

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2020.02.020

基于 PLC 的标准布氏硬度机的自动控制系统^{*}

张 巍¹, 骆 昕², 林家春^{1*}

(1. 北京工业大学 机电学院, 北京 100124; 2. 北京市计量检测科学研究院, 北京 100029)

摘要:针对直接加荷式标准布氏硬度机的继电器控制系统存在的布线繁琐、调试不易等问题,对硬度机的工作流程、运行时的稳定性、限位保护以及加载试验力的精度等方面进行了研究,分析了 PLC 控制伺服系统的基本原理,研制了一套基于可编程逻辑控制器、触摸屏以及伺服系统的自动控制系统。以 CX-programmer 为开发平台,运用 PLC、触摸屏技术和梯形图编程语言,建立了控制系统的软件,实现了硬度机加卸荷全过程的自动控制;并在此基础上,对该系统进行了整体调试与布氏硬度验证试验。研究结果表明:该硬度机控制系统运行平稳,提高了硬度机检定的可靠性与自动化水平;同时,控制系统还具有结构简单、效率高、适应性广等优点。

关键词:标准布氏硬度机;自动控制系统;PLC;伺服系统;继电器控制系统;CX-programmer

中图分类号:TH871.5;TP273

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2020)02-0211-05

Automatic control system for standard Brinell hardness machine based on PLC

ZHANG Wei¹, LUO Xin², LIN Jia-chun¹

(1. College of Mechatronics, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. Beijing Institute of Metrology and Detection, Beijing 100029, China)

Abstract: Aiming at the problems of complicated wiring and difficult debugging when controlling the relay control system of the direct-loading standard Brinell hardness machine, the work process of the hardness machine, the stability of the runtime, limit protection and the precision of the load test force and so on were studied, the basic principle of PLC control servo system was analyzed. A set of automatic control system based on the programmable logic controller, touch screen and servo system was developed. With CX-programmer as the development platform, PLC and touch screen technology and ladder programming language were used to establish the control system software, which realized the automatic control of the whole process of hardness machine loading and unloading, and the whole system was debugged and Brinell hardness verification test was carried out. The results indicate that the control system runs smoothly, improves the reliability and automation level of the hardness machine verification, and has the advantages of simple structure, high efficiency and wide adaptability.

Key words: standard Brinell hardness machine; automatic control system; PLC; servo system; relay control system; CX-programmer

0 引 言

标准布氏硬度机作为计量的基准装置,具有复现和保存计量单位量值的作用,其可靠性对基准装

置所要求的计量性能稳定、长期稳定运行具有特殊意义^[1-2]。目前,国内的标准布氏硬度机基本采用砝码静重的加荷方式,在测量过程中能够有效保证加载的准确度。但该类硬度机多为上世纪 70 年代的

收稿日期:2019-06-02

基金项目:北京市科技计划资助项目(Z171100002817007)

作者简介:张巍(1996-),女,内蒙古丰镇人,主要从事测控技术与仪器方面的研究。E-mail:2577857377@qq.com

通信联系人:林家春,男,副教授,硕士生导师。E-mail:linjc@139.com

产品,其原有的控制系统大多采用继电器,存在接线复杂、体积庞大、功能单一且故障率高的缺点,给硬度检定工作带来了许多不足和不便之处^[3-6]。为了改变这种现状,实现布氏硬度灵活、高效的检定,有必要针对原有的硬度机研制一套结构简单、可靠性高的自动控制系统。

目前,可编程逻辑控制器(PLC)以其积木式的硬件结构和模块化的软件设计,广泛应用于自动控制领域,依靠强大的指令系统,实现包括逻辑运算、中断控制、脉冲输出等各种各样的功能;其中的伺服系统通过接受和发送脉冲,能够实现高精度的定位控制,具有速度响应性快、负载能力强、稳定性好的特点。

