

第一章 超声检测

1. 试述超声波的特点和适用范围。

超声波特点：

(1) 超声波的方向性好。超声波具有像光波一样良好的方向性，经过专门的设计可以定向发射，犹如手电筒的灯光可以在黑暗中帮助人的眼睛探寻物体一样，利用超声波可在被检对象中进行有效的探测。

(2) 超声波的穿透能力强。对于大多数介质而言，它具有较强的穿透能力。例如在一些金属材料中，其穿透能力可达数米。

(3) 超声波的能量高。超声检测的工作频率远高于声波的频率，超声波的能量远大于声波的能量。研究表明，材料的声速、声衰减、声阻抗等特性携带有丰富的信息，并且成为广泛应用超声波的基础。

(4) 遇有界面时，超声波将产生反射、折射和波型转换。人们利用超声波在介质中传播时的这些物理现象，经过巧妙的设计，使超声检测工作的灵活性、精确度得以大幅度提高，这也是超声检测得以迅速发展的原因。

(5) 对人体无害。

适用范围：工业超声检测常用的工作频率为 0.5~10MHz。较高的频率主要用于细晶材料和高灵敏度检测，而较低的频率则常用于衰减较大和粗晶材料的检测。有些特殊要求的检测工作，往往首先对超声波的频率作出选择，如粗晶材料的超声检测常选用 1MHz 以下的工作频率，金属陶瓷等超细晶材料的检测，其频率选择可达 10~200MHz，甚至更高。

2. 简述超声波有哪些基本波型和分类方法？

以介质质点的振动方向与波的传播方向之间的关系分类可分为以下四种：

(1) 纵波 L：介质中质点的振动方向与波的传播方向相同的波叫纵波。

(2) 横波 S (T)：介质中质点的振动方向与波的传播方向垂直的波叫横波。

(3) 表面波 R：当超声波在固体介质中传播时，对于有限介质而言，有一种沿介质表面传播的波叫表面波。介质表面的质点作椭圆运动，椭圆的长轴垂直于波的传播方向，短轴平行于波的传播方向，介质质点的椭圆振动可视为纵波与横波的合成。

(4) 板波：在板厚和波长相当的弹性薄板中传播的超声波叫板波（或兰姆波）。板波传

播时薄板的两表面和板中间的质点都在振动，声场遍及整个板的厚度。薄板两表面质点的振动为纵波和横波的组合。

除此之外，超声波还可根据频率范围分为：低频超声波（20kHz 至 100kHz）、中频超声波（100kHz 至 1MHz）、高频超声波（1MHz 以上）。按产生方式分为：连续型超声波和脉冲型超声波。

3. 何谓超声场，它有哪些基本参量？

充满超声波的空间，或在介质中超声振动所波及的质点占据的范围叫超声场。描述超声波声场常用的物理量包括声压、声强、声阻抗、质点振动位移和质点振动速度等。

4. 试分述介质声参量的物理意义和数学表达式。

(1) 声阻抗：超声波在介质中传播时，任一点的声压 p 与该点速度振幅 V 之比叫声阻抗，常用 Z 表示。单位： $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ； $\text{kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。 $Z = \frac{p}{V}$ ，声阻抗表示声场中介质对质点振动的阻碍作用。在同一声压下，介质的声阻抗愈大，质点的振动速度就愈小。

(2) 声速：声波在介质中传播的速度称为声速，常用 c 表示。在同一种介质中，超声波的波型不同，其传播速度亦各不相同，超声波的声速还取决于介质的密度、弹性模量等。例如无限固体介质中的纵波声速： $c_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}$ 。

(3) 声衰减系数：超声波在介质中传播时，随传播距离的增加能量逐渐减弱的现象叫做超声波的衰减。在传声介质中，单位距离内某一频率下声波能量的衰减值叫做该频率下介质的衰减系数，常用 α 表示。单位为 dB/m 或 dB/cm 。

