

智能检测设备在工业锅炉与压力管道定期检验中的效能提升

刘波 吴兴昌 于建民 (东营市特种设备检验研究院, 山东 东营 257000)

摘要: 本文围绕智能检测设备在工业锅炉、压力管道定期检验中的应用展开。先点明工业锅炉与压力管道作为工业生产核心设备, 定期检验对保障设备安全、稳定生产的重要性。接着分析传统检验技术在检测效率、精度方面的弊端, 介绍超声相控阵、管道爬行机器人等智能检测设备的应用现状。通过实际案例, 凸显智能检测设备在提升检测效能方面的显著成效。最后对多技术融合、设备微型化等未来发展趋势进行展望, 推动其在该领域的应用, 守护设备安全运行。

关键词: 智能检测设备; 工业锅炉; 压力管道; 定期检验; 效能提升

中图分类号: TK228 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 019-0159-03

Efficiency Improvement of Intelligent Inspection Equipment in Periodic Testing of Industrial Boilers and Pressure Pipelines

Liu Bo, Wu Xingchang, Yu Jianmin (Dongying Special Equipment Inspection Institute, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: This paper focuses on the application of intelligent inspection equipment in the periodic testing of industrial boilers and pressure pipelines. It first highlights the critical role of industrial boilers and pressure pipelines as core equipment in industrial production, emphasizing the importance of regular inspections for ensuring operational safety and production stability. The study then analyzes the limitations of traditional inspection technologies in terms of efficiency and accuracy, and introduces the current applications of intelligent inspection devices such as phased array ultrasonic systems and pipeline crawling robots. Practical case studies demonstrate the significant effectiveness of intelligent inspection equipment in enhancing testing performance. Finally, the paper explores future development trends, including multi-technology integration and equipment miniaturization, to promote broader applications in this field and ensure the safe operation of industrial equipment.

Keywords: intelligent inspection equipment; industrial boilers; pressure pipelines; periodic testing; efficiency improvement

工业锅炉和压力管道在化工、电力、冶金等行业, 是维持生产有序运转的关键设施, 承担着物质输送和能量转化的重要使命。运行时, 它们长期处于高温、高压且强腐蚀的恶劣工况, 机械应力、热应力, 以及腐蚀性介质的联合作用持续不断。随着时间推移, 设备金属材料内部结构受损, 容易出现裂纹、腐蚀、变形等隐患。若这些隐患未能及时发现并排除, 极有可能引发爆炸、泄漏, 不仅危及人员生命和财产安全, 还会对周边生态环境造成极大破坏。

定期检验作为保障工业锅炉与压力管道安全运行的“守护神”, 借助对设备进行全方位的检查与测试, 能够敏锐捕捉到潜在的安全隐患, 为后续的维护、修复工作提供科学、准确的依据。随着科技的突飞猛进, 智能检测设备顺势诞生。这类设备凭借高精度的检测数据、高效的检测流程和自动化的检测操作, 正逐步成为工业锅炉与压力管道定期检验的主力军, 为大幅

提升检验效能开辟了全新的道路。

1 工业锅炉与压力管道定期检验的重要性

1.1 保障安全生产

工业锅炉与压力管道, 因工作环境复杂、承载任务艰巨, 一旦发生事故, 极有可能造成不可挽回的严重后果。就拿某化工企业来说, 生产过程高度依赖设备稳定运行, 若设备发生故障, 不仅会使生产停滞, 还极易引发安全危机。

定期检验, 如同为设备健康把脉的“良方”, 能够提前察觉设备潜在的缺陷, 为采取针对性的修复举措提供指引, 进而避免事故发生, 为企业安全生产和人员生命财产安全保驾护航。在某化工企业的一次定期检验中, 检测人员在工业锅炉锅筒上发现了裂纹。这一裂纹若未被及时发现处理, 随着锅炉持续运行, 在高温高压的作用下, 裂纹将持续扩展, 最终导致锅筒爆炸, 引发严重的安全事故, 后果不堪设想。

1.2 确保设备性能稳定

定期检验是保障工业锅炉与压力管道稳定运行，延长其使用周期的必要举措。检验期间，专业人员会全面核查设备的运行状况，精准捕捉磨损、腐蚀等初期隐患。一旦发现问题，即刻拟定维护方案，让设备始终保持最佳性能。

就拿压力管道来说，定期检测壁厚是必不可少的环节。管道长期受腐蚀影响，壁厚会逐渐变薄，定期检测能及时发现这一变化。当壁厚出现异常时，可依据实际情形，采取涂覆防腐涂层等处理办法；若管道受损严重，就需及时更换。通过这些举措，不仅能避免因承压能力不足引发安全事故，降低企业运营成本，还能为企业持续稳定生产提供有力保障。

