

预置接触区长度系数的 Spirac 切齿 调整计算方法

宣佳敏, 魏文军, 刘平义, 董学朱, 李海涛
(中国农业大学 工学院, 北京 100083)

摘 要: 基于参考点处瞬时接触椭圆大体决定接触区长度的方法, 提出一种切齿调整计算方法. 根据奥利康刀倾半展成法(Spirac)切齿原理, 建立摆线齿准双曲面齿轮的数学模型, 得到了大轮齿面参考点处瞬时接触椭圆参数; 在满足参考点位置、压力角和螺旋角的基础上, 将刀倾角也作为迭代变量, 并将接触区长度系数等于预置值作为新增的迭代条件, 迭代求解切齿调整参数. 最后以一对摆线齿准双曲面齿轮副为例, 对比该方法与 Spirac 切齿调整计算结果, 验证了该方法的准确性, 并对不同预置接触区长度系数得到的齿面进行齿面接触分析. 结果表明, 该方法解决了反复调整刀倾角的问题, 并通过精确控制大轮齿面接触区长度系数等于设计值, 实现了对大轮齿面接触区长度的预控.

关 键 词: 摆线齿准双曲面齿轮; 奥利康刀倾半展成法; 瞬时接触椭圆; 接触区长度系数; 切齿调整
中图分类号: V232.8; TH132 **文献标志码:** A

Spirac machine-tool setting calculation method by predetermined contact pattern length factor

XUAN Jia-min, WEI Wen-jun, LIU Ping-yi,
DONG Xue-zhu, LI Hai-tao

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

Abstract: Based on the method that the length of the instantaneous contact ellipse at the reference point almost decides the length of the contact pattern, a machine-tool setting calculation method was obtained. According to the Spirac cutting theory, a mathematical model of the epicycloids hypoid gear was built and the parameters of the instantaneous contact ellipse at the reference point of the gear tooth surface were obtained. By adding the cutter tilt angles to the machine setting iteration variables and taking the contact pattern length factors equaling to the predetermined values as the iteration conditions based on the required position of the reference point, the required pressure angle and the required spiral angle of the tooth surfaces at the point, the machine-tool setting parameters were solved. Finally, with a pair of epicycloids hypoid gear as an example, the result obtained from this method was compared with that from the Spirac to verify its accuracy, and the tooth contact analysis under different predetermined contact pattern length factors was accomplished. The results show that with this method, the problem of repeated adjustment of the cutter tilt is solved, and through precise control of different predetermined contact pattern length factors of the gear tooth surfaces equal to the design values, the pre-control of the contact pattern lengths of the gear tooth surfaces is achieved.

收稿日期:2013-08-24

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD31B09); 博士研究生科研创新专项(2013YJ007)

作者简介:宣佳敏(1987—),女,浙江杭州人,博士生,主要从事机械设计及理论研究.

通讯作者:李海涛(1968—),男,北京人,副教授、博士生导师,博士,主要从事机械设计及理论研究. E-mail:h. li@cau.edu.cn

Key words: epicycloided hypoid gear; Spirac; instantaneous contact ellipse; contact pattern length factor; machine-tool setting

摆线齿准双曲面齿轮采用连续分度法切齿, 生产效率高, 且在噪声、承载能力和传动平稳性上具有一定优势, 被广泛用于汽车后桥^[1-4]. 根据铣齿机厂家不同, 摆线齿准双曲面齿轮分为奥利康制(由瑞士原 Oerlikon 公司提出, 现与德国 Klingelnberg 同属于 Sigma Pool 集团)和克林根贝尔格制(由德国 Klingelnberg 公司提出)^[5]. 其中, 采用 Spirac 切制时, 由于大轮采用连续分度无展成切入法^[5-16], 进一步提高了生产效率.

摆线齿准双曲面齿轮副是一种点接触齿轮副, 设计时在齿面上指定一个参考点, 并按此参考点处的齿面参数来调整机床^[7-15]. 参考点处瞬时接触椭圆的长轴大体上决定了接触区长度^[16], 是承载能力的一个重要评判指标^[17]. 在 Spirac 切齿调整计算中, 需对刀倾角进行反复修正, 直至大轮齿面接触区长度系数在要求范围内^[5].

本文提出一种预置大轮齿面参考点接触区长度系数、精确计算刀倾角的刀倾半展成切齿调整计算方法. 首先, 根据 Spirac 切齿调整计算方法, 建立摆线齿准双曲面齿轮的切齿数学模型, 再由啮合齿面参考点处相对曲率参数求解啮合齿面参考点处瞬时接触椭圆参数, 并得到大轮齿面接触区长度系数, 然后在满足参考点位置、压力角和螺旋角的基础上, 添加刀倾角作为迭代变量, 将大轮齿面接触区长度系数等于预置值作为新增的迭代条件, 迭代求解切齿调整参数, 实现大轮齿面接触区长度的预控. 最后, 以一对摆线齿准双曲面齿轮副为例, 对不同预置接触区长度系数得到的齿面进行接触分析, 验证该方法的有效性.

1 Spirac 切齿原理及数学模型

1.1 Spirac 切齿原理及调整参数

摆线齿准双曲面齿轮无论是否有展成运动, 都用连续分度法切齿^[5]. 如图 1 所示, 端铣刀盘上装有 z_c 组刀齿, 每组刀齿分别由内刀、外刀组成. 当刀盘每转过一组刀齿时, 轮坯和产形轮转过一个齿, 加工出轮坯一个齿槽的凹凸面^[2-5]. 刀盘相对于产形轮的运动, 可视为刀盘上滚圆与产形轮上基圆作纯滚动, 刀刃上任一点在产形轮上形成长幅外摆线齿线^[5].

加工时, 摆线齿准双曲面齿轮切齿过程可分为分齿和展成两个运动.

