

人工智能在压力容器无损检测中的应用

闫腾飞 户加战

浙江巨化装备工程集团有限公司 浙江 衢州 324000

摘要: 压力容器无损检测长期依赖人工判读, 存在识别效率偏低、主观性强等短板。本文围绕人工智能技术与无损检测的深度融合展开, 系统梳理缺陷特征自动识别、检测数据智能分析、设备状态智能判别等应用领域, 并从数据处理模式革新、检测方式智能化升级、作业模式与信息管理体系构建等维度探讨技术革新路径, 提出多模态融合、精细化发展、场景化拓展等优化方向, 为推动无损检测向智能化转型提供系统支撑。

关键词: 压力容器; 无损检测; 人工智能; 缺陷识别; 智能检测

引言: 压力容器作为承压设备运行安全的关键载体, 无损检测工作承担着结构完整性排查与隐患甄别的重要职能。传统检测模式高度依赖人工经验完成信号判读与缺陷辨识, 面对海量检测数据时效率与精度均受到明显制约。人工智能技术凭借深层数据挖掘与自主学习能力, 能够突破人工判读的认知局限, 为无损检测的智能化转型创造了技术条件。推动两类技术的深度耦合, 已成为提升检测能力的现实路径。

1 压力容器无损检测与人工智能技术适配体系

1.1 压力容器无损检测技术属性与应用特征

压力容器无损检测是保障承压设备稳定运行的关键技术手段, 采用非破坏性检测方式完成设备内部与表面状态的全面排查。不同类型的无损检测技术通过物理信号采集方式捕捉设备潜藏隐患, 利用声波射线电磁等多种信号载体, 识别设备材质损伤与结构变异等各类异常状态。检测工作可以覆盖压力容器生产出厂、现场服役、周期维保的各个阶段, 适配设备全服役周期的安全排查需求。检测作业大多针对密闭承压结构、曲面壳体结构以及焊接拼接结构开展, 复杂结构形态会提升信号采集与信息判读的难度。检测工作积累的海量图像数据与数值数据, 能够为设备状态研判提供充足的数据支撑, 也为智能化技术的融入提供基础条件。

1.2 人工智能技术适配无损检测的底层逻辑

人工智能技术具备强大的数据挖掘与特征提取能力, 能够对海量无序的检测数据进行深度梳理与分类解析^[1]。无损检测作业产生的图像信息与波形信息, 存在大量细微且难以人工识别的特征信号, 传统人工研判模式难以实现精细化提取。人工智能算法可以自主学习检测数据的特征规律, 搭建数据特征与设备缺陷状态之间的对应关系。技术运行模式能够替代人工完成重复性的数据筛查与特征识别工作, 弱化人工主观判断带来的识

别偏差。智能运算模式可以持续挖掘检测数据的深层信息, 摆脱人工判读经验局限带来的识别短板, 提升数据解析的精细程度。技术自带的自主学习能力, 能够跟随检测数据的持续积累不断优化识别精度, 适配多样化设备缺陷的识别解析需求。

1.3 人工智能与压力容器无损检测的融合基础

压力容器无损检测的标准化作业流程, 能够为智能技术融入提供规范的作业场景, 统一的数据采集标准可以保障输入数据的规整性。无损检测长期积累的海量实测数据, 能够为智能算法训练迭代提供充足的数据资源, 支撑智能模型完成特征学习与能力优化。现代无损检测设备逐步实现数字化转型, 各类检测设备可以直接输出数字化图像与波形文件, 打通智能技术接入的数据通道。无损检测对高精度高效率识别的发展需求, 与人工智能快速数据处理精准特征识别的技术优势形成高度匹配。两类技术的深度结合, 可以推动传统人工检测模式向数字化智能化模式转型, 推动压力容器无损检测行业实现技术升级。

2 人工智能在压力容器无损检测中的核心应用领域

2.1 基于人工智能的缺陷特征识别

压力容器无损检测获取的图像与波形信息中, 包含大量细微缺陷特征, 人工辨识方式容易出现特征遗漏与识别偏差。人工智能技术可以对检测信息中的纹理变化、灰度差异以及波形波动规律进行深度捕捉, 完成缺陷特征的自动提取与区分^[2]。智能技术能够精准捕捉焊缝裂纹、材质气孔、夹层损伤等各类缺陷的隐性特征, 弥补人工视觉辨识存在的认知局限。通过对海量检测数据的持续学习, 智能算法可以精准区分缺陷特征与设备正常结构产生的干扰特征, 减少误判情况的出现。全新的识别模式能够提升缺陷筛查的细致程度, 强化复杂结构部位缺陷的捕捉能力, 为压力容器隐患排查提供全新的

