

工业4.0背景下的新思维

New Thinking Under the Background of Industrie 4.0

中航工业信息技术中心 高星海



高星海

研究员,中航工业信息技术中心常务副主任,金航数码常务副总经理,曾任中航工业自控所网络信息中心主任、中航工业综合所副总工程师、金航数码副总经理兼总工程师。从事航空工程数字化应用和管理信息化工作10余年,负责企业信息化架构规划、科研/生产/运营的集成信息化体系建设,先后承担在行业10余家企业推广航空信息化最佳实践,曾获得全国企业管理现代化创新成果一等奖。

当前,全球正处于以信息技术、智能制造为代表的新一轮技术创新浪潮之中,引发了新一轮工业革命的开端。理论界和产业界普遍认为,这一轮创新浪潮和产业变革的核心是信息技术的应用,特别是互联网技术

工业4.0未来成功的关键在于不同方案的整合,而传统IT关注的的数据交换标准以及数据集成技术只是其中的焦点,必须通过多个工业产品及解决方案提供方的联合才可能实现。由模型方法导出开发接口,并保证各方平等地使用它,多方共赢的服务及内容的合并是保证工业4.0成功的使能器。

的发展和应用正以前所未有的广度和深度,加快推进着研发模式、生产方式的深刻变革,并对产业发展产生着日益深刻的影响。

工业化始于18世纪末机械制造设备的引进,纺织机之类的机器彻底改变了当时的生产方式。继第一次工业革命后的第二次工业革命约始于20世纪初,在劳动分工的基础上,开始采用电力驱动的大规模生产。

20世纪70年代初,第三次工业革命又取代了第二次工业革命,并一直延续至今。第三次工业革命引入了电子与信息技术,从而使制造流程不断实现自动化,机器不仅取代了相当大部分的“体力劳动”还取代了一部分“脑力劳动”。

前3次工业革命源于机械化、电

力和信息技术,将物联网和服务网应用到制造业,催生了第四次工业革命。

工业4.0的基本特征

信息技术与制造业向深度融合方向发展,制造业互联网化成为大趋势。德国政府提出“工业4.0”战略,作为德国联盟教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(CPS),在制造环境中能够相互独立地自动交换信息、触发动作和控制,从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。

正在兴起的智能工厂采用一种全新的生产方法,嵌入式制造系统在企业之间的业务流程上实现纵向网络连接,与分散的价值网络实现横向连接,并可进行实时管理——从下达订单开始,直到外运物流。其中,智能产品通过独特的形式加以识别,可以在任何时候被定位,并能知道它们自己的历史、当前状态和为了实现其目标状态的替代路线。

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(Cyber-Physical System, CPS),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)和生产生命周期管理(Production Life-cycle Management)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^[1]。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。

工业4.0的演进趋势

如果从生产过程中新技术应用的角度来看,作为下一次工业革命基础的创新,如移动计算、社会化媒体、物联网、大数据、分析和优化等现代重要的技术革新,各自独立发展远不能带来一次新的工业革命,而更多的可能只是现有方案的发展。

因此,不应孤立地看待工业4.0的出现和演进,而是应该看成是众多需要采取行动中的一个关键领域。所以,应以跨学科的形式实施工业

4.0,并与其他关键领域展开密切合作。

工业4.0的目标是主动地利用大规模的互联网、技术流程和业务流程的融合、现实世界的数字描绘(虚拟化)以及“智能”产品所带来的潜力。将信息技术领域中的创新以及近期可期待的进步为工业企业所利用,不断地、连贯地嵌入生产系统中,在机电一体化系统通过附加的通信能力和(部分)自动化,利用技术的融合来开发大量的新方案和新技术。

“工业4.0”以智能制造为主导,主要包含两大主题:一是“智能工厂”,重点研究智能化生产系统及过程,以及网络化分布式生产设施的实现,将使工厂中的工作人员可管理日益复杂的制造流程;二是“智能生产”,主要涉及整个企业的生产物流管理、人机互动以及虚拟技术在工业生产过程中的应用等,人、机器和资源如同在一个社交网络中一样自然地相互沟通协作。

