

第 1 章 智能制造总论

【本章目标】

- (1) 了解智能制造的时代背景。
- (2) 了解国内外智能制造的国家战略及应用现状。
- (3) 掌握智能制造的内涵和特点。
- (4) 掌握智能制造的理论基础和体系结构。
- (5) 了解智能制造的关键环节。
- (6) 了解智能制造的技术基础。
- (7) 熟悉智能制造与数字制造之间的联系。

智能制造是未来制造业的发展方向，是制造过程智能化、生产模式智能化和经营模式智能化的有机统一。智能制造能够对制造过程中的各个复杂环节（包括用户需求、产品制造和服务等）进行有效管理，从而更高效地制造出符合用户需求的产品。在制造这些产品的过程中，智能化的生产线让产品能够“了解”自己的制造流程，同时深度感知制造过程中的设备状态、制造进度等，协助推进生产过程，如图 1-1 所示。

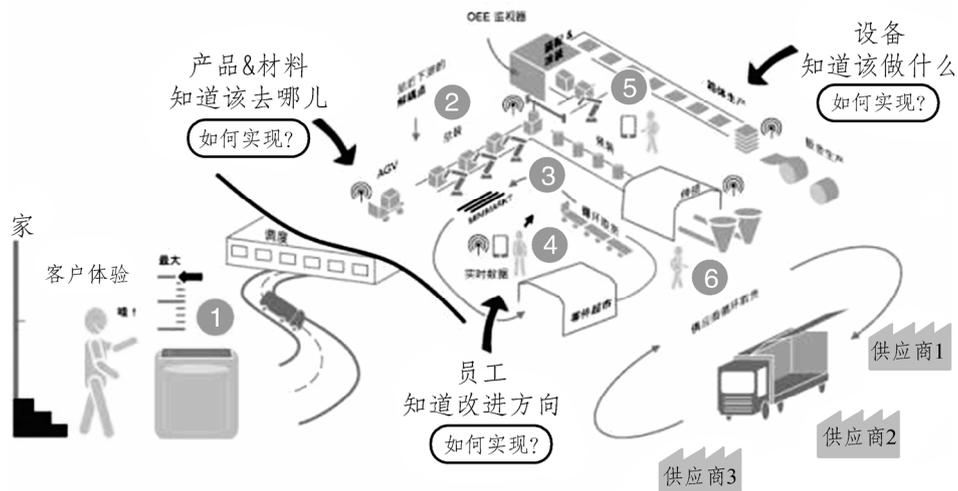


图 1-1 智能化工厂

要实现智能制造，必须让用户、机器和资源相互之间能自然地进行沟通和协作。因而智能制造不仅会成为未来制造业的核心，也将带来传统价值链和商业模式的深刻变革。

1.1 智能制造的时代背景

当前，全球制造业正在发生新革命。随着德国工业 4.0（第四次工业革命）概念的提出，物联网、工业互联网、大数据、云计算等技术的不断创新发展，以及信息技术、通信艺术与制造业领域的技术融合，新一轮技术革命正在以前所未有的广度和深度，推动着制造业生产方式和发展模式的变革。

1.1.1 制造业的发展

1. 制造业的发展历程

制造业是国民经济的基础工业，是影响国家发展水平的决定因素之一。自瓦特发明蒸汽机以来，制造业已经历了机械化、电气化、自动化三次技术革命，每一次技术革命都有着显著的特点。其发展历程如表 1-1 所示。

表 1-1 制造业发展历程

发展阶段	年份	里程碑	主要成果
机械化	1760—1860 年	水力和蒸汽机	机器生产代替手工劳动，社会经济基础从农业向以机械制造为主的工业转移
电气化	1861—1950 年	电力和电动机	采用电力驱动的大规模生产，产品零部件生产与装配环节的成功分离，开创了产品批量生产的新模式
自动化	1951—2010 年	电子技术和计算机	电子计算机与信息技术的广泛应用，使得机器逐渐代替人类作业
智能化	2011 年至今	网络和智能化	智能化实现制造的智能化、个性化和集成化

