

智能制造体系中关键技术的分析与探讨

青岛科技大学 段俊勇 赵海霞 张永涛 王帅

结合国内外智能制造的定义和发展情况，深入剖析了智能制造的本质，以此为基础，解析出智能制造体系中的关键技术，以传感检测技术、制造技术、数据采集和分析处理技术、无线通讯与定位技术、快速识别技术、预测型智能制造技术、新材料技术、信息与网络技术为核心的技术领域，构建了智能制造的整体框架。智能装备是主体，网络是载体，信息是纽带，采集与计算分析是实现数据流通传递的方法和手段，他们相互融合，构建数据、信息、优化、决策、价值闭环体系，从而建立从数据到信息，从信息到可执行的优化建议直至反馈调整的长效模式，最终成型为智能制造体系。

一、引言

制造业是国民经济的主要支柱，是国家生存和发展的保障，今后我国经济实现“创新驱动、转型升级”的必由之路。我国已经成为制造大国，但仍然不是制造强国。打造中国制造新优势，实现由制造大国向制造强国的转变，发展智能制造基础产业对我国新时期的经济发展最为重要，也最为迫切。

从德国的“工业4.0”，美国的“工业互联网”到英国的“工业2050战略”，我们看到了一个又一个关于高端制造，智能制造的概念，但一个清晰、具体，明确的智能制造概念似乎还是没有形成。智能制造从本质上看，是智能技术与制造技术的深度融合。从发展脉络上看，传统制造基于互联网信息技术、物联网技术等实现数字化，而这些技术的进一步发展便是智能技术。传统的制造技术在融合“智能”与“智

慧”后，向更加聪明、成熟、高效的方向发展，实现所有“制造”过程的智能化，最终形成节能、环保、智能的新产品。当然这些还是一些抽象的概念，更多的是描绘了一个愿景。但是具有预测、感知、分析、推理、决策、控制功能的是智能系统的必备特征。

二、智能制造国内外发展的现状

目前主要发达工业国家都积极筹划布局，抢占制造业的制高点，完成产业的转型升级，保持世界市场的竞争力。美国近年来提出“再工业化”计划，主要针对新世纪以来美国经济“去工业化”所带来的过度依靠虚拟经济、实体经济衰落、国内产业结构空洞化等现实情况。该计划要实现的目标是重振实体经济，增强国内企业竞争力，增加就业机会；发展先

进制造业，实现制造业的智能化；保持美国制造业价值链上的高端位置和全球控制者地位。美国制造业智能化的目的是促使产业结构朝着具有高附加值、知识密集型和以新技术创新为特征的产业结构转换。工业物联网、云计算、全球卫星定位系统、先进的图像处理技术、RFID 等技术的发展和应用为制造业朝智能化发展提供了坚实的物质和技术基础。同时一大批新的生产和管理理念产生，加之计算机信息技术的广泛而深入的应用，都助推了制造业智能化的发展。美国实施智能制造有着良好的基础。工业基础雄厚，制造业发达，在信息、材料、电子等智能制造关键领域有着其他国家难以企及原创科学。

德国著名的“工业 4.0”是一项全新的制造业品质提升计划，其模式是由多点分布式、组合式的工业制造单元模块，通过工业信息网络、多功能感知器件、中央处理单元组建而成的智能化工业制造系统。“工业 4.0”通过充分利用信息物理系统（CPS），实现由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变，目标是建立高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式，推动现有制造业向智能化方向转型。德国有着世界顶级装备制造水平，在智能制造领域有着独特的优势，以单元模块为智能制造的基本单元，充分发挥其装备可靠性强，自动化程度高的优势，完成从自动化向智能化的过渡转变。

可以预见，“互联网+先进制造业+现代服务业”将成为中国经济发展的新引擎，推动新技术、新产业、新模式、新业态的不断产生，引发产业、经济与社会的变革，为中国乃至世界带来巨大的商机和历史性的发展机遇。作为高端装备制造制造业的重点发展方向和信息化与工业化深度融合的重要体现，发展智能制造装备产业对于加快制造业转型升级，提升生产效率、技术水平和产品质量，降低能源资源消耗，实现制造过程的智能化和绿色化发展具有重要意义。

“中国制造 2025”的指导思想是：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创新是制造业发展的灵魂，是转型升级的不竭

动力，必须摆在制造业发展全局的核心位置，要坚持走创新驱动的发展道路，实现从要素驱动向创新驱动的根本转变。李克强总理在政府工作报告中还明确提出，“围绕服务实体经济推进金融改革”，“让更多的金融活水流向实体经济”。加强制造业与金融业的深度融合，加大资本市场对制造业的支持力度，具有重大现实意义和长远战略意义。

