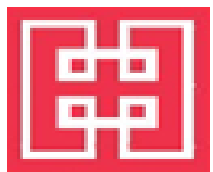




核心观点

- **超声波检测**（Ultrasonic Testing）缩写为UT，也叫**超声检测**，是利用超声波技术进行检测工作。无损检测在国民经济的各个命脉行业中承担关键角色，是保证和提高产品质量的重要手段，体现了国民经济发展水平。
- **超声波检测按照其原理可分为缺陷回波法、透射法、共振法**，其下游覆盖航空航天、特种设备、能源电力、钢铁冶金、新能源汽车、第三方检测和高等院校等。在航空航天等尖端工业领域，存在大量型面和材料特性复杂的构件，同时对构件使用性能和可靠性的要求不断提高，这就对其相关的无损检测技术提出了新的发展要求和方向，成为**低空经济、航空航天高质量发展的保证性基础**。
- 根据Markets and Markets研究数据统计，无损检测预计到2024年全球市场规模达到126亿美元；其中超声检测将占据最大比例市场份额，2022年超声检测市场规模增长至约39.3亿美元，2016至2022年的复合增长率为8.3%，我们预测2024年超声检测全球市场规模将达到46亿美元。随着自动控制技术、计算机技术和传感器技术的高速发展，无损检测已经进入到以计算机控制为主的信息加工时代，超声检测作为无损检测的先进技术代表已经率先进入现代化进程，渗透着国民经济各个领域。
- **建议关注公司**：多浦乐、中科创新、奥林巴斯、美国贝克休斯、英国声纳。
- **风险提示**：宏观经济变化的风险；技术研发不及预期的风险；测算市场空间的误差风险；研究依据的信息更新不及时，未能充分反映公司最新状况的风险。



华安证券
HUAAN SECURITIES

目录

1 超声检测基本介绍

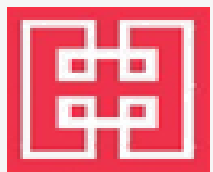
2 超声检测基本原理

3 超声检测，保证国民经济各行业高质量发展

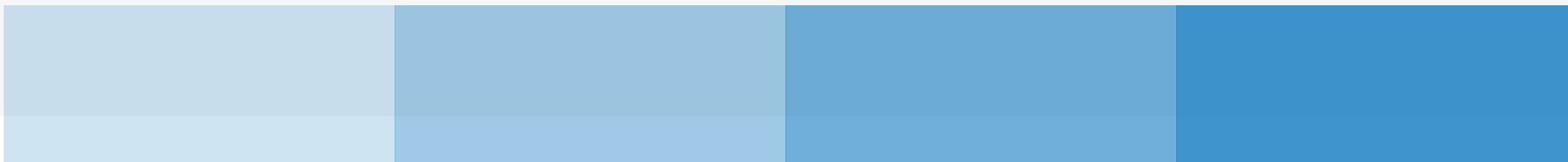
4 建议关注公司

5 风险提示





华安证券
HUAAN SECURITIES



01 超声检测基本介绍



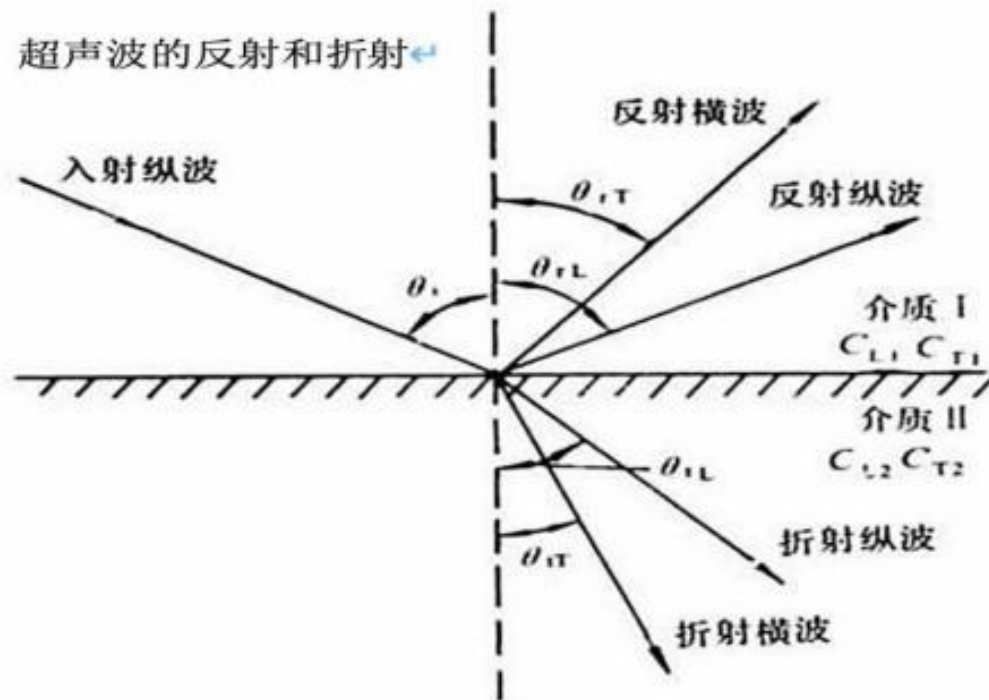
1.1 超声波检测

- 声音是一种物理现象，虽然它的瞬时存在非常明显，但并不会引起任何永久性的变化。这就是为什么声音（能量较低）非常适用于无损检测，即通过获取被测试物的确切信息来判断其状态。为此，需要一种能在被测试物内部产生明确反应但不改变其状态的方法。因此，“被动性”是声音用于材料测试所必需的最重要特征。
- 超声波是在弹性介质中传播的机械波，人们日常听到的声音，是由于声源的振动通过空气等弹性介质传播到耳膜引起的耳膜振动，牵动听觉神经产生听觉，但并不是任何频率的机械振动都能引起听觉，只有频率在一定的范围内的振动才能引起听觉。人们把能引起听觉的机械波称为声波，频率在20~20000Hz之间。频率低于20Hz的机械波称为次声波，频率高于20000Hz的机械波称为超声波。
- 对于宏观缺陷检测的超声波，其常用频率为0.5~25MHz，对钢等金属材料的检测，常用频率为0.5~10MHz。超声波频率很高，由此决定了超声波具有一些重要特性，使其能广泛应用于无损检测：
 - a) 超声波方向性好；
 - b) 超声波能量高；
 - c) 能在界面上产生反射、折射、衍射和波形转换；
 - d) 超声波穿透能力强。

