

浅析机械制造与智能机床技术

孙浩

(沈阳机床成套设备有限责任公司 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 现代智能化技术已经涉及机械制造与数控机床的方方面面,以全量全要素与数字孪生技术作为核心的现代数字化技术实现了对数控机床操作流程的全周期管理,以人工智能技术为核心的智能化软件系统能够实现自动化、智能化、安全化、绿色化的真正意义上的智能制造。本文分析了智能化数控机床的感知功能、决策功能、控制功能、通信功能、学习功能五大要素,并对智能化技术在机床上的应用与实现进行了简要分析,并对未来的发展趋势进行讨论,希望为有关方面提供参考。

关键词: 机械制造; 智能机床; 智能化; 数字孪生

1 智能化数控机床技术的特征

根据国际主流标准认为,智能化的数控机床应具有感知功能、决策功能、控制功能、通信功能、学习功能五大主要特征。

1.1 感知功能

感知功能是指数控机床能够对加工的零部件、自身所处环境以及加工能力进行空间立体的位置信息感知,并且这些参数能够被通信系统传输至主控机器,用于分析机床在不同的状态下所能达到的加工精度,同时这些信息也能够被技术人员查询,以便技术人员的特定用途。

1.2 决策功能

决策功能是指数控机床能够根据高精度传感器所收获的多维度信息对加工工艺、加工方式进行决策,当加工状态发生偏移时能够动态地进行自校准、自诊断、自修复和自调整等一些误差补偿操作,当机床出现故障或不可调节等问题时能够智能决策运行的启停。

1.3 控制功能

控制功能是对加工过程中的一系列高速、高精度加工的控制。智能机床与一般数控机床的不同在于,智能机床有自动防止刀具和工件碰撞的功能、自动补充润滑油和抑制噪声的功能、自动抑制振动的功能以及自动测量和自动补偿。

1.4 通信功能

通信功能是数控机床智能化的重要特征,其主要功能是将数据通过各种网络或定向通信技术向外传输。这极大地改变了传统数控机床的单机化、离线化工作模式,为数控机床的并行化工作与集约化管理的实现奠定了基础。

1.5 学习功能

学习功能是现代智能化数控机床的另一大重要特征,学习能力不仅继承了计算机的高储存性能,而且还

能够实现对数据的高自动化整合能力。拥有学习能力的数控机床系统能够实现快速的系统迁移,即能够在同平台的其他数控机床上快速部署并工作,工业界长期积累的工业数据能够得到更为高效的利用。

2 智能机床的技术组成

德国、日本、瑞士等发达国家是数控机床与自动化技术的领军者,同时也产出了众多具有跨时代意义的技术与方案设计,成熟的智能机床包含了 APS 高级工艺控制、OSS 操作者辅助、SPS 主轴保护、ITC 智能热控制、RNS 移动通信、SIGMA 工艺链管理六个部分。

2.1 APS 高级工艺控制

APS 系统是对机床运行中的主轴振动进行动态监测,其实现方式是通过对主轴电动机驱动模块加入高精度传感器,从而实现对每一条编程语句的断点查看并计算主轴振动量。该系统不仅能够有效地控制加工误差,还能够有效地提高刀具与主轴的使用寿命。

2.2 OSS 操作者辅助

OSS 系统是简化智能化机床使用复杂度的有效方式,OSS 系统能够提供通用的解决方案以及更为灵活的加工侧重点,使得数控机床的操控从完整的编程配置变为了更为简易的参数调节,简化操作难度的同时也规范了加工方式,提高了加工效果。

2.3 SPS 主轴保护

SPS 主轴保护是智能化机床自动故障检测的重要实现模块。SPS 系统通过对主轴的动态监测,预测主轴在当前工作状态下的耐久度,并且对热衰减等性能进行预测,以实现对机床的预防性保护。此外,当故障发生时,SPS 系统还能够对故障点进行精细化直观描述,简化故障排查流程并缩短故障排查时间,从而避免主轴失效后的长时间停机。

