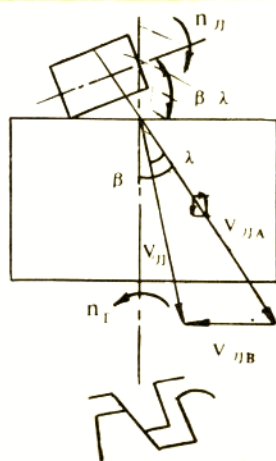
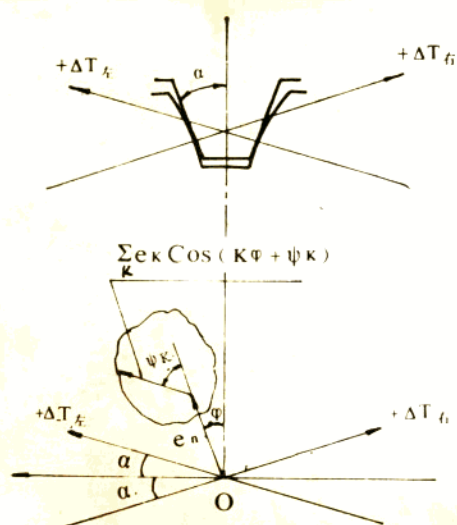


圆柱齿轮加工误差 机理、诊断及消减

经以广 主 编
夏德江 副主编



沈 阳 出 版 社

内 容 提 要

本书在阐述渐开线圆柱齿轮基本概念、啮合要素、精度标准、测量技术以及各种加工方法的基础上,详细分析了圆柱齿轮加工误差产生机理,介绍了齿轮及齿轮加工机床的动态测试数据的采集与处理方法,系统论述了齿轮加工误差的诊断技术及其消减方法,并附有诊断实例。本书内容全面、新颖、深入,其中有很多内容是作者多年的研究成果。

本书可供从事齿轮研究、设计、加工及测试的科技工作者及大专院校师生参考。

主 编 经以广

副主编 夏德江

编 者 (以姓氏笔划为序)

于连奎 于秋恩 王 维 王灵犀 张桂英 杨春发

党兴明 唐宗军 商向东 商瑞林

前 言

圆柱齿轮加工误差理论于本世纪四十年代开始形成，五十年趋于完善，并作为制定齿轮精度标准的重要依据之一。随着科学技术的不断发展，对齿轮加工精度提出了愈来愈高的要求，同时，由于精密加工、精密测试技术的发展，给齿轮加工误差领域带来了不少新内容。为进一步掌握齿轮加工误差机理，准确诊断误差，消减误差，从而提高齿轮加工精度，特编此书。

本书分三篇，第一篇渐开线圆柱齿轮精度标准、测量及其加工；第二篇齿轮加工误差机理；第三篇齿轮加工误差的诊断及消减。本书在掌握圆柱齿轮精度标准、测量和加工方法的基础上，详细分析误差产生机理，从而能做到诊断误差、消减误差。在内容上力求新颖、全面与深入。

本书由经以广、夏德江同志编写第一篇第一章、第二篇第一章、第二章、第三章、第三篇第四章；由于连奎同志编写第一篇第二章；由张桂英同志编写第一篇第三章；由于秋恩同志编写第一篇第三章第四节；由唐宗军同志编写第二篇第四章；由党兴明、杨春发、商向东、商瑞林同志编写第一篇第五章、第六章、第七章、第八章；由王维同志编写第三篇第一章、第二章；由王灵犀同志编写第三篇第三章。全书由沈阳工业大学经以广教授主编，由沈阳汽车齿轮厂高级工程师夏德江同志副主编。由沈阳工业大学党兴明、于连奎、杨春发、张桂英、王维同志协助统稿。此外，沈阳工业大学边广韬、金嘉琦、许秀辉、郑鹏、李文龙，中捷友谊厂王胜，沈阳鼓风机厂刘年丰，沈阳汽车齿轮厂阎文赐等同志为本书的出版做了很多有益的工作。

此外，东北工学副院长王启义教授、沈阳鼓风机厂吴天武高级工程师，辽宁省技术监督局李春林、陈乃选工程师，辽宁省机械研究院杨振铭工程师以及东北工学院副教授冯素范同志等对本书的内容作了很多指导与帮助，特此致谢。

