机床配套自动化装配线的柔性化与智能化升级

殷　俊[1]　张伟民[2]　徐军峰[1]
1. 宁波海天精工股份有限公司　浙江　宁波　317600
2. 宁波海天智联科技有限公司　浙江　宁波　317600

摘　要：本文聚焦机床配套自动化装配线的柔性化与智能化升级。分析现状，指出传统装配线生产灵活性差，难以适应多样化市场需求。阐述升级需求，柔性化能快速适应不同产品装配，降低转型成本；智能化可实现实时监控与数据分析，优化生产。详细介绍升级技术，包括模块化设计、可重构技术、人机协作等柔性化技术，以及智能感知、控制、工业物联网、大数据与人工智能等智能化技术，并提出了实施策略，涵盖总体规划、设备选型、信息系统建设与人员培训管理。

关键词：机床配套；自动化装配线；柔性化；智能化升级

1 机床配套自动化装配线现状分析

1.1 装配线的组成与工作流程

机床配套自动化装配线通常由多个关键部分构成。输送系统是其基础，负责将待装配的零部件有序地在各个工位间传送，常见的有皮带输送、链条输送等方式，能确保零部件精准到达指定装配位置。装配工作站则是核心区域，配备了各种自动化装配设备，例如螺丝拧紧机、压装机等，依据预先设定的程序完成不同类型的装配操作。检测工位不可或缺，通过各类传感器与检测仪器，对装配后的部件或整机进行质量检测，如尺寸精度检测、性能测试等，及时剔除不合格产品。还有控制系统，它如同装配线的“大脑”，协调各个部分的运行，保证装配流程的高效与稳定[1]。其工作流程大致为：零部件首先被上料至输送系统，随输送系统移动至相应装配工作站，装配设备按照既定工艺完成装配任务，完成装配的部件继续被输送至检测工位，经检测合格的产品进入下一环节，不合格产品则被分流至维修或报废区域。整个流程紧密衔接，通过自动化手段极大提高了装配效率与质量。

1.2 柔性化与智能化升级的需求分析

随着市场需求的日益多样化，对机床配套自动化装配线柔性化的需求愈发迫切。传统装配线往往针对特定产品型号设计，生产灵活性差。当市场需求转变，产品更新换代加速时，难以快速调整生产。而柔性化装配线能够通过更换工装夹具、调整控制系统参数等方式，快速适应不同型号产品的装配需求，降低企业因产品转型带来的设备更换成本。智能化升级同样至关重要，在智能制造趋势下，装配线的智能化可实现生产过程的实时监控与数据分析。借助传感器与物联网技术，能够实时采集装配过程中的数据，如设备运行状态、产品装配质量数据等。通过对这些数据的深度分析，企业可以提前预判设备故障，优化装配工艺，提高生产效率与产品质量。智能化升级还有助于实现生产过程的自动化调度，根据订单需求与生产进度自动安排生产任务，进一步提升企业的生产管理水平与市场响应能力。

2 机床配套自动化装配线的柔性化升级

2.1 模块化设计

模块化设计是实现机床配套自动化装配线柔性化升级的基础。在这种设计理念下，装配线被分解为多个具有特定功能的模块。例如，将装配工作站按照不同的装配工艺细分为螺丝拧紧模块、部件压装模块、焊接模块等；输送系统也可模块化，如直线输送模块、转弯输送模块等。每个模块都具备标准化的接口，便于在不同的装配需求下进行组合与替换[2]。当企业需要生产新的产品型号时，只需挑选合适的模块进行重新组合，而无需对整个装配线进行大规模改造。这不仅大幅缩短新产品导入的时间，还降低研发与生产成本。而且，模块化设计使得单个模块的维护与升级更加便捷，当某个模块出现故障时，可直接更换对应的模块，减少停机时间，提高生产效率。

2.2 可重构技术

可重构技术进一步提升了装配线的柔性化程度。它允许装配线在结构和功能上进行快速调整与重构。通过采用先进的机械结构设计和智能控制技术，装配线的硬件设备能够根据生产任务的变化进行物理上的重新布局与连接。比如，利用可移动的装配工位和智能输送轨道，可在短时间内改变装配线的工艺流程。同时，软件系统也具备可重构性，能够根据硬件的变化自动调整控

制程序和参数设置。可重构技术使装配线能够灵活应对复杂多变的市场需求，增强企业在激烈市场竞争中的应变能力。

2.3 人机协作

人机协作是柔性化装配线的重要发展方向。在传统的自动化装配线中，人和机器往往是分离作业的。而在柔性化升级后的装配线中，强调人与机器的协同合作。智能机器人承担重复性、高强度且精度要求高的装配任务，如精密零部件的安装；而人类操作人员则专注于需要创造力、判断力和灵活性的工作，如处理复杂的装配情况、进行质量抽检以及对机器人进行监督与干预。通过传感器与智能交互系统，人与机器人之间能够实现信息的实时共享与交互。这种人机协作模式充分发挥了人和机器各自的优势，既能提高装配效率和质量，又能适应产品多样化带来的装配需求变化，进一步提升了装配线的柔性化水平。

