

●通用量具及检具

●常用光学量仪

●电测技术基础

●平台测量

●形位误差测量

●表面粗糙度检测

●角度测量

●螺纹测量

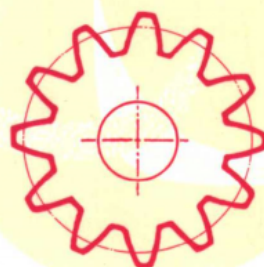
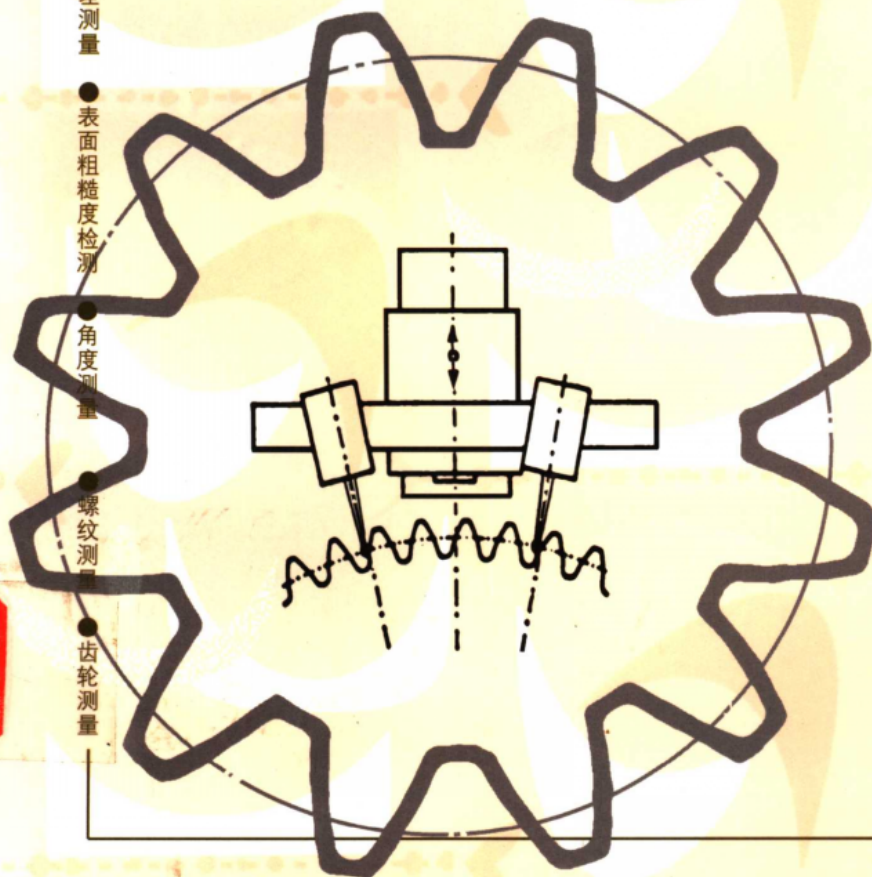
●齿轮测量

工厂几何量计量检验员丛书

第9分册

齿轮测量

唐启昌 孙庆华 编著



●中国计量出版社

封面设计：任红
责任编辑：王红

工厂几何量计量检验员丛书

1. 通用量具及检具

2. 常用光学量仪

3. 电测技术基础

4. 平台测量

5. 形位误差测量

6. 表面粗糙度检测

7. 角度测量

8. 螺纹测量

9. 齿轮测量

ISBN 7-5026-1026-X



9 787502 610265 >

ISBN7-5026-1026-X/TB · 521 定价：18.00元

TH
H3

工厂几何量计量检验员丛书（第9分册）

齿 轮 测 量

主 编 何 贡

副主编 许国正 庾以滦 刘瑞清

编 著 唐启昌 孙庆华

中 国 计 量 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

齿轮测量/唐启昌, 孙庆华编著. —北京: 中国计量出版社, 1998. 2

(工厂几何量计量检验员丛书)

ISBN 7-5026-1026-X

I. 齿… II. ①唐… ②孙… III. 齿轮参数测量 IV. TH132.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 25214 号

内 容 提 要

本书为工厂几何量计量检验员丛书的第 9 分册, 是作者在第一线从事齿轮测量 30 多年的工作实践的总结。书中详细介绍了齿轮测量的基础知识, 齿形测量, 齿向参数的测量, 齿距测量, 基节和齿圈径向跳动测量, 齿厚及公法线测量, 齿轮的综合测量, 圆柱齿轮测绘等内容。

本书主要供工厂计量室、车间检验站的检验人员阅读, 也可供从事机械设计与制造的技术人员和工人参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787×1092 毫米 16 开本 印张 12.5 字数 283 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

