

# 超声波检测技术的应用与发展

安赛斯（中国）有限公司 技术中心

**摘要：**超声波检测技术是无损检测领域中的一种非常重要的方法。本文简单介绍了超声检测的方法、基本原理及其应用领域。对非接触超声检测方法进行了比较，对当前非线性超声无损检测技术的应用进行了总结，展望了今后的发展趋势与前景。

**引言：**利用超声波进行无损检测始于 20 世纪 30 年代。1929 年前苏联 Sokolov 用超声波探查金属物体内部缺陷。到了 20 世纪 40 年代美国的 Firestone 推出了脉冲回波式超声检测仪[1]。发展到 60 年代，超声检测技术已经成为有效而可靠的无损检测手段，并在工业探伤领域得到了广泛应用。80 年代末计算机和电子技术的发展带动了数字式检测仪的发展，使得检测数据更加形象具体。有关资料表明，国外每年大约发表 3000 篇涉及无损检测的文献资料，其中有关超声无损检测的内容约占 45%。[2]随着工业自动化的提高，无损检测技术已经可以运用在生产的每一步中，能够实现在线检测。成像技术、相控阵技术、人工智能、人工神经网络、相适应技术的逐步成熟促进了超声无损检测技术的应用发展。（资料来源：安赛斯（中国）有限公司）

## 1 常规检测技术的介绍

超声波是指频率大于 20 kHz，并且能在连续介质中传播的机械波。常用的超声波检测方法有共振法、穿透法、脉冲反射法等。

脉冲反射法是通过内部缺陷或者试件的底部反射回波的情况来对试件中缺陷的大小和位置进行评估。[1]在金属板中缺陷的定位判断[3]、检测套管和腐蚀和缺陷[4]、人体血管壁超声传输特性研究[5]、钢管的厚度测量[6]、混凝土内部结构[7]、引等领域都得到广泛的应用。

共振法是根据声波在试件中呈共振状态来测量试件厚度或判断有无缺陷的方法。南京大学声学研究所研制的超声共振自动测试系统[10]列主要用于表面较光滑的工件的厚度检测[9]、金属焊接残余应力检测[8]等。

透法则是在试件的两侧放置探头，一个探头发射超声到试件中，而另外一个则接收穿透试件后的脉冲信号，根据信号强度和幅度的变化来判断内部缺陷情况。这种方法在金属夹杂物缺陷的检测等探伤方面得到广泛的应用。（资料来源：安赛斯（中国）有限公司）

## 2 非接触式超声波检测技术

用非接触法进行无损检测时，加入耦合剂是为了减少超声波在探头与检测面的之间损耗，提供较好的穿透能力，获得更好的检测效果。常见的非接触式超声检测技术有电磁超声检测技术、空气超声检测技术以及激光超声检测技术。

### 2.1 电磁超声检测技术

20 世纪 60 年代末电磁声换能器(EMAT)的出现，使得无损检测能够在高温、高速等恶劣条件下得以实现。EMAT 靠电磁效应激发和接收超声波，由电磁铁、高频线圈及被测试件组成。在实际应用中通过改变不同形状的磁铁和线圈的排列方式，可以产生纵波、横波、表面波和 Lamb 波等不同模式的超声波。基本原理是高频线圈通过电流时，在试件的表面就会感应涡流，此涡流在磁铁提供的外加磁场的作用下都会产生罗伦兹力，在此机械力的作用下产生高频振动，形成超声波。接收超声波时，试件表面的振荡也会在外加磁场的作用下，在高频线圈中感应出电压而被仪器接收。（资料来源：安赛斯（中国）有限公司，更多关于超声检测信息，请登录安赛斯（中国）有限公司官网获取。）

磁超声只能在导电介质上产生，因此主要应用于金属材料的检测，跟传统的超声检测技术相比具有无需任何耦合剂、灵活的产生各类波形、声传播距离远、检测速度快等特点[13]。在金属探伤[12]、火车车轮裂纹的检测[11]等方面得到很好的应用。

## 2.2 空气耦合超声波检测技术

空气耦合是一种直接用空气作耦合剂的方法。探头发射的超声波，经过空气后，进入被检试件，透过试件的超声波再被接收探头接收。换能器和试件之间不需要耦合剂，但主要受三方面的影响：超声波在空气中的衰减、气固表面超声波的大量反射和超声换能器的转换效率。这三个方面限制了空气耦合技术的发展。Grandia 在 1995 年就开始对空气耦合式换能器的研究，提出了通过增加耦合层的方法制作适应以空气作介质的换能器和采用显微加工技术制作静电换能器这两种方法，基本原理和制作方法都进行了比较。（资料来源：安赛斯（中国）有限公司，更多关于超声检测信息，请登录安赛斯（中国）有限公司官网获取。）

