



XIGONG
JISUAN
ZHISHI

机 工计算知识



谢 竹 铭 编 著
辽 宁 人 民 出 版 社

铣工计算知识

谢竹铭编著

•
辽宁人民出版社出版

(沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行

朝阳六六七厂印刷

•
开本: 850×1168 1/32 印张: 10 1/4 插页: 3

字数: 508,000 印数: 27,001—39,000

1979年9月第1版 1980年12月第2版

1980年12月第4次印刷

统一书号: 15090·78 定价: 1.95元

前 言

《铣工计算知识》一书于一九五九年出版以来，曾收到广大读者从全国各地寄来不少信件，对作者给以支持和鼓励，对该书给以肯定，同时还提出一些意见和建议，如希望增加一些工艺操作等方面的内容。对于读者提出的建议，本拟于再版时考虑，但由于“四人帮”的干扰和破坏，愿望未能实现。

粉碎“四人帮”以来，伟大的社会主义祖国前程似锦，在党的极大地提高中华民族的科学文化水平的伟大号召下，一个学习科学文化的高潮正在到来，笔者在欢欣鼓舞之余，重写《铣工计算知识》，以便为加速我国工业现代化的进程做出菲薄的贡献。

本书自出版以来，廿年过去了，铣削工艺、铣刀及铣床都有一定的发展，这次重写综合了读者的意见、要求，以及铣削技术现阶段的情况，除增加新的章节外，并对原有各章也增加了新的内容，特别是复杂零件的加工计算，增加了关键工艺的操作；同时也删去一些过于简单的部分。但全书内容仍保持原有的深度，以满足四、五级以下铣工掌握铣削工艺的需要。

趁此再版的机会，对广大读者所给予的热情支持与鼓励表示感谢！并欢迎大家对本版书中存在的缺点和错误，多加指教，以便进一步改正。

谢 竹 铭

一九七九年九月一日

目 次

一 铣刀及其使用计算	1
1. 圆柱铣刀及其几何角度计算	1
2. 切削速度与进给量的计算	4
3. 端铣刀、不重磨铣刀及其角度计算	9
4. 波刃立铣刀	14
二 齿轮传动的传动比及转数计算	16
1. 齿轮对	16
2. 单式轮系	18
3. 复式轮系	20
三 万能分度头及分度法	27
1. 分度头及其传动	27
2. 简单分度法	30
3. 差动分度法及其简化计算	33
4. 顾祖尔分度法及其缺点	44
5. 复式分度法	45
6. 角度分度法	46
四 多面体的铣削计算	49
1. 四方的加工计算	49
2. 六方的加工计算	52
3. 单数多面体的加工计算	54

五 沟槽的铣削计算	57
1. 矩形花键轴的铣削计算	57
2. 燕尾槽的铣削计算	62
3. 键槽的加工与测量计算	67
六 圆的轨迹成形加工计算	71
1. 一般球面的加工计算	72
2. 偏心球面的加工计算	80
3. 椭圆工件的铣削计算	90
4. 手柄曲线的铣削计算	98
七 标准正齿轮的计算与铣削	103
1. 渐开线的形成	103
2. 标准正齿轮各部分名称及代号	104
3. 公制标准正齿轮的铣削计算	108
4. 英制标准正齿轮的铣削计算	117
5. 节圆弦齿厚、固定弦齿厚及公法线长度的测量计算	127
6. 齿轮公差标准及应用	148
八 齿条的加工计算	159
1. 直齿条各部分尺寸的计算	159
2. 斜齿条各部分尺寸的计算	161
3. 短齿条的加工计算	166
4. 长齿条的加工计算	167
5. 齿条的测量计算与公差	172
九 直齿铣刀的开齿计算	177
1. 前角等于零度铣刀的开齿计算	177
2. 前角大于零度铣刀的开齿计算	181
3. 开折齿的计算	185
十 铰刀的加工计算	190
1. 圆柱铰刀的开齿计算	190

