

滚珠丝杠导程误差计算机辅助动态测量系统的研制

□ 喻步贤 □ 殷爱华 □ 冯虎田 □ 韩 军

摘 要:介绍3m 滚珠丝杠动态测量系统,它是测量滚珠丝杠(副)导程精度的精密测量仪。系统采用模块式结构设计,具有设备自检、故障自动判别、测量过程自动控制、自动判断精度等级以及数据管理等功能,是一种全新的丝杠动态测量系统。

关键词:滚珠丝杠 导程误差 计算机辅助检测 动态测量

中图分类号:TH124

文献标识码:A

文章编号:1000-4998(2004)02-0013-03

滚珠丝杠副是一种高精度高效率的传动机构,已成功应用于数控机床、汽车、航空等制造业中,是现代机械中广为应用的传动和定位元件之一。随着我国工业的发展,滚珠丝杠的产量不断增加,以及对高精度丝杠的需求扩大,对滚珠丝杠精度检测的要求也越来越高。为满足丝杠测量的需求,滚珠丝杠动态测量仪的研究开发也向高精度、快速化、智能化、模块化的方向发展。

本文介绍一种3m 滚珠丝杠动态测量系统,系统具有设备自检、故障自动判别、测量过程自动控制、自动判断精度等级以及数据管理等功能。能适应最新的国家检验标准和 ISO 标准,是测量滚珠丝杠(副)导程精度的测量仪。与目前国内外的滚珠丝杠动态测量仪相

比,它是一种高精度、高效率、智能化的滚珠丝杠动态测量系统。

1 滚珠丝杠动态测量的基本原理与方法

(1)动态测量的基本原理 滚珠丝杠动态测量的基本工作原理是,用滚珠丝杠的实际螺旋线与标准螺旋线相比较的方法来求得被测滚珠丝杠的螺旋线误差,图1给出了测量滚珠丝杠螺旋线误差的示意图。

根据此原理,可由下式求得螺旋线误差:

$$\Delta = Z - \frac{\theta}{2\pi} \cdot T \quad (1)$$

式中 Z ——测量头沿丝杠轴线方向的行程

T ——被测丝杠的导程

- 9 H. J. Warnecke, M. Schweizer, G. Schiele. System for Measuring 3-Dimensional Paths[C]. International Symposia on Industrial Robots, 14th Proceedings and 4th International Conference on Industrial Robot Technology, Aug, 1986: 20 ~ 23
- 10 王树华,黎庶慰,梁建新. 工业机器人综合运动特性测量系统(I)[C]——测量机的组成、原理及性能. 首届全国机器人学术讨论会论文集,北京:1987:793 ~ 800
- 11 李志杰. 工业机器人空间轨迹运动精度基本理论问题的研究[D]. 哈尔滨工业大学工学博士学位论文,1993,10:24 ~ 85
- 12 张超群,邓喜君,张玉春,蔡鹤皋. 用于机器人性能分析的机械随动式测试系统[J]. 哈尔滨工业大学学报,1997,29(1): 117 ~ 120
- 13 U. D. Vinod, B. Sushanta, T. Dewakinandan, N. L. Balendra. Validity Testing of a Simple Kinematic Arm for Positional Measurements of the Human Body in Different Postures[C]. The 2nd International Cyberspace Conference on Ergonomics. Perth, Australia, 1999: 483 ~ 492

