



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104196981 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201410512635. X

(22) 申请日 2014. 09. 29

(71) 申请人 厦门大学

地址 361005 福建省厦门市思明南路 422 号

(72) 发明人 肖望强

(74) 专利代理机构 厦门南强之路专利事务所

(普通合伙) 35200

代理人 马应森

(51) Int. Cl.

F16H 55/17(2006. 01)

F16H 55/08(2006. 01)

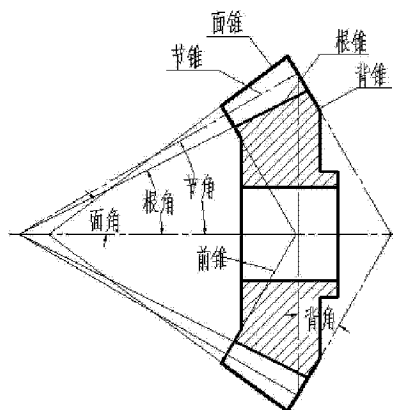
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法

(57) 摘要

一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法, 涉及齿轮。双基锥螺旋伞齿轮设有 5 个锥面、4 个锥角、2 个基锥; 单个轮齿法向齿廓由齿顶圆、齿根圆、驱动侧齿形曲线、非驱动侧齿形曲线、齿向线组成; 所述 5 个锥面分别为面锥、根锥、节锥、背锥和前锥, 所述 4 个锥角分别为面角、根角、节角、背角。针对车辆等以单向传动为主的齿轮传动机构, 改善了螺旋伞齿轮的性能, 提供在驱动面采用大齿形角, 在非驱动面采用小齿形角, 既增大了驱动方向齿轮承载能力, 又避免了齿顶变尖, 能有效提高螺旋伞齿轮承载能力、疲劳寿命和输出扭矩, 并降低传动振动和噪声的一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法。



1. 一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 双基锥螺旋伞齿轮设有 5 个锥面、4 个锥角、2 个基锥;单个轮齿法向齿廓由齿顶圆、齿根圆、驱动侧齿形曲线、非驱动侧齿形曲线、齿向线组成;所述 5 个锥面分别为面锥、根锥、节锥、背锥和前锥,所述 4 个锥角分别为面角、根角、节角、背角;

2) 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿面  $\Omega_1$  与基圆锥角为  $\delta_{bd}$  的基锥相切于  $OP_1$ ,当  $\Omega_1$  沿基锥做纯滚动时,平面上以  $O$  为回转中心的圆弧线如  $M_1N_1$  与  $M_2N_2$  将在空间形成螺旋伞齿轮驱动侧与非驱动侧齿面,由于螺旋伞齿轮两侧齿形角不同,因此两侧齿面开始处的基锥不同;

3) 通过坐标变换,将双基锥螺旋伞齿轮大端齿廓球面渐开线转换到球面坐标系,经推导,在球坐标系下双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿面大端齿廓在球坐标系下方程为

$$\begin{cases} rho = R \\ theta = \delta_f + (\delta_a - \delta_f) \times t \\ phi = \arccos[\cos(theta) / \cos \delta_{bd}] / \sin \delta_{bd} - \arccos[\tan \delta_{bd} / \tan(theta)] - \pi / 2z - \varphi_d \end{cases} \quad (1)$$

4) 驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_d$  和驱动侧基圆锥角  $\delta_{bd}$  由下式求得

$$\varphi_d = \frac{1}{\sin \delta_{bd}} \arccos \frac{\cos \delta'}{\cos \delta_{bd}} - \arccos \frac{\tan \delta_{bd}}{\tan \delta'} \quad (2)$$

$$\delta_{bd} = \delta' - \arctan[(1 - \alpha_d) \tan \delta'] \quad (3)$$

5) 双基锥螺旋伞齿轮非驱动侧齿面大端齿廓在球坐标系下方程为

$$\begin{cases} rho = R \\ theta = \delta_f + (\delta_a - \delta_f) \times t \\ phi = -\arccos[\cos(theta) / \cos \delta_{bc}] / \sin \delta_{bc} + \arccos[\tan \delta_{bc} / \tan(theta)] + \pi / 2z + \varphi_c \end{cases} \quad (4)$$

6) 非驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_c$  和非驱动齿侧基圆锥角  $\delta_{bc}$  由下式求得

$$\varphi_c = \frac{1}{\sin \delta_{bc}} \arccos \frac{\cos \delta'}{\cos \delta_{bc}} - \arccos \frac{\tan \delta_{bc}}{\tan \delta'} \quad (5)$$

$$\delta_{bc} = \delta' - \arctan\left\{\left[1 - \arccos(k \cos \alpha_d)\right] \tan \delta'\right\} \quad (6)$$

双基锥螺旋伞齿轮的齿向线由轮坯和刀盘的相对位置形成;

7) 根据设计要求的螺旋角  $\beta$  及加工时所选用的刀盘半径  $r_0$ ,确定铣刀盘中心位置与轮冠轴心的位置关系,然后通过坐标变换,将齿向线方程转换到球面坐标系,在球坐标系下,其齿向线方程为

$$\begin{cases} rho = r_0 \sin S / \sin j \\ theta = \delta' \\ phi = \varphi_p - (j - j_0) / \sin \delta' \end{cases} \quad (7)$$

