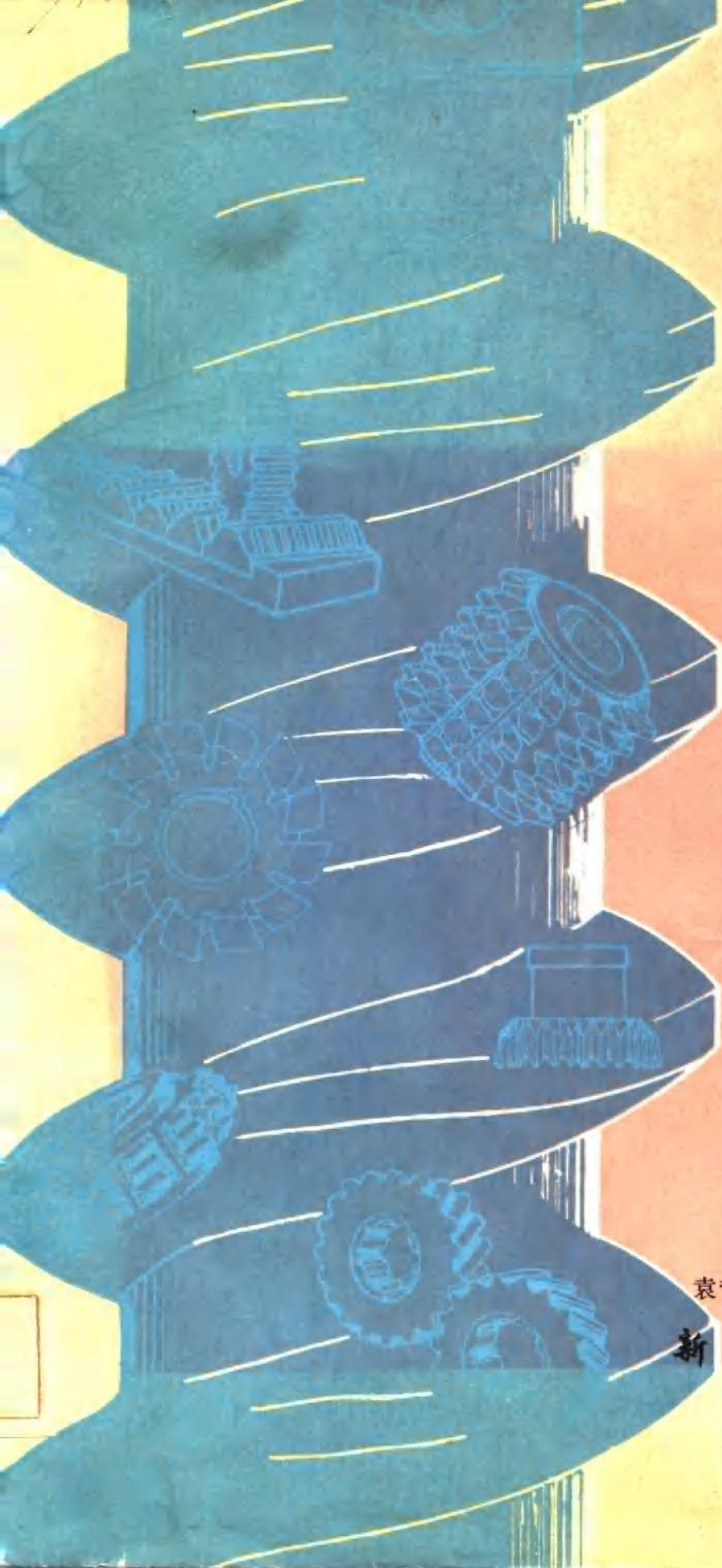


齿轮刀具设计

下册

袁哲俊 刘华明 唐宜胜 合编

新 时 代 出 版 社



内 容 简 介

本书系统阐述了齿轮刀具的工作原理、设计理论和设计方法。全书共四篇，分上、下册。

本书为下册，包括第二、三、四篇的内容：加工蜗轮的刀具、加工锥齿轮的刀具和加工非渐开线齿形工件的刀具等。

本书还给出了刀具设计计算的步骤，列入了必要的资料数据，并附有设计计算实例。

本书可供从事齿轮和齿轮刀具研究、设计和制造的技术人员使用，也可供高等院校教师和学生参考。

齿 轮 刀 具 设 计

下 册

袁哲俊 刘华明 唐宜胜 合编

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 25.5印张 594千字

1983年11月第1版 1983年11月北京第1次印刷

印数：00,001—13,000册

统一书号：15241·28

定价：3.40元

前 言

本书对齿轮刀具的工作原理和设计理论进行了系统的分析和阐述。全书分为四篇：第一篇包括成形齿轮刀具、梳齿刀、插齿刀、齿轮滚刀和剃齿刀等加工渐开线圆柱齿轮的刀具；第二篇为加工蜗轮副的刀具；第三篇为加工直齿和曲线齿锥齿轮的刀具；第四篇为加工非渐开线齿形的刀具。

本书编写时注意收集国内外齿轮刀具的最新成果和发展动向。内容取材比较全面，除普通齿轮刀具外，编入了仪表工业的小模数齿轮刀具，介绍了加工航空齿轮的刀具设计特点，并对一些新齿轮刀具和齿轮刀具的新设计理论、计算方法作了较详细的阐述。书内给出了多种刀具的设计计算步骤，列入较多的图表、资料和数据，并附有设计计算实例，可供生产直接使用。

本书是根据哈尔滨工业大学刀具教研室历年来的教学经验编写的，得到教研室全体同志的协助。在编写过程中得到哈尔滨第一工具厂、上海工具厂、汉江工具厂、工具研究所、东安机械厂、长春汽车厂、洛阳拖拉机厂、重庆工具厂、石油部和化工部的有关工厂以及高等工业院校提供资料和宝贵意见，对此表示衷心的感谢。

本书由袁哲俊主编。各章的作者是：第一、二、十三、十四、十六、十七章唐宜胜；第三、四、六、十、十一、十二章袁哲俊；第五、七、八、九、十五章刘华明。

由于编者水平所限，书中的缺点、错误在所难免，诚恳地希望读者提出批评、指正意见。

作 者

目 录

第二篇 加工蜗轮的刀具

第七章 加工普通蜗轮的刀具	1
第一节 普通蜗轮滚刀	1
第二节 双导程蜗轮滚刀	22
第三节 加工多头蜗轮的单头蜗轮滚刀	25
第四节 飞刀	29
第五节 蜗轮剃齿刀	33
附 录 切蜗轮滚刀容屑槽铣刀的齿形计算	35
第八章 圆弧齿蜗轮滚刀与飞刀	40
第一节 轴向圆弧齿蜗轮滚刀	40
第二节 圆弧母线砂轮磨制蜗杆副的蜗轮滚刀	47
第九章 加工直线齿弧面蜗轮副的刀具	56
第一节 直线齿弧面蜗杆传动简介	56
第二节 直线齿弧面蜗杆的加工及其刀具	59
第三节 直线齿弧面蜗轮加工刀具	68