2. 锥铰刀的开齿计算	195
十一 离合器的加工计算	202
1. 爪状离合器的加工计算	202
2. 齿形离合器的加工计算	206
十二 三面刃铣刀及角铣刀的开齿计算	212
1. 三面刃铣刀的开齿计算	212
2. 角铣刀的加工计算	214
十三 标准伞齿轮的加工计算	221
1. 各部分名称	221
2. 公、英制伞齿轮各部分尺寸的计算	224
3. 刀号的选择计算	247
4. 铣削及其计算	250
5. 齿厚测量计算及公差	257
十四 螺旋槽的加工计算	264
1. 螺旋线的形成	264
2. 导程及挂轮计算	265
3. 螺旋槽的铣削特点及注意事情	269
4. 公制螺旋齿轮的铣削计算	271
5. 英制螺旋齿轮的铣削计算	287
6. 固定弦、公法线及节圆齿厚的测量计算	295
7. 蜗轮蜗杆的铣削计算	325
十五 凸轮的加工计算	345
1. 凸轮的种类及其应用	345
2. 圆盘凸轮的加工计算	346
3. 圆柱凸轮的铣削与计算	365
十六 铣床的传动计算	378
1. X62 型卧式铣床的传动计算	378

2. XK5040 数控立式铣床传动计算	392
十七 滚齿机上加工齿轮时的计算	399
1. 齿形是怎样滚削出来的	399
2. Y37 滚齿机的传动	402
3. 标准正齿轮的加工与计算	406
4. 标准螺旋齿轮的加工及其计算	420
5. 短齿正齿轮的加工计算	437
6. 双模数、双径节正齿轮的加工计算	444
7. 变位正齿轮的加工计算	458
8. 大质数正齿轮的加工计算	489
9. 蜗轮的加工计算	494
十八 机动时间的计算	511
1. 用圆柱形铣刀加工时机动时间的计算	511
2. 端铣时机动时间的计算	513
3. 加工齿轮时机动时间的计算	516
计算练习解答	520
附录一 常用三角公式	566
附录二 挂轮的传动比表	573
附录三 从 1 到 5000 的质因数表 (小于 127)	614

一 铣刀及其使用计算

“工欲善其事，必先利其器”。在铣床上切削时，铣刀是十分重要的工具。在生产中，选用良好的铣刀，工件才能加工得又快又好。但铣刀能否获得较为理想的加工效果，除了刀具本身材料的优劣，铣刀上的几何形状，即刀齿的各个角度及形状，对生产率的提高也起着十分重要的作用。我们不但要了解铣刀上的各个角度，还应掌握正确的计算。

1. 圆柱铣刀及其几何角度计算

实际上，可以把铣刀看成是由几把刨刀或车刀组成的。图 1—1 所示，是用刨刀加工工件的情况。刨刀按箭头方向运动就能刨平工件，表面上的一层金属则成了切屑。而图 1—2 是圆柱铣刀切削工件时的情形。把这两图比较一下可以看出，铣削加工可以看成是由几个刨刀头转动时切削工件的一种加工方法。

铣刀刀齿上有几个最基本的名称也与刨刀相同，如图 1—2 及 1—1 那样，刀齿排开切屑的表面叫前面，对着工件上已加工面的表面叫后面，前面与后面相

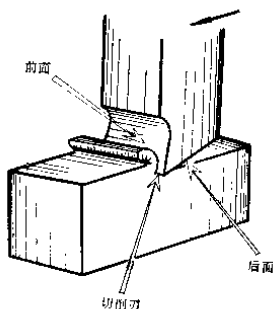


图 1—1

交的直线叫切削刃或刀刃。

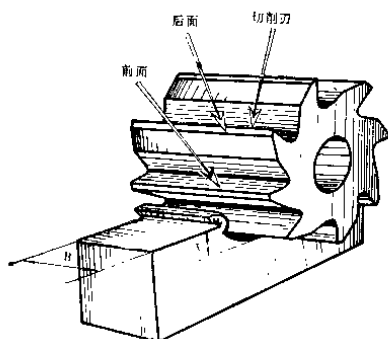


图 1—2

为了弄清楚铣刀上的各个角度，可用图 1—3 作一说明。通过铣刀的切削刃及铣刀的轴心线先作一个径向平面 A，再作一个通过切削刃与径向平面垂直的切削平面 C。这二个平面实际上并不存在，它们是假想平面。现在我们来看看刀齿上有哪些角度。首先，是前面与后面之间所夹的角度，好象一个尖楔，所以称为楔角，用希腊字母 β （读作：倍大）代表。还可以看出，在刀齿前面与径向平面之间也夹有一个角度，叫前角，用希腊字母 γ 〔读作：嘎（格阿）马〕代表。刀齿后面

