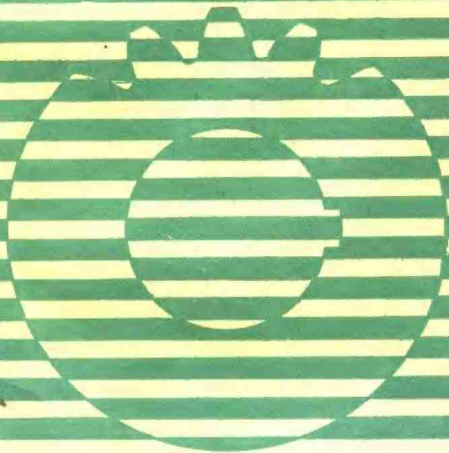




机械基础标准化丛书

渐开线圆柱齿轮精度

柏永新 戴纬经 编



陕西科学技术出版社

机械基础标准化丛书

渐开线圆柱齿轮精度

柏永新 戴纬经 编著

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街151号)

新华书店经销 陕西总公司印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 10.75印张 234千字

1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷

印数：1—8,000

ISBN 7-5369-0190-0/TH·9

定 价：3.05元

《机械基础标准化丛书》

主 编: 赵卓贤

副 主 编: 柏永新 王玉荣

顾问: 赵文蔚

编 委: (按姓氏笔划为序)

丁步陶 王玉荣 仲小亚 吴京祥 柏永新

赵文蔚 赵卓贤 张光慎 胡明韬 廖伽尼

责任编辑: 胡明韬



出版说明

在积极采用国际标准和国外先进标准的技术经济政策指引下，我国机械基础标准以国际标准为蓝本，近十年迅速开展了制订和修订工作。为了配合这些标准的宣讲和贯彻，给全国广大工程技术人员提供一套系统的学习材料，陕西省标准化协会组织本省有关高等院校的部分教师和工程技术人员，编写了这套丛书。

本丛书共分十五个分册，计有：《优先数和优先数系》、《机械制图国家标准释疑》、《表面粗糙度》、《形位公差及公差原则》、《形位误差检测》、《公差配合及其应用》、《光滑极限量规与光滑工件尺寸的检验》、《滚动轴承公差与配合》、《锥度角度系列及圆锥公差》、《普通螺纹公差与配合》、《普通螺纹量规》、《渐开线圆柱齿轮精度》、《键和花键公差与配合》、《特种螺纹》、《尺寸链》，将于近两年内陆续出版。

本丛书的编写特点为：内容紧扣标准，概念解释确切，注重通俗实用、各册均有所长，如对标准的历史、一般内容及同类项目的介绍从简。

本丛书供机械行业从事设计、制造、标准化、计量和管理等方面的工程技术人员应用机械基础标准时参考，亦可作为大专院校有关专业师生应用与学习这些标准的辅助材料。

参加本丛书的编写者共二十余人，其中十人为教授和副教授，有不少同志直接参与了有关标准的制订修订工作，有的编者在相应的学术上有一定造诣。虽然有这样一支较强的编写者，但编写这样一套标准化丛书毕竟是一次尝试，所以不足之处和错误在所难免，热忱欢迎读者批评指正。

编者的话

齿轮精度标准是一项重要的机械基础标准。由于轮齿的形状比较复杂,参数比较多,齿轮公差既包括尺寸公差,又包括形状和位置公差,所以它是一项最复杂的机械基础标准。

我国《渐开线圆柱齿轮精度》标准工作组,经过多年的努力,完成了齿轮精度新标准的制订工作,该标准于1983年2月由机械工业部批准,颁布为JB179—83《渐开线圆柱齿轮精度》,并规定自1983年7月1日起实施,JB179—83在汽车、机床、农机等行业得到贯彻,普遍反映效果良好。本书原按JB179—83编写,现因JB179—83经修订后(变动不大,变动处见第四章§4—8)将升格为国标,为了对读者负责,故本书按新国标报批稿GB××××—××《渐开线圆柱齿轮精度》(以下简称新国标)作了相应的改动。

新国标GB××××—××等效采用国际标准ISO1328—1975《平行轴 渐开线圆柱齿轮——ISO精度制》。因此,贯彻新国标,将使我国的齿轮设计水平、齿轮制造技术及质量大大提高一步。这对提高我国的机电产品质量、增强其在国内、国际市场上的竞争能力有着重要的促进作用。

