

文章编号:1000-8055(2009)07-1672-05

基于 NURBS 的弧齿锥齿轮真实齿面的 数字化仿真

张军辉, 方宗德, 王 成
(西北工业大学 机电学院, 西安 710072)

摘 要: 针对已加工航空弧齿锥齿轮的齿面质量检验, 提出用高精度数字化齿面的 TCA (tooth contact analysis) 仿真代替传统的滚检的方法. 参照 Gleason 公司弧齿锥齿轮的齿面测量标准, 在三坐标检测机上测得一对弧齿锥齿轮齿面上离散型值点坐标, 完成双三次 NURBS (非均匀有理 B 样条) 曲面拟合, 得到数字化齿面; 依据空间啮合理论对数字化齿面进行齿面接触分析, 并与滚检实验结果进行比较, 验证了该方法的正确性及可行性.

关 键 词: 弧齿锥齿轮; NURBS (非均匀有理 B 样条); 数字化齿面; 齿面接触仿真;
中图分类号: V232.8 **文献标识码:** A

Digital simulation of spiral bevel gears' real tooth surfaces based on non-uniform rational B-spline

ZHANG Jun-hui, FANG Zong-de, WANG Cheng

(School of Mechatronics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Based on the test of the real aviation spiral bevel gears, a new method was presented instead of the traditional rolling test. First, the real coordinate of a pair of spiral bevel gears was obtained with reference to the Gleason's measure criterion of spiral bevel gears, by using three coordinates test machine; then the digital gear faces were fitted by NURBS (non-uniform rational B-spline); finally, the tooth contact analysis was simulated according to the space engagement theory, and compared with the real rolling test experiment. The result demonstrates the accuracy and feasibility of the proposed method.

Key words: spiral bevel gear; NURBS (non-uniform rational B-spline);
digital gear face; tooth contact analysis;

弧齿锥齿轮已广泛应用于航空航天、汽车、仪表仪器等领域,但其齿面是各种齿轮类型中齿面几何状况极为复杂的一种.目前广泛的以理论齿面的 TCA (tooth contact analysis) 作为弧齿锥齿轮的设计基准,以传统的滚动检验作为实际啮合质量检验的主要手段,但这只能显示实际齿面印痕状况,却无法反映传动误差——对弧齿锥齿轮接触和动态性能影响很大的因素^[1].再加上加工

误差的不可避免性,对高性能传动要求的航空弧齿锥齿轮来说,如何确切高效并全面地表示实际齿面的啮合性能就显得尤为重要.

随着曲面三坐标测量技术的发展与应用,复杂齿面的设计与检测开始向数字化方向发展^[2-4].文献[4]更是对实际齿面啮合状况的研究,但它是通过理论齿面和拟合所得的加工误差面叠加来间接表示实际齿面的,计算分析较为繁琐,且效果不

收稿日期:2008-06-27; 修订日期:2008-11-20

基金项目:国家自然科学基金(50875211); 航空科技创新基金(075B53004)

作者简介:张军辉(1984-),男,河南洛阳人,硕士生,主要从事航空弧齿锥齿轮数字化设计与检测的研究.

够理想,无法满足航空传动检测的精度要求。

针对上述问题,本文提出用高精度数字化齿面的 TCA 仿真代替传统的滚检方法。参照格里森公司的弧齿锥齿轮的齿面测量标准,基于三坐标测量技术测得已加工的某对航空弧齿锥齿轮的齿面离散型值点坐标数据,再用二阶连续的双三次非均匀有理 B 样条^[5] (NURBS) 曲面拟合型值点得到高精度逼近真实齿面的数字化齿面,依据空间啮合理论^[6] 对数字化齿面进行几何接触仿真,在得到实际齿面印痕的同时还能反映其传动误差,更高效全面的表示已加工齿轮的啮合质量信息,也为进一步的研究实际航空弧齿锥齿轮的强度和振动特性打下了基础。

1 弧齿锥齿轮数字化齿面的表示

1.1 齿面上离散型值点的分布

离散型值点的分布对曲面的拟合精度有很大影响,样点越密,规律性越好,则曲面的拟合精度就越高。一般情况下,型值点的分布是随曲率不同而变化的,曲率大的地方较密,曲率小的地方相对稀疏,而本文中离散型值点的分布是以格里森公司关于弧齿锥齿轮齿面的测量标准为依据的,以便与实际中常用的格里森公司专用的弧齿锥齿轮齿面三坐标测量机接口。

根据格里森公司关于弧齿锥齿轮齿面的测量标准,测量时在沿齿高方向上取 5 个数据点,沿齿长方向上取 9 个数据点,即全齿面共提取 45 个点,按 5×9 分布,如图 1 所示。

