



齿轮滚刀

设计与使用

河北人民出版社

内 容 提 要

本书较深入地阐述了普通齿轮滚刀、剃前齿轮滚刀、蜗轮滚刀和圆弧齿轮滚刀的工作原理及设计计算；给出了滚刀造形误差近似计算公式及其与滚刀基本参数的关系；分析了提高制齿效率、制齿精度和使用寿命的新结构齿轮滚刀的结构特点、设计计算和适用范围；介绍了滚刀的安装调整、刃磨使用和常见问题的解决方法。可供从事齿轮刀具设计、制造和使用的工人、技术人员参考。

齿 轮 滚 刀

设计与使用

王世良 魏炳枢 刘洪毅 编著

河北人民出版社出版（石家庄市北马路45号）

河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 10.25印张 209,000字 印数：1—4,400 1984年6月第1版
1984年6月第1次印刷 统一书号：15086·169 定价：1.60元

前 言

齿轮是各种机械产品中应用最为广泛的传动零件。齿轮加工又是机械制造的重要组成部分。随着工业的发展, 齿轮用量的增加, 质量要求的提高, 一些新的制齿方法, 如少无切削加工, 高效率、高精度和特种制齿工艺不断出现。但是, 就整个制齿工艺来看, 目前仍然以传统的铣、刨、滚、插、剃、磨等工艺为主。其中又以滚切法加工齿轮、蜗轮应用最广。它不仅生产率和加工精度高, 而且机床调整、刀具制造比较容易, 技术也易于掌握。

近年来, 滚齿技术的发展表明, 在机床、刀具和切削规范等诸切削因素中, 刀具的影响更为突出, 起着一定的先导作用。如硬质合金滚刀, 把切削速度提高到 300 米/分; 钴基高速钢的使用及表面涂渗和强化处理技术的成功, 大大地改善了滚刀的切削性能; 新结构错齿滚刀、加长滚刀、多头滚刀、非磨齿滚刀等的发展, 进一步提高了制齿效率和刀具寿命。而提高滚刀的设计制造质量、改善滚刀的刃磨和使用方法, 则是提高制齿质量和效率的基础。

本书从一般机械厂制齿实际需要出发, 以应用为主, 除介绍滚刀的基本工作原理和设计计算外, 重点分析了各种新结构滚刀的工作原理、结构特点、设计方法和使用范围。结合

一般工厂的实际，对滚刀的刃磨和使用方法进行了较为详细的叙述。同时，对滚刀设计、使用中常用公式和一般资料中推荐的数据，作了实际测算校验，对其中不妥之处，作了修改，给出了经使用证明可行的公式和数据。文中一般公式均为直接引用，免去了推导过程。

为节省篇幅，对使用不够普遍和用量较小的制齿刀具，本书未予编入，可参阅有关书刊。

由于水平所限，欠妥之处难免，请指正。

作者

一九八三年四月一日

目 录

第一章 滚齿工作原理	(1)
第一节 渐开线齿形	(1)
一、渐开线的形成	(1)
二、渐开线的性质	(2)
三、渐开线方程	(3)
四、渐开线齿轮的啮合特点	(5)
第二节 渐开线齿轮的基本参数及尺寸计算	(12)
一、直齿圆柱齿轮	(12)
二、斜齿圆柱齿轮	(20)
三、蜗轮蜗杆	(24)
第三节 滚齿原理	(27)
一、滚切法的基本概念	(27)
二、齿廓的形成	(32)
三、滚齿原理分析	(33)
四、齿轮齿条啮合	(35)
五、螺旋齿轮啮合	(41)
第四节 滚齿加工	(55)
一、直齿轮加工	(56)
二、斜齿轮加工	(58)
三、蜗轮加工	(62)

