

# 新一代人工智能引领下的智能产品与装备

谭建荣<sup>1,2,3</sup>, 刘振宇<sup>1,3</sup>, 徐敬华<sup>1,2</sup>

(1. 浙江大学机械工程学院, 杭州 310027; 2. 流体动力与机电系统国家重点实验室, 杭州 310027;  
3. 计算机辅助设计与图形学国家重点实验室, 杭州 310058)

**摘要:** 智能产品与装备是智能制造和服务的价值载体、技术前提和物质基础。智能产品与装备的内涵体现在两个辩证的方面: 一是智能技术的产品化, 主要体现在物联网、大数据、云计算、边缘计算、机器学习、深度学习、安全监控、自动化控制、计算机技术、精密传感技术、GPS 定位技术等的应用; 二是传统产品的智能化, 借势新一代人工智能, 赋予传统产品以更高智慧, 在智能制造装备、智能生产、智能管理等方面注入强劲生命力和发展动能。在广泛科学调研和已有研究基础上, 结合《中国制造 2025》的十大重点领域及《人工智能三年行动计划》等宏观政策, 拟定了智能产品与装备的十二大装备领域。研究表明, 新一代智能产品与装备以知识工程为核心, 以自感应、自适应、自学习和自决策为显著特征。未来将重点发展该领域的十大关键技术。

**关键词:** 智能产品与装备; 知识工程; 智能状态感应; 智能变异适应; 智能知识学习; 智能控制决策

**中图分类号:** F424 **文献标识码:** A

## Intelligent Products and Equipment Led by New-Generation Artificial Intelligence

Tan Jianrong<sup>1,2,3</sup>, Liu Zhenyu<sup>1,3</sup>, Xu Jinghua<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China; 2. State Key Lab of Fluid Power and Mechatronic Systems, Hangzhou 310027, China; 3. State Key Lab of CAD & CG, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** Intelligent products and equipment is the value carrier, technological prerequisite and material base of intelligent manufacturing and service. The intelligent products and equipment refers to two dialectical aspects: on the one hand, commercialization of intelligent technology, turning intelligence technology into products, which is mainly reflected in the comprehensive application of the Internet of Things, big data, cloud computing, edge computing, machine learning, deep learning, security monitoring, automation control, computer technology, precision sensing technology, and GPS positioning technology; On the other hand, the intelligent products and equipment refers to the intellectualization of traditional products. The new-generation artificial intelligence endows traditional products with higher intelligence and injects strong vitality and developmental motivation into traditional products in the aspect of intelligent manufacturing equipment, intelligent production, and intelligent management. Based on extensive scientific surveys and current researches, and combined with the ten major fields of *Made in China 2025* and macro policies such as the *Three-Year Action Plan for Artificial Intelligence*, twelve major equipment fields of intelligent products and equipment are formulated.

收稿日期: 2018-08-05; 修回日期: 2018-08-10

通讯作者: 徐敬华, 浙江大学, 副教授, 主要研究方向为计算机辅助设计; E-mail: xujh@zju.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新一代人工智能引领下的智能制造研究”(2017-ZD-08-03); 国家自然科学基金创新研究群体项目(51521064); 国家自然科学基金项目(51490663)

本刊网址: www.enginsci.cn

Researches show that the new-generation intelligent products and equipment focuses on knowledge engineering and is prominently characterized by self-sensing, self-adaptation, self-learning, and self-decision-making. Ten key technologies will be prioritized in future.

**Keywords:** intelligent products and equipment; knowledge engineering; intelligent state sensing; intelligent variation adaptation; intelligent knowledge learning; intelligent control decision

## 一、智能产品与装备的重要性与价值

### (一) 智能产品与装备的重要性

#### 1. 全球智能制造业发展现状

自 18 世纪蒸汽革命以来，产品与装备经历了机械化、电气化、信息化和智能化的发展历程。进入 21 世纪以来，互联网、大数据、云计算、新材料、新能源、生命科学等前沿领域不断取得突破，使当前全球制造业格局面临重大调整，我国制造业转型升级、创新设计发展迎来重大机遇 [1,2]。当前世界各国高度重视智能化前沿技术。美国的先进制造伙伴计划 (AMP)、“制造业重返美国”战略，都强烈表达振兴制造业的决心，让智能制造成为制造业全面复兴的主要推力。“德国工业 4.0”利用信息物理系统 (CPS) 将生产中的供应，制造，销售信息数据化、智慧化，最后达到快速、有效、个性化的产品供应，重点强调三个主题：智能工厂、智能生产、智能物流，其技术基础是网络实体系统及物联网 (Internet of Things, IOT)。欧盟“创新的生产设备和系统”项目组发表研究报告《先进生产装备研究路线图》，对先进机床和系统发展做出了预测，该报告预测 2010—2030 年涉及的 6 个领域、24 个关键使能特性、42 个技术子领域。

