

一种工业生产通用自动测试系统的实现及其应用

周菊 曹希龙 黄光慈 李慧慧

本文介绍了一种工业生产通用自动测试系统的架构组成和系统实现，该测试系统上位机基于 .NET 开发，面向测试流程，应用基于 STM32 的嵌入式系统作为信号处理控制器（下位机），进行信号采集和动作输出，自动完成测试流程和数据管理。本文以搅拌主机产品的下线自动化测试为例，介绍了本测试系统在工业生产中的应用情况。

一、引言

在工业生产中，自动化测试系统在产品的生产线测试和质量验证有着广泛的应用。由于自动测试技术的引入，不仅能提高测试效率，保证测试的准确性和可信度，减少由于人为原因造成的测量错误和误差，降低生产和测试成本，而且还可以对测试数据和结果进行信息化管理。因此，无论在整机，元器件或者模块化的指标和功能测试，老化及可靠性等测试中，自动测试技术都有着广泛应用 [1]。随着现代工业的不断发展，测量技术、总线技术、信号处理技术等新的测试技术应用于自动化测试系统中，大大提高产品的测试效率和产品可靠性。

本文的测试系统是一种工业生产中通用的自动化测试系统，测试系统上位机基于 .net 环境及 SQL2005 数据库开发，面向产品测试流程，实现自动化测试。本文以在搅拌主机生产线的产品调试应用为例，实现产品测试的自动检测。

二、测试系统架构

测试系统由计算机、信号处理系统、信号采集系统组成。如图 1 所示。通过电流、温度、转速等传感器采集被测产品的各种信号，传感器信号通过信号处理系统进行运算放大等处理，由计算机通过系统软件进行分析、管理。

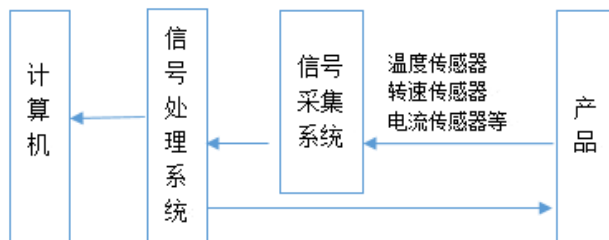


图 1 自动测试系统架构

其中，计算机软件实现测试流程的运行及测试过程的管理，实现测试流程的可编辑，以适应不同产品的测试需求，信号处理系统为嵌入式可编程控制器，计算机向信号处理系

统下发操作指令，由控制器控制产品的各项动作（如电机启停、电磁阀的开关等）。测试系统通过测试流程的各项执行结果，判断产品测试是否合格，并对测试过程参数与结果数据进行保存。

三、测试系统实现

1. 系统通讯方式

如图2所示，测试系统采用 ModbuRTU 通讯协议，Modbus 协议是 MODICON 公司开发并推行的通信协议，该通讯方式已经成为工业自动化控制系统的标准通信协议。通过该协议，不同厂商生产的控制系统可以进行工业网络互联，从而实现各个系统的集散控制 [2]。

Modbus 通信使用主-从技术，即仅一个设备（主设备）能初始化传输（查询），其它设备（从设备）根据主设备查询提供的数据做出相应反应。主设备可单独和从设备通信，也能以广播方式和所有从设备通信。如果单独通信，从设备返回一条消息作为回应，如图3所示。如果是广播方式查询的，则不作任何回应 [3]。

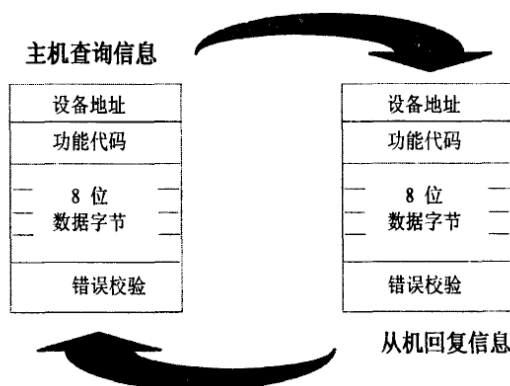


图3 Modbus 主-从查询方式

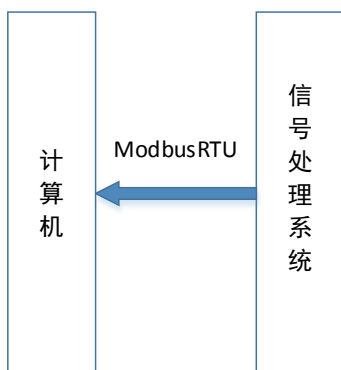


图2 测试系统通讯结构

本测试系统中，计算机（上位机）作为主站，信号处理系统作为从站，通过应答方式单独通讯。每次查询-应答与下一次查询-应答间隔 50ms。

2. 上位机软件实现

本文测试系统上位机软件基于 .NET 平台开发。.NET 平台由微软公司推出，具有跨语言、跨平台、跨系统能力。方便利用 XML 技术开发显示及打印数据报表，还能使用 GDI+ 设计各种图形编辑器，适用于开发复杂的企业级应用程序。数据库使用 Microsoft SQL Server 2005, SQL2005 是一个全面的数据库平台，使用集成的商业智能（BI）工具提供了企业级的数据管理，数据库引擎为关系型数据和结构化数据提供了更安全可靠存储功能，