由于作者水平所限，难免不当之处，希同行不吝赐教。

编 者

1989年4月

目 录

第一篇 渐开线圆柱齿轮精度标准、测量及其加工

第一章 渐开线齿轮基本概念	1
第一节 渐开线齿形.....	1
第二节 直齿圆柱齿轮.....	3
第三节 渐开线斜齿圆柱齿轮.....	7
第四节 螺旋齿轮传动.....	10
第二章 渐开线圆柱齿轮精度标准 (GB10095—88)	13
第一节 对圆柱齿轮传动的使用要求.....	13
第二节 齿轮误差的定义、代号及其检验组.....	13
第三节 齿轮副的误差及其评定指标.....	25
第四节 渐开线圆柱齿轮的精度等级及其他.....	31
第五节 渐开线圆柱齿轮的齿坯公差.....	45
第六节 确定渐开线圆柱齿轮精度等级的应用举例.....	47
第三章 渐开线圆柱齿轮的测量	52
第一节 圆柱齿轮的单项测量.....	54
第二节 圆柱齿轮的综合测量	102
第三节 齿轮整体误差的测量	108
第四节 PC—1500计算机在圆柱齿轮测量中的 应用	112
第四章 滚 齿	125
第一节 滚切渐开线圆柱齿轮的运动分析	125
第二节 滚齿机床与齿轮滚刀	129
第三节 滚齿时应注意的一些问题	150
第四节 滚齿加工中常见的误差现象及其原因分析	153
第五节 滚齿的生产率	157
第五章 插 齿	161
第一节 插齿运动分析	161
第二节 插齿机床与插齿刀	163
第三节 插齿工艺特点	178
第四节 插齿产生误差的原因及消除方法	179
第六章 剃 齿	184
第一节 剃齿工作原理	184

第二节	剃齿方法	191
第三节	剃齿机	196
第四节	剃齿刀	203
第五节	剃齿工艺	207
第六节	剃齿工艺特点	217
第七节	剃齿中常见缺陷及原因分析	225
第七章	磨 齿	230
第一节	磨齿机类型	230
第二节	展成磨齿法的理论基础	231
第三节	圆盘形砂轮磨齿	232
第四节	蜗杆形砂轮磨齿	249
第五节	齿轮精度	260
第六节	磨齿生产率	261
第八章	珩齿、研齿、挤齿及其他齿形加工方法	262
第一节	珩齿	262
第二节	研齿	265
第三节	冷挤齿轮	266
第四节	其他加工方法	268

第二篇 齿轮加工误差机理

第一章	研究齿轮误差的方法	271
第一节	单项法研究齿轮误差	271
第二节	综合法研究齿轮误差	274
第三节	整体法研究齿轮误差	276
第二章	齿轮的大周期误差	281
第一节	大周期误差的工艺因素	281
第二节	几何偏心	283
第三节	运动偏心	287
第四节	几何偏心与运动偏心的综合	291
第五节	其他工序的大周期误差	306
第三章	齿轮的小周期误差	313
第一节	滚刀误差	314
第二节	机床传动链误差	323
第三节	主轴回转误差对周期误差的影响	335
第四章	齿轮的噪声及其控制	338
第一节	齿轮噪声的频率特性	338

第二节 影响齿轮噪声的基本因素	340
第三节 降低齿轮噪声的措施	348

第三篇 齿轮加工误差的诊断及消减

第一章 齿轮加工机床传动链误差测量	353
第一节 概述	353
第二节 传动链误差的静态测量法	354
第三节 传动链误差的工作状态测量法	365
第二章 渐开线圆柱齿轮刀具的测量	387
第一节 滚刀的测量	387
第二节 插齿刀的测量	416
第三节 剃齿刀的测量	432
第三章 齿轮传动链误差信号的采集与数据处理	449
第一节 概述	449
第二节 使用专用信号处理仪器处理齿轮传动链误差信号	450
第三节 PC—51低频信号采集与处理系统	452
第四章 齿轮加工误差的诊断及消减	462
第一节 齿轮加工误差的诊断	462
第二节 齿轮加工误差的消减	481

第一篇 渐开线圆柱齿轮精度标准、测量及其加工

第一章 渐开线齿轮基本概念

第一节 渐开线齿形

一、渐开线及其性质

如图 1—1—1 所示, 若在半径为 r_b 的固定圆上, 滚动一直线 MM , 则此直线上的点 B 的轨迹 AB 称为渐开线。半径为 r_b 的圆称为渐开线的基圆; 滚动线 MM 称为发生线。渐开线有如下性质:

1. 渐开线上任一点 B 的法线 $\overline{BC}$ 都与基圆相切。

2. $\overline{BC}$ 的长度即渐开线在 B 点的曲率半径 ρ_x , 而 ρ_x 等于发生线在基圆上滚过的一段弧长,

$$\rho_x = \overline{BC} = \widehat{AC} = r_b(\theta_x + \alpha_x) = r_b\varphi_x$$

显然, 渐开线愈靠近基圆, 曲率半径愈小, 渐开线的曲率愈大; 反之, 渐开线上距离基圆愈远的点, 其曲率半径愈大, 曲率愈小。

3. 基圆上任意一点可以向左及右各展开一条渐开线, 基圆以内无渐开线。

4. 基圆上所引的同向两渐开线为“等距曲线”, 两渐开线之间法向距离处处相等, 如图 1—1—1 中渐开线 AB 与 A_1B_1 间法向距离等于两渐开线起始点之间的弧长 $\widehat{AA_1}$ 。

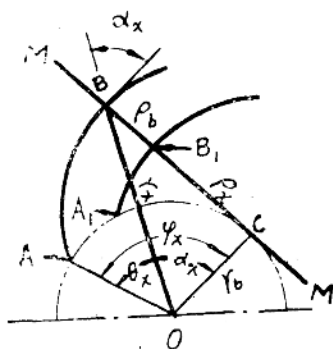


图1—1—1 渐开线齿廓

二、渐开线方程

如图 1—1—1 渐开线上任一点 B 的位置可以由 θ_x 和 r_x 决定:

$$r_x = \frac{r_b}{\cos \alpha_x}$$

$$\theta_x = \varphi_x - \alpha_x$$

$$= \frac{BC}{r_b} - \alpha_x$$

$$= \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x$$

$$(1-1-1)$$

式 (1-1-1) 为渐开线的极坐标参数方程式, θ_x ——极角即渐开线角, 它是 α_x 的渐开线函数, 记为 $\operatorname{inv} \alpha_x$, α_x 为压力角。

三、广义渐开线方程

研究渐开线齿轮齿形加工和测量时, 有时会碰到与渐开线略有差异的曲线, 即所谓变态渐开线、变态渐开线有两种: 延长渐开线和缩短渐开线。

如图 1-1-2 所示, 当直线沿基圆无滑动地滚动时, 位于基圆以内的直线外的一点 K 。所形成的轨迹 K_0K 称为延长渐开线。图中, 设 K_0K_1 等于 b , 延长渐开线的方程为:

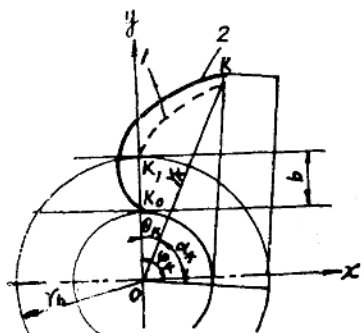


图1-1-2 延长渐开线

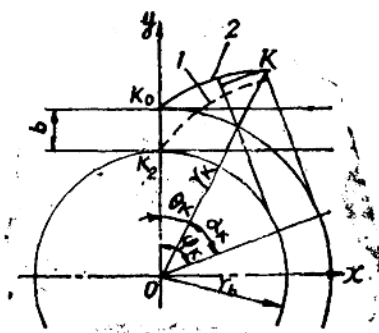


图1-1-3 缩短渐开线

$$r_k = \frac{r_b - b}{\cos \alpha_k}$$

$$\theta_k = \varphi_k - \alpha_k$$

$$\alpha_k = \operatorname{tg}^{-1} \frac{r_b \varphi_k}{r_b - b}$$

$$(1-1-2)$$

当直线沿基圆无滑动滚动时, 位于基圆以外的直线外一点 K 。所形成的轨迹 K_0K 称为缩短渐开线, 见图 1-1-3, 设 K_0K 等于 b , 缩短渐开线的方程为

$$r_k = \frac{r_b + b}{\cos \alpha_k}$$

$$\theta_k = \varphi_k - \alpha_k$$

$$\alpha_k = \operatorname{tg}^{-1} \frac{r_b \varphi_k}{r_b + b}$$

$$(1-1-3)$$

式 (1-1-3) 又称广义渐开线方程式。当 b 为负值 (点 k 。在基圆内), 该式

变为式(1-1-2);当b等于零,即为式(1-1-1);当b为正值(点K在基圆外),即为式(1-1-3)。

四、渐开线的啮合特点

对于齿轮传动的基本要求之一是保持传动的平稳性,即在轮齿的啮合过程中保持瞬时传动比不变。

图1-1-4表示一对渐开线齿轮的两齿廓于K点啮合,而两齿廓的公法线即基圆的内公切线 $\overline{NN'}$ 与连心线 $\overline{O_1O_2}$ 的交点P即所谓节点,为两轮的相对运动瞬心。此时两轮的瞬时传动比为:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_1P}} \quad (1-1-4)$$

