

• 嵌入式系统工程 •

基于 MSP430F149 的热量表

雒 涛^{1,2}, 丁铁夫¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 针对目前国内市场上均采用数字机械式结构热量表的现状, 提出了一种基于无磁流量传感方式的热量表设计方法。热量表采用一表一参的技术, 对温度和流量进行非线性校正, 使测量结果与实际值更吻合。建立高精度数学模型, 确保热量计算的公式误差在万分之五以内。理论推导和现场实验结果表明, 该热量表能够在低功耗和高精度两方面取得很好的效果, 且设计方案切实可行, 已经逐步向市场推广。

关键词: MSP430F149; 热量表; 三点补偿; 热量计算; 低功耗; 一表一参

中图法分类号: TP216 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2009) 16-3723-03

Heat meter based on MSP430F149

LUO Tao^{1,2}, DING Tie-fu¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: According to the current situation that heat meters with digital and mechanical structure are widely used in the domestic market, a design plan based on the nonmagnetic flow sensor is mentioned. This plan adopts a one-meter-one-parameter technique to correct the flow curve and temperature curve nonlinearly, which makes the measure result match actual value more. High precision mathematical models are built to ensure that the formula errors of heat calculation are within 0.05%. The theoretical analysis and experimental results prove that a desired result is achieved in both low power and high accuracy areas. The design is feasible and the product has been promoted into the market step by step.

Key words: MSP430F149; heat meter; three points compensation; heat calculation; low-power consumption; one meter one parameter

0 引 言

热量表是测量、计算、显示热交换系统所释放的热量量值的仪表。在我国, 是实施城市供热体制改革, 推行按热量计量收费的关键设备。作为一种以微处理器和高精度传感器为基础的机电一体化计量器具产品, 与已经普遍使用的户用计量表——水表、电表、煤气表相比, 有更复杂的设计和更高的技术含量。

就目前的情况来看, 国内研究以及市场销售的热量表均采用的是数字机械式结构, 即热量表的积算仪为数字仪表, 而流量测量部分为叶轮流量计和干簧管^[1]。针对这种现状, 文中给出一款独立开发的 DN25 规格的热量表。采用 TI 的 MSP430F149 型超低功耗 Flash 单片机。热量测量的误差在千分之一以内; 系统具有极低功耗, 3.3V 锂电池供电, 静态电流只有 6uA; 支持多种通讯方式, RS232、RS485 以及 M-Bus 等。

1 热量表的组成原理:

普通热量表的原理框图如图 1 所示, 它主要由积算仪、流

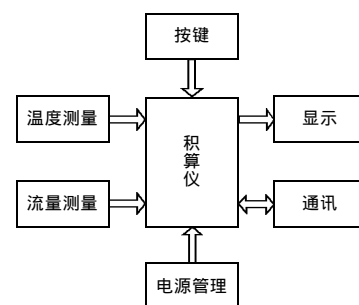


图 1 热量表原理

量测量和温度测量等几部分组成^[2-3]。

两只温度传感器用于测量进水温度和回水温度。流量传感器用于测量流过采暖设备的流体体积。积算仪是热量表的核心, 它能够根据进水、回水温度差和流体体积等数据, 计算出消耗的热量^[4]。当用户需要时, 它可以通过液晶屏显示数据。也可以与远程抄表设备进行数据通信。

根据《热能表检定规程(JJG225-2001)》的规定, 热能计算选

收稿日期: 2008-08-18; 修订日期: 2008-11-20。

作者简介: 雒涛 (1982 -), 男, 博士研究生, 研究方向为智能仪表及数字视频显示; 丁铁夫 (1946 -), 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为数据通信、显示技术、计算机技术。E-mail: luotaomao@163.com

择公式(1)的形式^[5]

$$Q = \int_0^t q_m \cdot \Delta h \cdot dt \quad (1)$$

式中 Q ——释放的热量 kJ ; q_m ——流经热量表中载热液体的质量 kg/s ; Δh ——热交换回路中入口温度与出口温度对应的载热液体的比焓值差 kJ/kg ; t ——时间 s 。

2 硬件设计

核心采用 TI 公司的 MSP430F149 超低功耗 16 位 RISC 结构单片机。有 LPM0-LPM4 多种休眠模式,可编程进行模式切换。内部集成了两个 16 位定时器,一个快速 12 位 A/D 转换器,两个串口通信模块,电压监控模块以及 60kB 大小的闪存,非常适合低功耗产品开发^[1,4,6-9]。

