国内外研究现状

1. **超声技术的起源**

1793年，意大利科学家拉扎罗·斯帕拉捷（Lazzaro Spallanzani），在研究蝙蝠的飞行秘密过程中——发现了蝙蝠是靠听觉来辨别方向、确认目标的。这项发现为后续学界研究“超声波”提供了理论基础与指导方向，后续学者们持续展开研究。1830年，法国科学家菲利克斯·萨伐尔（Félix Savart），利用巨大的齿轮控制“沙伐音轮”旋转的角速度，使之发出各种特定频率的声音，并产生了频率24000Hz的声波，是人类历史上第一次利用人工机械技术产生的超声波。1876年，英国科学家弗朗西斯·高尔顿（Francis Galton）利用气哨实验，产生了高达30000Hz的超声波，超声波自此开始进入人们的视野中。

1880年，法国物理学家皮埃尔·居里（Pierre Curie）、雅克·居里（Jacques Paul Curie）两兄弟发现电气石具有压电效应。1881年，他们通过实验验证了逆压电效应，并得出了正逆压电常数。后来人们根据压电效应原理研究出利用电子技术产生超声波的方法，从此迅速揭开了发展与推广超声技术的历史新篇章。

1912年4月14日，载着2224名船员和旅客被称作“永不沉默”的泰坦尼克号在大西洋中撞击冰山发生沉船事故，导致船上1519人遇难，泰坦尼克号沉没的消息震惊了整个西方世界。至此引起科学界的高度注意，随后科学家们提出利用超声波探测水下的冰山，超声波技术再次引起人们的思考。

1916年，正直于第一次世界大战间，为了侦测敌军水下潜艇，法国物理学家保罗·朗之万（Paul Langevin）领导的一个小组展开了水下潜艇声呐技术的研究，小组针对石英压电晶体振动的研究，成功获取了在水中传播的超声波，利用超声波探测水下潜艇并确定其位置。朗之万研究小组成功的将超声波应用到实际中，其研究成果为声呐技术奠定了基础，同时对超声波的研究得以进一步的促进。

1926年，美国物理学家罗伯特.威廉姆斯.伍德（Robert Williams Wood）和阿尔弗雷德.李.鲁密斯（Alfred Lee Loomis）借鉴前辈保罗·朗之万等人的研究成果，合作研究高功率的超声波实验。几年的努力，共同发表了数篇关于高频声波物理能量的文献，为功率超声领域打下了坚实的基础。

1929年，前苏联学者索科洛夫（Sokolov）发表了一篇关于超声波振荡在各种物体中传播问题的文章，提出利用超声波良好的穿透性来检测不透明物体内部缺陷的设想。1935年，索科洛夫在苏联发表讨论金属材料内部缺陷探伤的著作，著作中描述利用超声波穿透法进行的试验结果，同年申请了穿透法专利。第二次世界大战爆发后，市面上出现了基于索科洛夫原理制造的超声波穿透法检测仪器。但由于该检测仪器的发射和接收探头需放置在试件两侧，并始终保持探头位置的对应关系，同时对缺陷检测灵敏度很低，其应用范围受到极大限制。虽然该设备并未在市场上普及和推广，但是穿透法检测仪器诞生标志着超声波检测技术在工业领域首次被应用，也是工业超声检测技术发展的重要历史转折点。

1940年，美国人Firestone首次介绍了基于脉冲发射法的超声检测仪器，并在之后的几年进行了试验和完善。1946年，英国人D.O.Spronle研制成功第一台A型脉冲反射式超声波检测仪。该检测仪的工作原理是从物体的同一侧发射和接收超声波，能够检测出物体内部细微缺陷，并能够较准确的确定缺陷位置和测量缺陷尺寸。不久，美国和英国分别开发出更先进的A型脉冲反射式超声波检测仪，使超声检测成为一种实用的无损检测技术。1950年后，A型脉冲反射式超声波检测仪已经广泛应用于世界先进工业国家的钢铁冶炼、机械制造和船舶制造等领域的铸锻钢件和厚壁钢板的检测。