当两齿廓在其他瞬时位置时,过啮合点的公法线仍为通过P点的两基圆的内公切线。因此,凡是符合“一对齿轮的两齿廓不论在任何位置啮合时,通过啮合点的公法线都与两轮中心线交于一定点P”这种规律的齿廓称为共轭齿廓。而以 O_1 、 O_2 为圆心,过P点所做的两个圆称为节圆。由上可知,节圆上两轮线速度相等,产生纯滚动。

由图1-1-4还可见到:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2P}}{\overline{O_1P}} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}}, \text{ 当由于安装等原因实际中心距与设计中心距不相等}$$

时,因基圆半径不变,故传动比亦不变。传动比不随中心距变化而变化的特性,称为渐开线齿轮的可分性。

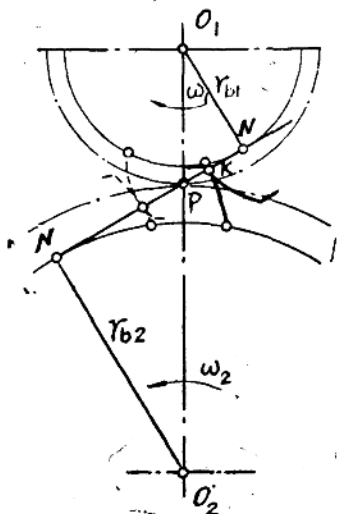


图1-1-4 渐开线齿形的啮合传动

第二节 直齿圆柱齿轮

一、渐开线直齿圆柱齿轮的形成

如图1-1-5,一个平面切于一个圆柱面并沿着圆柱面做纯滚动,在平面上一根平行于圆柱面母线的直线在空间划过的轨迹就是一个渐开线柱面,而渐开线直齿轮是取一定宽度的渐开线柱面而形成的。

二、齿轮的有关名称及术语

齿轮是一种形状比较复杂的机械零件,为表示它的几何形状和啮合关系,有一系列的名称和术语。

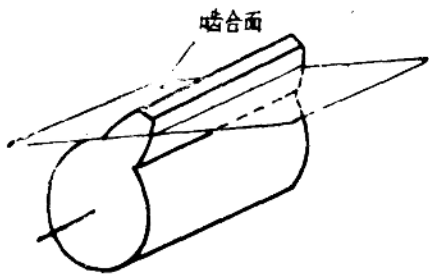


图1—1—5 渐开线直齿轮

参数，是计算齿轮各部分尺寸的一个依据，已经有标准规定。

$$\text{因为 } P_t = \frac{2\pi r}{Z} = \frac{\pi d}{Z}$$

$$\text{引入 } m = \frac{P_t}{\pi} = \frac{d}{Z}$$

式中 r ——齿轮分度圆半径；

d ——齿轮分度圆直径；

Z ——齿轮齿数。

(2) 压力角是指一条通过齿廓上任意点的径向直线与这个齿廓在该点上的切线所夹的锐角（参见图 1—1—1），它等于在该点传递压力的法线方向与该点旋转方向之间的夹角。分度圆与齿廓交点上的压力角以 α 表示，它也是一个标准化的数值， α 有 20° 、 15° 、 14.5° 的。

(3) 齿数 Z 主要由设计要求而定。

3. 分度圆、节圆、节线

分度圆是设计齿轮时所依据的一个圆，圆的直径 d 为：

$$d = mZ$$

节圆是以齿轮中心为圆心，圆周通过节点的一个圆（参见图 1—1—4）。在标准中心距的情况下（非变位齿轮）分度圆与节圆重合。

节线是过节点垂直于两中心连线的直线。

4. 啮合线、啮合角

啮合线是两个相啮合的齿廓在其接触点的公法线。参看图 1—1—4，在渐开线齿轮副中，啮合线是一条同时与两齿轮的基圆相切的内公切线。齿廓在啮合时两齿廓的啮合点沿啮合线移动。啮合线也是传递压力方向所沿守的直线。当齿轮进入啮合至脱开啮合时，在啮合线上截取的长度称为啮合线长度，它是介于从动轮的齿顶圆与主动轮齿顶圆之间的一段啮合线。

