

短杯谐波减速器性能测控试验设计与研究

刘铭杉

(南京理工大学 机械工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要:为测试一种理论上满足高承载、高效率、高精度、小尺寸性能要求的短杯谐波减速器的实际性能,设计了精密短杯谐波减速器性能测试控制系统,试验系统主要包括:机械结构部分、硬件架构、软件模块。经调试运行,该试验系统可以成功测试短杯谐波减速器的传动效率、极限承载性能、温升等性能参数。通过将理论计算结果与实际试验结果对比,该测试系统的测试结果具有较大参考价值。

关键词:短杯谐波减速器;综合性能;测控试验

中图分类号:TH132.46 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)05-0177-03

Design of Performance Measurement and Control Test of Short Cup Harmonic Reducer and Its Research

LIU Mingshan

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: A short cup harmonic reducer is designed, it meets the requirements of high load-carrying, high efficiency, high precision and small size in theory. This paper designs a test and control system for the performance of the precise short cup harmonic reducer. The test-system mainly consists of mechanical structure, hardware structure and software module. After debugging and operation, the test-system can be used to successfully test the transmission efficiency, ultimate load-bearing performance, temperature rise and other performance parameters of the short-cup harmonic reducer. By comparing the theoretical calculation results with the actual test results, the test results of the test system are of great reference value.

Keywords: short-cup harmonic reducer; comprehensive performance; measurement and control test

0 引言

在航天工程、机器人领域中,要求精密传动装置具有体积小和承载能力大的特点,故常采用短杯谐波齿轮传动。研究表明,柔轮的最大径向力和最大等效应力随着长径比的减小而增加^[1]。其余条件相同的情况下,如图1所示,短杯柔轮轮齿倾斜更严重,这影响了谐波减速器的承载能力,减速器很容易发生“跳齿”现象^[2]。此外,减速器中的柔性轴承也是易被破坏的部件。故短杯谐波减速器极易发生破坏、失效,其性能优劣直接决定了整个系统的寿命和承载能力。

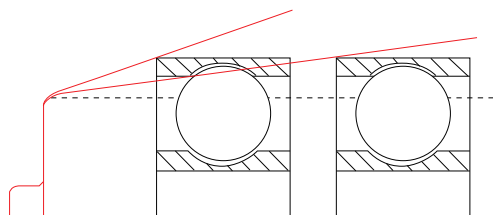


图1 不同杯长柔轮装入波发生器时张角对比示意图

目前,国内针对上述性能而做的谐波减速器试验台的研究还很少,四川大学的裴欣等^[3]实验研究了转速、载荷对谐波减速器传动误差的影响;中国地质大学的尹之祥^[4]设计了谐波减速器的非线性摩擦实验、传动误差实验和滞回刚度实验;而这其中关于短杯谐波减速器的试验研究更是少之又少。针对这种情况,设计了一谐波减速器性能综合测控系统,此测控系统可测试短杯谐波减速器的效率、极限承载能力、温升等性能参数。本设计结构简单、容易实现、操作方便且精度较高。

1 性能测控试验台结构设计概述

精密短杯谐波减速器测控试验设计示意图如图2所示,其主要由试验台结构部分、控制台部分及电源组成。试验台由减速器样机、驱动电机、两台转矩转速传感器、温度传感器、磁粉制动器、若干联轴器机械结构组成,这部分被安装固定在T形槽工作台上。测控台部分由电机驱动器、数据采集仪、计算机、激磁电流控制器及相关配套元件组成。