三、智能制造的本质

智能制造关键体现的就是智能，如何将智能应用于制造行业，这是一个相对具体的概念，当然广义的智能制造包含更多的理念和思想，甚至超出“制造”本身的一些概念，从市场调研、需求、产品概念设计、原理设计、实体设计、采购、加工、材料性能处理、零部件的性能检测、装配一直到产品报废回收所有过程，包括管理与服务的智能化是智能制造覆盖的全领域。我们从具体、狭义的概念来阐述智能制造的本质。智能制造系统是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统，它在制造过程中能进行智能活动，如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事，去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。作为智能制造主体的智能装备最终要从以人为主要决策核心的人机和谐系统向以机器为主体的自主运行方向转变。如何让装备智能化，是制造系统具有智能的核心要素。人类是智能的源泉，只有体现出人类的智慧，才可以称得上智能。因此，系统必须具备人类眼睛的视觉功能，必须有鼻子的嗅觉功能，必须有耳朵的听觉功能，必须人类对空间、物体甚至气候的感知功能，同时具备由感官获取外界信息后的复杂判断处理功能，而判断处理又必须依据大脑自身的处理能力以及储备知识的应用。

“机器人+数控机床”不是智能制造，它仅仅属于自动化和数字化范畴。具有图像识别或力传感器的机器人和具有位移、振动、温度传感器的数控机床构成的生产系统才属于智能制造范畴。机器人，之所以赋予“人”的概念，更多是人类让他人的形态存在，并实施了一些人类简单动作，真正人类化必须具备强健的人类思维，这才是机器人成为“人”的关键因素。因此制造装备能够感知自我状态和环境变化，进行实时、适当的调整、控制、交互和通信，才算得上智能。通过智能制造体系中各项技术的深度融合，促进装备和产品的智能化，通过信息技术改造和优化制造业全流程，提高企

业生产效率和经济效益，服务于设计、制造、装配、检测等全生命周期的整个制造体系产业链，图 1 为智能制造体系产业链。

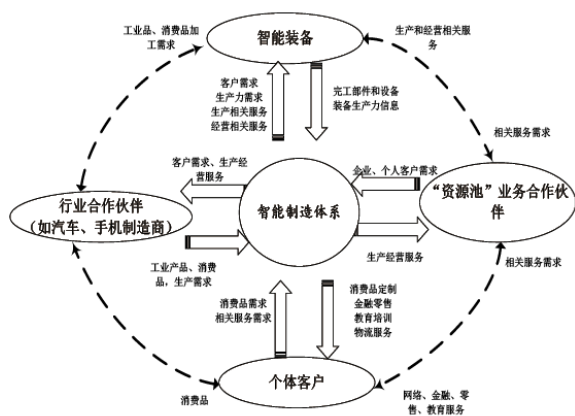


图 1 智能制造服务于产业链图

四、智能制造的关键技术

智能制造作为一个现代制造系统，必须具有像人一样，能去看，去听，去感知这个世界的能力，并有复杂的逻辑思考和判断的能力，能对他所感知的各种环境作出精准的判断和处理。智能制造的本质就是广义的制造过程中加入感知、判断、决策等环节，能体现人类智能的因素融合于计算机、电子信息技术、先进制造和管理技术的全过程。鉴于此，我们认为从本质上讲智能制造是多种关键技术的综合应用，如图 2 所示，主要有如下几个方面。

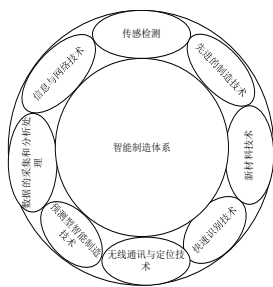


图 2 智能制造体系包含关键技术

1. 先进的传感检测技术

工业传感器核心器件、智能仪器仪表、传感器集成应用等技术在智能制造体系有着关键的作用。对于系统来说，要具备感知这个世界的能力，必须要有各种传感器，如声音、光、图像等，视觉占人类所有传感器输入的 80%，也是困难的一部分感知，它通过将光学信息转换成数字电信号来表示

每个像素点灰度以及颜色进而重现场景中画面。只有这些感知外界的传感器存在，并将相应的信号转换为大脑（计算机系统）可以处理的信号，我们才能展现“智能”。如果智能制造是制造业领域的一场革命，那么它将发轫于各种高端传感器。

2. 先进的制造技术

智能制造离不开制造，目前随着 3D 打印技术的不断进步，打印材料不断实现多样化，如纳米材料、生物材料等，传统制造业模式将被彻底改变。但是作为一种全新的制造手段，其实目前远远没有到大规模实用的阶段。对于金属材料的打印，大部分还是采用金属粉末的激光烧结技术，而不是我们通常想像的有如铸造时铁水来成型零件，因此无论材质的均匀性还是强度无法传统成型零件相比较，同时打印零件，耗时长，后处理工艺复杂等也是当前面临的问题。无论是传统的金属切削加工，还是以 3D 打印为代表的增材制造技术，都必须以高效和实用为原则，能服务于智能、快速、高效为特征的智能制造系统。目前来看，3D 打印技术有待进一步完善，传统制造技术还需在提高效率的基础上，满足多样化的信息接口，融合于以信息流为主导的制造系统。