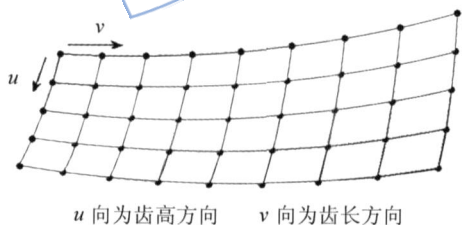


图 1 型值点分布示意图

Fig. 1 Distribution diagram of points

1.2 双三次 NURBS 曲面简介

NURBS 曲面^[5] 是基于 NURBS 曲线的张量积形式,则双三次 NURBS 曲面可以表达成

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{i,3}(u) B_{j,3}(v) w_{ij} V_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{i,3}(u) B_{j,3}(v) w_{ij}} \quad (1)$$

式中 m 为 u 向控制顶点个数; n 为 v 向控制顶点个数; V_{ij} 为曲面的控制顶点; w_{ij} 为 V_{ij} 的权因子; $B_{i,3}$ 为沿 u 向的 3 次 B 样条基函数; $B_{j,3}$ 为沿 v 向的 3 次 B 样条基函数。

NURBS 曲面拟合的步骤为:先根据型值点沿 u 向计算各条 NURBS 曲线的控制顶点,然后再以求得的控制顶点为型值点沿 v 向计算曲面控制多边形网格,即 NURBS 曲面的控制顶点,代入 (1) 式就可得到双三次 NURBS 曲面。

以某航空弧齿锥齿轮的小轮凹面的拟合为例,由以上算法得到的双三次 NURBS 曲面及其控制顶点网格如图 2 所示。

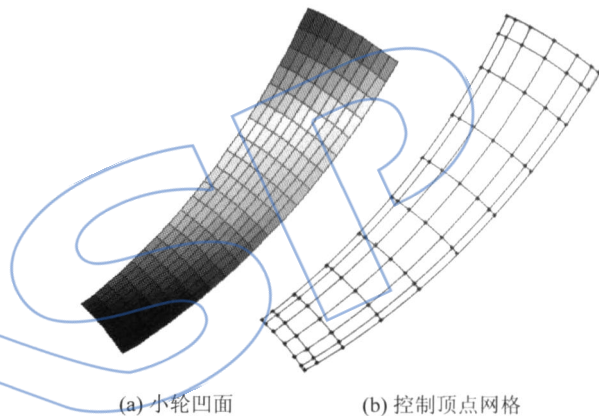


图 2 NURBS 曲面及其控制网格

Fig. 2 NURBS surface and its control mesh

1.3 数字化齿面的表达

本文直接针对已加工好的航空弧齿锥齿轮,在测得真实齿面离散型值点坐标后,按上述算法经过插值反算得到逼近实际齿面且二阶连续的双三次 NURBS 曲面,即数字化齿面

$$R_1 = R_1(u_1, v_1) \quad (2)$$

$$R_2 = R_2(u_2, v_2) \quad (3)$$

式中 R_1 为小轮齿面; R_2 为大轮齿面; $u_i, v_i (i = 1, 2)$ 为曲面参数。

根据求导法则可以得到数字化齿面的一阶、二阶导数,再参照文献[6]就可求得数字化齿面上各点处的主方向和主曲率,为实际齿面的数字化仿真准备好条件。

1.4 数字化齿面的拟合精度

为了验证数字化齿面的精度,我们按同样的规律在某对弧齿锥齿轮的理论齿面上提取 5×9 个点,拟合生成数字化齿面,再以同样的范围内理论齿面上 25×45 个点距数字化齿面的法向距离

表 1 某对航空弧齿锥齿轮的轮坯基本参数

Table 1 Basic parameters of a pair of aviation spiral bevel gears

参数	小轮	大轮
齿数	23	86
模数/mm	4.25	
中点螺旋角/(°)	25	
旋向	左旋	右旋
轴交角	51°9′	
节锥角	10°7′	41°2′
面锥角	10°57′	41°24′
中点锥距/mm	256.841	
齿面宽/mm	43	
齿顶高/mm	4.89	2.11
齿根高/mm	2.91	5.69
顶隙/mm	0.8	0.8

这在跳过实际齿面和理论齿面间的加工误差直接并全面的反映真实齿面啮合质量的同时,也弥补了传统滚动检验的不足.为相应加工参数的调整及实际航空弧齿锥齿轮强度和振动性能的进一步研究和提高提供更为全面且可靠的信息.