随着计算机的问世，机械制造业大体沿着两条路线发展：一是传统制造技术的发展，二是借助计算机和数字控制科学的智能制造技术与系统的发展。20 世纪以来，自动化制造的发展大体是每十年上一个台阶：20 世纪 50~60 年代的“明星”是硬件数控（Hard NC），70 年代以后则是计算机数据控制（CNC）蓬勃发展，80 年代世界范围的柔性自动化热潮兴起，同时计算机集成制造开始出现，但由于技术局限等原因，并未大规模应用于当时的实际工业生产。

如今，人类社会的制造业已从机械化全面迈向智能化、个性化，“私人定制”式工业生产将成为最新一次技术革命的主要标志。

2. 智能制造的产生

20 世纪 80 年代以来，传统制造技术得到了不同程度的发展，但日益先进的计算机控制技术和制造技术，使得传统的设计和管理方法已无法有效解决现代制造系统中存在的很多问题。这促使研究人员、设计人员和管理人员需要不断学习、掌握并研究全新的产品、工艺和

系统，然后利用各学科最新研究成果，借助现代的工具和方法，在传统制造技术、计算机技术与科学、人工智能等技术进一步融合的基础上，开发出了一种新型的制造技术与系统，即智能制造技术（Intelligent Manufacturing Technology, IMT）与智能制造系统（Intelligent Manufacturing System, IMS）。

20 世纪 90 年代以后，世界各国竞相大力发展 IMT 和 IMS 的深层次原因有以下几个：

（1）集成化离不开智能化，制造系统是一个复杂的大系统，系统中多年积累的生产经验，生产过程中的人机交互，都必须使用智能装备（如智能机器人等）才能实现。而脱离了智能化，集成化也就不能完美实现。

（2）智能化机器较为灵活。智能化既可应用于系统，也可应用于单机。单机可发展一种智能，也可发展多种智能。无论在系统中或单机上，智能化均可工作，不像集成制造系统那样，必须全系统集成才可工作。

（3）智能化的经济效益较高。相比之下，现有的计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）少则投资数千万元，多则投资数亿元乃至数十亿元，很少有企业能承担得起。而且，CIMS 维护费用高昂，投入运行还得废弃原有的设备，自然难以推广。

（4）人员减少。雇员白领化使得经验丰富的机械工人和技术人员日益缺乏，但产品制造技术却越来越复杂，因而必须使用人工智能和知识工程技术解决现代化企业的产品加工问题。

（5）依靠生产管理和生产自动化提高生产率。人工智能与计算机管理的结合，使之前不懂计算机的人也能通过视觉、对话等智能交互方式进行科学化的生产管理，有效提高生产率。

3. 我国制造业的困局

过去，我国制造业利用低廉的劳动力成本、丰富的原材料供应等优势，成了“世界工厂”。经过 30 多年的发展，我国制造业的产能得到了空前提升，我国也成为制造大国。但是近年来，由于工人工资水平上涨、人民币升值等因素的影响，我国制造的成本优势在不断丧失。

与此同时，随着我国经济的发展，我国进入物质富足的时代，人们开始关注商品的质量、性能或品牌，而非价格。商品的定价不再取决于成本，而取决于消费者心理上对其价值的认同。以降低产品质量、用户体验和服务水准来换取价格优势的做法，越来越没有生存空间。不仅如此，在高端产品方面，我国制造仍以代工、加工为主，真正拥有核心技术与自主知识产权的产品不多，处于价值链的底端，利润率较低。

综上所述，中国制造业急需一场革命性的转型升级。

1.1.2 国内外智能制造的国家战略及应用现状

1. 德国工业 4.0

德国“工业 4.0”是由德国产、学、研各界共同制定，以提高德国工业竞争力为主要目的的战略。在全球信息技术领域中，德国强大的机械和装备制造业占据了显著地位。为了支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新，德国政府在 2013 年 4 月举办的汉诺威工业博览会上正式推出《德国工业 4.0 战略计划实施建议》。该计划对全球工业未来的发展趋势进行了探

