

试信号与采样都是周期性的,因而两者的相关关系对测量结果有一定的影响,而且仪器的响应越灵敏,受这种相关关系的影响就越大。 S 计权和 I 计权测量结果的一致性较好,不过是由于仪器响应不够灵敏而对起伏不定的被测信号进行了较大的“平滑”所造成的“美化”假象,并未真实地反映被测信号的情况;当用 F 计权时仪器响应较为灵敏,这种“平滑”现象要小得多,相对而言,其采样值较为真实地反映了被测信号的情况。所以,在这里用“一致性”来衡量测量结果的准确性是不合适的。

(3) 表2—表4的测量结果表明,被测信号的 DR 越大,用三种时间计权测得的 L_{Aeq} 越接近。考虑到表1中所给1型ISLM的允差值可以认为,当被测信号的 $DR \geq 1/10$ (相当于被测噪声的 $CF \leq 4.47$)时,用三种时间计权测得的 L_{Aeq} 是一致的;当被测信号的 $DR \geq 1/100$ (相当于被测噪声的 $CF \leq 14.1$)时,用 S 和 F 计权测得的 L_{Aeq} 是一致的;当被测信号的 $DR < 1/100$ (相当于被测噪声的 $CF \geq 14.1$)时,只能用 F 计权测量 L_{Aeq} 。这就说明,当用ISLM测量 L_{Aeq} 时,无论被测噪声的 CF 多大,优先选用的时间计权应为 F ,也就是说最好通过 F 计权采样来给出 L_{Aeq} 。

四、结 论

上述理论分析及对实验验证结果的分析均表明,虽然由于受 RC 电路充放电效应的影响,使得用 S 、 F 及 I 三种时间计权测量 L_{Aeq} 时,采样过程中不可避免地要在不同程度上要漏掉一些有用的信息,而且采样到的声级也不是瞬时值,因而测量结果有一定的误差。但相比之下,用 F 计权测量时,ISLM的整体响应最为灵敏,采样到的信息量最大,采样结果也最接近瞬时值。所以,在用ISLM测量 L_{Aeq} 时,应优先选用 F 计权采样。

这一结论是在目前ISLM以两次平均的方式测量 L_{Aeq} 的前提下得出的。若将来的ISLM直接对交流信号进行采样计算,以一次平均方式给出 L_{Aeq} ,则不存在选择时间计权特性的问题。

参 考 文 献

- [1] GB3785-83《声级计的电、声性能及其测试方法》
- [2] IEC804(1985) “Integrating-averaging sound level meters”
- [3] GB12349-90《工业企业厂界噪声测量方法》
- [4] GB3222-82《城市区域环境噪声测量方法》
- [5] GBJ122-88《工业企业噪声测量规范》

一种高精度超声波声速自动测量仪

刘 镇 清

(同济大学声学研究所 上海 200092)

1992年12月24日收到

利用现代电子技术研制成功了脉冲式声速自动测量仪,它采用过零检测数字平均方法,声时测量精度达纳秒量级,可测绝对声速。本文着重介绍了仪器的原理结构,并给出了关键部分的详细电路。对固体及液体进行的若干实测结果表明,该声速仪不仅可用于实验室研究工作,更重要的是它在超声工业测量领域有广阔的推广应用价值。

一、引 言

超声波速度的测量对研究材料的物理特性与工业性检测都非常有用。已有多种声速自动测量方法及仪器,它们大多利用脉冲回鸣法及

脉冲回波透加法,这两种方法一方面不易获得绝对声速,另一方面制成的仪器调试要求也较高。随着高速数字器件的发展,脉冲回波计数平均法(以下简称数字平均法)已逐渐成为一种比较广为人接受的高精度声速测量方法^[1],由

这一原理制成的自动声速测量仪结构更简单、调试更方便。

本文介绍了作者研制的数字平均法声速测量仪的原理与结构,给出了若干测量实验结果。由于采用了脉冲回波过零检测技术^[2],保证了测量的准确性,声时测量精度达纳秒(ns)量级,且能获得绝对声速值。仪器采用了数字集成电路,调试方便、结构简单。

二、原 理

数字平均法测声速(c)实际上是在一定声程(L)下测声时 t ,尔后由 $c = L/t$ 的关系求出声速,因此这里所说的高精度声速测量实为高精度声时测量。实现脉冲回波计数法首先必须准确提取回波信号,给出具有高度可靠性的时间闸门。普通的脉冲回波计数法以某一固定电平为触发值,当反射回波信号电压高于此值时使时间闸门翻转^[3],当回波幅度变化较大时,这一方法会造成较大的测量误差。这里选用了过零检测回波提取技术^[2,4],避免了由于回波幅度变化引起的声时测量误差,其时序如图1所示。

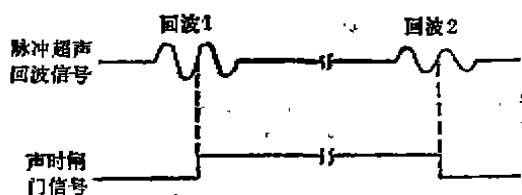


图1 过零检测时序

过零检测是使声时闸门在回波的某一个正与负交越点翻转,这样得到的闸门宽度便不受回波幅度的影响。可选择脉冲超声波发射到第一次(或稍后几次)回波为声时值,也可选择两回波之间的时间间隔为声时值;前者更适合超声工业测量,后者则能够获得超声波的绝对声时,进而得到绝对声速^[5],图1便代表了后者。

常规的回波计数法是在闸门内单次计数,这样声时的测量精度就受到计数频率的极大限制。若取多次计数的平均,则由计数值量化造

成的声时测量标准差为^[4]:

$$\sigma = T/\sqrt{6N} \quad (1)$$

式中, T 为计数时标的周期, N 为平均次数。由此可见,多次平均后计数的量化误差是单次计数时的 $1/\sqrt{N}$,大大提高了这种方法的声时测量精度。现代电子技术的发展使得数字平均技术很容易实现,因而可以制成相应的高精度声速测量仪器。

三、仪器设计

图2表示了声速测量仪的组成,图3是其几个关键点的时序图。仪器采用自发自收工作方式。主控振荡器产生周期约2ms的方波脉冲,整个仪器以这一周期重复发射与接收超声波,周期大小以超声波在试样中衰减较彻底为原则,通常2ms对多数的超声实验与工业测量来说是合适的。噪声发生器产生调制主控振荡器的噪声信号,使主控振荡器的信号周期有微弱的随机抖动,这样数字平均法测声速才真正有意义^[4]。经过延时后形成的尖脉冲信号送超声波激励器,超声波激励器则激励换能器产生有一定功率的脉冲式超声波,超声波在被测试样中传播并来回反射后又形成一系列回波(见图3.c)。

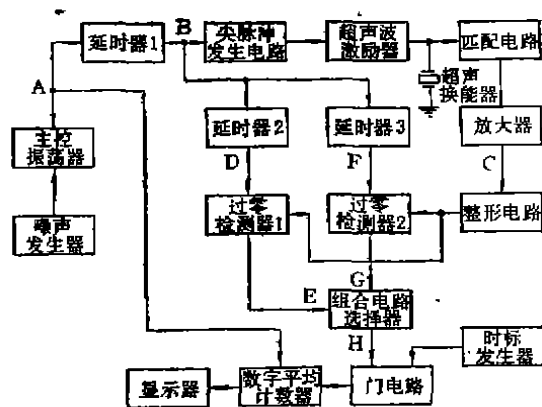


图2 声速仪原理结构框图

在超声检测设备中,信号的放大是一个关键部分,本仪器采用了一种调频广播接收机通

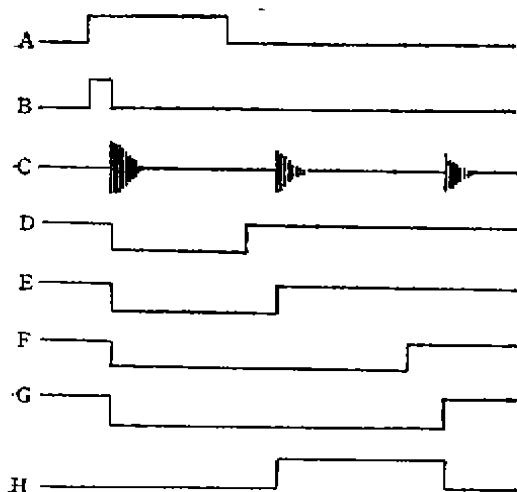


图3 声速仪工作时序

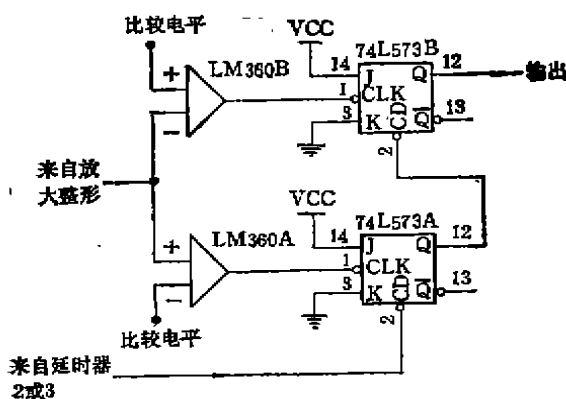


图4 脉冲超声回波过零检测电路

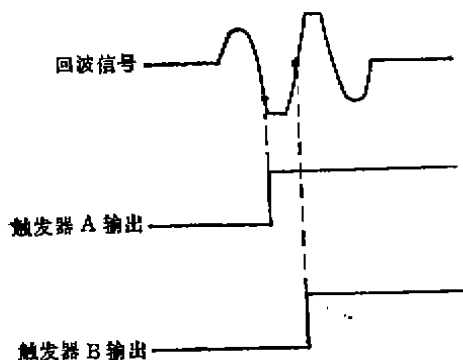


图5 过零检测电路时序

用集成电路 $\mu\text{PC1018C}$ 作为放大电路的核心^[7],它大大降低了成本,同时也增强了仪器的可靠性。放大后的脉冲超声信号经整形送过零检测

应用声学

器。过零检测回波提取的好坏直接影响到声时测量的精度,这里采用了一种简易的数字过零检测方法,其具体电路及时序见图4与图5。

过零检测电路分两个部分,1. 回波识别,由图4中的LM360A及74LS73A组成;2. 过零提取,由图4中的LM360B及74LS73B组成。高速比较器LM360A的翻转比较电平设置在远离脉冲超声信号的过零点(见图5),这样大大增强了电路的抗干扰能力;由于图2中的延迟器2(或3)在发射超声波时刻使JK触发器74LS73A清零,根据JK触发器状态方程:

$$Q^{n+1} = J\bar{Q}^n + \bar{K}Q^n \quad (2)$$

当 $J=1, K=0$ 时(见图4),只有CLK脉冲第一次翻转(下降沿)时JK触发器相应翻转一次,即输出端Q从“0”跳变到“1”,以后由高速比较器A送来的各次脉冲都无效。高速比较器LM360B的翻转比较电平选在回波信号的过零点,但由于JK触发器74LS73B的清零端(CD)受74LS73A输出的控制,只能在74LS73A输出端翻转后的第一个过零点动作,因此过零提取电路中JK触发器B的输出即为图3中的E或G。图2中的过零检测器1与过零检测器2的不同之处是,它们分别由延迟器2与延迟器3清零禁止的时间不同。过零检测器1在第一次回波的过零点即翻转,过零检测器2则在第2次回波的过零点才翻转,调节延迟器2或3还可使过零检测器在其他几次回波的过零点翻转。组合电路选择器便于操作者选择,选取发射到第一次回波过零点的时间间隔或第一到第二次回波过零点的时间间隔为声时基准,图3中H给出了后者的时序。

得到声时基准闸门后,时标脉冲发生器即可在闸门内计数,本仪器的时标脉冲频率为25MHz。数字平均计数器将多次超声波发射、接收得到的声时计数值累加,达到预定的次数后作平均化处理,最终的声时测量结果由显示器数码显示。

仪器中的数字平均与显示可由最小单片机系统完成^[8],还可通过外接通用计数器来实现。由于仪器采用数字化设计,很容易与微机相联

组成微机控制的全自动声速测量系统^[1],为精密声学测试与分析奠定基础。

四、实测结果

用本文所述的仪器对液体及固体作了声时精密测量,由于声程都已知,可方便地由声时换算成声速。

1 过氧化氢(H_2O_2)水溶液的声时-温度关系测量

实验用超声换能器的中心频率为 2MHz,声程为 300mm,选择第一到第二次回波为声时基准,计数数字平均的次数为 1000。温度传感器为金属铂电阻,温度测量系统也是自行研制的^[2],它的测量精度达到 0.01℃。被测过氧化氢水溶液的重量百分比浓度为 32%。

实验时使溶液温度升高,然后缓缓地让它降温,搅拌器不断地搅拌以保持液体各点温度均匀,在此过程中声速仪自动测量声时随温度变化的情况,图 6 是实测结果。据式 1 可知,当时标周期为 40ns、平均次数为 1000 时,声时测量的标准差约 0.52ns。图 6 显示的测量结果符合理论预计,不仅声时随温度变化相当平稳、可灵敏地反映声速的微小变化,而且在接近 50℃ 声时基本不随温度变化情况下相邻各点的声时偏差大多在 1ns 以内。

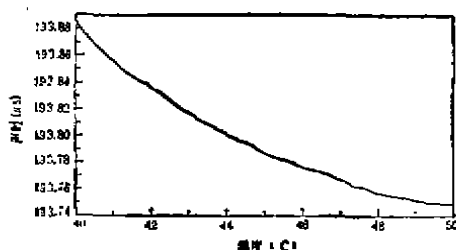


图 6 过氧化氢水溶液声时-温度关系特性

2 螺栓的声时与应力关系测量

实验用纵波超声换能器的中心频率为 5MHz,被测不锈钢螺栓的长度为 313mm、直径为 44mm,实验时螺栓的夹紧距离为 400mm,计数数字平均次数为 400。图 7 显示了温度为 30℃ 时螺栓拉伸应力与纵波声时变化量的关

系,从图中可看出,应力变化引起的声时变化是相当小的,因此高精度声时(或声速)自动测量对应力的超声测试非常必要。经反复测量观察,同样温度、应力下的声时值差异小于 2ns。

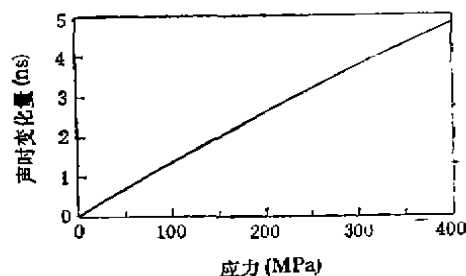


图 7 声时变化与螺栓应力关系

作者还将发射超声波改为方波调制脉冲形式,用本仪器测量了固体的绝对声速;当超声波频率为 5MHz 时,经衍射修正后^[3]的测量精度达到射频周期的八十分之一,有关实验的详细报道见文献[2]。

五、结 束 语

研制成功的声速自动测量仪测声时的精度达 1ns,它的结构简单,且输出全数字化,易于形成独立的以声速为参量的智能化超声工业测量仪器。已在此仪器的基础上研制成功了液体浓度在线检测仪^[4]及高温螺栓应力仪,为超声波技术的推广应用起到了促进作用。

本项工作得到魏墨鑫教授、朱士明研究员的指导,肖明正硕士参加了声时应力关系的测定,特致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] J.D. Aindow and R.C. Chivers, *J. Acoust. Soc. Am.*, **73**-5(1983), 1833—1837
- [2] 刘镇清,实验技术与管理, **9**-2(1992),29—32
- [3] 同济大学声学研究所,《超声工业测量技术》,上海人民出版社,1977,93—99
- [4] 朱士明,刘镇清等,声学技术, **9**-3(1990),36—40
- [5] 刘镇清,电子技术应用, **4**(1992),37—38
- [6] 刘镇清,朱士明,91 全国单片机学术交流会论文集,天津,1991.9, C-4-5
- [7] 刘镇清,实验室仪器, **13**-2(1992),13—16
- [8] 刘镇清,电子技术, **3**(1992),22—23
- [9] A.S. Khimninin, *Acustica*, **32**-3(1975), 192—200
- [10] 刘镇清,仪器仪表与分析监测, **7**-4(1991),16—18