

摆线齿锥齿轮齿面接触区的计算机辅助分析

李海涛 魏文军

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

摘要 为解决奥利康锥齿轮加工过程中需要反复试切、修正的问题,根据奥利康 SKM2 机床建立了加工延伸外摆线齿锥齿轮和准双曲面齿轮的齿面接触分析模型,提出了一种可预测齿面接触质量、降低设计加工成本的新方法。利用研制成的“齿面接触分析”软件对一实例进行计算,计算机输出的图形与切齿实验得到的接触区基本相同。本软件不仅可用于切齿调整的计算机辅助分析,而且可用于齿面接触区移动规律的计算机辅助分析。

关键词 摆线齿; 锥齿轮和准双曲面齿轮; 齿面接触区; 计算机辅助分析

中图分类号 TH 132.41

文章编号 1007-4333(2004)05-0045-06

文献标识码 A

Computer aided analysis for contact pattern of prolate epicycloid bevel and hypoid gears

Li Haitao, Wei Wenjun

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to solve the problems of which the spiral bevel gear of Oerlikon type is necessary to cut and modify repeatedly, a new method was developed to predict the contact pattern and greatly reduce the cost for manufacturing by means of building a tooth contact analysis model of prolate epicycloids bevel and hypoid gears for Oerlikon SKM2. Running through the developed calculation software package, the diagram output by computer softwares closely coincides with the contact pattern observed on a testing machine. The package is not only used for computer aided analysis tooth contact pattern, but also for analyzing the moving rule of tooth contact pattern.

Key words prolate epicycloid; bevel and hypoid gears; contact pattern; computer aided analysis

摆线齿锥齿轮分为“奥”制和“克”制 2 种^[1,2],近年来在我国得到广泛的使用,但由于技术保密的原因,国外的厂家除了机床说明书之外,很少公开其设计和加工原理。为了研究其设计、加工原理和提高产品质量,国内学者进行了一些有益的探讨^[3~7],但研究主要集中在对“克”制锥齿轮的齿面接触分析方面,而对“奥”制锥齿轮的齿面接触分析尚未见报道。笔者利用轨迹曲面建立产形轮方程,以及“奥”制锥齿轮和准双曲面齿轮的齿面接触分析模型,将计算结果与一对实际加工出的齿轮在对滚机上的接触区进行比较,得到了经实例验证的齿面接触分析模型。

1 数学模型

对于系数 S_a , 当为左旋传动(轮 1 左旋, 轮 2 右旋)时, 取 $S_a = 1$; 右旋传动(轮 1 右旋, 轮 2 左旋)时 $S_a = -1$ 。

图 1 示出由产形轮 j 的产形面 Σ_j 范成左、右旋锥齿轮轮坯 i 的示意图。当 $i = 1$ 时, $j = 4$; $i = 2$ 时, $j = 3$ 。本文中在左、右旋锥齿轮都适用的统一公式中, 对左旋锥齿轮 $S_h = 1$, 右旋锥齿轮 $S_h = -1$ 。