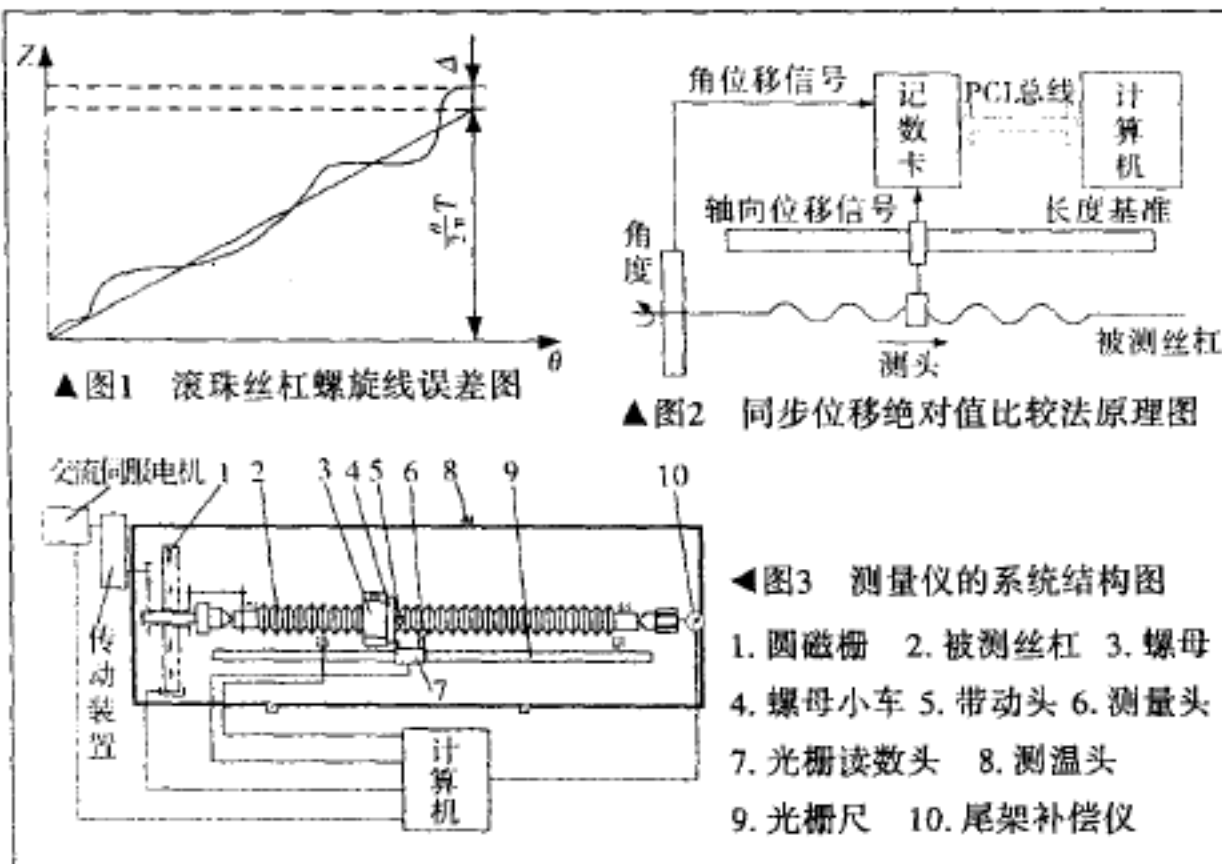
- 14 H. Wang, X. H. Gao, M. H. Jin, H. Liu, et al. A Passive Robot System for Measuring Spacesuit Joint Damping Parameters[C]. Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2003. 9: 3249 ~ 3253
- 15 韩壮志. 光电码盘四倍频分析[J]. 电子技术应用,2002 [12]:38 ~ 40
- 16 PCI 9052 Data Book (Version 1. 02)[Z], PLX Technology. February 2000
- 17 张兢. PCI9052 PCI 总线目标接口及应用[J]. 电子技术, 2001[10]:11 ~ 12
- 18 蔡自兴. 机器人学[M]. 北京:清华大学出版社,2000:46 ~ 83

△
(编辑 林 凡)

作者单位:哈尔滨工业大学机器人研究所

邮政编码:150001

收稿日期:2003年10月



θ ——被测丝杠转过的角度

(2) 动态测量方法 本文采用同步位移绝对值比较原理,用高精度圆磁栅和长光栅分别作为角度和长度的传感器,检测原理如图2。这种方法采用高速记数卡以一定采样间隔同步采集角位移信号和测量头轴向位移信号,通过记数卡本身所具有的信号处理系统将两路信号进行高倍数电子细分(最高可达4096倍频),经 PCI 总线传送给计算机系统,由相应的软件将信号转换为位移量,通过计算机的实时处理计算出滚珠丝杠误差值。两路信号在计算机处理之前未发生任何联系,通过计算机处理使它们成为滚珠丝杠螺旋线的角度基准量和轴向位移量,并比较计算出误差值。

2 滚珠丝杠动态测量仪的设计

(1) 滚珠丝杠动态测量系统组成 测量仪的系统结构如图3所示。滚珠丝杠动态测量系统中,主轴转动采用交流伺服电机作为拖动元件,由运动控制器控制电机运行,并可以调节速度,测量时电机经过机械传动装置驱动主轴,圆磁栅安装于传动主轴上,测量时由拨盘带动被测滚珠丝杠和圆磁栅同步转动,滚珠丝杠旋