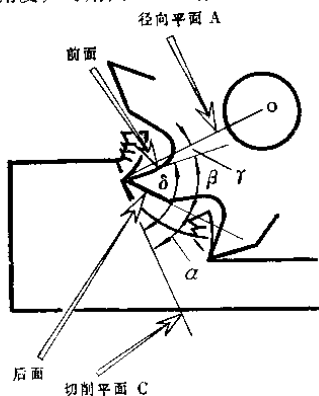


图 1—3

叫后角，用希腊字母 α 〔读作：嘎（格阿）马〕代表。刀齿后面

与切削平面C之间的夹角叫后角，用 α （读作：阿尔法）代表。而刀齿前面与切削平面之间的夹角，叫切削角，用 δ （读作：待而大）代表。

由于作切削平面时是与径向平面相垂直的，所以它们之间相夹的角度总和等于 90° ，即：

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (1-1)$$

$$\text{或 } \delta + \gamma = 90^\circ \quad (1-2)$$

$$\text{面 } \delta = \alpha + \beta \quad (1-3)$$

因此，只要知道刀齿上的两个角度，就可算出另一角度。

例1—1 圆柱铣刀上的前角等于 5° ，为了得到 12° 的后角，问刀齿的楔角应磨成多少度？

〔解〕已知前角 $\gamma = 5^\circ$ ，后角 $\alpha = 12^\circ$ ，把它们代入公式（1—1）就得到：

$$\beta = 90^\circ - \alpha - \gamma = 90^\circ - 12^\circ - 5^\circ = 73^\circ$$

也就是铣刀刃磨后面时应该把楔角磨成 73° 。

铣刀上的这些角度有什么作用呢？它们应该等于多大？

楔角 β 的大小关系到刀齿的强度， β 较大时刀齿的强度大， β 过小刀齿就不结实。

前角 γ 增加，能使切削比较容易，排屑流畅，并减少与刀齿前面的摩擦。但前角过大，加工中常常会使切削刃崩断，所以前角的数值应根据加工工件的材料进行选择。

对于圆柱铣刀来说，加工强度较大的钢材时，前角 γ 常取 10° ，加工中等强度的钢材时取 $\gamma = 15^\circ$ ，加工较低强度的钢材时取 $\gamma = 20^\circ$ ，加工铸铁时取 $\gamma = 10^\circ \sim 15^\circ$ ，加工铝及其合金时取 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。工具厂生产的圆柱铣刀一般都作成 $\gamma = 15^\circ$ 。对于齿轮铣刀等成形铣刀，为了使铣出的槽形不变，精铣时它们的 $\gamma = 0^\circ$ 。

后角 α 的作用，主要是为了减少刀齿后面和已加工出表面之间的摩擦。这样，一方面可以使刀齿磨损减慢，另一方面也保护

了已加工面不受损伤。但是后角过大不但刀齿强度减低，容易崩刃，而且刀齿后面的磨损反而加快。后角大小的选择不但要根据工件的材料来决定，而且还要分粗、精加工的情况。粗加工时后角应取得小一点，精加工时可以略大一些，以避免刀齿后面与工件之间的摩擦。圆柱铣刀加工一般材料时，取 $\alpha = 12^\circ \sim 16^\circ$ ，加工铝及其合金时常取 $\alpha = 20^\circ \sim 25^\circ$ 。

上面所谈的都是应用高速钢铣刀中速铣削时的情形。高速切削时使用的是硬质合金铣刀，刀齿一般都作成负前角即 $-\gamma$ ，如图 1—4 所示。这时铣刀齿的前面已位于铣刀径向平面的前侧，但它们的角度计算方法与上列公式相同，只把 γ 以 $-\gamma$ 值代入即可。

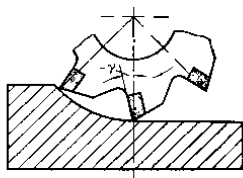


图 1—4

例 1—2 刃磨一把硬质合金圆柱铣刀，它的前角 γ 为负 8° ，它的后角应磨成 15° ，问这把铣刀的楔角应磨成多大？

〔解〕我们可以把 $\gamma = -8^\circ$ ， $\alpha = 15^\circ$ 代入公式 (1—1) 就得到：

$$\beta = 90^\circ - \gamma - \alpha = 90^\circ - (-8^\circ) - 15^\circ = 90^\circ + 8^\circ - 15^\circ = 83^\circ$$