第三篇 加工锥齿轮的刀具

第十章 加工直齿锥齿轮的刀具	76
第一节 直齿锥齿轮概述	76
第二节 加工直齿锥齿轮的成形铣刀	79
第三节 成形定装滚刀	85
第四节 成对展成刨刀	90
第五节 成对展成铣刀	101
第六节 加工直齿锥齿轮的其他刀具	107
第七节 用展成法加工锥齿轮中的几个问题	109
第十一章 加工弧齿锥齿轮的刀具	113
第一节 螺旋锥齿轮概述	113
第二节 弧齿锥齿轮加工方法概述	119
第三节 各类典型切齿修正计算理论的分析	127
第四节 切齿时压力角的修正	134
第五节 对角接触及其修正	140
第六节 螺旋角的偏歪和修正	148
第七节 齿面节线曲率和齿廓曲率的修正	151

第八节 铣刀盘	156
第九节 简单双面切削法加工锥齿轮	177
第十节 弧齿锥齿轮的其他加工方法	182

第十二章 加工延伸摆线齿锥齿轮的刀具

第一节 概述	191
第二节 延伸摆线齿锥齿轮的齿线特性	193
第三节 铣刀盘标准系列及其选用	198
第四节 精切齿的齿间角和切线半径修正	207
第五节 粗切齿的齿间角和切线半径修正	212
第六节 万能刀盘	217
第七节 铣刀盘轴线的倾斜	221
第八节 N型齿用EN型刀盘的切齿计算	224
第九节 G型齿轮切制和奥利康切齿技术新发展	227

第四篇 加工非渐开线齿形工件的刀具

第十三章 非渐开线展成刀具设计的共同问题

第一节 加工非渐开线齿形刀具概述	231
第二节 用平面啮合原理求共轭刀具齿形	234
第三节 用空间啮合原理求共轭刀具齿形	243
第四节 用容易制造的近似曲线代替理论齿形	246
附 录 用最小二乘法求代用圆弧及其误差的计算机计算程序流程图	251

第十四章 加工直线齿形工件的展成滚刀

第一节 按平面啮合原理计算展成滚刀齿形	253
第二节 工件节圆半径的选取及其对被加工齿形的影响	258
第三节 按空间啮合公共齿条原理计算展成滚刀齿形	265
第四节 矩形花键滚刀设计	268
第五节 三角形花键滚刀设计	286

第六节 锥底花键滚刀设计	290	第十七章 加工非渐开线齿形工件的 插齿刀和展成车刀	372
第十五章 其他非渐开线齿形的 展成滚刀	293	第一节 加工外齿形工件的插齿刀	372
第一节 与圆弧齿形共轭的滚刀齿形及 滚切节圆半径的选择	293	第二节 加工内齿形工件的插齿刀	378
第二节 圆弧齿轮滚刀	302	第三节 插齿刀刃磨后齿形的变化和原始 截面的确定	383
第三节 链轮滚刀	318	第四节 用近似曲线代替插齿刀理论 齿形曲线	386
第四节 钟表齿轮滚刀	331	第五节 插齿刀设计步骤	389
第五节 摆线针轮滚刀	342	第六节 按平面啮合原理工作的展成车刀	391
第十六章 定装滚刀	350	第七节 按空间啮合原理工作的展成 车刀——车齿刀	398
第一节 按成形展成组合原理工作的 滚刀——长齿花键滚刀	350	参考文献	400
第二节 按成形滚切法工作的成形滚刀	354		

第二篇 加工蜗轮的刀具

第七章 加工普通蜗轮的刀具

第一节 普通蜗轮滚刀

一 蜗轮滚刀的工作原理

普通圆柱蜗轮滚刀是用来加工普通蜗轮的。生产中常用的普通圆柱蜗杆有阿基米德蜗杆、法向直廓蜗杆、渐开线蜗杆和用盘形锥面砂轮磨削的蜗杆。由于阿基米德蜗杆和相应的滚刀齿形容易检查，生产中这种蜗杆副和相应的蜗轮滚刀用得最多。其次是法向直廓蜗杆。精度较高需磨制的蜗杆亦常采用盘形砂轮磨削的蜗杆。渐开线蜗杆的齿形制造和检查都较困难，生产中用得较少。

普通蜗轮滚刀就是用来加工这几种蜗杆副中的蜗轮的，它是最常用的加工蜗轮的刀具。

用滚刀加工蜗轮的过程是模拟蜗杆与蜗轮相啮合的过程，蜗轮滚刀就相当于原蜗杆，只是在其上做出切削刃，这些切削刃应在原蜗杆的螺旋面上，这个蜗杆称为蜗轮滚刀的基本蜗杆。

根据这一原理，滚刀的基本尺寸，如模数、齿形角、螺旋升角、螺旋方向、螺纹头数、齿距、分圆直径等都应与原蜗杆相同。滚刀与蜗轮的轴交角及中心距亦应等于原蜗杆与蜗轮的轴交角及中心距。滚刀与蜗轮的传动比也应和原蜗杆与蜗轮的传动比相同，即滚刀的螺纹头数应与原蜗杆相同。

蜗轮滚刀的外形很像齿轮滚刀，但是，由于加工对象不同，它们的设计原理又有所不同。齿轮滚刀的基本蜗杆相当于螺旋齿轮副中的一个齿轮，其分圆直径和螺旋角都没有一定限制，可由设计者决定。基本蜗杆的类型理论上应是渐开线蜗杆，近似造形时采用那种蜗杆类型亦可以由设计者根据允许的误差大小自行决定。蜗轮滚刀则不然，它的基本蜗杆类型和基本尺寸都必须与原蜗杆相同。因此，蜗轮滚刀是专用刀具，加工每一规格的蜗轮要用专用的滚刀。而齿轮滚刀则是通用刀具，同一齿轮滚刀可切齿数不同、螺旋角不同的齿轮，只要齿轮的模数与法向齿形角与齿轮滚刀一致就行。

二 蜗轮滚刀的进给方向

用蜗轮滚刀加工蜗轮可采用径向进给或切向进给，如图 7-1 和 7-2 所示。用径向进给法加工蜗轮时，滚刀每转一转，蜗轮转过的齿数应等于滚刀的头数，形成展成运动。滚刀在转动的同时，沿着蜗轮的半径方向进给，达到规定的中心距后停止进给，但展成运动继续进行，直至包络好蜗轮的齿形为止。