为了配合JB179—83和新国标的宣贯,作者根据多年来的实践和研究,编写了本书。全书共分四章,第一章简单介绍为理解标准所必需的齿轮传动的基本知识;第二章介绍标准所规定的23项误差的定义、测量以及与理解定义有关的一些问题;第三章从理论上分析齿轮各项误差的产生原因、相互作用及其对传动质量的影响;第四章讨论标准在实际应用中的有关问题。

本书在介绍新国标的同时,对有关的几个齿轮国家标准(GB1356—78《渐开线圆柱齿轮基准齿形》、GB1357—78《渐开线圆柱齿轮模数》、GB2821—81《齿轮几何要素代号》、GB3374—82《齿轮基本术语》),在相应章节也作了介绍。

本书第四章§4—4、§4—5两节为戴纬经同志编写,其余为柏永新同志编写。西北工业大学教授王玉荣同志为本书做了技术审查,谨表谢意。

最后,恳请读者对书中存在的问题给予批评指正。

目 录

第一章 圆柱齿轮传动的基本知识.....	(1)
§ 1—1 渐开线.....	(1)
§ 1—2 直齿圆柱齿轮的基本参数和主要尺寸.....	(2)
§ 1—3 直齿圆柱齿轮的啮合.....	(4)
§ 1—4 齿条与齿轮的啮合.....	(8)
§ 1—5 斜齿圆柱齿轮的基本要素和主要尺寸.....	(10)
§ 1—6 变位齿轮.....	(14)
第二章 齿轮及齿轮副的误差.....	(21)
§ 2—1 齿轮的误差.....	(21)
§ 2—2 齿轮副的误差.....	(65)
第三章 圆柱齿轮加工误差的分析.....	(71)
§ 3—1 概 述.....	(71)
§ 3—2 影响传递运动准确性的误差.....	(72)
§ 3—3 影响传动平稳性的误差.....	(81)
§ 3—4 影响载荷分布均匀性的误差.....	(91)
第四章 圆柱齿轮精度标准的应用.....	(94)
§ 4—1 适用范围.....	(94)
§ 4—2 精度等级及其确定.....	(95)
§ 4—3 检验组及检验工具的选择.....	(99)
§ 4—4 齿距公差.....	(104)
§ 4—5 齿轮副侧隙及齿厚偏差的确定.....	(107)
§ 4—6 箱体公差.....	(126)
§ 4—7 图样标注及其它.....	(129)
§ 4—8 新国标与 JB179—83 的主要区别.....	(132)
附录 I 新国标的公差表.....	(133)
附录 II 圆柱齿轮的公法线长度.....	(145)
附录 III 系数 C 的值.....	(147)
附录 IV 变位圆柱齿轮的跨齿数及公法线长度.....	(149)
附录 V 圆柱齿轮的分度圆弦齿厚和弦齿高.....	(155)
附录 VI 选择齿轮精度等级的推荐材料.....	(156)
附录 VII JB179—83 的公差表.....	(160)
参考文献.....	(162)

第一章 圆柱齿轮传动的基本知识

§1—1 渐开线

在齿轮传动中，现在主要应用渐开线齿轮，这种齿轮的齿廓是渐开线，它的许多特性是由渐开线的性质所决定的，因此，首先有必要研究一下渐开线。

1. 渐开线的形成

在平面上，一条动直线沿着一个固定的圆作纯滚动时，此动直线上一点的轨迹，称为圆的渐开线（图1—1），动直线称为渐开线的发生线，固定的圆称为基圆。

2. 渐开线的主要性质

根据渐开线的形成，可知它有如下几个性质：

（1）因渐开线在基圆之外形成，故在基圆之内无渐开线；

（2）发生线即为渐开线的法线，因发生线始终切于基圆，故渐开线上任意点的法线即为基圆的切线；

（3）渐开线上任意点 a_k 的曲率半径 ρ_k ，等于基圆上从渐开线的起点 a_0 至其对应曲率中心 b_k 的弧长，

（图1—2），即

$$\rho_k = \overline{a_k b_k} = \widehat{a_0 b_k}$$

3. 渐开线的方程

渐开线的方程可以用极坐标来表示。参看图1—2，齿轮的中心 o 取作极点，通过渐开线起点 a_0 的向径 oa_0 取作极轴， θ_k 取作极角。令 $\widehat{a_0 b_k} = r_b$ （基圆半径）。因为