近年来，美国、德国、日本等发达国家纷纷研发了具有代表性的智能产品与装备，提升了制造业的竞争力。例如，美国苹果公司的 iPhone 智能手机，包括智能语音服务 Siri、智能图形图像处理、智能人脸识别与验证、A11 人工智能芯片等。美国波士顿动力公司的波士顿大狗，即四脚狗腿机器人，稳定性以及方位感令人惊叹，可以处理许多未知的挑战。美国直觉外科公司的达芬奇手术机器人，联合多家公司共同开发，包括外科医生控制台、床旁机械臂系统、成像系统三大系统，适用于泌尿外科、心胸外科、妇科、腹部外科。手术操作更精确、愈合好、创伤更小、手术指征更广、减少疼痛、减少失血量。

德国西门子公司的智能燃气轮机，能够智能

监测自身状态，通过大数据技术分析燃气轮机上 5 000 多个传感器采集的数据，保障运行安全并提供维修决策。一台燃气轮机每天产生的传感器数据量达 30 GB，其通过智能分析能够判断该燃气轮机是否需要维修，减少了客户停机检修的次数。

日本发那科公司研发了具有自我学习能力的智能机器人，在没有人员指导的情况下自己学习工件摆放：第一步：机器人随机抓取；第二步：自行判断成功 / 失败，并搜集图片训练；第三步：经过长时间的学习，任务执行准确率不断提升。

#### 2. 我国智能制造业发展现状

装备制造对工业、农业、能源、交通、信息、水利、城乡建设、现代服务业等各行业的发展与国防安全都具有决定性作用，是国民经济发展的基础性、战略性支柱产业。智能产品与装备是智能制造和服务的价值载体，是智能制造的技术前提和物质基础。党的“十九大”报告里明确提出：深化供给侧结构性改革。加快建设制造强国，加快发展先进制造业，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合，在中高端消费、创新引领、绿色低碳、共享经济、现代供应链、人力资本服务等领域培育新增长点、形成新动能。支持传统产业优化升级，加快发展现代服务业，瞄准国际标准提高水平。促进我国产业迈向全球价值链中高端，培育若干世界级先进制造业集群。工业和信息化部强调人工智能与实体经济和制造业的深度融合，发展智能产品与智能装备，推动我国制造产品与装备整体升级为“智能一代”，是落实《中国制造 2025》的关键之一。

由此可见，传统制造智能程度低、协作效率低、需求响应速度慢、成本高、竞争力弱。高端产品依赖进口、低端产品供大于求，深化供给侧结构性改革势在必行。新一代人工智能引领下的智能制造 [3,4] 运用互联网、大数据和云计算等技术，实现高度协作的高效率制造、快速响应客户需求，竞争力显著增强。

因此，要实现由制造大国向制造强国的历史性

转变, 智能产品与装备必须要先行, 必须从模仿走向创新、从跟踪走向引领, 必须科学前瞻、登高望远、规划长远发展。智能产品与装备在新一代人工智能引领下的智能制造中具有重要的支撑、引领和示范作用, 意义重大。

## (二) 智能产品与装备的价值

### 1. 成为制造业发展的重要战略制高点

大数据、智能化生产及移动网络, 推动科学技术进入人工智能 2.0 时代 [5], 使经济形态发生深刻变革。突破性技术创新被公认为引领技术与产业发展的方向, 同时也是国家增强综合国力、实现后发赶超的关键手段。互联网、云计算和大数据正深刻改变着制造装备产业的发展方式。信息高度畅通化, 生产力高度发达, 产品制造在价值链中所占比重下降, 而产品设计在价值链中所占比重显著上升。市场边界不断延伸, 新兴市场不断开拓, 产品内涵发生变化, 智力资源和大数据知识的价值凸显, 客户体验、客户参与的众创设计方兴未艾。