用切向进给时，首先把滚刀和蜗轮的中心距调整合格，滚刀和蜗轮除作展成运动外，

滚刀还沿本身的轴线方向进给。因此,当滚刀每转一转,蜗轮除了须转过与滚刀头数相等的齿数外,还需有附加的转动。当滚刀沿轴线移动 Δl 距离时,蜗轮的附加转动角度为 $\Delta\theta = \pm \frac{\Delta l}{r_2}$, 式中 r_2 是蜗轮的分度圆半径。为了改善切削条件和减轻第一个切入刀齿的负荷,切向进给的滚刀必须在前端做切削锥部,如图 7-2 和 7-9 所示。切削锥角一般为 $\varphi = 11^\circ \sim 13^\circ$, 切削锥的位置对于右旋滚刀,当面对滚刀的前刀面观察时在右端,左旋滚刀在左端。

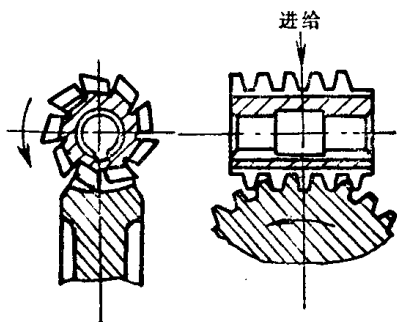


图7-1 径向进给加工蜗轮

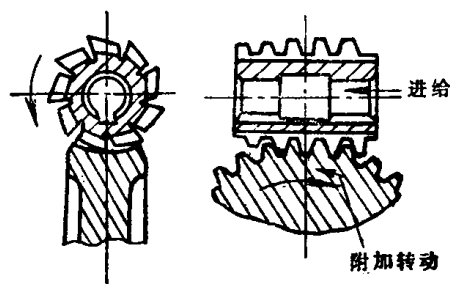


图7-2 切向进给加工蜗轮

由于蜗轮滚刀的切削刃数有限,所以包络蜗轮齿形的切削刃数也有限,在采用径向进给法时,切出蜗轮齿面的棱度较大。特别是在蜗轮的模数较大、齿数较少,滚刀的直径小,头数较多,以及蜗轮齿数与滚刀头数有公因数时,这种棱度更为显著。

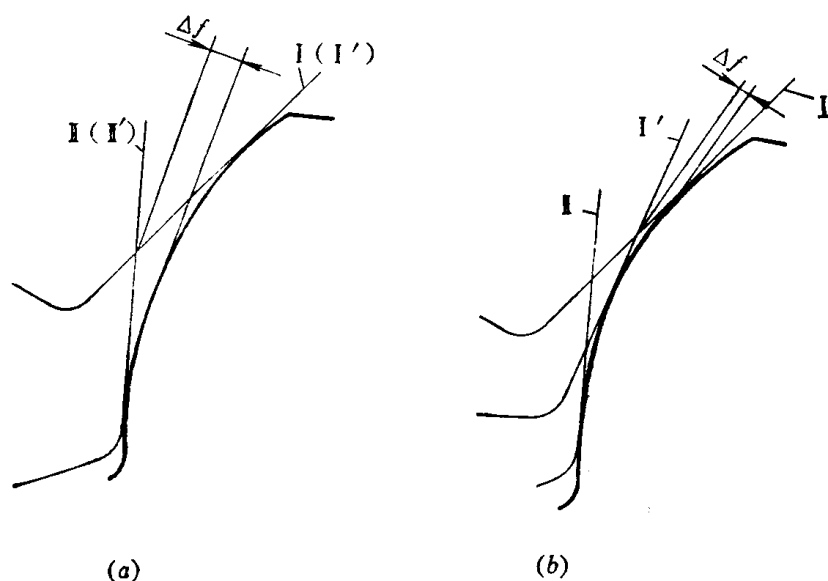


图7-3 蜗轮齿面上的棱度

用切向进给法时,可以提高加工齿面的光洁度。如图 7-3(a) 所示,若蜗轮转过一圈后,切削刀的位置 I' 、 I' 与前一圈刀刃的位置 I 、 I 重合,则在蜗轮齿面上得到的棱度为 Δf ; 如切削刀的位置 I' 与蜗轮前一圈的刀刃切削位置不重合,而是错过了一个位置,如图 7-3(b) 所示,则棱度 Δf 可比前一种情况大为减小。用切向进给方法加工蜗轮时,滚刀本身有轴向移动,当蜗轮转过一圈后再被 I' 、 I' 刀齿切削时,刀刃切削的位置不与前一转重合,这使蜗轮齿廓由较多的刀刃包络形成。故切向进给法加工齿面的光洁度比径向

进给法高。此外，滚刀和蜗轮的中心距容易调整准确，故在蜗轮质量要求较高时宜用切向进给法。但切向进给法切入长度较大，因而生产率不如径向进给法高。另外，采用切向进给时，机床上必须加上切向进给机构，这将使机床传动链增长，从而增大了传动误差，因而加工精度要求特别高的蜗轮时，又宜采用径向进给法。

加工蜗轮能否采用切向进给方法，除要看滚齿机有无切向进给机构外，还要考虑蜗轮蜗杆的装配条件。当蜗轮的头数较多，螺旋角较大时，用切向进给法加工的蜗轮，有时不能使蜗杆从半径方向装配，而只能从切向旋进去。当此蜗轮副所在的机构不允许蜗杆从切向装配时，就不能采用切向进给法加工此蜗轮。

对于阿基米德蜗杆，可采用下面的不等式校验允许径向装配的条件。不等式成立，就表明用切向进给法切出的蜗轮可以从半径方向与蜗杆装配。

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \operatorname{tg} \lambda_1 \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_1^2}}{r_{a1}} \quad (7-1)$$

式中 α ——蜗杆轴向截面中的齿形角，
 λ_1 ——蜗杆分度圆柱上的螺旋升角，
 r_{a1} ——蜗杆的齿顶圆半径，
 r_1 ——蜗杆的分度圆半径。

对于法向直廓蜗杆，当满足下式时，用切向进给切出的蜗轮，可以允许蜗杆从径向装配。

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \operatorname{tg} \lambda_1 \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_1^2} \sqrt{r_{a1}^2 - r_h^2} - r_h r_1}{r_{a1}^2} \quad (7-2)$$

式中 α ——法向直廓蜗杆直母线与端截面的夹角，见图1-54，
 r_h ——法向直廓蜗杆准圆柱半径，见图1-53。

渐开线蜗轮副没有任何限制，不论用什么进给方法切出的蜗轮，都可以与蜗杆沿径向装配。

当用切向进给法切制的蜗轮因不能从半径方向装配而改用径向进给法加工时，滚刀在径向切入过程中，已将蜗轮上干涉的部分切去，故径向装配已不再发生困难。但是由于蜗轮齿面已发生了过切，因而使啮合时的接触面积减少，降低了蜗轮副的传动性能。

