

# X 射线检测技术应用领域的研究

阚仁峰

江苏信息职业技术学院，江苏 无锡 214100

DOI: 10.61369/SSSD.2025070024

**摘 要：** X 射线检测技术是一种基于 X 射线穿透特性的无损检测方法，能够在不破坏样品的情况下揭示其内部结构，广泛应用于工业制造、电子封装、医疗诊断、新能源等领域。在工业领域，该技术用于检测铸件气孔、裂纹等缺陷，尤其在汽车和航空部件质量控制中发挥关键作用。电子制造中，X 射线可识别 BGA、CSP 等封装器件的微米级焊接缺陷，推动高分辨率成像技术的发展。医疗领域则依赖 X 射线和 CT 成像进行疾病诊断，结合人工智能算法提升图像清晰度。新能源行业利用 X 射线检测锂电池极片错位、隔膜缺陷等问题，但多层结构成像仍面临挑战。此外，该技术还应用于安检、食品检测及文物保护。未来，微焦点射线管、CT 成像优化及深度学习融合将进一步提升检测精度和智能化水平，推动制造业向数据驱动转型。

**关 键 词：** X 射线；技术制造；新能源

## Research on the Application Field of X-Ray Detection Technology

Kan Renfeng

Jiangsu Information Technology Institute of Technology, Wuxi, Jiangsu 214100

**Abstract：** X-ray inspection technology, based on the penetrating characteristics of X-rays, is a non-destructive testing method that can the internal structure of samples without damaging them. It is widely used in industrial manufacturing, electronic packaging, medical diagnosis, new energy and other fields. In the industrial field, this technology used to detect defects such as gas holes and cracks in castings, and plays a key role in the quality control of automotive and aerospace components. In electronic manufacturing, X- can identify micron-level welding defects in packaging devices such as BGA and CSP, promoting the development of high-resolution imaging technology. In the medical field, X- and CT imaging are relied on for disease diagnosis, combined with artificial intelligence algorithms to improve image clarity. The new energy industry uses X-rays to detect issues such as misalignment lithium battery plates and defects in separators, but multilayer structure imaging still faces challenges. In addition, the technology is also applied to security inspection, food inspection and cultural relics. In the future, micro-focus X-ray tubes, CT imaging optimization and deep learning fusion will further improve the accuracy and intelligence of inspection, and promote the transformation of manufacturing data-driven.

**Keywords：** X-ray; technical manufacturing; new energy

## 引言

工业革命以来，随着机械化生产取代手工制造，产品质量一致性成为竞争的核心。而产品质量的保证推动着检测技术的发展，从古代利用颜色分辨矿石质量的色谱法，到现代利用物理和计算机等学科的无损检测技术。它为解决产品问题改善生活，提供了有效保证，随着生物技术和纳米技术的发展，无损检测技术正进入一个全新的阶段，X 射线检测技术就是无损检测的主要方法之一，是进行产品研究、失效分析、可靠筛选、质量评价、改进工艺等工作的有效手段。

X 射线检测技术是一种利用 X 射线穿透物质进行内部结构成像和分析的检测方法。它通过发射高能 X 射线穿透检测对象，不同密

度、厚度的材料对射线的吸收程度差异形成明暗对比图像，接收器捕获透过的射线信号，形成图像，以识别内部缺陷或结构异常。

X 射线检测技术主要优点为无损性检测，在不损伤样品的前提下揭示内部结构，适用于成品全检与贵重物品分析，如文物、航空部件。射线微焦点技术的问世，高精度和高分辨率的检测应用普及，可以检测微米级别的裂纹等；随着人工智能的发展，融合人工智能、边缘计算与多模态数据分析，构建智能诊断平台，已经拓展至医疗健康、工业无损检测、安全安防及文化遗产保护等多元领域。