四、变位齿轮加工	(66)
第二章 渐开线齿轮滚刀设计原理	(75)
第一节 基本蜗杆	(75)
一、滚刀设计的基本要求	(75)
二、基本蜗杆	(77)
第二节 滚刀的造形	(89)
一、滚刀的前面	(89)
二、滚刀的铲齿	(94)
三、滚刀的侧铲面	(101)
第三节 滚刀的造形误差	(112)
一、“公共齿条”的齿形方程	(113)
二、造形误差方程	(114)
三、造形误差的近似计算	(116)
四、阿基米德滚刀基本蜗杆造形误差	(117)
第三章 齿轮滚刀的设计	(125)
第一节 齿轮滚刀的分类	(125)
第二节 普通齿轮滚刀的设计	(127)
一、结构参数的选择	(127)
二、齿形	(137)
三、设计步骤及计算举例	(141)
第三节 剃前齿轮滚刀的设计	(157)
一、剃齿余量	(157)
二、齿形计算	(159)
三、结构设计与计算	(169)
四、计算举例	(170)

第四节 蜗轮滚刀的设计	(176)
一、概述.....	(176)
二、设计计算.....	(182)
三、主要技术条件.....	(191)
第五节 圆弧齿轮滚刀的设计	(199)
一、啮合原理.....	(199)
二、啮合传动的三种基本形式.....	(202)
三、滚齿过程.....	(203)
四、单圆弧齿轮滚刀的法向齿形设计.....	(205)
五、双圆弧齿轮滚刀的法向齿形设计.....	(208)
六、滚刀的结构设计.....	(213)
七、滚刀的精度.....	(213)
第六节 滚刀材料的选择	(216)
一、材料的基本性能.....	(216)
二、材料的分类及选择.....	(217)
第四章 新结构齿轮滚刀	(221)
第一节 提高滚齿效率滚刀	(221)
一、滚齿效率分析.....	(221)
二、多头滚刀.....	(234)
三、正前角滚刀.....	(238)
四、反螺旋槽滚刀.....	(238)
五、小压力角滚刀.....	(239)
六、曲线齿顶滚刀.....	(243)
七、锥度滚刀.....	(244)
八、不等齿高一不等齿厚滚刀.....	(245)
九、分段组合齿轮滚刀.....	(248)
十、轮切式滚刀.....	(249)

十一、阶梯式小锥度轮切式滚刀.....	(251)
第二节 提高滚齿精度滚刀	(257)
一、滚齿精度分析.....	(257)
二、大直径滚刀.....	(258)
三、剃滚刀.....	(259)
第三节 提高使用寿命滚刀.....	(260)
一、滚刀寿命分析.....	(260)
二、尖齿滚刀.....	(261)
三、加长滚刀.....	(263)
四、不磨齿滚刀.....	(263)
第四节 硬质合金滚刀	(264)
一、整体硬质合金滚刀.....	(264)
二、镶齿硬质合金滚刀.....	(265)
三、不重磨式硬质合金滚刀.....	(265)
四、硬质合金滚刀的前角与后角.....	(267)
第五章 滚刀的使用和刃磨.....	(269)
第一节 滚刀的使用	(269)
一、滚刀的选择.....	(269)
二、滚刀的调整.....	(271)
三、滚刀的合理使用.....	(280)
四、滚刀使用中的常见问题.....	(289)
第二节 滚刀的刃磨	(299)
一、滚刀的耐用度.....	(299)
二、滚刀刃磨机床与刃磨.....	(299)
三、滚刀刃磨后的检验.....	(313)

第一章 滚齿工作原理

第一节 渐开线齿形

一、渐开线的形成

在一圆盘的圆周上绕一根无弹性的丝线，线头上拴一支铅笔，拉紧线头逐渐展开，铅笔尖所画出的曲线 M_0K 就叫做渐开线，见图 1-1a)。或者，用一根直线 AB 沿半径为 r_0 的定圆作无滑动的纯滚动，此直线上任意一点 K 的轨迹