1.3 符合法规要求

为了切实保障工业锅炉和压力管道的安全运行，国家围绕这两类设备，构建了一套全面且细致的法规标准体系，强制要求企业开展定期检验。企业积极响应这一要求，严格落实设备定期检测工作，能有效规避因违规行为面临的罚款、停业整顿等处罚。与此同时，规范的检验流程和管理机制，能帮助企业及时察觉设备潜在问题，优化生产管理，提升企业的内部管理水平，树立良好的社会形象，收获客户和监管部门的信任。

2 传统检验技术的局限性

2.1 检测效率低

工业锅炉与压力管道的安全，关乎生产稳定与社会安全。为此，国家出台一系列严格且全面的法规与标准，明确要求企业对这两类设备开展定期检验。企业主动响应政策，一丝不苟落实定期检测工作，可避免因违规遭受罚款、停产等惩处。同时，规范检验能及时发现设备潜在隐患，推动企业优化生产管理，提升运营效率，为企业安全生产筑牢根基。此外，严格执行检验的做法，还能提升企业在客户与监管部门心中的形象，赢得广泛认可与信赖。

2.2 检测精度有限

人工检测过程中，检测结果的质量，极大程度依赖于检测人员的专业素养和工作状态。不同检测人员技术水平和工作经验参差不齐，加之主观判断的干扰，使得检测结果的准确性与可靠性大打折扣。在无损检测领域，检测人员判读检测图像时，视力局限、经验不足等问题，极易导致微小缺陷的遗漏。哪怕经验丰富的检测人员，长期高强度工作产生的疲劳，也会降低注意力，致使误判、漏判，为设备运行埋下安全隐患。

2.3 难以检测复杂结构和隐蔽部位

工业锅炉与压力管道构造错综复杂，内部诸多区域位置隐蔽、难以触及，这给传统检测工作带来极大

挑战。像锅炉受热面管内部，管径狭窄且蜿蜒曲折，常规检测工具难以深入其中。压力管道的弯头和焊缝背面，由于几何形状特殊，常规检测技术的信号难以有效覆盖，导致检测时存在盲区。这些部位恰恰又是缺陷高发区，传统检测方法无法对其进行全面、精准的检测，致使不少潜在安全隐患未能及时被发现。

3 智能检测设备在工业锅炉与压力管道定期检验中的应用

3.1 智能无损检测设备

超声相控阵检测设备。超声相控阵检测技术作为无损检测领域的前沿技术，打破了传统检测的诸多局限。该技术借助对阵列换能器各阵元激发时间和相位的精准调控，实现超声波束的灵活聚焦、偏转与扫描。在工业锅炉和压力管道定期检测工作中，这一技术优势尽显。相较于传统超声检测方法，超声相控阵检测设备不仅检测速度更快，检测精度更高，还能对复杂结构开展全方位检测。在工业锅炉与压力管道焊缝检测场景下，像裂纹、未焊透、气孔这类常见缺陷，它都能快速、精准地识别出来。以压力管道环焊缝检测为例，传统超声检测需逐点扫描，耗时费力。而超声相控阵检测设备凭借其独特的检测方式，能在短时间内完成整条焊缝的检测，并且通过成像技术，清晰直观地展示缺陷的位置、形状和大小，极大地提高了检测效率和准确性。

涡流阵列检测设备。涡流阵列检测技术利用交变磁场在导体中产生的涡流效应，对导体表面和近表面的缺陷进行检测。涡流阵列检测设备采用多个涡流传传感器组成阵列，能够实现对检测区域的快速扫描。在工业锅炉与压力管道的检验中，涡流阵列检测设备主要用于检测管道表面的裂纹、腐蚀等缺陷。该设备具有检测速度快、灵敏度高、非接触式检测等优点，可以在不破坏设备表面的情况下，对设备进行快速检测。

3.2 智能机器人检测设备

管道爬行机器人。管道爬行机器人，作为管道内部检测的得力智能助手，能在管道中灵活自主移动，实现对管道内壁360度无死角检测。该机器人搭载超声、视觉、涡流等多种检测传感器，凭借这些“感知器官”，可以对管道壁厚、表面缺陷及焊缝质量进行精准检测。在工业锅炉水冷壁管和压力管道内部检测场景下，它能代替人工深入管道，克服空间狭窄等难题，既大幅提升检测速度与精准度，还避免人员进入带来的安全风险，显著提高检测安全性和效率。

锅炉炉膛检测机器人。锅炉炉膛检测机器人就像一台智能巡检卫士，在锅炉炉膛内行动自如。它集成高清摄像头和红外热像仪，对炉墙、受热面管等关键

部位开展全面检查。高清摄像头凭借高分辨率,能敏锐捕捉设备表面的细微损伤;红外热像仪则可精准获取设备的温度信息。采集完数据后,通过后台分析,能快速定位设备磨损、腐蚀和结焦的具体位置与程度,为锅炉的维护检修提供了详细的一手资料,助力检修工作高效开展。

