

飞机智能化装配关键技术

Key Technology on Intelligent Aircraft Assembly

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰 杜宝瑞 赵建国 张辉

[摘要] 诠释了智能制造的概念内涵和基本特征,对德国工业 4.0 和 CPS (Cyber-Physical Systems) 技术进行了研究,分析了我国航空制造业发展智能化装配存在的主要差距,重点论述了我国飞机智能化装配发展的主要思路 and 关键技术。对我国航空技术智能化发展具有一定指导意义。

关键词: 智能装配 工业 4.0 CPS

[ABSTRACT] Conception and basic characteristics of intelligent product are introduced, then Germany industry 4.0 and CPS(Cyber-Physical Systems) are studied. Based on this, chief gap between China and Germany is reevaluated on intelligent aircraft assembly. Then key technology and development route are represented, that provides a direction to improve intelligent aircraft assembly of China.

Keywords: Intelligent assembly Industry 4.0 CPS

激烈的全球竞争、能源消耗和供应的不确定性以及以指数增长的信息技术,都在将制造业向敏捷、高效能、可持续和环境健康安全的方向推进。实施智能制造是制造业应对这一系列挑战的有效途径。

改革开放以来,我国先进制造技术和高端装备制造业得到了飞速发展,突破了一批长期受制于国外、长期依赖进口的高端装备的制造技术,形成了一定的工业基础,对于我国传统制造产业的结构转型升级发挥了重要作用,但与新时期武器装备对制造业的要求还相距甚远。纵观各大军事强国,无不把加快发展制造业、特别是新时代下的智能制造作为提升武器装备水平的重要途径,同时智能制造技术也是新的产业革命的核心技术,代表着未来科技和产业发展的新方向。

1 智能制造

智能制造(Intelligent Manufacturing, IM)的概念出现于 20 世纪 90 年代。近年来,随着数字化、自动化、信息化、网络化和智能技术的发展,特别是 2013 年德国工业 4.0 概念的正式推出,智能制造已成为现代先进制造业新的发展方向,其概念及内涵也在不断地发展和丰富。

学术界普遍认为智能制造是人工智能技术和制造技术结合的产物。目前,有关智能制造技术的概念,国内比较权威的表述有 2 种。一是由中国机械工程学会 2011 年制订的《中国机械工程技术路线图》中指出:智能制造是研究制造活动中的信息感知与分析、知识表达与学习、智能决策与执行的一门综合交叉技术。智能制造技术涉及产品全生命周期中的设计、生产、管理和服务等环节的制造活动^[1]。二是由科技部 2012 年组织编制的《智能制造科技发展“十二五”专项规划》中指出:智能制造是面向产品全生命周期,实现泛在感知条件下的信息化制造。智能制造技术是在现代传感技术、网络技术、自动化技术、拟人化智能技术等先进技术的基础上,通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术,实现设计过程、制造过程和制造装备智能化,是信息技术和智能技术与装备制造过程技术的深度融合与集成^[2]。

关于智能制造的最新理解是作者在中航工业科技委开展的“武器装备智能制造发展战略研究”课题研究中达成的集体共识。我们认为智能制造应该是数字化制造向更高阶段发展的必然产物,其核心是数字化与智能化。智能制造是一种数字化、信息化、网络化、自动化等先进制造技术融入智能技术,信息系统与物理系统高度融合,人机深度交互与协作,面向产品全生命周期的,具有信息感知、优化决策、安全执行等功能新型制造模式的方法,旨在更好、更快、更省、更安全地制造产品、服务用户,最终实现整个制造业经营运作高度柔性化和高度集成化,有效提高制造企业快速响应能力及核心竞争力。

智能制造包括智能制造技术和智能制造系统。

智能制造技术(Intelligent Manufacturing Technology, IMT)是人工智能和先进制造的技术集群,包括数字化、信息化、自动化、网络化、智能化等智能制造共性基础技术和智能设计、智能加工和装配、智能服务、智能管理等集成应用技术。其核心是借助人工智能实现制造过程的自感知、自诊断、自适应、自学习,从而达到制造的自动化和智能化。智能制造系统(Intelligent Manufacturing System, IMS)是基于 IMT 的、面向生产组织和业务过程的,并在制造活动中表现出相当的智能行为的、高度自主可控的智能平台。按照不同行业产品自身的特点以及覆盖的任务、流程与职能,可分为智能单元、智能生产