索性研究和清晰描述，为德国预测未来 10~20 年的工业生产方式提供了依据，因此引起了全世界科学界、产业界和工程界的关注。目前，“工业 4.0”已经上升为德国的国家战略，成为德国面向 2020 年高科技战略的十大目标之一。

德国“工业 4.0”将对传统制造业产生深远的影响。德国“工业 4.0”把信息技术与智慧技术进行结合，比传统制造业多了一些新的能力，它可以扩展到配送物流、售后维修等其他领域。在此基础上，德国“工业 4.0”会给传统制造业带来更多的发展机会，把更具个性化的服务带入市场。德国“工业 4.0”战略，本质就是以机械化、自动化和信息化为基础，建立智能化的新型生产模式与产业结构。

德国“工业 4.0”规划，简单可以概括为“一个核心”“两重战略”和“三大集成”。

(1) 一个核心。

“工业 4.0”的核心是“智能+网络化”，即通过赛博物理系统，构建智能工厂，实现智能制造的目的。赛博物理系统（CPS）建立在信息和通信技术（ICT）高速发展的基础上：通过大量部署各类传感元件实现信息的大量采集；将 IT 控件小型化与自主化，然后将其嵌入各类制造设备中，从而实现设备的智能化；依托日新月异的通信技术达到数据的高速与无差错传输；无论后台的控制设备，还是在前端嵌入制造设备的 IT 控件，都可以通过人工开发的软件系统进行数据处理与指令发送，从而达到生产过程的智能化，以及方便人工实时控制的目的。

(2) 两重战略。

基于 CPS，“工业 4.0”通过采用双重战略来增强德国制造业的竞争力：一是“领先的供应商战略”，关注生产领域，要求德国的装备制造厂商必须遵循“工业 4.0”的理念，将先进的技术、完善的解决方案与传统的生产技术相结合，生产出具备“智能”与乐于“交流”的生产设备；二是“领先的市场战略”，强调整个德国国内制造业市场的有效整合，构建遍布德国不同地区，涉及所有行业，涵盖各类大、中、小企业的高速互连网络是实现这一战略的关键。在此基础上，生产工艺可以重新定义与进一步细化，从而实现更为专业化的生产，提高德国制造业的生产效率。

(3) 三大集成。

具体实施中需要三大集成的支撑：关注产品的生产过程，力求在智能工厂内通过联网建成生产的纵向集成；关注产品整个生命周期的不同阶段，包括设计与开发、安排生产计划、管控生产过程以及产品的售后维护等，实现各个阶段之间的信息共享，从而达成工程数字化集成；关注全社会价值网络的实现，从产品的研究、开发与应用拓展至建立标准化策略、提高社会分工合作的有效性、探索新的商业模式以及考虑社会的可持续发展等，从而达到德国制造业的横向集成。

ICT 技术的不断发展，为三大集成的可实现性提供了保证。相关的技术包括：

机器对机器（Machine to Machine, M2M）技术，用于终端设备之间的数据交换。M2M 技术的发展，使得制造设备之间能够主动地进行通信，配合预先安装在制造设备内部的嵌入式软/硬件系统实现生产过程的智能化。

物联网技术的应用范围超越了单纯的机器对机器的互联，将整个社会的人与物连接成一个巨大的网络。按照国际电信联盟（International Telecommunication Union, ITU）的解释，这是一个无处不在与时刻开启的普适网络社会。知名的信息技术研究和分析公司——高德纳咨

询公司预计，至 2020 年加入物联网的终端设备将达到 260 亿台，是 2009 年 9 亿台的约 30 倍。

各类应用软件包括实现企业系统化管理的企业资源计划（ERP）、产品生命周期管理（PLM）、供应链管理（SCM）、系统生命周期管理（SysLM）等。这些系统将在“工业 4.0”中进一步发挥协同作用，成为企业进行智能化生产和管理的利器。

