

机械加工
工艺手册

第2卷

机械工业出版社

第17章 齿 轮 加 工

主 编 牟永言 (长春第一汽车制造厂)
编 写 牟永言
张景仕 (天津大学)
秦秉常 (长春第一汽车制造厂)
陈超常 (长春第一汽车制造厂)
郭振光 (中南传动机械厂)
牟永义 (中国农业工程研究设计院)

主 审 张景仕
蒋锡藩 (上海交通大学)

参 审 宋大义 (天津齿轮机床研究所)
段应麟 (北京机床研究所)

责任编辑 熊万武

11 11 11
11 11 11
11 11 11

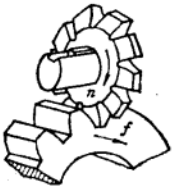

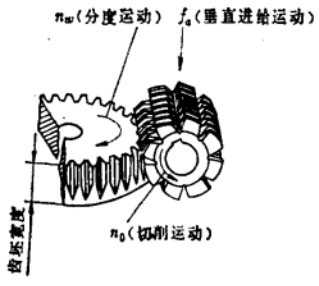
第1节 概 述

1 各种齿轮加工方法

随着科学技术的发展，每种齿轮的加工方法日

益增多，一些新的加工方法正在取代过去的传统加工方法。为了对齿轮加工有一个整体了解，一些主要种类的齿轮及其主要加工方法见表17·1-1。未给出加工示意图者详见本章有关节。

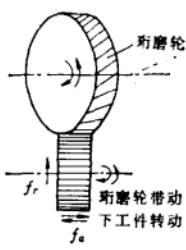
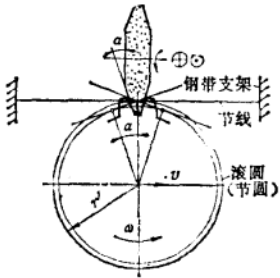
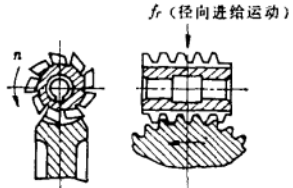
表17·1-1 各种齿轮加工方法

齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 R_a (μm)
圆	盘状成形铣刀铣齿		用盘状成形铣刀和指状成形铣刀，加工直齿圆柱齿轮是按成形法加工，加工斜齿圆柱齿轮是按无瞬心包络法加工	加工精度较低。在大批大量生产中只能作为粗加工。在单件小批生产和修理工作中作为最后加工	9级	2.5~10
	指状成形铣刀铣齿		该种加工方法铣完一个齿槽后，分度机构将工件转过一个齿再铣另一个齿槽			
柱	滚齿		滚齿原理，相当一对交错轴斜齿圆柱齿轮啮合。它分为： 1. 普通滚齿：除具有分度运动外，尚有垂直进给运动，当加工圆柱斜齿轮时，尚有差动运动 2. 对角滚齿：滚刀除沿工件轴向方向的进给运动外，滚刀尚沿滚刀轴向方向进给，这两个进给运动合成一个与工件轴向方向成一定角度的进给运动，与此同时，工件尚需有一定的附加转动 只要模数相同，压力角相同，同一把滚刀可加工不同齿数的齿轮	加工外啮合的直齿和斜齿圆柱齿轮。滚齿在单件小批量生产和大批大量生产中得到广泛应用。是目前圆柱齿轮加工中应用最广的一种加工方法	6~9级	1.25~5

(续)

