

新兴检验技术在产品质量检验中的应用现状与发展趋势

乌亚军

林西县产品质量检验检测所 内蒙古 赤峰 025250

摘要:传统产品质量检验技术存在效率低、精度不足、方式局限等问题,难以满足制造业高质量发展需求。新兴检验技术应运而生,涵盖基于光学、声学、X射线、机器视觉与人工智能、新型传感与物联网等多种技术,在多领域广泛应用。未来,新兴检验技术将呈现多技术融合、设备智能化与边缘化、检测装备便携化与国产化、检验数据资产化、面向特殊场景极端检测等发展趋势,推动质量管控向智能化、高效化、全面化转型。

关键词:新兴检验技术;产品质量;无损检测

引言:制造业高端化、智能化、绿色化转型加速,对产品质量检验提出更高要求。传统检验技术因效率、精度、方式等方面的局限,已难以适配行业发展节奏。产业升级催生对新兴检验技术的迫切需求,需要实现微小缺陷精准检测、全流程实时监测、质量追溯体系完善等目标。在此背景下,新兴检验技术不断涌现并快速发展,为提升产品质量、推动产业升级提供了有力支撑,其应用现状与发展趋势值得深入探讨。

1 传统产品质量检验技术的局限性

1.1 传统检验技术分类

传统产品质量检验技术主要分为三大类,覆盖不同检测场景与需求。一是感官检测,依托检测人员的视觉、嗅觉、触觉、听觉等感知器官,对产品外观、质感、气味等指标进行直观判断,适用于日用消费品、纺织品等低精度场景,具有便捷、低成本的优势,但主观性强。二是理化检测,通过物理或化学手段定量分析产品成分、力学性能、电学特性等,包括拉伸试验、硬度测试、成分分析等,结果客观可重复,常用于原材料入厂检验和成品仲裁,但部分方法需破坏样品且对操作要求高^[1]。三是简易无损检测,以磁粉检测、渗透检测为主,聚焦产品表面及近表面缺陷,适用于金属工件管控,但检测范围有限,无法实现内部缺陷精准检测,整体技术水平贴合传统制造业的粗放式生产需求。

1.2 面临的瓶颈与挑战

传统产品质量检验技术在当前制造业发展中面临诸多瓶颈,已难以适配高质量发展需求。首先,检测效率低下,多数依赖人工操作,如人工目检需长时间紧盯屏幕,单人日均检测量有限,且易受疲劳、经验

差异影响,漏检率、误判率较高,部分场景漏检率可达20%以上。其次,检测精度不足,难以识别微小缺陷,对微米级、纳米级缺陷的检测能力缺失,无法满足精密制造的质量要求。再者,检测方式存在局限性,破坏性检测会造成产品损耗,无损检测则难以覆盖内部复杂结构,且无法实现生产全流程实时监测。另外,检测数据分散,缺乏系统化整理与分析,难以形成质量追溯体系,无法为生产工艺优化提供有效支撑,制约了产品质量的提升。

1.3 产业升级催生新技术需求

随着制造业向高端化、智能化、绿色化转型,产业升级进程不断加快,传统检验技术已无法匹配行业发展节奏,催生了对新兴检验技术的迫切需求。当前,产品更新周期大幅缩短,精密制造、柔性生产成为主流,对检测精度、效率提出了更高要求,需要实现微小缺陷精准检测、全流程实时监测和无损检测的全覆盖。同时,全球产业链协同深化,产品质量合规性要求不断提高,需要建立完善的质量追溯体系,实现检测数据的系统化管理与分析。此外,中小企业提质增效需求迫切,亟需低成本、易操作的先进检验技术,替代传统高人力、低效率的检测模式。产业升级推动检验技术从“事后检验”向“事前预防、事中控制”转型,倒逼新兴检验技术快速迭代与落地应用。

2 新兴检验技术分类及应用现状

2.1 基于光学特性的高精度成像检验技术

基于光学特性的高精度成像检验技术,依托光学原理对物体进行成像分析,通过精准捕捉光学参数实现缺陷检测与质量评估,已广泛应用于多个高端制造领域。

该技术涵盖分辨率、畸变、噪声等关键参数检测,可实现微米级甚至纳米级的微小缺陷识别,核心设备包括干涉仪系统、CCD/CMOS 相机模块、激光扫描仪等。在半导体领域,可检测晶圆缺陷和图案精度,识别 3 纳米级划痕;在显示屏行业,能排查 OLED、LCD 屏幕的像素缺陷和亮度均匀性;在机械制造领域,可检测金属零件表面划痕和几何公差。其遵循 ISO 10110、ASTM E1951 等国际国内标准,检测效率高、无损且精准,有效解决了传统技术难以检测微观缺陷的难题,成为精密制造质量管控的核心技术之一。