式 (7) 中,  $\varphi_p$  为齿向线偏角,两个夹角  $S$  和  $j$  由下式求得

$$S = \pi - \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - R^2}{2L_1 r_0} + \left[ \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - R^2}{2L_1 r_0} - \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - (R-B)^2}{2L_1 r_0} \right] \times t \quad (8)$$

$$j = \arctan \frac{r_0 \sin S}{L_1 + r_0 \cos S} \quad (9)$$

8) 当刀盘由大端走到小端时,  $j$  角对应一个夹角  $Q$ ,  $Q = j / \sin \delta'$ , 因此, 最外点及最内点所对应的夹角分别为  $Q_0 = j_0 / \sin \delta'$  和  $Q_1 = j_1 / \sin \delta'$ , 两角之差  $Q_1 - Q_0$  即为从大端到小端相应的双基锥齿形曲线在球坐标系中转过角度, 根据  $Q_1 - Q_0$  并将式 (1)、(4) 中  $\rho$  的值变为  $R - B$ , 即可求得双基锥螺旋伞齿轮轮齿小端驱动侧与非驱动侧齿廓在球坐标系下的方程;

双基锥螺旋伞齿轮齿顶圆直径为:

$$d_a = m_t z + 2h_{ad} \cos \delta_d \quad (10)$$

双基锥螺旋伞齿轮驱动侧和非驱动侧顶锥角为:

$$\delta_{ad} = \delta_d + \theta_{fd} \quad (11)$$

$$\delta_{ac} = \delta_c + \theta_{fc} \quad (12)$$

双基锥螺旋伞齿轮齿根圆直径为:

$$d_f = m_t z - h_{fd} \cos \delta_d \quad (13)$$

双基锥螺旋伞齿轮驱动侧和非驱动侧根锥角为:

$$\delta_{fd} = \delta_d - \theta_{fd} \quad (14)$$

$$\delta_{fc} = \delta_c - \theta_{fc} \quad (15)$$

按上述步骤建立双基锥螺旋伞齿轮的齿廓曲面, 并建立螺旋伞齿轮单齿实体, 按照齿数  $z$  进行等分阵列, 则可建立双基锥螺旋伞齿轮整体模型, 完成双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计;

各步骤中的标记为:

$z$ ——齿数

$B$ ——齿宽

$\beta$ ——螺旋角

$\Sigma$ ——轴交角

$\rho$ ——球坐标系极径, 图 2 中的  $\overline{ON_1}$

$\theta$ ——有向线段  $\overline{ON_1}$  与  $z$  轴正向的夹角

$\phi$ ——从正  $z$  轴来看自  $x$  轴按逆时针方向转到  $OS$  所转过的角, 这里  $S$  为点  $P$  在  $xOy$  面上的投影

$m_t$ ——端面模数

$d$ ——分度圆直径

$R$ ——外锥距

$R_m$ ——中点锥距

$\alpha_d$ ——驱动侧齿形角

$\alpha_c$ ——非驱动侧齿形角

- k——齿形角系数  
 $\delta_1$ ——分锥角  
 $\varphi_d$ ——驱动齿侧分度圆偏角  
 $\varphi_c$ ——非驱动齿侧分度圆偏角  
 $\delta_{ad}$ ——驱动侧顶锥角  
 $\delta_{ac}$ ——非驱动侧顶锥角  
 $\delta_{fd}$ ——驱动侧根锥角  
 $\delta_{fc}$ ——非驱动侧根锥角  
 $\delta_{bd}$ ——驱动侧基圆锥角  
 $\delta_{bc}$ ——非驱动侧基圆锥角  
 $\delta'$ ——节锥角  
 $\varphi_p$ ——齿向线偏角  
 $d_a$ ——齿轮齿顶圆直径  
 $d_f$ ——齿轮齿根圆直径  
 $r_0$ ——刀盘半径  
 $L_1$ ——刀盘中心到锥顶中心的距离  
S——齿向线的相对于刀盘中心的圆心偏角  
j——齿向线的相对于锥顶中心的圆心偏角  
 $\beta_p$ ——齿根偏角  
 $\theta_{fd}$ ——驱动侧齿根角  
 $\theta_{fc}$ ——非驱动侧齿根角  
 $h_{ad}$ ——驱动侧齿顶高  
 $h_{ac}$ ——非驱动侧齿顶高  
 $h_{fd}$ ——驱动侧齿根高  
 $h_{fc}$ ——非驱动侧齿根高  
x——高度变位系数  
 $x_t$ ——切向变位系数。

## 一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及齿轮,特别是涉及一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法。

### 背景技术

[0002] 螺旋伞齿轮与直齿和斜齿伞齿轮相比较,具有重合度大、接触点处齿面的相对曲率半径大、曲面接触区域易于控制、对误差不太敏感等优点,在相交轴线和交错轴线的传动中,得到了广泛的应用。随着齿轮传动中高速重载的发展趋势,传统螺旋伞齿轮已经难以满足设备的要求。尤其在车辆传动部件中,对螺旋伞齿轮输出扭矩的要求越来越高。

