



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112966341 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 24

(21) 申请号 202110092911.1

G06F 119/18 (2020.01)

(22) 申请日 2021.01.25

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 104832623 A, 2015.08.12

申请公布号 CN 112966341 A

CN 106383942 A, 2017.02.08

CN 107626987 A, 2018.01.26

(43) 申请公布日 2021.06.15

CN 110929349 A, 2020.03.27

(73) 专利权人 北京工业大学

审查员 俞姝颖

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72) 发明人 于渤 寇寒林 石照耀

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理

有限公司 11203

专利代理师 沈波

(51) Int. Cl.

G06F 30/17 (2020.01)

G06F 30/20 (2020.01)

F16H 55/08 (2006.01)

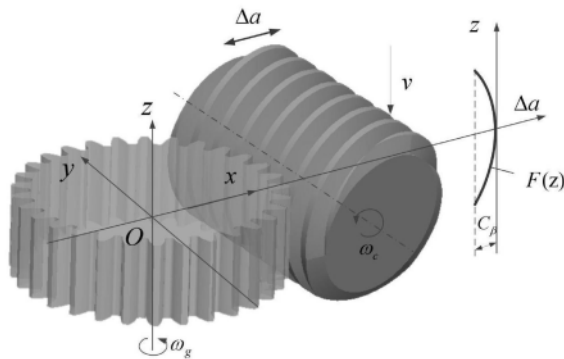
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型方法

(57) 摘要

本发明公开了斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型方法,属于齿轮机械制造领域。本方法提出了一种新的齿面扭曲近似模型,利用简单的数学形式,直观的表达了齿面扭曲误差与齿轮参数以及齿轮修形参数之间的关系。首先,分析产生齿面扭曲的原因;其次,建立齿轮啮合面坐标系;最后,在齿轮啮合面坐标系的基础上,建立斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型。这种方法建立齿轮参数与齿面修形之间的具体关系,简化齿面扭曲的建模过程,为齿轮设计过程中减小齿面扭曲误差提供支撑。



1. 斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型构建方法,其特征在于:  
建立齿面扭曲近似模型,根据齿轮修形的设计参数获得齿面扭曲参数;  
具体步骤如下:

S1. 建立齿向中鼓修形模型:

齿轮齿向中鼓修形是通过在砂轮轴向进给的过程中变化中心距来实现的,砂轮沿着齿轮轴向Z轴进给,在进给的过程中,中心距 $a$ 不再是恒定值,新的中心距 $a_{\text{mod}}$ 定义如下:

$$a_{\text{mod}} = a + \Delta a$$

根据中鼓修形的要求,中心距变换轨迹为抛物线时, $\Delta a = kz^2$ , $z$ 为齿轮轴向坐标; $k$ 为中鼓修形大小参数;

产生扭曲齿面,当砂轮移动至修形轨迹顶点时,会产生接触点轨迹线 $A_a A_f$ , $A$ 是齿宽中部分度圆上的点,接触点 $A_a$ 和 $A_f$ 分别向齿轮的两个端面偏移;修形的抛物线整体发生偏移, $A_a$ 所在抛物线向齿轮上端面偏移, $A_f$ 所在抛物线向齿轮下端面偏移;在齿顶螺旋线上,上端面终点 $B$ 点修形量小于下端面终点 $E$ 点修形量,在齿根螺旋线上,上端面终点 $C$ 点修形量大于下端面终点 $D$ 点修形量;

S2. 建立啮合面坐标系:

在啮合面坐标系下表达齿轮扭曲的误差分布情况;啮合面是与基元相切的平面,啮合面与齿面交线为渐开螺旋面的发生线;端面渐开线展开长度方向为 $X_n$ ,在啮合面内与 $X_n$ 垂直的方向为 $Z_n$ ;根据齿面坐标系和啮合面坐标系的几何关系得到

$$\begin{cases} X_n = r_b * \varphi \\ Z_n = z \end{cases}$$

其中, $r_b$ 是齿轮基圆半径, $\varphi$ 为齿面滚动角, $z$ 为齿轮轴向坐标;在啮合面坐标系的基础上再加一个维度的坐标,用来表征齿面的法向误差 $\delta$ ;

S3. 建立齿面扭曲近似模型:

将带有扭曲误差的齿面转换到啮合面坐标系下,即可得到齿面扭曲近似模型; $A$ 表示齿宽中部分度圆上的点; $BCDE$ 长方形区域对应修形前齿面, $CD$ 为齿根螺旋线, $BE$ 为齿顶螺旋线, $BC$ 和 $DE$ 分别对应上端面和下端面的端面齿廓渐开线;

$\Delta a = kz^2$ 是沿着齿轮半径方向的函数;半径方向的误差值与齿面的法向误差值存在如下关系:

$$\delta = \Delta a \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

其中 $\alpha_t$ 是端面压力角, $\beta_b$ 是基圆螺旋角;

$A_a A_f$ 是 $\Delta a = 0$ 时的接触点轨迹,在啮合面坐标系下, $A_a A_f$ 是一条直线,与端面渐开线的夹角为 $\beta_b$ ,根据三角函数关系,计算

$$\begin{cases} \Delta z_a = L_a \sin \beta_b \\ \Delta z_f = L_f \sin \beta_b \end{cases}$$

$\Delta z_a$ 指的是齿顶抛物线顶点偏移量, $\Delta z_f$ 指的是齿根抛物线偏移量; $L_a$ 表示齿顶到分度圆之间展开长度差值, $L_f$ 表示齿根到分度圆之间展开长度差值;

因此,齿顶和齿根的螺旋线误差曲线写成如下形式:

$$\begin{cases} \delta_a = k(Z_n - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b \\ \delta_f = k(Z_n - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b \end{cases}$$

根据B、C、D和E点的 $Z_n$ 坐标值,计算出这四点位置的法向误差值:

$$\delta_B = k(1/2 - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$\delta_C = k(1/2 - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$\delta_D = k(-1/2 - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$\delta_E = k(-1/2 - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

在啮合面坐标系下,BC和DE的齿廓偏差近似为直线,因此根据ISO21771:2007中的计算公式,计算齿面扭曲误差 $S_\alpha$

$$\begin{aligned} S_\alpha &= |C_{HaBC} - C_{HaDE}| \\ &= |F(m_n, N, l, r_b)| \sin \alpha_t \sin \beta_b \cos \beta_b \end{aligned}$$

$m_n$ 为齿轮法向模数, $N$ 为齿数, $l$ 为齿宽;

式中 $F(m_n, N, l, r_b)$ 是与齿轮参数和修形参数相关的函数,当选取修形形状为抛物线修形时,齿面扭曲误差 $S_\alpha$ 如下

$$S_\alpha = |2klL| \sin \alpha_t \sin \beta_b \cos \beta_b$$

其中 $L = L_a - L_f$ ;得到齿面扭曲误差的计算模型,从计算模型中可知,齿面扭曲误差的大小与基圆螺旋角 $\beta_b$ 、端面压力角 $\alpha_t$ 、齿宽 $l$ 、中鼓修形大小参数 $k$ 以及渐开线展开长度的相关量 $L$ 有关;根据 $L$ 的计算公式,分析齿面扭曲还和齿轮模数 $m_n$ 、齿数 $N$ 以及基圆半径 $r_b$ 有关。

2. 根据权利要求1所述的斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型构建方法,其特征在于:所述的齿面扭曲近似模型适用于在齿轮齿向修形设计阶段,计算齿轮扭曲。

3. 根据权利要求1所述的斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型构建方法,其特征在于:所述方法应用于磨齿加工工艺和滚齿加工工艺。

## 斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种斜齿轮齿向中鼓修形加工的齿面扭曲近似模型,属于齿轮机械制造领域。

### 背景技术

[0002] 齿面修形分为齿形修形和齿向修形,齿形修形是通过砂轮的横截面积进行修整,实现设计齿形的加工。齿向修形是通过砂轮轴向给进时,改变砂轮和齿轮的中心距,从而实现设计齿面的加工。因为这种齿向修形技术本身存在的原理误差,导致齿轮齿面会产生扭曲,影响齿轮的使用性能。

