

无心磨床贯通磨削导轮轮廓 曲线的修整问题的讨论

机械系机床教研室

赵 渊

提 要

本文讨论无心贯通磨削中导轮轮廓曲线对加工过程的影响,提出以初等数学的方法推导准确的导轮轮廓曲线的方程式,以及近似导轮轮廓曲线的求法。对苏联В. И. Сло-
нимский著《无心磨削的理论与实践》中推导的导轮修正角计算公式提出更为简捷的计算公式。

无心磨床是应用较广泛的机床。无心磨床导轮形状是否合乎要求对加工质量及加工过程中工件运动的稳定性有根本性的影响。导轮轮廓曲线及其修整方法一直是无心磨削加工的重要研究课题。

一、 现用导轮修整方法的缺陷

在贯通法无心磨削时,要求保证以下两点:

- (1) 工件在加工过程中不仅能绕自身轴线旋转并能沿其轴线方向作直线进给运动,
- (2) 为了使工件在加工过程中运动连续并且平稳,应保证工件与导轮成直线接触。

为此,一般参考书介绍采用双曲面体形状的导轮,其母线与轴线间夹角等于工件轴线与导轮轴线间夹角 α 。在机床调整时,使导轮轴线相对工件轴线转动一个角度 α ,然后用运动轨迹与工件轴线相平行的金刚石修正笔修整导轮。实际上,采用上述办法是不能满足前面提出的两个要求的,尤其当工件直径愈大,导轮宽度愈宽时出现的问题就愈多。

现说明于下:

- (1) 按共轭原理知道一对双曲面体相互保持直线接触的条件是:

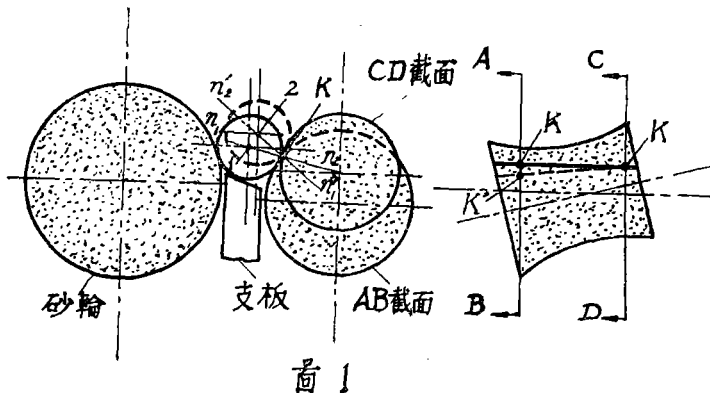
$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 + \varphi_2 &= \text{常数} \\ \frac{r_1}{r_2} &= \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} \end{aligned} \right\} \quad \begin{aligned} (1) \\ (2) \end{aligned}$$

式中 φ_1, φ_2 ——相应的双曲面体的母线与轴线间夹角,

r_1, r_2 ——相应的双曲面体的喉颈(最小圆形截面)的半径。

工件形状大多是圆柱体或圆锥体(圆柱体形状工件在加工过程中直径逐渐变化,实际上近似圆锥体,)它们都是双曲面体的特殊情况;圆柱体时 $\varphi = 0, r \neq 0$;当工件为圆锥体时 $\varphi \neq 0, r = 0$ 。因此按式(1)和式(2),它们与双曲面体的接触都不是直线接触,只能是两点接触。