智能工业是将具有环境感知能力的各类终端、基于泛在技术的计算模式、移动通信等不断融入到工业生产的各个环节, 大幅提高制造效率, 改善产品质量, 降低产品成本和资源消耗, 将传统工业提升到智能化的新阶段。

### 2. 推动实现由制造大国向制造强国的转变

在已经较好实施了数字化网络化的基础上, 融入新一代人工智能技术, 实现系统的升级, 并为用户和制造商带来经济效益和竞争力的提升, 推动我国装备工业实现由大国向强国的转变, 主要标志是: ①国际市场占有率处于世界前列; ②重要产业(按工业总产值)国际竞争力处于世界前沿, 成为影响国际市场供需平衡的关键产业; ③拥有一批具有国际影响力、资本和技术输出能力、进入世界 500 强的“旗舰级”国际化大企业集团; ④拥有一批国际竞争力和市场占有率处于世界前列的世界级智能装备制造基地。

## 二、智能产品与装备的内涵、特征与发展目标

智能产品与装备是人工智能技术与产品装备的

结合, 使产品与装备具有智能感知、智能分析、智能决策和智能控制的特点。

## (一) 智能产品与装备的内涵

智能产品与装备的内涵既可指智能技术的产品化, 也可指传统产品的智能化。

### 1. 智能技术的产品化

智能化技术在其应用中主要体现在物联网、大数据、云计算、边缘计算、机器学习、深度学习、增强现实(AR)技术、安全监控、自动化控制、计算机技术、精密传感技术和 GPS 定位技术等的应用。智能化融入传统行业, 是经济新常态的一个趋势, 借助智能化和信息技术的进步, 实体经济一定能在新常态下创造新的突破。智能技术的产品化可大大改善操作者的作业环境, 减轻工作强度; 提高作业质量和工作效率; 一些危险场合或重点施工应用得到解决; 提高机器的自动化程度及智能化水平, 使其环保、节能; 通过智能化实现状态诊断, 提高了设备的可靠性, 降低了维护成本, 增强了产品的竞争力。

### 2. 传统产品的智能化

传统产品的智能化可借势互联网, 赋予产品智慧, 通过“智能化+”实现智能化理念的不断融入, 为传统产品企业在智能制造装备、智能生产、智能管理和智能服务方面注入强劲生命力。传统产品的智能化研究传统产品和传统装备应用人工智能技术。对智能制造装备, 提高智能制造系统集成能力。对智能生产, 广泛应用制造执行系统、分布式控制系统及数字化控制系统, 提高装备在线监控、远程监控状态诊断和分析水平。对智能管理, 促进生产与销售、业务与财务、产业链上下游企业间的协同。对智能服务, 发展基于互联网的新型制造模式, 形成基于个性化定制需求的企业设计、生产、供应链管理和服务体系。重大的过程机械可以实现智能化, 比如智能分离器械和智能压力反映设备。

本研究主要是研究传统产品的智能化, 即通过“智能化+”实现对传统装备制造业的升级, 培育新增长点, 形成新动能。

## (二) 智能产品与装备的特征

智能产品与装备以知识工程为核心 [6], 以自

感应、自适应、自学习和自决策为显著特征。知识工程是应用人工智能的原理与方法，对那些需要专家知识才能解决的应用难题提供求解的手段，恰当地运用专家知识的获取、表达和推理过程的构成与解释。知识工程是新一代人工智能的重要理论基础，它的根本目的是在研究知识的基础上，开发人工智能系统，补充和扩大大脑的功能，开创人机共同思考的时代。知识表示、知识利用、知识获取构成了知识工程的基础。

自感应是对信号的智能感应、感知和识别的技术。传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。自感应是自适应、自学习和自决策的基础。

自适应是对复杂任务的多工况环境的智能适应，是对多机协同的集群化交互与控制的智能适应。自适应能够修正自身特性以适应对象和扰动的动特性的变化。自适应可在系统运行中依靠不断采集控制过程信息，确定被控对象的当前实际工作状态，优化性能准则，产生自适应控制规律，从而实时地调整机械系统的结构或参数，使系统始终自动地工作在最优或次最优的运行状态。

自学习是指能够按照自身运行过程中的经验来改进控制算法的能力，它是自适应系统的一个延伸和发展。自学习在系统运行过程中通过评估已有行为的正确性或优良度，自动修改系统结构或参数以改进自身品质的系统。与自适应系统不同之处在于，经学习而得到的改进可以保存并固定在系统结构之中，从而较易实现，并可作为智能设计或调整的一种方法。

