一九八二年
（创刊号）
无锡轻工业学院学报
JOURNAL OF THE WUXI INSTITUTE OF LIGHT INDUSTRY

滚刀齿形计算的新方法
——兼论奥利弗（Oliver）定理的局限性

李 儒 荷

摘 要

本文在总结滚刀齿形各种计算方法的基础上，提出了一种新的既简单实用，又精度高的滚刀齿形计算法；阐明了工件节圆半径变动计算的新概念；推导了计算滚刀齿形的各参数之间的相互关系；论述了奥利弗定理在滚刀设计中应用的局限性。

滚刀齿形计算的方法很多，主要有三大类：一类是以平面啮合原理理论为基础，它把与工件端面（或法面）相共轭啮合的齿条齿形，作为滚刀的法向（或轴向）齿形。求齿条齿形的方法也很多，主要有两种：一种是按直接包络原理求得，即认为齿条的齿形是它与工件齿轮相对运动中齿轮齿形各个位置的包络。另一种用得最广泛而又简单的方法是根据基本啮合定理（Willis 定理）的齿形法线法，它认为齿条与齿轮共轭的充要条件，是它们接触点处的公法线通过它们的瞬时回转中心——啮合节点。这是一种古典的二维空间的计算法。它的齿形误差将随滚刀分圆螺纹升角的增大而增加。因此，按这类方法设计的滚刀，其分圆螺纹升角不要大于 6°。

第二类是直接按奥利弗原理计算滚刀的齿形[6]。其主要方法是求出与齿轮相共轭啮合的齿条齿面（辅助曲面），而滚刀的齿面就是和该齿条齿面相共轭啮合的齿轮齿面，它的实质是把齿条齿面看成是工件齿面的包络，而滚刀齿面又是这齿条齿面的包络。它虽然也在三维空间中求解，但认为滚刀与工件纯属空间单自由度的螺旋齿轮的啮合，它们的轴线都是静止的，没有彼此的相对移动，只有彼此之间相对的回转运动，而且把滚刀与工件的节面都看成是半径固定的圆柱面。因此，无论在理论上，还是具体解法上，它仍属于平面啮合的范畴。

第三类是按空间多自由度螺旋齿轮的啮合原理来计算滚刀的齿面、齿形[2][5]，即认为工件与滚刀作空间交轴啮合时，不但彼此之间有相对的回转运动，而且它们的轴线也有相对的移动。这是比较符合实际的啮合情况的，特别是对于滚切螺旋齿轮来说，滚刀相对于工件轴线的轴向进给运动，无疑将对工件螺旋面的形成发生很大的影响，绝不能忽略。这类方法的计算基础有二：第一是认为滚切时滚刀齿面与齿轮齿面必须满足相切接触条件，即在它们齿面

本文收到日期：1982 年 7 月 19 日。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的接触点处，只可能有相对的转动或滑动，在公法线方向不能有分运动存在，否则两齿面将相互嵌入或脱开。因此两齿面接触点的参数应满足造型方程式：

$$\vec{n} \cdot \vec{v} = 0 \tag{1}$$

$\vec{n}$——接触点处的法线矢量；

$\vec{v}$——接触点处的相对运动速度矢量。

方程(1)也是两齿面接触点参数应满足的充要条件。第二，它还必须满足滚刀齿面是等升距圆柱螺旋面，以适合制造时的工艺要求，即滚刀齿面参数应满足等升距圆柱螺旋面的充要条件：

$$n_{y1} \cdot y_2 - n_{y2} \cdot y_1 = p_o n_{y3} \tag{2}$$

$y_1、y_2、y_3$——滚刀齿面上任一点在座标系$\vec{y}$中的坐标；

$n_{y1}、n_{y2}、n_{y3}$——滚刀齿面该点处的法线矢量在座标系$\vec{y}$中的投影；

P_o——滚刀齿面螺旋参数。

根据方程(1)(2)求得工件齿面接触点的座标参数(u, θ)与工件转角φ的关系式，然后给出一参数u（或θ）可求得对应的另一参数θ（或u）以及工件转角φ，从而求得工件齿面上接触点的座标。再应用运动方程式（与座标变换公式相同）求得接触点在固定空间和在与滚刀相固连的座标系中的轨迹，从而求得造型线（啮合线）和滚刀齿面上的接触线。再令这条接触线绕滚刀轴线作螺旋运动而求得滚刀齿面——与工件点接触的等升距圆柱螺旋面。

另一种作法是[5]：认为如果滚刀齿面是等升距圆柱螺旋面，则当它绕轴线转动一周而同时又沿轴线移动一个螺旋导程时，该螺旋面在空间的位置实际上没有变化。从而认为，滚刀与工件之间的相对造型运动是滚刀的转动，工件的转动，滚刀的轴向移动以及工件的轴向移动四者的合成运动，利用方程(1)可求得有关参数u, θ, φ的两个关系式，再按前述程序求解。

第三类方法的结果是精确的，但计算复杂。因此，它的广泛应用受到很大限制。

下面我们提出一种新的计算滚刀齿面，齿形的方法。它简单，实用，用小型电子计算器就能解决问题，并且正确选择计算参数，可以得到按前述第三种方法计算的相同结果。

一、计 算 原 理

为了研究滚刀的造型情况，我们引入五个右手直角座标系（图1）：

$\vec{X}(x_1, x_2, x_3)$——与工件（被切齿轮）相固连的动座标系。x_3为工件的回转轴，工件的齿面方程就是在这座标系中给出的；

$\vec{Z}(z_1, z_2, z_3)$——空间固定座标系。z_1轴沿滚刀与工件的最短轴间距方向，z_3轴沿工件轴线。$\vec{X}$座标系的初始位置就与$\vec{Z}$座标系相重合；

$\vec{A}(a_1, a_2, a_3)$——空间固定座标系，a_1轴与z_1轴相重合，即沿最短轴间距方向，但a_3轴沿滚刀轴线方向；

$\vec{y}(y_1, y_2, y_3)$——与滚刀相固连的动座标系，y_3沿滚刀轴线方向，在初始位置时，$\vec{y}$与$\vec{A}$重合；

$\vec{y}^{\circ}(y_1^{\circ}, y_2^{\circ}, y_3^{\circ})$——只随滚刀一道回转的动座标系，$y_3^{\circ}$轴沿滚刀轴线。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

