

基于ADAMS的微型RV减速器虚拟样机仿真技术研究

郑彦博¹, 谢彪², 王红霞¹, 李杰¹, 杨屏¹

1. 黔南民族职业技术学院 贵州都匀 558000

2. 贵州航天朝阳科技有限责任公司 贵州遵义 563100

摘要: 基于三维软件CREO对微型RV减速器进行建模, 然后在ADAMS有限元仿真软件中进行工作环境、接触力、约束副、驱动和负载转矩等仿真条件的设置, 通过ADAMS虚拟样机的运动学和动力学分析, 得到渐开线行星轮、曲柄轴、输入轴和输出轴质心角速度随时间变化的曲线, 对摆线轮和针齿之间的相互作用力进行分析, 结果表明建立的虚拟样机模型是合理的。

关键词: 微型RV减速器; ADAMS; 虚拟样机

1 序言

RV传动是在传统摆线针轮行星传动的基础上发展出来的, 不仅克服了一般针摆传动的缺点, 而且具有体积小、质量轻、传动比范围大、寿命长、精度保持稳定、效率高和传动平稳等一系列优点, 日益受到国内外的广泛关注。

2 微型RV减速器仿真模型的建立

2.1 装配图

微型RV减速器装配示意如图1所示, 其中摆

线齿轮7、8分别如图2、图3所示, 齿轮参数: 精度等级5级, 齿轮齿数38, 偏心距0.5mm, 全齿高0.9230mm, 短幅系数0.8478, 针齿半径1.5mm, 针齿中心圆 $\phi 46$ mm, 针齿齿数39, 针径系数1.2338。

2.2 结构参数

微型RV减速器的总长度为41mm, 最大外圆直径为73mm, 其总传动比 $i=50$, 输入轴转速 $n_1=2000$ r/min, 输出盘转速 $n_2=40$ r/min, 输出盘转矩 $T=7$ N·m。针齿壳半径 $r_p=23$ mm, 针齿半径 $r_{rp}=15$ mm, 偏心距 $a=0.5$ mm, 针轮齿数 $Z_p=39$,

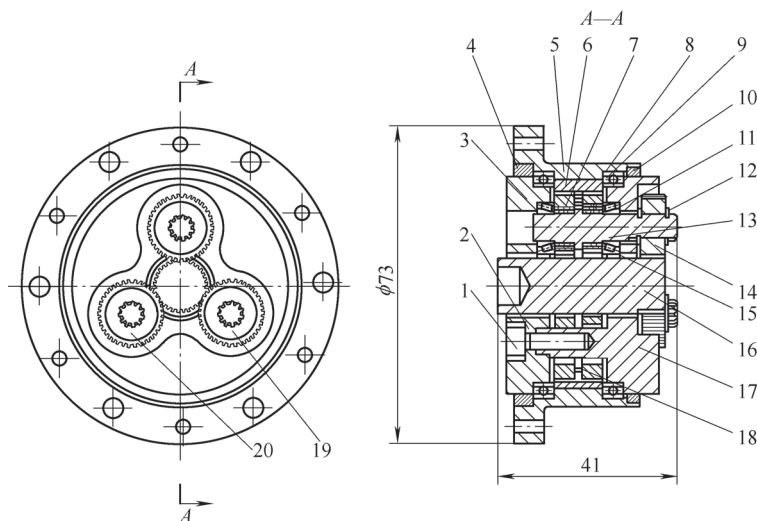


图1 微型RV减速器装配示意

1—六角头螺栓 2—小垫圈 3—行星架 4—防尘圈 5—壳体 6—圆柱销 7、8—摆线齿轮 9—轴承 10—防尘圈 11、15—轴承
12—轴用弹性挡圈 13—曲柄轴 14、19、20—齿轮 16—输入轴 17—输出轴 18—挡圈

