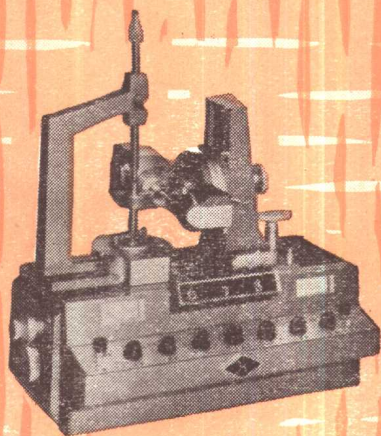


线值计量技术之四

齿 轮 测 量



上海科学技术出版社

线值计量技术之四

齿 轮 测 量

上海科学技术出版社

线值计量技术之四

齿 轮 测 量

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10 字数 219,000

1979年1月第1版 1979年1月第1次印刷

印数 1—70,000

书 号: 15119·1970 定 价: 0.81 元

出版说明

线值计量是保证提高产品质量的一项不可缺少的措施。原上海市科学技术交流站曾在一九七三年举办了关于线值计量技术的讲座,并在此基础上组织了有工人、干部、技术人员和教师参加的编写小组,编写了这套《线值计量技术》,内容包括:线值计量技术基本知识、光学和气动计量仪器、齿轮测量、螺纹测量、滚刀测量、表面光洁度测量、角度测量、平直度和圆度测量等,按分册陆续出版,供广大从事计量工作的工人、干部和有关技术人员参考。在编写过程中,我们得到了上海市计量测试管理局、上海交通大学、上海机械制造工艺研究所、上海机械学院、新中动力机厂、上海汽轮机厂、上海工具厂、上海光学仪器厂等单位大力支持,在此深表感谢!

由于我们水平有限,书中内容难免有错误和不妥之处,希望读者提出批评和指正。

《线值计量技术》编写组

前 言

齿轮测试技术是计量技术中很重要的一门科学。随着我国工农业生产和科学技术的蓬勃发展,对现代机械工业中的主要传动零件——齿轮的质量要求愈来愈高,品种愈来愈多,结构愈来愈复杂。因此,有必要在普及的基础上进一步提高齿轮测量的水平,以适应工业生产和科学技术的迅猛发展。为此,要求计量工作者能更加全面地掌握齿轮的测量方法,合理地选用测试手段,充分发挥现有计量设备的作用,严格控制加工误差的来源,正确地分析齿轮精度,不断探索新的测试方法,提高测试水平和效率,从而为加快实现“四个现代化”的步伐多作贡献。

本书是《线值计量技术》的一个分册,介绍了中模数的圆柱齿轮、直齿圆锥齿轮及蜗轮蜗杆等传动零件精度的评定项目的测试方法和一些齿轮测试仪器的的工作原理、新测试方法的探讨以及齿轮主要误差项目的分析等。供从事齿轮测试的技术人员及其他长度计量工作人员作参考。

本书由上海机械制造工艺研究所计量室朱才贵同志执笔,由于编者水平所限,书中难免会有一些错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

《齿轮测量》编写组

1978年4月

目 录

第一章 齿轮传动概述	1
第一节 齿轮传动的基本要求	1
第二节 齿轮的分类	2
第二章 渐开线的形成及其特性	5
第一节 渐开线的形成	5
第二节 渐开线的特性及渐开线方程	6
第三章 圆柱与圆锥齿轮各部分的名称及其尺寸计算	9
第一节 齿轮的形成	9
第二节 齿轮各部分的名称和意义	10
第三节 齿轮各部分的尺寸计算	16
第四章 齿轮传动各主要误差的来源	29
第一节 误差的种类与来源	29
第二节 齿轮误差的分析	32
第五章 齿轮传动公差标准简介	40
第一节 圆柱齿轮传动公差标准(JB 179-60)	40
第二节 齿轮传动公差国家标准(草案)简介	44
第六章 齿轮传动精度的测量	47
第一节 齿轮误差的单项测量	47
1. 周节误差的测量	47
2. 公法线长度的测量	68
3. 齿圈径向跳动的测量	74
4. 齿形误差的测量	80
5. 基节的测量	103

