

基于 AVR 的静压气体轴承性能检测装置 控制系统设计

李运堂, 吴进田, 梁宏民, 赵静一, 贾宇宁

(中国计量学院 机电工程学院, 杭州 310018)

摘要: 为了实现对静压气体轴承气膜厚度, 压力分布和承载能力的自动检测, 设计了一种基于单片机的检测装置和控制系统; 该系统采用 ATmega16L 单片机作为平台运动控制和数据处理的核心, 结合软件控制步进电机的转向和转速, 实现了极坐标定位, 并采集承载力, 气膜压力和气膜厚度等数据, 通过 LCD 显示和键盘输入, 较好地实现了人机交互; 同时, 装置可以通过 RS232 与上位机通讯, 实现上位机的直接控制; 把该系统对气体轴承性能参数的测量结果与仿真结果进行对比, 结果表明该装置和系统是正确可行的。

关键词: 单片机; 步进电机; 控制系统; 静压气体轴承

Design of Controlling System for Aerostatic Bearing Performance Testing Platform Based on AVR

Li Yuntang, Wu Jintian, Liang Hongmin, Zhao Jingyi, Jia Yuning

(College of Mechanical and Electrical Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to realize automatic detection on the gap height, pressure distribution and load capacity of aerostatic gas bearing, a measurement and control system has been designed based on single-chip microcomputer. This system adopts ATmega16L as the core of the platform motion control and data processing. The system realizes polar coordinate positioning and collects the information about load capacity, gas film pressure and gap height combined with the software which is designed to control the steering and speed of stepper motors. The system performs well in human-machine interaction with a LCD and keyboard. The system also can communicate with computer by RS232 and be controlled directly. Comparing the experiment data with simulation, the result shows that, the device and system is feasible.

Keywords: single-chip microcomputer; stepper motor; controlling system; aerostatic bearing

0 引言

静压气体轴承利用一定压力的气体作为润滑剂, 在活动面和静止面间形成气膜, 避免了直接接触, 是一种理想的支承元件^[1]。由于良好的工作性能, 静压气体轴承在工业上的应用日益广泛, 国内外学者对静压气体轴承的研究也越来越深入。在设计和研究静压气体轴承过程中, 需要对轴承性能做出科学评价, 就必须对承载能力、耗气量、刚度、稳定性以及气膜内气压分布等参数进行检测和分析。而气膜内气力分布很难直接检测, 且专用检测装置特别是自动检测装置并不多见, 因此开发一套静压气体轴承性能检测装置是研究气体轴承的基础。

熊联友^[2], 马方杰、张君安^[3], J. P. Khatai^[4], 夏欢、陶继忠^[5]等专家学者都设计过相关气体轴承性能参数检测装置。然而这些装置都没有着重自动控制和测量的设计, 而手动操作必然会造成测量的不准确, 重复性较差。在此基础上, 本文设计了基于单片机的静压气体轴承性能检测装置与控制系统, 可定点测量不同供气压力和气膜厚度下的承载力和气膜间的气力分布, 较好地实现了自动动态测量。

1 检测装置组成

为了实现静压气体轴承各性能参数的测量, 设计了气体轴承性能测试平台。测量原理如图 1 所示, 压力传感器嵌入测压板内, 测压板固定在导轨上, 通过步进电机驱动, 测压板上的测压孔对应轴承表面不同位置, 通过压力传感器测得不同位置的气压值。用磁力表座夹住位移传感器, 放置在测压板上测量气膜的厚度。负载通过 S 型测力传感器作用在轴承上。

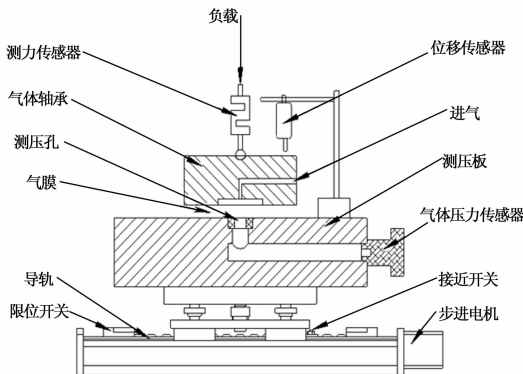


图 1 测量原理图

直线定位步进电机型号选择 42BYGH8402, 是保持转矩为 520 N·mm, 步距角 1.8 度, 脉冲当量为 25 μm 的两相混合式步进电机。圆周定位步进电机型号选择 42H2P0712A-G30, 是输出转矩 7 000 N·mm, 步距角 1.8 度, 减速比 1:

收稿日期: 2014-05-18; 修回日期: 2014-07-08。

基金项目: 国家自然科学基金(51275499)。

作者简介: 李运堂(1976-), 男, 山东费县人, 工学博士, 硕士生导师, 主要从事精密驱动与运动控制方向的研究。

30, 脉冲当量 0.936 s 的两相混合式步进电机^[6]。用于测量加载力的测力传感器采用型号为 YZC-516 的 S 型称重传感器。其灵敏度为 1.5~2.1 mV/V, 量程 100 kg, 精度 0.3 kg。测量气膜压力选用型号为 GB-3000A (G) 的气体压力传感器, 精度为 0.1 级, 测量范围 0~1 MPa, 轴承供气气压一般在 0.8 MPa 以下, 故在量程范围之内。静压气体轴承的气膜厚度一般在几微米到几十微米之间, 所以需要高精度的位移传感器来测量, 本文选用型号为 GT2-H12K 传感器, 它由感应头和放大器组成, 量程 12 mm, 分辨率 0.1 μm, 准确度 1 μm。核心采用高性能, 低功耗的 8 位 AVR 单片机 ATmega16L, 它具有可编程 USART、SPI 串行端口、看门狗和 16K 字节的系统内可编程 Flash^[7]。

2 自动检测方案

基于 AVR 单片机的静压气体止推轴承性能检测装置控制系统主要由 AVR 单片机控制电路板、上位机、步进电机、测力传感器、气体压力传感器、位移传感器等组成。本系统采用 ATmega16L 单片机包含晶振电路、复位电路以及系统的电源和地的基本接法。其中晶振电路使用 8M 晶振作为时钟源, 通过复位按键可以在系统运行的任意时刻进行强制复位。为了提高测量精度, 选用德州仪器公司生产的 12 位开关电容型逐渐逼近串行 A/D 转换器 TLC2543。电路中还采用光耦对各部分进行光电隔离, 避免它们之间相互干扰。

单片机通过不断读取直线方向和圆周方向的两个原点开关的信号来判断是否实现原点定位, 这两个信号作为单片机的两个外部中断源。另外在直线导轨两端安装两个限位开关, 通过门电路逻辑控制接在步进电机电源电路上继电器的通断, 防止平台发生碰撞。单片机根据键盘或上位机输入的指令, 分别向两个步进电机控制器发送脉冲, 控制步进电机的旋转方向和步数, 从而达到精确定位。到达指定位置后, 测承载力传感器、气体压力传感器输出的模拟信号和位移传感器经过放大后的输出的信号经 A/D 转换器后被单片机读取、处理, 最终气体压力和承载力通过 LCD1602 显示出来。同时把数据发送给上位机, 并在上位机上完成曲线图的绘制。系统框图如图 2 所示。

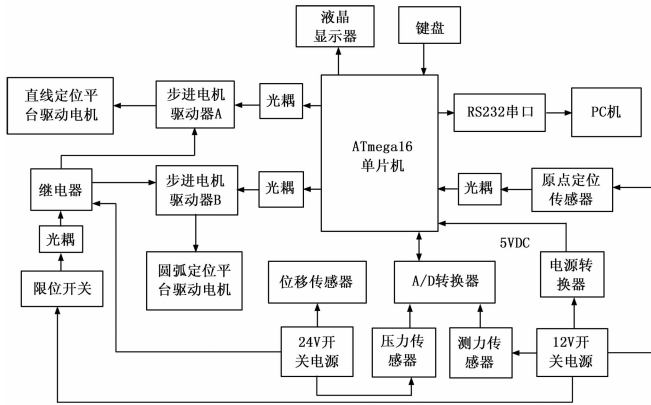


图 2 系统框图

3 检测装置硬件设计

3.1 数模转换电路

数模转换电路如图 3 所示, 压力传感器和测力传感器的信号输出端分别接到 TLC2543 的 AIN0 和 AIN1 模拟信号输入

端, 芯片工作电压和 A/D 参考电压均为 +5 V, 由于传感器输出信号为单极性, 因此 TLC2543 的参考电压引脚 REF 接地。开始模数转换前, 需对 TLC2543 写入控制字, 以便设置模拟信号输入通道地址、输出数据长度、输出数据格式及输出信号的极性。编程时, 单片机的 SPI 端口配置成主机模式, 当 TLC2543 的片选信号引脚被拉低时, 在时钟 SCK 的驱动下, 单片机通过 PB5 引脚将控制字写入 TLC2543, 同时从 PB6 引脚读入后者上一次的 A/D 转换结果。