(2) 为了比较形象化地说明问题,再以图示法加以说明。为简化起见,不考虑工件在加工中直径尺寸的变化。图1是无心磨床上工件、砂轮、导轮和支板相互位置的简图。



如果导轮是按前述的修整方法修整的,则希望工件与导轮(双曲面体)在整个加工过程中都能在K点处(即在右侧图上沿KK直线)接触。当工件在导轮的进口端的CD截面处与砂轮、导轮和支板相接触时,工件的轴线在1点。1点应在导轮CD截面的接触点K的法线 $n_1 n_2$ 上。当工件处于导轮出口端的AB截面处时,因为AB截面的外轮廓及其中心与CD截面的外轮廓及其中心不相同,所以工件在出口端的轴线中心位置2不可能与点1重合。如果一定要工件中心2在AB截面的K点的法线 $n_1' n_2'$ 上,则工件将处于图1中虚线位置上。这时工件与砂轮和支板不再接触。实际上不可能是这样的,工件中心必然因自重力的作用比图1中位置低,所以在AB上的接触点不是K点而是比K点低的K'点。工件与导轮接触点的轨迹不是KK直线而是KK'曲线。工件在加工过程中轴线中心位置是变化的,不作直线运动而是空间曲线运动。因此工件在加工时运动不稳定,工件会产生摇摆及移动与转动速度不均匀的现象,导致所加工工件的几何形状产生歪曲走形。

作者曾在一台新的精度较高的无心磨床上进行过多次试验。试验条件是:工件直径约30毫米,长度80毫米;加工批量80个;在加工前工件经过精加工,精度等级在2级精度以上,加工时直径上切削深度是0.03毫米,导轮轴线倾角 2° ,导轮修整器转角亦为 2° ;工件中心高于砂轮轴线8毫米。在加工中,发现当导轮转速超过36转/分时,工件产生明显地跳动,低于36转/分时,在出口处仍有轻微跳动。当不连续送入工件时,经常发现工件在导轮中部地方有时不作轴向移动或转动速度不均匀现象。当时用精度为0.001毫米的扭簧比较仪测量工件,测量结果发现工件都是一头大而另一头小,并且工

件的几何形的方向性与工件进给方向相一致。工件的后半部分仍保持较好的圆柱体形状。工件的形状大致如图 2 所示。

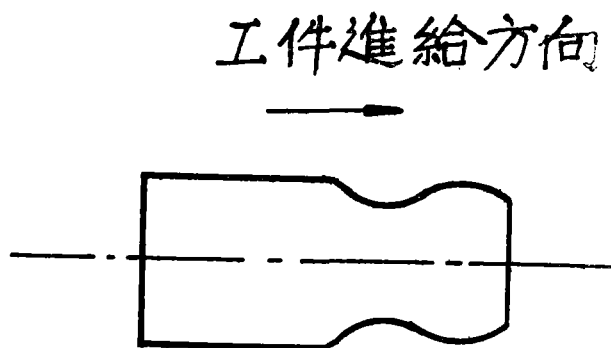


图 2

为了试验消除此种不良现象，曾按机床说明书介绍的近似轮廓曲线计算公式（即 СЛОНИМСКИЙ 书中的公式）计算导轮修正器转角并修正导轮形状，再进行多次试验，加工结果有所改善但仍然没有消除几何形状上母线歪曲现象。后来我们将导轮头架扁体转动一个微小角度使导轮中心线在空间与砂轮中心线不平行后才收到较好的效果。

工件形状的母线歪曲现象可以从图 3 加以解释。由图 1 知工件与导轮的接触线是一条渐渐向下又向砂轮弯曲的空间曲线 KK' ，工件作轴向进给时，不是按直线运动而是按曲线运动。当工件处于图 3 中的位置时 1 时，工件的右端被磨削的裕量多些形成右端尺寸较小并将右端磨成鼓形形状。当工件在砂轮与导轮的出口端（工件位置 2）因受导板 a、b 的影响又与位置 1 时的转动方向相反的顺时针方向转动被砂轮的棱边将工件距右端

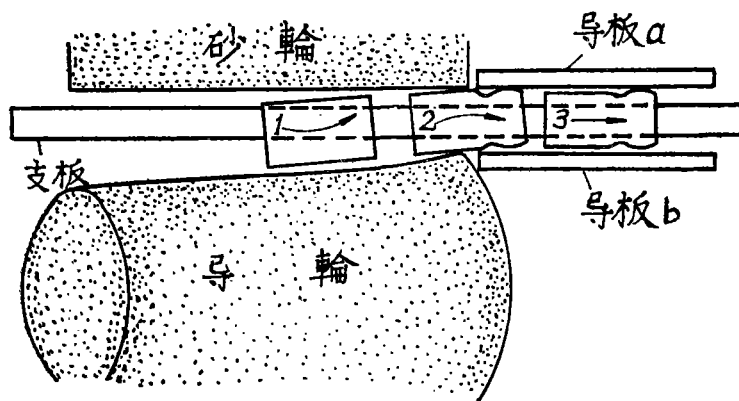


图 3

不远处磨出凹鞍形形状。当工件轴向运动完全被导板控制时,就保证工件的左端大部分长度上呈园柱体形状。

根据上述试验及分析可得出以下结论:

- (1) 采用一般参考书介绍的导轮修正方法无法保证加工质量;
- (2) 采用一般机床说明书介绍的导轮修正器转角公式(即常用的Словимский一书推导的近似公式)也不能取得满意的加工质量。
- (3) 根据加工要求可知导轮的正确形状应是由一个形状与工件完全相同的圆柱体(或圆锥体)而其轴线与导轮轴线的夹角为 α 角并绕导轮轴线旋转而得的旋转曲面体。苏联E.С.Дымшиц^[8]称此曲面体为咽喉体(горлоид)。

二、对一些导轮曲线求法的初步看法

现对以下几种导轮曲线求法简单述叙于下:

- (1) Словимский一书介绍的导轮近似曲线计算法。

这种方法是不少机床说明书采用的方法之一。这种方法是在一个近似条件下,即假设导轮表面是由一组中心沿双曲面体运动的球形所包络而成的曲面体。经过十分复杂的推导并采用近似计算法得到一个近似双曲面体母线与其轴线(即导轮轴线)的夹角 α_1 的计算公式,如下:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{1 + \frac{d}{D}}} \quad (3)$$

式中 α_1 ——导轮修整器的转角;

α ——工件轴线与导轮轴线间空间夹角;

d ——工件直径;

D ——导轮大端直径(一般用名义直径)。

用这种公式计算所得的 α_1 角修正出的导轮是无法满足无心磨削加工的两个基本要求的。因为它是一个计算最为简单的近似公式而被广泛采用。在后面我们用初等数学推导这个公式,从推导过程中可以看出这是一个很粗略的近似公式。

(2) 苏联Г. Г. Баранов等人^[3]对贯通法无心磨削作了研究,也对导轮曲线作了推导,他是根据正确的成形关系并考虑了工件在磨削过程中直径变化等因素,但所得公式计算比较麻烦,非大量大批长期生产一般不宜采用。

(3) 苏联E. С. Дымшиц在无心磨削加工方面的研究,其著作偏重于磨削轴承的锥体零件,对贯通磨削只作了一般阐述。他主张采用画法几何作出图法求得导轮轮廓曲线,再用靠模法修整导轮,这种办法用于大直径零件的大量大批生产中,尚有一定价值。对小直径工件作图及制造样板都有困难不宜采用。

在本文中,将讨论以下两个问题:

- (1) 提出以解析几何方法推导准确的导轮轮廓曲线的方程式。这种推导方法比上

述几种方法的公式推导简捷。

(2) 以更简便的方法推导近似导轮轮廓曲线及导轮修整器转角 α_1 的计算公式。
现分别阐述于下:

三、准确的导轮轮廓曲线方程式的推导

严格地说导轮表面形状是一个由圆锥体(工件)绕导轮轴线旋转而得的旋转曲面,这时圆锥体的轴线与导轮轴线在空间的夹角为 α 。为推导简化,暂时将工件在加过程中直径尺寸逐渐变小的变化忽略不计,即以圆柱体(工件)代替圆锥体。导轮轮廓曲线方程式求法如下:

图4是导轮于工件在 x 、 y 、 z 直角坐标系中的位置。取导轮喉颈中心为坐标原点 O , x 轴为导轮轴线。作垂直于 x 轴的任意截面并取其在 yz 坐标平面上的视图,这时导轮各截面轮廓的投影是一个以原点 O 为圆心直径逐渐变化的同心圆形曲线族,其方程式是:

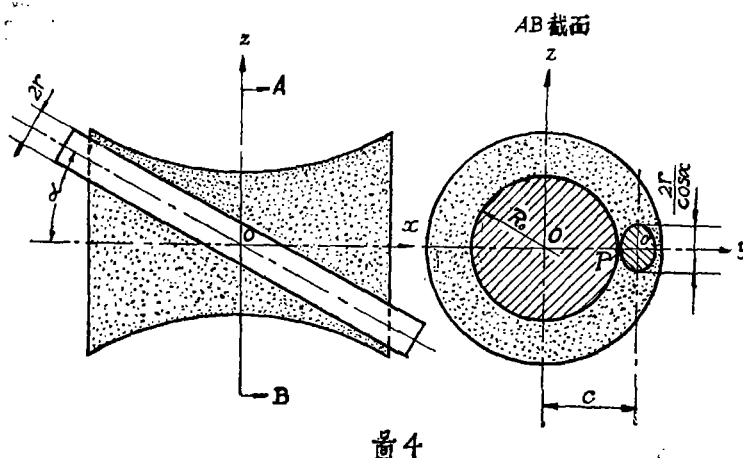


图4

$$y^2 + z^2 = (kR_0)^2 \quad (4)$$

工件截面轮廓的投影是一个曲线中心 O' 沿 $y=c$ 直线运动的椭圆曲线族。它的中心 O' 在 z 轴方向的座标 z_0 可由下式计算:

$$z_0 = \operatorname{tg} \alpha \quad (5)$$

因此,可得椭圆方程式为:

$$\frac{(z - z_0)^2}{\frac{r^2}{\cos^2 \alpha}} + \frac{(y - c)^2}{r^2} = 1$$

或改写成

$$\cos^2 \alpha (z - z_0)^2 - (y - c)^2 = r^2 \quad (6)$$

上述方程式中符号:

$c = R_0 + r$ ——工件轴线与导轮轴线间最短距离;
 R_0 ——导轮喉颈(最小直径的圆形截面)的半径;
 r ——工件的半径;
 α ——工件轴线与导轮轴线夹角;
 k ——导轮截面直径变化的变常数。

同时,在式(6)中的 $z_0 = x \tan \alpha$ 也可视为变常数。所谓变常数是指当截面所在位置 x 坐标值确定后它们都是常数。

设 $P(y_1, z_1)$ 点是导轮与工件的接触点,即圆族 O 与椭圆族 O' 在相应截面上的切点, P 点的轨迹就是工件与导轮表面的接触线。

如果能确定 P 点的坐标 (y_1, z_1) ,并将式(5)代入式(4)消去常数 k 值就求得导轮的空间曲面方程式。

求出导轮空间曲面方程式后,令 y 或 z 为零,即可求出导轮在通过自身轴线截面上的导轮轮廓曲线方程式,因此就可按此曲线方程式计算导轮轮廓曲线的具体形状。

解法如下:

由式(6)知通过椭圆上 $P(y_1, z_1)$ 点的椭圆方程式是:

$$\cos^2 \alpha (z - z_0)(z_1 - z_0) + (y - c)(y_1 - c) = r^2 \quad (7)$$

其斜率是:

$$m_t = - \frac{\cos^2 \alpha (z_1 - z_0)}{(y_1 - c)} \quad (8)$$

由式(4)知通过圆周上一点 $P(y_1, z_1)$ 的圆的法线方程式是:

$$y_1 z - z_1 y = 0 \quad (9)$$

其斜率是:

$$m_n = \frac{y_1}{z_1} = \frac{y}{z} \quad (10)$$

圆切线与法线相互垂直, P 是公切点,故

$$m_t \cdot m_n = -1 \quad (11)$$

即得:

$$\frac{\cos^2 \alpha (z_1 - z_0)}{(y_1 - c)} \cdot \frac{y_1}{z_1} = 1$$

$$\text{即} \quad (z_1 - z_0) = \frac{z}{y} \cdot \frac{(y_1 - c)}{\cos^2 \alpha} \quad (12)$$