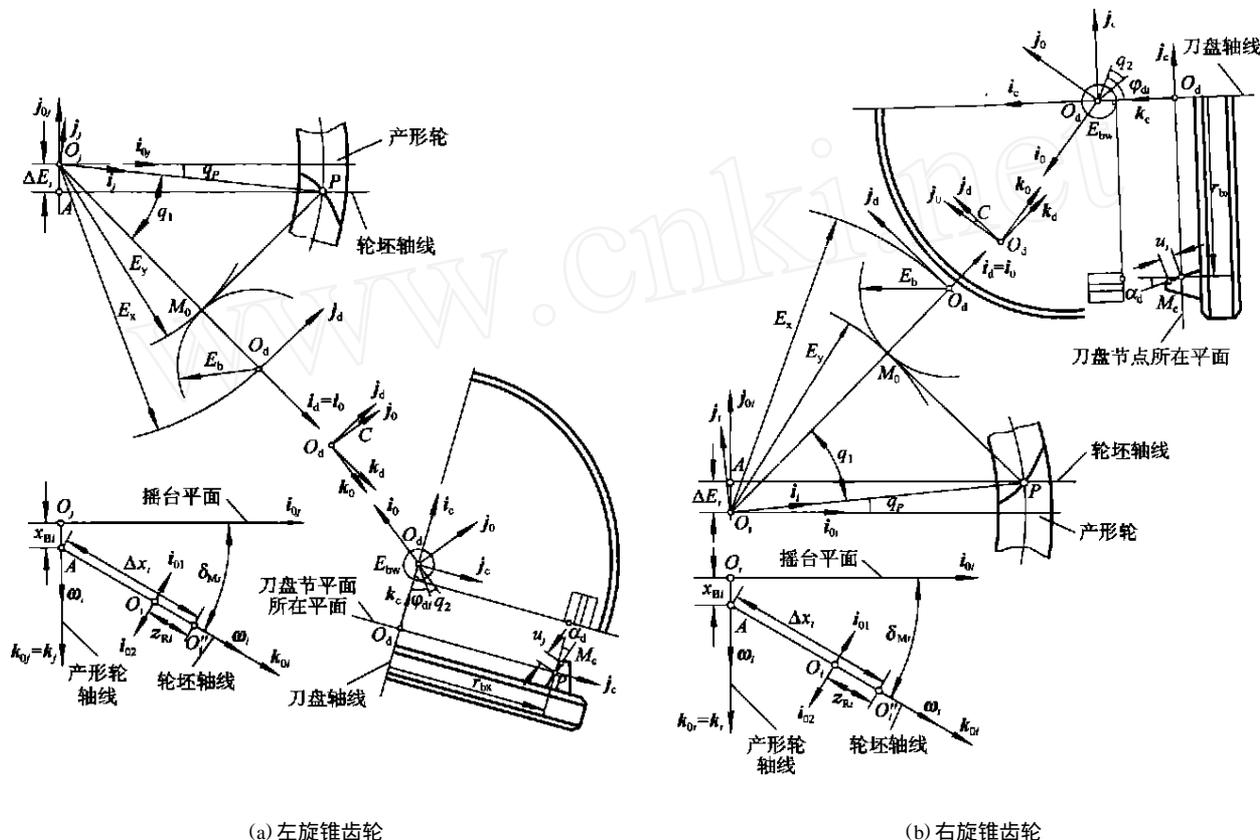
取右旋直角坐标系: 静坐标系 $O_j(O_j - i_{0j}, j_{0j}, k_{0j})$ 和 $O_i(O_i - i_{0i}, j_{0i}, k_{0i})$ 与机架固连, O_i 为相啮合齿轮公垂线垂足, 对于两齿轮分别取 $k_{01} =$

收稿日期: 2004-05-19

作者简介: 李海涛, 讲师, 主要从事齿轮传动的研究, Email: libillow@sohu.com

$k_{02} = k_{0i}, j_{01} = j_{04}, j_{02} = -j_{03}$; 动坐标系 $d(O_d - i_d, j_d, k_d)$ 与摇台固连, $o(O_o - i_o, j_o, k_o)$ 与刀倾体固连, $c(O_c - i_c, j_c, k_c)$ 与刀盘固连, $j(O_j - i_j, j_j,$

$k_j)$ 与产形面固连。为避免线多图乱, 仅画出大轮刀倾情况, 小轮刀倾方向相反。摇台平面是当刀倾角为 0 时刀盘节平面所在的平面。



(a) 左旋锥齿轮

(b) 右旋锥齿轮

E_i —垂直轮位, 当左旋齿轮在产形面轴线之下、右旋齿轮在产形面轴线之上时取正值; x_{B1} —床位, 当轮坯离开刀顶面时取正值, $x_{B1} = -W_{S1} - r_b \sin C$, $x_{B2} = -W_{S2} + r_b \sin C$, 其中 W_{Si} 为床位修正量, r_b 为刀盘名义切线半径, C 为刀盘倾角; x_i —轮位修正量, 当轮坯支座后退时取正值; z_{Ri} —一度锥顶点 O_i 至相啮合齿轮轴线公垂线垂足 O_i' 的距离, 当 O_i 处于 k_{0i} 轴正向时取正值; M_i —轮坯安装角, 一般取 i ; i 为锥齿轮 1 和 2 的分度锥角; E_x —刀位; E_b —刀盘滚圆半径; E_y —冠轮基圆半径; q_p —参考点 P 的极角, $q_p = \arcsin(E_i / R_{mP})$, R_{mP} 为产形轮在参考点 P 处的分度圆半径; q_1 —参考点 P 对应的刀位角, q_2 —参考点 P 对应的刀盘初始转角; d_i —刀盘从初始转角转过的角度; E_{bw} —刀片调整偏置量; r_{bx} —刀片切线半径; u_j —加工轮 i 的刀刃上 M 点的参数; d —刀片齿形角, 内刀取正值, 外刀取负值。

