CMES 中国机械工程学会

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

http://www.cmes.org

2018 年第 4 期 总第 197 期

大力发展设计软件 p01

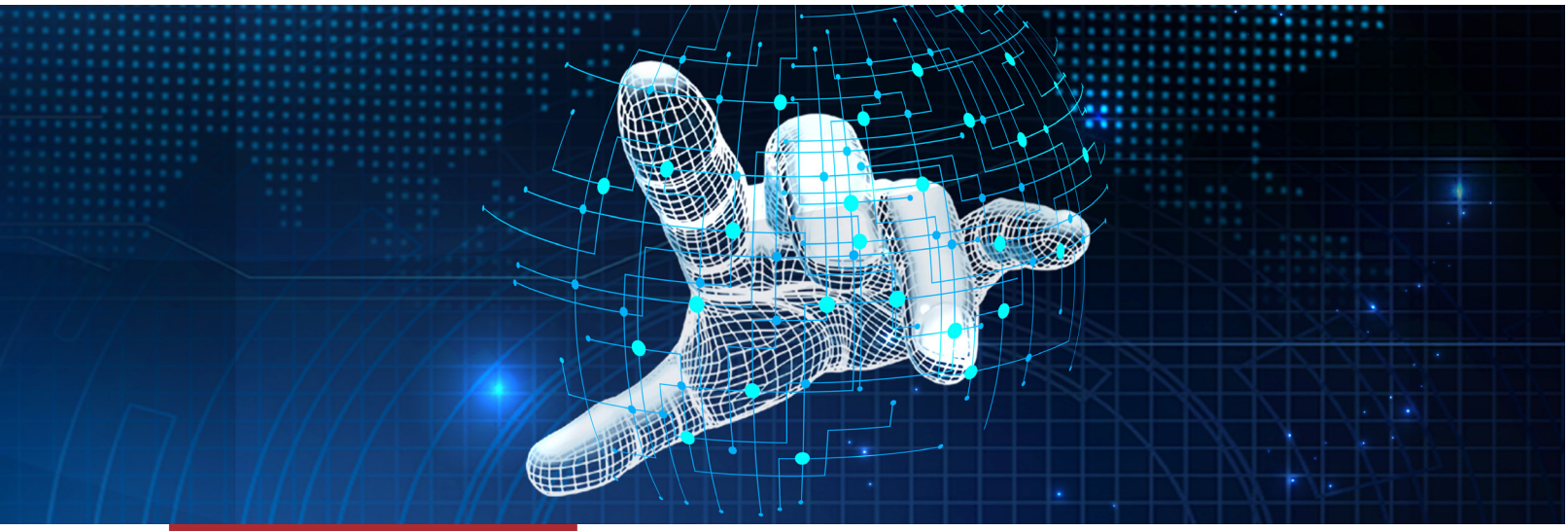
智能工厂的现状与发展趋势分析 p03

伟大的变革：现代制造业（四） p08

制造企业转型升级的策略与路径 p26

中国智造 行稳致远——2018 中国智能制造报告 p36

目 录
CONTENTS



机械工程导报
MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2018 年第 4 期（总第 197 期）
2018 年 8 月 28 日出版

主办：中国机械工程学会工作总部
地址：北京市海淀区首体南路9号
主语国际4号楼11层
邮编：100048
电话：010-68799036（编辑部）
传真：010-68799050
E-mail：zhongyg@cmes.org
网址：www.cmes.org
主编：陈超志
责任编辑：钟永刚
出版：《机械工程导报》编辑部
发行：中国机械工程学会工作总部

专家视点 EXPERT OPINION

大力发展设计软件 1
智能工厂的现状与发展趋势分析 3
伟大的变革：现代制造业（四） 8

热点关注 CURRENT POINT

制造企业转型升级的策略与路径 26
中国智造　行稳致远——2018 中国智能制造报告 36

学会资讯 CMES INFORMATION

走进中国动力谷　助力强劲动力“芯”——中国机械工程学会走进株洲·中国动力谷系列活动隆重举行 50
中国机械工程学会第十一届四次常务理事会（扩大）会议在株洲召开 53

大力发展设计软件

中国机械工程学会　张彦敏

2017 年我国软件交易已超过 5.5 万亿元，软件行业增长率达 13.9%。其中与制造业相关的占 7 成以上。对于制造业而言，软件设计包括工业嵌入式软件、设计工具软件、监测控制与管理软件，以及知识产权保护、内容软件、用户界面 UI 等。其中具有核心基础的、通过软件与制造硬件结合形成附加值的是设计工具软件：既包括传统的机械设计软件 CAD、电子设计自动化软件 EDA 和各类仿真软件，也包括伴随着设计研发、生产制造和服务使用过程等产品全生命周期形成的海量知识库。通过设计工具软件与芯片、新材料、航空发动机等重点产业紧密结合同步发展，从源头上提升我国制造业自主创新能力，从根本上解决中国制造短板和卡脖子问题。

一、中国缺芯是心中之痛，缺设计软件是心中之刺

中兴事件暴露出来的表面看是芯片问题，但是其更加致命软肋是设计软件。在美国商务部宣布对中兴断供的时候，一家美国电子设计软件 EDA 公司发表声明，不再为中兴提供电子设计软件。中兴 2017 年进口芯片在百亿美元的规模，这家设计软件公司的产品只占百万美元左右。然而这种连采购额零头都不到的软件一旦断供，那些巨量进口的芯片也将无用武之地，因为没有电子设计自动化 EDA，芯片是根本无法完成设计的。实际上在整个电子半导体行业，没有 EDA 软件的支撑，硬件上展现的摩尔定律奇迹根本无法持续。中国缺芯是看得见的痛；而设计软件的缺失，则是一根心头之刺：很痛，但一般人往往看不到。

二、设计软件被国外垄断，后果十分严重

我国每年设计软件市场采购规模 120 亿元。其中我国设计软件销售额是 6 亿元，绝大部分市场被美国、德国、法国的 Ansys、欧特克、西门子、达索等公司垄断。国外设计软件垄断的后果十分严重：一是安全性，软件都会有“后门”，而在产品设计与制造领域，基本是完全洞开的大门，大量使用国外设计软件，使国家安全受到威胁；二是依赖性，设计软件呈现数据自封闭的态势，并且与各种知识库连在一起，长期使用国外软件造成无法摆脱的工具与数据依赖性，将来更换系统和数据迁移都是几乎不可能完成的任务；三是致命性，在国外软件中，并不完全清楚都有什么代码存在，也不知道特定情况下会有什么事情发生，这是容易完全失控的数字空间，而目前中国的工业体系正是建立在这个数字空间之上，这一隐患是致命的。另外，我国企业花费巨额软件采购费用，却是授权限时使用。国外的一些高端软件（如 CATIA）是按 6 个月或者 1 年时间授权的，现在国外软件正在向“年度订阅”而不是一次性授权的方式转变。如同掐在中国企业脖子上的一双手，随时可以掐紧。一旦不再授权，将对我国的制造业造成“毁灭性的”打击。

三、美国政府高度重视与支持研发设计仿真软件

美国最早发展 CAE 仿真软件是从美国航空航天局 NASA 开始。在国家资金的支持下，NASA 开发了著名的有限元分析软件 Nastran。1971 年 MSC 公司改良了 Nastran 这个程序，成为美国仿真软件的商业化开端，并随后按照要求被公开源代码，进行行业扩散。在“再工业化”浪潮中，美国政府尤其重视建模仿真技术在制造业发展中的作用，再次明确了 CAE 产业的战略地位。2009 年美国“竞争力委员会”白皮书《美国制造业——依靠建模和模拟保持全球领导地位》，将建模、

模拟和分析的高性能计算，视为维系美国制造业竞争力战略的王牌。

2010 年发布《高性能计算与美国制造业圆桌会议报告》白皮书，指出高性能计算建模与模拟能够显著缩短设计周期等，加强竞争力。2011 年美国推出高端制造合作伙伴计划 AMP，重构先进制造发展理念，重点发展三大领域，都围绕数值模拟技术的软件工具和软件应用平台。2012 年发布《国家先进制造战略计划》再次明确要重点发展数值模拟分析技术。

在国家战略层面，美国确实是把科学计算和建模仿真作为服务于国家利益的关键技术，从未停止呐喊，从未停止投资。作为美国软件的国家摇篮，美国 NASA 从 2014 年起开始发布软件转化目录，以软件为载体，向工业界进行技术转化。该目录包含了 15 个技术领域，每两年更新一次，目前大约有 2200 多种技术软件正处于转化流程中。这个建立在大量实践基础上的务实创新，是一个巨大的孵化航母。从 2009 年起，NASA 已经通过各种形式向工业界转化了 5000 多个软件项目，降低软件获取门槛。

四、中国设计软件的尴尬局面

我国国产 CAD/CAE 软件的开发，可以追溯到 20 世纪 80 年代。在国家支持下，以北航、清华为代表的一批高校和科研人员开始做相关的软件开发。国内第一代从事 CAD 软件开发出现了一批标志性人物，清华、浙大、北航、南航、西工大、华中、大工等一批高校先后开展 CAD/CAE 软件自主研发，取得了一些研究成果，曾经取得了百花齐放的大好局面。

但随着当年 863 计算机集成制造系统 CIMS 在中国的推动，大量好用、易用、功能强大的国外设计软件进入市场，迅速占领了这个领域。由于我国软件的开发以大学为主体，以高校教师和学生为主力，缺乏商业化的市场推广和运营机制，随着时间流逝和人员变动，这些国产软件最终走向下坡路。只剩下少数设计软件厂商还在苦苦支撑。国产设计软件未能在最好的时间窗口完成公共品软件的商业转化，痛失与中国制造业共进共发展的良机。

五、发展设计软件的几点建议

1. 高度重视设计软件的战略地位，做好顶层设计，加强统筹协调。把发展设计软件作为重要的国家战略，彻底改变中国制造业重硬轻软的现状，软件应该从战略定位为“制造之重器”。由于发展设计软件涉及到产业、用户和高校等多个主体，而且需要从产业政策、舆论导向、资金扶持等各方面长期持续支持。建议设立“制造强国设计软件工作组”，制定设计软件发展路线图，统筹规划、协调发展。

2. 强化企业发展设计软件的主体地位。进入智能制造时代，软件能力是一个企业是否强大的核心标志。西门子最近十年通过近 30 次并购使自己脱胎换骨，从一个纯设备供应商转型为数字时代的软件霸主，成为欧洲第二大软件商。波音公司有 8000 多种软件，其中有 7000 多种是波音自己开发的，设计软件成为波音公司核心竞争力。中国整个工业体系基本都是围绕设备和硬件建立起来，软件一直没有受到应有的重视。中国企业必须把发展设计软件作为转型升级的重要任务，“软硬兼施”才有可能成为世界级企业。

3. 建设国家设计软件的公共知识库共享平台。国外类似发动机尖端制造业，都有大量的叶片测试、材料测试等数据库，很好地支撑了高端制造业的发展。而中国相关数据不多，且分散在各企业和院校中。国家投资的基础科研数据，不能共享是一个普遍现象。工程数据的缺乏，大大限制了中国设计软件的发展。建议对国家投入经费的数据接口、知识模板、数据中心建立数据对外开放机制。对企业数据库、知识库建立协同共建共享机制。

4. 针对中国制造的短板和卡脖子问题，开展协同攻关，实现核心设计软件重点突破，促进从中国制造到中国创造的根本转变。设计软件是用出来的，只有用户的反复使用和反馈，设计软件才能真正发展。世界最著名的设计软件，法国达索 PC 机上的第一个版本，是在中国新飞豹战机研制过程中率先使用并成熟起来，后来连波音公司都到中国来学习使用。当年西飞为达索公司提供了大量的用户意见，成为该软件迅速发展起来的关键性因素。建议选择芯片、航空发动机、新材料等短板和卡脖子领域，推动设计软件公司、应用企业和高校紧密结合，协同发展。可以将专业设计软件公司为支持主体，同时积极吸引用户企业的参与使用和意见反馈，而高校等科研机构可以从底层算法、人才池等方面给予支持。MT

智能工厂的现状与发展趋势分析

武汉制信科技有限公司 黄培 孙亚婷

近年来，智能制造热潮席卷神州大地，成为推进“中国制造2025”国家战略最重要的举措。其中，智能工厂（Smart Factory）作为智能制造重要的实践领域，已引起了制造企业的广泛关注和各级政府的高度重视。本文将分析国内外智能工厂建设的现状与问题，智能工厂的内涵以及推进智能工厂建设的成功之道。

一、国内外智能工厂建设的现状分析

近年来，全球各主要经济体都在大力推进制造业的复兴。在工业4.0、工业互联网、物联网、云计算等热潮下，全球众多优秀制造企业都开展了智能工厂建设实践。

例如，西门子安贝格电子工厂实现了多品种工控机的混线生产；发那科公司实现了机器人和伺服电机生产过程的高度自动化和智能化，并利用自动化立体仓库在车间内的各个智能制造单元之间传递物料，实现了最高720小时无人值守；施耐德电气实现了电气开关制造和包装过程的全自动化；美国哈雷戴维森公司广泛利用以加工中心和机器人构成的智能制造单元，实现大批量定制；三菱电机名古屋制作所采用人机结合的新型机器人装配产线，实现从自动化到智能化的转变，显著提高了单位生产面积的产量；全球重卡巨头MAN公司搭建了完备的厂内物流体系，利用AGV装载（图1）进行装配的部件和整车，便于灵活调整装配线，并建立了物料超市，取得明显成效。

当前，我国制造企业面临着巨大的转型压力。一方面，劳动力成本迅速攀升、产能过剩、竞争激烈、客户个性化需求日益增长等因素，迫使制造企业从低成本竞争策略转向建立差异化竞争优势。在工厂层面，制造企业面临着招工难，以及缺乏专业技师的巨大压力，必须实现减员增效，迫切需要推进智能工厂建设。另一方面，物联网、协作机器人、增材制造、预测性维护、机器视觉等新兴技术迅速兴起，为制造企业推进智能工厂建设提供了良

图1 德国MAN工厂利用AGV作为部件和整车装配的载体

好的技术支撑。再加上国家和地方政府的大力扶持，使各行业越来越多的大中型企业开启了智能工厂建设的征程。

我国汽车、家电、轨道交通、食品饮料、制药、装备制造、家居等行业的企业对生产和装配线进行自动化、智能化改造，以及建立全新的智能工厂的需求十分旺盛，涌现出海尔、美的、东莞劲胜、尚品宅配等智能工厂建设的样板。

例如，海尔佛山滚筒洗衣机工厂可以实现按订单配置、生产和装配，采用高柔性的自动无人生产线，广泛应用精密装配机器人，采用 MES 系统全程订单执行管理系统，通过 RFID 进行全程追溯，实现了机机互联、机物互联和人机互联；尚品宅配实现了从款式设计到构造尺寸的全方位个性定制，建立了高度智能化的生产加工控制系统，能够满足消费者个性化定制所产生的特殊尺寸与构造板材的切削加工需求；东莞劲胜全面采用国产加工中心、国产数控系统和国产工业软件，实现了设备数据的自动采集和车间联网，建立了工厂的数字映射模型（Digital Twin），构建了手机壳加工的智能工厂。

但是，我国制造企业在推进智能工厂建设方面，还存在诸多问题与误区。

①盲目购买自动化设备和自动化产线。很多制造企业仍然认为推进智能工厂就是自动化和机器人化，盲目追求“黑灯工厂”，推进单工位的机器人改造，推行机器换人，上马只能加工或装配单一产品的刚性自动化生产线。只注重购买高端数控设备，却没有配备相应的软件系统。

②尚未实现设备数据的自动采集和车间联网。企业在购买设备时没有要求开放数据接口，大部分设备还不能自动采集数据，没有实现车间联网。目前，各大自动化厂商都有自己的工业总线和通信协议，OPC UA 标准的应用还不普及。

③工厂运营层还是黑箱。在工厂运营方面还缺乏信息系统支撑，车间仍然是一个黑箱，生产过程还难以实现全程追溯，与生产管理息息相关的制造 BOM 数据、工时数据也不准确。

④设备绩效不高。生产设备没有得到充分利用，设备的健康状态未进行有效管理，常常由于设备故障造成非计划性停机，影响生产。

⑤依然存在大量信息化孤岛和自动化孤岛。智能工厂建设涉及到智能装备、自动化控制、传感器、工业软件等领域的供应商，集成难度很大。很多企业不仅存在诸多信息孤岛，也存在很多自动化孤岛，自动化生产线没有进行统一规划，生产线之间还需要中转库转运。

究其原因，是智能制造和智能工厂涵盖领域很多，系统极其复杂，企业还缺乏深刻理解。在这种状况下，制造企业不能贸然推进，搞“大跃进”，以免造成企业的投资打水漂。应当依托有实战经验的咨询服务机构，结合企业内部的 IT、自动化和精益团队，高层积极参与，根据企业的产品和生产工艺，做好需求分析和整体规划，在此基础上稳妥推进，才能取得实效。

二、何谓智能工厂

究竟何谓智能工厂？智能工厂具有以下六个显著特征。

①设备互联。能够实现设备与设备互联（M2M），通过与设备控制系统集成，以及外接传感器等方式，由数据采集与监控系统（SCADA）实时采集设备的状态，生产完工的信息、质量信息，并通过应用无线射频技术（RFID）、条码（一维和二维）等技术，实现生产过程的可追溯。

②广泛应用工业软件。广泛应用制造执行系统（MES）、先进生产排程（APS）、能源管理、质量管理等工业软件，实现生产现场的可视化和透明化。在新建工厂时，可以通过数字化工厂仿真软件，进行设备和产线布局、工厂物流、人机工程等仿真，确保工厂结构合理。在推进数字化转型的过程中，必须确保工厂的数据安全和设备和自动化系统安全。在通过专业检测设备检出次品时，不仅要能够自动与合格品分流，而且能够通过统计过程控制（SPC）等软件，分析出现质量问题的原因。

③充分结合精益生产理念。充分体现工业工程和精益生产的理念，能够实现按订单驱动，拉动式生产，尽量减少在制品库存，消除浪费。推进智能工厂建设要充分结合企业产品和工艺特点。在研发阶段也需要大力推进标准

化、模块化和系列化，奠定推进精益生产的基础。

④实现柔性自动化。结合企业的产品和生产特点，持续提升生产、检测和工厂物流的自动化程度。产品品种少、生产批量大的企业可以实现高度自动化，乃至建立黑灯工厂；小批量、多品种的企业则应当注重少人化、人机结合，不要盲目推进自动化，应当特别注重建立智能制造单元。工厂的自动化生产线和装配线应当适当考虑冗余，避免由于关键设备故障而停线；同时，应当充分考虑如何快速换模，能够适应多品种的混线生产。物流自动化对于实现智能工厂至关重要，企业可以通过 AGV、行架式机械手、悬挂式输送链等物流设备实现工序之间的物料传递，并配置物料超市，尽量将物料配送到线边。质量检测的自动化也非常重要，机器视觉在智能工厂的应用将会越来越广泛。此外，还需要仔细考虑如何使用助力设备，减轻工人劳动强度。

⑤注重环境友好，实现绿色制造。能够及时采集设备和产线的能源消耗，实现能源高效利用。在危险和存在污染的环节，优先用机器人替代人工，能够实现废料的回收和再利用。

⑥可以实现实时洞察。从生产排产指令的下达到完工信息的反馈，实现闭环。通过建立生产指挥系统，实时洞察工厂的生产、质量、能耗和设备状态信息，避免非计划性停机。通过建立工厂的数字映射（Digital Twin），方便地洞察生产现场的状态，辅助各级管理人员做出正确决策。

仅有自动化生产线和工业机器人的工厂，还不能称为智能工厂。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，而且，在产品检测、质量检验和分析、生产物流等环节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也要实现信息共享、准时配送和协同作业。

智能工厂的建设充分融合了信息技术、先进制造技术、自动化技术、通信技术和人工智能技术。每个企业在建设智能工厂时，都应该考虑如何能够有效融合这五大领域的新兴技术，与企业的产品特点和制造工艺紧密结合，确定自身的智能工厂推进方案。

三、智能工厂的体系架构

著名业务流程管理专家 August-Wilhelm Scheer 教授提出的智能工厂框架（图 2）强调了 MES 系统在智能工厂建设中的枢纽作用。

智能工厂可以分为基础设施层、智能装备层、智能产线层、智能车间层和工厂管控层五个层级（图 3）。

1. 基础设施层

企业首先应当建立有线或者无线的工厂网络，实现生产指令的自动下达和设备与产线信息的自动采集；形成集成化的车间联网环境，解决不同通讯协议的设备之间，以及 PLC、CNC、机器人、仪表 / 传感器和工控 /IT 系统之间的联网问题；利用视频监控系统对车间的环境，人员行为进行监控、识别与报警；此外，工厂应当在温度、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。

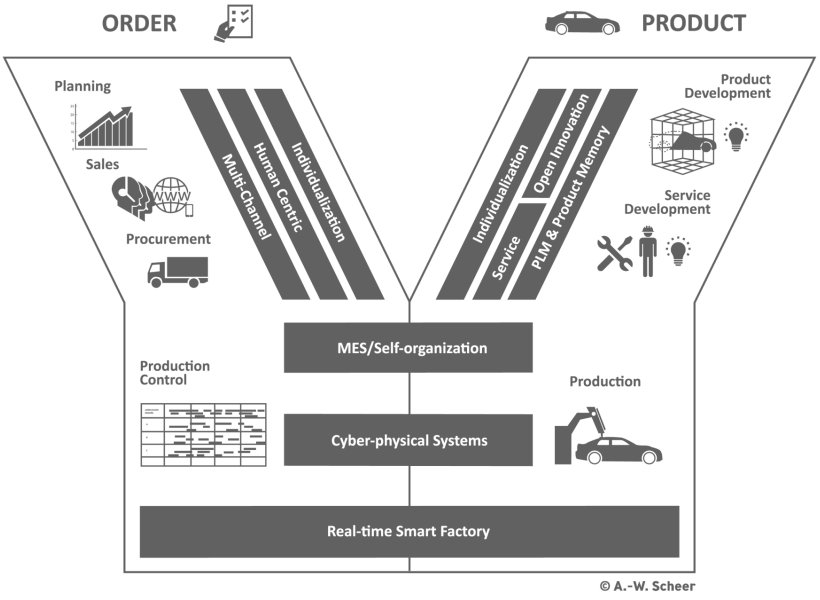


图 2 Scheer 教授提出的智能工厂架构

2. 智能装备层

智能装备是智能工厂运作的重要手段和工具。智能装备主要包含智能生产设备、智能检测设备和智能物流设备。制造装备在经历了机械装备到数控装备后，目前正在逐步向智能装备发展。智能化的加工中心具有误差补偿、温度补偿等功能，能够实现边检测、边加工。工业机器人通过集成视觉、力觉等传感器，能够准确识别工件，自主进行装配，自动避让人，实现人机协作（图4）。金属增材制造设备可以直接制造零件，DMG MORI 已开发出能够同时实现增材制造和切削加工的混合制造加工中心。智能物流设备则包括自动化立体仓库、智能夹具、AGV、桁架式机械手、悬挂式输送链等。例如，发那科工厂就应用了自动化立体仓库作为智能加工单元之间的物料传递工具。

3. 智能产线层

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、数控系统或 RFID 自动进行生产、质量、能耗、设备绩效（OEE）等数据采集，并通过电子看板显示实时的生产状态；通过安灯系统实现工序之间的协作；生产线能够实现快速换模，实现柔性自动化；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；具有一定冗余，如果生产线上有设备出现故障，能够调整到其他设备生产；针对人工操作的工位，能够给予智能的提示。

4. 智能车间层

要实现对生产过程进行有效管控，需要在设备联网的基础上，利用制造执行系统（MES）、先进生产排产（APS）、劳动力管理等软件进行高效的生产排产和合理的人员排班，提高设备利用率（OEE），实现生产过程的追溯，减少在制品库存，应用人机界面（HMI），以及工业平板等移动终端，实现生产过程的无纸化。另外，还可以利用数字映射技术将 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，不仅提供车间的虚拟现实（VR）环境，而且还可以显示设备的实际状态，实现虚实融合。

