

基于 COSMOSworks 的摆线针轮 减速器有限元分析

罗 文, 项占琴*

(浙江大学 现代制造工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对摆线针轮减速器的摆线轮齿廓形状复杂、加工制造难度大等问题,根据摆线成形原理及设计要求,利用 SolidWorks 软件建立了摆线针轮减速器三维模型,运用 COSMOSworks 有限元分析软件模拟了减速器的工作状态,并对其主要部件进行了有限元分析,为摆线针轮减速器的结构设计提供了参考依据。研究表明,运用该设计方法对提高摆线针轮减速器设计的速度和质量具有一定的实际意义。

关键词:摆线针轮减速器; COSMOSworks; 有限元分析

中图分类号: TP391.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)05-0025-03

Finite element analysis of planet-cycloid reducer based on COSMOSworks

LUO Wen, XIANG Zhan-Qin

(Institute of Advance Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at solving the problems in manufacturing of cycloidal gear, the planet-cycloid reducer model in consideration of manufacturing error was developed applying SolidWorks after the preliminary design and theoretical calculation. Based on the model, the stress and strain distribution of main load bearing parts like cycloidal gear and pin gear were obtained by finite element method. And the finite element model analysis of input and output shaft were also discussed. The results indicate that the design of planet-cycloid reducer is improved by using virtual prototype technique.

Key words: planet-cycloid reducer; COSMOSworks; finite element analysis

0 引 言

作为普通减速机的更新换代产品,摆线针轮行星减速器与普通减速机相比,具有结构紧凑、传动比大、传动效率高、多齿啮合、承载能力大等突出优点。摆线针轮行星减速器以其输入/输出同轴、多齿啮合的新颖结构,广泛应用于矿山、冶金、工程机械及化工等行业的驱动装置和减速装置中^[1]。COSMOSworks 是分析软件,可模拟真实运行条件,用以研究不同装配体零部件之间的交互作用,进行静力、频率、热等分析和设计优化,可以实现和 SolidWorks 的无缝集成实现几何建模和有限元分析的集成^[2]。

本研究以 SolidWorks 2006 和 COSMOSworks 为工具,建立一个摆线针轮减速机三维模型,对其主要部件

进行有限元分析,为摆线针轮减速器的结构设计提供参考依据,有利于在产品阶段发现摆线针轮行星减速器设计中存在的潜在问题,减少对物理样机的依赖,节省成本,缩短产品开发周期,增强产品竞争力。

1 摆线针轮减速器传动原理

摆线针轮传动,是由一个针轮(即中心轮,用 K 表示),一个系杆(即转臂,用 H 表示)和一个传递摆线轮自转偏心输出机构(即在输出机构中绕固定轴线转动的构件,用 V 表示)所构成的。因此,它是 K-H-V 型的行星机构,摆线针轮传动的原理如图 1 所示。摆线针轮用于减速时,系杆 H 作为主动件,行星轮 1 是摆线齿轮(简称摆线轮),内齿轮 2 是圆柱形针销齿轮(简称针轮)。因为摆线轮与针轮的齿数相差为一个齿,所以摆

线针轮传动即是一齿差摆线针轮行星传动^[3]。

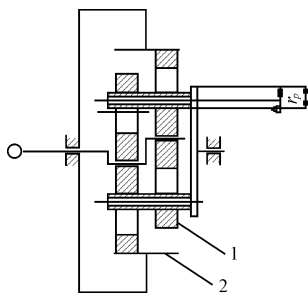


图1 摆线针轮行星传动的原理图

1—行星轮;2—内齿轮

2 摆线针轮减速器三维实体建模

本研究中摆线针轮减速器的输入功率为 $P_H = 1 \text{ kW}$, 输入轴转速 $n = 960 \text{ r/min}$, 传动比 $i = 11$, 在计算确定摆线针轮减速器各主要零件的参数后, 用 SolidWorks 2006 对其进行建模。

2.1 摆线针轮减速器拓扑关系图

根据该摆线针轮减速器的结构, 将减速器分为摆线轮、针齿壳、针齿套、针齿销、输入轴、双偏心套、输出轴、机座等 16 个刚体。输入/输出轴和机座之间通过轴承用转动副连接, 双偏心套与摆线轮通过滚动轴承连接, 针齿套与针齿壳、销轴套与输出轴采用转动副连接, 摆线轮和针齿套之间是多齿啮合的齿轮副, 针齿壳用螺栓固定在机座上, 双偏心套通过偏心套配合键和输入轴固定在一起。分析各构件之间的关系, 得到的摆线针轮减速器拓扑关系图如图 2 所示。