[0003] 对于齿轮扭曲的评价,在ISO21771:2007中给予了明确的规定,分别通过螺旋线的旋转和截面齿廓的旋转定义了齿面的扭曲。这两种方式都是根据齿面误差的实测数据,通过计算获得齿面扭曲,并没有利用齿面扭曲的产生原因,进一步关联齿面扭曲和齿轮设计参数的关系。在齿轮设计过程中,如果想要获得齿面扭曲信息,需要采用啮合原理计算齿向修行方法加工出的理论齿面,但是这种方法计算过程复杂,并且不能直观的展示出影响齿面扭曲的关键参数。

[0004] 目前,对于齿面扭曲的数学模型的研究仍有不足,基于啮合原理建模的方法使设计人员无法快速的了解设计参数与齿面扭曲的关系。为了直观的表现出齿轮设计参数与齿面扭曲误差的关系,这就需要建立简洁准确的齿面扭曲模型。

### 发明内容

[0005] 为了直观的表现出齿轮设计参数与齿面扭曲误差的关系,有必要建立齿面扭曲模型。

[0006] 本发明采用的技术方案为斜齿轮齿向鼓修形加工的齿面扭曲近似模型方法,首先,建立齿向中鼓修形模型;其次,在啮合面坐标系上表示齿轮修形产生的法向误差;最后,建立齿面扭曲近似模型。

[0007] 具体步骤如下:

[0008] S1. 齿向中鼓修形模型中:

[0009] 齿轮齿向中鼓修形是通过在砂轮轴向进给的过程中变化中心距来实现的,如图1所示。砂轮沿着齿轮轴向Z轴进给,在进给的过程中,中心距 $a$ 不再是恒定值,新的中心距 $a_{\text{mod}}$ 定义如下:

$$[0010] \quad a_{\text{mod}} = a + \Delta a$$

[0011]  $\Delta a = F(z)$  表示中心距变化量,根据中鼓修形的要求不同,定义为不同的函数。例如中心距变换轨迹为抛物线,设为 $F(z) = kz^2$ 。

[0012] 产生如图2所示的扭曲齿面,当砂轮移动至修形轨迹顶点时,会产生接触点轨迹线 $A_a A_f$ , $A$ 是齿宽中部分度圆上的点,接触点 $A_a$ 和 $A_f$ 分别向齿轮的两个端面偏移。修形的抛物线整体发生偏移, $A_a$ 所在抛物线向齿轮上端面偏移, $A_f$ 所在抛物线向齿轮下断面偏移。在齿顶

螺旋线上,上端面终点B点修形量小于下端面终点E点修形量,在齿根螺旋线上,上端面终点C点修形量大于下端面终点D点修形量。

[0013] S2.建立啮合面坐标系中:

[0014] 在啮合面坐标系下表达齿轮扭曲的误差分布情况。如图3所示,啮合面是与基元相切的平面,啮合面与齿面交线为渐开螺旋面的发生线。端面渐开线展开长度方向为 $X_n$ ,在啮合面内与之垂直的方向为 $Z_n$ 。根据齿面坐标系和啮合面坐标系的几何关系可以得到

$$[0015] \quad \begin{cases} X_n = r_b * \varphi \\ Z_n = z \end{cases}$$

[0016] 其中, $r_b$ 是齿轮基圆半径, $\varphi$ 为齿面滚动角, $z$ 为齿轮轴向坐标。在啮合面坐标系的基础上再加一个维度的坐标,用来表征齿面的法相误差 $\delta$ 。

[0017] S3.建立齿面扭曲近似模型中:

[0018] 将带有扭曲误差的齿面转换到啮合面坐标系下,即可得到齿面扭曲近似模型。 $A$ 表示齿宽中部,分度圆上的点。 $BCDE$ 长方形区域对应修形前齿面, $CD$ 为齿根螺旋线, $BE$ 为齿顶螺旋线, $BC$ 和 $DE$ 分别对应上端面和下端面的端面齿廓渐开线。 $Curve_f$ 是齿顶修行后法向误差, $Curve_a$ 是齿根修行后法向误差,

[0019]  $\Delta a = kz^2$ 是沿着齿轮半径方向的函数。半径方向的误差值与齿面的法向误差指存在如下关系。

$$[0020] \quad \delta = \Delta a \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

