

浅析智能制造在航空航天制造业的应用

贵州航天电器股份有限公司 向恒

近年来，为推进我国制造业工业化和信息化融合，智能制造技术受到广泛关注，航空航天制造业作为装备制造业的最高端，也面临着向智能化转型。本文以航空航天智能制造的关键技术为出发点，分别介绍了数字线索、CPS 和智能人工增强的技术内涵和应用方向，为企业实现智能化转型提供借鉴意义。

一、引言

航空航天制造业是典型的高新技术产业，处于先进装备制造业的最高端，具有高技术含量、大市场容量、广泛的行业覆盖面等特征，代表一个国家整体制造业的发展水平，国家航空航天制造业的发展极大地促进了国民经济建设，加快国防现代化和社会科技前进步伐，提高国家的综合国力。因此，当代世界各国尤其是发展强国都在不遗余力的发展航空航天工业。经过六十多年的艰苦奋斗和自主创新，我国航空航天制造业独立自主的工业体系已经基本建成，其发展速度和成就令世界瞩目。近年来，我国航空航天工业进入快速发展期，航空航天科研生产水平飞跃发展，然而随着智能制造技术的兴起，制造业需要由自动化向智能化转型升级，我国航空航天制造业也迎来了更为严苛的挑战。

目前，全球制造业正在围绕价值关系组建智能制造系统以实现智能化转型。智能制造技术集合了人工智能、柔性制造、虚拟制造、系统控制、网络集成、信息处理等学科和技术，由智能装备、智能控制和智能信息共同组成的人机一体

化制造系统，能够实现制造过程自动化、智能化、精益化、绿色化，是传统产业转型升级发展的重要途径，因此，智能制造已成为我国航空航天制造业新一轮产业技术变革的主要方向之一。本文以智能制造的三个核心技术为出发点，展开介绍了智能制造技术在航空航天制造业的应用方向。

二、航空航天智能制造技术概况

智能制造是指在制造相关的各环节、活动、资源等形成的系统中，其主要部分具有自主感知、学习、分析、决策和协调控制能力，能动态地适应制造环境的变化，以达到相应的目标。目前，根据航空航天产品的研制过程和特点，经过分析航空航天制造业对智能制造的要求，初步形成了具有航空航天特色的智能制造架构模型，如图 1 所示。该架构模型提出面向企业联盟、企业管理、生产管理和控制执行等四个层面建立具有“动态感知、实时分析、自主决策、精准执行”特征的智能制造系统，打通产品研制生产的设计、制造、试验和管理智能处理流程，形成全局推进和协同发展的制造新模式。其中，动态感知是指全面感知、监测供应链、企业、生产线、设备以及产品的实时运行状态；实时分析是对获取的实时运行状态数据进行及时、快速的分析；自主决策是按照设定的规则，根据分析结果，自主做出判断决策；精准执行则是执行决策，控制产品、设备、生产线、企业和供应链的运行，实现自适应调整。