$$\overline{a_k b_k} = \widehat{a_0 b_k}$$

而 $\overline{a_k b_k} = r_b \tan \alpha_k$, $\widehat{a_0 b_k} = r_b \phi_k$

故 $\phi_k = \tan \alpha_k$

渐开线上任意点 a_k 的极坐标 (r_k, θ_k) 为

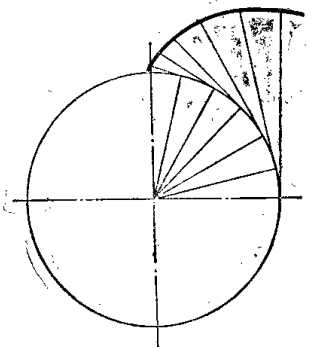


图 1—1 渐开线的形成

$$r_b = \frac{r_0}{\cos \alpha_k}$$

$$\theta_k = \phi_k - \alpha_k = \tan \alpha_k - \alpha_k$$

(1-1)

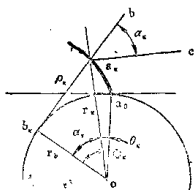


图 1-2 渐开线的方程

在图 1-2 中，过 a_k 点作 $\overline{oa_k}$ 线垂直于 $\overline{ca_k}$ ，则方程 (1-1) 中的 α_k 角便等于 $\angle ca_kb$ ，而 $\angle ca_kb$ 为齿廓上 a_k 点的压力方向 $\overline{ba_k}$ (不计摩擦力) 与该点的速度方向 $\overline{ca_k}$ 之间的夹角，这个角度叫做压力角。因此， a_k 点的向径 $\overline{oa_k}$ 与基圆半径 $\overline{ob_k}$ 所构成的夹角 α_k ，即为渐开线在 a_k 点的压力角。由公式 (1-1) 可知渐开线上各点的压力角是不等的。在渐开线起点，因 $r_k = r_0$ ，故 $\alpha_k = 0^\circ$ 。

上式为渐开线的极坐标参数方程，参数为 α_k 。由上式可知渐开线的形状仅取决于基圆半径 r_0 。 r_0 愈大，渐开线的曲率就愈小 (图 1-3)。当 r_0 趋向无穷大时，渐开线就趋近于直线 (齿条的齿廓就是这种直线)。

在齿轮啮合原理中，函数 $\theta = \tan \alpha - \alpha$ 有着重要的作用，它叫做渐开线函数，常用 $\text{inv} \alpha$ 表示，即

$$\theta = \tan \alpha - \alpha = \text{inv} \alpha$$

θ_k 叫做渐开线角， ϕ_k 叫做渐开线的展开角。

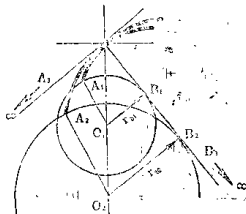


图 1-3 基圆半径的影响

§1-2 直齿圆柱齿轮的基本参数和主要尺寸

1. 基本参数

所谓齿轮的基本参数，是指决定齿轮的端面和轴向形状及尺寸所依据的基本数据。直齿轮的基本参数有如下四个：

(1) 模数 m 齿距除以圆周率 π 所得到的商叫做模数，它是表示轮齿尺寸大小的一个数据，单位为 mm ， m 愈大，表示轮齿尺寸愈大。GB1357-78《渐开线圆柱齿轮模数》规定了模数的系列，见表 1-1。选取时，优先选用第一系列，括号内的模数尽可能不用。

(2) 齿数 z 通常小轮的齿数用 z_1 表示，大轮的齿数用 z_2 表示。

(3) 分度圆压力角 α 即齿轮渐开线在分度圆上的压力角。所谓分度圆，是指齿轮上具有标准模数和标准压力角的圆。分度圆压力角常简称压力角，它等于基准齿条的

表1-1

齿轮模数系列 (GB1357-75)

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		1		10	
					(11)
0.12				12	
		1.25			
					14
0.15		1.5			
				16	
			1.75		
					18
0.2		2		20	
					22
			2.25		
0.25		2.5		25	
			2.75		
					28
0.3		3			(30)
				32	
			(3.25)		
	0.35		3.5		
					36
			(3.75)		
0.4		4		40	
			4.5		45
0.5		5		50	
			5.5		
0.6		6			
			(6.5)		
	0.7		7		
0.8		8			
	0.9		9		