自决策是指可在没有人的干预下，把自主控制系统的感知能力、决策能力、协同能力和行动能力有机地结合起来，在非结构化环境下根据一定的控制策略自我决策并持续执行一系列控制功能完成预定目标的能力。自决策的智能是以人工智能为基础的，包括机器全自主、机主人辅、人机协商、人主机辅和人类全手动等自决策方式。

### （三）智能产品与装备的发展目标

智能制造有一定的分期目标或者近期目标，实

现智能产品和装备，提升制造业的国际竞争力，是智能制造的重要目标。

2025年目标：新一代人工智能系统技术在典型产品与装备中成功应用，产品与装备的数字化、网络化、智能化取得明显进展，在参数自诊断注塑装备、绿色低碳节能挖掘装备、多工况自适应压缩机组、人机共融的智能机器人、高安全智能网联汽车、人工智能深度融合的智能手机等方面取得重点突破，对智能产品与装备发展的实现起到示范作用。

2035年目标：新一代人工智能技术与产品装备深度融合，掌握一批国际领先的智能产品与装备关键核心技术，智能机床装备、智能工程机械、智能动力装备、智能机器人、智能运载装备和智能终端产品等优势领域的智能产品与装备具有自感应、自适应、自学习和自决策等特征，形成全球引领优势，整体竞争力达到世界强国水平。

## 三、智能产品与装备的十二大领域

《中国制造2025》的十大重点领域包括：新一代信息技术、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械、农业机械装备。工业和信息化部实施人工智能三年行动计划，明确提出了八个智能产品，一是智能网联汽车，二是智能服务机器人，三是智能无人机，四是医疗影像辅助诊断系统，五是视频图像身份识别系统，六是智能语音交互系统，七是智能翻译系统，八是智能家居产品。

本研究综合考虑了《中国制造2025》十大装备，结合近几年人工智能在智能制造领域的应用，突出装备制造业产业链集群式的发展思路，在广泛科学调研和已有研究基础[6~10]上，提出了十二大领域：智能机床装备领域；智能热工装备领域；智能动力装备领域；智能工程机械领域；智能航空航天装备领域；智能海洋工程与船舶装备领域；智能机器人领域；智能轨道交通与运载装备领域；智能网联汽车领域；智能农机装备领域；智能家居产品领域；智能终端产品领域。

## 四、智能产品与装备的十大关键技术

### (一) 多源多通道数据实时采集感知技术

多源多通道数据实时采集感知技术对产品跨时间、跨地域、跨物理空间和网络空间的多源传感器数据进行采集, 并实现远程加密、压缩、发送、接收、解析和转换等全过程的无损传输。数据、集成软件及集成规则是数据集成的三个必备基础条件。数据是集成的对象; 集成软件是可以处理空间特征、属性特征及其之间关联的软件工具, 或是为数据集成专门设计的软件, 它们可以实现集成的大多数操作; 集成规则是进行数据集成的依据。感应数据由于来源不同, 其参照系及各种参数存在较大差异, 需经一系列的转换、一致化操作等过程使之匹配。传感器采集到的装备运行状态/工艺多源信息, 通过有线和无线的传感器网络发送至数据中心进行分析处理, 支撑装备运行状态分析、诊断、报警、检/维修的智能优化决策。装备一般通过各种传感器获得外界信息, 传感是实时检测装备的内部运动、工作情况, 以及外界工作环境信息, 根据需要反馈给控制系统, 与设定信息进行比较后, 对执行机构进行调整, 以保证工作符合预定的要求。

### (二) 异构数据内容融合与传输共享技术

异构性在信息系统中普遍存在, 它是信息共享以及信息系统之间互操作的障碍。对多传感器的异构数据进行实时分配和融合处理, 提取特征信息在推理机的作用下将特征与知识库中的知识配备, 实现产品装备的智能集成感知。从物联网的感知层到应用层, 各种传感器信息的种类和数量都成倍增加, 需要分析的数据量也急剧增加, 同时还涉及各种异构网络或多个系统之间数据的融合问题, 需要对多个传感器的异构数据进行实时分析和融合处理, 提取特征信息, 在推理机作用下, 将特征与知识库中的知识匹配, 实现产品与装备的智能集成感知。将多传感器信息源的数据和信息加以联合、关联及组合, 获得更为精确的特征识别, 从而实现目标的实时、完整评价的处理过程。通过对各种异构数据进行内容分析和融合处理, 从海量数据中挖掘出隐藏信息和有效数据, 提高智能产品与装备状态监测的准确性。在推理机作用下, 将基于异构数据内容

