

# 对智能制造内涵与十大关键技术的系统思考

## The Connotation and 10 Key Technologies of Smart Manufacturing

黄培/HUANG Pei

(武汉制信科技有限公司, 湖北 武汉 430223)  
(e-works Technology Co. Ltd., Wuhan 430223, China)

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 05-0007-04

**摘要:** 剖析了智能制造的内涵和其 10 项关键技术。认为智能产品与智能服务可以帮助企业带来商业模式的创新; 智能装备、智能产线、智能车间和智能工厂可以实现生产模式的创新; 智能研发、智能管理、智能物流与供应链可以实现运营模式的创新; 而智能决策则可以帮助企业准确决策。同时还结合若干典型案例, 分析了智能制造技术发展趋势和推进策略。

**关键词:** 智能制造; 工业互联网; 物联网

**Abstract:** In this paper, the connotation and 10 key technologies of smart manufacturing are introduced. Smart product and smart service can bring business model innovation; smart machine, smart production line, smart workshop and smart factory can bring production model innovation; smart R&D, smart management and smart logistics can realize operation model innovation; smart decision making can realize accurate decisions. Based on several case studies, we analyze the trend of smart manufacturing and provide the strategy of deploying smart manufacturing.

**Keywords:** smart manufacturing; industrial Internet; Internet of things

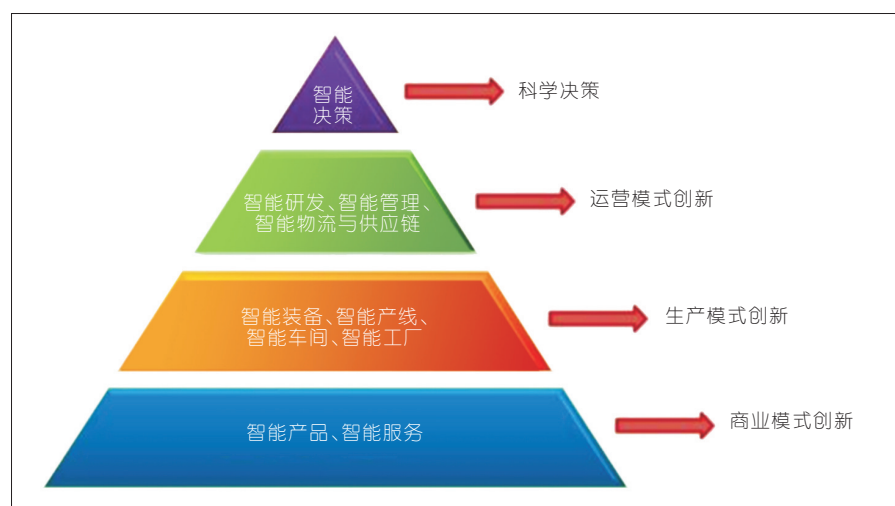
### 1 智能制造的内涵

智能制造是中国制造 2025 的主攻方向, 是实现中国制造业由大到强的关键路径。当前, 中国正在大力推进智能制造, 已连续两年支持智能制造专项项目, 发布了智能制造的标准体系。那么, 智能制造的内涵是什么? 我们认为, 智能制造的目标是整个制造企业价值链的智能化, 是信息化与工业化深度融合的进一步提升。智能制造融合了信息技术、先进制造技术、自动化技术和人工智能技术。目前, 智能制造的“智能”还处于 Smart 的层次, 智能制造系统具有数据采集、数据处理、数据分析能力, 能够准确执行指令, 实现闭环反馈; 智能制造的趋势是真正实现“Intelligent”, 智能制造系统能够实现自主学习、自主决策和不断优化。

智能制造有 10 项关键技术, 形成了 4 层的金字塔, 如图 1 所示。其中, 智能产品与智能服务可以帮助企业带来商业模式的创新; 智能装备、智

能产线、智能车间和智能工厂可以实现生产模式的创新; 智能研发、智能

管理、智能物流与供应链可以实现运营模式的创新; 而智能决策则可以帮助



▲ 图 1 智能制造的关键技术

收稿时间: 2016-07-22  
网络出版时间: 2016-09-06

助企业科学决策<sup>[1-3]</sup>。

## 2 智能制造的十大关键技术

### 2.1 智能产品

智能产品具有记忆、感知、计算和传输功能。典型的智能产品包括智能手机、智能可穿戴设备、无人机、智能汽车、智能家电、智能售货机等。企业应该思考如何在产品上加入智能化的单元,提升产品的附加值。比如在工程机械上添加传感器,可以对产品进行定位和关键零部件的状态监测,从而为实现智能服务打下基础。

