

国防工业技术丛刊

12

奥力康螺旋伞齿轮切削 刀具设计与制造的探讨

朱万安、余幼武合编

(内部资料 注意保存)



国防工业出版社

奥力康螺旋伞齿轮切削刀具设计与制造的探讨

朱万安、余劲武合编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印装 内部发行

*

850×1168¹/₃₂ 印张 2 52千字

1964年9月第一版 1964年9月第一次印刷 印数: 0,001—1,000册

统一书号: N15034·(活)-12 定价: (科六)0.34元

序 言

奧力康銑刀用于奧力康銑床，是加工螺旋傘齒輪的一種高效率切削刀具。過去此刀具多由瑞士進口，我國不能自己設計與製造，這樣大大地影響了奧力康刀具在我國的廣泛應用。近年來，隨着我國機械工業的高速發展，對螺旋傘齒輪的需要更為迫切，故不少工廠和研究單位對此刀具進行了研究和製造，終於獲得了初步成功。經檢驗與實踐證明，基本上與進口銑刀相同。

本書是根據近年來試制奧力康銑刀過程中積累的資料編寫成的，其內容包括：有關理論問題的幾點引述；奧力康銑刀盤的設計與製造；奧力康刀片的设计與製造；奧力康銑刀片曲面近似式的誤差分析。

本書可供刀具設計、工具製造方面的工程技術人員參考，也可供技術專業學校的師生閱讀。

一、有关理論問題的几点引述[●]

螺旋傘齒輪的連續切削法有：克林格貝爾錐形滾刀切削，其刀齒按蝸綫排列而成的銑刀盤切削及本文所談的另一種方法——馬莫諾法。所用機床為奧力康型螺旋傘齒輪銑床。它與蘇聯的527型及美國的格林森螺旋傘齒輪銑床大同小異，所用刀盤為圓形刀盤。刀盤上有若干組刀齒，在NC型刀盤上每組刀齒共有兩個：即內切刀齒及外切刀齒。這種刀盤用來加工一般機械及工具機上的螺旋傘齒輪。在TC型刀盤上每組刀齒共有三個：即粗切刀齒、精切外刀齒及精切內刀齒。這種刀盤多用來加工汽車與拖拉機上的齒輪，刀齒如圖1所示。每種規格的刀盤共有左右兩個如圖2所示。

上述三種切削法，後兩種採用較廣泛，其中又以奧力康銑刀優點較多。這種銑刀不論大小齒輪均能一次切削成形，同時刀具的製造比較容易。

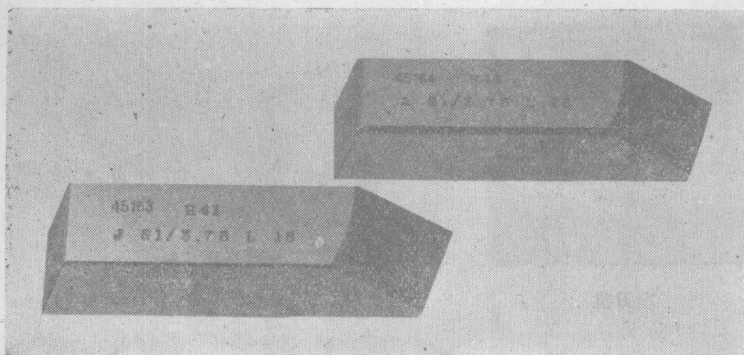
在奧力康機床上加工傘齒輪時，機床同時產生三個連續運動：刀盤的連續轉動，工件的連續轉動和機床搖架相對於工件的連續運動（展成運動）。