2. 美国国家先进制造战略规划

2012 年 2 月 22 日，美国国家科学研究委员会发布《国家先进制造战略规划》，该战略规划基于总统科学技术顾问委员会在 2011 年 6 月发布的《确保美国先进制造领导地位》白皮书，响应了《美国竞争再授权法案》的相关精神，用于指导联邦政府支持先进制造研究开发的各项计划和行动。在该战略规划中，先进制造是指运用和调度信息、自动装置、计算、软件、传感、网络，以及运用基于物理、化学和生物学等众多学科而实现的新材料和新功能，如纳米技术、化学和生物学的一系列活动，包括制造现有产品的新方法和制造由新型先进技术催生的新产品两个方面。先进制造能够提供高质量的就业岗位，是出口的重要来源和技术创新的关键源泉，也为军方、情报界和国土安全机构提供必需品和装备。

该规划分析了美国先进制造业的生产模式和趋势，揭示了联邦政府制定加快先进制造业发展所面临的机遇及维护其健康发展所面临的挑战。通过规划一个强大的创新政策，缩小研发与先进制造业创新应用间的差距，解决技术全生命周期中的问题。

2014 年 10 月 27 日，美国先进制造业联盟指导委员会发布《振兴美国先进制造业》报告 2.0 版，指出加快创新、保证人才输送管道、改善商业环境是振兴美国制造业的三大支柱。特别是在促进创新方面，将在增加美国竞争力的新型制造技术领域增加大量投资。国防部、能源部、农业部及航空航天总局等政府部门将向报告所建议的复合材料、生物材料等先进材料、制造业所需先进传感器及数字制造业方面加大投资，总额超过 3 亿美元。以政府提供先进设备、部门与科研机构、高校联动、设立联合技术测试平台等方式促进创新发展。

从 2011 年 6 月至今，在美国政府一系列措施下逐渐振兴了美国的先进制造业，已经建成了 4 个先进制造业的研究所，还有 4 个在筹建中。政府向社区大学投资近 10 亿美元，为先进制造业培养合格的工人；同时也扩大对于新兴、交叉性学科应用性研究的投入。政府还采取新的措施对退伍军人进行更合理的分配，包括向先进制造业分配合格的人才。最近五年，美国制造业已经增加了 70 万个就业岗位。

3. 日本物联网升级制造模式

伴随德国工业 4.0 时代的到来，传统制造业强国——日本也开始发力。日本选择了机器人作为突破口。日本机器人的实力因在工业领域的普及而受到全球的认可。目前，日本仍然保持工业机器人产量、安装数量世界第一的地位。2012 年，日本机器人产值约为 3 400 亿日元，占全球市场份额的 50%，安装数量（存量）约 30 万台，占全球市场份额的 23%。而且，机器人的主要零部件，包括机器人精密减速机、伺服电动机、重力传感器等，占据 90% 以上的全球市场份额。

日本政府于 2015 年 1 月 23 日公布了《机器人新战略》，首先列举了欧美与中国的技术赶超，互联网企业向传统机器人产业的涉足，给机器人产业环境带来了剧变。这些变化，

将使机器人开始应用大数据实现自律化，使机器人之间实现网络化，物联网时代也将随之真正到来。

2015年5月，日本机器人革命促进会正式成立，标志着“日本机器人新战略”迈出了第一步。最初，“日本机器人新战略”主要有两大目的，即“扩大机器人应用领域”与“加快新一代机器人技术研发”。而近年来，德国的工业4.0、美国的工业互联网等相继涌现，加速了以新一代信息技术为主线的制造创新趋势。日本政府也积极跟进，决定在日本机器人革命促进会下设“物联网升级制造模式工作组”。2015年7月中旬“物联网升级制造模式工作组”召开了第一次大会。除了三菱电机、日立制作所等工业控制设备厂商之外，富士通、NEC等IT企业，三菱重工、川崎重工、IHI、日立造船、丰田汽车、日产汽车、本田汽车等工业企业、贸易集团以及智库等制造业相关的77家代表企业参会。此外，还有15个商协会等社会组织参与了大会。