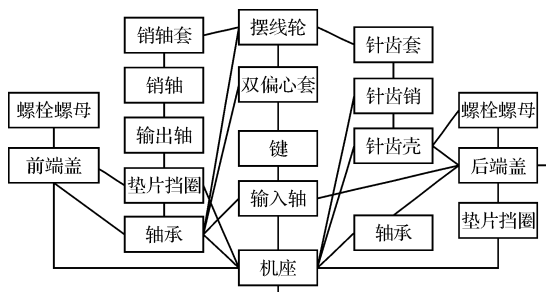


图2 摆线针轮减速器拓扑关系图

2.2 摆线轮模型的建立

摆线轮是一个盘式结构, 其上均匀分布孔的零件。摆线针轮减速器中, 相同的两个具有奇数齿的摆线轮安装在同一个转臂上与针齿啮合。摆线轮的齿形为短幅外摆线的等距曲线, 其建模的难点在于摆线轮齿廓的绘制。由于 SolidWorks 2006 没有直接绘制摆线的命令, 因而要生成摆线轮廓, 可以采用参数法设计, 编程实现; 或采用图解法, 用几何画法作出摆线轮的齿廓曲线。由于摆线轮齿廓曲面形状的特殊性, 有关其齿

形轮廓设计方法的技术资料并不多^[4-5]。本设计采用图解法产生齿廓曲线, 利用 COSMOSMotion 的轨迹跟踪功能, 根据摆线轮齿廓曲线成形原理, 通过简单的运动仿真, 即可精确地绘制出摆线轮廓曲线。只要精确地绘制出摆线轮廓曲线, 摆线轮齿廓曲面的三维造型即迎刃而解。摆线轮模型的建立如图 3 所示。

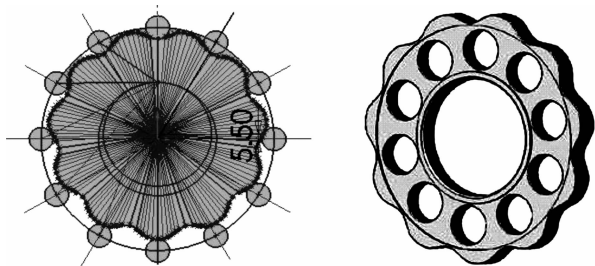


图3 摆线轮模型的建立

摆线针轮减速器的其他各零件, 结构相对较简单, 参照摆线轮建模方法, 选择合理基准面和建模顺序, 注意零件模型与其他零件的配合尺寸, 通过 Solidworks 2006 软件的旋转、拉伸、切除等方法都可容易得到。

最后得到的摆线针轮减速器的三维模型如图 4 所示。

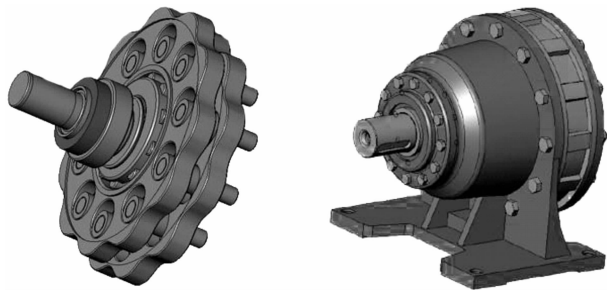


图4 摆线针轮减速器的三维模型

3 减速器关键部件的有限元分析

在 COSMOSworks 中分析模型的第一步是对模型进行前处理, 这里需要建立一个算例。算例是由一系列参数所定义, 这些参数完整表述了该物理问题的有限元模型。一个算例需要定义参数包括以下几个方面: ①分析类型及选项; ②定义模型材料; ③模型边界条件(施加的各项约束); ④网格划分^[6-7]。

3.1 摆线轮的静态分析

根据摆线针轮行星传动的啮合原理, 针轮与摆线轮是多齿啮合。摆线轮与各针齿, 以及机构中的柱销套和柱销之间的载荷分布很复杂, 除了受接触变形的影响, 还受制造误差、啮合间隙及摆线轮体变形等因素的影响。为了研究方便, 笔者作如下假设: ①摆线针轮减速器各构件为刚性构件; ②装配间隙为零; ③不计摩

擦影响。模型材料选用 GCr15SiMn 钢。

摆线针轮在工作中主要承受 3 种力:针齿与摆线轮齿啮合作用力 F_i , F_i 作用线沿啮合线的公法线方向,相交于节点 P ; W 机构柱销对摆线轮的作用力 Q_i ; 转臂轴承对摆线轮的作用合力 R 。摆线轮在 $\sum F_i$ 、 $\sum Q_i$ 和 R 作用下处于平衡状态。摆线轮的受力分析图如图 5 所示。