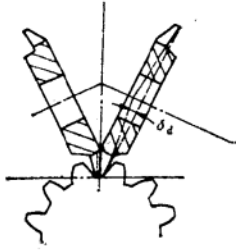
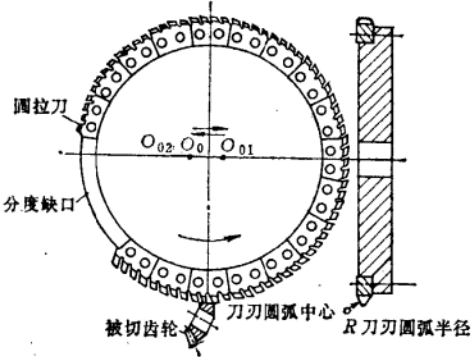
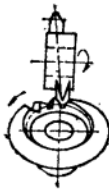
齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 Ra (μm)
圆柱齿轮	插齿		<p>插齿原理：相当一对外啮合或内啮合的圆柱齿轮副啮合过程。只要模数相同，压力角相同，同一把插齿刀可加工不同齿数的齿轮。</p>	<p>加工外啮合和内啮合的直齿、斜齿圆柱齿轮，它特别适合加工多联齿轮。装上附件后可加工齿条，锥齿和端面齿轮。</p>	6~8级	1.25~5
	剃齿		<p>剃齿原理：相当一对交错轴圆柱齿轮啮合过程。剃齿刀和被剃工件自由传动。剃齿刀切削刃利用交错轴齿轮啮合时，齿面间的相对滑动剃掉被加工齿面上的余量。它分：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 普通剃齿 2. 对角剃齿 3. 切向剃齿 4. 径向剃齿 <p>最近又出现剃齿刀和被剃齿轮间有传动链的强制剃齿工艺和硬齿面剃齿工艺。</p>	<p>主要用于精加工淬火前的直齿和斜齿圆柱齿轮。特别在大量生产中得到广泛应用。最近开始应用于硬齿面剃齿。</p>	6~7级	0.32~1.25
	挤齿		<p>经过滚齿或插齿后的齿轮，用挤齿和被加工的齿轮在一定压力下进行对滚，使齿面表层金属产生塑性变形，以改善齿面粗糙度和齿面精度。它分：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 单轮挤齿 2. 双轮挤齿 3. 三轮挤齿 <p>对于小模数齿轮可以直接冷挤成形。</p>	<p>挤齿工艺主要用在大量生产中。</p>	6~7级	0.04~0.32

(续)

齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 R_a (μm)
圆柱齿轮	珩齿		珩齿原理：相当一对交错轴圆柱齿轮啮合过程。珩磨轮是用金刚砂磨料加环氧树脂等材料浇铸或热压成的斜齿轮，它分： <ol style="list-style-type: none"> 1. 盘形珩磨轮 2. 蜗杆珩磨轮 3. 内珩磨轮 	主要用在大量生产中提高热处理后齿轮精度	根据珩齿前齿轮精度和珩磨时间来确定	$0.16 \sim 0.63$
	磨齿		磨齿原理：相当磨淬火后的硬齿面齿轮，以提高齿轮精度。根据齿轮结构特点、精度要求、生产批量等特点，选用不同的磨齿方法 <ol style="list-style-type: none"> 1. 利用齿条和齿轮啮合原理磨齿法。砂轮形成的轨迹表面代表齿条齿侧面，它分： <ol style="list-style-type: none"> 1) 大平面砂轮磨齿法 2) 锥面砂轮磨齿法 3) 碟形双砂轮磨齿法 2. 利用一对交错轴斜圆柱齿轮啮合原理磨齿法。蜗杆砂轮代表一个圆柱斜齿轮，利用它同被加工齿轮的啮合运动和进给运动完成磨齿工作 <ol style="list-style-type: none"> 3. 环面蜗杆砂轮磨齿法。环面蜗杆砂轮表面是被加工齿轮齿面的包络面 4. 成形砂轮磨齿法 	磨淬火后的硬齿面齿轮，以提高齿轮精度。根据齿轮结构特点、精度要求、生产批量等特点，选用不同的磨齿方法	4~7级 (最高可达8级)	$0.16 \sim 0.63$
蜗轮	1. 滚齿 2. 飞刀铣齿		蜗轮加工原理：相当蜗杆和蜗轮啮合过程，滚刀或飞刀所形成的切削表面代表蜗杆齿侧面。它分： <ol style="list-style-type: none"> 1. 径向进给法加工蜗轮，滚刀相当于蜗杆 2. 切向进给法加工蜗轮，滚刀相当于蜗杆 3. 飞刀加工蜗轮，飞刀刀齿所形成的切削表面相当于蜗杆齿侧面 	成批生产 成批生产 单件、小批量生产	6~8级	$1.25 \sim 2.5$

