

文章编号: 1000-8055(2007)05-0843-06

弧齿锥齿轮齿根弯曲应力分析

李盛鹏, 方宗德, 张金良, 郭 辉
(西北工业大学 机电学院, 西安 710072)

摘 要: 运用自主开发的弧齿锥齿轮设计分析系统建立齿轮的轮齿网格模型, 并将模型数据变换后导入 ANSYS 软件中, 经过装配和结构扩展进行轮齿的接触分析, 最后得到了多齿对接触情况下, 齿根弯曲应力的分布和及其变化规律. 利用所建立的弧齿锥齿轮的轮齿模型比采用 Matlab、CAD 软件 (如 FDEAS or Pro-Engineer) 得到模型更为准确.

关 键 词: 航空、航天推进系统; 弧齿锥齿轮; 弯曲应力; ANSYS

中图分类号: V232. 8; TH132. 41

文献标识码: A

Analysis of tooth root bending stress for spiral bevel gears

LI Sheng-peng, FANG Zong-de, ZHANG Jin-liang, GUO Hui

(School of Mechatronic Engineering,

Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Spiral bevel gear is an important transmission part in aero-engine, and the tooth root bending stress has direct effect on its natural life and safety. By using the analytical system of spiral bevel gear developed by the authors, the mesh grid models of spiral bevel gear were obtained. We use certain contact arithmetic of ANSYS to perform contact analysis of spiral bevel gear, and obtain the distributions and trend of variation of the tooth root bending stress.

Key words: aerospace propulsion system; spiral bevel gear; bending stress; ANSYS

齿根弯曲强度是弧齿锥齿轮最重要的强度性能之一. 随着现代科学技术的进步, 弧齿锥齿轮朝着高速、重载和轻质方向发展, 并且在实际工况下, 齿根弯曲应力的分布大小直接影响其使用寿命和安全^[1], 因此, 齿根弯曲应力的研究是非常必要的.

方宗德等在文献^[2-3]中应用应力影响矩阵法, 获得了准双曲面齿轮的整个啮合过程中的齿根应力的分布及变化过程. Litvin^[4]利用商业软件 ABAQUS, 讨论了弧齿锥齿轮的多齿接触分析以及最大接触应力和最大弯曲应力. 邓效忠等^[5-6]采

用弹性力学中两个空间曲面弹性接触计算方法, 计算了齿轮副在整个啮合过程中齿面最大接触应力的变化过程, 指出了最大接触应力所在的齿面位置. 刘刚田等^[7]借助于 Pro/ engineer 生成弧齿锥齿轮模型, 将生成的模型导入 ANSYS^[8]软件中, 分别计算了接触应力和弯曲应力.

本文首先运用自主开发的弧齿锥齿轮设计分析系统建立齿轮的网格模型, 将模型数据变换后导入 ANSYS 软件中经过装配和结构扩展进行轮齿的接触分析, 得到了多齿对接触情况下, 齿根弯曲应力的分布及其变化规律.

收稿日期: 2006-05-08; 修订日期: 2006-10-19

基金项目: 国家自然科学基金 (项目编号 50475148) 和航空科学基金 (项目编号 04C53015) 资助项目

作者简介: 李盛鹏 (1981-), 男, 安徽阜阳人, 硕士生, 研究方向为现代机械设计理论与方法.

1 弧齿锥齿轮接触模型的建立

使用 ANSYS 软件进行轮齿的接触分析首先要得到啮合齿对的网格模型。

本文研究的弧齿锥齿轮副的基本参数如下：大端模数 $m = 5.5\text{ mm}$ ，小轮齿数 $Z_1 = 38$ ，大轮齿数 $Z_2 = 52$ ，压力角 $\alpha = 20^\circ$ ，螺旋角 $\beta = 35^\circ$ ，齿宽 $B = 40\text{ mm}$ 。