*

印数 1—5 000 定价: 18.00 元

前 言

产品质量是决定市场竞争成败和企业兴衰的关键因素。产品质量管理离不开计量检测技术，特别是在生产第一线，急需一批既具有一定理论知识又具有实际检测能力的检测人员。

几何量包括长度、角度和两者的综合，由于角度可用长度的比值来表示，故几何量计量人们亦习称长度计量。在各种物理量的测量中，尤其在机械制造等产业部门，几何量计量测试占有重要位置。中国计量出版社最近组编出版了一套《计量测试技术手册》，共 13 卷，字数逾 2000 万，堪称巨著，其中第二卷即为《几何量》卷。在此之前，还组编出版了一套《长度计量测试丛书》，共 20 个分册，属中级读物。本套《工厂几何量计量检验员丛书》为初级读物，主要读者对象是在生产第一线从事几何量计量检测工作的检验人员，特别是参加工作不久的年轻检验人员。丛书亦可供有关专业人员和大中专院校有关专业的师生参考。

本丛书共 9 个分册：即《通用量具与检具》、《常用光学量仪》、《电测技术基础》、《形位误差测量》、《角度测量》、《表面粗糙度测量》、《平台测量》、《螺纹测量》及《齿轮测量》。编写原则是力争全面、系统，又能少而精，突出生产中常用的基本检测技术。考虑到总篇幅的限制，对各种基础理论知识，未作详尽地介绍，对不断涌现的新技术，虽有所涉及但未全面展开叙述。有关这些方面的知识，读者可参阅其他专业书籍。

由于编者水平所限，丛书中不足之处及缺点错误在所难免，尚望广大读者多予批评指正，以便再版时进行修订。

编 者

1998 年 3 月

目 录

第一章 齿轮测量的基础知识	(1)
一、齿轮	(1)
(一) 渐开线形成原理	(1)
(二) 齿轮的三个基本参数	(3)
(三) 斜齿轮的基本要素	(5)
(四) 渐开线圆柱齿轮正确啮合的条件	(9)
(五) 变位齿轮的啮合	(11)
二、齿轮的精度标准	(12)
(一) 渐开线圆柱齿轮精度	(12)
(二) 圆柱蜗杆蜗轮精度简介	(21)
(三) 圆锥齿轮精度简介	(24)
第二章 齿形测量	(30)
一、渐开线仪器及其原理	(30)
(一) 可换圆盘式渐开线检查仪	(30)
(二) 万能式渐开线检查仪	(35)
(三) 坐标式渐开线测量仪器	(39)
(四) 电子坐标式渐开线测量仪器	(45)
(五) 渐开线仪器评定准则	(49)
二、渐开线齿形的测量	(50)
(一) 渐开线仪器的正确使用	(50)
(二) 基圆和测量头的位置	(51)
(三) 小模数齿轮的齿形测量	(54)
(四) 渐开线测量仪器的误差修正	(55)
(五) 齿形误差的分解	(56)
(六) 齿形误差测量结果处理	(58)
三、渐开线仪器的量值统一	(63)
(一) 渐开线国家计量标准	(63)
(二) 渐开线样板的作用	(64)
(三) 渐开线的传递精确度	(64)
第三章 齿向参数的测量	(67)
一、齿向或螺旋线测量仪器	(67)
(一) 机械范成测量方法	(67)
(二) 齿向或螺旋线坐标测量方法	(73)

(三) 齿向或螺旋线仪器的不确定度	(75)
(四) 测量及注意事项	(76)
(五) 误差曲线的处理	(78)
(六) 螺旋线仪器的量值统一	(80)
二、齿轮接触线的测量	(81)
(一) 接触线的形成	(82)
(二) 接触线的测量仪器及测量方法	(83)
(三) 测量方法的不确定度及结果处理	(85)
三、齿轮轴向齿距的测量	(87)
(一) 轴向齿距测量方法	(87)
(二) 上置式或旁置式轴向齿距测量仪	(88)
(三) 测量的不确定度	(89)
四、螺旋线波度的测量	(90)
(一) 微差比较法测量原理和仪器	(90)
(二) 测量方法的不确定度及取值	(91)
第四章 齿距测量	(93)
一、相对测量法和仪器	(93)
(一) 用万能测齿仪测量	(93)
(二) 用上置式测量仪器测量	(95)
(三) 用渐开线仪器测量	(95)
(四) 用自动电子齿距测量仪测量	(96)
(五) 跨齿测量方法	(97)
(六) 组合仪器测量方法	(98)
(七) 相对测量法的不确定度和精度分析	(99)
二、相对测量法的数据处理	(102)
(一) 齿距累积误差的计算方法	(103)
(二) 跨齿测量齿距累积误差的计算方法	(106)
三、绝对测量法和仪器	(108)
(一) 组合仪器测量法	(109)
(二) 用坐标式测量仪器测量	(111)
(三) 绝对测量法的不确定度和精度分析	(111)
第五章 基节和齿圈径向跳动测量	(114)
一、基节偏差的测量	(114)
(一) 基节的测量方法	(115)
(二) 基节测量误差及不确定度	(117)
二、齿圈径向跳动的测量	(119)
(一) 齿圈径向跳动的测量仪器和方法	(119)
(二) 测量头的选择	(121)
(三) 径向跳动误差及测量的不确定度	(122)