融合提取出的特征信息与知识库中的知识进行匹配, 实现产品与装备状态的智能识别。异构数据及其融合信息通过远程加密、压缩、发送、接收、解析等全过程的无损传输, 实现数据内容跨时间、跨地域、跨物理空间和网络空间的共享。

### (三) 复杂工况的多任务自适应服役技术

智能产品与装备能够自主分析当前的任务要求, 依据不同任务难度和不同工况环境, 自适应调整作业策略。通过建立协同执行多目标的多任务规划数学模型, 考虑最大益损比和任务均衡, 利用优化算法进行模型求解, 实现不同产品与装备间的协同任务规划。智能产品与装备依据规划分配的任务要求和难度, 自适应地调整作业策略和实施方案, 相应地完成各种复杂工况下的多样化任务。自动智能确定设备在和其动作有直接关系的条件下的工作状态。工况服役的工艺参数智能自适应技术, 通过复杂装备大数据多场耦合机理与自适应解耦技术, 根据耦合因子的插值方程, 进行迭代计算, 实现大数据多场耦合的迭代快速求解, 建立作业策略优化模型, 实现可视仿真与多目标优化分析, 实现多工况的工艺参数智能自适应服役。

### (四) 多机协同的集群化交互与控制技术

智能化的多机集群模仿生物集群行为, 单机间通过彼此的信息交互与自主控制来进行协同工作, 从而可在各种复杂环境下低成本完成多样性的复杂任务。多机协同的集群化作业的执行效率高、系统的鲁棒性强, 可以将任务模块化分散到不同的机群上进行处理, 避免单机运算复杂度过高。当前很多作业仅凭单机的能力是难以完成的, 在复杂未知环境下实现群体决策和操作是未来智能装备技术研究的重要方向。这就需要制定多台机器同时工作的方法规则, 分析各类机器的功能和属性, 协调好多台机器的分工合作任务, 提高机器的实时判断和决策能力, 提高多机器完成复杂任务的效率。更加简单、人性化的智能人机交互接口, 可满足不同使用对象所提出的多样的智能任务, 如手写识别功能、图像和语言的理解功能、不同语种的辨识功能。

### (五) 大数据驱动状态诊断深度学习技术

对装备建立可靠的健康管理系统是保证其安全

运行的必要措施。由于被监测的装备规模大，监测时间长，且每个监测点的采样频率较高，使得整个监测系统获得的是海量数据，从而使对装备的状态诊断和健康管理也进入了大数据时代。传统的装备状态诊断方法，需要大量的工程实践和信号处理技术来提取故障特征信息，在状态诊断模型训练方面，浅层的模型难以解决数据量日益变大的设备故障问题，模型的监测和状态诊断能力均明显不足。而深度学习利用大量装备实测数据训练深度学习网络，通过构建深层次模型，结合大量的训练数据，来学习数据中隐含的特征，通过输出层分类器，从而完成装备故障类型的智能诊断。大数据驱动状态诊断深度学习技术作为模式识别和机器学习领域的前沿成果，在装备状态诊断和健康管理方面展现出广阔的前景。

#### （六）数字孪生与数字样机建模分析技术

数字孪生（digital twin）是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据，集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程，通过 AR 技术在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程，可进一步通过传感器实现与真实状态完全同步。现有的数字样机方法，在制造中由于加工、装配误差和使用、维护、修理等因素，物理域模型并不能与虚拟域数字化模型保持完全一致，使得难以反应真实产品系统的准确情况。数字孪生克服了传统数字样机仿真分析有效性不足的局限。数字孪生与数字样机建模分析为智能产品与装备提供图像、视频、语音、文本等多元数据处理能力，使智能产品和机器充分感知环境和人的情感、言辞、表情等，更智能地进行交互。

#### （七）多技术路线工作方案优化决策技术

智能决策支持系统（intelligent decision support system）是利用人工智能，特别是专家系统的原理和技术所建立的辅助决策的计算机软件系统，支持半结构化和非结构化问题的决策。将具有感知能力的深度学习和具有决策能力的增强学习结合在一起，构成深度增强学习，两者优势互补，实现智能产品与装备的设计制造服役多目标、多过程自主决策。多技术路线工作方案优化决策是指应用信息集

