

特种设备安全检测技术现状及发展趋势探讨

刘大鹏

河北省特种设备监督检验研究院承德分院 河北 承德 067000

摘要: 特种设备作为工业生产与社会生活的关键设施,其安全检测技术对保障设备稳定运行和人员生命财产安全至关重要。当前,无损检测、在线监测及常规理化性能检测构成安全检测技术核心体系,各技术协同应用显著提升检测效率与准确性。伴随工业智能化转型加速,检测技术向智能化、多技术融合、设备微型便携化方向演进,同时标准化与国际化进程不断推进,为特种设备安全检测技术的持续发展奠定坚实基础。

关键词: 特种设备;安全检测技术;现状;发展趋势

引言

在现代工业体系与社会生活场景中,特种设备的应用愈发广泛,其安全运行直接关系到生产效率与公众安全。近年来,因设备故障引发的安全事故频发,凸显出特种设备安全检测技术研究的紧迫性。本文基于行业发展现状,系统梳理无损检测、在线监测等主流安全检测技术的应用情况,深入探讨智能化、多技术融合等前沿发展趋势,旨在为提升特种设备安全检测水平、完善行业技术体系提供理论参考与实践指导。

1 特种设备概述

特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的设备,涵盖承压类与机电类两大范畴,在工业生产与日常生活中发挥着关键作用,但若管理不善则可能引发严重事故。承压类特种设备包括锅炉、压力容器和压力管道。锅炉利用燃料或电能将液体加热至特定参数并输出热能,广泛应用于供暖、发电等领域,其高温高压特性使爆炸风险较高。压力容器用于盛装气体或液体并承受压力,在化工、能源等工业中不可或缺,但介质泄漏可能引发火灾或中毒事故。压力管道通过压力输送气体或液体,常见于石油、天然气等行业,若管道破裂将导致介质泄漏,可能引发爆炸或环境污染。机电类特种设备包含电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场(厂)内专用机动车辆。电梯通过刚性导轨或固定线路运送人员与货物,其故障可能导致人员被困或坠落。起重机械用于垂直升降或水平移动重物,在建筑、物流等行业应用广泛,但操作不当易引发倾覆或坠落事故。客运索道以柔性绳索牵引运载工具运送人员,常见于旅游景区,若设备故障可能导致乘客滞留或坠落。大型游乐设施以经营为目的承载乘客游乐,其高速或高空运行特性增加了事故风险。场(厂)内专用机动车辆在特定区域使用,如工厂、景区等,若超速或超载可能引发碰撞

或侧翻。特种设备的安全附件与保护装置是保障设备安全运行的关键。安全阀、压力表、水位计等装置可实时监测设备状态,并在异常时自动启动保护措施。定期检验与维护保养对于确保特种设备安全至关重要,通过检查设备结构、性能及安全附件的有效性,可及时发现并消除潜在隐患,从而降低事故风险。

2 特种设备安全检测技术现状

2.1 无损检测技术应用广泛

无损检测技术凭借其不破坏被检测特种设备结构完整性的特性,在现代工业领域成为保障设备安全运行的核心检测手段。超声检测利用超声波在不同介质中传播时的反射、折射与衰减特性,能够精准探测特种设备内部微小裂纹、夹杂等缺陷。当超声波遇到缺陷界面,会产生反射回波信号,通过专业仪器捕捉与分析这些信号,可确定缺陷的位置、大小与形状,在锅炉、压力容器的焊缝检测中发挥关键作用。射线检测则基于射线穿透物质时强度衰减的差异,将被检测设备内部结构与缺陷以影像形式呈现于胶片或数字探测器上,能够清晰显示压力容器、压力管道内部的气孔、未焊透等缺陷,尤其适用于对内部结构要求严格的特种设备检测。涡流检测通过电磁感应原理,在导电材料表面产生涡流,当材料表面或近表面存在缺陷时,涡流分布与大小发生变化,进而引起检测线圈阻抗改变,以此实现对电梯导轨、起重机械金属部件表面裂纹的快速检测。磁粉检测针对铁磁性材料,利用缺陷处漏磁场吸附磁粉形成明显磁痕的特性,能够直观显示工件表面及近表面的裂纹、折叠等缺陷,在检测起重机械吊钩、钢丝绳等部件的损伤方面具有显著优势。这些无损检测技术相互补充,形成完善的检测体系,有效避免因设备内部缺陷引发的安全事故,确保特种设备在复杂工况下的稳定运行^[1]。