[0003] 当齿形角增大时,齿轮的弯曲承载能力和接触承载能力都显著增强,但是随着齿形角的增大,齿轮齿顶逐渐变尖,当齿顶厚度小于  $1.5m$  ( $m$  为齿轮模数) 时,齿顶容易在受载时发生折断,导致齿轮传动失效(李华敏,大齿形角渐开线齿轮传动的质量指标分析,哈尔滨工业大学学报,1987, Z1:86-98)。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是针对车辆等以单向传动为主的齿轮传动机构,为了改善螺旋伞齿轮的性能,提供在驱动面采用大齿形角,在非驱动面采用小齿形角,既增大了驱动方向齿轮承载能力,又避免了齿顶变尖,能有效提高螺旋伞齿轮承载能力、疲劳寿命和输出扭矩,并降低传动振动和噪声的一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法。

[0005] 本发明包括以下步骤:

[0006] 1) 双基锥螺旋伞齿轮设有 5 个锥面、4 个锥角、2 个基锥;单个轮齿法向齿廓由齿顶圆、齿根圆、驱动侧齿形曲线、非驱动侧齿形曲线、齿向线组成;所述 5 个锥面分别为面锥、根锥、节锥、背锥和前锥,所述 4 个锥角分别为面角、根角、节角、背角;

[0007] 2) 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿面  $\Omega_1$  与基圆锥角为  $\delta_{bd}$  的基锥相切于  $OP_1$ ,当  $\Omega_1$  沿基锥做纯滚动时,平面上以  $O$  为回转中心的圆弧线如  $M_1N_1$  与  $M_2N_2$  将在空间形成螺旋伞齿轮驱动侧与非驱动侧齿面,由于螺旋伞齿轮两侧齿形角不同,因此两侧齿面开始处的基锥不同;

[0008] 3) 通过坐标变换,将双基锥螺旋伞齿轮大端齿廓球面渐开线转换到球面坐标系,经推导,在球坐标系下双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿面大端齿廓在球坐标系下方程为

[0009]

$$\begin{cases} rho = R \\ theta = \delta_f + (\delta_a - \delta_f) \times t \\ phi = \arccos[\cos(theta) / \cos \delta_{bd}] / \sin \delta_{bd} - \arccos[\tan \delta_{bd} / \tan(theta)] - \pi / 2z - \varphi_d \end{cases} \quad (1)$$

[0010] 4) 驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_d$  和驱动侧基圆锥角  $\delta_{bd}$  由下式求得

[0011]

$$\varphi_d = \frac{1}{\sin \delta_{bd}} \arccos \frac{\cos \delta'}{\cos \delta_{bd}} - \arccos \frac{\tan \delta_{bd}}{\tan \delta'} \quad (2)$$

$$[0012] \quad \delta_{bd} = \delta' - \arctan[(1 - \alpha_d) \tan \delta'] \quad (3)$$

[0013] 5) 双基锥螺旋伞齿轮非驱动侧齿面大端齿廓在球坐标系下方程为

[0014]

$$\begin{cases} rho = R \\ theta = \delta_f + (\delta_a - \delta_f) \times t \\ phi = -\arccos[\cos(theta) / \cos \delta_{bc}] / \sin \delta_{bc} + \arccos[\tan \delta_{bc} / \tan(theta)] + \pi / 2z + \varphi_c \end{cases} \quad (4)$$

[0015] 6) 非驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_c$  和非驱动齿侧基圆锥角  $\delta_{bc}$  由下式求得

[0016]

$$\varphi_c = \frac{1}{\sin \delta_{bc}} \arccos \frac{\cos \delta'}{\cos \delta_{bc}} - \arccos \frac{\tan \delta_{bc}}{\tan \delta'} \quad (5)$$

$$[0017] \quad \delta_{bc} = \delta' - \arctan\{[1 - \arccos(k \cos \alpha_d)] \tan \delta'\} \quad (6)$$

[0018] 双基锥螺旋伞齿轮的齿向线由轮坯和刀盘的相对位置形成；

[0019] 7) 根据设计要求的螺旋角  $\beta$  及加工时所选用的刀盘半径  $r_0$ ，确定铣刀盘中心位置与轮冠轴心的位置关系，然后通过坐标变换，将齿向线方程转换到球面坐标系，在球坐标系下，其齿向线方程为

[0020]

$$\begin{cases} rho = r_0 \sin S / \sin j \\ theta = \delta' \\ phi = \varphi_p - (j - j_0) / \sin \delta' \end{cases} \quad (7)$$