本研究将结合 PLC 控制技术、触摸屏、伺服系统,用于研制标准布氏硬度机的自动控制系统,旨在提高标准布氏硬度机的准确性,并实现布氏硬度的全自动检测。

1 系统原理

1.1 硬度机原理

直接加荷式标准布氏硬度机主要由:机架、托盘、吊挂、砝码、拨叉、压头和工作平台等几部分组成,其结构图如图 1 所示。

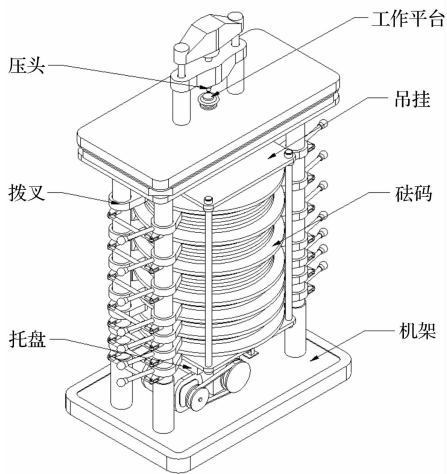


图 1 直接加荷式标准布氏硬度机

该硬度机工作原理是由砝码的重力直接产生力值。其初试状态是拨叉托住所有的砝码,底部托盘托住吊挂。当施加规定试验力时,伺服电机控制硬度机底部托盘上升,从而使相应的砝码上升,将拨叉拨开后,再控制托盘下降;当托盘与吊挂彻底分离的时候,砝码与吊挂的重力全部施加在顶部压头上。

这种直接加荷方式使得力值加载的准确度非常

高,能达到万分之一的量级;并且还具有使用时间长、稳定性好的特点。

1.2 伺服系统原理

伺服系统由伺服电机与伺服驱动器组成。伺服系统主要依靠脉冲定位,精度能够达到 0.001 mm 的量级。伺服电机带有 22 位绝对位置编码器,其分辨率可达 4 194 304"。电机每旋转一周所需的脉冲数,可通过设置电子齿轮的分子与分母来确定。

假设每转脉冲数为 n ,电子齿轮分子为 a ,分母为 b ,则伺服电机旋转一周的脉冲数为:

$$n = 4\,194\,304 \frac{b}{a} \quad (1)$$

1.3 PLC 控制原理

PLC 通过发送一定数量的脉冲,来控制伺服电机的旋转。在有原点的绝对坐标系下,脉冲数相当于“坐标轴”,每个脉冲都对应固定的位置,系统能从当前位置(脉冲输出当前值)及目标位置,自动算出移动脉冲的量及方向。

定义原点情况下的绝对脉冲原理图如图 2 所示。

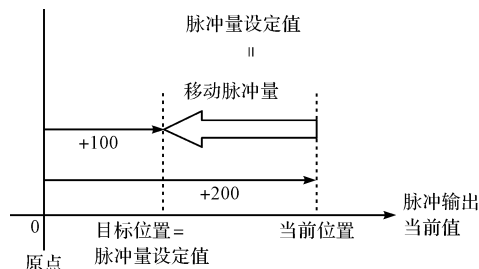


图 2 定义原点情况下的绝对脉冲

图 2 中:当前位置脉冲值为 +200 时,将脉冲量设定值设为 +100,则伺服电机将会向反方向走 100 个脉冲数,直至到达 +100 的位置,即移动脉冲量 = 脉冲量设定值 - 指令执行时的脉冲输出当前值,这时的方向会根据当前位置脉冲量多少,进行自动选择。

系统行走的位移可由脉冲数来记录。经位移传感器测得脉冲当量为 0.025 mm,设系统位移为 x (mm),走 x 所需的脉冲总数为 N ,则有:

$$N = \frac{x}{0.025} \quad (2)$$

PLC 控制硬度机的流程图如图 3 所示。

图 3 中,PLC 通过控制硬度机底部托盘的升降,进而控制砝码的位移。每级砝码对应一个准备位置与停止位置,由各自的脉冲数所决定。系统运行速度由脉冲频率大小决定。

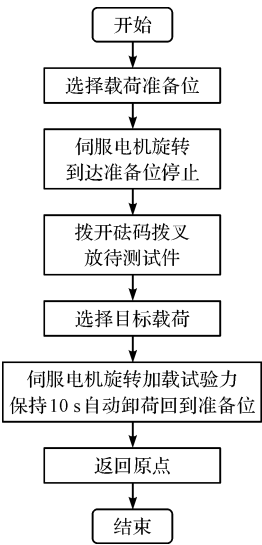


图3 PLC控制硬度机流程图

在设置初试值时,将由式(1)确定合适的脉冲频率,以及由式(2)计算出的各级砝码准备位与停止位对应的脉冲数,置入PLC的数据寄存器D中,并显示在触摸屏上;由此,在触摸屏上选择试验力,PLC会控制伺服电机旋转相应的脉冲数后自动停止,以此来实现硬度机砝码的精准定位。

2 系统硬件设计

该硬件系统主要由:电源模块、可编程逻辑控制器、伺服放大器、伺服电机、人机交互界面、限位开关、接近(零点)开关、加载完成开关几部分组成,如图4所示。

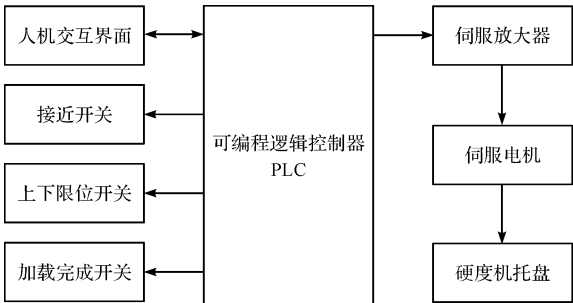


图4 硬件系统组成

图4中,电源保证了系统中各个模块的正常运行。可编程逻辑控制器不能直接控制伺服电机,因此,需要伺服放大器作为“中介”,通过发送一定数量的脉冲控制伺服放大器,进而控制伺服电机的旋转;限位开关保证硬度机砝码的运动不会超出应有的行程范围;接近开关是整个系统出发的原点;加载完成开关装在硬度机底部托盘上,指示托盘与吊挂是否分开,确保试验力

完全加载到压头上;人机交互界面用于使人控制机器运行。

3 系统软件设计

软件系统包括PLC程序设计与人机交互界面设计两部分,其具体组成结构如图5所示。

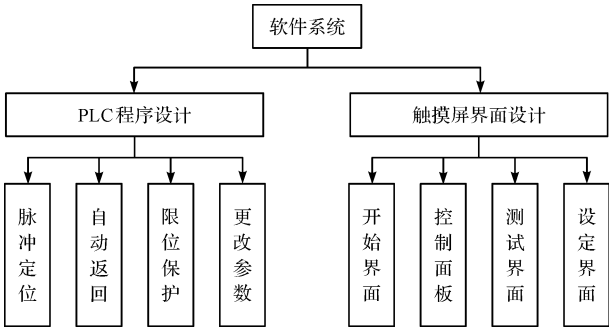


图5 软件系统组成

3.1 I/O分配表

标准布氏硬度机的控制系统有6个输入信号和2个输出信号,本研究选择欧姆龙CP1H-X40DT-D型PLC即可满足其要求,并可为后续功能的开发留有充足的余量^[7-9]。

其I/O分配表如表1所示。

表1 I/O分配表

地址	输入/输出	含义
0.09	输入	加载完成开关
1.04	输入	伺服放大器 ALM
1.05	输入	伺服放大器 RD
1.06	输入	上限位开关
1.07	输入	下限位开关
1.08	输入	接近开关
100.00	输出	正转脉冲串
100.01	输出	反转脉冲串

3.2 PLC程序设计

PLC程序设计主要通过对脉冲输出类指令与定时器指令、传送指令、比较指令等的配合使用,实现脉冲定位功能、限位保护功能、自动卸荷功能,以及在触摸屏上得以修改参数的功能^[10]。

