

新型非接触式章动传动机构设计与实验分析

黄鼎键^{1,2}, 丁森煌¹, 苏孝亮¹, 邱俊伟¹, 刘志伟¹, 施玲珊¹, 姚立纲²

(1. 福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118; 2. 福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要: 非接触式章动传动机构是一种新型的传动装置。设计一种采用磁场、磁力作为传动介质, 兼顾磁力传动和章动传动优点的传动装置, 研制该传动机构样机并对其进行传动比实验测试。结果表明, 非接触式章动传动机构可以实现机械接触式章动传动的功能, 机构传动比稳定, 为解决章动传动振动、噪声、齿轮磨损、润滑油液污染等问题提供了一种有效手段。

关键词: 非接触; 章动传动; 可行性

中图分类号: TH132.4

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2016)01-0051-04

Design and experimental analysis for a novel non-contact nutation drive mechanism

Huang Dingjian^{1,2}, Ding Senhuang¹, Su Xiaoliang¹, Qiu Junwei¹, Liu Zhiwei¹, Shi Lingshan¹, Yao Ligang²

(1. College of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Non-contact nutation drive mechanism (NNDM) is a new type of transmission device. A NNDM transmission mechanism was designed that combines the advantages of magnetic drive and nutation drive and employs magnetic field and magnetic force as the transmission medium. A prototype of the NNDM was designed, the transmission ratio of which was tested. The results indicate that the non-contact nutation drive mechanism can realize the function of mechanical contact nutation drive with stable transmission ratio and is an effective solution to vibration, noise, gear wear, lubrication oil pollution in mechanical nutation drive.

Keywords: non-contact; nutation drive; feasibility

章动传动可实现大传动比同轴传动, 具有结构紧凑、承载能力强、机构零件少等优点, 广泛应用于机床、机器人臂、仪表、航空、航海等领域中。Gupt^[1]提出一种通过章动盘驱动的一组滚子分别与凸轮齿廓转子和定子啮合的章动传动机构。Uzuka^[2]等人利用章动传动原理设计新型气动马达和电磁马达, 针对章动马达的原理、建模和特性进行了研究, 并用于机械手驱动。赵建衡和张根保^[3-4]分析了章动齿轮传动的基本原理, 推导了单级章动传动的传动比, 并提出了复合式章动齿

轮机构。张纯清^[5]对复合型章动活齿传动装置进行了运动和动力学方针分析。姚立纲课题组^[6-7]提出具有双圆弧齿形的螺旋锥齿轮章动传动, 推导其传动比, 建立了三维实体模型, 进行了运动仿真、动力学分析、误差分析和有限元分析, 最终完成样机并开展实验研究。

然而, 传统机械接触式章动传动机构与其他齿轮传动机构一样, 存在齿面接触变形、机械磨损、齿面间需润滑等缺点, 还有因齿面磨损以及啮合间隙而导致的振动和噪声问题。

收稿日期: 2015-12-21

基金项目: 福建省 2015 年国家级大学生创新创业训练计划项目 (201510388012); 福建省教育厅教育科研项目 (JA15346)

第一作者简介: 黄鼎键 (1982-), 男, 福建福州人, 讲师, 博士研究生, 研究方向: 新能源汽车与机械传动等。

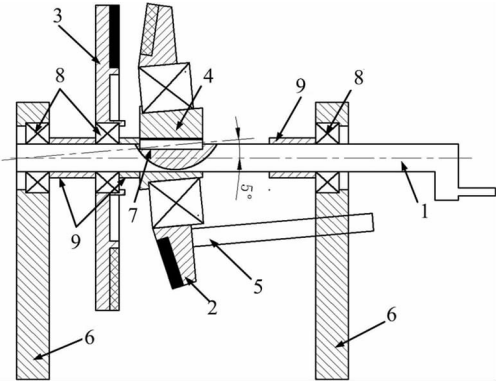
为解决上述问题,提高机械装备的品质,引入了磁力传动。磁力传动利用磁力耦合作用,使主、从动轮机构完全分离,实现非接触传动,非接触传动振动小、噪声低、结构简单,具有良好的传动性能及过载保护功能。研究者常利用磁力传动制作磁力齿轮等磁力机械装备;1993 年, S. Kikuchi^[8]提出一种使用永磁磁铁制作的蜗轮蜗杆机构,分析了其结构特征,通过实验测试得到该机构的转速和转矩特性。2001 年,赵韩^[9]利用永磁体的等效电流模型理论,推导外啮合磁力齿轮传动力矩三维数学模型,并进行有限元分析、验证。2015 年,朱学军和许立忠^[10]研制了 2K-H 型永磁行星齿轮传动系统,通过实验测试该样机的传动比、转矩和传动效率。到目前,相关的研究还未将磁力传动应用于章动传动中来解决传统章动传动的一些固有问题。