1.1 超声波检测

- 超声波检测UT(Ultrasonic Testing)工业上无损检测的方法之一。超声波进入物体遇到缺陷时，一部分声波会产生反射，发射和接收器可对反射波进行分析，就能精确地测出缺陷来，并且能显示内部缺陷的位置和大小，测定材料厚度等。无损检测方法的应用领域是一个很大的领域，并且不断扩大。
- 从技术原理来看，人们能够听到声音是因为声波传到了我们的耳内，声波的频率在 20HZ~20,000HZ，频率低于或超过上述范围时人们无法听到声音，频率低于 20HZ 的声波称为次声波，频率超过 20,000HZ 的声波称为超声波。声波、次声波、超声波都是机械波，有声速、频率、波长、声压、声强等参数，在界面也会发生反射、折射。

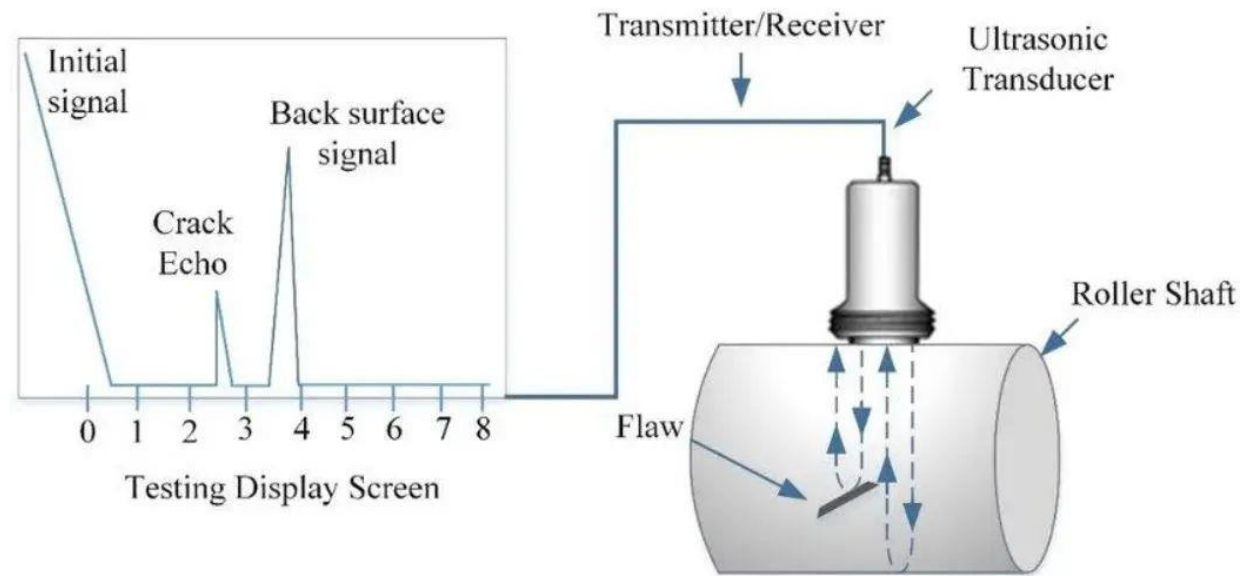
图表1：超声波的反射与折射



1.1 超声波检测

- 机械波在材料中能以一定的速度和方向传播，遇到声阻抗不同的异质界面（如缺陷或被测物件的底面等）就会产生反射、折射和波形转换。这种现象可被用来进行**超声波探伤**。
- **超声波检测**按照其原理可分为缺陷回波法、透射法、共振法。
- 按波形分可分为纵波、横波、表面波等：
 - 1、纵波是用来探测金属铸锭、坯料、中厚板、大型锻件和形状比较简单的制件中所存在的缺陷；
 - 2、横波是探测管材中的周向和轴向裂缝、划伤、焊缝中的气孔、夹渣、裂缝、未焊透等缺陷；
 - 3、表面波可探测形状简单的铸件上的表面缺陷；板波可探测薄板中的缺陷。

图表2：超声波检测示意图



1.2 不同的超声波检测方法

• 共振法

- 利用测试样品两个平行限制面之间的反射、利用材料的共振现象来检测其特定的声学特性。通过在材料中产生共振频率的声波，并观察反射或传递的信号，可以推断材料的性质和结构。

