

文章编号:1000-582X(2003)11-0016-04

# 机器人关节逆螺旋机构虚拟装配及运动学仿真\*

周 阳,李润方,林腾蛟,梁锡昌

(重庆大学 机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

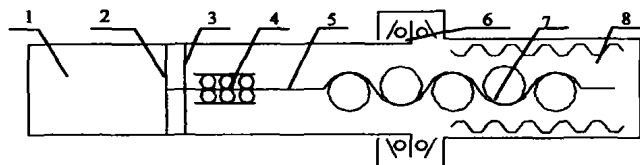
**摘 要:**逆螺旋机构是一种具有广泛应用前景的新型传动机构,它具有体积小,重量轻,传动效率高,单位重量下输出扭矩大等特点。在机器人设计方案论证过程中,需要验证逆螺旋机构结构外形设计的合理性。应用 I-DEAS 软件首先对整个关节的各个零件进行三维实体造型,其次通过虚拟装配过程检查在装配过程和装配完成后是否存在装配干涉的问题,最后通过对机器人关节逆螺旋传动机构的装配模型进行运动仿真,生成整体结构运动过程动画,观察各个零件的运动状态,并输出了主要零件的运动图谱。通过论证,表明该方案在外形结构设计及运动要求方面是合理的,为下一步设计研究奠定了基础。

**关键词:**逆螺旋机构;三维造型;运动仿真

**中图分类号:**TH132.1;TH113.2

**文献标识码:**A

机器人关节的逆螺旋传动机构的功能是将直线运动转化为圆周运动。将直线运动转化为圆周运动的机构有若干种,最典型的机构有齿轮齿条机构和曲柄滑块机构等。但是,对于机器人关节而言,要求整个机构体积要小,重量要轻,传动链尽可能短,传动效率要高,而且,根据结构要求,原动件所做直线运动的方向应该与输出件圆周运动轴线方向一致。综合各种传动机构的特点,图 1 所示的逆螺旋传动机构是一种比较理想的设计方案<sup>[1-3]</sup>。



1. 油缸;2. 活塞;3. 缸盖;4. 滚珠花键副;5. 传动轴(丝杆);  
6. 止推副;7. 滚珠直旋副;8. 螺旋套输出组件

图 1 机器人逆螺旋传动机构简图

该机构的传动过程大致如下:高压油进入油缸 1,推动活塞 2 做直线运动,活塞将直线运动传递给丝杆 5,丝杆在结构内腔进行直线运动时,由于受到滚珠花键副 4 的限制作用,不会有绕轴线的旋转运动,在滚珠直旋副 7 的作用下,螺旋套输出组件 8 将发生绕轴线的

的旋转运动,由于受到止推副 6 的止推作用,活塞的推力和直线运动将不会直接传递到螺旋套输出组件,从而实现将活塞的直线运动转化为螺旋套输出组件的旋转运动,将活塞推力转化为螺旋套输出组件的输出扭矩,完成该机构的功能<sup>[4]</sup>。

借助 I-DEAS 8.0 的实体造型、装配、机构分析模块,笔者对机器人关节的逆螺旋传动机构设计方案诸零件进行了实体建模、装配分析、质量测算和运动模拟,完成了运动过程的动画显示,得出了主要零件的位移图,速度图。

## 1 零件的实体造型方法

通过 I-DEAS 的造型模块(MasterModel),可以生成复杂的三维实体<sup>[5]</sup>。I-DEAS 软件的三维实体造型的方法灵活而多样,在实体造型过程中最基本的方法是软件利用最基本的图素,如圆,直线,曲线等绘制出实体模型的 2D 平面轮廓图或截面图,再利用基本的实体生成方法,如拉伸、旋转、放样、扫掠等方法,将这些 2D 平面轮廓或截面生成三维实体,当然也可以使用它自身零件库中已经存在的基本三维实体,根据需要修改这些基本三维实体的相关尺寸得到进一步造型所需要的实体

\* 收稿日期:2003-06-10

基金项目:国家“863”资助项目(423140)

