

以加快科技创新推动先进装备制造转型升级的策略思考^①

陶 永^{②*} 赵 罡^{**} 王田苗^{**} 李秋实^{*}

(* 北京航空航天大学航空科学与技术国家实验室(筹),中国航空工程科技发展战略研究院 北京 100191)

(** 北京航空航天大学机械工程及自动化学院 北京 100191)

摘 要 分析了世界先进制造业的智能化发展趋势,针对互联网等信息技术与制造业的融合正在深刻地改变着传统制造业的产品设计、工艺制造及经营管理模式的情况,根据我国先进制造业的现状和在发展上面临的挑战,提出了通过加快科技创新来推动先进装备制造的转型升级的策略思考,阐述了促进我国发展以智能化、服务化、绿色化为特征的将来先进制造模式的方法及观点。

关键词 先进制造, 科技创新, 智能化, 绿色化, 服务化

0 引 言

随着云计算、大数据、移动互联网、物联网、人工智能、机器人等新兴技术的快速发展,一场新的科技革命将正在展开,先进制造业将会产生巨大变革。以智能机器人、3D 打印制造和数字化制造技术为核心的智能制造技术已初现端倪,制造业的智能化、服务化、绿色化趋势日渐明显,互联网等信息技术与制造业的融合正在深刻地改变着企业的产品设计、工艺制造、经营管理等业务模式^[1-3]。针对这种情况,本文分析了全球先进制造业的发展趋势以及我国先进制造业的现状、基础和面临的挑战,阐述了我国先进制造业的发展对科技创新的迫切性,提出了以科技创新推动我国先进制造业转型和升级的战略思考与观点。

1 世界先进设备制造业的智能化发展趋势

从全球范围看,云计算、大数据、移动互联网、物联网、人工智能等新兴信息技术引发的一场新的科

技革命和产业革命正在持续发展,这场革命推动了以智能机器、3D 打印制造^[4-6]和数字化制造技术为核心的智能制造技术的发展,先进装备制造业从传统的模式向智能化模式转变已成为一种趋势^[7,8],世界制造业强国德国率先推出了具代表性的“工业 4.0”计划,美国和日本也提出了自己的智能制造计划。信息技术与制造业的融合正在深刻改变着制造企业的产品设计、工艺制造和经营管理模式^[9]。

“工业 4.0”计划实际上就是第四次工业革命计划。与 20 世纪 40 - 50 年代开始的由原子能、电子计算机技术引发的第三次工业革命(即信息控制技术革命)不同,“工业 4.0”计划的主题是围绕“智能化”而展开:一是“智能工厂”,重点研究智能化生产体系、智能化生产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;三是“智能物流”,主要通过互联网、物联网、物流网整合物流资源,充分发挥现有物流资源供应方的效率,而需求方则能够快速获得服务匹配,得到物流支持^[10]。

智能化制造的核心概念是信息物理系统(cy-

① 国家自然科学基金(61305116)和中国工程院发展战略咨询研究(2014-XZ-2-3)资助项目。

② 男,1979 年生,博士,讲师;研究方向:发展战略与咨询研究,先进制造技术,实验室建设与管理;联系人,E-mail: taoy@buaa.edu.cn (收稿日期:2015-10-09)

ber-physical system, CPS),其实质是在任何层面上将实体与虚拟紧实结合,实体的行为可通过虚拟系统监测,虚拟系统同样可以指导控制实体的行为,在这种模式下,传统的行业界限将会消失,企业可直接与消费对接,各种新的活动领域和合作模式将会应运而生。

全球先进装备制造业的未来发展除具有智能化特点外,还会有明显的服务化和绿色化特征^[11-15]。随着制造业与信息技术的融合,制造业全寿命周期的产业模式(尤其是前端和后端),将会借助互联网、云计算、大数据手段,向“定制化的规模生产”和“服务型生产”转变^[16-18]。在这方面,有些企业已走在了前面,例如,IBM 的硬件收入仅占全部收入的 24.61%,而服务收入为 75.39%;GE 的服务收入已超过总收入的一半,占 59.1%。未来制造业要实现绿色循环发展,消耗更少的材料和能源,实现资源、能源优化和绿色循环利用^[19-21]。世界最大的工程机械厂家之一卡特彼勒公司,通过差异化的技术回收物料,并采用环保的可持续性方案将回收部件恢复至如同全新设备的状态,仅 2012 年就整修和恢复了约 220 万件机械产品。

我国已成为制造业大国,应研究和把握世界先进制造技术的发展趋势,根据我国先进制造技术研发和产业发展的现状及基础条件,面对各种挑战,制定出正确的发展策略,在发展先进制造技术和推动制造产业进步上有所作为。

2 我国先进制造业的现实水平和面临的挑战

经过多年的创新发展,我国在先进制造技术上取得了许多突破,产业规模得到了扩大,自主创新能力得到了提升,现在已具备了争创世界先进技术的实力。但此时不可忽视另一方面,即面临的困难和挑战,否则制定的发展战略会有问题。

2.1 我国先进制造业的现实水平

2012 年我国制造业增加值达到 2.08 万亿美元,超过了美国。制造业增加值占工业增加值 63.6%,占 GDP 的 25.3%,占全国工业总产值 86.9%;工业制成