车间物流的智能化对于实现智能工厂至关重要。企业需要充分利用智能物流装备实现生产过程中所需物料的及时配送。企业可以用 DPS（Digital Picking System）系统实现物料拣选的自动化。

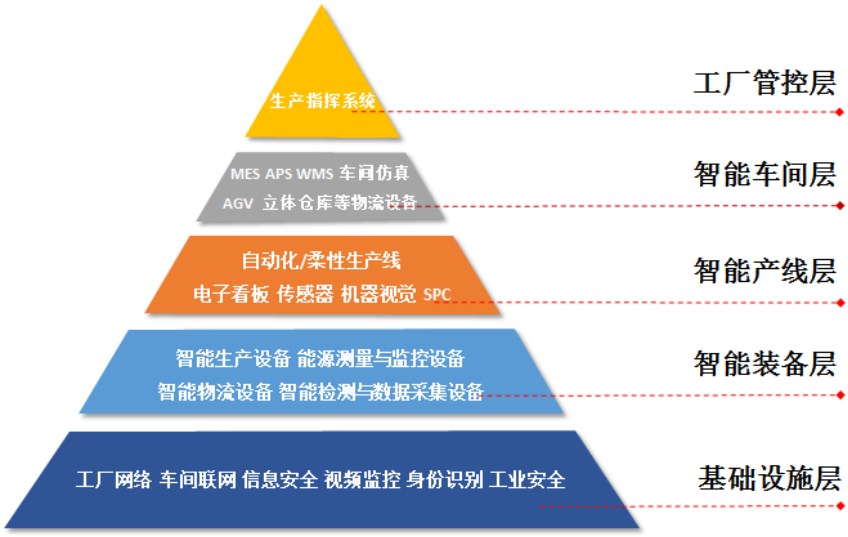


图 3 智能工厂五级金字塔

5. 工厂管控层

工厂管控层主要是实现对生产过程的监控，通过生产指挥系统实时洞察工厂的运营，实现多个车间之间的协作和资源的调度。流程制造企业已广泛应用 DCS 或 PLC 控制系统进行生产管控，近年来，离散制造企业也开始建立中央控制室（图 5），实时显示工厂的运营数据和图表，展示设备的运行状态，并可以通过图像识别技术对视频监控中发现的问题进行自动报警。

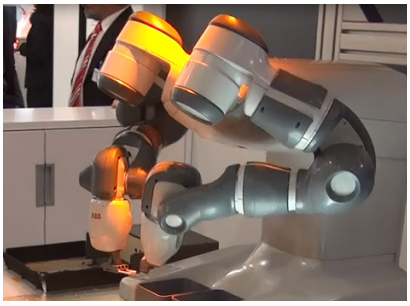


图 4 ABB 的 Yumi 协作机器人

四、智能工厂的成功之道

1. 进行智能工厂整体规划

智能工厂的建设需要实现 IT

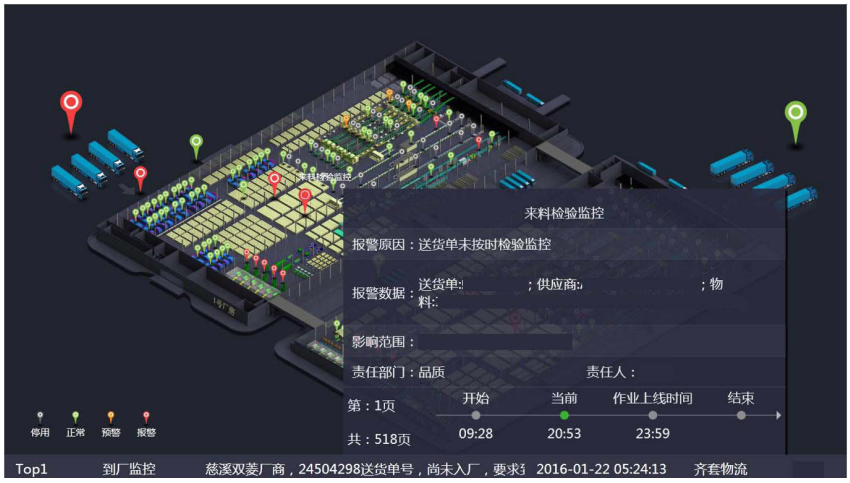


图 5 美的工厂的生产监控中心

系统与自动化系统的信息集成；处理来源多样的异构数据，包括设备、生产、物料、质量、能耗等海量数据；应当进行科学的厂房布局规划，在满足生产工艺要求，优化业务流程的基础上，提升物流效率，提高工人工作的舒适程度。智能工厂的推进需要企业的 IT 部门、自动化部门、精益推进部门和业务部门的通力合作。制造企业应当做好智能工厂相关技术的培训，选择有实战经验的智能制造咨询服务机构，共同规划推进智能工厂建设的蓝图。在规划时应注意行业差异性，因为不同行业的产品制造工艺差别很大，智能工厂建设的目标和重点也有显著差异。

2. 建立明确的智能工厂标准

在智能工厂的建设中，企业往往会忽视管理与技术标准的建立，容易造成缺少数据标准，一物多码；作业标准执行不到位；缺失设备管理标准，不同的设备采用不同的通讯协议，造成设备集成难度大；管理流程复杂，职责权利不匹配；质检标准执行不到位，导致批次质量问题多等问题。因此，需要建立明确的智能工厂标准，例如，业务流程管理规范、设备点检维护标准和智能工厂评估标准等管理规范，智能装备标准、智能工厂系统集成标准、工业互联网标准以及主数据管理标准等技术标准。

3. 重视智能加工单元建设

目前，智能加工单元在我国制造企业的应用还处于起步阶段，但必然是发展的方向。智能加工单元可以利用智能技术将 CNC、工业机器人、加工中心以及自动化程度较低的设备集成起来，使其具有更高的柔性，提高生产效率。

4. 强调人机协作而不是机器换人

智能工厂的终极目标并不是要建设成无人工厂，而应追求在合理成本的前提下，满足市场个性化定制的需求。因此，人机协作将成为智能工厂未来发展的主要趋势。人机协作的最大特点是可以充分利用人的灵活性完成复杂多变的工作任务，在关键岗位上，更需要人的判断能力和决策能力显得更为重要，而机器人则擅长重复劳动。

5. 积极应用新兴技术

未来，增强现实（Augmented Reality，AR）技术将被大量应用到工厂的设备维护和人员培训中。工人带上 AR 眼镜，就可以“看到”需要操作的工作位置。例如，需要拧紧螺栓的地方，当拧到位时，会有相应提示，从而提高作业人员的工作效率；维修人员可以通过实物扫码，使虚拟模型与实物模型重合叠加，同时在虚拟模型中显示出设备型号、工作参数等信息，并根据 AR 中的提示进行维修操作；AR 技术还可以帮助设备维修人员将实物运行参数与数字模型进行对比，尽快定位问题，并给予可能的故障原因分析。此外，数字工厂仿真技术可以基于离散事件建模、3D 几何建模、可视化仿真与优化等技术实现对工厂静态布局、动态物流过程等综合仿真和分析，从而能够先建立数字化的生产系统甚至全部工厂，依据既定工艺进行运行仿真。

五、总结

在智能制造的热潮下，企业不宜盲目跟风。建设智能工厂，应围绕企业的中长期发展战略，根据自身产品、工艺、设备和订单的特点，合理规划智能工厂的建设蓝图。在推进规范化、标准化的基础上，从最紧迫需要解决的问题入手，务实推进智能工厂的建设。MT

伟大的变革：现代制造业（四）

（接上期）

提升制造企业领导力

作者：Alison Jenkins

导语：制造企业的绩效转型往往意味着文化的革新，这也就意味着领导者的领导方式需要变革。

大部分制造业组织在转型时并未以文化变革作为目标，而是把关注点放在转型本身：通过覆盖整个组织的强力转型，提升绩效和组织健康状况。但一旦意识到了文化变革所能带来的益处，就会不断推进这项工作。组织很快将发现，新的工作方式因与传统大相径庭，少了文化的革新便难以为继。

这意味着，领导者本身也需要改变。

这种转变并非易事。和组织中的每个人一样，领导者不仅要了解改变行为的必要性，更要知晓其重要性——这同时关乎组织和个人的成功。并且，领导者多年养成的习惯必然更难摆脱。因此，大部分领导者要想掌握新的领导方式，需要长时间的有力支持。

一般而言，这种支持是一个综合学习过程，帮助领导者理解、信任新的领导方式并掌握此项能力。所以，领导力转型所需的投资是巨大的。但如果没有这项投资，组织将面临丧失持续发展势头，即组织变革最关键动能的风险。

1. 为什么领导者必须改变

建设日常领导力所面临的挑战体现在三项基本而核心的行为转变上，每项转变都要求领导者彻底抛弃大型组织长期以来所鼓励的行为方式（见图 1）。

首先，提出问题而非提供答案，这一转变反映了精益制造

图 1 领导者必备的三大基本行为转变

的三项基础：每个层次的每个人员都要建设新的能力；最接近问题的人一般也最了解问题；领导者的主要职责之一是对团队提供有效的指导。只是他们往往错以为自己对于组织的主要价值是提供答案——确实有人认为这就是指导的涵义。学习聆听和思考团队的意见、信任团队能力需要练习和时间，但最终，最成功的领导者总会明白，自己并不是问题解决的中心。一家大型美国企业的高层告诉我们，她愿意让团队将自己的想法付诸实践——“只要有我的指导，他们总能找到最终的办法。”在多次指导、走过不少弯路后，她才意识到自己提出的问题比给出的答案有价值得多。

第二项转变，从寻找快速解决办法到挖掘问题的根本原因，认识到未能完全解决的问题必将再度出现，并对组织造成许多本可避免的浪费。但是，学习解决问题的根源需要时间和训练，对忙碌的领导人而言较为困难，可能导致他们转而采取即刻见效的行动。一位公共事业设备施工和维护主管说过，“我的团队花在业务范围之外的时间，都是拿不到报酬的。”但是，展示不加掩饰、根除问题的意义也是榜样作用的重要体现。如今，该公共事业单位也将这一做法融入于员工绩效发展方案，认可一线员工和管理人员为解决问题所做出的努力，也推动领导者认可员工的问题解决能力建设。

第三项行为关系到连接今天与未来——不是大喊口号，而是将组织宗旨和营业目标转化为可以通过日常工作实现的实践性目标。这一过程不断循环，绝不止步于目标的设定：领导人需要了解并说明员工工作对实现组织宏伟目标的具体作用。同时，还需要了解员工的个人目标，明白工作在对于个人有意义时更有吸引力。一位高级副总裁提到：“认识到员工真切地希望为自己为客户所做的事情感到自豪，使我们的许多管理人员拓展了思路。他们发现自己能够告诉员工，新的工作方式不仅能造就新的产品，更能创造更多的客户服务方式。做到这一点很难，但也很有价值。”

确实，困难在于使上述行为成为领导者的习惯，毕竟他们在过去职业生涯中的领导方式与此截然不同。

2. 如何塑造更优秀的领导者

对每个领导者而言，建立理解和信任是一个个人化的过程。但还是能通过一些体验，帮助他们放眼未来，获得变革的意愿和技能。

（1）了解改变的必要性

不少组织通过开展内、外部考察，帮助领导者了解转型后组织的潜力以及该组织与当前环境的差异。但是，这些考察往往关注前线发生的行为转变，而更关键的一步是让高层领导者明白，自身的行为改变对于维持和扩大其所期待的变革的必要性和具体作用。一家转型后企业的作法是，在每次管理层学习考察中，对当前的领导力绩效进行一次微型诊断，基于证据开展分析，让领导者了解自己在下达指令、解决问题、发展团队成员方面的具体表现。由此提升领导者的信心，促使他们运用新的管理理念解决工作中遇到的问题。

（2）帮助领导者学习

领导者做好改变的准备后，需要在一定的支持下，获取成功领导者所需的技巧和能力。大部分组织会开发结构化的领导力习得项目，提供这种支持。一般的成年学习者在讲座中学到的知识只能吸收 10%，实践所学则能保留三分之二。因此，一家组织为一线主管到顶层高管等所有层次的领导者开发了一个结构化学习项目，包含前期工作、小组学习课程和现场实践，并由经验丰富的内部导师提供支持。另一家企业则为高层领导配备双导师——由一名技术专家和一名行政导师共同配合，就重点领域进行在岗指导。

（3）建设支持性基础设施

领导者迈出革新领导方式的

第一步后，组织必须配备相应的基础设施，不断巩固新的领导行为。重点是实现透明化，让领导者清楚地看到自己付出的时间是否与期望的原则和行为相符。此外，组织往往需要调整自己的正式人才系统，尤其是能力模型、绩效评分、领导力开发项目、薪酬和晋升机制，以此确保对期望的领导行为予以奖励。

标准绩效指标仍是达成实际营业目标的重要内容。然而随着时间的推移，领导者推动员工发展等行为指标能帮助企业更好地制定目标。考虑到理想的行为能够带来理想的成果，一家大型综合企业调整了绩效管理结构，以行为要素作为领导者年度评估中 51% 的评估依据。每个月，该企业还对所有员工开展满意度调查，了解他们是否得到了每月 2 小时的标准一对一指导，并在月度管理会议上公开讨论调查结果。

（4）树立优秀榜样

最后，要想将新的行为坚持下去，领导者还需了解到榜样也在以身作则。在大型组织中，首席执行官自然首当其冲地成为焦点，但并非每位首席执行官都能立刻采取新的行为方式。实际上，根据麦肯锡近期的一项调查，成功转型中真正的决定因素并非首席执行官，而是生产线管理者和一线员工的参与，他们与首席执行官的支持同等重要。

相反，领导者的榜样可以来自许多地方——共同经历变革的高层领导者或团队成员，参与此前管理系统部署的一线领导人，或者外部关系网络。每位领导者都应与对其具有激励作用的榜样建立联系，另一方面，组织也应着力发掘、支持和宣传潜在的榜样，提高匹配的可能性。

这种支持可以有多种形式——邀请能够接受新的领导形式的领导者参与集体会议或领导力研讨，事先调查高层领导、挖掘他们的正式影响力，在公司通讯中刊登优秀领导事迹等。北美一家公司的作法更加先进，首先在副总裁和董事层面部署领导力转型，由这些领导率先学习将核心理念应用于自身工作，再一步步传达至组织下级。这样一来，这些领导者自然成为榜样，为更大范围的转型提供支持。

小结

要想通过巨大的变革来领导组织，不能只简单告诉员工变什么。这意味着，变革的方式是大部分领导者未曾学习过的。然而，学习怎么变才能够创建一个随着时间推移不断革新、不断进步的组织。

绩效管理：保持分数的重要性与难点所在

作者：Raffaelle Carpi, John Douglas, and Frédéric Gascon

导语：良好的绩效管理体系的构成元素很简单，但要将它们融入企业的基本运营系统则比表面看起来困难得多。

有效的绩效管理对企业而言至关重要。可以通过各种正式和非正式程序，统一所有员工、资源、系统，为实现企业战略目标而共同努力。还有晴雨表的作用，能够预警潜在问题，帮助管理者了解调整战略的时机，保证业务处于正轨。

绩效管理优良的组织将成为无敌的竞争机器。例如，通用电气在前任 CEO 杰克·韦尔奇（Jack Welch）的领导下成功进行了转型，部分归功于韦尔奇能够使公司 250,000 左右的员工“劲

往一处使”，同时发挥个人最大的潜力。如亨利·福特（Henry Ford）所说：“相聚是开始，团结是过程，齐心协力才是成功。”

然而，不少公司的绩效管理体系运行缓慢、稳定性差甚至分崩离析。最好的状况下，组织无法有效运行。最差状况下，技术、市场或竞争环境的变化都将让它们无所适从。

强有力的绩效管理依赖的是“所测即所得”的简单原则。在理想的系统中，企业可以创建由上而下的测量指标和目标，涵盖顶层的战略目标到一线员工的日常活动。管理者持续监控这些指标，并定期与团队一同探讨目标实现的进度。好的表现会得到表扬，未能达标则需采取行动解决问题。

1. 哪些领域可能出错

在现实世界中，很难确保绩效管理体系的细节到位。一起看看常见的问题。

（1）指标不良

公司选定的指标必须能够提升其所要达成的绩效。通常，把多项指标填入平衡积分卡即可。如果无法做到这一点，就会出现问题。例如，目前仍有一些制造厂为每一班工人制定整体的生产目标。由于激励每班工人作业的是自身的绩效、而非全天所有班组的整体绩效，工人完全可以自由决定在值班时间内是否完成一个完整的工作“单位”。

如果认为可以，他们会开始新的作业单位并将其完成。如果认为不行，则有可能在快换班时放慢动作甚至完全停工，否则未能完成的作业单位的所有分数将计入下一班组。因此，每个班组上工时接手的都是全新或只开展了少许的作业，既影响产能又减少产量。更好的管理办法是将各个团队的目标与工厂的整体产出相结合，使工人在支持本班组和下个班组作业的同时获益。

（2）目标不良

选定正确的目标既讲求科学，也是一门艺术。如果目标太过容易，则无法提高绩效。如果超出能力范围，员工甚至懒于尝试。最佳的目标应当是可实现的，同时需要做出一定程度的有益的努力。

要想设定这样的目标，企业必须常常跨越文化的藩篱。举例而言，在部分亚洲组织中，不达标是极为难堪的，因而管理者设定的目标总是过低。相反，在美国，人们无法接受所设目标低于前一阶段的业绩，即便有充足的原因支撑这一改变。

（3）缺乏透明度

员工必须相信，他们的目标有利于激发有意义的成就。但是，个人努力与公司目标之间的联系常常过于隐晦，或在向下传达指标和目标的过程中逐步弱化。为了提升自身业绩或避免他人绩效不佳，不同层级的管理者可能在目标中添加缓冲措施。某一层级的指标与上层指标之间可能并无逻辑联系。

在最佳绩效管理体系中，整个组织的运营都遵循唯一且经核实的准则，所有员工不仅明白组织的整体绩效情况，还了解自身的职责所在。以汽车行业的一间公司为例，每次轮班时，所有员工会交接每日生产记录板，清晰地记录本部门生产成果和对工厂绩效的影响。该公司将股东和董事会所关注的顶层财务指标与基层生产指标相连。一线员工能够看到联系他们的日常绩效与工厂或业务部门绩效的“线索”（图2）。

另一家制造企业的一位高层领导则通过每季度举办一次5,000多人的员工大会，为整个组织树立了一个共同的愿景。管理者不仅将报告公司的财务状况和各工厂业绩，还会介绍新晋员工、共度工作周年庆、表扬成功的团队。最重要的是，如果未能实现目标，这位高层领导还会以身作则地承担起责任。

（4）缺乏相关性

要为企业的任何部分设定正确的系列指标，都要参考多种因素，包括组织的规模和所在地、其活动范围、所在行业增长特点、企业是刚刚成立还是已经成熟。为了应对这些差异，企业必须同时进行自上而下和自下而上的思

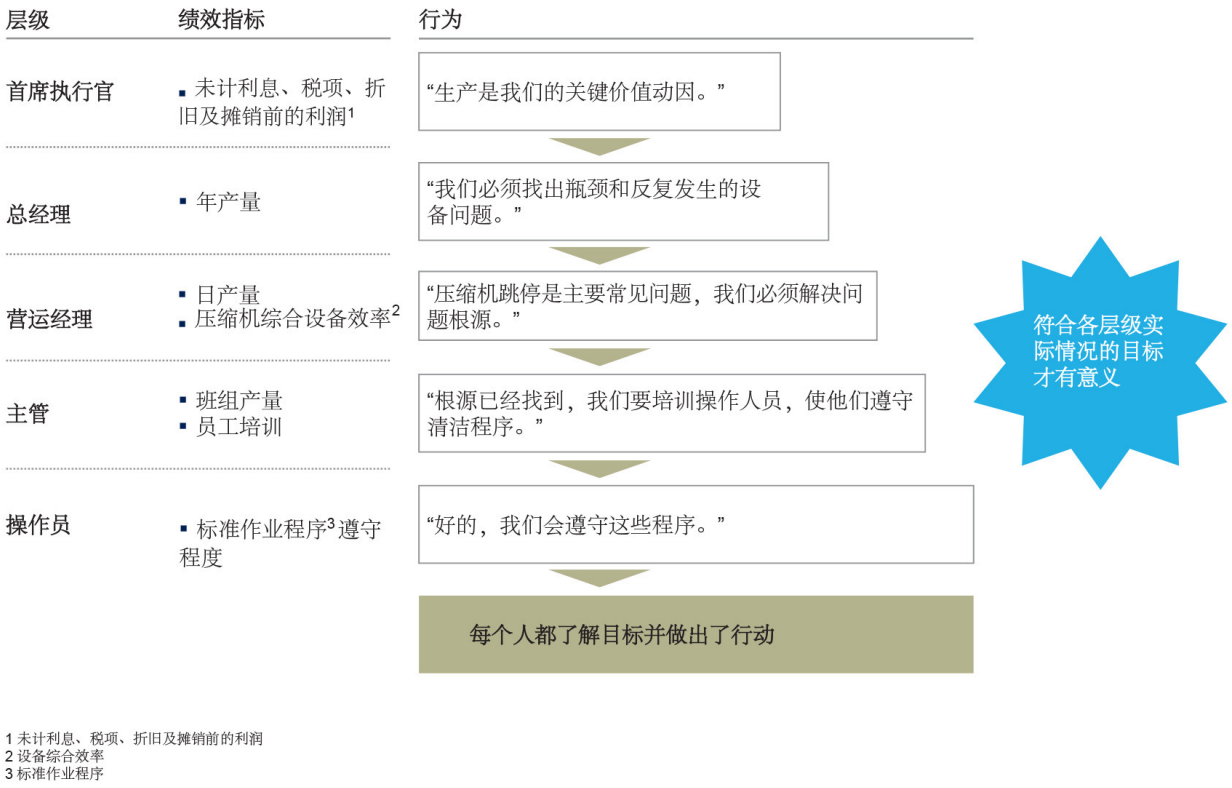


图 2 领导者根据各层级员工调整绩效指标并向下传达

考。其中一种做法是方针管理（或称政策部署）法：由所有员工制定其各自所在部门的指标和目标。对比简单的由上级发号施令，员工自行设定目标后往往更有主人翁精神，也能更投入地实现这些目标。

（5）缺乏对话

少了频繁、诚实、公开且有效的对话，绩效管理毫无作用。指标不意味着消极地衡量过程，而是组织日常管理中的一个积极部分。日常交班小结、工作前的安全会、事后回顾等类似做法，都能调动团队成员积极参与，确保关注最重要的事情。根据查尔斯·休哈特（Charles Shewhart）和W·爱德华·戴明（W. Edwards Deming）的开创性研究，采用计划—执行—检查＃调整（PDCA）反馈循环，有助于团队汲取教训并激发适用于其他场合的优秀创意。许多绩效优良的企业会让主管兼任导师，并在职业发展的各个阶段与员工开展一对一的讨论，体现企业的关心同时巩固良好习惯。

（6）缺乏后果

绩效必须对应后果。尽管大部分员工不会遭遇竞技体育一般“成王败寇”的残酷压力，但薄弱的追责机制会让人们以为只要出勤就可以了。

相比于惩罚差的绩效表现，奖励好的绩效可能更为重要。虽然公司都有各种正式、非正式的认可和奖励体系，但大部分公司很少在士气建设这方面做得到位，他们的力度和频率都不足。从举办午餐庆祝会到在员工大会上宣读表扬，在各种场合颁发每月员工奖和团队成就奖对于鼓励并保持绩效改善行为具有极大的价值。一家工业品公司的一位首席营运官坚持在每月的营业总结中公布一项内容，认可当月表现优异的个人和团队，并为名单上的每位员工准备一份礼物送到家

