

超声无损检测技术

无损检测技术是提高产品质量，促进技术进步不可缺少的手段，特别随着新材料、新技术的广泛应用，各种结构零件向高参量、大容量方向发展，不仅要提高缺陷检测的准确率和可靠性，而且要把传统的无损检测技术和现代信息技术相结合，实现无损检测的数字化、图像化、实时化、智能化。超声检测技术是五大常规无损检测技术中使用得最多的一种。与其它常规无损检测技术相比，它具有检测对象范围广，检测深度大；缺陷定位准确，灵敏度高；成本低，使用方便；速度快，对人体无害以及便于现场使用等特点。因此，超声检测技术是国内外应用最广泛、使用频率最高，且发展较快的一种无损检技术，这体现在改进产品质量、产品设计、加工制造、成品检测以及设备服役的各个阶段和保证机器零件的可靠性和安全性上。

1 超声无损检测的特点

在各种检测方法中，磁粉、渗透和涡流三种检测方法，只能检查表面和近表面缺陷，对试件内部的裂纹不敏感。射线检测法虽然可以用于检测内部缺陷，但是它对裂纹等面形缺陷检测灵敏度低，另外由于其检测速度慢，并且需要专门的防护设备，因而大大限制了该方法的应用范围。

超声检测与射线检测相比，对不理想的波束方向有更大的适应性。它不仅对平面缺陷很敏感，而且对夹渣和气孔也有较高的灵敏性。此外，超声波对人体无害，并且检测速度快，操作方便，易于实现自动化，因此应用最为广泛。

超声检测方法除了具有设备简单，使用方便和安全性好，检测范围广等根本性的优点外，超声检测产生的时域波形信号形式，使得计算机信号处理、模式识别和人工智能等技术能够方便的用于检测过程。计算机在超声检测中的应用，也使得超声检测的可靠性越来越高。目前已经超过了射线检测，成为最普遍用的无损检测方法。普遍采用超声检测的另外一个原因，是为了采用断裂力学和损伤力学的知识对检测对象进行寿命估计，超声检测对微型裂纹敏感的特点正符合这种需要。

2 超声检测的方法及原理

超声检测是一种常规的无损检测技术，它利用超声波在材料中传播时，遇到界面(如裂纹、气孔缺陷)反射回来声讯号的特征，或声能在不同介质中衰减特征等不同性能，通过电子显示仪器显示出反射波(或透射波)信号或图形，对被检对象进行检测。超声检测的基本原理如图1所示。

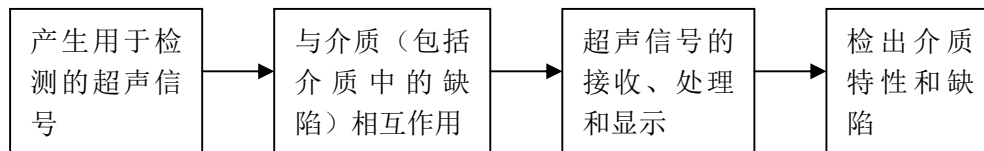


图1 超声检测过程的基本原理

按声波类型区分，超声检测可以分为连续波法和脉冲波法，连续波法中又分为透射法和谐振法；在脉冲波法中可以分为脉冲反射法和脉冲透射法两种。下面简单介绍三种较常用的检测方法。

2.1 脉冲反射法

脉冲反射法是利用超声脉冲波入射到两种不同介质交界面上发生反射的原理进行检测。采用同一换能器兼作发射和接收，接收信号显示在荧光屏上。基本原理和波形如图2所示。

当工件中无缺陷时，接收波形如图2-a)所示，荧光屏上只有始波T和底波B；当有小于声束截面的缺陷时，有缺陷波F出现，F波在时基轴上的位置取决于缺陷声程 L_f ，可由此确定缺陷在试件中的位置。缺陷回波的高度，取决于缺陷的反射面积和方向角的大小，借此可评价缺陷的当量大小。由于缺陷使部分声能反射，从而使底波高度下降，如图2-b)所示；当有大于声束截面的大缺陷时，全部声能将被缺陷反射，届时将仅有始波和大的缺陷波出现在荧光屏上。