这把铣刀的楔角应磨成 83° 。

2. 切削速度与进给量的计算

切削用量是指切削速度、进给量、切削深度及切削宽度的总称。平常所说的高速切削，指的是加工时切削速度很大，一般是铣刀直径较大、转速较快。

〔1〕 切削速度

切削速度是指铣刀切削工件时刀齿最外面圆周上各点（如图

1—5 中的 A、B……) 的速度大小, 用 V 代表。如果铣刀的直径为 D 毫米, 它转一转, 切削刃上的

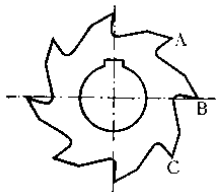


图 1—5

A 点所经过的距离等于 πD 毫米, 也就是 A 点经过了一个圆周长度的距离。而实际上铣刀每分钟要转几十转、几百转, 假如铣刀每分钟转 n 转, 那末 A 点所经过的距离等于 $n\pi D$ 毫米, 它的切削速度是:

$$V = n\pi D \text{ 毫米/每分钟}$$

但是用毫米/每分钟作切削速度单位太小, 一般是以米/每分钟作切削速度单位, 所以上面的公式应该用 1000 来除, 这样就可得到切削速度的计算公式:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ 米/分} \quad (1-4)$$

例 1—3 用高速钢圆柱铣刀铣削碳钢工件的平面时, 若铣刀每分钟的转速为 120 转/分, 而铣刀直径等于 75 毫米, 问切削速度为多少?

〔解〕把 $n = 120$, $D = 75$ 代入公式得到:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3.14 \times 75 \times 120}{1000} = 28.26 \text{ 米/分}$$

切削速度每分钟为 28.26 米。

在实际生产中往往是知道了切削速度而要确定铣床主轴的转速。这时必须先选定铣刀的直径大小, 在这种情况下, 公式 (1—4) 中的 D 及 V 是已知数, 应把该式化成 n 为未知数, 在等号的两边各乘上 1000, 再除以 πD 就得到:

$$n = \frac{1000 V}{\pi D} \quad (1-5)$$

如把 $\pi = 3.14$ 代入就得到:

$$n = \frac{318 V}{D} \text{ 转/分} \quad (1-5a)$$

例 1—4 如果使用的硬质合金铣刀其直径为 100 毫米，而应用的切削速度为 100 米/分，问铣刀每分钟转速为多少？

〔解〕把 $V = 100$ 米/分， $D = 100$ 毫米代入就得到：

$$n = \frac{318V}{D} = \frac{318 \times 100}{100} = 318 \text{ 转/分}$$

这样就可根据此值选用机床上与它近似或略小的转速。

按切削速度的大小来确定转速高低，不需要十分精确，还可以用简单的心算办法，十分方便。在长期加工某种工件时，使用的切削速度往往是一定的，比如说 $V = 100$ 米/分，把它代入公式（1—5）就得到：

$$\frac{100 \times 1000}{\pi} = Dn$$

$$\text{即 } 31800 \approx Dn$$

$$\text{或 } Dn \approx 32000$$

式子表示只要 D 与 n 相乘的积等于 32000，其切削速度就是 100 米/分，可是 D 常以二位数表示，如 $D = 70$ 毫米；而 n 常以三位数表示，如 $n = 500$ 转/分。我们把 D 的一个 0 及 n 的二个 0 舍去，那末 32000 中的三个 0 也可省去，上式就成为：

$$Dn = 32 \quad (a)$$

这式子就十分简单，便于我们心算。比如说，所用的铣刀直径 $D = 80$ 毫米，那末主轴转速 n 等于多少时切削速度为 100 米/分呢？首先把 $D = 80$ 舍去一个 0，即 8 乘多少才正好等于 32？当然是 $n = 4$ 时才使 $8 \times 4 = 32$ 。因为 (a) 式中的 n 舍去了二个 0，所以实际答数应加上二个 0，即 $n = 400$ 转/分，因此心算就可确定主轴的转速。