图 1 范成左、右旋锥齿轮示意图

Fig. 1 Ketch map of cutting left-handed and right-handed bevel gears

由图 1 可见, 当刀盘绕 k_0 转过 d_i 角时, j 绕 k_j 转 $-i_R d_i$ 角, 其中 $i_R = z_w / z_p$, z_w 为刀盘的刀片组数, z_p 为产形轮的齿数。当 $d_i = 0$ 时, c 和 j 处于初始位置, 用角度 q_1 和 q_2 表示, 此时, 刀刃上 $u_j = 0$ 的点与产形轮分度平面上 P 点重合。当刀盘绕 k_0 转 d_i 时, 摇台绕 k_{0j} 转 $-i_R d_i$ 角, 刀刃在产形轮 j 上形成产形面 j 。

具有产形面 j 的产形轮绕 k_{0j} 转过 j 时, 轮坯 i 则绕 k_{0i} 轴转过 o_i 角。 j 和 o_i 的符号按右手旋进时, 拇指指向与 k_{0j} 和 k_{0i} 的指向相同时取正 (图 1 示出的是初始位置, $j = o_i = 0$)。

当产形轮转过 j 时, j 到 o_j 的坐标转换矩阵为

$$M_{jj} = R[k_{0j}, j]$$

式中: $j = j - S_h q_p$, q_p 为参考点 P 的极角, $q_p = \arcsin(E_i / R_{mP})$, R_{mP} 为产形轮在参考点 P 处的分度圆半径, E_i 为垂直轮位, 当左旋齿轮在产形面轴线之下、右旋齿轮在产形面轴线之上时取正值。

1) 求产形面 j 及其上任一点 M_c 的法向量、法曲率和短程挠率。

c 到 j 和 j 到 c 的坐标变换矩阵分别为

$$M_{cj} = R[k_j, -S_h q_1] / R[i_d, C_t] / R[k_0, d + S_h q_2]$$

$$M_{jc} = R [k_c, - (d + S_h q_2)] R [i_0, - C_t] \cdot R [k_d, - + S_h q_1]$$

其中 $C_t = - S_a C$, C 为刀倾角。 0_c 的坐标变换矩阵为

$$M_{0c} = R [k_c, - (d + S_h q_2)]$$

应用球向量,在 c 坐标系里刀刃上任一点 M_c 的向径为

$$(r_c)_c = - (E_{bw} i_c + S_h r_{bx} j_c + u_j m_c (S_h 90^\circ, d)) \quad (1)$$

其中: E_{bw} 为刀片调整偏置量; r_{bx} 为刀片切线半径; u_j 为加工轮坯 i 的刀盘的刀刃上 M_c 点的参数; d 为刀片齿形角,内刀取正值,外刀取负值。刀刃方向的单位向量为

$$()_c = m_c (S_h 90^\circ, d) \quad (2)$$

在 0 坐标系里

$$(O_j O_d)_0 = E_x i_0$$

其中 E_x 为刀位。在 j 坐标系里刀刃上 M_c 点的向径为

$$(r_j)_j = (r_c)_j + (O_j O_d)_c$$

经过坐标变换,可得产形面上任一点的向径为

$$(r_j)_j = [r_j (d_i, u_j)]_j \quad (3)$$

其中 d_i 和 u_j 为产形面方程的参数。令 $d \ d_i / dt = 1$ rad/s 不失一般性,则 $d \ / dt = i_R \cdot (d \ d_i / dt) = i_R$, 刀盘和产形轮的角速度向量分别为 $c = k_0$ 和 $j = - i_R k_j$, 因为此产形面为一轨迹曲面,所以可利用文献[1]中的方法求此轨迹曲面的法曲率和短程挠率。考虑在 c 里求解方便,故将所有向量转化到 c 里:

$$()_c = k_c, ()_j = - i_R (k_j)_c = - i_R M_{jc} k_j$$

$$()_c = k_c + i_R M_{jc} k_j$$

$$(O_j O_d)_c = M_{0c} (E_x i_0) = E_x M_{0c} i_0$$

$$(r_j)_c = (r_c)_c + (O_j O_d)_c$$

$$(d \ c_j / dt)_c = 0, (d \ / dt)_c = 0, [d (O_j O_d) / dt]_c = 0$$

$$[d^2 (O_j O_d) / dt^2]_c = 0$$

得 M_c 点的相对速度和其导数分别为

$$()_c = ()_c \times (r_c)_c - ()_c \times (O_j O_d)_c$$

$$(d_j \ c_j / dt)_c = ()_c \times [()_c \times (r_c)_c] -$$

$$()_c \times [()_c \times (r_j)_c] - 2()_c \times ()_c$$

产形面在 M_c 点的单位法向量为 $(n)_c = ()_c \times ()_c / | ()_c \times ()_c |$, 产形面沿 $()_c$ 方向和 $()_c$ 方向的法曲率和短程挠率分别为

$$K = 0$$

$$= [(n)_c, ()_c] / | ()_c \times ()_c |$$

$$K_t = [(n)_c \cdot (d_j \ c_j / dt)_c] / ()_c^2$$

$$t = - [(n)_c, ()_c] / [()_c \times ()_c] \times ()_c +$$

$$()_c \times (d_j \ c_j / dt)_c / ()_c^2 | ()_c \times ()_c |$$

对产形面法向量 $(n)_c$ 的求法分析可知, $(n)_c$ 指向产形面的凹面,且已得产形面上 M_c 点的 2 切向量 $()_c$ 和 $()_c$, 依文献[1]中任意两方向的法曲率和短程挠率之间的关系,得 $()_c$ 到 $()_c$ 的有向角

$$= \arctan [(K - K_t) / (- t)]$$

问题变为:已知产形面 j 上 M_c 点处沿 $()_c$ 和 $()_c$ 方向的法曲率和短程挠率 K_t , K 和 t , 从 $()_c$ 到 $()_c$ 的有向角, 求过 M_c 点的 j 的另一切向量 G 方向的法曲率 K_g 和短程挠率 t_g , 而从 $()_c$ 到 G 方向的有向角为 90° 。由推广的 Euler 公式得

$$K_g = K + (- t) \cot$$

$$g = - t$$

$()_c$ 方向为产形面 M_c 点齿线方向, 记为 j ; 相应 G 方向为产形轮齿廓方向, 记为 j 。那么齿线方向和齿廓方向的法曲率和短程挠率分别为 $K_j = K_t$, $K_j = K_g$, $j = t_0$ 。

将产形面 j 在任一点 M_c 的向径、法向量和齿线方向的切向量转化到与产形面固连的坐标系 j 里, 得 $(r_j)_j = M_{cj} (r_j)_c$, $(n_j)_j = M_{cj} (n)_c$, $()_j = M_{cj} ()_c / | ()_c |$ 。为使 $()_j$ 指向产形轮大端, 将 $()_j$ 进行符号处理, 有 $()_j = - S_h \cdot ()_j$ 。可得产形面在任意点 M_c 的向量、法向量、齿线方向和齿廓方向的切向量及该二互垂方向法曲率和短程挠率分别为: $(r_j)_j = [r_j (u_j, d_i)]_j$, $(n_j)_j = [n_j (u_j, d_i)]_j$, $()_j = [j (u_j, d_i)]_j$, $()_j = (n_j)_j \times ()_j$, $K_j = K_j (u_j, d_i)$, $K_j = K_j (u_j, d_i)$, $j = j (u_j, d_i)$ 。

2) 在 0_j 里曲面簇 $\{ j \}$ 及其单位法向量、齿线方向和齿廓方向切向量。

$$\text{分别为 } (r_j)_{0j} = M_{jj} (r_j)_j, (n_j)_{0j} = M_{jj} (n_j)_j, ()_{0j} = M_{jj} ()_j, ()_{0j} = M_{jj} ()_j。$$

3) 切齿啮合传动比。

产形轮 j 和轮坯 i 的传动比为 $i_{ji} = z_i / z_p$, 其中 z_i 为轮坯 i 的齿数, z_p 为产形轮的齿数。

4) 切齿啮合点相对速度。

令产形轮 j 的角速度 $j = 1$ rad/s, 则 $t = j$, 轮坯的角速度为 $i = i_{ij} = z_p / z_i$ 。按图 1 中规定的角