3 机床配套自动化装配线的智能化升级

3.1 智能感知技术

智能感知技术是机床配套自动化装配线智能化升级的基石。在装配线上，各类传感器被广泛应用，实现对生产过程中众多参数的实时感知。据相关研究表明，在精密零部件装配场景中，力传感器的应用使得装配精度提升了20%-30%，有效避免了因装配力不当导致的零部件损坏或装配质量问题。位置传感器则用于监测输送系统上零部件的位置，确保其准确无误地到达各个装配工位，位置精度可达±0.1mm。视觉传感器在质量检测环节发挥着关键作用，它能够快速识别零部件的形状、尺寸以及表面缺陷等。有数据显示，采用视觉传感器进行检测，能够将产品次品率降低至1%-2%，相比人工检测效率提升了5-10倍。这些智能感知技术如同装配线的“眼睛”和“触角”，为后续的智能决策与控制提供了准确的数据基础。

3.2 智能控制技术

智能控制技术是装配线智能化升级的核心驱动力。先进的可编程逻辑控制器（PLC）与运动控制器在装配线中得到广泛应用，它们能够根据智能感知系统反馈的数据，精确控制装配设备的运动轨迹和操作流程。例如，在电机装配过程中，通过智能控制技术，电机转子的插入精度能够控制在±0.05mm以内，大大提高了电机的装配质量和性能稳定性。自适应控制算法的应用使得装配设备能够根据实时的工作状态自动调整控制参数。当装配过程中遇到零部件尺寸存在微小偏差时，自适应控制算法可实时调整装配力和速度，确保装配任务顺利完成。据实际生产数据统计，采用自适应控制技术后，装配线的整体生产效率提高了15%-20%，设备故障率降低了10%-15%。智能控制技术实现了装配过程的精准化和高效化，极大提升了装配线的智能化水平。

3.3 工业物联网技术

工业物联网技术为机床配套自动化装配线搭建了互联互通的桥梁。通过物联网技术，装配线上的各种设备、传感器以及控制系统相互连接，实现数据的实时传输与共享。每台设备都被赋予唯一的网络标识，如同拥有了自己的“身份证”，可随时随地与其他设备和系统进行通信。据统计，采用工业物联网技术后，设备故障响应时间从原来的平均2小时缩短至15分钟以内，大大减少了因设备故障导致的生产停滞时间。而且，基于物联网技术，还能够实现远程设备维护与调试。技术人员无需亲临现场，即可对装配线上的设备进行参数调整和程序更新，提高设备维护效率，降低维护成本。工业物联网技术使装配线从传统的孤立运行模式转变为高效协同的智能化生产体系。

3.4 大数据与人工智能技术

大数据与人工智能技术为装配线的智能化升级注入了强大的智慧。在装配过程中，智能感知系统和工业物联网产生了海量的数据，包括设备运行数据、产品装配数据、质量检测数据等。通过大数据技术对这些数据进行收集、存储、分析和挖掘，能够发现生产过程中的潜在规律和问题[3]。人工智能技术中的机器学习算法在故障预测方面发挥着重要作用。通过对设备历史运行数据的学习，机器学习模型能够建立设备故障预测模型，提前预测设备可能出现的故障，准确率可达80%-90%。这使得企业能够在设备故障发生前进行预防性维护，避免因突发故障造成的生产中断。人工智能技术还可应用于生产调度优化，根据订单需求、设备状态和生产进度等多方面因素，通过智能算法自动生成最优的生产调度方案，提高生产资源的利用率，提升企业的整体生产效益。大数据与人工智能技术将装配线的智能化水平提升到了一个新的高度，为企业实现智能制造提供了有力支撑。