5. 简述超声波垂直入射时的 r 、 t 、 R 、 T 及界面两侧必须满足的边界条件。

r 、 t 、 R 、 T 分别满足如下边界条件：

$$r = \frac{p_r}{p_o} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

$$t = \frac{p_t}{p_o} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$$

$$R = \frac{I_r}{I_o} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

$$T = \frac{I_t}{I_o} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

在垂直入射时，介面两侧的声波必须满足以下两个边界条件：

- (1) 一侧总声压等于另一侧总声压。否则介面两侧受力不等，将会发生介面运动。
- (2) 两侧质点速度振幅相等，以保持波的连续性。

6. 默写斯涅尔定律，第一、第二临界角的数学表达式。

$$\text{斯涅尔定律: } \frac{\sin\alpha_L}{c_{L_1}} = \frac{\sin\gamma_L}{c_{L_1}} = \frac{\sin\gamma_S}{c_{S_1}} = \frac{\sin\beta_L}{c_{L_2}} = \frac{\sin\beta_S}{c_{L_2}}$$

式中, α 是入射角, β 是折射角, γ 是反射角, L 代表纵波, S 代表横波。

$$\text{第一临界角: } \alpha_{I} = \arcsin \frac{c_{L_1}}{c_{L_2}}$$

$$\text{第二临界角: } \alpha_{II} = \arcsin \frac{c_{L_1}}{c_{S_2}}$$

7. 何谓超声波的聚焦? 简述水浸聚焦探头的设计思路。

超声波的聚焦是指将超声波能量集中到一个特定的区域或点上, 以增强其在该区域的作用。

水浸聚焦探头是根据平面波入射到 $c_1 > c_2$ 的凸曲面上时, 透射波将产生聚焦的原理设计的, 水浸聚焦探头由压电晶片和具有一定曲率半径的凹面声透镜两部分组成, 声束在水中焦距为声透镜曲率半径, 在介质中焦距为 $f = \frac{c_1}{c_1 - c_2} r$, c_1 是声透镜 (第一介质) 中的声速, c_2 是水 (第二介质) 中的声速。

8. 何谓超声场的近场区、远场区和指向性?

(1) 超声场的近场区: 超声波从发射源传播出后, 距离发射源较近的区域, 声场的性质受到发射源的影响, 波束未完全展开, 能量密度不均匀。在声场中, 称 $x < N$ 的区域为声源的近场区, 最后一个声压最大值至声源的距离 N 称为近场长度。

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} - \frac{\lambda}{4}$$

(2) 超声场的远场区: 超声波从发射源传播出后, 距离发射源较远的区域, 声场的性质受波束的影响较小, 波束已展开为较为均匀的平面波, 能量密度分布均匀。

(3) 指向性: 声场的指向性是指声场中 θ 方向的声压振幅 $p_{\max}(\theta)$ 与 θ 为 0° 时的声压振幅 $p_{\max}(0)$ 之比, 它表达了声场中声压 p 的振幅与方向角 θ 之间的变化关系, 以 D_c 来表示。

$$D_c = \left[\frac{2J_1(Ka \sin\theta)}{Ka \sin\theta} \right]$$

当声源为圆形活塞声源且直径为 D 、半径为 r 时, 用指向角 (单位: 度) 来描述主声束宽度, 或称半扩散角:

$$\theta = \arcsin(1.22 \frac{\lambda}{D})$$

9. 同一个探头发射超声波, 传播介质分别为水、铝、钢和有机玻璃, 试问, 在何种材料中超声波的扩散角最大?

使用半扩散角公式, 易得出超声波在铝中扩散角最大。

$$\theta = \arcsin(1.22 \frac{\lambda}{D})$$

10. 简述标准试块的作用和分类。

标准试块可用于测试探伤仪的性能、调整检测灵敏度和声时的测定范围。例如我国的标准试块 CSK-I、国际标准试块 IIW、IIW₂ 等。（IIW 试块是国际焊接协会在 1958 年确定为用于焊缝超声检测用的试块，IIW₂ 试块是国际焊接学会于 1974 年通过的标准试块。）

11. 一定频率的超声波通过声速低材料时，其波长将比通过声速高材料时：减少

12. 材料中的声速取决于：频率、波长

13. 在给定距离上，下列对超声波衰减最大的材料是：铸铁

14. 以相同的检测灵敏度分别探测粗晶铸钢和调质锻件中的缺陷，如两者探测面的条件相同，同样深度处（如 200mm）的缺陷回波高度也一样，则两者的缺陷：铸件中的大

15. 从检测原理分析相控阵超声检测的特点。

相控阵超声波探头基于惠更斯原理设计，由多个相互独立的压电晶片组成阵列。每个晶片称为一个阵元，按一定的规则和时序用计算机控制激发各个阵元，则各阵元的波阵面叠加形成一个新的波阵面，从而产生波束聚焦、偏转等相控效果；在反射波的接收过程中，采用同样的方法控制波束并进行信号合成，最后将合成结果以适当形式显示。

