

智能制造——从美、德制造业战略说起

Analysis of Intelligent Manufacturing Based on American and German Manufacturing Industry Strategy

中航工业信息技术中心 宁振波
金航数码科技有限责任公司



宁振波

研究员,中航工业信息技术中心(金航数码)首席顾问,中航工业信息化总体组专家,国家两化融合创新推进联盟专家组专家。从事飞机设计工作30年,在多型飞机研制中多次立功受奖,获国家级科技进步二等奖等多个奖项。

20世纪末期以来,人类社会生产方式从以工业化为主导向信息化与工业化融合转变。特别是近年来,各国为提高产品质量、降低各类成本、减少研制周期,制订了多项先进制造的发展战略与规划,尤其是美国、德国纷纷制定国家战略,来调整

智能制造不仅是生产的概念,必然向前延伸到设计、向后推移到服务保障、向上推到管理。总之,智能制造是制造业全方位视角观看的图像。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.13.076

产业架构,完成产业转型,抢占未来制造业发展的制高点,而智能制造则是其中的关键。

美国现状、水平与发展路线

近年来,为了重塑美国制造业的全球竞争优势,奥巴马政府推出了一系列制造业振兴计划,依托新一代信息技术、新材料、新能源等创新技术,加快发展技术密集型先进制造业。作为先进制造业的重要组成部分,以先进传感器、工业机器人、先进制造测试设备等为代表的智能制造,得到了美国政府、企业各个层面的高度重视,创新机制得以不断完善,相关技术产业展现出良好发展势头。

高度发达的制造业是支撑美国经济的重要支柱。制造业为美国经济增长作出了巨大贡献。2013年,美国制造业产值达到2.08万亿美元,

占GDP的12.5%。制造业创造了大量就业岗位,超过1200万人直接从事制造业工作,而与制造业相关的岗位总共达到1740万个,占有私营企业就业数量的1/6。制造业是美国重要的创新驱动,制造业研发投入占到全美私营部门的2/3,2013年仅英特尔的研发支出就达到106亿美元,占全球半导体研发支出的19%。此外,美国制造业在生产水平、劳动效率、工人工资待遇以及生活水平等方面也都位居全球前列。

(1)智能技术创新全球领先。在智能技术的理论和应用研究方面,美国长期处于全球主导地位,人工智能、控制论、物联网这些智能技术的基础大多起源于美国,计算机业界最高奖项图灵奖获得者绝大多数是美国科学家。智能产品研发方面,美国也一直走在全球前列,从早期的数控

机床、集成电路、PLC到如今的智能手机、无人驾驶汽车以及各种先进传感器,大量与智能技术相关的创新产品诞生自美国高校的实验室和企业的研发中心。

(2) 智能制造产业化应用不断加深。一是智能元器件和制造装备在生产环节得到广泛使用。生产线自动化控制、仓储管理等方面早已大面积应用RFID技术,有的自动化车间已经开始使用超高频RFID。而据美国机器人工业协会估计,全美已有大约23万台机器人投入工厂生产;二是依托大数据、物联网等新一代信息技术的智能系统平台相继推出。罗克韦尔的开放式智能制造平台、通用的Predix软件平台都是依托数据采集实现工况监测管理的典范;三是生产流程管理由数字化进入智能化。特斯拉打造的机器人全自动化超级工厂5天内就可以实现一辆电动车从模型到成型的生产过程。

(3) 智能制造产业体系日趋完善。从基础元器件到智能制造装备再到工业软件系统的智能制造,美国的产业体系越来越完善。基础元器件领域不仅有艾默生、霍尼韦尔这样的工业巨头,更有大量专注于某一细分领域的优秀小企业,仅PLC厂商就多达上百家,传感器更是拥有上千家研发生产商;在数控机床方面,拥有MAG、哈挺、哈斯、格里森等一批知名企业,工业机器人也拥有American Robot这样的知名企业;在工业软件方面,从研发设计软件到管理软件,再到生产控制软件,全球绝大多数有实力的企业都来自美国。

健全的创新机制是美国智能制造快速发展的助推器,美国的智能制造得益于以下体制机制。

(1) 强化战略顶层设计,完善法律制度保障。一是战略计划相继出台。2011年2月,奥巴马政府发布“美国创新战略”,提出加快先进制造业发展。同年6月,“先进制造伙伴计

划”出台,旨在推动创新、保障智力渠道、完善商业环境。2012年2月,“国家先进制造战略计划”公布,就加速先进制造领域特别是中小制造企业投资、加大对先进制造研发投入、加强先进制造相关机构伙伴关系等5方面设定了政策目标;二是法律保障得到加强。2010年8月,奥巴马签署了《制造业促进法案》,授权免除了包括机床制造装备在内的800种制造业原材料和中间产品的进口关税,以降低制造业生产成本。