速度方向,在 O_j 里可得到 $(j)_{0j} = k_{0j}$, $(i)_{0j} = i_{ij}(\cos \alpha_{Mi} \cdot i_{0j} + \sin \alpha_{Mi} \cdot j_{0j})$, 产形轮和轮坯的相对角速度为 $(ji)_{0j} = i_{ij} \cos \alpha_{Mi} \cdot i_{0j} + (1 - i_{ij} \sin \alpha_{Mi}) k_{0j}$ 。所以,切齿啮合点的相对速度为 $(ji)_{0j} = (ji)_{0j} \times (r_j)_{0j} - (i)_{0j} \times (O_i O_j)_{0j}$, 式中 $(O_i O_j)_{0j} = (z_{Ri} - x_i) \cos \alpha_{Mi} \cdot i_{0j} + S_h E_i j_{0j} + [(z_{Ri} - x_i) \sin \alpha_{Mi} - x_{Bi}] k_{0j}$, 其中 x_i 为轮位修正量,当轮坯支座后退时取正值; z_{Ri} 为分度锥顶点 O_i 至相啮合齿轮轴线公垂线垂足 O_i 的距离, O_i 处于 k_{0i} 轴正向时取正值; α_{Mi} 为轮坯安装角,一般取 i, j 为轮坯 1 和 2 的分度锥角。

5) 切齿啮合共轭条件方程。

$$(r_j)_{0j} = M_{jj}(r_j)_j = M_{jj}M_{cj}(r_j)_c = M_{jj}M_{cj}[(r_c)_c + (O_j O_d)_c] =$$

$M_{jj}M_{cj}[-E_{bw}i_c + S_h r_{bx}j_c + u_j(i)_c + (O_j O_d)_c]$
 令 $M_{dj} = M_{jj}M_{cj}$, $x = -E_{bw}i_c + S_h r_{bx}j_c + (O_j O_d)_c$, 则 $(r_j)_{0j} = M_{dj}[u_j(i)_c + x] = u_j[M_{dj}(i)_c + M_{dj}x]$ 。

令 $M_{dj}(i)_c = B$, $M_{dj}x = C$, 则 $(r_j)_{0j} = u_j B + C$, $(n_j)_{0j} = M_{jj}(n_j)_j = M_{jj}M_{cj}[(i)_c \times (c_j)_c] / |(i)_c \times (c_j)_c|$ 。又 $(c_j)_c = (c_j)_c \times (r_c)_c - (j)_c \times (O_j O_d)_c = (c_j)_c \times [-E_{bw}i_c + S_h r_{bx}j_c + u_j(i)_c] - (j)_c \times (O_j O_d)_c$, 令 $(c_j)_c \times [-E_{bw}i_c + S_h r_{bx}j_c] - (j)_c \times (O_j O_d)_c = y$, $|(i)_c \times (c_j)_c| = A$, 则 $(c_j)_c = y + u_j[(c_j)_c \times (i)_c]$,

$$(i)_c \times (c_j)_c = (i)_c \times y + u_j[(i)_c \times \{(c_j)_c \times (i)_c\}]$$

$$(n_j)_{0j} = M_{dj}[(i)_c \times y + u_j[(i)_c \times \{(c_j)_c \times (i)_c\}]] / A = \{M_{dj}[(i)_c \times y] + u_j M_{dj}[(i)_c \times \{(c_j)_c \times (i)_c\}]\} / A$$

令 $M_{dj}[(i)_c \times y] = D$, $M_{dj}[(i)_c \times \{(c_j)_c \times (i)_c\}] = E$, 则 $(n_j)_{0j} = (D + u_j E) / A$ 。切齿啮合共轭条件方程为

$$ji \cdot n_j = 0 \tag{4}$$

将 $(ji)_{0j}$ 代入式(4)得

$$ji \cdot (r_j \times n_j) - (i \times O_i O_j) \cdot n_j = 0 \tag{5}$$

由 $(i)_{0j}$ 和 $(O_i O_j)_{0j}$ 得到

$$(i)_{0j} = (i)_{0j} \times (O_i O_j)_{0j} = (-S_h E_i \sin \alpha_{Mi} \cdot i_{0j} + x_{Bi} \cos \alpha_{Mi} \cdot j_{0j} + S_h E_i \cos \alpha_{Mi} \cdot k_{0j}) / i_{ji}$$