测试系统软件面向测试流程开发，测试流程通过编辑工具以 XML 形式保存于系统文件中。针对工业生产测试中的通用测试信号种类，系统软件设计了通用的测试单元，其中通用测试单元如表1所示，实现统一的接口类型。测试单元的输入输出如图4所示。根据测试流程，通过编辑工具添加测试单元，形成测试文件。

表1 上位机开发模块-测试单元

测试单元	检测信号	检测设备
设备动作执行检测单元	开关量、模拟量	开关量：电机、电磁阀等 模拟量：温度、电压、电流、转速等传感器
设备状态检测单元	开关量、模拟量	
元件运行时间检测单元	开关量、模拟量	
元件运行次数检测单元	开关量、模拟量	

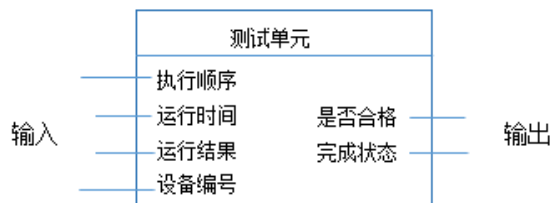


图4 测试单元接口

软件运行过程如图5所示，加载测试文件后，按照测试单元的顺序执行各测试项，自动运行测试流程。并将测试结果保存于数据库。

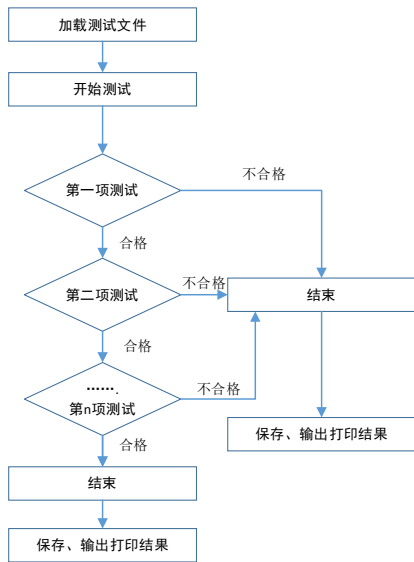


图5 上位机系统运行流程

3. 信号处理系统

信号处理模块采用基于 STM32 的嵌入式系统作为控制器，硬件电路包括开关量输入输出、模拟量输入、RS485 通讯接口、RS232 通讯接口。其中开关量输入输出用于检测和控制开关量动作，包括启动按钮、电机运行信号、转速脉冲等。模拟量输入用于检测温度、压力、电流等模拟量信号。嵌入式控制器的程序采用 Keil 环境，用 C 语言编程。软件主要由以下几个模块组成，如图 6 所示。

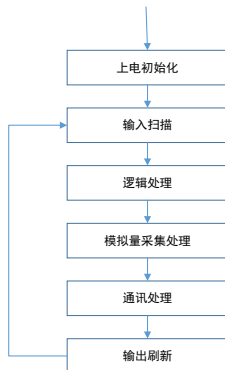


图6 信号处理模块运行流程

其中，上电初始化部分用于配置 STM32 板载的器件，如时钟、串口，ADC，GPIO 口等，上电初始化只在每次上电的时候执行一次。输入扫描用于扫描被配置为上拉输入的 GPIO 口状态，如果状态改变，则认为有输入信号。

逻辑处理部分则根据输入信号和通过通讯接收到的上位机指令进行逻辑处理，比如是否启动电机，是否开启电磁阀等。

模拟量采集处理主要通过配置好的板载 ADC 采集传感器的值，有电流传感器、温度传感器、压力传感器等，经过采集、滤波、量化把传感器输出的 4—20mA 电流值转化为实际的工程量。

通讯处理主要是通过 RS485 口基于 MODBUS RTU 协议实现与上位机的通讯。接收上位机发送的命令，如电机启动停止、电磁阀打开关闭等。向上位机发送设备的状态，如电机实时电流值、电机温度、油温、油压，以及电机的启动停止状态等。

输出刷新是根据程序中逻辑处理的结果，把需要的输出映射到 GPIO 口配置为推挽输出的端口上，根据端口电平状态的变化控制外部设备动作。

以上程序块除了上电初始化只在上电的时候执行一次，其他程序则循环一直执行。

四、测试系统软件应用

本文以搅拌主机的下线测试应用为例，搅拌主机是混凝土搅拌站的核心零部件，产品检测工序多，人工检测需花费约 1 个小时，需要检测主机门的动作连续性，急停功能，润滑功能、主机电流变化、温差变化等情况，人工检测不能保证其正确性。因为通过自动测试系统可对各参数实现精确可靠的测量，且可重复性得以保证。

