

国内外先进制造技术的现状与发展趋势

张云，梁光顺

清华大学 北京 100084

摘要：基于目前制造业的发展现状，分析了国内外先进制造技术成果，并在此基础上提出了中国先进制造技术的发展趋势。

关键词：先进制造；发展现状；智能制造；发展趋势

1 序言

制造业是国民经济发展的基础，随着数字化、信息化及人工智能等技术的发展，传统制造业与新的数字化技术不断融合，国内外的制造技术都发生了很大的变化。先进制造技术AMT (Advanced Manufacturing Technology) 是衡量一个国家科技发展水平的重要标志，智能制造是先进制造的领头羊。我国要想实现工业现代化，成为制造强国，离不开先进制造技术的助力。

先进制造技术是制造业融合了机械、电子、计算机与通信、控制理论和人工智能等方面的成果，并被综合应用于设计、制造、检测、管理、销售、使用乃至回收的全过程，以实现优质、高效、低耗、清洁和灵活生产，提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。其集成了现代科学技术和工业创新的成果，充分利用了信息技术，使制造技术提高到新的高度。先进制造技术是不断利用新技术逐步发展和完善的技术，因而具有动态性和相对性。其以提高企业竞争能力为目标，应用于产品整个制造过程，强调优质、高效、清洁及灵活生产，体现了环境保护、可持续发展和制造的柔性化。

许多发达国家发布一系列国家战略，以增强在实体经济领域的竞争力，如美国的“再工业化战略”、德国的“工业4.0”计划、日本的“新机器人战略”及英国的“高价值制造战略”等。尽管这些战略或计划各有侧重点，但都包括发展智能制造，

以适应新的要素和市场环境，丰富先进制造的内涵。

2 中国先进制造技术成果

推动制造业高质量发展，促进新技术为制造业赋能。将智能化与数字化作为未来制造业发展的重点。改革开放四十余年，我国已成为制造业大国，世界各地涌现“中国造”，从侧面显现出我国制造水平所取得的历史性飞跃。我国在智能制造方面取得了突出的成果，促进了先进制造技术的发展。

2.1 工业机器人技术

工业机器人技术的发展，为智能制造带来新的动力。工业机器人具有生产操作稳定、改善劳动环境、减轻劳动强度及提高劳动生产率等特点，被制造业众多企业广泛应用。其中中国中车在车辆生产的各个环节应用了焊接机器人、打磨机器人（见图1）、组对机器人和喷涂机器人等。使用机器人代替工人完成作业是制造业发展的走向，也是近年来先



图1 打磨机器人

进制造的重要表现形式。

2.2 智能工厂

娃哈哈是中国饮料行业的龙头企业，也是饮料行业“中国制造”的典范，目前也实现了智能工厂的规划。通过信息技术与制造技术的深度融合，实现从传感器到企业资源管理系统ERP的全过程信息集成。在底层，西门子的PLC等通信网络覆盖整条生产线，借助SIMATIC解决方案，娃哈哈打破了各个设备的信息孤岛，实现了内部高效的精细管理、优化外部供应链的协同，推动了整个产业链向数字化、智能化及绿色化发展。娃哈哈饮料智能生产线如图2所示。



图2 娃哈哈饮料智能生产线

2.3 5G通信技术

华为的5G通信技术为智能制造增添了新的活力，“中国制造”正在高速转型为“中国智造”。对于汽轮机的装配而言，5G三维扫描建模检测系统利用激光扫描技术，能够准确迅速地截取物体表面的三维数据并生成模型，再利用5G网络实时传输，并将测量的大数据上传到云端。云端服务器对实际模型和理想模型迅速校核，判断两者的相似程度。这就让检测时间大大缩短，既实现产品全量检测，又能得到质量信息数据库，以便后期质量分析，节约成本，提高效益。21世纪，5G技术助推传统制造向智能制造转型，联结各领域的人、机器和设备，为工业升级提供互联网支持。

在汽车生产线的自动化控制中，5G可连接工人和制造机器，形成信息系统，实现畅快的信息共享。尤其是跨工厂、跨地域等生产场景，5G技术增强生产的同步性。

2.4 智能数控系统

华中数控在2021年第十七届中国国际机床展上发布的“华中9型智能数控系统”，集成AI芯片，融合AI算法，实现数控系统的自主感知、自主学习、自主决策和自主执行，堪称AI与先进制造融合的典范。华中数控以“华中9型智能数控系统”为平台，与秦川机床集团等机床企业联手研制了智能精密加工中心、智能五轴加工中心等不同领域、多种类型的智能机床。该系统推动了机床的智能化转型升级，助力机床动态精度由丝入微。

3 国外先进制造技术成果

“德国工业4.0”的核心是“智能+网络化”，即通过信息物理系统（CPS）构建智能工厂，实现智能制造。先进制造生产线是智能工厂的标配，它是加工单元、机械手、运输装置和检测设备协同完成的系统工程，先进制造生产线布局如图3所示。西门子PLC通信网络为先进制造生产线提供了丰富的网络解决方案（见图4），可以有效地解决其中的控制问题。该公司的Mind Sphere工业互联网平台，可以大范围采集工业数据，进行数据建模、模型部署及模型分析等，为企业提供凝聚了丰富技术经验和数据价值的各种Mind Apps，以解决企业多维度的需求。

