

固定式压力容器定期检验中常规无损检测方法的 优势与劣势分析

李文兵¹ 霍珊珊²

1. 化学工业设备质量监督检验中心 江苏 南京 210000

2. 江苏集萃先进高分子材料研究所有限公司 江苏 南京 210000

摘要: 固定式压力容器在工业生产中是非常重要的设备,在化工和能源等行业有着广泛的应用。压力容器在实际使用过程中由于某些原因会产生缺陷,极易出现损伤导致失效的情况,给安全生产带来很大挑战,如果不能及时发现消除这些缺陷可能酿成重大的事故。通过对压力容器进行定期检验可以及时发现设备存在的问题并且及时消除,保障压力容器的正常运行,避免事故发生。无损检测是压力容器定期检验中的重要手段,本文重点对金属制固定式压力容器定期检验中常用的无损检测方法的优劣势进行分析。

关键词: 压力容器; 定期检验; 无损检测

工业领域中固定式压力容器十分的常见,很多企业生产所用介质都是以易燃易爆、有毒有害为主,当压力容器的工作压力或工作温度出现剧烈变化时很容易发生事故。现如今国内外化工及能源企业的安全事故都极易造成人员伤亡及巨大的经济损失。为了企业的安全生产,国内各化工和能源等行业所用的固定式压力容器都需要根据TSG21《固定式压力容器安全技术监察规程》的要求进行定期检验,压力容器的使用单位应对新投用三年内的金属制压力容器、一年内的非金属制压力容器或者在役压力容器在定期检验有效期到期一个月之前向检验机构申请定期检验,并且做好定期检验的准备工作。无损检测作为检验检测的主要手段在压力容器的定期检验中发挥着重要的作用。

1 固定式压力容器定期检验中无损检测技术概述

压力容器定期检验中的无损检测执行NB/T47013《承压设备无损检测》标准,无损检测是指在不破坏原检测对象的情况下,利用相对应的设备或器材,用物理方法或化学方法,对检测的对象表面及内部的结构或状态进行检测,并对检测的结果进行分析与评价,压力容器定期检验的安全状况等级应参考无损检测的结果分析与评价,从而综合定级。

2 压力容器定期检验中常用的无损检测技术

在压力容器定期检验中常用的无损检测方法主要有五种:超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测等。其中超声检测、射线检测作为检测埋藏缺陷的手段,磁粉检测、渗透检测以及涡流检测做为表面检测的手段。

2.1 超声检测

超声波检测是利用超声波与被检工件之间的反射、透射、以及衍射等原理进行检验检测的。超声检测适用于金属材料承压设备的母材或零件和焊缝的检测,适用于在役设备的检测。^[1]超声波是频率高于20000赫兹的声波,我们常用的脉冲反射超声仪,其工作频率一般为0.5MHz~10MHz,超声波具有穿透性强、方向性好的特点。利用超声反射的特点可以有效的检测出压力容器母材及焊缝的埋藏缺陷。

2.1.1 超声检测优点:

(1) 适用范围比较广,例如可以对金属和非金属以及复合材料等设备进行无损检测,适用于现场压力容器定期检验的无损检测;(2) 超声波具有很强的穿透力,所以可以对壁厚比较厚的材料或焊缝进行埋藏缺陷检测;(3) 具有很好的方向性,所以能较为准确的对缺陷位置进行定位;(4) 有非常高的灵敏度,可检测工件内部很小的缺陷,对面积型缺陷比较敏感,具有很高的检出率。(5) 检测成本相对来说比较低、设备便于携带,检测的速度非常快,使用非常方便;(6) 作为检测埋藏缺陷的手段,对比射线检验,对人体基本无害,不需要考虑到辐射安全问题等。

2.1.2 超声检测局限性:

(1) 对被检工件的厚度有一定的要求,尤其是不能对厚度小于6mm的奥氏体不锈钢及镍基合金的进行检测;(2) 探头的方向与缺陷的方向及位置都会影响到检测的结果;(3) 工件的不规则性、形状复杂的工件等不利于检测的进行;(4) 设备材质、材料的晶粒度对检测

存在一定的影响。

2.2 射线检测

射线检测适用于金属熔化焊焊接接头,包括对接焊缝、管座角焊缝、管板角焊缝等;目前常用的射线源有X射线、伽马射线两种。当然也可以使用其他射线源,本文仅对常用的X射线及伽马射线优劣势做论述。^[2]需要注意的是在进行射线检测作业时,需划定管理区,设备警示标志,相关人员需要佩戴个人剂量计、计量报警仪等,做好辐射安全防护工作。最后可根据NB/T47013.2《射线检测》中检测结果评价和质量分级来确定法定检验的压力容器的安全状况等级。

2.2.1 射线检测的优点:

(1)适用于范围十分广,可以说几乎所有材料都适用;(2)可以非常直观地显示缺陷,十分方便对缺陷进行定位、定性以及定量;(3)现阶段的射线检测主要用于对铸件和焊件的检测,对工件的形状、表面粗糙到几乎没有特殊的要求。(4)具有非常高的灵敏度,能够检测出非常微小的缺陷;(5)射线检测的底片能够长期保存,出现事故时,可以随时复查底片,方便对事故进行分析。

2.2.2 射线检测的局限性:

(1)检测成本相对来说较高,检测时间较长,设备携带不方便;(2)虽然射线检测具有很高的灵敏度,对气孔、夹渣、疏松等体积型缺陷的检测灵敏度比较高,但是对近似垂直的裂纹等平面缺陷的检出率比较低;(3)当工件厚度比较大时则需要更高能量的射线设备,额外增加了检测的难度与成本。(4)对比其他的检测方法射线对人体有一定的伤害,需要额外增加保护措施。

2.3 磁粉检测

铁磁性材料的表面无损检测优先选用磁粉检测,用于工件的表面和近表面的缺陷检测,磁粉检测原理比较简单,主要依靠磁力作用,需要把铁磁性材料磁化,由于缺陷的存在,从而形成漏磁场使工件表面或近表面的磁力线发生变化,使得喷洒的磁悬液附着在工件的缺陷部位,形成明显可见的磁痕。磁粉检测适用范围比较广,灵敏度比较高,可以检测出目视检查难以发现的表面或者近表面很微小的缺陷,但是不适用于母材及焊缝埋藏缺陷的检测。

2.3.1 磁粉检测优点:

(1)对比渗透检测可以检测出近表面缺陷,适用于铁磁材料表面或近表面的缺陷检测;(2)方便对缺陷进行观察与判断,能够非常直观的显示出缺陷位置以及大小和形状;(3)检测的灵敏度很高,甚至可检测微米级别宽度的缺陷;(4)磁粉检测速度非常快,操作非常简

单,几乎无污染,成本很低;(5)几乎不受被检工件的大小以及形状限制,通过合适的磁化方法可以检测工件的各个部位;(6)具有很好的重复性与再现性,可以随时对缺陷进行再现。

2.3.2 磁粉检测的局限性:

(1)适用的金属材料的范围有限,只能检测铁磁性材料,不能用来检测非铁磁性材料,现场常见的奥氏体不锈钢等压力容器定期检验的表面无损检测就无法进行磁粉检测;(2)无法进行埋藏缺陷检测,只能用作表面和近表面的缺陷检测;(3)磁粉检测的灵敏度虽然很高,但是磁化方对缺陷的检出率有很大影响,很难发现与磁化方向近似平行的缺陷,也难以发现表面与被检工件夹角小于 20° 的缺陷;(4)对被检工件的表面处理要求很高,首先要打磨掉工件表面的防腐层,去除氧化皮等,前期准备工作比较繁琐,需耗费更多人力在前期准备工作上;(5)虽然灵敏度较高,能显示缺陷的大小以及形状,但是无法显示出缺陷的深度。

2.4 渗透检测

在固定式压力容器定期检验中,渗透检测作为常用的表面无损检测方法被经常使用,检测的原理是渗透剂在毛细作用下,渗入到开口的缺陷内部,经过持续的一段时间的渗透后,去除表面多余的渗透剂,通过显象剂的毛细作用将开口缺陷内部的渗透剂吸附到工件表面从而形成红色的痕迹,从而能够观察到缺陷的存在,这种检测方法称为渗透检测。

2.4.1 渗透检测的优点:

(1)简单易学,对初学者来说容易上手;(2)应用的范围非常广,可以用来检测金属以及非金属、磁性以及非磁性等各种材料。不受制造加工方式影响,可以检测焊接、锻造、轧制等工件。(3)灵敏度非常高,在正确的操作下可以发现微米级别宽度的缺陷;(4)显示直观,能清晰的显示不同方向的表面开口缺陷,并且可以随时再现;(5)检测用的设备非常简单,成本低。

2.4.2 渗透检测的局限性:

(1)作为表面无损检测的两大常用方法,对比磁粉检测,只能检测出表面开口缺陷,无法检测近表面缺陷;(2)渗透检测的操作工序略多,对渗透时间有一定要求,检测速度比较慢;(3)检测的灵敏度受操作者的人为影响较大;(4)对被检工件的表面处理要求较高,无法检测粗糙多孔的材料;(5)只能确定缺陷的表面分布,无法确定缺陷的深度,难以做出定量评价。

