv}\alpha_t'-\operatorname{inv}\alpha_t)$ $x_{n\Sigma}=x_{t\Sigma}/\cos\beta$	$x_\Sigma=\dfrac{60-15}{2\operatorname{tg}\alpha}(\operatorname{inv}\alpha'-\operatorname{inv}\alpha)$ $=0.314$
10	齿顶高变动系数	ν	$\nu=x_\Sigma-y$	$\nu_n=x_{n\Sigma}-y_n$ $\nu_t=x_{t\Sigma}-y_t$	$\nu=0.314-0.3=0.014$

（续）

序号	名称	代号	计算公式		实例计算： 直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=5$，$h_a^*=1$，$c^*=0.3$，$z_1=15$，$z_2=60$，$a'=114$ 小轮滚齿，内轮插齿 $z_{02}=20$，$d_{a02}=113.9$ $h_{a02}^*=1.3$，$\alpha_{a02}=34.4099°$
			直齿轮	斜齿(人字齿)齿轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z，a'	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b，a'	
11	变位系数	x	$x_1=\frac{(z_2+z_1)(x_\Sigma-y)}{2(z_2-z_1)}-\frac{x_\Sigma}{2}+y$ $x_2=x_\Sigma+x_1$	按需要进行分配 $x_{n2}=x_{n\Sigma}+x_{n1}$	$x_1=\frac{(60+15)(0.314-0.014)}{2(60-15)}-\frac{0.314}{2}+0.014$ $=0.107\approx0.11$ $x_2=0.314+0.11=0.424$
12	插齿刀的变位系数	x_0	$x_0=\frac{d_{a0}}{2m}-\frac{z_0+2h_{a0}^*}{2}$	$x_{n0}=\frac{d_{a0}}{2m_n}-\frac{z_0+2h_{an0}^*\cos\beta_0}{2\cos\beta_0}$	$x_{02}=\frac{113.9}{2\times5}-\frac{20+2\times1.3}{2}$ $=0.09$
13	插齿时的啮合角	α_0' α_{t0}	$\mathrm{inv}\alpha_0'=\mathrm{inv}\alpha+\frac{2(x\pm x_0)}{z\pm z_0}\mathrm{tg}\alpha$	$\mathrm{inv}\alpha_{t0}'=\mathrm{inv}\alpha_t+\frac{2(x_n\pm x_{n0})}{z\pm z_0\times\mathrm{tg}\alpha_n}$	$\mathrm{inv}\alpha_{02}'=\mathrm{inv}\alpha+\frac{2(0.42-0.09)}{60-20}\mathrm{tg}\alpha$ $=0.02090991$ $\alpha_{02}'=22.296°=22°17'46''$
14	插齿时的中心距	a_0'	$a_0'=\frac{m}{2}(z\pm z_0)\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0'}$	$a_0'=\frac{m_t(z\pm z_0)}{2}\frac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{t0}'}$	$a_{02}'=\frac{5}{2}(60-20)\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{02}'}$ $=101.56$
15	插齿时中心距变动系数	y_0'	$y_0'=\frac{a_0'}{m}-\frac{z\pm z_0}{2}=\frac{z\pm z_0}{2}\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0'}-1\right)$	$y_{t0}'=\frac{(z\pm z_0)}{2}\times\left(\frac{\cos\alpha_{t0}}{\cos\alpha_{t0}'}-1\right)$	$y_{02}=\frac{101.56}{5}-\frac{60-20}{2}=0.312$
16	齿根圆直径①	d_f	$d_{f1}=d_1-2(h_a^*+c^*-x_1)m$ $d_{f2}=2a_0'+d_{a02}$	$d_{f1}=d_1-2(h_{an}^*+c_n^*-x_{n1})m_n$ $d_{2f}=2a_{02}'+d_{a02}$	$d_{f1}=75-2(1+0.3-0.11)5$ $=63.1$ $d_{f2}=2\times101.56+113.9=317.02$
17	齿顶圆直径	d_a	$d_{a1}=d_{f2}-2a'-2c^*m$ $d_{a2}=2a'+d_{f1}+2c^*m$	$d_{a1}=d_{f2}-2a'-2c_n^*m_n$ $d_{a2}=2a'+d_{f1}+2c_n^*m_n$	$d_{a1}=317.02-2\times114-2\times0.3\times5$ $=86.02$ $d_{a2}=2\times114+63.1+2\times0.3\times5$ $=294.1$
18	全齿高	h	$h_1=h_2=\frac{1}{2}(\pm d_a\mp d_f)$	$h_1=h_2=\frac{1}{2}(\pm d_a\mp d_f)$	$h_1=\frac{1}{2}(86.02-63.1)=11.46$ $h_2=\frac{1}{2}(317.02-294.1)=11.46$
19	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=75\cos\alpha=70.4769$ $d_{b2}=300\cos\alpha=281.9078$

（续）

序号	名　称	代号	计　算　公　式		实例计算：
			直　齿　轮	斜齿（人字齿）齿轮	直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=5$，$h_a^*=1$，$c^*=0.3$，$z_1=15$，$z_2=60$，$a'=114$ 小轮滚齿，内轮插齿 $z_{02}=20$，$d_{a02}=113.9$ $h_{a02}^*=1.3$，$\alpha_{a02}=34.4099°$
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z，a'	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b，a'	
20	节圆直径	d'	$d_1'=\dfrac{2a'z_1}{z_2-z_1}$，　$d_2'=2a'+d_1'$		$d_1'=\dfrac{2\times114\times15}{60-15}=76$ $d_2'=2\times114+76=304$
21	齿顶圆压力角 端面齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\arccos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\arccos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a1}=\arccos\dfrac{d_{b1}}{d_{a1}}=34.9844°$ $\alpha_{a2}=\arccos\dfrac{d_{b2}}{d_{a2}}=16.5555°$
22	端面重合度	ε_α	表11-2-13		$\varepsilon_\alpha=0.802-(-0.637)=1.439$
23	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta=0$	$\varepsilon_\beta=\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 或从图11-2-10查取	$\varepsilon_\beta=0$
24	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.439$
25	小齿轮跨越齿数	k	图11-6-1、2	图11-6-3、4	$k=2$
26	小齿轮公法线长度	W_k	表11-6-4	表11-6-4	$W_2=4.6383\times5+0.3732$ $=23.57$
27	内齿轮测量M值用量柱直径（计算值）	d_{M2}	图11-6-5、6		$d_{M2}=1.66\times5=8.3$
28	实际选用量柱直径	d_{M2}			$d_{M2}=8.5$
29	量柱中心所在圆的压力角	α_{M2}	表11-6-23		从表11-6-24得$K_p=1.7336$ $\mathrm{inv}\alpha_{M2}=\mathrm{inv}\alpha-\dfrac{8.5-1.7336m}{d_{b2}}$ $=0.0155003$ $\alpha_{M2}=20.2523$
30	内齿轮量柱测量距	M_2	表11-6-23		$M_2=\dfrac{d_{b2}}{\cos\alpha_{M2}}-d_{M2}=291.98$

① 表中公式适用于小齿轮滚齿、内齿轮插齿。当小齿轮和内齿轮均为插齿时，则d_{f1}应按下式计算：

$d_{f1}=2a'_{b1}-d_{a01}$（a'_{b1}按照序号14公式计算）

表11-5-13 内啮合角变位圆柱齿轮传动的几何计算（中心距a'未定时） （mm）

序号	名称	代号	计算公式		实例计算： 直齿轮副 $\alpha=20°$，$m=3$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$z_1=42$，$z_2=45$ 小齿轮滚齿，内齿轮插齿 $z_{02}=25$，$h_{a02}^*=1.25$，$d_{a02}=83.1$
			直齿轮	斜齿(人字齿)轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
1	端面压力角	α_t	—	$\alpha_t=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
2	端面模数	m_t	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$ 表11-5-14	—
3	当量齿数	z_v	—	$z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$ 表11-5-14	—
4	分度圆直径	d	$d=mz$	$d=m_tz$	$d_1=3\times42=126$ $d_2=3\times45=135$
5	标准中心距	a	$a=\dfrac{m}{2}(z_2-z_1)$	$a=\dfrac{m_t}{2}(z_2-z_1)$	$a=\dfrac{3}{2}(45-42)=4.5$
6	变位系数	x x_n	按具体要求选择(表11-4-13)		取$x_1=0.5$，$x_\Sigma=0.47$ $x_2=0.47+0.5=0.97$
7	总变位系数	x_Σ	$x_\Sigma=x_2-x_1$	$x_{n\Sigma}=x_{n2}-x_{n1}$ $x_{t\Sigma}=x_{n\Sigma}\cos\beta$	
8	啮合角 端面啮合角	α' α_t'	$\operatorname{inv}\alpha'=\operatorname{inv}\alpha+\dfrac{2(x_2-x_1)}{z_2-z_1}\times\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{inv}\alpha_t'=\operatorname{inv}\alpha_t+\dfrac{2x_{t\Sigma}}{z_2-z_1}\times\operatorname{tg}\alpha_t$	齿数差较小，初选$\alpha'=39°$ (表11-4-13) $\operatorname{inv}\alpha'=0.1291066$
9	角变位中心距	a'	$a'=\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}a=a+ym$	$a'=\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_t'}a=a+y_tm_t$	$a'=\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}\times4.5=5.44$
10	中心距变动系数	y y_t	$y=\dfrac{a'-a}{m}=x_2-x_1-\nu$	$y_t=\dfrac{a'-a}{m_t}=x_{t2}-x_{t1}-\nu_t$	$y=\dfrac{5.44-4.5}{3}=0.313$
11	齿顶高变动系数	ν ν_t	$\nu=x_2-x_1-y$	$\nu_t=x_{t2}-x_{t1}-y_t$	$\nu=0.97-0.5-0.313=0.16$

（续）

序号	名　称	代号	计算公式		实例计算： 直齿轮副① $\alpha=20°$，$m=3$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$z_1=42$，$z_2=45$ 小齿轮滚提，内齿轮插齿 $z_{02}=25$，$h_{a02}^*=1.25$，$d_{a02}=83.1$
			直　齿　轮	斜齿(人字齿)　轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
12	插齿刀变位系数	x_0	$x_0=\dfrac{d_{a0}}{2m}-\dfrac{z_0+2h_{a0}^*}{2}$	$x_{n0}=\dfrac{d_{a0}}{2m_n}-\dfrac{z_0+2h_{an0}^*\cos\beta}{2\cos\beta}$	$x_{02}=\dfrac{83.1}{2\times3}-\dfrac{25+2\times1.25}{2}=0.1$
13	插齿时的啮合角 插齿时的端面啮合角	α_0' α_{t0}'	$\mathrm{inv}\alpha_0'=\mathrm{inv}\alpha+\dfrac{2(x\pm x_0)}{z\pm z_0}\times\mathrm{tg}\alpha$	$\mathrm{inv}\alpha_{t0}'=\mathrm{inv}\alpha_t+\dfrac{2(x_n\pm x_0)}{z\pm z_0}\times\mathrm{tg}\alpha_n$	$\mathrm{inv}\alpha_{02}'=\mathrm{inv}\alpha+\dfrac{2(0.87-0.1)}{45-25}\times\mathrm{tg}20°=0.0465698$ $\alpha_{02}'=28.6991°$
14	插齿时的中心距	a_0'	$a_0'=\dfrac{m(z\pm z_0)}{2}\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0'}$	$a_0'=\dfrac{m_t(z\pm z_0)}{2}\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{t0}'}$	$a_{02}'=\dfrac{3(45-25)}{2}\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_{02}'}=32.14$
15	插齿时的中心距变动系数	y_0'	$y_0'=\dfrac{a_0'}{m}-\dfrac{z\pm z_0}{2}=\dfrac{z\pm z_0}{2}\left(\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha_0'}-1\right)$	$y_{t0}'=\dfrac{z\pm z_0}{2}\left(\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_{t0}'}-1\right)$	$y_{02}'=\dfrac{32.14}{3}-\dfrac{45-25}{2}=0.713$
16	齿根圆直径②	d_f	$d_{f1}=d_1-2(h_a^*+c^*-x_1)m$ $d_{f2}=2a_{02}'+d_{a02}$	$d_{f1}=d_1-2(h_{at}^*+c_t^*-x_{t1})m_t$ $d_{f2}=2a_{02}'+d_{a02}$	$d_{f1}=126-2(1+0.25-0.5)3=121.5$ $d_{f2}=2\times32.14+83.1=147.38$
17	齿顶圆直径②	d_a	$d_{a1}=d_{f2}-2a'-2c^*m=d_1+2(h_a^*+x_1-x_2+x_{02}+y_{02}'+\nu)m$ $d_{a2}=2a'+d_{f1}+2c^*m=d_2-2(h_a^*-x_2+\nu)m$	$d_{a1}=d_{f2}-2a'-2c_t^*m_t$ $d_{a2}=2a'+d_{f1}+2c_t^*m_t$	$d_{a1}=147.38-2\times5.44-2\times0.25\times3=135$ $d_{a2}=2\times5.44+121.5+2\times0.25\times3=133.88$
18	全齿高	h	$h_1=\dfrac{1}{2}(d_{a1}-d_{f1})$ $h_2=\dfrac{1}{2}(d_{f2}-d_{a2})$	$h_1=\dfrac{1}{2}(d_{a1}-d_{f1})$ $h_2=\dfrac{1}{2}(d_{f2}-d_{a2})$	$h_1=\dfrac{1}{2}(135-121.5)=6.75$ $h_2=\dfrac{1}{2}(147.38-133.88)=6.75$
19	基圆直径	d_b	$d_b=d\cos\alpha$	$d_b=d\cos\alpha_t$	$d_{b1}=d_1\cos\alpha=118.1013$ $d_{b2}=d_2\cos\alpha=126.8585$
20	节圆直径	d'	$d'=d\dfrac{\cos\alpha}{\cos\alpha'}$ 或$d_2'=\dfrac{2a'u}{u-1}$	$d'=d\dfrac{\cos\alpha_t}{\cos\alpha_t'}$ 或$d_2'=\dfrac{2a'u}{u-1}$	$d_1'=152.35$ $d_2'=163.24$
21	齿顶圆压力角	α_a α_{at}	$\alpha_a=\mathrm{arc}\cos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{at}=\mathrm{arc}\cos\dfrac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a1}=\mathrm{arc}\cos\dfrac{d_{b1}}{d_{a1}}=28.7119°$ $\alpha_{a2}=\mathrm{arc}\cos\dfrac{d_{b2}}{d_{a2}}=18.6385°$
22	端面重合度	ε_α	表11-2-13		$\varepsilon_\alpha=-1.75-(-3.38)=1.63$
23	纵向重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta=0$	$\varepsilon_\beta=\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$ 图11-2-10	$\varepsilon_\beta=0$

（续）

序号	名　称	代号	计算公式		实例计算： 直齿轮副① $\alpha=20°$，$m=3$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$z_1=42$，$z_2=45$ 小齿轮滚齿，内齿轮插齿 $z_{02}=25$，$h_{a02}^*=1.25$，$d_{a02}=83.1$
			直齿轮	斜齿(人字齿)轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	
24	总重合度	ε_γ	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha$	$\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	$\varepsilon_\gamma=1.63$
25	小齿轮跨越齿数	k	图11-6-1、2	图11-6-3、4	$k=6$
26	小齿轮公法线长度	W_k	表11-6-4	表11-6-4	$W_6=16.8249\times3+1.026$ $=51.5$
27	内齿轮测量M值用量柱直径（计算值）	d_{m2}	图11-6-5、6		$d_{m2}=1.65\times3=4.95$
28	实际选用量柱直径	d_{M2}			$d_{M2}=5$
29	量柱中心所在圆的压力角	α_{M2}	表11-6-23		$\mathrm{inv}\alpha_{M2}=\mathrm{inv}\alpha-\frac{d_{M2}-K_p m}{d_{b2}}$ $=0.026088$ $\alpha_{M2}=23.9241°$ K_p按表11-6-24公式计算，$K_p=2.1398$
30	内齿轮量柱测量距	M_2	表11-6-23		$M_2=\frac{d_{b2}}{\cos\alpha_{M2}}-d_{M2}=133.78$

传动干涉及加工时的顶切等验算（按表11-2-8公式）

31	过渡曲线干涉	对内齿轮： $z_{02}\mathrm{tg}\alpha_{a02}+(z_2-z_{02})\mathrm{tg}\alpha'_{02}\geqslant z_1\mathrm{tg}\alpha_{a1}+(z_2-z_1)\mathrm{tg}\alpha'$ 对小齿轮： $z_2\mathrm{tg}\alpha_{a2}-(z_2-z_1)\mathrm{tg}\alpha'\geqslant z_1\mathrm{tg}\alpha-\frac{4(h_a^*-x_1)}{\sin2\alpha}$ 式中 $\alpha_{a02}=\arccos\frac{d_{b02}}{d_{a02}}=\arccos\frac{25\times3\cos20°}{83.1}=31.9946°$	$25\mathrm{tg}31.9946°+(45-25)\mathrm{tg}28.7°$ $=26.5681$ $42\mathrm{tg}28.7119°+(45-42)\mathrm{tg}39°$ $=25.435$ $26.5681>25.435$ $45\mathrm{tg}18.6385°-(45-42)\mathrm{tg}39°$ $=12.7485$ $42\mathrm{tg}20°-\frac{4(1-0.5)}{\sin40°}$ $=12.1753$ $12.7485>12.1753$ 无干涉

（续）

序号	名　称	代号	计　算　公　式		实例计算：
			直　齿　轮	斜齿（人字齿）轮	
已知参数			α，m，h_a^*，c^*，x	α_n，m_n，h_{an}^*，c_n^*，z，β，b	直齿轮副①$\alpha=20°$，$m=3$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$z_1=42$，$z_2=45$ 小齿轮滚齿，内齿轮插齿 $z_{02}=25$，$h_{a02}^*=1.25$，$d_{a02}=83.1$
传动干涉及加工时的顶切等验算（按表11-2-8公式）					
32	齿廓重叠干涉		$(z_2-z_1)\text{inv}\alpha'+z_1(\text{inv}\alpha_{a1}+\delta_1)-z_2(\text{inv}\alpha_{a2}+\delta_2)\geqslant 0$ 式中 $\cos\delta_1=\dfrac{d_{a2}^2-4a'^2-d_{a1}^2}{4a'd_{a1}}=\dfrac{133.88^2-4\times5.44^2-135^2}{4\times5.44\times135}=-0.14281$ $\cos\delta_2=\dfrac{d_a'^2+4a'^2-d_{a1}^2}{4a'd_{a2}}=\dfrac{133.88^2+4\times5.44^2-135^2}{4\times5.44\times133.88}=-0.062738$ $\delta_1=98.2105°=1.7141\text{rad}$，$\delta_2=93.597°=1.6335\text{rad}$	$(45-42)\times0.1291056+42(0.0466373+1.7141)-45(0.0119822+1.6335)=0.29>0$ 无干涉
33	内齿轮齿顶非渐开线干涉		$z_2\geqslant\dfrac{2(h_a^*-x_2)}{1-\cos\alpha}$		$\dfrac{2(1-0.97)}{(1-\cos\alpha)}=0.99<45$ 无干涉
34	落成顶切		$\dfrac{z_{02}}{z_2}\geqslant1-\dfrac{\text{tg}\alpha_{a2}}{\text{tg}\alpha'_{02}}$		$\dfrac{25}{45}=0.5555>0.384$ $1-\dfrac{\text{tg}18.6385°}{\text{tg}28.7°}=0.384$ 无顶切
35	径向进刀顶切		查表11-2-12，$z_0=25$，$m=3$，$x_0=0.167$，不产生顶切的$z_{2\min}=31$，$x_{2\min}=1.0$或$z_{2\min}=33$，$x_{2\min}=0.8$		此例$x_0=0.1$，$z_2=45$，$x_2=0.97$，可见不会产生顶切
					结论：以上选择的参数都不会产生干涉和顶切

① 齿数差z_2-z_1较小的齿轮副的计算次序与表列次序稍有不同，一般先选取啮合角α'（表11-4-13）计算x_Σ和$x_{1\Sigma}$。

② 表中公式适用于小齿轮滚齿，内齿轮插齿加工。当小齿轮也为插齿加工时，则d_{f1}应按下式计算：

$$d_{f1}=2a'_{01}-d_{a01}(a'_{01}\text{按序号14公式计算})$$

渐开线圆柱齿轮几何计算时的$\cos\beta$、$1/\cos\beta$、$\cos^3\beta$、$1/\cos^3\beta$值，渐开线函数$\text{inv}\alpha$值和变位齿轮的啮合角α'、总变位模数x_Σ、中心距变动模数y_Σ、齿顶高变动模数ν_Σ值，可分别从表11-5-14、表11-5-15和表11-5-16查取。

表11-5-14 斜齿轮螺旋角三角函数[1]

螺旋角 β	$\cos\beta$	$\frac{1}{\cos\beta}$	$\cos^3\beta$	$\frac{1}{\cos^3\beta}$
1°	0.99984770	1.000152	0.999543	1.000456
1°30′	0.99965732	1.000343	0.998972	1.001209
2°	0.99939083	1.000610	0.998174	1.001831
2°30′	0.99904822	1.000953	0.997147	1.002861
3°	0.99862953	1.001372	0.995894	1.004122
3°30′	0.99813480	1.001869	0.994415	1.005616
4°	0.99756405	1.002442	0.992710	1.007344
4°30′	0.99691733	1.003092	0.990780	1.009305
5°	0.99619470	1.003820	0.988268	1.011504
5°30′	0.99539620	1.004625	0.986252	1.013940
6°	0.99452190	1.005508	0.983656	1.016615
6°30′	0.99357186	1.006470	0.980829	1.019535
7°	0.99254615	1.007510	0.977765	1.022699
7°30′	0.99144486	1.008629	0.974554	1.026111
8°	0.99026807	1.009828	0.971087	1.029773
8°30′	0.98901586	1.011106	0.967468	1.033690
9°	0.98768834	1.012465	0.963518	1.037863
9°30′	0.98628560	1.013905	0.959418	1.042298
10°	0.98480775	1.015427	0.955112	1.046997
10°30′	0.98325491	1.017030	0.950601	1.051966
11°	0.98162718	1.018717	0.945888	1.057208
11°30′	0.97992470	1.020487	0.940975	1.062727
12°	0.97814760	1.022341	0.935865	1.068530
12°30′	0.97629601	1.024280	0.930560	1.074621
13°	0.97437006	1.026304	0.925064	1.081006
13°30′	0.97236992	1.028415	0.919379	1.087691
14°	0.97029573	1.030614	0.913508	1.094682
14°30′	0.96814764	1.032900	0.907454	1.101984
15°	0.96592583	1.035276	0.901221	1.109605
15°30′	0.96363045	1.037742	0.894811	1.117554
16°	0.96126170	1.040299	0.888229	1.125836
16°30′	0.95881973	1.042949	0.881477	1.134460
17°	0.95630476	1.045692	0.874559	1.143434
17°30′	0.95371695	1.048529	0.867478	1.152767
18°	0.95105652	1.051462	0.860239	1.162468
18°30′	0.94832366	1.054492	0.852844	1.172547
19°	0.94551858	1.057621	0.845299	1.183014
19°30′	0.94264149	1.060849	0.837606	1.193879
20°	0.93969262	1.064178	0.829769	1.205154
20°30′	0.93667219	1.067609	0.821794	1.216850
21°	0.93358043	1.071145	0.813683	1.228980
21°30′	0.93041757	1.074786	0.805441	1.241556
22°	0.92718385	1.078535	0.797072	1.254592
22°30′	0.92387953	1.082392	0.788580	1.268102
23°	0.92050485	1.086360	0.779971	1.282099
23°30′	0.91706007	1.090441	0.771247	1.296602
24°	0.91354546	1.094636	0.762413	1.311623
24°30′	0.90996127	1.098948	0.753475	1.327184
25°	0.90630779	1.103378	0.744436	1.343300
25°30′	0.90258528	1.107929	0.735300	1.359989
26°	0.89879405	1.112602	0.726073	1.377271
26°30′	0.89193436	1.117400	0.716760	1.395168
27°	0.89100652	1.122326	0.707363	1.413700
27°30′	0.88701083	1.127382	0.697890	1.432891
28°	0.88294759	1.132570	0.688343	1.452764
28°30′	0.87881711	1.137893	0.678728	1.473345
29°	0.87461971	1.143354	0.669049	1.494659
29°30′	0.87035570	1.148956	0.659311	1.516735
30°	0.86602540	1.154701	0.649519	1.539601
30°30′	0.86162916	1.160592	0.639678	1.563287

（续）

螺旋角 β	$\cos\beta$	$\frac{1}{\cos\beta}$	$\cos^3\beta$	$\frac{1}{\cos^3\beta}$
31°	0.85716730	1.166633	0.629791	1.587827
31°30′	0.85264016	1.172828	0.619865	1.613254
32°	0.84804810	1.179178	0.609904	1.639602
32°30′	0.84339145	1.185689	0.599912	1.666911
33°	0.83867057	1.192363	0.589894	1.695219
33°30′	0.83388582	1.199205	0.579855	1.724568
34°	0.82903757	1.206218	0.569800	1.755001
34°30′	0.82412619	1.213406	0.559733	1.786565
35°	0.81915204	1.220775	0.549659	1.819309
35°30′	0.81411552	1.228327	0.539583	1.853284
36°	0.80901699	1.236068	0.529508	1.888544
36°30′	0.80385686	1.244003	0.519441	1.925147
37°	0.79863551	1.252136	0.509385	1.963155
37°30′	0.79335334	1.260472	0.499344	2.002627
38°	0.78801075	1.269018	0.489324	2.043636
38°30′	0.78260816	1.277779	0.479328	2.086253
39°	0.77714596	1.286760	0.469362	2.130555
39°30′	0.77162458	1.295967	0.459429	2.176616
40°	0.76604444	1.305407	0.449533	2.224529
40°30′	0.76040597	1.315087	0.439680	2.274382
41°	0.75470958	1.325013	0.429872	2.326272
41°30′	0.74895572	1.335192	0.420115	2.380299
42°	0.74314483	1.345633	0.410412	2.436574
42°30′	0.73727734	1.356342	0.400768	2.495212
43°	0.73135370	1.367328	0.391185	2.556334
43°30′	0.72537437	1.378598	0.381669	2.620073
44°	0.71933980	1.390154	0.372222	2.686567
44°30′	0.71325045	1.402032	0.362849	2.755966
45°	0.70710678	1.414214	0.353553	2.828427
45°30′	0.70090926	1.426718	0.344338	2.904120
46°	0.69465837	1.439557	0.335208	2.983226
46°30′	0.68835458	1.452740	0.326164	3.065939
47°	0.68199836	1.466279	0.317212	3.152462
47°30′	0.67559021	1.480187	0.308354	3.243032
48°	0.66913061	1.494477	0.299594	3.337854
48°30′	0.66262005	1.509160	0.290933	3.437213
49°	0.65605903	1.524253	0.282377	3.541369
49°30′	0.64944805	1.539769	0.273926	3.650622
50°	0.64278761	1.555724	0.265584	3.765283
50°30′	0.63607822	1.572134	0.257354	3.885692
51°	0.62932039	1.589016	0.249239	4.012219
51°30′	0.62251464	1.606388	0.241240	4.145256
52°	0.61566148	1.624269	0.233360	4.285220
52°30′	0.60876143	1.642680	0.225601	4.432600
53°	0.60181502	1.661640	0.217966	4.587869
53°30′	0.59482279	1.681173	0.210457	4.751571
54°	0.58778525	1.701302	0.203075	4.924294
54°30′	0.58070296	1.722051	0.195822	5.106671
55°	0.57357644	1.743447	0.188701	5.299393
55°30′	0.56640624	1.765517	0.181712	5.503208
56°	0.55919290	1.788292	0.174858	5.718933
56°30′	0.55193699	1.811801	0.168139	5.947460
57°	0.54463904	1.836078	0.161557	6.189759
57°30′	0.53729961	1.861159	0.155113	6.446892
58°	0.52991926	1.887080	0.148809	6.720025
58°30′	0.52249856	1.913881	0.142645	7.010431
59°	0.51503807	1.941604	0.136621	7.319510
59°30′	0.50753836	1.970294	0.130739	7.648801
60°	0.50000000	2.000000	0.125000	8.000000

表11-5-15 渐开线函数invα表[11]

α (°)	invα		α (°)	invα		α (°)	invα		α (°)	invα	
0.00	0.0000000	0	0.50	0.0000002	0	1.00	0.0000018	0	1.50	0.0000060	1
01	00000	0	51	00002	0	01	00018	1	51	00061	1
02	00000	0	52	00002	1	02	00019	0	52	00062	1
03	00000	0	53	00003	0	03	00019	1	53	00063	2
04	00000	0	54	00003	0	04	00020	1	54	00065	1
05	00000	0	55	00003	0	05	00021	0	55	00066	1
06	00000	0	56	00003	0	06	00021	1	56	00067	2
07	00000	0	57	00003	0	07	00022	0	57	00069	1
08	00000	0	58	00003	1	08	00022	1	58	00070	1
09	00000	0	59	00004	0	09	00023	1	59	00071	2
0.10	0.0000000	0	0.60	0.0000004	0	1.10	0.0000024	0	1.60	0.0000073	1
11	00000	0	61	00004	0	11	00024	1	61	00074	1
12	00000	0	62	00004	0	12	00025	1	62	00075	2
13	00000	0	63	00004	1	13	00026	0	63	00077	1
14	00000	0	64	00005	0	14	00026	1	64	00078	2
15	00000	0	65	00005	0	15	00027	1	65	00080	1
16	00000	0	66	00005	0	16	00028	0	66	00081	2
17	00000	0	67	00005	1	17	00028	1	67	00083	1
18	00000	0	68	00006	0	18	00029	1	68	00084	2
19	00000	0	69	00006	0	19	00030	1	69	00086	1
0.20	0.0000000	0	0.70	0.0000006	0	1.20	0.0000031	0	1.70	0.0000087	2
21	00000	0	71	00006	1	21	00031	1	71	00089	1
22	00000	0	72	00007	0	22	00032	1	72	00090	2
23	00000	0	73	00007	0	23	00033	1	73	00092	1
24	00000	0	74	00007	0	24	00034	1	74	00093	2
25	00000	0	75	00007	1	25	00035	0	75	00095	2
26	00000	0	76	00008	0	26	00035	1	76	00097	1
27	00000	0	77	00008	0	27	00036	1	77	00098	2
28	00000	0	78	00008	1	28	00037	1	78	00100	2
29	00000	0	79	00009	0	29	00038	1	79	00102	1
0.30	0.0000000	1	0.80	0.0000009	0	1.30	0.0000039	1	1.80	0.0000103	2
31	00001	0	81	00009	1	31	00040	1	81	00105	2
32	00001	0	82	00010	0	32	00041	1	82	00107	2
33	00001	0	83	00010	1	33	00042	1	83	00109	1
34	00001	0	84	00011	0	34	00043	1	84	00110	2
35	00001	0	85	00011	0	35	00044	1	85	00112	2
36	00001	0	86	00011	1	36	00045	1	86	00114	2
37	00001	0	87	00012	0	37	00046	1	87	00116	2
38	00001	0	88	00012	0	38	00047	1	88	00118	2
39	00001	0	89	00012	1	39	00048	1	89	00120	2
0.40	0.0000001	0	0.90	0.0000013	0	1.40	0.0000049	1	1.90	0.0000122	2
41	000001	0	91	00013	1	41	00050	1	91	00124	1
42	000001	0	92	00014	0	42	00051	1	92	00125	2
43	000001	1	93	00014	1	43	00052	1	93	00127	2
44	000002	0	94	00015	0	44	00053	1	94	00129	2
45	000002	0	95	00015	1	45	00054	1	95	00131	3
46	000002	0	96	00016	0	46	00055	1	96	00134	2
47	000002	0	97	00016	1	47	00056	1	97	00136	2
48	000002	0	98	00017	0	48	00057	2	98	00138	2
49	000002	0	0.99	00017	1	49	00059	1	99	00140	2
0.50	0.0000002		1.00	0.0000018		1.50	0.0000060		2.00	0.0000142	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
2.00	0.0000142	2	2.50	0.0000277	3	3.00	0.0000479	5	3.50	0.0000761	7
01	00144	2	51	00280	4	01	00484	5	51	00768	6
02	00146	2	52	00284	3	02	00489	5	52	00774	7
03	00148	3	53	00287	4	03	00494	4	53	00781	6
04	00151	2	54	00291	3	04	00498	5	54	00787	7
05	00153	2	55	00294	4	05	00503	5	55	00794	7
06	00155	2	56	00298	3	06	00508	5	56	00801	7
07	00157	3	57	00301	4	07	00513	5	57	00808	6
08	00160	2	58	00305	3	08	00518	5	58	00814	7
09	00162	2	59	00308	4	09	00523	6	59	00821	7
2.10	0.0000164	3	2.60	0.0000312	3	3.10	0.0000529	5	3.60	0.0000828	7
11	00167	2	61	00315	4	11	00534	5	61	00835	7
12	00169	2	62	00319	4	12	00539	5	62	00842	7
13	00171	3	63	00323	3	13	00544	5	63	00849	7
14	00174	2	64	00326	4	14	00549	6	64	00856	7
15	00176	3	65	00330	4	15	00555	5	65	00863	7
16	00179	2	66	00334	4	16	00560	5	66	00870	7
17	00181	3	67	00338	3	17	00565	6	67	00877	8
18	00184	2	68	00341	4	18	00571	5	68	00885	7
19	00186	3	69	00345	4	19	00576	5	69	00892	7
2.20	0.0000189	2	2.70	0.0000349	4	3.20	0.0000581	6	3.70	0.0000899	7
21	00191	3	71	00353	4	21	00587	5	71	00906	8
22	00194	3	72	00357	4	22	00592	6	72	00914	7
23	00197	2	73	00361	4	23	00598	6	73	00921	8
24	00199	3	74	00365	4	24	00604	5	74	00929	7
25	00202	3	75	00369	4	25	00609	6	75	00936	8
26	00205	2	76	00373	4	26	00615	5	76	00944	7
27	00207	3	77	00377	4	27	00620	6	77	00951	8
28	00210	3	78	00381	4	28	00626	6	78	00959	7
29	00213	3	79	00385	4	29	00632	6	79	00966	8
2.30	0.0000216	3	2.80	0.0000389	5	3.30	0.0000638	6	3.80	0.0000974	8
31	00219	2	81	00394	4	31	00644	5	81	00982	8
32	00221	3	82	00398	4	32	00649	6	82	00990	7
33	00224	3	83	00402	4	33	00655	6	83	00997	8
34	00227	3	84	00406	5	34	00661	6	84	01005	8
35	00230	3	85	00411	4	35	00667	6	85	01013	8
36	00233	3	86	00415	4	36	00673	6	86	01021	8
37	00236	3	87	00419	5	37	00679	6	87	01029	8
38	00239	3	88	00424	4	38	00685	6	88	01037	8
39	00242	3	89	00428	5	39	00691	7	89	01045	8
2.40	0.0000245	3	2.90	0.0000433	4	3.40	0.0000698	6	3.90	0.0001053	8
41	00248	3	91	00437	5	41	00704	6	91	01061	9
42	00251	3	92	00442	4	42	00710	6	92	01070	8
43	00254	4	93	00446	5	43	00716	6	93	01078	8
44	00258	3	94	00451	4	44	00722	7	94	01086	8
45	00261	3	95	00455	5	45	00729	6	95	01094	9
46	00264	3	96	00460	5	46	00735	7	96	01103	8
47	00267	4	97	00465	4	47	00742	6	97	01111	8
48	00271	3	98	00469	5	48	00748	6	98	01119	9
49	00274	3	99	00474	5	49	00754	7	99	01128	8
2.50	0.0000277		3.00	0.0000479		3.50	0.0000761		4.00	0.0001136	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
4.00	0.0001136	9	4.50	0.0001619	11	5.00	0.0002222	13	5.50	0.0002959	17
01	01145	9	51	01630	11	01	02235	14	51	02976	16
02	01154	8	52	01641	11	02	02249	13	52	02992	16
03	01162	9	53	01652	11	03	02262	14	53	03008	17
04	01171	9	54	01663	11	04	02276	13	54	03025	16
05	01180	8	55	01674	11	05	02289	14	55	03041	17
06	01188	9	56	01685	11	06	02303	14	56	03058	16
07	01197	9	57	01696	11	07	02317	14	57	03074	17
08	01206	9	58	01707	11	08	02331	13	58	03091	16
09	01215	9	59	01718	11	09	02344	14	59	03107	17
4.10	00.001224	9	4.60	0.0001729	12	5.10	0.0002358	14	5.60	0.0003124	17
11	01233	9	61	01741	11	11	02372	14	61	03141	17
12	01242	9	62	01752	12	12	02386	14	62	03158	17
13	01251	9	63	01764	11	13	02400	14	63	03175	17
14	01260	9	64	01775	12	14	02414	15	64	03192	17
15	01269	10	65	01787	11	15	02429	14	65	03209	17
16	01279	9	66	01798	12	16	02443	14	66	03226	17
17	01288	9	67	01810	11	17	02457	14	67	03243	17
18	01297	9	68	01821	12	18	02471	15	68	03260	18
19	01306	10	69	01833	12	19	02486	14	69	03278	17
4.20	0.0001316	9	4.70	0.0001845	12	5.20	0.0002500	15	5.70	0.0003295	17
21	01325	10	71	01857	12	21	02515	14	71	03312	18
22	01335	9	72	01869	12	22	02529	15	72	03330	17
23	01344	10	73	01881	12	23	02544	14	73	03347	18
24	01354	9	74	01893	12	24	02558	15	74	03365	18
25	01363	10	75	01905	12	25	02573	15	75	03383	17
26	01373	10	76	01917	12	26	02588	15	76	03400	18
27	01383	10	77	01929	12	27	02603	15	77	03418	18
28	01393	9	78	01941	12	28	02618	14	78	03436	18
29	01402	10	79	01953	12	29	02632	15	79	03454	18
4.30	0.0001412	10	4.80	0.0001965	13	5.30	0.0002647	15	5.80	0.0003472	18
31	01422	10	81	01978	12	31	02662	16	81	03490	18
32	01432	10	82	01990	13	32	02678	15	82	03508	18
33	01442	10	83	02003	12	33	02693	15	83	03526	19
34	01452	10	84	02015	13	34	02708	15	84	03545	18
35	01462	10	85	02028	12	35	02723	16	85	03563	18
36	01472	10	86	02040	13	36	02739	15	86	03581	19
37	01482	11	87	02053	13	37	02754	15	87	03600	18
38	01493	10	88	02066	12	38	02769	16	88	03618	19
39	01503	10	89	02078	13	39	02785	16	89	03637	18
4.40	0.0001513	11	4.90	0.0002091	13	5.40	0.0002801	15	5.90	0.0003655	19
41	01524	10	91	02104	13	41	02816	16	91	03674	19
42	01534	10	92	02117	13	42	02832	16	92	03693	18
43	01544	11	93	02130	13	43	02848	15	93	03711	19
44	01555	10	94	02143	13	44	02863	16	94	03730	19
45	01565	11	95	02156	13	45	02879	16	95	03749	19
46	01576	11	96	02169	13	46	02895	16	96	03768	19
47	01587	10	97	02182	13	47	02911	16	97	03787	19
48	01597	11	98	02195	14	48	02927	16	98	03806	20
49	01608	11	99	02209	13	49	02943	16	99	03826	19
4.50	0.0001619		5.00	0.0002222		5.50	0.0002959		6.00	0.0003845	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
6.00	0.0003845	19	6.50	0.0004892	23	7.00	0.0006115	26	7.50	0.0007528	30
01	03864	19	51	04915	23	01	06141	27	51	07558	31
02	03883	20	52	04938	22	02	06168	26	52	07589	30
03	03903	19	53	04960	23	03	06194	27	53	07619	31
04	03922	20	54	04983	23	04	06221	27	54	07650	30
05	03942	20	55	05006	23	05	06248	26	55	07680	31
06	03962	19	56	05029	23	06	06274	27	56	07711	31
07	03981	20	57	05052	24	07	06301	27	57	07742	31
08	04001	20	58	05076	23	08	06328	27	58	07773	31
09	04021	20	59	05099	23	09	06355	27	59	07804	31
6.10	0.0004041	20	6.60	0.0005122	24	7.10	0.0006382	27	7.60	0.0007835	31
11	04061	20	61	05146	23	11	06409	27	61	07866	31
12	04081	20	62	05169	24	12	06436	28	62	07897	31
13	04101	20	63	05193	23	13	06464	27	63	07928	32
14	04121	20	64	05216	24	14	06491	27	64	07960	31
15	04141	21	65	05240	24	15	06518	28	65	07991	32
16	04162	20	66	05264	23	16	06546	28	66	08023	31
17	04182	20	67	05287	24	17	06574	27	67	08054	32
18	04202	21	68	05311	24	18	06601	28	68	08086	32
19	04223	21	69	05335	24	19	06629	28	69	08118	32
6.20	0.0004244	20	6.70	0.0005359	25	7.20	0.0006657	28	7.70	0.0008150	31
21	04264	21	71	05384	24	21	06685	28	71	08181	33
22	04285	21	72	05408	24	22	06713	28	72	08214	32
23	04306	20	73	05432	24	23	06741	28	73	08246	32
24	04326	21	74	05456	25	24	06769	28	74	08278	32
25	04347	21	75	05481	24	25	06797	28	75	08310	32
26	04368	21	76	05505	25	26	06825	29	76	08342	33
27	04389	21	77	05530	24	27	06854	28	77	08375	32
28	04410	22	78	05554	25	28	06882	29	78	08407	33
29	04432	21	79	05579	25	29	06911	28	79	08440	33
6.30	0.0004453	21	6.80	0.0005604	25	7.30	0.0006939	29	7.80	0.0008473	33
31	04474	22	81	05629	25	31	06968	29	81	08506	32
32	04496	21	82	05654	25	32	06997	28	82	08538	33
33	04517	21	83	05679	25	33	07025	29	83	08571	33
34	04538	22	84	05704	25	34	07054	29	84	08604	34
35	04560	22	85	05729	25	35	07083	29	85	08638	33
36	04582	21	86	05754	25	36	07112	30	86	08671	33
37	04603	23	87	05779	26	37	07142	29	87	08704	34
38	04625	22	88	05805	25	38	07171	29	88	08738	33
39	04647	22	89	05830	26	39	07200	30	89	08771	34
6.40	0.0004669	22	6.90	0.0005856	25	7.40	0.0007230	29	7.90	0.0008805	33
41	04691	22	91	05881	26	41	07259	30	91	08838	34
42	04713	22	92	05907	26	42	07289	29	92	08872	34
43	04735	22	93	05933	26	43	07318	30	93	08906	34
44	04757	23	94	05959	26	44	07348	30	94	08940	34
45	04780	22	95	05985	25	45	07378	30	95	08974	34
46	04802	22	96	06010	27	46	07408	30	96	09008	34
47	04824	23	97	06037	26	47	07438	30	97	09042	34
48	04847	22	98	06063	26	48	07468	30	98	09076	35
49	04869	23	99	06089	26	49	07498	30	99	09111	34
6.50	0.0004892		7.00	0.0006115		7.50	0.0007528		8.00	0.0009145	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
8.00	0.0009145	34	8.50	0.0010980	39	9.00	0.0013048	44	9.50	0.0015363	49
01	09179	35	51	11019	39	01	13092	44	51	15412	49
02	09214	35	52	11058	40	02	13136	44	52	15461	49
03	09249	35	53	11098	39	03	13180	44	53	15510	50
04	09284	34	54	11137	39	04	13224	44	54	15560	49
05	09318	35	55	11176	40	05	13268	45	55	15609	49
06	09353	35	56	11216	39	06	13313	44	56	15658	50
07	09388	36	57	11255	40	07	13357	45	57	15708	50
08	09424	35	58	11295	40	08	13402	44	58	15758	49
09	09459	35	59	11335	40	09	13446	45	59	15807	50
8.10	0.0009494	35	8.60	0.0011375	40	9.10	0.0013491	45	9.60	0.0015857	50
11	09529	36	61	11415	40	11	13536	45	61	15907	50
12	09565	36	62	11455	40	12	13581	45	62	15957	51
13	09601	35	63	11495	40	13	13626	45	63	16008	50
14	09636	36	64	11535	40	14	13671	45	64	16058	50
15	09672	36	65	11575	41	15	13716	45	65	16108	51
16	09708	36	66	16116	40	16	13761	46	66	16159	50
17	09744	36	67	11656	41	17	13807	45	67	16209	51
18	09780	36	68	11697	41	18	13852	46	68	16260	51
19	09816	36	69	11738	41	19	13898	46	69	16311	51
8.20	0.0009852	36	8.70	0.0011779	40	9.20	0.0013944	46	9.70	0.0016362	51
21	09888	37	71	11819	42	21	13990	45	71	16413	51
22	09925	36	72	11861	41	22	14035	46	72	16464	51
23	09961	37	73	11802	41	23	14081	47	73	16515	52
24	09998	36	74	11943	41	24	14128	46	74	16567	51
25	10034	37	75	11984	42	25	14174	46	75	16618	52
26	10071	37	76	12026	41	26	14220	47	76	16670	52
27	10108	37	77	12067	42	27	14267	46	77	16722	51
28	10145	37	78	12109	41	28	14313	47	78	16773	52
29	10182	37	79	12150	42	29	14360	47	79	16825	52
8.30	0.0010219	37	8.80	0.0012192	42	9.30	0.0014407	46	9.80	0.0016877	52
31	10256	37	81	12234	42	31	14453	47	81	16929	53
32	10293	38	82	12276	42	32	14500	47	82	16982	52
33	10331	37	83	12318	42	33	14547	48	83	17034	52
34	10368	38	84	12360	42	34	14595	47	84	17086	53
35	10406	37	85	12402	43	35	14642	47	85	17139	53
36	10443	38	86	12445	42	36	14689	48	86	17192	52
37	10481	38	87	12487	43	37	14737	47	87	17244	53
38	10519	38	88	12530	42	38	14784	48	88	17297	53
39	10557	38	89	12572	43	39	14832	48	89	17350	53
8.40	0.0010595	38	8.90	0.0012615	43	9.40	0.0014880	48	9.90	0.0017403	54
41	10633	38	91	12658	43	41	14928	48	91	17457	53
42	10671	39	92	12701	43	42	14976	48	92	17510	53
43	10710	38	93	12744	43	43	15024	48	93	17563	54
44	10748	38	94	12787	43	44	15072	48	94	17617	54
45	10786	39	95	12830	44	45	15120	49	95	17671	53
46	10825	39	96	12874	43	46	15169	48	96	17724	54
47	10864	38	97	12917	44	47	15217	49	97	17778	54
48	10902	39	98	12961	43	48	15266	48	98	17832	54
49	10941	39	99	13004	44	49	15314	49	99	17886	55
8.50	0.0010980		9.00	0.0013048		9.50	0.0015363		10.00	0.0017941	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
10.00	0.0017941	54	10.50	0.0020795	60	11.00	0.0023941	66	11.50	0.0027394	73
01	17995	54	51	20855	60	01	24007	66	51	27467	72
02	18049	55	52	20915	60	02	24073	66	52	27539	73
03	18104	55	53	20975	60	03	24139	67	53	27612	72
04	18159	54	54	21035	61	04	24206	66	54	27684	73
05	18213	55	55	21096	61	05	24272	67	55	27757	73
06	18268	55	56	21157	60	06	24339	67	56	27830	73
07	18323	55	57	21217	61	07	24406	66	57	27903	73
08	18378	55	58	21278	61	08	24472	67	58	27976	74
09	18433	56	59	21339	61	09	24539	68	59	28050	73
10.10	0.0018489	55	10.60	0.0021400	61	11.10	0.0024607	67	11.60	0.0028123	74
11	18544	56	61	21461	62	11	24674	67	61	28197	74
12	18600	55	62	21523	61	12	24741	68	62	28271	73
13	18655	56	63	21584	62	13	24809	67	63	28344	74
14	18711	56	64	21646	61	14	24876	68	64	28418	75
15	18767	56	65	21707	62	15	24944	68	65	28493	74
16	18823	56	66	21769	62	16	25012	68	66	28567	74
17	18879	56	67	21831	62	17	25080	68	67	28641	75
18	18935	57	68	21893	62	18	25148	68	68	28716	74
19	18992	56	69	21955	62	19	25216	69	69	28790	75
10.20	0.0019048	57	10.70	0.0022017	63	11.20	0.0025285	68	11.70	0.0028865	75
21	19105	56	71	22080	62	21	25353	69	71	28940	75
22	19161	57	72	22142	63	22	25422	68	72	29015	75
23	19218	57	73	22205	63	23	25490	69	73	29090	76
24	19275	57	74	22268	62	24	25559	69	74	29166	75
25	19332	57	75	22330	63	25	25628	69	75	29241	76
26	19389	57	76	22393	63	26	25697	70	76	29317	75
27	19446	58	77	22456	64	27	25767	69	77	29392	76
28	19504	57	78	22520	63	28	25836	69	78	29468	76
29	19561	58	79	22583	63	29	25905	70	79	29544	76
10.30	0.0019619	58	10.80	0.0022646	64	11.30	0.0025975	70	11.80	0.0029620	77
31	19677	57	81	22710	64	31	26045	70	81	29697	76
32	19734	58	82	22774	64	32	26115	70	82	29773	76
33	19792	58	83	22838	63	33	26185	70	83	29849	77
34	19850	59	84	22901	64	34	26255	70	84	29926	77
35	19909	58	85	22965	65	35	26325	71	85	30003	77
36	19967	58	86	23030	64	36	26396	70	86	30080	77
37	20025	59	87	23094	64	37	26466	71	87	30157	77
38	20084	58	88	23158	65	38	26537	70	88	30234	77
39	20142	59	89	23223	65	39	26607	71	89	30311	78
10.40	0.0020201	59	10.90	0.0023288	64	11.40	0.0026678	71	11.90	0.0030389	77
41	20260	59	91	23352	65	41	26749	72	91	30466	78
42	20319	59	92	23417	65	42	26821	71	92	30544	78
43	20378	59	93	23482	65	43	26892	71	93	30622	78
44	20437	59	94	23547	66	44	26963	72	94	30700	78
45	20496	60	95	23613	65	45	27035	71	95	30778	78
46	20556	59	96	23678	66	46	27106	72	96	30856	79
47	20615	60	97	23744	65	47	27178	72	97	30935	78
48	20675	60	98	23809	66	48	27250	72	98	31013	79
49	20735	60	99	23875	66	49	27322	72	99	31092	79
10.50	0.0020795		11.00	0.0023941		11.50	0.0027394		12.00	0.0031171	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
12.00	0.0031171	78	12.50	0.0035285	86	13.00	0.0039754	93	13.50	0.0044593	101
01	31249	79	51	35371	86	01	39847	93	51	44694	101
02	31328	80	52	35457	86	02	39940	94	52	44795	101
03	31408	79	53	35543	86	03	40034	93	53	44896	101
04	31487	79	54	35629	87	04	40127	94	54	44997	101
05	31566	80	55	35716	86	05	40221	94	55	45098	101
06	31646	80	56	35802	87	06	40315	94	56	45199	102
07	31726	80	57	35889	87	07	40409	94	57	45301	102
08	31806	80	58	35976	87	08	40503	94	58	45403	102
09	31886	80	59	36063	87	09	40597	95	59	45505	102
12.10	0.0031966	80	12.60	0.0036150	87	13.10	0.0040692	94	13.60	0.0045607	102
11	32046	81	61	36237	88	11	40786	95	61	45709	102
12	32127	80	62	36325	87	12	40881	95	62	45811	103
13	32207	81	63	36412	88	13	40976	95	63	45914	103
14	32288	81	64	36500	88	14	41071	95	64	46017	103
15	32369	81	65	36588	88	15	41166	95	65	46120	103
16	32450	81	66	36676	88	16	41261	96	66	46223	103
17	32531	81	67	36764	88	17	41357	95	67	46326	103
18	32612	81	68	36852	89	18	41452	96	68	46429	104
19	32693	82	69	36941	88	19	41548	96	69	46533	103
12.20	0.0032775	81	12.70	0.0037029	89	13.20	0.0041644	96	13.70	0.0046636	104
21	32856	82	71	37118	89	21	41740	97	71	46740	104
22	32938	82	72	37207	89	22	41837	96	72	46844	104
23	33020	82	73	37296	89	23	41933	96	73	46948	104
24	33102	83	74	37385	89	24	42029	97	74	47052	105
25	33185	82	75	37474	90	25	42126	97	75	47157	104
26	33267	82	76	37564	89	26	42223	97	76	47261	105
27	33349	83	77	37653	90	27	42320	97	77	47366	105
28	33432	83	78	37743	90	28	42417	97	78	47471	105
29	33515	83	79	37833	90	29	42514	98	79	47576	105
12.30	0.0033598	83	12.80	0.0037923	90	13.30	0.0042612	98	13.80	0.0047681	106
31	33681	83	81	38013	90	31	42710	97	81	47787	105
32	33764	83	82	38103	91	32	42807	98	82	47892	106
33	33847	84	83	38194	90	33	42905	98	83	47998	106
34	33931	83	84	38284	91	34	43003	98	84	48104	106
35	34014	84	85	38275	91	35	43101	99	85	48210	106
36	34098	84	86	38466	91	36	43200	98	86	48316	106
37	34182	84	87	38557	91	37	43298	99	87	48422	107
38	34266	84	88	38648	92	38	43397	99	88	48529	106
39	34350	84	89	38740	91	39	43496	99	89	48635	107
12.40	0.0034434	85	12.90	0.0038831	92	13.40	0.0043595	99	13.90	0.0048742	107
41	34519	84	91	38923	91	41	43694	99	91	48849	107
42	34603	85	92	39014	92	42	43793	100	92	48956	108
43	34688	85	93	39106	92	43	43893	99	93	49064	107
44	34773	85	94	39198	93	44	43992	100	94	49171	108
45	34858	85	95	39291	92	45	44092	100	95	49279	107
46	34943	85	96	39383	92	46	44192	100	96	49386	108
47	35028	86	97	39475	93	47	44292	100	97	49494	108
48	35114	85	98	39568	93	48	44392	101	98	49602	109
49	35199	86	99	39661	93	49	44493	100	99	49711	108
12.50	0.0035285		13.00	0.0039754		13.50	0.0044593		14.00	0.0049819	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
14.00	0.0049819	109	14.50	0.0055448	117	15.00	0.0061498	125	15.50	0.0067985	134
01	49928	108	51	55565	117	01	61623	126	51	68119	135
02	50036	109	52	55682	117	02	61749	126	52	68254	135
03	50145	109	53	55799	118	03	61875	126	53	68389	134
04	50254	110	54	55917	117	04	62001	126	54	68523	136
05	50364	109	55	56034	118	05	62127	126	55	68659	135
06	50473	110	56	56152	118	06	62253	127	56	68794	135
07	50583	109	57	56270	118	07	62380	126	57	68929	136
08	50692	110	58	56388	118	08	62506	127	58	69065	136
09	50802	110	59	56506	118	09	62633	127	59	69201	136
14.10	0.0050912	110	14.60	0.0056624	119	15.10	0.0062760	127	15.60	0.0069337	136
11	51022	111	61	56743	118	11	62887	127	61	69473	136
12	51133	110	62	56861	119	12	63014	128	62	69609	137
13	51243	111	63	56980	119	13	63142	128	63	69746	136
14	51354	111	64	57099	119	14	63270	127	64	69882	137
15	51465	111	65	57218	120	15	63397	128	65	70019	137
16	51576	111	66	57338	119	16	63525	129	66	70156	137
17	51687	111	67	57457	120	17	63654	128	67	70293	138
18	51798	112	68	57577	120	18	63782	129	68	70431	137
19	51910	111	69	57697	120	19	63911	128	69	70568	138
14.20	0.0052021	112	14.70	0.0057817	120	15.20	0.0064059	129	15.70	0.0070706	138
21	52133	112	71	57937	120	21	64188	129	71	70844	138
22	52246	112	72	58057	121	22	64317	130	72	70982	139
23	52357	113	73	58178	121	23	64447	129	73	71121	138
24	52470	112	74	58299	121	24	64576	130	74	71259	139
25	52582	113	75	58420	121	25	64706	130	75	71398	139
26	52695	113	76	58541	121	26	64836	130	76	71537	139
27	52808	113	77	58662	121	27	64966	130	77	71676	139
28	52921	113	78	58783	122	28	65096	130	78	71815	140
29	53034	113	79	58905	122	29	65226	131	79	71955	140
14.30	0.0053147	114	14.80	0.0059027	122	15.30	0.0065357	130	15.80	0.0072095	139
31	53261	113	81	59149	122	31	65487	131	81	72234	140
32	53374	114	82	59271	122	32	65618	131	82	72374	141
33	53488	114	83	59393	122	33	65749	132	83	72515	140
34	53602	114	84	59515	123	34	65881	131	84	72655	141
35	53716	115	85	59638	123	35	66012	132	85	72796	140
36	53831	114	86	59761	123	36	66144	131	86	72936	141
37	53945	115	87	59884	123	37	66275	132	87	73077	142
38	54060	115	88	60007	123	38	66407	133	88	73219	141
39	54175	114	89	60130	124	39	66540	132	89	73360	141
14.40	0.0054289	116	14.90	0.0060254	123	15.40	0.0066672	132	15.90	0.0073501	142
41	54405	115	91	60377	124	41	66804	133	91	73643	142
42	54520	115	92	60501	124	42	66937	133	92	73785	142
43	54635	116	93	60625	124	43	67070	133	93	73927	142
44	54751	116	94	60749	125	44	67203	133	94	74069	143
45	54867	116	95	60874	124	45	67336	134	95	74212	143
46	54983	116	96	60998	125	46	67470	133	96	74355	142
47	55099	116	97	61123	125	47	67603	134	97	74497	143
48	55215	117	98	61248	125	48	67737	134	98	74640	144
49	55332	116	99	61373	125	49	67871	134	99	74784	143
14.50	0.0055448		15.00	0.0061498		15.50	0.0067985		16.00	0.0074927	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
16.00	0.0074927	144	16.50	0.0082342	153	17.00	0.0090247	163	17.50	0.0098662	173
01	75071	143	51	82495	153	01	90410	164	51	98835	174
02	75214	144	52	82648	154	02	90574	163	52	99009	174
03	75358	145	53	82802	154	03	90737	164	53	99183	174
04	75503	144	54	82956	154	04	90901	164	54	99357	175
05	75647	144	55	83110	154	05	91065	165	55	99532	175
06	75791	145	56	83264	154	06	91230	164	56	99707	174
07	75936	145	57	83418	155	07	91394	165	57	99881	176
08	76081	145	58	83573	155	08	91559	165	58	0.0100057	175
09	76226	146	59	83728	155	09	91724	165	59	00232	175
16.10	0.0076372	145	16.60	0.0083883	155	17.10	0.0091889	165	17.60	0.0100407	176
11	76517	146	61	84038	156	11	92054	165	61	00583	176
12	76663	146	62	84194	155	12	92219	166	62	00759	176
13	76809	146	63	84349	156	13	92385	166	63	00935	177
14	76955	146	64	84505	156	14	92551	166	64	01112	176
15	77101	146	65	84661	156	15	92717	166	65	01288	177
16	77247	147	66	84817	157	16	92883	167	66	01465	177
17	77394	147	67	84974	156	17	93050	167	67	01642	177
18	77541	147	68	85130	157	18	93217	167	68	01819	178
19	77688	147	69	85287	157	19	93384	167	69	01997	177
16.20	0.0077835	148	16.70	0.0085444	157	17.20	0.0093551	167	17.70	0.0102174	178
21	77983	147	71	85601	158	21	93718	168	71	02352	178
22	78130	148	72	85759	157	22	93886	167	72	02530	179
23	78278	148	73	85916	158	23	94053	168	73	02709	178
24	78426	148	74	86074	158	24	94221	169	74	02887	179
25	78574	149	75	86232	158	25	94390	168	75	03066	179
26	78723	148	76	86390	158	26	94558	169	76	03245	179
27	78871	149	77	86548	159	27	94727	168	77	03424	179
28	79020	149	78	86707	159	28	94895	169	78	03603	180
29	79169	149	79	86866	159	29	95064	170	79	03783	180
16.30	0.0079318	149	16.80	0.0087025	159	17.30	0.0095234	169	17.80	0.0103963	180
31	79467	150	81	87184	159	31	95403	170	81	04143	180
32	79617	150	82	87343	160	32	95573	169	82	04323	180
33	79767	149	83	87503	160	33	95742	170	83	04503	181
34	79916	151	84	87663	160	34	95912	171	84	04684	181
35	80067	150	85	87823	160	35	96083	170	85	04865	181
36	80217	150	86	87983	160	36	96253	171	86	05046	181
37	80367	151	87	88143	161	37	96424	171	87	05227	182
38	80518	151	88	88304	161	38	96595	171	88	05409	182
39	80669	151	89	88465	161	39	96766	171	89	05591	182
16.40	0.0080820	151	16.90	0.0088626	161	17.40	0.0096937	172	17.90	0.0105773	182
41	80971	152	91	88787	161	41	97109	171	91	05955	182
42	81123	152	92	88948	162	42	97280	172	92	06137	183
43	81275	151	93	89110	162	43	97452	172	93	06320	183
44	81426	152	94	89272	162	44	97624	173	94	06503	183
45	81578	153	95	89434	162	45	97797	172	95	06686	183
46	81731	152	96	89596	163	46	97969	173	96	06869	184
47	81883	153	97	89759	162	47	98142	173	97	07053	183
48	82036	153	98	89921	163	48	98315	173	98	07236	184
49	82189	153	99	90084	163	49	98488	174	99	07420	184
16.50	0.0082342		17.00	0.0090247		17.50	0.0098662		18.00	0.0107604	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
18.00	0.0107604	185	18.50	0.0117094	196	19.00	0.0127151	207	19.50	0.0137794	219
01	07789	184	51	17290	195	01	27358	207	51	38013	219
02	07973	185	52	17485	196	02	27565	207	52	38232	219
03	08158	185	53	17681	196	03	27772	208	53	38451	220
04	08343	185	54	17877	197	04	27980	208	54	38671	220
05	08528	186	55	18074	197	05	28188	208	55	38891	220
06	08714	185	56	18271	196	06	28396	209	56	39111	221
07	08899	186	57	18467	198	07	28605	209	57	39332	220
08	09085	187	58	18665	197	08	28814	208	58	39552	221
09	09272	186	59	18862	197	09	29022	210	59	39773	221
18.10	0.0109458	186	18.60	0.0119059	198	19.10	0.0129232	209	19.60	0.0139994	222
11	09644	187	61	19257	198	11	29441	210	61	40216	222
12	09831	187	62	19455	198	12	29651	210	62	40438	221
13	10018	187	63	19653	199	13	29861	210	63	40659	223
14	10205	188	64	19852	199	14	30071	210	64	40882	222
15	10393	188	65	20051	199	15	30281	211	65	41104	223
16	10581	187	66	20250	199	16	30492	210	66	41327	223
17	10768	189	67	20449	199	17	30702	211	67	41550	223
18	10957	188	68	20648	200	18	30913	212	68	41773	223
19	11145	188	69	20848	200	19	31125	211	69	41996	224
18.20	0.0111333	189	18.70	0.0121048	200	19.20	0.0131336	212	19.70	0.0142220	224
21	11522	189	71	21248	200	21	31548	212	71	42444	224
22	11711	189	72	21448	200	22	31760	212	72	42668	224
23	11900	190	73	21648	201	23	31972	213	73	42892	225
24	12090	190	74	21849	201	24	32185	213	74	43117	225
25	12280	189	75	22050	201	25	32398	212	75	43342	225
26	12469	191	76	22251	202	26	32610	214	76	43567	225
27	12660	190	77	22453	202	27	32824	213	77	43792	226
28	12850	190	78	22655	202	28	33037	214	78	44018	226
29	13040	191	79	22857	202	29	33251	214	79	44244	226
18.30	0.0113231	191	18.80	0.0123059	202	19.30	0.0133465	214	19.80	0.0144470	226
31	13422	192	81	23261	203	31	33679	214	81	44696	227
32	13614	191	82	23464	203	32	33893	215	82	44923	226
33	13805	192	83	23667	203	33	34108	215	83	45149	227
34	13997	192	84	23870	203	34	34323	215	84	45376	228
35	14189	192	85	24073	203	35	34538	215	85	45604	227
36	14381	192	86	24276	204	36	34753	216	86	45831	228
37	14573	193	87	24480	204	37	34969	216	87	46059	228
38	14766	192	88	24684	204	38	35185	216	88	46287	229
39	14958	193	89	24888	205	39	35401	216	89	46516	228
18.40	0.0115151	194	18.90	0.0125093	205	19.40	0.0135617	217	19.90	0.0146744	229
41	15345	193	91	25298	205	41	35834	217	91	46973	229
42	15538	194	92	25503	205	42	36051	217	92	47202	230
43	15732	194	93	25708	205	43	36268	217	93	47432	229
44	15926	194	94	25913	206	44	36485	217	94	47661	230
45	16120	194	95	26119	206	45	36702	218	95	47891	230
46	16314	195	96	26325	206	46	36920	218	96	48121	230
47	16509	195	97	26531	206	47	37138	218	97	48351	231
48	16704	195	98	26737	207	48	37356	219	98	48582	231
49	16899	195	99	26944	207	49	37575	219	99	48813	231
18.50	0.0117094		19.00	0.0127151		19.50	0.0137794		20.00	0.0149044	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
20.00	0.0149044	231	20.50	0.0160922	244	21.00	0.0173449	257	21.50	0.0186647	271
01	49275	232	51	61166	244	01	73706	258	51	86918	271
02	49507	232	52	61410	245	02	73964	258	52	87189	272
03	49739	232	53	61655	245	03	74222	258	53	87461	271
04	49971	232	54	61900	245	04	74480	258	54	87732	272
05	50203	233	55	62145	245	05	74738	259	55	88004	273
06	50436	232	56	62390	246	06	74997	259	56	88277	272
07	50668	234	57	62636	246	07	75256	259	57	88549	273
08	50902	233	58	62882	246	08	75515	259	58	88822	273
09	51135	234	59	63128	247	09	75774	260	59	89095	274
20.10	0.0151369	233	20.60	0.0163375	246	21.10	0.0176034	260	21.60	0.0189369	274
11	51602	235	61	63621	247	11	76294	260	61	89643	274
12	51837	234	62	63868	248	12	76554	261	62	89917	274
13	52071	234	63	64116	247	13	76815	261	63	90191	275
14	52305	235	64	64363	248	14	77076	261	64	90466	274
15	52540	235	65	64611	248	15	77337	261	65	90740	276
16	52775	236	66	64859	248	16	77598	262	66	91016	275
17	53011	235	67	65107	249	17	77860	262	67	91291	276
18	53246	236	68	65356	248	18	78122	262	68	91567	276
19	53482	237	69	65604	250	19	78384	262	69	91843	276
20.20	0.0153719	236	20.70	0.0165854	249	21.20	0.0178646	263	21.70	0.0192119	276
21	53955	237	71	66103	250	21	78909	263	71	92395	277
22	54192	236	72	66353	249	22	79172	263	72	92672	277
23	54428	238	73	66602	250	23	79435	264	73	92949	278
24	54666	237	74	66852	251	24	79699	264	74	93227	277
25	54903	238	75	67103	251	25	79963	264	75	93504	278
26	55141	238	76	67354	250	26	80227	264	76	93782	279
27	55379	238	77	67604	252	27	80491	265	77	94061	278
28	55617	238	78	67856	251	28	80756	265	78	94339	279
29	55855	239	79	68107	252	29	81021	265	79	94618	279
20.30	0.0156094	239	20.80	0.0168359	252	21.30	0.0181286	265	21.80	0.0194897	279
31	56333	239	81	68611	252	31	81551	266	81	95176	280
32	56572	240	82	68863	253	32	81817	266	82	95456	280
33	56812	239	83	69116	252	33	82083	266	83	95736	280
34	57051	240	84	69368	253	34	82349	267	84	96016	280
35	57291	240	85	69621	254	35	82616	267	85	96296	281
36	57531	241	86	69875	253	36	82883	267	86	96577	281
37	57772	241	87	70128	254	37	83150	267	87	96858	282
38	58013	241	88	70382	254	38	83417	268	88	97140	281
39	58254	241	89	70636	255	39	83685	268	89	97421	282
20.40	0.0158495	242	20.90	0.0170891	254	21.40	0.0183953	268	21.90	0.0197703	282
41	58737	241	91	71145	255	41	84221	268	91	97985	283
42	58978	242	92	71400	255	42	84489	269	92	98268	283
43	59220	243	93	71655	256	43	84758	269	93	98551	283
44	59463	243	94	71911	255	44	85027	269	94	98834	283
45	59705	243	95	72166	256	45	85296	270	95	99117	284
46	59948	243	96	72422	257	46	85566	270	96	99401	283
47	60191	243	97	72679	256	47	85836	270	97	99684	285
48	60434	244	98	72935	257	48	86106	270	98	0.0199969	284
49	60678	244	99	73192	257	49	86376	271	99	0.0200253	285
20.50	0.0160922		21.00	0.0173449		21.50	0.0186647		22.00	0.0200538	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
22.00	0.0200538	285	22.50	0.0215145	299	**23.00**	0.0230491	315	23.50	0.0246600	330
01	00823	285	51	15444	300	01	30806	314	51	46930	331
02	01108	286	52	15744	300	02	31120	316	52	47261	330
03	01394	286	53	16044	301	03	31436	315	53	47591	331
04	01680	286	54	16345	301	04	31751	316	54	47922	332
05	01966	286	55	16646	301	05	32067	316	55	48254	332
06	02252	287	56	16947	301	06	32383	317	56	48586	332
07	02539	287	57	17248	302	07	32700	316	57	48918	332
08	02826	288	58	17550	302	08	33016	318	58	49250	333
09	03114	287	59	17852	302	09	33334	317	59	49583	333
22.10	0.0203401	288	22.60	0.0218154	303	23.10	0.0233651	318	23.60	0.0249916	333
11	03689	288	61	18457	303	11	33969	318	61	50249	333
12	03977	289	62	18760	303	12	34287	318	62	50582	334
13	04266	289	63	19063	303	13	34605	318	63	50916	335
14	04555	289	64	19366	304	14	34923	319	64	51251	334
15	04844	289	65	19670	304	15	35242	320	65	51585	335
16	05133	290	66	19974	304	16	35562	319	66	51920	335
17	05423	290	67	20278	305	17	35881	320	67	52255	336
18	05713	290	68	20583	305	18	36201	320	68	52591	336
19	06003	290	69	20888	305	19	36521	321	69	52927	336
22.20	0.0206293	291	22.70	0.0221193	306	23.20	0.0236842	320	23.70	0.0253263	336
21	06584	291	71	21499	306	21	37162	321	71	53599	337
22	06875	292	72	21805	306	22	37483	322	72	53936	337
23	07167	291	73	22111	306	23	37805	322	73	54273	338
24	07458	292	74	22417	307	24	38127	322	74	54611	337
25	07750	293	75	22724	307	25	38449	322	75	54948	338
26	08043	292	76	23031	307	26	38771	322	76	55286	339
27	08335	293	77	23338	308	27	39093	323	77	55625	339
28	08628	293	78	23646	308	28	39416	324	78	55964	339
29	08921	294	79	23954	308	29	39740	323	79	56303	339
22.30	0.0209215	293	22.80	0.0224262	309	23.30	0.0240063	324	23.80	0.0256642	340
31	09508	294	81	24571	309	31	40387	324	81	56982	340
32	09802	295	82	24880	309	32	40711	325	82	57322	340
33	10097	294	83	25189	309	33	41036	325	83	57662	341
34	10391	295	84	25498	310	34	41361	325	84	58003	340
35	10686	295	85	25808	310	35	41686	325	85	58343	342
36	10981	296	86	26118	310	36	42011	326	86	58685	341
37	11277	296	87	26428	311	37	42337	326	87	59026	342
38	11573	296	88	26739	311	38	42663	326	88	59368	343
39	11869	296	89	27050	311	39	42989	327	89	59711	342
22.40	0.0212165	297	22.90	0.0227361	312	23.40	0.0243316	327	23.90	0.0260053	343
41	12462	297	91	27673	312	41	43643	327	91	60396	343
42	12759	297	92	27985	312	42	43970	328	92	60739	344
43	13056	297	93	28297	313	43	44298	328	93	61083	344
44	13353	298	94	28610	312	44	44626	328	94	61427	344
45	13651	298	95	28922	313	45	44954	329	95	61771	344
46	13949	299	96	29235	314	46	45283	328	96	62115	345
47	14248	298	97	29549	314	47	45611	330	97	62460	345
48	14546	300	98	29863	314	48	45941	329	98	62805	346
49	14846	299	99	30177	314	49	46270	330	99	63151	346
22.50	0.0215145		23.00	0.0230491		23.50	0.0246600		24.00	0.0263497	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
24.00	0.0263497	346	24.50	0.0281206	363	25.00	0.0299753	380	25.50	0.0319166	397
01	63843	346	51	81569	363	01	0.0300133	380	51	19563	398
02	64189	347	52	81932	363	02	00513	381	52	19961	398
03	64536	347	53	82295	363	03	00894	380	53	20359	398
04	64883	348	54	82658	364	04	01274	381	54	20757	399
05	65231	347	55	83022	365	05	01655	382	55	21156	399
06	65578	348	56	83387	364	06	02037	382	56	21555	399
07	65926	349	57	83751	365	07	02419	382	57	21954	400
08	66275	349	58	84116	366	08	02801	382	58	22354	400
09	66624	349	59	84482	366	09	03183	383	59	22754	400
24.10	0.0266973	349	24.60	0.0284848	366	25.10	0.0303566	383	25.60	0.0323154	401
11	67322	350	61	85214	366	11	03949	384	61	23555	401
12	67672	350	62	85580	367	12	04333	383	62	23956	402
13	68022	350	63	85947	367	13	04716	385	63	24358	402
14	68372	351	64	86314	367	14	05101	384	64	24760	402
15	68723	351	65	86681	368	15	05485	385	65	25162	403
16	69074	351	66	87049	368	16	05870	385	66	25565	403
17	69425	352	67	87417	368	17	06255	386	67	25968	403
18	69777	352	68	87785	369	18	06641	386	68	26371	404
19	70129	352	69	88154	369	19	07027	386	69	26775	404
24.20	0.0270481	353	24.70	0.0288523	369	25.20	0.0307413	387	25.70	0.0327179	404
21	70834	353	71	88892	370	21	07800	387	71	27583	405
22	71187	353	72	89262	370	22	08187	387	72	27988	405
23	71540	354	73	89632	370	23	08574	388	73	28393	406
24	71894	354	74	90002	371	24	08962	388	74	28799	406
25	72248	354	75	90373	371	25	09350	388	75	29205	406
26	72602	355	76	90744	372	26	09738	389	76	29611	406
27	72957	355	77	91116	372	27	10127	389	77	30017	407
28	73312	355	78	91488	372	28	10516	390	78	30424	408
29	73667	356	79	91860	372	29	10906	389	79	30832	407
24.30	0.0274023	356	24.80	0.0292232	373	25.30	0.0311295	390	25.80	0.0331239	408
31	74379	356	81	92605	373	31	11685	391	81	31647	409
32	74735	357	82	92978	374	32	12076	391	82	32056	409
33	75092	357	83	93352	373	33	12467	391	83	32465	409
34	75449	357	84	93725	375	34	12858	392	84	32874	409
35	75806	358	85	94100	374	35	13250	392	85	33283	410
36	76164	358	86	94474	375	36	13642	392	86	33693	410
37	76522	358	87	94849	375	37	14034	392	87	34103	411
38	76880	359	88	95224	376	38	14426	393	88	34514	411
39	77239	359	89	95600	376	39	14819	394	89	34925	411
24.40	0.0277598	359	24.90	0.0295976	376	25.40	0.0315213	394	25.90	0.0335336	412
41	77957	360	91	96352	376	41	15607	394	91	35748	412
42	78317	360	92	96728	377	42	16001	394	92	36160	413
43	78677	360	93	97105	378	43	16395	395	93	36573	412
44	79037	361	94	97483	377	44	16790	395	94	36985	414
45	79398	361	95	97860	378	45	17185	395	95	37399	413
46	79759	361	96	98238	378	46	17580	396	96	37812	414
47	80120	362	97	98616	379	47	17976	396	97	38226	414
48	80482	362	98	98995	379	48	18372	397	98	38640	415
49	80844	362	99	99374	379	49	18769	397	99	39055	415
24.50	0.0281206		25.00	0.0299753		25.50	0.0319166		26.00	0.0339470	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
26.00	0.0339470	415	26.50	0.0360694	434	27.00	0.0382866	453	27.50	0.0406015	473
01	39885	416	51	61128	434	01	83319	454	51	06488	474
02	40301	416	52	61562	435	02	83773	454	52	06962	474
03	40717	417	53	61997	435	03	84227	454	53	07436	474
04	41134	416	54	62432	436	04	84681	455	54	07910	475
05	41550	418	55	62868	436	05	85136	455	55	08385	475
06	41968	417	56	63304	436	06	85591	456	56	08860	476
07	42385	418	57	63740	437	07	86047	456	57	09336	476
08	42803	418	58	64177	437	08	86503	456	58	09812	476
09	43221	419	59	64614	437	09	86959	457	59	10288	477
26.10	0.0343640	419	26.60	0.0365051	438	27.10	0.0387416	457	27.60	0.0410765	477
11	44059	420	61	65489	438	11	87873	458	61	11242	478
12	44479	419	62	65927	439	12	88331	458	62	11720	478
13	44898	421	63	66366	439	13	88789	459	63	12198	478
14	45319	420	64	66805	439	14	89248	458	64	12676	479
15	45739	421	65	67244	440	15	89706	460	65	13155	479
16	46160	421	66	67684	440	16	90166	459	66	13634	480
17	46581	422	67	68124	441	17	90625	460	67	14114	480
18	47003	422	68	68565	441	18	91085	461	68	14594	480
19	47425	422	69	69006	441	19	91546	460	69	15074	481
26.20	0.0347847	423	26.70	0.0369447	442	27.20	0.0392006	462	27.70	0.0415555	482
21	48270	423	71	69889	442	21	92468	461	71	16037	481
22	48693	424	72	70331	442	22	92929	462	72	16518	482
23	49117	424	73	70773	443	23	93391	462	73	17000	483
24	49541	424	74	71216	443	24	93853	463	74	17483	483
25	49965	425	75	71659	444	25	94316	463	75	17966	483
26	50390	425	76	72103	444	26	94779	464	76	18449	484
27	50815	425	77	72547	444	27	95243	464	77	18933	484
28	51240	426	78	72991	445	28	95707	464	78	19417	485
29	51666	426	79	73436	445	29	96171	465	79	19902	485
26.30	0.0352092	426	26.80	0.0373881	446	27.30	0.0396636	465	27.80	0.0420387	485
31	52518	427	81	74327	446	31	97101	466	81	20872	486
32	52945	428	82	74773	446	32	97567	466	82	21358	486
33	53373	427	83	75219	447	33	98033	466	83	21844	487
34	53800	428	84	75666	447	34	98499	467	84	22331	487
35	54228	429	85	76113	447	35	98966	467	85	22818	487
36	54657	428	86	76560	448	36	99433	467	86	23305	488
37	55085	429	87	77008	448	37	99900	468	87	23793	488
38	55514	430	88	77456	449	38	0.0400368	469	88	24281	489
39	55944	430	89	77905	449	39	00837	469	89	24770	489
26.40	0.0356374	430	26.90	0.0378354	449	27.40	0.0401306	469	27.90	0.0425259	489
41	56804	431	91	78803	450	41	01775	469	91	25748	490
42	57235	431	92	79253	450	42	02244	470	92	26238	491
43	57666	431	93	79703	451	43	02714	471	93	26729	490
44	58097	432	94	80154	451	44	03185	470	94	27219	491
45	58529	432	95	80605	451	45	03655	471	95	27710	492
46	58961	433	96	81056	452	46	04126	472	96	28202	492
47	59394	433	97	81508	452	47	04598	472	97	28694	492
48	59827	433	98	81960	453	48	05070	472	98	29186	493
49	60260	434	99	82413	453	49	05542	473	99	29679	493
26.50	0.0360694		27.00	0.0382866		27.50	0.0406015		28.00	0.0430172	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
28.00	0.0430172	494	28.50	0.0455369	514	29.00	0.0481636	536	29.50	0.0509006	559
01	30666	494	51	55883	516	01	82172	537	51	09565	560
02	31160	495	52	56399	515	02	82709	537	52	10125	560
03	31655	494	53	56914	516	03	83246	538	53	10685	560
04	32149	496	54	57430	517	04	83784	539	54	11245	561
05	32645	495	55	57947	516	05	84323	538	55	11806	561
06	33140	497	56	58463	518	06	84861	539	56	12367	561
07	33637	496	57	58981	518	07	85400	540	57	12928	562
08	34133	497	58	59499	518	08	85940	540	58	13490	563
09	34630	498	59	60017	518	09	86480	540	59	14053	563
28.10	0.0435128	497	28.60	0.0460535	519	29.10	0.0487020	541	29.60	0.0514616	564
11	35625	499	61	61054	520	11	87561	542	61	15180	563
12	36124	498	62	61574	520	12	88103	542	62	15743	565
13	36622	499	63	62094	520	13	88645	542	63	16308	565
14	37121	500	64	62614	521	14	89187	543	64	16873	565
15	37621	500	65	63135	521	15	89730	543	65	17438	566
16	38121	500	66	63656	522	16	90273	543	66	18004	566
17	38621	501	67	64178	522	17	90816	544	67	18570	567
18	39122	501	68	64700	522	18	91360	545	68	19137	567
19	39623	501	69	65222	523	19	91905	545	69	19704	567
28.20	0.0440124	502	28.70	0.0465745	523	29.20	0.0492450	545	29.70	0.0520271	568
21	40626	503	71	66268	524	21	92995	546	71	20839	569
22	41129	503	72	66792	525	22	93541	546	72	21408	569
23	41632	503	73	67317	524	23	94087	547	73	21977	569
24	42135	504	74	67841	525	24	94634	547	74	22546	570
25	42639	504	75	68366	526	25	95181	548	75	23116	571
26	43143	504	76	68892	526	26	95729	548	76	23687	571
27	43647	505	77	69418	526	27	96277	548	77	24258	571
28	44152	506	78	69944	527	28	96825	549	78	24829	572
29	44658	505	79	70471	527	29	97374	550	79	25401	572
28.30	0.0445163	507	28.80	0.0470998	528	29.30	0.0497924	549	29.80	0.0525973	573
31	45670	506	81	71526	528	31	98473	551	81	26546	573
32	46176	507	82	72054	529	32	99024	550	82	27119	573
33	46683	508	83	72583	529	33	99574	552	83	27692	574
34	47191	508	84	73112	529	34	0.0500126	551	84	28266	575
35	47699	508	85	73641	530	35	00677	552	85	28841	575
36	48207	509	86	74171	530	36	01229	553	86	29416	575
37	48716	509	87	74701	531	37	01782	553	87	29991	576
38	49225	510	88	75232	531	38	02335	553	88	30567	577
39	49735	510	89	75763	532	39	02888	554	89	31144	577
28.40	0.0450245	510	28.90	0.0476295	532	29.40	0.0503442	555	29.90	0.0531721	577
41	50755	511	91	76827	533	41	03997	555	91	32298	578
42	51266	511	92	77360	533	42	04552	555	92	32876	578
43	51777	512	93	77893	533	43	05107	556	93	33454	579
44	52289	512	94	78426	534	44	05663	556	94	34033	579
45	52801	513	95	78960	534	45	06219	556	95	34612	580
46	53314	513	96	79494	535	46	06775	558	96	35192	580
47	53827	513	97	80029	535	47	07333	557	97	35772	580
48	54340	514	98	80564	536	48	07890	558	98	36352	581
49	54854	515	99	81100	536	49	08448	558	99	36933	582
28.50	0.0455369		29.00	0.0481636		29.50	0.0509006		30.00	0.0537515	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
30.00	0.0537515	582	30.50	0.0567196	606	31.00	0.0598086	630	31.50	0.0630221	655
01	38097	582	51	67802	606	01	98716	631	51	30876	657
02	38679	583	52	68408	607	02	99347	631	52	31533	656
03	39262	584	53	69015	607	03	99978	632	53	32189	658
04	39846	584	54	69622	608	04	0.0600610	632	54	32847	657
05	40430	584	55	70230	608	05	01242	633	55	33504	658
06	41014	585	56	70838	609	06	01875	634	56	34162	659
07	41599	585	57	71447	609	07	02509	633	57	34821	660
08	42184	586	58	72056	610	08	03142	635	58	35481	659
09	42770	586	59	72666	610	09	03777	635	59	36140	661
30.10	0.0543356	587	30.60	0.0573276	611	31.10	0.0604412	635	31.60	0.0636801	660
11	43943	587	61	73887	611	11	05047	636	61	37461	662
12	44530	588	62	74498	611	12	05683	636	62	38123	662
13	45118	588	63	75109	613	13	06319	637	63	38785	662
14	45706	589	64	75722	612	14	06956	638	64	39447	663
15	46295	589	65	76334	613	15	07594	637	65	40110	663
16	46884	589	66	76947	614	16	08231	639	66	40773	664
17	47473	590	67	77561	614	17	08870	639	67	41437	665
18	48063	591	68	78175	615	18	09509	639	68	42102	665
19	48654	591	69	78790	615	19	10148	640	69	42767	665
30.20	0.0549245	591	30.70	0.0579405	615	31.20	0.0610788	640	31.70	0.0643432	666
21	49836	592	71	80020	616	21	11428	641	71	44098	667
22	50428	592	72	80636	617	22	12069	642	72	44765	667
23	51020	593	73	81253	617	23	12711	642	73	45432	667
24	51613	594	74	81870	617	24	13353	642	74	46099	668
25	52207	593	75	82487	618	25	13995	643	75	46767	669
26	52800	595	76	83105	619	26	14638	643	76	47436	669
27	53395	595	77	83724	619	27	15281	644	77	48105	670
28	53990	595	78	84343	619	28	15925	645	78	48775	670
29	54585	596	79	84962	620	29	16570	645	79	49445	671
30.30	0.0555181	596	30.80	0.0585582	621	31.30	0.0617215	645	31.80	0.0650116	671
31	55777	596	81	86203	621	31	17860	646	81	50787	672
32	56373	598	82	86824	621	32	18506	647	82	51459	672
33	56971	597	83	87445	622	33	19153	647	83	52131	673
34	57568	598	84	88067	623	34	19800	647	84	52804	673
35	58166	599	85	88690	622	35	20447	648	85	53477	674
36	58765	599	86	89312	624	36	21095	649	86	54151	674
37	59364	600	87	89936	624	37	21744	649	87	54825	675
38	59964	600	88	90560	624	38	22393	649	88	55500	676
39	60564	600	89	91184	625	39	23042	650	89	56176	675
30.40	0.0561164	601	30.90	0.0591809	626	31.40	0.0623692	651	31.90	0.0656851	677
41	61765	602	91	92435	625	41	28343	651	91	57528	677
42	62367	602	92	93060	627	42	24994	651	92	58205	677
43	62969	602	93	93687	627	43	25645	652	93	58882	679
44	63571	603	94	94314	627	44	26297	653	94	59561	678
45	64174	603	95	94941	628	45	26950	653	95	60239	679
46	64777	604	96	95569	628	46	27603	654	96	60918	680
47	65381	605	97	96197	629	47	28257	654	97	61598	680
48	65986	605	98	96826	630	48	28911	655	98	62278	681
49	66591	605	99	97456	630	49	29566	655	99	62959	681
30.50	0.0567196		31.00	0.0598086		31.50	0.0630221		32.00	0.0663640	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
32.00	0.0663640	682	32.50	0.0698383	708	33.00	0.0734489	737	33.50	0.0772003	765
01	64322	682	51	99091	709	01	35226	737	51	72768	765
02	65004	683	52	99800	710	02	35963	737	52	73533	766
03	65687	683	53	0.0700510	710	03	36700	738	53	74299	767
04	66370	684	54	01220	711	04	37438	739	54	75066	767
05	67054	684	55	01931	712	05	38177	739	55	75833	768
06	67738	685	56	02643	711	06	38916	740	56	76601	768
07	68423	686	57	03354	713	07	39656	740	57	77369	769
08	69109	686	58	04067	713	08	40396	741	58	78138	770
09	69795	686	59	04780	713	09	41137	741	59	78908	770
32.10	0.0670481	687	32.60	0.0705493	715	33.10	0.0741878	742	33.60	0.0779678	771
11	71168	688	61	06208	714	11	42620	743	61	80449	771
12	71856	688	62	06922	715	12	43363	743	62	81220	772
13	72544	689	63	07637	716	13	44106	743	63	81992	772
14	73233	689	64	08353	716	14	44849	745	64	82764	773
15	73922	690	65	09069	717	15	45594	745	65	83537	774
16	74612	690	66	09786	718	16	46339	745	66	84311	774
17	75302	691	67	10504	718	17	47084	746	67	85085	775
18	75993	691	68	11222	718	18	47830	746	68	85860	775
19	76684	692	69	11940	719	19	48576	748	69	86635	776
32.20	0.0677376	692	32.70	0.0712659	720	33.20	0.0749324	747	33.70	0.0787411	777
21	78068	693	71	13379	720	21	50071	748	71	88188	777
22	78761	694	72	14099	721	22	50819	749	72	88965	778
23	79455	694	73	14820	721	23	51568	750	73	89743	778
24	80149	694	74	15541	722	24	52318	750	74	90521	779
25	80843	695	75	16263	722	25	53068	750	75	91300	780
26	81538	696	76	16985	723	26	53818	751	76	92080	780
27	82234	696	77	17708	724	27	54569	752	77	92860	780
28	82930	697	78	18432	724	28	55321	752	78	93640	782
29	83627	697	79	19156	724	29	56073	753	79	94422	782
32.30	0.0684324	698	32.80	0.0719880	725	33.30	0.0756826	753	33.80	0.0795204	782
31	85022	698	81	20605	726	31	57579	754	81	95986	783
32	85720	699	82	21331	726	32	58333	755	82	96769	784
33	86419	699	83	22057	727	33	59088	755	83	97553	784
34	87118	700	84	22784	728	34	59843	755	84	98337	785
35	87818	701	85	23512	728	35	60598	757	85	99122	785
36	88519	701	86	24240	728	36	61355	756	86	0.0799907	786
37	89220	701	87	24968	729	37	62111	758	87	0.0800693	787
38	89921	703	88	25697	730	38	62869	758	88	01480	787
39	90624	702	89	26427	730	39	63627	758	89	02267	788
32.40	0.0691326	703	32.90	0.0727157	731	33.40	0.0764385	760	33.90	0.0803055	788
41	92029	704	91	27888	731	41	65145	759	91	03843	789
42	92733	704	92	28619	732	42	65904	760	92	04632	790
43	93437	705	93	29351	732	43	66664	761	93	05422	790
44	94142	706	94	30083	733	44	67425	762	94	06212	791
45	94848	705	95	30816	734	45	68187	762	95	07003	791
46	95553	707	96	31550	734	46	68949	762	96	07794	792
47	96260	707	97	32284	734	47	69711	764	97	08586	793
48	96967	707	98	33018	736	48	70475	763	98	09379	793
49	97674	709	99	33754	735	49	71238	765	99	10172	794
32.50	0.0698383		33.00	0.0734489		33.50	0.0772003		34.00	0.0810966	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
34.00	0.0810966	794	34.50	0.0851424	824	35.00	0.0893423	856	35.50	0.0937012	888
01	11760	795	51	52248	826	01	94279	857	51	37900	889
02	12555	796	52	53074	826	02	95136	857	52	38789	890
03	13351	796	53	53900	826	03	95993	858	53	39679	890
04	14147	796	54	54726	827	04	96851	859	54	40569	891
05	14943	798	55	55553	828	05	97710	859	55	41460	892
06	15741	798	56	56381	829	06	98569	860	56	42352	892
07	16539	798	57	57210	829	07	0.0899429	860	57	43244	893
08	17337	799	58	58039	829	08	0.0900289	861	58	44137	893
09	18136	800	59	58868	831	09	01150	862	59	45030	895
34.10	0.0818936	801	34.60	0.0859699	831	35.10	0.0902012	862	35.60	0.0945925	895
11	19737	801	61	60530	831	11	02874	864	61	46820	895
12	20538	801	62	61361	832	12	03738	863	62	47715	896
13	21339	802	63	62193	833	13	04601	865	63	48611	897
14	22141	803	64	63026	833	14	05466	865	64	49508	898
15	22944	803	65	63859	834	15	06331	865	65	50406	898
16	23747	804	66	64693	835	16	07196	866	66	51304	899
17	24551	805	67	65528	835	17	08062	867	67	52203	899
18	25356	805	68	66363	836	18	08929	868	68	53102	901
19	26161	806	69	67199	837	19	09797	868	69	54003	901
34.20	0.0826967	806	34.70	0.0868036	837	35.20	0.0910665	869	35.70	0.0954904	901
21	27773	807	71	68873	838	21	11534	869	71	55805	902
22	28580	808	72	69711	838	22	12403	870	72	56707	903
23	29388	808	73	70549	839	23	13273	871	73	57610	904
24	30196	809	74	71388	840	24	14144	872	74	58514	904
25	31005	809	75	72228	840	25	15016	872	75	59418	905
26	31814	810	76	73068	841	26	15888	872	76	60323	905
27	32624	811	77	73909	841	27	16760	874	77	61228	906
28	33435	811	78	74750	842	28	17634	874	78	62134	907
29	34246	812	79	75592	843	29	18508	874	79	63041	908
34.30	0.0835058	813	34.80	0.0876435	844	35.30	0.0919382	876	35.80	0.0963949	908
31	35871	813	81	77279	844	31	20258	876	81	64857	909
32	36684	813	82	78123	844	32	21134	876	82	65766	909
33	37497	815	83	78967	846	33	22010	877	83	66675	911
34	38312	815	84	79813	846	34	22887	878	84	67586	910
35	39127	815	85	80659	846	35	23765	879	85	68496	912
36	39942	816	86	81505	847	36	24644	879	86	69408	912
37	40758	817	87	82352	848	37	25523	880	87	70320	913
38	41575	817	88	83200	848	38	26403	880	88	71233	914
39	42392	818	89	84048	850	39	27283	882	89	72147	914
34.40	0.0843210	819	34.90	0.0884898	849	35.40	0.0928165	881	35.90	0.0973061	915
41	44029	819	91	85747	851	41	29046	883	91	73976	915
42	44848	820	92	86598	851	42	29929	883	92	74891	916
43	45668	820	93	87449	851	43	30812	884	93	75807	917
44	46488	821	94	88300	852	44	31696	884	94	76724	918
45	47309	822	95	89152	853	45	32580	885	95	77642	918
46	48131	822	96	90005	854	46	33465	886	96	78560	919
47	48953	823	97	90859	854	47	34351	886	97	79479	920
48	49776	824	98	91713	855	48	35237	887	98	80399	920
49	50600	824	99	92568	855	49	36124	888	99	81319	921
34.50	0.0851424		35.00	0.0893423		35.50	0.0937012		36.00	0.0982240	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
36.00	0.0982240	922	36.50	0.1029159	956	37.00	0.1077822	992	37.50	0.1128285	1028
01	83162	922	51	30115	957	01	78814	992	51	29313	1029
02	84084	923	52	31072	957	02	79806	993	52	30342	1029
03	85007	924	53	32029	958	03	80799	993	53	31371	1031
04	85931	924	54	32987	959	04	81792	995	54	32402	1031
05	86855	925	55	33946	959	05	82787	995	55	33433	1031
06	87780	926	56	34905	961	06	83782	995	56	34464	1033
07	88706	926	57	35866	960	07	84777	997	57	35497	1033
08	89632	927	58	36826	962	08	85774	997	58	36530	1034
09	90559	928	59	37788	962	09	86771	998	59	37564	1035
36.10	0.0991487	928	36.60	0.1038750	963	37.10	0.1087769	999	37.60	0.1138599	1035
11	92415	929	61	39713	964	11	88768	999	61	39634	1036
12	93344	930	62	40677	964	12	89767	1000	62	40670	1037
13	94274	931	63	41641	966	13	90767	1001	63	41707	1038
14	95205	931	64	42607	965	14	91768	1002	64	42745	1039
15	96136	932	65	43572	967	15	92770	1002	65	43784	1039
16	97068	932	66	44539	967	16	93772	1003	66	44823	1040
17	98000	933	67	45506	968	17	94775	1004	67	45863	1040
18	98933	934	68	46474	969	18	95779	1004	68	46903	1042
19	99867	935	69	47443	969	19	96783	1005	69	47945	1042
36.20	0.1000802	935	36.70	0.1048412	970	37.20	0.1097788	1006	37.70	0.1148987	1043
21	01737	936	71	49382	971	21	98794	1007	71	50030	1044
22	02673	937	72	50353	971	22	99801	1007	72	51074	1044
23	03610	937	73	51324	972	23	0.1100808	1008	73	52118	1045
24	04547	938	74	52296	973	24	01816	1009	74	53163	1046
25	05485	939	75	53269	974	25	02825	1010	75	54209	1047
26	06424	939	76	54243	974	26	03835	1010	76	55256	1048
27	07363	940	77	55217	975	27	04845	1011	77	56304	1048
28	08303	941	78	56192	976	28	05856	1012	78	57352	1049
29	09244	941	79	57168	976	29	06868	1012	79	58401	1050
36.30	0.1010185	942	36.80	0.1058144	977	37.30	0.1107880	1014	37.80	0.1159451	1050
31	11127	943	81	59121	978	31	08894	1014	81	60501	1051
32	12070	944	82	60099	979	32	09908	1014	82	61552	1052
33	13014	944	83	61078	979	33	10922	1016	83	62604	1053
34	13958	945	84	62057	980	34	11938	1016	84	63657	1054
35	14903	945	85	63037	981	35	12954	1017	85	64711	1054
36	15848	946	86	64018	981	36	13971	1018	86	65765	1055
37	16794	947	87	64999	982	37	14989	1018	87	66820	1056
38	17741	948	88	65981	983	38	16007	1019	88	67876	1056
39	18689	948	89	66964	983	39	17026	1020	89	68932	1058
36.40	0.1019637	949	36.90	0.1067947	985	37.40	0.1118046	1021	37.90	0.1169990	1058
41	20586	950	91	68932	985	41	19067	1021	91	71048	1059
42	21536	951	92	69917	985	42	20088	1022	92	72107	1059
43	22487	951	93	70902	987	43	21110	1023	93	73166	1061
44	23438	951	94	71889	987	44	22133	1023	94	74227	1061
45	24389	953	95	72876	988	45	23156	1025	95	75288	1062
46	25342	953	96	73864	988	46	24181	1025	96	76350	1062
47	26295	954	97	74852	990	47	25206	1025	97	77412	1064
48	27249	955	98	75842	990	48	26231	1027	98	78476	1064
49	28204	955	99	76832	990	49	27258	1027	99	79540	1065
36.50	0.1029159		37.00	0.1077822		37.50	0.1128235		38.00	0.1180605	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
38.00	0.1180605	1066	38.50	0.1234842	1104	39.00	0.1291056	1145	39.50	0.1349313	1187
01	81671	1066	51	35946	1106	01	92201	1146	51	50500	1187
02	82737	1068	52	37052	1106	02	93347	1146	52	51687	1188
03	83805	1068	53	38158	1107	03	94493	1148	53	52875	1189
04	84873	1069	54	39265	1108	04	95641	1148	54	54064	1190
05	85942	1069	55	40373	1109	05	96789	1149	55	55254	1191
06	87011	1070	56	41482	1109	06	97938	1150	56	56445	1191
07	88081	1072	57	42591	1110	07	99088	1150	57	57636	1192
08	89153	1071	58	43701	1111	08	0.1300238	1152	58	58828	1194
09	90224	1073	59	44812	1112	09	01390	1152	59	60022	1194
38.10	0.1191297	1074	38.60	0.1245924	1113	39.10	0.1302542	1153	39.60	0.1361216	1195
11	92371	1074	61	47037	1113	11	03695	1154	61	62411	1195
12	93445	1075	62	48150	1115	12	04849	1155	62	63606	1197
13	94520	1076	63	49265	1115	13	06004	1156	63	64803	1197
14	95596	1076	64	50380	1115	14	07160	1156	64	66000	1199
15	96672	1077	65	51495	1117	15	08316	1157	65	67199	1199
16	97749	1078	66	52612	1117	16	09473	1158	66	68398	1200
17	98827	1079	67	53729	1119	17	10631	1159	67	69598	1201
18	99906	1080	68	54848	1119	18	11790	1160	68	70799	1201
19	0.1200986	1080	69	55967	1120	19	12950	1160	69	72000	1203
38.20	0.1202066	1081	38.70	0.1257087	1120	39.20	0.1314110	1162	39.70	0.1373203	1203
21	03147	1083	71	58207	1122	21	15272	1162	71	74406	1205
22	04229	1083	72	59329	1122	22	16434	1163	72	75611	1205
23	05312	1084	73	60451	1123	23	17597	1164	73	76816	1206
24	06396	1084	74	61574	1124	24	18761	1164	74	78022	1206
25	07480	1085	75	62698	1124	25	19925	1166	75	79228	1208
26	08565	1086	76	63822	1126	26	21091	1166	76	80436	1209
27	09651	1086	77	64948	1126	27	22257	1167	77	81645	1209
28	10737	1088	78	66074	1127	28	23424	1168	78	82854	1210
29	11825	1088	79	67201	1128	29	24592	1169	79	84064	1211
38.30	0.1212913	1089	38.80	0.1268329	1129	39.30	0.1325761	1170	39.80	0.1385275	1212
31	14002	1090	81	69458	1129	31	26931	1170	81	86487	1213
32	15092	1090	82	70587	1130	32	28101	1172	82	87700	1214
33	16182	1092	83	71717	1131	33	29273	1172	83	88914	1215
34	17274	1092	84	72848	1132	34	30445	1173	84	90129	1215
35	18366	1093	85	73980	1133	35	31618	1174	85	91344	1216
36	19459	1093	86	75113	1134	36	32792	1174	86	92560	1217
37	20552	1095	87	76247	1134	37	33966	1176	87	93777	1218
38	21647	1095	88	77381	1135	38	35142	1176	88	94995	1219
39	22742	1096	89	78516	1136	39	36318	1177	89	96214	1220
38.40	0.1223838	1097	38.90	0.1279652	1137	39.40	0.1337495	1178	39.90	0.1397434	1221
41	24935	1097	91	80789	1137	41	38673	1179	91	98655	1221
42	26032	1099	92	81926	1139	42	39852	1180	92	99876	1223
43	27131	1099	93	83065	1139	43	41032	1180	93	0.1401099	1223
44	28230	1100	94	84204	1140	44	42212	1182	94	02322	1224
45	29330	1101	95	85344	1141	45	43394	1182	95	03546	1225
46	30431	1101	96	86485	1141	46	44576	1183	96	04771	1226
47	31533	1103	97	87626	1143	47	45759	1184	97	05997	1226
48	32635	1103	98	88769	1143	48	46943	1185	98	07223	1228
49	33738	1104	99	89912	1144	49	48128	1185	99	08451	1228
38.50	0.1234842		39.00	0.1291056		39.50	0.1349313		40.00	0.1409679	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
40.00	0.1409679	1230	40.50	0.1472223	1274	41.00	0.1537017	1320	41.50	0.1604136	1367
01	10909	1230	51	73497	1274	01	38337	1320	51	05503	1367
02	12139	1231	52	74771	1276	02	39657	1321	52	06870	1369
03	13370	1232	53	76047	1276	03	40978	1322	53	08239	1369
04	14602	1233	54	77323	1277	04	42300	1323	54	09608	1371
05	15835	1233	55	78600	1278	05	43623	1324	55	10979	1371
06	17068	1235	56	79878	1279	06	44947	1325	56	12350	1373
07	18303	1235	57	81157	1280	07	46272	1326	57	13723	1373
08	19538	1236	58	82437	1281	08	47598	1327	58	15096	1374
09	20774	1238	59	83718	1282	09	48925	1328	59	16470	1376
40.10	0.1422012	1238	40.60	0.1485000	1282	41.10	0.1550253	1328	41.60	0.1617846	1376
11	23250	1239	61	86282	1284	11	51581	1330	61	19222	1377
12	24489	1239	62	87566	1284	12	52911	1331	62	20599	1378
13	25728	1241	63	88850	1286	13	54242	1331	63	21977	1380
14	26969	1242	64	90136	1286	14	55573	1333	64	23357	1380
15	28211	1242	65	91422	1287	15	56906	1333	65	24737	1381
16	29453	1243	66	92709	1288	16	58239	1334	66	26118	1382
17	30696	1245	67	93997	1289	17	59573	1335	67	27500	1383
18	31941	1245	68	95286	1290	18	60908	1337	68	28883	1384
19	33186	1246	69	96576	1291	19	62245	1337	69	30267	1385
40.20	0.1434432	1246	40.70	0.1497867	1292	41.20	0.1563582	1338	41.70	0.1631652	1386
21	35678	1248	71	99159	1292	21	64920	1339	71	33038	1387
22	36926	1249	72	0.1500451	1294	22	66259	1340	72	34425	1388
23	38175	1249	73	01745	1294	23	67599	1341	73	35813	1389
24	39424	1251	74	03039	1296	24	68940	1341	74	37202	1390
25	40675	1251	75	04335	1296	25	70281	1343	75	38592	1390
26	41926	1252	76	05631	1297	26	71624	1344	76	39982	1392
27	43178	1253	77	06928	1298	27	72968	1345	77	41374	1393
28	44431	1254	78	08226	1299	28	74313	1345	78	42767	1394
29	45685	1255	79	09525	1300	29	75658	1347	79	44161	1395
40.30	0.1446940	1256	40.80	0.1510825	1301	41.30	0.1577005	1347	41.80	0.1645556	1395
31	48196	1256	81	12126	1302	31	78352	1349	81	46951	1397
32	49452	1258	82	13428	1302	32	79701	1349	82	48348	1398
33	50710	1258	83	14730	1304	33	81050	1351	83	49746	1398
34	51968	1259	84	16034	1305	34	82401	1351	84	51144	1400
35	53227	1260	85	17339	1305	35	83752	1352	85	52544	1401
36	54487	1261	86	18644	1306	36	85104	1353	86	53945	1401
37	55748	1262	87	19950	1308	37	86457	1355	87	55346	1403
38	57010	1263	88	21258	1308	38	87812	1355	88	56749	1404
39	58273	1264	89	22566	1309	39	89167	1356	89	58153	1404
40.40	0.1459537	1265	40.90	0.1523875	1310	41.40	0.1590523	1357	41.90	0.1659557	1406
41	60802	1265	91	25185	1311	41	91880	1358	91	60963	1406
42	62067	1266	92	26496	1312	42	93238	1359	92	62369	1408
43	63333	1268	93	27808	1313	43	94597	1360	93	63777	1409
44	64601	1268	94	29121	1314	44	95957	1361	94	65186	1409
45	65869	1269	95	30435	1314	45	97318	1361	95	66595	1411
46	67138	1270	96	31749	1316	46	0.1598679	1363	96	68006	1411
47	68408	1271	97	33065	1317	47	0.1600042	1364	97	69417	1413
48	69679	1272	98	34382	1317	48	01406	1365	98	70830	1413
49	70951	1272	99	35699	1318	49	02771	1365	99	72243	1415
40.50	0.1472223		41.00	0.1537017		41.50	0.1604136		42.00	0.1673658	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
42.00	0.1673658	1415	42.50	0.1745662	1466	43.00	0.1820235	1518	43.50	0.1897463	1573
01	75073	1417	51	47128	1467	01	21753	1520	51	99036	1573
02	76490	1417	52	48595	1469	02	23273	1520	52	0.1900609	1575
03	77907	1418	53	50064	1469	03	24793	1521	53	02184	1575
04	79325	1420	54	51533	1470	04	26314	1523	54	03759	1577
05	80745	1420	55	53003	1471	05	27837	1523	55	05336	1578
06	82165	1422	56	54474	1472	06	29360	1525	56	06914	1578
07	83587	1422	57	55946	1473	07	30885	1526	57	08492	1580
08	85009	1424	58	57419	1474	08	32411	1527	58	10072	1582
09	86433	1424	59	58893	1476	09	33938	1527	59	11654	1582
42.10	0.1687857	1426	42.60	0.1760369	1476	43.10	0.1835465	1529	43.60	0.1913236	1583
11	89283	1426	61	61845	1477	11	36994	1530	61	14819	1584
12	90709	1428	62	63322	1479	12	38524	1531	62	16403	1586
13	92137	1428	63	64801	1479	13	40055	1532	63	17989	1587
14	93565	1429	64	66280	1481	14	41587	1534	64	19576	1587
15	94994	1431	65	67761	1481	15	43121	1534	65	21163	1589
16	96425	1431	66	69242	1483	16	44655	1535	66	22752	1590
17	97856	1433	67	70725	1483	17	46190	1537	67	24342	1591
18	99289	1433	68	72208	1485	18	47727	1537	68	25933	1592
19	0.1700722	1435	69	73693	1486	19	49264	1539	69	27525	1594
42.20	0.1702157	1435	42.70	0.1775179	1486	43.20	0.1850803	1539	43.70	0.1929119	1594
21	03592	1437	71	76665	1488	21	52342	1541	71	30713	1596
22	05029	1437	72	78153	1489	22	53883	1542	72	32309	1596
23	06466	1439	73	79642	1490	23	55425	1543	73	33905	1598
24	07905	1439	74	81132	1490	24	56968	1544	74	35503	1599
25	09344	1441	75	82622	1492	25	58512	1545	75	37102	1600
26	10785	1441	76	84114	1493	26	60057	1546	76	38702	1601
27	12226	1443	77	85607	1494	27	61603	1547	77	40303	1602
28	13669	1444	78	87101	1495	28	63150	1548	78	41905	1604
29	15113	1444	79	88596	1496	29	64698	1550	79	43509	1604
42.30	0.1716557	1446	42.80	0.1790092	1497	43.30	0.1866248	1550	43.80	0.1945113	1606
31	18003	1446	81	91589	1499	31	67798	1552	81	46719	1606
32	19449	1448	82	93088	1499	32	69350	1552	82	48325	1608
33	20897	1449	83	94587	1500	33	70902	1554	83	49933	1609
34	22346	1449	84	96087	1502	34	72456	1555	84	51542	1610
35	23795	1451	85	97589	1502	35	74011	1556	85	53152	1611
36	25246	1452	86	0.1799091	1503	36	75567	1557	86	54763	1613
37	26698	1452	87	0.1800594	1505	37	77124	1558	87	56376	1613
38	28150	1454	88	02099	1505	38	78682	1559	88	57989	1615
39	29604	1455	89	03604	1507	39	80241	1560	89	59604	1616
42.40	0.1731059	1456	42.90	0.1805111	1508	43.40	0.1881801	1561	43.90	0.1961220	1616
41	32515	1456	91	06619	1508	41	83362	1563	91	62836	1618
42	33971	1458	92	08127	1510	42	84925	1563	92	64454	1620
43	35429	1459	93	09637	1511	43	86488	1565	93	66074	1620
44	36888	1460	94	11148	1512	44	88053	1566	94	67694	1621
45	38348	1461	95	12660	1513	45	89619	1566	95	69315	1623
46	39809	1462	96	14173	1514	46	91185	1568	96	70938	1623
47	41271	1462	97	15687	1515	47	92753	1569	97	72561	1625
48	42733	1464	98	17202	1516	48	94322	1570	98	74186	1626
49	44197	1465	99	18718	1517	49	95892	1571	99	75812	1627
42.50	0.1745662		43.00	0.1820235		43.50	0.1897463		44.00	0.1977439	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
44.00	0.1977439	1628	44.50	0.2060257	1687	45.00	0.2146018	1746	45.50	0.2234826	1808
01	79067	1630	51	61944	1687	01	47764	1747	51	36634	1809
02	80697	1630	52	63631	1688	02	49511	1749	52	38443	1811
03	82327	1632	53	65319	1690	03	51260	1749	53	40254	1811
04	83959	1632	54	67009	1690	04	53009	1751	54	42065	1813
05	85591	1634	55	68699	1692	05	54760	1752	55	43878	1815
06	87225	1635	56	70391	1694	06	56512	1754	56	45693	1815
07	88860	1636	57	72085	1694	07	58266	1754	57	47508	1817
08	90496	1638	58	73779	1695	08	60020	1756	58	49325	1818
09	92134	1638	59	75474	1697	09	61776	1757	59	51143	1819
44.10	0.1993772	1640	44.60	0.2077171	1798	45.10	0.2163533	1758	45.60	0.2252962	1821
11	95412	1641	61	78869	1799	11	65291	1759	61	54783	1822
12	97053	1641	62	80568	1700	12	67050	1761	62	56605	1823
13	98694	1643	63	82268	1702	13	68811	1762	63	58428	1825
14	0.2000337	1645	64	83970	1702	14	70573	1763	64	60253	1825
15	01982	1645	65	85672	1704	15	72336	1764	65	62078	1827
16	03627	1646	66	87376	1705	16	74100	1766	66	63905	1829
17	05273	1648	67	89081	1706	17	75866	1767	67	65734	1829
18	06921	1649	68	90787	1707	18	77633	1768	68	67563	1831
19	08570	1650	69	92494	1709	19	79401	1769	69	69394	1832
44.20	0.2010220	1651	44.70	0.2094203	1710	45.20	0.2181170	1770	45.70	0.2271226	1833
21	11871	1652	71	95913	1711	21	82940	1772	71	73059	1835
22	13523	1654	72	97624	1712	22	84712	1773	72	74894	1836
23	15177	1654	73	99336	1713	23	86485	1774	73	76730	1837
24	16831	1656	74	0.2101049	1715	24	88259	1776	74	78567	1839
25	18487	1657	75	02764	1715	25	90035	1776	75	80406	1840
26	20144	1658	76	04479	1717	26	91811	1778	76	82246	1841
27	21802	1659	77	06196	1718	27	93589	1779	77	84087	1842
28	23461	1660	78	07914	1720	28	95368	1781	78	85929	1844
29	25121	1662	79	09634	1720	29	97149	1781	79	87773	1845
44.30	0.2026783	1662	44.80	0.2111354	1722	45.30	0.2198930	1783	45.80	0.2289618	1846
31	28445	1664	81	13076	1723	31	0.2200713	1784	81	91464	1847
32	30109	1665	82	14799	1724	32	02497	1786	82	93311	1849
33	31774	1666	83	16523	1725	33	04283	1786	83	95160	1850
34	33440	1668	84	18248	1727	34	06069	1788	84	97010	1852
35	35108	1668	85	19975	1728	35	07857	1789	85	98862	1852
36	36776	1670	86	21703	1729	36	09646	1791	86	0.2300714	1854
37	38446	1671	87	23432	1730	37	11437	1791	87	02568	1856
38	40117	1671	88	25162	1731	38	13228	1793	88	04424	1856
39	41788	1674	89	26893	1733	39	15021	1794	89	06280	1858
44.40	0.2043462	1674	44.90	0.2128626	1734	45.40	0.2216815	1796	45.90	0.2308138	1859
41	45136	1675	91	30360	1735	41	18611	1796	91	09997	1861
42	46811	1677	92	32095	1736	42	20407	1798	92	11858	1862
43	48488	1678	93	33831	1737	43	22205	1800	93	13720	1863
44	50166	1679	94	35568	1739	44	24005	1800	94	15583	1864
45	51845	1680	95	37307	1740	45	25805	1802	95	17447	1866
46	53525	1681	96	39047	1741	46	27607	1803	96	19313	1867
47	55206	1683	97	40788	1742	47	29410	1804	97	21180	1868
48	56889	1684	98	42530	1744	48	31214	1805	98	23048	1870
49	58573	1684	99	44274	1744	49	33019	1807	99	24918	1871
44.50	0.2060257		45.00	0.2146018		45.50	0.2234826		46.00	0.2326789	

(续)

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
46.00	0.2326789	1872	46.50	0.2422020	1939	47.00	0.2520640	2007	47.50	0.2622771	2079
01	23061	1873	51	23959	1940	01	22047	2010	51	24850	2081
02	30534	1875	52	25899	1942	02	24657	2010	52	26931	2082
03	32409	1876	53	27841	1943	03	26667	2012	53	29013	2084
04	34285	1878	54	29784	1944	04	28679	2014	54	31097	2085
05	36163	1878	55	31728	1945	05	30693	2014	55	33182	2087
06	38041	1881	56	33673	1947	06	32707	2017	56	35269	2088
07	39922	1881	57	35620	1949	07	34724	2017	57	37357	2090
08	41803	1883	58	37569	1949	08	36741	2019	58	39447	2091
09	43686	1884	59	39518	1951	09	38760	2021	59	41538	2092
46.10	0.2345570	1885	46.60	0.2441469	1953	47.10	0.2540781	2022	47.60	0.2643630	2094
11	47455	1887	61	43422	1953	11	42803	2023	61	45724	2096
12	49342	1888	62	45375	1955	12	44826	2025	62	47820	2096
13	51230	1889	63	47330	1957	13	46851	2026	63	49916	2099
14	53119	1891	64	49287	1958	14	48877	2027	64	52015	2100
15	55010	1891	65	51245	1959	15	50904	2029	65	54115	2101
16	56901	1894	66	53204	1961	16	52933	2031	66	56216	2103
17	58795	1894	67	55165	1962	17	54964	2032	67	58319	2104
18	60689	1896	68	57127	1963	18	56996	2033	68	60423	2106
19	62585	1897	69	59090	1965	19	59029	2035	69	62529	2107
46.20	0.2364482	1899	46.70	0.2461055	1966	47.20	0.2561064	2036	47.70	0.2664636	2109
21	66381	1900	71	63021	1967	21	63100	2037	71	66745	2110
22	68281	1901	72	64988	1969	22	65137	2039	72	68855	2111
23	70182	1903	73	66957	1970	23	67176	2041	73	70966	2114
24	72085	1903	74	68927	1972	24	69217	2041	74	73080	2114
25	73988	1906	75	70899	1973	25	71258	2044	75	75194	2116
26	75894	1906	76	72872	1974	26	73302	2044	76	77310	2118
27	77800	1908	77	74846	1976	27	75346	2046	77	79428	2119
28	79708	1909	78	76822	1977	28	77392	2048	78	81547	2121
29	81617	1911	79	78799	1979	29	79440	2049	79	83668	2122
46.30	0.2383528	1912	46.80	0.2480778	1979	47.30	0.2581489	2050	47.80	0.2685790	2123
31	85440	1913	81	82757	1982	31	83539	2052	81	87913	2125
32	87353	1914	82	84739	1982	32	85591	2053	82	90038	2127
33	89267	1916	83	86721	1984	33	87644	2055	83	92165	2128
34	91183	1918	84	88705	1986	34	89699	2056	84	94293	2129
35	93101	1918	85	90691	1987	35	91755	2058	85	96422	2131
36	95019	1920	86	92678	1988	36	93813	2059	86	98553	2133
37	96939	1921	87	94666	1989	37	95872	2060	87	0.2700686	2134
38	98860	1923	88	96655	1991	38	97932	2062	88	02820	2135
39	0.2400783	1924	89	98646	1993	29	99994	2064	89	04955	2137
46.40	0.2402707	1925	46.90	0.2500639	1994	47.40	0.2602058	2064	47.90	0.2707092	2139
41	04632	1927	91	02633	1995	41	04122	2067	91	09231	2140
42	06559	1928	92	04628	1996	42	06189	2067	92	11371	2141
43	08487	1929	93	06624	1998	43	08256	2070	93	13512	2143
44	10416	1931	94	08622	2000	44	10326	2070	94	15655	2145
45	12347	1932	95	10622	2001	45	12396	2072	95	17800	2146
46	14279	1933	96	12623	2002	46	14468	2074	96	19946	2147
47	16212	1935	97	14625	2003	47	16542	2075	97	22093	2149
48	18147	1936	98	16628	2005	48	18617	2076	98	24242	2151
49	20083	1937	99	18633	2007	49	20693	2078	99	26393	2152
46.50	0.2422020		47.00	0.2520640		47.50	0.2622771		48.00	0.2728545	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
48.00	0.2728545	2153	48.50	0.2838097	2231	49.00	0.2951571	2310	49.50	0.3069116	2393
01	30698	2155	51	40328	2232	01	53881	2312	51	71509	2396
02	32853	2157	52	42560	2233	02	56193	2314	52	73905	2396
03	35010	2158	53	44793	2236	03	58507	2315	53	76301	2399
04	37168	2160	54	47029	2236	04	60822	2318	54	78700	2400
05	39328	2161	55	49265	2239	05	63140	2318	55	81100	2402
06	41489	2162	56	51504	2240	06	65458	2320	56	83502	2404
07	43651	2165	57	53744	2241	07	67778	2322	57	85906	2405
08	45816	2165	58	55985	2244	08	70100	2324	58	88311	2407
09	47981	2167	59	58229	2244	09	72424	2325	59	90718	2409
48.10	0.2750148	2169	48.60	0.2860473	2247	49.10	0.2974749	2327	49.60	0.3093127	2411
11	52317	2170	61	62720	2248	11	77076	2328	61	95538	2412
12	54487	2172	62	64968	2249	12	79404	2331	62	97950	2414
13	56659	2173	63	67217	2251	13	81735	2331	63	0.3100364	2415
14	58832	2175	64	69468	2253	14	84066	2334	64	02779	2418
15	61007	2177	65	71721	2254	15	86400	2335	65	05197	2419
16	63184	2178	66	73975	2256	16	88735	2337	66	07616	2420
17	65362	2179	67	76231	2257	17	91072	2338	67	10036	2423
18	67541	2181	68	78488	2259	18	93410	2340	68	12459	2424
19	69722	2182	69	80747	2261	19	95750	2342	69	14883	2426
48.20	0.2771904	2184	48.70	0.2883008	2262	49.20	0.2998092	2343	49.70	0.3117309	2427
21	74088	2186	71	85270	2264	21	0.3000435	2345	71	19736	2430
22	76274	2187	72	87534	2265	22	02780	2347	72	22166	2431
23	78461	2189	73	89799	2267	23	05127	2348	73	24597	2433
24	80650	2190	74	92066	2268	24	07475	2350	74	27030	2434
25	82840	2191	75	94334	2271	25	09825	2351	75	29464	2436
26	85031	2194	76	96605	2271	26	12176	2354	76	31900	2438
27	87225	2194	77	98876	2274	27	14530	2355	77	34338	2440
28	89419	2197	78	0.2901150	2275	28	16885	2356	78	36778	2441
29	91616	2198	79	03425	2276	29	19241	2358	79	39219	2443
48.30	0.2793814	2199	48.80	0.2905701	2278	49.30	0.3021599	2360	49.80	0.3141662	2445
31	96013	2201	81	07979	2280	31	23959	2362	81	44107	2447
32	98214	2203	82	10259	2282	32	26321	2363	82	46554	2448
33	0.2800417	2204	83	12541	2282	33	28684	2365	83	49002	2450
34	02621	2205	84	14823	2285	34	31049	2367	84	51452	2452
35	04826	2207	85	17108	2286	35	33416	2368	85	53904	2453
36	07033	2209	86	19394	2288	36	35784	2370	86	56357	2456
37	09242	2210	87	21682	2289	37	38154	2371	87	58813	2457
38	11452	2212	88	23971	2292	38	40525	2374	88	61270	2458
39	13664	2213	89	26263	2292	39	42899	2375	89	63728	2461
48.40	0.2815877	2215	48.90	0.2928555	2294	49.40	0.3045274	2376	49.90	0.3166189	2462
41	18092	2217	91	30849	2296	41	47650	2379	91	68651	2464
42	20309	2218	92	33145	2298	42	50029	2380	92	71115	2466
43	22527	2220	93	35443	2299	43	52409	2381	93	73581	2467
44	24747	2221	94	37742	2301	44	54790	2384	94	76048	2469
45	26968	2222	95	40043	2302	45	57174	2385	95	78517	2471
46	29190	2225	96	42345	2304	46	59559	2387	96	80988	2473
47	31415	2226	97	44649	2306	47	61946	2388	97	83461	2474
48	33641	2227	98	46955	2307	48	64334	2390	98	85935	2477
49	35868	2229	99	49262	2309	49	66724	2392	99	88412	2478
48.50	0.2838097		49.00	0.2951571		49.50	0.3069116		50.00	0.3190890	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
50.00	0.3190890	2479	50.50	0.3317057	2570	51.00	0.3447792	2663	51.50	0.3583277	2760
01	93369	2482	51	19627	2571	01	50455	2664	51	86037	2761
02	95851	2483	52	22193	2573	02	53119	2667	52	88798	2764
03	98334	2485	53	24771	2575	03	55786	2668	53	91562	2765
04	0.3200819	2487	54	27345	2576	04	58454	2670	54	94327	2767
05	03306	2488	55	29922	2579	05	61124	2672	55	97094	2770
06	05794	2491	56	32501	2580	06	63796	2674	56	99864	2771
07	08285	2492	57	35081	2582	07	66470	2676	57	0.3602635	2773
08	10777	2494	58	37663	2584	08	69146	2678	58	05408	2776
09	13271	2495	59	40247	2586	09	71824	2679	59	08184	2777
50.10	0.3215765	2498	50.60	0.3342833	2588	51.10	0.3474503	2682	51.60	0.3610961	2779
11	18264	2499	61	45421	2589	11	77185	2684	61	13740	2782
12	20763	2501	62	48010	2592	12	79869	2685	62	16522	2783
13	23264	2502	63	50602	2593	13	82554	2687	63	19305	2785
14	25766	2505	64	53195	2595	14	85241	2690	64	22090	2788
15	28271	2506	65	55790	2597	15	87931	2691	65	24878	2789
16	30777	2508	66	58387	2599	16	90622	2693	66	27667	2791
17	33285	2510	67	60986	2600	17	93315	2695	67	30458	2793
18	35795	2512	68	63586	2603	18	96010	2697	68	33251	2796
19	38307	2513	69	66189	2604	19	98707	2699	69	36047	2797
50.20	0.3240820	2515	50.70	0.3368793	2606	51.20	0.3501406	2701	51.70	0.3638844	2799
21	43335	2517	71	71399	2608	21	04107	2702	71	41643	2802
22	45852	2519	72	74007	2610	22	06809	2705	72	44445	2803
23	48371	2520	73	76617	2612	23	09514	2707	73	47248	2805
24	50891	2523	74	79229	2614	24	12221	2708	74	50053	2808
25	53414	2524	75	81843	2615	25	14929	2711	75	52861	2809
26	55938	2526	76	84458	2618	26	17640	2712	76	55670	2811
27	58464	2527	77	87076	2619	27	20352	2715	77	58481	2814
28	60991	2530	78	89695	2621	28	23067	2716	78	61295	2815
29	63521	2531	79	92316	2623	29	25783	2718	79	64110	2818
50.30	0.3266052	2533	50.80	0.3394939	2625	51.30	0.3528501	2721	51.80	0.3666928	2819
31	68585	2535	81	97564	2626	31	31222	2722	81	69747	2822
32	71120	2537	82	0.3400190	2629	32	33944	2724	82	72569	2823
33	73657	2538	83	02819	2630	33	36668	2726	83	75392	2826
34	76195	2541	84	05449	2633	34	39394	2728	84	78218	2827
35	78736	2542	85	08082	2634	35	42122	2730	85	81045	2830
36	81278	2544	86	10716	2636	36	44852	2732	86	83875	2832
37	83822	2545	87	13352	2638	37	47584	2734	87	86707	2833
38	86367	2548	88	15990	2640	38	50318	2735	88	89540	2836
39	88915	2549	89	18630	2641	39	53053	2738	89	92376	2838
50.40	0.3291464	2551	50.90	0.3421271	2644	51.40	0.3555791	2740	51.90	0.3695214	2840
41	94015	2553	91	23915	2645	41	58531	2742	91	98054	2842
42	96568	2555	92	26560	2648	42	61273	2743	92	0.3700896	2844
43	99123	2557	93	29208	2649	43	64016	2746	93	03740	2845
44	0.3301680	2558	94	31857	2651	44	66762	2748	94	06585	2848
45	04238	2560	95	34508	2653	45	69510	2749	95	09433	2851
46	06798	2562	96	37161	2655	46	72259	2752	96	12284	2852
47	09360	2564	97	39816	2657	47	75011	2753	97	15136	2854
48	11924	2566	98	42473	2659	48	77764	2756	98	17990	2856
49	14490	2567	99	45132	2660	49	80520	2757	99	20846	2858
50.50	0.3317057		51.00	0.3447792		51.50	0.3583277		52.00	0.3723704	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
52.00	0.3723704	2861	52.50	0.3869275	2965	53.00	0.4020203	3075	53.50	0.4176713	3189
01	26565	2862	51	72240	2968	01	23278	3077	51	79902	3191
02	29427	2864	52	75208	2970	02	26355	3079	52	83093	3193
03	32291	2867	53	78178	2971	03	29434	3081	53	86286	3196
04	35158	2868	54	81149	2974	04	32515	3084	54	89482	3198
05	38026	2871	55	84123	2976	05	35599	3086	55	92680	3200
06	40897	2873	56	87099	2979	06	38685	3088	56	95880	3203
07	43770	2874	57	90078	2980	07	41773	3091	57	99083	3205
08	46644	2877	58	93058	2982	08	44864	3092	58	0.4202288	3207
09	49521	2879	59	96040	2985	09	47956	3095	59	05495	3210
52.10	0.3752400	2881	52.60	0.3899025	2987	53.10	0.4051051	3097	53.60	0.4208705	3212
11	55281	2883	61	0.3902012	2989	11	54148	3100	61	11917	3215
12	58164	2885	62	05001	2991	12	57248	3101	62	15132	3217
13	61049	2888	63	07992	2994	13	60349	3104	63	18349	3219
14	63937	2889	64	10986	2995	14	63453	3106	64	21568	3221
15	66826	2891	65	13981	2998	15	66559	3109	65	24789	3224
16	69717	2894	66	16979	3000	16	69668	3111	66	28013	3226
17	72611	2895	67	19979	3002	17	72779	3113	67	31239	3229
18	75506	2898	68	22981	3004	18	75892	3115	68	34468	3231
19	78404	2900	69	25985	3006	19	79007	3117	69	37699	3233
52.20	0.3781304	2901	52.70	0.3928991	3009	53.20	0.4082124	3120	53.70	0.4240932	3236
21	84205	2904	71	32000	3010	21	85244	3122	71	44168	3238
22	87109	2906	72	35010	3013	22	88366	3124	72	47406	3240
23	90015	2908	73	38023	3015	23	91490	3127	73	50646	3243
24	92923	2911	74	41038	3018	24	94617	3129	74	53889	3245
25	95834	2912	75	44056	3019	25	0.4097746	3131	75	57134	3248
26	98746	2914	76	47075	3022	26	0.4100877	3133	76	60382	3250
27	0.3801660	2917	77	50097	3024	27	04010	3136	77	63632	3252
28	04577	2918	78	53121	3026	28	07146	3138	78	66884	3255
29	07495	2921	79	56147	3028	29	10284	3140	79	70139	3257
52.30	0.3810416	2923	52.80	0.3959175	3030	53.30	0.4113424	3143	53.80	0.4273396	3259
31	13339	2925	81	62205	3033	31	16567	3145	81	76655	3262
32	16264	2927	82	65238	3035	32	19712	3147	82	79917	3264
33	19191	2929	83	68273	3037	33	22859	3149	83	83181	3267
34	22120	2931	84	71310	3039	34	26008	3152	84	86448	3269
35	25051	2934	85	74349	3042	35	29160	3154	85	89717	3272
36	27985	2935	86	77391	3043	36	32314	3156	86	92989	3273
37	30920	2938	87	80434	3046	37	35470	3159	87	96262	3277
38	33858	2940	88	83480	3048	38	38629	3161	88	99539	3278
39	36798	2941	89	86528	3050	39	41790	3163	89	0.4302817	3281
52.40	0.3839739	2944	52.90	0.3989578	3053	53.40	0.4144953	3166	53.90	0.4306098	3284
41	42683	2946	91	92631	3055	41	48119	3168	91	09382	3286
42	45629	2949	92	95686	3057	42	51287	3170	92	12668	3288
43	48578	2950	93	98743	3059	43	54457	3172	93	15956	3290
44	51528	2953	94	0.4001802	3061	44	57629	3175	94	19246	3294
45	54481	2954	95	04863	3064	45	60804	3177	95	22540	3295
46	57435	2957	96	07927	3065	46	63981	3180	96	25835	3298
47	60392	2959	97	10992	3068	47	67161	3181	97	29133	3300
48	63351	2961	98	14060	3071	48	70342	3184	98	32433	3303
49	66312	2963	99	17131	3072	49	73526	3187	99	35736	3305
52.50	0.3869275		53.00	0.4020203		53.50	0.4176713		54.00	0.4339041	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
54.00	0.4339041	3308	54.50	0.4507439	3431	55.00	0.4682169	3561	55.50	0.4863513	3696
01	42349	3310	51	10870	3434	01	85730	3564	51	67209	3699
02	45659	3312	52	14304	3437	02	89294	3566	52	70908	3702
03	48971	3315	53	17741	3439	03	92860	3570	53	74610	3705
04	52286	3318	54	21180	3442	04	96430	3571	54	78315	3707
05	55604	3319	55	24622	3444	05	0.4700001	3575	55	82022	3710
06	58923	3323	56	28066	3447	06	03576	3577	56	85732	3713
07	62246	3324	57	31513	3450	07	07153	3579	57	89445	3716
08	65570	3327	58	34963	3452	08	10732	3583	58	93161	3719
09	68897	3330	59	38415	3454	09	14315	3585	59	96880	3721
54.10	0.4372227	3332	54.60	0.4541869	3457	55.10	0.4717900	3587	55.60	0.4900601	3724
11	75559	3334	61	45326	3460	11	21487	3591	61	04325	3727
12	78893	3337	62	48786	3462	12	25078	3593	62	08052	3730
13	82230	3340	63	52248	3465	13	28671	3595	63	11782	3732
14	85570	3341	64	55713	3467	14	32266	3599	64	15514	3735
15	88911	3345	65	59180	3470	15	35865	3601	65	19249	3739
16	92256	3346	66	62650	3473	16	39466	3604	66	22988	3740
17	95602	3350	67	66123	3475	17	43070	3606	67	26728	3744
18	98952	3351	68	69598	3477	18	46676	3609	68	30472	3747
19	0.4402303	3354	69	73075	3480	19	50285	3612	69	34219	3749
54.20	0.4405657	3357	54.70	0.4576555	3483	55.20	0.4753897	3614	55.70	0.4937968	3752
21	09014	3359	71	80038	3486	21	57511	3618	71	41720	3755
22	12373	3363	72	83524	3487	22	61129	3619	72	45475	3758
23	15735	3364	73	87011	3491	23	64748	3623	73	49233	3760
24	19099	3366	74	90502	3493	24	68371	3625	74	52993	3764
25	22465	3369	75	93995	3496	25	71996	3628	75	56757	3766
26	25834	3371	76	97491	3498	26	75624	3631	76	60523	3769
27	29205	3374	77	0.4600989	3501	27	79255	3633	77	64292	3772
28	32579	3377	78	04490	3503	28	82888	3636	78	68064	3774
29	35956	3379	79	07993	3506	29	86524	3639	79	71838	3778
54.30	0.4439335	3381	54.80	0.4611499	3509	55.30	0.4790163	3642	55.80	0.4975616	3780
31	42716	3384	81	15008	3511	31	93805	3644	81	79396	3784
32	46100	3386	82	18519	3514	32	97449	3647	82	83180	3786
33	49486	3389	83	22033	3517	33	0.4801096	3650	83	86966	3788
34	52875	3392	84	25550	3519	34	04746	3652	84	90754	3792
35	56267	3394	85	29069	3521	35	08398	3655	85	94546	3795
36	59661	3396	86	32590	3523	36	12053	3658	86	98341	3797
37	63057	3399	87	36115	3527	37	15711	3661	87	0.5002138	3801
38	66456	3401	88	39642	3529	38	19372	3663	88	05939	3803
39	69857	3404	89	43171	3532	39	23035	3666	89	09742	3806
54.40	0.4473261	3406	54.90	0.4646703	3535	55.40	0.4826701	3669	55.90	0.5013548	3809
41	76667	3409	91	50238	3537	41	30370	3672	91	17357	3811
42	80076	3412	92	53775	3540	42	34042	3674	92	21168	3815
43	83488	3414	93	57315	3543	43	37716	3677	93	24983	3818
44	86902	3416	94	60858	3545	44	41393	3680	94	28801	3820
45	90318	3419	95	64403	3548	45	45073	3682	95	32621	3823
46	93737	3422	96	67951	3551	46	48755	3686	96	36444	3826
47	97159	3424	97	71502	3553	47	52441	3688	97	40270	3829
48	0.4500583	3426	98	75055	3556	48	56129	3690	98	44099	3832
49	04009	3430	99	78611	3558	49	59819	3694	99	47931	3835
54.50	0.4507439		55.00	0.4682169		55.50	0.4863513		56.00	0.5051766	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
56.00	0.5051766	3838	56.50	0.5247242	3985	57.00	0.5450273	4140	57.50	0.5661213	4302
01	55604	3840	51	51227	3989	01	54413	4143	51	65515	4305
02	59444	3844	52	55216	3991	02	58556	4147	52	69820	4309
03	63288	3846	53	59207	3995	03	62703	4149	53	74129	4311
04	67134	3849	54	63202	3997	04	66852	4153	54	78440	4316
05	70983	3852	55	67199	4001	05	71005	4156	55	82756	4318
06	74835	3855	56	71200	4003	06	75161	4159	56	87074	4322
07	78690	3858	57	75203	4007	07	79320	4162	57	91396	4326
08	82548	3861	58	79210	4010	08	83482	4166	58	95722	4328
09	86409	3864	59	83220	4012	09	87648	4168	59	0.5700050	4332
56.10	0.5090273	3867	56.60	0.5287232	4016	57.10	0.5491816	4172	57.60	0.5704382	4335
11	94140	3869	61	91248	4019	11	95988	4175	61	08717	4339
12	98009	3873	62	95267	4022	12	0.5500163	4179	62	13056	4342
13	0.5101882	3875	63	99289	4025	13	04342	4181	63	17398	4345
14	05757	3878	64	0.5303314	4028	14	08523	4185	64	21743	4349
15	09635	3882	65	07342	4031	15	12708	4188	65	26092	4352
16	13517	3884	66	11373	4034	16	16896	4191	66	30444	4356
17	17401	3887	67	15407	4038	17	21087	4194	67	34800	4358
18	21288	3890	68	19445	4040	18	25281	4198	68	39158	4362
19	25178	3893	69	23485	4043	19	29479	4200	69	43520	4366
56.20	0.5129071	3896	56.70	0.5327528	4047	57.20	0.5533679	4204	57.70	0.5747886	4369
21	32967	3899	71	31575	4049	21	37883	4207	71	52255	4372
22	36866	3902	72	35624	4053	22	42090	4211	72	56627	4376
23	40768	3905	73	39677	4055	23	46301	4213	73	61003	4379
24	44673	3908	74	43732	4059	24	50514	4217	74	65382	4382
25	48581	3910	75	47791	4062	25	54731	4220	75	69764	4386
26	52491	3914	76	51853	4065	26	58951	4224	76	74150	4389
27	56405	3917	77	55918	4068	27	63175	4226	77	78539	4393
28	60322	3919	78	59986	4071	28	67401	4230	78	82932	4396
29	64241	3923	79	64057	4075	29	71631	4233	79	87328	4399
56.30	0.5168164	3925	56.80	0.5368132	4077	57.30	0.5575864	4237	57.80	0.5791727	4403
31	72089	3929	81	72209	4080	31	80101	4239	81	96130	4407
32	76018	3931	82	76289	4084	32	84340	4243	82	0.5800537	4409
33	79949	3935	83	80373	4087	33	88583	4246	83	04946	4413
34	83884	3937	84	84460	4090	34	92829	4249	84	09359	4417
35	87821	3941	85	88550	4093	35	97078	4253	85	13776	4420
36	91762	3943	86	92643	4096	36	0.5601331	4256	86	18196	4423
37	95705	3946	87	96739	4099	37	05587	4259	87	22619	4427
38	99651	3950	88	0.5400838	4102	38	09846	4263	88	27046	4430
39	0.5203601	3952	89	04940	4106	39	14109	4265	89	31476	4434
56.40	0.5207553	3955	56.90	0.5409046	4108	57.40	0.5618374	4269	57.90	0.5835910	4437
41	11508	3959	91	13154	4112	41	22643	4273	91	40347	4440
42	15467	3961	92	17266	4115	42	26916	4275	92	44787	4444
43	19428	3964	93	21381	4118	43	31191	4279	93	49231	4448
44	23392	3968	94	25499	4121	44	35470	4282	94	53679	4450
45	27360	3970	95	29620	4124	45	39752	4286	95	58129	4455
46	31330	3973	96	33744	4128	46	44038	4288	96	62584	4458
47	35303	3977	97	37872	4130	47	48326	4293	97	67042	4461
48	39280	3979	98	42002	4134	48	52619	4295	98	71503	4464
49	43259	3983	99	46136	4137	49	56914	4299	99	75967	4469
56.50	0.5247242		57.00	0.5450273		57.50	0.5661213		58.00	0.5880436	

（续）

α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α		α (°)	inv α	
58.00	0.588044	447	58.50	0.610834	465	59.00	0.634535	484	59.50	0.659192	503
01	88491	447	51	11299	465	01	35019	484	51	59695	504
02	88938	448	52	11764	466	02	35503	484	52	60199	504
03	89386	448	53	12230	466	03	35987	485	53	60703	504
04	89834	449	54	12696	466	04	36472	485	54	61207	505
05	90283	449	55	13162	467	05	36957	486	55	61712	506
06	90732	449	56	13629	467	06	37443	486	56	62218	505
07	91181	450	57	14096	468	07	37929	486	57	62723	506
08	91631	450	58	14564	468	08	38415	487	58	63229	507
09	92081	450	59	15032	468	09	38902	487	59	63736	507
58.10	0.592531	451	58.60	0.615500	469	59.10	0.639389	487	59.60	0.664243	507
11	92982	451	61	15969	469	11	39876	488	61	64750	507
12	93433	451	62	16438	469	12	40364	488	62	65257	508
13	93884	452	63	16907	470	13	40852	489	63	65765	509
14	94336	452	64	17377	470	14	41341	489	64	66274	509
15	94788	452	65	17847	470	15	41830	489	65	66783	509
16	95240	453	66	18317	471	16	42319	490	66	67292	510
17	95693	453	67	18788	471	17	42809	490	67	67802	510
18	96146	453	68	19259	472	18	43299	491	68	68312	510
19	96599	454	69	19731	472	19	43790	491	69	68822	511
58.20	0.597053	454	58.70	0.620203	472	59.20	0.644281	491	59.70	0.669333	512
21	97507	455	71	20675	473	21	44772	492	71	69845	511
22	97692	455	72	21148	473	22	45264	492	72	70356	513
23	98417	455	73	21621	473	23	45756	492	73	70869	512
24	98872	456	74	22094	474	24	46248	493	74	71381	513
25	99328	456	75	22568	474	25	46741	494	75	71894	513
26	99784	456	76	23042	475	26	47235	493	76	72407	514
27	0.600240	457	77	23517	475	27	47728	494	77	72921	514
28	00697	457	78	23992	475	28	48222	495	78	73435	515
29	01154	457	79	24467	476	29	48717	495	79	73950	515
58.30	01611	458	58.80	0.624943	476	59.30	0.649212	495	59.80	0.674465	516
31	02069	458	81	25419	476	31	49707	496	81	74981	515
32	02527	458	82	25895	477	32	50203	496	82	75496	517
33	02985	459	83	26372	477	33	50699	496	83	76013	516
34	03444	459	84	26849	478	34	51195	496	84	76529	518
35	03903	460	85	27327	478	35	51692	497	85	77047	517
36	04363	460	86	27805	478	36	52189	498	86	77564	518
37	04823	460	87	28283	479	37	52687	498	87	78082	518
38	05283	461	88	28762	479	38	53185	498	88	78600	519
39	05744	461	89	29241	479	39	53683	499	89	79119	519
58.40	0.606205	461	58.90	0.629720	480	59.40	0.654182	499	59.90	0.679638	520
41	06666	462	91	30200	480	41	54681	500	91	80158	520
42	07128	462	92	30680	481	42	55181	500	92	80678	520
43	07590	462	93	31161	481	43	55681	500	93	81198	521
44	08052	463	94	31642	481	44	56181	501	94	81719	522
45	08515	463	95	32123	482	45	56682	501	95	82241	521
46	08978	463	96	32605	482	46	57183	502	96	82762	522
47	09441	464	97	33087	482	47	57685	502	97	83284	523
48	09905	464	98	33569	483	48	58187	502	98	83807	523
49	10369	465	99	34052	483	49	58689	503	99	84330	523
58.50	0.610834		59.00	0.634535		59.50	0.659192		60.00	0.684853	

表11-5-16　变位齿轮的啮合角α'、总变位模数x_z、中心距变动模数y_z和齿顶高变动模数ν_z值[8]（$\alpha=20°$）

$[x_z=(\mathrm{inv}\alpha'-\mathrm{inv}\alpha)/\mathrm{tg}\alpha,\ y_z=(\cos\alpha/\cos\alpha')-1,\ \nu_z=x_z-y_z]$

α'	14°						α'	15°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	−0.0257151	321	−0.0293912	439	0.0036761	118	0.00	−0.0240530	344	−0.0271586	455	0.0031056	111
0.51	6830	321	3473	438	643	117	0.01	0186	345	1131	456	0.0030945	110
0.52	6509	322	3035	439	526	117	0.02	−0.0239841	346	0675	455	835	110
0.53	6187	322	2596	439	409	117	0.03	9495	346	0220	456	725	110
0.54	5865	323	2157	441	292	116	0.04	9149	346	−0.0269764	457	615	111
0.55	−0.0255542	324	−0.0291716	439	0.0036174	115	0.05	−0.0238803	347	−0.0269307	456	0.0030504	109
0.56	5218	323	1277	440	059	116	0.06	8456	348	8851	458	395	110
0.57	4895	324	0837	441	0.0035943	117	0.07	8108	348	8393	458	285	110
0.58	4571	325	0396	441	826	117	0.08	7760	348	7935	457	175	109
0.59	4246	325	−0.0289955	441	709	116	0.09	7412	349	7478	458	066	109
0.60	−0.0253921	326	−0.0289514	442	0.0035593	116	0.10	−0.0237063	349	−0.0267020	459	0.0029957	109
0.61	3595	326	9072	442	477	116	0.11	6714	350	6561	459	848	110
0.62	3269	326	8630	441	361	116	0.12	6364	350	6102	459	738	108
0.63	2943	326	8185	442	245	115	0.13	6014	351	5643	459	630	109
0.64	2616	327	7746	442	130	116	0.14	5663	351	5184	461	521	109
0.65	−0.0252288	328	−0.0287302	443	0.0035014	115	0.15	−0.0235312	352	−0.0264723	460	0.0029412	109
0.66	1960	328	6859	444	0.0034899	116	0.16	4960	353	4263	460	303	108
0.67	1632	329	6415	443	783	114	0.17	4607	352	3803	461	195	108
0.68	1303	330	5972	445	669	115	0.18	4255	354	3342	461	087	108
0.69	0973	329	5527	444	554	115	0.19	3901	353	2881	462	0.0028979	107
0.70	−0.0250644	330	−0.0285083	446	0.0034439	115	0.20	−0.0233548	354	−0.0262419	462	0.0028872	109
0.71	0314	331	4637	444	324	114	0.21	3194	355	1957	462	763	107
0.72	−0.0249983	331	4193	446	210	115	0.22	2839	355	1495	463	656	107
0.73	9652	332	3747	446	095	114	0.23	2484	356	1032	463	549	108
0.74	9320	332	3301	446	0.0033981	114	0.24	2128	356	0569	463	441	107
0.75	−0.0248988	333	−0.0282855	446	0.0033867	115	0.25	−0.0231772	357	−0.0260106	468	0.0028334	107
0.76	8655	333	2407	446	752	113	0.26	1415	357	−0.0259643	465	227	107
0.77	8322	333	1961	447	639	114	0.27	1058	358	9178	464	120	106
0.78	7989	334	1514	448	525	114	0.28	0700	358	8714	464	014	106
0.79	7655	335	1066	448	411	114	0.29	0342	359	8250	465	0.0027908	107
0.80	−0.0247320	335	−0.0280617	448	0.0033297	113	0.30	−0.0229983	359	−0.0257785	465	0.0027801	106
0.81	6985	335	0169	448	184	113	0.31	9624	359	7320	466	695	105
0.82	6650	336	−0.0279721	448	071	113	0.32	9265	360	6854	467	589	106
0.83	6314	337	9272	449	0.0032958	113	0.33	8905	361	6387	466	483	106
0.84	5977	337	8822	450	845	113	0.34	8544	361	5921	467	377	106
0.85	−0.0245640	337	−0.0278372	450	0.0032732	113	0.35	−0.0228183	362	−0.0255454	467	0.0027271	105
0.86	5303	338	7922	450	619	112	0.36	7821	362	4987	467	166	105
0.87	4965	338	7472	451	507	113	0.37	7459	362	4520	468	061	105
0.88	4627	339	7021	451	394	112	0.38	7097	363	4052	468	0.0026956	105
0.89	4288	339	6570	451	282	112	0.39	6734	364	3584	468	851	105
0.90	−0.0243949	340	−0.0276119	452	0.0032170	112	0.40	−0.0226370	364	−0.0253116	469	0.0026740	104
0.91	3609	340	5667	452	058	112	0.41	6006	365	2647	468	642	105
0.92	3269	341	5215	453	0.0031946	112	0.42	5641	365	2179	470	537	105
0.93	2928	341	4762	452	834	111	0.43	5276	365	1709	470	432	104
0.94	2587	342	4310	454	723	112	0.44	4911	366	1239	470	328	104
0.95	−0.0242245	342	−0.0273856	453	0.0031611	111	0.45	−0.0224545	367	−0.0250769	471	0.0026224	104
0.96	1903	342	3403	454	500	111	0.46	4178	367	0298	471	120	104
0.97	1561	343	2949	454	389	111	0.47	3811	367	−0.0249827	470	016	103
0.98	1219	344	2495	455	278	111	0.48	3444	369	9357	472	0.0025913	103
0.99	0874	344	2041	455	167	111	0.49	3075	368	8885	472	810	104
1.00	−0.0240530		−0.0271586		0.0031056		0.50	−0.0222707		−0.0248413		0.0025706	

（续）

a'	15°						a'	16°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	−0.0222707	369	−0.0248413	472	0.0025706	103	0.00	−0.0203634	395	−0.0224383	489	0.0020749	95
0.51	2338	370	7941	472	603	103	0.01	3239	394	3894	490	654	95
0.52	1968	370	7469	474	500	103	0.02	2845	396	3404	490	559	94
0.53	1598	370	6995	473	397	102	0.03	2449	396	2914	491	465	95
0.54	1228	371	6522	473	295	103	0.04	2053	397	2423	490	370	93
0.55	−0.0220857	372	−0.0246049	474	192	102	0.05	−0.0201656	397	−0.0221933	492	0.0020277	95
0.56	0485	372	5575	474	090	102	0.06	1259	397	1441	491	182	94
0.57	0113	373	5101	475	0.0024988	102	0.07	0862	399	0950	492	088	93
0.58	−0.0219740	373	4626	475	886	103	0.08	0463	399	0458	492	0.0019995	94
0.59	9367	373	4151	475	783	101	0.09	0064	399	−0.0219966	493	901	93
0.60	−0.0218994	374	−0.0243676	475	0.0024682	101	0.10	−0.0199665	400	−0.0219473	493	0.0019808	93
0.61	8620	375	3201	477	581	102	0.11	9265	400	8980	493	715	93
0.62	8245	375	2724	476	479	101	0.12	8865	401	8487	494	622	93
0.63	7870	375	2248	477	378	101	0.13	8464	401	7993	493	529	92
0.64	7495	376	1771	477	277	102	0.14	8063	402	7500	494	437	92
0.65	−0.0217119	377	−0.0241294	477	0.0024175	100	0.15	−0.0197661	402	−0.0217006	495	0.0019345	93
0.66	6742	377	0817	478	075	101	0.16	7259	403	6511	496	252	93
0.67	6365	378	0339	478	0.0023974	100	0.17	6856	403	6015	495	159	92
0.68	5987	378	−0.0239861	478	874	100	0.18	6453	405	5520	495	067	91
0.69	5609	379	9383	479	774	100	0.19	6048	404	5025	496	0.0018976	91
0.70	−0.0215230	379	−0.0238904	479	0.0023674	100	0.20	−0.0195644	405	−0.0214529	496	0.0018885	91
0.71	4851	379	8425	479	574	100	0.21	5239	405	4033	497	794	92
0.72	4472	380	7946	479	474	99	0.22	4834	406	3536	498	702	91
0.73	4092	381	7467	480	375	100	0.23	4427	406	3038	497	611	91
0.74	3711	381	6987	482	275	99	0.24	4021	407	2541	498	520	90
0.75	−0.0213330	382	−0.0236505	480	0.0023176	99	0.25	−0.0193614	408	−0.0212043	498	0.0018430	91
0.76	2948	382	6025	481	077	98	0.26	3206	408	1545	498	339	90
0.77	2566	383	5544	482	0.0022978	99	0.27	2798	409	1047	499	249	90
0.78	2183	383	5062	481	879	98	0.28	2389	409	0548	499	159	90
0.79	1800	384	4581	482	781	98	0.29	1980	410	0049	500	069	90
0.80	−0.0211416	384	−0.0234099	483	0.0022683	99	0.30	−0.0191570	410	−0.0209549	500	0.0017979	90
0.81	1032	385	3616	483	584	99	0.31	1160	411	9049	499	889	89
0.82	0647	385	3133	483	485	97	0.32	0749	411	8550	501	800	89
0.83	0262	386	2650	483	388	97	0.33	0338	412	8049	501	711	89
0.84	−0.0209876	386	2167	484	291	98	0.34	−0.0189926	413	7548	501	622	88
0.85	−0.0209490	387	−0.0231683	485	0.0022193	98	0.35	−0.0189513	413	−0.0207047	502	0.0017534	89
0.86	9103	387	1198	484	095	97	0.36	9100	413	6545	502	445	89
0.87	8716	388	0714	485	0.0021998	97	0.37	8687	414	6043	502	356	88
0.88	8328	388	0229	486	901	97	0.38	8273	415	5541	503	268	88
0.89	7940	389	−0.0229743	485	804	97	0.39	7858	415	5038	503	180	88
0.90	−0.0207551	389	−0.0229258	486	0.0021707	97	0.40	−0.0187443	416	−0.0204535	503	0.0017092	87
0.91	7163	390	8772	486	610	96	0.41	7027	416	4032	504	003	89
0.92	6772	391	8286	487	514	96	0.42	6611	416	3528	504	0.0016910	87
0.93	6381	391	7799	487	418	96	0.43	6195	418	3024	505	823	87
0.94	5990	391	7312	487	322	96	0.44	5777	417	2519	504	742	87
0.95	−0.0205599	392	−0.0226825	488	0.0021226	96	0.45	−0.0185360	419	−0.0202015	505	0.0016655	86
0.96	5207	393	6337	488	130	95	0.46	4941	419	1510	505	569	86
0.97	4814	392	5849	488	035	96	0.47	4522	419	1005	506	483	87
0.98	4422	394	5361	489	0.0020939	95	0.48	4103	420	0499	506	396	86
0.99	4028	394	4872	489	844	95	0.49	3683	420	−0.0199993	507	310	86
1.00	−0.0203634		−0.0224383		0.0020749		0.50	−0.0183263		−0.0199486		0.0016224	

