

钢结构工程焊缝超声波无损检测技术探讨

余佳璐

重庆筑能渝兴建设工程质量检测有限公司 重庆 400000

摘要：本文探讨了钢结构工程焊缝超声波无损检测技术。阐述了焊缝特点，如几何形状复杂、缺陷类型多样等，以及超声波检测基本原理。指出该技术存在设备性能不足、专业水平参差不齐、标准体系不完善等问题。分析检测设备与仪器、工艺流程、不同类型焊缝检测要点。提出优化对策，包括提升设备性能、推广新技术、加强人员队伍建设、完善标准规范体系，以提高检测质量和效率。

关键词：钢结构工程；超声波无损检测技术；应用分析

1 钢结构工程焊缝超声波无损检测技术相关理论概述

1.1 钢结构工程焊缝特点

钢结构工程在现代建筑、桥梁、船舶、机械制造等领域有着广泛的应用，而焊缝作为钢结构连接的关键部位，其质量直接关系到整个钢结构的安全性和可靠性。钢结构工程焊缝具有以下几个显著特点。第一，焊缝的几何形状复杂，在实际工程中，为了满足不同的结构需求和连接要求，焊缝的形式多种多样，如对接焊缝、角焊缝、T形焊缝等。这些焊缝在焊接过程中，由于焊接工艺参数、焊接位置等因素的影响，其几何形状往往不规则，存在焊缝余高、焊趾过渡不圆滑、焊缝宽度不均匀等问题。这种复杂的几何形状会增加超声波检测的难度，因为超声波在传播过程中遇到不规则界面时会发生反射、折射和散射等现象，从而影响检测信号的准确性和可靠性。第二，焊缝内部缺陷类型多样，焊接过程中，由于焊接材料、焊接工艺、环境因素等的影响，焊缝内部容易产生各种缺陷，如气孔、夹渣、未焊透、未熔合和裂纹等。这些缺陷的存在会严重降低焊缝的强度和韧性，影响钢结构的承载能力。不同类型的缺陷对超声波的反射和散射特性不同，因此在超声波检测中需要根据缺陷的类型选择合适的检测方法和参数，以提高缺陷的检出率。第三，焊缝材料的各向异性，焊接过程中，焊缝及其热影响区的金属组织会发生显著变化，导致材料的物理性能（如声速、衰减系数等）呈现出各向异性。这种各向异性会使超声波在焊缝中的传播规律变得复杂，增加了缺陷定位和定量的难度。第四，焊缝应力状态复杂，钢结构在承受载荷时，焊缝部位会产生复杂的应力分布。焊接残余应力和工作应力的叠加会使焊缝的应力状态更加复杂，这不仅会影响焊缝的力学性能，还可能导致焊缝在使用过程中产生裂纹等缺陷。在超声波检测中，应力状态的变化也会对超声波的传播产

生影响，如应力集中区域会使超声波的衰减增加，从而影响检测信号的强度。

1.2 超声波无损检测技术的基本原理

超声波无损检测技术是利用超声波在材料中的传播特性来检测材料内部缺陷和性能的一种无损检测方法。其基本原理主要基于超声波的反射、折射、散射和衰减等现象。当超声波在介质中传播时，遇到不同声阻抗的界面（如缺陷与基体材料的界面）会发生反射和折射。声阻抗是介质密度与声速的乘积，不同介质的声阻抗不同，因此超声波在界面处会有一部分能量反射回来，另一部分能量透射过去。通过检测反射波的信号特征（如幅度、相位、频率等），可以判断界面处是否存在缺陷以及缺陷的大小、位置和性质^[1]。超声波在传播过程中还会发生散射现象。当超声波遇到尺寸与波长相近的缺陷或不均匀区域时，会发生散射，散射波的传播方向是随机的。通过检测散射波的信号，可以获取缺陷的更多信息，如缺陷的分布和形态等。超声波在介质中传播时会逐渐衰减，衰减的原因主要包括扩散衰减、散射衰减和吸收衰减。扩散衰减是由于声束的扩散导致能量分散；散射衰减是由于介质中的不均匀性使超声波发生散射；吸收衰减是由于介质的内摩擦和热传导等因素使超声波的能量转化为其他形式的能量。通过测量超声波的衰减程度，可以判断材料的内部质量和缺陷情况。在钢结构工程焊缝超声波无损检测中，通常使用脉冲反射法。即发射超声波脉冲，当脉冲遇到焊缝内部的缺陷或底面时会产生反射波，通过接收和分析反射波的信号，可以确定缺陷的位置、大小和性质。同时还可以采用多种扫查方式（如线性扫查、扇形扫查等）对焊缝进行全面检测，以提高缺陷的检出率。