技术支撑。

2.2 基于人工智能的检测数据智能分析

压力容器无损检测作业会产生体量庞大的数字化数据,传统人工分析模式难以完成海量数据的高效梳理与深度挖掘。人工智能具备强大的数据处理能力,可以对检测过程产生的图像数据、波形数据以及数值数据进行系统化梳理与解析。智能分析模式能够深度挖掘数据内部隐藏的有效信息,梳理设备损伤数据的分布规律与变化特点。摒弃传统人工数据分析的粗放处理模式,依托智能运算逻辑完成数据分层筛选与特征归类。有效挖掘检测数据的深层价值,为设备状态研判提供充足的数据支撑,提升无损检测数据利用的充分性与规范性。

2.3 基于人工智能的检测流程智能优化

传统压力容器无损检测流程依赖人工经验推进,作业步骤排布与检测资源调配存在较强的主观性,整体作业效率存在提升空间。人工智能技术可以结合设备结构特点与检测场景条件,对检测工序进行合理排布与优化调整。技术应用能够规整检测作业的推进节奏,精简冗余的作业步骤,弱化人工经验偏差对检测流程带来的负面影响。智能系统可以依据不同压力容器的结构类型,适配差异化的检测推进模式,让检测流程更加贴合现场作业需求。持续优化检测资源的配置方式,提升无损检测作业的整体推进效率,推动检测流程朝着标准化与智能化方向升级。

2.4 基于人工智能的设备状态智能判别

压力容器长期服役过程中,结构状态与运行性能会产生持续性的动态变化,常规检测模式仅能判定瞬时设备状态,难以实现精细化状态区分。人工智能可以整合多批次、多时段的无损检测数据,梳理设备结构与材质状态的变化规律。依托智能算法完成设备整体运行状态的科学研判,区分设备正常服役状态、轻微损耗状态以及隐患存续状态。细化设备状态的层级划分,改变传统粗放式的状态判定模式。为压力容器后续维保、运行管控以及工况调整提供科学的技术依据,提升压力容器运行安全管控的精细化水平。

3 人工智能赋能压力容器无损检测的技术革新

3.1 检测数据智能化处理模式革新

压力容器无损检测行业长期沿用人工处理数据的基础模式,数据筛选、特征提取与信息分类均依靠人工操作完成,整体处理节奏较为缓慢。人工处理模式容易受到主观认知、作业状态以及经验储备的影响,数据处理质量难以保持稳定统一。人工智能技术重塑无损检测数据的处理逻辑,以自动化运算方式替代传统人工操作流

程,完成检测图像与波形信息的批量处理^[3]。智能处理模式可以自主完成数据降噪、特征提取、信息分类等基础工作,清除检测数据中包含的无效干扰信息。全新的数据处理逻辑能够提升无损检测数据的处理精度与处理速度,挖掘原始检测数据中潜藏的有效信息,推动数据处理工作从粗放人工操作转向精细智能运算。数据处理模式的整体转型,能够适配现代压力容器无损检测海量数据的处理需求,夯实检测技术智能化升级的数据基础。

3.2 传统检测方式的智能化升级

传统压力容器无损检测工作依托人工操作设备、人工判读数据的单一模式开展,作业开展质量高度依赖操作人员的专业积累。常规检测模式的标准化程度偏低,不同作业人员开展的检测工作容易出现质量差异,整体检测稳定性不足。人工智能技术与无损检测技术的深度融合,推动传统人工检测模式完成全方位升级改造。智能技术可以介入检测操作、数据判读、隐患识别等多个关键环节,弱化人工因素对检测质量的干扰。传统检测作业的经验化操作逐步转变为标准化智能操作,检测流程与判读标准更加统一规范。智能化升级能够补齐传统检测方式存在的精度短板与效率短板,让无损检测工作更加适配复杂压力容器结构的检测需求,推动传统检测技术完成现代化转型。

3.3 无损检测智能化作业模式构建

传统无损检测作业体系以人工统筹作业流程为核心,作业排布、资源调配、隐患筛查的推进方式较为固化,难以适配多样化的现场检测场景。人工智能可以重构无损检测的整体作业形态,搭建适配数字化时代的智能作业体系。依托智能技术优化检测作业的整体排布逻辑,结合压力容器结构特点与现场工况条件调整作业推进方式。智能作业体系可以自主完成检测点位规划、作业节奏调控、异常信息筛查等多项工作内容。打破传统作业模式的固化局限,提升检测作业的灵活度与适配性。全新的作业运行形态能够简化人工操作流程,降低现场作业的人力投入,构建高效规范的智能化无损检测作业体系。