刀盤和工件的旋轉運動相互配合，使刀盤獲得一定齒數的連續分度，並形成一定的齒綫形狀（圖3）。

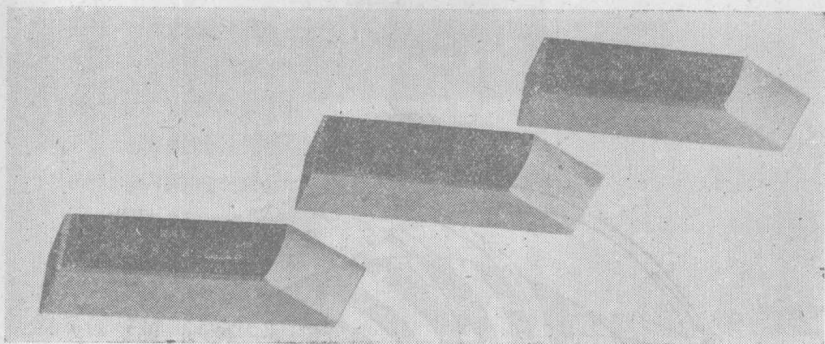
機床搖架的運動和工件的附加運動相互配合，即形成展成運動，由此便切出牙齒的完整齒形。

以上三個運動相互配合，相當於兩個傘齒輪的嚙合運動，其中一個是假想的平面齒輪（冠輪），一個是被切齒輪。由於刀盤上

●，主要引自樂克謙“螺旋傘齒輪連續切削法的分析研究”。



NC型



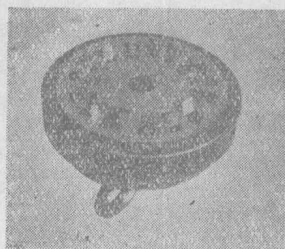
TC型

图 1

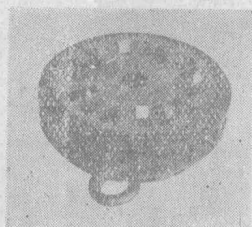
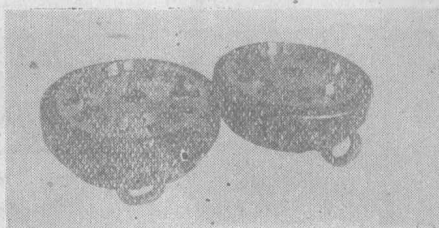
的刀齿是产生冠輪牙齿，故刀齿是直線形。

在切削过程中，刀齿先接触工件小端，在工件每轉一轉的时间內，每个齿槽逐漸由小端被切向大端，由淺而深，由狹而寬，直到成形。所以，展成运动等于机床切削时的自动进刀。其速度随工件的可切削加工性、加工余量、齿面光洁度的要求而改变。当搖架运动一次，則工件上所有的牙齿都被切出完整的齿形。然后，由速返机构使搖架很快地回到它的原始位置。

刀盘速度，工件分齿傳动及搖架和工件的滚动比，均有相应的交換齿輪来調节。



左刀盘



右刀盘

图 2

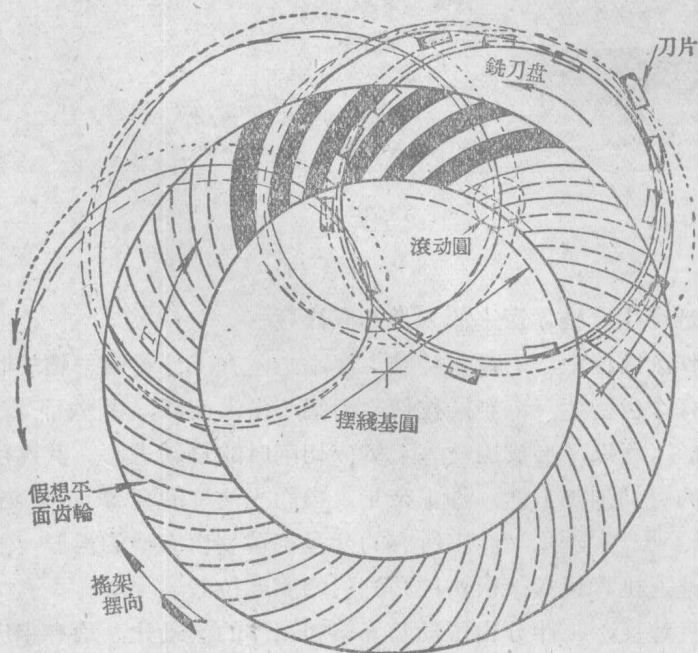


图 3

(一) 基本要素及代用符号:

 z_p ——冠輪齒數; z_w ——刀齒組數; z_1 ——小齒輪齒數; z_2 ——大齒輪齒數; m_a ——牙齒大端圓周模數; m_{am} ——牙齒中點處圓周模數; m_m ——牙齒中點處法向模數; m_p ——參考錐距處的法向模數; m_{ap} ——參考錐距處的圓周模數; d_1 ——小齒輪節徑; d_2 ——大齒輪節徑; δ_1 ——小齒輪節錐角; δ_2 ——大齒輪節錐角; R ——齒輪的外錐距; R_i ——齒輪的內錐距; R_p ——齒輪的參考錐距; β_m ——牙齒中點處的螺旋角; β_p ——牙齒參考錐距處的螺旋角; β_i ——牙齒內錐距處的螺旋角; α_n ——法向壓力角; h ——齒全高; h_f ——齒根高; h_k ——齒頂高; C ——齒頂間隙; X_m ——齒形修正系數; S_{1p} ——小齒輪參考錐距處的法向齒厚; S_{2p} ——大齒輪參考錐距處的法向齒厚; E_y ——擺綫基圓半徑; E_b ——滾動基圓半徑; E_x ——偏心距; r_b ——刀具的平均切綫半徑 (在滾動圓處的切綫方向上度量); r_{bi} ——內齒切綫半徑;

r_{bc} ——外齿切綫半徑;

r_w ——刀盤的平均創成半徑;

r_{wi} ——內刀齒的創成半徑;

r_{we} ——外刀齒的創成半徑。

基本要素的关系公式如下:

齿数:

$$z_p = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}, \quad (1)$$

节徑:

$$d_1 = m_a z_1 \text{ 或 } d_2 = m_a z_2, \quad (2)$$

錐角:

$$\delta_1 = \arcsin \frac{z_1}{z_p} \text{ 或 } \delta_2 = \arcsin \frac{z_2}{z_p}, \quad (3)$$

在一般情况下, 等高齿輪的齿面角和齿根角均等于节錐角, 但当大齿輪的节錐角相当大时, 为了避免二次切削, 可将齿面角和齿根角加以修正不与节錐角相等, 如仍要保持三者相等而避免二次切削, 則可使刀盤按軸綫傾斜一个角度。

錐距:

$$R = \frac{d_2}{2\sin\delta_2} = \frac{d_1}{2\sin\delta_1} = \frac{m_a z_p}{2}, \quad (4)$$

$$b = \frac{2}{7} R, \quad (5)$$

$$R_f = R - b, \quad (6)$$

$$R_m = R - 0.5b, \quad (7)$$

$$R_p = R - 0.4b. \quad (8)$$

中点錐距仅供决定中点螺旋角和中点法向模数之用, 而参考錐距 R_p 是錐尖到接触区中点之間的距离, 由于齿輪是在承受載荷的情况下, 所以接触区要向小端移动, 因此, 参考錐距取得大于中点錐距。

模数:

$$m_{am} = \frac{2R_m}{z_p}, \quad (9)$$

$$m_m = \frac{2R_m}{z_p} \cos\beta_m, \quad (10)$$

$$m_{ap} = \frac{2R_p}{z_p} = \frac{m_a R_p}{R}, \quad (11)$$

$$m_p = \frac{2R_p}{z_p} \cos \beta_p, \quad (12)$$

压力角:

一般情况下 α_n 为 $17^\circ 30'$ (称为标准)。

齿高:

$$h_k = m_p, \quad (13)$$

$$h_i = 1.15m_p + 0.35, \quad (14)$$

$$h = 2.15m_p + 0.35, \quad (15)$$

$$C = 0.15m_p + 0.35, \quad (16)$$

为了改善齿轮的传动质量, 以及避免当齿轮齿数较少时发生根切现象, 牙齿高度应修正, 即小齿轮采取正移距, 大齿轮采取负移距。

$$x_m \geq h_i - h'_{f1}, \quad (17)$$

(h'_{f1} 为小齿轮的最大齿根高)

$$h'_{f1} = R_i \frac{z_1}{z_2} f_1 f_2 + 0.14m_p, \quad (18)$$

式中

$$f_1 = \left[\frac{\sin 17^\circ 30'}{\cos \beta_i} \right]^2; \quad (19)$$

$$f_2 = \left[\frac{\sin \alpha_n}{\sin 17^\circ 30'} \right]^2. \quad (20)$$

标准刀盘若未倾斜角度时, $\alpha_n = 17^\circ 30'$ 。若标准刀盘倾斜 C 角度时, 则 $\alpha_n = 17^\circ 30' - C$ 。

f_1 和 f_2 在奥力康铣床说明书中可以直接查到, 不必计算。

齿厚:

$$S_{1a} = S_{2a} = \frac{m_a \pi}{2}, \quad (21)$$

(仅对不修正齿轮而言)

$$f_{1p} = f_{2p} = \frac{m_{ap} \pi}{2} \cos \beta_p = \frac{m_p \pi}{2}, \quad (22)$$

当传动比较大时, 为了增加小齿轮强度, 而又防止小齿轮根

切，則採用正移距，其目的是使小齒輪齒厚增加 ΔS ，使大齒輪齒厚減小 ΔS_0 。

$$S_{1p} = \frac{m_p \pi}{2} + \Delta S; \quad (23)$$

$$S_{2p} = \frac{m_p \pi}{2} - \Delta S_0. \quad (24)$$

(二) 齒綫的基本原理：

由圖 3 可知，刀盤的一組刀齒，從冠輪的一個槽中經過，而下一組刀齒則從下一個槽中經過，所以，當刀盤轉一轉時，則冠輪轉 $\frac{z_\omega}{z_p}$ 轉。由此可知，旋轉刀齒的切削刃和冠輪的節平面的交點軌迹，就是冠輪的節平面截綫（齒綫）。冠輪的旋轉，是決定齒綫形狀和形成工件的分度作用（在工件相對轉動的情況下）。當機床搖架擺動和工件附加運動相互配合後，即完成了整個對工件的切削。

討論齒綫形狀時，只需考慮當搖架不轉時的冠輪旋轉。為了便于分析，假想不是冠輪轉動，而是刀盤中心以一定的角速度繞機床搖架的軸綫反向於圖 3 中的 T 方向旋轉，即以滾動圓繞擺綫基圓做純滾動，這樣，刀盤上任一點在空中划出的軌迹和冠輪齒綫相同，而冠輪齒綫僅是這一軌迹的一部分，此軌迹即為圓的延長外擺綫，方程如下（見圖 4）：

$$x = E_x \cdot \cos \varphi + r_\omega \cos \frac{E_x \varphi}{E_b}; \quad (25a)$$

$$y = E_x \cdot \sin \varphi + r_\omega \sin \frac{E_x \varphi}{E_b}. \quad (25b)$$

由圖 4 可知：

$$E_b = E_x - E_y = E_x \frac{z_\omega}{z_p + z_\omega}; \quad (26)$$

$$E_y = E_x - E_b = E_x \left(1 - \frac{z_\omega}{z_p + z_\omega} \right). \quad (27)$$

