

检测技术的新发展

孙培明

(广州市政建设学校 广东 510500)

检测技术是科技领域的重要组成部分,可以说科技发展的每一步都离不开检测技术的配合,尤其是极端条件下的检测技术,已成为深化认识自然的重要手段。近几十年来,随着电子技术的快速发展,各种弱物理量(如弱光、弱电、弱磁、弱声、小位移、微温差、微电导、微振动等)的测量有了长足的发展,其检测方法大都是通过各种传感器作电量转换,使测量对象转换成电量,基本方法有:相干测量法,重复信号的时域平均法,离散信号的统计平均法及计算机处理法等,但由于弱信号本身的涨落、传感器本身及测量仪噪声等的影响,检测的灵敏度及准确性受到了很大的限制。

近年来,各国的科学家们对光声光热技术进行了大量广泛而深入的研究,人们通过检测声波及热效应便可对物质的力、热、声、光、磁等各种特性进行分析和研究;并且这种检测几乎适用于所有类型的试样,甚至还可以进行试样的亚表面无损检测和成像。还由此派生出几种光热检测技术(如光热光偏转法、光热光位移法、热透射法、光声喇曼光谱法及光热释电光谱法等)。这些方法成功地解决了以往用传统方法所不易解决的难题,因而广泛地应用于物理、化学、生物、医学、化工、环保、材料科学等各个领域,成为科学研究中十分重要的检测和分析手段。尤其是近几年来,随着光声光热检测技术的不断发展,光声光热效应的含义也不断拓宽,光源也由传统的光波、电磁波、X射线、微波等扩展到电子束、离子束、同步辐射等,探测器也由原来的传声器扩展到压电传感器、热释电探测器及光敏传感器等,从而适应了不同应用场合的实际需要。

1. 光声光热检测的特点

光声光热检测之所以有如此迅速的发展并得到日益广泛的应用,是由其本身的特点所决定的。

1.1 与普通的光谱测量技术相比,光声检测的光声信号直接取决于物质吸收光能的大小,反射光、

散射光对光声检测的干扰很小;因此,对于弱信号则可以通过增大入射光功率的办法来提高检测的信噪比;同时,它还是惟一可用以检测试样剖面吸收光谱的方法。

1.2 在光声检测中,试样本身既是被测物质,又是吸收光波的检测器,因此,可以在一个很宽的波谱范围内进行研究,而不必改变检测系统,给实际操作带来极大的方便。

1.3 光声效应是研究物质荧光、光电和光化学现象的极其灵敏而又十分有效的方法,这是因为光声信息是物质吸收了经调制后的外界入射能量,由受激态跃迁到低能态而产生的,因此,它与物质受激后的辐射过程、光化学过程等是互补的,从而大大地提高了检测的灵敏度。

1.4 光声效应还可以用来测量其他一些非光谱研究领域的物理量(如薄膜厚度、弹性形变、不透明材料的亚表面热波成像等)。

2. 光声光热检测技术的分类

当物质吸收强度变化的辐射能而使自身加热时,便会在它的内部产生热应力、热应变及折射率变化等多种效应;如果采用适当的检测手段及检测系统,便可对其物理、化学性质进行测量和研究。根据试样特性和检测目的的不同,可采用不同的检测方法。各种检测方法都有自己相应的检测装置。每个光声光热检测系统,通常都是由强度时变的辐射源、光声光热信号检测器和信号处理系统等3个部分组成的。常见的光声光热检测技术有以下几类。

2.1 传声器光声检测技术

这是目前使用最广泛的一种光声检测系统,它适用于固体、液体、气体、粉末及胶体等各种形态物质特性的检测,其特点是理论较完善,易于实现定量检测。

该系统的主要部分是一个光声腔,用以安装传声器和放置被测试样,检测过程中的光——热——

声能量的转换过程都是在这里发生的。根据其工作方式的不同,光声腔又可分为谐振式和非谐振式两大类;物质吸收调制光能后,将在光声腔内形成光声信号,然后再由腔内的传声器检测并转换成电信号,最后输入信号处理系统,常用的传声器是电容传声器,它是由一很薄金属膜或镀金属的塑料电介质膜与一刚性电极组成,它对体积的变化特别灵敏,对气体、固体试样常采用非谐振式,因其体积小,又工作在低调制频率,所以检测灵敏度高;对于流体试样,常采用谐振式,虽其体积较大,工作频率较高,但由于驻波“放大”作用及提高光声耦合等措施,也能达到很高的检测灵敏度。

