

摘要：为充分满足大部分位移检测应用以及将人力劳动从各种简单机械重复的位移检测中解放出来，本文设计了一款高精度位移自动测试仪。该测试仪选用 STM32F103 系列芯片作为主控芯片，采用步进电机、高精度光栅传感器进行相关硬件电路设计，其具有按键控制及液晶显示等功能。本文所设计的测试仪电路简单、性能可靠、操作方便、检测精度较高，能够很好地满足各种位移自动化检测应用。经验证，该测试仪能很好地满足数显容栅组件的精度检测需求，与传统的手工检测相比，具有更高的检测效率。

关键词：STM32；高精度；自动

中图分类号：TP212

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2020)09-0028-04

收稿日期：2020-07-27

基于 STM32 的高精度位移自动测试仪研发

王玉珍 贺小军 张磊

北京航天试验技术研究所，北京 100074

一、概述

随着现代科学技术水平的不断进步，各行各业正朝着自动化、智能化的方向快速发展。越来越多的厂家采用自动化测试装置代替人工检测。在位移检测领域，国外厂家已经基本实现自动化检测，而国内大部分厂家依然使用人工进行检测，测试过程耗时耗力。

目前，市面上位移测量主要由光栅测量、电感式测量、磁栅式测量、电容式测量等组成。其中光栅测量精度最高，主要用于各种高精度应用场合或其他位移测量的检测标准；电感式测量分辨率为 0.0001mm，由于其原理复杂，需要复杂的零点校准等原因，该部分市场目前主要由国外厂家占领；磁栅式测量、电容式测量为市场占有率最高的测量方式，其精度较低，应用较广。目前国外厂家如三丰、马尔等均有自己的自动测量生产线，用于其产品测量。国内厂家如广陆、桂量等均为人工测量。

基于上述原因，本文研发一款以 STM32 作为主控芯片的高精度位移自动测试仪，该测试仪选用分辨率为 0.001mm 的光栅传感器作为检测标准，采用步进电

机作为自动控制单元，可实现大部分数显组件的自动检测需求。

二、STM32 芯片简介

STM32F103 系列芯片采用 32 位 ARM 内核，工作频率最高可达 72MHz，片内 Flash 存在多个不同容量可供选择，集成定时器、模数转换器、USB、串口等多种外设。该芯片具有两种调试口：JTAG 接口和 SWD 接口，烧写程序代码方便，更容易进行仿真调试及代码移植。并且该微处理器数字信号处理能力强，可进行低电压操作，具有实时性、低功耗、高集成度、低成本、易开发等优点^[1-2]。

本文选用的 STM32 芯片内置倍频功能，同时可以抑制脉冲抖动^[3]，该特点降低了外围硬件电路设计的复杂程度，减少了外界的电磁、振动干扰，方便对光栅信号进行采集及处理，提高了整个测试过程的可靠性。

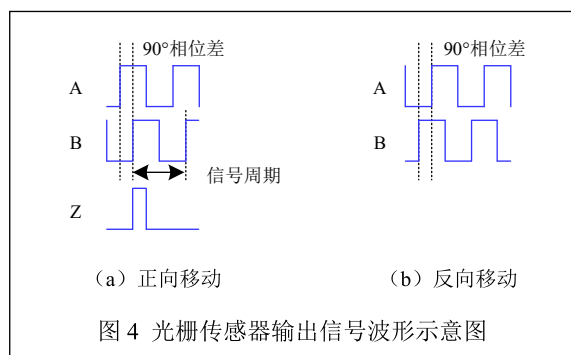
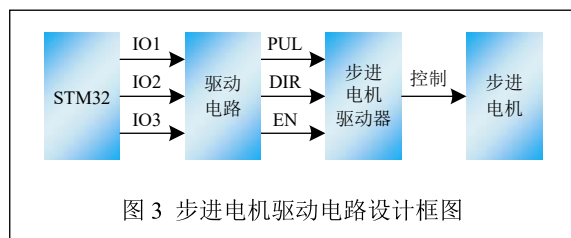
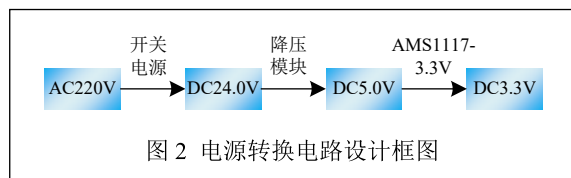
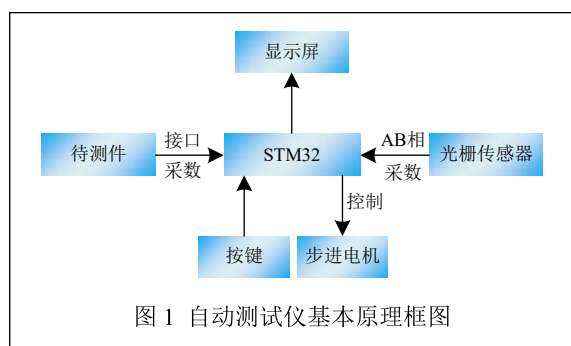
三、自动测试仪基本原理