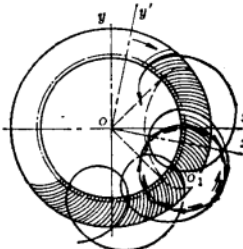
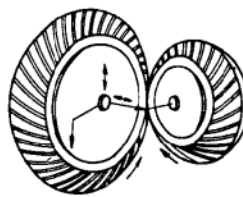
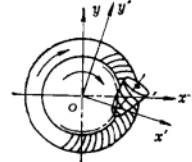
齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 R_a (μm)
蜗杆	1. 车削蜗杆 2. 铣削蜗杆 3. 磨蜗杆		<p>蜗杆加工原理：蜗杆加工原理与螺纹加工相似。蜗杆等角速度旋转，刀具沿蜗杆轴线等速移动，它们的合成运动即是蜗杆加工运动。它分：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 车削蜗杆，在车床上用成形车刀加工 2. 铣削蜗杆，在铣床上用成形铣刀加工 3. 磨蜗杆，在蜗杆磨床或螺纹磨床上磨蜗杆 		5~9级	1.25~2.5 2.5~5 0.16~0.63
直齿	成形铣刀铣齿		<p>根据直齿锥齿轮大端模数和大端当量齿数设计铣刀齿形，根据小端齿槽宽度设计铣刀齿厚。它分盘形成形铣刀和指形成形铣刀两种加工方法，它们的加工精度都较低</p>	主要用于粗加工和单件生产中	9级	0.25~10
锥齿轮	刨齿		<p>有三种刨齿方法：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 靠模成形刨齿法：刀尖按靠模成形轨迹运动，按靠模形状加工齿面 2. 按平顶产形轮原理刨齿法：刨刀切削刃所形成的切削表面相当平顶产形轮齿面 3. 按平面产形轮原理刨齿法：刨刀切削刃所形成的切削表面相当平面产形轮齿面 		7~8级	1.25~5

(续)

齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 Ra (μm)
直齿	双刀盘铣齿		<p>用两个刀盘的切削刃轨迹表面代表产生形轮表面, 由于刀盘切削刃多, 切削速度高, 所以它的生产率比刨齿法加工高2倍</p>	<p>中批量生产</p>	<p>7~8级</p>	<p>1.25~2.5</p>
直齿锥齿	圆拉法		<p>它是按无瞬心包络法加工, 拉刀转一周, 加工完一个齿槽, 其生产率很高, 一般加工中等模数齿轮只需 $3 \sim 5 z/x$</p>	<p>适于汽车、拖拉机大量生产精度较低的直齿锥齿轮</p>	<p>7~8级</p>	<p>2.5~5</p>
直齿锥齿	螺旋铣刀铣齿		<p>适于粗铣直齿锥齿轮</p>	<p>用于大量生产中的粗加工</p>	<p>8级</p>	<p>1.25~5</p>

齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 Ra (μm)
弧齿锥齿轮	铣齿和磨齿		<p>对于圆弧齿锥齿轮,它的铣齿和磨齿,加工原理相同,只是所采用的切削工具不同而已</p> <p>1. 普通范成法加工,用平顶产形齿轮与被加工齿轮的啮合运动加工齿轮。机床插台系统代表产形齿轮,刀盘轨迹曲面代表产形齿轮一个齿。它适于加工大齿轮和小齿轮</p> <p>2. 成形法加工,产形齿轮与被加工齿轮没有滚切运动,工件齿槽形状与刀具形状一致,它只适用加工传动比大于 2.5 以上的大齿轮</p> <p>3. 螺旋成形法,加工过程,被加工齿轮与产形齿轮没有滚切运动,但是代表产形齿面的刀齿在切削过程中有的沿刀盘轴线方向的进给运动,切削刃在空间形成渐开线螺旋面。只适用于加工大齿轮</p> <p>4. 滚比修正法加工,在加工过程中,代表产形齿轮的插台和被加工齿轮按变速比运动,在被加工齿轮的齿顶和齿根形成多切。这种加工方法只适于加工小齿轮</p> <p>5. 刀倾刀转法加工,刀盘轴线与插台轴线成一定角度,以形成锥面产形齿轮。它只适用于加工小齿轮</p> <p>6. 双面螺旋法加工(全工序法),用双面刀盘同时精加工小齿轮两侧齿面,在加工过程除具有正常滚切运动外,工件尚具有沿插台轴线方向的微量进给运动,使刀具切削刃在空间形成螺旋面</p>	<p>根据齿轮种类、精度要求、生产批量等选择符合的加工方法</p>	<p>铣齿 7~8级 磨齿 5~7级</p>	<p>1.25 ~2.5 0.04 ~0.63</p>

(续)

齿轮类型	加工方法	加工示意图	加工特点	应用范围	加工精度	表面粗糙度 R_a (μm)
长幅外摆线锥齿轮	铣齿		<p>它的齿线是长幅外摆线, 它的加工方法可分为:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 普通滚切法加工: 按平面产形齿轮原理加工大、小齿轮。摇台系统代表产形齿轮, 在加工过程中除完成滚切运动外, 同时完成分度运动 2. 成形法加工: 在加工过程中只有分齿运动没有滚切运动, 此法只适于加工大齿轮 3. 刀倾刀转法加工: 在加工过程中, 刀盘轴线与摇台轴线倾斜一定角度, 以形成锥面产形齿轮, 此法只适于加工小齿轮 	<p>各种批量生产</p> <p>大量生产</p> <p>大量生产</p>	7~8级	1.25~2.5
	磨齿		<p>采用一对非正交齿轮啮合过程进行磨齿, 磨轮相当于一个齿轮, 它是由金属基体表面喷涂CBN材料而制成</p>	适于大量生产	5~7级	0.08~0.63
	铣齿		<p>利用锥形滚刀加工齿轮, 连续分齿</p>	目前已很少应用	7~8级	1.25~2.5