齿形角。我国齿轮标准采用的分度圆压力角是 20° 。

(4) 齿宽 b 即齿轮的有齿部位沿分度圆柱面的齿母线方向量度的宽度。

2. 主要尺寸

直齿轮的主要尺寸(见图1-4)均以模数为基础进行计算,其计算公式见表1-2。

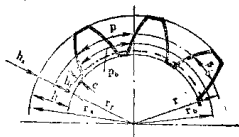


图1-4 直齿轮的主要尺寸

表1-2

直齿轮主要尺寸的计算公式

名 称	代 号	公 式	例
已 知 数 据		m, z, α	$m=5$ $z=61$ $\alpha=20^\circ$
分度圆半径	r	$r=0.5mz$	$r=152.5$
齿顶圆半径	r_a	$r_a=r \pm h_a^* m$	$r_a=157.5$
齿根圆半径	r_f	$r_f=r \mp (h_a^* + c^*) m$	$r_f=146.25$
基圆半径	r_b	$r_b=r \cos \alpha$	$r_b=143.303$
齿 顶 高	h_a	$h_a=h_a^* m$	$h_a=5$
齿 根 高	h_f	$h_f=(h_a^* + c^*) m$	$h_f=6.52$
齿 高	h	$h=(2h_a^* + c^*) m$	$h=11.25$
顶 隙	c	$c=c^* m$	$c=1.25$
齿顶高系数	h_a^*	正常齿 $h_a^*=1$, 短齿 $h_a^*=0.8$	$h_a^*=1$
顶隙系数	c^*	正常齿 $c^*=0.25$, 短齿 $c^*=0.3$	$c^*=0.25$
周 节	p	$p=\pi m$	$p=15.708$
基 节	p_b	$p_b=\pi m \cos \alpha$	$p_b=14.761$
分度圆齿厚	s	$s=0.5\pi m$	$s=7.854$

注:计算公式中凡有正负两个符号的地方,上面符号用于外齿轮,下面符号用于内齿轮。

§1-3 直齿圆柱齿轮的啮合

渐开线齿轮的啮合是以渐开线齿廓的啮合为基础的,因此,在讨论齿轮啮合之前,应先分析渐开线齿廓啮合中的一些问题。

1. 渐开线齿廓的啮合

(1) 啮合线 图1-5表示一对相啮合的渐开线齿廓。设齿廓1推动齿廓2转

动, 在每一瞬时有一接触点。在齿廓的整个啮合过程中, 其瞬时接触点在固定平面上的轨迹, 称为啮合线。

当两个齿廓接触时, 在接触点必有一条公切线 tt' , 也必有一条公法线 NN' 。根据渐开线的性质, 可知这条公法线就是两基圆的内公切线。因此, 啮合线就是两基圆的内公切线。

(2) 传动比 参看图 1-6, 设齿廓 1 以角速度 ω_1 转动, 齿廓 2 以角速度 ω_2 转动, 在某一瞬时两齿廓接触于啮合线上的 m 点, 则齿廓 1 上的 m 点的线速度为 $v_1 = r_1 \omega_1$, 齿廓 2 上的 m 点的线速度为 $v_2 = r_2 \omega_2$, 而速度 v_1 和 v_2 在啮合线 NN' 上的分速度必定相等 (否则两齿廓就要分开或重叠了), 即

$$v_1 \cos \alpha_1 = v_2 \cos \alpha_2$$

或 $r_1 \omega_1 \cos \alpha_1 = r_2 \omega_2 \cos \alpha_2$

式中 α_1 和 α_2 —— 齿廓 1 和 2 在接触点 m 的压力角

因 $r_1 \cos \alpha_1 = r_{b1}$, $r_2 \cos \alpha_2 = r_{b2}$

故得 $r_{b1} \omega_1 = r_{b2} \omega_2$

主动齿廓与从动齿廓的角速度比值称为传动比, 即

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

将 (a) 式代入上式, 得

$$i = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} \quad (1-2)$$

上式表明, 当两个渐开线齿廓啮合时, 不论在何处接触, 其瞬时传动比等于基圆半径的反比, 因为基圆半径是定值 (不考虑制造误差), 所以瞬时传动比在理论上是恒定不变的, 这是渐开线齿轮的一大优点。另外, 在推导 (1-2) 式的过程中, 没有涉及中心距 a' , 这就是说, 安装中心距有些变动时, 只要渐开线齿廓能够啮合, 瞬时传动比恒定不变的关系总是正确的, 这是渐开线齿轮的另一个优点。