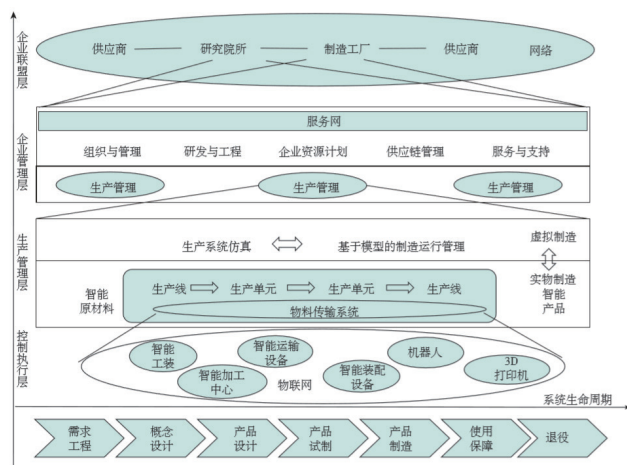


图1 航空航天智能制造架构模型

三、智能制造在航空航天制造业的应用

智能制造关键技术主要有识别技术、实时定位技术、信息物理融合技术、网络安全技术、系统协同技术等。根据航空航天领域制造特点，航空智能制造技术可归纳为三类核心技术，分别为数字线索（Digital Thread）技术、赛博物理生产技术（CPS，亦称：信息物理生产系统技术）和智能人工增强系统技术。简单地说，数字线索是软件、信息传递、模型建立集于一体的全寿命周期管理架构，实现“数据－信息－知识”无缝连接的系统；信息物理生产系统是智能制造系统最重要的核心技术，具有实时感知并分析状态信息，并据此自主做出决策进行精准的动作，最后根据执行过程及结果反馈给整个系统进行自身学习提升的功能特征；智能人工增强技术主要由数字线索技术作为支撑，通过分解和细化复杂系统和操作过程，辅助增强人对其系统过程的理解和掌握，保证高效准确的执行复杂任务。

1、数字线索技术

智能制造的过程是一个由始至终的管理过程，每一个过程的管理都是要上下对应，否则会造成加工链断裂无法实现精密的体现，而数字线索技术在产品的全寿命周期管理方向有非常突出的作用。数字线索旨在通过先进的建模与仿真工具建立一种技术流程，提供访问、综合并分析系统寿命周期各阶段数据的能力，使军方和工业部门能够基于高逼真度的系统模型，充分利用各类技术数据、信息和工程知识的无缝交互与集成分析，完成对项目成本、进度、性能和风险的实时分析与动态评估。由数字线索技术实现的数字孪生技术可

以实现“设计－虚拟综合－数字制造－物理制造”的新产品生产模式，它是对现实系统的集成仿真技术，通过对现实状态进行感知和收集数据，建立较为合理的数据模型，来反映和预测相对应的“物理孪生”在其生命周期内的过程状态和性能特征。

美空军在2013年发布的《全球地平线》顶层科技规划文件中，将数字线索和数字孪生（Digital Twin）视为“改变游戏规则”的颠覆性机遇，并从2014财年起组织洛克希德·马丁、波音、诺斯罗普·格鲁门、通用电气、普拉特·惠特尼等公司开展了一系列应用研究项目，已陆续取得成果。美空军计划在E-8对地监视与攻击指挥飞机替换、T-X高级教练机、远程防区外空射核巡航导弹等重要采办项目中推广应用数字线索技术。此外，诺斯罗普·格鲁门公司将数字线索技术和数字孪生技术应用于F-35中机身生产中，通过改进不合格产品的信息采集方式搭建数字线索系统，再通过数字孪生技术建立三维可视化模型，实现快速和精确的自动分析，大幅缩短了劣品的处理时间，并通过不合格产品特征反馈，对制造工艺和夹具进行改进以减少后期对产品更改，目前，该公司处理F-35进气道加工缺陷的时间缩短了33%。波音公司与美国空军协作针对F-15C机体建立了数字孪生模型，采用先进三维建模和仿真软件，可以模拟建立产品的结构尺寸、预测产品的残余应力、运行载荷、边界条件、材料微观缺陷和剩余寿命等，帮助公司及时调整结构检查、修改、大修和替换的时间。

2、CPS技术

赛博物理系统CPS（Cyber-Physical Systems）是一个包含计算、网络和物理实体的复杂系统，通过3C（Computing、Communication、Control）技术的有机融合与深度协作，通过人机交互接口实现和物理进程的交互，使赛博空间以远程、可靠、实时、安全、协作和智能化的方式操控一个物理实体。其技术架构有连接层、转换层、网络层、认知层与配置层，其能力构架分为资源液化能力、数据增值能力、资源集成能力、智能分析能力、资源调配能力五层，相对应的应用构架分别为装备数字化、装备自监测、工厂网络化、工厂自决策、工厂自配置五个方面。图2为CPS技术构架、能力构架和应用构架间的相互关系。