2.1 温度测量电路

对进水、回水温度的测量是热量表设计中不可缺少的部分。所以,设计出测量精度高并且稳定性好的测量方法、选择合适的温度传感器对整体热量表的研制、生产具有重要意义^[1,4,6-8,10]。

本设计选用符合 IEC 60750 标准的薄膜铂电阻。这种热电阻在 0 时的电阻值为 1000 欧姆,而且在 0 ~ 150 范围内,其阻值的变化率约为 $3.850\Omega/^\circ\text{C}$ 。实际使用中,为了保证所测温差的准确,需根据零位阻值及温度系数特性配对使用 Pt1000。不测量温度时,关闭恒流源和模拟开关的控制电路,节省功耗;测量温度时,打开控制电路,系统稳定后, MSP430 内置的 12 位 A/D 模块采样铂电阻的电压值,完成模数转换,最后根据计算公式,算出温度。

2.2 流量测量电路

该热量表系统采用无磁传感方式。无磁法的原理是:阻尼振荡电路由电感和电容组成,电感下方为旋转叶轮,其上有半圆形金属膜片,当叶轮旋转时,电感产生有阻尼和无阻尼振荡,借以产生计数信号,以实现流量的测量^[7]。

特点为:微功耗,电池寿命超过 10 年,两个振荡线圈,辨别叶轮转向,可用于冷热表;叶轮无磁铁,不受介质水锈影响^[7]。

本系统选择基表的具体型号为可远传脉冲水表:当流体冲击叶轮旋转时,叶轮的转速与瞬时流量成正比,一段时间内的转速与该事件段内的累积总流量成正比。此基表全部材料均采用高强度、耐腐蚀、耐高温、耐磨损材料,能长久承受高温高压。该基表量程大,计量准确,灵敏度高,低启动水流性能,低压头损失,可靠耐用,调整维修简易方便。同时可配装远距离传输用水量信号装置,实现远程计量,其参数为:脉冲当量 40 圈/升,工作水温不大于 200°C ;公称压强:1.6MPa;可在潮湿环境中使用,远传信号为开关脉冲信号。

流体激励基表产生的脉冲,经过放大电路,以中断的方式唤醒 MSP430F149。该单片机执行相应操作之后,返回休眠状态。计算时段内脉冲数和脉冲当量-流速系数的乘积,就是时段内流量值。

2.3 液晶显示电路

液晶显示屏采用由 HT1620 驱动的液晶模块 (LCM)。HT1620 是一款显示段数为 128 (32×4),存储器映射的多功能 LCD 驱动器。

用户可以通过按键激活屏幕显示,并切换显示内容。持续 15 分钟没有按键活动,则系统自动关闭显示功能。

2.4 通讯电路

热量表可以通过 RS232 或 RS485 串行半双工通信方式与计算机通讯。对应的电平转换芯片,可以采用 MAXIM 公司的 MAX232 或 MAX3485。为了节省电路板空间,RS232 与 RS485 是可选协议。热量表也可以通过 M-Bus 协议与抄表设备通讯,采用的芯片是 TI 公司的 TSS721A。仪表总线 M-BUS (欧洲标准 EN1434-3) 是专为计量仪表数据传输而设计的,目前主要用于热计量领域,也可用于其它计量领域^[4]。

2.5 电源管理电路

采用 3.6V 的锂电池,用高效电压转换芯片 AAT3220 将 3.6V 电压降到 3.3V,为热量表供电。

3 设计要点

流量参数和温度参数都采用一表一参的方法。所谓一表一参,就是给每一块基础型热量表配置一组参数。这种方法降低批量生产时对元器件一致性的要求,减小了分布参数对系统的影响,大大提高了系统的测量精度。

3.1 流量模型

选用基表的脉冲当量理论值为 40 圈/升。实际上,受基表加工工艺、叶轮的器件离散性、流体流过时的摩擦力和机械间隙等原因的影响,不同基表的脉冲当量是不同的。即使同一块基表,在不同水流速度的情况下,脉冲当量也存在差异。

为了提高测量精度,采用三点补偿的方法对测量脉冲当量曲线进行修正。所谓三点补偿法,就是指出厂前,在可测量的水流速度范围内,找 3 个具有代表意义的流速点,分别对应小流速、中流速和大流速。对所选的 3 个流速点进行实际测量,把结果写入对应的脉冲当量系数,通过公式计算出各流速情况下对应的脉冲当量,从而非线性补偿理论脉冲当量值,使其与实际的脉冲当量曲线吻合。