图表3：共振法示意图

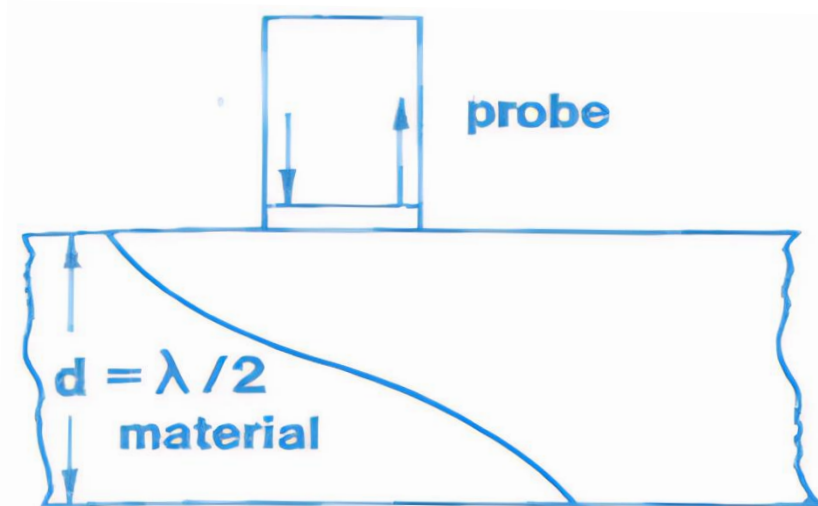


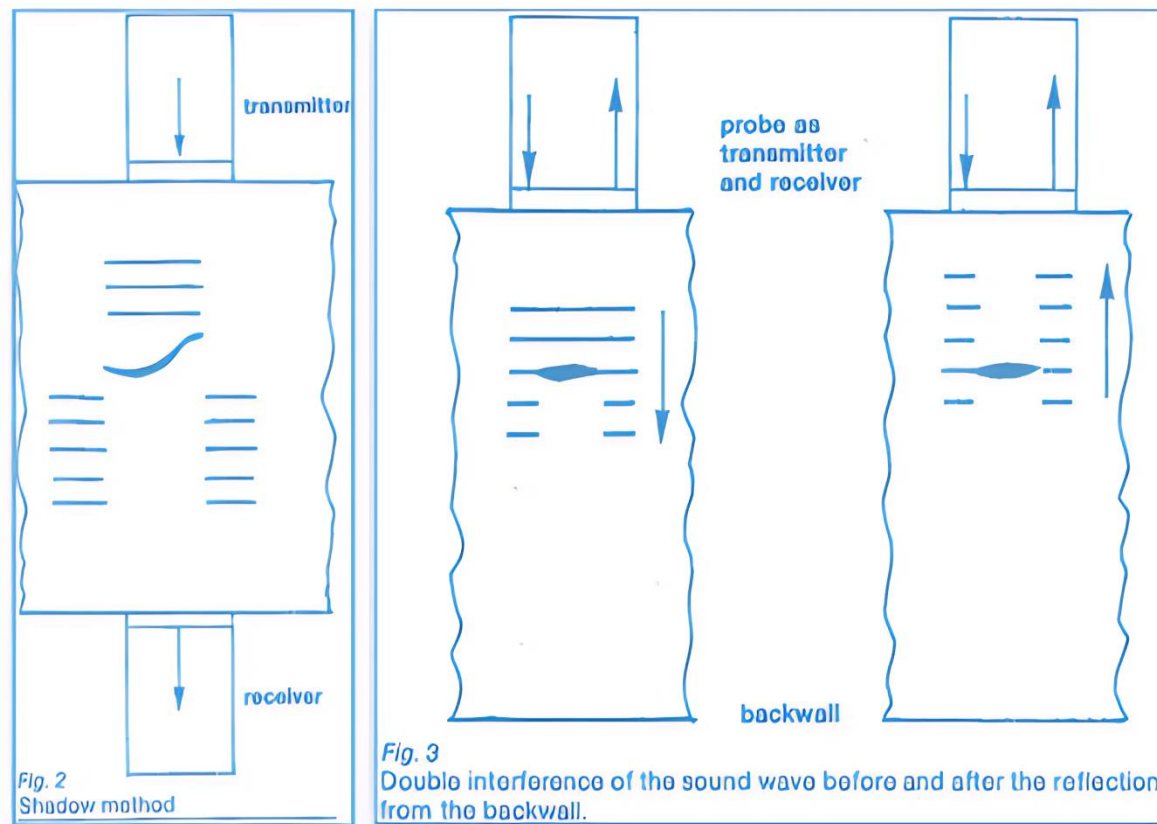
Fig. 1
Resonance if the wave length λ corresponds exactly to $2 d$ (resonance method)

1.2 不同的超声波检测方法

• 透射法

- 透射法也称为透声法或阴影法。该方法利用材料界面（材料不连续性）的遮蔽效应。该方法使用两个相对的超声探头，一个作为发射器，一个作为接收器。通过检测超声波在材料中的传播情况，包括透射、吸收和散射等，来评估材料的均匀性和缺陷，也可以使用探头位于测试样品一侧的“镜像-阴影法”。

图表4：透射法示意图

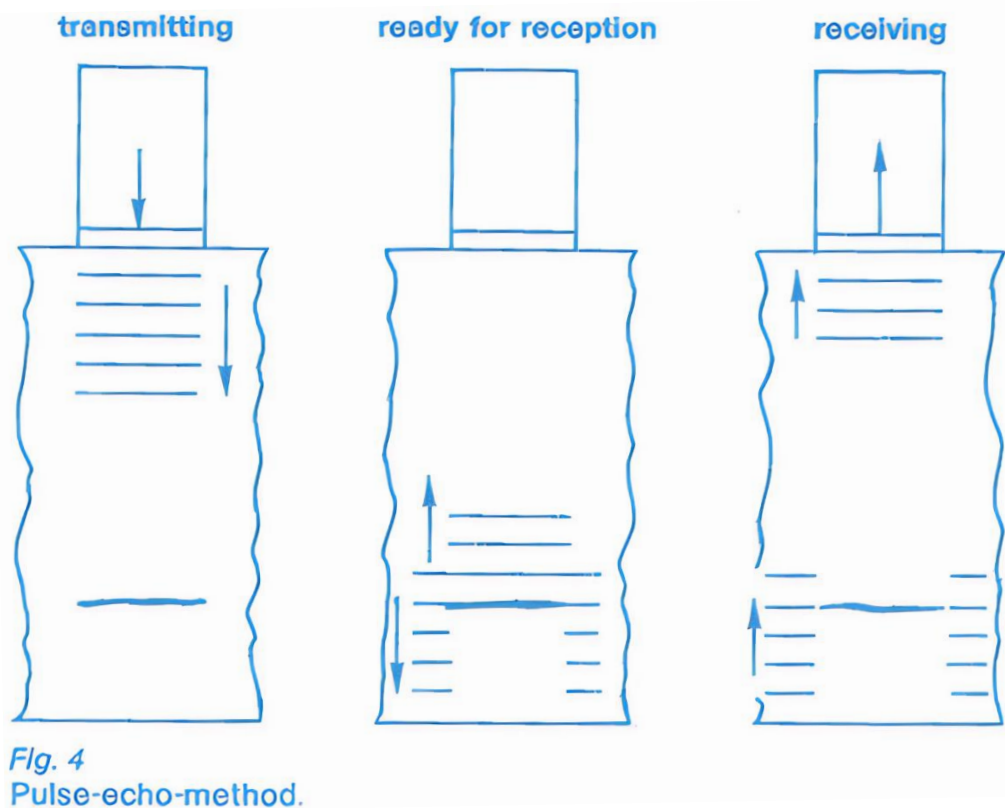


1.2 不同的超声波检测方法

• 回波法

- 该方法利用材料中的不连续性反射的信号。发射探头可以与接收探头相同，也可以使用独立的发射和接收探头。
- 最重要的回波方法，同时也是所有超声波检测方法中最常用的方法，是脉冲回波法。通过使用超声脉冲，不仅可以评估反射指示的大小（回波幅度），还可以评估回波传播时间。因此，可以获得有关反射体大小和位置的数据。如果了解反射体的位置（来自底部），则可以通过传播时间来评估材料的结构。如果不知道反射体的位置，但了解材料的特性（衰减、声速），则可以进行壁厚测量等。

