

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.10.011

航空用油门执行机构双导程蜗杆精确建模研究*

倪笑宇¹, 佟 辉², 王占英^{1*}, 束二洋², 徐 军³, 安兆杰¹

(1. 河北建筑工程学院 机械工程学院, 河北 张家口 075000;

2. 北京青云航空仪表有限公司, 北京 100086; 3. 北京理工大学 宇航学院, 北京 100081)

摘要:针对航空用油门执行机构的可靠性和精度问题,为满足其发动机开口量精确控制的要求,对航空用油门执行机构传动部分进行了研究。设计了一种双导程蜗轮蜗杆副,并将其应用于某型电动油门执行机构中;分析了阿基米德双导程蜗杆的工作原理及相关参数,针对航空用双导程蜗杆加工材料和加工方法的变化,重点探讨了阿基米德双导程蜗杆的精确建模方法及过程,并进行了其在某型油门执行机构中的传动应用分析。研究结果表明:此双导程蜗杆及其精确建模方法准确可靠、精度高、间隙可调,可应用于精度要求较高的航空执行机构中,为产品的加工工艺提供了一定的理论依据。

关键词:油门执行机构;传动精度;双导程蜗杆;精确建模;UG 软件

中图分类号:TH132.44;V233.21

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2019)10-1065-04

Precise modeling of aviation throttle actuator mechanism dual-lead worm

NI Xiao-yu¹, TONG Hui², WANG Zhan-ying¹, SHU Er-yang², XU Jun³, AN Zhao-jie¹

(1. School of Mechanical Engineering, Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering, Zhangjiakou

075000, China; 2. Beijing Qingyun Aviation Instrument Co., Ltd., Beijing 100086, China;

3. School of Aerospace Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Aiming at the problems of reliability and accuracy of the aviation throttle actuator, in order to meet the requirement of precise control of aircraft engine opening, the transmission part of aircraft throttle actuator was studied, a double-lead worm gear pair was designed and applied to a certain type of electric throttle actuator. The working principle and related parameters of Archimedes dual-lead worm were analyzed. Aiming at the change of processing materials and methods of aviation double-lead worm, the accurate modeling method and process of Archimedes dual-lead worm was discussed, and its transmission application in throttle actuator was analyzed. The results indicate that the dual-lead worm and its precise modeling method are accurate, reliable, adjustable clearance, and it can be applied to the aviation actuator with high precision requirements, and provides a theoretical basis for the processing technology of products.

Key words: throttle actuator; transmission precision; dual-lead worm; precise modeling; UG software

0 引 言

蜗轮蜗杆组件是一种重要的机械传动机构,这一装置优点在于其较高的减速比和紧凑的尺寸。近年来高科技产业蓬勃发展,对精密机械设备及精密制造工

艺的需求迅速增加。在机械领域精密齿轮和滚珠丝杠是实现这些目标的关键部件。但是众所周知,即使在最高级别的精密齿轮中,齿间间隙仍不能消除,反弹是影响定位精度的主要因素之一。黑尔和斯洛克姆^[1]提到了一些美国间隙设计专利,其中有的用于蜗轮蜗

收稿日期:2019-01-08

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2018404044);河北省高等学校青年拔尖人才计划项目(BJ2016017);张家口市科学技术研究与发展计划项目(1811009B-03)

作者简介:倪笑宇(1984-),男,河北张家口人,硕士,副教授,主要从事机电一体化方面的研究。E-mail:yuxiaoni_0_0@163.com

通信联系人:王占英,男,硕士,教授。E-mail:wzy0313@126.com

杆传动,其设计理念类似于一个滚珠螺杆,在蜗杆的线程和蜗轮的齿牙之间插入滚珠,尽量减小蜗杆蜗轮之间反弹间隙,但这种设计成本高、工艺复杂;后来美国的拜尔^[2]提出了一种更为经济的方法,即使用双导程蜗杆蜗轮组,蜗杆的双引线是特别设计的,有两种不同导程的双向蜗杆线程,由于不同的引导线,两侧的线程在轴向方向的厚度不同,设计最适宜的两侧线程,通过旋转蜗杆轴就可调节蜗轮蜗杆之间的间隙,确保蜗杆与蜗轮配合精度。该方法加工相对简单、经济性好,是目前国内外普遍采用的方法。