三 阿基米德蜗轮滚刀的齿形

1. 侧铲面的形状和齿形角

蜗轮滚刀也应用基本蜗杆的概念，阿基米德蜗轮滚刀的侧切削刃必须在阿基米德蜗杆的螺旋面上。齿形设计计算的任务就是寻找一个侧铲面，使此侧铲面与滚刀前刀面相交得到的切削刃恰在阿基米德基本蜗杆的螺旋面上，或者说，切削刃创成的表面应是阿基米德蜗杆的螺旋面。

由第五章第二节四已知，当左右侧铲面是阿基米德螺旋面时，零前角滚刀切削刃创成的即为阿基米德蜗杆螺旋面。左右侧铲面在轴向截面中的齿形角应按下面公式计算：

螺旋槽滚刀：

$$\text{左侧齿形角} \quad \operatorname{ctg} \alpha'_0 = \operatorname{ctg} \alpha \pm \frac{K_{ZK}}{P_K} \quad (7-3)$$

$$\text{右侧齿形角} \quad \operatorname{ctg} \alpha''_0 = \operatorname{ctg} \alpha \mp \frac{K_{ZK}}{P_K} \quad (7-4)$$

直槽滚刀 ($\lambda_0 \leq 5^\circ$ 时使用): 令式(7-3)、(7-4) 中 $P_K = \infty$, 得

$$\alpha'_0 = \alpha''_0 = \alpha_0$$

式(7-3)、(7-4) 中上面符号用于右旋滚刀, 下面符号用于左旋滚刀。

式中 α ——阿基米德基本蜗杆轴向截面的齿形角。

在第五章中已证明, 螺旋槽齿轮滚刀左、右齿形角为〔见式(5-19)、(5-20)〕:

$$\operatorname{ctg} \alpha'_0 = \operatorname{ctg} \alpha_0 \pm \frac{K_{ZK}}{P_K}$$

$$\operatorname{ctg} \alpha''_0 = \operatorname{ctg} \alpha_0 \mp \frac{K_{ZK}}{P_K}$$

式中 α_0 ——渐开线蜗杆轴向截面的齿形角, $\alpha_0 = \alpha_x$, 可用式(5-14) 计算, 即

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_x = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \lambda_{00}} \quad \text{或} \quad \operatorname{ctg} \alpha_0 = \operatorname{ctg} \alpha_n \cos \lambda_{00}$$

比较齿轮滚刀和蜗轮滚刀的齿形角计算公式, 可看出对于蜗轮滚刀, 式(5-19)、(5-20) 中的 α_0 已变成 α , α 就是原阿基米德蜗杆的轴向齿形角, 对于标准的阿基米德蜗杆, $\alpha = 20^\circ$ 。蜗轮滚刀的 α 和齿轮滚刀的 α_0 数值相差虽不大, 但却说明这两种刀具的基本蜗杆性质不同。齿轮滚刀的基本蜗杆理论上应该是渐开线蜗杆, 使用阿基米德蜗杆只是一种近似造形, 因此, 其阿基米德蜗杆的轴向齿形角应按式(5-14) 计算, 使它等于渐开线蜗杆的轴向齿形角。而蜗轮滚刀的基本蜗杆是要与原工作蜗杆相同, 原工作蜗杆是阿基米德蜗杆, 滚刀的基本蜗杆就必须是阿基米德蜗杆, 滚刀的齿形角也必须和原蜗杆相同, 没有近似造形问题。

2. 其他齿廓尺寸

在滚刀的工作图中, 应给出轴向齿形作为检验滚刀齿形的依据, 如图 7-4 所示。对于直槽蜗轮滚刀, 图 7-4 既是切削刀的齿形, 也是侧铲面任一个轴向截面的齿形。而对于螺旋槽蜗轮滚刀, 它只是侧铲面轴向截面的齿形。

齿形图中有关尺寸的计算如下:

① 轴向齿距 p_{0x}

$$p_{0x} = \pi m$$

式中 m ——蜗杆的轴向模数。

② 轴向齿厚 s_{0x} 和法向齿厚 s_{0n}

计算蜗轮滚刀的法向齿厚时, 必须考虑滚刀重磨后刀齿减薄的补偿问题, 这与齿轮滚刀不同。齿轮滚刀重磨后刀齿减薄, 这时, 只要减小滚刀和被切齿轮的中心距即可切出齿厚仍合乎要求的齿轮。而蜗轮滚刀则不同, 它与被切蜗轮的中心距必须等于此蜗轮与工作蜗杆的中心距, 不能随便改动。因此, 设计蜗轮滚刀时, 必须考虑重磨后刀齿减薄的补偿

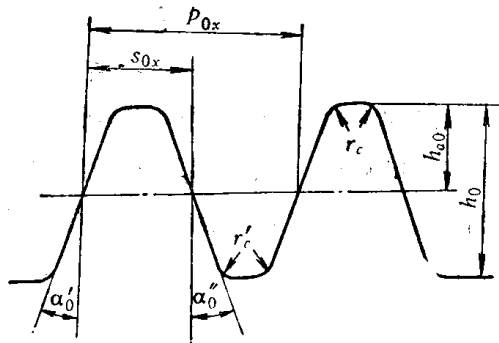


图7-4 阿基米德蜗轮滚刀的轴向齿形

问题, 新蜗轮滚刀应将齿厚做大些。

对于螺旋槽滚刀, 在工作图中应给出法向齿厚, 考虑到上述补偿问题, 螺旋槽蜗轮滚刀的法向齿厚 s_{0n} 可用下式计算

$$s_{0n} = (s_{1n\max} + \Delta_m S) + \Delta s_n \quad (7-5)$$

式中 $s_{1n\max}$ ——工作蜗杆螺纹法向齿厚的最大值, 是设计滚刀时应给出的原始数据;

$\Delta_m S$ ——保证啮合间隙的蜗杆螺纹厚度最小减薄量, $\Delta_m S$ 的数值可在设计手册中查到;

Δs_n ——为补偿滚刀重磨后齿厚的减薄而使新滚刀齿厚增厚的增量。

式中 $s_{1n\max} + \Delta_m S$ 实际上是蜗轮齿间的宽度。对于标准蜗轮, 法向齿间宽度一般等于 $\frac{\pi m}{2} \cos \lambda_0$, 所以蜗轮滚刀的齿厚也可以按下式计算

$$s_{0n} = \frac{\pi m}{2} \cos \lambda_0 + \Delta s_n \quad (7-5a)$$

Δs_n 可取为 $\frac{\Delta_m S}{2}$ 。也有些工具厂为减少蜗轮滚刀规格而采取 $\Delta s_n = 0$, 这时, 当蜗轮模数、螺旋角相同时, 不论蜗轮副啮合间隙如何, s_{0n} 都相同。