2 渐开线圆柱齿轮几何参数计算

2.1 渐开线圆柱齿轮基本齿廓 (GB1356—87)

本标准适用于模数 $m \geq 1 \text{ mm}$, 齿形角 $\alpha = 20^\circ$ 的渐开线圆柱齿轮。

(1) 定义 渐开线圆柱齿轮的基本齿廓是指基本齿条的法向齿廓。

(2) 基本齿廓及其参数和齿顶修缘

1) 基本齿廓见图 17-1-1。

2) 基本齿廓参数见表 17-1-2。

3) 允许齿顶修缘, 其修缘量的大小, 由设计者计算确定。

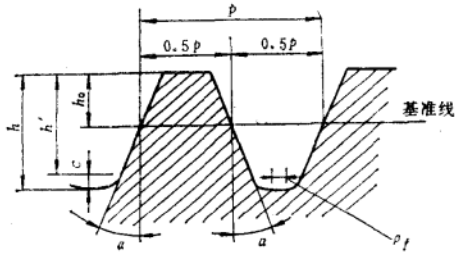


图17-1-1 渐开线圆柱齿轮基本齿廓

表17-1-2 基本齿廓参数

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	$\approx 0.38m$

2.2 渐开线圆柱齿轮模数 (GB1357—87)

本标准适用于渐开线圆柱齿轮，对于斜齿轮是指法向模数。

- 1) 模数代号是 m ，单位是毫米。
- 2) 模数规定见表17-1-3。选取时，优先采用第一系列，括号内的模数尽可能不用。

表17-1-3 渐开线圆柱齿轮模数

第一系列	第二系列	第一系列	第二系列	第一系列	第二系列
0.1					
		0.3			
0.12					0.7
				0.8	
			0.35		
0.15					0.9
				1	
0.2		0.4			
		0.5		1.25	
0.25					
		0.6		1.5	

(续)

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

2.3 渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据 (GB6443—86)

本标准规定渐开线圆柱齿轮图样上应注明的尺寸数据，在特殊情况下，还应补充其他有用的或必需的数据。

本标准等效采用国际标准 ISO1340—1976《圆柱齿轮—为了获得所需要的齿轮用户提供给制造厂家的数据》。

(1) 需要在图样上标注的一般尺寸数据 顶圆直径及其公差、分度圆直径、齿宽、孔(轴)径及其公差、定位面及其要求、齿轮表面粗糙度。

(2) 需要用表格列出的数据 法向模数、齿数、基本齿廓(符合GB1356—87《渐开线圆柱齿轮基本齿廓》时仅注明齿形角，不符合时则应以图详述其特性)、齿顶高系数、螺旋角、螺旋方向、径向变位系数、齿厚公称值及其上、下偏差(法向齿厚公称值及其上、下偏差，或公法线平均长度及

其上、下偏差，或量柱（球）测量距及其上、下偏差）、精度等级、齿轮副中心距及其极限偏差、配对齿轮的图号及其齿数、检验项目代号及其公差（或极限偏差）值。

(3) 其他 根据齿轮的具体形状及其技术条件的要求，还应给出其他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、孔不作为定心基准的大齿轮，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他一些技术参数(如基圆直径)，或其他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。

(4) 示例 图样中的参数表一般放在图样的右上角。参数表中列出的参数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，见图17·1-2。

(5) 齿厚的几种检验方法在表格中的标注示例(参考件)如下：

齿厚	法向齿厚公称值及其上、下偏差	$S_n^{E_{ms}}_{E_{mi}}$
齿厚	公法线平均长度及其上、下偏差	$W_k^{E_{ms}}_{E_{mi}}$
	跨齿(槽)数	k
齿厚	量柱(球)测量距及其上、下偏差	$M_{E_{mi}}^{E_{ms}}$
	量柱(球)的直径	d_m