齿廓在节点 P 处的压力角叫啮合角，它等于啮合线与节线之间的夹角。当分度圆与

1. 齿轮的齿距 P_t 与基节 P_b

齿距 P_t ：相邻两齿在分度圆上两相当点之间的弧线距离，称为齿距 P_t 。

基节 P_b ：相邻两齿在基圆上两相当点之间的弧线距离，称为基节 P_b 。由渐开线特性可知，基节是相邻两同名齿廓在法线上的距离（参见图 1—1—1）。

2. 齿轮的模数 m 、压力角 α ，齿数 Z

这是形成齿轮的三个主要参数。

(1) 模数 m 是表示齿轮大小的一个

节圆重合时，啮合角等于分度圆压力角。

5. 标准直齿圆柱齿轮的主要尺寸

已知齿轮的齿数 Z 、模数 m 、压力角 α 以及齿高系数 h^* 和径向间隙系数 C^* 以后，可得齿轮的主要尺寸如下（参看图 1—1—6）

$$\text{齿顶高} \quad h_a = h^* m$$

$$\text{齿根高} \quad h_f = (h^* + C^*) m$$

$$\text{工作齿高} \quad h' = 2 h^* m$$

$$\text{全齿高} \quad h_s = h_a + h_f = (2 h^* + C^*) m$$

$$\text{径向间隙} \quad C = C^* m$$

$$\text{齿顶圆半径} \quad r_a = r + h_a = \left(\frac{Z}{2} + h^* \right) m$$

$$\text{齿根圆半径} \quad r_f = r - h_f = \left(\frac{Z}{2} - h^* - C^* \right) m$$

$$\text{分度圆齿厚（对于标准齿轮）} \quad S = \frac{\pi m}{2}$$

齿轮传动的侧隙由齿厚的负偏差来保证。在测量齿厚时，往往采用弦齿厚：分度弦齿厚 $\bar{S}$ 是指分度圆上两侧齿廓所对应的弦长。从图 1—1—7 可见：

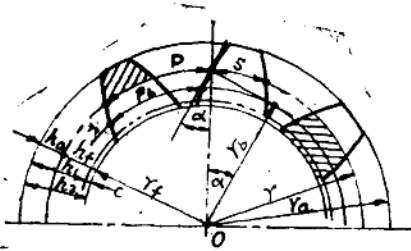


图1—1—6 圆柱齿轮的参数

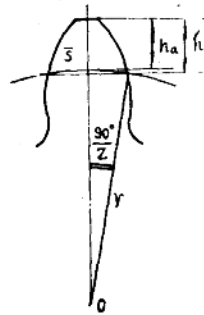


图1—1—7 分度弦齿厚

$$\bar{S} = 2 r \sin \left(\frac{90^\circ}{Z} \right)$$

$$\bar{h} = h_a + \left(r - r \cos \frac{90^\circ}{Z} \right)$$

固定弦齿厚 $\bar{S}$ 。是齿轮的一个轮齿的齿廓与基本齿条的两个齿廓对称接触时，两切点 A 、 B 之间的连线为固定弦，其长度为固定弦齿厚 $\bar{S}$ 。（参见图 1—1—8），其值为：