（续）

α'	16°						α'	17°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	−0.0183263	421	−0.0199486	507	0.0016224	87	0.00	−0.0161543	449	−0.0173711	524	0.0012169	76
0.51	2842	422	8979	507	137	85	0.01	1094	449	3187	524	093	75
0.52	2420	422	8472	507	052	85	0.02	0645	449	2663	526	018	76
0.53	1998	423	7965	509	0.0015967	86	0.03	0196	451	2137	526	0.0011942	76
0.54	1575	423	7456	508	881	85	0.04	−0.0159745	450	1611	526	866	75
0.55	−0.0181152	424	−0.0196948	508	796	84	0.05	−0.0159295	452	−0.0171086	526	0.0011791	75
0.56	0728	424	6440	510	712	86	0.06	8843	452	0560	528	716	75
0.57	0304	425	5930	509	626	84	0.07	8391	452	0032	527	641	75
0.58	−0.0179879	425	5421	509	542	84	0.08	7939	453	−0.0169505	527	566	74
0.59	9454	426	4912	510	458	85	0.09	7486	454	8978	527	492	73
0.60	−0.0179028	426	−0.0194402	511	0.0015373	84	0.10	−0.0157032	454	−0.0168451	528	0.0011419	74
0.61	8602	427	3891	510	289	83	0.11	6578	454	7923	529	345	75
0.62	8175	428	3381	511	206	83	0.12	6124	455	7394	528	270	73
0.63	7747	428	2870	511	123	84	0.13	5669	457	6866	529	197	73
0.64	7319	428	2359	512	039	83	0.14	5212	456	6337	530	124	73
0.65	−0.0176891	430	−0.0191847	513	0.0014956	83	0.15	−0.0154756	457	−0.0165807	530	0.0011051	74
0.66	6461	429	1334	512	873	83	0.16	4299	457	5277	530	0.0010977	72
0.67	6032	431	0822	513	790	82	0.17	3842	458	4747	531	905	73
0.68	5601	430	0309	513	703	83	0.18	3384	459	4216	531	832	72
0.69	5171	432	−0.0189796	514	625	82	0.19	2925	459	3685	531	760	72
0.70	−0.0174739	432	−0.0189282	514	0.0014543	82	0.20	−0.0152466	460	−0.0163154	532	0.0010688	72
0.71	4307	432	8768	514	461	82	0.21	2006	460	2622	532	616	72
0.72	3875	433	8254	515	379	82	0.22	1546	461	2090	532	544	71
0.73	3442	434	7739	515	297	81	0.23	1085	462	1558	532	473	71
0.74	3008	434	7224	515	216	81	0.24	0623	462	1026	534	402	71
0.75	−0.0172574	434	−0.0186709	516	0.0014135	81	0.25	−0.0150161	462	−0.0160492	533	0.0010331	72
0.76	2140	436	6193	516	054	81	0.26	−0.0149699	463	−0.0159959	534	259	70
0.77	1704	435	5677	515	0.0013973	80	0.27	9236	464	9425	534	189	70
0.78	1269	437	5162	517	893	81	0.28	8772	465	8891	534	119	69
0.79	0832	436	4645	517	812	80	0.29	8307	463	8357	536	050	71
0.80	−0.0170396	438	−0.0184128	518	0.0013732	80	0.30	−0.0147842	465	−0.0157821	535	0.0009979	69
0.81	−0.0169958	438	3610	518	652	80	0.31	7377	466	7286	535	910	70
0.83	9520	438	3092	517	572	79	0.32	6911	467	6751	536	840	69
0.82	9082	439	2575	519	493	80	0.33	6444	467	6215	536	771	69
0.84	8643	440	2056	519	413	79	0.34	5977	468	5679	537	702	69
0.85	−0.0168203	440	−0.0181537	520	0.0013334	80	0.35	−0.0145509	468	−0.0156142	537	0.0009633	69
0.86	7763	440	1017	519	254	79	0.36	5041	469	4605	537	564	68
0.87	7323	442	0498	520	175	78	0.37	4572	470	4068	538	496	69
0.88	6881	442	−0.0179978	520	097	79	0.38	4102	469	3530	538	427	68
0.89	6439	442	9458	521	018	78	0.39	3633	471	2992	538	359	67
0.90	−0.0165997	443	−0.0178937	521	0.0012940	78	0.40	−0.0143162	471	−0.0152454	540	0.0009292	68
0.91	5554	443	8416	521	862	78	0.41	2691	472	1914	538	224	67
0.92	5111	444	7895	522	784	77	0.42	2219	472	1376	540	157	68
0.93	4667	445	7373	521	707	77	0.43	1747	473	0836	540	089	67
0.94	4222	445	6852	523	630	78	0.44	1274	474	0296	540	022	66
0.95	−0.0163777	446	−0.0176329	523	0.0012552	77	0.45	−0.0140800	474	−0.0149756	541	0.0008956	66
0.96	3331	446	5806	523	475	76	0.46	0326	475	9215	541	890	67
0.97	2885	447	5283	523	399	77	0.47	−0.0139851	475	8674	541	823	66
0.98	2438	448	4760	524	322	77	0.48	9376	476	8133	541	757	65
0.99	1990	447	4236	525	245	76	0.49	8900	476	7592	543	692	66
1.00	−0.0161543		−0.0173711		0.0012169		0.50	−0.0138424		−0.0147049		0.0008626	

(续)

a′ (°)	17° x_z	差	y_z	差	ν_z	差	a′ (°)	18° x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	−0.0138424	477	−0.0147049	542	0.0008626	66	0.00	−0.0113854	506	−0.0119487	561	0.0005633	54
0.51	7947	478	6507	543	560	65	0.01	3348	508	8926	561	579	54
0.52	7469	478	5964	543	495	65	0.02	2840	508	8365	561	525	53
0.53	6991	479	5421	543	430	64	0.03	2332	508	7804	561	472	53
0.54	6512	479	4878	544	366	65	0.04	1824	509	7243	562	419	53
0.55	−0.0136033	480	−0.0144334	544	0.0008301	64	0.05	−0.0111315	509	−0.0116681	562	0.0005366	53
0.56	5553	480	3790	545	237	65	0.06	0806	510	6119	563	313	53
0.57	5073	481	3245	545	172	64	0.07	0296	510	5556	563	260	52
0.58	4592	482	2700	545	108	63	0.08	−0.0109785	511	4993	563	208	52
0.59	4110	483	2155	545	045	63	0.09	9274	513	4430	564	156	52
0.60	−0.0133627	482	−0.0141610	547	0.0007982	64	0.10	−0.0108761	512	−0.0113866	565	0.0005104	52
0.61	3145	484	1063	546	918	62	0.11	8249	513	3301	564	052	51
0.62	2661	484	0517	547	856	63	0.12	7736	514	2737	565	001	51
0.63	2177	484	−0.0139970	547	793	63	0.13	7222	515	2172	565	0.0004950	50
0.64	1693	486	9423	547	730	61	0.14	6707	514	1607	566	900	51
0.65	−0.0131207	485	−0.0138876	548	0.0007669	63	0.15	−0.0106193	516	−0.0111044	565	0.0004849	50
0.66	0722	487	8328	549	606	62	0.16	5677	516	0478	567	799	51
0.67	0235	486	7779	547	544	61	0.17	5161	517	−0.0109909	567	748	49
0.68	−0.0129749	488	7232	550	483	62	0.18	4644	518	9342	567	699	51
0.69	9261	488	6682	549	421	61	0.19	4126	518	8775	567	648	48
0.70	−0.0128773	489	−0.0136133	550	0.0007360	61	0.20	−0.0103608	518	−0.0108208	568	0.0004600	50
0.71	8284	489	5583	549	299	60	0.21	3090	519	7640	568	550	48
0.72	7795	490	5034	551	239	61	0.22	2571	521	7072	568	502	49
0.73	7305	490	4483	551	178	60	0.23	2050	520	6504	570	453	49
0.74	6815	491	3932	550	118	60	0.24	1530	521	5934	569	404	48
0.75	−0.0126324	492	−0.0133382	552	0.0007058	60	0.25	−0.0101009	522	−0.0105365	570	0.0004356	48
0.76	5832	492	2830	552	0.0006998	59	0.26	0487	522	4795	569	308	47
0.77	5340	493	2278	552	939	60	0.27	−0.0099965	523	4226	571	261	48
0.78	4847	494	1726	553	879	59	0.28	9442	524	3655	571	213	47
0.79	4353	494	1173	552	820	58	0.29	8918	524	3084	571	166	47
0.80	−0.0123859	494	−0.0130621	554	0.0006762	59	0.30	−0.0098394	525	−0.0102513	572	0.0004119	47
0.81	3365	495	0067	553	703	59	0.31	7869	525	1941	571	072	46
0.82	2870	496	−0.0129514	555	644	58	0.32	7344	526	1370	572	026	46
0.83	2374	497	8959	553	586	57	0.33	6818	527	0798	573	0.0003980	47
0.84	1877	497	8406	555	529	59	0.34	6291	527	0225	573	933	45
0.85	−0.0121380	497	−0.0127851	555	0.0006470	57	0.35	−0.0095764	528	−0.0099652	573	0.0003888	45
0.86	0883	498	7296	555	413	57	0.36	5236	528	9079	574	843	46
0.87	0385	499	6741	556	356	57	0.37	4708	529	8505	574	797	45
0.88	−0.0119886	500	6185	557	299	57	0.38	4179	530	7931	574	752	44
0.89	9386	499	5628	556	242	57	0.39	3649	530	7357	575	708	45
0.90	−0.0118887	501	−0.0125072	556	0.0006185	55	0.40	−0.0093119	531	−0.0096782	576	0.0003663	44
0.91	8386	501	4516	558	130	56	0.41	2588	532	6206	575	619	44
0.92	7885	502	3958	558	074	57	0.42	2056	532	5631	576	575	44
0.93	7383	502	3400	558	017	56	0.43	1524	533	5055	576	531	43
0.94	6881	503	2842	558	0.0005961	55	0.44	0991	533	4479	577	488	43
0.95	−0.0116378	504	−0.0122284	558	0.0005906	55	0.45	−0.0090458	534	−0.0093902	577	0.0003445	43
0.96	5874	504	1726	559	851	55	0.46	−0.0089924	535	3325	577	402	42
0.97	5370	505	1167	560	796	54	0.47	9389	535	2748	578	360	43
0.98	4865	505	0607	560	742	54	0.48	8854	536	2170	577	317	42
0.99	4360	506	0047	560	688	55	0.49	8318	537	1593	579	275	42
1.00	−0.0113854		−0.0119487		0.0005633		0.50	−0.0087781		−0.0091014		0.0003233	

（续）

α'	18°						α'	19°					
(°)	x_g	差	y_g	差	v_g	差	(°)	x_g	差	y_g	差	v_g	差
0.50	−0.0087781		−0.0091014		0.0003233		0.00	−0.0060151		−0.0061616		0.0001465	
		537		579		42			569		597		29
0.51	7244		0435		191		0.01	−0.0059582		1019		436	
		538		579		41			569		598		28
0.52	6706		−0.0089856		150		0.02	9013		0421		408	
		538		580		42			570		598		27
0.53	6168		9276		108		0.03	8443		−0.0059823		381	
		539		580		40			571		598		28
0.54	5629		8696		068		0.04	7872		9225		353	
		540		580		41			571		600		28
0.55	−0.0085089		−0.0088116		0.0003027		0.05	−0.0057301		−0.0058625		0.0001325	
		540		581		41			573		599		27
0.56	4549		7535		0.0002986		0.06	6728		8026		298	
		541		581		40			572		600		28
0.57	4008		6954		946		0.07	6156		7426		270	
		542		581		40			574		599		26
0.58	3466		6373		906		0.08	5582		6827		244	
		542		582		39			574		601		26
0.59	2924		5791		867		0.09	5008		6226		218	
		542		583		40			574		601		27
0.60	−0.0082382		−0.0085208		0.0002827		0.10	−0.0054434		−0.0055625		0.0001191	
		544		582		39			576		601		25
0.61	1838		4626		788		0.11	3858		5024		166	
		544		583		39			576		602		26
0.62	1294		4043		749		0.12	3282		4422		140	
		544		583		39			576		601		25
0.63	0750		3460		710		0.13	2706		3821		115	
		546		584		38			578		603		25
0.64	0204		2876		672		0.14	2128		3218		090	
		546		584		38			578		603		25
0.65	−0.0079658		−0.0082292		0.0002634		0.15	−0.0051550		−0.0052615		0.0001065	
		546		584		38			579		602		24
0.66	9112		1708		596		0.16	0972		2013		041	
		548		585		38			579		604		25
0.67	8564		1123		558		0.17	0393		1409		016	
		547		585		37			580		604		24
0.68	8017		0538		521		0.18	−0.0049813		0805		0.0000992	
		549		585		37			581		604		23
0.69	7468		−0.0079953		484		0.19	9232		0201		969	
		549		587		37			581		605		24
0.70	−0.0076919		−0.0079366		0.0002447		0.20	−0.0048651		−0.0049596		0.0000945	
		550		586		37			582		604		22
0.71	6369		8780		410		0.21	8069		8993		923	
		550		586		36			582		606		24
0.72	5819		8194		374		0.22	7487		8386		899	
		551		588		36			583		606		22
0.73	5268		7606		338		0.23	6904		7780		877	
		551		587		36			584		606		23
0.74	4717		7019		302		0.24	6320		7174		854	
		553		587		35			585		606		21
0.75	−0.0074164		−0.0076432		0.0002267		0.25	−0.0045735		−0.0046568		0.0000833	
		553		589		35			585		607		22
0.76	3611		5843		232		0.26	5150		5961		811	
		553		588		35			586		607		21
0.77	3058		5255		197		0.27	4564		5354		790	
		554		589		35			588		608		22
0.78	2504		4666		162		0.28	3978		4746		768	
		556		589		34			587		608		21
0.79	1949		4077		128		0.29	3391		4138		747	
		555		590		35			588		608		20
0.80	−0.0071394		−0.0073487		0.0002093		0.30	−0.0042803		−0.0043530		0.0000727	
		557		590		33			588		609		21
0.81	0837		2897		060		0.31	2215		2921		706	
		556		591		34			589		609		20
0.82	0281		2306		026		0.32	1626		2312		686	
		558		590		33			590		610		20
0.83	−0.0069723		1716		0.0001993		0.33	1036		1702		666	
		557		591		33			590		610		19
0.84	9166		1125		960		0.34	0446		1092		647	
		559		592		34			591		609		19
0.85	−0.0068607		−0.0070533		0.0001926		0.35	−0.0039855		−0.0040483		0.0000628	
		559		592		33			592		611		19
0.86	8048		−0.0069943		893		0.36	9263		−0.0039872		609	
		560		593		32			592		612		19
0.87	7488		9349		851		0.37	8671		9260		590	
		561		592		31			593		611		18
0.88	6927		8757		830		0.38	8078		8649		572	
		561		593		32			594		611		18
0.89	6366		8164		798		0.39	7484		8038		554	
		562		594		32			595		613		18
0.90	−0.0065804		−0.0067570		0.0001766		0.40	−0.0036889		−0.0037425		0.0000536	
		562		594		32			595		612		17
0.91	5242		6976		734		0.41	6294		6813		519	
		563		593		30			595		613		18
0.92	4679		6383		704		0.42	5699		6200		501	
		564		594		30			597		613		17
0.93	4115		5789		674		0.43	5102		5587		484	
		564		595		31			597		614		16
0.94	3551		5194		643		0.44	4505		4973		468	
		565		596		31			597		614		17
0.95	−0.0062986		−0.0064598		0.0001612		0.45	−0.0033908		−0.0034359		0.0000451	
		566		595		30			599		615		16
0.96	2420		4002		582		0.46	3309		3744		435	
		566		596		30			599		614		16
0.97	1854		3406		552		0.47	2710		3130		419	
		567		595		28			599		615		15
0.98	1287		2811		524		0.48	2111		2515		404	
		567		597		30			600		616		16
0.99	0720		2214		494		0.49	1511		1899		388	
		569		598		29			602		619		14
1.00	−0.0066151		−0.0061616		0.0001465		0.50	−0.0030909		−0.0031283		0.0000374	

(续)

α′ (°)	19° x_z	差	y_z	差	ν_z	差	α′ (°)	20° x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	−0.0030909	601	−0.0031283	616	0.0000374	15	0.00	0.0000000	636	0.0000000	636	0.0000000	0
0.51	0308	603	0667	617	359	14	0.01	0636	636	0636	636	000	0
0.52	−0.0029705	603	0050	617	345	15	0.02	1272	637	1272	636	000	1
0.53	9102	603	−0.0029433	618	330	14	0.03	1909	638	1908	636	001	2
0.54	8499	604	8815	617	316	13	0.04	2547	638	2544	637	003	1
0.55	−0.0027895	605	−0.0028198	618	0.0000303	13	0.05	0.0003185	639	0.0003181	637	0.0000004	2
0.56	7290	606	7580	619	290	13	0.06	3824	640	3818	638	006	2
0.57	6684	607	6961	619	277	12	0.07	4464	640	4456	638	008	2
0.58	6077	606	6342	619	265	13	0.08	5104	641	5094	638	010	3
0.59	5471	608	5723	620	252	12	0.09	5745	642	5732	639	013	3
0.60	−0.0024863	608	−0.0025103	620	0.0000240	12	0.10	0.0006387	643	0.0006371	640	0.0000016	3
0.61	4255	610	4483	621	228	11	0.11	7030	643	7011	639	019	4
0.62	3645	609	3862	621	217	11	0.12	7673	644	7650	641	023	3
0.63	3036	611	3241	621	206	11	0.13	8317	644	8291	640	026	4
0.64	2425	611	2620	621	195	10	0.14	8961	646	8931	641	030	5
0.65	−0.0021814	611	−0.0021999	622	0.0000185	11	0.15	0.0009607	646	0.0009572	642	0.0000035	4
0.66	1203	613	1377	623	174	10	0.16	0.0010253	646	0.0010214	641	039	4
0.67	0590	613	0754	622	164	10	0.17	0899	648	0855	642	045	4
0.68	−0.0019977	614	0132	624	154	10	0.18	1547	648	1497	642	049	7
0.69	9363	614	−00.019508	623	144	8	0.19	2195	649	2139	643	056	6
0.70	−0.0018749	615	−0.0018885	624	0.0000136	9	0.20	0.0012844	649	0.0012782	644	0.0000062	5
0.71	8134	616	8261	625	127	9	0.21	3493	650	3426	643	067	7
0.72	7518	616	7636	624	118	8	0.22	4143	651	4069	644	074	7
0.73	6902	617	7012	626	110	8	0.23	4794	652	4713	644	081	8
0.74	6285	618	6386	625	102	8	0.24	5446	652	5357	645	089	7
0.75	−0.0015667	619	−0.0015761	626	0.0000094	7	0.25	0.0016098	653	0.0016002	645	0.0000096	8
0.76	5048	619	5135	626	087	7	0.26	6751	654	6647	646	104	8
0.77	4429	620	4509	626	080	6	0.27	7405	654	7293	645	112	9
0.78	3809	620	3883	628	074	8	0.28	8059	655	7938	647	121	9
0.79	3189	621	3255	627	066	6	0.29	8714	656	8585	648	130	9
0.80	−0.0012568	622	−0.0012628	627	0.0000060	5	0.30	0.0019370	657	0.0019231	648	0.0000139	9
0.81	1946	623	2001	629	055	6	0.31	0.0020027	657	9879	647	148	10
0.82	1323	623	1372	629	049	6	0.32	0684	658	0.0020526	647	158	11
0.83	0700	624	0743	628	043	4	0.33	1342	658	1173	649	169	10
0.84	0076	625	0115	630	039	5	0.34	2000	660	1822	648	179	11
0.85	−0.0009451	625	−0.0009485	630	0.0000034	5	0.35	0.0022660	660	0.0022470	650	0.0000190	10
0.86	8826	626	8855	629	029	3	0.36	3320	660	3120	649	200	12
0.87	8200	627	8226	631	026	4	0.37	3980	662	3769	650	212	11
0.88	7573	627	7595	630	022	3	0.38	4642	662	4419	649	223	12
0.89	6946	628	6965	632	019	3	0.39	5304	663	5068	652	235	12
0.90	−0.0006318	629	−0.0006333	631	0.0000016	3	0.40	0.0025967	663	0.0025720	650	0.0000247	13
0.91	5689	629	5702	632	013	3	0.41	6630	665	6370	652	260	13
0.92	5060	630	5069	632	010	3	0.42	7295	665	7022	651	273	13
0.93	4430	631	4437	632	007	1	0.43	7960	665	7673	652	286	14
0.94	3799	631	3805	634	006	2	0.44	8625	667	8325	653	300	14
0.95	−0.0003168	633	−0.0003171	633	0.0000004	1	0.45	0.0029292	667	0.0028978	653	0.0000314	14
0.96	2535	632	2538	634	003	2	0.46	9959	668	9631	653	328	15
0.97	1903	634	1904	635	001	1	0.47	0.0030627	668	0.0030284	654	343	15
0.98	1269	634	1269	634	000	0	0.48	1295	670	0938	654	358	15
0.99	0635	635	0635	635	000	0	0.49	1965	670	1592	655	373	15
1.00	0.0000000		0.0000000		0.0000000		0.50	0.0032635		0.0032247		0.0000388	

（续）

α′	20°						α′	21°					
(°)	x_g	差	y_g	差	v_g	差	(°)	x_g	差	y_g	差	v_g	差
0.50	0.0032635	670	0.0032247	655	0.0000388	15	0.00	0.0067052	707	0.0065471	674	0.0001582	32
0.51	3305	672	2902	655	403	17	0.01	7759	708	6145	674	614	33
0.52	3977	672	3557	656	420	16	0.02	8467	709	6820	675	647	33
0.53	4649	673	4213	656	436	17	0.03	9176	709	7496	676	680	34
0.54	5322	673	4869	655	453	18	0.04	9885	710	8171	676	714	34
0.55	0.0035995	675	0.0035524	657	0.0000471	17	0.05	0.0070595	710	0.0068847	676	0.0001748	34
0.56	6670	675	6181	658	488	18	0.06	1305	712	9523	678	782	34
0.57	7345	675	6839	657	506	18	0.07	2017	712	0.0070201	677	816	34
0.58	8020	677	7496	659	524	18	0.08	2729	713	0878	678	850	36
0.59	8697	677	8155	657	542	19	0.09	3442	713	1556	678	886	36
0.60	0.0039374	677	0.0038812	659	0.0000561	19	0.10	0.0074155	715	0.0072234	678	0.0001922	36
0.61	0.0040051	679	9471	660	580	19	0.11	4870	715	2912	678	958	36
0.62	0730	679	0.0040131	659	599	20	0.12	5585	716	3591	680	994	36
0.63	1409	680	0790	660	619	20	0.13	6301	716	4271	681	0.0002030	37
0.64	2089	681	1450	659	639	20	0.14	7017	718	4950	680	2067	37
0.65	0.0042770	681	0.0042111	660	0.0000659	21	0.15	0.0077735	718	0.0075630	681	0.0002104	38
0.66	3451	683	2771	661	680	22	0.16	8453	719	6311	681	142	38
0.67	4134	683	3432	661	702	21	0.17	9172	719	6992	681	180	38
0.68	4817	683	4093	663	723	21	0.18	9891	720	7673	682	218	39
0.69	5500	685	4756	662	744	23	0.19	0.0080611	721	8355	682	257	39
0.70	0.0046185	685	0.0045418	663	0.0000767	22	0.20	0.0081332	722	0.0079037	683	0.0002296	38
0.71	6870	685	6081	662	789	23	0.21	2054	723	9720	682	334	40
0.72	7555	687	6743	664	812	23	0.22	2777	723	0.0080402	684	374	40
0.73	8242	687	7407	664	835	23	0.23	3500	724	1086	684	414	41
0.74	8929	688	8071	665	858	24	0.24	4224	725	1770	684	455	40
0.75	0.0049617	689	0.0048736	664	0.0000882	24	0.25	0.0084949	725	0.0082454	685	0.0002495	41
0.76	0.0050306	689	9400	665	906	24	0.26	5674	727	3139	684	536	42
0.77	0995	690	0.0050065	666	930	25	0.27	6401	727	3823	686	578	41
0.78	1685	691	0731	666	955	24	0.28	7128	728	4509	685	619	43
0.79	2376	692	1397	666	979	26	0.29	7856	728	5194	687	662	42
0.80	0.0053068	692	0.0052063	666	0.0001005	26	0.30	0.0088584	729	0.0085881	686	0.0002704	43
0.81	3760	693	2729	667	031	25	0.31	9313	730	6567	687	747	43
0.82	4453	694	3396	668	056	27	0.32	0.0090043	731	7254	687	790	43
0.83	5147	694	4064	668	083	26	0.33	0774	732	7941	688	833	44
0.84	5841	696	4732	668	109	28	0.34	1506	732	8629	688	877	44
0.85	0.0056537	695	0.0055400	668	0.0001137	27	0.35	0.0092238	733	0.0089317	689	0.0002921	44
0.86	7232	697	6068	668	164	28	0.36	2971	734	0.0090006	689	965	45
0.87	7929	698	6737	670	192	28	0.37	3705	735	0695	689	0.0003010	46
0.88	8627	698	7407	669	220	29	0.38	4440	735	1384	689	056	46
0.89	9325	698	8076	669	249	27	0.39	5175	736	2073	691	102	45
0.90	0.0060023	700	0.0058747	671	0.0001276	30	0.40	0.0095911	737	0.0092764	690	0.0003147	47
0.91	0723	700	9417	671	306	29	0.41	6648	737	3454	691	194	46
0.92	1423	701	0.0060088	672	335	29	0.42	7385	739	4145	691	240	48
0.93	2124	702	0760	672	364	30	0.43	8124	739	4836	693	288	47
0.94	2826	703	1432	672	394	31	0.44	8863	740	5529	691	335	48
0.95	0.0063529	703	0.0062104	672	0.0001425	31	0.45	0.0099603	740	0.0096220	693	0.0003383	48
0.96	4232	704	2776	672	456	31	0.46	0.0100343	742	6913	693	431	48
0.97	4936	705	3449	674	487	31	0.47	1085	742	7606	693	479	49
0.98	5641	705	4123	674	518	32	0.48	1827	743	8299	694	528	49
0.99	6346	706	4797	674	550	32	0.49	2570	744	8993	694	577	50
1.00	0.0067052		0.0065471		0.0001582		0.50	0.0103314		0.0099687		0.0003627	

（续）

α'	21°						α'	22°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.0103314	744	0.0099687	695	0.0003627	49	0.00	0.0141479	783	0.0134911	715	0.0006568	69
0.51	4058	745	0.0100382	694	676	51	0.01	2262	784	5626	715	637	68
0.52	4803	746	1076	696	727	51	0.02	3046	785	6341	716	705	69
0.53	5549	747	1772	696	778	50	0.03	3831	785	7057	716	774	69
0.54	6296	746	2468	696	828	52	0.04	4616	787	7773	717	843	69
0.55	0.0107043	749	0.0103164	697	0.0003880	52	0.05	0.0145403	787	0.0138490	717	0.0006912	70
0.56	7792	749	3861	696	932	52	0.06	6190	788	9207	717	982	71
0.57	8541	750	4557	697	984	51	0.07	6978	788	9924	718	0.0007053	71
0.58	9291	750	5254	698	0.0004036	53	0.08	7766	790	0.0140642	718	124	72
0.59	0.0110041	751	5952	699	089	53	0.09	8556	790	1360	719	196	71
0.60	0.0110792	752	0.0106651	699	0.0004142	53	0.10	0.0149346	791	0.0142079	719	0.0007267	72
0.61	1544	753	7350	698	195	54	0.11	0.0150137	792	2798	719	339	73
0.62	2297	754	8048	700	249	54	0.12	0929	793	3517	720	412	73
0.63	3051	754	8748	699	303	55	0.13	1722	793	4237	720	485	73
0.64	3805	755	9447	701	358	54	0.14	2515	794	4957	721	558	73
0.65	0.0114560	756	0.0110148	700	0.0004412	56	0.15	0.0153309	795	0.0145678	721	0.0007631	74
0.66	5316	757	0848	701	468	56	0.16	4104	796	6399	721	705	75
0.67	6073	757	1549	702	524	55	0.17	4900	797	7120	722	780	74
0.68	6830	759	2251	701	579	58	0.18	5697	797	7842	722	854	76
0.69	7589	759	2952	703	637	56	0.19	6494	798	8564	723	930	75
0.70	0.0118348	760	0.0113655	703	0.0004693	57	0.20	0.0157292	799	0.0149287	723	0.0008005	76
0.71	9108	760	4358	703	750	57	0.21	8091	800	0.0150010	724	081	77
0.72	9868	761	5061	703	807	59	0.22	8891	801	0734	723	158	77
0.73	0.0120629	763	5764	704	866	58	0.23	9692	801	1457	725	235	77
0.74	1392	762	6468	704	924	58	0.24	0.0160493	802	2182	724	312	77
0.75	0.0122154	764	0.0117172	705	0.0004982	59	0.25	0.0161295	803	0.0152906	726	0.0008389	78
0.76	2918	764	7877	705	0.0005041	59	0.26	2098	804	3632	725	467	78
0.77	3682	766	8582	706	100	60	0.27	2902	805	4357	726	545	78
0.78	4448	766	9288	706	160	60	0.28	3707	805	5083	727	623	79
0.79	5214	766	9993	707	220	60	0.29	4512	806	5810	726	702	80
0.80	0.0125980	768	0.0120700	707	0.0005280	61	0.30	0.0165318	807	0.0156536	727	0.0008782	80
0.81	6748	768	1407	706	341	62	0.31	6125	808	7263	729	862	79
0.82	7516	769	2113	708	403	61	0.32	6933	809	7992	727	941	81
0.83	8285	770	2821	708	464	62	0.33	7742	809	8719	729	0.0009022	81
0.84	9055	771	3529	708	526	63	0.34	8551	810	9448	729	103	82
0.85	0.0129826	771	0.0124237	709	0.0005589	62	0.35	0.0169361	811	0.0160177	729	0.0009185	82
0.86	0.0130597	772	4946	709	651	63	0.36	0.0170172	812	0906	730	267	81
0.87	1369	773	5655	709	714	64	0.37	0984	813	1636	730	348	82
0.88	2142	774	6364	711	778	63	0.38	1797	813	2396	730	430	84
0.89	2916	775	7075	710	841	64	0.39	2610	814	3066	731	514	83
0.90	0.0133691	775	0.0127785	711	0.0005905	65	0.40	0.0173424	815	0.0163827	731	0.0009597	84
0.91	4466	776	8496	711	970	65	0.41	4239	816	4558	732	681	84
0.92	5242	777	9207	711	0.0006035	65	0.42	5055	817	5290	732	765	85
0.93	6019	777	9918	713	100	65	0.43	5872	817	6022	733	850	84
0.94	6796	779	0.0130631	712	166	66	0.44	6689	818	6755	733	934	85
0.95	0.0137575	779	0.0131343	713	0.0006232	66	0.45	0.0177507	820	0.0167488	734	0.0010019	86
0.96	8354	780	2056	713	298	67	0.46	8327	820	8222	733	105	86
0.97	9134	779	2769	714	365	67	0.47	9147	820	8955	735	191	86
0.98	9915	781	3483	714	432	68	0.48	9967	822	9690	735	277	87
0.99	0.0140696	783	4197	714	500	68	0.49	0.0180789	822	0.0170425	735	364	87
1.00	0.0141479		0.0134911		0.0006568		0.50	0.0181611		0.0171160		0.0010451	

（续）

α'	22°						α'	23°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.0181611	823	0.0171160	735	0.0010451	88	0.00	0.0223774	864	0.0208449	756	0.0015326	107
0.51	2434	824	1895	736	539	89	0.01	4638	866	9205	756	433	109
0.52	3258	825	2631	737	627	88	0.02	5504	866	9961	758	542	109
0.53	4083	826	3368	737	715	89	0.03	6370	867	0.0210719	758	651	109
0.54	4909	826	4105	736	804	90	0.04	7237	868	1477	759	760	109
0.55	0.0185735	827	0.0174841	738	0.0010894	89	0.05	0.0228105	868	0.0212236	758	0.0015869	110
0.56	6562	828	5579	738	983	90	0.06	8973	870	2994	759	979	111
0.57	7390	829	6317	738	0.0011075	91	0.07	9843	870	3753	759	0.0016090	111
0.58	8219	830	7055	739	164	91	0.08	0.0230713	871	4512	760	201	111
0.59	9049	830	7794	739	255	91	0.09	1584	872	5272	761	312	111
0.60	0.0189879	831	0.0178533	740	0.0011346	92	0.10	0.0232456	873	0.0216033	760	0.0016423	113
0.61	0.0190710	833	9273	740	438	91	0.11	3329	874	6793	761	536	113
0.62	1543	832	0.0180013	741	529	92	0.12	4203	874	7554	762	649	112
0.63	2375	834	0754	741	621	93	0.13	5077	875	8316	762	761	113
0.64	3209	835	1495	741	714	94	0.14	5952	877	9078	762	874	114
0.65	0.0194044	835	0.0182236	742	0.0011808	93	0.15	0.0236829	877	0.0219840	763	0.0016988	114
0.66	4879	836	2978	742	901	94	0.16	7706	878	0.0220603	764	0.0017102	115
0.67	5715	837	3721	742	995	94	0.17	8584	878	1367	763	217	115
0.68	6552	838	4463	743	0.0012089	95	0.18	9462	880	2130	764	332	115
0.69	7390	839	5206	743	184	95	0.19	0.0240342	881	2894	765	448	115
0.70	0.0198229	840	0.0185949	744	0.0012279	97	0.20	0.0241223	881	0.0223659	765	0.0017563	117
0.71	9069	840	6693	745	376	96	0.21	2104	882	4424	765	680	117
0.72	9909	841	7438	744	471	97	0.22	2986	883	5189	766	797	117
0.73	0.0200750	842	8182	745	568	97	0.23	3869	884	5955	767	914	117
0.74	1592	843	8927	746	665	97	0.24	4753	884	6722	767	0.0018031	118
0.75	0.0202435	843	0.0189673	746	0.0012762	98	0.25	0.0245637	886	0.0227489	766	0.0018149	119
0.76	3278	845	0.0190419	746	860	98	0.26	6523	887	8253	768	268	118
0.77	4123	845	1165	747	958	98	0.27	7410	887	9023	768	386	120
0.78	4968	846	1912	747	0.0013056	99	0.28	8297	888	9791	769	506	119
0.79	5814	847	2659	748	155	99	0.29	9185	889	0.0230560	768	625	121
0.80	0.0206661	848	0.0193407	748	0.0013254	100	0.30	0.0250074	890	0.0231328	770	0.0018746	120
0.81	7509	848	4155	749	354	100	0.31	0964	890	2098	769	866	121
0.82	8357	850	4904	749	454	100	0.32	1854	892	2867	770	987	122
0.83	9207	850	5653	749	554	101	0.33	2746	892	3637	771	0.0019109	122
0.84	0.0210057	851	6402	750	655	101	0.34	3638	893	4408	771	231	122
0.85	0.0210908	852	0.0197152	749	0.0013756	102	0.35	0.0254531	895	0.0235179	771	0.0019353	123
0.86	1760	853	7901	751	858	102	0.36	5426	895	5950	772	476	123
0.87	2613	853	8652	751	960	103	0.37	6321	895	6722	772	599	123
0.88	3466	854	9403	752	0.0014063	103	0.38	7216	897	7494	773	722	124
0.89	4320	856	0.0200155	752	166	103	0.39	8113	898	8267	773	846	125
0.90	0.0215176	856	0.0200907	752	0.0014269	104	0.40	0.0259011	898	0.0239040	774	0.0019971	125
0.91	6032	857	1659	753	373	104	0.41	9909	899	9814	773	0.0020096	126
0.92	6889	858	2412	753	487	105	0.42	0.0260808	901	0.0240587	775	222	125
0.93	7747	858	3165	753	582	105	0.43	1709	900	1362	775	347	126
0.94	8605	859	3918	754	687	106	0.44	2609	902	2137	775	473	127
0.95	0.0219464	861	0.0204672	755	0.0014793	106	0.45	0.0263511	903	0.0242912	776	0.0020600	126
0.96	0.0220325	861	5427	754	899	105	0.46	4414	904	3688	776	726	127
0.97	1186	863	6181	755	0.0015004	107	0.47	5318	904	4464	776	853	129
0.98	2048	863	6936	756	111	107	0.48	6222	905	5240	777	982	128
0.99	2911	863	7692	757	218	108	0.49	7127	906	6017	777	0.0021110	129
1.00	0.0223774		0.0208449		0.0015326		0.50	0.0268033		0.0246794		0.0021239	

（续）

α′	23°						α′	24°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.0268033	907	0.0246794	779	0.0021239	129	0.00	0.0314456	952	0.0286217	799	0.0028240	152
0.51	8940	908	7573	778	368	130	0.01	5408	951	7016	800	392	152
0.52	9848	909	8351	779	498	130	0.02	6359	953	7816	801	544	152
0.53	0.0270757	910	9130	779	628	130	0.03	7312	954	8617	800	696	153
0.54	1667	910	9909	779	758	132	0.04	8266	955	9417	802	849	153
0.55	0.0272577	912	0.0250688	780	0.0021890	131	0.05	0.0319221	955	0.0290219	801	0.0029002	154
0.56	3489	912	1468	781	0.0022021	132	0.06	0.0320176	956	1020	802	156	154
0.57	4401	913	2249	780	153	132	0.07	1132	958	1822	802	310	155
0.58	5314	914	3029	781	285	133	0.08	2090	958	2625	803	465	155
0.59	6228	915	3810	782	418	133	0.09	3048	961	3428	803	620	156
0.60	0.0277143	916	0.0254592	782	0.0022551	133	0.10	0.0324007	960	0.0294231	805	0.0029776	155
0.61	8059	916	5375	782	684	134	0.11	4967	961	5036	804	931	157
0.62	8975	916	6157	783	818	134	0.12	5928	962	5840	804	0.0030088	157
0.63	9893	918	6940	783	952	136	0.13	6890	962	6644	806	245	158
0.64	0.0280811	919	7723	783	0.0023088	135	0.14	7852	964	7450	805	403	158
0.65	0.0281730	920	0.0258508	784	0.0023223	136	0.15	0.0328816	964	0.0298255	806	0.0030561	158
0.66	2650	921	9292	784	359	136	0.16	9780	966	9061	807	719	158
0.67	3571	922	0.0260076	784	495	136	0.17	0.0330746	966	9868	807	877	160
0.68	4493	923	0862	786	631	137	0.18	1712	967	0.0300675	807	0.0031037	159
0.69	5416	923	1647	785	768	138	0.19	2679	968	1483	807	196	161
0.70	0.0286339	925	0.0262433	786	0.0023906	138	0.20	0.0333647	969	0.0302290	809	0.0031357	160
0.71	7264	926	3219	786	0.0024044	138	0.21	4616	970	3099	809	517	162
0.72	8189	926	4007	787	182	138	0.22	5586	971	3907	808	679	161
0.73	9115	927	4794	788	321	140	0.23	6557	971	4716	810	840	162
0.74	0.0290042	928	5582	788	461	139	0.24	7528	973	5526	810	0.0032002	163
0.75	0.0290970	929	0.0266370	789	0.0024600	140	0.25	0.0338501	974	0.0306336	810	0.0032165	163
0.76	1899	930	7159	789	740	141	0.26	9475	974	7146	810	328	163
0.77	2829	931	7948	789	881	141	0.27	0.0340449	975	7958	812	491	164
0.78	3760	931	8737	789	0.0025022	142	0.28	1424	976	8769	811	655	165
0.79	4691	932	9527	790	164	142	0.29	2400	976	9581	812	820	165
0.80	0.0295623	934	0.0270318	790	0.0025306	143	0.30	0.0343378	978	0.0310393	812	0.0032985	165
0.81	6557	934	1108	791	449	142	0.31	4356	978	1206	813	0.0033150	165
0.82	7491	934	1899	791	591	143	0.32	5335	979	2020	814	315	167
0.83	8426	935	2691	792	734	144	0.33	6315	980	2832	812	482	167
0.84	9362	936	3484	793	878	145	0.34	7295	980	3647	815	648	166
0.85	0.0300299	937	0.0274276	792	0.0026023	144	0.35	0.0348277	982	0.0314461	814	0.0033816	168
0.86	1236	937	5069	793	167	146	0.36	9260	983	5277	816	983	167
0.87	2175	939	5862	793	313	145	0.37	0.0350243	983	6091	814	0.0034152	169
0.88	3114	939	6656	794	458	146	0.38	1228	985	6908	817	320	168
0.89	4054	940	7450	794	604	146	0.39	2213	985	7724	816	489	168
		942		793		148			986		816		170
0.90	0.0304996	942	0.0278245	795	0.0026750	148	0.40	0.0353199	987	0.0318540	818	0.0034659	170
0.91	5938	943	9040	796	898	147	0.41	4186	989	9358	817	829	171
0.92	6881	944	9836	796	0.0027045	148	0.42	5175	989	0.0320175	819	0.0035000	170
0.93	7825	945	0.0280632	797	193	148	0.43	6164	989	0994	819	170	171
0.94	8770	945	1429	797	341	148	0.44	7153	991	1812	818	341	173
0.95	0.0309715	947	0.0282226	797	0.0027489	150	0.45	0.0358144	992	0.0322631	819	0.0035514	172
0.96	0.0310662	947	3023	797	639	150	0.46	9136	993	3450	820	686	173
0.97	1609	948	3820	798	789	150	0.47	0.0360129	993	4270	820	859	174
0.98	2557	949	4618	799	939	151	0.48	1122	995	5090	821	0.0036033	173
0.99	3506	950	5417	800	0.0028090	150	0.49	2117	995	5911	821	206	174
1.00	0.0314456		0.0286217		0.0028240		0.50	0.0363112		0.0326732		0.0036380	

（续）

α′	24°						α′	25°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.0363112	997	0.0326732	822	0.0036380	175	0.00	0.0414072	1042	0.0368361	844	0.0045711	199
0.51	4109	997	7554	822	555	175	0.01	5111	1045	9205	844	910	200
0.52	5106	998	8376	822	730	176	0.02	6159	1045	0.0370049	845	0.0046110	200
0.53	6104	999	9198	823	906	176	0.03	7204	1046	0894	846	310	200
0.54	7103	1000	0.0330021	823	0.0037082	177	0.04	8250	1047	1740	846	510	201
0.55	0.0368103	1001	0.0330844	825	0.0037259	177	0.05	0.0419297	1048	0.0372586	846	0.0046711	201
0.56	9104	1002	1669	824	436	178	0.06	0.0420345	1049	3432	847	912	203
0.57	0.0370106	1003	2493	825	614	178	0.07	1394	1049	4279	848	0.0047115	202
0.58	1109	1004	3318	825	792	178	0.08	2443	1051	5127	847	317	203
0.59	2113	1005	4143	825	970	180	0.09	3494	1052	5974	848	520	204
0.60	0.0373118	1005	0.0334968	826	0.0038150	179	0.10	0.0424546	1052	0.0376822	848	0.0047724	204
0.61	4123	1007	5794	827	329	180	0.11	5599	1053	7670	850	928	204
0.62	5130	1007	6621	827	509	181	0.12	6652	1055	8520	849	0.0048132	206
0.63	6137	1009	7448	828	690	180	0.13	7707	1056	9369	850	338	206
0.64	7146	1009	8276	827	870	181	0.14	8763	1056	0.0380219	850	544	206
0.65	0.0378155	1010	0.0339103	828	0.0039051	183	0.15	0.0429819	1057	0.0381069	851	0.0048750	208
0.66	9165	1011	9931	829	234	182	0.16	0.0430876	1059	1920	852	956	207
0.67	0.0380176	1013	0.0340760	829	416	184	0.17	1935	1060	2772	851	0.0049163	208
0.68	1189	1013	1589	830	600	183	0.18	2995	1060	3623	853	371	208
0.69	2202	1014	2419	830	783	183	0.19	4055	1061	4476	853	579	208
0.70	0.0383216	1015	0.0343249	830	0.0039966	186	0.20	0.0435116	1062	0.0385329	853	0.0049787	209
0.71	4231	1015	4079	832	0.0040152	184	0.21	6178	1063	6182	853	996	210
0.72	5246	1017	4911	831	336	185	0.22	7241	1065	7035	854	0.0050206	211
0.73	6263	1018	5742	832	521	186	0.23	8306	1065	7889	855	417	211
0.74	7281	1018	6574	833	707	186	0.24	9371	1066	8744	855	628	210
0.75	0.0388299	1020	0.0347407	832	0.0040893	187	0.25	0.0440437	1067	0.0389599	856	0.0050838	212
0.76	9319	1021	8239	834	0.0041080	187	0.26	1504	1068	0.0390455	855	0.0051050	213
0.77	0.0390340	1021	9073	833	267	188	0.27	2572	1069	1310	857	263	212
0.78	1361	1023	9906	834	455	189	0.28	3641	1070	2167	857	475	213
0.79	2384	1023	0.0350740	835	644	188	0.29	4711	1071	3024	857	688	213
0.80	0.0393407	1024	0.0351575	834	0.0041832	190	0.30	0.0445782	1072	0.0393881	858	0.0051901	215
0.81	4431	1025	2409	836	0.0042022	189	0.31	6854	1073	4739	858	0.0052116	215
0.82	5456	1026	3245	836	211	190	0.32	7927	1074	5597	859	331	215
0.83	6482	1027	4081	837	401	191	0.33	9001	1075	6456	859	546	216
0.84	7509	1029	4918	836	592	192	0.34	0.0450076	1076	7315	859	762	216
0.85	0.0398538	1029	0.0355754	837	0.0042784	192	0.35	0.0451152	1077	0.0398174	860	0.0052978	217
0.86	9567	1030	6591	838	976	191	0.36	2229	1078	9034	861	0.0053195	217
0.87	0.0400597	1030	7429	839	0.0043167	193	0.37	3307	1078	9895	861	412	218
0.88	1627	1032	8268	838	360	193	0.38	4385	1080	0.0400756	861	630	218
0.89	2659	1033	9106	839	553	194	0.39	5465	1081	1617	862	848	219
0.90	0.0403692	1034	0.0359945	840	0.0043747	194	0.40	0.0456546	1081	0.0402479	862	0.0054067	220
0.91	4726	1034	0.0360785	840	941	194	0.41	7627	1083	3341	863	287	219
0.92	5760	1036	1625	840	0.0044135	196	0.42	8710	1084	4204	863	506	221
0.93	6796	1036	2465	841	331	195	0.43	9794	1084	5067	864	727	221
0.94	7832	1038	3306	841	526	197	0.44	0.0460878	1086	5931	864	948	221
0.95	0.0408870	1038	0.0364147	842	0.0044723	196	0.45	0.0461964	1086	0.0406795	865	0.0055169	222
0.96	9908	1040	4989	842	919	198	0.46	3050	1088	7660	865	391	222
0.97	0.0410948	1040	5831	843	0.0045117	197	0.47	4138	1088	8525	865	613	223
0.98	1988	1041	6674	843	314	198	0.48	5226	1090	9390	866	836	224
0.99	3029	1043	7517	844	512	199	0.49	6316	1090	0.0410256	866	0.0056060	224
1.00	0.0414072		0.0368361		0.0045711		0.50	0.0467406		0.0411122		0.0056284	

（续）

α'	25°						α'	26°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.0467406	1092	0.0411122	868	0.0055284	224	0.00	0.0523191	1141	0.0455038	891	0.0068153	251
0.51	8498	1092	1990	867	508	225	0.01	4332	1143	5929	891	404	251
0.52	9590	1093	2857	868	733	225	0.02	5475	1143	6820	890	655	252
0.53	0.0470683	1095	3725	869	958	226	0.03	6618	1144	7710	892	907	253
0.54	1778	1095	4594	868	0.0057184	227	0.04	7762	1146	8602	892	0.0069160	254
0.55	0.0472873	1096	0.0415462	868	0.0057411	227	0.05	0.0528908	1146	0.0459494	893	0.0069414	253
0.56	3969	1098	6331	870	638	228	0.06	0.0530054	1147	0.0460387	892	667	254
0.57	5067	1098	7201	870	866	228	0.07	1201	1148	1279	894	921	255
0.58	6165	1100	8071	871	0.0058094	229	0.08	2349	1150	2173	895	0.0070176	255
0.59	7265	1100	8942	871	323	229	0.09	3499	1150	3068	894	431	256
0.60	0.0478365	1101	0.0419813	872	0.0058552	229	0.10	0.0534649	1151	0.0463962	895	0.0070687	257
0.61	9466	1102	0.0420685	872	781	231	0.11	5800	1153	4857	895	944	256
0.62	0.0480568	1104	1557	872	0.0059012	231	0.12	6953	1153	5752	896	0.0071200	258
0.63	1672	1104	2429	873	243	231	0.13	8106	1155	6648	896	458	258
0.64	2776	1105	3302	874	474	232	0.14	9261	1155	7544	897	716	260
0.65	0.0483881	1106	0.0424176	874	0.0059706	232	0.15	0.0540416	1156	0.0468441	897	0.0071976	258
0.66	4987	1107	5050	873	938	233	0.16	1572	1158	9338	898	0.0072234	259
0.67	6094	1108	5923	875	0.0060171	233	0.17	2730	1158	0.0470236	899	393	260
0.68	7202	1110	6798	876	404	234	0.18	3888	1160	1135	898	753	262
0.69	8312	1110	7674	875	638	235	0.19	5048	1160	2033	900	0.0073015	261
0.70	0.0489422	1111	0.0428549	877	0.0060873	234	0.20	0.0546208	1162	0.0472933	899	0.0073276	262
0.71	0.0490533	1112	9426	876	0.0061107	236	0.21	7370	1163	3832	900	539	262
0.72	1645	1113	0.0430302	877	343	236	0.22	8533	1163	4732	901	800	263
0.73	2758	1114	1179	877	579	237	0.23	9696	1165	5633	900	0.0074063	264
0.74	3872	1116	2057	878	816	236	0.24	0.0550861	1166	6533	902	327	264
0.75	0.0494988	1116	0.0432935	878	0.0062052	238	0.25	0.0552027	1166	0.0477435	903	0.0074591	264
0.76	6104	1117	3813	880	290	238	0.26	3193	1168	8338	902	855	266
0.77	7221	1118	4693	879	528	239	0.27	4361	1169	9240	903	0.0075121	266
0.78	8339	1119	5572	880	767	239	0.28	5530	1169	0.0480143	904	387	266
0.79	9458	1120	6452	880	0.0063006	240	0.29	6699	1171	1047	904	653	266
0.80	0.0500578	1121	0.0437332	881	0.0063246	241	0.30	0.0557870	1172	0.0481951	904	0.0075919	268
0.81	1699	1123	8213	881	487	240	0.31	9042	1173	2855	905	0.0076187	268
0.82	2822	1123	9094	883	727	241	0.32	0.0560215	1174	3760	905	455	269
0.83	3945	1124	9977	882	968	242	0.33	1389	1175	4665	905	724	269
0.84	5069	1125	0.0440859	882	0.0064210	243	0.34	2564	1176	5570	907	993	269
0.85	0.0506194	1126	0.0441741	884	0.0064453	243	0.35	0.0563740	1177	0.0486477	907	0.0077252	270
0.86	7320	1127	2625	883	696	243	0.36	4917	1177	7384	907	532	272
0.87	8447	1128	3508	884	939	243	0.37	6094	1180	8291	908	804	271
0.88	9575	1129	4392	884	0.0065183	245	0.38	7274	1180	9199	908	0.0078075	271
0.89	0.0510704	1130	5276	886	428	245	0.39	8454	1181	0.0490107	909	346	273
0.90	0.0511834	1132	0.0446162	886	0.0065673	246	0.40	0.0569635	1182	0.0491016	909	0.0078619	273
0.91	2966	1132	7048	886	919	245	0.41	0.0570817	1183	1925	909	892	274
0.92	4098	1133	7934	886	0.0066164	247	0.42	2000	1184	2834	911	0.0079166	273
0.93	5231	1134	8820	887	411	247	0.43	3184	1186	3745	910	439	275
0.94	6365	1135	9707	887	658	248	0.44	4370	1186	4655	911	714	276
0.95	0.0517500	1136	0.0450594	888	0.0066906	248	0.45	0.0575556	1187	0.0495566	912	0.0079990	275
0.96	8636	1138	1482	888	0.0067154	249	0.46	6743	1189	6478	912	0.0080265	277
0.97	9774	1138	2370	889	403	250	0.47	7932	1189	7390	912	542	277
0.98	0.0520912	1139	3259	890	653	249	0.48	9121	1190	8302	914	819	277
0.99	2051	1140	4149	889	902	251	0.49	0.0580311	1192	9216	913	0.0081096	278
1.00	0.0523191		0.0455038		0.0068153		0.50	0.0581503		0.0500129		0.0081374	

（续）

α′	26°						α′	27°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.0581503	1192	0.0500129	914	0.0081374	279	0.00	0.0642420	1245	0.0546417	938	0.0096003	307
0.51	2695	1194	1043	915	653	279	0.01	3665	1247	7355	939	310	308
0.52	3889	1195	1958	914	932	280	0.02	4912	1247	8294	939	618	308
0.53	5084	1195	2872	915	0.0082212	280	0.03	6159	1249	9233	939	926	310
0.54	6279	1196	3787	916	492	281	0.04	7408	1250	0.0550172	940	0.0097236	310
0.55	0.0587476	1198	0.0504703	917	0.0082773	281	0.05	0.0648658	1251	0.0551112	941	0.0097546	310
0.56	8674	1199	5620	917	0.0083054	282	0.06	9909	1252	2053	941	856	310
0.57	9873	1200	6537	917	336	283	0.07	0.0651161	1253	2994	942	0.0098166	312
0.58	0.0591073	1200	7454	918	619	282	0.08	2414	1254	3936	942	478	312
0.59	2273	1203	8372	918	901	284	0.09	3668	1255	4878	942	790	313
0.60	0.0593476	1202	0.0509290	919	0.0084185	284	0.10	0.0654923	1256	0.0555820	943	0.0099103	313
0.61	4678	1204	0.0510209	919	469	285	0.11	6179	1258	6763	944	416	314
0.62	5882	1204	1128	920	754	285	0.12	7437	1258	7707	943	730	315
0.63	7088	1206	2048	920	0.0085039	287	0.13	8695	1259	8650	945	0.0100045	315
0.64	8294	1207	2968	921	326	286	0.14	9954	1261	9595	945	0360	315
0.65	0.0599501	1208	0.0513889	921	0.0085612	287	0.15	0.0661215	1262	0.0560540	945	0.0100675	316
0.66	0.0600709	1209	4810	922	899	288	0.16	2477	1262	1485	947	0991	317
0.67	1918	1211	5732	922	0.0086187	288	0.17	3739	1264	2432	946	1308	317
0.68	3129	1211	6654	922	475	285	0.18	5003	1265	3378	947	1625	318
0.69	4340	1212	7576	923	764	289	0.19	6268	1266	4325	947	1943	319
0.70	0.0605552	1214	0.0518499	924	0.0087053	290	0.20	0.0667534	1267	0.0565272	948	0.0102262	319
0.71	6766	1215	9423	924	343	291	0.21	8801	1268	6220	948	2581	320
0.72	7981	1215	0.0520347	924	634	291	0.22	0.0670069	1270	7169	949	2901	320
0.73	9196	1217	1271	925	925	292	0.23	1339	1270	8118	949	3221	321
0.74	0.0610413	1218	2196	926	0.0088217	292	0.24	2609	1271	9067	950	3542	322
0.75	0.0611631	1219	0.0523122	926	0.0088509	293	0.25	0.0673880	1273	0.0570017	950	0.0103864	322
0.76	2850	1219	4048	927	802	293	0.26	5153	1274	0967	951	4186	323
0.77	4069	1221	4975	926	0.0089095	294	0.27	6427	1274	1918	952	4509	322
0.78	5290	1222	5901	928	389	295	0.28	7701	1276	2870	952	4831	324
0.79	6512	1223	6829	928	684	294	0.29	8977	1277	3822	952	5155	325
0.80	0.0617735	1224	0.0527757	928	0.0089978	296	0.30	0.0680254	1278	0.0574774	952	0.0105480	326
0.81	8959	1226	8685	929	0.0090274	297	0.31	1532	1279	5726	954	5806	325
0.82	0.0620185	1226	9614	929	571	297	0.32	2811	1280	6680	954	6121	326
0.83	1411	1227	0.0530543	930	868	297	0.33	4091	1282	7634	954	6447	328
0.84	2638	1228	1473	931	0.0091165	298	0.34	5373	1282	8588	955	6785	328
0.85	0.0623866	1230	0.0532404	930	0.0091463	299	0.35	0.0686655	1283	0.0579543	955	0.0107113	327
0.86	5096	1231	3334	931	762	299	0.36	7938	1285	0.0580498	956	7440	329
0.87	6327	1231	4265	933	0.0092061	299	0.37	9223	1286	1454	956	7769	329
0.88	7558	1232	5198	932	360	301	0.38	0.0690509	1287	2410	957	8098	331
0.89	8790	1234	6130	933	661	301	0.39	1796	1287	3367	958	8429	330
0.90	0.0630024	1235	0.0537063	933	0.0092962	301	0.40	0.0693083	1289	0.0584325	957	0.0108759	331
0.91	1259	1236	7996	933	0.0093263	303	0.41	4372	1290	5282	959	9090	332
0.92	2495	1237	8929	935	566	302	0.42	5662	1292	6241	958	9422	333
0.93	3732	1238	9864	934	868	304	0.43	6954	1292	7199	960	9755	332
0.94	4970	1239	0.0540798	935	0.0094172	304	0.44	8246	1293	8159	960	0.0110087	333
0.95	0.0636209	1240	0.0541733	936	476	304	0.45	0.0699539	1295	0.0589119	960	0.0110420	334
0.96	7449	1241	2669	936	780	305	0.46	0.0700834	1295	0.0590079	961	0754	336
0.97	8690	1242	3605	937	0.0095085	306	0.47	2129	1297	1040	961	1090	335
0.98	9932	1244	4542	938	391	305	0.48	3426	1298	2001	961	1425	336
0.99	0.0641176	1244	5480	937	696	307	0.49	4724	1299	2962	962	1761	337
1.00	0.0642420		0.0546417		0.0096003		0.50	0.0706023		0.0593924		0.0112098	

(续)

α'	27°						α'	28°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.0706023	1300	0.0593924	964	0.0112098	337	0.00	0.0772394	1357	0.0642678	987	0.0129717	369
0.51	7323	1301	4888	963	2435	338	0.01	3751	1357	3665	989	0.0130086	368
0.52	8624	1302	3851	964	2773	338	0.02	5108	1359	4654	988	0454	370
0.53	9926	1304	6815	964	3111	339	0.03	6467	1360	5642	990	0824	371
0.54	0.0711230	1304	7779	965	3450	340	0.04	7827	1360	6632	989	1195	371
0.55	0.0712534	1305	0.0598744	965	0.0113790	340	0.05	0.0779187	1362	0.0647621	991	0.0131566	372
0.56	3839	1307	9709	966	4130	341	0.06	0.0780549	1363	8612	991	1938	371
0.57	5146	1308	0.0600675	966	4471	342	0.07	1912	1365	9603	992	2309	373
0.58	6454	1309	1641	967	4813	342	0.08	3277	1365	0.0650595	992	2682	373
0.59	7763	1310	2608	967	5155	343	0.09	4642	1367	1587	992	3055	374
0.60	0.0719073	1311	0.0603575	968	0.0115498	343	0.10	0.0786009	1367	0.0652579	993	0.0133429	375
0.61	0.0720384	1312	4543	968	5841	343	0.11	7376	1369	3572	994	3804	376
0.62	1696	1314	5511	969	6186	344	0.12	8745	1370	4566	994	4180	375
0.63	3010	1314	6480	970	6530	345	0.13	0.0790115	1371	5560	994	4555	377
0.64	4324	1316	7450	969	6875	345	0.14	1486	1373	6554	995	4932	378
0.65	0.0725640	1316	0.0608419	970	0.0117220	347	0.15	0.0792859	1373	0.0657549	995	0.0135310	378
0.66	6956	1318	9389	971	7567	348	0.16	4232	1375	8544	996	5688	378
0.67	8274	1319	0.0610360	973	7915	347	0.17	5607	1376	9540	997	6066	379
0.68	9593	1320	1331	972	8262	348	0.18	6983	1377	0.0660537	998	6445	380
0.69	0.0730913	1321	2303	973	8610	349	0.19	8360	1378	1533	997	6825	381
0.70	0.0732234	1323	0.0613276	972	0.0118959	350	0.20	0.0799738	1379	0.0662532	998	0.0137206	381
0.71	3557	1323	4248	973	9309	350	0.21	0.0801117	1380	3530	998	7587	382
0.72	4880	1325	5221	974	9659	351	0.22	2497	1382	4528	1000	7969	381
0.73	6205	1325	6195	975	0.0120010	351	0.23	3879	1383	5528	999	8350	384
0.74	7530	1327	7170	974	0361	352	0.24	5262	1383	6527	1001	8734	384
0.75	0.0738857	1328	0.0618144	976	0.0120713	353	0.25	0.0806645	1385	0.0667528	1001	0.0139118	384
0.76	0.0740185	1329	9120	975	1066	353	0.26	8030	1387	8529	1000	9502	385
0.77	1514	1330	0.0620095	976	1419	354	0.27	9417	1387	9529	1002	9887	386
0.78	2844	1332	1071	978	1773	354	0.28	0.0810804	1389	0.0670531	1002	0.0140273	387
0.79	4176	1332	2049	977	2127	355	0.29	2193	1389	1533	1003	0660	386
0.80	0.0745508	1334	0.0623026	977	0.0122482	357	0.30	0.0813582	1391	0.0672536	1003	0.0141046	388
0.81	6842	1334	4003	978	2839	356	0.31	4973	1392	3539	1003	1434	388
0.82	8176	1336	4981	979	3195	356	0.32	6365	1393	4543	1004	1822	389
0.83	9512	1337	5960	980	3551	358	0.33	7758	1394	5547	1005	2211	390
0.84	0.0750849	1338	6940	980	3909	359	0.34	9152	1396	6552	1005	2601	390
0.85	0.0752187	1340	0.0627920	980	0.0124268	359	0.35	0.0820548	1396	0.0677557	1006	0.0142991	391
0.86	3527	1340	8900	981	4627	359	0.36	1944	1398	8563	1006	3382	391
0.87	4867	1341	9881	981	4986	360	0.37	3342	1399	9569	1007	3773	392
0.88	6208	1343	0.0630862	982	5346	361	0.38	4741	1399	0.0680576	1008	4165	393
0.89	7551	1344	1844	982	5707	362	0.39	6142	1401	584	1007	4558	394
0.90	0.0758895	1344	0.0632826	983	0.0126069	362	0.40	0.0827543	1402	0.0682591	1008	0.0144952	394
0.91	0.0760239	1346	3809	983	6431	363	0.41	8945	1404	3599	1010	5346	394
0.92	1585	1348	4792	984	6794	363	0.42	0.0830349	1405	4609	1009	5740	396
0.93	2933	1348	5776	984	7157	363	0.43	1754	1406	5618	1010	6136	396
0.94	4281	1349	6760	985	7520	365	0.44	3160	1407	6628	1010	6532	397
0.95	0.0765630	1351	0.0637745	986	0.0127885	365	0.45	0.0834567	1409	0.0687638	1011	0.0146929	397
0.96	6981	1352	8731	986	8250	366	0.46	5976	1409	8649	1011	7326	399
0.97	8333	1353	9717	986	8616	366	0.47	7385	1411	9660	1012	7725	398
0.98	9686	1353	0.0640703	987	8982	367	0.48	8796	1411	0.0690672	1013	8123	399
0.99	0.0771039	1355	1690	988	9349	368	0.49	0.0840207	1413	1685	1013	8522	400
1.00	0.0772394		0.0642678		0.0129717		0.50	0.0841620		0.0692698		0.0148922	

（续）

a'	28°						a'	29°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.0841620		0.0692698		0.0148922		0.00	0.0913789		0.0744014		0.0169775	
		1415		1013		402			1474		1039		435
0.51	3035		3711		9324		0.01	5263		5053		0.0170209	
		1415		1015		400			1475		1041		435
0.52	4450		4726		9724		0.02	6738		6094		0644	
		1417		1014		402			1476		1041		436
0.53	5867		5740		0.0150126		0.03	8214		7135		1080	
		1418		1013		404			1478		1041		436
0.54	7285		6755		0530		0.04	9692		8176		1516	
		1419		1016		403			1479		1041		437
0.55	0.0848704		0.0697771		0.0150933		0.05	0.0921171		0.0749217		0.0171953	
		1420		1017		403			1480		1043		437
0.56	0.0850124		8738		1336		0.06	2651		0.0750260		2390	
		1421		1015		405			1487		1042		440
0.57	1545		9803		1741		0.07	4132		1302		2830	
		1423		1018		405			1483		1044		438
0.58	2968		0.0700821		2146		0.08	5615		2346		3268	
		1423		1018		406			1483		1044		440
0.59	4391		1839		2552		0.09	7098		3390		3708	
		1425		1018		407			1485		1044		441
0.60	0.0855816		0.0702857		0.0152959		0.10	0.0928583		0.0754434		0.0174149	
		1426		1019		407			1487		1045		441
0.61	7242		3876		3366		0.11	0.0930070		5479		4590	
		1427		1019		408			1487		1046		442
0.62	8669		4895		3774		0.12	1557		6525		4992	
		1429		1019		409			1489		1046		443
0.63	0.0860098		5914		4183		0.13	3046		7571		5474	
		1429		1021		410			1489		1047		443
0.64	1527		6935		4593		0.14	4535		8618		5917	
		1431		1023		409			1491		1047		445
0.65	0.0862958		0.0707956		0.0155002		0.15	0.0936026		0.0759665		0.0176362	
		1433		1021		411			1493		1047		444
0.66	4390		8977		5413		0.16	7519		0.0760712		6806	
		1433		1022		411			1493		1049		445
0.67	5823		0.0710999		4824		0.17	9012		1761		7251	
		1435		1022		413			1495		1048		446
0.68	7258		1021		6236		0.18	0.0940507		2810		7697	
		1435		1023		413			1496		1049		447
0.69	8693		2044		6649		0.19	2003		3859		8144	
		1437		1023		414			1497		1049		448
0.70	0.0870130		0.0713067		0.0157063		0.20	0.0943500		0.0764908		0.0178592	
		1438		1024		413			1498		1051		448
0.71	1568		4091		7476		0.21	4998		5959		9040	
		1439		1025		415			1500		1050		449
0.72	3007		5116		7891		0.22	6498		7009		9489	
		1440		1025		415			1501		1052		449
0.73	4447		6141		8306		0.23	7999		8061		9938	
		1442		1025		417			1502		1052		450
0.74	5889		7166		8723		0.24	9501		9113		0.0180388	
		1442		1026		416			1503		1053		450
0.75	0.0877331		0.0718192		0.0159139		0.25	0.0951004		0.0770166		0.0180838	
		1444		1027		417			1505		1052		452
0.76	8775		9219		9556		0.26	2509		1218		1290	
		1445		1028		418			1505		1054		453
0.77	0.0880220		0.0720247		9974		0.27	4014		2272		1743	
		1447		1027		419			1507		1054		453
0.78	1667		1274		0.0160393		0.28	5521		3326		2196	
		1447		1028		419			1509		1054		454
0.79	3114		2302		0812		0.29	7030		4380		2650	
		1449		1028		420			1509		1055		454
0.80	0.0884563		0.0723330		0.0161232		0.30	0.0958539		0.0775435		0.0183104	
		1450		1030		421			1511		1056		455
0.81	6013		4360		1653		0.31	0.0960050		6491		3559	
		1451		1029		421			1512		1056		456
0.82	7464		5389		2074		0.32	1562		7547		4015	
		1452		1030		422			1513		1057		456
0.83	8916		6419		2496		0.33	3075		8604		4471	
		1453		1031		423			1515		1057		458
0.84	0.0890369		7450		2919		0.34	4590		9661		4929	
		1455		1032		423			1515		1058		457
0.85	0.0891824		0.0728482		0.0163342		0.35	0.0966105		0.0780719		0.0185385	
		1456		1032		424			1517		1059		459
0.86	3280		9514		3766		0.36	7622		1778		5845	
		1457		1032		425			1518		1059		459
0.87	4737		0.0730546		4191		0.37	9140		2837		6304	
		1458		1032		426			1520		1059		460
0.88	6195		1578		4617		0.38	0.0970660		3896		6764	
		1460		1034		426			1520		1060		461
0.89	7655		2612		5043		0.39	2180		4956		7225	
		1460		1034		427			1522		1061		461
0.90	0.0899115		0.0733646		0.0165470		0.40	0.0973702		0.0786017		0.0187686	
		1462		1034		427			1523		1060		462
0.91	0.0900577		4680		5897		0.41	5225		7077		8148	
		1463		1036		428			1525		1061		463
0.92	2040		5716		6325		0.42	6750		8138		8611	
		1465		1034		428			1525		1063		463
0.93	3505		6750		6754		0.43	8275		9201		9074	
		1465		1037		429			1527		1062		465
0.94	4970		7787		7183		0.44	9802		0.0790263		9539	
		1467		1036		431			1528		1064		465
0.95	0.0906437		0.0738823		0.0167614		0.45	0.0981330		0.0791327		0.0190004	
		1468		1038		430			1530		1063		465
0.96	7905		9861		8044		0.46	2860		2390		0469	
		1469		1037		432			1530		1064		465
0.97	9374		0.0740898		8476		0.47	4390		3454		0936	
		1470		1038		432			1532		1065		467
0.98	0.0910844		1936		8908		0.48	5922		4519		1403	
		1472		1039		433			1533		1065		468
0.99	2316		2975		9341		0.49	7455		5584		1871	
		1473		1039		434			1534		1066		468
1.00	0.0913789		0.0744014		0.0169775		0.50	0.0988939		0.0796650		0.0192339	

（续）

α′	29°						α′	30°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.0988989	1536	0.0796650	1067	0.0192339	469	0.00	0.1067316	1599	0.0850635	1094	0.0216681	505
0.51	0.0990525	1537	7717	1067	2808	470	0.01	8915	1600	1729	1095	7186	505
0.52	2062	1538	8784	1068	3278	470	0.02	0.1070515	1602	2824	1094	7691	507
0.53	3600	1539	9852	1067	3748	472	0.03	2117	1603	3918	1095	8198	508
0.54	5139	1541	0.0800919	1069	4220	472	0.04	3720	1604	5013	1096	8706	509
0.55	0.0996680	1542	0.0801988	1069	0.0194692	473	0.05	0.1075324	1606	0.0856109	1096	0.0219215	509
0.56	8222	1543	3057	1069	5165	474	0.06	6930	1606	7205	1098	9724	509
0.57	9765	1544	4126	1071	5639	474	0.07	8536	1608	8303	1098	0.0220233	510
0.58	0.1001309	1546	5197	1071	6113	474	0.08	0.1080144	1610	9401	1097	0744	512
0.59	2855	1547	6268	1071	6587	476	0.09	1754	1610	0.0860498	1099	1256	512
0.60	0.1004402	1548	0.0807339	1071	0.0197063	476	0.10	0.1083364	1612	0.0861597	1099	0.0221768	512
0.61	5950	1549	8410	1072	7539	478	0.11	4976	1614	2696	1100	2286	514
0.62	7499	1551	9482	1074	8017	477	0.12	6590	1614	3796	1100	2794	514
0.63	9050	1552	0.0810556	1073	8494	479	0.13	8204	1616	4896	1101	3308	515
0.64	0.1010602	1553	1629	1074	8973	479	0.14	9820	1617	5997	1102	3823	516
0.65	0.1012155	1554	0.0812703	1075	0.0199452	480	0.15	0.1091437	1619	0.0867099	1101	0.0224339	517
0.66	3709	1556	3778	1075	9932	480	0.16	3056	1619	8200	1103	4856	516
0.67	5265	1557	4853	1075	0.0200412	482	0.17	4675	1622	9303	1102	5372	518
0.68	6822	1558	5928	1077	0894	481	0.18	6297	1622	0.0870415	1105	5890	520
0.69	8380	1559	7005	1076	1375	483	0.19	7919	1624	1510	1104	6410	519
0.70	0.1019939	1561	0.0818081	1078	0.0201858	484	0.20	0.1099543	1625	0.0872614	1105	0.0226929	520
0.71	0.1021500	1562	9159	1077	2342	484	0.21	0.1101168	1626	3719	1105	7449	521
0.72	3062	1564	0.0820236	1078	2826	485	0.22	2794	1628	4824	1106	7970	522
0.73	4626	1564	1314	1079	3311	486	0.23	4422	1629	5930	1106	8492	523
0.74	6190	1566	2393	1080	3797	486	0.24	6051	1630	7036	1107	9015	523
0.75	0.1027756	1567	0.0823473	1079	0.0204283	488	0.25	0.1107681	1631	0.0878143	1108	0.0229538	524
0.76	9323	1568	4552	1081	4771	487	0.26	9312	1633	9251	1108	0.0230062	525
0.77	0.1030891	1570	5633	1082	5258	489	0.27	0.1110945	1635	0.0880359	1108	0587	525
0.78	2461	1571	6715	1081	5747	489	0.28	2580	1635	1467	1109	1112	526
0.79	4032	1572	7796	1082	6236	490	0.29	4215	1637	2576	1110	1638	528
0.80	0.1035604	1573	0.0828878	1082	0.0206726	491	0.30	0.1115852	1638	0.0883686	1110	0.0232166	528
0.81	7177	1575	9960	1084	7217	492	0.31	7490	1639	4796	1111	2694	528
0.82	8752	1576	0.0831044	1083	7709	492	0.32	9129	1641	5907	1111	3222	529
0.83	0.1040328	1578	2127	1085	8201	493	0.33	0.1120770	1642	7018	1113	3751	530
0.84	1906	1578	3212	1085	8694	493	0.34	2412	1643	8131	1112	4281	531
0.85	0.1043484	1580	0.0834297	1085	0.0209187	495	0.35	0.1124055	1645	0.0889243	1113	0.0234812	531
0.86	5064	1581	5382	1087	9682	494	0.36	5700	1646	0.0890356	1114	5343	533
0.87	6645	1582	6469	1086	0.0210176	496	0.37	7346	1647	1470	1114	5876	533
0.88	8227	1584	7555	1087	0672	497	0.38	8993	1649	2584	1114	6409	534
0.89	9811	1585	8642	1087	1169	498	0.39	0.1130642	1649	3698	1116	6943	535
0.90	0.1051396	1586	0.0839729	1089	0.0211667	498	0.40	0.1132291	1652	0.0894814	1116	0.0237478	534
0.91	2982	1588	0.0840818	1089	2165	498	0.41	3943	1652	5930	1117	8012	537
0.92	4570	1588	1907	1089	2663	500	0.42	5595	1654	7047	1116	8549	537
0.93	6158	1590	2996	1090	3163	500	0.43	7249	1655	8163	1118	9086	537
0.94	7748	1592	4086	1090	3663	501	0.44	8904	1657	9281	1118	9623	539
0.95	0.1059340	1592	0.0845176	1091	0.0214164	502	0.45	0.1140561	1658	0.0900399	1119	0.0240162	539
0.96	0.1060932	1594	6267	1091	4666	503	0.46	2219	1659	1518	1119	0701	540
0.97	2526	1595	7358	1092	5169	503	0.47	3878	1660	2637	1120	1241	541
0.98	4121	1597	8450	1093	5672	503	0.48	5538	1662	3757	1120	1782	541
0.99	5718	1598	9543	1093	6175	505	0.49	7200	1663	4877	1121	2323	542
1.00	0.1067316		0.0850635		0.0216680		0.50	0.1148863		0.0905998		0.0242865	

（续）

α′ (°)	30° x_z	差	y_z	差	v_z	差	α′ (°)	31° x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.1148863	1665	0.0905998	1122	0.0242865	543	0.00	0.1233732	1732	0.0962768	1150	0.0270964	582
0.51	0.1150528	1666	7120	1122	3408	544	0.01	5464	1733	3918	1150	0.0271546	583
0.52	2194	1667	8242	1122	3952	545	0.02	7197	1735	5068	1151	2129	584
0.53	3861	1669	9364	1124	4497	545	0.03	8932	1736	6219	1153	2713	583
0.54	5530	1669	0.0910488	1123	5042	546	0.04	0.1240668	1737	7372	1152	3296	585
0.55	0.1157199	1672	0.0911611	1125	0.0245588	547	0.05	0.1242405	1739	0.0968524	1153	0.0273881	586
0.56	8871	1672	2736	1124	6135	547	0.06	4144	1740	9677	1153	4467	587
0.57	0.1160543	1674	3860	1126	6682	548	0.07	5884	1742	0.0970830	1154	5054	588
0.58	2217	1675	4986	1126	7230	550	0.08	7626	1743	1984	1154	5642	589
0.59	3892	1676	6112	1127	7780	550	0.09	9369	1744	3138	1155	6231	589
0.60	0.1165568	1678	0.0917239	1126	0.0248330	551	0.10	0.1251113	1746	0.0974293	1156	0.0276820	590
0.61	7246	1679	8365	1128	8881	551	0.11	2859	1747	5449	1156	7410	591
0.62	8925	1681	9493	1129	9432	552	0.12	4606	1748	6605	1158	8001	590
0.63	0.1170606	1682	0.0920622	1128	9984	553	0.13	6354	1750	7763	1156	8591	594
0.64	2288	1683	1750	1130	0.0250537	554	0.14	8104	1751	8919	1159	9185	592
0.65	0.1173971	1684	0.0922880	1130	0.0251091	554	0.15	0.1259855	1753	0.0980078	1159	0.0279777	594
0.66	5655	1686	4010	1131	1645	556	0.16	0.1261608	1754	1237	1158	0.0280371	596
0.67	7341	1688	5141	1131	2201	556	0.17	3362	1755	2395	1160	0967	595
0.68	9029	1688	6272	1131	2757	557	0.18	5117	1757	3555	1160	1562	597
0.69	0.1180717	1690	7403	1133	3314	557	0.19	6874	1758	4715	1162	2159	596
0.70	0.1182407	1691	0.0928536	1132	0.0253871	559	0.20	0.1266632	1759	0.0985877	1161	0.0282755	598
0.71	4098	1693	9668	1133	4430	560	0.21	0.1270391	1761	7038	1162	3353	599
0.72	5791	1693	0.0930801	1134	4990	559	0.22	2152	1762	8200	1163	3952	599
0.73	7484	1696	1935	1135	5549	561	0.23	3914	1764	9363	1163	4551	601
0.74	9180	1696	3070	1135	6110	562	0.24	5678	1765	0.0990526	1164	5152	601
0.75	0.1190876	1698	0.0934205	1136	0.0256672	561	0.25	0.1277443	1767	0.0991690	1164	0.0285753	603
0.76	2574	1700	5341	1136	7233	564	0.26	9210	1767	2854	1165	6356	602
0.77	4274	1700	6477	1137	7797	563	0.27	0.1280977	1769	4019	1166	6958	603
0.78	5974	1702	7614	1137	8360	565	0.28	2746	1771	5185	1166	7561	605
0.79	7676	1704	8751	1138	8925	566	0.29	4517	1772	6351	1167	8166	605
0.80	0.1199380	1704	0.0939689	1139	0.0259491	566	0.30	0.1286289	1773	0.0997518	1167	0.0288771	606
0.81	0.1201084	1706	0.0941028	1139	0.0260057	567	0.31	8062	1775	8685	1168	9377	607
0.82	2790	1708	2167	1140	0624	567	0.32	9837	1776	9853	1169	9984	607
0.83	4498	1709	3307	1140	1191	569	0.33	0.1291613	1778	0.1001022	1169	0.0290591	609
0.84	6207	1710	4447	1140	1760	570	0.34	3391	1779	2191	1169	1200	610
0.85	0.1207917	1711	0.0945587	1142	0.0262330	569	0.35	0.1295170	1780	0.1003360	1171	0.0291810	609
0.86	9628	1713	6729	1142	2899	571	0.36	6950	1782	4531	1171	2419	611
0.87	0.1211341	1714	7871	1142	3470	572	0.37	8732	1783	5702	1170	3030	613
0.88	3055	1716	9013	1143	4042	573	0.38	0.1300515	1785	6872	1173	3643	612
0.89	4771	1717	0.0950156	1144	4615	573	0.39	2300	1786	8045	1172	4255	614
0.90	0.1216488	1718	0.0951300	1144	0.0265188	574	0.40	0.1304086	1787	0.1009217	1174	0.0294869	613
0.91	8206	1720	2444	1145	5762	575	0.41	5873	1789	0.1010391	1173	5482	616
0.92	9926	1721	3589	1145	6337	575	0.42	7662	1790	1564	1175	6098	615
0.93	0.1211647	1722	4734	1146	6912	577	0.43	9452	1792	2739	1175	6713	617
0.94	3369	1724	5880	1146	7489	578	0.44	0.1311244	1793	3914	1175	7330	618
0.95	0.1225093	1725	0.0957026	1148	0.0268067	577	0.45	0.1313037	1794	0.1015089	1176	0.0297948	618
0.96	6818	1726	8174	1147	8644	579	0.46	4831	1796	6265	1177	8566	619
0.97	8544	1728	9321	1148	9223	580	0.47	6627	1797	7442	1177	9185	620
0.98	0.1230272	1729	0.0960469	1149	9803	580	0.48	8424	1799	8619	1178	9805	621
0.99	2001	1731	1618	1150	0.0270383	581	0.49	0.1320223	1800	9797	1178	0.0300426	622
1.00	0.1233732		0.0962768		0.0270964		0.50	0.1322023		0.1020975		0.0301048	

(续)

α′	31°						α′	32°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.1322023	1801	0.1020975	1180	0.0301048	621	0.00	0.1413841	1873	0.1080652	1209	0.0333189	664
0.51	3824	1803	2155	1179	1669	624	0.01	5714	1875	1861	1209	3853	666
0.52	5627	1804	3334	1180	2293	624	0.02	7589	1876	3970	1211	4519	665
0.53	7431	1806	4514	1181	2917	625	0.03	9465	1877	4281	1210	5184	667
0.54	9237	1807	5695	1182	3542	625	0.04	0.1421342	1879	5491	1211	5851	668
0.55	0.1331044	1809	0.1026877	1182	0.0304167	627	0.05	0.1423221	1881	0.1086702	1212	0.0336519	669
0.56	2853	1809	8059	1182	4794	627	0.06	5102	1881	7914	1213	7188	668
0.57	4662	1812	9241	1183	5421	629	0.07	6983	1884	9127	1213	7856	671
0.58	6474	1813	0.1030424	1184	6050	629	0.08	8867	1885	0.1090340	1213	8527	672
0.59	8287	1814	1608	1184	6679	630	0.09	0.1430752	1886	1553	1214	9199	672
0.60	0.1340101	1813	0.1032792	1185	0.0307309	630	0.10	0.1432638	1887	0.1092767	1215	0.0339871	672
0.61	1916	1817	3977	1186	7939	631	0.11	4525	1889	3982	1215	0.0340542	674
0.62	3733	1819	5163	1186	8570	633	0.12	6414	1891	5197	1216	1217	675
0.63	5552	1820	6349	1187	9203	635	0.13	8305	1892	6413	1217	1892	675
0.64	7372	1821	7536	1186	9836	635	0.14	0.1440197	1894	7630	1217	2567	677
0.65	0.1349193	1823	0.1038722	1188	0.0310471	635	0.15	0.1442091	1895	0.1098847	1218	0.0343244	677
0.66	0.1351016	1824	9910	1189	1106	635	0.16	3986	1896	0.1100065	1218	3921	678
0.67	2840	1825	0.1041099	1190	1741	635	0.17	5882	1898	1283	1219	4599	679
0.68	4665	1827	2289	1189	2376	638	0.18	7780	1899	2502	1220	5278	679
0.69	6492	1829	3478	1190	3014	639	0.19	9679	1901	3722	1221	0.0345957	680
0.70	0.1358321	1830	0.1044668	1190	0.0313653	640	0.20	0.1451580	1903	0.1104943	1220	6637	683
0.71	0.1360151	1831	5858	1192	4293	639	0.21	3483	1904	6163	1222	7320	682
0.72	1982	1833	7050	1192	4932	641	0.22	5387	1905	7385	1221	8002	684
0.73	3815	1834	8242	1193	5573	641	0.23	7292	1907	8606	1223	8686	684
0.74	5649	1835	9435	1193	6214	642	0.24	9199	1908	9829	1223	9370	685
0.75	0.1367484	1837	0.1050628	1194	0.0316856	643	0.25	0.1461107	1910	0.1111052	1224	0.0350055	686
0.76	9321	1839	1822	1194	7499	645	0.26	3017	1911	2278	1225	0741	686
0.77	0.1371160	1840	3016	1195	8144	645	0.27	4928	1913	3501	1225	1427	688
0.78	3000	1843	4211	1196	8789	645	0.28	6841	1914	4726	1226	2115	688
0.79	4841	1843	5407	1196	9434	647	0.29	8755	1915	5952	1226	2803	689
0.80	0.1376684	1844	0.1056603	1197	0.0320081	647	0.30	0.1470670	1918	0.1117178	1227	0.0353493	691
0.81	8528	1845	7800	1197	0728	648	0.31	2588	1918	8405	1228	4183	690
0.82	0.1380373	1847	8997	1198	1376	649	0.32	4506	1920	9633	1228	4873	692
0.83	2220	1849	0.1060195	1198	2025	651	0.33	6426	1922	0.1120861	1228	5565	694
0.84	4069	1850	1393	1200	2676	650	0.34	8348	1923	2089	1229	6259	694
0.85	0.1385919	1851	0.1062593	1199	0.0323326	652	0.35	0.1480271	1925	0.1123318	1230	0.0356953	695
0.86	7770	1853	3792	1201	3978	652	0.36	2196	1926	4548	1231	7648	695
0.87	9623	1854	4993	1201	4630	653	0.37	4122	1927	5779	1231	8343	696
0.88	0.1391477	1856	6194	1202	5283	654	0.38	6049	1929	7010	1232	9039	697
0.89	3333	1857	7396	1202	5937	655	0.39	7978	1931	8242	1232	9736	699
0.90	0.1395190	1859	0.1068598	1203	0.0326592	656	0.40	0.1489909	1932	0.1129474	1234	0.0360435	698
0.91	7049	1860	9801	1203	7248	657	0.41	0.1491841	1933	0.1130708	1233	1133	700
0.92	8909	1861	0.1071004	1204	7905	657	0.42	3774	1935	1941	1235	1833	700
0.93	0.1400770	1863	2208	1204	8562	659	0.43	5709	1937	3176	1234	2533	703
0.94	2633	1865	3412	1206	9221	659	0.44	7646	1938	4410	1236	3236	702
0.95	0.1404498	1865	0.1074618	1205	0.0329880	660	0.45	0.1499584	1939	0.1135646	1236	0.0363938	708
0.96	6363	1868	5823	1207	0.0330540	661	0.46	0.1501523	1941	6882	1236	4641	703
0.97	8231	1868	7030	1206	1201	662	0.47	3464	1942	8118	1238	5346	705
0.98	0.1410099	1871	8236	1208	1863	663	0.48	5406	1944	9356	1238	6050	704
0.99	1970	1871	9444	1208	2526	663	0.49	7350	1946	0.1140594	1238	6756	706
1.00	0.1413841		0.1080652		0.0333189		0.50	0.1509296		0.1141832		0.0367464	

（续）

a'	32°						a'	33°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.1509296	1947	0.1141832	1239	0.0367464	708	0.00	0.1608499	2022	0.1204550	1270	0.0403949	752
0.51	0.1511243	1948	3071	1241	8172	707	0.01	0.1610521	2025	5820	1271	4701	754
0.52	3191	1950	4312	1240	8879	710	0.02	2546	2026	7091	1271	5455	755
0.53	5141	1951	5552	1241	9589	710	0.03	4572	2028	8362	1273	6210	755
0.54	7092	1954	6793	1241	0.0370299	713	0.04	6600	2029	9635	1273	6965	756
0.55	0.1519046	1954	0.1148034	1242	0.0371012	712	0.05	0.1618629	2031	0.1210908	1273	0.0407721	758
0.56	0.1521000	1956	9276	1243	1724	713	0.06	0.1620660	2033	2181	1274	8479	759
0.57	2956	1957	0.1150519	1244	2437	713	0.07	2693	2034	3455	1275	9238	759
0.58	4913	1959	1763	1244	3150	715	0.08	4727	2035	4730	1275	9997	760
0.59	6872	1961	0.1153007	1245	3865	716	0.09	6762	2037	6005	1276	0.0410757	761
0.60	0.1528833	1962	0.1154252	1245	0.0374581	717	0.10	0.1628799	2039	0.1217281	1277	0.0411518	762
0.61	0.1530795	1963	5497	1246	5298	717	0.11	0.1630838	2040	8558	1277	2280	763
0.62	2758	1965	6743	1247	6015	718	0.12	2878	2041	9835	1278	3043	763
0.63	4723	1967	7990	1247	6733	720	0.13	4919	2044	0.1221113	1278	3806	766
0.64	6690	1968	9237	1248	7453	720	0.14	6963	2044	2391	1279	4572	765
0.65	0.1538658	1969	0.1160485	1248	0.0378173	721	0.15	0.1639007	2047	0.1223670	1280	0.0415337	767
0.66	0.1540627	1971	1733	1249	8894	722	0.16	0.1641054	2048	4950	1281	6104	767
0.67	2598	1973	2982	1249	9616	724	0.17	3102	2049	6231	1280	6871	769
0.68	4571	1974	4231	1251	0.0380340	723	0.18	5151	2051	7511	1282	7640	769
0.69	6545	1976	5482	1251	1063	725	0.19	7202	2053	8793	1282	8409	771
0.70	0.1548521	1977	0.1166733	1252	0.0381788	725	0.20	0.1649255	2054	0.1230075	1283	0.0419180	771
0.71	0.1550498	1978	7985	1251	2513	727	0.21	0.1651309	2056	1358	1284	9951	772
0.72	2476	1980	9236	1254	3240	726	0.22	3365	2057	2642	1284	0.0420723	773
0.73	4456	1982	0.1170490	1252	3966	730	0.23	5422	2059	3926	1285	1496	774
0.74	6438	1983	1742	1255	4696	728	0.24	7481	2060	5211	1285	2270	775
0.75	0.1558421	1985	0.1172997	1254	0.0385424	731	0.25	0.1659541	2062	0.1236496	1286	0.0423045	776
0.76	0.1560405	1987	4251	1256	6155	731	0.26	0.1661603	2063	7782	1287	3821	777
0.77	2393	1987	5507	1255	6886	732	0.27	3667	2065	9069	1287	4598	778
0.78	4380	1990	6762	1257	7618	733	0.28	5732	2067	0.1240356	1288	5376	779
0.79	6370	1990	8019	1257	8351	733	0.29	7799	2068	1644	1289	6155	779
0.80	0.1568360	1993	0.1179276	1258	0.0389084	735	0.30	0.1669867	2070	0.1242933	1289	0.0426934	781
0.81	0.1570353	1994	0.1180534	1258	9819	736	0.31	0.1671937	2072	4222	1290	7715	782
0.82	2347	1995	1792	1260	0.0390555	735	0.32	4009	2073	5512	1291	8497	782
0.83	4342	1997	3052	1260	1290	737	0.33	6082	2074	6803	1291	9279	783
0.84	6339	1998	4312	1259	2027	739	0.34	8156	2076	8094	1291	0.0430062	785
0.85	0.1578337	2000	0.1185571	1261	0.0392766	739	0.35	0.1680232	2078	0.1249385	1294	0.0430847	784
0.86	0.1580337	2002	6832	1261	3505	741	0.36	0.1682310	2080	0.1250679	1293	1631	787
0.87	2339	2003	8093	1263	4246	740	0.37	4399	2082	1972	1293	2418	788
0.88	4342	2004	9356	1262	4986	742	0.38	6471	2082	3265	1294	3206	788
0.89	6346	2007	0.1190618	1264	5728	743	0.39	8553	2084	4559	1295	3994	789
0.90	0.1588353	2007	0.1191882	1264	0.0396471	743	0.40	0.1690637	2086	0.1255854	1296	0.0434783	790
0.91	0.1590360	2009	3146	1265	7214	744	0.41	2725	2087	7150	1297	5573	790
0.92	2369	2011	4411	1264	7958	747	0.42	4810	2089	8447	1297	6363	792
0.93	4380	2013	5675	1266	8705	747	0.43	6899	2090	9744	1297	7155	793
0.94	6393	2013	6941	1267	9452	746	0.44	8989	2092	0.1261041	1298	7948	794
0.95	0.1598406	2016	0.1198208	1267	0.0400198	749		0.1701081	2094	0.1262339	1300	0.0438742	794
0.96	0.1600422	2017	9475	1268	0947	749	0.45	3175	2095	3639	1299	9536	796
0.97	2439	2018	0.1200743	1268	1696	750	0.46	5270	2097	4938	1300	0.0440332	797
0.98	4457	2020	2011	1268	2446	751	0.47	7367	2098	6238	1300	1129	798
0.99	6477	2022	3280	1269	3197	752	0.48	9465	2100	7538	1302	1927	798
				1270			0.49						
1.00	0.1608499		0.1204550		0.0403949		0.50	0.1711585		0.1268840		0.0442725	

（续）

α'	33°						α'	34°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.1711565	2102	0.1268840	1302	0.0442725	800	0.00	0.1818615	2183	0.1334741	1335	0.0483874	848
0.51	3667	2103	0.1270142	1303	3525	800	0.01	0.1820798	2184	6076	1335	0.0484722	849
0.52	5770	2105	1445	1304	4325	801	0.02	2982	2186	7411	1336	5571	850
0.53	7875	2106	2749	1303	5126	803	0.03	5168	2187	8747	1337	6421	850
0.54	9981	2108	4052	1306	5929	802	0.04	7355	2189	0.1340084	1337	7271	852
0.55	0.1722089	2110	0.1275358	1305	0.0446731	805	0.05	0.1829544	2191	0.1341421	1338	0.0488123	853
0.56	4199	2111	6663	1306	7536	805	0.06	0.1831735	2192	2759	1339	8976	853
0.57	6310	2112	7969	1306	8341	806	0.07	3927	2194	4098	1339	9829	855
0.58	8422	2115	9275	1307	9147	808	0.08	6121	2196	5437	1340	0.0490684	856
0.59	0.1730537	2116	0.1280582	1308	9955	808	0.09	8317	2197	6777	1341	1540	856
0.60	0.1732653	2117	0.1281890	1309	0.0450763	808	0.10	0.1840514	2199	0.1348118	1341	0.0492396	858
0.61	4770	2120	3199	1309	1571	811	0.11	2713	2201	9459	1342	3254	859
0.62	6890	2120	4508	1310	2382	810	0.12	4914	2202	0.1350801	1343	4113	859
0.63	9010	2122	5818	1310	3192	812	0.13	7116	2204	2144	1343	4972	861
0.64	0.1741132	2125	7128	1312	4004	813	0.14	9320	2206	3487	1344	5833	862
0.65	0.1743257	2125	0.1288440	1312	0.0454817	813	0.15	0.1851526	2207	0.1354831	1345	0.0496695	862
0.66	5382	2127	9752	1312	5630	815	0.16	3733	2209	6178	1345	7557	864
0.67	7509	2129	0.1291064	1313	6445	816	0.17	5942	2210	7521	1346	8421	864
0.68	9638	2130	2377	1314	7261	816	0.18	8152	2213	8867	1347	9285	866
0.69	0.1751768	2133	3691	1315	8077	818	0.19	0.1860365	2213	0.1360214	1346	0.0500151	867
0.70	0.1753901	2133	0.1295006	1314	0.0458895	819	0.20	0.1862578	2216	0.1361560	1349	0.0501018	867
0.71	6034	2135	6320	1316	9714	819	0.21	4794	2217	2909	1348	1885	869
0.72	8169	2137	7636	1316	0.0460533	821	0.22	7011	2219	4257	1350	2754	869
0.73	0.1760306	2139	8952	1318	1354	820	0.23	9230	2221	5607	1350	3623	871
0.74	2445	2140	0.1300270	1317	2174	824	0.24	0.1871451	2222	6957	1350	4494	872
0.75	0.1764585	2142	0.1301587	1319	0.0462998	823	0.25	0.1873673	2224	0.1368307	1352	0.0505366	872
0.76	6727	2143	2906	1318	3821	825	0.26	5897	2225	9659	1352	6238	873
0.77	8870	2145	4224	1320	4646	825	0.27	8122	2228	0.1371011	1352	7111	876
0.78	0.1771015	2147	5544	1321	5471	826	0.28	0.1880350	2228	2363	1353	7987	875
0.79	3162	2147	6865	1320	6297	827	0.29	2578	2231	3716	1354	8862	877
0.80	0.1775309	2150	0.1308185	1322	0.0467124	829	0.30	0.1884809	2232	0.1375070	1355	0.0509739	877
0.81	7459	2152	9507	1322	7953	829	0.31	7041	2234	6425	1355	0.0510616	879
0.82	9611	2153	0.1310829	1322	8782	831	0.32	9275	2236	7780	1356	1495	880
0.83	0.1781764	2155	2151	1324	9613	831	0.33	0.1891511	2237	9136	1357	2375	880
0.84	3919	2156	3475	1324	0.0470444	832	0.34	3748	2239	0.1380493	1357	3255	882
0.85	0.1786075	2158	0.1314799	1325	0.0471276	833	0.35	0.1895987	2240	0.1381850	1358	0.0514137	882
0.86	8233	2160	6124	1326	2109	834	0.36	8227	2243	3208	1359	5019	884
0.87	0.1790393	2161	7450	1326	2943	835	0.37	0.1900470	2244	4567	1360	5903	884
0.88	2554	2163	8776	1327	3778	836	0.38	2714	2245	5927	1359	6787	886
0.89	4717	2164	0.1320103	1327	4614	837	0.39	4959	2248	7286	1361	7673	887
0.90	0.1796881	2166	0.1321430	1329	0.0475451	837	0.40	0.1907207	2249	0.1388647	1361	0.0518560	888
0.91	9047	2168	2739	1328	6288	840	0.41	9456	2250	0.1390008	1362	9448	888
0.92	0.1801215	2169	4087	1330	7128	839	0.42	0.1911706	2253	1370	1363	0.0520336	890
0.93	3384	2171	5417	1330	7967	841	0.43	3959	2254	2733	1363	1226	891
0.94	5555	2173	6747	1330	8808	843	0.44	6213	2254	4096	1364	2117	890
0.95	0.1807728	2174	0.1328077	1332	0.0479651	842	0.45	0.1918467	2259	0.1395460	1365	0.0523007	894
0.96	9902	2176	9409	1332	0.0480493	844	0.46	0.1920726	2259	6825	1366	3901	893
0.97	0.1812078	2177	0.1330741	1333	1337	844	0.47	2985	2261	8191	1366	4794	895
0.98	4255	2180	2074	1333	2181	847	0.48	5246	2263	9557	1366	5689	897
0.99	6435	2180	3407	1334	3028	846	0.49	7509	2264	0.1400923	1367	6586	897
1.00	0.1818615		0.1334741		0.0483874		0.50	0.1929773		0.1402290		0.0527483	

（续）

α'	34°						α'	35°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.1929773	2266	0.1402290	1369	0.0527483	897	0.00	0.2045165	2352	0.1471529	1402	0.0573636	950
0.51	0.1932039	2267	3659	1369	8380	898	0.01	7517	2354	2931	1403	4586	951
0.52	4306	2270	5028	1369	9278	901	0.02	9871	2355	4334	1404	5537	951
0.53	6576	2271	6397	1370	0.0530179	901	0.03	0.2052226	2357	5738	1404	6488	953
0.54	8847	2272	7767	1371	1080	901	0.04	4583	2359	7142	1405	7441	954
0.55	0.1941119	2275	0.1409138	1371	0.0531981	904	0.05	0.2056942	2361	0.1478547	1406	0.0578395	955
0.56	3394	2276	0.1410509	1372	2885	904	0.06	9303	2362	9953	1406	9350	956
0.57	5670	2278	1881	1373	3789	905	0.07	0.2061665	2364	0.1481359	1408	0306	956
0.58	7948	2279	3254	1374	4694	905	0.08	4029	2367	2767	1407	1262	960
0.59	0.1950227	2281	4628	1373	5599	908	0.09	6396	2367	4174	1409	2222	958
0.60	0.1952508	2283	0.1416001	1375	0.0536507	908	0.10	0.2068763	2370	0.1485583	1408	0.0583180	962
0.61	4791	2285	7376	1376	7415	909	0.11	0.2071133	2371	6991	1411	4142	960
0.62	7076	2286	8752	1377	8324	909	0.12	3504	2373	8402	1410	5102	963
0.63	9362	2288	0.1420129	1376	9233	912	0.13	5877	2374	9812	1412	6065	962
0.64	0.1961650	2290	1505	1378	0.0540145	912	0.14	8251	2377	0.1491224	1411	7027	965
0.65	0.1963940	2291	0.1422883	1378	0.0541057	913	0.15	0.2080328	2378	0.1492635	1414	0.0587993	964
0.66	6231	2293	4261	1379	1970	914	0.16	3006	2380	4049	1413	8957	967
0.67	8524	2295	5640	1379	2884	916	0.17	5386	2382	5462	1414	9924	968
0.68	0.1970819	2297	7019	1381	3800	916	0.18	7768	2384	6876	1414	0.0590892	970
0.69	8116	2298	8400	1381	4716	917	0.19	0.2090152	2385	8290	1416	1862	969
0.70	0.1975414	2300	0.1429781	1381	0.0545633	919	0.20	0.2092537	2387	0.1499706	1417	0.0592831	970
0.71	7714	2302	0.1431162	1383	6552	919	0.21	4924	2389	0.1501123	1417	3801	972
0.72	0.1980016	2303	2545	1383	7471	920	0.22	7313	2391	2540	1417	4773	974
0.73	2319	2306	3928	1383	8391	923	0.23	9704	2392	3957	1418	5747	974
0.74	4625	2306	5311	1385	9314	921	0.24	0.2102096	2394	5375	1419	6721	975
0.75	0.1986931	2309	0.1436698	1385	0.0550235	924	0.25	0.2104490	2396	0.1506794	1419	0.0597696	977
0.76	9240	2310	8081	1386	1159	924	0.26	6886	2398	8213	1421	8673	977
0.77	0.1991550	2312	9467	1386	2083	926	0.27	9284	2400	9634	1421	9650	979
0.78	3862	2314	0.1440853	1387	3009	927	0.28	0.2111684	2401	0.1511055	1422	0.0600629	979
0.79	6176	2316	2240	1388	3936	928	0.29	4085	2403	2477	1423	1608	980
0.80	0.1998492	2317	0.1443628	1388	0.0554864	929	0.30	0.2116488	2405	0.1513900	1422	0.0602588	983
0.81	0.2000809	2319	5016	1390	5793	929	0.31	8893	2406	5322	1425	3571	984
0.82	3128	2320	6406	1390	6722	930	0.32	0.2121299	2409	6747	1424	4552	985
0.83	5448	2323	7796	1391	7652	932	0.33	3708	2410	8171	1426	5537	984
0.84	7771	2324	9187	1390	8584	934	0.34	6118	2412	9597	1425	6521	987
0.85	0.2010095	2326	0.1450577	1392	0.0559518	934	0.35	0.2128530	2414	0.1521022	1427	0.0607508	987
0.86	2421	2327	1969	1393	0.0560452	934	0.36	0.2130914	2415	2449	1427	8495	988
0.87	4748	2330	3362	1393	1386	937	0.37	3359	2418	3876	1429	9483	989
0.88	7078	2331	4755	1394	2323	937	0.38	5777	2419	5305	1429	0.0610472	990
0.89	9409	2332	6149	1395	3260	937	0.39	8196	2420	6734	1428	1462	991
0.90	0.2021741	2335	0.1457544	1396	0.0564197	939	0.40	0.2140616	2423	0.1528163	1430	0.0612453	993
0.91	4076	2336	8940	1395	5136	941	0.41	3039	2425	9593	1432	3446	993
0.92	6412	2338	0.1460335	1398	6077	940	0.42	5464	2426	0.1531025	1431	4439	995
0.93	8750	2340	1733	1397	7017	943	0.43	7890	2428	2456	1433	5434	995
0.94	0.2031090	2341	3130	1398	7960	943	0.44	0.2150318	2430	3889	1433	6429	997
0.95	0.2033431	2344	0.1464528	1398	0.0568903	946	0.45	0.2152748	2432	0.1535322	1433	0.0617426	999
0.96	5775	2345	5926	1401	9849	944	0.46	5180	2433	6755	1435	8425	998
0.97	8120	2346	7327	1400	0.0570793	946	0.47	7613	2435	8190	1435	9423	1000
0.98	0.2040466	2349	8727	1400	1739	949	0.48	0.2160048	2438	9625	1435	0.0620423	1003
0.99	2815	2350	0.1470127	1402	2688	948	0.49	2486	2438	0.1541060	1437	1426	1001
1.00	0.2045165		0.1471529		0.0573636		0.50	0.2164924		0.1542497		0.0622427	

（续）

α′	35°						α′	36°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.2164924	2441	0.1542497	1438	0.0622427	1003	0.00	0.2289188	2532	0.1615240	1473	0.0673948	1059
0.51	7365	2443	3935	1438	3430	1005	0.01	0.2291720	2534	6713	1474	5007	1060
0.52	9808	2444	5373	1438	4435	1006	0.02	4254	2536	8187	1474	6667	1062
0.53	0.2172252	2446	6811	1440	5441	1006	0.03	6790	2538	9661	1476	7129	1062
0.54	4698	2448	8251	1440	6447	1008	0.04	9328	2539	0.1621137	1476	8191	1063
0.55	0.2177146	2449	0.1549691	1441	0.0627455	1008	0.05	0.2301867	2541	0.1622613	1477	0.0679254	1064
0.56	9595	2452	1132	1442	8463	1010	0.06	4408	2544	4090	1478	0.0680318	1066
0.57	0.2182047	2453	2574	1442	9473	1011	0.07	6952	2545	5568	1478	1384	1067
0.58	4500	2455	4016	1442	0.0630484	1013	0.08	9497	2547	7046	1479	2451	1068
0.59	6955	2457	5458	1445	1497	1012	0.09	0.2312044	2549	8525	1480	3519	1069
0.60	0.2189412	2459	0.1556903	1444	0.0632509	1015	0.10	0.2314593	2551	0.1630005	1480	0.0684588	1071
0.61	0.2191871	2461	8347	1445	3524	1016	0.11	7144	2553	1485	1481	5659	1072
0.62	4332	2462	9792	1446	4549	1016	0.12	9697	2554	2966	1483	6731	1071
0.63	6794	2464	0.1561238	1447	5556	1017	0.13	0.2322251	2557	4449	1482	7802	1075
0.64	9258	2466	2685	1447	6573	1019	0.14	4808	2558	5931	1484	8877	1074
0.65	0.2201724	2468	0.1564132	1448	0.0637592	1020	0.15	0.2327366	2560	0.1637415	1484	0.0689951	1076
0.66	4192	2469	5580	1449	8612	1020	0.16	9926	2562	8899	1485	0.0691027	1077
0.67	6661	2472	7029	1449	9632	1023	0.17	0.2332488	2564	0.1640384	1486	2104	1078
0.68	9133	2473	8478	1450	0.0640655	1023	0.18	5052	2566	1870	1486	3182	1080
0.69	0.2211606	2475	9928	1451	1678	1024	0.19	7618	2568	3356	1487	4262	1081
0.70	0.2214081	2477	0.1571379	1452	0.0642702	1025	0.20	0.2340186	2569	0.1644843	1488	0.0695343	1081
0.71	6558	2479	2831	1451	3727	1028	0.21	2755	2572	6331	1489	6424	1083
0.72	9037	2481	4282	1454	4755	1027	0.22	5327	2573	7820	1489	7507	1084
0.73	0.2221518	2482	5736	1454	5782	1028	0.23	7900	2575	9309	1490	8591	1085
0.74	4000	2484	7190	1454	6810	1030	0.24	0.2350475	2577	0.1650799	1491	9676	1086
0.75	0.2226484	2486	0.1578644	1455	0.0647840	1031	0.25	0.2353052	2579	0.1652290	1491	0.0700762	1088
0.76	8970	2488	0.1580099	1456	8871	1032	0.26	5631	2581	3781	1492	1850	1089
0.77	0.2231458	2490	1555	1457	9903	1033	0.27	8212	2583	5273	1494	2939	1089
0.78	3948	2491	3012	1457	0.0650936	1034	0.28	0.2360795	2585	6767	1494	4028	1091
0.79	6439	2494	4469	1458	1970	1036	0.29	3380	2586	8261	1494	5119	1092
0.80	0.2238933	2495	0.1585927	1458	0.0653006	1037	0.30	0.2365966	2589	0.1659755	1495	0.0706211	1094
0.81	0.2241428	2497	7385	1461	4043	1038	0.31	8555	2590	0.1661250	1496	7305	1094
0.82	3925	2499	8846	1459	5079	1040	0.32	0.2371145	2592	2746	1497	8399	1095
0.83	6424	2501	0.1590305	1461	6119	1040	0.33	3737	2594	4243	1497	9494	1097
0.84	8925	2502	1766	1462	7159	1040	0.34	6331	2596	5740	1499	0.0710591	1097
0.85	0.2251427	2505	0.1593228	1463	0.0658199	1042	0.35	0.2378927	2598	0.1667239	1498	0.0711688	1100
0.86	3932	2506	4691	1463	9241	1043	0.36	0.2381525	2600	8737	1500	2788	1100
0.87	6438	2508	6154	1464	0.0660284	1044	0.37	4125	2602	0.1670237	1501	3888	1101
0.88	8946	2510	7618	1464	1328	1046	0.38	6727	2604	1738	1501	4989	1103
0.89	0.2261456	2512	9082	1465	2374	1047	0.39	9331	2605	3239	1501	6092	1104
0.90	0.2263968	2514	0.1600547	1466	0.0663421	1048	0.40	0.2391936	2608	0.1674740	1503	0.0717196	1105
0.91	6482	2515	2013	1467	4469	1048	0.41	4544	2609	6243	1503	8301	1108
0.92	8997	2517	3480	1467	5517	1050	0.42	7153	2611	7746	1505	9407	1106
0.93	0.2271514	2520	4947	1468	6567	1052	0.43	9764	2613	9251	1504	0.0720513	1109
0.94	4034	2521	6415	1469	7619	1052	0.44	0.2402377	2616	0.1680755	1506	1622	1110
0.95	0.2276555	2523	0.1607884	1470	0.0668671	1053	0.45	0.2404993	2616	0.1682261	1507	0.0722732	1109
0.96	9078	2524	9354	1470	9724	1054	0.46	7609	2619	3768	1506	3841	1113
0.97	0.2281602	2527	0.1610824	1472	0.0670778	1055	0.47	0.2410228	2621	5274	1508	4954	1113
0.98	4129	2528	2296	1471	1833	1057	0.48	2849	2623	6782	1509	6067	1114
0.99	6657	2531	3767	1473	2890	1058	0.49	5472	2625	8291	1510	7181	1115
1.00	0.2289188		0.1615240		0.0673948		0.50	0.2418097		0.1689801		0.0728296	

（续）

α′	36°						α′	37°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.2418097		0.1689801		0.0728295		0.00	0.2551797		0.1766227		0.0785571	
		2626		1510		1116			2726		1547		1178
0.51	0.2420723	2629	0.1691311	1510	9412	1119	0.01	0.2554523	2725	7774	1549	6749	1176
0.52	3552	2630	2821	1512	0.0730531	1118	0.02	7248	2728	9323	1550	7925	1178
0.53	5982	2632	4333	1512	1649	1120	0.03	9976	2729	0.1770873	1549	9103	1180
0.54	8614	2634	5845	1514	2769	1120	0.04	0.2562705	2733	2422	1552	0.0790283	1181
0.55	0.2431248		0.1697359		0.0733889		0.05	0.2565438		0.1773974		0.0791464	
		2637		1513		1124			2734		1551		1183
0.56	3885	2638	8872	1514	5013	1124	0.06	8172	2734	5525	1552	2647	1182
0.57	6523	2640	0.1700386	1516	6137	1124	0.07	0.2570906	2739	7077	1554	3829	1185
0.58	9163	2642	1902	1516	7261	1126	0.08	3645	2739	8631	1554	5014	1185
0.59	0.2441805	2644	3418	1516	8387	1128	0.09	6384	2742	0.1780185	1554	6199	1188
0.60	0.2444449		0.1704934		0.0739515		0.10	0.2579126		0.1781739		0.0797387	
		2645		1518		1127			2745		1556		1189
0.61	7094	2648	6452	1519	0.0740642	1129	0.11	0.2581871	2747	3295	1556	8576	1191
0.62	9742	2650	7971	1519	1771	1131	0.12	4618	2748	4851	1558	9767	1190
0.63	0.2452392	2651	9490	1519	2902	1132	0.13	7366	2747	6409	1558	0.0800957	1189
0.64	5043	2654	0.1711009	1521	4034	1133	0.14	0.2590113	2753	7967	1559	2146	1194
0.65	0.2457697		0.1712530		0.0745167		0.15	0.2592866		0.1789526		0.0803340	
		2656		1521		1135			2753		1558		1195
0.66	0.2460353	2657	4051	1523	6302	1134	0.16	5619	2756	0.1791084	1560	4535	1196
0.67	3010	2659	5574	1522	7436	1137	0.17	8375	2759	2644	1562	5781	1197
0.68	5669	2661	7096	1524	8573	1137	0.18	0.2601134	2758	4206	1561	6928	1197
0.69	8330	2664	8620	1524	9710	1140	0.19	3892	5761	5767	1563	8125	1198
0.70	0.2470994		0.1720144		0.0750850		0.20	0.2606653		0.1797330		0.0809323	
		2665		1525		1140			2764		1563		1201
0.71	3659	2667	1669	1526	1990	1141	0.21	9417	2767	8893	1564	0.0810524	1203
0.72	6326	2669	3195	1526	3131	1143	0.22	0.2612184	2767	0.1800457	1565	1727	1202
0.73	8995	2671	4721	1528	4274	1143	0.23	4951	2769	2022	1566	2929	1203
0.74	0.2481666	2673	6249	1528	5417	1145	0.24	7720	2772	3588	1566	4132	1206
0.75	0.2484339		0.1727777		0.0756562		0.25	0.2620492		0.1805154		0.0815338	
		2675		1529		1146			2775		1567		1208
0.76	7014	2676	9306	1530	7708	1146	0.26	3267	2775	6721	1568	6546	1207
0.77	9690	2679	0.1730836	1530	8854	1149	0.27	6042	2778	8289	1569	7753	1209
0.78	0.2492369	2681	2366	1532	0.0760003	1149	0.28	8820	2780	9858	1569	8962	1211
0.79	5050	2683	3898	1531	1152	1152	0.29	0.2631600	2781	0.1811427	1570	0.0820173	1211
0.80	0.2497733		0.1735429		0.0762304		0.30	0.2634381		0.1812997		0.0821384	
		2684		1533		1151			2786		1571		1215
0.81	0.2500417	2687	6962	1533	3455	1154	0.31	7167	2786	4568	1572	2599	1214
0.82	3104	2689	8495	1534	4609	1155	0.32	9953	2786	6140	1573	3813	1213
0.83	5793	2690	0.1740029	1536	5764	1154	0.33	0.2642739	2791	7713	1574	5026	1217
0.84	8483	2692	1565	1535	6918	1157	0.34	5530	2791	9287	1573	6243	1218
0.85	0.2511175		0.1743100		0.0768075		0.35	0.2648321		0.1820860		0.0827461	
		2695		1536		1159			2795		1575		1220
0.86	3870	2696	4636	1538	9234	1158	0.36	0.2651116	2797	2435	1576	8681	1221
0.87	6556	2698	6174	1537	0.0770392	1161	0.37	3913	2797	4011	1576	9902	1221
0.88	9254	2701	7711	1539	1553	1162	0.38	6710	2799	5587	1578	0.0831123	1221
0.89	0.2521965	2707	9250	1539	2715	1168	0.39	9509	2803	7165	1578	2344	1225
0.90	0.2524672		0.1750789		0.0773883		0.40	0.2662312		0.1828743		0.0833569	
		2699		1541		1158			2805		1578		1227
0.91	7371	2706	2330	1541	5041	1165	0.41	5117	2805	0.1830321	1580	4796	1225
0.92	0.2530077	2709	3871	1542	6206	1167	0.42	7922	2808	1901	1581	6021	1227
0.93	2786	2710	5413	1542	7373	1168	0.43	0.2670730	2811	3482	1581	7248	1230
0.94	5496	2712	6955	1544	8541	1168	0.44	3541	2810	5063	1582	8478	1228
0.95	0.2538208		0.1758499		0.0779709		0.45	0.2676351		0.1836645		0.0839706	
		2714		1544		1170			2816		1583		1233
0.96	0.2540922	2716	0.1760043	1545	0.0780879	1171	0.46	9167	2817	8228	1583	0.0840939	1234
0.97	3638	2714	1588	1545	2050	1173	0.47	0.2681984	2816	9811	1585	2173	1231
0.98	6356	2720	3133	1546	3223	1174	0.48	4800	2821	0.1841396	1584	3404	1237
0.99	9076	2722	4679	1548	4397	1174	0.49	7621	2822	2980	1586	4641	1236
1.00	0.2551798		0.1766227		0.0785571		0.50	0.2690443		0.1844566		0.0845877	

（续）

α′	37°						α′	38°					
(°)	x_g	差	y_g	差	z_g	差	(°)	x_g	差	y_g	差	z_g	差
0.50	0.2690443	2824	0.1844566	1587	0.0845877	1237	0.00	0.2834191	2929	0.1924870	1627	0.0909321	1302
0.51	3267	2828	6153	1587	7114	1241	0.01	7120	2929	6497	1628	0.0910623	1301
0.52	6095	2827	7740	1588	8355	1239	0.02	0.2840049	2934	8125	1627	1924	1307
0.53	8922	2832	9328	1590	9594	1243	0.03	2983	2934	9752	1630	3231	1304
0.54	0.2701754	2833	0.1850918	1589	0.0850836	1244	0.04	5917	2937	0.1931382	1629	4535	1308
0.55	0.2704587	2833	0.1852507	1591	0.0852080	1242	0.05	0.2848854	2937	0.1933011	1630	0.0915843	1307
0.56	7420	2833	4098	1591	3322	1241	0.06	0.2851791	2940	4641	1632	7150	1308
0.57	0.2710258	2836	5689	1593	4563	1245	0.07	4731	2945	6273	1632	8458	1313
0.58	3096	2841	7282	1593	5814	1248	0.08	7676	2943	7905	1633	9771	1310
0.59	5937	2844	8875	1594	7062	1250	0.09	0.2860619	2948	9538	1633	0.0921081	1315
0.60	0.2718781	2843	0.1860469	1594	0.0858312	1249	0.10	0.2863567	2951	0.1941171	1635	0.0922396	1316
0.61	0.2721624	2847	2063	1595	9561	1252	0.11	6518	2951	2806	1635	3712	1316
0.62	4471	2849	3658	1596	0.0860813	1253	0.12	9469	2953	4441	1637	5028	1316
0.63	7320	2852	5254	1597	2066	1255	0.13	0.2872422	2956	6078	1637	6344	1319
0.64	0.2730172	2854	6851	1598	3321	1256	0.14	5378	2957	7715	1637	7663	1320
0.65	0.2733026	2855	0.1868449	1599	0.0864577	1256	0.15	0.2878335	2959	0.1949352	1639	0.0928983	1320
0.66	5881	2857	0.1870048	1599	5833	1258	0.16	0.2881294	2962	0.1950991	1640	0.0930307	1322
0.67	8738	2858	1647	1599	7091	1259	0.17	4256	2964	2631	1640	1625	1324
0.68	0.2741596	2862	3246	1602	8350	1260	0.18	7220	2967	4271	1641	2949	1326
0.69	4458	2863	4848	1601	9610	1262	0.19	0.2890187	2968	5912	1642	4275	1326
0.70	0.2747321	2866	0.1876449	1603	0.0870872	1263	0.20	0.2893155	2970	0.1957554	1642	0.0935601	1328
0.71	0.2750187	2868	8052	1603	2135	1265	0.21	6125	2972	9196	1644	6929	1328
0.72	3055	2869	9655	1604	3400	1265	0.22	9097	2976	0.1960840	1644	8257	1332
0.73	5924	2871	0.1881259	1605	4665	1266	0.23	0.2902073	2978	2484	1646	9589	1332
0.74	8795	2874	2864	1605	5931	1269	0.24	5051	2979	4130	1645	0.0940921	1334
0.75	0.2761669	2876	0.1884469	1607	0.0877200	1269	0.25	0.2908030	2981	0.1965775	1647	0.0942255	1334
0.76	4545	2880	6076	1607	8469	1273	0.26	0.2911011	2983	7422	1648	3589	1335
0.77	7425	2879	7683	1609	9742	1270	0.27	3994	2987	9070	1649	4924	1338
0.78	0.2770304	2882	9292	1608	0.0881012	1274	0.28	6981	2986	0.1970719	1649	6262	1337
0.79	3186	2885	0.1890900	1610	2286	1275	0.29	9967	2990	2368	1650	7599	1340
0.80	0.2776071	2885	0.1892510	1610	0.0883561	1275	0.30	0.2922957	2992	0.1974018	1650	0.0948939	1342
0.81	8956	2887	4120	1611	4836	1276	0.31	5919	2994	5668	1652	0.0950281	1342
0.82	0.2781843	2891	5731	1612	6112	1279	0.32	8943	2995	7329	1653	1623	1342
0.83	4734	2893	7343	1613	7391	1280	0.33	0.2931938	3000	8973	1653	2965	1347
0.84	7627	2896	8956	1614	8671	1282	0.34	4938	3001	0.1980626	1654	4312	1347
0.85	0.2790523	2896	0.1900570	1614	0.0889953	1281	0.35	0.2937939	3003	0.1982280	1657	0.0955659	1346
0.86	3418	2899	2184	1616	0.0891234	1283	0.36	0.2940942	3003	3937	1654	7005	1349
0.87	6317	2901	3800	1616	2517	1285	0.37	3945	3008	5591	1657	8354	1351
0.88	9218	2902	5416	1616	3802	1286	0.38	6953	3009	7248	1658	9705	1351
0.89	0.2802120	2907	7032	1618	5088	1289	0.39	9962	3011	8906	1657	0.0961056	1354
0.90	0.2805027	2906	0.1908850	1618	0.0896377	1288	0.40	0.2952973	3014	0.1990563	1660	0.0962410	1354
0.91	7933	2910	0.1910268	1620	7665	1290	0.41	5987	3014	2223	1659	3764	1355
0.92	0.2810843	2910	1888	1620	8955	1290	0.42	9001	3019	3882	1662	5119	1357
0.93	3753	2915	3508	1621	0.0900245	1294	0.43	0.2962020	3020	5544	1661	6476	1359
0.94	6668	2915	5129	1621	1539	1294	0.44	5040	3022	7205	1662	7835	1360
0.95	0.2819583	2918	0.1916750	1622	0.0902833	1296	0.45	0.2968062	3025	0.1998867	1664	0.0969195	1361
0.96	0.2822501	2917	8372	1624	4129	1293	0.46	0.2971087	3025	0.2000531	1664	0.0970556	1361
0.97	5418	2924	9996	1624	5422	1300	0.47	4112	3030	2195	1664	1917	1366
0.98	8342	2923	0.1921620	1625	6722	1298	0.48	7142	3031	3859	1666	3283	1365
0.99	0.2831265	2926	3245	1625	8020	1301	0.49	0.2980173	3033	5525	1667	4648	1366
1.00	0.2834191		0.1924870		0.0909321		0.50	0.2983206		0.2007192		0.0976014	

（续）

α'	38°						α'	39°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.2983206		0.2007192		0.0976014		0.00	0.3137653		0.2091585		0.1046068	
		3033		1667		1366			3146		1709		1437
0.51	6239		8859		7380		0.01	0.3140799		3294		7505	
		3039		1668		1371			3148		1711		1437
0.52	9278		0.2010527		8751		0.02	3947		5005		8942	
		3039		1669		1370			3149		1711		1438
0.53	0.2992317		2196		0.0980121		0.03	7096		6716		0.1050380	
		3041		1670		1371			3154		1711		1443
0.54	5358		3866		1492		0.04	0.3150250		8427		1822	
		3044		1671		1373			3154		1713		1441
0.55	0.2998402		0.2013137		0.0982865		0.05	0.3153404		0.2100140		0.1053264	
		3047		1671		1376			3157		1714		1443
0.56	0.3001449		5508		4241		0.06	6561		1854		4707	
		3047		1673		1374			3159		1714		1445
0.57	4496		7281		5615		0.07	9720		3568		6152	
		3050		1673		1377			3160		1716		1444
0.58	7546		0.2028854		6992		0.08	0.3162880		5284		7596	
		3052		1674		1378			3165		1716		1449
0.59	0.3010598		0.2220528		8370		0.09	6045		7000		9045	
		3056		1675		1381			3166		1717		1448
0.60	0.3013654		023903		0.0989751		0.10	0.3169210		0.2108717		0.1060493	
		3057		1675		1382			3168		1717		1451
0.61	6711		5578		0.0991133		0.11	0.3172378		0.2110434		1944	
		3058		1677		1381			3171		1720		1451
0.62	9769		7255		2514		0.12	6549		2154		3395	
		3064		1677		1387			3173		1720		1453
0.63	0.3022833		8932		3901		0.13	8722		3874		4848	
		3063		1678		1385			3176		1719		1457
0.64	5896		0.2030610		5286		0.14	0.3181898		5593		6305	
		3064		1679		1385			3176		1722		1454
0.65	0.3028960		0.2032289		0.0996671		0.15	0.3185074		0.2117315		0.1067759	
		3069		1681		1388			3179		1722		1457
0.66	0.3032029		3970		8059		0.16	8253		9037		9216	
		3069		1680		1389			3182		1724		1458
0.67	5098		5650		9448		0.17	0.3191435		0.2120751		0.1070674	
		3074		1682		1392			3184		1723		1461
0.68	8172		7332		0.1000840		0.18	4619		2464		2135	
		3074		1682		1392			3187		1725		1462
0.69	0.3041246		9014		2232		0.19	7806		4209		3597	
		3078		1683		1395			3187		1726		1461
0.70	0.3044324		0.2040697		0.1003627		0.20	0.3200993		0.2125935		0.1075058	
		3077		1684		1393			3193		1726		1467
0.71	7401		2381		5020		0.21	4186		7661		6525	
		3083		1685		1397			3192		1728		1464
0.72	0.3050483		4066		6417		0.22	7378		9339		7989	
		3083		1685		1398			3195		1728		1467
0.73	3566		5751		7815		0.23	0.3210573		0.2131117		9456	
		3086		1687		1399			3199		1729		1470
0.74	6652		7438		9214		0.24	3772		2846		0.1080926	
		3088		1688		1400			3198		1730		1468
0.75	0.3059740		0.2049126		0.1010614		0.25	0.3216970		0.2134576		0.1082394	
		3088		1688		1400			3203		1731		1472
0.76	0.3062828		0.2050814		2014		0.26	0.3220173		6307		3866	
		3094		1689		1405			3204		1732		1472
0.77	5922		2503		3419		0.27	3377		8039		5338	
		3093		1690		1403			3206		1732		1474
0.78	9015		4193		4822		0.28	8583		9771		6812	
		3097		1690		1407			3209		1733		1476
0.79	0.3072112		5883		6229		0.29	9792		0.2141504		8288	
		3095		1693		1406			3212		1734		1478
0.80	0.3075211		0.2057576		0.1017635		0.30	0.3233004		0.2143238		0.1089766	
		3102		1692		1410			3214		1736		1478
0.81	8313		9268		9045		0.31	6218		4974		0.1091244	
		3102		1693		1409			3215		1735		1480
0.82	0.3081415		0.2060961		0.1020454		0.32	9433		6709		2724	
		3104		1694		1410			3220		1738		1482
0.83	4519		2655		1864		0.33	0.3242653		8447		4206	
		3108		1695		1413			3220		1737		1483
0.84	7627		4350		3277		0.34	5873		0.2150184		5689	
		3110		1696		1414			3223		1739		1484
0.85	0.3080737		0.2066046		0.1024691		0.35	0.3249096		0.2151923		0.1097173	
		3113		1696		1417			3223		1739		1486
0.86	3850		7742		6108		0.36	0.3252321		3662		8659	
		3115		1698		1417			3226		1740		1486
0.87	6965		9440		7525		0.37	5547		5462		0.1100145	
		3116		1698		1418			3231		1742		1489
0.88	0.3100081		0.2071138		8943		0.38	8778		7194		1634	
		3118		1699		1419			3231		1742		1489
0.89	3199		2837		0.1030362		0.39	0.3262009		8886		3123	
		3121		1701		1420			3231		1743		1491
0.90	0.3106320		0.2074538		0.1031782		0.40	0.3265243		0.2160629		0.1104614	
		3124		1701		1423			3236		1744		1492
0.91	9444		6239		3205		0.41	8479		2373		6106	
		3124		1702		1422			3240		1744		1496
0.92	0.3112568		7941		4627		0.42	0.3271719		4117		7602	
		3130		1701		1429			3242		1746		1496
0.93	5698		9642		6056		0.43	4961		5863		9098	
		3129		1704		1425			3242		1746		1496
0.94	8827		0.2081346		7481		0.44	8203		7609		0.1110594	
		3132		1705		1427			3247		1746		1499
0.95	0.3121959		0.2083051		0.1038908		0.45	0.3281450		0.2169357		0.1112093	
		3135		1704		1431			3248		1748		1500
0.96	5094		4755		0.1040339		0.46	4698		0.2171105		3593	
		3135		1707		1428			3250		1749		1501
0.97	8229		6462		1767		0.47	7948		2854		5094	
		3140		1706		1434			3252		1750		1503
0.98	0.3131369		8168		3201		0.48	0.3291201		4604		6597	
		3141		1708		1433			3256		1751		1505
0.99	4510		9876		4634		0.49	4457		6355		8102	
		3143		1709		1434			3255		1751		1504
1.00	0.3137653		0.2091585		0.1046068		0.50	0.3297712		0.2178106		0.1119606	

（续）

a′	39°						a′	40°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.3297712	3269	0.2178106	1753	0.1119606	1509	0.00	0.3463567	3379	0.2266816	1797	0.1196751	1582
0.51	0.3300974	3261	0.2179859	1753	0.1121115	1508	0.01	6946	3379	8613	1797	8533	1582
0.52	4235	3264	0.2181612	1755	2623	1509	0.02	0.3470325	3383	0.2270410	1800	9915	1583
0.53	7499	3267	3367	1755	4132	1512	0.03	3708	3385	2210	1799	0.1201498	1586
0.54	0.3310766	3269	5122	1755	5644	1514	0.04	7093	3387	4009	1801	3084	1586
0.55	0.3314035	3272	0.2186877	1758	0.1127158	1514	0.05	0.3480480	3388	0.2275810	1801	0.1204670	1587
0.56	7307	3273	8635	1758	8672	1515	0.06	3868	3393	7614	1803	6257	1590
0.57	0.3320580	3275	0.2190393	1758	0.1130187	1517	0.07	7261	3393	9414	1803	7847	1590
0.58	3855	3280	2151	1760	1704	1520	0.08	0.3490654	3396	0.2281217	1804	9437	1592
0.59	7135	3281	3911	1760	3224	1521	0.09	4050	3401	3021	1805	0.1211029	1596
0.60	0.3330416	3283	0.2195671	1762	0.1134745	1521	0.10	0.3497451	3402	0.2284826	1805	0.1212625	1597
0.61	3699	3283	7433	1762	6266	1521	0.11	0.3500853	3404	6631	1807	2242	1597
0.62	6982	3289	9195	1763	7787	1526	0.12	4257	3404	8438	1808	5819	1596
0.63	0.3340271	3289	0.2200958	1764	9313	1525	0.13	7661	3410	0.2290246	1809	7415	1601
0.64	3560	3294	2722	1764	0.1140838	1530	0.14	0.3511071	3412	2055	1810	9016	1602
0.65	0.3346854	3294	0.2204486	1767	0.1142368	1527	0.15	0.3514483	3412	0.2293865	1810	0.1220618	1602
0.66	0.3350148	3297	6253	1766	3895	1531	0.16	7895	3415	5675	1812	2220	1603
0.67	3445	3300	8019	1767	5426	1535	0.17	0.3521310	3421	7487	1812	3823	1609
0.68	6745	3299	8697	1769	5984	1530	0.18	4731	3421	9299	1813	5432	1608
0.69	0.3360044	3300	0.2211555	1769	6989	1537	0.19	8152	3423	0.2301112	1815	7040	1608
0.70	0.3363350	3305	0.2213324	1770	0.1150026	1535	0.20	0.3531575	3423	0.2302927	1814	0.1228648	1609
0.71	6655	3311	5094	1772	1561	1539	0.21	4998	3429	4741	1817	0.1230257	1612
0.72	9966	3310	6866	1771	3100	1539	0.22	8427	3432	6558	1816	1869	1616
0.73	0.3373276	3314	8637	1773	4639	1541	0.23	0.3541859	3431	8374	1818	3485	1613
0.74	6590	3313	0.2220410	1773	6180	1540	0.24	5290	3438	0.2310192	1819	5098	1619
0.75	0.3379903	3319	0.2222183	1776	0.1157720	1543	0.25	0.3548728	3437	0.2312011	1819	0.1236717	1618
0.76	0.3383222	3322	3959	1775	9263	1547	0.26	0.3552165	3439	3830	1821	8335	1618
0.77	6544	3322	5734	1777	0.1160810	1545	0.27	5604	3443	5651	1821	9953	1622
0.78	9866	3324	7511	1777	2355	1547	0.28	9047	3445	7472	1822	0.1241575	1623
0.79	0.3393190	3327	9288	1777	3902	1550	0.29	0.3562492	3448	9294	1824	5198	1624
0.80	0.3396517	3330	0.2231065	1779	0.1165452	1551	0.30	0.3565940	3451	0.2321118	1824	0.1244822	1627
0.81	9847	3333	2844	1781	7003	1552	0.31	9391	3451	2942	1825	6449	1626
0.82	0.3403180	3335	4625	1781	8555	1554	0.32	0.3572842	3456	4767	1826	8075	1630
0.83	6515	3339	6406	1781	0.1170109	1558	0.33	6298	3457	6593	1826	9705	1631
0.84	9854	3338	8187	1783	1667	1555	0.34	9755	3459	8419	1828	0.1251336	1631
0.85	0.3413192	3341	0.2239970	1784	0.1173222	1557	0.35	0.3583214	3462	0.2330247	1830	0.1252967	1632
0.86	6533	3343	0.2241754	1784	4779	1559	0.36	6676	3464	2077	1829	4599	1635
0.87	9876	3347	3538	1784	6338	1563	0.37	0.3590140	3468	3906	1831	6234	1637
0.88	0.3423223	3349	5322	1787	7901	1562	0.38	3608	3470	5737	1831	7871	1639
0.89	6572	3352	7109	1787	9463	1565	0.39	7078	3472	7568	1833	9510	1639
0.90	0.3429924	3355	0.2248896	1788	0.1181028	1567	0.40	0.3600550	3476	0.2339401	1833	0.1261149	1643
0.91	0.3433279	3354	0.2250684	1789	2595	1565	0.41	4026	3476	0.2341234	1834	2792	1642
0.92	6633	3360	2473	1790	4160	1570	0.42	7502	3478	3068	1836	4434	1642
0.93	9993	3361	4263	1790	5730	1571	0.43	0.3610980	3484	4904	1836	6076	1648
0.94	0.3443354	3362	6053	1792	7301	1570	0.44	4464	3483	6740	1837	7724	1646
0.95	0.3446716	3366	0.2257845	1792	0.1188871	1574	0.45	0.3617947	3487	0.2348577	1838	0.1269370	1649
0.96	0.3450082	3368	9637	1794	0.1190445	1574	0.46	0.3621434	3489	0.2350415	1838	0.1271019	1651
0.97	3450	3369	0.2261431	1794	2019	1575	0.47	4923	3492	2253	1840	2670	1652
0.98	6819	3374	3225	1795	2094	1579	0.48	8415	3495	4093	1841	4322	1654
0.99	0.3460193	3378	5020	1796	5173	1578	0.49	0.3631910	3495	5934	1841	5976	1654
1.00	0.3463567		0.2266816		0.1196751		0.50	0.3056354		0.2357775		0.1277630	

（续）

α' (°)	40° x_2	差	y_2	差	ν_2	差	α' (°)	41° x_2	差	y_2	差	ν_2	差
0.50	0.3635405		0.2357775		0.1277630		0.00	0.3813425		0.2451049		0.1362376	
		3508		1843		1657			3627		1890		1737
0.51	8913	3509	9618	1844	9287	1656	0.01	7052	3626	2939	1891	4113	1735
0.52	0.3642405	3508	0.2361462	1844	0.1280943	1662	0.02	0.3820678	3630	4830	1890	5848	1740
0.53	5911	3506	3306	1845	2605	1661	0.03	4308	3632	6720	1893	7588	1739
0.54	9417	3509	5151	1847	4266	1662	0.04	7940	3635	8613	1893	9327	1742
0.55	0.3652926		0.2366998		0.1285928		0.05	0.3831575		0.2460596		0.1371069	
		3511		1847		1664			3637		1895		1742
0.56	6437	3514	8845	1848	7592	1666	0.06	5212	3641	2401	1895	2811	1746
0.57	9951	3517	0.2371693	1849	8258	1668	0.07	8853	3643	4296	1897	4557	1746
0.58	0.3663468	3519	3542	1850	9926	1669	0.08	0.3842496	3646	6193	1897	6303	1749
0.59	6987	3522	4392	1851	0.1292595	1671	0.09	6142	3649	8090	1898	8052	1751
0.60	0.3670509		0.2376243		0.1294266		0.10	0.3849791		0.2469988		0.1379803	
		3523		1851		1672			3648		1899		1749
0.61	4032	3527	8094	1854	5938	1673	0.11	0.3853439	3654	0.2471837	1900	0.1381552	1754
0.62	7559	3528	9948	1854	7611	1674	0.12	7093	3657	3787	1901	3306	1756
0.63	0.3681087	3533	0.2381802	1854	9285	1679	0.13	0.3860750	3657	5688	1902	5062	1755
0.64	4620	3534	3656	1855	0.1300964	1679	0.14	4407	3663	7590	1903	6817	1760
0.65	0.3688154		0.2385511		0.1302643		0.15	0.3868070		0.2479493		0.1388577	
		3536		1857		1679			3662		1904		1758
0.66	0.3691690	3538	7368	1858	4322	1680	0.16	0.3871732	3665	0.2481397	1905	0.1390335	1760
0.67	5228	3542	9226	1858	6002	1684	0.17	5397	3668	3302	1905	2095	1763
0.68	8770	3544	0.2391084	1859	7686	1685	0.18	9065	3673	5297	1907	3858	1766
0.69	0.3702314	3547	2943	1860	9371	1687	0.19	0.3882738	3674	7114	1907	5624	1767
0.70	0.3705861		0.2394803		0.1311058		0.20	0.3886412		0.2489021		0.1397391	
		3550		1862		1688			3676		1910		1766
0.71	9411	3550	6665	1862	2746	1688	0.21	0.3890088	3679	0.2490931	1909	9157	1770
0.72	0.3712961	3553	8527	1863	4434	1692	0.22	3767	3681	2840	1911	0.1400927	1770
0.73	6516	3555	0.2400390	1864	6126	1691	0.23	7448	3685	4751	1911	2697	1774
0.74	0.3720071	3561	2254	1865	7817	1696	0.24	0.3901133	3684	6652	1913	4471	1771
0.75	0.3723632		0.2404119		0.1319513		0.25	0.3904817		0.2498575		0.1406242	
		3561		1866		1695			3690		1913		1777
0.76	7193	3562	5985	1867	0.1321208	1696	0.26	8507	3693	0.2500488	1915	8019	1778
0.77	0.3730756	3566	7852	1868	2904	1698	0.27	0.3912200	3695	2403	1916	9797	1779
0.78	4322	3569	9720	1868	4602	1701	0.28	5895	3695	4319	1916	0.1411576	1779
0.79	7891	3572	0.2411588	1870	6303	1702	0.29	9590	3701	6235	1918	3355	1783
0.80	0.3741463		0.2413458		0.1328005		0.30	0.3923291		0.2508153		0.1415138	
		3575		1871		1704			3701		1918		1783
0.81	5038	3577	5329	1871	9709	1706	0.31	6992	3706	0.2510071	1919	6921	1787
0.82	8615	3577	7200	1873	0.1331415	1704	0.32	0.3930698	3707	1990	1920	8708	1787
0.83	0.3752192	3583	9073	1873	3119	1710	0.33	4405	3711	3910	1922	0.1420495	1789
0.84	5775	3585	0.2420946	1874	4829	1711	0.34	8116	3712	5832	1921	2284	1791
0.85	0.3759360		0.2422820		0.1336540		0.35	0.3941828		0.2517753		0.1424075	
		3586		1876		1710			3715		1924		1791
0.86	0.3762946	3588	4696	1875	8250	1713	0.36	5543	3717	9677	1924	5866	1793
0.87	6534	3593	6571	1878	9963	1715	0.37	9260	3723	0.2521601	1925	7659	1798
0.88	0.3770127	3594	8449	1878	0.1341678	1716	0.38	0.3952983	3723	3526	1926	9457	1797
0.89	3721	3597	0.2430327	1880	3394	1717	0.39	6706	3725	5452	1928	0.1431254	1797
0.90	0.3777318		0.2432207		0.1345111		0.40	0.3960431		0.2527380		0.1433051	
		3599		1879		1720			3729		1928		1801
0.91	0.3780917	3602	4086	1881	6831	1721	0.41	4160	3731	9308	1929	4852	1802
0.92	4519	3604	5967	1883	8553	1721	0.42	7891	3734	0.2531237	1930	6654	1804
0.93	8123	3608	7850	1882	0.1350273	1726	0.43	0.3971625	3736	3167	1931	8458	1805
0.94	0.3791731	3610	9732	1884	1999	1726	0.44	5361	3740	5098	1932	0.1440263	1808
0.95	0.3795341		0.2441616		0.1353725		0.45	0.3979101		0.2537030		0.1442071	
		3610		1885		1725			3739		1932		1806
0.96	8951	3610	3501	1886	5450	1730	0.46	0.3982840	3745	8963	1934	3877	1811
0.97	0.3802567	3618	5387	1886	7180	1732	0.47	6585	3747	0.2540897	1935	5688	1812
0.98	6185	3619	7261	1888	8912	1731	0.48	0.3990332	3751	2832	1936	7500	1815
0.99	9804	3621	9173	1888	0.1360643	1733	0.49	4083	3750	4788	1936	9315	1814
1.00	0.3813425		0.2452049		0.1367623		0.50	0.3997833		0.2546704		0.1451129	

（续）

α'	41°						α'	42°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.3997833		0.2546704		0.1451129		0.00	0.4188843		0.2644811		0.1544032	
0.51	0.4001589	3756	8642	1938	2947	1818	0.01	0.4192731	3888	6799	1988	5932	1900
0.52	5345	3756	0.2550582	1940	4763	1816	0.02	6624	3893	8788	1989	7836	1904
0.53	9106	3761	2521	1939	6585	1822	0.03	0.4206517	3893	0.2650777	1989	9740	1904

(续)

α′ (°)	42° x_z	差	y_z	差	v_z	差	α′ (°)	43° x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.4386672	4028	0.2745443	2039	0.1641229	0289	0.00	0.4591560	4171	0.2848676	2091	0.1742884	2080
0.51	0.4390700	4031	7482	2040	3218	1991	0.01	5731	4176	0.2850767	2093	4964	2083
0.52	4731	4036	9522	2041	5209	1995	0.02	9907	4176	2860	2094	7047	2082
0.53	8767	4036	0.2751563	2042	7204	1994	0.03	0.4604083	4179	4954	2094	9129	2085
0.54	0.4402803	4039	3605	2043	9198	1996	0.04	8262	4184	7048	2097	0.1751214	2087
0.55	0.4406842	4041	0.2755648	2044	0.1651194	1909	0.05	0.4612446	4185	0.2859145	2097	0.1753301	2088
0.56	0.4410883	4044	7692	2045	3191	1997	0.06	6631	4190	0.2861242	2098	5389	2092
0.57	4927	4047	9737	2046	5190	1999	0.07	0.4620821	4192	3340	2099	7481	2093
0.58	8974	4050	0.2761783	2048	7191	2001	0.08	5013	4196	5439	2100	9574	2096
0.59	0.4423024	4056	3831	2047	9193	2020	0.09	9209	4195	7539	2102	0.1761670	2093
0.60	0.4427080	4055	0.2765878	2050	0.1661202	2005	0.10	0.4633404	4201	0.2869641	2102	0.1763763	2099
0.61	0.4431135	4058	7928	2050	3207	2008	0.11	7605	4204	0.2871743	2104	5862	2100
0.62	5193	4063	9978	2052	5215	2013	0.12	0.4641809	4206	3847	2104	7962	2102
0.63	9256	4064	0.2772030	2053	7226	2011	0.13	6015	4209	5951	2106	0.1770064	2103
0.64	0.4443320	4069	4083	2053	9237	2016	0.14	0.4650224	4215	8057	2107	2167	2108
0.65	0.4447389	4069	0.2776136	2054	0.1671253	2015	0.15	0.4654439	4214	0.2880164	2107	0.1774275	2107
0.66	0.4451458	4074	8190	2056	3268	2018	0.16	8653	4218	2271	2110	6382	2108
0.67	5532	4075	0.2780246	2057	5286	2018	0.17	0.4662871	4223	4381	2110	8490	2113
0.68	9607	4080	2303	2057	7304	2023	0.18	7094	4223	6491	2111	0.1780603	2112
0.69	0.4463687	4083	4360	2059	9327	2024	0.19	0.4671317	4228	8602	2112	2715	2116
0.70	0.4467770	4082	0.2786419	2060	0.1681351	2022	0.20	0.4675545	4228	0.2890714	2113	0.1784831	2115
0.71	0.4471852	4091	8479	2061	3373	2028	0.21	9773	4234	2827	2114	6946	2120
0.72	5941	4089	0.2790540	2062	5401	2029	0.22	0.4684007	4237	4941	2117	9066	2120
0.73	0.4480032	4093	2602	2063	7430	2030	0.23	8244	4239	7058	2116	0.1791186	2123
0.74	4125	4094	4665	2064	9460	2030	0.24	0.4692483	4242	9174	2118	3309	2124
0.75	0.4488219	4099	0.2796729	2065	0.1691490	2034	0.25	0.4696725	4243	0.2901292	2118	0.1795433	2127
0.76	0.4492318	4102	8794	2066	3524	2036	0.26	0.4700970	4248	3410	2120	7560	2128
0.77	6420	4105	0.2800860	2068	5560	2037	0.27	5218	4250	5530	2121	9688	2129
0.78	0.4500525	4108	2928	2068	7597	2040	0.28	9468	4253	7651	2122	0.1801817	2131
0.79	4633	4110	4996	2069	9637	2041	0.29	0.4713721	4259	9773	2123	3948	2136
0.80	0.4508743	4113	0.2807065	2070	0.1701678	2043	0.30	0.4717980	4258	0.2911896	2124	0.1806084	2134
0.81	0.4512856	4118	9135	2072	3721	2046	0.31	0.4722238	4264	4020	2126	8218	2138
0.82	6974	4119	0.2811207	2072	5767	2047	0.32	6502	4264	6146	2126	0.1810356	2138
0.83	0.4521093	4121	3279	2074	7814	2047	0.33	0.4730766	4270	8272	2128	2494	2142
0.84	5214	4127	5353	2075	9861	2052	0.34	5036	4272	0.2920400	2128	4636	2144
0.85	0.4529341	4126	0.2817428	2076	0.1711913	2050	0.35	0.4739308	4275	0.2922528	2129	0.1816780	2146
0.86	0.4533467	4130	9504	2077	3963	2053	0.36	0.4743583	4278	4657	2131	8926	2147
0.87	7597	4135	0.2821581	2077	6016	2058	0.37	7861	4281	6788	2132	0.1821073	2149
0.88	0.4541732	4135	3658	2079	8074	2056	0.38	0.4752142	4283	8920	2133	3222	2150
0.89	5867	4140	5737	2080	0.1720130	2060	0.39	6425	4286	0.2931053	2134	5372	2152
0.90	0.4550007	4143	0.2827817	2081	0.1722190	2062	0.40	0.4760711	4289	0.2933187	2135	0.1827524	2154
0.91	4130	4144	9898	2082	4252	2062	0.41	5000	4294	5322	2137	9678	2157
0.92	8294	4148	0.2831980	2083	6314	2065	0.42	9294	4295	7459	2137	0.1831835	2158
0.93	0.4562442	4152	4083	2085	8379	2067	0.43	0.4773589	4299	9596	2138	3993	2161
0.94	6594	4154	6148	2085	0.1730446	2069	0.44	7888	4303	0.2941734	2140	6154	2163
0.95	0.4570748	4157	0.2838233	2086	0.1732515	2071	0.45	0.4782191	4303	0.2943874	2141	0.1838317	2162
0.96	4905	4159	0.2840319	2088	4586	2071	0.46	6494	4308	6013	2143	0479	2167
0.97	9064	4163	2407	2088	6657	2075	0.47	0.4790802	4310	8156	2143	0.1842646	2167
0.98	0.4583227	4165	4495	2090	8732	2075	0.48	0.4795112	4314	0.2950299	2144	4813	2170
0.99	7392	4168	6585	2091	0.1740807	2077	0.49	9426	4316	2448	2145	6983	2171
1.00	0.4591560		0.2848676		0.1742884		0.50	0.4803742		0.2954588		0.1849154	

（续）

α′	43°						α′	44°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.4803742		0.2954588		0.1849154		0.00	0.5023474		0.3063265		0.1960209	
		4322		2147		2175			4473		2202		2271
0.51	8064	4322	6735	2147	0.1851329	2175	0.01	7947	4479	5467	2203	2480	2276
0.52	0.4812386	4327	8882	2148	3504	2179	0.02	0.5032426	4478	7670	2205	4756	2273
0.53	6713	4327	0.2961030	2149	5683	2178	0.03	6904	4484	9875	2206	7029	2278
0.54	0.4821040	4333	3179	2151	7861	2182	0.04	0.5041388	4484	0.3072081	2206	0.1969307	2276
0.55	0.4825373		0.2965330		0.1860043		0.05	0.5045872		0.3074287		0.1971583	
		4336		2152		2184			4489		2209		2282
0.56	9709	4335	7482	2153	2227	2182	0.06	0.5050361	4492	6496	2209	3865	2283
0.57	0.4834044	4341	9635	2153	4409	2188	0.07	4853	4495	8705	2210	6148	2285
0.58	8385	4347	0.2971788	2155	6597	2192	0.08	9348	4501	0915	2212	8433	2289
0.59	0.4842732	4346	3943	2157	8789	2189	0.09	0.5063849	4500	0.3083127	2212	0.1980722	2288
0.60	0.4847078		0.2976100		0.1871978		0.10	0.5068349		0.3085339		0.1983010	
		4349		2155		2194			4506		2214		2292
0.61	0.4851427	4353	8255	2156	3172	2192	0.11	0.5072855	4508	7553	2215	5302	2293
0.62	5779	4358	0.2980415	2159	5364	2199	0.12	7363	4509	9768	2216	7595	2293
0.63	0.4860137	4360	2574	2162	7563	2198	0.13	0.5081872	4514	0.3091984	2217	0.1989888	2297
0.64	4497	4360	4736	2161	9761	2199	0.14	6386	4520	4201	2218	0.1992185	2302
0.65	0.4868857		0.2986897		0.1881960		0.15	0.5090906		0.3096419		0.1994487	
		4366		2163		2203			4519		2220		2299
0.66	0.4873223	4369	9060	2164	4163	2205	0.16	5425	4533	8639	2221	6786	2302
0.67	7592	4371	0.2991224	2165	6368	2206	0.17	9948	4528	0.3100860	2221	0.1999088	2307
0.68	0.4881963	4374	3389	2166	8574	2208	0.18	0.5104476	4530	0.3103081	2224	0.2001395	2306
0.69	6337	4379	5555	2167	0.1890782	2212	0.19	9006	4534	5305	2223	3701	2311
0.70	0.4890716		0.2997722		0.1892994		0.20	0.5113540		0.3107528		0.2006012	
		4380		2169		2211			4536		2226		2310
0.71	5096	4385	9891	2170	5205	2215	0.21	8076	4538	9754	2226	8322	2312
0.72	9481	4385	0.3002061	2169	7420	2216	0.22	0.5122614	4545	0.3111980	2227	0.2010634	2318
0.73	0.4903866	4390	4230	2173	9626	2217	0.23	7159	4544	4207	2229	2952	2315
0.74	8256	4393	6403	2173	0.1901853	2220	0.24	0.5131703	4550	6436	2230	5267	2320
0.75	0.4912649		0.3008576		0.1904073		0.25	0.5136253		0.3118666		0.2017587	
		4396		2174		2222			4552		2231		2321
0.76	7045	4399	0.3010750	2174	6295	2225	0.26	0.5140805	4556	0.3120897	2233	9908	2323
0.77	0.4921444	4402	2924	2177	8520	2225	0.27	5361	4558	3130	2233	0.2022231	2325
0.78	5846	4407	5101	2177	0.1910745	2230	0.28	9919	4561	5363	2234	4556	2327
0.79	0.4930253	4407	7278	2179	2975	2228	0.29	0.5154480	4566	7597	2236	6883	2330
0.80	0.4934660		0.3019457		0.1915203		0.30	0.5159046		0.3129833		0.2029213	
		4412		2179		2233			4566		2237		2329
0.81	9072	4412	0.3021636	2181	7436	2231	0.31	0.5163612	4572	0.3132070	2238	0.2031542	2334
0.82	0.4943484	4418	3817	2182	9667	2236	0.32	8184	4575	4308	2240	3876	2335
0.83	7902	4421	5999	2183	0.1921903	2238	0.33	0.5172759	4577	6548	2240	6211	2337
0.84	0.4952323	4423	8182	2184	4141	2239	0.34	7336	4583	8788	2241	8548	2342
0.85	0.4956746		0.3030366		0.1926380		0.35	0.5181919		0.3141029		0.2040890	
		4427		2186		2241			4583		2243		2340
0.86	0.4961173	4431	2552	2187	8621	2244	0.36	6502	4588	3272	2243	3230	2345
0.87	5604	4432	4739	2187	0.1930865	2245	0.37	0.5191090	4591	5515	2246	5575	2345
0.88	0.4970036	4437	6926	2189	3110	2248	0.38	5681	4591	7761	2246	7920	2345
0.89	4473	4440	9115	2189	5358	2251	0.39	0.5200272	4599	0.3150007	2247	0.2050265	2352
0.90	0.4978913		0.3041304		0.1937609		0.40	0.5204871		0.3152254		0.2052617	
		4440		2192		2248			4599		2248		2351
0.91	0.4983353	4445	3496	2191	9857	2254	0.41	9470	4602	4502	2250	4968	2352
0.92	7798	4451	5687	2193	0.1942111	2258	0.42	0.5214072	4608	6752	2251	7320	2357
0.93	0.4992249	4451	7880	2194	4369	2257	0.43	8680	4610	9003	2252	0.2069677	2358
0.94	6700	4454	0.3050074	2196	6626	2258	0.44	0.5223290	4613	0.3161255	2253	2035	2360
0.95	0.5001154		0.3052270		0.1948884		0.45	0.5227903		0.3163508		0.2064395	
		4459		2196		2263			4616		2255		2361
0.96	5613	4459	4466	2198	1147	2261	0.46	0.5232519	4619	5703	2255	6756	2364
0.97	0.5010072	4465	6664	2199	0.1953408	2266	0.47	7138	4623	8018	2257	9120	2366
0.98	4537	4467	8863	2200	5674	2267	0.48	0.5241761	4627	0.3170275	2258	0.2071486	2369
0.99	9004	4470	0.3061063	2202	7941	2268	0.49	6388	4627	2533	2259	3855	2368
1.00	0.5023474		0.3063265		0.1960209		0.50	0.5251015		0.3174792		0.2076223	

