

②

11-14

啮合轮齿接触有限元分析网格自动生成方法*

AUTOMATIC MESH GENERATION SCHEME IN FINITE ELEMENT CONTACT ANALYSIS OF MESHING GEARS

李润方
Li Runfang

汤庆平
Tang Qingping

陈大良
Chen Daliang

TH132.41

(重庆大学机械工程一系)

摘要 本文把齿轮啮合原理和接触问题有限元建模方法结合起来,提出了一种新的接触有限元网格自动生成算法。这种算法不同于常规的映射函数法和非映射函数法。其特点是可以精确地确定齿面间隙,因此不仅能显著提高效率,而且已成为啮合轮齿接触有限元分析的基本前提。

关键词 有限元法; 接触问题; 齿轮传动; 生成坐标方法 啮合
中国图书资料分类法分类号 TH132.41

ABSTRACT In this Paper, a new automatic mesh generation scheme is present, which combine the teeth contact analysis with the modelling of finite element cotact analysis. This procedure is diffetent from the ordinary auto—mesh—generation scheme. The presentation of this new proce-dure makes it possible to analyze the elastic contact problem of meshing gears by a finite element method.

KEY WORDS finite element methods; contact problem; gear drives; generation coordinate method.

0 引 言

在有限元分析中,与计算机的讯息交换是一个重要问题。对于大型工程问题,输入数据繁多。在全部分析工作中,至少有 50% 的时间用于输入数据,有时甚至可达 80% 的时间。因此有限元网格自动生成已引起了广泛的注意。常规的网格自动生成算法包括映射函数法和非映射函数法。例如拉普拉斯变换法、等参数变换法等。这些方法的共同特点是采用一个近似函数去模拟曲线边界,这种方法对于一般连续体的有限元分析是适用的。也可用于接触面为简单曲面的接触有限元分析,但对于斜齿轮及其他复杂啮合轮齿的接触有限元分析却不适用。因为轮齿齿面的接触迹线在齿轮旋转过程中是不断变化的,在对啮合轮齿进行接触有限元分析时,必须比较精确地确定齿面间隙。因此齿面不能采用近似曲面方程来描述,接触点对初始间隙的计算误差即使只有 $1\mu\text{m}$,也可能使接触压力的数值解相差一倍左右,误差如

* 收文日期 1991-04-01

更大甚至可以使接触迭代不收敛,如果说,在一般有限元分析中,网格自动生成方法的作用还仅仅是提高分析工作的效率,则在轮齿接触有限元分析中,网格自动生成就已经成为分析得以进行的前提条件。

1 直齿轮接触有限元分析网格自动生成

齿轮接触有限元分析模型的建立可参看文献^[1],一般情况下,在相互啮合的一对齿轮中,至少有一对齿处于接触状态,每个轮齿有两条齿廓曲线,每条齿廓曲线均由齿顶圆、齿根圆及齿侧曲线组成,齿侧曲线和齿根过渡曲线分别为渐开线和延长渐开线,能否准确地描述它们直接影响到接触应力和齿根弯曲应力的计算误差。

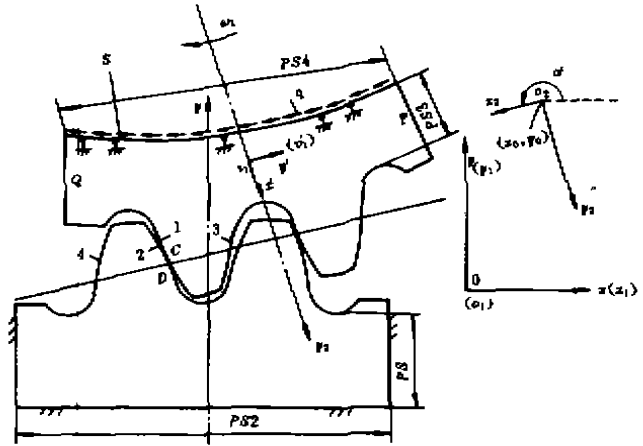


图 1

首先建立坐标系如图 1 所示, xoy 为整体坐标, $x_1o_1y_1$ 和 $x_2o_2y_2$ 分别

为被动齿轮和主动齿轮上的局部坐标系。其齿侧曲线 1 的方程为:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= r_{b2}(\cos t + t \sin t) \\ y_2 &= r_{b2}(\sin t - t \cos t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= x_2 \cos \varphi_2 - y_2 \sin \varphi_2 \\ y &= x_2 \sin \varphi_2 + y_2 \cos \varphi_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 r_{b2} — 主动齿轮的基圆半径