国内空气耦合超声检测技术的发展受实验环境、人员水平等条件的限制，发展很缓慢。美国 QMI 实验室和加拿大 R&D 公司相继研发成功 100 kHz~5 MHz 的压电换能器给空气耦合超声检测技术工程应用带来了希望。1997 年董正宏等以航天复合材料无损检测为背景建立了空气耦合式超声检测实验系统，并与传统浸入式超声检测技术相比较，分析和评估了空气耦合式超声在检测灵敏度、回波信号动态范围等方面与传统浸入式检测存在的差异。针对空气耦合存在的不足，提出了相应的解决方法。

## 2.3 激光检测技术

激光超声技术的研究始于 1963 年由 White R M 提出用脉冲激光产生超声脉冲。激光可以通过热弹效应和烧蚀作用和利用被测材料周围的其他物质作为中介这两种方法激发超声波。激光超声激励检测可以利用超声换能器和光学法检验技术实现，光学法可以分为干涉和非干涉两种。干涉法又分为刀刃检测技术、表面栅格衍射技术、反射率检测技术等；非干涉分为自差干涉、外差干涉、共焦 F—P 干涉仪。

目前国内进行这一技术研究的单位有：中科院声学所、北京科技大学物理系、清华大学工程力学系、上海技物所等。其中北京科技大学在 1994 年已报道采用共焦 F—P 干涉仪实现了对固体表面超声波的检测[25]，清华大学力学系采用红宝石调 Q 激光和氮激光也实现了对超声波的激光激发与检测。钱梦碌[29]、应崇福等人在激光超声研究领域都有着重大贡献。

### 3 超声波检测技术的应用

超声波检测技术在建筑工程、轴承状态监测、泄漏检测、电气检测等方面所具有的优越性弥补了传统检测手段的不足,使超声波检测在预防性维修中发挥了应有的作用。(资料来源:安赛斯(中国)有限公司,更多关于超声检测信息,请登录安赛斯(中国)有限公司官网获取。)

#### 3.1 超声波检测混凝土缺陷

采用超声脉冲检测混凝土缺陷的基本依据是,利用脉冲波在技术条件相同(指混凝土的原材料、配合比、龄期和测试距离一致)的混凝土中传播的时间(或速度)、接收波的振幅和频率等声学参数的相对变化来判定混凝土的缺陷。

超声脉冲波在混凝土中传播速度的快慢,与混凝土的密实度有直接关系,对于原材料、配合比、龄期及测试距离一定的混凝土来说,声速高则混凝土密实,相反则混凝土不密实。当有空洞或裂缝存在时,便破坏了混凝土的整体性,超声脉冲波只能绕过空洞或裂缝传播到接收换能器,因此传播的路程增大,测得的声时必然偏长或声速降低。另外,由于空气的声阻抗率远小于混凝土的声阻抗率,脉冲波在混凝土中传播时,遇到蜂窝、空洞或裂缝等缺陷,便在缺陷界面发生反射和散射,声能被衰减,其中频率较高的成分衰减更快,因此接收信号的波幅明显降低,频率明显减小或频率谱中高频成分明显减少。再者经过缺陷反射或绕过缺陷传播的脉冲波信号与直达波信号之间存在声程和相位差,叠加后互相干扰,致使接收信号的波形发生畸变。(资料来源:安赛斯(中国)有限公司,更多关于超声检测信息,请登录安赛斯(中国)有限公司官网获取。)

根据上述原理,可以利用混凝土声学参数测量值和相对变化综合分析,判别其缺陷的位置和范围,或估算缺陷的尺寸。

超声波检测法是比较有效的一种检测方法,能比较准确的判断桩身混凝土质量,但声测管的埋置及选用能较大影响检测效果,在滨德高速公路工程的检测工作中,运用了以上介绍的多种措施和处理方法,对出现的声测管堵塞困难做了较好的克服,为工程的顺利进展奠定了良好的基础。

## 3.2 轴承状态的监测

目前超声波检测技术是检测轴承初期损坏最可靠的方法。超声波所发出的警信比温度上升或动力的增加还早，因此超声波检查可用来辨识轴承初期疲劳、滚道表面的压迫侵蚀、润滑油多或少。使用超声波检测可同时监听轴承的声音及趋势分析。超声波检测仪的调频能力，可轻易地调到轴承的波段并将其孤立，使分析工作不受噪声影响。测试轴承和机械设备，则需要建立一个声音水平的基线值和音质环境，在检测时对比读值和声音样本来作趋势分析。

### (1) 轴承失效的检测

用比较法和历史法对轴承进行检测。使用历史法时，首先，超过基线 8dB 表明轴承已有故障隐患或润滑短缺。正常的轴承听起来像“嘶嘶”声，轴承缺润滑常表现为超过基线值 8dB，并伴有很大的“沙沙”声。如果怀疑是缺润滑，可以在加注润滑油的同时观察仪表的变化。一次加少量的润滑油直到分贝值水平降低至基线值。如果读数水平持续很高且没有降低的趋势，可以考虑轴承进入失效期，需要经常检测。其次，超过基线 12dB 表明各种故障已经开始。如果分贝值超过基线 12dB 并伴有音质的变化，则表明轴承进入早期的失效阶段。超过基线 36dB 表明更严重的故障状态。最后，超过基线 50dB 表明已经进入灾难性故障阶段。