物联网升级制造模式工作组的目标主要是，跟踪全球制造业发展趋势的科技情报，通过政府与民营企业的合作，实现物联网技术对日本制造业的变革。具体而言，主要有如下4点：

梳理物联网升级新制造模式的示范案例；探讨标准化模式，提供参考信息；调研物联网和赛博物理系统在智能工厂中的应用潜力；在政府与德国、美国等有关国际机构协商合作之际，提供参考决策。该工作组以后将每月开展一次活动，形成物联网升级制造模式的通用架构，为未来制造业的国际合作做好准备。

4. 中国制造 2025

为了实现由制造大国向制造强国转变，国务院于2015年5月8日公布了强化高端制造业的国家战略规划“中国制造2025”。“中国制造2025”要求坚持走中国特色新型工业化道路，以促进制造业创新发展为主题，以提质增效为中心，以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向，以满足经济社会发展和国防建设对重大技术装备的需求为目标，强化工业基础能力，提高综合集成水平，完善多层次多类型人才培养体系，促进产业转型升级，培育有中国特色的制造文化，实现制造业由大变强的历史跨越。简而言之，“中国制造2025”的核心是智能制造。

“中国制造2025”的战略目标是立足国情，立足现实，力争通过“三步走”实现制造强国的战略目标。第一步：力争用十年时间，迈入制造强国行列。第二步：到2035年，我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平。第三步：中华人民共和国成立一百年时，制造业大国地位更加巩固，综合实力进入世界制造强国前列。制造业主要领域具有创新引领能力和明显竞争优势，建成全球领先的技术体系和产业体系。

“中国制造2025”将分类开展流程制造、离散制造、智能装备和产品、智能制造新业态新模式、智能化管理、智能服务六大重点行动。

第一，针对生产过程（包括流程制造、离散制造）的智能化，特别是生产方式的现代化、智能化。在以智能工厂为代表的流程制造、以数字化车间为代表的离散制造方面分别进行试点示范项目。其中，在流程制造领域，重点推进石化、化工、冶金、建材、纺织、食品等行业，示范推广智能工厂或数字矿山运用；在离散制造领域，重点推进机械、汽车、航空、船舶、轻工、家用电器及电子信息等行业。

第二，针对产品的智能化，体现在以信息技术深度嵌入为代表的智能装备和产品试点示范。把芯片、传感器、仪表、软件系统等智能化产品嵌入到智能装备中去，使得产品具备动态存储、感知和通信能力，实现产品的可追溯、可识别、可定位。在包括高端芯片、新型传感器、机器人等在内的行业中，进行智能装备和产品的集成应用项目。

第三，针对制造业中的新业态新模式予以智能化，即工业互联网方向。在以个性化定制、网络协同开发、电子商务为代表的智能制造新业态新模式推行试点示范。例如，在家用电器、汽车等与消费相关的行业，开展个性化定制试点；在钢铁、食品、稀土等行业开展电子商务及产品信息追溯试点示范。

第四，针对管理的智能化。在物流信息化、能源管理智慧化上推进智能化管理试点，从而将信息技术与现代管理理念融入企业管理。

第五，针对服务的智能化。以在线监测、远程诊断、云服务为代表的智能服务试点示范。服务的智能化，既体现为企业如何高效、准确、及时挖掘客户的潜在需求并实时响应，也体现为产品交付后对产品实现线上线下服务，实现产品的全生命周期管理。

上述五个方面，纵向来看，贯穿于制造业生产的全周期；横向来看，基本囊括了中国制造业中的传统和优势项目；综合来看，重大智能装备及与新业态新模式相关的偏服务化制造业将是重点。

