

无磁式多流束户用热量表的技术探讨

杜广生 刘正刚 郭兰兰 林勤春

一、技术方案

1. 热量测量原理

热量表由流量传感器、配对温度传感器以及积算仪三部分组成。流量传感器和配对温度传感器将测得的热水体积和温差信号传送给积算仪，积算仪则按与温度相关的热量系数和体积、温差一起计算出采暖系统所消耗的热能值。

按热力学理论，一物体散发的热量值 Q 为：

$$Q = \int_{t_0}^t q_m h dt \quad (1)$$

式中： q_m ——流体质量流量； t ——时间； h ——热循环系统进出口比焓差。

式(1)在实际应用中不被使用，因为焓差不是直接测量的量。实际上焓值主要与介质的成分温度有关，因为液体的不可压缩性，所以压力影响可忽略不计。式(1)可转化为：

$$Q = \int_{t_0}^t q_v (\rho) c_p dt \quad (2)$$

式中： c_p ——进出口平均介质比热值； ρ ——进出口温度差值； q_v ——介质体积流量； (ρ) ——介质密度；将 $c_p \cdot (\rho)$ 值组合为新值，即为热量系数 k 。

因此，实际应用的热量计算公式为：

$$Q = \int_{V_0}^V k dV \quad (3)$$

或

$$Q = k V \quad (4)$$

式中： k ——热量系数，热介质(水)成分的参数，是热介质处于实际温度时的函数； V ——流量传感器测量热介质流过热循环系统的体积值； Δt ——热电阻测量热循环系统进、出口的温差值。

热量表计算器中使用的算式即为(4)式。

2. 流量的检测

流量检测准确度直接影响热量表的整体准确度，影响流量检测的两个重要因素分别是流量检测基表和流量信号的采集处理。本研究采用了多流束基表和无磁式信号采集系统。基表根据水流形式可分为多流束和单流束两种。

单流束基表水流形式如图1所示。水流从进水口进入基表，冲击叶片转动，在出水口流出基表；由于其流束形式决定了水流在基表内部有比较大的流动空间，不易被污水所堵塞，比较适合我国国情，其产品目前

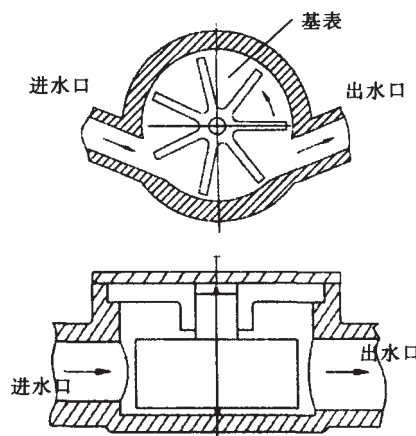


图1 单流束基表水流示意图

还有一定的生存空间。但其缺点也很明显，由于水流对叶片的冲击不对称，叶轮的受力载荷容易产生波动，使叶轮在转动过程中产生周向和径向振动，从而影响流量检测准确度。

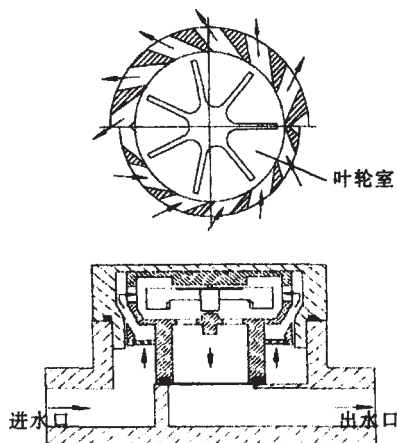


图2 多流束基表水流示意图

多流束基表水流形式如图2所示，水流经基表进口进入基表，靠导流叶片形成多通道，将水从不同的方向导入叶轮室，形成对叶轮的均匀对称冲击，较好地避免了水流对叶片造成的轴向和径向振动，提高了叶轮工作的稳定性，因此，准确度较高的基表多采用多流束基表。考虑到技术的长远有效性和二级表的准确度要求，本方案采用了多流束基表方案，其基本结构如图3所示。

流量检测基表的信号采集是决定流量检测准确度的重要一环，一般情况下，用于热量表的旋翼式流量检测基表的信号采集方式根据检测原理的不同可分为以下形式：

(1) 磁铁耦合式

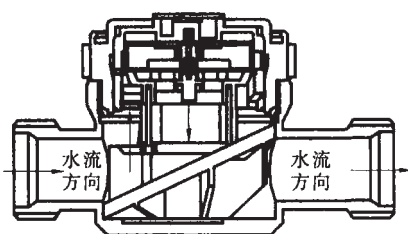


图3 基表结构示意图

三种结构形式：叶轮磁铁+测量腔内或外磁铁，叶轮磁铁+感应线圈，指针磁铁+感应干簧管。

缺点：永久磁铁的失效(退磁)，永久磁铁的水垢及铁锈，叶轮输出产生阻力(在小流量情况下，如温控阀的采用、季节更替等)影响很大。

(2) 无磁式

原理：阻尼振荡电路如图4所示，电路由电感和电容组成，电感下方为旋转的叶轮，其上镶有半圆形金属膜片，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。