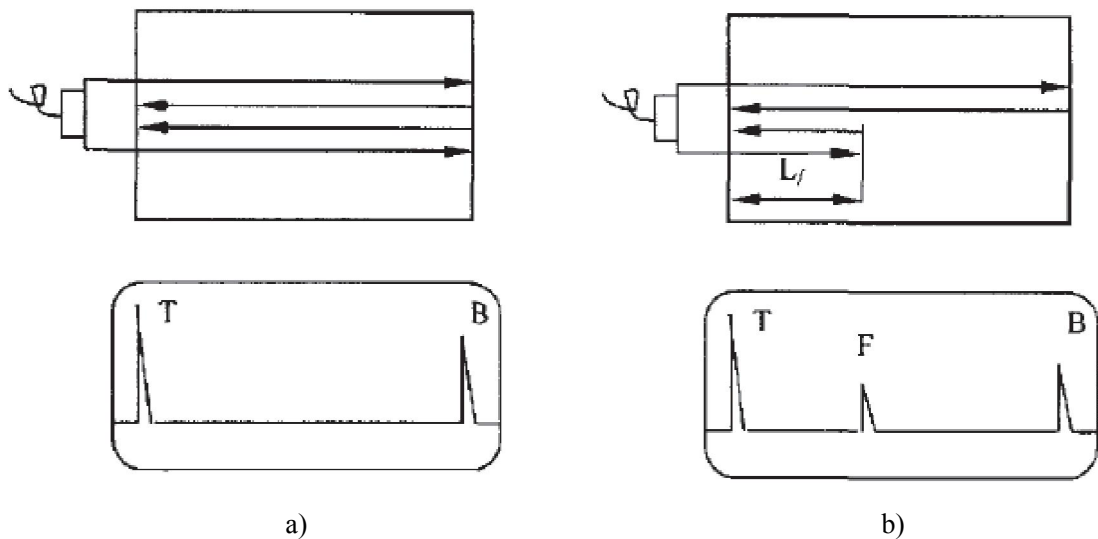


图2 无缺陷试样和有缺陷试样中的超声回波

a) 完好试样

b) 缺陷试样

与透射法相比，脉冲反射法有以下优点：

1.灵敏度高，当反射声压达到晶片起始声压的1%时即能检测，因此，可发现较小的缺陷；

2.缺陷定位精度高。它是利用缺陷波的传播时间，通过调节扫描速度，即调节时基轴与声程的比例来对缺陷定位的。因此只要仪器水平线性好，缺陷定位就准确；

3.适应范围广，改变耦合、探头和波型可实现不同方法的检测；

4.操作方便，脉冲反射波一般不需要专门的扫描装置，这就为各种场合下的检测作业带来了极大的方便和灵活性。

但脉冲反射法也有一定的不足之处：

1.存在一定盲区，对近表面缺陷和薄壁工件不太适用；

2.对于声束轴线不垂直的缺陷反射面，由于折射的结果，使探头往往收不到缺陷回波信号，容易造成漏检；

3.因声波往返传播，对于高衰减材料的检测不适用。

2.2 脉冲透射法

脉冲透射法是将发射、接收探头分别置于被检试件的两侧，并使两个探头的声轴处在同一条直线上，同时保证探头与试件之间有良好的声耦合，这样就可以根据超声波穿透试件后的能量变化情况来判断试件内部质量。当试件中无缺陷

时，荧光屏上显示始波T和具有一定幅度的回波脉冲B：当有小缺陷时，声波被缺陷遮挡，接收到的回波信号幅度减小；而当试件中缺陷面积造成的声影大于声束截面时，荧光屏上只显示起始脉冲T，无回波信号，如图3所示。

