

无损检测与压力容器

马世伟 王永宝 韩 伟

天津市达安特工程检测有限公司 天津 300350

摘 要:在现代工业进程里,压力容器广泛应用于各个领域,从石油化工的复杂反应到食品医药的精细生产,再到能源电力的稳定供应,它都是不可或缺的关键设备。本文聚焦于无损检测与压力容器的关系。阐述了压力容器检验中无损检测技术的重要性,包括保障设备安全运行、符合法规标准以及降低企业运营成本。介绍了射线检测、超声波检测等常用无损检测技术,并分析了其在压力容器检验中的应用要点,如检测前准备、方法选择、过程控制及缺陷评定处理等。同时,探讨了无损检测技术在压力容器检验中的发展趋势,涵盖新技术研发应用、多种技术融合、智能化自动化检测以及远程检测与实时监测,为压力容器的安全检验提供参考。

关键词:无损检测;压力容器

引言:压力容器作为工业生产中重要的承压设备,广泛应用于化工、能源等诸多领域。其运行的安全性和可靠性至关重要,一旦发生故障,可能引发严重的安全事故和经济损失。无损检测技术作为一种不破坏被检测对象的检测手段,在压力容器检验中发挥着关键作用。通过无损检测,能够及时发现压力容器内部的缺陷和隐患,保障设备的安全运行。将深入探讨无损检测技术在压力容器检验中的重要性、常用技术、应用要点以及发展趋势,以提升对压力容器检验的认识和水平。

1 压力容器检验中无损检测技术的重要性

1.1 保障设备安全运行

压力容器在复杂工况下运行,微小缺陷可能因压力、温度变化逐渐扩展,引发严重泄漏甚至爆炸。无损检测技术,如射线检测可精准发现内部裂纹、气孔等缺陷,超声波检测能探测到材料内部的细微异常。通过定期检测,能及时掌握设备状况,提前处理隐患,避免突发事故,确保设备安全稳定运行,保障工作人员生命安全和生产场所安全,维持企业正常生产秩序,防止因设备故障导致生产中断造成更大损失。

1.2 符合相关法规标准

在工业领域,压力容器的使用受到严格法规监管。各国均制定了详细标准,明确要求对压力容器进行定期无损检测。企业遵循这些法规,不仅是法律义务,更是对社会负责的体现。例如,按照标准进行射线、磁粉等检测,能确保容器制造、安装及使用过程符合规范。一旦违反,企业将面临罚款、停产整顿等处罚。严格执行无损检测,有助于企业顺利通过监管部门检查,维持合法合规运营,树立良好企业形象,在市场竞争中保持优势。

1.3 降低企业运营成本

看似增加检测成本的无损检测,实则为企业节省大量开支。及时发现并修复小缺陷,成本远低于设备故障后的全面维修或更换。以超声波检测为例,能快速定位问题,避免缺陷扩大。同时,减少设备突发故障引发的生产中断,降低停产损失。有效检测还可延长设备使用寿命,减少新设备购置费用。合理安排检测计划,优化资源配置,提高设备运行效率,从长期来看,无损检测是降低企业综合运营成本、提升经济效益的重要手段^[1]。

2 常用无损检测技术

2.1 射线检测

射线检测原理是借助X射线或 γ 射线强大的穿透能力,穿透压力容器。不同物质对射线吸收能力有着显著差异,当射线穿过容器时,内部的气孔、夹渣等缺陷区域与正常材料对射线吸收有别,致使成像板或胶片上呈现出不同灰度影像。具体操作时,把射线源放置在容器一侧,成像介质置于另一侧,射线穿透后成像。比如在检测大型球形压力容器时,射线源需精准定位,确保射线能均匀覆盖检测区域,成像介质妥善固定,保证成像清晰。该技术对体积型缺陷检测灵敏度颇高,能清晰直观地展现缺陷的形状、尺寸和确切位置,且检测结果可长期留存,便于质量回溯。不过,射线具有辐射性,对人体有害,检测时需严格落实防护措施,如配备专业防护铅衣、设置安全隔离区等。设备采购及维护成本高昂,检测效率不高,并且对于面积型缺陷如裂纹,检测效果易受射线入射角度制约。在压力容器领域,常用于原材料、焊接接头这类关键部位检测,以此保障产品质量安全,像化工反应釜的制造过程中,对每一道焊接接头进行射线检测,不放过任何潜在隐患。