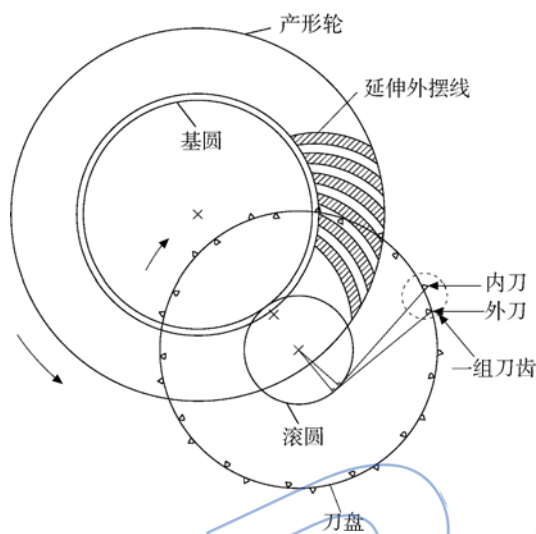


图1 端面滚齿时的分度运动^[2-3]

Fig. 1 Indexing motion of face-hobbing^[2-3]

分齿运动: 刀盘转过一组刀齿, 轮坯转过一齿, 此时假想产形轮也转过一齿.

展成运动: 摇台转过一个角度, 轮坯和假想产形轮分别转过一个附加角度.

在全展成法中, 加工大小轮时, 以及在半展成法中, 加工小轮时, 刀盘和摇台的转动是两个独立的运动, 刀盘上的直线刀刃是双自由度运动, 一个是随刀盘的自转, 一个是随摇台的公转, 而轮坯的运动则是分齿运动和展成运动的叠加.

在半展成法中, 加工大轮时, 摇台不动, 只有刀盘的转动是独立的运动, 刀盘上的直线刀刃是单自由度运动, 即随刀盘的自转, 而轮坯的运动只有分齿运动.

当传动比 $i_{12} \geq 3$ 或大轮分锥角 $\delta_2 \geq 60^\circ$ 时, 可以用 Spirac 加工, 即加工大轮时用连续分度无展成切入法, 摇台不转动而沿其轴线方向切入轮坯至全齿深^[5].

Spirac 切齿调整计算时, 先凭经验给出小轮和大轮刀倾角, 当瞬时接触椭圆和接触区长度系数不满足要求时, 适当修正刀倾角重算^[5]. 由于刀倾不仅引起齿面节线曲率变化, 也使参考点处螺旋角和压力角变化, 因此, 还需要通过修正刀位和产形轮分锥角或大轮安装角来补偿螺旋角误差, 修正刀具齿形角来补偿压力角误差^[5]. 即 Spirac 切齿调整计算时, 需要调整的切齿参数包括刀倾角、刀位、产形轮分锥角或大轮安装角和刀具齿

形角。

1.2 大轮齿面及其曲率参数

加工右旋大轮时轮坯与刀盘的位置如图 2 所示. 分度平面 T 是确定轮坯与铣齿机相对位置的基准. 平面 T_0 与分度平面 T 平行, 其间距 h_{x2} 为高变位产生的移距, 刀齿节点 P_0 和基本齿廓中线在平面 T_0 上. 刀倾体绕其轴线回转得到刀倾角 χ_2 . 过刀齿节点 P_0 作平面 T' 垂直于刀盘轴线.

取坐标系 $S(O; i, j, k)$ 与刀盘固连, 其中 O 为平面 T' 与刀盘轴线的交点, i 由 O 指向 P_0 , k 与刀盘轴线重合. 取辅助坐标系 $S_0(O'_0; i_0, j_0, k_0)$, 其中 O'_0 为平面 T_0 与刀盘轴线的交点, i_0 由 O'_0 指向 P_0 , k_0 垂直于平面 T_0 . O_0 为平面 T 与 k_0 的交点. 取坐标系 $S_p(O_p; i_p, j_p, k_p)$, O_p 为大轮安装角 δ_{M2} 与分锥角 δ_2 相等时, 平面 T 上大轮分锥顶 O'_2 , i_p 过参考点 M , $k_p = k_0$. 取坐标系 $S_2(O'_2; i_2, j_2, k_2)$ 与大轮固连, O'_2 为大轮参考点分度圆心, i_2 过参考点 M , $j_2 = j_p$, k_2 与大轮轴线重合, 指向大轮的大端.

依据各坐标系之间的关系, 经坐标变换可推导出在坐标系 S_2 中大轮齿面 Σ_2 的矢量函数及其单位法矢量(详细推导过程见文献[5])

$$(r_2)_2 = r_2(u_2, \psi_2, E_{x2}, \alpha_2, \delta_{M2}, \chi_2) = (x_2, y_2, z_2) \quad (1)$$

$$(n)_2 = n_2(u_2, \psi_2, E_{x2}, \alpha_2, \delta_{M2}, \chi_2) \quad (2)$$

式中 u_2 为刀刃与平面 T' 的交点沿刀刃至任一点的距离; ψ_2 为刀盘自转角度; E_{x2} 为太轮刀位; α_2

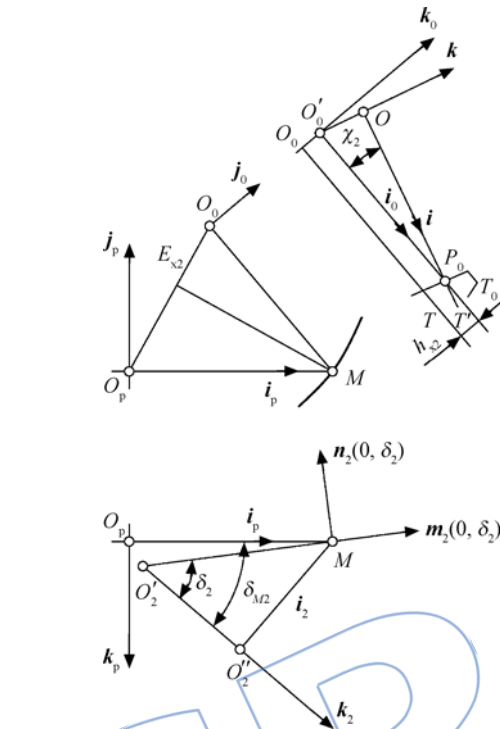


图 2 右旋大轮轮坯与刀盘的位置

Fig. 2 Positions of blank of right-handed gear and cutter

为太轮刀具齿形角.

由微分几何得到参数曲线 u_2 和 ψ_2 方向的曲率参数 κ_{2u} , τ_{2u} 和 $\kappa_{2\psi}$, $\tau_{2\psi}$.

