

从先进制造业的发展看实施 工业4.0的前提条件

Precondition of Industrie 4.0 Implementation Based on the Development of Advanced Manufacturing Industry

中航工业信息技术中心 宁振波
中航工业西安飞机工业(集团)有限责任公司 吴元良



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。

中国老话讲“饭要一口口吃,路要一步步走”。从古今中外的历史发展来看,人类的进化及演变是一个脚印才走到了今天。当然,工业体系的发展也必然遵循这样一个规律,

人工智能的介入、机器人的大量使用会让设计的智能化、工艺的智能化、试验仿真的智能化、生产过程的智能化、保障的智能化成为现实。这就是工业4.0的未来发展,而深入实施数字化工程是实施工业4.0的前提条件。

即通过新技术、新材料和创新可以把某个过程缩短,但要实现现代工业体系的跨越式发展需有充分的前提条件。

国外现状

近年来,世界工业先进国家制订了多项先进制造的发展战略与规划,代表着先进制造技术的发展趋势,引领着世界先进制造的发展潮流,相关情况参见表1。

通过上述战略与专项规划,先进制造将按如下趋势加快发展。

(1) 赛博-物理系统(Cyber-Physical System, CPS)将成为先进制

造最重要的基础。在赛博-物理系统中,人、机器、产品等实现实时连通和有效交流,从而构成一个高度灵活的制造模式。先进制造则是以此为基础,通过产品全生命周期内的人机深度交互、信息系统与物理系统的深度融合,实现资源、信息、物体以及人之间的紧密联系,最终使产品制造过程处于一个智能的大环境中。

(2) 信息技术的新发展将为先进制造提供新的技术支撑。物联网、无线传感网、大数据、云平台与云服务将为先进制造提供越来越广阔的网络平台和感知手段,支持先进制造所需的泛在信息处理能力。

表1 先进制造相关的发展战略与专项规划

国家	机构或人员	名称	日期	举措或内容
美国	国家科技委员会	相关研发报告	2006年	将先进制造确定为美国政府制造研发的3大重点领域之一
	国防部	下一代制造技术计划	2005年	确定了6个领域,包括基于模型的企业、智能系统、企业级集成、知识应用等先进制造领域
		先进制造企业	2010年	投资项目汇集了全数字化打通、制造网络连接、先进制造规划与执行等有关先进制造的研究方向
	先进制造国家项目办公室	先进制造伙伴计划(AMP)	2011年	在新一代机器人等方面,通过政府、高校及企业合作来强化美国制造
	国家科技委员会	美国先进制造业国家战略规划	2012年	通过加强研究和试验(R&E)、税收减免、扩大和优化政府投资、建设“智能”制造技术平台,加快先进制造的技术创新
	国防部国防预先研究计划局	“自适应运载器制造”项目	2013年	开发包含赛博-物理建模语言在内的宏语言工具以及制造反馈语言概念,搭建面向赛博-物理系统的协同开源开放平台,使大型复杂系统在设计 and 制造的部分环节实现智能化
	国防部牵头航空航天局、能源部等	数字化制造和设计创新机构	2014年	使命之一是在先进制造方面引领创新,并与“自适应运载器制造”项目相结合,将研究成果转化到武器装备研制生产中
欧洲	欧盟委员会	第七框架计划	2007年	提出利用先进制造实现制造模式的革命
		欧盟2020战略	2010年	实现智能化的经济增长,在知识和创新基础上发展经济,重点发展信息、节能、新能源和以智能为代表的先进制造业
德国	联邦教育科研部与经济技术部	高技术战略2020	2010年	提出一系列促进制造业发展的创新政策
		德国“工业4.0”	2013年	提出基于赛博-物理系统的智能化,将使人类步入以先进制造为主导的第四次工业革命
日本	通产省、东京大学	先进制造系统国际合作计划	1991年	全面展望21世纪制造技术发展趋势,先行开发下一代制造技术,致力于全球制造信息技术的体系化、标准化