[0021] 式 (7) 中， $\varphi_p$  为齿向线偏角，两个夹角  $S$  和  $j$  由下式求得

[0022]

$$S = \pi - \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - R^2}{2L_1 r_0} + \left[ \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - R^2}{2L_1 r_0} - \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - (R - B)^2}{2L_1 r_0} \right] \times t \quad (8)$$

$$[0023] \quad j = \arctan \frac{r_0 \sin S}{L_1 + r_0 \cos S} \quad (9)$$

[0024] 8) 当刀盘由大端走到小端时， $j$  角对应一个夹角  $Q$ ， $Q = j / \sin \delta'$ ，因此，最外点及最内点所对应的夹角分别为  $Q_0 = j_0 / \sin \delta'$  和  $Q_1 = j_1 / \sin \delta'$ ，两角之差  $Q_1 - Q_0$  即为从大端到小端相应的双基锥齿形曲线在球坐标系中转过角度，根据  $Q_1 - Q_0$  并将式 (1)、(4) 中  $\rho$  的值变为  $R - B$ ，即可求得双基锥螺旋伞齿轮轮齿小端驱动侧与非驱动侧齿廓在球坐标系下的方程；

[0025] 双基锥螺旋伞齿轮齿顶圆直径为：

$$[0026] \quad d_a = m_t z + 2h_{ad} \cos \delta_d \quad (10)$$

[0027] 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧和非驱动侧顶锥角为：

$$[0028] \quad \delta_{ad} = \delta_d + \theta_{fd} \quad (11)$$

$$[0029] \quad \delta_{ac} = \delta_c + \theta_{fc} \quad (12)$$

[0030] 双基锥螺旋伞齿轮齿根圆直径为：

$$[0031] \quad d_f = m_t z - h_{fd} \cos \delta_d \quad (13)$$

[0032] 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧和非驱动侧根锥角为：

$$[0033] \quad \delta_{fd} = \delta_d - \theta_{fd} \quad (14)$$

$$[0034] \quad \delta_{fc} = \delta_c - \theta_{fc} \quad (15)$$

[0035] 按上述步骤建立双基锥螺旋伞齿轮的齿廓曲面,并建立螺旋伞齿轮单齿实体,按照齿数  $z$  进行等分阵列,则可建立双基锥螺旋伞齿轮整体模型,完成双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计。

[0036] 各步骤中的标记为：

[0037]  $z$ ——齿数

[0038]  $B$ ——齿宽

[0039]  $\beta$ ——螺旋角

[0040]  $\Sigma$ ——轴交角

[0041]  $\rho$ ——球坐标系极径,图 2 中的  $\overline{ON_1}$

[0042]  $\theta$ ——有向线段  $\overline{ON_1}$  与  $z$  轴正向的夹角

[0043]  $\phi$ ——从正  $z$  轴来看自  $x$  轴按逆时针方向转到  $OS$  所转过的角,这里  $S$  为点  $P$  在  $xOy$  面上的投影

[0044]  $m_t$ ——端面模数

[0045]  $d$ ——分度圆直径

[0046]  $R$ ——外锥距

[0047]  $R_m$ ——中点锥距

[0048]  $\alpha_d$ ——驱动侧齿形角

[0049]  $\alpha_c$ ——非驱动侧齿形角

[0050]  $k$ ——齿形角系数

[0051]  $\delta_1$ ——分锥角

[0052]  $\varphi_d$ ——驱动齿侧分度圆偏角

[0053]  $\varphi_c$ ——非驱动齿侧分度圆偏角

[0054]  $\delta_{ad}$ ——驱动侧顶锥角

[0055]  $\delta_{ac}$ ——非驱动侧顶锥角

[0056]  $\delta_{fd}$ ——驱动侧根锥角

[0057]  $\delta_{fc}$ ——非驱动侧根锥角

[0058]  $\delta_{bd}$ ——驱动侧基圆锥角

[0059]  $\delta_{bc}$ ——非驱动侧基圆锥角

[0060]  $\delta'$ ——节锥角

[0061]  $\varphi_p$ ——齿向线偏角

[0062]  $d_a$ ——齿轮齿顶圆直径

[0063]  $d_f$ ——齿轮齿根圆直径

[0064]  $r_0$ ——刀盘半径

- [0065]  $L_1$ ——刀盘中心到锥顶中心的距离  
 [0066]  $S$ ——齿向线的相对于刀盘中心的圆心偏角  
 [0067]  $j$ ——齿向线的相对于锥顶中心的圆心偏角  
 [0068]  $\beta_p$ ——齿根偏角  
 [0069]  $\theta_{fd}$ ——驱动侧齿根角  
 [0070]  $\theta_{fc}$ ——非驱动侧齿根角  
 [0071]  $h_{ad}$ ——驱动侧齿顶高  
 [0072]  $h_{ac}$ ——非驱动侧齿顶高  
 [0073]  $h_{fd}$ ——驱动侧齿根高  
 [0074]  $h_{fc}$ ——非驱动侧齿根高  
 [0075]  $x$ ——高度变位系数  
 [0076]  $x_t$ ——切向变位系数。

[0077] 由于双基锥螺旋伞齿轮的驱动侧和非驱动侧具有不同的基锥、顶锥和根锥等齿轮参数,与传统螺旋伞齿轮的几何特性和设计方法完全不同,因此需要建立一种双基锥螺旋伞齿轮的齿形设计方法,为进行刀具设计、加工制造、齿根弯曲疲劳强度计算和齿面接触疲劳强度计算奠定基础。