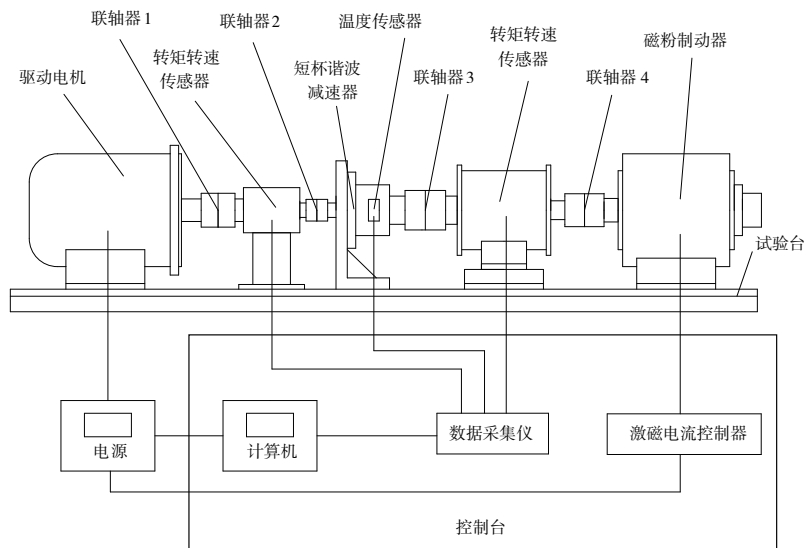


图2 综合性能实验台示意图

测试过程中,试验数据由传感器传输到数据采集卡,经由测试程序进行处理并显示、存储。为更清楚地阐述该测控系统的数据采集功能及其他功能,下文将从测控系统硬件架构设计、软件模块设计这两部分分别阐明设计内容。

2 测控系统硬件架构设计

2.1 驱动电机

在硬件选择上,根据待测样机在不同工况下效率、承载能力等设计要求,选择爱德利直流电动机为该试验台的动力源,电机型号为 AM-2200M,配套驱动器型号为 BL2-IPM,驱动器可控制电机的正反转运动及调节转速。该电机额定电压为 220 V,额定转速为 3 000 r/min,额定功率为 90 W,其性能参数可满足待测减速器试验要求。

2.2 加载元件

从方便性、可操作性方面考虑,本试验台采用磁粉制动器对测试系统加载^[5]。磁粉制动器是一种多用途、性能优越的控制元件,它以磁粉为工作介质,以激磁电流为控制手段,通过调节控制器实现控制转矩或制动的目的^[6]。在本试验中,试验台所选用于加载的磁粉制动器型号为 CZ-30,其额定转矩为 300 N·m,配套的控制器型号为 WLK-5A,通过调节电流调节磁粉制动器的转矩。

2.3 测量转矩转速元件

根据测试要求,须实时测得减速器输入、输出端的转矩、转速。在本试验中选择两台 interface 转矩转速传感器;输入端传感器型号为 T4-20-A3A,转矩量程为 0~20 N·m;输出端传感器型号为 T5-20-A6A,转矩量程为 0~500 N·m;转速量程均为 0~4 000 r/min;转矩转速传感器综合误差仅为 ($\pm 0.1\%$) FS。考虑到分辨率、耦合性,试验中所选用数据采集仪型号为 NI USB-6353,作用为采集两台转矩转速传感器输出信号。

2.4 测温元件

为在试验过程中实时测得减速器的温升,温度测量选用型号为 PT100 热电偶温度传感器;该传感器测温范围为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$;综合误差为 ($\pm 0.5\%$) FS,并将传感器固定于刚轮附近某一定点。使用型号为 NI 9211 热电偶输入模块采集温度传感器的数据,NI 9211 具有校准功能和双重通道对地隔离屏障,实现了安全性、抗扰性和高共模电压范围。

3 测控系统软件模块设计

3.1 LabVIEW 软件介绍

随着计算机技术的飞速发展,虚拟仪器技术在加载系统领域的使用越来越多,美国某公司用来进行虚拟仪器开发和系统设计的工具软件 LabVIEW 被广泛应用于工程领域^[7]。LabVIEW 编写的项目界面直观友好、程序简单易懂,开发效率高^[8],设计者可以调用内部库函数完成数据采集;因此,使用 LabVIEW 作为虚拟仪器平台的开发工具。图 3 为本测控系统中模拟信号的数据采集过程遵循的一般思路。