（续）

a'	44°						a'	45°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.5251015		0.3174792		0.2076223		0.00	0.5486641		0.3289261		0.2197380	
		4635		2260		2375			4798		2320		2478
0.51	5650		7052		8598		0.01	0.5491439		0.3291581		9858	
		4635		2261		2374			4799		2321		2478
0.52	0.5260285		9313		0.2080972		0.02	6238		3902		0.2202336	
		4638		2263		2375			4806		2322		2484
0.53	4923		0.3181576		3347		0.03	0.5501044		6224		4820	
		4643		2264		2379			4805		2324		2481
0.54	9566		3840		5726		0.04	5849		8548		7301	
		4643		2265		2378			4811		2325		2486
0.55	0.5274209		0.3186105		0.2088104		0.05	0.5510660		0.3300873		0.2209787	
		4649		2266		2383			4813		2326		2487
0.56	8858		8371		0.2090487		0.06	5473		3199		0.2212274	
		4654		2267		2387			4820		2327		2493
0.57	0.5283512		0.3190638		2874		0.07	0.5520293		5526		4767	
		4654		2269		2385			4819		2329		2490
0.58	8166		2907		5259		0.08	5112		7855		7257	
		4657		2269		2388			4824		2329		2495
0.59	0.5292823		5176		7647		0.09	9936		0.3310184		9752	
		4663		2271		2392			4828		2331		2497
0.60	0.5297486		0.3197447		0.2100039		0.10	0.5534764		0.3312515		0.2222249	
		4665		2272		2393			4830		2333		2497
0.61	0.5302151		9719		2432		0.11	9594		4848		4746	
		4668		2274		2394			4832		2333		2499
0.62	6819		0.3201993		4826		0.12	0.5544426		7181		7245	
		4671		2274		2397			4839		2335		2504
0.63	0.5311490		4267		7223		0.13	9265		9516		9749	
		4676		2276		2400			4841		2335		2506
0.64	6166		6543		9623		0.14	0.5554106		0.3321851		0.2232255	
		4676		2276		2400			4844		2338		2506
0.65	0.5320842		0.3208819		0.2112023		0.15	0.5558950		0.3324189		0.2234761	
		4682		2278		2404			4846		2338		2508
0.66	5524		0.3211097		4427		0.16	0.5563796		6527		7269	
		4684		2280		2404			4852		2340		2512
0.67	0.5330208		3377		6831		0.17	8648		8867		9781	
		4688		2280		2408			4855		2341		2514
0.68	4896		5657		9239		0.18	0.5573503		0.3331208		0.2242295	
		4689		2281		2408			4857		2341		2516
0.69	9585		7938		0.2121647		0.19	8360		3549		4811	
		4696		2283		2413			4861		2344		2517
0.70	0.5344281		0.3220221		0.2124060		0.20	0.5583221		0.3335893		0.2247328	
		4698		2284		2414			4863		2345		2518
0.71	8979		2505		6474		0.21	8084		8238		9846	
		4701		2286		2416			4868		2345		2523
0.72	0.5353680		4790		8899		0.22	0.5592952		0.3340583		0.2252389	
		4704		2287		2417			4872		2346		2526
0.73	8384		7077		0.2131307		0.23	7824		2929		4895	
		4706		2287		2419			4874		2349		2525
0.74	0.5363090		9364		3726		0.24	0.5602698		5278		7420	
		4712		2289		2423			4879		2349		2530
0.75	0.5367802		0.3231653		0.2136149		0.25	0.5607577		0.3347627		0.2259950	
		4712		2289		2423			4880		2351		2529
0.76	0.5372514		3942		8572		0.26	0.5612457		9978		0.2262479	
		4717		2292		2425			4885		2352		2533
0.77	7231		6234		0.2140997		0.27	7342		0.3352330		5012	
		4723		2292		2429			4887		2353		2534
0.78	0.5381952		8526		3426		0.28	0.5622229		4683		7546	
		4725		2294		2431			4894		2354		2540
0.79	6677		0.3240820		5857		0.29	7123		7037		0.2270086	
		4726		2294		2432			4893		2356		2537
0.80	0.5391403		0.3243114		0.2148289		0.30	0.5632016		0.3359393		0.2272623	
		4731		2296		2435			4899		2357		2542
0.81	6134		5410		0.2150724		0.31	6915		0.3361750		5165	
		4734		2297		2437			4901		2357		2544
0.82	0.5400868		7707		3161		0.32	0.5641816		4107		7709	
		4737		2298		2438			4907		2360		2547
0.83	5605		0.3250005		5600		0.33	6723		6467		0.2280256	
		4739		2300		2439			4907		2360		2547
0.84	0.5410344		2305		8039		0.34	0.5651630		8827		2803	
		4745		2301		2444			4913		2363		2550
0.85	0.5415089		0.3254606		0.2160483		0.35	0.5656543		0.3371190		0.2285353	
		4748		2301		2447			4915		2362		2553
0.86	9837		6907		2930		0.36	0.5661458		3552		7906	
		4750		2303		2447			4921		2364		2557
0.87	0.5424587		9210		5377		0.37	6379		5916		0.2290463	
		4753		2305		2448			4920		2367		2553
0.88	9340		0.3261515		7825		0.38	0.5671299		8283		3016	
		4756		2306		2450			4927		2366		2561
0.89	0.5434096		3821		0.2170275		0.39	6226		0.3380649		5577	
		4761		2306		2455			4929		2368		2561
0.90	0.5438857		0.3266127		0.2172730		0.40	0.5681155		0.3383017		0.2298138	
		4764		0723		2457			1934		2369		2565
0.91	0.5443621		8434		5187		0.41	6089		5386		0.2300703	
		1767		2310		2457			4935		2371		2564
0.92	8388		0.3270741		7644		0.42	0.5691024		7757		3267	
		1770		2310		2460			4941		2371		2569
0.93	0.5453158		3054		0.2180104		0.43	5964		0.3390128		5836	
		1772		2312		2460			4945		2373		2572
0.94	7930		5366		2564		0.44	0.5700909		2501		8408	
		4778		2312		2466			4945		2373		2570
0.95	0.5462708		0.3277678		0.2185030		0.45	0.5705854		0.3394876		0.2310978	
		4781		2315		2466			1951		2375		2576
0.96	7489		9993		7496		0.46	0.5710805		7251		3554	
		4783		2315		2468			4954		2377		2577
0.97	0.5472272		0.3282308		9964		0.47	5759		9628		6131	
		4786		2316		2470			4957		2378		2579
0.98	7058		4624		0.2192434		0.48	0.5720716		0.3402006		8708	
		4792		2318		2474			4959		2379		2580
0.99	0.5481850		6942		4908		0.49	5675		4385		0.2321290	
		4791		2319		2472			4964		2381		2583
1.00	0.5486641		0.3289261		0.2197380		0.50	0.5730639		0.3406766		0.2323873	

（续）

a′	45°						a′	46°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.5730639	4968	0.3406765	2382	0.2323873	2586	0.00	0.5983306	5143	0.3527406	2446	0.2455900	2697
0.51	5607	4970	9148	2382	6459	2588	0.01	8449	5146	9852	2447	8597	2699
0.52	0.5740577	4976	0.3411530	2385	9047	2591	0.02	0.5993595	5152	0.3532299	2448	0.2461296	2704
0.53	5553	4975	3915	2385	0.2331638	2590	0.03	8747	5124	4747	2450	4000	2704
0.54	0.5750528	4982	6300	2387	4228	2595	0.04	0.6003901	5160	7197	2451	6704	2709
0.55	0.5755510	4986	0.3418687	2388	0.2336823	2598	0.05	0.6009061	5159	0.3539648	2451	0.2469413	2708
0.56	0.5760496	4987	0.3421075	2389	9421	2598	0.06	0.6014220	5168	0.3542099	2454	0.2472121	2714
0.57	5483	4992	3464	2391	0.2342619	2601	0.07	9388	5168	4553	2454	4835	2714
0.58	0.5770475	4995	5855	2392	4620	2603	0.08	0.6024556	5174	7007	2456	7549	2718
0.59	5470	4998	8247	2392	7223	2606	0.09	9730	5176	9463	2457	0.2480267	2719
0.60	0.5780468	5003	0.3430639	2395	0.2349829	2608	0.10	0.6034906	5179	0.3551920	2458	0.2482986	2721
0.61	5471	5006	3034	2396	0.2352437	2610	0.11	0.6040085	5185	4378	2460	5707	2725
0.62	0.5790477	5008	5430	2396	5047	2612	0.12	5270	5187	6838	2461	8432	2726
0.63	5485	5015	7826	2398	7659	2617	0.13	0.6050457	5190	9299	2463	0.2491158	2727
0.64	0.5800500	5014	0.3440224	2400	0.2360276	2614	0.14	5647	5195	0.3561762	2464	3885	2731
0.65	0.5805514	5019	0.3442624	2400	0.2362890	2619	0.15	0.6060842	5196	0.3564226	2465	0.2496616	2731
0.66	0.5810533	5025	5024	2402	5509	2623	0.16	6038	5203	6691	2466	9347	2737
0.67	5558	5026	7426	2404	8132	2622	0.17	0.6071241	5204	9157	2468	0.2502084	2736
0.68	0.5820584	5030	9830	2405	0.2370754	2625	0.18	6445	5209	0.3571625	2469	4820	2740
0.69	5614	5034	0.3452235	2405	3379	2629	0.19	0.6081654	5212	4094	2470	7560	2742
0.70	0.5830648	5036	0.3454640	2407	0.2376008	2629	0.20	0.6086866	5218	0.3576564	2472	0.2510302	2746
0.71	5684	5041	7047	2408	8637	2633	0.21	0.6092084	5220	9036	2473	3048	2747
0.72	0.5840725	5045	9455	2410	0.2381270	2635	0.22	7304	5223	0.3581509	2474	5795	2749
0.73	5770	5047	0.3461865	2411	3905	2636	0.23	0.6102527	5228	3983	2475	8544	2753
0.74	0.5850817	5052	4276	2412	6541	2640	0.24	7755	5229	6458	2477	0.2521297	2752
0.75	0.5855869	5056	0.3466688	2413	0.2389181	2643	0.25	0.6112984	5237	0.3588935	2478	0.2524049	2756
0.76	0.5860925	5058	9101	2415	0.2391824	2643	0.26	8221	5236	0.3591413	2480	6808	2759
0.77	5983	5061	0.3471516	2416	4467	2645	0.27	0.6123457	5242	3893	2481	9564	2761
0.78	0.5871044	5066	3932	2417	7112	2649	0.28	8699	5245	6374	2482	0.2532325	2763
0.79	6110	5069	6349	2419	9761	2650	0.29	0.6133944	5251	8856	2483	5088	2768
0.80	0.5881179	5072	0.3478768	2419	0.2402411	2653	0.30	0.6139195	5253	0.3601339	2485	0.2537856	2768
0.81	6251	5075	0.3481187	2421	5064	2654	0.31	0.6144448	5256	3824	2486	0.2540624	2770
0.82	0.5891326	5080	3608	2423	7718	2657	0.32	9704	5259	6310	2488	3394	2771
0.83	6406	5083	6031	2423	0.2410375	2660	0.33	0.6154963	5264	8798	2489	6165	2775
0.84	0.5901489	5088	8454	2424	3035	2664	0.34	0.6160227	5269	0.3611287	2489	8940	2780
0.85	0.5906577	5088	0.3490878	2427	0.2415699	2661	0.35	0.6165496	5270	0.3613776	2492	0.2551720	2778
0.86	0.5911665	5094	3305	2428	8360	2666	0.36	0.6170766	5275	6268	2493	4498	2782
0.87	6759	5099	5733	2428	0.2421026	2671	0.37	6041	5278	8761	2494	7280	2784
0.88	0.5921858	5100	8161	2430	3697	2670	0.38	0.6181319	5281	0.3621255	2495	0.2560064	2786
0.89	6958	5104	0.3500591	2431	6367	2673	0.39	6600	5289	3750	2497	2850	2792
0.90	0.5932062	5108	0.3503022	2433	0.2429040	2675	0.40	0.6191889	5289	0.3626247	2498	0.2565642	2791
0.91	7170	5113	5455	2434	0.2431715	2679	0.41	7178	5294	8745	2499	8433	2795
0.92	0.5942283	5116	7889	2435	4394	2681	0.42	0.6202472	5297	0.3631244	2501	0.2571228	2796
0.93	7399	5118	0.3510324	2437	7075	2681	0.43	7769	5300	3745	2502	4024	2798
0.94	0.5952517	5122	2761	2438	9756	2684	0.44	0.6213069	5305	6247	2503	6822	2802
0.95	0.5957639	5127	0.3515199	2438	0.2442440	2689	0.45	0.6218374	5308	0.3638750	2506	0.2579624	2802
0.96	0.5962766	5129	7637	2441	5129	2688	0.46	0.6223682	5311	0.3641256	2506	0.2582426	2805
0.97	7895	5132	0.3520078	2442	7817	2690	0.47	8993	5317	3762	2507	5231	2810
0.98	0.5973027	5138	2520	2442	0.2450507	2696	0.48	0.6234310	5319	6269	2509	8041	2810
0.99	8165	5141	4962	2444	3203	2697	0.49	9629	5322	8778	2510	0.2590851	2812
1.00	0.5983306		0.3527406		0.2455900		0.50	0.6244951		0.3651288		0.2593663	

（续）

a'	46°						a'	47°					
(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	v_z	差
0.50	0.6244951		0.3651288		0.2593663		0.00	0.6515907		0.3778517		0.2737390	
		5327		2511		2816			5514		2580		2934
0.51	0.6250278		3799		6479		0.01	21421		81097		40324	
		5330		2512		2818			5523		2580		2943
0.52	5608		6311		9297		0.02	26944		83677		43267	
		5336		2515		2821			5522		2583		2939
0.53	0.6260944		8826		0.2602118		0.03	32466		86260		46206	
		5338		2516		2822			5528		2584		2944
0.54	6282		0.3661342		4940		0.04	37994		88844		49150	
		5341		2516		2825			5533		2585		2948
0.55	0.6271623		0.3663858		0.2607765		0.05	0.6543527		0.3791429		0.2752098	
		5344		2518		2826			5534		2586		2948
0.56	6967		6376		0.2610591		0.06	49061		94015		55046	
		5349		2520		2829			5541		2588		2953
0.57	0.6282316		8896		3420		0.07	54602		96603		57999	
		5355		2520		2835			5542		2590		2952
0.58	7671		0.3671416		6255		0.08	60144		99193		60951	
		5355		2522		2833			5547		2590		2957
0.59	0.6293026		3938		9088		0.09	65691		0.3801783		63908	
		5360		2524		2836			5553		2592		2961
0.60	0.6298386		0.3676462		0.2621924		0.10	0.6571244		0.3804375		0.2766869	
		5366		2525		2841			5555		2594		2961
0.61	0.6303752		8987		4765		0.11	76799		06969		69830	
		5366		2526		2840			5558		2594		2964
0.62	9118		0.3681513		7605		0.12	82357		09563		72794	
		5371		2528		2843			5564		2596		2968
0.63	0.6314489		4041		0.2630448		0.13	87921		12159		75762	
		5377		2528		2849			5566		2599		2967
0.64	9866		6569		3297		0.14	93487		15847		78729	
		5380		2531		2849			5570		2598		2972
0.65	0.6325246		0.3689100		0.2636146		0.15	0.6599057		0.3817356		0.2781701	
		5382		2532		2850			5574		2601		2973
0.66	0.6330628		0.3691632		8996		0.16	0.6604631		19957		84674	
		5388		2532		2856			5580		2601		2979
0.67	6016		4164		0.2641852		0.17	10211		22558		87653	
		5390		2534		2856			5583		2604		2979
0.68	0.6341406		6698		4708		0.18	15794		25162		90632	
		5394		2537		2857			5586		2605		2981
0.69	6800		9235		7565		0.19	21380		27767		93613	
		5398		2536		2862			5591		2605		2986
0.70	0.6352198		0.3701771		0.2650427		0.20	0.6626971		0.3830372		0.2796599	
		5402		2539		2863			5594		2608		2986
0.71	7600		4310		3290		0.21	32565		32980		99585	
		5404		2539		2865			5596		2609		2987
0.72	0.6363004		6849		6155		0.22	38161		35589		0.2802572	
		5410		2542		2868			5603		2610		2993
0.73	8414		9391		9023		0.23	43764		38199		05565	
		5413		2542		2871			5607		2612		2995
0.74	0.6373827		0.3711933		0.2661894		0.24	49371		40811		08560	
		5418		2543		2875			5608		2613		2995
0.75	0.6379245		0.3714476		0.2664769		0.25	0.6654979		0.3843424		0.2811555	
		5420		2546		2874			5610		2614		3002
0.76	0.6384665		7022		7643		0.26	60595		46038		14557	
		5424		2547		2877			5615		2616		2999
0.77	0.6390089		9569		0.2670520		0.27	66210		48654		17556	
		5429		2547		2882			5622		2617		3005
0.78	5518		0.3722116		3402		0.28	71832		51271		20561	
		5432		2550		2882			5627		2619		3008
0.79	0.6400950		4666		6284		0.29	77459		53890		23569	
		5437		2550		2887			5629		2620		3009
0.80	0.6406387		0.3727216		0.2679171		0.30	0.6683088		0.3856510		0.2826578	
		5437		2552		2885			5633		2622		3011
0.81	0.6411824		9768		0.2682056		0.31	88721		59132		29589	
		5446		2554		2892			5637		2622		3015
0.82	7270		0.3732322		4948		0.32	94358		61754		32604	
		5445		2554		2891			5641		2625		3016
0.83	0.6422715		4876		7839		0.33	99999		64379		35620	
		5461		2556		2895			5646		2626		3020
0.84	8166		7432		0.2690734		0.34	0.6705645		67005		38640	
		5457		2558		2899			5649		2627		3022
0.85	0.6433623		0.3739990		0.2693633		0.35	0.6711294		0.3869632		0.2841662	
		5459		2559		2900			5654		2628		3026
0.86	9082		0.3742549		6533		0.36	16948		72250		44688	
		5462		2560		2902			5657		2630		3027
0.87	0.6444544		5109		9435		0.37	22605		74890		47715	
		5465		2562		2903			5660		2632		3028
0.88	0.6450009		7671		0.2702338		0.38	28265		77522		50743	
		5470		2563		2907			5665		2633		3032
0.89	5479		0.3750234		5245		0.39	33930		80155		53775	
		5476		2564		2912			5671		2634		3037
0.90	0.6460955		0.3752798		0.2708157		0.40	0.6739601		0.3882789		0.2856812	
		5478		2565		2913			5671		2635		3036
0.91	6433		5363		0.2711076		0.41	45272		85424		59848	
		5481		2568		2913			5679		2638		3041
0.92	0.6471914		7931		3983		0.42	50951		88062		62889	
		5484		2569		2915			5679		2639		3040
0.93	7398		0.3760500		6898		0.43	56630		90701		65929	
		5490		2569		2921			5687		2639		3048
0.94	0.6482888		3069		9819		0.44	62317		93340		68977	
		5495		2572		2923			5687		2642		3045
0.95	0.6488383		0.3765641		0.2722742		0.45	0.6768004		0.3895982		0.2872022	
		5497		2572		2925			5693		2642		3051
0.96	0.6493880		8213		5667		0.46	73697		98624		75073	
		5501		2574		2927			5699		2645		3054
0.97	9381		0.3770737		8594		0.47	79396		0.3901269		78127	
		5503		2575		2928			5701		2646		3055
0.98	0.6504884		3352		0.2731522		0.48	85097		03915		81182	
		5509		2577		2932			5703		2647		3056
0.99	0.6510393		5939		4454		0.49	90800		06562		84238	
		5514		2578		2936			5710		2648		3062
1.00	0.6515907		0.3778517		0.2737390		0.50	0.6796610		0.3909210		0.2887300	

(续)

a'	47°						a'	48°					
(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差	(°)	x_z	差	y_z	差	ν_z	差
0.50	0.6796310	5712	0.3909210	2650	0.2887300	3062	0.00	0.7087121	5918	0.4043485	2724	0.3043636	3194
0.51	0.6802222	5717	11860	2652	90362	3065	0.01	93039	5918	46209	2724	46830	3194
0.52	07939	5720	14512	2652	93427	3068	0.02	98957	5927	48933	2726	50024	3201
0.53	13659	5726	17164	2655	96495	3071	0.03	0.7104884	5929	51659	2729	53225	3201
0.54	19385	5729	19819	2656	99566	3073	0.04	10813	5934	54387	2729	56426	3205
0.55	0.6825114	5734	0.3922475	2657	0.2902639	3077	0.05	0.7116747	5938	0.4057116	2729	0.3059631	3209
0.56	30847	5737	25132	2658	05716	3078	0.06	22685	5940	59845	2732	62840	3208
0.57	36584	5742	27790	2661	08794	3082	0.07	28625	5948	62577	2734	66048	3214
0.58	42326	5745	30451	2661	11876	3083	0.08	34573	5948	65311	2734	69262	3214
0.59	48071	5748	33112	2663	14959	3085	0.09	40521	5954	68045	2737	72476	3217
0.60	0.6853819	5753	0.3935775	2664	0.2918044	3089	0.10	0.7146475	5959	0.4070782	2738	0.3075693	3221
0.61	59572	5759	38439	2666	21133	3093	0.11	52434	5962	73520	2739	78914	3223
0.62	65331	5759	41105	2667	24226	3092	0.12	58396	5968	76259	2741	82137	3227
0.63	71090	5767	43772	2668	27318	3099	0.13	64364	5970	79000	2742	85364	3228
0.64	76857	5770	46440	2671	30417	3099	0.14	70334	5976	81742	2744	88592	3232
0.65	0.6882627	5772	0.3949111	2672	0.2933516	3100	0.15	0.7176310	5981	0.4084486	2745	0.3091824	3236
0.66	88399	5778	51783	2673	36616	3105	0.16	82291	5984	87231	2747	95060	3237
0.67	94177	5781	54456	2674	39721	3107	0.17	88275	5987	89978	2748	98297	3239
0.68	99958	5786	57130	2676	42828	3110	0.18	94262	5992	92726	2750	0.3101536	3242
0.69	0.6905744	5789	59806	2678	45938	3111	0.19	0.7200254	5995	95476	2751	04778	3244
0.70	0.6911533	5794	0.3962484	2679	0.2949049	3115	0.20	0.7206249	6001	0.4098227	2753	0.3108022	3248
0.71	17327	5797	65163	2680	52164	3117	0.21	12250	6006	0.4100980	2755	11270	3251
0.72	23124	5803	67843	2682	55281	3121	0.22	18256	6008	03735	2755	14521	3253
0.73	28927	5805	70525	2683	58402	3122	0.23	24264	6015	06490	2757	17774	3258
0.74	34732	5809	73208	2684	61524	3125	0.24	30279	6017	09247	2759	21032	3258
0.75	0.6940541	5813	0.3975892	2687	0.2964649	3126	0.25	0.7236296	6019	0.4112006	2761	0.3124290	3258
0.76	46354	5819	78579	2687	67775	3132	0.26	42315	6028	14767	2761	27548	3267
0.77	52173	5822	81266	2689	70907	3133	0.27	48343	6028	17528	2764	30815	3264
0.78	57995	5828	83955	2691	74040	3137	0.28	54371	6036	20292	2765	34079	3271
0.79	63823	5830	86646	2691	77177	3139	0.29	60407	6039	23057	2766	37350	3273
0.80	0.6969653	5833	0.3989337	2695	0.2980316	3138	0.30	0.7266446	6042	0.4125823	2768	0.3140623	3274
0.81	75486	5838	92032	2694	83454	3144	0.31	72488	6047	28591	2769	43897	3278
0.82	81324	5844	94726	2697	86598	3147	0.32	78535	6053	31360	2771	47175	3282
0.83	87168	5847	97423	2697	89745	3150	0.33	84588	6055	34131	2773	50457	3282
0.84	93015	5849	0.4000120	2699	92895	3150	0.34	90643	6059	36904	2774	53739	3285
0.85	0.6998864	5855	0.4002819	2701	0.2996045	3154	0.35	0.7296702	6063	0.4139678	2775	0.3157024	3288
0.86	0.7004719	5860	05520	2702	99199	3158	0.36	0.7302765	6069	42453	2777	60312	3292
0.87	10579	5863	08222	2704	0.3002357	3159	0.37	08834	6072	45230	2778	63604	3294
0.88	16442	5866	10926	2705	05516	3161	0.38	14906	6078	48008	2781	66898	3297
0.89	22308	5872	13631	2708	08677	3164	0.39	20984	6080	50789	2781	70195	3299
0.90	0.7028180	5876	0.4016339	2707	0.3011841	3169	0.40	0.7327064	6086	0.4153570	2783	0.3173494	3303
0.91	34056	5880	19046	2710	15010	3170	0.41	33150	6091	56353	2785	76797	3306
0.92	39936	5882	21756	2711	18180	3171	0.42	39241	6094	59138	2786	80103	3308
0.93	45818	5888	24467	2713	21351	3175	0.43	45335	6099	61924	2787	83411	3312
0.94	51706	5894	27180	2714	24526	3180	0.44	51434	6102	64711	2789	86723	3313
0.95	0.7057600	5896	0.4029894	2715	0.3027706	3181	0.45	0.7357536	6105	0.4167500	2791	0.3190036	3314
0.96	63496	5899	32609	2717	30887	3182	0.46	63641	6113	70291	2793	93350	3320
0.97	69395	5904	35326	2719	34069	3185	0.47	69754	6116	73084	2794	96670	3322
0.98	75299	5910	38045	2719	37254	3191	0.48	75870	6119	75878	2795	99992	3324
0.99	81209	5912	40764	2721	40445	3191	0.49	81989	6124	78673	2797	0.3203316	3327
1.00	0.7087121		0.4043485		0.3043636		0.50	0.7388113		0.4181470		0.3206643	

(续)

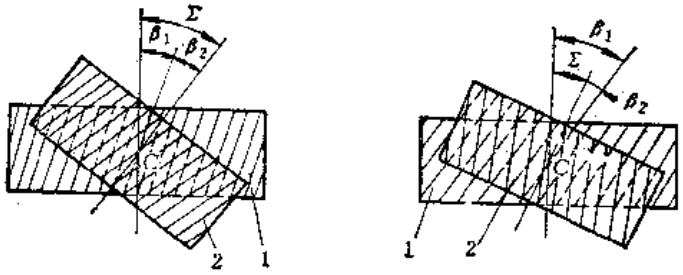
a'	48°					
(')	x_z	差	y_z	差	z_z	差
0.50	0.7388113		0.4181470		0.3206643	
		6130		2798		3332
0.51	94243		84268		09975	
		6132		2801		3331
0.52	0.7400375		87069		13306	
		6135		2801		3334
0.53	06510		89870		16640	
		6143		2803		3340
0.54	12653		92673		19980	
		6144		2804		3340
0.55	0.7418797		0.4195477		0.3223320	
		6151		2806		3345
0.56	24948		98283		26665	
		6155		2808		3347
0.57	31103		0.4201091		30012	
		6157		2809		3348
0.58	37260		03900		33360	
		6165		2811		3354
0.59	43425		06711		36714	
		6165		2812		3353
0.60	0.7449590		0.4209523		0.3240067	
		6174		2814		3360
0.61	55764		12337		43427	
		6176		2815		3361
0.62	61940		15152		46788	
		6179		2817		3362
0.63	68119		17969		50150	
		6185		2819		3366
0.64	74304		20788		53516	
		6190		2820		3370
0.65	0.7480494		0.4223608		0.3256886	
		6193		2821		3372
0.66	86687		26429		60258	
		6198		2823		3375
0.67	92885		29252		63633	
		6201		2825		3376
0.68	99086		32077		67009	
		6207		2827		3380
0.69	0.7505293		34904		70389	
		6212		2827		3385
0.70	0.7511505		0.4237731		0.3273774	
		6215		2830		3385
0.71	17720		40561		77159	
		6220		2830		3390
0.72	23940		43391		80549	
		6223		2833		3390
0.73	30163		46224		83939	
		6229		2834		3395
0.74	36392		49058		87334	
		6231		2835		3396
0.75	0.7542623		0.4251893		0.3290730	
		6239		2837		3402
0.76	48862		54730		94132	
		6240		2839		3401
0.77	55102		57569		97533	
		6248		2841		3407
0.78	61350		60410		0.3300940	
		6250		2841		3409
0.79	67600		63251		04349	
		6253		2844		3409
0.80	0.7573853		0.4266095		0.3307758	
		6259		2846		3415
0.81	80112		68939		11173	
		6264		2848		3416
0.82	86376		71787		14589	
		6270		2848		3422
0.83	92646		74635		18011	
		6273		2849		3424
0.84	98919		77484		21435	
		6275		2851		3424
0.85	0.7605194		0.4280335		0.3324859	
		6281		2853		3428
0.86	11475		83188		28287	
		6286		2855		3431
0.87	17761		86043		31718	
		6292		2855		3437
0.88	24053		88898		35155	
		6294		2858		3436
0.89	30347		91756		38591	
		6297		2859		3438
0.90	0.7636644		0.4294615		0.3342029	
		6303		2861		3442
0.91	42947		97476		45471	
		6308		2862		3446
0.92	49255		0.4300338		48917	
		6314		2864		3450
0.93	55569		03202		52367	
		6316		2865		3451
0.94	61885		06067		55818	
		6322		2867		3455
0.95	0.7668207		0.4308934		0.3359273	
		6325		2869		3456
0.96	74532		11803		62729	
		6330		2870		3460
0.97	80862		14673		66189	
		6326		2873		3463
0.98	87198		17546		69652	
		6338		2872		3466
0.99	93536		20418		73118	
		6344		2876		3468
1.00	0.7699880		0.4323294		0.3376586	

（五）交错轴斜齿轮传动的几何计算

交错轴斜齿轮㊀与平行轴斜齿轮的比较如表11-5-17所示。

交错轴标准斜齿轮齿数和螺旋角的求法如表11-5-18、20所示。

表11-5-17　交错轴斜齿轮与平行轴斜齿轮的比较



项　　目	平行轴斜齿轮	交错轴斜齿轮
两啮合齿轮的螺旋方向	相反	可以相同，也可以相反（轴交角很小时）
两啮合齿轮的螺旋角大小 β_1，β_2	相等	可以相等，也可以不等
端面模数 m_t	相等，$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$	不一定相等，$\dfrac{m_{t1}}{m_{t2}}=\dfrac{\cos\beta_2}{\cos\beta_1}$
分度圆直径 d	$d=\dfrac{m_n z}{\cos\beta}$，与齿数成正比	$d_1=\dfrac{m_n z_1}{\cos\beta_1}$，$d_2=\dfrac{m_n z_2}{\cos\beta_2}$，不一定与齿数成正比，当$\beta_1=\beta_2$时除外
齿轮比 u	$u=\dfrac{z_2}{z_1}=\dfrac{d_2}{d_1}$	$u=\dfrac{z_2}{z_1}=\dfrac{d_2 m_{t1}}{d_1 m_{t2}}=\dfrac{d_2\cos\beta_2}{d_1\cos\beta_1}$
中心距 a	$a=\dfrac{m_n}{2\cos\beta}(z_1+z_2)$	$a=\dfrac{m_n}{2}\left(\dfrac{z_1}{\cos\beta_1}+\dfrac{z_2}{\cos\beta_2}\right)$
轴交角 Σ	$\Sigma=0$	螺旋方向相同时：$\Sigma=\beta_1+\beta_2$（图 a） 螺旋方向相反时：$\Sigma=\lvert\beta_1-\beta_2\rvert$（图 b）

表11-5-18　交错轴标准斜齿轮的齿数和螺旋角的求法之一

已知条件	所求参数	齿数和中心距	螺旋角
$\Sigma=90°$，$u=1$ $\beta_1=\beta_2=45°$ 螺旋方向同向 m_n a'（初选值）	z_1 z_2 a	$z_1=\dfrac{0.70711a'}{m_n}$（取整数值） $z_2=z_1$ $a=\dfrac{z_1 m_n}{0.70711}$	已知m_n、z_1、z_2、a，按下列方法计算： 1.计算K值 $K=\dfrac{2a}{m_n z_1}$

㊀ 旧称螺旋齿轮，已停止使用。

（续）

已知条件	所求参数	齿数和中心距	螺旋角
$\Sigma=90°$，$u=1$ $\beta_1\neq\beta_2$ 螺旋方向相同 m_n a（精确值）	z_1 z_2 β_1 β_2	$z_1=\dfrac{0.70711\,a}{m_n}$（取整数值） $z_2=z_1$ β_1、β_2按右栏方法计算	2.根据K和u值查表11-5-19可得β_1值 3.当K值介于表中两数值之间时，可用插值法求出β_1值 4.当u值在表11-5-19中查不到时，可根据K和u值从图11-5-1中查取β_1的大致范围，再通过试算法，按 $K=\sec\beta_1+u\sec\beta_2$ 确定β_1的精确值
$\Sigma=90°$，$u=1$ $\beta_1\neq\beta_2$，β_2 螺旋方向相同 m_n a'（初选值）	z_1 z_2 β_1 a	$z_1=\dfrac{2a'}{m_n(\sec\beta_2+\csc\beta_2)}$ （取整数值） $z_2=z_1$ $a=\dfrac{z_1m_n(\sec\beta_2+\csc\beta_2)}{2}$ $\beta_1=90°-\beta_2$	
$\Sigma=90°$，$u\neq1$ $\beta_1=\beta_2=45°$ 螺旋方向相同 m_n a'（初选值）	z_1 z_2 a	$z_1=\dfrac{1.4142a'}{(1+u)m_n}$（取整数值） $z_2=uz_1$ $a=\dfrac{z_1m_n(1+u)}{1.4142}$	
$\Sigma=90°$，$u\neq1$ $\beta_1\neq\beta_2$ β_2'（初选值） 螺旋方向相同 m_n a（精确值）	z_1 z_2	$z_1=\dfrac{2a\sin\beta_2'}{m_n(1+u\,\mathrm{tg}\beta_2')}$ （取整数值） $z_2=uz_1$ β_1、β_2按右栏方法计算	
$\Sigma\neq90°$，$u=1$ $\beta_2'<\Sigma$（初选值） m_n a'（初选值）	z_1 z_2 β_1 β_2 a	$z_1=\dfrac{2a'\cos\beta_1'\cos\beta_2'}{m_n(\cos\beta_1'+\cos\beta_2')}$ （取整数值） $z_2=z_1$ 如果$a=a'$，则按右栏计算β 如果$\beta_2=\beta_2'$，则 $a=\dfrac{m_nz_1}{2}\left(\dfrac{1}{\cos\beta_1}+\dfrac{1}{\cos\beta_2}\right)$ 螺旋方向按表11-5-17选取	
$\Sigma\neq90°$，$u\neq1$ $\beta_1=\beta_2$ m_n a'（初选值）	z_1 z_2 a	$z_1=\dfrac{2a'\cos\beta_1}{m_n(1+u)}$（取整数值） $z_2=uz_1$ $a=\dfrac{z_1m_n(1+u)}{2\cos\beta_1}$ 螺旋方向按表11-5-17选取	
$\Sigma\neq90°$，$u\neq1$ β_2'（初选值） m_n a'（初选值）	z_1 z_2 β_1 β_2 a	$z_1=\dfrac{2a'\cos\beta_1'\cos\beta_2'}{m_n(\cos\beta_2'+u\cos\beta_1')}$ （取整数值） $z_2=uz_1$ 如果$a=a'$，则按右栏计算β 如果$\beta_2=\beta_2'$，则 $a=\dfrac{m_n}{2}\left(\dfrac{z_1}{\cos\beta_1}+\dfrac{z_2}{\cos\beta_2}\right)$ 螺旋方向按表11-5-17选取	

注：单个交错轴斜齿轮的其它几何尺寸计算与平行轴斜齿轮同。

例1 已知$\Sigma=90°$，$u=\frac{z_2}{z_1}=1$，$a=100\text{mm}$，$m_n=2$，则：

$$z_1=z_2=\frac{0.70711\,a}{m_n}=\frac{0.70711\times100}{2}$$

$$=35.35$$

取$z_1=z_2=35$，则：

$$K=\frac{2a}{m_n z_1}=\frac{2\times100}{2\times35}=2.857143$$

根据$K=2.857143$和$u=1$，从表11-5-19中查得：

$\beta_1=50°$，$K=2.861131$

$\beta_1=49.5°$，$K=2.854856$

按插值法求得：

$$\beta_1=\frac{(2.857143-2.854856)\times0.5°}{2.861131-2.854856}+49.5°$$

$$=49.6822°$$

$$\beta_2=90°-\beta_1=40.3178°$$

验算：

$$d_1=\frac{m_n z_1}{\cos\beta_1}=\frac{2\times35}{\cos49.6822°}=108.187\quad\text{mm}$$

$$d_2=\frac{m_n z_1}{\cos\beta_2}=\frac{2\times35}{\cos40.32°}=91.810\quad\text{mm}$$

$$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)=99.997\quad\text{mm}$$

符合已知条件 $a=100\text{mm}$。

例2 已知 $\Sigma=90°$，$a=200\text{mm}$，$m_n=3$，$\beta_2'=30°$，$u=1.5$。

$$z_1=\frac{2a\sin\beta_2'}{m_n(1+u\,\text{tg}\beta_2')}$$

$$=\frac{2\times200\times\sin30°}{3(1+1.5\times\text{tg}30°)}$$

$$=35.726$$

取$z_1=36$，则：

$$z_2=uz_1=1.5\times36=54$$

$$K=\frac{2a}{z_1 m_n}=\frac{2\times200}{36\times3}=3.703703$$

根据K和u值，从表11-5-19查得：

$\beta_1=59.5°$，$K=3.711183$

$\beta_1=59°$，$K=3.691554$

按插值法求得$\beta_1=59.31°$，$\beta_2=90°-\beta_1=30.69°$。

验算：$d_1=\frac{m_n z_1}{\cos\beta_1}=\frac{3\times36}{\cos59.31°}$

$=211.602$ mm

$$d_2=\frac{m_n z_2}{\cos\beta_2}=\frac{3\times54}{\cos30.69°}=188.385\quad\text{mm}$$

$$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)=199.993\quad\text{mm}$$

符合已知条件 $a=200\text{mm}$。

例3 已知 $\Sigma=90°$，$a=122.4\text{mm}$，$m_n=3$，$z_1=20$，$z_2=38$，求β_1和β_2。

$$u=\frac{z_2}{z_1}=\frac{38}{20}=1.9$$

$$K=\frac{2a}{z_1 m_n}=\frac{2\times122.4}{20\times3}=4.08$$

表11-5-19中无$u=1.9$，则从图11-5-1b可以看出，当$u=1.9$和$K=4.08$时，β_1在45°～55°之间。试算K值：

$\beta_1=46°$时，

$$K_{46}=u\csc\beta_1+\sec\beta_1=1.9\csc46°+\sec46°$$

$$=4.080867$$

$\beta_1=47°$时，

$$K_{47}=1.9\csc47°+\sec47°=4.064201$$

按插值法求得

$\beta_1=46.05°$，$\beta_2=90°-\beta_1=43.95°$。

验算：

$$d_1=\frac{m_n z_1}{\cos\beta_1}$$

$$=\frac{3\times20}{\cos46.05°}$$

$$=86.452\quad\text{mm}$$

$$d_2=\frac{m_n z_2}{\cos\beta_2}$$

$$=\frac{3\times38}{\cos43.95°}$$

$$=158.345\quad\text{mm}$$

$$a=\frac{1}{2}(d_1+d_2)=122.398\quad\text{mm}$$

符合已知条件 $a=122.4\text{mm}$。

表11-5-19 K值表$\left(K=\sec\beta_1+u\csc\beta_1=\dfrac{2a}{m_n z_1}\right)$[14]

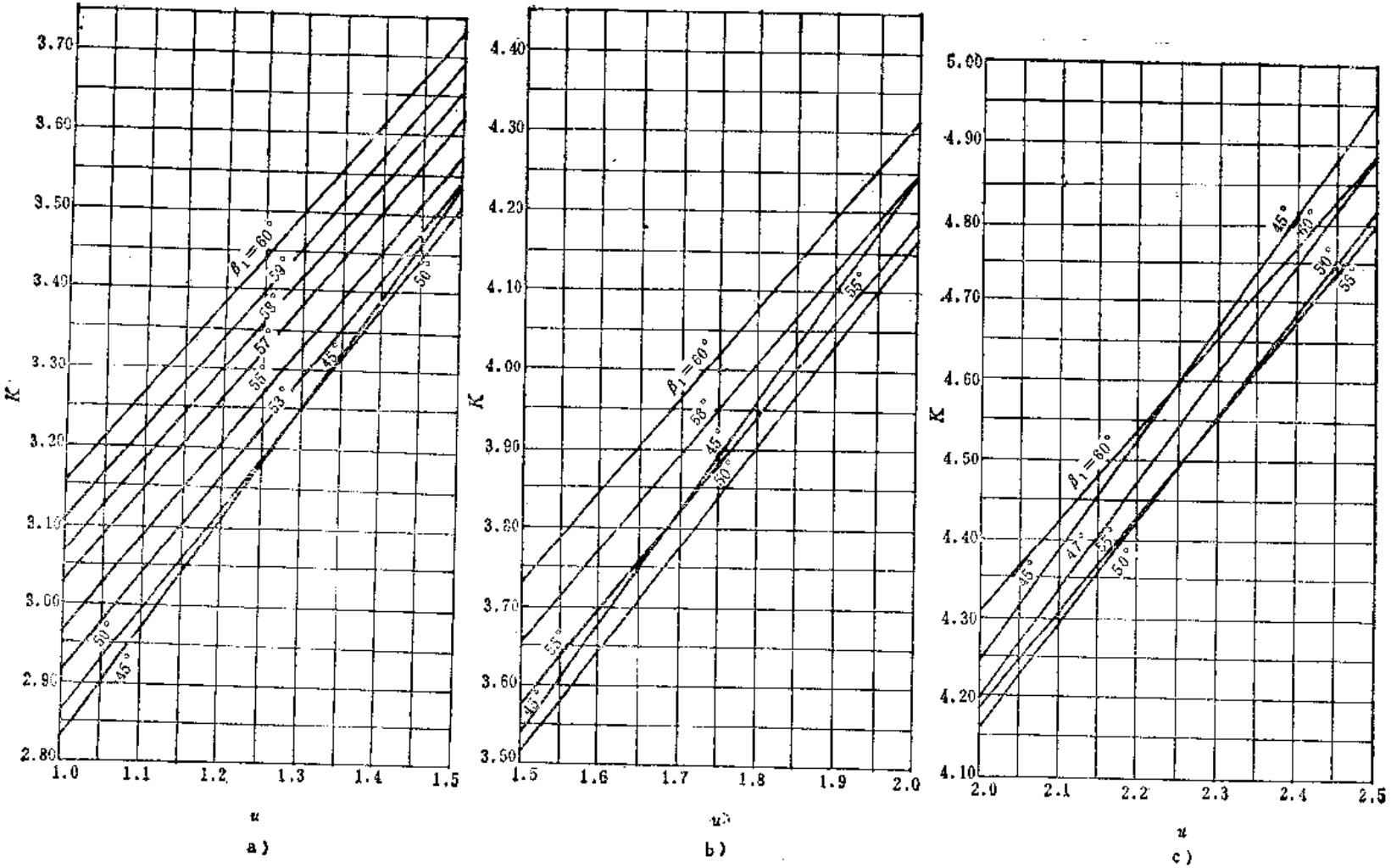
u \ β_1	45°	45.5°	46°	46.5°	47°	47.5°	48°	48.5°	β_1 \ u
1	2.828427	2.828750	2.829720	2.831338	2.833607	2.836529	2.840109	2.844353	1
1.25	3.181981	3.179258	3.177261	3.175988	3.175438	3.175614	3.176517	3.178151	1.25
1.5	3.535534	3.529766	3.524802	3.520637	3.517270	3.514700	3.512926	3.511949	1.5
1.75	3.889087	3.880274	3.872343	3.865287	3.859102	3.853785	3.849334	3.845747	1.75
2	4.242641	4.230782	4.219884	4.209937	4.200934	4.192871	4.185742	4.179545	2
2.25	4.596194	4.581290	4.567425	4.554586	4.542766	4.531956	4.522150	4.513343	2.25
2.5	4.949747	4.931798	4.914966	4.899236	4.884598	4.871041	4.858558	4.847141	2.5
2.75	5.303301	5.282306	5.262506	5.243885	5.226430	5.210127	5.194967	5.180940	2.75
3	5.656854	5.632814	5.610047	5.588535	5.568262	5.549212	5.531375	5.514738	3
3.25	6.010408	5.983322	5.957588	5.933185	5.910093	5.888298	5.867783	5.848536	3.25
3.5	6.363961	6.333830	6.305129	6.277834	6.251925	6.227383	6.204191	6.182334	3.5
3.75	6.717514	6.684338	6.652670	6.622484	6.593757	6.566469	6.540599	6.516132	3.75
4	7.071068	7.034846	7.000211	6.967134	6.935589	6.905554	6.877007	6.849930	4

u \ β_1	49°	49.5°	50°	50.5°	51°	51.5°	52°	52.5°	β_1 \ u
1	2.849266	2.854856	2.861131	2.868101	2.875775	2.884167	2.893287	2.903152	1
1.25	3.180519	3.183628	3.187483	3.192092	3.197465	3.203611	3.210542	3.218270	1.25
1.5	3.511773	3.512400	3.513835	3.516084	3.519155	3.523056	3.527797	3.533388	1.5
1.75	3.843026	3.841171	3.840187	3.840076	3.840845	3.842501	3.845051	3.848506	1.75
2	4.174279	4.169943	4.166538	4.164068	4.162535	4.161945	4.162306	4.163624	2
2.25	4.505532	4.498715	4.492890	4.488059	4.484225	4.481390	4.479560	4.478743	2.25
2.5	4.836786	4.827487	4.819242	4.812051	4.805915	4.800835	4.796815	4.793861	2.5
2.75	5.168039	5.156258	5.145594	5.136043	5.127605	5.120279	5.114069	5.108979	2.75
3	5.499292	5.485030	5.471946	5.460035	5.449296	5.439724	5.431324	5.424097	3
3.25	5.830545	5.813802	5.798298	5.784026	5.770984	5.759169	5.748578	5.739215	3.25
3.5	6.161799	6.142574	6.124649	6.108018	6.092674	6.078613	6.065833	6.054333	3.5
3.75	6.493052	6.471345	6.451001	6.432010	6.414364	6 398058	6.383088	6.369451	3.75
4	6.824305	6.800117	6.777353	6.756002	6.736054	6.717503	6.700342	6.684569	4

（续）

β_1 / u	53°	53.5°	54°	54.5°	55°	55.5°	56°	56.5°	β_1 / u
1	2.913776	2.925176	2.937370	2.950378	2.964221	2.978924	2.994510	3.011006	1
1.25	3.226810	3.236176	3.246387	3.257460	3.269415	3.282276	3.296064	3.310807	1.25
1.5	3.539844	3.547177	3.555404	3.564541	3.574608	3.585627	3.597619	3.610608	1.5
1.75	3.852878	3.858177	3.864421	3.871623	3.879802	3.888979	3.899173	3.910410	1.75
2	4.165911	4.169178	4.173438	4.178705	4.184996	4.192330	4.200728	4.210211	2
2.25	4.478945	4.480179	4.482455	4.485787	4.490189	4.495682	4.502282	4.510012	2.25
2.5	4.791979	4.791179	4.791472	4.792868	4.795383	4.799034	4.803837	4.809813	2.5
2.75	5.105013	5.102180	5.100489	5.099950	5.100577	5.102385	5.105391	5.109615	2.75
3	5.418047	5.413181	5.409506	5.407032	5.405770	5.405737	5.406946	5.409416	3
3.25	5.731081	5.724181	5.718523	5.714114	5.710964	5.709088	5.708500	5.709217	3.25
3.5	6.044115	6.035182	6.027540	6.021195	6.016157	6.012440	6.010055	6.009018	3.5
3.75	6.357149	6.346183	6.336557	6.328277	6.321351	6.315792	6.311609	6.308830	3.75
4	6.670183	6.657183	6.645574	6.635359	6.626545	6.619143	6.613164	6.608621	4

β_1 / u	57°	57.5°	58°	58.5°	59°	59.5°	60°	β_1 / u
1	3.028442	3.046848	3.066258	3.086709	3.108237	3.130886	3.154701	1
1.25	3.326533	3.343270	3.361053	3.379915	3.399895	3.421035	3.443376	1.25
1.5	3.624624	3.639693	3.655847	3.673122	3.691554	3.711183	3.732051	1.5
1.75	3.922714	3.936115	3.950642	3.966329	3.983212	4.001331	4.020726	1.75
2	4.220805	4.232537	4.245436	4.259536	4.274870	4.291479	4.309401	2
2.25	4.518896	4.528959	4.540231	4.552743	4.566528	4.581627	4.598076	2.25
2.5	4.816987	4.825382	4.835026	4.845950	4.858187	4.871775	4.886751	2.5
2.75	5.115078	5.121804	5.129820	5.139157	5.149845	5.161923	5.175426	2.75
3	5.413169	5.418226	5.424615	5.432364	5.441504	5.452071	5.464102	3
3.25	5.711259	5.714648	5.719409	5.725571	5.733162	5.742219	5.752777	3.25
3.5	6.009350	6.011071	6.014204	6.018778	6.024820	6.032367	6.041452	3.5
3.75	6.307441	6 307493	6.308999	6.311985	6.316479	6.322515	6.330127	3.75
4	6.605532	6.603915	6.603793	6.605192	6.608137	6.612663	6.618802	4



a) b) c)

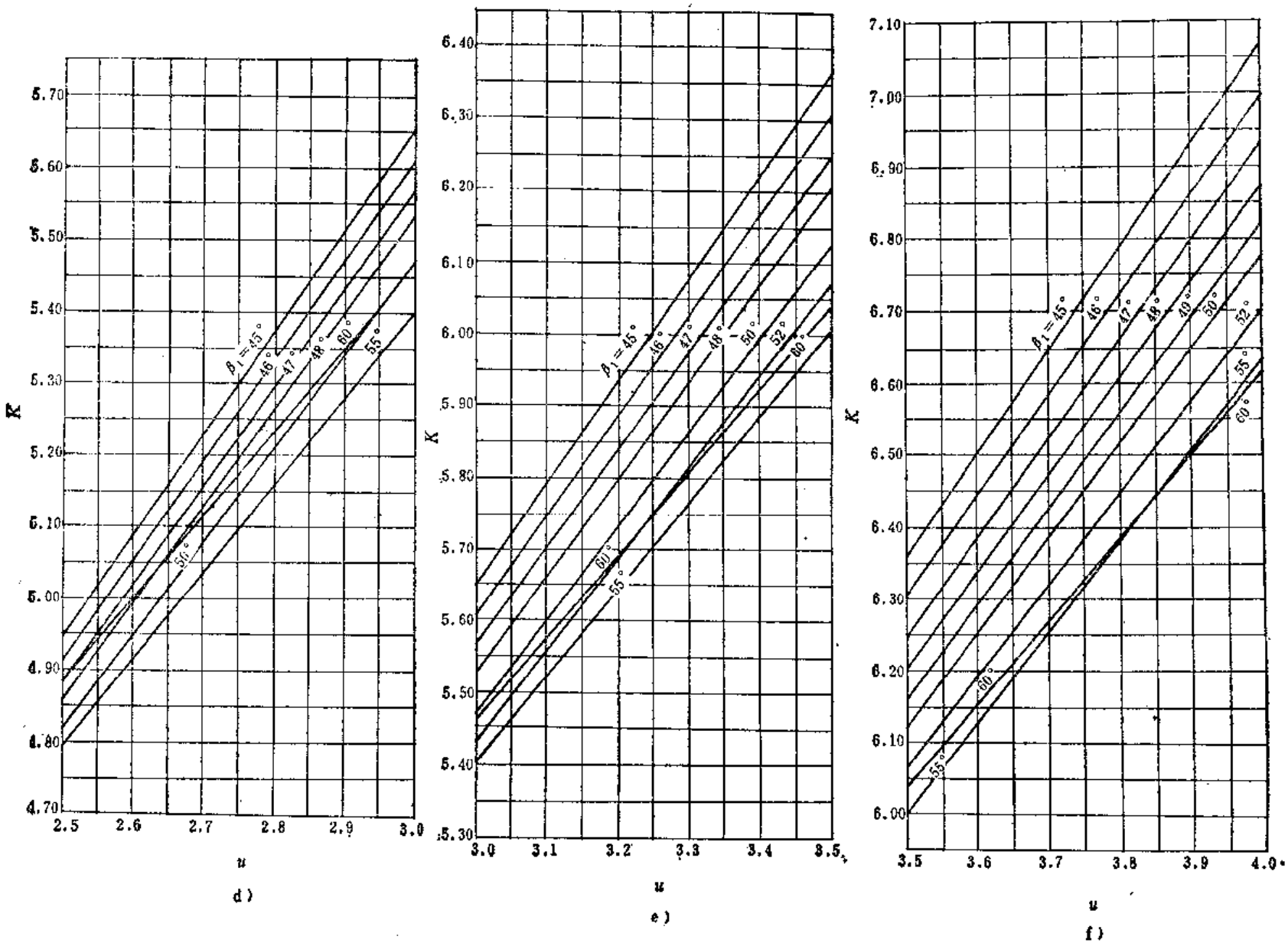


图11-5-1 交错轴斜齿轮求螺旋角的线图（$\Sigma=90°$，a 已定时）[14] $K=u\csc\beta_1+\sec\beta_1=\frac{2a}{z_1 m_n}$

表11-5-20 交错轴斜齿轮螺旋角的求法之二[①]

1.已知条件：轴交角$\Sigma(=45°)$、法向模数$m_n(=2)$、齿数$z_1(=25)$、$z_2(=50)$，两轮螺旋方向相同

注：括号（ ）内数值是举例计算的数值，下同

计算公式（适用于不变位和高变位啮合）	实例计算
1）$C_1=\dfrac{1}{\operatorname{tg}\Sigma}\left(\dfrac{z_1}{z_2\sin\Sigma}-\dfrac{1}{3\operatorname{tg}\Sigma}\right)$	$C_1=0.3737734$
2）$C_2=\dfrac{z_1}{z_2\sin\Sigma}+\dfrac{2}{3\operatorname{tg}^2\Sigma}\left(\dfrac{z_1}{z_2\sin\Sigma}+\dfrac{1}{9\operatorname{tg}\Sigma}\right)$	$C_2=1.2525854$
3）$v=\operatorname{arctg}\left[\dfrac{C_2}{2}\sqrt{\left(\dfrac{3}{C_1}\right)^3}\right]$	$v=85.98335°$
4）$u=\operatorname{arctg}\left[\sqrt[3]{\operatorname{tg}\left(45°-\dfrac{v}{2}\right)}\right]$	$u=18.12394°$
5）$G=\dfrac{2}{\operatorname{tg}2u}\sqrt{\dfrac{C_1}{3}}$	$G=0.9628682$
6）$\beta_2=\operatorname{arctg}\left[G-\dfrac{2}{3\operatorname{tg}\Sigma}\right]$	$\beta_2=16.49937°$
7）$\beta_1=\Sigma-\beta_2$	$\beta_1=28.50063°$

2.已知条件：轴交角$\Sigma(=85°)$，法向模数$m_n(=1)$，齿数$z_1(=2$即双头蜗杆$)$、$z_2(=25)$，中心距$a(=20\text{mm})$，两轮螺旋方向相同

计算公式（适用于不变位和高变位啮合）	实例计算
1）$\beta_2=\arccos\left[\dfrac{z_2}{\dfrac{2a}{m_n}-\dfrac{z_1}{\cos(\Sigma-\beta_2)}}\right]$ ①	取初始值$(\beta_2)_0=\dfrac{\Sigma}{2}=\dfrac{85°}{2}=42.5°$代入①式运算，得： $47.9°\to48.18°\to48.19°\to48.19236°$ $\to48.19246°\to48.19247°\to48.19247°$ 取$\beta_2=48.19247°$ 以$(\beta_2)_0=42.5°$代入②式运算，得： $14.17°\to3.09°\to2.68°\to2.67635°$ $\to2.67631°\to2.67631°$ 取$\beta_2=2.67631°$ 由以上求得的两个β_2值可知，在实际应用中该取 $\beta_2=2.6731°=2°40'35''$ $\beta_1=85°-2.6731°=82.3269°$ 双头蜗杆的导程角为 $90°-\beta_1=90°-82.3269°=7.6731°$ $=7°40'35''$
$\beta_2=\Sigma-\arccos\left(\dfrac{z_1}{\dfrac{2a}{m_n}-\dfrac{z_2}{\cos\beta_2}}\right)$ ②	
以上两个β_2的公式均为迭代式。β_2的初始值$(\beta_2)_0$可按经验估计或以$(\beta_2)_0=\dfrac{\Sigma}{2}$代入作迭代运算	
2）$\beta_1=\Sigma-\beta_2$	

3.已知条件：轴交角$\Sigma(=5°)$，法向模数$m_n(=4)$，齿数$z_1(=20)$，$z_2(=50)$，中心距$a(=145\text{mm})$，两轮螺旋方向相反

计算公式（适用于不变位和高变位的啮合）	实例计算
1）$\beta_2=\arccos\left[\dfrac{z_2}{\dfrac{2a}{m_n}-\dfrac{z_1}{\cos(\Sigma+\beta_2)}}\right]$ ①	取初始值$(\beta_2)_0=13.5°$代入①式作迭代运算得， $13.45°\to13.48°\to13.462°\to13.472°$

① 参见孙庆华.渐开线圆柱齿轮的几何计算.设备维修，1988(5)。

（续）

计算公式(适用于不变位和高变位的啮合)	实　例　计　算
$\beta_2=\arccos\left(\dfrac{z_1}{\dfrac{2a}{m_n}-\dfrac{z_2}{\cos\beta_2}}\right)-\Sigma$　　②	→13.467°→13.469°→13.46844° →13.46875°→13.46858°
以上两个迭代式中，β_2的初始值$(\beta_2)_0$可按经验估计或以$(\beta_2)_0=0$代入作迭代运算	取$\beta_2=\dfrac{13.46875°+13.46858°}{2}$
2）$\beta_1=\Sigma+\beta_2$	$=13.46867°$ $\beta_1=5°+13.46867°=18.46867°$

4.已知条件：轴交角Σ，法向模数m_n，法向压力角α_n，齿数z_1，z_2，中心距a，分度圆螺旋角β_1。保持中心距、轴交角、齿轮1的参数不变，只改变齿轮2的齿数z_2。两轮的螺旋角方向相反(规定$\beta_1'>\beta_2'$)

由以上条件可知，这对齿轮副由原来的标准啮合改变为角变位啮合，才能满足上述要求。角变位中心距$a'=a$，标准中心距a的值已改变以前面例子进行计算，即$m_n=4$，$\Sigma=5°$，$z_1=20$，$z_2=51$(比原来增加一齿)，$a'=145$，$\beta_1=18.47°$，螺旋方向相反

计算公式(角变位啮合)	实　例　计　算
1）$E_1=\dfrac{2a'\sin\beta_1}{m_n z_1}$	$E_1=1.14843$
2）$F_1=\dfrac{z_2}{z_1\sin\Sigma}+\dfrac{1}{\operatorname{tg}\Sigma}-E_1$	$F_1=39.53959$
3）$\beta_1'=\operatorname{arctg}\left[\dfrac{1}{2}\left(\sqrt{F_1^2+\dfrac{4E_1}{\operatorname{tg}\Sigma}}-F_1\right)\right]$	$\beta_1'=18.22387°$
4）$\beta_2'=\beta_1'-\Sigma$	$\beta_2'=13.22387°$
5）$\alpha_n'=\arccos\dfrac{\sin\beta_1\cos\alpha_n}{\sin\beta_1'}$	$\alpha_n'=17.83464°$
6）$\beta_2=\arcsin\dfrac{\sin\beta_1'\cos\alpha_n'}{\cos\alpha_n}$	$\beta_2=13.3995°$
7）$a=\dfrac{m_n}{2}\left(\dfrac{z_1}{\cos\beta_1}+\dfrac{z_2}{\cos\beta_2}\right)$	$a=147.03$

5.已知条件：轴交角Σ，法向模数m_n，法向压力角α_n，齿数z_1，分度圆螺旋角β_1，中心距a。保持原来的中心距、轴交角和齿轮1的参数不变，只改变齿轮2的齿数z_2。两轮的螺旋方向相同

这种情况的螺旋角计算方法与上述螺旋方向相反的一样，即按4的公式计算。所不同的是：$\beta_2'=\Sigma-\beta_1'$

6.已知条件：轴交角Σ，法向模数m_n，法向压力角α_n，齿数z_2，分度圆螺旋角β_2，中心距a。保持原来的中心距、轴交角和齿轮2的参数不变，只改变齿轮1的齿数z_1(加减一个齿)。两轮的螺旋方向相反(规定$\beta_1'>\beta_2'$)

计算公式(角变位啮合)

1）$E_2=\dfrac{2a'\sin\beta_2}{m_n z_1}$

2）$F_2=\dfrac{z_1}{z_2\sin\Sigma}+\dfrac{1}{\operatorname{tg}\Sigma}+E_2$

3）$\beta_2'=\operatorname{arctg}\left\{\dfrac{1}{2}\left[F_2-\sqrt{F_2^2-\dfrac{4E_2}{\operatorname{tg}\Sigma}}\right]\right\}$

4）$\beta_1'=\Sigma+\beta_2'$

5）$\alpha_n'=\arccos\dfrac{\sin\beta_2\cos\alpha_n}{\sin\beta_1'}$

6）$\beta_1=\arcsin\dfrac{\sin\beta_1'\cos\alpha_n'}{\cos\alpha_n}$

（六）变齿厚圆柱齿轮传动的几何计算

变齿厚圆柱齿轮实质上是一个各截面上变位系数不相等的变位齿轮。其齿形与渐开线齿轮插齿刀的齿形相似。轮齿的厚度由大端到小端逐渐变薄，因此，其齿顶圆与齿根圆就成为圆锥体。如图11-5-2所示，在中间Ⅰ—Ⅰ剖面处为一标准齿轮（$x=0$），其分度圆直径等于公称尺寸，齿厚为$\frac{\pi m}{2}$；在大端Ⅱ—Ⅱ端面上为一正变位齿轮，齿厚增大；在小端Ⅲ—Ⅲ端面上齿厚变薄为一负变位齿轮（或变位系数较小的正变位齿轮）。就一对变齿厚圆柱齿轮而言，其中垂直于齿轮轴线的横剖面都相当于一对高变位齿轮传动（小端的变位系数如果亦为正变位时，则相当于一对角变位齿轮）。

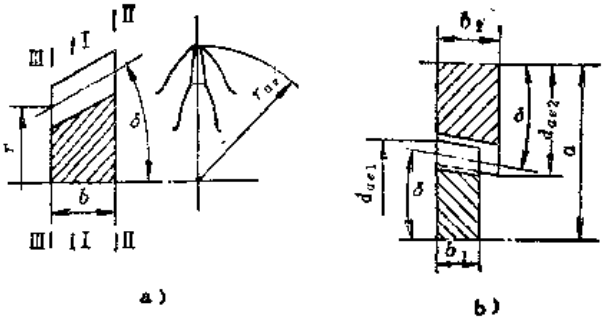


图11-5-2 变齿厚圆柱齿轮

这种齿轮可以实现平行轴、相交轴和交错轴之间的传动，如将小齿轮沿轴向作相对移动，即可调整或消除传动侧隙，故适用于某些对回差有严格要求的精密传动。这种齿轮有直齿，也有斜齿。这里只介绍平行轴直齿变齿厚圆柱齿轮传动的几何计算（表11-5-21）。

表11-5-21 平行轴直齿变齿厚圆柱齿轮传动的几何计算[143] （mm）

已知参数			α，m，h_a^*，c^*，z	实例计算：$\alpha=20°$，$m=2$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$z_1=25$，$z_2=50$
序号	名称	代号	计算公式	
1	分度圆直径	d	$d=mz$	$d_1=2\times25=50$ $d_2=2\times50=100$
2	中心距	a	$a=\frac{m(z_1+z_2)}{2}$	$a=\frac{2(25+50)}{2}=75$
3	齿厚调整量	Δs	根据齿厚误差、中心距误差及磨损量等决定，一般取0.3～0.8	$\Delta s=0.4$
4	调整时移动距离	Δb	一般取5～10	$\Delta b=5$
5	小齿轮齿宽	b_1	$b_1=(6\sim10)m$	$b_1=7.5\times2=15$
6	大齿轮齿宽	b_2	$b_2=b_1+\Delta b$	$b_2=15+5=20$
7	变位系数增量	Δx	$\Delta x=\frac{\Delta s}{2m\mathrm{tg}\alpha}$	$\Delta x=\frac{0.4}{2\times2\ \mathrm{tg}\alpha}=0.275$
8	增量角	δ	$\mathrm{tg}\,\delta=\frac{\Delta x m}{\Delta b}$	$\delta=\mathrm{arctg}\frac{0.275\times2}{5}=6.272°$
9	小轮大端变位系数	x_{e1}	按图11-4-9选取，保证小轮不变尖	$x_{e1}=+1.0$
10	大轮小端变位系数	x_{i2}	$x_{i2}=-x_{e1}$，并保证大轮不根切	$x_{i2}=-1.0$
11	小轮小端变位系数	x_{i1}	$x_{i1}=x_{e1}-\frac{b_1\mathrm{tg}\,\delta}{m}$	$x_{i1}=1-\frac{15\mathrm{tg}\,\delta}{2}=0.175$
12	大轮大端变位系数	x_{e2}	$x_{e2}=x_{i2}+\frac{b_2\mathrm{tg}\delta}{m}$	$x_{e2}=-1+\frac{20\mathrm{tg}\delta}{2}=0.10$
13	齿顶高减低量	Δh	$\Delta h=\Delta b\,\mathrm{tg}\,\delta$	$\Delta h=5\mathrm{tg}\delta=0.55$
14	大端齿顶圆直径	d_{ae}	$d_{ae}=d+2m(h_a^*+x_e)-2\Delta h$	$d_{ae1}=50+2\times2(1+1)-2\times0.55=56.90$ $d_{ae2}=100+2\times2(1+0.10)-2\times0.55=103.30$

第6节　渐开线圆柱齿轮的齿厚计算

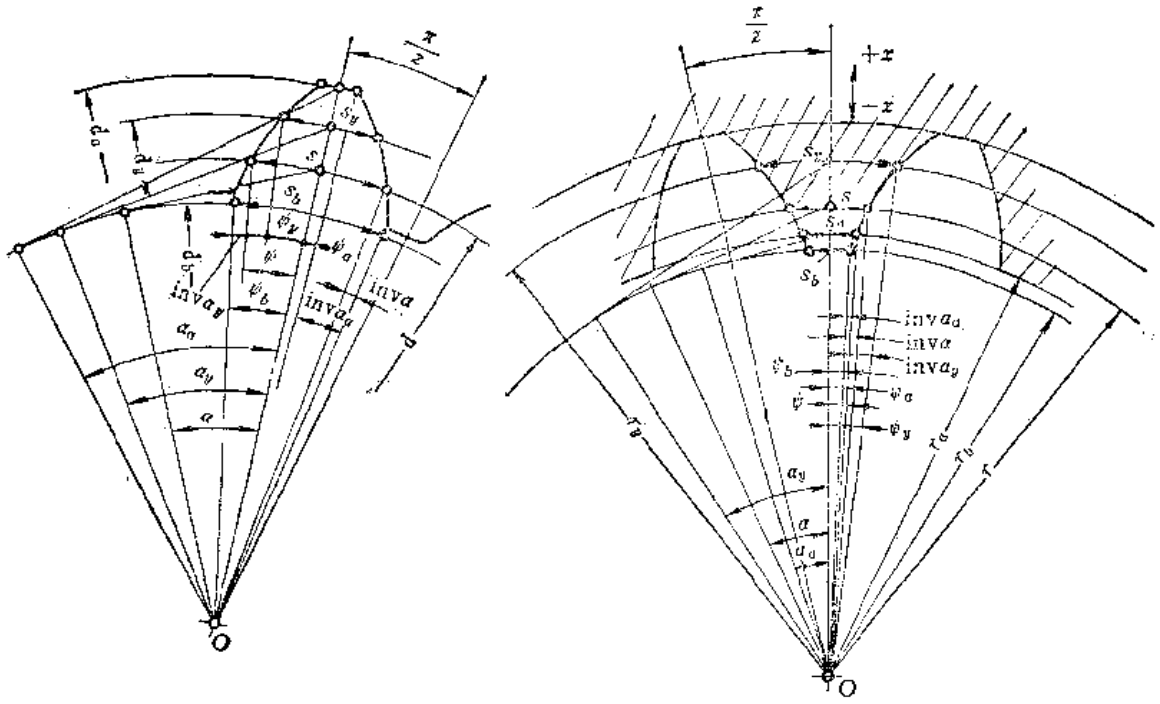
（一）圆柱齿轮任意圆上的齿厚计算

圆柱齿轮齿厚计算公式如表11-6-1所示，齿厚测量方法的比较如表11-6-2所示。

（二）公法线长度的计算

公法线长度跨越齿数 k 的计算公式如表11-6-3所示，公法线长度 W_k 的计算公式如表11-6-4所示。

表11-6-1　圆柱齿轮任意圆上的齿厚计算公式

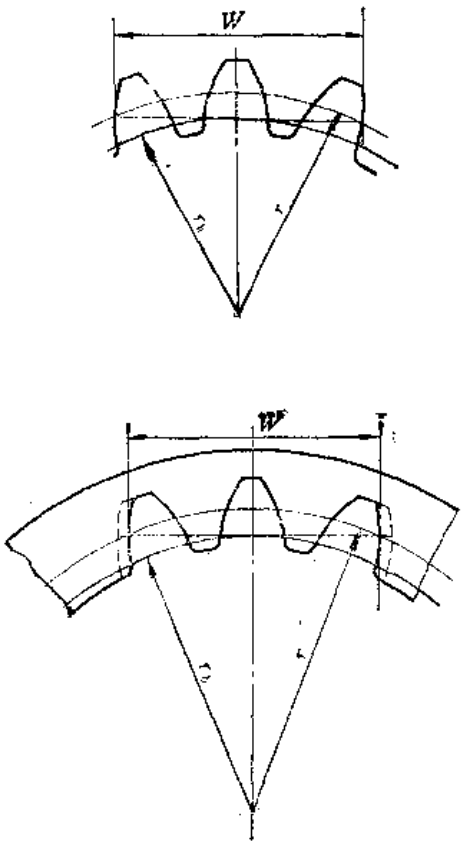
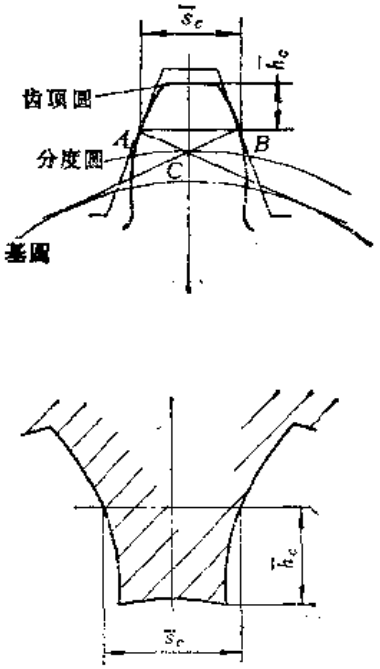


a）外齿轮　　b）内齿轮

项　目	齿　厚　计　算　公　式	
	直　　齿	斜齿（法面上测量）
分度圆上	$s=\frac{\pi m}{2}\pm 2xm\mathrm{tg}\alpha$	$s_n=\frac{\pi m_n}{2}\pm 2x_n m_n\mathrm{tg}\alpha_n$
基圆上	$s_b=d_b\psi_b=m\cos\alpha\left(\frac{\pi}{2}\pm 2x\mathrm{tg}\alpha\pm z\mathrm{inv}\alpha\right)$	$s_{bn}=m_n\cos\alpha_n\left(\frac{\pi}{2}\pm 2x_n\mathrm{tg}\alpha_n\pm z\mathrm{inv}\alpha_t\right)$，$s_{bt}=\frac{s_{bn}}{\cos\beta_b}$
齿顶圆上	$s_a=d_a\psi_a=d_a\left(\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha\mp\mathrm{inv}\alpha_a\right)$	$s_{an}=d_a\left(\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x_n\mathrm{tg}\alpha_n}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha_t\mp\mathrm{inv}\alpha_{at}\right)\cos\beta_a$，$s_{at}=\frac{s_{an}}{\cos\beta_a}$
任意圆上	$s_y=d_y\psi_y=d_y\left(\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha\mp\mathrm{inv}\alpha_y\right)$	$s_{yn}=d_y\left(\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x_n\mathrm{tg}\alpha_n}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha_t\mp\mathrm{inv}\alpha_{yt}\right)\cos\beta_y$，$s_{yt}=\frac{s_{yn}}{\cos\beta_y}$
式中	$\psi_b=\psi\pm\mathrm{inv}\alpha=\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha$	$\psi=\frac{s}{d}=\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}$
	$\psi_y=\psi_b\mp\mathrm{inv}\alpha_y=\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha\mp\mathrm{inv}\alpha_y$	$\alpha_n=\alpha_{at}=\arccos\frac{d_b}{d_a}$，$\alpha_y=\arccos\frac{d_b}{d_y}$
	$\psi_a=\psi_b\mp\mathrm{inv}\alpha_a=\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\pm\mathrm{inv}\alpha\mp\mathrm{inv}\alpha_a$	$\beta_a=\mathrm{arctg}\left(\frac{d_a}{d}\mathrm{tg}\beta\right)$，$\beta_y=\mathrm{arctg}\left(\frac{d_y}{d}\mathrm{tg}\beta\right)$

注：公式中“±”，“∓”符号，上面的符号用于外齿轮，下面的用于内齿轮。

表11-6-2　齿厚测量方法的比较

测量方法	简图	优点	缺点	应用范围
公法线长度法		1.测量时，不以齿顶圆为基准，测量结果不受d_a误差影响，测量精度较高 2.齿顶圆直径d_a公差可以适当放宽 3.量具与齿面的接触面积较大，减少量具磨损 4.测量方便准确	1.测量斜齿轮时，齿宽有一定的限制，即， $b>W_k\sin\beta$ 2.用于斜齿轮时，计算比较麻烦 3.对于大型齿轮受量具限制	使用最广泛，亦可用于模数较大的内齿轮
固定弦齿厚法		齿厚和测量用齿高只与α、m、h_a^*有关（对于变位齿轮，还与x有关）与齿数多少无关，计算简便，尤其是对斜齿轮可不必计算z_v值	1.测量时以齿顶为定位基准，对齿顶圆直径公差和径向跳动要求较严格 2.测量结果受d_a及其径向跳动误差的影响，测量精度不高 3.量具卡爪易磨损 4.对小模数齿轮测量不方便	适用于大型齿轮和齿宽b较小（$b<W_k\sin\beta$）的斜齿轮

（续）

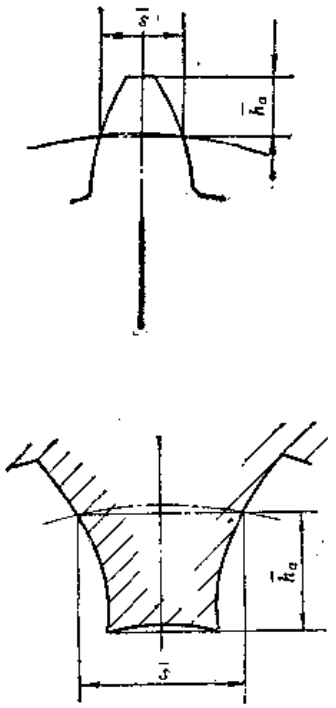
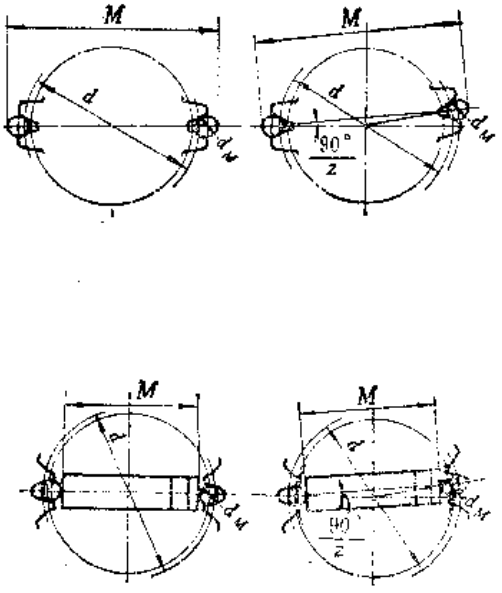
测量方法	简图	优点	缺点	应用范围
弦齿厚法		与固定弦齿厚方法相比较，计算较麻烦	1.与固定弦齿厚方法基本相同 2.对于$x>0.5$的齿轮，测量不便，$x=-1$时，无法测量	适用于大型齿轮
量柱（球）测量法		1.测量时不以齿顶为基准，测量结果不受d_a误差影响，测量精度较高 2.齿顶圆直径公差可以适当放宽 3.由于$\Delta M=\Delta s\operatorname{ctg}\alpha$，$\alpha=20°$时，$\Delta M=2.75\Delta s$，与其它几种方法比较，能反应齿厚偏差的灵敏度较高	1.计算复杂 2.对于斜齿轮，用量球不易测准 3.测量结果与相邻两齿的齿形误差有关 4.要准备各种尺寸的量柱（球） 5.大型齿轮测量不便	适用于小模数齿轮和内齿轮

表11-6-3　公法线长度跨越齿数 k 的计算公式

项目		一般公式	简化计算公式及图表号			
直齿轮	标准齿	$k=\frac{z\alpha}{180^\circ}+0.5$ 四舍五入成整数	α	k	图表号	
			20°	$k=\frac{z}{9}+0.5=0.11111z+0.5$	图11-6-1，表11-6-5	
			15°	$k=\frac{z}{12}+0.5=0.08333z+0.5$	表11-6-6	
			$14^1/_2^\circ$	$k=\frac{z}{12.4}+0.5=0.08055z+0.5$	图11-6-2，表11-6-7	
	变位齿	$k=\frac{z\alpha}{180^\circ}+0.5+\frac{2x\operatorname{ctg}\alpha}{\pi}$ ① 四舍五入成整数	α	k	图号	
			20°	$k=0.11111z+0.5+1.7491x$	图11-6-1	
			15°	$k=0.08333z+0.5+2.37590x$		
			$14^1/_2^\circ$	$k=0.08055z+0.5+2.46162x$	图11-6-2	
斜齿轮	标准齿	$k=\frac{z_v\alpha_n}{180^\circ}+0.5$ $z_v=\frac{\operatorname{inv}\alpha_t}{\operatorname{inv}\alpha_n}z=K_3z$ 四舍五入成整数	α_n	k	系数K_3	图号
			20°	$k=0.11111z_v+0.5$	见表11-6-10	图11-6-3
			15°	$k=0.08333z_v+0.5$	见表11-6-10	图11-6-4
			$14^1/_2^\circ$	$k=0.08055z_v+0.5$	见表11-6-11	图11-6-4
	变位齿	$k=\frac{z_v\alpha_n}{180^\circ}+0.5+\frac{2x_n\operatorname{tg}\alpha_n}{\pi}$ 四舍五入成整数	或按图11-6-3和图11-6-4选取 k 值			

① k 的精确计算公式：

$$k=\frac{z}{\pi}\left[\cos\alpha\sqrt{\left(1+\frac{2x}{z}\right)^2-\cos^2\alpha}-\frac{2x}{z}\operatorname{tg}\alpha-\operatorname{inv}\alpha\right]+0.5$$

k 的比较精确近似计算公式：

$$k=\frac{z}{\pi}\left(\operatorname{tg}\alpha_x-\frac{2x\operatorname{tg}\alpha}{z}-\operatorname{inv}\alpha\right)+0.5 \quad 或 \quad k=\frac{z}{\pi}\alpha_x+0.5 \qquad \alpha_x=\arccos\frac{d_h}{d_x}=\arccos\frac{z\cos\alpha}{z+2x}$$

k 的经验公式（$\alpha=20^\circ$）：

$$k=\frac{z}{9}+0.1+px$$

式中，x 为正值时，$p=1.5$；x 为负值时，$p=2$。按公式计算出 k 值后，必要时，验算测点半径 r_c：

$$r_c=\sqrt{r_b^2+(0.5W)^2}$$

r_c 的最佳位置在 $r_a=r_c-m$ 处。如 $r_c>r_a$，则 k 值减去 1；$r_c<r_f$，则 k 值加 1。

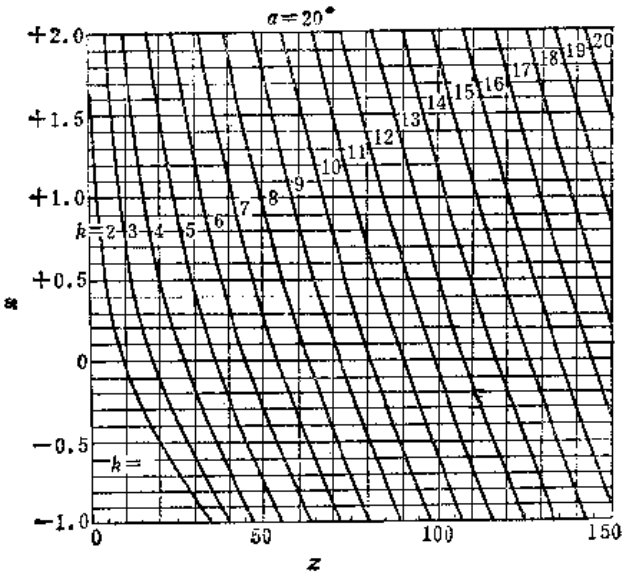


图11-6-1 直齿跨越齿数 k （$\alpha=20°$）

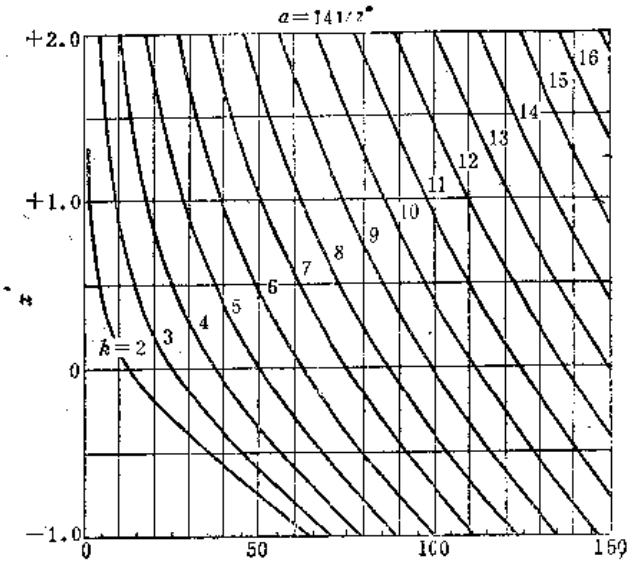


图11-6-2 直齿跨越齿数 k （$\alpha=14^1/_2°$）

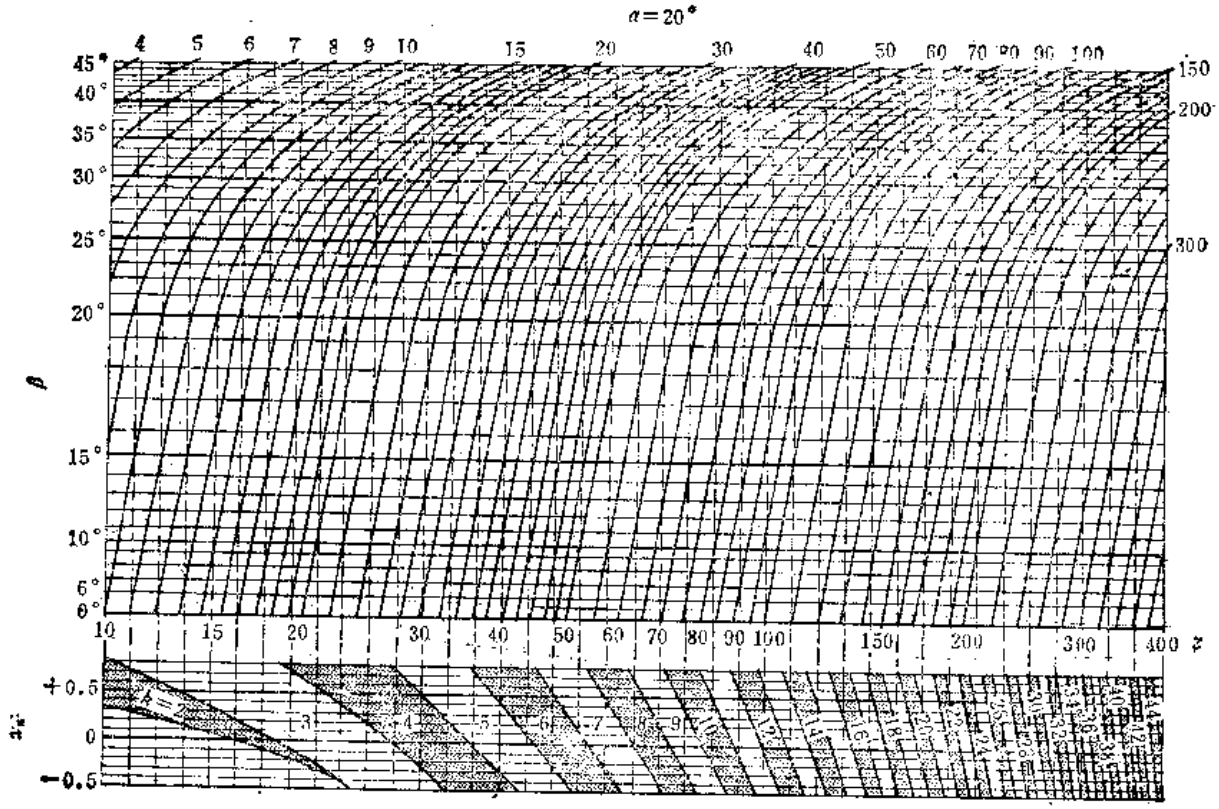


图11-6-3 斜齿跨越齿数 k （$\alpha=20°$）

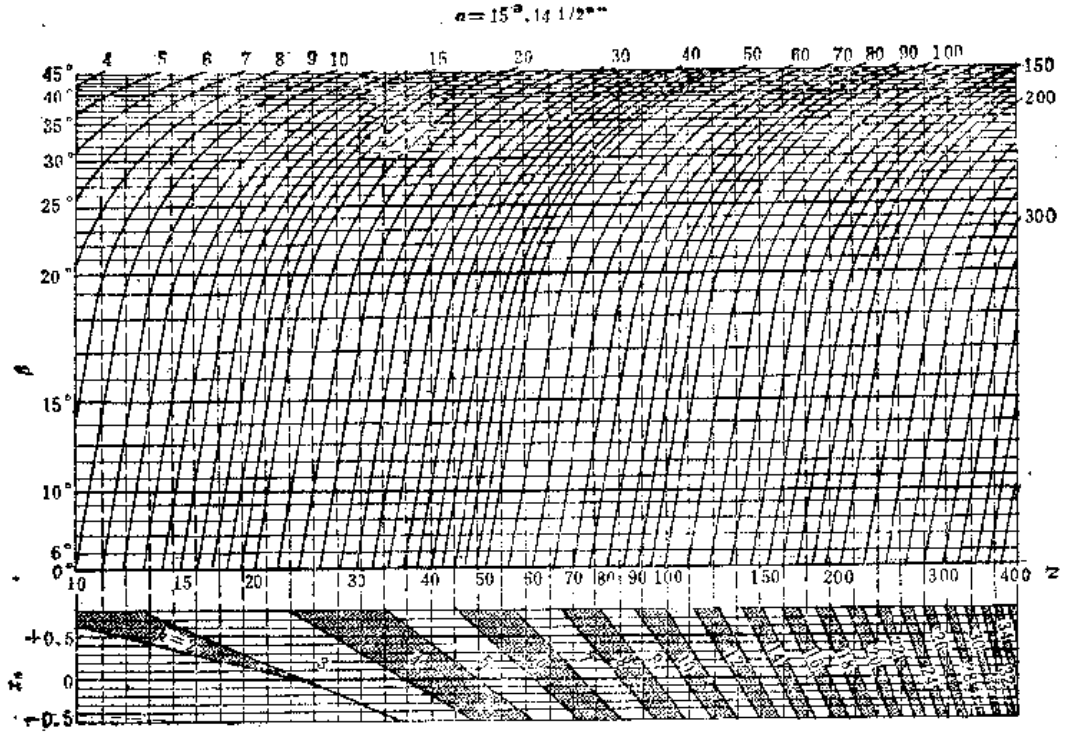
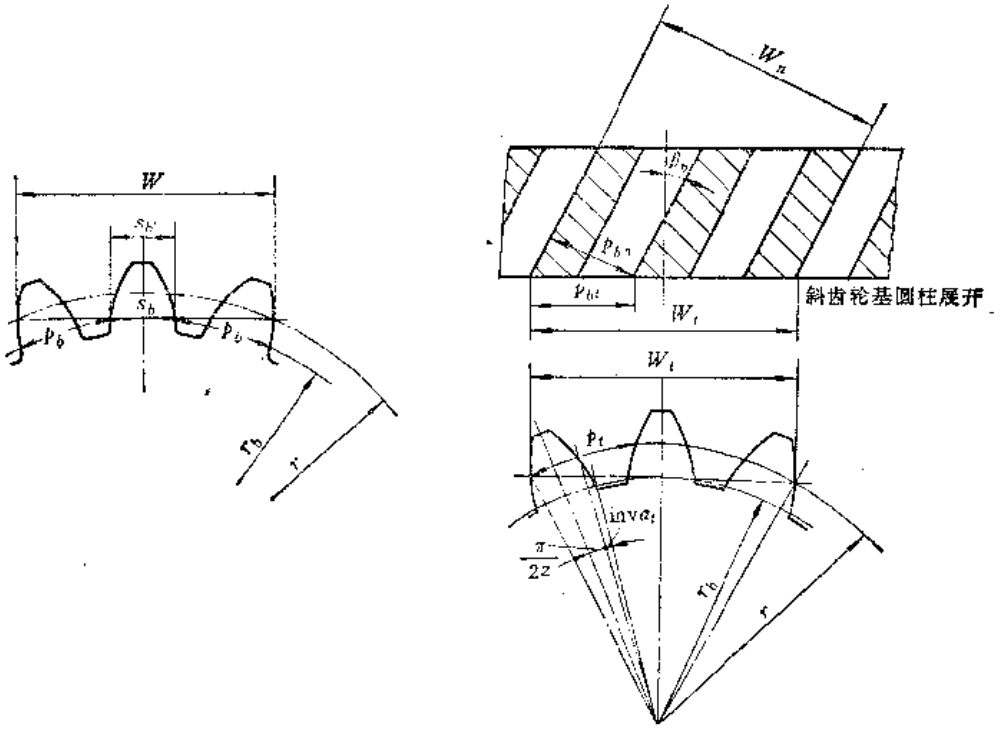


图11-6-4 斜齿跨越齿数 k（$\alpha=15°$、$14^1/_2°$）

表11-6-4 公法线长度的计算公式



跨 k 齿数的公法线长度计算通用公式：

$$W_k=(k-1)p_b+s_b$$

（续）

项目		计算公式	简化计算公式及图表号			
直齿轮	标准齿	$W=m\cos\alpha[\pi(k-0.5)+z\,\mathrm{inv}\alpha]=mW^*$	α	W计算式	W^*值表号	
			20°	$W=m[2.952131(k-0.5)+0.014005z]$	表11-6-5	
			15°	$W=m[3.034545(k-0.5)+0.0059402z]$	表11-6-6	
			14½°	$W=m[3.041526(k-0.5)+0.0053682z]$	表11-6-7	
	变位齿	$W=mW^*+2x m\sin\alpha$	α	W计算式	表号 W^*	表号 $2xm\sin\alpha$
			20°	$W=mW^*+0.68404xm$	表11-6-5	表11-6-8
			15°	$W=mW^*+0.51764xm$	表11-6-6	表11-6-8
			14½°	$W=mW^*+0.50076xm$	表11-6-7	表11-6-8
斜齿轮	标准齿	$W_n=m_t\cos\alpha_t[\pi(k-0.5)+z\,\mathrm{inv}\alpha_t]\cos\beta_b=m_n\cos\alpha_n[\pi(k-0.5)+z_v\mathrm{inv}\alpha_n]=m_n\cos\alpha_n[\pi(k-0.5)+z\,\mathrm{inv}\alpha_t]=m_n(K_k+zK_\beta)$ $z_v=z\,\mathrm{inv}\alpha_t/\mathrm{inv}\alpha_n=zK_3$	α_n	K_k 表号	K_β表号	K_3表号
			20°	表11-6-9	表11-6-10	表11-6-10 表11-6-11
			15°		表11-6-12	
			14½°		表11-6-13	
	变位齿	$W_n=m_n(K_k+zK_\beta)+2x_nm_n\sin\alpha_n$	α_n	W_n 计算式	表号	
			20°	$W_n=m_n(K_k+zK_\beta)+0.68404x_nm_n$	$2x_nm_n\sin\alpha_n$值见表11-6-8	
			15°	$W_n=m_n(K_k+zK_\beta)+0.51764x_nm_n$		
			14½°	$W_n=m_n(K_k+zK_\beta)+0.50076x_nm_n$		

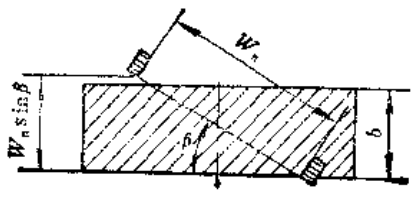
注：1.斜齿轮的公法线长度一般是指法向测量数值。端面公法线长度与法向公法线长度的关系式为：

$$W_t=W_n/\cos\beta_t=m_t\cos\alpha_t+[\pi(k-0.5)+z\,\mathrm{inv}\alpha_t]$$

2.斜齿轮测量公法线长度时，必须具有足够的宽度，即：

$$b\geqslant W_n\sin\beta_b\approx W_n\sin\beta$$

若 $b<W_n\sin\beta_b$时，则不能测量，如下图所示。



公法线长度计算实例：

例1 变位直齿轮 $\alpha=20°$，$m=2$，$z=15$，$x=0.7$（表11-5-5实例），计算其公法线长度。

（1）从图11-6-1中查得跨越齿数 $k=3$；

（2）根据 $z=15$，$k=3$，从表11-6-5，查得 $W^*=7.5904$，则 $W=7.5904\times 2=15.1808$mm；

（3）根据 $xm=0.7\times 2=1.40$，从表11-6-8查得 $2xm\sin\alpha=0.9576$mm；

（4）该齿轮的公法线长度 $W_3=15.1808+0.9576=16.14$mm。

例2 表11-5-7中实例的变位斜齿轮副：$\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$z_1=13$，$z_2=29$，$\beta=18°$，$b=15$，$x_{n1}=0.25$，$x_{n2}=0.78$，计算其公法线长度。

（1）从图11-6-3中查得 $k_1=2$，$k_2=5$；

（2）根据 k 值从表11-6-9查得 $K_{k1}=4.42820$，$K_{k2}=13.28459$；

（3）根据 β 值从表11-6-10查得 $K_\beta=0.016159$；

（4）根据 x 值从表11-6-8查得 $2x_1m\sin\alpha=0.342$，$2x_2m\sin\alpha=1.067$；

（5）该齿轮副的公法线长度为：

$$W_{n2,1}=m_n(K_k+zK_\beta)+2x_nm_n\sin\alpha_n$$
$$=2(4.4282+13\times 0.016159)+0.342$$
$$=9.6185 \quad \text{mm}$$
$$W_{n2,2}=2(13.28459+29\times 0.016159)+1.067$$
$$=28.5734 \quad \text{mm}$$

或者按下列方法求公法线长度：

（1）从图11-6-3查得跨越齿数 $k_1=2$，$k_2=5$；

（2）计算当量齿数 $z_v=zK_\beta$，根据 $\beta=18°$，从表11-6-10查得 $K_\beta=1.153749$，则：

$$z_{v1}=13\times 1.153749=14.9987=15$$
$$z_{v2}=29\times 1.153749$$
$$=33.4587=33.46$$

（3）当量齿数中整数部分的公法线长度，从表11-6-5查得：

$z_1=15$，$k=2$，

$W_1=4.6383\times 2=9.2766$ mm

$z_2=33$，$k=5$，

$W_2=13.7468\times 2=27.4936$ mm

（4）当量齿数中的尾数部分公法线长度，从表11-6-14查得（$\alpha_n=15°$、$14\frac{1}{2}°$时分别查表11-6-15、16）：

$$z_2=0.46,\quad W_2=0.0064\times 2$$
$$=0.0128 \quad \text{mm}$$

（5）变位部分的附加量，根据 x 值从表11-6-8查得：

$x_1m=0.5$，$W_1=0.342$mm；

$x_2m=1.56$，$W_2=1.067$mm

（6）两轮的公法线长度为：

$$W_{n2,1}=9.2766+0.342$$
$$=9.6186 \quad \text{mm}$$
$$W_{n2,2}=27.4936+0.0128+1.067$$
$$=28.5734 \quad \text{mm}$$

表11-6-5 直齿轮公法线长度[13]（$\alpha=20°$，$m=1$） （mm）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
4	2	4.4842	16	2	4.6523	21	2	4.7223	25	2	4.7783	29	2	4.8344
5	2	4.4982		3	7.6044		3	7.6744		3	7.7365		3	7.7865
6	2	4.5122	17	2	4.6683		4	10.6266		4	10.6826		4	10.7385
7	2	4.5262		3	7.6184	22	2	4.7363		5	13.6347		5	13.6907
8	2	4.5402		4	10.5706		3	7.6884	26	2	4.7923		6	16.6429
9	2	4.5542	18	2	4.6803		4	10.6406		3	7.7445	30	2	4.8484
10	2	4.5683		3	7.6324	23	2	4.7503		4	10.6966		3	7.8005
11	2	4.5823		4	10.5846		3	7.7025		5	13.6487		4	10.7526
12	2	4.5963	19	2	4.6943		4	10.6546	27	2	4.8063		5	13.7048
13	2	4.6103		3	7.6464		5	13.6067		3	7.7585		6	16.6569
	3	7.5624		4	10.5986	24	2	4.7643		4	10.7106	31	2	4.8624
14	2	4.6243	20	2	4.7083		3	7.7165		5	13.6627		3	7.8145
	3	7.5764		3	7.6604		4	10.6686		6	16.6149		4	10.7666
15	2	4.6383		4	10.6126		5	13.6207	28	2	4.8203		5	13.7188
	3	7.5904								3	7.7725		6	16.6709
										4	10.7246			
										5	13.6767			
										6	16.6289			

（续）

z	k	W*
32	2	4.8764
	3	7.8225
	4	10.7938
	5	13.7628
	6	16.6849
33	2	4.8904
	3	7.8423
	4	10.7946
	5	13.7468
	6	16.6989
34	2	4.9044
	3	7.8565
	4	10.8086
	5	13.7608
	6	16.7129
35	2	4.9184
	3	7.8705
	4	10.8227
	5	13.7748
	6	16.7269
36	2	4.9324
	3	7.8845
	4	10.8367
	5	13.7888
	6	16.7409
	7	19.6930
37	3	7.8985
	4	10.8507
	5	13.8028
	6	16.7549
	7	19.7071
38	3	7.9125
	4	10.8647
	5	13.8168
	6	16.7689
	7	19.7211
39	3	7.9265
	4	10.8787
	5	13.8308
	6	16.7829
	7	19.7351
40	3	7.9405
	4	10.8927
	5	13.8448
	6	16.7969
	7	19.7491
	8	22.7012
41	3	7.9546
	4	10.9067
	5	13.8588
	6	16.8109
	7	19.7631
	8	22.7152
42	3	7.9686
	4	10.9207
	5	13.8726
	6	16.8249
	7	19.7771
	8	22.7292
43	3	7.9826
	4	10.9347
	5	13.8866
	6	16.8390
	7	19.7911
	8	22.7432
44	3	7.9966
	4	10.9487
	5	13.9006
	6	16.8530
	7	19.8051
	8	22.7572
45	4	10.9627
	5	13.9148
	6	16.8670
	7	19.8191
	8	22.7712
46	4	10.9767
	5	13.9288
	6	16.8810
	7	19.8331
	8	22.7852
47	4	10.9907
	5	13.9428
	6	16.8950
	7	19.8471
	8	22.7992
48	4	11.0047
	5	13.9569
	6	16.9090
	7	19.8611
	8	22.8132
49	4	11.0187
	5	13.9709
	6	16.9230
	7	19.8751
	8	22.8273
	9	25.7794
50	4	11.0327
	5	13.9849
	6	16.9370
	7	19.8891
	8	22.8413
	9	25.7934
51	4	11.0467
	5	13.9989
	6	16.9510
	7	19.9031
	8	22.8553
	9	25.8074
52	4	11.0607
	5	14.0129
	6	16.9650
	7	19.9171
	8	22.8693
	9	25.8214
53	4	11.0747
	5	14.0269
	6	16.9790
	7	19.9311
	8	22.8833
	9	25.8354
54	5	14.0409
	6	16.9930
	7	19.9469
	8	22.8972
	9	25.8494
	10	28.8016
55	5	14.0549
	6	17.0070
	7	19.9592
	8	22.9113
	9	25.8634
	10	28.8155
56	5	14.0689
	6	17.0210
	7	19.9733
	8	22.9253
	9	25.8774
	10	28.8296
57	5	14.0829
	6	17.0350
	7	19.9872
	8	22.9393
	9	25.8936
	10	28.8414
58	5	14.0969
	6	17.0490
	7	20.0012
	8	22.9533
	9	25.9054
	10	28.8576
59	5	14.1109
	6	17.0630
	7	20.0152
	8	22.9673
	9	25.9194
	10	28.8716
60	5	14.1249
	6	17.0771
	7	20.0292
	8	22.9813
	9	25.9334
	10	28.8856
61	5	14.1389
	6	17.0911
	7	20.0432
	8	22.9953
	9	25.9474
	10	28.8996
	11	31.8517
62	5	14.1529
	6	17.1051
	7	20.0572
	8	23.0093
	9	25.9615
	10	28.9136
	11	31.8657
63	6	17.1191
	7	20.0712
	8	23.0233
	9	25.9755
	10	28.9276
	11	31.8797
64	6	17.1331
	7	20.0852
	8	23.0373
	9	25.9895
	10	28.9416
	11	31.8937
65	6	17.1471
	7	20.0992
	8	23.0513
	9	26.0035
	10	28.9556
	11	31.9077
66	6	17.1611
	7	20.1132
	8	23.0653
	9	26.0175
	10	28.9696
	11	31.9217
67	6	17.1751
	7	20.1272
	8	23.0794
	9	26.0315
	10	28.9836
	11	31.9358
68	6	17.1891
	7	20.1412
	8	23.0934
	9	26.0455
	10	28.9976
	11	31.9498
	12	34.9019
69	6	17.2031
	7	20.1552
	8	23.1074
	9	26.0595
	10	29.0116
	11	31.9638
	12	34.9159
70	6	17.2171
	7	20.1092
	8	23.1214
	9	26.0735
	10	29.0256
	11	31.9778
	12	34.9299
71	6	17.2311
	7	20.1832
	8	23.1354
	9	26.0875
	10	29.0396
	11	31.9918
	12	34.9439
72	7	20.1972
	8	23.1494
	9	26.1015
	10	29.0536
	11	32.0058
	12	34.9579
73	7	20.2112
	8	23.1634
	9	26.1155
	10	29.0676
	11	32.0198
	12	34.9719
74	7	20.2253
	8	23.1774
	9	26.1295
	10	29.0817
	11	32.0338
	12	34.9859
	13	37.9380
75	7	20.2393
	8	23.1914
	9	26.1435
	10	29.0957
	11	32.0478
	12	34.9999
	13	37.9521
76	7	20.2533
	8	23.2054
	9	26.1575
	10	29.1097
	11	32.0618
	12	35.0139
	13	37.9661

（续）

z	k	W*	z	k	W*	z	k	W*	z	k	W*	z	k	W*
77	7	20.2673	85	8	23.3314	93	9	26.3956	101	10	29.4598	110	11	32.5380
	8	23.2194		9	26.2836		10	29.3478		11	32.4119		12	35.4901
	9	26.1715		10	29.2357		11	32.2999		12	35.3641		13	38.4422
	10	29.1237		11	32.1879		12	35.2520		13	38.3162		14	41.3944
	11	32.0758		12	35.1400		13	38.2041		14	41.2683		15	44.3465
	12	35.0279		13	38.0921		14	41.1563		15	44.2205		16	47.2987
	13	37.9801		14	41.0442		15	44.1084						
78	7	20.2813	86	8	23.3454	94	9	26.4096	102	10	29.4738	111	11	32.5520
	8	23.2334		9	26.2976		10	29.3618		11	32.4259		12	35.5041
	9	26.1855		10	29.2497		11	32.3138		12	35.3781		13	38.4562
	10	29.1377		11	32.2019		12	35.2660		13	38.3302		14	41.4084
	11	32.0898		12	35.1540		13	38.2182		14	41.2823		15	44.3605
	12	35.0419		13	38.1061		14	41.1703		15	44.2345		16	47.3126
	13	37.9941		14	41.0582		15	44.1224						
79	7	20.2953	87	8	23.3595	95	9	26.4236	103	10	29.4878	112	11	32.5660
	8	23.2474		9	26.3116		10	29.3758		11	32.4400		12	35.5181
	9	26.1995		10	29.2637		11	32.3279		12	35.3921		13	38.4703
	10	29.1517		11	32.2159		12	35.2800		13	38.3442		14	41.4224
	11	32.1038		12	35.1680		13	38.2322		14	41.2963		15	44.3745
	12	35.0559		13	38.1201		14	41.1843		15	44.2485		16	47.3266
	13	38.0081		14	41.0722		15	44.1364						
80	7	20.3093	88	8	23.3735	96	9	26.4376	104	10	29.5018	113	11	32.5800
	8	23.2614		9	26.3256		10	29.3898		11	32.4540		12	35.5321
	9	26.2136		10	29.2777		11	32.3419		12	35.4061		13	38.4842
	10	29.1657		11	32.2299		12	35.2940		13	38.3582		14	41.4364
	11	32.1178		12	35.1820		13	38.2462		14	41.3103		15	44.3885
	12	35.0699		13	38.1341		14	41.1983		15	44.2625		16	47.3407
	13	38.0221		14	41.0863		15	44.1504						
81	8	23.2754	89	8	23.3875	97	9	26.4516	105	10	29.5158	114	11	32.5940
	9	26.2276		9	26.3396		10	29.4038		11	32.4680		12	35.5461
	10	29.1797		10	29.2917		11	32.3559		12	35.4201		13	38.4983
	11	32.1318		11	32.2439		12	35.3080		13	38.3722		14	41.4504
	12	35.0840		12	35.1960		13	38.2602		14	41.3243		15	44.4025
	13	38.0361		13	38.1481		14	41.2123		15	44.2765		16	47.3547
	14	40.9882		14	41.1003		15	44.1644						
				15	44.0524									
82	8	23.2894	90	9	26.3536	98	9	26.4657	106	10	29.5298	115	11	32.6080
	9	26.2416		10	29.3057		10	29.4178		11	32.4820		12	35.5601
	10	29.1937		11	32.2579		11	32.3699		12	35.4341		13	38.5122
	11	32.1458		12	35.2100		12	35.3220		13	38.3862		14	41.4644
	12	35.0980		13	38.1621		13	38.2742		14	41.3384		15	44.4165
	13	38.0501		14	41.1143		14	41.2263		15	44.2965		16	47.3687
	14	41.0022		15	44.0664		15	44.1784						
							16	47.1306						
83	8	23.3034	91	9	26.3676	99	10	29.4318	107	10	29.5438	116	11	32.6220
	9	26.2556		10	29.3197		11	32.3839		11	32.4960		12	35.5741
	10	29.2077		11	32.2719		12	35.3361		12	35.4481		13	38.5263
	11	32.1598		12	35.2240		13	38.2882		13	38.4002		14	41.4784
	12	35.1120		13	38.1761		14	41.2403		14	41.3524		15	44.4305
	13	38.0641		14	41.1283		15	44.1924		15	44.3045		16	47.3827
	14	41.0163		15	44.0804		16	47.1446						
84	8	23.3174	92	9	26.3816	100	10	29.4458	108	11	32.5100	117	12	35.5882
	9	26.2696		10	29.3338		11	32.3979		12	35.4621		13	38.5403
	10	29.2217		11	32.2859		12	35.3501		13	38.4142		14	41.4924
	11	32.1738		12	35.2380		13	38.3022		14	41.3664		15	44.4445
	12	35.1260		13	38.1901		14	41.2543		15	44.3185		16	47.3967
	13	38.0781		14	41.1423		15	44.2064		16	47.2706		17	50.3488
	14	41.0302		15	44.0944		16	47.1586						
									109	11	32.5240	118	12	35.6022
										12	35.4761		13	38.5543
										13	38.4282		14	41.5064
										14	41.3804		15	44.4585
										15	44.3325		16	47.4107
										16	47.2846		17	50.3628

（续）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
119	12	35.6162	128	13	38.6943	137	14	41.7725	146	15	44.8507	155	16	47.9289
	13	38.5683		14	41.6465		15	44.7247		16	47.8028		17	50.8810
	14	41.5204		15	44.5986		16	47.6768		17	50.7550		18	53.8331
	15	44.4726		16	47.5507		17	50.6289		18	53.7071		19	56.7853
	16	47.4247		17	50.5029		18	53.5810		19	56.6592		20	59.7374
	17	50.3768		18	53.4550		19	56.5332		20	59.6114		21	62.6895
120	12	35.6302	129	13	38.7083	138	14	41.7865	147	15	44.8647	156	16	47.9429
	13	38.5823		14	41.6605		15	44.7387		16	47.8168		17	50.8950
	14	41.5344		15	44.6126		16	47.5908		17	50.7690		18	53.8472
	15	44.4866		16	47.5647		17	50.6429		18	53.7211		19	56.7993
	16	47.4387		17	50.5169		18	53.5950		19	56.6732		20	59.7514
	17	50.3908		18	53.4690		19	56.5472		20	59.5254		21	62.7035
121	12	35.6442	130	13	38.7224	139	14	41.8005	148	15	44.8787	157	16	47.9569
	13	38.5963		14	41.6745		15	44.7527		16	47.8308		17	50.9090
	14	41.5484		15	44.6266		16	47.7048		17	50.7830		18	53.8612
	15	44.5006		16	47.5787		17	50.6569		18	53.7351		19	56.8133
	16	47.4527		17	50.5309		18	53.6091		19	56.6872		20	59.7654
	17	50.4048		18	53.4830		19	56.5612		20	59.6394		21	62.7175
122	12	35.6582	131	13	38.7364	140	14	41.8145	149	15	44.8927	158	16	47.9709
	13	38.6103		14	41.6885		15	44.7667		16	47.8448		17	50.9230
	14	41.5624		15	44.6406		16	47.7188		17	50.7970		18	53.8752
	15	44.5146		16	47.5927		17	50.6709		18	53.7491		19	56.8273
	16	47.4667		17	50.5449		18	53.6231		19	56.7012		20	59.7794
	17	50.4188		18	53.4970		19	56.5752		20	59.6534		21	62.7316
123	12	35.6722	132	13	38.7504	141	14	41.8285	150	15	44.9067	159	16	47.9849
	13	38.6243		14	41.7025		15	44.7807		16	47.8589		17	50.9370
	14	41.5765		15	44.6546		16	47.7328		17	50.8110		18	53.8892
	15	44.5286		16	47.6068		17	50.6849		18	53.7631		19	56.8413
	16	47.4807		17	50.5589		18	53.6371		19	56.7152		20	59.7934
	17	50.4328		18	53.5110		19	56.5892		20	59.6674		21	62.7456
124	12	35.5862	133	13	38.7644	142	14	41.8425	151	15	44.9207	160	16	47.9989
	13	38.5383		14	41.7165		15	44.7947		16	47.8729		17	50.9510
	14	41.5905		15	44.6686		16	47.7468		17	50.8250		18	53.9032
	15	44.5426		16	47.6208		17	50.6989		18	53.7771		19	56.8553
	16	47.4947		17	50.5729		18	53.6511		19	56.7293		20	59.8074
	17	50.4468		18	53.5250		19	56.6032		20	59.6814		21	62.7596
125	13	38.6523	134	13	38.7784	143	15	44.8087	152	16	47.8869	161	17	50.9650
	14	41.6045		14	41.7305		16	47.7808		17	50.8390		18	53.9172
	15	44.5566		15	44.6826		17	50.7129		18	53.7911		19	56.8693
	16	47.5087		16	47.6348		18	53.6651		19	56.7433		20	59.8214
	17	50.4608		17	50.5869		19	56.6172		20	59.6954		21	62.7736
	18	53.4130		18	53.5390		20	59.5693		21	62.6475		22	65.7257
				19	56.4912									
126	13	38.6663	135	14	41.7445	144	15	44.8227	153	16	47.9009	162	17	50.9790
	14	41.6185		15	44.6967		16	47.7748		17	50.8530		18	53.9312
	15	44.5706		16	47.6488		17	50.7270		18	53.8051		19	56.8833
	16	47.5227		17	50.6009		18	53.6791		19	56.7573		20	59.8354
	17	50.4749		18	53.5530		19	56.6312		20	59.7094		21	62.7876
	18	53.4270		19	56.5052		20	59.5833		21	62.6615		22	65.7397
127	13	38.6803	136	14	41.7585	145	15	44.8367	154	16	47.9149	163	17	50.9930
	14	41.6325		15	44.7106		16	47.7888		17	50.8670		18	53.9452
	15	44.5846		16	47.6628		17	50.7410		18	53.8191		19	56.8973
	16	47.5367		17	50.6149		18	53.6931		19	56.7713		20	59.8495
	17	50.4889		18	53.5670		19	56.6452		20	59.7234		21	62.8016
	18	53.4410		19	56.5192		20	59.5974		21	62.6755		22	65.7537

（续）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
				21	62.9276								21	63.3058
	17	51.0071	172	22	65.8798		19	57.1494		20	60.2276		22	66.2579
	18	53.9592		23	68.8319		20	60.1016		21	63.1797		23	69.2100
164	19	56.9113				181	21	63.0537	190	22	66.1319	199	24	72.1622
	20	59.8635		18	54.0852		22	66.0058		23	69.0840		25	75.1143
	21	62.8156		19	57.0374		23	68.9579		24	72.0361		26	78.0664
	22	65.7677		20	59.9895		24	71.9101		25	74.9883			
			173	21	62.9416									
				22	65.8938									
	17	51.0211		23	68.8459		19	57.1634		20	60.2416		21	63.3198
	18	53.9732					20	60.1156		21	63.1937		22	66.2719
165	19	56.9253				182	21	63.0677	191	22	66.1459	200	23	69.2240
	20	59.8775		18	54.0992		22	66.0198		23	69.0980		24	72.1762
	21	62.8296		19	57.0514		23	68.9719		24	72.0501		25	75.1283
	22	65.7817		20	60.0035		24	71.9241		25	75.0023		26	78.0804
			174	21	62.9556									
				22	65.9078									
	17	51.0351		23	68.8599		19	57.1774		20	60.2556	201	23	69.2381
	18	53.9872					20	60.1296		21	63.2077	202	23	69.2521
	19	56.0393				183	21	63.0817	192	22	66.1599	203	23	69.2661
166	20	59.8915		18	54.1133		22	66.0338		23	69.1120	204	23	69.2801
	21	62.8436		19	57.0654		23	68.9860		24	72.0641	205	23	69.2941
	22	65.7957		20	60.0175		24	71.9381		25	75.0163	206	23	69.3081
			175	21	62.9696							207	24	72.2742
				22	65.9218							208	24	72.2882
	17	51.0491		23	68.8739		19	57.1914		20	60.2696	209	24	72.3022
	18	54.0012					20	60.1436		21	63.2217	210	24	72.3162
	19	56.9533					21	63.0957		22	66.1739	211	24	72.3302
167	20	59.9055		18	54.1273	184	22	66.0478	193	23	69.1260	212	24	72.3442
	21	62.8576		19	57.0794		23	69.0000		24	72.0781	213	24	72.3583
	22	65.8097		20	60.0315		24	71.9521		25	75.0303	214	24	72.3723
			176	21	62.9837							215	24	72.3863
				22	65.9358							216	25	75.3524
	17	51.0631		23	68.8879		19	57.2054		20	60.2836	217	25	75.3664
	18	54.0152		24	71.8400		20	60.1576		21	63.2358	218	25	75.3804
	19	56.9673				185	21	63.1037	194	22	66.1879	219	25	75.3944
168	20	59.9195		18	54.1413		22	66.0618		23	69.1400	220	25	75.4084
	21	62.8716		19	57.0934		23	69.0140		24	72.0921	221	25	75.4224
	22	65.8237		20	60.0455		24	71.9661		25	75.0443	222	25	75.4364
			177	21	62.9977							223	25	75.4504
				22	65.9498							224	25	75.4644
	17	51.0771		23	68.9019		19	57.2194		20	60.2976	225	25	75.4784
	18	54.0292		24	71.8541		20	60.1716		21	63.2498	226	26	78.4446
	19	56.9814				186	21	63.1237	195	22	66.2019	227	26	78.4586
169	20	59.9335		18	54.1553		22	66.0758		23	69.1540	228	26	78.4726
	21	62.8856		19	57.1074		23	69.0280		24	72.1062	229	26	78.4866
	22	65.8377		20	60.0595		24	71.9801		25	75.0583	230	26	78.5006
			178	21	63.0117							231	26	78.5146
				22	65.9638		19	57.2335		20	60.3116	232	26	78.5286
	17	51.0911		23	68.9159		20	60.1856		21	63.2638	233	26	78.5426
	18	54.0432		24	71.8681		21	63.1377		22	66.2159	234	26	78.5566
	19	56.9954				187	22	66.0898	196	23	69.1680	235	27	81.5228
170	20	59.9475		18	54.1693		23	69.0420		24	72.1202	236	27	81.5368
	21	62.8996		19	57.1214		24	71.9941		25	75.0723	237	27	81.5508
	22	65.8518		20	60.0735		20	60.1996		20	60.3256	238	27	81.5648
	23	68.8039		21	63.0257		21	63.1517		21	63.2778	239	27	81.5788
			179	22	65.9778		22	66.1039		22	66.2299	240	27	81.5928
	18	54.0572		23	68.9299	188	23	69.0560	197	23	69.1820	241	27	81.6068
	19	57.0094		24	71.8821		24	72.0081		24	72.1342	242	27	81.6208
	20	59.9615					25	74.9602		25	75.0863	243	27	81.6348
171	21	62.9136								26	78.0384	244	28	84.6203
	22	65.8658		19	57.1354							245	28	84.6350
	23	68.8179		20	60.0875		20	60.2136				246	28	84.6290
				21	63.0397		21	63.1657		21	63.2918	247	28	84.6430
			180	22	65.9918	189	22	66.1179		22	66.2439	248	28	84.6570
	18	54.0712		23	68.9439		23	69.0700	198	23	69.1960	249	28	84.6710
172	19	57.0234		24	71.8961		24	72.0221		24	72.1482	250	28	84.6850
	20	59.9755					25	74.9742		25	75.1003			
										26	78.0524			

注：1.表中黑体字为标准齿轮（$x=0$）的跨越齿数及其公法线长度。

2.实际跨越齿数 k 与表中 k 值不同时，增（减）一个齿，则 W^* 值相应增（减）一个2.952131mm。

3.此表也可用于斜齿圆柱齿轮，但其中的 α、m、x 次分别以 α_n、m_n、x_n 代入，$z_v=Kz$，K 系数见表 11-6-10。具体计算方法见例 2。

表11-6-6 直齿轮公法线长度[22]

（$\alpha = 15°$，$m = 1$）　　（mm）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
4	2	4.57558	64	6	17.07018	124	11	32.59932
5	2	4.58152	65	6	17.07612	125	11	32.60526
6	2	4.58746	66	6	17.08206	126	11	32.61120
7	2	4.59340	67	6	17.08800	127	11	32.61714
8	2	4.59934	68	6	17.09394	128	11	32.62308
9	2	4.60528	69	6	17.09988	129	11	32.62902
10	2	4.61122	70	6	17.10582	130	11	32.63496
11	2	4.61716	71	6	17.11176	131	11	32.64090
12	2	4.62310	72	7	20.15224	132	12	35.68139
13	2	4.62904	73	7	20.15818	133	12	35.68733
14	2	4.63498	74	7	20.16412	134	12	35.69327
15	2	4.64092	75	7	20.17006	135	12	35.69921
16	2	4.64686	76	7	20.17600	136	12	35.70515
17	2	4.65280	77	7	20.18194	137	12	35.71109
18	2	4.65874	78	7	20.18789	138	12	35.71703
19	2	4.66468	79	7	20.19383	139	12	35.72297
20	2	4.67062	80	7	20.19976	140	12	35.72891
21	2	4.67656	81	7	20.20571	141	12	35.73485
22	2	4.68250	82	7	20.21165	142	12	35.74079
23	2	4.68844	83	7	20.21759	143	12	35.74673
24	3	7.72893	84	8	23.25807	144	13	38.78721
25	3	7.73487	85	8	23.26401	145	13	38.79315
26	3	7.74081	86	8	23.26995	146	13	38.79910
27	3	7.74675	87	8	23.27589	147	13	38.80504
28	3	7.75269	88	8	23.28183	148	13	38.81098
29	3	7.75863	89	8	23.28777	149	13	38.81692
30	3	7.76457	90	8	23.29371	150	13	38.82286
31	3	7.77051	91	8	23.29965	151	13	38.82880
32	3	7.77645	92	8	23.30559	152	13	38.83474
33	3	7.78239	93	8	23.31153	153	13	38.84068
34	3	7.78833	94	8	23.31747	154	13	38.84662
35	3	7.79427	95	8	23.32341	155	13	38.85256
36	4	10.83476	96	9	26.36380	156	14	41.89304
37	4	10.84070	97	9	26.36974	157	14	41.89898
38	4	10.84664	98	9	26.37578	158	14	41.90492
39	4	10.85258	99	9	26.38172	159	14	41.91086
40	4	10.85852	100	9	26.38766	160	14	41.91680
41	4	10.86446	101	9	26.39360	161	14	41.92274
42	4	10.87040	102	9	26.39954	162	14	41.92868
43	4	10.87634	103	9	26.40548	163	14	41.93462
44	4	10.88228	104	9	26.41142	164	14	41.94057
45	4	10.88822	105	9	26.41736	165	14	41.94651
46	4	10.89416	106	9	26.42330	166	14	41.95245
47	4	10.90010	107	9	26.42924	167	14	41.95839
48	5	13.94059	108	10	29.46973	168	15	44.99887
49	5	13.94653	109	10	29.47567	169	15	45.00481
50	5	13.95247	110	10	29.48161	170	15	45.01075
51	5	13.95841	111	10	29.48755	171	15	45.01669
52	5	13.96435	112	10	29.49349	172	15	45.02263
53	5	13.97029	113	10	29.49943	173	15	45.02857
54	5	13.97623	114	10	29.50537	174	15	45.03451
55	5	13.98217	115	10	29.51131	175	15	45.04045
56	5	13.98811	116	10	29.51725	176	15	45.04639
57	5	13.99405	117	10	29.52319	177	15	45.05233
58	5	13.99999	118	10	29.52913	178	15	45.05827
59	5	14.00593	119	10	29.53507	179	15	45.06421
60	6	17.04642	120	11	32.57556	180	16	48.10470
61	6	17.05236	121	11	32.58150	181	16	48.11064
62	6	17.05830	122	11	32.58744	182	16	48.11658
63	6	17.06424	123	11	32.59338	183	16	48.12252

（续）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
184	16	48.12846	197	17	51.24023	210	18	54.35200
185	16	48.13440	198	17	51.24617	211	18	54.35794
186	16	48.14034	199	17	51.25211	212	18	54.36388
187	16	48.14628	200	17	51.25805	213	18	54.36982
188	16	48.15222	201	17	51.26399	214	18	54.37576
189	16	48.15816	202	17	51.26993	215	18	54.38170
190	16	48.16410	203	17	51.27587	216	19	57.42219
191	16	48.17004	204	18	54.31636	217	19	57.42813
192	17	51.21053	205	18	54.32230	218	19	57.43407
193	17	51.21647	206	18	54.32824	219	19	57.44001
194	17	51.22241	207	18	54.33418	220	19	57.44595
195	17	51.22835	208	18	54.34012			
196	17	51.23429	209	18	54.34606			

注：1.模数为其它值时的公法线长度，可用 $m=1$ 时的公法线长度值乘上该模数得出；

2.由于变位，跨越齿数 k 有所增减，k 每增(减)一齿，则公法线长度应增（减）3.034545（$m=1$ 时）。例如 $z=14$，$x=+0.8$，$k=3$，则该齿轮的 $W^*=4.63498+3.034545=7.66592$。

3.此表也可用于斜齿轮，但 α、m、z 须分别以 α_n、m_n、z_v 代入。$z_v=K_s z$，K_s 系数见表11-6-10。

表11-6-7　直齿轮公法线长度[1]（$\alpha=14^1/_2{}^\circ$，$m=1$）　　（mm）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
			41	4	10.8654	76	7	20.1779
			42	4	10.8708	77	7	20.1833
			43	4	10.8762	78	7	20.1886
9	2	4.6106	44	4	10.8815	79	7	20.1940
10	2	4.6160	45	4	10.8869	80	7	20.1994
11	2	4.6213	46	4	10.8923	81	7	20.2047
12	2	4.6267	47	4	10.8976	82	7	20.2101
13	2	4.6321	48	5	13.9455	83	8	23.2570
14	2	4.6374	49	5	13.9449	84	8	23.2624
15	2	4.6428	50	5	13.9552	85	8	23.2677
16	2	4.6482	51	5	13.9606	86	8	23.2731
17	2	4.6535	52	5	13.9660	87	8	23.2785
18	2	4.6589	53	5	13.9713	88	8	23.2838
19	2	4.6643	54	5	13.9767	89	8	23.2892
20	2	4.6697	55	5	13.9821	90	8	23.2946
21	2	4.6750	56	5	13.9874	91	8	23.2999
22	2	4.6804	57	5	13.9928	92	8	23.3053
23	2	4.6858	58	5	13.9982	93	8	23.3107
24	3	7.7327	59	5	14.0036	94	8	23.3161
25	3	7.7380	60	6	17.0505	95	8	23.3214
26	3	7.7434	61	6	17.0559	96	9	26.3683
27	3	7.7488	62	6	17.0612	97	9	26.3737
28	3	7.7541	63	6	17.0666	98	9	26.3791
29	3	7.7595	64	6	17.0720	99	9	26.3844
30	3	7.7649	65	6	17.0773	100	9	26.3898
31	3	7.7702	66	6	17.0827	101	10	29.4367
32	3	7.7756	67	6	17.0881	102	10	29.4420
33	3	7.7810	68	6	17.0934	103	10	29.4474
34	3	7.7863	69	6	17.0988	104	10	29.4528
35	3	7.7917	70	6	17.1042	105	10	29.4582
36	4	10.8386	71	7	20.1511	106	10	29.4635
37	4	10.8440	72	7	20.1564	107	10	29.4689
38	4	10.8493	73	7	20.1618	108	10	29.4743
39	4	10.8547	74	7	20.1672	109	10	29.4796
40	4	10.8601	75	7	20.1725	110	10	29.4850

（续）

z	k	W^*	z	k	W^*	z	k	W^*
111	10	29.4904	161	14	41.9249	211	18	54.3594
112	10	29.4957	162	14	41.9302	212	18	54.3648
113	10	29.5011	163	15	44.9771	213	19	57.4117
114	11	32.5480	164	15	44.9825	214	19	57.4170
115	11	32.5534	165	15	44.9879	215	19	57.4224
116	11	32.5587	166	15	44.9932	216	19	57.4278
117	11	32.5641	167	15	44.9986	217	19	57.4331
118	11	32.5694	168	15	45.0040	218	19	57.4385
119	11	32.5748	169	15	45.0093	219	19	57.4439
120	11	32.5802	170	15	45.0147	220	19	57.4492
121	11	32.5856	171	15	45.0201	221	19	57.4546
122	11	32.5909	172	15	45.0255	222	19	57.4600
123	11	32.5963	173	15	45.0308	223	19	57.4653
124	11	32.6017	174	15	45.0362	224	19	54.4707
125	11	32.6070	175	15	45.0416	225	19	57.4761
126	12	35.6539	176	16	48.0885	226	20	60.5230
127	12	35.6593	177	16	48.0938	227	20	60.5283
128	12	35.6647	178	16	48.0992	228	20	60.5337
129	12	35.6700	179	16	48.1046	229	20	60.5391
130	12	35.6754	180	16	48.1099	230	20	60.5444
131	12	35.6808	181	16	48.1153	231	20	60.5498
132	12	35.6861	182	16	48.1207	232	20	60.5552
133	12	35.6915	183	16	48.1260	233	20	60.5605
134	12	35.6969	184	16	48.1314	234	20	60.5659
135	12	35.7022	185	16	48.1368	235	20	60.5713
136	12	35.7076	186	16	48.1421	236	20	60.5766
137	12	35.7130	187	16	48.1475	237	20	60.5820
138	13	38.7599	188	17	51.1944	238	21	63.6289
139	13	38.7653	189	17	51.1998	239	21	63.6343
140	13	38.7706	190	17	51.2051	240	21	63.6396
141	13	38.7760	191	17	51.2105	241	21	63.6450
142	13	38.7814	192	17	51.2159	242	21	63.6504
143	13	38.7867	193	17	51.2212	243	21	63.6557
144	13	38.7921	194	17	51.2266	244	21	63.6611
145	13	38.7975	195	17	51.2320	245	21	63.6665
146	13	38.8028	196	17	51.2373	246	21	63.6718
147	13	38.8082	197	17	51.2427	247	21	63.6772
148	13	38.8136	198	17	51.2481	248	21	63.6826
149	13	38.8189	199	17	51.2534	249	21	63.6880
150	14	41.8658	200	17	51.2588	250	21	63.6933
151	14	41.8712	201	18	54.3057			
152	14	41.8766	202	18	54.3111			
153	14	41.8819	203	18	54.3164			
154	14	41.8873	204	18	54.3218			
155	14	41.8927	205	18	54.3272			
156	14	41.8980	206	18	54.3326			
157	14	41.9034	207	18	54.3379			
158	14	41.9088	208	18	54.3433			
159	14	41.9141	209	18	54.3487			
160	14	41.9195	210	18	54.3540			

注：1.表中W^*值用于计算径节（P）制齿轮的公法线长度，计算时应先从表中查出与P相对应的模数m值，再乘以表中的W^*值。例如$\alpha=14^1/_2°$，$P12(m=2.1167)$，$z=20$直齿圆柱齿轮，其公法线长度$W=mW^*=2.1167\times4.6697=9.88mm$；

2.由于变位，k值有所增减。每增加(或减少)一个齿，则W^*值相应增加(或减少)3.0415 mm。例如上例的$z=20$齿轮，$x=+0.5$时，查图11-6-2，得$k=3$，则表中W^*相应要改为4.6697+3.0415=7.711mm。

3.此表也可用于斜齿轮，但α、m、z须分别以α_n、m_n、$z_v(=Kz)$代入，K系数见表11-6-10。

表11-6-8 变位齿轮公法线长度附加量 $2xm\sin\alpha$[1] (mm)

xm	$2xm\sin\alpha$			xm	$2xm\sin\alpha$		
	$\alpha=20°$	$\alpha=15°$	$\alpha=14\frac{1°}{2}$		$\alpha=20°$	$\alpha=15°$	$\alpha=14\frac{1°}{2}$
0.01	0.0068	0.0051	0.0050	0.56	0.3830	0.2898	0.2804
0.02	0.0136	0.0103	0.0100	0.57	0.3899	0.2950	0.2854
0.03	0.0205	0.0155	0.0150	0.58	0.3967	0.3002	0.2904
0.04	0.0273	0.0207	0.0200	0.59	0.4035	0.3054	0.2954
0.05	0.0342	0.0258	0.0250	0.60	0.4104	0.3105	0.3005
0.06	0.0410	0.0310	0.0300	0.61	0.4172	0.3157	0.3055
0.07	0.0478	0.0362	0.0351	0.62	0.4241	0.3209	0.3105
0.08	0.0547	0.0414	0.0401	0.63	0.4309	0.3261	0.3155
0.09	0.0615	0.0465	0.0451	0.64	0.4377	0.3312	0.3205
0.10	0.0684	0.0517	0.0501	0.65	0.4446	0.3364	0.3255
0.11	0.0752	0.0569	0.0551	0.66	0.4514	0.3416	0.3305
0.12	0.0820	0.0621	0.0601	0.67	0.4583	0.3468	0.3355
0.13	0.0889	0.0672	0.0651	0.68	0.4651	0.3519	0.3405
0.14	0.0957	0.0724	0.0701	0.69	0.4719	0.3571	0.3455
0.15	0.1026	0.0776	0.0751	0.70	0.4788	0.3623	0.3505
0.16	0.1094	0.0828	0.0801	0.71	0.4856	0.3675	0.3555
0.17	0.1162	0.0879	0.0851	0.72	0.4925	0.3727	0.3606
0.18	0.1231	0.0931	0.0901	0.73	0.4993	0.3778	0.3656
0.19	0.1299	0.0983	0.0951	0.74	0.5061	0.3830	0.3706
0.20	0.1368	0.1035	0.1002	0.75	0.5130	0.3882	0.3756
0.21	0.1436	0.1087	0.1052	0.76	0.5198	0.3934	0.3806
0.22	0.1504	0.1138	0.1102	0.77	0.5267	0.3985	0.3856
0.23	0.1573	0.1190	0.1152	0.78	0.5335	0.4037	0.3906
0.24	0.1641	0.1242	0.1202	0.79	0.5403	0.4089	0.3956
0.25	0.1710	0.1294	0.1252	0.80	0.5472	0.4141	0.4006
0.26	0.1778	0.1345	0.1302	0.81	0.5540	0.4192	0.4056
0.27	0.1846	0.1397	0.1352	0.82	0.5609	0.4244	0.4106
0.28	0.1915	0.1449	0.1402	0.83	0.5677	0.4296	0.4156
0.29	0.1983	0.1501	0.1452	0.84	0.5745	0.4348	0.4206
0.30	0.2052	0.1552	0.1502	0.85	0.5814	0.4399	0.4256
0.31	0.2120	0.1604	0.1552	0.86	0.5882	0.4451	0.4307
0.32	0.2188	0.1656	0.1602	0.87	0.5951	0.4503	0.4357
0.33	0.2257	0.1708	0.1653	0.88	0.6019	0.4555	0.4407
0.34	0.2325	0.1759	0.1703	0.89	0.6087	0.4606	0.4457
0.35	0.2394	0.1811	0.1753	0.90	0.6156	0.4658	0.4507
0.36	0.2462	0.1863	0.1803	0.91	0.6224	0.4710	0.4557
0.37	0.2530	0.1915	0.1853	0.92	0.6293	0.4762	0.4607
0.38	0.2599	0.1967	0.1903	0.93	0.6361	0.4814	0.4657
0.39	0.2667	0.2018	0.1953	0.94	0.6429	0.4865	0.4707
0.40	0.2736	0.2070	0.2003	0.95	0.6498	0.4917	0.4757
0.41	0.2804	0.2122	0.2053	0.96	0.6566	0.4969	0.4807
0.42	0.2872	0.2174	0.2103	0.97	0.6635	0.5021	0.4857
0.43	0.2941	0.2225	0.2153	0.98	0.6703	0.5072	0.4907
0.44	0.3009	0.2277	0.2203	0.99	0.6771	0.5124	0.4958
0.45	0.3078	0.2329	0.2253	1.00	0.6840	0.5176	0.5008
0.46	0.3146	0.2381	0.2303	1.01	0.6908	0.5228	0.5058
0.47	0.3214	0.2432	0.2354	1.02	0.6977	0.5279	0.5108
0.48	0.3283	0.2484	0.2404	1.03	0.7045	0.5331	0.5158
0.49	0.3351	0.2536	0.2454	1.04	0.7114	0.5383	0.5208
0.50	0.3420	0.2588	0.2504	1.05	0.7182	0.5435	0.5258
0.51	0.3488	0.2639	0.2554	1.06	0.7250	0.5486	0.5308
0.52	0.3557	0.2691	0.2604	1.07	0.7319	0.5538	0.5358
0.53	0.3625	0.2743	0.2654	1.08	0.7387	0.5590	0.5408
0.54	0.3693	0.2795	0.2704	1.09	0.7456	0.5642	0.5458
0.55	0.3762	0.2847	0.2754	1.10	0.7524	0.5694	0.5508

（续）

xm	$2xm\sin\alpha$			xm	$2xm\sin\alpha$		
	$\alpha=20°$	$\alpha=15°$	$\alpha=14\frac{1°}{2}$		$\alpha=20°$	$\alpha=15°$	$\alpha=14\frac{1°}{2}$
1.11	0.7592	0.5745	0.5558	3.50	2.3941	1.8117	1.7527
1.12	0.7661	0.5797	0.5609	3.55	2.4283	1.8376	1.7777
1.13	0.7729	0.5849	0.5659	3.60	2.4625	1.8635	1.8027
1.14	0.7798	0.5901	0.5709	3.65	2.4967	1.8893	1.8278
1.15	0.7866	0.5952	0.5759	3.70	2.5309	1.9152	1.8528
1.16	0.7934	0.6004	0.5809	3.75	2.5651	1.9411	1.8779
1.17	0.8003	0.6056	0.5859	3.80	2.5993	1.9670	1.9029
1.18	0.8071	0.6108	0.5909	3.85	2.6335	1.9929	1.9279
1.19	0.8140	0.6159	0.5959	3.90	2.6677	2.0187	1.9530
1.20	0.8208	0.6211	0.6009	3.95	2.7019	2.0446	1.9780
1.25	0.8550	0.6470	0.6260	4.00	2.7361	2.0705	2.0030
1.30	0.8892	0.6729	0.6510	4.05	2.7703	2.0964	2.0281
1.35	0.9234	0.6988	0.6760	4.10	2.8045	2.1223	2.0531
1.40	0.9576	0.7246	0.7011	4.15	2.8387	2.1482	2.0782
1.45	0.9918	0.7505	0.7261	4.20	2.8729	2.1740	2.1032
1.50	1.0260	0.7764	0.7511	4.25	2.9071	2.1999	2.1282
1.55	1.0602	0.8023	0.7762	4.30	2.9413	2.2258	2.1533
1.60	1.0944	0.8282	0.8012	4.35	2.9755	2.2517	2.1783
1.65	1.1286	0.8541	0.8263	4.40	3.0097	2.2776	2.2033
1.70	1.1628	0.8799	0.8513	4.45	3.0439	2.3034	2.2284
1.75	1.1970	0.9058	0.8763	4.50	3.0781	2.3293	2.2534
1.80	1.2312	0.9317	0.9014	4.55	3.1123	2.3552	2.2785
1.85	1.2654	0.9576	0.9264	4.60	3.1465	2.3811	2.3035
1.90	1.2996	0.9835	0.9514	4.65	3.1807	2.4070	2.3285
1.95	1.3338	1.0093	0.9765	4.70	3.2149	2.4329	2.3536
2.00	1.3680	1.0352	1.0015	4.75	3.2491	2.4587	2.3786
2.05	1.4022	1.0611	1.0266	4.80	3.2833	2.4846	2.4036
2.10	1.4364	1.0870	1.0516	4.85	3.3175	2.5105	2.4287
2.15	1.4706	1.1129	1.0766	4.90	3.3517	2.5364	2.4537
2.20	1.5048	1.1388	1.1017	4.95	3.3859	2.5623	2.4788
2.25	1.5390	1.1646	1.1267	5.00	3.4202	2.5882	2.5038
2.30	1.5732	1.1905	1.1517	5.05	3.4544	2.6140	2.5288
2.35	1.6074	1.2164	1.1768	5.10	3.4886	2.6399	2.5539
2.40	1.6416	1.2423	1.2018	5.15	3.5228	2.6658	2.5789
2.45	1.6758	1.2682	1.2269	5.20	3.5570	2.6917	2.6040
2.50	1.7101	1.2941	1.2519	5.25	3.5912	2.7176	2.6290
2.55	1.7443	1.3199	1.2769	5.30	3.6254	2.7434	2.6540
2.60	1.7785	1.3458	1.3020	5.35	3.6596	2.7693	2.6791
2.65	1.8127	1.3717	1.3270	5.40	3.6938	2.7952	2.7041
2.70	1.8469	1.3976	1.3521	5.45	3.7280	2.8211	2.7291
2.75	1.8811	1.4235	1.3771	5.50	3.7622	2.8470	2.7542
2.80	1.9153	1.4493	1.4021	5.55	3.7964	2.8729	2.7792
2.85	1.9495	1.4752	1.4272	5.60	3.8306	2.8987	2.8043
2.90	1.9837	1.5011	1.4522	5.65	3.8648	2.9246	2.8293
2.95	2.0179	1.5270	1.4772	5.70	3.8990	2.9505	2.8543
3.00	2.0521	1.5529	1.5023	5.75	3.9332	2.9764	2.8794
3.05	2.0863	1.5788	1.5273	5.80	3.9674	3.0023	2.9044
3.10	2.1205	1.6046	1.5524	5.85	4.0016	3.0281	2.9294
3.15	2.1547	1.6305	1.5774	5.90	4.0358	3.0540	2.9545
3.20	2.1889	1.6564	1.6024	5.95	4.0700	3.0799	2.9795
3.25	2.2231	1.6823	1.6275	6.00	4.1042	3.1058	3.0046
3.30	2.2573	1.7082	1.6525	6.05	4.1384	3.1317	3.0296
3.35	2.2915	1.7340	1.6775	6.10	4.1726	3.1576	3.0546
3.40	2.3257	1.7599	1.7026	6.15	4.2068	3.1834	3.0797
3.45	2.3599	1.7858	1.7276	6.20	4.2410	3.2093	3.1047

（续）

xm	$2xm\sin\alpha$			xm	$2xm\sin\alpha$		
	$\alpha=20°$	$\alpha=15°$	$\alpha=14\frac{1°}{2}$		$\alpha=20°$	$\alpha=15°$	$\alpha=14\frac{1°}{2}$
6.25	4.2752	3.2352	3.1298	9.00	6.1563	4.6587	4.5068
6.30	4.3094	3.2611	3.1548	9.05	6.1905	4.6846	4.5319
6.35	4.3436	3.2870	3.1798	9.10	6.2247	4.7105	4.5569
6.40	4.3778	3.3128	3.2049	9.15	6.2589	4.7364	4.5820
6.45	4.4120	3.3387	3.2299	9.20	6.2931	4.7622	4.6070
6.50	4.4462	3.3646	3.2549	9.25	6.3273	4.7881	4.6320
6.55	4.4804	3.3905	3.2800	9.30	6.3615	4.8140	4.6571
6.60	4.5146	3.4164	3.3050	9.35	6.3957	4.8399	4.6821
6.65	4.5488	3.4423	3.3301	9.40	6.4299	4.8658	4.7071
6.70	4.5830	3.4681	3.3551	9.45	6.4641	4.8916	4.7322
6.75	4.6172	3.4940	3.3801	9.50	6.4983	4.9175	4.7572
6.80	4.6514	3.5199	3.4052	9.55	6.5325	4.9434	4.7823
6.85	4.6856	3.5458	3.4302	9.60	6.5667	4.9693	4.8073
6.90	4.7198	3.5717	3.4552	9.65	6.6009	4.9952	4.8323
6.95	4.7540	3.5975	3.4803	9.70	6.6351	5.0211	4.8574
7.00	4.7882	3.6234	3.5053	9.75	6.6693	5.0469	4.8824
7.05	4.8224	3.6493	3.5304	9.80	6.7035	5.0728	4.9074
7.10	4.8566	3.6752	3.5554	9.85	6.7377	5.0987	4.9325
7.15	4.8908	3.7011	3.5804	9.90	6.7719	5.1246	4.9575
7.20	4.9250	3.7270	3.6055	9.95	6.8061	5.1505	4.9826
7.25	4.9592	3.7528	3.6305	10.00	6.8404	5.1764	5.0076
7.30	4.9934	3.7787	3.6555	10.10	6.9088	5.2281	5.0577
7.35	5.0276	3.8046	3.6806	10.20	6.9772	5.2799	5.1078
7.40	5.0618	3.8305	3.7056	10.30	7.0456	5.3316	5.1578
7.45	5.0960	3.8564	3.7307	10.40	7.1140	5.3834	5.2079
7.50	5.1303	3.8823	3.7557	10.50	7.1824	5.4352	5.2580
7.55	5.1645	3.9081	3.7807	10.60	7.2508	5.4869	5.3081
7.60	5.1987	3.9340	3.8058	10.70	7.3192	5.5387	5.3581
7.65	5.2329	3.9599	3.8308	10.80	7.3876	5.5905	5.4082
7.70	5.2671	3.9858	3.8558	10.90	7.4560	5.6422	5.4583
7.75	5.3013	4.0117	3.8809	11.00	7.5244	5.6940	5.5084
7.80	5.3355	4.0375	3.9059	11.10	7.5928	5.7458	5.5584
7.85	5.3697	4.0634	3.9310	11.20	7.6612	5.7975	5.6085
7.90	5.4039	4.0893	3.9560	11.30	7.7296	5.8493	5.6586
7.95	5.4381	4.1152	3.9810	11.40	7.7980	5.9010	5.7087
8.00	5.4723	4.1411	4.0061	11.50	7.8664	5.9528	5.7587
8.05	5.5065	4.1670	4.0311	11.60	7.9348	6.0046	5.8088
8.10	5.5407	4.1928	4.0562	11.70	8.0032	6.0563	5.8589
8.15	5.5749	4.2187	4.0812	11.80	8.0716	6.1081	5.9090
8.20	5.6091	4.2446	4.1062	11.90	8.1400	6.1599	5.9590
8.25	5.6433	4.2705	4.1313	12.00	8.2084	6.2116	6.0091
8.30	5.6775	4.2964	4.1563	12.50	8.5505	6.4705	6.2595
8.35	5.7117	4.3222	4.1813	13.00	8.8925	6.7293	6.5099
8.40	5.7459	4.3481	4.2064	13.50	9.2345	6.9881	6.7603
8.45	5.7801	4.3740	4.2314	14.00	9.5765	7.2469	7.0106
8.50	5.8143	4.3999	4.2565	14.50	9.9185	7.5057	7.2610
8.55	5.8485	4.4258	4.2815	15.00	10.2606	7.7646	7.5114
8.60	5.8827	4.4517	4.3065				
8.65	5.9169	4.4775	4.3316				
8.70	5.9511	4.5034	4.3566				
8.75	5.9853	4.5293	4.3817				
8.80	6.0195	4.5552	4.4067				
8.85	6.0537	4.5811	4.4317				
8.90	6.0880	4.6069	4.4568				
8.95	6.1221	4.6328	4.4818				

表11-6-9 斜齿轮公法线长度计算系数K_k[1] [22]

$$K_k=(k-0.5)\pi\cos\alpha_n$$

k	K_k			k	K_k		
	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$	$\alpha_n=14\frac{1°}{2}$		$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$	$\alpha_n=14\frac{1°}{2}$
1	1.47607	1.51727	1.5208	26	75.27935	77.38091	77.5589
2	4.42820	4.55182	4.5622	27	78.23148	80.41546	80.6004
3	7.38033	7.58636	7.6038	28	81.18362	83.45000	83.6419
4	10.33246	10.62091	10.6453	29	84.13575	86.48455	86.6835
5	13.28459	13.65546	13.6868	30	87.08788	89.51909	89.7250
6	16.23672	16.69000	16.7284	31	90.04001	92.55364	92.7666
7	19.18886	19.72455	19.7699	32	92.99214	95.58818	95.8081
8	22.14099	22.75909	22.8114	33	95.94427	98.62273	98.8496
9	25.09312	25.79364	25.8529	34	98.89640	101.65727	101.8911
10	28.04525	28.82818	28.8945	35	101.84854	104.69182	104.9326
11	30.99738	31.86273	31.9360	36	104.80067	107.72636	107.9742
12	33.94951	34.89727	34.9775	37	107.75280	110.76091	111.0157
13	36.90164	37.93182	38.0191	38	110.70493	113.79546	114.0572
14	39.85378	40.96636	41.0606	39	113.65706	116.83000	117.0988
15	42.80591	44.00091	44.1021	40	116.60919	119.86455	120.1403
16	45.75804	47.03546	47.1436	41	119.56132	122.89909	123.1818
17	48.71017	50.07000	50.1852	42	122.51346	125.93364	126.2233
18	51.66230	53.10455	53.2267	43	125.46559	128.96818	129.2649
19	54.61443	56.13909	56.2682	44	128.41772	132.00273	132.3064
20	57.56656	59.17364	59.3098	45	131.36985	135.03728	135.3479
21	60.51870	62.20818	62.3513	46	134.32198	138.07182	138.3894
22	63.47083	65.24273	65.3928	47	137.27411	141.10637	141.4310
23	66.42296	68.27727	68.4343	48	140.22624	144.14091	144.4725
24	69.37509	71.31182	71.4759	49	143.17838	147.17546	147.5140
25	72.32722	74.34636	74.5174	50	146.13051	150.21000	150.5555

表11-6-10 斜齿轮公法线长度计算系数K_β、K_3[1]

$$K_\beta=\cos\alpha_n\,\mathrm{inv}\alpha_t,\quad K_3=\frac{\mathrm{inv}\alpha_t}{\mathrm{inv}\alpha_n}$$

β	K_β	K_3		β	K_β	K_3	
	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$		$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$
0.00°	0.014006	1.000000	1.000000	5.50°	0.014191	1.013267	1.013558
.10	0.014006	1.000005	1.000006	.60	0.014198	1.013758	1.014061
.20	0.014006	1.000018	1.000020	.70	0.014205	1.014258	1.014571
.30	0.014006	1.000040	1.000041	.80	0.014212	1.014766	1.015092
.40	0.014007	1.000070	1.000072	.90	0.014220	1.015285	1.015622
.50	0.014007	1.000109	1.000112	6.00°	0.014227	1.015812	1.016162
.60	0.014008	1.000157	1.000161	.10	0.014235	1.016349	1.016709
.70	0.014009	1.000213	1.000220	.20	0.014242	1.016894	1.017267
.80	0.014009	1.000278	1.000286	.30	0.014250	1.017450	1.017835
.90	0.014010	1.000353	1.000361	.40	0.014258	1.018014	1.018412
1.00°	0.014012	1.000435	1.000446	.50	0.014266	1.018588	1.018999
.10	0.014013	1.000527	1.000540	.60	0.014274	1.019171	1.019594
.20	0.014014	1.000627	1.000641	.70	0.014282	1.019763	1.020201
.30	0.014016	1.000736	1.000753	.80	0.014291	1.020364	1.020815
.40	0.014017	1.000853	1.000873	.90	0.014299	1.020975	1.021440
.50	0.014019	1.000980	1.001002	7.00°	0.014308	1.021596	1.022074
.60	0.014021	1.001115	1.001140	.10	0.014317	1.022225	1.022718
.70	0.014023	1.001259	1.001286	.20	0.014326	1.022864	1.023371
.80	0.014025	1.001411	1.001442	.30	0.014335	1.023513	1.024033
.90	0.014028	1.001573	1.001608	.40	0.014344	1.024171	1.024706
2.00°	0.014030	1.001742	1.001781	.50	0.014353	1.024838	1.025389
.10	0.014032	1.001921	1.001964	.60	0.014363	1.025515	1.026082
.20	0.014035	1.002109	1.002156	.70	0.014373	1.026202	1.026783
.30	0.014038	1.002305	1.002356	.80	0.014382	1.026897	1.027495
.40	0.014041	1.002510	1.002566	.90	0.014392	1.027603	1.028217
.50	0.014044	1.002724	1.002784	8.00°	0.014402	1.028319	1.028949
.60	0.014047	1.002947	1.003011	.10	0.014412	1.029043	1.029689
.70	0.014050	1.003178	1.003249	.20	0.014423	1.029777	1.030440
.80	0.014053	1.003418	1.003493	.30	0.014433	1.030521	1.031201
.90	0.014057	1.003667	1.003748	.40	0.014444	1.031275	1.031972
3.00°	0.014061	1.003926	1.004012	.50	0.014454	1.032038	1.032752
.10	0.014064	1.004192	1.004285	.60	0.014465	1.032811	1.033544
.20	0.014068	1.004468	1.004566	.70	0.014476	1.033594	1.034344
.30	0.014072	1.004752	1.004857	.80	0.014487	1.034387	1.035156
.40	0.014076	1.005045	1.005156	.90	0.014498	1.035189	1.035977
.50	0.014080	1.005347	1.005465	9.00°	0.014510	1.036001	1.036808
.60	0.014085	1.005658	1.005782	.10	0.014521	1.036823	1.037648
.70	0.014089	1.005978	1.006109	.20	0.014533	1.037655	1.038499
.80	0.014094	1.006307	1.006446	.30	0.014545	1.038497	1.039361
.90	0.014099	1.006644	1.006790	.40	0.014557	1.039350	1.040232
4.00°	0.014103	1.006991	1.007145	.50	0.014569	1.040211	1.041114
.10	0.014108	1.007346	1.007508	.60	0.014581	1.041083	1.042006
.20	0.014114	1.007711	1.007880	.70	0.014593	1.041965	1.042907
.30	0.014119	1.008084	1.008262	.80	0.014606	1.042857	1.043821
.40	0.014124	1.008467	1.008652	.90	0.014618	1.043758	1.044743
.50	0.014130	1.008858	1.009052	10.00°	0.014631	1.044671	1.045676
.60	0.014135	1.009258	1.009462	.10	0.014644	1.045593	1.046621
.70	0.014141	1.009668	1.009830	.20	0.014657	1.046525	1.047574
.80	0.014147	1.010086	1.010308	.30	0.014670	1.047468	1.048540
.90	0.014153	1.010513	1.010743	.40	0.014684	1.048421	1.049514
5.00°	0.014159	1.010949	1.011189	.50	0.014697	1.049383	1.050499
.10	0.014165	1.011395	1.011644	.60	0.014711	1.050357	1.051496
.20	0.014171	1.011849	1.012109	.70	0.014725	1.051341	1.052503
.30	0.014178	1.012312	1.012583	.80	0.014739	1.052334	1.053520
.40	0.014185	1.012785	1.013067	.90	0.014753	1.053339	1.054548

