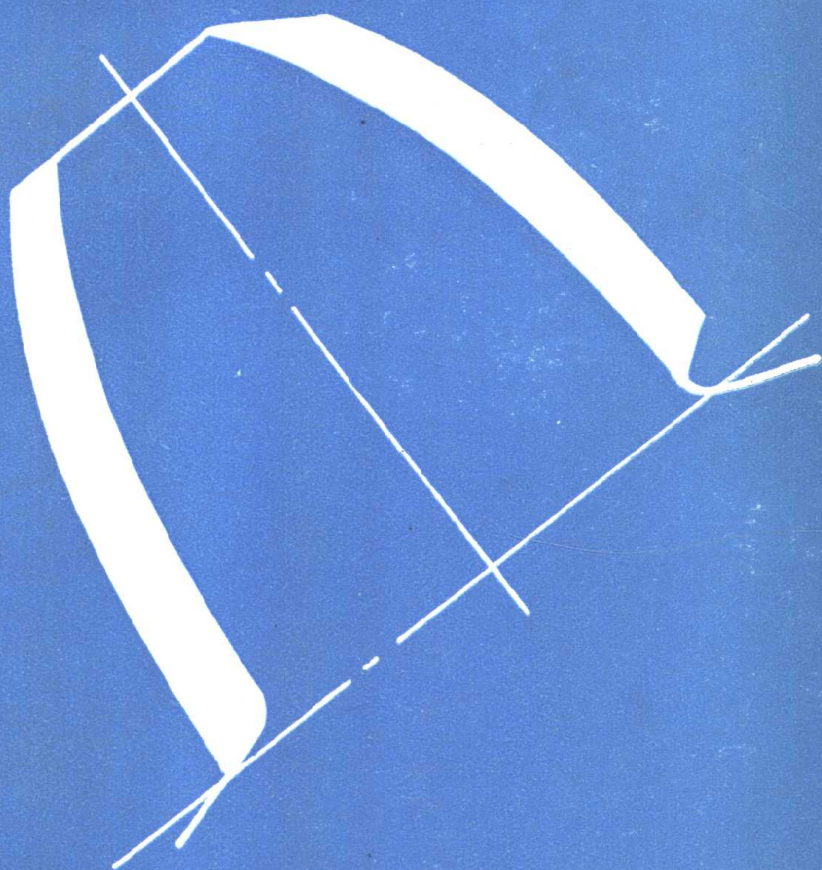


铲齿铣刀

杨泽民 编著



机械工业出版社

铲 齿 铣 刀

杨 泽 民 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书是一本专门叙述铲齿铣刀计算原理及制造的书籍。
全书共分五部分：铲齿加工，铲齿前的工艺准备，铲刀与样板，铲齿铣刀的制作，凸轮及其曲线。

本书内容联系实际，在铣刀廓形计算公式的推导以及对有关理论问题所进行的探讨方面，具有独到的见解，可供从事刀具设计和制造的技术人员参考。

铲齿铣刀

杨泽民 编著

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 5 1/4·字数 115 千字

1985年9月北京第一版·1985年9月北京第一次印刷

印数 0,001—5,020·定价 1.30 元

统一书号：15033·5931

序 言

随着机械工业的发展，铲齿铣刀的应用已十分广泛。生产实践要求提供关于铲齿铣刀制造的、比较系统的技术资料。为此，在总结实践经验的基础上，对有关理论作了进一步探讨，并着手编著了这本《铲齿铣刀》，以供从事刀具方面工作的同志参考。

成形铣刀按照齿背的形式，可分为尖齿和铲齿两种。尖齿成形铣刀的齿背是铣制而成的，用钝以后修磨后刀面，如无专用工具，则不能保持其廓形的精度；铲齿成形铣刀的齿背是用铲齿方法制成的，用钝以后修磨前刀面，不需要专用工具，有保持其廓形不变的特点，因此得到了广泛应用。然而，铲齿铣刀的生产周期偏长，工艺也比较复杂。