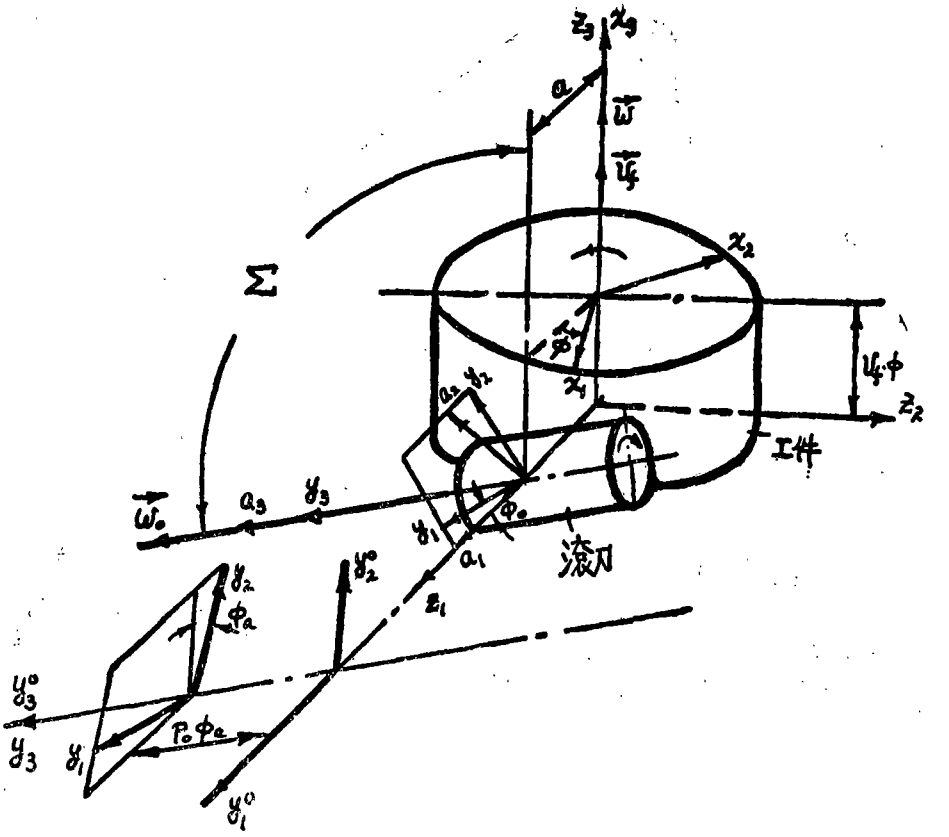


图 1

各座标系之间的关系式可用运动方程求出。例如当$\vec{X}$座标系在$\vec{Z}$座标系中沿某一轨迹运动时，$\vec{X}$座标系中任一点(x_1, x_2, x_3)的轨迹为：

$$z_i = \sum_{j=1}^{3} x_j \cos(\hat{z_i x_j}) + \rho_i \qquad (i = 1,2,3) \tag{3}$$

ρ_i——$\vec{x}$座标系的原点在$\vec{z}$座标系中的坐标；

$\cos(\hat{z_i x_j})$——z_i轴与x_j轴夹角的余弦。

其余的关系式依此类推(见表一)。

滚刀与工件的相对位置决定于两参数：轴间距 a，它是滚刀轴线与工件轴线之间的最短距离；轴交角 Σ，它是滚刀轴线与工件轴线之间的夹角。

对于形成工件齿面特征参数起作用的运动有三个：滚刀的回转运动$\vec{\omega}_0$(角速度矢量)，工件的回转运动$\vec{\omega}$(角速度矢量)滚刀沿工件轴向的进给运动$\vec{v}_f$(线速度矢量)，我们认为$\vec{v}_f$是由工件来完成的(与滚刀实际运动相反)。显然，这三个运动之中只有$\vec{\omega}_0$、$\vec{v}_f$两个是独立的，$\vec{\omega}$是它们的函数。

任何螺旋面(以下均指等升距圆柱螺旋面)在座标系$\vec{X}$中的方程可写成下列形式：

$$\begin{cases} x_1 = x_1(u)\cos\theta - x_2(u)\sin\theta \\ x_2 = x_1(u)\sin\theta + x_2(u)\cos\theta \\ x_3 = p\theta \end{cases} \tag{4}$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(u,θ)——决定螺旋面上任一点位置的座标参数；

p——工件螺旋面螺旋参数，右旋取正，左旋取负；

$$p = \frac{S}{2\pi}$$

S——工件螺旋面导程。

当 u = 常数时，(4)式为一条空间螺旋线的方程。当 $x_3 = 0(\theta = 0°)$时，得：

$$\begin{cases} x_1 = x_1(u) \\ x_2 = x_2(u) \end{cases} \tag{5}$$

从方程(4)(5)可以看出：任何螺旋面都可以看成是由无数条导程(或螺旋参数)相同的螺旋线所组成，这些螺旋线通过横截面(垂直于轴线的截面)上给定的一条平面齿形曲线——端面线形曲线(5)。因此，只要工件螺旋面的端面齿形能造型(加工)出来，那整个螺旋面的造型问题就只要再加一个形成螺旋面的轴向进给运动就解决了。为此，我们可用研究端面齿形的造型情况来代替研究空间齿面的造型情况。

滚刀与工件的啮合是空间交错轴双自由度螺旋齿轮的啮合，根据啮合理论可知[4]，滚刀齿面与工件齿面共轭相切接触的充要条件是：两齿面接触点的法线与啮合轴相交。即凡是齿面的接触点，其法线必与啮合轴相交；相反，当齿面上某点的法线与啮合轴相交时，该点就为接触点。啮合轴是垂直于滚刀与工件最短轴间距(a)的一条空间固定直线(图2)，它无论与

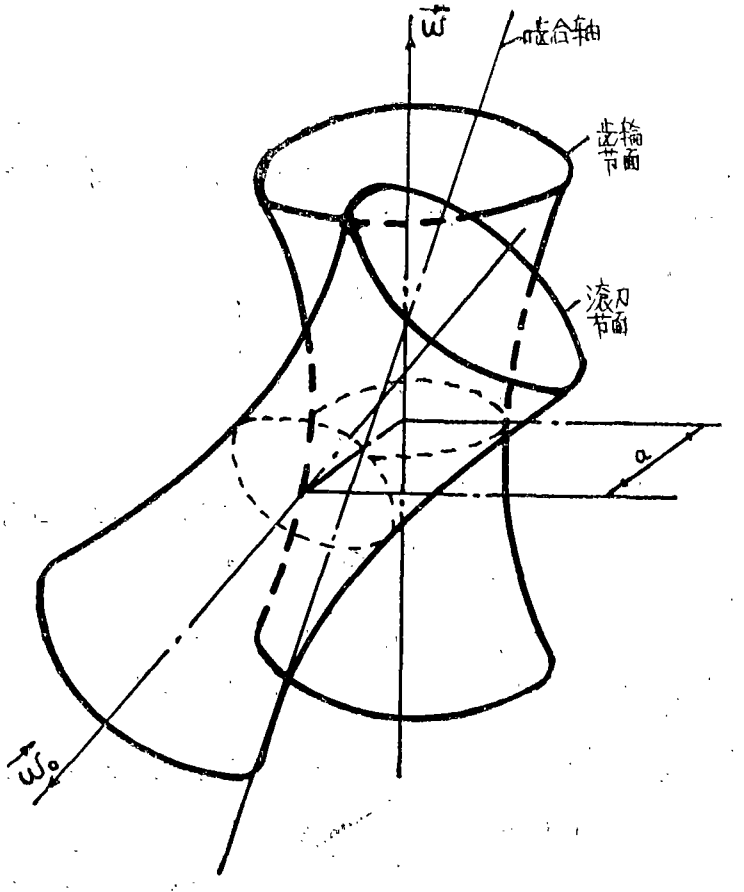


图 2

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

滚刀轴线，还是与工件轴线都是交错的。啮合轴绕工件轴线或绕滚刀轴线作回转运动的轨迹都是回转双曲面。这两个双曲面相应的就是工件的节面和滚刀的节面。这里必须注意，是双曲面而不是圆柱面！因此，我们给予的定义为：接触点的法线与啮合轴的交点称为该接触点的节点。节点绕工件轴线作回转运动形成的圆称为该接触点的计算节圆。显然，对于直齿工件，其端面齿形上所有点的法线都位于这同一端面内，这端面与啮合轴只有一个交点——节点。从而可以认为，直齿工件端面齿形上所有点的计算节圆都是相同的，计算节圆半径只有一个。但对于具有螺旋齿的工件来说，同一端面齿形上各点的法线并不在同一平面内，其方向是不相同的。因此当它们成为与滚刀齿面的接触点时，其法线与啮合轴有不同的交点。换句话说，同一端面齿形上不同的点应有不同的计算节圆半径。