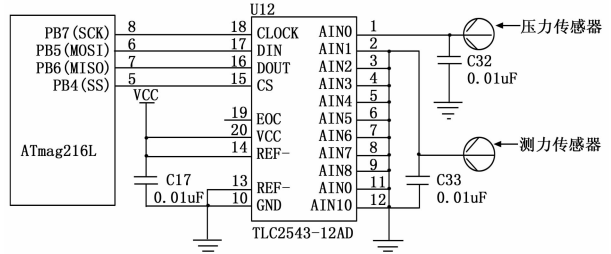


图 3 A/D 转换电路

3.2 步进电机驱动电路

步进电机工作时, 通过控制脉冲个数和频率来控制电机转动的角位移量、速度和加速度, 从而达到调速和定位的目的。图 4 为步进电机驱动电路, 驱动器上的 PLS+、DIR+ 和 ENA+ 为输入信号光电隔离正端, 接 +5 V 电压; PLS- 为步进脉冲信号, 该信号由单片机生成, 下降沿有效; DIR- 为方向控制信号, 用于改变电机转向, 该信号由单片机控制, 低电平有效; ENA- 为电机释放信号, 有效时 (低电平) 关断电机线圈电流, 电机处于自由状态, 一般 ENA- 端悬空。

4 检测装置软件设计

图 5 为程序流程图, 程序初始化后, 等待控制命令, 命令输入完毕后, 平台进行原点定位。根据输入的命令进行如下操作:

- 1) 测量圆周方向的气膜压力分布。直线定位到一定半径, 圆周方向每转过一定角度测量一次数据。测量完毕后反转, 以免导线缠绕。
- 2) 测量不同气膜厚度时, 气体轴承的承载能力。
- 3) 测量半径方向的压力分布。圆周方向固定, 直线方向每进给一定距离, 测量一次压力。测量结果显示在 LCD 上, 同时上传到上位机, 上位机绘制出曲线图。最后, 控制器收到结束命令, 程序结束。否则, 程序跳转到等待控制命令输入, 准备下一次测量。

5 实验结果

用该测试系统对供气相对压力为 0.5 MPa, 节流孔直径 $d = 0.1$ mm, 直径为 $D = 40$ mm 的静压气体轴承在气膜厚度为 8 μm 和 16 μm 时的径向气膜压力分布进行测量, 然后与仿真结果进行对比, 结果如图 6 所示, 横坐标 0 处为轴承圆心, 气膜压力沿径向变化。在轴承中心很小的一个范围内, 存在一个压力突降区, 在之后的 2.5 mm 范围内, 压力变化不大, 最后基本呈现线性下降趋势。8 μm 气膜厚度时气膜压力比 16 μm 时总体上大很多, 可见相同供气压力和节流孔直径下, 气膜越薄, 承载能力越大。该系统测量值与 Fluent 仿真结果存在一定误差, 造成误差的原因可能有很多, 但总体的变化规律和压力分布趋势是基本一致的, 结果证明此测试系统是可行的。

(下转第 126 页)

Interface for Maintenance Information Collection and Analysis (SIMICA): Exchanging Test Results and Session Information via the eXtensible Markup Language (XML) [S]. 2007.

[11] IEEE STD P1636. 2/D5. 2; Draft Trial - Use Standard for Software Interface for Maintenance Information Collection and Analysis (SIMICA): Exchanging Maintenance Action Information (MAI) via the eXtensible Markup Language (XML) [S]. 2010.

[12] IEEE Standard 1671. 1 - 2009, IEEE Trial - Use Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Equipment and Test Information via XML: Exchanging Test Descriptions [S]. 2009.

[13] IEEE Standard 1671. 2 - 2008, IEEE Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Equipment and Test Information via XML: Exchanging Instrument Descriptions [S]. 2008.

[14] IEEE Standard 1671. 3 - 2007, IEEE Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Infor-

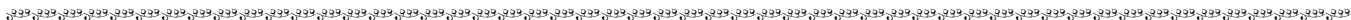
mation via eXtensible Markup Language (XML): Exchanging Unit Under Test (UUT) Description Information [S]. 2007.

[15] IEEE Standard 1671. 4 - 2007, IEEE Trial - Use Standard for Automatic Test Markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Information Via Extensible Markup Language (XML): Exchanging Test Configuration Information [S]. 2007.

[16] IEEE Standard 1671. 5 - 2008, IEEE Trial - Use Standard for Automatic Test markup Language (ATML) for Exchanging Automatic Test Information via XML: Exchanging Test Adaptor Information [S]. 2008.