以某型飞机中与发动机交联的核心组件油门电动执行机构为例^[3-5],其控制精度要求很高,否则油门开口量难以精确控制,故油门机构传动组件的啮合间隙需要调整至很小,因此,双导程蜗杆成为了该结构设计的首选。另外,由于某型飞机长寿命、高可靠性的要求,对其重要传动环节—蜗轮副可靠工作时间要求成倍增加,传统的金属材料已经满足不了实际要求。

本文在已有相关研究文献的基础上,通过试验验证,对蜗轮与蜗杆材料进行重新选择,蜗杆选用某增韧型陶瓷,并基于加工材料的变化,将蜗杆加工方式由传统的车削加工变为磨削加工,对双导程蜗杆进行精确建模,为零件加工提供理论依据。

1 双导程蜗杆设计

1.1 双导程蜗杆原理

双导程蜗杆的几何关系图如图 1 所示。

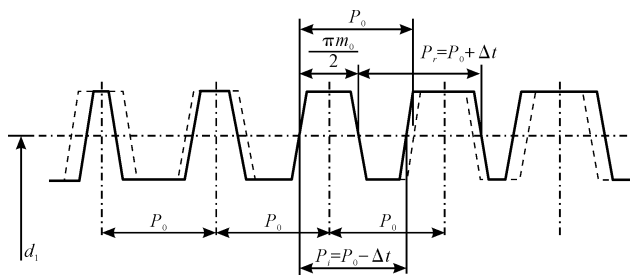


图 1 双导程蜗杆几何关系图

虚线—轴向齿距 P_0 相等的标准蜗杆的螺纹; P_0 —蜗杆的轴向齿距; P_r —螺纹右侧面轴向齿距; P_l —螺纹左侧面轴向齿距; Δt — P_l 和 P_0 以及 P_r 和 P_0 之间的差; m_0 —蜗轮的名义模数; d_1 —蜗杆分度圆直径

图 1 中:螺纹两面轴向螺距不同,螺纹的厚度也不同,右手边的螺纹厚度逐渐增加,左手边的螺纹厚度相应地减小,相邻螺纹的厚度相差 $2\Delta t$ 。由于蜗杆螺纹厚度变化,可以把蜗杆放在最合适的轴向位置,以消除蜗杆和蜗轮传动间隙。

此外,为保持精密机器反弹间隙,在机器运行一段时间后,本研究通过不断调整蜗杆的轴向位置,补偿蜗杆螺纹和蜗轮齿牙接触面间的磨损^[6]。

1.1 双导程蜗杆参数

按螺旋面形状的不同,双导程蜗杆可分为阿基米德双导程蜗杆及渐开线双导程蜗杆。为了简化计算,便于制造左右齿面,模数差 (Δm) 及左、右齿面的齿形角一般都选取相等值。

以阿基米德双导程蜗杆为例,国内文献已经对特殊参数的计算进行了详细的介绍,包括公称模数、齿厚增量系数、模数差、导程角等,可参考相关文献^[7-8],这里不再赘述。

2 双导程蜗杆 UG 精确建模

2.1 双导程蜗杆参数计算

根据某型油门产品双导程蜗杆的工况要求,前期确定公称模数 $m_0 = 1.6$,压力角、蜗杆分度圆直径 $d_1 = 20 \text{ mm}$,配对蜗轮齿数 $Z_2 = 24$ 。根据计算,可知该双导程蜗杆的基本参数如下:

齿厚增量系数 K_s 取值范围为 $0.02 \sim 0.04$,在满足配对蜗轮不根切的前提下,为提高调整精度,取 $K_s = 0.02$;模数差 $\Delta m = 0.16 \text{ mm}$;蜗杆公称节距 $P_0 = 5.03 \text{ mm}$;蜗杆右侧节距 $P_r = 5.08 \text{ mm}$;蜗杆右侧导程角 $\lambda_r = 4^\circ 37'$;蜗杆左侧节距 $P_l = 4.98 \text{ mm}$;蜗杆左侧导程角 $\lambda_l = 4^\circ 31'$ 。

2.2 双导程蜗杆 UG 建模

2.2.1 阿基米德螺旋线建模方法

对于普通阿基米德蜗杆而言,其齿面是在车床上使用梯形齿廓车刀车削出来的螺旋轨迹曲面,要求车刀切削刃所在的平面位于蜗杆的轴向剖面内。

假设蜗杆固定,而车刀绕蜗杆轴线做螺旋运动,该车刀的轨迹(即齿面螺旋线)方程为^[9-10]:

$$\begin{cases} x = \pm \frac{P\varepsilon}{2\pi} \\ y = r\sin\varepsilon \\ z = r\cos\varepsilon \end{cases} \quad (1)$$

式中: P —螺旋线螺距; ε —螺旋升角; r —螺旋线半径。

通过对阿基米德蜗杆的切削原理分析,可知其是由一梯形轴围绕蜗杆轴线做螺旋运动形成的,各轴剖面内的齿廓相同。依此类推,对于阿基米德双导程蜗杆而言,由于左、右导程单方向一致,左、右轴剖面的齿廓也相同。因此,在 UG 中建立两条不同导程的阿基米德螺旋线,通过扫描其左、右轴剖面的齿廓,即可建

立阿基米德双导程蜗杆。

以 UG-NX7.5 为例,首先通过 3.1 章节中的双导程蜗杆参数进行计算,并在软件中进行设置。

阿基米德螺旋线设置窗口如图 2 所示。



图 2 阿基米德螺旋线设置窗口图

本研究在图 2 所示的“编辑螺旋线”窗口中,设置螺旋线的圈数、螺距、半径,即可得到双导程蜗杆的阿基米德螺旋线,如图 3 所示。

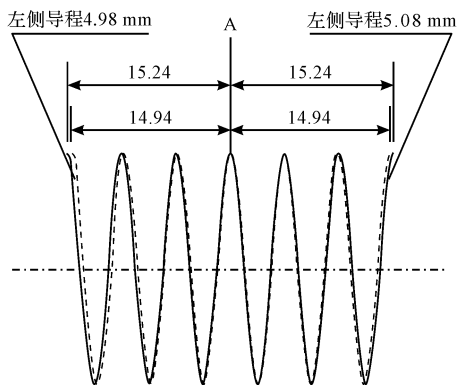


图 3 双导程蜗杆的阿基米德螺旋线

2.2.2 法向齿廓建模方法

进入 UG-NX7.5 建模模块,以图 3 中的阿基米德螺旋线曲线中点 A 为基准,定义过 A 点直径为 20 mm 的圆的圆心为原点,以左、右两个法向平面为草图平面进行绘制,双导程蜗杆左、右法向平面如图 4 所示。