以德国“工业4.0”高科技战略计划和美国通用电气公司（GE）提出的“工业互联网”对CPS技术有不同的理解。

德国以生产设备作为 CPS 化的重要对象，将设备最为可以感知产品的类别，并据此进行工艺参数和控制参数的自动调整。而 GE 提出的工业互联网，则把产品作为 CPS 化的最典型应用，如飞机发动机可以采集运行数据发送到云端，云端对其进行运行分析，并予以优化运行建议和回馈。但是，智能制造需要 CPS 化的物理实体不仅仅是设备，而是应该对涉及产品生产的 5M1E（人、机、料、法、环、测）予以全面 CPS 化，例如：通过对携带 RFID 的人的移动轨迹的采集分析，提出更精益的操作规程，并通过穿戴设备提供给员工，最典型的如现场的物料配送人员等；此外，还有通过现场工艺参数（如热处理温度）的实时采集，并通过大数据分析，给出工艺参数优化的指导。

中国企业在这轮的转型升级浪潮中，将一些复杂的高附加值的产品 CPS 化（如远程监测系统、设备健康维护管理系统等）是一个可行的方向，而对于制造过程，需要根据行业的装备水平、传感水平、投入产出来确定哪些生产资源可以进行 CPS 化（改造），然后分步实现生产过程的智能化转型升级。

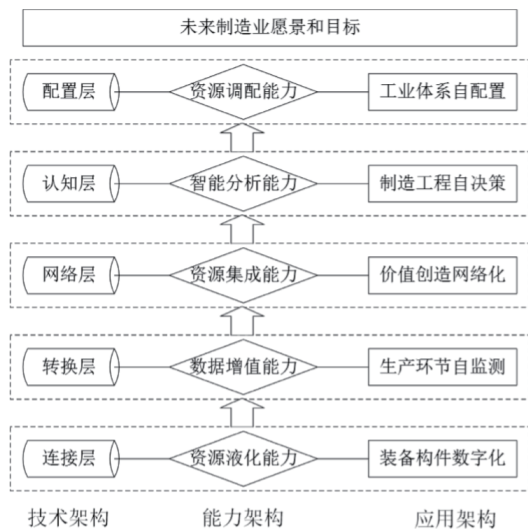


图2 CPS 技术构架、能力构架和应用构架间的相互关系

3、智能人工增强技术

智能制造过程中的人仍然起着决定性作用，但是面对复杂、枯燥的重复工作和恶劣的工作环境，无法实现自动化，采用机器人作业成本过高，而人的工作效率和准确率难以得到保证，如：飞机制造过程中在狭小空间进行成千上万个接线动作的工作，因此，智能人工增强技术应运而生，可以大

大提升这一过程的效率和质量。智能人工增强技术旨在提升人的感知、分析、决策、执行能力，它将人与智能制造环境相连接，增强了人获取和利用信息的能力，是智能制造的一个核心技术内容。虚拟现实技术是智能人工增强系统的重要支撑，其中虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术则是发展的重中之重。

普惠公司于2017年采用VR技术研发了VR培训模拟器，对其最新的GTF型发动机的维修过程进行培训，使得学员更容易掌握发动机工作原理和各部位运行结构，直观模拟发动机运行中可能产生的问题和解决办法，大大缩短了培训时间，降低了培训难度。GE公司针对航空发动机螺栓安装过程中容易产生过松或过紧的现象，研发了Saltus MWR-85 TA智能扭矩扳手，辅以增强现实技术，为安装工程师配备安装有SkyLight软件的智能眼镜，以图像形式实时展现和指导每个安装步骤，同时实时检测扳手扭矩，并反馈指导工程师做出相应调整，采用该套系统后，装配错误率显著下降，效率也提高百分之十左右。空客公司研发了智能增强现实工具（SART）用于装配过程中管线定位托架的质量管理，使得飞机机身八万多管线定位托架的检查时间缩短为原来的七分之一。

四、结语

随着智能制造的不断发展和制造业的不断转型，智能制造在航空航天领域的应用将不断拓展，航空航天制造作为一个复杂的系统，其实现智能化制造不仅需要“智能”，更需要“制造”，因此在企业转型升级过程中，应该坚持以实际问题和需求为导向的方针，切记不可盲目追求智能。本文以智能制造的三个核心技术为出发点，分别介绍了数字线索、CPS和智能人工增强的技术内涵和应用方向及实例，希望能够为同行工作者提供一定的参考作用。IM