(3) 新的智能技术将有力支持先进制造的发展。以人工智能技术为核心,吸纳计算智能、群体智能和社会智能等各类智能技术的新成果,与制造技术紧密结合,不断扩展先进制造的技术领域。

(4) 数字化的深入与拓展是先进制造的重要基础条件。在与先进制造相关的各项基础技术中,与先进制造关联度最高的是数字化技术。必须持续发展,提升数字化技术的广度和深度。

信息技术与制造业向深度融合发展,制造业互联网化成为大趋势。在以上所有规划和计划中,可圈可点的是德国政府提出的“工业4.0”战略,这是德国联盟教科研部与联邦经济技术部联手推动的《高技术战略2020》十大未来项目之一。未来企业将建立全球网络,把它们的智能机器、存储系统和生产设施融入到赛博-物理系统,使在制造环境中能够相互独立地自动交换信息、触发动作和进行控制,进而从根本上改善涉及制

造、工程、物料使用、供应链和生命周期管理的工业过程。

德国工业4.0的思路

从德国工业4.0发展路线图可以清晰看到,工业1.0首先解决动力,工业2.0解决自动化,工业3.0是计算机单点应用,工业4.0是体系化应用。

物联网和服务网使得创建包含整个制造流程的网络成为可能,将工厂转变为一个智能环境。工业4.0概念的基础是赛博-物理系统,即实体物理世界和虚拟网络世界的融合,实现数字化和基于IT的端到端的集成。其核心是融入虚拟制造及智能制造,实现产品生命周期管理(Product Life-cycle Management, PLM)和生产生命周期管理(Production Life-cycle Management, PLM)的对接和信息共享,旨在把产品、机器、资源和人有机联系在一起,并实时感知、采集、监控生产过程中产生的大量数据,达到生产系统的智

能分析和决策优化。智能制造、网络制造、柔性制造成为生产方式变革的方向,促进生产过程的无缝衔接和产业链中的协同制造。这样不仅可以更加灵活地配置生产,而且还可以利用更多差异化的管理流程和控制流程所带来的机会。

实施工业4.0的边界条件

在先进制造技术发展的进程中,出现了多项与智能制造相关的技术概念与实践,其中与智能制造关系最直接、最密切的是数字化技术、网络通信技术、信息技术、自动化技术和人工智能技术,以及敏捷制造、精益制造、网络化制造、数字化制造等。这些技术的应用与实践对智能制造的发展具有重要的支撑作用,但同时又与智能制造有所区别(见表2)。

数字化技术就是将许多复杂多变的信息转变为可以度量的数字、数据,再以这些数字、数据建立起适当的数字化模型,把它们转变为一系列二进制代码,引入计算机内部,进

行统一处理,这就是数字化的基本过程。数字化制造技术是在数字化技术和制造技术融合的背景下,在虚拟现实、计算机网络、快速原型、数据库和多媒体等支撑技术的支持下,根据用户的需求,迅速收集资源信息,对产品信息、工艺信息和资源信息进行分析、规划和重组,实现对产品设计和功能的仿真以及原型制造,进而快速生产出达到用户要求的产品。

网络通信技术是从 20 世纪 90 年代中期发展起来的新技术,它把互联网上分散的资源融为有机整体,实现资源的全面共享和有机协作,使人

们具有能够透明地使用资源的能力并按需获取信息。这些资源包括高性能计算机、存储资源、数据资源、信息资源、知识资源、专家资源、大型数据库、网络、传感器等。当前的互联网只限于信息共享,网络则被认为是互联网发展的第三阶段。网络可以构造地区性的网络、企事业内部网络、局域网网络,甚至家庭网络和个人网络。网络的根本特征并不一定是它的规模,而是资源共享,消除资源孤岛。

培养信息化技术,发展以计算机为主的智能化工具为代表的新生产

力,并使之造福于社会(智能化工具又称信息化的生产工具,它一般必须具备信息获取、信息传递、信息处理、信息再生、信息利用的功能)。与智能化工具相适应的生产力,称为信息化生产力。智能化生产工具与过去生产力中的生产工具不一样,它不是孤立分散的,而是一个具有庞大规模、自上而下、有组织的信息网络体系。这种网络性生产工具将改变人们的生产方式、工作方式、学习方式、交往方式、生活方式、思维方式等,使人类社会发生极其深刻的变化。