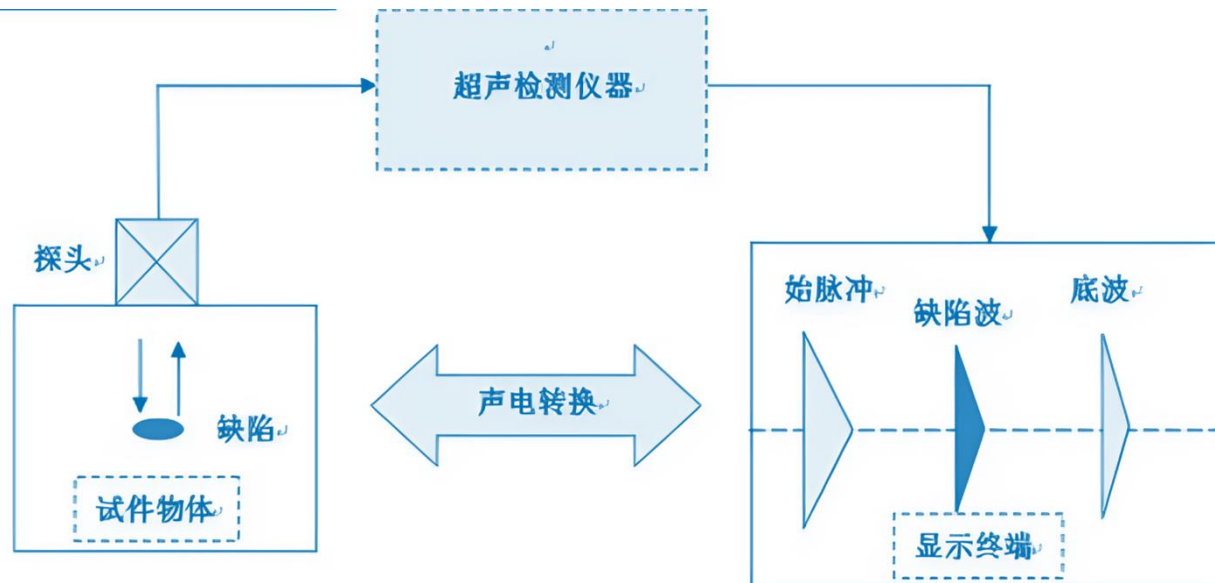
图表5：回波法示意图



1.3 超声无损检测

- 传统超声检测采用脉冲法进行检测，高压发生器发出的电压施加在探头上，由于压电效应的存在探头发射出超声波脉冲，通过声耦合介质（如机油或水等）进入材料并在其中传播；遇到缺陷后，部分反射能量沿原途径返回超声探头，超声探头又将其转变为电脉冲，经仪器放大而显示在显示端的荧光屏上。根据缺陷反射波在荧光屏上的位置和幅度（与参考试块中人工缺陷的反射波幅度作比较），即可测定缺陷的位置和大致尺寸。

图表6 脉冲法超声检测工作原理





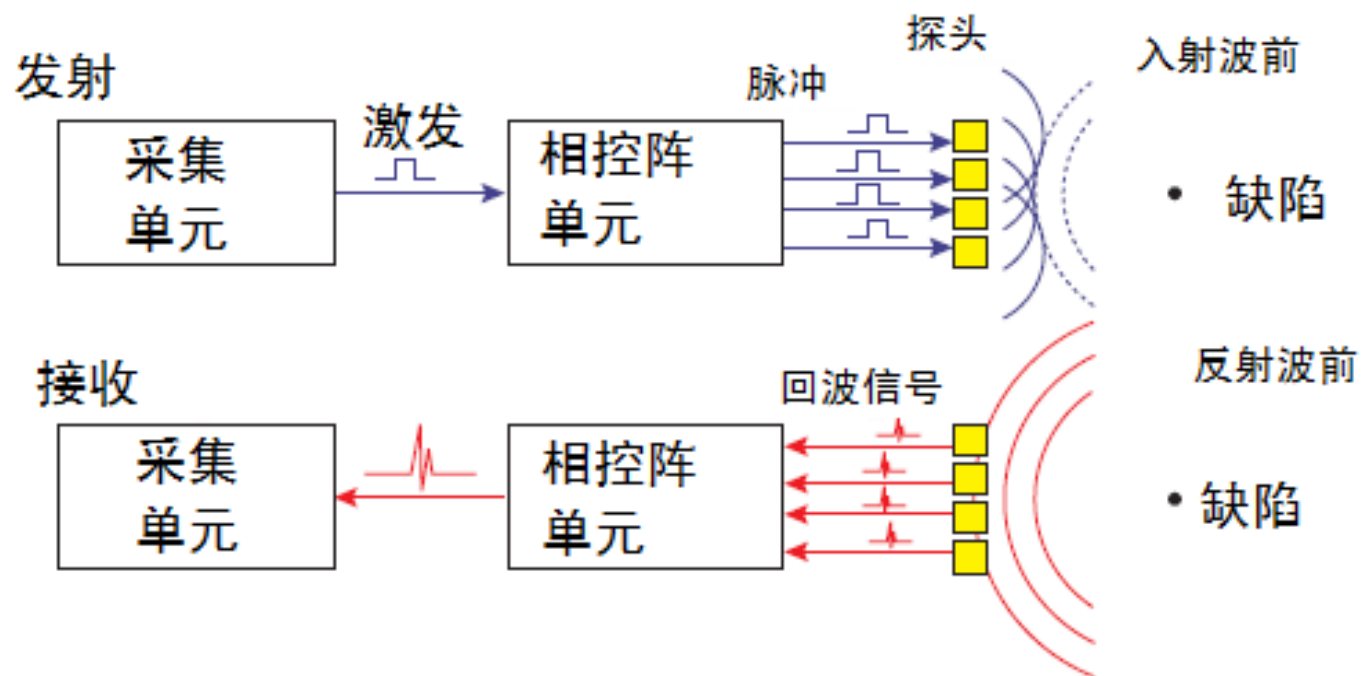
1.3 超声无损检测

- 脉冲回波探伤法通常用于锻件、焊缝等的检测。可发现工件内部较小的裂纹、夹渣、缩孔、未焊透等缺陷。被检测物要求形状较简单，并有一定的表面光洁度。为了成批地快速检查管材、棒材、钢板等型材，可采用配备有机械传送、自动报警、标记和分选装置的超声探伤系统。
- 近年来，超声无损检测仪器的数字化和电子计算机技术的快速发展催生了超声检测新技术的开发，**超声相控阵技术（PAUT）逐渐成为无损检测行业主要技术发展趋势**，应用范围得到了不断推广，传统的常规脉冲回波超声技术正逐渐被超声相控阵技术和全聚焦技术等替代。
- 超声相控阵技术是借鉴相控阵雷达技术的原理发展起来，起先应用于医学领域，最初系统的复杂性、固体中波动传播的复杂性及成本费用高等原因使其在工业无损检测中的应用受限，随着电子技术和计算机技术的发展，超声相控阵技术逐渐用于工业无损检测，尤其是在核工业与航空航天领域取得了很多技术上的突破，并越来越广泛地应用于锅炉、压力容器、轨道交通、航空航天无损检测。



