

激光超声无损检测技术

尹向宝 赵玉华

(黑龙江科技学院 哈尔滨 150027)

传统的无损检测方法具有一定的局限性,例如:在高温高压、高湿、有毒等某些恶劣检测环境中,或被测工件具有放射性或腐蚀性,以及被测工件具有较快的运动速度时,已不能完全满足要求。因此,人们一直都在努力寻找适合于上述情况的无损检测方法。这里介绍一种激光超声检测技术,它是利用激光脉冲激发超声从而实现无损检测的一种方法,已逐渐成为材料无损检测的一种重要手段。本文详细介绍了激光超声的检测原理及应用,并指出目前尚存在的问题及解决措施。

激光超声的激发原理

激光超声是指用脉冲激光在介质中所产生的超声波或利用激光来产生超声这一物理过程。激光可以在固体中产生超声,也可以在气体和液体中产生超声。笔者只讨论激光超声在固体中的产生机理及应用研究。

激光在固体中激发超声波主要是利用光波列与材料物质的相互作用。产生机理主要是热弹性膨胀机理和电子机理。照射到试样表面的激光能量不足以使表面熔化时,试样内超声脉冲主要是由于试样吸收光能发生热弹性膨胀而产生。照射到不透明试样表面的激光脉冲,其能量一部分被浅表层吸收一

部分被反射。

金属表层吸收热能其温度会突然上升,体积必然产生热膨胀。若金属吸收能量前的体积为 V ,吸收能量膨胀后的体积为 $V + \Delta V$,会得

$$\Delta V = 3(1 - R) E_0 / C$$

由此可见,材料吸收激光能量产生的热膨胀形变与入射光能量成正比。入射的光波是脉冲波,因此浅表部分的形变也是周期性的,周期性的形变在周围介质中便激发了超声波。为了提高光激超声的效率,可以在固体表面涂各种涂层,增加表面的光吸收。采用脉冲宽度极窄的高能量密度光束照射介质可以获得较高的声波能量。

激光超声作为介质中新型超声波源的应用,只是把脉冲激光能量作为瞬态的热源。在某些固体如半导体中,激光的作用不仅直接作为热源产生热膨胀,还会产生一些微观变化,特别是激光作用时间很短时,如果激光的量子能量足够大,使共价晶体中原子的价电子能够脱离原子,那么,在极短时间内,这些自由电子还没有回复到平衡状态之前,部分被吸收的光能便转化为电子和离子之间的相互作用,形成一种电子应变源。电子应变源同样可以激励超声,这种机理称为电子机理或“微形变”机理。

子引力的时-空说。目前,许多尚不够成熟的量子引力学说都预见到在接近于 10^{-35} 米非常小的尺度时,人们关于平滑的空间与时间的图景消失了,取而代之的是一幅被称做量子引力起伏的沸腾的时-空泡沫(Space-time foam)。果真如此的话,就将出现如下怪事:当光子获得较高能量时,光速将稍有下降,这是因为很短波长的光子将“感觉”到时-空的颠簸程度。阿梅利诺-卡姆利亚说,“一个粗粗的类比是:如果你在有许多小的凹凸不平的桌面上滚动足球,足球大概能以与在平整的桌面上相同的速度前进;但若滚动一个小球,则其路径将被桌面的所有

“沟沟坎坎”严重地改变。

在空间中感受到的颠簸不仅使极高能量的光子慢下来,还有助于它们避开红外光子。一项计算表明:若量子引力学说确实适用于 10^{-35} 米尺度,则 20 核电子伏特的高能光子正好与远红外背景“擦肩”而过,使它们得以从 3 亿光年之遥的马卡良 501 星系到达地球。

一些天文学家对马卡良 501 与我们的距离 3 亿光年是否可靠抱怀疑态度,此谜之解开也还有待于今后问世的更灵敏的测量设备,如灵敏度为 10 倍于 HEGRA 的 HESS 的观测结果。

20 世纪 60 年代,苏联比拉干天体物理台的天文学家马卡良() 号星系。

) 编制的具有反常紫外连续谱的特殊星系表中第 501

HEGRA 是“高能 射线天文”英文名称 High Energy Gamma Ray Astronomy 的缩写。

HESS 是“高能立体系统”英文名称 High Energy Stereoscopic System 的缩写。

激光超声信号检测技术

非干涉检测

非干涉法检测的原理是,当照射到试样表面的检测光束直径小于光激超声波长时,反射检测光束由于表面超声波而发生偏转,偏

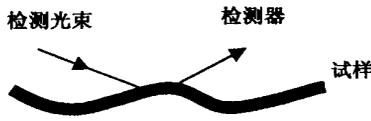


图1 非干涉法光激超声检测

转大小由位移检测器接收,这个偏转值与声波的幅值及性质有关。应用这一技术,能显示出表面波和体波的传播情况,检测出试样的内部缺陷和微结构(如图1所示)。该方法装置简单,频带宽,环境振动对测量结果影响小,是对抛光表面试样进行超声检测的有效工具。