第六章 齿厚及公法线测量	(124)
一、齿轮齿厚的测量.....	(124)
(一) 齿轮弦齿厚的计算	(124)
(二) 齿厚的测量	(128)
(三) 量柱距 M 值的测量	(130)
(四) 齿厚测量方法的不确定度	(133)
二、齿轮公法线的测量.....	(135)
(一) 公法线长度的计算	(135)
(二) 公法线平均长度偏差及公法线长度变动量	(139)
(三) 公法线长度的测量	(140)
(四) 公法线测量方法的不确定度 U_{F_W}	(141)
第七章 齿轮的综合测量	(144)
一、双面啮合综合检查.....	(144)
(一) 双啮综合检查的特点与双啮仪	(144)
(二) 双啮综合检查中的几个问题	(145)
(三) 双啮检查误差图形的分析处理	(146)
二、圆锥齿轮滚动检查.....	(147)
(一) 滚动检查机及其调整	(147)
(二) 滚动检验	(149)
三、单面啮合综合检查.....	(151)
(一) 单啮仪	(151)
(二) 单面啮合检查结果的评定与误差分析	(152)
四、齿轮整体误差测量.....	(152)
(一) 齿轮整体误差测量方法和仪器	(152)
(二) 齿轮整体误差曲线的处理	(154)
第八章 圆柱齿轮测绘	(157)
一、直齿圆柱齿轮的测绘.....	(157)
(一) 齿顶圆直径 d_a 及齿根圆直径 d_f 的测量	(157)
(二) 基节 P_b 的测量	(157)
(三) 确定模数 m 和压力角 α	(161)
(四) 计算分度圆直径 d 和基圆直径 d_b	(168)
(五) 测定分度圆齿厚 S	(168)
(六) 啮合中心距 a' 的测量和变位型式的判别	(169)
(七) 分度圆理论齿厚 $S_{\text{理}}$ 与径向变位系数 x	(169)
(八) 直齿圆柱齿轮的测绘实例	(169)
(九) 直齿圆柱齿轮的几何计算	(172)
二、斜齿圆柱齿轮的测绘.....	(176)
(一) 基节的测量	(176)
(二) 确定模数和压力角	(177)

(三) 导程 P_z 的测量	(177)
(四) 测定基圆螺旋角 β_b	(178)
(五) 测定分度圆螺旋角 β	(179)
(六) 计算分度圆直径 d 和基圆直径 d_b	(179)
(七) 测定分度圆法向齿厚 S_n	(179)
(八) 变位型式的判别	(180)
(九) 分度圆法向理论齿厚 $S_{n理}$ 与径向变位系数 x_n	(180)
(十) 斜齿圆柱齿轮的测绘实例	(180)
(十一) 斜齿圆柱齿轮的几何计算	(182)
附 录	(185)

第一章 齿轮测量的基础知识

一、齿 轮

齿轮是有齿的轮子。齿轮传动的重要性，从它的历史发展已经得到证明。而精密齿轮传动则是随着现代科学技术的兴起而发展起来的，它的应用就显得更为重要。

(一) 渐开线形成原理

渐开线圆柱齿轮具有许多优点，所以在齿轮传动中应用得最为广泛。摆线圆柱齿轮在某些减速机构或钟表中得到应用。在一些重载机构中还使用圆弧圆柱齿轮传动。本书着重介绍渐开线圆柱齿轮。对圆锥齿轮和蜗轮蜗杆只作一般介绍。

1. 渐开线的形成

渐开线是平面上一条动直线（发生线）沿着一固定的圆（基圆）作无滑动的纯滚动时，动直线上一点形成的轨迹。或者说，以一线绳绕在基圆上，在绳的一端拴上一支铅笔，将绳拉紧并逐渐展开，则铅笔在纸上画出的曲线就是渐开线（图 1—1）。基圆半径为 r_b ， $\overline{kn}$ 为渐开线在 k 点的曲率半径 ρ_k ，对应的作用角（展开角）为 φ_k 。这就是渐开线范成原理。

