

工业机器人末端执行器的设计与优化

苏宏毅¹ 张琳² 张世奇³

1 广东药科大学, 广东省广州市, 510006;

2 河北医科大学, 河北省石家庄市, 050017;

3 湖北工业大学工程技术学院, 湖北省武汉市, 430070;

摘要: 本文聚焦工业机器人末端执行器, 深入探讨其设计与优化过程。开篇点明末端执行器在工业机器人系统中的关键地位, 随后详细阐述从功能需求分析到结构设计、再到性能优化的整个流程。通过严谨的试验验证, 总结经验与不足, 为末端执行器的持续改进及广泛应用提供有力依据, 助力工业生产效率提升与智能化发展。

关键词: 工业机器人; 末端执行器; 设计; 优化

DOI: 10.69979/3041-0673.25.06.023

引言

在当今的工业生产领域中, 工业机器人无疑成为了耀眼的明星, 它们在提高生产效率、确保产品质量方面发挥着至关重要的作用, 成为了不可或缺的得力助手。在这些机器人复杂的系统构成中, 末端执行器扮演着至关重要的角色, 它就好比人类的“手”, 直接与各种作业对象进行接触和操作, 其性能的优劣直接决定了机器人是否能够高效且准确地完成各项任务。然而, 以往传统的末端执行器在长时间的使用过程中, 逐渐显现出来了一些不足之处, 例如它们在适应不同工件方面的能力有限, 操作的精度往往达不到预期的标准, 这些都限制了机器人在实际应用中的表现。随着工业智能化的迅猛发展, 对工业机器人末端执行器进行创新设计与优化已经变得迫在眉睫。这样的改进不仅能够显著提升工业生产的效率和产品质量, 而且对于推动整个工业领域向着智能化、自动化方向发展, 具有极其重要的意义, 其影响不容小觑。

1 工业机器人末端执行器的设计思路

1.1 功能需求分析

1.1.1 抓取功能设计

不同的工业生产场景, 对末端执行器的抓取功能要求大不相同。在汽车制造行业, 需要末端执行器能够稳稳地抓取各种形状和重量的汽车零部件, 像发动机缸体这种又大又重的部件, 就要求末端执行器具备强大的夹持力和稳定的抓取结构。而在电子芯片制造领域, 处理微小且精密的芯片时, 末端执行器则要实现高精度、轻柔的抓取, 避免对芯片造成损伤。以抓取手机主板为例, 末端执行器的夹持力要精确控制在一定范围内, 既能牢

固抓取主板, 又不能因用力过大而损坏主板上的电子元件。所以, 在设计抓取功能时, 要充分考虑工件的形状、尺寸、重量以及表面材质等因素, 选择合适的抓取方式, 比如采用夹爪式、吸附式或者磁吸式等。

1.1.2 操作功能设计

除了抓取, 末端执行器还得具备各种操作功能, 以满足不同生产工艺的需求。在焊接作业中, 末端执行器要能精准地控制焊枪的位置和角度, 保证焊接质量。在装配工作里, 需要它能够准确地将零部件安装到指定位置, 实现高精度的对接。例如, 在电脑主机装配过程中, 末端执行器要把内存条准确无误地插入主板插槽, 这就要求其具备极高的定位精度和运动控制能力。为了实现这些操作功能, 需要在末端执行器上集成各种传感器和控制系统, 像位置传感器、力传感器等, 以便实时监测和调整执行器的动作。

1.2 结构设计

1.2.1 主体结构设计

末端执行器的主体结构就像是人的骨骼, 支撑着整个执行器并保证其正常工作。主体结构的设计要兼顾强度、刚度和轻量化。在一些高速运转的工业机器人应用中, 如食品包装行业, 末端执行器需要快速地抓取和放置物品, 这就要求主体结构既要有足够的强度来承受高速运动带来的惯性力, 又要尽可能轻量化, 以减少能源消耗和提高运动速度。采用高强度铝合金材料来制造主体结构, 既能满足强度要求, 又能降低重量。同时, 通过优化结构形状, 比如采用空心框架结构, 在不影响性能的前提下进一步减轻重量。

1.2.2 传动结构设计

传动结构负责将机器人的动力传递到末端执行器

的各个动作部位，它的设计直接影响执行器的运动精度和响应速度。常见的传动方式有齿轮传动、丝杠传动和皮带传动等。在需要高精度定位的场合，丝杠传动因其较高的传动精度而被广泛应用。比如在精密加工设备中，末端执行器通过丝杠传动能够精确地控制刀具的位置，实现微米级别的加工精度。而在一些对速度要求较高、负载相对较小的应用中，皮带传动则因其结构简单、传动效率高的特点受到青睐，像在一些小型电子产品的装配线上，末端执行器采用皮带传动可以快速地完成零部件的搬运和装配。