1.3 超声无损检测

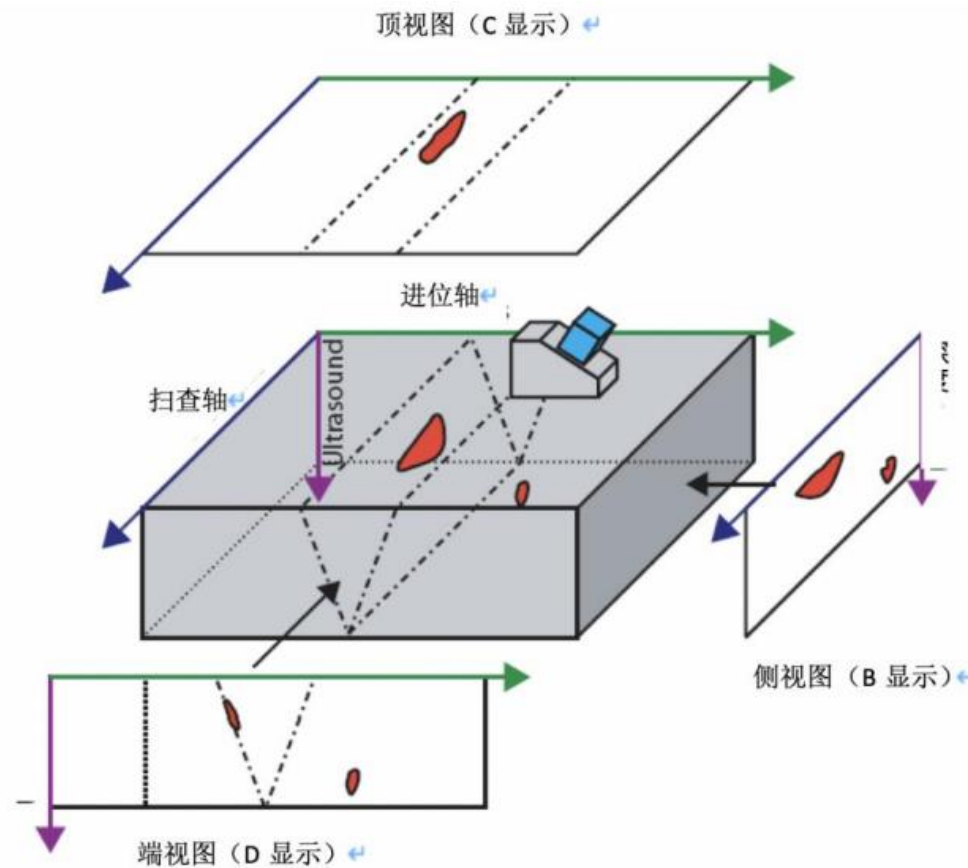
图表7 相控阵检测原理图



1.3 超声无损检测

- 依据相控阵技术，相控阵超声检测仪较常规工业超声探伤仪相比具有如下显著优势：
- 第一，可大幅提高检测速度，可实现多角度扫查，通过独有的S扇扫描，相当于拥有多种角度的探头同时工作，检测效率以及缺陷检出率更高，适用于批量生产和自动化生产。相控阵超声波信号可以形成多种显示，包括A显示、B显示、C显示、D显示和S显示，通过平面投影图形成顶视图、侧视图和端视图；

图表8 相控阵超声波信号显示

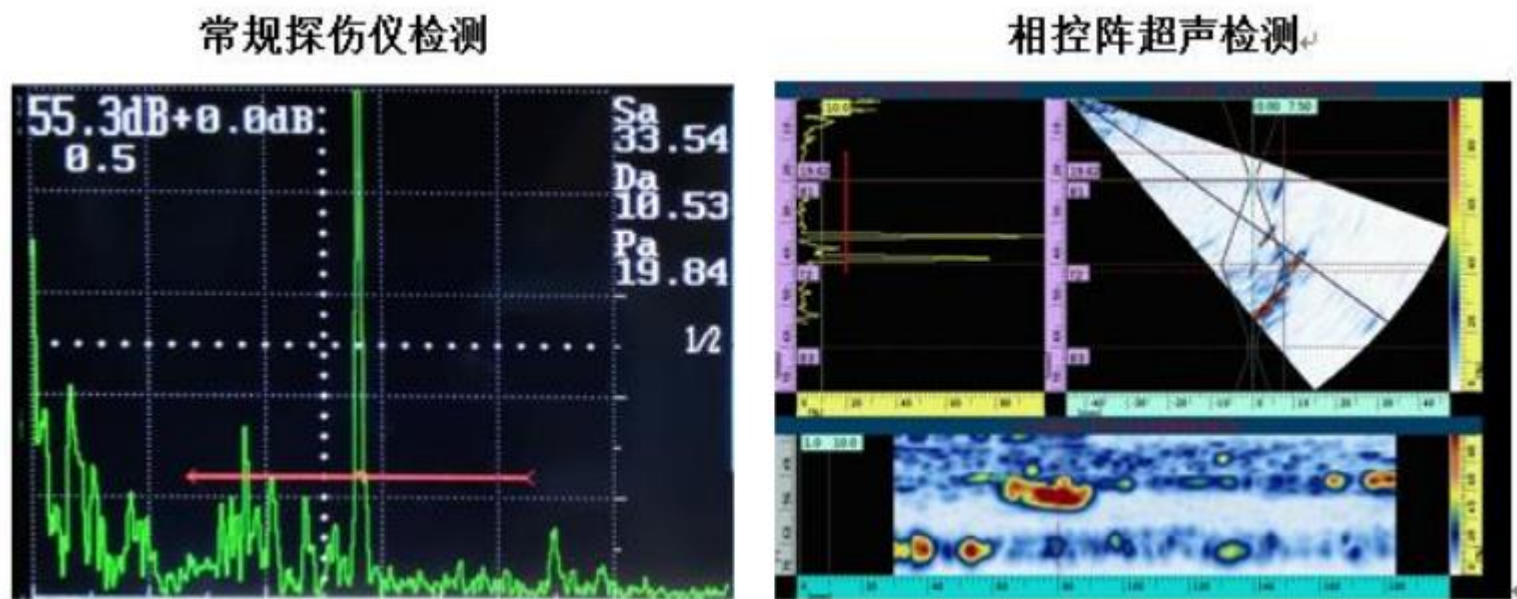




1.3 超声无损检测

- 第二，超声相控阵检测仪可以实现直观的图像化检测结果，一些高端的设备甚至可以3D 的形式实时显示检测状态，直观显示产品结构及缺陷分布，而常规工业超声探伤仪只能通过波形来分辨产品缺陷，检测结果不直观且对分析人员的技术水平要求很高。