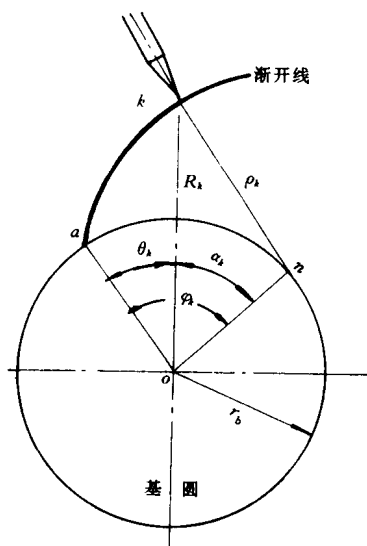


图 1—1 渐开线形成

从渐开线的形成可知渐开线的一个重要特点：即渐开线上任一点 k 的法线（发生线）必与基圆相切，切点 n 就是发生线的瞬时中心。 $\overline{kn}$ 的长度等于作用角 φ_k 在基圆上对应的弧长 $\widehat{an}$ ，即

$$\overline{kn} = \widehat{an} = \rho_k = r_b \varphi_k \quad (1-1)$$

图 1—1 中向径 $\overline{ok}$ 与 $\overline{on}$ 的夹角 α_k 称为渐开线上 k 点的压力角，即

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \frac{\overline{kn}}{\overline{on}} = \frac{\rho_k}{r_b} \quad (1-2)$$

压力角 α_k 的物理意义是当齿廓在 k 点与另一齿轮齿廓啮合时，另一齿廓上的力 P 以正压力在该点作用于齿廓，并同时发生运动，该点运动方向与压力方向之间的夹角

即为压力角 α_k （参看图 1—4）。

$$\cos \alpha_k = \frac{\overline{on}}{\overline{ok}} = \frac{r_b}{R_k} \quad (1-3)$$

上式说明压力角 α_k 随向径 R_k 的增大而增大，在基圆上压力角等于零，从基圆起往外逐渐

增大。压力角 α_k 不可能大于 90° ，因为那样 R_k 将为无穷大，一般渐开线齿轮最大的压力角在齿顶。

渐开线曲率的大小完全取决于基圆半径 r_b 的大小。当基圆半径很小时，渐开线弯曲很厉害，反之基圆半径很大时，渐开线弯曲较平滑，而当基圆半径 r_b 无穷大时，渐开线将变成一条直线，成为齿条的齿廓。同一渐开线的不同部位可以作为大小齿轮牙齿的齿形。

2. 渐开线函数

对应于渐开线起点 a 至任一点 k 的圆心角 θ_k (图 1—1) 称为渐开线角，用压力角 α_k 来表示 θ_k 的函数，称为渐开线函数，记为 $\text{inv}\alpha_k$ ，

$$\text{即} \quad \text{inv}\alpha_k = \theta_k = \varphi_k - \alpha_k$$

$$\text{因为} \quad \varphi_k = \frac{\widehat{an}}{r_b} = \frac{\rho_k}{r_k} = \text{tg}\alpha_k$$

$$\text{所以} \quad \text{inv}\alpha_k = \text{tg}\alpha_k - \alpha_k \quad (1-4)$$

为了简化计算， α_k 与 $\text{inv}\alpha_k$ 的对应数值关系，可查渐开线函数表(限于篇幅，本书未列出)。

3. 渐开线直角坐标

为便于坐标仪器测量齿形或绘制精密齿形放大图，常常要用到直角坐标方程式，下面介绍圆柱直齿轮和斜齿轮的方程式。

(1) 直齿轮渐开线直角坐标

设坐标原点 O 为齿轮基圆圆心，则任一点 k 的坐标 x 、 y (图 1—2) 分别为：

$$\left. \begin{aligned} x &= r_b(\cos\varphi_k + \varphi_k \sin\varphi_k) \\ y &= r_b(\sin\varphi_k - \varphi_k \cos\varphi_k) \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

对精度要求不高时，为计算简便，将式中函数取近似值进行计算，即

$$\sin\varphi_k \doteq \varphi_k - \frac{\varphi_k^3}{3!}$$

$$\cos\varphi_k \doteq 1 - \frac{\varphi_k^2}{2!}$$

将上式代入式 (1—5)

$$\left. \begin{aligned} x &\doteq r_b + \frac{1}{2}r_b\varphi_k^2\left(1 - \frac{\varphi_k^2}{3}\right) \\ y &\doteq \frac{1}{3}r_b\varphi_k^3 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

图 1—2 直齿轮直角坐标

若将渐开线拉成直线，其长度为：

$$S = \frac{1}{2}r_b\varphi^2 \quad (1-7)$$

(2) 斜齿轮渐开线直角坐标

如图 1—3 所给的坐标系，螺旋曲面的方程为：

$$\left\{ \begin{aligned} x &= r_b \cos(\varphi_k + \lambda_k) + r_b \theta_k \sin(\varphi_k + \lambda_k) \\ y &= r_b \sin(\varphi_k + \lambda_k) + r_b \theta_k \cos(\varphi_k + \lambda_k) \\ Z &= \frac{P_z}{2\pi} \lambda_k \end{aligned} \right. \quad (1-8)$$

式中: λ_k ——螺旋升角;