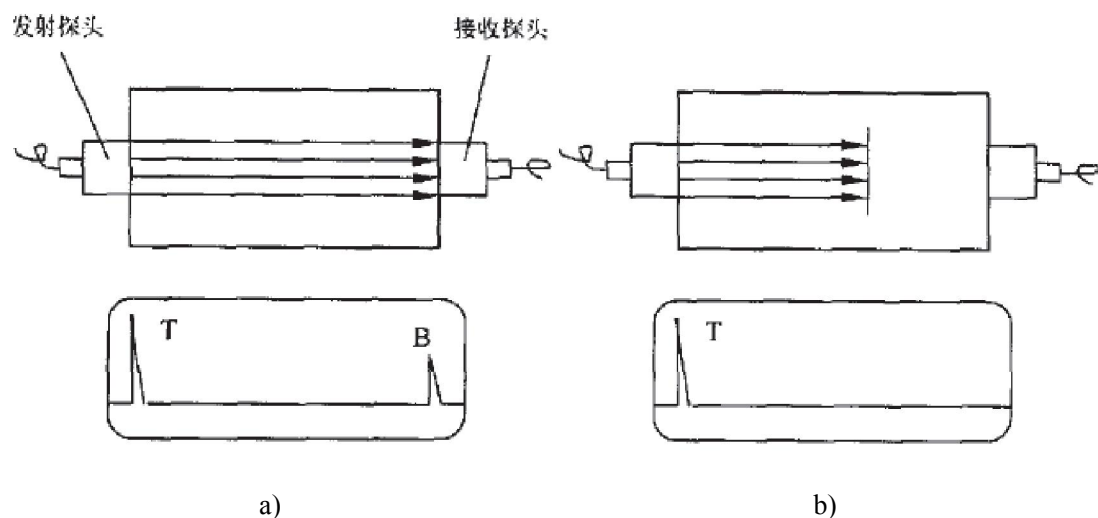


图 3 超声透射法示意图

a) 完好试样

b) 缺陷试样

脉冲透射法的主要优点：

1. 工件中不存在盲区，适宜探测薄壁工件；
2. 与缺陷取向无关，不管缺陷取向如何，只要它遮挡声束传播路径，接收探头就能发现；
3. 在透射法中，声波是单声程传播，故适合检测高衰减的材料。

脉冲透射法的缺点：

1. 探测灵敏度低，仅当入射声压变化大于20%以上时，才能被接收探头检出；
2. 不能确定缺陷的深度位置，仅能判断缺陷的有无和大小；
3. 对发射和接收探头的相对位置要求严格，需专门的探头支撑装置，因而操作不方便。

2.3 共振法

依据试样的共振特性，来判断缺陷情况和工件厚度变化的方法称为共振法。若声波(频率可调的连续波)在被检工件内传播，当试样的厚度为超声波的半波长的整数倍时，由于入射波和反射波的相位相同，将引起共振，一起显示出共振频率，用相邻的两个共振频率之差，由以下公式算出试件厚度：

$$\delta = \frac{n\lambda}{2} = \frac{nC}{2f_0} = \frac{nC}{2(f_n - f_{n-1})} \quad (1)$$

式中， f_0 一工件的固有频率；

f_n, f_{n-1} 一相邻两共振频率；

C 一被检试样的声速；

λ 一波长；

δ 一试件厚度；

n 一共振次数。

当试样内存在缺陷或工件厚度发生变化时，将改变试件的共振频率。当测得

共振频率，和共振次数 H 后，即可求出厚度。由于共振法设备简单，测量精确，常用于壁厚测量。此外，若工件中存在较大缺陷或当工件厚度改变时，将导致共振现象消失或共振点偏移，可利用此现象检测复合材料的胶合质量、板材点焊质量、均匀腐蚀量和板材内部夹层等缺陷。