本书从铲齿前的工艺准备、镜板的绘制，到成品的检验测量，对铲齿铣刀的计算原理及其制造工艺，作了较为详细的论述，并列举了具有一定代表性的铲齿刀具的加工实例。对直线齿背与圆磨法成形铣刀，也作了扼要的介绍。在铲刀和铲磨用砂轮截形的计算中，分别运用了铣刀前刀面偏移算法和等距曲线理论，简化了铲刀廓形的计算过程，而砂轮截形的计算结果，则较以往通常采用的计算方法更加精确可靠。

最后，希望本书对从事刀具方面工作的有关同志能有所帮助。由于水平有限，加之对理论问题的研究比较肤浅，书中错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

目 录

一 铲齿加工.....	1
(一) 关于铲齿铣刀和铲刀几何参数的基本概念.....	1
(二) 铲齿加工	17
二 铲齿前的工艺准备.....	42
(一) 铲齿铣刀廓形计算	42
(二) 放大图形的绘制	61
三 铲刀与样板.....	70
(一) 曲线磨床与投影仪	70
(二) 铲刀	75
(三) 样板	86
四 铲齿铣刀的制作.....	90
(一) 工艺规程的编制	90
(二) 铲齿铣刀加工实例	106
(三) 铲齿铣刀的检验	131
五 凸轮及其曲线.....	138
(一) 凸轮曲线的选择	138
(二) 凸轮的加工	145
(三) 凸轮的测量	154
(四) 其他线型齿背铲齿成形铣刀	155
(五) 圆磨法成形铣刀	163

一 铲 齿 加 工

铲齿铣刀广泛应用于机械加工行业，进行各种成形面、腔或成形沟槽的铣削加工。

铲齿铣刀廓形及齿背的加工，是在铲齿车床上进行的。铲齿车床是利用主轴的匀速转动和刀架在凸轮作用下有规律地进退这两种运动的合成，来完成对刀具毛坯加工的金属切削机床，其加工对象最为普遍的是成形铣刀和滚刀，统称铲齿刀具。本书着重阐述铲齿铣刀的制造。

(一) 关于铲齿铣刀和铣刀几何参数的基本概念

1. 铲齿铣刀的类型和应用范围

用铲齿方法加工的成形铣刀，具有简便、易行、高效等特点。铲齿加工的刀具，其复杂的刀具廓形，可由成形铲刀一次铲成。刀具使用后，只需修磨前刀面，即可保持铣刀廓形不变。

铲齿刀具的类型很多，除了许多按成形表面的需要而制成的专用铣刀外，还有多种标准铲齿刀具，例如凸半圆铣刀（GB 1124-73）和凹半圆铣刀（GB 1125-73）、齿轮铣刀（JB2498-78）、小模数齿轮滚刀（JB2494-78）和齿轮滚刀（JB2495-78）、铲齿粗加工波形铣刀、加工花键轴的刀具、指状齿轮铣刀、加工各种刀具（麻花钻、扩孔钻、铰刀、铣刀、丝锥等）的齿槽铣刀以及齿纹铣刀等。如图 1-1 所示。