## 一、X 射线检测技术应用领域

### （一）工业制造领域

在铸造生产过程中，受工艺条件等因素影响，铸件内部可能产生各类缺陷，如杂质（夹杂物）、气泡（气孔）、缩孔（缩松）、裂纹等。这些缺陷不仅会显著降低铸件的性能，更可能在使用过程中引发潜在的安全风险。X 射线无损检测技术是发现此类内部缺陷的有效手段，利用 X 射线穿透铸件，由于缺陷部位与完好部位对射线的吸收衰减不同，在数字探测器上形成影像，从而揭示内部结构信息。叶俊超等利用 X 射线实时成像，实现对各类汽车零部件、铝/铁铸件内部气孔、疏松、杂质等缺陷检测<sup>[1]</sup>。宋晓波等将微焦点 X 射线实时成像检测技术应用于航空航天领域的镁、铝合金铸造舱体无损探伤，能够实时、清晰地检出筒体铸件中的疏松、气孔、针孔、夹杂等缺陷<sup>[2]</sup>。随着新能源汽车产业的快速发展，对大型、复杂的一体式压铸车架的需求激增。这类关键部件对内部质量要求极高，推动了汽车铸造领域对高效、高精度 X 射线检测设备的需求快速增长，并带动了整个铸件、焊件及材料无损检测领域中 X 射线检测设备市场规模的持续扩大。

### （二）电子制造领域

在电子制造行业中，元器件漏贴、电容的极性错误、焊脚定位错误或者偏斜、引脚弯曲或折起，这些可通过 AOI 检测技术<sup>[3]</sup>，而对于内部缺陷只能通过 X 射线检测，BGA、CSP、QFN 等隐藏焊点下的焊锡空洞、桥接、开路、焊球缺失、移位等。X-ray 检测技术能有效控制 BGA 的焊接和组装质量，已经广泛用于 PCB 组装和半导体行业<sup>[4]</sup>。而对于 PCB 板中元器件存在的焊点质量，可通过系统对元器件缺陷图片检测分析，刘红玉等总结出各种缺陷在检测时的注意事项，提出最优检测流程，已完成缺陷检测能力提高<sup>[5]</sup>。李子健等  $\mu$ BGA 封装器件装焊工艺技术研究<sup>[6]</sup>，也体现缺陷的微米级，更需要 X 射线技术向着微米级方向发展，目前主要聚焦于两个方面：制造出物理尺寸更小（微米甚至纳米尺度）的 X 射线源，以及实现更高空间分辨率（微米甚至亚微米级）的 X 射线成像和探测。

### （三）医疗制造领域

在医学上，X 射线主要用于医学影像学、反射治疗等，主要人体组织对射线的吸收程度不同，将人体组织投影到成像系统上，从而确认病灶的位置信息，进行判断就诊<sup>[7]</sup>。常用于检查人体内部的骨骼、器官和组织等，帮助医生诊断疾病<sup>[8]</sup>。由于人体组织的复杂，对于成像的检测要求高，曹妍等融合拉普拉斯法与梯

度法，分别突出细节和突出边缘，通过平滑梯度图像掩蔽拉普拉斯图像，结合高提升滤波实现锐化，并利用灰度变换扩展动态范围。在医学 X 射线影像增强中，其效果显著优于传统方法，能清晰呈现细节，具有突出的理论和实用价值<sup>[9]</sup>。除此 CT 扫描技术通过高分辨率和横断面成像能力，为疾病诊断、术前评估和术后随访提供了重要支持<sup>[10]</sup>。影像传输速度和稳定性、影像质量以及数据安全和隐私保护等问题仍需解决。优化网络基础设施、采用高效的影像压缩与传输技术、加强数据加密与隐私保护，以及应用人工智能辅助诊断是提升 CT 扫描技术在远程医疗中应用效果的关键措施<sup>[11]</sup>。这些优化措施有望提高医疗服务质量和效率，推动远程医疗的发展。

### （四）新能源制造领域

新能源锂电池以其高能量密度、长寿命和环保特性，成为支撑新能源产业发展的核心力量，广泛应用于电动汽车和储能系统中。新能源锂电检测是确保电池安全、性能和寿命的核心环节，涉及电化学特性分析、环境适应性测试、安全认证及智能监控等多个技术维度。X 射线因其自身的特性被应用于锂电池的检测。主要问题锂电池内部多层结构（正极片、负极片、隔膜）的重叠交错，以及 X 射线穿透能力限制，导致图像整体偏暗，电极轮廓模糊不清，对比度和清晰度低。利用自定义非线性灰度变换函数结合 CLAHE 算法来增强对比度，一定程度上改善图像偏暗轮廓不清的问题<sup>[12]</sup>。投影角度误差问题，在圆柱形锂离子电池的 X 射线计算机断层扫描中，随着扫描的多次旋转，旋转台的累积误差和随机误差会导致投影角度误差，影响成像质量<sup>[13]</sup>。在叠片工艺中，正负极片错位超过 0.2mm 会导致严重问题；在卷绕工艺中，隔膜与极片的错位会使短路概率提升 5 倍。故我们要结合深度学习，可降低边缘定位误差。运动与几何控制问题，定位与纠偏精度不足，集成高刚性运动平台（定位精度  $\pm 1\mu\text{m}$ ），推广微焦点 CT 检测技术。针对锂电池行业的需求，结合日联科技在 X 射线检测领域多年开发经验，专门为锂电池研发生产了多种适合锂电池检测的设备。无论是铝壳装电池、软包装电池、方形电池、还是圆柱 18650/26650 等型号的电池，都研发出了相应的缺陷检测设备。这些设备都具有图像清晰，自动判定，易于上手等特点。