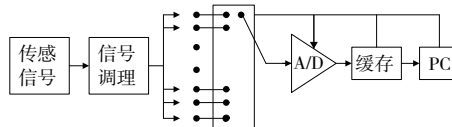


图3 模拟信号的数据采集过程

3.2 主机显示模块

测控系统软件模块的设计主要目的在于完成两台转矩转速传感器的数据采集。该系统界面的设计主要是在 LabVIEW 的开发环境下编写的,上位机显示界面如图 4 所示。该界面完成了人机交互的过程,通过该界面可观察各数据的实时值和波形变化趋势。

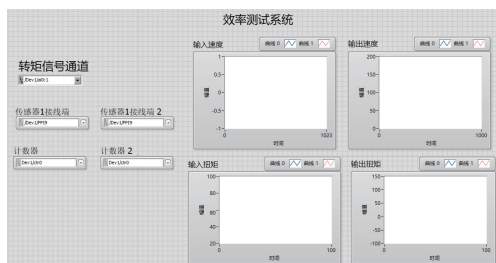


图4 上位机显示界面

3.3 数据采集模块

基于 LabVIEW 软件开发原则,对加载测试系统软件需求进行分析,设计系统软件架构。根据待测参数需求,基于 LabVIEW 图形化编程,编写了测控程序,结构如图 5 所示。

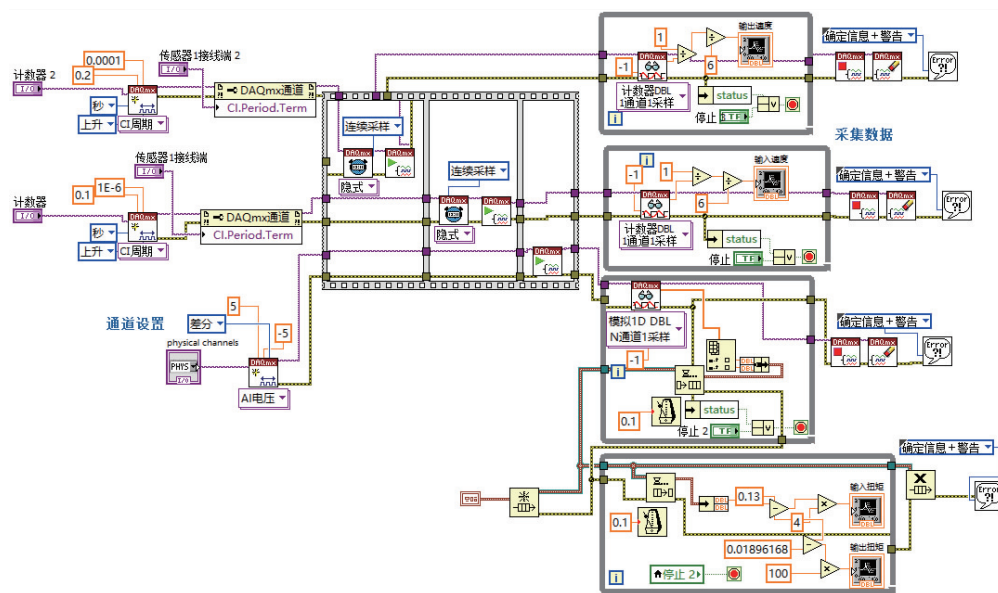


图5 数据采集 LabVIEW 测控程序结构图

该程序将数据采集卡捕捉的信号经过一定的转换显示出来,且分为两个模块分别采集速度、力矩。

速度采集模块的思路为:首先初始化捕捉脉冲,测量每个脉冲的瞬时周期;根据传感器自身的设定,360 个脉冲为 1 周;采用连续单点采样;通过外循环对传感器返回的脉冲周期进行实时采集。力矩采集模块通过初始化设置对差分信号采集,差分信号测量范围为 $\pm 5\text{ V}$,由此确定程序放大倍数。最终数据经过消息队列传输至显示屏循环显示。