2.4 ITC 智能热控制

ITC 系统能够实现对机床的外部环境与加工环境下的温度进行感应与控制。高速加工过程中由于摩擦会产生极高的热量, 不仅对刀具的使用寿命产生影响, 零部件也有发生热形变的风险。ITC 系统的引入能够实现动态化的转速调节, 并在加工过程中人为地输入补偿值来调整热漂移, 以改变传统解决过热问题的空载或停机冷却方案, 也替代了传统人工预热操作。

2.5 RNS 移动通信

RNS 系统通过对机床内嵌 SIM 卡实现机床与移动设备的通信, 并能够实现移动设备对机床的控制。但目前以工业互联网(以太网)作为主要通信方式, 其中我国数控机床的主要通信协议是 NC-Link(图 1), 同时能够兼容国际上应用的 OPCUA、MTConnect 通信协议。

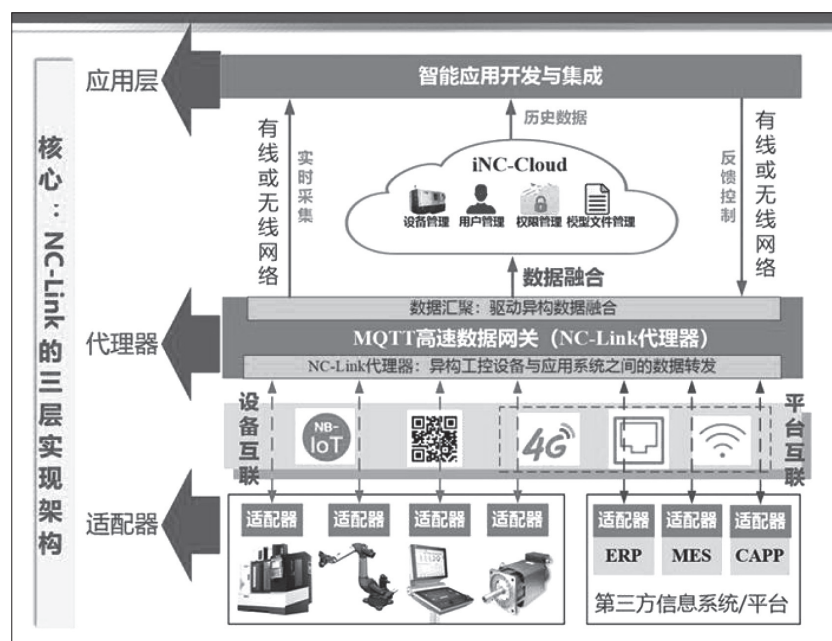


图 1 NC-Link 的实现结构

2.6 SIGMA 工艺链管理

SIGMA 系统是对整个生产流程的创新管理, 能够实现端到端的输入输出, 即只需要把零部件原材料输入系统, 并对相关的生产数量、零部件规格等参数进行设置, 生产端即可以实现一个设备的多工序加工或多个设备的连续流水线型加工, 最终全自动化地得到产品。

现代智能化机床的功能越来越丰富, 信息技术的融合与机械制造结构的优化使得智能机床的性能更好, 同时实现了更为丰富的人机交互方式, 如语音提示、安全屏障等, 智能机床在生产效率、功能丰富度以及安全性上都大幅提高。

3 智能机床技术在机械制造中的应用

数控机床的智能化发展目的在于更好地完成机械制

造任务, 目前智能机床的关键技术聚焦于误差补偿、智能控制、刀具管理、装配工艺以及数字孪生技术的应用。

3.1 误差补偿

由于对加工的高速和高精度要求越来越高, 现代数控加工的过程要进行更为精细化的检测与控制。在数控机床的使用过程中, 会出现三个方面的过热精度变化: 一是电动机的过热现象对电动机寿命与电动机运行稳定度的影响; 二是原料给进系统过热导致的低使用寿命与稳定性问题; 三是主轴、刀具与原材料的热形变问题。这些问题都会在不同程度上对加工的精度产生影响。此外, 过低的温度也会对设备造成冷启动、硬摩擦的问题, 影响使用寿命。因此在高速加工下维持精度需要对加工温度精准控制。现代温控系统在传统的 ITC 的基础上, 改进了温度控制策略并部署了更多的传感器, 其控温逻辑也从单一的最高生产效率向着更符合绿色生产的最优能耗效率指标发展, 并为用户提供“数据采集、智能控制、数据交互与分析管理、节能服务”等完整智能节能型服务。