[0078] 本发明针对车辆等以单向传动为主的齿轮传动机构,改善了螺旋伞齿轮的性能,提供在驱动面采用大齿形角,在非驱动面采用小齿形角,既增大了驱动方向齿轮承载能力,又避免了齿顶变尖,能有效提高螺旋伞齿轮承载能力、疲劳寿命和输出扭矩,并降低传动振动和噪声的一种双基锥螺旋伞齿轮齿形的设计方法。

#### 附图说明

- [0079] 图 1 为双基锥螺旋伞齿轮锥面和锥角。  
 [0080] 图 2 为双基锥螺旋伞齿轮驱动侧、非驱动侧球面渐开线形成。  
 [0081] 图 3 为双基锥螺旋伞齿轮刀盘与轮坯相对位置示意图。  
 [0082] 图 4 为双基锥螺旋伞齿轮的建模过程。  
 [0083] 图 5 为双基锥螺旋伞齿轮副啮合模型。  
 [0084] 在图中,各标记为:1——双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿形,2——双基锥螺旋伞齿轮非驱动侧齿形,3——双基锥螺旋伞齿轮齿顶,4——双基锥螺旋伞齿轮齿根,5——双基锥螺旋伞齿轮齿向线。

#### 具体实施方式

[0085] 参见图 1 ~ 5,双基锥螺旋伞齿轮设有 5 个锥面、4 个锥角、2 个基锥;单个轮齿法向齿廓由齿顶圆、齿根圆、驱动侧齿形曲线、非驱动侧齿形曲线、齿向线组成,所述 5 个锥面分别为面锥、根锥、节锥、背锥和前锥,所述 4 个锥角分别为面角、根角、节角、背角;如图 1 所示。

[0086] 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿面  $\Omega_1$  与基圆锥角为  $\delta_{bd}$  的第 1 基锥(在图 2 中表示为基锥 11)相切于  $OP_1$ ,当  $\Omega_1$  沿基锥 1 做纯滚动时,平面上以  $O$  为回转中心的圆弧线如  $M_1N_1$  与  $M_2N_2$  将在空间形成螺旋伞齿轮驱动侧与非驱动侧齿面。由于螺旋伞齿轮两侧齿形角不



同,所以两侧齿面开始处的基锥不同,如图 2 所示。在图 2 中还标出第 2 基锥(在图 2 中表示为基锥 21)。

[0087] 通过坐标变换,将双基锥螺旋伞齿轮大端齿廓球面渐开线转换到球面坐标系,经推导,在球坐标系下双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿面大端齿廓在球坐标系下方程为

[0088]

$$\begin{cases} rho = R \\ theta = \delta_f + (\delta_a - \delta_f) \times t \\ phi = \arccos[\cos(theta) / \cos \delta_{bd}] / \sin \delta_{bd} - \arccos[\tan \delta_{bd} / \tan(theta)] - \pi / 2z - \varphi_d \end{cases} \quad (1)$$

[0089] 驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_d$  和驱动侧基圆锥角  $\delta_{bd}$  可由下式求得

[0090]

$$\varphi_d = \frac{1}{\sin \delta_{bd}} \arccos \frac{\cos \delta'}{\cos \delta_{bd}} - \arccos \frac{\tan \delta_{bd}}{\tan \delta'} \quad (2)$$

$$\delta_{bd} = \delta' - \arctan[(1 - \alpha_d) \tan \delta'] \quad (3)$$

[0092] 双基锥螺旋伞齿轮非驱动侧齿面大端齿廓在球坐标系下方程为

[0093]

$$\begin{cases} rho = R \\ theta = \delta_f + (\delta_a - \delta_f) \times t \\ phi = -\arccos[\cos(theta) / \cos \delta_{bc}] / \sin \delta_{bc} + \arccos[\tan \delta_{bc} / \tan(theta)] + \pi / 2z + \varphi_c \end{cases} \quad (4)$$

[0094] 非驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_c$  和非驱动齿侧基圆锥角  $\delta_{bc}$  可由下式求得

[0095]

$$\varphi_c = \frac{1}{\sin \delta_{bc}} \arccos \frac{\cos \delta'}{\cos \delta_{bc}} - \arccos \frac{\tan \delta_{bc}}{\tan \delta'} \quad (5)$$

$$\delta_{bc} = \delta' - \arctan\{[1 - \arccos(k \cos \alpha_d)] \tan \delta'\} \quad (6)$$

[0097] 双基锥螺旋伞齿轮的齿向线是由轮坯和刀盘的相对位置形成的,如图 3 所示。

[0098] 根据设计要求的螺旋角  $\beta$  及加工时所选用的刀盘半径  $r_0$ ,确定铣刀盘中心位置与轮冠轴心的位置关系,然后通过坐标变换,将齿向线方程转换到球面坐标系。在球坐标系下,其齿向线方程为:

[0099]

$$\begin{cases} rho = r_0 \sin S / \sin j \\ theta = \delta' \\ phi = \varphi_p - (j - j_0) / \sin \delta' \end{cases} \quad (7)$$