在本文的计算中，对于单齿模型，分别在齿高方向划分了 20 层单元，在齿根过渡部分划分了 6 层单元，在齿宽方向划分了 79 层单元，在齿厚方向划分了 4 层单元。为了节省计算资源，考虑到对接触分析结果的影响较小，省略了齿轮的辐板和轮毂部分的模型。设计单齿模型共有 12 080 个结点，9 164 个单元。轮齿采用的六面实体单元为 ANSYS 软件中的 SOLID45_八结点线性等参元。

将生成的模型数据运用 ANSYS 软件的 APDL 设计语言编程经过数据变换后导入 ANSYS 软件中，对轮齿的网格数据进行相应的旋转变换，建立啮合齿对模型。装配好的单齿啮合模型如图 1 所示。

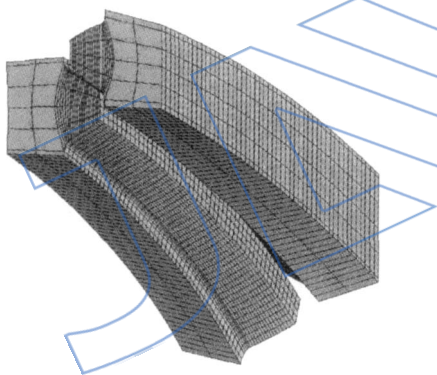


图 1 单齿啮合模型

Fig. 1 Single-pair mesh

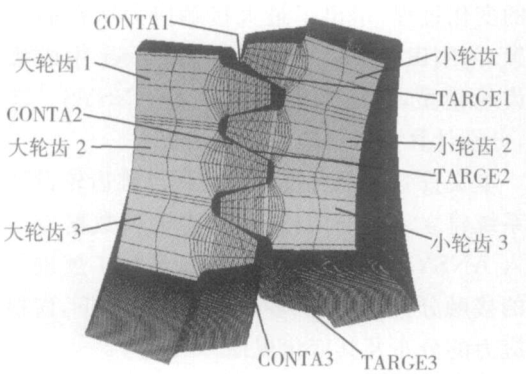


图 2 三齿接触模型的接触对定义

Fig. 2 Triple-pairs mesh

由于计算机资源有限，所以不太可能建立弧齿锥齿轮完整结构的计算模型进行分析，一般取其中一部分结构建模进行分析。对于轮齿的静态接触分析，取三齿模型是比较合适的方法，因此本文取弧齿锥齿轮的三齿啮合模型进行接触分析。在 ANSYS 中基于循环对称结构的特点，对建立的弧齿锥齿轮单齿啮合模型进行结构扩展，得到三齿啮合模型，如图 2 所示。

2 接触对的建立和接触模型的加载

本文齿轮的设计重合度为 1.65，因此在工作时的大多数情况下，齿轮为两对齿同时接触，需要预置至少两对接触对。本文中设置了三对接触对，由分析软件自动判断实际的接触情况，如图 2 所示。根据面对面接触对的定义原则，以小轮的凹齿面建立目标面 TARGE1、TARGE2 和 TARGE3，以大轮的凸齿面建立接触面 CONTA1、CONTA2 和 CONTA3。接触单元使用 CONTA174，目标单元使用 TARGE170。

基于轮齿接触的实际情况，提出了一种新的加载方式，具体为：给大轮内圈和大轮齿 1、齿 3 的两个外侧面的结点组件施加全约束。在小轮节锥的锥顶处定义一个单结点六自由度的点单元，设置小轮轮齿的内圈和小轮齿 1、齿 3 的两个外侧面的结点组件与锥顶的点单元刚体固连，在锥顶的点单元上施加径向和轴向约束保留其绕轴的旋转自由度，并在该点单元上施加绕小轮旋转轴的转矩，使其值等于小轮的驱动扭矩 M 。模型加载如图 3 所示。