3.2 智能控制

智能控制是机床运行逻辑与工艺进程的综合优化, 传统的数控机床进行机械制造过程中不可避免地会出现机床内部结构碰撞的问题。一方面是由于机床内部结构设计不合理或加工过载导致的刀具、夹具、支架、内部的电动机轴承等部分的形变与干涩; 另一方面是由于高速加工产生的高频振动无法得到有效抑制。碰撞问题不仅会影响机床的使用寿命, 并有可能导致机床的故障, 而且还会发生不可修复的形变、断裂问题, 带来了极大的安全隐患。现代智能化数控机床在 SPS 系统的基础上, 进

一步利用三维仿真技术, 实现了机床结构优化。在物理引擎与三维仿真技术的高速发展下, 对于机床的建模越来越精细, 在设计阶段能够实现现实空间中无法实现的空间轴固定仿真与差分时间仿真, 在运行阶段能够实现对运行流程的低延时动态仿真, 当机床发生故障时技术人员能够查询模拟动画进行快速的故障排查或对转速等相关参数进行调节实现碰撞避免。

3.3 刀具管理

刀具管理是优化成效最大的数控机床加工效率提升方式。现代数控机床大多呈现复合化与多功能结构, 内部刀具的数量能够达到二百到五百个, 刀具管理的人工实现极为困难, 因此引入刀具的智能管理系统, 实现对每个刀具独立的控制与调节。系统还支持数据实时传输到云端, 技术人员能够较为灵活地实现对每个刀具的切

换、调节与检查。此外，由于刀具在切削过程中不可避免地会产生磨损，刀具管理还能对刀具的使用寿命进行预测，从而避免生产部件受损等现象的发生。

3.4 装配工艺

装配工艺对于机床的性能具有决定性的作用，是保证产品质量的关键。传统人工装配工艺时常出现一系列由于人为失误导致的润滑油中含有杂质、润滑油变质、机床轨道杂质未被清理干净、零部件没有拧紧等问题。人工装配工艺中，工人长时间的体力消耗不仅会对装配效果产生影响，还有可能对员工造成伤病。此外，更为主要的问题是灵活装配低效性与固定装配对于人力、物力、时间资源需求大的问题。

智能化装配管理的引入通过对整个装配过程实时的、点对点的监测，解决了人为失误问题。此外人工介入的减少极大地节约了人工成本，并提高了生产效率。智能化装配工艺的核心技术在于全量全要素与数字孪生，全量全要素中的“全量”是指对装配过程中的每一个环节、每一个零件的全生命周期掌握；“全要素”是指对每一个装配工序的多维度管理，例如拧紧工序中的拧紧角度、时间、操作工信息、作业节拍、拧紧设备校准信息等。全量全要素本质上是一种多维传感器技术与大数据技术处理的融合；数字孪生是指对物理空间的数字化建模，同时能够实现真实空间与数字空间的单一映射。全量全要素是数字孪生实现的基础，而数字孪生是全量全要素技术的一种最优工业解决方案，数字孪生集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