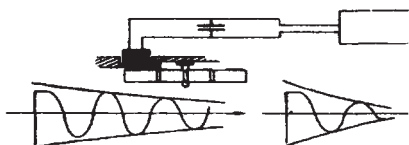


图4 无磁式流量传感器示意图

特点：微功耗，维持电池寿命超过10年，3个振荡线圈，辨别叶轮转向，可用于冷热水表。叶轮无磁铁，不受介质水锈影响。

鉴于无磁式流量传感器的诸多优点，本方案采用了无磁式传感器方案，具体电路方案为TMS3723B方案。

TMS3723B是美国德州仪器公司生产的流量芯片，被广泛应用于欧洲的热量表产品。内部有12个控制寄存器和13个数据寄存器。通过向控制寄存器中写数据可以实现对采样频率、比较器比较电压、中断方式、时钟信号源、电感的开启和关闭等项目的控制。读出数据寄存器的内容可以知道各个电感的状态、叶轮旋转圈数、叶

轮旋转方向等信息。

实际在热量表中使用TMS3723B主要是读取1/4旋转寄存器和电感状态寄存器中的内容。当叶轮旋转一圈时，1/4旋转寄存器中的数据加4，当1/4旋转寄存器中的数据读出后可自动清0。只要定期读取1/4旋转寄存器中的内容，就可以计算出在这一时间间隔内的叶轮转速。电感状态寄存器中保存当前电感的状态等信息，通过读取其中的数据可以判断电感是否存在故障。

试验研究表明，采用上述方案的流量检测系统具有流量检测准确度高、工作可靠性好的特点，流量准确度可与德国荷德鲁美特热量表相媲美，始动流量只有7L/h。

3. 温度的检测

热量表的行业标准中对温度测量的要求很高，必须选用合适的温度传感器。热电阻由于在测量灵敏度、线性度等诸多方面优于热电偶，因此，在600 以下的低温区得到了更广泛的应用。本热量表选用Pt1000铂电阻温度传感器，该传感器性能稳定，电阻温度系数分散性小，应用广泛。铂电阻适用温度范围为：-250 ~ 640 。其方程可用多项式表达：

$$R(t) = R_0(1 + at + bt^2 + ct^3 + \dots) \quad (5)$$

式中：t为摄氏温度， R_0 是t=0时的铂电阻值，Pt1000在t=0时的铂电阻值为1000，温度系数 $a = 3.9082 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ ， $b = -5.80195 \times 10^{-7} / (^\circ\text{C})^2$ 。二次项系数与一次项系数间相差4个数量级，三次项之后的系数更小，因此，实际应用中一般只应用到二次项即可。

传统的温度检测电路往往采用电桥来测量温度。通过对电桥电路进行多种方案的研究，发现采用电桥来测量温度存在诸多缺点，首先对元器件的一致性要求非常高。若电阻的准

确度不高或两块CPU的端口电压、两块运算放大器性能之间稍有差异，则两块电路板之间测量的一致性就会变差。实际制造工艺很难保证两块电路板的一致性。而且经过分析，发现此电路所测量的电阻值与电源电压有关，若电池经长期使用后电压下降，则所测量的温度值的准确性也越来越差。这两个缺点难以克服，经过课题组的反复讨论，最后决定放弃这一方案。在大量调研和理论分析的基础上，最终选定了下述的斜率A/D测量电阻的方案。

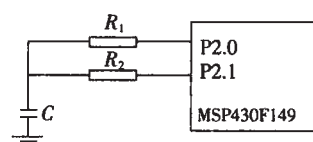


图5 斜率A/D原理图

温度测量采用斜率A/D电路，电路如图5所示。本方案采用的控制芯片为MSP430F147，其内部有高精度比较器，可以实现电阻的准确测量，从而实现温度的测量。图中 R_1 为参考电阻， R_2 为待测电阻，在 R_2 一侧添加有滤波电路。电阻和电容C组成一个RC电路，当电容C不变时，电容的充放电时间只取决于电阻。若用同一个电容C分别与参考电阻 R_1 和待测电阻 R_2 组成RC电路，然后分别测量它们的放电时间，就可以测量出 R_2 的阻值。具体做法是：P2.1为单片机比较器的输入引脚，测量时对电容C充电使电压达到电源电压 V_{CC} ，充电结束后让P2.0口与地线导通，使电容通过参考电阻 R_1 放电。当电容电压降到 $0.25V_{CC}$ 时，比较器产生中断，记录下电容的放电时间 t_1 。然后再次对电容充电，充完电后P2.1口与地线导通，电容通过待测电阻 R_2 放电，记录下放电时间 t_2 。电容的放电时间和电阻的大小有关，放电时间的计算公式为：

$$t_1=R_1 \times C \times \ln(0.25V_{cc}/V_{cc}) \quad (6)$$

$$t_2=R_2 \times C \times \ln(0.25V_{cc}/V_{cc}) \quad (7)$$

两式相除,得:

$$R_2=R_1 \times (t_2/t_1) \quad (8)$$

斜率A/D测量电阻的方法电路简单,所用元器件少,测量准确度高,测量重复性好,是在国外热量表中使用较多的方法。

用斜率A/D测量温度,其测量的稳定性和分辨率主要由电容的大小和CPU计数器频率的高低决定。电容越大或CPU计数器的频率越大,则测量的分辨率越高,但功耗变大,测量稳定性变差。反之,若减小电容或降低计数器频率,测量的稳定性会提高,但功耗降低,分辨率下降。经过多次实验,发现构成RC电路的电容的质量也对测量稳定性有很大影响。若使用普通电容,电容值仅为0.1 μ F时,测量的重复性就会很差,前后两次测量的数值能相差10%以上,而此时即使把CPU计数器的频率增加为8MHz,其分辨率也达不到0.1的要

求。因此,必须选择质量高的电容。经多次实验,发现使用电容可以很好地保持测量的稳定性和重复性。本研究通过大量试验表明,合理选取电容值和CPU的计数频率,可使测量温度的分辨率达到0.03,并且测量的稳定性、功耗也能满足要求。

4.低功耗的实现

行业标准要求热量表在5年内不得更换电池,因此要求热量表的功耗很低。为此选用了MSP430F147单片机芯片,它是专门为低功耗而研制的新型16位单片机。它具有LMP0、LMP1、LMP2、LMP3、LMP4这5种低功耗模式,其供电电压可以在(1.8~3.6)V范围内变化;在LMP0模式下工作电流只有0.1 μ A,在活动状态下电流消耗大约为280 μ A。为降低功耗,必须使CPU大部分时间工作在低功耗模式下。由于CPU的计数器必须始终工作,所以选择了低功耗LMP3,在这个模式下,CPU的工作电流为2 μ A。经实际测量发现,温度的测量是消耗能量

最多的环节,因此应尽量减少温度测量的次数。由于热量表实际工作时大多处于稳定状态,进、回水的温度变化很小,因此测量温度的时间间隔可以长一些。在编制程序时以16s为一个周期,每隔4s读一次流量数据。若流量为零,则不检测温度。若有流体通过,则每隔16s检测一次温度,判断进、回水的温差;若进、回水温差超过3,则计算热量,否则不予计算。经测算,热量表按上述模式工作,2000mAh的一节5号电池可用8年以上,实现了低功耗。

二、检测结果

根据以上技术方案研制的热量表,经山东省计量科学研究院型式鉴定试验表明,其各项检测指标均达到国标2级表的各项技术要求。其检测项目包括流量传感器准确度、温度传感器准确度、计算器准确度等14项,各项检测数据均达到国际同类产品的先进水平。

作者单位【山东大学】

“标准物质描述技术规范研究制定及试点应用”项目通过验收

本刊讯 4月25日,“标准物质描述技术规范研究制定及试点应用”项目验收会在中国计量科学研究院召开,验收会由国家质检总局科技司受科技部农村与社会发展司的委托组织,国家质检总局计量司王建平处长主持。项目组全面完成了任务书规定的各项任务和考核指标,专家们一致同意通过验收。

参加验收会的有科技部农村与社会发展司许增泰处长、农村中心王喆主任和国家自然资源共享平台管理联合办公室卢兵友处长。验收

会邀请了中化地质矿山总局杨卓孚教授级高工、钢铁研究总院柯瑞华教授、北京有色金属研究总院郑永章教授级高工、国家地质实验中心陈金武研究员、中国农业科学院品资所曹永生研究员、中国环境科学研究院刘咸德研究员、清华大学分析测试中心张新荣教授、北京大学化学系张新祥教授、中国标准化研究院房庆研究员等9位专家。

专家组认为,标准物质技术规范的制定比较认真,工作程序规范,完成的质量较高,已形成相对比较

完善的技术规范体系,为自然资源平台建设其他领域技术规范的制定做出了示范。目前信息库的建设对标准物质领域的资源共享起到了重要的作用。

“标准物质描述技术规范研究制定及试点应用”项目是国家自然资源共享平台2003年度的重点项目之一,由技术规范研究制定、信息库和实物库的建立与完善等子课题组成,共9个单位参与了研究。该课题的建立对标准物质领域的资源整合共享具有重要意义。(孙玉芝)