铣齿铣刀又可分为不磨齿形的和铲磨齿形的两种。铲磨齿形的铣刀，大多是加工精度较高的螺纹、齿轮、花键以及其他成形表面，这类刀具都具有直槽或螺旋沟槽。

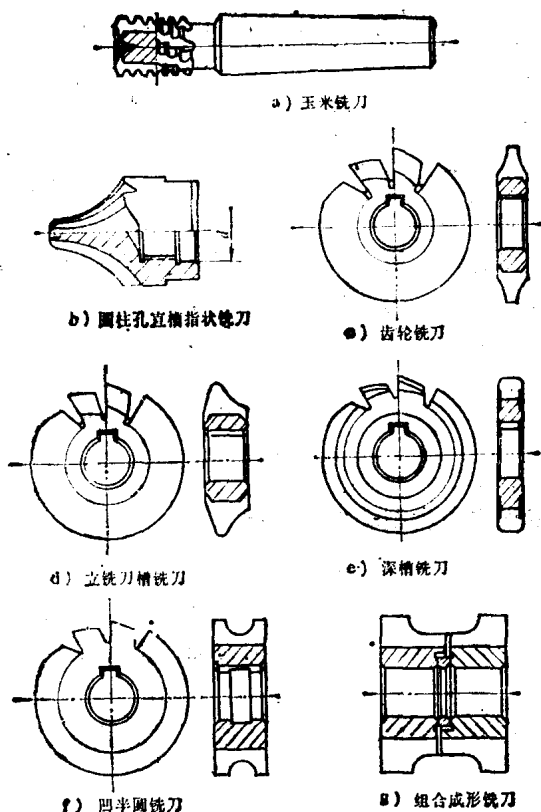


图1-1 铲齿铣刀的类型

铲齿刀具大部分制成套装的。也有带柄的铲齿刀具（如波形铣刀、梳形螺纹铣刀或蜗轮滚刀等）。

下面对铲齿铣刀和铲刀有关的几何参数的基本概念作一概括介绍。

2. 铲齿铣刀的几何参数

基面和切削平面是研究刀具切削部分几何参数的座标平

面，也叫作参考平面。

基面 P_r ，切削刃上任意一点的基面，是通过该点，并与该点切削速度向量相垂直的面。对铣刀来说，●包含有刀具的轴线。

切削平面 P_s ，切削刃上任意一点的切削平面，是通过该点并与该点的切削表面相切，同时垂直于该点基面的平面。

图1-2所示为铲齿铣刀的后角。过铲齿铣刀廓形上的A点，作齿背的切平面M和铣刀的切削平面 P_s ，该二平面的夹角 α_{ps} ，即为铣刀在垂直于轴线的截面上A点处的后角（也就是铲齿铣刀的径向后角）。

轴向铲齿加工的铲齿铣刀，轴向后角系指平行于轴线的截面上的后角。

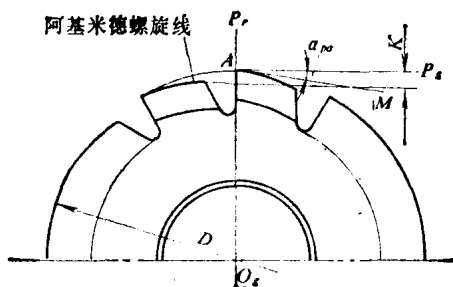


图1-2 铲齿铣刀的后角

当A点处于铲齿铣刀最大直径

（即铣刀的名义直径）处时，A点的径向后角（或简称铣刀后角）又可称为顶刃后角。顶刃后角供铲齿加工时选择凸轮用，通常取 $\alpha_{ps}=9^\circ\sim 12^\circ$ 。

在铲齿加工中，由凸轮的升程K值决定铣刀后角的大小。K值亦即铣刀的铲背量，其计算公式推导如下。

图1-3所示为阿基米德螺旋线，其极坐标方程为：

$$\rho = f(\theta) \quad (1)$$

利用直角坐标与极坐标之关系 $x = \rho \cos \theta$ ， $y = \rho \sin \theta$ ，则该曲线的参数方程为：

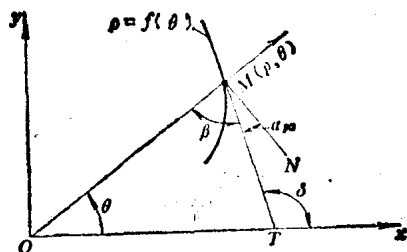


图1-3 阿基米德螺旋线

$$\left. \begin{aligned} x &= f(\theta) \cos \theta \\ y &= f(\theta) \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

该曲线的切线斜率为:

$$\begin{aligned} y'(x) &= \frac{dy}{d\theta} \div \frac{dx}{d\theta} = \frac{f'(\theta) \sin \theta + f(\theta) \cos \theta}{f'(\theta) \cos \theta - f(\theta) \sin \theta} \\ &= \frac{f'(\theta) \operatorname{tg} \theta + f(\theta)}{f'(\theta) - f(\theta) \operatorname{tg} \theta} \end{aligned} \quad (3)$$

设曲线在点 $M(\rho, \theta)$ 的矢径 $\overrightarrow{OM}$ 与切线 MT 间的夹角为 β 。过 M 点作矢径 $\overrightarrow{OM}$ 的垂线 MN ，与切线 MT 间的夹角为 α_{ps} 。因为 $\beta = \delta - \theta$ ，而 β 与 α_{ps} 互为余角，故：

$$\operatorname{tg} \alpha_{ps} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{1 + y'(x) \operatorname{tg} \theta}{y'(x) - \operatorname{tg} \theta} \quad (4)$$