自动化技术是一门综合性技术,

表2 先进制造技术相关名词及差异

先进制造技术	智能制造	敏捷制造	数字化制造	精益制造	柔性制造	网络化制造
敏捷制造	敏捷:对市场变化的快速反应能力,满足顾客的要求,以“人”为中心的管理; 智能:人机一体化					
数字化制造	数字化:将生产过程信息数字化、数据化; 智能:在数字化制造基础上的决策和管控	设计、控制、管理层的数字化制造技术为实现敏捷制造提供有力支撑;数字化制造是技术手段,精益制造是一种管理思想				
精益制造	精益:应对“多品种”、“小批量”的生产模式; 智能:不受生产模式的约束	精益:应对“多品种”、“小批量”的生产模式; 敏捷:提升敏捷性,对管理、技术、人员的要求非常高	数字化是技术手段,精益是一种管理思想			
柔性制造	柔性:强调自动控制; 智能:智能活动,取代脑力劳动	柔性:适应外部环境变化,适应内部变化; 敏捷:提高敏捷性,适应客户需求	数字化制造是技术手段,而柔性制造是一种管理思想	精益:应对“多品种”、“小批量”的生产模式; 柔性:生产产品及工艺的多样性和可变性		
网络化制造	网络化制造是智能制造的基础,而分布式网络化是智能制造的原理之一	敏捷:一种制造模式; 网络化:一种以数字、数据为基础的技术手段	数字化:重点倾向于生产过程信息的数字与数据模式管理; 网络化:倾向于产品整个生命周期、环节的共享与集成	精益是一种管理思想,而网络化是一种技术或模式实现手段	柔性:一种管理思想; 网络化:属于新生产模式或生产方式	
绿色制造	绿色:与新兴产业密不可分; 智能:是新兴产业的重要支撑	敏捷:更关注敏捷性、反应性与适应性; 绿色:关注环境与资源方面	数字化:加强产品性能,提高生产效率; 绿色:对环境的影响最小,资源利用率最高	精益是一种管理思想绿色,是一种技术或模式实现手段	柔性:侧重外、内部的变化与适应能力; 绿色:侧重考虑环境和资源方面的制造	网络化:基于 Internet 技术的新生产模式; 绿色:关注环境与资源的新生产模式