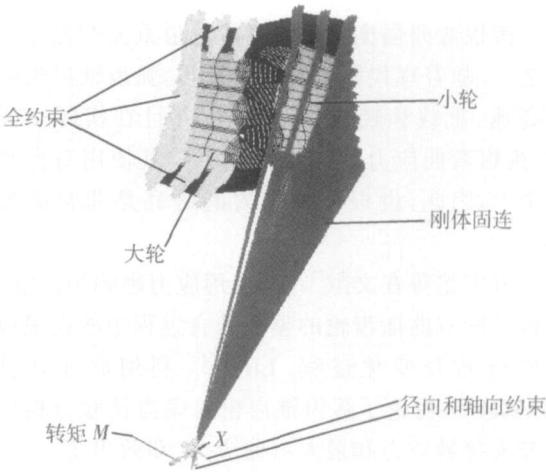


图 3 三齿接触模型的加载

Fig. 3 Loaded triple-pairs mesh

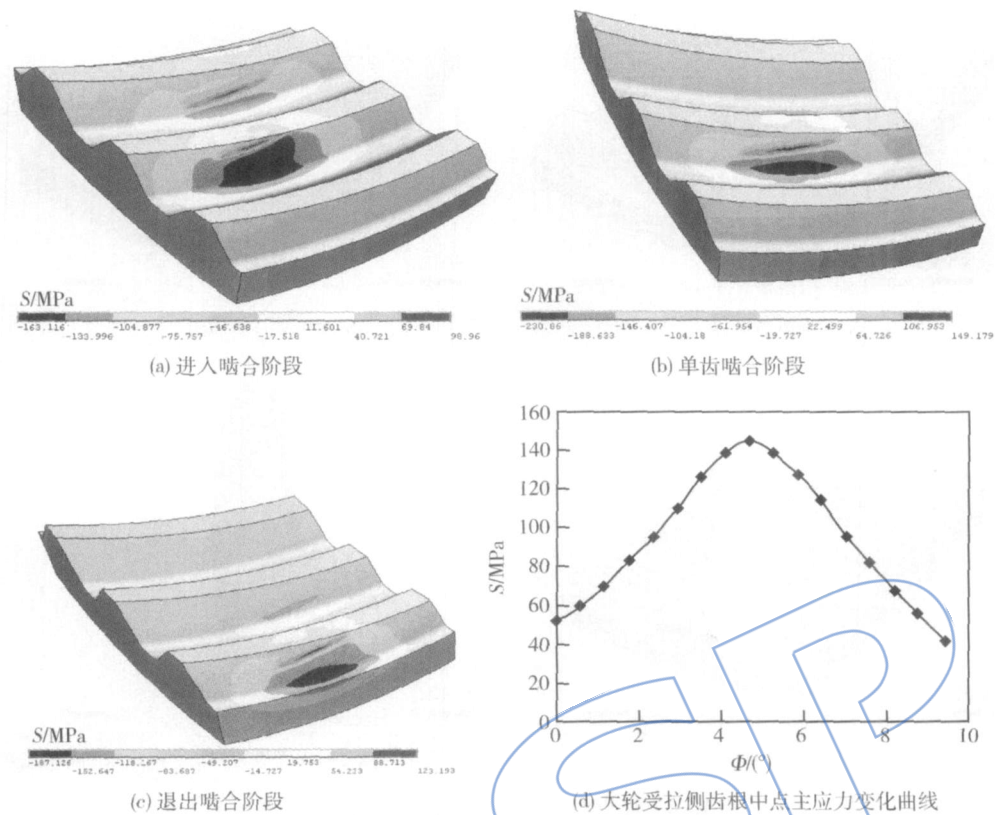


图 4 大轮受拉侧齿根主应力分布云图及大轮受拉侧齿根中点主应力变化曲线

Fig. 4 Tooth root stress for the gear at the tensioned side and stress response for meshing cycle at the middle of root

