

# 人工智能在锅炉、压力容器检验中的应用前景分析

宋鑫 王睿

湖北特种设备检验检测研究院随州分院，湖北随州，441300；

**摘要：**随着工业智能化进程的加快，传统特种设备检验模式正面临效率低、成本高、预警滞后等挑战。锅炉与压力容器作为高风险承压类特种设备，其安全运行对工业生产至关重要。本文系统分析了人工智能（AI）技术在锅炉与压力容器检验中的应用前景，重点探讨了机器学习、深度学习、计算机视觉和自然语言处理等 AI 技术在缺陷识别、状态评估、故障预测及检验决策优化中的潜在价值。研究表明，AI 可有效提升无损检测图像识别准确率，实现基于大数据的趋势预警与剩余寿命预测，并支持从“周期性检验”向“基于状态的智能检验”转型。同时，文章指出当前在数据质量、模型可解释性、标准法规适配等方面仍存在挑战，需通过跨学科协同与政策引导推动落地应用。未来，AI 与物联网、数字孪生等技术的深度融合将构建更加高效、智能的特种设备安全监管新范式。

**关键词：**人工智能；锅炉；压力容器；特种设备检验；缺陷识别；故障预测；智能监测

**DOI：**10.69979/3041-0673.26.02.030

## 引言

锅炉与压力容器广泛应用于能源、化工、冶金、制药等关键工业领域，因其长期在高温、高压、腐蚀性介质等严苛环境下运行，易产生裂纹、腐蚀、蠕变、疲劳等缺陷，一旦失效可能引发爆炸、泄漏等重特大安全事故，严重威胁人民生命财产安全和社会稳定。因此，对其实施科学有效的安全检验与状态监控至关重要。长期以来，我国实行以定期检验为核心的特种设备安全监察制度，主要依赖人工操作与经验判断，结合超声、射线、磁粉等传统无损检测手段进行缺陷排查。然而，该模式存在检验周期固定、主观性强、数据利用率低、难以实现早期预警等问题，尤其在设备数量持续增长、运行环境日趋复杂的背景下，传统方法已难以满足高效、精准、智能化的安全管理需求。近年来，人工智能（Artificial Intelligence, AI）技术迅猛发展，在图像识别、模式识别、预测建模等领域展现出强大能力，为特种设备检验提供了新的技术路径。特别是在锅炉受热面管壁减薄识别、压力容器焊缝缺陷自动判读、运行状态异常检测等方面，AI 技术已展现出显著优势。在此背景下，探索人工智能在锅炉与压力容器检验中的深度融合与应用前景，不仅有助于提升检验智能化水平，降低人为误判风险，还可推动检验模式由“被动响应”向“主动预防”转变，具有重要的理论价值与现实意义。

## 1 人工智能技术概述

### 1.1 人工智能的定义

人工智能（Artificial Intelligence，简称 AI）是一门旨在让计算机模拟人类智能行为的综合性学科，涵盖机器学习、自然语言处理、计算机视觉、专家系统等多个领域。其核心目标是使机器能够执行通常需要人类智能才能完成的任务，如问题求解、模式识别、学习推理等。从弱人工智能到强人工智能，技术范畴不断拓展，弱人工智能专注于特定领域任务，如语音助手、图像识别软件；强人工智能则追求具备与人类同等甚至超越人类的通用智能，虽尚处于理论探索阶段，但已成为技术发展的终极愿景。

### 1.2 人工智能在工业领域的应用现状

在智能制造领域，人工智能通过机器学习算法优化生产流程，实现设备的智能调度和资源的高效配置。例如，基于强化学习的生产排程系统，可根据订单需求、设备状态和原材料供应情况，动态调整生产计划，提升生产效率。同时，计算机视觉技术应用于产品质量检测，能够快速识别产品表面缺陷，检测精度和效率远超人工检测。利用人工智能技术对工业设备运行数据进行实时分析，构建设备健康预测模型。通过采集设备振动、温度、电流等参数，结合历史故障数据，采用深度学习算法预测设备故障发生的时间和类型，提前安排维护计划，降低设备停机时间和维护成本。在电力、石油化工等行业，预测性维护系统已取得显著经济效益。人工智能赋

予工业机器人更强的感知和决策能力。通过集成视觉、触觉传感器和深度学习算法,工业机器人能够在复杂环境中完成精密装配、焊接等任务,并且具备自主学习和适应能力,可根据任务需求调整操作策略,提升工业生产的自动化和智能化水平。