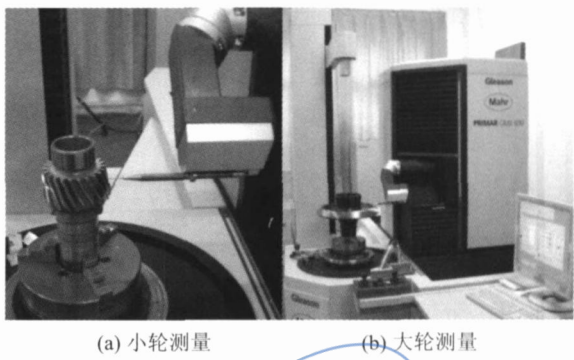


图 5 齿面测量图

Fig.5 Teeth surfaces' measurement

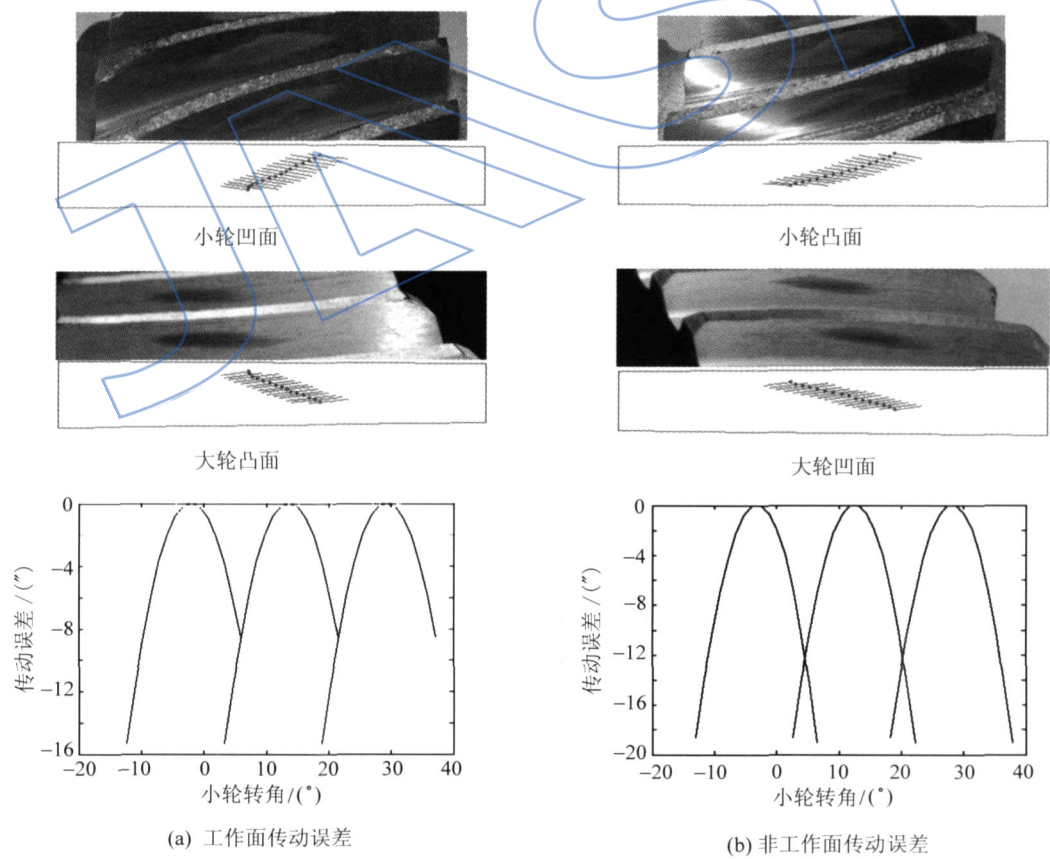


图 6 数字化齿面 TCA 结果与滚检实验对比图

Fig.6 Results of digital gear faces' tooth contact analysis and the rolling test experiment

4 结 论

针对已加工航空弧齿锥齿轮的齿面质量检验,本文提出用高精度数字化齿面的 TCA 仿真代替传统的滚检的方法.通过相应的计仿真程序高效的获得比传统的滚动检验更全面的齿面质量信息,实际算例证明了该方法的可行性,也进一步为实际航空弧齿锥齿轮强度和振动特性的高精度分析打下了基础.

实际生产中也可以此代替滚动检验,从而缩短航空弧齿锥轮的加工周期,降低制造成本.

参考文献:

- [1] 邓效忠,方宗德.高重合度弧齿锥齿轮的性能分析与实验研究[J].航空动力学报,2003,18(6):744-747.
DENG Xiaozhong, FANG Zongde. Analysis of meshing behavior and experiments of spiral bevel gears with high contact ratio [J]. Journal of Aerospace Power, 2003, 18(6): 744-747. (in Chinese)
- [2] 方宗德,曹雪梅.航空弧齿锥齿轮齿面坐标测量的数据处理[J].航空学报,2007,28(2):456-459.
FANG Zongde, CAO Xuemei. Measuring date processing of aviation spiral bevel gears by using coordinate measurement [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007, 28(2): 456-459. (in Chinese)
- [3] 苏智剑,吴序堂.基于齿面参数化的准双曲面齿轮的设计[J].西安交通大学学报,2005,39(1):17-20.
SU Zhijian, WU Xutang. Design of hypoid gear tooth surface represented by non-uniform rational B-spline polynomial [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(1): 17-20. (in Chinese)
- [4] Zhang Y. Computerized analysis of meshing and contact of gear real tooth surfaces [J]. ASME Journal of mechanical design, 1994, 116(1): 677-682.
- [5] 朱心雄.自由曲线曲面造型技术[M].北京:科学出版社,2001:88-168.
ZHU Xinxiong, Free surface modeling technique [M]. Beijing: Science Press, 2001: 88-168. (in Chinese)
- [6] Litvin F.L. Gear geometry and applied theory [M]. Englewood, N.J.: Prentice Hall, 1994: 160-257.