[17] Modi M, Stanco J. Demonstrating the capabilities of IEEE SIMICA standards in support of the DoD ATS Framework in a net-centric maintenance environment [A]. AUTOTESTCON, 2011 IEEE [C]. 2011: 189 - 196.

[18] 钱 锋, 孟 晨, 王 成. 基于 ATML 标准的测试信息描述研究 [J]. 计算机测量与控制, 2009 (8): 1467 - 1469.



(上接第 114 页)

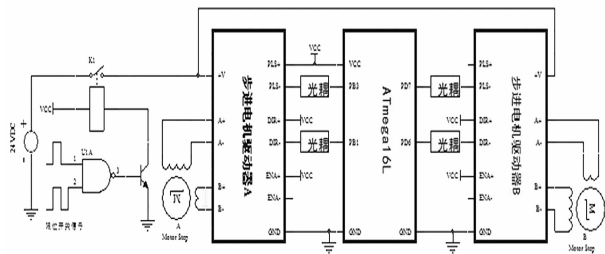


图 4 步进电机驱动电路

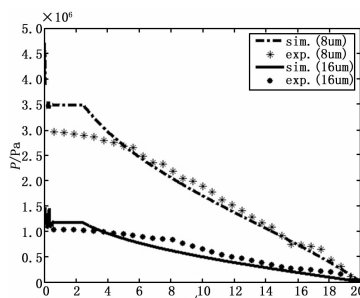


图 6 实验数据与仿真结果比较

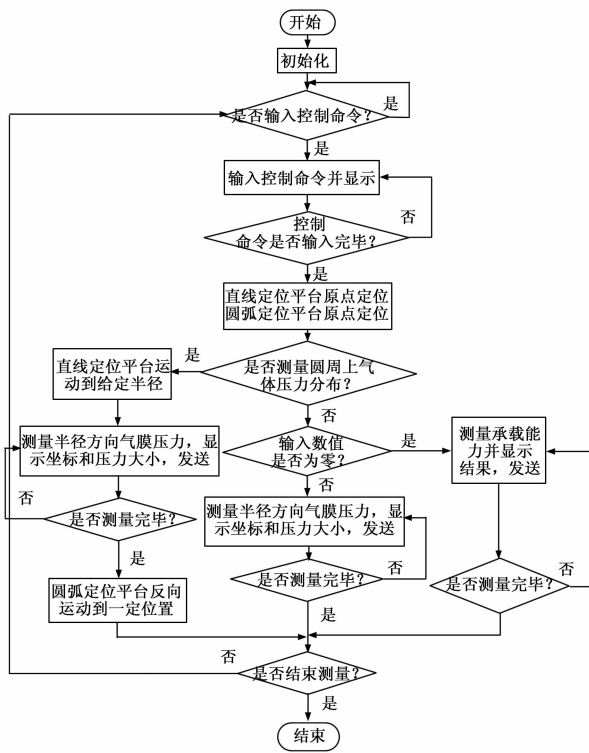


图 5 程序流程图

6 结束语

由于气体轴承的气膜厚度很小, 气压分布很难直接测量, 本文通过控制测压板运动的方式来测量静压气体止推轴承气膜各个点的气压分布的方法, 确定了传感器型号, 搭建了控制电路, 设计了单片机控制程序。该系统的设计给气体轴承的研究提供了一个平台。实验证明该系统性能稳定, 工作可靠, 可实现对气体轴承参数高精度的测量, 具有较高的实用价值。

参考文献:

[1] 陈雪梅, 黎文兰. 气体轴承技术及其应用 [J]. 密封与润滑, 2000 (4): 61 - 63.

[2] 熊联友. 多功能止推气体轴承试验台及微机动测试系统 [J]. 密封与润滑, 2000 (4): 50 - 51.

[3] 马方杰, 李亮达, 等. 气体静压推力轴承性能测试实验台设计 [J]. 液压与气动, 2012 (2): 47 - 49.

[4] Khatait J P, Lin W, Lin, W J. Design and development of orifice-type aerostatic thrust bearing [R]. SIMTech technical reports, volume 6, Number 1, Jan-Jun 2005, 7 - 12.

[5] 夏 欢, 陶继忠, 王 洋. 空气静压止推轴承静态性能测试装置设计 [J]. 制造技术与机床, 2009 (3): 61 - 63.

[6] 陈 晔, 曹剑中, 杨洪涛. 步进电机往复运动驱动曲线快速性研究 [J]. 微电机, 2011, 44 (10): 25 - 28.

[7] 代 杰, 樊瑜丽, 等. 基于单片机的光电编码器位置检测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 31 (14): 30 - 33.