

基于 MSP430F449 的智能黏度仪设计

杨圣洁,滕召胜,林海军,张洪川
(湖南大学电气与信息工程学院,湖南长沙 410082)

摘要:介绍了一种以超低功耗单片机 MSP430F449 为信息处理核心,采用电容传感器进行液位检测的智能黏度仪。阐述了仪器的工作原理与构成,详细描述了温度测控及液位检测等功能模块的硬件设计,给出了软件实现方案。实测结果表明:仪器的各项指标均达到或优于工业黏度计的国家标准要求,计时误差≤0.5%,同列重复性优于0.3%,水浴温度控制准确度达0.05℃,操作简单,测量准确,智能化程度高。

关键词:重力式毛细管;黏度仪;水浴温度;液位检测;电容传感器

中图分类号:TH836 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-1841(2009)04-0010-02

Design of Intellectual Viscometer Based on MSP430F449

YANG Sheng-jie, TENG Zhao-sheng, LIN Hai-jun, ZHANG Hong-chuan
(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The design and implementation of an intelligent viscometer was introduced, which was equipped with MSP430F449 with super low power consuming for information processing and capacitive sensor for accurate liquid level measurement. The structure and working principle of the intelligent viscometer was discussed, the hardware design on temperature measurement and control module and liquid level detection module was described in detail, and the software realizing plan was presented. Experimental results indicate that all the indicators of the instrument reach or are superior to the demands of the national standards for industrial viscometer, of which the timing error is less than 0.5%, the repeatability of group is superior to 0.3%, and the accuracy of water tank temperature control is 0.05℃. The instrument can be operated easily, with high measurement accuracy and intelligence degree.

Key words: gravity-capillary; viscometer; water tank temperature; liquid level detection; capacitice sensor

0 引言

重力式毛细管法是测量牛顿流体运动黏度的一种重要方法,工业应用中,对该测量方法及设备进行了广泛的自动化改造。现有的重力式毛细管黏度自动测量仪一般将恒温槽的温度测控与黏度计管的液位检测分开,采用独立的 MCU 控制,管理程序编写相对简单,但不利于系统集成,且成本较高^[1];温度测量元件一般选用 Pt100 铂热电阻,其测量精度高,但电路较复杂,且需经常进行温度标定、校准^[2];基于光电传感器的液位检测方案,受杂散光、环境以及样品性质多种因素限制。为此,设计了一种基于单 MCU (MSP430F449),利用数字温度传感器 DS1624 准确测量水浴温度,采用电容传感器精确检测液位的智能黏度仪,在满足测量准确度要求的前提下,有效地解决了上述测量问题。

1 重力式毛细管黏度计的工作原理

重力式毛细管黏度计用相对法测量一定体积的液体在重力作用下流经毛细管所需时间,以求得液体的运动黏度^[3]。常用毛细管黏度计按结构、形状可分为乌氏、芬氏、平氏、逆流4种。文中以乌氏黏度计为例进行阐述。

智能黏度仪的结构框图如图1所示。利用负压将被测液体吸升到乌氏毛细管黏度计的计时标线A以上约5mm处后,

撤去负压装置,液体自然流下,测定液面通过计时球上、下标线A与B所需要的时间,即可获得被测液体的运动黏度

$$v = Ct \tag{1}$$

式中: v 为液体的运动黏度, mm^2/s ; C 为乌氏毛细管黏度计常数, mm^2/s^2 ; t 为被测液体液面通过计时球上、下标线A与B所需要的时间,s。

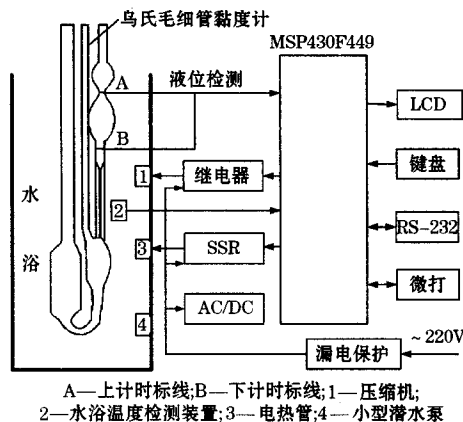


图1 智能黏度仪的结构框图

式(1)中,黏度计常数 C 可以利用标准黏度液或直接比较法检定获得^[4]。因此,被测液体运动黏度 v 的自动测量可由恒温(温度波动≤0.1℃)条件下被测样品液面通过计时球上、下标线A与B所需要的时间 t 确定。