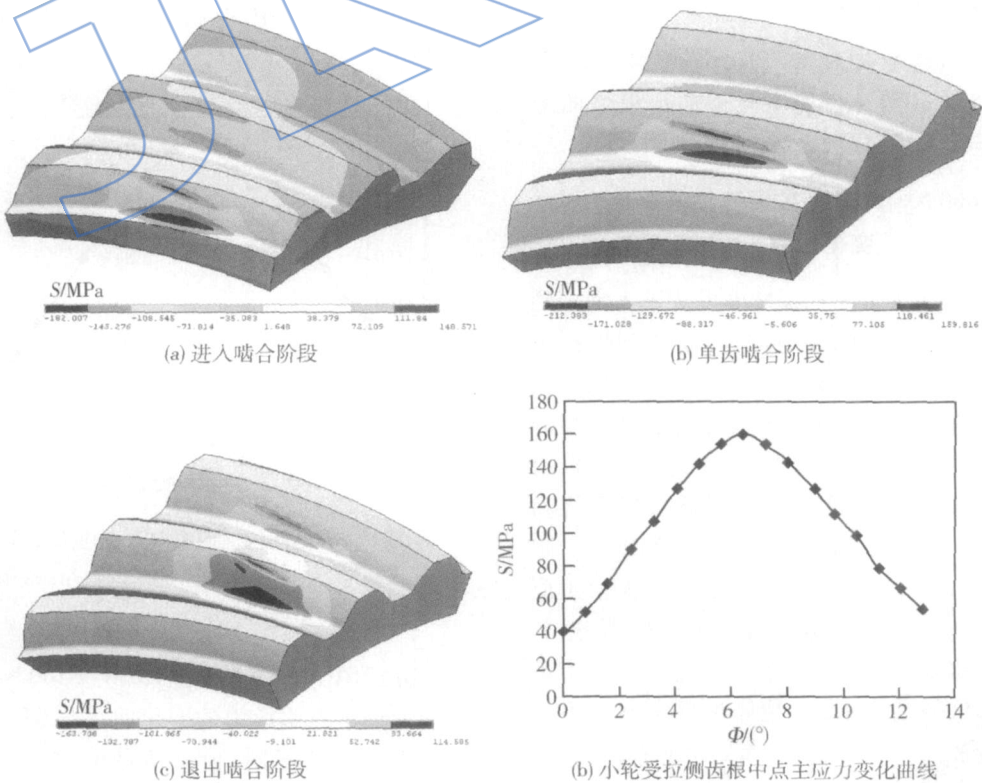


图 5 小轮受拉侧齿根主应力分布云图及小轮受拉侧齿根中点主应力变化曲线

Fig. 5 Tooth root stress for the pinion at the tensioned side and stress response for meshing cycle at the middle of root