3.5 数字孪生

数字孪生技术应用于数控机床智能化的方方面面。在装配工艺中，智能装配技术主要分为数据采集、模型构建两个方面，其流程如图2所示。以拧螺栓工序为例，其具体步骤分为对于自动化装配设备的转矩确定，对装配涉及的原材料批次管理，对自动化装配设备的螺栓连接检查，对整个自动化装配流程的安全性检验。在数字孪生技术的加持下，数字化工具、质量检测、数据分析、线体防错、数字化服务等均被融入智能装配。在转矩确定中，一般性的等转矩加工无法应对不同摩擦系数下夹紧力差异问题，即同样转矩下有的螺栓可能还未被拧紧，而有的螺栓可能已经被拉伸超过屈服极限的问题，因此就需要智能化的装配管理对于拧紧状况进行检测与判别；在装配环节，上百个同功能不同型号的零件需要被分别安装到合适的位置，同时其装配工艺也有着明显的差异，以数字孪生作为基础的操作辅助系统与质检系统则能够对装配环节进行引导、检测与评价，并能够对装配过程中产生的数据进行储存；在安全性检测中，流水

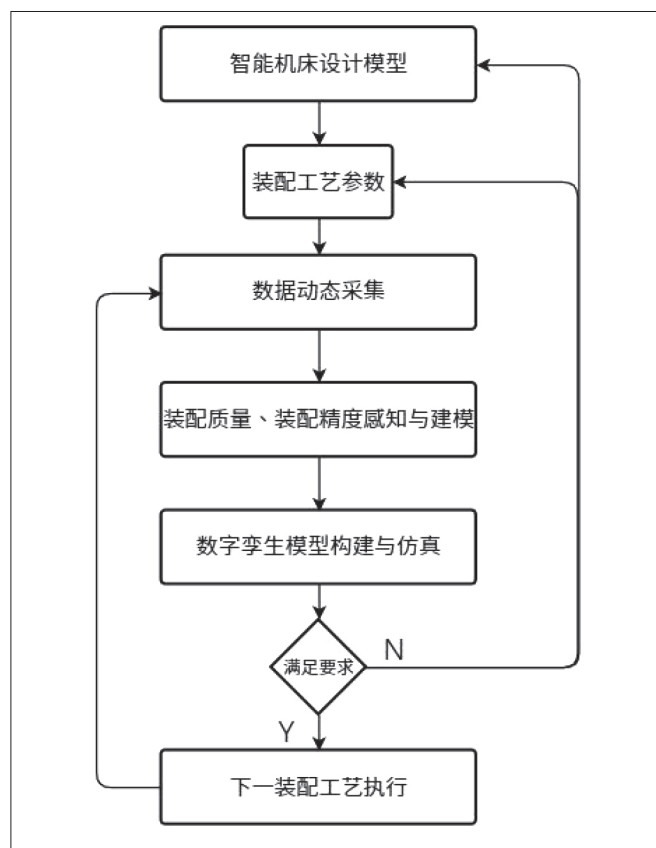


图2 数字孪生下的工程机械产品装配流程图

线的大批量零件连续加工会不断叠加缺陷风险，基于数字孪生的工作站防错系统则能够在工序与工序交接的部分进行误差检测，实现零缺陷传输；在装配质量评价与后续的维护中，传统方式对于装配质量的评价不够系统，同时缺陷率还有待进一步降低，而智能化装配评价的引入通过统计学方式对潜在风险进行概率评判，取代了传统的合格与不合格二值化界定，并对存在风险的设备进行层级管理，在装配过程中的每个环节都加入等级化的质量评价。

4 我国智能机床技术的未来发展趋势

4.1 技术发展

近年来，我国对高端智能机床的投入不断提高，对智能机床与智能制造的研究不断深入，我国机械制造与智能机床技术已经取得了多层面的突破。例如沈阳机床集团研发的高精度坐标镗床实现了十分成熟的五轴联动，并能够精准地实现热补偿与形变补偿；泰川机床集团发明的数控蜗杆砂轮磨齿机能够实现自动装卡、自动对刀、自动磨削及修正砂轮自动控制。

对于智能机床技术而言，我国数控机床智能化的发展将高速、高精度、高效人机交互与绿色化作为发展目标与技术导向，进一步深化数字孪生技术、可视化技术在智能机床中的应用；统筹发展智能机床中的软硬件，