20世纪60年代，随着电子技术的快速发展，以前制约仪器电子性能的很多指标，如放大线性、动态范围、灵敏度余量和当量读数精度等主要技术指标都取得了突破性进展，超声波检测仪器的性能也得到了大幅度的提升。1964年，德国KK（KrautKramer）公司成功研制小型超声波检测仪，开启了近代超声检测技术在工业领域应用的新纪元。

20世纪70年代末，微处理器的出现，使数字集成电路性能产生质的飞跃，同时为超声波检测仪器设备的发展提供了新的便利条件。发达国家推出计算机辅助的自动超声检测装置，主要应用于形状相对规则的物体检测。与此同时，国外还相继开展了信号处理技术的研究。1983年，德国KK公司推出了第一台便携式USD-Ｉ型数字化超声波检测仪。尽管其体积较大，重量较重，与目前使用的仪器相比功能还不完善。但USD-Ｉ的问世，标志着超声波检测仪开始进入数字化时代。随着数字式超声检测仪器的不断发展，模拟式超声检测仪逐渐被取代，模拟机成为了超声检测发展历史上的一个永不磨灭符号。

迈入21世纪后，常规超声波检测技术达到一定成熟阶段，但由于该技术存在特定的限制，已经面临着新的发展瓶颈，致使超声波衍生检测新技术获得快速进步和广阔的发展空间。

<https://www.zhihu.com/question/362949454/answer/950221014>

**2、超声波衍生检测技术的发展**

TOFD检测技术的发展始于上个世纪70年代。1970年，Miller首次发表关于发现裂纹尖端衍射信号的文献，但他未能识别出该信号，与TOFD发明失之交臂。1977年底，为了更精确地对缺陷进行定量研究，英国Maurice Silk博士首先提出TOFD检测技术。在同一时期，我国中科院也检测出裂纹尖端衍射信号，并总结出利用尖端衍射信号测量裂纹高度的方法，但并未迈入TOFD检测技术行列。随后几年，数字化技术的高速发展，也是TOFD技术发展最活跃的时期。1982年英国首先研制出可用于现场的TOFD检测仪器，同时英国BS7706:1984标准的颁布与实施，为该技术的应用和发展夯实了基础。其后几年，欧洲和美国陆续出台了一系列TOFD检测相关标准和仪器设备，为TOFD检测技术推广和应用铺开了一条崭新的大道。

超声相控阵检测技术的发展要早于TOFD，初期主要应用于医疗领域。1959年，Tom Brown研制出了首台超声相控阵检测系统，并申请了专利。20世纪70年代，市场上出现第一台医用超声相控阵检测系统，由于相控阵检测系统复杂、成本高昂、技术不足等原因，使其在工业领域中的应用和发展受到限制。直到80年代，真正意思上的第一台工业用超声相控阵检测设备研制成功。1992年，美国通用电气公司（GE）研制成功了数字式超声相控阵实时成像系统，随后的十余年，美国、法国、英国、加拿大、德国等西方发达国家相继研制出功能更完善、应用范围更广的超声相控阵检测系统和设备。目前，超声相控阵检测的研究主要集中在新型相控阵探头的开发及优化、针对不同检测对象的检测方法的研究、数据处理、缺陷分析等方面。

近些年来，其他超声波衍生技术的发展犹如雨后春笋般出现，导波检测技术、电磁超声检测技术、超声三维成像技术、可记录式自动超声检测等新技术已经被成功应用于各个领域的工业检测中，超声波检测技术正朝着分支更细、应用更广的垂直领域发展。