[0100] 式中,  $\varphi_p$  为齿向线偏角,两个夹角  $S$  和  $j$  可由下式求得

[0101]

$$S = \pi - \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - R^2}{2L_1 r_0} + \left[ \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - R^2}{2L_1 r_0} - \arccos \frac{L_1^2 + r_0^2 - (R - B)^2}{2L_1 r_0} \right] \times t \quad (8)$$

$$[0102] \quad j = \arctan \frac{r_0 \sin S}{L_1 + r_0 \cos S} \quad (9)$$

[0103] 由图 3 中所示的刀盘位置可知,当刀盘由大端走到小端时,  $j$  角对应一个夹角  $Q$ ,  $Q = j/\sin \delta'$ , 因此,最外点及最内点所对应的夹角分别为  $Q_0 = j_0/\sin \delta'$  和  $Q_1 = j_1/\sin \delta'$ 。两角之差  $Q_1 - Q_0$  即为从大端到小端相应的双基锥齿形曲线在球坐标系中转过角度,根据  $Q_1 - Q_0$  并将式 (1)、(4) 中  $\rho$  的值变为  $R - B$ , 即可求得双基锥螺旋伞齿轮轮齿小端驱动侧与非驱动侧齿廓在球坐标系下的方程。

[0104] 双基锥螺旋伞齿轮齿顶圆直径为:

$$[0105] \quad d_a = m_t z + 2h_{ad} \cos \delta_d \quad (10)$$

[0106] 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧和非驱动侧顶锥角为:

$$[0107] \quad \delta_{ad} = \delta_d + \theta_{fd} \quad (11)$$

$$[0108] \quad \delta_{ac} = \delta_c + \theta_{fc} \quad (12)$$

[0109] 双基锥螺旋伞齿轮齿根圆直径为:

$$[0110] \quad d_f = m_t z - h_{fd} \cos \delta_d \quad (13)$$

[0111] 双基锥螺旋伞齿轮驱动侧和非驱动侧根锥角为:

$$[0112] \quad \delta_{fd} = \delta_d - \theta_{fd} \quad (14)$$

$$[0113] \quad \delta_{fc} = \delta_c - \theta_{fc} \quad (15)$$

[0114] 按上述将步骤可以建立双基锥螺旋伞齿轮的齿廓曲面,并建立螺旋伞齿轮单齿实体,按照齿数  $z$  进行等分阵列,则可建立双基锥螺旋伞齿轮整体模型。

[0115] 根据双基锥螺旋伞齿轮的设计要求,选择合适的模数、法面驱动侧、非驱动侧齿形角、齿顶高系数、变位系数、径向间隙系数、齿数、螺旋角、旋向等基本设计参数,然后根据换算关系,计算各参数。

[0116] a) 根据端面模数  $m_t$ 、齿数  $z$ 、齿宽  $B$ 、螺旋角  $\beta$ 、轴交角  $\Sigma$ 、驱动侧齿形角  $\alpha_d$ 、非驱动侧齿形角  $\alpha_c$ 、变位系数  $x$  等参数可以求得驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_d$ 、驱动齿侧基圆锥角  $\delta_{bd}$ 、非驱动齿侧分度圆偏角  $\varphi_c$  和非驱动齿侧基圆锥角  $\delta_{bc}$  等参数,根据齿形方程 (1) ~ (6),可以建立双基锥螺旋伞齿轮大端驱动侧齿形、大端非驱动侧齿形、小端驱动侧齿形和小端非驱动侧齿形。

[0117] b) 按照上述参数,根据方程 (10) ~ (15),可以建立双基锥螺旋伞齿轮大端齿根圆弧、大端齿顶圆弧、小端齿根圆弧和小端齿顶圆弧。

[0118] c) 按照上述参数,根据方程 (7) ~ (9),可以建立双基锥螺旋伞齿轮驱动侧齿向线和非驱动侧齿向线。

[0119] d) 生成第一个双基锥螺旋伞齿轮单齿的实体。

[0120] e) 按照齿数  $z$  进行等分阵列,则可建立双基锥螺旋伞齿轮全齿模型。

[0121] 按照表 1 给定的双基锥螺旋伞齿轮的参数,建立模型过程如图 4 所示。

[0122] 表 1 双基锥螺旋伞齿轮参数

[0123]

齿轮参数	数值
模数 $m/\text{mm}$	4
齿数 $z$	$z_1=19, z_2=28$
螺旋角 $\beta/^\circ$	$35^\circ$ 左旋
驱动侧	主动轮为凹面, 从动轮为凸面
齿形角 $\alpha/^\circ$	$\alpha_d=30^\circ$
高度变位系数 $x$	$x=-0.21$
切向变位系数 $x_t$	$x_t=-0.018$
齿形角系数 $k$	$k=1.085$

[0124] 按上述将步骤可以建立双基锥螺旋伞齿轮的齿廓曲面, 并建立双基锥螺旋伞齿轮单齿实体, 按照齿数  $z$  进行等分阵列, 则可建立双基锥螺旋伞齿轮主动轮、被动轮啮合模型, 如图 5 所示。