对于粗加工滚刀, 滚刀齿厚要减薄 $\Delta s'_n$, 以便在蜗轮齿面上留出精切留量。此时, 滚刀齿厚可取为

$$s_{0n} = \frac{\pi m}{2} \cos \lambda_0 - \Delta s'_n \quad (7-6)$$

$\Delta s'_n$ 可按表 7-1 选取。

表 7-1 粗加工蜗轮滚刀齿厚减薄量

m	3~6	6~10	10~14
$\Delta s'_n$	0.2	0.3	0.4

滚刀的轴向齿厚 s_{0x} 可根据法向齿厚计算

$$s_{0x} = \frac{s_{0n}}{\cos \lambda_0} \quad (7-7)$$

③ 齿顶高 h_{a0}

$$h_{a0} = h_{a1} + (c' + 0.1) m \quad (7-8)$$

式中 h_{a1} ——原蜗杆的齿顶高;

c' ——顶隙系数;

$0.1m$ ——考虑滚刀重磨后外径要减小而在新滚刀上增加的补偿量。

一般标准蜗杆 $h_{a1} = m$, $c' = 0.2$, 所以

$$h_{a0} = 1.3m \quad (7-8a)$$

④ 全齿高 h_0

为了使滚刀刀齿的齿底不参加切削, 应使滚刀根圆直径 d_{f0} 等于蜗杆根圆直径 d_{f1} (当刀齿强度不足时, 也可比 d_{f1} 稍大), 由此可算出全齿高

$$h_0 = \frac{d_{a0} - d_{f0}}{2} \quad (7-9)$$

由于一般标准蜗轮齿顶高 $h_{a2} = m$, 所以滚刀齿根高也可取为 $h_{f0} = (1.1 \sim 1.2)m$, 再加上滚刀的齿顶高, 则滚刀全齿高 h_0 亦可取为

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0} = (2.4 \sim 2.5)m \quad (7-9a)$$

⑤ 齿顶圆弧半径 r_s 和齿根圆弧半径 r'_c

蜗轮滚刀刃磨后滚刀外径会减小, 如果滚刀齿顶圆角半径太大可能使滚刀经几次刃磨后切出的蜗轮有效齿形部分长度过小, 故一般取 $r_s = 0.2m$, 齿根圆弧半径可取 $r'_c = 0.3m$ 。

四 法向直廓蜗轮滚刀的齿形设计和测量

1. 法向直廓滚刀的齿形设计

法向直廓滚刀齿形设计的原则与阿基米德滚刀一样, 即刀刃必须在基本蜗杆螺旋面上, 按照这一原则, 法向直廓滚刀切削刃和侧铲面应有的形状可按下面步骤求出, 即建立法向直廓蜗杆螺旋面的方程和前刀面的方程; 联立解这两个方程, 求出切削刃的方程; 令此切削刃按侧铲面的螺旋参数作螺旋运动, 即可得到所求的侧铲面方程。

① 建立法向直廓蜗杆螺旋面的方程

生产中应用较多的是在蜗杆齿槽中点的法截面内为直线的蜗杆, 这种蜗杆在第一章中已有介绍, 其螺旋面方程可根据式 (1-126)、(1-127) 求出

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{P}{2\pi} (\theta \pm \alpha_y) \pm r_h \operatorname{tg} \alpha_y \operatorname{tg} \alpha \\ \cos \alpha_y &= \frac{r_h}{\rho} \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

式中上面符号用于右旋蜗杆的左侧螺旋面, 下面符号用于右侧螺旋面。对于左旋蜗杆, 式中的 θ 为负值。

② 建立前刀面方程

为便于检查齿形, 法向直廓滚刀一般制成螺旋容屑槽, 且前角取为零度, 其前刀面方程为

$$x = -\frac{P_K \theta}{2\pi} \quad (b)$$

式中 P_K ——前刀面螺旋面的导程。

③ 联立解 (a)、(b), 即可求出滚刀切削刃的方程。以右旋滚刀为例, 从 (a)、(b) 中消去 x , 解得

$$\theta = \left(r_h \operatorname{tg} \alpha_y \operatorname{tg} \alpha + \frac{P}{2\pi} \alpha_y \right) \frac{2\pi}{P + P_K} \quad (7-10)$$

将 θ 代入 (a), 得

$$x = -\frac{P_K}{P + P_K} \left(r_h \operatorname{tg} \alpha_y \operatorname{tg} \alpha + \frac{P}{2\pi} \alpha_y \right) \quad (7-10a)$$

式 (7-10a) 就是切削刃方程, 式中

$$\alpha_y = \arccos \frac{r_h}{\rho}$$

式中 ρ ——滚刀刀刃上所求点的半径。

式 (7-10 a) 所示的切削刃方程不是直线方程。这不难理解, 如图 7-5 中, 法向直廓蜗杆与齿槽中点 (对齿纹法向直廓蜗杆为齿纹中点) 的法平面 P 相交得到的交线是直线。现在前刀面不是法平面, 而是一个垂直于蜗杆螺旋面的螺旋面 E 。因此, 它与蜗杆螺纹表面相交而形成的切削刃不是直线齿形。

④ 滚刀侧铲面及其法截面齿形的方程

左、右侧铲面应是切削刃按其导程作螺旋运动而形成的。这样形成的侧铲面是一个包含切削刃的螺旋面。

仍以右侧铲面为例, 设此螺旋面的导程为 P'' , 则此螺旋面的一般方程为

$$x = \frac{P''}{2\pi} (\theta - \theta') \quad (c)$$

式中 θ' —— $x = 0$ 时的 θ 值。

因为这个侧铲面应通过公式 (7-10)、(7-10 a) 所表示的切削刃, 故将公式 (7-10) 及 (7-10 a) 代入方程 (c), 即可解出 θ' 。

$$\theta' = \frac{P'' + P}{P + P_K} \left(r_h \operatorname{tg} \alpha_y \operatorname{tg} \alpha + \frac{P}{2\pi} \alpha_y \right) \frac{2\pi}{P''} \quad (d)$$

再将公式 (d) 代入 (c), 化简得

$$x = \frac{P''}{2\pi} \theta - \frac{P'' + P_K}{P + P_K} \left(r_h \operatorname{tg} \alpha_y \operatorname{tg} \alpha + \frac{P}{2\pi} \alpha_y \right) \quad (7-11)$$

这就是右旋滚刀右侧铲面的方程。对于右旋滚刀的左侧铲面, 方程为 (设左侧铲面导程为 P')

$$x = \frac{P'}{2\pi} \theta + \frac{P' + P_K}{P + P_K} \left(r_h \operatorname{tg} \alpha_y \operatorname{tg} \alpha + \frac{P}{2\pi} \alpha_y \right) \quad (7-12)$$

