

三维扫描技术在精密制造质量检测中的应用分析

孔令辉

中国测试技术研究院, 四川 成都 610000

[摘要] 随着精密制造行业的快速发展, 对产品质量检测的精度和效率提出了更高要求。三维扫描技术凭借其高精度、非接触、全尺寸检测等优势, 已广泛应用于精密制造领域。文中围绕三维扫描技术的基本原理、应用方法及在质量检测中的优势展开分析, 结合典型应用案例, 探讨该技术在提升检测效率、降低成本及保障产品质量方面的重要作用。最后, 对未来三维扫描技术在精密制造质量检测中的发展趋势进行展望。

[关键词] 三维扫描技术; 精密制造; 质量检测; 非接触测量; 数据分析

DOI: 10.33142/ec.v8i3.15627

中图分类号: TH744.5

文献标识码: A

Application Analysis of 3D Scanning Technology in Precision Manufacturing Quality Inspection

KONG Linghui

National Institute of Measurement and Testing Technology, Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: With the rapid development of the precision manufacturing industry, higher requirements have been put forward for the accuracy and efficiency of product quality testing. 3D scanning technology, with its advantages of high precision, non-contact, and full-size detection, has been widely used in the field of precision manufacturing. The article analyzes the basic principles, application methods, and advantages of 3D scanning technology in quality inspection. Combining typical application cases, it explores the important role of this technology in improving inspection efficiency, reducing costs, and ensuring product quality. Finally, the future development trend of 3D scanning technology in precision manufacturing quality inspection is discussed.

Keywords: 3D scanning technology; precision manufacturing; quality inspection; non contact measurement; data analysis

引言

精密制造作为现代工业的重要组成部分, 对产品的质量控制在标准越来越高。传统检测手段已无法满足当前高效、精准的质量检测需求。三维扫描技术凭借其非接触、高精度和快速采集数据等优势, 成为精密制造质量检测领域的重要工具。本文通过分析三维扫描技术在精密制造中的应用, 旨在为行业质量控制提供新的思路和技术支持。

1 三维扫描技术概述

1.1 三维扫描技术的发展历程

三维扫描技术自 20 世纪 80 年代末期起步, 随着计算机视觉和光电测量技术的发展逐步成熟。最早期的三维扫描系统以接触式测量为主, 主要应用于实验室环境和少量高端制造领域。这类系统虽然精度较高, 但检测速度慢、操作复杂, 且容易对测量对象产生接触损伤。90 年代以后, 非接触式三维扫描技术逐渐兴起, 尤其是激光扫描仪和结构光扫描仪的广泛应用, 大幅提高了扫描速度和数据精度。进入 21 世纪, 随着计算机处理能力的提升和数字化制造理念的普及, 三维扫描技术不断革新, 便携式手持扫描仪和高速自动化扫描系统相继问世, 使三维扫描应用从实验室走向生产车间。近年来, 随着人工智能、大数据等前沿技术的融入, 三维扫描正朝着智能化、自动化和高精度方向快速发展。

1.2 三维扫描技术的基本原理

三维扫描技术是一种通过高效采集物体表面空间几何信息, 生成高精度三维模型的先进测量手段, 广泛应用于工业测量、质量检测、逆向工程、虚拟仿真等多个领域。其核心原理主要包括光学三角测量、激光扫描成像以及结构光投影等不同技术路径。光学三角测量法基于已知光源、摄像机和被测物体之间的几何关系, 通过分析从物体表面反射回来的光线偏移量, 精确计算出物体表面的三维坐标数据。激光扫描技术则利用激光束照射物体表面, 通过接收反射光或飞行时间 (TOF) 原理来确定扫描点的位置坐标。激光扫描具备良好的环境适应性, 能够在户外或复杂环境下保持较高的测量稳定性和精度, 适合大尺寸工件或复杂结构件的扫描作业。而结构光扫描技术则通过投影设备将条纹、编码或图案光栅投射到物体表面, 并利用摄像系统捕获图像, 通过分析图像中光栅变形信息, 重建物体的三维结构。该技术采集速度快、分辨率高, 广泛应用于需要快速、全面扫描的高精度测量任务。

1.3 三维扫描设备分类

根据扫描技术和应用需求的不同, 三维扫描设备主要分为激光扫描仪、白光/蓝光扫描仪以及便携式手持扫描仪三大类。激光扫描仪通常采用激光测距和三角测量原理, 具备高精度和远距离扫描能力, 适用于大型构件、复杂工

业产品的三维检测和建模,广泛应用于航空航天、汽车制造等领域。白光/蓝光扫描仪通过投射结构光条纹,结合高分辨率摄像系统进行数据采集,具有扫描精度高、测量稳定性好等优点,适合用于小型零部件、模具以及高反光或复杂表面物体的精细测量。便携式手持扫描仪则因其轻便灵活、操作简便而备受青睐。该类型扫描仪通常内置多种传感器和光源,支持现场快速扫描和实时显示,特别适合车间现场检测、维修、逆向设计等应用场景。随着扫描技术的不断演进,多功能一体化扫描系统也在不断涌现,结合多种扫描方式,进一步提升检测精度和应用广度。