作者简介:周阳(1979-),男,湖南湘潭人,重庆大学硕士研究生,主要从事机械设计及理论方向研究。

毛坯模型,以提高造型效率。对三维实体,该软件提供强大的布尔操作能力,能够对三维实体进行差、并、交等布尔运算,生成形状比较复杂的实体模型。值得一提的是 I-DEAS 所提供参数绘图的功能,能够利用用户输入的自定义函数方程程序来绘制无法使用基本图素绘制的曲线。比如空间螺旋线、圆的渐开线、齿轮齿根连接曲线等等,利用这些复杂曲线,借助软件提供的灵活的造型方法和实体操作方法,可以得到如丝杆、螺旋套、齿轮、蜗杆等复杂实体模型。I-DEAS 软件生成的三维模型还可以根据需要随时修改平面轮廓尺寸或造型特征尺寸,并且可以马上在三维实体上得到反映,完全满足参数造型,尺寸驱动的要求。在机器人关节逆螺旋传动机构中的造型过程中,正是利用 I-DEAS 软件的三维造型功能,完成了其零件的实体造型,造型完成的三维实体模型如图 2 所示。

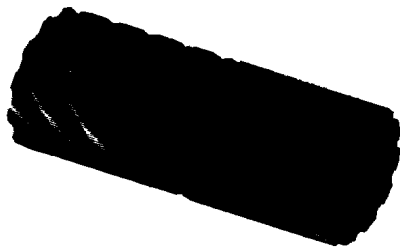


图 2 丝杆零件实体图

## 2 模型的装配

利用 I-DEAS 的装配模块 (Assembly) 将已经生成的零件三维实体模型进行装配,观测整体设计效果,测算各个零件以及整个装配体的质量并进行干涉检验。Assembly 模块能够自动将选定零件的几何特征按

照一定的方式进行组合比如轴线共线、面重合等,从而模拟实际的装配过程。对机器人关节的逆螺旋传动机构,按照实际装配顺序,对整个结构进行装配,把缸体、缸盖、接套、花键套等装配成一个子装配体命名为固定件,把活塞、圆螺母以及丝杆装配成为另一个子装配体命名为原动件,将轴承外环、螺旋套和连接套组成输出件子装配体,再将花键隔套、螺旋隔套和钢珠装配成为浮动件子装配体。最后将这 4 个子装配体装配成为完整的结构。装配完成后得到得装配模型可以为运动仿真分析等其他功能模块直接调用。装配完成的模型如图 3 所示,装配完成后的结构剖面图如图 4 所示。

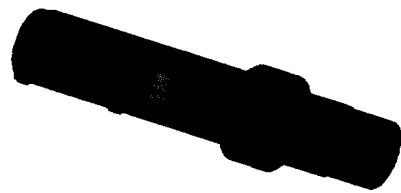


图 3 纵关节装配图

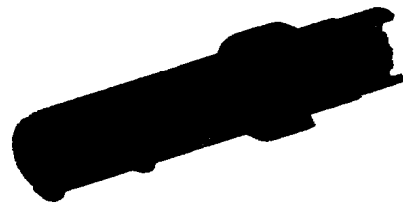


图 4 纵关节装配剖面图

装配完成后,经过 I-DEAS 软件的计算,可以得到整个机器人关节的逆螺旋传动机构中的各个零件以及整个装配体的计算质量,如表 1 所示,整个传动系统装配体总质量为 0.628 kg。

表 1 机器人逆螺旋传动系统中主要零件计算质量

名称	油缸	活塞	缸盖	接套	圆螺母	丝杆	花键套	花键隔套	轴承外环	螺旋隔套	螺旋套	连接套
质量	0.159	0.042	0.013	0.039	0.002	0.103	0.064	0.009	0.045	0.009	0.079	0.056

经过装配环节的干涉检查,最容易发生干涉的地方为螺旋隔套与丝杆以及螺旋套,花键隔套与丝杆以及花键套之间均有 0.5 mm 的间隙,保证了运动的顺畅。经过检验,结构各个零件在装配过程中以及运动过程中不会发生干涉,从而证明该设计方案合理可行。

## 3 运动分析

I-DEAS 软件对装配模型的运动过程进行仿真分析过程,实际上是对装配模型中的运动副进行分析求解。不同种类的运动副,将唯一确定拥有该运动副

的零件模型的运动形式。在 I-DEAS 软件中,已经内置了常见机构运动所常用基本运动副,如旋转副、滑移副、直旋副、球副、万向副、平面副、固定副、凸轮副、螺旋副、耦合副、以及虚约束等,这些运动副分别对拥有该运动副的零件的运动自由度做了不同程度的限制。而将这些基本运动副适当组合,几乎可以组成机构运动的所需的所有复杂运动副,从而将各个运动部件之间的运动关系清楚的体现出来,完整的表达一个复杂机构的运动全过程。进行运动分析之前,该软件会要求用户定义出机构运动中的刚体部件和固接部件。所