工业4.0描述的是一个全新的架构,在这个框架内并未涉及到新技术的引进(其中物联网、服务网以及数据网是工业4.0的基础设施),而是强调通过网络与赛博-物理系统(CPS)的融合,密集地利用全球可用的信息和网络进行自动化的信息交换,实现生产和业务流程在这个架构中的彼此协调,改变当前的工业生产与服务模式。信息、通信、软件技术在制造业中将发挥越来越重要的作用,从而淘汰传统制造业由于技术造成的封闭性系统,避免数字化存储信息的分散化将在逻辑上带来控制过程的分散化。

其中,“智能产品”也是工业4.0的一个重点,生产流程中加工的半成品和产品零件应具有“人工智能”,至少应具有关于自身的信息以及合适的通信手段,也就是说自身要变成CPS。智能产品具有独特的可识别性,并有可能随处可见。甚至当它们

在被制造时,它们就可以知道整个制造流程中的细节。这意味着,在某些领域智能产品能半自主地控制它们生产的各个阶段。

此外,这有可能确保成品了解自身发挥最优性能的参数,并能辨别整个生命周期中的缺陷。这些信息可以汇集起来以便优化智能工厂的物流、布局和维护,以及与业务管理应用的整合。通过创造智能产品、程序和流程,知道它们被制造的细节以及将被如何使用,主动支持生产流程。这种“智能产品”将被集成到整个流程中,并且在极端情况下,不仅要控制其生产过程中的物流路径,还要控制整个与其有关的生产流程。另一个非常重要的方面是,和以前将人从生产关联中排除的方案不同,人在这里将起到愈加重要的作用:CPS将向他提供经过压缩的、从复杂的关联中经过合适的推导和个性化定制的信息,作为他对流程施加影响的基础。这样不仅将产生新形式的机器和机器、机器和零件间的协作,还将产生新型的人和机器的合作。

工业4.0实施的目的是要拟定出一个最佳的一揽子计划,通过利用高技能、高效率并且掌握专业技能的劳动力优势,形成一个系统性的创新流程,以此来提高现有的技术和经济潜力。工业4.0将重点关注以下方面^[2]。

(1)水平集成:实时优化的特定价值创造网络。

(2)垂直集成:业务流程和技术流程集成,网络化制造系统。

(3)贯穿整个价值链的端到端工程数字化集成,工程过程在整个生命周期的一致性。

在一个“智能、网络化的世界”中,物联网和服务网将渗透到所有的关键领域。

从本质上讲,工业4.0包括将CPS与制造业和物流行业技术整合,以及在工业流程中使用物联网和服

务网。这将对价值创造、商业模式、下游服务和组织产生影响。

迈向工业 4.0 注定将是一个渐进的过程,为满足制造工程的具体要求,需要调整目前基本的技术和经验,同时,应探讨为开发新地域和新市场制定创新性解决方案。实现工业 4.0 所需要的思维范式的转移也是一个长期的、渐进的过程,关键是在认识现有制造业体系价值的基础上,提出体现工业化优势的迁移策略。

生产、自动化工程和 IT 领域的集成有横向和垂直两个方向。横向集成是指制造和业务规划过程的不同阶段使用的各种 IT 系统的集成,这涉及公司内部(例如,投入物流、生产过程、产出物流、市场营销)以及产业协作(价值网络)的物料、能源和信息的交换;垂直集成是指不同分层级(例如,企业计划、生产管理、执行制造、控制、执行器和传感器等各种不同层面)上的各种 IT 系统的集成。横向集成和垂直集成的目标在于提供贯穿整个价值链端到端的解决方案。在战略层面,工业 4.0 能够用来创建横向价值网络,提供贯穿业务流程层面整个价值链的端到端集成(包括工程),并能对制造系统进行纵向集成和网络化设计。

在整个工程流程中实现端对端数字集成,以便在产品的整个价值链内以及不同企业间整合数字世界和现实世界,同时满足客户的需求;CPS 如何被用来传递包括工业流程在内的端到端的业务流程?就这一点而言,模型化对管理日益复杂的技术系统起着关键作用。从产品开发到制造系统工程、生产和服务,部署适当的 IT 系统将为整个价值链提供端到端的支持。一个跨越不同技术学科的、全面的系统工程方法是必需的。