国内超声检测技术：

的发展解放前，我国很长一段时间处于混沌状态，技术落后。新中国成立初期，国内各行各业面临百废待兴，无损检测技术领域仍处于一片空白，最初，中国的超声检测技术发展借鉴了西方发达国家的成功经验。1952年铁道科学院孙大雨参照苏联УЗ－12型仪超声波检测仪仿制成功，标志着我国迈出了超声波检测仪研制的第一步。1953年，中国科学院长春机电研究所笪天锡和向明等人临危受命，组成了仪器研制攻坚小组，最初仿制加拿大制造的超声波检测仪，于1954年仿制成功。1953年江南造船厂开始吴绳武等人参照从苏联引进的超声波检测仪进行学习和研究，自行设计电路，同时烧制钛酸钡压电陶瓷，于1955年成功研制江南Ｉ型超声波检测仪，标志着我国第一代定型超声波检测仪的诞生。1980年，汕头超声推出CTS-22型超声波检测仪，其主要技术指标已达到国际同类产品的水平，并在相当长的时间成为我国超声波检测仪的主流产品。1988年，中科院武汉物理所成功研制国内第一台数字化超声波检测仪的原理样机，第二年，成功研制国内第一台全数字化超声波检测仪。从1993年开始，国内涌现出许多优秀的仪器设备生产厂家，国产数字式超声波检测设备百花齐放的呈现。以此同时，国内的其他超声检测新技术踏入了蓬勃发展阶段，自1990年以来，我国无损检测研究和从业人员高度重视TOFD这项技术，并开始研究和尝试应用于工程检测。2003年，中国第一重型机械集团公司将TOFD技术应用于神华煤液化工程中壁厚300mm的加氢反应器的检测中，是国内最早应用TOFD技术的企业，并申请和制定了首个企业标准。国内超声相控阵技术及仪器设备的研究脚步远远落后于欧美发达国家，但也有部分高校、研究机构、设备厂家做了深入的研究，取得了显著成果。我国最早在2001年将超声相控阵检测技术应用于西气东输的工程项目中，但是使用的相控阵检测设备却是加拿大R/D Tech公司生产的。直到2010年后，国内超声相控阵检测技术发展迅速，几大知名生产厂家陆续研制出国产超声相控阵检测设备，近几年，国产超声相控阵设备的性能基本接近了国际先进水平。超声检测技术发展与进步离不开设备的支持，每一次技术突破都凝聚了前人大量的汗水和智慧。据了解，有部分研究机构已经着手研究物联网、云计算、人工智能等技术在超声检测领域应用的研究，并在医疗检测领域成功应用。伴随着科技发展的趋势，在未来发展中，或许会将更多的现代高科技产物更广阔的应用于工业检测领域。

中国工业超声检测近几十年来发展迅速，几乎涵盖了所有的工业领域，如钢铁工业、机械制造业、锅炉压力容器、石油化工、铁路运输、造船、航空航天、电力核电等。目前超声检测大量应用于金属材料和构件，近年来对于新兴的复合材料的应用也越来越广泛。

理论研究方面，我国也在逐渐缩小与国际先进技术的差距，很多超声数字信号处理包括人工智能、神经网络、模式识别、多种扫描成像等技术已达到或接近国际先进水平，为我国超声无损检测技术的持续发展提供了保证。

设备研发方面，超声检测设备中，国内几家为首的公司已经研发出最先进的全聚焦技术，并正在与实际的工程应用相结合，逐渐梳理出一套可执行的标准或规范出来，推进新技术的应用。

超声检测行业也渐渐有与大数据融合的趋势。目前，一些重点的石油石化企业已经开始构建系统的大数据管理，超声检测作为质量检测的重要一环，也被纳入到大数据系统中，对管道及设备的监管也趋于系统化、深入化。

**3、超声无损检测发展前景**

超声检测是发展最为迅速的无损检测方法之一，未来的发展前景广阔。笔者认为未来超声检测的发展包括但不限于以下几个方面：

（1）、比肩医学超声的发展

医学超声一直引领着超声检测技术的发展，工业相控阵技术来源于医学的B超。由于医学超声研究对象为单一的人体，在很多技术和手段上更容易实现;而工业超声检测面对对象的材料众多、形状各异，在一定程度上阻碍了工业超声的飞速发展。医学超声目前推出了4D多维彩超等技术，设备的通道数远远多于市面上常见的工业超声设备，这些都是工业超声需要学习和借鉴的地方。