4 效率和温升的理论计算

4.1 谐波减速器效率理论计算

对于常用的谐波减速器,不论波发生器的类型和具体结构如何,其效率均统一近似地用一套公式计算^[9]:

$$\eta = \frac{1-X}{1+i\left(X+\mu d \frac{P}{T_2}\right)}$$

式中: η 为刚轮固定时的减速传动效率; P 为杯形柔轮所受变形的力; i 为传动比绝对值; μ 为滚动摩擦因素, d 为柔轮筒体内径; T_2 为低速轴上的转矩。

经计算得:在额定输出转矩 $T_2 = 150\text{ N} \cdot \text{m}$ 时理论效率 $\eta = 83.11\%$;在最大输出转矩 $T_2 = 250\text{ N} \cdot \text{m}$ 时理论效率 $\eta = 78.65\%$ 。

4.2 谐波减速器的温升理论计算

减速器工作时,损失的输入功就是产生的热功,一部分提升减速器的温度,另外通过箱体散发到环境中去。故 dt 时间段内的温升 dT 为

$$dT = \frac{Q - Q_0}{c_m} dt$$

式中: Q 为 t 时间段内减速器产生的热功; Q_0 为 t 时间段内减速器的散热; c_m 为该减速器的热容能力。

假设环境温度为 20°C ,计算可得:在额定输出转矩 $150\text{ N} \cdot \text{m}$ 时 30 min 内的温升为 $\Delta T = 60.43^\circ\text{C}$;在最大输出转矩 $250\text{ N} \cdot \text{m}$ 时 1 min 内的温升为 $\Delta T = 8.4^\circ\text{C}$ 。

5 试验结果

实际传动效率是衡量短杯谐波减速器性能重要指标之一。根据性能参数要求,分别测试谐波减速器样机在额定工况和极限工况下的机械效率及在加载过程中的效率变化曲线,并测量额定工况下减速器 30 min 内的温升和极限工况下减速器 1 min 内减速器壳体的温升。

根据机械效率的定义,试验中谐波减速器实际机械效率 η_c 的计算公式为

$$\eta_c = \frac{M_2 \times n_2}{M_1 \times n_1 \times \eta_{L1} \times \eta_{L2}}$$

(下转第 183 页)

装角增大可以增强叶片做功能力,增大流量,适度增强周向弯曲程度,可以使得流场迹线分布更加集中,抑制涡流的产生,从而增大流量减小功率。后续可进行更加深入的研究,探究各个变量对目标影响的作用机理。



图8 优化前后模型对比图

表3 优化前后性能对比

响应量	优化前	优化后	对比/%
流量 $Q_v / (\text{m}^3/\text{s})$	0.762 8	0.837 6	9.81
功率 P_{es} / W	170.32	165.68	-2.72

5 结语

针对汽车发动机冷却风扇,本文使用参数化建模技术进行了模型重构。基于多学科优化平台 CAESSES 和流体仿真软件 Fluent,建立了集参数化建模、网格划分、CFD 分析和优化于一体的冷却风扇智能优化平台,选取周向弯曲

和安装角分布规律的 7 个参数作为设计变量,目标工况点的流量和功率为优化目标,使用响应面近似模型结合 NSGA-II 多目标遗传算法对冷却风扇进行了优化,优化后风扇流量提高了 9.81%,功率降低了 2.72%。研究表明本文采用的自动优化设计方法具有一定的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 朱传敏,吴秀丽.基于CFD的发动机冷却风扇性能仿真分析[J].中国工程机械学报,2014,12(1):18-22.
- [2] HURAULT J. Experimental investigations on the wall pressure measurement on the blade of axial flow fans[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2012(40):29-37.
- [3] 习羽.工程车辆冷却风扇流体特性研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [4] GB/T 1236-2000 工业通风机用标准化风道进行性能试验[S].
- [5] 卢健钊,方伟,尹国富.基于近似模型的结构静态多目标集成优化[J].机械设计与研究,2014,30(6):180-185.
- [6] 付磊,张洪信,赵清海,等.基于Kriging近似模型的GCHE曲轴稳健性设计[J].机械制造与自动化,2018,47(5):101-105.
- [7] 玄光男,程润伟.遗传算法与工程优化[M].北京:清华大学出版社,2014:1-4.