中，对他们（以及家人）的优秀工作表示感谢。

（7）缺乏管理层参与

如今，丰田名誉主席张富士夫(Fujio Cho)的名言“考察现场，询问原因，表达敬意”已经成为一条著名的精益生产基本原则。但在许多企业，除了定期营业总结外，高层管理人员还是很少考察工厂，只在检查重大新型资本改善项目时出现在车间。

管理层与一线人员的互动是极为强大的绩效管理工具，能让员工感到自己作为本业务领域的专家受到了尊重，也使管理者有了成为榜样的机会，可快速解决问题、确认改进方案。

举例来说，一家公司的机械车间出了名的凌乱，常常错过工期，以致管理层建议将该车间作业外包。一位高管听取他人建议考察该车间后，对肮脏、杂乱、疏于打理的车间环境感到震惊。员工表示他们长期缺乏替换零件和工具所需的资金，询问高管如何才能保住自己的工作。高管要求他们“清洁车间，给我一张需维修设备的清单”。双方都履行了承诺，在不到一年的时间里，该车间成为了全公司内高效营运的参考案例。

2. 建设强大的绩效管理系统

最优秀的企业会建设合适的绩效管理系统，主动帮助避免上述问题。这类系统有一些共同特征。

（1）指标：强调领导指标

企业衡量和管理绩效的指标常常是滞后的，比如对月产量或质量目标的达成情况。等知道结果再来影响后续运营，为时已晚。优秀企业在追踪这些目标的同时，还会将几个关键性过程值融入绩效管理系统。利用检测控制和数据采集（SCADA）建筑和分流控制系统等工业网络技术，制造员工可以在几分钟（甚至几秒）内得知绩效的变化，工厂中距离最远的部分也不例外。由此，人们可以在该变化导致减产或降低质量之前，早早应对。

有些改变甚至完全不需要技术投资。例如，生产和职能团队可以在每个工作日结束时填写一份确认表，评估当天的工作状况。几项定性和定量指标加上简单的图形（如红绿灯和笑脸），即可在第二天的工作开始之前，方便高效地发现问题、解决问题。

绩效管理系统在进化，其中的指标也越发复杂，采用更多连续性而非离散性的变量：“全员今天按时出勤”将变成“团队使用劳动绩效指标的 90%，达成进度绩效指标的 93%”。根据这些额外细节，企业能更好地进行决策，比如是否增加劳动力以追赶交货期，或是否延长交货进度。

（2）可持续性：标准作业和规律节奏

无论指标和目标如何变化，优秀企业都会保证会议和审查的恒定规律，使他们成为日常运营节奏的内在部分（图 3）。

对规律化、标准化流程的重视不仅表现在明显的绩效管理活动，更扩展至公司营运模型的方方面面。例如，标准化作业基于三项简单的规则。第一，所有活动都应有标准。第二，所有人都应具备遵守该标准的知识与能力。第三，必须监控并测量标准的遵守情况。

在许多职能部门中，营业周期本身便自动构成一个规律化的节奏：每周工资单、每月会计截止、或季度库存核查等。好的公司会利用这些要求来设计核心指标，例如周期时间和准确度，借此推动所有职能部门的持续改善。

作为精益制造卓越项目的一部分，一家工业商品公司鼓励员工在每天的生产区看板上注明“今天工作中好的方面、不好的方面，管理层能够提供哪些帮助”。主管用指标卡收集上述信息，粘贴到精益电子看板上。每天早上，各职能部门代表与工厂经理开会，决定是否接收这些卡片，也可返回卡片以补充信息。他们为每张被接收的卡片设定一个所有者和完成时间表。据公司领导估计，这些看板每年创造的成本节约或产量提升至少为 200

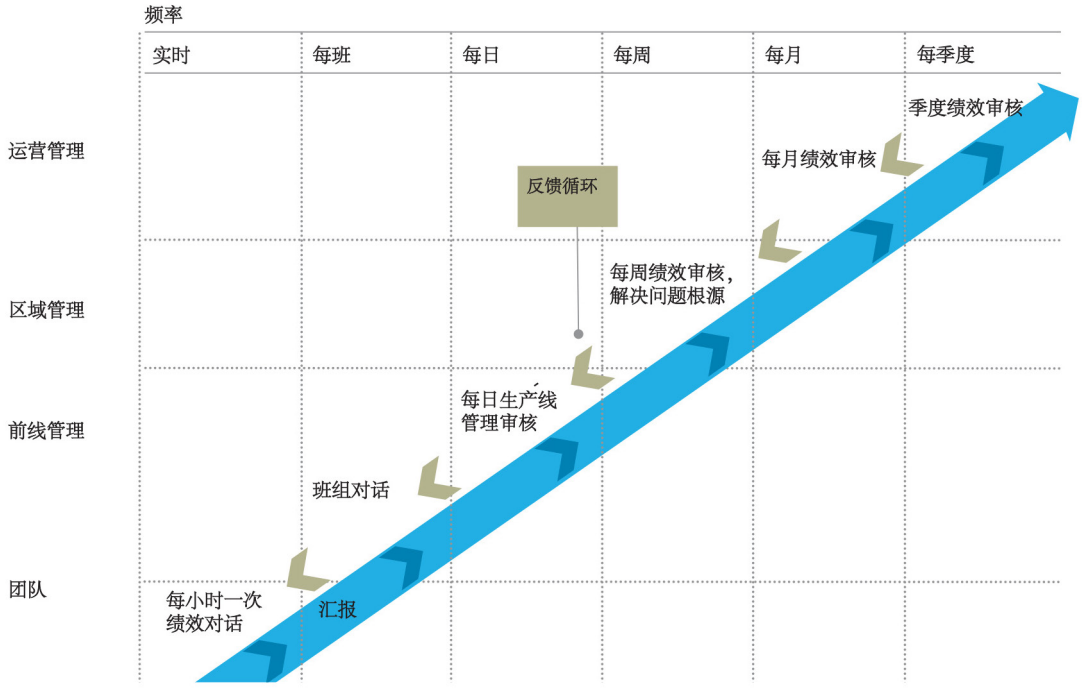


图 3 规律的绩效审核节奏能让企业在适当的时间段内发现并解决问题

万美元——对于员工士气和参与程度的影响更是“无价”。

规定各个关键流程步骤和顺序的检查表或标准操作程序往往能够推动作业标准化。例如，一家公司发现员工入职培训中的一些小细节——发放电子邮箱地址、电话号码和软硬件登入权——对于挽留新入职员工而言特别重要。现在，他们在每位新聘员工的个人档案前面放一份检查表，并在主管档案中保留一份副本。主管的绩效审核内容包括他们在新员工入职培训中的表现，且要求对每位辞职员工进行离职面谈。

（3）持续改善：领导者也要执行标准作业

标准作业对组织的所有层级都至关重要，包括首席官员和整个高管层。领导层的标准作业所导致的程序在最初可能令人不适应，但却能对整个组织带来一种期待。正是这些期待加上具体指标，最终驱动着可预见、可持续绩效的实现。

一家全球资源企业要求管理者证明，他们将 50% 的工作时间用于指导员工和参加安全简报会、交班小结、改善审核和生产会议。为了节约时间，其他会议被集中安排在一周内的同一天——会议室的椅子也被撤掉了。

还有更激进的例子，一家现场服务企业在每年秋天制定接下来一整年的全公司综合年历，规定所有大会、月度和季度管理会、正式绩效审核、后续规划会、甚至培训和发展机会的具体日期。所有日程都是固定的，所有会议也有严格的时间限制。不太需要宽限时间，因为内部汇报也受严格的公开性、时效性方针指导：每月向内部公布财务总结，团队和部门是否实现年度激励计划目标的绩效数据则按月在布告板上更新发布。

小结

大部分工业企业都有大量的运营绩效数据。技术的进步以及日益普及的自动化、先进的分析

和连接手段不断改善着这一数据资源。但是，企业怎样才能最好地利用自身数据？答案的核心在于不间断的反馈循环、每日绩效对话和常规绩效审核。在日常工作中保有坚持这些绩效管理流程的意愿和能力并非易事，但长期而言，仍是实现真实、可持续的绩效改善最为有效的途径。

投资能力建设，方可成功转型

作者：Elena Dumitrescu, Erhard Feige, Cinzia Lacopeta, and Amy Radermacher

导语：花时间去建设必要的能力，企业便能大幅提升成功机会。

并不是所有转型或组织卓越项目都能成功。但是，一般来说，将有效的能力建设项目作为转型一部分的企业成功的几率更高：他们转型成功的可能性和未计利息、税项、折旧及摊销前的利润分别是其他公司的 4.1 和 2.2 倍。

能力建设对于制造业转型而言尤为重要。“第二次机械时代”将几乎所有制造工艺数字化，要求制造者横断式地升级所有技术和能力，与“天生具有数字优势”的新生代灵巧型企业竞争。比如，未来——以及越来越多现在的——数字化工厂需要的是物联网和数据分析方面的专业知识与技能。不仅是为了更有效率地运行高度自动化工艺；制造企业还必须开发数字化的营业模型，以便将数据和数字带来的价值最大化。

对于制造企业需要数据科学家、云计算专家等新型员工这一点，并无太多争议。整体来说，企业需要人才具备更复杂的技能组合，员工也应同时具有职能、技术和领导能力，推动企业在竞争日益激烈的市场中发展绩效。此外，公司还要快速建设这些能力，才能赶上新的商业速度。然而，仅仅依靠外聘新员工无法一口气满足所有这些需求。已有员工也应接受培训，学会新的工作方式，掌握新的数字工具。

1. 大部分企业的能力建设投资是失败的

制造商在设计数字化或其他商业转型、思考如何获得并发展所需能力时，很容易低估制造企业面临的挑战。大部分企业在“日常业务”运营中，仍在努力弥补能力的欠缺。2014 年，麦肯锡对全球 1448 名高管进行了一项调查，半数人认为能力建设是自己所在组织的前三项头等大事之一，但在培训员工、使他们为提高企业绩效做出贡献的方面，只有 14% 的人认为本公司的一线员工和高管学习项目“非常有效”。

公司也同意，他们在发展领导者数字能力方面做得不够，毕竟领导者对于企业的未来成功愈发重要。根据 2015 年一项针对企业官员学习的调查，94% 的受访者称自己所在公司提供的领导力能力培训处于“平均”及以上水平，但在数字和技术能力方面，只有 76% 的受访者给出同样的回答。

2. 成功要素

即使数字化业务流程已逐步扎根，成功能力建设的基本要素仍和之前一样。我们发现了以下四大成功要素：

■建设对企业价值驱动者而言最重要的能力。有效的项目能够对企业战略作出贡献，满足清楚的商业需求。为了建设而建设则毫无必要。

■根据组织独有的出发点和具体要求量身定制能力训练。首

先开展严格诊断，了解组织目前的状况及未来目标。

■利用成年人的学习原则。成年人最有效的学习方式是实践。为确保培训与员工的日常工作直接相关，“现场加论坛”的方式结合了课堂指导和体验式学习（图1）。在场外“论坛”学习新的工艺或技术之后，员工会回到自己在“现场”的工作岗位，被要求完成特定的作业，在日常工作中公布心得技巧。

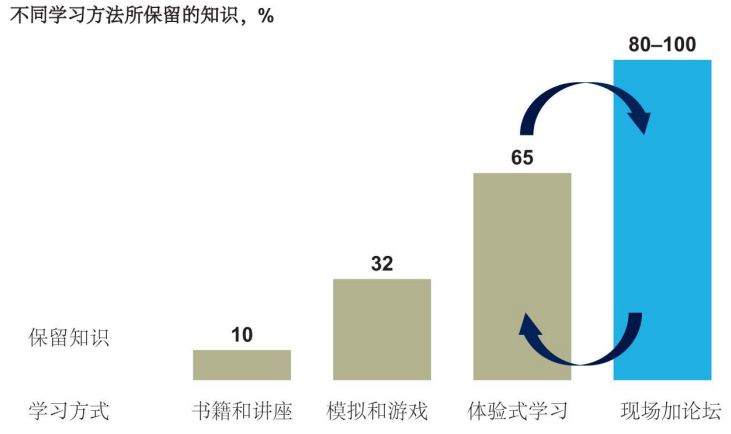
■测量并追踪过程。和个人学习一样，能力项目的过程也必须测量和追踪。否则，可能无法迅速帮助组织实现绩效目标并维持长期健康。使培训内容和传授机制向组织现有的流程和系统（如，公司的绩效管理项目）看齐，有助于保障能力建设顺利进行。

3. 设计与实施

概括地说，企业对能力项目的定义主要有两类。第一类企业仅设计轻型干预手段，为技术系统改善的实施提供支持，第二类则以更为严格的项目作为转型的起点。我们强烈推荐后者的作法。据我们所知，最有效的能力建设是深植于组织内部的项目，由能够设计和传授新型优质工作方式的员工负责，作为整个转型的基础。

下一步是明确项目想要传授给不同类型员工的能力。能力必须适用于各种职责和任期水平的业务要求。同时，还应通过培训向员工提供全方位的技能，尤其是适用于多种岗位的整体职能、技术和领导技巧。

一旦选定了项目类型、明确了必要技能，就可以采取一系列实施手段，设计合适的学习项目（图2）。我们发现，以70/20/10的比例混合在岗、同伴



来源：约翰·惠特莫尔（John Whitmore），《高绩效教练》（第四版），马萨诸塞州波士顿：Nicholas Brealey出版社，2009年；麦肯锡采访

图1 实践式学习是为执行成功转型发展新技能、树立新抱负的最佳方式

课堂授课	网络游戏和模拟	现场考察和诊断评估	指导
■ 有关概念和新方法的课程 ■ 由内外部专家授课	■ 模拟现实中决策的效果 ■ 零风险的测试和学习环境	■ 在模拟工厂观摩并以行动体会最佳惯例 ■ 客户遍布全球	■ 由专家和导师有选择地提供支持 ■ 讨论个人学习和发展日程
案例式团队合作	**即席讨论和餐会**	**测验和网络测试**	**会议和活动**
■ 3-5人组成团队，学习真实案例 ■ 小组发表结果，评选最佳小组	■ 与专家和著名演讲人在餐桌上讨论 ■ 非正式场合	■ 一天结束时，进行网络学习测试 ■ 仅由参与者进行自我测试	■ 年度会议和奖励计划
角色扮演	**学习长廊**	**外部从业者和最佳惯例企业**	**在模拟工厂开办体验式学习课程**
■ 从首席官员或部门主管的视角，获得真实体验	■ 通过参观学习长廊，促进反思	■ 向最佳惯例企业学习 ■ 与企业和专门领域专家互动	■ 提供体验式能力建设的特色职能模型

来源：麦肯锡分析

图2 结合多种培训手段实现有效、可规模化的学习

带领和指导者带领培训，对体验式学习的效果最好。

创造性的指导形式能够提高员工积极性，传授必要的技能则能改善个人和组织绩效。例如，员工通过网络课程可以更轻松地按照自己的步调而非公司的日程学习、共享和更新训练课程，而“游戏化”则使课程更具参与性、更难忘。小组案例竞赛能够激发创新，发展团队合作技巧。在模拟工作环境中复制现实场景则能提供零风险环境，用于实验新的设备、技术和工作方式。

4. 项目实施

开展能力建设项目之前，企业应该先找到规模小、影响高——最重要的是——具有岗位相关性的项目，了解能力建设可能带来的影响。同时，在个人和流程层面一同开展基于数据库的评估，有助于明确能力建设工作的起点和目标。下一个问题是所有权。能力建设不单是人资部门的任务：相反，应当由人力资源和各种业务职能部门共同承担，因为这些部门的专业技能对于建立高质量的现场和论坛项目十分重要。

应当系统性地铺开项目，并仔细考虑项目在整个组织中的传播。培训培训者和数字化传授是迅速有效传播的两种方式。

最后，还要在项目的每个阶段定期开展进度检查。按照有效性（和复杂度）的大致顺序，可以通过收集反馈表、测试员工所获得的知识、观察行为上的变化、了解运营或财务方面的影响来衡量进度。

5. 保持成效

能力建设没有结束的时候：运营的不断改善来自个人的不断改善。因此，有些公司创办了企业学院或卓越中心，支持终身学习。企业也可以建设知识平台，供员工分享和修缮最佳惯例，或聘用外部专家来持续更新员工所学。无论采取何种方法，目的都是使学习成为一种习惯，而能力发展成为文化和员工工作的核心部分。

小结

制造业——或工业 4.0——的数字化转型要求的技能在现有制造业劳动力中是稀有的。解决问题和创造性思维一直是主要的能力，如今，公司还需要技术实施和大数据分析等领域的全新能力。

因此，从数字化的角度理解运营将带来独有的挑战，企业必须直面。企业需要开展实验、非传统的思想、新型商业模型和新的解决方案。这种创新在很大程度上源自企业内部，源自已经最为了解企业的人。在能力建设方面的新投入将有助于释放他们的潜力。

为提高总生产率拓展精益工具

作者：Matt Gentzel, Carl March, Alan Osan, and Ken Somers

导语：技术已为制造企业所用，但他们的下一项挑战在于创造能够将海量数据转化为实实在在的绩效改善的工具、基础设施和流程。

精益生产持续帮助世界各地的制造和服务企业改善绩效。然而与此同时，“最佳”生产系统绩效的概念变得越发难以定义，更遑论实现它。因此，产能和绩效改善的下一步将要求公司把精益化的目光从传统重点转移到效率最大化上。

1. 新的挑战

未来，企业很可能面临各种资源上的限制，包括能源、结晶水、原材料输入和环境吸收废物的能力。他们需要设计新型设备和生产系统，提高产能的同时，还得要能够在各种产品类型之间无缝切换。因此，在系统运营方面需要做出复杂的权衡，将整体资源产能和制造资产的生产周期价值最大化。

今天的精益化从业者也应将视野放到工厂围墙甚至本组织的界限之外。多变的需求、振荡的投入价格和复杂、冗长的供应链要求生产系统迅速做出适当的回应，以应对不断变化的商业需求。企业还需要不断重新评估更大的版图，从零部件（或成品）的自制或外购决策到是否选择维修或更换老化设备。

同时，制造技术也在迅速变化。飙升的劳动力成本加上廉价的机器人与其他自动化技术，驱动着自动化的迅速普及。自动化的性质也在变化：由越来越多的智能灵活机械承担复杂、高度变化或小体量的任务。智能机械可以自诊断维修需求。在混合加工方式下，人和机器人并肩工作，或与它们合作完成任务。

2. 新的资源

当然，企业不需要盲目地应对这些挑战。技术变革带来了一系列可供利用的新资源，为企业的持续改善和转型提供依据和支持。

首先，数据。产品和制造产品的机器中布满了收集各种数据流的传感器，从生产工艺内的温度和压力到现实中顾客的习惯，无一能逃出法网。目前，企业还只是在海量数据的表面探索，未能触及其真正的潜力：以一座现代石油生产平台为例，30000 个传感器生成的所有数据中，仅有 1% 得到查看和利用。

要想改善工艺，企业不仅可以依据自身的数据，还能够从各种公共和专有资源获得巨量的外部数据。社交媒体信息流为我们提供了史无前例、几乎实时考察客户对产品和服务满意度的渠道。政府部门提供的数据包罗万象，从大气条件到高速公路客流量。

第二，通讯。网络技术使得企业能够跨越遥远的距离实时共享和合并数据。制造企业能够清晰地了解设备和工艺的作业情况。此外，企业不仅能够监控远程资产，还能加以控制。现在，许多企业成立了可靠性和工艺专家中央小组，远程为重点设备排障，提供即时、专业化支持。一家工业供应企业的工厂生产已完全实现远程操作，只需在必要时派遣维修小组到场。

快速、高带宽的通讯技术与爆炸式增长的数据存储能力相辅相成。由已存储数据构成的“数字宇宙”以每两年翻一番的速度增长，到 2020 年，预计将达到 44 泽字节，相当于 15 亿年的高清视频内容，或存储人类有史以来所有讲话录音的空间。更加智能的组织、搜寻和检索技术不断提高数据的可得性——例如，企业能够将某资产今天的生产状况与其寿命周期中的类似事件相对比，或者在解决产品故障根本原因时查看制造工艺数据。

最后，智能。高速计算机和智能分析技术能够找出巨量数据集的趋势和规律。数字模型可以测试上千种不同的场景，找到最佳解决方案。数十年的人类经验可以存入知识库中，帮助流程控制系统做出比人类操作员更快速、更精准的决策。人工智能技术已允许计算机从经验中学习，随着时间推移不断改善自身表现。

3. 利用新工具改善决策

制造企业当今的一项重要任务是调整并拓展当前的改善能力，最大限度地利用上述新资源以解决目前面临的挑战。通过一些最优秀企业的例子，可以了解拓展后的精益工具所具备的潜力。

（1）优化输入值复杂的系统

一些传统的生产优化方式会产生预期以外的副作用。比如，管理流程工厂时只关注产量最大化可能导致能源消耗过度，不必要的废水处理成本，故障停机时间更长，维护成本升高。随着企业能够获取更多的过往绩效数据并利用这些数据建立工厂行为的综合模型，他们对流程管理和控制作法的考虑也更为全面。

一个特别有效的方法是以每小时利润为单位，计算工厂绩效。在主要矿区因矿石质量下降而导致产量降低时，一家矿产公司采用了这一方法。他们排列了历史数据，以每小时利润为单位计算加工绩效，再用神经网络模型（一种效仿生物大脑学习方式的人工智能技术）探索某些变量的关系，比如所用的试剂浓度和材料回收率之间的关系。

分析发现，优化少数几个变量即有可能将特定品位矿石的炼得材料质量提升 7.5% 以上——每小时利润也稍有提升，因为优化后的工艺还能够降低其他投入的消耗。这一意外发现与工程部门此前关于优化工艺最佳办法的想法相反。降低加工过程中废料不仅帮助矿区达成了生产目标，还大幅降低了成本，因为矿区提炼和加工的材料减少，对运营的要求也降低了。如此一来，每小时利润增加了 9%。

（2）场景建模

现代制造系统和相关供应链极为复杂。材料和零部件采购自不同的供应商，价格不同，质量水平也不一而足。这些输入可能流经不同的生产路径，经过各家工厂不同的设备，或者由不同工厂或分包商的各种工艺处理。它们可能被转化为不同的产品、子产品、副产品和废品，伴随着不同的互动和限制。不同市场中的不同客户可能以不断变化的价格买到各种各样的产品。所有这些复杂性使得制造企业很难在特定时间点做出购买、制造或销售的最佳决策。

历史上，制造企业用于支撑上述决策的模型十分依赖各种假设和简化处理，比如用“转让定价”约值来决定购买何种原材料、制造哪些产品、甚至由哪个制造单位或场所负责制造某一产品。这些假设和简化处理有可能导致错误的决策。人为定高的转让价格可能导致网络资源的非最优化利用，或令深具潜力的机会看起来无利可图。

今天，通过强大的计算机系统，企业可以建立整个价值链的详细模型，从采购一直到客户需求，再到最终的交付程序。采用详细数据的高级优化套餐可以迅速测试数百甚至数千种不同的产品、制造设施和工艺组合，从而在特定限制之下最大化组织的利润范围。重要的是，不仅这类系统的后台分析功能十分先进，最新工具的操作方法也很简单，电子表格式界面非常直观。

一家欧洲制造企业将这一方法用于探索即时性的策略变化，年均节约数百万欧元的成本。该公司开始用一条利用率不足的生产线来生产一项关键中间产品，而非向第三方采购。还将另一关键中间产品的生产转移到一台生产率更高的设备上，降低了原材料成本。之后，公司发现多个短期战略机遇，通过关键生产资产的运营和可靠性卓越项目提升了产能。在多种高利润产品门类产能的提升下，销量也升高了。得益于这些改变，这家原本销售回报率较低的商品行业的公司获得了 50% 以上的息税前利润增长。