5. 智能制造国内外发展的差异和给我们的启示

对比中德美日四国可以看出，德国基于其强大的工业基础，自下而上积极推动工业 4.0 战略，希望通过新一代信息技术在制造业中的应用，保卫其制造业的优势地位；而美国则基于其领先的互联网创新能力，强调软件、网络和数据，注重互联互通和互操作，自上而下打造工业互联网，期望重新夺回制造业霸主地位。日本则基于其机器人及其主要零部件在全球的实力，依托互联网企业使机器人应用大数据、物联网，使机器人之间实现网络化。

而我国工业正处于由大变强、转型升级的关键时期，不同规模、行业和区域的企业水平差异巨大，应基于我国工业的实际情况，借鉴别国经验，制定出适合我国国情的标准化战略。他们对我们的启示可以归纳为：

(1) 各国均瞄准广泛互联的工业网络、贯穿产品全生命周期的信息数据链和具备感知、控制与联网功能的智能装备等重点技术领域。

(2) 各国均注重结合本国优势，战略重点略有差异又相互学习借鉴。美国近期的行动更加注重对“硬制造”的部署，德国也更加关注互联网所带来的产业生态系统和新模式。

(3) 各国均强调建立创新基础设施，推动统一标准的制定，为智能制造的发展提供保障。

1.1.3 企业智能制造应用现状

近年来，发达国家针对智能制造投入了巨大的研发资金，在一些重要装备与产品制造企业取得了较好的应用，代表性应用如下：

1. 西门子安贝格工厂智能制造应用

西门子安贝格电子制造工厂是目前业界公认最为接近工业 4.0 概念雏形的工厂，堪称高效的数字奇迹。据加特纳行业研究公司（Gartner Industry Research）对该工厂开展的调查显示，安贝格工厂生产定制流程涉及每年 5 万余种产品逾 16 亿个部件，每 100 万件产品中次品只有大约 15 件，庞大生产线的可靠性达到 99.998 8%，追溯性更是高达 100%。安贝格工厂参考工业 4.0 标准模型，首次搭建了一个包含横向与纵向信息技术融合的完整框架，涵盖工业 4.0 关键技术要素，还包括产品的生命周期及生产周期，最大限度实现生产全自动化、个性化、弹性化、自我优化和提高生产资源效率、降低生产成本的全新生产方式。

（1）智能整合技术。安贝格工厂通过智能制造将产品生命周期管理（PLM）、制造执行系统（MES）及工业自动化三项关键性制造技术整合起来，从这些技术中找到最佳结合点并将它们作为完整系统运用，使得企业缩短创新周期，提高运营透明度，通过跨部门共享知识来提高员工个人生产力，并且通过为动态环境提高可预测性，尽量降低风险。

（2）物联网。在安贝格工厂车间里，触摸屏人机界面（HMI）让用户可以向下获取数据，从一段时间的业绩趋势到每条产品线，甚至每一个零部件。此外，还可以对 400 多个数据自动采集点进行深入的原因分析。安贝格工厂通过物联网获取大量嵌入在设备中的信息，使得实际的制造世界与虚拟的数字制造世界相互交汇，让企业能够借助数字化手段，规划和预测产品的整个生命周期和生产设施。

在安贝格智能工厂的未来设想中，人类、机器和资源能够互相通信，智能产品“知道”它们如何被制造出来的细节，也知道它们的用途。它们将主动对制造流程回答诸如“我什么时候被制造的”“对我进行处理应该使用哪种参数”“我应该被传送到何处”等问题。

2. 美国通用电气公司智能制造应用

美国通用电气公司（GE 公司）依托庞大的产业链、产品体系和技术实力，提出了自己的“工业互联网”概念，与美国全面推进的《国家先进制造战略规划》相呼应。GE 将工业革命与互联网革命统一为“第三波”创新与变革，其明确的“智能化”理念是新一轮工业与互联网变革中的鲜明主题。