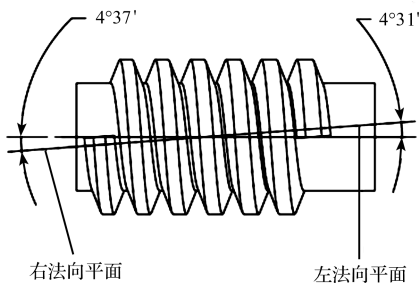


图 4 双导程蜗杆左、右法向平面

制出两个法向齿廓。

双导程蜗杆左、右法向齿廓如图 5 所示。

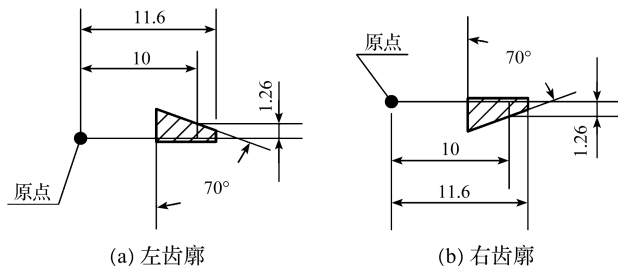


图 5 双导程蜗杆左、右法向齿廓

经过上述步骤,即可绘制出图 5 中的左、右法向齿廓。需要注意的是,由于左、右齿面导程不同,需要在左、右法向齿廓交接处预留一定尺寸余量,以避免扫掠时出现缝隙。

2.2.3 三维模型处理

根据章节 3.2.1 与 3.2.2 内容,分别建立的蜗杆螺旋线和法向齿廓,将齿廓以螺旋线为路径进行扫掠,即可建立蜗杆的齿面;最后添加蜗杆基体、支撑轴段及键槽等结构特征,生成阿基米德双导程蜗杆三维模型。

将用上述方法生成的双导程蜗杆进行磨削加工,最终可将其应用于某型油门的执行机构中。

3 油门执行机构的传动分析

某型飞机的发动机油门控制需要很高的控制精度,油门电动执行机构可以接收飞控计算机发送过来的油门指令,通过接收到的指令信号来控制发动机油门角度。双导程蜗杆蜗轮组直接与发动机主泵摇臂相连接,并利用蜗轮蜗杆的自锁功能实现反向自锁能力,防止发动机回弹力对油门电动执行机构的损坏和控制精度的破坏。

油门电动执行机构的传动原理如图 6 所示。

图 6 中:为了提高油门机构的可靠性,采用双余度控制,电机 A 和电机 B 可同时接收油门信号指令,经行星齿轮将两者综合,然后输出到直齿轮传动,最后经双导程蜗轮蜗杆输出。

由于行星传动及齿轮传动均存在齿隙误差,为了满足油门电动执行机构传动系统的高精度要求,本文采用双导程蜗杆代替普通蜗轮副将误差进行隔离。通过对结果的分析可知:

(1)在自动油门执行机构中,双导程蜗轮蜗杆组件侧隙可调整至 0.01 mm ~ 0.015 mm,而普通蜗轮副一般只能达到 0.03 mm ~ 0.08 mm,再小就容易咬死;

以图 4 中蜗杆左、右两个法向平面为草图平面,绘

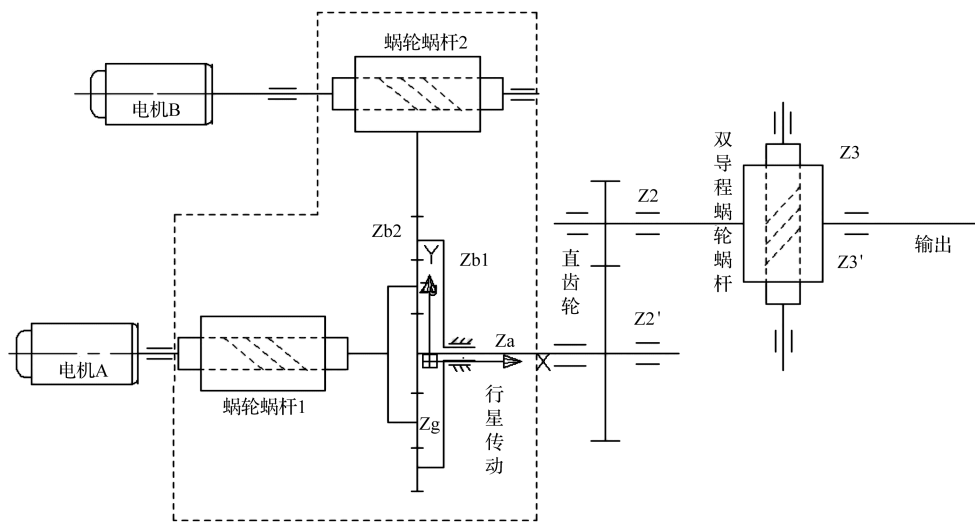


图 6 油门电动执行机构传动原理图

(2) 普通蜗轮副是以蜗杆做径向移动来调整啮合侧隙,从而改变传动副的中心距,但改变中心距会引起齿面接触情况变差,甚至加剧磨损,不利于保持蜗轮副的精度,而双导程蜗轮副则是用蜗杆轴向移动来调整啮合侧隙,不会改变中心距;