P_z ——导程;

r_b ——基圆半径。

(二) 齿轮的三个基本参数

齿轮的要素很多, 其中齿数、模数、压力角三个要素称作基本参数。其它的许多要素如基节、齿距、公法线等等都是由三个基本的参数导出来的。

1. 齿数

齿轮的齿数 Z 是齿轮传动的基本要素之一。也是设计、制造、传动和测量计算的主要依据之一。齿轮副中两齿轮齿数的比值称齿数比。在传动中主动轮与从动轮的角速度 ω 比值称传动比, 用 i 表示: 即

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (1-9)$$

从宏观看传动比是不会有误差的, 但从微观去研究, 齿轮副的传动比并不是常数, 因为瞬时传动比是变化的, 也就是说互相啮合的两个齿轮的角速度每时每刻都在变化, 这种变化与齿轮的加工精度有关。

2. 模数

为了确定齿轮的齿数和模数, 在齿轮上规定了一个叫分度圆的圆, 分度圆齿距 P 除以圆周率 π 所得的商叫模数 m , 用毫米表示。即

$$\frac{P}{\pi} = m \quad \text{或} \quad \frac{d}{Z} = m \quad (1-10)$$

故模数还可理解为齿轮的一个齿在分度圆直径 d 上占有的长度。模数是表示轮齿大小的一个参数, 模数大轮齿的尺寸就大, 因此有大模数和小模数齿轮的称谓。一般将 $m < 1$ 的齿轮叫小模数齿轮, $m > 10$ 的齿轮称大模数齿轮。

模数是一种制度, 是标准化了的数列。不同国家有不同的制度, 公制国家采用模数制, 英制国家多采用径节制, 但也有用模数制的。格里森公司采用节距制, 是一种用英寸表示的齿距制。

汽车和拖拉机制造工业或其他工业中, 为了获得短齿齿轮, 除采用较小的齿顶高系数外, 常采用两个大小不等的模数来设计齿轮, 即用较大的模数来计算分度圆直径, 用较小的模数计算齿顶高。轮齿高仍采用正常的齿高系数, 这就是所谓的双模数制。

直齿圆锥齿轮标准模数是指中点模数, 斜齿圆锥齿轮是指中点法面模数。

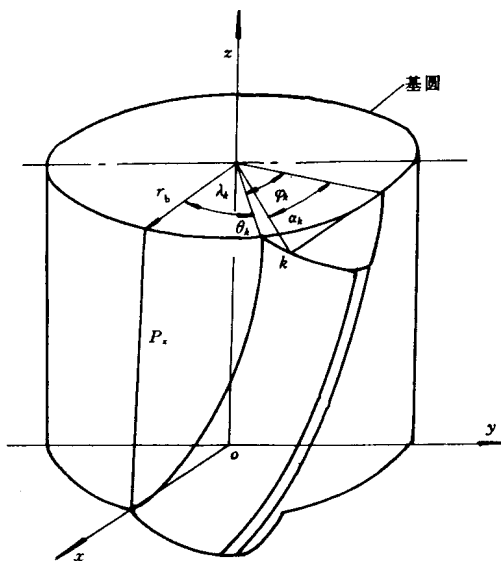


图 1-3 斜齿轮直角坐标

径节 DP 为模数的倒数, 可理解为每一英时分度圆直径长度上所包含的齿数。
 节距 CP 是由径节导出, 为一个齿在分度圆周上所占有的长度, 用吋表示。
 模数与径节和节距之间的换算关系如下:

$$m = \frac{1}{DP} 25.4 \text{ (毫米)} \quad (1-11)$$

$$DP = \frac{\pi}{CP} \text{ (吋)} \quad (1-12)$$

$$CP = \frac{m}{8.09} \text{ (吋)} \quad (1-13)$$

由此可以看出径节愈小则模数愈大。

3. 压力角

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的切线所夹的锐角就是该点的压力角 α 。公制国家分度圆上的压力角 $\alpha = 20^\circ$; 英制国家分度圆压力角 $\alpha = 14 \frac{1}{2}^\circ$ 或 15° , 但也有用 20° 的。

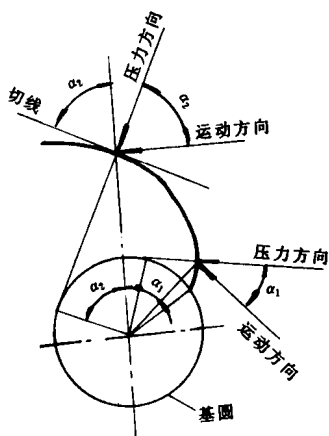


图 1-4 压力角

齿轮的传动是由于主动轮的齿面对从动轮的齿面施加压力, 这个压力是沿着啮合线的方向即与基圆相切的切线方向传递的, 故压力方向与齿轮旋转方向的夹角为压力角 α (图 1-4)。