其中 x_{Bi} 为床位,当轮坯离开刀顶面时取正值, $x_{B1} = -W_{S1} - r_b \sin C$, $x_{B2} = -W_{S2} + r_b \sin C$, W_{Si} 为床位修正量, r_b 为盘名义切线半径, C 为刀

盘倾角。又

$$(r_j)_{0j} \times (n_j)_{0j} = (u_j B + C) \times (D + u_j E) / A = [C \times D + (B \times D + C \times E) u_j + (B \times E) u_j^2] / A$$

将 $(r_j)_{0j} \times (n_j)_{0j}$ 和 $(i)_{0j}$ 代入式(5),得

$$\{[(ji)_{0j}, C, D] + u_j \{[(ji)_{0j}, B, D] + [(ji)_{0j}, C, E]\} + u_j^2 \{[(ji)_{0j}, B, E] - [(i)_{0j} \cdot D + u_j(i)_{0j} \cdot E]\} / A = 0 \tag{6}$$

因为 $A = |(i)_c \times (c_j)_c| \neq 0$, 令 $[(ji)_{0j}, C, D] - (i)_{0j} \cdot D = F$, $[(ji)_{0j}, B, D] + [(ji)_{0j}, C, E] - (i)_{0j} \cdot E = G$, $[(ji)_{0j}, B, E] = H$, 所以式(6)变为 $Hu_j^2 + Gu_j + F = 0$, 解得

$$u_j = \frac{-G \pm \sqrt{G^2 - 4HF}}{2H} \tag{7}$$

式(7)为切齿啮合共轭条件方程,其中 d_i 和 j 为参数。式中“ \pm ”取法,应使 u_j 不能偏离 0 很大。

6) 切齿啮合面的方程。

根据配对锥齿轮和准双曲面齿轮的配对位置,图 1 中选择坐标系 O_i 时,取 k_{0i} 与齿轮轴线重合, $j_{01} = j_{02}$ 而 $j_{02} = -j_{03}$ 。对于轮坯 1 和轮坯 2, O_j 的变换矩阵 M_{ji} 是不相同的。对于轮坯 $i = 1$ 和轮坯 $i = 2$ 分别得到 $M_{j1} = R[j_{01}, -(90^\circ - \alpha_{M1})]$, $M_{j2} = R[j_{02}, 90^\circ - \alpha_{M2}] R[k_{02}, 180^\circ]$, 则 $(r_i)_{0j} = (r_j)_{0j} + (O_i O_j)_{0j}$, 在坐标系 O_i 里得到

$$(r_i)_{0i} = M_{ji}(r_i)_{0j} \tag{8}$$

式(7)和(8)称为在 O_i 里的切齿啮合面方程。切齿啮合面上任一点处,齿面 i 的单位法向量为

$$(n_i)_{0i} = M_{ji}(n_i)_{0j}$$

7) 切齿啮合界限函数 ji 。

切齿啮合时,令 $|j| = 1 \text{ rad/s}$, $t = j$ 。 $j = k_{0j}$ 和 $O_i O_j$ 均为常量,由文献[1]式(3-2.5)得到 $C_{ji} = 0$, 再由文献[1]式(3-2.4)得到 $ji = (n_j)_{0j} \cdot \{(ji)_{0j} \times k_{0j} + (ji)_{0j} \times [k_{0j} \times (r_j)_{0j}]\}$ 。

8) 切齿啮合瞬时接触线法向量 N_{ji} 。

前述已得产形面 j 在任一点 M_c 的法向量 $(n_j)_{0j}$ 、齿线方向和齿廓方向的切向量 $(j)_{0j}$ 和 $(j)_{0j}$ 及相应法曲率和短程挠率 K_j , K_j 和 j , 由文献[1]式(3-2.6)至(3-2.8)可得到 $(N_{ji})_{0j}$, 由文献[1]式(3-2.9)至(3-2.16)可得齿面 i 沿 j 和 j 方向的法曲率 K_j , K_j 和短程挠率 j 。

