

化工特种设备锅炉压力容器检验研究

陈先活 杨剑波 陈明黎

温州市特种设备检测科学研究院 浙江 温州 325800

摘要: 化工领域中, 特种设备锅炉压力容器是核心装备, 在高温、高压、强腐蚀等严苛工况下运行, 为各类化学反应及物料传输供能、承压。本文聚焦于化工特种设备锅炉压力容器的检验研究。先概述了化工特种设备锅炉压力容器, 接着详细阐述了其检验技术与方法, 包括无损检测、理化检验以及宏观检验。指出检验中存在技术层面、人为因素、法规标准和检验环境等方面的问题。并针对这些问题提出加强技术研发创新、提高检验人员素质、完善法规标准体系和改善检验环境条件等优化对策, 以期提升检验水平。

关键词: 化工特种设备; 锅炉压力; 容器检验; 研究

引言: 在化工行业中, 锅炉压力容器作为关键的特种设备, 其安全运行至关重要。一旦出现故障, 可能引发严重的安全事故和环境污染, 造成巨大的经济损失。对其进行准确、有效的检验是保障安全的关键环节。目前, 虽然已有多种检验技术和方法, 但在实际检验过程中仍面临诸多挑战。本文旨在深入探讨化工特种设备锅炉压力容器的检验技术、存在的问题, 并提出相应的优化对策, 为化工行业的安全稳定发展提供理论支持和实践参考。

1 化工特种设备锅炉压力容器概述

化工特种设备锅炉与压力容器, 是化工生产进程中不可或缺的关键设备, 广泛应用于石化、能源、制药等多个领域。锅炉, 作为一种能量转换设备, 能够将燃料的化学能、电能等能源, 通过一系列复杂的物理和化学反应, 转化为蒸汽或热水。依据工作压力、结构和用途, 可细分为多种类型。例如, 按压力分为低压、中压、高压锅炉; 按结构, 有火管锅炉、水管锅炉。在化工生产里, 锅炉产生的蒸汽可用于加热、蒸发、干燥等工艺环节。压力容器, 是指盛装气体或者液体, 承载一定压力的密闭设备。从形态和结构来看, 涵盖球形容器、圆筒形容器等; 按设计压力又可分为低压、中压、高压、超高压容器。化工生产常涉及高温、高压、易燃易爆、有毒有害的化学反应, 压力容器可营造并维持反应所需的特定压力和温度环境, 防止物料泄漏引发安全事故。由于化工生产的特殊性, 锅炉和压力容器往往在恶劣的工况下运行, 承受高温、高压、强腐蚀等多重作用。一旦发生故障, 极易引发火灾、爆炸、中毒等严重事故, 造成人员伤亡和财产损失, 因此, 对其进行严格的检验和维护, 保障安全运行, 对化工行业的稳定发展意义重大^[1]。

2 化工特种设备锅炉压力容器检验技术与方法

2.1 无损检测技术

2.1.1 射线检测

射线检测是利用X射线或 γ 射线穿透被检测的锅炉压力容器, 基于不同物质对射线吸收程度的差异, 使缺陷在成像板或探测器上呈现出不同的灰度影像, 以此识别缺陷。在化工特种设备检测时, 对于焊缝内部的气孔、夹渣、未焊透等缺陷, 射线检测能精准定位和定量分析。其成像直观, 检测结果便于存档和追溯。但射线检测对人体有辐射危害, 检测成本较高, 检测厚壁设备时灵敏度受限。此外, 检测前需对设备进行严格清理, 避免表面杂物干扰成像。由于射线检测技术对环境和操作要求严格, 检测人员需经过专业培训, 在检测过程中要采取多重防护措施, 确保人身安全与检测结果的准确性。

2.1.2 超声检测

超声检测借助超声波在材料中传播时遇到缺陷产生反射、折射和散射的特性, 检测锅炉压力容器内部的缺陷。在检测过程中, 检测人员通过超声波探伤仪发射和接收超声波信号, 并根据信号的变化判断缺陷的位置、大小和性质。该技术对面积型缺陷, 如裂纹等, 检测灵敏度高, 且适用于各种形状和尺寸的工件。与射线检测相比, 超声检测成本较低、检测速度快, 对人体无辐射危害。不过, 超声检测结果的判断依赖检测人员的经验和技能, 且对形状复杂或表面不平整的工件检测难度较大, 还需在检测表面涂抹耦合剂, 以确保超声波有效传播。

2.1.3 磁粉检测

磁粉检测适用于检测铁磁性材料表面和近表面的缺陷。当被检测的锅炉压力容器表面或近表面存在缺陷时, 会引起磁力线的畸变, 此时在工件表面施加磁粉, 磁粉会在缺陷处聚集形成磁痕, 从而显示出缺陷的位