3.4 检测信息智能化管理体系构建

压力容器无损检测产生的各类信息,是设备运维与安全管控的重要依据。传统信息管理模式多采用人工归档、纸质记录或零散电子存储的方式,信息调取与整合利用的效率偏低。人工智能技术可以搭建一体化的智能信息管理架构,实现检测数据、缺陷信息、作业记录的集中收纳与统一管理。智能管理体系能够对各类检测信息进行分层归类与动态更新,实现检测信息的有序留存

与快速调取。体系内部可以完成信息的联动整合,梳理不同时段检测信息的内在关联,为设备长期状态分析提供信息支撑。规范化的智能信息管理模式,提升无损检测信息的利用价值与存储安全性,完善无损检测智能化发展的配套体系。

4 人工智能在压力容器无损检测中的发展方向与优化路径

4.1 多模态人工智能技术的融合应用发展

现阶段压力容器无损检测应用的智能技术大多采用单一算法模式开展工作,数据解析与特征识别的维度较为单一,难以适配复杂缺陷的识别解析需求。多模态智能技术的融合发展,能够整合多种算法框架与数据处理模式,实现不同维度检测信息的互补融合。各类智能技术的交叉联动,可以兼顾图像特征解析、数值数据运算与规律特征挖掘等不同工作内容^[4]。丰富无损检测数据的分析维度,突破单一智能技术存在的能力局限,提升复杂缺陷信号的识别与解析能力。多模态融合模式能够充分发挥不同智能技术的优势特点,弥补单一技术在复杂工况检测中的短板。推动无损检测智能运算模式朝着多元化、复合型的方向演进,为高精度无损检测发展提供全新的技术支撑。

4.2 人工智能检测技术的精细化发展方向

现有人工智能无损检测技术多聚焦明显缺陷的识别与分析,对细微损伤、隐性损耗的识别能力存在不足,整体检测精细程度有待提升。智能检测技术的精细化升级,重点针对微小缺陷、边界模糊缺陷以及复合型损伤开展技术优化。持续优化智能算法的特征提取能力,强化模型对微弱缺陷信号的捕捉灵敏度。细化不同损伤类型的特征区分标准,减少相似缺陷特征混淆识别的问题。优化智能数据处理的精细度,弱化环境噪声与设备干扰信号对缺陷识别的影响。逐步推动智能检测从宏观缺陷筛查转向微观隐患识别,全方位提升压力容器无损检测的精准层级,适配高精密承压设备的检测管控需求。

4.3 智能化无损检测体系的完善路径

当前压力容器智能无损检测体系仍处于初步建设阶段,技术应用、流程管控与信息管理的配套内容尚未形成完整闭环。体系完善工作需从技术应用、作业流程、管理架构多个层面同步推进,补齐智能化检测体系

的建设短板。规整智能检测全流程作业规范,统一数据采集、智能分析、信息归档的作业标准。优化智能检测配套的管理机制,规范智能技术落地应用的实施流程与管理要求。完善智能检测数据的储存、分析与调用体系,打通各作业环节的数据互通渠道。逐步搭建技术规范完整、流程运转顺畅、管理架构完善的智能化检测体系,实现智能无损检测模式的标准化落地运行。

4.4 人工智能检测技术的场景化拓展方向

目前人工智能无损检测技术的落地场景相对有限,多数应用集中在常规压力容器的室内检测环节,对特殊工况的适配程度不足。智能检测技术的后续发展,需要持续拓宽场景适配范围,面向野外工况、高低温极端工况、高负荷服役工况开展技术适配优化。针对特殊结构压力容器、特殊介质服役设备优化智能检测模式,提升技术的场景适配能力。打破智能检测技术的场景应用局限,推动智能无损检测适配全类型压力容器与全工况作业环境,实现智能检测技术的大范围普及与深度落地。

结束语

人工智能与压力容器无损检测的融合,正从单一缺陷识别向数据处理、流程优化、信息管理的全链条延伸。通过缺陷特征自动提取、检测数据智能解析、设备状态分层判别等技术手段的持续推进,传统人工检测模式正加速向数字化智能化形态转变。多模态技术融合、精细化识别升级以及场景化拓展应用,将进一步夯实智能无损检测的技术根基,为承压设备安全管控提供更为可靠的技术保障。

参考文献

- [1]段彪王,程静静,张卫刚.人工智能在压力容器无损检测中的应用[J].科技创新与应用,2025,15(24):193-196.
- [2]丁佩仕.无损检测技术在锅炉压力管道检验中的应用探讨[J].中国科技论文在线精品论文,2025,18(3):121-123.
- [3]邢谭芳,李越,邵玉龙.无损检测技术在压力容器和压力管道中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(14):59-61.
- [4]张森,任昊葵,刘敬,等.激光技术在压力容器制造与检测领域的研究进展及应用前景[J].海军工程大学学报,2026,38(2):1-7,20.