(3) 节圆及节圆半径 当两个齿廓啮合传动时, 它们的转速关系可用两个摩擦轮作纯滚动来代替, 这两个摩擦轮的圆就叫做相当齿轮的节圆。

参看图 1-7, 连心线 O_1O_2 与啮合线 NN' 相交于 C 点, C 点叫做啮合节点。以 O_1 为圆

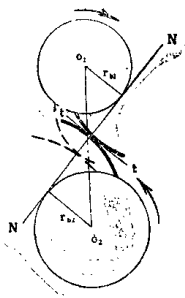


图 1-5 渐开线齿廓的啮合

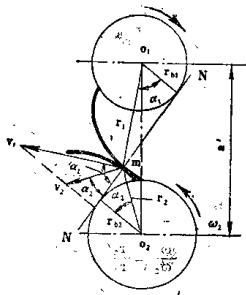


图 1-6 渐开线齿廓的传动比

心, $r_1' = \overline{o_1O}$ 为半径所作的圆, 就是齿廓 1 的节圆, 以 o_2 为圆心, $r_2' = \overline{o_2O}$ 为半径所作的圆, 就是齿廓 2 的节圆。现证明如下:

设两个摩擦轮的角速度分别为 ω_1' 和 ω_2' 。当二者作纯滚动时, 它们在 C 点的速度, 大小相等而方向相同, 故得

$$r_1' \omega_1' = r_2' \omega_2'$$

两摩擦轮的传动比

$$i' = \frac{\omega_1'}{\omega_2'} = \frac{r_2'}{r_1'}$$

$$\text{因 } \frac{r_2'}{r_1'} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} \quad (a)$$

故 $i' = r_{b2}/r_{b1} = i$, 可见两个齿廓的传动可用两个摩擦轮的传动来代替。

又, 两个齿廓的啮合中心距 a' 等于

$$a' = r_1' + r_2' \quad (b)$$

由 (a)、(b) 二式可解得节圆半径,

$$r_1' = a' \frac{r_{b1}}{r_{b1} + r_{b2}},$$

$$r_2' = a' \frac{r_{b2}}{r_{b1} + r_{b2}} \quad (1-3)$$

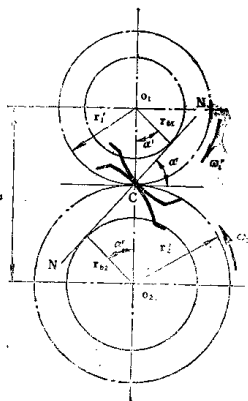


图 1-7 节圆及啮合角

(4) 啮合角 两啮合齿廓在接触点处的公法线与节圆的内公切线所夹的锐角称为啮合角 α' 。由图 1-7 可见啮合角等于两相啮合轮齿在其节圆上的压力角。

2. 渐开线齿轮的啮合

(1) 在标准中心距上啮合 当两个齿轮的中心距等于它们的分度圆半径之和即 $a = r_1 + r_2$ 时, 这时的啮合叫做在标准中心距上啮合 (图 1-8)。在标准中心距上啮合时, 两个分度圆相切于连心线 $\overline{o_1o_2}$ 上的一点, 而啮合线 NN' 与连心线的交点 C 必为两分度圆的切点, 即节圆必与分度圆重合。现证明如下。

由 (1-3) 知

$$r_1' = a' \frac{r_{b1}}{r_{b1} + r_{b2}} = a \frac{r_{b1}}{r_{b1} + r_{b2}} = \frac{(r_1 + r_2)}{(r_1 + r_2) \cos \alpha} r_1 \cos \alpha = r_1$$

同理可证 $r_2' = r_2$ 。

此时瞬时传动比等于

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2'}{r_1'} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{mz_2/2}{mz_1/2} = \frac{z_2}{z_1}$$

啮合角等于

$$\cos \alpha' = \frac{r_{b1} + r_{b2}}{a'} = \frac{r_{b1} + r_{b2}}{a} = \frac{(r_1 + r_2) \cos \alpha}{r_1 + r_2} = \cos \alpha$$

即 $\alpha' = \alpha$

由此可知: 当两轮在标准中心距上啮合时, 两轮的节圆各与其分度圆重合, 啮合角等于分度圆压力角。

(2) 在非标准中心距上啮合
啮合中心距 $a' \neq r_1 + r_2$ 时的啮合
称为在非标准中心距上啮合。
此时啮合角等于

$$\begin{aligned}\cos \alpha' &= \frac{r_{b1} + r_{b2}}{a'} \\ &= \frac{(r_1 + r_2) \cos \alpha}{a'} \\ &= \frac{a}{a'} \cos \alpha\end{aligned}\quad (1-4)$$