（续）

β	K_β	K_3		β	K_β	K_3	
	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$		$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$
11.00°	0.014767	1.054354	1.055587	17.00°	0.015908	1.135833	1.139109
.10	0.014781	1.055379	1.056636	.10	0.015932	1.137564	1.140884
.20	0.014796	1.056415	1.057696	.20	0.015957	1.139308	1.142675
.30	0.014810	1.057461	1.058768	.30	0.015981	1.141065	1.144479
.40	0.014825	1.058518	1.059851	.40	0.016006	1.142837	1.146297
.50	0.014840	1.059585	1.060943	.50	0.016031	1.144621	1.148130
.60	0.014855	1.060663	1.062048	.60	0.016056	1.146419	1.149976
.70	0.014870	1.061752	1.063161	.70	0.016082	1.148231	1.151836
.80	0.014886	1.062852	1.064288	.80	0.016107	1.150057	1.153711
.90	0.014901	1.063962	1.065425	.90	0.016133	1.151896	1.155600
12.00°	0.014917	1.065083	1.066573	18.00°	0.016159	1.153749	1.157503
.10	0.014933	1.066215	1.067731	.10	0.016185	1.155616	1.159421
.20	0.014949	1.067358	1.068901	.20	0.016211	1.157497	1.161353
.30	0.014965	1.068511	1.070084	.30	0.016238	1.159393	1.163300
.40	0.014981	1.069675	1.071275	.40	0.016265	1.161302	1.165262
.50	0.014998	1.070852	1.072479	.50	0.016292	1.163226	1.167238
.60	0.015014	1.072037	1.073695	.60	0.016319	1.165164	1.169230
.70	0.015031	1.073236	1.074921	.70	0.016346	1.167116	1.171235
.80	0.015048	1.074444	1.076160	.80	0.016374	1.169083	1.173256
.90	0.015065	1.075664	1.077409	.90	0.016401	1.171064	1.175292
13.00°	0.015082	1.076895	1.078671	19.00°	0.016429	1.173060	1.177344
.10	0.015100	1.078137	1.079942	.10	0.016457	1.175070	1.179409
.20	0.015117	1.079391	1.081227	.20	0.016486	1.177096	1.181490
.30	0.015135	1.080655	1.082523	.30	0.016514	1.179135	1.183588
.40	0.015153	1.081932	1.083830	.40	0.016543	1.181190	1.185700
.50	0.015171	1.083219	1.085149	.50	0.016572	1.183260	1.187827
.60	0.015189	1.084518	1.086481	.60	0.016601	1.185345	1.189972
.70	0.015208	1.085828	1.087822	.70	0.016631	1.187446	1.192131
.80	0.015226	1.087150	1.089178	.80	0.016660	1.189560	1.194306
.90	0.015249	1.088484	1.090544	.90	0.016690	1.191691	1.196496
14.00°	0.015264	1.089829	1.091923	20.00°	0.016720	1.193837	1.198704
.10	0.015283	1.091186	1.093314	.10	0.016751	1.195998	1.200927
.20	0.015302	1.092555	1.094717	.20	0.016781	1.198175	1.203166
.30	0.015321	1.093935	1.096132	.30	0.016812	1.200368	1.205421
.40	0.015341	1.095327	1.097558	.40	0.016843	1.202576	1.207691
.50	0.015360	1.096731	1.098997	.50	0.016874	1.204800	1.209979
.60	0.015380	1.098146	1.100449	.60	0.016905	1.207039	1.212283
.70	0.015400	1.099574	1.101912	.70	0.016937	1.209295	1.214605
.80	0.015420	1.101014	1.103389	.80	0.016969	1.211567	1.216942
.90	0.015441	1.102466	1.104877	.90	0.017001	1.213855	1.219297
15.00°	0.015461	1.103930	1.106377	21.00°	0.017033	1.216159	1.221667
.10	0.015482	1.105406	1.107891	.10	0.017065	1.218479	1.224056
.20	0.015503	1.106894	1.109418	.20	0.017098	1.220816	1.226461
.30	0.015524	1.108395	1.110956	.30	0.017131	1.223169	1.228884
.40	0.015545	1.109908	1.112508	.40	0.017164	1.225539	1.231323
.50	0.015566	1.111433	1.114072	.50	0.017198	1.227926	1.233780
.60	0.015588	1.112971	1.115649	.60	0.017231	1.230329	1.236255
.70	0.015609	1.114521	1.117240	.70	0.017265	1.232749	1.238746
.80	0.015631	1.116083	1.118843	.80	0.017299	1.235187	1.241257
.90	0.015653	1.117659	1.120458	.90	0.017334	1.237640	1.243784
16.00°	0.015676	1.119247	1.122087	22.00°	0.017368	1.240111	1.246328
.10	0.015698	1.120847	1.123729	.10	0.017403	1.242600	1.248893
.20	0.015721	1.122461	1.125385	.20	0.017438	1.245106	1.251473
.30	0.015743	1.124086	1.127053	.30	0.017474	1.247629	1.254073
.40	0.015766	1.125725	1.128734	.40	0.017509	1.250170	1.256691
.50	0.015790	1.127377	1.130430	.50	0.017545	1.252728	1.259327
.60	0.015813	1.129043	1.132138	.60	0.017581	1.255305	1.261981
.70	0.015836	1.130720	1.133860	.70	0.017618	1.257899	1.264654
.80	0.015860	1.132411	1.135596	.80	0.017654	1.260511	1.267347
.90	0.015884	1.134116	1.137344	.90	0.017691	1.263141	1.270058

（续）

β	K_β	K_3		β	K_β	K_3	
	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$		$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$
23.00°	0.017728	1.265789	1.272786	29.00°	0.020484	1.462572	1.476256
.10	0.017765	1.268455	1.275536	.10	0.020540	1.466573	1.480404
.20	0.017803	1.271140	1.278303	.20	0.020597	1.470601	1.484583
.30	0.017841	1.273844	1.281090	.30	0.020653	1.474656	1.488790
.40	0.017879	1.276566	1.283897	.40	0.020711	1.478738	1.493026
.50	0.017917	1.279306	1.286723	.50	0.020768	1.482849	1.497289
.60	0.017956	1.282066	1.289569	.60	0.020826	1.486987	1.501585
.70	0.017995	1.284844	1.292436	.70	0.020884	1.491153	1.505909
.80	0.018034	1.287642	1.295820	.80	0.020943	1.495347	1.510262
.90	0.018074	1.290459	1.298226	.90	0.021002	1.499569	1.514646
24.00°	0.018113	1.293294	1.301151	30.00°	0.021062	1.503820	1.519059
.10	0.018153	1.296150	1.304098	.10	0.021122	1.508100	1.523503
.20	0.018194	1.299025	1.307064	.20	0.021182	1.512409	1.527978
.30	0.018234	1.301919	1.310051	.30	0.021243	1.516747	1.532486
.40	0.018275	1.304833	1.313057	.40	0.021304	1.521115	1.537022
.50	0.018316	1.307767	1.316087	.50	0.021366	1.525512	1.541590
.60	0.018357	1.310721	1.319136	.60	0.021428	1.529939	1.546192
.70	0.018399	1.313695	1.322206	.70	0.021490	1.534396	1.550823
.80	0.018441	1.316689	1.325297	.80	0.021553	1.538884	1.555486
.90	0.018483	1.319705	1.328411	.90	0.021616	1.543401	1.560184
25.00°	0.018526	1.322740	1.331544	31.00°	0.021680	1.547950	1.564913
.10	0.018569	1.325796	1.334700	.10	0.021744	1.552530	1.569674
.20	0.018612	1.328872	1.337878	.20	0.021809	1.557140	1.574469
.30	0.018655	1.331970	1.341078	.30	0.021874	1.561782	1.579297
.40	0.018699	1.335089	1.344299	.40	0.021939	1.566456	1.584159
.50	0.018743	1.338228	1.347543	.50	0.022005	1.571162	1.589053
.60	0.018787	1.341390	1.350808	.60	0.022071	1.575899	1.593984
.70	0.018831	1.344572	1.354098	.70	0.022138	1.580669	1.598946
.80	0.018876	1.347776	1.357408	.80	0.022205	1.585472	1.603945
.90	0.018922	1.351002	1.360742	.90	0.022273	1.590307	1.608979
26.00°	0.018967	1.354249	1.364098	32.00°	0.022341	1.595176	1.614048
.10	0.019013	1.357518	1.367479	.10	0.022410	1.600077	1.619150
.20	0.019059	1.360810	1.370880	.20	0.022479	1.605012	1.624290
.30	0.019105	1.364124	1.374308	.30	0.022549	1.609981	1.629466
.40	0.019152	1.367460	1.377757	.40	0.022619	1.614984	1.634678
.50	0.019199	1.370819	1.381232	.50	0.022689	1.620022	1.639925
.60	0.019246	1.374201	1.384728	.60	0.022760	1.625093	1.645210
.70	0.019294	1.377604	1.388250	.70	0.022832	1.630200	1.650532
.80	0.019342	1.381032	1.391795	.80	0.022904	1.635342	1.655891
.90	0.019390	1.384482	1.395366	.90	0.022976	1.640520	1.660288
27.00°	0.019439	1.387956	1.398959	33.00°	0.023049	1.645732	1.666722
.10	0.019488	1.391453	1.402579	.10	0.023123	1.650981	1.672196
.20	0.019537	1.394974	1.406221	.20	0.023197	1.656265	1.677707
.30	0.019587	1.398519	1.409890	.30	0.023271	1.661587	1.683258
.40	0.019637	1.402087	1.413584	.40	0.023346	1.666945	1.688847
.50	0.019687	1.405680	1.417305	.50	0.023422	1.672340	1.694476
.60	0.019738	1.409297	1.421048	.60	0.023498	1.677773	1.700145
.70	0.019789	1.412938	1.424819	.70	0.023575	1.683243	1.705854
.80	0.019840	1.416604	1.428616	.80	0.023652	1.688751	1.711604
.90	0.019892	1.420295	1.432438	.90	0.023730	1.694297	1.717394
28.00°	0.019944	1.424010	1.436286	34.00°	0.023808	1.699881	1.723224
.10	0.019996	1.427751	1.440161	.10	0.023887	1.705504	1.729097
.20	0.020049	1.431517	1.444063	.20	0.023966	1.711166	1.735011
.30	0.020102	1.435308	1.447990	.30	0.024046	1.716867	1.740967
.40	0.020156	1.439125	1.451946	.40	0.024126	1.722609	1.746966
.50	0.020210	1.442966	1.455929	.50	0.024207	1.728390	1.753008
.60	0.020264	1.446835	1.459939	.60	0.024289	1.734212	1.759091
.70	0.020318	1.450730	1.463976	.70	0.024371	1.740074	1.765220
.80	0.020373	1.454651	1.468041	.80	0.024453	1.745977	1.771393
.90	0.020428	1.458598	1.472134	.90	0.024537	1.751921	1.777607

（续）

β	K_β	K_a		β	K_β	K_a	
	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$		$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=20°$	$\alpha_n=15°$
35.00°	0.024620	1.757907	1.783869	41.00°	0.030921	2.207797	2.257285
.10	0.024705	1.763935	1.790174	.10	0.031052	2.217095	2.267127
.20	0.024790	1.770005	1.796525	.20	0.031183	2.226464	2.277046
.30	0.024876	1.776118	1.802920	.30	0.031315	2.235902	2.287043
.40	0.024962	1.782273	1.809363	.40	0.031448	2.245412	2.297117
.50	0.025049	1.788472	1.815853	.50	0.031582	2.254996	2.307272
.60	0.025136	1.794715	1.822388	.60	0.031718	2.264650	2.317505
.70	0.025224	1.801001	1.828970	.70	0.031854	2.274380	2.327819
.80	0.025313	1.807332	1.835600	.80	0.031991	2.284182	2.338213
.90	0.025402	1.813708	1.842279	.90	0.032130	2.294059	2.348688
36.00°	0.025492	1.820128	1.849005	42.00°	0.032269	2.304013	2.359246
.10	0.025582	1.826594	1.855781	.10	0.032409	2.314041	2.369888
.20	0.025674	1.833106	1.862605	.20	0.032551	2.324147	2.380614
.30	0.025766	1.839663	1.869479	.30	0.032694	2.334331	2.391426
.40	0.025858	1.846268	1.876402	.40	0.032837	2.344592	2.402322
.50	0.025951	1.852919	1.883377	.50	0.032982	2.354932	2.413306
.60	0.026045	1.859618	1.890403	.60	0.033128	2.365352	2.424376
.70	0.026139	1.866364	1.897480	.70	0.033275	2.375853	2.435536
.80	0.026235	1.873159	1.904608	.80	0.033423	2.386435	2.446784
.90	0.026330	1.880001	1.911789	.90	0.033573	2.397098	2.458124
37.00°	0.026427	1.886893	1.919022	43.00°	0.033723	2.407845	2.469552
.10	0.026524	1.893834	1.926308	.10	0.033875	2.418674	2.481073
.20	0.026622	1.900824	1.933648	.20	0.034028	2.429588	2.492686
.30	0.026721	1.907865	1.941042	.30	0.034182	2.440587	2.504392
.40	0.026820	1.914956	1.948489	.40	0.034337	2.451672	2.516194
.50	0.026920	1.922099	1.955994	.50	0.034493	2.462843	2.528092
.60	0.027021	1.929293	1.963552	.60	0.034651	2.474102	2.540084
.70	0.027122	1.936537	1.971167	.70	0.034810	2.485449	2.552176
.80	0.027224	1.943835	1.978837	.80	0.034970	2.496885	2.564365
.90	0.027327	1.951185	1.986565	.90	0.035132	2.508412	2.576651
38.00°	0.027431	1.958589	1.994349	44.00°	0.035294	2.520029	2.589042
.10	0.027536	1.966046	2.002194	.10	0.035458	2.531737	2.601503
.20	0.027641	1.973557	2.010095	.20	0.035624	2.543539	2.614122
.30	0.027747	1.981122	2.018054	.30	0.035790	2.555434	2.626817
.40	0.027853	1.988742	2.026074	.40	0.035958	2.567422	2.639613
.50	0.027961	1.996418	2.034154	.50	0.036127	2.579508	2.652522
.60	0.028069	2.004150	2.042294	.60	0.036298	2.591687	2.665532
.70	0.028178	2.011938	2.050494	.70	0.036470	2.603965	2.678651
.80	0.028288	2.019782	2.058756	.80	0.036643	2.616341	2.691878
.90	0.028399	2.027685	2.067082	.90	0.036818	2.628816	2.705216
39.00°	0.028510	2.035645	2.075469	45.00°	0.036994	2.641391	2.718664
.10	0.028623	2.043663	2.083920				
.20	0.028736	2.051740	2.092434				
.30	0.028850	2.059877	2.101013				
.40	0.028964	2.068073	2.109656				
.50	0.029080	2.076330	2.118365				
.60	0.029197	2.084648	2.127141				
.70	0.029314	2.093026	2.135983				
.80	0.029432	2.101467	2.144893				
.90	0.029551	2.109971	2.153870				
40.00°	0.029671	2.118537	2.162914				
.10	0.029792	2.127167	2.172030				
.20	0.029914	2.135862	2.181216				
.30	0.030037	2.144621	2.190470				
.40	0.030160	2.153445	2.199797				
.50	0.030285	2.162336	2.209194				
.60	0.030410	2.171293	2.218666				
.70	0.030537	2.180316	2.228207				
.80	0.030664	2.189408	2.237826				
.90	0.030792	2.198568	2.247517				

表11-8-11 斜齿轮公法线长度计算系数K_s

$$\left(\alpha_n = 14\frac{1^\circ}{2}\right)$$

$$K_s = \frac{\text{inv}\alpha_t}{\text{inv}\alpha_n}$$

β	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0°	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1°	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
2°	1.002	1.002	1.003	1.003	1.003	1.004
3°	1.004	1.005	1.005	1.006	1.006	1.007
4°	1.007	1.008	1.008	1.009	1.010	1.011
5°	1.011	1.012	1.013	1.014	1.015	1.015
6°	1.016	1.017	1.018	1.019	1.020	1.021
7°	1.022	1.023	1.024	1.026	1.027	1.028
8°	1.029	1.030	1.032	1.033	1.034	1.035
9°	1.037	1.038	1.039	1.041	1.043	1.044
10°	1.046	1.048	1.049	1.050	1.052	1.054
11°	1.056	1.058	1.060	1.061	1.063	1.065
12°	1.067	1.069	1.071	1.073	1.074	1.076
13°	1.079	1.081	1.083	1.085	1.088	1.090
14°	1.092	1.094	1.097	1.099	1.102	1.104
15°	1.107	1.109	1.111	1.114	1.117	1.119
16°	1.122	1.125	1.128	1.131	1.133	1.136
17°	1.139	1.142	1.145	1.148	1.151	1.154
18°	1.158	1.161	1.164	1.167	1.170	1.174
19°	1.177	1.181	1.184	1.188	1.191	1.195
20°	1.199	1.203	1.206	1.210	1.213	1.217
21°	1.222	1.226	1.229	1.234	1.238	1.242
22°	1.246	1.250	1.254	1.259	1.263	1.268
23°	1.273	1.277	1.282	1.287	1.291	1.296
24°	1.301	1.306	1.311	1.316	1.321	1.326
25°	1.332	1.337	1.343	1.348	1.354	1.359
26°	1.365	1.371	1.376	1.382	1.387	1.393
27°	1.399	1.405	1.411	1.417	1.423	1.430
28°	1.436	1.443	1.449	1.456	1.463	1.469
29°	1.477	1.484	1.491	1.499	1.506	1.513
30°	1.520	1.528	1.535	1.543	1.551	1.559
31°	1.566	1.574	1.582	1.591	1.599	1.607
32°	1.615	1.624	1.633	1.642	1.651	1.660
33°	1.669	1.678	1.687	1.696	1.705	1.715
34°	1.725	1.735	1.745	1.755	1.765	1.775
35°	1.786	1.796	1.807	1.818	1.829	1.840
36°	1.852	1.863	1.874	1.886	1.898	1.910
37°	1.922	1.935	1.947	1.959	1.972	1.985
38°	1.998	2.011	2.024	2.038	2.051	2.065
39°	2.079	2.093	2.107	2.122	2.137	2.152
40°	2.167	2.182	2.197	2.213	2.229	2.245
41°	2.262	2.279	2.295	2.312	2.330	2.348
42°	2.366	2.383	2.401	2.419	2.437	2.456
43°	2.475	2.494	2.514	2.534	2.555	2.575
44°	2.595	2.616	2.637	2.659	2.682	2.704
45°	2.726	2.749	2.772	2.795	2.819	2.843
46°	2.867	2.892	2.917	2.943	2.969	2.995
47°	3.021	3.048	3.074	3.100	3.130	3.159
48°	3.189	3.219	3.249	3.279	3.309	3.339

注：本表系根据上海江南造船厂动力科的资料制订的。

表11-6-12 斜齿轮公法线长度计算系数K_β[1]（$\alpha_n=15°$）

$K_\beta=\cos\alpha_n \mathrm{inv}\alpha_t$

β	0′	10′	20′	30′	40′	50′	1′	2′	3′	4′	5′
0°	0.00594										
3°	0.00597	0.00597	0.00597	0.00597	0.00598	0.00598					
4°	598	598	599	599	600	600					
5°	601	601	602	602	603	603					
6°	0.00604	0.00604	0.00605	0.00606	0.00606	0.00607					
7°	607	608	609	609	610	611					
8°	611	612	613	614	614	615					
9°	616	617	618	618	619	620					
10°	621	622	623	624	625	626					
11°	0.00628	0.00629	0.00630	0.00631	0.00632	0.00633					
12°	634	635	636	638	639	640					
13°	641	642	644	645	646	648					
14°	649	651	652	654	655	656					
15°	657	659	661	662	664	666					1
16°	0.00667	0.00669	0.00671	0.00672	0.00674	0.00676					1
17°	677	678	680	682	683	685					1
18°	687	689	691	693	695	697				1	1
19°	699	701	704	706	708	710				1	1
20°	712	714	716	718	721	723				1	1
21°	0.00726	0.00728	0.00730	0.00733	0.00735	0.00738			1	1	1
22°	740	743	745	748	751	753			1	1	1
23°	756	758	760	763	766	769		1	1	1	2
24°	772	775	779	782	785	788		1	1	1	2
25°	791	794	798	801	804	808		1	1	1	2
26°	0.00811	0.00814	0.00817	0.00821	0.00824	0.00827		1	1	1	2
27°	831	835	839	843	847	850		1	1	1	2
28°	853	857	860	864	868	872		1	1	1	2
29°	876	880	885	889	893	898		1	1	2	2
30°	902	906	910	914	918	923	1	1	1	2	2
31°	0.00928	0.00932	0.00937	0.00943	0.00948	0.00953	1	1	1	2	2
32°	957	963	969	974	979	985	1	1	1	2	3
33°	989	995	1001	1006	1012	1017	1	1	1	2	3
34°	1023	1029	1034	1040	1046	1052	1	1	1	2	3
35°	1058	1064	1071	1078	1084	1091	1	1	2	2	3
36°	0.01098	0.01104	0.01111	0.01118	0.01124	0.01131	1	1	2	3	3
37°	1139	1146	1154	1161	1169	1176	1	1	2	3	4
38°	1184	1192	1200	1208	1216	1224	1	1	2	3	4
39°	1232	1241	1249	1258	1267	1276	1	1	2	3	4
40°	1285	1294	1303	1313	1322	1331	1	2	3	4	4
41°	0.01341	0.01351	0.01361	0.01371	0.01381	0.01391	1	2	3	4	5
42°	1402	1412	1423	1433	1444	1454	1	2	3	4	5
43°	1465	1477	1489	1501	1513	1525	1	2	3	5	6
44°	1537	1550	1564	1576	1589	1602	1	2	4	5	7
45°	1614	1629	1643	1657	1671	1685	1	2	4	5	7
46°	0.01698	0.01714	0.01729	0.01744	0.01759	0.01774	1	3	4	6	7
47°	1789	1804	1821	1838	1855	1872	2	3	5	6	8
48°	1889	1906	1924	1942	1961	1978	2	3	5	7	9

表11-6-13 斜齿轮公法线长度计算系数K_β[223] ($\alpha_n = 14^1/_2°$)

$$K_\beta = \cos\alpha_n \text{inv}\alpha_t$$

β	0′	10′	20′	30′	40′	50′	1′	2′	3′	4′	5′
0°	0.00537										
3°	0.00539	0.00539	0.00539	0.00540	0.00540	0.00540					
4°	0.00541	0.00541	0.00541	0.00542	0.00542	0.00543					
5°	0.00543	0.00543	0.00544	0.00544	0.00545	0.00545					
6°	0.00546	0.00546	0.00547	0.00547	0.00548	0.00548					
7°	0.00549	0.00549	0.00550	0.00551	0.00551	0.00552					
8°	0.00552	0.00553	0.00554	0.00554	0.00555	0.00556					
9°	0.00556	0.00557	0.00558	0.00559	0.00559	0.00560					
10°	0.00561	0.00562	0.00563	0.00564	0.00565	0.00566					
11°	0.00567	0.00568	0.00569	0.00570	0.00571	0.00572					
12°	0.00573	0.00574	0.00575	0.00576	0.00577	0.00578					
13°	0.00579	0.00581	0.00582	0.00583	0.00584	0.00585					
14°	0.00586	0.00588	0.00589	0.00590	0.00592	0.00593					
15°	0.00594	0.00595	0.00597	0.00598	0.00600	0.00601					1
16°	0.00603	0.00604	0.00606	0.00607	0.00608	0.00610					1
17°	0.00612	0.00613	0.00615	0.00616	0.00618	0.00620					1
18°	0.00621	0.00623	0.00625	0.00626	0.00628	0.00630				1	1
19°	0.00632	0.00634	0.00636	0.00637	0.00639	0.00641				1	1
20°	0.00643	0.00645	0.00647	0.00650	0.00651	0.00653				1	1
21°	0.00655	0.00657	0.00659	0.00662	0.00664	0.00666			1	1	1
22°	0.00669	0.00671	0.00673	0.00675	0.00677	0.00680			1	1	1
23°	0.00683	0.00685	0.00688	0.00690	0.00693	0.00695		1	1	1	1
24°	0.00699	0.00701	0.00704	0.00707	0.00709	0.00712		1	1	1	2
25°	0.00715	0.00718	0.00721	0.00724	0.00727	0.00730		1	1	1	2
26°	0.00733	0.00736	0.00739	0.00742	0.00745	0.00748		1	1	1	2
27°	0.00751	0.00754	0.00757	0.00761	0.00764	0.00767		1	1	1	2
28°	0.00771	0.00774	0.00778	0.00782	0.00785	0.00789		1	1	1	2
29°	0.00792	0.00797	0.00801	0.00805	0.00809	0.00813		1	1	2	2
30°	0.00817	0.00821	0.00825	0.00829	0.00834	0.00837		1	1	2	2
31°	0.00841	0.00845	0.00849	0.00853	0.00858	0.00862		1	1	2	2
32°	0.00867	0.00871	0.00876	0.00881	0.00885	0.00890		1	1	2	2
33°	0.00895	0.00900	0.00905	0.00910	0.00915	0.00920	1	1	1	2	2
34°	0.00925	0.00930	0.00936	0.00941	0.00947	0.00952	1	1	1	2	3
35°	0.00958	0.00964	0.00969	0.00975	0.00981	0.00987	1	1	2	2	3
36°	0.00992	0.00998	0.01005	0.01011	0.01018	0.01024	1	1	2	2	3
37°	0.01031	0.01038	0.01044	0.01051	0.01058	0.01065	1	1	2	3	3
38°	0.01072	0.01079	0.01086	0.01094	0.01101	0.01108	1	1	2	3	4
39°	0.01116	0.01124	0.01131	0.01139	0.01147	0.01155	1	1	2	3	4
40°	0.01163	0.01171	0.01180	0.01188	0.01197	0.01205	1	1	2	3	4
41°	0.01214	0.01223	0.01232	0.01241	0.01250	0.01259	1	2	3	4	5
42°	0.01268	0.01278	0.01288	0.01298	0.01308	0.01318	1	2	3	4	5
43°	0.01329	0.01339	0.01350	0.01361	0.01372	0.01382	1	2	3	5	6
44°	0.01393	0.01404	0.01416	0.01428	0.01440	0.01452	1	2	3	5	6
45°	0.01464	0.01476	0.01489	0.01502	0.01514	0.01526	1	2	4	5	6
46°	0.01539	0.01552	0.01566	0.01580	0.01593	0.01607	1	2	4	5	7
47°	0.01621	0.01636	0.01651	0.01666	0.01681	0.01696	2	3	5	6	8
48°	0.01712	0.01728	0.01744	0.01761	0.01777	0.01793	2	3	5	6	8

表11-6-14　当量齿数z_v尾数部分公法线长度值[22]

($\alpha_n=20°$，$m_n=1$)　　(mm)

z_v	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	0.0050	0.0052	0.0053	0.0055
0.4	0.0056	0.0057	0.0059	0.0060	0.0062	0.0063	0.0064	0.0066	0.0067	0.0069
0.5	0.0070	0.0071	0.0073	0.0074	0.0076	0.0077	0.0078	0.0080	0.0081	0.0083
0.6	0.0084	0.0085	0.0087	0.0088	0.0090	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	0.0113	0.0115	0.0116	0.0118	0.0119	0.0120	0.0122	0.0123	0.0125
0.9	0.0126	0.0127	0.0129	0.0130	0.0132	0.0133	0.0134	0.0136	0.0137	0.0139

表11-6-15　当量齿数z_v尾数部分公法线长度值

($\alpha_n=15°$，$m_n=1$)　　(mm)

z_v	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	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005
0.1	0.0006	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011
0.2	0.0012	0.0013	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0016	0.0016	0.0017	0.0017
0.3	0.0018	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0021	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023
0.4	0.0024	0.0025	0.0025	0.0026	0.0026	0.0027	0.0028	0.0028	0.0029	0.0029
0.5	0.0030	0.0031	0.0031	0.0032	0.0032	0.0033	0.0034	0.0034	0.0035	0.0035
0.6	0.0036	0.0037	0.0037	0.0038	0.0038	0.0039	0.0040	0.0040	0.0041	0.0041
0.7	0.0042	0.0043	0.0043	0.0044	0.0044	0.0045	0.0046	0.0046	0.0047	0.0047
0.8	0.0048	0.0049	0.0049	0.0050	0.0050	0.0051	0.0052	0.0052	0.0053	0.0053
0.9	0.0054	0.0055	0.0055	0.0056	0.0056	0.0057	0.0058	0.0058	0.0059	0.0059

表11-6-16　当量齿数z_v尾数部分公法线长度值

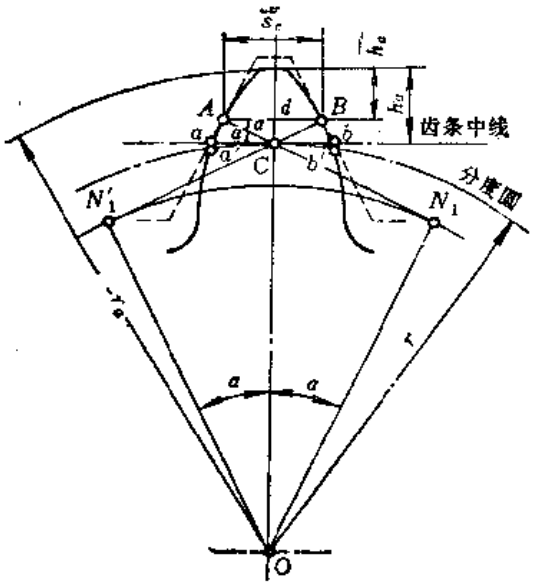
($\alpha_n=14^1/_2°$，$m_n=1$)　　(mm)

z_v	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	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005
0.1	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0010	0.0010
0.2	0.0010	0.0011	0.0012	0.0012	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0016
0.3	0.0016	0.0017	0.0017	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0021
0.4	0.0022	0.0022	0.0023	0.0023	0.0024	0.0024	0.0025	0.0025	0.0026	0.0026
0.5	0.0027	0.0028	0.0028	0.0029	0.0029	0.0030	0.0030	0.0031	0.0031	0.0032
0.6	0.0032	0.0033	0.0033	0.0034	0.0035	0.0035	0.0036	0.0036	0.0037	0.0037
0.7	0.0038	0.0038	0.0039	0.0039	0.0040	0.0041	0.0041	0.0042	0.0042	0.0043
0.8	0.0043	0.0044	0.0044	0.0045	0.0045	0.0046	0.0046	0.0047	0.0048	0.0048
0.9	0.0049	0.0049	0.0050	0.0050	0.0051	0.0051	0.0052	0.0052	0.0053	0.0053

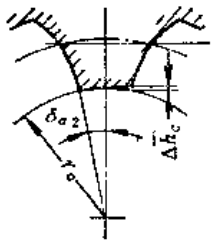
（三）固定弦齿厚的计算

固定弦齿厚$\bar{s}_c$和固定弦齿高$\bar{h}_c$的计算公式如表11-6-17所示，其值列于表11-6-18、19。

表11-6-17　固定弦齿厚$\bar{s}_c$和固定弦齿高$\bar{h}_c$的计算公式



a）外齿轮



b）内齿轮

项目		一般公式	简化计算公式及数表号				
直齿轮	标准齿	$\bar{s}_c=\frac{\pi m}{2}\cos^2\alpha$ $\bar{h}_c=\left(h_a^*-\frac{\pi}{8}\sin 2\alpha\right)m$	α	h_a^*	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	表号
			20°	1	1.38705 m	0.74758 m	表11-6-18
			20°	0.8	1.38705 m	0.54758 m	
			15°	1	1.46557 m	0.80365 m	表11-6-18
			14½°	1	1.47232 m	0.80962 m	表11-6-18
	变位齿	$\bar{s}_c=m\left(\frac{\pi}{2}\cos^2\alpha\pm x\sin 2\alpha\right)$ $\bar{h}_c=\frac{\pm d_a\mp d}{2}-\frac{1}{2}\bar{s}_c\operatorname{tg}\alpha$	α	$\bar{s}_c$		$\bar{h}_c$	表号
			20°	$(1.38705\pm 0.64279x)m$		$\frac{\pm d_a\mp d}{2}-0.18199\bar{s}_c$	表11-6-19
			15°	$(1.46557\pm 0.5x)m$		$\frac{\pm d_a\mp d}{2}-0.13397\bar{s}_c$	
			14½°	$(1.47232\pm 0.48481x)m$		$\frac{\pm d_a\mp d}{2}-0.12931\bar{s}_c$	

（续）

项目		一般公式	简化计算公式及数表号				
斜（人字）齿轮	标准齿	$\bar{s}_c=\frac{\pi m_n}{2}\cos^2\alpha_n$ $\bar{h}_c=\left(h_{an}^*-\frac{\pi}{8}\sin 2\alpha_n\right)m_n$	α_n	h_{an}^*	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	表号
			20°	1	$1.38705m_n$	$0.74758m_n$	表11-6-18
			20°	0.8	$1.38705m_n$	$0.54758m_n$	
			15°	1	$1.46557m_n$	$0.80365m_n$	表11-6-18
			14°1/2	1	$1.47232m_n$	$0.80962m_n$	表11-6-18
	变位齿	$\bar{s}_c=m_n\left(\frac{\pi}{2}\cos^2\alpha_n\pm x_n\sin 2\alpha_n\right)$ $\bar{h}_c=\frac{\pm d_a\mp d}{2}-\frac{1}{2}\bar{s}_c\mathrm{tg}\alpha_n$	α_n	$\bar{s}_c$		$\bar{h}_c$	表号
			20°	$(1.38705\pm0.64279x_n)m_n$		$\frac{\pm d_a\mp d}{2}-0.18198\bar{s}_c$	表11-6-19
			15°	$(1.46557\pm0.5x_n)m_n$		$\frac{\pm d_a\mp d}{2}-0.13397\bar{s}_c$	
			14°1/2	$(1.47232\pm0.48481x_n)m_n$		$\frac{\pm d_a\mp d}{2}-0.12931\bar{s}_c$	

注：1.标准内齿轮的计算公式与外齿轮相同。

2.斜齿轮的$\bar{s}_c$是指法向齿厚。

3.表中“±”、“∓”符号，上面的符号用于外齿轮，下面的用于内齿轮。但内齿轮的$\bar{h}_c$除表中公式外，还须加上$\Delta\bar{h}_c$值：

$$\Delta\bar{h}_c=\frac{d_{a2}}{2}(1-\cos\delta_{a2})$$

$$\delta_{a2}=\frac{\pi}{2z_2}-\mathrm{inv}\alpha+\mathrm{inv}\alpha_{a2}\ \text{（用于标准直齿轮）}$$

$$\delta_{a2}=\frac{\pi}{2z_2}-\mathrm{inv}\alpha+\mathrm{inv}\alpha_{a2}-\frac{2x_{n2}\mathrm{tg}\alpha_n}{Z_2}\ \text{（用于变位直齿轮）}$$

表11-6-18 标准圆柱齿轮固定弦齿厚$\bar{s}_c$和固定弦齿高$\bar{h}_c$[20] [21]

（$x=0$，$h_a^*=1$）

（mm）

m	$\alpha=20°$		$\alpha=15°$		$\alpha=14°1/2°$	
	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$
1	1.3871	0.7476	1.4655	0.8036	1.4723	0.8096
1.25	1.7338	0.9344	1.8319	1.0045	1.8404	1.0120
1.50	2.0806	1.1214	2.1984	1.2055	2.2085	1.2144
1.75	2.4273	1.3082	2.5647	1.4064	2.5766	1.4168
2	2.7741	1.4951	2.9311	1.6073	2.9446	1.6192
2.25	3.1209	1.6820	3.2975	1.8082	3.3127	1.8216
2.50	3.4677	1.8689	3.6639	2.0091	3.6808	2.0240
2.75	3.8144	2.0558	4.0303	2.2100	4.0489	2.2265

（续）

m	$\alpha=20°$		$\alpha=15°$		$\alpha=14\frac{1}{2}°$	
	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$	$\bar{s}_c$	$\bar{h}_c$
3	4.1612	2.2427	4.3967	2.4109	4.4170	2.4289
3.25	4.5079	2.4296	4.7631	2.6118	4.7850	2.6313
3.50	4.8547	2.6165	5.1295	2.8128	5.1531	2.8337
3.75	5.2017	2.8034	5.4959	3.0137	5.5212	3.0361
4	5.5482	2.9903	5.8623	3.2146	5.8893	3.2385
4.25	5.8950	3.1772	6.2287	3.4155	6.2574	3.4409
4.5	6.2417	3.3641	6.5951	3.6164	6.6254	3.6433
4.75	6.5885	3.5510	6.9615	3.8173	6.9935	3.8457
5	6.9353	3.7379	7.3279	4.0182	7.3616	4.0481
5.5	7.6288	4.1117	8.0607	4.4200	8.0978	4.4529
6	8.3223	4.4854	8.7935	4.8219	8.8340	4.8577
6.5	9.0158	4.8592	9.5263	5.2237	9.5701	5.2625
7	9.7093	5.2330	10.2591	5.6255	10.3062	5.6673
7.5	10.4029	5.6068	10.9918	6.0274	11.0424	6.0722
8	11.0964	5.9806	11.7246	6.4292	11.7786	6.4770
9	12.4834	6.7282	13.1902	7.2328	13.2509	7.2866
10	13.8705	7.4757	14.6558	8.0365	14.7232	8.0962
11	15.2575	8.2233	16.1214	8.8401	16.1955	8.9058
12	16.6446	8.9709	17.5869	9.6438	17.6680	9.7154
13	18.0316	9.7185	19.0525	10.4474	19.1402	10.5251
14	19.4187	10.4661	20.5181	11.2511	20.6125	11.3347
15	20.8057	11.2137	21.9837	12.0547	22.0848	12.1443
16	22.1928	11.9612	23.4493	12.8584	23.5571	12.9539
18	24.9669	13.4564	26.3804	14.4657	26.5018	14.5732
20	27.7410	14.9515	29.3116	16.0730	29.4464	16.1924
22	30.5151	16.4467	32.2427	17.6803	32.3910	17.8116
24	33.2892	17.9419	35.1739	19.2876	35.3357	19.4309
25	34.6762	18.6895	36.6395	20.0912	36.8080	20.2405
28	38.8373	20.9322	41.0360	22.5022	41.2250	22.6694
30	41.6114	22.4274	43.9671	24.1095	44.1696	24.2866
33	45.7726	24.6701	48.3638	26.5204	48.5866	26.7175
36	49.9337	26.9128	52.7605	28.9314	53.0035	29.1463
40	55.4819	29.9032	58.6228	32.1460	58.8928	32.3848
45	62.4172	33.6410	65.9506	36.1642	66.2544	36.4329
50	69.3524	37.3790	73.2785	40.1825	73.6160	40.4810

注：1.用于斜齿圆柱齿轮时，以m_n代替m，α_n代替α；

2.用于直齿圆锥齿轮时，以大端模数代替m；

3.$h_a^*\neq1$时，固定弦齿高应减去$(1-h_a^*)m$，例如$m=2$，$\alpha_0=20°$，$h_a^*=0.8$的齿轮，其固定弦齿高$\bar{h}_c=1.4951-(1-0.8)\times2=1.0951$。

表11-6-19 变位圆柱齿轮固定弦齿厚$\bar{s}_c^*$和固定弦齿高$\bar{h}_c^*$[14]

（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$m=1$）　　（mm）

xm	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$	xm	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$	xm	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$
−0.60	1.0014	0.2178	−0.50	1.0657	0.3051	−0.40	1.1299	0.3944
−0.59	1.0078	0.2266	−0.49	1.0721	0.3149	−0.39	1.1364	0.4032
−0.58	1.0142	0.2354	−0.48	1.0785	0.3237	−0.38	1.1428	0.4120
−0.57	1.0207	0.2442	−0.47	1.0850	0.3325	−0.37	1.1492	0.4208
−0.56	1.0271	0.2531	−0.46	1.0914	0.3414	−0.36	1.1557	0.4297
−0.55	1.0335	0.2619	−0.45	1.0978	0.3502	−0.35	1.1621	0.4385
−0.54	1.0399	0.2707	−0.44	1.1042	0.3591	−0.34	1.1685	0.4474
−0.53	1.0464	0.2796	−0.43	1.1107	0.3679	−0.33	1.1749	0.4563
−0.52	1.0528	0.2884	−0.42	1.1171	0.3767	−0.32	1.1814	0.4650
−0.51	1.0592	0.2972	−0.41	1.1235	0.3855	−0.31	1.1878	0.4738

（续）

xm	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$	xm	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$	xm	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$
−0.30	1.1942	0.4827	0.15	1.4835	0.8800	0.60	1.7727	1.2774
−0.29	1.2006	0.4915	0.16	1.4899	0.8889	0.61	1.7792	1.2862
−0.28	1.2071	0.5003	0.17	1.4963	0.8977	0.62	1.7856	1.2950
−0.27	1.2135	0.5091	0.18	1.5028	0.9065	0.63	1.7920	1.3039
−0.26	1.2199	0.5180	0.19	1.5092	0.9153	0.64	1.7984	1.3127
−0.25	1.2264	0.5268	0.20	1.5156	0.9242	0.65	1.8049	1.3215
−0.24	1.2328	0.5357	0.21	1.5220	0.9330	0.66	1.8113	1.3304
−0.23	1.2392	0.5445	0.22	1.5285	0.9418	0.67	1.8177	1.3392
−0.22	1.2456	0.5533	0.23	1.5349	0.9507	0.68	1.8242	1.3480
−0.21	1.2521	0.5621	0.24	1.5413	0.9595	0.69	1.8306	1.3568
−0.20	1.2585	0.5710	0.25	1.5477	0.9683	0.70	1.8370	1.3658
−0.19	1.2649	0.5798	0.26	1.5542	0.9772	0.71	1.8434	1.3745
−0.18	1.2714	0.5886	0.27	1.5606	0.9860	0.72	1.8499	1.3834
−0.17	1.2778	0.5974	0.28	1.5670	0.9948	0.73	1.8563	1.3922
−0.16	1.2842	0.6063	0.29	1.5735	1.0036	0.74	1.8627	1.4010
−0.15	1.2906	0.6151	0.30	1.5799	1.0125	0.75	1.8691	1.4098
−0.14	1.2971	0.6240	0.31	1.5863	1.0213	0.76	1.8756	1.4187
−0.13	1.3035	0.6328	0.32	1.5928	1.0301	0.77	1.8820	1.4275
−0.12	1.3099	0.6416	0.33	1.5992	1.0390	0.78	1.8884	1.4363
−0.11	1.3164	0.6504	0.34	1.6056	1.0478	0.79	1.8948	1.4452
−0.10	1.3228	0.6593	0.35	1.6120	1.0566	0.80	1.9013	1.4540
−0.09	1.3292	0.6681	0.36	1.6185	1.0655	0.81	1.9077	1.4628
−0.08	1.3356	0.6769	0.37	1.6249	1.0743	0.82	1.9141	1.4717
−0.07	1.3421	0.6857	0.38	1.6313	1.0831	0.83	1.9206	1.4805
−0.06	1.3485	0.6946	0.39	1.6377	1.0919	0.84	1.9270	1.4893
−0.05	1.3549	0.7034	0.40	1.6442	1.1008	0.85	1.9334	1.4981
−0.04	1.3613	0.7123	0.41	1.6506	1.1096	0.86	1.9398	1.5070
−0.03	1.3678	0.7210	0.42	1.6570	1.1184	0.87	1.9463	1.5158
−0.02	1.3742	0.7299	0.43	1.6635	1.1273	0.88	1.9527	1.5246
−0.01	1.3806	0.7387	0.44	1.6699	1.1361	0.89	1.9591	1.5335
0.00	1.3871	0.7476	0.45	1.6763	1.1449	0.90	1.9656	1.5423
0.01	1.3935	0.7564	0.46	1.6827	1.1537	0.91	1.9720	1.5511
0.02	1.3999	0.7652	0.47	1.6892	1.1626	0.92	1.9784	1.5600
0.03	1.4063	0.7741	0.48	1.6956	1.1714	0.93	1.9848	1.5688
0.04	1.4128	0.7829	0.49	1.7020	1.1802	0.94	1.9913	1.5776
0.05	1.4192	0.7917	0.50	1.7085	1.1891	0.95	1.9977	1.5864
0.06	1.4256	0.8006	0.51	1.7149	1.1979	0.96	2.0041	1.5953
0.07	1.4320	0.8094	0.52	1.7213	1.2067	0.97	2.0106	1.6041
0.08	1.4385	0.8182	0.53	1.7277	1.2156	0.98	2.0170	1.6129
0.09	1.4449	0.8270	0.54	1.7342	1.2244	0.99	2.0234	1.6218
0.10	1.4513	0.8359	0.55	1.7406	1.2332	1.00	2.0298	1.6306
0.11	1.4577	0.8447	0.56	1.7470	1.2421			
0.12	1.4642	0.8535	0.57	1.7534	1.2509			
0.13	1.4706	0.8624	0.58	1.7599	1.2597			
0.14	1.4771	0.8712	0.59	1.7663	1.2685			

差值	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$	差值	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$	差值	$\bar{s}_c^*$	$\bar{h}_c^*$
0.001	0.0006	0.0009	0.004	0.0026	0.0035	0.007	0.0045	0.0062
0.002	0.0013	0.0018	0.005	0.0032	0.0044	0.008	0.0051	0.0071
0.003	0.0019	0.0026	0.006	0.0039	0.0053	0.009	0.0058	0.0079

注：1.用于高变位齿轮时，计算公式如下：

$$\bar{s}_c^* = (1.3871 + 0.6428x)m$$

$$\bar{h}_c^* = (0.7476 + 0.883x)m$$

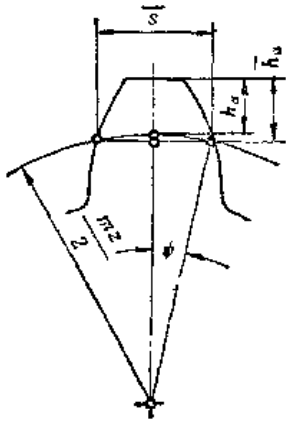
2.用于角变位齿轮时，表中 $\bar{h}_c^*$ 值应减去齿顶高减低量 νm；

3.用于斜齿轮时，表中 α、h_a^*、m、x 应分别以 α_n、h_{an}^*、m_n、x_n 替代。

（四）弦齿厚的计算

弦齿厚$\bar{s}$和弦齿高$\bar{h}_a$的计算公式如表11-6-20所示，其值列于表11-6-21、22。

表11-6-20　弦齿厚$\bar{s}$和弦齿高$\bar{h}_a$的计算公式



			标准齿轮	变位齿轮
一般公式			$\bar{s}=mz\sin\psi=mz\sin\frac{\pi}{2z}=mz\sin\frac{90^\circ}{z}$ $\bar{h}_a=\pm\frac{mz\pm2h_a}{2}\mp\frac{mz}{2}\cos\frac{90^\circ}{z}$	$\bar{s}=mz\sin\left(\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\right)$ $\bar{h}_a=\pm\frac{mz+2h_a}{2}\mp\frac{mz}{2}\cos\left(\frac{\pi}{2z}\pm\frac{2x\mathrm{tg}\alpha}{z}\right)$
简化计算公式	α	$\bar{s}$	$\bar{h}_a$	
	20°	$\bar{s}=mz\sin\left(\frac{90^\circ+41.7^\circ x}{z}\right)$	$\bar{h}_a=\pm\frac{mz\pm2h_a}{2}\mp\frac{mz}{2}\cos\left(\frac{90^\circ+41.7^\circ x}{z}\right)$	
	15°	$\bar{s}=mz\sin\left(\frac{90^\circ+30.7^\circ x}{z}\right)$	$\bar{h}_a=\pm\frac{mz\pm2h_a}{2}\mp\frac{mz}{2}\cos\left(\frac{90^\circ+30.7^\circ x}{z}\right)$	
	14½°	$\bar{s}=mz\sin\left(\frac{90^\circ+29.64^\circ x}{z}\right)$	$\bar{h}_a=\pm\frac{mz\pm2h_a}{2}\mp\frac{mz}{2}\cos\left(\frac{90^\circ+29.64^\circ x}{z}\right)$	

注：1.表中“±”，“∓”符号，上面的符号用于外齿轮，下面的用于内齿轮。但内齿轮的弦齿高$\bar{h}_a$除按表中公式外，尚须加以Δh_a值。Δh_a计算公式见表11-6-17注。

2.对于斜齿轮，表中的$\bar{s}$是指法向齿厚。但公式中的m，x，α，z须分别以m_n，x_n，α_n，z_v代入计算，$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta^\circ}$。

表11-6-21 标准圆柱齿轮的弦齿厚$\bar{s}^*$和弦齿高$\bar{h}_a^{*(20)}$ ($h_a^*=1$，$m=1$) (mm)

z	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	z	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	z	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	z	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$
5	1.5451	1.1224	41	1.5704	1.0150	77	1.5707	1.0080	109	1.5707	1.0057
6	1.5529	1.1022	42	1.5704	1.0146	78	1.5707	1.0079	110	1.5707	1.0056
7	1.5576	1.0878	43	1.5704	1.0143	79	1.5707	1.0078	111	1.5707	1.0056
8	1.5607	1.0769	44	1.5705	1.0140	80	1.5707	1.0077	112	1.5707	1.0055
9	1.5628	1.0644	45	1.5705	1.0137	81	1.5707	1.0076	113	1.5707	1.0055
10	1.5643	1.0616	46	1.5705	1.0134	82	1.5707	1.0075	114	1.5707	1.0054
11	1.5655	1.0569	47	1.5705	1.0131	83	1.5707	1.0074	115	1.5707	1.0054
12	1.5663	1.0513	48	1.5705	1.0128	84	1.5707	1.0073	116	1.5707	1.0053
13	1.5669	1.0474	49	1.5705	1.0126	85	1.5707	1.0073	117	1.5707	1.0053
14	1.5675	1.0440	50	1.5705	1.0124	86	1.5707	1.0072	118	1.5707	1.0053
15	1.5679	1.0411	51	1.5705	1.0121	87	1.5707	1.0071	119	1.5708	1.0052
16	1.5683	1.0385	52	1.5706	1.0119	88	1.5707	1.0070	120	1.5708	1.0052
17	1.5686	1.0363	53	1.5706	1.0115	89	1.5707	1.0069	121	1.5708	1.0051
18	1.5688	1.0342	54	1.5706	1.0114	90	1.5707	1.0069	122	1.5708	1.0051
19	1.5690	1.0324	55	1.5706	1.0112	91	1.5707	1.0068	123	1.5708	1.0050
20	1.5692	1.0308	56	1.5706	1.0110	92	1.5707	1.0067	124	1.5708	1.0050
21	1.5693	1.0294	57	1.5706	1.0108	93	1.5707	1.0066	125	1.5708	1.0049
22	1.5695	1.0280	58	1.5706	1.0106	94	1.5707	1.0065	126	1.5708	1.0049
23	1.5696	1.0268	59	1.5706	1.0104	95	1.5707	1.0065	127	1.5708	1.0049
24	1.5697	1.0257	60	1.5706	1.0103	96	1.5707	1.0064	128	1.5708	1.0048
25	1.5698	1.0247	61	1.5706	1.0101	97	1.5707	1.0064	129	1.5708	1.0048
26	1.5698	1.0237	62	1.5706	1.0100	98	1.5707	1.0063	130	1.5708	1.0047
27	1.5699	1.0228	63	1.5706	1.0098	99	1.5707	1.0062	131	1.5708	1.0047
28	1.5700	1.0220	64	1.5706	1.0096	100	1.5707	1.0062	132	1.5708	1.0047
29	1.5700	1.0212	65	1.5706	1.0095	101	1.5707	1.0061	133	1.5708	1.0047
30	1.5701	1.0205	66	1.5706	1.0093	102	1.5707	1.0060	134	1.5708	1.0046
31	1.5701	1.0199	67	1.5707	1.0092	103	1.5707	1.0060	135	1.5708	1.0046
32	1.5702	1.0193	68	1.5707	1.0091	104	1.5707	1.0059	140	1.5708	1.0044
33	1.5702	1.0187	69	1.5707	1.0089	105	1.5707	1.0059	145	1.5708	1.0042
34	1.5702	1.0181	70	1.5707	1.0088	106	1.5707	1.0058	150	1.5708	1.0041
35	1.5703	1.0176	71	1.5707	1.0087	107	1.5707	1.0058	200	1.5708	1.0031
36	1.5703	1.0171	72	1.5707	1.0086	108	1.5707	1.0057	齿条	1.5708	1.0000
37	1.5703	1.0167	73	1.5707	1.0084						
38	1.5703	1.0162	74	1.5707	1.0083						
39	1.5704	1.0158	75	1.5707	1.0082						
40	1.5704	1.0154	76	1.5707	1.0080						

注：1.本表适用于任何压力角的齿轮。

2. $h_a^*\neq 1$时，弦齿高应减以（$1-h_a^*$），齿厚不变；

例如$h_a^*=0.8$，$m=1$，$z=18$的齿轮，其弦齿高$\bar{h}_a=1.0342-(1-0.8)=0.8342$。又如$h_a^*=1.2$，$m=1$，$z=20$的齿轮，其弦齿高$\bar{h}_a=1.0380-(1-1.2)=1.2308$。

3.对于径节制的齿轮，使用本表时，先找出与径节相适应的m值，然后乘以表中之值。例如$z=20$，$P=10$($m=2.54$)，$h_a^*=1$，则$\bar{s}=1.5692\times 2.54=3.98$，$\bar{h}_a=1.0308\times 2.54=2.62$。

4.对斜齿圆柱齿轮及人字齿轮，应以z_v代替z。$z_v=\dfrac{z}{\cos^3\beta}$(表11-5-14)。

5.对直齿圆锥齿轮，应以$z_v=\dfrac{z}{\cos\varphi}$代替$z$。

6.z为非整数时，可用插值法求出。

表11-6-22 变位圆柱齿轮的弦齿厚$\bar{s}^*$和弦齿高$\bar{h}_a^*$(8)

($\alpha=20°$, $m=1$, $h_a^*=1$)

(mm)

z	10		11		12		13		14		15		16		17	
x	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$
0.02															1.583	1.057
0.05											1.604	1.093	1.604	1.090	1.605	1.088
0.08											1.626	1.124	1.626	1.121	1.626	1.119
0.10									1.639	1.148	1.640	1.145	1.641	1.142	1.641	1.140
0.12									1.654	1.169	1.655	1.166	1.655	1.163	1.655	1.160
0.15							1.675	1.204	1.676	1.200	1.677	1.197	1.677	1.194	1.677	1.192
0.18							1.697	1.236	1.698	1.232	1.698	1.228	1.699	1.225	1.699	1.223
0.20					1.710	1.261	1.711	1.257	1.712	1.253	1.713	1.249	1.713	1.246	1.713	1.243
0.22					1.725	1.282	1.726	1.278	1.726	1.273	1.727	1.270	1.728	1.267	1.728	1.264
0.25	1.744	1.327	1.745	1.320	1.746	1.314	1.747	1.309	1.748	1.305	1.749	1.301	1.749	1.298	1.750	1.295
0.28	1.765	1.359	1.767	1.351	1.768	1.346	1.769	1.341	1.770	1.336	1.770	1.332	1.771	1.329	1.771	1.326
0.30	1.780	1.380	1.781	1.373	1.782	1.367	1.783	1.362	1.784	1.357	1.785	1.353	1.785	1.350	1.786	1.347
0.32	1.794	1.401	1.796	1.394	1.797	1.388	1.798	1.383	1.798	1.378	1.799	1.374	1.800	1.371	1.800	1.368
0.35	1.815	1.433	1.817	1.426	1.819	1.419	1.820	1.414	1.820	1.410	1.821	1.405	1.822	1.402	1.822	1.399
0.38	1.837	1.466	1.839	1.457	1.841	1.451	1.841	1.446	1.842	1.441	1.843	1.437	1.843	1.433	1.844	1.430
0.40	1.851	1.486	1.853	1.479	1.855	1.472	1.856	1.467	1.857	1.462	1.857	1.458	1.858	1.454	1.858	1.451
0.42	1.866	1.508	1.867	1.500	1.870	1.493	1.870	1.488	1.871	1.483	1.872	1.479	1.872	1.475	1.873	1.472
0.45	1.887	1.540	1.889	1.532	1.891	1.525	1.892	1.519	1.893	1.514	1.893	1.510	1.894	1.506	1.895	1.503
0.48	1.908	1.572	1.910	1.564	1.917	1.557	1.913	1.551	1.914	1.546	1.915	1.541	1.916	1.538	1.916	1.534
0.50	1.923	1.593	1.925	1.585	1.926	1.578	1.928	1.572	1.929	1.567	1.929	1.562	1.930	1.558	1.931	1.555
0.52	1.937	1.615	1.939	1.606	1.941	1.599	1.942	1.593	1.943	1.588	1.944	1.583	1.945	1.579	1.945	1.576
0.55	1.959	1.647	1.961	1.638	1.962	1.631	1.964	1.625	1.965	1.620	1.966	1.615	1.966	1.611	1.967	1.607
0.58	1.980	1.679	1.982	1.670	1.984	1.663	1.985	1.656	1.986	1.651	1.987	1.646	1.988	1.642	1.988	1.638
0.60	1.994	1.700	1.996	1.691	1.998	1.684	1.999	1.677	2.001	1.673	2.002	1.667	2.002	1.663	2.003	1.659

（续）

z	18		19		20		21		22		23		24		25	
x	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$
−0.12					1.482	0.908	1.482	0.906	1.482	0.905	1.482	0.904	1.483	0.903	1.483	0.902
−0.10			1.496	0.930	1.497	0.928	1.497	0.927	1.497	0.925	1.497	0.924	1.497	0.923	1.497	0.922
−0.08			1.511	0.950	1.511	0.949	1.511	0.947	1.511	0.946	1.511	0.945	1.511	0.944	1.512	0.943
−0.05	1.533	0.983	1.533	0.981	1.533	0.979	1.533	0.978	1.533	0.977	1.533	0.976	1.534	0.975	1.534	0.974
−0.02	1.554	1.014	1.554	1.012	1.555	1.010	1.555	1.009	1.555	1.008	1.555	1.006	1.555	1.005	1.555	1.004
0.00	1.569	1.034	1.569	1.032	1.569	1.031	1.569	1.029	1.569	1.028	1.569	1.027	1.570	1.026	1.570	1.025
0.02	1.583	1.055	1.584	1.053	1.584	1.051	1.584	1.050	1.584	1.049	1.584	1.047	1.584	1.046	1.584	1.045
0.05	1.605	1.086	1.605	1.084	1.605	1.082	1.606	1.081	1.606	1.079	1.606	1.078	1.606	1.077	1.606	1.076
0.08	1.627	1.117	1.627	1.115	1.627	1.113	1.627	1.112	1.628	1.110	1.628	1.109	1.628	1.108	1.628	1.107
0.10	1.641	1.138	1.642	1.136	1.642	1.134	1.642	1.132	1.642	1.131	1.642	1.130	1.642	1.128	1.642	1.127
0.12	1.656	1.158	1.656	1.156	1.656	1.154	1.656	1.153	1.657	1.151	1.657	1.150	1.657	1.149	1.657	1.147
0.15	1.678	1.189	1.678	1.187	1.678	1.185	1.678	1.184	1.678	1.182	1.678	1.181	1.679	1.179	1.679	1.178
0.18	1.699	1.220	1.700	1.218	1.700	1.216	1.700	1.215	1.700	1.213	1.700	1.212	1.700	1.210	1.701	1.209
0.20	1.714	1.241	1.714	1.239	1.714	1.237	1.714	1.235	1.715	1.234	1.715	1.232	1.715	1.231	1.715	1.229
0.22	1.728	1.262	1.729	1.259	1.729	1.257	1.729	1.256	1.729	1.254	1.729	1.253	1.729	1.251	1.730	1.250
0.25	1.750	1.293	1.750	1.290	1.750	1.288	1.751	1.287	1.751	1.285	1.751	1.283	1.751	1.281	1.751	1.280
0.28	1.772	1.324	1.772	1.321	1.772	1.319	1.773	1.318	1.773	1.316	1.773	1.314	1.773	1.313	1.773	1.311
0.30	1.786	1.344	1.787	1.342	1.787	1.340	1.787	1.338	1.787	1.336	1.787	1.335	1.788	1.333	1.788	1.332
0.32	1.801	1.365	1.801	1.363	1.801	1.361	1.802	1.359	1.802	1.357	1.802	1.355	1.802	1.354	1.802	1.353
0.35	1.822	1.396	1.823	1.394	1.823	1.392	1.823	1.390	1.824	1.388	1.824	1.386	1.824	1.385	1.824	1.383
0.38	1.844	1.427	1.844	1.425	1.845	1.423	1.845	1.421	1.845	1.419	1.845	1.417	1.846	1.415	1.846	1.414
0.40	1.858	1.448	1.859	1.446	1.859	1.443	1.859	1.441	1.860	1.439	1.860	1.438	1.860	1.436	1.860	1.435
0.42	1.873	1.469	1.873	1.466	1.874	1.464	1.874	1.462	1.874	1.460	1.874	1.458	1.875	1.457	1.875	1.455
0.45	1.895	1.500	1.895	1.497	1.896	1.495	1.896	1.493	1.896	1.491	1.896	1.489	1.896	1.488	1.897	1.486
0.48	1.916	1.531	1.917	1.529	1.917	1.526	1.918	1.524	1.918	1.522	1.918	1.520	1.918	1.518	1.918	1.517
0.50	1.931	1.552	1.931	1.549	1.932	1.547	1.932	1.545	1.932	1.543	1.933	1.541	1.933	1.539	1.933	1.537
0.52	1.945	1.573	1.946	1.570	1.946	1.568	1.947	1.565	1.947	1.563	1.947	1.562	1.947	1.560	1.947	1.558
0.55	1.967	1.604	1.968	1.601	1.968	1.599	1.968	1.596	1.969	1.594	1.969	1.593	1.969	1.591	1.969	1.589
0.58	1.989	1.635	1.989	1.632	1.990	1.630	1.990	1.627	1.990	1.625	1.991	1.624	1.991	1.621	1.991	1.620
0.60	2.003	1.656	2.004	1.653	2.004	1.650	2.005	1.648	2.005	1.646	2.005	1.645	2.005	1.642	2.005	1.641

（续）

z	26～30	31～69	70～200	26	28	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
x	$\bar{s}^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$
−0.60	1.134	1.134	1.134	0.413	0.412	0.411	0.408	0.406	0.405	0.405	0.404	0.404	0.403	0.403	0.402
−0.58	1.148	1.149	1.149	0.433	0.432	0.431	0.428	0.427	0.426	0.425	0.424	0.424	0.423	0.423	0.422
−0.55	1.170	1.170	1.170	0.463	0.462	0.461	0.459	0.457	0.456	0.455	0.454	0.454	0.454	0.453	0.452
−0.52	1.192	1.192	1.192	0.494	0.493	0.492	0.489	0.487	0.486	0.485	0.485	0.484	0.484	0.483	0.482
−0.50	1.206	1.207	1.207	0.514	0.513	0.512	0.509	0.507	0.506	0.505	0.505	0.504	0.504	0.503	0.502
−0.48	1.221	1.221	1.221	0.534	0.533	0.532	0.529	0.528	0.526	0.525	0.525	0.524	0.524	0.523	0.522
−0.45	1.243	1.243	1.243	0.565	0.564	0.563	0.560	0.558	0.557	0.556	0.555	0.554	0.554	0.553	0.552
−0.42	1.265	1.265	1.266	0.595	0.594	0.593	0.590	0.588	0.587	0.586	0.585	0.584	0.584	0.583	0.582
−0.40	1.279	1.280	1.280	0.616	0.615	0.614	0.610	0.608	0.607	0.606	0.605	0.605	0.604	0.603	0.602
−0.38	1.294	1.294	1.294	0.636	0.635	0.634	0.630	0.628	0.627	0.626	0.625	0.625	0.624	0.623	0.622
−0.35	1.316	1.316	1.316	0.667	0.665	0.664	0.661	0.659	0.657	0.656	0.655	0.655	0.654	0.653	0.652
−0.32	1.337	1.338	1.338	0.697	0.696	0.695	0.691	0.689	0.687	0.686	0.686	0.685	0.685	0.683	0.682
−0.30	1.352	1.352	1.352	0.718	0.716	0.715	0.711	0.709	0.708	0.707	0.706	0.705	0.705	0.703	0.702
−0.28	1.366	1.367	1.367	0.738	0.737	0.736	0.732	0.729	0.728	0.727	0.726	0.725	0.725	0.723	0.722
−0.25	1.388	1.389	1.389	0.769	0.767	0.766	0.762	0.760	0.758	0.757	0.756	0.755	0.755	0.753	0.752
−0.22	1.410	1.411	1.411	0.799	0.798	0.797	0.792	0.790	0.788	0.787	0.786	0.786	0.785	0.784	0.783
−0.20	1.425	1.425	1.425	0.819	0.818	0.817	0.813	0.810	0.809	0.807	0.806	0.806	0.805	0.804	0.803
−0.18	1.439	1.440	1.440	0.840	0.838	0.837	0.833	0.830	0.829	0.827	0.826	0.826	0.825	0.824	0.823
−0.15	1.461	1.462	1.462	0.871	0.869	0.868	0.863	0.861	0.859	0.858	0.857	0.856	0.855	0.854	0.853
−0.12	1.483	1.483	1.483	0.901	0.899	0.898	0.894	0.891	0.889	0.888	0.887	0.886	0.886	0.884	0.883
−0.10	1.497	1.497	1.498	0.922	0.920	0.919	0.914	0.911	0.909	0.908	0.907	0.906	0.906	0.904	0.903
−0.08	1.512	1.512	1.513	0.942	0.940	0.939	0.934	0.931	0.929	0.928	0.927	0.926	0.926	0.924	0.923
−0.05	1.534	1.534	1.534	0.973	0.971	0.970	0.965	0.962	0.960	0.959	0.957	0.957	0.956	0.954	0.953
−0.02	1.555	1.555	1.556	1.003	1.001	1.000	0.995	0.992	0.990	0.989	0.988	0.987	0.986	0.984	0.983

（续）

z	26～30	31～69	70～200	26	28	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
x	$\bar{s}^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{s}^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$	$\bar{h}_a^*$
0.00	1.570	1.571	1.571	1.024	1.022	1.021	1.015	1.012	1.010	1.009	1.008	1.007	1.006	1.004	1.003
0.02	1.585	1.585	1.585	1.044	1.042	1.041	1.036	1.033	1.031	1.029	1.028	1.027	1.026	1.025	1.023
0.05	1.606	1.607	1.607	1.075	1.073	1.072	1.066	1.063	1.061	1.059	1.058	1.057	1.057	1.055	1.053
0.08	1.628	1.629	1.629	1.106	1.104	1.102	1.097	1.093	1.091	1.089	1.088	1.088	1.087	1.085	1.083
0.10	1.643	1.643	1.644	1.126	1.124	1.122	1.117	1.114	1.111	1.110	1.108	1.108	1.107	1.105	1.103
0.12	1.657	1.658	1.658	1.147	1.145	1.143	1.137	1.134	1.132	1.130	1.129	1.128	1.127	1.125	1.124
0.15	1.679	1.679	1.680	1.177	1.175	1.173	1.168	1.164	1.162	1.160	1.159	1.158	1.157	1.155	1.154
0.18	1.701	1.702	1.702	1.208	1.206	1.204	1.198	1.195	1.192	1.190	1.189	1.188	1.187	1.186	1.184
0.20	1.715	1.716	1.716	1.228	1.226	1.224	1.218	1.215	1.212	1.210	1.209	1.208	1.207	1.206	1.204
0.22	1.730	1.731	1.731	1.249	1.247	1.245	1.239	1.235	1.233	1.231	1.229	1.228	1.228	1.226	1.224
0.25	1.752	1.753	1.753	1.280	1.278	1.276	1.269	1.265	1.263	1.261	1.260	1.259	1.258	1.256	1.254
0.28	1.774	1.774	1.775	1.310	1.308	1.306	1.300	1.296	1.293	1.291	1.290	1.289	1.288	1.286	1.284
0.30	1.788	1.789	1.789	1.331	1.329	1.327	1.320	1.316	1.313	1.311	1.310	1.309	1.308	1.306	1.304
0.32	1.803	1.804	1.804	1.351	1.349	1.347	1.340	1.336	1.334	1.332	1.330	1.329	1.328	1.326	1.324
0.35	1.824	1.825	1.826	1.382	1.380	1.378	1.371	1.367	1.364	1.362	1.360	1.359	1.358	1.356	1.354
0.38	1.846	1.847	1.847	1.413	1.410	1.408	1.401	1.397	1.394	1.392	1.391	1.389	1.389	1.386	1.384
0.40	1.861	1.862	1.862	1.433	1.431	1.429	1.422	1.417	1.414	1.412	1.411	1.410	1.409	1.407	1.404
0.42	1.875	1.876	1.877	1.454	1.451	1.449	1.442	1.438	1.435	1.433	1.431	1.430	1.429	1.427	1.424
0.45	1.897	1.898	1.898	1.485	1.482	1.480	1.473	1.468	1.465	1.463	1.461	1.460	1.459	1.457	1.455
0.48	1.919	1.920	1.920	1.516	1.513	1.511	1.503	1.498	1.495	1.493	1.492	1.490	1.489	1.487	1.485
0.50	1.933	1.934	1.935	1.536	1.533	1.531	1.523	1.519	1.516	1.513	1.512	1.510	1.509	1.507	1.505
0.52	1.948	1.949	1.949	1.557	1.554	1.552	1.544	1.539	1.536	1.534	1.532	1.531	1.530	1.527	1.525
0.55	1.970	1.970	1.971	1.587	1.585	1.582	1.574	1.569	1.566	1.564	1.562	1.561	1.560	1.557	1.555
0.58	1.992	1.993	1.993	1.618	1.615	1.613	1.605	1.600	1.597	1.594	1.592	1.591	1.590	1.587	1.585
0.60	2.006	2.007	2.008	1.639	1.636	1.634	1.625	1.620	1.617	1.614	1.613	1.611	1.610	1.608	1.605

注：1.此表用于高变位直齿轮，对于角变位，表中 $\bar{h}_a^*$ 应减去齿顶高减低量 Δm，$\bar{s}^*$ 直接按表取值；

2.对于斜齿及人字齿圆柱齿轮则以 x_n，z_v 代替 x，z；对于圆锥齿轮则以当量齿数 z_v 代替 z。

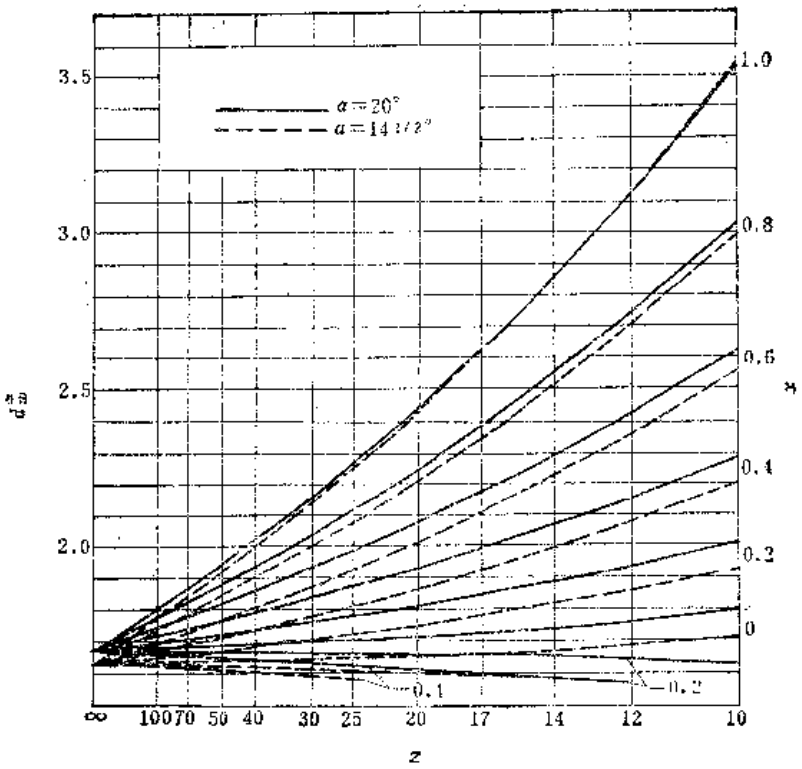


图11-6-5 变位直齿轮 d_m^* 的选择
（$\alpha=20°$和$\alpha=14^1/_2°$）

（五）量柱（球）测量距的计算

用量柱（球）测量齿轮齿厚的方法是将两个量柱（或量球）放入沿直径相对的齿槽内（对于奇数齿齿轮，一个放在偏离直径相对位置最近的齿槽内），然后测量量柱(球)两外侧面或内侧面（对内齿轮言）间的距离（见表11-6-23中图）。为此，需要计算量柱（球）的直径 d_m 和测量距 M。

量柱（球）直径的大小与齿轮的压力角、模数、变位系数及量柱（球）与齿廓的接触位置有关，其计算公式比较复杂。当量柱（球）与齿廓中部，即与直径为 $m(z+x)$ 的圆相接触时，可按图11-6-5和图11-6-6选取 d_m 值。对于标准齿轮通常采用定值的量柱（球）进行测量，对于外齿轮采用 $d_m=1.92m$，$1.728m$，$1.68m$ 和 $1.476m$ ㊀；对于内齿轮采用 $d_m=1.68m$ 和 $1.44m$。实际上，只要选择的量柱(球)能与齿廓中部附近相接触并稍高于（对于内齿轮稍小于）齿顶圆，都可应用。

量柱（球）测量圆柱齿轮齿厚的计算公式列于表11-6-23，量柱（球）直径 d_m 和标准直齿轮量柱(球)的测量距值分别列于表11-6-25和表11-6-26。

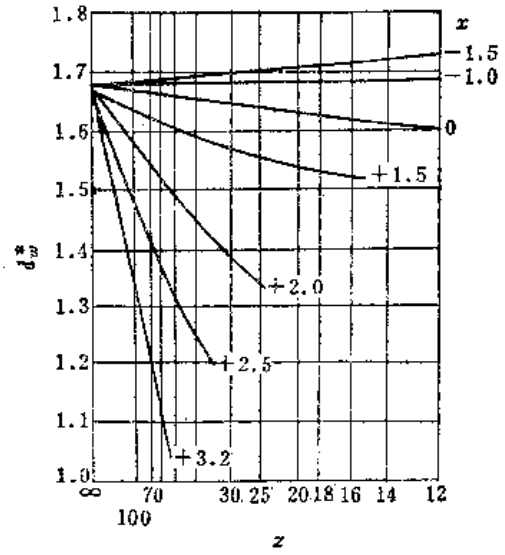
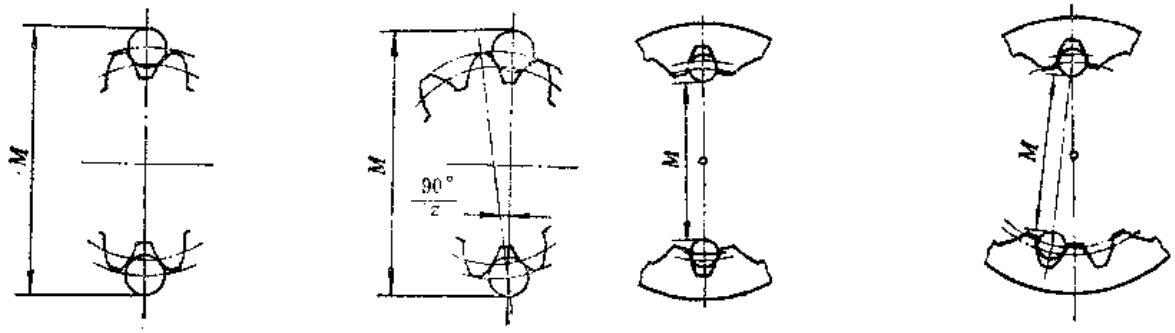


图11-6-6 变位直齿内齿轮 d_m^* 的选择[14]

㊀ $d_m=1.476m$ 量柱用于 $\alpha=20°$ 的外齿轮，量柱中心位于分度圆上，并与齿槽面定弦相接触。

表11-6-23　量柱（球）测量圆柱齿轮齿厚的计算公式　（mm）



a）外齿轮　　b）内齿轮

序号	所求参数	计算公式		实例：$\alpha_n=20°$，$m_n=3$，$z_2=51$，$x_n=+0.25$，直齿内齿轮 $d_b=143.773$
		直齿	斜（人字）齿	
1	齿廓中部附近相接触的量柱（球）直径（计算值）d_w	根据 z、α、x 按图11-6-5或图11-6-6查取 d_w^*，则： $d_w=md_w^*$	根据 z_v、α_n、x_n 按图11-6-5或图11-6-6 查取 d_w^* 则： $d_w=m_nd_w^*$	按图11-6-6查得 $d_w^*=1.32$ 则： $d_w=3\times1.32=3.96$
2	选用量柱（球）直径 d_M	根据具体条件选用接近于 d_w 值的 d_M 值	同直齿	$d_M=5$
3	量柱（球）中心所在圆的压力角 α_M	$\text{inv}\,\alpha_M=\text{inv}\,\alpha\pm\frac{d_M}{d_b}\mp\frac{\pi}{2z}+\frac{2x\,\text{tg}\,\alpha}{z}$ $=\text{inv}\,\alpha\pm\frac{d_M-K_pm}{d_b}$ 计算系数 K_p 见表11-6-24	$\text{inv}\alpha_{Mt}=\text{inv}\,\alpha_t\pm\frac{d_M}{zm_n\cos\alpha_n}\mp\frac{\pi}{2z}+\frac{2x_n\text{tg}\alpha_n}{z}$ $=\text{inv}\,\alpha_t\pm\frac{d_M-K_pm_n}{zm_n\cos\alpha_n}$ K_p 见表11-6-24	查表11-6-24得： $K_p=1.64708$ $\text{inv}\alpha_{M2}=\text{inv}20°-\frac{5-3\times1.64708}{143.773}$ $=0.0144957$ $\alpha_{M2}=19.82°$
4	量柱（球）测量距 M	$M=\frac{d_b}{\cos\alpha_M}\pm d_M$（偶数齿） $M=\frac{d_b}{\cos\alpha_M}\cos\frac{90°}{z}\pm d_M$ （奇数齿）	$M=\frac{d_b}{\cos\alpha_{Mt}}\pm d_M$ （偶数齿） $M=\frac{d_b}{\cos\alpha_{Mt}}\cos\frac{90°}{z}\pm d_M$ （奇数齿）	$M_2=\frac{143.773}{\cos19.82°}\times\cos\frac{90°}{51}-5$ $=149.52$

注：1.表中符号“±”，“∓”，上面符号用于外齿轮，下面用于内齿轮。

2.$\frac{1}{z}$、$\frac{\pi}{z}$、$\cos\frac{90°}{z}$ 可查表11-6-27。

表11-6-24 计算系数K_p($\alpha=20°$)[43]

$$K_p=\left(\frac{\pi}{2}-2x\,\mathrm{tg}\,\alpha\right)\cos\alpha$$

(mm)

x	K_p	x	K_p	x	K_p	x	K_p
+0.60	1.06564	+0.25	1.30506	−0.01	1.48291	−0.36	1.72232
59	1.07248	24	1.31190	02	1.48975	37	1.72916
58	1.07932	23	1.31874	03	1.49659	38	1.73600
57	1.08616	22	1.32558	04	1.50343	39	1.74284
56	1.09300	21	1.33242	05	1.51027	40	1.74969
+0.55	1.09984	+0.20	1.33926	−0.06	1.51711	−0.41	1.75652
54	1.10668	19	1.34610	07	1.52395	42	1.76336
53	1.11352	18	1.35294	08	1.53079	43	1.77020
52	1.12036	17	1.35978	09	1.53763	44	1.77704
51	1.12721	16	1.36662	10	1.54447	45	1.78388
+0.50	1.13405	+0.15	1.37346	−0.11	1.55131	−0.46	1.79072
49	1.14089	14	1.38030	12	1.55815	47	1.79756
48	1.14773	13	1.38714	13	1.56499	48	1.80440
47	1.15457	12	1.39398	14	1.57183	49	1.81125
46	1.16141	11	1.40082	15	1.57867	50	1.81809
+0.45	1.16825	+0.10	1.40766	−0.16	1.58551	−0.51	1.82493
44	1.17509	09	1.41450	17	1.59235	52	1.83177
43	1.18193	08	1.42134	18	1.59919	53	1.83861
42	1.18877	07	1.42818	19	1.60603	54	1.84545
41	1.19561	06	1.43502	20	1.61287	55	1.85229
+0.40	1.20245	+0.05	1.44186	−0.21	1.61971	−0.56	1.85913
39	1.20929	04	1.44870	22	1.62655	57	1.86597
38	1.21613	03	1.45554	23	1.63339	58	1.87281
37	1.22297	02	1.46238	24	1.64024	59	1.87965
36	1.22981	01	1.46923	25	1.64708	60	1.88649
		0.00	1.47607				
+0.35	1.23665			−0.26	1.65392	差值	
34	1.24349	差值		27	1.66076	−0.001	+0.00068
33	1.25033	+0.009	−0.00616	28	1.66760	2	137
32	1.25717	008	547	29	1.67444	3	205
31	1.26401	007	479	30	1.68128	4	274
		006	410				
+0.30	1.27085	005	342	−0.31	1.68812	5	342
29	1.27769	004	274	32	1.69496	6	410
28	1.28453	003	205	33	1.70180	7	479
27	1.29137	002	137	34	1.70864	8	547
26	1.29822	001	68	35	1.71548	9	616

注 1.本表也适用于斜齿圆柱齿轮，但须以x_n、α_n分别代替x、α；

2.本表用于内齿轮时，变位系数的符号应加变更，即“+”改为“−”，“−”改为“+”。

表11-6-25 量柱（球）直径d_w

(mm)

m	P	d_w		m	P	d_w	
		1.440m	1.476m			1.440m	1.476m
1		1.440	1.476	2		2.880	2.952
1.0583	24	1.524	1.562	2.1167	12	3.048	3.124
1.1545	22	1.662	1.704	2.25		3.240	3.321
1.25		1.800	1.845	2.3091	11	3.325	3.408
1.27	20	1.829	1.875	2.5		3.600	3.690
1.4111	18	2.032	2.083	2.54	10	3.658	3.749
1.50		2.160	2.214	2.75		3.960	4.059
1.5875	16	2.286	2.343	2.8222	9	4.064	4.166
1.75		2.520	2.583	3		4.320	4.428
1.8143	14	2.612	2.678	3.175	8	4.572	4.686

（续）

m	P	d_w		m	P	d_w	
		1.440 m	1.476 m			1.440 m	1.476 m
3.25		4.680	4.797	9.2364	$2^3/_4$	13.300	13.633
3.5		5.040	5.166	10		14.400	14.760
3.6286	7	5.225	5.356	10.16	$2^1/_2$	14.630	14.996
3.75		5.400	5.535	11		15.840	16.236
4		5.760	5.904	11.2889	$2^1/_4$	16.256	16.662
4.2333	6	6.096	6.248	12		17.280	17.712
4.5		6.480	6.642	12.7	2	18.288	18.745
5		7.200	7.380	13		18.720	19.188
5.08	5	7.315	7.498	14		20.160	20.664
				14.5143	$1^3/_4$	20.900	21.423
5.5		7.920	8.118				
5.6444	4.5	8.128	8.331	15		21.600	22.140
6		8.640	8.856	16		23.040	23.616
6.35	4	9.144	9.373	16.9333	$1^1/_2$	24.384	24.993
6.5		9.360	9.594	18		25.920	26.568
				20		28.800	29.520
7		10.080	10.332				
7.2571	3.5	10.450	10.711	20.320	$1^1/_4$	29.261	29.992
8		11.520	11.808	22		31.680	32.472
8.4667	3	12.192	12.497	25		36.000	36.900
9		12.960	13.284	25.4	1	36.576	37.490

表11-6-26 标准直齿轮量柱（球）的测量距M^{*}[14] [22]

（$\alpha=20°$，$\alpha=14^1/_2°$，$m=1$）

（mm）

内齿轮		外齿轮		齿数		外齿轮		内齿轮	
$d_w=1.44\,m$		$d_w=1.68\,m$	$d_w=1.728\,m$	奇数	偶数	$d_w=1.728\,m$	$d_w=1.68\,m$	$d_w=1.44\,m$	
$\alpha=14^1/_2°$	$\alpha=20°$	$\alpha=20°$				$\alpha=20°$		$\alpha=20°$	$\alpha=14^1/_2°$
13.7620	13.5801	17.1273	17.2871	15	14	16.3683	16.2091	12.6627	12.8438
15.7752	15.5902	19.1432	19.3053	17	16	18.3768	18.2154	14.6630	14.8474
17.7858	17.5981	21.1561	21.3200	19	18	20.3840	20.2205	16.6633	16.8504
19.7945	19.6045	23.1665	23.3321	21	20	22.3900	22.2249	18.6635	18.8520
21.8017	21.6099	25.1754	25.3423	23	22	24.3952	24.2289	20.6636	20.8530
23.8078	23.6143	27.1828	27.3511	25	24	26.3997	26.2318	22.6638	22.8569
25.8130	25.6181	29.1892	29.3586	27	26	28.4036	28.2346	24.6639	24.8585
27.8176	27.6214	31.1948	31.3652	29	28	30.4071	30.2371	26.6640	26.8599
29.8216	29.6242	33.1997	33.3710	31	30	32.4102	32.2392	28.6641	28.8612
31.8251	31.6267	35.2041	35.3761	33	32	34.4130	34.2412	30.6642	30.8623
33.8282	33.6289	37.2079	37.3807	35	34	36.4155	36.2430	32.6642	32.8633
35.8311	35.6310	39.2115	39.3849	37	36	38.4178	38.2445	34.6643	34.8642
37.8336	37.6327	41.2147	41.3886	39	38	40.4198	40.2460	36.6643	36.8650
39.8359	39.6343	43.2174	43.3920	41	40	42.4217	42.2473	38.6644	38.8658
41.8380	41.6357	45.2200	45.3951	43	42	44.4234	44.2485	40.6644	40.8665
43.8399	43.6371	47.2224	47.3980	45	44	46.4250	46.2496	42.6645	42.8672
45.8416	45.6383	49.2246	49.4007	47	46	48.4265	48.2506	44.6645	44.8678
47.8432	47.6394	51.2266	51.4031	49	48	50.4279	50.2516	46.6646	46.8683
49.8447	49.6404	53.2284	53.4053	51	50	52.4292	52.2525	48.6646	48.8688
51.8461	51.6414	55.2302	55.4074	53	52	54.4304	54.2533	50.6646	50.8692
53.8474	53.6422	57.2318	57.4093	55	54	56.4315	56.2541	52.6647	52.8697
55.8486	55.6431	59.2333	59.4111	57	56	58.4325	58.2548	54.6647	54.8701
57.8497	57.6438	61.2347	61.4128	59	58	60.4335	60.2555	56.6648	56.8705
59.8508	59.6445	63.2360	63.4144	61	60	62.4344	62.2561	58.6648	58.8709
61.8517	61.6452	65.2372	65.4159	63	62	64.4352	64.2567	60.6648	60.8712
63.8526	63.6458	67.2383	67.4173	65	64	66.4361	66.2572	62.6648	62.8715
65.8535	65.6464	69.2394	69.4186	67	66	68.4369	68.2577	64.6649	64.8718
67.8543	67.6469	71.2405	71.4198	69	68	70.4376	70.2582	66.6649	66.8721
69.8551	69.6475	73.2414	73.4210	71	70	72.4383	72.2587	68.6649	68.8724

（续）

内齿轮		外齿轮		齿数		外齿轮		内齿轮	
$d_w=1.44m$		$d_w=1.68m$	$d_w=1.728m$	奇数	偶数	$d_w=1.728m$	$d_w=1.68m$	$d_w=1.44m$	
$\alpha=14^1/_2°$	$\alpha=20°$	$\alpha=20°$				$\alpha=20°$		$\alpha=20°$	$\alpha=14^1/_2°$
71.8558	71.6480	75.2423	75.4221	73	72	74.4390	74.2591	70.6649	70.8727
73.8565	73.6484	77.2432	77.4232	75	74	76.4396	76.2596	72.6649	72.8729
75.8572	75.6489	79.2440	79.4242	77	76	78.4402	78.2600	74.6649	74.8731
77.8578	77.6493	81.2448	81.4252	79	78	80.4408	80.2604	76.6649	76.8734
79.8584	79.6497	83.2456	83.4262	81	80	82.4413	82.2607	78.6649	78.8736
81.8590	81.6501	85.2463	85.4271	83	82	84.4418	84.2611	80.6649	80.8738
83.8595	83.6505	87.2470	87.4279	85	84	86.4423	86.2614	82.6649	82.8740
85.8600	85.6508	89.2476	89.4287	87	86	88.4428	88.2617	84.6650	84.8742
87.8605	87.6511	91.2482	91.4295	89	88	90.4433	90.2620	86.6650	86.8743
89.8610	89.6514	93.2489	93.4303	91	90	92.4437	92.2624	88.6650	88.8745
91.8614	91.6517	95.2495	95.4310	93	92	94.4441	94.2627	90.6650	90.8747
93.8619	93.6520	97.2500	97.4317	95	94	96.4445	96.2630	92.6650	92.8749
95.8623	95.6523	99.2506	99.4323	97	96	98.4449	98.2632	94.6650	94.8750
97.8627	97.6526	101.2511	101.4329	99	98	100.4453	100.2635	96.6650	96.8752
99.8631	99.6528	103.2516	103.4335	101	100	102.4456	102.2638	98.6650	98.8753
101.8636	101.6531	105.2520	105.4341	103	102	104.4460	104.2640	100.6650	100.8753
103.8639	103.6533	107.2525	107.4346	105	104	106.4463	106.2642	102.6650	102.8755
105.8641	105.6535	109.2529	109.4352	107	106	108.4466	108.2644	104.6650	104.8756
107.8645	107.6537	111.2533	111.4357	109	108	110.4469	110.2645	106.6650	106.8757
109.8648	109.6539	113.2537	113.4362	111	110	112.4472	112.2647	108.6651	108.8759
111.8651	111.6541	115.2541	115.4367	113	112	114.4475	114.2649	110.6651	110.8759
113.8654	113.6543	117.2544	117.4372	115	114	116.4478	116.2651	112.6651	112.8761
115.8656	115.6545	119.2548	119.4376	117	116	118.4481	118.2653	114.6651	114.8762
117.8658	117.6547	121.2552	121.4380	119	118	120.4484	120.2655	116.6651	116.8763
119.8662	119.6548	123.2555	123.4384	121	120	122.4486	122.2656	118.6651	118.8763

表11-6-27 $\frac{1}{z}$、$\frac{\pi}{z}$、$\cos\frac{90°}{z}$、$\sec\frac{90°}{z}$值[13]

z	$\frac{1}{z}$	$\frac{\pi}{z}$	$\cos\frac{90°}{z}$	$\sec\frac{90°}{z}$	z	$\frac{1}{z}$	$\frac{\pi}{z}$	$\cos\frac{90°}{z}$	$\sec\frac{90°}{z}$
4	0.250000	0.785397	0.923879	1.082393	26	0.038461	0.120829		
5	0.200000	0.628318	0.951056	1.051463	27	0.037037	0.116355	0.998308	1.001695
					28	0.035714	0.112198		
6	0.166667	0.523599			29	0.034483	0.108331	0.998534	1.001468
7	0.142857	0.448798	0.974956	1.025687	30	0.033333	0.104719		
8	0.125000	0.392699							
9	0.111111	0.349065	0.984808	1.015426	31	0.032258	0.101341	0.998716	1.001286
10	0.100000	0.314159			32	0.031250	0.098175		
					33	0.030303	0.095200	0.998867	1.001134
11	0.090909	0.285599	0.989821	1.010284	34	0.029412	0.092400		
12	0.083333	0.261798			35	0.028571	0.089758	0.998993	1.001008
13	0.076923	0.241661	0.992709	1.007345					
14	0.071429	0.224406			36	0.027778			
15	0.066667	0.209440	0.994522	1.005508	37	0.027027	0.084908	0.999099	1.000902
					38	0.026316	0.082674		
16	0.062500	0.196349			39	0.025641	0.080553	0.999189	1.000812
17	0.058824	0.184801	0.995724	1.004294	40	0.025000	0.078540		
18	0.055556	0.174534							
19	0.052632	0.165348	0.996584	1.003428	41	0.024390	0.076623	0.999266	1.000735
20	0.050000	0.157079			42	0.023810	0.074801		
					43	0.023256	0.073061	0.999333	1.000667
21	0.047619	0.149599	0.997204	1.002804	44	0.022727	0.071399		
22	0.045455	0.142801			45	0.022222	0.069812	0.999391	1.000609
23	0.043478	0.136590	0.997669	1.002336					
24	0.041667	0.130901			46	0.021739	0.068295		
25	0.040000	0.125663	0.998027	1.001977	47	0.021277	0.066844	0.999442	1.000558
					48	0.020833	0.065449		
					49	0.020408	0.064113	0.999486	1.000514
					50	0.020000	0.062832		

(续)

z	$\frac{1}{z}$	$\frac{\pi}{z}$	$\cos\frac{90^\circ}{z}$	$\sec\frac{90^\circ}{z}$	z	$\frac{1}{z}$	$\frac{\pi}{z}$	$\cos\frac{90^\circ}{z}$	$\sec\frac{90^\circ}{z}$
51	0.019608	0.061560	0.999526	1.000474	106	0.009434	0.029638		
52	0.019231	0.060415			107	0.009346	0.029361	0.999892	1.000108
53	0.018868	0.059275	0.999561	1.000439	108	0.009259	0.029088		
54	0.018519	0.058178			109	0.009174	0.028821	0.999896	1.000104
55	0.018182	0.057120	0.999592	1.000408	110	0.009091	0.028560		
56	0.017857	0.056100			111	0.009009	0.028302	0.999900	1.000100
57	0.017544	0.055116	0.999620	1.000380	112	0.008929	0.028051		
58	0.017241	0.054165			113	0.008850	0.027803	0.999903	1.000097
59	0.016950	0.052247	0.999646	1.000354	114	0.008772	0.027558		
60	0.016667	0.052360			115	0.008696	0.027319	0.999907	1.000093
61	0.016393	0.051502	0.999669	1.000331	116	0.008621	0.027084		
62	0.016129	0.050671			117	0.008547	0.026851	0.999910	1.000090
63	0.015873	0.049867	0.999689	1.000311	118	0.008475	0.026625		
64	0.015625	0.049087			119	0.008403	0.026399	0.999913	1.000087
65	0.015385	0.048332	0.999708	1.000292	120	0.008333	0.026179		
66	0.015151	0.047600			121	0.008264	0.025962	0.999916	1.000084
67	0.014925	0.046889	0.999725	1.000275	122	0.008197	0.025752		
68	0.014706	0.046200			123	0.008130	0.025541	0.999918	1.000000
69	0.014493	0.045530	0.999741	1.000259	124	0.008065	0.025377		
70	0.014286	0.044880			125	0.008000	0.025133	0.999921	1.000079
71	0.014085	0.044248	0.999755	1.000245	126	0.007937	0.024935		
72	0.013889	0.043633			127	0.007874	0.024737	0.999924	1.000076
73	0.013699	0.043036	0.999769	1.000231	128	0.007813	0.024545		
74	0.013513	0.042454			129	0.007752	0.024354	0.999926	1.000074
75	0.013333	0.041887	0.999781	1.000219	130	0.007692	0.024165		
76	0.013158	0.041337			131	0.007634	0.023983	0.999928	1.000072
77	0.012987	0.040800	0.999792	1.000208	132	0.007576	0.023801		
78	0.012821	0.040278			133	0.007519	0.023622	0.999930	1.000070
79	0.012658	0.039767	0.999802	1.000198	134	0.007463	0.023446		
80	0.012500	0.039270			135	0.007407	0.023270	0.999932	1.000068
81	0.012346	0.038786	0.999812	1.000188	136	0.007353	0.023100		
82	0.012195	0.038312			137	0.007299	0.022930	0.999934	1.000066
83	0.012048	0.037850	0.999821	1.000179	138	0.007246	0.022764		
84	0.011905	0.037401			139	0.007194	0.022601	0.999936	1.000064
85	0.011765	0.036961	0.999829	1.000171	140	0.007143	0.022440		
86	0.011628	0.036530			141	0.007092	0.022280	0.999938	1.000062
87	0.011494	0.036109	0.999837	1.000163	142	0.007042	0.022123		
88	0.011364	0.035701			143	0.006993	0.021969	0.999940	1.000060
89	0.011236	0.035299	0.999844	1.000156	144	0.006944	0.021815		
90	0.011111	0.034906			145	0.006897	0.021667	0.999941	1.000059
91	0.010989	0.034523	0.999851	1.000149	146	0.006849	0.021517		
92	0.010870	0.034149			147	0.006803	0.021372	0.999943	1.000057
93	0.010753	0.033781	0.999857	1.000143	148	0.006757	0.021228		
94	0.010638	0.033420			149	0.006711	0.021083	0.999944	1.000056
95	0.010526	0.033068	0.999863	1.000137	150	0.006667	0.020945		
96	0.010417	0.032726			151	0.006623	0.020807	0.999946	1.000054
97	0.010309	0.032387	0.999869	1.000131	152	0.006579	0.020668		
98	0.010204	0.032057			153	0.006536	0.020533	0.999947	1.000053
99	0.010101	0.031733	0.999874	1.000126	154	0.006494	0.020401		
100	0.010000	0.031416			155	0.006451	0.020266	0.999949	1.000051
101	0.009901	0.031105	0.999879	1.000121	156	0.006410	0.021376		
102	0.009804	0.030800			157	0.006369	0.020988	0.999950	1.000050
103	0.009709	0.030502	0.999884	1.000116	158	0.006329	0.019883		
104	0.009615	0.030258			159	0.006289	0.019757	0.999951	1.000049
105	0.009524	0.029920	0.999888	1.000112	160	0.006250	0.019635		

第7节　渐开线圆柱齿轮的测绘

机床设备修理时，齿轮测绘是经常遇到的一项比较复杂的工作。测绘时要根据实物的几何尺寸及其表面状况推算出原设计参数，并确定制造（或修理）时所需的尺寸㊀。这些参数是齿数 z，模数 m（或径节 P），齿形角 α，齿顶高系数 h_a^*，顶隙系数 c^*，分度圆螺旋角 β 及其旋向、变位系数 x，公法线长度 W_k，齿顶圆直径 d_a 等。这些参数中，有些可以直接测量确定，而有些则不能直接测量得出。测绘时，对于那些不能直接测量的参数可以通过测量并参考有关的参数来判断确定。测绘时，对于那些能够测量的参数，应该认真测量，力求准确，为能正确推算原设计参数创造条件。此外对于齿面粗糙度，刀纹及磨损情况，测绘时也要加以记录。

（一）直齿圆柱齿轮几何参数的测绘

1．齿数

一般情况下，齿轮的齿数只要数一下就可以了。但是对于扇形齿轮或者不是整个圆周上都有齿的齿轮，以及齿轮碎裂残缺不全时，就要计算出它整个圆周上的齿数，否则，很难测算出它们的啮合参数。对于这种齿轮可通过测算法（表11-7-1）或作图法（表11-7-2）测算出其齿数。

表11-7-1　齿数测算法

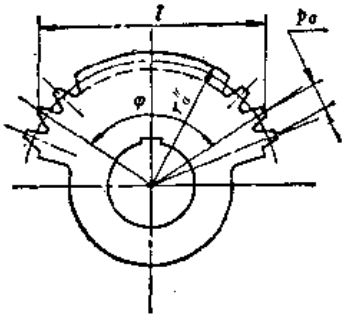
序号	测　算　内　容	实例计算
1	测出齿顶圆半径 r_a''	$r_a''=33.95$
2	沿齿顶圆在齿顶宽中线处测出跨 k 齿的弦长 l（图11-7-1a）	$k=10$，$l=56.5$
3	求出弦长 l 所对应的中心角 φ $\varphi=2\arcsin\frac{l}{2r_a''}$	$\varphi=2\arcsin\frac{56.5}{2\times33.95}=112.63°$
4	求整个圆周上的齿数 z $z=\frac{360k}{\varphi}$	$z=\frac{360\times10}{112.63}=31.96\approx32$

2．齿顶圆直径和齿根圆直径

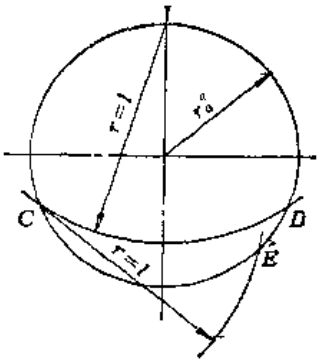
齿顶圆直径的实际尺寸对以后的测绘很重要，因此要求尽量测得准确些。测量时用精密游标卡尺或千分尺等进行。为了得到可靠的结果，必须在三四个不同直径位置上进行测量，然后取其平均值。

表11-7-2　齿数作图法

序号	作　图　方　法　及　举　例
1	按表11-7-1中的方法测出 r_a'' 和跨 k 齿的弦长 l
2	以 r_a'' 为半径画一圆（图11-7-1b）
3	以弦长 l 的长度将圆周截分，边至余下的圆弧长度 $\overset{\frown}{DE}$ 小于 l 为止
4	按齿顶圆齿距 p_a 长度来截分 $\overset{\frown}{DE}$，就可算出整圆上的齿数 设图11-7-1b所示是跨10个齿的弦长 l 将圆周截分三段，余下的 $\overset{\frown}{DE}$ 等于两个齿顶圆齿距 p_a 的长度，则整圆上实有的齿数为： $z=3\times10+2=32$



a）



b）

图11-7-1　齿数测量
a）测算法　b）作图法

这里介绍几种奇数齿齿轮的测算方法。

（1）如图11-7-2所示，测量齿轮的轴颈（或内孔）的直径 d'' 和轴颈外颈（或孔壁）到齿顶圆的距离 H_a，则 $d_a''=d''+2H_a$。此法最简便、最准确。

（2）如图11-7-3所示，测量 d_a'' 和 L 两尺寸，

㊀ 本章所有测绘计算均采用mm为单位，计算式中不再标注单位。

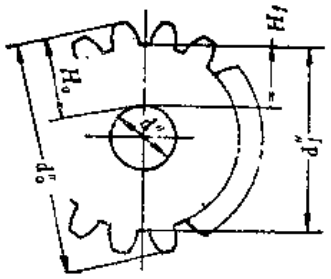


图11-7-2 齿顶圆直径测量(一)

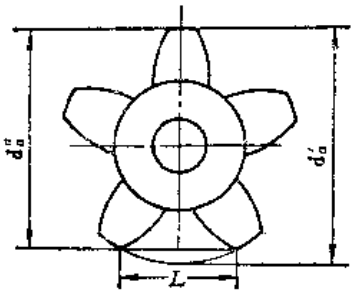


图11-7-3 齿顶圆直径测量(二)

再按下式计算：

$$d_a' = \frac{L^2}{4d_a''} + d_a'' \qquad (11\text{-}7\text{-}1)$$

用此法测量时，若齿顶尖边（即齿廓曲面与齿顶圆柱面的交线）磨圆时，则L值不易测准，误差较大。

（3）在小半个齿轮上，测量两个跨越不同齿数（z_m、z_n）的弦长l_m和l_n（图11-7-4），再按下式计算：

$$\angle A = \frac{180^\circ}{z}(z_m - z_n)$$

式中，z为齿轮在整个圆周上的齿数。

$$d_a' = \frac{1}{\sin A}\sqrt{l_m^2 + l_n^2 - l_m l_n \cos A}$$

$$\left(d_a' = \frac{BC}{\sin A},\ \text{正弦定理}\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}2)$$

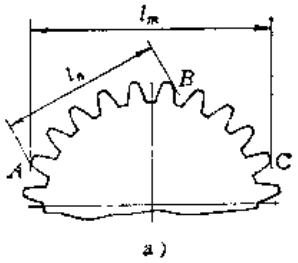
如图11-7-4所示，若$z=35$，$z_m=10$，$z_n=6$，$l_m=96.85$mm，$l_n=58.65$mm，则：

$$\angle A = \frac{180^\circ}{z}(z_m - z_n) = \frac{180^\circ}{35}(10-6)$$

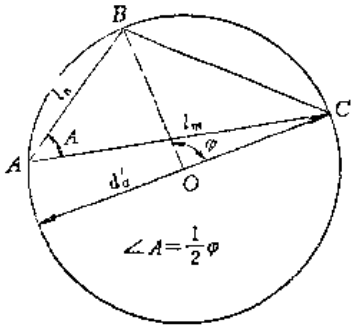
$$= 20.5714^\circ$$

$$d_a' = \frac{1}{\sin A} \times \sqrt{96.85^2 + 58.65^2 - 2\times 96.85\times 58.65\cos A}$$

$$= 132.99 \approx 133 \quad \text{mm}$$



a)



b)

图11-7-4 齿顶圆直径测量(三)

测量弦长时，量具的测量面要卡在齿顶边（即齿廓曲面与齿顶圆柱面的交线）上，不能卡在齿廓曲面上。否则要调整跨越的齿数z_m或z_n。从式(11-7-2)可知，弦长l_m、l_n对所测算的d_a'影响很大，要测得准确。最好用游标卡尺或千分尺测量几次，取其平均值。

测量弦长所选用的跨越齿数差（$z_m - z_n$）尽量要大些，这样可以增大$\angle A$值，减少计算误差。

这种测算方法不仅用于测绘奇数齿的齿轮，还可用于①齿轮直径很大而没有适当的量具时，②不将齿轮从机器设备上拆下而进行测绘时，③扇形齿轮等等。

齿根圆直径d_f''可参照上述方法进行测绘。

3. 齿高

齿高的尺寸可以用来确定被测量齿轮是模数制或径节制，是非变位齿轮或变位齿轮，还可用来确定齿顶高系数。其测量方法如下：

利用精密游标卡尺测量从齿轮的孔壁（或轴颈的外径）到齿顶的距离H_a和到齿根的距离H_f（图11-7-2），则齿高h''按下式计算：

$$h'' = H_a - H_f$$

或根据所测量的齿顶圆直径d_a''和齿根圆直径d_f''，按下式计算：

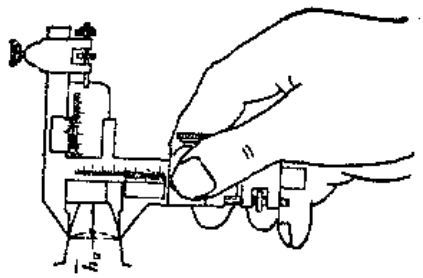


图11-7-8 齿厚测量

7. 中心距

为了确定齿轮啮合参数及保证啮合情况的良好，必须准确地测量齿轮副的啮合中心距。这是齿轮测绘工作中的重要项目之一。测量中心距时，可直接测量两轴孔的距离，或利用齿轮轴进行测量。这时，要事先检查孔或轴的圆度及圆柱度的误差，必要时要检验两孔或轴的平行度误差，对中心距测值加以修正。

利用齿轮轴测量中心距时，还必须检查轴与孔的配合情况。当间隙太大时，应采用其它方法。

8. 侧隙

齿轮副的侧隙是齿轮处于装配状态下利用塞尺来测量的（图11-7-9）。测量时，将其中一个齿轮固定不动，使另一个齿轮的齿面与其相邻的齿面相接触，这时，另一齿面间的最小距离即为侧隙。侧隙的测量应在两个齿轮的节圆附近较为准确。

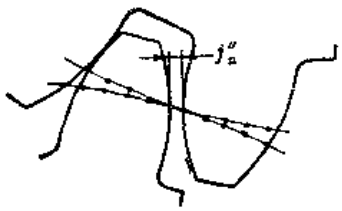


图11-7-9 侧隙测量

9. 测绘尺寸的补偿

众所周知，齿轮传动的几何尺寸是按无侧隙啮合计算的。实际上，齿轮传动是有侧隙啮合，它是由齿轮制造的极限偏差来保证的。测绘时，若能将此侧隙加以补偿，把有侧隙化为无侧隙就能提高测绘的精确程度。有些尺寸如果不进行补偿就难以测准齿轮的参数，例如公法线长度W_k和齿厚$\bar{s}$，用于确定变位系数时就是如此。补偿后的公法线长度W'_k和齿厚$\bar{s}'_c$按下式计算：

$$W'_k = W''_k + E_{w_{mk}} + 0.5T_{w_m} \qquad (11\text{-}7\text{-}4)$$

$$\bar{s}'_c = \bar{s}''_c + E_{ss} + 0.5T_s \qquad (11\text{-}7\text{-}5)$$

式中 W''_k和$\bar{s}''_c$——分别为公法线长度和齿厚的实测尺寸；

$E_{w_{mk}}$和E_{ss}——分别为公法线平均长度上偏差和齿厚上偏差（分别见表11-9-31、11-9-29）；

T_{w_m}和T_s——分别为公法线平均长度公差和齿厚公差（分别见表11-9-32，11-9-30）。

（二）直齿圆柱齿轮基本参数的确定

在测绘前应尽可能了解所测绘的齿轮是哪个国家制造的，以便根据国别来估计该齿轮所采用的啮合制，然后根据实物的齿形和测量的参数来确定齿轮的基本参数。图11-7-10所示齿形角、齿顶高系数和变位系数对齿形的影响，供测绘时参考。各国常用的齿形参数见表11-3-3，模数系列见表11-7-3～5，径节制系列见表11-7-6、7。

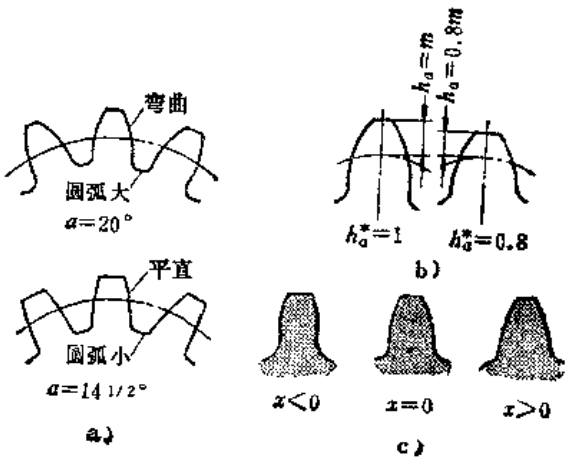


图11-7-10 齿形角、齿顶高系数和变位系数对齿形的影响

a）齿形角 b）齿顶高系数 c）变形系数

1. 模数制和径节制

各国所采用的齿轮啮合制不一定相同，而且有的国家先后时期采用了不同的啮合制。如联邦德国、捷克斯洛伐克和法国等都采用模数制，英国、美国等过去都采用径节制，近年来向国际标准化靠拢，也开始采用模数制。我国解放初期生产的机床设备有的采用模数制，有的采用径节制。从60年颁

表11-7-3 我国及其它

国别	模数(mm) / 标准号		1	1.125	1.175	1.25	1.375	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	3.75
中国	GB 1357—87	第一系列	○			○		○		○		○		○			
		第二系列							○		○		○		(○)	○	(○)
国际	ISO54—77		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
苏联	ГОСТ9563—60		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
联邦德国	DIN780—67		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
捷克斯洛伐克	ČSN014603		○			○		○	○	○	○	○	○	○	(○)	○	(○)
日本	JIS B1701—73		○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
法国	NF E23—011		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
英国	BS436—70		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
瑞士	VSM15521—65		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

国别	模数(mm) / 标准号		9.5	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	25	27	28
中国	GB 1357—87	第一系列		○		○				○		○			○		
		第二系列			(○)			○			○		○				○
国际	ISO54—77			○	○	○		○		○	○	○	○		○		○
苏联	ГОСТ9563—60			○	○	○		○		○	○	○	○		○		○
联邦德国	DIN780—67		(○)	○	○	○	(○)	○	○	○	○	○	○	(○)	○	(○)	○
捷克斯洛伐克	ČSN014603			○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	○	○	○				
日本	JISB1701—73		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○
法国	NF E23—011			○	○	○		○		○	○	○	○		○		
英国	BS436—70			○	○	○		○		○	○	○	○				○
瑞士	VSM15521—65			○	○	○		○		○	○	○	○		○		○

注：1. $m<1$ 的系列从略。

2. 括号内的模数尽可能不用。

3. 我国准标JB111—60中除表列GB1357—87系列值外，还包括模数(13)、(15)和33；GB1357—78除表列GB1357

国家的模数系列

4	4.25	4.5	4.75	5	5.25	5.5	5.75	6	6.25	6.5	6.75	7	7.5	8	8.5	9
○				○				○						○		
		○				○				(○)		○				○
○		○		○		○		○		(○)		○		○		○
○		○		○		○		○				○		○		○
○	(○)	○	(○)	○	○	○	○	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○
○		○		○		(○)		○		(○)		○		○		○
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○		○		○		○		○				○		○		○
○		○		○		○		○				○		○		○
○		○		○		○		○		○		○		○		○

30	32	33	36	39	40	42	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100
	○				○			○								
			○				○									
	○		○		○		○	○				○				
	○		○		○		○	○	○	○		○		○	○	○
(○)	○	(○)	○	(○)	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	○		○		○		○	○								
	○		○		○		○	○								
	○				○		○	○								

一87系列值外，还包括模数(30)。现行标准为GB1357—87。

布了圆柱齿轮原始齿形标准JB110—60以后，绝大部分采用了模数制。

根据测绘的 z，d_a''和d_f''按下式分别计算大小齿轮的模数：

$$m' = \frac{d_a''}{z + 2h_a^* + 2x - 2y} \approx \frac{d_a''}{z + 2h_a^*} \tag{11-7-6}$$

$$m' = \frac{d_a'' - d_f''}{z(2h_a^* + c^* - y)} \approx \frac{d_a'' - d_f''}{4h_a^* + 2c^*} \tag{11-7-7}$$

或者根据测绘的中心距a''可得：

$$m' = \frac{2a''}{z_1 + z_2} \tag{11-7-8}$$

计算时，先假设$h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$或$c^* = 0.157$，如果m'不是接近标准值，再取$h_a^* = 0.8$，$c^* = 0.3$。如果m'值符合表11-7-3～5中数值，则为模数制；如果与表11-7-7中p值相当，则为径节制。为便于测算，将径节制的齿高h和齿顶圆直径d_a、分度圆直径d分别列于表11-7-8和表11-7-9。

2. 齿形角和模数（或径节）

（1）试滚法　在模数初步确定后，用模数相同而齿形角不同的几把齿轮滚刀，分别嵌在齿轮的齿槽中，对着光线用手来试滚。试滚时，要注意齿轮的齿形是否与滚刀齿形吻合，齿轮的齿底应无间隙。有条件的话可按基准齿形制造一套齿形样板（图11-7-11）代替滚刀齿形来确定齿形角。

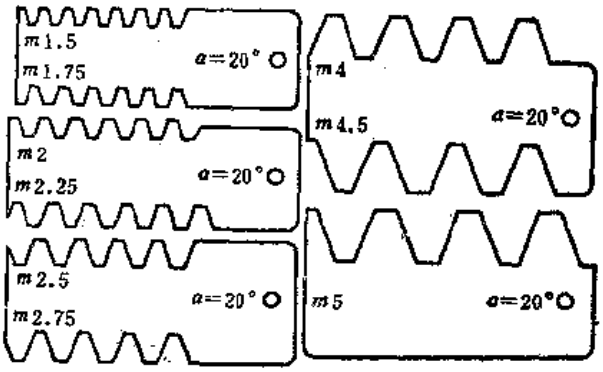


图11-7-11　齿形样板

表11-7-4　马格制Maag模数系列[20]　（mm）

1	1.0625	1.125	1.1875	1.25	1.3125	1.375	1.4375	1.5	1.5625	1.625	1.6875	1.75	1.8125	1.875	1.9375
2	2.0833	2.1667	2.25	2.3333	2.4167	2.5	2.5833	2.6667	2.75	2.8333	2.9167				
3	3.0833	3.1667	3.25	3.3333	3.4167	3.5	3.5833	3.6667	3.75	3.8333	3.9167				
4	4.0833	4.1667	4.25	4.3333	4.4167	4.5	4.5833	4.6667	4.75	4.8333	4.9167				
5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9						
6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9						
7	7.125	7.25	7.375	7.5	7.625	7.75	7.875								
8	8.125	8.25	8.375	8.5	8.625	8.75	8.875								
9	9.125	9.25	9.375	9.5	9.625	9.75	9.875								
10	10.1667	10.3333	10.5	10.6667	10.8333										
11	11.1667	11.3333	11.5	11.6667	11.8333										
12	12.1667	12.3333	12.5	12.6667	12.8333										
13	13.1667	13.3333	13.5	13.6667	13.8333										
14	14.1667	14.3333	14.5	14.6667	14.8333										
15	15.2	15.4	15.6	15.8											
16	16.2	16.4	16.6	16.8											
17	17.2	17.4	17.6	17.8											
18	18.2	18.4	18.6	18.8											
19	19.2	19.4	19.6	19.8											
20	20.25	20.5	20.75												
21	21.25	21.5	21.75												
22	22.25	22.5	22.75												
23	23.25	23.5	23.75												

表11-7-5　双模数制系列[8]　（mm）

1.5 / 1.25	1.75 / 1.5	2 / 1.75	2.25 / 1.75	2.5 / 2	2.75 / 2	3 / 2.75	3.25 / 3	3.5 / 3.25
3.75 / 2.75	4 / 3	4.5 / 3.25	5 / 3.75	5.5 / 4	6 / 4.5	6.5 / 5	7.5 / 5.5	8 / 6.5

注：分子模数用于计算分度圆直径，分母模数用于计算齿高。

表11-7-6　双径节制系列[8]

3 / 4	4 / 5	5 / 7	6 / 8	7 / 9	8 / 10	9 / 11	10 / 12	11 / 14
12 / 14	14 / 18	16 / 21	18 / 24	20 / 26	22 / 29			

注：分子径节用于计算分度圆直径，分母径节用于计算齿高。

表11-7-7　齿距和基节 $P=\pi m$，$p_b=\pi m\cos\alpha$

模数 m	径节 P	齿距 P	各种齿形角 α 的 p_b 值									
			30°	27°	25°	22½°	20°	17½°	16½°	16°	15°	14½°
1		3.1416	2.7207	2.7992	2.8472	2.9025	2.9521	2.9962	3.0122	3.0199	3.0345	3.0415
(1.0583)	24	3.3247	2.8793	2.9624	3.0132	3.0717	3.1242	3.1709	3.1878	3.1966	3.2115	3.2188
1.125		3.5343	3.0608	3.1491	3.2032	3.2653	3.3211	3.3707	3.3887	3.3974	3.4139	3.4217
(1.1545)	22	3.6270	3.1410	3.2317	3.2871	3.3509	3.4082	3.4591	3.4776	3.4867	3.5034	3.5114
1.175		3.6914	3.1968	3.2890	3.3455	3.4104	3.4688	3.5205	3.5394	3.5484	3.5656	3.5738
1.25		3.9270	3.4009	3.4990	3.5591	3.6281	3.6902	3.7452	3.7653	3.7749	3.7932	3.8019
(1.27)	20	3.9898	3.4553	3.5550	3.6160	3.6861	3.7492	3.8052	3.8255	3.8353	3.8539	3.8627
1.375		4.3197	3.7410	3.8489	3.9150	3.9909	4.0592	4.1198	4.1418	4.1524	4.1725	4.1821
(1.4111)	18	4.4331	3.8392	3.9499	4.0178	4.0957	4.1658	4.2279	4.2505	4.2614	4.2820	4.2919
1.5		4.7124	4.0810	4.1988	4.2709	4.3537	4.4282	4.4943	4.5183	4.5298	4.5518	4.5623
(1.5875)	16	4.9873	4.3191	4.4437	4.5200	4.6076	4.6865	4.7565	4.7819	4.7941	4.8173	4.8284
1.75		5.4978	4.7612	4.8986	4.9827	5.0793	5.1662	5.2433	5.2714	5.2848	5.3105	5.3227
(1.8143)	14	5.6998	4.9362	5.0786	5.1658	5.2659	5.3561	5.4360	5.4651	5.4790	5.5056	5.5182
2		6.2832	5.4414	5.5984	5.6945	5.8049	5.9043	5.9924	6.0244	6.0398	6.0691	6.0831
(2.1167)	12	6.6498	5.7589	5.9250	6.0268	6.1436	6.2488	6.3420	6.3760	6.3922	6.4232	6.4380
2.25		7.0686	6.1216	6.2982	6.4063	6.5305	6.6423	6.7414	6.7775	6.7948	6.8277	6.8434
(2.3091)	11	7.2542	6.2824	6.4636	6.5746	6.7021	6.8168	6.9185	6.9555	6.9732	7.0071	7.0232
2.5		7.8540	6.8017	6.9979	7.1181	7.2561	7.3803	7.4905	7.5306	7.5497	7.5864	7.6038
(2.54)	10	7.9796	6.9106	7.1099	7.2320	7.3722	7.4984	7.6103	7.6510	7.6705	7.7077	7.7255
2.75		8.6394	7.4819	7.6977	7.8299	7.9817	8.1184	8.2395	8.2836	8.3047	8.3450	8.3642
(2.8222)	9	8.8662	7.6784	7.8998	8.0355	8.1913	8.3315	8.4559	8.5011	8.5227	8.5641	8.5838
3		9.4248	8.1621	8.3975	8.5417	8.7074	8.8564	8.9886	9.0367	9.0597	9.1036	9.1246
(3.175)	8	9.9746	8.6382	8.8874	9.0400	9.2153	9.3730	9.5129	9.5638	9.5882	9.6347	9.6568
3.25		10.2102	8.8423	9 0973	9.2536	9.4330	9.5944	9.7376	9.7897	9.8147	9.8623	9.8850
3.5		10.9956	9.5224	9.7971	9.9654	10.1586	10.3325	10.4867	10.5428	10.5696	10.6209	10.6453
(3.6286)	7	11.3990	9.8723	10.1571	10.3315	10.5318	10.7123	10.8726	10.9301	10.9580	11.0112	11.0365
3.75		11.7810	10.2026	10.4969	10.6772	10.8842	11.0705	11.2357	11.2958	11.3246	11.3795	11.4057
4		12.5664	10.8828	11.1967	11.3890	11.6098	11.8085	11.9848	12.0489	12.0800	12.1382	12.1661
(4.2333)	6	13.2993	11.5175	11.8498	12.0533	12.2876	12.4973	12.6838	12.7516	12.7841	12.8461	12.8757
4.25		13.3518	11.5630	11.8965	12.1008	12.3354	12.5466	12.7338	12.8019	12.8345	12.8968	12.9265
4.5		14.1372	12.2431	12.5963	12.8126	13.0610	13.2846	13.4829	13.5550	13.5895	13.6555	13.6869
(4.6182)	5½	14.5085	12.5647	12.9272	13.1492	13.4041	13.6335	13.8370	13.9110	13.9465	14.0141	14.0464
4.75		14.9226	12.9233	13.2961	13.5244	13.7867	14.0226	14.2319	14.3080	14.3445	14.4141	14.4472
5		15.7080	13.6035	13.9959	14.2362	14.5123	14.7607	14.9810	15.0611	15.0995	15.1727	15.2076
(5.08)	5	15.9593	13.8211	14.2198	14.4640	14.7445	14.9968	15.2206	15.3021	15.3411	15.4155	15.4509
5.25		16.4934	14.2837	14.6957	14.9481	15.2379	15.4987	15.7300	15.8142	15.8544	15.9314	15.9680
5.5		17.2788	14.9638	15.3955	15.6599	15.9635	16.2372	16.4790	16.5672	16.6094	16.6900	16.7284
(5.6444)	4½	17.7324	15.3567	15.7997	16.0710	16.3826	16.6630	16.9117	17.0022	17.0455	17.1282	17.1676
5.75		18.0642	15.6440	16.0953	16.3717	16.6891	16.9748	17.2281	17.3203	17.3644	17.4486	17.4888
6		18.8496	16.3242	16.7951	17.0835	17.4147	17.7128	17.9771	18.0733	18.1194	18.2078	18.2492
6.25		19.6350	17.0044	17.4949	17.7953	18.1403	18.4508	18.7262	18.8264	18.8743	18.9659	19.0095
(6.35)	4	19.9491	17.2764	17.7748	18.0800	18.4306	18.7460	19.0258	19.1276	19.1763	19.2694	19.3137
6.5		20.4204	17.6845	18.1947	18.5071	18.8659	19.1889	19.4752	19.5794	19.6293	19.7245	19.7699
6.75		21.2058	18.3647	18.8945	19.2189	19.5916	19.9269	20.2243	20.3325	20.3843	20.4832	20.5303
7		21.9911	19.0449	19.5943	19.9307	20.3172	20.6649	20.9733	21.0855	21.1392	21.2418	21.2907
(7.2571)	3½	22.7985	19.7444	20.3136	20.6628	21.0631	21.4236	21.7434	21.8600	21.9157	22.0220	22.0727
7.5		23.5619	20.4052	20.9938	21.3544	21.7684	22.1410	22.4714	22.5917	22.6492	22.7591	22.8114
8		25.1327	21.7656	22.3934	22.7780	23.2196	23.6171	23.9695	24.0978	24.1591	24.2764	24.3322
(8.4667)	3	26.5989	23.0353	23.6998	24.1068	24.5742	24.9948	25.3678	25.5036	25.5685	25.6926	25.7517
8.5		26.7035	23.1259	23.7930	24.2016	24.6709	25.0931	25.4676	25.6039	25.6691	25.7936	25.8530
9		28.2743	24.4863	25.1926	25.6252	26.1221	26.5692	26.9657	27.1100	27.1790	27.3109	27.3737
(9.2364)	2⅞	29.0170	25.1295	25.8543	26.2983	26.8082	27.2671	27.6740	27.8221	27.8929	28.0283	28.0927
9.5		29.8451	25.8466	26.5922	27.0489	27.5733	28.0452	28.4638	28.6161	28.6890	28.8282	28.8945
10		31.4159	27.2070	27.9918	28.4725	29.0245	29.5213	29.9619	30.1222	30.1989	30.3455	30.4153
(10.16)	2½	31.9186	27.6423	28.4397	28.9281	29.4889	29.9937	30.4413	30.6042	30.6821	30.8310	30.9019
11		34.5575	29.9277	30.7910	31.3197	31.9270	32.4734	32.9581	33.1344	33.2188	33.3800	33.4568
(11.2889)	2¼	35.4561	30.7137	31.5997	32.1423	32.7655	33.3263	33.8237	34.0047	34.0913	34.2567	34.3355
12		37.6991	32.6484	33.5902	34.1670	34.8294	35.4256	35.9543	36.1467	36.2387	36.4145	36.4983
(12.7)	2	39.8982	34.5529	35.5496	36.1601	36.8612	37.4921	38.0516	38.2552	38.3526	38.5387	38.6274
13		40.8407	35.3691	36.3893	37.0142	37.7319	38.3777	38.9505	39.1589	39.2586	39.4491	39.5398
14		43.9823	38.0898	39.1885	39.8615	40.6343	41.3298	41.9467	42.1711	42.2785	42.4836	42.5814
(14.5143)	1⅞	45.5980	39.4890	40.6281	41.3258	42.1271	42.8481	43.4876	43.7203	43.8316	44.0443	44.1456
15		47.1239	40.8105	41.9877	42.7087	43.5368	44.2820	44.9429	45.1833	45.2984	45.5182	45.6229
16		50.2655	43.5312	44.7869	45.5560	46.4393	47.2341	47.9390	48.1955	48.3183	48.5527	48.6644
(16.9333)	1½	53.1975	46.0704	47.3993	48.2133	49.1481	49.9893	50.7354	51.0066	51.1367	51.3849	51.5031
18		56.5487	48.9726	50.3852	51.2505	52.2442	53.1384	53.9314	54.2200	54.3581	54.6218	54.7475
20		62.8319	54.4140	55.9836	56.9450	58.0491	59.0426	59.9238	60.2444	60.3979	60.6909	60.8305
(20.32)	1¼	63.8372	55.2846	56.8793	57.8561	58.9778	59.9873	60.8826	61.2083	61.3642	61.6629	61.8038
22		69.1150	59.8554	61.5820	62.6395	63.8540	64.9469	65.9162	66.2689	66.4376	66.7600	66.9136
24		75.3982	65.2968	67.1803	68.3340	69.6589	70.8512	71.9086	72.2933	72.4774	72.8291	72.9966
25		78.5398	68.0175	69.9795	71.1812	72.5613	73.8033	74.9048	75.3055	75.4973	75.8636	76.0381
(25.4)	1	79.7965	69.1058	71.0992	72.3201	73.7223	74.9841	76.1032	76.5104	76.7053	77.0775	77.2547

表11-7-8 径节制齿轮的齿高 $h=(2h_a^*+c^*)\frac{25.4}{P}$ (mm)

径节 P	24	22	20	18	16	14	12	11	10
$h_a^*=1$, $c^*=0.157$	2.28	2.49	2.74	3.04	3.42	3.91	4.57	4.98	5.48
$h_a^*=1$, $c^*=0.25$	2.38	2.60	2.86	3.17	3.57	4.08	4.76	5.19	5.71
径节 P	9	8	7	6	$5\frac{1}{2}$	5	$4\frac{1}{2}$	4	$3\frac{1}{2}$
$h_a^*=1$, $c^*=0.157$	6.09	6.85	7.82	9.13	9.96	10.96	12.18	13.70	15.65
$h_a^*=1$, $c^*=0.25$	6.35	7.14	8.16	9.53	10.39	11.43	12.70	14.29	16.33
径节 P	3	$2\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	2	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	1
$h_a^*=1$, $c^*=0.157$	18.26	19.92	21.91	24.35	27.39	31.31	36.52	43.83	54.79
$h_a^*=1$, $c^*=0.25$	19.05	20.78	22.86	25.40	28.57	32.66	38.10	45.72	57.15

表11-7-9 径节制直齿圆柱齿轮齿顶圆直径d_a和分度圆直径d (mm)

齿数 z	$P10$ ($m=2.54$)		$P12$ ($m=2.1167$)		$P14$ ($m=1.8143$)		$P16$ ($m=1.5875$)		$P18$ ($m=1.4111$)	
	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d
9	27.94	22.86	23.28	19.05	19.96	16.33	17.46	14.29	15.52	12.70
10	30.48	25.40	25.40	21.17	21.77	18.14	19.05	15.88	16.93	14.11
11	33.02	27.94	27.52	23.28	23.58	19.96	20.64	17.46	18.34	15.52
12	35.56	30.48	29.63	25.40	25.40	21.77	22.23	19.05	19.76	16.93
13	38.10	33.02	31.75	27.52	27.21	23.58	23.81	20.64	21.17	18.34
14	40.64	35.56	33.87	29.63	29.03	25.40	25.40	22.23	22.58	19.76
15	43.18	38.10	35.98	31.75	30.84	27.21	26.99	23.81	23.99	21.17
16	45.72	40.64	38.10	33.87	32.66	29.03	28.58	25.40	25.40	22.58
17	48.26	43.18	40.22	35.98	34.47	30.84	30.16	26.99	26.81	23.99
18	50.80	45.72	42.33	38.10	36.28	32.66	31.75	28.58	28.22	25.40
19	53.34	48.26	44.45	40.22	38.10	34.47	33.34	30.16	29.63	26.81
20	55.88	50.80	46.57	42.33	39.91	36.28	34.93	31.75	31.04	28.22
21	58.42	53.34	48.68	44.45	41.73	38.10	36.51	33.34	32.46	29.63
22	60.96	55.88	50.80	46.57	43.54	39.91	38.10	34.93	33.87	31.04
23	63.50	58.42	52.92	48.68	45.36	41.73	39.69	36.51	35.28	32.46
24	66.04	60.96	55.03	50.80	47.17	43.54	41.28	38.10	36.69	33.87
25	68.58	63.50	57.15	52.92	48.98	45.36	42.86	39.69	38.10	35.28
26	71.12	66.04	59.26	55.03	50.80	47.17	44.45	41.28	39.51	36.69
27	73.66	68.58	61.38	57.15	52.61	48.98	46.04	42.86	40.92	38.10
28	76.20	71.12	63.50	59.26	54.43	50.80	47.63	44.45	42.33	39.51
29	78.74	73.66	65.62	61.38	56.24	52.61	49.21	46.04	43.74	40.92
30	81.28	76.20	67.73	63.50	58.06	54.43	50.80	47.63	45.16	42.33

（续）

齿数 z	$P10$ ($m=2.54$)		$P12$ ($m=2.1167$)		$P14$ ($m=1.8143$)		$P16$ ($m=1.5875$)		$P18$ ($m=1.4111$)	
	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d
31	83.82	78.74	69.85	65.62	59.87	56.24	52.39	49.21	46.57	43.74
32	86.36	81.28	71.96	67.73	61.68	58.06	53.98	50.80	47.98	45.16
33	88.90	83.82	74.08	69.85	63.50	59.87	55.56	52.39	49.39	46.57
34	91.44	86.36	76.20	71.96	65.31	61.68	57.15	53.98	50.80	47.98
35	93.98	88.90	78.31	74.08	67.13	63.50	58.74	55.56	52.21	49.39
36	96.52	91.44	80.43	76.20	68.94	65.31	60.33	57.15	53.62	50.80
37	99.06	93.98	82.55	78.31	70.75	67.13	61.91	58.74	55.03	52.21
38	101.60	96.52	84.66	80.43	72.57	68.94	63.50	60.33	56.44	53.62
39	104.14	99.06	86.78	82.55	74.38	70.75	65.09	61.91	57.86	55.03
40	106.68	101.60	88.90	84.66	76.20	72.57	66.68	63.50	59.27	56.44
41	109.22	104.14	91.01	86.78	78.01	74.38	68.26	65.09	60.68	57.86
42	111.76	106.68	93.13	88.90	79.82	76.20	69.85	66.68	62.09	59.27
43	114.30	109.22	95.25	91.01	81.64	78.01	71.44	68.26	63.50	60.68
44	116.84	111.76	97.36	93.13	83.45	79.82	73.03	69.85	64.91	62.09
45	119.38	114.30	99.48	95.25	85.27	81.64	74.61	71.44	66.32	63.50
46	121.92	116.84	101.60	97.36	87.08	83.45	76.20	73.03	67.73	64.91
47	124.46	119.38	103.71	99.48	88.90	85.27	77.79	74.61	69.14	66.32
48	127.00	121.92	105.83	101.60	90.71	87.08	79.38	76.20	70.56	67.73
49	129.54	124.46	107.95	103.71	92.52	88.90	80.96	77.79	71.97	69.14
50	132.08	127.00	110.06	105.83	94.34	90.71	82.55	79.38	73.38	70.56
51	134.62	129.54	112.18	107.95	96.15	92.52	84.14	80.96	74.79	71.97
52	137.16	132.08	114.30	110.06	97.97	94.34	85.73	82.55	76.20	73.38
53	139.70	134.62	116.41	112.18	99.78	96.15	87.31	84.14	77.61	74.79
54	142.24	137.16	118.53	114.30	101.60	97.97	88.90	85.73	79.02	76.20
55	144.78	139.70	120.65	116.41	103.41	99.78	90.49	87.31	80.43	77.61
56	147.32	142.24	122.76	118.53	105.22	101.60	92.08	88.90	81.84	79.02
57	149.86	144.78	124.88	120.65	107.04	103.41	93.66	90.49	83.25	80.43
58	152.40	147.32	127.00	122.76	108.86	105.22	95.25	92.08	84.67	81.84
59	154.94	149.86	129.11	124.88	110.67	107.04	96.84	93.66	86.08	83.25
60	157.48	152.40	131.23	127.00	112.49	108.86	98.43	95.25	87.49	84.67
61	160.02	154.94	133.35	129.11	114.29	110.67	100.01	96.84	88.90	86.08
62	162.56	157.48	135.46	131.23	116.11	112.49	101.60	98.43	90.31	87.49
63	165.10	160.02	137.58	133.35	117.93	114.29	103.19	100.01	91.72	88.90
64	167.64	162.56	139.70	135.46	119.74	116.11	104.78	101.60	93.13	90.31
65	170.18	165.10	141.81	137.58	121.56	117.93	106.36	103.19	94.54	91.72
66	172.72	167.64	143.93	139.70	123.37	119.74	107.95	104.78	95.95	93.13
67	175.26	170.18	146.05	141.81	125.18	121.56	109.54	106.36	97.37	94.54
68	177.80	172.72	148.16	143.93	127.00	123.37	111.13	107.95	98.78	95.95
69	180.34	175.26	150.28	146.05	128.81	125.18	112.71	109.54	100.19	97.37
70	182.88	177.80	152.40	148.16	130.63	127.00	114.30	111.13	101.60	98.78
71	185.42	180.34	154.51	150.28	132.44	128.81	115.89	112.71	103.01	100.19
72	187.96	182.88	156.63	152.40	134.25	130.63	117.48	114.30	104.42	101.60
73	190.50	185.42	158.75	154.51	136.07	132.44	119.06	115.89	105.83	103.01
74	193.04	187.96	160.87	156.63	137.89	134.25	120.65	117.48	107.24	104.42
75	195.58	190.50	162.99	158.75	139.70	136.07	122.24	119.06	108.65	105.83
76	198.12	193.04	165.10	160.87	141.51	137.89	123.83	120.65	110.07	107.24
77	200.66	195.58	167.22	162.99	143.33	139.70	125.41	122.24	111.48	108.65
78	203.20	198.12	169.33	165.10	145.14	141.51	127.00	123.83	112.89	110.07
79	205.74	200.66	171.45	167.22	146.96	143.33	128.59	125.41	114.30	111.48
80	208.28	203.20	173.57	169.33	148.77	145.14	130.18	127.00	115.71	112.89

（续）

齿数	P10 (m = 2.54)		P12 (m = 2.1167)		P14 (m = 1.8143)		P16 (m = 1.5875)		P18 (m = 1.4111)	
z	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d
81	210.82	205.74	175.69	171.45	150.59	146.96	131.76	128.59	117.12	114.30
82	213.36	208.28	177.80	173.57	152.40	148.77	133.35	130.18	118.53	115.71
83	215.90	210.82	179.92	175.69	154.21	150.59	134.94	131.76	119.94	117.12
84	218.44	213.36	182.04	177.80	156.03	152.40	136.53	133.35	121.35	118.53
85	220.98	215.90	184.15	179.92	157.84	154.21	138.11	134.94	122.77	119.94
86	223.52	218.44	186.27	182.04	159.66	156.03	139.70	136.53	124.18	121.35
87	226.06	220.98	188.39	184.15	161.47	157.84	141.29	138.11	125.59	122.77
88	228.60	223.52	190.50	186.27	163.29	159.66	142.88	139.70	127.00	124.18
89	231.14	226.06	192.62	188.39	165.10	161.47	144.46	141.29	128.41	125.59
90	233.68	228.60	194.74	190.50	166.91	163.29	146.05	142.88	129.82	127.00
91	236.22	231.14	196.85	192.62	168.73	165.10	147.64	144.46	131.23	128.41
92	238.76	233.68	198.97	194.74	170.54	166.91	149.23	146.05	132.64	129.82
93	241.30	236.22	201.09	196.85	172.36	168.73	150.81	147.64	134.05	131.23
94	243.84	238.76	203.20	198.97	174.17	170.54	152.40	149.23	135.47	132.64
95	246.38	241.30	205.32	201.09	175.99	172.36	153.99	150.81	136.88	134.05
96	248.92	243.84	207.44	203.20	177.80	174.17	155.58	152.40	138.29	135.47
97	251.46	246.38	209.55	205.32	179.61	175.99	157.16	153.99	139.70	136.88
98	254.00	248.92	211.67	207.44	181.43	177.80	158.75	155.58	141.11	138.29
99	256.54	251.46	213.79	209.55	183.24	179.61	160.34	157.16	142.52	139.70
100	259.08	254.00	215.90	211.67	185.06	181.43	161.93	158.75	143.93	141.11
101	261.62	256.54	218.02	213.79	186.87	183.24	163.51	160.34	145.34	142.52
102	264.16	259.08	220.14	215.90	188.68	185.06	165.10	161.93	146.75	143.93
103	266.70	261.62	222.25	218.02	190.50	186.87	166.69	163.51	148.17	145.34
104	269.24	264.16	224.37	220.14	192.31	188.68	168.28	165.10	149.58	146.75
105	271.78	266.70	226.49	222.25	194.13	190.50	169.86	166.69	150.99	148.17
106	274.32	269.24	228.60	224.37	195.94	192.31	171.45	168.28	152.40	149.58
107	276.86	271.78	230.72	226.49	197.76	194.13	173.04	169.86	153.81	150.99
108	279.40	274.32	232.84	228.60	199.57	195.94	174.63	171.45	155.22	152.40
109	281.94	276.86	234.95	230.72	201.38	197.76	176.21	173.04	156.63	153.81
110	284.48	279.40	237.07	232.84	203.20	199.57	177.80	174.63	158.04	155.22
111	287.02	281.94	239.18	234.94	205.00	201.38	179.39	176.21	159.45	156.63
112	289.56	284.48	241.29	237.07	206.82	203.20	180.98	177.80	160.87	158.04
113	292.10	287.02	243.41	239.18	208.63	205.00	182.56	179.39	162.28	159.45
114	294.64	289.56	245.53	241.29	210.45	206.82	184.15	180.98	163.69	160.87
115	297.18	292.10	247.64	243.41	212.26	208.63	185.74	182.56	165.10	162.28
116	299.72	294.64	249.76	245.53	214.09	210.45	187.33	184.15	166.51	163.69
117	302.26	297.18	251.88	247.64	215.89	212.26	188.91	185.74	167.92	165.10
118	304.80	299.72	253.99	249.76	217.70	214.09	190.50	187.33	169.33	166.51
119	307.34	302.26	256.11	251.88	219.52	215.89	192.09	188.91	170.74	167.92
120	309.88	304.80	258.23	253.99	221.34	217.70	193.68	190.50	172.15	169.33
121	312.42	307.34	260.34	256.11	223.15	219.52	195.26	192.09	173.57	170.74
122	314.96	309.88	262.46	258.23	224.96	221.34	196.85	193.68	174.98	172.15
123	317.50	312.42	264.58	260.34	226.78	223.15	198.44	195.26	176.39	173.57
124	320.04	314.96	266.69	262.46	228.59	224.96	200.03	196.85	177.80	174.98
125	322.58	317.50	268.81	264.58	230.41	226.78	201.61	198.44	179.21	176.39
126	325.12	320.04	270.92	266.69	232.22	228.59	203.20	200.03	180.62	177.80
127	327.66	322.58	273.04	268.81	234.04	230.41	204.79	201.61	182.03	179.21
128	330.20	325.12	275.16	270.92	235.86	232.22	206.38	203.20	183.44	180.62
129	332.74	327.66	277.27	273.04	237.66	234.04	207.96	204.79	184.85	182.03
130	335.28	330.20	279.39	275.16	239.49	235.86	209.55	206.38	186.27	183.44

（续）

齿数 z	$P10$ ($m=2.54$)		$P12$ ($m=2.1167$)		$P14$ ($m=1.8143$)		$P16$ ($m=1.5875$)		$P18$ ($m=1.4111$)	
	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d	d_a	d
131	337.82	332.74	281.51	277.27	241.29	237.66	211.14	207.96	187.68	184.85
132	340.36	335.28	283.62	279.39	243.12	239.49	212.73	209.55	189.09	186.27
133	342.90	337.82	285.74	281.51	244.92	241.29	214.31	211.14	190.50	187.68
134	345.44	340.36	287.86	283.62	246.73	243.12	215.90	212.73	191.91	189.09
135	347.98	342.90	289.97	285.74	248.55	244.92	217.49	214.31	193.32	190.50
136	350.57	345.44	292.09	287.86	250.36	246.73	219.08	215.90	194.73	191.91
137	353.06	347.98	294.21	289.97	252.19	248.55	220.66	217.49	196.14	193.32
138	355.60	350.57	296.34	292.09	253.99	250.36	222.25	219.08	197.55	194.73
139	358.14	353.06	298.44	294.21	255.82	252.19	223.84	220.66	198.97	196.14
140	360.68	355.60	300.56	296.34	257.62	253.99	225.43	222.25	200.38	197.55

注：求其它P值的d_a和d的方法：例如$z=120$，$P=8$。查$P16$一栏，则其齿顶圆直径$d_a=\frac{16}{8}\times 193.68=387.35$ mm，

分度圆直径$d=\frac{16}{8}\times 190.50=381.00$mm。

（2）基节法　从基节公式$p_b=\pi m\cos\alpha$可看出它只与m和α有关，与h_a^*，c^*，x等无关，而且基节是在同侧的齿面间进行测量，受齿面磨损的影响较小，因此用基节法来判别m，α比较精确可靠。根据测算的基节p_b'与基节表11-7-7中的数值相对比，一般就可确定m和α。在对比过程中，会遇到有些基节值很相近，一时难以判断，如

$$m=1.75,\quad \alpha=14^1/_2{}^\circ,\quad p_b=5.323$$

$$m=1.75,\quad \alpha=15^\circ,\quad p_b=5.310$$

$$p=14,\quad \alpha=20^\circ,\quad p_b=5.356$$

在这种情况下，要正确判断α和m，还必须进一步分析。一般先测算齿形角α，然后再查表11-7-7或按下式：

$$m=\frac{p_b'}{\pi\cos\alpha} \tag{11-7-9}$$

来确定模数。

测算齿形角的方法有下列几种：

1）齿根圆直径和基圆直径法

$$(d_{f2}''-d_{f1}'')\sin\alpha-(d_{b2}'-d_{b1}')\alpha=s_{b2}'-s_{b1}' \tag{11-7-10}$$

或写成下列简式：

$$A\sin\alpha-B\alpha=C$$

$$A=d_{f2}''-d_{f1}'';\quad B=d_{b2}'-d_{b1}'$$

$$C=s_{b2}'-s_{b1}'$$

式中　d_f''——齿根圆实测直径；

d_b'——基圆直径，根据测算的p_b'计算，$d_b'=\frac{zp_b'}{\pi}$ (11-7-11)

s_b'——补偿后的基圆齿厚，$s_b'=W_k'-(k-1)p_b'$ (11-7-12)

式11-7-12中的W_k'要采用按式（11-7-4）计算的补偿值。

式（11-7-10）是超越方程，可根据所测算的p_b'值从基节表中查出几个近似的α'值用试算法来确定齿形角。也可以根据测算值d_f''，d_b'，s_b'按下式求出齿形角：

$$\alpha=20^\circ\pm\left(\operatorname{ctg}20^\circ-\frac{B}{A\sin 20^\circ}\right)\frac{180^\circ}{\pi}\pm\frac{180^\circ}{\pi\sin 20^\circ}$$

$$\times\sqrt{1+\sin^2 20^\circ-\frac{(2B\cos 20^\circ+2B\sin 20^\circ\pi/9+2C\sin 20^\circ)A-B^2}{A^2}}$$

$$=20^\circ\pm\left(157.41886-167.52165\frac{B}{A}\right)$$

$$\pm 100\sqrt{3.13463-\frac{(5.9443B+1.91966C)A-2.80635B^2}{A^2}} \tag{11-7-13}$$

式中，$A=d''_{f2}-d_{f1}$，$B=d'_{b2}-d'_{b1}$，$C=s'_{b1}-s'_{b2}$，各代号的含义同式（11-7-10）。

2）齿顶圆直径和基圆直径法

$$(d''_{a2}-d''_{a1})\sin\alpha-(d'_{b2}-d'_{b1})\alpha=s'_{b2}-s'_{b1} \tag{11-7-14}$$

计算方法同式（11-7-10）。也可按式（11-7-13）计算，但式中$A=d''_{a2}-d''_{a1}$。

3）齿根圆直径和齿顶高系数、顶隙系数法

$$d''_f\sin\alpha-d'_b\alpha+2(h^*_a+c^*)\frac{p'_t}{\pi}\operatorname{tg}\alpha=W'_k-(k-0.5)p'_b \tag{11-7-15}$$

4）对于标准齿轮（$x=0$）

$$\operatorname{inv}\alpha=\frac{\pi}{z}\left[\frac{W'_k}{p_b}-(k-0.5)\right] \tag{11-7-16}$$

或

$$\operatorname{inv}\alpha=\frac{\pi}{z}\left[\frac{W'_k+W'_{k+1}}{2p_b}-k\right] \tag{11-7-17}$$

式中的W'_k和W'_{k+1}是按式（11-7-4）计算的。

5）量柱（球）测量法

用两个直径大小不同的量柱（或量球），直径分别为d_{M1}和d_{M2}（$d_{M1}>d_{M2}$），按图11-7-12 a 分别测出l_1和l_2，并按下式计算：

$$0.5(d_{M1}-d_{M2})=r_b(\operatorname{inv}\alpha_{M1}-\operatorname{inv}\alpha_{M2}) \tag{11-7-18}$$

式中 $\alpha_M=\arccos\frac{r_b}{l}$

当l_1和l_2值无法直接测出时，可按表11-6-2中量柱（球）测量法插图所示方法，用d_{M1}和d_{M2}（$d_{M1}>d_{M2}$）分别测出量柱（球）距M_1和M_2，再按下式计算出l_1和l_2：

$$l=\frac{M-d_M}{2}\quad\text{（偶数齿）}$$

$$l=\frac{M-d_M}{2}\sec\frac{90^\circ}{z}\quad\text{（奇数齿）}$$

$\sec\frac{90^\circ}{z}$可查表11-6-27。

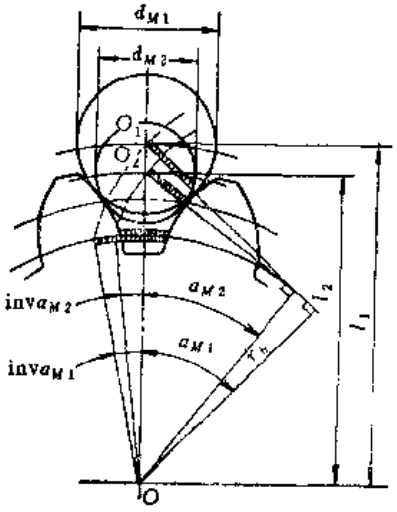
当所测绘的齿轮较大，无法直接测出l_1和l_2，也无法测出M_1和M_2时，可按图11-7-12 b 方法，用两组直径大小不同的量柱（球）d_{M1}和d_{M2}（$d_{M1}>d_{M2}$），分别测出M'_1和M'_2，再按下式计算出l_1和l_2：

$$l_1=\frac{M'_1-d_{M1}}{2\sin\frac{180^\circ}{z}},\qquad l_2=\frac{M'_2-d_{M2}}{2\sin\frac{180^\circ}{z}}$$

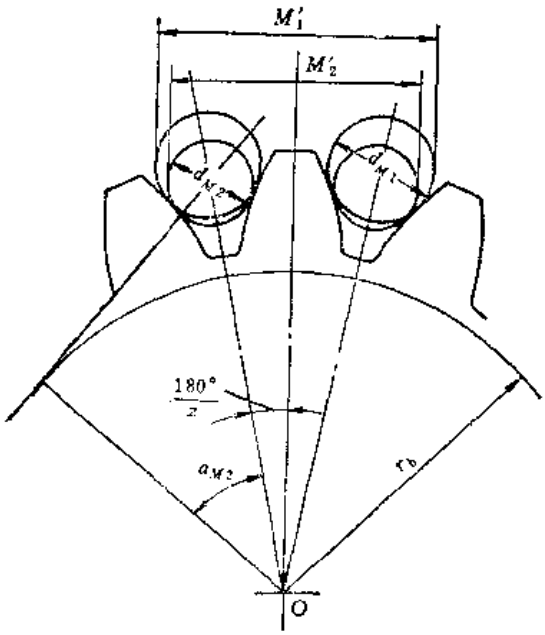
由于$\operatorname{inv}\alpha=\operatorname{tg}\alpha-\alpha$，代入上式整理后得：

$$0.5(d_{M1}-d_{M2})=\sqrt{l_1^2-r_b^2}-\sqrt{l_2^2-r_b^2}+r_b\times\left(\arccos\frac{r_b}{l_2}-\arccos\frac{r_b}{l_1}\right) \tag{11-7-19}$$

式（11-7-19）是超越方程。解超越方程的方法有多种，这里只介绍切线法（牛顿法）。



a）



b）

图11-7-12 齿形角的量柱（球）测量法

令 $$f(r_{bn})=\sqrt{l_1^2-r_b^2}-\sqrt{l_2^2-r_b^2}+r_b\left(\arccos\frac{r_b}{l_2}-\arccos\frac{r_b}{l_1}\right)-\frac{d_{M1}-d_{M2}}{2} \quad (11\text{-}7\text{-}20)$$

$$f'(r_{bn})=\arccos\frac{r_b}{l_2}-\arccos\frac{r_b}{l_1} \quad (11\text{-}7\text{-}20\,a)$$