由公式 (26)、(27) 可得：

$$\frac{E_b}{E_y} = \frac{z_\omega}{z_p}, \quad (28)$$

曲綫（圓的延長外擺綫）上任一點 x 的螺旋角等於在半徑為

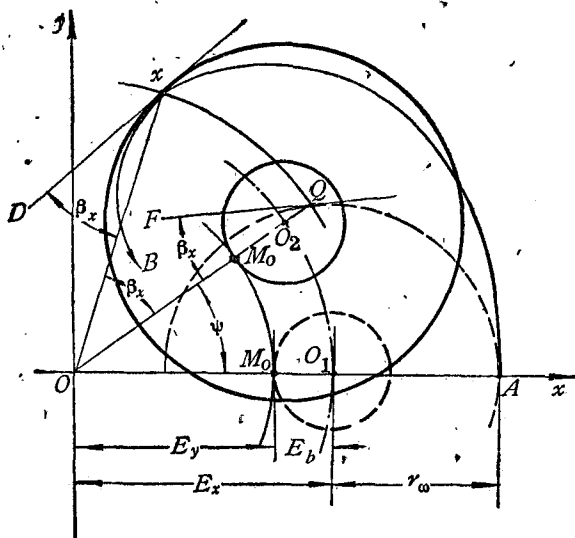


图 4

r_ω 圆的圆周上具有与 x 点相等向量半径的一点 Q 的向量半径 M_0Q 与速度方向 QF 之间的夹角 ($\angle OxD = \angle OQF$), 并且, 此曲线在 x 点的曲率半径等于在 Q 点的瞬时旋转半径。

为了便于实际工作中的调整, 特规定了如下关系式:

$$E_y = R_p \cos \beta_p, \quad (29)$$

据此特殊规定, 又据上述公式, 可推出一些重要的关系式:

将 (27) 代入 (26) 得出:

$$E_x = \frac{R_p \cdot \cos \beta_p}{z_p} (z_p + z_\omega). \quad (30)$$

由 (12) 可得:

$$\cos \beta_p = \frac{m_p}{2} \cdot \frac{z_p}{R_p}. \quad (31)$$

联立上面两公式化简得出:

$$E_x = \frac{m_p}{2} (z_p + z_\omega). \quad (32)$$

再将 (31) 代入 (26) 后得:

$$E_b = \frac{m_p}{2} z_\omega. \quad (33)$$

$$\sin \beta_x = \frac{2R_x^2 + (r_\omega^2 - R_x^2 - E_x^2) \frac{E_y}{E_x}}{2R_x \sqrt{R_x^2 + E_y^2 + (r_\omega^2 - R_x^2 - E_x^2) \frac{E_y}{E_x}}} \quad (38)$$

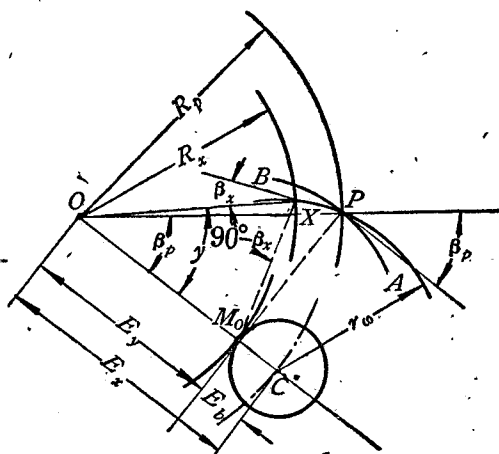


图 6

由上述可知:

$$E_y = R_p \cos \beta_p;$$

$$E_x = R_p \cos \beta_p \left(1 + \frac{z_\omega}{z_p} \right);$$

$$r_\omega^2 = R_p^2 \sin^2 \beta_p + R_p^2 \cos^2 \beta_p \frac{z_\omega^2}{z_p^2}.$$

将上面三式代入 (38) 式可得:

$$\sin \beta_x = \frac{x^2 - \cos^2 \beta_p + \frac{1-x^2}{2(1+n)}}{x \sqrt{x^2 - \cos^2 \beta_p + \frac{1-x^2}{1+n}}}.$$

式中 $x = \frac{R_x}{R_p}; \quad n = \frac{z_\omega}{z_p}.$

在牙齿中点的螺旋角为:

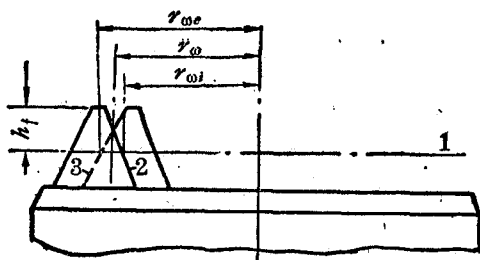
$$\beta_m = \frac{m^2 - \cos^2 \beta_p + \frac{1-m^2}{2(1+n)}}{m \sqrt{m^2 - \cos^2 \beta_p + \frac{1-m^2}{1+n}}}.$$

式中 $m = \frac{R_m}{R_p}; \quad n = \frac{z_m}{z_p}.$

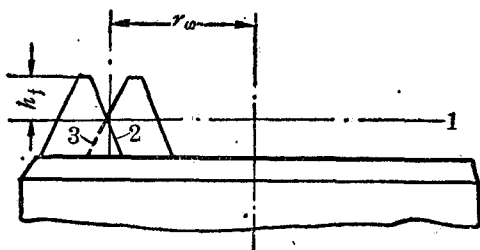
二、奧力康銑刀盤的設計與製造

(一) 奧力康銑刀盤的設計。

上节导出了刀盘上任一点在切削过程中的軌迹方程式 (25)。而式 (25) 中的 r_{ω} 应为 $r_{\omega i}$ 或 $r_{\omega e}$ (见图 7 a) 为了便于說明, 設內、外刀片的創成半徑相等 (见图 7 b), 即 $r_{\omega i} = r_{\omega e} = r_{\omega}$ 。



a) 1—冠輪節平面; 2—內刀齒的主切削刃;
3—外刀齒的主切削刃。



b) 1—冠輪節平面; 2—內刀齒的主切削刃; 3—外刀齒的主切削刃。

图 7

如果加工一对齿輪时, 可以根据已給的齿輪要素: m_a 、 β_m 、 z_1 、 z_2 作如下計算:

按公式
$$z_p = \sqrt{z_1^2 + z_2^2},$$

$$R = \frac{m_a z_p}{2}, \quad b = \frac{2}{7} R, \quad R_m = R - 0.5b, \quad R_p = R - 0.4b.$$

分別求出冠輪齿数、外錐距、齿面寬、中点錐距和参考錐距, 再

根据上述数据, 对 z_ω 作初步选择, 将选择出的 z_ω 代入公式(38), 求出 β_p 。

根据 $E_y = R_p \cos \beta_p$ 求出摆线基圆半径, 再代入 (28), 求出滚动圆半径 E_b , 按公式:

$$r_\omega^2 = R_p^2 \sin^2 \beta_p + R_p \cos \beta_p \cdot \frac{z_\omega^2}{z_p^2}, \text{ 求出刀片的平均刨成半径 } r_\omega。$$

从以上运算可以看出, z_ω 的选择很重要, 它是决定刀盘的几何尺寸, 而刀盘的几何尺寸范围又是受机床限制的, 因此, z_ω 必须选择合适, 符合机床的要求, 也就是使 E_b 和 r_ω 的数值符合刀盘的结构尺寸要求。

确定了 z_ω 、 E_b 和 r_ω 后, 再来考虑刀片槽在刀盘上的分布, 每一组刀片在刀盘上分布位置是: $\tau_\omega = \frac{360^\circ}{z_\omega}$, 只有冠轮转动 $\frac{360^\circ}{z_p}$, 而刀盘转动 $\frac{360^\circ}{z_\omega}$, 才能使第一组刀齿形成冠轮的第一齿后, 接着第二组刀齿恰好形成冠轮的第二齿。如果被切齿轮是非修正齿形, 即齿厚和槽宽相等, 内切刀片和外切刀片的刨成半径也相等, 结果内外刀片在刀盘上的夹角 $\tau_{\omega i}$ 为 $\frac{\tau_\omega}{2}$, 但考虑到齿轮是在负荷的情况下, 必须使啮合长度小于齿的全长。为此, 须将齿形凸面曲率半径减小, 齿形凹面曲率半径增大, 如图 8 所示。所以, 可改变刀片的刨成半径, 即内切刀片刨成半径减小 Δr_b , 外切刀