线、智能车间、智能工厂、智能制造联盟等层次。

2 德国工业 4.0 和 CPS

德国是全世界制造业基础最雄厚的国家之一,21 世纪以来,为了应对经济与技术的变革,该国提出了“工业 4.0”理念,并将制造业智能化提升到战略角度。

“工业 4.0”是 2013 汉诺威国际工业博览会上的最大热词,是由德国联盟教研部与联邦经济技术部联手推动的战略性项目,其目的是为了提升德国工业的竞争力,在新一轮工业革命中占领先机。迄今为止人类历史上的工业革命经历了由手工业到机械化、电气化和自动化的 3 次递进发展,使机械能够逐步替代人类手工作业。德国学术界和产业界认为,“工业 4.0”概念即是以智能制造为主导的第 4 次工业革命,或革命性的生产方法。包含了由集中式控制向分散式增强型控制的基本模式转变,目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。

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^[3]。

(1) 建设 1 个网络:即信息物理融合系统(Cyber Physical Systems, CPS),包括能自主交换信息的智能机器、存储系统和生产设施,它们能独立运行和相互控制。CPS 可以将资源、信息、物体以及人紧密联系在一起,从而创建物体、数据以及服务(物联网、数据网和服务互联网)等无缝连接的网络,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。(2) 研究 2 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;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 3D 技术在工业生产过程中的应用等。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。(3) 实现 3 项集成:即端对端、纵向集成与横向集成的集成。“工业 4.0”的关键技术是信息通信技术(ICT),具体包括联网设备之间自动协调工作的 M2M (Machine to Machine),即端对端的集成;“纵向集成”是基于未来智能工厂中网络化的制造体系或生产系统,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);“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,通过网络获得的大数据的运用、与生产系统以外的开发/销售/企业资源计划(ERP)/产品生命周期管理(PLM)/供应链管理(SCM)等业务系统联动。(4) 实施 8 项计划:“工业 4.0”得以实现的基本保障有:①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。②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。③一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。④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。⑤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。⑥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。⑦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。⑧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。

总地来看,“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,用户不仅出现在生产流程的两端,而且广泛、实时地参与生产和价值创造的全过程。

3 国内外主要差距

无论是智能制造还是德国工业 4.0,其实现的基础必须是基于全过程的数字化设计(产品、工艺、工装、检测)和仿真,制造过程的高度自动化,生产数据和生产过程管理的信息化、网络化,制造全过程的知识和规律的获取、挖掘、分析、判断和决策管理。核心是信息物理融合系统,通过 3C (Computing, Comunication, Control) 技术的有机融合与深度协作,实现制造工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。

从总体来看,我国目前工业技术水平与发达国家相比,基础较为薄弱,在数字化制造技术、信息技术、网络通信技术、自动化技术以及人工智能技术等智能制造基础共性技术方面,与国际先进水平之间存在较大差距,智能制造的研究还处于探索阶段。具体表现为:(1) 产品的数字化设计制造一体化尚未完全实现。仅少数行业实现了产品三维设计,工艺设计主要以二维设计为主,在公差分析、加工仿真、装配仿真等方面,目前已有的系统大多停留在几何仿真的层次,优化工作多是由人完成。目前动力学仿真、热力学仿真等功能性物理仿真技术还处于探索阶段。(2) 自动化控制技术水平偏低。我国装备制造业的自动化程度整体较低,制造过程的关

键高端装备、涉及到人工智能与现代控制理论的数控系统等大量依赖进口。(3)制造业信息化程度较低。我国制造企业信息化的深度与广度还不够,多数企业的信息化应用还仅限于研发部门,制造过程中信息孤岛现象普遍。(4)缺乏安全、高效的制造资源网络平台。企业级园区网实现了初步应有,制造设备联网程度低,联盟企业间尚未构建异地协同网络,在网络信息安全方面的认识和规范性管理有待提高,在云平台与云服务方面的应用还处于探索阶段。(5)制造业数据与知识管理的应用刚刚起步。大量的产品设计、工艺等知识未能进行有效地梳理,“知识库没知识”的现象普遍存在;其次,对于大数据的存储、分析以及基于大数据分析的智能决策技术方面与发达国家差距较大。(6)系统集成技术难以满足智能制造需求。大量设计与制造软件、管理与优化软件、软件工具集以及集成应用平台等依赖进口,企业应有过程中处处受制于人,难以形成核心竞争力。