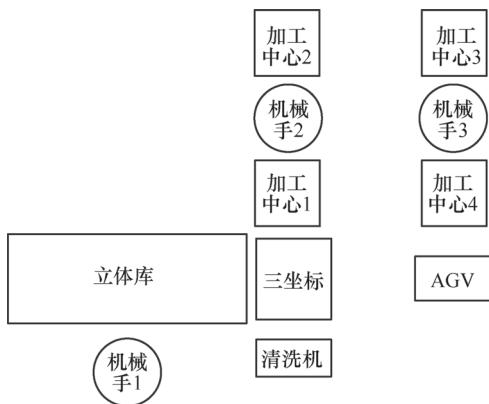


图3 先进制造生产线布局

在航空航天领域，位于发动机低温压气机侧的整体叶盘由钛合金制成，高温涡轮侧的整体叶盘由高温合金HRSA制成。高温合金和钛合金都属于难加工材料，对加工工艺及切削刀具的要求都非常高。山特维克可乐满针对钛合金的切削制造专门研制了CoroMill® Plura HFS整体硬质合金立铣刀（见

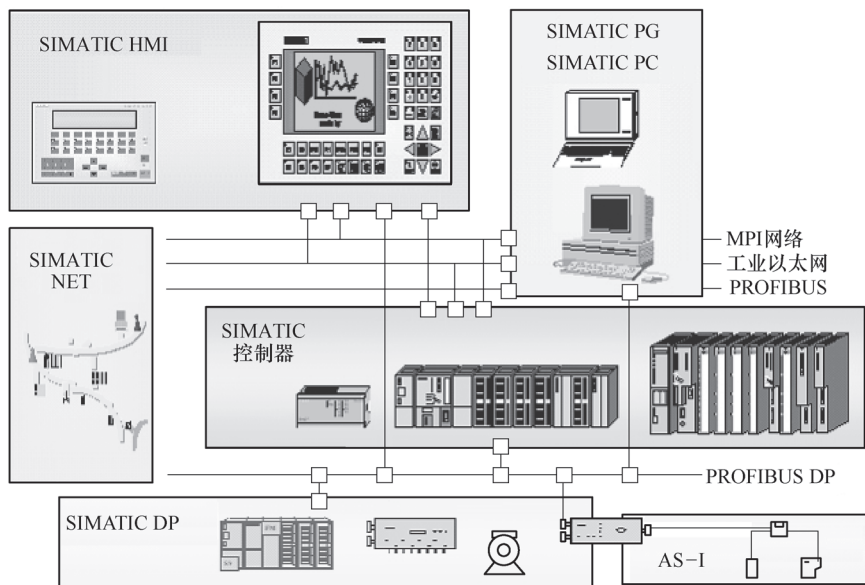


图4 西门子PLC 通信网络

图5)，其独有的冷却增强器采用了用于改进温度分散的专利冷却液流槽设计，能解决切削区域的排屑和温度控制难题。山特维克可乐满在为高精尖制造业提供切削刀具、满足金属切削行业苛刻要求的同时，

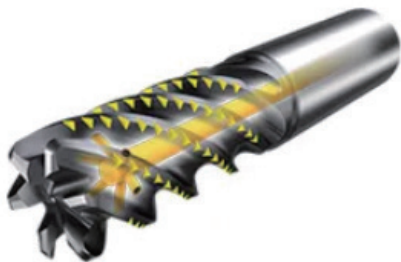


图5 CoroMill® Plura HFS整体硬质合金立铣刀

一些发达国家在高端数控机床的性能及技术方面仍比我国领先，且部分国家已着眼于新一代数控机床的研发。如德国DST公司Ecospeed系列卧

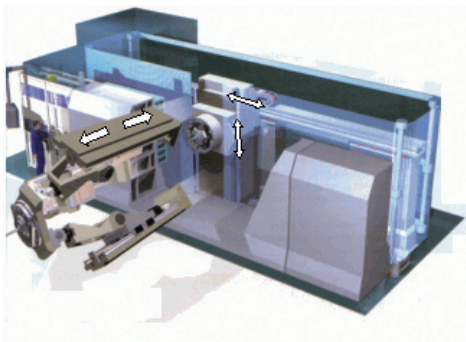


图6 Ecospeed 系列卧式加工中心

式加工中心（见图6），其电主轴的功率最大可达80kW，主轴在Z轴方向的最大行程可达670mm，加工效率为同类用于飞机结构件加工的双摆角五轴数控机床的5~10倍。

4 中国先进制造技术的发展趋势

先进制造技术是当前国际间科技竞争的焦点，我国要想在世界制造业的变革中立于潮头，取得主动，就不可避免要朝着全球化、自主化、智能化、集成化和绿色化等方向发展。

4.1 全球化

目前，世界各国制造业装备的生产销售依然在经济全球化的框架下进行。我国自改革开放以来，特别是加入世贸组织后，就积极推进企业间的跨国合作，互利互惠，网络通信技术的迅猛发展也方便了地球各个角落间的交流。对于机械制造领域的一些难题，我们仍需汲取国外成功案例的经验，与各国携手合作，拓宽科学的边缘。