2 工业机器人末端执行器的优化策略

2.1 材料优化

2.1.1 选用高性能材料

随着材料科学的不断进步和创新，各种高性能材料不断涌现，为末端执行器的性能优化和功能提升提供了更加多样化和专业化的选择。在面对一些极端和恶劣的工作环境时，例如高温、高湿度或者强腐蚀的环境，选择具有特殊性能的材料变得尤为重要。在化工生产领域中，末端执行器可能会不可避免地接触到腐蚀性极强的化学物质，这时采用耐腐蚀性能卓越的不锈钢材料或者特种工程塑料，可以有效地延长执行器的使用寿命，减少维护成本和停机时间。而对于那些对重量有严格要求的应用场景，比如航空航天领域，采用轻质但强度和刚度极高的碳纤维复合材料，可以在显著减轻末端执行器重量的同时，确保其具备足够的结构强度和刚性，从而提高整个机器人的性能和效率，使其在复杂和严苛的环境中也能稳定运行。

2.1.2 表面处理技术应用

对末端执行器的表面进行适当的处理，可以有效地提升其整体性能。通过实施表面硬化处理，例如采用渗碳、氮化等先进的工艺技术，可以显著提高执行器表面的硬度和耐磨性，从而在频繁的抓取和操作过程中减少磨损。此外，在一些特定的应用场合，比如需要防止工件表面遭受划伤的情况下，对末端执行器的夹持部位进行表面涂层处理显得尤为重要。选择柔软且耐磨的涂层材料，可以确保在抓取工件时的稳定性，同时避免对工件表面造成不必要的损伤。举个例子，在搬运玻璃制品的过程中，如果末端执行器的夹爪表面涂覆一层橡胶涂层，不仅可以增加摩擦力，有效防止玻璃滑落，而且还能保护玻璃表面不被刮花，确保产品的完整性。

2.2 控制算法优化

2.2.1 基于传感器数据的智能控制

通过运用多种传感器所采集的数据信息，例如力传感器提供的关于抓取力的反馈信息，以及位置传感器所给出的执行器位置数据等，智能控制算法得以对末端执行器的动作进行精确的实时调整。在处理易碎物品的抓取任务时，力传感器会持续监测抓取力的强度，一旦发现抓取力超出了预先设定的安全阈值，控制系统便会自动介入，调整夹爪的夹紧力度，从而有效防止物品因过度受力而损坏。此外，采用的自适应控制算法能够根据不同的工作环境和工件的具体特性，智能地调整控制参数，确保末端执行器在各种情况下都能保持在最佳的工作状态。

2.2.2 多目标优化算法应用

在实际工业生产中，末端执行器往往需要同时满足多个性能指标，如高精度、高速度、低能耗等。采用多目标优化算法，能够在这些相互矛盾的指标之间找到最佳平衡点。通过遗传算法、粒子群优化算法等，对控制参数进行优化，使得末端执行器在保证操作精度的前提下，尽可能提高运动速度，同时降低能源消耗。例如，在一个需要快速搬运且对定位精度要求较高的物流分拣场景中，利用多目标优化算法对末端执行器的控制参数进行优化，能够在满足精度要求的同时，显著提高分拣效率。

3 工业机器人末端执行器的试验验证

3.1 试验目的与方案制定

3.1.1 试验目的

本次试验的主要目的是为了全面地检验经过设计与优化后的工业机器人末端执行器，在真实工业生产环境中的性能表现。我们将重点考察其在实际操作中的抓取精度、操作稳定性、对不同工件的适应性以及能耗等关键指标。通过这些测试，我们期望能够获得详尽的数据，从而为后续的改进和完善工作提供坚实可靠的数据支持。

3.1.2 试验方案

我们将选择一系列具有代表性的工业生产场景进行试验，这些场景包括但不限于汽车零部件制造车间、电子装配生产线以及物流仓储中心等。在每个选定的场景中，我们会设置多个试验工位，针对不同类型的工件，例如汽车发动机零部件、电子芯片、快递包裹等，进行末端执行器的性能测试。为了确保试验结果的可靠性，每个试验工位将重复进行多次试验。在试验过程中，我们会详细记录末端执行器的各项运行参数，包括但不限于抓取力、运动速度、定位精度等。同时，我们也会密