9) 两齿面接触点。

将加工出的两齿轮按工作时的相对位置装配到一起,把两个切齿啮合面相对于 O_i 坐标系转过 i

角之后,在它们的交线上找到齿面 Σ_1 与 Σ_2 的法线相重合的接触点 M 。接触点的向径 $(r_1^*)_{01}$ 和 $(r_2^*)_{01}$ 、单位法向量 $(n_1^*)_{01}$ 和 $(n_2^*)_{01}$ 分别由文献 [1] 式 (3-3.10) 至 (3-3.13) 求得。根据准双曲面齿轮不同的相对位置可得到

$$(O_2 O_1)_{01} = -S_a a_{12} j_{01}$$

式中 a_{12} 为准双曲面齿轮的偏置距,对于锥齿轮 $a_{12} = 0$ 。于是由文献 [1] 式 (3-3.8) 得到

$$(r_2^*)_{01} - (r_1^*)_{01} + S_a a_{12} j_{01} = 0 \quad (9)$$

两轮坯都用范成法加工时, $r_1^* = r_1^*(u_4, d_4, \alpha_1)$, $r_2^* = r_2^*(u_3, d_3, \alpha_2)$ 。可在 $d_4, d_3, \alpha_1, \alpha_2$ 中给定 1 个原始参数,例如给定 α_1 , 并给定其余 3 个参数 d_4, d_3, α_2 的初值,由式 (7) 求得 u_4 和 u_3 ,由文献 [1] 中式 (3-3.16) 和 (3-3.20)、(3-3.21) 和 (3-3.22) 求得 ϕ_1 和 ϕ_2 ,即可由式 (9) 用迭

代法求得 d_4, d_3 和 α_2 ,从而得到齿面 Σ_1 和 Σ_2 的一个接触点。给出一系列的 ϕ_1 ,就可得到齿面 Σ_1 和 Σ_2 的接触迹线。

求得两齿面接触点后,由文献 [1] 中第三章的第三节至第六节所阐明的通用方法,求出两齿面 Σ_1 和 Σ_2 的瞬时传动比 i_{12} ;检验两齿面是否存在曲率干涉,计算出瞬时接触面;求出齿面上接触迹线的方向和传动比的导数。

10) 齿面接触分析软件的分析结果。

根据齿面接触分析模型编制软件,其分析结果用输出图形表示。输出图形包括轮 2 齿面接触区和转角误差与轮 1 转角 ϕ_1 的关系,以及传动比 i_{12} 与轮 1 转角 ϕ_1 的关系。

应用编制的齿面接触分析软件,对文献 [2] 中第 167 页所给的一对齿轮进行齿面接触分析,结果见图 2。

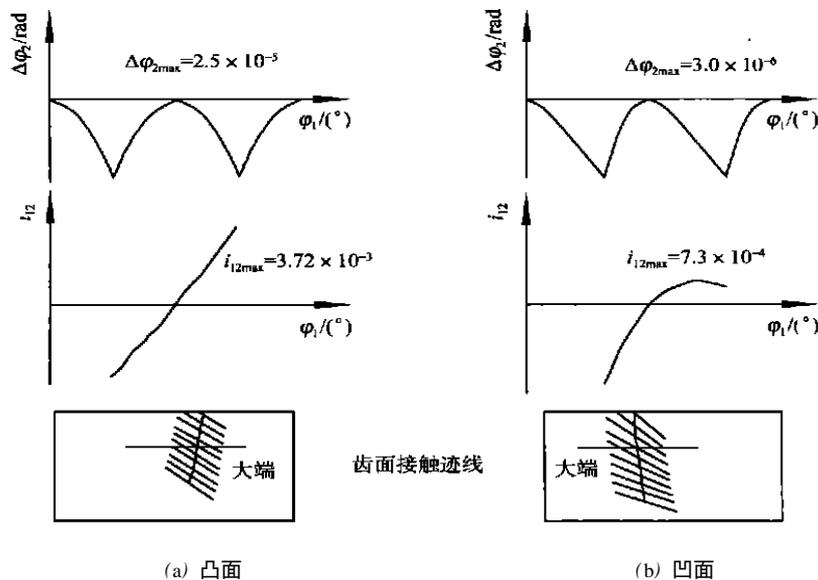


图 2 采用齿面接触分析软件得到的齿面接触分析结果 (轮 2)
 $\Delta\phi_2$ —轮 2 转角误差, $\Delta\phi_{2max}$ —轮 2 转角误差的最大绝对值; i_{12} —轮 1 和 2 的传动比, i_{12max} —轮 1 和 2 传动比的最大绝对值; ϕ_1 —轮 1 转角

图 2 采用齿面接触分析软件得到的齿面接触分析结果 (轮 2)

Fig. 2 Diagram output of the software developed according to the tooth contact analysis model (gearwheel)