用数值逼近法解方程，则：

$$r_{bn+1}=r_{bn}-\frac{f(r_{bn})}{f'(r_{bn})} \quad (11\text{-}7\text{-}20\,b)$$

经多次逼近，使其误差$\left|\frac{f(r_{bn})}{f'(r_{bn})}\right|<\delta$（规定误差），则$r_{bn+1}$就是该方程的近似解。$r_{bn+1}$就是所测绘齿轮的基圆半径近似值，并可求得其基节$p_b$为：

$$p_b=\frac{2\pi r_{bn+1}}{z}$$

据此可从表11-7-7查得齿形角α。

有条件的话，可在计算机上进行计算则更为方便准确。为了配合计算机的使用，上列各式中的代号作了适当的简化：如用D_1和D_2分别代替d_{M1}和d_{M2}，α_1和α_2代替α_{M1}和α_{M2}，则

$$y=\frac{D_1-D_2}{2}=r_b(\mathrm{inv}\alpha_1-\mathrm{inv}\alpha_2)$$

$$\alpha_1=\arccos\frac{r_b}{l_1},\quad \alpha_2=\arccos\frac{r_b}{l_2}$$

$$l=\frac{M-D}{2}\ \text{（偶数齿）}$$

$$l=\frac{M-D}{2}\sec\frac{90^\circ}{z}\ \text{（奇数齿）}$$

$$f(r_b)=\sqrt{l_1^2-r_b^2}-\sqrt{l_2^2-r_b^2}+r_b\times\left(\arccos\frac{r_b}{l_2}-\arccos\frac{r_b}{l_1}\right)-\frac{1}{2}(D_1-D_2)$$

计算程序如下：

```
100 ' ********************************************
110 ' *          量棒法测绘渐开线齿轮            *
120 ' ********************************************
140 KEY OFF
150 GOSUB 800
155 PI=3.1415926#
160 SCREEN 2
170 DEFDBL A-Z
180 ON ERROR GOTO 760
190 CLS:COUNT=0:PRINT"请输入量测数据:"
200 INPUT"是内齿轮吗 (Y/N)"; NGS$
210 IF NGS$<>"Y"AND NGS$<>"y"AND NGS$<>"N"AND NGS$<>"n"
    GOTO 190
220 INPUT"齿数          Z ="; GZ
230 INPUT"测量值        M1 ="; GM1
240 INPUT"测量值        M2 ="; GM2
250 INPUT"量柱直径      D1 ="; GD1
260 INPUT"量柱直径      D2 ="; GD2
270 IF GZ<=0 OR GM1<=0 OR GM2<=0 OR GD1<=0 OR GD2<=0 THEN 760
280 IF GM1<GM2 THEN GT=GM1: GM1=GM2:GM2=GT
290 IF GD1<GD2 THEN GT=GD1: GD1=GD2:GD2=GT
300 W=2*COS (PI/(2*GZ))
310 IF NGS$="Y"OR NGS$="y"THEN 380                ' 内齿轮
320 IF INT (GZ/2)<>(GZ/2) THEN 350                ' 奇数齿
330 ' 偶数齿
340 L1=(GM1-GD1)/2: L2=(GM2-GD2)/2:GOTO 430
```

```
350 ' 奇数齿
360 L1=(GM1-GD1)/W:L2=(GM2-GD2)/W:GOTO 430
370 ' 内齿轮
380 IF INT(GZ/2)<>(GZ/2) THEN 410              ' 奇数齿
390 ' 偶数齿
400 L1=(GM1+GD1)/2:L2=(GM2+GD2)/2:GOTO 430
410 ' 奇数齿
420 L1=(GM1+GD1)/W:L2=(GM2+GD2)/W:GOTO 430
430 ' 叠代求解R值
440 PRINT"正在求解…"
450 IF ABS(L1)<ABS(L2) THEN R=L1 ELSE R=L2
460 K1=L1*L1-R*R:K2=L2*L2-R*R
470 IF K1<0 OR K2<0 THEN 760
480 Q=ATN(SQR(K2)/R)-ATN(SQR(K1)/R)
490 F=SQR(K1)-SQR(K2)+R*Q-ABS(GD1-GD2)/2
500 N=ABS(F/Q)
510 R=R-(F/Q)
520 COUNT=COUNT+1:IF COUNT>200 THEN 760        '不收敛，转错误处理
530 LOCATE 8, 30:PRINT COUNT
540 IF N>.0001 THEN 460                        '进行下一次叠代
550 T=INT(2*PI*R/2*1000+.5)/1000
560 ' 屏幕输出
570 PRINT"基圆半径          R=";R
580 PRINT"基节              T=";T
590 INPUT"要打印结果吗    (Y/N)";GS$
600 IF GS$<>"Y" AND GS$<>"y"AND GS$<>"N" AND GS$<>"n"GOTO 590
610 IF GS$="N" OR GS$="n" THEN 710
620 ' 打印结果
630 PRINT"测量数据如下:"
640 IF NGS$="y" OR NGS$="Y"THEN LPRINT"内齿轮    ";ELSE LPRINT"外齿轮
650 LPRINT"齿数    Z=";GZ
660 LPRINT"量测值  M1=";GM1,"M2=";GM2
670 LPRINT"量柱直径  D1=";GD1,"D2=";GD2
680 LPRINT"计算结果如下:"
690 LPRINT"基圆半径:  R=";R,"基节    T=";T
700 ' 下一轮
710 INPUT"继续计算吗(Y/N)";GS$
720 IF GS$<>"Y"AND GS$<>"y"AND GS$<>"N"AND GS$<>"n"GOTO
730 IF GS$="Y"OR GS$="y"THEN 190
740 END
750 ' 错误处理
760 PRINT"运算出错!";CHR$(7),"请检查你的输入数据!"
770 PRINT"M1=";GM1,"M2=";GM2
```

```
780  PRINT"D1=";GD1,"D2=";GD2
790  GOTO 710
800  ' 初始化子程序
810  SCREEN 1,0:COLOR 9,0:CLS
820  TITLE$="量棒法测绘渐开线齿轮"
830  FOR I=1 TO 10
840  LOCATE I,36:PRINT MID$(TITLE$,2*I-1,2)
850  NEXT I
860  LOCATE 1,1
865  PI=3.1415926#
870  CA=20:CX=110:CY=130
880  LINE (0,CY)-(280,CY), 3
890  CIRCLE(CX, CY), CA, 2:CIRCLE(CX,CY), CA+1,2
900  CX0=CX+CA:CY0=CY
910  FOR ALPHA=0 TO 443
920  CT=ALPHA*PI/180!
930  CX1=CA*(COS(CT)+CT*SIN(CT))+CX
940  CY1=CA*(SIN(CT)-CT*COS(CT))+CY
950  LINE (CX1, CY1)-(CX0, CY0), 1
960  CX0=CX1:CY0=CY1
970  NEXT ALPHA
980  ' IF INKEY$=" "THEN 990
985  FOR I=1 TO 1000:NEXT I
990  RETURN
```

程序框图如图11-7-13所示（在 Apple-Ⅱ型微机上）。

3. 齿顶高系数和顶隙系数

$$c^*=\frac{4a''-(d_{a1}''+d_{a2}''+d_{f1}''+d_{f2}'')}{4m} \quad (11\text{-}7\text{-}21\,a)$$

$$c^*=\frac{h''}{m}-2h_a^*+v\approx\frac{d_a''-d_f''}{2m}-2h^* \quad (11\text{-}7\text{-}21\,b)$$

$$2h_a^*+c^*=\frac{h''}{m}+v\approx\frac{h''}{m}\approx\frac{d_a''-d_f''}{2m} \quad (11\text{-}7\text{-}22)$$

当$2h_a^*+c^*=2.1\sim2.4$时，一般为标准齿高，$2h_a^*+c^*<2.0$时为短齿，$2h_a^*+c^*\geqslant2.6$时为长齿。

（三）变位直齿圆柱齿轮的识辨和变位系数的确定

1. 确定变位啮合形式

在确定了模数和齿形角以后，应该确定所测绘的齿轮是标准齿轮还是变位齿轮。为此，首先将测量的齿数 z 和确定的模数 m 代入下式：

$$a=\frac{z_1+z_2}{2}m \quad (11\text{-}7\text{-}23)$$

如果计算的中心距 a 不等于实际测量的齿轮中心距 a''，就说明这对齿轮是变位齿轮。但另一方面，即使计算出来的 a 值与实际测量出来的 a'' 值相符合，也不排除存在变位的可能，故须进一步从齿轮的齿顶圆直径进行分析。

根据所确定的基本参数 m、h_a^* 和测量的齿数 z 代入下式：

$$d_a=(z+2h_a^*)m \quad (11\text{-}7\text{-}24)$$

分别计算大小齿轮的齿顶圆直径。当计算的数值与实际测量的数值不符时，就说明存在变位。如果齿顶圆直径的实测数值比计算数值大，则此齿轮为正变位，反之，则为负变位。

因此，当齿轮啮合的实际中心距 a'' 与计算的 a 相一致，而其齿顶圆直径的实际数值 d_a'' 与计算的数值 d_a 有所不同时，即一个齿轮的实际齿顶圆直径数值比计算数值大，另一个较小时，则这对齿轮是高变位齿轮。

当齿轮实际中心距 a'' 大于按式（11-7-23）计算的中心距 a 时，则此对齿轮是正角变位啮合。另一种情况，$a''<a$ 时，则为负角变位啮合。

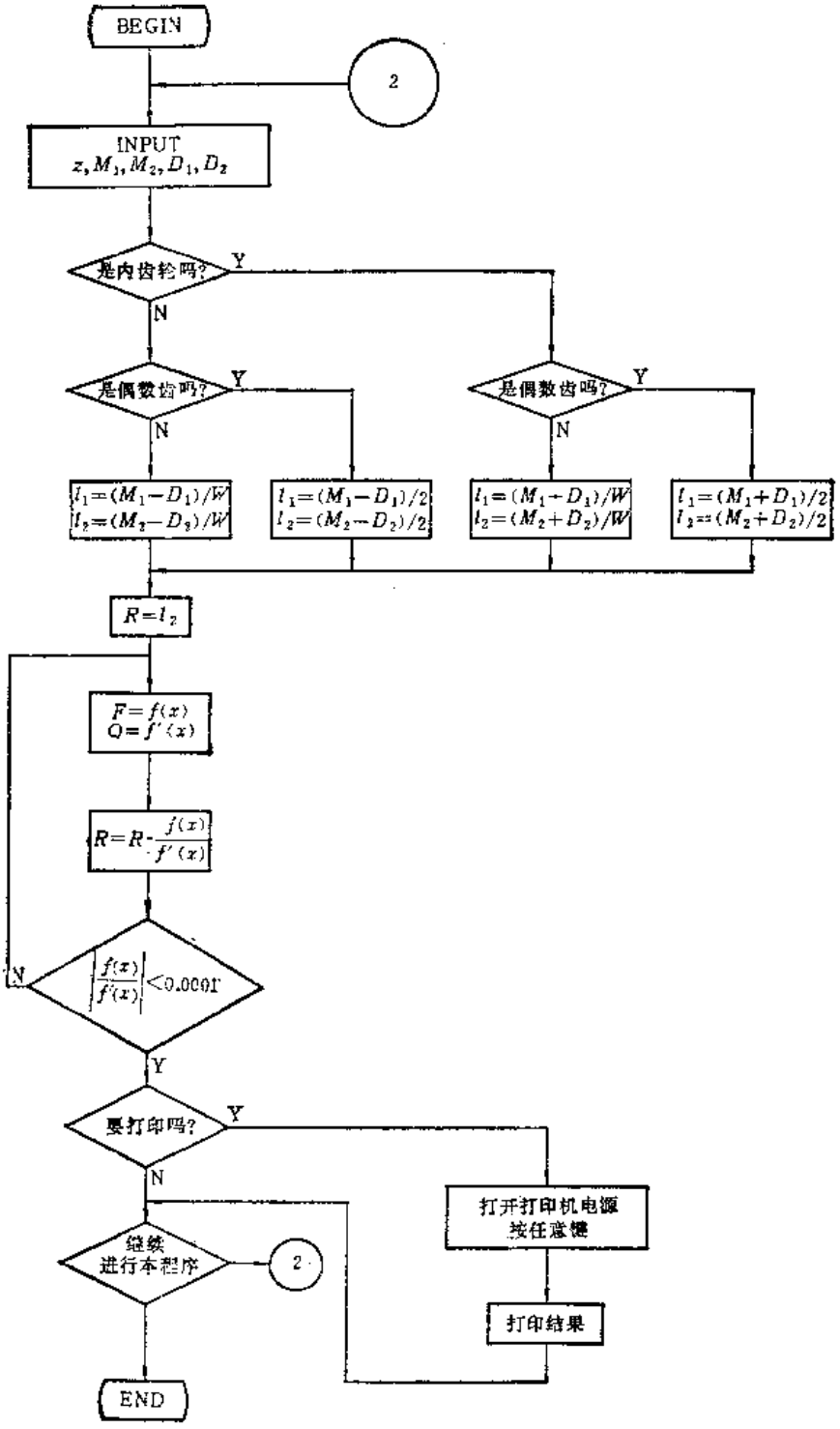

BEGIN
2
INPUT
z, M_1, M_2, D_1, D_2
是内齿轮吗?
Y
N
是偶数齿吗?
Y
N
是偶数齿吗?
Y
N
$l_1=(M_1-D_1)/W$
$l_2=(M_2-D_2)/W$
$l_1=(M_1-D_1)/2$
$l_2=(M_2-D_2)/2$
$l_1=(M_1-D_1)/W$
$l_2=(M_2+D_2)/W$
$l_1=(M_1+D_1)/2$
$l_2=(M_2+D_2)/2$
$R=l_2$
$F=f(x)$
$Q=f'(x)$
$R=R-\frac{f(x)}{f'(x)}$
$\left|\frac{f(x)}{f'(x)}\right|<0.0001$
N
Y
要打印吗?
Y
N
打开打印机电源
按任意键
继续
进行本程序
2
打印结果
END

图11-7-13 程序框图

2. 确定变位系数

（1）齿顶圆直径 d_a^* 法

对高变位啮合

$$x=\frac{d_a^*-d_a}{2m} \tag{11-7-25}$$

$$x=\frac{d_a^*}{2m}-\frac{z}{2}-h_a^* \tag{11-7-26}$$

或 $$x_1=0.25\left(\frac{d_{a1}^*-d_{a2}^*}{m}-z_1+z_2\right) \tag{11-7-27}$$

对角变位啮合

$$x=\frac{d_a^*}{2m}-\frac{z}{2}-h_a^*+y \tag{11-7-28}$$

或 $$x_1=0.25\left(\frac{d_{a1}^*-d_{a2}^*}{m}-z_1+z_2+2x_\Sigma\right) \tag{11-7-29}$$

$$x_2=0.25\left(\frac{d_{a2}^*-d_{a1}^*}{m}+z_1-z_2+2x_\Sigma\right) \tag{11-7-30}$$

式中，y 和 x_Σ 按表 11-5-7 公式计算。

（2）齿根圆直径 d_f^* 法

对高变位啮合：

$$x=\frac{d_f^*}{2m}-\frac{z}{2}+h_a^*+c^* \tag{11-7-31}$$

或 $$x_1=0.25\left(\frac{d_{f1}^*-d_{f2}^*}{m}-z_1+z_2\right) \tag{11-7-32}$$

对角变位啮合

$$x=\frac{d^*}{2m}-\frac{z}{2}+h_a^*+c^* \tag{11-7-33}$$

或 $$x_1=0.25\left(\frac{d_{f1}^*-d_{f2}^*}{m}-z_1+z_2+2x_\Sigma\right) \tag{11-7-34}$$

$$x_2=0.25\left(\frac{d_{f2}^*-d_{f1}^*}{m}+z_1-z_2+2x_\Sigma\right) \tag{11-7-35}$$

式中，x_Σ 按表11-5-7公式计算。

（3）公法线长度 W_k' 法

$$x=\frac{W_k'-mW_k^*}{2m\sin\alpha} \tag{11-7-36}$$

式中，W_k' 按式（11-7-4）计算，W_k^* 见表 11-6-5、7。

（4）量柱（球）测量 M'' 法

$$x=\frac{1}{2\operatorname{tg}\alpha}\left(\frac{\pi}{2}+z\,\mathrm{inv}\alpha_M-\frac{zd_M}{d_b}-z\,\mathrm{inv}\alpha\right) \tag{11-7-37}$$

式中 $\alpha_M=\arccos\dfrac{d_b}{M''-d_M}$（偶数齿）

$\alpha_M=\arccos\dfrac{d_b}{M''-d_M}\cos\dfrac{90^\circ}{z}$（奇数齿）

$d_b=zm\cos\alpha$

（5）基圆齿厚 s^* 法

$$x=\frac{1}{2\operatorname{tg}\alpha}\left(\frac{zs_b'}{d_b}-z\,\mathrm{inv}\alpha-\frac{\pi}{2}\right) \tag{11-7-38}$$

式中，s_b' 按式（11-7-12）计算。

综上所述，直齿圆柱齿轮的测绘程序如图 11-7-14所示。

例 1 一对直齿圆柱齿轮的测绘参数见下表中测绘值一栏，此外，$d_{a1}''=37.73$mm，$L=6.32$mm（图11-7-3），估计 7 级精度（以下计算，单位mm均省略）。

（1）计算小齿轮齿顶圆外径 d_{a1}'，按式（11-7-1）：

$$d_{a1}'=\frac{L^2}{4d_{a1}''}+d_{a1}''=\frac{6.32^2}{4\times37.73}+37.73=37.99$$

（2）按公式（11-7-6～8）：

$$m_1'=\frac{d_{a1}'}{z_1+2h_a^*}=\frac{37.99}{17+2}=1.9995$$

（设 $h_a^*=1$）

$$m_1'=\frac{d_{a1}''-d_{f1}'}{2(2h_a^*+c^*)}=\frac{37.99-28.92}{2(2+0.25)}=2.0$$

（设 $h_a^*=1$，$c^*=0.25$）

$$m'=\frac{2a''}{z_1+z_2}=\frac{2\times57.10}{17+40}=2.004$$

$$m_2'=\frac{d_{a2}''}{z_2+2h_a^*}=\frac{83.91}{40+2}=1.998$$

$$m_2'=\frac{d_{a2}''-d_{f2}''}{2(2h_a^*+c^*)}=\frac{83.91-74.91}{2(2+0.25)}=2.0$$

以上 5 个计算数值很接近，估计这对齿轮是 $m=2$。

（3）按式（11-7-3）初定基节 p_b'：

$$p_b'=W_5''-W_4''=27.40-21.52=5.88$$

查表 11-7-7 中与此值相接近的有：

$m=2$，$\alpha=20^\circ$，$p_b=5.904$

$P=12$，$\alpha=27^\circ$，$p_b=5.925$

$m=2$，$\alpha=17\frac{1}{2}^\circ$，$p_b=5.992$

（4）按 p_b' 计算齿形角 α，

按照基节的公式 $p_b=\pi m\cos\alpha$ 可知，

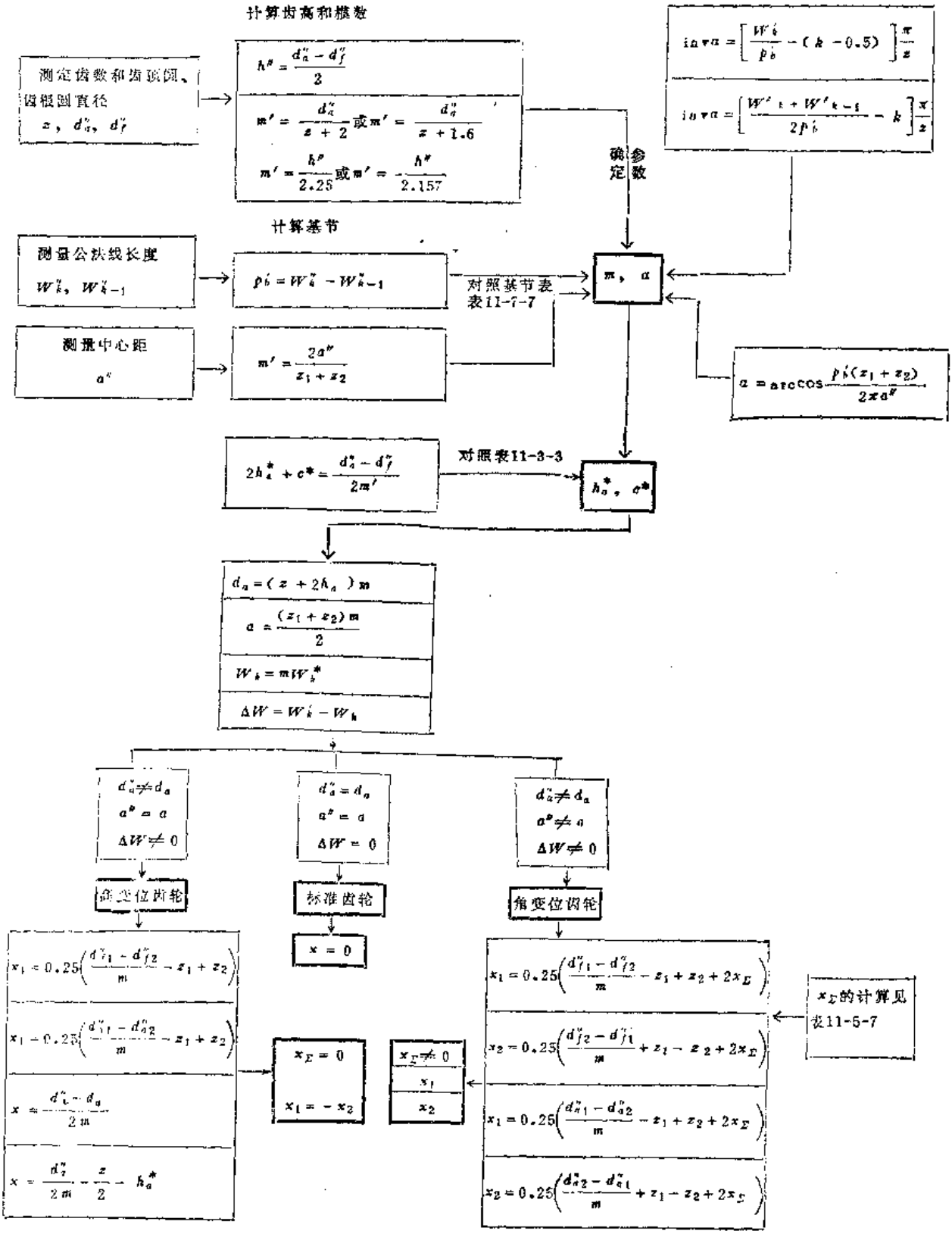


图11-7-14 直齿圆柱齿轮测绘程序图

$$\alpha = \arccos\frac{p_b'(z_1+z_2)}{2\pi a''}$$

$$= \arccos\frac{5.88(17+40)}{2\pi \times 57.10} = 20.9^\circ$$

由以上计算可判断，这对齿轮是 $\alpha = 20^\circ$，$m = 2$，$h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$。

（5）几何尺寸验算见下表。

（mm）

序号	代号	测绘值		验算公式	验算值		误差	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	17	40		17	40	—	—
2	d_a''		83.91	$d_a = (z+2h_a^*)m$	38	84	-0.01	-0.09
3	d_f''	28.92	74.91	$d_f = (z-2h_a^*-2c^*)m$	29	75	-0.08	-0.09
4	W_k''	$W_2'' = 9.1$	$W_5'' = 27.4$ $W_4'' = 21.52$	$W_k = mW_k^*$（表11-6-7）	$W_2 = 9.33$	$W_5 = 27.68$	-0.23	-0.28
5	a''	57.10		$a = \frac{1}{2}(z_1+z_2)m$	57		+0.10	

例2 沪东牛头刨床中一对齿轮的实测参数见下表中测绘值一栏，估计精度为8级。

（1）按式（11-7-6～8）：

$$m_1' = \frac{d_{a1}''}{z_1+2h_a^*} = \frac{79.38}{23+2\times 1} = 3.175$$

（设 $h_a^* = 1$）

$$m_1' = \frac{d_{a1}''-d_{f1}''}{2(2h_a^*+c^*)} = \frac{79.38-65.60}{2(2+0.25)} = 3.0622$$

（设 $h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$）

$$m_1' = \frac{79.38-65.60}{2(2+0.157)} = 3.194$$

（设 $h_a^* = 1$，$c^* = 0.157$）

$$m_2' = \frac{d_{a2}''}{z_2+2h_a^*} = \frac{111.02}{33+2\times 1} = 3.172$$

（设 $h_a^* = 1$）

$$m_2' = \frac{d_{a2}''-d_{f2}''}{2(2h_a^*+c^*)} = \frac{111.02-97.36}{2\times 2.25}$$

$= 3.0355$（设 $h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$）

$$m_2' = \frac{111.02-97.36}{2\times 2.157} = 3.166$$

（设 $h_a^* = 1$，$c^* = 0.157$）

$$m' = \frac{2a''}{z_1+z_2} = \frac{2\times 88.9}{23+33} = 3.174$$

从以上计算结果估计，此对齿轮是径节制 $P = 8$（$m = 3.175$）。

（2）按式（11-7-3）初定基节 p_b'：

$$p_{b2}' = W_3'' - W_2'' = 24.10 - 14.46 = 9.64$$

$$p_{b2}' = W_4'' - W_3'' = 34.10 - 24.47 = 9.63$$

查表11-7-7中与此值相接近的有：

$P = 8$，$\alpha = 15^\circ$，$p_b = 9.635$

$P = 8$，$\alpha = 14^1/_2{}^\circ$，$p_b = 9.657$

$m = 3.25$，$\alpha = 17^1/_2{}^\circ$，$p_b = 9.738$

$m = 3.25$，$\alpha = 20^\circ$，$p_b = 9.594$

从表11-3-3可知，径节制齿轮很少采用 $\alpha = 15^\circ$ 的，故确定这对齿轮的参数为 $P = 8$（$m = 3.175$），$\alpha = 14^1/_2{}^\circ$，$h_a^* = 1$，$c^* = 0.157$。

（3）几何尺寸验算见下表。

例3 一对齿轮的实测参数见下表中测绘值一栏，估计精度为8级。

（1）按式（11-7-6～8）：

$$m_1' = \frac{d_{a1}''}{z_1+2h_a^*} = \frac{32.96}{14+2\times 1} = 2.06$$

（设 $h_a^* = 1$）

$$m_1' = \frac{d_{a1}''-d_{f1}''}{2(2h_a^*+c^*)} = \frac{32.96-23.95}{2\times 2.25} = 2.0$$

（设 $h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$）

$$m_2' = \frac{d_{a2}''}{z_2+2h_a^*} = \frac{48.99}{23+2\times 1} = 1.96$$

（设 $h_a^* = 1$）

$$m_2' = \frac{d_{a2}''-d_{f2}''}{2(2h_a^*+c^*)} = \frac{48.99-39.90}{2\times 2.25} = 2.02$$

（设 $h_a^* = 1$，$c^* = 0.25$）

$$m' = \frac{2a''}{z_1+z_2} = \frac{2\times 37}{14+23} = 2$$

(mm)

序号	代号	测绘值		验算公式	验算值		误差	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	23	33	—	—	—	—	—
2	d_a^w	79.38	111.02	$d_a=m(z+2h_a^*)$	79.375	111.125	0	-0.13
3	d_f^w	65.60	97.36	$d_f=m(z-2h_a^*-2c^*)$	65.675	97.425	-0.075	-0.07
4	W_k^w	$W_3^w=24.10$ $W_2^w=14.46$	$W_4^w=34.10$ $W_3^w=24.47$	$W_k=mW_k^*$ (表11-6-7)	$W_2=14.88$	$W_3=24.70$	-0.42	-0.23
5	a^w	88.90		$a=\frac{m}{2}(z_1+z_2)$	88.90		0	

从以上计算结果估计，这对齿轮为模数制，$m=2$。

（2）按式（11-7-3）初定基节 p'_b：

$p'_{b1}=W_3^w-W_2^w=15.36-9.45=5.91$

$p'_{b2}=W_4^w-W_3^w=20.84-14.94=5.90$

查表11-7-7中与此值相近的有：

$m=2$，$\alpha=14^1/_2^\circ$，$p_b=6.083$

$P=12$（$m=2.1167$），$\alpha=27^\circ$，$p_b=5.925$

$m=2$，$\alpha=20^\circ$，$p_b=5.904$

用滚刀（$m=2$，$\alpha=20^\circ$）试滚，齿形相符。故确定这对齿轮是：$\alpha=20^\circ$，$m=2$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$。

（3）标准啮合中心距 a

$$a=\frac{m}{2}(z_1+z_2)=\frac{2}{2}(14+23)=37$$

（4）标准齿轮的齿顶圆直径 d_a：

$d_{a1}=m(z_1+2h_a^*)=2(14+2)=32$，比实测值 d_{a1}^w 小0.96

$d_{a2}=m(z_2+2h_a^*)=2(23+2)=50$，比实测值 d_{a2}^w 大1.01

这对齿轮 $a^w=a$，$d_{a1}^w>d_{a1}$，$d_{a2}^w<d_{a2}$，估计是高变位。

（5）按式（11-7-26～32）：

$$x_1=\frac{d_{a1}^w}{2m}-\frac{z}{2}-h_a^*=\frac{32.96}{2\times2}-\frac{14}{2}-1=0.24$$

$$x_2=\frac{48.99}{2\times2}-\frac{23}{2}-1=-0.2525$$

$$x_\Sigma=0.25\left(\frac{d_{a1}^w-d_{a2}^w}{m}-z_1+z_2\right)=0.25\left(\frac{32.96-48.99}{2}-14+23\right)=0.27$$

$$x_\Delta=0.25\left(\frac{d_{f1}^w-d_{f2}^w}{m}-z_1+z_2\right)=0.25\left(\frac{23.95-39.90}{2}-14+23\right)=0.256$$

取 $x_1=-x_2=0.25$

（6）几何尺寸验算见下表。

例4 H63捷克斯洛伐克卧式镗床进给变速箱中一对齿轮，其实测参数见下表中测绘值一栏，估计精度为7级。

（1）按式（11-7-6～8）：

$$m_1'=\frac{d_{a1}^w}{z_1+2h_a^*}=\frac{53.33}{17+2\times1}=2.81$$

（设$h_a^*=1$）

$$m_1'=\frac{d_{a1}^w-d_{f1}^w}{2(2h_a^*+c^*)}=\frac{53.33-40.90}{2\times2.25}=2.76$$

（设$h_a^*=1$，$c^*=0.25$）

$$m_2'=\frac{d_{a2}^w}{z_2+2h_a^*}=\frac{97.6}{34+2\times1}=2.71$$

（设$h_a^*=1$）

$$m_2'=\frac{d_{a2}^w-d_{f2}^w}{2(2h_a^*-c^*)}=\frac{97.6-85.04}{2\times2.25}=2.79$$

（设$h_a^*=1$，$c^*=0.25$）

$$m'=\frac{2a^w}{z_1+z_2}=\frac{2\times70}{17+34}=2.745$$

从以上计算结果估计，这对齿轮是模数制，$m=2.75$。

（2）按式（11-7-3）：

$p'_{b1}=W_3^w-W_2^w=21.1-13.05=8.05$

$p'_{b2}=W_4^w-W_3^w=29.15-21.0=8.15$

查表11-7-7中与此值接近的有：

(mm)

序号	代号	测绘值		验算公式	确定参数：$\alpha=20°$，$m=2$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$x_1=0.25$，$x_2=-0.25$			
					验算值		误差	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	14	23	—	—	—	—	—
2	d_a''	32.96	48.99	$d_a=m(z+2h_a^*)$	33	49	-0.04	-0.01
3	d_f''	23.95	39.90	$d_f=m(z-2h_a^*-2c^*)$	24	40	-0.05	-0.10
4	W_k''	$W_2''=9.45$ $W_3''=15.36$	$W_3''=14.94$ $W_4''=20.84$	$W_k=mW_k^*$	$W_2=9.59$	$W_3=15.06$	-0.14	-0.12
5	a''	37		$a=\frac{m}{2}(z_1+z_2)$	37		0	

$\alpha=25°$，$P=9$，$p_b=8.035$

$\alpha=20°$，$m=2.75$，$p_b=8.118$

$\alpha=30°$，$m=3$，$p_b=8.162$

综合以上测绘数值，考虑捷克斯洛伐克机床不大可能采用径节制及$\alpha=25°$或$\alpha=30°$，所以确定：$m=2.75$，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$。

（3）标准齿轮的中心距a：

$$a=\frac{m}{2}(z_1+z_2)=\frac{2.75}{2}(17+34)=70.125$$

（4）标准齿轮的齿顶圆直径d_a：

$d_{a1}=m(z_1+2h_a^*)=2.75(17+2)=52.25$，比测绘值$d_{a1}''=53.33$小1.08

$d_{a2}=m(z_2+2h_a^*)=2.75(34+2)=99$，比测绘值$d_{a2}''=97.6$大1.40。

这对齿轮$a''\neq a$，$d_a''\neq d_a$，估计是角变位啮合。按表11-5-7求得：$\alpha'=19.717°$，$y=-0.045$，$x_\Delta=-0.0017518$，$x_\Sigma=-0.045$，$\nu=0$。

（5）按式（11-7-26～35）：

$$x_1'=\frac{d_{a1}''}{2m}-\frac{z_1}{2}-h_a^*+\nu$$

$$=\frac{53.33}{2\times2.75}-\frac{17}{2}-1+0$$

$$=0.196$$

$$x_2'=\frac{97.6}{2\times2.75}-\frac{34}{2}-1=-0.2545$$

$$x_1'=0.25\left(\frac{d_{a1}''-d_{a2}''}{m}-z_1+z_2+2x_\Sigma\right)$$

$$=0.25\left[\frac{53.33-97.6}{2.75}-17+34+2\times(-0.045)\right]$$

$$=+0.20$$

$$x_2'=0.25\left(\frac{d_{a2}''-d_{a1}''}{m}+z_1-z_2+2x_\Sigma\right)$$

$$=0.25\left[\frac{97.6-53.33}{2.75}+17-34+2\times(-0.045)\right]$$

$$=-0.25$$

$$x_1'=0.25\left(\frac{d_{f1}''-d_{f2}''}{m}-z_1+z_2+2x_\Sigma\right)$$

$$=0.25\left(\frac{40.9-85.04}{2.75}-17+34-2\times0.045\right)$$

$$=0.21$$

$$x_2'=0.25\left(\frac{d_{f2}''-d_{f1}''}{m}+z_1-z_2+2x_\Sigma\right)$$

$$=0.25\left(\frac{85.04-40.9}{2.75}+17-34-2\times0.045\right)$$

$$=-0.26$$

取$x_1=0.21$，$x_2=x_\Sigma-x_1=-0.045-0.21=-0.255$

（6）几何尺寸验算见下表。

例5 单个齿轮（$z=18$）的测绘，实测参数见下表中的测绘值栏，估计精度为8级。

（1）按式（11-7-6、7）：

（mm）

序号	代号	测绘值		验算公式	确定参数：$\alpha=20°$，$m=2.75$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$x=0.21$，$x_2=-0.255$ 验算值		误差	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	17	34	—	—	—	—	—
2	d_a	53.33	97.6	$d_a=(z+2h_a^*+2x-2y)m$	53.40	97.60	-0.07	0
3	d_f^v	40.9	85.04	$d_f=(z-2h_a^*-2c^*+2x)m$	41.03	85.22	-0.13	-0.18
4	W_k^v	$W_3^v=21.1$ $W_2^v=13.05$	$W_4^v=29.15$ $W_3^v=21.0$	$W_k=mW_k^*+2x\sin\alpha$	$W_2=13.23$	$W_4=29.24$	-0.18	-0.09
5	α^v	70		$\alpha'=(z_1+z_2)0.5m+(x_\Sigma-y)m$	70		0	

$$m'=\frac{d_a^v}{z+2h_a^*}=\frac{63.50}{18+2}=3.175$$

（设$h_a^*=1$）

$$m'=\frac{d_a^v-d_f^v}{2(2h_a^*+c^*)}=\frac{63.50-49.20}{2\times2.25}$$

$=3.178$（设$h_a^*=1$，$c^*=0.25$）

$$m'=\frac{d_a^v-d_f^v}{2(2h_a^*+c^*)}=\frac{63.50-49.20}{2\times2.157}$$

$=3.315$（设$h_a^*=1$，$c^*=0.157$）

估计此轮是径节制，$P=8$（$m=3.175$）

（2）按式（11-7-3）初定基节p_b'：

$$p_b'=W_k^v-W_{k-1}^v=W_3^v-W_2^v=24.10-14.70=9.40$$

查表11-7-7得：

$m=3.25$，$\alpha=22^1/_2°$　$p_b=9.433$

$P=8$（$m=3.175$），$\alpha=20°$　$p_b=9.373$

由于单个齿轮测绘，须进一步确定其齿形角和模数。

（3）用量柱（球）测得：

$d_{M1}=6$，$M_1=66.06$；　$d_{M2}=5$，$M_2=62.61$

则

$$l_1=\frac{M_1-d_{M1}}{2}=\frac{66.06-6}{2}=30.03$$

$$l_2=\frac{M_2-d_{M2}}{2}=\frac{62.61-5}{2}=28.805$$

按前面初选的$m=3.25$和$\alpha=22^1/_2°$初选基圆半径$r_{b_0}=\frac{zm}{2\cos\alpha}=\frac{18\times3.25}{2\cos22^1/_2^\circ}=27.02\approx27$

按叠代法的式（11-7-20）：

$$f(r_{b_n})=\sqrt{l_1^2-r^2}-\sqrt{l_2^2-r_b^2}+r_b\times\left(\arccos\frac{r_b}{l_2}-\arccos\frac{r_b}{l_1}\right)-\frac{d_{M1}-d_{M2}}{2}\qquad(11\text{-}7\text{-}20)$$

$$f'(r_{b_n})=\arccos\frac{r_b}{l_2}-\arccos\frac{r_b}{l_1}\qquad(11\text{-}7\text{-}20\,a)$$

$$r_{b_{n+1}}=r_{b_n}-\frac{f(r_{b_n})}{f'(r_{b_n})}\qquad(11\text{-}7\text{-}20\,b)$$

经三次逼近计算，结果见下表。表中第三次的末项$r_{b_{n+1}}=26.83992094$就是该齿轮的基圆半径。

由此可得其基节为：

$$p_b=\frac{2\pi r_{b_{n+1}}}{z}=\frac{2\pi\times26.83992094}{18}=9.368898802$$

参数(公式)	第一次	第二次	第三次
r_{b_n}	初选27	26.84292668	26.83992094
式(11-7-20 a)	-0.097196569	-0.09366788	-0.093603539
式(11-7-20)	-0.015266987	-0.00028154	-0.000000096
式(11-7-20)/(11-7-20 a)	0.15707332	0.160079059	0.000001025
式(11-7-20 b)	26.84292668	26.83992094	26.83992094

此值与 $p_b=9.373$（$P=8$，$\alpha=20°$）很相接近。故可判定此齿轮是 $P=8$，$\alpha=20°$。

（4）几何尺寸验算见下表。

序号	代号	测绘值	验算公式	验算值	误差
			确定参数，$\alpha=20°$ $P=8$（即 $m=3.175$），$h_a^*=1$，$c^*=0.25$		
1	d_a''	63.50	$d_a=(z+2)m$	63.50	0
2	d_f''	49.20	$d_f=(z-2-2\times0.25)m$	49.21	-0.01
3	W_k^*	$W_k''=24.10$ $W_2''=14.70$	$W_R=mW_k^*$ （表11-6-5）	$W_R=24.23$	-0.13

（四）齿面严重磨损的齿轮测绘

齿面严重磨损的齿轮，往往对测绘工作带来困难，齿形角和模数不易识辨，变位系数也难以确定。按照前述方法来推导各项参数，精确度很差，因此必须另找出路。

齿轮磨损后，侧隙增大。若能将磨损量加以补偿，就能提高测绘的准确性。对于磨损严重的齿轮更为重要。

公法线长度的磨损量可按下述方法计算。

两啮合齿轮中若有一个齿轮只是局部磨损，局部尚保留有制造时的齿廓时，则可按图 11-7-15 的方法来确定磨损量 δW：

$$\delta W=W_k''-W_k' \tag{11-7-39}$$

当齿轮磨损后，齿廓上没有保留制造的痕迹时，首先要求出总磨损量 δW_Σ，然后进行分配：

$$\delta W_\Sigma=j_n''-j_n \tag{11-7-40}$$

式中 δW_Σ——总磨损量；

j_n''——齿轮磨损后的实际侧隙；

j_n——齿轮的保证侧隙，即：

$$j_n=E_{wms1}+0.5T_{wm1}+E_{wms2}+0.5T_{wm2} \tag{11-7-41}$$

E_{wms}、T_{wm} 可分别查表11-9-31、32。

磨损量的分配：

1）当两齿轮的磨损量不大，接近下极限偏差时，可以根据两齿轮的公差 T_{wm} 值按比例分配。即

$$\delta W_1:\delta W_2=T_{wm1}:T_{wm2} \tag{11-7-42}$$

2）当一个齿轮的磨损量较大（如齿顶磨得变尖），另一个齿轮磨损量较少时，则对磨损少的齿轮，其磨损量按 $K(j_n''-j_n)$ 计算，另一个齿轮则按 $(1-K)(j_n''-j_n)$ 计算。K 的数值按磨损程度选取，最大不超过0.5。

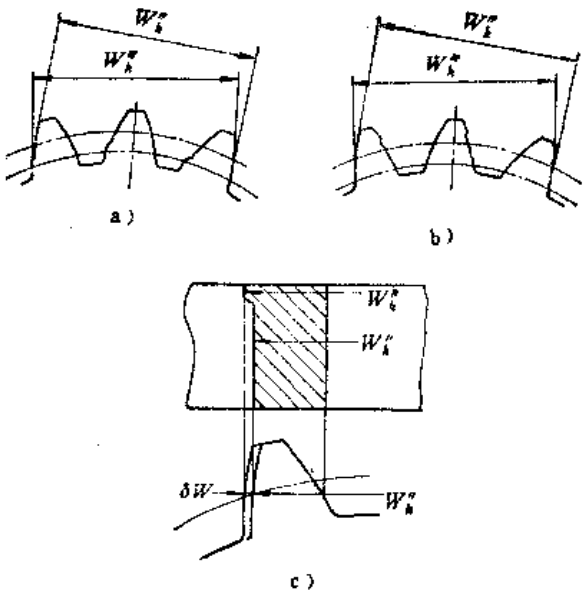


图11-7-15 局部磨损齿轮的公法线长度测量
a）齿顶局部单边磨损 b）齿根局部单边磨损
c）齿宽方向局部单边磨损

3）当两个齿轮的磨损量都很大时，每个齿轮的磨损量可按下式计算：

$$\begin{aligned}\delta W&=W_k-W_k'-j_n\\&=\left[(k-0.5)+\frac{z}{\pi}\mathrm{inv}\alpha'\right]p_b'\\&\quad+[d_f''-m'z+2m'(h_a^*+c^*)]\sin\alpha'\\&\quad-W_k'-E_{wms}-0.5T_{wm}\end{aligned} \tag{11-7-43}$$

当 d_f'' 不易测准时，则：

$$\begin{aligned}\delta W&=\left[(k-0.5)+\frac{z}{\pi}\mathrm{inv}\alpha'\right]p_b'\\&\quad+(d_a''-m'z-2h_a^*m')\sin\alpha'-W_k'\\&\quad-E_{wms}-0.5T_{wm}\end{aligned} \tag{11-7-44}$$

式中，p_b'、m'、α'、h_a^*、c^* 均系测绘时的初定值，d_a''、d_f''、W_k' 是测绘值，E_{wms}、T_{wm} 可分别查表11-9-31、32。

例 有一对日本制造的3 t手动链式起重器的齿轮，其测绘参数见后面表中的测绘值一栏。大齿轮磨损严重，小齿轮磨损较轻，侧隙 $j_n''=1.15$（单位 mm 省略）。

（1）初定基本参数

1）按式（11-7-6～8）取 $h_a^*=1$，$c^*=0.25$ 进

行试算：

$$m_1'=\frac{d_{a1}''}{z_1+2h_a^*}=\frac{30.28}{5+2\times2}=4.326$$

$$m_2'=\frac{d_{a2}''}{z_2+2h_a^*}=\frac{102.1}{24+2\times2}=3.927$$

$$m_1'=\frac{d_{a1}''-d_{f1}''}{4h_a^*+2c^*}=\frac{30.28-15.45}{4+0.5}=3.296$$

$$m_2'=\frac{102.10-87.60}{4+0.5}=3.222$$

$$m'=\frac{2a''}{z_1+z_2}=\frac{2\times59.9}{5+24}=4.131$$

2）取 $h_a^*=0.8$，$c^*=0.3$进行试算：

$$m_1'=\frac{d_{a1}''}{z_1+2h_a^*}=\frac{30.28}{5+2\times0.8}=4.5879$$

$$m_2'=\frac{102.10}{24+2\times0.8}=3.9883$$

$$m_1'=\frac{d_{a1}''-d_{f1}''}{4h_a^*+2c^*}=\frac{30.28-15.45}{4\times0.8+2\times0.3}=3.9026$$

$$m_2'=\frac{102.10-87.60}{4\times0.8+2\times0.3}=3.8158$$

3）按式（11-7-22）取$m'=4$进行试算：

$$2h_a^*+c^*=\frac{d_{a1}''-d_{f1}''}{2m'}=\frac{30.28-15.45}{2\times4}=1.854<2.0$$

$$2h_a^*+c^*=\frac{102.10-87.60}{2\times4}=1.8125<2.0$$

根据以上试算结果，初定 $m'=4$，$h_a^*=0.8$，$c^*=0.3$，角变位啮合。

4）初定基节 p_b'：

$$p_b'=W_k''-W_{k-1}''=53.09-41.7=11.39$$

5）从表11-7-7查得：

$m=4$，$\alpha=25°$，$p_b=11.3890$

$m=3.75$，$\alpha=15°$，$p_b=11.3795$

$m=3.75$，$\alpha=14^1/_2°$，$p_b=11.4057$

由于小齿轮齿数较少（$z_1=5$），通常采用加大齿形角和角变位相结合的方法来避免根切，故初定齿形角 $\alpha'=25°$，模数$m'=4$。

（2）确定公法线长度磨损量

按式（11-7-40、41）计算总磨损量（为了简化计算，此对齿轮 $\alpha=25°$的公差值仍采用表11-9-31和表11-9-32（$\alpha=20°$）中的数值。偏差值按8级精度、C种侧隙选取）：

$$\delta W_\Sigma=j_n^*-(E_{wms1}+0.5T_{wm1}+E_{wms2}+0.5T_{wm2})$$
$$=1.15-(0.08+0.5\times0.036+0.10$$
$$+0.5\times0.056)=0.924$$

1）小齿轮单边磨损如图11-7-14b所示，其磨损量为：$\delta W_1=W_1''-W_1^*=0.1$

2）大齿轮磨损大，小齿轮磨损少，取$K=0.1$，则：

$$\delta W_1=K\delta W_\Sigma=0.1\times0.924=0.092$$

3）当两轮磨损量都很大时，则按式（11-7-43）得：

$$\delta W_1=\left[(k-0.5)+\frac{z_1}{\pi}\mathrm{inv}\alpha'\right]p_b'$$
$$+(d_{f1}''-m'z_1+2m'(h_a^*+c^*))\sin\alpha'$$
$$-W_{k1}^*-E_{wms1}-0.5T_{wm1}$$
$$=[(2-0.5)+\frac{5}{\pi}\mathrm{inv}25°]11.39$$
$$+[15.45-4\times5+2\times4$$
$$\times(0.8+0.3)]\sin25°-19.2-0.08$$
$$-0.5\times0.036$$
$$=0.116$$

比较以上三种计算结果，取$\delta W_1=0.1$，$\delta W_2=0.924-0.1=0.824$。则公法线长度补偿后为：

$$W_{2,1}'=W_{2,1}''+E_{wms1}+0.5T_{wm1}+\delta W_1=19.20$$
$$+0.08+0.5\times0.036+0.1=19.40$$

$$W_{4,2}'=W_{4,2}''+E_{wms2}+0.5T_{wm2}+\delta W_2=41.70$$
$$+0.10+0.5\times0.056+0.824=42.65$$

求基圆直径（式11-7-11）和补偿后的基圆齿厚（式11-7-12）：

$$d_{b1}'=\frac{p_b'z_1}{\pi}=\frac{11.39\times5}{\pi}=18.1277$$

$$d_{b2}'=\frac{p_b'z_2}{\pi}=\frac{11.39\times24}{\pi}=87.0132$$

$$s_{b1}'=W_{k1}'-(k-1)p_b'=19.40$$
$$-(2-1)11.39=8.01$$

$$s_{b2}'=W_{k2}'-(k-1)p_b'=42.65-(4-1)$$
$$\times11.39=8.48$$

（3）确定基本参数

1）齿形角及模数

8级精度齿轮的基节极限偏差为 $f_{pb}=\pm0.022$（表11-9-20），测量的公法线长度误差估计为±0.05。则：

$$p_b=p_b'\pm0.022\pm0.05=11.39\pm0.022\pm0.05$$
$$=11.318\sim11.462$$

查表11-7-7得：

$m=3.75$，$\alpha=16°$，$p_b=11.325$

$m=3.75$，$\alpha=15°$，$p_b=11.379$

$m=3.75$，$\alpha=14^1/_2°$，$p_b=11.406$

$m=4$，$\alpha=25°$，$p_b=11.389$

按式（11-7-13）计算下列各值：

$$A = d''_{f2} - d''_{f1} = 87.60 - 15.45 = 72.15$$

$$B = d'_{b2} - d'_{b1} = 87.0132 - 18.1277 = 68.8855$$

$$C = s'_{b2} - s'_{b1} = 8.48 - 8.01 = 0.47$$

则 $$\alpha = 20^\circ \pm \left(157.41886 - 167.52165\frac{B}{A}\right)$$

$$\pm 100\sqrt{3.13463 - \frac{(5.9443B + 1.91966C)A}{A^2} - 2.80635B^2}$$

$$= 20^\circ \pm (-2.5231) \pm 7.021$$

$$= 24.5^\circ 和 15.5^\circ$$

故确定 $\alpha = 25^\circ$，$m = 4$。

2）齿顶高系数和顶隙系数

按式（11-7-22）计算：

$$2h_a^* + c^* = \frac{d''_{a1} - d''_{f1}}{2m} = \frac{30.28 - 15.45}{2 \times 4} = 1.854$$

$$2h_a^* + c^* = \frac{102.1 - 87.60}{2 \times 4} = 1.813$$

由于 $(2h_a^* + c^*) < 2$ 时为短齿，故确定 $h_a^* = 0.8$，$c^* = 0.3$。

（4）确定变位系数

1）变位啮合的种类

按式（11-7-23）计算标准啮合中心距：

$$a = \frac{z_1 + z_2}{2}m = \frac{5 + 24}{2}4 = 58$$

$a < a''$，这对齿轮为正角变位啮合。

2）确定大小齿轮的变位系数

先按表11-5-7中的公式计算下列参数：

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{a}{a'}\cos\alpha\right)$$

$$= \arccos\left(\frac{58}{59.9}\cos 25^\circ\right)$$

$$= 28.6506^\circ$$

$$y = \frac{a' - a}{m} = \frac{59.9 - 58}{4} = 0.475$$

$$x_z = \frac{\mathrm{inv}\alpha' - \mathrm{inv}\alpha}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{\mathrm{inv}\alpha' - \mathrm{inv}\alpha}{\mathrm{tg}25^\circ}$$

$$= 0.035$$

$$x_\Sigma = \frac{z_1 + z_2}{2}x_z = \frac{5 + 24}{2} \times 0.035 = 0.5075$$

$$\nu = x_\Sigma - y = 0.5075 - 0.475 = 0.0325$$

按齿顶圆直径法（式 11-7-28～30）计算 x_1，x_2：

$$x_1 = \frac{d''_{a1}}{2m} - \frac{z_1}{2} - h_a^* + \nu = \frac{30.28}{2 \times 4} - \frac{5}{2}$$

$$- 0.8 + 0.0325$$

$$= 0.5175$$

$$x_2 = \frac{102.1}{2 \times 4} - \frac{24}{2} - 0.8 + 0.0325 = -0.005$$

$$x_1 = 0.25\left(\frac{d''_{a1} - d''_{a2}}{m} - z_1 + z_2 + 2x_\Sigma\right)$$

$$= 0.25\left(\frac{30.28 - 102.10}{4} - 5 + 24 + 2 \times 0.5075\right)$$

$$= 0.515$$

$$x_2 = 0.25\left(\frac{d''_{a2} - d''_{a1}}{m} + z_1 - z_2 + 2x_\Sigma\right)$$

$$= 0.25\left(\frac{102.10 - 30.28}{4} + 5 - 24 + 2 \times 0.5075\right)$$

$$= -0.0075$$

按齿根圆直径法（式 11-7-33～35）计算 x_1，x_2：

$$x_1 = \frac{d''_{f1}}{2m} - \frac{z_1}{2} + h_a^* - c^* = \frac{15.45}{2 \times 4} - \frac{5}{2}$$

$$+ 0.8 + 0.3$$

$$= 0.53$$

$$x_2 = \frac{87.60}{2 \times 4} - \frac{24}{2} + 0.8 + 0.3 = 0.05$$

$$x_1 = 0.25\left(\frac{d''_{f1} - d''_{f2}}{m} - z_1 + z_2 + 2x_\Sigma\right)$$

$$= 0.25\left(\frac{15.45 - 87.60}{4} - 5 + 24 + 2 \times 0.5075\right)$$

$$= 0.494$$

$$x_2 = 0.25\left(\frac{d''_{f2} - d''_{f1}}{m} + z_1 - z_2 + 2x_\Sigma\right)$$

$$= 0.25\left(\frac{87.60 - 15.45}{4} + 5 - 24 + 2 \times 0.5075\right)$$

$$= 0.013$$

按公法线长度法（式11-7-36）计算 x_1，x_2：

$$x = \frac{W_k' - mW_k^*}{2m\sin\alpha}$$

式中，W_k^* 按表11-6-4中公式计算，即

$$W_k^* = \cos\alpha[\pi(k - 0.5) + z\,\mathrm{inv}\alpha]$$

$$W_{2,1}^* = \cos 25^\circ[\pi(2 - 0.5) + 5\mathrm{inv}25^\circ]$$

$$= 4.40671$$

$$W^*_{1,2}=\cos25^\circ[\pi(4-0.5)+24\mathrm{inv}25^\circ]$$
$$=10.6174$$

$$x_1=\frac{W'_{k1}-mW^*_{k1}}{2m\sin\alpha}=\frac{19.40-4\times4.40671}{2\times4\sin25^\circ}$$
$$=0.524$$

$$x_2=\frac{W'_{k2}-mW^*_{k2}}{2m\sin\alpha}=\frac{42.65-4\times10.6174}{2\times4\sin25^\circ}$$
$$=0.053$$

按基圆齿厚（式11-7-38）计算 x_1，x_2：

$$x_1=\frac{1}{2\,\mathrm{tg}\,\alpha}\left(\frac{z_1s'_{b1}}{d_{b1}}-z_1\,\mathrm{inv}\,\alpha-\frac{\pi}{2}\right)$$
$$=\frac{1}{2\,\mathrm{tg}25^\circ}\left(\frac{5\times8.01}{5\times4\cos25^\circ}-5\mathrm{inv}25^\circ-\frac{\pi}{2}\right)$$
$$=0.524$$

$$x_2=\frac{1}{2\,\mathrm{tg}25^\circ}\left(\frac{24\times8.48}{24\times4\cos25^\circ}-24\mathrm{inv}25^\circ-\frac{\pi}{2}\right)$$
$$=0.052$$

综合以上计算的变位系数见下表。

	齿顶圆法	齿根圆法	公法线长度法	基圆齿厚法	按中心距计算的x_Σ
x_1	0.52	0.53，0.49	0.52	0.52	0.51
x_2	−0.005 −0.0075	0.05，0.013	0.053	0.052	

根据上表可确定 $x_1=0.51$，$x_2=0$。

（5）几何参数验算见下表。

（mm）

序号	代号	测绘值		验算公式	确定参数：$\alpha=25^\circ$，$m=4$，$h_a^*=0.8$，$c^*=0.3$，$x_1=0.51$，$x_2=0$			
					验算值		差值	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	5	24	—	—	—	—	—
2	d_a	30.28	102.10	$d_a=(z+2h_a^*+2x-2y)m$	30.22	102.14	+0.06	−0.04
3	d_f	15.45	87.60	$d_f=z-2h_a^*+2x-2c^*)m$	15.28	87.20	+0.17	+0.40
4	W_k	$W'_5=19.20$	$W''_5=53.09$ $W''_4=41.70$	$W_k=mW_k^*+2xm\sin\alpha$	$W_2=19.35$	$W_4=42.47$	−0.15	−0.77
5	α	59.9						

（五）斜齿（人字齿）圆柱齿轮的测绘

1．螺旋角的测绘

测绘斜齿（人字齿）圆柱齿轮时，主要的测量项目和测量方法基本上与直齿圆柱齿轮相同。不过斜齿轮还须增加测量螺旋角 β 一项。测量斜齿轮的公法线长度有时采用法向长度，也有时采用端面长度。按实物测量的齿顶圆直径 d''_a 及公法线长度 W'_k 必要时也须进行补偿计算，其方法可参考直齿圆柱齿轮的测绘。

螺旋角 β 的测量是比较复杂的一项工作，对于变位斜齿圆柱齿轮言，更为复杂些。因为螺旋角与变位系数可以互相起补偿作用，换句话说，当两个啮合齿轮同时更换时，就给测绘者带来了灵活性，即可以先确定螺旋角，再根据中心距确定变位系数，反之亦然。当只更换一个齿轮时，就比较困难了，就必须精确地测定螺旋角。因之，通常更换斜齿轮时，均成对更换。

螺旋角的测量方法很多，如有现成的螺旋角测量仪则最好。否则，可按下列任何一种方法进行测量。

（1）滚印法　将齿轮的齿顶圆涂上一层薄薄的红油，并使其端面靠着直尺，在白纸上滚动，这时，纸条上就留有齿印。如图11-7-16所示，选择适当齿数 K 的齿印，作一直角三角形，量得角 β''_a 的底边长度 T''（图未示出），按下式计算初定分度圆螺旋角 β'：

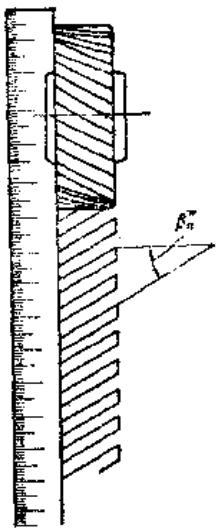


图11-7-16 滚印法测量螺旋角

$$\mathrm{tg}\beta' = \frac{K\pi(d_a'' - 2h_{a_n}^{*}m_n)}{zT''} \qquad (11\text{-}7\text{-}45)$$

或 $$\mathrm{tg}\beta' = \frac{d_a'' - 2h_{a_n}^{*}m_n}{d_a''}\mathrm{tg}\beta_a'' \qquad (11\text{-}7\text{-}45\,a)$$

如用量角器按齿印测量齿顶圆螺旋角β_a''，由于量角器的精度较低，测量误差较大。如用式（11-7-45）计算则可提高测算精度。β_a''也可按下式计算：

$$\mathrm{tg}\beta_a'' = \frac{L}{T''} \qquad (11\text{-}7\text{-}46)$$

式中，L为图11-7-16中直角三角形β_a''角的对边长度。L值可按所选择的K值按下式计算：

$$L = \frac{K\pi d_a''}{z} \qquad (11\text{-}7\text{-}47)$$

（2）高度尺法　如图11-7-17所示，将所测绘的齿轮装在心轴上（心轴与齿轮紧密配合，不得松动），用V型铁支承，放在钳工划线平台上找正，使心轴的轴线保持等高状态。在齿顶圆柱面上，沿齿宽方向划两条垂直于齿轮轴线的平行线1-1和2-2，设其距离为B。两平行线分别与齿轮上同一螺旋槽同侧的齿棱（螺旋面与齿顶圆柱面的交线）相交于a、b两点。为了提高测算精度，B值应尽量取得大些。用高度尺量出齿轮的中心高h后，轻轻转动齿轮，使b点转至齿轮中心高位置，然后再用高度尺测出a、b两点的垂直距离ac，令$ac = H$。则该齿轮的分度圆螺旋角β'按下式计算：

$$\sin\beta' = \frac{\pi z m_n}{360^\circ B}\arcsin\frac{2H}{d_a''} \qquad (11\text{-}7\text{-}48)$$

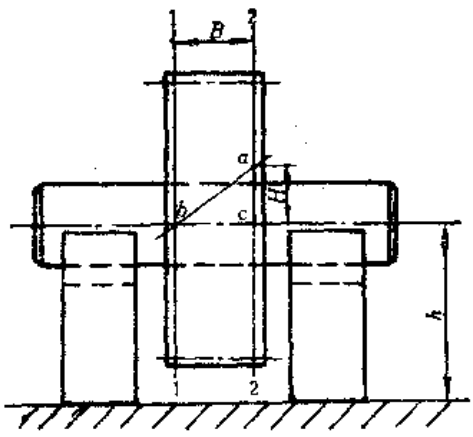


图11-7-17 高度尺法测量螺旋角

（3）轴向法　轴向法用钢球、千分尺和量块来测算螺旋角。其方法是把所测绘的齿轮两端面用两块平行垫板夹牢，以挡住钢球，如图11-7-18a所示。将直径相同的两钢球放在同一螺旋槽中，用量块塞入两钢球的中间，使钢球紧靠两端的夹板，同时要使两钢球都更紧靠两螺旋面，测出M或R_M值。用量块测得两钢球间的距离加上钢球直径即为图11-7-18a中的c值；齿宽减去钢球直径就是b值。则分度圆螺旋角β'按下式计算：

$$\sin\beta' = \frac{zm_n}{b}\arcsin\left(\frac{\sqrt{c^2 - b^2}}{2R_M}\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}49)$$

对于螺旋角较大的齿轮，两钢球可以不放在同一螺旋槽中，如图11-7-18b所示。测得b、c、R_M后代入下式计算：

$$\sin\beta' = \frac{m_n}{b}\left[z\arcsin\left(\frac{\sqrt{c^2 - b^2}}{2R_M}\right) + \pi n\right] \qquad (11\text{-}7\text{-}50)$$

式中　n——跳槽数。

钢球直径的大小以使钢球中心稍高于齿顶圆柱面为准，以便测量c值。

（4）基节法　当齿轮的法向压力角α_n已知时，可利用基节来计算螺旋角。基节的测量可通过测量公法线长度来计算或者用量块直接测量。

测量公法线长度时，如表11-6-4中插图所示，以相同的跨越齿数（k和$k-1$）分别测出法向和端面公法线长度W_{n_k}''，$W_{n(k-1)}''$，W_{t_k}''，$W_{t(k-1)}''$，并

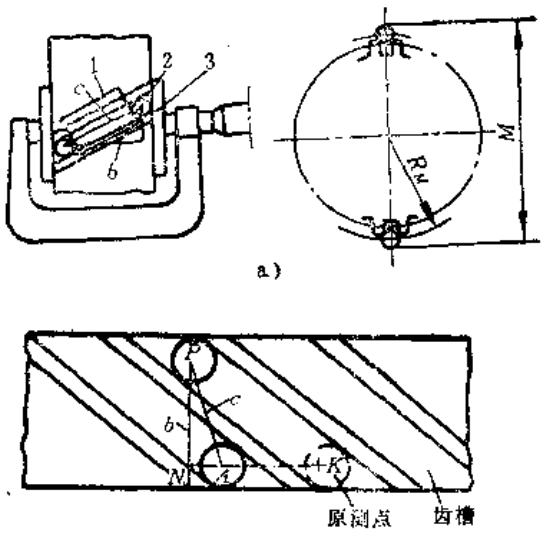


图11-7-18 轴向法测量螺旋角
1—量块 2—钢球 3—垫板

按下式计算：

$$\cos\beta'_b=\frac{W''_{nk}-W''_{n(k-1)}}{W''_{tk}-W''_{t(k-1)}}=\frac{p'_{bn}}{p'_{bt}} \qquad (11\text{-}7\text{-}51)$$

或

$$\cos\beta'_b=\frac{W''_{nk}}{W''_{tk}} \qquad (11\text{-}7\text{-}52)$$

$$\sin\beta'=\frac{\sin\beta'_b}{\cos\alpha_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}53)$$

测量法向公法线长度时，量具两平面要平行于螺旋面，且与齿面相切于一直线上，而测量端面公法线长度时，量具平面要平行于齿轮的轴线。对于螺旋角较大的齿轮，测量端面公法线长度的误差较大。

用量块直接测量斜齿轮的基节时，如图11-7-19所示。测量要领与直齿轮的相同，量块两量脚要与齿面相切于一条直线上。测量 p_{bn} 时，量脚平面要平行于螺旋线；测量 p_{bt} 时，要平行于齿轮的轴线。然后按式（11-7-51）和式（11-7-53）计算出 β'_b 和 β'。

（5）量球测量法 先按照前述方法测量法向公法线长度，并按下式计算出法向基节 p'_{bn} 和法向基圆齿厚 s'_{bn}：

$$p'_{bn}=W''_{nk}-W''_{n(k-1)} \qquad (11\text{-}7\text{-}54)$$

$$s'_{bn}=W''_{tk}-(k-1)p'_{bn} \qquad (11\text{-}7\text{-}55)$$

式中，W''_{nk} 采用补偿后的数值，参见式(11-7-4)。然后按图11-7-20测量 M'' 值，并按下式计算 β'_b 和 β'：

$$\cos\beta'_b=\frac{p'_{bn}z}{\pi(M''-d_M)}\sec\alpha'_M \qquad (11\text{-}7\text{-}56)$$

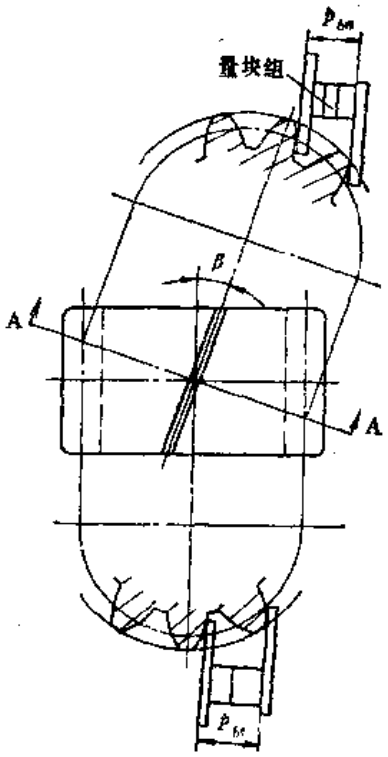


图11-7-19 基节法测量螺旋角

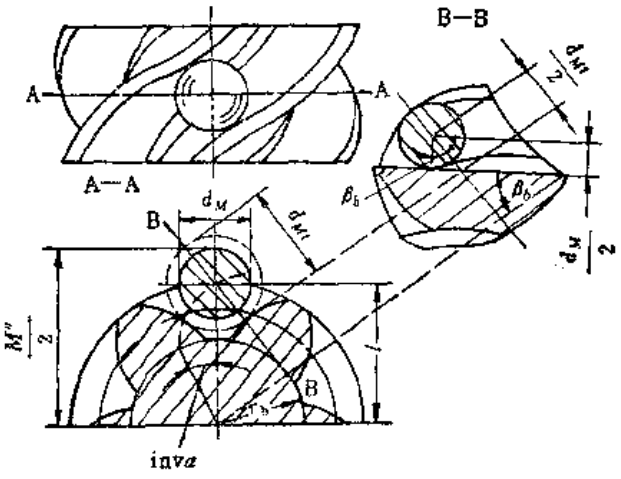


图11-7-20 量球法测量螺旋角

$$\sin\beta'=\frac{\sin\beta'_b}{\cos\alpha_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}57)$$

式中 $$\alpha'_M=\operatorname{arcinv}\left[\frac{\pi}{z}\left(\frac{d_M+s'_{bn}}{p'_{bn}}-1\right)\right] \qquad (11\text{-}7\text{-}58)$$

（6）滚齿机测量法 根据式（11-7-47）所求得的 β' 来搭配滚齿机差动挂轮。调整机床时，将分齿运动脱开，使工作台（齿轮）只有附加运

动，滚刀轴也不转动，使滚刀架能垂直运动。

测量时，将所测绘的齿轮按滚齿方法安装在工作台上，把百分表固定在滚刀架上使其测头触在齿轮分度圆附近，并垂直于齿面(图11-7-21)。开动机床在滚刀架作垂直运动时，观察并记下百分表的读数变动量及其变动方向(加表或减表)。如果百分表指针读数不变，说明差动挂轮传动比与齿轮的β相一致，但这种情况一般很少。大多数情况不是加表就是减表。测量时要注意，百分表测头不能松动，滚刀架升降时，测头不能与相邻的齿顶相碰，否则，百分表读数不准。

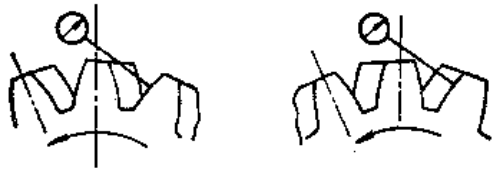


图11-7-21 滚齿机法测量螺旋角

螺旋角按表11-7-10进行修正计算，然后再按修正值重新搭配挂轮，用上述同样方法进行测量，直至百分表读数不变。

2．基本参数的确定

（1）齿形角和模数（或径节） 斜齿（人字齿）圆柱齿轮的基本参数齿形角和模数（或径节）的确定方法与直齿圆柱齿轮基本相同。但应指出，斜齿轮的齿形角和模数，有的采用标准法向模数m和法向齿形角α_n，也有的采用标准端面模数m_t和端面齿形角α_t，测绘时应加注意。通常用齿轮滚刀或片铣刀切制的斜齿轮，以及磨齿的斜齿轮，都是标准法向模数和法向齿形角，而用插齿刀切齿的斜齿轮，则采用标准端面模数和端面齿形角。

一般情况，法向参数为标准值，端面参数则为非标准值；若法向参数为非标准值，则端面参数为标准值。但有些斜齿轮，如煤矿提升机中的传动齿轮，其法向模数和端面模数均为标准值（例见下页表）。这时，其螺旋角就成为一个定值，即

$$\beta=\arccos\frac{m_n}{m_t} \qquad (11\text{-}7\text{-}59)$$

测绘时可根据实测的齿顶圆直径d_a'、齿根圆直径d_f'按下式初定法向模数m_n'：

表11-7-10 滚齿机测量法螺旋角修正计算表

被测斜齿轮的螺旋方向	百分表读数a（滚刀架下降时）	差动挂轮比	螺旋角修正计算公式中a的±符号采用
右旋	加表（压表）	偏大	−
	减表	偏小	+
左旋	加表(压表)	偏小	+
	减表	偏大	−

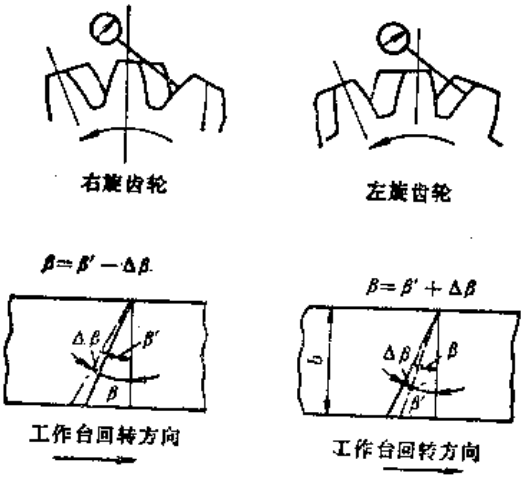
齿轮螺旋角β修正计算公式：

$$\beta=\operatorname{arctg}\frac{b\operatorname{tg}\beta'\pm a}{b}$$

式中 a——百分表读数

b——测量时，滚刀架垂直移动距离

β'——挂轮的螺旋角



m_n	m_t	β
5 10	6 12	33.5573°(33°33′26″)
6 12	7 14	31.0027°(31°00′10″)
7 14	8 16	28.9550°(28°57′18″)
8 16	9 18	27.2650°(27°15′58″)
9 18	10 20	25.8419°(25°50′31″)
10 20	11 22	24.61998°(24°37′12″)

$$m_n' = \frac{d_a'' - d_f''}{4h_{an}^* + 2c_n^*} \qquad (11\text{-}7\text{-}60)$$

式中，h_{an}^* 和 c_n^* 可取常用标准值代入计算。

确定斜齿轮齿形角和模数的方法可按照前述直齿轮的方法进行。但应注意的是：用基节法时，斜齿时一般是指法向基节，用测量法向公法线长度 W_{nk}'' 来计算，即：

$$p_{bn}' = W_{nk}'' - W_{n(k-1)}'' \qquad (11\text{-}7\text{-}61)$$

在已知 β 的条件下，用量柱（球）测量法时，式（11-7-18～20）也可用于斜齿轮，但式中的基圆直径须按下式计算：

$$d_b' = \frac{z p_{bn}'}{\pi \cos\beta_b} \qquad (11\text{-}7\text{-}62)$$

（2）齿顶高系数 h_{an}^* 和顶隙系数 c_n^*

$$2h_{an}^* + c_n^* \approx \frac{d_a'' - d_f''}{2m_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}63)$$

$$c_n^* = \frac{4a'' - (d_{a1}'' + d_{a2}'' + d_{f1}'' + d_{f2}'')}{4m_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}64)$$

当 $2h_{an}^* + c_n^* = 2.1 \sim 2.4$ 时，一般为标准齿高，$2h_{an}^* + c_n^* < 2.0$ 时为短齿，$2h_{an}^* + c_n^* \geqslant 2.6$ 时为长齿。

（3）螺旋角 β

对于标准齿轮和高变位齿轮，

$$\cos\beta = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2a''} \qquad (11\text{-}7\text{-}65)$$

对于角变位齿轮，一般可取初定螺旋角 β' 作为螺旋角 β。

3. 变位斜齿轮的识辨和变位系数的确定

（1）确定变位啮合形式　为了判断所测绘的斜齿轮是非变位啮合还是变位啮合，根据实测的齿顶圆直径和所确定的 m_n 及 h_{an}^* 按下式计算端面模数：

$$m_t' = \frac{d_a'' - 2h_{an}^* m_n}{z} \qquad (11\text{-}7\text{-}66)$$

如果大小齿轮 m_t' 值相等，则这对齿轮是标准齿轮；如果大小齿轮的 m_t' 不相等，则这对齿轮是变位啮合。

为了确定斜齿轮是那一种变位啮合，须计算其标准啮合中心距 a：

$$a = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot \frac{m_n}{\cos\beta} \qquad (11\text{-}7\text{-}67)$$

假使 $a = a''$，$m_{t1}' \neq m_{t2}'$，则这对斜齿轮为高变位啮合；假使 $a \neq a''$，$m_{t1}' \neq m_{t2}'$，则这对斜齿轮为角变位啮合。

（2）确定变位系数　在确定变位系数之前，对于角变位啮合的斜齿轮，先要按表11-5-7计算出总变位系数 x_Σ 和齿顶高变动系数 ν_n。

1）齿根圆直径 d_f'' 法

对于高变位啮合：

$$x_n' = \frac{d_f''}{2m_n} - \frac{z}{2\cos\beta} + h_{an}^* + c_n^* \qquad (11\text{-}7\text{-}68)$$

或　$$x_{n1}' = 0.25\left(\frac{d_{f1}'' - d_{f2}''}{m_n} - \frac{z_1 - z_2}{\cos\beta}\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}69)$$

对于角变位啮合：

$$x_n' = \frac{d_f''}{2m_n} - \frac{z}{2\cos\beta} + h_{an}^* + c_n^* \qquad (11\text{-}7\text{-}70)$$

或　$$x_{n1}' = 0.25\left(\frac{d_{f1}'' - d_{f2}''}{m_n} - \frac{z_1 - z_2}{\cos\beta} + 2x_\Sigma\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}71)$$

$$x_{n2}' = 0.25\left(\frac{d_{f2}'' - d_{f1}''}{m_n} + \frac{z_1 - z_2}{\cos\beta} + 2x_\Sigma\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}72)$$

2）齿顶圆直径 d_a'' 法

对于高变位啮合：

$$x_n' = \frac{d_a''}{2m_n} - \frac{z}{2\cos\beta} - h_{an}^* \qquad (11\text{-}7\text{-}73)$$

或　$$x_{n1}' = 0.25\left(\frac{d_{a1}'' - d_{a2}''}{m_n} - \frac{z_1 - z_2}{\cos\beta}\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}74)$$

对于角变位啮合：

$$x_n' = \frac{d_a''}{2m_n} - \frac{z}{2\cos\beta} - h_{an}^* + \nu_n \qquad (11\text{-}7\text{-}75)$$

或　$$x_{n1}' = 0.25\left(\frac{d_{a1}'' - d_{a2}''}{m_n} - \frac{z_1 - z_2}{\cos\beta} + 2x_{n\Sigma}\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}76)$$

$$x_{n2}' = 0.25\left(\frac{d_{a2}'' - d_{a1}''}{m_n} + \frac{z_1 - z_2}{\cos\beta} + 2x_{n\Sigma}\right) \qquad (11\text{-}7\text{-}77)$$

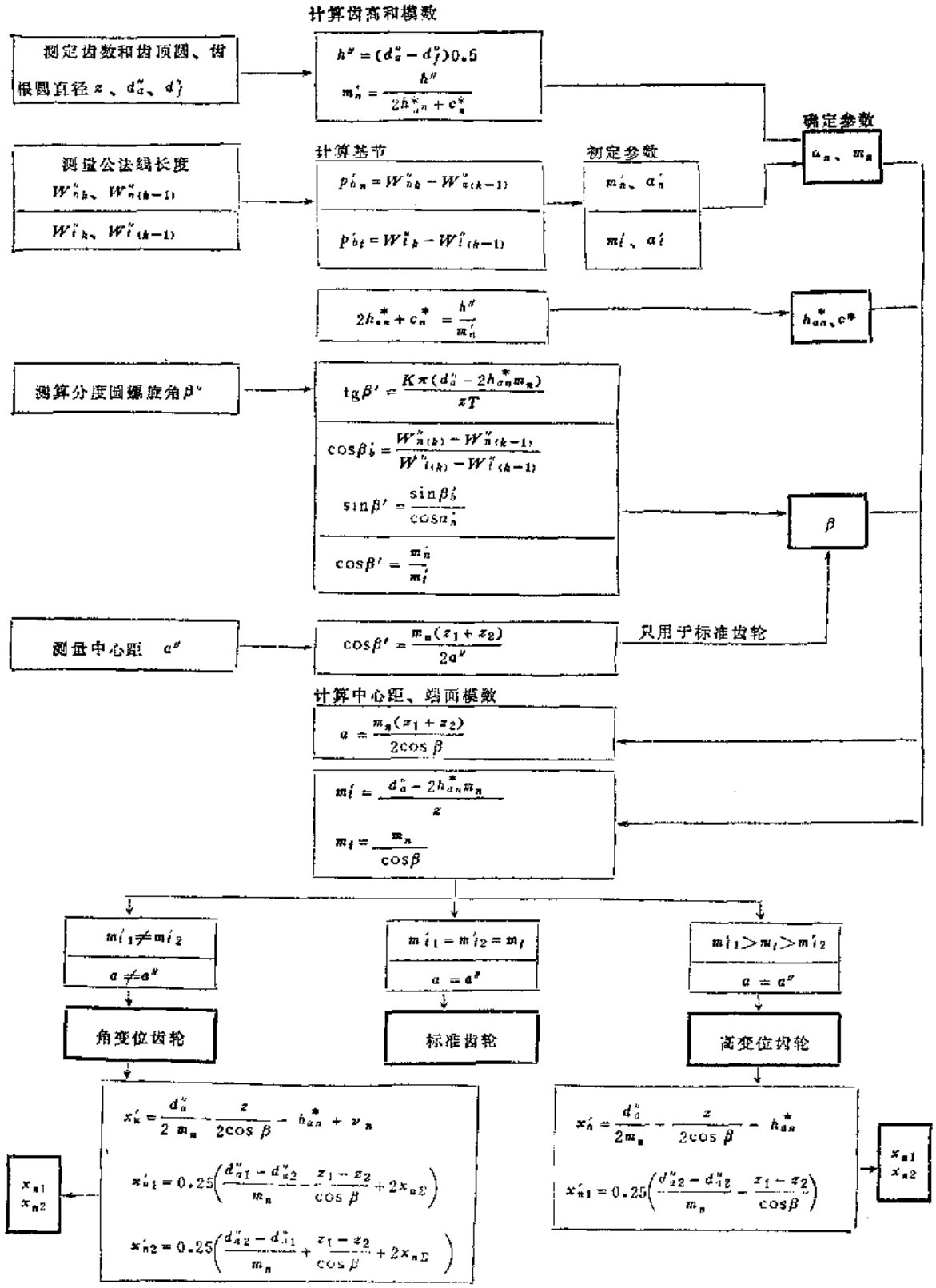


图11-7-22 斜齿圆柱齿轮测绘程序图

3）公法线长度 W'_k 法

$$x'_n=\frac{W'_{nk}-W^*_{nk}m_n+\delta W}{2\,m_n\sin\alpha_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}78)$$

式中 W'_{nk}——补偿后的公法线长度（见式11-7-4）；

δW——公法线长度磨损量（见式11-7-39）。

斜齿圆柱齿轮的测绘程序如图 11-7-22 所示。

例 1 C 45 型车床主轴箱中一对齿轮 $z_1=26$，$z_2=55$，其测绘参数见下表中测绘值一栏。（单位 mm 省略）

计算参数：

（1）法向基节 p'_{bn}

$$p'_{bn1}=W''_{n4}-W''_{n3}=21.42-15.52=5.90$$

$$p'_{bn2}=W''_{n7}-W''_{n6}=40.0-34.1=5.90$$

查表11-7-7 初定 $\alpha'_n=20°$，$m'_n=2$（$p_{bn}=5.904$）。

（2）螺旋角 β'

设 $h^*_{an}=1$，按式（11-7-45）：

$$\beta'=\operatorname{arctg}\frac{(d''_a-h^*_{an}m_n)K\pi}{zT''}$$

$$\beta'_1=\operatorname{arctg}\frac{(57.9-2\times2)\times4\pi}{26\times95.5}$$

$$=15.258°$$

$$\beta'_2=\operatorname{arctg}\frac{(118.05-2\times2)\times4\pi}{55\times95}\operatorname{tg}15.5°$$

$$=15.338°$$

另按式（11-7-65）：

$$\beta'=\arccos\frac{m_n(z_1+z_2)}{2a''}=\arccos\frac{2(26+55)}{2\times84}$$

$$=15.359°$$

根据上面计算初选 $\beta'=15.359°$。

（3）端面模数 m_t

按式（11-7-66、59）：

$$m'_{t1}=\frac{d''_{a1}-2h^*_{an}m_n}{z_1}=\frac{57.9-2\times2}{26}=2.0731$$

$$m'_{t2}=\frac{118.05-2\times2}{55}=2.0736$$

$$m_t=\frac{m_n}{\cos\beta'}=\frac{2}{\cos15.359°}=2.074$$

由于 $m'_{t1}=m'_{t2}=m_t$，可知这对齿轮是标准齿轮，$x=0$。初选 $\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$\beta=15.359°$，$h^*_{an}=1$ 是正确的。

（4）几何尺寸验算见下表。

例 2 一对齿轮 $z_1=12$，$z_2=52$ 测绘参数见下表中测绘值一栏。

计算参数：

（1）法向基节 p'_{bn}

$$p'_{bn1}=W''_{n3}-W''_{n2}=13.5-8.2=5.30$$

查表11-7-7得：

$m_n=1.75$，$\alpha_n=14^1/_2°$，$p_{bn}=5.323$

$P14(m_n=1.8143)$，$\alpha_n=20°$，$p_{bn}=5.356$

用齿轮滚刀试滚，与 $\alpha_n=14^1/_2°$，$m_n=1.75$ 的相近似，并选作初定值。

（2）螺旋角 β'

设 $h^*_{an}=1$，按式（11-7-45a、65）：

$$\beta'_1=\operatorname{arctg}\left(\frac{d''_{a1}-2h^*_{an}m_n}{d''_{a1}}\operatorname{tg}\beta''_{a1}\right)$$

（mm）

序号	代号	测绘值		验算公式	确定参数：$\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$h^*_{an}=1$，$\beta=15.359°$			
					验算值		误差	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	26	55	—	—	—		
2	d''_a	57.9	118.05	$d_a=\frac{zm_n}{\cos\beta}+2h^*_{an}m_n$	57.93	118.07	-0.03	-0.02
3	$\frac{K}{T''}$	$\frac{4}{95.5}$	$\frac{4}{95}$	—	—	—	—	—
4	W''_k	$W''_{n4}=21.42$ $W''_{n3}=15.52$	$W''_{n7}=40.0$ $W''_{n6}=34.10$	$W_k=(K_k+zK_\beta)m_n$ 表11-6-9、10	$W''_{n4}=21.47$	$W''_{n7}=40.09$	-0.05	-0.09
5	a''	84		$a=\frac{1}{2}m_t(z_1+z_2)$	84		0	

$$=\operatorname{arctg}\left(\frac{26.5-2\times1.75}{26.5}\operatorname{tg}18^\circ\right)=15.7488^\circ$$

$$\beta_2'=\operatorname{arctg}\left(\frac{96.3-2\times1.75}{96.3}\operatorname{tg}16^\circ\right)$$

$$=15.4467^\circ$$

$$\beta'=\operatorname{arc}\cos\frac{m_n'(z_1+z_2)}{2a''}$$

$$=\operatorname{arc}\cos\frac{1.75(12+52)}{2\times58}$$

$$=15.0902^\circ$$

初选$\beta'=15.09^\circ$。

（3）端面模数m_t和中心距a

按式（11-7-66、59）：

$$m_{t1}'=\frac{d_{a1}''-2h_{an}^*m_n}{z_1}=\frac{26.5-2\times1.75}{12}$$

$$=1.9167$$

$$m_{t2}'=\frac{96.3-2\times1.75}{52}=1.7846$$

$$m_t'=\frac{m_n}{\cos\beta'}=\frac{1.75}{\cos15.09^\circ}=1.8125$$

$$a=\frac{1}{2}(z_1+z_2)\,m_t'=\frac{1}{2}(12+52)\times1.8125$$

$$=58$$

由于$a=a''$，$m_{t1}'\neq m_{t2}'$，而且$m_{t1}'>m_t'>m_{t2}'$，可知这对齿轮是高变位啮合。

（4）变位系数x_1，x_2

按式（11-7-73、74）：

$$x_{n1}'=\frac{d_{a1}''}{2m_n}-\frac{z_1}{2\cos\beta}-h_{an}^*=\frac{26.5}{2\times1.75}$$

$$-\frac{12}{2\cos15.09^\circ}-1$$

$$=0.357$$

$$x_{n2}'=\frac{96.3}{2\times1.75}-\frac{52}{2\cos15.09^\circ}-1$$

$$=-0.414$$

$$x_n'=0.25\left(\frac{d_{a1}''-d_{a2}''}{m_n}-\frac{z_1-z_2}{\cos\beta}\right)$$

$$=0.25\left(\frac{26.5-96.3}{1.75}-\frac{12-52}{\cos15.09^\circ}\right)$$

$$=0.386$$

今取$x_{n1}=-x_{n2}=0.38$。

（5）几何尺寸验算见下表。

例3 GWR50滚扣机上一对斜齿轮（$z_1=20$，$z_2=50$），其测绘参数见下表中测绘值一栏，精度估计7级。

（1）初定$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$，按式（11-7-60）计算法向模数：

$$m_{n1}'=\frac{d_{a1}''-d_{f1}''}{4h_{an}^*+2c_n^*}=\frac{44.30-35.38}{4+2\times0.25}=1.982$$

$$m_{n2}'=\frac{103.5-94.6}{4+2\times0.25}=1.978$$

（2）法向基节p_{bn}'

$$p_{bn2}'=W_{nk}''-W_{n(k-1)}''=39-33.10=5.90$$

查表11-7-9得：

$\alpha_n=20^\circ$，$m_n=2$，$p_{bn}=5.904$

$\alpha_n=27^\circ$，$P12(m_n=2.1167)$，$p_{bn}=5.924$

用$m_n=2$，$\alpha_n=20^\circ$齿轮滚刀试滚也基本符合，初定$\alpha_n'=20^\circ$，$m_n'=2$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=1$。

（mm）

序号	代号	测绘值		验算公式	确定参数：$\alpha_n=14^1/_2{}^\circ$，$m_n=1.75$，$h_{an}^*=1$，$\beta=15.09^\circ$，$x_n=-x_{n2}=0.38$			
					验算值		比较	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	12	52	—	—	—	—	—
2	d_a''	26.5	96.3	$\frac{zm_n}{\cos\beta}+(2h_{an}^*+2x)m_n$	26.58	96.42	-0.08	-0.12
3	β_a''	18°	16°	—	—	—	—	—
4	W_{nk}''	$W_{n3}''=13.5$ $W_{n2}''=8.2$	— —	$(K_n+zK_\beta)m_n+2x_nm_n\sin\alpha_n$ 表11-6-9、13	$W_{n3}=13.76$	$W_{n5}=24.16$	-0.26	—
5	a''	58		$\frac{1}{2}(z_1+z_2)\frac{m_n}{\cos\beta}$	$a'=58$		0	

（3）螺旋角β'

按式（11-7-51、52、53）：

$$\beta'_{b2}=\arccos\frac{W''_{n7}}{W'_{i7}}=\arccos\frac{39}{39.53}$$

$$=9.3929°$$

$$\beta'_{b2}=\arccos\frac{33.10}{33.55}=9.3947°$$

$$\beta'_{b2}=\arccos\frac{W''_{nk}-W''_{n(k-1)}}{W'_{ik}-W'_{i(k-1)}}$$

$$=\frac{39-33.10}{39.53-33.55}=9.3825°$$

$\beta'=\arcsin\frac{\sin\beta''}{\cos\alpha'_n}$，将上述$\beta'_{b2}$各值代入得$\beta'_2=10.0017°,10.0036°,9.9906°$，故初定$\beta'=10°$。

（4）变位啮合

按式（11-7-66、67）：

$$m'_{t1}=\frac{d''_{a1}-2h^*_{a\Sigma}m_n}{z_1}=\frac{44.30-2\times2}{20}=2.015$$

$$m'_{t2}=\frac{94.6-2\times2}{50}=1.99$$

$$a=\frac{z_1+z_2}{2}\frac{m_n}{\cos\beta}=\frac{20+50}{2}\frac{2}{\cos10°}=71.08$$

由以上计算可知，$a\neq a''$，$m'_{t1}\neq m'_{t2}$，这对齿轮估计是角变位啮合。

（5）按表11-5-7中公式计算有关参数：

$$\alpha_t=\arctg\frac{\tg\alpha_n}{\cos\beta}=\arctg\frac{\tg20°}{\cos10°}$$

$$=20.2835°$$

$$\alpha'_t=\arccos\left(\frac{a}{a''}\cos\alpha_t\right)$$

$$=\arccos\left(\frac{71.08}{70}\cos20.2835°\right)$$

$$=17.7378°$$

$$y_t=\frac{a''-a}{m_n}\cos\beta=\frac{70-71.08}{2}\cos10°$$

$$=-0.532$$

$$x_{t\Sigma}=\frac{\mathrm{inv}\alpha'_t-\mathrm{inv}\alpha_t}{2\tg\alpha_t}(z_1+z_2)$$

$$=\frac{\mathrm{inv}17.7378°-\mathrm{inv}20.2835°}{2\tg20.2835°}(20+50)$$

$$=-0.50$$

$$x_{n\Sigma}=x_{t\Sigma}/\cos\beta=-0.50/\cos10°=-0.51$$

$$y_t=x_{t\Sigma}-y_t=-0.50+0.532=0.03$$

按式（11-7-75）求变位系数x_1，x_{2t}

$$x'_{n1}=\frac{d''_{a1}}{2m_n}-\frac{z_1}{2\cos\beta}-h^*_{an}+y_n$$

$$=\frac{44.30}{2\times2}-\frac{20}{2\cos10°}-1+0.0305$$

$$=-0.049$$

$$x'_{n2}=\frac{103.5}{2\times2}-\frac{50}{2\cos10°}-1+0.0305=-0.48$$

今取$x_{n1}=-0.05$，则$x_{n2}=x_{n\Sigma}-x_{n1}=-0.51-(-0.05)=-0.46$。

（6）几何尺寸验算见下表。

（mm）

序号	代号	测绘值		验算公式	确定参数：$\alpha_n=20°$，$m_n=2$，$h^*_{an}=1$，$c^*_n=0.25$，$\beta=10°$，$x_{n1}=-0.05$，$x_{n2}=-0.46$			
					验算值		比较	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	20	50	—	—	—	—	—
2	d''_i	44.30	103.5	$\frac{zm_n}{\cos\beta}+2h^*_{an}m_n+2x_nm_n-2y_nm_n$	44.36	103.64	−0.06	−0.14
3	d'_i	35.38	94.60	$\frac{zm_n}{\cos\beta}-2(h^*_{an}+c^*_n-x_n)m_n$	35.42	94.70	−0.06	−0.10
4	W'_{nk}		$W'_{n7}=39$ $W'_{n8}=33.10$	$W_k=(K_k+zK_\beta)m_n+2x_nm_n\sin\alpha_n$	$W_{n2}=9.37$	$W_{n9}=33.31$	—	−0.21
5	W'_{ik}		$W'_{i7}=39.53$ $W'_{i8}=33.55$	表11-6-9、10				
6	a''	70						

例4 减速器中的一个斜齿轮断裂2个齿，需单配。齿轮的齿数$z_2=63$，齿顶圆直径$d''_{a2}=262.34$，齿根圆直径$d''_f=244.66$，齿宽$b=110$，齿轮中心距$a''=163$。与其啮合的齿轮，$z_1=17$，$d''_{a1}=79.34$，$d''_f=61.66$。

该减速器是日本制造，估计齿轮的压力角$\alpha'_n=20°$，齿顶高系数$h^*_{an}=1$，顶隙系数$c^*=0.25$。

（1）齿高h'

$$h'=\frac{d''_a-d''_f}{2}$$

$$h'_1=8.84,\quad h'_2=8.84$$

（2）初算分度圆直径d'

$$d'_2=d''_{a2}-\frac{2h^*_{an}h'_2}{2h^*_{an}+c^*_n}$$

$$=262.34-\frac{2\times1\times8.84}{2\times1+0.25}=254.48$$

（3）按滚印法取$K=6$齿，测得$T''=438$。

（4）初定螺旋角β'

$$\operatorname{tg}\beta'=\frac{\pi Kd'_2}{zT''}=\frac{\pi\times6\times254.48}{63\times438}$$

$$\beta'=9.861531°(9°51'42'')$$

（5）用量仪测量公法线长度W''_k，选择最合适的跨越齿数k，使量仪的测点位于齿形的中部，此轮取$k=7$，并测得$W''_7=79.563$。

（6）初定端面啮合角α'_t

$$\operatorname{tg}\alpha'_t=\frac{\operatorname{tg}\alpha'_n}{\cos\beta'},\quad \alpha'_t=20.275678°$$

（7）利用W_k公式初算法向模数m'_n

$$W_k=m_n\cos\alpha_n[\pi(k-0.5)+z\operatorname{inv}\alpha'_t+2x_n\operatorname{tg}\alpha_n]$$

式中最后一项远小于前两项之和，可设$x_n=0$，则

$$m'_n=\frac{W''_k}{\cos\alpha'_n[\pi(k-0.5)+z\operatorname{inv}\alpha'_t]}$$

由于公法线长度有制造公差（包括保证侧隙），按式（11-7-4）进行补偿，得$W'_7=79.563+0.112+0.5\times0.071=79.71$，代入上式计算：

$$m'_n=\frac{79.71}{\cos20°[\pi(7-0.5)+63\operatorname{inv}\alpha'_t]}=3.96374$$

取标准值，$m'_n=4$

（8）前面初定螺旋角β'计算式中的d'有误差，将d'换以$zm'_n/\cos\beta'$代入，经简化后得到逼近的螺旋角β'计算式：

$$\sin\beta'=\frac{\pi Km'_n}{T''}=\frac{\pi\times6\times4}{438}$$

$$\beta''=9.912387°(9°54'45'')$$

（9）逼近的分度圆直径d'

$$d'_2=\frac{zm'_n}{\cos\beta'_2}=\frac{63\times4}{\cos\beta''_2}=255.8188$$

（10）在滚齿机上校验螺旋角β。按β''值搭配滚齿机差动挂轮，刀架移动$S=80$，表针逆转0.072，则精确的螺旋角β：

$$\operatorname{tg}\beta=\frac{S\operatorname{tg}\beta''+a}{S}=\frac{80\operatorname{tg}\beta''+(-0.072)}{80}$$

$$\beta=9.862341°(9°51'44'')$$

再按β值搭配挂轮检查螺旋角，迭至千分表指针在零位不动为止。

（11）精确的分度圆直径d

$$d=\frac{zm_n}{\cos\beta}$$

$$d_2=255.78,\quad d_1=69.02$$

（12）标准中心距（$x_n=0$）a

$$a=0.5(d_1+d_2)=162.4$$

实测中心距$a''=163$。$a''>a$，因此是一对正角变位齿轮副。

（13）测算变位系数x_n

1）根据所测算的a，β、m_n按表11-5-7公式计算得：$m_t=4.06$，$\alpha_t=20.2757233°$，$\alpha'_t=20.839127°$，$x_{n\Sigma}=0.152$，$\nu_t=0.002$。

2）根据W''_k测算x_{n2}

$W_k=m_n(K_k+zK_\beta)$，（表11-6-4）

$W_7=4(19.18886+63\times0.0146135)$

$=80.438042$

$$x_{n2}=\frac{W'_k-W_k}{2m_n\sin\alpha_n}=\frac{79.71-80.438042}{2\times4\sin20°}=-0.266$$

3）根据d''_a-d测算x_{n1}，x_{n2}

$$x_n=\frac{d''_a-d}{2m_n}-h^*_{an}+\nu_tm_t$$

$$x_{n1}=0.292,\quad x_{n2}=-0.178$$

4）根据$d-d''_f$测算x_{n1}、x_{n2}

$$x_n=h^*_{an}+c^*_n-\frac{d-d''_f}{2m_n}$$

$$x_{n1}=0.33,\quad x_{n2}=-0.14$$

5）根据$d''_{a2}-d''_{a1}$测算x_{n1}、x_{n2}

$$x_{n1}=\frac{1}{4}\left(\frac{d''_{a1}-d''_{a2}}{m_n}-\frac{z_1-z_2}{\cos\beta}+2x_{n\Sigma}\right)$$

$$x_{n2}=\frac{1}{4}\left(\frac{d''_{a2}-d''_{a1}}{m_n}-\frac{z_2-z_1}{\cos\beta}+2x_{n\Sigma}\right)$$

$$x_{n1}=0.31,\quad x_{n2}=-0.16$$

综上测算结果，初定$x_{n1}=0.30$，$x_{n2}=-0.15$，

$x_{n\Sigma}=0.15$。

(14) 几何参数验算：

$d_{a1}=79.4$，　$d''_{a1}=79.34$

$d_{a2}=262.56$，　$d''_{a2}=262.34$

$d_{f1}=61.42$，　$d''_{f1}=61.66$

$d_{f2}=244.58$，　$d''_{f2}=244.66$

$W_7=80.028^{-0.112}_{-0.185}$，　$W''_7=79.563$

(估计有磨损)

可见所确定的 $\alpha_n=20°$、$h^*_{an}=1$、$c^*_n=0.25$、$m_n=4$、$\beta=9.862341°$和$a'=163$是正确的。

(六) 交错轴斜齿轮的测绘

对于轴交角$\Sigma=90°$的交错轴标准斜齿轮，在测量z_1、d''_a和a''后可按下式初算螺旋角：

$$F=d''_{a2}-d''_{a1} \qquad (11\text{-}7\text{-}79)$$

$$\beta'_2=\operatorname{arctg}\frac{z_1(2a''+F)}{z_2(2a''-F)} \qquad (11\text{-}7\text{-}80)$$

$$\beta'_1=90°-\beta'_2 \qquad (11\text{-}7\text{-}81)$$

然后按下述方法精确计算螺旋角值。

若$z_2=z_1$和$d''_{a1}=d''_{a2}$，则$\beta_1=\beta_2=45°$。

若$z_2=z_1$和$d''_{a1}\neq d''_{a2}$，则：

$$\sin 2\beta_2=\frac{c}{2}+\sqrt{c+\frac{c^2}{4}} \qquad (11\text{-}7\text{-}82)$$

式中

$$c=\left(\frac{zm_n}{a}\right)^2$$

若$z_2\neq z_1$，则：

$$u\sec\beta_2+\csc\beta_2=\frac{2a}{z_1m_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}83)$$

对于轴交角$\Sigma\neq 90°$的交错轴标准斜齿轮，则：

$$F=d''_{a2}-d''_{a1}$$

$$\beta'_1=\operatorname{arctg}\frac{z_1(2a''+F)}{z_2(2a''-F)\sin\Sigma}-\operatorname{ctg}\Sigma \qquad (11\text{-}7\text{-}84)$$

$$\beta'_1=\Sigma-\beta'_2$$

然后按下式进行精确计算螺旋角值：

$$u\sec\beta_2+\csc\beta_1=\frac{2a}{z_1m_n} \qquad (11\text{-}7\text{-}85)$$

例 一对123型四轴自动车床的油泵传动齿轮，其测绘参数见下表中测绘值一栏。

计算参数：

(1) $p'_{bn}=W^*_{n4}-W^*_{n3}=15.86-11.43=4.43$

查表11-7-7得：

$m_n=1.5$，$\alpha_n=20°$，$p_{bn}=4.4282$

$P=16$，$\alpha_n=27°$，$p_{bn}=4.4437$

此机床是苏联产品，一般是模数制，初定$m'_n=1.5$，$\alpha'_n=20°$。

(2) $F=d''_{a2}-d''_{a1}=39.5-34.3=5.2$

$$\beta'_2=\operatorname{arctg}\frac{z_1(2a''+F)}{z_2(2a''-F)}$$

$$=\operatorname{arctg}\frac{9(2\times34+5.2)}{22(2\times34-5.2)}=25.4936°$$

$$\beta'_1=90°-25.4936°=64.5064°$$

(3) 螺旋角的精确计算

$$u\sec\beta_2+\csc\beta_2=\frac{2a}{z_1m_n}$$

代入测绘数值得：

$$\frac{22}{9}\sec\beta_2+\csc\beta_2=\frac{2\times34}{9\times1.5}$$

或

$$22\sec\beta_2+9\csc\beta_2=\frac{2\times34}{1.5}$$

$$=45.3333$$

将$\beta_2=25.4936$代入上式左边得45.2834。

将$\beta_2=25.40536$代入上式左边得45.3333。

取$\beta_2=25.40536°$，$\beta_1=64.59464°$。

(4) 几何尺寸验算见下表。

(七) 齿条的测绘

齿条的测绘比较简单，主要是测绘模数和齿形角。测绘模数时，用精密游标卡尺测量齿的齿距，再对照表11-7-7，就可确定模数或径节。为了获得较精确的测量数值，测量时可测量10个齿距。齿形角可用量角器来测量。模数和齿形角也可用齿轮滚刀来确定。

齿条的磨损程度可测量齿厚来判断，或者利用圆柱（球）来测量（图11-7-23）。齿条的M值如表

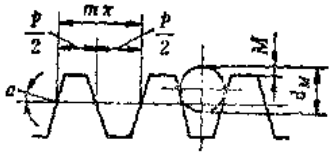


图11-7-23　用圆棒（钢珠）测量齿条

（mm）

确定参数：$\alpha_n=20°$，$m_n=1.5$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$，$\beta_1=64.59464°$，$\beta_2=25.40536°$

序号	代号	测绘值		验算公式	验算值		比较	
		z_1	z_2		z_1	z_2	z_1	z_2
1	z	9	22	—	—	—	—	—
2	m_t	—	—	$m_t=\dfrac{m_n}{\cos\beta}$	3.4967	1.66056	—	—
3	d	—	—	$d=m_t z$	31.469	36.531	—	—
4	d_a	34.3	39.5	$d_a=d+2h_{an}^*m_n$	34.473	39.532	-0.17	-0.03
5	W_{nk}^*	—	$W_{n4}^*=15.86$ $W_{n3}^*=11.43$	$W_{nk}=(K_k+zK_\beta)m_n$ 表11-6-9，11-6-10	—	$W_{n4}=16.11$	—	-0.25
6	Σ	90°		—	—			
7	a''	34		$a=\dfrac{1}{2}(d_1+d_2)$	34		0	

表11-7-11　齿条（$h_a^*=1$）测量M值

（mm）

m	P	d_M	M			m	P	d_M	M		
			$\alpha=14^1/_2°$	$\alpha=15°$	$\alpha=20°$				$\alpha=14^1/_2°$	$\alpha=15°$	$\alpha=20°$
						(4.618)	$5^1/_2$	8.5	2.582		2.093
1		1.8		0.446	0.374	4.75		8.5		1.998	1.676
(1.058)	24	2	0.723		0.583	5		9		2.231	1.868
1.125		2		0.441	0.371	(5.08)	5	9	1.965		1.615
(1.155)	22	2	0.331		0.276	5.25		9.5		2.464	2.069
1.175		2.1		0.488	0.410	5.5		10			2.251
1.25		2.2		0.436	0.369	(5.644)	$4^1/_2$	10	2.185	2.697	1.796
(1.27)	20	2.4	0.866		0.698	5.75		10		1.714	1.461
1.375		2.5		0.674	0.563	6		10		0.732	0.672
(1.411)	18	2.6	0.796		0.645	6.25		11		2.181	1.844
1.5		2.7		0.670	0.560	(6.35)	4	11	1.832		1.528
(1.588)	16	3	1.080		0.871	6.5		12		3.630	3.017
1.75		3.1		0.659	0.556	6.75		12		2.647	2.227
(1.814)	14	3.2	0.667		0.550	7		12		1.664	1.438
2		3.5		0.649	0.551	(7.257)	$3^1/_2$	13	3.165		2.588
(2.117)	12	3.8	0.942		0.770	7.5		13		2.130	1.821
2.25		4		0.882	0.742	8		14		2.597	2.204
(2.309)	11	4.1	0.916		0.752	(8.467)	3	15	3.274		2.691
2.5		4.5		1.115	0.934	8.5		15		3.063	2.587
(2.54)	10	4.5	0.983		0.808	9		16		3.529	2.970
2.75		5		1.349	1.125	(9.236)	$2^3/_4$	16	2.666		2.224
(2.822)	9	5	1.093		0.898	9.5		16		1.564	1.391
3		5.5		1.582	1.317	10		18		4.462	3.735
(3.175)	8	5.7	1.415		1.157	(10.16)	$2^1/_2$	18	3.930		3.230
3.25		6		1.815	1.508	11		20		5.394	4.502
3.5		6		0.832	0.719	(11.289)	$2^1/_4$	20	4.367		3.589
(3.629)	7	6.5	1.580		1.292	12		22		6.327	5.267
3.75		7		2.281	1.891	(12.7)	2	23	6.161		5.019
4		7		1.298	1.102	13		24		7.260	6.033
(4.233)	6	7.5	1.639		1.347	14		26		8.192	6.800
4.25		7.5		1.532	1.293	(14.514)	$1^3/_4$	27	8.826		7.138
4.5		8		1.765	1.485	15		28		9.125	7.565
						16		30		10.057	8.331

11-7-11所示。当没有适当的圆柱（球）时，亦可采用与d_M相近似的圆柱（球）来测量，这时，M值须按下式计算：

$$M=\frac{d_M}{2\sin\alpha}-\frac{m\pi\operatorname{ctg}\alpha}{4}+\frac{d_M}{2}-h_a^*m$$

（八）圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据

GB6443—86《渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据》规定如下：

（1）需要在图样上标注的一般尺寸数据

1）顶圆直径及其公差

2）分度圆直径

3）齿宽

4）孔（轴）径及其公差

5）定位面及其要求

6）齿轮表面粗糙度

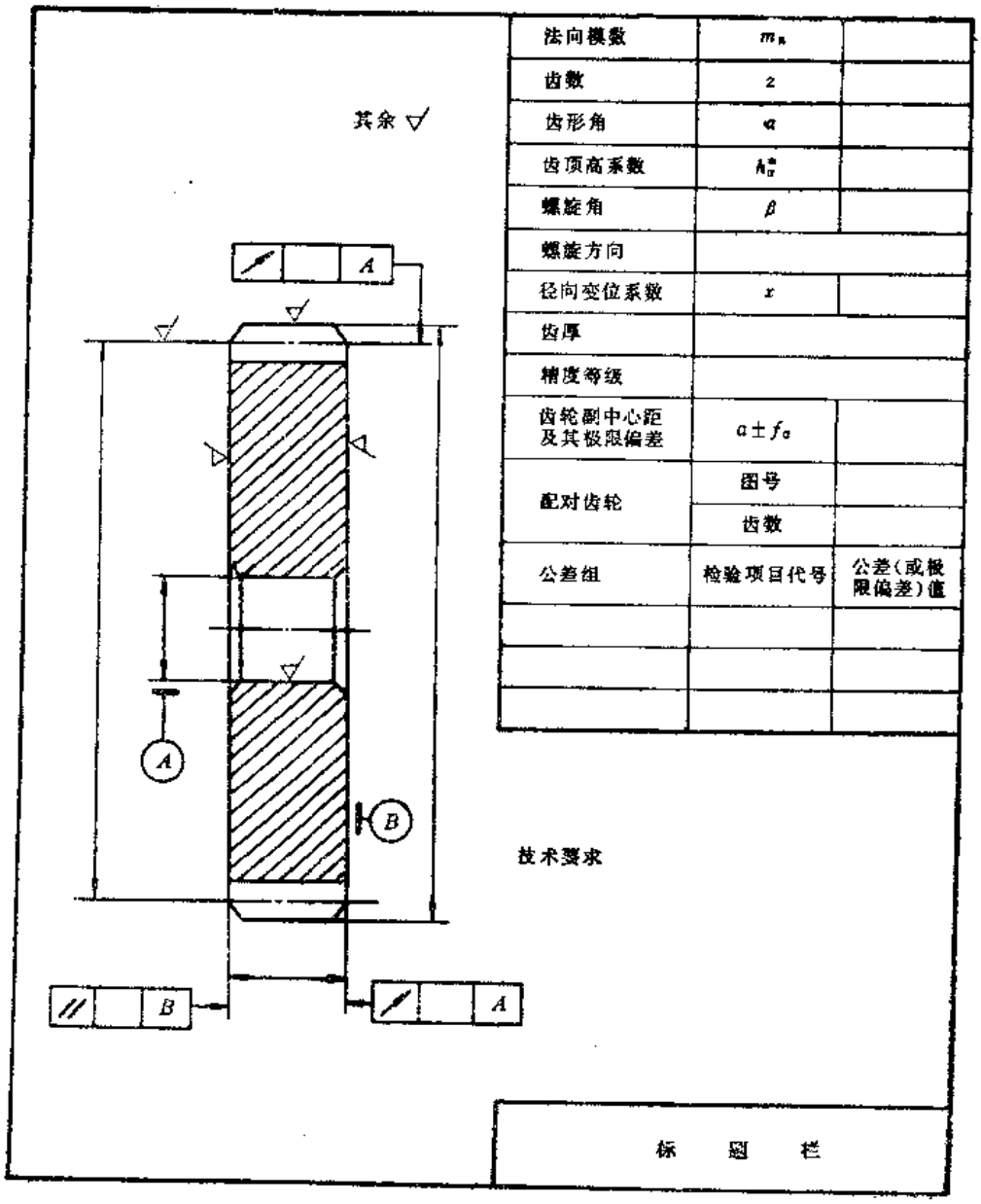
（2）需要用表格列出的数据

1）法向模数

2）齿数

3）基本齿廓（符合GB 1356—87《渐开线圆柱齿轮基本齿廓》时仅注明齿形角，否则应以图样详述其特性）

4）齿顶高系数



法向模数	m_n	
齿数	z	
齿形角	α	
齿顶高系数	h_a^*	
螺旋角	β	
螺旋方向		
径向变位系数	x	
齿厚		
精度等级		
齿轮副中心距及其极限偏差	$a\pm f_a$	
配对齿轮	图号	
	齿数	
公差组	检验项目代号	公差（或极限偏差）值

图11-7-24 圆柱齿轮图样示例

5）螺旋角

6）螺旋方向

7）径向变位系数

8）齿厚：公称值（法向齿厚公称值，或公法线长度，或量柱（球）测量距）及其上、下偏差

9）精度等级

10）齿轮副中心距及其极限偏差

11）配对齿轮的图号及其齿数

12）检验项目代号及其公差（或极限偏差）值

（3）其它

根据齿轮的具体形状及其技术条件的要求，还应给出其它一切在齿轮加工和测量时所必需的数据。

1）对于带轴的小齿轮，以及轴、孔不作定心基准的大齿轮，在切齿前作定心检查用的表面最大径向跳动量必须规定。

2）为检验轮齿的加工精度，对某些齿轮尚需指出其它一些技术参数（如基圆直径），或其它作为检测用的尺寸参数和形位公差（如齿顶圆柱面）。

3）当采用设计齿形、设计齿向时应以图样详述其参数。

4）给出必要的技术要求（如滑移齿轮啮入方向的倒角）

（4）示例

图样中的参数表一般放在图样的右上角。参数表中列出的项目可根据需要增减，检验项目按功能要求而定。图样中的技术要求一般放在该图的右下角，如图11-7-24所示。齿厚的几种检方法在表格中的标注示例见表11-7-12。

表11-7-12 齿厚标注示例

法向齿厚公称值及其上、下偏差	$s_n \begin{matrix} E_{ns} \\ E_{si} \end{matrix}$
公法线长度及其上、下偏差	$W_k \begin{matrix} E_{ws} \\ E_{wi} \end{matrix}$
跨越齿(槽)数	k
量柱（球）测量距及其上、下偏差	$M \begin{matrix} E_{Ms} \\ E_{Mi} \end{matrix}$
量柱（球）的直径	d_M

第8节 渐开线圆柱齿轮的修配和替换

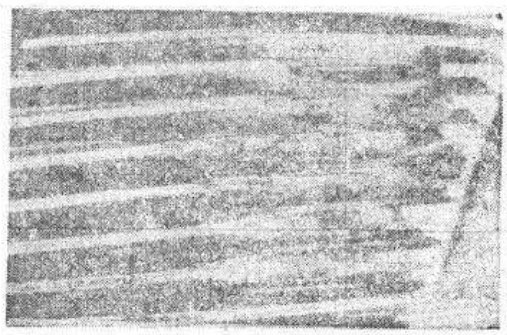
齿轮由于设备长期运转引起齿面磨损，或者由于机床设备运动导轨的磨损使齿轮啮合间隙增大而须进行恢复性修理时，不能按照旧件原封不动地配作，也不能单纯恢复它原来的设计参数，应该首先分析轮齿损伤的原因，充分利用齿轮变位的特点采用变位齿轮来修理，使修理后的设备质量有所提高，以避免或减少故障的重复发生。如果变位后还不能解决问题时，可考虑改变齿形角或者在基本保持原有传动比的条件下减少或增加齿数，增大或缩小模数，并在此条件下再选择适当的变位系数。

（一）圆柱齿轮的损伤形式和损伤原因

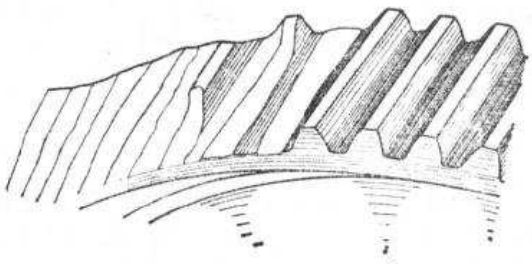
圆柱齿轮轮齿的损伤形式和损伤原因，以及改进方法如表11-8-1所示。

表11-8-1 圆柱齿轮轮齿的损伤形式和损伤原因

损伤形式	损伤原因	改进方法
齿轮折断		



疲劳折断

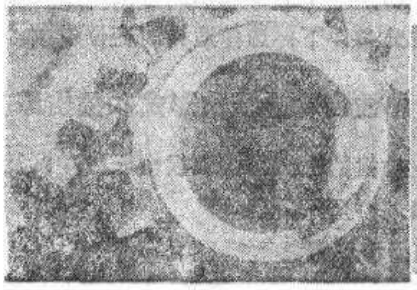


过载折断

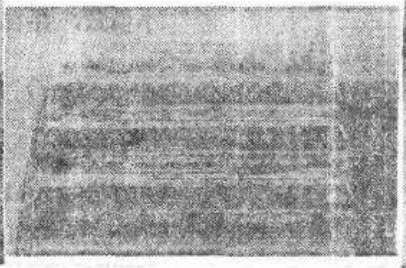
（续）

	损伤形式	损伤原因	改进方法
轮齿折断	1.疲劳折断　一般发生在铸铁齿轮或硬齿面(>350HBS)的齿轮齿根圆角过渡处。直齿轮通常从齿根沿着横向断裂，而斜齿轮和宽度较大的直齿轮则沿着斜向齿顶方向断裂。其断口一般分疲劳扩展区和瞬时折断区。前者的表面较光滑，常可观察到由疲劳源开始的“贝壳纹”状的疲劳扩展迹线；后者的表面粗糙，参差不齐	1.轮齿在过高的交变应力多次作用下，从齿根疲劳源起始的疲劳裂纹不断扩展，使轮齿剩余截面上的应力超过其极限应力 2.设计时模数选得过小 3.材料选择不当 4.热处理产生的微裂纹 5.齿根圆角半径太小或加工时齿根表面太粗糙，沿齿宽方向留有刀痕而引起应力集中 6.磨齿时过大的进刀量或吃刀过深导致表面应力的产生或引起局部过热导致产生裂纹 7.齿轮与轴承的布置或结构不合理，加工装配精度低引起局部应力集中或附加动载荷增大	1.进行齿根弯曲疲劳强度验算 2.加大模数或采用正变位提高弯曲强度 3.合理的选用材料及热处理工艺 4.对受强烈冲击的齿轮应特别注意材料的抗冲击强度 5.表面火焰淬火或高频淬火时，要避免只对齿面淬火而齿根不淬火的热处理 6.适当选择切削用量，消除刀痕，降低齿面粗糙度 7.提高轴和轴承的刚度对高速齿轮采用齿形修缘或鼓形齿 8.加大齿根圆角半径 9.齿根喷丸强化
	2.过载折断　其断口一般较粗糙，没有疲劳折断断口的特征。有时还可看到与负载情况下的循环次数相对应的裂纹延展波	由于短时意外的严重过载或冲击载荷超过其极限应力，如主传动系统中没有摩擦离合器，或制动系统的结构、布置不合理；又如轴向换档时，两齿轮的齿顶相撞	1.进行短期过载弯曲静强度校核 2.改进结构设置安全装置 3.低速时换档

齿面磨损



过度磨损

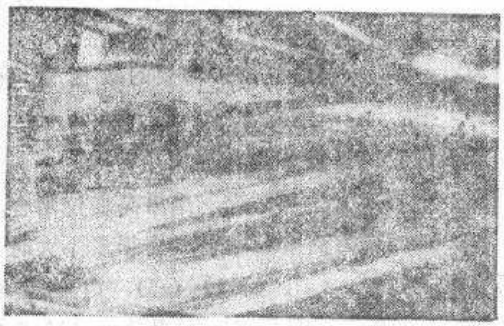
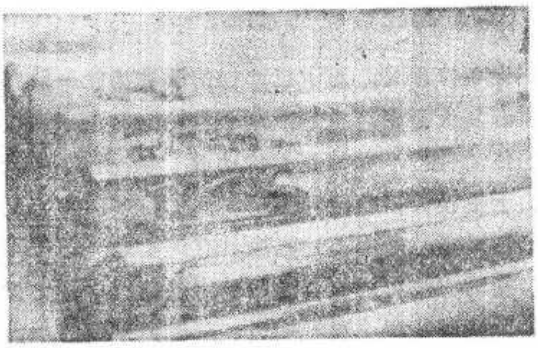


磨粒磨损

中等胶合

磨损	1.跑合磨损　在齿面粗糙度高的闭式传动中，初期工作时，齿面微观不平度，导致齿面直接接触，齿面微凸体峰部被剪切掉，或某部塑性变形，使齿面上微凸体逐渐磨平，齿面非常光滑	轮齿接触表面的粗糙度与润滑油粘度、齿轮工作速度、工作载荷不相匹配	跑合磨损可得到良好的接触表面，一般不需要避免，但应适时更换润滑剂或采取其它措施，使其获得适当的油膜厚度，防止由此产生的金属微粒进入啮合区，引起过度磨损
	2.正常磨损　齿面很光亮，没有宏观痕迹，磨损速度很慢，齿轮能达到设计的使用周期。节线附近的材料都有一定的移失，离节线越远，磨损量越大。在节线的位置上，逐渐呈现出一条近于连续的线	通常在边界润滑或接近边界润滑的状态下工作，润滑油有少量的污染杂质	提高润滑油粘度，降低油温，加入适当添加剂，改善润滑条件，如工作速度可变，则可提高工作速度，减小载荷

（续）

	损伤形式	损伤原因	改进方法
齿面磨损	3.过度磨损　工作齿面材料大量磨掉，齿廓形状破坏，齿轮达不到其设计寿命。节线附近有时伴随点蚀，常导致严重噪声和系统振动，最终使齿轮不能正常工作	润滑系统和密封装置不良，油膜建立不起来，系统有严重振动或冲击载荷重	采用合适的密封型式和润滑装置，改进润滑方式；加强维护；提高润滑油粘度；改进齿轮设计参数、材质、精度、齿面粗糙度等
	4.磨粒磨损　轮齿接触表面上沿滑动方向有均匀的条痕，这种多次摩擦产生的条痕一般具有重叠的特征	新齿轮装置跑合后未及时清洗；外部硬质颗粒落在工作齿面间使润滑油污染	飞溅润滑的闭式传动，可及时换油，清洗有关零件；采用循环润滑的系统，宜用过滤装置；对开式传动宜采取适当防护措施，选用合适的润滑油或改为闭式传动；对于由于较细物料造成的磨粒磨损，可用高粘度的润滑油以减轻之
	5.胶合　相啮合齿面的金属在一定的压力下直接接触发生粘着，同时随着齿面的相对运动，使金属从齿面上撕落而引起的一种严重粘着磨损现象。中等胶合是在齿顶或齿根附近沿滑动方向呈轻微而细密的伤痕；破坏性胶合是沿滑动方向呈现明显的粘撕沟痕，整个齿面尤其是齿顶部有明显的材料移失现象，工作节线明显，齿廓几乎完全毁坏，振动噪声增大，齿轮很快失效	中等胶合是齿轮啮合处的局部高温使油膜破裂所致；破坏性胶合是由于润滑不充分，工作温度过高，齿面接触应力或速度过高等原因引起的过热所造成	1.在高中速传动中，采用油性好的润滑油加极压添加剂，并设法降低油温；在低速传动中，选用粘度大的润滑油 2.大小齿轮采用不同牌号的钢料，采用等滑动率的变位啮合，适当提高齿面的硬度和降低粗糙度 3.必要时对高速传动齿轮进行胶合强度校核
齿面疲劳	 点蚀		 剥落
	1.点蚀　齿面呈麻点状的齿面疲劳损伤，通常发生在靠近节线的齿根部分。齿面跑合后，接触应力趋向均匀，麻点不再继续扩展，称为早期点蚀。如果麻点大而深并不断扩展，最后导致轮齿失效称为破坏性点蚀	在润滑良好的闭式传动中，齿面上的交变接触应力超过了疲劳极限，齿面表层将产生疲劳裂纹，裂纹中的润滑油产生高压，裂纹扩大，使表层小块金属剥落形成小坑 早期点蚀是工作初期相啮合的齿面贴合不良造成局部过载而引起的，如齿形误差，齿面凹凸不平，轴线歪斜等。破坏性点蚀是由于齿面应力过高引起的	采用正变位传动，提高齿形精度，降低齿面粗糙度，采用适当的添加剂，增大润滑油的粘度，保持齿轮接触应力低于材料的疲劳极限可避免破坏性点蚀 防止点蚀应进行齿面接触疲劳强度计算

（续）

	损伤形式	损伤原因	改进方法
齿面疲劳	2.剥落　齿面上的材料成片剥离的一种损伤。剥落坑的形状不规则，一般较为平浅，但比点蚀坑大些	表面硬化处理的轮齿，由于材料缺陷，热处理不当或载荷过大等原因使轮齿表面的应力超过该处材料的极限应力，表层就产生裂纹，裂纹在表层内或沿着表层软硬过渡区延伸或扩展，齿面金属被压碎呈片状剥落	增加轮齿硬化层深度，同时适当增加轮齿芯部材料的硬度；在点蚀坑基础上或表面裂纹、缺陷发展而成的剥落，说明齿面承载能力不足，须重新设计
塑性变形	塑性变形		
	软齿面在过大的接触应力作用下，齿面材料因屈服而沿摩擦方向产生塑性流动，在节线附近的齿面上，使主动轮形成凹沟，从动轮形成棱脊。淬火硬化齿轮也有这种现象	齿面接触应力超过了材料的屈服限	提高齿面硬度和润滑油粘度，尽量避免频繁的起动和超载

（二）圆柱齿轮的修配

在设备修理时，对于已磨损的圆柱齿轮一般都可采取修复大齿轮，重新配制小齿轮的方法来恢复齿轮的传动性能，尤其是大传动比、大模数齿轮副。由于更换大齿轮消耗的材料和工时多，加工周期长，费用高，采用上述方法具有现实意义。

修复的方法可根据大齿轮的磨损情况，将大齿轮的齿顶圆车小些，再行切齿，然后另制新的小齿轮与其相配，这样可保持原有的中心距、模数和传动比。

在确定大齿轮的加深量时，为了完全恢复渐开线齿廓，应根据磨损量确定变位系数。初定变位系数可按下式计算：

$$x_2' = -\frac{mW_2^* - W_2'' + \Delta W_2}{2m\sin\alpha} \qquad (11\text{-}8\text{-}1)$$

或

$$x_2' = -\frac{m\bar{s}_2^* - \bar{s}_2'' + \Delta\bar{s}_2}{2m\,\mathrm{tg}\,\alpha} \qquad (11\text{-}8\text{-}2)$$

式中　W^*、$\bar{s}^*$——分别为标准齿轮 $m=1$ 时的公法线长度、弦齿厚（表11-6-5、21等）；

W_2''、$\bar{s}''$——分别为磨损齿轮的实际公法线长度、弦齿厚；

ΔW_2，$\Delta\bar{s}_2$——恢复齿形需要的减薄量（估计值）。

磨损齿轮的修复方法有下列几种：

（1）原来为标准齿轮，采用高变位啮合。

（2）原来为高变位啮合，磨损量不大时仍可用高变位，如$x_1 > x_{min}$（表11-4-5），齿形变尖，在不影响ε_α的条件下，将齿顶圆直径适当减小些，保持$s_{a1} \geqslant 0.4\,\mathrm{m} \sim 0.5\,\mathrm{m}$，或者当传动比可以稍作变动时，将小齿轮齿数增加（或减小）一齿，用角变位方法修复。

（3）对大模数的大齿轮，直径数米，重数吨，价值数千圆，更换新件来源不易，修理时应尽量提高齿轮啮合传动质量，延长使用寿命，如条件许可，采用正角变位啮合。

用高变位修理时，由于其啮合角没有改变，齿面的接触强度仍然没有提高，而大齿轮的弯曲强度有所削弱。如采用正角变位修理，可增大啮合角，提高齿面接触强度，大小齿轮的变位系数都采取正值，则可提高弯曲强度。如果合理分配变位系数，

可使η_{1max}和η_{2max}相等或接近相等。

负变位齿轮的齿顶圆直径和齿厚都比标准齿轮的小，而正变位齿轮的齿顶圆直径和齿厚都比标准齿轮的大。一个旧齿轮，其齿顶圆直径和齿厚只能越修越小，在一般情况下，旧齿轮不能用正变位的方法来修理。但是旧齿轮的齿数虽然不能改变，而模数都可以变动，即使模数改小使齿轮的直径变小，正变位又可使直径增大，因此只要旧齿轮的直径和磨损后残余的齿厚与变位后的齿轮尺寸相比较，有加工余量就行了。

采用正角变位的限制条件是：

（1）齿轮副的中心距可以适当变动；

（2）设备主运动的速度可以适当改变（即可将小齿轮增加或减少一齿）；

（3）齿轮的模数可以稍加变小；

（4）大齿轮磨损后的剩余齿厚，有足够的加工余量，修理加工后轮缘有足够的厚度。

采用正角变位啮合时要验算：

（1）齿面接触强度和齿根弯曲强度；

（2）重合度、齿顶宽要符合要求；

（3）滑动率η_{1max}和η_{2max}要相等或接近相等；

（4）过渡曲线不发生干涉。

例1 一对冲床传动齿轮测算参数：$z_1=16$，$z_2=80$，$m=13$，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$a''=624$，大齿轮$W_9^*=334.9$，两齿轮都严重磨损，拟修复大齿轮更换小齿轮（单位mm省略）。

大齿轮的公法线长度估计要去薄1.0才能获得新的齿形，初定变位系数x_2'：

$$x_2'=-\frac{mW_9^*-W_9''+\Delta W_2}{2m\sin\alpha}$$

$$=-\frac{m\times26.2136-334.9+1.0}{2\times13\sin20°}$$

$$=-0.77$$

如果采用高变位，$x_1=+0.77$，则$s_{a1}^*=0.2$（图11-4-9），齿形变尖。考虑到大齿轮齿圈有足够的强度，拟将小齿轮增加一齿，即$z_1=17$，采用角变位啮合。则按表11-5-7作如下计算：

$$a=\frac{z_1+z_2}{2}m=\frac{17+80}{2}\times13=630.5$$

$$\alpha'=\arccos\left(\frac{a}{a'}\cos\alpha\right)$$

$$=\arccos\left(\frac{630.5}{624}\cos20°\right)$$

$$=18.2898°$$

$$y=\frac{a'-a}{m}=\frac{624-630.5}{13}=-0.5$$

$x_z=-0.0098918$（查表11-5-16）

$$x_\Sigma=\frac{z_1+z_2}{2}x_z=-\frac{17+80}{2}\times0.0098918$$

$$=-0.48$$

$$y=x_\Sigma-y=-0.48-(-0.5)=0.02$$

从表11-4-8和表11-4-10可知，角变位弯曲强度最有利的变位系数为$x_{1min}=+0.4$，$x_{\Sigma min}=-0.31$，抗磨损耐胶合最有利的变位系数为$x_{1min}=+0.4$，$x_{\Sigma min}=-0.30$。本例$x_\Sigma=-0.48$超出上述数值，故须进行验算。

先按表11-5-7、11-2-17中公式用下列三种变位系数分配方案进行几何验算，结果如下表：

方案	x_1	x_2	d_{a1}	d_{a2}	α_{a1}	α_{a2}	s_{a1}^*（图11-4-9）	ε_α	η_{1max}	η_{2max}
1	+0.32	−0.80	254.8	1044.68	35.4087°	20.6937°	0.53	1.63	2.49	1.85
2	+0.36	−0.84	255.84	1043.64	35.7350°	20.5420°	0.50	1.62	2.06	1.90
3	+0.44	−0.92	257.92	1041.56	36.3723°	20.2345°	0.46	1.58	1.44	2.02

查原设计图纸，知这对齿轮（$z_1=16$，$z_2=80$）原设计为标准齿轮。第一次大修采用$x_1=-x_2=0.43$的高变位啮合。为了便于比较，其几何尺寸计算如下表：

x_1	x_2	d_{a1}	d_{a2}	α_{a1}	α_{a2}	s_{a1}^*	ε_α	η_{1max}	η_{2max}
0	0	234	1066	33.3547°	23.5412°	—	1.67	78.457	1.157
+0.43	−0.43	245.18	1054.82	37.1370°	22.1059°	0.44	1.54	1.656	1.654

由于小齿轮增加了一齿，须进行弯曲疲劳强度校核。从弯曲疲劳强度计算公式（表11-11-2和表11-11-1）可知，齿数的改变和齿轮的变位将影响节圆上的切向力F_t，齿形系数Y_{Fa}，应力修正系数Y_{Sa}，重合度系数Y_ε。齿形系数将随z或x的增加而减小，对弯曲强度有利，而应力修正系数则相反，将随z或x的增加而增加，对弯曲强度不利。由于其它条件不变，弯曲应力在修后(σ_F')与修前(σ_F)的比值可简化为：

$$\frac{\sigma_F'}{\sigma_F}=\frac{F_t'Y_{Fa}'Y_{Sa}'Y_\varepsilon'}{F_tY_{Fa}Y_{Sa}Y_\varepsilon}=\frac{d_1'Y_{Fa}'Y_{Sa}'Y_\varepsilon'}{d_1Y_{Fa}Y_{Sa}Y_\varepsilon}$$

根据表11-11-2，将有关参数列于下表：

	z_1	x_1	d_1	Y_{Fa}	Y_{Sa}	Y_ε	σ_F	σ_F'/σ_F	
修前	16	0	208	3.03	1.51	0.70	0.01537		
		+0.43		2.30	1.73	0.74	0.01414		
	z_1'	x_1	d_1'	Y_{Fa}'	Y_{Sa}'	Y_ε'	σ_F'	$x_1=0$	$x_1=0.43$
修后	17	+0.32	218.7	2.42	1.68	0.71	0.01328	86%	93%
		+0.36		2.36	1.70	0.71	0.01310	85%	92%
		+0.44		2.26	1.74	0.72	0.01302	84%	91%

从上表可知，小齿轮增加一齿并采用正变位，其弯曲应力比修前可降低10%～15%。

综上所述，小齿轮增加一齿，采用第二种变位方案$x_1=+0.36$，$x_2=-0.84$，齿轮的质量指标都比较理想，即齿顶宽$s_{a1}=0.5m$，重合度$\varepsilon_\alpha=1.62$，大小齿轮的滑动率小于4（表11-2-17），而且$\eta_{1max}=2.06$与$\eta_{2max}=1.90$接近相等，与原设计标准齿轮传动的滑动率（$\eta_{1max}=78.457$，$\eta_{2max}=1.175$）相比，大有改善，有利于抗磨损和耐胶合的要求。而且其弯曲应力也比原设计降低了15%，因此这个修理方案是可行的。

例2 球磨机的一对传动齿轮，$z_1=19$，$z_2=178$，$\alpha=20°$，$b=406$，$m=24$，$h_a^*=1$，标准啮合。电机功率400kW，小轮转速187.5 r/min，齿面严重磨损，大齿轮弦齿厚由37.3减薄至25。考虑到球磨机轴承底座有移动余地，中心距可缩短20左右，大齿轮的轮缘还有修理余量，球磨机的转速可以稍加增高亦不影响球磨质量。为了充分利用旧轮，采用正角变位啮合，修理大齿轮，更换小齿轮。

为了提高齿轮的综合强度，采用25°的啮合角，小齿轮增加一齿，由$z_1=19$改为$z_1=20$，模数由$m=24$改为$m=23$，中心距由2364改为2349.5，其几何计算如下：

$$a=\frac{z_1+z_2}{2}m=\frac{20+178}{2}23=2277$$

$$\alpha'=\arccos\left(\frac{a}{a'}\cos\alpha\right)$$

$$=\arccos\left(\frac{2277}{2349.5}\cos20°\right)$$

$$=24.3983°$$

$$y=\frac{a'-a}{m}=\frac{2349.5-2277}{23}=3.15$$

$x_z=0.0353031$（查表11-5-16）

$$x_\Sigma=\frac{z_1+z_2}{2}x_z=\frac{20+178}{2}\times0.0353031$$

$$=3.5$$

$$y=x_\Sigma-y=3.5-3.15=0.35$$

变位系数参考表11-5-7、8、10进行分配，并按下列三种方案试算，其结果如下表：

方案	1	2	3
x_1	+0.70	+0.80	+1.00
x_2	+2.80	+2.70	+2.50

方案	x_1	x_2	d_{a1}	d_{a2}	α_{a1}	α_{a2}	s_{a1}^*	ε_α	η_{1max}	η_{2max}
1	+0.70	+2.80	522.1	4252.7	34.1140°	25.2270°	0.83	1.210	0.584	0.581
2	+0.80	+2.70	526.7	4248.1	34.8458°	25.0951°	0.79	1.190	0.453	0.633
3	+1.00	+2.50	535.9	4238.9	36.2346°	24.8282°	0.68	1.146	0.241	0.736

为了便于比较，兹将原设计齿轮副（$z_1=19$，$z_2=178$，$m=24$，$x_1=x_2=0$）的几何尺寸计算如下：

z_1	z_2	d_{a1}	d_{a2}	α_{a1}	α_{a2}	s^*_{a1}	ε_α	η_{1max}	η_{2max}
19	178	504	4320	31.7668°	21.6815°	—	1.720	7.09	0.84

对齿轮的疲劳强度进行了校核。结果如下：

名义转矩 $T=\dfrac{9549P}{n_1}=\dfrac{9549\times400}{187.5}$

$=20370$ N·m

节圆切向力 修前：$F_t=\dfrac{2000T}{d_1}$

$=\dfrac{2000\times20370}{19\times24}$

$=89342$ N

修后 $F_t'=\dfrac{2000\times20370}{475}$

$=85768$ N

载荷系数$K=K_AK_VK_{H\alpha}K_{H\beta}$（表11-11-2）如下表：

系数	K_A	K_V	$K_{H\alpha}$	$K_{H\beta}$	K	附　注
修前	1.75	1.12	1.14	1.26	2.82	查K_V时(图11-11-1)，其中 $v\cdot z_1/100=\dfrac{\pi d_1' n_1 z_1}{1000\times60\times100}$ 修前为 $\dfrac{\pi\times456\times187.5\times19}{1000\times60\times100}$ $=0.85$ m/s
修后	1.75	1.13	1	1.25	2.47	修后为 $\dfrac{\pi\times475\times187.5\times20}{1000\times60\times100}$ $=0.93$ m/s

接触应力校核（公式见表11-11-2）如下表：

	z_1	x_1	z_R	z_H	z_ε	σ_H	修后比修前降低
修前	19	0	163	2.5	0.872	436	
修后	20	+0.70	163	2.24	0.964	389	11%
		+0.80			0.968	390	11%
		+1.00			0.975	393	10%

弯曲应力校核（公式见表11-11-2）如下表：

	z_1	x_1	Y_{Fa}	Y_{Sa}	Y_ε	σ_F	修后比修前降低
修前	19	0	2.85	1.54	0.686	77.8	
修后	20	+0.70	2.02	1.87	0.87	74.6	4%
		+0.80	1.96	1.89	0.88	74	5%
		+1.00	1.88	1.91	0.90	72	7.5%

从以上校核结果可以看出，小齿轮增加一齿，模数稍有减小，变位系数$x_1=+0.7\sim1.0$可以降低接触应力10%，降低弯曲应力5%。又从大小齿轮滑动率来看，$x_1=+0.70$时，$\eta_{1max}=\eta_{2max}$。最后确定$x_1=+0.70$，$x_2=+2.80$（方案1）。

由于变位系数较大，($x_1=+0.70$, $x_2=+2.80$)须进行过渡曲线干涉的验算。从表11-2-7得：

对小齿轮：

$$\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_2}{z_1}(\mathrm{tg}\alpha_{a2}-\mathrm{tg}\alpha')$$

$$\geqslant\mathrm{tg}\alpha-\frac{4(h_a^*-x_1)}{z_1\sin2\alpha}$$

代入有关数值计算，式左边得0.410，右边得0.27，0.410>0.27；

对大齿轮：

$$\mathrm{tg}\alpha'-\frac{z_1}{z_2}(\mathrm{tg}\alpha_{a1}-\mathrm{tg}\alpha')$$

$$\geqslant\mathrm{tg}\alpha-\frac{4(h_a^*-x_2)}{z_2\sin2\alpha}$$

代入有关数值计算，式左边得0.428，右边得0.427，0.428>0.427。

满足不干涉要求。

按以上方案变位后，大齿轮分度圆直径（$d_2=178\times23=4094$）比齿根圆直径$d_{f2}=178\times23-2\times(1-2.8+0.25)23=4165.3$小，加工时检测分度圆弦齿厚或固定弦齿厚都已不可能，所以只能测量节圆弦齿厚。节圆弦齿厚的计算公式如下：

$$\bar{s}_2'=d_2'\sin\left(\frac{\pi}{2z_2}+\frac{2x_2\mathrm{tg}\alpha}{z_2}+\mathrm{inv}\alpha-\mathrm{inv}\alpha'\right)$$

$$\bar{h}_2'=\frac{1}{2}d_{a2}-\frac{1}{2}d_2'\times\cos\left(\frac{\pi}{2z_2}+\frac{2x_2\mathrm{tg}\alpha}{z_2}+\mathrm{inv}\alpha-\mathrm{inv}\alpha'\right)$$

式中 d_2'——大齿轮节圆直径；

α'——啮合角。

按此方案修复大齿轮的齿形及其位置如图11-8-1所示。齿顶圆直径将减小67.3，加工后轮缘厚度还有46，可满足结构强度的要求。修后使用3年，实测大轮齿面磨损量平均每年为0.35左右。如果按齿面磨损减薄30%作为齿轮报废标准，此轮大约可

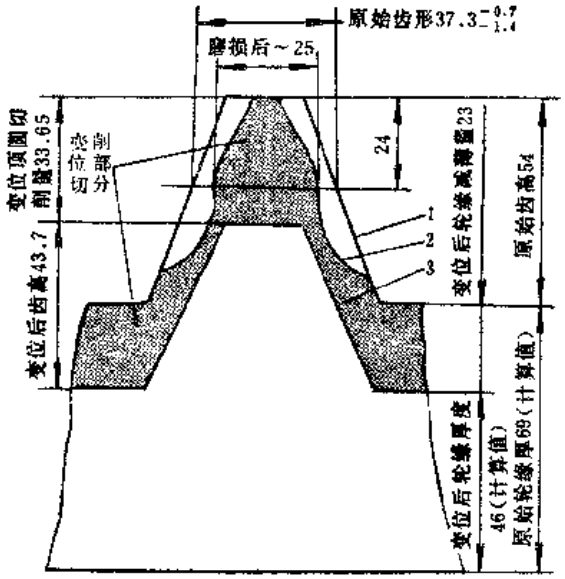


图11-8-1 大齿轮修复齿形

1—原始齿形 2—磨损后齿形 3—变位修复后齿形

使用25年，比原来的使用寿命可提高1.5～2倍。

（三）圆柱齿轮的替换——英制齿轮的修配

有的机械设备中的齿轮采用英制——径节（P）制和周节（CP）制，而一般工厂中英制的切齿刀具比较缺少，市场上也不易买到。在修配英制齿轮时，购买或制造英制刀具是不经济的，而且制造刀具时间上也来不及。在没有英制齿轮刀具时，有两个办法可以解决英制齿轮的修配。

1．用磨齿法加工英制齿轮

工厂中如果具有展成法齿轮磨床（如Y7131磨齿机等），则可用模数齿轮滚刀滚切齿坯，再用磨齿机磨成所需的英制齿轮。这种方法也可以扩大到用于加工非标准齿形角或非标准模数的齿轮，其原理都是一样的。

（1）首先计算所修配齿轮的基节p_b：

$$p_b=\pi\frac{25.4}{P}\cos\alpha$$

英制齿轮的齿形角一般为$14^1/_2°$，则其基节为

$$p_b=\pi\frac{25.4}{P}\cos 14^1/_2°=\frac{77.254748}{P}$$

（2）选用适当的标准模数的滚齿刀。尽量使滚刀的基节（$p_{b0}=\pi m\cos\alpha_0$）与修配齿轮的p_b相接近，这样，磨齿的余量可以小些。

（3）计算磨齿时修配齿轮的滚动直径$d_{滚}$：

$$d_{滚}=\frac{d\cos\alpha}{\cos\alpha_{砂}}=\frac{mz\cos\alpha}{\cos\alpha_{砂}}=\frac{zp_b}{\pi\cos\alpha_{砂}}$$

$$=\frac{77.254748\,z}{\pi P\cos\alpha_{砂}}$$

式中 $\alpha_{砂}$——砂轮的齿形角（磨削角），一般$\alpha_{砂}=20°$。

（4）计算磨齿时磨齿机的滚动挂轮比$i_{滚}$：

$$i_{滚}=\frac{k}{d_{滚}}$$

式中 k——磨齿机的机床定数，Y7131磨齿机$k=59.7686$。

将上式代入则得：

$$i_{滚}=\frac{k\cos\alpha_{砂}P}{25.4z\cos\alpha}$$

设$\alpha_{砂}=20°$，$\alpha=14^1/_2°$则：

$$i_{滚}=\frac{0.03821294\,k}{z}P$$

例如修配一个英制齿轮，$z=20$，$P=11$，$\alpha=14^1/_2°$，则其基节$p_b=\frac{\pi 25.4\cos\alpha}{P}=7.0231589$mm。从基节表（表11-7-7）中选用$m=2.25$，$\alpha=20°$齿轮滚刀（其基节$p_{b0}=6.6423$mm）来滚切齿坯。在Y7131磨齿机上磨削齿形时，则其滚动挂轮比$i_{滚}$应为：

$$i_{滚}=\frac{k\cos\alpha_{砂}P}{25.4z\cos\alpha}=1.256163821$$

2．用模数制变位齿轮代替径节制齿轮

用模数制齿轮来代替径节制齿轮时，不能只更换一个齿轮，必须成对更换，这是它的一个缺点。这种方法虽已普遍采用，但计算比较繁琐。今介绍一种简化的计算方法，用该法计算的限制条件是：

1）只限于渐开线外啮合直齿圆柱齿轮；

2）原英制齿轮副为标准齿轮；

3）齿轮副的齿数比与齿数和z_Σ不变。

（1）模数的选择

可按原来的径节值从表11-8-2中选用相应的模数。其中第1组～第4组所选用的模数值比原径节值稍小，使用时要进行正角变位修正；第5组～第7组比原值稍大，使用时，要进行负角变位修正；第8组～第10组比原值大得多些，尽量不采用，如果采用时，必须适当减少齿数和，而且也保证不了原来的传动比。

（2）总变位系数的计算（参见表11-5-7）

1）替换齿轮的啮合角α'

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{mP}{25.4}\cos\alpha\right)$$

2）中心距变动模数y_x

$$y_x = \frac{25.4}{mP} - 1$$

3）总变位模数x_Σ，按啮合角从表11-5-16查得，或$x_\Sigma = \frac{\text{inv}\alpha' - \text{inv}\alpha}{\text{tg}\alpha}$（用于$\alpha \neq 20°$）。

4）总变位系数

$$x_\Sigma = \frac{z_1 + z_2}{2} x_x$$

5）齿顶高变动模数ν_x

$$\nu_x = x_x - y_x$$

6）齿顶高变动系数ν

$$\nu = \nu_x \frac{z_1 + z_2}{2}$$

今将常用各组的α'、y_x、x_x、ν_x和x_Σ各值列于表11-8-3中便于使用。

模数制变位齿轮代替径节制齿轮计算实例如下。

例　今有一对径节制标准齿轮，$P = 11$，$z_1 = 20$，$z_2 = 58$，$\alpha = 14^1/_2°$。从表11-8-2中第3组查得$m = 2.25$。从表11-8-3查得这对齿轮的啮合角$\alpha' = 23.7025°$。

$$\nu = \nu_x \frac{z_1 + z_2}{2} = 0.0023943 \times \frac{20 + 58}{2} = 0.09$$

$$x_\Sigma = \frac{z_1 + z_2}{2} x_x = \frac{20 + 58}{2} \times 0.0286569 = 1.12$$

参考表11-4-7、8、10和图11-4-11将变位系数按下列三个方案分配，并进行几何尺寸验算如下表：从下表数值可见，以第2种方案较好，大小齿轮滑动率接近相等，故取$x_1 = +0.50$，$x_2 = +0.62$，$m = 2.25$，$\alpha = 20°$。其余几何尺寸计算从略。

方案	1	2	3
x_1	+0.3	+0.5	+0.6
x_2	+0.82	+0.62	+0.52

方案	x_1	x_2	d_{a1}	d_{a2}	α_{a1}	α_{a2}	s^*_{a1}	ε_α	η_{1max}	η_{2max}
1	0.3	0.82	50.445	138.285	33.0429°	27.5273°	0.57	1.43	1.60	0.78
2	0.5	0.62	51.345	137.385	34.5563°	26.7892°	0.48	1.40	1.04	0.95
3	0.6	0.52	51.795	136.935	35.2726°	26.4230°	0.42	1.39	0.83	1.04

表11-8-2　径节与其相接近的标准模数对照

组别		第1组							
径节制	P	24	16	12	8	6	4	3	2
	m'	1.0583	1.5875	2.1167	3.175	4.2333	6.350	8.4667	12.7
模数制	m	1	1.5	2	3	4	6	8	12

组别		第1组		第2组				第3组			
径节制	P	$1^1/_2$	1	14	7	$3^1/_2$	$1^3/_4$	22	18	11	9
	m	16.9333	25.4	1.8143	3.6286	7.2571	14.5142	1.1545	1.4111	2.3091	2.8222
模数制	m	16	24	1.75	3.5	7	14	1.125	1.375	2.25	2.75

组别		第3组				第4组					
径节制	P	$5^1/_2$	$4^1/_2$	$2^3/_4$	$2^1/_4$	20	10	5	4	$2^1/_2$	$1^1/_4$
	m	4.6182	5.6444	9.2364	11.2889	1.27	2.54	5.080	6.350	10.160	20.320
模数制	m	4.5	5.5	9	11	1.25	2.5	5	6.25	10	20

（续）

组别		第5组		第6组				第7组			
径节制	P	6	3	13	8	4	2	7	5	$3^1/_2$	$1^3/_4$
	m	4.2333	8.4667	1.9538	3.1750	6.350	12.7	3.6286	5.08	7.2571	14.5143
模数制	m	4.25	8.5	2	3.25	6.5	13	3.75	5.25	7.5	15

组别		第8组									
径节制	P	24	18	12	9	6	$4^1/_2$	4	3	$2^1/_4$	$1^1/_2$
	m	1.0583	1.4111	2.1167	2.8222	4.2333	5.6444	6.350	8.4667	11.2889	16.9333
模数制	m	1.125	1.5	2.25	3	4.5	6	6.75	9	12	18

组别		第9组									
径节制	P	22	20	11	10	$5^1/_2$	5	$2^3/_4$	$2^1/_2$	$1^1/_4$	16
	m	1.1545	1.270	2.3091	2.54	4.6182	5.080	9.2364	10.16	20.32	1.5875
模数制	m	1.25	1.375	2.5	2.75	5	5.5	10	11	22	1.75

组别		第10组						
径节制	P	14	8	7	4	$3^1/_2$	2	$1^3/_4$
	m	1.8143	3.1750	3.6286	6.350	10.160	12.70	14.5143
模数制	m	2	3.5	4	7	8	14	16

表11-8-3 模数制变位齿轮代替径节制齿轮的常用数值（$\alpha=20°$）

组别	1	2	3	4	5	6	7
α'	27.3896° (27°23′23″)	24.9880° (24°59′17″)	23.7025° (23°42′09″)	22.3476° (22°20′51″)	19.3797° (19°22′15″)	15.8689° (15°52′08″)	13.7989° (13°47′56″)
y_z	0.0583333	0.0367347	0.0262626	0.0160	−0.0039216	−0.0230769	−0.0323810
x_z	0.0691745	0.0412820	0.0286569	0.0169158	−0.0038630	−0.0208763	−0.0278528
v_z	0.0108412	0.0045473	0.0023943	0.0009158	0.0000586	0.0022006	0.0045282
x_Σ	$0.0345872z_\Sigma$	$0.020641z_\Sigma$	$0.0143284z_\Sigma$	$0.0084579z_\Sigma$	$-0.0019315z_\Sigma$	$-0.010438z_\Sigma$	$-0.0139264z_\Sigma$
变位种类	正变位				负变位		

第9节 渐开线圆柱齿轮精度和齿条精度

（一）《渐开线圆柱齿轮精度》简介

我国目前实行的渐开线圆柱齿轮精度制是1983年机械工业部部颁标准JB 179—83《渐开线圆柱齿轮精度》，1988年又公布了国家标准GB 10095—88《渐开线圆柱齿轮精度》。

JB 179—83与JB 179—60《圆柱齿轮 传动公差》有较大的不同。主要的区别有：

（1）JB179—83的适用范围，法向模数由$m_n>(1\sim50)$mm改为$m_n\geqslant1$ mm。

（2）JB179—83的精度项目与JB179—60相比较，新增加的有5项，取消的有4项；有的项目名称虽然相同，但其概念有所改变；而另外有些项目

名称虽然不同，但其概念则完全相同。

（3）JB179—83将各项公差按其对使用性能的主要影响划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个公差组。

（4）JB179—83不直接区分宽斜（人字）齿轮与直齿、窄斜（人字）齿轮，而对轴向重合度$\varepsilon_\beta>1.25$，6级及高于6级精度的斜齿轮或人字齿轮，在某种情况下，推荐增加检验螺旋线波纹度公差。

（5）JB179—83的公差或极限偏差的代号与JB 179—60完全不同前者采用国际标准ISO 1328—75《平行轴渐开线齿轮—ISO精度制》中规定的代号。

（6）JB179—83各种精度项目的公差或极限偏差数值采用ISO1328—75中所规定的数值，与JB179—60相比，均有不同程度的压缩，其中以齿形公差和齿向公差压缩幅度较大。

（7）JB179—60的齿轮副侧隙规范是以保证侧隙和中心距偏差为主要参数，与齿轮和齿轮副的精度等级无关；而JB179—83则以齿厚偏差和中心距偏差为主要参数，与齿轮的精度等级密切相关。JB179—83对中心距偏差作了较大的压缩，并规定用14个字母代号作为齿厚偏差的代号。对于机床圆柱齿轮副的侧隙和齿厚偏差，机械工业部制定了企业联合标准JB/GQ 1070—85《机床圆柱齿轮副侧隙和齿轮齿厚偏差》。

