

# 行星摆线针轮减速机虚拟样机模型的建立

李 伟 李 霞 何胜勇 汤修映

(中国农业大学机械工程学院)

**摘 要** 利用机械系统仿真软件 ADAM S 建立了摆线针轮减速机虚拟样机模型, 探讨了建立虚拟样机模型过程中的关键技术。利用该虚拟样机对天津减速机总厂 XW<sup>-8175-11</sup> 型摆线针轮减速机的传动比进行了验算, 分析了针齿与摆线轮之间的受力状况。结果表明, 采用虚拟样机得出的结果与理论分析值具有较好的一致性。

**关键词** 摆线针轮减速机; 虚拟样机; 机械系统仿真

**中图分类号** TH 132

## Building and Study on Planet-cycloid Gearing Virtual Prototype

Li Wei, Li Xia, He Shengyong, Tang Xiuying

(College of Machinery Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** The virtual prototype of planet-cycloid gearing was built by using mechanical system simulation software ADAM S. The key technology about the virtual prototype was studied. The validation test of the transmission ratio of XW<sup>-8175-11</sup> planet-cycloid gearing made in Tianjin Reducer Factory was carried out and the forces between the pin and cycloidal gear were analysed. The consistence of virtual prototype and theoretical calculation was confirmed.

**Key words** mechanical system simulation; planet-cycloid gearing; virtual prototype

行星摆线针轮减速机以其效率高、传动比大、结构紧凑等特点广泛应用于机械工程领域。目前, 我国企业很少拥有真正意义上的减速机综合性能仿真试验环境。究其原因, 一方面是造价昂贵、成本高; 另一方面是技术复杂、通用性差。虚拟样机仿真包含两方面内容: 一是几何仿真, 即机构的几何特性与装配关系的仿真; 二是性能仿真, 即系统运动学及动力学特性仿真<sup>[1, 2]</sup>。几何仿真通过虚拟造型技术直观、准确地反映产品的几何特征与装配关系, 进而在设计早期预测系统干涉, 检验装配缺陷等。性能仿真通过在几何模型中施加切合实际的工况特性, 如约束、驱动力、摩擦及刚度等性能参数, 并进行运动学、动力学仿真从而实现产品的优化设计。

本文中针对行星齿轮减速机构设计中存在的问题和实际工程需要, 以 XW<sup>-8175-11</sup> 型摆线针轮减速机为例, 利用机械系统仿真软件 ADAM S 建立了摆线针轮减速机构的虚拟样机模型, 通过对其传动比的验算和对摆线轮与针轮受力状况的分析, 验证虚拟样机的可靠性。

### 1 行星摆线针轮减速机虚拟样机模型的建立

由行星摆线轮传动的啮合原理可知, 针轮与摆线轮为多齿啮合传动。由于为多齿啮合, 摆

收稿日期: 2002-04-26

李 伟, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)108 信箱, 100083



线轮与各针齿之间,以及输出机构中柱销套与柱销孔之间的载荷分布很复杂。减速机除了受接触变形的影响外,还受制造误差、啮合间隙和摆线轮体变形的影响。本系统中假设零件为刚体,则加入的工况约束为:

- 1) 输入输出轴均添加旋转副,输入轴的旋转副施加旋转运动激励,使输入轴保持等速旋转。
- 2) 将偏心轮A与输入轴用固定约束连接在一起,偏心轮B与输入轴也施加固定约束,这样就不需要利用键来连接,从而缩短了模型的计算时间。
- 3) 偏心轮与摆线轮间施加接触载荷(Circle to Circle Contact),这是一种基于力的接触模型。
- 4) 摆线轮A和B与输入轴之间施加平行轴约束(Parallel Axes Primitive Joint),使摆线轮A和B与输入轴保持轴平行。
- 5) 在12个针齿上添加旋转副,为了简化模型,不考虑针齿套,与真实情况相比这只是用滑动摩擦代替了滚动摩擦,对机构的仿真没有任何影响。
- 6) 在针齿与摆线轮之间施加接触力(Solid to Solid Contact Force)。
- 7) 将10个柱销与输出轴利用布尔操作进行结合,成为一构件。因为柱销与输出轴之间本来采用过盈配合,无相对运动,这样可节省计算时间。
- 8) 柱销与摆线轮之间施加接触载荷(Circle to Circle Contact),这是一种基于力的接触模型。

本研究中采用了一种接触力模型和一种基于力的接触模型,这两种模型专门用于模拟实体间的接触与碰撞。

9) 运动激励与力。额定工况下,电机转速(即输入轴转速)为  $1\ 500\ r\cdot m\ in^{-1}$ ,输出扭矩为  $472.9\ N\cdot m$ 。

本系统中旋转副14个,固定约束2个,平行轴约束2个,运动激励1个,总自由度21个,利用ADAMS建立的减速器的虚拟样机模型见图1。

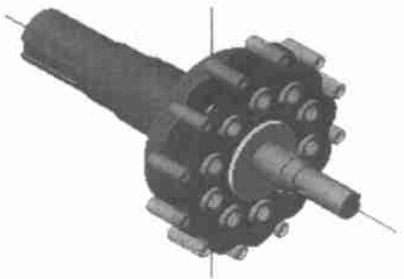


图1 虚拟样机模型

## 2 行星摆线针轮减速机虚拟样机的验证

### 2.1 传动比验证

行星摆线针轮减速传动的传动比计算采用“转臂固定法”求得,即经转化后可把行星传动化为定轴传动,转化机构的转动原理与Z-X-Y型齿数相差1的行星式齿轮传动机构<sup>[3]</sup>的一致,所以可以按照公式  $I = \omega_{出} / \omega_{入} = -Z_g$  计算传动比。其中,I为传动比, $\omega_{入}$ 与 $\omega_{出}$ 分别为机械输入、输出轴角速度,负号表示从动轴与主动轴转向相反, $Z_g$ 为摆线轮齿数。