定位功能主要通过PLC给伺服放大器发送脉冲,控制伺服电机旋转来实现。

限位保护功能主要依靠安装在硬度机底部的两个

限位开关来实现,具体是通过碰撞,使其触点吸合或断开,来实现控制电路的通断,达到控制目的。本研究将这两个限位开关接入 PLC 的输入端,当硬度机底部托盘碰到上限位或者下限位时,限位开关触点吸合,触发停止脉冲输出指令,伺服电机即刻停止旋转。

根据《GB/T 231. 1 – 2018 金属材料布氏硬度试验》的要求^[11],硬度机在加荷-保持相应时间-卸荷的过程要实现全自动,否则会对试样压痕的精度造成影响。

程序设计思路如下:在触摸屏上选择相应载荷后,伺服电机将按照预设的脉冲量旋转,使砝码达到加载完毕的停止位置;在这个过程中,将脉冲设定量与当前脉冲量进行实时比较,当两者相等时,说明载荷加载完毕,随即触发定时器指令,倒计时 10 s 后触发返回指令,伺服电机旋转,使砝码回到准备加载位,至此,整个加卸荷过程完成。

为了使调试过程更加方便快捷,本研究在 PLC 程序设计中增加了在触摸屏上修改参数的功能,即在触摸屏上放置数值输入元件,能够随时更改每级砝码准备位置和停止位置的脉冲量、脉冲频率(电机速度)、每级砝码的保持时间等参数,使操作更加简便。

3.3 触摸屏界面设计

人机交互界面(触摸屏)主要用来控制 PLC 的指令语言,并检测系统运行状态。

其界面设计主要分为 4 部分:开始界面、控制面板、测试界面和设定界面,如图 6 所示。

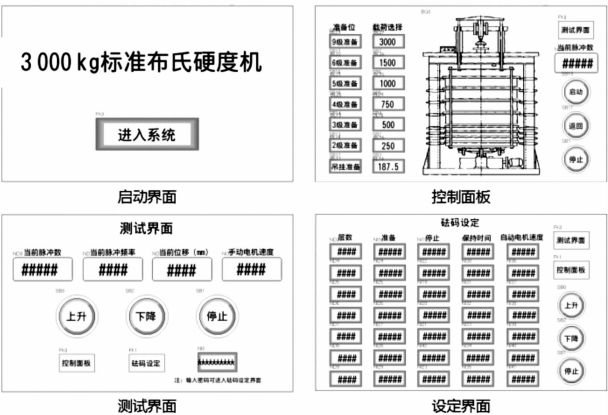


图 6 触摸屏界面

图 6 中:(1)开始界面是系统的初试界面,按下“进入系统”按钮后,即进入控制面板;(2)控制面板是触摸屏界面设计的核心环节,也是主要工作界面,一般

测量均在该界面下进行。选择载荷完成试验力加载卸载过程,按钮上放置了指示灯,当试验力加载到位后,指示灯亮起,能够实时获取系统此时的状态信息;(3)测试界面,也是手动控制界面,能够随时调整砝码的位置,还能显示当前脉冲数、脉冲频率以及当前位移等状态信息。由于在确定砝码设定界面的参数之后,不宜随意更改,在测试界面增加了“密码”,只有输入密码才能进入设定界面;(4)砝码设定界面可以设定砝码相关的基础数据。

触摸屏界面设计充分考虑了实用性和可靠性,操作人员只须在控制面板上选择好欲加载荷,控制系统就能够实现自动加荷—保持—卸荷的过程,大大简化了操作流程^[12-15];若遇到跳闸等紧急情况,重新上电后,触摸屏上依旧会显示断电前硬度机的当前位置(脉冲数),操作人员可以进入测试界面进行手动调试,使硬度机回到初始位置,然后再重新开始硬度块的检定工作。

4 实际应用

本研究将编写完整的程序写入 PLC,通过触摸屏控制硬度机,对 HBW 5/750、HBW 10/1 000 和 HBW 10/3 0003 种布氏硬度试样进行了布氏硬度试验。