6. 齿向误差或螺旋角的测量	106
7. 齿厚的测量	113
第二节 齿轮误差的综合测量	144
1. 双面啮合综合测量	145
2. 单面啮合综合测量	149
第七章 圆锥齿轮的测量	172
第一节 圆锥齿轮各部分名称代号及其计算	172
第二节 圆锥齿轮传动公差	175
第三节 圆锥齿轮单项误差的测量	179
1. 周节误差的测量	179
2. 齿圈径向跳动的测量	180
3. 齿形误差的测量	180
4. 齿向误差的测量	191
5. 齿厚的测量	192
6. 综合测量	198
第八章 蜗轮蜗杆和齿条的测量	200
第一节 蜗轮蜗杆的测量	200
1. 蜗杆与蜗轮啮合的特点	200
2. 蜗轮与蜗杆的尺寸计算	204
3. 蜗杆传动公差	210
4. 蜗杆的测量	214
5. 蜗轮的测量	227
6. 蜗轮蜗杆的综合测量	230
第二节 齿条的测量	231
1. 齿距的测量	231
2. 齿条齿向、齿形的测量	232
3. 齿条齿槽跳动与齿厚的测量	232

第一章 齿轮传动概述

齿轮传动是机械传动的一种基本形式。根据齿轮的用途,有传递运动、传递速度、传递动力等不同,对齿轮的基本要求如传动速比恒定不变,传动平稳等也就不同。随着我国工业和科学技术的飞速发展,对齿轮传动的要求也越来越高,这就必须对传动的主要零件——齿轮本身的质量精度等应有比较严格的控制。

为了提高齿轮质量精度的测量工作,我们对常用的渐开线齿轮的传动原理、传动公差、齿轮精度的测量及其测量仪器应有一个普及性的全面了解。

第一节 齿轮传动的基本要求

由于齿轮的传动作用不同,因此对齿轮和齿轮传动一般有以下几个方面的不同要求:

1. 保持齿轮传动比的恒定: 齿轮作为传动的主要元件,应使传递的运动准确可靠,即主动件与从动件的传动比在一定的范围内变化,则要求齿轮在一转中回转角的误差不得超过使用情况所允许的范围。如精密分度机构,要求有精确的分度传动,分度误差不得超出所允许的数值。有的分度机构准确度要求一转中不超过1分,有的甚至几秒。

2. 传动时要求工作平稳,噪音和振动极小: 特别是高速动力齿轮,如高速汽车、汽轮机上的齿轮,它们的圆周速度高达60~120米/秒,则特别要求运转平稳、无撞击和噪音。而

这种不平稳、撞击、噪音的产生原因，归结起来就是因为齿轮在传动过程中其瞬时的传动比在不断地突然变化。瞬时传动比变化大，传动越不平稳，噪音也越大。

3. 要求传递一定的动力：对于传递动力的齿轮，则要求齿面的接触面积要大，接触均匀，否则将造成应力过大，出现齿面过早磨损或断裂。如矿山机械、轧钢机等齿轮，则要求传动齿轮在齿面上沿着齿宽和齿高方向的接触面积越大越好。

4. 具有一定的齿侧间隙：对传动的齿轮，在传动时为了贮存润滑油和补偿由于温度和弹性变形所引起的尺寸变动，以及避免工作中出现齿轮咬滞现象，则要求有一定的间隙。

除了上述四个主要要求外，对轮齿表面还要求具有相适应的表面光洁度。

第二节 齿轮的分类

根据齿轮传动的不同要求，对齿轮可以分为以下几种类型。

1. 按齿轮的外形不同，可分为圆柱齿轮、圆锥齿轮、齿条、蜗轮蜗杆和非圆齿轮。

2. 按齿轮安装轴线的位置不同可分为平行轴线、相交轴线、非相交非平行轴线。

3. 按轮齿的形成原理可分为渐开线齿轮、摆线齿轮、圆弧齿轮。

4. 按齿轮的用途不同可分为传递运动、传递速度、传动动力等。

下面就齿轮分类中引出的常用名词作一简单的解释：

正圆柱齿轮——轮齿为直齿并平行于轴线。

圆柱斜齿轮——具有和轴线有一定的螺旋线，二轮齿的螺旋线方向相反，均称为单斜齿齿轮。

人字斜齿轮——兼有左、右旋齿，轴线平行的齿轮，也称为双斜齿轮。

外齿轮——轮齿分布在圆柱或圆锥体的外表面上。

内齿轮——轮齿分布在圆柱或圆锥的内表面上。

圆锥齿轮——轮齿分布在圆锥体形的表面上，常用于相交轴线传动。

直齿圆锥齿轮——轮齿为直齿的圆锥齿轮。

零度圆锥齿轮——齿面中点的螺旋角为零度的螺旋锥齿轮。

螺旋圆锥齿轮——具有曲线和螺旋线轮齿的圆锥齿轮。

圆柱形蜗杆——在圆柱体上，具有单头或多头螺纹的蜗杆。

蜗轮——与蜗杆配对啮合，啮合时是线接触的称为单包络啮合。

蜗杆传动——蜗轮与蜗杆啮合，其轴线通常成直角而不相交的。

圆弧蜗杆——具有单头或多头，其直径由中央向两头逐渐增加并与蜗轮的曲率相等，也称为双包络蜗杆。这种蜗杆与蜗轮啮合时具有面接触。

准螺旋齿轮——齿轮副轴线不平行不相交，且小齿轮具有锥度和轴向导程不变的螺纹，与平面齿轮啮合。这种传动啮合齿数多，承载能力高。

准双曲线圆锥齿轮——外形与螺旋圆锥齿轮相同，但用于轴线不平行也不相交的传动。即主动轮轴线相对于从动轮轴线有一偏置。

准平面齿轮——齿轮副轴线成直角但非相交，小轮具有锥度，大轮的轮齿在平面上。

螺旋平面齿轮——齿轮副轴线成直角而不相交，与准螺旋齿轮相同。但无锥度，小轮是导程不变的螺旋圆柱齿轮，它与齿轮的平面齿啮合时的压力角是不相等的。

对于斜齿轮又有左旋和右旋之分。

第二章 渐开线的形成及其特性

第一节 渐开线的形成

齿轮传动(图 1 所示),是靠主动轮 I 上的牙齿依次拨动从动轮 II 的牙齿实现的。为了传递等速运动,并且满足传动的平稳,就得有合适的齿形。从长期的生产实践,人们已掌握了渐开线齿形(图 1(b))能够满足上述的要求。当然,还有其他曲线的齿形,如摆线、圆弧曲线等亦能满足上述要求。但由于渐开线齿形容易制造,便于安装,所以仍应用得最广泛。

渐开线是怎样形成的呢?如图 2(a),在半径为 r_f 的圆盘上绕一根线,线头 a_0 上栓一支铅笔,拉紧线头 a_0 ,由 a_0 开始逐渐地展开,则铅笔尖所画出的由连续的 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$

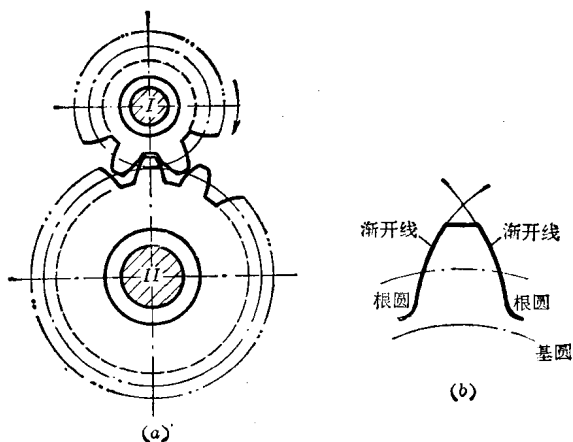


图 1

的点所组成的轨迹形成的曲线,就叫做渐开线。下个定义:渐开线,就是一条直线 A 在半径为 r_j 的圆周上所作的无滑动的纯滚动时,直线上的一点 a_k 所形成的轨迹。这个圆就叫基圆,直径用 d_j 来代替,直线 A 称为母线。

第二节 渐开线的特性及渐开线方程

根据渐开线的形成,可以知道渐开线有下列特性。

1. 在母线上由点 a_k 到母线与基圆切点 b_k 之间的母线长度 $a_k b_k$ 与它所绕的基圆弧长 $\widehat{a_0 b_k}$ 是相等的。即:

$$\widehat{a_0 b_1} = \overline{a_1 b_1}, \widehat{a_0 b_2} = \overline{a_2 b_2}, \dots, \widehat{a_0 b_k} = \overline{a_k b_k}$$

2. 因为母线在展开过程中是与基圆相切的,所以展开线段 $\overline{a_k b_k}$ 是渐开线上 a_k 点的法线,即过 a_k 点垂直于 $\overline{a_k b_k}$ 的线 V 是与渐开线 $a_0 a_k$ 相切的,同时 $\overline{a_k b_k}$ 也是该点的曲率半径,用 ρ_k 表示(如图 2(b)所示)。

由上两个特性可知:渐开线上任意一点 a_k 的法线必与其基圆相切,而且 a_k 点的曲率半径 ρ_k 等于其切点 b_k 到渐开线起始点 a_0 间的基圆弧长。即:

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

从图 2(b)知:由基圆圆心 O 连接 a_0, a_k, b_k , 设 $\angle a_0 O a_k$ 为展开角 θ_k , $O a_k$ 为向量半径 r_k , 则 a_k 点的位置可用 θ_k, r_k 来表示,即 $a_k(\theta_k, r_k)$ 。又因为 $\overline{a_k b_k}$ 与基圆相切于 b_k , 所以 $O b_k \perp b_k a_k$ 。若以 α_k 表示 $\angle a_k O b_k$ 为压力角,则:

$$r_k = \frac{r_j}{\cos \alpha_k}$$

而

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{\overline{a_k b_k}}{r_j} = \frac{\widehat{a_0 b_k}}{r_j}$$

因为

$$\widehat{a_0 b_k} = r_j \cdot (\theta_k + \alpha_k)$$

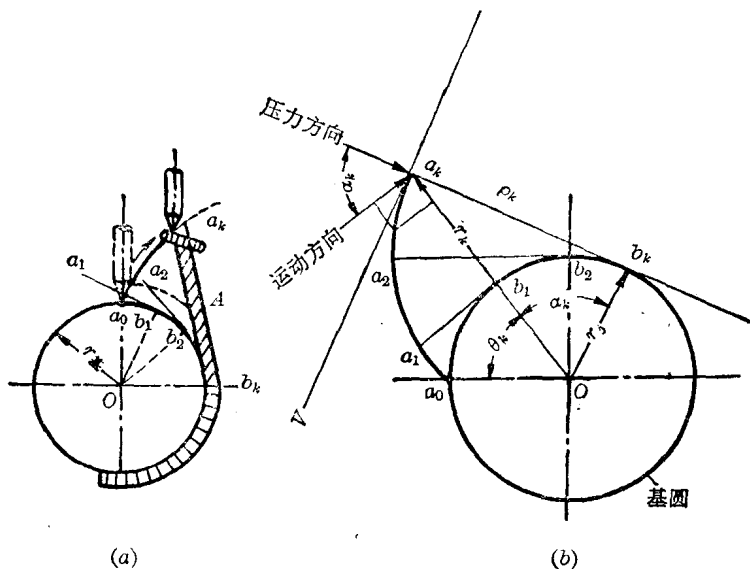


图 2

由上两式整理得

$$\theta_k = \operatorname{tg} \alpha_k - \alpha_k$$

在工程上我们称 θ_k 为渐开线函数，并用 $\operatorname{inv} \alpha_k$ 来表示。
于是上式可写成：

$$\operatorname{inv} \alpha_k = \operatorname{tg} \alpha_k - \alpha_k$$

($\operatorname{inv} \alpha_k$ 的数值见计算附表一。)

于是渐开线上任一点的极坐标就可由下式来确定。

$$\left. \begin{aligned} r_k &= \frac{r_j}{\cos \alpha_k} \\ \operatorname{inv} \alpha_k &= \operatorname{tg} \alpha_k - \alpha_k \end{aligned} \right\}$$