谓刚体部件就是在机构运动过程中相互之间不会存在相对位移的部件,子装配体也可以定义成刚体,这和机构实际运动过程一样。而固接物就是在运动过程中始终都不会发生任何位移的部件,其概念和实际机构中的大地固连物相似。当运动副和刚体以及固接物定义完成后,根据设计方案要求在所需的运动副上添加原始运动,I-DEAS 将根据原始运动对机构运动进行仿真,输出最终运动。I-DEAS 不仅能够通过这些用户定义的运动副和原始运动形式来模拟各个零件的相对运动形式,表达整个机构的运动过程,而且还能自动求解出这些零部件在运动过程中运动特征物理量,如速度,位移,加速度等;另一方面,它也能够求解出这些运动副在运动和动力传递过程中作用在这些运动副之上的力学参数,如力和力矩等。

机器人关节的逆螺旋传动机构主要是通过螺旋套以及丝杆螺旋槽之间的滚珠作用,把由活塞提供的直线运动转化为输出件的旋转运动,在研究过程中,主要考虑的是活塞直线运动和输出件(螺旋套)旋转运动之间的关系,没有考虑滚珠的传递作用以及它的运动过程。

将结构装配完成后,可直接进入运动分析模块(Mechanism Simulation)。对关节的逆螺旋传动机构运动模拟仿真过程,用到了滑移副(Translation Joint),旋转副(Revolute Joint)和螺纹副(Screw Joint)。将油缸与活塞之间定义为滑移副,并且使滑移副的运动方向(默认为Z向)正方向与整个结构的轴线方向一致。其次,在花键套与轴承外环之间的连接用旋转副(Revolute Joint)来联接,并且使其转动轴线方向与整个结构的轴线方向一致。最后,是在丝杆与螺旋套之间定义螺纹副,同样,也需要将螺纹副的转动轴线方向与整个结构的轴线方向一致<sup>[6]</sup>。结构的运动副示例如图5、图6所示。

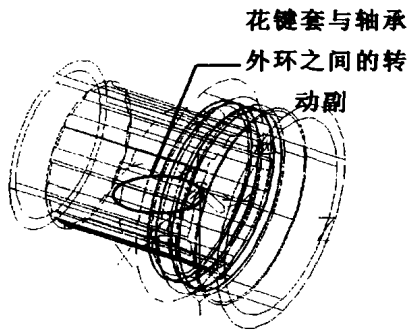


图5 花键套与轴承外环之间的转动副

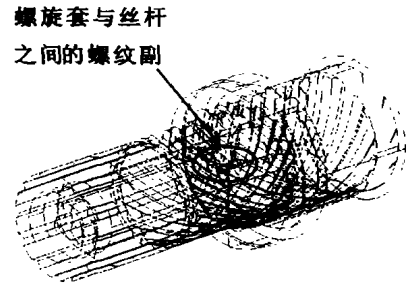


图6 螺旋套与丝杆之间的螺纹副

根据设计方案,活塞的直线运动为原始运动,行程40 mm,因此在油缸与活塞之间的的滑移副上定义原始运动,即活塞以19.63 mm/s的速度移动,运动时间2.038 s。利用I-DEAS的运动求解器进行求解,可得输出件及原动件的轴向角位移、角速度,如图7-10所示。