上面 (a) 式中的 32 是切削速度等于 100 米/分时的定数，称为切削速度定数，用 K_{100} 代表。不同的切削速度可以按公式（1—5）算出不同的切削速度定数。如：

$$V = 25 \text{ 米/分} \quad K_{25} = 8$$

$V = 50 \text{ 米/分}$	$K_{50} = 16$
$V = 100 \text{ 米/分}$	$K_{100} = 32$
$V = 150 \text{ 米/分}$	$K_{150} = 48$
$V = 200 \text{ 米/分}$	$K_{200} = 64$

这样，当需要在一定的切削速度下工作时，先查出K值，并决定铣刀直径后心算就可确定主轴转速。

例1—5 应用 $\phi 200$ 的硬质合金铣刀加工工件时，如切削速度在150米/分左右，问铣床主轴应开到多少转？

〔解〕从上面知道， $V = 150 \text{ 米/分}$ 时 $K_{150} = 48$ ，现在 $D = 200$ ，把它舍去一个0即20乘2.4才等于48，所以主轴转速为240转/分（即2.4往后移二位，就等于上面那样加了二个0）。

在生产中对于自己机床上常用的切削速度，也可以把它算出相应的切削速度定数，这样应用起来就更方便。

〔2〕进给量

加工时铣刀除了要以每分钟n转的速度旋转以外，工作台还要有纵向（或横向、曲座升降）的运动，这就是进给运动。加工时工件相对于铣刀在单位时间内所移动的距离称为进给量。进给量有三种：

1. 每分钟进给量。就是铣刀在转动一分钟的时间内，工作台在纵向（或横向、曲座升降）所移动的距离。用每分钟毫米数表示（即毫米/分），并用S代表。

2. 每转进给量。就是铣刀转了一转的时间内，工作台在纵向（或横向、曲座升降）所移动的距离。用每转毫米数表示（即毫米/转），并以 $S_{\text{转}}$ 代表。

3. 每齿进给量。就是铣刀转过一个刀齿的时间内，工作台在纵向（或横向、曲座升降）所移动的距离。用每齿的毫米数表示（即毫米/齿），并以 $S_{\text{齿}}$ 代表。

这三种进给量之间的关系，可以用下面的公式来计算：

因为每齿进给量是 $S_{\text{齿}}$ ，而铣刀上共有 Z 个齿，那末每转进给量 $S_{\text{转}}$ 就是 $S_{\text{齿}}$ 乘 Z 。即：

$$S_{\text{转}} = S_{\text{齿}} \cdot Z \quad (1-6)$$

每转进给量为 $S_{\text{转}}$ ，而铣刀每分钟转 n 转，那末每分钟进给量 S 就是 $S_{\text{转}}$ 乘 n 。即：

$$S = S_{\text{转}} \cdot n \quad (1-7)$$

例 1—6 一把三面刃铣刀在加工时采用的每齿进给量 $S_{\text{齿}} = 0.04$ 毫米/齿，而铣刀上共有 20 齿，主轴每分钟为 200 转，问加工时每转及每分钟的进给量等于多少？

〔解〕把已知的 $S_{\text{齿}} = 0.04$ 毫米/齿， $Z = 20$ ， $n = 200$ 转/分分别代入公式 (1—6)、(1—7) 就得到：

$$S_{\text{转}} = S_{\text{齿}} \cdot Z = 0.04 \times 20 = 0.8 \text{ 毫米/转}$$

$$S = S_{\text{转}} \cdot n = 0.8 \times 200 = 160 \text{ 毫米/分}$$

如果已知的是 $S_{\text{齿}}$ 、 Z 、 n ，求 S 时可把公式 (1—6) 代入公式 (1—7) 就得另一公式：

$$S = S_{\text{转}} \cdot n = S_{\text{齿}} \cdot Z \cdot n \text{ 毫米/分} \quad (1-8)$$

例 1—7 一把 30 齿的铣刀，工作时主轴每分钟的转数为 95，采用的每齿进给量等于 0.05 毫米/齿，问这时每分钟的进给量应该是多少？

〔解〕把已知的 $Z = 30$ ， $n = 95$ 转/分， $S_{\text{齿}} = 0.05$ 毫米/齿，直接代入公式 (1—8) 就可以算出每分钟的进给量：

$$S = S_{\text{齿}} \cdot Z \cdot n = 0.05 \times 30 \times 95 = 142.5 \text{ 毫米/分}$$