成与智能控制技术，使装备具有一定的自我感知、自主决策和自动控制的功能，可归类于智能决策范畴。

#### （八）工艺工装协同推送与自动装夹技术

工艺和工艺装备是企业进行产品制造和生产的必备条件和重要基础，产品的优劣在很大程度上取决于产品工艺和其隶属的工艺装备的先进与否。工艺工装是为实现工艺规程所需的各种刀具、夹具、量具、模具、辅具、工位器具等的总称。自动装夹工艺规划是通过装夹工艺规划的图论、聚类 and 遗传算法等智能算法，对装夹顺序、装夹次数、装夹力优化等主要装夹工艺规划进行分析，实现工件加工特征与制造资源能力的匹配。工艺工装协同推送与自动装夹可使设备端采集上传传感和视觉信息；云端接收并智能分析数据，自主决策并控制设备实现自主作业；移动端实现工作过程的实时监控与人机智能交互。

#### （九）产品知识图谱与知识网络构建技术

知识图谱是一种图结构的知识库，属于知识工程的范畴。不同于普通知识库，知识图谱融合众多学科，将不同来源、不同类型、不同结构的知识单元通过链接关联成图，基于各学科的元数据，提供更广度、更深度的知识体系并不断扩充，其本质上是将领域知识数据体系化、关系化，并以图的方式将知识可视化。知识图谱是基于信息系统建立的知识体系，通过数据采集、数据挖掘、信息处理、知识计量和图形绘制等技术把复杂的知识领域系统、网格化地显示出来，揭示知识领域的知识网络动态发展规律。美国通用电气公司和德国西门子公司都有产品图谱，有一套成熟的技术。把复杂的知识领域通过数据挖掘、信息处理、知识计量和图形绘制而显示出来，生成产品的知识图谱与知识网络。物联网感知装备是物联网产业的硬件基础。针对工业装备物联网感知数据具有多源、异质、异构、海量等特性，构建分层递阶的数据可视化融合模型，可处理工业装备感知数据的高维递阶、分层降维和分类决策问题，实现领域经验、专家经验、抽象知识的融合，通过产品知识图谱与知识网络构建，实现制造领域知识自优化建模与动态增长。

### (十) 机电液一体化云平台知识服务技术

机电液一体化是指电气控制液压、液压控制机械,机械在运动的过程中,通过电气实现信息的反馈,并反馈控制液压,是一种智能化程度较高的机械装备控制技术。相对于普通的机电一体化,机电液一体化的智能化程度更高,技术也更加复杂。机电液一体化技术在现代机械中的应用具有重要的意义,可以促进机械生产的智能化,延长机械的使用寿命,提高生产效率。电子技术、计算机技术与液压技术结合的重点突破,对高性能、高可靠性的液压传动辅以微电子计算机进行控制,可大大提高机械的行驶性、作业性、安全性和舒适性,这也是当前和未来机械的发展趋势。将电子器件及线路内置(封密)于液压元件中,即将电子驱动线路和信号处理、储存等都直接安装在液压件的壳体内。它不仅可以提高液压件的可靠性、减少配管、减小压力损失、提高效率,而且还可节省安装空间、便于维修。机电液一体化云平台知识服务,可通过云计算有序地组织机、电、液一体化跨学科知识,并在合适的时间节点推送给所需人员合适的设计知识,从而实现跨学科知识服务的个性化和高效化。

## 五、结论与建议

未来的智能产品与装备的发展趋于绿色化、低碳化、高效能、高性能、高可靠性、全生命周期优化。基于此,提出发展智能产品与装备的政策建议。

### (一) 制定形成国家级的智能产品与装备产业发展规划

智能产品与装备是我国制造业转变经济增长方式的核心任务,代表着未来科技和产业发展的新方向,对经济社会具有全局带动和重大引领作用。因此,在国家层面应该制定智能产品与装备方面的产业发展规划,通过国家级规划,引导智能产品与装备制造企业高度关注人工智能与智能化技术,引导装备产业应用和发展人工智能与智能化制造技术。

高端的智能或者产品和装备面向高度分散市场的装备,需要引导和带有一定强制性的宏观规划,以培育有利于国产高端的智能装备和产品应用的市场环境。围绕智能产品与装备技术提出未来技术发展方向、发展路径,制定智能产品与装备路线图,