$$\bar{S}_c = \frac{\pi m}{2} \cos^2 \alpha$$

$$\bar{h}_c = m \left(1 - \frac{\pi}{8} \sin 2\alpha \right)$$

由式中看出它们只与模数及压力角有关，与齿数无关，因此当 m 、 α 一定时，不论齿数

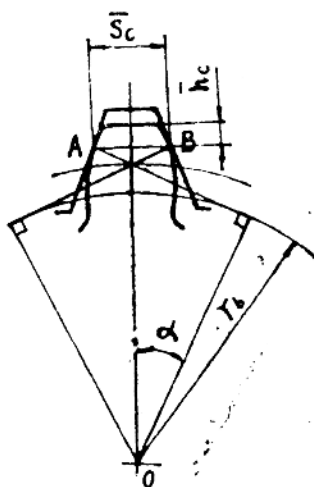


图1—1—8 固定弦齿厚

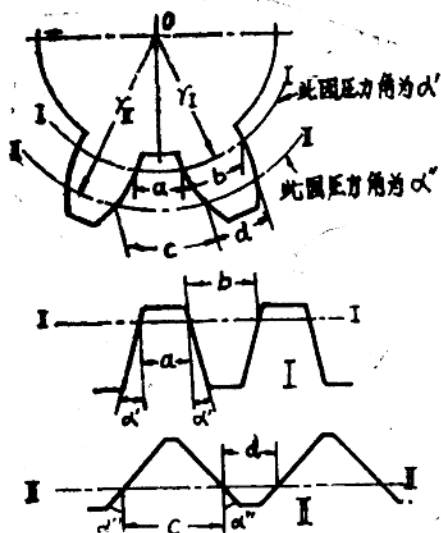


图1—1—9 与齿轮啮合的各齿条

为多少， $\bar{S}_c$ 与 $\bar{h}_c$ 是定值，固定弦即由此得名，它是测量中常用的一个参数。

6. 直齿轮正确啮合的条件

由式(1—1—4)可知：

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

故
$$i = \frac{2\pi r_{b2}}{2\pi r_{b1}} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

则
$$i = \frac{2\pi r_{b2}/Z_2}{2\pi r_{b1}/Z_1} = \frac{P_{b2}}{P_{b1}}$$

即：两渐开线直齿轮正确啮合的必要的条件是它们的基圆齿距必须相等。此外，尚应遵守下列各条：

- (1) 齿轮的各项误差应在容许的范围内；
- (2) 齿轮传动中的径向间隙与侧向间隙应足够，其数值根据使用要求而定；
- (3) 不应产生“顶刃刮行”（详见第二篇）。

在此顺便提一下：

当渐开线齿轮和齿条啮合时，基圆齿距相等的条件仍适用。这样，如图 1—1—9 所示，对于一定的齿轮，可能有很多齿条能与它啮合，只要它们的齿距 P_x 和齿廓角 α_x 各各相等。图中，在齿轮半径为 r_1 的圆上，渐开线的压力角为 α' ，圆弧齿槽宽度为 a ，圆弧齿厚为 b ；在半径为 r_2 的圆上，压力角为 α'' ，圆弧齿槽宽度为 c ，圆弧齿厚为 d ，则图中所示的两齿条 I 及 II 均能与该齿轮啮合，前齿条的齿廓角 α' ，后齿条的齿廓角为 α'' 。这样，前者用节线 I—I 与齿轮上节圆 I—I 啮合；后者用节线 II—II 与齿轮上节圆 II—II 啮合。它们的基圆齿距相等，即：

$$(a+b) \cos \alpha' = (c+d) \cos \alpha'', \text{ 且等于齿轮的基圆齿距。}$$

掌握这个道理就不难理解 0° 与 $15^\circ/20^\circ$ 磨齿法能加工出同样参数的齿轮的道理。

第三节 渐开线斜齿圆柱齿轮

为了改善直齿圆柱齿轮传动的工作状态，在齿轮传动装置中广泛应用斜齿圆柱齿轮。斜齿轮的齿面由渐开螺旋面组成。

一、渐开螺旋面

在图 1—1—10 中，设想用垂直轴线的端平面去等分截取直齿圆柱齿轮，得到一系列等厚的薄齿轮片，然后将每个轮片顺序扭转一个相同的角度，形成台阶式齿轮。若将

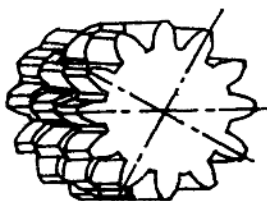


图1—1—10 台阶齿轮

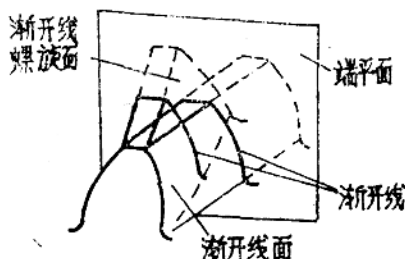


图1—1—11 渐开线面

这样的轮片厚度无限变薄，轮片数量无限增加，相当于每个轮片连续扭转，就将形成渐开螺旋面（见图 1—1—11），所以渐开线螺旋面与端面的交线是渐开线。

二、斜齿轮的啮合性质

斜齿轮的齿面是由同一基圆柱上向相反两方向展开的渐开螺旋面所组成。它们所切的两个螺旋线则是同旋向的。切于右旋螺旋线形成右旋斜齿轮，反之为左旋斜齿轮。

如果两斜齿轮的轴心线平行，分别为左右旋且基圆螺旋角 β_0 相同的两渐开线螺旋面相接触，就构成图 1—1—12 所示的斜齿轮啮合状态。图中，接触线 XX 是两个齿面的直母线，它位于两基圆柱的公切面（即啮合面）上，而 XX 与两基圆柱母线成 β_0 的交