1.3 小轮的产形面及其曲率参数

图 3 为用对偶法展成左旋小轮的示意图. 小轮高变位产生的移距为 h_{x1} , 刀倾角为 χ_1 . 取坐标

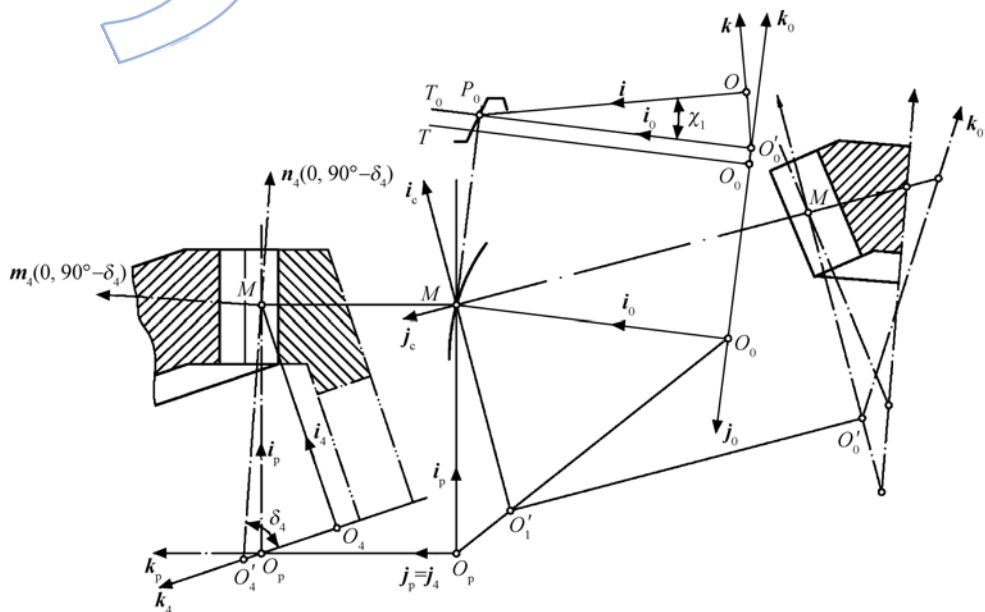


图 3 左旋小轮轮坯、产形轮与刀盘的位置

Fig. 3 Positions of blank of left-handed pinion, pinion generation and cutter

系 S, S_0 和 S_p 与图 1 相似. 取坐标系 $S_4(O_4; i_4, j_4, k_4)$ 与小轮产形轮固连, O_4 为产形轮的分度圆心, i_4 过参考点 $M, j_4 = j_p, k_4$ 与产形轮的轴线重合. 小轮产形轮分锥角为 δ_4 .

在 S_4 中, 小轮产形面 Σ_4 的矢量函数 $(r_4)_4$ 及其单位矢量(详细推导过程见文献[5])为

$$(r_4)_4 = r_4(u_4, \phi_4, E_{x4}, \alpha_4, \delta_4, \chi_4) \quad (3)$$

$$(n)_4 = n_4(u_4, \phi_4, E_{x4}, \alpha_4, \delta_4, \chi_4) \quad (4)$$

式中 u_4 为刀刃与平面 T' 的交点沿刀刃至任一点的距离; ϕ_4 为刀盘自转角度; E_{x4} 为小轮刀具; α_4 为小轮刀具齿形角.

与大轮同理, 得到参数曲线 u_4 和 ϕ_4 方向的曲率参数 κ_{4u}, τ_{4u} 和 $\kappa_{4\phi}, \tau_{4\phi}$.

2 啮合齿面参考点处的相对曲率参数和瞬时接触椭圆

2.1 大轮齿面参考点处齿线方向和齿廓方向的曲率参数

在大轮齿面 Σ_2 参考点 M 处的切平面上, 如图 4 所示, α_{2u} 为坐标曲线 u_2 方向的单位矢量, $\alpha_{2\phi}$ 为坐标曲线 ϕ_2 方向的单位矢量, α_{2u} 和 $\alpha_{2\phi}$ 之间夹角为 $\gamma_{2u\phi}$, 同时 α_{2v} 为齿线方向单位矢量, α_{2g} 为齿廓方向单位矢量, $\alpha_{2v} \perp \alpha_{2g}$, α_{2u} 和 α_{2v} 之间的夹角为 γ_{2uv} .

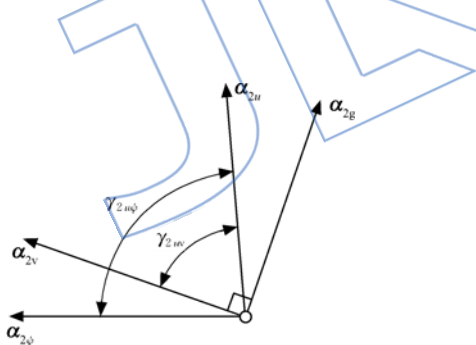


图 4 参数曲线方向与齿廓及齿线方向的夹角

Fig. 4 Direction of parameter curves and angle between tooth profile and tooth trace

坐标曲线 u_2 方向的单位矢量为

$$(\alpha_{2u})_2 = (r_{2u})_2 \quad (5)$$

齿线方向的单位矢量为

$$(\alpha_{2v})_2 = n_2(\varphi_M, \delta_2) \times (n)_2 / \sin(90^\circ - \alpha_n) \quad (6)$$

式中 $\varphi_M = \arctan(y_2/x_2)$; $\alpha_n = \arcsin[n_2(\varphi_M, \delta_2) \cdot (n)_2]$.