$$\varphi_2 = \frac{3\pi}{2} - \text{tg} \alpha_2 + \alpha_0$$

α_0 — 齿轮啮合角

α_2 — C 点的压力角

$t = \text{tg} \alpha_2$ 为参变量

曲线 2、3、4 的方程和式(1)、(2)类似。

齿根过渡曲线在与刀具固联并一起平动的局部坐标系 $x_1o_1y_1$ 下的方程为

$$x_1 = \rho \cos a' \quad (3)$$

$$y_1 = -h + \rho(\sin \beta_2 - \sin a') \quad (4)$$

式中 ρ — 刀具齿顶圆角半径

a' — 动点的参变量,若动点处的切线与 x_1 轴的夹角为 γ ,则 $\text{tg} \gamma = \text{ctg} a'$

h — 刀具上圆弧起点 A_2 到 x_1 轴的距离

β_2 — AA_2 与 x 轴之间的夹角,其中 A 为刀具齿顶圆角的圆心。

在划分网格时,首先将刀具齿顶圆角分为 k 等分,然后求得这些等分点在齿根过渡曲线上的包络点在局部加工坐标系下的坐标。求出齿侧曲线和齿根过渡曲线的交点,交点以上的

齿侧曲线采用压力角正切等分的办法将其分成 n 等分,精确地求出各等分点的整体坐标值,并将齿根过渡曲线上的局部坐标转换为整体坐标。齿轮内部节点坐标计算时,单元长宽比应小于 3,棱边夹角小于 120° 。

在轮齿旋转过程中,啮合点不断变化,不一定每一瞬时均落在粗网格的节点上,同时为了保证接触迭代收敛,因此,必须在接触区附近细分网格,为了尽快实现疏密过渡,接触区网格细化可以采用两种方案如图 2 所示,其中图 2(b) 单元形态较好。图 2(a) 中有的单元棱边夹角可能大于 150° ,接触迭代收敛性差,同时也不易实现网格自动生成。

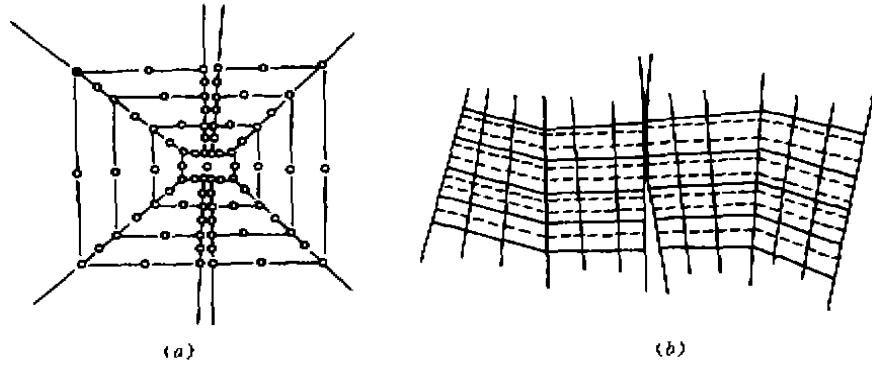


图 2

图 3 为计算机自动生成的齿轮接触二维有限元分析计算模型。

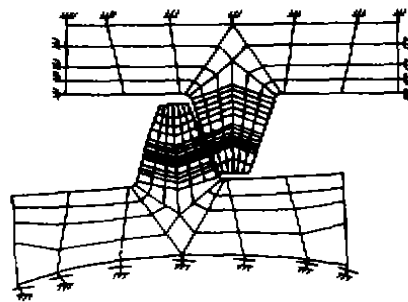


图 3

2 斜齿轮接触有限元分析网格自动生成

斜齿轮的端面就是一直齿轮薄片,斜齿轮的基本参数在法向是标准值。由于齿轮传动是单齿对和双齿对啮合交替进行,因此以双齿对啮合情况为对象建立有限元分析模型。其网格自动生成包括断面内网格划分和轴向网格划分。其断面内网格生成算法和直齿轮时的处理方法完全相同。而轴向网格划分通常采用等分法。网格划分完毕,还要进行单元和节点自动编号,对于可能接触区,单元编号可以不变,但节点编号必须相应修改,若接触节点编号始终放在非接触节点之后,则其节点编号修