图 2 中的实验数据表明,脉冲当量系数变化最快、最难补偿的部分,出现在小流速情况下。较大流速时,曲线接近水平。因此,我们的补偿函数的重点,就是对小流速情况下流量的补偿。采用分段函数,可以建立一套有效的脉冲当量-流速系数的数学模型。

表 1 中,列出了实验中选用的 4 块热量表,补偿前与补偿后,流量测量的精确度。在这里,只给出了较小流速(即介于小流速和中流速测试点之间)情况的补偿结果,较大流量情况

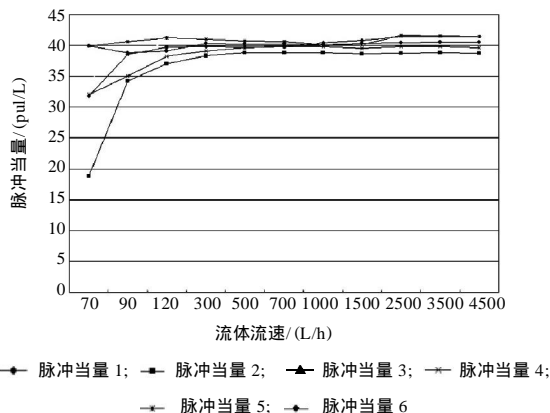


图 2 多个热量表的脉冲当量曲线

表 1 三点补偿法现场检验结果

		热量表 A				热量表 B				热量表 C				热量表 D			
流速/(L/h)		70	100	350	700	70	100	350	700	70	100	350	700	70	100	350	700
误差 (%)	补偿前	-1.5	0.75	1.75	2.0	1.5	2.0	1.25	1.75	-5.75	-4.0	-1.75	-2.25	-8.75	-6.0	0.625	0.375
	补偿后	0.0	0.773	-0.245	0.0	0.0	0.386	-0.491	0.0	0.0	-0.477	0.512	0.0	0.0	-0.61	0.249	0.0

流速为 70L/h、700L/h、3500L/h 为补偿参考点，100L/h、350L/h 为非补偿参考点。

下容易补偿，此处不再介绍。可以看到，经过三点补偿之后，参考点与非参考点处的流量测量误差，都有改善，达到百分之一以内。

3.2 热量模型

热量计算基于公式(1)。公式(1)可以转化成公式(2)、(3)

$$\Delta Q(i)=0.5 \times V_p(n_p) \times\left[h\left(C_{in}(i)\right)-h\left(C_{out}(i)\right)\right] \times\left[d\left(C_{in}(i)\right)+d\left(C_{out}(i)\right)\right] \quad(2)$$

$$\left\{\begin{array}{l} Q(i)=Q(i-1)+\Delta Q(i) \\ Q(0)=q_0 \end{array}\right. \quad(3)$$

$$i=1 \quad 2 \quad 3 \quad \cdots$$

式中： $V_p(n_p)$ ——第*i*个时段的水流量 m^3 ； $\Delta Q(i)$ ——第*i*个时段的热量 kJ ； $Q(i)$ ——到第*i*个时段末的累积热量 kJ ； q_0 ——初始热量值，通常为 0 kJ 。

水的焓值和密度表在《JJG225-2001》的附录中给出^[5,10]。为了提高运算速度、节约存储空间，没有采用查表法。而是建立一套数学模型，用公式计算出水的焓值和密度。

$$d(c)=a_0+a_1 c+a_2 c^2+a_3 c^3 \quad(4)$$

$$h(c)=b_0+b_1 c+b_2 c^2+b_3 c^3 \quad(5)$$

P = 0.6MPa时 $\left(a_0, a_1, a_2, a_3\right)=(1000.7559-0.0375617989-0.0046238520 \quad 0.0000078024) \quad\left(b_0, b_1, b_2, b_3\right)=(0.6568892171 \quad 4.1968854371-0.0004262764 \quad 0.0000034467)$ 。

P = 1.6MPa时 $\left(a_0, a_1, a_2, a_3\right)=(1001.26-0.0402729541-0.0045941827 \quad 0.0000077422) \quad\left(b_0, b_1, b_2, b_3\right)=(1.6686236636 \quad 4.1929925774-0.0004038400 \quad 0.0000033521)$ 。