（1）自动化软件。GE 智能平台将 IT 与自动化相融合，从最初单一的可视化控制功能发展到成为企业实施整体实时信息管理战略的基础平台。其最新推出的自动化软件产品 Proficiency Mobile，基于最先进的移动智能终端应用，可为用户实现在全球任何地方、24 h 都可实时获得工厂过程的数据和关键设备的数据，并对设备进行操作。

（2）生产智能化。针对流程工业、离散制造、大型设备制造三大领域，GE 开发了具有针对性的专用 MES 产品，并将其作为构建智能工厂的核心，连接底层自动化控制系统和上层管理系统。通过构建的智能工厂，GE 可以清楚地掌握产销流程、提高生产过程的可控性、减少生产线人工干预、合理安排生产进度等，实现生产制造每个阶段的高度智能化。

（3）工业数据智能化。GE 智能平台发布了基于云的工业数据库产品——Proficiency Historian HD，满足用户对“大数据”无限增长的需求，并将用户不同设备的数据库部署成一个整体数据库，实现远程的数据诊断，以及为企业数据挖掘、数据分析打造基础。通过 Internet 采集应用于全球各地产品的生产运行数据，GE 可以实时监控设备的运行状况，并可实现预维护，为用户节省投资的同时更大大降低故障率。

3. 空客集团智能制造应用

空客集团紧跟智能制造的时代步伐，提出了“未来工厂”建设构想，目标是能够以创纪录的水平加快其产品生产率。在“未来工厂”建设中，空客集团积极研究在工厂采用机器人技术、虚拟现实技术、数字化技术、3D 打印技术等最新先进制造技术成果。目前，部分技术已经开始在空客集团各子公司获得应用。

(1) 装配线自动化——“即插即用”机器人。空客公司已经使用了轻量化的单臂机器人，能够自主沿着飞机内部移动，在机身内部实现支架的流水线安装。空客公司计划安装具有多自由度的协作机器人，进行喷涂复杂装饰、旋翼轮毂等主要零件等多项工作。采用机器人后，可以对从绿色表面准备到外漆固化的精整喷涂工作流程进行优化，实现更小的能源消耗，还能节省周期时间。

(2) 车间级数字化——实现从仿真到“技术—现实”。空客公司针对 A350 XWB 全生命周期管理，构建了虚拟环境，该虚拟环境的注册用户达 3 万人，空客公司内部及其供应链上的工程师约 10 000 人，每天通过该虚拟环境获取详细、最新的项目信息。作为 A350 XWB 设计研发的一部分，空客公司使用逼真人机工程分析 (Realistic Human Ergonomic Analysis, RHEA) 工具，使得操作人员能够进入虚拟环境，与 A350 XWB 全尺寸 3D 模型进行交互。

(3) 3D 打印技术——飞机装配过程中所需零件的及时制造。空客集团已经开始使用 3D 打印技术用于制造模具、样件及用于飞行测试的零部件，还制造了商用飞机的零部件。由空客防务与空间公司生产的首件经过飞行测试的 3D 打印零部件——钛合金支架，已经搭载 Atlantic Bird7 通信卫星进入太空。

(4) 集成化生产——统筹兼顾整个工业化生产系统。目前，在空客直升机公司拉库尔讷沃工厂每年能生产约 2 000 个主旋翼，主旋翼的大部分制造工序在不同车间完成，零件在运输过程中发生断裂或损伤的风险很高，也会导致大量时间被浪费。而正在建设的勒布尔歇工厂将设计成一个大车间，充分吸收拉库尔讷沃工厂的先进制造技术成果，工厂采用柔性化车间布置，最大可能地实现模块化，可以根据需要对车间布置进行相应调整，这样更容易适应未来产品的变化。

1.2 智能制造的内涵和特点

1.2.1 制造与智能

智能制造 (Intelligent Manufacturing, IM) 通常泛指智能制造技术和智能制造系统，是人工智能技术和制造技术相结合后的产物。因此，要理解智能制造的内涵，必须先了解制造的内涵和人工智能技术。