## 2 锅炉、压力容器检验现状及问题分析

### 2.1 锅炉、压力容器检验的重要性

锅炉与压力容器作为特种设备,在工业生产及日常生活中广泛应用,却也因运行于高温、高压等复杂工况下,潜藏着巨大安全风险。一旦发生爆炸或泄漏事故,如锅炉爆管,瞬间释放的高温高压蒸汽将对周边人员造成严重烫伤,强大的冲击波会摧毁设备与建筑物,引发连锁反应,造成群死群伤的惨重后果;压力容器泄漏的有毒有害、易燃易爆介质,可能引发火灾、中毒事件,给生命财产带来不可估量的损失。据相关统计,过往因锅炉、压力容器安全事故导致的经济损失数以亿计,定期且有效的检验能够提前察觉设备缺陷,将安全隐患扼杀在萌芽状态,是保障人员生命与财产安全的坚实防线。在长期运行过程中,锅炉、压力容器受介质侵蚀、压力交变、温度冲击等因素影响,材料性能逐渐劣化,部件可能出现磨损、腐蚀、变形等状况。及时的检验能够精准定位这些问题,企业可依据检验结果制定针对性维护方案,修复受损部件,调整运行参数,避免设备带病运行加剧损伤,从而有效延长设备使用寿命,降低设备更新成本,提高企业经济效益。

### 2.2 锅炉、压力容器检验现状

当前,锅炉、压力容器检验仍大量依赖传统无损检测技术,如超声波检测虽能探测内部缺陷,但对缺陷定性、定量分析存在一定误差,且检测结果受操作人员经验、手法影响较大;射线检测可清晰成像,却有辐射危害,检测成本高且效率低;磁粉检测仅适用于铁磁性材料表面及近表面缺陷,应用范围受限。同时,人工巡检难以做到全面、实时监测,易遗漏隐蔽部位隐患,面对复杂设备结构与庞大检测量,传统技术在效率与准确性上均难以满足现代安全生产需求。随着自动化监测设备在检验工作中的应用,虽能采集大量设备运行数据,但数据处理与分析成为新挑战。不同类型传感器采集的数据格式多样、标准不一,整合难度大;海量数据中有效信息挖掘困难,缺乏高效算法从复杂数据中提炼设备

故障特征,难以实现对设备运行状态的精准评估与故障早期预警。且现有数据分析多为事后分析,无法实时指导检验工作,降低了数据应用价值。

## 3 人工智能在锅炉、压力容器检验中的应用

### 3.1 机器视觉检测技术

机器视觉检测技术是人工智能与计算机视觉的融合应用,通过光学成像系统采集锅炉、压力容器表面及内部结构的图像信息,再借助图像处理算法和模式识别技术,将图像转化为可分析的数据。其系统主要由图像采集设备(如工业相机、镜头)、光源系统、图像处理器和软件算法构成。工业相机根据检测需求选择不同分辨率、帧率的产品,高分辨率相机可捕捉微小缺陷细节;光源系统则通过优化照明方式,增强图像对比度,凸显缺陷特征;图像处理器和算法负责对采集的图像进行滤波、增强、分割等处理,提取缺陷的形状、大小、位置等关键信息,为后续的缺陷评估提供数据基础。在锅炉检验中,机器视觉技术可对锅炉炉膛、管道内壁进行检测。通过搭载高清摄像头的爬行器深入管道内部,实时采集图像,快速识别管道内壁的腐蚀、裂纹等缺陷。对于压力容器,可利用机器视觉检测设备对罐体表面进行全方位扫描,精准定位表面凹痕、焊缝缺陷等。

### 3.2 深度学习技术在缺陷识别中的应用

深度学习基于人工神经网络,通过构建多层神经元结构,能够自动从海量数据中学习特征,无需人工手动提取特征,极大减少了人力成本和人为误差。在锅炉、压力容器缺陷识别中,卷积神经网络(CNN)应用广泛,其卷积层可提取图像中的局部特征,池化层降低数据维度,全连接层实现最终的分类决策。相较于传统机器学习算法,深度学习在处理复杂、不规则的缺陷图像时,具有更强的特征表达能力和泛化能力,能适应不同工况、不同设备类型下的缺陷识别任务,即使面对光照变化、背景干扰等复杂情况,也能保持较高的识别准确率。