4 机床配套自动化装配线柔性化与智能化升级的实施策略

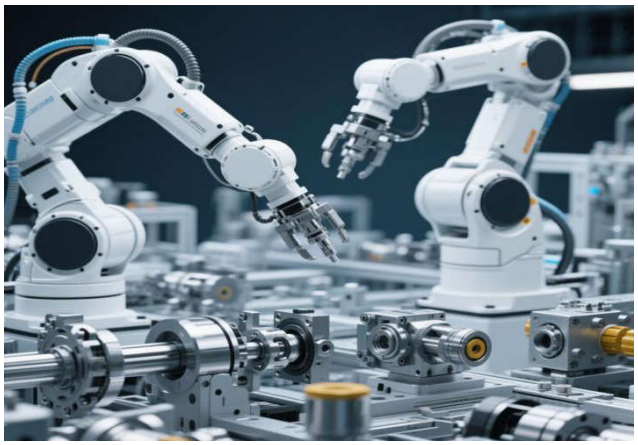
4.1 总体规划与设计

在推进机床配套自动化装配线柔性化与智能化升级时，总体规划与设计是首要且关键的环节。企业需全面评估自身的生产现状，包括现有的装配工艺、产品种类及产量需求等。例如，若企业产品更新换代频繁，就应着重规划装配线的柔性化能力，以确保能快速响应市

场变化。从布局来看，需依据生产流程和产品特性，合理规划装配线各功能区域，如将相似装配工艺的工作站集中设置，减少物料搬运距离，提升生产效率。引入模块化设计理念，将装配线划分为多个独立且标准化的模块，像装配模块、检测模块、输送模块等，各模块具备统一接口，便于后续的组合、调整与扩展。还要考虑未来的发展需求，预留一定的扩展空间，确保装配线在后续能适应业务增长与技术升级，为整个升级项目奠定坚实基础。

4.2 设备选型与集成

设备选型直接关乎装配线升级后的性能。对于柔性化需求，应选择具备多功能、可快速切换工装夹具的设备。比如智能装配机器人，其能够通过更换不同的末端执行器，完成多种零部件的装配任务。在智能化方面，优先选用带有智能感知功能的设备，如配备力传感器、视觉传感器的装配设备，可实时监测装配过程，保证装配精度与质量。同时要充分考量设备间的兼容性与集成性，确保新设备能与现有的机床及其他配套设备无缝衔接。以自动化输送系统为例，需保证其输送速度、定位精度等参数与装配工作站相匹配，实现物料的顺畅流转。在设备集成过程中，采用标准化的通信协议，如OPCUA，打破不同设备间的数据壁垒，实现设备间的信息实时交互与协同作业，构建高效、统一的自动化装配体系。



智能装配机器人进行多种零部件装配如图所示

4.3 信息系统建设

信息系统是装配线智能化的核心支撑。构建生产管理系统（MES），可对生产计划、进度、质量等进行全面管理。通过MES系统，企业能实时掌握装配线各环节的运行状况，如每个工作站的任务完成进度、设备的运行状态等，便于及时调整生产计划，优化生产流程。引入企业资源计划系统（ERP），实现企业内部资源的整合与管理，包括原材料采购、库存管理、销售订单处理等，与MES系统深度集成，确保生产与企业整体运营的协同一致[4]。利用工业物联网技术，将装配线上的设备、传感器等连接起来，实现数据的实时采集与传输。搭建数据分析平台，运用大数据分析技术，挖掘生产数据中的潜在价值，如预测设备故障、优化装配工艺等，推动装配线向智能化、精细化生产迈进。

4.4 人员培训与管理

人员是确保装配线升级成功运行的关键因素。在升级实施前，针对新设备、新技术，对一线操作人员进行系统培训，使其熟练掌握设备的操作方法与基本维护技能。对于技术人员，提供更深层次的技术培训，包括设备的编程、调试、故障诊断等，使其能够应对装配线运行过程中出现的技术问题。在管理层面，制定新的绩效考核制度，将员工在装配线柔性化与智能化生产中的表现纳入考核范围，激励员工积极适应新的生产模式。培养员工的团队协作能力，因为装配线的高效运行需要不同岗位人员密切配合，从设备操作到质量检测，各个环节都离不开团队协作，以此打造一支适应智能化生产的高素质人才队伍。

结束语

机床配套自动化装配线的柔性化与智能化升级是制造业发展的必然趋势。通过一系列升级技术与实施策略，装配线能够实现生产的高效、精准与灵活，提升企业的生产效率、产品质量和市场响应能力。然而升级过程面临技术、资金、人才等多方面挑战。企业需结合自身实际情况，科学规划、稳步推进，持续投入研发与人才培养，不断探索创新，以适应智能制造时代的发展要求，在激烈的市场竞争中立于不败之地。

参考文献

[1]刘文杰.张伟.智能制造中的自动化装配线设计与优化[J].机械工程学报,2020,56(6):85-93.

[2]郑刚,赵丽丽.综合考虑效率与成本的自动化装配线优化方法[J].制造技术与机床,2021,59(4):36-44.

[3]陈建国.张秀娟.智能感知技术在制造业中的应用与展望[J].先进制造技术,2019,28(2):98-105

[4]刘庆海,孔庆飞,林通,等.重载链条外链节自动化装配设计[J].机电产品开发与创新,2024,37(03):19-23.