

# The Application of Acoustic Emission Technology in Non-destructive Detection of Pressure Vessel

Chao Han

Inner Mongolia Institute of Special Equipment Inspection and Research, Baotou Branch, Baotou, Inner Mongolia, 014030, China

## Abstract

As an advanced nondestructive testing method, acoustic emission technology has shown great potential in the field of pressure vessels. With the continuous development of industrial technology, the requirement for the structural integrity of the pressure vessel is increasing. The paper mainly studies the application of acoustic emission technology in non-destructive testing of pressure vessels, aiming to reveal the challenges it faces in the testing process and propose innovative solutions. It explores how to overcome the technical limitations of complex structures, multi-layer materials, noise interference, and high-temperature and high-pressure environments to better achieve accurate detection of small defects inside pressure vessels. Research in this field will help promote the further application of acoustic emission technology in industrial applications, providing more reliable solutions to ensure the safe operation of pressure vessels.

## Keywords

acoustic emission technology; pressure vessel; nondestructive testing; application

## 声发射技术在压力容器无损检测中的应用

韩超

内蒙古自治区特种设备检验研究院包头分院, 中国 · 内蒙古 包头 014030

## 摘 要

声发射技术作为一种先进的无损检测手段, 在压力容器领域展现出巨大的潜力。随着工业技术的不断发展, 对压力容器结构完整性的要求日益提高。论文主要研究了声发射技术在压力容器无损检测中的应用, 旨在揭示其在检测过程中所面临的挑战并提出创新性的解决方案, 探讨如何克服复杂结构、多层材料、噪声干扰以及高温高压环境等复杂条件下的技术限制, 以更好地实现对压力容器内部微小缺陷的准确检测。这一领域的研究将帮助推动声发射技术在工业应用中的进一步应用, 为确保压力容器的安全运行提供更可靠的解决方案。

## 关键词

声发射技术; 压力容器; 无损检测; 应用

## 1 引言

在当今工业领域, 压力容器的安全性至关重要, 因此, 无损检测技术显得尤为关键。声发射技术具有高灵敏度和实时性的优势, 为提高压力容器检测的准确性和效率提供了新的可能性。论文通过对声发射技术原理的剖析介绍其在发现微小缺陷、裂纹以及其他潜在问题方面的独特能力, 通过研究有望为压力容器领域的工程师和研究人员提供更深入的理解, 促进该领域的技术创新和安全性的提升。

## 2 声发射技术的特点

声发射技术是一种非破坏性检测方法, 广泛应用于材

料和结构的健康监测领域。声发射技术具有高灵敏度, 通过监测材料或结构中微小的声波信号该技术能够检测到潜在的缺陷或损伤, 即使这些缺陷在肉眼下是难以察觉的, 这种高度灵敏的特性使声发射技术成为预防性维护和及早发现问题的有力工具。

实时性是声发射技术的另一显著特点。与一些传统的检测方法相比, 声发射技术能够在几乎实时的情况下提供监测结果, 这对于许多领域尤其是需要即时决策的工业和结构监测应用而言具有巨大的优势, 及时获取问题的信息有利于采取迅速有效的措施, 防止潜在的事故和损失<sup>[1]</sup>。

声发射技术具有广泛的适用性。不同于一些其他检测方法对特定材料或结构有限的适用性, 声发射技术可以应用于金属、复合材料、混凝土等多种材料, 且适用于各种结构包括压力容器、管道、桥梁等, 这种广泛的适用性使得声发

【作者简介】韩超(1988-), 男, 中国内蒙古包头人, 本科, 工程师, 从事压力管道检验研究。

射技术在不同行业和领域中都有着广泛的应用前景。

声发射技术的非侵入性也是其独特之处。在进行检测时无需破坏或改变被监测物体的结构，这对于对结构完整性有严格要求的情况尤为重要，非侵入性检测不仅可以避免对被测物体的额外损伤，同时也降低了监测过程的复杂性和成本，提高了检测的实用性。

声发射技术具有良好的定位能力。通过分析声波信号的传播路径和时程可以准确确定问题的位置，帮助工程师和技术人员更精准地进行维护和修复工作，这种定位的准确性有利于提高工作效率，降低人力和物力的浪费成本。

声发射技术还具有较好的可重复性。通过不断优化和标定检测系统可以保证在多次测试中得到一致的结果，这种可重复性有利于建立长期的监测体系，实现对结构和材料状态的持续追踪，从而更好地维护和管理工业和建筑设施。

### 3 声发射技术在压力容器无损检测中应用的现存问题

声发射技术在压力容器无损检测中的应用，虽然在提高安全性和检测效率方面取得了显著的成就，但仍然面临一些现存的问题和挑战。这些问题涉及技术本身的局限性、实际应用中的挑战以及需求的多样性等方面。

#### 3.1 对于复杂结构和多层材料的适应性不足

压力容器通常由多种材料构成，而且其内部结构相当复杂，声发射技术在处理复杂结构时面临难以识别的挑战，尤其是当存在多层材料或各向异性结构时，声波传播路径的复杂性导致检测精度的下降<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 噪声干扰问题