齿廓方向的单位矢量为

$$(\alpha_{2g})_2 = (\alpha_{2v})_2 \times (n)_2 \quad (7)$$

母线与齿线方向的夹角为

$$\gamma_{2uv} = \arccos[(r_{2u})_2 \cdot (\alpha_{2v})_2] \quad (8)$$

大轮齿面 Σ_2 上参考点 M 处齿线方向的曲率参数 κ_{2v} 和 τ_{2v} 及齿廓方向的曲率参数 κ_{2g} 和 τ_{2g} 可由下列公式求得^[18]

$$\kappa_{2v} = [\kappa_{2\phi} + (\tau_{2\phi} - \tau_{2u}) / \tan \gamma_{2u\phi}] (\sin \gamma_{2uv})^2 + \tau_{2u} \sin(2\gamma_{2uv}) \quad (9)$$

$$\kappa_{2g} = [\kappa_{2\phi} + (\tau_{2\phi} - \tau_{2u}) / \tan \gamma_{2u\phi}] (\cos \gamma_{2uv})^2 - \tau_{2u} \sin(2\gamma_{2uv}) \quad (10)$$

$$\tau_{2v} = 0.5[\kappa_{2\phi} + (\tau_{2\phi} - \tau_{2u}) / \tan \gamma_{2u\phi}] \sin(2\gamma_{2uv}) + \tau_{2u} \cos(2\gamma_{2uv}) \quad (11)$$

$$\tau_{2g} = -\tau_{2v} \quad (12)$$

2.2 小轮齿面参考点处齿线方向和齿廓方向的曲率参数

在小轮产形面 Σ_4 上参考点 M 处的切平面上, α_{4u} 为坐标曲线 u_4 方向的单位矢量, $\alpha_{4\phi}$ 为坐标曲线 ϕ_4 方向的单位矢量, α_{4u} 和 $\alpha_{4\phi}$ 之间夹角为 $\gamma_{4u\phi}$, 同时 α_{4v} 为齿线方向单位矢量, α_{4g} 为齿廓方向单位矢量, $\alpha_{4v} \perp \alpha_{4g}$, α_{4u} 和 α_{4v} 之间的夹角为 γ_{4uv} .

与大轮同理, 不同之处在于式(4)中取 $\delta_2 = 90^\circ - \delta_4$, 可计算得到在 S_4 中坐标曲线 u_4 方向的单位矢量 $(\alpha_{4u})_4$ 、小轮产形面 Σ_4 的齿线方向单位矢量 $(\alpha_{4v})_4$ 、齿廓方向的单位矢量 $(\alpha_{4g})_4$, 以及齿线方向和齿廓方向的曲率参数 $\kappa_{4v}, \tau_{4v}, \kappa_{4g}, \tau_{4g}$.

小轮产形面 Σ_4 与小轮齿面 Σ_1 的在参考点 M 处共轭, 根据啮合原理求得切齿啮合的诱导法曲率和诱导短程挠率 $\kappa_{41v}, \tau_{41v}, \kappa_{41g}$, 得到小轮齿面 Σ_1 齿线和齿廓方向的法曲率和短程挠率为

$$\kappa_{1v} = \kappa_{4v} - \kappa_{41v} \quad (13)$$

$$\kappa_{1g} = \kappa_{4g} - \kappa_{41g} \quad (14)$$

$$\tau_{1v} = \tau_{4v} - \tau_{41v} \quad (15)$$

2.3 齿面参考点处瞬时接触椭圆参数

摆线齿准双曲面齿轮副为点接触啮合, 承受载荷后, 接触迹线上的任一点扩展成一瞬时椭圆. 小轮齿面 Σ_1 和大轮齿面 Σ_2 在参考点 M 处接触. 图 5 为两齿面在 M 处的瞬时接触椭圆, g_1 和 g_2 为 M 处两个相对主方向, α_{1v} 和 α_{1g} 及 α_{2v} 和 α_{2g} 分别为大小轮齿线方向和齿廓方向的单位矢量. 对于参考点 M , 若取 α_{iv} ($i=1, 2$) 为轮 i 的齿线方向, 则 $\alpha_{iv} = \alpha_{2v}$ ^[5].

两齿面齿线方向和齿廓方向的相对曲率参数为

$$\kappa_{12v} = \kappa_{1v} - \kappa_{2v} \quad (16)$$

$$\kappa_{12g} = \kappa_{1g} - \kappa_{2g} \quad (17)$$

$$\tau_{12v} = \tau_{1v} - \tau_{2v} \quad (18)$$

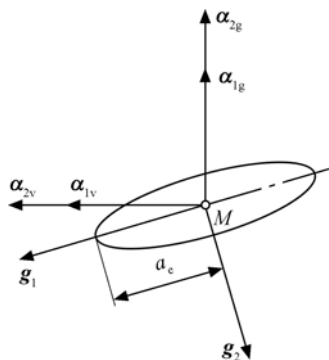


图 5 齿面接触点 M 处的瞬时接触椭圆

Fig. 5 Instantaneous contact ellipse at point M on tooth surface

由啮合原理^[18]求得参考点 M 处椭圆长半轴方向 g_1 的相对主曲率,即

$$\kappa_1 = 0.5 \left[\kappa_{12v} + \kappa_{12g} \pm \sqrt{(\kappa_{12v} - \kappa_{12g})^2 + 4\tau_{12v}^2} \right] \quad (19)$$

式中双符号项,工作齿面取正号,非工作齿面取负号。

得到点 M 处瞬时接触椭圆长半轴^[5]为

$$a_e = \sqrt{2\Delta\zeta / |\kappa_{1v}|} \quad (20)$$

式中 $\Delta\zeta$ 为齿面涂色检验所用红丹粉颗粒的直径。美国格里森公司推荐 $\Delta\zeta = 0.0064 \text{ mm}$ 。

大轮齿面上接触区长度系数^[5]为

$$C_t = 2a_e \cos \beta_{M2} / b_2 \quad (21)$$

式中 β_{M2} 为大轮参考点处螺旋角; b_2 为大轮齿宽。

3 Spirac 切齿调整计算方法

用 Spirac 加工摆线齿准双曲面齿轮副时,内刀刃(加工齿凸面)和外刀刃(加工齿凹面)同时加工齿槽两面^[2]。通常,小轮的凹面和大轮的凸面为工作齿面(用“i”标记),小轮的凸面和大轮的凹面为非工作齿面(用“e”标记)。式(1)~式(21)同时适用于工作齿面的计算和非工作齿面的计算。计算时,参数 $u_1, u_2, \psi_1, \psi_2, \alpha_1, \alpha_2$ 分别用工作齿面参数 $u_{1i}, u_{2i}, \psi_{1i}, \psi_{2i}, \alpha_{1i}, \alpha_{2i}$ 和非工作齿面参数 $u_{1e}, u_{2e}, \psi_{1e}, \psi_{2e}, \alpha_{1e}, \alpha_{2e}$ 进行替换,从而获得大小轮工作齿面参数和非工作齿面参数,以及大轮工作齿面接触区长度系数 C_{ti} 和非工作齿面接触区长度系数 C_{te} 的计算公式。