### （五）其他制造领域

X 射线检测技术应用广泛，覆盖多个行业。医疗领域还用于医用器械检测及诊断辅助；安全与安检领域，如机场行李扫描和快递包裹检测，有效提升防范能力。以铁路行业为例，通过 X 射线检测发现钢轨微裂纹，减少了铁路事故，保障乘客安全。食品

工业中利用 X 射线筛查异物，提升食品安全等级。

二、总结

X 射线检测以无损性为基石，通过高精度成像、广泛适应性及智能高效特性，成为工业质控、科学研究和安全监测的不可替代工具。在工业、汽车制造、电子制造、医疗、科研、文物保护、

食品等各行各业都有应用。主要面临的挑战，稳定的微焦点射线管的硬件开发，目前已有公司打破垄断，实现国产替代的突破；应用硬件精度、速度与复杂结构的不可调和性，需要结合微焦点技术，结构创新优化，CT 成像技术的突破；算法系统层面结合深度学习与多模态融合构建“检测－反馈－工艺调整”闭环，推动制造从经验驱动转向数据驱动。

参考文献

[1] 叶俊超, 刘建军 .X 射线实时成像无损检测技术在铸造领域的应用技术 [C]//2016 年山东省铸造厂长经理年会暨山东省铸造协会会员代表大会; 山东省铸造协会, 2016.

[2] 宋晓波, 胡宽明 .应用于铸造舱体检测的 X 射线实时成像选型设计研究 [J]. 无损探伤, 2019, 43(6):2.

[3] 胡跃明, 谭颖 .自动光学检测在中国的应用现状和发展 [J]. 微计算机信息, 2006(02S):4.DOI: 10.3969/j.issn.1008-0570.2006.04.054.

[4] 鲜飞, 刘江涛, 胡少云 .X-ray 检测技术在 PCB 组装领域中的应用 [C]// 中国高端 smt 学术会议 .2015.

[5] 刘红玉 .X-RAY 检测技术在 PCB 板中的应用 [J]. 电子质量, 2022.

[6] 李子健,  $\mu$ BGA 封装器件装焊工艺技术研究 [D]. 北华航天工业学院, 2023.

[7] 闫伟 .X 射线的医学应用 [J]. 中国医学装备, 2005, 2(3):2.DOI: 10.3969/j.issn.1672-8270.2005.03.013.

[8] 汪宁宁, 金奎东, 季宏波, 等 .浅析 X 射线在医学影像诊断领域的发展及应用 [J]. 中国卫生标准管理, 2015, 6(14).

[9] 曹妍, 陈伟 .图像增强技术在 X 射线医学影像中的应用 [J].CT 理论与应用研究, 2015(4):7.DOI: 10.15953/j.1004-4140.2015.24.04.08.

[10] 罗松江, 李向荣, 周标, 等 .探讨螺旋 CT 扫描技术在孤立性肺结节定性诊断中的应用价值 [J]. 黑龙江医药, 2024, 37(4):899-902.

[11] 王骏, 刘小艳 .CT 扫描技术优化进展 [J]. 中国医学装备, 2015(2):72-75. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2015.02.024.

[12] 洪俐 .工业 X 射线锂电池的正负极增强与检测算法研究 [D]. 湖北: 武汉工程大学, 2024.

[13] 李丹宇 .基于多角度 X 射线投影的叠片电池极片包覆值测量 [J]. 无损检测, 2023, 45(6):57-61. DOI: 10.11973/wsje202306012.