将(3)式代入(4)式并简化，得：

$$\operatorname{tg} \alpha_{ps} = \frac{f'(\theta)}{f(\theta)} \quad (5)$$

因为铲齿铣刀齿背呈阿基米德螺旋线形状，用极坐标方程可表示为：

$$\rho = a\theta \quad (6)$$

式中 a —— 铲齿铣刀齿背的阿基米德螺旋线特性系数

$$a = \frac{KZ}{2\pi}$$

式中 Z —— 铣刀齿数;

$$K \text{ —— 铣刀铲背量, } K = \frac{\pi D}{Z} \operatorname{tg} \alpha_{p.s.} \quad (1-1)$$

用公式 (1-1) 计算所得的铲背量 K , 须圆整到 0.5 mm。

从上式可以看出, 铲齿铣刀经修磨后, 其直径将逐步缩小, 而后角则逐步增大。只是这种变化的幅度很小, 一般不致影响铣刀的切削性能。

对铲齿铣刀的廓形上任意点 X 处的径向后角 $\alpha_{p.s.}$, 只要在公式 (1-1) 中相应地将铣刀直径代之以 X 点处直径即可。

当已知铣刀直径 D 和铣刀齿数 Z 时, 铲齿铣刀的铲背量 K 可以从表 1-1 中直接查得。

象铲齿铣刀这类的多刃刀具, 合理地选择工作后角, 减少刀具后刀面与工件已加工表面之间的摩擦, 是提高刀具使用寿命的重要途径之一。

在设计铲齿铣刀时, 尚需使切削刃上每一点都有足够的法向后角(或称法截面后角) α_n , 它与径向后角 α_p 之间存在如下的关系, 即:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_p \sin \varphi_s$$

式中 φ_s —— 切削刃上任一点 X 的法线与铣刀轴线间的夹角。

铣刀切削刃上任意一点的法截面, 为通过该点与切削刃相垂直(当刃倾角 $\lambda_s = 0$ 时), 且垂直于该点切削平面与基面的截面。

表1-1 铲齿加工用凸轮K值选择表

铣刀齿数 Z	6		8		9		10		11		12		14		16	
	K	a	K	a	K	a	K	a	K	a	K	a	K	a	K	a
25	2.5		2	11°31'	1.5	9°45'	1.5	10°49'	1.5	11°52'	1	8°41'	1	10°06'	1	11°31'
30	3		2	9°38'	2	10°49'	1.5	9°02'	1.5	9°56'	1.5	10°49'	1	8°27'	1	9°38'
35	3.5		2.5	10°18'	2.5	11°34'	2	10°18'	2	11°21'	1.5	9°18'	1.5	10°49'	1	8°17'
40	4		3	10°49'	2.5	10°09'	2.5	11°15'	2	9°56'	2	10°49'	1.5	9°30'	1.5	10°49'
45	4.5		3.5	11°12'	3	10°49'	2.5	10°02'	2.5	11°	2	9°38'	2	11°12'	1.5	9°38'
50	5		3.5	10°06'	3.5	11°20'	3	10°49'	2.5	9°56'	2.5	10°49'	2	10°06'	2	11°31'
55	5.5		4	10°30'	3.5	10°20'	3	9°51'	3	10°49'	2.5	9°51'	2.5	11°27'	2	10°30'
60	6		4.5	10°49'	4	10°49'	3.5	10°31'	3.5	11°32'	3	10°49'	2.5	10°31'	2	9°38'
65	6.5		4.5	10°	4	10°	4	11°05'	3.5	10°40'	3	10°	2.5	9°44'	2.5	11°05'
70	7	10°49'	5	10°18'	4.5	10°26'	4	10°18'	4	11°19'	3.5	10°49'	3	10°49'	2.5	10°18'
75	7.5		5.5	10°35'	5	10°49'	4.5	10°49'	4	10°35'	3.5	10°06'	3	10°06'	2.5	9°38'
80	8		6	10°49'	5	10°09'	4.5	10°09'	4.5	11°08'	4	10°49'	3.5	11°02'	3	10°49'

