

无损检测技术在锅炉压力容器检验中的运用研究

孔旭良 李守恒 王庆丽

菏泽市产品检验检测研究院 山东 菏泽 274000

【摘要】：锅炉压力容器长期工作在高温、高压、疲劳工况下，容易产生腐蚀、裂纹等缺陷，影响设备运行，甚至发生爆炸，威胁人民的生命财产安全。因此，需对设备本身的安全状况进行检验。对此，检验人员在检验过程中应合理应用无损检测技术，有效保证检验工作质量，从而了解锅炉压力容器的设备安全状况。本文针对无损检测技术在锅炉压力容器检验中的运行进行分析，介绍了无损检验技术的概念、目的和种类，探讨了无损检验技术应用时的注意事项，并提出具体的应用对策，希望能够为相关工作人员提供一些参考和借鉴。

【关键词】：锅炉压力容器；检验；无损检测技术；注意事项；对策

Application of Nondestructive Testing Technology in Boiler and Pressure Vessel Inspection

Xuliang Kong, Shouheng Lee, Qingli Wang

Heze product inspection and testing institute, Shandong Heze 274000

Abstract: boilers and pressure vessels, which work under high temperature, high pressure and fatigue conditions for a long time, are prone to corrosion, cracks and other defects, affect the operation of equipment, and even explode, threatening the safety of people's lives and property. Therefore, it is necessary to inspect the safety status of the equipment itself. In this regard, the reasonable application of nondestructive testing technology in the inspection process can effectively ensure the quality of inspection work, so as to understand the equipment safety status of boiler and pressure vessel. This paper analyzes the operation of nondestructive testing technology in boiler and pressure vessel inspection, introduces the concept, purpose and types of nondestructive testing technology, discusses the precautions in the application of nondestructive testing technology, and puts forward specific application countermeasures, hoping to provide some reference for relevant staff.

Keywords: boiler pressure vessel; Inspection; Nondestructive testing technology; matters needing attention; countermeasure

在工业生产制造过程中，锅炉压力容器尤其压力容器在机械、化工、冶金等领域得到了广泛应用。锅炉压力容器作为特种设备，在实际应用时需要充分保证其使用安全性。在锅炉压力容器长期运行过程中，需要承受较高的压力、温度，加上压力容器内部承载各类化学介质，容易导致锅炉压力容器腐蚀、开裂等问题产生。对此，除了需要对锅炉压力容器进行宏观检查，还需要引入无损检测技术，对设备内外部易产生缺陷部位进行检测，从而使锅炉压力容器检测结果的可靠性得到保证。虽然相关锅炉压力容器在设计 and 生产等环节可以满足具体的标准规范等，但在锅炉压力容器长时间的使用过程中，会产生各类缺陷，形成潜在隐患。一旦无法及时发现和解决这些隐患，则可能会有严重的安全事故发生，因此需要有效的无损检测技术，对锅炉压力容器的运行状况进行全面检验，从而保证锅炉压力容器的安全稳定运行。

1 无损检验技术概述

1.1 种类

通常情况下，无损检测技术能够利用物理特性，如电磁、光、声音等，有效探伤锅炉压力容器的各类缺陷。对比传统检测技术，无损检测技术的优势十分明显，可以使传统检测技术存在的不足得到弥补。一般无损检测技术主要包括超声波检

测、射线检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测以及相控阵检测等，可以检测锅炉压力容器不同位置的内外外部缺陷。

1.2 目的

无损探伤可以在不对检测对象产生破坏的情况下，有效探伤检测对象，可以在锅炉压力容器稳定运行的基础上实现探伤，使锅炉压力容器检验质量得到保证，降低安全隐患。无损检测技术一方面可以使锅炉压力容器检测的安全性得到优化，另一方面还可以使相关安全事故得到有效预防。

1.3 特点

一般情况下，超声波检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测这四类无损检测技术的特点分别如下。