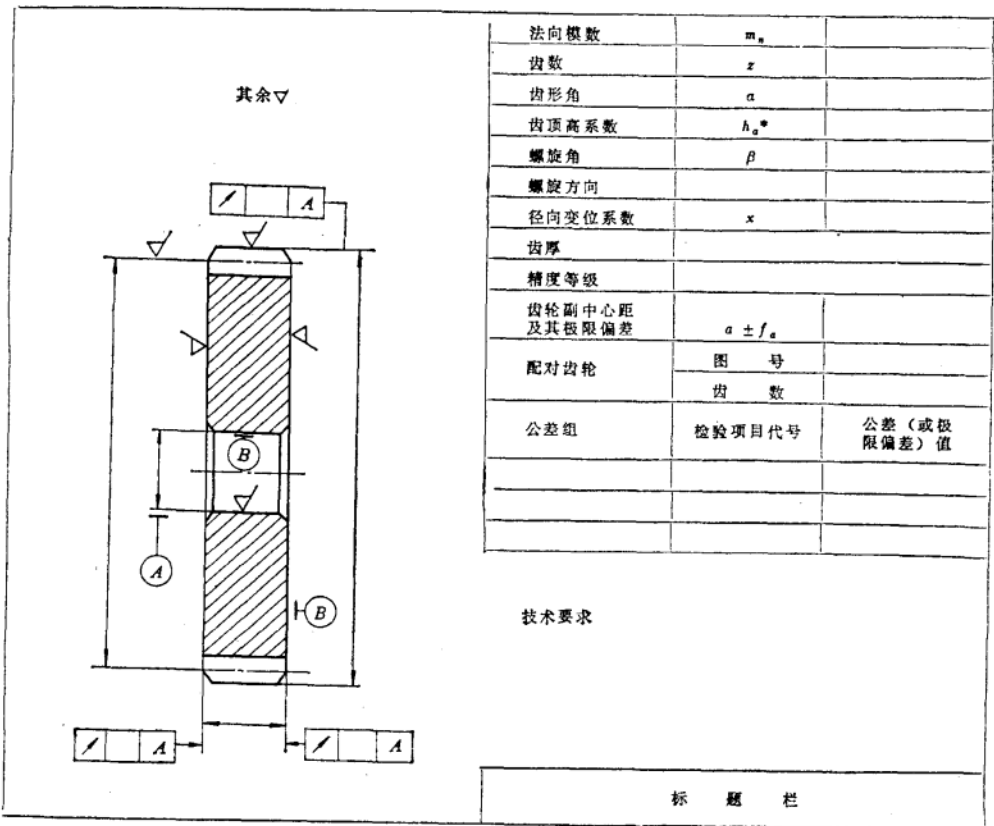


图17·1-2 渐开线圆柱齿轮图样

2.4 标准圆柱齿轮传动几何参数计算

2.4.1 外啮合标准圆柱齿轮传动几何参数计算

传动齿轮副中的两个齿轮皆是外齿轮的传动副为外啮合传动。

(1) 平行轴外啮合标准圆柱齿轮传动几何参数计算 见表17-1-4。

(2) 交错轴螺旋齿轮传动几何参数计算 与平行轴外啮合标准圆柱齿轮传动不同的几何参数计

算 见表17-1-5。

(3) 齿轮与齿条传动 见图17-1-3, 齿轮作回转运动, 齿条作直线运动。齿轮的分度圆直径、转速与齿条速度之间的关系为:

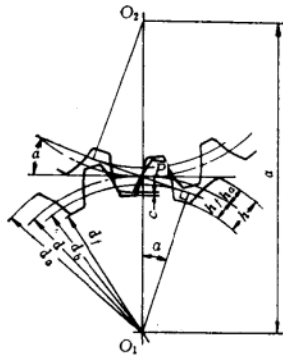
$$d = \frac{60v}{\pi n} \text{ mm}$$

式中 v —— 齿条的速度 mm/s

n —— 齿轮的转速 r/min

标准齿条的几何参数参照表17-1-4相应公式计算。

表17-1-4 外啮合标准圆柱齿轮传动几何参数计算



(1) 齿轮几何参数

序号	名称	代号	直 齿 轮	斜 齿 (人 字 齿) 轮
1	模数	m	m 由强度计算或结构设计确定, 并按表17-1-3取标准值	$m_n = \frac{m}{\cos \beta}$ m_n 取标准值, 其确定方法与直齿轮相同
2	齿数	z	z	z
3	分度圆柱螺旋角	β	$\beta = 0^\circ$	β 按推荐范围或按中心距条件决定, 一对斜齿(人字齿)圆柱齿轮的螺旋角相等, 方向相反
4	齿形角	α	α 按表17-1-2取标准值或按设计条件而定	α_n (按标准) $\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$
5	齿顶高系数	h_a^*	h_a^* 按表17-1-2取标准值	h_{an}^* (取标准值) $h_{at}^* = h_{an}^* \cos \beta$
6	顶隙系数	c^*	c^* 按表17-1-2取标准值	c_n^* (取标准值) $c_t^* = c_n^* \cos \beta$