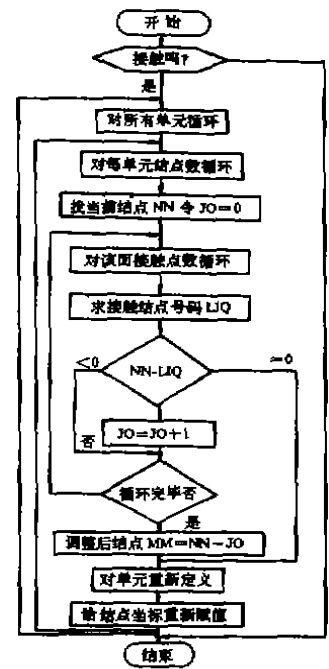


图 4

改算法框图如图4。

有限元网格自动生成和三维图形显示是不可分割的,为了实现三维物体的二维显示,需要进行投影变换。本文采用斜二侧投影和一点透视投影,以便图形具有鲜明的立体感。

除了显示有限元网格外,为了直观地了解结构形状以及变形状况,还需要对网格模型进行消隐处理。

立体图形的消隐在计算机图形学方面是一个引人注目的问题。六十年代开始研究,曾被列为几大难题之一。隐藏线、面的判断相当困难。消隐处理包括三个方面的问题即数据结构、投影变换和消隐算法,在消隐算法中包括求交运算、包含性检验及深度比较,我们采用表面消隐法,因为这种方法运算快、存贮量少,很适合于大型结构。

这种算法的基本思想是计算其外法线的法矢 \vec{N}

$$\vec{N} = A\hat{i} + B\hat{j} + C\hat{k} \quad (5)$$

对于一个多边形,如顶点逆时针方向排列则

$$\left. \begin{aligned} A &= \Sigma(y_i - y_j) \cdot (z_i + z_j) \\ B &= \Sigma(z_i - z_j) \cdot (x_i + x_j) \\ C &= \Sigma(x_i - x_j) \cdot (y_i + y_j) \end{aligned} \right\} \quad (j = \begin{cases} i+1 & i \neq n \\ 1 & i = n \end{cases}) \quad (6)$$

当 $B > 0$ 时,则该表面为可见表面,否则为不可见表面。在此判断的基础上再进行可见面间隙隐藏关系的判别,找寻线段被遮挡的位置,求可见线段各子集的交集并输出和绘制该可见线段。图5为消隐后的斜齿轮三维接触有限元分析模型。其中图(a)为整体模型,图(b)为被动齿轮。

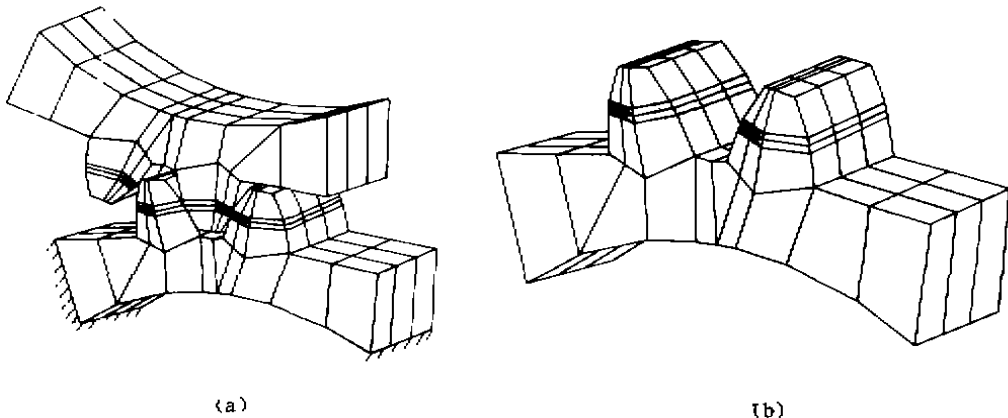


图5

参 考 文 献

- 1 李润方,丁玉成,王建军. 齿轮本体温度、热变形、弹性啮合分析及齿廓修形曲线的研究. 机械设计, 1988 (1): 1
- 2 Zienkiewicz, J. C., Phillips, D. V. An Automatic Mesh Generation Scheme for Plane and Curved Surface by Isoparametric Coordinates. Int. J. Num Meth. Engng. 3:519~528