为看清式 (7-11)、(7-12) 所表示的螺旋面的形状, 可求出此螺旋面在切于准圆柱的截面中的形状。当 $\theta - \alpha_y = \frac{\pi}{2}$, 即 $\theta = \frac{\pi}{2} + \alpha_y$ 时, $\operatorname{tg} \alpha_y = \frac{y}{r_h}$, 代入式 (7-11) 并化简, 得

$$x = \frac{P''}{4} - \frac{P'' + P_K}{P + P_K} \operatorname{tg} \alpha_y + \frac{1}{2\pi} \left(P'' - \frac{P'' + P_K}{P + P_K} P \right) \alpha_y \quad (7-13)$$

式中 $\alpha_y = \operatorname{arctg} \frac{y}{r_h}$ 。

式 (7-13) 就是右侧铲面在切于准圆柱截面中的齿形的方程。它不是直线方程, 这说明, 对于法向直廓滚刀来说, 尽管其基本蜗杆在法截面 P 中 (图 7-5) 是直线齿形, 即在切于准圆柱的截面中是直线形的发生线, 但其侧铲面在法截面中已不是直线齿形了, 这就使滚刀的制造和检查很不方便。

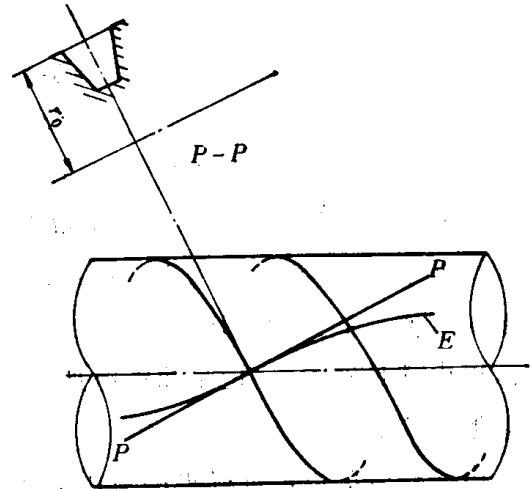


图7-5 螺旋槽滚刀的前刀面和法平面
E——前刀面在分圆柱上的螺旋线; P——法平面。

2. 法向直廓滚刀齿形的测量

由于侧铲面形状比较复杂, 难于检查, 目前生产中只检查刀刃的形状。

理论上正确的检查刀刃齿形的方法应如图 7-6 所示。图中, 设 $\overline{ab}$ 线为此滚刀基本蜗杆的发生线, 它切于半径为 r_h 的准圆柱, 并与滚刀端面倾斜 α 角。若 $\overline{ab}$ 线与滚刀按滚刀基本蜗杆的螺旋参数作螺旋运动时, $\overline{ab}$ 线的运动轨迹就是滚刀基本蜗杆的螺旋面。尖测头可沿发生线 $\overline{ab}$ 移动, 每移动到一点, 就使测头和滚刀按滚刀基本蜗杆的螺旋参数作螺旋运动, 测头的相对运动轨迹就是这一点的螺旋线。这时刀刃旋转经过测头, 例如刀刃上的 2 点转到测头位置, 如果 2 点正在 $\overline{ab}$ 发生线所形成的蜗杆螺旋面上, 则测头指示为零, 如果偏离蜗杆螺旋面, 记下误差值。如此测量切削刃上 1、2、3 等诸点(测量十点以内就足够了), 记录曲线将如图 7-7 所示, 这就是齿形误差曲线。

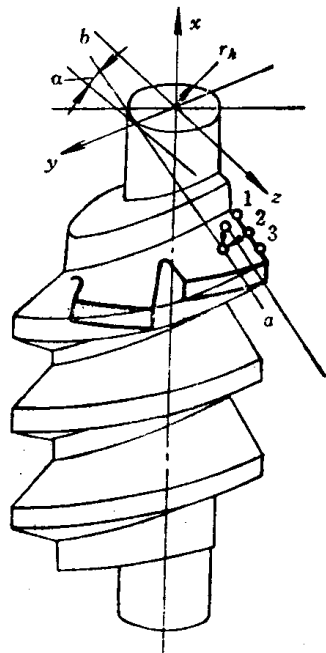


图7-6 法向直廓滚刀的测量

用这种方法可以准确地测量出法向直廓滚刀的切削刃是否在基本蜗杆表面上, 也就是滚刀齿形是否正确。采用这种测量原理的滚刀测量仪有 PWF-250 等。但这类滚刀测量仪很复杂, 价值昂贵, 许多工厂没有。

当滚刀的螺旋升角不大时, 其刀刃齿形和刀刃在法平面 P (图 7-5) 中的投影很近似于法向直廓蜗杆的法向齿形。因此, 允许把这种滚刀前刀面在法平面 P 中的投影齿形视为蜗杆的法向齿形, 即齿形角为 α_n 的直线齿形。在滚刀工作图中, 应给出如图 7-8 所示的法向齿形图, 以此为依据, 用投影法在工具显微镜上来检查滚刀切削刃的齿形。这样检查滚刀齿形很方便。

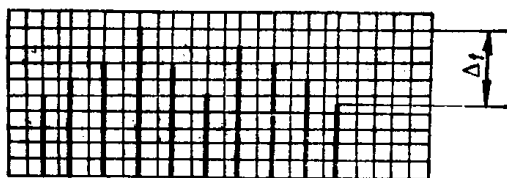


图7-7 齿形误差曲线

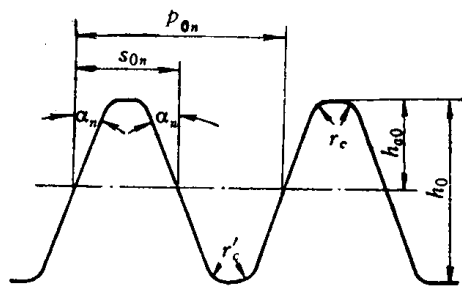


图7-8 法向直廓滚刀法向齿形

当滚刀螺旋升角较大时, 用这样方法检查将产生较大误差, 在蜗轮副要求较高精度时必须按图 7-6 所示的方法检查齿形。这时, 滚刀图纸中应给出 r_h 和 α 值。

α 应按公式 (1-125) 计算

$$\sin \alpha = \sin \alpha_n \cos \lambda_0 \quad (7-14)$$

r_h 按公式 (1-123) 计算, 即

$$r_h = E \sin \alpha_1 \quad (7-15)$$

式中 $E = r_0 - \frac{W_n}{2} \operatorname{ctg} \alpha_n;$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_n \sin \lambda_0;$$