2 三维扫描技术在精密制造质量检测中的应用现状

2.1 精密零部件检测

在精密制造行业,零部件的尺寸精度直接关系到产品的装配性能和使用寿命。传统检测方法多依赖接触式测量工具,如游标卡尺、千分尺和三坐标测量机(CMM),虽然精度高,但检测效率较低,且对复杂曲面和自由曲面结构的检测存在一定局限性。三维扫描技术凭借非接触、高精度和快速成像的特点,在精密零部件检测中得到广泛应用。通过对零部件进行全尺寸扫描,生成完整的三维点云数据,工程师可以快速进行CAD模型比对分析,发现尺寸偏差、几何误差和表面缺陷。特别是对于齿轮、叶片、连接器等复杂曲面零件,三维扫描技术能够实现无死角检测,有效提高检测覆盖率与准确性。实际应用中,三维扫描不仅提高了检测效率,还能在生产过程早期发现问题,避免批量不合格品的产生,降低返工和报废成本。

2.2 装配质量控制

装配质量控制是精密制造流程中的重要环节,直接影响产品的整体性能和可靠性。传统装配检测方法主要依赖人工测量和检具,对检测精度和一致性存在较大挑战。三维扫描技术能够在装配前、中、后各阶段发挥作用,辅助装配尺寸控制与误差分析。在装配前,扫描各零部件,确保关键尺寸符合设计规范,避免装配干涉或配合松动。在装配过程中,应用便携式手持扫描仪对零件位置、间隙、平整度等进行实时检测,快速反馈装配误差信息,指导工人或机器人调整,提高装配精度与效率。装配完成后,利用三维扫描对总成进行几何形貌和位置度检查,确保装配结果满足设计要求。三维扫描技术还可结合虚拟装配分析系统,模拟装配过程,提前预测潜在装配问题,实现装配工艺优化。

2.3 模具与工装检测

模具和工装是精密制造过程中不可或缺的基础设施,其质量直接影响产品加工精度与生产效率。传统模具检测多依赖人工检测和接触式量具,不仅耗时费力,且检测信息有限,难以全面反映模具状态。采用三维扫描技术可以快速获取模具或工装的全尺寸数字化模型,对其表面形貌、

尺寸误差和磨损情况进行全面分析。特别是在模具制造完成后的首次检验、使用过程中的定期维护以及模具修复后质量验证等环节,三维扫描能够提供高效、精准的数据支持。通过将扫描数据与CAD设计模型进行比对,可以快速发现因加工偏差或磨损引起的几何变化,及时采取修正措施,延长模具和工装的使用寿命。三维扫描技术还可辅助模具逆向工程和再制造,为复杂模具的修复和优化提供精确数据基础。

3 三维扫描技术在质量检测中的优势分析

3.1 高精度与高效率

三维扫描技术在精密制造质量检测中的显著优势之一是其卓越的高精度与高效率表现。现代三维扫描设备广泛应用激光扫描和结构光投影技术,能够实现微米级甚至亚微米级别的高精度测量,充分满足航空航天、医疗器械、汽车制造等高端制造领域对零件检测精度的严苛要求。与传统接触式测量方法相比,三维扫描技术无需对工件进行逐点检测,而是通过非接触方式,大范围、多角度地快速采集被测物体的完整表面数据,从而在极短时间内获取工件的全面尺寸信息和三维形貌。特别是在检测具有复杂自由曲面、微型零部件或高精度度表面的产品时,传统测量工具往往存在检测盲区和局限性,难以保证测量的全面性和一致性。而三维扫描技术通过全方位、无死角的扫描方式,能够准确还原零件复杂几何形状,实现对产品细节的精准检测,避免遗漏关键质量问题。该技术的应用不仅大幅缩短了检测周期,提升了产品检测的效率和精度,还显著加快了企业产品的开发进程与上市时间。

3.2 非接触检测保障产品完整性

传统的检测方法大多依赖接触式测量工具,如游标卡尺、千分尺和接触式三坐标测量机等,这些工具在检测过程中需要直接接触工件表面,容易对产品造成划伤、压痕或局部变形,特别是在检测柔性材料、脆性材料或表面光洁度要求极高的零部件时,风险更为明显。这不仅可能影响产品的美观性和功能性,还会降低产品的使用寿命和可靠性。而三维扫描技术采用非接触式测量原理,通过激光或结构光等方式实现数据采集,无需任何物理接触即可完成高精度三维测量,有效避免因接触产生的物理损伤和测量误差。三维扫描技术具备极强的适应性,能够应对复杂几何形状和不同材质的工件。即使面对高反光表面、透明材料或黑色吸光物体,仍可通过喷涂消光剂、调整光源类型和波长等方法优化扫描效果,确保数据采集的完整性和准确性。

