

智能制造背景下柔性夹具系统的快速定位技术

黄伟诚

贵州航天林泉电机有限公司 贵州 550081

【摘要】：柔性夹具系统的快速定位技术是智能制造柔性生产模式落地的核心支撑，其定位精度与效率直接决定工件加工质量和生产连续性。针对智能制造对多品种、小批量生产的适配需求，明确快速定位技术需兼顾柔性适配性与定位精准性，通过优化机械结构、完善感知机制、优化控制逻辑，解决传统定位技术适配性不足、响应滞后等问题，实现不同规格工件的快速切换与精准定位，助力柔性夹具系统与智能制造生产线深度融合，提升生产柔性整体效能。

【关键词】：智能制造；柔性夹具；快速定位；定位精度；柔性生产

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.065

引言

柔性夹具系统作为智能制造中连接加工设备与工件的关键载体，承担着工件定位、夹持的核心功能，其定位性能直接影响生产流程的顺畅性与产品质量的稳定性。柔性生产模式下，工件规格多样化、生产批次精细化的需求，对夹具定位的快速性、精准性和适配性提出了更高要求。传统定位技术多依赖固定结构设计，难以适配多品种工件切换，且定位响应缓慢，无法满足柔性生产的高效需求。精准高效的快速定位技术，能够打破传统夹具的适配局限，实现工件快速装夹与定位，衔接各生产环节，为柔性生产的高效推进提供保障，同时推动夹具系统向智能化、柔性化升级，契合智能制造的发展内核。

1 智能制造背景下柔性夹具系统快速定位技术的核心需求

1.1 多品种工件的柔性适配需求

智能制造的核心特征之一是实现多品种、小批量生产，这就要求柔性夹具系统的快速定位技术具备较强的适配能力，能够应对不同尺寸、形状、材质工件的定位需求。柔性生产场景中，工件规格频繁切换，若定位技术缺乏柔性适配能力，需频繁更换夹具或调整定位参数，会大幅增加辅助生产时间，降低生产效率。定位技术需摆脱传统刚性定位的局限，能够根据工件特征进行灵活调整，无需复杂的人工干预即可完成不同工件的定位适配，确保在工件切换时，定位系统能够快速响应，衔接后续加工环节，保障生产流程的连续性。这种适配能力不仅体现在对标准工件的定位，还需兼顾异形件、复杂曲面工件的定位需求，通过灵活的定位结构与感知方式，实现各类工件的精准适配。

1.2 高精度定位的质量保障需求

工件加工质量的核心前提是精准定位，智能制造对产品精度的要求不断提升，相应地对柔性夹具系统的快速定位精度提出了更高标准。定位偏差会直接导致工件加工尺寸偏差、表面质量缺陷，甚至造成工件报废，影响生产效益。快速定位技术需在保证定位速度的同时，确保定位精度满足加工要求，能够

有效控制定位过程中的各类误差，减少环境干扰、结构变形等因素对定位精度的影响^[1]。无论是精密加工还是常规加工场景，定位精度都是不可或缺的核心需求，只有实现高精度定位，才能保障工件加工的一致性，提升产品合格率，契合智能制造“提质增效”的发展目标，同时为后续加工工序的顺利开展提供可靠的定位基础。

1.3 高效定位的生产效率需求

智能制造强调生产效率的提升，柔性夹具系统的快速定位技术作为生产流程中的关键环节，其定位效率直接影响整体生产节拍。传统定位技术往往存在定位流程繁琐、响应速度慢等问题，在多批次、快切换的生产场景中，会严重拖累生产进度。快速定位技术需简化定位流程，缩短定位时间，实现工件的快速装夹与定位，减少辅助生产时间占比。高效定位不仅要求定位动作的快速完成，还需实现定位参数的快速调整、定位状态的快速检测，确保定位过程的顺畅性，避免因定位延迟导致生产中断。通过提升定位效率，能够优化生产节拍，提高设备利用率，推动柔性生产模式的高效落地，充分发挥智能制造的生产优势。见图1所示。



图1 智能制造柔性夹具系统快速定位技术核心需求图

2 柔性夹具系统快速定位技术现存的主要问题

2.1 定位结构柔性不足适配性受限

当前多数柔性夹具系统的定位结构仍存在柔性不足的问题，难以充分适配智能制造多品种生产的需求。部分定位结构采用固定化设计，仅能适配单一或少数几种规格的工件，面对不同尺寸、形状的工件切换时，需拆卸、更换定位部件，不仅操作繁琐，还会大幅增加定位时间。即使是具备一定柔性的定

位结构，也存在适配范围有限的问题，对异形件、复杂曲面工件的定位适配能力较弱，无法实现精准贴合定位，易出现定位偏差。部分定位结构的模块化程度较低，各定位部件之间的兼容性较差，难以根据工件特征进行灵活组合调整，进一步限制了定位技术的柔性适配能力，无法满足多品种、小批量的生产需求。