[0021] 其中 $\alpha_t$ 是端面压力角, $\beta_b$ 是基圆螺旋角。

[0022]  $A_a A_f$ 是 $\Delta a = 0$ 时的接触点轨迹,在啮合面坐标系下, $A_a A_f$ 是一条直线,与端面渐开线的夹角为 $\beta_b$ ,根据三角函数关系,可以计算

$$[0023] \quad \begin{cases} \Delta z_a = L_a \sin \beta_b \\ \Delta z_f = L_f \sin \beta_b \end{cases}$$

[0024]  $\Delta z_a$ 指的是齿顶抛物线顶点偏移量, $\Delta z_f$ 指的是齿根抛物线偏移量。 $L_a$ 表示齿顶到分度圆之间展开长度差值, $L_f$ 表示齿根到分度圆之间展开长度差值。

[0025] 因此,齿顶和齿根的螺旋线误差曲线写成如下形式:

$$[0026] \quad \begin{cases} \delta_a = k(z_n - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b \\ \delta_f = k(z_n - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b \end{cases}$$

[0027] 根据B、C、D和E点的 $Z_n$ 坐标值,计算出这四点位置的法向误差值:

$$[0028] \quad \delta_B = k(1/2 - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$[0029] \quad \delta_C = k(1/2 - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$[0030] \quad \delta_D = k(-1/2 - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$[0031] \quad \delta_E = k(-1/2 - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

[0032] 1指的是齿宽。在啮合面坐标系下, $BC$ 和 $DE$ 的齿廓偏差近似为直线,因此可以根据ISO21771:2007中的计算公式,计算齿面扭曲误差 $S_\alpha$

$$[0033] \quad S_\alpha = |C_{HaBC} - C_{HaDE}|$$

$$[0034] \quad = |F(m_n, N, l, r_b)| \sin \alpha_t \sin \beta_b \cos \beta_b$$

[0035]  $C_{H\alpha BC}$ 是BC端面的扭曲值,  $C_{H\alpha DE}$ 是DE端面的扭曲值, 式中 $F(m_n, N, l, r_b)$ 是与齿轮基本参数和修形参数相关的函数, 当选取修形形状为抛物线修形时, 齿面扭曲误差 $S_\alpha$ 如下

$$[0036] \quad S_\alpha = |2klL| \sin\alpha_t \sin\beta_b \cos\beta_b$$

[0037] 其中 $L=L_a-L_f$ 。得齿面扭曲误差的计算模型, 齿面扭曲误差的大小与基圆螺旋角 $\beta_b$ 、端面压力角 $\alpha_t$ 、齿宽 $l$ 、中鼓修形大小参数 $k$ 以及渐开线展开长度的相关量 $L$ 。根据 $L$ 的计算公式, 齿面扭曲还和齿轮模数 $m_n$ 、齿数 $N$ 以及基圆半径 $r_b$ 有关。

[0038] 与现有技术相比较, 本发明的优势如下:

[0039] IS021771:2007给出了根据实际测量结果的齿面扭曲误差计算方法, 而本模型可以直接根据齿轮设计参数计算扭曲误差;

[0040] 齿轮设计人员在齿轮设计阶段, 根据本模型预测出所设计齿轮的扭曲误差;

[0041] 根据本模型得到设计参数和齿轮扭曲误差的关系;

[0042] 本模型与齿面接触分析模型相比, 更加简洁直观, 通过软件算法实现, 速度更快。

## 附图说明

[0043] 图1是齿向中鼓修形加工示意图。

[0044] 图2是齿面扭曲现象示意图。

[0045] 图3是啮合面示意图。

[0046] 图4是啮合面坐标系下的齿面扭曲近似模型示意图。

## 具体实施方式

[0047] 以下结合具体加工实例对本发明进行说明:

[0048] 修形齿轮参数: 法向压力角 $\alpha_n = 27.5^\circ$ , 法向模数 $m_n = 4\text{mm}$ , 齿数 $Z = 48$ , 螺旋角 $\beta = 30^\circ$ , 齿宽 $l = 40\text{mm}$ , 齿顶高 $h_a = 4\text{mm}$ , 齿根高 $h_f = 5\text{mm}$ , 齿向中鼓量 $C_\beta = 0.1\text{mm}$ , 右旋。