本文研发的测试仪基本原理框图如图 1 所示。主

控芯片为 STM32F103 系列芯片，主控芯片控制步进电机移动，同时实时采集待测件数据与光栅传感器数据进行对比，从而计算出待测件精度。最终将测试结果显示在显示屏上，整个测试过程为自动测量。

四、自动测试仪硬件电路

本文测试仪硬件电路设计主要包括电源转换电路、步进电机驱动电路、数据采集电路、人机交互电路设计等，其中数据采集电路包括待测件数据采集电路和光栅传感器数据采集电路。



1、电源转换电路

本测试仪为 220V 交流供电。其中步进电机、光栅传感器工作电压为 DC24.0V，部分外围器件工作电压为 DC5.0V，主控芯片工作电压为 DC3.3V，其电源转换电路设计框图如图 2 所示。

主要包括：

① AC220V 转 DC24.0V，开关电源电路，用于步进电机、光栅传感器供电；

② DC24.0V 转 DC5.0V 及 DC5.0V 转 DC3.3V 硬件电路设计，用于部分外围器件、主控芯片供电。

2、步进电机驱动电路

本文所选的步进电机为两相混合式步进电机，电机参数为：步距角 1.8°，转矩 1.2NM，电流 3A，工作电压 DC24.0V。其步进电机驱动电路设计框图如图 3 所示。

步进电机驱动器 PUL 接口为脉冲控制端，脉冲上升沿有效；DIR 接口为方向端，用于控制电机方向，低电平电机正转，高电平电机反转；EN 接口为使能端，低电平有效。

本文设计采用共阳极接法，主控芯片 IO 口通过驱动电路连接步进电机驱动器的 PUL、DIR、EN 端。步进电机驱动器将输入的脉冲信号转化为步进电机的功率信号，根据输入的脉冲数量和脉冲频率控制步进电机运动。

本文选择细分步进电机驱动器，根据待测件测试精度需求，驱动器选择较为合适的细分数。

3、数据采集电路

本文所选的光栅传感器用于直线位移量测量，其参数为：分辨率 1 μ m，精度 $\pm 5\mu$ m，量程 220mm，工作电压 DC24.0V。

光栅读数头移动时，传感器输出具有 90° 相位差的 A、B 两相方波信号，及一个脉冲的回零信号 Z，其 TTL 信号输出波形如图 4 (a) 所示^[4]。

通过分析光栅传感器输出的 A、B 相相位关系，可辨别传感器移动方向。当 A 相相位超前 B 相相位 90°，该传感器向正向移动，如图 4 (a) 所示；当 A 相相位滞后 B 相相位 90°，则该传感器向反向移动^[5]，如图 4 (b) 所示。