2 试验验证

试验采用北京齿轮厂实际加工的一对齿轮,其原始参数:锥齿轮 N_1 型,轮 1 右旋 $S_a = -1$, $z_1 = 8$, $z_2 = 36$, $A_1 = 129.37$ mm, $A_2 = 57.73$ mm, $m_s = 5.8$ mm。轮坯计算值: $d_2 = 208.8$ mm, $b_2 = 32$ mm, $p_{p1} = p_{p2} = 36 \text{ } 52$, $\alpha_1 = 12 \text{ } 31 \text{ } 43$, $\alpha_2 = 77 \text{ } 28 \text{ } 17$, $h_1 = 7.075$ mm, $h_{11} = 2.090$ mm, $h_2 = 1.125$ mm,

$h_2 = 8.040$ mm,参考点与大端距离占轮 2 齿宽比例为 0.415, $m_p = 4.103 \text{ } 663$ mm。刀盘:轮 1 刀盘类型 TC4-55L-F36,轮 2 刀盘类型 TC4-55R-F36。机床调整参数:挂轮比 0.896 954;安装角,轮 1 为 $12 \text{ } 32$ 、轮 2 为 $77 \text{ } 28$;刀位 83.88 mm;刀倾角 $1 \text{ } 30$;床位,轮 1 为 52.23 mm、轮 2 为 55.30 mm。从滚齿机得到的接触区与本软件得到的接触区的比较见表 1。由软件得到的齿面接触区与从滚齿机上得到的基本一致。

表1 滚齿机上得到的接触区与采用软件得到的接触区的比较(轮2)

Table 1 The contact patterns on the testing machine compared with the ones from the software

齿面	滚齿机	软件
凸面		
凹面		

3 结束语

建立的齿面接触分析模型为“奥”制锥齿轮和准双曲面齿轮的设计加工提供了一种快速且较为精确的预测齿面接触质量的方法,但未考虑安装误差、载荷、热处理后的变形等因素。若考虑上述因素,则可以更加精确地预测两齿轮的接触质量。这也是应进一步研究的方向。

参 考 文 献

[1] 董学朱. 齿轮啮合理论基础[M]. 北京:机械工业出版社,1989. 1~141

[2] 北京齿轮厂. 螺旋锥齿轮[M]. 北京:科学出版社,1974. 1~372

[3] 徐潮德. 延伸外摆线锥齿轮齿面接触区的位移特性[J]. 汽齿科技,2001(1):39~50

[4] 董学朱. 摆线齿锥齿轮及准双曲面齿轮设计与制造[M]. 北京:机械工业出版社,2002. 1~142

[5] 陈芳,周云飞,李小清. 奥里康制齿轮数控加工运动变换分析[J]. 机械与电子,2002(1):73~75

[6] 邹玟,张文祥,张友良. 克林贝格锥齿轮的计算机模拟加工[J]. 机械科学技术,2003(5):412~414

[7] 房怀英,洪尚任,杨建红. 克林贝格螺旋锥齿轮的建模与仿真[J]. 华侨大学学报(自然科学版),2004(1):67~70

(上接第15页)

参 考 文 献

[1] 石元春,刘昌明,龚元石. 节水农业应用基础研究进展[M]. 北京:中国农业出版社,1995. 1~6

[2] 薛亮. 中国节水农业理论与实践[M]. 北京:中国农业出版社,2002. 20

[3] 左大康,谢贤群. 农田蒸发研究[M]. 北京:气象出版社,1991. 1~4

[4] 王会肖,刘昌明. 农田蒸散、土壤蒸发与水分有效利用[J]. 地理学报,1997,52(5):447~454

[5] 裴冬,张喜英,李坤. 华北平原作物棵间蒸发占蒸散比

例及减少棵间蒸发的措施[J]. 中国农业气象,2000,21(4):33~37

[6] 胡斌. 夏玉米田秸秆覆盖效果的试验研究[J]. 灌溉排水,1998,17(3):46~48

[7] 谢森传. 农田水分循环中的蒸发蒸腾计算[J]. 清华大学学报(自然科学版),1998,38(1):107~110

[8] Farahani H J, Ahuja L R. Evapotranspiration modeling of partial canopy/ residue-covered fields[A]. Transactions of the ASAE[C], 1996,39(6):2051~2064

[9] 北京农业大学. 农业气象[M]. 北京:农业出版社,1992. 59

[10] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988. 132~136