2.5 涡流检测

涡流检测系统有三部分组成:涡流检测仪、检测用

线圈和某些辅助装置。涡流检测技术在压力容器中的应用日益广泛,成为确保压力容器结构完整性和安全性的重要手段之一。涡流检测技术基于电磁感应原理,当载有交变电流的检测线圈靠近导电试件时,试件中会产生涡流。涡流的大小、相位及流动形式受试件导电性能的影响,同时涡流也会形成一个磁场,反过来影响检测线圈的阻抗。通过测量检测线圈阻抗的变化,可以分析出被测试件的性能及是否存在缺陷。在压力容器中的应用:涡流检测技术特别适用于导电材料构成的压力容器,如钢管、合金管等。它能有效检测容器表面及近表面的缺陷,如裂纹、腐蚀等。涡流检测具有非接触性,即检测过程中无需与被测物体直接接触,这大大提高了检测的效率和自动化程度。该技术对缺陷的检测具有较高的灵敏度和精度,能够发现微小的缺陷。

2.5.1 涡流检测的优点:

(1) 检测速度非常快,检测成本较低;(2) 有很高的灵敏度,能够发现细小的裂纹及缺陷,可以发现微米级别的缺陷,对表面及近表面的缺陷检出率很高;(3) 涡流检测适用场景比较广泛,例如高温环境、狭小区域环境、在役压力容器中无法用其他方式进行表面检测到的换热管等;(4) 涡流检测除了能够进行缺陷检测,还可以测量金属表面的覆盖层的厚度;(5) 检测材料范围比较广,适用于各种导电材料,包括金属导电材料和非金属导电材料,我们压力容器定期检验中的涡流检测的材质往往是金属导电材料;(6) 涡流检测的数据便于存储在装有涡流检测软件系统的电脑上了,方便后期查阅,可以对存储的数据进行比较和处理,便于后期再现。

2.5.2 涡流检测的局限性:

(1) 对象必须是导电材料,无法检验非导电的材质;(2) 虽然涡流检测的灵敏度比较高,检测速度比较快,但是极易出现伪缺陷,难以对缺陷形状及类型进行判断,可能会对最后的评价结果产生影响,所以对检验检测人员的经验要求比较高;(3) 涡流检测结果以电信号的方式展现,无法直观的显示缺陷形状或类型;(4) 适用于表面或近表面的检测,难以进行埋藏缺陷检测。

3 无损检测技术在固定式压力容器定期检验中优化与改进

无损检测技术在固定式压力容器定期检验中的优化与改进是推动化工行业安全发展的重要环节。随着技术的不断进步和应用需求的日益提高,无损检测技术正朝着更高效、更精准、更智能的方向发展。^[1] (1) 技术创新与融合。不断探索和引入新的无损检测技术,如衍射超声检测、超声波相控阵检测、超声导波检测、电磁超

声检测都已经开始应用,像激光超声、微波检测、红外热成像等也在快速发展,并与传统技术如超声波检测、X射线检测等进行有机融合,形成优势互补,提高检验检测工作的全面性和准确性。通过技术创新,解决传统技术难以检测的复杂结构或特殊材料问题,提升检测效率和质量。(2) 智能化与自动化。利用人工智能、大数据、云计算等现代信息技术,推动无损检测技术的智能化和自动化发展。通过开发智能检测系统和自动化检测设备,实现检测过程的远程监控、自动数据采集与分析、智能故障诊断等功能,减少人为干预,提高检测效率和准确性,降低检测成本^[4]。(3) 标准化与规范化。加强无损检测技术的标准化和规范化建设,制定和完善相关检测标准、操作规范和质量管理体系。通过标准化和规范化,确保检测结果的可靠性和一致性,提高检测工作的科学性和规范性,为固定式压力容器的安全运行提供有力保障。(4) 培训与教育。加大对无损检测人员的培训和教育力度,提高其专业技能和综合素质。通过举办培训班、研讨会、现场教学等方式,普及无损检测新技术、新方法和新标准,提升检测人员的操作水平和检测能力,加强安全意识教育,确保检测人员在工作中严格遵守安全规程,保障人身和设备安全。(5) 持续监测与预警。将无损检测技术应用于固定式压力容器定期检验持续监测和预警系统中,实现对容器运行状态的实时监控和数据分析。通过监测数据的变化趋势,及时发现潜在的安全隐患和故障征兆,并提前采取相应措施进行处理,避免事故的发生,保障化工生产的安全稳定进行。

结束语

无损检测技术在固定式压力容器定期检验中发挥着不可替代的作用,其应用不仅提升设备的安全性和可靠性,还促进化工行业的可持续发展。随着技术的不断创新和融合,无损检测技术将更加智能化、自动化,为固定式压力容器定期检验工作提供更强有力的支持。未来,应继续加强无损检测技术的研发与应用,推动其在化工领域的广泛应用,为化工行业的安全发展贡献力量。

参考文献

- [1]张东.对常规无损检测方法选择的分析[J].科技资讯,2013-01-13.
- [2]刘兵.论压力容器无损检测新技术的原理和应用[J].清洗世界,2021,37(04):115-116.
- [3]代立.压力容器检验中磁粉检测的特点分析[J].中国高新科技,2021(02):153-154.
- [4]成伟.压力容器检验中无损检测技术的应用[J].化学工程与装备,2021(01):236-237.