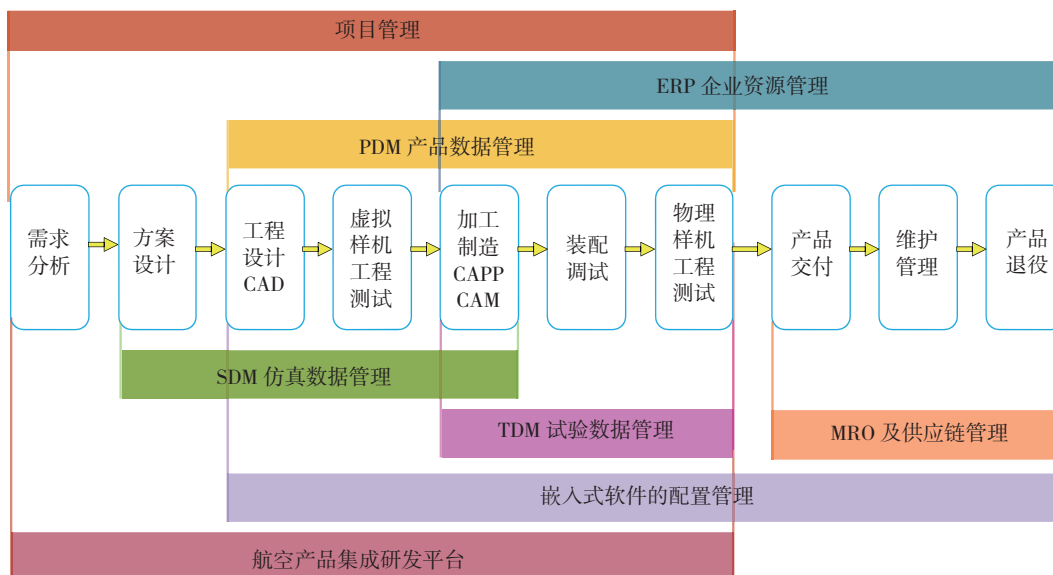


图1 数字化工程的应用软件体系架构

它和控制论、信息论、系统工程、计算机技术、电子学、液压气压技术、自动控制等都有着十分密切的关系，而其中又以“控制理论”和“计算机技术”对自动化技术的影响最大。

数字化工程的深度应用是工业 4.0 实施的前提

工业产品的工程概念。按照产品研制流程，可以简单划分为 4 个阶段。

第一阶段是方案阶段，包含需求分析、概念设计、方案设计；第二阶段是工程研制阶段，包含初步设计、详细设计、试制、试验；第三阶段是产品定型后的批生产阶段；第四阶段是产品交付后的使用维护阶段；最后到了产品报废或回收，就完成了产品全寿命周期的整个过程，这就是 PLM。在历史上，没有计算机也研制生产了很多的产品，因此传统工业产品本身和数字化没有直接关系。

信息化单项技术应用阶段。20 世纪 60 年代以后，随着计算机软硬件的迅猛发展，出现了大量 CAX 类的工具，逐步使工程师从传统的手工产品研制向计算机辅助方向转变，可以说是数字化工程的萌芽阶段。

数字化工程的概念。为使问题

简单明了，我们先把 CPS 的 C 和 P 分开考虑，最后再加以综合。首先描述 C，就是 Cyber。

产品研制的几个阶段全部在计算机上完成，从虚拟的方案设计、虚拟工程研制、虚拟试验等在计算机上的反复迭代不断发现问题，解决问题。当然，基础是有大量计算机联网，并具有完整的基础数据库，应用大量 CAX 软件和工程管理软件，几千甚至是数万名工程师采用 IPT 的组织，在协同研制平台上完成复杂产品的设计仿真等工作。典型案例是波音 787 飞机，它基于全球的组织方式，采用各类软件约 8000 种。这就是 CPS 中的 C（Cyber）空间，也就是基于互联网的协同研制众创空间。

在数字化生产的流程中，数字化生产要逐步从自动化的设备级做起，并根据需求，由若干设备组成自动化的生产线，由多条生产线建立自动化车间，最后部署成数字化工厂，对大型复杂产品需要构建多个自动化工厂的产业联盟。这样形成 5 个层级，各个层级的配置有着很大的区别。限于篇幅，这里不作过多描述。数字化生产离不开设备、设施、材料等，这些就是 CPS 中的 P（Physical）。

将 Cyber 和 Physical 融合就是赛

博 - 物理系统，简称 CPS。CPS 的初始阶段就是我国所讲的工业化和信息化两化融合。当然，随着技术的发展和深入应用，目前叫工业化和信息化两化深度融合。

图 1 简要描述了工业化和信息化深度融合的数字化工程应用。在整个产品论证、研制生产、使用过程中，工程师都采用计算机或借助信息化条件完成所有工作。图中列出的管理软件也一定是大规模的工程应用，而不是少量的试用。

这里援引 2002 年《飞机制造业数字化工程》中所描述的 3 句话来结束本文：第一就是打通飞机制造业数字化生产线；第二是形成飞机数字化设计、数字化制造、数字化试验、数字化管理的标准规范体系；第三就是从根本上实现业务形式、生产方式、工作模式、方法、工具等方面的变革。

人工智能的介入、机器人的大量使用会让设计的智能化、工艺的智能化、试验仿真的智能化、生产过程的智能化、保障的智能化成为现实。这就是工业 4.0 的未来发展，而深入实施数字化工程是实施工业 4.0 的前提条件。

（责编 谷雨）