即 $\alpha' \neq \alpha$

还可证明此时 $r_1 \neq r_1'$,

$r_2 \neq r_2'$ 。

瞬时传动比为

$$\begin{aligned}i &= \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2'}{r_1'} \\ &= \frac{r_{b1}}{r_{b2}} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1}\end{aligned}$$

可见在非标准中心距上啮合时，瞬时传动比仍是不变的，但节圆与分度圆不重合，啮合角不等于分度圆压力角。

(3) 重合度 参阅图 1—9，在啮合线上有如下几个特征点：

T_1 、 T_2 ——啮合线与基圆的切点；

A——从动轮齿顶与啮合线的交点，称为啮合起点；

E——主动轮齿顶与啮合线的交点，称为啮合终点；

B——单对齿啮合的起始点；

D——单对齿啮合的终止点。

啮合起点与啮合终点之间的啮合线长度 $\overline{AE}$ 称为实际啮合长度，它可按下式计算 (图 1—8)：

$$l = \overline{AE} = \overline{AT_1} + \overline{ET_2} - \overline{T_1T_2} = \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} + \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} - a' \sin \alpha' \quad (1-5)$$

实际啮合长度 l 与基节 p_b 之比称为重合度，即

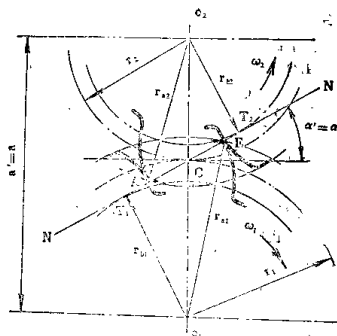


图 1—8 在标准中心距上啮合

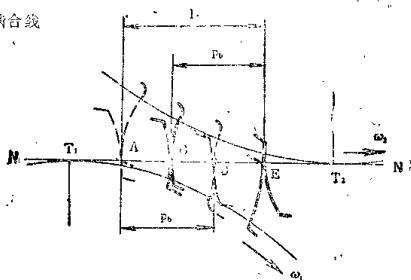


图 1—9 啮合线上的特征点

$$\varepsilon = \frac{l_f}{p_b}$$

(1-6)

重合度 ε 的值与主动轮及从动轮的齿数有关。 $\alpha = 20^\circ$ 的渐开线直齿轮的重合度在1与2之间。重合度的大小表示双对齿啮合区与单对齿啮合区的时间比例。参看图1-9, 图中 AB 和 DE 为双对齿啮合区, BD 为单对齿啮合区。设 $\varepsilon = 1.6$, 则双对齿啮合的时间为

$$\frac{AB + DE}{AE} \times 100\% = \frac{0.6p_b + 0.6p_b}{1.6p_b} \times 100\% = 75\%, \text{ 单对齿啮合的时间为}$$

$$\frac{BD}{AE} \times 100\% = \frac{0.4p_b}{1.6p_b} \times 100\% = 25\%.$$

(4) 连续传动的基本条件 参看图1-10, AE 为实际啮合长度, 图中表示两对齿同时啮合。齿廓1上的 a_1 点与齿廓1'上的 a_2 在 A 点开始接触, 齿廓2上的 d_1 点与齿廓2'上的 d_2 点在 D 点接触。显然, 要使齿轮能够连续传动, 第一个条件是 $a_1d_1 = a_2d_2$, 即两轮的基节必须相等, 这是因为, 如果 $a_1d_1 > a_2d_2$, 则当齿廓2和2'在 E 点终止啮合时, 齿廓1和1'还不能啮合; 如果 $a_1d_1 < a_2d_2$, 则齿廓1和1'将发生干涉而不能啮合。因此, 齿轮正确啮合的第一个条件是

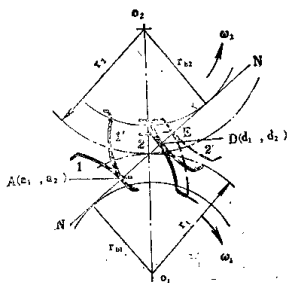


图1-10 齿轮连续传动的条件

$$p_{b1} = p_{b2} \quad \text{即} \quad \pi m_1 \cos \alpha_1 = \pi m_2 \cos \alpha_2$$

因为齿轮分度圆上的模数和压力角都定为标准值, 故正确啮合的条件是两轮分度圆上的模数相等和压力角相等。

连续传动的第二个条件是实际啮合长度 $AE \geq p_b$, 即重合度 $\varepsilon \geq 1$ 。这是因为, 如果 $AE < p_b$, 则当齿廓2和2'在 E 点终止啮合时, 齿廓1和1'还不能进入啮合, 因而传动就要中断。