角。并且XX从主动轮齿根和从动轮齿顶到主动轮齿顶和从动轮齿根，并从齿的一端向另一端移动，其长度由小到大，并由大到小的变化。参看图1—1—13。

斜齿轮啮合的总重合度由二部分组成：一部分是决定于渐开线啮合的端面重合度

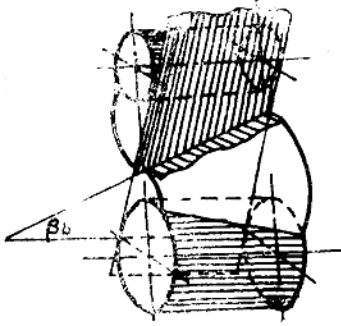


图1—1—12 渐开线螺旋面的啮合过程

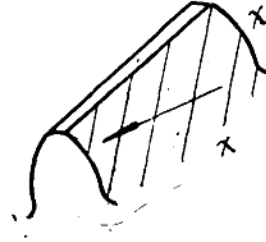


图1—1—13 齿轮接触线的变化

ε_a ，另一部分决定于螺旋线啮合的轴向重合度 ε_β 。

故总重合度 $\varepsilon_r = \varepsilon_a + \varepsilon_\beta$

并从图1—1—14可得：

$$\varepsilon_\beta = \frac{g_a}{P_b}$$

式中 g_a ——有效啮合线长度。

从图1—1—14可得：

$$\varepsilon_\beta = \frac{S'}{P_t} = \frac{btg\beta}{m_t\pi}$$

式中 P_t ——端面齿距；

m_t ——端面模数；

β ——分度圆螺旋角；

b ——齿宽。

$$\text{故 } \varepsilon_r = \frac{g_a}{p_b} + \frac{btg\beta}{m_t\pi} \quad (1-1-5)$$

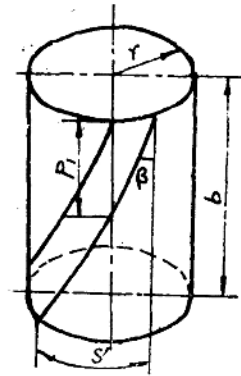


图1—1—14 轴向重合度

为实现 $\varepsilon_r \geq 1$ ，则齿轮连续啮合。这是不难得到的，即使式(1—1—5)右端第一项小于1，只要 $b \geq p_x$ 即可实现连续啮合(p_x ——斜齿轮轴向齿距)。

斜齿轮正确啮合条件是两齿轮法面基节相等，即为

$$P_{b_{n1}} = P_{b_{n2}}$$

$$\text{或 } \pi m_{n1} \cos \alpha_{n1} = \pi m_{n2} \cos \alpha_{n2}$$

$$\text{故 } m_{n1} = m_{n2}$$

$$\alpha_{n1} = \alpha_{n2}$$

式中 P_{b1}, P_{b2} ——齿轮 1, 齿轮 2 法面基节;

m_{n1}, m_{n2} ——齿轮 1, 齿轮 2 法面模数;

α_{n1}, α_{n2} ——齿轮 1, 齿轮 2 法面压力角。

此外, 对于外啮合斜齿轮, 必须保证螺旋角 β 相等 ($\beta_1 = \beta_2$), 且方向相反(一轮为左旋, 另一轮应为右旋)。对于内啮合的斜齿轮, 必须保证螺旋角相等, 且方向相同。

三、斜齿轮几何计算特点

直齿轮几何计算中各基本参数如模数、压力角、周节等, 在斜齿轮中都需要计算。但是, 由于斜齿轮的轮齿是沿螺旋线方向, 它的几何参数有端面(垂直于齿轮轴线的剖面)、轴面(通过齿轮轴线的剖面)及法面(垂直于某一轮齿螺旋线方向的剖面)之分。