根据相控阵超声原理可以总结如下几点相控阵超声特点：

(1) 可以灵活、便捷而有效地控制声束指向、波前形状及声压分布；其焦柱长度、焦点位置和焦斑大小在一定范围内连续、动态可调。

(2) 通过相位控制可以快速偏转或者移动声束实现扫查。由于各声束在焦点处的相干叠加，缺陷检测信号的信噪比有显著提高。

(3) 相控阵超声技术的应用有助于改善检测的可达性和适用性，提高检测的精确性、重现性及检测结果的可靠性，增强检测的实时性和直观性。

(4) 相控阵超声技术也存在一些局限性，比如：检测参数多，对操作人员要求高，数据分析和缺陷评定要求高等。

16. 试分析传统超声检测与 TOFD 检测在缺陷定量方面的差异。

传统超声检测利用缺陷回波声压对缺陷进行定量，这受限于很多影响因素，例如材料声速、衰减等，通常使用当量法、6 分贝法和 20 分贝法对缺陷定量，对小体积缺陷定量不准。TOFD 检测利用缺陷端部的衍射波来检出缺陷并对其进行定量，通过接收缺陷上下端衍射信号的声时差，实现对缺陷的检测及精准定量，较传统超声检测方法定量精度高。

第二章 射线检测

1. 对比射线检测和超声检测的优缺点和适用范围。

射线检测优点：

- (1) 适用于检测体积型缺陷：能够检测到被测物内部的缺陷，如裂纹、气孔、夹杂物等。
- (2) 适用性广：可用于多种材料，包括金属、塑料、陶瓷等。
- (3) 不受表面条件限制：表面粗糙或涂层不会显著影响检测结果。
- (4) 射线检测能直观地显示缺陷影像，便于对缺陷进行定性、定量和定位。

缺点：

- (1) 健康风险：射线辐射对操作人员和周围人员有潜在健康风险，需采取严格的安全措施。
- (2) 设备成本高：射线检测设备和安全设施成本较高。
- (3) 操作要求严格：需要经过专门培训的操作人员，且检测过程较为繁琐。
- (4) 单一方向检测：通常只能提供从一个方向的视图，对某些类型的缺陷可能检测不到。

超声检测优点：

- (1) 深度穿透能力：可以检测厚材料的内部缺陷，相比于射线检测穿透能力更强。
- (2) 适用于检测面积型缺陷：对射线检测不出的面积型缺陷具有较高的检测灵敏度。
- (3) 即时反馈：提供即时检测结果，方便快捷。
- (4) 安全性高：不存在辐射危险，对操作人员和环境友好。
- (5) 设备相对便宜：与射线检测相比，超声检测设备成本较低，便于携带。

缺点：

- (1) 对于小体积缺陷检测的灵敏度较低。
- (2) 缺陷的取向对超声检测灵敏度影响很大。
- (3) 存在盲区：超声检测可能存在“盲区”，即声波束宽和死区的存在可能使得某些区域的缺陷被漏检。

适用范围：

超声检测特别适用于金属和其他密度高、均匀性好的材料。由于其高穿透能力和良好的定位精度，适合于检测厚壁组件中的内部缺陷，如裂纹、夹杂、孔洞等。超声检测在测量材料厚度方面也非常有效，其优势在于它不仅能提供缺陷的存在与否，还能给出缺陷的具体位

置、大小和可能的性质，但其对于非均质或多孔材料（如某些复合材料）的检测效果较差。

射线检测适用于发现和评估材料内部的缺陷和结构问题。RT 可以应用于多种材料，包括金属、塑料和陶瓷等，特别是对于复杂形状或异种材料组合的检测。它在铸件、焊接件和锻件的质量评估中尤为常见，能有效检测气孔、裂纹和夹杂等缺陷。射线检测的一个重要优势是能提供直观的图像记录，便于分析和存档。RT 的使用受限于其潜在的健康风险，操作时需要严格的安全措施来保护工作人员和环境。

2. X 射线、 γ 射线和中子射线是如何产生的？

X 射线管是一种两极电子管，将阴极灯丝通电加热，使之白炽而放出电子。在管的两板（灯丝与靶）间加上几十至几百千伏电压后，由灯丝发出的电子即以很高的速度撞击靶面，此时电子能量的绝大部分将转化为热能形式散发掉，而极少一部分以 X 射线能量形式辐射出来，即为 X 射线。

γ 射线是一种电磁波，可以从天然放射性原子核镭-226、铀-235 等中产生，也可以从人工放射性原子核钴-60、铯-137、铊-208 等中产生。

用质子、氦核、 α 粒子和其它带电粒子以及 γ 射线来轰击原子核，可以激发中子射线。

3. X 射线检测的原理是什么？如何实现三维重构？

当管电压超过某一临界值时，电子能量增高到足以使原子中的核外电子激发或脱离原子时，此时原子在低能级处于稳定态的核外电子向高能级升迁或被击出，从而在低能级处形成一个空穴，使原子处于不稳定。邻近高能级层中的核外电子就会跃至低能级，更远的高能级层中的核外电子也可能跃至较低能级空穴。这样，当一个内层电子被激发，就可能引起一系列外层电子的跃迁。外层高能级上的电子向内层低能级跃迁将释放出多余能量，而以 X 射线形式呈现。

4. 透度计的使用原则是什么？

透度计通常用与被检工件材质相同或射线吸收性能相似的材料制作，透度计中设有一些人为的有厚度差的结构（孔、槽、金属丝等），其尺寸与被检工件的厚度有一定的数值关系。但透度计的指示数值（孔径、槽深或线径等）并不等于被检工件中可以发现的自然缺陷的实际尺寸，因为自然缺陷的实际尺寸是缺陷的几何形状、方位和吸收系数的综合函数。

5. 不同形状的工件如何确定合适的透射方向？

(1) 平板形工件：对平板形工件的透照方法是让 X 射线从前方照射，将胶片放在被检查部位的后面。

(2) 圆管工件：使胶片与被检部位的贴合要紧密，并使锥形中心辐射线与被检区域中心的切

面相互垂直。

(3) 角形件：在检验这一类工件时，X 射线照射的方向多为其角的二等分线的方向。对于内焊的角形焊、迭焊以及丁字焊的焊缝等，除上述透照法外，尚须沿坡口方向透照。

(4) 管接头焊缝：X 射线照射的方向 45° 斜入射焊缝，并沿管旋转焊缝。

(5) 圆柱体：对于批量大的相同部件进行射线检测时，可以考虑制作专用的托座或夹具。但在一般情况下，是不具备这种条件的，简单而有效的办法就是使用滤波板。滤波板一般安装在 X 射线管保护罩的窗口上。

(6) 厚度变化剧烈的物体的透照：

(1) 将感光度不同的两种或两种以上型号各异的胶片同时放在试件下进行曝光透照。在感光快的底片上观察厚处，而在感光慢的底片上观察薄处。

(2) 如果只有一种型号的胶片，则只有按材料厚薄分别单独曝光。

(3) 对于物体的薄处可用与其密度相近的材料作补偿块(图 2-15a)。亦可将物体埋在其密度相近材料的介质(液体、骨状物和金属微粒)中(图 2-15b)。经上述处理后，均可一次透照成功。不过要注意，当使用液体或膏状物介质作相近材料时，要防止它们在被检物体表面形成气泡，因为这些气泡可在底片上造成假缺陷的影像。

(4) 利用铜、铅或锡等重金属做成金属增感屏。

(5) 将考虑采用荧光增感屏的胶片直接进行不增感曝光。

6. 铸件和焊件中常见缺陷在底片上的特征是什么？

(1) 气孔在底片上呈圆形、椭圆形、长形或梨形的黑斑，边界清晰，中间较边缘黑些，分布有单个的，有密集的或呈链状分布。

(2) 疏松形貌一般分为羽毛状和海绵状两种。前者的图像呈类羽毛或层条状的暗色影像，而后者则呈现为海绵状或云状的暗色团块。

(3) 铸件的缩孔在底片上呈树枝状、细丝或锯齿状的黑色影像。

(4) 铸件中的针孔一般分为圆形和长形针孔两种。前者在底片上呈近似圆形的暗点，而后者则呈现为长形暗色影像，它们属于铸件内部的细小孔洞，呈局部或大面积分布。

(5) 熔剂夹渣在底片上呈白色斑点或雪花状，有的还呈蘑菇云状。

(6) 氧化夹渣在底片上呈形状不定而轮廓清晰的黑斑，有单个的，有密集的。

(7) 夹砂对于镁、铝等轻金属合金铸件，在底片上呈近白色的斑点；对于黑色金属，呈黑色斑点，边界比较清晰，形状不规则，影像密度不均匀。

(8) 比铸件金属密度大的夹杂物呈明亮影像，反之呈黑色影像，轮廓一般较明晰，形状

不一。

(9) 铸件中的冷隔在图像上显示为很明显的似断似续的黑色条纹，形状不规则，边缘模糊不清。这种缺陷多半在铸件表面上有时也有痕迹，显示为未熔合的带有圆角或卷边的缝隙或凹痕。

(10) 铸件中的偏析在底片上呈现为摄影密度变化的区域。按生成的原因可分为比重^o偏析和共晶偏析两大类：比重偏析在底片上呈现为亮的斑点或云状；共晶偏析在底片上多呈亮的影像，其形状可因被填充的缺陷形状而变化。

(11) 裂纹在底片上呈黑色的曲线或直线，两端尖细而密度渐小，有时带有分叉。如果裂纹是发生在工件边缘，且方向垂直于工件的端面，则裂纹在工件端面处较宽，向另一端变细。至于裂纹的清晰度随裂纹的宽度、深度和破裂面同射线的夹角的大小而不同，有的清晰，有的极难辨认。破裂面若同射线垂直，则一般的裂纹是不会在底片上留下影像的。

7. γ 射线和中子射线检测的特点是什么？

γ 射线检测特点：

(1) γ 射线源不像 X 射线那样，可以根据不同检测厚度来调节能量(如管电压)，它有自己固定的能量，所以要根据材料厚度、精度要求合理选取 γ 射线源。

(2) γ 射线比 X 射线辐射剂量(辐射率)低，所以曝光时间比较长，曝光条件同样是在曝光曲线上选择，并且一般都要使用增感屏。

(3) γ 射线源随时都在放射，不像 X 射线机那样不工作就没有射线产生，所以应特别注意射线的防护工作。

(4) γ 射线比普通 X 射线穿透力强，但灵敏度较 X 射线低，它可以用于高空、水下、野外作业。在那些无水无电及其它设备不能接近的部位(如狭小的孔洞或是高压线的接头等)，均可使用 γ 射线对其进行有效的检测。

中子射线检测特点：

中子射线照相检测与 X 射线照相检测和 γ 射线照相检测相类似，都是利用射线对物体有很强的穿透能力，来实现对物体的无损检测。对大多数金属材料来说，由于中子射线比 X 射线和 γ 射线具有更强的穿透力，对含氢材料表现为很强的散射性能等特点，从而成为射线照相检测技术中又一个新的组成部分。

中子通过物质时与原子核相互作用而衰减，且不同的元素有不同的吸收系数，这和 X 射线， γ 射线是不同的。中子不能直接使 X 射线胶片感光成像，而是通过一种特殊的转换屏与 X 射线底片组合使用，中子与转换屏相互作用时能产生 α 、 β 或 γ 射线使 X 射线胶片曝光。

由于转换屏发出的射线辐射强度与照射的中子射线强度成正比例,所以可以真实地转换中子射线图像。常用的转换屏有镝(Dy)、钷(Pd)、铑(Rh)、银(Ag)等。

8. 如何进行 X 射线、 γ 射线和中子射线的防护?

射线防护主要有屏蔽防护、距离防护和时间防护三种防护方法:

(1) 屏蔽防护法:屏蔽防护法是利用各种屏蔽物体吸收射线,以减少射线对人体的伤害,这是外照射防护的主要方法。一般根据X射线、 γ 射线与屏蔽物的相互作用来选择防护材料,屏蔽X射线和 γ 射线以密度大的物质为好,如贫化铀、铅、铁、重混凝土,铅玻璃等。但从经济、方便出发,也可采用普通材料如混凝土、岩石、砖、土、水等。对于中子的屏蔽除防护 γ 射线之外,还以特别选取含氢元素多的物质为宜。

(2) 距离防护法:距离防护在进行野外或流动性射线检测时是非常经济有效的方法。这是因为射线的剂量率与距离的平方成反比,增加距离可显著的降低射线的剂量率。

(3) 时间防护法:时间防护是指让工作人员尽可能地减少接触射线的时间,以保证检测人员在任一天都不超过国家规定的最大允许剂量当量(17 mrem)。

第三章 涡流检测

1. 什么是趋肤效应? 分析趋肤效应对涡流检测的利与弊。

当导体中通以交变电流时,会在导体周围产生交变磁场,该磁场也会在导体中产生感应电流,从而使得沿导体截面的电流分布不均匀,表面电流密度最大,越往中心越小,特别是频率高时,电流几乎全部集中在导体表面附近的薄层流动,这种电流集中于导体表面的现象称之为趋肤效应。

一般来说,激励频率越高、电导率和磁导率越大,涡流越趋近于表面,涡流趋肤效应越明显;反之,则趋肤效应变弱,涡流易于渗透到试件内部。则其利弊如下所示。

优势:

(1) 由于趋肤效应导致电流主要集中在材料表层,涡流检测对表面及近表面缺陷具有较高的灵敏度,使得检测这类缺陷更为有效。

(2) 通过改变交变电磁场的频率,可以调整涡流的分布深度,实现对不同深度的缺陷进行定向检测,这使得涡流检测具有较好的适应性和灵活性。

(3) 趋肤效应限制了涡流在材料深层的分布,这意味着来自材料深处的非缺陷性质的信号干扰会减少,有利于提高检测的准确性。

弊端:

(1) 趋肤效应虽然提高了表面缺陷的检测灵敏度,但同时也限制了涡流检测深层缺陷的能力。对于深层缺陷,需要使用较低的频率,这又会降低系统的灵敏度和分辨率。

(2) 增加了对设备参数调整的要求。

(3) 为了检测到深层缺陷而使用的低频率可能会导致检测过程变慢，从而降低了检测效率。

2. 影响涡流检测灵敏度的因素有哪些？如何提高涡流检测灵敏度？

影响涡流检测灵敏度的因素主要有线圈大小、缺陷位置（表面或近表面等）、激励频率、电导率和磁导率等。

随着频率增加，电导率和磁导率增加，趋肤深度不断减小，反之则趋肤深度变大。由此可知，对于深埋缺陷，需要较低的频率，或者采用适当的方法改变材料的特性参数。如对于铁磁性材料，可采用磁饱和技术将材料磁化到饱和，降低材料的磁导率，提高涡流渗透深度；而对于表面裂纹缺陷，采用较高的工作频率，使感应涡流集中在试件表面附近，提高对表面缺陷的检测灵敏度。

3. 什么是归一化阻抗，为什么要对检测线圈阻抗做归一化处理？

对于涡流检测，可以将空线圈阻抗 $Z_0 \approx R_1 + j\omega L_1$ 作为一个归一化参数，该值可以用阻抗桥或空线圈的电压与电流之比测量。为了只研究涡流作用引起的电阻变化，将空气中的电阻 R_1 从检测信号中消去，表现在阻抗图上的变化，就是将横坐标向左平移 R_1 。同时电抗对空线圈电抗 ωL_1 作归一化，得到归一化阻抗平面图，表征了由被测试件特性变化引起的阻抗变化。

由于消去了初级线圈的电阻和电感，使得归一化阻抗平面图具有通用性，是关于影响阻抗变化的电导率、磁导率、提离、频率等变化的定量表征，根据归一化阻抗平面图，可分析各影响因素表现出的方向和大小，为根据不同的检测要求选择涡流检测方法减少干扰因素提供了依据。