85	8.5	6	10°11'	5.510°30'	5	10°36'	4.510°30'	4	10°11'	3.510°24'	3	10°11'	
90	9	6.5	10°25'	6	10°49'	5.511°	5.511°	4.510°49'	4	11°12'	3	511°12'	
95	9.5	7	10°38'	6	10°15'	5.510°26'	5	10°26'	4.510°15'	4	10°38'	3	510°38'
100	10	7	10°06'	6.510°33'	6	10°49'	5.510°54'	5	10°49'	4	10°06'	3	510°06'
105	10.5	7.5	10°18'	6.510°05'	6	10°18'	5.510°24'	5	10°18'	4.510°49'	3.5	9°32'	
110	11	8	10°30'	7	10°20'	6.510°39'	6	10°49'	5.510°49'	4.510°20'	4	10°30'	
115	11.5	8	10°03'	7.510°35'	6.510°12'	6.511°12'	6.510°44'	6	10°49'	5	10°58'	4	10°03'
120	12	8.5	10°13'	7.510°09'	7	10°31'	6.510°44'	6	10°49'	5	10°31'	4.510°49'	
125		9	10°23'	8	10°23'	7.510°49'	7	11°06'	6	10°23'	5.511°06'	4.510°23'	
130		9.5	10°32'	8	10°	7.510°24'	7	10°40'	6	10°	5.510°40'	4.510°	
135		9.5	10°10'	8.510°14'	8	10°41'	7.511°03'	6.510°25'	5.510°17'	5	10°41'		
140		10	10°18'	9	10°26'	8	10°18'	7.510°37'	6.510°03'	6	10°49'	5	10°18'
145		10.5	10°27'	9	10°05'	8	9°58'	8	10°56'	7	10°27'	6	10°27'
150		10.5	10°06'	9.510°17'	8.510°13'	8	10°35'	7	10°06'	6	10°06'	5.510°35'	
155		11	10°15'	10	10°28'	9	10°28'	8.510°52'	7.510°28'	6.510°35'	5.510°15'		
160		11	9°56'	10	10°09'	9	10°09'	8.510°32'	7.510°09'	6.510°16'	6	10°49'	

铣刀切削刃廓形上的法向后角 α_n ，在铲背量 K 、铣刀直径 D 、齿数 Z 均不改变的情况下，随铣刀廓形曲线上各点的切线与铣刀端面间夹角的增大而增大，随切线与铣刀端面间夹角减小而减小。当 φ_x 角为 90° 时，其法向后角等于铣刀的径向后角；当 φ_x 角为 0° 时，法向后角也为零。

例如，刀号 $1^* \sim 5^*$ 与 $6^* \sim 8^*$ 的同种规格模数盘形齿轮铣刀，在直径、齿数相同的情况下，须选用不同升程 K 值的凸轮来进行铲齿加工。因为不同刀号的齿轮铣刀，其廓形曲线在铣刀切削刃廓形各点的切线与铣刀端面间夹角相差较大，致使相应部位的法向后角也有较大的变化。因此，刀号较小的齿轮铣刀，采用较大升程的凸轮进行铲齿，以增大顶刃后角的数值，使两侧刃获得必要的法向后角。

以模数 $m=6$ 的齿轮铣刀为例，其直径 $D=100\text{mm}$ ，齿数 $Z=11$ ， $1^* \sim 5^*$ 铣刀的铲背量 $K=7.5$ ，铣刀后角 $\alpha_{p1}=14^\circ 46'$ ， $6^* \sim 8^*$ 铣刀铲背量 $K=5$ ，铣刀后角 $\alpha_{p2}=9^\circ 56'$ 。但 1^* 齿轮铣刀的最小法向后角 $\alpha_{n1}=1^\circ 20'$ ， 5^* 齿轮铣刀的最小后角 $\alpha_{n5}=2^\circ 36'$ ，而 8^* 齿轮铣刀的最小法向后角 $\alpha_{n8}=3^\circ 24'$ 。