实现更高层次的软硬件适配,将软件与硬件之间的协作类推于人的大脑与肢体,使得智能化的软件系统能够更好地控制与学习机床加工过程,而技术人员在整个工程中由执行者转变为决策者与控制者;在提高智能机床的自主执行能力时充分提供人工介入的接口,使得机床的自我检测、自主诊断与自我优化能够被技术人员实时监控;注意数控系统设计的开放性与扩展性,构建更为系统且通用的软硬件平台标准,同时注意软件的可移植性与跨平台性,确保软件系统能够对不同代差的智能设备进行兼容;对智能机床更加系统化与智能化的调节提高机床使用效率,减少机床内部设备的磨损并降低加工缺陷率,且对能耗进行有效降低,实现绿色制造的要求。

4.2 产业发展

目前以智能化为核心的新一代数控机床技术革新浪潮也愈演愈烈,我国针对智能机床的理论研究也位于世界前列,但在高端机床的商业化层面仍存在与国际顶尖品牌的差距。如图 3 所示,在高端机床的产业布局中,数控金属切削机床与数控金属成型机床发展迅速,加工中心机床有待提高,这与我国当前制造业发展与产业结构水平密切相关。

未来,智能机床行业将随着下游应用不断拓宽实现更为多样性的布局,产品发展将更加精密化,并逐步形成设备制造定制化与产品、服务一体化。我国智能机床品牌也将从目前中端产品的激烈竞争走向高端,并实现国内国际更高的市场占有率。

5 结语

智能机床与机械制造的重要性不断提高,投入不断扩大,且行业发展前景广阔,在大数据、人工智能、数字孪生等技术的加持下,我国迎来了数控机床领域弯道超车的重要机遇。数控机床的发展要始终把握高性能、

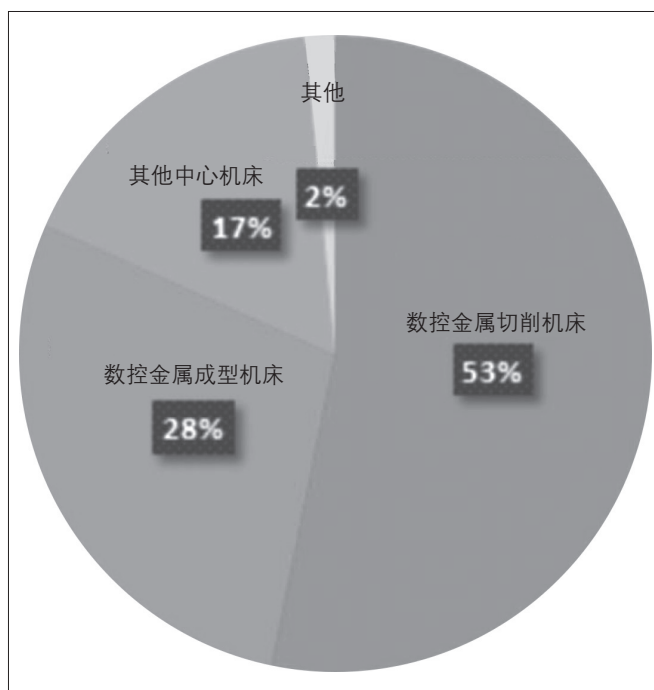


图 3 2021 年中国智能机床产品结构

多功能、定制化、智能化和绿色化的原则,为新的工业革命和人类文明进步提供更强大、更便利和更有效的制造工具。

参考文献:

- [1] 赵一平,王鹏云.典型的机床装配工艺研究[J].内燃机与配件,2020(10):129-130.
- [2] 孙名佳.数控机床智能化技术研究[C]//2012年全国地方机械工程学会学术年会论文集(《机械》2012增刊).2012:30-33.
- [3] 鄢萍,阎春平,刘飞,等.智能机床发展现状与技术体系框架[J].机械工程学报,2013,49(21):1-10.