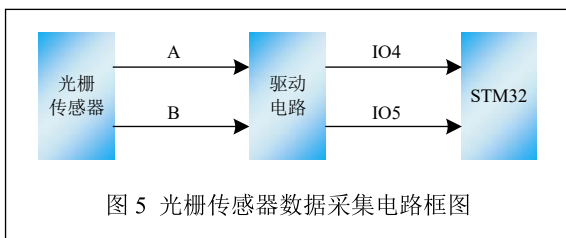


图 5 光栅传感器数据采集电路框图

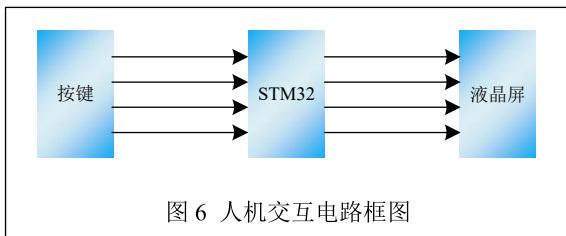


图 6 人机交互电路框图

光栅传感器数据采集电路框图如图 5 所示。

光栅传感器 A、B 光栅信号经过驱动电路处理后，输入主控芯片 IO 口，在芯片内部进行细分、辨向及计数，实现光栅传感器的数据采集^[6]。该设计方案元器件少，电路简单，功耗低，提高了光栅数据采集的准确性，从硬件电路方面，提高了测试仪的抗干扰性及可靠性。

4、人机交互电路

本文人机交互电路主要包括液晶显示模块与按键控制相关电路，其电路框图如图 6 所示。

本文所选 128*64 点阵的液晶模块，带 LED 背光源，具有功能强大、功耗低、指令功能强等特点。通过主控芯片的控制，该显示屏可实时显示汉字、数字、符号等信息。

本文通过主控芯片 IO 口进行按键控制，该自动测试仪主要包括以下 4 个按键功能。

(1) “向右”或“向左”按键：该按键用于控制步进电机带动丝杆滑块向右或向左移动，从而控制测试仪检测方向；

(2) “启动”按键：按下该按键，测试仪开始自动检测待测件；

(3) “设置”按键：按下该按键，进入设置模式，可设置移动距离。

五、高精度测试仪控制流程

该高精度测试仪通过读取高精度光栅尺的数据，

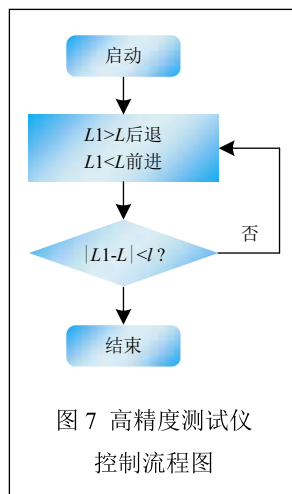


图 7 高精度测试仪控制流程图

控制步进电机前进后退，从而准确控制移动距离。

由于步进电机机械传动部分所产生的系统误差具有不确定性且不可消除，本高精度测试仪选用分辨率为 0.001mm 的光栅传感器进行反馈校准。如设置移动距离为 L ，实际移动距离为 L_1 （该实际移动距离通过光栅表获

取），移动误差为 l ，具体控制流程如图 7 所示。

六、高精度测试仪测量应用

该测试仪检测精度取决于光栅传感器测量精度，光栅传感器精度为 $\pm 5\mu\text{m}$ ，因此该高精度测试仪可以检测精度大于 $5\mu\text{m}$ 的具有数据输出接口的待测件。如对数显容栅组件进行检测，其检测基本原理如下所示。