切齿调整计算时,预置 C_{ti} 和 C_{te} ,使

$$\begin{cases} C_{ti} = C_{ti0} \\ C_{te} = C_{te0} \end{cases} \quad (22)$$

式中 C_{ti}, C_{te} 为工作齿面和非工作齿面接触区长度

系数,通常取 $0.2 \sim 0.4$ 。

Spirac 切齿调整计算时保证了小轮产形面和大轮齿面参考点在各自坐标系中的径向位置和轴向位置,同时参考点的压力角、螺旋角等于理论值^[5],即

$$\begin{cases} r_{Mjk}^r = r_{M2} \\ r_{Mjk}^n = 0 \\ \alpha_{njk} = \alpha_{nk} \\ \beta_{Mjk} = \beta_{M2} \end{cases} \quad j = 4, 2 \quad k = i, e \quad (23)$$

式中 r_{Mjk}^r 为 Σ_{jk} 上参考点在 S_j 里的径向位置; r_{Mjk}^n 为 Σ_{jk} 上参考点在 S_j 里的轴向位置; α_{njk} 为 Σ_{jk} 上参考点处压力角; β_{Mjk} 为 Σ_{jk} 上参考点处螺旋角; r_{M2} 为大轮参考点分度圆半径; α_{nk} 为理论压力角,当计算工作齿面时 $k=i$,当计算非工作齿面时 $k=e$; β_{M2} 为参考点处理论螺旋角。

其切齿调整计算方法由方程组(23)得到 16 个方程,共有 $u_{jk}, \psi_{jk}, E_{\alpha j}, \alpha_{jk}, \delta_i$ 和 δ_{M2} 共 16 个未知数($j=4, 2; k=i, e$),迭代可求解该 16 个未知数。

本文提出的切齿调整计算方法除保证参考点径向位置 r_{M2} 、轴向位置、压力角 α_{nk} 和螺旋角 β_{M2} 之外,还引入对大轮齿面参考点处接触区长度系数 C_{ti} 和 C_{te} 的控制。即切齿调整计算时,给定大轮工作齿面和非工作齿面参考点处接触区长度系数设计值 C_{ti0} 和 C_{te0} ,添加小轮刀倾角 χ_1 和大轮刀倾角 χ_2 作为未知数,与前述 16 个未知数共 18 个未知数,由方程组(22)和式(23)得到的 18 个方程迭代求解,从而得到满足参考点位置、压力角和螺旋角要求以及精确控制大轮齿面接触区长度系数的切齿调整参数。

4 实 例

以一对摆线齿准双曲面齿轮副为例,其主要设计参数见表 1^[5]。

采用 Spirac 切齿调整计算方法^[5],设定大小轮刀倾角为 $\chi_2 = 4^\circ$ 和 $\chi_1 = 5^\circ$,计算得到小轮和大轮切齿调整参数如表 2 所示,大轮工作面和非工作面的齿面接触区长度系数分别为 $C_{ti} = 0.21823$ 和 $C_{te} = 0.22921$ 。

采用本文提出的方法,预置大轮齿面接触区长度系数等于 Spirac 得到的接触区长度系数值,即 $C_{ti0} = 0.21823$ 和 $C_{te0} = 0.22921$,计算得到的结果与 Spirac 不同之处只是大轮刀倾角有很小的差别,即 $\chi_2 = 3.9994^\circ$ 。

由表 2 可知,Spirac 切齿调整计算(给出大小

轮刀倾角)得到的大轮齿面接触区长度系数和切齿调整参数,可以通过本文提出的预置大轮齿面接触区长度系数直接确定大小轮刀倾角的切齿调整计算方法实现,证明本方法的正确性.同时,当Spirac切齿调整计算时,若大轮齿面接触区长度系数不满足0.2~0.4的范围要求,需修正刀倾角重新计算,而采用本文提出的方法,给定0.2~0.4

的范围内的某一值,可一次精确计算出刀倾角,证明本方法有效解决反复调整刀倾角的问题.

根据大轮齿面接触区长度系数范围,设定多组大轮工作齿面和非工作齿面的接触区长度系数值,采用本文提出的方法精确求解大小轮刀倾角的终值,结果如表3所示,并进行齿面接触分析(TCA),得到图6.

表1 奥利康摆线齿准双曲面齿轮副主要设计参数

Table 1 Main design parameters of Oerlikon epicycloided hypoid gears pair

参数	数值及说明	
	小轮	大轮
齿数 z	10	41
旋向	左旋	右旋
轴交角 $\Sigma/(\circ)$	90	
参考点法向模数 m_n/mm	3.3342	
偏置距 E/mm	20	
齿宽 b/mm	33	30
参考点螺旋角 $\beta_M/(\circ)$	50.01	37.134
压力角 $\alpha_n/(\circ)$	20	
齿顶高系数 h_a^*	1	
顶隙系数 c^*	0.25	
齿顶高 h_a/mm	4.67	2
齿全高 h/mm	7.5	
分锥角 $\delta/(\circ)$	17.614	71.961
刀具参数		
刀齿组数 z_0	11	
刀盘名义半径 r_0/mm	74	
刀倾角 $\chi/(\circ)$	5	4