W_n ——滚刀基本蜗杆分圆齿槽宽度;

r_0 ——基本蜗杆分度圆半径。

以上齿形检查方法, 都是检查滚刀切削刃形状的方法。应该指出, 对于滚刀只检查切削刃形状是不够的。滚刀切削刃形状检查合格, 只能保证新滚刀齿形合格, 而当滚刀刃磨后已形成新切削刃, 其形状是否合格, 上述检查方法就不能回答。因此, 对于滚刀, 其侧铲面应能保证滚刀重磨后其刀刃还在基本蜗杆的表面上。但法向直廓滚刀侧铲面的几何形状不像阿基米德滚刀那样简单, 目前还没有找出又快又好的检查方法。因此这种蜗轮滚刀刃磨后精度将下降, 这是有待于解决的一个问题。

五 渐开线蜗轮滚刀与用盘形砂轮磨削的蜗轮滚刀的齿形

1. 渐开线蜗轮滚刀

在生产中有时也遇到制造渐开线蜗轮副的任务, 下面简单介绍渐开线蜗轮滚刀(零前角)的齿形。齿形设计的原理与前面两种蜗轮滚刀是相同的。

① 建立渐开线基本蜗杆螺旋面的方程

以右旋蜗杆右侧面为例, 根据第一章式(1-111), 其方程为

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{P}{2\pi} (\theta - \operatorname{inv} \alpha_y) \\ \cos \alpha_y &= \frac{r_b}{\rho} \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

② 建立前刀面的方程

蜗轮滚刀通常多做成螺旋槽。前刀面的方程为

$$x = -\frac{P_k \theta}{2\pi} \quad (b)$$

③ 联立(a)、(b)解出

$$\theta = \frac{P}{P + P_k} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (7-16)$$

将 θ 值代入(b), 得

$$x = -\frac{P}{2\pi} \frac{P_k}{P + P_k} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (7-16a)$$

式(7-16)、(7-16a)就是渐开线蜗轮滚刀切削刃的方程, 它不是直线方程。

④ 滚刀侧铲面及其轴向截面的方程

侧铲面应是刀刃按侧铲面的导程作螺旋运动形成的。以右侧铲面为例, 设此螺旋面的导程为 P'' , 则此螺旋面的一般方程为

$$x = \frac{P''}{2\pi} (\theta - \theta') \quad (c)$$

式中 θ' —— $x = 0$ 时的 θ 值。

因为这个侧铲面应通过式 (7-16)、(7-16 a) 所表示的切削刃, 所以将式 (7-16)、(7-16 a) 代入方程 (c) 即可解出 θ'

$$\theta' = \frac{P}{P''} \frac{P_K + P''}{P + P_K} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (d)$$

再将 (d) 式代入 (c), 化简后得

$$x = \frac{P''}{2\pi} \theta - \frac{P}{2\pi} \frac{P_K + P''}{P + P_K} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (7-17)$$

式 (7-17) 是右旋滚刀右侧铲面的方程, 对于右旋滚刀的左侧铲面, 设其导程为 P' , 则其方程为

$$x = \frac{P'}{2\pi} \theta + \frac{P}{2\pi} \frac{P_K + P'}{P + P_K} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (7-18)$$

在 (7-17)、(7-18) 中, 令 $\theta = 0$, $\rho = y$, 则可得到渐开线滚刀侧铲面在轴向截面中的方程。

右侧铲面

$$x = -\frac{P}{2\pi} \frac{P_K + P''}{P + P_K} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (7-19)$$

左侧铲面

$$x = \frac{P}{2\pi} \frac{P' + P_K}{P + P_K} \operatorname{inv} \alpha_y \quad (7-20)$$

其中 $\cos \alpha_y = \frac{r_b}{y}$ 。

从式 (7-19)、(7-20) 可以看出, 渐开线滚刀的侧铲面在轴向截面中也不是直线齿形。还可以证明这种滚刀的侧铲面在切于基圆柱的平面内的截形也不是直线齿形。

由于渐开线蜗轮滚刀的刀刃以及轴向截面的齿形都不是直线, 故制造和检查这种滚刀很不方便。检查其齿形只能用图 7-6 所示的方法。这时, 图 7-6 中的准圆柱半径 r_b 应改为基圆柱半径 r_b , 与端面的倾角 α 应改为 λ_b 。 r_b 和 λ_b 可按下列式计算

$$d_b = \frac{m_n z_0}{\operatorname{tg} \lambda_b \cos \lambda_0} = \frac{m z_0}{\operatorname{tg} \lambda_b} \quad (7-21)$$

$$\cos \lambda_b = \cos \alpha_n \cos \lambda_0 \quad (7-22)$$

2. 原蜗杆用盘形锥面砂轮磨制时的蜗轮滚刀

这种蜗杆的螺旋面是曲纹面, 其方程如式 (1-145) 所示。经铲磨后形成的滚刀侧铲面也是复杂的螺旋面, 切削刃也不是直线。目前生产中还没找出检查其齿形的好方法。因此, 生产上多是在滚刀磨完前刀面后, 将滚刀与原蜗杆一起在蜗杆磨床上磨螺旋面, 再对滚刀铲磨后刀面。铲磨时, 调整砂轮位置, 使在滚刀刀刃处留下一条宽度为 f 的均匀的棱带, 此棱带的表面仍是原来磨出的基本蜗杆的螺旋面。

无疑, 这样的滚刀完全能切出符合要求的蜗轮。

f 的宽度在切铜时, 一般取为 0.05~0.1 毫米, 切铸铁时可取 $f = 0.15 \sim 0.2$ 毫米。

这种蜗轮滚刀只作精切用, 蜗轮齿的大部分余量需靠粗切滚刀切去。精滚刀用钝后, 只可刃磨很少几次, 之后可继续作粗加工滚刀使用。

六 蜗轮滚刀的结构参数

蜗轮滚刀结构参数的确定原理有许多与齿轮滚刀相同。这里只介绍有关蜗轮滚刀设计的特殊之处。

1. 蜗轮滚刀的结构

蜗轮滚刀的结构分为带孔式的和连柄式的两类,如图 7-9 及 7-13 所示。由于蜗轮滚刀的外径尺寸受到原工作蜗杆外径尺寸的限制,有时外径相对于其模数来说很小,如做成带孔式的则刀体强度不够,这时应采用连柄式的结构。当刀体强度足够时,则应尽量采用带孔式结构。如用带孔式而强度稍差,则可做成端面键的带孔滚刀,以便使滚刀体积小,降低刀具成本。