国家标准GB 10095—88是等效采用ISO1328—1975精度制，与JB179—83的内容基本相同，所不同的有：

（1）误差和公差的名称和定义有个别不同。

（2）精度等级1～9级的F_r和F'_i公差数值，GB10095—88比JB179—83有所压缩。

（3）各公差组的检验组中的项目稍有不同。

本手册中所介绍的渐开线圆柱齿轮精度的内容主要是根据JB179—83编写并按照GB10095—88加以修正。

（二）GB 10095—88的适用范围

GB10095—88适用于平行轴传动的渐开线圆柱齿轮及其齿轮副（包括内啮合、外啮合的直齿、斜齿和人字齿齿轮和齿轮副。对于交错轴传动的渐开线斜齿圆柱齿轮副的单个齿轮以及作为基准用的测量齿轮，均可部分采用此标准），其法向模数$m_n\geq1$ mm，基本齿廓按GB1356—87《渐开线圆柱齿轮基本齿廓》的规定。

齿轮规格超过标准中表列范围，即$m_n>40$mm、$d>4000$mm时，可按表11-9-35中的公式计算确定。

对于模数$m<1$ mm的齿轮，另有GB2363—80《小模数渐开线圆柱齿轮精度》可查。

由于GB10095—88标准中与左右两齿面误差同时有关的公差项目有三项，即径向综合公差F'_i，一齿径向综合公差f'_i和齿圈径向跳动公差F_r。这三项的公差值是根据基本齿廓的齿形角$\alpha=20°$确定的，因此，对于压力角$\alpha\neq20°$的齿轮，在采用上述三个公差表（表11-9-17，11-9-21，11-9-16）时，应按表中数值乘以系数$k_\alpha=\sin20°/\sin\alpha$，式中$\alpha$为所采用的基本齿廓的齿形角。

当双啮检验时的啮合角$\alpha''\neq20°$时（在检验大变位齿轮中会遇到），应将F'_i和f'_i公差值乘以系数

$$k_\alpha=\frac{\sin20°}{\sin\alpha''}$$

式中 α''——双啮检验时的啮合角。

当检验大变位齿轮的齿圈径向跳动时，由于测头位于齿高中部，故切点处的压力角$\alpha_m\neq20°$，此时应将公差值F_r乘以系数

$$k_\alpha=\frac{\sin20°}{\sin\alpha_m}$$

式中 α_m——测头切点处的压力角，可由下式求得：

$$\alpha_m=\arccos\left(\frac{r\cos\alpha_t}{r+x_nm_n}\right)$$

式中 r——分度圆半径；

α_t——端面压力角；

x_n——法向变位系数。

以上三个系数，一般在α、α''、α_m与20°相差大于±2°时采用，其值见下表：

α、α''或α_m	14½°	15°	16°	18°	22°	22½°	25°	28°	30°
k_α	1.37	1.32	1.24	1.11	0.91	0.89	0.81	0.73	0.68

（三）齿轮误差、公差和极限偏差的定义和代号

国标GB10095—88对齿轮和齿轮副共规定了22项公差项目，见表11-9-2。表中序号1～16的16项用于单个齿轮，其中13和14两项（F_{px}和$f_{f\beta}$）是专为重合度$\varepsilon_\beta>1.25$的宽斜齿轮设置的；序号17～22的6项用于齿轮副。

GB10095—88基本上直接采用国际标准所规定的各项误差、公差和极限偏差的代号。在国际标准中，误差与公差和极限偏差是采用同一代号，如f_f既表示齿形误差，又表示齿形公差。考虑到我国的使用习惯，国标仍规定两套代号，一套是公差和极限偏差代号，一套是误差代号，两套代号的区别是：在公差和极限偏差代号前加Δ就是误差的代号。如齿形公差的代号为f_f，齿形误差的代号为Δf_f。

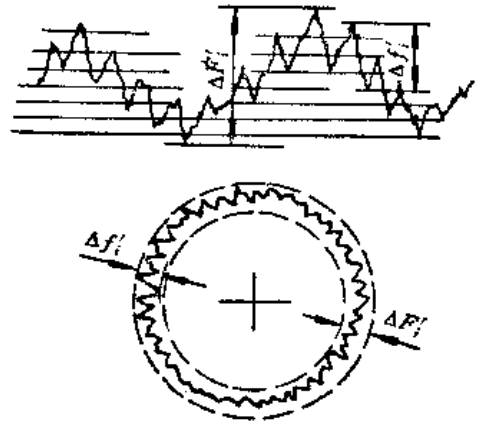
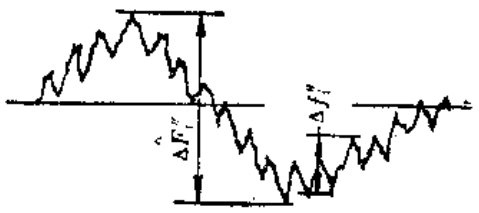
代号的主体字母是F或f。大写F表示公差是以齿轮一转为周期（其中有个别例外，如F_β），小写f表示以齿轮一齿或相邻齿为周期的。主体字母E表示偏差。主体字母T表示由极限偏差而得的公差。

主体字母右上角标“′”表示单面啮合测量时的综合指标“″”表示双面啮合测量时的综合指标。

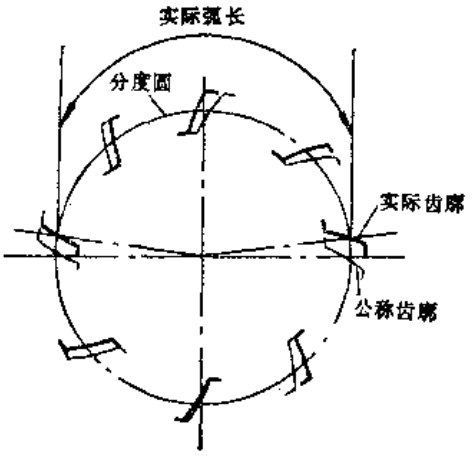
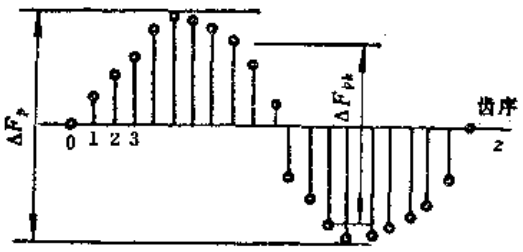
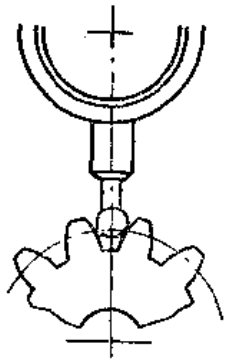
主体字母的下角标i表示综合指标。其它下角标多为通用代号，如p—齿距；r—半径（径向）；β—螺旋角（轴向）；f—齿形；w—公法线；a—中心距；p_x—轴向齿距；p_b—基节。

齿轮、齿轮副误差及侧隙的名称、定义和代号见表11-9-1，新旧标准对照列于表11-9-2。

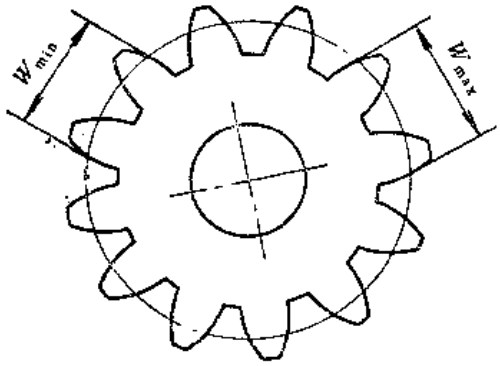
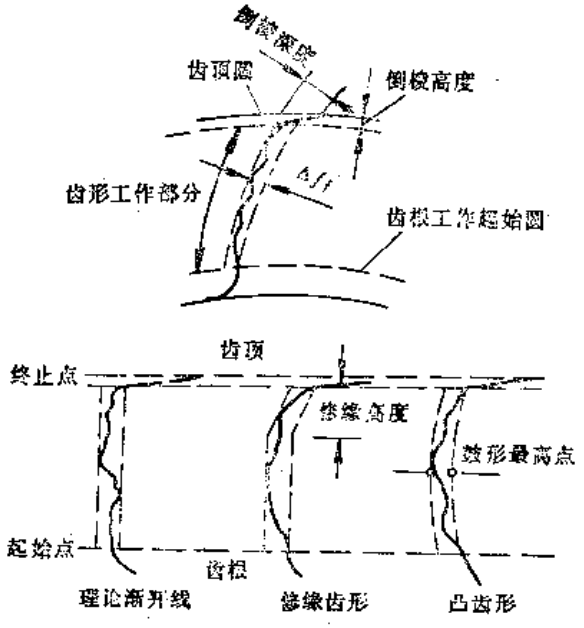
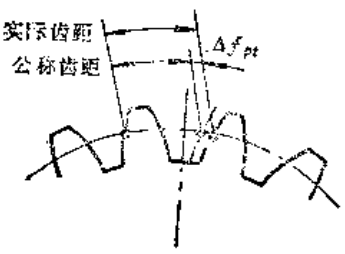
表11-9-1 渐开线圆柱齿轮、齿轮副误差及侧隙的名称、定义和代号（GB 10095—88）

序号	名称	代号	定义
1	切向综合误差  切向综合公差	$\Delta F'_i$ F'_i	被测齿轮与理想精确的测量齿轮①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 以分度圆弧长计值
2	一齿切向综合误差 一齿切向综合公差	$\Delta f'_i$ f'_i	被测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合时，在被测齿轮一齿距角内，实际转角与公称转角之差的最大幅度值 以分度圆弧长计值
3	径向综合误差  径向综合公差	$\Delta F''_i$ F''_i	被测齿轮与理想精确的测量齿轮双面啮合时，在被测齿轮一转内，双啮中心距的最大变动量

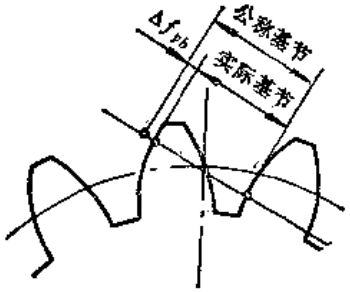
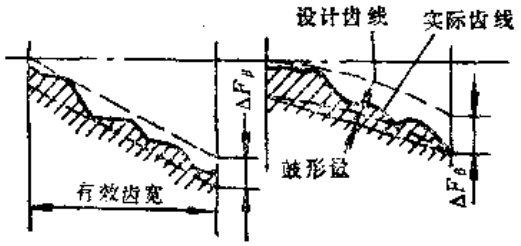
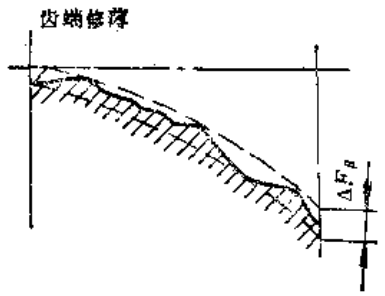
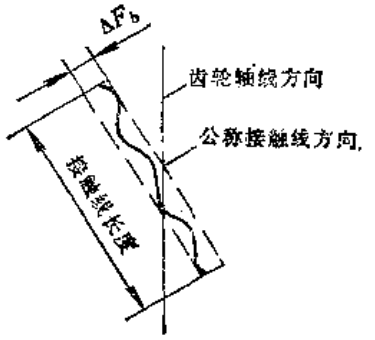
（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
4	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，在被测齿轮一齿距角内，双啮中心距的最大变动量
	一齿径向综合公差	f_i''	
5	齿距累积误差	ΔF_p	在分度圆上②，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
			
	k 个齿距累积误差	ΔF_{pk}	在分度圆上②，k 个齿距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
			
	齿距累积公差 k 个齿距累积公差	F_p F_{pk}	
6	齿圈径向跳动	ΔF_r	在齿轮一转范围内，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
			
	齿圈径向跳动公差	F_r	

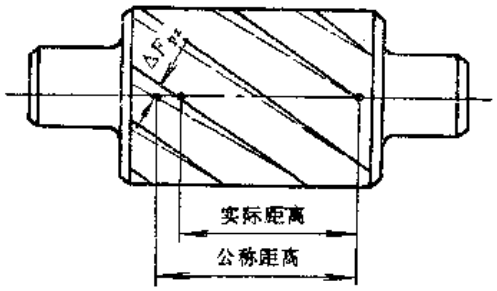
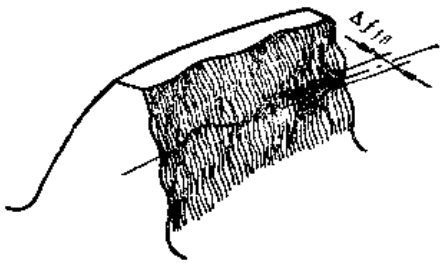
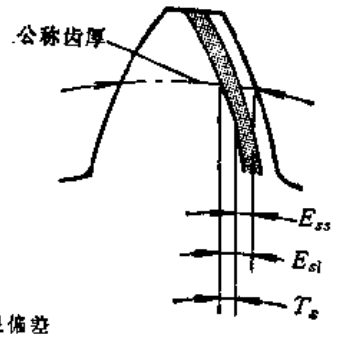
（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
7	公法线长度变动  公法线长度变动公差	ΔF_W F_W	在齿轮一周范围内，实际公法线长度最大值与最小值之差 $\Delta F_W = W_{max} - W_{min}$
8	齿形误差  齿形公差	Δf_f f_f	在端截面上⑤，齿形工作部分内（齿顶倒棱部分除外），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 设计齿形可以是修正的理论渐开线，包括修缘齿形、凸齿形等
9	齿距偏差  齿距极限偏差	Δf_{pt} $\pm f_{pt}$	在分度圆上④，实际齿距与公称齿距之差 公称齿距是指所有实际齿距的平均值

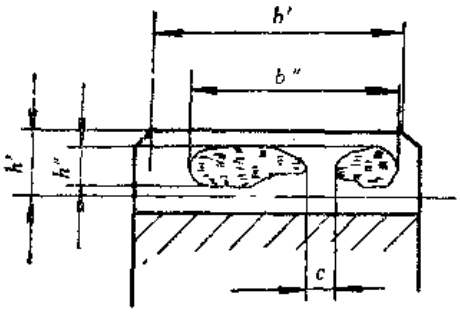
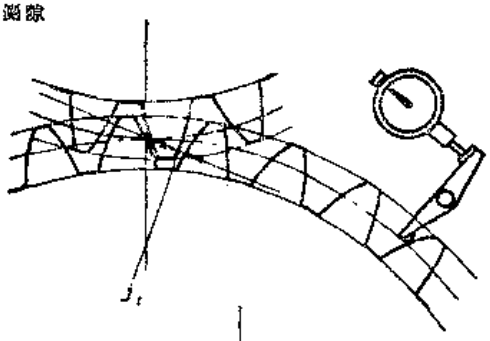
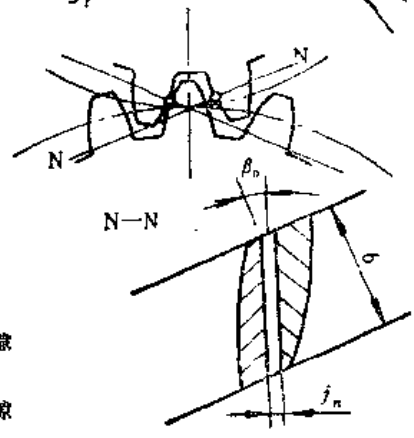
（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
10	基节偏差  基节极限偏差	Δf_{pb} $\pm f_{pb}$	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的交线之间的法向距离
11	齿向误差   齿向公差	ΔF_β F_β	在分度圆柱面上⑤，齿宽有效部分范围内(端部倒角部分除外)，包容实际齿向线且距离为最小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、齿端修薄及其它修形曲线
12	接触线误差  接触线公差	ΔF_b F_b	在基圆柱的切平面内，平行于公称接触线并包容实际接触线的两条直线间的法向距离

（续）

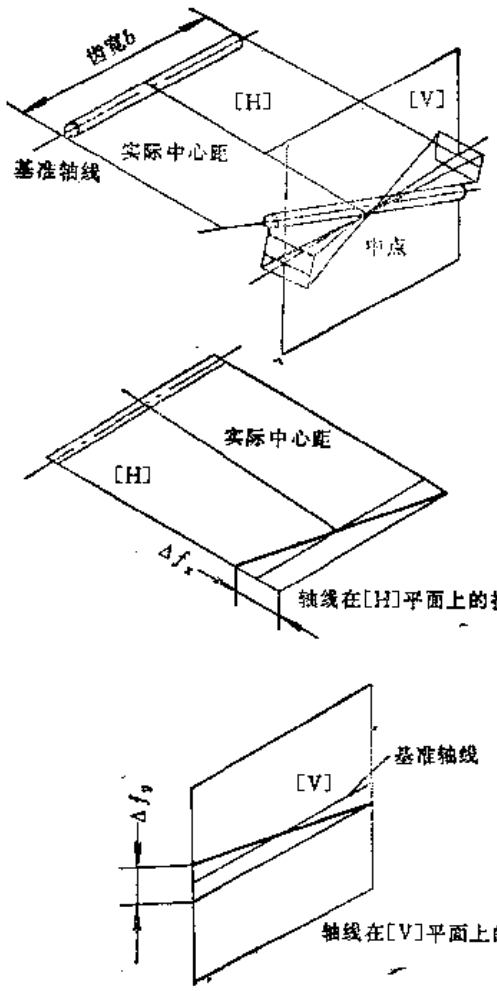
序号	名　　称	代　号	定　　义
13	轴向齿距偏差  轴向齿距极限偏差	ΔF_{px} $\pm F_{px}$	在与齿轮基准轴线平行而大约通过齿高中部的一条直线上，任意两个同侧齿面间的实际距离与公称距离之差 沿齿面法线方向计值
14	螺旋线波度误差  螺旋线波度公差	$\Delta f_{f\beta}$ $f_{f\beta}$	宽斜齿轮齿高中部实际齿线波纹的最大波幅 沿齿面法线方向计值
15	齿厚偏差  齿厚极限偏差 上偏差 下偏差 齿厚公差	ΔE_s E_{ss} E_{si} T_s	分度圆柱面上⑤，齿厚实际值与公称值之差 对于斜齿轮，指法向齿厚
16	公法线平均长度偏差 公法线平均长度极限偏差 上偏差 下偏差 公法线平均长度公差	ΔE_{wm} E_{wms} E_{wmi} T_{wm}	在齿轮一周内，公法线长度平均值与公称值之差

（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
17	齿轮副的切向综合误差	$\Delta F'_c$	安装好的齿轮副，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总幅度值 以分度圆弧长计值
	齿轮副的切向综合公差	F'_c	
18	齿轮副的一齿切向综合误差	$\Delta f'_c$	安装好的齿轮副，在啮合转动足够多的转数内，一个齿轮相对于另一个齿轮，一个齿距的实际转角与公称转角之差的最大幅度值 以分度圆弧长计值
	齿轮副的一齿切向综合公差	f'_c	
19	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 接触痕迹的大小在齿面展开图上用百分数计算 沿齿长方向，接触痕迹的长度b''（扣除超过模数值的断开部分c）与工作长度b'之比的百分数，即 $\frac{b''-c}{b'}\times 100\%$ 沿齿高方向，接触痕迹的平均高度h''与工作高度h'之比的百分数，即 $\frac{h''}{h'}\times 100\%$
20	齿轮副的侧隙 圆周侧隙  	j_t	安装好的齿轮副，当一个齿轮固定时，另一个齿轮的圆周晃动量 以分度圆上弧长计值
	法向侧隙  	j_n	安装好的齿轮副，当工作齿面接触时，非工作齿面之间的最小距离 $j_n=j_t\cos\beta_b\cos\alpha_t$ 式中　β_b——基圆螺旋角
	最大极限侧隙	j_{tmax} j_{nmax}	
	最小极限侧隙	j_{tmin} j_{nmin}	

（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
21	齿轮副的中心距偏差	Δf_a	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
	齿轮副的中心距极限偏差	$\pm f_a$	
22	轴线的平行度误差		
	x方向轴线的平行度误差	Δf_x	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
	y方向轴线的平行度误差	Δf_y	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
	x方向轴线的平行度公差	f_x	
	y方向轴线的平行度公差	f_y	



① 允许用齿条、蜗杆、测头等测量元件代替测量齿轮。

② ΔF_p($\Delta F_{p\beta}$)允许在齿高中部测量，但仍以分度圆上计值。

③ 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。

④ 允许在齿高中部测量，但仍以分度圆上计值。

⑤ 允许在齿高中部测量，但仍以分度圆柱面上计值。

表11-9-2 圆柱齿轮新旧精度标准公差和极限偏差的名称和代号对照

标准号	GB 10095—88		JB 179—60	
序号	名　　称	代　号	名　　称	代号
1	切向综合公差	F_i'	运动误差的公差	δT_Σ
2	一齿切向综合公差	f_i'	周期误差的公差	δT
3	径向综合公差	F_i''	齿轮转动一转度量中心距变动公差	$\delta_z a$
4	一齿径向综合公差	f_i''	齿轮转动一齿度量中心距变动公差	$\delta_c a$
5	齿距累积公差	F_p	周节累积误差的公差	δi_Σ
	k个齿距累积公差	F_{pk}	—	—
6	齿圈径向跳动公差	F_r	齿圈径向跳动的公差	δe_j
7	公法线长度变动公差	F_w	公法线长度变动的公差	δL_g
8	齿形公差	f_f	齿形公差	δJ
9	齿距极限偏差	$\pm f_{pt}$	周节差的公差	δt
10	基节极限偏差	$\pm f_{pb}$	基节的极限偏差	$\Delta_s t_j$，$\Delta_x t_j$
11	齿向公差	F_β	齿向公差	δB_x
12	接触线公差	F_b	接触线形状和位置公差	δb_x
13	轴向齿距极限偏差	$\pm F_{px}$	轴向齿距的极限偏差	$\Delta_s B_\Sigma$，$\Delta_x B_\Sigma$
14	螺旋线波度公差	$f_{f\beta}$	—	—
15	齿厚极限偏差 上偏差 下偏差	E_{ss} E_{si}	固定弦齿厚偏差 最小偏差 最大偏差	$\Delta_m S_x$ $\Delta_M S_x$
	齿厚公差	T_s	固定弦齿厚公差	δS_x
16	公法线平均长度极限偏差 上偏差 下偏差	E_{wms} E_{wmi}	公法线长度极限偏差 最小偏差 最大偏差	$\Delta_m L$ $\Delta_M L$
	公法线平均长度公差	T_{wm}	公法线长度公差	δL
17	齿轮副的切向综合公差	Fi_c'	—	—
18	齿轮副的一齿切向综合公差	fi_c'	—	—
19	齿轮副的接触斑点	—	接触斑点	
20	齿轮副圆周侧隙	j_t	—	—
	齿轮副法向侧隙	j_n	保证侧隙	C_n
	齿轮副最大极限侧隙	$j_{t\max}$ $j_{n\max}$		
	齿轮副最小极限侧隙	$j_{t\min}$ $j_{n\min}$		
21	齿轮副的中心距极限偏差	$\pm f_a$	中心距极限偏差 上偏差 下偏差	$\Delta_s A$ $\Delta_x A$
22	x方向轴线的平行度公差	f_x	轴心线不平行性公差	δ_x
	y方向轴线的平行度公差	f_y	轴心线歪斜度公差	δy
23			范成误差的公差	$\delta\varphi_\Sigma$
24			接触线不直线性的公差	δb_x
25			原始齿形位移的公差	δh
26			度量中心距极限偏差	δa

（四）齿轮的精度等级及其选择

国标GB10095—88对齿轮及齿轮副规定了12个精度等级，分别用1，2，3，4，…，11，12来表示。其中1级精度最高，其余各级精度依次递降，12级精度最低。

在12个精度等级中，目前1、2两级精度的加工工艺水平和测量手段尚难以达到，一般不用。3～12精度等级大致可分为三类：

高精度等级	3、4、5级
中等精度等级	6、7、8级
低精度等级	9、10、11、12级

其中6级为基础级。它是设计中经常应用的等级，也是滚齿、插齿或剃齿等一般常用的切齿加工方法在正常条件下所能达到的等级，并可用一般计量器具进行测量。

齿轮副中两个齿轮的精度等级一般取成相同，也允许取成不同。若齿轮副中两个齿轮的精度等级不同，则按其中精度较低者确定齿轮副的精度等级。

GB10095—88规定，根据齿轮误差的特性及其对传动性能的主要影响，将齿轮的各项公差分成三个组，分别称为第Ⅰ、第Ⅱ、第Ⅲ公差组。每个组所对应的公差或极限偏差项目如表11-9-3所示。

表11-9-3 圆柱齿轮公差组

（GB10095—88）

公差组	公差或极限偏差项目	主要控制的误差	对传动性能的主要影响
Ⅰ	F_i'、F_p、F_{pk}、F_i''、F_r、F_w	齿轮一转内的周期误差（一转内的回转角误差）	传递运动的准确性
Ⅱ	f_i'、f_i''、f_f、$\pm f_{pt}$、$\pm f_{pb}$、$f_{f\beta}$	齿轮一周内多次周期地重复出现的误差（一个角距范围内的转角误差）	传动的平稳性，噪声，振动
Ⅲ	F_β、F_b、$\pm F_{px}$	接触痕迹的位置和大小	载荷分布的均匀性

各公差组对传动性能的影响有主次之分，但齿轮是个几何形体较复杂、几何参数众多的整体，各项误差不能截然分开，各项误差的影响也会因各种因素而转化。例如，齿轮的噪声、振动并不全然是第Ⅱ公差组的影响，有时第Ⅰ、Ⅲ公差组诸项目也有不同程度的影响。

对于不同用途和不同工作条件的齿轮副，其主要使用要求是不同的，如下表所示。

载荷特性或工作要求	使用举例	对精度的主要要求
低转速，小模数	分度或读数机构	传动准确性（主要），平稳性（次要），受载均匀性（再次要）
低转速，回程误差小	正反向可逆传动机构	齿侧隙小
中等转速，中等载荷	机床、汽车的变速箱	传动平稳性，振动和噪声小
低速重载	轧钢机	承载均匀性（主要），侧隙足够大，传动准确性（次要）
高速重载	汽轮机	三项要求均高，侧隙也很重要

齿轮精度等级的选择应考虑齿轮的圆周速度、传递功率、工作持续时间、润滑条件、运动精度、传动平稳（噪声与振动）以及寿命等因素。

GB10095—88规定，根据使用的要求不同，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。

通常用下列方法来选择齿轮精度的等级：

（1）计算法　按整个传动链传动精度的要求计算出各齿轮副的允许转角误差（$\Delta F_i'$或$\Delta F_i''$）确定第Ⅰ公差组的等级；根据“机械动力学”、“机械振动学”计算并考虑振动、噪声确定第Ⅱ公差组的等级；在强度计算或寿命计算的基础上确定第Ⅲ公差组的等级。

（2）类比法　按现有已证实可靠的同类产品或机构的齿轮，对比选择相似的精度等级。当然并非照搬照抄，而是按精度要求、工作条件、生产条件等加以必要的修正。

各类机械产品中齿轮使用的精度等级范围见表11-9-4，表11-9-5列出了4～9级齿轮的加工方法和应用范围，表11-9-6可供按照齿轮圆周速度确定第Ⅱ公差组精度等级参考。

表11-9-4 各类机械中齿轮的精度等级

应用范围	精度等级	应用范围	精度等级
测量用齿轮	2～5	载重汽车	6～9
汽轮机齿轮	3～5	一般减速器	6～8
精密切削机床	3～7	拖拉机	6～10
航空发动机	4～7	起重机械	7～9
一般金属切削机床	5～8	轧钢机	6～10
内燃机或电气机车	5～8	地质矿山绞车	7～10
轻型汽车	5～8	农业机械	8～11

表11-9-5 各级精度齿轮的加工方法和应用范围

精度等级		4 级	5 级	6 级	7 级	8 级	9 级
切齿方法		在周期性误差很小的精密齿轮机床上范成加工	在高精度的齿轮机床上范成加工	在高精度的齿轮机床上范成加工	在较精确的齿轮机床上范成加工	用范成法或仿形法加工	用范成法或仿形法加工
齿面最终加工方法		精密磨齿。大型齿轮精密滚齿后研齿或剃齿	精密磨齿。大型齿轮可滚齿后研齿或剃齿	精密磨齿。大齿轮可滚齿后研齿或剃齿	不淬火的齿轮用高精度刀具切齿，淬火的齿轮需磨齿，珩齿或研齿	必需时剃齿，珩齿或研齿	不要求精加工
表面粗糙度 R_a (μm)	$m \leqslant 8mm$ $d < 1250mm$	0.4(▽8)	0.4(▽8)	0.4(▽8)	0.8(▽7)	1.6(▽6)	3.2(▽5)
	其它	0.8(▽7)	0.8(▽7)	0.8(▽7)	1.6(▽6)	3.2(▽5)	6.3(▽4)
应用范围		极精密分度机构的齿轮，要求高速、平稳与无噪声的齿轮，高速汽轮机用齿轮，检验7级齿轮用的测量齿轮	精密分度机构的齿轮，高速平稳、无噪声的齿轮，高速汽轮机齿轮，检验8、9级齿轮用的测量齿轮	高速、平稳、高效率及无噪声的齿轮，航空、汽车、机床中的重要齿轮，分度机构齿轮，读数机构齿轮	高速、动力小或反转的齿轮，金属切削机床进给齿轮，航空齿轮，读数机构齿轮，具有一定速度的减速器齿轮	对精度无特别要求的一般机械中的普通齿轮，机床中分度链以外的齿轮，汽车，拖拉机，减速器中的一般齿轮，航空中不重要齿轮，农机中的重要齿轮	对精密度要求不高，并在低速下工作的齿轮
圆周速度(m/s)	直齿	>35	>20	<15	<10	<6	<2
	斜齿	>70	>40	<30	<15	<10	<4
传动效率① (%)		>99(98.5)	>99(98.5)	>99(98.5)	>98(97.5)	>97(96.5)	>96(95)

① 效率中括号内的数值包括轴承的传动效率。

表11-9-6 圆柱齿轮第Ⅱ公差组精度与圆周速度关系 （m/s）

种类	分度圆直径 (mm)	第Ⅱ公差组精度等级					
		5	6	7	8	9	10
直齿轮	≤350	>15	18	12	6	4	1
	>350		15	10	5	3	1
斜齿轮	≤350	>30	36	25	12	8	2
	>350		30	20	9	6	1.5

（五）齿坯的精度

齿轮在加工、检验和安装时的径向基准面和轴向辅助基准面应尽量一致，并在齿轮零件图上予以标注。从生产实践可知，齿坯定位基准的精度直接影响齿轮的加工质量和传动精度，因此，GB10095—88与JB179—60不同，对齿坯的定位精度要求作了具体的规定（表11-9-7、8）。齿轮各面的表面粗糙度推荐值见表11-9-10。

表11-9-7 齿坯公差（GB10095—88）

齿轮精度等级①		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
孔	尺寸公差 形状公差②	IT4 IT1	IT4 IT2	IT4 IT3	IT4	IT5	IT6	IT7		IT8		IT8⑤	
轴	尺寸公差 形状公差②	IT4 IT1	IT4 IT2	IT4 IT3	IT4	IT5		IT6		IT7		IT8	
齿顶圆直径③		IT6		IT7			IT8			IT9		IT11	
基准面的径向圆跳动④		见表11-9-8											
基准面的端面圆跳动													

① 当三个公差组的精度等级不同时，按最高的等级确定公差值。

② 对4级及4级精度以下的形状公差，一般情况不大于尺寸偏差的一半。

③ 当齿顶圆不作测量齿厚的基准时，尺寸公差按IT11给定，但不得大于$0.1m_n$。

④ 当以齿顶圆作基准面时，本栏就指齿顶圆的径向跳动。

⑤ 标准公差IT值见表11-9-9。

表11-9-8 齿坯基准面径向和端面圆跳动公差（GB10095—88） （μm）

分度圆直径(mm)		精度等级				
大于	到	1～2	3～4	5～6	7～8	9～12
—	125	2.8	7	11	18	28
125	400	3.6	9	14	22	36
400	800	5.0	12	20	32	50
800	1600	7.0	18	28	45	71
1600	2500	10.0	25	40	63	100
2500	4000	16.0	40	63	100	160

表11-9-9 IT值 (GB1800—79) (μm)

d(或α)(mm) 大于	到	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11
6	10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90
10	18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110
18	30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130
30	50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190
80	120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220
120	180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250
180	250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400
500	630				22	30	44	70	110	175	280	440
630	800				25	35	50	80	125	200	320	500
800	1000				29	40	56	90	140	230	360	560
1000	1250				34	46	66	105	165	260	420	660
1250	1600				40	54	78	125	195	310	500	780
1600	2000				48	65	92	150	230	370	600	920
2000	2500				57	77	110	175	280	440	700	1100
2500	3150				69	93	135	210	330	540	860	1350
3150	4000				84	115	165	260	380	660	1050	1650

表11-9-10 齿轮各面的表面粗糙度R_a推荐值 (μm)

齿轮精度等级	5	6	7		8		9	
轮齿齿面	0.4 (▽8)	0.8 (▽7)	0.8 (▽7)	1.6 (▽6)	3.2 (▽5)	1.6 (▽6)	3.2 (▽5)	6.3 (▽4)
齿面加工方法	磨齿	磨或珩	剃或珩	精滚精插	滚齿	插齿	滚齿	铣齿
齿轮基准孔	0.4 (▽8)	0.8 (▽7)	1.6 (▽6)				3.2 (▽5)	
齿轮轴基准轴颈	0.2 (▽9)	0.4 (▽8)	0.8 (▽7)		1.6 (▽6)			
基准端面	1.6 (▽6)	3.2 (▽5)			3.2 (▽5)			
齿顶圆	1.6 (▽6)	3.2 (▽5)						

注：1.若齿轮三个公差组精度等级不同时，按其中最高等级确定。

2.括号中为粗糙度旧标准GB 1031—68表面光洁度的等级符号。

（六）齿轮的检验组

齿轮和齿轮副的误差项目甚多，为了控制质量，齿轮制造时不可能也没有必要对各公差组中所有误差项目全部进行检验。GB10095—88把各公差组的项目分为若干检验组（表11-9-11），标准规定：根据齿轮副的工作要求、生产规模和检测手段，在各公差组中可任选一个检验组来检验齿轮的精度，若用不同检验组所得结果不同，应按最低的结果评定齿轮的精度等级。

对每个齿轮选择四个检验组，即在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ公差组（表11-9-11）中各选一个检验组，另选齿厚偏差或公法线长度偏差作为第四检验组。

表11-9-11 各公差组的检验组

公差组	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	附加
检验组	1.$\Delta F_i'$ 2.$\Delta F_i''$与ΔF_w 3.ΔF_r与ΔF_w 4.ΔF_p与ΔF_{pk} 5.ΔF_p 6.ΔF_r（用于10～12级精度）	1.$\Delta f_i'$ 2.$\Delta f_i''$（须保证齿形精度） 3.Δf_f与Δf_{pt} 4.Δf_f与Δf_{p6} 5.Δf_{pt}与Δf_{pk}（用于9～12级精度） 6.Δf_{pt}或Δf_{pb}（用于10～12级精度） 7.$\Delta f_{f\beta}$（用于$\varepsilon_\beta>1.25$，6级及高于6级精度的斜齿轮或人字齿轮）	1.ΔF_β 2.ΔF_b（仅用于$\varepsilon_\beta\leqslant1.25$，齿线不作修正的斜齿轮） 3.$\Delta F_{px}$与$\Delta F_b$（仅用于$\varepsilon_\beta>1.25$，齿线不作修正的斜齿轮） 4.$\Delta F_{px}$与$\Delta f_f$（仅用于$\varepsilon_\beta>1.25$，齿线不作修正的斜齿轮）	1.ΔE_s 2.ΔE_{wm}
说明	2、3两组中，当其中有一项超差时，应按ΔF_p检定和验收 ΔF_w只适合于滚齿加工的齿轮	第1组有特殊需要时，可加检f_{pb} 对于$\varepsilon_\beta>1.25$，≥6级精度的斜齿轮或人字齿轮，采用3、4组时，推荐加检$\Delta f_{f\beta}$		

合理地选择、组合表11-9-11所列的各个检验组甚为重要，一般应按下列原则：

（1）按齿轮的用途和检测目的来选择。若是成批产品的终结检验，宜采用综合检测项目；若是单件、小批量、试制生产，为了揭示工艺因素所引起的误差，以及考查各项误差对使用性能的影响，则应采用单项项目的检验组。

（2）要考虑检验组与测量精度的关系，选定了检验组，相应的测量仪器及其测量方法也就大致选定了，要求其测量精度与被测齿轮的精度等级相适应。例如，第Ⅰ公差组的检验组ΔF_r和ΔF_w，因受所用仪器精度的限制，目前只适用中等精度的齿轮。换言之，对于高精度齿轮就不宜选用ΔF_r和ΔF_w检验组。

（3）综合误差项目，尤其是切向综合误差具有直观、准确、可靠等特点，条件允许，应优先选用综合公差的检验组。但是为了揭示工艺过程的误差因素，或因其它因素的限制，有时仍需采用单项公差的检验组。

（4）为了减少所使用仪器的品种，提高测量效率，保证各公差组的测量精度一致，应考虑三个公差组中所选各检验组之间的协调性。例如，用单啮仪测量，在第Ⅰ公差组中选用$\Delta F_i'$，则第Ⅱ公差组就应选用$\Delta f_i'$；若用双啮仪，则分别选用$\Delta F_i''$和$\Delta f_i''$；若第Ⅰ公差组选了ΔF_p，则第Ⅱ公差组尽可能选用包含Δf_{pt}的检验组。

（5）考虑被测齿轮的几何尺寸参数大小（直径、模数、齿形角）、切齿方法（滚、插、剃、磨）、生产批量等非精度因素。例如，大直径、大模数的轧钢机齿轮，选择接触斑点检验组要比选择ΔF_β好；如对$\alpha=25°$，单件、小批量齿轮，不应选用综合误差检验组；又如ΔF_w只适用于滚齿加工的齿轮。

（6）在以上几条原则的前提下，不可忽视经济性，应充分考虑并尽量利用生产中已经具备的测量条件。例如，对于一般精度的齿轮，当具备双啮仪时，就不必选用用单面啮合测量的检验组$\Delta F_i'$和$\Delta f_i'$。又如对7～9级齿轮，不必选用ΔF_p，而用ΔF_r和ΔF_w检验组则较经济方便。

根据以上原则组合的检验组列于表11-9-12。

国内常用的检验组见表11-9-13。

国产齿轮量仪适用的精度等级和检测项目见表11-9-14。

对于各种精度等级，齿轮各项误差的公差数值见表11-9-15～26。

表11-9-12 检验组的组合选择

检验组	公差组 Ⅰ	公差组 Ⅱ	公差组 Ⅲ	适用等级	测量仪器	说明
1	$\Delta F_i'$	$\Delta f_i'$	ΔF_β	3～6	万能齿轮测量仪 齿向仪	反映误差真实，准确，并能分析单项误差。适用于精密、分度、读数、高速、测量等齿轮和齿轮刀具
2	$\Delta F_i'$	$\Delta f_i'$	ΔF_β	5～8	整体误差测量仪	能反映转角误差和轴向误差，也能分析单项误差，适用于机床，汽车等齿轮
3	$\Delta F_i'$	$\Delta f_i'$	ΔF_β	6～8	单面啮合仪 齿向仪	用测量齿轮作基准件，接近齿轮工作状态，反映转角误差真实。适用于大批量生产，易于实现自动化测量
4	ΔF_p	Δf_f，Δf_{pt} 或 $\Delta f_{f\beta}$	ΔF_b，ΔF_{px}	3～6	半自动周节仪、波度仪、轴向齿距仪、渐开线检查仪	准确度高，有助于齿轮机床调整作工艺分析。适用于中高精度磨齿齿轮，宽斜、人字齿轮
5	ΔF_p	Δf_f，Δf_{pt} 或 Δf_f，Δf_{pb}	ΔF_β	3～7	半自动周节仪、波度仪、轴向齿距仪、渐开线检查仪、基节仪	准确度高，有助于齿轮机床调整作工艺分析。适用于中高精度磨齿齿轮，宽斜、人字齿轮，还适用于剃、插齿刀
6	ΔF_p	Δf_{pt}，Δf_{pb}	ΔF_β	7～9	万能测齿仪、齿向仪、基节仪	适用于大尺寸或多齿数的滚齿齿轮
7	$\Delta F_i''$，ΔF_w	$\Delta f_i''$	ΔF_β	6～9	双面啮合仪、公法线千分尺、齿向仪	接近加工状态，经济性好。适用于大批量生产的汽车，拖拉机齿轮
8	ΔF_r，ΔF_w	Δf_f，Δf_{pb}	ΔF_β	5～7	径向跳动仪、公法线千分尺、齿形仪、基节仪、齿向仪	准确度高，有助于齿轮机床调整作工艺分析。适用于中高精度磨齿齿轮，宽斜、人字齿轮，还适用于剃、插齿刀，适用于滚、插、剃齿，便于工艺分析
9	ΔF_r，ΔF_w	Δf_{pt}，Δf_{pb}	ΔF_β	7～9	径向跳动仪、公法线千分尺、基节仪、齿向仪	适用于中、低精度齿轮，多齿数滚齿齿轮，便于工艺分析
10	ΔF_r	Δf_{pt}	ΔF_β	9～12	跳动仪、齿距仪、齿向仪	

注：表中ΔF_β可用接触斑点来代替。

表11-9-13 常用检验组

传动用途		精确、分度、读数	航空、汽车、机床		拖拉机、减速器、农用机械		透平机、轧钢机	
精度等级		3～5	4～6	6～8	7～9	10～12	3～6	6～8
公差组	Ⅰ	ΔF_p与ΔF_{pb}	ΔF_p	$\Delta F_i''$，ΔF_w	ΔF_r，ΔF_w	ΔF_r	ΔF_p	ΔF_p
	Ⅱ	Δf_f，Δf_{pt} 或 Δf_f，Δf_{pb}	Δf_f，Δf_{pt}	$\Delta f_i''$	Δf_{pt}，Δf_{pb}	Δf_{pt}	$\Delta f_{f\beta}$	Δf_{pb}，Δf_{pt}
	Ⅲ	ΔF_β	ΔF_β	ΔF_β				
齿轮副	斑点			斑点	斑点	斑点	斑点	斑点
	侧隙	ΔE_M或ΔE_{wm}	ΔE_{wm}	ΔE_{wm}或ΔE_s	ΔE_{wm}或ΔE_s	ΔE_s	ΔE_s	ΔE_s或ΔE_{wm}

注：E_M为量柱(球)测量距偏差。

表11-9-14 国产齿轮量仪适用的精度等级和检测项目

误差项目	测量仪器名称	可检测精度等级	生产厂
$\Delta F_i'$ $\Delta f_i'$	可测直齿轮的：		
	单面啮合检查仪(蜗杆式)	4级	北京工具研究所
	万能齿轮测量机	4级	哈尔滨量具刃具厂
	可测斜齿和直齿齿轮的：		
	单面啮合检查仪(齿轮式)	5级 (成对齿轮副可测3级)	成都工具研究所
	单面啮合整体误差测量仪	4级	成都工具研究所
ΔF_p Δf_{pt}	单面啮合检查仪(蜗杆式)	3级	北京工具研究所
	单面啮合整体误差测量仪	3级	成都工具研究所
	万能齿轮测量机	4级	哈量厂
	半自动周节仪	5级	成量厂
	万能测齿仪	6级	成量厂
	手提式周节仪	8级	各量仪厂
Δf_{pb}	单面啮合检查仪(蜗杆式)	4级	北京工具研究所
	单面啮合整体误差测量仪	4级	成都工具研究所
	万能齿轮测量机	4级	哈量厂
	万能测齿仪	5级	成量厂
	手提式基节仪	6级	各量仪厂
Δf_f	万能渐开线检查仪	5级	哈量厂
	单盘式渐开线检查仪	4级	哈量厂
	万能齿轮测量机	4级	哈量厂
	单面啮合检查仪(蜗杆式)	5级	北京工具研究所
	单面啮合整体误差检查仪	5级	成都工具研究所
	坐标式齿轮检查仪	6级	北京工具研究所
$\Delta f_{f\beta}$	波度仪	5级	上量厂
$\Delta F_i''$，$\Delta f_i''$	双啮仪	6级	各量仪厂
ΔF_r	齿圈径向跳动检查仪	4级	上量厂
	万能测齿仪	4级	成量厂
	单面啮合检查仪	4级	北京工具研究所
	单面啮合整体误差测量仪	4级	成都工具研究所
ΔF_β	导程仪	6级	哈量厂
	单面啮合整体误差测量仪	5级	成都工具研究所
ΔF_b	单面啮合整体误差测量仪	5级	成都工具研究所
	接触线检查仪		
ΔF_{px}	轴向齿距仪	6级	上量厂、北京工具研究所
ΔF_w	公法线千分尺	6级	各量仪厂
ΔE_{wm}	万能测齿仪	4级	成量厂
ΔE_s	齿厚卡尺		各量仪厂
	万能测齿仪		成量厂

注：表中所标注的精度等级系指最高等级。

表11-9-15 齿距累积公差F_p及k个齿距累积公差F_{pk}值（GB10095—88） （μm）

分度圆弧长 L(mm)		精度等级											
大于	到	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	11.2	1.1	1.8	2.8	4.5	7	11	16	22	32	45	63	90
11.2	20	1.6	2.5	4.0	6	10	16	22	32	45	63	90	125
20	32	2.0	3.2	5.0	8	12	20	28	40	56	80	112	160
32	50	2.2	3.6	5.5	9	14	22	32	45	63	90	125	180
50	80	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
80	160	3.2	5.0	8.0	12	20	32	45	63	90	125	180	250
160	315	4.5	7.0	11	18	28	45	63	90	125	180	250	355
315	630	6.0	10	16	25	40	63	90	125	180	250	355	500
630	1000	8.0	12	20	32	50	80	112	160	224	315	450	630
1000	1600	10	16	25	40	63	100	140	200	280	400	560	800
1600	2500	11	18	28	45	71	112	160	224	315	450	630	900
2500	3150	14	22	36	56	90	140	200	280	400	560	800	1120
3150	4000	16	25	40	63	100	160	224	315	450	630	900	1250
4000	5000	18	28	45	71	112	180	250	355	500	710	1000	1400
5000	7200	20	32	50	80	125	200	280	400	560	800	1120	1600

注：1.F_p和F_{pk}按分度圆弧长L查表。

查 F_p 时，取 $L=\frac{1}{2}\pi d=\frac{\pi m_n z}{2\cos\beta}$

查 F_{pk}时，取 $L=\frac{k\pi m_n}{\cos\beta}$（$k$为2到小于$z/2$的整数）

2.一般对于F_{pk}，k值规定取为小于$z/6$（或$z/8$）的最大整数。

表11-9-16 齿圈径向跳动公差F_r值（GB10095—88） （$\alpha_n=20°$） （μm）

分度圆直径(mm)		法向模数	精度等级(第Ⅰ公差组)											
大于	到	(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	≥1～3.5	2.5	4	6	10	16	25	36	45	71	100	125	160
		>3.5～6.3	2.8	4.5	7	11	18	28	40	50	80	125	160	200
		>6.3～10	3.2	5	8	13	20	32	45	56	90	140	180	224
125	400	≥1～3.5	3.5	5.5	9	15	22	36	50	63	80	112	140	180
		>3.5～6.3	4	6	10	16	25	40	56	71	100	140	180	224
		>6.3～10	4.5	7	11	18	28	45	63	86	112	160	200	250
		>10～16	5	8	13	20	32	50	71	90	125	180	224	280
		>16～25	5.5	9	14	22	36	56	80	100	160	224	280	355
400	800	≥1～3.5	4.5	7	11	18	28	45	63	80	100	125	160	200
		>3.5～6.3	5	8	13	20	32	50	71	90	112	140	180	224
		>6.3～10	5.5	9	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
		>10～16	6	10	16	25	40	63	90	112	160	200	250	315
		>16～25	7	11	18	28	45	71	100	125	200	250	315	400
		>25～40	8	13	20	32	50	80	112	140	250	315	400	500
800	1600	≥1～3.5	5	8	13	20	32	50	71	90	112	140	180	224
		>3.5～6.3	5.5	9	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
		>6.3～10	6	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
		>10～16	7	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
		>16～25	8	13	20	32	50	80	112	140	200	250	315	400
		>25～40	9	14	22	36	56	90	125	160	250	315	400	500
1600	2500	≥1～3.5	5.5	9	14	22	36	56	80	100	125	160	200	250
		>3.5～6.3	6	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
		>6.3～10	7	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
		>10～16	8	13	20	32	50	80	112	140	180	224	280	355
		>16～25	9	14	22	36	56	90	125	160	224	280	355	450
		>25～40	10	16	25	40	63	100	140	190	280	355	450	560
2500	4000	≥1～3.5	6	10	16	25	40	63	90	112	140	180	224	280
		>3.5～6.3	7	11	18	28	45	71	100	125	160	200	250	315
		>6.3～10	8	13	20	32	50	80	112	140	180	224	280	355
		>10～16	9	14	22	36	56	90	125	160	200	250	315	400
		>16～25	10	16	25	40	63	100	140	180	224	280	355	450
		>25～40	13	20	32	50	80	125	180	224	280	355	450	560

注：$\alpha_n\neq20°$时，表值应乘以系数 $k_\alpha=\frac{\sin20°}{\sin\alpha_n}$，式中的$\alpha_n$是计算齿轮的压力角。

表11-9-17 径向综合公差F_i'值（GB10095—88）（$\alpha_n=20°$） （μm）

分度圆直径（mm）		法向模数	精度等级（第Ⅰ公差组）											
大于	到	（mm）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	≥1～3.5	—	—	—	14	22	36	50	63	90	140	180	224
		>3.5～6.3	—	—	—	16	25	40	56	71	112	180	224	280
		>6.3～10	—	—	—	18	28	45	63	80	125	200	250	315
125	400	≥1～3.5	—	—	—	20	32	50	71	90	112	160	200	250
		>3.5～6.3	—	—	—	22	36	56	80	100	140	200	250	315
		>6.3～10	—	—	—	25	40	63	90	112	160	224	280	355
		>10～16	—	—	—	28	45	71	100	125	180	250	355	400
		>16～25	—	—	—	32	50	80	112	140	224	315	400	500
400	800	≥1～3.5	—	—	—	25	40	63	90	112	140	180	224	280
		>3.5～6.3	—	—	—	28	45	71	100	125	160	200	250	315
		>6.3～10	—	—	—	32	50	80	112	140	180	224	280	355
		>10～16	—	—	—	36	56	90	125	160	224	280	355	450
		>16～25	—	—	—	40	63	100	140	180	280	355	450	560
		>25～40	—	—	—	45	71	112	160	200	355	450	560	710
800	1600	≥1～3.5	—	—	—	28	45	71	100	125	160	200	250	315
		>3.5～6.3	—	—	—	32	50	80	112	140	180	224	280	355
		>6.3～10	—	—	—	36	56	90	125	160	200	250	315	400
		>10～16	—	—	—	40	63	100	140	180	224	280	355	450
		>16～25	—	—	—	45	71	112	160	200	280	355	450	560
		>25～40	—	—	—	50	80	125	180	224	355	450	560	710
1600	2500	≥1～3.5	—	—	—	32	50	80	112	140	180	224	280	355
		>3.5～6.3	—	—	—	36	56	90	125	160	200	250	315	400
		>6.3～10	—	—	—	40	63	100	140	180	224	280	355	450
		>10～16	—	—	—	45	71	112	160	200	250	315	400	500
		>16～25	—	—	—	50	80	125	180	224	315	400	500	630
		>25～40	—	—	—	56	90	140	200	280	400	500	630	800
2500	4000	≥1～3.5	—	—	—	36	56	90	125	160	200	250	315	400
		>3.5～6.3	—	—	—	40	63	100	140	180	224	280	355	450
		>6.3～10	—	—	—	45	71	112	160	200	250	315	400	500
		>10～16	—	—	—	50	80	125	180	224	280	355	450	560
		>16～25	—	—	—	56	90	140	200	250	315	400	500	630
		>25～40	—	—	—	71	112	180	250	315	400	500	630	800

注：$\alpha_n\neq20°$时，表值应乘以系数 $k_\alpha=\dfrac{\sin20°}{\sin\alpha_n}$，式中的$\alpha_n$是计算齿轮的压力角。

表11-9-18 齿形公差f_f值（GB10095—88） （μm）

分度圆直径（mm）		法向模数	精度等级(第Ⅱ公差组)											
大于	到	（mm）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	≥1～3.5	2.1	2.6	3.6	4.8	6	8	11	14	22	36	56	90
		>3.5～6.3	2.4	3.0	4.0	5.3	7	10	14	20	32	50	80	125
		>6.3～10	2.5	3.4	4.5	6	8	12	17	22	36	56	90	140
125	400	≥1～3.5	2.4	3.0	4.0	5.3	7	9	13	18	28	45	71	112
		>3.5～6.3	2.5	3.2	4.5	6	8	11	16	22	36	56	90	140
		>6.3～10	2.6	3.6	5.0	6.5	9	13	19	28	45	71	112	180
		>10～16	3.0	4.0	5.5	7.5	11	16	22	32	50	80	125	200
		>16～25	3.4	4.8	6.5	9.5	14	20	30	45	71	112	180	280
400	800	≥1～3.5	2.6	3.4	4.5	6.5	9	12	17	25	40	63	100	160
		>3.5～6.3	2.8	3.8	5.0	7	10	14	20	28	45	71	112	180
		>6.3～10	3.0	4.0	5.5	7.5	11	16	24	36	56	90	140	224
		>10～16	3.2	4.5	6	9	13	18	26	40	63	100	160	250
		>16～25	3.8	5.3	7.5	10.5	16	24	36	56	90	140	224	355
		>25～40	4.5	6.5	9.5	14	21	30	48	71	112	180	280	450
800	1600	≥1～3.5	3.0	4.2	5.5	8	11	17	24	36	56	90	140	224
		>3.5～6.3	3.2	4.5	6	9	13	18	28	40	63	100	160	250
		>6.3～10	3.4	4.8	6.5	9.5	14	20	30	45	71	112	180	280
		>10～16	3.6	5	7.5	10.5	15	22	34	50	80	125	200	315
		>16～25	4.2	6	8.5	12	19	28	42	63	100	160	250	400
		>25～40	5.0	7	10.5	15	28	36	53	80	125	200	315	500
1600	2500	≥1～3.5	3.8	5.3	7.5	11	16	24	36	50	80	125	200	315
		>3.5～6.3	4.0	5.5	8	11.5	17	25	38	56	90	140	224	355
		>6.3～10	4.0	6	8.5	12	18	28	40	63	100	160	250	400
		>10～16	4.2	6.5	9	13	20	30	45	71	112	180	280	450
		>16～25	4.8	7	10.5	15	22	36	53	80	125	200	315	500
		>25～40	5.5	8	12	18	28	42	63	100	160	250	400	630
2500	4000	≥1～3.5	4.5	6.5	10	14	21	32	50	71	112	180	280	450
		>3.5～6.3	4.8	7	10	15	22	34	53	80	125	200	315	500
		>6.3～10	5.0	7.5	10.5	16	24	36	56	90	140	224	355	560
		>10～16	5.3	7.5	11	17	25	38	60	90	140	224	355	560
		>16～25	5.5	8.5	13	19	28	45	67	100	160	250	400	630
		>25～40	6.5	9.5	15	22	34	50	80	125	200	315	500	800

表11-9-19 齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$ 的 f_{pt} 值 (GB10095—88) (μm)

分度圆直径 (mm)		法向模数	精度等级(第Ⅱ公差组)											
大于	到	(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	≥1～3.5	1.0	1.6	2.5	4.0	6	10	14	20	28	40	56	80
		>3.5～6.3	1.2	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
		>6.3～10	1.4	2.2	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
125	400	≥1～3.5	1.1	1.8	2.8	4.5	7	11	16	22	32	45	63	90
		>3.5～6.3	1.4	2.2	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
		>6.3～10	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	22	32	45	63	90	125
		>10～16	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>16～25	2.2	3.6	5.5	9.0	14	22	32	45	63	90	125	180
400	800	≥1～3.5	1.2	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
		>3.5～6.3	1.4	2.2	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
		>6.3～10	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>10～16	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
		>16～25	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
		>25～40	3.2	5.0	8.0	13	20	32	45	63	90	125	180	250
800	1600	≥1～3.5	1.2	2.0	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	80	112
		>3.5～6.3	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	22	32	45	63	90	125
		>6.3～10	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>10～16	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
		>16～25	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
		>25～40	3.2	5.0	8.0	13	20	32	45	63	90	125	180	250
1600	2500	≥1～3.5	1.6	2.5	4.0	6.0	10	16	22	32	45	63	90	125
		>3.5～6.3	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>6.3～10	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
		>10～16	2.2	3.6	5.5	9.0	14	22	32	45	63	90	125	180
		>16～25	2.8	4.5	7.0	11	18	28	40	56	80	112	160	224
		>25～40	3.6	5.5	9.0	14	22	36	50	71	100	140	200	280
2500	4000	≥1～3.5	1.8	2.8	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>3.5～6.3	2.0	3.2	5.0	8.0	13	20	28	40	56	80	112	160
		>6.3～10	2.2	3.6	5.5	9.0	14	22	32	45	63	90	125	180
		>10～16	2.5	4.0	6.0	10	16	25	36	50	71	100	140	200
		>16～25	2.8	4.5	7.0	11	18	28	40	56	80	112	160	224
		>25～40	3.6	5.5	9.0	14	22	36	56	71	100	140	200	280

表11-9-20 基节极限偏差 $\pm f_{pb}$ 的 f_{pb} 值（GB10095—88） （$\alpha_n=20°$） （μm）

分度圆直径（mm）		法向模数	精度等级（第Ⅱ公差组）											
大于	到	（mm）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	≥1～3.5	1.0	1.4	2.4	3.6	5	9	13	18	25	36	50	71
		>3.5～6.3	1.2	1.8	3.0	4.5	7	11	16	22	32	45	63	90
		>6.3～10	1.4	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
125	400	≥1～3.5	1.0	1.6	2.4	4.2	6	10	14	20	30	40	60	80
		>3.5～6.3	1.2	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
		>6.3～10	1.4	2.4	3.6	5.5	9	14	20	30	40	60	80	112
		>10～16	1.6	2.6	4.2	6.5	10	16	22	32	45	63	90	125
		>16～25	2.0	3.4	5.0	8.5	13	20	30	40	60	80	112	160
400	800	≥1～3.5	1.2	1.8	3.0	4.5	7	11	16	22	32	45	63	90
		>3.5～6.3	1.4	2.0	3.2	5.0	8	13	18	25	36	50	71	100
		>6.3～10	1.6	2.6	4.2	6.5	10	16	22	32	45	63	90	125
		>10～16	1.8	3.0	4.5	7.5	11	18	25	36	50	71	100	140
		>16～25	2.4	3.6	5.5	9.5	14	22	32	45	63	90	125	180
		>25～40	3.0	4.5	7.5	11	18	30	40	60	80	112	160	224
800	1600	≥1～3.5	1.2	1.8	3.2	5	8	13	18	25	36	50	71	100
		>3.5～6.3	1.4	2.4	3.6	5.5	9	14	20	30	40	60	80	112
		>6.3～10	1.6	2.6	4.2	6.5	10	16	22	32	45	67	90	125
		>10～16	1.8	3.0	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>16～25	2.4	3.6	5.5	9.5	14	22	32	45	63	90	125	180
		>25～40	3.0	4.5	7.5	11	18	30	40	60	80	112	160	224
1600	2500	≥1～3.5	1.4	2.4	3.6	5.5	9	14	20	30	40	60	80	112
		>3.5～6.3	1.6	2.6	4.2	6.5	10	16	22	32	45	67	90	125
		>6.3～10	1.8	3.0	4.5	7.0	11	18	25	36	50	71	100	140
		>10～16	2.0	3.2	5.0	8.5	13	20	30	40	60	80	112	160
		>16～25	2.4	4.2	6.5	10	16	25	36	50	71	100	140	200
		>25～40	3.4	5.0	8.5	13	20	32	45	63	90	125	180	250
2500	4000	≥1～3.5	1.6	2.6	4.2	6.5	10	16	22	32	45	63	90	125
		>3.5～6.3	1.8	3.0	4.5	7.5	11	18	25	36	50	71	100	140
		>6.3～10	2.0	3.2	5.0	8.5	13	20	30	40	60	80	112	160
		>10～16	2.4	3.6	5.5	9.5	14	22	32	45	67	90	125	180
		>16～25	2.6	4.2	6.5	10	16	25	36	50	71	100	140	200
		>25～40	3.4	5.0	8.5	13	20	32	45	63	90	125	180	250

注：对6级及高于6级的精度，在一个齿轮的同侧齿面上，最大基节与最小基节之差，不允许大于基节单向极限偏差的数值。

表11-9-21 一齿径向综合公差f_i''值（GB10095—88） （$\alpha_n=20°$） （μm）

分度圆直径（mm）		法向模数	精度等级(第Ⅱ公差组)											
大于	到	（mm）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	≥1～3.5	—	—	—	7	10	14	20	28	36	45	56	71
		>3.5～6.3	—	—	—	9	13	18	25	36	45	56	71	90
		>6.3～10	—	—	—	10	14	20	28	40	50	63	80	100
125	400	≥1～3.5	—	—	—	8	11	16	22	32	40	50	63	80
		>3.5～6.3	—	—	—	10	14	20	28	40	50	63	80	100
		>6.3～10	—	—	—	11	16	22	32	45	56	71	90	112
		>10～16	—	—	—	13	18	25	36	50	63	80	100	125
		>16～25	—	—	—	16	22	32	45	63	80	100	125	160
400	800	≥1～3.5	—	—	—	9	13	18	25	36	45	56	71	90
		>3.5～6.3	—	—	—	10	14	20	28	40	50	63	80	100
		>6.3～10	—	—	—	11	16	22	32	45	56	71	90	112
		>10～16	—	—	—	14	20	28	40	56	71	90	112	140
		>16～25	—	—	—	18	25	36	50	71	90	112	140	180
		>25～40	—	—	—	22	32	45	63	90	112	140	180	224
800	1600	≥1～3.5	—	—	—	10	14	20	28	40	50	63	80	100
		>3.5～6.3	—	—	—	11	16	22	32	45	56	71	90	112
		>6.3～10	—	—	—	13	18	25	36	50	63	80	100	125
		>10～16	—	—	—	14	20	28	40	56	71	90	112	140
		>16～25	—	—	—	18	25	36	50	71	90	112	140	180
		>25～40	—	—	—	25	36	50	71	100	125	160	200	250
1600	2500	≥1～3.5	—	—	—	11	16	22	32	45	56	71	90	112
		>3.5～6.3	—	—	—	13	18	25	36	50	63	80	100	125
		>6.3～10	—	—	—	14	20	28	40	56	71	90	112	140
		>10～16	—	—	—	16	22	32	45	63	80	100	125	160
		>16～25	—	—	—	20	28	40	56	80	100	125	160	200
		>25～40	—	—	—	25	36	50	71	100	125	160	200	250
2500	4000	≥1～3.5	—	—	—	13	18	25	36	50	63	80	100	125
		>3.5～6.3	—	—	—	14	20	28	40	56	71	90	112	140
		>6.3～10	—	—	—	16	22	32	45	63	80	100	125	160
		>10～16	—	—	—	18	25	36	50	71	90	112	140	180
		>16～25	—	—	—	20	28	40	56	80	100	125	160	200
		>25～40	—	—	—	25	36	50	71	100	125	160	200	250

注：$\alpha\neq20°$时，表值应乘以系数$k_\alpha=\sin20°/\sin\alpha_n$，式中的$\alpha_n$是计算齿轮的压力角。

表11-9-22　齿向公差F_β值（GB10095—88）　　（μm）

有效齿宽（mm）		精度等级（第Ⅱ公差组）											
大于	到	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	40	2.8	3.6	4.5	5.5	7	9	11	18	28	45	71	112
40	100	4	5	6	8	10	12	16	25	40	63	100	160
100	160	5	6	8	10	12	16	20	32	50	80	125	200
160	250	6	7.5	10	12	16	19	24	38	60	105	160	240
250	400	7	9	12	14	18	24	28	45	75	120	190	300
400	630	8.5	11	14	17	22	28	34	55	90	140	220	360

表11-9-23　轴线平行度公差（GB10095—88）

x方向轴线平行度公差$f_x=F_\beta$	F_β见表11-9-22
y方向轴线平行度公差$f_y=\frac{1}{2}F_\beta$	

表11-9-24　中心距极限偏差$\pm f_a$的f_a值（GB10095—88）　　（μm）

精度等级（第Ⅱ公差组）			1～2	3～4	5～6	7～8	9～10	11～12
f_a			$\frac{1}{2}$IT4	$\frac{1}{2}$IT6	$\frac{1}{2}$IT7	$\frac{1}{2}$IT8	$\frac{1}{2}$IT9	$\frac{1}{2}$IT11
齿轮副的中心距（mm）	大于	到						
	6	10	2	4.5	7.5	11	18	45
	10	18	2.5	5.5	9	13.5	21.5	55
	18	30	3	6.5	10.5	16.5	26	65
	30	50	3.5	8	12.5	19.5	31	80
	50	80	4	9.5	15	23	37	90
	80	120	5	11	17.5	27	43.5	110
	120	180	6	12.5	20	31.5	50	125
	180	250	7	14.5	23	36	57.5	145
	250	315	8	16	26	40.5	65	160
	315	400	9	18	28.5	44.5	70	180
	400	500	10	20	31.5	48.5	77.5	200
	500	630	11	22	35	55	87	220
	630	800	12.5	25	40	62	100	250
	800	1000	14.5	28	45	70	115	280
	1000	1250	17	33	52	82	130	330
	1250	1600	20	39	62	97	155	390
	1600	2000	24	46	75	115	185	460
	2000	2500	28.5	55	87	140	220	550
	2500	3150	34.5	67.5	105	165	270	675

表11-9-25 公法线长度变动公差F_w值（GB10095—88） （μm）

分度圆直径（mm）		精度等级（第Ⅰ公差组）											
大于	到	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	125	2	3	5	8	12	20	28	40	56	80	112	160
125	400	2.5	4	6.5	10	16	25	36	50	71	100	140	200
400	800	3	5	8	12	20	32	45	63	90	125	180	250
800	1600	4	6.5	10	16	25	40	56	80	112	160	224	315
1600	2500	4.5	7	11	18	28	45	71	100	140	200	280	400
2500	4000	6.5	10	16	25	40	63	90	125	180	250	355	500

表11-9-26 接触斑点（GB10095—88）

接触斑点	单位	精度等级											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
按高度不小于	%	65	65	65	60	55 (45)	50 (40)	45 (35)	40 (30)	30	25	20	15
按长度不小于	%	95	95	95	90	80	70	60	50	40	30	30	30

注：1.接触斑点的分布位置应趋近于齿面中部。齿顶和两端部棱边处不允许接触。

2.括号内数值用于轴向重合度$\varepsilon_\beta>0.8$的斜齿轮。

（七）齿轮副的检验

对齿轮副的精度要求包括齿轮副的切向综合误差$\Delta F'_i$、齿轮副的一齿切向综合误差$\Delta f'_i$、齿轮副的接触斑点位置和大小及侧隙要求。如上述的四方面要求均能满足，则此齿轮副即认为合格。

齿轮副的切向综合误差$\Delta F'_i$和齿轮副的一齿切向综合误差$\Delta f'_i$应在装配后实测，用传动链运动精度检查仪检查。还可按两个单个齿轮单项误差$\Delta F'_i$和$\Delta f'_i$分别求出，即：

$$\Delta F'_i=\Delta F'_{i1}+\Delta F'_{i2}\leqslant F'_{i1}+F'_{i2}$$

$$\Delta f'_i=\Delta f'_{i1}+\Delta f'_{i2}\leqslant f'_{i1}+f'_{i2}$$

齿轮副的轴线平行度公差f_x和f_y见表11-9-23，中心距极限偏差f_a见表11-9-24，接触斑点的分布位置及其大小按表11-9-26规定。

（八）齿轮副的侧隙和齿厚偏差

1. 齿轮副侧隙

圆柱齿轮副的侧隙要求，应根据工作条件用最大极限侧隙j_{nmax}（j_{tmax}）与最小极限侧隙j_{nmin}（j_{tmin}）来确定。国标GB10095—88未具体规定侧隙数值。机械工业部机床工具局发布的企业（联合）标准JB/GQ 1070—85《机床圆柱齿轮副侧隙和齿轮齿厚偏差》中对机床圆柱齿轮副侧隙要求有具体规定。该标准规定，机床圆柱齿轮副的侧隙种类按最小法向极限侧隙j_{nmin}的大小划分为四种，依次分别用字母b、c、d、e表示。其中b类侧隙最大，e类最小；c类侧隙推荐为常用的侧隙种类。最小法向极限侧隙的数值见表11-9-27。该标准还规定：当确有需要时，可在相邻两种侧隙间按几何平均值取值，并采用相应的组合代号。例如，最小法向极限侧隙的数值取$\sqrt{cd}$，则其代号为cd。

确定齿轮副最小极限侧隙j_{nmin}的方法有两种，一种是经验法，一种是计算法。经验法是参考国内外先进机床设备中同类工作条件（载荷、速度、温度、润滑）的齿轮副侧隙用类比的方法确定。

用计算法确定最小法向极限侧隙时，主要考虑齿轮副的热变形和润滑状况的工作条件。其计算公式如下：

$$j_{nmin}=2000\,a\,(\alpha_1\Delta t_1-\alpha_2\Delta t_2)\sin\alpha_n+\delta m_n$$

表11-9-27 最小法向极限侧隙j_{nmin}(JB/GQ 1070—85) ($\alpha_n=20°$) (μm)

侧隙种类	中心距 (mm)														
	≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
b	100	120	140	160	185	210	230	250	280	320	360	420	500	600	700
c	62	74	87	100	115	130	140	155	175	200	230	260	310	370	440
d	39	46	54	63	72	81	89	97	110	125	140	165	195	230	280
e	25	30	35	40	46	52	57	63	70	80	90	105	125	150	175

注：当$\alpha_n\neq20°$时，j_{nmin}应按公式计算。

当$\alpha=20°$时，

$$j_{nmin}=684\,a\,(\alpha_1\Delta t_1-\alpha_2\Delta t_2)+\delta m_n$$

式中 j_{nmin}——最小法向极限侧隙（μm）；

a——齿轮副中心距（mm）；

α_1、α_2——分别为齿轮、箱体材料的线膨胀系数（1/℃）；

Δt_1、Δt_2——分别为齿轮、箱体工作温度与标准温度（20℃）之差；

α_n——齿轮法向压力角；

δ——润滑状况系数，见下表：

δ 值

	齿轮节圆圆周速度v（m/s）			
	≤10	>10~25	>25~60	>60
喷油润滑	10	20	30	30~50
油池润滑	5~10			

例 已知$\alpha_n=25°$，$m_n=5$ mm，$a=300$mm，$v=20$m/s，喷油润滑，$\alpha_1=11.5\times10^{-6}$(1/℃)，$\alpha_2=10.5\times10^{-6}$(1/℃)，$\Delta t_1=55$℃，$\Delta t_2=30$℃。

$$j_{nmin}=2000\times300(11.5\times10^{-6}\times55-10.5\times10^{-6}\times30)\sin25°+20\times5$$
$$=180\ \mu m$$

查表11-9-27得：

b种侧隙$j_{nmin}=210\mu m$

c种侧隙$j_{nmin}=130\mu m$

则bc侧隙$j_{nmin}=\sqrt{bc}=165.227\mu m$

按R20系列最接近的优先数确定取$j_{nmin}=160\mu m$。

R20系列优先数系列见下表：

6	7	8	9	10	11
25	28	32	36	40	45
100	112	125	140	160	180
400	450	500	560	630	710
12	14	16	18	20	22
50	56	63	71	80	90
200	224	250	280	315	355
800	900	1000	1120	1250	1400

2. 齿厚极限偏差

国标GB10095—88规定采用齿厚极限偏差E_s的大小来确定侧隙，但标准中并未直接规定齿厚极限偏的数值，而是规定了14个偏差代号，每个代号代表齿距极限偏差（f_{pt}）的倍率。齿厚极限偏差的上偏差E_{ss}及下偏差E_{si}从表11-9-28中选用。

例如，上偏差选用F（等于$-4f_{pt}$），下偏差选用L（等于$-16f_{pt}$），则齿厚极限偏差用代号FL表示（图11-9-1）。

此外，若所选用的齿厚极限偏差超过上述14种

表11-9-28 齿厚极限偏差代号

(GB10095—88)

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

注：公法线平均长度上偏差为

$E_{wms}=E_{ss}\cos\alpha-0.72F_r\sin\alpha$（外齿轮）

公差为$T_{wm}=T_s\cos\alpha-1.44F_r\sin\alpha$

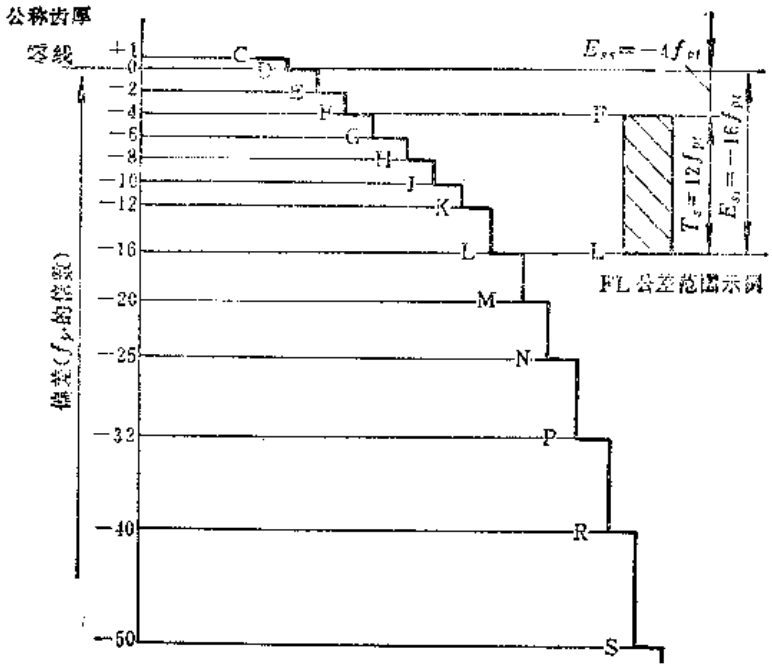


图11-9-1 齿厚极限偏差

代号时，允许自行规定。

齿厚上偏差E_{ss}不仅要保证齿轮副所需要的最小极限侧隙，同时还要补偿由于加工和安装误差所引起的侧隙减小量，即：

$$|E_{ss}| = f_a \operatorname{tg}\alpha_n + \frac{j_{n\min} + J_n}{2\cos\alpha_n}$$

式中 E_{ss}——齿厚上偏差；

f_a——中心距极限偏差的绝对值（表11-9-24）；

J_n——齿轮加工和安装误差所引起的减小量。

$$J_n = \sqrt{2f_{pt}^2\cos^2\alpha_n + (1.25\cos^2\alpha_n + 1)F_\beta^2}$$

当$\alpha_n = 20°$时，以上两式可简化为：

$$|E_{ss}| = 0.36397f_a + 0.5321\ (j_{n\min} + J_n)$$

$$J_n = \sqrt{1.766f_{pt}^2 + 2.1038F_\beta^2}$$

齿厚公差T_s按下式计算：

$$T_s = 2\operatorname{tg}\alpha_n\sqrt{F_r^2 + b_r^2}$$

式中 F_r——齿圈径向跳动公差（表11-9-16）；

b_r——切齿径向进刀公差，按下表选取：

齿厚下偏差E_{si}为：

$$E_{si} = E_{ss} - T_s$$

齿厚上极限偏差和齿厚公差按标准JB/GQ 1070—85规定均分为八个等级，由高到低依次用数字3、4、5、6、7、8、9、10表示。齿厚上偏差数值按侧隙种类和齿轮第Ⅰ公差组精度等级从表11-9-29查取。齿厚公差等级的选取一般与齿轮第Ⅰ公差组的精度等级相同，也可不同。齿厚公差数值见表11-9-30。齿厚公差带如图11-9-2所示。

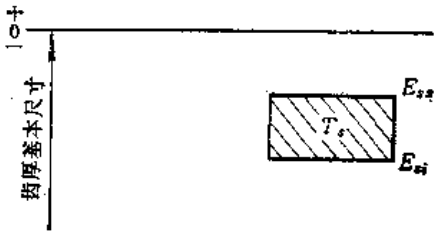


图11-9-2 齿厚公差带

切齿工艺	磨齿				滚、插齿		铣齿	
齿厚公差等级（即第Ⅰ公差组精度等级）	3	4	5	6	7	8	9	10
b_r	IT7	1.25IT7	IT8	1.28IT8	IT9	1.25IT9	IT10	1.25IT10

注：IT值按分度圆直径查表11-9-9。

表11-9-29 齿厚上偏差E_{sn}(负值)(JB/GQ 1070—85)
($\alpha_n = 20°$)

(μm)

侧隙种类	精度等级	法向模数 (mm)	分度圆直径 (mm) ≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
b	3	≥1~10	63	71	80	100	112	125	125	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
	4	≥1~10	63	71	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	160	160	180	224	250	280	355	400
	5	≥1~10	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
	6	≥1~10	71	80	90	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	100	112	125	140	160	160	180	200	224	280	315	355	450
	7	≥1~10	80	90	100	112	125	140	160	160	180	200	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	112	125	140	160	160	180	200	224	250	280	315	400	450
	8	≥1~10	80	100	112	125	140	160	160	180	200	224	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	125	140	160	160	180	200	200	224	250	315	355	400	450
	9	≥1~10	100	112	125	140	160	180	180	200	224	250	280	315	355	450	500
		>10~25	—	—	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	500
	10	≥1~10	125	140	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	500
		>10~25	—	—	180	200	200	224	250	250	280	315	315	355	400	500	560
c	3	≥1~10	40	50	56	63	71	80	90	100	100	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	4	≥1~10	45	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	125	140	160	200	224	280
	5	≥1~10	45	56	63	71	80	90	100	100	112	125	140	160	200	224	280
		>10~25	—	—	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	280
	6	≥1~10	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
	7	≥1~10	56	63	71	80	90	100	112	125	125	140	160	200	224	250	315
		>10~25	—	—	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	224	280	315
	8	≥1~10	63	71	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	224	280	315
		>10~25	—	—	100	112	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
	9	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	160	180	200	224	280	315	355
		>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280	315	400
	10	≥1~10	100	112	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280	315	400
		>10~25	—	—	160	160	180	180	200	200	224	224	250	280	315	355	400

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组	精度等级	法向模数 (mm)	分度圆直径 (mm) ≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
d	3	≥	1~10	28	32	40	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140	180
		>	10~25	—	—	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
	4	≥	1~10	32	36	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
		>	10~25	—	—	45	50	56	63	63	71	80	90	100	112	125	160	180
	5	≥	1~10	36	40	45	50	56	63	71	71	80	90	100	112	140	160	200
		>	10~25	—	—	50	56	63	71	71	80	90	100	112	125	140	160	200
	6	≥	1~10	40	45	50	56	63	63	71	80	80	90	112	125	140	160	200
		>	10~25	—	—	56	63	71	71	80	80	90	100	112	125	140	180	200
	7	≥	1~10	45	50	56	63	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	224
		>	10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224
	8	≥	1~10	56	56	63	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224
		>	10~25	—	—	80	90	90	100	100	112	125	125	140	160	180	200	250
	9	≥	1~10	71	80	90	90	100	112	112	125	125	140	160	180	200	250	280
		>	10~25	—	—	100	112	125	125	140	140	160	160	180	200	224	250	280
	10	≥	1~10	90	100	100	112	125	125	140	140	160	160	180	200	224	250	315
		>	10~25	—	—	140	140	160	160	160	180	180	200	224	224	250	280	315
e	3	≥	1~10	22	25	28	32	36	40	40	45	50	56	63	71	90	100	125
		>	10~25	—	—	32	36	36	40	45	50	56	56	63	80	90	100	125
	4	≥	1~10	22	25	28	32	36	40	45	45	50	56	63	80	90	100	125
		>	10~25	—	—	32	36	40	45	45	50	56	63	71	80	90	112	125
	5	≥	1~10	28	32	36	40	45	45	50	56	63	63	71	90	100	112	140
		>	10~25	—	—	40	45	50	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140
	6	≥	1~10	32	36	40	45	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140
		>	10~25	—	—	45	50	56	56	63	63	71	80	90	100	112	125	140
	7	≥	1~10	36	40	45	50	56	63	63	71	80	80	90	112	125	140	160
		>	10~25	—	—	56	63	63	71	71	80	90	90	100	112	125	160	180
	8	≥	1~10	45	50	56	63	63	71	71	80	90	90	100	112	125	160	180
		>	10~25	—	—	71	71	80	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200
	9	≥	1~10	63	71	71	80	90	90	100	100	112	125	140	140	160	200	224
		>	10~25	—	—	100	100	112	112	125	125	125	140	160	160	180	224	250
	10	≥	1~10	80	90	90	100	112	112	125	125	140	140	160	180	200	224	250
		>	10~25	—	—	125	125	140	140	140	160	160	180	180	200	224	250	280

注：$\alpha_n \neq 20°$时，E_{sn}值应按公式计算。

表11-9-30 齿厚公差T_s(JB/GQ 1070—85)

($\alpha_n=20°$) (μm)

齿厚公差等级	法向模数 (mm)	分度圆直径 (mm)														
		≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
3	≥1~10	20	22	28	32	36	40	40	45	50	56	63	80	90	112	125
	>10~25	—	—	28	32	36	40	45	50	50	56	71	80	90	112	125
4	≥1~10	25	32	36	40	45	50	56	56	63	71	80	100	112	140	160
	>10~25	—	—	40	45	50	50	56	63	71	80	90	100	112	140	160
5	≥1~10	36	40	45	50	56	63	71	71	80	90	112	125	140	180	200
	>10~25	—	—	50	56	63	71	71	80	90	100	112	125	140	180	200
6	≥1~10	50	56	63	71	80	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	>10~25	—	—	71	80	90	90	100	112	112	125	140	160	200	224	280
7	≥1~10	63	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	224	280	315
	>10~25	—	—	100	112	112	125	125	140	160	160	180	200	250	280	355
8	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	355	400
	>10~25	—	—	125	140	140	160	160	180	180	200	224	250	315	355	400
9	≥1~10	100	112	125	140	160	180	180	200	224	250	280	315	355	450	500
	>10~25	—	—	160	160	180	200	200	224	250	280	315	355	400	450	560
10	≥1~10	125	140	160	180	200	224	224	250	280	315	355	400	450	560	630
	>10~25	—	—	200	224	224	250	250	280	315	315	355	400	500	560	710

注：$\alpha_n\neq20°$时，T_s值应按公式计算。

5. 公法线平均长度极限偏差

当用公法线平均长度来检验齿厚时，公法线平均长度的极限偏差（上偏差E_{wms}、下偏差E_{wmi}）和公差T_{wm}按下式计算：

$$E_{wms}=E_{s}\cos\alpha_n-0.72F_r\sin\alpha_n$$

或$$|E_{wms}|=|E_{ss}|\cos\alpha_n+0.72F_r\sin\alpha_n$$

$$T_{wm}=T_s\cos\alpha_n-1.44F_r\sin\alpha_n$$

则公法线长度下偏差E_{wmi}为：

$$E_{wmi}=E_{wms}-T_{wm}=E_{si}\cos\alpha_n+0.72F_r\sin\alpha_n$$

外齿轮公法线平均长度上偏差E_{wms}和内齿轮公法线平均长度下偏差E_{wmi}按侧隙种类和齿轮第Ⅱ公差组精度等级由表11-9-31查取。公法线平均长度公差T_{wm}按齿厚公差等级由表11-9-32查取。

当齿轮副侧隙种类采用组合代号时，E_{wms}（对于外齿轮）或E_{wmi}（对于内齿轮）值采用相应两代号数值的几何平均值计算方法见下例。

公法线平均长度的公差带如图11-9-3所示。

例 直齿圆柱内齿轮，$\alpha=20°$，$m=2$ mm，$d=60$mm，齿轮精度等级为6级，齿厚公差等级为5级，侧隙种类代号为de，求E_{wms}和E_{wmi}。

公法线平均长度下偏差按齿轮精度等级6级查表11-9-31得：

6 d $E_{wmi}=+56$ μm

6 c $E_{wmi}=+45$ μm

则侧隙组合代号时的公法线平均长度下偏差E_{wmi}为：

$$E_{wmi}=\sqrt{56\times45}=50.2\ \mu m$$

按R20系列最接近的优先数确定取$E_{wmi}=+50\mu m$。

公法线平均长度公差T_{wm}按齿厚公差等级5级选取，查表11-9-32得：

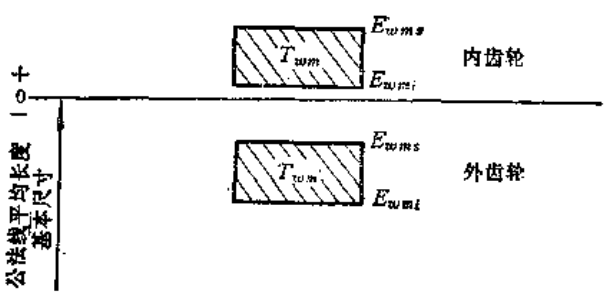


图11-9-3 公法线平均长度公差带

表11-9-31　外齿轮公法线平均长度上偏差E_{wms}(负值)内齿轮公法线平均长度下偏差E_{wmi}(正值)

(JB/GQ 1070—85)　($\alpha_n=20°$)　(μm)

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数 (mm)	分度圆直径 (mm) ≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
b	3	≥1~10	63	71	80	100	112	125	125	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
	4	≥1~10	63	71	90	100	112	125	140	140	160	180	200	250	280	355	400
		>10~25	—	—	90	100	112	125	140	160	160	180	224	250	280	355	400
	5	≥1~10	71	80	90	100	112	125	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
	6	≥1~10	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315	355	400
		>10~25	—	—	112	125	140	160	160	160	180	200	224	280	315	355	450
	7	≥1~10	90	100	112	125	140	140	160	160	180	200	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	125	140	160	180	180	200	224	250	250	280	315	400	450
	8	≥1~10	100	112	125	140	160	180	180	200	200	224	250	280	315	400	450
		>10~25	—	—	140	160	180	180	200	224	224	250	280	315	355	400	450
	9	≥1~10	112	125	140	160	180	200	200	224	250	280	280	315	355	450	500
		>10~25	—	—	200	200	200	224	224	250	280	315	355	400	400	450	500
	10	≥1~10	140	160	180	180	200	224	224	250	280	315	355	355	400	450	500
		>10~25	—	—	224	250	250	250	280	280	315	355	355	400	450	560	560
c	3	≥1~10	40	50	56	63	71	80	90	100	100	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
	4	≥1~10	45	50	56	63	71	80	90	100	112	125	140	160	180	224	250
		>10~25	—	—	63	71	80	90	90	100	112	125	140	160	200	224	280
	5	≥1~10	50	63	63	71	80	90	100	100	112	125	140	160	200	224	280
		>10~25	—	—	80	90	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
	6	≥1~10	56	63	71	80	90	100	112	112	125	140	160	180	200	250	280
		>10~25	—	—	80	90	100	112	125	125	140	160	180	200	200	250	280
	7	≥1~10	71	71	80	90	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	315
		>10~25	—	—	100	112	125	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
	8	≥1~10	80	90	100	100	112	125	140	140	160	180	200	224	250	280	315
		>10~25	—	—	125	140	140	160	160	160	180	200	224	250	280	315	355
	9	≥1~10	100	112	125	125	140	160	160	180	180	200	224	250	280	315	355
		>10~25	—	—	160	180	180	200	200	224	224	224	250	280	315	355	450
	10	≥1~10	125	140	140	160	160	180	180	200	200	224	250	280	315	355	400
		>10~25	—	—	200	200	224	224	250	250	280	280	280	315	355	400	450

（续）

侧隙种类	齿轮第Ⅱ公差组精度等级	法向模数（mm）	分度圆直径（mm）														
			≤50	>50～80	>80～125	>125～180	>180～250	>250～315	>315～400	>400～500	>500～630	>630～800	>800～1000	>1000～1250	>1250～1600	>1600～2000	>2000～2500
d	3	≥1～10	28	32	40	45	50	56	56	63	71	80	90	100	125	140	180
		>10～25	—	—	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
	4	≥1～10	36	40	40	45	50	56	63	63	71	80	90	112	125	140	180
		>10～25	—	—	50	56	63	63	63	71	80	90	100	112	125	160	180
	5	≥1～10	40	45	50	56	63	63	71	71	80	90	100	112	140	160	200
		>10～25	—	—	56	63	71	80	80	90	100	112	112	125	140	160	200
	6	≥1～10	50	56	56	63	71	71	80	90	90	100	125	125	140	160	200
		>10～25	—	—	71	80	90	90	90	90	100	112	125	140	160	200	200
	7	≥1～10	56	63	71	80	80	90	90	100	112	125	140	160	180	200	224
		>10～25	—	—	80	90	100	112	112	125	140	140	140	160	180	224	250
	8	≥1～10	71	71	80	90	100	112	112	112	125	125	140	160	180	224	250
		>10～25	—	—	112	112	112	125	125	140	160	160	160	180	200	224	280
	9	≥1～10	90	100	112	112	125	140	140	140	140	160	180	200	224	280	315
		>10～25	—	—	140	140	160	160	180	180	200	200	224	224	250	280	315
	10	≥1～10	112	125	125	140	160	160	160	160	180	180	200	224	250	280	355
		>10～25	—	—	180	180	200	200	200	224	224	250	280	280	280	315	355
c	3	≥1～10	22	25	28	32	36	40	40	45	50	56	63	71	90	100	125
		>10～25	—	—	36	40	40	40	45	50	56	56	63	80	90	100	125
	4	≥1～10	25	28	32	36	40	40	45	45	50	56	63	80	90	100	125
		>10～25	—	—	36	40	45	50	50	56	63	71	71	80	90	112	125
	5	≥1～10	32	36	40	45	50	50	56	63	71	71	80	90	100	112	140
		>10～25	—	—	50	56	56	56	63	63	71	80	90	100	112	125	140
	6	≥1～10	40	45	50	56	56	56	63	63	71	80	90	100	112	140	140
		>10～25	—	—	63	63	71	71	80	80	90	100	100	112	125	140	160
	7	≥1～10	50	56	56	63	71	80	80	80	90	90	100	125	140	160	180
		>10～25	—	—	80	90	90	90	90	100	112	112	125	140	140	180	200
	8	≥1～10	63	63	71	80	80	90	90	100	112	112	125	125	140	180	200
		>10～25	—	—	100	100	112	112	125	125	125	140	140	160	180	200	224
	9	≥1～10	80	90	90	100	112	112	125	125	140	140	160	160	180	224	250
		>10～25	—	—	140	140	140	140	160	160	160	180	200	200	224	250	280
	10	≥1～10	100	112	112	125	140	140	160	160	160	180	200	200	224	250	280
		>10～25	—	—	160	160	180	180	180	200	200	224	224	250	280	315	315

注：当$\alpha_n \neq 20°$时，E_{snr}、E_{sni}应按公式计算。

表11-9-32 公法线平均长度公差T_{wm}(JB/GQ 1070—85)

($\alpha_n=20°$) (μm)

齿厚公差等级	法向模数(mm)	分度圆直径(mm)														
		≤50	>50~80	>80~125	>125~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500
3		14	16	20	25	28	32	32	36	40	45	50	71	80	100	112
4		14	22	25	28	32	36	45	45	50	56	63	80	90	125	140
5																

表11-9-33 外齿轮量柱距偏差系数K_M，K'_M (JB/GQ 1070—85)

($\alpha_n=20°$，$\beta=0°$，$x_n=0$，$d_M=1.68m_n$)

齿数	系数									
	K_M					K'_M				
z	0	2	4	6	8	1	3	5	7	9
10	—	—	2.36	2.40	2.44	—	—	2.37	2.41	2.45
20	2.48	2.50	2.53	2.55	2.57	2.48	2.50	2.53	2.56	2.58
30	2.59	2.61	2.62	2.64	2.65	2.60	2.61	2.63	2.64	2.65
40	2.66	2.67	2.68	2.69	2.70	2.66	2.66	2.68	2.69	2.70
50	2.70	2.71	2.72	2.72	2.73	2.70	2.71	2.72	2.72	2.73
60	2.73	2.74	2.75	2.75	2.75	2.73	2.74	2.75	2.75	2.75
70	2.76	2.76	2.77	2.77	2.77	2.76	2.76	2.77	2.77	2.77
80	2.78	2.78	2.78	2.79	2.79	2.78	2.78	2.78	2.79	2.79
90	2.79	2.79	2.80	2.80	2.80	2.79	2.79	2.80	2.80	2.80
100	2.80	2.81	2.81	2.81	2.81	2.80	2.81	2.81	2.81	2.81
110	2.81	2.82	2.82	2.82	2.82	2.81	2.82	2.82	2.82	2.82
120	2.82	2.82	2.83	2.83	2.83	2.82	2.82	2.83	2.83	2.83
130	2.83	2.83	2.83	2.83	2.84	2.83	2.83	2.83	2.83	2.84
140	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
150	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
160	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
170	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
180	2.85	2.86	2.86	2.86	2.86	2.85	2.86	2.86	2.86	2.86
190	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86

注：当$\alpha_n\neq20°$，$\beta\neq0$，$x_n\neq0$，$d_M\neq1.68m_n$时，系数K_M，K'_M应按公式计算。

表11-9-34 内齿轮量柱距偏差系数K_M，K'_M (JB/GQ 1070—85)

($\alpha_n=20°$，$\beta=0°$，$x_n=0$，$d_M=1.68m_n$)

齿数	系数									
	K_M					K'_M				
z	0	2	4	6	8	1	3	5	7	9
20	—	—	3.92	3.78	3.68	—	—	3.84	3.72	3.63
30	3.60	3.54	3.48	3.44	3.40	3.57	3.51	3.46	3.41	3.38
40	3.38	3.34	3.31	3.29	3.27	3.35	3.32	3.30	3.28	3.27
50	3.26	3.24	3.22	3.21	3.20	3.25	3.23	3.22	3.21	3.20
60	3.19	3.19	3.17	3.16	3.15	3.19	3.19	3.17	3.16	3.15
70	3.14	3.14	3.13	3.12	3.12	3.14	3.14	3.13	3.12	3.12
80	3.11	3.11	3.10	3.10	3.09	3.11	3.11	3.10	3.10	3.09
90	3.09	3.08	3.08	3.08	3.07	3.09	3.08	3.08	3.08	3.07
100	3.07	3.07	3.06	3.06	3.06	3.07	3.07	3.06	3.06	3.06
110	3.06	3.05	3.05	3.05	3.05	3.06	3.05	3.05	3.05	3.05
120	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04
130	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03
140	3.03	3.02	3.02	3.02	3.02	3.03	3.02	3.02	3.02	3.02
150	3.02	3.02	3.01	3.01	3.01	3.02	3.02	3.01	3.01	3.01
160	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01
170	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
180	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
190	3.00	3.00	2.99	2.99	2.99	3.00	3.00	2.99	2.99	2.99

注：当$\alpha_n\neq20°$，$\beta\neq0°$，$x_n\neq0$，$d_M\neq1.68m_n$时，系数K_M，K'_M应按公式计算。

从表11-9-33查得系数：

$$K_M = 2.67$$

则 量柱（球）距上偏差 $E_{M_s} = K_M E_{wms} = 2.67 \times (-80) = -214\mu m$

量柱（球）距下偏差 $E_{Mi} = K_M E_{wmi} = 2.67 \times (-125) = -334\mu m$

例2 直齿变位内齿轮，$\alpha = 20°$，$m = 2$ mm，$z = 42$，$x = 1.045$，齿轮精度和齿厚公差等级均为7级，侧隙种类代号为c，$W^{+0.125}_{+0.080}$，求 E_{M_s} 和 E_{Mi}。

取量柱（球）直径 d_M 为：

$$d_M = 1.68m = 1.68 \times 2 = 3.36\text{mm}$$

端面柱（球）心圆压力角 α_{Mt}：

$$\text{inv}\alpha_{Mt} = \text{inv}\alpha_t - \left(\frac{d_M}{zm_n\cos\alpha_n} - \frac{\pi}{2z}\right) + \frac{2x_n\text{tg}\alpha_n}{z}$$

$$= \text{inv}20° - \left(\frac{3.36}{42 \times 2 \times \cos 20°} - \frac{\pi}{2 \times 42}\right) + \frac{2 \times 1.045\text{tg}20°}{42}$$

$$= 0.02784905$$

$$\alpha_{Mt} = 24.425° = 24°25'30''$$

$$K_M = \frac{1}{\sin\alpha_{Mt}\cos\beta_b} = \frac{1}{\sin 24.425° \times 1} = 2.4345$$

内齿轮量柱（球）距极限偏差：

上偏差 $E_{M_s} = K_M E_{wms} = 2.4345 \times 125 = +304\mu m$

下偏差 $E_{Mi} = K_M E_{wmi} = 2.4345 \times 80 = +195\mu m$

圆柱齿轮公差和极限偏差的关系式与计算式见表11-9-35。

（九）图样标注

按照GB10095—88精度标准规定，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：

齿轮的三个公差组精度同为7级，齿厚上偏差为F，下偏差为L：

7 F L GB10095—88

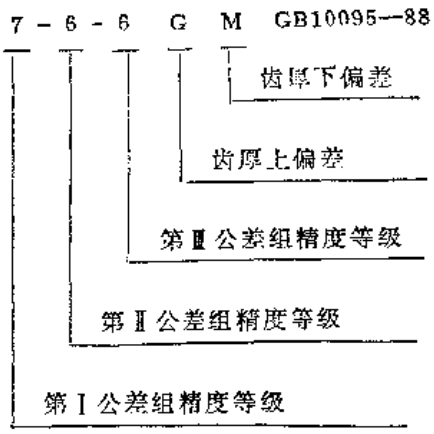
- L：齿厚下偏差
- F：齿厚上偏差
- 7：第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ公差组精度等级

齿轮第Ⅰ公差组精度为7级，第Ⅱ、Ⅲ公差组精度均为6级，齿厚上偏差为G，下偏差为M：

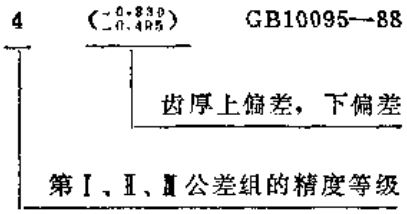
表11-9-35 渐开线圆柱齿轮公差和极限偏差与几何参数的关系式（GB10095—88）

精度等级	F_p		F_r				F_w		f_{pt}		f_f		f''_i		F_β	
	$A\sqrt{L}+C$		$Am+B\sqrt{d}+C$ $B=0.25A$		$Am+B\sqrt{d}+C$ $B=1.4A$		$B\sqrt{d}+C$		$Am+B\sqrt{d}+C$ $B=0.25A$		$Am+Bd+C$ $B=0.0125A$		$Am+B\sqrt{d}+C$ $B=0.25A$		$A\sqrt{b}+C$	
	A	C	A	C	A	C	B	C	A	C	A	C	A	C	A	C
1	0.25	0.63	0.244	2.8	0.1	1.2	0.083	1.32	0.063	0.8	0.063	2	—	—	0.315	1.6
2	0.4	1	0.355	4.5	0.16	1.8	0.13	2.1	0.10	1.25	0.10	2.5	—	—	0.4	2
3	0.63	1.6	0.56	7.1	0.25	3	0.21	3.4	0.16	2	0.16	3.15	—	—	0.5	2.5
4	1	2.5	0.90	11.2	0.4	4.8	0.34	5.4	0.25	3.15	0.25	4	0.45	5.6	0.63	3.15
5	1.6	4	1.40	18	0.63	7.5	0.54	8.7	0.4	5	0.4	5	0.63	8	0.8	4
6	2.5	6.3	2.24	28	1	12	0.87	14	0.63	8	0.63	6.3	0.9	11.2	1	5
7	3.55	9	3.15	40	1.4	17	1.22	19.4	0.9	11.2	1	8	1.25	16	1.25	6.3
8	5	12.5	4	50	1.75	21	1.7	27	1.25	16	1.6	10	1.8	22.4	2	10
9	7.1	18	5	63	—	—	2.4	38	1.8	22.4	2.5	16	2.24	28	3.15	16
10	10	25	6.3	80	—	—	3.3	53	2.5	31.5	4	25	2.8	35.5	5	25
11	14	35.5	8	100	—	—	4.7	74	3.55	45	6.3	40	3.55	45	8	40
12	20	50	10	125	—	—	6.5	104	5	63	10	63	4.5	56	12.5	63

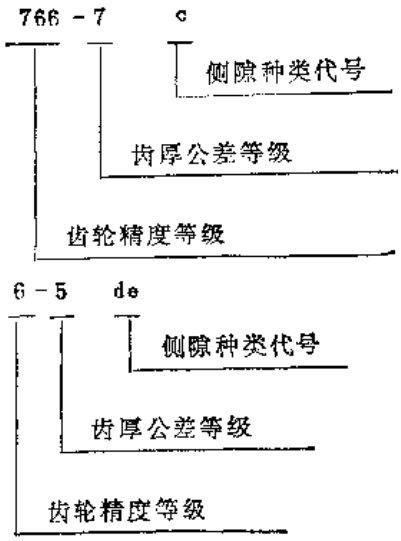
注：d—齿轮分度圆直径，m—模数，b—齿轮宽度，L—分度圆弧长。$Fi' = F_p + f_f$；$fi' = 0.6(f_{pt} + f_f)$，$F''_i = 1.4F_r$；$f_{pb} = f_{pt}\cos\alpha$，$f_{f\beta} = fi\cos\beta$，$F_{px} = F_\beta$，$F_b = F_\beta$，$f_x = F_\beta$，$f_y = 0.5F_\beta$；$f_e = 0.5$(IT1、IT6、IT7、IT8、IT9、IT11)；$Fi_c = Fi_1 + Fi_2$；$fi_c = fi_1 + fi_2$。



齿轮的三个公差组精度同为4级，齿厚上偏差为$-60f_{pt}(-330\mu m)$，下偏差为$-90f_{pt}(-495\mu m)$：



机床圆柱齿轮可以按照JB/GQ 1070—85规定，标注齿厚公差等级和齿侧种类的字母代号，并冠以齿轮精度等级。标注示例：



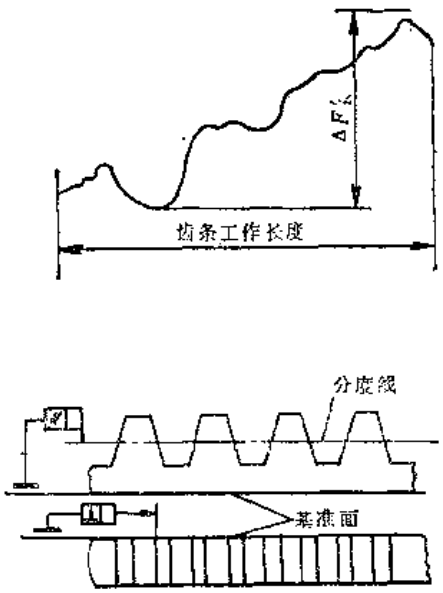
（十）齿条精度

齿条精度的国家标准GB10096—88《齿条精度》是我国首次颁发的标准。它适用于齿条及由直齿或斜齿圆柱齿轮与齿条组成的齿条副。齿条的法向模数由1～40mm，齿条工作宽度到630 mm，基本齿廓按标准GB1356—87。

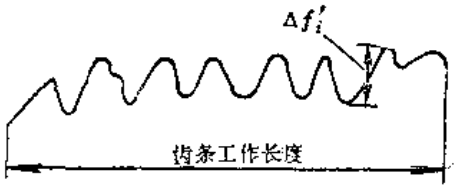
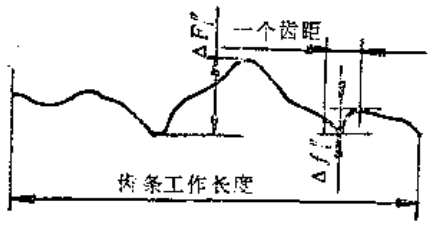
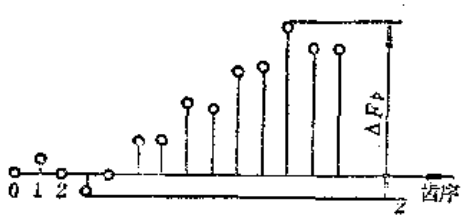
1．齿条、齿条副的误差及侧隙的定义和代号

齿条、齿条副的误差及侧隙的定义和代号列于表11-9-36。

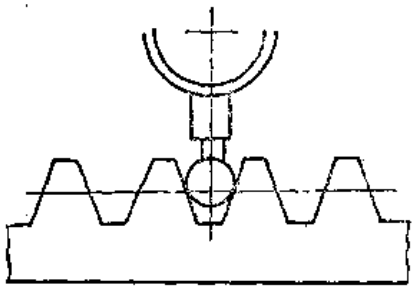
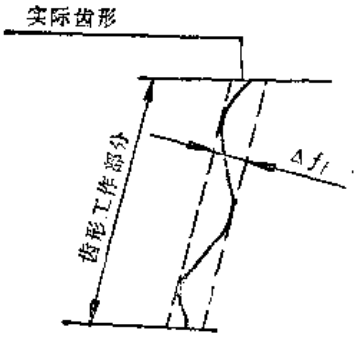
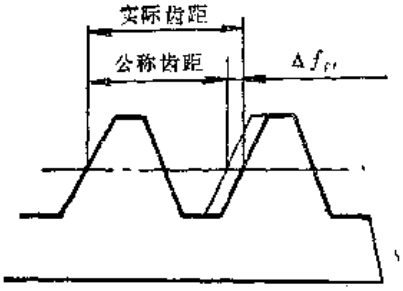
表11-9-36 齿条、齿条副的误差及侧隙的定义和代号

序号	名称	代号	定义
1	切向综合误差  切向综合公差	$\Delta F_i'$ F_i'	当齿轮轴线与齿条基准面①在公称位置上，被测齿条与理想精确测量齿轮单面啮合时，被测齿条沿其分度线在工作长度内平移的实际值与公称值之差的总幅度值

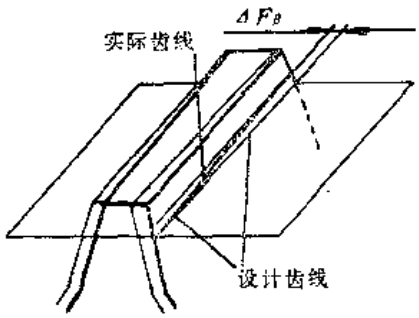
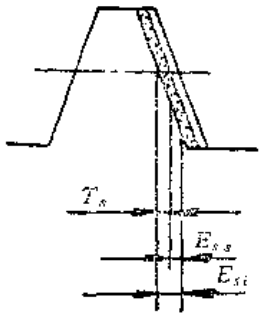
（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
2	一齿切向综合误差  一齿切向综合公差	$\Delta f_i'$ f_i'	当齿轮轴线与齿条基准面在公称位置上，被测齿条与理想精确的测量齿轮单面啮合时，被测齿条沿其分度线在工作长度内平移一个齿距的实际值与公称值之差的最大幅度值
3	径向综合公差  径向综合公差	$\Delta F_i'$ F_i'	被测齿条与理想精确的测量齿轮双面啮合时，在工作长度内（在齿条上取不超过50个齿距的任意一段），被测齿条基准面至理想精确的测量齿轮中心之间距离的最大变动量
4	一齿径向综合误差 一齿径向综合公差	$\Delta f_i''$ f_i''	被测齿条与理想精确的测量齿轮双面啮合时，齿条移动一个齿距（在齿条上取不超过50个齿距的任意一段），被测齿条基准面至理想精确齿轮中心之间距离的最大变动量
5	齿距累积误差  齿距累积公差	ΔF_p F_p	在齿条的分度线上，任意两个同侧齿廓间实际齿距与公称齿距之差的最大绝对值（在齿条上取不超过50个齿距的任意一段来确定）

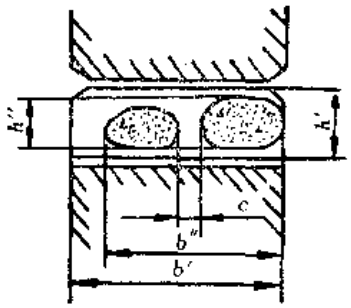
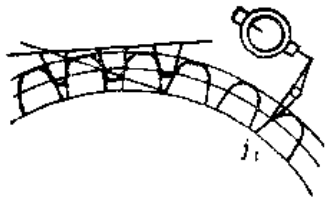
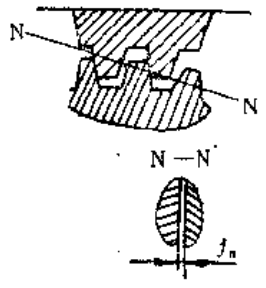
（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
6	齿槽跳动  齿槽跳动公差	ΔF_r F_r	从齿槽等宽处到切条基准面距离的最大差值（在齿条上取不超过50个齿距的任意一段来确定）
7	齿形误差  齿形公差	Δf_f f_f	在法截面（垂直于齿向的截面）上，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距离
8	齿距偏差  齿距极限偏差	Δf_{pt} $\pm f_{pt}$	在齿条分度线上，实际齿距与公称齿距之差

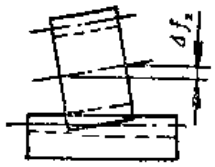
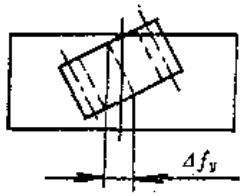
（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
9	齿向误差  	ΔF_β	在齿条分度面上，有效齿宽范围内，包容实际齿线且距离为最小的两条设计齿线之间的端面距离
	齿向公差	F_β	
10	齿厚偏差  	ΔE_s	在分度面上，齿厚实际值与公称值之差 对于斜齿条，指法向齿厚
	齿厚极限偏差 上偏差 下偏差 公差	 E_{ss} E_{si} T_s	
11	齿条副的切向综合误差	$\Delta F'_c$	安装好的齿条副，在工作长度内，齿条沿分度线平移的实际值与公称值之差的总幅度值
	齿条副的切向综合公差	F'_c	
12	齿条副的一齿切向综合误差	$\Delta f'_c$	安装好的齿条副，在工作长度内，齿条沿分度线平移一个齿距的实际值与公称值之差的最大幅度值
	齿条副的一齿切向综合公差	f'_c	

（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
13	齿条副的接触斑点  		装配好的齿条副，在轻微的制动下，运转后齿面上分布的接触擦亮痕迹 接触痕迹的大小在齿面上用百分数计算 沿齿线方向，接触痕迹长度b''（扣除超过模数值的断开部分c）与工作长度b'之比的百分数。即$\frac{b''-c}{b'}\times100\%$ 沿齿高方向，接触痕迹的平均高度h''与工作高度h'之比的百分数。即$\frac{h''}{h'}\times100\%$
14	齿条副的侧隙 圆周侧隙  	j_t	装配好的齿条副，齿条固定不动时，齿轮的圆周晃动量。以分度圆上弧长计值
	法向侧隙  	j_n	装配好的齿条副，当工作齿面接触时，非工作齿面间的最小距离 $j_n=j_t\cos\beta\cos\alpha_n$
	最小圆周侧隙	j_{tmin}	
	最大圆周侧隙	j_{tmax}	
	最小法向侧隙	j_{nmin}	
	最大法向侧隙	j_{nmax}	

（续）

序号	名　　称	代　号	定　　义
15	轴线的平行度误差  轴线的平行度公差	Δf_x f_x	安装好的齿条副，齿轮的旋转轴线对齿条基准面的平行度误差 在等于齿轮齿宽的长度上测量
16	轴线垂直度误差  轴线垂直度公差	Δf_y f_y	安装好的齿条副，齿轮的旋转轴线在齿条端截面上的投影对齿条端截顶的垂直度误差 在等于齿轮有效齿宽的长度上测量
17	安装距偏差 安装距极限偏差	Δf_a $\pm f_a$	安装好的齿条副，齿轮轴线到齿条基准面的实际距离与公称距离之差

① 基准面是用于确定齿条分度线与齿线位置的平面。

2. 精度等级

GB 10096—88对齿条及齿条副规定12个精度等级，第1级精度等级最高，第12级精度等级最低。其中1级与2级精度，公差与偏差均未列出，预定作为将来的发展精度。

齿条的各项公差与极限偏差分成三个公差组，列于表11-9-37。

表11-9-37　齿条公差组

公差组	公差与极限偏差项目
Ⅰ	Fi'、F_p、F_i''、F_r
Ⅱ	fi'、f_i''、f_f、$\pm f_{pt}$
Ⅲ	F_β

根据不同的使用要求，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。

3. 齿坯要求

齿条在加工、检验、安装时的基准面尽可能一致，并在齿条零件图上加以标注。

4. 齿条公差与检验

根据齿条副的使用要求和生产规模，在各公差组中选定检验组来检定和验收齿条的精度。

第Ⅰ公差组的检验组：

$\Delta F_i'$；

ΔF_p；

$\Delta F_i''$；

ΔF_r；

第Ⅱ公差组的检验组：

$\Delta f_i'$；

Δf_{pt}与Δf_f；

$\Delta f''_i$；

Δf_{pt}（用于9～12级精度）

第Ⅲ公差组的检验组：

ΔF_β

各精度等级齿条各检验项目的公差或极限偏差的数值列于表11-9-38～11-9-45。切向综合公差按下式计算：

$$F'_i = F_p + f_f$$

除$\Delta F''_i$、ΔF_r、$\Delta f''_i$及接触斑点外，根据工作条

表11-9-38 齿距累积公差F_p值（GB10096—88） （μm）

精度等级	法向模数 m_n (mm)	齿条长度 (mm) ～32	>32～50	>50～80	>80～160	>160～315	>315～630	>630～1000	>1000～1600	>1600～2500
3	≥1～10	6	6.5	7	10	13	18	24	35	50
4	≥1～10	10	11	12	15	20	30	40	55	75
5	≥1～16	15	17	20	24	35	50	60	75	95
6	≥1～16	24	27	30	40	55	75	95	120	135
7	≥1～25	35	40	45	55	75	110	135	170	200
8	≥1～25	50	56	63	75	105	150	190	240	280
9	≥1～40	70	80	90	106	150	212	265	335	400
10	≥1～40	95	110	125	150	210	300	375	475	550
11	≥1～40	132	160	170	212	280	425	530	670	750
12	≥1～40	190	212	240	300	400	600	710	900	1000

表11-9-39 径向综合公差F''_i值

（GB10096—88） （μm）

法向模数 m_n (mm)	精度等级 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≥1～3.5	—	14	22	38	50	70	105	150	210	300
>3.5～6.3	—	20	32	50	70	105	150	200	300	420
>6.3～10	—	24	38	60	80	120	170	240	350	480
>10～16	—	32	50	75	105	150	200	300	420	600

表11-9-40 齿槽跳动公差F_r值

（GB10096—88） （μm）

法向模数 m_n (mm)	精度等级 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≥1～3.5	6	7	14	24	32	45	65	90	130	180
>3.5～6.3	8	13	21	34	45	65	90	130	180	260
>6.3～10	9	15	24	38	55	75	105	150	220	300
>10～16	11	18	30	45	63	90	130	180	260	370
>16～25	14	24	36	56	90	112	160	220	320	460
>25～40	17	28	45	71	100	140	200	300	420	600

表11-9-41 一齿切向综合公差f'_i值

（GB10096—88） （μm）

法向模数 m_n (mm)	精度等级 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≥1～3.5	5.5	9	14	22	32	45	63	90	125	170
>3.5～6.3	8	12	19	30	45	63	90	125	170	240
>6.3～10	9	14	22	36	50	70	100	140	190	265
>10～16	12	19	30	45	63	90	125	170	240	340
>16～25	14	22	36	56	80	112	160	220	300	425
>25～40	20	30	45	71	95	132	190	265	360	530

表11-9-42 一齿径向综合公差f''_i值

（GB10096—88） （μm）

法向模数 m_n (mm)	精度等级 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≥1～3.5	—	5	8	14	19	28	40	55	80	110
>3.5～6.3	—	7.5	12	19	26	40	55	75	110	155
>6.3～10	—	9	14	22	30	45	60	90	125	170
>10～16	—	12	18	28	40	55	75	110	155	210

表11-9-43 齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$ 的 f_{pt} 值

(GB10096—88) (μm)

法向模数 m_n (mm)	精度等级									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≥1～3.5	2.5	4	6	10	14	20	28	40	56	80
>3.5～6.3	3.6	5.5	9	14	20	28	40	56	85	112
>6.3～10	4	6	10	16	22	32	45	63	90	125
>10～16	5.5	9	13	20	28	40	56	80	112	160
>16～25	6	10	16	22	35	50	71	100	140	200
>25～40	9	13	20	28	40	63	90	125	180	250

表11-9-44 齿形公差 f_f 值 (GB10096—88)

(μm)

法向模数 m_n (mm)	精度等级									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≥1～3.5	3	5	7.5	12	18	25	35	50	70	100
>3.5～6.3	4.5	7	10	17	24	34	48	63	90	130
>6.3～10	5	8	12	20	28	40	55	75	110	150
>10～16	7	10	16	25	35	50	70	95	132	190
>16～25	8	12	20	32	45	63	90	125	170	240
>25～40	10	16	25	40	56	71	100	140	190	265

表11-9-45 齿向公差 F_β 值 (GB10096—88)

(μm)

精度等级	法向模数 m_n (mm)	有效齿宽(mm)					
		～40	>40～100	>100～160	>160～250	>250～400	>400～630
3	≥1～10	4.5	6	8	10	12	14
4	≥1～10	5.5	8	10	12	14	17
5	≥1～16	7	10	12	14	18	22
6	≥1～16	9	12	16	20	24	28
7	≥1～25	11	16	20	24	28	34
8	≥1～25	18	25	32	38	45	55
9	≥1～40	28	40	50	60	75	90
10	≥1～40	45	65	80	105	120	140
11	≥1～40	71	100	125	160	190	220
12	≥1～40	112	160	200	240	300	360

件允许左齿面和右齿面采用不同的精度等级。

5. 齿条副的公差与检验

齿条副的精度要求包括齿条副的切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$、齿条副的一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$、齿条副的接触斑点大小和侧隙要求。

齿条副的切向综合误差 $\Delta F'_{ic}$ 和齿条副的一齿切向综合误差 $\Delta f'_{ic}$ 应在装配后实测，或按单个齿条与齿轮的切向综合误差之和及一齿切向综合误差之和进行考核。

采用修形齿面的齿条副，或有特殊要求时，接触斑点精度可不按GB 10096—88标准的规定。

齿条副中，齿轮与齿条的精度等级允许取成不同，通常齿轮精度不低于齿条精度。

各精度等级齿条副各检验项目的公差数值规定如下：

齿条副的切向综合公差 F'_{ic} 为

$$F'_{ic} = F'_{i1} + F'_{i2}$$

式中 F'_{i1}——齿轮的切向综合公差；

F'_{i2}——齿条的切向综合公差。

当齿条与齿轮的齿数比为不大于3的整数，且采用选配时，F'_{ic} 应比计算值压缩25%左右。

齿条副的一齿切向综合公差为

$$f'_{ic} = |f_{pt1}| + |f_{pt2}|$$

式中 f_{pt1}——齿轮的齿距极限偏差；

f_{pt2}——齿条的齿距极限偏差。

接触斑点的要求按表11-9-46的规定。若接触斑点的精度确有保证时，则齿条副中齿轮与齿条的第Ⅱ公差组（即 F_β）可不予检验。

表11-9-46 接触斑点 (GB10096—88)

(%)

接触斑点	精度等级						
	3	4	5	6	7	8	9
按高度 不小于	65	60	55	50	45	30	20
按长度 不小于	95	90	80	70	60	40	25

齿条副的轴线平行度公差 f_x、轴线垂直度公差 f_y 按表11-9-47的规定。

6. 侧隙

齿条副的侧隙要求应根据工作条件，用最大极限侧隙 j_{nmax}（或 j_{tmax}）与最小极限侧隙 j_{nmin}（或 j_{tmin}）来规定。

安装距极限偏差 $\pm f_a$ 按表11-9-48的规定。

表11-9-47　轴线平行度公差f_x和轴线垂直度公差f_y值（GB10096—88）

x方向轴线平行度公差　$f_x=F_\beta$	F_β见表11-9-45
y方向轴线垂直度公差　$f_y=\frac{1}{2}F_\beta$	

齿厚极限偏差的上偏差E_{sns}和下偏差E_{sni}的代号与圆柱齿轮相同（见图11-9-1），可按表11-9-28选用。

若所选用的齿厚极限偏差超出表11-9-28所列14个代号时，允许自行规定。

表11-9-48　安装距极限偏差$\pm f_a$的f_a值

（GB10096—88）　　（μm）

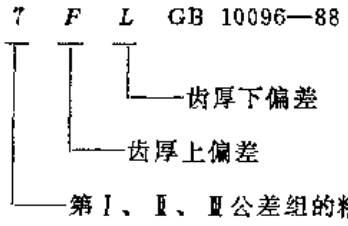
第Ⅱ公差组精度等级			3～4	5～6	7～8	9～10	11～12
f_a			$\frac{1}{2}$IT6	$\frac{1}{2}$IT7	$\frac{1}{2}$IT8	$\frac{1}{2}$IT9	$\frac{1}{2}$IT11
	大于	到					
齿条副的安装距	18	30	6.5	10.5	16.5	26	65
	30	50	8	12.5	19.5	31	80
	50	80	9.5	15	23	37	90
	80	120	11	17.5	27	43.5	110
	120	180	12.5	20	31.5	50	125
	180	250	14.5	23	36	57.5	145
	250	315	16	26	40.5	65	160
	315	400	18	28.5	44.5	70	180
	400	500	20	31.5	48.5	77.5	200
	500	630	22	35	55	87	220
	630	800	25	40	62	100	250
	800	1000	28	45	70	115	280
	1000	1250	33	52	82	130	330
	1250	1600	39	62	97	155	390
	1600	2000	45	75	115	185	460

7. 图样标注

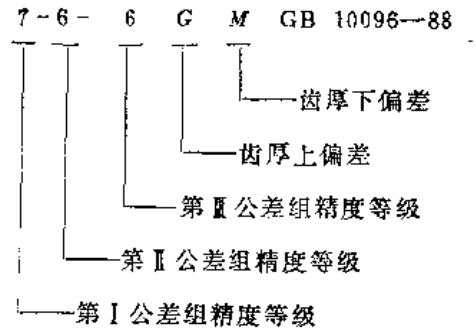
在齿条零件图上应标注齿条的精度等级和齿厚极限偏差的字母代号或齿厚极限偏差值。

标注示例：

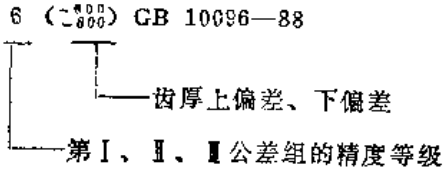
齿条的三个公差组精度为7级，其齿厚上偏差为F，下偏差为L，标注为



齿条第Ⅰ公差组精度为7级，第Ⅱ公差组为6级，第Ⅲ公差组为6级，齿厚上偏差为G，下偏差为M，标注为



齿条的三个公差组精度均为6级，其齿厚上偏差为$-600\mu m$，下偏差为$-800\mu m$，标注为



第10节　圆柱齿轮的材料及其热处理

齿轮的材料及其热处理的特点如表11-10-1所示，常用材料及其力学性能如表11-10-2所示，齿轮工作齿面硬度及其组合的应用举例见表11-10-3。

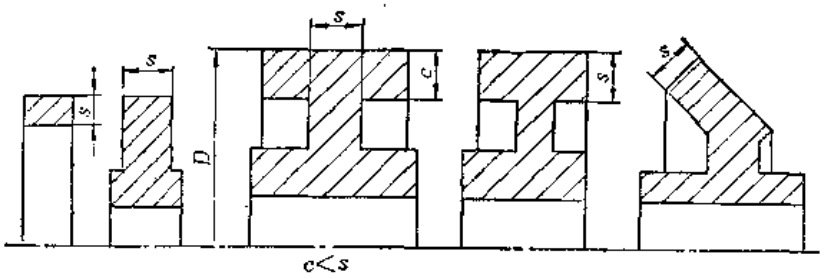
表11-10-1　齿轮材料及其热处理的特点

材料	热处理	特点和用途
铸铁	时效	1.减摩性能好，有抗胶合点蚀的能力 2.抗弯曲强度和冲击韧性较差，用于轻载低速（$v<6m/s$）无冲击性的传动 3.可以制造形状复杂的大型齿轮

（续）

材料	热处理	特　点　和　用　途
铸铁	时　效	4.对润滑要求低，用于开式传动齿轮 5.价格便宜，一般采用灰铸铁 6.可锻铸铁、球墨铸铁的抗冲击能力比灰铸铁高
铸钢	退火或正火调质	1.结构形状复杂的大齿轮（直径大于ϕ500）不便于锻造，一般用碳素钢铸造，但其强度低于同牌号的锻钢，可用于周速6～7 m/s的传动 2.强度要求较高的用合金钢铸造
调质钢	调质或正火	1.调质后能提高心部的强度，具有较好的强度和韧性、淬透性工艺性亦较好 2.精切齿形可在调质后进行，以免热处理变形
	整体淬火	1.表面硬度高，承载能力较高，耐磨性好但韧性较差，不能受冲击载荷 2.热处理变形大，需磨齿和研齿加工
	高频淬火	1.表面硬度高，心部保持较高的韧性，承载能力和耐磨性较好，能承受一定的冲击载荷，具有较强的抗点蚀能力 2.淬火后变形不大，精度要求高的，淬后要磨齿
渗碳钢	渗碳淬火	1.齿面硬度很高，有很强的抗点蚀和耐磨损性能，心部仍保持一定的强度和韧性 2.低碳碳素钢(15、20)淬后心部强度低，与渗碳层结合不好，当载荷较大时，渗碳层有剥离可能，整个轮齿的弯曲强度较低，淬火变形大 3.低碳合金钢(15Cr20Cr)淬后承载能力高，耐磨性好，韧性也好，可用于冲击载荷较大的传动 4.18CrMnTi淬后齿面耐磨而心部强韧，冲击韧性较高，淬火变形极小，切削性能良好，但淬透性差，适用于ϕ30以下的高速中载齿轮
渗氮钢	渗　氮	1.可以获得很高的表面硬度，具有很强的抗点蚀和耐磨损性能，心部具有较好的韧性，常用的是38CrMoAlA 2.热处理变形很小，可以不磨齿 3.硬化层很薄，在冲击载荷下易碎裂

表11-10-2　齿轮常用材料及其主要力学性能[13]



材料牌号	热处理或标准号	截面尺寸(mm)		力学性能		齿面硬度	
		直径	壁厚	σ_b	σ_s	HBS	HRC
		D	s	N/mm²	N/mm²		
铸铁							
HT250 HT300 HT350	GB5675—85			250 300 350		170～241 187～255 197～269	

（续）

材料牌号	热处理或标准号	截面尺寸(mm)		力学性能		齿面硬度	
		直径	壁厚	σ_b	σ_s	HBS	HRC
		D	s	N/mm^2	N/mm^2		
QT50-5	GB1348—78			490	343	147～241	
QT60-2				588	412	229～302	
QT70-2				686	481	231～304	
QT80-2				785	549	241～321	
QT120-1				1177	824		≥38
KTZ-450-06	GB5679—85			450	270	150～200	
KTZ-550-04				550	340	180～230	
KTZ-650-02				650	430	210～260	
KTZ-700-02				700	530	240～290	

铸钢

牌号	热处理或标准号	D	s	σ_b (N/mm^2)	σ_s或$\sigma_{0.2}$ (N/mm^2)	HBS	
ZG310-570	GB5676—85			570	310		
ZG340-640				640	340		
ZG35SiMn	正火、回火、(表淬)、调质、(表面淬火)			569	343	163～217	(45～53)
				637	412	197～248	
ZG42SiMn	正火、回火、(表淬)、调质(表面淬火)			588	373	183～217	(45～53)
				637	441	197～248	
ZG50SiMn	正火、回火			686	441	217～255	
ZG35CrMo	正火、回火、调质			588	392	179～241	
				686	539	179～241	
ZG35CrMnSi	正火、回火、调质			686	343	163～217	
				785	588	197～269	

调质钢

牌号	热处理	D (mm)	s (mm)	σ_b (N/mm^2)	σ_s (N/mm^2)	HBS	HRC
45	正火 或 正火、表面淬火	≤100 101～300 301～500 501～800	≤50 51～150 151～250 251～400	588 569 549 530	294 284 275 265	169～217 162～217 162～217 156～217	40～50
	调质 或 调质、表面淬火	≤100 101～300 301～500	≤50 51～150 151～250	647 628 608	373 343 314	229～286 217～255 197～255	
35SiMn	调质 或 调质、表面淬火	≤100 101～300 301～400 401～500	≤50 51～150 151～200 201～250	785 735 686 637	510 441 392 373	229～286 217～269 217～255 196～255	45～55

（续）

牌号	热处理	D (mm)	s (mm)	σ_b (N/mm²)	σ_s (N/mm²)	HBS	HRC
42SiMn	调质 或 调质、表面淬火	≤100 101～200 201～300 301～600	≤50 51～100 101～150 151～250	785 735 686 637	510 461 441 373	229～286 217～269 217～255 196～255	45～55
50SiMn	调质 或 调质、表面淬火	≤100 101～200 201～300	≤50 51～100 101～150	834 735 686	539 490 441	229～286 217～269 207～255	45～50
40MnB	调质或 调质、表面淬火	≤200 201～300	≤100 101～150	735 686	490 441	241～286 241～286	45～55
38SiMnMo	调质 或 调质、表面淬火	≤100 101～300 301～500 501～800	≤50 51～150 151～250 251～400	735 686 637 588	588 539 490 392	229～286 217～269 196～241 187～241	45～55
37SiMn2MoV	调质 或 调质、表面淬火	≤200 201～400 401～600	≤100 101～200 201～300	863 814 765	686 637 588	269～302 241～286 241～269	50～55
40Cr	调质 或 调质、表面淬火	≤100 101～300 301～500 501～800	≤50 51～150 151～250 251～400	735 686 637 588	539 490 441 343	241～286 241～286 229～269 217～255	48～55
35CrMo	调质	≤100 101～300 301～500 501～800	≤50 51～150 151～250 251～400	735 686 637 588	539 490 441 392	207～269 207～269 207～269 207～269	40～45

渗碳钢、渗氮钢

牌号	热处理	D (mm)	s (mm)	σ_b (N/mm²)	σ_s (N/mm²)	HBS	HRC
20Cr	渗碳(氮)、淬火、回火	≤60		637	392		渗碳56～62 渗氮53～60
20CrMnTi	渗碳(氮)、淬火、回火	15		1079	834		渗碳56～62 渗氮57～63
20CrMnMo	渗碳、淬火、回火 或 两次淬火、回火	15 ≤30 ≤100		1177 1079 834	883 786 490		28～33 渗碳56～62
38CrMoAlA	调质、渗氮	30		981	834	229	渗氮 HV>850
30CrMoSiA	调质、渗氮	100		1079	883	210～280	渗氮47～51

非金属材料

夹布胶木				981		25～35	

表11-10-3 齿轮工作齿面硬度及其组合的应用举例

齿面(组合)类型	齿轮种类	热处理		工作齿面硬度差	工作齿面硬度组合举例		备注
		小齿轮	大齿轮		小齿轮	大齿轮	
软齿面 HBS≤350	直齿	调质	正火	(20～25)≥(HBS_{1min} − HBS_{2max})>0	260～290HBS	180～210HBS	用于重载，中、低速固定式传动装置
			调质		270～300HBS	200～230HBS	
	斜齿和人字齿	调质	正火	(HBS_{1min} − HBS_{2max})≥(40～50)	240～270HBS	160～190HBS	
			正火		260～290HBS	180～210HBS	
			调质		270～300HBS	200～230HBS	
软硬齿面组合 HBS_1>350 HBS_2≤350	斜齿和人字齿	表面淬火	调质	齿面硬度差很大	40～45HRC	270～300HBS	用于冲击载荷和过载都不大的重载，中、低速固定式传动装置
						200～230HBS	
		渗碳渗氮	调质		56～62HRC	270～300HBS	
						200～230HBS	
硬齿面 HBS>350	直齿、斜齿和人字齿	表面淬火、渗碳、渗氮	表面淬火、渗碳	齿面硬度大致相同	45～50HRC	45～50HRC	用于传动尺寸受结构限制的场合和运输机器上的传动装置
					56～62HRC	56～62HRC	

注：1.重要齿轮的表面淬火应用高频淬火，模数较大时，应沿齿槽加热和淬火。

2.为了提高抗胶合能力，两啮合齿轮应采用不同牌号的钢材制造。

第11节 渐开线圆柱齿轮承载能力的验算

目前我国已经制订了有关圆柱齿轮承载能力计算的四个标准。

（1）GB3480—83《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》，包括齿面接触应力和轮齿弯曲应力及其静强度的校核。该标准是各部门和各行业制订齿轮承载能力方法的标准和规范的基准。

（2）GB10063—88《通用机械渐开线圆柱齿轮承载能力简化计算方法》，在验算齿面接触强度和齿根弯曲强度时，要求计算齿轮所传递的功率必须大于要求的当量功率。

（3）JB/Z358—89《金属切削机床渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》，规定了齿间疲劳强度、轮齿弯曲疲劳强度及其静强度的校核计算方法。

（4）GB6413—86《渐开线圆柱齿轮胶合承载能力计算方法》。

对于闭式传动齿轮，由于其齿面通常首先出现点蚀而失效，故以保证齿面接触疲劳强度为主；对于齿面硬度高，齿芯强度低的齿轮或材料较脆的齿轮，其失效形式往往是轮齿折断，故以保证齿根弯曲疲劳强度为主；对于高速大功率装置，如汽轮机的主传动齿轮，除需要按齿根弯曲疲劳强度和齿面接触疲劳强度计算外，还要进行齿面抗胶合能力的核算；对于高速重载闭式传动齿轮，发热量大，易于导致轮齿胶合破坏，还要作热平衡计算。

在设备修理、改造时，一般不作强度校核。如改变齿轮的原设计参数，如模数、齿形角、齿数、中心距时，则应按上述设计原则进行必要的校核。

（一）作用力计算

圆柱齿轮传动的作用力计算公式如表11-11-1所示。

（二）疲劳强度验算

圆柱齿轮疲劳强度验算公式如表11-11-2所示。

表11-11-2中的代号说明：

K_A——使用系数，是考虑由于啮合外部因素引起的动力过载影响的系数。减速齿轮装置的使用系数K_A见表11-11-3，透平齿轮传动装置的使用系数见表11-11-4。

K_V——动载系数，是考虑大、小齿轮啮合振动产生的内部附加动载荷影响的系数。主要因素有：①由基节和齿形误差产生的传动误差；②大小齿轮的质量（转动惯量）；③啮合刚度。K_V可由图

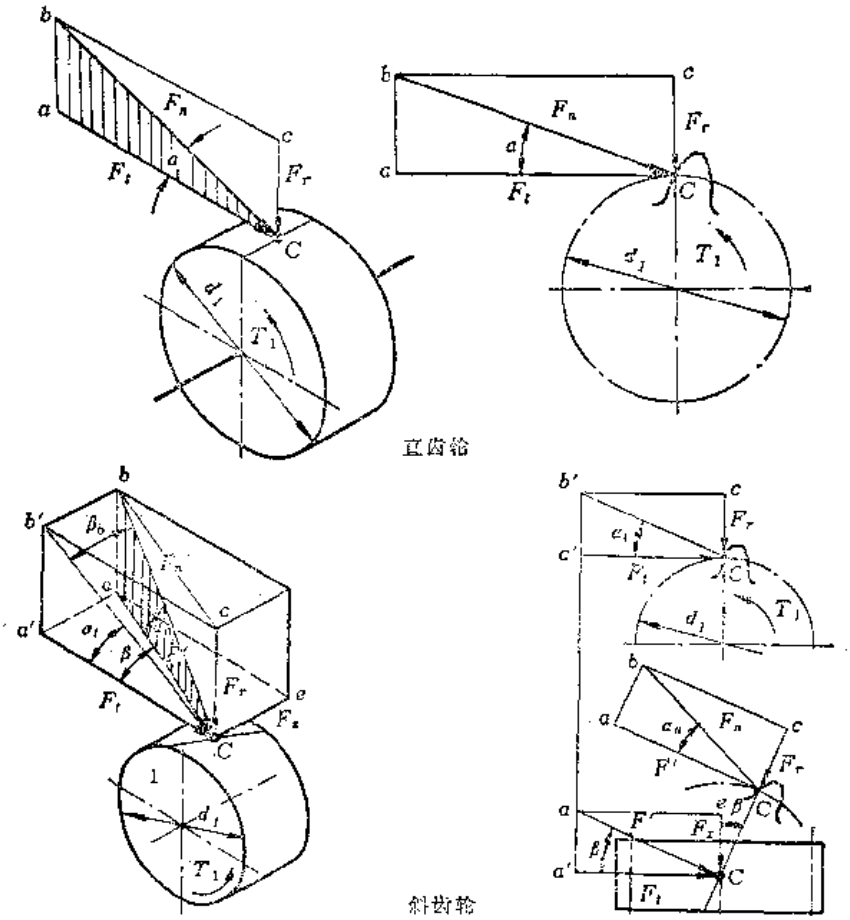
11-11-1、11-11-2查取。

$K_{H\alpha}$和$K_{F\alpha}$——分别为接触强度计算和弯曲强度计算的齿间载荷分配系数，是考虑同时啮合的各对轮齿间载荷分配不均匀的影响系数。$K_{H\alpha}$、$K_{F\alpha}$可由图11-11-3查取。

$K_{H\beta}$——接触强度计算的齿向载荷分布系数，是考虑沿齿宽方向载荷分布不均匀影响的系数。$K_{H\beta}$可按简化公式计算（表11-11-5），对于对称支承的齿轮装置，可由图11-11-5至图11-11-9查取。

$K_{F\beta}$——弯曲强度计算的齿向载荷分布系数。可按式$K_{F\beta}=(K_{H\beta})^N$计算或由图11-11-10查取。对于$3<(b/h)\leqslant 12$范围内的对称布置齿轮，可由图11-11-5至图11-11-9查取。式中的幂指数$N=\dfrac{(b/h)^2}{1+(b/h)+(b/h)^2}$，$b$为齿宽，对人字齿轮或双斜齿轮，用单个斜齿轮的齿宽；h为齿高。

表11-11-1　圆柱齿轮传动的作用力计算公式



作用力	直齿轮	斜齿轮	人字齿轮
名义转矩T （N·m）	当传动功率P以kW计时：$T=\dfrac{9549P}{n}$ 当传动功率P以PS计时：$T=\dfrac{7024P}{n}$ 式中 n——齿轮转速（r/min）		
分度圆上名义切向力（圆周力）F_t(N)	$F_t=\dfrac{2000T}{d}$ (N) 式中 d——分度圆直径(mm)		

（续）

作用力	直齿轮	斜齿轮	人字齿轮
沿啮合线方向垂直于齿面的正压力（法向力）F_n（N）	$F_n=\frac{F_t}{\cos\alpha}$	$F_n=\frac{F_t}{\cos\alpha_n\cos\beta}$	
径向力F_r（N）	$F_r=F_t\operatorname{tg}\alpha$	$F_r=F_t\operatorname{tg}\alpha_t=F_t\frac{\operatorname{tg}\alpha_n}{\cos\beta}$	
轴向力F_x（N）		$F_x=F_t\operatorname{tg}\beta$	
作用力的方向	主动轮上的法向力F_n和切向力F_t，方向与齿轮转动的方向相反，从动轮的方向则相同 在齿轮上，其力矩方向与所受的切向力相同，而在齿轮轴上，其力矩方向与齿轮上的力矩方向相同，且数值相等		

注：径向力F_r分别指向各轮的轮心（对内齿轮则自啮合点指向远离轮心的方向）。

表11-11-2 圆柱齿轮疲劳强度验算公式（GB3480—83）

项目	齿面接触强度	轮齿弯曲强度
载荷系数	$K=K_AK_VK_{H\alpha}K_{H\beta}$	$K=K_AK_VK_{F\alpha}K_{F\beta}$
计算应力（N/mm²）	$\sigma_H=Z_EZ_HZ_\varepsilon Z_\beta\sqrt{\frac{KF_t}{bd_1}\frac{u\pm1}{u}}\leqslant\sigma_{HP}$	载荷作用于齿顶时，用于$\varepsilon_\alpha<2$的传动 $\sigma_F=\frac{KF_t}{bm_n}Y_{Fa}Y_{Sa}Y_\beta Y_\varepsilon\leqslant\sigma_{FP}$ 载荷作用于单齿对啮合区上界点时，用于$2<\varepsilon_\alpha<3$的传动，精度较高的齿轮 $\sigma_P=\frac{KF_t}{bm_n}Y_FY_SY_\beta\leqslant\sigma_{FP}$
许用应力（N/mm²）	$\sigma_{HP}=\frac{\sigma_{H\lim}}{S_{H\min}}Z_NZ_LZ_VZ_RZ_W$	$\sigma_{FP}=\frac{\sigma_{F\lim}}{S_{F\min}}Y_{ST}Y_{NT}Y_{\delta relT}Y_{RrelT}Y_X$

注：1.表中公式适用于直齿、斜齿圆柱齿轮，也可用于变位齿轮。

2.公式中的“±”号，“+”号用于外啮合，“−”号用于内啮合。

3.b为工作齿宽，指一对齿轮中的较小齿宽（mm）；d_1为小齿轮分度圆直径（mm）；u为齿数比，$u=z_2/z_1$。

4.σ_{HP}和σ_{FP}许用应力对大、小齿轮应分别计算。

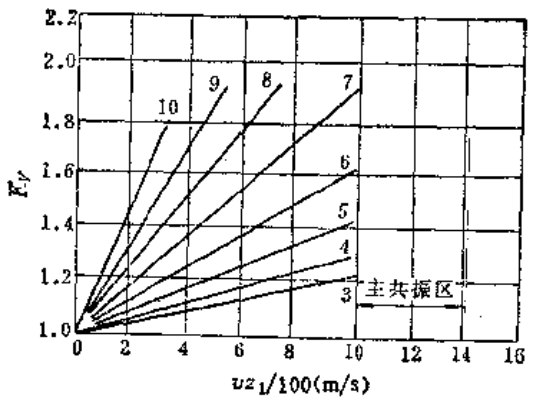


图11-11-1 3～10级精度（第Ⅱ公差组精度）直齿轮的动载系数K_V

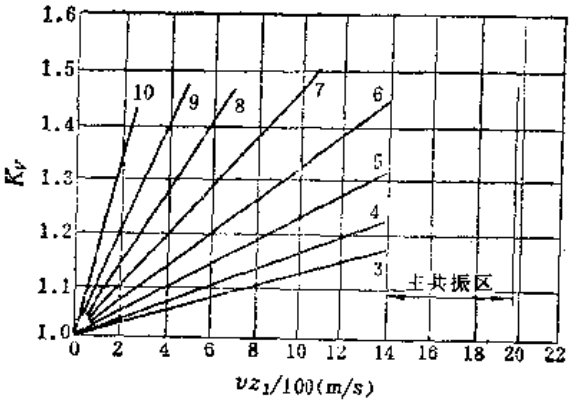


图11-11-2 3～10级精度（第Ⅱ公差组精度）斜齿轮的动载系数K_V

表11-11-3 减速齿轮装置的使用系数K_A（GB3480—83）

原动机工作特性及其示例	从动机械工作特性及其示例		
	均匀平稳	中等振动	严重冲击
	如发电机、皮带输送机、板式输送机、螺旋输送机、轻型升降机、电葫芦、机床进给机构、通风机、透平鼓风机、透平压缩机、均匀密度材料搅拌机	如机床主传动、重型升降机、起重机回转机构、矿山通风机、非均匀密度材料搅拌机、多缸柱塞泵、进料泵	如冲床、剪床、橡胶压轧机、轧机、挖掘机、重型离心机、重型进料泵、旋转钻机、压坏机、挖泥机
均匀平稳 如电动机、蒸气轮机	1.00	1.25	1.75或更大
轻微振动 如多缸内燃机	1.25	1.50	2.00或更大
中等振动 如单缸内燃机	1.50	1.75	2.25或更大

注：1.表中数值仅适用于在非共振速度区运转的齿轮装置。

2.对于增速传动，根据经验建议取表值的1.1倍。

3.当外部与齿轮装置之间有挠性连接时，通常K_A值可适当减小。

表11-11-4 透平齿轮传动装置的使用系数K_A

（GB8542—87）

被驱动设备		驱动机		
		电机	汽轮机、燃气轮机	内燃机
离心式鼓风机		1.4	1.5	1.7
压缩机	离心式	1.4	1.6	1.7
	轴流式	1.4	1.6	1.7
通风机	离心式	1.4	1.6	1.7
	强制通风	1.4	1.6	1.7
	引风	1.7	2.0	2.2
	工业及矿山（大型并启动频繁）	1.7	2.0	2.2
发电机及励磁机	基本负荷或持续负荷		1.1	
	尖峰负荷		1.3	
泵	锅炉给水用离心泵	1.7	2.0	
	热油离心泵	1.7	2.0	
	高速离心泵（>3600r/min）	1.7	2.0	
	供水离心泵	1.5	1.7	2.0
	轴流泵	1.5	1.5	1.8
除上述用离心泵外其它用途的离心泵		1.3	1.5	1.7

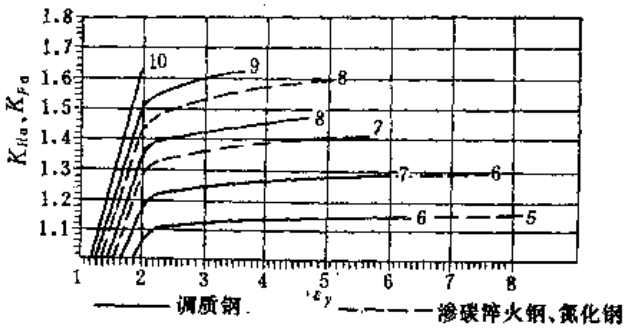


图11-11-3 5～10级精度（第Ⅱ公差组）齿间载荷分配系数$K_{H\alpha}$、$K_{F\alpha}$

适用于单位齿宽载荷 $200N/mm \leqslant \left(\frac{F_t}{b}\right) \leqslant 450N/mm$ 的常规齿轮

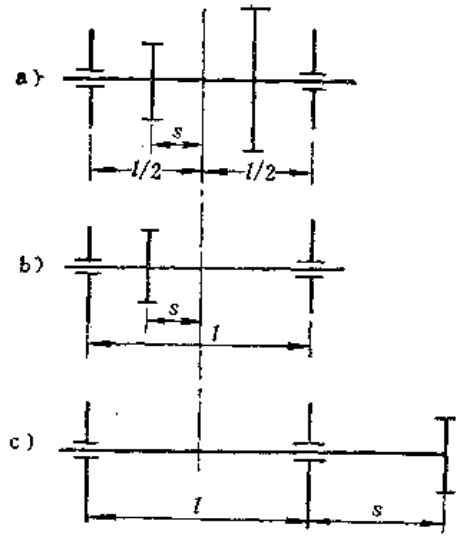


图11-11-4 结构布局图

a）对称支承 b）非对称支承 c）悬臂支承

表11-11-5 接触强度计算的齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$的简化计算式（GB3480—83）

有无调整	精度等级（第Ⅱ公差组）	结构布局及限制条件		
		对称支承 $\left(\frac{s}{l}\leqslant 0.1\right)$	非对称支承 $\left(0.1<\frac{s}{l}\leqslant 0.3\right)$	悬臂支承 $\left(\frac{s}{l}\leqslant 0.3\right)$
装配时不作检验调整	5	$1.135+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.23\times10^{-3}\times b$	$1.135+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.23\times10^{-3}\times b$	$1.135+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.23\times10^{-3}\times b$
	6	$1.15+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.3\times10^{-3}\times b$	$1.15+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.3\times10^{-3}\times b$	$1.15+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.3\times10^{-3}\times b$
	7	$1.17+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.47\times10^{-3}\times b$	$1.17+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.47\times10^{-3}\times b$	$1.17+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.47\times10^{-3}\times b$
	8	$1.23+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.61\times10^{-3}\times b$	$1.23+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.61\times10^{-3}\times b$	$1.23+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.61\times10^{-3}\times b$
	9	$1.33+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+1.05\times10^{-3}\times b$	$1.33+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+1.05\times10^{-3}\times b$	$1.33+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+1.05\times10^{-3}\times b$
装配时检验调整或对研跑合	5	$1.10+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.115\times10^{-3}\times b$	$1.10+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.115\times10^{-3}\times b$	$1.10+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.115\times10^{-3}\times b$
	6	$1.11+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.15\times10^{-3}\times b$	$1.11+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.15\times10^{-3}\times b$	$1.11+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.15\times10^{-3}\times b$
	7	$1.12+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.23\times10^{-3}\times b$	$1.12+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.23\times10^{-3}\times b$	$1.12\times1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.23\times10^{-3}\times b$
	8	$1.15+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.31\times10^{-3}\times b$	$1.15+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.31\times10^{-3}\times b$	$1.15\times1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.31\times10^{-3}\times b$
	9	$1.2+0.18\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.53\times10^{-3}\times b$	$1.2+0.36\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.53\times10^{-3}\times b$	$1.2+1.1\left(\frac{b}{d_1}\right)^2+0.53\times10^{-3}\times b$

Z_E——弹性系数（材料系数），是考虑材料弹性模量E和泊桑比ν对赫兹应力的影响。Z_E按表11-11-6选取。

Z_H——节点区域系数，是考虑节点处齿廓曲率对接触应力的影响。Z_H可按表11-11-7中的公式进行计算，也可由图11-11-11查取。

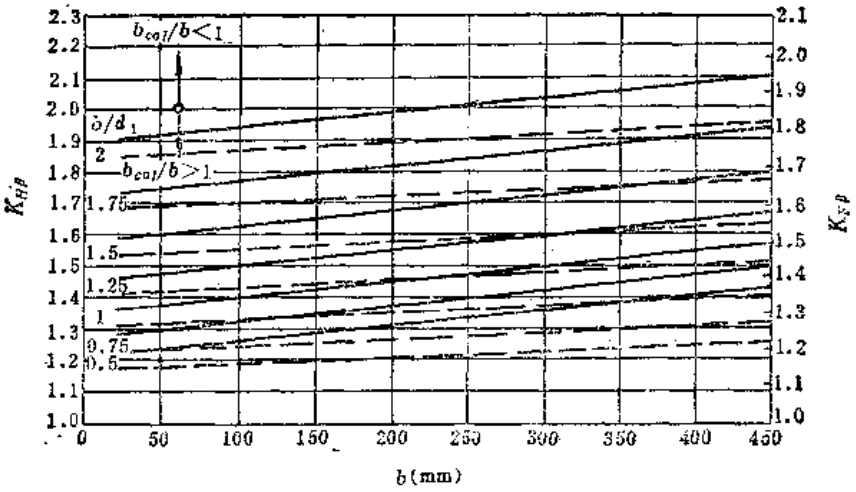


图11-11-5　5级精度齿轮的齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$、$K_{F\beta}$

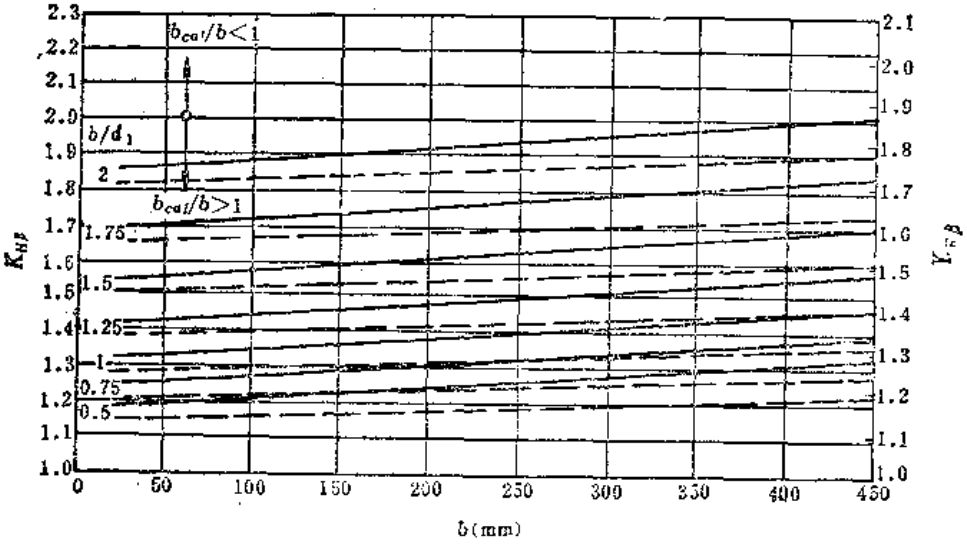


图11-11-6　6级精度齿轮的齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$、$K_{F\beta}$

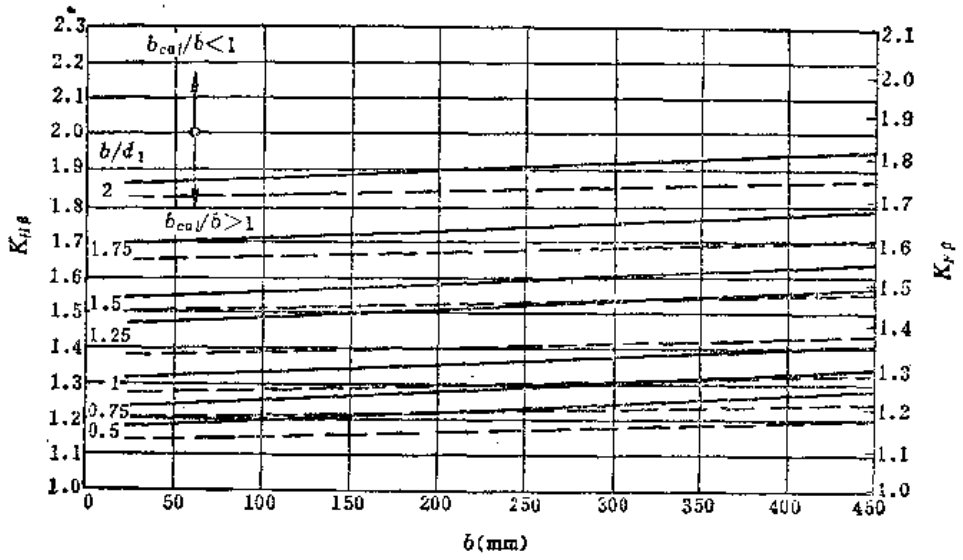


图11-11-7　7级精度齿轮的齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$、$K_{F\beta}$