解联立方程式(7)及式(12)得:

$$(y_1 - c) = \frac{r^2 y}{y^2 + z^2 - z_0 z - cy} \quad (13)$$

及

$$(z_1 - z_0) = \frac{r^2 z}{(y^2 + z^2 - z_0 z - cy) \cos^2 \alpha} \quad (14)$$

若令分母 $y^2 + z^2 - z_0 z - cy = M$, 则

式(13)及式(14)可改写成:

$$(y_1 - c) = \frac{r^2 y}{M} \quad (15a)$$

$$(z_1 - z_0) = \frac{r^2 z}{\cos^2 \alpha \cdot M} \quad (15b)$$

将式 (15) 代入式 (4), 消去 k , 即得导轮空间曲面方程式。

$$\text{因 } y^2 + z^2 = (kR_0)^2 = y_1^2 + z_1^2$$

故

$$y^2 + z^2 = \left(\frac{r^2 y}{M} + c \right)^2 + \left(\frac{r^2 z}{\cos^2 \alpha \cdot M} + z_0 \right)^2$$

再将式 (5) 的 $z_0 = x \tan \alpha$ 及 $M = (y^2 + z^2 - z_0 z - cy)$ 代入上式得导轮曲面方程式如下:

$$y^2 + z^2 = \left[\frac{r^2 y}{y^2 + z^2 - xz \tan \alpha - cy} + c \right]^2 + \left[\frac{r^2 z}{\cos^2 \alpha (y^2 + z^2 - xz \tan \alpha - cy)} + x \tan \alpha \right]^2 \quad (16)$$

整理式 (16) 后即得到导轮轮廓的曲面方程式, 它是一个三元四次多项式。

我们的目的是要求出通过导轮自身轴线截面上的轮廓曲线, 根据这条曲线制造靠模曲线进行导轮的修整, 因此不必再整理式 (16)。如果令式 (16) 中的 $z = 0$, 即可得到座标平面 xoy 与导轮曲面的交线, 即导轮的轮廓曲线, 此曲线方程式是:

$$y^2 = \left(\frac{r^2}{y - c} + c \right)^2 + x^2 \tan^2 \alpha \quad (17)$$

当夹角 α 值选定后, 取一组 x 值 (或 y 值), 将它们代入式 (17) 就可以计算出 y 值 (或 x 值), 根据所计算的 x, y 值就可绘制出导轮轮廓曲线, 按此曲线就可以制造出导轮的修整用靠模, 用此靠模修整导轮就可以得到符合要求的导轮形状。

在推导上述方程式时, 忽略了工件在加工过程中直径变小的问题, 将工件近似视为圆柱体。这种近似计算对无心磨床上加工直径较小而余量不大的工件尚是比较接近实际情况的。对一般加工尚是适用的。

当用加宽导轮磨削直径较大而加工余量也较大的工件时就必须考虑工件在加工过程中尺寸变小的影响。现讨论于下:

一般可假设工件半径上的递减量 i 与工件在加工时轴向位移量 s 的关系如下:

$$\frac{i}{s} = \frac{\delta}{2B} \quad (18)$$

而位移量 s 与工件相对导轮轴线位置 x 的关系是:

$$s = \frac{x}{\cos \alpha}$$

即

$$i = \frac{\delta x}{2B \cos \alpha}$$

因 δ 、 B 、 $\cos\alpha$ 都是一定的常数, 令 $m = \frac{\delta}{2B\cos\alpha}$, 则上式可写成

$$i = mx \quad (19)$$

式中

δ —— 工件在直径上的加工裕量;
 B —— 导轮工作表面宽度;
 x —— 工件在导轮轴线方向的座标;
 α —— 工件轴线与导轮轴线间夹角。

因此, 工件直径 r 将依下述关系变化:

$$r = r_0 - mx \quad (20)$$

式中 r_0 —— 工件加工前的半径。

将式(20)代入式(17)得

$$y^2 = \left[\frac{(r_0 - mx)^2}{y - c} + C \right]^2 + x^2 \tan^2 \alpha \quad (21)$$