综上所述,本文提出并设计了一种新型的基于磁力传动的非接触式章动传动机构,充分利用章动传动和磁力传动的各自优点,实现非接触传动,使该机构避免齿面接触变形、磨损,齿面无需润滑,机构更具环境友好性,振动和噪声也可降低。

1 非接触式章动传动结构设计及工作原理

非接触式章动传动机构的结构和工作原理与传统章动传动机构相似,所设计的非接触式章动传动机构结构方案二维图,如图 1。该机构是由输入轴 1、章动轮盘 2、转动轮盘 3、章动套 4、销轴 5 和其他零件组成。两侧轴承支座 6 底部可用螺钉固定在平板上,其上各装有轴承用于支撑贯穿的输入轴 1,输入轴 1 和章动套 4 上加工有键槽,两者的轴线夹角 $\theta = 5^\circ$,该角度称为章动角,平键 7 用于传递扭矩;章动套上安装轴承,章动轮盘安装在轴承外圈上,随输入轴转动可做章动运动,但由于章动轮盘上的销轴 5 仅在销轴槽内滑动,并随章动轮盘有一定的角度变化,从而限制了章动轮盘绕其自身轴线自转,使章动轮盘只做摆动;转动轮盘 3 安装在轴承上,可绕其自身轴线转动。

该设计中,章动轮盘和转动轮盘端面上都安装一定数量的永磁磁铁,按照 N 极和 S 极相间排列,这就将齿轮啮合传动用磁力啮合传动代替,起到减少摩擦、降低振动和噪声的作用。当外部动力驱动输入轴转动时,通过输入轴和章动套之间



1. 输入轴 2. 章动轮盘 3. 转动轮盘 4. 章动套 5. 销轴 6. 轴承支座 7. 平键 8. 轴承 9. 套筒或限位器

图 1 非接触式章动传动机构示意图
Fig. 1 Sketch of a non-contact nutation drive device

的平键带动章动套转动,由于章动套偏转,使章动轮盘摆动;再利用磁力传动带动转动轮盘转动,最终实现减速及动力输出,转动轮盘的进动量和机构的传动比都取决于两轮盘的磁极数。

2 理论传动比

设非接触式章动传动机构的章动轮盘极数为 p_1 ,转动轮盘极数为 p_2 ,输入轴的转速为 n_1 ,转动轮盘作为输出机构的转速为 n_o ,章动轮盘的转速为 n_l ,机构传动比为 i 。则有

$$i = \frac{n_1}{n_o} \tag{1}$$

对于输入轴、章动轮盘和转动轮盘,有

$$i_{l12} = \frac{n_1 - n_l}{n_o - n_l} = \frac{p_2}{p_1} \tag{2}$$

由于章动轮盘被销轴限制了自转,则有

$$n_l = 0 \tag{3}$$

式(3)代入式(2),得

$$\frac{-n_1}{n_o - n_1} = \frac{p_2}{p_1} \tag{4}$$

联立式(1)和式(4),可得

$$i = \frac{p_2}{p_2 - p_1} \tag{5}$$

本例中,章动轮盘的极数和转动轮盘的极数分别是 $p_1 = 12, p_2 = 10$,代入式(5),可得 $i = -5$,即机构在该极数情况下,其传动比大小为 5,输出轴的转向与输入轴转向相反(传动比为负号)。上述章动轮盘和转动轮盘的磁极数只是一种特例,实际中通过合理设置永磁磁铁极数可获得更

大的传动比或所需的传动比,如要获得较大的传动比,应在保证转动轮盘极数较大的前提下,使两轮盘的极数差较小。

3 三维建模与虚拟装配

完成非接触章动传动机构二维结构方案设计后,根据各零件的结构参数和设计要求,利用三维建模软件 Solidworks 进行三维实体精准建模,为部分模型,如章动套、章动轮盘(不含磁铁)、转动轮盘(不含磁铁)进行 3D 打印制作提供精确的模型信息。最终完成章动轮盘 2、转动轮盘 3、章动套 4 等其他零件的三维数字化建模,其中章动轮盘(含磁铁)、转动轮盘(含磁铁)、章动套,分别如图 2、3,章动轮盘和转动轮盘分别按 N 极和 S 极等间隔布置 12 个磁极和 10 个磁极。