(3) 双导程蜗杆是用修磨调整环来控制调整量,调整准确、方便可靠,而普通蜗轮副的径向调整量较难掌握,调整时也容易产生蜗杆轴歪斜。

最终结果表明:双导程蜗轮蜗杆传动精度高,并且可以通过轴向移动蜗杆来调整啮合侧隙,且调整方便,便于控制精度;该方法建模准确,符合自动油门执行机构的高精度和高可靠性要求,提高了油门控制的精度。

4 结束语

双导程蜗轮副作为精度可调整的传动环节,在精密机械设计方面发挥了重要作用。为了满足航空产品高精度、高寿命、高可靠性的要求,本文中的油门电动执行机构,即传动链的最后一个环节设计采用了该机构,并使用了新材料和新加工方法,大大减少了传动间隙,使输出精度得到了很好的保障。

针对某型油门电动执行机构中双导程蜗杆加工材料和加工方法的变化,本文在 UG 中建立了双导程蜗杆的精确模型,并进行了应用分析,证实该设计可以提高航空产品传动机构的精度和可靠性,这也为后续产品的加工工艺提供了一定的理论依据,同时也对双导程蜗杆

建模方法的研究和实际应用具有一定的参考价值。

参考文献 (References):

- [1] HALE L C, SLOCUM A H. Design of anti-backlash transmissions for precision position control systems [J]. **Precision Engineering**, 1994, 16(4): 244-258.
- [2] BAIR B W, TSAY C B. ZK-type dual-lead worm and worm gear drives: geometry [J]. **Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME**, 1998, 120(3): 414-421.
- [3] 倪笑宇,徐军,梁建明,等. 三余度舵机控制器可靠性设计 [J]. **微特电机**, 2016, 44(1): 24-26.
- [4] 倪笑宇,徐军,戴美魁,等. LabWindows/CVI 多线程技术在油门测试软件中的应用 [J]. **自动化与仪表**, 2015, 30(5): 62-64.
- [5] 倪笑宇,王涛,徐军,等. 油门机构恒定力矩摩擦阻尼装置研究 [J]. **润滑与密封**, 2018, 43(4): 108-112.
- [6] 王秉钧. 双导程蜗杆的设计 [J]. **机械工程师**, 1987(5): 19-22.
- [7] 重庆机床厂设计科,天津大学机械系. 双导程蜗杆传动的设计与计算 [J]. **机床**, 1976(2): 70-76.
- [8] 胡平果,马朝锋,刘凯,等. ZA 型双导程蜗杆的数字化建模 [J]. **机械传动**, 2015, 39(1): 67-69, 73.
- [9] 刘长胜,商超,唐卫民,等. 基于 CATIA 与 ADAMS 的 GDX2 气缸式铝箔纸剔除装置建模与仿真 [J]. **包装与食品机械**, 2018, 36(1): 68-67, 21.
- [10] 喻萌. 阿基米德蜗杆在 CATIA 中的精确建模 [J]. **机械工程与自动化**, 2004(2): 4-6.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

倪笑宇,佟辉,王占英,等. 航空用油门执行机构双导程蜗杆精确建模研究 [J]. **机电工程**, 2019, 36(10): 1065-1068.

NI Xiao-yu, TONG Hui, WANG Zhan-ying, et al. Precise modeling of aviation throttle actuator mechanism dual-lead worm [J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2019, 36(10): 1065-1068.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>