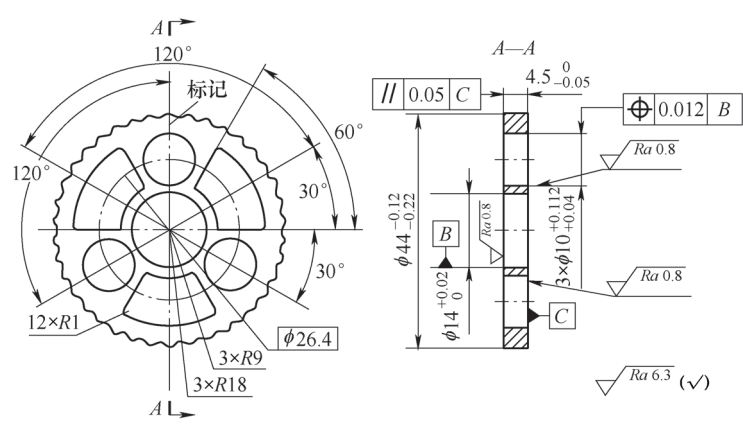


图2 摆线齿轮7

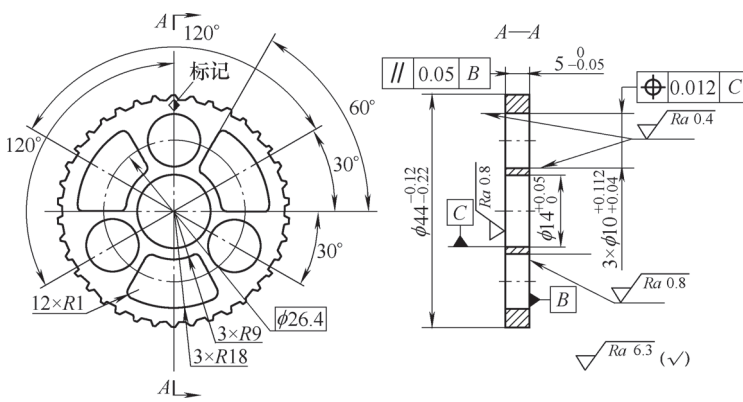


图3 摆线齿轮8

即摆线齿轮齿数 $Z_c=Z_p-1=38$ ，渐开线中心轮齿数 $Z_1=39$ ，渐开线行星轮齿数 $Z_2=49$ ，压力角 $\alpha=20^\circ$ ，模数 $m=0.3$ 。

2.3 质量特性参数

微型RV减速器零部件材料特性见表1。考虑到一级小齿轮与输入轴为一体结构，则大、小齿轮材料均选用0Cr17Ni4Cu4Nb（热处理、375HBS、6级精度及软齿面）。为了提高零件承载能力，并使结构紧凑，摆线轮、针齿壳、针齿均选用轴承钢GCr15，热处理硬度取58~62HRC。输出轴材料选用0Cr17Ni4Cu4Nb。

表1 零部件材料特性

零部件名称	材料	弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg/m ³)
渐开线中心轮	0Cr17Ni4Cu4Nb	2.13×10^5	0.27	7780
渐开线行星轮				
曲柄轴				
输出轴				
摆线轮	GCr15	2.08×10^5	0.30	7800
针齿壳				
针齿				

2.4 建立模型

根据RV减速器的传动原理，利用CREO软件建立微型RV减速器的三维模型，CREO与ADAMS之间的数据交换是通过MECHANISM/PRO接口模块实现的，MECHANISM/PRO模块使两个软件实现无缝衔接，将装配好的微型RV减速器模型调入ADAMS，进行系统的运动学和动力学仿真分析。简化的微型RV减速器虚拟样机模型如图4所示。

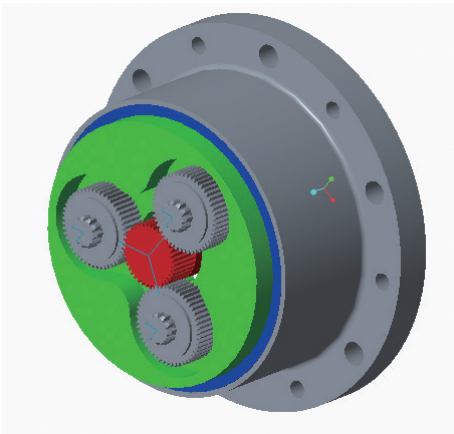


图4 微型RV减速器虚拟样机模型

3 ADAMS仿真条件设置

3.1 ADAMS工作环境设置

设置模型的重力及方向、工作网格、模型单位及坐标系等工作环境。

- 1) 模型重力及方向：重力方向为大地坐标系Y轴的负方向。
- 2) 工作网格：将工作网格设置为长方形网格，网格范围为80mm×80mm，网格尺寸为2mm×2mm。
- 3) 模型单位：模型单位选择MMKS。
- 4) 坐标系：将微型RV减速器装配体坐标系与ADAMS坐标系设置为重合。
- 5) 参数：按照表1，修改微型RV减速器各零件的质量特性参数。