[0049] S1. 齿向中鼓修形模型

[0050] 齿轮齿向中鼓修形是通过在砂轮轴向进给的过程中变化中心距来实现的, 如图1所示。砂轮沿着齿轮轴向 $Z$ 轴进给, 在进给的过程中, 中心距 $a$ 不在是恒定值, 新的中心距 $a_{\text{mod}}$ 定义如下:

$$[0051] \quad a_{\text{mod}} = a + \Delta a$$

[0052]  $\Delta a = F(z)$  根据中鼓修形的要求不同, 可以定义为不同的函数。例如中心距变换轨迹为抛物线, 设为 $F(z) = kz^2$ 。

[0053] 产生如图2所示的扭曲齿面, 当砂轮移动至修形轨迹顶点时, 会产生接触点轨迹线 $A_a A_f$ ,  $A$ 是齿宽中部分度圆上的点, 接触点 $A_a$ 和 $A_f$ 分别向齿轮的两个端面偏移。修形的抛物线整体发生偏移,  $A_a$ 所在抛物线向齿轮上端面偏移,  $A_f$ 所在抛物线向齿轮下断面偏移。在齿顶螺旋线上, 上端面终点 $B$ 点修形量小于下端面终点 $E$ 点修形量, 在齿根螺旋线上, 上端面终点 $C$ 点修形量大于下端面终点 $D$ 点修形量。

[0054] S2. 建立啮合面坐标系

[0055] 在啮合面坐标系下表达齿轮扭曲的误差分布情况。如图3所示, 啮合面是与基元相切的平面, 啮合面与齿面交线为渐开螺旋面的发生线。端面渐开线展开长度方向为 $X_n$ , 在啮合面内与之垂直的方向为 $Z_n$ 。根据齿面坐标系和啮合面坐标系的几何关系可以得到

$$[0056] \quad \begin{cases} X_n = r_b * \varphi \\ Z_n = z \end{cases}$$

[0057] 其中,  $r_b$  是齿轮基圆半径,  $\varphi$  为齿面滚动角,  $z$  为齿轮轴向坐标。在啮合面坐标系的基础上再加一个维度的坐标, 用来表征齿面的法相误差  $\delta$ 。

[0058] S3. 建立齿面扭曲近似模型

[0059] 将带有扭曲误差的齿面转换到啮合面坐标系下, 如图4所示, 即可得到齿面扭曲近似模型。A表示齿宽中部, 分度圆上的点。BCDE长方形区域对应修形前齿面, CD为齿根螺旋线, BE为齿顶螺旋线, BC和DE分别对应上端面和下端面的端面齿廓渐开线。Curvef是齿顶修行后法向误差, Curvea是齿根修行后法向误差,

[0060]  $\Delta a = kz^2$  是沿着齿轮半径方向的函数。半径方向的误差值与齿面的法向误差指存在如下关系。

$$[0061] \quad \delta = \Delta a \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

[0062] 其中  $\alpha_t$  是端面压力角,  $\beta_b$  是基圆螺旋角。

[0063]  $A_a A_f$  是  $\Delta a = 0$  时的接触点轨迹, 在啮合面坐标系下,  $A_a A_f$  是一条直线, 与端面渐开线的夹角为  $\beta_b$ , 根据三角函数关系, 可以计算

$$[0064] \quad \begin{cases} \Delta z_a = L_a \sin \beta_b \\ \Delta z_f = L_f \sin \beta_b \end{cases}$$

[0065]  $\Delta z_a$  指的是齿顶抛物线顶点偏移量,  $\Delta z_f$  指的是齿根抛物线偏移量。  $L_a$  表示齿顶到分度圆之间展开长度差值,  $L_f$  表示齿根到分度圆之间展开长度差值。

[0066] 因此, 齿顶和齿根的螺旋线误差曲线可以写成如下形式:

$$[0067] \quad \begin{cases} \delta_a = k(z_n - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b \\ \delta_f = k(z_n - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b \end{cases}$$

