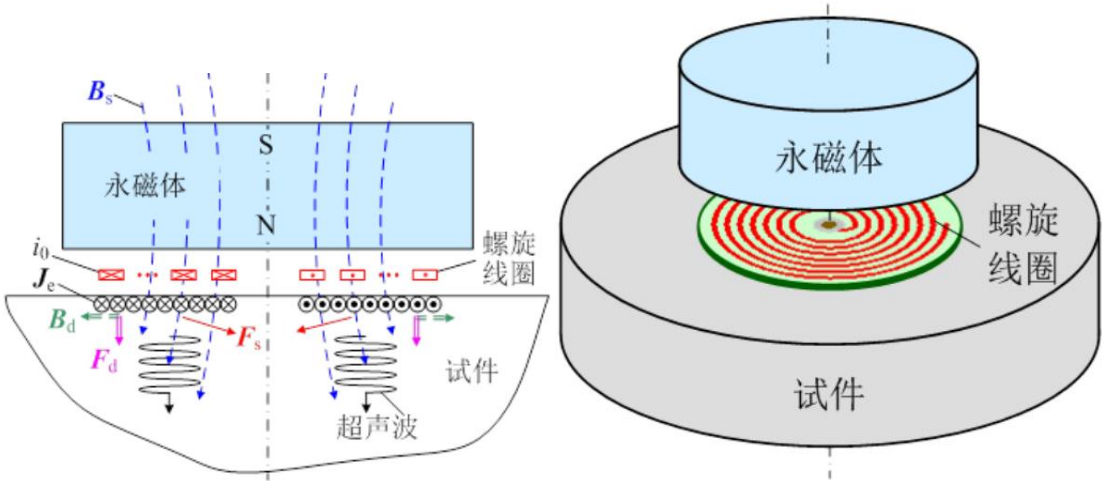


电磁超声无损检测技术是一种以电磁超声换能器
(Electromagnetic Acoustic Transducer)

现有的超声无损检测方式通常采用压电超声检测方法，但是存在依赖声耦合剂、检测场合受限等问题，难以用于高温、低温、在线等检测领域。

电磁超声无损检测技术是一种以电磁超声换能器(Electromagnetic Acoustic Transducer，简称 EMAT) 为核心的新型超声无损检测技术。与传统的压电超声技术相比，该技术具有检测时无需耦合剂，无需与试件接触，无需对试件表面预处理，能够方便地产生多种类型超声波等优势，适用于无接触检测、高温检测、高速在线检测等场合。电磁超声技术显著提高了超声无损检测技术的检测精度、检测效率、应用范围、环境适应性、经济性及环保性。

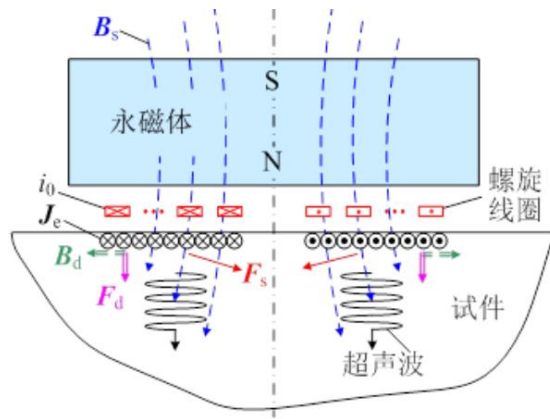
典型的电磁超声换能器包括线圈、磁铁和试件三个部分。在非铁磁性材料中，EMAT 的换能机理为洛伦兹力机理；而在铁磁材料中，洛伦兹力、磁致伸缩力和磁化力三种机理将共同作用，完成超声波的发射和接收。以洛伦兹力机理为例简介 EMAT 的工作原理(见图 1)：通过交变电流的导线(或线圈)置于试件表面时，将在试件表层感生出涡流；涡流与磁铁产生的静磁场相互作用，就会产生洛伦兹力；洛伦兹力将引发试件内部质点的高频振动，这种振动以波的形式向外传播，就完成了超声波的发射；通过控制线圈、磁铁的结构和参数，就可以方便地激发出多种类型的超声波。电磁超声的接收是发射的逆过程。