置、形状和大小。磁粉检测操作简便、检测灵敏度高，能够直观显示缺陷。在化工设备的定期检测中，对于轴类、管道、压力容器的对接焊缝等部件的表面裂纹检测效果显著。然而，该方法仅适用于铁磁性材料，对非铁磁性材料无效，并且检测前需对工件表面进行清理和磁化处理，检测后还需对工件进行退磁处理，以免影响设备的正常使用。

2.1.4 渗透检测

渗透检测通过将含有染料或荧光剂的渗透液涂覆在锅炉压力容器表面，使其渗入缺陷内部，然后去除表面多余的渗透液，再涂上显像剂，缺陷中的渗透液会被吸附到表面，形成与缺陷形状相符的痕迹，以此发现表面开口缺陷。该方法对表面裂纹、气孔、疏松等缺陷检测灵敏度高，不受材料种类、形状和尺寸的限制，检测成本较低。但渗透检测只能检测表面开口缺陷，对表面粗糙或有油污的工件，检测前需进行严格的清洗和预处理，检测过程中还需注意渗透时间、温度等因素，以确保检测结果的可靠性。

2.2 理化检验技术

2.2.1 化学成分分析

化学成分分析是确定化工特种设备锅炉压力容器材质化学组成的关键手段。在生产制造阶段，通过精准测定材料的化学成分，可判断其是否符合设计要求；在设备服役期间，检测材质成分的变化，有助于评估设备受腐蚀、老化等因素的影响程度。常用的分析方法有光谱分析法、化学滴定法。光谱分析法借助物质对不同波长光的吸收、发射特性，快速且准确地分析材料中的多种元素；化学滴定法则通过化学反应，依据消耗的滴定剂量来计算被测元素的含量。在实际操作中，光谱分析法常用于现场快速筛查，而化学滴定法常用于实验室的高精度分析。

2.2.2 力学性能测试

力学性能测试旨在评估锅炉压力容器材料在不同受力条件下的行为特性，包括拉伸、冲击、硬度等测试项目。拉伸测试通过对试样施加轴向拉力，测量其屈服强度、抗拉强度、伸长率等参数，以此判断材料的承载能力和塑性变形能力；冲击测试用于测定材料在冲击载荷下的韧性，确定材料是否存在低温脆性；硬度测试则通过测量材料表面抵抗压入或划痕的能力，间接评估材料的强度和耐磨性。这些测试结果不仅为设备的安全运行提供依据，还能帮助判断设备在使用过程中是否发生性能劣化。在进行力学性能测试时，需严格按照标准制备试样，保证试样的尺寸、形状符合要求，并控制测试环

境的温度、湿度，减少外界因素对测试结果的干扰。

2.2.3 金相分析

金相分析通过观察和分析材料的微观组织结构，了解材料的加工工艺和使用过程中的组织变化。检测人员使用金相显微镜或电子显微镜，对经过抛光、腐蚀处理的金相试样进行观察，确定材料的晶粒大小、晶界形态、相组成等微观特征。在锅炉压力容器的检验中，金相分析可用于判断材料在制造过程中是否存在过热、过烧等缺陷，以及在使用过程中是否发生组织转变、脱碳、渗碳等现象。分析高温服役设备的金相组织，能判断其蠕变损伤程度。为确保金相分析结果的准确性，制样过程需精细操作，避免对组织造成损伤，同时检测人员需具备丰富的经验，准确解读金相组织特征所反映的材料性能信息。

2.3 宏观检验技术

2.3.1 外观检查

外观检查作为宏观检验的首要环节，主要依靠检验人员的肉眼及简单工具，对化工特种设备的表面开展全面检查。查看设备表面有无划痕、变形、磨损等，同时留意是否存在腐蚀、鼓包和渗漏等问题。针对焊缝，要检查外观成型是否达标，有无咬边、气孔等缺陷。检查时，手电筒、反光镜等工具可辅助观察。对于设备内部角落等难以触及的部位，需借助内窥镜。外观检查能快速发现设备表面问题，为后续深入检测提供方向。

2.3.2 尺寸测量

尺寸测量的核心目的，是确保锅炉压力容器的关键尺寸契合设计与标准要求，保障设备安全稳定运行。检验人员需对设备的外形、接管、焊缝等关键尺寸进行测量。比如，测量压力容器的直径与长度，确定容积符合设计；测量封头曲率半径，判断是否符合制造标准。卡尺、卷尺、激光测距仪等是常用测量工具。测量时，必须严格遵循标准规范，选择合适测量部位与方法，保证数据准确。对于大型设备，全站仪能提供高精度测量结果。