2.2 基于声学特性的无损检测技术

基于声学特性的无损检测技术,利用声波传播特性与物质的相互作用规律,在不损伤产品本体的前提下,实现内部缺陷检测与结构完整性评估,应用场景已延伸至工业、电力、建筑等多个领域^[2]。该技术主要包括超声波检测、声发射检测、振动检测等,核心原理是通过接收分析声波的传播速度、衰减程度、频率特性等,推断产品内部结构与缺陷情况。在压力容器和管道制造中,超声波检测可排查焊缝内部气孔、裂纹等缺陷;在电力行业,可通过超声定位变压器局部放电隐患;在建筑领域,能检测混凝土结构内部空洞、疏松等问题。其具有非接触、灵敏度高、可在线监测的优势,无需破坏样品即可实现全生命周期检测,有效弥补了传统无损检测范围有限的短板。

2.3 基于 X 射线的三维精细化检验技术

基于 X 射线的三维精细化检验技术,通过 X 射线穿透被测物体并结合三维重建技术,实现复杂结构件的全尺寸测量与内部缺陷精准分析,是高端制造领域的核心检验技术之一。该技术可穿透金属、陶瓷等不透明材料,测量精度可达 $\pm(2+L/100)\mu\text{m}$,能同时获取产品内外表面及内部结构数据,支持孔隙率自动计算、形位公差验证和逆向工程数据采集。在航空航天领域,可检测发动机涡轮叶片内部冷却通道尺寸偏差;在新能源汽车领域,能精准测量电池模组极片对齐度;在电子封装领域,可分析 BGA 封装焊点虚焊问题。目前,该技术正朝着更高分辨率、更快扫描速度发展,在线式 X 射线测量系统逐步集成到智能产线,实现制造过程的实时质量监控,契合精密制造的高质量需求。

2.4 基于机器视觉与人工智能的智能检验技术

基于机器视觉与人工智能的智能检验技术,是当前检验行业的颠覆性技术,通过机器视觉捕捉图像信息,结合深度学习算法实现缺陷自动识别、分析与判断,已

实现规模化落地。该技术打破了传统人工检验的桎梏,检测准确率普遍突破 99.5%,部分高精度场景达 99.9%,漏检率降至 0.5% 以下,日均检测量较人工提升 100-2000 倍。在电子制造领域,可识别半导体芯片 3 纳米级划痕、充电头字符缺陷;在汽车制造领域,能检测轴承、凸轮轴等零部件的微小瑕疵;在智慧实验室中,可引导机械臂完成样品前处理,实现全流程无人化检测。其核心优势的是可自主学习缺陷特征,适配多型号产品检测,还能联动生产线实现缺陷自动分拣与工艺纠偏,推动检验模式向智能化、自动化转型。

2.5 基于新型传感与物联网的在线检验技术

基于新型传感与物联网的在线检验技术,整合新型传感设备、物联网技术与数据传输技术,实现生产全流程实时监测、数据实时采集与远程管控,已广泛应用于智能制造、新能源、化工等领域。该技术通过在产线各环节部署温度、压力、振动等新型传感器,实时捕捉产品质量相关数据,经物联网传输至云端平台,实现数据集中管理、分析与预警。在新能源电池生产中,可实时监测极片涂布厚度、浆料粘度等参数,及时预警质量波动;在化工领域,能监测生产过程中物料成分变化,确保产品一致性;在供应链环节,可跟踪物流温湿度轨迹,保障产品运输质量^[3]。其实现了检验从“离线抽样”向“在线全检”转型,有效规避批量质量问题,为生产工艺优化提供实时数据支撑,提升了质量管控的智能化水平。

3 新兴检验技术的发展趋势

3.1 多技术融合化

多技术融合化是新兴检验技术的核心发展趋势,通过整合不同类型检验技术的优势,实现优势互补,突破单一技术的应用局限,提升检测的精准度、效率与全面性。目前,多技术融合已呈现多元化场景,如机器视觉与 X 射线技术融合,可实现产品内外缺陷同步检测,兼顾表面微观瑕疵与内部结构隐患;光学成像与新型传感技术结合,能丰富检测数据维度,提升复杂场景下的缺陷识别能力;AI 算法与声学、光学检测技术融合,可实现检测数据的智能化分析与缺陷根因追溯。这种融合趋势打破了传统技术的学科壁垒,形成“多维度感知、全方位分析、精准化判断”的检测模式,适配更多复杂检测场景,如高端装备制造、生物医药等,推动检验技术向更高效、更全面的方向发展。