2.2 光偏转和光位移检测技术

这是一种非接触式检测技术,可以在十分恶劣的环境下对试样进行检测,灵敏度极高。利用这项技术,不仅可以检测光热偏转信号,而且还可以检测试样的表面位移和表面斜率,所以,它也是观测声波,表面波以及对物质进行无损检测的十分有效的手段。

当调制光束照射到试样时,试样的表面会产生时变的位移或振动;通常这种光热位移及光热偏转是非常小的,所以采用灵敏高的非接触式检测技术十分有利。这里的关键是选择一个理想的光检测系统,并尽可能地降低噪声干扰。目前广泛使用的光探测器,如光电倍增管、光电二极管、硅光电池等都是一能量检测器,因其输出与入射光能成正比,故可采用一种由若干光敏元件阵列组成的象限光电探测器来提高灵敏度,还可以利用专门设计的电容或位移传感器,应用光的相干原理来精确测定简谐振动的微小位移。

2.3 压电和热释电检测技术

某些电介质在外界应力作用下发生形变时,在其表面上产生出束缚电荷,这种效应称为压电效应;反之,电介质在外电场作用下而产生形变的现象称为反压电现象。这一正一反的现象,表明在电介质中机械性质与电学性质之间存在着相关的行为。在光声检测中主要是利用正压电效应,即试样受强度调制的入射光作用后,产生的应力波传递到压电传感器上时,将因正压电效应而输出光信号。为达到最佳的检测效果,必须选择合适的压电材料;通常压电材料分单晶体、多晶陶瓷和有机压电体,在光声检测中用得最多的是多晶压电陶瓷。而压电传感器则必须根据检测固体、液体、粉末的不同要求,选择相

应的灵敏度高、屏蔽性好、抗干扰能力强、声阻抗相匹配的传感器。

所谓的热释电效应(Pyroelectric effect)是指某些晶体、陶瓷或聚合物因温度的变化而引起自发极化强度发生变化,并在特定方向上产生表面电荷的现象。和压电效应一样,并非所有的材料都有热释电效应,它与晶体结构有关,只有那些非中心对称的晶体点阵才具有这种效应。

热释电检测实际上是利用某些材料的热释电效应做成探测器检测热释电信号。图1为其示意图。其工作原理是:一束强度经调制的电磁波入射到试样上,在试样内引起的热波传到热释电探测器上,使探测器温度升高,并引起探测器材料的极化强度发生变化,在其表面产生电荷,并在外电路上形成正比于入射能量的输出信号,这种信号可随波长变化,也可随试样位置变化,或者随外界条件(如温度、压力、场强等)而变化,通过这些变化便可研究其光谱性质、热成像及其他有关的物理性质。

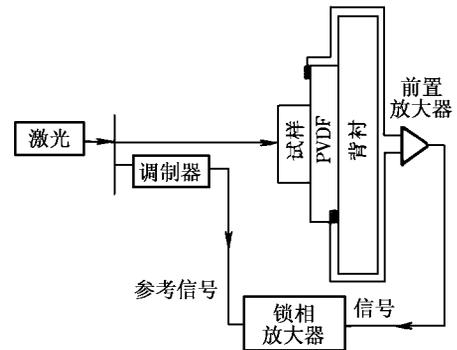


图1 光热热释电检测装置

2.4 微弱信号检测技术

微弱信号是实际检测中经常遇到的;由于一些有用的信号往往会被强于自身数千甚至数十万倍的噪声所淹没,所以必须采用必要的手段将被覆盖的信号从噪声中提取出来。在光声检测中常用的模拟弱信号检测装置是锁相分析仪和Boxcar积分仪。

锁相分析仪又叫锁相放大器,常用于检测周期性的连续信号;它主要是由信号通道、参考通道及相关器3部分组成。相关器是它的核心部分,它主要是由乘法器和积分器组成;为了同时测出输入信号的幅值和相位,通常锁相分析仪采用两个相关器。在实际应用中,应根据检测信号的特性,选择适当的交流和直流增益及积分时间常数,以便获得最好的