设工件的端面齿方程由(5)式给出，研究其上任意一点$M(x_1,x_2)$(图 3)：

如前所述，M点成为与滚刀齿面接触点的充要条件是该点的法线$\vec{n}$必须通过节点 p 。从端面上来看(图 6)，M点成为接触点时，其法线的投影$\vec{n}_t$应通过节点 p ，根据平面啮合齿形法线法原理及符号规定可知工件应转过φ'角，φ' 角可按下式计算：

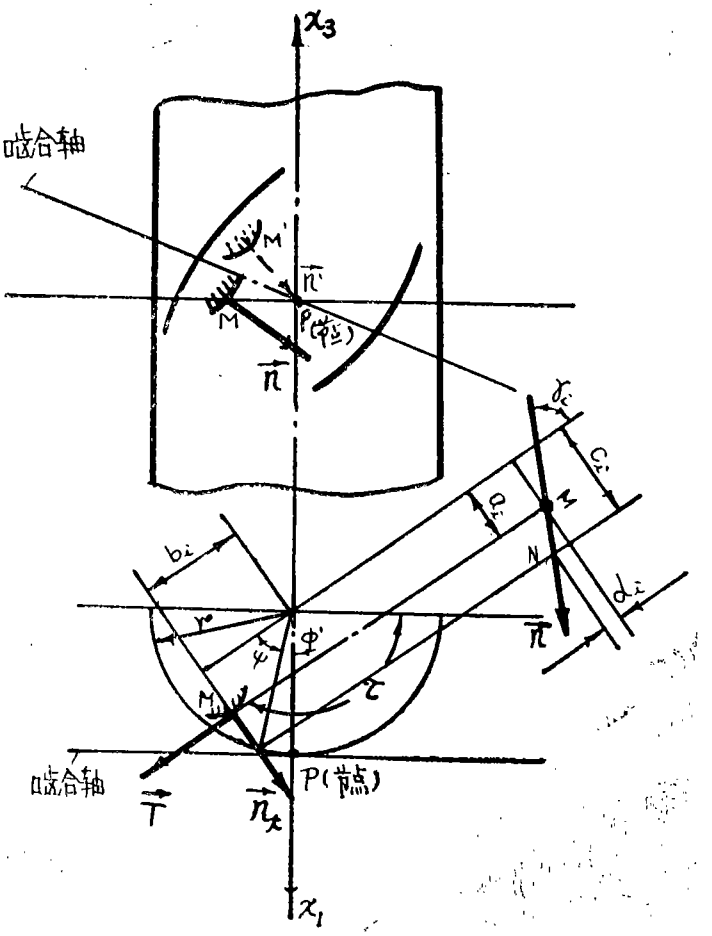


图 3

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{cases} b_i = x_1(u)\sin\tau + x_2(u)\cos\tau \\ \cos\Psi = \dfrac{b_i}{r'} \\ \varphi' = -\left(\tau - \dfrac{\pi}{2} - \Psi\right) = \Psi + \dfrac{\pi}{2} - \tau \end{cases} \tag{6}$$

τ——端面内齿形计算点(M)处的切线$\vec{T}$的正向与x_2轴正向之间的夹角。$\vec{T}$的正向指向横标x_2增加的方向；

$$tg\tau = \frac{dx_1(u)}{dx_2(u)} = \frac{dx_1(u)}{du} \Big/ \frac{dx_2(u)}{du} \tag{7}$$

b_i——端面内轴心到齿形法线投影$\vec{n}_t$的垂直距离；

r'——工件端面上计算点(M)的计算节圆半径。

当工件齿面为螺旋面时，M点的法线$\vec{n}$不在横截面内，而是偏离了一个角度γ_i(图3)，法线偏离的大小及方向与所研究点的位置及螺旋面的旋向有关。根据螺旋面的特性可知，通过螺旋线上任一点可作无数条垂直于该螺旋线的直线。(图4)，这些直线称为螺旋射线，它们都位于垂直于该螺旋线的平面(法面)内。某点的螺旋射线不但垂直于通过该点的螺旋线，而且还垂直于同一螺旋面上该螺旋射线相交的一切螺旋线。例如，图4中通过M点的某一螺旋射线MN，它不但垂直于过M点的螺旋线，而且还垂直于通过该直线上P点和N点等的螺旋线。这是因为在任何运动的刚体上，通过其上任一点所引的垂直于该点运动速度的直线还垂直于该直线上所有点的运动速度。即与螺旋射线相交的一切螺旋线，都可以看成该螺旋射线绕其轴线作螺旋运动时在其上各点的运动轨迹。因此，螺旋射线与轴线的夹角就等于相应螺旋线螺纹升角。螺旋面的法线也是螺旋射线，它亦具有上面所说的性质。故知法线与轴线的夹角等于法线与轴线上最短距离(b_i)为半径的圆柱上螺旋线的螺纹升角γ_i，如图3所示。

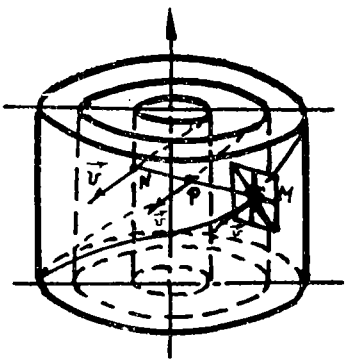


图4

$$tg\gamma_i = \frac{P}{b_i} \tag{8}$$

由公式(8)也可以看出：当工件齿面为柱面(直齿)时，$p=\infty$，$\gamma_i=90°$，即法线位于横截面内；当工件齿面为螺旋面时，$p\neq\infty$，$\gamma_\lambda\neq90°$，该法线偏离了横截面。

法线与工件M点的计算节圆柱(以M点的计算节圆半径r'为半径的圆柱)的交点偏离M点所在横截面的距离为d_i，由图3可得：

$$\begin{cases} a_i = -x_1(u)\cos\tau + x_2\sin\tau \\ c_i = r'\sin\Psi \\ d_i = ctg\gamma_i(c_i - a_i) = \dfrac{b_i}{P}(c_i - a_i) \end{cases} \tag{9}$$

a_i——端面上轴心到齿形切线的距离。

为使M点成为与滚刀齿面的接触点，即要使它的法线$\vec{n}$通过节点P，必须使法线向上移动一距离d_i，这可由工件再转过一个φ''角来实现：

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\varphi'' = \frac{d_i}{P} = \frac{b_i}{P^2}(c_i - a_i) \tag{10}$$