当今的价值链——从客户需求到产品设计和生产——已经存在多

年并相对稳固。IT 支持系统通过各种不同的接口来交换信息,但只能对特定场景或案例使用这些信息。CPS 支持的基于模型的开发可以实现端对端、模型化、数字化方法的部署,涵盖了客户对于产品设计和最终产品制造需求的各个方面,也可在端到端的工程工具链中对所有的相互依存关系进行确定和描述。制造系统是基于相同的范式被并行开发,意味着它总能跟上产品开发的节奏。

对于垂直集成和网络化制造系统而言,需要回答如下关键问题:如何应用 CPS 创建灵活且可重构的制造系统?由于纵向集成需要在工厂进行,在将来的智能工厂里,制造业结构不是固定的和预先规定的。相反,一系列 IT 配置规则将被定义,这些 IT 配置规则可根据不同情况,为每种情况自动形成特定的结构(拓扑),包括模型、数据、通信和算法等各相关需求。为了实现垂直集成,重要的是确保将贯穿不同层级的执行器和传感器信号端到端地数字化集成到 ERP 层级上。

工业 4.0 对模型和架构的关键要求

由于今天的技术水平持续进步,特别是电子和软件技术在产品中的密集应用,产品新功能和用户特定需求增加、交付要求频繁变化、不同专业技术和组织日益融合以及不同的企业之间合作形式迅速变化,产品及其相关的制造系统都变得越来越复杂。

在这期间已有或将有众多的信息技术解决方案、多种多样的数据模型、无数的接口协议和版本变迁导致透明度下降,从而使整体系统稳定性成为越来越大的问题。因此,必须开发出一种解决方案,既保证最大化的发展空间,又能减少所描述的问题。

工业 4.0 涉及如此宽泛的范围,其中有源自不同领域的众多模式、系

统和方案,对该架构都有着重要作用。所有单点技术的创新应用是实施新架构的必要条件,但并不是工业 4.0 方案本身的核心,也可以理解为在现有架构的基础上将工业 4.0 视为一个补充的集合,这就需要面向广泛的方案开发技术上中立的架构;需针对工业 4.0 对相关模型和传统架构进行整合与完善,对于专业化的从事工业企业 IT 应用的人士,面对的是跨领域技能的整合。

目前的架构和模型是在细分领域中开发的,通常是功能和技术驱动的。新架构的重点是以服务为导向、自主、适应性和协作能力。在数字世界中模型的运用是企业的重要战略,建模可以作为管理日益复杂系统的有效手段。这对于工业 4.0 来说同样是至关重要的。

模型表达了考虑问题的相关真实或假定的场景,提供了一个透明的信息流,通过增强跨学科合作并促进更一致的工程数据,从而实现高效的工程协同。

工业 4.0 的关键挑战是在更广泛的工程领域提升对模型认识的能力,使工程人员掌握合适的方法和工具,在虚拟世界中使用恰当模型表述真实世界中的系统。模型通常包含形式化的描述,这意味着它们可以通过计算机处理,让计算机处理日常的工程任务,如执行计算或其他重复性的工作。

因此,模型的好处之一是允许实现人工活动的自动化,使之前只在现实世界中运行的工作进入数字世界来执行。

规划模型(Planning model)提供由工程人员所带来的创新增值的透明度,从而使建立复杂系统成为可能,其中包含工程师的知识。例如,由工程人员通过原理图来解释如何实现适当的功能,以满足系统的需求。

解释模型(Explanatory model)

描述当前系统在现实世界中的交互和动态行为,用以通过模型获得这一系统的知识。通常需要采用不同的分析方法,如仿真,可以计算一个工厂的能源消耗量。解释模型通常用于验证工程人员的设计选择,而不仅仅是在开发和设计阶段用于验证。在未来,为确保生产的平稳运行,它们将主要部署在生产阶段,检测是否有缺陷或预测组件故障和其他干扰,而无需停止生产。

数字世界通过规划模型对现实世界的设计产生重要影响,而现实世界也通过解释模型影响模型在数字世界中的使用。与传统不使用模型的方法相比,工业4.0在初期开发显性模型的投入代价很高,就是因为降低后期成本的那些增值活动需要被提到早期阶段。模型成功的关键是它们应符合成本效益,不只是用于早期的设计阶段,而且也能有效地应用在包括运营等后续阶段。