2.2 超声波检测

超声波检测基于超声波在材料中传播特性。当超声波遇到缺陷,会产生反射、折射与散射现象。检测人员手持超声探头,向压力容器发射超声波,探头与压力容器表面需紧密耦合,涂抹适量的耦合剂,像凡士林、浆糊等,以减少声能损失,确保超声波顺利传入容器内部。随后接收反射回来的波信号,并加以分析。它擅长检测内部缺陷,特别是对裂纹类缺陷敏感度高,在厚壁容器检测中优势明显。例如在检测核电站的厚壁压力容器时,能快速精准定位内部细微裂纹。该技术具备检测速度快、成本低且对人体无危害的特点。但此技术对操作人员专业技能要求高,操作人员不仅要熟悉超声检测设备的各项参数设置,还得深入掌握不同缺陷的波信号特征,缺陷定性和定量分析过程复杂。面对形状复杂、表面不平整的压力容器,检测难度增大,比如带有不规则凸起或凹陷的压力容器,超声波传播路径易受干扰。在压力容器制造流程中,广泛用于焊缝及内部质量检测,能迅速对大面积区域进行筛查,及时察觉潜在缺陷隐患,为容器的质量安全保驾护航。

2.3 磁粉检测

磁粉检测专门针对铁磁性材料。当对压力容器被检部位进行磁化处理后,缺陷处的磁力线会发生畸变,此时喷洒磁粉(干分粉和湿粉),磁粉就会被缺陷处的畸变磁力线吸附,从而形成磁痕,以此显示缺陷。操作先磁化,再喷粉。该方法对表面和近表面缺陷检测灵敏度极高,操作流程简便,检测速度快,成本低廉,检测结果直观清晰,易于判读。然而,其局限性在于仅适用于铁磁性材料,对缺陷深度难以精确量化,且工件表面粗糙、存在油污等情况会干扰检测结果。在压力容器检测中,常用于对表面及近表面裂纹、折叠等缺陷排查,比如在外观检查发现可疑部位时,用磁粉检测做进一步确认。

2.4 渗透检测

渗透检测是将含有染料或荧光剂的渗透液均匀涂覆在压力容器表面,渗透液会渗入表面开口缺陷内。接着去除多余渗透液,再涂抹显像剂,缺陷中的渗透液会被显像剂吸附,进而显示出痕迹。检测步骤依次为预处理、渗透、清洗、显像。该技术能检测各类非多孔性材料的表面开口缺陷,不受材料种类、形状及组织结构限制,操作简单,成本较低,检测结果直观可见。不过,它只能检测表面开口缺陷,无法确定缺陷深度,且检测前需对工件表面进行严苛清洁,整个检测耗时较长。在压力容器检测方面,常用于容器制造完成后或维修时,对关键部位的表面微小裂纹、针孔等缺陷检测。

2.5 涡流检测

涡流检测利用交变磁场在导电材料中产生感应电流即涡流。一旦材料存在缺陷,涡流的分布和大小会发生改变,从而导致检测线圈的阻抗变化,以此检测缺陷。检测时,将检测线圈贴近压力容器表面。该技术对导电材料的表面及近表面缺陷检测灵敏,能够实现高速自动化检测,对工件无损伤,无需使用耦合剂。但面对形状复杂的工件,检测难度较大,检测结果易受材料材质、形状等多种因素影响,信号分析较为复杂。在压力容器生产中,常用于管材、板材的快速探伤,可在生产线上对原材料或半成品实时在线检测,及时揪出质量问题^[2]。

3 无损检测技术在压力容器检验中的应用要点

3.1 检测前的准备工作

检测前,需全面了解压力容器的基本信息,包括设计图纸、制造工艺、使用年限、运行工况等,以此评估潜在缺陷类型与可能出现的位置。同时,要对检测设备进行严格检查与校准,确保射线源强度稳定、超声探头频率准确、磁粉检测设备的磁化参数达标等,保证检测数据精确可靠。针对被检容器,需清理表面油污、铁锈、漆层等杂质,使检测面光洁,利于渗透液、磁粉附着以及超声、射线的传播。此外,还应依据检测任务制定详细方案,明确检测部位、方法、人员分工及安全防护措施等,为后续检测顺利开展奠定基础。

3.2 检测方法的选择

选择检测方法要综合考量多种因素。对于内部体积型缺陷,射线检测因能直观成像,是检测气孔、夹渣的优选;而检测内部裂纹,超声波检测灵敏度高,尤其适用于厚壁容器。磁粉检测仅针对铁磁性材料,用于表面及近表面缺陷检测效果佳;渗透检测不受材料限制,可检测各类非多孔材料的表面开口缺陷。涡流检测则适用于导电材料的表面及近表面探伤。实际操作中,常因压力容器结构、材质复杂,单一方法难以全面检测,需结合多种方法,如先用射线检测整体内部情况,再用磁粉检测重点部位表面缺陷,实现优势互补,提高检测准确性与全面性。