2 硬件设计

智能黏度仪分为装置系统及单片机系统 2 部分,见图 1。装置系统主要由乌氏毛细管黏度计、水浴和小型潜水泵组成。乌氏毛细管黏度计是黏度测量的标准器具;水浴为黏度的准确测量提供必要的温度环境;小型潜水泵搅动水浴中的水,保持水浴温度的一致性。单片机系统以超低功耗单片机 MSP430F449 为信息处理单元,主要由温度测控模块、液位自动检测模块、人机接口及通信模块等部分组成。温度测控模块完成水浴温度的采集与控制,包括水浴温度检测装置、继电器控制下的制冷装置(压缩机)以及固态继电器 SSR 控制下的加热装置(电热管)等部分。液位自动检测模块对被测液体流经上下计时标线 A、B 的时间进行自动计量。单片机计算运动黏度 ν ,并完成仪器的显示、打印、通信、键盘管理等功能。MSP430F449 及其外围控制子模块的连接如图 2 所示。

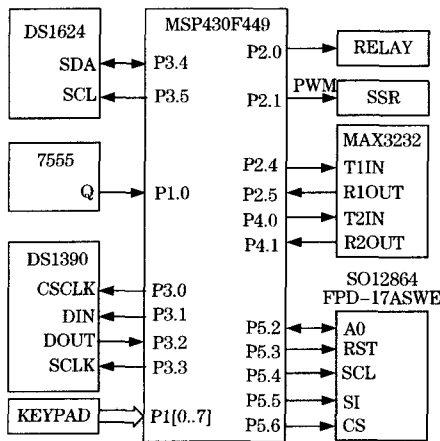


图 2 MCU 及其外围电路

2.1 MSP430F449 单片机

MSP430 系列单片机具有超低功耗(拥有 5 种低功耗模式),灵活的时钟使用方式(可外接 1~2 个晶振),高速的运算能力(16 位 RISC 架构,125 ns 指令周期),廉价专业的开发工具,高保密性(BSL 方式),低电源电压范围(1.8~3.6 V)等^[4]特点。设计中,考虑到程序的复杂性和容量大的要求,选择该系列中的 MSP430F449,其内部 Flash ROM 为 60KB,片内 RAM 为 2KB。

2.2 温度测控电路

为满足仪器测量精度(0.1 °C)与转换时间(500 ms)要求,温度测量电路采用数字温度传感器 DS1624,其温度分辨率为 0.031 25 °C,转换时间典型值为 200 ms。而且,与传统的温度传感器相比,其外围电路简单,对电源要求不高,输入输出全数字信号,易于系统集成。

温度控制电路由制冷控制电路与加热控制电路组成。由于制冷设备(压缩机)不适宜频繁启动,单片机首先依据目标温度与当前温度的差值作出决策,输出开关量控制 10 A 继电器(RELAY)是否启动压缩机制冷;制冷决策后,单片机经相应引脚输出 PWM 信号通过 10 A 固态继电器(SSR)以控制加热设备(电热管)加热量。

2.3 液位检测电路与计时电路

基于光电传感器设计电路是检测位置量的一种常见手段,但在检测玻璃计时球内部被测液体时,该方法受杂散光的干扰大,易受环境影响和样品限制,利用电容传感器进行液位检测则可有效避免此类问题。采用 7555 时基电路与电容传感器构成的多谐振荡器以实现 C-f 转换,通过测量多谐振荡器的频率,经单片机计算可获得与液位相关的电容信息,进而实现液位到达计时标线时刻的自动判断。