式中 c ——水的温度值， $d(c)$ ——水的密度值 kg/m^3 ； $h(c)$ ——水的焓值 kJ/kg 。

该数学模型是一套三次幂的泰勒展开式。与相应压强下水的焓值表和密度表比较结果如图 3 所示。

计算热量时，把测量得到的进水温度值、回水温度值，代入公式(4)、(5)。再把计算结果和测量到的时段内水流量值，代入公式(2)、(3)，算出累计流量值。

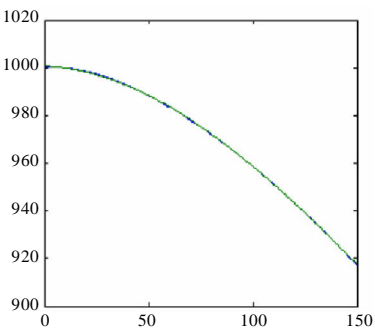
4 软件设计

基于 AQ430 编译环境，C 语言编程。程序流程如图 4 所示。

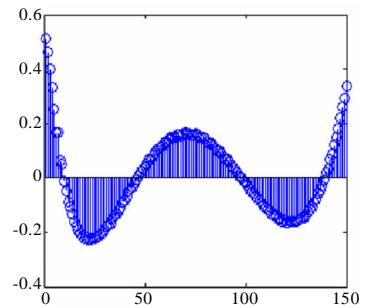
系统在上电初始化之后，立即进入 MSP430 的低功耗模式(3)。在此模式下，只有 ACLK 时钟有效，除内部计时器外，其它模块停止工作^[6]。

事件中断可以唤醒主控机。由于该单片机无法实现中断嵌套，所以，中断程序执行时间要尽可能简短，以便不影响其它中断的执行。因此，除不可中断的操作(如单次温度测量等)外，中断处理程序只是设置中断标志变量的值。

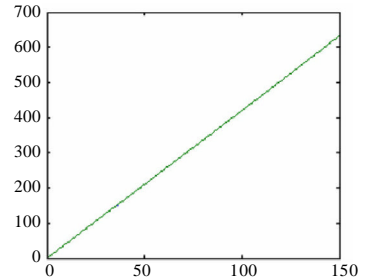
中断操作结束时，唤醒单片机。主程序根据中断标志变量，执行相应的中断处理程序。完成后，再进入低功耗模式。



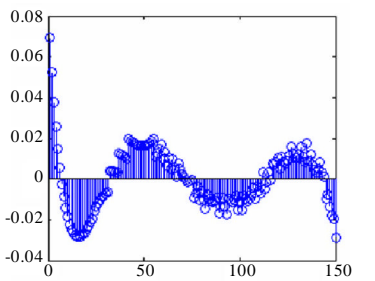
(a) p = 0.6Mpa 密度拟合曲线



(b) p = 0.6Mpa 密度误差



(c) p = 0.6Mpa 焓值拟合曲线



(d) p = 0.6Mpa 焓值误差

图 3 焓值和密度比较结果

5 结束语

采用 MSP430 单片机设计的热量表具有超低功耗的特点。当不进行温度测量、热量计算或液晶显示时，单片机处于低功耗模式 LMP3，电路板整体工作电流只有 6uA。(下转第 3744 页)

5 结束语

本文以 SoC 单片机 C8051F040 为主体,构建电池快速充电系统的软硬件平台,分析了 $\mu\text{C}/\text{OS-}$ 操作系统的特点,并在单片机 C8051F040 芯片嵌入 $\mu\text{C}/\text{OS-}$ 实时操作系统,阐述了基于 $\mu\text{C}/\text{OS-}$ 操作系统的电动汽车电池快速充电系统的设计与实现方法。由此开发的电动汽车电池快速充电系统的实时响应速度快,并实现软件设计模块化、可大大提高系统的稳定性和实时响应能力,增强系统的可靠性、可扩展性、可移植性。有着广泛的应用前景。本文结合目前电动汽车电池充电的实际运行状况,提出了电动汽车用动力蓄电池的无伤害快速充电的解决方案,它的成功运行行为电动汽车的社会市场普及和推广创造了条件,为解决环境污染和节约能源提供了有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 何煦岚,沈丽容.两级嵌入式系统的消息驱动和快速传送两级嵌入式系统的消息驱动和快速传送[J].计算机工程与设计,2007,28(20):154-157.
- [2] 任哲.嵌入式实时操作系统[M].北京:北京航空航天大学出版

社,2006.