2.2 在线监测技术逐渐普及

在线监测技术依托先进的传感器与数据处理技术,能够实时、连续获取特种设备运行过程中的关键参数与状态信息,极大提升设备安全管理的时效性与准确性。振动监测通过加速度传感器、位移传感器等设备,采集电梯运行时轿厢、起重机械结构件等的振动信号,借助频谱分析、时域分析等方法,可识别设备运行过程中的异常振动特征,判断轴承磨损、齿轮啮合不良等故障,实现对设备运行状态的早期预警。温度监测利用红外测温、热电偶等传感器,实时监测锅炉炉膛、压力容器罐体表面等关键部位的温度分布,当设备局部温度出现异常升高时,及时发现因介质流动不畅、内部异常反应等导致的过热隐患,避免设备因超温引发损坏甚至爆炸事故。压力监测通过高精度压力传感器,持续测量压力管道、压力容器内部的压力变化,结合流量、温度等参数进行综合分析,不仅能判断设备是否处于正常工作压力范围,还可发现因阀门故障、管道堵塞等导致的压力异常波动。应变监测利用应变片、光纤光栅等传感器,实时监测起重机械钢结构、客运索道支架等部件的应力应变状态,通过建立力学模型与数据分析,预测结构件的疲劳寿命与承载能力,提前采取维护措施防止结构失效。在线监测技术将传统的事后维修转变为事前预防,通过对设备运行状态的动态跟踪与分析,显著降低事故发生概率,提高特种设备运行的可靠性与安全性。

2.3 常规理化性能检测不可或缺

常规理化性能检测是深入了解特种设备材料性能与介质特性的重要手段,为设备设计、制造、运行及维护提供关键数据支撑。化学成分分析利用光谱分析、质谱分析等技术,精确测定特种设备制造材料中各种元素的含量,确保材料成分符合设计要求,避免因材料成分不合格导致设备性能下降或发生腐蚀失效。在锅炉制造中,严格控制钢材中碳、硫、磷等元素的含量,可有效提升钢材的强度、韧性与抗腐蚀性,保障锅炉在高温高压环境下的安全运行。力学性能检测通过拉伸试验、冲击试验、硬度测试等方法,测定材料的强度、塑性、韧性等力学指标,评估材料在不同工况下的承载能力。对压力容器板材进行拉伸试验,可获取其屈服强度与抗拉强度,为设备的压力设计提供依据;对起重机械吊钩进行硬度测试,能够判断其是否存在局部应力集中或材料性能劣化现象。金相分析通过观察材料的显微组织结构,分析材料的晶粒度、相变情况及组织缺陷,判断材料在加工过程中是否产生过热、过烧等问题,以及设备在长期运行后是否出现组织退化。对特种设备内部介质进行理化分析,如测定压力管道内输送介质的酸碱度、

腐蚀性离子含量,可评估介质对设备内壁的腐蚀程度,为制定合理的防腐措施提供依据;对锅炉水质进行分析,检测水中钙、镁离子含量,及时发现结垢隐患,保障锅炉的热交换效率与安全运行。常规理化性能检测从微观层面揭示材料与介质的特性,为特种设备的全生命周期管理提供科学、可靠的数据保障^[2]。

3 特种设备安全检测技术发展趋势

3.1 智能化检测技术深入发展

(1) 基于人工智能的图像识别技术在特种设备检测中发挥日益重要的作用。利用深度学习算法,对射线检测、超声检测等形成的图像进行分析,能够自动识别缺陷的类型、位置与大小。例如,卷积神经网络(CNN)可通过对大量缺陷图像的学习训练,精准判断压力容器焊缝中的气孔、裂纹等缺陷,相比人工检测,不仅大幅提升检测效率,还能降低因人为因素导致的误判、漏判风险。(2) 大数据与机器学习技术为特种设备运行状态评估提供了新路径。将设备运行过程中在线监测获取的振动、温度、压力等海量数据,通过机器学习算法建立设备运行状态模型。该模型能够基于历史数据预测设备未来的运行趋势,提前发现潜在故障隐患。以电梯为例,通过分析其长期运行的振动、速度等数据,可预测轴承磨损程度,及时安排维护,避免突发故障。(3) 机器人技术在特种设备检测领域的应用逐渐拓展。对于人工难以到达或危险环境下的检测任务,如高温高压的锅炉内部检测、高空的客运索道支架检测,检测机器人凭借其灵活的机械结构和搭载的多种检测传感器,可自主完成检测工作。机器人通过导航系统精准定位检测点,利用超声、涡流等检测技术获取数据,并实时传输至后台进行分析,实现高效、安全的检测作业。