（3）使用实时数据

通过快速的数据收集和分析，企业能够实时或“近乎”实时地调整工艺参数。一家化工企业利用这一手段优化了连续反应工艺的产能。他们采用神经网络模型，根据给料质量和催化剂寿命调整反应的操作点。这种新方法将产量提升了 0.5%，这在生产效率已经达到 90% 的高度优化工艺中已是巨大的增长。

（4）自动化学习和决策

更多的数据和巨大数据集的更大加工能力改变了制造系统

的控制方式。生产现场可以使用历史加工数据来自动调整控制系统，使系统能够即时识别并应对干扰，比如工艺进料质量的变化。机器也可使用这些数据，长时间内持续改善绩效。

先进的分析技术也能更好地应对以往依靠操作人员丰富经验或测试的模糊问题。一项制造工艺产出的变化可能有无数的根本原因——从工具或零件磨损到上游材料污染。有了数据的武装，故障检测和分类（FDC）系统能采用数据模型来解读最有可能的原因，再自动调整工艺参数进行补偿，或者建议操作人员采取最佳的纠正措施。

（5）结合多种活动 / 功能

当代企业能够把多种活动的生产系统数据与系统产出数据相结合，揭示各项活动和产出之间的相互关系。通过这些关系可以确保精益系统的运营效率，保证尽快发现并解决问题。

运营生产率的一项常见数据——整体设备效率（OEE）是一个很好的例子。结合历史 OEE 水平和组织其他职能部门的信息（如供应链和销售数据），可以评估并了解由意外停机、设备运行过慢、转换缓慢所导致的工艺和设备损失对业务的真正影响。

顶尖精益化企业采用基准手段，设定更高的高水平资产 - 产能测度（如机器利用率）及操作效率测度（包括各单位、各工厂和各产品成本）目标。将业务 - 绩效指标和各个生产线的 OEE 数据联系起来，可以看到未达成财务绩效目标可能造成的影响，帮助企业确定实施对策的优先顺序，避免损失。

生产系统的某些部分绩效过低时，数据分析有助于发现根本原因——例如，在遵守人员编制等测度操作标准或将标准操作程序应用于转换的前提下，寻找 OEE 测度的相关性。同样的方法能够帮忙证明精益活动（如领导者标准作业）的价值，促进绩效和产能的提升——到目前为止，这种提升都很难实现。

跨职能部门数据还可以直接改善制造规划。企业可以不再临时或定期调整批次标准、产品序列和产品转换率，而是结合历史数据预测未来趋势，乃至在需求变化的同时创建时间表或生产计划。

（6）获取和共享知识

先进的软件工具也在变革组织在整个企业内存储和交流专业技能的方式。从减少废物的创意到调整设备操作参数和维护活动的技术，领军企业始终在努力获取和记录最佳惯例。最新几代的这类软件系统已经变得十分强大（部分归功于内置式计算引擎）也更加综合，能连接到组织的规划、维修和生产控制系统。

这种强大而综合的发展能帮助企业最大限度地运用自身的知识。例如，如果一家工厂成功实施了某个节约能源的创意，系统便会从该公司的全球网络中找出能够采用同样方法的其他设施。甚至可以计算出可能的节省值，帮助员工安排改变其现有改善计划的优先顺序。

（7）以新的方式呈现数据

在消费行业，强大的加工能力和显示技术的进步带来了用户界面的革命。高清显示屏、3D 图像和体感技术也将在制造领域引发同样的革命。

通过智能眼镜等穿戴设备，增强显示系统可以将数字信息直接添加到操作人员的视野中。在试用过程中，这些先进技术帮助仓库人员更快更准确地找到并取得产品，产能提高了 25%。一家工业制造企业正在开发一项能引导技术人员进行维修活动的增强显示系统——引导他们走过检查和部件更换的各个步骤，甚至找到必要零部件的位置。一些航空公司也在测试配备摄像机的眼镜，以便维修人员查看故障现场的画面，和数千英里之外的同事合作排障。

4. 获得收益

有了如此多前景广阔的新工具，企业所面对的挑战是要从实验、试点项目和单独的成功过渡到可持续、惠及全组织的发展途径，使由此取得的总体产能提升转变为生产系统的一部分。为此，需要赋能于三个要素：强大的技术基础设施，适当的技巧和能力，以及有关组织和管理方法的新思维。

（1）技术基础设施

上述新途径所需的技术基础首先是数据。许多组织遇到的第一项挑战就是确保获取足够的数据，包括自身和外部资源提供的数据。比如，很有可能制造机械的生产商也和他们的客户一样，对于自己的设备产生的数据很感兴趣。原始设备制造商已经将获取客户的使用和绩效数据作为目前服务与支持协议的一部分。同样，注重外购所带来的短期方便的制造企业也应确保不牺牲有价值的数据及其可能带来的改善。

下一项挑战是获取适当的系统和工具，将公司拥有的数据存储、清理、组织并进行可视化。目前，数据资产一般广泛分布于不同的系统和格式中。要想提升整体产能，必须提高整合程度，确保整个组织都在根据统一原则运营。在大组织中，创建适当的结构和系统来解决这一问题，将是一项艰难的挑战。

要发展能够支撑这种程度整合的生产基础设施，还需要新的伙伴支持。如今，不同（有时是专有）的标准使得企业很难把所有设备的输入结合到一起。业界正在努力改变这一状况。移动采矿机械搭载技术的应用程序接口（API）标准草案便是一个例子，该草案由运营商、设备制造商和第三方联盟全球矿业标准和方针集团（Global Mining Standards and Guidelines Group）发布。

（2）能力

提升整体产能还需要新的能力。这一途径不仅需要制造企业数年来辛苦积累的所有传统精益和工艺改善技巧，更需要各种新技巧，尤其是数据管理和高级分析领域。

企业应当设置新的数据科学家和 IT 专家职务，与现有的运营团队合作。还应投资于跨职能技术的发展，包括对运营人员开展基于数据决策的专门培训。管理者也需要新的能力，因为理解、解读数据并采取相应行动的能力对他们的工作而言越来越重要。但是，还必须多加注意，确保由适当的层级做出相应的决策。未来的海量数据会令高层人员更容易迷失放向。

（3）组织和管理

制造业组织必须改变，提升 IT 职能部门的规模和整合程度，设置更多数据处理和分析人员，为生产部门提供支持。同时，还要重新定义组织中的各个职位，从一线操作人员到首席执行官。例如，要转型目标和关键绩效指标，避免出现导致次优绩效的激励因素。

企业将需要以新的工艺监控方式，如，衡量员工接受新技术培训的比率和接受新型改善工具和方法的程度。在这方面，技术也将发挥作用。例如，可以通过软件工具收集上述工具和方法的应用方式和场所，使管理层深入了解它们在整个组织内的应用成熟度。

小结

经营未来制造工厂的工程师和管理者要想改善绩效，面临的压力将越来越大。因为目标不仅会更为严格，而且越发复杂，需要在客户和整个行业需求迅猛变化的背景之下，平衡质量、产量、能耗、成本效率型资产的寿命等诸多因素。要想面对这些挑战，企业必须系统性地接受、创造和革新新的技术、方法和分析手段。其中一些在本文中业已谈及；还有一些必将在未来出现。

V．结论

切勿破釜沉舟：驶向制造业绩效的新世界

作者：Erin Blackwell and Tony Gambell

导语：尽管无法回到数字化、技术化之前的时代，制造企业已有的许多知识和经验仍对绩效转型具有重大价值。

“放火烧船！”

这一臭名昭著的命令出自埃尔南·科尔特斯（Hernan Cortes）之口——1519 年，带领船队登陆墨西哥、展开淘金之旅后，他下令破坏了所有船只，断了手下撤退的念头。

这句话常常出现在现代的会议室中，尤其是谈到制造业的数字化和其他技术变革时。在它的背后，似乎有三个假设在作祟：

■已经没有回头路。

■成王败寇：你和你的团队并没有中间项可选。

■过往经验并不适用于未来。

根据这三点，似乎企业要把握数字化革命，就必须忘掉以前所有的制造业知识，以拥抱新世界。

总的来说，我们不敢苟同。在我们看来，制造企业反而应该调和这一两难的局面：接受当前出现的干预情形，同时强化数十年来已证实成功的有关制造业绩效的基本观念。

在思考为了数字化革命“破釜沉舟”这一想法背后的三大假设之前，我们先来描绘一番数字化制造可能带来的绩效新世界。

1. 制造绩效新世界

现在是 2030 年，您正在参观一家新建的制造业工厂。这个时代，“无人”工厂——没有直接人力劳动——已从一个远景目标变成了常态，十家工厂中有六家是无人的。相反，在工厂车间以外，高技术操作人员正与具有学习能力的高级机器人携手合作，一面培训这些机器人，一面处理车间出现的改善机遇。灵活高效的增材制造也最终实现了之前的承诺，使高度定制化产品变得廉价易得。

在余下 40% 仍然需要直接劳力的工厂中，拥有数字技能的操作员仅需承担增值任务，并实行积极的自我管理。许多企业在组装区域采用增强现实技术，以远程虚拟方式执行所有危险任务。生产绩效信息已经实时化，以此驱动前线决策和问题的迅速上报。数字传感器能够侦查设备故障的先行指标，并提前发出信号、激活预防措施。

工厂经理不在现场却全程参与：她在远程查看指标，如果分析预测数据显示将发生重大的需求变化，她会和机器“谈话”，调整生产计划。经理监督着整个工厂网络，但只花很少的时间来应对问题。她的工作比以往监管一间工厂时要轻松得多：有了强健稳定的工艺和学习型机器替她承担了大部分决策，剩余的小部分才真正需要她的知识和经验。

这样的新世界是否意味着没有退路，或是新旅程的开始？为了寻找答案，我们要验证破釜沉舟这一想法背后的假设。验证所得的新假设将帮助我们踏上适合各行业制造企业的新航程。

假设 1：已经没有回头路

新假设：确实没有回头路——而是要明智选择新的方向

制造企业面临着巨大的压

力，要接纳最新技术，通过精益化实现整个组织的转型，采用先进的分析方法等等。但这类狂热行为往往伴随着代价：很少能转化成真正的价值。结果，企业往往没能强化竞争力，反而丧失了长期的竞争优势。

毫无疑问，已然数字化的行业比那些没能数字化的行业更有竞争优势。如图 1 所示，早在 1997 年便投资数字化的企业后来将数字化使用率拓展了 400%，而美国经济其余部分在这方面的增长相对缓慢。这种竞争优势既可以整体衡量，又能从资产、使用率、劳力等方面计算。十年前这一优势已十分明显，近年来仍在显著增加。

但是，它带来了一个关键问题：到底要数字化什么？各行各业的企业通过审慎抉择投资方向、放眼外部了解最新趋势，让我们看到了正确把握数字化的价值：

■**利用分析手段加速上市。**一家医疗保健企业利用企业分析平台，来改善临床测试场所的选择，预测完成测试所需的时间。为了跳脱管用的改善手段，他们找到并考察了一系列影响产品上市的反常理因素。其中一项重要发现是测试场所分配的意义。为了减少特定测试上的资源消耗，该公司优化了场所的地理分配，并利用中央控制的数据输入流程促进分配，找出强化场所分配决策的机会。其影响是巨大的：该公司在上市成本和时间上的节约率达到 10% 以上。

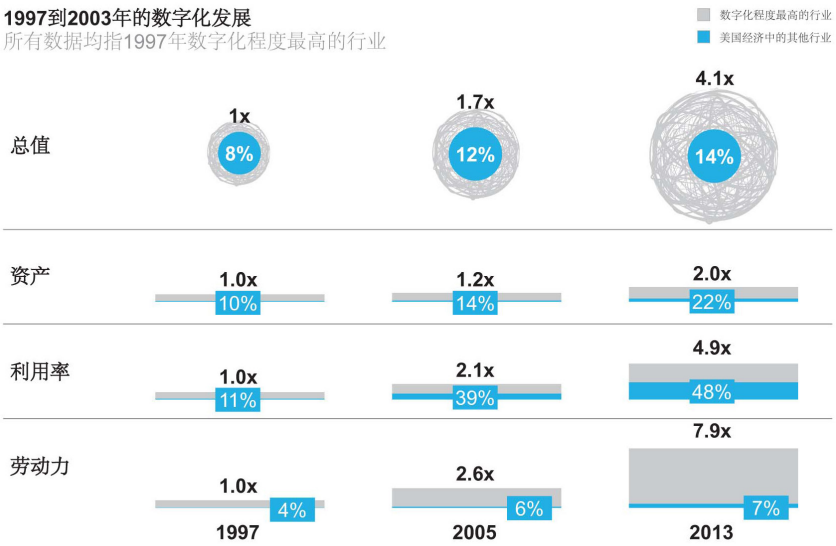


图 1　数字化程度最高的行业在数字化进程中占重要主导地位

■**打印汽车。**一家汽车公司和一整个生态系统的物联网专家合作，设计制造了一辆 3D 打印汽车。利用该公司的开放创新平台，整个原型机的设计开发只花了 2 个月时间。目前，全车已打印了 75% 左右，包括几乎所有的车身板件和底盘。

■**提供数字化解决方案。**一家设备制造商从销售产品转变为向客户提供数字化解决方案，帮助他们提升产能、绩效和利润。为实现这一转变，该公司采取了新的营业模型，把软件和数据驱动的数据化服务融入其核心业务。

■**实现自动化货物搬运。**一家物流公司创建了全球首个全自动货物搬运终端。该自动化系统使用远程控制吊臂在车辆之间搬运货物，现场劳动生产率提升了 80% 以上。

■面对诸多价值来源，成功企业总会寻找集中化的投资项目组合，实现最优化的投资回报率（图 2）。当然，他们必须不断开展研究并制定基准，进而明确哪些技术最适用于本企业的情形。

假设 2：成王败寇——你和你的团队并没有中间项可选。

新假设：若要成王，必须利用新工具、加速数字化应用

要想把握数字化制造和先进技术带来的竞争优势，企业必须在到达临界点之前立即行动（图 3）。纵观各个行业，创新型创业公司已经建立起颠覆性的业务

模型，也有先行者积极运用了这些模型。一些先进从业者在看到转型的必要性之后，已经将这些新模型应用到自己业已成熟的公司。一旦主流客户也采纳了新模型，行业就达到了临界点：先进从业者和成熟的创业公司将成为行业的新常态。后来者便将消亡。

从业者未能适应新形势的著名案例确实存在：百视达（Blockbuster）没能迅速跟上提供网络影视服务的潮流，柯达（Kodak）在向数字化摄影过渡方面进展缓慢，鲍德斯（Borders）未能提供网络销售服务，Palm 技术转型滞后。

为了加速走向临界点，企业必须在以下三个领域追求卓越：

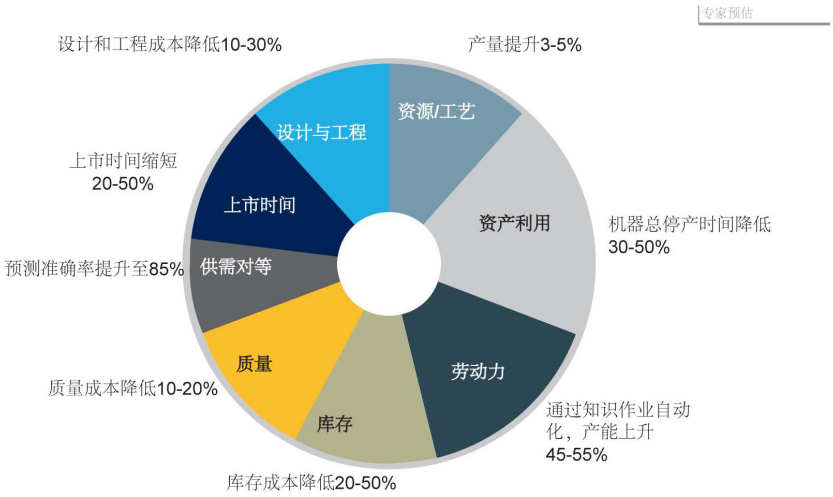


图 2 重点突出的行动组合有助于优化不同价值来源的投资回报

■**人才和能力**。为了与颠覆性发展同步，企业必须发展出越来越复杂的技能组合，实现智能、技术和领导能力的有机结合。对于加快变革脚步、建设问题解决型思维而言，获得正确的能力至关重要。不过，人才仍然是成功的基石，包括有能力、有未来远见的高层领导者。一些情况下，必须向外部招聘专门人才，以确保适当的人员配置。

■**思维**。实验精神必须在企业的 DNA 中流淌，并在机制和政策的支持下带来重大进步。热衷于反问“为什么不行”并积极追求机会（而非止步不前）的组织总能更快地变革。新事物到来后，他们能尽快了解新事物对组织的意义，从而快速切入客观、基于事实的视角。尽管企业并不是一定要“成王”才能继续走下去，但所有员工还是应当具有紧

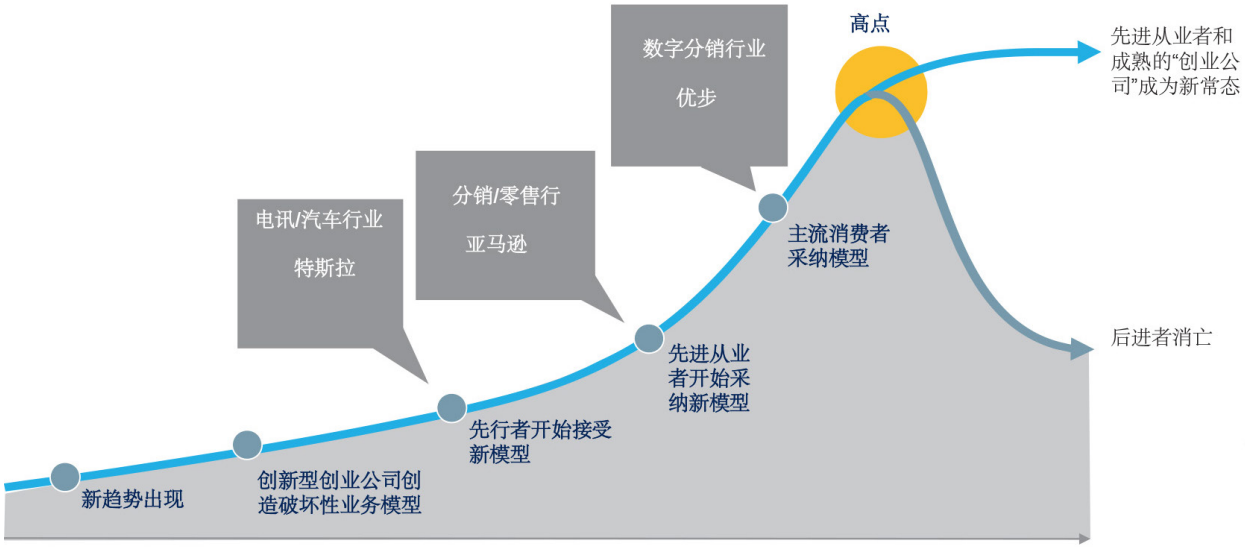


图 3 制造企业必须在临界点到来之前，立即行动

迫感。

■**工具**。转型绝不只是工具。但引入工具（比如先进分析手段、基准工具和诊断式调查等）能够极大地加快您对运营改善机会的评估，并最终提升日常运营的速度和准确性。

假设 3：过往经验并不适用于未来

新假设：切勿破釜沉舟，过往经验未来同样适用

虽然制造工厂出现了越来越多的颠覆性发展和新技术，但基本的价值来源仍然没变。数字化只不过解锁了加速改善的新方式，新的工艺技术也只是取代了旧技术，带来了新的自由度。数字化或先进分析手段或者快速致胜的办法看似闪闪发光、极为诱人，但是真正理解机遇之所在、清楚变革的潜在代价和时机的企业，才更有胜算。

首先，企业应当仔细思考，数字化项目是否与自身的运营目标一致。比如，一家全球性制造商发现，使用数字化生产追踪系统实际上降低了主管和经理参与车间工作的积极性。他们不再去车间解决问题，反而留在办公室，在会议中纸上谈兵。

下述带来了当今较高行政绩效的重要事项，将使数字化和先进技术新世界的绩效更上一层楼。

■**立下远大抱负**。制定激进的下级目标和截止日期。数字化投资应当和其他商业投资一样，取得可观的回报。

■**客户至上**。在追求长期竞争优势的同时，不断关注客户价值。如精益原则所述，永远关注客户想要什么、愿意为什么而付出金钱。对数字化的任何投资在客户眼中都应该是增值的。

■**不断消除废品**。废品是所有转型项目致力解决的三大问题之一（另外两者是多变性和顽固性）。尽管不可能完全消除生产系统的废品，还是要努力降低对无附加值资源的使用。寻找数字化解决方案，将无需耗费心思的任务自动化，把思考用到附加值更高的活动中。

尊重员工。员工是变革的实践者，因而知悉、了解和塑造繁荣的文化更为重要。我们见到无数的例子，尽管变革的想法激动人心，领导层或前线员工却没有做好实施变革的准备。无论是通过培训还是招聘，领导人必须参与愿景的绘制，具有诚信、勇敢和灵活等必备品质。任何改变发生时，组织都必须能够灵活地为破坏性变革提供支持，并不断采纳新的、更优越的技术。

2. 旅程刚刚开始

让我们回顾一下，开往数字化和先进技术新世界的旅程是如何改变“破釜沉舟”背后的假设的：

■假设 1。“已经没有回头路”变成了“确实没有回头路，但止步不前也无力回天”。顶尖企业已大力投资于数字化制造和先进技术。

■假设 2。“成王败寇：你的团队没有中间项可选”变成了“若要成王，必须利用新工具、加速数字化应用”。技术已经变得越来越容易获得和理解。顶尖企业正在投资和创造新工具，为日常活动和未来工艺开发提供辅助。

■假设 3。“过往经验并不适用于未来”变成了“切勿破釜沉舟，过往经验在未来同样适用”。先进企业明白，数字化工具和手段很有作用，前提是他们仍需不断在制造业绩效的基本层面追求运营的卓越性。

过去，领导者大喊着“放火烧船”，宣布旅程告一段落。但对于全球制造业而言，驶向数字化未来的航程才刚刚开始。今天，您的公司已经来到了这一旅程中独一无二的阶段。前路漫漫，带您走到今天的能力和文化仍然会是前进的基本驱动因素。要想抵达新世界，在尚未探知的领域中繁荣发展，您必须在积极拥抱数字化和先进技术的同时，应用这些基本驱动因素。领导者应当说服组织采纳新的工具和手段，设定去往新世界的航线！MT

（全文完）

制造企业转型升级的策略与路径

德国马柯制造系统有限公司（MAKA Systems GmbH）中国区　吴昊阳

一、看见“四化”

中美贸易战的升温无疑让中国制造雪上加霜，被逼入死角的中国制造业已经到了转型升级的关键时刻。无论是德国的工业4.0，还是中国的智能制造、两化融合，亦或是大数据、工业物联网，这些概念本质上仍然离不开四个关键词：自动化、信息化、图形化和智能化。虽然愿景很好，但并非所有制造业企业都要通过这“四化”来实现技术升级，企业在不同发展阶段也需要兼顾不同的升级策略，不同类型的制造业也需要考虑适合自身发展规律的升级路线。

需要说明的是，本文提出的“数字化”、“信息化”、“图形化”、“智能化”等概念都不是学术意义上的，而是在商业语境下为大部分业内人士所熟悉的定义，难免有语意定义模糊的地方。简单理解，本文的“自动化”强调对硬件和工业设备的控制；“信息化”强调管理信息系统软件；“数字化”和“图形化”都强调可视性，“数字化”偏重CAD/CAM这种PLM体系下的设计和工艺软件；“图形化”则强调现场看板，过程组态这类生产和管理过程可视化的系统。“数字化”和“图形化”这两个词比较受自动化厂商的欢迎，例如“数字化工厂”，“图形化界面”等等；而“智能化”的定义更是众说纷纭，为便于论述，本文将其定义为具备决策系统的更高级别的“信息化”。