3.2 ADAMS约束副的设置

运动副主要包括五大部分：一般运动副、虚约束、运动发生器、高副及一般函数约束。在ADAMS仿真软件中约束副设置如下。

- 1) 创建固定副：针齿壳与大地固结在一起，曲柄轴与渐开线行星轮固结在一起，针齿与针齿壳固结在一起。
- 2) 创建旋转副：旋转副只允许两个物体绕一条共同的轴线旋转，创建曲柄轴与摆线轮、输入轴与大地、输出盘与大地及曲柄轴与输出盘之间为旋转副。
- 3) 创建耦合副：在ADAMS仿真软件中设置渐开线中心轮与渐开线行星轮为耦合副约束。

3.3 ADAMS载荷的设置

利用冲击函数法计算微型RV减速器渐开线直齿轮传动中的接触力。根据赫兹静力弹性接触理论得到如下公式：

$$\begin{cases} K = 4R^{1/2}E/3 \\ 1/R = 1/R_3 - 1/R_4 \\ 1/E = (1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2 \end{cases}$$

式中， K 是刚度系数（ $\text{MPa} \cdot \text{mm}^{1/2}$ ）； R_3 是外齿轮的节圆半径（mm）； R_4 是内齿轮的节圆半径（mm）； μ_1 是渐开线中心轮材料的泊松比； μ_2 是渐开线行星轮材料的泊松比； E_1 是中心轮材料的弹性模量（MPa）； E_2 是行星轮材料的弹性模量（MPa）。

计算可得 $K = 8.2 \times 10^5 \text{MPa} \cdot \text{mm}^{1/2}$ 。接触力具体参数如图5所示。

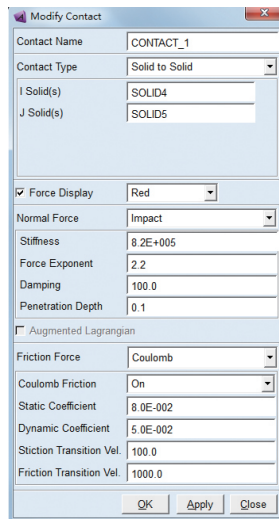


图5 接触力参数

3.4 ADAMS驱动的设置

输入转速使用阶跃函数（step）来定义，转速在0~2s处于变化阶段，在2s后达到2000r/min，相当于 $12000^\circ/\text{s}$ ，并处于稳定阶段。输入转速的阶跃函数表示为“ $12000d \cdot \text{time} * \text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 2, 1)$ ”，即输入转速在2s后达到 $12000^\circ/\text{s}$ ，并保持不变，在0~2s转速由0变化至 $12000^\circ/\text{s}$ 。

3.5 ADAMS负载转矩的设置

在输出轴上施加恒定转矩 $7\text{N} \cdot \text{m}$ ，1.5s后使转矩在1.5~2s平稳加载，转矩的阶跃函数可表示为“ $\text{STEP}(\text{time}, 1.5, 0, 2, 7000)$ ”，输出轴的负载转矩如图6所示。

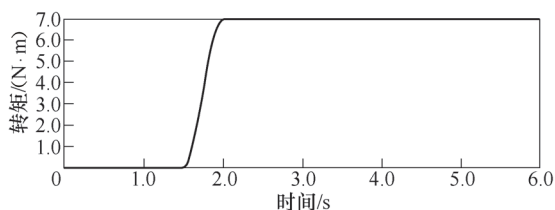


图6 输出轴的负载转矩

4 仿真结果分析

取模拟时间为6s，步长为0.05s，通过对微型RV减速器模型进行模拟仿真研究，得到运动学参数和动力学参数曲线图。

输入轴和输出轴质心角速度随时间变化曲线如图7所示，可以看出输出轴和输入轴转向相同。由于使用了阶跃函数“ $12000d \cdot \text{time} * \text{STEP}(\text{time}, 0, 0, 2, 1)$ ”来定义减速器的驱动转速，所以在0~2s，输入轴和输出轴的转速处于变化阶段，2s之后，输

入轴转速为 $12000^{\circ}/s$ ，输出轴转速约为 $240^{\circ}/s$ ，传动比为50:1，和实际传动比相符，证明了虚拟样机运动关系是正确的。