4.2 自主化

近年来，在庞大市场需求的牵引，以及国家重大科技专项的支持下，我国的高档数控机床、工业机器人、增材制造装备、业务管理系统及工业控制系统等智能制造关键技术装备和核心工业软件取得了一系列重要突破，在一定程度上满足了国内智能制造的发展需求。但是，国内高端数控机床领域的市场长期被德国、日本等企业垄断，进口依赖度仍

然超过 90%。

复杂的国际环境和日益激烈的贸易摩擦倒逼我国制造业智能升级和扩大内需，进一步发展自主科技创新和增强自主知识产权实力，整体市场环境逼迫我国智能制造关键技术装备、核心工业软件以及系统解决方案的自主供应能力进一步提升。目前，五轴联动数控机床仍是解决重型发电机和航空发动机叶片、叶轮及船用螺旋桨等具有复杂空间加工曲面零部件的唯一手段，但在这些领域国外工业发达国家一直对我国进行技术封锁，我国只有对五轴联动机床开展独立自主的科研攻关，突破卡脖子的关键技术，才能真正实现制造业的现代化。

4.3 智能化

5G通信技术、物联网等助力制造业大数据的采集、传输，并将其存储于云服务平台，方便企业随时调用。计算机仿真和深度学习的融合，为设计者提前准备好解决方案，缩短研发周期，降低研发成本。人工智能与工业的深度融合将逐步从通用性技术领域向技术纵深程度更高的专业技术场景转变，实现从上游设计、原料投递，到中游制造、人机协作，再到下游服务、监测运维，最终指导工业设计和技术升级的应用闭环。

近年来我国投身于人工智能领域的人才数不胜数，且“互联网+智能制造”已取得初步成效，包括阿里云产业大脑、百度智慧工厂以及京东智慧供应链等。他们也将为制造业的发展注入新的前进动力，解决传统制造领域一些棘手的难题。

4.4 集成化

先进制造技术并不只是计算机、信息的集成，还囊括到化学、生物等领域的知识和数据。它的集成性体现在了各类现代科技的有机融合，学界普遍提倡多学科交叉，各专业间不断渗透、融合，为我国先进制造业的创新成果开辟新的思路。

4.5 绿色化

先进制造技术提倡“变废为宝”，减少制造过程中向外界环境排放的废弃物，对产品进行分类回收再利用，提升原材料的利用率，达到节约能源、减少环境污染的目的，引领制造业实现可持续发展。在贯彻落实中国高质量发展战略的过程中，绿色制造不容忽视，主要体现在绿色工厂、绿色产

品、绿色园区和绿色供应链的建设中。

5 结束语

制造业是国家经济和综合国力的基础，一个国家的机械制造技术水平将深刻影响该国的经济发展以及现代化进程。随着我国工业水平的发展，尤其是航空航天技术的发展，先进制造技术显得越发重要。在信息技术和互联网技术的加持下，先进制造技术的应用案例不断涌现，尤其是智能制造，极大地提高了企业生产的效率和服务质量。未来的制造业正朝着产品优质、生产高效、能源低耗、绿色环保和信息安全等方向发展。作为制造业大国，我国与一些发达国家仍存在差距，因此应加强对先进制造技术的探索，掌握核心科技，提升我国制造业的整体水平，向制造业强国的目标迈进。

参考文献：

- [1] 王喜文. 工业4.0、互联网+、中国制造2025 中国制造业转型升级的未来方向[J]. 国家治理, 2015 (23) : 12-19.
- [2] 朱志民, 方孝钟, 周勇, 等. 工业机器人在轨道交通制造中的应用现状及发展趋势[J]. 金属加工 (热加工), 2021 (1) : 7-12.
- [3] 陈亮. 娃哈哈：以智能制造领跑饮料行业[J]. 机器人产业, 2016 (5) : 104-107.
- [4] 侯瑞. 杭汽轮：让5G在叶片上“舞蹈”[J]. 信息化建设, 2019 (5) : 32-33.
- [5] 芮建. 西门子PLC网络在先进制造生产线的应用[J]. 科学技术创新, 2019 (14) : 37-38.
- [6] 周志勇, 任涛林, 孙明, 等. 工业互联网平台体系架构及应用研究[J]. 中国仪器仪表, 2021 (6) : 45-50.
- [7] 刘世锋, 宋玺, 薛彤, 等. 王立强. 钛合金及钛基复合材料在航空航天的应用和发展[J]. 航空材料学报, 2020, 40 (3) : 77-94.
- [8] 山特维克可乐满. 钛合金整体叶盘的高经济性和高质量加工解决方案[EB/OL]. [2021-07-29]. <https://www.sandvik.coromant.cn/zh-cn/industrysolutions/aerospace/titanium/pages/blisk.aspx>.
- [9] 魏碧辉. 双向移动并联驱动工作台的设计[D]. 汉中：陕西理工大学, 2020.