超声检测技术：该技术向被检测设备发射超声波，由于材料本身与裂纹、气孔等缺陷形成的空隙声阻抗存在较大的差异，超声波遇到交界面后就会发生折射、反射现象，反射回来的超声信号被接收到，通过对接收到的超声信号进行分析，判断工件内部的情况。适用于设备内部缺陷的检测。

射线检测技术：此技术的应用主要根据射线衰减原理，结合反馈射线的分布和强弱情况准确判断，通过射线底片或电子图片等可视化展现设备焊缝及母材内部的缺陷。

渗透检测技术：利用液体的毛细管作用，将渗透液渗入固体材料表面开口缺陷处，再通过显像剂将渗入的渗透液析出到表面显示缺陷的存在。适用于非多孔性材料的表面缺陷检测。

磁粉检测技术：铁磁性材料工件被磁化后，若设备表面及近表面由于缺陷产生不连续问题，使其磁力线发生局部畸变而产生漏磁场，吸附施加在工件表面的磁粉，在合适的光照下形成目视可见的磁痕，从而显示出非连续性的位置、大小、形状和严重程度。适用于铁磁性材料的表面及近表面缺陷检测。

2 各类无损检测技术在锅炉压力容器检验中的应用

在锅炉压力容器检验过程中，无损检测技术具有十分重要的作用，本文以锅炉压力容器的检验工作为案例进行分析，探讨了无损检测技术在其中的实际应用，具体如下。

2.1 超声无损检测技术

超声无损检测技术在无损检测技术中是一种较为常见的技术类型，在具体检测过程中，其工作原理是通过发射超声波和利用超声波反馈信号，对容器内部的缺陷问题进行判断。超声波是一种机械波，在无损检测工作开展过程中，一般采用2.5~5MHz的超声波，超声无损检测可以表现出更强的渗透力和更快的检测速度。在检测锅炉压力容器质量时，对超声无损检测技术的应用十分频繁，在正常情况下对超声波高频率发射进行运用，可以从一定角度的材料内部发射超声波，容器内壁则可以根据锯齿形状反射波来进行有效传达。在检测锅炉压力容器的横向缺陷问题时，需要利用轴向倾斜角度来有效发射，并以矩形形状在锅炉压力容器内部进行有效传播，并可以在荧光屏上针对检测时反馈回来的超声波进行信息显示，对超声波返回时的路径进行准确反映，并通过分析不同反射路径得到相应的距离波幅曲线，结合距离波幅曲线的波动情况准确进行判断。一般情况下，在检测锅炉压力容器时，需要检测焊缝的焊接质量。通过有效使用超声波检测技术，可以准确判断锅炉压力容器内部较为复杂的缺陷问题，使检测工作质量和效率得到提高^[3]。

2.2 射线检测

在锅炉压力容器质量检测过程中，射线检测技术的应用十分重要，对比超声无损检测技术，射线检测技术具有可视化、可保存、易重现等优势。在实际检测过程中，X射线或γ射线对于金属材料有较强的穿透力，一旦锅炉压力容器金属或焊缝内部有密度不同的缺陷存在时，在射线穿透时会有不同程度的能量变化产生，进而在射线底片中形成明暗不同的图像。检验人员可以结合图像变化特点，对容器内部缺陷进行判断。射线检测方法的实用性相对较强，在实际检测时可以避免容器出现损伤，并高质量地检测内部不同程度的缺陷问题，使检验人员能够对检测数据精确掌握，为设备维修奠定坚实基础^[4]。

2.3 渗透无损检测技术

在实际检测锅炉压力容器时，通过有效应用渗透检测技术，可以使渗透液在锅炉压力容器开口缺陷中缓慢渗入，通过使用清洁剂清除表面多余的渗透液，通过显像剂发现锅炉压力容器的缺陷。在实际使用渗透检测技术时，对不同材料具有较强的适用性。渗透无损检测技术适合在不锈钢或非磁性材料检测工作中进行使用。在实际检测过程中，该技术操作简单，可以有效检测大面积表面缺陷问题。除此之外，在具体检测工作中具有较高的检测效率，操作安全性也相对较高，特别是对于形状比较复杂和存在内部缺陷问题的构件，通过运用渗透无损检测技术，可以有效判断各种缺陷问题^[5]。