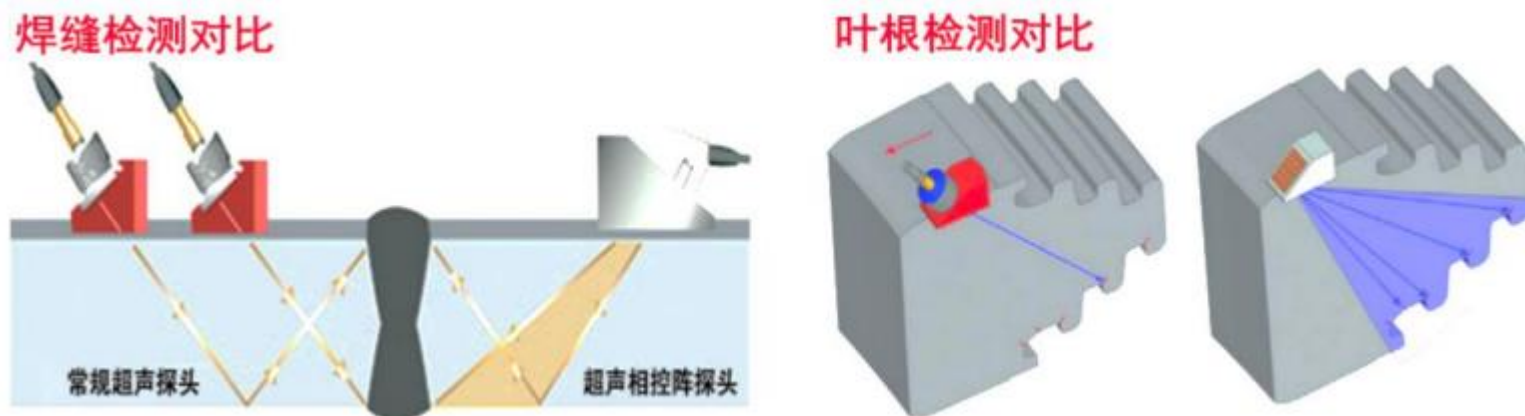
图表9 检测仪对比



1.3 超声无损检测

- 第三，相控阵超声检测仪对于形状复杂的工件具有更大的优势，能够解决很多常规工业探伤仪不能解决的难题，如检测涡轮叶片的叶根，常规工业超声探伤仪因为探头声束角度单一，存在很大的盲区，容易造成漏检。
- 第四，常规工业超声探伤仪精度相对较低、远距离传输和大规模存储困难，大部分难以实现位置编码记录，无法进行数据的全记录以及复杂的分析处理：超声相控阵技术是基于相位控制的声束合成技术，精度高，可实现待测区域的声能集中检测，并具有多样的可视化显示，能够实现海量数据的长期保存，形成工业检测“数字底片”，取用、再分析及通讯传输方便，更符合工业自动化、智能化的需求。

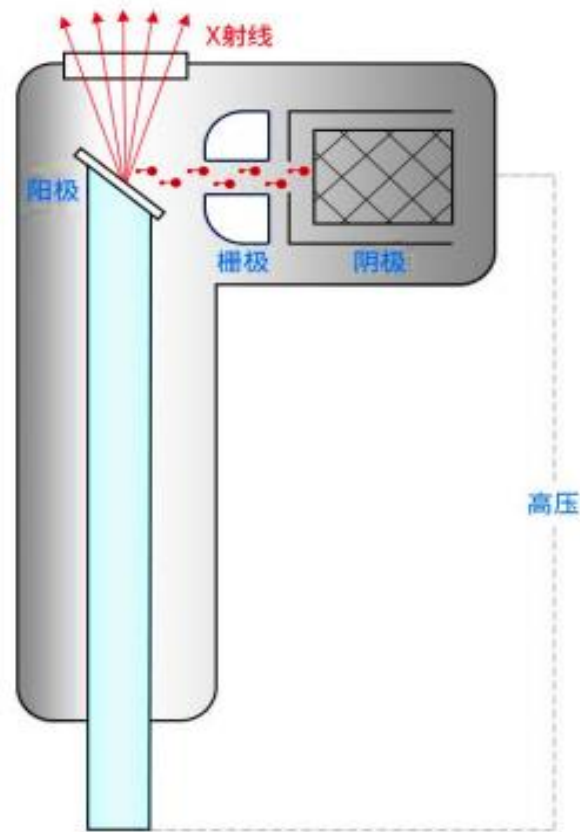
图表10 探头对比



1.4 超声波检测与射线检测

- 作为五大常规无损检测方法之一的射线检测（Radiology），在工业上有着非常广泛的应用。
- X射线与自然光并没有本质的区别，都是电磁波，只是X射线的光量子的能量远大于可见光。它能够穿透可见光不能穿透的物体，而且在穿透物体的同时将和物质发生复杂的物理和化学作用，可以使原子发生电离，使某些物质发出荧光，还可以使某些物质产生光化学反应。如果工件局部区域存在缺陷，它将改变物体对射线的衰减，引起透射射线强度的变化，这样，采用一定的检测方法，比如利用胶片感光，来检测透射线强度，就可以判断工件中是否存在缺陷以及缺陷的位置、大小。