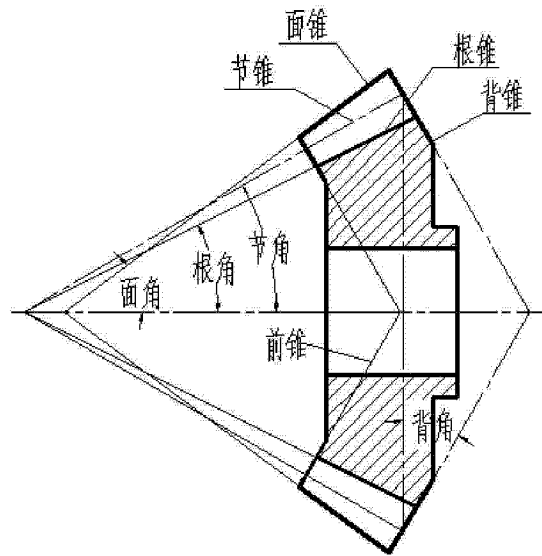


图 1

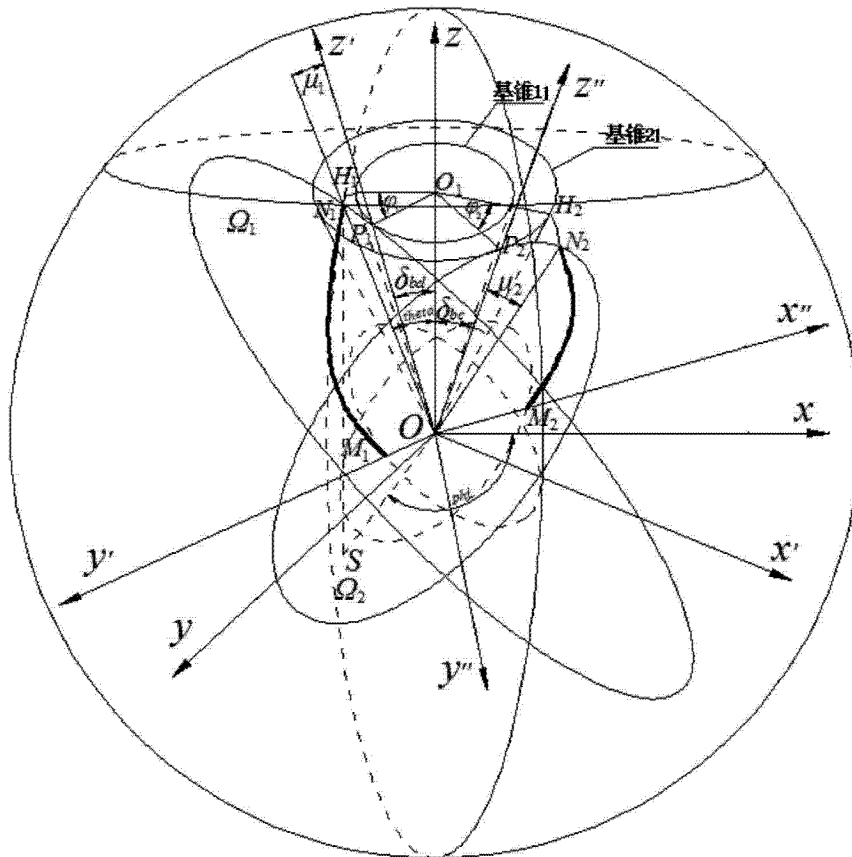


图 2

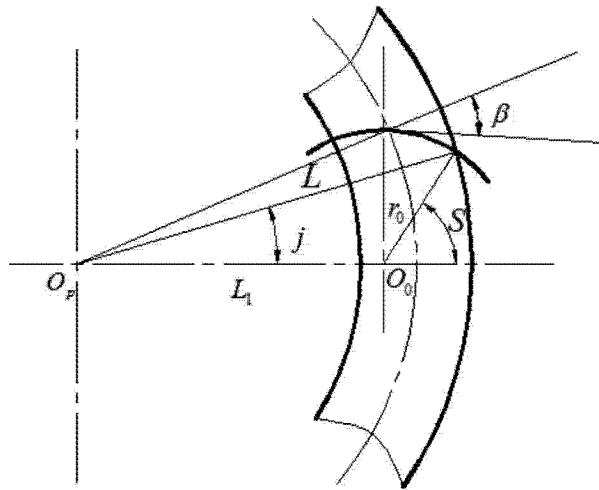