2.4 磁粉无损检测技术

在实际应用磁粉无损检测技术时，主要检测和判断锅炉压力容器焊缝焊接所产生的缺陷问题，通过有效使用磁粉检测技术，可以观察和判断磁场泄漏和磁粉间的作用力，并在锅炉压力容器的缺陷问题区域形成磁铁材料的不同排列规律。对于锅炉压力容器当中的磁性材料，在其完全磁化后可以在磁力线中对各种形式不同的排列信息进行展现，通过在检测工作中利用磁粉间的吸附性工作原理，可以合理分析和判断管道表面的不良缺陷问题。通过有效运用磁粉无损检测技术，其优势在于检测磁性较为敏感的锅炉压力容器材料表面缺陷问题，通过应用此技术可以具有明显的效果。但同时磁粉无损检测技术也存在一些缺陷，表现在检测特殊金属材料产生的磁化效果比较低。与此同时，磁粉无损检测技术不适合在部分不锈钢或非磁性材料检测工作中进行使用。所以，该技术在具体应用时需要结合不同材料合理进行选择，从而使此项技术具有的最大优势得到充分发挥^[6]。

2.5 涡流检测技术

在无损检测技术中，涡流无损检测技术是十分重要的一类检测技术，其可以通过交变磁场，分析检测设备的内部电磁感应的封闭电磁涡流数据，对设备缺陷和检测结论进行明确。通常来说，涡流检测主要应用在金属材料检测工作当中，不需要接触锅炉压力容器本体，便可以通过自动化和速度快的操作来有效检测缺陷。但此类技术只适用于金属材料检测，因此对锅炉压力容器自身的材质、形状和尺寸等有十分严格的要求。

2.6 超声波相控阵检测技术

超声波相控阵检测技术是一种新型的特殊超声波检测技术，类似相控阵雷达、声纳和其他波动物理学应用，依据惠更斯（Huyghens-Fresnel）原理：波动场的任何一个波阵面等同于一个次级波源；次级波场可以通过该波阵面上各点产生的球面子波叠加干涉计算得到。通过控制各个独立阵元的延时，可生成不同指向性的超声波束，产生不同形式的声束效果，可以模拟各种斜聚焦探头的工作，并且可以电子扫描和动态聚焦，

无需或少移动探头,检测速度快,探头放在一个位置就可以生成被检测物体的完整图像。超声检测实现了自动扫查,且可检测复杂形状的物体,克服了常规A型超声脉冲法的一些局限。但是同时也存在普通超声波检测对薄板检测盲区较大等缺陷,且在缺陷的定量方面仍不如射线检测。

3 无损检测中需要注意的问题

3.1 合理选择无损检测方法

在采用无损检测技术检测锅炉压力容器时,需要根据检测的目的,被检设备的材质等,选择相适应的检测方法。超声检测适用于对锅炉压力容器用金属板材、锻件及碳钢焊缝等内部缺陷的检测,对裂纹、分层等面积型缺陷灵敏度高,适用厚度范围取决于声波频率及材料本身特性,对壁厚小的设备来说盲区较大,检测前准备工作复杂,要求较高。射线检测对如气孔、夹渣等体积型缺陷检出率较高,而对于面积型缺陷的检出取决于缺陷走向与射线束之间的角度。且射线检测适用工件厚度取决于射线源能量,适用于壁厚小于50mm的锅炉压力容器内部缺陷检测;检测时需放置射线源、布片等工作,劳动强度较高,且由于X或 γ 射线的辐射,作业场地需满足一定的防护距离,作业人员应进行防护,作业空间要求较高。磁粉检测适用于对铁磁性材料制锅炉压力容器表面及近表面缺陷的检测,不能在非铁磁性材料表面形成磁场。渗透检测适用于非多孔型材料表面开口型缺陷的检测,检测深度较磁粉检测小。