2 钢结构工程焊缝超声波无损检测技术存在的问题

2.1 设备性能不足

目前,钢结构工程焊缝超声波无损检测设备在性能方面存在一些不足之处。一方面,部分设备的灵敏度不够高。灵敏度是衡量检测设备对微小缺陷检测能力的重要指标。在实际检测中,一些微小的缺陷(如微裂纹、小气孔等)可能由于设备的灵敏度不足而无法被有效检测出来,从而导致漏检现象的发生。这不仅会影响钢结构的质量安全,还可能给工程带来潜在的安全隐患。另一方面,设备的分辨率有待提高,分辨率包括轴向分辨率和横向分辨率,它决定了检测设备对缺陷大小和位置的判断精度。如果设备的分辨率较低,在检测过程中可能无法准确区分相邻的缺陷,或者无法精确确定缺陷的边界,从而影响缺陷的定量分析和评估。设备的稳定性也是一个问题,在长时间的检测过程中,一些设备可能会出现信号漂移、噪声增大等现象,导致检测结果的准确性和可靠性下降。设备的稳定性不仅与设备本身的质量有关,还与设备的使用环境、维护保养等因素密切相关。

2.2 专业水平参差不齐

钢结构工程焊缝超声波无损检测是一项专业性很强的工作,需要检测人员具备扎实的理论知识和丰富的实践经验。目前检测人员的专业水平参差不齐,存在一些问题。部分检测人员缺乏系统的专业培训,对超声波无损检测的基本原理、检测方法和操作规范不够熟悉。在检测过程中,可能会出现操作不当、参数设置不合理等问题,从而影响检测结果的准确性。例如,在探头选择、扫查方式确定、缺陷判断等方面,如果检测人员缺乏专业知识,就容易出现误判或漏判的情况。另外,一些检测人员的实践经验不足,超声波无损检测不仅需要理论知识,还需要大量的实践经验来积累对不同类型缺陷的识别能力和判断能力。由于缺乏实践经验,一些检测人员在面对复杂的焊缝结构和缺陷情况时,可能无法准确判断缺陷的性质和严重程度,从而影响检测质量。

2.3 标准体系不完善

目前,钢结构工程焊缝超声波无损检测的标准体系还不够完善。一方面,现有的标准可能存在一些滞后性。随着钢结构工程技术的不断发展和新材料、新工艺的应用,焊缝的形式和缺陷类型也在不断变化。然而相关标准的更新速度可能跟不上技术的发展,导致一些新的缺陷类型没有相应的检测标准和评定方法^[2]。另一方面,标准的统一性和可操作性有待提高。不同地区、不同行业可能采用不同的检测标准,这给检测结果的比较和评估带来了困难。一些标准的内容可能过于笼统,缺乏具体的操作指南和判定依据,导致在实际检测中检测人员难以准确执行标准,影响了检测工作的规范化和标

准化。

3 钢结构工程焊缝超声波无损检测技术应用分析

3.1 检测设备与仪器

在钢结构工程焊缝超声波无损检测中,常用的检测设备与仪器主要包括超声波探伤仪、探头和试块等。超声波探伤仪是检测的核心设备,它能够发射和接收超声波信号,并对信号进行处理和分析。现代超声波探伤仪通常具有数字化、智能化的特点,具备多种检测功能,如缺陷报警、数据存储和分析等。探伤仪的性能指标(如频率范围、灵敏度、动态范围等)直接影响检测结果的准确性和可靠性。探头是超声波的发射和接收装置,其类型和参数的选择对检测结果至关重要。根据焊缝的形状和检测要求,可选择不同类型的探头,如直探头、斜探头、双晶探头等。探头的频率、晶片尺寸、角度等参数需要根据被检测焊缝的厚度、材质和缺陷类型进行合理选择。例如,对于较薄的焊缝,可选择较高频率的探头,以提高检测的分辨率;对于较厚的焊缝,则需要选择较低频率的探头,以保证超声波的穿透能力。试块是用于校准仪器和探头、评定缺陷大小的标准试样。常用的试块有标准试块和对比试块。标准试块具有精确的尺寸和人工缺陷,可用于确定探伤仪的灵敏度、校准探头的角度和距离等。对比试块则用于与被检测焊缝的缺陷信号进行比较,从而评定缺陷的大小和性质。

3.2 检测工艺与流程

钢结构工程焊缝超声波无损检测的工艺与流程主要包括检测前的准备、检测操作和检测后的数据处理与分析等步骤。检测前的准备工作非常重要,包括对被检测焊缝的了解、检测设备的检查和调试、探头的选择和校准等。检测人员需要了解焊缝的材质、厚度、焊接工艺等信息,以便选择合适的检测方法和参数。同时要对探伤仪和探头进行检查和调试,确保其性能正常。探头的校准是保证检测结果准确性的关键步骤,需要使用标准试块对探头的角度、距离和灵敏度进行校准。检测操作是核心环节,检测人员需要按照规定的扫查方式和路径对焊缝进行全面检测。扫查方式包括线性扫查、扇形扫查、锯齿形扫查等,扫查速度和力度要均匀,以确保检测结果的可靠性。在检测过程中,要实时观察探伤仪的显示信号,记录缺陷的位置、大小和信号特征。检测后的数据处理与分析是得出检测结论的重要依据,检测人员需要对检测数据进行整理和分析,根据缺陷的信号特征和评定标准对缺陷进行定性和定量评定。同时要编制检测报告,详细记录检测过程、检测结果和评定结论,为钢结构的质量评估和验收提供依据。