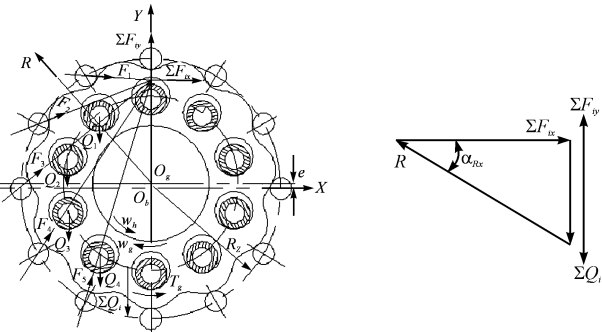


图 5 摆线轮的受力分析图

根据载荷计算结果,结合图 5 定义模型边界条件,用 COSMOSworks 软件对摆线轮进行静态分析,其过程及结果如图 6 所示。各分析项目在 COSMOSworks 中均可以动画的形式观察整个周期中的变化情况,这使设计更加直观方便。根据分析可知最小安全系数为 5.1,现有的摆线轮设计完全满足结构和刚度要求。

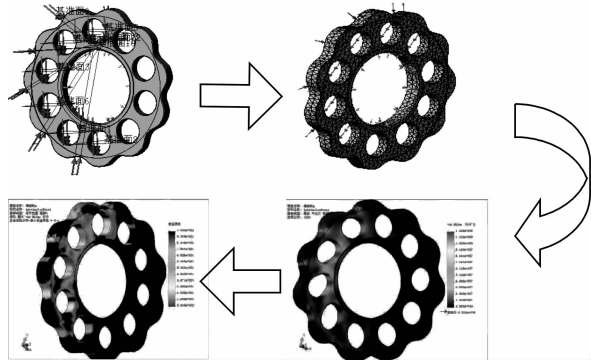


图 6 摆线轮静态分析

3.2 输入轴的模态分析

每个结构都有以特定频率振动的趋势,这一频率也称作自然频率或共振频率。每个自然频率都与模型以该频率振动时趋向于呈现的特定形状相关,称为模式形状。利用有限元方法对摆线针轮减速器虚拟样机模型进行模态分析,可以得到固有振动频率、变形、应力等重要参数^[8-10]。输入轴前 3 阶频率位移图如图 7 所示。

分析可知:1 阶振型变形很小,不影响输入轴的正常工

作来改善弯曲变形情况。由以上分析可得出结论,输入轴在频率与其自然频率一致的动态载荷正常刺激时,输入轴会承受较大的位移和应力,应当尽量避免。输入轴模态分析结果如表 1 所示。

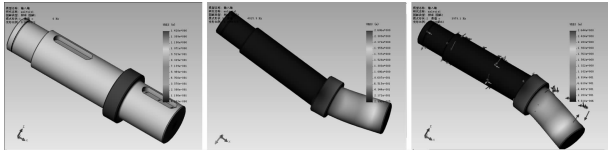


图 7 输入轴 1、2、3 阶频率位移图

表 1 输入轴模态分析结果

模式阶数	频率/Hz	周期/s
1	3 979.1	0.000 251 31
2	4 015.9	0.000 249 01
3	8 015.4	0.000 123 38

4 结束语

本研究通过对行星摆线针轮减速机构的三维建模,及对行星摆线针轮减速机构关键零件的有限元分析,为摆线针轮减速器的结构设计提供了参考依据,也给同类型研究提供了一种新的参考方法。同时有限元分析和 COSMOSWorks 软件在模拟仿真和优化设计中的应用,大大降低了研究成本,实现了设计过程的自动化和可视化,提高了设计质量,缩短了产品设计周期,具有较大的推广价值。

参考文献 (References) :

[1] SALGADO D R, DEL CASTILLO J M. A method for detecting degenerate structures in planetary gear trains[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2005, 40(8) : 948 - 962.

[2] 杜 韧,徐景满. SolidWorks 环境下的齿轮参数化三维造型[J]. **煤矿机械**, 2008, 29(6) : 205 - 206.

[3] 饶振刚. 行星传动机构设计[M]. 2 版. 北京:国防工业出版社, 1994.

[4] 袁 林,贺元成,郑自求. 鼓形齿应用于小齿轮自调位装置的探讨[J]. **重型机械**, 2007(6) : 52 - 55.

[5] 侯 沂,宋朝省. 摆线针轮行星减速器的可视化设计[J]. **CAD/CAM 与制造业信息化**, 2006(6) : 52 - 53.

[6] 辛志杰,徐燕申,满 佳,等. 基于有限元分析的数控铣齿机立柱动静态设计[J]. **中北大学学报:自然科学版**, 2006, 27(6) : 483 - 486.

[7] 张国瑞. 有限单元法[M]. 北京:机械工业出版社, 1992.

[8] CUI Zhi-qin, SU Tie-xiong, ZHAO Dong-qing. Finite element modal analysis for the complex combined structure compared with test[J]. **Journal of North China Institute of Technology**, 2001, 22(3) : 180 - 182.

[9] 张云电,兰红玉,陈 强. 指数型超声变幅杆有限元分析与试验[J]. **机电工程**, 2009, 26(9) : 90 - 93.

[10] 周荣亮,梁尚明,莫春华. 基于 ANSYS 的滚柱活齿减速器轴系的模态分析[J]. **机械**, 2009, 36(9) : 43 - 45.