3.2 加强锅炉压力容器的检测质量管理

在充分保证锅炉压力容器生产质量的前提下,进一步加强检测工作质量管理。在锅炉压力容器制造过程中,由于检测质量控制不严,造成锅炉压力容器本身缺陷没有被检出,导致锅炉压力容器在投用前就存在相关的质量隐患问题。对此,需要全面加强检测工作,使锅炉压力容器质量得到有效保证,从而使锅炉压力容器运行效率得到提高。一旦在锅炉压力容器检测过程中发现问题,则需要及时对其进行修复,使锅炉压力容器的正常运行得到保证。与此同时,还需要严格管理检测人员,使检测工作的质量得到提高。在实际检测过程中,需要制

定具体的工作制度,合理采取奖惩措施,从而确保检测工作的有效开展。除此之外,还需要对专业探伤人员进行配置,逐一排查产品,使产品得到优化,从而保证产品质量,确保锅炉压力容器维持良好的工作状态^[7]。

3.3 无损检测前的处理

在对锅炉压力容器开展探伤检测时,需要对被检测工作面进行清理,打磨接触面,使其洁净度、粗糙度得到保证。一般情况下,接触面会有腐蚀、氧化等情况产生,在检测焊缝时需要确保焊缝位置维持同一宽度。在磁粉、渗透检测过程中,需要打磨检测位置,使其产生金属光泽,确保磁粉检测工作开展的有效性。

3.4 不同检测技术的配合使用

无论哪种无损检测技术,均有其局限性及盲区,对于锅炉压力容器制造、使用过程中存在的缺陷,应结合设备本身材料、承装介质、运行的工况,分析易产生的缺陷类型,综合运用各类检测技术,如在超声检测中通过更换不同K值、不同频率探头;在射线检测中,改变射线入射角度、采用不同透照方式;在磁粉检测中引入反差增强剂、荧光磁粉检测等技术手段;在渗透检测中采用不同渗透剂、显像剂等,尽量将缺陷检出,消除设备隐患。

4 结语

综上所述,通过对无损检测技术进行应用,可以使锅炉压力容器检测质量得到有效优化,从而维持锅炉压力容器的正常运行。目前,在锅炉压力容器质量检测过程中,无损检测技术具有重要作用,一方面可以对锅炉压力容器制作时的质量问题进行检测,另一方面还可以对锅炉压力容器使用过程中产生的缺陷进行检测。在具体检测锅炉压力容器时,不仅可以使时间得到节约,而且还能够使成本得到优化。通过有效运用无损检测技术,可以使锅炉压力容器检测技术得到优化,使锅炉压力容器质量得到显著提升,减少锅炉压力容器运行过程中出现的安全问题,降低相关安全事故的发生概率。

参考文献:

- [1] 吴忠强,张玉路.无损检测技术在锅炉压力容器检验中的应用分析[J].技术与市场,2021,28(05):132-133.
- [2] 张合明,连卫政.工业锅炉压力容器检验中无损检测技术的应用研究[J].质量与安全检验检测,2020,30(04):111-112.
- [3] 顾晨阳.新无损检测技术在压力容器检验中的应用[J].清洗世界,2020,36(07):50-51.
- [4] 韩忠美,牟旭.无损检测技术在锅炉压力管道检验中的应用探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(01):71-72.
- [5] 刘元福,林晓.无损检测技术在海上压力容器检验中的应用[J].清洗世界,2019,35(12):55-57.
- [6] 宋昆晟,李永林,乔天奇.无损检测技术在锅炉压力管道检验中的应用[J].化工设计通讯,2019,45(12):100+154.
- [7] 周爽.无损检测技术在锅炉压力管道检验中的应用[J].科技资讯,2019,17(25):60-61.