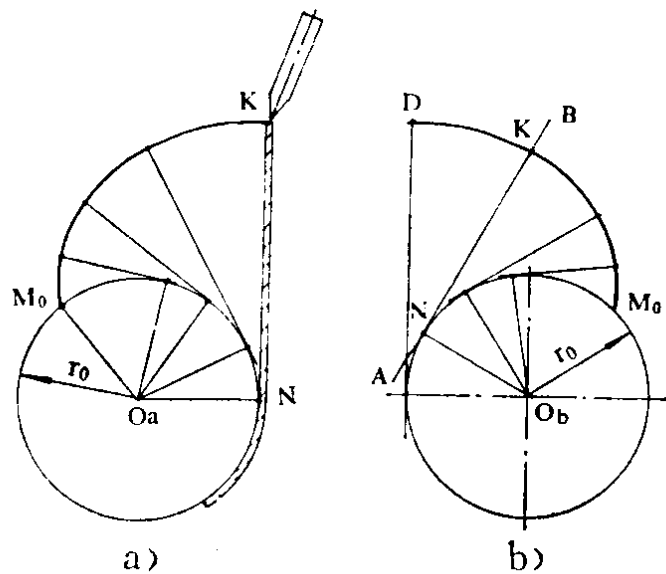


图 1-1 渐开线的形成图

M_0KD ，也是该圆的渐开线，见图 1-1b)。

渐开线齿轮的齿形，就是这条渐开线的一段。

如图 1-1 所示，圆盘 O_a 或定圆 O_b ，叫做渐开线的基圆，其半径用 r_0 表示；丝线 NK 或直线 AB 叫做渐开线的发生线。

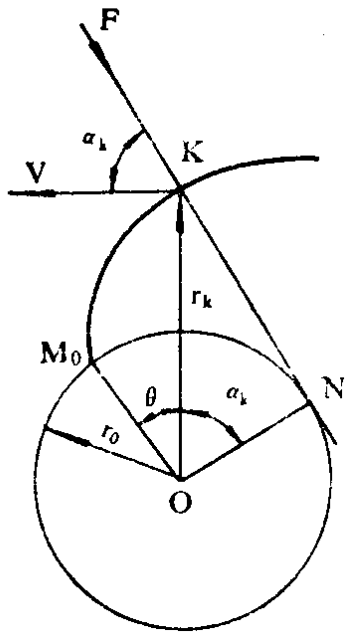


图 1-2 渐开线齿形的压力角

如图 1-2 所示，渐开线上任意一点 K 的受力方向线(即压力线 F) 和速度方向线(V)之间的夹角 α_k ，叫做 K 点的压力角。

在不考虑摩擦力的情况下，受力方向线应与曲线垂直。对于渐开线，受力方向线就是基圆的切线，也是渐开线的法线。速度方向线就是运动方向线，应与相应点的半径 r_k 垂直，则 $\angle KON = \alpha_k$ 。

二、渐开线的性质

从渐开线形成的过程可知，渐开线应具有以下性质。

发生线在基圆上作纯滚动，滚过的线段长 $\overline{NK}$ 等于基圆上被滚过的弧长 $\widehat{NM_0}$ ，即 $\overline{NK} = \widehat{NM_0}$ 。

发生线 $\overline{NK}$ 是基圆的切线，也是渐开线的法线。换句话说，渐开线上任一点 K 的法线必切于基圆，该点的曲率半径等于 $\overline{NK}$ 。由此可知，渐开线上各点的曲率半径是变化的， K 点离基圆越远，其曲率半径就越大，即曲线越趋于平直。

其一为渐开线上任意一点 K 与基圆圆心 O 的连线（即向径 $\overline{OK}$ ）的长度 r_k ；

其二为向径 $\overline{OK}$ 与渐开线始点向径 $\overline{OM_0}$ 的夹角 θ 。

$$\text{在 } \triangle KON \text{ 中, } \frac{r_0}{r_k} = \cos \alpha_k \quad \text{故 } r_k = \frac{r_0}{\cos \alpha_k}$$

$$\text{在扇形 } M_0ON \text{ 中, } \theta = \angle M_0ON - \angle KON = \angle M_0ON - \alpha_k$$

$$\text{因为 } \angle M_0ON = \frac{\widehat{M_0N}}{r_0} \quad \text{而 } \widehat{M_0N} = \widehat{KN}$$

$$\text{所以 } \angle M_0ON = \frac{\widehat{M_0N}}{r_0} = \frac{\widehat{KN}}{r_0} = \operatorname{tg} \alpha_k$$

$$\text{则得 } \theta = \operatorname{tg} \alpha_k - \alpha_k \quad (1-1)$$

式中, α_k 和 θ 都用弧度表示。

由于 θ 角的大小是由 α_k 角决定的, 所以可把 θ 角看成是 α_k 角的函数, 用 $\operatorname{inv} \alpha_k$ 表示, 即有:

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

这样就得到渐开线方程:

$$\left. \begin{aligned} r_k &= \frac{r_0}{\cos \alpha_k} \\ \theta &= \operatorname{inv} \alpha_k = \operatorname{tg} \alpha_k - \alpha_k \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

由式 1-2 可得出如下结论:

当 $r_k = r_0$ 时, $\alpha_k = 0$, 即基圆上压力角等于零。

由于 r_0 是固定值, K 点位置不同, 其对应的渐开线上各点的压力角也不相等, 靠近齿顶的压力角较大, 靠近齿根的压力角较小。

渐开线上任意一点的向量半径与该点压力角余弦的乘

积，总是等于基圆半径，即：

$$r_{k1} \cos \alpha_{k1} = r_{k2} \cos \alpha_{k2} = \dots\dots\dots = r_0$$

四、渐开线齿轮的啮合特点

(一) 渐开线齿轮传动比恒定

渐开线齿轮传动要保证平稳的啮合，就要求瞬时速比不变。图 1-5 所示为一对齿轮的啮合。

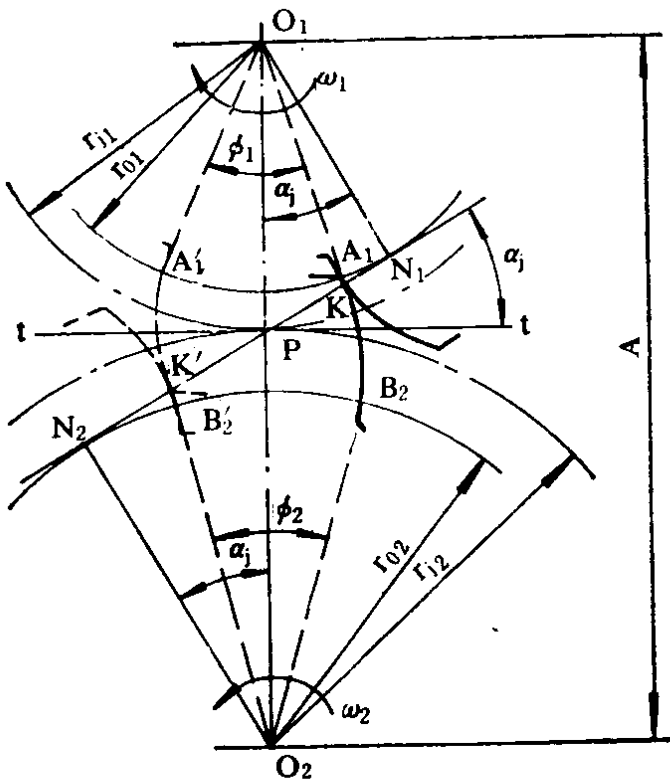


图 1-5 两齿轮的啮合

在图 1-5 中，作二基圆的内公切线 $\overline{N_1N_2}$ ，与连心线 O_1O_2 交于一点 P 。假定两轮齿在 K 点接触，过该点做两齿廓的公法线，按渐开线性质可知，此公法线必然与两基圆相切，即与 $\overline{N_1N_2}$ 重合。因此，渐开线齿廓的接触点始终是沿

着两基圆的内公切线 $\overline{N_1N_2}$ 移动。所以, $\overline{N_1N_2}$ 线就是接触点的轨迹, 叫作啮合线。它与连心线 O_1O_2 的交点 P 叫作节点。切于节点 P 的圆, 称为节圆。过节点 P 所作两节圆的外公切线 $t-t$ 与啮合线 $\overline{N_1N_2}$ 的夹角, 叫做啮合角。从图中可以看出, 啮合角的大小就等于节圆压力角 α_j 。根据渐开线性质, 弧长 $\widehat{A_1A'_1} = \widehat{B_2B'_2} = \widehat{KK'}$, 而 $\widehat{A_1A'_1} = r_{01}\phi_1 = r_{01}\omega_1\Delta t$, $\widehat{B_2B'_2} = r_{02}\phi_2 = r_{02}\omega_2\Delta t$, $\cos \alpha_j = \frac{r_{01}}{r_{j1}} = \frac{r_{02}}{r_{j2}}$, 则得:

$$\begin{aligned} r_{01}\omega_1 &= r_{02}\omega_2 \\ i &= \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{02}}{r_{01}} = \frac{r_{j2}}{r_{j1}} \end{aligned} \quad (1-3)$$