表2 两种方法切齿调整计算结果

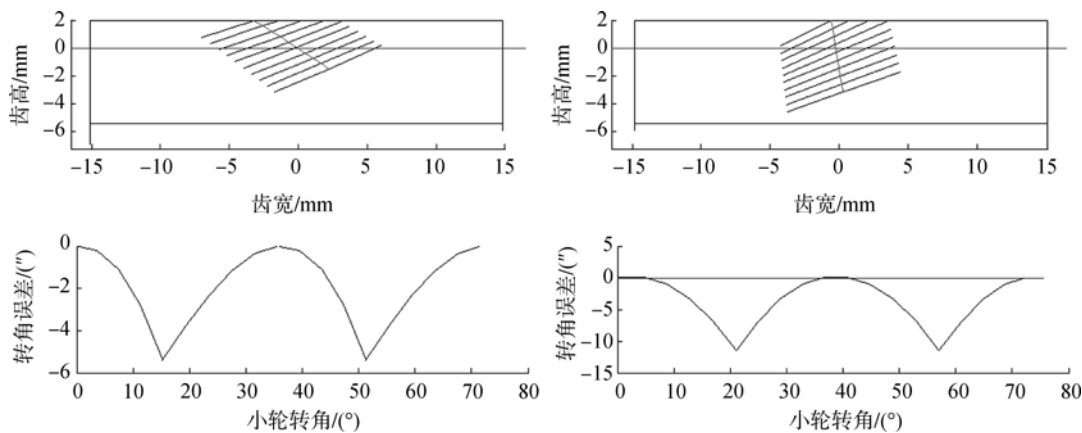
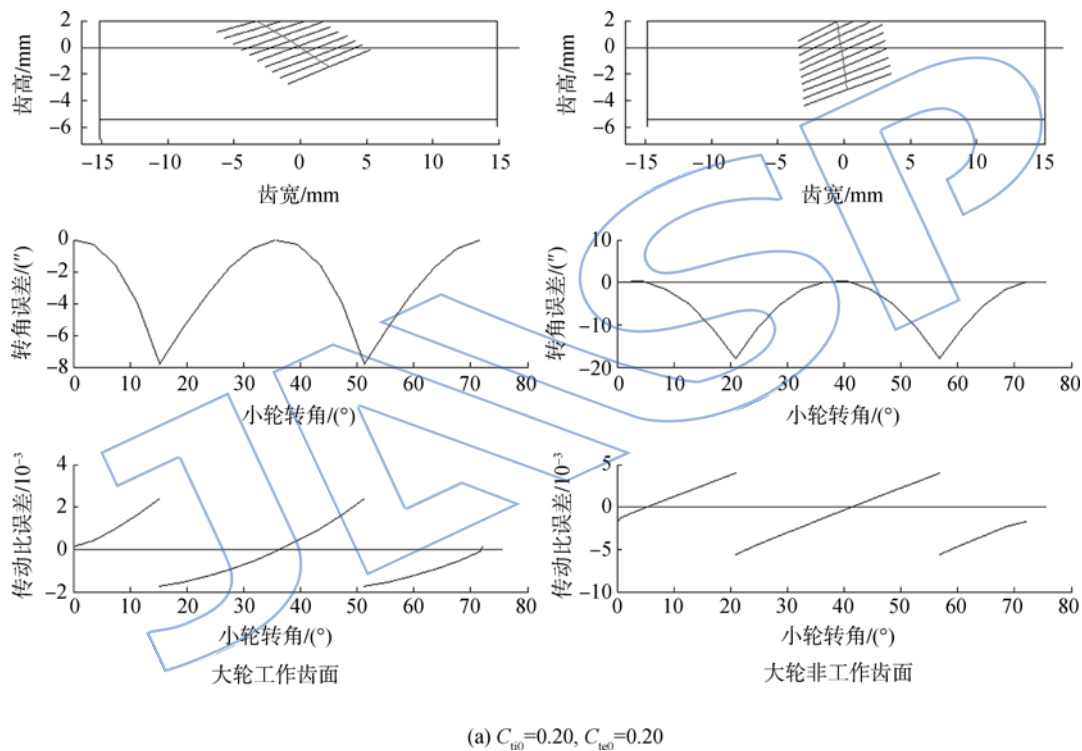
Table 2 Calculation results of machine-tool setting with two methods