干涉法检测

干涉法检测是将试样表面直接作为迈克尔逊干涉仪测量臂中的反射镜,其原理如图2所示。聚焦的激光束照射到试样表面,激光束被表面反射并与由光源分离出来的参考光束发生干涉,两光束干涉光强与试样表面位移 (t) 有关,检测器接收到的光强 I 为

$$I = I_0 \left[S + P + 2 \sqrt{SP} \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} t - \phi(t) \right) \right]$$

式中 I_0 为激光光强; S 为参考光束有效强度透过系数; P 为试样表面反射的检测光束的有效强度透过系数; $\phi(t)$ 为相位; t 为时间。

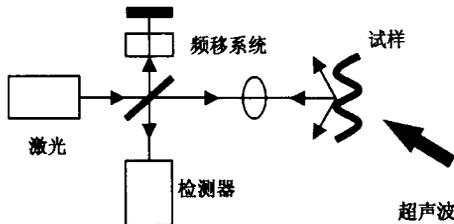


图2 干涉法光激超声检测

相位 $\phi(t)$ 由干涉仪的光程差决定,并受外界振动影响。实际检测中,通过移动参考反射镜来调节光程差使 $\phi(t) = 2k\pi \pm \pi/2$ (k 为整数),且当 (t) 比光波波长 λ 小得多时有

$$I = I_0 \left\{ S + P + 2 \sqrt{SP} \sin \left[\frac{4\pi}{\lambda} t \right] \right\}$$

$$I_0 \left\{ S + P + 2 \sqrt{SP} \left[\frac{4\pi}{\lambda} (t) \right] \right\},$$

可见,由干涉光的强度便可获得超声振动。

如果在参考臂中引入频移系统,即构成外差干涉检测仪,入射的激光束被试样表面反射并与由光

源分离出的参考光束发生干涉,使光束发生频移,由检测器检测出频移和干涉光强度,从而测量了试样振动位移和试样表面振动速度。外差干涉检测系统具有较高的频带,能对粗糙表面进行检测,并对环境振动有较强的抗干扰能力。

激光超声技术在无损检测领域的应用

远距离检测

常规的超声检测中,超声脉冲是由和试样直接耦合的压电或压磁换能器产生的。由于换能器自身的带宽限制及换能器与试样耦合等的影响,不可能产生很窄的单个超声脉冲。激光超声克服了压电换能器超声检测的弊端,激光超声能以非接触方式对物体进行无损检测,激光发射源到被测物之间的距离可以达到 10m,而且激光束的发散很小,这就可以检测人们不能接近的物体,如高温、高压、有毒或放射性等恶劣环境内的各种物体。

高精度检测

由于激光超声不需任何耦合剂,因此耦合剂的易变性和耦合的可靠性及匹配问题也就不存在,对检测现场和被检测物的温度限制也随之取消。激光超声的脉冲宽度很窄,可达 1 纳秒,这一数量级脉冲宽度的频率可达几千兆赫,而相应的波长只有几微米,大大提高了探测微小缺陷的能力。

利用激光超声还可对物体进行非接触单面测厚,在固体中,采用常规超声技术的绝对声速测量精度约为 0.2%,但采用激光超声可将其测量精度提高 10 倍,同时可对超薄材料进行检测和测厚。

不规则物体检测

激光超声对被测试件的要求降低了,对那些表面粗糙、曲率大和几何形状十分复杂的物体均能检测。

上述各例说明了在高温、核辐射等环境下,激光超声是工业上定位、在线监测的极好手段。

技术难题及其解决方向

激光超声具有很多优异特性,其发展和应用前景是相当乐观的,但也存在一些亟待解决的问题。

激光能量到超声能量的转换效率问题

要提高激光超声的强度,可以加大激光辐射能量,但不能太大,否则会损伤被测件表面。提高光声转换效率,也可以从提高光的吸收效率,减少光的散射入手,也可以采用更高功率的激光器和有更强集光能力的干涉仪(如共焦的法布里-珀罗标准具等),以提高实际可利用的激光能量,现初步的研究