切关注试验过程中出现的任何问题和异常情况，确保能够全面评估末端执行器在实际应用中的表现。

3.2 试验设备与材料准备

3.2.1 试验设备

在本次试验中，我们使用了经过设计优化的末端执行器，并将其安装在一台先进的工业机器人上。这台机器人作为试验的主体，能够执行精确的操作和动作。为了确保能够准确测量末端执行器的性能参数，我们配备了多种高精度的检测设备，包括力传感器、位置传感器以及激光测距仪。这些传感器能够实时监测并记录末端执行器在操作过程中的力量、位置和距离等关键数据。此外，为了完整地记录试验过程中的所有数据，我们还准备了一套高效的数据采集系统。该系统能够实时采集试验数据，并将其存储起来，方便我们后续进行详细的数据分析和评估。

3.2.2 试验材料

为了模拟实际工业生产中的多样化作业环境，我们精心准备了多种不同类型的工件。这些工件在形状、尺寸、重量以及材质上都有所不同，涵盖了金属、塑料、玻璃等多种材料。通过这样的准备，我们能够确保试验能够覆盖广泛的应用场景，从而提高试验结果的准确性和代表性。所有工件的质量和规格都严格遵循了相应的行业标准，以保证试验的可靠性和有效性。这些工件将作为试验对象，用于测试和评估末端执行器在不同条件下的性能表现。

3.3 试验过程与数据采集

3.3.1 试验过程

在每个试验工位，我们严格按照预定的试验方案，精心操作工业机器人进行作业。在抓取和操作工件的过程中，我们安排了专业人员进行实时监测，他们密切注视着末端执行器的运行状态，确保各项参数保持稳定。一旦在试验过程中出现任何异常情况，我们会立即停止试验，迅速分析原因并进行详细记录。试验完成后，我们会及时清理试验现场，确保环境整洁，为下一轮试验做好充分的准备。

3.3.2 数据采集

在试验过程中，我们利用先进的检测设备实时采集力传感器、位置传感器等反馈的数据，以及末端执行器的运动速度、加速度等关键运行参数。我们将这些宝贵的数据通过高效的数据采集系统存储到计算机中，以便进行深入分析。同时，我们对整个试验过程进行视频记

录，这样可以更直观地分析末端执行器的动作过程和性能表现。在每个试验周期结束后，我们会对采集到的数据进行初步整理和分析，以便及时发现问题并调整试验方案，确保试验的连续性和准确性。

4 结论

经过一系列的设计与优化以及严谨的试验验证，我们所设计的工业机器人末端执行器在多个方面展现出了显著的优势。通过深入的功能需求分析和精心的结构设计，以及材料优化和控制算法优化等策略的实施，末端执行器的抓取精度、操作稳定性、对不同工件的适应性都得到了有效提升，同时能耗也有所降低。然而，在试验过程中我们也发现了一些有待改进的问题。比如，在面对一些形状特别复杂、表面材质特殊的工件时，末端执行器的抓取稳定性还有提升空间；在长时间连续工作的情况下，某些部件可能会出现疲劳磨损现象。未来，我们需要进一步加强对特殊工况下末端执行器抓取策略的研究，开发更加智能的抓取算法。同时，加大对关键部件材料的研发投入，优化结构设计，提高其在长时问高强度工作下的可靠性和耐久性。持续推动工业机器人末端执行器的创新发展，为工业生产的智能化、高效化提供更强大的技术支撑，让工业机器人在各个领域发挥更大的作用，助力我国工业产业迈向更高质量的发展阶段。

参考文献

- [1]白标明. 大型曲面柔顺研抛机器人末端执行器设计与控制研究[D]. 浙江大学, 2023. DOI: 10.27461/d.cnki.gzjdx.2023.002393.
- [2]李小军. 工业机器人应用编程 1+X 平台应用及其末端执行器优化设计[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(05): 44-46+49. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2022.05.019.
- [3]祝锡晶, 郭宵, 林知微, 等. IC 基板传输机器人末端执行器结构拓扑优化设计[J]. 半导体光电, 2020, 41(04): 513-516. DOI: 10.16818/j.issn1001-5868.2020.04.012.
- [4]许秀阁. 工业机器人末端打磨执行器的结构设计与优化[D]. 华中科技大学, 2020. DOI: 10.27157/d.cnki.ghzku.2020.004378.
- [5]徐继豪. 面向磨抛的工业机器人气驱动末端执行器的设计与控制[D]. 上海交通大学, 2020. DOI: 10.27307/d.cnki.gs.jtu.2020.000865.