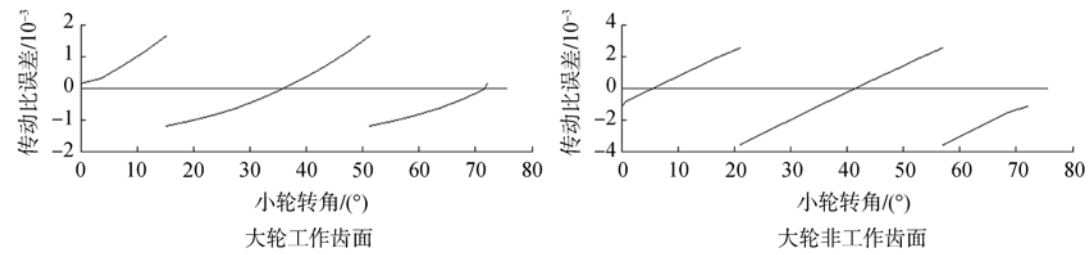
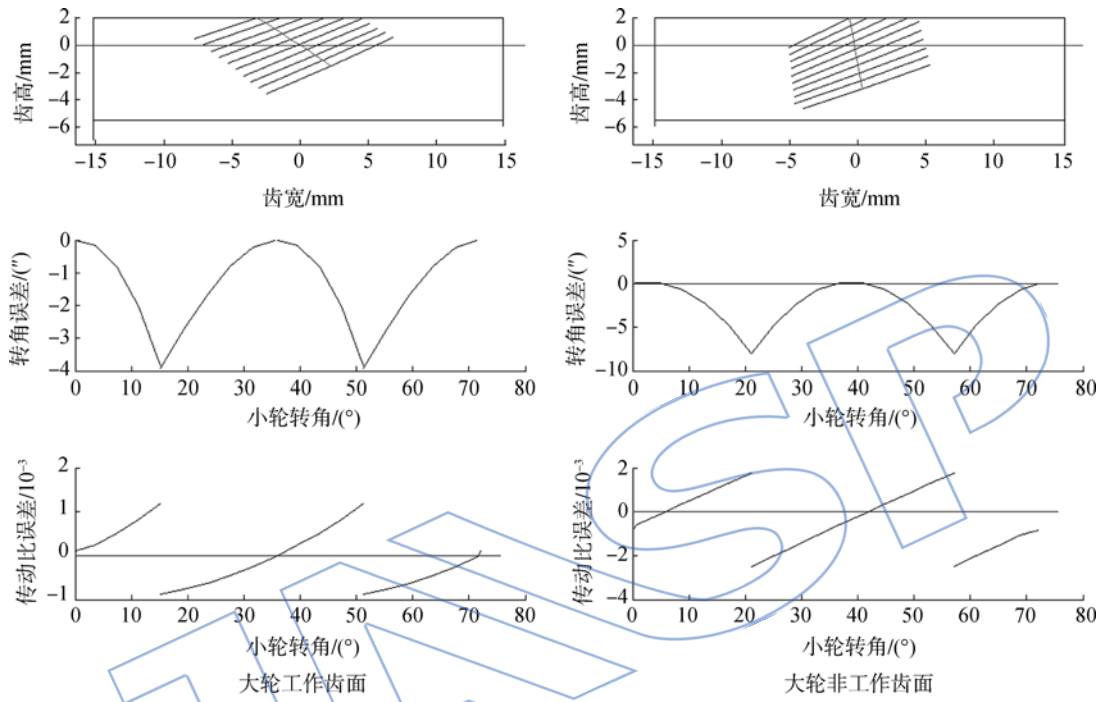
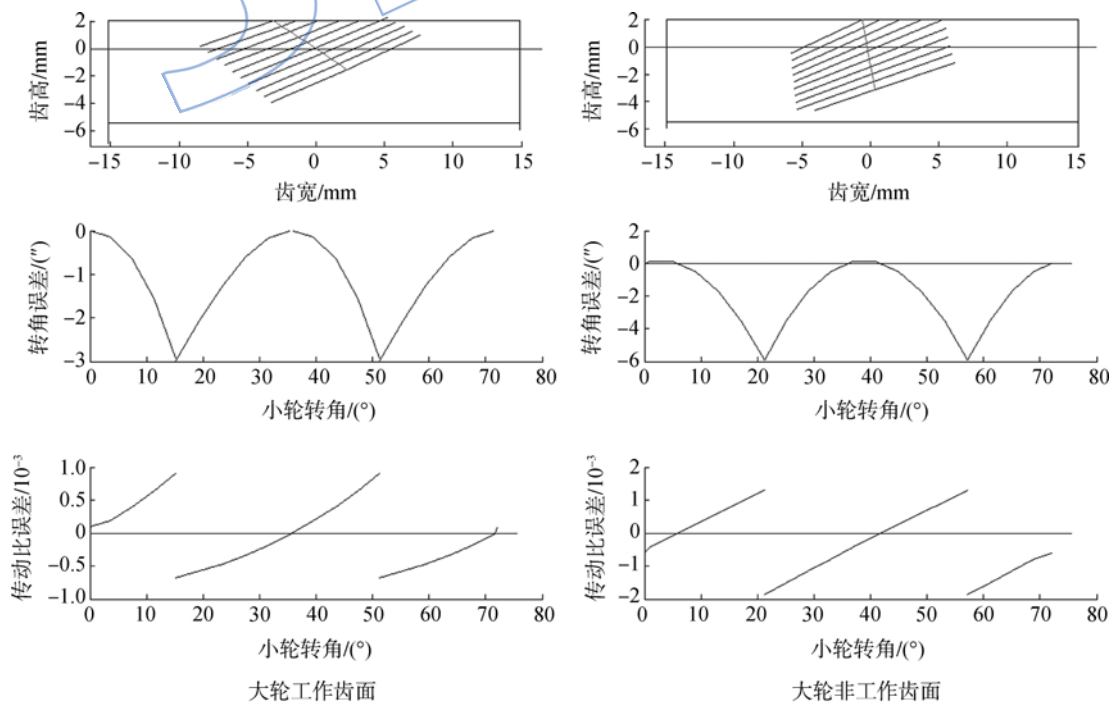
切齿调整参数	Spirac 切齿调整计算方法	预置接触区长度系数法
刀倾角 $\chi_1/(\circ)$	5	5.0000
刀位 $E_{\chi 1}/\text{mm}$	98.766006	98.766006
产形轮分锥角 $\delta_i/(\circ)$	68.847727	68.847727
外刀刀具齿形角 $\alpha_{i1}/(\circ)$	-22.571914	-22.571912
内刀刀具齿形角 $\alpha_{ie}/(\circ)$	17.319615	17.319618
刀倾角 $\chi_2/(\circ)$	4	3.9994
刀位 $E_{\chi 2}/\text{mm}$	98.639562	98.639562
大轮安装角 $\delta_{M2}/(\circ)$	72.090268	72.090268
外刀刀具齿形角 $\alpha_{e2}/(\circ)$	-26.041180	-26.041198
内刀刀具齿形角 $\alpha_{i2}/(\circ)$	13.886069	13.886052

表 3 大小轮刀倾角计算结果
Table 3 Calculation results of tilt angles of gear
and pinion

C_{ti0}	C_{te0}	大轮刀倾角 $\chi_2 / (^\circ)$	小轮刀倾角 $\chi_1 / (^\circ)$
0.20	0.20	6.2330	5.1649
0.25	0.25	4.0487	3.1567
0.30	0.30	2.8582	2.0839
0.35	0.35	2.1362	1.4454
0.40	0.40	1.6648	1.0352

由表 3 可知,通过本文提出的方法可直接得到大小轮刀倾角,实现大轮齿面接触区长度系数的精确控制.对比图 6 中齿面接触区发现,随着齿面接触区长度系数的变大,大轮工作面和齿面接触区的接触迹线均保持不变,而瞬时接触椭圆的长轴随之变长,同时接触区也随之变长.由此可知,采用该方法在不引起接触迹线变化的情况下,仅通过控制瞬时接触椭圆的长轴,实现了对大轮齿面接触区长度预控.此处应注意文中预置的大轮齿面接触区长度系数为齿面参考点处瞬时接触椭圆的参数,而非 TCA 得到的最终齿面接触区的长度系数.实际加工计算中需对两者加以区别.



(b) $C_{t0}=0.25, C_{t90}=0.25$ (c) $C_{t0}=0.30, C_{t90}=0.30$ (d) $C_{t0}=0.35, C_{t90}=0.35$