因此，M点成为与滚刀齿面的接触点时，工件的总转角为 φ' 与 φ'' 的代数和。

$$\varphi = \varphi' + \varphi'' \tag{11}$$

φ 为正，表示工件逆时针回转；φ 为负，表示工件顺时针回转。

至此，根据工件的端面齿形(5)，给出参数 u，可求出工件的转角 φ。但对于具有螺旋齿面的工件来说，它在齿面上任一点的位置决定于 u，θ 两个参数，故要知道工件转过 φ 角后，M点成为接触点时的确切位置，还必须求出相应的参数 θ，θ 角可通过方程(1)(2)求得。在图1所示座标系中，经过一定的交换，方程(1)可用成下列形式表示：

$$\begin{aligned}
&n_{x1}\left[-x_2\cos\Sigma - \sin\Sigma\cos\varphi(x_3 + v_f\varphi) - a\cos\Sigma\sin\varphi + \frac{x_2}{i}\right] \\
&+ n_{x2}\left[x_1\cos\Sigma + \sin\Sigma\sin\varphi(x_3 + v_f\varphi) - a\cos\Sigma\cos\varphi - \frac{x_1}{i}\right] \\
&+ n_{x3}\left[x_1\sin\Sigma\cos\varphi - x_2\sin\Sigma\sin\varphi - a\sin\Sigma - \frac{v_f}{\lambda}\right] = 0
\end{aligned} \tag{12}$$

方程(2)可写成下列形式：

$$\begin{aligned}
&n_{x1}[x_2\cos\Sigma + \cos\varphi\sin\Sigma(x_3 + v_f\varphi) + a\sin\varphi\sin\Sigma + p_o\sin\varphi\sin\Sigma] \\
&+ n_{x2}[-x_1\cos\Sigma - \sin\varphi\sin\Sigma(x_3 + v_f\varphi) + a\cos\varphi\cos\Sigma + p_o\cos\varphi\sin\Sigma] \\
&+ n_{x3}[-x_1\cos\varphi\sin\Sigma + x_2\sin\varphi\sin\Sigma + a\sin\Sigma - p_o\cos\Sigma] = 0
\end{aligned} \tag{13}$$

把(12)与(13)两式相加，得到一个简单的有关接触点参数 u，θ，φ 的关系式：

$$\begin{aligned}
&n_{x1}(x_2 + p_o i\sin\varphi\sin\Sigma) + n_{x2}(-x_1 + p_o i\cos\varphi\sin\Sigma) \\
&+ n_{x3}(-v_f - p_o i\cos\Sigma) = 0
\end{aligned} \tag{14}$$

p_o——滚刀齿面螺旋参数，右旋取正，左旋取负；

$i = \frac{\omega_o}{\omega}$——滚刀对工件的传动比；

v_f——滚齿时的进向进给速度（$v_f = \frac{f}{2\pi}$，f——滚齿时每转进给量）；

a——轴间距；

Σ——轴交角；

(x_1, x_2, x_3)——接触点的座标；

n_{x1}, n_{x2}, n_{x3}——接触点处法线投影。当工件齿面的端面齿形方程为(5)时，按下列公式计算：

$$\begin{cases}
n_1 = p[x_1'(u)\sin\theta + x_2'(u)\cos\theta] \\
n_{x2} = -p[x_1'(u)\cos\theta - x_2'(u)\sin\theta] \\
n_{x3} = x_1(u)x_1'(u) + x_2(u)x_2'(u)
\end{cases} \tag{15}$$

把(15)式代入(14)式，经过整理得：

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$p[x_1(u)x_1'(u)+x_2(u)x_2'(u)-p_oix_1'(u)\sin\Sigma\cos(\varphi+\theta)$$
$$+p_oix_2'(u)\sin\Sigma\sin(\varphi+\theta)]+[x_1(u)x_1'(u)+x_2(u)x_2'(u)]$$
$$\times[-v_f-p_oi\cos\Sigma]=0 \qquad (16)$$

令：

$$\begin{cases} A=pp_oi\sin\Sigma x_2'(u) \\ B=-pp_oi\sin\Sigma x_1'(u) \\ C=-[x_1(u)x_1'(u)+x_2(u)x_2'(u)][p-v_f-p_oi\cos\Sigma] \end{cases}$$

(15)式变成

$$A\sin(\varphi+\theta)+B\cos(\varphi+\theta)=C \qquad (17)$$

解三角方程得：

$$\cos(\varphi+\theta)=\frac{BC\pm A\sqrt{A^2+B^2-C^2}}{A^2+B^2} \qquad (18)$$

至此，滚刀齿面、齿形的计算问题就可以解决了。计算步骤是：给出工件的齿面参数 u，由(11)式求出工件的转角 φ，再由公式(18)，求出参数 θ。把这一对对 u,θ 代入方程组(4)可求得工件齿面上接触点的座标(x_1,x_2,x_3)，然后利用运动方程式可求得接触点在空间固定座标系 $\vec{z}$ 中的轨迹——造型线的座标 (z_1,z_2,z_3)，求得接触点在与滚刀相固连的座标系 $\vec{y}$ 中的轨迹——滚刀齿面接触点的座标 (y_1,y_2,y_3)，再令这些接触点构成的空间曲线——接触线绕滚刀轴线作参数为 P_0 的螺旋运动，从而得滚刀的齿面——等升距圆柱螺旋面的方程$(y_1^\circ,y_2^\circ,y_3^\circ)$。再用下列方程与滚刀齿面方程联立，就得到滚刀任意截面的齿形。

$$y_2^\circ\operatorname{tg}\Psi y-y_3^\circ=0 \qquad (19)$$

当 $\Psi_y=0$ 得滚刀端面齿形

$\Psi_y=90°(y_2^0=0)$得滚刀轴向齿形

$\Psi_y=\pi-\beta_0$ 得滚刀法向齿形

β_o——滚刀有效螺旋角

二、计算参数的确定

从以上的公式可以看出：为了求出滚刀的齿形，必须首先确定下列参数：工件计算点的计算节圆半径 r′(对螺旋齿工件来说，每点的 r′ 都不相同)；滚刀与工件的轴间距 a；轴交角 Σ；传动比 i 以及滚刀面螺旋参数 p_o 等。这些参数不但影响滚刀齿面和工件齿面形状，而且有时还根本无法造型。

下面分析这些参数的确定原则及它们之间的相互关系。

(一) 计算节圆半径 r′

确定计算节圆半径的条件是：

第一，滚刀应与工件有正常的相切接触条件，不允许脱开或嵌入。接触点的法线必通过节点就是这个道理。因此，所选取的计算节圆半径 r′ 必须使造型方程式(6)有解(有实根)，即要求

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$r' \geqslant b_i \tag{20}$$

（因为余弦的函数值不可能大于1）

这个关系式符合一般啮合原理[5]，计算点(M)必须位于啮合界限线(造型界限线)的范围内，否则，该点将被“顶切”掉。

第二，滚刀齿面不能与工件齿面相交，即不允许出现曲率的干涉现象，否则工件齿面将被过切或出现残留现象。因此，要求通过接触点公法线的任一公法截面内，工件齿面与滚刀齿面的截形应有相反的凹向（图5-a），或当它们具有相同的凹向时，工件截形曲率半径(符号与曲率相同)的绝对值 $|\rho_i|$ 应大于滚刀截形的曲率半径的绝对值 $|\rho_{oi}|$，即要求