在滚珠轴承超声波监测时，振幅改变所突显的轴承问题，比任何指标包括红外线热影像及振动分析的改变都要早。当滚珠通过滚道小裂缝时，会产生冲击，并与轴承组件构成共振，在监测轴承频率时，听起来相当于振幅增加。当滚珠由球形趋于扁平化的过程中，轴承表面的压迫侵蚀也会造成振幅增加。这些扁平点也会产生重复的声响，监测频率时听起来也相当于振幅增加。损坏的滚珠听起来像脆裂声，然而强度高且均匀的爆裂声可能显示沟槽损坏或均匀的滚珠损坏。

### (2) 润滑状况的监测

①由于轴承润滑油膜被破坏，声音强度值将增加，如果分贝值超过基线 8dB 且伴有一致的“沙沙”声，可以认为是缺油。

②在加润滑脂过程中，保证适当的量使噪声强度值等于基准值。应注意一些润滑脂需要一定时间才能充分的覆盖轴承的表面，请每次加入适量的润滑脂。

③如润滑过度，可损坏轴承密封，并引起轴承过热，因此应避免过度润滑。

### (3) 低速轴承的监测

超声波传感器可以监测低速轴承（低于 200r/min）。由于灵敏度和频率可调，可收听到轴承的音质。对于极端低速轴承（低于 25r/min），常不考虑读数的具体值，仅收听音质的不同。在此条件下，通常是大型轴承用高黏度的润滑脂，因润滑脂会吸收大部分的声音能量，仅能接收低程度的声音信号，只有听见高强度音或“渣渣”音，表明轴承失效的发生。

#### （4）监测频谱的分析

在收听声音信号的同时，可通过声音信号进行频谱和时域分析。当设备零件开始失效时，超声波信号就会产生变化。通过监测声音的改变做故障诊断可节省时间。因此，关键设备的超声波监测可以避免无计划的停机，还可以通过在设备上安装超声波探头对一些无法直接接触的零件运转情况进行检测。（资料来源：安赛斯（中国）有限公司，更多关于超声检测信息，请登录安赛斯（中国）有限公司官网获取。）

### 3.3 电气检测

电器设备的早期局部放电检测，对保证设备本身的安全起着至关重要的作用。

常见的电器设备局部放电故障有：电晕、电弧和电痕。电晕和初期的电痕不会产生热量，用红外热像仪无法检测，但它会产生超声波信号，用超声波检测仪可以远距离进行检测；电弧和严重的电痕在产生超声波的同时也会产生热量，因此用红外和超声波的方法都可以进行测试。但当局部放电发生在设备内部时，用红外成像技术的方法也无法发现。不难看出超声波检测仪能在红外线测温仪检测出来温度之前就能检测到因绝缘损坏和松动产生的超声波信号。用超声波检测仪在电器设备的表面或结合面处都可以进行检测。超声波检测仪对高压输电绝缘子、变压器、开关柜等电器设备进行检测时，超声波检测仪的灵敏度非常高，当绝缘子周围的空气被电离时，会产生化学反应，腐蚀金属部件，削弱绝缘物的绝缘能力。超声波检测系统可以完善绝缘检测工作，可以探听到绝缘子故障、线套、变压器、端套、避雷针等故障声响。

## 4 结论

现代超声无损检测技术沿着智能化、自动化、图像化、数字化、小型化、系列化、多功能化、信息化和交叉领域的方向发展。检测技术、成像技术的成熟，是的超声检测技术已经满足现代质煞对无损检测的要求。无线通信技术和计算机的应用，使得超声检测技术可以克服传统技术上有线传输的种种缺点。在国民经济高速发展的趋势下，超声检测作为许多产品质量保证的重要手段之一必将得到更多的关注和提高。（资料来源：安赛斯（中国）有限公司，更多关于超声检测信息，请登录安赛斯（中国）有限公司官网获取。）

## 参考文献

- [1]史亦伟. 超声检测[M]. 北京：机械工业出版社，2005
- [2]罗雄彪。陈铁群. 超声无损检测的发展趋势[J]. 无损探伤，2004，28(3)：1~5
- [3]王杜，毛国均，杨齐. 基于脉冲反射原理的兰姆波检测缺陷定位研究[J]. 无损探伤，2009，33(2)：13~15
- [4]余厚全。屈万里，黄载禄. 利用超声脉冲回波检测套管腐蚀和缺陷[J]. 测井技术，2007，21(2)：129~132
- [5]严碧歇. 人体血管壁超声传输衰减特性的研究[J]. 应用声学，2003。(5)：41~44
- [6]安赛斯（中国）有限公司，[www.analysis-tech.com](http://www.analysis-tech.com)