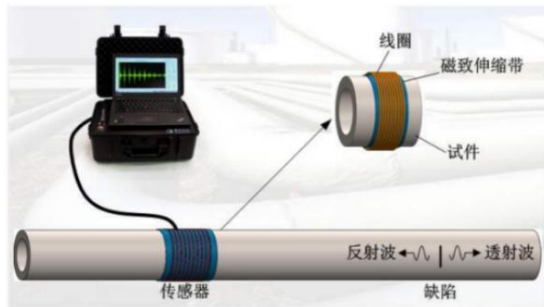
作为传统压电超声技术较为理想的替代品，美、德、英、日等国对电磁超声无损检测技术高度重视，无论在资金支持还是在人员配备上均有很大投入。近年来，这些国家已对该技术开展了广泛而深入的研究，并将其成功应用于冶金、焊接、列车轮轨、管道、桥梁、飞机、板材、棒材等众多领域，同时其中的部分产品已经进入我国市场。而我国在电磁超声无损检测领域的研究起步较晚，目前关于电磁超声无损检测产品的报道相对较少。

电磁超声与压电超声最大的区别在于产生的机理不同，压电超声的超声波是压电晶片在高压激励下产生的，超声波要经过延时块、耦合剂才能进入工件内部，高频超声波在空气中会迅速衰减掉，因此无法穿越疏松腐蚀层、无法穿越空气、不能提离。

而电磁超声是在工件的趋肤层产生的，超声传播仅仅在工件内部，跟耦合剂没关系，所以能提离、能隔空、能空耦。电磁超声还有一个好处是可以方便地激发导波，对于埋地管道的检测有重要意义。



从这个图中可以看出，工件内部的感应电流（虚拟线圈）收到的力是侧向的，因此产生的超声是剪切波，也叫作横波，而压电晶体被激励之后是上下振动，因此产生的波是纵波（压缩波），这也就是为什么电磁超声在钢中的声速通常是 3240m/S，而常规压电超声的声速为 5920m/S，一个是横波，一个是纵波。



1.2.2 电磁超声导波检测技术

管道运输作为我国五大运输方式之一，不仅可以实现低损耗、高效率的运输，且不受天气等因素影响，在能源和化学等领域中应用广泛。至 2014 年，中国油气管道运输行业迅速发展，总里程已达 10.7 万千米。但是，由于恶劣的工作环境以及长期在线工作，管道容易出现裂纹、腐蚀等缺陷，造成安全隐患。通过检测缺陷采取相应措施，可以提高经济效益，避免事故发生。因此，对在线管道定期进行无损检测与长期在线监测具有重要意义。

超声检测技术是目前无损检测领域中使用频次最高、应用范围最广的检测技术。按照超声波的类型，超声检测分为体波检测和导波检测。与其他超声检测技术相比，导波检测方法具有以下优势：(1) 导波在传播过程中受介质边界的约束，能量沿传播路径衰减小，因此可以实现长距离检测；(2) 与传统超声逐点检测的方式相比，导波检测采用线扫描方式进行检测，检测效率高；(3) 导波的波结构较为复杂，通过模式控制能够选择相应波结构，对不同类型的缺陷进行识别。本课题所研究的波导是各向同性、具有自由边界条件的管状结构。根据质点的振动形式，管道中的导波可以分为纵向模态、扭转模态和弯曲模态。其中，扭转导波在传播过程中，质点沿管道周向振动，对纵向缺陷敏感，且低模数的扭转导波具有非频散特性，因此被广泛应用于导波管道缺陷检测。

压电超声技术、磁致伸缩技术、电磁超声技术等均能够激励管道中的扭转导波。现阶段，压电导波传感器和磁致伸缩扭转导波传感器是激励和接收扭转导波的典型传感器。这两种传感器与电磁超声传感器相比，换能效率较高，均适用于长距离管道缺陷检测。在检测灵敏度上，磁致伸缩导波检测方式的灵敏度较高。在结构上，压电导波传感器需要卡具，结构复杂、体积大、成本高；磁致伸缩导波传感器由线圈、磁致伸缩带和被测构件构成，结构简单、体积

小、成本低。在耦合方式上，压电导波传感器通过施加外力使传感器与构件紧密贴合，耦合效率较低；磁致伸缩导波传感器通过粘结式耦合使磁致伸缩带与被测构件紧密贴合，耦合效率高。因此，磁致伸缩导波检测技术具有高效率、低成本的特点。

根据《GB/T28704-2012 无损检测磁致伸缩超声导波检测方法》，磁致伸缩效应包括正磁致伸缩效应和逆磁致伸缩效应。其中，正磁致伸缩是指铁磁性材料受外磁场作用时，其尺寸、形状发生变化；逆磁致伸缩效应是指铁磁性材料受到（长度方向）轴向外力时，其内部磁场发生变化。