图表11 X射线真空管结构示意图





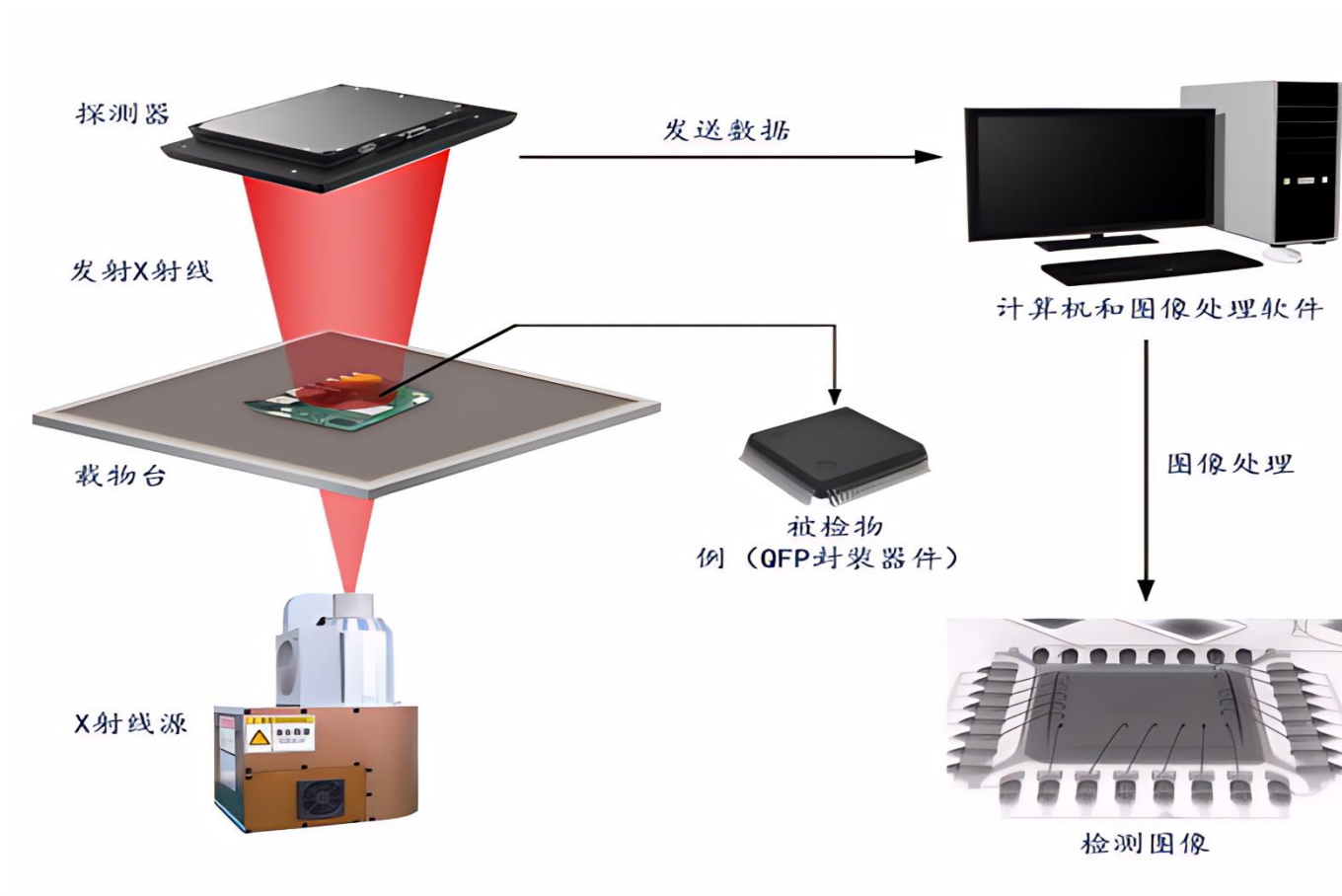
1.4 超声波检测与射线检测

- (1)x射线的特性 X射线是一种波长很短的电磁波，是一种光子，波长为0.001~100nm
- x射线有下列特点：
 - ①穿透性：x射线能穿透一般可见光所不能透过的物质。其穿透能力的强弱，与x射线的波长以及被穿透物质的密度和厚度有关。x射线波长愈短，穿透力就愈大；密度愈低，厚度愈薄，则x射线愈易穿透。在实际工作中，通过球管的电压伏值(kV)的大小来确定x射线的穿透性(即x射线的质)，而以单位时间内通过x射线的电流(mA)与时间的乘积代表x射线的量。
 - ②电离作用：x射线或其它射线(例如γ射线)通过物质被吸收时，可使组成物质的分子分解成为正负离子，称为电离作用，离子的多少和物质吸收的X射线量成正比。通过空气或其它物质产生电离作用，利用仪表测量电离的程度就可以计算x射线的量。检测设备正是由此来实现对零件探伤检测的。X射线还有其他作用，如感光、荧光作用等。
- (2)影像形成原理
- X线影像形成的基本原理，是由于X线的特性和零件的致密度与厚度之差异所致。



1.4 超声波检测与射线检测

图表12 工业 X 射线检测原理

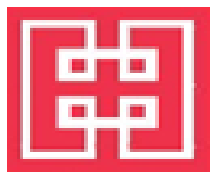


1.4 超声波检测与射线检测

图表13 超声波检测与射线检测对比

	超声波检测	射线检测
方式	利用超声波能透化金属复合材料的最深处，并由一横截面进到另一断面时，在页面边沿产生反射的特征来检查零件缺陷的一种方法	利用某类射线来检查焊接内部结构缺陷的一种方法
基本原理	波束天线自零件表面由摄像头通至金属材料内部结构，碰到缺陷与零件底边的时候就各自产生反射波，在荧屏上产生脉冲波形，依据这种脉冲波形来判定缺陷位置和尺寸	射线因焊接缺陷对射线的吸收不一样，使射线落到胶卷里的抗压强度不一样，胶卷光感应水平也不一样，这样就可以准确、靠谱、非破坏地表明缺陷的形态、位置和尺寸
优点	超声波探伤比X射线探伤检测具有很高的探伤检测敏感度、周期时间短、低成本、灵便便捷、高效率，对人体健康没害等特点	透照时间较短、速度更快，查验薄厚低于30mm时，表明缺陷的灵敏度高，射线对大小型缺陷比较敏感
缺点	对工作表面规定光滑、需要富有经验的检验人员才可以鉴别缺陷类型、对缺陷并没有形象性；超声波探伤适用于薄厚比较大的零件检测。	表明缺陷的灵敏度高，但设施繁杂、花费大，透过水平比γ射线小。对条状缺陷，尤其是厚钢板中细小的未焊透（熔入不够）或微裂纹等难以发觉
适用优势	超音波优势在于面缺陷的检测	射线的检测优势在于容积型缺陷的检测

资料来源：宁波至信检测技术有限公司官网，华安证券研究所整理



华安证券
HUAAN SECURITIES

目录

1 超声检测基本介绍

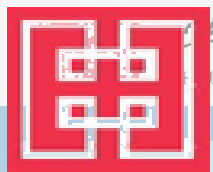
2 超声检测基本原理

3 超声检测，保证国民经济各行业高质量发展

4 建议关注公司

5 风险提示





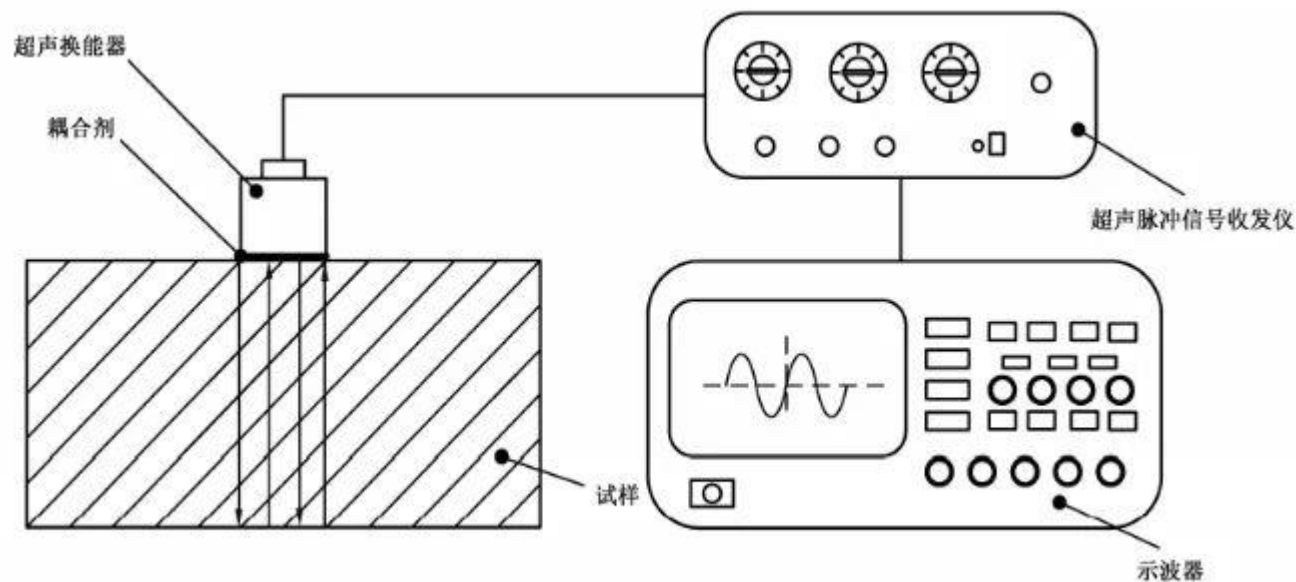
华安证券
HUAAN SECURITIES

02 超声检测基本原理

2.1 超声波检测的应用

- 随着对超声波的不断研究和探索，除了无损探伤外人们还利用超声波在材料中的声速、衰减或共振频率测定金属材料的弹性模量、硬度、内应力、厚度、钢的淬硬层深度等，还可以通过超声波进行泄漏检测。
- 利用超声波测定金属材料的弹性模量和泊松比
- 固体材料中的超声波传播速度由弹性模量和密度决定。在已知材料密度的基础上，通过测量超声波在固体材料中的传播速度，计算获得材料的弹性模量和泊松比，检测方法包括适用于块状试样的体波法和适用于圆形截面杆状式样的导波法。