3.3 数据数字化管理与分析

三维扫描技术生成的高密度点云数据或网格模型,为产品质量检测与管理提供了强大的数字化基础。这些数据可以无缝对接CAD/CAM系统,实现对检测数据的高效数字化管理和深入分析。通过与原始设计模型进行精准比对,

系统能够直观显示产品的尺寸偏差、形状误差以及表面缺陷等问题,帮助质量工程师快速识别潜在缺陷和工艺问题,提升决策的科学性与及时性。此外,数字化数据能够直接导入专业质量检测软件,自动生成标准化检测报告,简化人工操作流程,确保检测流程的信息化和规范化,有效提高工作效率和数据的可追溯性。通过构建企业内部的产品质量数据库,三维扫描数据还能够支持产品全生命周期的质量追溯与溯源分析,促进企业建立完善的质量管理体系,实现从设计、制造到售后的全流程质量控制。

4 三维扫描技术在精密制造质量检测中的发展趋势与挑战

4.1 技术创新与智能化集成

随着智能制造和工业 4.0 理念的深入推进,三维扫描技术正加速迈向智能化、自动化和高度集成的发展方向。未来,三维扫描设备将与人工智能(AI)、机器学习以及大数据分析等前沿技术深度融合,实现扫描过程的智能决策和自主执行。例如,系统能够根据不同工件的复杂程度和特征,自动识别测量对象,智能规划扫描路径,优化扫描角度和参数设置,从而实现更高效、精准地检测。依托图像识别和智能算法,三维扫描系统还能实现自动化缺陷识别与判定,无需依赖人工分析,显著提高检测效率和准确性。与此同时,三维扫描技术正在逐步集成到自动化生产线上,结合机器人技术和自动化检测装备,打造无人值守的智能在线检测系统,实现生产制造与质量检测的无缝对接。虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术的引入,使扫描数据的可视化展示和交互分析更加直观和便捷,提升了操作者的体验感,促进检测流程的智能化与透明化,助力企业实现数字化质量管理。

4.2 提升设备性能与降低成本

当前,高端三维扫描设备普遍具备较高的技术复杂性和采购成本,这使得许多中小型制造企业在引入和推广应用时面临较大压力。昂贵的硬件投入和专业技术人员的需求,成为制约其广泛应用的重要因素。如何在提升扫描设备性能的同时有效降低制造与应用成本,将成为行业技术升级与市场普及的关键方向。一方面,通过引入更先进的传感器技术、优化光源系统以及应用智能算法,可以显著提升扫描精度和采集速度,增强设备在复杂工况环境下的适应能力;另一方面,简化设备结构、提高集成度和模块化设计,有助于提升便携性和操作简便性,降低对操作人员专业技能的依赖,减少维护和使用成本。随着市场需求

的不断增长和制造技术的成熟,设备的大规模量产将有效降低生产成本,从而推动三维扫描技术向中小企业普及。设备租赁、按需计费(SaaS)、第三方检测服务等灵活商业模式的出现,也为企业降低初期投资、加快应用推广提供了可行的解决方案。

4.3 行业标准与规范制定

三维扫描技术在精密制造质量检测中的广泛应用,显著提升了检测效率和产品质量,但同时也暴露出当前行业标准与规范体系尚不完善的问题。由于不同设备厂商采用的扫描技术和算法存在差异,导致检测方法、数据采集标准以及分析处理流程参差不齐,这直接影响了检测结果的一致性和可靠性。检测数据的格式不统一,阻碍了不同设备、不同软件平台之间的数据共享与信息互通,增加了企业跨系统整合和信息传递的难度。在这种背景下,建立统一、权威的三维扫描检测标准体系显得尤为迫切。标准化建设应涵盖设备精度等级划分、检测操作规范、数据格式统一、误差评估与校准方法以及检测报告输出模板等方面,确保检测数据的科学性、权威性和可比性。相关法规和行业认证体系也应同步完善,对设备和服务商的资质认证、检测流程的规范化管理、检测结果的法律效力等方面做出明确规定。

5 结语

三维扫描技术作为精密制造质量检测的重要手段,已展现出显著的应用优势。随着技术不断革新与智能化水平提升,其在提升检测效率、确保产品质量方面将发挥更大作用。然而,当前仍面临设备成本高、行业标准缺失等挑战。未来,三维扫描技术有望与智能制造深度融合,为精密制造行业提供更全面、精准和高效的质量检测解决方案,助力产业升级与发展。

【参考文献】

- [1] 台文涛. 机械制造计量检测技术研究[J]. 中国质量监管, 2024(11): 88-89.
- [2] 孙衍强. 齿轮线激光三维测量方法与关键技术研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2023.
- [3] 冯静, 李欣欣, 石磊, 等. 基于三维激光扫描技术的储罐外形高精度复核探讨[J]. 测绘技术装备, 2023, 25(4): 66-71.
- [4] 吴新元. 基于光学三维扫描技术的复杂曲面无损检测研究[J]. 中国机械, 2024(36): 86-89.

作者简介: 孔光辉(1986.2—), 男, 毕业院校: 成都理工大学, 所学专业: 核技术及应用专业, 目前职称: 工程师。