对于圆柱斜齿轮是法向截面内分度圆压力角为 20° 。

对于圆锥直齿轮是背锥曲面展开后当量平面齿轮分度圆压力角为 20° 。

对于蜗杆蜗轮传动则根据基本蜗杆齿廓所在的截面来决定压力角 20° 。

4. 渐开线圆柱齿轮基本齿廓

国家标准 GB 1356—88《渐开线圆柱齿轮基本齿廓》规定以基本齿条的法向齿形为基本齿廓。该标准等效采用国际标准 ISO 53—1974。基本齿廓及有关尺寸 (如图 1-5 所示)。规定如下:

- (1) 齿形角 $\alpha = 20^\circ$;
- (2) 齿距 $P_t = \pi m$;
- (3) 齿顶高 $h_a = m$;
- (4) 工作高度 $h' = 2m$;
- (5) 顶隙 $c = 0.25m$;
- (6) 全齿高 $h = 2.25m$;
- (7) 圆角半径 $\rho_f \cong 0.38m$ 。

本标准适用于模数 $m \geq 1$ 毫米的渐开线圆柱齿轮, 标准还规定:

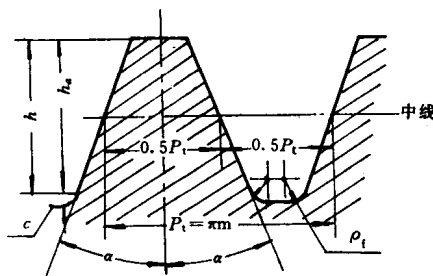


图 1-5 基本齿廓

(1) 采用短齿时, 推荐 $h_a = 0.8m$ 、 $h' = 1.6m$ 、 $c = 0.3m$ 、 $h = 1.9m$ 、 $\rho_f = 0.46m$;

(2) 为提高强度需增大齿形角时推荐 $\alpha = 25^\circ$ 、 $c = 0.2m$ 、 $\rho_f \cong 0.35m$, 齿根圆弧为单圆弧;

(3) 为改善传动质量允许齿顶修缘。

实际上齿轮的基本齿廓就是轮齿的尺寸标准, 给齿轮轮齿的各部分尺寸作出规定, 是基本要素的体现, 是设计、制造和测量齿轮的依据。

对于不同的齿轮啮合, 基本齿廓有不同的标准, 例如蜗轮蜗杆啮合请参阅 GB 10087—88《圆柱蜗杆基本齿廓》标准。其它啮合就不再列举。

(三) 斜齿轮的基本要素

圆柱斜齿轮可以看成是许多薄片直齿轮叠在一起, 每一片错开一微小角度而形成, 这时齿廓表面为渐开螺旋面。按定义: 平面 B 沿着一个固定的圆柱面 (基圆柱面) 作纯滚动时, 此平面上的一条斜线 (不平行于齿轮轴线) 在空间划出的曲面, 即为螺旋渐开面 (图 1—6)。

斜齿轮的几何参数分为法面与端面两种, 通常设计计算是在法向截面内进行的。而测量多在端截面内进行 (如渐开线测量), 故斜齿轮的基本参数是以法向为标准。因此, 测量计算时要注意区别。

1. 螺旋线、螺旋角及导程

螺旋线、螺旋角 β 和导程 P_z 是齿轮齿向问题的三个方面。

(1) 螺旋线

分度圆螺旋线是分圆柱面与齿面 (螺旋渐开面) 的交线 (图 1—9)。基圆螺旋线是基圆柱与齿面的交线。

(2) 螺旋角

图 1—7 所示为圆柱斜齿轮螺旋线、螺旋角与导程的关系。任意圆柱面上的螺旋线展开就

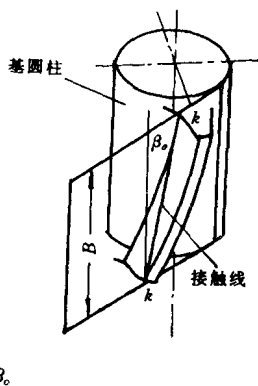


图 1—6 螺旋渐开面

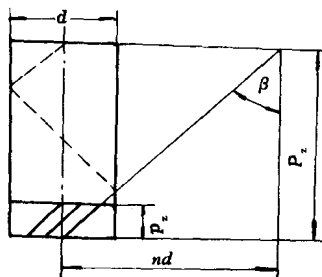


图 1—7 螺旋线、螺旋角与导程

是一条与齿轮轴线成 β 角的斜线, 所夹的角度称为螺旋角。在分圆柱面上就是分圆螺旋角 β , 在基圆柱面上就是基圆螺旋角 β_b 。在同一斜齿轮中, 直径大小位置不同, 其螺旋角不相同, 直径大螺旋角亦大, 反之亦然。但它们的导程 P_z 却是相同的。

分圆螺旋角 β 与基圆螺旋角 β_b 的关系为:

$$\operatorname{tg} \beta_b = \operatorname{tg} \beta \cos \alpha_t \quad (1-14)$$