2.2 定位精度易受干扰稳定性不足

定位精度的稳定性是快速定位技术的核心短板之一，在实际生产过程中，多种因素会干扰定位精度，导致定位偏差超出允许范围。生产环境中的振动、温度变化等因素，会导致定位结构发生微小变形，影响定位基准的稳定性，进而产生定位误差。同时，定位过程中工件的夹持力控制不当，会导致工件发生微小位移，出现定位偏差^[2]。部分定位技术缺乏有效的误差补偿机制，无法及时修正定位过程中产生的偏差，长期运行后，定位部件的磨损也会进一步加剧精度下降，导致定位精度波动较大。这种稳定性不足的问题，会直接影响工件加工质量的一致性，无法满足智能制造对高精度生产的需求。

2.3 定位响应滞后影响生产效率

快速定位技术的核心要求是“快速响应”，但当前部分柔性夹具系统的定位技术仍存在响应滞后的问题，严重影响生产效率。定位响应滞后主要体现在两个方面：一是定位参数调整滞后，当工件规格切换时，定位系统需要人工干预调整参数，无法实现参数的自动快速匹配，导致定位准备时间过长；二是定位动作响应滞后，定位执行机构的运行速度较慢，无法快速完成工件的定位与装夹，衔接后续加工工序时出现断层。部分定位系统的感知与控制衔接不顺畅，感知模块获取工件信息后，无法快速传递给控制模块，导致控制指令延迟，进一步加剧定位响应滞后的问题，无法满足智能制造高效生产的节拍要求。

3 柔性夹具系统快速定位技术的优化路径

3.1 优化定位结构提升柔性适配能力

针对定位结构柔性不足的问题，需通过模块化、自适应设计优化定位结构，提升其适配能力。采用模块化设计理念，将定位系统拆解为定位单元、夹持单元、连接单元等标准化模块，各模块采用统一的接口设计，确保模块之间的兼容性，能够根据工件特征灵活组合、快速更换，实现不同规格工件的定位适配。同时，引入自适应定位结构，采用可调节定位销、弹性定位块等部件，能够根据工件表面形貌、尺寸偏差进行自动调整，实现工件的精准贴合定位，提升对异形件、复杂曲面工件的适配能力。优化定位结构的材质选择，采用高强度、轻量化且不易变形的材料，减少结构变形对定位适配性的影响，进一步提升定位结构的柔性稳定性，适配多品种生产需求。

3.2 完善误差防控机制保障定位精度

为解决定位精度易受干扰、稳定性不足的问题，需完善误

差防控机制，从源头减少误差产生，及时修正定位偏差。在定位结构设计中，增加抗干扰防护措施，设置防尘、防振装置，减少环境振动、粉尘等因素对定位结构的影响，保障定位基准的稳定性。优化夹持力控制方式，通过精准的力控调节，避免夹持力过大或过小导致工件位移，确保工件定位过程中的稳定性^[3]。建立完善的误差补偿机制，实时监测定位过程中的偏差情况，通过精准的调节指令修正偏差，减少定位误差累积。同时，加强定位部件的维护与校准，定期检查定位部件的磨损情况，及时更换磨损部件，确保定位结构的精度稳定性，保障工件加工质量的一致性。

3.3 优化控制逻辑提升定位响应速度

针对定位响应滞后的问题，需优化定位系统的控制逻辑，实现感知、控制、执行的高效衔接，提升定位响应速度。引入智能感知技术，整合视觉感知、压力感知等多种感知方式，实时快速获取工件的尺寸、位置、形貌等信息，无需人工干预即可完成工件信息采集，为定位控制提供及时的数据支撑。优化控制模块的运算逻辑，提升数据处理与指令生成的速度，实现定位参数的自动快速匹配，当工件规格切换时，能够快速调整定位参数，减少定位准备时间。同时，优化定位执行机构的驱动方式，采用高效的驱动部件，提升定位动作的运行速度，确保定位执行机构能够快速响应控制指令，完成工件的快速定位与装夹，衔接后续加工工序，提升整体生产效率。

4 柔性夹具系统快速定位技术的应用落地要点

4.1 结合生产场景优化技术适配方案

快速定位技术的应用落地需结合具体生产场景，根据不同行业、不同加工需求，优化技术适配方案，确保定位技术与生产场景深度融合。在汽车零部件加工场景中，针对多车型、多规格零部件的生产需求，重点优化定位结构的柔性适配能力，采用模块化组合设计，实现不同零部件的快速切换定位；在精密电子元件加工场景中，重点保障定位精度，完善误差防控机制，减少微小偏差对产品质量的影响；在航空航天零部件加工场景中，兼顾定位精度与柔性适配，针对复杂曲面、异形件的加工需求，优化自适应定位结构与误差补偿机制。通过结合具体生产场景的需求，针对性调整定位技术的参数与结构，才能充分发挥快速定位技术的优势，实现应用价值。见图2所示。