3 我国无损检测技术发展现状

近年来我国超声无损检测事业取得了巨大进步和发展。超声无损检测已经应用到了几乎所有工业部门，其用途正日趋扩大。超声无损检测的相关理论和方法及应用的基础性研究正在逐步深入，已经取得了许多具有国际先进水平的成果，许多不同用途的微机控制自动超声检测系统已经应用于实际生产。我国在这方面开展的主要研究有：计算机化超声设备；用户友好界面操作系统软件；超声数字信号处理，包括人工智能、神经网络、模式识别、相位补偿等；高频超声无损检测技术；各种扫描成像技术；多坐标、多通道的自动超声检查系统；超声机器人检测系统；复杂构件的自动扫描超声成像检测等。这其中许多成果已经达到国际先进水平，这些研究为我国超声无损检测技术的持续发展提供了保证。

无损检测的标准化和规范化，检测仪器的数字化、智能化、图象化、小型化和系列化工作也都取得了很大发展。但是，我国超声无损检测事业从整体水平而言，与发达国家之间存在很大差距。具体表现在以下几个方面：

（1）检测专业队伍中高级技术人员和高级操作人员所占比例较小，极大阻碍了超声无损检测技术自动化、智能化、图象化的进展。由于经验丰富的老一辈检测工作者缺乏把实践经验转化为理论总结，而年轻的检测人员虽拥有丰富的计算机等现代技术，却缺乏切实的实践经验。这有可能导致现有的超声检测软件系统不同程度的缺陷，降低了检测的可靠性。特别像专家系统软件，以及有自动判伤，自动评定缺陷级别功能的软件编写应该引起足够的重视。组织一定的人力、才力对超声无损检测的现场经验进行收集和总结，不断充实检测理论和检测规范，把无损检测技术人员和计算机技术人员有机结合起来，才能开发出实用的无损检测软件。另外，应该树立对各类无损检测软件的正确观念，任何软件都是依靠正确的检测方法、检测状态和在一定的适用范围限制下得到的结果。

（2）专业无损检测人员相对较少。现有无损检测设备利用率低，我国无损检测技术经过多年的发展，虽然应用已经遍及近30个系统领域，直接从事无损检测技术方面的人员已选20万左右，但是高技术专业人员较少。据测算，我国不良品的年损失约2000亿元，更严重的后果是产品的竞争能力差，影响产品进入国际市场。

（3）重视对无损检测技术领域的信息技术应用。当信息技术和无损检测结合以后，人们就可以最大限度地从检测过程中获取大量信息。我国对无损检测信息技术的建设工作还处在相当薄弱的阶段。目前国内已经建立的无损检测专业网站或涉及无损检测技术范畴内容的网站的初步估算超过50个，但是专业的无损检测技术资讯综合网站少，仅有无损检测资讯网几家，其余网站的内容大多局限于其自身的生产经营、服务业务等。范围相对比较狭窄。重视无损检测技术领域的信息技术应用，建立无损检测各类相关技术、设备仪器等方面的专业的、综合性的资讯网站，是当前无损检测技术发展所必须的。要使超声检测的专业队伍技术水平普遍得到提高，就要认识到信息技术应用必要性。总之，当前迫切需要解决的问题是涉及实际工程应用中亟待解决的问题，如检测方法的规范化，判伤的标准化，检测和验收标准的制订，操作步骤的程序化，检测技术领域的信息化等。

4 结语

现代意义的无损检测技术是随着各种测试技术、材料科学、电子技术与物理科学的发展而发展起来的。早期的无损探伤是在不损坏产品的前提下，发现人眼无法直接观察到的缺陷，以满足工程设计与使用的要求。当前对产品质量要求的提高和断裂力学等原理用于材料和工件的极限寿命设计思想的出现，由原来的探伤技术发展成为测伤技术和评价技术，不仅要探出缺陷的类型、尺寸、形状、取向以及对材料力学行为的影响等。而且能用断裂力学的方法对被检产品或设备做出检修周期和使用安全性的结论。

超声检测作为无损检测的一种重要方法和热点研究。主要集中在研制适应性强、灵敏度高的探头；为判断缺陷性质而对各种缺陷数学模型的建立；缺陷的检出和信号分析技术；无损评价的量化研究以及拓展超声检测在其它领域的应用。相信超声检测作为许多领域产品质量保证的重要手段之一必将得到更多的关注与提高。