此式即考虑到工件直径变化时导轮轮廓曲线的方程式。

四、近似导轮轮廓曲线的求法

现有机床大都采用作移动运动的金刚石笔修整器。当加工批量不大时, 采用靠模方法修整导轮是不经济的。对小批生产利用金刚石笔修整器相对导轮转动一个 α_1 角度的办法修整导轮的方法仍是既经济又方便的修整方法。采用这种修整方法所得到的双曲面体方程式是:

$$z^2 + y^2 - x^2 \tan^2 \alpha_1 = (c - r)^2 \quad (22)$$

当 $z = 0$ 时, 即得到导轮在 xoy 平面中的轮廓曲线, 其方程式是:

$$y^2 - x^2 \tan^2 \alpha_1 = (c - r)^2 \quad (23)$$

因上式中的 $\tan\alpha_1$ 是一个未知常数, 如果能将已知的并且符合方程式(23)的座标点代入式(23)即可以求得 α_1 值。 α_1 值即为双曲面体母线与轴线在空间的夹角, 也就是导轮修整器转角。

为了使所修整出的导轮轮廓曲线比较接近于由式(17)计算的曲线, 可先取一个 y_0 值, 代入式(17)解得相应的 $\pm x_0$ 点, 就取得两个符合式(17)的座标点, 把这两个点作为式(17)的两个座标点。方程式(17)和式(23)的喉颈尺寸都是 c , 所以由式(17)和式(23)分别计算的座标点必定有三个点是重合的, 即 $(+x_0, y_0)$ 、 $(-x_0, y_0)$ 及 $(0, c - r)$ 三点重合。一般为了使近似轮廓曲线更接近理想轮廓曲线, 取 y_0 值较大,

即取导轮端面半径 $\frac{D}{2}$ 为 y_0 , 代入式(17)得 x_0 值为

$$x_0 = \pm \sqrt{\frac{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{r^2}{\frac{D}{2} - c} + c\right)^2}{\tan^2 \alpha}}$$

将上式代入式 (23), 并取 $y_0 = \frac{D}{2}$, 则得:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{D^2 - 4(c-r)^2}{D^2 - 4\left(\frac{2r^2}{D-2c} + c\right)^2}} \quad (24)$$

因 α, α_1 值都较小, 一般不大于 5° , 故可取 $\operatorname{tg} \alpha_1 \approx \alpha_1, \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, 则式 (24) 可改写为:

$$\alpha_1 = \alpha \sqrt{\frac{D^2 - 4(c-r)^2}{D^2 - 4\left(\frac{2r^2}{D-2c} + c\right)^2}} \quad (25)$$

此式即近似轮廓曲线的导轮修整器转角公式。

五、СЛОНИМСКИЙ 导轮修整器 转角公式的简捷求法

СЛОНИМСКИЙ 在参考资料[2]介绍导轮修整器转角公式是很多参考书及机床说明书经常采用的公式, 但СЛОНИМСКИЙ 介绍的推导方法是很繁琐的, 此处介绍作者推导的一种较简捷的求法。