图1-4所示为铲刀在铲削凸半圆铣刀时的工作状况。铲刀若沿凸半圆铣刀侧面的 B 点处作径向铲齿，此时无论选多大升程的凸轮，始终不会有切屑切下，而只有摩擦。这是因为 B 点的法向后角为零度所致。因此，这类铲齿铣刀的切削速度和耐用度常常受到影响，工件上被加工表面的光洁度也难提高。

铣刀型面切削刃上 X 点处的法向后角 α_{nx} ：

$$\alpha_{nx} = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{KZ}{\pi D_x} \sin \varphi_x \right) \quad (1-2)$$

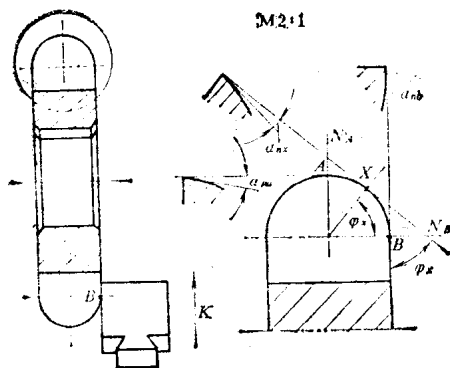


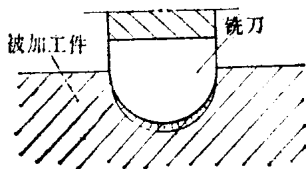
图1-4 铲刀铲削凸半圆铣刀时的工作状况

式中 D_x ——X点所在铣刀切削刃廓形处直径；

φ_x ——过铣刀切削刃廓形上X点的切线与铣刀端面间的夹角，也可以说是X点的法线与铣刀轴线的夹角。

根据上式计算结果，铣刀后角 $\alpha_{pa}=12^\circ$ 、夹角 $\varphi_x=10^\circ$ 时，X点处法向后角 $\alpha_{nx}=1^\circ 40'$ 。

图1-5所示为凸半圆铣刀的工作情况。由图可知，在铣刀法向后角逐渐减小的区域，切屑也逐渐变薄。薄屑铣削时刀具磨损的主要原因，就是铣刀后刀面与被加工工件之间摩擦的结果。



为了改善铣刀切削条件，凸、凹半圆铣刀一般均制成图1-6所示的形式，将两侧 10° 处的圆弧改成一段与圆弧相切的

斜线，即 $\varphi_x=10^\circ$ ，这样可使两侧的后角 $\alpha_{nx} \approx 2^\circ$ 。

对于具有类似廓形曲线的铲齿铣刀，可以采用改变工件

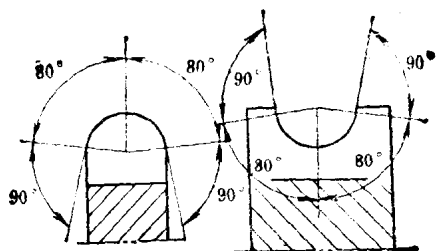


图1-6 凸、凹半圆铣刀廓形

的安装位置,以改善铣刀切削刃的法向后角值。如图1-7a所示将工件相对铣刀轴线倾斜 φ 角安装,则可改善铣刀切削刃的法向后角值。在可能的条件下,也常用改径向铲齿为斜向铲齿,如图1-7b所示。

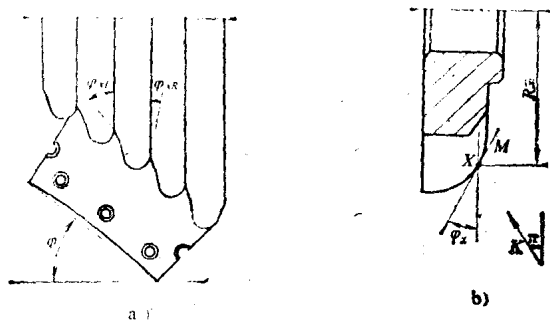


图1-7 斜置工件法和斜向铲齿加工

斜置铲齿加工的铲齿铣刀,其廓形切削刃上X点处的径向后角 α_{px} 为:

$$\alpha_{px} = \operatorname{tg}^{-1} \left\{ \frac{KZ}{\pi D_x} (\sin \tau \operatorname{ctg} \varphi_x + \cos \tau) \right\} \quad (1-3)$$