由于采用单个 MCU 承担温度测控与液位检测的双重管理任务,因此计量被测样品液面通过计时球上、下标线 A 与 B 所需要的时间 t 不宜占用单片机的定时器资源。系统选用实时时钟(RTC)芯片 DS1390 实现计时,其能够提供百分之一秒、秒、分钟、小时、星期、日期、月份和年份等信息,低电压串行外设接口(SPI)简化了系统设计。

2.4 人机接口电路

液晶显示模块(LCM)选用图形点阵液晶模块 SO12864FPD-17ASWE,其逻辑电压范围为 2.8~5.5 V,可直接利用板上 3.3 V 电压;时序方式配置为串行方式,满足了显示要求,节省了 MSP430F449 单片机的引脚资源。

MAX3232 用于 RS-232 电平与 TTL 电平之间的转换,两路转换信号分别接至上位机串口和炜煌热敏汉字微打(TIARD0)。MAX3232 供电电压范围为 3.0~5.5 V,使用 4 只 0.1 μ F 外部电容。

3 软件设计

仪器的软件设计包括下位机(MSP430F449)程序及上位机(PC机)程序 2 部分。下位机主要实现水浴温度测控及黏度测量等任务,上位机与下位机通信后,获取黏度数据,送入数据库保存,进一步处理计算。

3.1 下位机软件设计

智能黏度仪下位机工作流程图如图 3 所示。仪器提示用户输入目标温度后,温度测控模块依据当前水浴温度,选择合适的控制策略,在水浴温度波动不超过 0.1 °C、注入被测液体并恒温 20 min 后,开始测量,液位自动检测模块读取被测液体液面通过计时球上、下标线 A 与 B 所需要的时间 t ,计算得到运动黏度 ν 等测量信息。

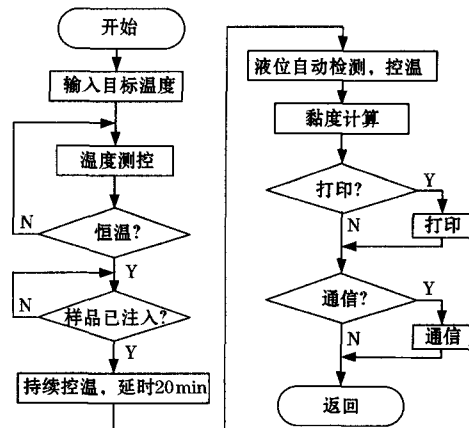


图 3 智能黏度仪系统工作流程图(下转第 51 页)

IEC61131-3 国际标准 PLC 编程语言的应用软件系统。整个系统可以进行单独的 PROFIBUS - DP、AS - i 实验,又可以连接在一起进行整个工业控制网络的复杂测试、连接和控制试验。可以完成多种科研、试验和演示项目,如 PROFIBUS - DP 网络构成;GSD 文件的认识;PROFIBUS - DP 参数化、诊断、组态和数据交换报文的组成分析试验;设备级现场总线认识功能性试验;PROFIBUS - DP 和 AS - i 现场总线联网实验;基于 PROFIBUS - DP 的多主站并行系统控制实验等。该工业网络系统平台不仅是一个良好的学习现场总线技术及工业以太网技术的科研平台,同时也为现代化工业企业实现网络化管控一体化提供了理想模型。

4 结束语

文中描述的基于工业以太网技术及现场总线技术的工业控制网络系统平台特点突出:涵盖了工业网络的典型层次架构,可以完成 30 余项实验和演示操作,实验内容丰富;控制级现场总线选取 PROFIBUS,设备级现场总线选取 AS - i,整个网络极具代表性;选取多家厂商的多种总线设备产品作为网络的节点,充分体现了总线控制系统的开放性、互操作性;大部分主

(上接第 11 页)黏度测量过程中,必须控制水浴温度波动不超过 0.1 ℃。鉴于单 MCU 不能同时测控温度与测量液位,采用间歇采样方式(间隔时间 0.1 s)实现两任务切换。仪器判断液位可能到达计时标线时,停止温度测控,减小采样间隔时间(0.005 s),由于温度量的变化具有一定滞后性,判断过程所用时间相对较短,可保证控温精度在要求范围之内,判断结束后单片机决定是否执行计时动作,并重新回到任务切换状态。