根据测试流程编辑测试文件，以搅拌主机润滑系统、急停功能检测为例，测试流程如表 2 所示。添加对应的测试单元并设置单元属性。

表2 搅拌主机润滑系统、急停功能流程

测试项	执行动作顺序	内容	测试单元	执行时间
1 润滑系统	1	启动润滑油泵	开关量执行单元	——
	2	启动各检测口油压检测	模拟量检测单元	4Min
	3	关闭润滑油泵	开关量执行单元	——
2 急停功能	1	启动主电机	开关量执行单元	——
	2	启动急停开关	开关量执行单元	——
	3	检测主电机运行状态	开关量检测单元	——
	4	关闭主电机	开关量执行单元	——
	5	关闭急停开关	开关量执行单元	——

运行测试系统，测试完成后自动打印测试结果如图 7 和图 8 所示。系统对测试过程参数自动保存。整个测试过程月 30Min，并可对同一台主机进行多次测试。

序号	检验项目	检验值	检验结果
1	润滑系统	4个油口均出油,管道无泄漏、无溢流	不合格
2	开门压力值 (MPa)	压力曲线	合格
3	关门压力值 (MPa)	压力曲线	
4	开门时间(s)	2.882499	
5	关门时间(s)	2.259729	
6	液压泵站油温 (℃)	温度曲线	
7	左电机电流 (A)	38.13	不合格
8	右电机电流 (A)	38.13	
9	左右电机电流差 (A)	39.33	
10	左减速机温度 (T)	28.05	
11	左减速机温升 (T)	4.59	
12	右减速机温度 (T)	28.22	
13	右减速机温升 (T)	4.76	
14	左右减速机温差 (T)	0.96	
15	皮带保护罩	无机械干涉、异响	合格
16	急停开关	安全有效	合格
17	检修门限位开关	安全有效	合格
18	液压泵站手动开门系统	2次以上手动开关正常	合格

经检验,此产品为 不合格 产品(符号:合格“√”、不合格“x”、返工合格或返收“x/”、无此检测项“/”)。

图 7 搅拌主机测试结果记录

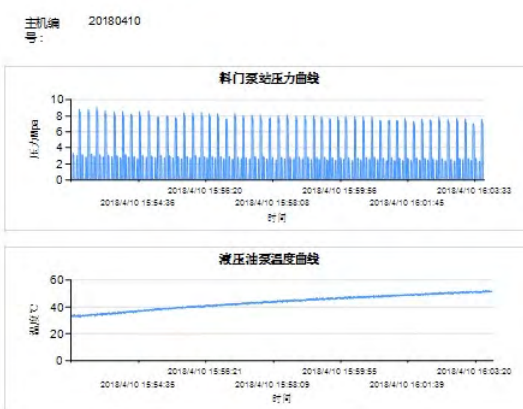


图 8 搅拌主机测试参数记录

五、结论

自动化测试越来越广泛的应用于工业生产中，作为产品可靠性检测的重要手段。不仅提高检测效率，更是保障了测试的精确度和管理的正规化。本文所述的自动化测试系统，通过各种测量设备采集信号，上位机系统控制检测流程，信号处理控制器输出执行动作，对测试产品性能进行检测。已在实际生产得以推广和应用，本系统的架构和检测方式将对实际的应用有很大的指导意义。

(上接第 47 页)

四、结果分析

对比分析结果结果可以发现：

总体来看，轴承座变形量和对轴承组产生的附加力成线性正比。

随着变形量的增加，左 1 轴承和右 1 轴承、左 2 轴承和右 2 轴承的计算寿命相近。

变形量在小于 0.01mm 的情况下，寿命为左 1 轴承<左 2 轴承<右 1 轴承<右 2 轴承；随着变形量的增大，寿命变为右 1 轴承<左 1 轴承<左 2 轴承<右 2 轴承，产生这种的变化原因是轴承座变形产生的附加力对降低轴承寿命的贡献比例逐渐增大。

随着变形量的增大，右 2 轴承的寿命下降最快，右 1 和左 2 轴承的寿命下降速率接近，左 1 轴承的寿命下降最缓。

针对本轴系轴承寿命的使用要求不低于 5000h 的要求，需要将箱体轴承孔的同轴度控制在 0.02mm 以内，这比 FAG 超精密轴承手册要求的 0.004mm 要宽裕的多，和 GB/T1184-1996 的同轴度 7 级公差要求相同。

五、结语

本文以某型航空发动机半物理模拟试验用齿轮箱轴系为例，介绍了其转子－轴承系统的分析模型；

利用 ANSYS 建立了轴系的有限元模型，并利用轴系的变形量反算出了轴承座变形产生的附加力；

在 ROMAX 中建立轴模型，并将 ANSYS 中计算出的力施加在模型上，计算出了每个轴承的寿命，并分析了轴承孔变形量对轴承寿命的影响；

通过这种分析方法，精确地计算了轴系中串联轴承每个轴承的寿命而不需要根据手册大概地分布载荷来计算寿命；

获得了考虑轴承座变形量的轴承寿命计算方法，并使得设计者可以根据轴承需要的使用寿命来量化设计轴承座的同轴度，而不需要通过轴承手册宽泛地加严要求，降低的加工难度。