管道中磁致伸缩导波的激发基于正磁致伸缩效应，即铁磁性材料在外加磁场的作用下，材料表面产生弹性形变，在介质中以导波的形式传播。相应的，磁致伸缩导波的接收基于逆磁致伸缩效应，质点的振动导致铁磁性材料产生弹性形变，进而导致其内部磁场发生变化。

根据材料的形变方式，管道中的导波分为弯曲模态、扭转模态和纵向模态。由于弯曲模态导波的波结构复杂，一般不应用于管道缺陷检测。如图 2-1 所示，线圈在大功率交变脉冲的激励下产生沿管道轴向方向分布的交变磁场。若沿磁致伸缩带长度方向进行磁化，将获得沿管周向方向分布的直流偏置磁场，即交变磁场垂直于直流偏置磁场。在两个磁场的共同作用下，磁致伸缩材料表面产生扭转变形，激发扭转导波。相应的，若沿磁致伸缩带宽度方向进行磁化，将获得沿管轴向方向分布的直流偏置磁场，即交变磁场平行于直流偏置磁场。在两个磁场的共同作用下，磁致伸缩材料表面发生轴向方向的形变，产生纵向导波。导波在传播过程中，会在介质边界间多次反射，由于受到介质界面的引导，能量集中，传播距离较远。因此，与其他超声技术相比，导波检测技术单点激励即可对试件截面进行长距离检测，检测效率较高。磁致伸缩导波管道缺陷检测系统是一种基于磁致伸缩效应的超声导波检测系统，其传感器结构简单、易于安装，有效地降低了检测成本。其基本原理如图 2 所示，通过配置专用的管道探头，实现管道缺陷快速扫查定位。可以用于桥梁缆索、热交换器、结构健康在线监测、长输油气管道网络、铁路轨道在线监测、高温管线及伴热管线、炼化工艺管网在线检测、海洋钻井平台立管、工艺管道、供暖、锅炉管、供气管道系统等的安全检测。

图 2 电磁超声导波检测埋地管道的原理示意图

电磁超声（磁致伸缩）导波是检测技术特别合理埋地管道的缺陷检测，在没有法兰的管线段，传播距离可以达到上百米，对于管廊管线检测效率的提升具有很强的现实意义。

我们的电磁超声分为以下几个系列：



（1）EMUT10 系列，以笔式、便携为主要特色，采用的探伤架构，具有高速采样、穿透力强（因为用的是宽度可调谐的双极性方波激励），可现场显示波形的特点，部分型号支持快拆结构，野外更换极为方便。高温探头、小管径探头、B 扫描小车配备齐全。

(2) EMUT20 系列，以分体、高精度为特色，其中 EMUT20+，将厚度分辨率提高到 $0.1\ \mu\text{m}$ ，常规超声 100M 采样率只能分辨到 0.03mm，我们把精细度提高了 300 倍，如果排除噪声影响，这个精度用于做螺栓应力检测，是完全够的，汽车行业的螺栓应力都能测

(3) EMUT30 系列，以小型化、超低功耗为主要特色，主要用于广泛地管道腐蚀监测。

(4) EMUT40 系列，采用脉冲电磁式代替永磁，具有通电有磁，断电退磁的特点，这在自动化应用中非常关键，可以防止探头撞击

测薄件的电磁超声测厚仪来喽

- 1、测量精度 $\pm 0.001\text{mm}$
- 2、测值范围：0.25---30mm
- 3、不需要耦合剂、无需打磨直接测量；可非接触测量
- 4、适用各类金属材质的薄件测量