（2）、自动化

工业超声检测技术目前很大一部分都是人工操作，检测效率低，数据记录不完善、不规范。随着国家标准化工作的逐步完善，对检测的要求越来越高;而随着工业4.0、大数据等技术地不断推广，现阶段手工检测已经逐步被一些自动化设备替代。当然自动化的发展不是一蹴而就的事情，需要在实践中不断摸索、循序渐进。

（3）、智能化

目前在一些桥梁的建设中，所用部件都有二维码标志，记录了该部件的原材料厂商、检测单位、施工单位等信息，可谓是智能部件的一个缩影。目前，智慧电网、智能管道工程等也由概念走向了实际应用，超声无损检测本来作为智能化潮流中不可或缺的一部分，即将为部件的寿命评估、动态检测等提供更为精准的数据支持。

（4）、专用化

超声检测面对的检测对象千差万别，不同行业的检测标准差别很大，通用化的解决方案无法更精准地解决检测难题。为了更好地适应未来自动化、智能化检测，超声设备或解决方案的专用化必不可少。行业量身定制的专用化、定制化的解决方案，势必是未来的发展趋势。

零散信息：

1、国产超声探伤仪在自动化和智能化方面与国外仪器还有较大差距。国产超声波探伤仪扫描范围较小，测量还不是很精确。

2、目前，作为提供智能识别方法之一的人工神经网络在超声检测中得到了广泛应用。国外研究机构在定性识别方面都开展了大量的研究。例如，Masnata及其合作者制造出了135个裂纹、夹渣等人工缺陷，采用Fisher判别方法对超声检测得到的参数进行处理，选择了波形的上升时间、下降时间、持续响应等16个量作为神经网络输入，准确地实现了对三种缺陷的分类识别

3、现代超声无损检测技术正在向着数字化、自动化、智能化和系统化方向发展，材料缺陷检测中定位、定性、定量的可靠性将不断得到提高。世界无损检测技术发展趋势是广泛采用计算机和信号处理技术来提高无损检测技术的可靠性。超声无损检测技术逐步从NDI和NDT向NDE过渡。超声波无损探伤是初级阶段，它的作用仅仅是在不损害零部件的前提下，发现其人眼不可见的内部缺陷。以满足工业设计中的强度要求。而超声无损评价是超声检测发展的最高境界，不但要检测缺陷的有无，还要给出材质的定量评价，也包括对材料和缺陷的物理和力学性能的检测及其评价。

近年来，国内外在超声探伤技术方面的研究与应用有如下趋向：

1) 由定性探伤向定量探伤和直接显示缺陷的图像发展。经过上个世纪的科研积累，以及计算机图像科学的发展，现在由定性地判断缺陷的有无发展为对缺陷的位置、大小、形状、性质进行定量判断，并且利用各种成像技术直接显示缺陷的二维、准三维图像。

2) 把信号处理领域的新成果引入到超声信号的处理中，如各种快速计算技术，分离谱处理，小波分析等方法，使得超声探伤的准确性和快速性大大提高。

4、目前我国在无损检测新技术相关的关键器件和高端设备上依赖进口，部分自主集成建立的检测设备的性能也取决于国外器件性能，在可设计性、可集成性、检测性能和自动化程度等方面受到限制。而国外成套检测设备一般成本高昂、交货期长，且容易受到国外政策封锁禁运或限制，这已成为制约我国无损检测技术向自动化、智能化方向发展的一个主要因素。为了更好地满足国内无损检测技术设备的应用需求，推动未来的研究、应用和发展，需要实现核心器件、核心算法和高端设备的自主化。