在该摆线轮行星传动中,针轮齿数 $Z_b$ 与摆线轮的齿数 $Z_g$ 差为1。在摆线轮输出轴上施加  $472.9\ N\cdot m$  的力矩,输入轴转速为  $1\ 500\ r\cdot m\ in^{-1}$ ,摆线轮齿数 $Z_g$ 为11, $\omega_{出} = 1\ 500 / 11 = 136\ 364\ r\cdot m\ in^{-1}$ 。按照上述运动传递关系,系统仿真验证结果见图2。由图2可见,虚拟样机模型中各部件转速及传动比与

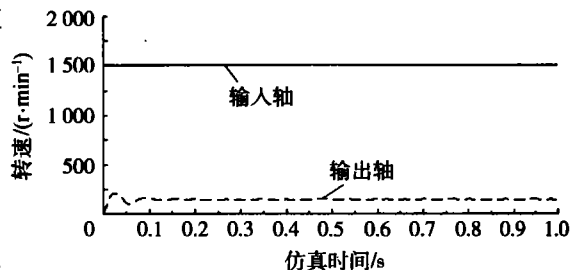


图2 输入轴转速为  $1\ 500\ r\cdot m\ in^{-1}$  时输出轴转速与仿真时间的关系

理论计算结果具有一致性。

## 2.2 摆线轮与针齿受力状况分析

根据摆线针轮传动原理, 与其啮合的摆线行星轮轮廓是短幅外摆线的等距曲线, 在任一时刻每一摆线轮总有一定数量的针齿与其啮合, 产生啮合力, 力的方向始终沿啮合线的公法线方向, 且相交于节圆节点; 不存在啮合关系的针齿没有作用力。任意针齿与某一摆线轮的啮合力理论公式<sup>[4]</sup>为

$$F_{i} = \frac{2 \cdot 2T_v \cdot \sin \theta_i}{k_1 z_g R_z \cdot S^{1/2}}$$

其中:  $T_v$  为输出轴上的阻力矩,  $N \cdot m$ ;  $k_1$  为短幅系数;  $z_g$  为摆线轮齿数;  $R_z$  为针轮半径 (针齿中心分布圆半径),  $mm$ ;  $s = 1 + k_1^2 - 2k_1 \cos \theta_i$ ,  $\theta_i$  为节点和针齿壳中心的连线与针齿壳中心和针齿中心连线的夹角。

根据实际应用, 摆线轮与针齿为核心受力部件, 本文中针对这两个关键部件进行动力学仿真分析。从 12 个针齿中任选 1 个分析力的作用情况, 结果如下: 1) 针齿逐渐进入啮合区, 近一半齿数参与啮合, 啮合区摆线板受力, 非啮合区不受力, 其受力变形与理论计算结果 (未经修形的标准齿形) 一致 (图 3)。2) 针齿与摆线轮之间啮合力随啮合时间呈周期性变化, 与理论分析中, 任意针齿与某一摆线轮的啮合力  $F_i(\theta_i)$  与仿真时间为正弦曲线关系 (图 4) 符合。3) 在一个周期中有 12 个针齿依次参与啮合, 与产品设计中针齿数一致。

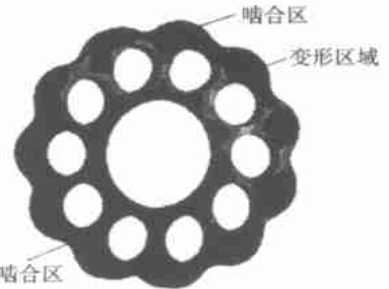


图 3 摆线板受力变形

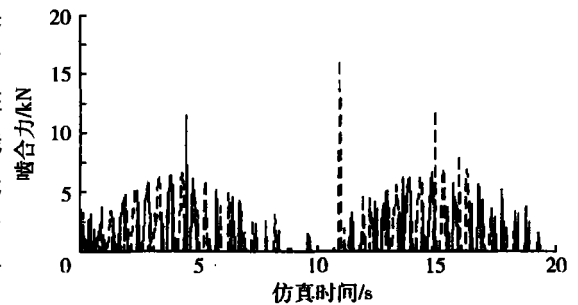


图 4 针齿与摆线轮啮合力与仿真时间的关系

## 3 结束语

利用所建立的摆线针轮减速机虚拟样机模型, 对天津减速机总厂 XW-8175-11 型摆线针轮减速机的传动比进行了计算, 对针齿与摆线轮啮合状况进行了仿真分析。结果表明, 仿真计算的传动比与理论分析一致, 针齿与摆线轮之间的啮合力随时间呈周期变化, 与实际情况吻合。虚拟样机技术在解决摆线针轮行星减速机动力学问题是行之有效的。

## 参 考 文 献

- 1 Samuel M Donald. Three-dimensional surface contact. International ADAMS User's Conference, 1998 (1): 1~ 7
- 2 廖伟志. ADAMS 关于空间碰撞关系建立的方法. 见: 台湾地区第一届 ADAMS 论文. 台北: 科技出版社, 1999. 30~ 33
- 3 朱孝录. 中国机械设计大典. 南昌: 江西科学技术出版社, 2002. 651~ 690
- 4 关天民, 孙英时. 二齿差摆线针轮行星传动的受力分析. 机械工程学报, 2002, 38(3): 59~ 63