制造是把原材料变成有用物品的过程，它包括产品技术、材料选择、加工生产、质量保证、管理和营销等一系列有内在联系的运作和活动。这是对制造的广义理解。对制造的狭义理解是从原材料到成品的生产过程中的部分工作内容，包括毛坯制造、零件加工、产品装配、检验、包装等具体环节。对制造概念广义和狭义的理解使“制造系统”成为一个相对的概念，

小的如柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cell , FMC)、柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System , FMS) , 大至车间、企业乃至以某一企业为中心包括其供需链而形成的系统, 都可称之为“制造系统”。从包括的要素而言, 制造系统是人、设备、物料流/信息流/资金流、制造模式的一个组合体。

人工智能 (Artificial Intelligence , AI) 是智能机器所执行的与人类智能有关的功能, 如判断、推理、证明、识别、感知、理解、涉及、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。人工智能具有一些基本特点, 包括对外部世界的感知能力、记忆和思维能力、学习和自适应能力、行为决策能力、执行控制能力等。一般来说, 人工智能分为计算智能、感知智能和认知智能三个阶段。第一阶段为计算智能, 即快速计算和记忆存储能力。第二阶段为感知智能, 即视觉、听觉、触觉等感知能力。第三阶段为认知智能, 即能理解、会思考。认知智能是目前机器与人差距最大的地方, 让机器学会推理和决策异常艰难。

将人工智能技术和制造技术相结合, 实现智能制造, 通常有如下好处:

(1) 智能机器的计算智能高于人类, 在一些有固定数学优化模型、需要大量计算、但无须进行知识推理的地方, 如设计结果的工程分析、高级计划排产、模式识别等, 与人根据经验来判断相比, 机器能更快地给出更优的方案, 因此, 智能优化技术有助于提高设计与生产效率, 降低成本, 并提高能源利用率。

(2) 智能机器对制造工况的主动感知和自动控制能力高于人类, 以数控加工过程为例, “机床/工件/刀具”系统的振动、温度变化对产品质量有重要影响, 需要自适应调整工艺参数, 但人类显然难以及时感知和分析这些变化。因此, 应用智能传感与控制技术, 实现“感知—分析—决策—执行”的闭环控制, 能显著提高制造质量。同样, 一个企业的制造过程中, 存在很多动态的、变化的环境, 所以在系统中的某些要素 (设备配置、检测机构、物料输送和存储系统等) 必须能动态地、自动地响应系统变化, 这也依赖于制造系统的自主智能决策。

(3) 随着工业互联网等技术应用的普及, 制造系统正在由资源驱动型向信息驱动型转变。制造企业能拥有的产品全生命周期数据可能是非常丰富的, 通过基于大数据的智能分析方法, 将有助于创新或优化企业的研发, 生产、运营、营销和管理过程, 为企业带来更快的响应速度、更高的效率和更深远的洞察力。工业大数据的典型应用包括产品创新、产品故障诊断与预测、企业供需链优化和产品精准营销等诸多方面。

由此可见, 无论是在微观层面, 还是宏观层面, 智能制造技术都能给制造企业带来切实的好处。我国从制造大国迈向制造强国的过程中, 制造业面临 5 个转变: 产品从跟踪向自主创新转变; 从传统模式向数字化、网络化、智能化转变; 从粗放型向质量效益型转变; 从高污染、高耗能向绿色制造转变; 从生产型向“生产+服务”型转变。在这些转变过程中, 智能制造是重要手段。在“中国制造 2025”中, 智能制造是制造业创新驱动、转型升级的制高点、突破口和主攻方向。

1.2.2 智能制造概念的产生与发展

国际上智能制造的研究始于 20 世纪七八十年代, 智能制造领域的首本研究专著于 1988 年出版, 它探讨了智能制造的内涵与前景, 定义其目的是“通过集成知识工程、制造软件系