

采用非对称渐开线齿轮减少齿根应力的研究

涂 杰

(南京化工职业技术学院, 江苏 南京 210048)

摘 要: 为了减小齿轮的齿根弯曲应力, 提高齿轮的传动能力, 本文根据非对称渐开线齿轮研究学者提出的齿廓方程构建思路进行了建模, 并用 NISA II 进行了齿轮应力变化的有限元分析。通过分析比较得出使用非对称渐开线齿轮可以提高齿轮的弯曲强度从而提高齿轮的传动能力。

关键词: 非对称渐开线齿轮; 齿廓方程; 有限元; 弯曲强度

中图分类号: TH132.413

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2013) 01-0097-03

一、引言

渐开线齿轮由于传动平稳、输出转速恒定无波动、两轮中心距允许有一定的安装误差等优点被广泛应用, 有时为了提高轮齿的抗点蚀能力及齿根强度, 采用非渐开线齿廓齿轮^[1-3], 但是非渐开线齿轮对中心距的安装精度要求比较高; 有时候为了提高轮齿弯曲强度也可采用正变位齿轮^[4], 这种方法实际就是增大齿根圆齿厚来提高齿轮的弯曲强度, 由于采用正变位, 齿轮轮齿表面抗点蚀和抗胶合能力降低, 而且, 正变位安装会增加齿轮中心距从而增加齿轮箱体的尺寸。

到目前为止, 由于还没有更好的曲线齿廓取代渐开线齿廓, 为了让齿轮既有一定的抗点蚀能力和抗胶合能力, 同时又能提高轮齿弯曲强度, 需要突破齿轮对称齿形的限制, 研究非对称齿形。1984 年, 美国学者 Charles A.Yoerkie 首先研究了非对称直齿轮^[5]。2000 年, 美国学者 Kapelevieh 提出了一种非对称渐开线直齿轮的设计方法, 并用例子加以说明^[6]。国内研究开始于上世纪 80 年代, 1984 年, 孙庆华对非对称渐开线外啮合齿轮泵用齿轮的某些设计和计算要点做了分析^[7]; 2003 年, 蒋立冬等对非对称渐开线

直齿轮齿廓设计并用 ANSYS 软件进行有限元分析^[8]; 2004 年, 吴忠提出了非对称渐开线齿轮的应力的解析计算方法^[9], 但是都没有具体对比不同齿数的两种齿轮的弯曲应力的减少情况, 本文参照他们根据啮合原理推导出非对称渐开线齿轮系统齿廓方程^[10]的算法, 建模后应用 NISA II 软件对齿轮弯曲应力变化状况进行了有限元分析。

二、非对称渐开线齿轮齿廓方程的模型建立

(一) 建立坐标系

非对称渐开线齿廓是由不同直径的基圆展成的渐开线所组成, 为推导非对称渐开线直齿轮的齿廓方程, 如图 1 所示, 需建立三个右手直角坐标系: 动坐标系 $S_n=(O_nX_nY_nZ_n)$ 、 $S_1=(O_1X_1Y_1Z_1)$ 分别与齿条和齿轮相固连, 固定坐标系 $S=(OXYZ)$ 固定在机架上, 其原点 O 在节点 P 上, X 轴与齿条的移动方向平行, 在初始位置时三个坐标系的 Y 轴彼此重合。

(二) 非对称渐开线齿轮的齿廓方程

图 2 为加工非对称渐开线齿轮时齿条刀具的端面齿廓及其端面坐标系 $S_n=(O_n-X_nY_n)$ 。其工作侧和非工作侧分别由不同的齿廓和齿根圆弧所组成, 两