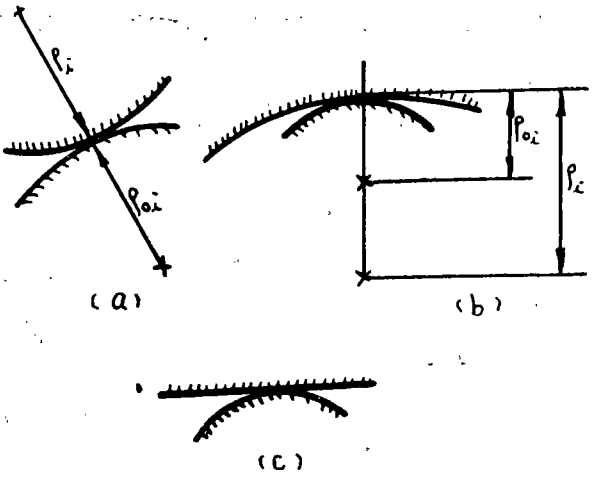


图5

$$|\rho_i| \geqslant |\rho_{oi}| \tag{21}$$

这要求讨论两齿面接触点处的诱导法曲率问题。其计算很复杂，我们将在另一文中详细讨论。由于本文是讨论滚刀的设计问题，而不是两个现成的螺旋齿轮的啮合问题，故条件(21)的要求比较灵活，可用合理选用计算节圆半径来满足这一条件。下面推荐一种满足这条件的简单的方法[6]，它的先决条件是：假设工件螺旋面与直齿齿条刀相啮合，为使齿条齿面不过切工件齿面，要求在与齿条刀齿向一致的截面内，工件齿面的截形在与齿条刀截形(为直线)的接触点处总是凸的(图5-c)，由此可推得：

$$r' = \sqrt{b_i^2 + [(\rho_i - a_i) \pm \sqrt{\rho_o(\rho_i - a_i)}]^2} \tag{22}$$

ρ_i——工件端面齿形计算点(M)处的曲率半径，可根据端面齿形方程求出。

为满足不干涉的条件，计算点M处的计算节圆半径 r' 应介于按公式(22)计算出的两个根(r'_{min}, r'_{max})之间。

由公式(22)也可以看出，每计算点的计算节圆半径是不同的，而且在一般情况下，r' 将随 b_i 的增加而增加。前面的分析已指出：由于直齿工件的计算节圆半径应取定值，每计算点都取得一样，为了照顾到各点，可取下列的点来计算 r'：b_i 值最大的点；凹型齿形上的点；齿形的联接点、转折点；离槽底最远的点；$\rho_i = a_i$ 的点或要求精确加工出来的点。对于所有这些点都计算出允许的计算节圆半径，最后根据工件齿形各部分的精度以及 $r' \geqslant b_{i_{max}}$ 的要求，选择合适的 r' 值作为整个工件齿形共同的节圆半径。

对于螺旋齿工件来说，每点的计算节圆半径必须按公式(22)计算，而且每点取得不一样。

下列点的 r' 值是特殊的：

对于直线齿形上的点($\rho_i = \infty$)，故 $r'_{max} \to \infty$，而

$$r'_{min} \sqrt{b_i^2 + \frac{a_i^2}{4}} \tag{23}$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

转折点($\rho_i = 0$)：

$$r' = \sqrt{b_i^2 + a_i^2} \tag{24}$$

（二）轴间距：

$$a = \frac{1}{2}(d_{ao} + d_f) \tag{25}$$

d_{ao}——滚刀外径，可参考有关标准或根据结构因素特点选定；

d_f——工件内径计算值。

从减少曲率干涉引起过切的可能性或减少齿根过渡曲线的高度来考虑，a值取小些有利。

（三）滚切传动比 i

我们把滚刀角速度 ω_o 与工件角速度 ω 之比称为传动比。（见公式14）。传动比与工件螺旋参数，轴向进给量，工件齿数及滚刀头数有关。滚切时，必须保证工件齿面的螺旋参数（或导程）不能破坏。因为横截面齿形上各点的法线方向与齿面的螺旋参数有关（公式8），如果不能保证工件齿面的螺旋参数，必将引起工件齿面的畸变。因此，滚切时，滚刀相对工件的每转轴向进给量 f 必须是工件齿面导程 s 的整数倍。另外滚刀沿工件的移动方向必须与工件的旋向相配合。调整的原则是：工件齿面螺旋面是由它的端面齿形作螺旋运动所形成的。因此，滚切右旋齿轮时，若刀架（滚刀）向下移动（相当于工件向上移动），工作台（工作）必须逆时针转动；滚切左旋齿轮时，刀架向下移动，工作台必须顺时针转动。

故加工螺旋面时，传动比 i 为：

$$i = \frac{z}{z_o} - \frac{f}{s} \cdot \frac{z}{z_o} = \frac{z}{z_o}\left(1 - \frac{v_t}{p}\right) \tag{26}$$

z ——工件齿数；

z_o——滚刀头数，根据生产率及加工精度要求选定。

从公式(26)可以看出：对于直齿工件($p = \infty$)，传动比为 $i = \frac{z}{z_o}$，因此，进给速度v_t的大小，对滚刀与工件的相对造型运动速度$\vec{v}$没有影响。同时前面已指出：直齿工件端面齿形的法线也总位于这同一端内，进给速度$\vec{v}_t$对法线$\vec{n}$的位置也没有影响，故不影响滚刀与工件的相切接触条件（$\vec{n}\,\vec{v} = 0$），不影响工件的转角 φ 的大小，因而也不影响工件齿面的形状，它只是为了切出整个齿长和影响生产率。故可认为，滚切直齿工件时，相当于$\vec{v}_t = 0$的的情况下发生的，它的端面齿形也都是在同一端面内形成的，端面齿形上的点要成为与滚刀齿面的接触点，只需转过 $\varphi = \varphi'$角，而$\varphi'' = 0°$，法线没有轴向移动。接触点的参数 θ 可认为等于0，接触点的座标 $x_3 = 0$，这样直齿工件与滚刀的啮合，实质上是空间单自由度($\vec{\omega}_o$)的螺旋齿轮的啮合。设计加工直齿工件的滚刀时，除了运动方程式稍有差别外，其它均可以按平面啮合的齿形法线进行计算。这样，设计时可以大大简化。

（四）滚刀计算螺旋角 β_0 及螺旋参数 P_0

滚刀与工件作为一对螺旋齿轮的交错轴啮合时，传动比也可写成下列形式：

$$i = \frac{\omega_o}{\omega} = \frac{r\cos\beta}{(a - r)\cos\beta_0} \tag{27}$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

r——工件有效节圆半径。可以按直齿工件计算节圆半径的原则选取，即取 b_i 最大的点，或容易产生曲率干涉的凹型齿面上的点，$\rho_i = a_i$ 的点，必须保证加工精度，必须以精确加工出来的点的计算节园半径作为整个工件的有效节园半径。

β——工件有效螺旋角，它按下式决定：

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{r}{P} \tag{28}$$

对直齿工件，$\beta = 0°$；

由公式(27)可求得滚刀有数螺旋角 β_o；

$$\beta_o = \cos^{-1}\left(\frac{r\cos\beta}{(a-r)i}\right) \tag{29}$$

i——传动比，按(26)式计算。

滚刀齿面螺旋参数为：

$$P_o = \frac{a-r}{\operatorname{tg}\beta_o} \tag{30}$$

由公式(29)、(30)可得：

$$r = \frac{p_o i \sin\beta_o}{\cos\beta} \tag{31}$$

对于直齿工件($\beta = 0°$)得：

$$r = p_o i \sin\beta_o = \frac{z}{z_o} p_o \sin\beta_o \tag{32}$$

利用公式(32)可以检验目前所用滚刀节园半径的正确性。

(五) 轴交角 Σ

轴交角是滚刀角速度矢量 $\vec{\omega}_o$ 与工件角速度矢量 $\vec{\omega}$ 正方向之间的夹角、也就是 y_3 轴与 x_3 轴正方向之间的夹角。

显然，为了保证切削区滚刀刀刃的运动方向与工件的齿向一致，应取：

$$\Sigma = 180° - (\beta_o \pm \beta) \tag{33}$$

对直齿工件或当滚刀与工件的旋向相同时取“+”号，(直齿工件$\beta = 0°$)，滚刀与工件的旋向相反时取“-”号。取 $\Sigma = 90°$，就得齿条刀与齿轮的啮合情况。

至此，可以把计算滚刀齿形的公式列成表(一)所示的计算卡。

表(一) 滚刀齿形计算卡

已知参数：d_a——工件外径计算值；　d_f——工件内径计算值；
S——工件螺旋面导程；　Z——工件齿数；
d_{ao}——滚刀外径；　z_o——滚刀头数；
f——滚齿时的每转轴向进给量。

序号	计算公式	说明
1	$\begin{cases} x_1 = x_1(u) \\ x_2 = x_2(u) \end{cases}$ u为参变数	工件(被加工齿轮)端面齿形方程。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续 表(一)

序号	计 算 公 式	说 明
2	$\operatorname{tg}\tau=\frac{dx_1(x_1)}{dx_2(u)}=\frac{dx_1(u)}{du}\Big/\frac{dx_2(u)}{du}$	工件端面齿形切线与 x_2 轴的夹角。
3	$\rho_i=\frac{[x_1'^2(u)+x_2'^2(u)]^{\frac{3}{2}}}{x_1''(u)x_2'(u)-x_1'(u)x_2''(u)}$	工件端面齿形曲率半径 $x_1'(u),x_2'(u)$为对参变数 u 的一阶导数。 $x_1''(u),x_2''(u)$为对参变数 u 的二阶导数。
4	$a_i=-x_1(u)\cos\tau+x_2(u)\sin\tau$	轴心到端面齿形切线的距离
5	$b_i=x_1(u)\sin\tau+x_2(u)\cos\tau$	轴心到端面齿形法线的距离。
6	$r'=\sqrt{b_i^2+[(p_i-a_i)\pm\sqrt{\rho_i(p_i-a_i)}]^2}$	端面齿形上每点的计算节圆半径; 对直齿工件取相同的 r';对斜齿及螺旋工件,按计算值取,每点不相同。
7	$\Psi=\cos^{-1}\frac{b_i}{r'}$	
8	$\varphi'=\Psi+\frac{\pi}{2}-\tau$	
9	$p=s/2\pi$	工件齿面螺旋参数,右旋取正,左旋取负。
10	$\varphi''=\frac{b_i}{p^2}(r'\sin\Psi-a_i)$	
11	$\varphi=\varphi'+\varphi''$	工件转角
12	$v_f=f/2\pi$	轴向进给速度
13	$i=\frac{z}{z_o}\left(1-\frac{v_f}{P}\right)$	传动比
14	$a=\frac{1}{2}(d_{ao}+d_f)$	轴间距
15	$\beta=\operatorname{tg}^{-1}\frac{r}{P}$	β-工件有效螺旋角;r-工件有效节圆半径,选取原则见正文。
16	$\beta_o=\cos^{-1}\frac{r\cos\beta}{(a-r)i}$	滚刀有效螺旋角
17	$\Sigma=180°-(\beta_o\pm\beta)$	轴交角;加工直齿工件或滚刀与工件的旋向相同时取“+”号;滚刀与工件的旋向相反取“-”号。
18	$P_o=\frac{a-r}{\operatorname{tg}\beta_o}$	滚刀齿面螺旋参数。
19	$A=PP_oi\sin\Sigma x_2'(u)$	
20	$B=-PP_oi\sin\Sigma x_1'(u)$	

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续 表(一)

序号	计 算 公 式	说 明
21	$C=-[x_1(u)x_1'(u)+x_2(u)x_2'(u)]$ $[p-v_f p_{oi}\cos\Sigma]$	
22	$\cos\omega=\dfrac{BC\pm A\sqrt{A^2+B^2-C^2}}{A^2+B^2}$	
23	$\theta=\omega-\varphi$	
24	$\begin{cases}x_1=x_1(u)\cos\theta-x_2(u)\sin\theta\\x_2=x_1(u)\sin\theta+x_2(u)\cos\theta\\x_3=p\theta\end{cases}$	工件齿面接触线方程 对直齿工件令 $\theta=0$ ($x_3=0$)
25	$\begin{cases}z_1=x_1\cos\varphi-x_2\sin\varphi\\z_2=x_1\sin\varphi+x_2\cos\varphi\\z_3=x_3+v_f\cdot\varphi\end{cases}$	造型线(啮合线)方程 对直齿工件令 $v_f=0$
26	$\begin{cases}a_1=z_1-a\\a_2=z_2\cos\Sigma+z_3\sin\Sigma\\a_3=-z_2\sin\Sigma+z_3\cos\Sigma\end{cases}$	
27	$\varphi_o=i\varphi$	滚刀转角
28	$\begin{cases}y_1=a_1\cos\varphi_o+a_2\sin\varphi_o\\y_2=-a_1\sin\varphi_o+a_2\cos\varphi_o\\y_3=a_3\end{cases}$	滚刀齿面接触线方程
29	$\left.\begin{cases}y_1^\circ=y_1\cos\varphi_o-y_2\sin\varphi_o\\y_2^\circ=y_1\sin\varphi_o+y_2\cos\varphi_o\\y_3^\circ=y_3+p_o\varphi_o\end{cases}\right\}$ 滚刀齿面方程 $y_2^\circ\,\mathrm{tg}\,\Psi_y-y_3^\circ=0$	零前角滚刀任意截面齿形方程 $\Psi_y=0°$ 得端面齿形方程 $\Psi_y=90°$(或 $y_2^0=0$)得轴向齿形方程, $\Psi_y=180°-\beta_o$ 得法向齿形方程。
30	$\begin{cases}\Psi_x=\mathrm{tg}^{-1}\left\lvert\dfrac{y_2}{y_1}\right\rvert\\y_{1x}=\sqrt{y_1^2+y_2^2}\\y_{3x}=y_3+p_x\varphi_x\end{cases}$ 为了防止座标点分散,φ_x 根据 y_1、y_2 的符号按下表取值:	滚刀轴向齿形方程

座标	符	号		
y_1	+	+	−	−
y_2	+	−	−	+
φ_x	$\pi-\varphi_x$	$\pi+\varphi_x$	$-\varphi_x$	φ_x

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

三、奥利弗(Olivier)定理的局限性

奥利弗定理是齿轮啮合原理的基本定理之一，它包括三方面的内容：第一是直接包络原理，它认为互为包络的曲面可以构成共轭曲面，古典的二维空间齿轮滚刀设计法就以此为基础；第二是间接包络原理，它认为当两个螺旋齿轮的齿面均与另一个在空间作确定运动的某一辅助曲面(一般看成是齿条齿面)相共轭时，这一对螺旋齿轮的齿面也必将共轭。苏联学者С.И.лашнев提出的滚刀齿形计算法就是以此原理为基础的代表[6]，这种方法虽有很多可取之处，但并不是“精确而普遍的方法”。第三种是推广的间接包络法，即认为辅助曲面不止一个，可以有两个或多个。