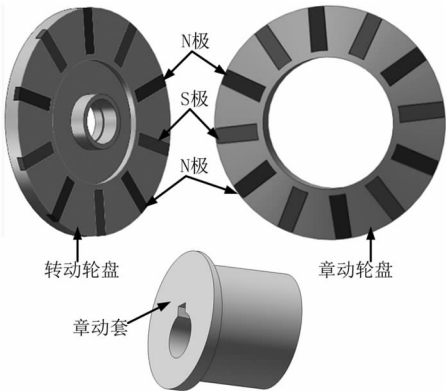


图 2 章动轮盘和转动轮盘磁铁布置图

Fig.2 Magnet arrangement of nutation disc and rotary disc

建立该机构各零件的三维实体模型后,可定义各零件之间的装配配合关系,完成虚拟样机装配,检查机构是否出现结构干涉,并对结构进行局部优化,最终完成虚拟样机,如图 3。

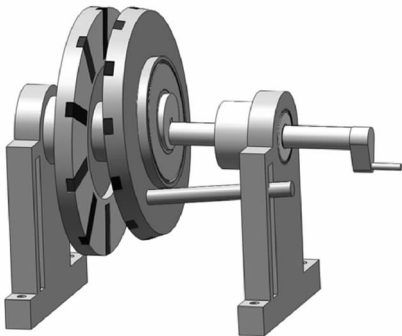


图 3 结构简图

Fig.3 The schematic diagram of non-contact nutation drive mechanism

4 样机制作与实验验证

4.1 样机制作

为验证非接触式章动传动的原理及机构方案合理性,制作了样机。由于单件样品加工及结构复杂性导致传统机械加工成本高,该样机采用 3D 打印技术能快速完成复杂结构的章动轮盘、转动轮盘和章动套的制作加工,且成本较低;加工这 3 个零件所选用的材料是 ABS 塑料,如图 4。

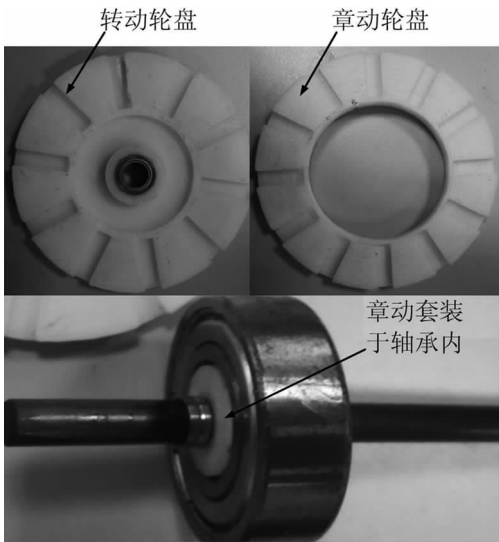


图 4 转动轮盘/章动轮盘/章动套 3D 打印件

Fig.4 3D prints of rotary disc/ nutation disc / nutation sleeve

将磁铁固定安装在两轮盘的磁铁槽内,变成磁力章动轮盘和磁力转动轮盘,如图 5。按前述装配和安装方法,完成样机装配,其外形尺寸为 80 mm × 60 mm × 60 mm,如图 6;章动轮盘和转动轮盘间磁铁最小间隙 2 mm,最大间隙 8 mm。