斜向铲齿加工的铲齿铣刀,其廓形切削刃上X点处的法向后角 α_{nx} 则为:

$$a_{nx} = \operatorname{tg}^{-1} \left[-\frac{KZ}{\pi D_x} \sin(\varphi_x + \tau) \right] \quad (1-4)$$

式中 τ ——斜向铲齿的铲齿方向角。

图1-8所示为轴斜向铲齿加工。轴斜向铲齿加工的铲齿铣刀，廓形切削刃上X点处的轴向后角 a_x 为：

$$a_x = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{KZ}{\pi D_x} (\cos \tau \operatorname{tg} \varphi_x + \sin \tau) \right] \quad (1-5)$$

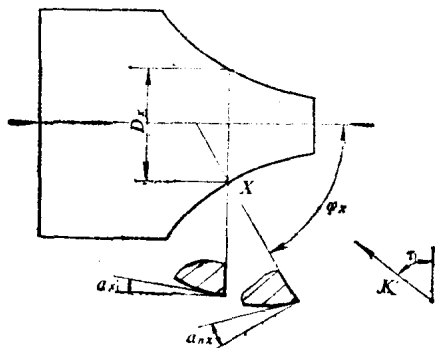


图1-8 轴斜向铲齿加工

轴斜向铲齿加工的铲齿铣刀，廓形切削刃上X点处的法向后角 a_{nx} 为：

$$a_{nx} = \operatorname{tg}^{-1} \left[-\frac{KZ}{\pi D_x} \sin(\varphi_x + \tau) \right] \quad (1-6)$$

公式 (1-5)、(1-6) 中令 $\tau=90^\circ$ ，即得轴向铲齿加工的铲齿铣刀廓形切削刃上X点处轴向后角 a_x 与法向后角 a_{nx} 之计算公式。

铲齿铣刀的前角是铣刀切削部分重要的几何参数之一。有关试验证明，为了改善切削条件，适当地增大前角，可显著降低切削力，铣刀前、后刀面的磨损均有明显改善。尤其

是在加工强度高、塑性大的材料时，前角的功用更不容忽视。但为了便于设计和制造，常取径向前角 $\gamma_{ps}=0^\circ$ ，即前刀面通过铣刀轴线。只有当粗加工时，为了改善切削条件，才取径向前角 $\gamma_{ps}=5^\circ\sim 10^\circ$ 。

铣刀前刀面为一平面时，前角的测量比较容易，设计要求前刀面为平面。但当前刀面如图1-9a所示为一曲面时，铣刀的前角 γ_{ps} 为过顶点A的切平面A_t与通过A点处铣刀基面P_r的夹角。

铣刀前刀面上呈凸起或凹下等曲线状的现象，在加工中称为直线度不好。对于容屑槽为直沟槽的铣刀，前刀面直线度不好的现象较少发生。这一类型的前角在使用多刀角尺进行直接测量时，只有当置于前刀面上的测脚长度渐趋于零时，所测得的前角 γ_{ps} 才是铣刀的前角。然而这种测量方法由于视差较大，当测脚长度小于1mm时，常因测脚与前刀面贴合的情况无法看清楚而不容易正确测量。

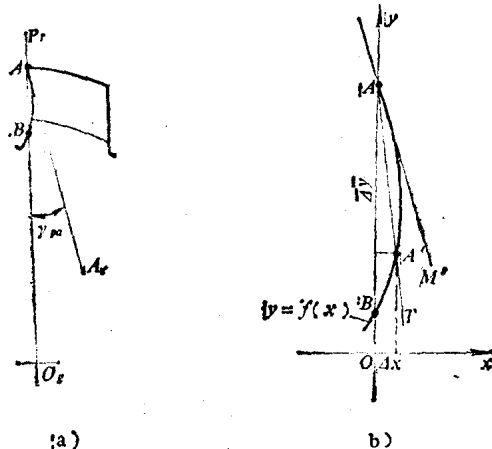


图1-9 铣刀前刀面呈曲面