(2) 重视小企业,使其成为智能制造创新发展重要动力。美国约有小企业2500万家,占到美国全部企业数量的98%,而制造业领域的小企业数量接近30万家,其中不乏像居于全球超高频RFID行业领先地位的Alien公司、加速器传感器等方面表现卓越的Dytran公司等优秀企业。小企业的蓬勃发展离不开美国健全的政策、法律、财税、融资以及社会服务体系。美国政府对小企业历来高度重视,很早就成立了小企业管理局等专门机构为小企业提供全方位服务;非营利机构也对小企业发展提供了尽可能的帮助,国家制造科学中心通过向小企业积极推广其所掌握的国家技术帮助小企业提升竞争力。大量优秀小企业的存在使国家创新能力不断增强,市场分工不断细化,产业链条不断完善;同时也使大集团更容易通过并购来加快新技术发展和新产品普及,例如谷歌为抢占智能装备市场,在2013年用半年时间就完成了对9家机器人公司的收购。

(3) 加深多方合作,促进智能制造跨界融合发展。一是政府主导建立制造业创新研究所体系,加快推动前沿制造技术的基础研究和成果转化。在“先进制造伙伴计划”发布后,美国开始建立区域性的制造创新中心,并以此打造国家制造业创新网络。目前已相继成立了增材制造创新研究所(现已更名为“美国制

造”)、数字化制造与设计创新研究所等4家区域性研究机构。这些研究机构吸纳联邦政府、高校院所以及企业界等各方资源,以弥合基础研究与实际生产之间的鸿沟。奥巴马的最终目标是在未来10年内建立45所制造业创新研究机构;二是制造巨头加快调整产品业务发展战略,推动跨行业合作不断加深,在发挥各自优势实现各自利益的同时推进制造业向智能化、网络化方面发展。自动化巨头罗克韦尔与IT巨头思科多年来一直保持着紧密的战略合作伙伴关系,帮助制造商打通生产车间与其他部门间的数据通道。而另一家自动化巨头通用电气(GE)则致力于联合IT企业推动工业互联网计划。2013年6月,GE与电商巨头亚马逊、管理咨询巨头埃森哲以及云平台厂商Pivotal发起创建了工业互联网(图1),为工业生产提供实时大数据采集分析。2014年3月,GE又与AT&T、思科、IBM和英特尔共同发起成立了工业互联网联盟,以期打破技术壁垒,促进物理世界与虚拟世界融合;三是非营利机构积极承担融合创新技术的协同研发和转移推广。美国国家标准与技术研究院积极部署“智能制造系统模型方法论”、“智能制造系统设计与分析”、“智能制造系统互操作”等重大科研项目工程。2011年,美国智能制造领导联盟和美国国家制造科学中心结成了合作伙伴关系,共同打造国家智能制造生态系统,推动工业建模和仿真工具的研发应用。

德国现状、水平与发展路线

德国将制造业领域技术的渐进性进一步描述为工业革命的4个阶段,即工业4.0的进化历程。

工业1.0。18世纪60年代~19世纪中期,通过水力和蒸汽机实现的工厂机械化可称为工业1.0。这次工业革命的结果是机械生产代替了手工劳动,经济社会从以农业、手工业

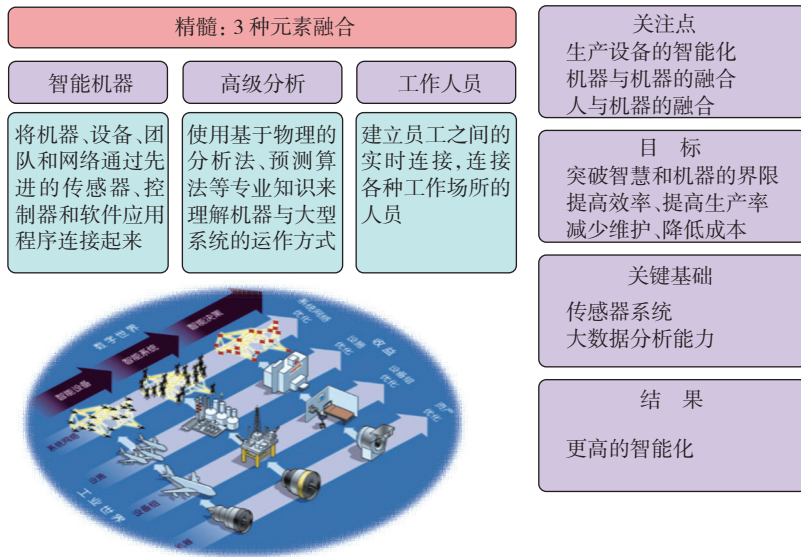


图1 美国GE工业互联网示意图

为基础转型到了以工业以及机械制造带动经济发展的模式。

工业 2.0。19 世纪后半期 ~20 世纪初，在劳动分工的基础上采用电力驱动产品的大规模生产可称为工业 2.0。这次工业革命，通过零部件生产与产品装配的成功分离，开创了产品批量生产的新模式。