(续)

序号	名 称	代 号	直 齿 轮	斜 齿 (人 字 齿) 轮
7	分度圆直径	d	$d = zm$	$d = zm_1 = z \frac{m_n}{\cos \beta}$
8	基圆直径	d_b	$d_b = d \cos \alpha$	$d_b = d \cos \alpha_1$
9	齿距	p	$p = zm$	$p_n = zm_n$ $p_t = zm_1$
10	基圆齿距	p_b	$p_b = p \cos \alpha$	$p_{bt} = p_t \cos \alpha_1$
11	齿顶高	h_a	$h_a = h_a^* m$	$h_a = h_{an}^* m_n = h_{at}^* m_1$
12	齿根高	h_f	$h_f = (h_a^* + c^*) m$	$h_f = (h_{an}^* + c_n^*) m_n = (h_{at}^* + c_t^*) m_1$
13	齿高	h	$h = h_a + h_f$	$h = h_a + h_f$
14	齿顶圆直径	d_a	$d_a = d + 2h_a$ $= (z + 2h_a^*) m$	$d_a = d + 2h_a$ $= \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2h_{an}^* - 2c_n^* \right) m_n$
15	齿根圆直径	d_f	$d_f = d - 2h_f$ $= (z - 2h_a^* - 2c^*) m$	$d_f = d - 2h_f$ $= \left(\frac{z}{\cos \beta} - 2h_{an}^* - 2c_n^* \right) m_n$
16	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{z_1 + z_2}{2} m$	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{m_n}{\cos \beta}$
17	齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1}$	$u = \frac{z_2}{z_1}$

(2) 测量尺寸 (任选取其中一种)

18	公 法 线	跨齿数	k	$k = \frac{a}{180^\circ} z' + 0.5$	$k = \frac{a_n}{180^\circ} z' + 0.5$ 式中 $z' = z \frac{\operatorname{inv} \alpha_1}{\operatorname{inv} \alpha_n}$	
		长度	W_k	$W_k = m \cos \alpha [(k - 0.5) \pi + z \operatorname{inv} \alpha]$	$W_k = m_n \cos \alpha_n [(k - 0.5) \pi + z' \operatorname{inv} \alpha_n]$	
19	固 定 弦	固定弦齿高	\bar{h}_c	$\bar{h}_c = \left(h_a^* - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha \right) m$	$\bar{h}_c = \left(h_{an}^* - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_n \right) m_n$	
		固定弦齿厚	\bar{s}_c	$\bar{s}_c = \frac{\pi m}{2} \cos^2 \alpha$	$\bar{s}_c = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \alpha_n$	
20	量 柱 (球) 所 在 圆 压 力 角	量柱(球)直径	d_m	$d_m = (1.6 \sim 1.9) m$	$d_m = (1.6 \sim 1.9) m_n$	
		量柱(球)中心 所在圆压力角	α_M	$\operatorname{inv} \alpha_M = \operatorname{inv} \alpha + \frac{d_m}{d_b} - \frac{\pi}{2z}$	$\operatorname{inv} \alpha_M = \operatorname{inv} \alpha_1 + \frac{d_m}{d_b} - \frac{\pi}{2z}$	
		量柱(球)测量 跨距	M	齿数为偶数	$M = \frac{d_b}{\cos \alpha_M} + d_m$	$M = \frac{d_b}{\cos \alpha_M} + d_m$
				齿数为奇数	$M = \frac{d_b}{\cos \alpha_M} \cos \frac{90^\circ}{z} + d_m$	$M = \frac{d_b}{\cos \alpha_M} \cos \frac{90^\circ}{z} + d_m$