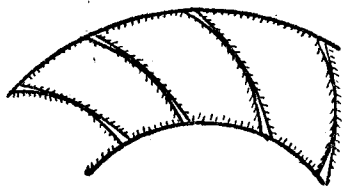


图 8

片刨成半径增加 Δr_b 。这样, 可使被切齿轮齿槽增大 $\overline{PE}$, 如图 9 所示。要保持槽宽不变, 只将 $\widehat{C'D'}$ 移至 $\widehat{CD}$, 也就意味着滚动圆沿着摆线基圆滑动一定距离 $\Delta r_b = PP'$, 而 $PP' \approx PE \cdot \cos \beta_p$ 。

若 $\tau_{\omega i} < \frac{\tau_\omega}{2}$ 时, 则齿槽宽度 e_{ap} 小于齿厚 s_{ap} , 所以 $e'_{ap} < \frac{2\pi R_p}{z_p} \cdot \frac{\tau_\omega}{2}$ 。

若 $e'_{ap} = \frac{2\pi R_p}{z_p} \cdot \frac{\tau_{\omega i}}{\tau_\omega} = \frac{\pi R_p}{z_p} \cdot \frac{\tau_{\omega i}}{\frac{1}{2}\tau_\omega}$ 则和原齿槽宽差为:

$$f_{\Delta} = \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{\tau_{\omega i}}{\frac{\tau_{\omega}}{2}} \right) = \frac{\pi}{720} \tau_{\omega} \left(\frac{\tau_{\omega}}{2} - \tau_{\omega i} \right) = \frac{\pi}{720} f_{b_p}$$

对于汽车齿轮 $f_b = 30 \sim 35$, 对于机床齿轮 $f_b = 15 \sim 25$ 。

为了使刀盘能适合于装多种滚切圆 E_b 和切线半径 r_b 的刀片, 可以加大或缩小刀盘设计上的滚切圆半径或采用可调整式的切线半径, 见图 10 和图 11 所示。

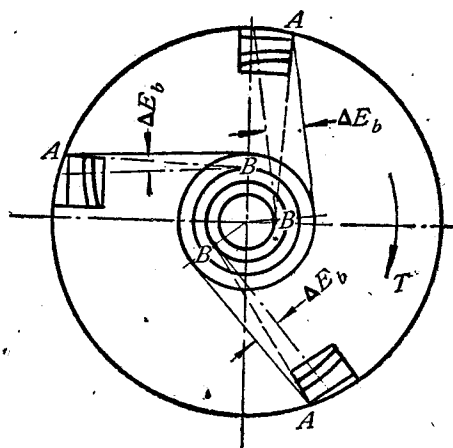


图 10

图 10 中 ΔE_b 为加大后的刀盘滚动圆半径与刀片滚切圆半径之差, 当刀盘刀片组装后磨刀片前角时, 仍须按刀片的理论滚切圆考虑, 如图 10 的 $\overline{AB}$ 切线。

为了减少复杂刀盘制造的困难, 本机床采用了一套标准刀盘, 共十一对。它的加工范围是:

外锥距 R 为 55 至 250 毫米,

冠轮齿数 z_p 为 24 至 75 毫米。

参考锥距处法向模数 (见图 12) m_p 为 2.1 至 8.5 毫米。

标准刀盘符号 TC 、 NC 是表示刀盘类型。其后数字表示刀片组数, 即 z_b 数值。“——” 后的数值表明平均切线半径。 L 或 R 表示转向, L 表示刀盘为左向旋转, R 表示右向旋转, 分别切右