工业 3.0。始于 20 世纪 70 年代并一直延续到现在，计算机与信息技术的广泛应用，使得制造过程不断实现自动化，可称为工业 3.0。自此，机器能够逐步替代人类作业，不仅接管了相当比例的“体力劳动”，还接管了一些“脑力劳动”。

工业 4.0。德国学术界和产业界认为，未来 10 年，基于赛博物理系统 (Cyber-Physical System, CPS) 的智能化，将使人类步入以智能制造为主导的第四次工业革命，产品全生命周期和全制造流程的数字化以及基于信息通信技术的模块集成，将形成一个高度灵活、个性化、数字化的产品与服务的生产模式。

德国“工业 4.0”展现了一幅全新的工业蓝图：在一个“智能、网络化的世界”里，物联网和互联网(服务互联网技术)将渗透到所有的关键领域，创造新价值的过程逐步发生改变，产业链分工将重组，传统的行

业界限将消失，并会产生各种新的活动领域和合作形式。

首先，工业 4.0 将使工业生产过程更加灵活、坚强。这将使得动态的、适时优化的和自我组织的价值链成为现实，并带来诸如成本、可利用性和资源消耗等不同标准的最优化选择。包括在制造领域的所有因素和资源间形成全新的循环网络、智能产品独特的可识别性、个性化产品定制以及高度灵活的工作环境等。

其次，工业 4.0 将发展出全新的商业模式和合作模式。这些模式将力争确保潜在的商业利润在整个价值链所有利益相关人之间公平地共享，包括那些新进入的利益相关人。同时，工业 4.0 “网络化制造”、“自我组织适应性强的物流”和“集成客户的制造工程”等特征，也使得它追求新的商业模式以率先满足动态的商业网络而非单个公司，这将引发一系列诸如融资、发展、可靠性、风险、责任和知识产权以及技术安全等问题。

再次，工业 4.0 将带来工作方式和环境的全新变化。全新的协作工作方式使得工作可以脱离工厂，通过虚拟的、移动的方式开展。员工将拥有高度的管理自主权，可以更加积极地投入和调节自己的工作。同时，随着工作环境和工作方式的巨大改变，

可以大幅度提升老年人和妇女的就业比例，确保人口结构的变化不会影响当前的生活水平。

最后，工业 4.0 将促进形成全新的赛博物理系统平台。全新的赛博物理系统平台能够联系所有参与的人员、物体和系统，将提供全面、快捷、安全可靠的服务和应用业务流程，支持移动终端设备和业务网络中的协同制造、服务、分析和预测流程等。

德国“工业 4.0”战略的要点可以概括为：建设 1 个网络、研究 2 大主题、实现 3 项集成、实施 8 项计划。

建设 1 个网络：赛博物理系统网络。赛博物理系统是将物理设备连接到互联网上，让物理设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治等 5 大功能，从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。CPS 可以将资源、信息、物体以及人紧密联系在一起，从而创造物联网及相关服务，并将生产工厂转变为一个智能环境。这是实现工业 4.0 的基础。

研究 2 大主题：智能工厂和智能生产。“智能工厂”是未来智能基础设施的关键组成部分，重点研究智能化生产系统及过程以及网络化分布生产设施的实现。“智能生产”的侧重点在于将人机互动、智能物流管理、3D 打印等先进技术应用于整个工业生产过程，从而形成高度灵活、个性化、网络化的产业链。生产流程智能化是实现工业 4.0 的关键。

实现 3 项集成：横向集成、纵向集成与端对端的集成。“工业 4.0”将无处不在的传感器、嵌入式终端系统、智能控制系统、通信设施通过 CPS 形成一个智能网络，使人与人、人与机器、机器与机器以及服务与服务之间能够互联，从而实现横向、纵向和端对端的高度集成。“横向集成”是企业之间通过价值链以及信息网络所实现的一种资源整合，是为了实现各企业间的无缝合作，提供实时产

品与服务;“纵向集成”是基于未来智能工厂中网络化的制造体系,实现个性化定制生产,替代传统的固定式生产流程(如生产流水线);“端对端集成”是指贯穿整个价值链的工程化数字集成,是在所有终端数字化的前提下实现的基于价值链与不同公司之间的一种整合,这将最大限度地实现个性化定制。

