

智能制造及其实现途径

■ 同济大学 张 曙

摘要：《中国制造2025》是我国迈向制造强国的纲领性文件，其中指出：“基于信息物理系统的智能装备、智能工厂等智能制造正在引领制造方式变革。”本文从智能制造概念和内涵、关键技术、实现途径以及沈阳机床在云智能制造领域的探索等方面，进行了详实的剖析，并针对我国制造业如何发展智能制造提出一些建议。



智能制造的概念和内涵

什么是智能制造？智能制造是在现代传感技术、网络技术、自动化技术和人工智能的基础上，通过感知、人机交互、决策、执行和反馈，实现产品设计、制造流程、企业管理及服务的智能化；在大数据、云计算和网络的支持下，生产过程自动化并不断融入知识的处理。因此，智能制造是信息技术与制造技术、网络空间和实体空间、软件和硬件的深度融合与集成，通过人与人、人与机器、机器与机器三方面的协同，保证资源利用最大化，从而大幅度提高生产力，如图1所示。

为什么需要智能制造？首先因为客户的需求越来越差异化，个性化或定制化的产品属于单件小批量生产，因此智能制造必须解决的第一个问题是：单件小批量生产如何能达到与大批量生产相近的效率和成

本，构建能生产高质量和个性化产品的智能工厂；其次，在产品的制造、使用和废弃过程中，做到对环境污染小、碳排放低，废弃物可回收再利用和可循环，必须是符合环境友好的绿色制造；再次，智能制造是以人为中心，生产可在城市的花园式工厂中进行，无害健康，让员工离家近，减少上下班交通的时间浪费和能源消耗。其愿景是达到生产技术、生态环境和社会/人三方面的相互和谐共存，从而实现可持续发展，如图2所示。

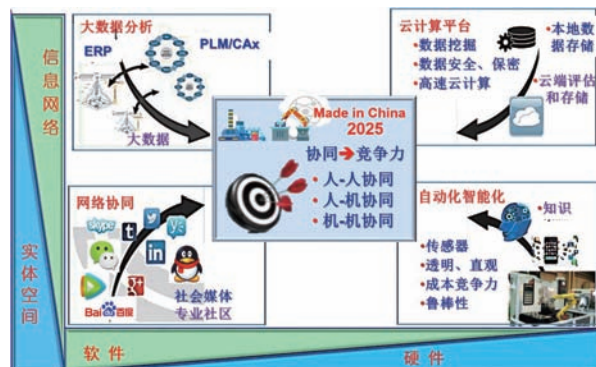


图1 智能制造框架



图2 智能化、绿色化和人性化的生产模式

不同视角的智能制造

智能制造从技术、企业运作和最终用户的不同角度审视，有不同的理解和诉求：

(1) 从技术角度看，传统制造是对物质的加工或处理，将原料转化为产品，是基于经验的制造；智能制造是同时对物质和知识的加工和处理，是基于科学的制造。

(2) 从企业运作角度看，传统制造业是成本中心，通过大批量生产，降低成本，形成竞争力；智能制造是赢利的创新中心，通过客户化定制和满足客户体验而获得更多利润。

(3) 从最终用户角度看，传统制造企业提供的是实物产品和有限的担保；智能制造企业提供的是创新产品全生命周期互联网服务，购买产品转变为购买服务。

面对智能制造大潮来袭，某些概念往往容易混淆，有必要加以澄清：

一是“机器人+数控机床≠智能制造”，它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。如果制造装备不能够感知自我状态和环境变化，进行必要的调整、控制、交互和通信，就算不上智能。

二是“ERP+MES≠智能制造”。依靠人工数据输入的计算机管理系统是开环的、滞后的、不透明和不完全可控的。智能制造的计算机管理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。

三是“互联网+WiFi≠智能制造”。网络是智能制造的基础设施，是信息传输的手段，但绝非产品和服务的内容，离开物理的生产过程和实体设备以及各种软件的支持，互联网什么也不能生产出来。

智能制造核心措施：信息物理深度融合

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。这种虚实对应的生产系统称为信息物理融合系统（Cyber Physics

System，即CPS），其构思如图3所示。



图3 信息物理融合系统的架构

由图3可见，对应于进行物质生产的现实物理系统有一个虚拟的信息系统，它不仅借助建模和仿真优化生产过程，提高资源的利用率，更是物理系统的“灵魂”，实时控制和管理物理系统的生产和运作。物理系统与信息系统之间互动，用虚拟世界支持现实。信息物理融合系统是多维度的智能制造技术体系，以大数据、网络 and 云计算为依托，通过智能感知、分析、预测、优化及协同等技术手段，使计算、通信和控制三者有机融合与协作。将所获取的各种信息与对象的物理性能特征相结合，形成虚拟空间与实体空间深度融合、实时交互、互相耦合、及时更新，在网络空间中构建实体生产系统的虚拟镜像。通过自感知、自记忆、自认知、自决策、自重构的运算和分析，实现实体生产系统的智能化和网络化。