正如前面我们已指出过的那样，直接引用奥利弗定理来设计滚刀是有局限性的，主要是：

1．一般滚齿是空间多自由度的交错轴啮合，即滚齿时，除了有滚刀的回转$\vec{\omega}_0$自由度外，还有滚刀沿工件轴向移动的自由度$\vec{v}_f$，(见图1)，而直接按奥利弗原理来设计滚刀时，只把滚齿看成是空间单自由度$\vec{\omega}_0$的螺旋齿轮传动，忽略了滚刀相对工件轴向移动的自由度$\vec{v}_f$。显然，多自由度啮合时两齿面的接触区、啮合线与单自由度啮合时是根本不相同的。从前面的分析还可以看出，若不考虑自由度$\vec{v}_f$对相对造型运动速度$\vec{v}$和法线矢量$\vec{n}$的影响，就不能推得正确的造型方程式($\vec{n}\cdot\vec{v}=0$)，特别对于螺旋齿工件，就不能确定参数θ和找到接触点正确的位置(x_1,x_2,x_3)。

2．直接按奥利弗原理设计滚刀，必然推导出工件的节面和滚刀节面就是园柱面的结论，这与它们的节面实际上双曲面相矛盾的。如前所述，对于直齿工件，节园半径可以取定值，而对于螺旋齿工件，端面齿形上各点的计算节园半径是不能取定值的。

3．不考虑自由度$\vec{V}_f$，那本文推导的有关计算参数如传动比i，滚刀螺旋参数p_0，轴交角Σ等的公式必然有很大的误差，不能确定它们之间精确的相互关系。在运动方程式中，由于接触点参数θ，因而接触点坐标(x_1,x_2,x_3)不正确及没有考虑$\vec{v}_f$的影响，必然会带来更大的误差。

因此，可以得出结论：直接按奥利弗原理设计加工直齿工件的滚刀是可以的；直接引用来设计加工螺旋齿轮的滚刀是不行的。

最后，我们还应说明，本文所提出的方法也可以用来解决从滚刀齿面求工件齿面，以便进行滚齿误差的分析。这时只要对调工件与滚刀的位置，即在计算公式中把它们的参数对调(公式形式不变)就行了，同时也可用来研究其它多自由度的空间螺旋齿轮的啮合及加工，如对角滚齿，对角剃齿等。

四、计算实例

为了定量的衡量我们所提出的方法的正确性，现举一个设计螺旋齿花键轴滚刀的实例。其数据取于资料[2]，目的是便于和他们的结果进行比较。当然他的计算参数的选择，因而计算的结果并不是最佳的。(如图6)

工件的端面齿形方程为：

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\begin{cases} x_1(u) = u \\ x_2)u) = -h \end{cases} \tag{34}$$

$$\sqrt{r_f^2 - q^2} \leqslant u \leqslant \sqrt{r_a^2 - h^2}$$

r_a——花键轴计算外径；

r_f——花键轴计算内径；

h——花键轴计算半齿宽。

由公式：(34)可得：

$$\begin{cases} x_1'(u) = 1 \\ x_2'(u) = 0 \end{cases} \tag{35}$$

表(一)中第 22 项的公式变为

$$\cos\omega = \frac{(p - v_f - p_o i\cos\Sigma)}{pp_o i\sin\Sigma} u$$

把 p、v_f、p_o、i、Σ 的数据代入得：

$$\cos\omega = 0.0885432\, u \tag{36}$$

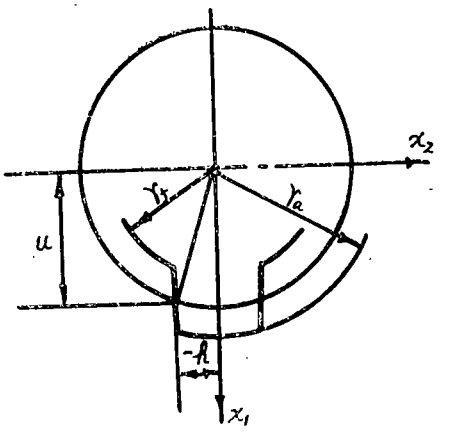


图 6

表(二)是用我们所提出的计算方法的计算程序与计算结果，表(三)是资料[2]列举的计算结果。比较两表的结果及计算过程可得出如下结论：

(一) 按表(一)的公式计算得轴间距 a = 49 与资料[2]相同。轴分角为 $\Sigma = 72.086493°$，按资料[2]的公式计算得 $\Sigma = 71.564°$，两者相差 0.522493°。按表(一)计算，滚刀齿面螺旋参数为 $p_o = 2.557094$，资料[2]中，$p_o = 2.616391$，两者相差 0.059297。两者的误差很小。但资料[2]的作者认为“计算 a，Σ和p_o的数值，所需要的计算工作量，要大大超过滚刀齿形设计本身的工作量”。而且要经过几次试算和解比较复杂的微分方程。而本文的方法仅计算几个简单的三角函数式，而且一次完成。

(二) 取资料[2]的 a，Σ 和 p_o 及计算滚刀的齿形座标，从表(二)和表(三)可以看出：工件转角φ，工件齿面接触点参数(μ,θ)，基本相同，而轴面齿形座标 (y_{1x},y_{2x}) 也大致相同。极个别的点相差较大，可能与计算误差有关。(因对资料[2]的数据没有检验过)。

(三) 本文所提的方法概念清楚，计算简单，容易掌握，用简单的电子计算器就能解决问题。资料[2]的方法却比较难懂难学，计算工作量大，需要应用较高级的电子计算机才行。

(四) 对于设计加工直齿工件的滚刀，本文提出的新方法与按资料[2]的方法计算滚刀齿形，其结果完全相同，但本文的新方法简单得多。

表(四)是加工直齿工件的滚刀齿形计算结果。其中取相同的计算节园半径：

$$r' = \sqrt{u'_{max} + \frac{h^2}{4}} = 26.214058$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表(二) 螺 旋 齿 花 键 轴 滚 刀 齿 形

已知数据：$v_f = 0.158274$　$i = 3.976873$　$a = 49$　$\Sigma = 71.564°$　$p_o = 2.616391$　$p = 27.374650$　$d_o = 23$