检测结果。图 2 为其工作原理图。

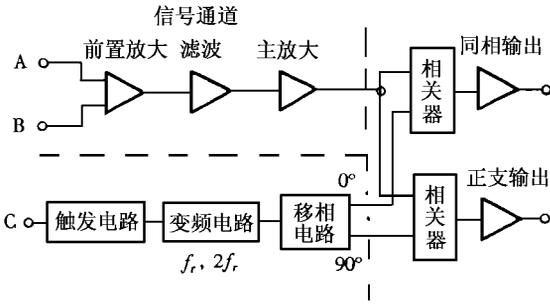


图 2 锁相分析仪原理图

Boxcar 积分器用于检测非周期性连续信号,是一种通过信号多次平均而改善信号信噪比的装置,所以又叫 Boxcar 平均器,可用来检测淹没在噪声中重复脉冲的平均幅值和恢复被噪声模糊的重复信号波形。它主要是由信号通道和时基单元组成。信号通道由宽前置放大器、快速采样开关和 RC 取样积分器组成。在实际应用中,首先确定窗口宽度,再按改善信噪比的要求设置 RC,然后由被测波形的覆盖范围来选择延迟范围,依上面 3 个参数来确定扫描时间,以获得较好的检测结果。

3. 光声光热检测的应用

光声检测技术由于具有灵敏度高,可检测的波谱范围宽,特别是它几乎适用于所有类型的试样,使之在众多领域获得越来越广泛的应用,前景十分诱人。

3.1 固、液材料的定量分析

自 20 世纪 80 年代开始,许多科学工作者分别测定了无机材料、有机材料、半导体的光声谱,并通过光声谱对材料的组元和成分作定量分析。有人提出,这种新方法可以用来测定谷物中的农药含量、药片中的添加剂、食品中的着色剂及法医的检测分析等。提高用途与价格比和定量分析能力,是光声光热检测设备商业化及扩大该技术应用范围的关键,已有不少科学工作者致力于这方面的研究与开发。

对于液体材料,光声谱法和热透镜法都是灵敏度极高的分析方法,已有人成功地将其应用于溶液的痕量和超痕量分析,检测限比传统的分光光度法提高 2~3 个数量级,为分析化学开创了新的应用前景。

3.2 气体分析

光声技术是检测微量气体浓度的一种极为有用

的技术,利用激光光源的高强度功率及单色性,激光光声谱可达到很高的检测灵敏度和分辨率。因此,它特别适用于微弱吸收气体的检测。这项技术不仅为气体分子光谱学的研究提供了一种新颖的技术,而且也大气污染的监测开辟了一条光明的道路,它能够有效地克服其他检测低浓度物质方法的缺点。

3.3 表面与界面的研究

表面和界面现象是一种很普遍的现象,许多自然现象、生理现象和科学研究,几乎都涉及到各种表面与界面。长期以来都是使用反射光谱仪和扫描电镜等工具,对表面处理要求严格,手续繁杂,由于光声检测信号只与吸收光能有关,使光声技术对表面和界面的研究具有与众不同的独特之处;因为光声谱(PAS)是测定由物质吸收的光谱变成热而引起的压力波,故能直接理解为对表面的敏感测定。应用光声技术研究表面可以达到单分子层水平,如采用高分辨率光源,还能获得各种情况下的表面氧化作用,还原作用和钝化的重要信息,对研究表面的结构及表面间的相互作用机制有着实际意义。

3.4 在生物医药上的应用

光声光热技术的最大优点是试样可以不经过处理直接进行测定,因而保存了原试样的自然状态,应用在生物医药上,可进行活体和剖面深度的断层分析,因此可以获得正常和变异的生物过程及病理学方面有价值的信息;近年来,它已应用于细胞组织、细菌繁殖过程、药品合成和渗透、植物光合作用及光声免疫反应的研究;因可以找出组织病理和疾病之间的内在联系,为早期诊断(包括癌变)提供了有价值的临床诊断工具。

随着检测技术的不断发展和完善,人们对光声光热检测技术的认识也将逐渐深化,而且又因其本身的特点及功能的多样化,其应用领域必将不断拓展。可以预期在不远的将来,光声光热检测技术会成为各个领域广泛使用的常规研究和分析手段;如与现有的检测技术相结合,将会在工业上的实时检测、质量控制和产品分析等领域获得越来越广泛的应用。

光声光热检测技术仍属发展中的新技术,需要不断完善和改进,还有许多问题有待进一步开发和探索。可以相信,一个广泛使用和发展光声光热技术的时代必然会到来!