4 飞机智能化装配关键技术

飞机装配技术的发展也基本遵循了工业革命的发展规律,从第1、2代飞机的手工装配,发展到第2、3代飞机的机械化装配,目前国外发达国家已基本实现了第3、4代飞机的自动化装配,正向着智能化装配方向迈进。

飞机智能化装配就是将飞机装配过程中相关的零部件、系统、工装夹具、机器设备、物流、人等深度融合,借鉴人体高度智能化的神经系统原理,将智能化装配系统模型构建为与之相对应的“物理—信息融合系统模型”,逐次建立自动化装配单元(神经元)、装配生产线/车间(神经网络)、智能检测与监控系统(神经末梢)、信息获取与集成(反馈大脑通路)、信息处理与决策(大脑指令通路)、知识累积与自适应控制(条件反射机制)等技术,形成飞机数字化智能装配系统,其特点主要体现在:装配单元自动化、装配过程数字化、信息传递网络化、过程控制智能化、质量监控精确化,达到飞机装配质量的高可靠性和全生命周期可追溯性。

飞机智能化装配的关键技术主要包括:(1)面向装配的一体化三维设计技术。包括基于知识的产品设计、工艺设计和工装设计等,将用户对产品的需求和研发人员对产品的构想建立成信息物理融合系统的虚拟产品模型,并考虑产品装配工艺分离面的划分,对产品的进行模块化设计。基于模型和知识开展产品的功能性能仿真分析与优化,保证产品的功能性能满足用户要求,使用户可以全过程参与减少技术风险。(2)增强虚拟现实仿真优化技术。基于信息物理融合系统的模块化产品模型,建立装配过程的工艺模型和生产模型,在虚拟现实环境中对装配全过程进行仿真,虚拟展示现实生

活中的各种过程、物件等,从感官和视觉上尽量贴近真实,在人机工效分析基础上对装配全过程进行优化,保证装配全过程顺利实施。其特点是可以按照人们的意愿任意变化,这种人机结合的新一代智能界面,是智能装配的一个显著特征。(3)专用智能装配工艺装备的设计制造技术。飞机装配不同于其他机械产品的装配,具有高精度、结构复杂等特点,装配过程的自动化、智能化必须借助定制的专用智能化工艺装备来实现。实现装配工艺装备从“数控一代”向“智能一代”的发展,必须要补好自主研制自动化柔性装配工艺装备的课,首先要全面实现装配过程的机械化和自动化,大量采用智能机器人或设备替代人的重复性操作,在此基础上,通过嵌入式系统实现系统与设备、设备与设备、设备与人之间的互联互通,为实现智能化装配奠定基础。(4)装配过程在线检测与监控技术。建立可覆盖装配全过程的数字化测量与监控网络,通过传感器、RFID、MES、泛在物联工业网络等实时感知、监控、分析、判断装配状态,实现装配过程的描述、监控、跟踪和反馈。(5)智能装配制造执行技术。智能装配中的制造执行系统应是集智能设计、智能预测、智能调度、智能诊断和智能决策于一体的智能化应用管理体系。为此,需要研究MES对装配知识的管理技术;研究人工智能算法与MES的融合技术,使MES具备模拟专家智能活动的的能力,并具有自组织能力,实现人机一体的装配过程优化;研究MES对生产行为的实时化、精细化管理技术;最后,研究生产管控指标体系的实时重构技术,进而适应装配环境和装配流程的改变。

飞机智能化装配是适应未来高端武器装备实现多品种、变批量、低成本、高质量、快速研制的必然选择。美国F35战斗机建立了完整的数字化智能装配移动生产线,实现了装配过程全自动控制、物流自动精确配送、信息智能处理等,达到了三型一线,年产300架的生产能力。因此,我们要积极开展智能制造相关技术研究,在新一轮工业革命中抢得先机,以制造业科技创新发展为驱动,以新兴信息技术与工业化深度融合为手段,以实现智能化制造为目标,统筹规划、分步实施,实现我国从制造大国向制造强国的转变。

参 考 文 献

[1] 中国机械工程学会. 中国机械工程技术路线图. 北京: 中国科学技术出版社, 2011.

[2] 科技部. 智能制造科技发展“十二五”专项规划. 北京: 中华人民共和国科学技术部, 2012.

[3] 罗文. 德国工业4.0战略对我国推进工业转型升级的启示[EB/OL]. 2014[2014-07-30]. <http://tech.sina.com.cn/other/2014-07-30/15159525668.shtml>.

(责编 亿霖)