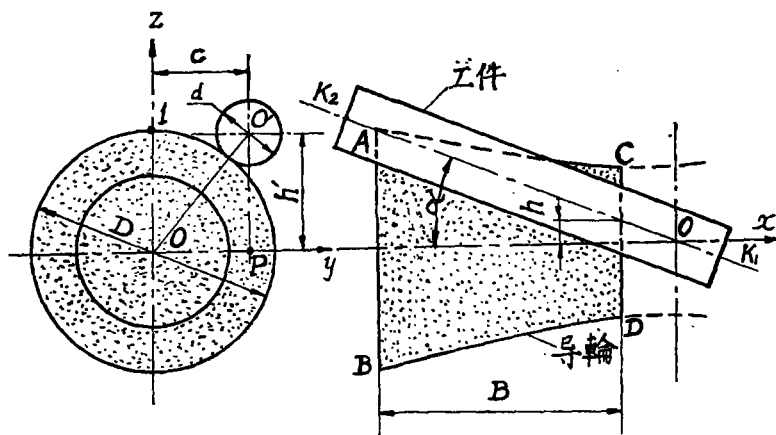


图 5

在图 5 中, O 点是坐标原点, 工件轴线 K_1K_2 与导轮轴线 x 轴的夹角为 α , 两个轴线间最小距离是 c , 工件中心在导轮的小端截面 CD 处距 xoy 平面的高度是 h 。工件直径 $d = 2r$ 。导轮在大端截面 AB 处的直径是 D 。导轮宽度 B 。

在 AB 截面上, 导轮轮廓是直径为 D 的圆, 而工件轮廓是椭圆, 因 α 角很小, 椭圆长短轴相差很少, 故可近似以圆代替椭圆。圆的中心 O' 距 xoy 平面的距离为 h' 。

由式 (23) 知导轮的近似轮廓曲面的母线与其轴线空间夹角 α_1 是:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \sqrt{\frac{y^2 - (c-r)^2}{x^2}} \quad (26)$$

由图 5 知 AB 截面的坐标 x (取绝对值) :

$$x = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} + B \quad (27)$$

工件中心在 AB 截面处的高度 h' 为

$$h' = h + B \operatorname{tg} \alpha \quad (28)$$

由图 5 的 $\triangle OO'P$ 知

$$\begin{aligned} OP^2 &= OO'^2 - O'P^2 \\ &= \left(\frac{D+d}{2} \right)^2 - h'^2 \\ &= \left(\frac{D+d}{2} \right)^2 - (h + B \operatorname{tg} \alpha)^2 \end{aligned} \quad (29)$$

因 $c = OP$ 则

$$c = \frac{D+d}{2} \sqrt{1 - 4 \left(\frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{D+d} \right)^2} \quad (30)$$

将式 (30) 的根号部分展开为级数, 并取其前两项, 则

$$c \approx \frac{D+d}{2} \left[1 - 2 \left(\frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{D+d} \right)^2 \right] \quad (31)$$

因此

$$\begin{aligned} (c-r)^2 &= \left(c - \frac{d}{2} \right)^2 \\ &\approx \left\{ \left(\frac{D+d}{2} \right) \left[1 - 2 \left(\frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{D+d} \right)^2 \right] - \frac{1}{2} d \right\}^2 \\ &= \left[\frac{D}{2} - (D+d) \left(\frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{D+d} \right)^2 \right]^2 \end{aligned} \quad (32)$$

再将上式右边部分展开成级数并近似取其前两项, 则

$$(c-r)^2 \approx \frac{D^2}{4} \left[1 - \frac{4}{D} (D+d) \left(\frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{D+d} \right)^2 \right] \quad (33)$$

在导轮 AB 截面的轮廓上取点 1, 它的坐标为 (x_1, y_1) , 则

$$x_1 = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} + B = \frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$y_1 = \frac{D}{2}$$

将 x_1 、 y_1 值代入式 (26), 并按式 (33) 将 $(c-r)$ 一项替换后得

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \sqrt{\frac{y_1^2 - (c-r)^2}{x_1^2}} \\ &= \sqrt{\frac{\frac{D^2}{4} - \left[\frac{D^2}{4} - \frac{D}{D+d} (h + B \operatorname{tg} \alpha)^2 \right]}{\left(\frac{h + B \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} \right)^2}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \operatorname{tg} \alpha \sqrt{\frac{D}{D+d}} \\
 &= \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \frac{d}{D}}}
 \end{aligned} \quad (34)$$