3.2 多技术融合提升检测效能

(1) 无损检测技术之间的融合为复杂缺陷检测提供了更全面的解决方案。超声检测擅长发现内部缺陷,但对缺陷定性存在一定难度;磁粉检测能直观显示表面缺陷。将超声检测与磁粉检测相结合,先通过超声检测确定内部缺陷的大致位置和深度,再利用磁粉检测对表面及近表面缺陷进行细致观察,可更准确地判断缺陷性质,为设备维修提供可靠依据。(2) 无损检测技术与在线监测技术的融合实现了对设备状态的动态、全面监测。在压力管道检测中,通过无损检测技术确定管道初始状态,检测是否存在裂纹、腐蚀等缺陷;利用在线监测技术实时监测管道运行过程中的压力、温度、应变等参数。当在线监测数据出现异常波动时,结合无损检测结果,可快速分析判断异常原因,及时采取措施,有效

预防事故发生。(3)理化性能检测与其他检测技术的融合为设备全生命周期管理提供了更完整的数据链。在特种设备制造阶段,通过化学成分分析和力学性能检测确保材料符合设计要求;在运行阶段,结合在线监测数据和无损检测结果,对设备材料的性能变化进行跟踪分析。例如,根据压力管道内介质的理化分析结果和管道壁厚的无损检测数据,综合评估管道的腐蚀情况和剩余使用寿命,为设备维护和更换提供科学决策依据^[1]。

3.3 微型化、便携化检测设备需求增长

(1)微型传感器技术的发展推动了检测设备的小型化。以MEMS(微机电系统)传感器为例,其具有体积小、重量轻、功耗低等特点,可集成到便携检测设备中。将MEMS振动传感器、压力传感器等应用于电梯、起重机械的现场检测,检测人员可方便携带设备,快速采集设备运行时的振动、压力等数据,及时发现设备运行异常,提升检测的灵活性和便捷性。(2)便携化检测仪器的智能化设计满足了现场快速检测需求。新型的便携式超声检测仪,不仅体积小,还配备了高性能处理器和智能分析软件。检测人员在现场检测时,可通过仪器快速完成超声波发射与接收,仪器自动对采集到的信号进行分析处理,实时显示缺陷信息,并生成检测报告,极大缩短了检测时间,提高了检测效率。(3)无线通信技术与微型化、便携化检测设备的结合实现了数据的实时传输与共享。在大型游乐设施检测中,检测人员使用便携化的涡流检测设备对金属部件进行检测,设备通过蓝牙、Wi-Fi等无线通信技术,将检测数据实时传输至远程服务器。专家可远程对数据进行分析诊断,及时给出检测结果和维修建议,使检测工作更加高效、协同。

3.4 检测技术标准化与国际化接轨

(1)检测方法的标准化是确保检测结果准确性和可比性的关键。随着特种设备检测技术的持续革新,检测场景与需求日益复杂多样,对检测方法的统一规范要求愈发迫切。在无损检测领域,尤其需要细致入微的规

范,制定统一的超声检测、射线检测等操作流程和评定标准。如此一来,不同检测机构在相同条件下对同一设备进行检测时,就能获得一致的检测结果,为设备的安全评估提供可靠依据。(2)检测设备的标准化有助于提升设备质量和兼容性。统一检测设备的性能指标、接口标准等,可促进检测设备市场的规范化发展。例如,规定压力传感器的精度等级、输出信号标准等,使不同厂家生产的压力传感器能够在各种特种设备检测系统中通用,降低检测成本,提高检测系统的集成度和稳定性。

(3)检测技术的国际化接轨推动行业技术进步与交流。参与国际标准的制定和修订,将国内先进的特种设备检测技术与国际接轨,同时吸收国际先进技术和经验。在无损检测技术方面,与国际标准保持一致,有利于我国特种设备检测机构开展国际业务,提升我国在国际特种设备检测领域的话语权和竞争力,促进检测技术的全球化发展^[4]。

结语

综上所述,特种设备安全检测技术已形成多元技术协同发展的格局,在保障设备安全方面发挥重要作用。面对工业4.0与智能制造的新要求,智能化、多技术融合等趋势将推动检测技术革新。未来,需进一步加强检测技术标准化建设,深化国际合作交流,持续攻克技术难题,以适应特种设备多样化、复杂化的安全检测需求,助力特种设备行业高质量发展。

参考文献

- [1]贾文相.特种设备检测技术的现状与展望初探[J].建筑工程技术与设计,2020(29):2939.
- [2]刘建鹏.我国特种设备检测的现状及其展望[J].科学与信息化,2021(20):12-13.
- [3]王春雨.特种设备安全检测技术发展趋势探析[J].高铁速递,2021(6):180.
- [4]钱秀连.浅谈特种设备检验检测发展趋势与展望[J].商品与质量,2020(11):63.