收稿日期: 2012-11-15

作者简介: 涂杰(1981-), 男, 汉族, 江苏南京市人, 硕士, 南京化工职业技术学院, 讲师, 研究方向: 机电设备制造及控制。

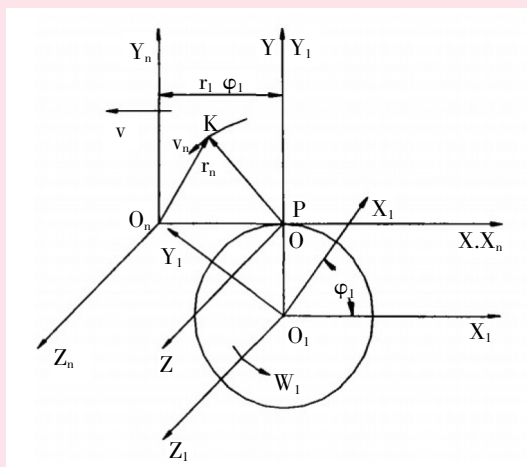


图1 坐标系的构建

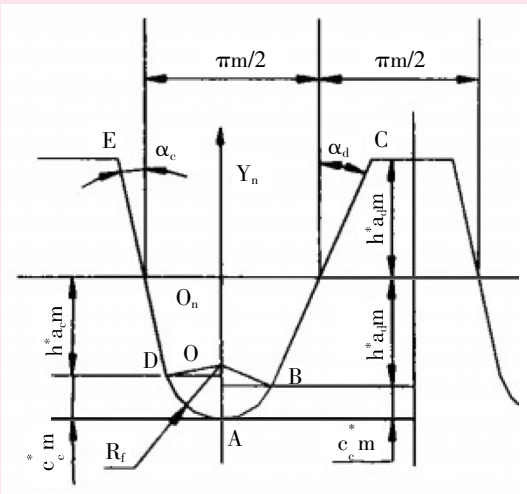


图2 齿轮刀具的端面齿廓与端面坐标系

侧具有不同的齿形角、齿顶高系数、顶隙系数以及齿根过渡圆半径。

齿轮加工时，齿轮齿廓曲线与齿轮刀具曲线为共轭齿形，在传动的任意瞬时，它们在接触点的公法线必须通过该瞬时的节点P（齿轮刀具节线与齿轮节圆的交点），在加工过程中刀具的加工节线与齿轮的加工节圆相切纯滚动。据此，蒋立冬等在推导齿面方程时，先建立了齿条刀具的齿廓段及齿根圆弧段的方程，然后以使齿廓上任意一点k的相对运动速度矢量位于过该点的两齿廓的公切线方向为啮合点的条件，即满足 $\varphi = \mathbf{n}_n \cdot \mathbf{v}_n = 0$ (\mathbf{n}_n —接触点的单位公法氏； \mathbf{v}_n —相对运动速度矢量)。由此推算矢径再进行坐标系关系转换等推导，得到齿轮齿廓通用方程为：

$$\begin{cases} x_1 = (x_n - r_1 \varphi_1) \cos \varphi_1 + (r_1 + y_n) \sin \varphi_1 \\ y_1 = -(x_n - r_1 \varphi_1) \sin \varphi_1 + (r_1 + y_n) \cos \varphi_1 \end{cases}$$

三、有限元应力分析及结果讨论

由于有限元法有着独特的优点，它不像光测法和电测法那样需要制作实物模型，就能够较为精确的反映齿根应力的分布状态。我们在参照上述齿廓方程对非对称渐开线齿轮建模后，利用美国工程力学研究所开发的 NISA II 软件开始进行齿轮应力变化状况的有限元分析。

整个有限元分析过程分为三个阶段：

前处理：由少量数据自动计算模型的几何结构形状、载荷和边界条件。

NISA 有限元计算：根据各种类型数据自动归类计算出结果。

后处理：将结构模型计算结果在电脑屏幕上用图形表示出来。

用 MATLAB 语言编写生成齿廓的程序，将基本参数 $\alpha_c=20^\circ$ 、 $\alpha_d=30^\circ$ 、 $h_{ac}^*=1.0$ 、 $h_{ad}^*=0.95$ 、 $c_c^*=0.25$ 、 $c_d^*=0.3$ 、 $m=3\text{mm}$ 、和齿数 Z 分别为 11、13、14、18、20、25、30、35 输入程序生成不同的齿廓。如图 3 所示，为不同齿数的两种齿轮轮齿形状。

为了描述齿根最具有本质性规律的特征，使复杂的实际问题数理建模合理化、计算过程简单化，省去标注单位换算的麻烦，在此使用无量纲简化了轮齿对载荷所产生的力学反应。如图 4 所示，为 13 齿

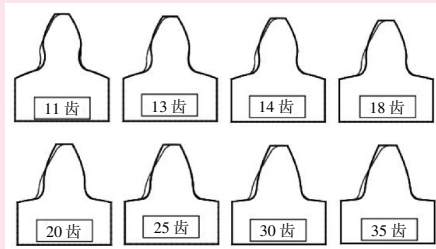


图3 标准齿轮与非对称渐开线标准齿轮几何形状对比
(粗线为标准齿轮齿形,细线为非对称齿轮齿形)