但是，如知道了 S 、 Z 及 n 后要求 $S_{\text{齿}}$ ，可把公式 (1—8) 化一下就得到：

$$S_{\text{齿}} = \frac{S}{Z \cdot n} \quad (1-9)$$

〔3〕切削深度

工作台每次进给运动中铣刀所铣下的金属层厚度，叫做切削

深度或铣削深度，用 t 代表（如图 1—2）。

如果升降丝杆手柄上的刻度每转过一格，曲座移动的距离为 F 毫米，当工件要吃深 t 毫米时，手柄应摇过的格数 N 可按下式计算：

$$N = \frac{t}{F} \quad (1-10)$$

〔4〕 铣削宽度

所谓铣削宽度，就是加工时工作台每次进给中工件被铣刀铣削的宽度，用 B 代表（如图 1—2）。铣削宽度不要经过别的计算，可根据工件的加工情况加以确定。

3. 端铣刀、不重磨铣刀及其角度计算

〔1〕 一般端铣刀

在现代加工中，普遍应用硬质合金铣刀进行高速铣削，特别是用端铣刀来铣平面，则更是如此。图 1—6 所示的端铣刀是最简单的情况，铣刀刀盘上安装有刀杆，刀杆可用螺钉等固定，而刀杆上焊有硬质合金。这样的铣刀就可在高速下进行切削。

端铣刀的几何角度与圆柱铣刀有许多不同之处。现在我们先看一下图 1—6 之二的

刀头部分放大图。其中：1 是主切削刃；3 是副切削刃；2 是过渡切削刃；在过渡切削刃与副切削刃之间还常有一段直线 4，是为提高表面光洁度用的修光刃。粗加工时，修光刃与过渡切削刃常常以圆弧来代替，这时主切削刃与副切削刃用圆弧来连接。

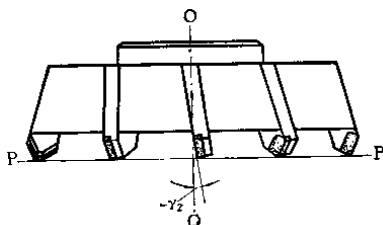


图 1—6 之一

铣刀上的几何角度，一定要以刀杆装入刀盘后所得到的角度大小为标准，单个刀头上的几何角度不是实际切削时的情况。右边的放大图是以刀杆装入刀盘后的位置画出的。

刀杆装入刀盘后，应使它们的

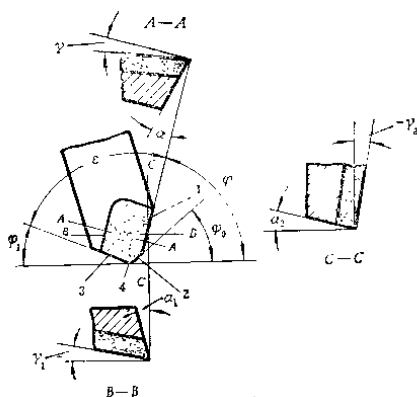


图 1—6 之二

刀尖都在同一个平面 PP 上，而这个平面应与铣刀盘的轴心线垂直。现在我们来看一下刀头上的几个角度。

主偏角 φ （读作：发埃）指主切削刃与进给方向之间的夹角。当铣刀盘轴心线在垂直位置或水平位置切削工件时，其主偏角就是主切削刃与 PP 平面之间的夹角。主偏角的大小常用的是 75° 及 60° ，有时也可用到 30° 甚至 15° 。因为 φ 减少可以延长铣刀的寿命，同时还可使切屑厚度减薄，从而提高进给量。图 1—7 是在不同的 φ 角下切削工件的情况。把图 1—7 a 与图 1—7 b 比较一下就知道，当 $\varphi = 90^\circ$ 时，则切削厚度 a 与每齿进给量 $S_{\text{齿}}$ 相等；如 $\varphi = 30^\circ$ 时，则进给量增加到三倍，即这时的进给量相当于 $\varphi = 90^\circ$ 时的三倍，等于 $3S_{\text{齿}}$ ，而其切屑厚度却仍与 $\varphi = 90^\circ$ 时相等。但是 φ 角太小时，由于切削刃太宽，会引起振动。

副偏角 φ_1 这是副切削刃与进给方向（或 PP 平面）之间的夹角。一般都取得很小，如 5° 左右，有时甚至还要小，因为太大的 φ_1 会影响被加工表面的光洁度。

刀尖角 ε （读作：安浚西龙）这是指主切削刃与副切削刃之