转时带动头驱动螺母小车沿导轨作轴向运动,光栅传感器的读数头随测量头和螺母小车作轴向移动。动态测量数据采集信号分为4路。第1路是角度信号,圆磁栅随主轴转动时,磁头读取圆磁栅信号产生角度基准信号;第2路是轴向位移信号,长光栅传感器作为长度测量基准元件,螺母小车移动时光栅读数头随测量头移动产生轴向位移信号;第3路是温度信号,6个测温传感器分布于床身,被测件的各个测量点采集温度补偿信号;第4路是滚珠丝杠伸长量尾架补偿信号。所有信号均由计算机通过采样获取,并由相应软件进行处理和运算,取得所需数据。为了测量滚珠丝杠副行程偏差的准确值,系统必须保证角度基准位移与轴向位移信号同步采集,为此采用高速记数卡同时采集圆磁栅角度信号和光栅尺位移信号。记数卡接收磁栅和光栅信号后进行高倍电子细分,获得高精度测量数据。

转时带动头驱动螺母小车沿导轨作轴向运动,光栅传感器的读数头随测量头和螺母小车作轴向移动。动态测量数据采集信号分为4路。第1路是角度信号,圆磁栅随主轴转动时,磁头读取圆磁栅信号产生角度基准信号;第2路是轴向位移信号,长光栅传感器作为长度测量基准元件,螺母小车移动时光栅读数头随测量头移动产生轴向位移信号;第3路是温度信号,6个测温传感器分布于床身,被测件的各个测量点采集温度补偿信号;第4路是滚珠丝杠伸长量尾架补偿信号。所有信号均由计算机通过采样获取,并由相应软件进行处理和运算,取得所需数据。为了测量滚珠丝杠副行程偏差的准确值,系统必须保证角度基准位移与轴向位移信号同步采集,为此采用高速记数卡同时采集圆磁栅角度信号和光栅尺位移信号。记数卡接收磁栅和光栅信号后进行高倍电子细分,获得高精度测量数据。

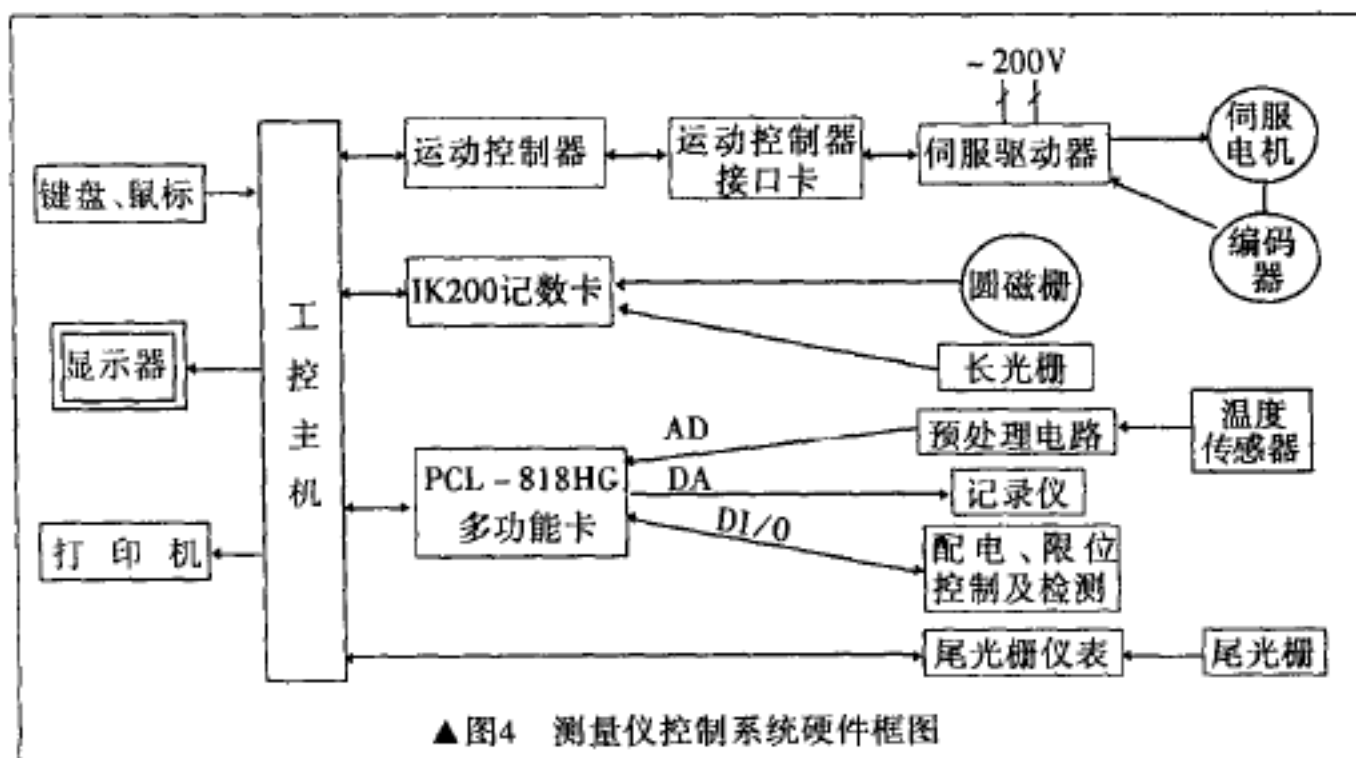
(2) 测量仪控制系统构成 系统采用上下位机结构,工控机作为上位控制级计算机,运动控制器作为下位伺服控制级计算机,通过总线形式连接,实现高速数据传输及控制。采用模块化设计,各部件选用独立功能模块,通过计算机控制组合,这样大大简化了系统设计,增加了可靠性,缩短了设计周期,增强了系统的灵活性,系统构成如图4。