3. 新材料技术

新材料以轻量化、力学性能优越、便于加工制造、绿色节能为标志，服务于先进的制造成型与制备工艺，是智能制造中的物质基础。以碳纳米材料、碳纤维为标志的工业级新材料必须取得更大的突破，并应用于智能制造系统，完成智能制造的物质材料升级。

4. 快速识别技术

智能制造系统的运行，需要对物件的属性进行识别，才能真正认识该物件，如何快速准确的识别，是实现信息流提取的关键一步，智能制造系统必须实现从物流到信息流的快速、准确的转换提取，这是实现智能的前提之一。RFID 射频识别技术又被称为无线射频识别，这是一种无线通信技术，能够识别无线电信号，且能够读写相关数据信息。在此基础上，发展更便捷和准确的识别技术，成为智能制造系统获取信息流的关键一步。

5. 无线通讯与定位技术

通过基于无线传感网络、RFID、传感器的现场数据采集应用，用无线传感网络对生产现场进行实时监，与生产有关的各种数据，实时传输给控制中心，上传给大数据系统并

进行云计算。机器之间能够相互沟通，彼此交流，那么，许多处理过程就能够更加的高效。可靠的无线通讯技术在系统内保证了信息流的流动和通畅，为智能系统提供了交互与联通的桥梁。实时定位系统会利用光学、声学技术实现定位，表征物体所处的方位和状态，为智能制造系统的控制中枢提供位置信息。

6. 数据的采集和分析处理

从系统里面获取数据是中央处理系统进行控制的关键依据，相关数据也是用户进行产品工艺分析的直接资料。目前的数据采集系统是以基于微处理器和 PLC 逻辑控制器为主的采集系统，稳定性和准确性需要进一步提高，同时还保证与智能系统配套的高端传感器接口，完成数据精准，实施性强的可靠获取。

7. 预测型智能制造技术

智能制造系统的智能诊断和维护也是系统实施的必须要素。随着时间推移，设备磨损、性能衰退，最终导致故障和停机。预测型制造是时刻掌握设备实际“健康”状态，不是在故障发生后去抢修，或过早地将可用的部件进行不必要更换，而是通过预测设备什么时候可能失效，合理安排维修计划，实现“准时”维修，最大限度地提高设备的可用性和延长其正常运行时间。数据分析处理，设备寿命预测数学模型建立，这些关键的数据处理和数学计算方法对提升智能制造有着十分重要的意义。

8. 信息与网络技术

人与人、人与机器设备、设备与设备的通信和交互，构建互通互联的网络环境，使数据流动起来，处理海量数据都需要信息与网络技术的支撑，保证了机器设备高效率运作和与生产管理的协同，这些是智能制造得以实现的载体。

五、智能制造的实现

实现智能制造的核心措施是信息处理和物理过程的深度融合，传统制造过程主要是在实体空间依靠生产设备制造产品，逐步发展为通过移动互联网和物联网进行人与人、人与机、机与机的协同和交互模式；进一步建立物理设备和过程的数字模型，不断进行仿真和优化，提高生产效率和效益。

1. 保证信息系统（虚拟世界）对于现场生产运营系统（现实世界）信息获取的实时性、准确性、全面性。

目前，对生产现场实施全方位的感知检测，布置足够数

量的智能传感器，并进行全面、准确的自动化数据采集。遍布生产线各个关键节点的传感器以及具有通讯能力的控制器对现场的生产情况进行高速采集，这些数据通过网络实时上传到信息系统中，实现现实世界到虚拟世界的精准实时全面的映射。

2. 将来自生产现场的海量数据转化为有效的生产运营改进优化建议。

智能制造的计算机信息管理系统应是基于实时工况数据采集和设备状态反馈的“数据→信息→优化→决策→价值”的闭环系统。面对从生产现场采集来的海量数据，必须建立包括设备数学模型以及生产运营业务的模型，充分的挖掘数据价值，建立从数据到信息，从信息到可执行的优化建议直至反馈调整的长效模式。

3. 完善装备的协同，交互功能。

单个、彼此独立的设备是无法实现大规模的自动化生产的，更谈不上智能化。设备之间必须具备功能强大的与外界的交互功能，才能形成自动衔接的自动化系统，进而组成智能单元。因此设备的通讯功能、设备感知自身和外围环境的传感器以及自我诊断和调整的功能，在智能制造系统中必须得到充分而完整的体现。

六、结语

“工业 4.0”和智能制造是愿景，是人类向往的具备高度“人性化”的制造体系，是目前各种技术的发展到一个较高层次后的全方位综合、集成的应用，它包含更多、更广的，体现人类智慧的单元和模块，但不是一种全新的技术。智能装备是主体，网络是载体，信息是纽带，采集与计算分析是以网络为载体完成信息传递的方法和手段，他们相互融合，构建成一个庞大的智能制造体系，实现期人类期待已久的、十分聪明的生产制造。