2.3.3 壁厚测定

壁厚测定对评估锅炉压力容器的剩余强度和使用寿命意义重大。化工设备在长期运行中，受介质腐蚀、冲刷影响，壁厚会逐渐减薄。超声测厚法是常用的壁厚测定方法，其利用超声波在不同介质中的传播速度差异测算壁厚。检测前，需清理设备表面，确保探头与设备紧密接触。检验人员要在接管处、焊缝附近等重点部位多点测量，并绘制壁厚分布图。一旦发现壁厚减薄超出规定值，需及时修复或更换设备，避免因强度不足引发安全事故^[2]。

3 化工特种设备锅炉压力容器检验中存在的问题

3.1 技术层面问题

现有检测技术在面对复杂结构设备时,难以全面检测细微缺陷。例如,部分无损检测技术受材料特性、设备形状限制,存在检测盲区。不同检测技术间的融合应用不足,导致检验人员需多次转换检测方法,增加时间成本且易出现漏检。此外,检测设备的灵敏度和精度不够,无法及时发现早期的材料性能劣化和微小缺陷,影响对设备安全状况的准确评估。

3.2 人为因素影响

检验人员专业知识和技能水平参差不齐,部分人员对新检测技术、标准规范掌握不足,检测过程易出现操作失误,影响检测结果的准确性。而且,部分检验人员责任心不强,存在敷衍了事、未按规定流程检测的现象,使得一些本可发现的问题被遗漏。此外,人员流动频繁导致检验队伍不稳定,影响检验工作的连续性和质量。

3.3 法规标准不完善

现行法规标准在某些新型材料和复杂工况下的检验要求不够明确,缺乏针对性和可操作性,导致检验人员在实际工作中无章可循。同时,不同地区、部门的法规标准存在差异,给跨区域作业和统一管理带来困难。并且,法规标准更新滞后,无法适应化工行业技术快速发展带来的新挑战和新要求。

3.4 检验环境复杂

化工生产现场通常具有高温、高压、易燃易爆、有毒有害等特点,不仅增加了检验人员的操作难度和安全风险,还可能对检测设备的性能产生影响,导致检测结果不准确。此外,设备安装位置狭窄、周围管线复杂,也给检验工作带来诸多不便,限制了检测技术和设备的应用,阻碍检验工作的顺利开展。

4 优化化工特种设备锅炉压力容器检验的对策

4.1 加强技术研发与创新

科研机构与企业需加大对化工特种设备检验技术的研发投入,攻克复杂结构设备检测难题。一方面,开发多模态融合检测技术,将无损检测、理化检验等多种技术有机结合,弥补单一技术检测的局限性,扩大检测覆盖范围,降低漏检率。另一方面,借助人工智能、大数据等新兴技术,提升检测设备的智能化水平,增强检测设备对早期材料性能劣化和微小缺陷的识别能力。

4.2 提高检验人员素质

定期组织检验人员参加专业培训,培训内容涵盖新

检测技术、法规标准以及典型案例分析,确保检验人员及时掌握行业前沿知识。设立严格的考核机制,只有通过考核的人员才能上岗,以此提升检验人员的专业技能。加强职业道德教育,培养检验人员的责任心,使其严格按照规定流程进行检测。

4.3 完善法规标准体系

政府部门与行业协会应深入调研化工行业发展现状,针对新型材料和复杂工况,制定清晰、具体且具有可操作性的检验标准和规范。加强不同地区、部门之间的沟通协调,统一法规标准,消除区域差异,为跨区域检验作业提供便利。建立法规标准动态更新机制,紧跟化工行业技术发展步伐,及时修订和完善法规标准,使检验工作有法可依、有章可循,适应行业发展新要求。

4.4 改善检验环境条件

化工企业要为检验工作创造良好的现场环境,对生产现场进行合理布局,拓宽设备检验操作空间,减少周围管线对检验工作的干扰。安装必要的通风、降温、防护设施,降低高温、有毒有害等因素对检验人员和检测设备的影响。同时,加强对生产现场的安全管理,制定严格的安全作业规程,为检验人员配备齐全的安全防护装备,在保障检验人员安全的前提下,确保检测设备性能稳定,推动检验工作顺利开展^[1]。

结束语

化工特种设备锅炉压力容器的安全稳定运行,对化工行业的健康发展和人员安全至关重要。本文系统阐述了其检验技术与方法,剖析了检验工作中存在的技术、人员、法规标准和环境等层面的问题,并针对性地提出优化对策。然而,化工行业持续发展,新设备、新工艺不断涌现,未来需持续关注化工特种设备检验领域的最新动态,深化技术创新,提升人员素养,完善法规标准,为化工行业安全生产筑牢根基,助力其实现高质量、可持续发展。

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].质量安全与检验检测,2020,30(04):111-112.
- [3]高向明,白鑫.特种设备锅炉压力容器检验的问题分析[J].住宅与房地产,2020,(24):255-256.