毋庸置疑，通过工业4.0或智能化改造项目的确可以帮助企业转型升级，但切入点是个问题。我们首先不妨通过中国企业在历史上发生过的几次大的转型升级来一探究竟（图1）：从历史发展来看，信息化升级和自动化升级基本上可以视为中国制造业转型升级的两大主线和理念载体。

中国企业的信息化升级大体上经历了管理信息系统（MIS）、企业资源计划（ERP）和后计算机集成制造系统（CIMS）时代。毫不夸张地说，中国企业历次信息化升级都是迫于与国际接轨的外界压力，是全球化使然。例如，最初进行信息化升级的是金融财务系统，当时我国还在使用计划经济时期的财务制度，亟需与国际接轨，改用国际通行的财会准则。而同期计算机也开始在国内普及，所以中国企业最初是通过上计算机和电算化软件项目，客观上实现了会计制度与国际接轨。随着计算机的快速普及和数据库技术的成熟，各类型的管理信息系统如雨后春笋般蓬勃发展，例如库存管理、图书管理、车辆管理、客户信息管理等软件，但缺乏ERP那种能够一统江湖的平台型系统。值得一提的是，早在90年代中期，Windows图形化界面OS问世不久，就出现了业务流程“组态”软件（例如台湾的“摩天”，现在这家公司估计已经不存在了），是BI（Business Intelligent）的雏形，功能比“钉钉”强大。

ERP的产生经历了物料需

求计划（MRP）、制造资源计划（MRPII）等几个过程之后逐渐发展成MIS界一统江湖的平台软件，后来集成了对企业外部的客户关系管理系统（CRM）和供应链管理系统（SCM），成为企业必备的管理信息平台。随着跨国企业越来越多地进入中国，客观上要求中国的分公司或者本地的供应商采用与之相兼容的企业信息系统和供应链管理系统。同时要求中国企业按照现代企业业务流程进行改制，所以企业流程再造（Business Processe Rebuilding/Reforming，BPR）几乎是伴随ERP同时的概念。当时业内对于引进ERP项目基本上达成共识，即ERP项目绝非采购软件，而是引进一套现代化的管理体系，彻底改变中国企业落后混乱的管理现状，是管理体系的变革，也是思想的变革。

几乎与ERP同时，在学界出现了CIMS概念热潮，最初的想法是整合产品设计、工艺、管理等系统，消除信息孤岛。国外也产生了许多新的制造管理理念，如并行制造、成组技术、JIO（Just in Order）、虚拟制造、虚拟企业等概念。后CIMS时代应该说是信息系统大发展时期，除了财务和管理部门，研发、设计、工艺、测试部门以及甚至生产车间也都大上特上信息化项目。

另一条主线是自动化升级。与信息化相比，我国企业的自动化升级启动得更早，应该说从建国以后开始就已经引进国外的自动化设备和成套技术。这种技术引进使我国的重点行业（流程制造）迅速进入了工业2.0甚至3.0时代。

90年代开始，流程制造行业开始大量上马分布式控制系统（DCS）项目。通过DCS实现的自动化改造使电力、石化、水泥、钢铁等行业自动化程度提高迅速，同时也间接引进了国外的先进控制工艺。与控制相对简单的流程制造相比，离散制造的自动化程度要远远落后。离散制造的自动化升级的形式以采购先进数控机床为主，通过国外设备，配套软件和工具（如刀具、模具、焊钳等）供应商快速积累工艺和设计经验。可以说，中国的（离散）制造业靠CAX（CAD / CAM / CAE）和CNC跨越式地完成了产品设计、工艺、质量和可靠性的升级，但是如果要进一步提升达

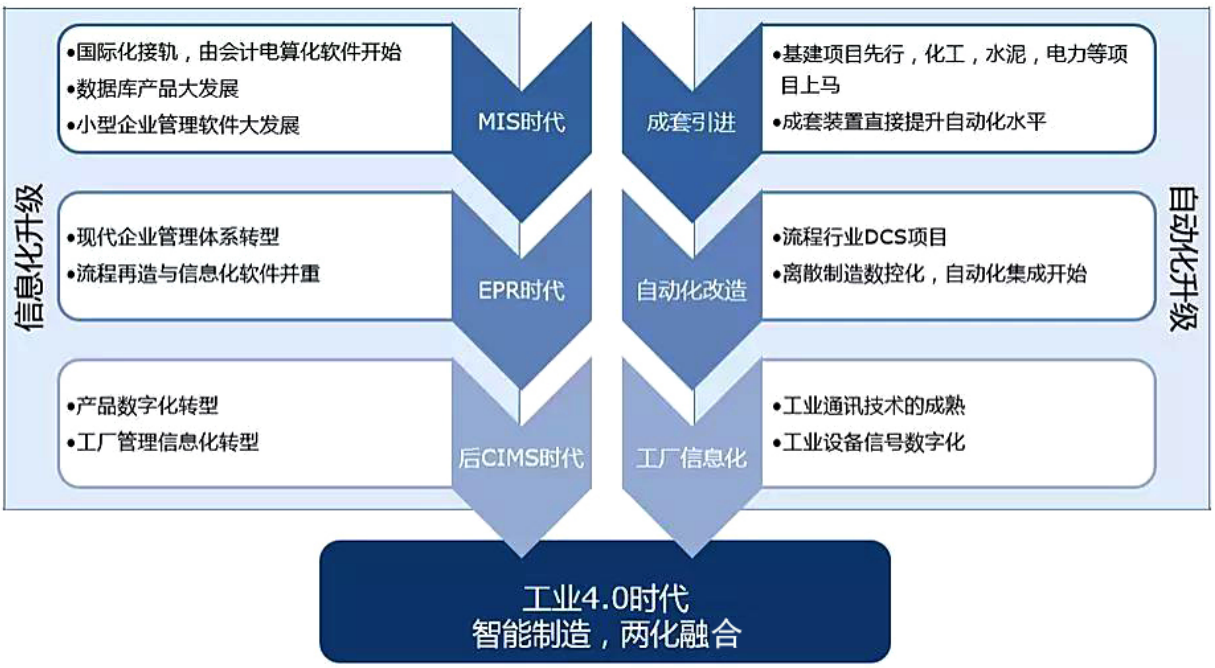


图1　历史上中国制造转型升级路线

到欧美的水平，需要系统性的补课，绝不是自动化或信息化升级就能解决的了的。

由于设备越来越多，所以需要对设备和生产参数进行统一监控，便出现了大量的现场数据采集并利用这些数据做成可视化界面和数据管理系统的需求。于是基于工业通讯技术的自动化升级继续蓬勃发展，升级也是从流程行业开始：油田数据采集、智能电表、煤矿自动化和信息采集，水泥生产系统监控等。

可以说在这个时期，自动化和信息化的产品开始交会，自动化和信息化公司也开始业务竞争，而西门子也将自动化和信息化事业部门统一为一个部门，中国人开始提出两化融合。中国制造与世界较高水平制造的接轨基本完毕。下一步是考虑如何在工业4.0时代，继续进行产业升级。

（1）自动化

与“自动化生产”相对应的是“手工生产”，通常讲的自动化升级都是指用自动化设备和装置替代人工。因此，凡是人做不了或者不愿意做的工作都可以通过自动化进行升级。越是动作简单、重复、繁重的生产模式，越适合采用自动化升级策略，例如搬运、包装、喷涂等；而动作越复杂，对人手灵活性依赖越大的生产模式就不适合自动化升级，例如电子产品装配、皮具制作、制衣、航空发动机装配等。当然，这里考虑的仅仅是技术层面，经济层面还需要考量生产规模和模式等问题。自动化的实施方式有多种，欧洲工业革命后期通过机械机构的方式实现自动化的应用已经非常成熟，实际上瓦特对蒸汽机的一系列改进本质上也是一种机械自动化的解决方案，而这成为工业1.0的标志性技术。按照工业4.0的定义，1968年出现的莫迪康可编程控制器（Modicon PLC，后来被施耐德收购），被作为自动化的一个划时代意义的产品，实际上就是将“电气自动化”作为工业3.0的标志。

所以说，制造企业通过自动化转型升级早在工业1.0就已经开始，并且贯穿几次工业革命的始终，即便在4.0时代也不会过时。自动化的目的就是“机器换人”，自动化升级说白了就是通过采购设备提高劳动生产率和工作质量。一般来讲，中国制造企业上新设备或者对原有设备进行技术改造后都会有立竿见影的效果。例如，进口德国和日本的高端机床可以直接提升零件精度和生产效率，机器人焊接也可以保证焊接质量和稳定性。但是，对中国制造业企业来说，这种升级模式走到现在，已经遇到了瓶颈，因为这些生产技术都是市面上买得到的，其他国家的制造商也采用同样的设备，所以技术上无法保持领先，更不用说欧洲和日本的高端制造商拥有强大的设计和工艺能力。

中国企业的自动化升级还有很长的路要走，绝不是说工业4.0时代自动化就已经过时了，而是至少要突破两个短板：一是辅助工具的设计；二是专用设备的开发。辅助工具（如工装夹具检具量具等）的设计是每个制造企业的必备技能，它直接反映这个企业的工艺能力。许多欧洲优秀的企业并不见得拥有多好的生产设备，但是工具非常齐备，而且有很多巧妙的改进。德国某模具生产商采用日本的磨床，但是配合自主研发的夹具和控制软件，就能让微米级精度机床加工出纳米级精度的模具。专用设备的开发对企业提出了更高的要求。欧洲顶级制造商每年都会开发出大量专用设备。这类设备通常是企业的技术机密，或者委托第三方公司开发并买断机器的使用权，因此市面上也难以见到。例如，保时捷和法拉利的全铝车身在焊接后会进行整体加工以保证精度，但网络上流出的视频绝不会出现加工专机的镜头。更何况中国企业的信息又相对闭塞，基本上只能通过只会搞关系但不懂技术的代理商，水平不高的国内展会，以及唱高调但见解平庸的政府专家了解最新的技术，所以难免做出错误判断。

总之，靠引进国外的先进设备进行自动化升级只能使我国的

制造业接近欧洲和日本的水平，绝对无法实现赶超，只有设计出更巧妙的工具并在此基础上开发出独一无二的设备，才能真正迈入制造业强国的阵营。

（2）信息化管理

应该说“企业信息化”这个词是伴随着 ERP 的普及而流行起来的，而 ERP 的前身是 MRPII 和 MRP，再往前则是会计电算化软件、库存管理软件等。而这类软件的流行又基于数据库系统的成熟。随着数据库应用的成熟，“MIS”应运而生，同时 MIS 市场迅速膨胀。出于对会计制度与国际接轨的需要，当时 MIS 的主力是会计电算化软件，当时火爆的市场也成就了金蝶、用友这样的国产软件公司。

20 世纪末，跨国公司全球布局进入黄金时期。外企进入中国不但带来了先进的管理制度，也带来了对企业管理信息系统的市场需求。跨国公司要求中国本土供应商的管理系统与之对接，倒逼中国企业大干快上 ERP 项目。2000 年初的时候，业内对 ERP 的态度也是褒贬不一，但大家也都在摸索中实践了。这个时期除了捧红了 SAP 这种 ERP 公司，还造就了不少软件实施和信息系统咨询公司，诸如毕博和埃森哲。一个普遍的共识是，企业上 ERP 项目绝不是简单买个软件，更需要对管理流程进行梳理，破旧立新。随之而来就出现了一个流行词叫“企业流程再造（BPR）”。不少国外的咨询公司也是在这样的大背景下在中国扎根并迅速发展壮大的。

包括 ERP 在内，本段所提及的软件都是用 MIS 把企业管起来，本质上是企业商业和运营的信息化。与此同时，在产品设计、生产设备、质量管理等直接与制造相关的环节也在进行着信息化。

（3）信息化制造与数字化制造

“数字化制造”和“信息化制造”这两个词基本上是一个意思。前者多出现于自动化公司的文案，后者多出现于管理软件公司的广告。在自动化行业内，“数字化”这个词经常被两大类公司使用，一是 CAD/CAM/CAE 软件公司，数字化对应于产品 3D 数模，所以只要有与物理实体相对应的计算机数模，就更愿意用数字化；二是工业通讯相关的公司，如现场总线，数据采集等，这里的数字化强调模拟信号到数字信号的转变。因此只要是涉及到信号传递的产品（如 DNC，PLC，SCADA）也都愿意提数字化。而 MES，ERP，CRM，APS 这类直接调用数据库信息的软件系统都更喜欢提“信息化制造”。

说到“数字化 / 信息化制造”就不得不提 CIMS，即计算机集成制造系统。CIMS 要集成的对象是一个一个独立的计算机辅助软件（CAX），消除信息孤岛。这个源于美国的概念，在德国也进行了尝试，但都没有在中国的动静大。在中国，其兴起也要早于 ERP。可以说 ERP 是面向商业的信息集成，而 CIMS 是面向制造业的信息集成，当时都是被当作信息化所理解的。CIMS 除了要集成计算机辅助设计（CAD），计算机辅助制造（CAM），计算机辅助检测（CAT），计算机辅助工艺（CAPP）等系统模块，还明确提出了逻辑层次结构，并整合了敏捷制造、并行工程、虚拟制造等方法论范畴的理论概念。

然而，技术为它的早产付出了代价。中国也为“没想清楚就大干快上”付出了代价。

CIMS 的失败就是因为它提出的时代太超前，相关技术和产品都还没成熟。而在它之后便迎来了工业软件市场的大整合时代：例如，由对 CAD 产品数据管理发展而来的产品数据管理（PDM），通过对产品物料清单（BOM）的信息化管理实现了产品“数字化”。

当前数字制造所处的环境，已经远非当年 CIMS 时代所能比拟。大量设计软件广泛使用，大量数字化资源和虚拟化产品，已经进入主流，数字主线（Digital Thread）、数字孪生（Digital Twin）被更广泛地应用。

说到数字化，就不能不说数据采集，就不得不提组态软件。这类产品最早是 DCS 和 PLC 厂家

为方便客户开发界面而配备的开发套件，后来出现了许多独立的组态软件厂商，可以通过图形界面直观地看到数据的变化。由此产生了“图形化界面（HMI）”，所以“图形化”往往指的是人机交互相关的产品或项目，比如工作站的面板和电子看板等。

在过去 30 年中国企业现代化进程中，除信息化项目大干快上之外，还有一条自动化升级的主线。在流程制造行业（如石化、水泥、食品等），一大批分散控制系统（DCS）和仪表自动化项目迅速崛起，而国产的 DCS 如浙大中控、和利时，甚至被 GE 收购之前的新华控制系统，都得到了长足的发展。而在离散制造行业，企业采购了大量数控和自动化物流设备。随之而来的问题就是如何获得这些现场数据，并把这些实时数据用起来。

现场数据采集（SCADA），正是自动化与信息化的链接节点，是自动化设备和信息化管理软件的承上启下的层级，也是自动化与信息化相融合的过渡区域。

而这些早年软件留下的数据，正是当下的工业大数据“黑金”。它们深埋在设备、模块和系统之中，不见天日。工业大数据从业者，需要有非常的智慧，来解救这些黑金。

（4）智能化

智能化定义就众说纷纭没有统一标准了。现在许多复杂一点的控制系统，似乎都被叫做“智能控制”。

严格意义上的智能化，必须要借助大量的建模和算法，以及一些必要的人工智能技术，包括启发式算法、机器学习、深度学习等。如果按照这个标准，目前不少先进的控制系统的控制算法已经可以算是智能化了，但真正智能化的管理信息系统市面上还不存在。信息系统的智能化趋势应该说是很明确的，特别是人工智能项目开始受到大量资金关注后，那些原本只在学术期刊上出现的、服务于制造系统调度算法博士学位的复杂公式开始有了一些用武之地。

当下很多远程监控的事情，都被吹嘘成是“智能制造”或者“工业互联网”的典范，人工智能也频繁地搅在其中。其实这种“远程监控”根本不是什么新技术，其前身是“远程抄表”。最早用在油田，矿井等野外需要监控运行状态的设备——早期用的是电报技术（RTU），后来通过短信。在智能手机尚未普及的时代，还用过手机网页客户端，而现在基本就是成熟的 3G/4G 网络，外加 APP 客户端。

关于信息化或智能化。简而言之，生产管理越复杂，对信息化软件的智能程度要求越高。适合智能化升级，或者说适合选择智能化程度高的信息系统的企业通常具备以下特征：

- 产品系列多，工序变化多，零部件品种多，供应链管理复杂；
- 多以组装工序为主，多为劳动密集型企业；
- 典型行业：家电，服装，数码产品等。

最适合搞智能制造的比较极端的例子是产品维修，维修业务具有下列特性：

- 每一个维修项目都各不相同，因此生产模式属于单件定制；
- 每一个维修项目的工序都比较复杂，没有既定模式，几乎无章可循；
- 维修（生产）数据难以定义，更难以度量，难以采集；
- 每一个维修项目的周期无法量化，产品复杂程度越高，维修周期不确定性越大。

因此在面临这样复杂问题的时候就只有通过“智能化”才能解决问题。

当前对于智能化，大家都各自假设了外延界定，使得自动化和智能化之间、数字化与智能化之间的界线十分模糊。而当“智能制造成为国家的主战场”以后，许多稀松平常的自动化项目也被冠以智能制造之名。

二、生产柔性的四大象限

工业 4.0 体系中，个性化定制被反复提及。这就特别需要考虑生产“刚性”与“柔性”。所谓刚性生产是指大批大量生产单一或少量品种的产品，这种生产模式特别适合自动化，例如紧固件等工业标准件的生产就是通过自动化专机实现的。所谓柔性生产是指多品种小批量，甚至单件定制化生产，这种生产模式对自动化系统的智能化程度要求较高（从某种意义上接近或等同于智能制造），比较典型的行业是汽车的混线生产和非标零件的机械加工。

图 2 将目前国内制造业转型升级的方向进行了划分。

（1）象限 I. 手工柔性生产

该象限的特点是：产品种类复杂且动作灵巧度高。典型行业如飞机、航天器等复杂机电产品装配，成衣、皮具定制，家电、数码产品组装，以及前文所论述过的产品维修或返修。

由于这类生产对动作灵活性要求高，因此无法通过自动化手段替代人工或者替代人工的自动化设备研发投入过高。例如目前的机器人或运动控制技术都难以达到人手的复杂和灵活程度，因此诸如皮具制作和缝纫等工作在相当长的时间内无法被机器所取代，除非改变生产工艺和产品设计（例如将棉布浆洗硬化后就容易实现自动化缝纫，而这改变了制衣的工艺过程）。

适合这类制造企业的生产模式，称为手工柔性生产，即生产管理组织复杂且无法实现自动化。实际上这类企业非常适合走“信息化”或“智能化”软件升级路线，既通过专家决策系统或相关的软件产品管理生产并指导工人操作。信息化或智能化软件的作用在于指导生产，避免人为失误。

图 2 四类生产模式及典型行业
X 向表示产品种类的复杂程度；Y 向表示生产工序要求动作的灵活程度。

实操方案一：自动配料系统

例如保时捷发动机在装配过程中大量工序无法实现自动化，而产品多品种小批量的特点又难以避免工人在装配过程中犯错误。为调和这个矛盾，该生产系统采用集中备料的方案，发动机上的小型零部件随托盘运动到各个装配工位，装配工直接在托盘上取用配套的部件并按照电子操作终端的指示进行装配和自检即可。

此外，有类似成熟系统的汽车企业还有宝马，但它的配料需要工人根据物料车的指示在制定仓库托盘中拾取，没有实现自动化。

实际上比较成熟的软件应用是在服装行业，包括红领在内的许多国内企业，成衣定制的服装集团都已经采用自动下料，配料系统：一件成衣所需要的全部布料和配件等，会通过该系统配送给某个工位或制作单元，而工人只需要按照设计要求缝制即可。

实操方案二：操作辅助终端（电子作业指导书 + 生产数据采集系统）

图 3 为克莱斯勒变速箱组装线，值得注意的是每个工位上都有操作辅助终端，工人在装配过程中严格按照电子作业指导书的每个步骤进行，同时辅助终端也记录相应的生产组装数据并发送

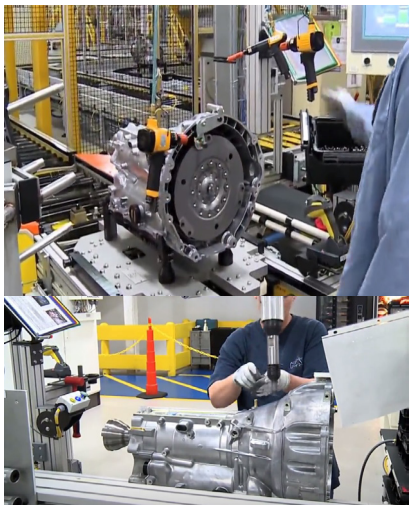


图 3 克莱斯勒变速箱组装线

给上位机。

以上两个方案可以看作是智能制造的雏形。自动配料方案实现柔性和单件定制化生产，操作辅助终端实现人与生产系统的数据交互；至于自动化排产、动态调度、专家决策等系统都可以在这两个技术方案的基础上实施。

（2）象限 II. 手工刚性生产

该象限的制造特点是：产品种类单一且动作灵巧度高。

典型行业如传统的服装鞋帽业等，这类行业产品产量大，但生产过程基本上只能通过手工实现。这种靠薄利多销生存的行业除非在产品设计和工艺上做文章，否则在自动化或智能化层面几乎没有改良的余地。当然，自动装配技术在不断改进，而这也需要模块化设计理念的完善。

值得注意的是，有一些产业原本难以实现或实现成本极高的自动化生产，随着自动化技术的进步，新的自动化生产方式也逐渐浮出水面，而这也正是中国制造转型升级的重要契机。其技术策略相当于从第 II 象限向第 III 象限转移。例如，我国有大量制造企业从事钣金焊接，由于焊接工作很辛苦环境差，所以欧美国家已经把大量低附加值的需要手工焊接的业务转包给中国企业，本土只留下容易实现自动化的电阻焊、气体保护焊、等离子焊等高附加值工艺。在这样一个市场需求下，欧美的设备制造商就缺乏开发面向低成本钣金件的自动化焊接设备。对于中国本土的设备制造商来说，这无疑是个巨大的商机。面向中国制造业特定市场的自动化专机也是中国制造弯道超车的绝佳时机。

（3）象限 III. 自动化刚性生产

该象限的特点是产品种类单一且动作灵巧度低。

典型行业就是工业标准件生产如紧固件、轴承、齿轮、五金件、连接端子、微电子等行业，以及相对简单日用品如食品、饮料行业、纺织、印刷和制笔业等。

这类产品通常是通过专机和自动化设备实现的，而且技术非常成熟。中国大量低端制造业企业都属于这种类型的制造业，都可以通过自动化专机实现量产。

而且，这种行业一旦开发出全自动高效量产的专用设备，那么就极有可能实现对该行业的垄断，为其他竞争对手设置投资门槛。

中国“圆珠笔芯困境”实际上就是这个道理：几大笔业集团垄断了笔芯制造设备，使笔芯的生产成本降至最低，因此中国这种市场追随者就很难获得同样的自动化系统，如果自行研发同类设备，在投资上也并不划算，所以倒不如放弃这个行业，或者另辟蹊径，开发替代性产品和技术。

中国的中小制造企业里，有非常多是从事单一产品的批量化生产的，如 USB 线、鼠标、摄像头、拉链、打火机等。相信在未来的 5 年内必定会出现生产这些通用产品的全自动化生产线，也一定会在中国出现世界级的行业寡头。

中国制造发展于特定的历史时期，因此具有鲜明的特色。具体表现就是 II、III 象限制造业的转化。由于 II 象限的中国制造企业规模和市场占有率通常极大，所以通过改进设计和工艺就可以把 II 象限的产业转到 III 象限。在 III 象限里通过开发专机实现全自动，再配合智能化管理软件，实现柔性自动化，向 IV 象限进军，占领国际制造业的顶端。