收稿日期:2019-05-27

(上接第179页)

式中: M_2 、 M_1 分别为谐波减速器输出、输入转矩; n_2 、 n_1 分别为谐波减速器输出、输入端转速; η_{L1} 、 η_{L2} 分别为谐波减速器输入、输出端所连接联轴器的机械效率。

根据试验结果处理数据,并绘制效率-负载关系曲线图,如图6所示。

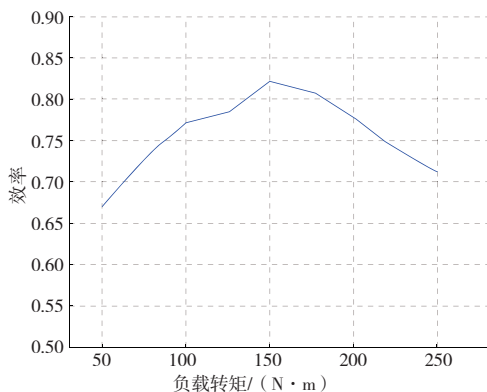


图6 效率-负载关系曲线

在额定输出转矩 $T_2 = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$ 、额定输入转速 $2\,000 \text{ r/min}$ 时,实际效率 $\eta_c = 82.23\%$;在最大输出转矩 $T_2 = 250 \text{ N} \cdot \text{m}$ 、最大输入转速 $2\,500 \text{ r/min}$ 时,实际效率 $\eta_c = 71.22\%$ 。

测试当天环境温度为 23°C ,经测量得:在额定输出转矩 $150 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时 30 min 内的温升为 66.7°C ;在最大输出转矩 $250 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时 1 min 内的温升为 9.5°C 。

6 结语

将试验结果与理论计算结果进行比较,两者之间差距较小,且该试验系统运转平稳,故可以得出结论:该测控试验系统运行状况良好且精度较高,测试结果具有一定的参考价值;其可测试精密短杯谐波减速器的效率、极限承载性能、温升等性能参数,对精密谐波减速器的设计和制造具有重大的参考价值。该测试系统结构简单直接、成本低、操作方便。

参考文献:

- [1] 阳培.谐波齿轮传动装置及其短筒柔轮分析研究[D].北京:机械科学研究总院,2006:1-6.
- [2] 李志刚.谐波齿轮传动短杯柔轮的有限元分析及结构优化设计研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008:23-24.
- [3] 裴欣,张立华.谐波齿轮传动装置的动态传动误差分析[J].工程科学与技术,2019,51(4):163-170.
- [4] 尹之祥.谐波减速器传动精度及动力学特性实验研究[D].北京:中国地质大学,2015.
- [5] 赖建林,范元勋.基于磁粉制动器加载的滚珠丝杠试验台设计[J].组合机床与自动化加工技术,2018(1):132-133.
- [6] 王力,钱林方,高强,等.磁粉制动器的建模与辨识研究[J].电气自动化,2010,32(5):55-58.
- [7] 闫纪红,杨伟成.基于PXI和LabVIEW的双板卡远程数据采集系统设计[J].实验技术与管理,2013,30(7):80-82,86.
- [8] 黄煜博,沈暑龙,李黎,等.基于虚拟仪器技术的电动力矩加载系统[J].空天防御,2018,1(3):48-55.
- [9] 王洪星.谐波齿轮传动效率的计算方法[J].北京航空学院学报,1982(3):111-129.

收稿日期:2019-08-07