美国 Bigbelly Solar 公司发布的智能垃圾桶(如图 2 所示)集太阳能、物联网、高效压缩机为一体,垃圾快倒满时,压缩机会在 40 s 内将垃圾的体积压缩至原来的 1/5,垃圾箱快满时自动联网发送垃圾桶已满及地理位置等信息至垃圾处理中心。处理中心的系统根据各个垃圾桶发回的数据分析,规划最佳回收路线和时间。该公司还在垃圾桶上安装 WiFi 部件,将垃圾桶变为公共的 WiFi 热点,加速了智能城市的发展进程。

### 2.2 智能服务

智能服务可以通过物联网感知产品的状态,从而进行预测性维修维护,及时帮助客户更换备品备件;可以通过了解产品运行的状态,帮助客

户带来商业机会;还可以采集产品运营的大数据,辅助企业进行市场营销的决策。企业开发面向客户服务的 APP,也是一种智能服务,可以针对客户购买的产品提供有针对性的服务,从而锁定用户,开展服务营销。

罗尔斯·罗伊斯公司推出针对其航空发动机产品的 Total Care 包修服务,按飞行小时收费,确保航空公司的飞行可靠性和在翼飞行时间,实现了与航空公司的双赢。该公司能够实现按服务绩效收费的基础是强大的传感与物联网技术。个性化定制也属于一种智能服务。创业公司 Yooshu 提供个性化定制服务,通过激光三维扫描仪扫描,再进行逆向工程获得三维曲面模型,然后通过工业机器人加工出符合客户脚形的舒适的沙滩鞋。

### 2.3 智能装备

智能装备具有检测功能,可以实现在机检测,从而补偿加工误差,提高加工精度,还可以对热变形进行补偿。以往一些精密装备对环境的要求很高,现在由于有了闭环的检测与补偿,可以降低对环境的要求。智能装备应当提供开放的数据接口,能够支持设备联网。

日本 MAZAK 的智能机床配备了针对加工热变位、切削震动、机床干涉、主轴监测、维护保养、工作台动态平衡性及语音导航等智能化功能,可

以自行监测控制机床运转状态,并进行自主反馈,从而大幅度提高机床运行效率及安全性。德玛吉森精机推出最新的复合加工中心 LaserTec65 已经融合了增材制造和减材制造,可以通过激光堆焊的增材制造工艺快速制造毛坯,在通过传统的切削方式进行精加工。ABB 推出的双臂机器人 YUMI 拥有 14 轴(如图 3 所示),双臂可以协同工作,带有机器视觉功能。

### 2.4 智能产线

钢铁、化工、制药、食品饮料、烟草、芯片制造、电子组装、汽车、轴承等行业的企业高度依赖自动化生产线,实现自动化的加工、装配和检测,但是装备制造企业目前还是以离散制造为主。很多企业的技术改造重点就是建立自动化的生产线、装配线和检测线。很多汽车整车厂已实现了混流装配,在一条装配线上可以同时装配多种车型。食品饮料行业的自动化生产线可以根据工艺配方调整分布式控制系统(DCS)或可编程逻辑控制器(PLC)系统来改变工艺路线,从而生产多种产品。汽车、家电、轨道交通等行业的企业对生产和装配线进行自动化和智能化改造需求十分旺盛,很多企业在逐渐将关键工位和高污染工位改造为用机器人进行加工、装配或上下料。西门子成都电子工厂通过在产品的托盘上放置射频识别(RFID)芯片,识别零件的装配工艺,可以实现不同类型产品的混线装配,如图 4 所示。

智能产线的特点是:在生产和装配的过程中,能够通过传感器或 RFID 自动进行数据采集,并通过电子看板显示实时的生产状态;能够通过机器视觉和多种传感器进行质量检测,自动剔除不合格品,并对采集的质量数据进行统计过程控制(SPC)分析,找出质量问题的成因;能够支持多种相似产品的混线生产和装配,灵活调整工艺,适应小批量、多品种的生产模式;针对人工工位,