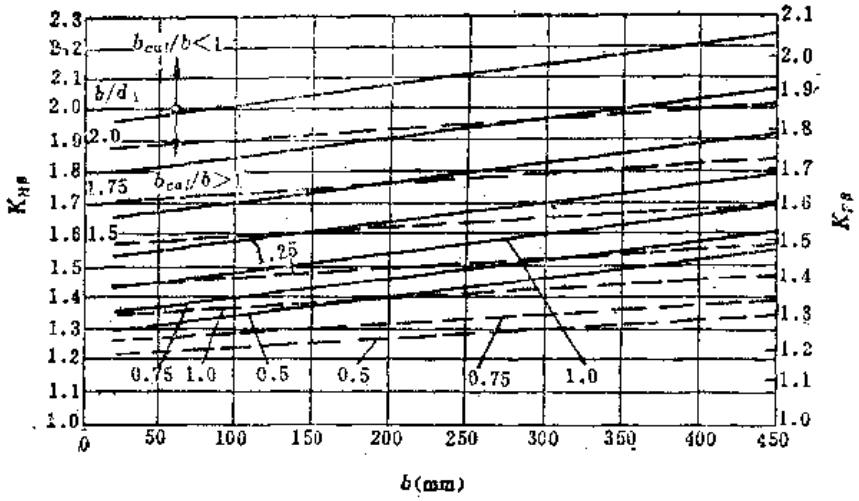


图11-11-8　8级精度齿轮的齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$、$K_{F\beta}$

表11-11-6　弹性系数（材料系数）Z_E

小齿轮材料		钢	铸钢	球墨铸铁	灰铸铁
弹性模量E_1（N/mm²）		206×10^3	202×10^3	173×10^3	$(118\sim126)\times10^3$
大齿轮		弹性系数$Z_E(\sqrt{N/mm^2})$			
材料	E_2(N/mm²)				
钢	206×10^3	189.8			
铸钢	202×10^3	188.9	188		
球墨铸铁	173×10^3	181.4	180.5	173.9	
灰铸铁	$(118\sim126)\times10^3$	162～165.4			
灰铸铁	118×10^3		161.4	156.6	143.7～146
铸锡青铜	103×10^3	155			
锡青铜	113×10^3	159.8			
铸铝铁青铜	105×10^3	156			
织物层压塑料	平均7850	56.4			
计算公式		$Z_E=\sqrt{\dfrac{1}{\pi\left(\dfrac{1-\nu_1^2}{E_1}+\dfrac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)}}$　　ν_1、ν_2——泊桑比			

注：表值按$\nu_1=\nu_2=0.3$计算，只有织物层压塑料例外（$\nu=0.5$平均）。

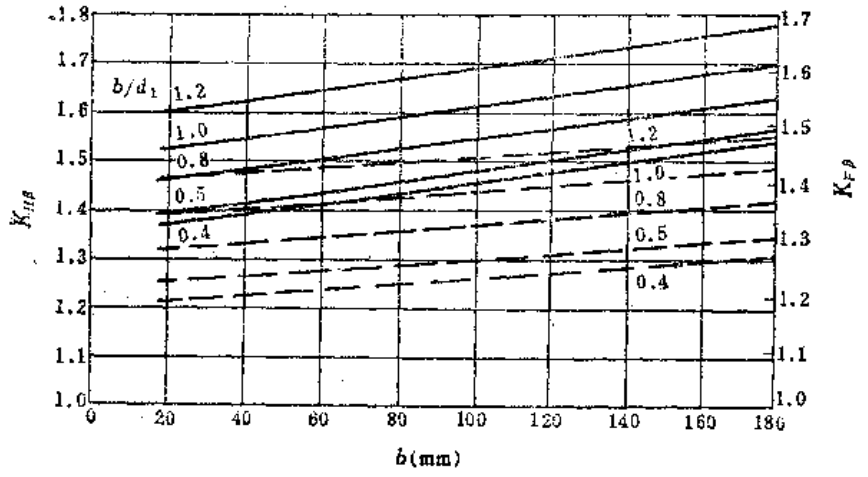


图11-11-9　9级精度齿轮的齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$、$K_{F\beta}$

表11-11-7　与接触强度有关的系数计算公式（GB3840—83）

系数	直齿轮	斜齿轮	
		$\varepsilon_\beta<1$	$\varepsilon_\beta\geqslant1$
Z_H	$Z_H=\dfrac{1}{\cos\alpha}\sqrt{\dfrac{2}{\mathrm{tg}\alpha'}}$ 式中 $\alpha'=\arccos\mathrm{inv}\left[\mathrm{inv}\alpha+\dfrac{2(x_2\pm x_1)\mathrm{tg}\alpha}{z_2\pm z_1}\right]$	$Z_H=\dfrac{1}{\cos\alpha_t}\sqrt{\dfrac{2\cos\beta_b}{\mathrm{tg}\alpha_t'}}$ 式中 $\alpha_t=\arctg\left(\dfrac{\mathrm{tg}\alpha_n}{\cos\beta}\right)$ $\beta_b=\arctg(\mathrm{tg}\beta\cos\alpha_t)$ $\alpha_t'=\arccos\mathrm{inv}\left[\mathrm{inv}\alpha_t+\dfrac{2(x_2\pm x_1)}{z_2\pm z_1}\mathrm{tg}\alpha_n\right]$	
Z_ε	$Z_\varepsilon=\sqrt{\dfrac{4-\varepsilon_\alpha}{3}}$ 式中 $\varepsilon_\alpha=\dfrac{0.5(\sqrt{d_{a1}^2-d_{b1}^2}\pm\sqrt{d_{a2}^2-d_{b2}^2})\mp a'\sin\alpha'}{\pi m\cos\alpha}$	$Z_\varepsilon=\sqrt{\dfrac{4-\varepsilon_\alpha}{3}(1-\varepsilon_\beta)+\dfrac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_\alpha}}$ 式中 $\varepsilon_\alpha=\dfrac{0.5(\sqrt{d_{a1}^2-d_{b1}^2}\pm\sqrt{d_{a2}^2-d_{b2}^2})\mp a'\sin\alpha_t'}{\pi m_t\cos\alpha_t}$ $\varepsilon_\beta=\dfrac{b\sin\beta}{\pi m_n}$	$Z_\varepsilon=\sqrt{\dfrac{1}{\varepsilon_\alpha}}$
Z_β	$Z_\beta=1$	$Z_\beta=\sqrt{\cos\beta}$	
Z_W	小齿轮硬齿面粗糙度$R_a\leqslant1\mu m$或$R_z\leqslant6\mu m$ 大齿轮齿面硬度130～400HBS $Z_W=1.2-\dfrac{HBS-130}{1700}$		其它情况 $Z_W=1$

Z_ε——重合度系数，是考虑重合度对单位齿宽载荷的影响。可按表11-11-7中的公式进行计算，也可由图11-11-12查取。

Z_β——螺旋角系数，是考虑螺旋角造成的接触线倾斜对接触应力产生影响的系数。Z_β可按表11-11-7中的公式进行计算或由图11-11-13查取。

Z_N——寿命系数，是用以考虑当齿轮只要求有限寿命（$N_L<2\times10^6\sim10^9$，视材料而异）时，齿轮的许用应力可以提高的系数。N_L为齿轮的实际应力循环次数，$N_L=60nvt$，式中n为齿轮转速（r/min）；v为齿轮每转一周时，同一齿面的啮合次数；t为齿轮的工作寿命（h）。对于变载荷下工作的齿轮，在已知载荷图时，N_L应取其当量循环次数。Z_N可由图11-11-14查取。

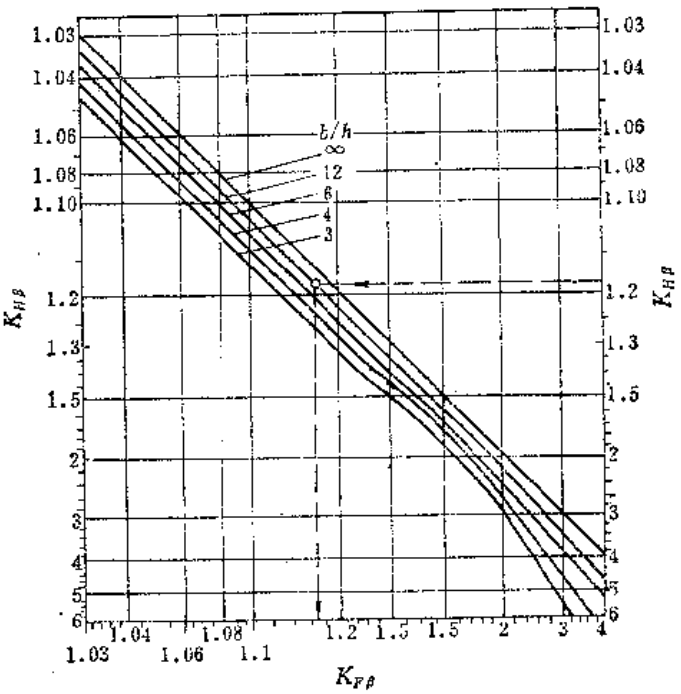


图11-11-10 弯曲强度计算的齿向载荷分布系数$K_{F\beta}$

Z_L——润滑剂系数，是考虑润滑油粘度对齿面承载能力的影响。Z_L由图11-11-15查取。

Z_V——速度系数，可由图11-11-16查得。

Z_R——粗糙度系数，当所计算的齿轮要求持久寿命时（$N_L>2\times10^6\sim5\times10^7$，视材料而异），可由图11-11-17查得。

Z_W——工作硬化系数，用以考虑经光整加工的硬齿面小齿轮在运转过程中对调质钢大齿轮齿面产生冷作硬化，从而使大齿轮的许用接触应力得到提高的系数。Z_W可由表11-11-7中的公式进行计算或由图11-11-18查取。

$\sigma_{H\lim}$——接触疲劳极限，是指某种材料的齿轮经长期持续的重复载荷作用后（通常不少于50×10^6次）齿面保持不破坏时的极限应力，可根据材料和齿面硬度由图11-11-19查取。

$S_{H\min}$和$S_{F\min}$——分别为接触强度和弯曲强度的最小安全系数，见表11-11-8。

Y_F、Y_{Fa}——齿形系数，是用以考虑齿形对名义弯曲应力的影响。以过齿廓根部左右两过渡曲线与30°切线相切点的截面作为危险截面计算。外齿轮的Y_F、Y_{Fa}系数计算公式见表11-11-9，外齿轮的Y_{Fa}可按图11-11-20查取；内齿轮的Y_{Fa}按表11-11-10查取。

Y_S、Y_{Sa}——应力修正系数，是将名义弯曲应

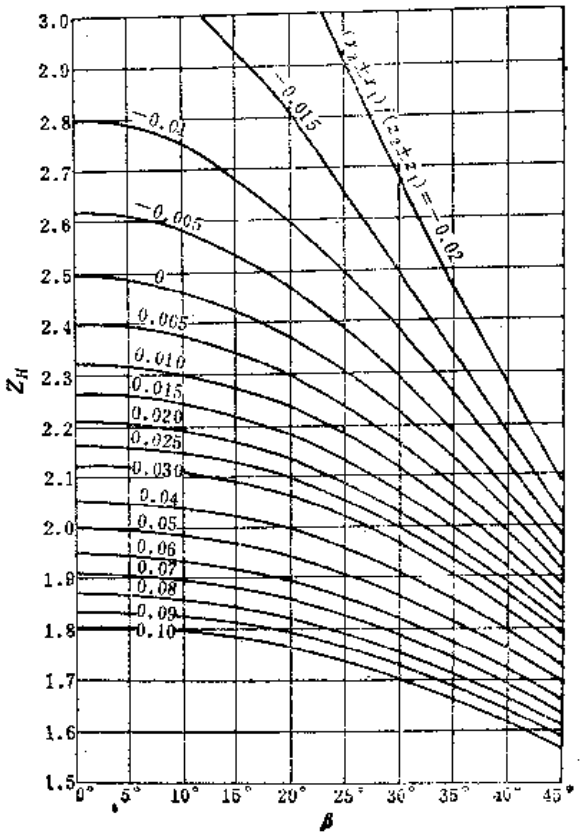


图11-11-11 $\alpha_n=20°$时的节点区域系数Z_H

力换算成齿根局部应力的系数。外齿轮的Y_{Sa}系数由图11-11-21查取；内齿轮的Y_{Sa}由表11-11-10查取。

Y_β——螺旋角系数，按表11-11-11中的公式计算或由图11-11-22查取。

Y_ε——重合度系数，按表11-11-11中的公式计算。

Y_{ST}——应力修正系数，按表11-11-11取值。

Y_{NT}——寿命系数，由图11-11-23查取。

$Y_{\delta relT}$——相对齿根圆角敏感系数。持久寿命时的$Y_{\delta relT}$由图11-11-24查取。

Y_{RrelT}——相对齿根表面状况系数。持久寿命时的Y_{RrelT}由图11-11-25查取。

Y_X——尺寸系数，是考虑尺寸增大（$m_n>5$ mm）时材料强度降低的尺寸效应。持久寿命的Y_X由图11-11-26查取。

σ_{Flim}——弯曲疲劳强度，是指某种材料的齿轮经长期持续的重复载荷作用后（至少3×10^6次）齿根保持不破坏时的极限应力。σ_{Flim}可根据材料和齿面硬度由图11-11-27查取。

图11-11-1和11-11-2的适用范围：

（1）厚轮缘的钢质齿轮；

（2）单位齿宽载荷（F_t/b）>150N/mm；

（3）小齿轮齿数$z_1<50$；

（4）在亚临界速度区工作，即对斜齿轮

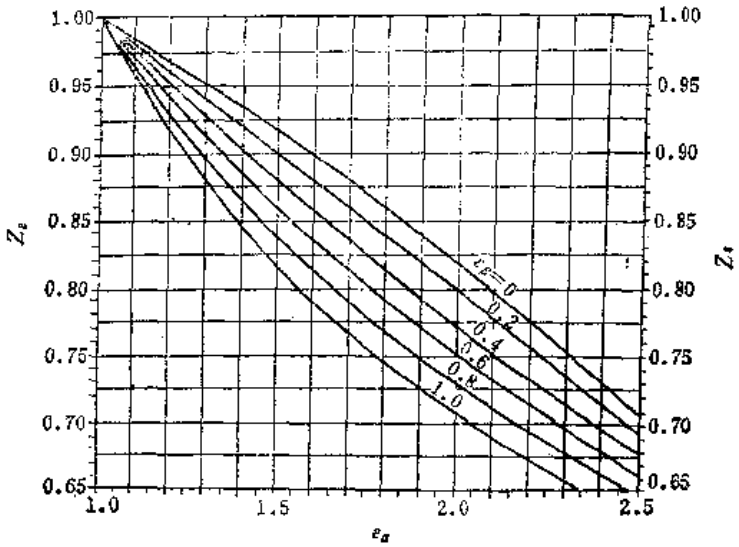


图11-11-12 重合度系数Z_ε

$\varepsilon_\beta\geqslant1$时，按表11-11-7计算$Z_\varepsilon$

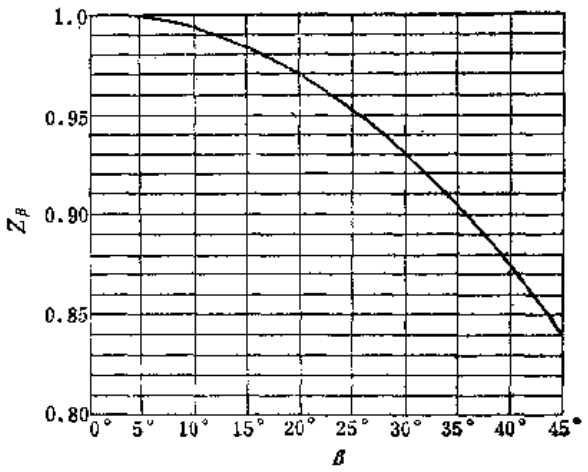


图11-11-13 螺旋角系数Z_β

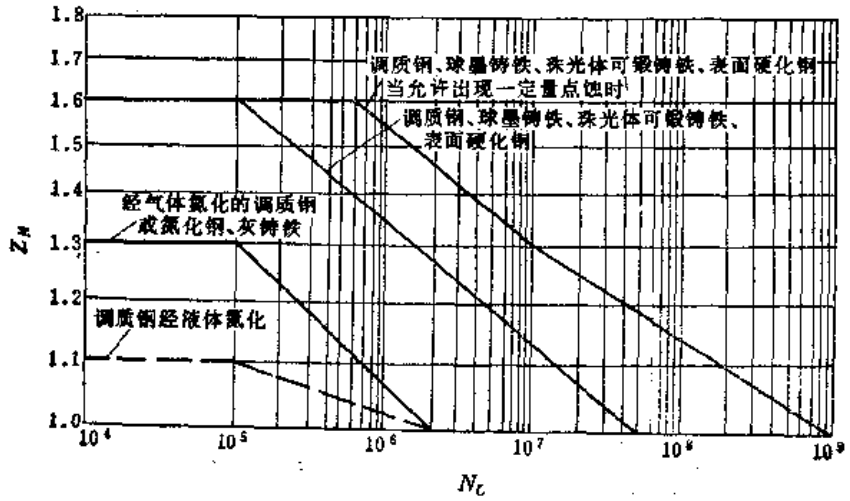


图11-11-14 寿命系数Z_N

适用于$N_L<2\times10^6\sim10^9$（视材料而定），大于此值时，则$Z_N=1$

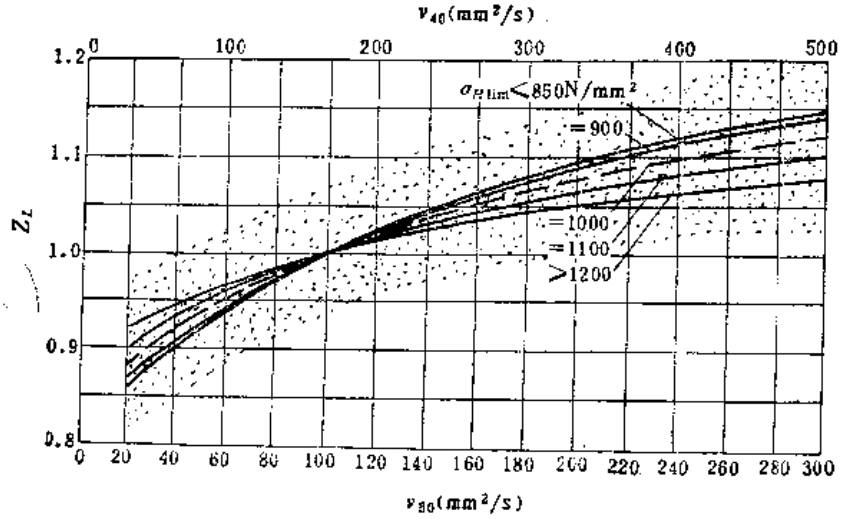


图11-11-15 润滑剂系数Z_L

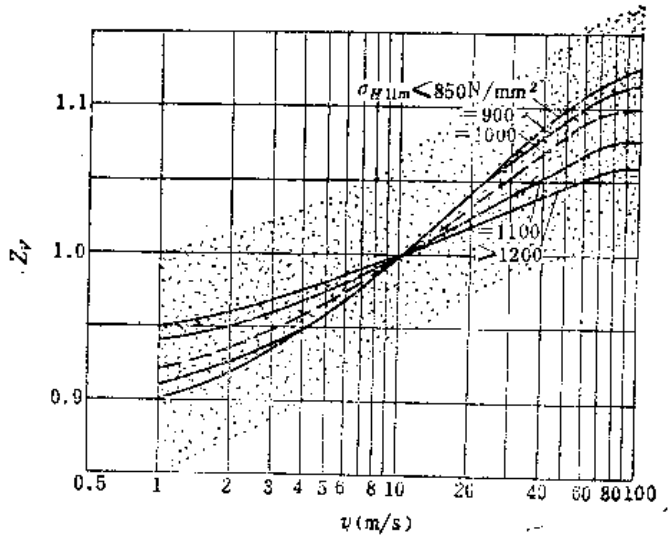


图11-11-16 速度系数Z_V

v—节点线速度

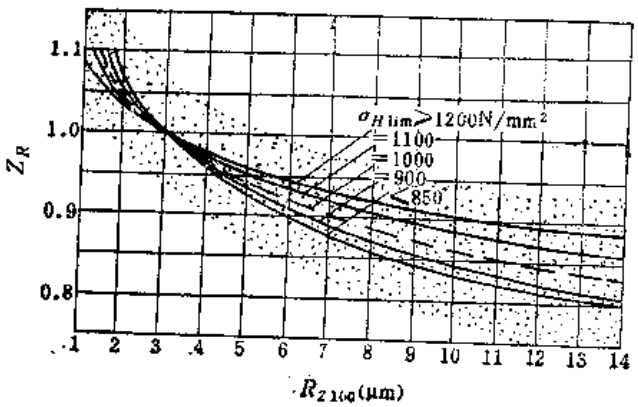


图11-11-17 粗糙度系数Z_R

R_{z100}—相对平均粗糙度

$$R_{z100}=\frac{R_{z1}+R_{z2}}{2}\sqrt[3]{\frac{100}{a}}$$

R_{z1}，R_{z2}—小、大齿轮的齿面平均粗糙度（μm），$R_z\approx 6R_a$

a—中心距（mm）

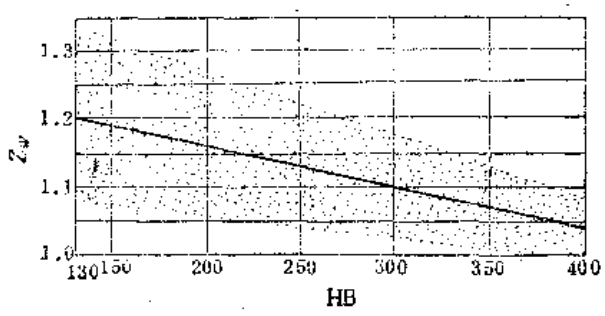
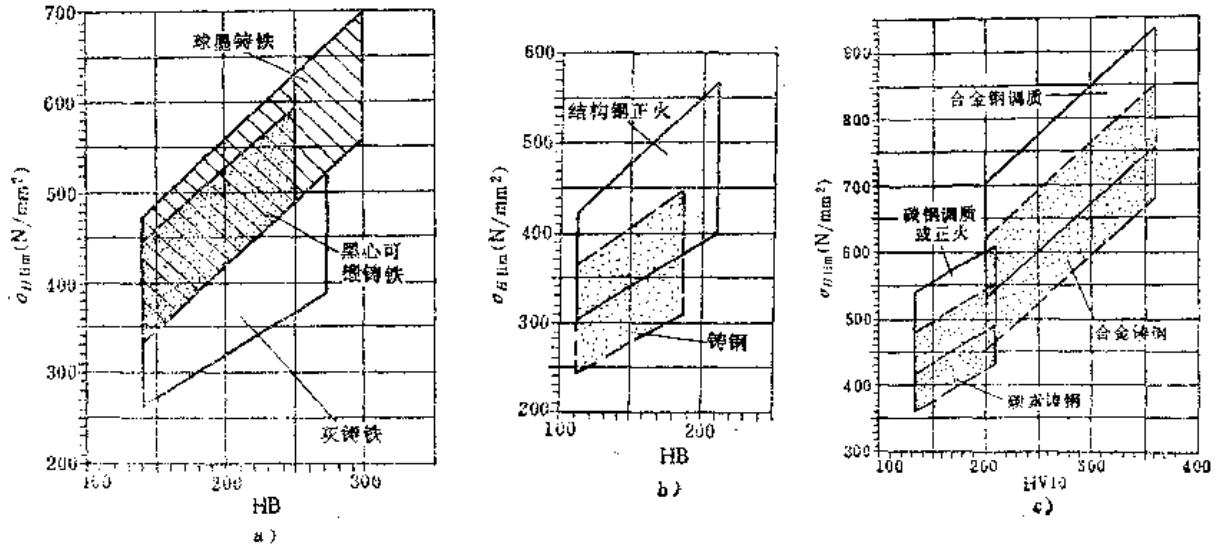


图11-11-18 工作硬化系数Z_W
适用于小齿轮齿面粗糙度$R_a \leqslant 1\mu m$，大齿轮硬度HB130～400

表11-11-8 最小安全系数S_{Hmin}、S_{Fmin}
(GB3480—83)

使用要求	S_{Hmin}、S_{Fmin}
极高可靠度（失效概率<1/10000）	1.50
高可靠度(失效概率<1/1000)	1.25
一般可靠度(失效概率<1/100)	1.00
低可靠度(失效概率<1/10)	0.85



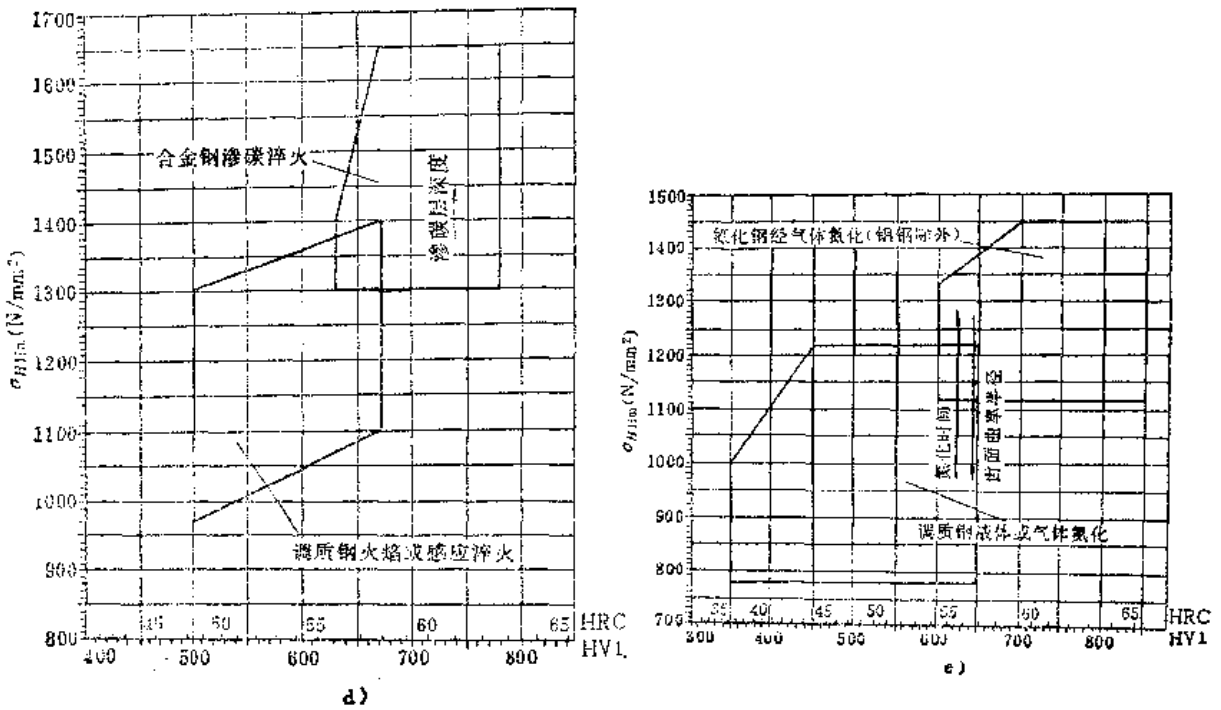


图11-11-19 接触疲劳极限σ_{Hlim}
验算时一般取用图中的中间值或下限值
a）铸铁 b）正火结构钢和铸钢 c）调质钢 d）表面硬化钢 e）氮化钢

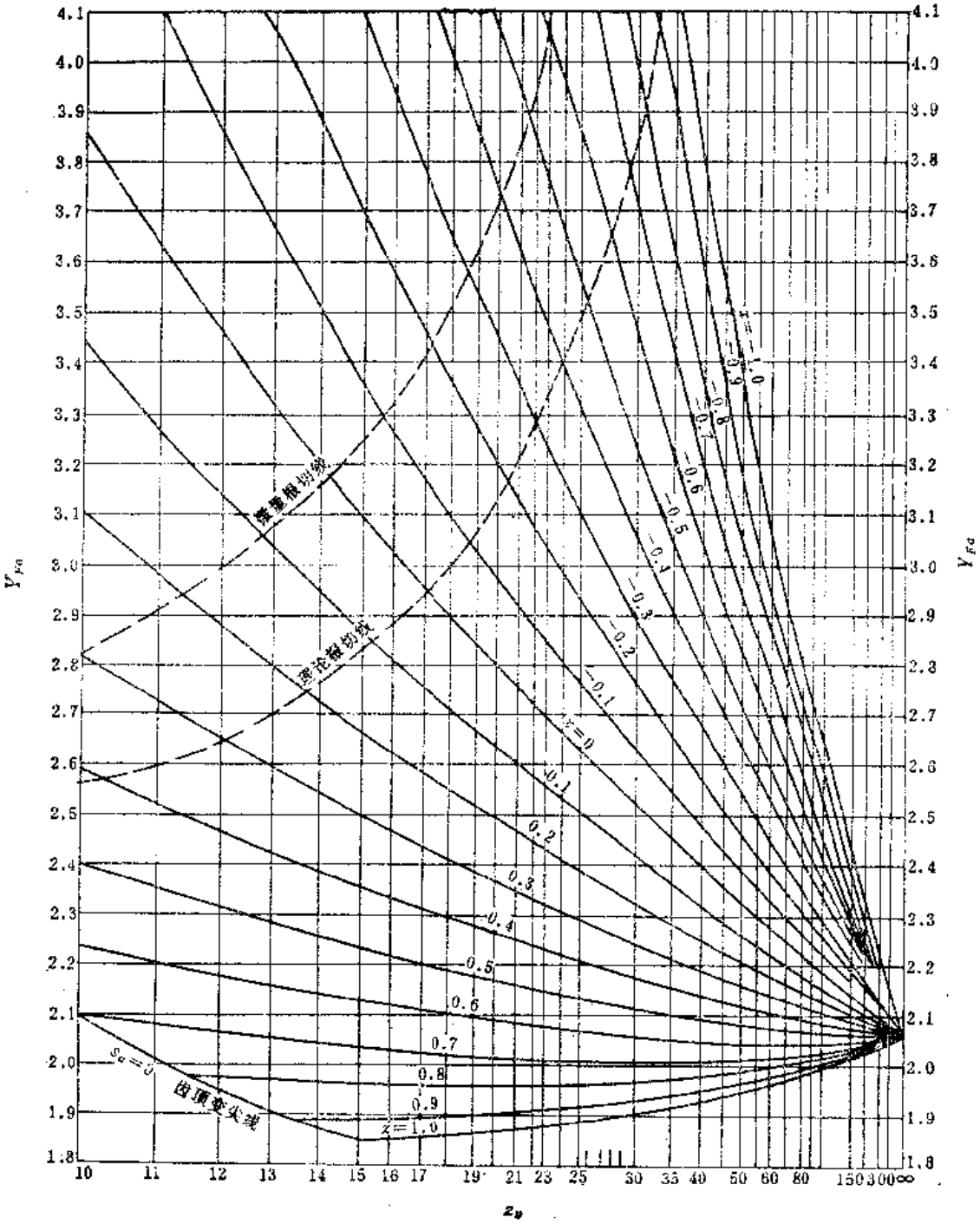


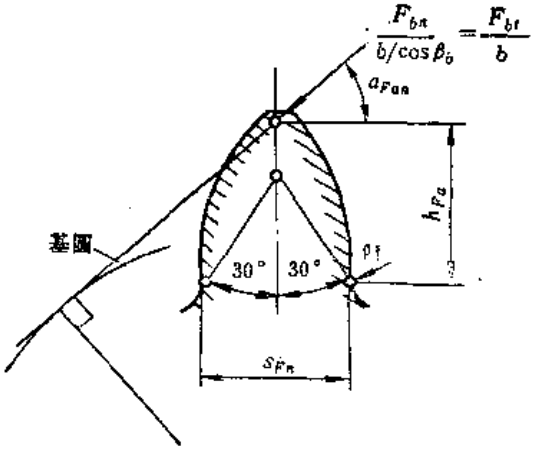
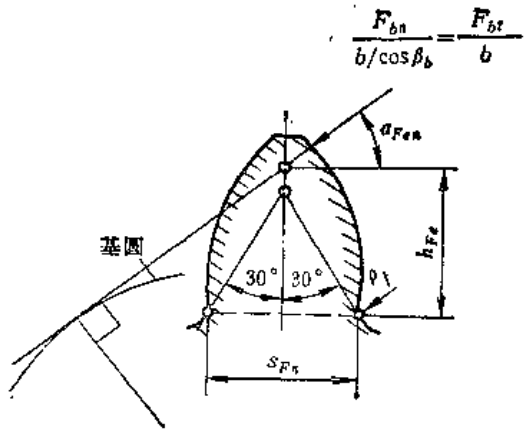
图11-11-20 外齿轮齿形系数Y_{Fa}[13]

$\alpha_n=20°$，$h_a/m_n=1$，$h_{a0}/m_n=1.25$，$\rho_{a0}/m_n=0.38$

对于斜齿轮，图中x用x_n来代替

$$z_v=\frac{z}{\cos^2\beta_b\cos\beta}$$

表11-11-9　外齿轮齿形系数的计算公式（GB3480—83）

载荷作用于齿顶时	载荷作用于单齿对啮合区上界点时
	
$Y_{Fa}=\dfrac{6\left(\frac{h_{Fa}}{m_n}\right)\cos\alpha_{Fan}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n}\right)^2\cos\alpha_n}$	$Y_F=\dfrac{6\left(\frac{h_{Fe}}{m_n}\right)\cos\alpha_{Fen}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n}\right)^2\cos\alpha_n}$

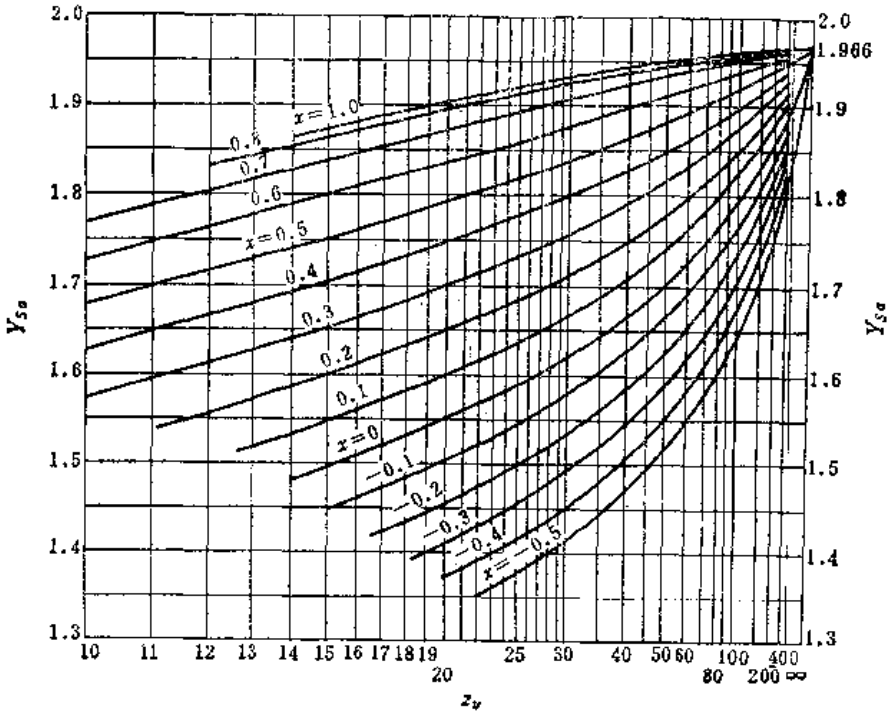


图11-11-21　外齿轮应力修正系数Y_{Sa}

$\alpha_n=20°$，$h_a/m_n=1$，$h_{a0}/m_n=1.25$，$\rho_{a0}/m_n=0.38$

$$z_v=\frac{z}{\cos^2\beta_b\cos\beta}$$

表11-11-10 内齿轮的齿形系数Y_{Fa}和应力修正系数Y_{Sa}（GB3480—83）

基本齿廓				齿形系数	应力修正系数
α_n	h_a/m_n	h_{a0}/m_n	ρ_{a0}/m_n	Y_{Fa}	Y_{Sa}
20°	1	1.25	0.38	2.055	2.458
20°	1	1.25	0.3	2.055	2.458
20°	1	1.4	0.4	2.214	2.057
20°	0.8	1.1	0.46	1.828	2.459
22.5°	1	1.25	0.4	1.876	2.499
25°	1	1.2	0.35	1.73	2.728

$(vz_1/100)<14$，对直齿轮 $(vz_1/100)<10$；对于 $(vz_1/100)<3$ m/s 的所有齿轮；

（5）对斜齿轮，若$\varepsilon_\beta<1$，则：

$$K_V = K_{Va} - \varepsilon_\beta(K_{Va} - K_{V\beta})$$

式中 ε_β——纵向重合度；

表11-11-11 与弯曲强度有关的系数计算公式（GB3480—83）

系数	计算公式
Y_β	$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120°} \geqslant Y_{\beta min}$ 当$\varepsilon_\beta>1$时，按$\varepsilon_\beta=1$计算 $Y_{\beta min} = 1 - 0.25\varepsilon_\beta \geqslant 0.75$ 当$Y_\beta<0.75$时，取$Y_\beta=0.75$
Y_ε	$Y_\varepsilon = 0.25 + \frac{0.75}{\varepsilon_\alpha}$ 适用于$1<\varepsilon_\alpha\leqslant 2$的齿轮副
Y_{ST}	如采用GB3480—83中的σ_{Flim}（图11-11-27）计算时，取$Y_{ST}=2$

K_{Va}——由图11-11-1直齿查得的K_V；

$K_{V\beta}$——由图11-11-2斜齿查得的K_V；

v——节点线速度（m/s）。

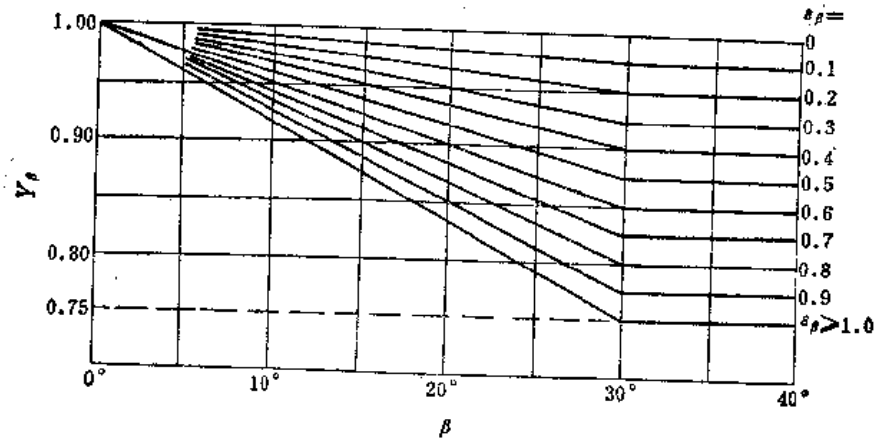


图11-11-22 螺旋角系数Y_β

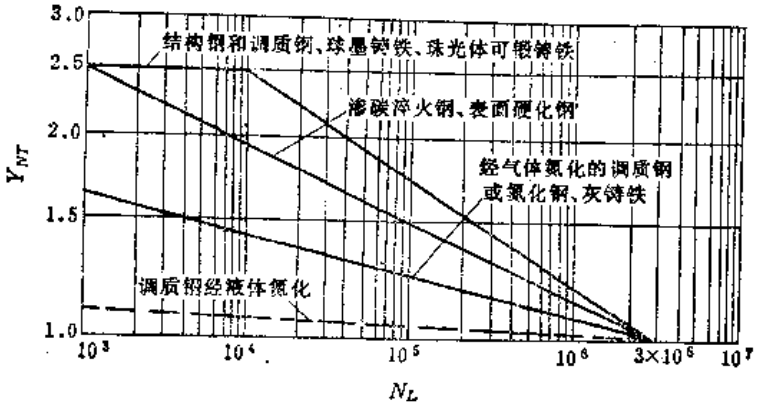


图11-11-23 寿命系数Y_{NT}

适用于$N_L<3\times10^6$，当$N_L>3\times10^6$时，则$Y_{NT}=1$

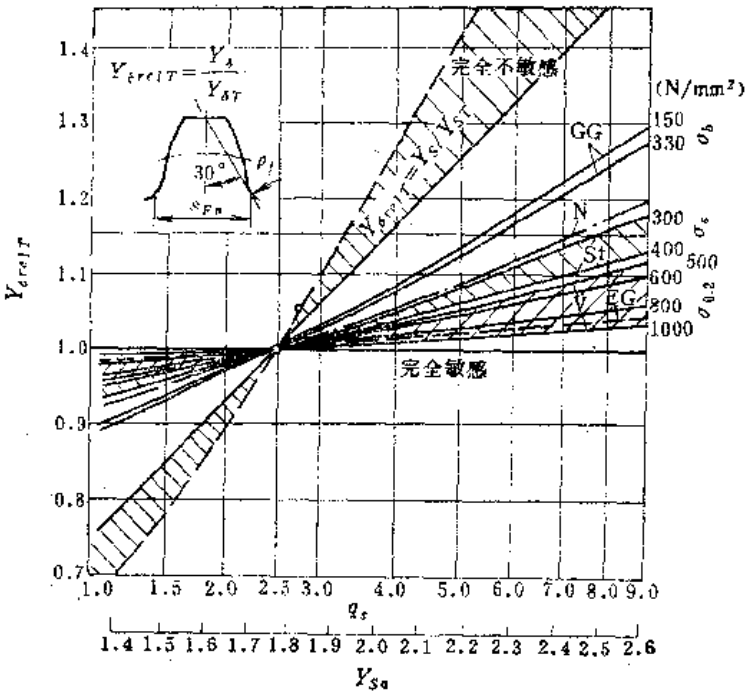


图11-11-24 持久寿命时的相对齿根圆角敏感系数$Y_{\delta relT}$

GG—灰铸铁 V—调质钢 EG—渗碳淬火钢 St—软钢 N—气体与液体氮化的调质钢

Y_{Sa}—当$S_{Fn}/h_{Fe}\approx1.1$时的数值 q_s—齿根圆角参数 $q_s=S_{Fn}/2\rho_f$

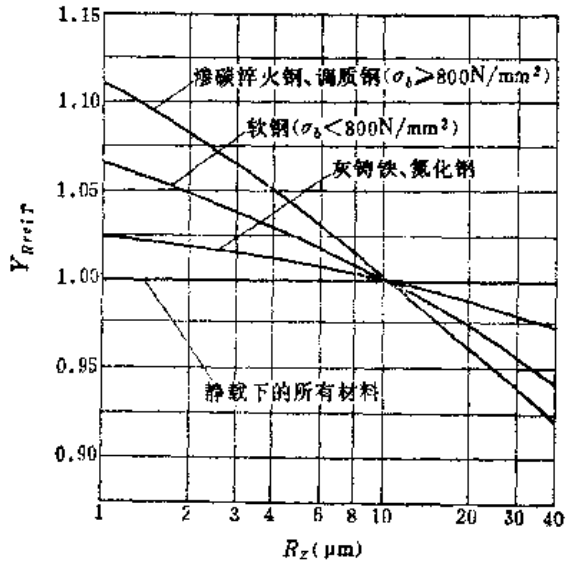


图11-11-25 持久寿命时的相对齿根表面状况系数Y_{RrelT}

表11-11-5齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$的简化计算公式适用范围：

（1）中等载荷，当载荷范围在400≤单位齿宽平均载荷W_m≤1000N/mm时，此法求得的$K_{H\beta}$误差不超过15%。

（2）轮齿啮合刚度范围15≤C_γ'≤25N/(mm·μm)。

（3）齿宽50≤b≤400mm。且齿宽与齿高比为$3<\frac{b}{h}<12$，小齿轮宽径比$\frac{b}{d_1}$小于2.0，满载时齿宽全长或接近全长接触。

（4）大小齿轮材料的疲劳极限范围在$400\leq\sigma_{Hlim}\leq1000N/mm^2$的调质钢；矿物油润滑。

（5）无齿向修形，齿向跑合量Y_β约等于$0.5F_{\beta X}$，初始啮合齿向误差$F_{\beta X}$不大于40μm。

（6）假定啮合齿向误差分量f_{ma}约等于齿向公差$F_{\beta1}$进行研齿跑合或装配中作调整时f_{ma}等于$0.5F_\beta$。

（7）刚性箱体，受载时两轴承变形量相差很小，可略去不计。

（8）9级精度简化计算式仅适用于$b\leq180mm$，$b/d_1\leq1.2$的情况。

（9）表中限制条件$\frac{s}{l}$的s为距离（mm），l为轴承跨距(mm)(见图11-11-4)。

图11-11-5至图11-11-9适用于对称支承情况下的5～9级精度（第Ⅱ公差组精度）的齿轮，其限制条件同表11-11-5。图中实线为未经调整或对研跑合的，虚线为经调整或对研跑合的。

图11-11-15适用于矿物油（加或不加添加剂）。应用某些具有较小摩擦系数的合成油时，对于渗碳钢齿轮，Z_L应乘以系数1.1，对于调质钢，应乘以系数1.4。

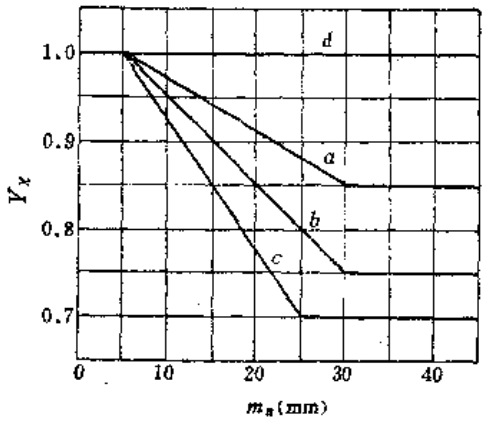


图11-11-26 持久寿命时的尺寸系数Y_X

a—结构钢、调质钢、球墨铸铁、珠光体可锻铸铁 b—表面硬化钢 c—灰铸铁 d—静载下的所有材料

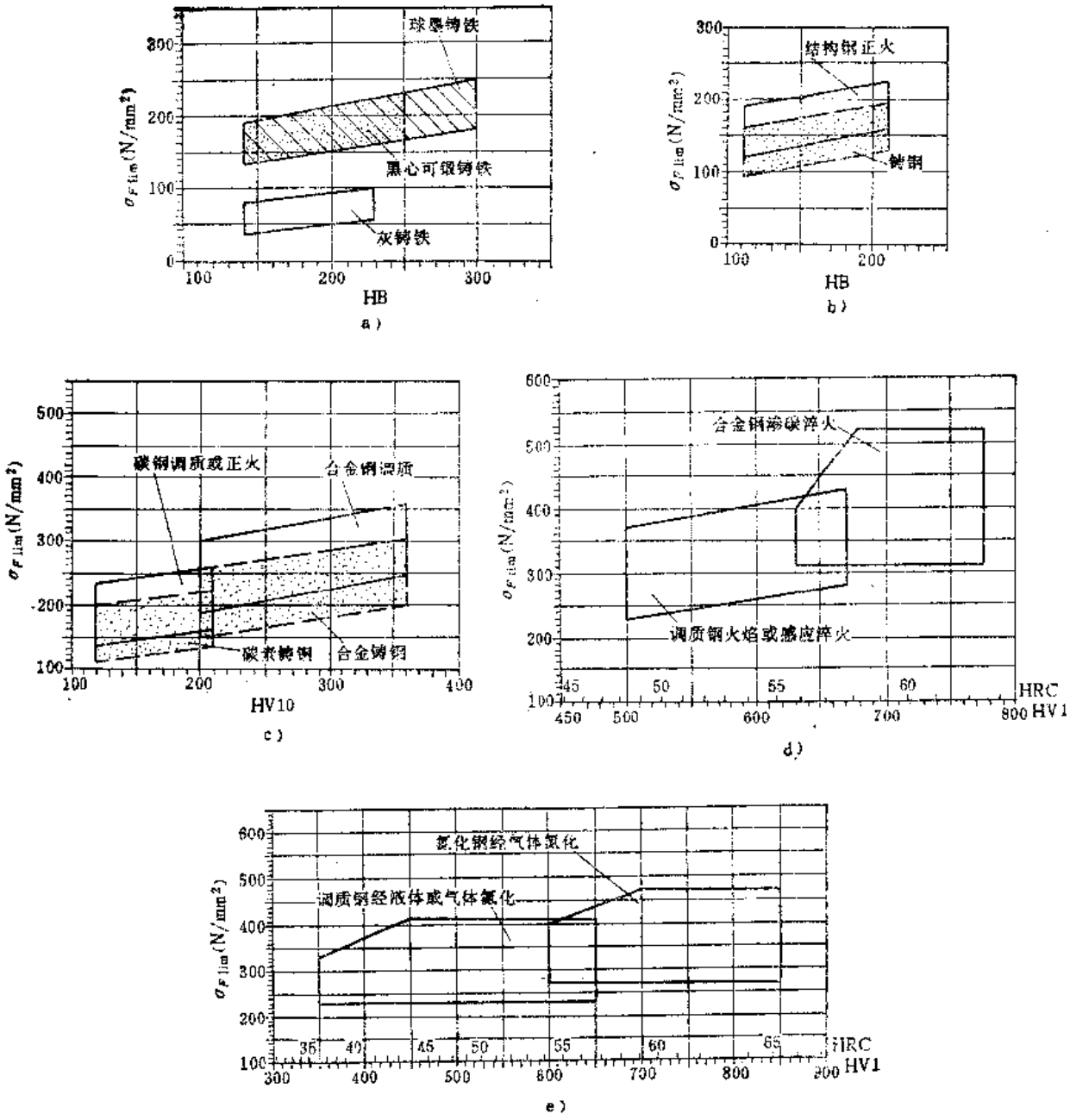


图11-11-27 弯曲疲劳极限$\sigma_{F\lim}$

验算时一般取用区域图中的中间值或下限值

a）铸铁 b）正火结构钢和铸钢 c）含碳量大于0.32%的调质钢 d）表面硬化钢 e）氮化钢

（三）静强度验算

静强度验算时，计算应力的公式与疲劳强度验算的公式相同，而许用应力计算公式中的系数取值则稍有不同。根据GB 3480—83规定，静强度校核时，$Z_R=1$，$Y_{RrelT}=1$，$Y_X=1$，相对齿根圆角敏感系数$Y'_{\delta relT}$由图11-11-28查取。至于寿命系数Z'_N、Y'_{NT}根据参考文献[13]取值（见表11-11-12及表注）。因此静强度的许用应力计算公式可简化如下表：

	齿面接触强度	轮齿弯曲强度
许用应力	$\sigma_{HP}=\dfrac{\sigma_{H\lim}}{S_{H\min}}Z'_NZ_LZ_VZ_W$	$\sigma_{FP}=\dfrac{\sigma_{F\lim}}{S_{F\min}}Y_{ST}Y'_{NT}Y'_{\delta relT}$

式中 Z'_N—接触强度计算的寿命系数，查表11-11-12

Y'_{NT}—弯曲强度计算的寿命系数，查表11-11-12

$Y'_{\delta relT}$—相对齿根圆角敏感系数，查图11-11-28

其余代号见表11-11-2

表11-11-12 静强度的寿命系数Z'_N、Y'_{NT}

材　料	Z'_N	Y'_{NT}
灰铸铁	1.3	1.6
球墨铸铁	1.6	2.5
珠光体可锻铸铁	1.6	2.5
结构钢		2.5
调质钢	1.6	2.5
气体氮化的调质钢	1.3	1.6
液体氮化的调质钢	1.1	1.1
表面硬化钢	1.6	2.5
渗碳淬火钢		2.5
气体氮化的氮化钢	1.3	1.6

注：根据参考文献[13]，校核静强度时，应力循环次数N_L取$N_L=N_S$时的Z_N值。N_S为Z_N-Z_L曲线水平段转到下降段处的N_L值。本表数值系根据上述原则从图11-11-15和图11-11-23中取得的。

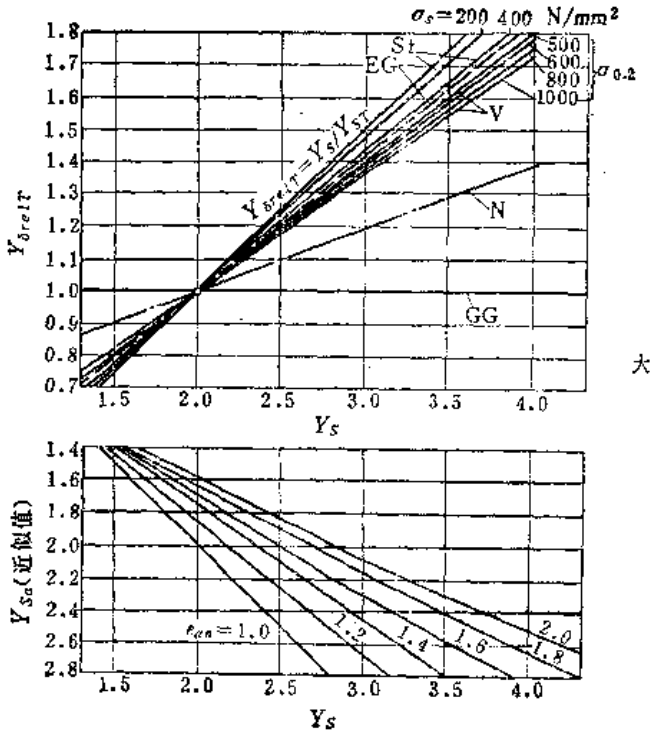


图11-11-28 静强度的相对齿根圆角敏感系数$Y'_{\delta relT}$
GG—铸铁(断裂)　V—调质钢($\sigma_{0.2}$)
EG—渗碳淬火钢(裂纹)　St—软钢(σ_s)
N—气体与液体氮化的调质钢(裂纹)

(四) 胶合承载能力验算

齿轮的胶合磨损是重载高速齿轮可能出现的一种失效形式。胶合有冷胶合和热胶合两种。冷胶合主要发生于低速（$v<4$ m/s）、制造精度低、经调质处理的齿轮传动。热胶合则发生于速度较高（$v>4$ m/s）、制造精度较高的重载齿轮传动。热胶合是由于齿面载荷和滑动速度引起的齿面高温导致润滑油膜破裂所造成的胶合损伤。本节只介绍热胶合计算方法。

热胶合承载能力的计算，以往大致有按经验求PV值、PVT值和布洛克（Blok）闪温值为基础的几种计算方法（P是齿轮在啮合位置的最大赫兹应力，V是齿面上的滑动速度，T是啮合线上由节点到啮合点的距离）。这里介绍的是GB6413—86《渐开线圆柱齿轮胶合承载能力计算方法》，适用于基本齿廓符合GB1356—87《渐开线圆柱齿轮基准齿形》的内外啮合的直齿、斜齿和人字齿钢制圆柱齿轮传动。

GB6413—86的计算方法是一种以闪温法为基础而发展起来的积分温度法。该方法以齿面本体温

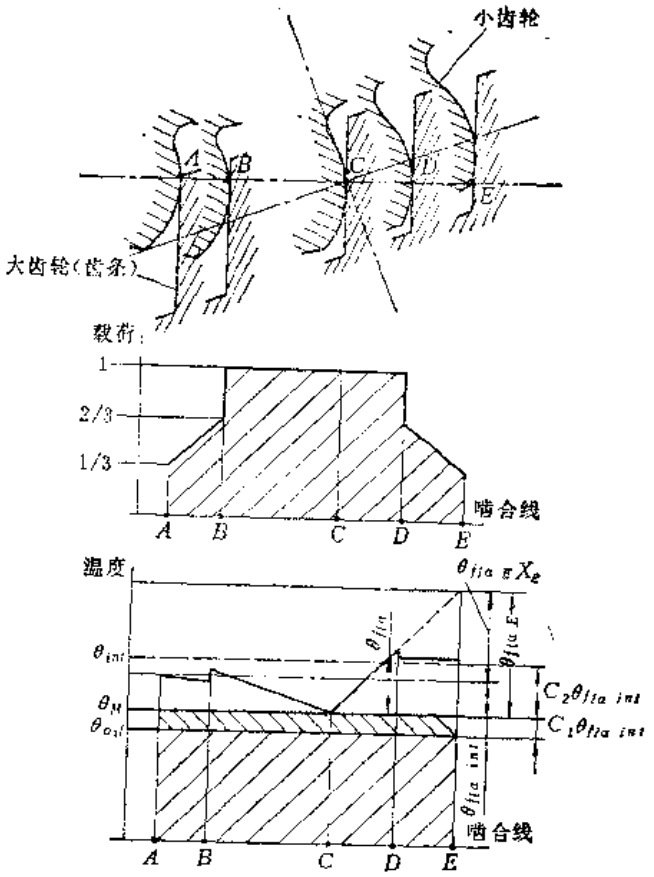


图11-11-29 载荷与温度沿啮合线分布示意图
a）载荷沿啮合线分布　b）温度沿啮合线分布

度与加权后的各啮合点瞬时温升的积分平均值之和作为计算齿面温度——积分温度，并以修正后的试件齿面积分温度作为极限齿面温度——胶合温度来进行计算。

齿轮啮合传动时，齿面接触区因摩擦热引起局部瞬时温升，此瞬时温升称为闪点温度。若闪点温度超过其临界值即发生胶合。积分温度法假设轮齿的载荷和温度沿啮合线按图11-11-29分布，然后用积分法求出啮合中的平均温升θ_{flaint}，再与进入啮合前的齿面本体温度θ_M一起折算为积分温度θ_{int}，并和齿轮材料与润滑剂的胶合(极限)温度θ_{sint}对比，校核安全系数S_B。其计算方法见表11-11-13。

表11-11-13 渐开线圆柱齿轮胶合承载能力计算 (GB6413—86)

序号	参数名称	代号	单位	计算方法
1	螺旋线系数	$K_{B\gamma}$		根据总重合度ε_γ按表11-11-14计算或查图11-11-30
2	单位齿宽载荷	$K_{B\gamma}$	N/mm	$K_{B\gamma}=K_AK_{B\alpha}K_{B\beta}K_{B\gamma}\dfrac{F_t}{b}$ 式中 K_A——使用系数，见表11-11-3或11-11-4 $K_{B\alpha}$——胶合承载能力计算的齿间载荷分配系数，取$K_{B\alpha}=K_{H\alpha}$，$K_{H\alpha}$见图11-11-3 $K_{B\beta}$——胶合承载能力计算的齿向载荷分布系数，取$K_{B\beta}=K_{H\beta}$，$K_{H\beta}$见图11-11-5～9 F_t——名义切向力(N)，见表11-11-1 b——齿宽(mm)
3	两轮在啮合点处沿齿廓切线方向速度之和(在节点处取值)	v_Σ	m/s	$v_\Sigma=2v\sin\alpha_t'$ 式中 v——节圆圆周速度(m/s) α_t'——端面啮合角(°)
4	两齿廓在啮合点处的综合曲率半径（在节点处取值）	ρ_{red}	mm	$\rho_{red}=\dfrac{u}{(u\pm1)^2}a'\dfrac{\sin\alpha_t'}{\cos\beta_b}$ 式中 u——齿数比，$u=\dfrac{z_2}{z_1}\geqslant1$ a'——公称中心距(角变位齿轮中心距)(mm) β_b——基圆螺旋角(°) "±"号中的"+"号用于外啮合，"-"号用于内啮合
5	沿齿廓方向的齿面轮廓算术平均偏差	R_a	μm	$R_a=0.5(R_{a1}+R_{a2})$
6	平均摩擦系数	μ_m		$\mu_m=0.12\left(\dfrac{w_tR_a}{\eta_Mv_\Sigma\rho_{red}}\right)^{0.25}$ 式中 η_M——润滑油在本体温度（或工作温度）下的动力粘度(mPa·s)
7	热接触系数	B_M	$\dfrac{N}{mm\cdot s^{0.5}\cdot K}$	$B_M=\sqrt{\lambda_Mc\rho}$ 式中 λ_M——导热系数，对马氏体钢，$\lambda_M=41\sim52N/(K\cdot s)$ c——比热容，对马氏体钢，$c=4.87\times10^2J/(kg\cdot K)$ ρ——密度，对钢，$\rho=7.8\times10^3kg/m^3$ 对马氏体钢，B_M的平均值为$B_M=13.6N/(mm\cdot s^{0.5}\cdot K)$

（续）

序号	参数名称	代号	单位	计算方法
8	热闪系数（考虑材料特性如E、ν、B_M和两轮在啮合点处沿齿廓切线方向速度之影响的系数）	X_M	$N^{-0.75}\cdot s^{0.5}\cdot m^{-0.5}\cdot mm\cdot K$	$X_M=\left(\frac{2}{\frac{1-\nu_1^2}{E_1}+\frac{1-\nu_2^2}{E_2}}\right)^{0.25}\frac{v_{\rho1}^{0.5}+v_{\rho2}^{0.5}}{B_{M1}v_{\rho1}^{0.5}+B_{M2}v_{\rho2}^{0.5}}$ 式中 ν——泊松比 E——弹性模量（N/mm^2） v_ρ——在啮合点处沿齿廓切线方向速度，可近似按节点处理，则$v_{\rho1}=v_{\rho2}$ 当两轮的E、ν、B_M相同时，则： $X_M=\frac{E^{0.25}}{(1-\nu^2)^{0.25}B_M}$ 对于常用钢制齿轮副，$E=206\times10^3N/mm^2$，$\nu\approx0.3$，$B_M=13.6\,N/(mm\cdot s^{0.5}\cdot K)$，则： $X_M=50K\cdot N^{-0.75}\cdot s^{0.5}\cdot m^{-0.5}\cdot mm$
9	齿轮齿顶重合度	ε_1 ε_2		$\varepsilon_1=\frac{z_1}{2\pi}\left[\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{d_{b1}}\right)^2-1}-\tg\alpha'\right]$ $\varepsilon_2=\frac{z_2}{2\pi}\left[\sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{d_{b2}}\right)^2-1}-\tg\alpha'\right]$ 式中 d_a——齿轮齿顶圆直径（mm） d_b——齿轮基圆直径（mm）
10	小轮齿顶点E的无量纲参数	Γ_E		$\Gamma_E=\frac{2\pi\varepsilon_1}{z_1\tg\alpha'}=\frac{\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{d_{b1}}\right)^2-1}}{\tg\alpha'}-1$
11	小轮齿顶几何系数（考虑小轮齿顶E点处的几何参数对赫兹应力和滑动速度影响的系数）	X_{BE}		$X_{BE}=0.5\sqrt{u\pm1}\,\frac{\sqrt{1+\Gamma_E}-\sqrt{1\mp(\Gamma_E/u)}}{[(1+\Gamma_E)(u\mp\Gamma_E)]^{0.25}}$ 式中，上排符号用于外啮合，下排符号用于内啮合
12	啮入冲击系数（考虑滑动速度较大的从动轮齿顶啮入冲击载荷的影响的系数）	X_Q		按齿顶重合度ε查表11-11-15
13	有效修缘量（指恰好能补偿轮齿弹性变形所需要的修缘量）	C_{eff}	μm	$C_{eff}=\frac{K_AF_t}{\varepsilon_\alpha C_\gamma b}$ 式中 C_γ——啮合刚度（$N/(mm\cdot\mu m)$），在中等载荷作用下，$C_\gamma=20N/(mm\cdot\mu m)$，对直齿轮，用单对齿刚度$C'$代替$C_\gamma$，在中等载荷作用下，$C'=14N/(mm\cdot\mu m)$ ε_α——端面重合度
14	计算用齿顶修缘量（法向值）	C_a	μm	按表11-11-16查取
15	齿顶修缘系数	X_{Ca}		$X_{Ca}=1+1.55\times10^{-2}\varepsilon^4C_a$ 式中 ε——齿顶重合度，取ε_1或ε_2中的较大值 或由图11-11-31查取X_{Ca}值

（续）

序号	参数名称	代　号	单　位	计　算　方　法
16	重合度系数	X_ε		当ε_1和ε_2均小于1时(节点在单对齿啮合区)： $X_\varepsilon=\frac{1}{2\varepsilon_\alpha\varepsilon_1}[0.7(\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2)-0.22\varepsilon_\alpha+0.52-0.6\varepsilon_1\varepsilon_2]$ 当$\varepsilon_1\geqslant 1$时(节点在双对齿啮合区)： $X_\varepsilon=\frac{1}{2\varepsilon_\alpha\varepsilon_1}[0.18\varepsilon_1^2+0.7\varepsilon_2^2+0.82\varepsilon_1-0.52\varepsilon_2-0.3\varepsilon_1\varepsilon_2]$ 当$\varepsilon_2\geqslant 1$时(节点在双对齿啮合区)： $X_\varepsilon=\frac{1}{2\varepsilon_\alpha\varepsilon_1}[0.18\varepsilon_2^2+0.7\varepsilon_1^2+0.82\varepsilon_2-0.52\varepsilon_1-0.3\varepsilon_1\varepsilon_2]$ 式中　ε_α——端面重合度
17	材料焊合系数	X_W		由表11-11-17查取
18	载荷全部作用在小轮齿顶E点时，该点的瞬时温升	θ_{flaE}	℃	$\theta_{flaE}=\mu_m X_M X_{BE}\frac{w_l^{0.75}v^{0.5}}{(a')^{0.25}}\frac{1}{X_Q X_{Ca}}$ 式中　v——节圆圆周速度(m/s) a'——公称中心距（角变位齿轮中心距)(mm)
19	积分平均温升（指齿面各啮合点瞬时温升沿啮合线的积分平均值）	θ_{flaint}	℃	$\theta_{flaint}=\theta_{flaE}X_\varepsilon$
20	本体温度 （指即将进入啮合时的齿面温度）	θ_M	℃	可用任何适宜的精确方法来确定，如热网络法，精确测量等。也可按下式近似计算： $\theta_M=(\theta_{oil}+C_1\theta_{flaint})X_S$ 式中　θ_{oil}——工作油温(℃) C_1——加权数，$C_1=0.7$ X_S——润滑系数 油浴润滑，$X_S=1.0$ 喷油润滑，$X_S=1.2$
21	积分温度	θ_{int}	℃	$\theta_{int}=\theta_M+C_2\theta_{flaint}$ 式中　C_2——加权数，一般取$C_2=1.5$
22	试验齿轮的本体温度	θ_{MT}	℃	当油品的承载能力是按照SY—2619—84《润滑剂承载能力测定法》的FZG(A/8.3/90)试验得出时，则θ_{MT}和$\theta_{flaintT}$与载荷的关系曲线如图11-11-32所示。此时，θ_{MT}和$\theta_{flaintT}$的值可根据设计齿轮所选用的润滑油粘度ν_{40}和FZG胶合载荷级（见表11-11-18)由图11-11-32查取。也可按下式计算： $\theta_{MT}=0.032T_{1T}^{1.301}+90$ 式中　T_{1T}——FZG胶合载荷级相应的试验齿轮小轮转矩(N·m)（见图11-11-32)
23	积分平均温升	$\theta_{flaintT}$	℃	说明见序号22，计算公式如下： $\theta_{flaintT}=0.08T_{1T}^{1.2}\left(\frac{100}{\nu_{40}}\right)^{(\nu_{40}-0.4)}$ 式中　ν_{40}——润滑油在40℃时的名义运动粘度(mm²/s)

（续）

序号	参数名称	代 号	单 位	计 算 方 法
24	胶合温度（指齿面出现胶合失效时的极限积分温度）	θ_{Sint}	℃	$\theta_{Sint}=\theta_{MT}+C_2\theta_{flashT}X_W$ 式中 C_2——加权数，取$C_2=1.5$
25	胶合承载能力的计算安全系数	S_B		$S_B=\dfrac{\theta_{Sint}}{\theta_{int}}\geqslant S_{Bmin}$ 式中 S_{Bmin}——胶合承载能力最小安全系数（表11-11-19）

表11-11-14 螺旋线系数$K_{B\gamma}$

总重合度ε_γ	螺旋线系数$K_{B\gamma}$
$\leqslant 2$	1
$2<\varepsilon_\gamma<3.5$	$1+0.2\sqrt{(\varepsilon_\gamma-2)(5-\varepsilon_\gamma)}$
$\geqslant 3.5$	1.3

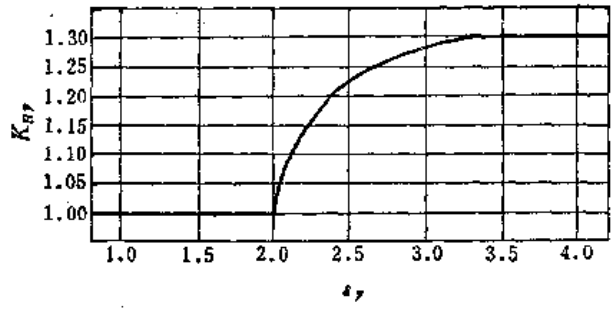


图11-11-30 螺旋线系数$K_{B\gamma}$

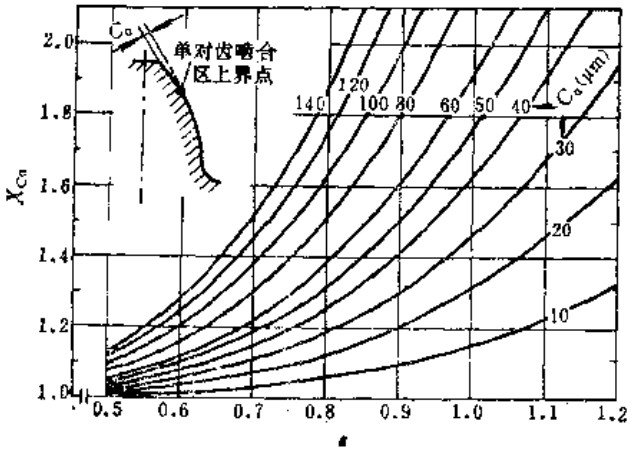


图11-11-31 齿顶修缘系数X_{Ca}

表11-11-15 啮入冲击 系数X_Q

驱动方式	齿顶重合度ε	X_Q
小轮驱动大轮	$\varepsilon_2\geqslant 1.5\varepsilon_1$	0.6
	$\varepsilon_2<1.5\varepsilon_1$	1
大轮驱动小轮	$\varepsilon_1<1.5\varepsilon_2$	1
	$\varepsilon_1\geqslant 1.5\varepsilon_2$	0.6

表11-11-16 计算用齿顶修缘量C_a

驱动方式	齿顶重合度ε	条件	C_a
小轮驱动大轮	$\varepsilon_1>1.5\varepsilon_2$	$C_{a1}\leqslant C_{eff}$	C_{a1}
		$C_{a1}>C_{eff}$	C_{eff}
	$\varepsilon_1\leqslant 1.5\varepsilon_2$	$C_{a2}\leqslant C_{eff}$	C_{a2}
		$C_{a2}>C_{eff}$	C_{eff}
大轮驱动小轮	$\varepsilon_2\leqslant 1.5\varepsilon_1$	$C_{a1}\leqslant C_{eff}$	C_{a1}
		$C_{a1}>C_{eff}$	C_{eff}
	$\varepsilon_2>1.5\varepsilon_1$	$C_{a2}\leqslant C_{eff}$	C_{a2}
		$C_{a2}>C_{eff}$	C_{eff}

注：1.ε_1、ε_2——小、大齿轮的齿顶重合度；

2.C_{a1}、C_{a2}——小、大齿轮的实际齿顶修缘量（法向值）（μm），当相啮合的轮齿有修根时，应取修缘量与修根量之和。

表11-11-17 材料焊合系数X_W

材料及表面处理		X_W
奥氏体钢（不锈钢）		0.45
渗碳淬硬钢	残余奥氏体含量高于正常值	0.85
	残余奥氏体含量正常（~20%）	1.00
	残余奥氏体含量低于正常值	1.15
表面氮化钢		1.50
表面磷化钢		1.25
表面镀铜		1.50
其它情况（如调质钢）		1.00

表11-11-18 常用油品的FZG胶合载荷级

油品		机械油液压油	汽轮机油	工业用齿轮油	轧钢机油	汽缸油	柴油机油	航空用齿轮油	准双曲面齿轮油
FZG胶合载荷级	矿物油	2～4	3～5	5～7	6～8	6～8	6～8	5～8	
	加极压抗磨添加剂矿物油	5～8	6～9	中极压>9 全极压>11					>12
	高性能合成油	9～11	10～12	>12				8～11	

注：油品的胶合载荷级随原油产地、生产厂家的不同而有所不同。应以油品生产厂家提供的指标为准。重要场合应经专门试验确定。

表11-11-19 胶合承载能力最小安全系数$S_{B\min}$

计算依据或使用要求	$S_{B\min}$	备注
依据尖峰载荷计算时(如剪床、冲床)	1.5	
依据名义载荷计算时(如工业汽轮机)	1.5～1.8	有实测载荷谱为依据精确确定K_A时，可取为1.5
高可靠性要求（如飞机、汽轮机）	2～2.5	有实测载荷谱为依据精确确定K_A时，可取为1.8

注：经逐级加载跑合时取小值，不经跑合者取大值。

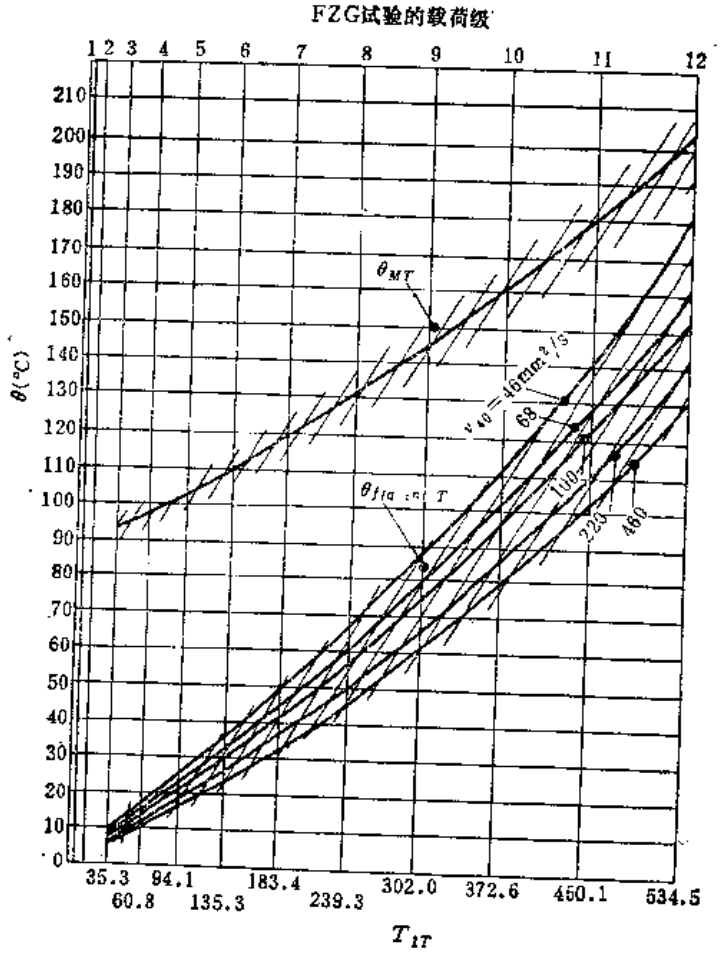


图11-11-32 FZG(A/8.3/90)试验齿轮的本体温度θ_{MT}和积分平均温升$\theta_{flaintT}$

常用油品的FZG胶合载荷级可查 表11-11-18

例 球磨机用单级圆柱齿轮减速器，$m_n=4\,mm$，$\alpha_n=20°$，$\beta=9°22'(9.3667°)$，$z_1=36$，$z_2=112$，$x_1=x_2=0$，$a=300mm$，$b=120mm$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$；8级精度，$R_{a1}=1.6\,\mu m$或$R_{z1}=6.3\mu m(\nabla 6)$，$R_{a2}=3.2\mu m$或$R_{z2}=12.5\,\mu m(\nabla 5)$；传动功率$P=95kW$，$n_1=730\,r/min$，单向运转，满载工作时间3500 h；50号机械油润滑，$\nu_{50}=50mm^2/s$；小轮材料38SiMnMo，调质HB250，大轮，铸钢ZG35SiMn，调质HB220；对称布置，支承距$l=300mm$；修缘量$C_{a1}=C_{a2}=0.04\,mm$(40μm)，工作温度50℃。

（1）几何尺寸及有关参数（计算从略）

$m_t=4.05405mm$，$\alpha_t=20.2484°$，$\beta_b=8.7972°$，$u=z_2/z_1=3.11$；$d_1=145.95mm$，$d_{a1}=153.95mm$，$d_{f1}=135.95mm$，$d_{b1}=136.93mm$，$\alpha_{at1}=27.1965°$；$d_2=454.05mm$，$d_{a2}=462.05mm$，$d_{f2}=444.05mm$，$d_{b2}=425.99mm$，$\alpha_{at2}=22.7862°$；$v=5.58\,m/s$，$\varepsilon_1=0.83$，$\varepsilon_2=0.91$，$\varepsilon_\alpha=1.74$，$\varepsilon_\beta=1.55$，$\varepsilon_\gamma=3.29$。

（2）齿面接触强度验算

1）名义转矩T

$$T=\frac{9549P}{n}=\frac{9549\times 95}{730}=1243\quad N\cdot m$$

2）名义切向力F_t

$$F_t=\frac{2000T}{d}=\frac{2000\times 1243}{145.95}=17033\quad N$$

3）使用系数K_A

查表11-11-3，取$K_A=1.25$。

4）动载系数K_V

单位齿宽载荷$F_t/b=17033/120=142\ N/mm$

$$\frac{v\cdot z_1}{100}=\frac{5.58\times 36}{100}=2\quad m/s$$

钢质齿轮$z_1<50$，8级精度。

查图11-11-2，取$K_V=1.13$。

5）齿间载荷分配系数$K_{H\alpha}$

查图11-11-3（$\varepsilon_\gamma=3.29$，8级精度），取$K_{H\alpha}=1.35$。

6）齿向载荷分布系数$K_{H\beta}$

轮齿啮合刚度$C_\gamma=20\,N/mm\cdot\mu m$，（见GB3480—83 3.6.3）

轮齿宽高比$b/h=120/9=13.33$

小轮宽径比$b/d_1=120/145.95=0.82$

查图11-11-8，取$K_{H\beta}=1.40$。

7）疲劳极限

查图11-11-19，取$\sigma_{Hlim1}=680\,N/mm^2$，$\sigma_{Hlim2}=560\,N/mm^2$。

8）载荷系数K

$$K=K_AK_VK_{H\alpha}K_{H\beta}=1.25\times 1.13\times 1.35\times 1.40=2.67$$

9）弹性系数Z_E

查表11-11-6，取$Z_E=188.9\sqrt{N/mm^2}$。

10）节点区域系数Z_H

根据$\beta=9.3667°$及$x=0$，查图11-11-11，取$Z_H=2.47$。

11）重合度系数Z_ε

$\varepsilon_\beta>1$，按表11-11-7计算得：

$$Z_\varepsilon=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_\alpha}}=0.76$$

12）螺旋角系数Z_β

查图11-11-13，取$Z_\beta=0.992$。

13）计算接触应力σ_H

$$\sigma_H=Z_EZ_HZ_\varepsilon Z_\beta\sqrt{\frac{KF_t}{bd_1}\frac{u+1}{u}}$$

$$=188.9\times 2.47\times 0.76\times 0.992\times\sqrt{\frac{2.67\times 17033}{120\times 145.95}\times\frac{3.11+1}{3.11}}$$

$$=655\quad N/mm^2$$

14）寿命系数Z_N

齿轮的应力循环次数$N_{L1}=60\nu n_1t=60\times 1\times 730\times 3500=1.5\times 10^9$，$N_{L2}=60\times 1\times\frac{730}{3.11}\times 3500=0.5\times 10^9$，根据$N_L$查图11-11-14，取$Z_N=1$。

15）润滑剂系数Z_L

查图11-11-15，$Z_L=0.92$，因系调质钢，$Z_L=0.92\times 1.4=1.3$。

16）速度系数Z_V

根据$v=5.58\,m/s$和$\sigma_{Hlim}<850\,N/mm^2$，查图11-11-16，取$Z_V=0.98$。

17）粗糙度系数Z_R

$$R_{z100}=\frac{R_{z1}+R_{z2}}{2}\sqrt[3]{\frac{100}{a}}$$

$$=\frac{6.3+12.5}{2}\sqrt[3]{\frac{100}{300}}=6.5$$

查图11-11-17，取$Z_R=0.88$。

18）工作硬化系数Z_W

小轮$R_a>1\mu m$，取$Z_W=1$（表11-11-7）。

19）安全系数S_{Hmin}、S_{Fmin}

一般可靠度，$S_{Hmin}=S_{Fmin}=1$

20）许用接触应力σ_{HP}

$$\sigma_{HP1}=\frac{\sigma_{Hlim1}}{S_{Hmin}}Z_NZ_LZ_VZ_RZ_W$$

$$=\frac{680}{1}\times1\times1.3\times0.98\times0.88\times1$$

$$=762\quad N/mm^2$$

$$\sigma_{HP2}=\frac{\sigma_{HP1}\times\sigma_{Hlim2}}{\sigma_{Hlim1}}=\frac{762\times560}{680}$$

$$=628\quad N/mm^2$$

$\sigma_{HP2}\approx\sigma_H$，$\sigma_{HP1}>\sigma_H$，满足设计要求

（3）轮齿弯曲强度验算

1）齿间载荷分配系数$K_{F\alpha}$

查图11-11-3，$K_{F\alpha}=K_{H\alpha}=1.35$。

2）齿向载荷分布系数$K_{F\beta}$

$b/h\approx12$，对称布置，查图11-11-8，取$K_{F\beta}=1.36$。

3）载荷系数K

$$K=K_AK_VK_{F\alpha}K_{F\beta}=1.25\times1.13\times1.35\times1.36$$

$$=2.59$$

4）齿形系数Y_{Fa}

当量齿数 $Z_{V1}=\frac{z_1}{\cos^2\beta_b\cos\beta}=37.36$

$$Z_{V2}=116.23$$

查图11-11-20，取$Y_{Fa1}=2.42$，$Y_{Fa2}=2.17$。

5）应力修正系数Y_{Sa}

查图11-11-21，取$Y_{Sa1}=1.68$，$Y_{Sa2}=1.85$。

6）螺旋角系数Y_β

查图11-11-22，$Y_\beta=0.93$（$\varepsilon_\beta>1$）。

7）重合度系数Y_ε

$\varepsilon_\alpha=1.74$，按公式计算（表11-11-11）得：

$$Y_\varepsilon=0.25+\frac{0.75}{\varepsilon_\alpha}=0.68$$

8）弯曲疲劳强度σ_{Flim}

查图11-11-27 c，取$\sigma_{Flim1}=260N/mm^2$，$\sigma_{Flim2}=210N/mm^2$。

9）应力修正系数Y_{ST}

按表11-11-11，取$Y_{ST}=2$。

10）寿命系数Y_{NT}

$N_{L1}>3\times10^6$，$N_{L2}>3\times10^6$，查图11-11-23，$Y_{NT}=1$。

11）相对齿根圆角敏感系数$Y_{\delta relT}$

查图11-11-24，按调质钢，$Y_{\delta relT1}=0.95$，$Y_{\delta relT2}=1.02$。

12）齿根表面状况系数Y_{RrelT}

$R_{z100}=6.5$（见接触强度验算第17项），按调质钢，查图11-11-25，取$Y_{RrelT}=1.03$。

13）尺寸系数Y_X

查图11-11-26，取$Y_X=1$。

14）计算弯曲应力σ_F

$$\sigma_{F1}=\frac{KF_t}{bm_n}Y_{Fa}Y_{Sa}Y_\beta Y_\varepsilon$$

$$=\frac{2.59\times17033}{120\times4}\times2.42\times1.68\times0.93\times0.68$$

$$=236\quad N/mm^2$$

$$\sigma_{F2}=\sigma_{F1}\frac{Y_{Fa2}Y_{Sa2}}{Y_{Fa1}Y_{Sa1}}=\frac{236\times2.17\times1.85}{2.42\times1.68}$$

$$=233\quad N/mm^2$$

15）许用弯曲应力σ_{FP}

$$\sigma_{FP1}=\frac{\sigma_{Flim}}{S_{Fmin}}Y_{ST}Y_{NT}Y_{\delta relT}Y_{RrelT}Y_X$$

$$=\frac{260}{1}\times2\times1\times0.95\times1.03\times1$$

$$=509\quad N/mm^2$$

$$\sigma_{FP2}=\sigma_{FP1}\frac{Y_{\delta relT2}}{Y_{\delta relT1}}\times\frac{\sigma_{Flim2}}{\sigma_{Flim1}}$$

$$=509\times\frac{1.02\times210}{0.95\times260}$$

$$=441\quad N/mm^2$$

$$\sigma_F<\sigma_{FP}$$

经验算轮齿弯曲强度足够。

（4）胶合承载能力验算

1）螺旋线系数$K_{B\gamma}$

查图11-11-30，取$K_{B\gamma}=1.3$。

2）单位齿宽载荷w_t

$$w_t=K_AK_{B\alpha}K_{B\beta}K_{B\gamma}\frac{F_t}{b}$$

$$=1.25\times1.35\times1.4\times1.3\times\frac{17033}{120}$$

$$=436\quad N/mm$$

（$K_{B\alpha}=K_{H\alpha}$，$K_{B\beta}=K_{H\beta}$）

3）啮合点处两齿沿齿廓切线方向速度之和v_Σ

$$v_\Sigma=2v\sin\alpha_t'=2\times5.58\sin\alpha_t=3.86m/s$$

4）啮合点曲率半径ρ_{red}

$$\rho_{red}=\frac{u}{(u+1)^2}a'\frac{\sin\alpha'_t}{\cos\beta_b}$$

$$=\frac{3.11}{(3.11+1)^2}300\frac{\sin\alpha'_t}{\cos\beta_b}$$

$$=19.343\quad mm$$

5）齿面轮廓算术平均偏差R_a

$$R_a=0.5(R_{a1}+R_{a2})=0.5(1.6+3.2)$$

$$=2.4\quad \mu m$$

6）平均摩擦系数μ_m

$$\mu_m=0.12\left(\frac{w_t R_a}{\eta_M v_E \rho_{red}}\right)^{0.25}$$

$$=0.12\left(\frac{436\times2.4}{43.5\times3.86\times19.343}\right)^{0.25}$$

$$=0.09$$

（运动粘度ν换算成动力粘度η，$\eta_M=\nu_{50}\rho_4^{50}$ $=50\times0.87=43.5\text{mPa}\cdot\text{s}$）

7）热接触系数B_M

$B_M=13.6\text{N}/(\text{mm}\cdot\text{s}^{0.5}\cdot\text{K})$（表11-11-13）

8）热闪系数X_M

$X_M=50\text{N}^{-0.75}\cdot\text{s}^{0.5}\cdot\text{m}^{-0.5}\cdot\text{mm}\cdot\text{K}$（表11-11-13）

9）小轮齿顶点E的无量纲参数Γ_E

$$\Gamma_E=\frac{2\pi e_1}{z_1\text{tg}\alpha'_t}=\frac{2\pi\times0.83}{36\text{tg}\alpha'_t}=0.393$$

10）小轮齿顶几何参数X_{BE}

$$X_{BE}=0.5\sqrt{u+1}\,\frac{\sqrt{1+\Gamma_E}-\sqrt{1-(\Gamma_E/u)}}{[(1+\Gamma_E)(u-\Gamma_E)]^{0.25}}$$

$$=0.178$$

11）啮入冲击系数X_Q

查表11-11-15，$\varepsilon_2<1.5\varepsilon_1$，取$X_Q=1$。

12）有效修缘量C_{eff}

$$C_{eff}=\frac{K_A F_t}{\varepsilon_\alpha C_\gamma b}=\frac{1.25\times17033}{1.74\times20\times120}=5.1\quad\mu m$$

13）计算用齿顶修缘量C_a

查表11-11-16，$e_1<1.5e_2$，$C_{a2}>C_{eff}$，取$C_{a2}=C_{eff}=5.1\mu m$。

14）齿顶修缘系数X_{Ca}

$$X_{Ca}=1+1.55\times10^{-2}e^4C_a=1+1.55\times10^{-3}\times0.91^4\times5.1$$

$$=1.05$$

15）重合度系数X_ε

ε_1和ε_2均小于1，按表11-11-13得：

$$X_\varepsilon=\frac{1}{2\varepsilon_\alpha\varepsilon_1}\left[0.7(\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2)-0.22\varepsilon_\alpha+0.52-0.6\varepsilon_1\varepsilon_2\right]$$

$$=0.258$$

16）材料焊合系数X_W

查表11-11-17，取$X_W=1$。

17）瞬时温升θ_{flaE}

$$\theta_{flaE}=\mu_m X_M X_{BE}\frac{w_t^{0.75}v_E^{0.5}}{(a')^{0.25}X_Q X_{Ca}}$$

$$=0.09\times50\times0.178\frac{436^{0.75}\times5.58^{0.5}}{300^{0.25}\times1\times1.05}$$

$$=41.3℃$$

18）积分平均温升θ_{flaint}

$$\theta_{flaint}=\theta_{flaE}X_\varepsilon=41.3\times0.258=10.66℃$$

19）本体温度θ_M

取$X_S=1$，$\theta_M=(\theta_{oil}+C_1\theta_{flaint})X_S$

$$=(50+0.7\times10.66)\times1=57.5℃。$$

20）积分温度θ_{int}

$$\theta_{int}=\theta_M+C_2\theta_{flaint}X_W=57.5+1.5\times10.66$$

$$=73℃$$

21）试验齿轮本体温度θ_{MT}

机械油的FZG胶合载荷级为2～4（表11-11-18），查图11-11-32，取$\theta_{MT}=93℃$。

22）积分平均温升$\theta_{flaintT}$

查图11-11-32，取$\theta_{flaintT}=10℃$（$\nu_{40}=88\text{mm}^2/\text{s}$）。

23）胶合温度θ_{Sint}

$$\theta_{Sint}=\theta_{MT}+C_2\theta_{flaintT}=93+1.5\times10=108℃$$

24）胶合承载能力的计算安全系数S_B

$$S_B=\frac{\theta_{Sint}}{\theta_{int}}=\frac{108}{73}=1.48$$

25）最小安全系数S_{Bmin}

查表11-11-19，$S_{Bmin}=1.5$，则：

$$S_B\approx S_{Bmin}$$

设计参数满足胶合承载能力的要求。万一验算时，设计参数不能满足胶合承载能力的要求，在不改变设计几何尺寸参数的条件下，选用粘度较大的润滑油，可以提高θ_{MT}和$\theta_{flaintT}$温度值，从而提高胶合温度θ_{Sint}。或者降低齿面粗糙度，可减小平均摩擦系数μ_m，降低瞬时温升θ_{flaE}，亦可解决问题。

第12节　圆弧圆柱齿轮

目前工业上所采用的齿轮绝大多数是渐开线齿

轮，这是因为它经过精加工可以得到很高的精度，同时它具有中心距的可分性等优点。但是渐开线齿轮也有它的缺点：（1）渐开线齿轮在节点处啮合时，两齿面间的相对运动是纯滚动，但啮合点离节点越远，则两啮合齿面间的相对滑动速度也越大。这种滑动对齿面的磨损、发热、传动平稳性和效率以及传动的寿命都很不利；（2）渐开线外啮合齿轮传动是凸齿对凸齿的啮合传动，从接触强度言，这种齿形的承载能力很差。

随着生产和科学技术的发展，对高速、重载、大功率的齿轮传动装置提出了更高的要求。为了克服渐开线齿轮传动的缺点，出现了圆弧齿轮。近二三十年来，我国在采矿、冶金、石油化工、起重运输等机械设备以及高速齿轮传动中，已广泛采用了圆弧齿轮。

（一）圆弧圆柱齿轮的啮合原理

圆弧齿轮的齿廓为圆弧形。一对啮合圆弧齿轮，通常是小齿轮为凸圆弧齿廓，大齿轮为凹圆弧齿廓（也有的小齿轮做成凹齿，大齿轮做成凸齿，但由于小齿轮齿数少，又做成凹齿，齿根弯曲强度低，还易出现胶合破坏，因此现已很少使用）。圆弧齿轮的齿形，不论凸齿或凹齿，其齿形圆心都位于节圆柱上。所不同的是，凸齿的工作齿廓位于节圆之外，而凹齿的工作齿廓位于节圆之内。理论上相啮合的齿轮，其凸凹齿齿廓的圆弧半径相等（实际上，为确保啮合良好，凸齿比凹齿的圆弧半径稍小些）。当某一截面上的凸凹两齿廓的圆心同时位于节点C（图11-12-1）时，该截面上的两齿廓即相啮合；若凸凹齿廓的两圆心转过节点时，则此截面上的两齿廓脱开啮合，即在任何截面上，凸凹两齿廓仅作瞬时啮合。为了保证圆弧齿轮能连续传动，故其轮齿必须作成螺旋齿。

在啮合传动过程中，瞬时啮合点K沿着平行于轴线的啮合线KK'匀速移动。在齿面上，接触点在齿高方向的位置不变，它的移动轨迹分别是两条圆柱螺旋线KK_1和KK_2。

圆弧齿轮的轮齿为斜齿，两轮的啮合条件亦应为法向模数m_n和法向齿形角α_n相等，轮齿螺旋角大小相等，方向相反（外啮合）。

圆弧齿轮的轮齿通常采用法向齿形为圆弧的齿轮滚刀来加工，也可用铣刀或砂轮以单齿分度方法加工。

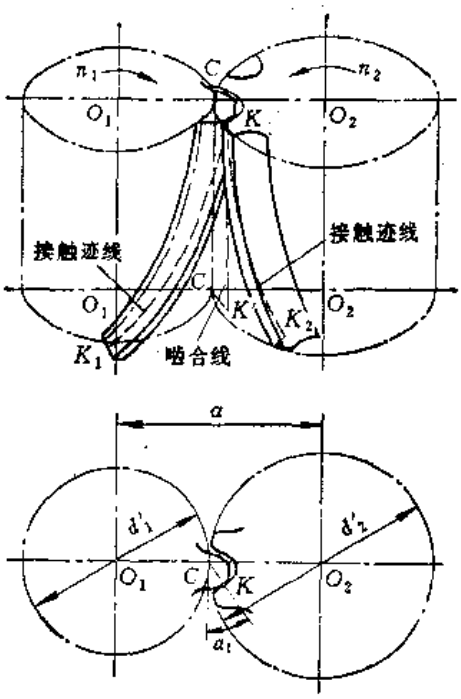


图11-12-1　圆弧齿轮传动的啮合线和齿面接触点迹线

（二）圆弧圆柱齿轮的特点

（1）齿面承载能力高　跑合前的圆弧齿轮理论上都是点接触（所以圆弧齿轮又称为圆弧点啮合齿轮），点接触齿轮的承载能力并不高。但经过跑合后，齿面间逐渐趋于线接触（图11-12-2），垂直于瞬时接触线方向的当量曲率半径ρ㊀很大，在

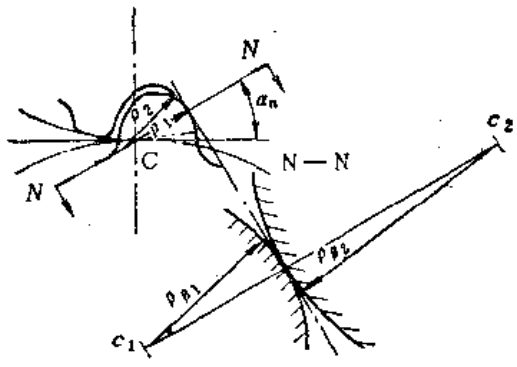


图11-12-2　圆弧齿轮跑合后在垂直于瞬时接触线方向的齿面曲率半径ρ_β

㊀ $$\rho=\frac{\rho_{\beta 1}\rho_{\beta 2}}{\rho_{\beta 1}+\rho_{\beta 2}}=\frac{ud'_1}{2(u+1)\sin^2\beta\sin\alpha_n}$$

$$=\frac{au}{(u+1)^2\sin^2\beta\cos\alpha_n}$$

$\beta=10°\sim30°$内，比渐开线齿轮大20～200倍，齿面的接触应力比渐开线齿轮小得多，而且β越小，曲率半径越大，接触强度越高。例如HB≤350的中、低速圆弧齿轮，承载能力比渐开线齿轮提高0.5～1.5倍。

（2）摩擦损失小，传动效率高　啮合传动时，接触区以相当高的滚动速度沿齿宽方向移动，轮齿间容易形成油膜，油膜厚度比渐开线齿轮大好几倍。另外，圆弧齿轮传动中，滑动速度较低，摩擦损失较小，效率较高，一般可达99%～99.5%。

（3）不论凸齿和凹齿都没有根切现象，故理论上圆弧齿轮的z_{min}可达6～8齿。为保证轴的强度和刚度，一般都大于11齿。

（4）圆弧齿轮传动中，$\varepsilon_\alpha=0$，即使跑合后由点接触转化为线接触，ε_α仍相当小，必须靠$\varepsilon_\beta>1$来保持连续传动。

（5）圆弧齿轮传动中的中心距敏感性大，故对中心距和切齿深度的精度有较高的要求。

（6）有良好的跑合性能，跑合后齿面磨损小而且均匀（圆弧齿轮必须跑合后才能满载使用）。

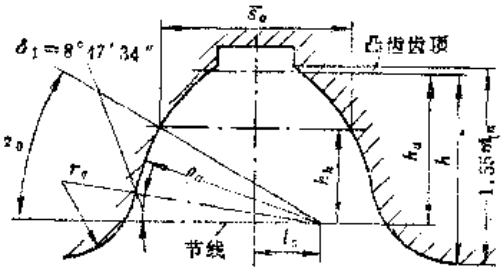
（7）圆弧齿轮是以接触区沿齿宽方向移动来实现传动的，故不能用作滑移变速齿轮。

（8）单圆弧齿轮要使用两把刀具分别加工凸、凹齿，双圆弧齿轮则可用同一把滚刀加工大小齿轮。

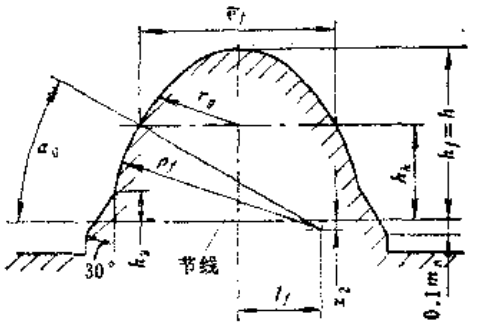
（三）圆弧圆柱齿轮的基准齿形和模数系列

单圆弧圆柱齿轮的基准齿形如表11-12-1所示，圆弧齿轮模数系列如表11-12-2所示。

表11-12-1　单圆弧圆柱齿轮的基准齿形（JB929—67 67型圆弧齿轮滚刀法面齿形）



加工凸齿用的



加工凹齿用的

序号	参数名称	代号	凸齿	凹齿	
			$m_n=2\sim30$	$m_n=2\sim6$	$m_n=7\sim30$
1	压力角	α_0	30°	30°	
2	齿顶高	h_a	$1.2m_n$	0	
3	齿根高	h_f	$0.3m_n$	$1.36m_n$	
4	全齿高（切齿深度）	h	$1.5m_n$	$1.36m_n$	
5	工作齿高	h'	$1.2m_n$	$1.2m_n$	
6	接触点到节线的距离	h_k	$0.75m_n$	$0.75m_n$	
7	齿廓圆心偏移量	l_a、l_f	$l_a=0.529m_n$	$l_f=0.6289m_n$	$l_f=0.5523m_n+0.5196$
8	齿廓圆心移距量	x_2	0	$0.075m_n$	$0.025m_n+0.3$
9	齿廓圆弧半径	ρ_a、ρ_f	$\rho_a=1.5m_n$	$\rho_f=1.65m_n$	$\rho_f=1.55m_n+0.6$
10	凸凹齿廓半径差	$\Delta\rho$	—	$0.15m_n$	$0.05m_n+0.6$
11	接触点处弦齿厚	$\bar{s}_a$、$\bar{s}_f$	$\bar{s}_a=1.54m_n$	$\bar{s}_f=1.5416m_n$	$\bar{s}_f=1.5616m_n$
12	接触点处弦齿槽宽	$\bar{e}_a$、$\bar{e}_f$	$\bar{e}_a=1.6016m_n$	$\bar{e}_f=1.60m_n$	$\bar{e}_f=1.58m_n$
13	工艺角	δ	8°47′34″		
14	齿根圆角半径	r_g	$0.6248m_n$	$0.6227m_n$	$\frac{2.935m_n+0.9}{2}-\frac{l_f^2}{0.165m_n+0.3}$
15	齿顶侧角高度	h_y		$0.25m_n$	$0.25m_n$
16	接触处侧隙	j_n		$0.06m_n$	$0.04m_n$

表11-12-2 圆弧圆柱齿轮模数系列（GB1840—80）

第1系列	2，2.5，3，4，5，6，8，10，12，16，20，25，32，40，50
第2系列	2.25，2.75，3.5，4.5，5.5，7，9，14，18，22，28，36，45

（四）单圆弧圆柱齿轮传动的几何计算

单圆弧圆柱齿轮传动的几何计算如表11-12-3所示。

表11-12-3 单圆弧圆柱齿轮传动的几何计算（67型齿形） （mm）

序号	参数名称	代号	计算公式		计算实例	
			小齿轮(凸齿)	大齿轮(凹齿)	凸齿	凹齿
1	压力角	α_0	按标准选取		$\alpha_0=30°$	
2	法向模数	m_n	由强度计算或结构设计确定		$m_n=4$	
3	齿数	z	由强度计算或结构设计确定		$z_1=21$	$z_2=76$
4	螺旋角	β	$\beta=\arccos\frac{m_n(z_1+z_2)}{2a}$		$\beta=14.07°=14°4'12''$	
5	端面模数	m_t	$m_t=\frac{m_n}{\cos\beta}$		$m_t=4.1237$	
6	齿数比	u	$u=\frac{z_2}{z_1}$		$u=3.61905$	
7	当量齿数	z_v	$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$		$z_{v1}=23.922$	$z_{v2}=83.272$
8	中心距	a	$a=(z_1+z_2)m_t/2$		$a=300$	
9	分度圆直径	d	$d_1=z_1m_t$	$d_2=z_2m_t$	$d_1=86.60$	$d_2=313.40$
10	齿顶高	h_a	$h_{a1}=1.2m_n$	$h_{a2}=0$	$h_{a1}=4.8$	$h_{a2}=0$
11	齿根高	h_f	$h_{f1}=0.3m_n$	$h_{f2}=1.36m_n$	$h_{f1}=1.2$	$h_{f2}=5.44$
12	全齿高	h	$h_1=1.5m_n$	$h_2=1.36m_n$	$h_1=6$	$h_1=5.44$
13	工作齿高	h'	$h'=1.2m_n$		$h'=4.8$	
14	齿顶圆直径	d_a	$d_{a1}=d_1+2.4m_n$	$d_{a2}=d_2$	$d_{a1}=96.2$	$d_{a2}=313.40$
15	齿根圆直径	d_f	$d_{f1}=d_1-0.6m_n$	$d_{f2}=d_2-2.72m_n$	$d_{f1}=84.2$	$d_{f2}=302.52$
16	齿宽①	b	$b_1=b_2+(0.4\sim1.5)m_n$	$b_2=0.4a$	$b_1=87$	$b_2=80$
17	轴向齿距	p_x	$p_x=\frac{\pi m_n}{\sin\beta}$		$p_x=51.6907$	
18	重合度	ε_β	$\varepsilon_\beta=\frac{b_2\sin\beta}{\pi m_n}$		$\varepsilon_\beta=1.5477$	

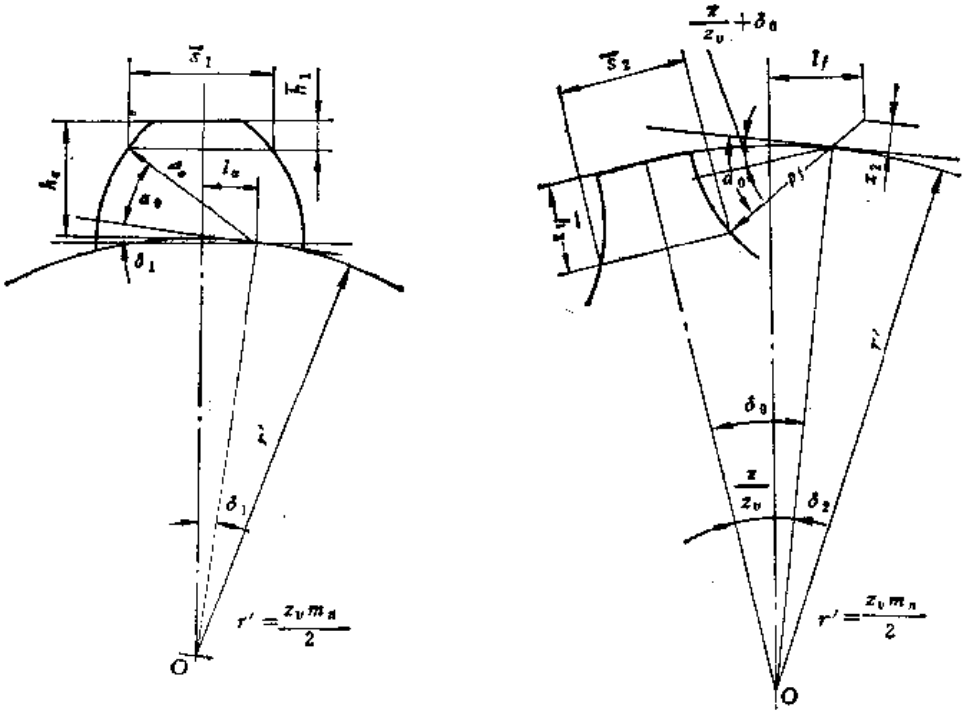
① 用公法线长度测量时，b 应大于 b_{min}，b_{min} 值见表11-12-7。

（五）圆弧圆柱齿轮的齿厚计算

1. 弦齿厚的计算

有关弦齿厚的计算见表11-2-4～6。

表11-12-4 弦齿厚（法向）的近似计算公式（JB929—67型）[193]　　（mm）



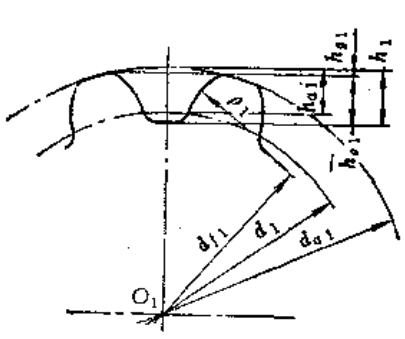
项　目	凸　　齿	凹　　齿
弦齿厚 $\bar{s}$	$\bar{s}_1=2m_n\left[\rho_a^*\cos(\alpha_0+\delta_1)-\frac{z_v}{2}\sin\delta_1\right]$	$\bar{s}_2=2m_n\left[\frac{z_v}{2}\sin\delta_0-\left(\rho_f^*-\frac{x_2^*}{\sin\alpha_0}\right)\times\cos(\alpha_0-\delta_0)\right]$
弦齿高 $\bar{h}$	$\bar{h}_1=m_n\left[h_a^*-\rho_a^*\sin(\alpha_0+\delta_1)+\frac{z_v}{2}(1-\cos\delta_1)\right]$	$\bar{h}_2=m_n\left[\frac{z_v}{2}(1-\cos\delta_0)+\left(\rho_f^*-\frac{x_2^*}{\sin\alpha_0}\right)\times\sin(\alpha_0-\delta_0)\right]$
圆心偏角 δ	$\delta_1=\frac{l_a}{r'}$，$r'=\frac{z_v m_n}{2}$，$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$	$\delta_2=\frac{2(l_f^*-x_2^*\operatorname{ctg}\alpha_0)}{z_v}$
圆心偏角 δ_0	—	$\delta_0=\frac{\pi}{z_v}+\delta_2$，$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$

注：1.式中 ρ_a^*、ρ_f^*、h_a^*、x_2^* 分别等于 ρ_a/m_n、ρ_f/m_n、h_a/m_n、x_2/m_n。

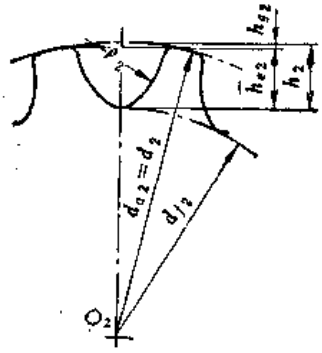
2.对67型凸齿齿轮，$\beta=10°\sim30°$，$z=10\sim30$时，$\bar{s}$，$\bar{h}$按近似式计算的最大误差仅$(0.00003\sim0.001)m_n$，当$z>30$时误差更小。

对67型凹齿齿轮，$\beta=10°\sim30°$，$z=20\sim50$时，$\bar{s}$，$\bar{h}$的最大误差为$(0.0001\sim0.003)m_n$，当$z>50$时误差更小。

表11-12-5　弦齿深（法向）的近似计算公式（JB929—67型）[13]　　（mm）



凸齿

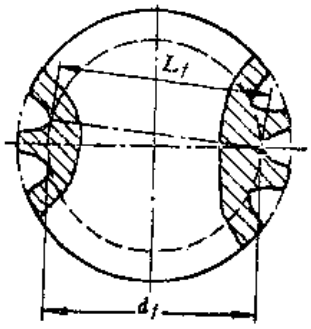


凹齿

项目	凸　齿	凹　齿	
		$m_n=2\sim6$	$m_n=7\sim32$
弓高 h_g	$h_{g1}=\dfrac{1.44d_{a1}\cos^4\beta}{z_1^2}$	$h_{g2}=\dfrac{1.285m_n\cos^3\beta}{z_2}$	$h_{g2}=\dfrac{(1.25m_n+0.08)\cos^3\beta}{z_2}$
弦齿深 $\bar{h}_e$	$\bar{h}_{e1}=h_1-h_{g1}+\dfrac{1}{2}(d''_{a1}-d_{a1})$	$\bar{h}_{e2}=h_2-h_{g2}+\dfrac{1}{2}(d''_{a2}-d_{a2})$	

式中　d''_{a1}，d''_{a2}——实测齿顶圆直径

表11-12-6　齿根圆斜径L_f的计算公式



L_f计算公式	
偶数齿	奇数齿
$L_f=d_f$	$L_f=d_f\cos\dfrac{90^\circ}{z}$

以表11-12-3中的实例为例，从表11-12-1可知，$l_\alpha=0.529m_n=2.116$，$m_n=1$时的$l^*_f=0.6289$，$\rho^*_a=1.5$，$\rho^*_f=1.65$，$h^*_a=1.2$，$x^*_2=0.075$，其齿厚计算如下表所示。

2. 公法线长度的计算

公法线长度的计算公式如表11-12-7所示。

（六）双圆弧圆柱齿轮传动

单圆弧齿轮的齿根抗弯强度较低是它的一个重要缺点，为了提高圆弧齿轮的承载能力，又发展使用了双圆弧齿轮。

双圆弧齿轮的齿形是把两个单圆弧齿轮的凸、凹齿廓组合在一起。即相啮合的一对齿轮，其齿顶部分都是凸齿，齿根部分都是凹齿（图11-12-3）。这样，传动时有两条啮合线（故又名双点啮合圆弧齿轮），在啮合过程中可以实现多点啮合和多对啮合，重合度比单圆弧齿轮大得多。

目前生产中所采用的双圆弧齿轮的基准齿形

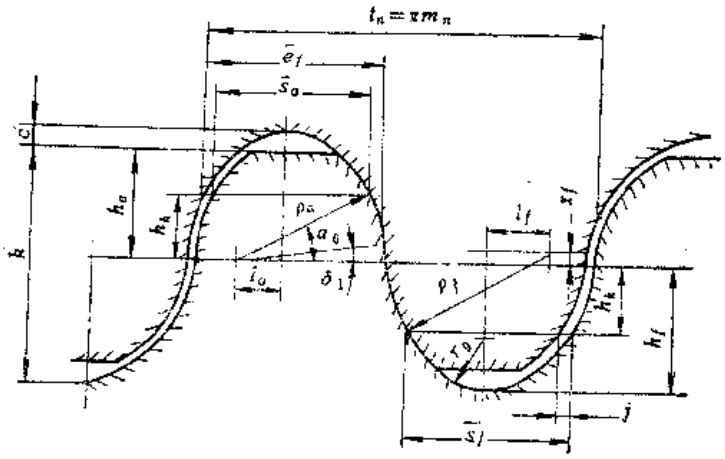
（mm）

序号	参数名称	计算公式	凸　齿	凹　齿
1	当量齿数z_v	$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$	23.009	83.072
2	节圆半径r'	$r'=\frac{z_v m_n}{2}$	46.018	—
3	圆心偏角δ	按表11-12-4	$\delta_1=\frac{f_a}{r_1'}=0.04598=2.635°$	$\delta_2=\frac{f_a}{r_2'}=0.0120136=41'20''$ $\delta_0=0.04983=2.855°$
4	弦齿高$\bar{h}$	按表11-12-4	$\bar{h}_1=1.6129$	$\bar{h}_2=2.94368$
5	弦齿厚$\bar{s}$	按表11-12-4	$\bar{s}_1=5.8743$	$\bar{s}_2=5.8725$
6	弓高h_g	按表11-12-5	$h_{g1}=0.2781$	$h_{g2}=0.0617$
7	弦齿深$\bar{h}_e$	按表11-12-5	$\bar{h}_{e1}=5.722$	$\bar{h}_{e2}=5.378$

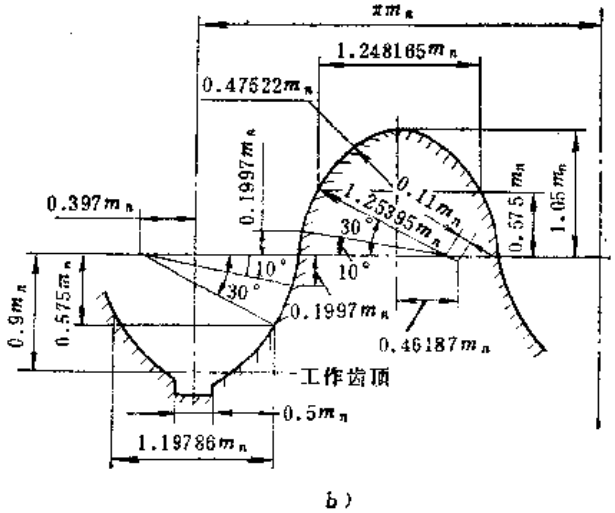
基本上有两种类型。

（1）公切线式双圆弧齿轮　其基准齿形如图11-12-4所示。这种齿轮的凸凹两段圆弧由公切线连接而成，在节圆附近过渡部分的非工作齿面间的间隙很小，当工作齿面经跑合磨损后，非工作面间的空隙逐渐消失，使非工作齿面接触，且极易出现点蚀现象。我国在1964年提出的SN-1型双圆弧齿轮就是这种类型齿轮。苏联的诺维柯夫圆柱齿轮基准齿形（ГОСТ 75023—69）和y_{max}-2H型齿形也都属于这一种。

（2）分阶式双圆弧齿轮　其基准齿形如图11-12-5所示。与公切线式双圆弧齿轮比较，它把齿根部分两侧凹弧略加外移，相应地把齿顶部分两侧凸弧稍加靠拢，使齿腰（节线附近）非工作齿面形成台阶。这种齿形啮合时，非工作齿面间形成一个较大的空隙，从而避免了公切线式非工作面发生接触的缺点。此外，这种齿轮增大了凹齿齿厚（凹齿节圆齿厚s_f将大于凸齿节圆齿厚s_a），从而提高了弯曲强度，它比单圆弧的弯曲强度高一倍左右。



a）



b）

图11-12-4　公切线式双圆弧齿轮基准齿形

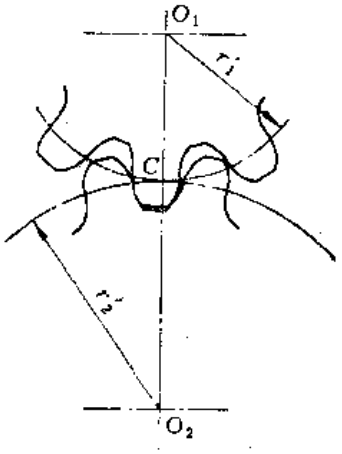
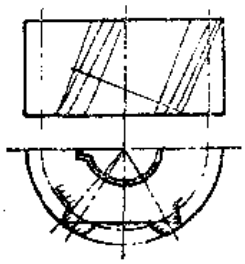
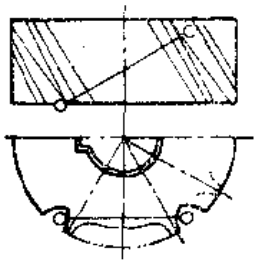


图11-12-3　双圆弧齿轮传动

表11-12-7　公法线长度计算公式(67型齿)[18]　　(mm)



凸齿



凹齿

序号	参数名称	代号	计　算　公　式	计算实例(同表11-12-3中的实例) $m_n=4$, $\alpha_0=30°$, $\beta=14.07°$, $z_1=21$, $z_2=76$
1	理论接触点处端面压力角	α_{tt}	$\alpha_{tt}=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}\alpha_0}{\cos\beta}$	$\alpha_{tt}=\operatorname{arctg}\dfrac{\operatorname{tg}20°}{\cos14.07°}$ $=30.7614°=30°45'41''$
2	跨越齿数①	k	对凸齿：$k_1=z_1\left(\dfrac{\alpha_{tt}}{180}-\dfrac{1}{2\pi}\operatorname{tg}^2\beta\sin2\alpha_{tt}\right)+\dfrac{2l_a^*}{\pi}+1$	$k_1=5.11$ 取$k_1=5$
			对凹齿：$k_2=z_2\left(\dfrac{\alpha_{tt}}{180}+\dfrac{1}{2\pi}\operatorname{tg}^2\beta\sin2\alpha_{tt}\right)-\dfrac{2l_f^*}{\pi}$	$k_2=13.256$, 取$k_2=13$
3	因数①	M	$M_1=\dfrac{1}{z_1}\left[180(k_1-1)-\dfrac{360}{\pi}l_a^*\right]$	$M_1=31.3988965$
			$M_2=\dfrac{1}{z_2}\left(180k_2+\dfrac{360}{\pi}l_f^*\right)$	$M_2=31.7377188$
4	因数	B	$B=\dfrac{90}{\pi}\operatorname{tg}^2\beta$	$B=1.799472$
5	因数①	Q	$Q=\dfrac{360}{\pi}\dfrac{x_2^*}{z_2\cos\beta}$	$Q=0.1165813$
6	测量时测点处端面压力角②	α_{mt}	对凸齿：$\alpha_{mt1}=M_1-B\sin2\alpha_{mt1}$	$\alpha_{mt1}=29.84538705°$
			对凹齿：$\alpha_{mt2}=M_2-B\sin2\alpha_{mt2}-Q\operatorname{ctg}\alpha_{mt2}$	$\alpha_{mt2}=29.97791981°$
7	测点处法向压力角	α_{mn}	$\alpha_{mn}=\operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\alpha_{mt}\cos\beta)$	$\alpha_{mn1}=29.09790°$ $\alpha_{mn2}=29.22837°$
8	公法线长度①	W_k	对凸齿：$W_{k1}=\left(\dfrac{z_1\sin\alpha_{mt1}}{\sin\alpha_{mn1}\cos\beta}+2\rho_a^*\right)m_n$	$W_{5,1}=100.6205$
			对凹齿：$W_{k2}=\left(\dfrac{z_2\sin\alpha_{mt2}}{\sin\alpha_{mn2}\cos\beta}+\dfrac{2x_2^*}{\sin\alpha_{mn2}}-2\rho_f^*\right)m_n$	$W_{13,2}=308.7315$
9	测量时的最小齿宽	b_{min}	$b_{min}=0.5d\sin2\alpha_{mt}\operatorname{tg}\beta+5$	$b_{1min}=12.84$ $b_{2min}=33.47$

① 式中的系数 $l_a^*=\dfrac{l_a}{m_n}=0.529037$, $l_f^*=0.6289$, $\rho_a^*=1.5$, $\rho_f^*=1.65$, $x_2^*=0.075$, 见表11-12-1。

② 公式α_{mt}为超越方程须用逐代法解：先取$\alpha_{mt}=\alpha_{tt}$进行第一遍计算，重复计算4～5 遍，到 α_{mt} 的误差在1″以内为止。计算精度为小数不得小于五位。本表计算实例，先取$\alpha_{mt1}=30.7614°$代入，得$\alpha_{mt1}=29.81714816°$，再以$\alpha_{mt1}=29.81714816°$代入，得29.846251°，依次类推，得29.84535821°，29.84538751°(29°50′43.39″)，29.84538658°(29°50′43.39″)，取最后两项的均值即$\alpha_{mt1}=29.84538705°$。同样方法，得$\alpha_{mt2}=29.96010361°$，29.97833502°，29.97791003°，29.97791993°(29°58′40.51″)，29.9779197°(29°58′40.51″)。取最后两项均值，即$\alpha_{mt2}=29.97791981°$。

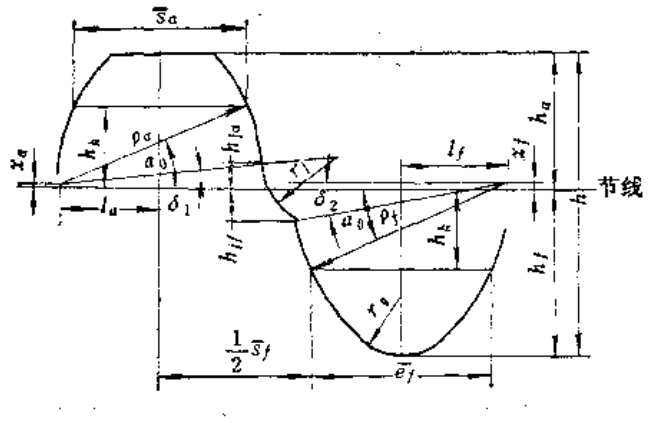


图11-12-5 双圆弧齿轮基准齿形(JB2940—81)

目前国内采用的分阶式双圆弧齿形有以下几种：

图11-12-5为JB 2940—81双圆弧齿轮齿形，其基准齿形参数见表11-12-8。基准齿形是指法截面内的齿形。

图11-12-6为S74型分阶式双圆弧齿轮的基准齿形，其基准齿形参数见表11-12-9。

图11-12-7为FSPH-75型分阶式双偏圆弧齿轮滚刀基准齿形，其基准齿形参数见表11-12-10。

图11-12-8为H-Ⅱ型分阶式双偏圆弧齿轮滚刀基准齿形。

S74型双圆弧齿形的全齿高较低，$h = 2m_n$，齿厚比较大，$s_f/s_a = 1.225 \sim 1.25$，轮齿弯曲强度较高。

表11-12-8 双圆弧圆柱齿轮基准齿形参数（JB2940—81）

序号	参数名称	代号	法面模数m_n(mm)				
			2～3	>3～6	>6～10	>10～16	>16～32
1	压力角	α_0	24°				
2	全齿高	h	$2m_n$				
3	齿顶高	h_a	$0.9m_n$				
4	齿根高	h_f	$1.1m_n$				
5	凸齿齿廓圆心移距量	x_a	$0.0163m_n$				
6	凸齿齿廓圆弧半径	ρ_a	$1.3m_n$				
7	凸齿齿廓圆心偏移量	l_a	$0.6289m_n$				
8	凹齿齿廓圆心偏移量	l_f	$0.7086m_n$	$0.6994m_n$	$0.6957m_n$	$0.6820m_n$	$0.6638m_n$
9	凹齿齿廓圆心移距量	x_f	$0.0325m_n$	$0.0285m_n$	$0.0224m_n$	$0.0163m_n$	$0.0081m_n$
10	凹齿齿廓圆弧半径	ρ_f	$1.42m_n$	$1.41m_n$	$1.395m_n$	$1.38m_n$	$1.36m_n$
11	接触点到节线的距离	h_k	$0.545m_n$	$0.545m_n$	$0.545m_n$	$0.545m_n$	$0.545m_n$
12	凸齿接触点处弦齿厚	$\bar{s}_a$	$1.1173m_n$	$1.1173m_n$	$1.1173m_n$	$1.1173m_n$	$1.1173m_n$
13	凹齿接触点处槽宽	$\bar{e}_f$	$1.1773m_n$	$1.1773m_n$	$1.1573m_n$	$1.1573m_n$	$1.1573m_n$
14	连接圆弧和凸齿圆弧的切点到节线的距离	h_{ja}	$0.16m_n$	$0.16m_n$	$0.16m_n$	$0.16m_n$	$0.16m_n$
15	连接圆弧和凹齿圆弧的交点到节线的距离	h_{jf}	$0.20m_n$	$0.20m_n$	$0.20m_n$	$0.20m_n$	$0.20m_n$
16	齿腰连接圆弧半径	r_j	$0.5103m_n$	$0.5078m_n$	$0.4906m_n$	$0.4885m_n$	$0.4858m_n$
17	齿根圆弧半径	r_g	$0.4030m_n$	$0.4004m_n$	$0.3710m_n$	$0.3663m_n$	$0.3598m_n$
18	凹齿接触点处弦齿厚	$\bar{s}_f$	$1.9643m_n$	$1.9643m_n$	$1.9843m_n$	$1.9843m_n$	$1.9843m_n$
19	凸齿工艺角	δ_1	6.3478° (6°20′52″)	6.3478° (6°20′52″)	6.3478° (6°20′52″)	6.3478° (6°20′52″)	6.3478° (6°20′52″)
20	凹齿工艺角	δ_2	9.1019° (9°6′7″)	9.325° (9°19′30″)	9.1725° (9°10′21″)	9.1636° (9°9′49″)	9.8031° (9°48′11″)
21	侧向间隙	j	$0.06m_n$	$0.06m_n$	$0.04m_n$	$0.04m_n$	$0.04m_n$
22	凸凹齿廓圆弧半径差	$\Delta\rho$	$0.12m_n$	$0.11m_n$	$0.095m_n$	$0.08m_n$	$0.06m_n$
23	凸齿节线弦齿厚	$\bar{s}_1$	$1.3419m_n$	$1.3419m_n$	$1.3419m_n$	$1.3419m_n$	$1.3419m_n$
24	凹齿节线弦齿厚	$\bar{s}_2$	$1.7195m_n$	$1.7210m_n$	$1.7434m_n$	$1.7458m_n$	$1.7492m_n$
25	齿厚比	$\bar{s}_2/\bar{s}_1$	1.2814	1.2825	1.2992	1.3010	1.3034

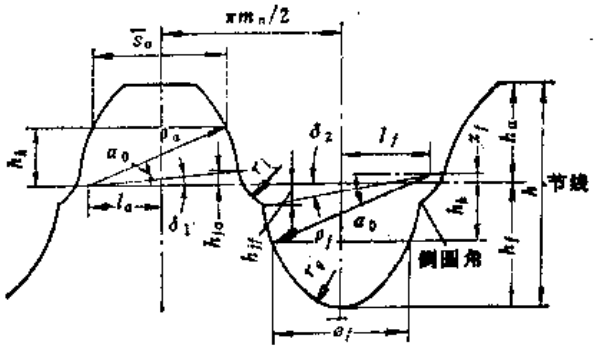


图11-12-6　S74型分阶式双圆弧齿轮基准齿形

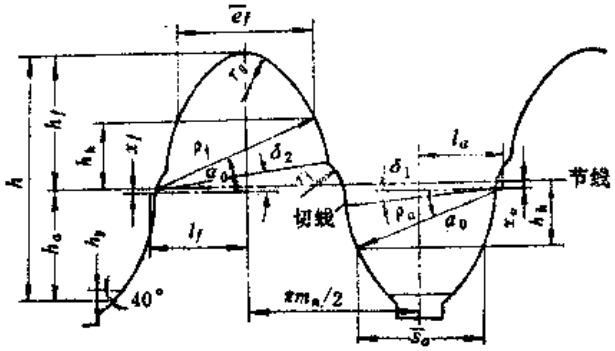


图11-12-7　FSPH-75型分阶式双偏圆弧齿轮滚刀基准齿形

表11-12-9　S74型双圆弧齿轮基准齿形参数[19]

序号	参数名称	代　号	法面模数 m_n(mm)					
			2～3	3.5～6	7～10	12～16	18～22	25～30
1	压力角	α_0	24°					
2	齿顶高	h_a	$0.9m_n$					
3	齿根高	h_f	$1.1m_n$					
4	全齿高	h	$2m_n$					
5	接触点离节线高度	h_k	$0.5491m_n$					
6	凸齿齿廓圆心偏移量	l_a	$0.6633m_n$					
7	凸齿齿廓圆弧半径	ρ_a	$1.35m_n$					
8	凸齿接触点处齿厚	$\bar{s}_a$	$1.14m_n$					
9	凹齿齿廓圆心偏移量	l_f	$0.7753m_n$	$0.7570m_n$	$0.7433m_n$	$0.7255m_n$	$0.7164m_n$	$0.7072m_n$
10	凹齿齿廓圆心移距量	x_f	$0.0610m_n$	$0.0529m_n$	$0.0447m_n$	$0.0366m_n$	$0.0325m_n$	$0.0285m_n$
11	凹齿齿廓圆弧半径	ρ_f	$1.5m_n$	$1.48m_n$	$1.46m_n$	$1.44m_n$	$1.43m_n$	$1.42m_n$
12	凹齿接触点处槽宽	$\bar{e}_f$	$1.19m_n$	$1.19m_n$	$1.18m_n$	$1.18m_n$	$1.18m_n$	$1.18m_n$
13	凸齿连接点高度	h_{jo}	$0.16m_n$					
14	凹齿连接点高度	h_{jf}	$0.18m_n$					
15	凸齿工艺角	δ_1	6.8067° (6°48′24″)					
16	凹齿工艺角	δ_2	9.2461° (9°14′46″)	9.0531° (9°3′11″)	8.8550° (8°51′18″)	8.6514° (8°39′5″)	8.5475° (8°32′51″)	8.4422° (8°26′32″)
17	齿顶连接圆弧半径	r_j	$0.4m_n$					
18	齿根圆弧半径	r_g	$0.4439m_n$	$0.4404m_n$	$0.4250m_n$	$0.4209m_n$	$0.4187m_n$	$0.4164m_n$
19	径向间隙	c	$0.2m_n$					
20	侧向间隙	j	$0.05m_n$	$0.05m_n$	$0.04m_n$	$0.04m_n$	$0.04m_n$	$0.04m_n$
21	凸凹齿廓圆弧半径差	$\Delta\rho$	$0.15m_n$	$0.13m_n$	$0.11m_n$	$0.09m_n$	$0.08m_n$	$0.07m_n$

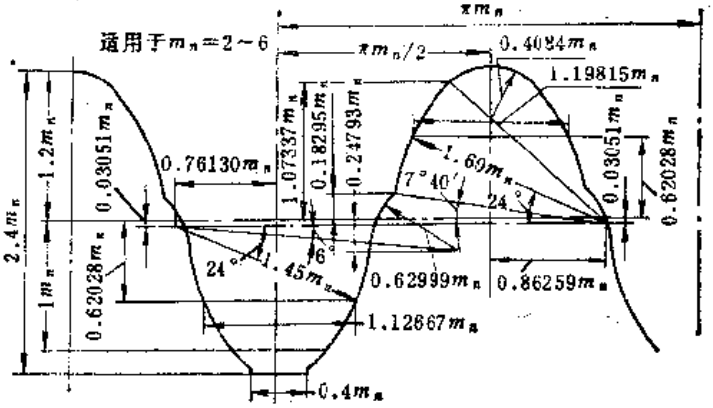


图11-12-8 H-Ⅱ型分阶式双偏圆弧齿轮滚刀基准齿形

表11-12-10 FSPH-75型分阶式双偏圆弧齿轮滚刀基准齿形参数[103]

序号	参数名称	代号	法面模数m_n(mm)				
			2～6	7～10	12～16	18～22	25～32
1	压力角	α_0	23°				
2	齿顶高	h_a	$1m_n$				
3	齿根高	h_f	$1.25m_n$				
4	全齿高	h	$2.25m_n$				
5	接触点离节线高度	h_k	$0.6252m_n$	$0.6213m_n$	$0.6095m_n$	$0.6056m_n$	$0.6017m_n$
6	凸齿齿廓圆心偏移量	l_a	$0.7949m_n$	$0.7886m_n$	$0.7888m_n$	$0.7889m_n$	$0.7889m_n$
7	凸齿齿廓圆心移距量	x_a	$0.0391m_n$	$0.0352m_n$	$0.0234m_n$	$0.0195m_n$	$0.0156m_n$
8	凸齿齿廓圆弧半径	ρ_a	$1.5m_n$				
9	凹齿齿廓圆心偏移量	l_f	$0.8964m_n$	$0.8839m_n$	$0.8539m_n$	$0.8340m_n$	$0.8240m_n$
10	凹齿齿廓圆心移距量	x_f	$0.0195m_n$	$0.0156m_n$	$0.0156m_n$	$0.0117m_n$	$0.0117m_n$
11	凹齿齿廓圆弧半径	ρ_f	$1.65m_n$	$1.63m_n$	$1.60m_n$	$1.58m_n$	$1.57m_n$
12	凹齿接触点处槽宽	$\bar{e}_f$	$1.2417m_n$	$1.2344m_n$	$1.2340m_n$	$1.2338m_n$	$1.2338m_n$
13	凸齿接触点处齿厚	$\bar{s}_a$	$1.1717m_n$	$1.1844m_n$	$1.1840m_n$	$1.1838m_n$	$1.1838m_n$
14	凸齿工艺角	δ_1	6°				
15	凹齿工艺角	δ_2	8°	7.5°(7°30′)		7°	
16	凸凹齿廓连接圆弧半径	r_j	$0.3089m_n$	$0.2778m_n$	$0.2660m_n$	$0.2406m_n$	$0.2374m_n$
17	凹齿齿根圆弧半径	r_g	$0.4038m_n$	$0.3758m_n$	$0.3427m_n$	$0.3281m_n$	$0.3145m_n$
18	径向间隙	c	$0.25m_n$				
19	侧向间隙	j	$0.07m_n$	$0.05m_n$	$0.05m_n$	$0.05m_n$	$0.05m_n$
20	凸凹齿廓圆弧半径差	$\Delta\rho$	$0.15m_n$	$0.13m_n$	$0.10m_n$	$0.08m_n$	$0.07m_n$
21	齿顶修缘高度	h_y	$0.05m_n$				

FSPH-75型分阶式双偏圆弧齿轮的全齿高较高，$h=2.25m_n$，接触弧较长，齿面接触强度较好。这种齿形的齿廓圆心偏于节线两侧（齿轮啮合时），有利于跑合和减小中心距的敏感性。滚刀的根部加厚，滚切时，倒去了凸齿齿顶尖角，改善了凸齿齿面的接触情况。但该齿形齿厚比较小，$s_f/s_a=1.16$，轮齿弯曲强度较低。

H-Ⅱ型分阶式双偏圆弧齿轮的工作弧较长，达$1.82m_n$，比67型单圆弧齿轮轮齿的工作弧长（$1.14m_n$）大约增加了60%，从而显著地提高了齿面接触强度。齿廓过渡部分的连接圆弧半径也较大，有利于齿腰强度的提高。

双圆弧齿轮传动的几何计算如表11-12-11所示。

（七）圆弧圆柱齿轮精度

JB4021—85《圆弧圆柱齿轮精度》适用于平行轴之间传递动力用的圆弧圆柱齿轮及其齿轮副，其基准齿形按JB929—67《圆弧齿轮滚刀的法面齿形》或JB2940—81《双圆弧齿轮基准齿形》的规定，齿轮模数按GB1840—80《圆弧圆柱齿轮模数》的规定。

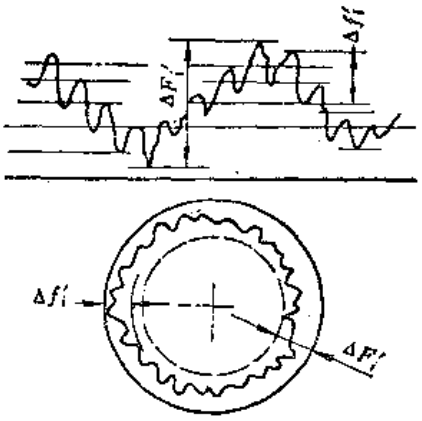
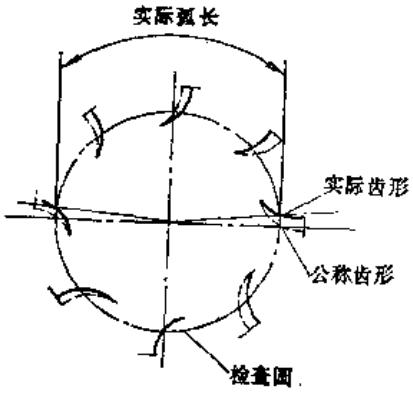
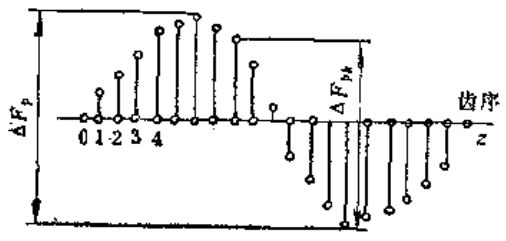
1. 误差及侧隙的定义和代号

圆弧圆柱齿轮、齿轮副误差及侧隙的定义和代号如表11-12-12所示。

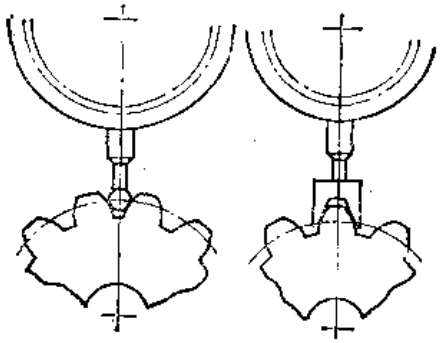
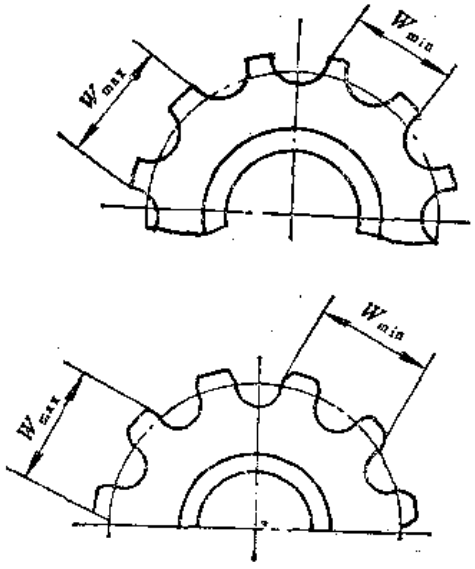
表11-12-11 双圆弧齿轮传动的几何计算[9]　　(mm)

序号	参数名称	代号	计算公式	实例计算
1	压力角	α_0	按标准选取	23°(FSPH-75型) 表11-12-10
2	齿数	z	由强度计算或结构设计确定	$z_1=35$，$z_2=57$
3	齿数比	u	$u=\frac{z_2}{z_1}$	$u=\frac{57}{35}=1.6286$
4	法向模数	m_n	由强度计算并按标准选取	$m_n=5$
5	螺旋角	β	$\cos\beta=\frac{(z_1+z_2)m_n}{2a}$	$\beta=16.553°(16°33'11'')$
6	分度圆直径	d	$d=\frac{zm_n}{\cos\beta}$	$d_1=\frac{35\times5}{\cos\beta}=181.087$， $d_2=\frac{57\times5}{\cos\beta}=294.913$
7	齿顶高	h_a	按标准选取，见表11-12-8～10	按表11-12-10，$h_a=m_n=5$
8	齿根高	h_f	按标准选取，见表11-12-8～10	按表11-12-10，$h_f=1.25m_n=6.25$
9	齿顶圆直径	d_a	$d_a=d+2h_a$	$d_{a1}=191.087$，$d_{a2}=304.913$
10	齿根圆直径	d_f	$d_f=d-2h_f$	$d_{f1}=168.587$，$d_{f2}=282.413$
11	中心距	a	$a=\frac{d_1+d_2}{2}=\frac{(z_1+z_2)m_n}{2\cos\beta}$	$a=\frac{d_1+d_2}{2}=238$
12	轴向齿距	p_x	$p_x=\frac{\pi m_n}{\sin\beta}$	$p_x=\frac{\pi\times5}{\sin\beta}=61.098$
13	齿宽	b	$b=b_{min}+(0.15\sim0.35)p_x$ b_{min}根据设计要求而定	

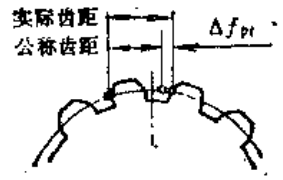
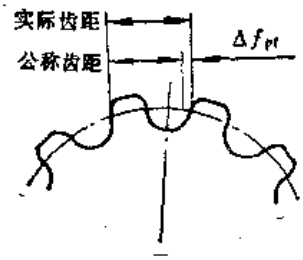
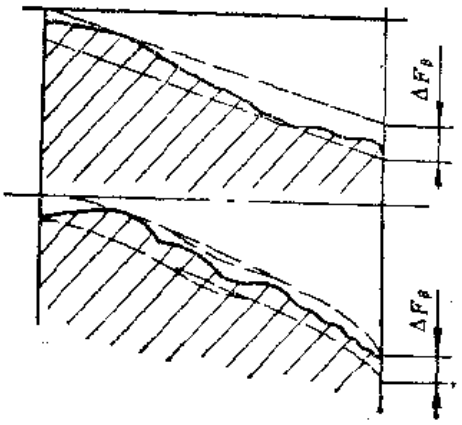
表11-12-12 圆弧圆柱齿轮、齿轮副误差及侧隙的定义和代号（JB4021—85）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
1	切向综合误差  切向综合公差	$\Delta F_i'$ F_i'①	被测齿轮与理想精确的测量齿轮单面啮合转动时，相对于测量齿轮的转角，在被测齿轮一转内，被测齿轮实际转角与理论转角的最大差值 以分度圆弧长计值	
2	一齿切向综合误差 一齿切向综合公差	$\Delta f_i'$ f_i'②	切向综合误差记录曲线上，小波纹的最大幅度值。其波长为一个齿距角 以分度圆弧长计值	
3	齿距累积误差  k个齿距累积误差  齿距累积公差 k个齿距累积公差	ΔF_p ΔF_{pk} F_p F_{pk}	在检查圆③上，任意两个同侧齿面间实际弧长与公称弧长的最大差值 在检查圆上，k个齿距间的实际弧长与公称弧长的最大差值。k为2到小于z/2的整数	表11-12-17

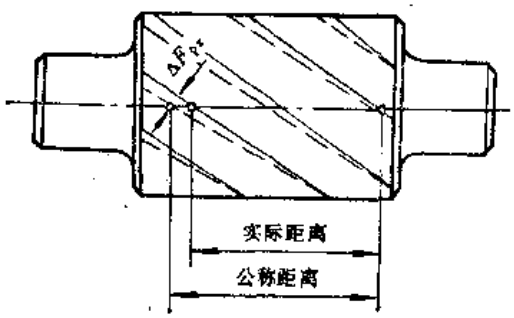
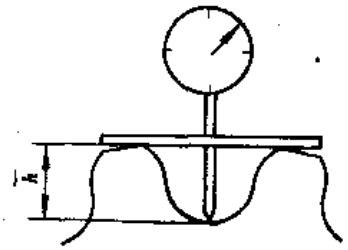
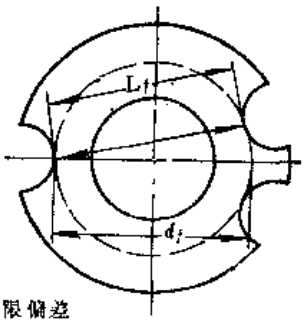
（续）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
4	齿圈径向跳动  齿圈径向跳动公差	ΔF_r F_r	在齿轮一转范围内，测头在齿槽内或轮齿上，于凸齿或凹齿中部双面接触，测头相对于齿轮轴心线的最大变动量	表11-12-18
5	公法线长度变动  公法线长度变动公差	ΔF_W F_W	在齿轮一周范围内，实际公法线长度最大值与最小值之差 $\Delta F_W = W_{max} - W_{min}$	表11-12-21

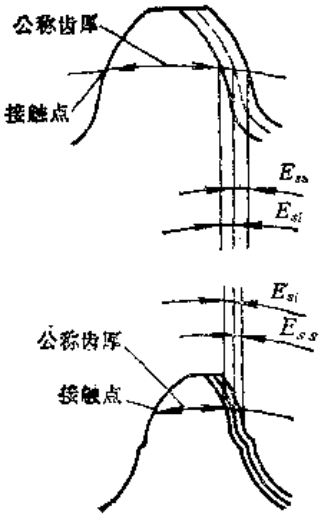
（续）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
6	齿距偏差   	Δf_{pt}	在检查圆上实际齿距与公称齿距之差 用相对法测量时，公称齿距是指所有实际齿距的平均值	
	齿距极限偏差	$\pm f_{pt}$		表11-12-19
7	齿向误差 一个轴向齿距内的齿向误差  	ΔF_β $\Delta f_{f\beta}$	在检查距柱面上，齿宽工作部分范围内（端部倒角部分除外），包容实际齿向线的两条最近的设计齿向线之间的端面距离 设计齿向线可以是修正的圆柱螺旋线，包括齿端修薄及其它修形曲线 齿宽两端的齿向误差只允许逐渐偏向齿体内	
	齿向公差 一个轴向齿距内的齿向公差	F_β $f_{f\beta}$		表11-12-20

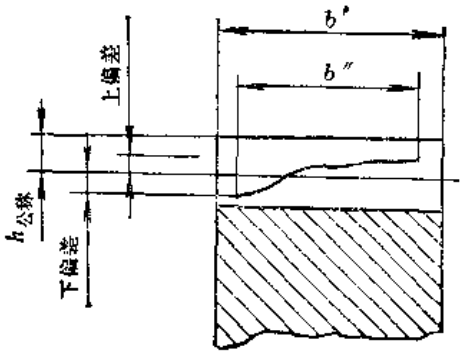
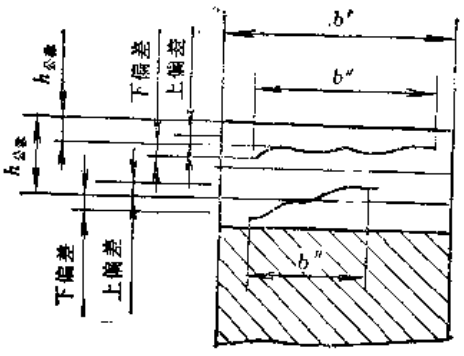
（续）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
8	轴向齿距偏差 一个轴向齿距偏差  轴向齿距极限偏差 一个轴向齿距极限偏差	ΔF_{px} Δf_{px} $\pm F_{px}$ $\pm f_{px}$ ④	在与齿轮基准轴线平行而大约通过凸齿或凹齿中部的一条直线上，任意两个同侧齿面间的实际距离与公称距离之差 沿齿面法线方向计值	
9	螺旋线波度误差 螺旋线波度公差	$\Delta f_{f\beta}$ $f_{f\beta}$⑤	宽斜齿轮凸齿或凹齿中部实际齿向线波纹的最大波幅 沿齿面法线方向计值	
10	弦齿深偏差  弦齿深极限偏差	ΔE_h $\pm E_h$	在齿轮一周内，实际平均弦齿深与公称弦齿深之差	表11-12-24
11	齿根圆直径偏差  齿根圆直径极限偏差	ΔE_{df} $\pm E_{df}$	齿根圆直径实际尺寸和公称直径尺寸之差 对于奇数齿可用齿根圆斜径L_f代替 $L_f = d_f \cos\frac{90^\circ}{z}$	表11-12-25

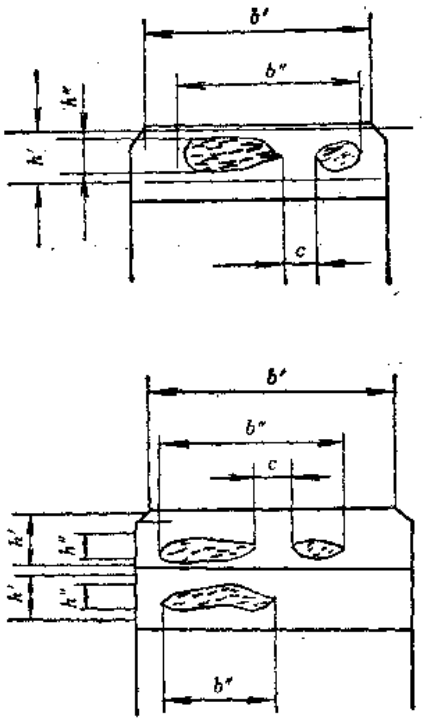
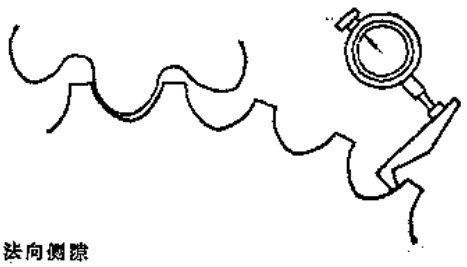
（续）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
12	齿厚偏差  齿厚极限偏差 上偏差 下偏差	ΔE_s E_{ss}⑥ E_{si}	接触点所在圆柱面上，法向齿厚实际值与公称值之差	
13	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	ΔE_w E_{ws}⑦ E_{wi}	在齿轮一周内，公法线长度平均值与公称值之差	
14	齿轮副的切向综合误差 齿轮副的切向综合公差	$\Delta F'_c$ F'_c⑧	在设计中心距下安装好的齿轮副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理论转角的最大差值 以分度圆弧长计值	
15	齿轮副的一齿切向综合误差 齿轮副的一齿切向综合公差	$\Delta f'_c$ f'_c⑨	齿轮副的切向综合误差记录曲线上，小波纹的最大幅度值 以分度圆弧长计值	

（续）

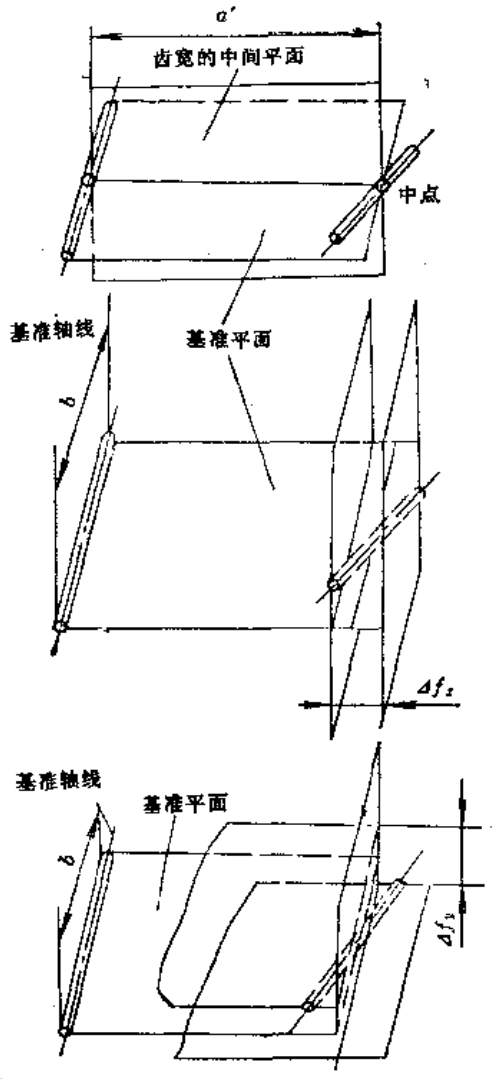
序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
16	齿轮副的接触迹线 接触迹线位置偏差		装配好的齿轮副，在轻微制动下，齿面实际接触迹线偏离名义接触迹线的高度 对于单圆弧齿轮名义接触迹线距齿顶的高度 凸齿： $h_{公称}=0.45m_n$ 凹齿： $h_{公称}=0.75m_n$	
			对于双圆弧齿轮 凸齿： $h_{公称}=0.355m_n$ 凹齿： $h_{公称}=1.445m_n$	
				
	接触迹线沿齿宽分布的长度		沿齿长方向，接触迹线的长度b''与工作长度b'之比，即： $\frac{b''}{b'}\times100\%$	

（续）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
17	齿轮副的接触斑点  		安装好的齿轮副，在轻微的制动下，运转后齿面上分布的接触擦亮痕迹 接触痕迹的大小在齿面展开图上用百分比计算 沿齿长方向，接触痕迹的长度b''（扣除超过模数的断开部分c）与工作长度b'之比，即： $\frac{b''-c}{b'}\times 100\%$ 沿齿高方向，接触痕迹的平均高度h''与工作高度h'之比，即： $\frac{h''}{h'}\times 100\%$	
18	齿轮副的侧隙 圆周侧隙 	j_t	齿轮副中一个齿轮固定时，另一个齿轮的圆周晃动量，以接触点所在圆上的弧长计	
	法向侧隙	j_n	齿轮副工作齿面接触时，非工作齿面之间的最小距离	
	最大极限侧隙	j_{tmax} j_{nmax}		
	最小极限侧隙	j_{tmin} j_{nmin}		
19	齿轮副的中心距偏差	Δf_a	在齿轮副的齿宽中间平面内，实际中心距与设计中心距之差	
	齿轮副的中心距极限偏差	$\pm f_a$		表11-12-23

（续）

序号	名　　称	代号	定　　义	公差值表号
20	轴线的平行度误差			
	X方向轴线的平行度误差	Δf_x	一对齿轮的轴线在其基准平面上投影的平行度误差 在等于全齿宽的长度上测量	
	Y方向轴线的平行度误差	Δf_y	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上投影的平行度误差 在等于全齿宽的长度上测量 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以作为基准轴线	
	X方向轴线的平行度公差	f_x		表11-12-22
	Y方向轴线的平行度公差	f_y		