(3) 重合度

序号	名称	代号	直齿轮	斜齿(人字齿)轮
21	齿顶压力角	α_a	$\alpha_a = \arccos \frac{d_b}{d_a}$	$\alpha_{a'} = \arccos \frac{d_b}{d_a}$
22	端面重合度	ϵ_a	$\epsilon_a = \frac{1}{2\pi} [x_1(\tan\alpha_{s1} - \tan\alpha) + x_2(\tan\alpha_{s2} - \tan\alpha)]$	$\epsilon_a = \frac{1}{2\pi} [x_1(\tan\alpha_{a1} - \tan\alpha) + x_2(\tan\alpha_{a2} - \tan\alpha)]$
	纵向重合度	ϵ_β	$\epsilon_\beta = 0$	$\epsilon_\beta = \frac{b \sin\beta}{\pi m_n}$
	总重合度	ϵ_γ	$\epsilon_\gamma = \epsilon_a$	$\epsilon_\gamma = \epsilon_a + \epsilon_\beta$

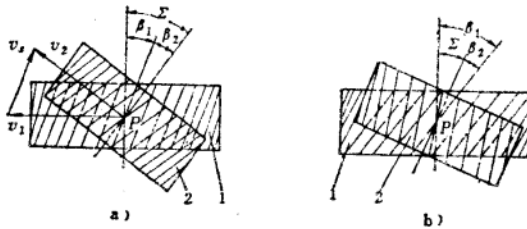
(4) 当量齿数

23	当量齿数	z_n	$z_n = z$	$z_n = \frac{z}{\cos^2\beta_s \cos\beta} \approx \frac{z}{\cos^2\beta}$
----	------	-------	-----------	---

注: 1. 斜齿轮的公法线长度和固定弦齿厚在法面内测量。

2. 斜齿轮齿宽 $b > W_b \sin\beta$ 时, 才能测量公法线长度。

表 17-1-5 螺旋齿轮传动几何计算



序号	名称	代号	计算公式	说明
1	轴错角	Σ		根据结构设计确定, 常用 $\Sigma = 90^\circ$
2	螺旋角	β	方向相同, $\beta_1 + \beta_2 = \Sigma$ 方向相反, $ \beta_1 + \beta_2 = \Sigma$	二轮均为右旋(图 a) 轮 1 为右旋, 轮 2 为左旋(图 b)
3	中心距	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$ $= \frac{m_n}{2} \left(\frac{z_1}{\cos\beta_1} + \frac{z_2}{\cos\beta_2} \right)$	适当选取螺旋角 β_1, β_2 , 可满足对中心距 a 的要求
4	齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2 m_{f1}}{d_1 m_{f1}}$ $= \frac{d_2 \cos\beta_2}{d_1 \cos\beta_1}$	
5	齿面间相对滑动速度	v_s	$v_s = v_1 \frac{\sin\Sigma}{\cos\beta_2} = v_2 \frac{\sin\Sigma}{\cos\beta_1}$	v_1, v_2 分别为 1、2 两轮的圆周速度

注: 单个螺旋齿轮的几何计算与斜齿圆柱齿轮相同。

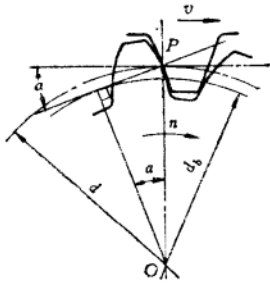


图17-1-3 齿轮与齿条传动

轮的齿根高在分度圆以外，齿顶高在分度圆以内。因基圆内无渐开线，故内齿轮的齿顶圆必须大于基圆。

标准内齿轮的齿数 z_2 为：

$$z_2 \geq \frac{2h_a^*}{1 - \cos \alpha_n}$$

当 $\alpha_n = 20^\circ$, $h_a^* = 1$ 时, $z_2 \geq 34$;