（4）象限 IV. 自动化柔性生产

该象限的特点是产品种类复杂且动作灵巧度低。

最典型的行业就是汽车，目

前国际上主流车型均采用混线生产模式，即自动化柔性线。这种生产系统对设备的自动化程度和软件的智能化程度要求极高，是目前复杂程度最高的生产系统。与汽车类似的还有电子行业，如电路板的生产。

而事实上，木工这个看似落后的传统夕阳行业却是最容易实现自动化柔性生产的行业。理由是木工制造的工序简单，零件结构标准化程度较高，产品的多样性要求较高。说得更通俗些，就是木工行业与乐高积木的相似性最大。

图 4 中所显示的系统，CAD 软件为木屋设计提供了非常多的标准件库，并且可以自动生成项目物料清单表；CAM 软件具备下料计算功能，可以在标准尺寸木料上优化毛坯下料尺寸并自动生成每个零件的 NC 代码；同时 ERP 系统将所需木料尺寸和数量发送给供应商并进行采购；木料到达车间后，生产系统可根据木料编码和尺寸决定下料毛坯，并对毛坯进行机械加工；加工好的零件被贴上标签，连同五金件打包送往建造工地，建筑团队可以根据图纸把送来的这批木料零件拼装成木屋。

从这个案例可知，由于木屋的木料零件都是直的，基本上都可以通过切割和钻孔完成，工序简单，可以在 CNC 上完成所有工序，因此容易实现自动化。此外，木梁的拼接相对简单，零件种类少且标准化程度高，给 PLM 系统的简化带来便利。与之相似的还有楼梯加工系统。

需要注意的是，实现柔性自动化绝不是单纯的设备自动化升级可以实现的。它需要从设计、工艺、设备到软件的全方位统筹。

介绍一下 FESTO 柔性生产系统。该系统实现了单一产品订单的实时响应，也就是说，哪怕只有一个气缸的订单，FESTO 也可以生产。为了实现这个战略要求，首先在型材毛坯上进行简化，尽量采用通用截面的型材毛坯（图 5），以便避免频繁更换夹具。

铝型材毛坯的更换可以自动实现，但是固定截面的夹具则只能通过手动更换，因为人工更换夹具的速度远快于机器人，机器人的实现成本也较高，所以最终该系统采用了手动换装的方案。除了通过标准化型材降低夹具更换频率，在夹具（图 6）设计上也采用便于精准定位和快速更换的零点卡盘。

夹具的位置是可以通过程序控制的，那么通过更换刀具和 5 自由度加工，该系统就可以很容易地实现根据订单要求截断不同长度的气缸毛坯，并对其进行高精度的五轴加工（图 7）。

软件方面，开发了小型高级计划与排产（APS）系统，可以读取现场 ERP 的订单，并对其进行优化。对同类截面零件的订单进行汇总，实现了多目标优化。这个生产系统通过 APS 实现了从 ERP 到生产设备的无缝连接。APS 仅仅向 NC 传达需要调用的程序编号，生产过程的可靠性控制仍然由设备 PLC 进行，同样贯彻了

图 4 自动化木屋生线

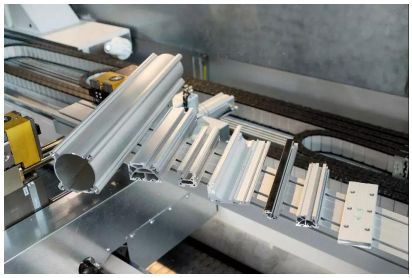


图 5 FESTO 气缸型材毛坯

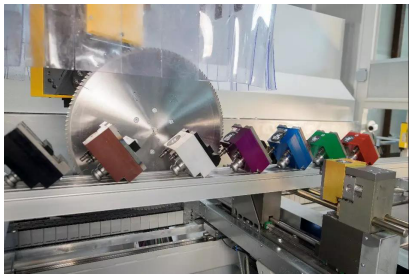


图 6 气缸铝型材固定夹具

图 7 活动空间灵活的五轴加工头

分级管理分层实现的原则。

“智能”体现在 APS 系统的实时排产和现场调度，“柔性自动化”体现在自动化夹具和五轴联动加工中心，以及快速更换工装的解决方案（图 8）。

三、制造企业转型升级的四大基础原则

制造企业转型升级的四大基础原则：

一是只有在设计和工艺都明确的基础上才可能谈设备升级和自动化升级。

- 设备升级和自动化升级都是机器替代繁琐重复性体力劳动；专机的设计研发耗时费力，而且只有稳定定型后才成为标准机；
- 设备升级是基于产品工艺的自动化集成；
- 自动化升级是基于生产工序和车间物流的自动化集成。

二是只有基于管理流程的自动化才能信息化升级，用以替代繁琐重复性脑力劳动。

三是只有产品和生产数据具有数字化表达的基础，才能谈到数字化。

四是只有基于复杂生产状态的决策系统才需要智能化。

总的说来，由于自动化和信息化程度的不断加深，对于从业人员来说，生产制造过程的管理变得越来越容易。从历史经验看，制造升级与人力解放是同一过程。

机器（机械）设备的出现解放了重体力劳动，如铁匠、矿工等；自动化技术的出现，解决了繁琐体力劳动，如流水线装配工和搬运工；信息化管理系统则解放了从事繁琐的脑力工作的劳动者，如会计、仓库管理员等；数字化软件让产品设计和工艺人员不必趴在图板上画图并反复修改，同时给现场管理者更直观的图形化调度决策支持；下一步的智能化升级或将解放决策层的脑力劳动。

由此可见，人类的制造系统在不断地更新换代，每次升级都会解放体力和脑力，使人的创造力可以有更大限度地发挥。未来制造业的从业人员将仅进行创造性的工作，可以模式化的体力和脑力工作将完全交给智能制造系统完成。

从图 9 中可以归纳出生产制造企业转型升级的一般规律：产品设计和生产工艺是制造的基础，永远具备升级空间。由于产品是制造业创造价值的最终载体，而制造业的产品永远是实物，所以产品被设计成什么样子（产品设计）和如何把实体产品做出来（生产工艺）是制造业永恒的话题。所以，在任何阶段投入精

图 8 可以连接设备和信息系统的小型 APS 及工艺监控系统

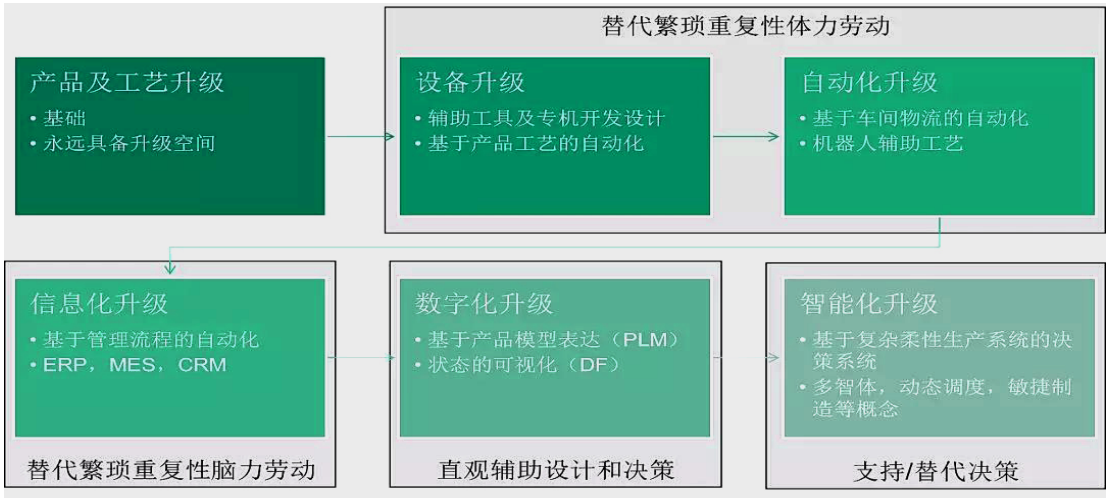


图 9 制造升级过程

力研究产品设计和生产工艺几乎都是正确的战略选择。

值得中国制造企业注意的是：设计和工艺是不可分的。生产设备和工艺现状可能制约着设计，而设计的好坏又直接影响到工艺／工序路线的选择，影响到产品的功能、质量、可靠性、生产成本等。所以将资源投入在生产的前段（设计和工艺）要比投入在中段（设备及自动化）和后段（管理信息系统）会产生更大的效益。

即使是像木工机械、纺织机械这种被很多政府官员和企业家都认为是落后的夕阳行业，也在迅速地转型升级。瑞士、德国和奥地利等制造业最发达的国家已经通过技术升级，正在将木工行业改造成最接近“智能制造”和“工业 4.0”理想的技术密集型产业。这个思路值得中国企业学习，不断用新技术改造旧产业和旧产能，而不是一刀切地推倒重来。

实际上，采用柔性自动化生产模式的行业，比较适合进行“智能制造”升级。

在笔者看来，智能制造的特征是对复杂生产情形的决策。决策算法的有效性以及对复杂约束条件的适应性决定了智能化程度的高低。

尽管很多自动控制产品具备一定的智能算法，例如有些加工中心可以在切削过程中根据切削力和振动频率等参数实时优化进给速度和主轴转速，或者根据床身热变形量对刀具轨迹进行补偿，但是这些技术归根结底都是工艺过程的一种前馈控制，只是控制算法更加复杂而已。这种方式，其实是归于“工艺自动化”，当然也可以叫“智能设备”。

智能化应强调对不可知事件的判断和决策，而自动化则强调对既定动作和已知事件的执行。

一台柔性制造系统可以自动识别和检测零件，并根据识别码自动选择工装，自动装夹，自动调用不同的程序完成全部加工，由于完成的这一系列活动都是既定的，并没有根据约束条件和目标进行决策，因此只能算是比较高级的自动化系统，不能算智能。

智能化和自动化是两个独立的概念，二者只是产生的历史时期有先后。但是在项目实施过程中并没有必然的先后顺序。

四、结束语

生产制造企业的转型升级是一个系统工程问题，绝不是单靠几个项目、几套软件、几套自动化生产线就可以解决的。说白了，它是一次战略意义的考量，或者是对传统工厂战略的一次清洗和重生，需要从市场定位、产品设计、工艺规划、供应体系规划等整体入手。在前期决策时投入的研究精力越大，中后期实施起来就越容易，转型升级成功的可能性也就越高。MT

中国智造 行稳致远

——2018 中国智能制造报告

德勤中国 董伟龙 屈倩如

编者按：本文为德勤中国发布的德勤工业 4.0、数字化制造企业和数字化供应网络系列报告之一，由德勤中国调研国内 153 家大中型企业得出。本刊获得德勤中国授权全文刊登，为广大读者提供参考。

主要发现

1. 智能制造发展取得了明显成效，进入高速成长期。中国智能制造进入成长期主要体现在三方面：首先，中国工业企业数字化能力素质提升，为未来制造系统的分析预测和自适应奠定基础。第二、财务效益方面，智能制造对企业的利润贡献率明显提升。第三、典型应用方面，中国已成为工业机器人第一消费大国，需求增长强劲。

2. 中国工业企业智能制造五大部署重点依次为：数字化工厂（63%）、设备及用户价值深挖（62%）、工业物联网（48%）、重构商业模式（36%）以及人工智能（21%）。

3. 智能制造是以制造环节的智能化为核心，以端到端数据流为基础，以数字作为核心驱动力，因此数字化工厂被企业列为智能制造部署的首要任务。目前企业数字化工厂部署以打通生产到执行的数据流为主要任务，而产品数据流和供应链数据流提升空间大。

4. 制造型企业面临愈发激烈的市场竞争和日益透明的产品定价，不得不寻找新的价值来源。德勤智能制造调研结果显示，设备和用户价值深度挖掘是企业智能制造部署第二重点领域。62% 的受访企业正积极部署设备和用户价值深度挖掘，其中 41% 的企业侧重设备价值挖掘，21% 的企业侧重用户价值挖掘。

5. 中国制造企业云部署积极性不高。53% 的受访制造企业尚未部署工业云，47% 的企业正在进行工业云部署，其中 27% 的企业部署私有云，14% 部署公有云，6% 部署混合云。

6. 智能制造不仅能够帮助制造型企业实现降本增效，也赋予企业重新思考价值定位和重构商业模式的契机。德勤调研结果显示，30% 的受访企业未来商业模式以平台为核心，26% 的企业走规模化定制模式，24% 以“产品 + 服务”为核心向解决方案商转型，12% 以知识产权为核心。

7. 人工智能对制造业的影响主要来自两方面：一是在制造和管理流程中运用人工智能提高

质量和效率；二是对现有产品与服务的彻底颠覆。德勤智能制造调研发现，51%的受访企业在制造和管理流程中运用人工智能，46%的受访企业在产品和服务领域已经或计划部署人工智能。

8. 重构商业模式是一项复杂艰巨的任务，商业模式优化、创新管理以及云部署为企业能力建设三大关键任务。

智能制造是基于新一代信息技术，贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动环节，具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式的总称。简而言之，智能制造是由物联网系统支撑的智能产品、智能生产和智能服务。

智能制造已经成为全球价值链重构和国际分工格局调整背景下各国的重要选择。发达国家纷纷加大制造业回流力度，提升制造业在国民经济中的战略地位。亚洲作为制造业重要区域也在积极部署自动化、智能化。

一、突破与成长

亚洲正受到自动化、智能化大潮冲击。国际劳工组织（International Labour Organisation）调研发现，越南、柬埔寨、菲律宾和印度尼西亚的工人的失业风险最高，据估计这几个区域约50%的工人工作可能在未来20年被自动化取代。

亚洲作为制造业的重要区域，在面临制造业向自动化、智能化、数字化转型中，能否继续保持其竞争力？

毫无疑问，亚洲正在积极寻求突破。以人工智能为例，各国政府大力支持人工智能，推动科技公司、初创公司和学术界的创新。2017年，韩国政府宣布了10亿美元的人工智能资金；日本鼓励人工智能创业公司和风险投资；新加坡政府的国家研究基金会宣布国家人工智能计划（AI.SG），计划未来五年投入1.5亿新加坡元（约1.07亿美元）发展人工智能。

除了政府的支持，亚洲企业更积极打破行业壁垒加快新产品开发。不同于欧美同类企业，中国领先企业间的合作屡见不鲜，一些知名范例包括：百度与小米在物联网与人工智能领域合作开发更多应用场景；腾讯与京东合作布局电子商务生态圈；印度系统集成商组成AI联盟（如OpenAI）。这赋予它们惊人的影响力，也意味着它们拥有可用于快速推动创新的技术实力和资本基础。

中国是亚洲智能化转型的重要力量。政府加强智能制造顶层设计，开展试点示范和标准体系建设；企业加快数字化转型，提升系统解决方案能力。中国智能制造取得明显成效，进入高速成长期。中国智能制造进入成长期主要体现在三方面：首先，中国工业企业数字化能力素质提升，为未来制造系统的分析预测和自适应奠定基础。第二、财务效益方面，智能制造对企业的利润贡献率明显提升。第三、典型应用方面，中国已成为工业机器人第一消费大国，需求增长强劲。

1. 数字化能力素质提升

企业数字化能力素质体现在其利用数据指导生产以及系统自优化的能力。我们借鉴国际普遍认可的工业4.0发展路径，将企业智能化成熟度分为六个阶段：计算机化、连接、可视、透明、预测和自适应（图1）。

• **计算机化**：企业通过计算机化高效处理重复性工作，并实现高精度、低成本制造。但不同的信息技术系统在企业内部独立运作，很多设备并不具备数字接口。

• **连接**：相互关联的环节取代各自为政的信息技术。操作技术（OT）系统的各部分实现了连通性和互操作性，但是依旧未能达到IT层面和OT层面的完全整合。

• **可视**：了解正在发生什么，通过现场总线和传感器等物联网技术，企业捕获大量的实时数据，建立起企业的“数字孪生”，从而改变以前基于人工经验的决策方式，转为基于数字进行决策。

• **透明**：了解事件发生的原因，并通过根本原因分析生成认识。

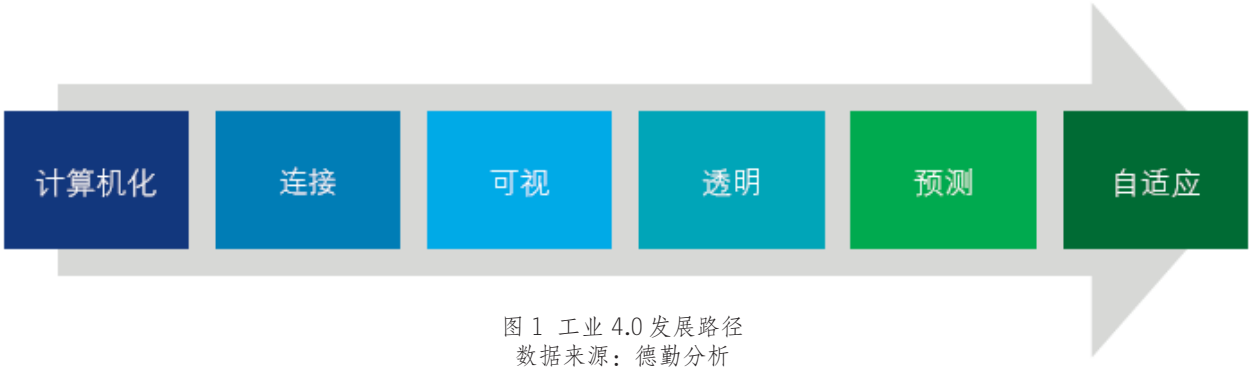


图 1 工业 4.0 发展路径
数据来源：德勤分析

• **预测**：将数字孪生投射到未来，模拟不同的情景对未来发展进行预测，并适时做出决策和采取适当措施。

• **自适应**：预测能力只是自动化行为和决策的根本要求，而持续的自适应则使企业实现自主响应，以便其尽快适应变化的经营环境。

随着中国两化融合和工业物联网建设等多项举措推进，制造型企业数字化能力素质显著提升，大部分企业正致力于数据纵向集成。德勤调研结果显示，81% 的受访企业已完成计算机化阶段，其中 41% 处于连接阶段，28% 处于可视阶段，9% 处于透明阶段，而预测和自适应阶段的企业各自占 2%（图 2）。

2. 智能制造利润贡献显著提升

向工业 4.0 进阶为制造企业带来真实可见的效益。2013 年德勤曾调研全国 200 家制造型企业，结果显示中国企业智能制造处在初级阶段，且利润微薄。经过五年的快速发展，智能制造产品和服务的盈利能力显著提升。

2013 年智能制造为企业带来的利润并不明显，55% 的受访企业其智能制造产品和服务净利润贡献率处于 0-10% 的区间，而 2017 年，仅有 11% 的受访企业处于这个区间，而 41% 的企业其智能制造利润贡献率在 11%-30% 之间。利润贡献率超过 50% 的企业，由 2013 年受访企业占比 14% 提升到 2017 年的 33%（图 3）。智能制造利润贡献率明显提升，利润来源包括生产过程中效率的提升和产品服务价值的提升。

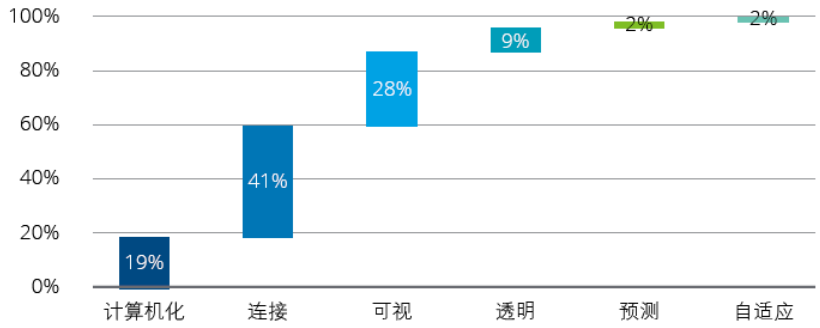


图 2 受访企业所处阶段（基于企业自我评估）
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

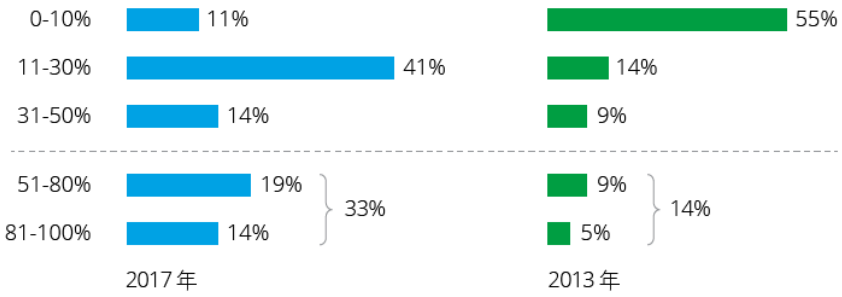


图 3 智能制造产品和服务利润贡献率显著提升
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

3. 应用市场潜力

中国已连续六年为工业机器人第一消费大国。IFR (International Federation of Robotics) 数据显示，中国工业机器人市场规模在 2017 年为 42 亿美元，全球占比 27%，2020 年将扩大到 59 亿美元。2018-2020 年国内机器人销量将分别为 16 万、19.5 万、23.8 万台，未来 3 年 CAGR 达到 22%（图 4）。汽车、高端装备制造和电子电器行业依然为工业机器人的主要用户。

中国有哪些独特优势？首先是数据量。当前人工智能热潮背后的机器学习技术对数据极其依赖。识别人脸、翻译语言和试验无人驾驶汽车需要大量的“训练数据”。由于中国的人口数量和设备数量庞大，中国企业在获取数据方面具有天然的优势。第二，中国制造业企业硬件设备和厂房相对欧美企业普遍较新，比较容易实现设备连接和厂房改造。

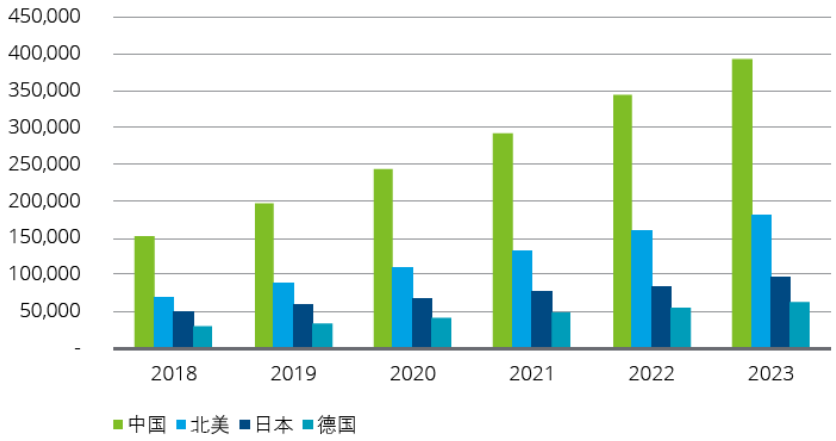


图 4 全球主要市场工业机器人销量
数据来源：IFR，德勤研究

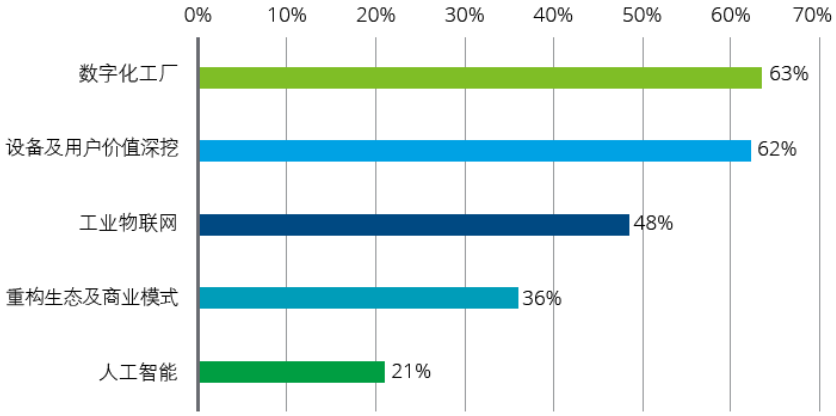


图 5 受访企业智能制造部署重点领域
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

二、智能制造部署重点

德勤调查发现，中国工业企业智能制造五大部署重点依次为：数字化工厂（63%）、设备及用户价值深挖（62%）、工业物联网（48%）、重构商业模式（36%）以及人工智能（21%）（图 5）。