所以

$$\begin{aligned} \omega_1 r_{j1} &= \omega_2 r_{j2} \\ V_1 &= V_2 \end{aligned}$$

上式表明, 两齿轮在节圆上作纯滚动而无滑动。因之两齿轮的周节一定相等, 即 $t_{j1} = t_{j2}$ 。而 $t_{j1} = \frac{2\pi r_{j1}}{Z_1}$, $t_{j2} = \frac{2\pi r_{j2}}{Z_2}$,

则公式 1—3 又可写成:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{02}}{r_{01}} = \frac{r_{j2}}{r_{j1}} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1-4)$$

式中 ω_1 、 ω_2 —齿轮 1、2 的角速度;

Δt —转过转角 ϕ_1 或 ϕ_2 所经过的时间;

i —传动比;

Z_1 、 Z_2 —齿轮 1、2 的齿数。

从图 1-5 中还可以求出:

$$A = r_{f1} + r_{f2} = r_{f1} + \frac{r_{02}}{r_{01}} r_{f1}$$

$$= \frac{r_{01} + r_{02}}{r_{01}} r_{f1}$$

所以 $r_{f1} = A \frac{r_{01}}{r_{01} + r_{02}}$

同理 $r_{f2} = A \frac{r_{02}}{r_{01} + r_{02}}$

故 $\cos \alpha_j = \frac{r_{01}}{r_{f1}} = \frac{r_{02}}{r_{f2}} = \frac{r_{01} + r_{02}}{A} \quad (1-5)$

综上所述，两渐开线齿廓接触传动时，传动比 i 为一常数，它与基圆半径成反比，而与中心距无关；节圆半径和啮合角随着中心距的增减而增减，但啮合角始终是渐开线齿轮节圆上的压力角。

(二) 正确啮合的条件

一对齿轮正确啮合并连续传动，需要一对一对轮齿正确啮合，互不干涉。如图 1-6 所示，当 $t_{01} = t_{02} = \overline{KK'}$ 时，就能保证这两对轮齿在啮合时互不干涉。

从图 1-6 中可知，若基节 $t_{02} < t_{01}$ ，则前一对轮齿啮合完毕时，后一对轮齿将延迟进入啮合，而发生冲击和减速；若基节 $t_{02} > t_{01}$ ，则前一对轮齿未啮合完毕，后一对轮齿将进入啮合，而出现齿廓重叠，即卡死现象。因此，为了保证正确啮合和瞬时速比一定，就必须使两齿轮的相邻同侧齿廓间的法向距离相等，即基节相等， $t_{01} = t_{02} = \frac{2\pi r_{01}}{Z_1} = \frac{2\pi r_{02}}{Z_2}$