在实际工业环境中存在各种噪声源如设备运行声、环境噪音等，这些噪声与压力容器内部的声发射信号混合，使得对微弱信号的准确识别变得更为复杂，有效区分噪声和目标信号以提高检测的准确性是当前声发射技术应用中亟待解决的问题之一。比如由于多层包扎结构的特点，多层包扎尿素合成塔的声发射检测与单层容器有很大不同，如由于层板摩擦等原因，在升压过程中产生的噪声信号较多，内层板发出的信号不易收集，声发射源不易定位等。

#### 3.3 检测小尺寸缺陷时的局限性

尽管该技术在发现较大的缺陷或问题方面表现出色，但对于微小尺寸的缺陷，如微裂纹或微小疲劳裂纹，其灵敏度可能不足，这限制了声发射技术在对细小缺陷进行准确识别方面的应用范围，因为这些微小缺陷往往在早期阶段就容易演变成严重的问题。

#### 3.4 对于高温高压环境的适应性挑战

在一些工业场景中压力容器容易处于极端的高温高压环境下，这对传感器和设备的稳定性提出了更高的要求，当前一些声发射检测系统可能在这样的极端环境中存在性能下降、设备损耗过快等问题，限制了其在一些特殊场景中的

应用。

## 4 声发射技术在压力容器无损检测的应用

### 4.1 处理好复杂结构与多层材料之间的适应性

声发射技术在压力容器无损检测中面临的一个显著挑战是处理复杂结构和多层材料之间的适应性问题，压力容器通常由不同类型的材料构成，而且其内部结构相比较而言更加复杂，包括管道、法兰、隔热层等，为了提高声发射技术在这样的环境中的准确性和可靠性需要采取一系列措施来处理复杂结构与多层材料之间的适应性问题<sup>[3]</sup>。

通过在压力容器的不同位置布置多个传感器可以捕捉到来自多个方向和位置的声波信号，这样的传感器网络能够提供更全面、更立体的声发射数据，有利于更准确地识别问题的位置和性质。采用多通道传感器网络的方式可以克服由于复杂结构引起的声波传播路径变化的问题，提高系统的适应性。针对复杂结构，传统的声发射技术难以直接解释或处理声波信号，因此使用先进的信号处理算法如人工智能技术中的深度学习和神经网络训练系统对复杂结构中的声波信号进行更准确的解释，通过建立针对复杂结构的模型让系统可以更好地理解声波信号的传播规律，提高检测的准确性和鲁棒性。由于复杂结构的特殊性，单一的声发射技术可能无法完全涵盖所有可能存在的问题，因此需要结合其他非破坏性检测技术如超声波检测、磁粉检测等进行综合应用，通过多种技术的协同作用来更全面地了解结构的状态，提高检测的全面性和可靠性，这种综合应用可以弥补单一技术的不足，提高整体的适应性。

在处理多层材料适应性问题时应采取相应的传感器布局和设计策略，不同材料的声波传播速度和特性会存在显著差异，因此应考虑在多层材料区域设置不同类型的传感器，这有利于根据具体的材料情况调整系统参数，提高对多层材料中声波的感知能力，合理选择传感器类型和布局位置可以更好地应对多层材料引起的适应性挑战。同时优化传感器的灵敏度和频率范围，复杂结构和多层材料导致声波信号在传播过程中的衰减和失真，通过优化传感器的灵敏度使其能够更好地捕捉到微弱的声波信号，从而提高在复杂结构中的适应性。此外，通过优化传感器的频率范围更好地适应不同材料和结构的声波传播特性，提高检测的准确性。

### 4.2 避免噪声干扰问题

在声发射技术应用于压力容器无损检测的过程中，噪声干扰问题是一个需要认真对待的挑战。噪声干扰来自设备运行声、环境噪音、其他机械振动等多个方面，而这些噪声与压力容器内部的声发射信号混合，降低了检测的准确性，为了有效避免噪声干扰问题需要采取一系列措施<sup>[4]</sup>。

首先优化传感器性能。传感器是声发射技术的核心组成部分，其灵敏度和频率响应范围直接影响着对声波信号的感知能力，为降低对噪声的敏感度可以通过优化传感器的设

计和性能参数,提高其在特定频率范围内的灵敏度,减小在噪声频率范围内的响应,同时采用抗噪声设计的传感器,如降低传感器的内部电子噪声和提高信噪比的措施降低噪声干扰的影响。其次采用先进的信号处理技术,传统的滤波器和频域分析技术在信号处理中具有一定效果,但在面对复杂噪声环境时显得力不从心,引入先进的信号处理算法如小波变换、自适应滤波、深度学习等更灵活地适应不同噪声情境,提高对目标声发射信号的辨识能力,这些算法能够通过学习和调整模型参数,更好地区分噪声和目标信号,降低噪声对检测结果的影响。最后要注意环境控制,实际工业场景中环境噪声来源复杂,通过控制和减小环境噪声来降低其对声发射技术的影响,如通过设置隔音罩、优化设备运行状态、采用噪声减振措施等减小来自环境的噪声干扰,在一些严苛的环境中也可以考虑使用专门设计的密闭检测室以隔离外部噪声,提供更纯净的声发射信号环境。