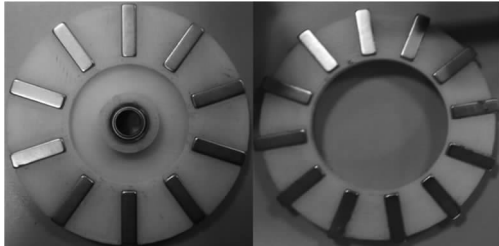


图 5 磁力转动轮盘和磁力章动轮盘

Fig. 5 Magnetic rotary disc and magnetic nutation disc

4.2 传动比实验

将传动机构机座固定在桌面上,在章动轮盘和转动轮盘上分别标记初始点,并使这两个初始

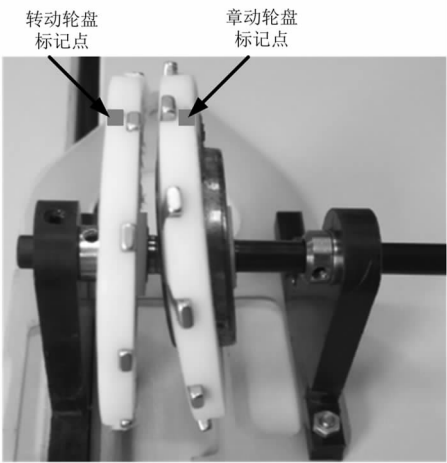


图 6 非接触式章动传动机构样机

Fig. 6 Prototype of non-contact nutation drive device

点对齐,如图 6 中标记点;然后用手缓慢地旋转输入轴带动章动盘运动,观察到章动轮盘由于销轴和槽的限制只做摆动运动而无自转,输入轴每转一圈,转动盘绕其轴线转过一定角度(72°),其转向与输入轴转向相反,最后,当输入轴转 5 圈后,转动轮盘的标记点回到初始位置,并与章动轮盘的标记点对齐,其转动过程如图 7;经持续试验,分别让输入轴转 10、20、30 圈,转动轮盘的标记点亦能回到初始位置,由此,实验所得传动比 $i_e = -5$,与理论计算值相符,验证了所设计非接触式章动传动机构方案可行。

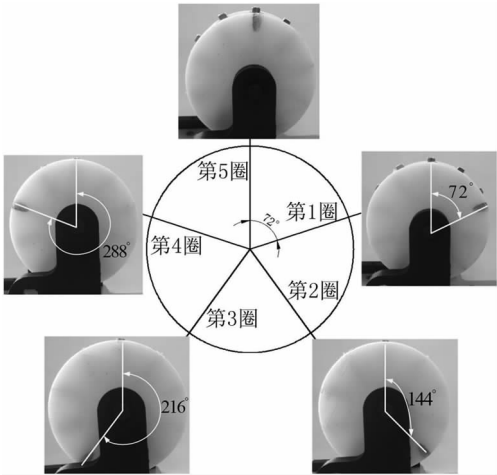


图 7 实验过程

Fig. 7 Experimentation of transmission ratio for non-contact nutation drive mechanism

5 结语

提出了基于磁力传动和章动传动的新型非接触式章动传动机构,既可实现非接触章动传动,又无齿面磨损,无需润滑,从而避免了机械接触式章动传动的缺点。运用 CAD 技术和 3D 打印技术完成样机制作,并通过传动比实验,实验所得传动比与理论传动比一致,验证了该机构方案可行,也为相关传动领域的应用提供了一种思路,并开发一些新型应用产品如非接触式章动泵等。

参考文献:

[1] Gupta P K, White H V. On the kinematics of a nutating mechanical drive[J]. Journal of Applied Mechanics, 1975,42(2): 507 – 509.

[2] Uzuka K, Enomoto I, Suzumori K. Comparative assessment of several nutation motor types[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,2009,14(1):82 – 92.

[3] 赵建衡,张根保. 章动轮系及其传动比计算[J]. 机械科学与技术,1996,25(5):21 – 23.

[4] 张根保. 章动齿轮传动机构简介[J]. 机械,1997,24(2):14 – 15.

[5] 张纯清. 章动活齿传动装置设计分析[D]. 大连:大连交通大学,2013:1 – 4.

[6] Yao L, Gu B, Huang S, et al. Mathematical modeling and simulation of the external and internal double circular-arc spiral bevel gears for the nutation drive[J]. Journal of Mechanical Design, 2010,132(021008):1 – 10.

[7] 洪金龙. 双圆弧螺旋锥齿轮章动传动误差分析及实验研究[D]. 福州:福州大学,2015.

[8] Kikuchi S, Tsurumoto K. Design and characteristics of a new magnetic worm gear using permanent magnet[J]. IEEE Transactions on Magnetics. 1993,29(6):2923 – 2925.

[9] 赵韩,杨志轶,田杰. 永磁齿轮传动力矩计算方法研究[J]. 机械工程学报,2001(11):66 – 70.

[10] 朱学军,许立忠. 永磁行星齿轮传动的参数设计与实验研究[J]. 机械设计与制造,2015(4):5 – 8.