3.2 上位机软件实现

LabVIEW 内置了信号采集、测量分析与数据显示功能,更有利于测量领域工程的开发。上位机的一个管理界面如图 4 所示。

4 仪器的实验结果

智能黏度仪按国家标准 GB10247—88 设计,与 GB10247—88 规定的分度值不大于 0.1 s 秒表人工计时操作方法比较^[5],测量重复性明显改善。对变压器油、食用酱油、纯甲苯等、聚丁二烯等 23 种不同试样在环境温度 15 ~ 35 ℃ 条件下的大量试

站控制器和从站控制器在应用程序编写及软件开发上采用基于 IEC61131-3 的国际标准编程语言,符合当前工控语言的发展趋势。该平台既能够作为工业网络技术的教学试验平台及研究开发平台使用,其实现技术也能够很容易地应用于实际工程的现场总线控制系统设计中。

参考文献:

[1] 王永华, VERWER A. 现场总线技术及应用教程——从 PROFIBUS 到 AS - i. 北京:机械工业出版社,2007.
 [2] 王永华,现代电气控制及 PLC 应用技术. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
 [3] 王俊杰. 一种新型的现场设备级监控网络——AS - i 总线. 冶金自动化,2000(3):18 - 22.
 [4] 蔡向前. PROFIBUS——过程自动化现场总线及其应用技术. 计量控制,2005(3):1 - 4.
 [5] 廖学勤. 工业控制系统与现场总线. 自动化仪表,2006,20(7):20 - 30.

作者简介:王永华(1963—),教授,主要研究方向为先进工业自动化技术集成、信息化工业测控电器系统、工业控制网络与系统的研究与应用等。E-mail:wyh@zzuli.edu.cn

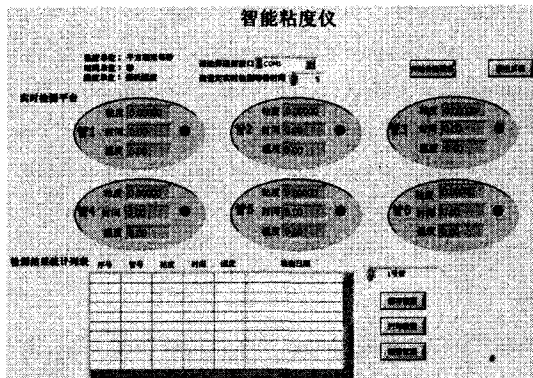


图 4 上位机工作画面

验表明:仪器的同列重复性优于 0.3%,高于 GB10247—88 人工计时测量的同列重复性要求(0.5%)。表 1 为水浴 25 ℃ 恒温条件下对变压器油、食用酱油的黏度测量结果比较(乌氏黏度计毛细管内径 0.9 mm)。

表 1 测量结果比较

测量品种	智能黏度仪测量值	智能黏度仪同列 重复误差/%	人工计时方式	人工计时方式同列 重复误差/%
	/s		测量值/s	
变压器油	370.48,370.22,370.09,369.45	0.27	370.65,370.41,369.92,369.29	0.37
食用酱油	240.31,240.85,240.43,240.23	0.25	240.10,241.16,240.75,240.15	0.44

5 结束语

基于 MSP430F449 单片机的智能黏度仪,计时误差 ≤ 0.5%,同列重复性优于 0.3%,水浴温度控制准确度达 0.05 ℃,具有操作简单、测量准确、智能化程度高等优点,可满足生产与科研中相关牛顿流体运动黏度自动测量的要求。

参考文献:

[1] 吴江涛,刘志刚,王凤坤,等. 一种新的高精度流体热物性测试用低温恒温槽的研制. 西安交通大学学报,2004(5):504 - 508.

[2] ATHERTON A. Reflections on calibration of platinum resistance thermometers. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 1994,16(3):118 - 127.
 [3] JJG 155—1991 工作毛细管黏度计检定规程.
 [4] Texas Instruments Inc. TMS320LF2407 Datasheet,2000.
 [5] GB 10247—88 粘度测试方法.

作者简介:杨圣洁(1982—),硕士研究生,研究方向为智能检测与智能仪器。E-mail:dashengcap@126.com