

关于“德国工业 4.0”的分析概述

Analysis of “German Industry 4.0”

中航工业哈尔滨飞机工业(集团)有限责任公司 王 旭

[摘要] 2013年4月,汉诺威工业博览会上正式推出了“德国工业4.0”,进而使得第四次工业革命加速到来。2010年7月,德国政府在《高科技战略2020》报告中明确了“智能制造”将成为十大未来核心项目之一,目的是提高工业领域新一代革命技术的研发和创新能力。中国工业界也将借鉴德国工业的先进制造理念,走出一条符合中国特色的工业道路。

关键词: 德国工业 4.0 智能制造 创新 工业革命

[ABSTRACT] In April 2013, the Hannover Industry Fair officially launched the "German industry 4.0", which makes the fourth industrial revolution accelerated. In July 2010, the German government "high-tech Strategy 2020" report made clear that "intelligent manufacturing" will become one of the ten core projects in the future, the purpose is to improve the new generation of industrial revolution technology research and innovation ability. The Chinese industry will also draw on the advanced manufacturing concept of German industry and go out of a road with Chinese characteristics.

Keywords: German industry 4.0 Intelligent manufacturing Innovation Industrial revolution

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.043

1 “德国工业 4.0”综述

2011年12月,德国政府将“德国工业4.0”纳入“高科技战略2020行动计划”的一部分,并将其作为一项“战略方案”。“德国工业4.0”项目于2011年2月由科学研究联盟通信促进小组发起,之后于2012年1~10月在德国国家科学工程院的协调下出台了初步实施建议,并最终在2013年4月的汉诺威工业博览会上推出。自2006年以来,德国政府一直努力在国内建立部门间高技术战略协调机制,推动本国的研究和创新工作,以确保德国强有力的竞争地位,这集中体现在目前的“高科技2020战略”。目前,德国是全球制造业中最有竞争力的国家之一,德国装备制造行业全球领先,在创新制造技术方面进行了深入研究,并开发和制造出高端先进

的智能设备用于航空制造领域,这些都意味着德国将确立其在制造行业的领导地位^[1]。

前三次工业革命源于机械化、电力和信息技术。现在,将物联网和服务网应用到制造业,进而引发了第四次工业革命,如图1所示。在第四次工业革命的影响下,企业将建立全球网络,把它们的机器、存储系统和生产设施融入到信息物理系统(Cyber Physical Systems, CPS)。在制造系统中,智能机器、存储系统和生产设施为主要组成部分,相互之间能够完成独立自动的信息交换、动作触发和控制^[2]。2014年10月10日,中德签署了《中德合作行动纲要》,这意味着我国要在工业化和信息化同步发展的战略中更快地促进两者融合。结合“德国工业4.0”、美国工业制造复兴计划,我国也制定了《中国制造2025》规划,决心在2025年以前实现智能化设计、智能化生产运营,建立智能化工厂和智能化的管理模式等一系列目标,为促进我国早日实现智能化制造作好准备^[3]。

《中国制造2025》不等于“德国工业4.0”,中国和德国在国情和制造业技术水平等方面都有很大差异。中国制造业要发展和转型升级,不能照搬外国的经验,要针对中国国情走出特色。国情不同决定了实现路径不同,阶段不同决定了战略重点不同,着眼点不同决定了发展方式不同。未来十年,中国制造业将在坚持创

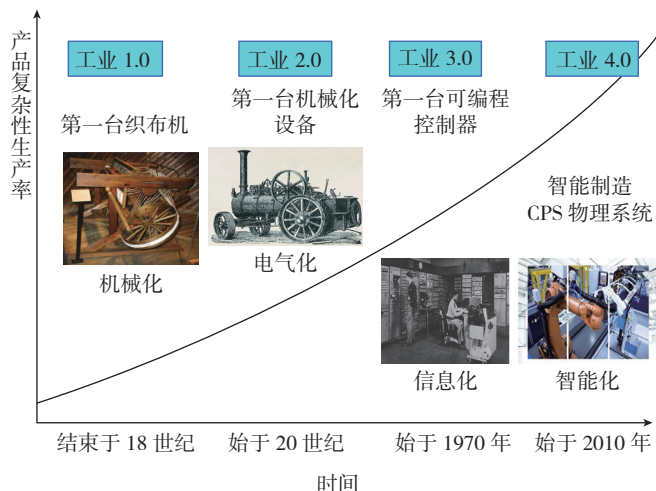


图1 工业革命发展过程

Fig.1 Development process of industrial revolution

新驱动、智能转型、强化基础和绿色发展上走出自己的特点,加快迈进制造业强国的行列。有人称《中国制造2025》规划是中国版的“德国工业4.0”,因为两者在重要目标和核心手段上有异曲同工之处。但是我们应该看到,《中国制造2025》不等于“德国工业4.0”,这也决定我国要实现智能化制造还要付出巨大的努力。德国制造业以中小企业和家族企业居多,创新活力较强,整体的创新体系以及知识产权等相关法律体系已很完善。而中国制造业多种所有制、大中小型各类企业都有。相比德国制造业,中国制造业升级是更宏观长远也是更加复杂的战略规划,需要重视大众创业、万众创新的力量,让各种经济主体开放融合,同台共舞,共同努力。中国和德国在制造业基础上差异巨大,德国是老牌的制造业强国,而中国目前还是全球第一制造业大国,大而不强,在制造业基础材料、基础工艺和产业技术等基础领域创新力上还不够,仍处于全球价值链中低端;中国制造业发展水平层参差不齐,有的尚处在工业2.0阶段,部分达到3.0水平,所以中国制造业2025的重点既需要谋划工业4.0、抢占技术高地,还需要弥补基础不足和历史欠账,特别是要加快淘汰落后产能和化解过剩产能,促使其尽快提升,实现跨越式发展。

2 德国工业4.0对中国制造启示

随着德、美两国在工业技术方面的发展,中国面临着巨大的挑战,全球经济结构和竞争格局也将发生改变。同时,中国也将面临着极大的机遇,要后来居上,实现跨越发展。《中国制造2025》规划的核心内容就是实现智能化制造,建立智能化生产线,采用智能化管理运营模式^[4]。

2015年“两会”上,国务院总理李克强谈到“协调推动经济稳定增长和结构优化”时表示,要推动产业结构迈向中高端。他指出,要实施《中国制造2025》,加快从制造大国转向制造强国,重点要实现工业化和信息化深度融合,必须发展网络化、数字化、智能化等技术,着力在一些关键领域取得突破、抢占先机。要实现智能制造,前提条件是深入实施数字化工程,并从设计、工艺、生产、服务保障、管理的智能化5个方面入手,最终全面实现智能制造,如图2所示。

智能化设计:首先,建立大量的模板库(零件库、模型库、产品库),并形成知识库,从而实现设计的重用,从模板库中提炼需要的数据和知识,利用参数化实现自动化、智能化设计;第二,设计方式将从所见即所得(人工操作电脑实现设计)、所言即所得(人通过语音发出指令实现设计)发展到所想即所得(人通过脑电波发出指令

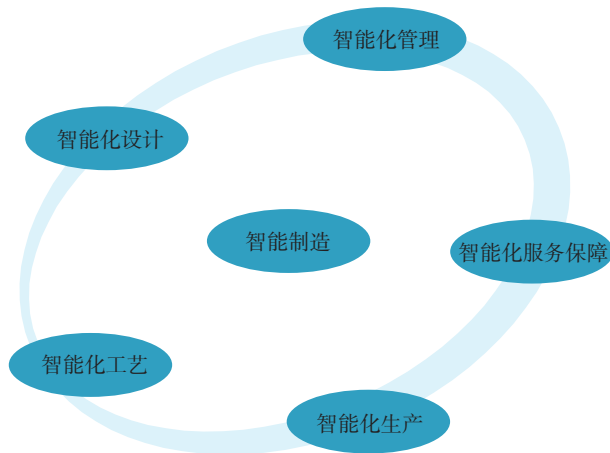


图2 智能制造核心组成

Fig.2 Core component of intelligent manufacturing

实现设计),进入人机深度交互阶段。

智能化工艺:智能化工艺将建立设计与制造的桥梁,基于智能信息平台,向下扩展到各工厂制造业务,向上扩展到总体设计业务部门。

智能化生产:智能化生产可分为智能化设备、单元、生产线、车间、工厂和产业链6个层次。在数字化生产过程中,要逐步从自动化的设备做起,如根据需求,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,则需要构建多个自动化工厂的产业联盟。

智能化服务保障:基于工业大数据和网络的制造服务,以云计算、数据融合处理与分析、远程监控与诊断等技术为支撑,采用数据采集与融合分析、远程监测与控制等技术,建立网络远程状态监控与诊断和后勤保障系统,支撑运营模式变革,扩展维护、租赁和数据分析管理等服务。

智能化管理:智能化管理系统指导如何组织生产,并收集所有的数据,同时采用一种控制的方式与有关环节进行互动,对捕捉到的数据进行实时分析,帮助人们作出决策。

《中国制造2025》是中国未来经济发展的主体,也是由制造大国向制造强国转变的基础,经过长期的努力,通过制造业的发展使得中国更加繁荣更加强大。现阶段,我国制造业面临着严峻挑战,存在的突出问题较为鲜明,需要早日解决:

(1)自主创新能力、自主产业落后,核心技术对外依赖性强,产业发展需要的高端设备、关键零部件和元器件等大多依靠进口。如我国所需的电子配件85%以上依靠进口,2011年用汇2130亿欧元,超过天然气储备;高铁建设装备所需的核心零部件/元器件90%以上依然需要进口。

(2) 产品质量下降明显,制造业每年由产品质量造成的直接经济损失超过 2800 亿元人民币。

(3) 资源利用效率较低,浪费严重,单位国内生产总值(GDP)能耗约为世界平均水平的 3.5 倍。

(4) 产业结构不尽合理,面临严峻挑战。和西方发达国家相比,我国技术密集型产业和生产型服务业所占比重较低,产业集聚发展水平不高,很难和较强的国际大企业竞争。从外部因素看,一方面,欧美发达国家推行技术封锁战略,进而谋求在技术、产业方面加大领先优势;另一方面,泰国、新加坡、越南等发展中国家则以更低的劳动力成本承接劳动密集型产业的转移,抢占制造业的中低端。我国将面临欧美发达国家和发展中国家的双重压力,未来将会面临更艰巨的挑战。

3 航空制造技术发展展望

当前,科学技术越来越成为推动经济社会发展的主要力量,面对机遇和挑战的同时,中国和发达国家掌握新一轮工业革命的核心技术的机会是均等的,我们要跨越发展,早日掌握核心技术,短时间内追赶发达国家的先进水平,未来要成为核心地位的主导者。近年来,随着数字化、网络化、自动化等技术的不断发展,智能制造技术在数字化制造、自动化制造的基础之上得到完善。在此,深受德国工业 4.0 的影响,智能制造技术也将给航空制造业带来翻天覆地的改变。

现阶段我国航空制造业还处于二、三代机的制造水平,装配制造技术落后。而以美国为首的发达国家早已经采用先进的数字化生产模式,建立数字化生产线,利用柔性数字化装备进行制孔、铆接、在线检测等,利用柔性工装进行装配,如图 3 所示。这样不仅可以降低成本,提高工作效率,最重要的是保证了生产质量。对于我国的航空主机厂而言,智能制造并非高不可攀,它已经悄然走进飞机制造领域,首先要看清形势和未来发展需求,找出影响生产的核心环节开展一些投资少、见效快、影响大、技术比较成熟的自动化或智能化项目研究与应用,切实提高生产效率及产品质量。例如针对制孔工作量大、制孔质量差,复合材料与钛合金材料夹层制孔难度大等特点,引进国外先进的手持自动钻铆设备及机器人钻铆设备,并建立数字化生产线;采用数字化在线检测设备进行辅助检测,主要完成铆接间隙检测,制孔精度检测,飞机水平测量、尾梁对接检测等。对于零部件制造作为生产的核心环节,以数控机加车间为例应建立数字化生产模式和管理制度,通过数字化信息系统将离散的数控设备集成管控,和刀具库、工装库、材料库、物流车等并联成一条数字生产线,达到均衡、准时、高效。通过信息化手段,建立数控生产线动态布局图、生产线

运行看板;建立自动排产和动态管理系统;建立在线检测系统,形成分析报告;建立现场工人作业监控系统,在线跟踪生产动态。在离散的数控设备之间引进机器人设备,完成智能识别分类、自动搬运、装夹等技术。将大量的智能设备用于产品加工关键环节,这不仅提高了智能化设备的利用率,而且还使整条生产线具有柔性,如图 4 所示。

3D 打印技术作为智能制造的另一个核心技术,在航空领域应该重点推广。近年来,波音公司已经利用 3D 打印技术制造了 A380 飞机客舱行李架,“台风战斗机”利用 3D 打印技术生产了空调系统。2012 年 11 月 14 日,我国制定了 3D 打印技术的技术路线图和中长期发展规划,并由信息化部和中国工业联合中国工程院在 2013 年全国两会会议上提出。目前,3D 打印技术已在航空制造领域中广泛应用,其中一部分技术水平较为先进。例如,国内新一代飞机采用了 3D 激光打印技术制造用于生产钛合金主体结构等飞机重要结构件,不仅降低飞机的结构重量,而且提高其有效推重比。其次,中

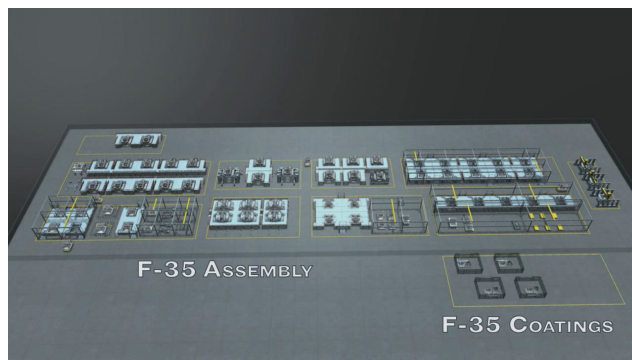


图3 F-35战机柔性装配生产线
Fig.3 F-35 fighter flexible assembly line



图4 数字化生产线
Fig.4 Digital production line

(下转第 50 页)

几个方面,以完成对工艺规划的验证和优化。

3.2.1 装配工艺过程仿真

在发动机装配工艺设计过程中,需要以产品、工艺、资源数字化工艺模型(PPR)为基础,在数字化装配环境下,依据 AO 内容、初步设计及装配工艺方案对产品的装配过程和分解过程进行装配工艺过程仿真,验证每个装配单元体的装配顺序是否合理,每个零件的装配路线是否可达、装配方式是否可行、每套装配工装是否可用。在仿真过程中及时发现干涉问题、工装设计问题,分析干涉区域和干涉原因,工装不可用原因,修正工艺方案、详细工艺流程的错误及问题。

3.2.2 人机工程仿真

发动机装配过程中,很多工步装配空间小,开敞性、操作性差,有些区域装配可视性差,甚至需要盲装。针对这样的区域,需要利用特定的人体三维模型结合装配工艺模型进行人机工程仿真,以便验证这些工步的工艺设计合理性,装配操作可达性以及操作者工作的舒适性,发现其中问题,及时进行更改。

4 结束语

MBD 技术的应用使三维模型成为制造过程中的唯一依据,引发了整个制造模式的转变。本文以建立基于 MBD 数模的数字化装配工艺体系为目标,对上游 MBD 设计模型进行 BOM 重构,借鉴数据结构化的思想,构建了以 PPR 为核心结构的装配工艺模型,并以此为基础,以发动机装配为实例,提出了基于 MBD 的装配工艺规划流程,将三维 AO 编制、装配仿真技术引入装配工艺规划过程中,合理规划航空发动机装配顺序及装配路径,提高装配质量和效率。