当 $\alpha_n = 20^\circ$, $h_a^* = 0.8$ 时, $z_2 \geq 27$ 。

(1) 内啮合标准圆柱齿轮几何参数计算 见表17-1-6。

(2) 内啮合标准圆柱齿轮传动的轮齿干涉和加工时的顶切

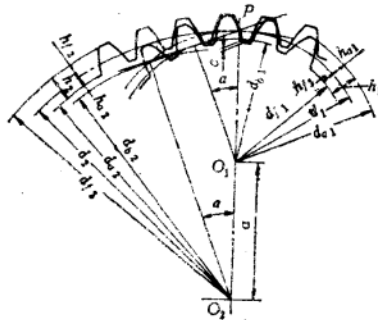
1) 加工内齿轮时的顶切现象。

1) 展成顶切；加工内齿轮时，若内齿轮的齿

2.4.2 内啮合标准圆柱齿轮传动

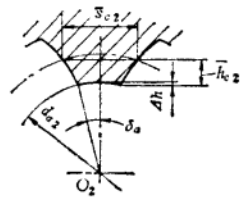
内啮合圆柱齿轮传动的小齿轮即外齿轮，内齿

表17-1-6 标准圆柱内齿轮的几何参数计算



(1) 齿轮几何参数

序号	名 称	代 号	直 齿 内 齿 轮	斜 齿 (人 字 齿) 内 齿 轮
1	模数	m	m 由强度计算或结构设计确定，并按表17-1-3取标准值	m_n (取标准值) $m = \frac{m_n}{\cos \beta}$
2	齿数	z_2	z_2	z_2
3	分度圆柱螺旋角	β	$\beta = 0^\circ$	β 按推荐用数值或按中心距等条件决定，一对内啮合斜齿(人字齿)圆柱齿轮的螺旋角相等，方向相同
4	齿形角	α	α 按表17-1-2取标准值	α_n (取标准值) $\tan \alpha_f = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$
5	齿顶高系数	h_a^*	h_a^* 按表17-1-2取标准值	h_{an}^* (取标准值) $h_a^* = h_{an}^* \cos \beta$

(1) 齿轮几何参数				
序号	名称	代号	直齿内齿轮	斜齿(人字齿)内齿轮
6	顶隙系数	c^*	c^* 按表17-1-2取标准值	c_a^* (取标准值) $c_f^* = c_a^* \cos \beta$
7	分度圆直径	d_2	$d_2 = z_2 m$	$d_2 = z_2 m_f = z_2 \frac{m_n}{\cos \beta}$
8	基圆直径	d_{b2}	$d_{b2} = d_2 \cos \alpha$	$d_{b2} = d_2 \cos \alpha_f$
9	齿高	h_2	$h_2 = \frac{1}{2} (d_{f2} + d_{a2})$	
10	齿顶圆直径 为避免过渡曲线干涉 齿顶圆直径增大量,	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 - 2h_a^* m + \Delta d_a$ $h_a^* = 1$, 按上式计算 d_{a2} 时, $z_2 \geq 22$ $\Delta d_a = \frac{2h_a^{*2} m}{z_2 \tan^2 \alpha}$ $h_a^* = 1$ 、 $\alpha = 20^\circ$ 时, $\Delta d_a = \frac{15.1 m}{z_2}$	$d_{a2} = d_2 - 2h_a^* m + \Delta d_a$ $\Delta d_a = \frac{2h_{an}^{*2} m_n \cos^2 \beta}{z_2 \tan^2 \alpha_n}$ $h_{an}^* = 1$ 、 $\alpha_n = 20^\circ$ 时, $\Delta d_a = \frac{15.1 m_n \cos^2 \beta}{z_2}$
11	齿根圆直径	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 + 2(h_a^* + c^*) m$	$d_{f2} = d_2 + 2(h_{an}^* + c_a^*) m_n$
12	中心距	a	$a = \frac{1}{2} (d_2 - d_1)$ $= \frac{1}{2} (z_2 - z_1) m$	$a = \frac{1}{2} (d_2 - d_1)$ $= \frac{1}{2} (z_2 - z_1) \frac{m_n}{\cos \beta}$
13	齿数比	u	$u = \frac{z_2}{z_1}$	$u = \frac{z_2}{z_1}$
(2) 测量尺寸				
14	公法线长度	W_k	与外齿轮公法线长度的计算公式相同	
15	固定弦齿高	\bar{h}_{c2}	$\bar{h}_{c2} = \left(h_a^* - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha \right) m + \Delta h$	$\bar{h}_{c2} = \left(h_{an}^* - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha_n \right) m_n + \Delta h$
			由右图可知: $\Delta h = \frac{d_{a2}}{2} (1 - \cos \delta_a)$ $\delta_a = \frac{\pi}{2z_2} - \text{inv } \alpha + \text{inv } \alpha_{a2}$	
	固定弦齿厚	\bar{s}_{c2}	$\bar{s}_{c2} = \frac{\pi m}{2} \cos^2 \alpha$	$\bar{s}_{c2} = \frac{\pi m_n}{2} \cos^2 \alpha_n$
16	量柱(球)直径	d_m	$d_m = (1.4 \sim 1.7) m$	$d_m = (1.4 \sim 1.7) m_n$
	量柱(球)中心所在 圆齿形角	α_{M2}	$\text{inv } \alpha_{M2} = \text{inv } \alpha$ $-\frac{d_m}{d_{b2}} + \frac{\pi}{2z_2}$	$\text{inv } \alpha_{M2} = \text{inv } \alpha_f$ $-\frac{d_m}{d_{b2}} + \frac{\pi}{2z_2}$