信息物理融合系统使制造模式发生巨大的变化，首先是开启共享经济的新时代，制造设备社会化和工厂全球化，通过“互联网+”，可以把分散在不同地域的设备生产能力组成虚拟的工厂；其次，智能制造设备可以实现操作者与设备在空间上和时间上的分离，对劳动者的要求不是体力而是智力；再次，智能产品不再是仅仅由硬件组成，而是软件和硬件的集成，往往是以“软”为王；最后，虚拟制造空间的重要性将容易凸显，成为利润的源泉。

共享经济的生产模式究竟是什么样的？智能制造借助移动终端和无线通信，虚拟世界和现实世界能够无障碍沟通，使设备和人在空间和时间上可以分离，机器与机器相互之间可以通信，处于不同地点的生产设施可以在云平台上集成一个虚拟智能工厂。可以设想，在统一生产计划系统的指挥调度下，实行柔性工作制，由若干相对独立的CPS制造岛组成的分散网络化制造必将成为一种高效率、省资源、宜人化的先进生产模式。

智能制造的实现途径

1. 数据的采集和处理

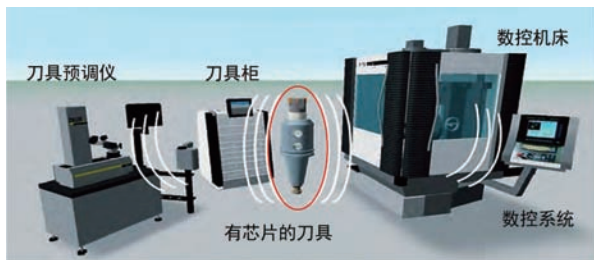
第一步是生产数据的采集和处理。数据是智能制造的“血液”，智能制造能否有成效取决于其“造血”功能的强弱。借助从简单的“扫一扫”条形码、二维码到射频识别（RFID）和各种传感器，感知设备的运行状态和加工对象的质量和数量。产品入库“扫一扫”，来龙去脉、生产过程、所有责任方全知道。智能化程度越高，数据量越大。

2. 互通互联

第二步是人与人、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，保证机器设备高效率运作和与生产管理的协同。例如，刀柄上有RFID芯片，可记录刀具和刀片的规格、推荐切削用量。操作者将其从刀具柜取出时，同时将信息发送给刀具管理部门提醒及时补充。操作者在刀具预调仪进行调整后获得精确的尺寸数据发送给数控系统或编程部门进行编程。机床加工时，芯片记录切削参数和切削时间，计算还有多少剩余寿命，还可加工多少个零件，同时发给操作者和有关部门，如图4a所示。

图4b所示为操作者借助设计从智能机床APP商店下载有关该机床的APP，以提高机床的加工效率、精度和加工质量。图4c所示为检测员将零件的质量检测数据及其统计分析反馈给机床的控制系统、前后道工序以及管理部门，进行必要的修正和调整措施。

随着WiFi宽带、蓝牙近距通信等网络性能的提



(a) 设备与设备的通信



(b) 从应用商店下载APP



(c) 通过WiFi进行产品质量检查和分析

图4 人与人、人与机器、机器与机器的交互和通信

高，基于平板电脑、手机和穿戴设备等基于网络的移动控制方式会越来越普及。与时俱进的触摸屏和多点触控的图形化人机界面将逐步取代按钮、开关、鼠标和键盘。人们能够快速切换屏幕，上传或下载数据，从而大大丰富了人机交互的内容，同时明显降低误操作率。

3. 数据-信息-价值的转化

第三步是从数据、信息到决策的价值转化，数据必须转化为有用的信息，提升人的认知，进行正确的决策，才能够创造价值，智能制造企业信息流的模型如图5所示。

由图5可见，底层是过程和设备，包括各种传感器、执行器和设备，每时每刻都产生大量数据，通过无线局域网、蓝牙等近距通信网络，借助车间的设备控制系统转化为信息。如何汇总到工厂的生产控制室，进行统计分析，并以图表形式加以可视化，便于人对市场情况进行认知，最后在企业层面做出决策。企业的决策以动态的企业资源规划（ERP）体现，随后形成制造执行系统去指挥和管理生产过程。由于互联网、物联网和WiFi全覆盖，各级管理系统之间皆有通信层连接，保证了生产的透明化。

4. 预测型智能制造

智能制造的困扰是设备和装置的失效，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，意外停机时间损失甚至有可能降低70%。