①控制模块 选用研祥 PCI-810HG 工业控制计算机。工控机作为上位伺服控制级,同时也作为滚珠丝杠动态测量仪测量控制系统的控制主机。

②驱动模块 伺服电机选用松下交流伺服电机 MDMA202A1G 及配套驱动器 MDMA203A1;运动控制器选用摩信 MCT8000F4 运动控制器,实现伺服系统的速度控制和位置控制,保证系统低速运行速度稳定,能适应不同滚珠丝杠的测量要求。

③检测模块 角度传感器选用德国 HEIDENHAIN 公司 ERM280 圆磁栅;长度传感器选用 HEIDENHAIN 公司 L186-3040 长光栅;记数选用 HEIDENHAIN 公司的 IK200 高速记数卡。

由此组成的开放式控制系统结构灵活,可充分利用现有丰富的 PC 软、硬件资源,又具有运动控制所需的实时性和可靠性。以运动控制器作为独立的标准部件可以明显缩短新产品的研制开发周期。以 PC 机作为信息处理平台,运动控制器以插卡形式嵌入 PC 机,即“PC + 运动控制器”的模式。这样将 PC 机的信息处理能力和开放式的特点与运动控制器的运动控制能力有机地结合在一起,具有信息处理能力强、开放



程度高、运动控制准确和通用性好的特点。

(3) 测量仪测控软件设计 滚珠丝杠动态测量仪选用 Visual Basic 作为开发工具, 进行测量系统应用软件的开发, 对于实时性要求高的采集模块, 采用了模块化硬件设计, 配套成熟的应用软件, 采用动态连接库函数对相应硬件的操作, 实现误差信号的采集。为保存测量得到的大量数据, 系统设计了测量信息数据库、精度标准数据库及数据库管理软件, 用于保存丝杠的参数信息、动态测量原始数据、误差评定结果、精度等级评定结果。

滚珠丝杠动态测量仪动态测量系统的软件结构组成如下:

① 参数输入模块 根据用户输入的参数, 包括丝杠参数、采集参数、判断参数是否合理。

② 动态测量模块 根据输入参数计算主轴转速和采样周期, 控制电机驱动主轴转动使丝杠按给定速度转动, 数据采集包括长光栅、圆磁栅、温度、尾架补偿量, 进行实时地误差计算与误差补偿并显示误差曲线。

③ 动态误差分析模块 调数据库提取误差信息, 进行曲线拟合参数计算, 画包络线、回归线, 按最新国标进行丝杠副导程误差四大精度指标 E_s 、 V_u 、 $V_{2\pi}$ 、 V_{300} 的计算。

④ 精度验收模块 按丝杠参数有效行程, 根据各误差分量, 查寻对应各级精度值进行精度分析并判定

精度等级, 精度结果存入数据库。

(4) 测控系统误差补偿 对滚珠丝杠测量仪用标准丝杠进行重复性试验, 测量结果表明系统重复性好, 运行稳定。为获得较高的测量精度, 对造成系统的主要误差源: 长光栅的栅线位置误差 ΔL_1 ; 圆光栅的栅线位置误差 ΔL_2 ; 阿贝误差 ΔL_3 ; 温度误差 ΔL_4 ; 前后顶尖偏心所产生的误差 ΔL_5 进行了测量分析, 利用综合误差补偿技术, 即用高精度检测仪在整个测量行程上检测出各项原始误差值, 并存入数据库, 然后在运动测量过程中根据其误差传递规律对每个测量值进行综合误差补偿, 从而提高检测仪的测量精度。

(5) 测量仪的实际应用 本测量系统通过多次反复试验表明, 在测量的稳定性、精密度、智能化以及数据处理等方面都较以前的一些测量仪有较大幅度的改善, 图5是本测量仪实测时所得的数据与曲线图, 通过该表格与曲线, 可以很清楚地得到我们所需要的各种数据, 从而大大提高了检测的精度和效率。