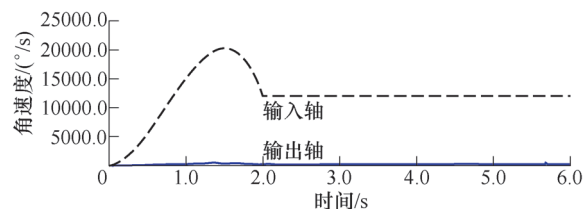


图7 输入轴和输出轴质心角速度变化曲线

曲柄轴和渐开线行星轮质心角速度随时间变化曲线如图8所示，曲柄轴和渐开线行星轮通过花键联接，质心角速度随时间变化的曲线完全一致。

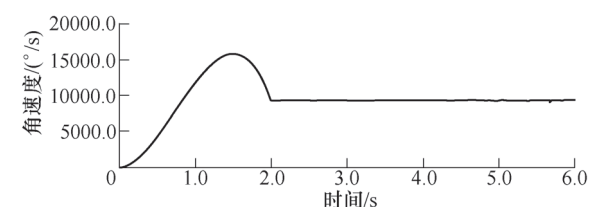


图8 曲柄轴和渐开线行星轮质心角速度变化曲线

齿轮在微型RV减速器中起着承受载荷和传递动力的作用，齿轮常见的失效形式有轮齿折断、齿面磨损、齿面点蚀、齿面胶合和塑性变形等，另外曲柄轴也在微型RV减速器中起着重要的作用，因此对曲柄轴和齿轮进行动力学分析。

曲柄轴和渐开线行星轮相互间作用力曲线如图9所示。在0~1.5s微型RV减速器刚开始起动，曲柄轴和渐开线行星轮相互作用力几乎为0。在2s之后，转速达到平稳，曲柄轴和渐开线行星轮出现较小的相互作用力，符合微型RV减速器的实际工作情况。

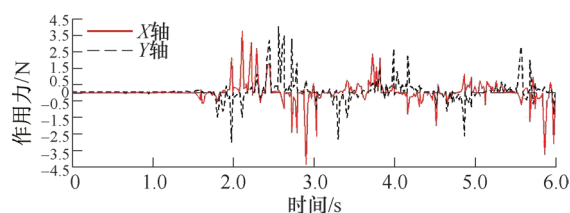


图9 曲柄轴和渐开线行星轮相互间作用力曲线

二级齿轮传动X轴方向作用力与时间曲线如图10所示，二级齿轮传动Y轴方向作用力与时间曲线如图11所示。摆线齿轮7与针齿间作用力和摆线齿轮8与针齿间作用力的方向是相反的，ADAMS动力学仿真结果与理论一致。

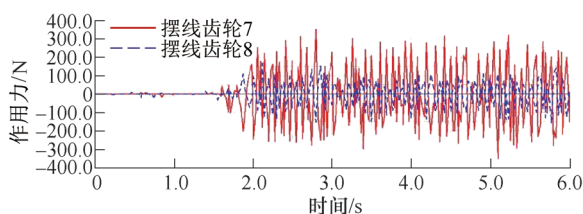


图10 二级齿轮传动X轴方向作用力曲线

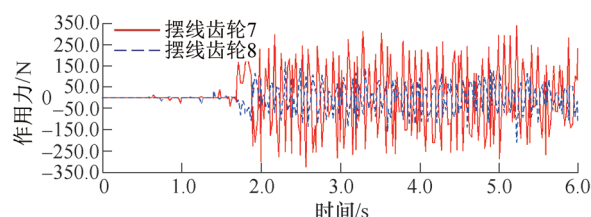


图11 二级齿轮传动Y轴方向作用力曲线

5 结束语

1) 模型传动比和实际情况相符合，实际运动方向与理论相符，结构受力合理，传动特性良好。通过ADAMS虚拟样机仿真分析，研发效率得到了很大的提高。

2) 通过ADAMS虚拟样机的运动学和动力学分析，得到渐开线行星轮、曲柄轴、输入轴和输出轴质心角速度随时间变化的曲线，以及摆线轮和针齿之间的相互作用力曲线。仿真结果与理论分析一致，表明所建立的虚拟样机模型是合理的，为相似类型的微型RV减速器提供了参考。

参考文献:

- [1] 李泽强, 卢阳, 杨立光, 等. 机器人用摆线减速器关键零部件建模与装配[J]. 装备制造技术, 2015(1): 24-27.
- [2] 李华敏, 李瑰贤. 齿轮机构设计与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 陈峰华. ADAMS虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [4] 李宪红. 基于虚拟样机技术的林木生物质细粉碎设备研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [5] 曹聚丰. 1.5MW风力发电机齿轮箱动力学特性研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2015.
- [6] 雷明伟, 史文谱, 骆凯, 等. 机器人用RV减速器虚拟样机构建及针齿状态分析[J]. 科技资讯, 2018(3): 101-105.