由此可知, 齿轮连续传动的条件是两轮的基节必须相等和重合度必须大于或等于1。

§1-4 齿条与齿轮的啮合

1. 齿条的基本参数

在§1-1中已经提及, 齿条的齿廓就是 r_0 趋向无穷大时所形成的渐开线——直线, 所以齿条就相当于齿数为无穷多的齿轮。与齿轮上分度圆相当的, 在齿条上有一条中线(图1-11), 在中线上, 齿厚 s_0 与槽宽 e_0 相等, 齿厚与槽宽之和称为齿距 p , 即

$$s_0 = e_0 = 0.5p = 0.5\pi m$$

齿条的基本参数是模数 m 和齿形角 α , 齿形角是齿廓与中线的垂线之间的夹角, 这个角度等于齿条的压力角。齿条上各点的压力角是相等的。此外, 在齿条上也有齿顶

高 h_a 、齿根高 h_f 和基节 p_b , $p_b = \pi m \cos \alpha$ 。

2. 基准齿形

渐开线圆柱齿轮的基准齿形是指基准齿条的法面齿形,它是确定某种齿制的轮齿尺寸比例的依据。GB1356—78《渐开线圆柱齿轮的基准齿形》所规定的基准齿形见图1—12,它适用于 $m \geq 1\text{mm}$ 的齿轮。GB对基准齿形及其参数作如下规定:

- (1) 齿形角 $\alpha = 20^\circ$;
- (2) 齿顶高 $h_a = m$, 工作齿高 $h_w = 2m$, 在工作齿高部分的齿形是直线;
- (3) 齿距 $p = \pi m$, 中线上的齿厚和槽宽相等;
- (4) 顶隙 $c = 0.25m$;
- (5) 齿根圆角半径 $r = 0.38m$ 。

此外,对于一些特殊情况,还作了如下一些补充规定:

- (1) 考虑到某些工艺要求,顶隙允许增大至 $0.35m$,齿根圆角半径 r 允许减小至 $0.25m$ 。

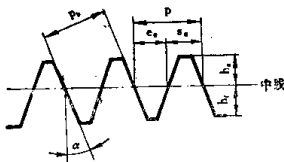


图 1—11 齿条的基本参数

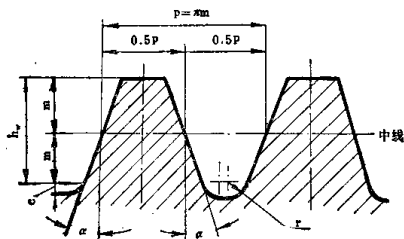


图 1—12 基准齿条的基准齿形

- (2) 为提高齿根强度,在传动啮合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。

- (3) 需采用短齿时, $h_a = 0.8m$, $h_w = 1.6m$, $c = 0.3m$, $r = 0.46m$ 。

- (4) 为提高综合强度需增大齿形角时,推荐 $\alpha = 25^\circ$, $h_a = m$, $h_w = 2m$, $c = 0.2m$, $r = 0.35m$, 齿根圆角为单圆弧。

- (5) 为改善传动质量,允许齿顶修缘。

3. 齿条与齿轮的啮合

- (1) 在标准啮合位置上啮合 标准啮合位置是指齿条的中线与齿轮的分度圆相切(图1—13)。在此位置啮合,齿条与齿轮的相对运动,就如同中线与分度圆作纯滚动

所实现的运动, 这时齿条的中线就是节线, 齿轮的分度圆就是节圆。啮合线 $\overline{N\bar{N}}$ 与齿轮的基圆相切, 并与齿条齿廓相垂直, 啮合线与中线的夹角就是啮合角, 这个角度等于齿形角, 即 $\alpha' = \alpha$ 。

当齿条与齿轮作无侧隙啮合时, 齿轮的分度圆齿厚应等于齿条的中线槽宽, 即

$$s = \pi m / 2。$$

(2) 齿条变位啮合 齿条的中线从标准啮合位置相对于齿轮分度圆移动一个距离 X (图1-14), 则中线不与分度圆相切, 这时的啮合称为齿条变位啮合。齿条变位啮合时, 由于啮合线仍为与基圆相切并垂直于齿廓的直线 $\overline{N\bar{N}}$, 所以啮合角 α' 仍等于 α , 啮合线与连心线的交点 O 仍在分度圆上, 齿轮的节圆仍等于分度圆, 但齿条的节线 $\overline{JJ}$ 已不是中线了, 中线与节线之间的距离 X 称为变位量。变位后齿条节线上的槽宽等于