目前,发动机装配工艺工作并未达到全三维水平,还需进一步深入开展研究工作,建立三维数字化设计制造一体化集成应用系统,健全发动机数字化工艺设计体系。发动机的数字化装配是缩短发动机研制周期、降低制造成本、提高产品质量的重要保障,也是发动机装配技术未来发展的必然趋势。

参考文献

- [1] 《透平机械现代制造技术丛书》编委会. 装配试车技术. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 周建华, 范玉青. 产品三维数字化定义在波音飞机公司的应用. 航空工艺技术, 1996(2):7-10.
- [3] 杨五兵. MBD 制造技术在 B787 项目中的应用. 第五届中国航空学会青年科技论坛, 南昌, 2012.
- [4] 李婷婷, 刘俊堂, 张永辉. MBD 技术在大飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2014(17):88-92.
- [5] Alemanni M, Destefanis F, Vezzetti E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. International Journal

of Advanced Manufacturing Technology, 2011(1-4):1-14.

- [6] 刘超, 李原, 余剑锋, 等. MBD 中三维标注信息的本体构建方法研究. 锻压装备与制造技术, 2014(4):117-121.
- [7] 张魁, 范玉青, 卢鹤, 等. 基于 MBD 制造体系的装配工艺数据集成. 制造业数据化, 2009(1):55-58.
- [8] 贾晓亮, 丁晓宇, 耿俊浩. 面向 PLM 基于 3D 产品模型的航空产品数字化工艺技术研究. 航空精密制造技术, 2011(3):49-53.
- [9] 徐庆泽, 王征, 蔡晋. 面向航空产品的装配工艺规划技术研究. 航空科学技术, 2014(5):57-62.
- [10] 冯廷廷. 基于 MBD 的飞机装配工艺规划与仿真 [D]. 南京航空航天大学, 2011.

(责编 古京)

(上接第 45 页)

国在钛合金方面也采用了 3D 激光打印技术用于新机试制。

中国航空制造业的未来发展不仅需要依靠智能制造技术,而且还需要智能化管理模式,这也是追赶欧美发达强国制造业的基础条件。实现航空智能化制造的关键因素是建立数字化制造生产线,这其中包括柔性数字化工装设计、数字化制孔铆接技术、数字化飞机装配技术、数字化在线检测技术等。为加快国内航空制造业的发展,应用数字化、智能化技术势在必行,但应充分利用前期研究的工作成果,从根本上提高我国航空制造业的水平,并为新一代飞机制造奠定基础。

3 结束语

“德国工业 4.0”、美国工业制造复兴计划、《中国制造 2025》规划将会给未来世界经济发展带来巨大变化。“德国工业 4.0”、美国工业制造就是以智能制造为主导的新工业革命,此次工业革命表现为两个根本性的产业模式转变,一是终结大规模流水线的生产模式,从而转向定制化生产;二是将工业互联网应用到制造业,实现产业形态从生产型制造向服务型制造的转变。中国未来制造业的发展就是要实现智能化制造,并且实现智能化管理模式,具体目标:制造业增加值位居世界第一,主要行业产品质量水平达到或接近国际先进水平,形成一批具有自主知识产权的国际产品;部分战略产业掌握核心技术,接近国际先进水平。

参考文献

- [1] 工业 4.0 工作组. 德国工业 4.0 战略计划建议. 机械工程导报, 2013(8):7-9.
- [2] 森德勒, 邓敏. 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, 2014:18-36.
- [3] 王喜文. 工业 4.0—最后一次工业革命. 北京: 电子工业出版社, 2015:25-35.
- [4] (德)阿尔冯斯-波特霍夫, 刘欣. 工业 4.0. 北京: 机械工业出版社, 2015:72-110.

(责编 谷雨)