◀图 2  
Bigbelly 智能垃圾桶



◀图3  
ABB YUMI 双臂智能  
机器人



◀图4  
西门子成都电子工厂  
的智能总装线

进行防呆设计, 给予提示。

### 2.5 智能车间

要实现车间的智能化, 需要对生产状况、设备状态、能源消耗、生产质量、物料消耗等信息进行实时采集和分析, 进行高效排产和合理排班, 显著提高设备利用率(OEE)。因此, 制造执行系统(MES)成为企业的必然选择。对于药品、食品等行业, 国家有强制性的追溯要求, 需要通过GMP等行业认证, 推进MES更加紧迫。数字化制造(DM)技术可以帮助企业在建设新厂房时, 科学地进行设备布局, 提升物流效率, 提高工人的舒适程度。MES可以帮助企业显著提升设备利用率, 提高产品质量, 实现生产过程可追溯, 提高生产效率。智能车间必须建立有线或无线的工厂网络, 能够实现生产指令的自动下达和设备与产线信息的自动采集。实现车间的无纸化, 也是智能车间的

重要标志, 通过应用三维轻量化技术和工业平板和触摸屏, 可以将设计和工艺文档传递到工位。

数字映射技术可以将MES系统采集到的数据在虚拟的三维车间模型中实时地展现出来, 而且还可以显示设备的实际状态, 实现虚实融合。智能车间还有一个典型应用, 视频监控控制系统不仅记录视频, 还可以对车间的环境, 人员行为进行监测控制、识别与报警。例如, 有工人没有带安全帽, 进入了不允许进入的区域, 或者倒地, 都可以自动报警。这方面, 三星已经有了成功实践。此外, 智能车间应当在温度、湿度、洁净度的控制和工业安全(包括工业自动化系统的安全、生产环境的安全和人员安全)等方面达到智能化水平。

### 2.6 智能工厂

仅有自动化生产线和工业机器人还不是智能工厂。智能工厂不仅

生产过程应实现自动化、透明化、可视化、精益化, 产品检测、质量检验和分析、生产物流也应当与生产过程实现闭环集成。一个工厂的多个车间之间要实现信息共享、准时配送、协同作业。一些离散制造企业也建立了生产指挥中心, 对整个工厂进行指挥和调度, 及时发现和解决突发问题, 这也是智能工厂的重要标志。智能工厂需要应用企业资源计划(ERP)系统制定多个车间的生产计划, 并由MES系统根据各个车间的生产计划进行详细排产, MES排产的粒度是天、小时, 甚至分钟。

三星开展了移动工厂的实践, 工人可以通过智能手机查询工单, 可以开视频会议, 维修人员碰到疑难问题, 可以通过手机视频寻求专家解答, 还给智能手机配备了RFID和条码扫描的接口, 这也是一个智能工厂的创新实践。还有一些企业实现了智能刀具管理, 在刀柄上植入RFID芯片, 对刀具的全生命周期进行管理, 从而提高刀具使用寿命。智能检测也很重要, 检测仪器的检测结果可以自动录入信息系统。增强现实(AR)技术也将在智能工厂大显身手。工人带上AR眼镜, 就可以“看到”需要操作的工作位置, 从而提高作业人员的工作效率。美国GE公司宣布将工业互联网平台Predix开放, 提出了卓越制造理念。

### 2.7 智能研发

离散制造企业在产品研发方面, 已经应用了计算机辅助设计(CAD)/计算机辅助制造(CAM)/计算机辅助工程(CAE)/计算机辅助工艺过程设计(CAPP)/电子设计自动化(EDA)等工具软件和产品数据管理(PDM)/产品周期管理(PLM)系统, 但是很多企业还处于二维CAD和三维CAD软件混用的阶段, 存档依然是二维, 没有实现全三维设计; 应用仿真技术仍然处于事后验证, 没有实现仿真驱动设计; 虽然应用了PDM系统, 但还没有



建立企业内部的通用件库,重用率低;对工程/制造/服务物料清单(BOM)的管理不到位。企业需要深入应用仿真技术,建立虚拟数字化样机,实现多学科仿真,通过仿真减少实物试验;贯彻标准化、系列化、模块化的思想,以支持大批量客户定制或产品个性化定制;应当将仿真技术与试验管理结合起来,以提高仿真结果的置信度。流程制造企业也已经开始应用PLM系统实现工艺管理和配方管理。