或

$$\sin \beta = \frac{\sin \beta_b}{\cos \alpha_n}$$

式中: α_t 和 α_n ——端面与法向的压力角。

对于圆锥齿轮是指分度圆锥螺旋线中点的螺旋角 β_m 。

$$\beta_m = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \frac{R_m + r_d^2 - oo_d}{2R_m - r_d} \quad (1-15)$$

式中参数如图 1—8 所示。

(3) 导程

圆柱面上的一条螺旋线与该圆柱面的一条直母线的两个相邻交点之间的距离叫导程 P_z 。圆柱螺旋线的切线与端面之间所夹的锐角 α 叫导程角或螺旋升角。如图 1—9 所示。

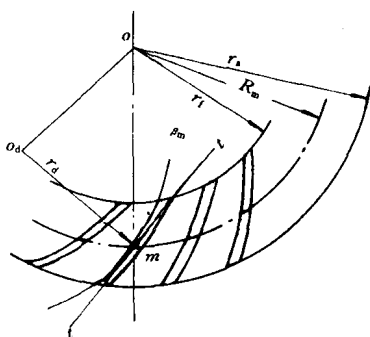


图 1—8 锥齿轮螺旋角

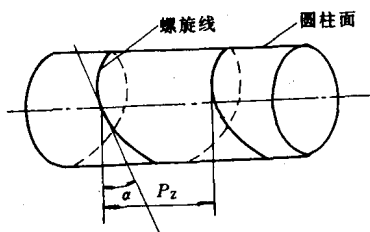


图 1—9 螺旋线导程与导程角

导程的大小与齿轮的直径无关,同一齿轮任意直径上的导程 P_z 是相同的。许多测量仪器或测量方法就是利用这个特点设计的,故叫导程检查仪。

将分圆柱和基圆柱上的螺旋线展开而成的直角三角形,可获得导程的计算方程式:

$$P_z = \frac{\pi d}{\tan \beta} = \frac{\pi d_b}{\tan \beta_b} = \frac{\pi d_x}{\tan \beta_x} \quad (1-16)$$

(4) 轴向齿距

如果将螺旋线导程 P_z 除以齿轮的齿数 Z 可获得轴向齿距 P_x , 即

$$P_x = \frac{P_z}{Z} = \frac{\pi d}{Z \tan \beta} = \frac{\pi m'_1 Z}{Z \tan \beta} = \frac{\pi m_1}{\tan \beta} \quad (1-17)$$

式 (1—16) 和 (1—17) 中:

d 、 d_b 、 d_x ——分别为分圆、基圆和任意圆的直径;

β 、 β_b 、 β_x ——分别为分圆、基圆和任意圆的螺旋角。

轴向齿距极限偏差 $\pm F_{P_x}$ 可用于控制齿向误差,其实是导程测量的另一种形式。

2. 接触线

互相啮合的两齿轮齿面接触时,直齿轮的接触线是平行于齿轮中心线的直线其长度不变。斜齿轮的接触线是斜线,其长度在齿面上是变化的,进入啮合和离开啮合是沿着齿面的工作宽度由小到大,然后由大到小,彼此互相平行,且与齿轮的轴形成一基圆螺旋角 β_b (图 3—15)。

斜齿轮的接触线总长度除与重合度 ϵ 及齿宽 B 有关外,还与螺旋角 β 大小及基节 P_b 等有关。接触线误差 ΔF_b 可反映齿向误差,标准列入第 III 公差检验组。

3. 当量齿数

斜齿轮的设计是在法向截面内进行, 此截面对于斜齿轮, 其齿线上某一点处的法平面与分度圆柱面的交线是一个椭圆; 以此椭圆的最大曲率半径作为某一个假想直齿轮的分度圆半径, 并以此斜齿轮的法向模数和法向压力角作为上述的假想直齿轮的端面模数和端面压力角; 于是, 此假想直齿轮就称为斜齿轮的当量齿轮。在当量齿轮分度圆上分布的轮齿数就叫当量齿数。通过公式可将真实端面齿轮分度圆上的齿数 Z 换算成当量齿数, 计算公式为:

$$Z_v = \frac{Z}{\cos^3 \beta} \quad (1-18)$$

因为斜齿轮螺旋角 β 值总是在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 的范围内, 所以总是 $Z_v > Z$ 。

4. 模数

斜齿轮的模数有法向和端面之分, 法向模数 m_n 是法向齿距 P_n 与圆周率 π 之比值。法向模数为设计斜齿轮用的标准模数, 端面模数则是为加工和测量所用。法向模数 m_n 与端面模数 m_t 的关系如下:

$$m_n = \frac{P_n}{\pi}, \quad m_t = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (1-19)$$

5. 压力角

斜齿轮的法向压力角 α_n 是法向齿廓在分度圆上的压力角; 端面压力角是端面齿廓在分度圆上的压力角。它们的几何关系如图 1-10 所示, 从直角三角形 $\triangle ABC$ 中可知:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{BC}{AB}$$