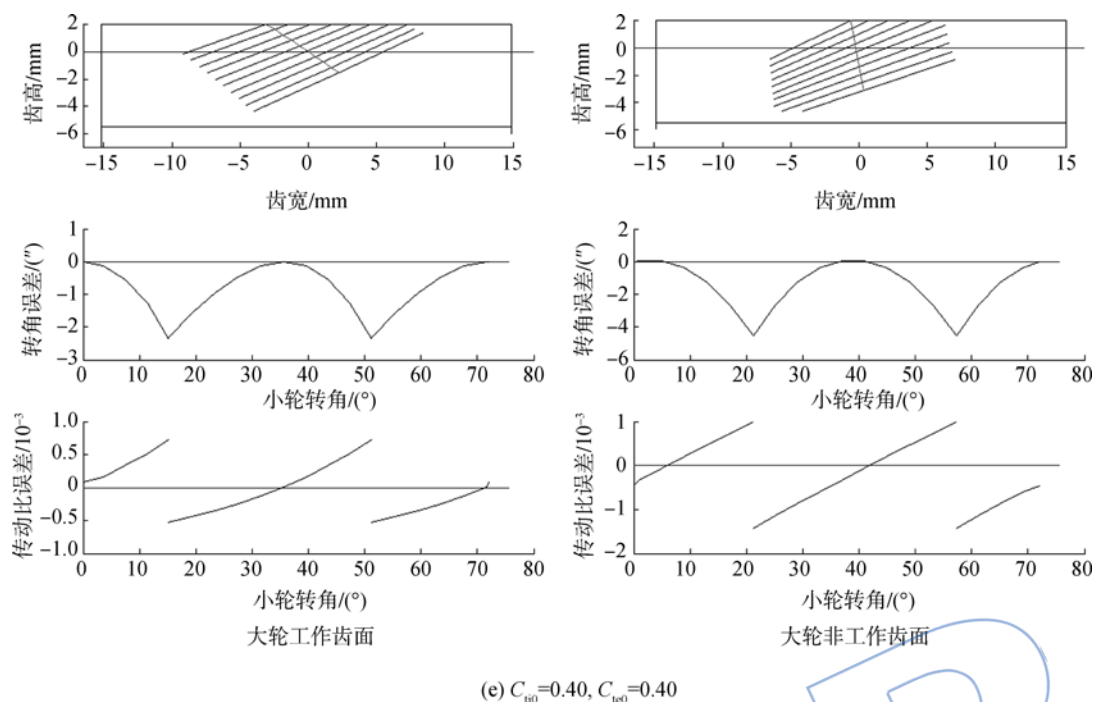


图6 输出不同接触区长度系数下得到的齿面接触分析
Fig. 6 TCA output in different contact pattern length factors

5 结论

1) 提出了一种可实现大轮齿面接触区长度系数精确预控的切齿调整计算方法,该方法直接求解大小轮刀倾角,精确满足对大轮齿面接触区长度系数的要求,减少了刀倾角反复调整计算的过程,提高了切齿调整计算的效率。

2) 以一对摆线齿准双曲面齿轮副为例,分别采用 Spirac 和预置大轮齿面接触区长度系数的方法进行切齿调整计算和齿面接触分析,对比两组数据和线图结果,证明了该方法的正确性。

3) 预先设定多组大轮齿面接触区长度系数值,进行切齿调整计算,得到了精确的大小轮刀倾角。

参考文献:

- [1] 禹文涛,黎勇. 奥利康摆线齿轮加工接触区域的一阶修正[J]. 重庆工学院学报,2009,23(2):41-43.
YU Wentao, LI Yong. First order correction of contact zone to Oerlikon spiral bevel gear system[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology,2009,23(2):41-43. (in Chinese)
- [2] QI Fan. Tooth surface error correction for face-hobbed hypoid gears[J]. Journal of Mechanical Design, 2010, 132(1):011004. 1-011004. 8.
- [3] Kolivand M, Kahraman A. A load distribution model for hypoid gears using ease-off topography and shell theory[J]. Mechanism and Machine Theory,2009,44(10):1848-1865.
- [4] 王峰,方宗德,李声晋,等. 考虑安装误差的摆线齿准双曲面齿轮轮齿接触分析[J]. 农业机械学报,2012,43(9):213-218.
WANG Feng, FANG Zongde, LI Shengjin, et al. Tooth contact analysis of epicycloid hypoid gear considering assembly misalignment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9):213-218. (in Chinese)
- [5] 董学朱. 摆线齿锥齿轮及准双曲面齿轮设计和制造[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [6] 朱孝录. 齿轮传动设计手册[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2010.
- [7] 董学朱. 延伸外摆线齿准双曲面齿轮几何设计和切齿调整计算新方法[J]. 机械传动,1999,23(4):16-19.
- [8] 董学朱. 准双曲面齿轮刀倾半展成切齿调整计算新方法[J]. 齿轮,1988(2):1-6.
- [9] 曾韬. 螺旋锥齿轮设计与加工[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1989.
- [10] Litvin F L, Gutman Y. Methods of synthesis and analysis for hypoid gear-drives of formate and helixform: Part I calculation for machine setting formember gear manufacture of the formate and helixform hypoid gears[J]. Journal of Mechanical Design, 1981, 103(1):83-88.
- [11] Litvin F L, Gutman Y. Methods of synthesis and analysis for hypoid gear-drives of formate and helixform: Part II machine setting calculations for the pinions of formate and helixform gears[J]. Journal of Mechanical Design, 1981, 103(1):89-101.

- [12] Litvin F L, Gutman Y. Methods of synthesis and analysis for hypoid gear-drives of formate and helixform; Part III analysis and optimal synthesis methods for mismatched gearing and its application for hypoid gears of formate and helixform[J]. Journal of Mechanical Design, 1981, 103(1): 102-113.
- [13] 吴训成, 毛世民, 吴序堂. 点接触齿面啮合分析的基本公式及其应用研究[J]. 机械设计, 2000, 17(2): 15-18.
WU Xuncheng, MAO Shimin, WU Xutang. A study on the fundamental formulae for the meshing a analysis of point-contact tooth surfaces and their application[J]. Journal of Machine Design, 2000, 17(2): 15-18. (in Chinese)
- [14] Shih Y P. A novel ease-off flank modification methodology for spiral bevel and hypoid gears [J]. Mechanism and Machine Theory, 2010, 45(8): 1108-1124.
- [15] Simon V V. Influence of tooth modifications on tooth contact in face-hobbed spiral bevel gears[J]. Mechanism and Machine Theory, 2011, 46(12): 1980-1998.
- [16] 吴会军, 魏冰阳. 接触迹对齿轮副啮合性能的影响[J]. 机械传动, 2009, 33(4): 13-15.
WU Huijun, WEI Bingyang. Influence of contact path on meshing behavior of gears [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2009, 33(4): 13-15. (in Chinese)
- [17] 弗洛尼斯. 设计学: 传动零件[M]. 王汝霖, 译. 北京: 高等教育出版社, 1988.
- [18] 董学朱. 齿轮啮合理论基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.