受访企业所关注的相关技术包括工业软件、传感器技术、通信技术、人工智能、物联网、大数据分析等（图 6）。当然，我们不能简单认为有了这些技术，就是实现智能制造，因为新制造业文化的变革进程是相当复杂和缓慢的，没有行业、企业与用户的融合推进，这次变革无法实现。

1. 数字化工厂

智能制造是以制造环节的智能化为核心，以端到端数据流为基础，以数字作为核心驱动力，因此数字化工厂被企业列为智能制造部署的首要任务。目前企业数字化工厂部署以打通生产到执行的数据流为主要任务，而产品数据流和供应链数据流提升空间大。

数字化工厂通过新一代信息技术，实现从设计、生产、物流和服务等各个环节的数据串连，加速决策，提高准确性。只有打通数据流才能实现基于实时数据变化，对生产过程进行分析和优化处理，进而实现业务流程、工

艺流程和资金流程的协同，以及生产资源（材料、能源等）在企业内部及企业之间的动态配置。打通数据流也是工厂建立“数字孪生”的前提，数字孪生不仅指产品的数字化，也包含工厂本身和工艺流程及设备的数字化，从而实现全面追溯、物理与虚拟双向共享和交互信息。

打通数据流主要包括三类数据的连通，即生产流程数据、产品数据以及供应链数据（图 7）。

• 生产流程数据

打通生产流程数据除了从生产计划到执行的数据流（如 ERP 到 MES），还包括 MES 与控制设备和监视设备之间的数据流，现场设备与控制设备之间的数据流，以及 MES 与现场设备之间的数据流等。

• 产品数据流

打通产品数据流主要体现在产品全生命周期数字一体化和产品全生命周期可追溯。产品全生命周期数字一体化以缩短研发周期为核心，主要应用基于模型定义（MBD）技术进行产品研发、建设产品全生命周期管理系统（PLM）等。研发是数字化工厂“数据链条”的起点，研发环节产生的数据将在工厂的各个系统间实时传递，数据的同步更新避免了传统制造企业经常出现的由于沟通不畅产生的差错，也使得工厂的效率大大提升，缩短产品研制周期。产品全生命周期可追溯以提升产品质量管控为核心。主要应用是让产品在全生命周期具有唯一标识，应用传感器、智能仪器仪表、工控系统等自动采集质量管理所需要数据，通过 MES 系统开展在线质量检测和预警等。

• 供应链数据流

打通供应链数据流主要体现

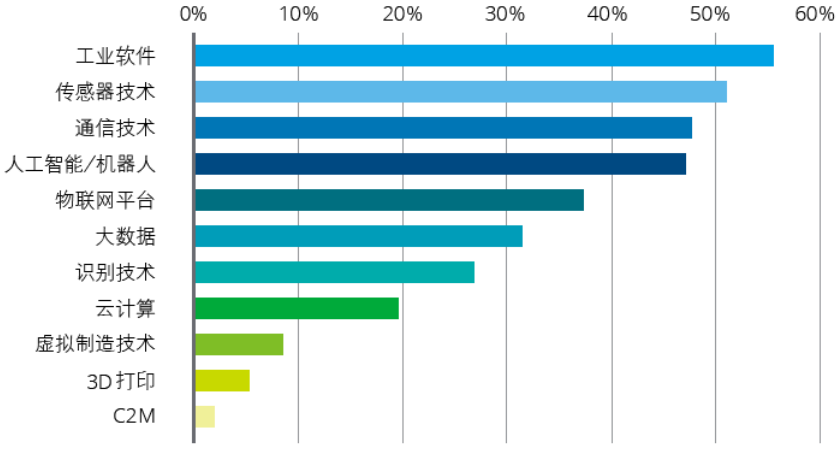
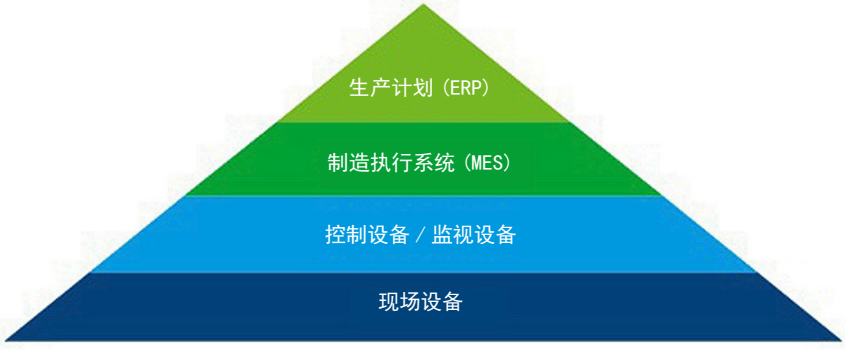


图 6 受访企业所关注的技术
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018



数据流	举例
MES 与控制设备和监视设备之间的数据流	MES 将作业指令、参数配置、处方数据等发送给控制设备；控制设备向 MES 发送与生产运行相关的数据，监视设备向 MES 发送诊断信息和报警信息。
控制设备与现场设备之间的数据流	现场设备包括各种传感器、数控机床、工业机器人、工艺装备、智能仓储等制造装备。二者交换输入、输出数据，如控制设备向现场设备传送的设定值（输出数据），以及现场设备向控制设备传送的测量值（输入数据）；控制设备读写访问现场设备的参数；现场设备向控制设备发送诊断信息和报警信息。
MES 与现场设备之间的数据流	MES 向现场设备发送作业指令、参数配置等；现场设备向 MES 发送与生产运行相关的数据，如质量数据、库存数据、设备状态等。

图 7 生产数据流主要类型
来源：公开资料、德勤分析

在供应链上下游协同优化，实现网络协同制造。主要应用是建设跨企业制造资源协同平台，实现企业间研发、管理和服务系统的集成和对接，为接入企业提供研发设计、运营管理、数据分析、知识管理、信息安全等服务，开展制造服务和资源的动态分析和柔性配置。

德勤调研结果显示，目前企业致力于打通从 ERP 到 MES 乃至现场设备的数据流，但这也仅是从生产到执行的打通，未来还需将产品数据、供应链数据串联。我们将生产数据流分为两个环节：一是打通生产计划与执行系统的数据流；二是执行与监控和现场设备的数据流。结果显示，83% 的受访企业表示已打通 ERP 和 MES 的数据流。62% 的企业继续向下打通 MES 到现场设备的数据流。但仅有 47% 的企业打通了产品数据流，44% 的企业打通供应链数据流（图 8）。而且考虑到我们调查的企业均为资质较好且为中等以上规模，这一系列比率显然高于中国整体平均水平。

从行业角度来看，航空航天领域全部受访企业已经打通从生产计划到执行的数据，但从生产执行到现场设备、产品以及供应链的数据链条连通相对滞后，提升空间大。电子组件及电器制造行业产品数据流和供应链数据流连通情况高于其他行业，数字化工厂整体水平较高。产品质量可谓是制药行业的生命，而打通产品数据流的制药企业仅占 33%，行业需要强化产品全生命周期可追溯，提升产品质量管控能力。汽车及汽车零部件以及高端装备制造都在产品数据流方面领先（图 9）。

数字孪生

未来数字世界和现实世界会是一体两面，打通数据流也是数字孪生（digital twin）操作的基础。德勤认为数字孪生是物理实体或流程的准实时数字化镜像，有助于企业绩效提升。数字孪生往往包含“数字产品孪生”、“生产工艺流程数字孪生”和“设备数字孪生”不同层面但可以高度集中统一的数据模型。

数字产品孪生领域，特斯拉公司为其生产和销售的每一辆电动汽车都建立数字孪生模型，相对应的模型数据都保存在公司数据库。每辆电动车每天报告其日常经验，并通过数字孪生的模拟程序使用这些数据来发现可能的异常情况并提供纠正措施。通过数字孪生模拟，特斯拉每天可获得相当于 160 万英里的驾驶体验，并在不断的学习过程中反馈给每辆车。生产流程数字孪生领域，

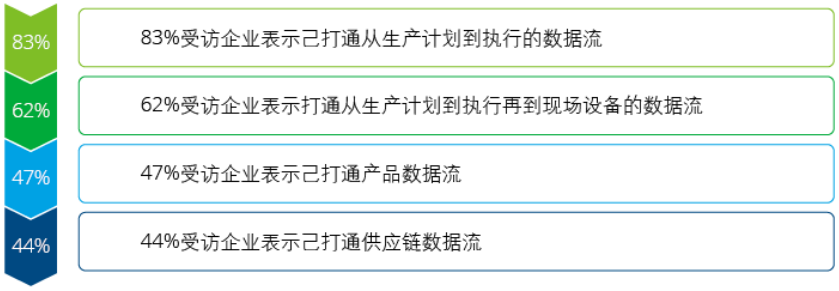


图 8 受访企业数据连通情况
数据来源：德勤智能制造企 业调研 2018

	从生产计划到执行的数据流	设备数据流	产品数据流	供应链数据流
航空航天	100%	38%	25%	13%
新材料	92%	54%	46%	31%
电子及电器	86%	81%	62%	57%
制药	83%	50%	33%	50%
汽车及汽车零部件	80%	67%	53%	40%
高端装备制造	68%	53%	58%	47%

图 9 受访企业数据连通情况 *（按行业）
* 百分比代表打通数据流企业在本行业的占比
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

一些嗅觉敏锐的工厂及生产线开始引入数字孪生，在建造之前，对工厂进行仿真和模拟，虚拟出建造工厂的最佳流程，再将真实参数传给实际的工厂建设，有效减少误差和风险。待厂房和生产线建成之后，日常的运行和维护通过数字孪生进行交互，能够迅速找出问题所在，提高工作效率。

Gartner 对美国、德国、中国与日本的 202 家企业的调查发现，到 2020 年，至少 50% 年收入超过 50 亿美元的制造商将为其产品或资产启动至少一项数字孪生项目，届时参与使用数字孪生技术的企业数量将增长 3 倍。预计在今后数年时间，将有数以亿计的用户使用数字孪生操作，它将被企业用于规划设备服务、生产线操作、预测设备故障、提高操作效率、加速新产品开发等。在未来，这项技术有望与工业生产彻底融合，推动智能工业进入新阶段。

如何创建数字孪生？德勤认为数字孪生的创建包含两个主要关注领域：

01. 设计数字孪生的流程和产品生命周期的数据要求——从资产的设计到资产在真实世界中的现场使用和维护；

02. 创建使能技术，整合真实资产及其数字孪生，使传感器数据与企业核心系统中的运营和交易信息实现实时流动。

2. 设备和用户价值深度挖掘

制造型企业面临愈发激烈的市场竞争和日益透明的产品定价，不得不寻找新的价值来源。德勤智能制造调研结果显示，设备和用户价值深度挖掘是企业智能制造部署第二重点领域。62% 的受访企业正积极部署设备和用户价值深度挖掘，其中 41% 的企业侧重设备价值挖掘，21% 的企业侧重用户价值挖掘。

围绕设备进行价值挖掘可以说是制造型企业的天性。如在研发设计阶段，嵌入新技术，生产更智能或更多样化的产品；在销售阶段，提供设备相关金融服务；在售后阶段，对出厂设备和产品进行实时数据采集和监控，并进行性能分析、预测性维护等，既提升安全性，也为企业创造更多服务机会。

虽然起步较晚，制造型企业也在探索和尝试对用户价值进行深度挖掘，其中以 C2M (customer-to-manufactory，客户到制造）最受瞩目。C2M 体现了定制化生产的特性，使制造商直接面对用户，以满足用户个性化需求；同时通过减少中间环节降低成本、提升效率。

红领集团通过打造 C2M 电商平台、柔性供应能力和大数据能力实现了大规模定制化。顾客可以在其 C2M 电商平台选择款式、工艺、材料并下单。平台快速收集顾客分散、个性化需求数据的同时，大数据和云计算技术按客户需求匹配产品数据模型，其款式数据和工艺数据能满足超过百万万亿种设计组合，覆盖 99.9% 的个性化设计需求。当版型确定后，系统自动生成工艺数据，工艺数据发送至工厂，工厂进行生产交付。整个流程从下订单到产品出厂仅需 7 个工作日，并做到按需生产、零库存、一人一版、一衣一款。

阿里巴巴的“淘工厂”集结上万家工厂，将电商买家订单与制造厂商产能进行对接，把柔性产能档期联网，解决电商买家有订单无工厂，制造企业有产能无订单的结症。

3. 工业物联网

智能制造要求制造系统具备感知、分析、决策和执行的能力，而这些能力的核心均涉及物联网相关技术，如面向感知的物联技术（传感器、RFID、芯片）、面向分析的工业大数据分析和面向决策及服务的应用平台。

德勤调研结果显示，目前中国制造企业物联网应用以感知为重点，分析和服务交融将是未来物联网建设重点。受访企业普遍建立系统以传感器采集动态数据，但数据分析和平台应用相对滞后。从行业应用来看，电子及电器行业传感器和平台应用最为普及，76% 的受访企业利用传感器采集数据，43% 的企业利用物联网平台，但仅有 33% 的企业采用大数据技术分析所采集的数

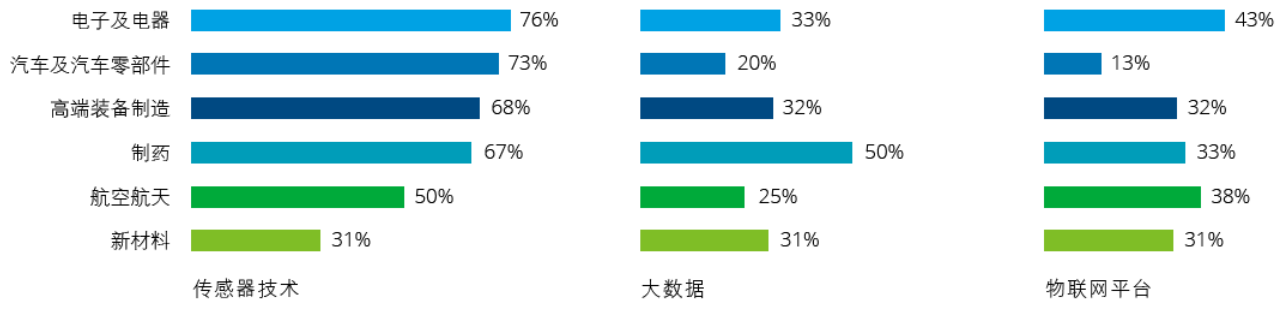


图 10 受访企业典型物联网相关技术应用情况
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

据。汽车及零部件制造行业传感器技术应用也有较高普及率达73%，但大数据和平台应用低于其他受访行业。制药行业大数据技术利用最为积极，因为医药行业早已面临海量数据和非结构化数据挑战（图 10）。

感知仅是物联网应用的初级阶段，以数据洞察指导行动，从而提高效率，或者与服务交融创造新价值，才是物联网的核心。云平台通过提供强大的数据传输、存储和处理能力，帮助制造企业采集和处理大量数据。工业云平台不仅能够实现企业通过平台完成产品的设计、工艺、制造、采购、营销等环节，还将改变传统生产方式和制造生态，创造新的收入来源和商业模式。中国制造企业云部署现状如何？

德勤调研发现，中国制造企业云部署积极性不高。53% 的受访制造企业尚未部署工业云，47%的企业正在进行工业云部署，其中 27% 的企业部署私有云，14% 部署公有云，6% 部署混合云（图 11）。上云可以大幅降低每个单元的储存和计算成本，甚至通过跨界创造新的商业模式，但也带来了复杂性。企业担心一旦将诸如工厂生产过程、资产性能管理的数据放到云平台上之后，信息安全、知识产权问题会接踵而至。除此之外，很多企业尚未明确工业云在企业层面的商业应用和相关能力欠缺也是导致企业云部署积极性不高的原因。

对于选择公有云还是私有云，很大程度取决于企业的关注点不同。如果企业只是聚焦自己的生产制造，降本增效，往往不会选择公有云；如果企业聚焦商业模式创新和产品转型，则会天然的更倾向于选择公有云或混合云，因为往往涉及服务平台，需要做到一定程度上的兼容和融合。由于目前国内比较常见的工业云的部署以云的基础功能为主，企业把云看作虚拟服务器，在云上做存储、计算，只有少数企业通过云部署改变生产方式和制造生态，进行公有云和混合云

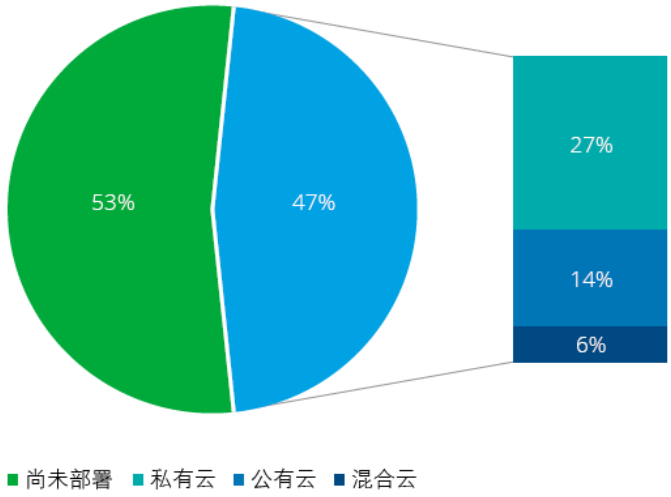


图 11 受访生产型企业工业云部署
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

部署的企业仍为少数。

德勤认为物联网在智能制造领域的应用场景主要分为三类：设备与资产管理、产品洞察和服务创新。

• 设备与资产管理

具备感测与联网功能的系统与大数据结合，可以实现设备的监控和管理，如远程监控、预测性维护和互联现场等。远程监控以物联网替代传统的人工巡检机制，通过传感器远距离将设备数据传输到运营中心。预测性维护打破传统工厂按计划进行定期维护设备的运营方式，通过物联网对设备整个生命周期进行全程监控，并预测设备未来可能发生的故障，提前制定预防性维护计划，减少故障率并提高生产效率。物联网还可以连接和监控厂房的工业装置和设备，获得有见解的分析，从而帮助跨工业设备、生产线以及在整个工厂范围内优化性能和效率。当然，除了新厂房，老厂房和设备在没有更新换代之前，也有联网监控的需要，如何在现有设备上进行物联网改造是值得企业关注的问题。

• 产品洞察

制造企业往往不太了解自己的产品如何被使用，而物联网将改变这一现状。在产品投入使用后，制造厂商可以通过物联网与产品建立并保持联系，收集动态数据，以更加系统的方式实时地持续地分析产品使用情况。在了解客户对产品的使用方式后，厂商还可以基于数据预测客户需求，开发个性化产品和新的服务项目，提高产品附加值。

• 服务创新

基于数据和平台提供后市场服务，物联网与服务交融实现商业模式创新。物联网协助制造企业更有效捕捉和预测市场需求，创造动态化、个性化的智能服务、咨询服务、数据服务、物联网金融与保险等新的服务种类。这类应用将打破企业原来的边界，从全社会的维度思考制造资源的优化，客户和制造端的互动以及各种商业模式的创新。

企业需要评估自身业务需要，明确商业目标、相关流程和预期结果的范围，在考虑技术可扩展性、性能、带宽经济和技术创新等级后，才能对数据和物联网系统的处理架构做出明智的选择。

4. 重构未来商业模式

智能制造不仅能够帮助制造型企业实现降本增效，也赋予企业重新思考价值定位和重构商业模式的契机。同时，新进入者也在不断挑战传统市场参与者的地位，众多技术型企业加入战场推动工业企业探索商业模式上的创新。

德勤调研发现企业对未来商业模式的规划大致呈四类：30% 的受访企业未来商业模式将以平台为核心，26% 的企业走规模化定制模式，24% 以“产品 + 服务”为核心向解决方案商转型，12% 以知识产权为核心（图 12）。平台型商业模式定位以提供多种软件服务和搭建生态系统为核心，未来可能不会出现类似 BAT 这样的行业巨头，但不乏垂直行业领军企业或平台。规模化定制模式，如 C2M 已经不局限于服装制造，而延伸到汽车和装备制造等行业。“产品 + 服务”为核心旨在围绕客户需求提供解决方案，是目前很多企业在做的。以知识产权为核心的企业往往通过专利战略，形成技术壁垒占领市场。

不同商业模式的价值定位和价值创造方式不同，所面临的挑战也不尽相同（图 13）。企业需要持续审视自己的商业模式，通过评估自身运营情况进行适当地改善并定期评估其他商业模式是否具有可行性。

5. 人工智能

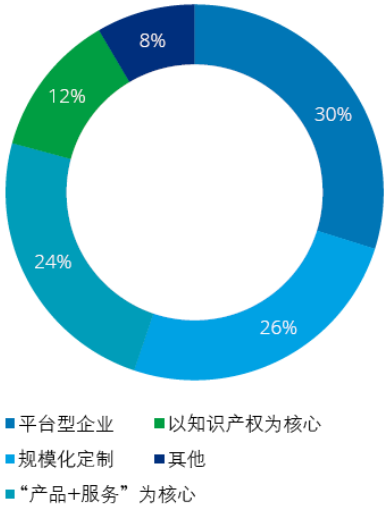


图 12 受访企业未来商业模式定位
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

商业模式定位	特点及趋势	挑战
平台型	• 多种软件服务+生态系统 • 竞争力体现在平台上的软件服务能力，而非平台本身 • 大部分企业会选择扩展性更强的公有云平台搭建基础设施 • 未来不会出现类似BAT 的巨头，而是垂直行业的领军企业或平台 • 典型企业：GE Predix、三一重工、树根互联	• 工业企业更擅长实物产品创新而非软件服务创新 • 软件平台需要支持多种软件服务方案，包括那些尚未开发的服务 • 数据所有权问题 • 可能需要进行一系列软件企业收购 • 平台业务搭建培育期较长，领导层、股东能否接受较长回报期的压力 • 平台业务很难与现有业务竞争人力资源和财务资源，企业可能需要重组业务单元P&L，改变会计实务
规模化定制	• 直接面向用户、多维交叉分析、了解用户行为、建立数据模型 • 多采用模块化设计方法 • 数据链条贯通用户、制造商和供应商 • 业务流程符合柔性制造特点 • 很多行业都可能走向规模化定制，如服装、消费电子、汽车、装备制造 • 典型企业：红领集团、海尔、长安汽车	• 客户交互、数据仓库、数据分析等技术投入预算将大幅增加 • 为应对个性化定制生产，供应链也需要数字化转型 • 尽管生产环节复杂程度提高，必须保持成本水平和成本结构可控
“产品+服务”为核心	• 提供由产品和服务两大模块组成的整体解决方案 • 服务是产品战略的重要组成部分和利润来源 • 服务创新与产品创新双轨进行 • 典型企业：罗罗、徐工	• 从围绕现有产品提升客户体验到围绕客户需求提供解决方案 • 系统集成能力有待提高 • 创新投入大幅增加而收益却不尽人意 • 收入模式改变
知识产权为核心	• 企业往往通过专利战略，形成技术壁垒占领市场 • 收入来源：1）专利授权许可收费，2）专利、产品和解决方案组合，3）技术转让 • 技术许可常与标准化战略相结合 • 典型企业：高通、华为、朗科	• 技术研发投入大 • 技术成果产业化时间的不确定性 • 专利授权之前主要收入来源的不确定性 • 投入大量资源进行专利维权