图2 生产场景驱动的定位技术适配图

4.2 强化技术与设备的协同联动

快速定位技术的高效应用,离不开与柔性夹具系统其他设备及智能制造生产线的协同联动,这种联动是保障柔性生产连续高效推进的关键。需实现快速定位系统与夹具夹持系统、加工设备、输送设备的无缝衔接,精准衔接各环节动作,确保工件定位完成后,能够快速、平稳地传递至后续加工环节,有效避免因衔接不畅导致的生产中断,减少无效等待时间^[4]。同时,强化定位系统与智能制造管理系统的深度联动,实时反馈定位状态、定位精度、运行参数等关键信息,为管理人员提供全面、实时的监控依据,便于及时发现并快速解决定位过程中出现的偏差、故障等问题。需实现定位参数与生产计划的协同匹配,根据生产计划的动态调整,自动优化定位参数设置,确保定位技术与整体生产节奏保持高度一致,进一步提升生产流程的顺畅性与协同性,为柔性生产模式的高效落地提供有力支撑。

4.3 加强技术运维保障应用稳定性

技术运维是保障快速定位技术长期稳定应用的关键,需建立完善的运维体系,加强对定位系统的日常维护与检修。定期对定位结构、感知模块、控制模块、执行机构等部件进行检查,清理灰尘、杂物,检查部件的磨损、松动情况,及时进行维护与更换,避免部件故障导致定位精度下降或响应滞后。建立定位技术运维台账,记录运维时间、运维内容、故障情况及处理结果,便于追溯运维过程,优化运维方案。同时,加强运维人员的专业培训,提升运维人员对定位技术的了解与操作能力,能够快速排查并解决定位系统出现的故障,确保定位技术长期稳定运行,为柔性生产的持续推进提供保障。

5 柔性夹具系统快速定位技术的应用价值与实践提升

5.1 提升柔性生产效能助力产业升级

快速定位技术的应用能够显著提升柔性夹具系统的运行效能,进而推动柔性生产模式的高效落地,助力制造业产业升级。通过提升定位的柔性适配能力,实现多品种工件的快速切换定位,减少辅助生产时间,提高生产效率,解决多品种、小批量生产中的定位难题。精准的定位精度能够保障工件加工质量,提升产品合格率,降低生产成本,契合智能制造“提质增效”的发展目标。同时,快速定位技术的应用推动柔性夹具系统向智能化、柔性化升级,促进夹具系统与智能制造生产线的深度融合,推动制造业从传统刚性生产向柔性智能生产转型,

参考文献:

- [1] 林春苗.机械零件智能制造中的工装夹具设计与实操应用[J].模具制造,2026,26(02):189-191.
- [2] 赵小琪.智能制造背景下塑料企业资金预算管理优化研究[J].中小企业管理与科技,2026,(02):111-113.
- [3] 孙国富,刘小菲,赵爽.智能制造背景下机械专业实训课程体系升级方案[J].汽车画刊,2025,(12):161-163.
- [4] 刘盼.智能制造背景下服装柔性生产线的构建与设计实践[J].鞋类工艺与设计,2025,5(22):12-14.
- [5] 吴宝娜.智能制造背景下企业业财融合的挑战与对策[J].中国乡镇企业会计,2025,(19):100-102.

提升产业核心竞争力,适应智能制造时代的发展需求。

5.2 拓展技术应用场景丰富实践路径

随着快速定位技术的不断优化完善,其应用场景正逐步拓展,从传统的机械加工领域,延伸至汽车制造、电子制造、航空航天、医疗器械等多个领域,为不同行业的柔性生产提供技术支撑。在汽车制造领域,应用于车身零部件、发动机零部件的快速定位装夹,提升生产节拍与加工质量;在电子制造领域,适配微小电子元件的精准定位,满足精密加工需求;在航空航天领域,应对复杂零部件的定位需求,保障高端装备的加工精度^[5]。不同领域的应用实践,进一步丰富了快速定位技术的实践路径,通过总结不同场景的应用经验,能够针对性优化技术方案,提升技术的适配性与稳定性,推动快速定位技术的持续完善与发展。

5.3 推动技术迭代完善强化核心竞争力

快速定位技术的应用实践,能够推动技术的持续迭代完善,强化柔性夹具系统的核心竞争力。在应用过程中,通过发现定位技术存在的不足与问题,针对性开展技术优化,完善定位结构、误差防控机制与控制逻辑,提升技术性能。结合智能制造的发展趋势,融入更多智能技术,推动快速定位技术向智能化、精准化、高效化方向发展,实现定位过程的全自动化、智能化控制。同时,通过技术迭代完善,提升快速定位技术的核心竞争力,打破传统定位技术的局限,推动柔性夹具系统实现跨越式发展,为智能制造的持续推进提供更加强有力的技术支撑,助力制造业实现高质量发展。

6 结语

本文围绕智能制造背景下柔性夹具系统的快速定位技术展开研究,明确快速定位技术是柔性生产落地与智能制造推进的核心支撑,结合多领域应用实践,分析了技术核心需求与现存问题,提出了针对性的优化路径与应用落地要点。快速定位技术的优化完善,能够有效解决传统定位技术适配性不足、精度不稳定、响应滞后等问题,提升柔性夹具系统的运行效能,推动多品种、小批量柔性生产模式落地。该技术的应用不仅能够提升生产效率与产品质量,还能推动制造业产业升级,拓展柔性生产的应用场景。未来,需结合智能制造的发展趋势,持续推动技术迭代,强化技术与生产场景的深度融合,充分发挥其应用价值。