4. 分析磁性材料与非磁性材料阻抗平面图异同，为什么？

磁性材料的磁导率高，导致涡流探头在其上工作时，相比非磁性材料具有更高的初始电感值。这导致阻抗平面图的起点在电抗轴（纵轴）上更高。非磁性材料（如铝、铜等）的磁导率接近空气的磁导率，相对较低，导致探头的初始电感较小。因此，阻抗平面图的起点在电抗轴上较低。磁性材料的磁导率与磁场强度有非线性关系，特别是在低磁场下最明显。这种非线性导致阻抗变化轨迹在阻抗图上可能出现更为复杂的曲线形状。非磁性材料的磁性能相对线性，这使得阻抗变化在阻抗平面图上表现为较简单的直线或平滑曲线。磁性材料存在磁滞现象，这意味着材料的磁化状态不仅取决于当前的磁场强度，还取决于先前的磁化历史。这可能导致阻抗平面图上出现回环或更宽的轨迹。由于缺乏磁性，非磁性材料不显示磁滞效应，因此其阻抗图轨迹更为简洁，没有回环或宽阔的现象。

5. 涡流相似性定律是什么，在涡流检测中有什么作用？

由有效磁导率的定义可知，只要有效磁导率相同，则试件内的涡流和磁场强度分布相同。进一步地，由于有效磁导率是一个完全取决于频率比 f/f_g 的参数，因此只要频率比 f/f_g 相同，

两个不同试件中的涡流密度和磁场分布就相同，此即涡流相似定律。

利用该定律，可根据实际需要，对待检测的问题进行简化设计，得到可应用于实际检测的标准试件，进而制作出相应的涡流检测传感器。

6. 如何计算涡流检测中的特征频率，在涡流检测中有什么作用？

圆管壁厚	线圈形式	特征频率计算公式	各参数的含义
厚壁	外穿式	$f_g = \frac{506606}{\mu_r \sigma d^2}$	d —厚壁管外径，m
厚壁	内通式	$f_g = \frac{506606}{\mu_r \sigma d_i^2}$	d_i —薄壁管内径，m
薄壁	内通或外穿式	$f_g = \frac{506606}{\mu_r \sigma d_i W}$	d_i —薄壁管内径，m W —薄壁管壁厚，m

将有效磁导率 μ_{eff} 表达式中贝塞尔函数的虚宗量模为1时对应的频率定义为特征频率，特征频率不一定是检测的最佳频率，它只是一个用来识别检测试件特征的参考值，并用来确定合适的检测条件。

7. 什么是提离效应？其在涡流检测中有何利与弊？

当线圈与试件之间距离发生变化时，线圈阻抗发生变化，这种线圈阻抗受线圈和试件间距离影响的效应称为提离效应。

优势在于，小提离就会产生很大的变化，间距越小，提离效应越明显，故而利用提离效应，可以测量非导电涂层（如油漆、塑料等）在金属基体上的厚度。涂层越厚，提离效应越明显，通过测量涡流检测信号的变化可以准确地确定涂层的厚度。随着线圈直径增加，试件中磁通密度增大，从而涡流增大，相当于电导率增大，阻抗值沿着曲线向下移动，与频率增加效应相同。基于这一关系，利用阻抗曲线选择最佳检测工作点时，对于材料一定的情况，既可以通过改变频率使工作点移动，也可以借助改变线圈直接实现。与检测试件相比，检测线圈通常是很小的，能检测出小面积缺陷，采用逐点扫描方式可获得整个检测试件信息。

劣势在于，提离效应会减少涡流在被测物体中的分布，导致检测灵敏度下降。这对于检测小缺陷或深层缺陷尤为不利。在检测过程中，如果探头与被测物体表面之间的距离不是非常稳定，提离效应会引入额外的变量，使得缺陷信号与提离信号混合，难以区分，从而影响检测结果的准确性和重复性。检测线圈过小导致在大规模检测任务时，效率变慢。

8. 什么是填充系数？在涡流检测中有什么作用？

在实际检测中，为保证检测线圈能够通过检测试件，不可能密绕在检测试件上，检测试件外表面与线圈内表面之间必然存在间隙，此时可以引入填充系数 η 来描述这一现象。

$$\eta = \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

d 为圆柱导体外直径， D 为线圈内直径。填充系数对涡流检测起到补偿线圈与试件之间空气间隙的作用， $1 - \eta$ 这一项对应于由环形空气间隙磁场提供的信号分量，与检测试件无

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/948106135015006103>