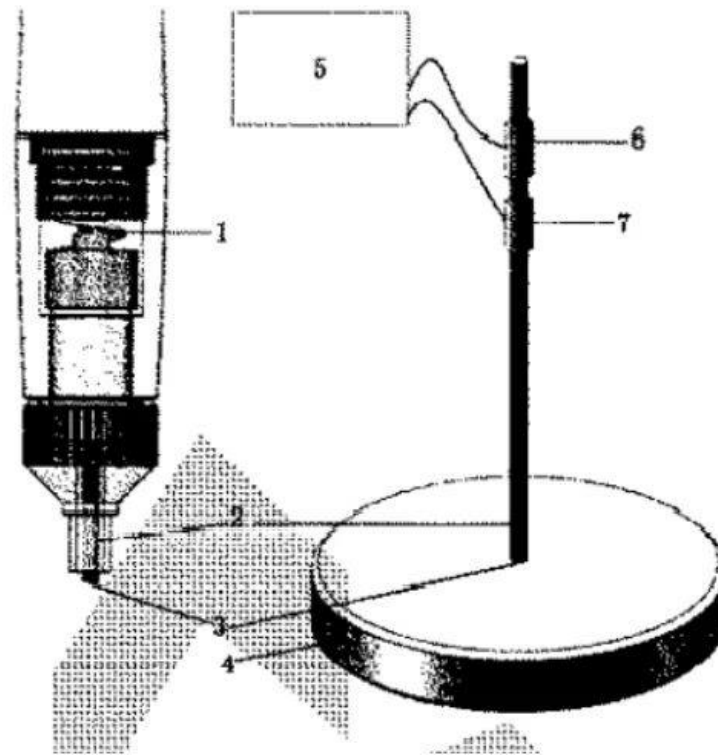
图表14 体波法弹性模量和泊松比检测系统示意图



2.1 超声波检测的应用

- 利用超声波测定金属材料的硬度
- 超声接触阻抗法是一种非直接测量压痕的动态压入法，端部镶有特定压头(如正四棱锥体金刚石压头)的振动杆受到激励做纵向超声振动，用一定的试验力将压头压入试验表面，振动杆的纵向振动将受到阻抗，谐振频率发生变化。其变化量与压痕表面积和系统的有效弹性模量成函数关系，硬度值由频率变化量得到。

图表15 UCI探头工作示意图

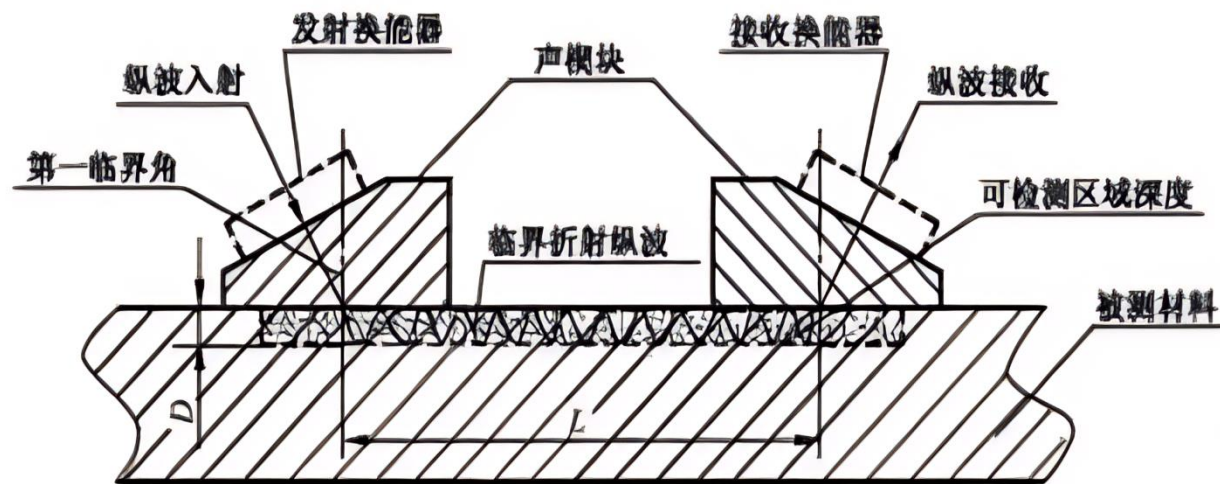


1- 施加试验力的金属弹簧;2-振动杆;3-压头;4-试样;5-共振增强器;6-接收器;7-发射器

2.1 超声波检测的应用

- 利用超声波测定残余应力
- 材料受到应力影响后会导致超声波在材料内部传播速度的变化，速度的快慢受到超声波入射的波长、传播方向和材料内部应力等情况的影响，超声波入射的波长，波形是可控的，我们控制入射波长、波形和传播方向后只需要再测定超声波在材料内传播速度的变化就能得到残余应力的变化。

图表16 超声临界折射纵波收发原理及残余应力检测区域





2.1 超声波检测的应用

- 利用超声波测定金属材料的厚度

- 超声波测厚是根据超声波脉冲反射原理来进行厚度测量的，当探头发射的超声波脉冲通过被测物体到达材料分界面时，脉冲被反射回探头，通过精确测量超声波在材料中传播的时间来确定被测材料的厚度。凡能使超声波以一恒定速度在其内部传播的各种材料均可采用此原理测量。按此原理设计的测厚仪可对各种板材和各种加工零件作精确测量，也可以对生产设备中各种管道和压力容器进行监测，监测它们在使用过程中受腐蚀后的减薄程度。

- 利用超声波测定金属材料的淬硬层深度

- 由声波产生的高频振动会沿着均匀固体介质以相同的方式传播，就像直线光束一样。当遇到其他物体、空气、液体或者其他不同材质的固体的分界面时，声纳系统中的回波检测仪就会根据这些反射回来的超声波脉冲检测到分界面的存在，通过计算可以确定具体方位。
- 基于超声波背散射现象，当超声频率在500KHz到25MHz时，各种频率的声束都能够穿透致密晶粒的材料。然而当高频声束作用于粗糙晶粒材料时，这时声波在分界面上产生散射，散射回波与入射波发生干涉，又称背散射干涉。材料表面经过高频感应淬火后在表面会产生一种具有致密晶粒的硬化层，这种结构和没有经过硬化处理的材料结构不同，特别是在晶粒大小方面具有明显的不同。高频的超声波可以穿过致密晶粒，并且在致密晶粒和粗糙晶粒交界处发生散射，形成超声背散射效应，该现象用来测量硬化层的深度。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/815143011000011134>