3.3 不同类型焊缝的检测要点

不同类型的焊缝（如对接焊缝、角焊缝、T形焊缝等）具有不同的结构和特点，因此在超声波检测时需要采用不同的检测要点。对于对接焊缝，检测的重点是焊缝内部是否存在未焊透、未熔合、裂纹等缺陷。由于对接焊缝的受力情况较为复杂，这些缺陷会严重影响焊缝的强度和韧性^[3]。在检测时，通常采用斜探头进行多方向的扫查，以确保能够检测到不同方向的缺陷，要注意探头的角度和位置的选择，避免出现检测盲区。角焊缝的检测主要关注焊缝的根部是否存在未焊透、气孔和夹渣等缺陷。角焊缝的几何形状不规则，超声波在传播过程中容易发生反射和散射，因此检测难度较大。在检测时，可采用直探头和斜探头相结合的方法，对焊缝的根部和表面进行全面检测。T形焊缝的检测要点在于焊缝的趾部和根部，T形焊缝的趾部容易产生应力集中，容易出现裂纹等缺陷；根部则容易出现未焊透和未熔合等问题。检测时，需要根据焊缝的具体形状和尺寸选择合适的探头和扫查方式，确保能够准确检测到这些部位的缺陷。

4 钢结构工程焊缝超声波无损检测技术的优化对策

4.1 提升检测设备性能与推广新技术

为了提高钢结构工程焊缝超声波无损检测的质量和效率，需要不断提升检测设备的性能。一方面，加大对检测设备研发的投入，采用先进的技术和材料，提高设备的灵敏度、分辨率和稳定性。另一方面，积极推广新技术在超声波检测中的应用。如相控阵超声波检测技术，它具有扫查速度快、缺陷成像直观等优点，能够大大提高检测效率和准确性。激光超声波检测技术、电磁超声波检测技术等也在不断发展，这些新技术为钢结构工程焊缝的无损检测提供了新的手段和方法。

4.2 加强检测人员队伍建设

检测人员的专业水平直接影响检测工作的质量，因此需要加强检测人员队伍建设。首先，要加强对检测人员的专业培训，制定系统的培训计划，定期组织培训课程和考核。培训内容应包括超声波无损检测的基本理论、检测方法、操作规范、缺陷识别与评定等方面的知

识。通过培训，提高检测人员的理论水平和操作技能。其次，要注重检测人员的实践经验积累。可以安排检测人员参与实际工程项目的检测工作，让他们在实践中不断积累经验，提高对不同类型缺陷的识别能力和判断能力。同时建立检测人员的技术交流平台，促进检测人员之间的经验分享和技术交流。

4.3 完善检测标准与规范体系

完善检测标准与规范体系是保证钢结构工程焊缝超声波无损检测工作规范化和标准化的关键。一方面，要及时更新现有标准，使其能够适应钢结构工程技术和新材料、新工艺的应用。加强对新缺陷类型的研究，制定相应的检测标准和评定方法^[4]。另一方面，要提高标准的统一性和可操作性。制定全国统一的检测标准，避免不同地区、不同行业之间标准的差异。同时细化标准的内容，提供具体的操作指南和判定依据，使检测人员能够准确执行标准，加强对标准执行情况的监督和检查，确保检测工作严格按照标准进行。

结束语

钢结构工程焊缝超声波无损检测技术对保障钢结构质量安全至关重要。尽管目前该技术存在设备、人员、标准等方面的问题，但通过提升设备性能、推广新技术、加强人员培训、完善标准体系等优化对策，可有效提高检测水平。未来，随着科技不断进步，超声波无损检测技术将不断完善，为钢结构工程焊缝质量检测提供更精准、高效的方法，推动钢结构行业持续健康发展。

参考文献

- [1]张宇.超声波技术在钢结构焊缝检测中的应用研究[J].钢结构,2020(5):50-55.
- [2]马晓亮.超声波技术在钢结构焊缝质量检测中的应用[J].无损检测,2021(2):61-65.
- [3]刘伟.超声波检测技术在钢结构焊缝无损检测中的应用[J].钢铁,2022(1):76-80.
- [4]唐晖.超声波探伤技术在桥梁钢结构对接焊缝检测中的应用[J].交通世界,2020,(17):163-164.DOI:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2020.17.070.