图 13 不同商业模式特点及挑战
来源：德勤分析

人工智能对制造业的影响主要来自两方面：一是在制造和管理流程中运用人工智能提高产品质量和生产效率；二是对现有产品与服务的彻底颠覆。

随着国内制造业自动化程度提高，机器人在制造过程和管理流程中的应用日益广泛，而人工智能更进一步赋予机器人自我学习能力。结合数据管理，导入自动化设备及相关设备的联网，机器人通过机器学习分析，可以实现生产线的精准配合，并更准确的预测和实时检测生产问题。

人工智能在制造业产品和服务领域的应用则更具有颠覆性。产品本身就是人工智能的载体，硬件与各类软件结合具备感知、判断的能力并实时与用户、环境互动。而产品的功能和服务，也将颠覆原有生态系统。以汽车产业为例，传统汽车行业的竞争格局是金字塔型——整车厂处于顶端，各级别供应商跟随其后。但是在智能汽车时代，整车厂的主导地位将受到严峻挑战，零部件厂商、互联网巨头、算法公司、

芯片制造商、传感器供应商等企业无不加快对无人驾驶技术的研发和商业化步伐，并期望通过占据技术制高点打破汽车产业的生态平衡。

中国制造企业人工智能应用情况如何？德勤智能制造调研发现，51% 的受访企业在制造和管理流程中运用人工智能，46% 的受访企业在产品和服务领域已经或计划部署人工智能（图 14）。制造和管理流程中人工智能的运用更偏向系统自动化和制造精益化，目的是提高生产效率和产品质量，同时人也被解放出来，可以去思考更复杂的问题。主要应用场景包括使用机器人实现流程自动化、柔性制造、定制化生产、质量检测等。在产品和服务领域人工智能的运用更侧重产品和服务与使用者的互动，典型应用包括研发和新品测试、用户行为分析、自动驾驶等。

当然人工智能仍处在发展早期，技术突破及商业论证需要更长时间。另外，人工智能应用环境和基础设施的完善程度，信息和安全法规、企业自身的能力都成为企业面临的主要挑战。我们发现，对于尚未部署人工智能的制造企业来说，缺乏投资人工智能的商业论证、尚不具备建立和支持人工智能的系统能力、尚不明确部署人工智能的前提为主要挑战（图 15）。

人工智能正迅速渗透各行各业（图 16）。汽车及汽车零部件制造、高端装备制造、电子及电器制造三个行业在制造流程中采用机器人的比例过半。汽车及零部件制造行业使用机器人的企业比例达到 80%，预示未来工业机器人的市场增量将主要来自非汽车行业。在产品和服务领域已经或计划部署人工智能的行业分布比较均匀，高端装备制造和制药比例较高，但其他行业如新材料、汽车及零部件、航空航天、电子及电器也正在或计划部署人工智能。

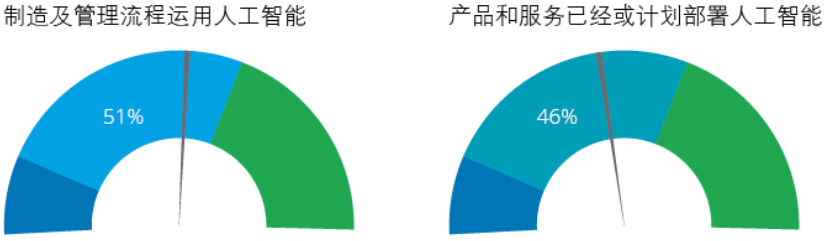


图 14 受访企业人工智能应用及部署情况（整体）
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

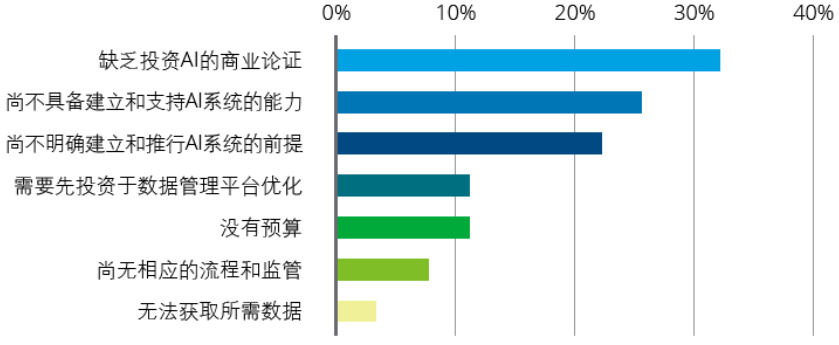


图 15 受访企业尚未部署人工智能的主要原因
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

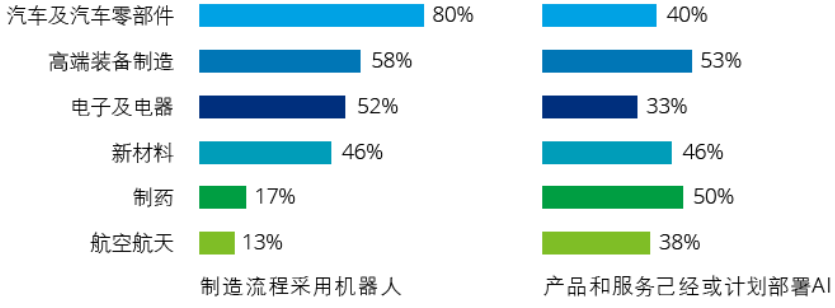


图 16 受访企业人工智能应用及部署情况 *（按行业）
百分比代表已经采用机器人和部署 AI 的企业在本行业中占比
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

行业对人工智能的理解已随着算法、技术和应用的发展，越来越加深。对于企业而言，应跳出人工智能仅是“机器换人”的既定思维，在精益制造、产品质量、用户体验等多方面进行部署（图 17）。

三、跨越能力鸿沟

重构商业模式是一项复杂艰巨的任务，我们请企业就实现构想中的商业模式所面临的能力鸿沟进行打分（图 18），综合来看，商业模式优化、创新管理以及云部署为企业能力建设三大关键任务，德勤建议分别从以下几个方面入手提升能力。

1. 商业模式优化

优化商业模式可能仅需要改变或改进目前模式中部分元素，也可能涉及改变整体运营模式的重大转型。在过去的 15 年里，由于技术、通信、物流和交通等方面的迅速进步，整体运营模式的重大转型已更为常见。企业需要运用行之有效的方法和工具，从以下工作流程各环节入手优化商业模式。

• 重新调配人员

人尽其用是企业转型可持续性的关键之一。重新调配人员侧重于设计和实施人员调度，以支

行业	应用场景
汽车	• 智能生产：自动化与人工智能结合提高生产线效率和产品质量 • 智能车载系统：智能语音助手、人脸识别、疲劳监测、导航、人机界面、车家互联、智能安全等 • 驾驶辅助：在感知层面，利用机器视觉、语音识别感知驾驶环境、理解乘客；在决策层面，利用机器学习与深度学习模型建立驾驶决策系统 • 智能销售：通过手机APP了解新车功能、问询车辆相关问题，通过手机摄像头扫描，了解存疑的控制原件或显示屏的问题 • 预测性维修：通过接入汽车的插件和一个附属手机APP，搜集实时发动机和传感器数据及其他监测信息，通过运行状态信息和预测模型实现零配件的提前维修更换 • 汽车金融保险：结合人工智能与大数据，辅助汽车金融、保险企业进行风险决策
高端装备制造	• 智能生产：协作机器人和自动化生产线改造融合，确保离散型生产过程的效率、安全质量、自我纠错 • 智慧型设备：自主设计和优化运行状态、自主评估和优化能耗、评估诊断重要系统设备、自身和环境等数据信息的自动感知等 • 预测性维修：搜集实时运行数据，通过运行状态信息和预测模型实现零配件的提前维修更换
电子及电器	• 智能移动设备：语音互动、增强用户体验、手机AI芯片 • 智能家居：围绕“智能”、“便捷”、“安全”等属性，结合智能家居设备和智能家居平台 • 可穿戴设备：面向不同群体的人工智能+多种穿戴形式，如手环、手表、眼镜、耳机、衣物等
航空航天	• 智慧型飞机：自主设计和优化运行状态、自主评估和优化能耗、评估诊断重要系统设备、自身和环境等数据信息的自动感知等 • 空间站机器人：空间站组装建造、航天器捕获、辅助太空人出舱活动、维修维护、载荷照料等空间智慧操作
制药与生命科学	• 缩短药物研发时间：结合人工智能、大数据、生物模型分析、基因组学等多种工具的药物研发平台 • 病理研究：利用人工智能研究基因、环境等多种因素了解发病机理及每项因素的相对贡献 • 防治传染病：将当地医院所有病例出现的时间和地点与包括风向、湿度、温度、人口密度等大量可变因素结合，分析并预测疫情 • 病人的招募和鉴别：运用机器学习将病人与正在进行的最合适的临床试验进行匹配

图 17 人工智能行业应用场景
来源：公开资料、德勤研究

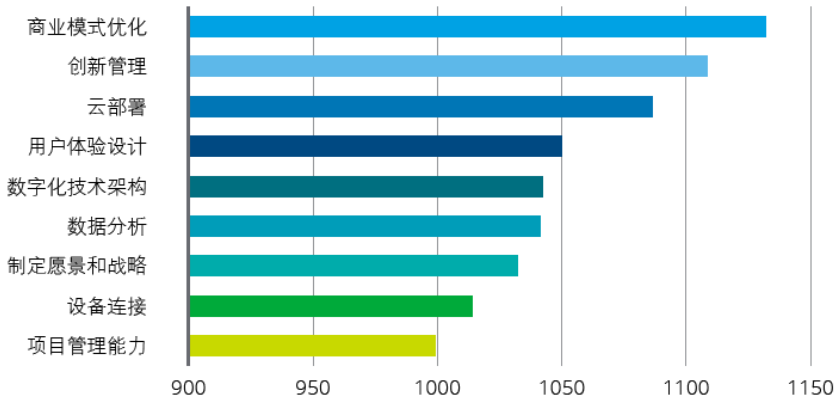


图 18 受访企业亟待提高的能力（企业自我评估权重打分，分值越高能力越弱）
数据来源：德勤智能制造企业调研 2018

持新商业模式，并实现从原有模式到新模式的顺利过渡。该环节还包括制定新的关键绩效指标及汇报关系以支持新商业模式。

• 企业转型整编

优化现有商业模式，包括从原材料采购到产品销售过程所涉及的一切环节，挖掘可以整体改动或局部改进的待优化环节，以支持新的商业模式。

• 重新配置信息技术系统

企业需要探索、设计与实施基础设施及信息技术系统的改进。

• 重组法律、财务及税务架构

商业模式优化方案的设计和实施通常涉及许多复杂的法律实体及税务架构上的改变。企业管理团队需要分析不同方式的利与弊。如新商业模式下所得税和转让定价事项有何变化，增值税和关税对新商业模式可能产生的影响。

2. 创新管理

创新管理的目标包括优化创新产品管理、优化生命周期成本、优化资本使用效率和优化风险管理。

• 优化创新产品管理

建立统一的产品管理体系（包括有形的产品和服务），优化决策流程，提高决策效率。

• 优化生命周期成本

通过产品生命周期的最优化运作，优化产品投资成本和运营成本。

• 优化资本使用效率

通过监控、评估和 KPI 管理，优化产品管理、提升资本使用效率。

• 优化风险管理

有效管理创新过程中的市场风险和数据安全风险等诸多风险。

值得注意的是，单纯的产品创新管理并不能令企业长久保持竞争优势。如今，几乎所有产品类别都处于激烈的竞争之中，任何新产品的任何独特优势都会被快速吞噬。组合多种创新类型可以帮助公司拥有更好的财务回报。虽然不能把这些公司的绩效全部归功于创新，但创新有助于提升一家公司的机制，包括投资者对它未来的预期。

3. 云部署

仅仅把数据和应用转移到云上是远远不够的，大多数情况，上云会牵涉多个业务功能，影响企业的供应商、财务报表和客户，企业需要长远规划，分步执行。企业还需要充分考虑人力资源和数字化程度如何与云部署配合。

• 规划

审视企业现有商业模式并探讨是否有其他可行的商业模式，根据商业模式制定云部署战略，进行商业论证和自身能力评估。

• 执行

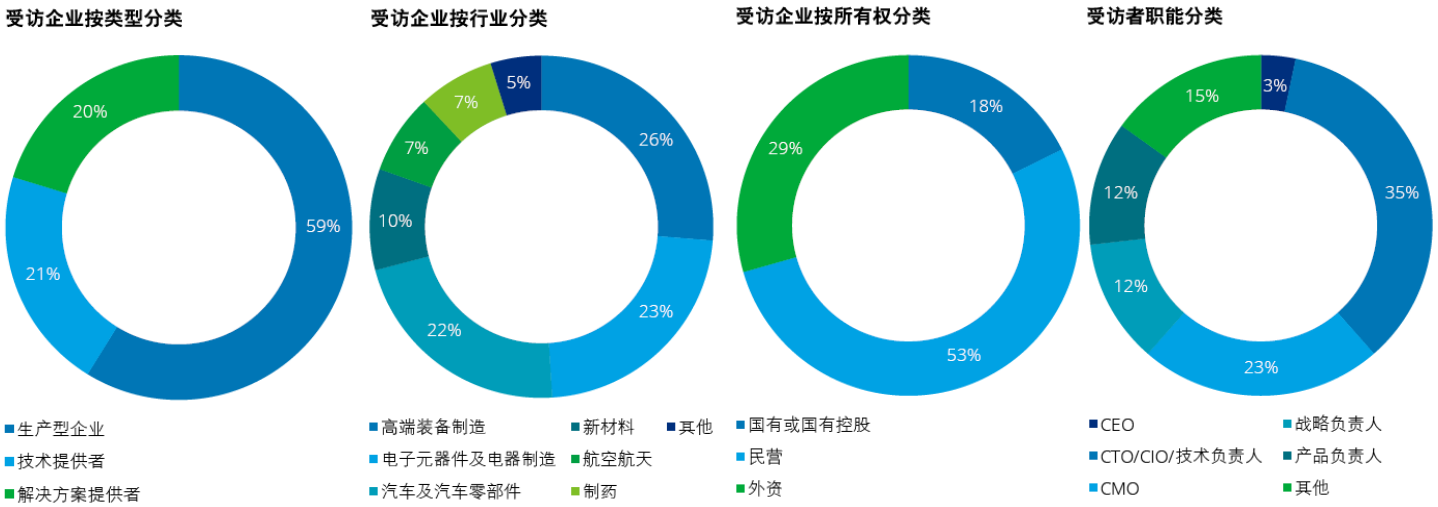
执行阶段可以分四步走，第一步是 SaaS 部署，包括 ERP，CRM，人力资源转型和其他软件部署；第二步是个性化部署，包括应用开发、架构搭建和平台部署；第三步为云迁移，其间可能需要对应用软件进行更新和调整。第四步为引入大数据分析平台。

今天的市场变得越来越多样化，消费者的需求在不断变化。同时，产品、生产流程和服务的数字化、智能化已是大势所趋，受此趋势影响，工业企业正在加

快智能制造部署，并不断审视商业模式，并制定有效策略，以期从运营和战略层面推动实际价值的创造。MT

关于本次调研

本次调研共 153 家大中型企业。在进行调研时，我们将受访企业分为两大类：生产型企业和技术服务型企业。生产型企业来自各个行业，如汽车、装备制造、电子及电器、航空航天等。技术服务型企业又分为技术提供者和解决方案提供者，技术提供者为生产性企业提供工业物联网、大数据、人工智能、工业 APP 等技术；解决方案提供者为客户打通硬件、软件和服务的整体解决方案。



数据来源：德勤智能制造 企业调研 2018

Deloitte. 德勤

德勤为各行各业的上市及非上市客户提供审计及鉴证、管理咨询、财务咨询、风险咨询、税务及法律相关服务。透过遍及全球逾 150 个国家与地区的成员所网络，德勤拥有大约 263,900 名专业人员，致力追求卓越，为财富全球 500 强企业中的 80% 左右的企业提供专业服务。凭借其世界一流和高质量的专业服务，协助客户应对极为复杂的商业挑战，帮助客户成就不凡。

2017 年德勤成立了中国工业 4.0 卓越中心，旨在整合行业优势资源，为中国企业实现智能制造与工业物联网提供适切的战略规划与解决方案，帮助企业加快转型升级步伐。德勤在协助工业领域中数字化阶段不一的公司开展各项变革举措，从战略的拟定、生产效率的提升、业务模式改革、到人才和成本管理等领域积累了丰富的成功案例，协助客户驾驭复杂的全球局势，在众多的竞争者中稳占先机。

走进中国动力谷 助力强劲动力“芯”

——中国机械工程学会走进株洲·中国动力谷系列活动隆重举行

2018 年 7 月 6-7 日，中国机械工程学会组织 9 位院士、80 余位机械工程领域专家，共赴工业重镇湖南株洲开展“中国机械工程学会走进株洲·中国动力谷系列活动”。

本次系列活动包括四大板块：走进株洲·中国动力谷学术报告会、株洲·中国动力谷发展策略研讨会、中国机械工程学会助力株洲企业项目需求对接会、走进株洲·中国动力谷企业调研考察。

7 日上午，走进株洲·中国动力谷学术报告会召开。学术报告会围绕株洲产业发展特点，展望产业发展愿景，提出发展建议。

报告会由中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持。

株洲市委副书记、市长阳卫国，湖南省机械工程学会理事长何清华先后致辞。

中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持会议

会议现场

株洲市委副书记 市长阳卫国致辞

湖南省机械工程学会理事长何清华致辞

中国机械工程学会理事长李培根院士做报告

中国机械工程学会理事长李培根院士做了“智能制造—从数据与互联开始”的报告。报告指出，智能制造是中国制造业转型升级的迫切需求。智能制造正在引发制造业发展理念、制造模式发生重大而深刻的变革，带动制造业的数字化、网络化、智能化水平快速跃升。作为新一代人工智能技术，从数据中学习，从数据中提取知识，通过数据驱动和物联网等技术将重构产品、制造、服务等产品全生命周期的各环节，催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式，深刻改变人类生产生活方式和思维模式。

中国机械工程学会副理事长钟志华院士做了“‘七新’联动助推汽车自主创新”的报告。随着新能源、互联网、大数据、人工智能、新材料、智能制造、共享经济等技术的发展，汽车技术与产业正面临新一轮的重大变革。报告认为，综合汽车技术与产业面临的创新发展挑战与机遇，“新能源、新功能、新模式、新材料、新结构、新工艺、新装备”是汽车发展的新方向，以上七个方面的创新叠加将带来汽车技术与产业的颠覆性变化，汽车的消费模式、设计理念、生产制造、销售运营、维护保养、回收利用等都将被重新定义。

中车株洲电力机车研究所有限公司董事长、中国工程院院士丁荣军做了“先进轨道交通装备技术的发展”的报告。报告指出，随着第四次工业革命的到来，以数字化、智能化为主要特征的各项技术创新将颠覆诸多产业现有形态、分工和组织方式，在全球范围内掀起波澜壮阔、势不可挡的“大趋势、大机遇、大挑战”。报告通过盘点全球轨道交通科技创新发展的新趋势，深度思考颠覆性技术创新，结合“中国制造2025”中的交通定位，就如何推动实现我国轨道交通技术的长远发展进行阐述，同时也对我国轨道交通的进一步发展提出建设性建议和展望。

出席本次学术报告会的嘉宾还有：株洲市政府副市长何朝晖；中国机械工程学会副理事长、上海交通大学校长、党委书记、中国工程院院士林忠钦；中国机械工程学会副理事长、中国工程院院士、浙江大学教授谭建荣；中国机械工程学会副理事长、合肥通用机械研究院院长、中国工程院院士陈学东；

中国机械工程学会副理事长钟志华院士做报告

中国工程院院士丁荣军做报告

中国机械工程学会监事、中国工程院院士、清华大学教授王玉明；中国机械工程学会副理事长、机械科学研究总院集团有限公司党委书记、董事长、总经理王德成；中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明；中国机械工程学会常务理事、太原理工大学党委副书记、校长、中国工程院院士黄庆学；中车株机公司专家委员会主任、中国工程院院士刘友梅。

中国机械工程学会的常务理事、各专业分会总干事以及各省区市机械工程学会秘书长及有关专家、株洲市政府有关部门领导、株洲市有关企业领导、专家，湖南省高校有关专家等代表 400 余人参会。

报告会后，举行了“株洲·中国动力谷发展策略研讨会”和“中国机械工程学会助力株洲企业项目需求对接会”两个分会场。

在“株洲·中国动力谷发展策略研讨会”上，受邀的 9 位院士，和 20 余位专家与株洲市有关领导进行座谈对话，专家们结合各自研究领域，对株洲·中国动力谷的产业基础和发展机遇进行分析，为株洲·中国动力谷未来发展的战略方向和发展路径建言献策。会上，中国机械工程学会与株洲市签订战略合作协议。

在“中国机械工程学会助力株洲企业项目需求对接会”分会场，中国机械工程学会组织 20 多位专家与株洲市 7 家企业进行

株洲·中国动力谷发展策略研讨会

中国机械工程学会助力株洲企业项目需求对接会

与会代表调研考察

（下转第 53 页）

中国机械工程学会第十一届四次常务理事（扩大）会议在株洲召开

中国机械工程学会十一届四次常务理事（扩大）会议于2018年7月7日在湖南省株洲市召开。我会理事长李培根，常务副理事长张彦敏，副理事长兼秘书长陆大明，副理事长王德成、陈学东、林忠钦、钟志华、谭建荣等43名常务理事和常务理事代表出席了会议。监事王玉明，副秘书长邢梅、左晓卫，部分专业分会总干事和省区市机械工程学会秘书长以及工作总部部分工作人员共54 人列席会议。会议由李培根理事长主持。

会议首先由李培根理事长传达了习近平总书记在两院院士大会上的讲话精神，张彦敏常务副理事长做了题为“抓改革，补短板，提升综合能力，创建一流学会”的报告，陆大明副理事长兼秘书长汇报了学会上半年工作，并部署了学会下半年的工作重点。

经举手表决，会议通过了“对《中国机械工程学会章程》个别条款进行修订”的议案，会章修订的条款待召开第十二次全国会员代表大会时再予以确认，并经中国科学技术协会审核同意后，报民政部社会组织管理局核准。会议还审议并通过了《中国机械工程学会会士遴选办法》的议案。

与会常务理事对会议内容进行了热烈的讨论，一致认为，学会工作要紧跟时代发展，转变观念，严格按照中国科协对学会的要求，认真履行职责。要发扬我会的成绩与优势，明确问题和短板，积极采取措施，抓改革，补短板，为创建世界一流学会的目标而努力奋斗。MT

（上接第52页）

项目需求对接座谈，企业针对制造过程中遇到的材料问题、技术及工艺问题、制造解决方案问题等提出需求，在场专家与企业一一交流，并就下一步合作进行洽谈。

2018年7月6日下午，中国机械工程学会组织与会代表们调研考察中国动力谷展示中心、北京汽车株洲分公司、中车株机公司、中车株洲所等单位。

本次走进株洲·中国动力谷系列活动由中国机械工程学会主办，株洲·中国动力谷建设领导小组办公室、株洲高新区管委会、株洲市科学技术协会承办，株洲高新区动力谷科技创新服务中心、株洲国创轨道科技有限公司协办。MT

第24届北京 · 埃森焊接与切割展览会

THE 24th BEIJING ESSEN WELDING & CUTTING FAIR

2019年6月25-28日
上海新国际博览中心

Shanghai New International Expo Center

June 25-28, 2019

微信二维码

CMES 中国机械工程学会 · 焊接学会 CMES · CWA 焊接设备分会 · DVS German Welding Society · MESSE ESSEN Place of Events

www.beijing-essen-welding.com

www.埃森焊接展.com