试验所得的硬度值及相对示值误差如表 2 所示。

表 2 硬度值验证试验数据

负荷/kgf	试验硬度	标准硬度	示值相对误差
	/HBW	/HBW	/(%)
750	204.2	205.2	0.49
750	204.5	205.2	0.34
1 000	104.1	104.4	0.29
1 000	103.9	104.4	0.48
3 000	389.8	391.5	0.43
3 000	390.6	391.5	0.23

工作基准布氏硬度机的具体修正量要求如表 3 所示。

表 3 工作基准布氏硬度机修正量要求

基准装置	修正量绝对值/(%)	结论
工作基准布氏硬度机 (试验力: $F \geq 1\,839\text{ N}$)	$\leq 0.6\%$	可不修正
小负荷工作基准布氏硬度机 (试验力: $1\,839\text{ N} \geq F \geq 98.07\text{ N}$)	$\leq 1.2\%$	可不修正

将上述试验示值相对误差与表 3 中的工作基准布氏硬度机修正量绝对值进行比对^[16]可知,试验硬度值全部符合标准;同时,试验结果也表明控制系统运行稳

定、性能可靠,检测效率也得到了提高。

5 结束语

针对标准布氏硬度机自动控制系统的研制,本文应用 PLC 控制伺服系统,实现了精准的定位控制,控制过程更加便捷;通过 PLC 编程实现了试验力的全自动加卸载。

测试试验结果表明:该硬度机能够高质量、高效率地完成标准布氏硬度块的检定工作,所测硬度值符合国家相关标准,对工作布氏硬度计的检定与诊断有实际指导意义,具有一定的工程应用价值。相对于继电器控制系统,该系统具有性能可靠、调整灵活等优点。

参考文献(References):

[1] 刘吉萍. 小负荷布氏硬度基准装置控制部分研制[J]. 现代测量与实验室管理,2007,15(3):7,14.

[2] 刘吉萍. 小负荷布氏硬度基准装置系统[J]. 计量学报, 2008,29(z1):234-237.

[3] 高明. PLC 与触摸屏技术在 CA6140 车床改造的应用研究[D]. 长沙:湖南师范大学工学院,2015.

[4] 窦 蒙,万 熠,王从宏,等. 基于 PLC 的自动摆盘机控制系统开发[J]. 机电工程,2017,34(9):1028-1031.

[5] 赵 轲,蔡业彬,邓昌奇,等. 基于 PLC 的钻孔组合机床

控制系统设计[J]. 机电工程,2013,30(10):1237-1239.

[6] 韩运坡,孟祥涛. 布氏硬度计电气改造[J]. 金属加工:冷加工,2009(6):62.

[7] 王 韬,陈国金,倪 敬. 翻转起模机电气控制系统设计及应用[J]. 机电工程,2012,29(4):413-416.

[8] 张明金. 基于 PLC 的全自动洗衣机控制系统的设计[J]. 机电技术,2012(5):24-27.

[9] 姜 涛,何 洋. 基于 PLC 的线筒生产线控制系统设计[J]. 轻工机械,2012,30(3):47-49.

[10] 霍 罡,樊晓兵. 欧姆龙 CP1H PLC 应用基础与编程实践[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社,2008.

[11] 张凤林,董 莉,高怡斐. GB/T 231. 1-2018《金属材料布氏硬度试验第 1 部分:试验方法》解析[J]. 理化检验:物理分册,2019,55(2):71-78.

[12] 厉 巍. 杠杆式力标准机控制系统设计[J]. 中国计量, 2009(1):69-70.

[13] 王 熙,王守城,段俊勇,等. 基于 PLC 的冲床机械手伺服控制系统[J]. 轻工机械,2017,35(6):53-60.

[14] 边娟鸽. 基于 PLC 与 MCGS 的定量灌装控制系统设计与实现[J]. 包装与食品机械,2018(3):70-73.

[15] 田小静. 多自由度教学机械手电气控制系统研究[J]. 液压气动与密封,2019(2):60-63.

[16] JJG 147-2017. 标准金属布氏硬度块检定规程[S]. 北京:中国质检出版社,2017.

[编辑:程 浩]

本文引用格式: