

超声波无损检测技术在空间网架结构焊接质量检测中的应用

莫生学

深圳市中贺工程检测有限公司

摘要: 在运用超声波无损检测技术时, 由于超声波探测距离相对较大, 所使用的装置体积普遍较小, 总体重量并不大, 在携带时具有便利性, 在现场运用的过程中能够加快速度, 仅仅消耗耦合剂和磨损探头, 所以投入的检测费用较低。基于上述多种优势, 扩大了超声波无损探伤技术的应用领域。在空间网架结构的焊缝质量检验中, 多采用这种方法。本文探讨超声波无损检测技术在空间网架结构焊缝质量检测中的应用, 以超声波无损检测技术的原理、适用范围及特征为切入点, 以空间网架结构焊缝质量为研究对象, 针对其在空间网架结构焊缝质量检测中的应用进行研究。从检测内容、检测规则、检测设备的选择与校准、检测方法、抽验检验判定等几个方面展开论述, 为相关人员提供参考与借鉴。

关键词: 空间网架结构; 焊接质量检测; 声波无损检测; 技术应用

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.19.034

引言: 在现代建筑和工程中, 空间网架的应用具有广泛性, 焊接作业的总体质量, 对保障结构的安全性和稳定性至关重要。超声波无损检测技术属于具有非破坏特性的检测方法, 能够发挥高效、准确、可靠等优势, 所以在焊接质量检测工作中起到关键作用。本文通过对超声波无损检测技术的基本原理及特性进行深入研究, 分析该项技术在空间网架结构焊缝质量检测中的应用, 结合其优势和局限性, 为提高空间网架结构的焊接质量提供参考。

一、超声波无损检测技术概述

(一) 原理

超声波无损检测技术利用了声、电等特性, 针对被检测对象的缺陷, 以及可能存在的不均匀性进行检测, 需要避免对被检对象造成损害或者影响。基于此, 再得出关于被检对象的大小、位置、性质和数量等信息, 能够针对被检对象的所处技术状态做出客观、合理的判定。如, 被检对象是否合格、实际的使用寿命等等。

通过分析超声波无损检测技术的基本原理, 重点研究超声波在试样中的传播规律。即, 在声源发出超声波后, 保证超声波能够顺利地到达被测物体。通过超声波在试样内部的传播, 结合超声波与试样及内部缺陷的相互作用, 研究超声波在试样中的传播方向及特性的变化。超声波发生变化后, 必须由探测装置进行接收, 方便后续的处理、分析等步骤。结合实际所接收的超

波, 对其特征加以分析, 能够对试件本身进行判定, 掌握试件内部存在的缺陷情况, 并且还可以对缺陷的特性进行评估^[1]。

(二) 适用范围和特点

1. 范围

航空制造业。 超声无损检测技术在航空制造行业中有着广泛的应用, 可以对飞机、发动机零部件、航空电缆、飞机金属结构等材料进行检测, 掌握其中的缺陷存在情况, 目的在于保障零部件使用的安全与可靠, 延长各类材料的使用寿命。

汽车制造业。 在汽车制造业中, 可以运用超声无损检测技术检测各类零部件的缺陷。如, 轮毂、发动机部件、车身结构等, 既要保证汽车本身的安全性, 也需要避免零部件缺陷问题持续出现, 降低意外伤害发生概率。

核电站。 将超声无损检测技术用于核电站安全检测中, 针对核反应堆中的燃料元件进行检测, 掌握实际的破损、裂纹和变形等情况, 实现对燃料元件健康状态的准确判断, 确保核反应堆的安全性和稳定性。

工程建设。 在工程建设领域, 对于建筑物缺陷和损伤的检测, 可以采用超声无损检测技术来完成。例如, 结构强度。或者, 在桥梁、隧道和高速公路等工程中, 也可以运用该项技术实施检测, 提高各类建筑物和基础设施建设的安系数。

2. 特点

非破坏性。 超声波无损检测技术具有非破坏性的特点。在测试过程中, 并不会对被检测物体造成损伤, 避免对物体的使用价值产生不良影响。因此, 在预防性维护、定期检测等环节, 通常会利用超声无损检测技术, 使检测环节变得简单、快速且安全。

高灵敏性。 对于待检测物体的缺陷, 借助超声无损检测技术的高灵敏特性, 尽管其中的缺陷非常小, 也能够被检测到, 在缺陷的具体位置, 还能够实现精确定位。

多功能性。 在运用超声无损检测技术时, 对于被检测物体多种物理参数或者特性, 均能够被检测到, 例如, 材料密度、弹性模量、硬度、尺寸等等。

可重复性。 进行超声波无损检测技术时, 最终的检测结果具有可重复性, 所以检测准确度更高, 检测工作更可靠性。

便于自动化。 在使用超声无损检测技术时, 可以与

自动化设备结合，在采集检测数据时，能够实现自动化的目标。此时，需要充分利用计算机技术，为数据分析和处理等环节提供便利，使检测过程更为高效，同时有利于提高测试的精准度。

二、空间网架结构焊接质量检测挑战

（一）结构形式复杂

根据网架结构的外形，可将其划分为双层板形网格结构、单层板形网格结构和双层板壳网格结构。其中，板形网格及双壳网格结构中，杆身可分为上弦杆、下弦杆、腹杆三种，分别承担拉、压的功能。在单层网壳结构中，杆件除受拉、受压外，还应受弯矩和剪力^[2]。

（二）检测空间受限

当空间网架结构的检测空间受限时，部分大型检测设备可能无法进入受限空间，或者不便于操作，导致检测设备的使用更加困难。若实际的检测范围受到限制，难以全面覆盖结构的所有部位，可能遗漏重要的检测区域。同时，无法准确放置和操作检测设备，致使检测精度降低，不仅会增加检测时间和成本，还需要采用更加复杂的检测方法，或者采用多次检测的方式，才能够确保检测的质量。此外，检测人员在受限空间中工作会增加安全风险，且部分缺陷可能被隐藏或难以观察，导致缺陷识别变得困难，容易影响对结构整体质量的评估。不仅如此，还可能导致采集的数据不够完整，难以实现对结构状况的准确判断。

（三）存在多种缺陷类型

使用中的问题。由于采用了不合理的材料而引起地基沉降，改变原有的设计思路，导致材料在实际应用中出现过载问题。随意更改施工工序，增加施工进度难度。设计理念不能与不断变化的环境状况相适应，材料的使用环境要求较为苛刻，可能会严重影响其性能和质量。无法预测的外部因素，比如地震，炮弹等。在项目维修方面，没有进行常规的检测和维修。

事故原因。材料是通过化工技术制造，后经人、物等多重因素侵蚀，建筑老化的速率必然会大幅加快。由于建筑本身存在的种种缺陷以及人为、自然因素等因素的影响，空间网架结构的质量和使用性能都将受到极大的影响。

安装误差。安装错误是指在安装了工程材料之后，与最初预期的状况之间存在的偏差。由于装置设计是在理想条件下进行，外部因素引起的误差被完全忽视。在工程实践中，因为施工的缺陷、人为的原因和精度的原因，导致工程的实际效果与原计划存在一定的偏差。

杆件初始弯曲。杆身初弯的问题，一部分是由外部因素引起的，一般是由于加工时的机械误差，或者在使用时不合理的拿放运等小细节，从而导致弯曲状态不佳。然而，杆身的初弯效应对结构的稳定性影响很大。

支座问题。支架是空间网格结构中较为关键的部件，支架的安装一般需要反复检查其固定情况，选用性能较好的支架，且检查施工过程时需要具有认真、严谨

的态度。

三、空间网架结构焊接质量检测中对超声波无损检测技术的应用

（一）检测内容

1. 裂纹检测

裂缝回波高，幅度大，存在多峰性，探头平移时，其变化一般具有连续性。当探头旋转时，裂缝峰值一般都有一个上下位错。裂纹缺陷的出现非常危险，不仅会对焊接接头强度造成影响，还可能引发热应力过于集中的问题，从而导致结构断裂。

2. 气孔检测

在单个气孔中，其回波高度较高，一般波形为单峰，其具有良好的稳定性，在探测时能够从各个方向进行。但只要稍微移动一下探头，尽管回波大致相同，接收的波形就会很快消失。当气孔密度较大时，可能会产生一系列的反射波，并且波高会随气孔尺寸而改变。以探头为固定点，在旋转过程中会产生此起彼落的现象。

3. 夹渣检测

在通常情况下，点状夹渣形成的回波，常类似于点状气孔，而带状夹渣形成的回波，通常呈锯齿状，幅度较小。在某些情况下，带状夹渣的波形会出现树枝状，在主峰的边缘位置，若存在其他小峰，那么在移动过程中，探头的波幅就会发生变化。在检测过程中发现，在从各个方向实施探测时，出现的反射波幅各不相同。造成夹渣缺陷的主要原因，在于焊接电流过小、焊接的速度过快，以及熔渣的浮起不够及时、清理焊缝的边缘时不够干净等多个方面，因此需要正确选用焊接电流，确保焊接速度设置合理。

（二）检测规则

一级焊缝的超声波检测比例为100%，二级焊缝的超声波检测比例按不小于20%进行抽样检测。二级焊缝抽样检测比例的计数方法按如下规则确定：在厂内制作的焊缝，按焊缝的长度来计算百分比，且检测的长度不得少于200毫米。对于不超过200毫米的焊缝，应对整条焊缝进行检测；在现场安装焊接时，应以相同类型，相同施焊条件的焊缝条数计算百分比，并且不得少于3条。

（三）检测器材

1. 超声波探伤仪

超声波探伤仪：频率在0.5-10兆赫范围内，使用数字A型脉冲反射式超声检测仪；衰减器精度为任意相邻12dB的误差在±1dB以内，最大累计误差不超过1dB；水平线性偏差不大于±2%，垂直线性偏差不大于±3%，每年应送有资质的校准机构进行校准一次。

2. 探头

芯片的面积通常不超过500平方毫米，而每个边的长度原则上不超过25毫米。单斜探头声束轴线的水平偏差角不超过2度，主声束在垂直线性上不应出现明显的双峰。折射角与实际测量角度的偏差不超过±2度。前

沿长度的偏差不超过±1毫米。

3. 仪器和探头系统性能

在达到所探工件的最大检测声程时，其有效灵敏度余量不低于10分贝；直探头的远场分辨力不低于30分贝，斜探头远场分辨力大于6分贝。

4. 耦合剂

耦合剂要选择合适的液体或糊状物，具有良好的透声性和适当的流动性，对工件及人体无损伤作用，且便于检测后清理。

（四）超声波无损检测技术的具体应用

1. 检测准备

测试前可由项目负责人或有关人员前往现场踏勘，了解现场基本情况（操作环境\工件材质\焊接方法\结构类型等）以及检测数量→接收委托单，进行委托审核及检测可行性分析→选择合理的探伤工艺→调校仪器，制作距离波幅曲线。

2. 现场检测

检测步骤：清理及打磨探头扫查区域→涂刷耦合剂→初步扫查，观察回波信号，对于评定线以上的缺陷回波在焊缝相应位置作出标记→精确扫查，对初步扫查已经判定的缺陷进行定位、定量的精确测量，必要时可以结合焊接工艺进行缺陷定性。

检测方法：将斜探头放置于检测面上，与焊缝的轴线垂直，并做锯齿形扫查。探头向前和向后移动的范围，必须确保所有的焊缝截面都被扫查到。在保持探头垂直于焊缝作前后移动的同时，还应作10度的左右转动。为了对缺陷的动态波形进行观测，识别缺陷信号或伪缺陷信号，确定缺陷的位置、方向和形状，可以采用前后扫描、左右扫描、转角扫描和环绕扫描四种基本扫描方式。对被判断为有缺陷的位置，采用上述四种不同的探头扫描方式，增加被检测测面，改变探头折射角度进行探测，测得最大反射幅度，并与距离-幅度曲线进行对比，从而判断出波幅所在的区域。波幅测量容许偏差不超过2分贝，将最大反射波幅A与定量线SL的dB差值记为 $SL \pm dB$ 。缺陷位置用最大反射波的位置表示，根据相应的探头位置和反射波在荧光屏上的位置来确定如下全部或部分参数：

a) 纵坐标L代表缺陷沿焊缝方向的位置。以检验区段编号为标记基准点（即原点）建立坐标。坐标正方向距离L表示缺陷到原点之间的距离。

b) 深度坐标h，表示所述缺陷位置与检测面之间的垂直距离，用缺陷最大反射波位置的深度值来表示。

c) 横坐标q，表示缺陷与焊缝中心线之间的垂直距离，可以从缺陷最大反射波入射点处的水平距离或简化的水平距离得到。缺陷的深度和水平距离（或简化水平距离）两数值中的一个可由缺陷最大反射波在荧光屏上的位置直接读出，另一数值可采用算法、曲线法、作图法或缺陷定位尺求出（注：数字机可直接读出）。

3. 记录与报告

填写设备使用记录→以单条焊缝为单位记录焊缝缺陷→通知委托方检测结果及数量→编写检测报告。

以深圳宝安国际机场卫星厅项目为例，本工程屋盖为钢结构网架结构，本工程焊缝质量以超声波无损检测技术为主，在无损检测过程中起到关键作用，且实际的应用范围具有广泛性。尤其是在空间网架结构检测中，充分利用超声波检测技术，可以结合结构的裂纹情况、夹渣情况等，获得全面、有效的检查结果，根据空间网架结构所处位置的实际质量，能够对本工程予以充分的质量判断。

（五）加强试件抽验检验

检验批抽样应按下列规定进行：抽样检验的焊缝数不合格率小于2%时，该批验收合格；不合格率大于5%时，该批验收不合格；不合格率为2%~5%时，应加倍抽检，且必须在原不合格部位两侧的焊缝延长线各增加一处，在所有抽检焊缝中不合格率不大于3%时，该批验收合格，大于3%时，该批验收不合格。

结束语：对于超声波无损检测技术而言，属于极具潜力的空间网架结构焊接质量检测方法，基于超声无损检测的非破坏性、高精度、高效率等优点，能够快速、准确地探测空间网架结构的焊缝缺陷，为保证焊接质量提供了可靠的技术保障。在此基础上，还需要进一步提高精度与可靠度，降低实际的误判率。在运用超声波无损检测技术时，尝试与其他测试方法结合使用，其目的在于更好的改善检测结果。根据空间网架结构的特点，提出全新的探测方法，为丰富探测参数提供参考，确保设计的空间网架结构具有良好的安全性与可靠性。

参考文献

- [1] 张宣关. 超声波无损检测技术在空间网架结构焊接质量检测中的应用[J]. 陕西建筑与建材, 2022, (06): 2-3.
- [2] 朱爱希, 雍鑫. 网架结构焊接球对接焊缝超声波探伤[C]//中国钢结构协会钢结构焊接分会学术年会. 中国钢铁工业协会; 中国钢结构协会, 2022.
- [3] 唐忠国. 超声波无损探伤检测钢结构焊接质量分析[J]. 机械工程师, 2022, (07): 2-3.
- [4] 潘文华. 超声波无损探伤检测钢结构焊接质量分析[J]. 科研[2024-04-15].
- [5] 王博, 王飞. 焊接质量的超声波探伤无损检测[J]. 中国科技纵横, 2022, (01): 1-2.
- [6] 杨立国, 史勇, 邬志刚, 韩敏. 某螺栓球钢结构网架工程施工质量检测及评定[J]. 山西建筑, 2018, 44(32): 223-224.
- [7] 张宣关. 超声波无损检测技术在空间网架结构焊接质量检测中的应用[A] 陕西省第九届无损检测年会陕西省机械工程学会无损检测分会论文集[C]. 陕西省机械工程学会无损检测分会, 陕西省机械工程学会, 2004: 1.