

基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的应用进展

王爽 赵铖 朱波

陕西飞机工业有限公司 陕西 汉中 723213

摘要：基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的应用进展显著。随着航空工业的快速发展，对产品质量和检测精度的要求日益提高。机器人自动化检测技术以其高精度、高效率、高可靠性的优势，在航空制造领域得到广泛应用。从零件加工到成品质量检测，再到飞机整机维护检修，机器人自动化检测技术都发挥着重要作用。本文综述近年来该技术在航空制造中的应用进展，并探讨其未来的发展趋势和挑战。

关键词：机器人；自动化检测；航空制造

随着航空工业的快速发展，对产品质量和生产效率的要求日益提高，传统的检测方法已难以满足现代航空制造的需求。近年来，基于机器人的自动化检测技术以其高精度、高效率、高可靠性的优势，在航空制造领域得到了广泛关注和应用。该技术能够实现了对飞机零部件及整机的全面、快速、准确检测，极大地提高了航空制造的质量和效率。本文旨在综述基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的应用进展，并探讨其未来的发展趋势和挑战。

1 机器人自动化检测技术概述

在航空制造领域，机器人自动化检测技术正逐渐成为提升生产效率、保障产品质量的关键技术。该技术集成了高精度传感器、先进的图像识别算法以及智能控制系统，能够在无人干预的情况下，对飞机零部件及整机进行全面的检测。机器人自动化检测技术通过预设的程序和路径，能够精确地对航空制造中的各个环节进行实时监测。在零件加工阶段，机器人可以对原材料进行质量筛查，确保材料符合设计要求；在加工过程中，机器人持续跟踪零件的尺寸、形状和位置精度，及时发现并纠正加工偏差。进入成品质量检测阶段，机器人利用无损检测技术，如超声波、射线等，对零部件的内部结构进行细致检查，确保无潜在缺陷。机器人自动化检测技术还广泛应用于飞机整机的维护检修中。通过对机身表面、发动机性能、航电系统等关键部位进行全面检测，机器人能够及时发现并报告潜在的安全隐患，为维修人员提供精准的数据支持，确保飞机的持续安全运营^[1]。机器人自动化检测技术的引入，不仅显著提高航空制造企业的生产效率，降低人力成本，还极大地提升产品质量的稳定性和可靠性，该技术还能够实现检测数据的实时采集与分析，为企业的质量控制和决策制定提供了科学依据。随着技术的不断进步和应用场景的拓展，

机器人自动化检测技术将在航空制造领域发挥越来越重要的作用。

2 基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的优势

2.1 提高检测精度和效率

基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的首要优势在于其显著提高了检测的精度和效率。这一技术的运用，使得航空制造过程中的质量检测达到了前所未有的高度。在航空制造领域，对零部件的精度要求极为严格，任何微小的瑕疵都可能导致严重的安全隐患。传统的人工检测方式不仅耗时费力，而且难以保证检测的一致性和准确性。而基于机器人的自动化检测技术，通过高精度的传感器和先进的算法，能够实现对零部件的精确测量和细致分析。机器人系统的高精度运动控制，确保了检测过程中每一次移动和每一次测量的准确性，从而大大提高了检测的精度。自动化检测技术还显著提高检测的效率，机器人能够以远超人类的速度进行工作，不仅缩短检测周期，还提高整个生产线的效率，自动化检测系统能够24小时不间断地进行工作，无需休息和换班，进一步提升生产效率。基于机器人的自动化检测技术还能够实现检测的自动化和智能化，机器人能够按照预设的程序自动执行检测任务，无需人工干预，从而减少人为因素导致的误差。同时，通过智能化的算法，机器人还能够对检测数据进行实时分析和处理，及时发现潜在的质量问题，为后续的改进和优化提供有力的支持。

2.2 降低人工成本和劳动强度

基于机器人的自动化检测技术的另一个显著优势在于其能够大幅降低人工成本和劳动强度。在航空制造领域，传统的人工检测方式需要大量的检测人员，不仅人力成本高，而且工作强度大，容易引发各种健康问题。而基于机器人的自动化检测技术，通过引入机器人系统，实现了检测的自动化和智能化，从而大幅减少检测