铜管测厚专家

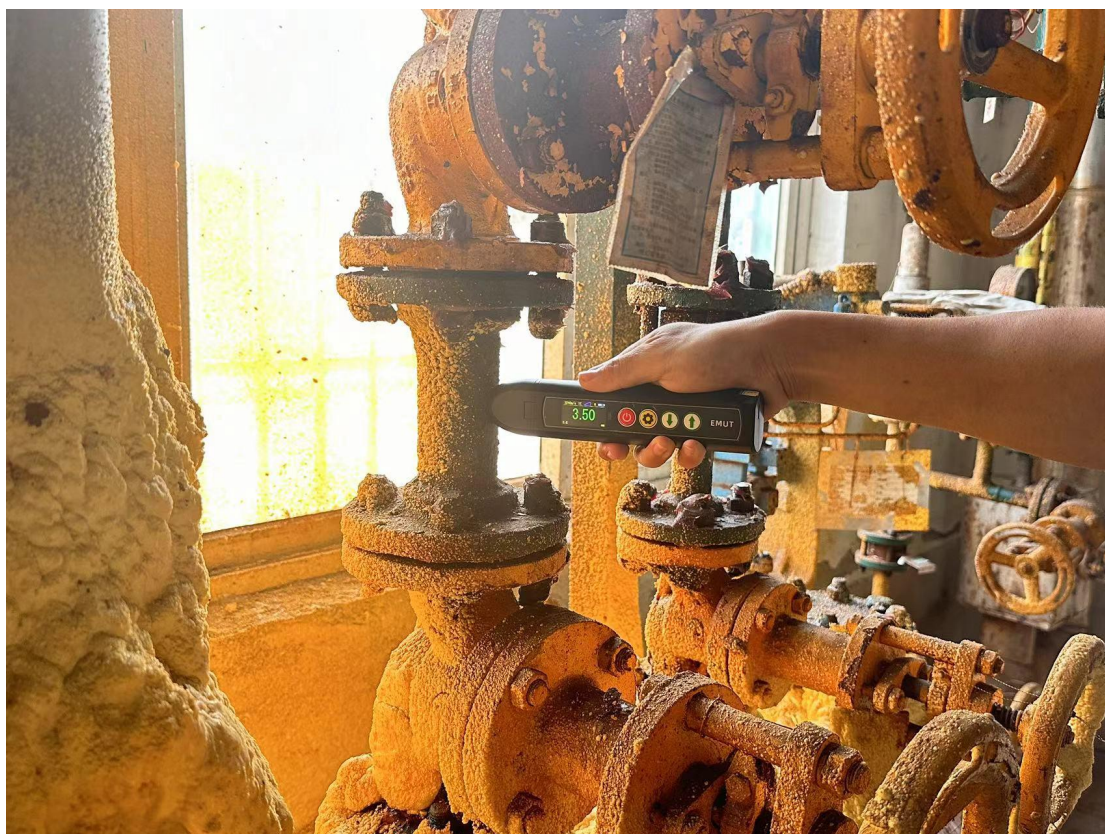
EMUT15电磁超声测厚仪

操作演示

A handheld electronic device with a black body and a silver probe. It has a small LCD screen showing '10.00' and several buttons (power, settings, up/down arrows) below the screen. The brand name 'EMUT' is visible at the top.

我们自主研发的电磁超声测厚仪：无需耦合剂、不需打磨、各种复杂的管道都能测。企业点检、巡检的利器，供您参考🤝

A close-up of the EMUT15 device being used on a rusty, curved metal pipe. A hand is holding the device, and the probe is in contact with the pipe's surface. The LCD screen displays the number '2.88'. The device has the same button layout as shown in the previous image.



超声波测厚仪原理介绍

超声波测厚的本质是测量超声波在工件中的传播时间，电磁超声螺栓应力检测的本质也是

测这个飞越时间 (Time of Flight)。说到这里，大家应该能联想到 TOFD (Time of Flight Diffraction)，没错，用衍射声时法可以进行垂直焊缝探伤，通过对直通波、上端波，下端波的飞越时间测量就能把焊缝的大概形状测出来。那么怎么能把这个时间测准就是一门很大的学问。

一般精密计时有这样几种原理

1、利用门电路进行计时，比如在用发射波启动门计数，用回波关闭门计数，时间 t = 方波脉冲的周期 T * 个数 N ，如果方波频率为 25MHz，则 $T=0.04\mu\text{s}$ ，也就是这个计时电路的精度，为 $0.04\mu\text{s}$ 。(TT100 300 系列都是这个原理，MT150 也是这个原理，MT200 用了 40MHz 的时钟，所以精度会略高一点)，测厚精度 TT100 系列为 0.1mm，而 MT200 可以宣称 0.05mm 就是这个道理。

2、采用高速 ADC 进行采样，其精度就是采样率的倒数，比如 100MHz 采样，其计时精度就是 $0.01\mu\text{s}$ ，原则上可以达到 0.03mm 以内，做个平均可以提高到 0.015mm 或者再低一点，但不能无限提高。带 A 扫描的测厚仪大概就是这个精度。

3、采用计时芯片 (TDC 芯片)，最高精度可以达到 ps (10 的负 12 次方) 级别，因此这种计时精度最高。(TT700, UT700, UT200 都是这个原理)，精度可以做到很高，但是由于前面所说的前沿检测造成的误差，所以 0.001mm 已经是瓶颈。

4、Dakota 和 Metrelink 采用的时空互补精密计时技术就是 2 的基础上，把这个精度在细分 100-1000 份。所以能达到 $0.1\mu\text{m}$ 的分辨率。(EMUT20+)

UT200 应该是这个星球上性价比最高的穿越涂层超声波测厚仪。



mUT200
Ultrasonic Thickness Gauge