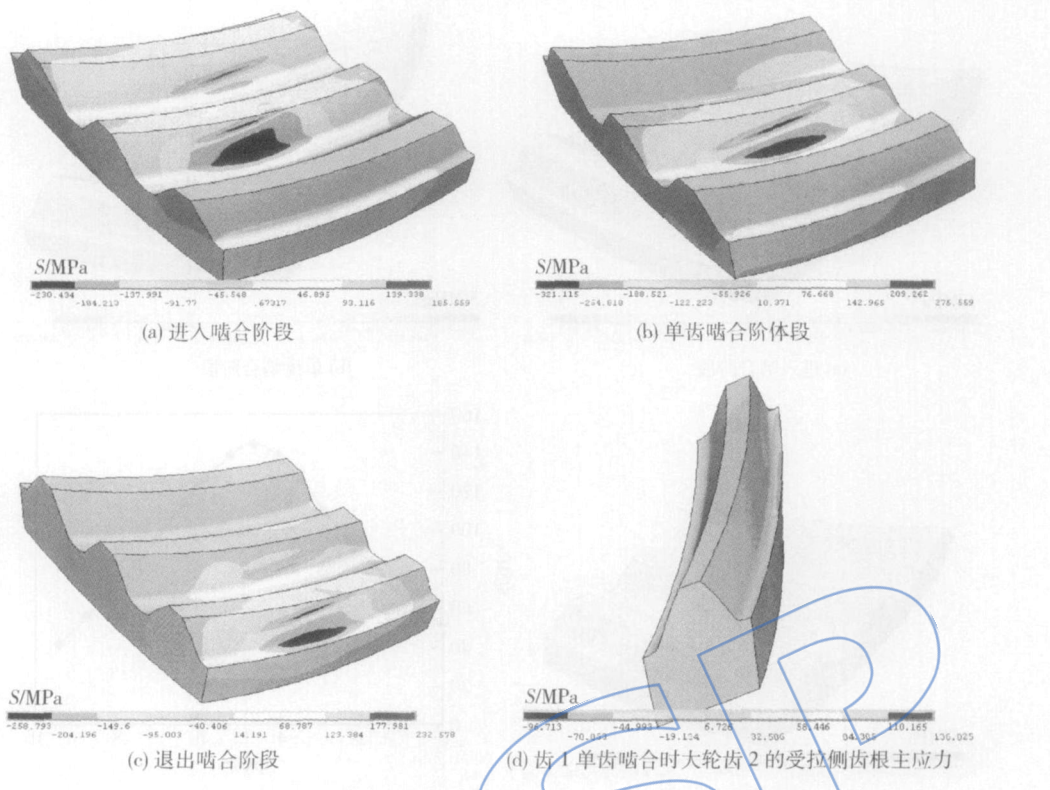


图 6 大轮受拉侧齿根主应力分布云图

Fig. 6 Tooth root stress for the gear at the tensioned side

3 接触分析结果

计算了小轮驱动扭矩 $M_1 = 600\text{ N} \cdot \text{m}$ 和 $M_2 = 1\,200\text{ N} \cdot \text{m}$ 两种情况下轮齿的齿根弯曲应力,并对结果进行了分析比较.

3.1 $M_1 = 600\text{ N} \cdot \text{m}$ 时受拉侧齿根弯曲应力的变化过程

计算了 $M_1 = 600\text{ N} \cdot \text{m}$ 时单齿从进入啮合到退出啮合一个周期内的齿根应力,受拉侧齿根主应力的分布云图和受拉侧齿根中点主应力的变化曲线如图 4、图 5 所示(图中均以三齿啮合模型的中间齿 2 为考察对象,图 4、图 5(d) 中,横坐标为大轮齿 2、小轮齿 2 从进入啮合到退出啮合绕轴的转角 $\Phi(^{\circ})$,纵坐标为齿根主应力 $S(\text{MPa})$).

对图 4、图 5 分析比较可知:受拉侧齿根主应力的应力椭圆区域从大端逐渐向小端移动,这与接触印痕的移动方向一致,最大主应力点位于齿根应力椭圆区域的中心.受拉侧齿根中点的主应力变化曲线成抛物线状,但并不完全对称.

3.2 $M_2 = 1\,200\text{ N} \cdot \text{m}$ 时受拉侧齿根弯曲应力的变化过程

$M_2 = 1\,200\text{ N} \cdot \text{m}$ 时受拉侧齿根主应力的分

布云图和受拉侧齿根中点主应力的变化曲线如图 6~图 9 所示(图中均以三齿啮合模型的中间齿 2 为考察对象).

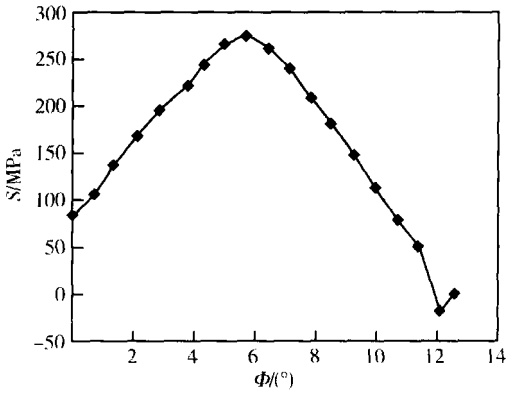


图 7 大轮受拉侧齿根中点主应力变化曲线

Fig. 7 Stress response of gear for meshing cycle at the middle of root

分析图 7 和图 9 可知, $M_2 = 1\,200\text{ N} \cdot \text{m}$ 时受拉侧齿根中点主应力的变化曲线与 $M_1 = 600\text{ N} \cdot \text{m}$ 时有较大的不同.由于负载的增大,使得齿轮的实际重合度增大,单齿从进入啮合到退出啮合绕轴的转角也相应增大,体现为曲线终点的横坐标值增大,同一啮合位置齿根中点的拉应力也有