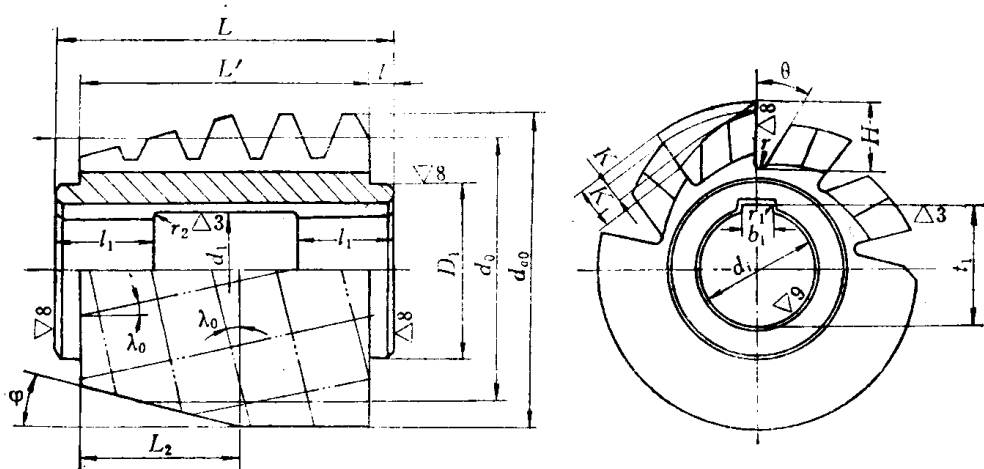


图7-9 带孔式切向进给蜗轮滚刀

2. 蜗轮滚刀的外径 d_{a0}

蜗轮滚刀的外径应比原工作蜗杆外径大。一方面是为了使滚刀切出的蜗轮具有一定的径向间隙,另一方面是要考虑滚刀重磨后外径减小的补偿问题。加工蜗轮时,蜗轮滚刀与所切蜗轮的中心距必须等于原工作蜗杆与蜗轮的中心距。不论新滚刀还是用钝重磨过几次的旧滚刀,加工蜗轮时的中心距都不变。而经刃磨后的旧滚刀与新滚刀相比,齿顶高将降低,所切出来的蜗轮根圆直径要增大,径向间隙将减小。为使蜗轮径向间隙减小后仍在允许范围内,设计时应预先把新滚刀齿高加大 $0.1m$ 。这样新滚刀的外径应为

$$d_{a0} = d_{a1} + 2(c' + 0.1)m \quad (7-23)$$

式中 d_{a1} ——原工作蜗杆外径;

c' ——蜗轮的径向间隙系数,一般为 0.2。

3. 切削角度

为使齿形测量方便,蜗轮滚刀的前角一般取为零度。粗加工时也可以取为正前角,这时其齿形也应按正前角滚刀的齿形计算。正前角蜗轮滚刀齿形设计的理论与方法和正前角齿轮滚刀相同。

蜗轮滚刀的后角与齿轮滚刀一样,是由铲背获得的。当滚刀螺旋升角较小时,可用下面近似公式计算铲背量(见式 5-1)

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_K} \operatorname{tg} \alpha_e \quad (7-24)$$

式中 α_e ——滚刀端截面上的齿顶后角。

滚刀的实际后角应在滚刀的螺旋线方向测量。当 λ_0 大时, 蜗轮滚刀的齿顶(在滚刀的螺旋线方向)与端面间的夹角很大, 这时就不应再用简化的公式计算滚刀的铲背量, 而应按螺旋线方向计算。

已知滚刀每转的铲削次数为 N , $N = \frac{z_K}{\cos^2 \lambda_0}$ (参考第五章第三节之三), 设滚刀端面方向后角为 α_e , 则铲背量 K 应为:

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{N} \operatorname{tg} \alpha_e = \frac{\pi d_{a0}}{z_K} \cos^2 \lambda_0 \operatorname{tg} \alpha_e \quad (a)$$

端面方向的后角 α_e 与螺旋线方向的后角 α'_e 存在下述关系

$$\operatorname{tg} \alpha_e = \operatorname{tg} \alpha'_e \cos \lambda_{a0} \approx \operatorname{tg} \alpha'_e \cos \lambda_0 \quad (b)$$

式中 λ_{a0} ——滚刀顶刃螺旋升角, $\lambda_{a0} \approx \lambda_0$ 。

(b) 式代入 (a), 得

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_K} \cos^3 \lambda_0 \operatorname{tg} \alpha'_e \quad (7-25)$$

式 (7-25) 就是滚刀螺旋线方向的后角与铲背量的关系。当给定 α'_e 时, 可根据式 (7-25) 算出 K 值。

蜗轮滚刀的后角 α'_e 可取为 $10^\circ \sim 12^\circ$ 或稍小些, 因为蜗轮滚刀外径受原工作蜗杆尺寸的限制, 一般比同模数的齿轮滚刀外径小。这时, 若取 α'_e 太大, 铲背量 K 亦太大, 可能使滚刀容屑槽 H 太深 $\left(H = h + \frac{K + K_1}{2} + (0.5 \sim 1.5) \text{ 毫米, 见式 5-52} \right)$ 。为保证刀体强度, 对带孔滚刀要求 (参阅图 7-9):

$$\frac{d_{a0}}{2} - H - \left(t_1 - \frac{d_i}{2} \right) \geq 0.3 d_i \quad (7-26)$$

式中 t_1 ——槽底到键顶高度, 见图 7-9;

d_i ——滚刀内孔直径。

由公式看出, 当 K 大使 H 加深时, 将降低滚刀强度, 这时可适当减小滚刀齿顶后角。当滚刀外径较小而希望圆周齿数多些时, 也要求 K 值较小, 也应减小滚刀的后角。

4. 圆周齿数

如上所述, 蜗轮滚刀的外径受原工作蜗杆的限制, 一般较小。因此使滚刀的圆周齿数也较少, 这将减少包络被切齿面的刀刃数目, 从而降低切齿的光洁度。特别是多头滚刀, 此影响更大。为提高被切齿光洁度, 应在保证滚刀刀齿强度的前提下, 适当减小滚刀齿背长度, 以增加滚刀的圆周齿数。这样做虽然将减少刀齿的可磨次数, 但一般不会降低滚刀的使用寿命。因为滚刀刃磨次数稍多时, 齿厚减小, 加工的蜗轮齿厚将过大, 因此蜗轮滚刀刃磨次数不很多, 这就允许把滚刀齿背做短些, 以增加圆周齿数。应尽量使滚刀圆周齿数符合下面要求: 加工 6 级精度的蜗轮副, $z_K \geq 12$; 7 级 $z_K \geq 10$, 8 级 $z_K \geq 8$; 9 级 $z_K \geq 6$ 。

此外, 确定滚刀圆周齿数时, 还要考虑它和被切蜗轮的齿数有无公因数的问题。

① 径向进给的蜗轮滚刀, 当蜗轮齿数 z_2 与蜗杆头数 z_0 之比不成整倍数时, 则滚刀