对智能产品与装备技术的未来发展具有重要指导意义。智能产品与装备技术路线图要分析经济社会发展需求、智能产品与装备技术研发、市场实现之间的关系,从未来市场实现出发组织技术研发,重点突破薄弱环节和关键技术,使未来智能产品与装备技术研发的目标、应用前景和市场定位更加明确。在智能产品与装备技术路线图制定过程中,要综合集成经济、社会、科技等各领域专家的意见和建议,形成共识,增强指导性和权威性。

### (二) 加强智能产品与装备的基础研究与应用基础研究

我国制造装备技术落后,根本原因在于基础研究不足。把制造装备基础设计理论、方法和共性技术研发作为长期任务,加大对制造装备基础共性技术研发的支持力度。从多个维度加强制造装备基础科学问题的研究。我国智能产品与装备制造业基础硬件的发展滞后于国民经济的发展,而智能基础软件的发展又滞后于基础硬件的发展,智能基础软件创新能力不足是我国制造业大而不对的瓶颈之一。近年来,我国智能基础软件得到了较快的发展,但整体创新能力弱、规模偏小、特色性差、成熟度低,尤其是智能基础软件间的适配性差、集成度低、兼容性不足、协同效率低,难以发挥智能基础软件作用,逐渐显现出智能基础软件领域存在技术分散、规范未成体系、标准不统一、集成度低的弱点。

智能基础软件的内涵显著区别于基础硬件,智能基础软件具有抽象性、包容性和进化性。智能基础软件是共性技术的抽象表达,因而易于实现跨领域的应用,具有比实物更强的包容性,通过共性技术的抽象和固化,不断完善和进化,实现知识资产的累积。智能产品与装备的基础软件包括设计基础软件、工艺基础软件、装配基础软件、基础数据库等。设计基础软件包括方案设计软件、模块化设计软件、仿真设计软件等。工艺基础软件包括加工工艺、成形工艺、检测工艺等。装配基础软件包括公差装配、装配序列规划、可视化装配等。基础数据库包括零件库、模块库、案例库等。

### (三) 加大智能产品与装备知识库和基础软件资金支持

加强智能产品装备知识库与基础软件工具开

发，知识库是核心，现在知识库的开发工作还比较薄弱，知识库和知识工程的软件是体现知识技术含量最终的结晶。真正的智能制造离不开智能芯片，离不开相关的软件，其属于产品的范畴，一个硬产品一个软产品，硬产品的范围突破了机械的范围，拓展到了电子范围，从国家分类来讲属于装备和产品的概念。

建议加大资金支持力度，一方面通过正在组织实施的智能制造试点示范和下一代人工智能跟装备的结合，国家科技重大专项中的第4项（04专项）要尽快跟其他专项接续。启动转型升级专项资金，支持新一代智能装备和产品。进一步强化智能基础软件工具集与共享平台的构建，推进智能基础软件数据接口标准、规范与集成，实现智能基础软件应用示范与推广应用。

#### （四）制定形成智能产品与装备发展的标准体系与联盟

引导产学研各方围绕智能产品与装备的发展、应用、推广，在战略层面建立持续稳定的合作关系，立足产品智能设计制造需求，开展联合攻关，制订技术标准，共享知识产权。探索支持联盟发展的各种有效措施和方式，推动联盟建立和完善技术成果扩散机制。工业和信息化部已提出智能制造标准先行，实施标准化的项目，促进标准体系的构建。

创新能力的建设、创新活动的开展，没有一个健全、完善、充满生气的创新体系，是难以为继的。智能产品与装备技术的创新体系，无疑应以企业为创新主体。但高等院校、科研机构在这一体系中并非仅仅是配角，而应发挥其在体系中的独特作用。从构建完整的、有效的技术供应链出发，高等院校和科研机构在这一供应链中属于源头，应大大加强，避免各类机构都挤到技术供应链的下游去工作。无源之水，何以持久？怎能活起来？对智能产品与装备技术和机械工业持续发展十分重要的产业共性技术研究，在目前的创新体系中形成了缺位的格局，必须从体系结构上补上这一空缺。产业技术联盟应在攻关中发挥作用，促进一些关键技术领域形成合力，避免重复，有效利用资源，尽快取得成效。切忌联盟泛化、社团化而流于形式。防止联盟沦为争取国家项目、国家经费支持的工具。创新体系中还应大批技术服务机构和为机械制造行业发展服务的功能设计。