3 结束语

滚珠丝杠动态测量仪采用模块化设计思想, 各部件选用独立功能模块, 通过计算机控制组合, 系统结构简洁, 可靠性高, 灵活性强。基于 Windows 的动态测量系统的测控软件, 具有良好的人机操作界面, 实现了滚珠丝杠的自动测量。按最新国标进行滚珠丝杠副导程误差四大精度指标 E_s 、 V_u 、 $V_{2\pi}$ 、 V_{300} 的计算与评定, 根据国标建立滚珠丝杠精度标准数据库及滚珠丝杠测量数据库, 方便了数据查询与管理, 为工厂的自动化管理奠定了基础。系统操作使用方便, 灵活性强, 性能可靠, 动态测量精度高, 误差分析速度快, 是一种全新的丝杠动态测量系统。

参考文献

- 1 中华人民共和国国家标准. 滚珠丝杠副, GB/T 17587.3 - 1998
- 2 中华人民共和国机械行业标准. 滚珠丝杠副验收技术条件, JB 3162.2 - 1991
- 3 肖明耀. 误差理论与应用. 北京计量出版社, 1985
- 4 岳明君. 大型丝杠动态综合误差的测量. 计量技术, 1995(8): 4~6
- 5 谭久彬. 精密测量中的误差补偿技术. 哈尔滨工业大学出版社, 1995

(编辑 方也)

第一作者单位: 淮安信息职业技术学院机电工程系

邮政编码: 江苏·223001

第二~四作者单位: 南京理工大学机械工程学院

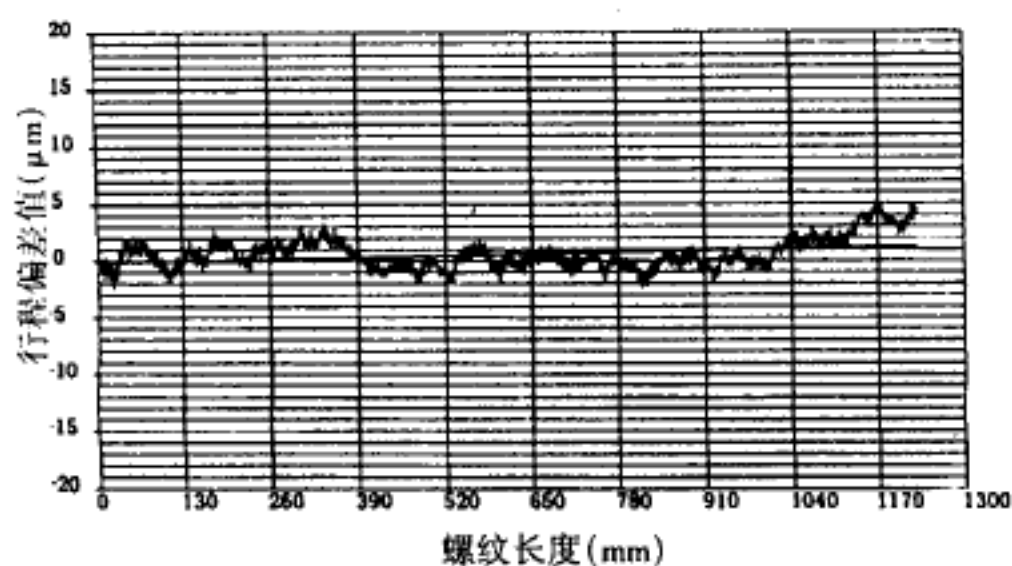
收稿日期: 2003年10月

HKG

滚珠丝杠检定报告

0004-005-2
日期: 2003-8-9

件 号	HKG-1020-01-301	编 号	03-04-1	送 检	冯虎田
导 程	4 (mm)	螺 纹 全 长	1500 (mm)	节 径	50 (mm)
测 量 项 目	要 求 (μm)		实 测 (μm)		
行程补偿值C	0				
基本导程误差 ΔL_0	± 5		2.55		
2 π 弧度内导程误差 $\Delta L_{2\pi}$	5		2.55		
任意300mm内导程误差 ΔL_{300}	10		6.67		
全长内导程误差 ΔL_L	39.15		7.6		
导程误差曲线带宽 ΔL_b	29.36		7.08		
螺旋线轴向截面形状误差	10		± 10		
螺纹节径尺寸变动量	5		5		
螺纹螺旋面对轴线径向圆跳动	32		20		
结 论:					
审 核: 周立伟			检 验: 俞建民		



▲ 图5 测量仪实际输出图表