人员的数量。机器人能够替代人工完成繁琐、重复的检测工作，不仅降低人力成本，还减轻检测人员的劳动强度，机器人系统还能够根据实际需求进行灵活配置，以适应不同规模和不同类型的检测任务，进一步提高检测的灵活性和效率^[2]。自动化检测技术的运用还降低检测过程中的安全风险，传统的人工检测方式需要检测人员近距离接触被测物体，存在较高的安全风险。而基于机器人的自动化检测技术，通过引入机器人系统，实现远程控制 and 自动检测，从而避免检测人员与被测物体的直接接触，降低安全风险。

2.3 适应复杂检测环境

航空制造过程中的检测环境往往十分复杂，涉及多种不同类型的零部件和检测要求。传统的人工检测方式难以适应这种复杂多变的检测环境，而基于机器人的自动化检测技术则具有更强的适应性和灵活性。机器人系统能够根据不同的检测任务进行灵活配置和编程，以适应不同类型的零部件和检测要求，机器人系统还能够应对复杂的检测环境，如高温、高压、高湿度等恶劣条件，确保检测的准确性和可靠性。基于机器人的自动化检测技术还能够实现多种检测技术的集成和融合，这种集成化的检测技术不仅提高了检测的精度和效率，还降低了检测成本，为航空制造提供了更加全面、高效的检测解决方案。

2.4 实现数据实时采集与分析

基于机器人的自动化检测技术的另一个重要优势在于其能够实现数据的实时采集与分析。在航空制造过程中，质量检测数据的实时性和准确性对于后续的生产改进至关重要。传统的人工检测方式往往存在数据记录不准确、数据反馈不及时等问题，而基于机器人的自动化检测技术则能够实时采集检测数据，并将其传输给控制系统进行分析和处理。这种实时数据采集和分析的能力，不仅提高检测的准确性和可靠性，还为后续的改进和优化提供有力的支持。基于机器人的自动化检测技术还能够实现数据的智能化分析和处理，通过引入先进的算法和模型，机器人系统能够对检测数据进行深入挖掘和分析，发现潜在的质量问题和趋势，为生产决策和改进提供科学依据。

3 基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的应用

3.1 零件加工过程中的检测

在航空制造领域，零件的加工精度直接关系到整机的性能和安全。基于机器人的自动化检测技术在零件加工过程中扮演着至关重要的角色。通过高精度传感器和先进的图像识别技术，机器人能够在零件加工的不同阶

段进行实时监测，确保每个加工步骤都符合设计要求。在零件加工的初期阶段，机器人可以对原材料进行质量检查，包括材料的成分、硬度、表面粗糙度等关键指标。这有助于及时发现潜在的质量问题，避免不合格材料流入后续加工流程^[3]。随着加工的进行，机器人会持续跟踪零件的尺寸、形状和位置精度，确保加工过程符合既定的公差范围，机器人还能够检测加工过程中产生的毛刺、裂纹等缺陷，及时提醒操作人员进行处理，避免缺陷进一步扩大，影响零件的整体性能。

3.2 成品质量检测

航空制造领域的成品质量检测是确保飞机安全性能的关键环节。基于机器人的自动化检测技术在成品质量检测中发挥着不可替代的作用。机器人能够利用高精度传感器和先进的检测技术，对飞机零部件进行全方位、多角度的检测，确保每个零部件都符合设计要求和质量标准。在成品质量检测中，机器人可以执行多种检测任务，包括尺寸测量、形状检查、材料性能测试等。通过高精度传感器，机器人能够准确测量零部件的尺寸和形状，确保其符合设计要求，机器人还能够利用无损检测技术，如超声波检测、射线检测等，对零部件的内部结构进行检测，及时发现潜在的缺陷和裂纹，机器人还能够对零部件的材料性能进行测试，如硬度测试、拉伸测试等，确保材料满足使用要求。

3.3 飞机整机维护检修

飞机的维护检修是确保其持续安全运营的关键。基于机器人的自动化检测技术在飞机整机维护检修中发挥着重要作用。机器人能够利用高精度传感器和先进的检测技术，对飞机的各个部位进行全面、细致的检测，及时发现潜在的安全隐患。在飞机整机维护检修中，机器人可以执行多种任务，包括机身表面检查、发动机性能测试、航电系统检测等。机器人能够利用高清摄像头和图像识别技术，对机身表面进行细致检查，发现划痕、腐蚀、裂纹等缺陷，机器人还能够对发动机进行性能测试，包括功率、油耗、排放等指标，确保发动机性能良好，机器人还能够对航电系统进行检测，包括雷达、通信、导航等设备的功能和性能，确保航电系统正常运行。基于机器人的自动化检测技术在飞机整机维护检修中的应用，不仅提高检测效率和准确性，还降低维护成本和安全风险。机器人能够替代人工完成繁琐、危险的检测任务，减少维护人员的工作量和风险，机器人还能够提供实时的检测数据和报告，为维修人员提供科学依据，帮助他们更准确地判断飞机的健康状况，制定有效的维护计划。