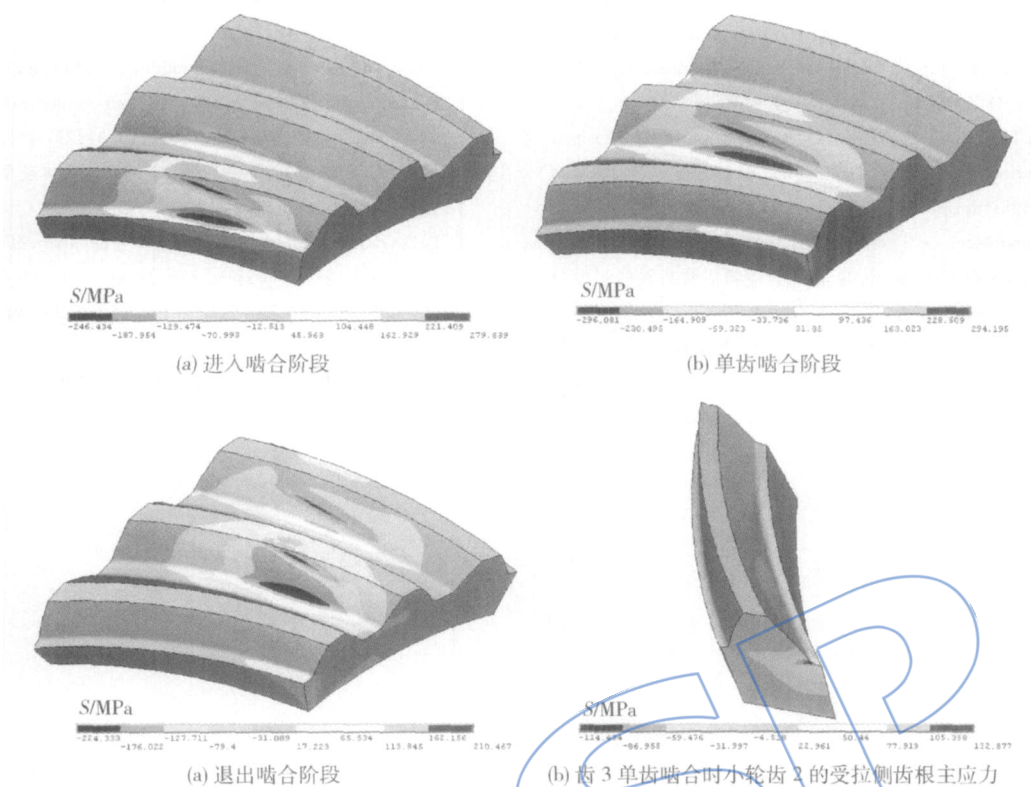


图 8 小轮受拉侧齿根主应力分布云图

Fig.8 Tooth root stress for the pinion at the tensioned side

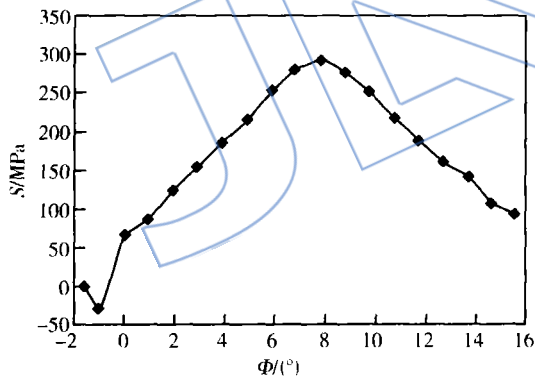


图 9 小轮受拉侧齿根中点主应力变化曲线

Fig.9 Stress response of pinion for meshing cycle at the middle of root

较大的提高.在齿 1 单齿啮合阶段,受到大轮齿 1 受压侧齿根压应力的影响,大轮齿 2 的受拉侧齿根有很小的压应力作用,如图 6(d) 所示;同样情况,在齿 3 单齿啮合阶段,受到小轮齿 3 受压侧齿根压应力的影响,小轮齿 2 的受拉侧齿根也有很小的压应力作用,如图 8(d) 所示.

4 结 论

本文运用自主开发的弧齿锥齿轮设计分析系

统,建立了齿轮的轮齿网格模型;将模型数据变换后导入 ANSYS 软件中,经过装配和结构扩展运用 ANSYS 软件的接触算法对弧齿锥齿轮三齿接触模型进行了静态接触分析,得到了不同载荷作用下齿根应力的分布和单齿整个啮合过程中齿根应力的变化情况;计算显示,当小轮驱动扭矩较大时,未参与啮合的轮齿在相邻轮齿受压侧齿根压应力的影响下,受拉侧齿根也有很小的压应力.利用本文建立的弧齿锥齿轮的轮齿模型比采用 CAD 软件(如 FDEAS or Pro Engineer)得到的模型更为准确.

参考文献:

[1] Dempsey P J , Handschuh R F , Afjeh A A . Spiral bevel gear damage detection using decision fusion analysis[R]. NASA Technical Memorandum 211814, 2002.

[2] 方宗德,杨宏斌. 准双曲面齿轮弯曲应力过程的精确计算[J]. 汽车工程, 2000, 22(6) : 423-426.

FANG Zongde , YANG Hongbin. Accurate calculation of time history of tooth bending stress for hypoid gears[J]. Automotive Engineering , 2002, 22(6) : 423-426.

[3] 邓效忠,方宗德,魏冰阳. 接触路径对弧齿锥齿轮接触应力和弯曲应力的影响[J]. 中国机械工程, 2003, 14(22) : 1895-1898.