球状闪电与等离子体的约束

陆文庆

(沈阳工业学院理学院 辽宁 110016)

一、雷电与球状闪电

人们知道在雷阵雨天气经常会出现雷电,这是由于云层间或云地间的电荷瞬间放电造成的。雷电往往给人们恐怖威严之感,一方面它会给自然界和人类环境造成一定的破坏,有时会毁坏建筑、引起火灾甚至造成人员伤亡,自古以来人们就渴望对它的本质进行认识,如今现代科技“防雷”已成为应用于许多领域的重要技术;另一方面雷电促进了降雨和植物生长,对有机物的合成及生命的起源起着特殊的作用,它也促进了人类对电现象本质的认识。雷雨云是所有云层中最厚的,其云层厚度可达 10 公里,由于云层内部重力浮力和空气对流的作用,云中大量带有正负电荷的微粒分离,在云中形成若干个正负电荷中心。随着电场的增大,就会产生云层间和云地间的放电,使电介质 - 空气击穿,随即产生强大的电流,电流经过的通道产生高温等离子体,并将等离子体激发至高能态放出强光,强电流传导通道就形成闪电,随着高温而产生的高压等离子体因急剧膨胀而消散,产生强烈的纵波向周围扩散造成巨大的雷声,这就是雷电产生的机理。

枝状闪电较为平常,而奇特的球状闪电(以下简称球闪)则很少见,从目击者的描述来看球闪有许多奇异的特征。球闪一般为球状,也有环状、柱状的,

从拳头到脸盆大小的都有;往往呈橙黄色,像气球一样飘忽不定,但能逆风飘移,常伴有嘶嘶的响声;有的能量非常大,有热辐射效应,能灼伤人体、破坏建筑或引起燃烧,少部分能量很小,没有热感,像冷的物体一样;常有电磁效应,它喜欢沿着导体运动,能使电器设备烧毁短路,《梦溪笔谈》中描写它使宝刀融化而刀鞘却完好无损。

二、球闪机理的物理解释

球闪既神秘又令人费解,目前有化学燃烧论、核反应论、射频论、等离子论等各种解释,大多数球闪有较强的电磁效应,如仅使非金属中的金属熔化,容易使其所经之处停电,这说明球闪是等离子体的观点更为合理些。由于这种现象罕见,目前实验难以进行研究验证,这些解释也只能是一些假说。在此我们提出球闪形成机制的等离子体自我约束假说,并给出其过程的物理图像,以解释球闪

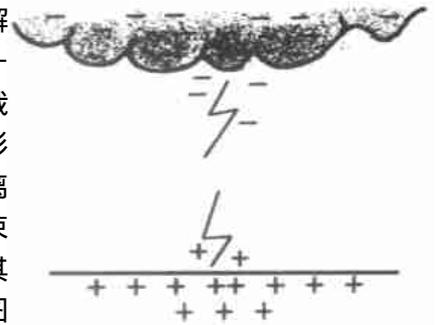


图1 云地感应电荷产生强电场即将引起放电的现象,也想探讨一种对等离子约束的新方法。下面

成果是在试样表面涂上各种不同的液体涂层,涂层可增强对光能量的吸收。

激光超声信号检测灵敏度问题

从样品表面进入干涉仪的光通量越多,检测的信噪比越好。在实验室里,检测样品表面被高度抛光,以尽可能加大反射光的接收量。然而在工作现场,表面会发生漫反射或很脏,这对许多领域的推广应用是临界的,且大多数激光超声波系统的灵敏度在数量级上比常规超声无损检测系统要差些,如果激光超声信号的检测灵敏度特别高,反过来可以降低对激发超声信号的激光功率的要求,由于换能器检测的局限性,不太适合检测激光超声信号。针对这种情况,笔者建议应进一步发展光学检测法,光学

检测法特别适合于窄脉冲激光产生的宽频带超声检测,因此提高光学检测法的灵敏度是目前发展趋势之一。

若上述两个问题得到解决,激光超声技术将得到更广泛的应用。

由于激光超声无损检测技术具有非接触、可远距离测量、高的时间分辨率及空间分辨率等一系列优点,特别适用于恶劣环境条件下的在线检测、快速超声扫描成像等一系列实际场合。虽然目前存在着一些技术难题,但是如果由激光能量到超声能量的转换频率以及激光超声信号检测灵敏度进一步提高,激光超声技术的应用将更加广泛,激光超声无损检测技术会有更加广阔的前景。