因 α 、 α_1 值都较小,故 $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$, $\operatorname{tg} \alpha_1 \approx \alpha_1$, 则

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{1 + \frac{d}{D}}} \quad (35)$$

上式结果与Слонимский一书的公式完全相同,因假设条件不同,计算步骤大大简化。从上述推导中看出式(35)是经过四次近似而求得的,是一个很粗略的近似公式,因此用式(35)计算的 α_1 来修整导轮与理论要求相差较大。

结 论

导轮的正确形状是一个由工件形状相同的几何形体绕导轮轴线旋转运动而形成的空间旋转曲面体,并非双曲面体,因此用目前通常采用的金钢石修整笔作直线运动修整导轮法及用修整滚轮修整导轮法都不能满足理论要求,所以都不能得到正确的导轮形状。金钢石笔修整法所修整的导轮形状是以双曲面体代替理想的导轮曲面体,现有各种计算修整器转角 α_1 近似公式,只是讨论以何种近似双曲面体更接近理想曲面体罢了,并不可能得到理论的导轮曲面体。采用碳化硅或碳化硼导轮修整滚轮以磨削法修整导轮的办法,因修整滚轮直径不能任意随工件尺改变,一般滚轮直径相对较大,也得不到理想导轮曲面。

用理论计算公式求得导轮轮廓曲线,按曲线制靠模,再用靠模修整砂轮可以得到较准确的导轮形状,但制造靠模的成本较高,而且时间长,一般只能用于大量大批生产,如轴承工业中。

最理想的导轮修整方法是按理想导轮表面形成原理的创成修整法。这种修整法要求修整器运动情况及尺寸形状符合工件在加工过程中的实际情况,并且要求修整器的尺寸能随工件尺寸的改变任意调整。这种既符合导轮曲面共轭关系又能调整尺寸的通用创成法修整工具尚待研究。

在目前情况下,加工高精度大直径的工件时,如果批量较大宜采用靠模修整法,导轮修整用靠模曲线可按Баранов^[3]的公式或本文式(17)计算求得。加工批量较小或直径较小的工件宜采用双曲面导轮修整法。这种方法的优点适应性强、经济、方便。但是目前最常采用的导轮修整器转角公式式(3)是个非常粗略的近似计算公式,是不能满足高精度加工要求的。作者在本文中提出的近似公式式(25)从理论分析上说比式(3)准确,但计算仍较麻烦。因此推导更简便更精确的修整器转角近似计算公式或经验公式尚待研究。

在调整无心磨时,也曾发现使导轮头架绕垂直轴线转动一个微小角度能改善工件加

工质量及运动平稳的问题, 这种“双夹角修整法”的效果及理论分析有待研究。

参 考 资 料

1. П.И.Ящерицын и В.Е.Сергеев:
“Рациональная настройка станка и улучшение качества бесцентрового шлифования”
《Механическая обработка металлов》 выпуск 3, машгиз, 1952.
2. В.И.Слонимский:
《Теория и практика бесцентрового шлифования》, машгиз, 1952
3. 《Точность изготовления шариковых и роликовых подшипников на автоматических линиях》
Издательство академии наук, 1955. 一书中的两篇文章:
(1) Г.Г.Баранов и др.:
“К теории сквозного бесцентрового шлифования”
(2) Е.С.Дымшиц:
“Геометрические основы бесцентрового шлифования”
4. А.Н.Гаврилов:
《Автоматизация и механизация процессов производства в приборостроении》, машгиз, 1958.
5. 陶汉林:
“无心磨导轮曲线的研究”、《机械制造工艺》, 1957年第7期。
6. 顾永生, 何 础:
“无心磨削中调整轮几何形状修整方法的讨论” 《金工工艺》, 1958年第6期。