- DENG Xiaozhong, FANG Zongde, WEI Bingyang. Analysis of contact stress and bending stress on spiral bevel gears of high contact ratio[J]. China Mechanical Engineering, 2003, 14(22):1895-1898.
- [4] Litvin F L, Fuentes A, Fan Q, et al. Computerized design, simulation of meshing, and contact and stress analysis of face-milled formate generated spiral bevel gears[J]. Mechanism and Machine Theory, 2002 37:441-459.
- [5] 邓效忠, 方宗德, 杨宏斌, 等. 高重合度弧齿锥齿轮的强度分析[J]. 航空动力学报, 2002, 17(3):367-372.
- DENG Xiaozhong, FANG Zongde, YANG Hongbin, et al. Analysis of meshing behavior and experiments of spiral bevel gears with high contact ratio[J]. Journal of Aerospace Power, 2002, 17(3):367-372.
- [6] 邓效忠, 方宗德, 张金良, 等. 弧齿锥齿轮的高重合度设计[J]. 中国机械工程, 2002, 13(9):791-795.
- DENG Xiaozhong, FANG Zongde, ZHANG Jingliang, et al. Design of spiral bevel gears with high contact ratio[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(9):791-795.
- [7] 刘刚田, 赵萍, 杨耀山, 等. 弧齿锥齿轮的实体造型和有限元强度分析[J]. 矿山机械, 2003, 10:61-62.
- LIU Gangtian, ZHAO Ping, YANG Yaoshan, et al. Moulding of full size of the spiral bevel gears and its finite element strength analysis[J]. Mining & Processing Equipment, 2003, 10:61-62.
- [8] 龚曙光, 谢桂兰. ANSYS 操作命令与参数化编程[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.