上式通常称为渐开线方程。

3. 渐开线方程中的压力角 α_k 就是表示齿轮齿形的压力方向，即法线方向与运动方向(或圆周速度方向)的夹角。由

图 2(b) 可知:

$$\cos \alpha_k = \frac{r_j}{r_k} = \frac{d_j}{d_k}$$

上式表明: 因为 d_j 对一个齿轮而言是一定值, 所以 d_k 越大, α_k 也越大, 说明了渐开线上各点的压力角是不同的, 在起始点 a_0 处, 压力角 α_k 等于零, 离圆心愈远点, 其压力角 α_k 愈大。基圆以内没有渐开线。

4. 曲率半径 $\rho_k = a_k b_k = r_j \cdot \operatorname{tg} \alpha_k$, 这说明渐开线的形状与基圆有关, 基圆相同, 渐开线形状完全相同。基圆的 r_j 愈大, 曲率半径 ρ_k 愈大, 则渐开线形状愈逐平直, 反之, 渐开线形状愈弯曲。若基圆无限大, 曲率半径也无限大, 则渐开线变成一条直线, 这时齿形就为齿条的齿形。

第三章 圆柱与圆锥齿轮各部分的名称及其尺寸计算

第一节 齿轮的形成

根据渐开线的形成及其特性, 我们就不难理解齿轮是怎样形成的。当一齿轮的基圆定了以后, 只要母线是在这一基圆上作纯滚动, 那么母线上任一点所绘出的渐开线形状都是相同的。如图 3 所示, 若将基圆分成若干等分, 则从各等分点上绘出的渐开线不仅形状相同, 而且在其法线方向上彼此之间的距离也是相等的, 它等于基圆的等分弧长, 这一长度称为基节 t_b 。

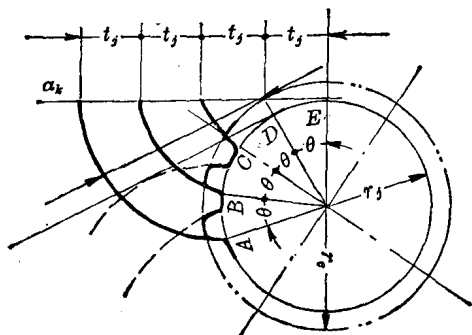


图 3

$$\begin{aligned} \therefore t_b &= \widehat{AB} = \widehat{BC} = \widehat{CD} = \widehat{DE} \\ &= \frac{2\pi}{Z} \cdot r_b = \frac{2\pi}{Z} \cdot \frac{mZ}{2} \cos \alpha_f \\ \therefore t_b &= \pi m \cos \alpha_f \end{aligned}$$

式中 Z ——齿轮齿数;
 m ——齿轮模数;
 α_f ——齿轮分度圆压力角。

(基节的数值见附表二。)

从整个基圆各等分点作顺时针方向的渐开线, 再按一定的间隔作反时针方向的渐开线(虚线所示), 然后用齿顶圆和齿根圆截止, 画出过渡连接线, 便可得出整个齿轮的截形了。将这一截形沿着垂直纸面(或和纸面成一定交角)方向延伸, 就形成了一只假想的简单的圆柱齿轮, 假若牙齿逐渐缩小, 且是延着锥面方向延伸的, 则为一只假想的简单的圆锥齿轮。

第二节 齿轮各部分的名称和意义

一对齿轮传动, 为了保证传递一定的运动和动力, 则对轮齿就必须有合理的结构尺寸, 这些尺寸一般都已经标准化了。为了搞好齿轮测量, 先介绍一下齿轮各部分名称及其意义。

1. 传动比 i , 模数 m 和压力角 α

传动比 i , 模数 m , 和压力角 α 是齿轮传动的三个基本要素。

(1) 传动比 i ——在一对齿轮传动过程中, 若主动轮 I 转过一个 φ_1 角, 从动轮就应转动一个 φ_2 角, 如果从动轮转过 $\varphi_2 \pm \Delta\varphi$ 时, 则此 $\Delta\varphi$ 就使得传动比 i 发生瞬时的变化。要保证齿轮传动平稳, 就必须保证传动比 i 恒定, 或 $\Delta\varphi$ 在一定的范围内。传动比可以用公式来表示:

$$i = \frac{r_{f2}}{r_{f1}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

(2) 模数 m (或径节 DP)——是一种标准化的数列, 它是