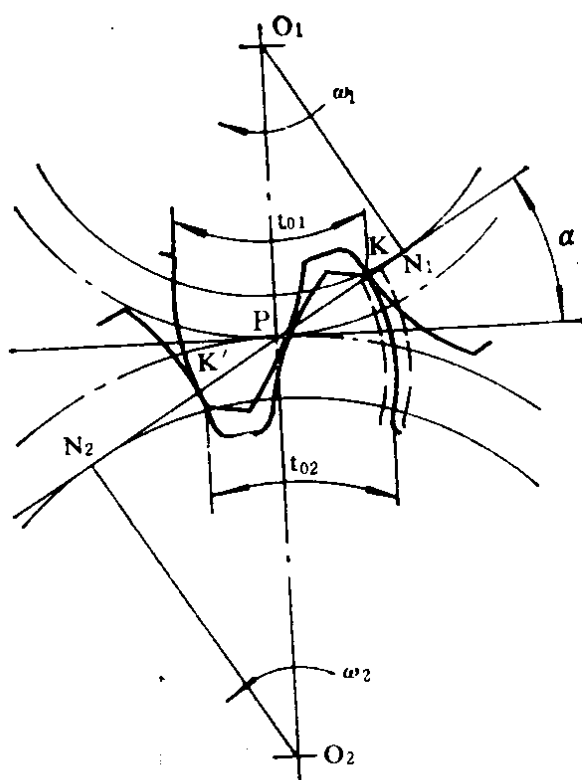


图 1-6 渐开线齿轮啮合

$$= \frac{2\pi r_{j1}}{Z_1} \cos \alpha_{j1} = \frac{2\pi r_{j2}}{Z_2} \cos \alpha_{j2} = \frac{2\pi r_{f1}}{Z_1} \cos \alpha_{f1} = \frac{2\pi r_{f2}}{Z_2} \cos \alpha_{f2}$$

(式中注脚 f 表示分度圆的各参数, 详见后), 由此得出:

$$t_{01} = t_{02} = t_{j1} \cos \alpha_{j1} = t_{j2} \cos \alpha_{j2} = t_{f1} \cos \alpha_{f1} = t_{f2} \cos \alpha_{f2}$$

$$\pi m_1 \cos \alpha_{f1} = \pi m_2 \cos \alpha_{f2}$$

$$m_1 \cos \alpha_{f1} = m_2 \cos \alpha_{f2} \quad (1-6)$$

理论上只要满足上式, 两齿轮就能正确啮合。应用非标准压力角滚刀 (如小压力角滚刀) 来切制标准压力角齿轮, 就基于这一道理。但是, 对于齿轮啮合来说, 模数和压力角都已经标准化了, 因此只有两齿轮的模数和压力角都相等, 才能满足上述条件, 保证正确啮合。

在一般的情况下，齿轮加工都必须取刀具的模数和压力角与被加工齿轮的模数和压力角相同。

(三) 渐开线齿轮啮合的可分性

相互啮合的齿轮制造好以后，其基圆的大小就确定了，它与安装中心距无关。但是，啮合线的位置，节圆和啮合角的大小要随中心距的变化而改变，而 $\frac{r_{o1}}{r_{o2}} = \frac{r_{f1}}{r_{f2}} = \frac{r_{j1}}{r_{j2}}$ 的比值

仍保持不变，因而传动比不变，这种性质叫做渐开线齿轮的可分性。

图 1-7 所示是一对模数和压力角相等的标准渐开线齿轮啮合，其标准中心距为 A_0 。此时可满足传动平稳性的要求。

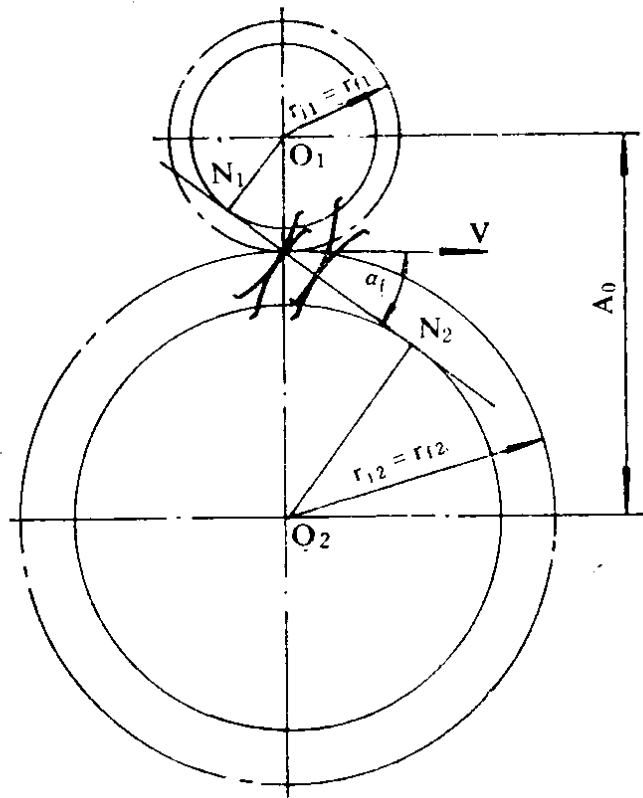


图 1-7 标准渐开线齿轮啮合