$$e_o \approx \frac{\pi m}{2} + 2X \tan \alpha, \text{ 齿轮的分度圆齿厚等于 } s = e_o。$$

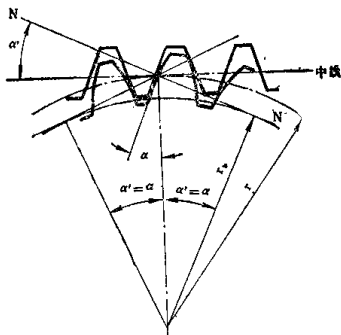


图1-13 标准啮合位置

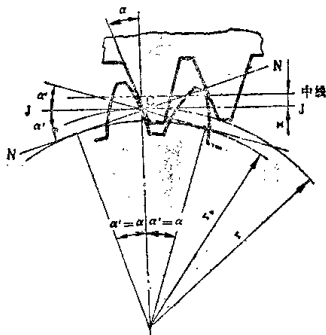


图1-14 齿条变位啮合

§1-5 斜齿圆柱齿轮的基本要素和主要尺寸

斜齿圆柱齿轮的齿侧面是渐开螺旋面。平面沿着一个固定的圆柱面 (基圆柱面) 作纯滚动时, 此平面上的一条以恒定角度 β 与基圆柱的轴线倾斜交错的直线 (叫做发生线) 在固定空间内的轨迹曲面, 称为渐开螺旋面, 见图1-15。按照齿轮的倾斜方向, 斜齿轮有左旋齿轮 (图1-16a) 和右旋齿轮 (图1-16b)。在平行轴斜齿轮副中, 一个为右旋齿轮, 一个为左旋齿轮。

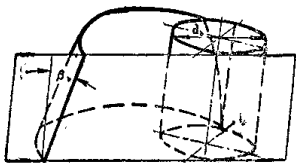


图1-15 渐开螺旋面的形成

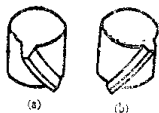


图1-16 左旋齿轮 (a) 和右旋齿轮 (b)

1. 法向模数 m_n 和分度圆螺旋角 β

图1-17 是斜齿轮的分度圆柱面的展开图, 斜齿轮的齿侧面与分度圆柱面的交线(此交线称为齿向线)为一螺旋线, 在展开图上, 螺旋线展开成一直线, 它与分度圆柱母线的夹角称为分度圆螺旋角 β (简称螺旋角), 在图1-17中, 阴影部分代表轮齿, 空白部分代表齿槽。

在斜齿轮上, 应区分三种齿距(周节): 端面齿距 p_t 、法向齿距 p_n 和轴向齿距 p_x , 三者的关系如下(图1-17),

$$\left. \begin{aligned} p_t &= p_n \cos \beta \\ p_x &= p_n \cot \beta \\ p_n &= p_x \sin \beta \end{aligned} \right\} (1-7)$$

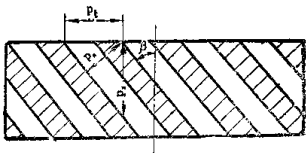


图1-17 斜齿轮的三种齿距

与此相对应, 斜齿轮的模数也可区分为三种: 端面模数 m_t 、法向模数 m_n 和轴向模数 m_x 。斜齿轮以法向模数 m_n 为标准值, 用它作为计算齿轮尺寸的基本参数。三种模数之间的关系如下:

$$\left. \begin{aligned} m_t &= m_n \cos \beta \\ m_x &= m_n \cot \beta \\ m_n &= m_x \sin \beta \end{aligned} \right\} (1-8)$$

2. 法向分度圆压力角 α_n

由于斜齿轮以法向参数作标准, 故压力角也以法向分度圆压力角(简称法向压力角) α_n 作标准($\alpha_n = 20^\circ$), 法向压力角也称法向齿形角。在斜齿轮上, 还有端面齿形角 α_t 和轴向齿形角 α_x 。三种齿形角之间的关系如下(图1-18),

$$\left. \begin{aligned} \tan \alpha_t &= \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \\ \tan \alpha_x &= \frac{\tan \alpha_n}{\sin \beta} \end{aligned} \right\} (1-9)$$

3. 当量齿数 z_v

由于斜齿轮在其法向截面中的齿形近似于一个直齿轮的齿形, 所以在齿轮的设计和制造中, 往往把斜齿轮当作一个当量直齿轮来处理。斜齿轮齿向线上某一点A处的法平