3.2 设备智能化与边缘化

设备智能化与边缘化是新兴检验技术的重要发展方

向,旨在打破传统检测设备的功能局限,实现检测过程的自主化、智能化与实时化。设备智能化方面,检测设备正逐步集成 AI 算法与自主决策模块,具备自动识别缺陷、自动校准参数、自动生成检测报告的能力,减少人工干预,如 AI 质检系统可自动关联工艺参数,生成缺陷根因概率图谱并推送纠偏指令。边缘化方面,检测设备正向边缘计算架构转型,将数据处理、分析功能从云端下沉至设备终端,实现检测数据的本地实时处理,减少数据传输延迟,确保检测结果的实时反馈,适配柔性生产、在线监测等场景。同时,设备正朝着“感知-分析-决策-执行”全链路协同发展,进一步提升质量管控的效率与智能化水平。

3.3 检测装备便携化与国产化

检测装备便携化与国产化成为新兴检验技术的重要发展趋势,既满足多元化检测场景需求,也助力打破国外技术垄断,提升产业自主可控能力。便携化方面,随着微型传感、轻量化设计技术的发展,检测装备正朝着小型化、便携式、可移动方向发展,可实现现场检测、户外检测,摆脱实验室场景限制,如便携式超声波检测仪、手持 X 射线检测仪,广泛应用于航空航天现场检修、管道巡检等场景。国产化方面,国家正加快推进检验检测仪器设备国产化验证评价工作,构建权威标准体系,重点攻坚高端通用设备“卡脖子”问题,目前汽车、电子等领域的国产检测设备已实现批量应用,不仅降低了企业检测成本,还提升了核心技术自主可控性,未来将逐步实现从“跟跑”到“领跑”的跨越。

3.4 检验数据资产化

检验数据资产化是新兴检验技术的重要发展趋势,核心是将检验过程中产生的海量数据转化为可利用、可增值的资产,为质量管控、工艺优化、产品研发提供支撑。随着新兴检验技术的应用,检测数据呈现海量化、多元化特征,涵盖缺陷参数、工艺参数、环境参数等多维度信息。通过数据清洗、分析、挖掘,可实现质量问题追溯、缺陷趋势预判、工艺参数优化,如通过分析历史检测数据,可提前预警批量质量隐患,指导生产工艺调整。同时质量数据正逐步打破孤岛,实现跨部门、跨供应链共享,如博世苏州工厂将供应商来料检验数据纳

入统一质量模型,提升供应链质量管控效率。未来,检验数据将成为企业核心资产之一,推动质量管控从“被动应对”向“主动预防”转型。

3.5 面向特殊场景的极端检测技术

面向特殊场景的极端检测技术,是新兴检验技术的重要延伸方向,主要针对高温、高压、深海、太空等极端环境,以及微观、纳米级等极端精度需求,开发专用检测技术与装备,填补特殊场景检测空白。在极端环境检测方面,已开发出耐高温、耐高压的专用检测设备,如深海声学检测装备可实现深海设备缺陷监测,高温传感检测设备可适配航空发动机高温部件检测;在极端精度检测方面,纳米级光学成像、X 射线检测技术已实现突破,可检测半导体芯片 3 纳米级缺陷,满足微观制造的质量要求^[4]。另外,极端检测技术还在医疗、航空航天等领域广泛应用,如体内微观组织检测、太空装备在轨检测等,未来将随着特殊场景需求的升级,不断突破技术极限,拓展检验技术的应用边界。

结束语

新兴检验技术凭借独特优势,在产品质量检验领域发挥着日益重要的作用,有效解决了传统技术的诸多难题,满足了制造业高质量发展的需求。随着技术的持续创新与融合,新兴检验技术将朝着多技术融合、设备智能化、检测装备便携国产化等方向深入发展,检验数据资产化也将为企业带来新的价值。同时,面向特殊场景的极端检测技术将不断拓展应用边界,为各领域产品质量提升和产业升级注入强大动力。

参考文献

- [1] 龚路生. 工业产品质量检验方法研究 [J]. 科学咨询,2023(23):69-71.
- [2] 石毓生,蒋清芳. 产品检验质量管理中 PDCA 循环控制法应用研究 [J]. 品牌与标准化,2026(1):156-158.
- [3] 林佑,高伟,周厚天.”数智化”技术赋能产品质量检验的机制与路径分析 [J]. 大众标准化,2026(2):13-15.
- [4] 李勋来,訾佳佳. 出口产品质量与碳减排协同——基于一般均衡污染贸易模型的实证检验 [J]. 中国人口·资源与环境,2025,35(6):41-50.