在产品研发领域,已经出现了一些智能化软件。例如Geometric的DFM PRO软件可以自动判断三维模型的工艺特征是否可制造、可装配、可拆卸;CAD Doctor软件可以自动分析三维模型中存在的问题;基于互联网与客户、供应商和合作伙伴协同设计,也是智能研发的创新形式;拓扑优化技术可以在满足产品功能的前提下,减轻结构的重量;系统仿真技术可以在概念设计阶段,分析与优化产品性能;PLM向前延伸到需求管理,向后拓展到工艺管理,例如西门子Teamcenter Manufacturing系统可以建立工艺过程清单(BOP),更好地实现典型工艺的重用;索为高科和金航数码合作,开发了面向飞机机翼、起落架等大部件的智能设计系统,可以大大提高复杂产品设计效率。数字映射技术可以将实际产品中传感器采集的数据,传递到对应的产品数字模型,再通过虚拟仿真和优化,提升产品性能。

### 2.8 智能管理

ERP是制造企业现代化管理的基石。以销定产是ERP最基本的思想,物料需求计划(MRP)是ERP的核心。制造企业核心的运营管理系统还包括人力资产管理系统(HCM)、客户关系管理系统(CRM)、企业资产管理系统(EAM)、能源管理系统(EMS)、供应商关系管理系统(SRM)、企业门户(EP)、业务流程管

理系统(BPM)等。为了统一管理企业的核心主数据,近年来主数据管理(MDM)也在大型企业开始部署应用。实现智能管理的前提条件是基础数据的准确性和主要信息系统无缝集成。

智能管理主要体现在各类运营管理系统与移动应用、云计算、电子商务和社交网络的集成应用。例如移动版的CRM系统可以自动根据位置服务确定销售人员是否按计划拜访了特定客户;一些消费品制造企业开展全渠道营销,实现了多个网店系统与ERP无缝集成,自动派单。主流电梯制造企业纷纷研发销售配置器软件,销售人员可以根据客户需求进行产品配置,快速报价。BPM软件可以实现对业务流程进行建模,实现业务流程的可视化、模拟与优化,也是一个典型的智能管理应用。制造企业已经开始应用基于公有云的人力资源招聘、绩效和人才管理系统。例如,广东生益科技就很好地应用了SAP的Success Factors软件,完全基于公有云。

### 2.9 智能物流与供应链

制造企业越来越重视物流自动化,自动化立体仓库、无人引导小车(AGV)、智能吊挂系统得到了广泛应用,智能分拣系统、堆垛机器人、自动辊道系统的应用日趋普及。仓储管理系统(WMS)和运输管理系统(TMS)也受到制造企业普遍关注。其中,TMS系统涉及到全球定位系统(GPS)定位和地理信息系统(GIS)的集成,可以实现供应商、客户和物流企业三方的信息之间的共享,可以基于云服务。

实现智能物流与供应链的关键技术包括自动识别技术、GIS/GPS技术、电子商务、电子数据交换(EDI),以及供应链协同计划与优化技术。EDI技术是企业间信息集成的必备手段,信息交互无需人工干预。而很多大型企业建立的供应商门户,供应商

只能手工查询。供应链协同计划与优化是智能供应链的核心技术,可以实现供应链的同步化,同时可以消除牛鞭效应。

### 2.10 智能决策

企业在运营过程中,产生了大量来自各个业务部门和业务系统的核心数据,这些数据一般是结构化的数据,可以进行多维度分析与预测,这是业务智能(BI)的范畴。内存计算是BI的重要支撑。目前,很多BI软件都能够实现移动应用。同时,制造企业有诸多大数据,包括生产现场采集的实时生产数据、设备运行的大数据、质量的大数据、产品运营的大数据、电子商务带来的营销大数据,以及来自社交网络的与公司有关的大数据等,对工业大数据的分析需要引入新的分析工具。IBM推出的认知计算代表了智能决策的前沿方向。三一重工集团借助大数据和物联网技术,将工程机械通过机载控制器、传感器和无线通信模块进行实时采集,通过对大数据进行多维度分析和预测,使“挖掘机”指数成为中国经济运行的晴雨表,如图5所示。

## 3 智能制造技术发展趋势和推进策略

在智能制造大潮下,信息化与自动化厂商的界限变得越来越模糊;未来工业机器人的发展趋势是人机融合;在满足零件的强度要求前提下,通过将增材制造与拓扑优化等技术相结合,可以制造出内空的零件,重量甚至可以减少70%;物联网技术在实现设备数据采集的基础上,可以进行分析与优化,并与应用软件集成,例如某台设备出现故障,车间排产软件自动不排该设备;AR技术在生产制造、设备安装、培训、维修维护等环节将日益普及。

实现智能制造的核心是数据和集成,基础数据要准确,信息系统之

➔下转第16页