图 3

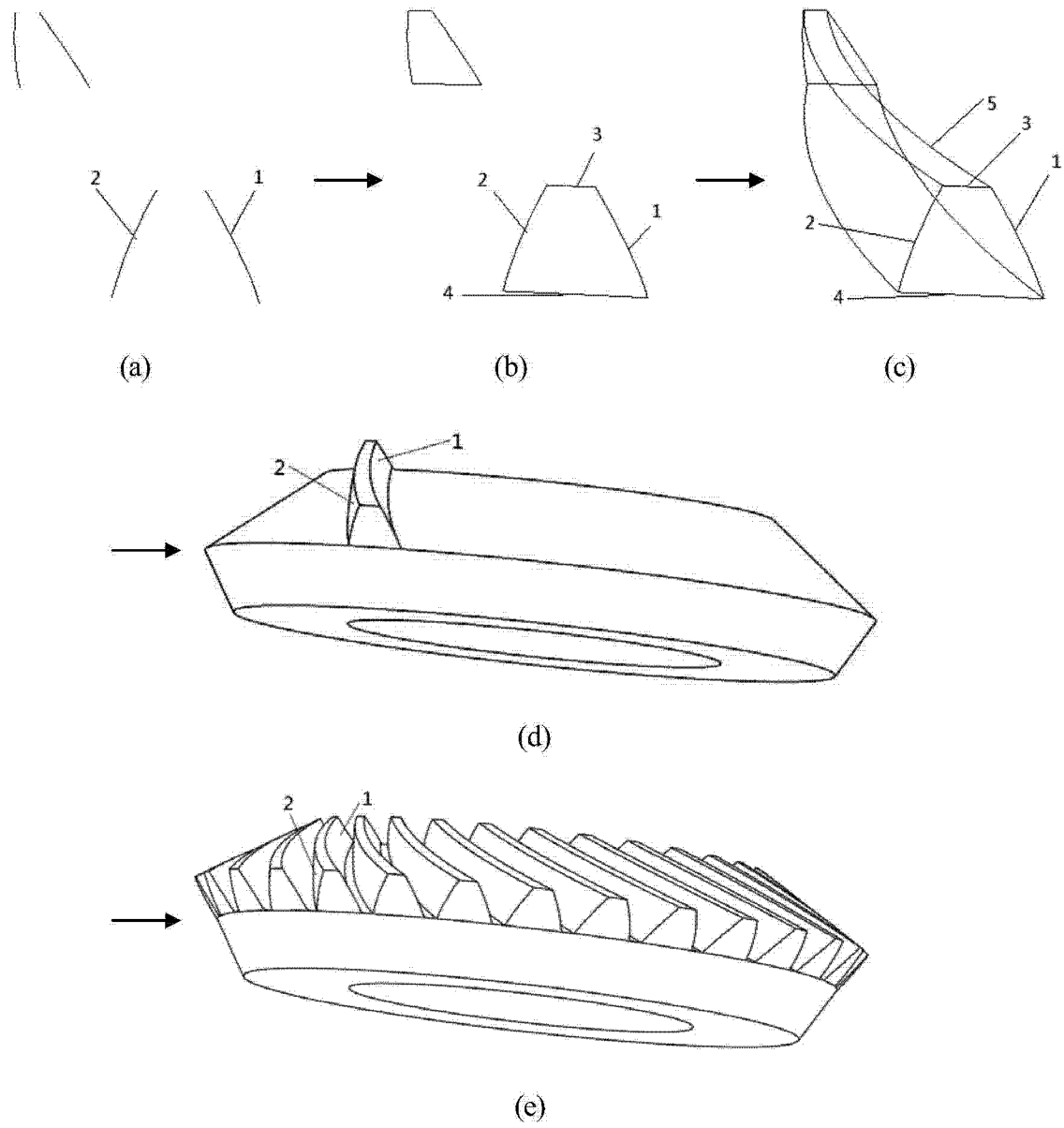


图 4

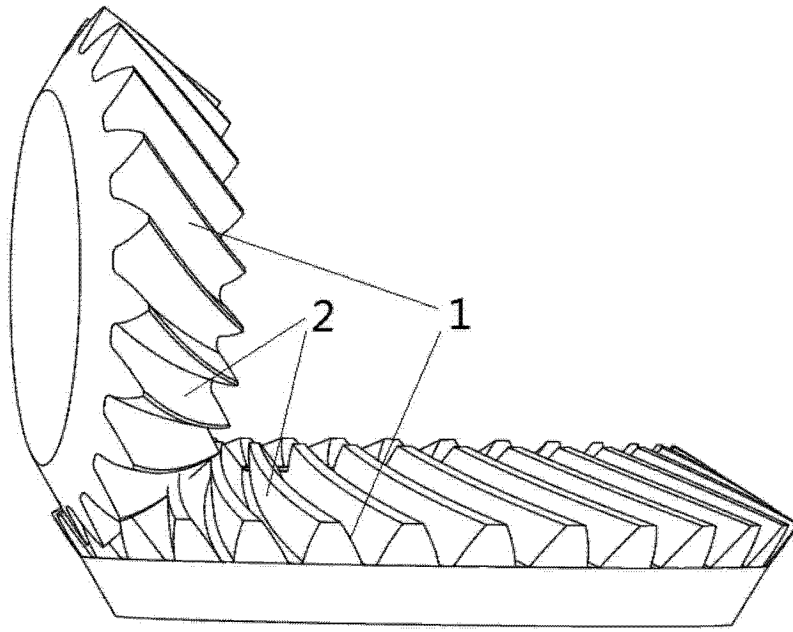


图 5