

# 无损检测超声波检测探头选择分析

郑荣 刘爽 马世伟

天津市达安特工程检测有限公司 天津 300350

**摘要:** 本文详细探讨了超声波检测探头的基本分类、特点以及在无损检测中的选择关键因素,包括探头型式、频率、晶片尺寸和角度等,并介绍了双晶探头、聚焦探头等特殊探头在无损检测中的应用,为实际检测工作提供了理论指导和实践参考。

**关键词:** 无损检测; 超声波检测; 探头选择

引言: 随着现代工业的发展,对产品质量和安全性的要求日益提高。无损检测技术作为保证产品质量的重要手段,在工业生产中发挥着越来越重要的作用。超声波检测作为无损检测的一种主要方法,具有检测范围广、灵敏度高、操作简便等优点。然而,超声波检测的效果很大程度上取决于探头的选择。因此,深入研究超声波检测探头的分类与选择,对于提高无损检测的准确性和可靠性具有重要意义。

## 1 超声波检测探头的基本分类与特点

### 1.1 按波型分类的探头及其适用场景

在超声波检测技术中,探头按波型被精细地划分为纵波探头、横波探头以及板波(兰姆波)探头,每一种都承载着特定的应用使命。纵波探头,也常被业界称为直探头,是超声波检测领域的基石。它发射的纵波沿着被测工件的传播方向一致前行,这种波型在工件内部衰减较小,因此成为了检测板材、铸件、锻件中气孔、砂眼、夹杂等平行于检测面缺陷的得力助手。纵波探头能够深入工件腹地,探寻那些隐藏较深的瑕疵。横波探头则以其独特的波型特性,在检测领域崭露头角。它产生的横波与被测工件的传播方向垂直,这使得它在检测与检测面垂直或成一定角度的缺陷时,如焊缝中的未熔合、未焊透等,显得尤为出色。横波探头以其高灵敏度和高分辨率,成为了焊缝检测中不可或缺的关键角色。板波(兰姆波)探头,则是薄板或薄壳结构缺陷检测的专家。板波作为薄板中特有的弹性波,其传播特性深受薄板厚度和材质的影响。板波探头能够精准地捕捉到薄板中的裂纹、腐蚀等缺陷,同时对薄板的结构和材质影响微乎其微,无疑是薄板结构无损检测的理想之选。

### 1.2 按耦合方式分类的探头及其适用条件

在超声波检测这一专业技术领域中,探头与被测工件表面的耦合方式对于超声波能量的有效传递具有至关重要的作用。依据耦合方式的差异,超声波检测探头被

明确划分为接触式探头和液浸式探头这两大类别。接触式探头,其结构设计巧妙,使得它能够借助一层薄薄的耦合剂,直接与工件表面实现紧密接触。这种耦合方式操作起来极为简便,而且灵敏度极高,无论面对何种形状或材质的工件,都能确保超声波能量得到高效传递,从而顺利完成检测任务。然而,值得注意的是,接触式探头对工件表面的光洁度有着较为严格的要求。一旦工件表面过于粗糙,就可能会影响到耦合效果,进而对检测结果的准确性造成不利影响。相较于接触式探头,液浸式探头则采用了一种全新的耦合策略。它利用水或其他液体作为耦合介质,确保探头与工件表面之间始终保持一层稳定且均匀的液层<sup>[1]</sup>。这种耦合方式的优势在于,完全不受工件表面粗糙度的影响,能够实现更为稳定、可靠的超声波能量传递效果。特别对于那些形状复杂或表面粗糙的工件而言,液浸式探头无疑是更为理想的选择。液浸式探头还能有效减少探头与工件表面的摩擦,从而大大延长其使用寿命。不过,这种探头需要额外的设备来维持液层的稳定,因此检测成本相对较高。

### 1.3 其他分类方式的探头类型简述

超声波检测探头的分类方式多种多样,除了波型和耦合方式之外,还可以依据晶片数目、聚焦性以及频谱特性等因素进行详细划分。在晶片数目这一维度上,探头被分为单晶、双晶和多晶三种类型。单晶探头结构简单,制造成本低,因此在实际应用中颇受欢迎,尽管其检测时存在一定的盲区。双晶探头则通过两个晶片的协同工作,一个负责发射超声波,另一个负责接收,这种设计有效减小了盲区,提高了检测的灵敏度。而多晶探头则具备更强的信号处理能力,能够应对更为复杂的超声波检测任务,实现全方位的检测功能。探头的聚焦性也是其分类的一个重要方面。聚焦探头利用声透镜或声反射结构,将超声波声束精确聚焦,从而显著提高了检测的灵敏度和分辨率,特别适用于微小缺陷的检测。相

对而言,非聚焦探头产生的声束较为发散,更适合对较大范围内的缺陷进行快速扫描。根据频谱特性,探头还可以分为宽频带和窄频带两种类型。宽频带探头能够产生覆盖广泛频率范围的超声波,适应不同材质和形状的工件检测需求。而窄频带探头则专注于产生特定频率的超声波,更适用于对特定类型缺陷进行精确、有针对性的检测。

## 2 无损检测中探头选择的关键因素

### 2.1 探头型式与无损检测需求的关系

探头的型式是无损检测中选择探头时首先要考虑的因素之一。探头的型式多种多样,包括直探头、斜探头、双晶探头等,每种型式都有其特定的应用场景和优势。在选择探头型式时,必须充分考虑工件的形状、材质、可能存在的缺陷类型以及缺陷的可能位置。例如,对于形状规则、材质均匀的工件,直探头可能是一个合适的选择,因为它能够产生直线传播的超声波,适用于检测与检测面平行的缺陷。然而,当工件中存在与检测面成一定角度的缺陷时,斜探头则显得更为合适。斜探头能够产生倾斜的超声波声束,使得声束能够与缺陷方向垂直,从而提高检测的灵敏度。对于一些特殊结构的工件,如薄板、管道等,可能需要选择特殊的探头型式。例如,对于薄板检测,双晶探头能够提供更好的近表面缺陷检测能力,因为它通过两个晶片的协同工作,减少了盲区,提高了检测的准确性。在选择探头型式时,还需要确保超声波声束能够有效覆盖检测区域。这意味着探头的声束方向、宽度和聚焦特性都必须与工件的形状和尺寸相匹配,以实现全面的无损检测。如果声束无法覆盖整个检测区域,那么可能会导致漏检或误检,从而影响检测的可靠性。

### 2.2 探头频率对无损检测效果的影响

探头频率是另一个影响无损检测效果的关键因素。探头频率的高低直接决定了超声波的波长和穿透能力,从而影响检测的灵敏度和分辨率。高频探头能够产生较短的波长,这使得超声波在传播过程中的衍射现象减弱,从而提高了检测的分辨率。高频探头特别适用于薄板或精细结构的检测,能够准确识别出微小的缺陷。然而,高频超声波的穿透能力相对较弱,对于厚板或粗晶材料的检测可能效果不佳。相反,低频探头产生的超声波波长较长,穿透能力强,能够深入工件内部进行检测<sup>[2]</sup>。这使得低频探头特别适用于厚板或粗晶材料的检测。低频超声波的分辨率相对较低,可能无法准确识别出微小的缺陷。在选择探头频率时,必须综合考虑工件材质、厚度及缺陷尺寸等多个因素。对于薄板或

精细结构,应选择高频探头以提高检测灵敏度和分辨率;对于厚板或粗晶材料,应选择低频探头以增强穿透能力。还需要注意避免频率过高或过低导致的检测问题,如频率过高可能引起的衰减过大,频率过低可能导致的分辨率不足等。

### 2.3 探头晶片尺寸与无损检测范围的关系

探头晶片尺寸也是选择探头时需要考虑的重要因素之一。晶片尺寸的大小直接影响超声波声束的指向性、近场区长度以及检测范围。晶片尺寸越大,超声波声束的指向性越好,能够更准确地定位缺陷位置。大晶片产生的超声波能量也更强,有利于检测较深或较大的缺陷。然而,大晶片也会带来一些问题,如近场区长度增加,可能导致近场区内的缺陷检测困难;大晶片对工件的表面状态要求也较高,表面粗糙度过大可能会影响耦合效果。相反,小晶片产生的超声波声束指向性较差,但近场区长度较短,适用于检测近表面缺陷。小晶片对工件的表面状态要求相对较低,能够适应一些表面粗糙的工件检测。小晶片产生的超声波能量较弱,可能无法检测较深或较大的缺陷。在选择探头晶片尺寸时,必须根据工件尺寸和检测需求进行综合考虑。对于大型工件或需要检测较深缺陷的情况,应选择大晶片探头以提高检测能力和准确性;对于小型工件或需要检测近表面缺陷的情况,应选择小晶片探头以适应工件表面状态和检测需求。

### 2.4 探头角度在无损检测中的应用

对于斜探头而言,探头角度的选择也是至关重要的。探头角度决定了超声波声束的倾斜程度,从而影响检测灵敏度、声束轴线方向以及缺陷检出能力。选择合适的探头角度能够确保超声波声束与缺陷方向垂直,从而提高检测的灵敏度。当超声波声束与缺陷方向垂直时,声束在缺陷处的反射最强,检测信号最明显。在选择探头角度时,必须充分考虑缺陷的可能方向和位置,以确保声束能够与缺陷垂直。探头角度还影响声束轴线方向。不同的探头角度会产生不同的声束轴线方向,从而影响检测范围和准确性。在选择探头角度时,需要根据工件的形状和尺寸来确定声束轴线方向,以确保检测范围能够覆盖整个工件。探头角度还影响缺陷检出能力。合适的探头角度能够使得超声波声束在缺陷处产生明显的反射信号,从而易于识别和定位缺陷。如果探头角度选择不当,可能会导致缺陷漏检或误检。在选择探头角度时,必须谨慎考虑,确保选择合适的角度以提高缺陷检出能力。

## 3 特殊探头在无损检测中的应用

### 3.1 双晶探头

双晶探头,是由两个压电晶片组成的特殊探头。这两个晶片在结构上相互独立,但在功能上却紧密相连<sup>[3]</sup>。其中一个晶片负责发射超声波,将电能转换为机械能,产生超声波信号;另一个晶片则负责接收超声波,将机械能转换回电能,供检测仪器进行分析和处理。这种设计不仅提高了探头的灵敏度和稳定性,还有效减少了检测过程中的盲区。双晶探头的应用优势主要体现在近表面缺陷的检测上。由于两个晶片的独立工作,发射和接收的超声波路径更加明确,减少了信号干扰和散射,从而提高了对近表面缺陷的检测灵敏度。双晶探头的结构使得超声波在传播过程中的衰减减小,使得检测深度得到了一定的提升,更重要的是,它显著减少了传统单晶探头在近表面区域存在的盲区,使得那些位于材料表面或非常接近表面的微小缺陷能够被准确检测出来。在实际应用中,双晶探头广泛用于金属板材、铸件、锻件以及焊接接头的近表面缺陷检测。特别是在对焊接接头的检测中,双晶探头能够准确识别出焊缝中的裂纹、未熔合、未焊透等缺陷,为焊接质量的评估提供了可靠依据。

### 3.2 聚焦探头

聚焦探头是另一种在无损检测中广泛应用的特殊探头。其工作原理是通过凸透镜、凹面镜或特定的声学结构,使超声波声束在传播过程中发生聚焦,形成一个能量集中的声束焦点。这种聚焦效应使得超声波在焦点处的能量密度大大增加,从而提高了检测的灵敏度和分辨率。聚焦探头的应用效果主要体现在对小缺陷的检测上。由于声束的聚焦作用,超声波在焦点处的穿透力和分辨率都得到了显著提升,使得那些尺寸较小、位置较深的缺陷也能够被准确检测出来。这对于一些对缺陷尺寸和位置要求极高的工业产品来说,无疑是一种非常有效的检测手段。在实际应用中,聚焦探头广泛用于航空航天、汽车制造、核电站建设等领域的高精度无损检测。特别是在对复杂结构和特殊材质的检测中,聚焦探头能够准确识别出那些传统探头难以发现的微小缺陷,为产品的质量控制在安全评估提供了有力保障。

### 3.3 其他特殊探头

除了双晶探头和聚焦探头外,还有许多其他类型的特殊探头在无损检测中发挥着重要作用。其中,小径管探头就是一种典型的特殊探头<sup>[4]</sup>。小径管探头的设计考虑了小径管或薄壁件的特殊结构特点,使得超声波能够在这类工件中有效传播并被准确接收。这种探头广泛应用于石油、化工、电力等行业的管道检测中,能够准确识别出管道内壁的腐蚀、裂纹等缺陷,为管道的安全运行提供了有力保障。另一种值得关注的特殊探头是表面波探头。表面波探头主要用于检测材料表面及近表面的缺陷,如裂纹、腐蚀等。利用表面波在材料表面传播的特性,使得超声波能够沿着材料表面传播并被准确接收。这种探头在金属板材、涂层、复合材料等表面的缺陷检测中发挥着重要作用,能够准确识别出那些位于材料表面或非常接近表面的缺陷。还有一些特殊探头如阵列探头、相控阵探头等,通过多个晶片的协同工作,实现了对复杂结构和特殊材质的高精度无损检测。这些探头不仅提高了检测的灵敏度和分辨率,还大大拓展了检测的范围和精度,使得无损检测技术在现代工业中的应用更加广泛和深入。

### 结束语

无损检测中超声波检测探头的选择是一个复杂而细致的过程,需综合考虑工件特点、检测需求及探头性能等多方面因素。通过合理选择探头型式、频率、晶片尺寸和角度,可以确保检测的准确性和可靠性,为产品质量控制和安全评估提供有力保障。

### 参考文献

- [1]瞿辉,戴晓娇,赵金菊.超声波无损检测技术的发展与应用[J].机电信息,2020(02):82-83.
- [2]张鹏飞,殷国富,赵秀粉.数字化超声波探头性能检测系统研究[J].机械设计与制造,2020(03):151-154.
- [3]高鹏,王明宇.关于无损检测脉冲反射法超声检测中探头选择问题的探讨[J].大众标准化,2021(1):252-253.
- [4]喻德耀.超声波探头磨损对检测的影响与修复方法探究[J].设备管理与维修,2022(19):113-114.