#### （五）产学研结合推进智能产品与装备技术与产业发展

智能产品与装备研发的主体是企业，但实现数字化智能化单靠企业是不够的。数字化智能化要依靠众多门类的前沿科学技术，这方面的优势不在企业，而在高等院校和科研院所，因此，为了加快推进智能产品与装备技术与产业发展，必须产学研结合，深入研究并大力推广实施智能产品与装备的共性关键技术。

在确定产学研活动中主体地位的问题上，应遵循科学的评价方法，企业是需求的主体，是应用的主体，但不是所有产学研活动的主体。高校在产学研活动中具有人才优势和科研组织管理交叉的优势，其独特地位不能被取代。政府的定位也应遵循科学的评价方法，应关注基础研究到产品量产阶段的资金投入鸿沟（funding gap）。用内在需求驱动的产学研活动，激活产学研创新实践的活力。

#### （六）建立国家级的智能产品与装备典型应用示范基地

数字化网络化和智能化不是分离的，也不是串联的，而是并联的。国产装备、国产软件、国产系统，急需建立示范基地。通过大型骨干企业的应用示范作用，研发智能产品与装备共性技术的系列软件、集成支撑平台与应用模式，通过开展集成示范应用，支撑企业建立与合作伙伴、供应商及客户的战略联盟，建设完整动态有效的商务、设计制造、供应链和服务的业务协作体系，实现产品研制、生产、采购、销售、服务等业务的产业链协作和价值链上的全球资源优化配置，让智能化技术在产品与装备中遍地开花。

#### （七）加快复合型智能产品装备设计制造人才体系构建

我国制造业要实现智能产品与装备的跨越式发展，关键在于人才。没有优秀的数字化智能化设计制造人才和强大的智能设计制造技术研发团队，就难以形成智能产品与装备产业。在当前我国智能设计制造人才断层的形势下，迫切需要培养和凝聚一大批创新型、复合型、多层次智能设计制造共性技术的研发人才，为实现智能产品与装备发展提供必需的人才储备。智能制造和数字制造的人才，到企



业去的人才比较少,而且这些人才都不是单一学科能培养出来的,过去教育体系基本上是培养单一学科人才的知识体系,现在企业需要的是复合型的知识人才,教学科研的步伐没有跟上科技发展的步伐,现在急需解决的问题是培养多学科跨领域的知识人才,进一步加强人才培养体系构建。

#### 参考文献

- [1] 路甬祥. 创新中国设计 创造美好未来 [N]. 人民日报, 2012-01-04(14).  
Lu Y X. Innovative Chinese design for a better future [N]. The People's Daily, 2012-01-04(14).
- [2] 路甬祥. 创新设计与制造强国 [N]. 人民政协报, 2015-12-16 (12).  
Lu Y X. Innovative design and manufacturing power [N]. Chinese People's Political Consultative Newspaper, 2015-12-16 (12).
- [3] 周济. 智能制造——“中国制造2025”的主攻方向 [J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.  
Zhou J. Intelligent manufacturing—Main direction of “Made in China 2025” [J]. 2015, 26(17): 2273-2284.
- [4] Zhou J, Li P G, Zhou Y H, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing [J]. Engineering, 2018, 4(1): 11-20.
- [5] Pan Y H. Heading toward artificial intelligence 2.0 [J]. Engineering, 2016, 2(4): 409-413.
- [6] Zhang S Y, Xu J H. Acquisition and active navigation of knowledge particles throughout product variation design process [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2009, 22(3): 395-402.
- [7] 谭建荣. 智能制造: 关键技术与企业应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.  
Tan J R. Intelligent manufacturing: Key technologies and enterprise applications [M]. Beijing: China Machine Press, 2017.
- [8] 谭建荣, 刘振宇. 数字样机: 关键技术与产品应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.  
Tan J R, Liu Z Y. Digital prototype: Key technologies and product applications [M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [9] 谭建荣, 张树有, 徐敬华. 制造装备创新设计案例研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.  
Tan J R, Zhang S Y, Xu J H. Case study on innovative design of manufacturing equipment [M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2016.
- [10] Zhang S Y, Xu J H, Gou H W, et al. A research review on the key technologies of intelligent design for customized products [J]. Engineering, 2017, 3(5): 631-640.