3.3 检测过程的控制

检测过程控制关乎检测结果的可靠性。检测人员要严格依照既定检测方案与操作规程作业,确保检测参数精准无误。例如,射线检测时控制好曝光时间、射线能量;超声检测中保证探头移动速度均匀、耦合良好。在检测厚壁容器时,合理安排检测角度,避免漏检。对于磁粉检测,控制磁化时间与磁场强度,保证磁粉均匀吸附。渗透检测时,把控渗透时间、清洗程度,防止过度清洗或清洗不净影响检测结果。同时,要做好检测环境

的控制,避免强光、强电磁干扰,确保检测过程稳定、有序,获取高质量检测数据。

3.4 缺陷的评定与处理

依据相关标准,如GB/T 19624《在用含缺陷压力容器安全评定》等,对检测出的缺陷进行评定。评定内容涵盖缺陷的类型、尺寸、位置及密集程度等。对于危害性小的缺陷,如微小气孔、浅表面裂纹,可在监控下继续使用;对于严重缺陷,如贯穿性裂纹、大面积未焊透,需及时修复或更换部件。修复方法依缺陷情况而定,焊接缺陷可采用补焊,腐蚀缺陷可进行打磨、堆焊等处理。处理后要再次检测,确认缺陷已消除,保证压力容器安全运行,满足生产需求,防止因缺陷处理不当引发安全事故^[3]。

4 无损检测技术在压力容器检验中的发展趋势

4.1 新技术的研发与应用

随着科技不断进步,新型无损检测技术不断涌现。例如,太赫兹检测技术,它利用太赫兹波对材料内部结构具有独特穿透能力的特性,可检测压力容器内部微小缺陷,且对非金属材料的检测效果良好,弥补了传统技术在某些材料检测上的不足。还有激光超声检测技术,通过激光激发超声波,能实现非接触式检测,特别适用于高温、高压等恶劣环境下的压力容器检测,极大提高检测效率与安全性。此外,基于声发射原理的在线监测技术,能实时捕捉容器运行中因缺陷扩展产生的声发射信号,为早期故障诊断提供依据。这些新技术不断研发并投入应用,将使压力容器检测更加精准、高效,开拓更广阔的检测应用场景。

4.2 多种检测技术的融合

单一无损检测技术往往存在局限性,难以全面、精准检测复杂压力容器的各类缺陷。因此,多种检测技术融合成为趋势。例如,将射线检测的直观成像优势与超声波检测的高灵敏度相结合,先用射线检测初步判断内部体积型缺陷的大致情况,再利用超声波对重点区域进行精细化检测,精准定位缺陷位置与尺寸。磁粉检测与渗透检测融合,可同时检测铁磁性材料表面及近表面开口与闭口缺陷。通过多技术融合,能发挥各技术长处,实现优势互补,显著提高检测结果的准确性与可靠性,全面提升压力容器检测质量,更有效地保障设备安全运行。

4.3 智能化与自动化检测

传统无损检测依赖人工操作与经验判断,主观性强且效率低。智能化与自动化检测成为发展方向。利用人工智能算法,对大量检测数据进行学习分析,实现缺陷的自动识别与分类,降低人为误判。自动化检测设备可依据预设程序自动完成检测动作,如自动扫描压力容器表面、精准控制检测参数。在生产线上,自动化检测设备能实时、连续检测,大大提高检测效率。例如,智能超声检测系统可自动生成检测报告,详细记录缺陷信息,为后续维护决策提供有力支持,推动压力容器检测向高效、精准、智能化方向发展。

4.4 远程检测与实时监测

为满足对压力容器全生命周期管理需求,远程检测与实时监测技术不断发展。借助物联网、5G等通信技术,检测人员可远程操控检测设备,对现场压力容器进行检测,突破地域限制,降低检测成本。实时监测系统能将传感器采集到的容器运行状态数据,如应力、温度、压力等,实时传输至监控中心,一旦数据异常或出现缺陷扩展迹象,立即发出警报。这种远程与实时监测模式,可实现对压力容器运行状况的24小时不间断监控,及时发现潜在安全隐患,为预防性维护提供依据,保障设备长期安全稳定运行^[4]。

结束语

无损检测技术贯穿压力容器的整个生命周期,从制造环节把关质量,到使用过程监测安全,已然成为保障压力容器稳定运行的关键所在。新技术的研发拓宽了检测边界,多技术融合提升检测精度,智能化、远程化则革新检测模式。

参考文献

- [1]李海英.压力容器的无损检测技术及应用[J].中国石油和化工标准与质量,2022,38(23):83-84.
- [2]周晓东.议无损检测在压力容器中的应用分析[J].化工管理,2020(32):105-106.
- [3]王聪,孔思蓉,朱金辉.无损检测技术在压力容器检验中的应用[J].化工设计通讯,2022,44(10):74-75.
- [4]张谦.无损检测技术在锅炉压力管道检验中的应用[J].中国新技术新产品,2022(20):88-89.