#### 4.3 克服检测小尺寸缺陷时的局限性

声发射技术在压力容器无损检测中的一个显著挑战是克服对小尺寸缺陷的局限性,小尺寸缺陷如微裂纹或微小疲劳裂纹,因其尺寸较小难以被传统的检测方法准确识别,为了提高声发射技术对小尺寸缺陷的检测能力,需采取措施予以解决。

传感器是声发射技术的核心组成部分,其灵敏度和分辨率直接关系到对微小缺陷的检测能力,通过优化传感器的设计提高其对微小振动信号的敏感性,提高系统对小尺寸缺陷的检测灵敏度,采用先进的传感器材料和结构设计减小传感器的噪声水平,以便能够在复杂环境中更精准地捕捉微小信号。同时,由于传统的信号处理方法在处理微小信号时显得力不从心,而先进的算法如小波变换、时频分析、深度学习等能够更好地识别和分离微小信号,通过对声波信号进行多维度的分析更准确地提取微小缺陷的特征,降低误报率,提高检测的可靠性,这些算法的引入使得系统能够更好地适应小尺寸缺陷的检测需求,提高对微小信号的识别能力。高灵敏度传感器能够捕捉到微小振动信号,提高系统对微小缺陷的感知能力,通过选择具有更高灵敏度的传感器,系统可以在微小信号中提取更多的信息使得对小尺寸缺陷的检测更加可靠,而且合理选择传感器的工作频率范围,使其更适应小尺寸缺陷的特征,有利于提高检测的准确性<sup>[5]</sup>。此外,小尺寸缺陷通常表现为高频振动信号,因此,增加采样率可以更精细地记录信号的变化,通过提高采样率让系统能够更细致地捕捉微小振动的细微变化,提高对小尺寸缺陷的敏感性,这种高采样率的应用有利于系统更准确地定位和识别小尺寸缺陷,增强了检测系统在高频振动环境中的适应性。

#### 4.4 适应高温高压环境工作

在一些工业应用中压力容器处于极端的高温高压环境下,这对声发射技术的传感器和设备提出了更高的要求。

在高温高压环境下,常规材料会失去稳定性、导致传感器性能下降,因此应选用能够在极端条件下保持稳定性的材料如高温合金、陶瓷等,这样的材料具有更好的高温机械性能和抗氧化性,能够在极端环境中长时间稳定运行。传感器是声发射技术的核心组件,其稳定性直接影响系统的可靠性,通过采用抗高温高压设计,包括合理的散热结构、耐腐蚀的外壳材料等提高传感器在极端条件下的工作能力,此外对传感器内部电子元件的优化使其能够在高温高压环境中保持高灵敏度和稳定性,这是提高系统适应性的关键。通过采用冷却系统如液冷散热或气冷散热技术也可以有效降低声发射检测系统的温升,确保关键组件的工作温度在安全范围内。防护罩可以在压力容器外部覆盖整个检测系统,形成一个隔离层,避免直接接触高温高压介质,同时合理设计防护罩的散热结构确保系统内部能够通过适当的方式散发热量,保持内部温度在合理范围内<sup>[6]</sup>。

## 5 结语

综上所述,在研究了声发射技术在压力容器无损检测中的应用后对其前景充满信心,面对复杂结构、多层材料、噪声干扰以及高温高压环境的挑战提出了一系列创新性的解决方案,通过努力克服技术限制为提高检测精度、适应性和系统稳定性开辟了新的道路。这一研究的深入挖掘为工业界提供了更可靠、高效的压力容器检测手段,有望在保障设备安全运行方面发挥重要作用。未来期待声发射技术在工业无损检测领域持续创新,为确保各类压力容器的可靠性和安全性贡献更多实质性的解决方案。

### 参考文献

- [1] 马力,李兵,邢海澎,等.声发射技术在不同压力容器检测中的应用研究[J].中国特种设备安全,2021,37(10):25-29+36.
- [2] 王泉,杨剑锋,陈良超.声发射技术在压力容器裂纹检测中的应用[J].化学工程师,2019,33(12):57-59.
- [3] 姚茂烈.声发射技术在压力容器检测中的应用[J].产业创新研究,2018(9):96-97.
- [4] 李冀.声发射技术在锅炉压力容器检测中的应用[J].中国新技术新产品,2018(16):38-39.
- [5] 邱宪民.在压力容器无损检测中声发射技术的运用[J].黑龙江科技信息,2015(11):46.
- [6] 李星,杨超,施展.声发射技术在压力容器检测中的应用分析[J].科技传播,2014,6(16):225+211.