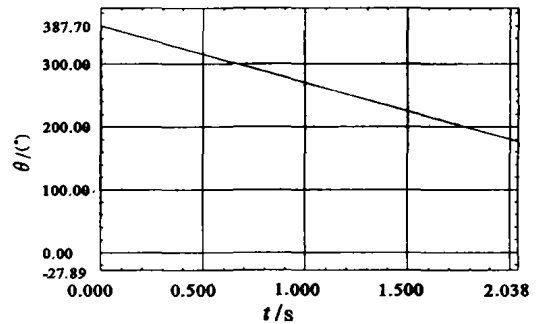


图7 输出件轴向角位移图

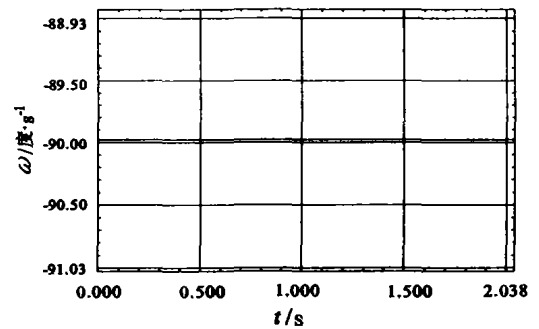


图8 输出件轴向角速度图

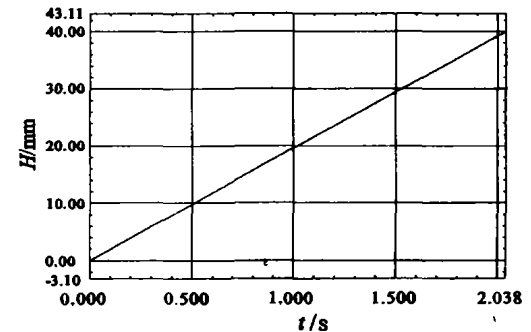


图9 原动件轴向位移图

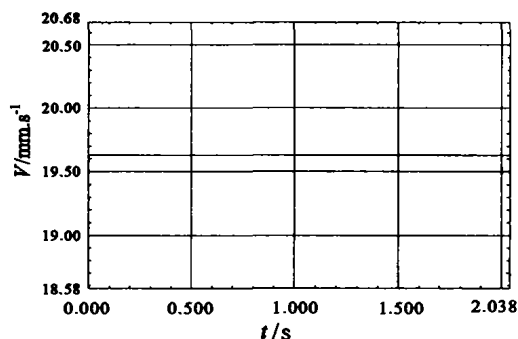


图10 原动件轴向速度图

由此,可以得到原动件与输出件位移、速度之间的关系,可以看出,在2.038 s时间内,活塞运行行程为40 mm,速度为19.63 mm/s。输出件转动位移共 $359.817^\circ - 176.626^\circ = 183.191^\circ$ ,绕输出轴的角速度大小为 $-89.977$ 度/秒。这与手工计算的输出件转动位移为 $183.318$ 度,输出角速度为 $-89.9499$ 度/秒在数值上十分接近。并将整个运动过程制作成动画,将复杂的运动过程直观的表现出来。清楚的观察到各个零件在运动过程中的运动状况。

#### 4 结 论

通过利用I-DEAS软件的相关功能模块,建立了机器人逆螺旋传动系统的零件以及装配模型,对原始设计方案进行初步评估。计算可知,该传动系统在满

足运动传动要求的前提下,明显比常规的传动装置如齿轮齿条机构、曲柄滑块机构具有体积小,重量轻的特点。同时,通过虚拟装配和干涉检查初步证明设计方案零件外形符合设计要求,不会产生干涉现象等。最后,通过I-DEAS对整个传动系统的运动模拟,输出运动曲线图谱,通过对比设计要求,当活塞行程为40 mm时,螺旋套输出组件的转动幅度达到 $183^\circ$ 左右,完全满足设计所要求的活塞行程40 mm,螺旋套输出组件转动幅度为 $0 \sim 180^\circ$ 的要求。此外,还将此运动过程生成为动画文件,让设计者非常直观的观看运动过程以及运动过程中各主要零件的运动状况,以检查和修改原设计方案。

#### 参考文献:

- [1] 饶振纲,王勇卫. 滚珠丝杠副及自锁装置[M]. 北京:国防工业出版社,1990.
- [2] 程光仁,施祖康,张超鹏. 滚珠螺旋传动基础[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- [3] 梁锡昌. 一种新型旋转作动器[J]. 航空学报,2001,22(6):576.
- [4] 胡建军. 金属带无级变速传动系统速比控制策略[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2001,24(6):12-15.
- [5] 方新. I-DEAS产品三维设计指南[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [6] LIANG X C. The research of the reducer based on R-S-R mechanism[J]. ICMT,2001,352-355.

## Assembling and Kinetic Simulation on a Robot Joint Based on Inverse-screw Mechanism

ZHOU Yang, LI Run-fang, LIN Teng-jiao, LIANG Xi-chang

(State Key Laboratory of Mechanical Transmissions, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Inverse-screw mechanism is a new type of power transmission with wide application because of its small volume, tiny weight, high transfer efficiency and high torsion output per unit weight. One of the applications of this inverse-screw power transmission is the joint in some robots. In the process of design scheme the rationality of structure of inverse screw mechanism need to be validated. With I-DEAS, the 3D solid modeling is firstly carried out and the assembling-simulation of whole structure is processed. In order to find the potential problems of interference and generate an animation file of the device movement and output the kinetic charts of some key parts, the kinetic simulation for the inverse-screw transmission is carried on. The simulation result shows that this scheme is valid in aspects of parts shape design and the kinetic requirement satisfaction. It will take a premise for the further research.

**Key words:** inverse screw mechanism; 3D solid modeling; kinetic simulation

(编辑 成孝义)