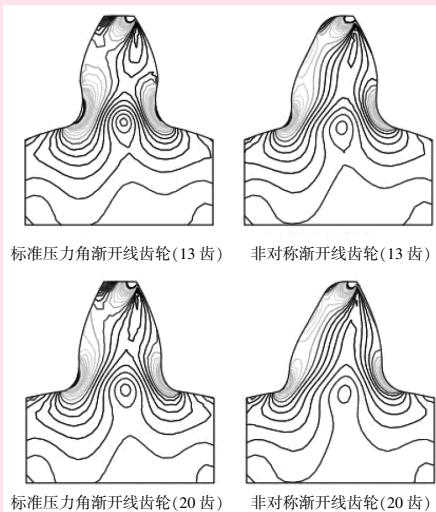


图4 标准齿轮与非对称渐开线齿轮应力云图

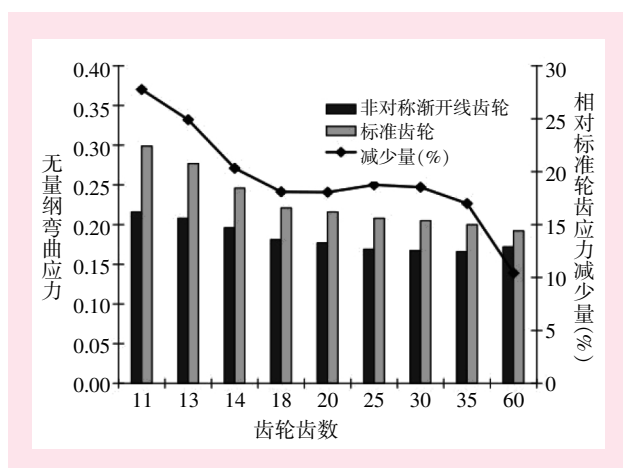


图5 不同齿数两种齿轮无量纲弯曲应力对比图

和20齿的轮齿有限元应力图,应力图中应力曲线越弯曲、应力曲线分布越密集,表示应力值越大,通过应力图对比可以明显体现出非对称渐开线齿轮的优势,非对称渐开线齿轮两侧弯曲应力减小。

再分别对齿数为11、13、14、18、20、25、30、35和60的轮齿模型进行有限元分析,其应力变化对比结果如图5所示。通过图可以看到两种不同齿数的轮齿弯曲应力不一样,非对称渐开线齿轮相对于标准渐开线齿轮可以减少10~28%的弯曲应力。齿数越少,两种齿轮的弯曲应力差别越大,其应力相对减少程度越显著。当轮齿数小于20的时候弯曲应力减少比较明显,而当轮齿数大于40的时候两者区别不大。由于非对称渐开线齿轮有和标准齿轮一样的工作齿廓,所以其同样具有抗胶合和抗点蚀能力。

四、结论

本文参照非对称渐开线齿轮研究学者提出的齿廓方程构建思路,对非对称渐开线齿轮进行了建模,然后使用NISA II软件进行了齿轮承受工作载荷状况下其应力变化的有限元分析,通过分析比较得出

非对称渐开线齿轮可以减少工作齿侧的应力集中和弯曲应力,从而可以提高齿轮的载荷能力及使用寿命。同时通过对比得知,相同条件下齿数越少的非对称渐开线齿轮其弯曲应力减小越明显。由此可知,非对称渐开线齿轮是一种值得继续研究和发展的新型齿形。

参考文献:

- [1] M.Tsai,Y.Tsai.Design of high contact ratio spur gears using quadratic parametric tooth profiles[J].Mechanism and Machine Theory,1998,(5):551-564.
- [2] G. Ye, A new method for seeking the optimum gear tooth profiles the theoretical basis of Wildhaber-Novikov gearing[J].Mechanism and Machine Theory,2002(37): 1087-1103.
- [3] 张秀亲,李瑞斌,张应顺. 双圆弧齿轮齿根弯曲应力的研究[J].机械科学与技术,2003(5):764-766.
- [4] 梁渤涛. 提高齿轮弯曲强度的新方法 [J]. 机械设计, 1994(1):9-11.
- [5] Charles A. Yoerkie, Anthony G. Acoustic vibration characteristics of high contract ration planetary gears[J]. The Journal of American Helicopter Society,1984 (4):36-43.
- [6] Alexander Kapelevich.Gemoetry and design of involute spur gears with asymmetrical profiles[J].Gear Technology, 1997,14(5):47-51.
- [7] 孙庆华. 非对称渐开线外啮合齿轮泵的计算和分析[J]. 齿轮,1984,8(2):30-33.
- [8] 蒋立冬,常山,石玉权,况季孙. 非对称渐开线直齿轮齿廓设计与有限元分析 [J]. 热能动力工程,2005(5): 478-481.
- [9] 吴忠. 非对称齿廓渐开线齿轮齿形的仿真设计分析[J]. 包头钢铁学院学报,2004,23(2):155-158.

[责任编辑:詹华西]

Reduction of Gear Root Bending Stresses by Using Asymmetrical Involute Gear

TU Jie

(Nanjing College of Chemical Technology, Nanjing210048, China)

Abstract: To reduce the bending stresses of gear root and increase the loading capacity of geared power transmissions, the paper introduces the asymmetric involute gear and models an equation for gear profile. It employs the software of NISA II to analyze the finite elements influencing the change of bending stress of gear root. It is found that compared with the conventional involute gear, asymmetrical involutes gear can bear greater stress and have larger load capacity.

Key words: asymmetrical involute gear; gear profile equation; finite element; bending strength