为工业4.0而引入建模应该采取整体方法。首先,需对产品和制造系统综合考虑,既要依据模块化的设计,又要保证不同学科的参与(如制造工程、自动化工程及IT);其次,实际在工厂中产生的开发、工程和制造工艺等流程也必须逐一地考虑;最后,建模需要高效的软件工具,进行优化和调整以提供必要的功能,并使它们能够与现有的工具和流程集成在一起,并使其与推广战略相一致。

以往的工业革命是在产品制造过程中通过技术革新推动的:从纺织机、流水线直到在自动化装置中部署计算机(如CNC、SPS、FMS、MES)。而变革的第四阶段不仅包括产品的机械化生产过程以及相关组织的组织流程,还包括机械及非机械组件的供应链以及整个生产环节。在整个产品生命周期中,从开发、生产、使用到回收,机械装置和嵌入式软件相互融合。各种独立发展的技术革新已经进入相互影响和共鸣的阶

段,并构成工业4.0重要变革的基础。当前的模型从根本上有别于建立在这种技术创新之上的竞争模型,整个工业和工业价值链将被更具效率的模型所替代。

在产品、过程及组织方面飞速增长的复杂性,是下一代工业面对的关键问题。从产品来看,复杂性的增加是由对产品要求(如新功能)的增加而引起的;从过程方面来看,导致复杂性的增加因素包括产品的个性化和地域化、过程的加速等,其中增值和合作网络在全球的扩张也是复杂度增加的原因之一。产品和过程复杂性的叠加呈现复杂度指数级增长,与此相对应的是和复杂性相关的组织能力的缓慢提升。

组织能力的成长与技术创新复杂度增长步调一致,将会使得复杂性从难题变为竞争优势。在单个企业层面有效的东西,在整个价值增值链层面乃至经济生态系统(ecosystem)上成为区位优势。这种转变的前提条件由技术创新决定,而成功实施则取决于整个企业、工业和经济的区位转型^[1]。

不同领域之间整合的难题在于各个应用和IT系统的重要目标域并没有统一的描述模式:

(1) 产品领域(如机械学、电气工程、电子学等);

(2) 利益攸关方的增值领域(如企业、角色等);

(3) 增值网络中的过程(如入库、加工、质量、检验等);

(4) 产品生命周期的阶段(如开发、制造、支持)。

为此,提供解决方案将是具有系统工程范式的开发过程。首先,在于从应用中分离的目标领域的形式化的、明确的描述——模型化,使得各个领域的专家从不同的角度共同理解和分析系统成为可能^[4]。同时,模型不断的深化允许对多种方案进行仿真和分析。通过强调架构的应

用,基于领域模型的解决方案以连续的方式支持系统生命周期重要的架构领域——产品和系统架构、增值网络和企业架构、信息系统和IT架构。领域模型方法充分利用架构领域之间的关联。

(1) 产品架构和IT架构的关联:产品架构预先确定产品以及产品生命周期重大过程中信息的结构,因此产品架构成为产品一致性的保障。

(2) 产品架构和企业架构的关联:企业内部的和合作和增值网络的合作遵循产品架构。

(3) 企业架构和IT架构的关联:企业有关过程和角色等的一系列建模成果同时也可以应用到领域模型。每一个对增值过程有重要意义的变化甚至整个企业的转型,都会反映到领域模型中,由此成为被整合到IT环境的配置起点,也是利益攸关方有关产品视角的出发点。

工业4.0未来成功的关键在于不同方案的整合,而传统IT关注的的数据交换标准以及数据集成技术只是其中的焦点,必须通过多个工业产品及解决方案提供方的联合才可能实现。由模型方法导出开发接口,并保证各方平等地使用它,多方共赢的服务及内容的合并是保证工业4.0成功的使能器。

参考文献

[1] 苗圩. 中国制造业的工业4.0 互联企业成趋势, 中国工业新闻网. [2014-5-12]. <http://www.cinn.cn/xw/chanj/315584.shtml>.

[2] Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance. Securing the future of German manufacturing industry—Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Industrie 4.0 Working Group, 2013.

[3] 乌里希·森德勒, 邓敏, 李现民(译). 工业4.0 即将来袭的第四次工业革命. 北京: 机械工业出版社, 2014.

[4] 李清, 陈禹六. 企业与信息系统建模分析. 北京: 高等教育出版社, 2007.

(责编 叶枫)