在直角三角形 $\triangle ABD$ 中有

$$\operatorname{tg} \alpha_t = \frac{BD}{AB}$$

在直角三角形 $\triangle BDC$ 中

$$\cos \beta = \frac{BC}{BD}$$

所以

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_t \cos \beta \quad (1-20)$$

斜齿轮法向压力角为 20° , 在法向截面内的各参数为标准值。但斜齿轮的端面齿廓为标准渐开线, 故测量渐开线应在端截面内进行。

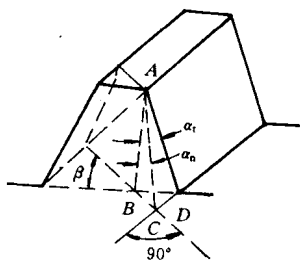


图 1-10 法向压力角

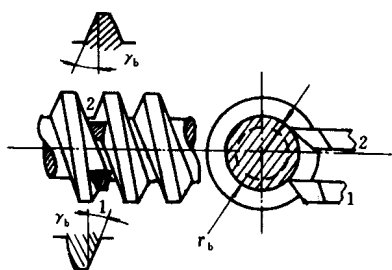


图 1-11 渐开线蜗杆车削

再值得一提的是互相啮合的两个斜齿轮的螺旋方向相反: 一为左螺旋, 另一为右螺旋, 其螺旋方向判断可用左、右手定则。当面对齿轮时伸直的大拇指指向为轴线方向, 屈握的四指

指向为螺旋线方向。其它齿轮、蜗杆等均可按此方法判定左右螺旋旋向。

6. 蜗杆的基本齿形

圆柱蜗杆的齿廓是由一直线绕蜗杆轴线作螺旋运动而形成的螺旋面，由于形成螺旋面的方式方法不同，螺旋面的形状而不同。故圆柱蜗杆可分为：渐开线蜗杆、法向直线蜗杆、阿基米德蜗杆等。下面分别介绍上述蜗杆的基本齿形。

(1) 渐开线蜗杆

由渐开螺旋面构成的蜗杆的齿廓，其端截面上的齿形是渐开线，简称 ZI 蜗杆，其齿形称 I 齿形蜗杆。

渐开线蜗杆可用车刀或砂轮来加工。车削时刀刃的位置应放在基圆柱的切平面上，如图 1—11 所示。左刀刃 1 切削蜗杆的右侧螺旋面，右刀刃 2 切削蜗杆的左侧螺旋面。由图可知切削蜗杆时，车刀刃高出或低于蜗杆的中心线，造成不利的切削条件，这就是渐开线蜗杆的加工难点。

因车刀切削刃为直线且与蜗杆齿形成 r_b 角，故仅在此截面内有直线齿形，在万工显上测量时，也应在此截面内进行。

(2) 法向直线蜗杆

法向截面内齿廓为直线的蜗杆叫法向直廓蜗杆，其端截面齿廓呈凸形，而轴向截面齿廓呈微凹形。法向直廓蜗杆简称 ZN 蜗杆，其齿形称为 N 齿形。

ZN 蜗杆可分为：齿槽法向直线蜗杆，称为 N_1 齿形蜗杆；轮齿法向直廓蜗杆，称为 N_2 齿形蜗杆。

法向直廓蜗杆也可用车削方法形成（图 1—12），车刀的切削刃应处于相应蜗杆的法向平面内，并与蜗杆轴线的垂直线成法向压力角 α_n 。

根据加工方法的不同， N_1 齿形蜗杆齿槽的两侧为直线齿形； N_2 齿形蜗杆牙齿两侧为直线齿形，测量时应注意此一差别。

(3) 阿基米德蜗杆

由阿基米德螺旋面构成的蜗杆叫阿基米德蜗杆，其轴向截面内的齿廓为直线。阿基米德蜗杆简称 ZA 蜗杆，其齿形称为 A 齿形蜗杆。

阿基米德蜗杆主要用车削方法加工（图 1—13），车削时，车刀的直线刀刃应安装在蜗杆中心线的轴向截面内，并与端平面成端面压力角 α_t 。

当蜗杆的导程角 γ 较大时，蜗杆的左右侧齿廓可分别加工形成。故阿基米德蜗杆轴向截面内为直线齿形，这给加工和测量都带来极大的方便。这也是阿基米德蜗杆广泛地得到应用的主要原因。

(4) 蜗杆特性系数

蜗杆设计采用法向模数，由于不同的蜗轮要用不同的滚刀来加工，为了减少蜗轮滚刀的数目，不但要规定模数标准，同时还必须规定与模数对应的分度圆直径 d_1 ，因此而有蜗杆的特性系数 q ，即

$$q = \frac{d_1}{m} = \frac{z_1}{\operatorname{tg} \gamma}$$

式中： z_1 ——蜗杆头数；

γ ——蜗杆导程角（或升角） γ （度）。