- [3] 刘永喆,齐铂金,吴红杰.基于 $\mu\text{C}/\text{OS-}$ 的电动车电池管理系统设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2006(12):52-54.
- [4] 杨华. $\mu\text{C}/\text{OS-}$ 在混合动力汽车总控制中的应用[J].微计算机信息,2007(2-2):262-264.
- [5] 童长飞.C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [6] 郭杨.嵌入式操作系统的硬实时微内核设计[J].计算机工程与设计,2008,29(16):37-39.
- [7] 肖玉萍.混合动力电动汽车电池管理系统[D].北京:北京工业大学检测技术与自动化装置,2005.
- [8] Sun Fenghun, Chen Yong, HE Honwgen, et al. Experiment study on the ending criteria of charge and discharge of nickel hydride battery[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 11(1): 56-60.
- [9] 韩晓东,傅春江,杜宇,等.判断电动车电池放电终止状态的新标准[J].电池,2005,32(2):117-120.
- [10] 乔国艳,曾春年.电池管理系统下层 EUC 设计[J].武汉理工大学大学学报(信息与管理工程版),2004,26(4):48-51.

(上接第 3725 页)

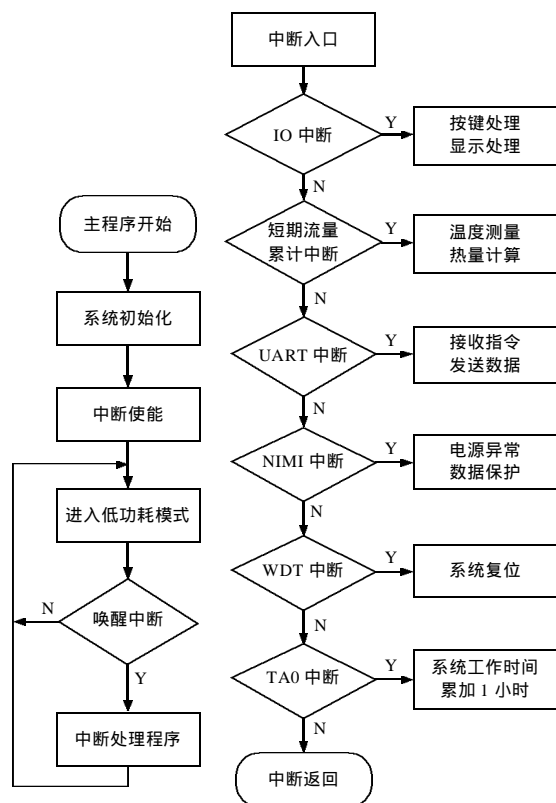


图4 程序流程

方案对流量和温度测量均采用一表一参的方法。有效的减少了分布参数对测量结果的影响。提高了测量精度。

采用公式法计算水流密度和焓值,精度分别达到了 0.5% 和 0.1% 以下。有效的减少了热量计算的公式误差。

硬件电路简单,结构简洁可靠,采用多种方法提高精度,支持多种远程抄表方式。

参考文献:

- [1] 李晶,莫德举.户用低功耗超声式热量表的研究[J].北京化工大学学报,2005,32(1):74-77.
- [2] 范文萍,吴定雪.基于 MSP430 微处理器的智能超低耗热量表的设计与实现[J].黄冈师范学院学报,2007,37(3):49-51.
- [3] 呼曦.以超低功耗微处理器 MSP430 为核心的热计量表设计[J].电子器件应用,2008,10(4):22-25.
- [4] 齐长永,赵宏宇.基于 MSP430 单片机的热量表设计[J].应用能源技术,2004(1):45-47.
- [5] JJG225-2001,热能表检定规程[S].2001.
- [6] 利尔达策划.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [7] 罗琴.基于 MSP430 单片机的智能热量表的研究[D].南昌:南昌大学环境工程学院,2007.
- [8] 罗琴,李鸣,徐爱华.基于 MSP430 的热量表的温度测量[J].计量与测试技术,2008,35(1):45-47.
- [9] 李亚南,姜印平,李志丹.基于 MSP430 单片机的智能型流量积算仪[J].仪器仪表学报,2007,28(3):511-513.
- [10] 杨仁建.智能超低功耗超声热量表的研究与开发[D].济南:山东大学控制理论与控制工程,2006.