① $F_i' = F_p + f_\beta$

② $f_i' = 0.6(f_{pt} - f_\beta)$

③ 检查圆是指位于凸齿中部和凹齿中部与分度圆同心的圆

④ $f_{px} = f_\beta$

⑤ $f_{f\beta} = f_i' \cos\beta$

⑥ $E_x = -2E_h \mathrm{tg}\alpha$

⑦ $E_w = -2E_h \sin\alpha$

⑧ $F_{ic}' = F_{i1}' + F_{i2}'$

⑨ $f_{ic} = f_{i1} + f_{i2}$

2. 精度等级

（1）圆弧齿轮和齿轮副共分五个精度等级，按精度高低依次定为4级、5级、6级、7级、8级。齿轮副中两个齿轮的精度等级一般取成相同，也允许取成不相同。

（2）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11-12-13）。

表11-12-13 圆弧齿轮公差组（JB4021—85）

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_i, F_p, F_{pk}, F_r, F_w	以齿轮一转为周期的误差	传递运动的准确性
Ⅱ	f_i, f_{pt}, f_β, $f_{f\beta}$, f_{px}	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_β, F_{px} E_{df}, E_h	齿向线的误差，齿形的径向位置误差	载荷沿齿宽分布的均匀性，齿高方向的接触部位和承载能力

（3）根据使用的要求不同，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。

3. 齿坯的检验和公差

（1）齿轮在加工、检验和安装时的径向基准面和轴向辅助基准面应尽量一致，并在齿轮零件图上予以标注。

（2）齿坯公差按表11-12-14和表11-12-15的

表11-12-14 齿坯公差（JB4021—85）

齿轮精度等级①		4	5	6	7	8
孔	尺寸公差 形状公差	IT4	IT5	IT6	IT7	
轴	尺寸公差 形状公差	IT4	IT5		IT6	
顶圆直径②		IT6		IT7		

注：IT——标准公差，数值见表11-9-9。

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 当顶圆不作测量齿深和齿厚的基准时，尺寸公差按IT11给定。但不得大于0.1m_n。

表11-12-15 齿坯基准面径向和端面跳动公差

（JB4021—85） （μm）

分度圆直径(mm)		精度等级		
大于	到	4	5和6	7和8
—	125	7	11	18
125	400	9	14	22
400	800	12	20	32
800	1600	18	28	45
1600	2500	25	40	63
2500	4000	40	63	100

注：当以顶圆作基准面时，本表就指顶圆的径向跳动。

规定。

4. 齿轮的检验和公差

根据齿轮副的工作要求和生产规模，在各公差组中，可任选一个检验组来检定和验收齿轮的精度（表11-12-16）。若用不同检验组所得结果不同，应按最低的结果评定齿轮精度等级。

表11-12-16 各公差组的检验组

（JB4021—85）

公差组	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
检验组	1. F_i' 2. F_p与F_{pk}① 3. F_r与F_w②	1. f_i' 2. f_{pt}③，f_β（或f_{px}） 3. f_{pt}③	1. F_β与E_{df}（或E_h） 2. F_{px}与E_{df}（或E_h）

① F_{pk}仅在必要时加检。

② 当其中有一项超差时，应按F_p检定。

③ 对于6级或高于6级精度的斜齿轮或人字齿轮，检验f_{pt}时推荐加检$f_{f\beta}$。

各项误差的公差值列于表11-12-17～25。

5. 齿轮副的检验和要求

（1）齿轮副的要求包括齿轮副的切向综合误差$\Delta F_c'$，齿轮副的一齿切向综合误差$\Delta f_c'$，齿轮副的接触迹线、齿轮副的接触斑点以及侧隙要求。如齿轮副这五个方面的要求均能满足，则此齿轮副即认为合格。对齿轮副的侧隙无特殊要求时，可不检查侧隙数值，只要求齿轮副能灵活转动即可。

（2）齿轮副的切向综合误差$\Delta F_c'$和齿轮副的一齿切向综合误差$\Delta f_c'$在装配后实测，或按单个齿轮的切向综合误差$\Delta F_i'$之和与一齿切向综合误差

表11-12-17 齿距累积公差F_p及k个齿距累积公差F_{pk}值（JB4021—85） （μm）

精度等级	L（mm）												
	~32	>32~50	>50~80	>80~160	>160~315	>315~630	>630~1000	>1000~1600	>1600~2500	>2500~3150	>3150~4000	>4000~5000	>5000~7200
4	8	9	10	12	18	25	32	40	45	56	63	71	80
5	12	14	16	20	28	40	50	63	71	90	100	112	125
6	20	22	25	32	45	63	80	100	112	140	160	180	200
7	28	32	36	45	63	90	112	140	160	200	224	250	280
8	40	45	50	63	90	125	160	200	224	280	315	355	400

注：1.F_p和F_{pk}按分度圆弧长L查表：

查F_p时，取$L=\frac{1}{2}\pi d=\frac{\pi m_n z}{2\cos\beta}$

查F_{pk}时，取$L=\frac{k\pi m_n}{\cos\beta}$（$k$为2到小于$z/2$的整数）

2.除特殊情况外，对于F_{pk}，k值规定取为小于$z/6$或$z/8$的最大整数。

式中 d——分度圆直径；m_n——法向模数；z——齿数；β——分度圆螺旋角。

表11-12-18 齿圈径向跳动公差F_r值（JB4021—85） （μm）

精度等级	法向模数（mm）	分度圆直径（mm）					
		~125	>125~400	>400~800	>800~1600	>1600~2500	>2500~4000
4	2~3.5	9	10	11	—	—	—
	>3.5~6.3	11	13	13	14	—	—
	>6.3~10	13	14	14	16	18	—
	>10~16	—	16	18	18	20	22
	>16~25	—	20	22	22	25	25
	>25~40	—	—	28	28	32	32
5	2~3.5	14	16	18	—	—	—
	>3.5~6.3	16	18	20	22	—	—
	>6.3~10	20	22	22	25	28	—
	>10~16	22	25	28	28	32	36
	>16~25	—	32	36	36	40	40
	>25~40	—	—	45	45	50	50
6	2~3.5	22	25	28	—	—	—
	>3.5~6.3	28	32	32	36	—	—
	>6.3~10	32	36	36	40	45	—
	>10~16	36	40	45	45	50	56
	>16~25	—	50	56	56	63	63
	>25~40	—	—	71	71	80	80
7	2~3.5	36	40	45	—	—	—
	>3.5~6.3	45	50	50	56	—	—
	>6.3~10	50	56	56	63	71	—
	>10~16	56	63	71	71	80	90
	>16~25	—	80	90	90	100	100
	>25~40	—	—	112	112	125	125
8	2~3.5	50	56	63	—	—	—
	>3.5~6.3	63	71	71	80	—	—
	>6.3~10	71	80	80	90	100	—
	>10~16	80	90	100	100	112	125
	>16~25	—	112	125	125	140	140
	>25~40	—	—	160	160	180	180

表11-12-19 齿距极限偏差 $\pm f_{pt}$ 的 f_{pt} 值（JB4021—85） (μm)

精度等级	法向模数 (mm)	分度圆直径 (mm) ～125	>125～400	>400～800	>800～1600	>1600～2500	>2500～4000
4	2～3.5	4.0	4.5	5.0	—	—	—
	>3.5～6.3	5.0	5.5	5.5	6.0	—	—
	>6.3～10	5.5	6.0	7.0	7.0	8.0	—
	>10～16	—	7.0	8.0	8.0	9.0	10
	>16～25	—	9.0	10	10	11	11
	>25～40	—	—	13	13	14	14
5	2～3.5	6	7	8	—	—	—
	>3.5～6.3	8	9	9	10	—	—
	>6.3～10	9	10	10	11	13	—
	>10～16	10	11	11	13	14	16
	>16～25	—	14	13	16	18	18
	>25～40	—	—	16	20	22	22
6	2～3.5	10	11	13	—	—	—
	>3.5～6.3	13	14	14	16	—	—
	>6.3～10	14	16	18	18	20	—
	>10～16	16	18	20	20	22	25
	>16～25		22	25	25	28	28
	>25～40			32	32	36	36
7	2～3.5	14	16	18	—	—	—
	>3.5～6.3	18	20	20	22	—	—
	>6.3～10	20	22	25	25	28	—
	>10～16	22	25	28	28	32	36
	>16～25	—	32	36	36	40	40
	>25～40	—	—	—	45	50	50
8	2～3.5	20	22	25	—	—	—
	>3.5～6.3	25	28	28	32	—	—
	>6.3～10	28	32	36	36	40	—
	>10～16	32	36	40	40	45	50
	>16～25	—	45	50	50	56	56
	>25～40	—	—	63	63	71	71

表11-12-20 齿向公差 F_β 值（一个轴向齿距内的齿向公差 f_β 值）（JB4021—85） (μm)

精度等级	齿轮宽度(轴向齿距)(mm) ～40	>40～100	>100～160	>160～250	>250～400	>400～630
4	5.5	8.0	10	12	14	17
5	7	10	12	16	18	22
6	9	12	16	19	24	28
7	11	16	20	24	28	34
8	18	25	32	38	45	55

注：一个轴向齿距内齿向公差按轴向齿距查表。

表11-12-21 公法线长度变动公差 F_W 值（JB4021—85） (μm)

精度等级	分度圆直径(mm) ～125	>125～400	>400～800	>800～1600	>1600～2500	>2500～4000
4	8	10	12	16	18	25
5	12	16	20	25	28	40
6	20	25	32	40	45	63
7	28	36	45	56	71	90
8	40	50	63	80	100	125

表11-12-22　轴线平行度公差（JB4021—85）

X方向轴线平行度公差 $f_x = F_\beta$	F_β见表11-12-20
Y方向轴线平行度公差 $f_y = \frac{1}{2}F_\beta$	

表11-12-23　中心距极限偏差 $\pm f_a$ 的 f_a 值（JB4021—85）　（μm）

精度等级	中心距(mm)													
	~120	>120~180	>180~250	>250~315	>315~400	>400~500	>500~630	>630~800	>800~1000	>1000~1250	>1250~1600	>1600~2000	>2000~2500	>2500~3150
4	11	12.5	14.5	16	18	20	22	25	28	33	39	46	55	67.5
5，6	17.5	20	23	26	28.5	31.5	35	40	45	52	62	75	87	105
7，8	27	31.5	36	40.5	44.5	48.5	55	62	70	82	97	115	140	165

表11-12-24　弦齿深极限偏差 $\pm E_h$ 的 E_h 值（JB4021—85）　（μm）

精度等级	法向模数(mm)	分度圆直径(mm)										
		≤50	>50~80	>80~120	>120~200	>200~320	>320~500	>500~800	>800~1250	>1250~2000	>2000~3150	>3150~4000
4	2~3.5	13	14	15	17	19	22	24	—	—	—	—
	>3.5~6.3	16	17	18	20	22	24	27	30	33	36	40
	>6.3~10		20	22	24	26	27	30	33	36	40	48
5，6	2~3.5	16	18	19	21	24	27	30				
	>3.5~6.3	20	21	23	25	27	30	34	37	41	45	50
	>6.3~10		25	27	30	32	34	37	41	45	50	60
7，8	2~3.5	20	22	24	27	30	32	—	—	—	—	—
	>3.5~6.3	25	26	28	30	34	36	40	45	50	—	—
	>6.3~10	—	32	34	36	40	42	45	50	55	60	65
	>10~16	—	—	42	45	48	50	55	60	65	70	75
	>16~32	—	—	—	65	70	75	75	80	90	90	100

注：对于双圆弧齿轮，弦齿深极限偏差取 $\pm 0.75E_h$。

表11-12-25　齿根圆直径极限偏差 $\pm E_{df}$ 的 E_{df} 值（JB4021—85）　（μm）

精度等级	法向模数(mm)	分度圆直径(mm)										
		≤50	>50~80	>80~120	>120~200	>200~320	>320~500	>500~800	>800~1250	>1250~2000	>2000~3150	>3150~4000
4	2~3.5	20	22	25	29	31	36	42	—	—	—	—
	>3.5~6.3	25	27	30	34	38	42	48	54	—	—	—
	>6.3~10	—	36	38	42	45	50	54	60	64	80	—
5，6	2~3.5	25	28	31	36	39	45	52	—	—	—	—
	>3.5~6.3	31	34	37	42	48	52	60	67	—	—	—
	>6.3~10	—	45	48	52	56	63	67	75	80	100	—
7，8	2~3.5	30	34	38	44	50	55	—	—	—	—	—
	>3.5~6.3	40	44	48	50	55	66	70	80	—	—	—
	>6.3~10	—	55	60	65	70	75	80	90	100	—	—
	>10~16	—	—	75	80	85	90	100	110	120	140	160
	>16~32	—	—	—	120	125	130	140	150	160	180	200

注：对于双圆弧齿轮，齿根圆直径极限偏差取 $\pm 0.75E_{df}$。

$\Delta f_{i\Sigma}$之和进行考核。

（3）齿轮副的接触迹线和接触斑点的大小应按表11-12-26、27规定。

表11-12-26 接触迹线长度和位置偏差

（JB4021—85）

精度等级	单圆弧齿轮		双圆弧齿轮		
	接触迹线位置偏差	按齿长不少于工作齿长	接触迹线位置偏差	按齿长不少于工作齿长	
				第一条	第二条
4	$\pm 0.15m_n$ ①	95%	$\pm 0.11m_n$	95%	75%
5	$\pm 0.20m_n$	90%	$\pm 0.15m_n$	90%	70%
6				90%	60%
7	$\pm 0.25m_n$	85%	$\pm 0.18m_n$	85%	50%
8				80%	40%

① m_n——法向模数。

表11-12-27 接触斑点（JB4021—85）

精度等级	单圆弧齿轮		双圆弧齿轮		
	按齿高不少于工作齿高	按齿长不少于工作齿长	按齿高不少于工作齿高	按齿长不少于工作齿长	
				第一条	第二条
4	60%	95%	60%	95%	90%
5	55%	95%	55%	95%	85%
6	50%	90%	50%	90%	80%
7	45%	85%	45%	85%	70%
8	40%	80%	40%	80%	60%

齿轮副的接触迹线和接触斑点分两步检验。装配后，先检验接触迹线。接触迹线合格后，才允许进行跑合。跑合后检查接触斑点。

（4）齿轮副的轴线平行度公差f_x与f_y按表11-12-22的规定。

（5）中心距极限偏差$\pm f_a$按表11-12-23的规定。

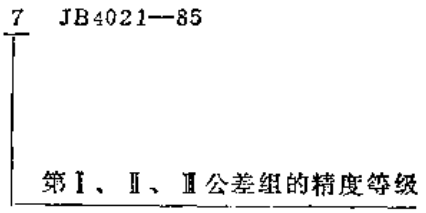
（6）圆弧齿轮传动的侧隙基本上由基准齿形决定。不能依靠加工时刀具的径向变位和改变中心距的偏差来获得各种侧隙的配合。如果有的齿轮对侧隙有特殊要求，可以用标准刀具借切向移距来增加所需的侧隙，也可以提出设计要求，采用具有特殊侧隙的刀具加工齿轮来获得要求的侧隙。

6. 图样标注

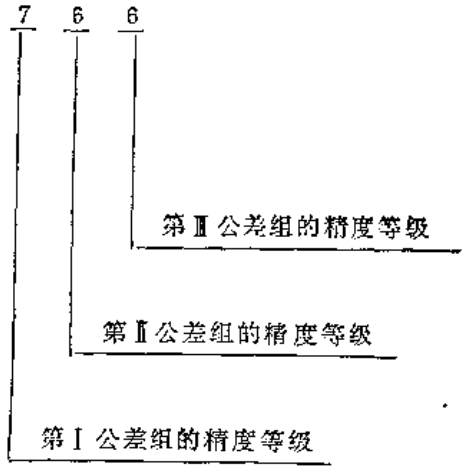
在齿轮工作图上应标注齿轮的精度等级和侧隙系数。

标注示例：

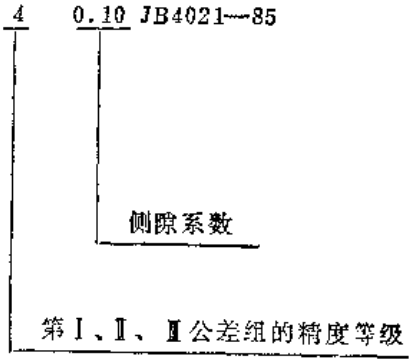
1）齿轮的三个公差组精度同为7级，采用标准齿形的滚刀时，可不标注侧隙系数。



2）齿轮第Ⅰ公差组精度为7级，第Ⅱ公差组精度为6级，第Ⅲ公差组精度为6级，采用标准齿形的滚刀时，可不标注侧隙系数。



3）齿轮的三个公差组精度同为4级，侧隙有特殊要求：$j_n = 0.10m_n$。



附　录

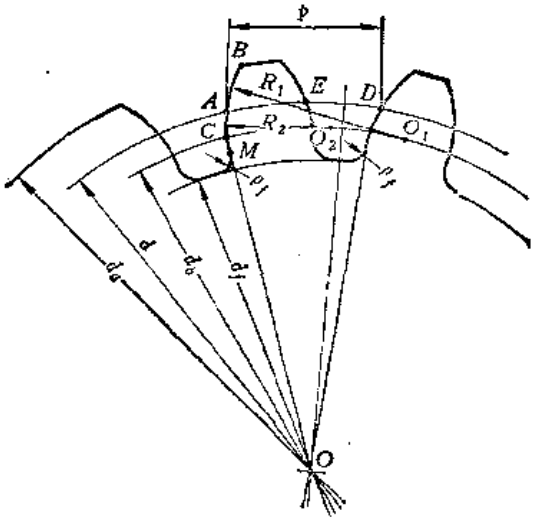
（一）渐开线圆柱齿轮齿廓的画法

（1）齿廓的近似画法

这种画法是用两段圆弧来代替渐开线齿廓的近似画法，只适用于精度不高，变位系数 $x=0$ 的齿廓。

首先根据已知的模数 m，压力角 α，齿数 z，齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^*，求出齿轮的有关直径尺寸：齿顶圆直径 d_a，齿根圆直径 d_f，基圆直径 d_b，分度圆直径 d。

齿形画法的步骤（附图11-1）：



附图11-1　齿廓近似画法

1）以 O 为圆心，按计算出的各种直径尺寸画出齿顶圆、分度圆、齿根圆和基圆。

2）在分度圆上按齿数取等分点 A、D（或近似 $P=\pi m$ 为弧长截取）。

3）以等分点 A 为起点，截取齿厚 AE 及齿槽 ED。AE 和 ED 的长度按下式计算：

铸造齿轮　$AE=\frac{19}{40}P$，$ED=\frac{21}{40}P$

制造磨齿的齿轮刀具　$AE=\frac{39}{80}P$，

$$ED=\frac{41}{80}P$$

如果不考虑齿厚减薄量时　$AE=ED=\frac{1}{2}P$

4）以 A 为圆心，$R_1(R_1=\rho' m)$ 和 $R_2(R_2=\rho'' m)$ 为半径，在基圆上截取 O_1 和 O_2 两点。ρ' 和 ρ'' 的计算式：

$$\rho'=\frac{z}{2}\sqrt{1-\cos^2\alpha\frac{z-1}{z+1}}$$

$$\rho''=\frac{z^2\sin^2\alpha}{4\rho'}$$

当 $\alpha=20°$ 时，可按附表11-1查取 ρ'、ρ'' 值。

当 $\alpha=15°$ 时，可按附表 11-2查取 ρ'、ρ'' 值。

5）以 O_1 为圆心，R_1 为半径，画圆弧 $\overset{\frown}{AB}$，即为齿顶高部分的齿廓。

6）以 O_2 为圆心，R_1 为半径，画圆弧 $\overset{\frown}{AC}$，即为齿根高部分的齿廓。

7）连接 CO 直线，并以 $\rho_f=0.38m$ 为半径，与齿根圆及 CO 直线相切，交于 CO 直线的 M 点，画出齿根圆的圆角部分（当 $z<41$ 时，基圆大于齿根圆，齿根齿廓处有一小段 CM 直线。当 $z>42$ 时，基圆小于齿根圆，就没有这段直线）。

附表11-1　$\alpha=20°$ 时的 ρ'、ρ'' 值

z	ρ'	ρ''	z	ρ'	ρ''
8	2.22	0.84	32	6.62	4.51
9	2.43	0.98	33	6.81	4.67
10	2.64	1.11	34	7.00	4.83
11	2.83	1.25	35	7.16	5.00
12	3.02	1.39	36	7.35	5.17
13	3.22	1.54	37	7.51	5.33
14	3.40	1.68	38	7.66	5.51
15	3.58	1.84	39	7.85	5.67
16	3.77	1.98	40	8.01	5.84
17	3.95	2.14	42	8.35	6.18
18	4.13	2.29	45	8.90	6.66
19	4.31	2.45	48	9.39	7.18
20	4.48	2.61	49	9.56	7.34
21	4.66	2.77	50	9.75	7.50
22	4.83	2.92	55	10.60	8.36
23	5.01	3.08	60	11.50	9.20
24	5.20	3.24	65	12.31	10.01
25	5.38	3.40	70	13.15	10.85
26	5.55	3.56	80	14.87	12.55
27	5.75	3.72	90	16.58	14.30
28	5.93	3.86	100	18.20	16.05
29	6.10	4.04	120	21.60	19.51
30	6.26	4.20	140	24.84	22.89
31	6.45	4.35			

附表11-2　$\alpha=15°$的ρ'、ρ''值

z	ρ'	ρ''	z	ρ'	ρ''
10	2.28	0.69	28	3.92	2.59
11	2.40	0.83	29	3.99	2.67
12	2.51	0.96	30	4.06	2.76
13	2.62	1.09	31	4.13	2.85
14	2.72	1.22	32	4.20	2.93
15	2.82	1.34	33	4.27	3.00
16	2.92	1.46	34	4.34	3.10
17	3.02	1.58	35	4.39	3.16
18	3.12	1.69	36	4.45	3.23
19	3.22	1.79	37～40	4.50	4.50
20	3.32	1.89	41～45	4.63	4.63
21	3.41	1.98	46～51	5.06	5.06
22	3.49	2.06	52～60	5.79	5.79
23	3.57	2.15	61～70	6.52	6.52
24	3.64	2.24	71～90	7.72	7.72
25	3.71	2.33	91～120	9.78	9.78
26	3.78	2.42	121～180	13.38	13.38
27	3.85	2.50	181～360	21.62	21.62

（2）精确齿廓的画法

精确齿廓的画法应采用坐标法，其计算程序如附表11-3所示。

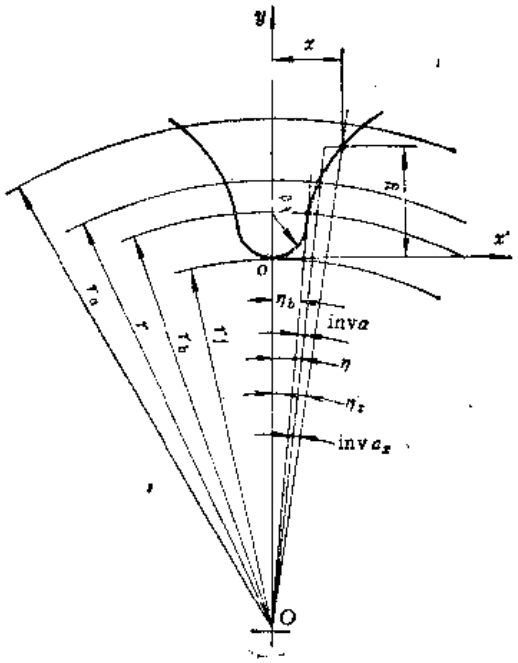
附表11-3　渐开线齿廓坐标的计算

序号	所求参数	单位	计算公式
1	基圆半径r_b	mm	$r_b=\frac{1}{2}zm\cos\alpha$
2	分度圆槽宽半角η	rad	$\eta=\frac{\pi-4x\tan\alpha}{2z}+\frac{E_{ss}}{mz}$ ①
3	基圆槽宽半角η_b	rad	$\eta_b=\eta-\mathrm{inv}\alpha$
4	任意圆(r_x)上的压力角α_x	(°)	$\alpha_x=\arccos\frac{r_b}{r_x}$
5	α_x的渐开线函数	rad	$\mathrm{inv}\alpha_x$
6	任意圆(r_x)上的槽宽半角η_x	rad	$\eta_x=\eta-\mathrm{inv}\alpha+\mathrm{inv}\alpha_x$
7	坐标值	mm	$x=r_x\sin\eta_x$，$y=r_x\cos\eta_x$

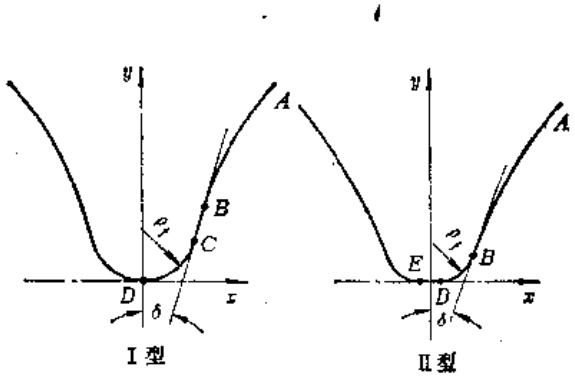
① E_{ss}——齿厚上偏差，见表11-9-29。

由表中公式可求出齿廓上任意圆半径r_x处的坐标值。计算齿廓坐标的点数可取6～20点，根据齿轮的模数、齿数及要求的精确度而定。

用坐标法绘制齿廓时，选择齿槽对称中心线作为纵坐标，齿槽槽底作为横坐标（最好使坐标原点落在坐标纸的十位格上，便于取x、y值），如附图11-2所示。齿廓根部的画法见附图11-3。$\alpha=20°$、$h_a^*=1$，$x=0$，$m=10$，$c^*=0.25$，$E_{ss}=0$的渐开线齿廓坐标值见附表11-4。



附图11-2　齿廓坐标



附图11-3　齿廓根部画法

Ⅰ型用于1～5½号铣刀　Ⅱ型用于6～8号铣刀

AB—渐开线　BC、DE—直线

CD、BD—圆弧

附表11-4　$\alpha=20°$渐开线齿廓坐标值（$m=10$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$，$E_{sx}=0$，$x=0$）

（用于制造盘形齿轮铣刀）　　（mm）

刀号	1		$1\frac{1}{2}$		2		$2\frac{1}{2}$		3		$3\frac{1}{2}$		4	
加工齿轮齿数 z	12		13		14		15～16		17～18		19～20		21～22	
坐标	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
坐标值	8.588	6.652	8.188	6.542	7.828	6.451	7.443	6.358	6.726	6.193	6.123	6.051	5.716	5.925
	9	6.773	9	6.772	8	6.488	8	6.478	7	6.235	7	6.200	6	5.971
	10	7.138	10	7.137	9	6.770	9	6.769	8	6.464	8	6.452	7	6.176
	11	7.586	11	7.576	10	7.137	10	7.135	9	6.768	9	6.767	8	6.446
	12	8.108	12	8.080	11	7.569	11	7.560	10	7.134	10	7.132	9	6.766
	13	8.697	13	8.650	12	8.061	12	8.044	11	7.551	11	7.543	10	7.131
	14	9.352	14	9.278	13	8.611	13	8.577	12	8.017	12	7.998	11	7.536
	15	10.074	15	9.965	14	9.217	14	9.165	13	8.529	13	8.491	12	7.980
	16	10.860	16	10.712	15	9.876	15	9.802	14	9.084	14	9.019	13	8.460
	17	11.711	17	11.516	16	10.591	16	10.487	15	9.685	15	9.595	14	8.974
	18	12.635	18	12.385	17	11.357	17	11.223	16	10.325	16	10.204	15	9.525
	19	13.631	19	13.310	18	12.181	18	12.012	17	11.010	17	10.852	16	10.105
	20	14.704	20	14.310	19	13.059	19	12.844	18	11.736	18	11.532	17	10.725
	21	15.861	21	15.381	20	13.995	20	13.739	19	12.507	19	12.256	18	11.374
	22	17.106	22	16.520	21	14.997	21	14.681	20	13.324	20	13.013	19	12.057
	23	18.446	23	17.744	22	16.059	22	15.679	21	14.181	21	13.812	20	12.774
	24	19.894	24	19.051	23	17.191	23	16.739	22	15.087	22	14.647	21	13.525
	25	21.464	25	20.453	24	18.395	24	17.855	23	16.041	23	15.528	22	14.310
	26	23.173	26	21.960	25	19.676	25	19.045	24	17.040	24	16.442	23	15.129
	27	25.046	27	23.586	26	21.037	26	20.324	25	18.095	25	17.402	24	15.984
					27	22.495	27	21.636	26	19.200	26	18.408	25	16.876
									27	20.363	27	19.454	26	17.796
													27	18.767
ρ_f	5.2		5.2		4.9		4.9		4.6		4.6		4.3	
δ	5°		5°04′		5°06′		5°		°56′5		5°		7°10′	

（续）

刀号	$4\frac{1}{2}$		5		$5\frac{1}{2}$		6		$6\frac{1}{2}$		7		$7\frac{1}{2}$		8	
加工齿轮齿数 z	23～25		26～29		30～34		35～41		42～54		55～79		80～134		135～∞	
坐标	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
坐标值	5.380	5.822	4.975	5.680	4.560	5.522	1.373	4.928	0	4.490	0	4.173	0	3.922	0	3.731
	6	5.929	5	5.684	5	5.612	5	5.555	4	5.244	4	5.166	3	4.781	3	4.692
	7	6.159	6	5.888	6	5.848	6	5.817	5	5.506	5	5.451	4	5.087	4	5.025
	8	6.440	7	6.141	7	6.123	7	6.106	6	5.786	6	5.755	5	5.399	5	5.395
	9	6.767	8	6.434	8	6.428	8	6.423	7	6.091	7	6.077	6	5.727	6	5.703
	10	7.132	9	6.766	9	6.765	9	6.764	8	6.417	8	6.414	7	6.063	7	6.051
	11	7.531	10	7.131	10	7.129	10	7.128	9	6.764	9	6.764	8	6.409	8	6.404
	12	7.968	11	7.527	11	7.520	11	7.515	10	7.127	10	7.125	9	6.761	9	6.760
	13	8.437	12	7.952	12	7.938	12	7.925	11	7.511	11	7.505	10	7.124	10	7.123
	14	8.938	13	8.408	13	8.381	13	8.353	12	7.911	12	7.898	11	7.500	11	7.499
	15	9.467	14	8.891	14	8.846	14	8.804	13	8.330	13	8.301	12	7.880	12	7.871
	16	10.032	15	9.403	15	9.335	15	9.275	14	8.764	14	8.720	13	8.271	13	8.249
	17	10.624	16	9.941	16	9.846	16	9.764	15	9.218	15	9.149	14	8.674	14	8.639
	18	11.247	17	10.505	17	10.384	17	10.276	16	9.683	16	9.594	15	9.086	15	9.030
	19	11.897	18	11.095	18	10.945	18	10.805	17	10.169	17	10.050	16	9.501	16	9.422
	20	12.582	19	11.711	19	11.525	19	11.354	18	10.670	18	10.520	17	9.929	17	9.821
	21	13.292	20	12.354	20	12.127	20	11.919	19	11.188	19	10.999	18	10.364	18	10.229
	22	14.039	21	13.024	21	12.755	21	12.507	20	11.723	20	11.493	19	10.803	19	10.639
	23	14.813	22	13.720	22	13.403	22	13.114	21	12.269	21	11.996	20	11.260	20	11.060
	24	15.616	23	14.442	23	14.073	23	13.738	22	12.841	22	12.509	21	11.720	21	11.485
	25	16.455	24	15.190	24	14.766	24	14.380	23	13.413	23	13.040	22	12.186	22	11.907
	26	17.322	25	15.965	25	15.484	25	15.042	24	14.009	24	13.580	23	12.665	23	12.333
	27	18.226	26	16.767	26	16.220	26	15.725	25	14.617	25	14.127	24	13.151	24	12.778
			27	17.597	27	16.980	27	16.422	26	15.249	26	14.694	25	13.638	25	13.213
									27	15.887	27	15.269	26	14.137	26	13.654
													27	14.651	27	141.12
ρ_f	4.3		4.0		4.0		3.6		3.6		3.2		3.2		2.5	
δ	8°30′		9°48′		11°19′											

注：1.当 $h_a^*=0.8$ 时，y 值减去 2，x 值不变。

2.用于指状铣刀时，ρ_f 值须乘以0.866。

（二）英国曼里特变位制

曼里特（Merritt）变位制有高变位及角变位两种。适用于 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$。高变位的目的是使 $z_1\leqslant 17\sim 20$（依切齿刀具的尺寸而定）的小齿轮免除根切，使 $z_1>20$ 的小齿轮获得等弯曲强度和改善齿廓曲率。

对高变位制，$z_\Sigma\geqslant 60$，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$

$$x_1=0.5\left(1-\frac{z_1}{z_2}\right)^{\ominus}$$

$$x_2=-x_1$$

为了免除根切，小齿轮的最小变位系数，即 $x_{1\min}=0.025(30-z_1)$。但对于 $\alpha=14^1/_2°$ 的齿轮，$x_{1\min}=0.025\ (40-z_1)$。附表11-5适用于小齿数齿轮的变位系数。该表也适用于斜齿圆柱齿轮，但须将 z 和 x_1 代以 z_v 和 x_n。

当 $h_a^*=0.8$ 时

$$x_1=0.4\left(1-\frac{z_1}{z_2}\right)$$

$$x_2=-x_1$$

对角变位制，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$（附图11-4），

$$x_1=0.5\left(1-\frac{z_1}{z_2}\right)+\frac{x_\Sigma z_1}{z_\Sigma}$$

$$x_2=x_\Sigma-x_1$$

曼里特变位制也适用于斜齿圆柱齿轮及交错轴斜齿圆柱齿轮。即

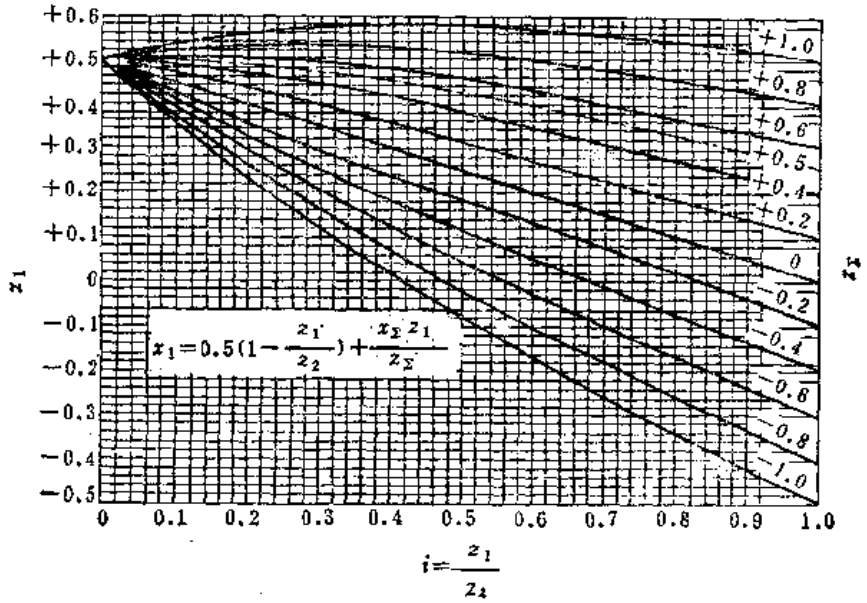
对高变位，$z_{v\Sigma}\geqslant 60$，$\alpha_n=20°$，$h_{an}^*=1$

$$x_{n1}=0.5\left(1-\frac{z_{v1}}{z_{v2}}\right)$$

$$x_{n2}=-x_{n1}$$

附表11-5　曼里特高变位的变位系数（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$）

$\frac{z_2}{z_1}$		1.0	1.11	1.25	1.41	1.67	2	2.5	3.3	5	10	齿条传动		
x_1		0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
$z_{1\min}$（建议）		30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	9	8
产生根切的齿数	切齿	17.1	16.2	15.4	14.5	13.7	12.8	12.0	11.1	10.2	9.4	8.5	7.7	6.8
	剃齿	19.7	18.8	18.0	17.1	16.3	15.4	14.6	13.7	12.8	12.0	11.1	10.3	9.4



附图11-4　变位系数的分配（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$）

⊖ BS436旧标准规定为 $x_1=0.4\left(1-\frac{z_1}{z_2}\right)$。

对角度变位，$\alpha_n = 20°$，$h^*_{an} = 1$

$$x_{n1} = 0.5\left(1 - \frac{z_{n1}}{z_{n2}}\right) + \frac{x_{n\Sigma} z_{n1}}{z_{n\Sigma}}$$

$$x_{n2} = x_{n\Sigma} - x_{n1}$$

对$\Sigma = 90°$的斜齿圆柱齿轮言，其大齿轮的最小变位系数为：

$$x_{n2min} = 0.025(30 - z_{v2})$$

（三）瑞士变位制

按照瑞士标准VSM15525规定，渐开线齿轮的变位有两种：一种是高变位，其齿数和不少于40齿，适用于减速传动；另一种是角变位，适用于减速和增速传动。这种变位制的优点是提高轮齿强度，改良滑动条件和延长轮齿工作寿命。

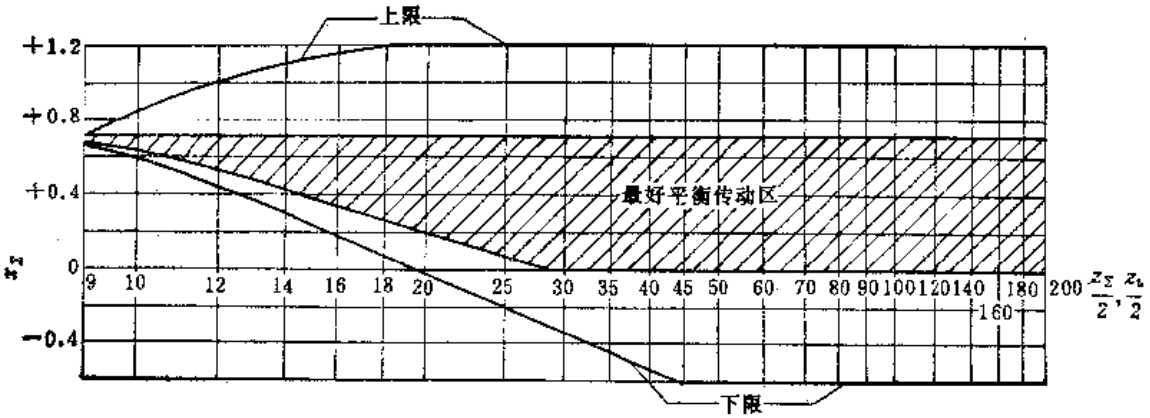
瑞士标准规定有三个图，一个图（附图11-5）用来选择总变位系数x_Σ，两个图（附图11-6、7）用来分配变位系数x_1和x_2。当齿轮中心距已定时，计算所得的x_Σ可按附图11-5来校核。当中心距未定时，可按此图进行选择。对高速传动要求运转平稳时，小齿轮齿数z_1尽可能选取大些。

本变位制也适用于斜齿圆柱齿轮，但须将当量齿数z_v来代替齿数z。

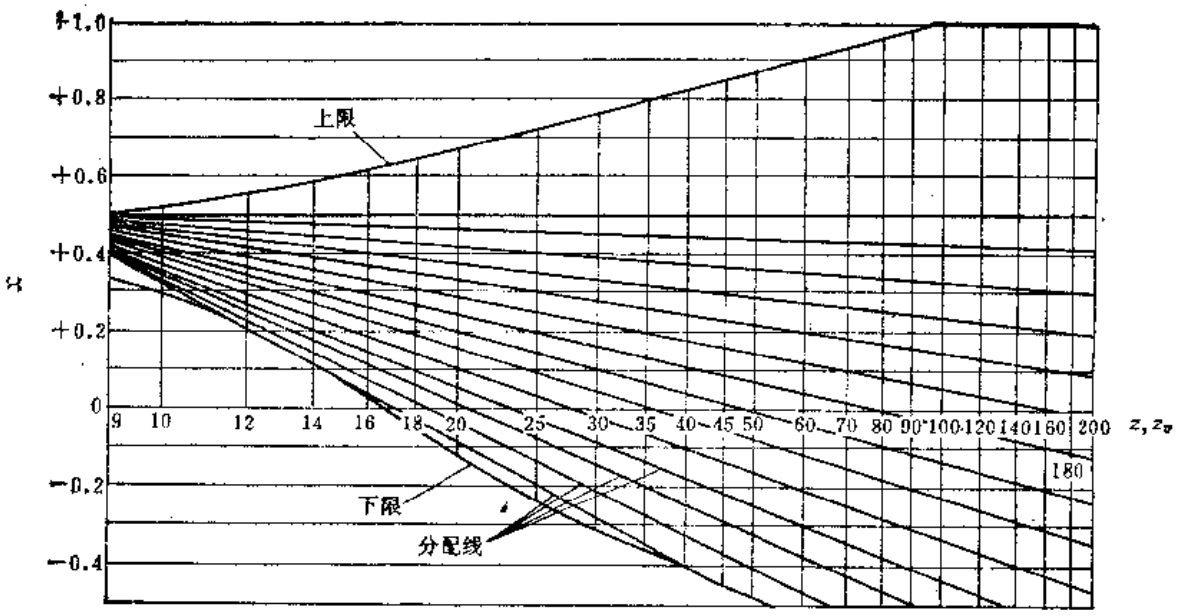
$$z_v = \frac{z \ \mathrm{inv}\ \alpha_t}{\mathrm{inv}\alpha_n} = K_3 z$$（见表11-6-10）

对高变位：首先在附图11-8的横坐标上找出z_1、z_2二点及其中点，并通过z_1和z_2二点作二条垂线，再通过中点作一斜线，使其与中点附近的分配线相平行，斜线与二垂线相交之点即为两齿轮的变位系数x_1和x_2。

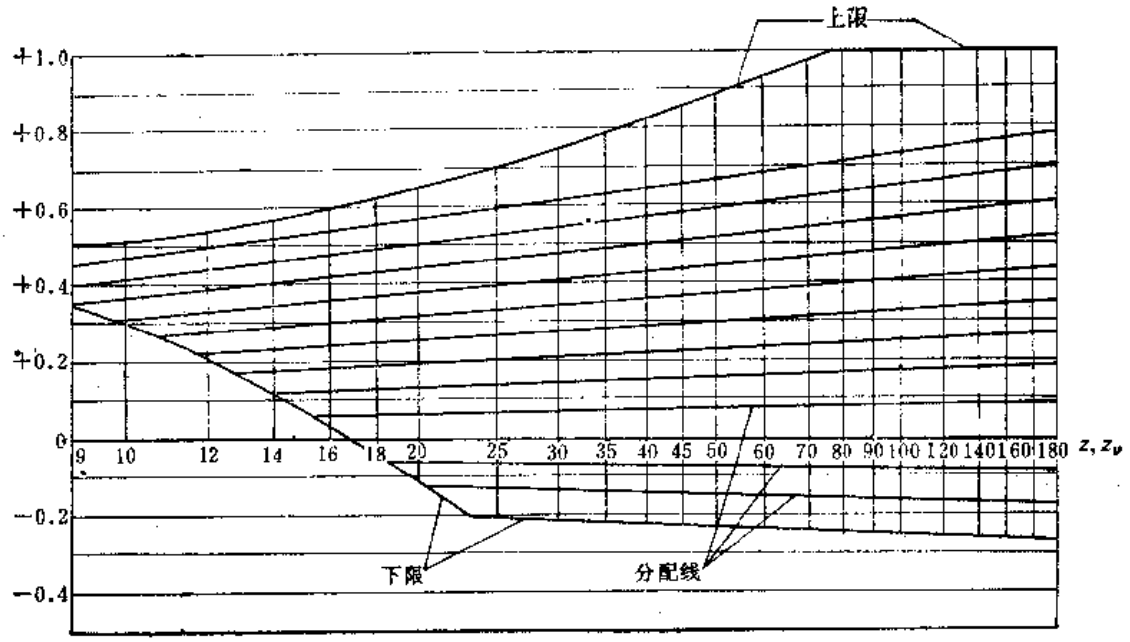
对中心距未定的角变位：首先根据$\frac{z_\Sigma}{2}$数值按附



附图11-5　总变位系数x_Σ的选择



附图11-6　变位系数的分配（用于减速运动）



附图11-7　变位系数的分配（用于增速运动）

图11-5来选择总变位系数x_Σ。从增加轮齿强度观点来考虑，尽量取较大的$x_{2\Sigma}$；从增加重合度和运转平稳性来考虑，x_Σ应尽量取小些。变位系数的分配按附图11-6、7进行。附图11-6用于减速传动。附图11-7用于增速传动。分配变位系数时，首先在附图11-6的横坐标上找出z_1，z_2二点及其中点，通过这三点作三条垂线；再在中点的垂线上找出$\frac{x_\Sigma}{2}$的一点，通过此点作一斜线，使其与此点附近的分配线相平行。此斜线与通过z_1和z_2两点所作的垂线的交点，即分别为两齿轮的变位系数x_1和x_2。

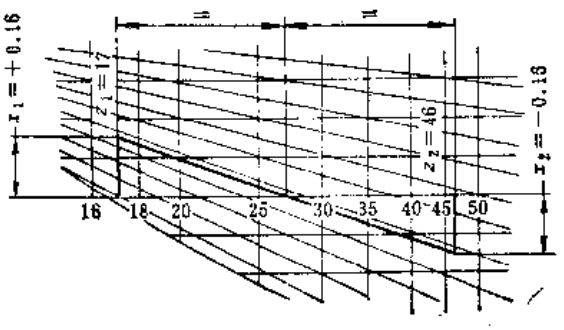
对中心距已定的角变位：先按公式(表11-5-7)计算总变位系数x_Σ，再按附图11-6和11-7按上述方法分配两齿轮的变位系数x_1和x_2。如果计算的x各值超过附图11-6、7的极限范围，则应改变齿轮其余的原始参数，重行计算。

对斜齿轮言，附图11-5～7的数值均指法向变位系数x_n。

例1　减速传动的高变位直齿圆柱齿轮，$z_1=17$，$z_2=46$，$m=5$ mm，$\alpha=20°$，$a=157.5$mm，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$。

此例中，$\frac{z_\Sigma}{2}=31.5$，从附图11-5可知，$\frac{x_\Sigma}{2}=31.5$是在最好平稳传动的范围内。

附图11-8是附图11-6的局部图，从图可知$x_1=+0.16$，$x_2=-0.16$（其余计算从略）。



附图11-8　附图11-6的局部

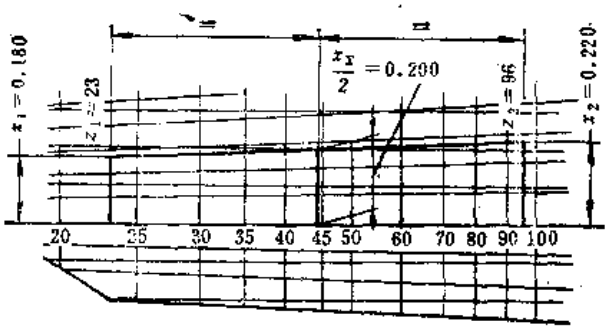
例2　增速传动的角变位直齿圆柱齿轮，中心距未定，$z_1=23$，$z_2=96$，$m=6$ mm，$\alpha=20°$，$h_a^*=1$，$c^*=0.25$。

按照附图11-9，$\frac{z_\Sigma}{2}=59.5$时，取$x_\Sigma=+0.4$。

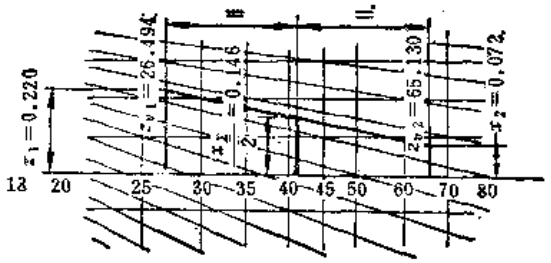
附图11-9是附图11-7的局部图，从图上可知，$x_1=+0.18$，$x_2=+0.22$（其余计算从略）。

例3　减速传动的角变位斜齿圆柱齿轮，中心距已定。$z_1=24$，$z_2=59$，$m_n=4$ mm，$\alpha_n=20°$，$a=173$mm，$\beta=15°$，$h_{an}^*=1$，$c_n^*=0.25$。

首先计算z_{v1}和z_{v2}。查表11-6-10，$\beta=15°$时，$K_8=1.104$，则：



附图11-9 附图11-7的局部



附图11-10 附图11-6的局部

$$z_{v1}=K_3z_1=1.104\times24=26.496$$

$$z_{v2}=K_3z_2=1.104\times59=65.136$$

附图11-10是附图11-6的局部图，从图上可知 $x_{n1}=+0.22$，$x_{n2}=+0.072$，$x_{n\Sigma}=+0.292$（其余计算从略）。

（四）捷克斯洛伐克变位制

捷克斯洛伐克变位制基本采用曼里特变位制的计算程序。在这种变位制中，为了尽量取用较大的正变位系数，并同时保证齿顶不致于过尖，将齿顶高适当减低。

捷克斯洛伐克变位制规定的免除根切的理论最小变位系数 x_{min}，实际最小变位系数 x'_{min}，齿顶变尖的变位系数 x_a 和避免齿顶变尖的齿顶高减低系数的数值在附表11-6内给出。

捷克斯洛伐克制高变位和角变位的变位系数分别见附表11-7和表11-8。

（五）ЦКБР变位制

ЦКБР（苏联中央减速器制造设计局）变位制的基本出发点是保证大小齿轮齿根部在啮合终点处的滑动率数值趋于均衡，即保持 $\eta_1\approx\eta_2$。

这种变位制的变位系数，当高变位时按附表11-9或表11-10确定，角变位时按附表11-11确定（根据Я. И. 季克尔的数据）。

（六）НКМЗ变位制

诺沃克拉玛道尔斯基机械制造厂（НКМЗ）根据Я. И. 季克尔的数表制定了与传动比无关的平均变位系数值。对于 $z_1=10$、11、12、13的小齿轮，为了使齿顶厚接近0.4 m 的要求，不得不降低其变位系数的值。对于12以上的齿数，其变位系数均大于 x_{min}，其目的在于增大小齿轮齿廓的曲率半径，使一对啮合齿轮的强度和磨损趋于均衡。

附表11-12内的变位系数既适用于高变位啮合，也可适用于角变位啮合。在高变位啮合中，小齿轮取正变位，即 $x_1=-x_2$。同时附表11-12内的变位系数可以在

$$z_2>17(1+x_1)$$

的条件下应用。这时，即使采用较大的变位系数，大齿轮也不致产生根切。如果上述条件不能保持，则代替表列数值而按公式

$$x_1=\frac{z_2-17}{17}$$

来确定其变位系数，但不应使小齿轮产生有害的根切。

这种变位制用于角变位啮合时，应区分正角变位和负角变位两种情形：

（1）在正角变位啮合中，总变位系数为正，即 $x_\Sigma=x_1+x_2>0$。在 x_Σ 已定的情况下，由附表11-12取用 $+x_1$，其余部分即为大齿轮的变位系数 x_2。

当 $x_1<x_\Sigma$ 时，x_2 为正，反之为负。在设计时应尽可能取 x_2 为负，而 x_Σ 的最大值则可以等于1。

（2）在负角变位啮合中，总变位系数为负，即 $x_\Sigma=x_1+x_2<0$。在这种情形中，取 x_1 为正，其数值应接近附表11-12所列的数值，同时应使 x_2 大于 -0.8。推荐 $x_\Sigma\leqslant0.8$。

当按本表的近似值取用 $+x_1$ 时，大齿轮齿数应满足条件：

附表11-6 捷克斯洛伐克变位制的变位系数 x_{min}、x'_{min}、x_a 和齿顶高减低系数

齿形角									
$\alpha=15°$					$\alpha=20°$				
z	理论的 x_{min}	x_a	实际的 x'_{min}	避免齿顶变尖的齿顶高减低系数	z	理论的 x_{min}	x_a	实际的 x'_{min}	避免齿顶变尖的齿顶高减低系数
6	+0.7990	0.475	+ 0.633	−0.35	6	+0.6491	0.415	+ 0.471	−0.20
7	+0.7655	0.550	+ 0.600	−0.22	7	+0.5966	0.493	+ 0.412	−0.15
8	+0.7321	0.616	+ 0.567	−0.17	8	+0.5321	0.565	+ 0.353	−0.10
9	+0.6986	0.686	+ 0.533	−0.11	9	+0.4736	0.635	+ 0.294	
10	+0.6651	0.755	+ 0.500	−0.07	10	+0.4151	0.700	+ 0.235	
11	+0.6316	0.820	+ 0.467	−0.03	11	+0.3566	0.760	+ 0.176	
12	+0.5981	0.875	+ 0.433		12	+0.2981	0.820	+ 0.118	
13	+0.5646	0.930	+ 0.400		13	+0.2396	0.880	+ 0.059	
14	+0.5311	0.982	+ 0.367		14	+0.1812	0.935	—	
15	+0.4976	1.030	+ 0.333		15	+0.1227	0.984	− 0.059	
16	+0.4641	1.080	+ 0.300		16	+0.0642	1.035	− 0.118	
17	+0.4306	1.124	+ 0.267		17	+0.0057	1.085	− 0.176	
18	+0.3971	1.170	+ 0.233		18	−0.0528	1.132	− 0.235	
19	+0.3636	1.216	+ 0.200		19	−0.1113	1.179	− 0.294	
20	+0.3301	1.262	+ 0.167		20	−0.1698	1.222	− 0.353	
21	+0.2966	1.305	+ 0.133		21	−0.2283	1.270	− 0.412	
22	+0.2631	1.348	+ 0.100		22	−0.2867	1.312	− 0.471	
23	+0.2296	1.390	+ 0.067		23	−0.3452	1.354	− 0.529	
24	+0.1961	1.428	+ 0.033		24	−0.4037	1.395	− 0.588	
25	+0.1627	1.468	0.000		25	−0.4622	1.432	− 0.647	
26	+0.1292	1.507	− 0.033		26	−0.5207	1.474	− 0.706	
27	+0.0957	1.542	− 0.067		27	−0.5792	1.511	− 0.765	
28	+0.0622	1.577	− 0.100		28	−0.6377	1.550	− 0.824	
29	+0.0287	1.618	− 0.133		29	−0.6962	1.587	− 0.882	
30	−0.0048	1.656	− 0.167		30	−0.7547	1.622	− 0.941	
31	−0.0383	1.690	− 0.200		31	−0.8131	1.659	− 1.000	
32	−0.0718	1.727	− 0.233		32	−0.8716	1.695	− 1.059	
33	−0.1053	1.762	− 0.267		33	−0.9301	1.730	− 1.118	
34	−0.1388	1.796	− 0.300		34	−0.9886	1.764	− 1.176	
35	−0.1723	1.828	− 0.333		35	−1.0471	1.796	− 1.235	
36	−0.2058	1.857	− 0.367		36	−1.1056	1.830	− 1.294	
37	−0.2393	1.888	− 0.400		37	−1.1641	1.863	− 1.353	
38	−0.2728	1.919	− 0.433		38	−1.2226	1.895	− 1.412	
39	−0.3062	1.950	− 0.467		39	−1.2811	1.926	− 1.471	
40	−0.3397	1.980	− 0.500		40	−1.3395	1.957	− 1.529	
41	−0.3732	2.010	− 0.533		41	−1.3980	1.990	− 1.588	
42	−0.4067	2.040	− 0.567		42	−1.4565	2.020	− 1.647	
43	−0.4402	2.072	− 0.600		43	−1.5150	2.050	− 1.706	
44	−0.4737	2.100	− 0.633		44	−1.5735	2.081	− 1.765	
45	−0.5072	2.129	− 0.667		45	−1.6320	2.110	− 1.824	
46	−0.5407	2.158	− 0.700		46	−1.6905	2.140	− 1.882	
47	−0.5742	2.185	− 0.733		47	−1.7480	2.168	− 1.941	
48	−0.6077	2.212	− 0.767		48	−1.8075	2.197	− 2.000	
49	−0.6412	2.242	− 0.800		49	−1.8660	2.225	− 2.059	
50	−0.6747	2.270	− 0.833		50	−1.9244	2.252	− 2.118	

附表11-7　捷克斯洛伐克变位制直齿圆柱齿轮最有利的高变位的变位系数（$\alpha=20°$，$z_\Sigma=z_1+z_2\geqslant60$）

z_2 \ z_1	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
32	0.038																			
33	0.049	0.060																		
34	0.058	0.070	0.082																	
35	0.068	0.080	0.091	0.103																
36	0.077	0.089	0.100	0.111	0.122															
37	0.086	0.097	0.108	0.119	0.130	0.141														
38	0.095	0.105	0.116	0.126	0.137	0.147	0.158													
39	0.102	0.113	0.123	0.133	0.144	0.154	0.164	0.174												
40	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180	0.190											
41	0.117	0.127	0.137	0.146	0.156	0.166	0.175	0.185	0.195	0.205										
42	0.124	0.133	0.143	0.153	0.162	0.171	0.181	0.190	0.200	0.209	0.220									
43	0.130	0.139	0.149	0.158	0.168	0.177	0.186	0.195	0.205	0.214	0.223									
44	0.136	0.145	0.155	0.164	0.172	0.182	0.191	0.200	0.209	0.218	0.227	0.24								
45	0.142	0.151	0.160	0.169	0.178	0.186	0.195	0.205	0.213	0.222	0.231									
46	0.147	0.157	0.165	0.174	0.182	0.191	0.200	0.209	0.217	0.226	0.235	0.244								
47	0.153	0.162	0.170	0.179	0.187	0.196	0.204	0.213	0.221	0.230	0.239	0.247	0.26							
48	0.158	0.167	0.175	0.183	0.192	0.200	0.208	0.217	0.225	0.234	0.242	0.250								
49	0.163	0.172	0.180	0.187	0.196	0.204	0.212	0.220	0.229	0.237	0.245	0.253	0.261							
50	0.168	0.176	0.184	0.192	0.200	0.208	0.216	0.224	0.232	0.240	0.248	0.256	0.264	0.28						
51	0.173	0.180	0.188	0.196	0.204	0.212	0.220	0.228	0.235	0.243	0.251	0.259	0.267							
52	0.177	0.185	0.192	0.200	0.208	0.215	0.223	0.231	0.238	0.246	0.254	0.261	0.269							
53	0.181	0.189	0.196	0.204	0.211	0.219	0.227	0.234	0.241	0.249	0.256	0.264	0.272		0.3					
54	0.185	0.193	0.200	0.208	0.215	0.223	0.230	0.237	0.244	0.252	0.259	0.267	0.274	0.281						
55	0.189	0.197	0.204	0.211	0.219	0.226	0.233	0.240	0.247	0.254	0.262	0.269	0.276	0.283						
56	0.193	0.200	0.207	0.214	0.222	0.229	0.236	0.243	0.250	0.257	0.264	0.272	0.278	0.286						
57	0.197	0.203	0.210	0.218	0.225	0.232	0.239	0.246	0.253	0.260	0.266	0.274	0.281	0.288						
58	0.200	0.207	0.214	0.221	0.228	0.235	0.241	0.248	0.255	0.262	0.269	0.276	0.283	0.290		0.32	0.34	0.36	0.38	0.4
59	0.203	0.210	0.217	0.224	0.231	0.237	0.244	0.251	0.257	0.264	0.271	0.278	0.285	0.292						
60	0.207	0.213	0.220	0.227	0.233	0.240	0.247	0.253	0.260	0.267	0.273	0.280	0.287	0.293						
61	0.209	0.216	0.223	0.230	0.236	0.243	0.249	0.256	0.262	0.269	0.275	0.282	0.289	0.295	0.301					
62	0.213	0.219	0.226	0.232	0.239	0.245	0.252	0.258	0.264	0.271	0.277	0.284	0.291	0.297	0.303					
63	0.216	0.222	0.229	0.235	0.241	0.248	0.254	0.260	0.266	0.273	0.279	0.286	0.292	0.298	0.305					
64	0.219	0.225	0.232	0.238	0.244	0.250	0.256	0.262	0.269	0.275	0.281	0.288	0.294	0.300	0.306					
65	0.221	0.228	0.234	0.240	0.246	0.252	0.258	0.264	0.271	0.277	0.283	0.289	0.295	0.301	0.307					
66	0.224	0.231	0.237	0.242	0.248	0.255	0.260	0.267	0.273	0.279	0.285	0.291	0.297	0.303	0.309					

本部分齿数和齿轮组的变位系数参见角变位系数表

67	0.227	0.233	0.239	0.245	0.251	0.257	0.263	0.269	0.275	0.281	0.286	0.292	0.298	0.304	0.310						
68	0.229	0.236	0.241	0.247	0.253	0.259	0.265	0.271	0.277	0.283	0.288	0.294	0.300	0.306	0.312						
69	0.232	0.238	0.244	0.249	0.255	0.261	0.267	0.272	0.278	0.284	0.290	0.296	0.301	0.307	0.313						
70	0.234	0.240	0.246	0.251	0.257	0.263	0.269	0.274	0.280	0.285	0.292	0.297	0.303	0.308	0.314	0.32					
71	0.237	0.242	0.248	0.254	0.259	0.265	0.270	0.276	0.282	0.287	0.293	0.299	0.305	0.310	0.315	0.321					
72	0.239	0.244	0.250	0.256	0.261	0.267	0.272	0.278	0.283	0.289	0.294	0.300	0.306	0.311	0.316	0.322					
73	0.241	0.246	0.252	0.258	0.263	0.269	0.274	0.280	0.285	0.290	0.295	0.301	0.307	0.312	0.318	0.323					
74	0.243	0.249	0.254	0.260	0.265	0.270	0.276	0.281	0.286	0.292	0.297	0.303	0.308	0.313	0.319	0.324					
75	0.245	0.251	0.256	0.261	0.267	0.272	0.277	0.283	0.288	0.293	0.299	0.304	0.309	0.314	0.320	0.325					
76	0.247	0.253	0.258	0.263	0.268	0.274	0.279	0.284	0.289	0.295	0.300	0.305	0.311	0.316	0.321	0.326					
77	0.249	0.255	0.260	0.265	0.270	0.275	0.280	0.286	0.291	0.296	0.301	0.306	0.312	0.317	0.322	0.327	0.34				
78	0.251	0.257	0.261	0.267	0.272	0.277	0.282	0.287	0.292	0.297	0.302	0.308	0.313	0.318	0.323	0.328					
79	0.253	0.258	0.263	0.268	0.273	0.278	0.284	0.289	0.294	0.299	0.304	0.309	0.314	0.319	0.324	0.329					
80	0.255	0.260	0.265	0.270	0.275	0.280	0.285	0.290	0.295	0.300	0.305	0.310	0.315	0.320	0.325	0.330					
81	0.257	0.262	0.267	0.272	0.276	0.282	0.286	0.291	0.296	0.301	0.306	0.311	0.316	0.321	0.326	0.331					
82	0.259	0.264	0.268	0.273	0.278	0.283	0.288	0.293	0.297	0.302	0.307	0.312	0.317	0.322	0.327	0.332					
83	0.260	0.265	0.270	0.275	0.280	0.284	0.289	0.294	0.299	0.304	0.308	0.313	0.318	0.323	0.328	0.332					
84	0.262	0.267	0.272	0.276	0.281	0.286	0.290	0.295	0.300	0.305	0.310	0.314	0.319	0.324	0.328	0.333					
85	0.263	0.268	0.273	0.278	0.282	0.287	0.292	0.296	0.301	0.306	0.311	0.315	0.320	0.325	0.329	0.334		0.36	0.38	0.4	
86	0.265	0.270	0.274	0.279	0.284	0.288	0.293	0.298	0.302	0.307	0.312	0.316	0.321	0.325	0.330	0.335					
87	0.267	0.271	0.276	0.280	0.285	0.289	0.294	0.299	0.303	0.308	0.313	0.317	0.322	0.327	0.331	0.336	0.340				
88	0.268	0.273	0.277	0.281	0.287	0.291	0.295	0.300	0.304	0.309	0.314	0.319	0.323	0.327	0.332	0.336	0.341				
89	0.270	0.274	0.279	0.282	0.288	0.292	0.296	0.301	0.305	0.310	0.315	0.319	0.324	0.328	0.332	0.337	0.342				
90	0.271	0.276	0.280	0.284	0.289	0.293	0.298	0.302	0.306	0.311	0.316	0.320	0.324	0.329	0.333	0.337	0.342				
91	0.272	0.277	0.281	0.286	0.290	0.294	0.299	0.303	0.307	0.312	0.316	0.321	0.325	0.329	0.334	0.338	0.343				
92	0.274	0.278	0.283	0.287	0.291	0.296	0.300	0.304	0.309	0.313	0.317	0.322	0.326	0.330	0.335	0.339	0.344				
93	0.276	0.280	0.284	0.288	0.292	0.297	0.301	0.305	0.310	0.314	0.318	0.322	0.327	0.331	0.336	0.340	0.344				
94	0.277	0.281	0.285	0.289	0.293	0.298	0.302	0.306	0.311	0.315	0.320	0.323	0.328	0.332	0.336	0.340	0.344				
95	0.278	0.282	0.286	0.290	0.295	0.299	0.303	0.307	0.312	0.316	0.320	0.324	0.329	0.333	0.337	0.341	0.345				
96	0.279	0.283	0.287	0.292	0.296	0.300	0.304	0.308	0.312	0.317	0.321	0.325	0.329	0.333	0.338	0.341	0.346				
97	0.280	0.284	0.289	0.293	0.297	0.301	0.305	0.309	0.313	0.318	0.322	0.325	0.330	0.334	0.338	0.342	0.346				
98	0.281	0.285	0.290	0.294	0.298	0.302	0.306	0.310	0.314	0.319	0.323	0.326	0.331	0.335	0.338	0.343	0.347				
99	0.282	0.287	0.291	0.295	0.299	0.303	0.307	0.311	0.315	0.319	0.323	0.327	0.331	0.335	0.339	0.344	0.347				
100	0.284	0.288	0.292	0.296	0.300	0.304	0.308	0.312	0.316	0.320	0.324	0.328	0.332	0.336	0.340	0.344	0.348				

注：对于$z_\Sigma = 20 \sim 60$的齿轮组，最有利的变位系数按下列公式确定，

$x_1 = 0.02(30 - z_1)$，

$x_2 = 0.02(30 - z_2)$。

其数值列入在角变位系数表内。

附表11-8　捷克斯洛伐克变位制斜齿圆柱齿轮角变位的变位系数（$\alpha = 20°$）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
10	0.4/0.4① 0.8 28°12′66″ 10.663 — 0.14/0.14									
11	0.4/0.38 0.78 27°46′48″ 11.152 — 0.14/0.12	0.38/0.38 0.76 27°22′59″ 11.641 — 0.12/0.12								
12	0.4/0.36 0.76 27°22′59″ 11.641 — 0.14/0.1	0.38/0.36 0.74 27°00′30″ 12.29 — 0.12/0.1	0.36/0.36 0.72 26°39′14″ 12.617 — 0.1/0.1							
13	0.4/0.34 0.74 27°00′30″ 12.129 — 0.14/0.08	0.38/0.34 0.72 26°39′14″ 12.617 — 0.12/0.08	0.36/0.34 0.7 26°19′15″ 13.05 — 0.1/0.08	0.34/0.34 0.68 25°59′56″ 13.591 — 0.08/0.08						
14	0.4/0.32 0.72 26°39′14″ 12.617 — 0.14/0.06	0.38/0.32 0.70 26°19′15″ 13.105 — 0.12/0.06	0.36/0.32 0.68 25°59′56″ 13.591 — 0.1/0.06	0.34/0.32 0.66 25°41′42″ 14.078 — 0.08/0.06	0.32/0.32 0.64 25°24′20″ 14.564 — 0.06/0.06					
15	0.4/0.3 0.7 26°19′15″ 13.105 — 0.14/0.04	0.38/0.3 0.68 25°59′56″ 13.591 — 0.12/0.04	0.36/0.3 0.66 25°41′42″ 14.078 — 0.1/0.04	0.34/0.3 0.64 25°24′20″ 14.564 — 0.08/0.04	0.32/0.3 0.62 25°07′45″ 15.050 — 0.06/0.04	0.3/0.3 0.6 24°51′30″ 15.535 — 0.04/0.04				

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
16	0.4/0.28 0.68 25°59′66″ 13.591 — 0.14/0.02	0.38/0.28 0.66 25°41′42″ 14.078 — 0.12/0.02	0.36/0.28 0.64 25°24′20″ 14.564 — 0.1/0.02	0.34/0.28 0.62 25°07′45″ 15.050 — 0.08/0.02	0.32/0.28 0.6 24°51′50″ 15.535 — 0.06/0.02	0.3/0.28 0.58 24°36′38″ 16.021 — 0.04/0.02	0.28/0.28 0.56 24°22′05″ 16.505 — 0.02/0.02					
17	0.4/0.26 0.66 25°41′42″ 14.078 0.082 0.14/—	0.38/0.26 0.64 25°24′20″ 14.564 0.076 0.12/—	0.36/0.26 0.62 25°07′45″ 15.050 0.07 0.1/—	0.34/0.26 0.6 24°51′50″ 15.535 0.065 0.08/—	0.32/0.26 0.58 24°36′38″ 16.021 0.059 0.06/—	0.3/0.26 0.56 24°22′03″ 16.505 0.055 0.04/—	0.28/0.26 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.02/—	0.26/0.26 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 —				
18	0.4/0.24 0.64 25°24′20″ 14.564 0.076 0.14/—	0.38/0.24 0.62 25°07′45″ 15.050 0.07 0.12/—	0.36/0.24 0.6 24°51′50″ 15.535 0.065 0.1/—	0.34/0.24 0.58 24°36′38″ 16.021 0.059 0.08/—	0.32/0.24 0.56 24°22′03″ 16.505 0.055 0.06/—	0.3/0.24 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.04/—	0.28/0.24 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.02/—	0.26/0.24 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 —	0.24/0.24 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 —			
19	0.4/0.22 0.62 25°07′45″ 15.050 0.07 0.14/—	0.38/0.22 0.6 24°51′50″ 15.535 0.065 0.12/—	0.36/0.22 0.58 24°36′38″ 16.021 0.059 0.1/—	0.34/0.22 0.56 24°22′03″ 16.505 0.055 0.08/—	0.32/0.22 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.06/—	0.3/0.22 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.04/—	0.28/0.22 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.02/—	0.26/0.22 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 —	0.24/0.22 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 —	0.22/0.22 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 —		
20	0.4/0.2 0.6 24°51′50″ 15.535 0.065 0.14/—	0.38/0.2 0.58 24°36′38″ 16.021 0.059 0.12/—	0.36/0.2 0.56 24°22′03″ 16.505 0.055 0.1/—	0.34/0.2 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.08/—	0.32/0.2 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.06/—	0.3/0.2 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.04/—	0.28/0.2 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 0.02/—	0.26/0.2 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 —	0.24/0.2 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 —	0.22/0.2 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 —	0.2/0.2 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 —	
21	0.4/0.18 0.58 24°36′38″ 16.021 0.059 0.14/—	0.38/0.18 0.56 24°22′03″ 16.505 0.055 0.12/—	0.36/0.18 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.1/—	0.34/0.18 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.08/—	0.32/0.18 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.06/—	0.3/0.18 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 0.04/—	0.28/0.18 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.02/—	0.26/0.18 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 —	0.24/0.18 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 —	0.22/0.18 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 —	0.2/0.18 0.38 23°32′44″ 20.858 0.022 —	0.18/0.18 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02

① 表中每6行数据分别为下列值：
第1行为 x_1/x_2——齿轮的变位系数
第2行为 x_Σ——一对啮合齿轮的变位系数的代数和
第3行为 α——啮合角
第4行为 a——啮合齿轮副的中心距
第5行为 y——保证顶隙的齿顶高变动系数
第6行为 $\Delta h_{a1}/\Delta h_{a2}$——消除齿顶变尖的齿顶高减低系数

（续）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17
22	0.4/0.16 0.56 24°22′03″ 16.505 0.055 0.14/—	0.38/0.16 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.12/—	0.36/0.16 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.1/—	0.34/0.16 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.08/—	0.32/0.16 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 0.06/—	0.3/0.16 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.04/—	0.28/0.16 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.02/—	0.26/0.16 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 —
23	0.4/0.14 0.54 24°08′02″ 16.990 0.05 0.14/—	0.38/0.14 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.12/	0.36/0.14 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.1/—	0.34/0.14 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 0.08/—	0.32/0.14 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.06/—	0.3/0.14 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.04/—	0.28/0.14 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.02/—	0.26/0.14 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 —
24	0.4/0.12 0.52 23°54′34″ 17.475 0.045 0.14/—	0.38/0.12 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.12/—	0.36/0.12 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 0.1/—	0.34/0.12 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.08/—	0.32/0.12 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.06/—	0.3/0.12 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.04/—	0.28/0.12 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.02/—	0.26/0.12 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 —
25	0.4/0.1 0.5 23°41′35″ 17.958 0.042 0.14/—	0.38/0.1 0.48 23°29′05″ 18.442 0.038 0.12/—	0.36/0.1 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.1/—	0.34/0.1 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.08/—	0.32/0.1 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.06/—	0.3/0.1 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.04/—	0.28/0.1 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.02/—	0.26/0.1 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 —

（续）

z_2 \ z_1	18	19	20	21	22	23	24	25
22	0.24/0.16 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 —	0.22/0.16 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 —	0.2/0.16 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 —	0.18/0.16 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 —	0.16/0.16 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 —			
23	0.24/0.14 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 —	0.22/0.14 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 —	0.2/0.14 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 —	0.18/0.14 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 —	0.16/0.14 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 —	0.14/0.14 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —		
24	0.24/0.12 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 —	0.22/0.12 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 —	0.2/0.12 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 —	0.18/0.12 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 —	0.16/0.12 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —	0.14/0.12 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —	0.12/0.12 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	
25	0.24/0.1 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 —	0.22/0.1 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 —	0.2/0.1 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 —	0.18/0.1 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —	0.16/0.1 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —	0.14/0.1 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	0.12/0.1 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.1/0.1 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —

（续）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
26	0.4/0.08 0.48 23°29′05″ 18.412 0.038 0.14/—	0.38/0.08 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.12/—	0.36/0.08 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.1/—	0.34/0.08 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.08/—	0.32/0.08 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.06/—	0.3/0.08 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.04/—	0.28/0.08 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.02/—	0.26/0.08 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 —	0.24/0.08 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 —	0.22/0.08 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 —
27	0.4/0.06 0.46 23°17′02″ 18.926 0.034 0.14/—	0.38/0.06 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.12/—	0.36/0.06 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.1/—	0.34/0.06 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.08/—	0.32/0.06 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.06/—	0.3/0.06 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.04/—	0.28/0.06 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.02/—	0.26/0.06 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 —	0.24/0.06 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 —	0.22/0.06 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —
28	0.4/0.04 0.44 23°05′23″ 19.409 0.031 0.14/—	0.38/0.04 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.12/—	0.36/0.04 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.1/—	0.34/0.04 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.08/—	0.32/0.04 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.06/—	0.3/0.04 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.04/—	0.28/0.04 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 0.02/—	0.26/0.06 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 —	0.24/0.04 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —	0.22/0.04 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —
29	0.4/0.02 0.42 22°54′08″ 19.892 0.028 0.14/—	0.38/0.02 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.12/—	0.36/0.02 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.1/—	0.34/0.02 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.08/—	0.32/0.02 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.06/—	0.3/0.02 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 0.04/—	0.28/0.02 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.02/—	0.26/0.02 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —	0.24/0.02 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —	0.22/0.02 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —

（续）

z_2 \ z_1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
26	0.2/0.08 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 —	0.18/0.08 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —	0.16/0.08 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	0.14/0.08 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.12/0.08 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.1/0.08 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.08/0.08 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —			
27	0.2/0.06 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —	0.18/0.06 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	0.16/0.06 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.14/0.06 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.12/0.06 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.1/0.06 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —	0.08/0.06 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.06/0.06 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —		
28	0.2/0.04 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	0.18/0.04 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.16/0.04 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.14/0.04 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.12/0.04 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —	0.1/0.04 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.08/0.04 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.06/0.04 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.04/0.04 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	
29	0.2/0.02 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.18/0.02 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.16/0.02 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.14/0.02 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —	0.12/0.02 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.1/0.02 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.08/0.02 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.06/0.02 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.04/0.02 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.02/0.02 0.04 20°12′52″ 29.040 — —

（续）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
30	0.4/— 0.4 22°43′15″ 20.375 0.025 0.14/—	0.38/ 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.12/—	0.36/ 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.1/—	0.34/ 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.08/—	0.32/ 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 0.06/—	0.3/ 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.4/—	0.28/ 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.02/—	0.26/ 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 —	0.24/ 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	0.22/ 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —
31	0.4/-0.02 0.38 22°32′44″ 20.858 0.022 0.14/—	0.38/-0.02 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.12/—	0.36/-0.02 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.1/—	0.34/-0.02 0.32 22°03′03″ 22.304 0.016 0.08/—	0.32/-0.02 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.06/—	0.3/-0.02 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.04/—	0.28/-0.02 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.02/—	0.26/-0.02 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 —	0.24/-0.02 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.22/-0.2 0.2 21°01′53″ 25.194 0.006 —
32	0.4/-0.04 0.36 22°22′31″ 21.340 0.02 0.14/—	0.38/-0.04 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.12/—	0.36/-0.04 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 0.1/—	0.34/-0.04 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.08/—	0.32/-0.04 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.06/—	0.3/-0.04 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.04/—	0.28/-0.04 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.02/—	0.26/-0.04 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 —	0.24/-0.04 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.22/-0.04 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —
33	0.4/-0.06 0.34 22°12′37″ 21.822 0.018 0.14/—	0.38/-0.06 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 0.12/—	0.36/-0.06 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.1/—	0.34/-0.06 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.08/—	0.32/-0.06 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.06/—	0.3/-0.06 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.04/—	0.28/-0.06 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.02/—	0.26/-0.06 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.24/ 0.06 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.22/-0.06 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —

（续）

z_2 \ z_1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
30	0.2/— 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 —	0.18/— 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.16/— 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —	0.14/— 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.12/— 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.1/— 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.08/— 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.06/— 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.04/— 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.02/— 0.02 20°06′21″ 29.520 — —
31	0.2/-0.02 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —	0.18/-0.02 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —	0.16/-0.02 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.14/-0.02 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.12/-0.02 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.1/-0.02 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.08/-0.02 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.06/-0.02 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.04/-0.02 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.02/-0.02 0 20° 30.0 — —
32	0.2/-0.04 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —	0.18/-0.04 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.16/-0.04 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.14/-0.04 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.12/-0.04 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.1/-0.04 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.08/-0.04 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.06/-0.04 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.04/-0.04 0 20° 30.0 — —	
33	0.2/-0.06 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.18/-0.06 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.16/-0.06 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.14/-0.06 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.12/-0.06 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.1/-0.06 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.08/-0.06 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.06/-0.06 0 20° 30.0 — —		

（续）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17
34	0.4/-0.08 0.32 22°03′02″ 22.304 0.016 0.14/—	0.38/-0.08 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.12/—	0.36/-0.08 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.1/—	0.34/-0.08 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.08/—	0.32/-0.08 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.06/—	0.3/-0.08 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.04/—	0.28/-0.08 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.02/—	0.26/-0.08 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 —
35	0.4/-0.1 0.3 21°53′43″ 22.786 0.014 0.14/—	0.38/-0.1 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.12/—	0.36/-0.1 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.1/—	0.34/-0.1 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.08/—	0.32/-0.1 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.06/—	0.3/-0.1 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.04/—	0.28/-0.1 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.02/—	0.26/-0.1 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 —
36	0.4/-0.12 0.28 21°44′40″ 23.268 0.012 0.14/—	0.38/-0.12 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.12/—	0.36/-0.12 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.1/—	0.34/-0.12 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.08/—	0.32/-0.12 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.06/—	0.03/-0.12 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.04/—	0.28/-0.12 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.02/—	0.26/-0.12 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —
37	0.4/-0.14 0.26 21°35′52″ 23.750 0.01 0.14/—	0.38/-0.14 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.12/—	0.36/-0.14 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.1/—	0.34/-0.14 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.08/—	0.32/-0.14 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.06/—	0.3/-0.14 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.04/—	0.28/-0.14 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.02/—	0.26/-0.14 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —

（续）

z_2 \ z_1	18	19	20	21	22	23	24	25	26
34	0.24/-0.08 0.16 20°33′17″ 26.156 0.004 —	0.22/-0.08 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.2/-0.08 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.18/-0.08 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.16/-0.08 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.14/-0.08 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.12/-0.08 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.1/-0.08 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.08/-0.08 — 20° 30.0 — —
35	0.24/-0.1 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 —	0.22/-0.1 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.2/-0.1 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.18/-0.1 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.16/-0.1 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.14/0.1 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.12/-0.1 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.1/-0.1 — 20° 30.0 — —	
36	0.24/-0.12 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 —	0.22/-0.12 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.2/-0.12 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.18/-0.12 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.16/-0.12 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.14/-0.12 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.12/-0.12 — 20° 30.0 — —		
37	0.24/-0.14 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.22/-0.14 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.2/-0.14 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.18/-0.14 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.16/-0.14 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.14/-0.14 — 20° 30.0 — —			

（续）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15
38	0.4/-0.16 0.24 21°27′19″ 24.232 0.008 0.14/—	0.38/-0.16 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.12/—	0.36/-0.16 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.1/—	0.34/-0.16 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.08/—	0.32/-0.16 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.06/—	0.3/-0.16 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.04/—
39	0.4/-0.18 0.22 21°19′00″ 24.713 0.007 0.14/—	0.38/-0.18 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.12/—	0.36/-0.18 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.1/—	0.34/-0.18 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.08/—	0.32/-0.18 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.06/—	0.3/-0.18 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.04/—
40	0.4/-0.2 0.2 21°10′53″ 25.194 0.006 0.14/—	0.38/-0.2 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.12/—	0.36/-0.2 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.1/—	0.34/-0.2 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.08/—	0.32/-0.2 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.06/—	0.3/-0.2 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.04/—
41	0.4/-0.22 0.18 21°03′00″ 25.676 0.004 0.14/—	0.38/-0.22 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.12/—	0.36/-0.22 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.1/—	0.34/-0.22 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.08/—	0.32/ 0.22 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.06/—	0.3/-0.22 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.04/—

（续）

z_2 \ z_1	16	17	18	19	20	21	22
38	0.28/-0.16 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.02/—	0.26/-0.16 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 —	0.24/-0.16 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.22/-0.16 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.2/-0.16 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.18/-0.16 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.16/-0.16 — 20° 30.0 — —
39	0.28/-0.18 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.02/—	0.26/-0.18 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 —	0.24/-0.18 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.22/-0.18 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.2/-0.18 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.18/-0.18 — 20° 30.0 — —	
40	0.28/-0.2 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.02/—	0.26/-0.2 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 —	0.24/-0.2 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	0.22/-0.2 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.2/-0.2 — 20° 30.0 — —		
41	0.28/-0.22 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.02/—	0.26/-0.22 0.04 20°12′52″ 29.040 — —	24/-0.22 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.22/-0.22 0 20° 30.0 — —			

（续）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	18
42	0.4/-0.24 0.16 20°55′17″ 26.156 0.004 0.14/—	0.38/-0.24 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.12/—	0.36/-0.24 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.1/—	0.34/-0.24 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.08/—	0.32/-0.24 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.06/—	0.3/-0.24 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.04/—	0.28/-0.24 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.02/—	0.26/-0.24 0.02 20°06′21″ 29.520 — —	0.24/-0.24 0 20° 30.0 — —
43	0.4/-0.26 0.14 20°47′47″ 26.637 0.003 0.14/—	0.38/-0.26 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.12/—	0.36/-0.26 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.1/—	0.34/-0.26 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.08/—	0.32/-0.26 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.06/—	0.3/-0.26 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.04/—	0.28/-0.26 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.02/—	0.26/-0.26 0 20° 30.0 — —	
44	0.4/-0.28 0.12 20°40′28″ 27.118 0.002 0.14/—	0.38/-0.28 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.12/—	0.36/-0.28 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.1/—	0.34/-0.28 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.08/—	0.32/-0.28 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.06/—	0.3/-0.28 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.04/—	0.28/-0.28 0 20° 30.0 — 0.02/—		
45	0.4/-0.3 0.1 20°33′18″ 27.598 0.002 0.14/—	0.38/-0.3 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.12/—	0.36/-0.3 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.1/—	0.34/-0.3 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.08/—	0.32/-0.3 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.06/—	0.3/-0.3 0 20° 30.0 — 0.04/—			

46	0.4/-0.32 0.08 20°26′20″ 28.079 0.001 0.14/—	0.38/-0.32 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.12/—	0.36/-0.32 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.1/—	0.34/-0.32 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.08/—	0.32/-0.32 0 20° 30.0 — 0.06/—				
47	0.4/-0.34 0.06 20°19′32″ 28.559 0.001 0.14/—	0.38/-0.34 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.12/—	0.36/-0.34 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.1/—	0.34/-0.34 0 20° 30.0 — 0.08/—					
48	0.4/-0.36 0.04 20°12′52″ 29.040 — 0.14/—	0.38/-0.36 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.12/—	0.36/-0.36 0 20° 30.0 — 0.1/—						
49	0.4/-0.38 0.02 20°06′21″ 29.520 — 0.14/—	0.38/-0.38 0 20° 30.0 — 0.12/—							
50	0.4/-0.4 0 20° 30.0 — 0.14/—								

附表11-9 ЦКБР变位制高变位圆柱齿轮的变位系数 ($x_1 = -x_2$) ($\alpha = 20°$, $h_a^* = 1$)

z_1 \ z_2	17	18	19	20	21	22	24	27	32	40	50	60	72	90	110	140	170	210
10							0.458	0.475	0.499	0.529	0.554	0.570	0.582					
11							0.408	0.430	0.460	0.495	0.520	0.540	0.554	0.563	0.566			
12						0.328	0.357	0.389	0.422	0.460	0.487	0.510	0.527	0.537	0.541			
13					0.264	0.283	0.313	0.347	0.385	0.427	0.457	0.479	0.499	0.511	0.515			
14				0.199	0.220	0.239	0.271	0.308	0.350	0.395	0.427	0.450	0.472	0.485	0.493	0.499		
15			0.134	0.159	0.181	0.201	0.235	0.271	0.315	0.363	0.398	0.423	0.445	0.462	0.472	0.479		
16		0.062	0.094	0.120	0.144	0.165	0.199	0.232	0.282	0.333	0.373	0.397	0.421	0.440	0.452	0.462	0.469	
17	0.000	0.032	0.060	0.066	0.110	0.131	0.165	0.205	0.251	0.306	0.348	0.374	0.398	0.418	0.433	0.445	0.451	0.458
18		0.000	0.030	0.056	0.080	0.101	0.136	0.178	0.224	0.282	0.326	0.353	0.378	0.400	0.414	0.427	0.434	0.440
19			0.000	0.027	0.052	0.073	0.109	0.132	0.200	0.260	0.305	0.334	0.361	0.382	0.396	0.410	0.418	0.424
20				0.000	0.025	0.047	0.085	0.128	0.178	0.240	0.285	0.316	0.344	0.365	0.379	0.393	0.402	0.408
21					0.000	0.023	0.052	0.107	0.159	0.222	0.268	0.299	0.328	0.350	0.364	0.379	0.389	0.395
22						0.000	0.041	0.087	0.141	0.205	0.251	0.283	0.313	0.335	0.350	0.366	0.379	0.382
24							0.000	0.051	0.110	0.173	0.219	0.252	0.281	0.305	0.324	0.341	0.351	0.358
27								0.000	0.065	0.129	0.176	0.212	0.243	0.267	0.289	0.308	0.318	0.328
30									0.025	0.089	0.138	0.178	0.208	0.235	0.259	0.278	0.292	0.302
33										0.057	0.108	0.149	0.180	0.206	0.232	0.252	0.267	0.280
36										0.029	0.082	0.122	0.154	0.181	0.208	0.230	0.247	0.262
40										0.000	0.052	0.090	0.124	0.151	0.178	0.203	0.222	0.239

注：当需确定变位系数的大齿轮齿数z_2为表列齿数的中间值时，可用线性插值法求其变位系数。

例 $z_1 = 16$，$z_2 = 53$。

$$x_1 = x^{(-)} + \frac{z_2 - z_2^{(-)}}{z_2^{(+)} - z_2^{(-)}}(x^{(+)} - x^{(-)}) = 0.373 + \frac{53-50}{60-50}(0.397 - 0.373) = 0.373 + \frac{3 \times 0.024}{10} = 0.38$$

式中 $z_2^{(-)}$——小于z_2的表列齿数；

$z_2^{(+)}$——大于z_2的表列齿数；

$x^{(-)}$和$x^{(+)}$——表内与$z_2^{(-)}$和$z_2^{(+)}$相应的变位系数。

附表11-10 ЦКБР变位制高变位圆柱齿轮的变位系数（$x_1=-x_2$）（$\alpha=20°$，$h_a^*=0.8$）

z_2 \ z_1	10	12	14	17	20	25	30	40
20	0.280	0.265	0.132	0.065	0.000			
25	0.320	0.243	0.188	0.118	0.069	0.000		
30	0.347	0.270	0.228	0.162	0.112	0.045	0.000	
40	0.377	0.318	0.272	0.213	0.166	0.102	0.047	0.000
50	0.400	0.343	0.290	0.240	0.195	0.140	0.090	0.032
60	0.414	0.359	0.307	0.260	0.211	0.160	0.118	0.060
70	0.419	0.375	0.320	0.273	0.222	0.173	0.132	0.081
80	0.427	0.376	0.328	0.280	0.227	0.179	0.137	0.091

附表11-11 ЦКБР变位制角变位圆柱齿轮变位系数（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$）

z_1	z_2	14	15	16	17	18	19	20
14	x_Σ	0.936	0.938	0.940	0.943	0.946	0.948	0.950
	x_1	0.468	0.477	0.483	0.489	0.495	0.501	0.507
	α'	27°12′30″	27°02′11″	26°52′24″	26°43′27″	26°34′58″	26°26′55″	26°18′33″
15	x_Σ		0.900	0.903	0.905	0.907	0.909	0.911
	x_1		0.450	0.457	0.464	0.471	0.478	0.485
	α'		26°39′17″	26°33′48″	26°22′02″	26°13′55″	26°06′02″	25°58′40″
16	x_Σ			0.864	0.867	0.869	0.871	0.873
	x_1			0.432	0.439	0.446	0.453	0.460
	α'			26°08′50″	26°01′12″	25°53′40″	25°46′31″	25°39′37″
17	x_Σ				0.828	0.830	0.832	0.834
	x_1				0.414	0.421	0.428	0.435
	α'				25°40′43″	25°33′46″	25°27′04″	25°20′48″
18	x_Σ					0.792	0.794	0.796
	x_1					0.396	0.403	0.410
	α'					25°14′47″	25°08′40″	25°02′48″
19	x_Σ						0.756	0.759
	x_1						0.378	0.385
	α'						24°50′39″	24°45′32″
20	x_Σ							0.729
	x_1							0.360
	α'							24°28′10″

（续）

z_1 \ z_2		21	22	24	27	32	40	50
14	a_Σ	0.952	0.954	0.960	0.967	0.981	0.999	1.023
	x_1	0.511	0.514	0.521	0.529	0.540	0.548	0.554
	α'	26°10′54″	26°06′31″	25°50′30″	25°32′18″	25°07′10″	24°34′14″	24°03′17″
15	x_Σ	0.913	0.915	0.920	0.926	0.937	0.955	0.977
	x_1	0.489	0.493	0.499	0.508	0.519	0.528	0.535
	α'	25°51′33″	25°45′09″	25°32′23″	25°15′18″	24°51′08″	24°20′26″	23°51′12″
16	x_Σ	0.875	0.877	0.881	0.886	0.896	0.913	0.932
	x_1	0.464	0.469	0.477	0.486	0.498	0.510	0.518
	α'	25°33′02″	25°27′02″	25°15′02″	24°58′55″	24°36′11″	24°07′19″	23°39′26″
17	x_Σ	0.836	0.838	0.841	0.847	0.857	0.873	0.891
	x_1	0.440	0.445	0.455	0.465	0.471	0.491	0.500
	α'	25°14′47″	25°08′58″	24°57′54″	24°43′02″	24°22′00″	23°54′53″	23°28′40″
18	x_Σ	0.798	0.799	0.803	0.809	0.819	0.832	0.851
	x_1	0.416	0.421	0.431	0.444	0.457	0.472	0.483
	α'	24°57′16″	24°51′34″	24°41′31″	24°27′57″	24°08′15″	23°42′24″	23°18′12″
19	x_Σ	0.760	0.761	0.765	0.770	0.779	0.792	0.810
	x_1	0.391	0.397	0.409	0.422	0.437	0.453	0.465
	α'	24°40′05″	24°35′00″	24°25′42″	24°12′42″	23°54′23″	23°30′20″	23°07′40″
20	x_Σ	0.721	0.723	0.727	0.732	0.740	0.753	0.770
	x_1	0.367	0.374	0.386	0.400	0.418	0.435	0.448
	α'	24°23′10″	24°18′39″	24°10′03″	23°58′05″	23°40′52″	23°18′40″	22°57′17″

21	x_Σ	0.684	0.685	0.689	0.694	0.702	0.713	0.731
	x_1	0.342	0.349	0.361	0.377	0.396	0.415	0.429
	α'	24°07′03″	24°02′35″	23°54′45″	23°43′57″	23°27′00″	23°07′00″	22°47′13″
22	x_Σ		0.648	0.652	0.657	0.664	0.674	0.690
	x_1		0.324	0.337	0.354	0.375	0.395	0.411
	α'		23°47′48″	23°40′08″	23°30′08″	23°15′16″	22°56′26″	22°37′04″
24	x_Σ			0.576	0.580	0.588	0.597	0.612
	x_1			0.288	0.308	0.332	0.355	0.374
	α'			23°11′12″	23°02′34″	22°50′09″	22°33′26″	22°17′51″
26	x_Σ				0.505	0.513	0.523	0.534
	x_1				0.259	0.288	0.317	0.338
	α'				22°36′16″	22°26′21″	22°12′42″	21°59′00″
28	x_Σ					0.438	0.447	0.457
	x_1					0.240	0.279	0.305
	α'					22°03′14″	21°52′05″	21°41′05″
30	x_Σ					0.362	0.371	0.382
	x_1					0.194	0.242	0.272
	α'					21°40′42″	21°32′10″	21°23′45″
33	x_Σ							0.211
	x_1							0.210
	α'							20°58′30″
36	x_Σ							
	x_1							
	α'							
40	x_Σ							
	x_1							
	α'							

（续）

z_1 \ z_2		60	72	90	110	140	170	200
14	x_Σ	1.046	1.073	1.117	1.164	1.235	1.305	1.374
	x_1	0.555	0.555	0.557	0.558	0.558	0.559	0.559
	α'	23°39′38″	23°17′44″	22°53′08″	22°34′12″	22°14′09″	22°00′00″	21°49′42″
15	x_Σ	0.999	1.025	1.065	1.109	1.175	1.241	1.307
	x_1	0.536	0.536	0.537	0.538	0.538	0.539	0.539
	α'	23°28′56″	23°09′44″	22°54′04″	22°26′43″	22°07′32″	21°51′09″	21°44′30″
16	x_Σ	0.955	0.980	1.016	1.057	1.118	1.181	1.244
	x_1	0.519	0.521	0.523	0.524	0.524	0.525	0.525
	α'	23°18′52″	22°59′12″	22°37′04″	22°19′34″	22°01′09″	21°48′37″	21°39′28″
17	x_Σ	0.912	0.938	0.969	1.008	1.066	1.124	1.184
	x_1	0.501	0.504	0.508	0.510	0.510	0.511	0.511
	α'	23°09′04″	22°56′43″	22°29′26″	22°12′47″	21°55′23″	21°43′23″	21°34′45″
18	x_Σ	0.870	0.893	0.924	0.961	1.015	1.069	1.125
	x_1	0.488	0.491	0.494	0.496	0.496	0.497	0.497
	α'	22°59′30″	22°41′51″	22°22′01″	22°06′26″	21°49′46″	21°38′18″	21°29′51″
19	x_Σ	0.827	0.850	0.880	0.914	0.967	1.017	1.070
	x_1	0.479	0.476	0.479	0.482	0.482	0.483	0.483
	α'	22°49′43″	22°33′34″	22°15′00″	21°59′56″	22°44′28″	21°33′30″	21°26′35″
20	x_Σ	0.786	0.806	0.836	0.868	0.919	0.967	1.017
	x_1	0.453	0.459	0.465	0.467	0.468	0.469	0.469
	α'	22°40′30″	22°25′09″	22°07′47″	21°53′54″	21°39′09″	21°28′16″	21°21′10″

21	x_Σ	0.746	0.765	0.792	0.824	0.871	0.917	0.965
	x_1	0.457	0.443	0.449	0.452	0.453	0.454	0.454
	α'	22°31′39″	22°17′13″	22°00′42″	21°47′42″	21°34′10″	21°24′10″	21°17′00″
22	x_Σ	0.706	0.723	0.750	0.780	0.826	0.870	0.915
	x_1	0.421	0.427	0.434	0.437	0.439	0.440	0.440
	α'	22°22′56″	22°09′09″	21°53′55″	21°41′51″	21°28′55″	21°19′42″	21°12′55″
24	x_Σ	0.626	0.642	0.665	0.695	0.738	0.778	0.818
	x_1	0.384	0.395	0.403	0.407	0.409	0.410	0.410
	α'	22°05′32″	21°53′51″	21°40′45″	21°30′15″	21°19′14″	21°11′05″	21°05′05″
26	x_Σ	0.547	0.551	0.585	0.611	0.649	0.687	0.727
	x_1	0.349	0.361	0.374	0.380	0.385	0.386	0.388
	α'	21°48′46″	21°38′55″	21°28′05″	21°19′09″	21°09′25″	21°02′40″	20°57′40″
28	x_Σ	0.479	0.483	0.505	0.529	0.564	0.599	0.636
	x_1	0.319	0.331	0.344	0.355	0.363	0.367	0.371
	α'	21°32′46″	21°24′40″	21°15′35″	21°08′10″	21°00′00″	20°54′25″	20°50′16″
30	x_Σ	0.393	0.405	0.426	0.448	0.481	0.514	0.547
	x_1	0.287	0.302	0.318	0.329	0.341	0.348	0.355
	α'	21°17′05″	21°10′33″	21°03′25″	20°57′25″	20°50′55″	20°46′33″	20°43′16″
33	x_Σ	0.280	0.289	0.308	0.329	0.360	0.389	0.421
	x_1	0.230	0.252	0.274	0.287	0.302	0.310	0.319
	α'	20°54′25″	20°49′40″	20°45′30″	20°41′49″	20°38′00″	20°35′00″	20°33′00″
36	x_Σ	0.165	0.175	0.193	0.212	0.239	0.267	0.297
	x_1	0.173	0.200	0.226	0.244	0.262	0.274	0.283
	α'	20°32′00″	20°29′55″	20°28′11″	20°26′44″	20°25′06″	20°23′54″	20°23′16″
40	x_Σ	0.016	0.026	0.041	0.058	0.082	0.108	0.132
	x_1	0.095	0.131	0.166	0.188	0.213	0.225	0.234
	α'	20°03′18″	20°04′38″	20°06′05″	20°07′16″	20°08′36″	20°09′40″	20°10′18″

附表11-12　HKM3变位制变位直齿圆柱齿轮的变位系数和齿顶厚（$\alpha=20°, h_a^*=1$）

（根据HKM3 1946年的数据）

齿数 z_1	变位系数 x_1	齿顶厚 s_a（$m=1$ mm）
10	0.30	0.37
11	0.35	0.37
12	0.38	0.38
13	0.40	0.38
14	0.45	0.39
15	0.44	0.42
16	0.42	0.45
17	0.40	0.48
18	0.38	0.51
19	0.36	0.53
20	0.34	0.55
21	0.30	0.58
22	0.25	0.61
23	0.20	0.64
24	0.15	0.67
25	0.10	0.69

$$z_2 > 17[1+(x_1-x_\Sigma)]$$

否则，小齿轮的变位系数应按下式计算：

$$x_1=\frac{z_2-17(1-x_\Sigma)}{17}$$

但应保证$x_1>x_{min}$，以避免根切。

（七）苏联国家标准变位制

根据苏联ГОСТ 2185—43的规定，在设计直齿轮传动时，齿数和$z_\Sigma=99$时采用“a”系列，而当齿数和$z_\Sigma=100$时采用“6”系列，其模数范围$m=2\sim20$mm。

齿数和$z_\Sigma=99$的直齿轮传动（“a”系列）在任何传动比数值下均采用角变位。

按照ГОСТ 2185—43规定，为了保证$z_1\geqslant12$时不产生根切现象，小齿轮的变位系数取$x_1=0.3$，而大齿轮的变位系数为：

$$x_2=1.04\frac{z_\Sigma}{198}-x_1=1.04\frac{99}{198}-0.3=0.24$$

式中，$-\frac{z_\Sigma}{198}$是保证标准齿高及标准顶隙时应有的总变位系数；1.04是考虑齿顶高减低系数的系数。

这个变位制的优点是：使齿轮副都有相同的中心距；相等的啮合角；使齿轮不产生根切现象以及计算简便。缺点是：考虑轮齿的最大接触疲劳强度、齿轮副的等弯曲强度，抗胶合及耐磨损等方面都不够周全，因而不能充分发挥齿轮副工作能力的潜力；另外，也不适用于凑配中心距的场合。

齿数和$z_\Sigma=100$（“6”系列）的直齿轮不采用变位，但小齿轮齿数小于17时除外。为了避免根切，当$z_1<17$时，采用高变位：

$$x_1=-x_2=0.3$$

这种变位制对斜齿轮传动作如下的规定：

（1）标准齿数和$z_\Sigma=99$，$\beta=8°06'34''$，当$z_1<17$时采用高变位，$x_1=-x_2=0.3$。

（2）标准齿数和$z_\Sigma=198$，$\beta=8°06'34''$，均不变位。

（3）非标准齿数和$z_\Sigma\approx148$，$\beta=8°06'34''$。为了使传动比接近于标准传动比，在若干情况下，采用角变位，其变位系数见附表11-13。

对于$z_1<17$时，则采用高变位，其变位系数不是固定数值。

（4）非标准齿数和$z_\Sigma\approx148$，$\beta=10°\sim12°$，对于$z_1<17$的齿轮采用高变位$x_1=-x_2=0.3$。

附表11-13　$z_\Sigma\approx148$时ГОСТ 2185—43斜齿轮角变位的变位系数

m	$z_1>17$		$z_1<17$	
	x_1	x_2	x_1	x_2
1.5, 4.5, 9	0	0	0.4	−0.4
2, 4, 6, 8, 12	0.253 0	0 −0.247	0.403	−0.15
2.5, 5, 10	0.202 0	0 −0.295	0.402	−0.20
3.5, 7, 14	0 0.216	−0.282 0	0.3	−0.582

（八）红色无产者工厂的变位制

这种变位制广泛用于机床制造业中，其数据在附表11-14内介绍，用于高变位。这种变位制主要为消除小齿轮的根切，使一对齿轮的强度和滑动率趋于均衡，并容许齿顶稍稍变尖，即$x>x_{max}$。

附表11-14　红色无产者工厂直齿圆柱齿轮高变位的变位系数（$\alpha=20°$，$h_a^*=1$）

z_1 \ z_2	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	44	46
14													0.415
15													0.385
16												0.350	0.358
17												0.325	0.333
18											0.292	0.301	0.310
19											0.270	0.280	0.289
20										0.240	0.250	0.250	0.269
21									0.215	0.222	0.232	0.242	0.251
22								0.190	0.198	0.205	0.215	0.225	0.234
23							0.166	0.174	0.182	0.189	0.199	0.209	0.218
24						0.142	0.150	0.158	0.165	0.173	0.183	0.193	0.202
25					0.120	0.128	0.136	0.144	0.151	0.158	0.169	0.179	0.188
26				0.097	0.106	0.114	0.122	0.129	0.135	0.143	0.154	0.164	0.175
27			0.075	0.084	0.092	0.100	0.108	0.115	0.122	0.129	0.140	0.150	0.159
28		0.050	0.060	0.069	0.078	0.086	0.094	0.101	0.108	0.115	0.126	0.136	0.146
29	0.026	0.037	0.047	0.056	0.065	0.078	0.081	0.088	0.095	0.102	0.118	0.123	0.133
30	0.013	0.025	0.035	0.044	0.052	0.060	0.068	0.075	0.082	0.089	0.100	0.110	0.120
31		0.012	0.023	0.033	0.043	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.089	0.098	0.109
32			0.011	0.021	0.030	0.038	0.046	0.053	0.060	0.067	0.078	0.089	0.099
33				0.010	0.020	0.028	0.036	0.043	0.050	0.057	0.068	0.079	0.088
34					0.010	0.018	0.026	0.033	0.040	0.047	0.058	0.069	0.079
35						0.009	0.017	0.024	0.031	0.039	0.049	0.060	0.070
36							0.008	0.015	0.022	0.029	0.040	0.051	0.062
37								0.007	0.014	0.021	0.032	0.043	0.054
38									0.007	0.013	0.024	0.035	0.046
39										0.006	0.017	0.028	0.038
40											0.011	0.022	0.032

z_1 \ z_2	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72
10	0.550	0.554	0.558	0.561	0.564	0.567	0.570	0.572	0.574	0.576	0.578	0.580	0.582
11	0.515	0.520	0.524	0.528	0.532	0.536	0.540	0.543	0.546	0.548	0.550	0.552	0.554
12	0.483	0.487	0.493	0.498	0.502	0.506	0.510	0.513	0.516	0.519	0.522	0.525	0.527
13	0.451	0.457	0.462	0.467	0.471	0.475	0.479	0.483	0.487	0.491	0.494	0.497	0.499
14	0.422	0.427	0.432	0.437	0.442	0.446	0.450	0.454	0.458	0.462	0.466	0.469	0.472
15	0.392	0.398	0.404	0.409	0.414	0.419	0.423	0.427	0.431	0.435	0.438	0.442	0.445
16	0.366	0.373	0.378	0.383	0.389	0.393	0.397	0.401	0.405	0.409	0.413	0.417	0.421
17	0.341	0.348	0.354	0.359	0.364	0.369	0.374	0.379	0.384	0.388	0.390	0.394	0.398
18	0.319	0.326	0.332	0.338	0.343	0.348	0.353	0.358	0.362	0.366	0.371	0.374	0.378
19	0.297	0.305	0.312	0.319	0.324	0.329	0.334	0.339	0.344	0.349	0.353	0.357	0.361
20	0.277	0.285	0.292	0.299	0.305	0.311	0.316	0.321	0.326	0.331	0.336	0.340	0.344
21	0.260	0.268	0.275	0.281	0.287	0.293	0.299	0.305	0.310	0.315	0.320	0.324	0.328
22	0.243	0.251	0.258	0.265	0.271	0.277	0.283	0.289	0.295	0.300	0.305	0.309	0.313
23	0.227	0.235	0.242	0.249	0.253	0.261	0.267	0.273	0.279	0.284	0.289	0.293	0.296
24	0.211	0.219	0.227	0.234	0.240	0.246	0.252	0.258	0.264	0.269	0.274	0.278	0.281
25	0.197	0.204	0.211	0.218	0.225	0.232	0.238	0.244	0.250	0.255	0.260	0.264	0.268
26	0.182	0.190	0.197	0.204	0.211	0.218	0.225	0.231	0.237	0.242	0.247	0.251	0.255
27	0.169	0.176	0.184	0.192	0.199	0.206	0.212	0.218	0.224	0.229	0.234	0.239	0.243
28	0.155	0.163	0.171	0.179	0.187	0.194	0.200	0.206	0.212	0.217	0.222	0.227	0.231
29	0.142	0.150	0.158	0.166	0.174	0.182	0.189	0.195	0.201	0.206	0.211	0.216	0.219
30	0.129	0.138	0.147	0.155	0.163	0.171	0.178	0.185	0.191	0.196	0.200	0.204	0.208
31	0.119	0.128	0.136	0.144	0.152	0.160	0.168	0.174	0.180	0.185	0.190	0.194	0.198
32	0.109	0.118	0.126	0.134	0.142	0.150	0.158	0.164	0.170	0.176	0.181	0.185	0.189
33	0.099	0.108	0.117	0.125	0.133	0.141	0.149	0.155	0.161	0.166	0.171	0.176	0.180
34	0.089	0.099	0.108	0.116	0.124	0.132	0.140	0.146	0.152	0.158	0.162	0.167	0.171
35	0.080	0.090	0.099	0.107	0.115	0.123	0.131	0.137	0.143	0.148	0.153	0.158	0.162
36	0.072	0.082	0.090	0.098	0.106	0.114	0.122	0.128	0.134	0.140	0.145	0.150	0.154
37	0.064	0.074	0.082	0.090	0.098	0.106	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.142	0.146
38	0.056	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.105	0.111	0.117	0.123	0.129	*0.134*	*0.138*
39	0.048	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.097	0.103	0.109	0.115	0.121	0.127	0.131
40	0.042	0.052	0.060	0.068	0.076	0.083	0.090	0.097	0.103	0.109	0.115	0.120	0.124

（续）

z_1 \ z_2	74	76	78	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
10	0.583	0.584	0.585	0.586	0.587	0.588	0.588	0.589	0.589	0.589	0.590	0.590	0.590
11	0.556	0.557	0.558	0.559	0.560	0.561	0.562	0.563	0.563	0.564	0.564	0.565	0.565
12	0.529	0.530	0.531	0.532	0.533	0.534	0.535	0.536	0.537	0.538	0.538	0.539	0.540
13	0.501	0.503	0.505	0.506	0.507	0.508	0.509	0.510	0.511	0.512	0.513	0.513	0.514
14	0.474	0.476	0.478	0.480	0.481	0.482	0.483	0.484	0.485	0.486	0.487	0.487	0.488
15	0.448	0.451	0.454	0.456	0.458	0.459	0.460	0.461	0.462	0.464	0.465	0.466	0.467
16	0.424	0.427	0.430	0.432	0.434	0.436	0.438	0.439	0.440	0.442	0.444	0.446	0.447
17	0.401	0.404	0.407	0.410	0.412	0.414	0.416	0.418	0.419	0.421	0.423	0.425	0.427
18	0.381	0.384	0.387	0.390	0.392	0.394	0.396	0.398	0.400	0.402	0.404	0.406	0.407
19	0.364	0.367	0.370	0.372	0.374	0.376	0.378	0.380	0.382	0.384	0.386	0.388	0.388
20	0.347	0.350	0.353	0.356	0.358	0.360	0.362	0.364	0.365	0.367	0.369	0.370	0.372
21	0.331	0.334	0.336	0.338	0.341	0.344	0.346	0.348	0.350	0.352	0.354	0.355	0.356
22	0.315	0.318	0.320	0.322	0.325	0.328	0.331	0.333	0.335	0.337	0.339	0.340	0.341
23	0.299	0.301	0.304	0.307	0.310	0.313	0.316	0.318	0.320	0.322	0.324	0.326	0.327
24	0.284	0.287	0.290	0.293	0.296	0.299	0.302	0.305	0.307	0.309	0.311	0.313	0.315
25	0.271	0.274	0.277	0.280	0.283	0.286	0.289	0.292	0.294	0.296	0.298	0.300	0.302
26	0.259	0.262	0.265	0.268	0.271	0.274	0.277	0.279	0.281	0.284	0.286	0.288	0.290
27	0.247	0.250	0.253	0.256	0.259	0.262	0.265	0.267	0.269	0.272	0.275	0.277	0.279
28	0.235	0.238	0.243	0.244	0.247	0.250	0.253	0.256	0.258	0.261	0.264	0.266	0.268
29	0.223	0.227	0.230	0.233	0.236	0.239	0.242	0.245	0.248	0.251	0.254	0.256	0.258
30	0.212	0.216	0.219	0.222	0.225	0.228	0.232	0.235	0.238	0.241	0.244	0.246	0.248
31	0.202	0.206	0.209	0.212	0.215	0.218	0.222	0.225	0.228	0.231	0.234	0.237	0.238
32	0.193	0.197	0.200	0.203	0.205	0.208	0.212	0.215	0.218	0.221	0.224	0.227	0.230
33	0.184	0.188	0.191	0.194	0.197	0.200	0.203	0.206	0.209	0.212	0.215	0.218	0.224
34	0.175	0.179	0.182	0.185	0.188	0.191	0.194	0.197	0.200	0.203	0.206	0.209	0.212
35	0.166	0.170	0.174	0.177	0.180	0.183	0.186	0.189	0.192	0.195	0.198	0.201	0.204
36	0.158	0.162	0.166	0.169	0.172	0.175	0.178	0.181	0.184	0.187	0.190	0.193	0.196
37	0.150	0.154	0.158	0.161	0.164	0.167	0.170	0.173	0.176	0.179	0.182	0.185	0.188
38	0.142	0.146	0.150	0.153	0.156	0.159	0.162	0.165	0.168	0.171	0.174	0.177	0.180
39	0.135	0.139	0.143	0.146	0.149	0.152	0.155	0.158	0.161	0.164	0.167	0.170	0.172
40	0.128	0.132	0.136	0.139	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	0.157	0.160	0.162	0.164

z_1 \ z_2	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	150	170
13	0.514	0.514	0.515	0.516	0.517	0.518	0.519	0.520					
14	0.489	0.491	0.493	0.494	0.495	0.496	0.497	0.498	0.499	0.499	0.500		
15	0.468	0.470	0.472	0.474	0.475	0.476	0.477	0.478	0.479	0.480	0.481	0.483	
16	0.448	0.450	0.452	0.454	0.456	0.457	0.459	0.461	0.462	0.463	0.464	0.466	0.468
17	0.428	0.431	0.433	0.435	0.437	0.439	0.441	0.443	0.445	0.446	0.447	0.449	0.451
18	0.408	0.411	0.414	0.417	0.419	0.421	0.423	0.425	0.427	0.429	0.430	0.432	0.434
19	0.390	0.393	0.396	0.398	0.401	0.403	0.406	0.408	0.410	0.412	0.414	0.416	0.418
20	0.373	0.376	0.379	0.382	0.385	0.387	0.389	0.391	0.393	0.395	0.397	0.400	0.402
21	0.357	0.361	0.364	0.367	0.370	0.373	0.375	0.377	0.379	0.381	0.383	0.386	0.389
22	0.343	0.346	0.350	0.353	0.356	0.359	0.362	0.364	0.366	0.368	0.370	0.373	0.376
23	0.328	0.332	0.336	0.340	0.343	0.346	0.349	0.351	0.353	0.355	0.357	0.360	0.363
24	0.316	0.320	0.324	0.327	0.330	0.333	0.336	0.339	0.341	0.343	0.345	0.348	0.351
25	0.304	0.308	0.312	0.316	0.319	0.322	0.325	0.328	0.330	0.332	0.334	0.337	0.340
26	0.292	0.296	0.300	0.304	0.307	0.310	0.313	0.316	0.319	0.321	0.323	0.327	0.331
27	0.281	0.285	0.289	0.293	0.296	0.299	0.302	0.305	0.308	0.310	0.312	0.316	0.318
28	0.270	0.274	0.279	0.282	0.285	0.289	0.291	0.294	0.297	0.300	0.302	0.307	0.311
29	0.260	0.264	0.268	0.272	0.275	0.278	0.281	0.284	0.287	0.290	0.292	0.297	0.301
30	0.250	0.255	0.259	0.263	0.266	0.269	0.272	0.275	0.278	0.281	0.283	0.288	0.292
31	0.241	0.246	0.250	0.254	0.257	0.260	0.263	0.266	0.269	0.272	0.274	0.279	0.284
32	0.232	0.237	0.241	0.245	0.248	0.251	0.254	0.257	0.260	0.263	0.265	0.270	0.275
33	0.223	0.228	0.232	0.236	0.240	0.243	0.246	0.249	0.252	0.255	0.257	0.262	0.267
34	0.215	0.220	0.224	0.228	0.232	0.235	0.238	0.241	0.244	0.247	0.250	0.255	0.260
35	0.206	0.211	0.215	0.219	0.223	0.227	0.231	0.234	0.237	0.240	0.243	0.248	0.253
36	0.198	0.203	0.208	0.212	0.216	0.220	0.224	0.227	0.230	0.233	0.236	0.242	0.247
37	0.190	0.195	0.200	0.204	0.209	0.212	0.216	0.220	0.224	0.227	0.230	0.236	0.241
38	0.182	0.187	0.192	0.197	0.201	0.205	0.209	0.213	0.217	0.220	0.223	0.229	0.235
39	0.174	0.180	0.185	0.190	0.194	0.198	0.202	0.206	0.210	0.213	0.216	0.222	0.228
40	0.168	0.172	0.178	0.183	0.187	0.191	0.195	0.199	0.203	0.207	0.210	0.216	0.222

（九）库德里也切夫变位制

这种变位制既用于高变位，也用于角变位。采用这种变位制，能保证一对齿在啮合区域内齿廓曲率半径 ρ 的数值最大，即两个齿的工作表面具有最大的接触强度。变位系数的值分别对于不同的传动比 i（即不同的齿数组合）给出。这种变位制的基本条件为：重合度 $\varepsilon \geqslant 1.13 \sim 1.2$，齿顶厚 $s_a \geqslant (0.3 \sim 0.4)m$。

附表11-15　库德里也切夫制角变位的变位系数（$2 \geqslant i \geqslant 1$）

z_2 \ z_1	11		12		13		14		15		16		17	
	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
11	0.395	0.395												
12	0.432	0.372	0.444	0.444										
13	0.464	0.354	0.479	0.423	0.486	0.486								
14	0.490	0.341	0.515	0.400	0.524	0.462	0.525	0.525						
15	0.513	0.330	0.543	0.386	0.557	0.443	0.565	0.506	0.571	0.571				
16	0.534	0.322	0.566	0.376	0.588	0.426	0.600	0.485	0.609	0.547	0.608	0.608		
17	0.551	0.317	0.589	0.365	0.614	0.414	0.631	0.468	0.644	0.526	0.644	0.586	0.646	0.646
18	0.568	0.312	0.609	0.358	0.636	0.405	0.661	0.452	0.677	0.508	0.678	0.566	0.683	0.624
19	0.584	0.308	0.626	0.353	0.659	0.394	0.686	0.441	0.706	0.492	0.716	0.542	0.720	0.601
20	0.601	0.303	0.646	0.345	0.676	0.389	0.706	0.433	0.731	0.481	0.744	0.526	0.756	0.580
21	0.617	0.299	0.663	0.341	0.694	0.384	0.726	0.426	0.754	0.472	0.768	0.519	0.781	0.568
22	0.630	0.297	0.679	0.337	0.714	0.376	0.745	0.419	0.775	0.463	0.793	0.507	0.809	0.554
23			0.693	0.334	0.730	0.372	0.763	0.414	0.792	0.458	0.815	0.497	0.833	0.543
24			0.706	0.333	0.745	0.369	0.780	0.409	0.813	0.449	0.834	0.491	0.856	0.534
25					0.758	0.368	0.796	0.405	0.830	0.445	0.854	0.483	0.878	0.525
26					0.773	0.365	0.813	0.400	0.848	0.440	0.869	0.480	0.898	0.517
27							0.826	0.399	0.862	0.438	0.892	0.470	0.916	0.511
28							0.840	0.397	0.881	0.431	0.907	0.467	0.936	0.504
29									0.894	0.430	0.921	0.465	0.952	0.500
30									0.908	0.428	0.936	0.462	0.968	0.496
31											0.951	0.459	0.981	0.495
32											0.967	0.455	0.999	0.490
33													1.014	0.487
34													1.030	0.483

（续）

z_1 / z_2	18		19		20		21		22		23		24	
	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
18	0.684	0.684												
19	0.723	0.658	0.720	0.720										
20	0.756	0.639	0.756	0.699	0.755	0.755								
21	0.792	0.617	0.793	0.676	0.793	0.731	0.782	0.782						
22	0.814	0.609	0.830	0.652	0.831	0.707	0.821	0.758	0.812	0.812				
23	0.849	0.588	0.860	0.636	0.866	0.686	0.861	0.732	0.850	0.787	0.839	0.839		
24	0.871	0.579	0.888	0.622	0.893	0.673	0.892	0.715	0.884	0.767	0.872	0.820	0.865	0.865
25	0.898	0.566	0.915	0.609	0.926	0.654	0.925	0.696	0.924	0.742	0.913	0.793	0.898	0.845
26	0.916	0.561	0.937	0.601	0.948	0.645	0.951	0.683	0.950	0.729	0.946	0.774	0.934	0.822
27	0.937	0.552	0.959	0.592	0.979	0.632	0.976	0.672	0.984	0.708	0.979	0.755	0.966	0.804
28	0.958	0.543	0.982	0.583	0.997	0.624	1.000	0.662	1.007	0.700	1.010	0.737	1.000	0.784
29	0.976	0.537	0.997	0.578	1.018	0.615	1.023	0.651	1.031	0.689	1.038	0.723	1.033	0.764
30	0.994	0.532	1.017	0.571	1.038	0.608	1.045	0.641	1.051	0.681	1.055	0.718	1.060	0.750
31	1.011	0.528	1.038	0.562	1.056	0.602	1.065	0.634	1.075	0.669	1.084	0.701	1.081	0.741
32	1.026	0.525	1.054	0.559	1.076	0.594	1.082	0.629	1.094	0.662	1.101	0.696	1.105	0.729
33	1.041	0.522	1.071	0.554	1.093	0.589	1.102	0.622	1.114	0.655	1.121	0.689	1.127	0.720
34	1.059	0.516	1.088	0.550	1.110	0.584	1.122	0.614	1.131	0.650	1.145	0.678	1.149	0.710
35	1.072	0.515	1.102	0.547	1.127	0.580	1.140	0.608	1.151	0.639	1.163	0.672	1.170	0.708
36	1.088	0.511	1.117	0.545	1.141	0.578	1.157	0.603	1.172	0.634	1.180	0.667	1.188	0.696
37			1.131	0.512	1.159	0.573	1.171	0.601	1.187	0.631	1.200	0.659	1.206	0.690
38			1.145	0.540	1.173	0.570	1.186	0.599	1.201	0.626	1.218	0.653	1.223	0.685
39					1.187	0.568	1.201	0.595	1.222	0.622	1.232	0.651	1.241	0.680
40					1.201	0.567	1.218	0.591	1.233	0.621	1.249	0.647	1.260	0.673
41							1.231	0.589	1.250	0.616	1.265	0.643	1.276	0.669
42							1.247	0.586	1.268	0.612	1.279	0.640	1.291	0.665
43									1.279	0.611	1.295	0.636	1.306	0.662
44									1.293	0.609	1.310	0.634	1.321	0.659
45											1.325	0.631	1.336	0.657
46											1.338	0.629	1.350	0.654
47													1.365	0.651
48													1.379	0.649

附表11-16　库德里也切夫制角变位的变位系数x_2（$5 \geqslant i \geqslant 2$）

z_2 \ z_1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
20	0.397	0.381	0.364													
25	0.458	0.442	0.425	0.409	0.401											
30	0.517	0.501	0.486	0.471	0.463	0.458	0.451	0.445								
35	0.571	0.556	0.542	0.528	0.522	0.518	0.512	0.505	0.499	0.493						
40	0.625	0.610	0.596	0.582	0.577	0.575	0.569	0.564	0.560	0.553	0.547	0.509	0.481			
45	0.673	0.661	0.648	0.635	0.632	0.628	0.624	0.620	0.616	0.611	0.606	0.566	0.538	0.508	0.481	
50	0.721	0.709	0.696	0.685	0.684	0.682	0.677	0.674	0.671	0.667	0.662	0.623	0.594	0.564	0.535	0.505
55		0.754	0.745	0.734	0.732	0.731	0.728	0.727	0.722	0.720	0.716	0.677	0.647	0.618	0.588	0.559
60			0.789	0.782	0.780	0.779	0.778	0.777	0.773	0.772	0.769	0.729	0.697	0.668	0.636	0.610
65				0.822	0.825	0.826	0.827	0.825	0.823	0.821	0.820	0.778	0.748	0.719	0.687	0.658
70					0.866	0.870	0.872	0.874	0.871	0.869	0.868	0.828	0.797	0.768	0.736	0.705
75						0.909	0.914	0.917	0.920	0.919	0.916	0.876	0.846	0.816	0.786	0.756
80							0.954	0.957	0.961	0.962	0.965	0.924	0.891	0.859	0.828	0.797
85								0.998	1.001	1.003	1.008	0.964	0.933	0.901	0.868	0.838
90									1.042	1.046	1.048	1.005	0.975	0.941	0.911	0.878
95										1.086	1.088	1.045	1.013	0.982	0.952	0.918
100											1.129	1.087	1.057	1.025	0.993	0.962
105												1.131	1.098	1.066	1.035	1.005
110													1.140	1.108	1.076	1.047
115														1.150	1.117	1.084
120															1.155	1.122
125																1.159

z_2 \ z_1	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
50	0.476	0.446	0.417	0.388											
60	0.579	0.547	0.518	0.487	0.458	0.427	0.397	0.378	0.356						
70	0.676	0.645	0.613	0.583	0.556	0.521	0.489	0.469	0.448	0.418	0.385	0.363	0.331	0.299	
80	0.764	0.733	0.701	0.669	0.638	0.605	0.574	0.552	0.531	0.497	0.466	0.445	0.413	0.380	0.349
90	0.846	0.815	0.783	0.750	0.719	0.687	0.657	0.635	0.613	0.582	0.549	0.531	0.497	0.465	0.435
100	0.929	0.899	0.866	0.836	0.806	0.773	0.740	0.718	0.696	0.666	0.640	0.611	0.579	0.547	0.514
110	1.011	0.981	0.947	0.917	0.884	0.853	0.820	0.791	0.775	0.745	0.710	0.688	0.656	0.620	0.589
120	1.090	1.058	1.026	0.991	0.959	0.928	0.896	0.872	0.851	0.819	0.788	0.766	0.732	0.700	0.669
130	1.168	1.135	1.102	1.069	1.039	1.007	0.973	0.949	0.929	0.896	0.863	0.841	0.809	0.776	0.744
140		1.210	1.180	1.146	1.111	1.083	1.048	1.024	1.002	0.969	0.935	0.911	0.881	0.845	0.813
150				1.217	1.183	1.150	1.113	1.091	1.067	1.035	1.000	0.978	0.941	0.909	0.876
160						1.212	1.179	1.155	1.133	1.099	1.065	1.041	1.005	0.973	0.940
170								1.219	1.195	1.162	1.131	1.107	1.071	1.038	1.003
180										1.230	1.194	1.171	1.136	1.103	1.071
190												1.236	1.203	1.167	1.137
200														1.233	1.201

附表11-17　库德里也切夫制角变位的变位系数x_1（$5\geqslant i\geqslant 2$）

z_1	x_1	z_1	x_1	z_1	x_1	z_1	x_1	z_1	x_1	z_1	x_1	z_1	x_1	z_1	x_1
10	0.59	14	0.86	18	1.10	22	1.31	26	1.47	30	1.63	34	1.77	38	1.92
11	0.66	15	0.92	19	1.16	23	1.35	27	1.51	31	1.67	35	1.81	39	1.96
12	0.73	16	0.98	20	1.22	24	1.39	28	1.55	32	1.71	36	1.85	40	2.00
13	0.80	17	1.04	21	1.27	25	1.43	29	1.59	33	1.74	37	1.88		

附表11-18　当$2\geqslant i\geqslant 1$时，齿顶高变动系数y

z_1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
y	0.127	0.145	0.160	0.175	0.190	0.202	0.215	0.227	0.239	0.250	0.257	0.265	0.272	0.278

附表11-19　当$5\geqslant i\geqslant 2$时，齿顶高变动系数y

z_1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
y	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.25

（十）乌姆诺夫变位制

乌姆诺夫变位制分别用于高变位和角变位，基本条件为$\eta_1=\eta_2$，$s=1.1\sim1.2$。见附表11-20、21。

附表11-20 乌姆诺夫制高变位的变位系数

传动比 i	小齿轮的当量齿数 z_{v1}											
	10	11	12	13	14	15	18	20	25	30	35	40
1.02～1.05					0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
1.05～1.09					0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
1.09～1.14					0.10	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04
1.14～1.18				0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06
1.18～1.22				0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07
1.22～1.27				0.19	0.18	0.17	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08
1.27～1.32				0.22	0.21	0.20	0.18	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09
1.32～1.39			0.25	0.24	0.23	0.22	0.20	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10
1.39～1.46			0.29	0.27	0.26	0.25	0.22	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12
1.46～1.54			0.33	0.31	0.30	0.27	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14
1.54～1.65			0.37	0.35	0.33	0.30	0.27	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15
1.65～1.80		0.41	0.39	0.38	0.36	0.34	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16
1.80～1.95		0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.22	0.20	0.19
1.95～2.1	0.49	0.48	0.47	0.44	0.42	0.40	0.36	0.34	0.29	0.25	0.22	0.20
2.1～2.4	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.42	0.39	0.36	0.32	0.27	0.24	0.22
2.4～2.7	0.57	0.54	0.51	0.49	0.47	0.45	0.42	0.39	0.34	0.30	0.26	0.24
2.7～3.0	0.59	0.55	0.52	0.51	0.49	0.47	0.43	0.40	0.35	0.31	0.27	0.25
3.0～4.0	0.60	0.56	0.53	0.52	0.50	0.48	0.44	0.42	0.36	0.32	0.28	0.25
4.0～6.0	0.61	0.58	0.54	0.53	0.51	0.49	0.45	0.43	0.37	0.34	0.30	0.26
6.0	0.62	0.60	0.55	0.54	0.52	0.50	0.46	0.44	0.38	0.35	0.31	—

附表11-21　乌姆诺夫制角变位

z_{v1}	变位系数	大齿轮的																
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
10	x_Σ	1.08	1.08	1.09	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.13
	x_1	0.54	0.55	0.55	0.57	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.61	0.61	0.61	0.61
11	x_Σ		1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09
	x_1		0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59
12	x_Σ			1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05
	x_1			0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57
13	x_Σ				0.97	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.01
	x_1				0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55
14	x_Σ					0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97
	x_1					0.47	0.48	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53
15	x_Σ						0.90	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
	x_1						0.45	0.46	0.46	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.51
16	x_Σ							0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	x_1							0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48
17	x_Σ								0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85
	x_1								0.41	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46
18	x_Σ									0.79	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81
	x_1									0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44
19	x_Σ										0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77	0.77
	x_1										0.38	0.39	0.39	0.40	0.40	0.41	0.41	0.42
20	x_Σ											0.72	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73
	x_1											0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40
21	x_Σ												0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69
	x_1												0.34	0.35	0.36	0.36	0.37	0.37
22	x_Σ													0.65	0.65	0.65	0.66	0.66
	x_1													0.32	0.33	0.34	0.34	0.35
23	x_Σ														0.61	0.62	0.62	0.62
	x_1														0.31	0.32	0.32	0.33
24	x_Σ															0.58	0.58	0.58
	x_1															0.29	0.29	0.30
25	x_Σ																0.54	0.54
	x_1																0.27	0.28
26	x_Σ																	0.50
	x_1																	0.25
27	x_Σ																	
	x_1																	
28	x_Σ																	
	x_1																	
29	x_Σ																	
	x_1																	

（十一）希伯尔变位制

希伯尔变位制用于角变位。选择变位系数的原则是使一对啮合齿轮的根部齿厚相等，同时两轮均不产生根切。所用齿条的原始齿廓参数为$\alpha = 15°$和$h_a^* = 1$。

的变位系数x_2、x_1

当量齿数 z_{v2}																	
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	44	46	48
1.14 0.62	1.14 0.62	1.14 0.62	1.15 0.62	1.15 0.62	1.15 0.62	1.16 0.62	1.16 0.62	1.16 0.63	1.17 0.63	1.17 0.63	1.17 0.63	1.18 0.63	1.18 0.63	1.19 0.63	1.19 0.63	1.20 0.63	1.21 0.63
1.10 0.59	1.10 0.60			1.11 0.60	1.11 0.60	1.11 0.60	1.12 0.60	1.12 0.60	1.12 0.61	1.13 0.61	1.13 0.61	1.13 0.61	1.13 0.61	1.14 0.61	1.15 0.61	1.15 0.61	1.16 0.61
1.06 0.57	1.06 0.57	1.06 0.58	1.06 0.58	1.07 0.58	1.07 0.58	1.07 0.58	1.07 0.58	1.07 0.58	1.08 0.58	1.08 0.59	1.08 0.59	1.09 0.59	1.09 0.59	1.09 0.59	1.10 0.59	1.11 0.59	
1.01 0.55	1.01 0.55	1.02 0.56	1.02 0.56	1.02 0.56	1.02 0.56	1.03 0.56	1.03 0.56	1.03 0.56	1.03 0.56	1.04 0.57	1.04 0.57	1.04 0.57	1.04 0.57	1.05 0.57	1.05 0.57	1.06 0.57	
0.97 0.53	0.97 0.53	0.97 0.53	0.98 0.54	0.98 0.54	0.98 0.54	0.98 0.54	0.99 0.54	0.99 0.54	0.99 0.54	0.99 0.55	0.99 0.55	1.00 0.55	1.00 0.55	1.00 0.55	1.01 0.55		
0.93 0.51	0.93 0.51		0.93 0.52	0.94 0.52	0.94 0.52	0.94 0.52	0.94 0.52	0.94 0.52	0.95 0.52	0.95 0.53	0.95 0.53	0.95 0.53	0.96 0.53	0.96 0.53	0.96 0.53		
0.89 0.49	0.89 0.49	0.89 0.49	0.89 0.49	0.89 0.50	0.90 0.50	0.90 0.50	0.90 0.50	0.90 0.50	0.91 0.51	0.91 0.51	0.91 0.51	0.91 0.51	0.91 0.51	0.92 0.51			
0.85 0.47	0.85 0.47	0.85 0.47	0.85 0.47	0.86 0.48	0.86 0.48	0.86 0.48	0.86 0.48	0.86 0.48	0.87 0.49	0.87 0.49	0.87 0.49	0.87 0.49	0.87 0.49	0.88 0.49			
0.81 0.44	0.81 0.45	0.81 0.45	0.82 0.45	0.82 0.46	0.82 0.46	0.82 0.46	0.82 0.46	0.82 0.46	0.83 0.47	0.83 0.47	0.83 0.47	0.83 0.47	0.83 0.47				
0.77 0.42	0.77 0.43	0.77 0.43	0.78 0.43	0.78 0.44	0.78 0.44	0.78 0.44	0.78 0.44	0.78 0.44	0.79 0.45	0.79 0.45	0.79 0.45	0.79 0.45	0.79 0.45				
0.73 0.40	0.73 0.40	0.74 0.41	0.74 0.41	0.74 0.42	0.74 0.42	0.74 0.42	0.74 0.42	0.75 0.43	0.75 0.43	0.75 0.43	0.75 0.43	0.75 0.43					
0.69 0.38	0.70 0.38	0.70 0.38	0.70 0.39	0.70 0.39	0.70 0.40	0.70 0.40	0.70 0.40	0.71 0.41	0.71 0.41	0.71 0.41	0.71 0.41						
0.66 0.35	0.66 0.36	0.66 0.36	0.66 0.37	0.66 0.37	0.66 0.38	0.67 0.38	0.67 0.38	0.67 0.38	0.67 0.39	0.67 0.39							
0.62 0.33	0.62 0.34	0.62 0.34	0.62 0.35	0.63 0.35	0.63 0.35	0.63 0.36	0.63 0.36	0.63 0.36	0.63 0.37								
0.58 0.31	0.58 0.31	0.58 0.32	0.59 0.33	0.59 0.33	0.59 0.33	0.59 0.34	0.59 0.34	0.59 0.34									
0.54 0.28	0.54 0.29	0.55 0.30	0.55 0.31	0.55 0.31	0.55 0.31	0.55 0.32	0.55 0.32										
0.51 0.26	0.51 0.27	0.51 0.27	0.51 0.28	0.51 0.28	0.51 0.29	0.51 0.29											
0.47 0.23	0.47 0.24	0.47 0.25	0.47 0.26	0.48 0.26	0.48 0.27												
	0.43 0.22	0.43 0.22	0.44 0.23	0.44 0.24													
		0.40 0.20	0.40 0.21														

这种变位制不考虑齿轮的材料和齿的磨损，所以，两个齿轮的等强度性不全取决于齿厚。希伯尔变位制的变位系数见附表11-22。

（十二）DIN 870变位制

这种变位制于1931年3月在德国被采用为标准

附表11-22 希伯尔变位制直齿圆柱齿轮的变位系数x_1、x_2（$\alpha=15°$，$h_a^*=1$）

z_2 \ z_1		10	12	15	20	25	30	35	40	45	50
10	x_1	0.438									
	x_2	0.438									
12	x_1	0.460	0.366								
	x_2	0.432	0.366								
15	x_1	0.490	0.435	0.277							
	x_2	0.430	0.361	0.277							
20	x_1	0.532	0.446	0.317	0.144						
	x_2	0.410	0.340	0.264	0.144						
25	x_1	0.557	0.476	0.350	0.180	0.030					
	x_2	0.392	0.330	0.252	0.120	0.030					
30	x_1	0.578	0.500	0.383	0.204	0.060	−0.085				
	x_2	0.356	0.291	0.208	0.085	−0.002	−0.085				
35	x_1	0.596	0.517	0.400	0.230	0.075	−0.066	−0.185			
	x_2	0.308	0.260	0.170	0.040	−0.034	−0.125	−0.185			
40	x_1	0.600	0.532	0.420	0.247	0.100	−0.040	−0.183	−0.282		
	x_2	0.275	0.217	0.136	0.020	−0.030	−0.160	−0.226	−0.282		
45	x_1	0.620	0.545	0.434	0.261	0.115	−0.025	−0.164	−0.270	−0.352	
	x_2	0.240	0.176	0.135	−0.010	−0.118	−0.200	−0.265	−0.318	−0.352	
50	x_1	0.632	0.553	0.445	0.278	0.130	−0.020	−0.152	−0.250	−0.345	−0.395
	x_2	0.200	0.138	0.056	−0.068	−0.160	−0.240	−0.306	−0.370	−0.390	−0.395
60	x_1		0.574	0.468	0.304	0.155	0.010	−0.120	−0.288	−0.326	−0.373
	x_2		0.064	−0.010	−0.138	−0.238	−0.325	−0.395	−0.464	−0.495	−0.485
80	x_1		0.595	0.500	0.337	0.193	0.050	−0.090	−0.193	−0.266	−0.310
	x_2		−0.071	−0.153	−0.290	−0.398	−0.490	−0.572	−0.630	−0.645	−0.620
100	x_1		0.611	0.516	0.352	0.220	0.072	−0.055	−0.172	−0.210	−0.245
	x_2		−0.183	−0.278	−0.432	−0.520	−0.630	−0.710	−0.786	−0.775	−0.765
120	x_1			0.526	0.375	0.235	0.092	−0.050	−0.131	−0.190	−0.220
	x_2			−0.407	−0.550	−0.675	−0.780	−0.850	−0.917	−0.895	−0.880
150	x_1			0.544	0.390	0.250	0.110	−0.025	−0.090	−0.125	−0.165
	x_2			−0.600	−0.752	−0.820	−1.050	−1.105	−0.126	−1.107	−1.078
200	x_1			0.537	0.400	0.256	0.115	0.015	−0.080	−0.125	−0.170
	x_2			−0.800	−0.960	−1.114	−1.200	−1.200	−1.360	−1.380	−1.390

附表11-23 DIN 870变位制变位系数x_1、x_2

变位名称	x性质	$\alpha=20°$ 齿数范围			$\alpha=20°$ 变位系数		$\alpha=15°$ 齿数范围			$\alpha=15°$ 变位系数	
		z_1	z_2	z_Σ	x_1	x_2	z_1	z_2	z_Σ	x_1	x_2
角变位	理论数值	<16	<16	<33	$\frac{17-z_1}{17}$	$\frac{17-z_2}{17}$	<29	<29	<59	$\frac{30-z_1}{30}$	$\frac{30-z_2}{30}$
	实际数值	<13	<13	<27	$\frac{14-z_1}{17}$	$\frac{14-z_2}{17}$	<24	<24	<49	$\frac{25-z_1}{30}$	$\frac{25-z_2}{30}$
角变位	理论数值	<16	>17	<33	$\frac{17-z_1}{17}$	$\frac{17-z_2}{17}$	>29	>30	<59	$\frac{30-z_1}{30}$	$\frac{30-z_2}{30}$
	实际数值	<13	>14	<27	$\frac{14-z_1}{17}$	$\frac{14-z_2}{17}$	<24	>25	<49	$\frac{25-z_1}{30}$	$\frac{25-z_2}{30}$
角变位	理论数值	<16	>17	>34	$\frac{17-z_1}{17}$	0.000	<29	>30	>60	$\frac{30-z_1}{30}$	0.000
	实际数值	<13	>14	>28	$\frac{14-z_1}{17}$	0.000	<24	>25	>50	$\frac{25-z_1}{30}$	0.000
高变位	理论数值	<16	>17	>34	$\frac{17-z_1}{17}$	$-x_1$	<29	>30	>60	$\frac{30-z_1}{30}$	$-x_1$
	实际数值	<13	>14	>28	$\frac{14-z_1}{17}$	$-x_1$	<24	>25	>50	$\frac{25-z_1}{30}$	$-x_1$
非变位	理论数值	>17	>17	>34	0.000	0.000	>30	>30	>60	0.000	0.000
	实际数值	>14	>14	>28	0.000	0.000	>25	>25	>50	0.000	0.000

变位制，其变位系数见附表11-23。

这种变位制既用于角变位，也用于高变位。规定有两种变位系数，即理论的和实际的。理论变位系数是产生根切的临界值，而实际变位系数则容许可以忽略的微小根切。

DIN 870变位制采用两种齿条原始齿廓参数：$\alpha=15°$，$h_a^*=1$ 和 $\alpha=20°$，$h_a^*=1$。

这种变位制不考虑滑动比和压强比。

（十三）白金汉变位制

白金汉变位制主要用于角变位。选择变位系数 x 时所依据的条件为消除根切，但与DIN 870相反，不仅不容许存在微小的根切，还必须稍大于 x_{min}。这种变位制的变位系数用于齿数由10到40的齿轮，并且与齿数成反比关系。变位系数的算式见附表11-24。

白金汉变位制采用的齿条原始齿廓参数为 $\alpha=14\frac{1^\circ}{2}$，$h_a^*=1$。

这种变位制不采用负变位，因此，当 $z_2\geqslant 40$ 时，$x_2=0$。

白金汉变位制的特点：只要一对啮合齿轮的齿数和一定，不管两个齿轮的齿数组合（即传动比）如何，总变位系数总保持不变：

$$x_\Sigma=x_1+x_2=1.8304-0.0229\ (z_1+z_2)$$
$$=1.8304-0.0229z_\Sigma$$

附表11-24　白金汉制变位系数的算式[83]

（$\alpha=14^1/_2{}^\circ$，$h_a^*=1$）

啮合类别	齿数范围		x_1	x_2
	z_1	z_2		
角变位啮合	10～40	10～40	$0.9152-0.0229z_1$	$0.9152-0.0229z_2$
角变位啮合	10～40	≥40	$0.9152-0.0229z_1$	0.000
非变位啮合	≥40	≥40	0.000	0.000

这同时表示，在一定的齿数和 z_Σ 下，不论 z_1 和 z_2 的数值如何，中心距均保持不变。这一特点对于机床制造业是很重要的。因为在机床的传动中，常常可以遇到两轴之间有若干对相同模数的齿轮交替啮合的情形。

从滑动率方面，即从传动效率和磨损情况着眼，这种变位制是完全满意的。其角变位的变位系数见附表11-25。

附表11-25　白金汉制圆柱齿轮角变位的变位系数

$\left(\alpha=14\frac{1^\circ}{2},\ h_a^*=1,\ c^*=0.2\right)$

z_1	x	z_1	x	z_1	x
10	0.686	21	0.435	32	0.183
11	0.664	22	0.412	33	0.160
12	0.641	23	0.389	34	0.137
13	0.618	24	0.366	35	0.115
14	0.595	25	0.343	36	0.092
15	0.572	26	0.320	37	0.069
16	0.549	27	0.289	38	0.046
17	0.526	28	0.275	39	0.023
18	0.504	29	0.252	40	0.000
19	0.481	30	0.229		
20	0.458	31	0.206		

在高变位制中，规定每一种模数有五种齿形角不同的原始齿形，即

α	$14\frac{1^\circ}{2}$	$17°$	$20°$	$22\frac{1^\circ}{2}$	$25°$
h_a^*	1	1	1	0.9	0.8

并建立了变位系数的经验公式。

当 $z_2<40$ 时，$x=0.02(z_2-z_1)$；

当 $z_2\geqslant 40$ 时，$x=0.02(40-z_1)$。

这种高变位制，其计算虽然简单，啮合性能较好，但需用刀具多，故应用不广。

Я. И. 季克尔将白金汉变位制转用于齿条原始齿廓参数 $\alpha=20°$ 和 $h_a^*=1$ 的情形，得到变位系数的计算公式为：

$$x_1=0.748-0.017z_1$$
$$x_2=0.748-0.017z_2$$

当 z_1 及 z_2 均≥44时，x_1 及 x_2 即等于零。

（十四）福列尔-赛克斯变位制

所规定的高变位人字齿轮，其变位系数不论齿数多少，均为 $x_{t1}=0.4$ 和 $x_{t2}=-0.4$。

对于角变位，在中心距已定的情况下，总变位系数 $x_{t\Sigma}$ 与齿数成比例地分配给两个啮合齿轮，即：

$$x_{t1}=x_{t\Sigma}\frac{1}{1+i};\quad x_{t2}=x_{t\Sigma}-x_{t1}。$$

（十五）插齿刀主要参数

插齿刀主要参数见附表11-26、11-27。

附表11-26 直齿插齿刀主要参数（$\alpha = 20°$）

（mm）

m	z_0	d_0	d_{a0}	s_0	h_0	h_{a3}^*
1	26	26				
	40	40				
	48	48				
	50	50				
	64	64				
	76	76	78.5	1.57	1.25	1.25
	100	100	102.5	1.57	1.25	1.25
1.25	20	25				
	40	50				
	60	75	78.58	2.13	1.79	1.25
	80	100	104.02	2.29	2.01	1.25
1.5	18	27				
	32	48				
	34	51				
	50	75	79.56	2.65	2.28	1.25
	68	102	107.14	2.86	2.57	1.25
1.75	15	26.25				
	28	49				
	29	50.75				
	43	75.25	80.65	3.12	2.70	1.25
	58	101.5	107.60	3.38	3.05	1.25
2.0	13	26				
	24	48				
	25	50				
	38	76	82.18	3.57	3.09	1.25
	50	100	106.98	3.86	3.49	1.25
2.25	12	27				
	22	49.5				
	34	76.5	83.38	3.99	3.44	1.25
	45	101.25	109.05	4.32	3.90	1.25
2.5	10	25				
	20	50				
	30	75	82.24	4.29	3.62	1.25
	40	100	108.54	4.76	4.27	1.25
2.75	10	27.5				
	18	49.5				
	28	77	84.80	4.66	3.90	1.25
	36	99	107.90	5.05	4.45	1.25
3	16	48				
	17	51				
	25	75	83.22	4.97	4.11	1.25
	34	102	111.48	5.43	4.74	1.25
3.25	24	78	86.84	5.37	4.42	1.25
	31	100.75	110.67	5.76	4.86	1.25
3.5	22	77	86.34	5.71	4.67	1.25
	28	98				
	29	101.5	111.94	6.11	5.22	1.25
3.75	20	75	84.82	6.05	4.91	1.25
	27	101.25	112.19	6.46	5.47	1.25
4	19	76	86.38	6.42	5.19	1.25
	25	100	111.40	6.80	5.70	1.25
	31	124	136.88	7.19	6.44	1.30
4.5	22	99	111.40	7.49	6.20	1.25
	28	126	140.10	7.94	7.05	1.30
6	20	100	113.50	8.22	6.75	1.25
	25	125	140.22	8.66	7.61	1.30

（续）

m	z_0	d_0	d_{a0}	s_0	h_0	h_{a0}^*
5.5	19	104.5	119.22	8.99	7.36	1.25
	23	126.5	142.94	9.42	8.22	1.30
6	17	102				
	18	108	123.88	9.75	7.94	1.25
	21	126	143.56	10.14	8.78	1.30
	27	162	181.26	10.76	9.85	1.30
6.5	16	104				
	19	123.5	142.08	10.82	9.29	1.30
	15	105				
	25	162.5	182.94	11.50	10.22	1.30
7	18	126	145.76	11.56	9.88	1.30
	23	161	182.54	12.21	10.77	1.30
8	16	128	149.94	12.98	10.97	1.30
	20	160	183.82	13.67	11.91	1.30
	25	200	226.08	14.49	13.04	1.30
9	18	162	188.20	15.15	13.10	1.30
	22	198	226.36	15.94	14.18	1.30
10	16	160	188.40	16.58	14.20	1.30
	20	200	230.80	17.45	15.40	1.30
11	18	198	231.00	18.88	16.50	1.30
12	17	204	239.50	20.42	17.75	1.30

注：本表系摘自插齿刀标准GR70-60～GR75-60和北京工具厂资料。

附表11-27　人字齿轮插齿刀主要参数

（$\alpha_{n0}=17^1/_2°$）

端面模数 m_t（mm）	齿数 z_0	分度圆直径 d_0（mm）	分度圆螺旋角 β_0	端面齿形角 α_{t0}
8	21	168	32°28′28″	20°29′34″
9	18	162	31°32′17″	20°18′ 6″
10	18	180	34°17′25″	20°53′18″
11	15	165	32° 0′31″	20°23′48″
12	14	168	32°28′28″	20°29′34″

注：本表用于SKN12型机床。

（十六）常用函数

常用函数见附表11-28。

（十七）有关圆柱齿轮的标准目录

GB 3374—82　《齿轮基本术语》

GB 2821—81　《齿轮几何要素代号》

GB 1356—87　《渐开线圆柱齿轮基本齿廓》

GB 1357—87　《渐开线圆柱齿轮模数》

GB 10095—88　《渐开线圆柱齿轮精度》

GB 10096—88　《齿条精度》

GB 2362—80　《小模数渐开线圆柱齿轮基准齿形》

GB 2363—80　《小模数渐开线圆柱齿轮精度制》

GB 3480—83　《渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》

GB 10063—88　《通用机械渐开线圆柱齿轮承载能力简化计算方法》

JB/Z 358—89　《金属切削机床渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法》

GB 6413—86　《渐开线圆柱齿轮胶合承载能力计算方法》

GB 3481—83　《齿轮轮齿损伤的术语、特征和原因》

GB 4459.2—84　《机械制图　齿轮画法》

GB 6443—86　《渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据》

GB 11366—89　《行星传动基本术语》

GB 6467—86　《齿轮渐开线样板》

附表11-28 常用函数

α	20°	15°	14.5°	α	20°	15°	14.5°
$\sin\alpha$	0.3420201	0.2588191	0.2503800	$\mathrm{tg}^2\alpha$	0.1324743	0.0717968	0.0668831
$\cos\alpha$	0.9396926	0.9659258	0.9681476	$\mathrm{ctg}^2\alpha$	7.5486321	13.9282032	14.9514702
$\mathrm{tg}\alpha$	0.3639702	0.2679492	0.2586176	$\frac{1}{\sin\alpha}$	2.9238044	3.8637033	3.9939292
$\mathrm{ctg}\alpha$	2.7474774	3.7320508	3.8667131	$\frac{1}{\cos\alpha}$	1.0641777	1.0352762	1.0329003
$\sin^2\alpha$	0.1169777	0.0669873	0.0626901	$\mathrm{inv}\,\alpha$	0.0149044	0.0061498	0.0055448
$\cos^2\alpha$	0.8830222	0.9330127	0.9373098	$\sin 2\alpha$	0.6427876	0.5000000	0.4848096
α	25°	22.5°	20°	17.5°	17°	15°	14.5°
$\pi\cos\alpha$	2.8472499	2.9024531	2.9521314	2.9961902	3.0043200	3.0345455	3.0415255
$\frac{1}{\pi\cos\alpha}$	0.35122	0.34454	0.33874	0.33376	0.33285	0.32954	0.32878

JB/GQ 1070—85 《机床圆柱齿轮副侧隙和齿轮齿厚偏差》

JB/GQ 1071—85 《机床圆柱齿轮箱体孔中心距偏差和轴线平行度公差》

GB 1840—80 《圆弧圆柱齿轮模数》

JB 929—67 《圆弧齿轮滚刀法面齿形》

JB 2940—81 《双圆弧齿轮基准齿形》

JB 4021—85 《圆弧圆柱齿轮精度》

参 考 文 献

〔1〕 小模数齿轮测量手册编写组编. 小模数齿轮测量手册. 北京：国防工业出版社，1972

〔2〕 东北工学院机械零件设计手册编写组编. 机械零件设计手册（上册）. 第2版. 北京：冶金工业出版社，1986

〔3〕 仙波正莊编. 齒車第1卷. 新版. 东京：日刊工业新聞社，1971

〔4〕 Merritt H E. Gear Engineering. London, Pitman, 1971

〔5〕 朱景梓编. 变位齿轮移距系数的选择. 上海：人民教育出版社，1964

〔6〕 王铭勋编. 变位齿轮. 北京：机械工业出版社，1965

〔7〕 Справочник механика машиностроительного завода. Том1. Москва, Машгиз, 1958

〔8〕 Птицын Т А, Кокичев В Н. Расчет и изготовление зубчатых передач в ремонтном деле. Судпромгиз, 1961

〔9〕 Болотовский И А. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внутреннего зацепления. Машиностроение, 1974

〔10〕 Henriot G. Traité Théorique et Pratique des Engrenages. 6e édition. Paris: Duned technique, 1979

〔11〕 Werner F. Vogel. The Exact Over-wire Measurement of Screws, Gears, Splines and Worms. Detroit, Wayne State University Press, 1973

〔12〕 西北工业大学机械原理及机械零件教研组编. 机械设计. 上海：人民教育出版社，1980

〔13〕 第一机械工业部郑州机械研究所，太原工

学院，沈阳重型机器厂主编。机械工程手册（第32篇齿轮传动）。北京：机械工业出版社，1980

〔14〕 机床设计手册编写组编。机床设计手册（第二册零件设计）。北京：机械工业出版社，1980

〔15〕 李华敏，韩元莹，王知行编著。渐开线齿轮的几何原理与计算。北京：机械工业出版社，1985

〔16〕 朱景梓著。渐开线齿轮变位系数的选择。人民教育出版社，1982

〔17〕 Гавриленко В А. Зубчатые передачи в машиностроении. Москва, Машгиз, 1962

〔18〕 机械设计手册联合编写组编。机械设计手册（中册）。北京：化学工业出版社，1985

〔19〕 太原工学院齿轮研究室主编。圆弧齿轮。北京：机械工业出版社，1980

〔20〕 Ваплан ружчика. Контроль зубчатых колес. Москва: Машгиз, 1960

〔21〕 江耕华主编。机械传动设计手册(上册)。北京：煤炭工业出版社，1982

〔22〕 Maag Gear-wheel Company Ltd. Maag Gear Handbook. 2nd edition. Zurich, 1965