## 4 人工智能在锅炉、压力容器检验中的应用前景分析

### 4.1 技术发展趋势

随着人工智能技术的不断演进,用于锅炉、压力容器检验的算法将持续优化。一方面,深度学习算法结构将更加复杂且高效,如 Transformer 架构的引入,可打

破卷积神经网络在长距离依赖建模上的局限,进一步提升对复杂缺陷特征的提取能力;另一方面,强化学习与迁移学习技术将深度融合,强化学习使算法能够在与设备运行环境的交互中自主学习最优检测策略,迁移学习则可利用已有的大量数据训练模型,快速适应新设备、新场景的检验需求,减少数据收集和模型训练成本。同时,边缘计算与人工智能的结合,可实现数据在设备端的实时分析与处理,降低数据传输压力,提高检测响应速度。未来,机器视觉、深度学习等人工智能技术将与物联网、5G、区块链等技术深度融合。物联网技术可实现锅炉、压力容器全生命周期数据的实时采集与互联互通,从设备设计、制造、运行到报废的全过程数据都能纳入监测分析范围;5G 网络的高速率、低时延特性,保障了大量检测数据的实时传输,支持远程在线检验与专家会诊;区块链技术则确保检测数据的不可篡改和可追溯性,提升数据公信力,为检验结果的权威性提供保障。多技术融合将构建起更智能、更可靠的检验监测体系。

## 4.2 行业应用前景

人工智能在锅炉、压力容器检验中的应用场景将不断拓展。除传统的定期检验和故障检测外,在设备设计阶段,可通过模拟仿真和人工智能算法优化设备结构设计,提前规避潜在缺陷;在设备制造过程中,利用机器视觉和深度学习技术实现生产质量的实时监控,确保零部件加工精度和焊接质量;在设备运行管理方面,结合人工智能的预测性维护将成为主流,通过对设备运行数据的实时分析,预测设备故障发生时间,制定精准的维护计划,减少非计划停机时间。此外,在应急管理领域,人工智能可快速分析事故现场数据,为救援决策提供支持。

## 5 结论

人工智能在锅炉、压力容器检验领域的应用已展现出巨大潜力与创新活力,成为推动行业安全管理变革的核心力量。在技术层面,机器视觉检测技术和深度学习

技术的应用,显著提升了缺陷识别的效率与准确性,突破了传统检验技术的局限性。未来,算法的持续优化创新与多技术的深度融合,将进一步增强人工智能在复杂工况下的适应性和可靠性,实现从局部检测到全生命周期智能管理的跨越。从行业应用来看,人工智能不仅有效降低了设备故障风险,减少企业经济损失,还拓展了覆盖设备设计、制造、运行、应急管理全链条的应用场景。同时,其在保障公共安全、促进绿色发展和创造新兴就业机会等方面的社会效益同样显著,有力推动了特种设备行业的高质量发展。然而,人工智能在该领域的广泛应用仍面临数据隐私安全、算法可解释性、行业标准规范滞后等挑战。未来需通过加强技术研发、完善法规标准体系、深化产学研合作等举措,攻克技术瓶颈,推动人工智能与锅炉、压力容器检验的深度融合。

## 参考文献

- [1]梁丽.浅析工业锅炉压力容器的安全管理措施[J].中国设备工程,2024,(17):59-61.
- [2]秦国梁,陈蓉,矫恒杰,等.锅炉压力容器焊接工艺及设备的发展现状[J].金属加工(热加工),2019,(04):17-24.
- [3]陈启华.计算机辅助锅炉压力容器制造质量保证系统的研究[D].浙江工业大学,2002.
- [4]张浩.浅谈特种设备检验机构在特种设备安全管理方面的作用[J].四川建材,2008,(02):262+264.
- [5]李存岑,李顺荣,徐榕,等.基于物联网技术的特种设备监检移动办公系统开发[J].中国安全生产科学技术,2013,9(09):165-170.

作者简介:宋鑫(1989.05.07-),男,汉族,籍贯:湖北,湖北特种设备检验检测研究院随州分院,本科,工程师,研究方向:特种设备检验检测;  
王睿(1989.08.06-),男,汉族,籍贯:湖北,湖北特种设备检验检测研究院随州分院,本科,工程师,研究方向:特种设备检验检测。