3.3 大数据与人工智能技术在检测中的应用

检测数据的大数据分析。智能检测设备在日常检测中,会收集到海量检测数据。借助大数据技术,对这些数据进行存储与剖析,便能挖掘出潜藏的规律与趋势。以过往检测数据为依托,可预测设备故障的发生几率,做到未雨绸缪,制定预防性维护计划。比如,分析压力管道壁厚的检测数据,就能预估管道的腐蚀速度,从而提前规划管道的更换或修复,避免因管道破裂引发安全事故。

人工智能缺陷识别技术。人工智能技术凭借独特优势,在检测图像与数据处理领域开辟了新路径。以深度学习算法为例,其通过对大量检测图像、数据的深入分析,实现缺陷的自动化识别与分类。这一技术显著提升了检测结果的精准度,有效降低了人工判读产生的误差。在超声检测中,将海量超声检测图像及对应的缺陷标注数据,输入深度学习模型进行反复训练。模型在训练过程中,能精准掌握不同缺陷特征,在实际检测时,迅速、准确识别缺陷类型与大小。

4 智能检测设备在工业锅炉与压力管道定期检验中的效能提升案例分析

4.1 某化工企业压力管道检测案例

某化工企业内铺设着大量压力管道,管道纵横交错,布局极为复杂。部分管道因长期服役,遭受介质腐蚀与压力冲击,潜藏着安全风险。以往,企业采用传统检测方法开展定期检验,不仅效率低下,而且检测精度欠佳,难以发现管道细微处的隐患。为打破这一困局,企业引入超声相控阵检测设备和管道爬行机器人。检测时,先利用超声相控阵设备对管道焊缝进行快速扫描,该设备凭借独特的声束控制技术,短时间内即可完成大面积检测,一旦发现可疑缺陷,便派出管道爬行机器人深入管道内部。机器人搭载多种高精度传感器,对缺陷进行细致检测与分析。这套检测方案成效显著,原本耗时数月的检测任务,如今短短几周便能完成。检测精度大幅提升,诸多以往难以察觉的微小裂纹和腐蚀缺陷被一一发现。企业依据检测结果,迅速对问题管道展开修复与更换,成功规避了可能发生的安全事故。

4.2 某热电厂工业锅炉检测案例

某热电厂的工业锅炉在运行时,频繁出现炉膛温

度异常、受热面管结焦等问题,不仅影响锅炉运行效率,还潜藏安全风险。为解决这一难题,热电厂果断引入锅炉炉膛检测机器人与大数据分析系统。检测机器人依靠灵活的移动性能,顺利深入炉膛内部,对炉墙、受热面管等重要位置展开地毯式检测,采集到大量图像和温度数据。数据传输到大数据分析系统后,系统运用数据挖掘技术抽丝剥茧,分析结果显示,炉膛温度异常是受热面管严重结焦,导致传热效率下降,与此同时,检测出炉墙存在部分破损现象。

5 智能检测设备在工业锅炉与压力管道定期检验中的发展趋势

5.1 多技术融合

展望未来,智能检测设备的发展,将围绕多技术融合持续推进。超声、射线、涡流、视觉等检测技术,会打破单一应用的局限,通过有机整合,对工业锅炉和压力管道开展无死角、深层次检测。与此同时,检测技术将与机器人、大数据、人工智能等前沿技术紧密融合。机器人负责深入设备复杂部位采集数据,大数据提供分析支撑,人工智能实现智能诊断,全方位提升检测设备的智能化水平与检测效率。

5.2 微型化和便携化

现场检测对设备机动性要求极高,为此,智能检测设备朝着微型便携方向发展。研发团队全力打造体积小巧、轻便易携、操作简单的检测设备,方便检测人员随时随地开展作业。以便携式超声相控阵检测设备为例,研发时在保证检测功能强大的基础上,大幅压缩体积、减轻重量。涡流阵列检测设备也实现了便携化革新。如今,检测人员在工业锅炉、压力管道检测现场,能快速拿出设备,即刻开展检测。

5.3 远程检测和云服务

随着物联网技术不断革新,智能检测设备迎来远程检测与云服务时代。此后,检测人员不用奔赴现场,在办公室借助互联网就能远程操作检测设备。检测时数据同步传输,检测人员实时获取检测结果。同时,检测数据被存储于云端,借助手机、电脑等终端,检测人员随时随地都能查询、分析数据。这种方式突破了时空局限,为数据共享创造了便利,也推动数据管理走向规范化。

6 结论

智能检测设备的崛起,给工业锅炉与压力管道定期检验工作,既带来新契机,也引出新难题。运用这类设备,检测效率显著提高,检测精度大幅提升,检测覆盖范围愈发全面,全方位排查设备隐患,为工业锅炉和压力管道的安全稳定运行,提供了强有力的保障。