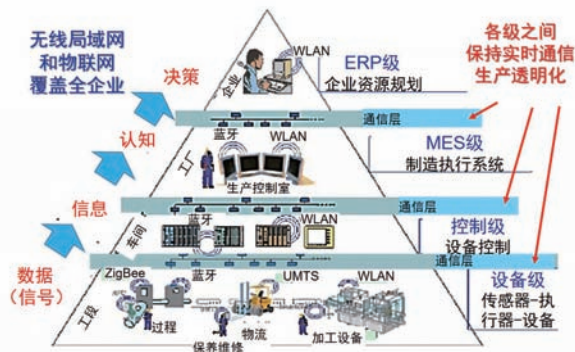


图5 数据-信息-价值的转化

图6所示为预测型智能制造的信息框架。将物理空间的机床和生产数据以及各级管理系统的数据分类采集在云端建立数据库，构建由虚拟机床1、虚拟机床2和虚拟机床n组成的虚拟生产系统，对每一台机床建立健康模型。借助智能制造检测工具箱和机床监控知识库，将所采集的数据进行处理，把设备性能的衰退模式和实时状态评估与加工过程控制结合起来，进行监控评估、故障诊断和可用性预测，即可输出整个生产系统的可视化报告，包括性能衰退曲线、故障地图及风险雷达图等。从而在设备或系统性能随时间变化的情况下，保证产品质量的稳定，实现“无故障忧虑”的制造。

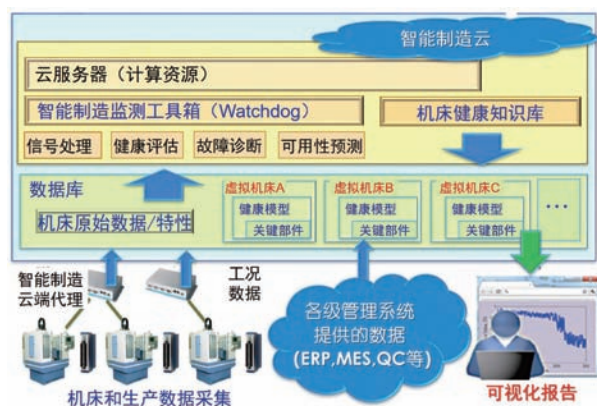


图6 预测型智能制造的框架

案例：iSESOL云协同制造平台

智能云科iSESOL是由沈阳机床集团、神州数码和光大金控三方共同投资打造的互联网云制造服务平台，旨在以“工业4.0”和“互联网+”理念为框架，智能数控设备为基础，高端工业服务为途径，整合广泛社会资源，打造社会化协同的云制造服务平台，为企业和个人客户群体提供一站式的云制造服务，从而形成一个全新的制造生态系统，引领生产模式的创新。

iSESOL云协同制造平台聚焦机械加工行业，依托i5智能控制技术，广泛聚集社会优质产能，穿透生产过程的每个环节，使客户订单直达生产装备，颠覆现有产能交易方式。通过云工厂管理系统实现多地域、多组织、多设备、多工序的协同制造，打造社会化、全球化的工厂，创造分享经济时代下的智能制造新生态。支持多种i5智能机床联网接入方案，并为联网在线的i5智能机床提供运行状态监控、生产排程、

作业指导书管理与分发、告警上报、借助先进的i5智能机床联网技术，实现需求直达生产装备。订单完成度、工艺路径、生产装备和工序进度全程可视可控。拥有参数更新、系统升级等众多增值服务，全面提升生产智能化水平，其基本概念如图7所示。

截至2016年7月，已有2 410台i5 M系列和T系列智能机床联网，累计服务机时达135 860h，其中包括i5 M1智能机床956台和i5 T1智能机床803台，开机率分别达到72%和75%，大大提高了设备利用率。



图7 iSESOL云协同制造平台的基本概念

结语

“工业4.0”和智能制造是愿景，开始走向现实，其核心是基于物联网和无线通信的信息物理融合系统，对企业来说是机遇，但千万不能一窝蜂“大干快上”。新理念的过分炒作，往往导致非理性的盲目追赶和无效投入。

中国制造业当前首要任务是加快“工业2.0”和“工业3.0”的进程，提高产品的质量和可靠性，从模仿和山寨圈子里跳出来，致力于创新，尽快掌握核心技术、关键元器件和软件的自主知识产权，才能成为世界玩家，一味追求“跨越”是不可取的。

德国有近200年工业化的基础，“工业4.0”是为提升德国竞争力制定的战略，可以借鉴，不能照搬。我国企业应深刻理解智能制造的内涵，明确概念，了解其现状和发展趋势，从战略高度和全球视角出发，认识自己面临的问题和需求，把握好自己的节奏，汲取智能制造优秀企业的经验，结合国情制定切合实际的战略规划，积极探索中国式“工业4.0”的发展道路，直面挑战，才能真正地实现智能制造。

参考文献：

- [1] 张曙. 智能工厂的概念、现状和趋势[J]. 机械工程师, 2015, (4): 1.

MW (收稿日期: 20160809)