实施 8 项计划:“工业 4.0”得以实现的基本保障。一是标准化和参考架构。需要开发出一套单一的共同标准,不同公司间的网络连接和集成才会成为可能;二是管理复杂系统。适当的计划和解释性模型可以为管理日趋复杂的产品和制造系统提供基础;三是一套综合的工业宽带基础设施。可靠、全面、高品质的通信网络是“工业 4.0”的一个关键要求;四是安全和保障。在确保生产设施和产品本身不能对人和环境构成威胁的同时,要防止生产设施和产品滥用及未经授权的获取;五是工作的组织和设计。随着工作内容、流程和环境的变化,对管理工作提出了新的要求;六是培训和持续的职业发展。有必要通过建立终身学习和持续职业发展计划,帮助工人应对来自工作和技能的新要求;七是监管框架。创新带来的诸如企业数据、责任、个人数据以及贸易限制等新问题,需要包括准则、示范合同、协议、审计等适当手段加以监管;八是资源利用效率。需要考虑和权衡在原材料和能源上的大量消耗给环境和安全供应带来的诸多风险。

总的来看,“工业 4.0”战略的核心就是通过 CPS 网络实现人、设备与产品的实时连通、相互识别和有效交流,从而构建一个高度灵活的个性化和数字化的智能制造模式。在这种模式下,生产由集中向分散转变,规模效应不再是工业生产的关键因素;产品由趋同向个性的转变,未来产品都将完全按照个人意愿进行生

产,极端情况下将成为自动化、个性化的单件制造;用户由部分参与向全程参与转变,用户不但出现在生产流程的两端,而且广泛、实时参与生产和价值创造的全过程。

美、德发展启示

分析美国、德国的制造业发展,不难发现,国际先进制造企业正在利用信息技术,不断推进产业发展方式和商业模式的转变,改变着装备制造业的游戏规则。主要体现在以下几个方面:

其一,信息化覆盖产品全生命周期。目前,信息化与工业化融合,已经远远超出产品设计和生产范围。从产品需求管理为起点,一直延续到产品的报废和知识重用管理。信息技术已经融合渗透到产品概念、研发、服务的方方面面,产品方案论证、设计、制造、试验、批产、售后等各个环节均用数字化模型表达,并实现全流程的数字量协调、传递和加工制造,全过程的信息化管理。整个制造业在生产模式、方式、方法、流程等方面产生了根本性的变革。

其二,先进的数字化仿真与基于知识的先进设计技术普遍应用。西方制造企业已经突破了数字化仿真技术,在工业化过程中,积累了海量的试验数据,能够在数字仿真中修正模型和算法,从而保证仿真试验结果的可信度。从单个专业、单个系统的仿真分析逐渐向多系统交联仿真方向发展。由于飞机“虚拟铁鸟”等飞机全机功能/性能仿真技术的发展和应用,用仿真来指导、简化、减少甚至替代物理试验成为可能,利用数字样机,建立虚拟环境,逐步达到数字化“虚拟试飞”。

其三,实现全三维数字量的设计制造。从波音 787 开始,采用全新设计方法,全部设计制造信息集成在三维模型中,全三维的数字化工艺仿真技术全面应用,并在工艺设计、生产

制造、检验中采用全三维数字量,彻底取消二维图纸,实现全三维数字量的设计制造。

其四,高端工业软件和数字化专用设备已经产业化。波音、洛克希德·马丁等公司均把工业数字化软件作为企业的主要发展方向。2011 年,洛克希德·马丁公司的子公司 L.M 信息技术公司纯软件收入已经达到 116 亿美元,而达索公司也把工业软件作为与战斗机、公务机并列的支柱产品。高端机床、工业机器人系统、柔性装配系统、数字化测量系统等新型数字化设备已经形成产业化,成为新的利润增长点。

正确认识智能制造

智能制造是在网络化、数字化基础上融入人工智能和机器人技术形成的人、机、物之间相互交互与深度融合的新一代制造系统。网络化就是互联互通,连接人、机和物。机包括的有各类机器设备和水、暖、电、气等等各类基础设施。物包括内部和外部物流,外部物流就是电子商务,而内部物流非常困难,因为在制造行业,内部物流的材料形态是变化的,而外部物流材料形态不变。

数字化概念包含了产品设计、工艺、制造、生产、服务整个 PLM 过程的数字化研制体系。

另外,智能制造不仅是生产的概念,必然向前延伸到设计、向后推移到服务保障、向上推到管理。总之,智能制造是制造业全方位视角观看的图像。

智能制造从设计说起。智能设计(含工艺设计)是最复杂的脑力劳动,是知识的大量积累形成的知识管理和知识工程要素。因此智能化建模(用使用过的数据建立预测模型)要以数字化、反向建模等知识工程要素为基础。所以智能制造必须从小的单元做起,从易到难,逐步扩充能力。
(责编 叶枫)