(1) 待测件数据采集电路

待测件数据采集电路框图如图 8 所示。

待测件时钟、数据经整形电路滤波、去噪后将信号输入到主控芯片 STM32 的 IO 口，主控芯片进行数据采集并处理数据。

(2) 待测件误差计算

光栅传感器移动距离与待测件移动距离误差计算

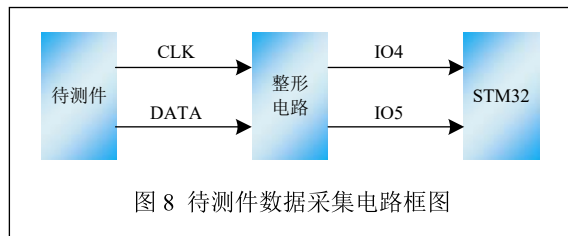


图 8 待测件数据采集电路框图

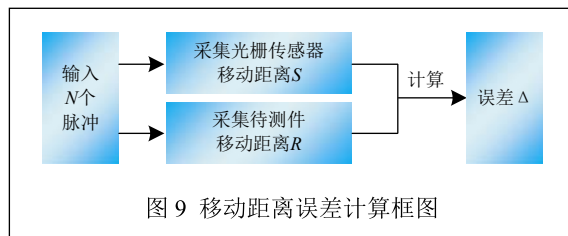


图 9 移动距离误差计算框图

框图如图9所示。

假设用 R 表示待测件移动距离,则误差 Δ 、 S 、 R 存在如公式(1)所示关系。

$$\Delta=R-S \quad (1)$$

整个测量距离范围内,多个误差值进行对比,最大的误差值即为待测件精度。

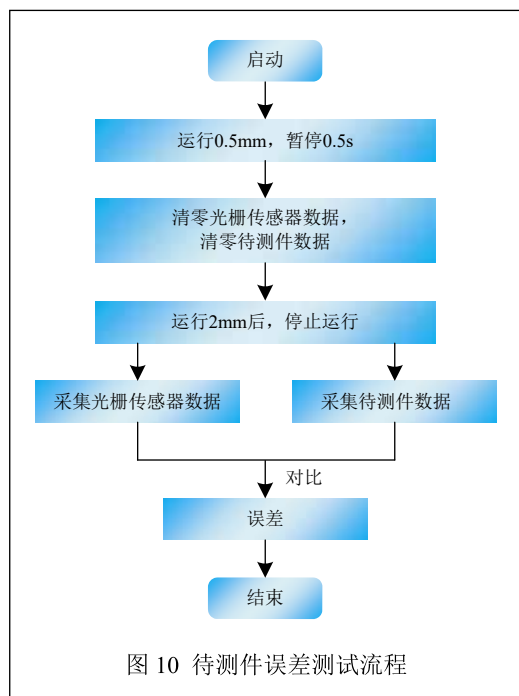
(3) 待测件检测流程

上述待测件需检测2mm的误差,则设置该测试仪运行2mm。其基本测量流程图如图10所示。

上述待测数显容栅组件的精度为0.03mm,经大量测试,该高精度测试仪能很好地满足上述待测件的精度测量。

七、结束语

本文研发的高精度位移自动测试仪,硬件电路设计简单,程序代码更改方便,容易进行升级维护。该测试仪替代了手工测试装置,可以实现高精度自动检测,同时能够实时显示待测件误差及移动方向等信息,使用简单方便,能够极大地提高测试效率。经测试,该测试仪能够实现位移的高精度自动检测。



参考文献

- [1] 喻金钱, 喻斌. STM32F系列 ARM Cortex-M3核微控制器开发与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [2] 徐建功, 赵捷, 李伟. 基于STM32F103XX微处理器的Micro SD卡读写[J]. 现代电子技术, 2010(20):26-28.
- [3] 刘军. 例说STM32[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [4] 宋露露. 光栅传感器实验控制系统设计[J]. 电子技术与软件工程, 2018(12):108-109.
- [5] 金锋, 卢杨, 王文松, 张玉平. 光栅四倍频细分电路模块的分析与设计[J]. 北京理工大学学报, 2006, 26(12):1073-1076.
- [6] 郑忠杰, 陈德传. 基于STM32的光栅尺速度位移检测[J]. 杭州电子科技大学学报, 2013, 33(5):183-186.

Development of High-Precision Displacement Automatic Tester Based on STM32

WANG Yu-zhen, HE Xiao-jun, ZHANG Lei

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: In order to fully meet the majority of displacement detection applications and liberate human labor from the repeated displacement detection of various simple machines, this paper designs a high-precision displacement automatic tester. The tester uses STM32F103 series chip as the main control chip, uses stepping motor and high-precision grating sensor to design related hardware circuit, which has the functions of key control and LCD display. The tester designed in this paper has the advantages of simple circuit, reliable performance, convenient operation and high detection accuracy, which can well meet various displacement automatic detection applications. The test results show that the tester can meet the requirements of precision detection of digital display capacitive grid components, and has higher detection efficiency than traditional manual detection.

Key words: STM32; high-precision; automatic

作者简介

王玉珍: 北京航天试验技术研究所, 工程师, 主要从事硬件电路设计。

通信地址: 北京市丰台区云岗田城中里1号院

邮编: 100074

邮箱: 1092483718@qq.com

贺小军: 北京航天试验技术研究所, 高级工程师, 主要从事测控方面研究。

张磊: 北京航天试验技术研究所, 助理工程师, 主要从事硬件电路设计。