[0068] 根据B、C、D和E点的  $Z_n$  坐标值, 可以很容易的计算出这四点位置的法向误差值:

$$[0069] \quad \delta_b = k(1/2 - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$[0070] \quad \delta_c = k(1/2 - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$[0071] \quad \delta_d = k(-1/2 - \Delta z_f)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

$$[0072] \quad \delta_e = k(-1/2 - \Delta z_a)^2 \sin \alpha_t \cos \beta_b$$

[0073] 在啮合面坐标系下, BC和DE的齿廓偏差近似为直线, 因此可以根据ISO21771:2007中的计算公式, 计算齿面扭曲误差  $S_\alpha$

$$[0074] \quad S_\alpha = |C_{H\alpha BC} - C_{H\alpha DE}|$$

$$[0075] \quad = |F(m_n, N, l, r_b)| \sin \alpha_t \sin \beta_b \cos \beta_b$$

[0076] 式中  $F(m_n, N, l, r_b)$  是与齿轮基本参数和修形参数相关的函数, 当选取修形形状为抛物线修形时, 齿面扭曲误差  $S_\alpha$  如下

$$[0077] \quad S_\alpha = |2klL| \sin \alpha_t \sin \beta_b \cos \beta_b。$$

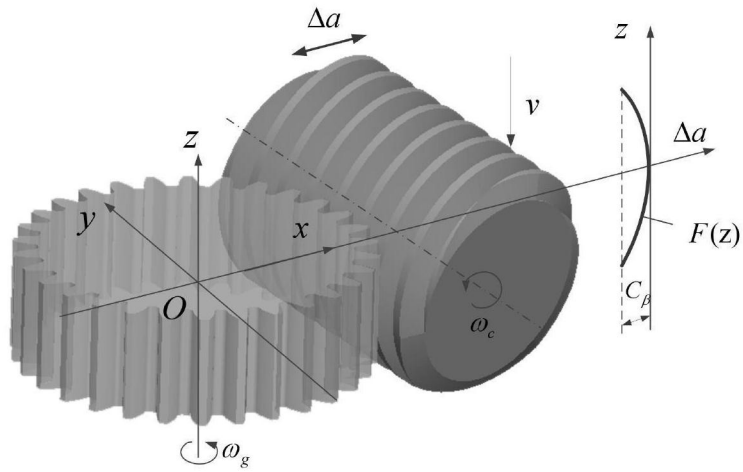


图1

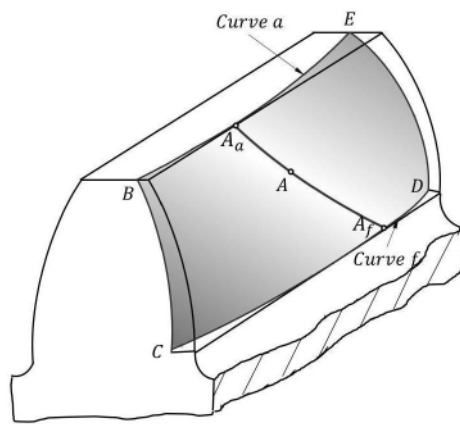


图2

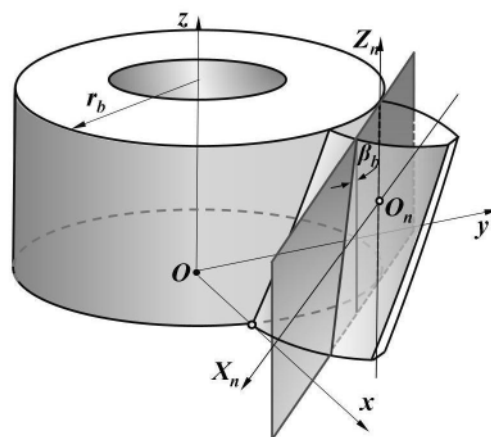


图3



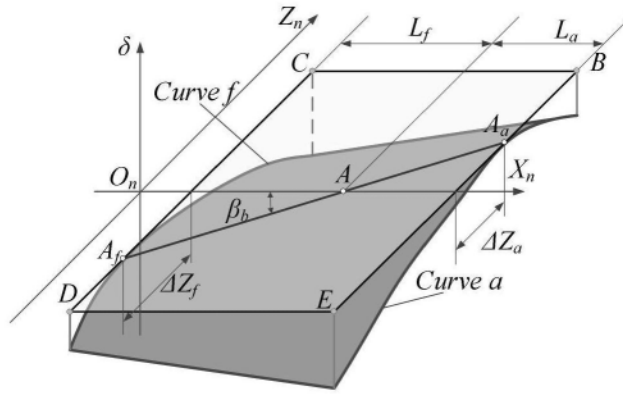


图4