标准斜齿圆柱齿轮传动的主要几何参数及尺寸如表 1—1—1 所示。

表 1—1—1

名 称	代 号	计 算 公 式
齿数比		Z_2/Z_1
分度圆螺旋角	β	$\beta_1 = -\beta_2$ (外啮合), $\beta_1 = \beta_2$ (内啮合); 设计定。
基圆螺旋角	β_b	$\tan \beta_b = \tan \beta \cos \alpha_t$; $\cos \beta_b = \cos \beta \cos \alpha_n / \cos \alpha_t$
法面模数	m_n	取标准值
端面模数	m_t	$m_t = m_n / \cos \beta$
法面压力角	α_n	取标准值
端面压力角	α_t	$\tan \alpha_t = \tan \alpha_n / \cos \beta$
法面齿距	P_n	$P_n = \pi m_n$
端面齿距	P_t	$P_t = \pi m_t = P_n / \cos \beta$
法面基节	P_{bn}	$P_{bn} = P_n \cos \alpha_n$
端面基节	P_{bt}	$P_{bt} = P_t \cos \alpha_t$; $P_{bt} = P_{bn}^+ / \cos \beta_b$
法面齿厚	S_n	$S_n = P_n / 2 = \pi m_n / 2$
端面齿厚	S_t	$S_t = P_t / 2 = \pi m_t / 2 \cos \beta$
分度圆直径	d	$d_1 = Z_1 m_t = Z_1 m_n / \cos \beta$; $d_2 = Z_2 m_t = Z_2 m_n / \cos \beta$
基圆直径	d_b	$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_t$; $d_{b2} = d_2 \cos \alpha_t$
齿顶高	h_a	$h_a = h_{at}^* m_t = h_{an}^* m_n$
齿根高	h_f	$h_f = (h_{at}^* + C_t^*) m_t = (h_{an}^* + C_n^*) m_n$
齿顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$; $d_{a2} = d_2 + 2h_a$
齿根圆直径	d_f	$d_{f1} = d_1 - 2h_f$; $d_{f2} = d_2 - 2h_f$
标准中心距	a	$a = (d_1 + d_2) / 2 = m_n (Z_1 + Z_2) / 2 \cos \beta$

第四节 螺旋齿轮传动

前面介绍了斜齿轮传动，其特点之一是两齿轴是平行的。而两斜齿轮用于两交错轴之间的传动叫螺旋齿轮传动。螺旋齿轮传动两齿面之间是点接触，滑动速度大，磨损大，故这种传动不如直齿轮传动及斜齿轮传动应用广泛。但这种啮合原理则应用于滚齿剃齿加工以及蜗杆检测齿轮综合误差的装置中。

一、几何参数

图1—1—15所示为一螺旋齿轮传动，两个螺旋齿轮的分度圆柱面相切于P点，P点

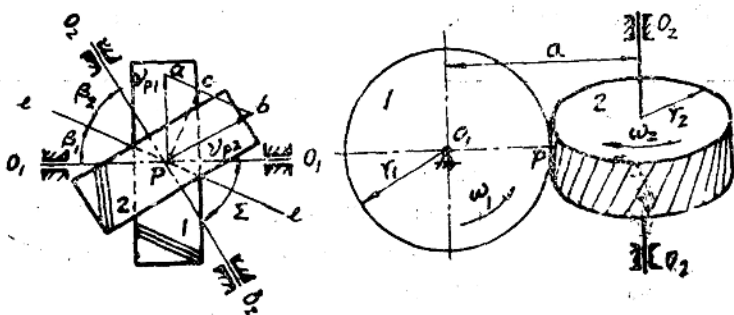


图1—1—15 螺旋齿轮传动

位于两交错轴的公垂线上，该公垂线就是螺旋齿轮传动的中心距 a ，即

$$a = (d_1 + d_2) / 2$$

式中 d_1 、 d_2 分别为螺旋齿轮1、2的分度圆直径。

螺旋齿轮传动中，由于两轴既不平行，也不相交，故相啮合的两个轮齿仅为点接触。并且 $\Sigma = |\beta_1| \pm |\beta_2|$

式中 Σ ——两交错轴在过P点所作两轮节圆柱的公切面上投影的夹角，

两螺旋方向相同时，取“+”号；两螺旋方向相反时，取“-”号。若 $\Sigma = 0$ ，此时两螺旋角大小相等，方向相反，就成为两轴平行的斜齿轮传动。

二、啮合条件

与斜齿轮啮合条件相同，故其啮合条件：

$$m_{n1} = m_{n2}$$

$$\alpha_{n1} = \alpha_{n2}$$

与斜齿轮不同的，尚应：

$$\Sigma = |\beta_1| \pm |\beta_2|$$

这样， $\beta_1 \neq \beta_2$

又因为： $m_{n1} = m_{t1} \cos \beta_1$