4 应用案例分析

4.1 某航空制造企业的发动机叶片检测项目

某航空制造企业面临着发动机叶片质量检测的重大挑战。发动机叶片作为飞机的核心部件之一，其质量和性能直接关系到飞机的飞行安全和性能表现，传统的检测方法存在检测效率低、准确性差等问题，无法满足现代航空制造对高质量产品的需求。因此该企业决定引入机器人自动化检测技术，以提高发动机叶片的检测效率和准确性^[4]。为了满足企业的需求，设计了一套基于机器人自动化检测技术的发动机叶片检测系统。该系统包括高精度传感器、图像识别算法、智能控制系统以及数据处理软件等关键组件。通过预设的检测程序和路径，机器人能够自动对发动机叶片进行全方位、多角度的检测，包括尺寸测量、形状检查、表面缺陷识别等。系统还能够实时采集检测数据，并进行智能化分析和处理，以提供准确的检测结果和报告。该系统在实际应用中取得显著的效果。机器人自动化检测技术的引入，极大地提高发动机叶片的检测效率和准确性，降低了人为因素导致的误差和遗漏。同时系统还能够实时提供检测数据和报告，为企业的质量控制和决策制定提供了有力的支持，该系统还具备高度的灵活性和可扩展性，能够适应不同型号和规格的发动机叶片检测需求。通过此次项目，深刻认识到机器人自动化检测技术在航空制造领域的重要性和应用潜力。

4.2 某飞机装配厂的对接精度检测项目

某飞机装配厂在生产过程中，需要确保飞机各个部件之间的对接精度，以保证飞机的整体性能和安全性，传统的对接精度检测方法存在操作复杂、耗时长、准确性低等问题，无法满足现代飞机制造对高质量产品的需求。因此该装配厂决定引入机器人自动化检测技术，以提高对接精度的检测效率和准确性。为了满足装配厂的需求，设计了一套基于机器人自动化检测技术的对接精度检测系统。该系统包括高精度测量设备、智能控制系统以及数据处理软件等关键组件。通过预设的检测程序和路径，机器人能够自动对飞机各个部件之间的对接

精度进行精确测量和评估。系统还能够实时采集测量数据，并进行智能化分析和处理，以提供准确的检测结果和报告^[5]。该系统在实际应用中取得了显著的效果，机器人自动化检测技术的引入，极大地提高对接精度的检测效率和准确性，降低人为因素导致的误差和遗漏。系统还能够实时提供测量数据和报告，为装配厂的质量控制和决策制定提供有力的支持，该系统还具备高度的自动化和智能化水平，能够大幅减少人工干预和劳动强度。通过此次项目，深刻认识到机器人自动化检测技术在飞机装配领域的重要性和应用潜力，也为我们未来的技术创新和业务拓展提供了宝贵的经验。

结束语

基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的应用前景广阔。随着技术的不断进步和创新，机器人自动化检测技术将在航空制造领域发挥越来越重要的作用。未来，需要继续加强技术研发和创新，提高检测系统的智能化和自动化水平，以满足航空制造对高质量产品的需求。同时还需要加强国际合作和交流，共同推动机器人自动化检测技术的发展和應用。

参考文献

- [1]淡书桥.机械设计制造及其自动化中计算机技术的应用[J].产业创新研究,2024,(12):78-80.
- [2]赵安安,王洲涛,汪俊.基于飞机壁板特征的扫描路径生成方法研究[J].南京航空航天大学学报.2021,(3). DOI:10.16356/j.1005-2615.2021.03.003.
- [3]张赢,丁红昌,赵长福,等.基于多激光传感器装配的自由曲面法线找正方法研究[J].中国光学.2021,(2).344-352. DOI:10.37188/CO.2020-0205.
- [4]诸葛晶昌,曾昭鹏,徐璠,等.飞机蒙皮检测爬壁机器人结构与运动分析[J].机械科学与技术.2021,(4). DOI:10.13433/j.cnki.1003-8728.20200084
- [5]党仁俊,李志虎,钱泓宇,等.基于机器人的自动化检测技术在航空制造中的应用进展[J].航空制造技术,2024,67(5):66-81.DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2024.05.066.