$d_f = 19$　$h = 2.5$　$z = 4$　$d_{ao} = 80$　(这些数据取于资料[2])

u(bi)	9.1651	9.3024	9.5771	9.8518	10.1264	10.4010	10.6757	10.9503	11.2250
r′	10.9245	10.935	10.9577	10.9835	11.013	11.046	11.09	11.1456	11.2393
Ψ°	32.970682	31.712158	29.0724	26.238225	23.147614	19.676654	15.710526	10.741706	2.8905706
φ′°	32.970682	31.712158	29.0724	26.238225	23.147614	19.676654	15.710526	10.741706	2.8905706
φ″°	5.9179817	5.8663705	5.729495	5.5408212	5.2875198	4.945762	4.4917447	3.8323433	2.6320536
φ°_{*}	38.888664 0.6767352	37.578529 0.655869	34.801895 0.6074077	31.779046 0.554649	28.435134 0.4962867	24.62253 0.4297442	20.202271 0.3525961	14.574045 0.2543652	5.5226242 0.096388
ω°	35.75654	34.5467	32.006597	29.271817	26.282223	22.936428	19.045341	14.16978	6.3330873
θ°	−3.13216	−3.031829	−2.795298	−2.507229	−2.15291	−1.686102	−1.15693	−0.404265	0.8104631
x_1	9.0148106	9.1571528	9.4437852	9.7330054	10.025336	10.322937	10.623047	10.932388	11.259235
x_2	−2.9970399	−2.9882759	−2.9640795	−2.9285781	−2.878645	−2.8049543	−2.715042	−8.5771998	−2.3409748
x_3	−1.4964764	−1.4485405	−1.3355313	−1.1978983	−1.0286125	−0.8055821	−0.5527554	−0.1931481	0.3872213
z_1	8.8984033	9.0796054	9.4462794	9.8162063	10.186553	10.552948	10.90711	11.229123	11.432265
z_2	3.3267818	3.2162102	2.9560573	2.6362968	2.2423433	1.7510244	1.1205034	0.2566543	−1.2465334
z_3	−1.3890503	−1.3447335	−1.2393945	−1.1101118	−0.9500633	−0.7375647	−0.4969486	−0.1528894	0.42477
a_1	−40.101597	−39.920395	−39.553721	−39.183794	−38.813447	−38.447052	−38.09289	−37.770877	−37.567735
a_2	−0.265682	−0.2586074	−0.2409467	−0.2194219	−0.1921733	−0.145958	−0.1170902	−0.063877	−0.0123893

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续(表二)

已知数据：$\nu_f = 0.158274$　$i = 3.976873$　$a = 49$　$\Sigma = 71.564°$　$p_o = 2.616391$　$p = 27.374650$　$d_a = 23$

$d_f = 19$　$h = 2.5$　$z = 4$　$d_{ao} = 80$　(这些数据取于资料[2])

a_3	−3.5953235	−3.4764118	−3.1962976	−2.852063	−2.4277136	−1.8944087	−1.220154	−0.2918327	1.3098396
$\phi_o°$	154.65528	149.44502	138.40273	126.38123	113.08292	97.920675	80.341864	57.959143	21.962775
y_1	36.128038	34.508586	29.419485	23.418724	15.040525	1.1535136	−6.5062412	−20.092498	−34.845967
y_2	17.406135	20.071432	26.43953	31.416257	35.781325	38.100373	37.533329	31.98325	14.038998
y_3	−3.5953235	−3.4764118	−3.1962976	−2.852063	−2.4277136	−1.8944087	−1.220154	−0.2918327	1.3098396
φ_o*	0.448974	0.526807	0.7321009	0.9302243	1.1728745	1.4363508	1.3991562	1.0098866	0.382993
φ_x*	2.6926187	2.6147853	2.4094918	2.2113684	1.9687182	1.7052419	1.3991562	1.0098866	0.382993
y_{1x}	40.102477	39.921233	39.554454	39.184408	38.813923	38.447329	38.09307	37.770931	37.567737
y_{3x}	3.5685315	3.36489	3.1078751	2.9337414	2.723223	2.5671709	2.4405857	2.3504255	2.311899

表中：*—表示弧度；°—表示度。

表(三)　资　料[2]中　螺　旋　齿　花　键　轴　滚　刀　齿　形

u(bi)	9.1651	3.3024	9.5771	9.8513	10.1264	10.4010	10.6757	10.9503	11.2250
φ_o	38°53′25″	37°34′43	34°48′08″	31°46′44	28°26′08″	24°39′05″	20°12′16″	14°34′35	5°31′10″
$\theta°$	3°07′52″	3°01′46″	2°47′32″	2°30′10″	2°08′56″	1°42′37″	1°09′09″	0°23′55″	0°50′05″
z_1	8.8983	9.0797	9.4461	9.8160	10.1864	10.5528	10.9070	11.2291	11.4327
z_2	3.3272	3.2164	2.9566	2.6370	2.2431	1.7519	1.1218	0.2583	1.2423
z_3	−1.3880	−1.3430	−1.2374	−1.1075	−0.9477	−0.7487	−0.4946	−0.1499	0.4141
y_{1x}	40.1026	39.9212	39.5546	39.1846	38.8141	38.4475	38.0932	37.7709	37.5673
y_{3x}	3.4499	3.3314	3.1082	2.9048	2.7235	2.5674	2.4408	2.3505	2.3119

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表(四) 直 齿 花 键 轴 滚 刀 轴 向 齿 形

已知数据：$d_e = 53$　　$d_f = 45.665$　　$h = 4.483$　　$z = 8$

计算常数：$r' = 26.214058$　　$a = 71.45281$　　$\Sigma = 94.154036°$　　$p_o = 3.28539$

di	53	52.42811	51.16625	50.06600	48.96575	47.86550	46.7625	45.6650
u	26.11805	25.82788	25.18728	24.62831	24.06894	23.50913	22.94885	22.38807
φ^*	0.085612	0.1718606	0.280811	0.3496061	0.407362	0.4582821	0.5044497	0.5470778
φ_o	4.9051738	9.8470177	16.089497	20.031513	23.340399	26.257949	28.90334	31.3459
$\varphi_o°$	39.241390	78.776141	128.71597	610.2521	186.72319	210.06359	231.22672	250.7672
y_1	−34.78386	−8.80579	28.62286	43.91962	47.29287	42.10641	31.21370	17.00835
y_2	28.61880	44.36990	36.11861	16.09618	−5.17778	−23.83587	−38.02431	−47.01826
y_3	2.22750	0	−2.66584	−4.21295	−5.40544	−6.36345	−7.14833	−7.79689
φ°	39.447086	78.776141	51.527531	20.127771	6.2482094	29.514123	50.61884	70.11402
φ_*	0.68847	1.37488	0.89931	0.35129	0.10905	0.51511	0.88345	1.22370
φ_x	0.68847	1.37488	2.24228	2.79030	3.25064	3.6567	5.02504	4.36529
y_1x	45.04389	45.23527	46.00662	46.77628	47.57547	48.38490	49.19495	49.999993≈50
y_3x	4.48937	4.51701	4.70091	4.95427	5.27418	5.65024	6.07549	6.54479

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

参 考 文 献

[1] Профилирование Обкаточного инсmруменма Г·Н·Кирсahod 《Машиносmроение》, 1978. No.8

[2] 奚威。展成滚刀齿形设计的三元方法，上海工具厂。

[3] 几种点接触共轭刀具的设计，上海工具厂。

[4] Ф. Л. 李特文，齿轮啮合原理，上海科技出版社 1964.8.

[5] 西安交通大学机切教研组，齿轮啮合原理 1979.8.

[6] Формообразование Зубчатых Деталеи Реечными ц Червячными инструментами, С·И.Лашнеб, 1971.

A New Method for calculating the tooth profile of the hob cutter also, the limitations of Olivier's Law application.

Li Ru-xun

In this paper a new simple and exact method is presented for Calculating the tooth profile of the hob cutter based on summing up the various methods for calculating the hob profile. A new concept on calualating the change of the pitch radii of the parts is discussed. The relations between the various para meters of hob profile have been derivated. And the limitations of applying Olivier's Law in the hob design are also described.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net