品出口占货物出口总量的 94.7%。我国 22 种工业产品大类中 7 大类产量位列世界第一,220 种工业产品产量居世界第一。

我国已具备自主设计、制造具有世界领先水平的重要大型装备的能力,已生产出了一系列具有核心技术的产品^[23-25],对高速列车、卫星、大型客机、大型盾构机、981 海上石油平台、LNG 运输船、特高压输变电设备、高档数控机床与工程机械、深潜机器人等先进制造领域的重要大型关键装备的研发已取得了成功,完全掌握了自主研发和制造技术,打破了一直以来被国外垄断的局面,我国已成为名副其实的制造大国。

我国拥有一批世界级的大企业。2014 年《财富》世界 500 强排行榜中,中国企业达 100 家,其中以工业为主的有 50 余家,表 1 给出了其中部分企业的排名。我国崛起的世界级企业代表了从“中国制造”向“中国创造”的转型与跨越发展,在先进制造技术的自主创新方面发挥了带头作用、骨干作用和顶梁柱作用,推动着我国先进制造业的快速发展与变革。

我国为了推动科技与经济的结合,加强先进制造业的科技创新和促进科技成果的转化和产业化,以调整结构、转换机制为重点,通过创新链、产业链、资本链之间的联动,加速科技与经济的深度融合,加强企业、高校、院所之间的协同创新,促进协同创新能力的提升^[26,27],并取得了先进制造技术重要突破和实质性进展,基本形成了企业、高校、院所联动的产业创新体系(见图 1)。

2.2 我国先进制造业发展面临的挑战

我国在先进制造业发展上面临来自多方面的挑战,在研究我国发展该行业的策略时,以下所述不得不考虑。

(1)我国先进制造领域的自主创新能力虽然得到了大幅提升,但与世界发达国家相比,还有相当的差距,部分产品的核心关键技术受制于人,部分关键成套装备、关键的零部件、关键材料仍依赖进口。我国在国际分工中仍处于低技术含量和低附加值的“制造-加工-组装”环节,例如航空领域所需的航空发动机,部分重要的大型交通装备的轴承、轮毂、轴

表 1 2014 年世界 500 强中国企业中部分工业企业的排名情况

排名	公 司	营收(百万元)	利润(百万美元)
86	中国中铁股份有限公司	91152.6	1524.7
152	中国兵器工业集团公司	62659.1	715.522.6
169	中国南方工业集团公司	58837.1	22.6
178	中国航空工业集团公司	56472.1	746.4
211	宝钢集团有限公司	49297.3	925
227	中国铝业公司	45445.7	-1142.9
248	北京汽车集团	43323.9	918.2
267	中国建筑材料集团有限公司	41027.9	435.3
271	河北钢铁集团	40829.2	-138.2
176	中国化工集团公司	39690.9	-139.4
178	中国机械工业集团有限公司	39418.4	249.4
179	山东魏桥创业集团有限公司	39259.9	1102.9
285	华为投资控股有限公司	38875.8	3402.3
286	联想集团	38707.1	817.2
396	中国大唐集团公司	30980.2	199.2



图 1 产学研协同的创新体系

等仍需进口,我国芯片 80% 依赖进口,2012 年进口了 1920 亿美元的芯片。

(2)我国制造业的基础性研发,包括高性能液压件与气动元件、高速精密轴承、大功率变频技术、特种执行机构、仪器仪表传感器等的研发较为滞后,仍然依靠进口。产品质量和技术标准整体不高,2015 年国家质检总局对监督抽查产品的质量监督检查不合格率达 8.9%;2012 年,欧盟 RAPEX 对我国出口产品发出召回通报 1118 起,我国占欧盟通报总数的 57.93%,美国 CPSC 对我国出口产品发出不安全产品召回通报 174 批次,我国占美国召回通报总批次的 65.17%。

(3)资源利用效率偏低。高投入、高消耗、高污

染、低效益造成资源大量开采、大量生产、大量排放的粗放式生产方式,加剧了对我国生态环境的破坏。例如,2010 年,我国 GDP 占世界的 7.5%,但能源消耗占世界的 19.6%,单位 GDP 能耗约为世界平均水平的 2.6 倍,建材、化工等行业单位能耗比国际先进水平高出 10%~20%,电机运行效率平均比发达国家低 10%~20%。

(4)制造业与互联网技术的结合不够,难以承受以大数据、云制造、物联网为特征的未来制造业生产模式对传统制造模式的巨大冲击。我国企业在生产经营管理上的管控与服务水平较低,大规模定制化的新的生产制造理念与经营模式,会使传统制造产业的发展面临二次淘汰的风险。

(5)世界工业发达国家纷纷制定再工业战略,大力发展先进制造技术,力争重新夺回制造业优势,这给我国制造业带来了巨大挑战。美国推出了旨在实施再工业化战略的“先进制造伙伴计划”,欧盟提出了大量发展机器人、数字技术、先进材料、新能源的“新工业革命”理念,德国提出了“工业 4.0”战略,英国发布《2020 英国低碳转型计划》,这均说明发达国家将力争在先进制造技术方面进行重点支持。

(6)随着新兴发展中国家在中低端制造领域的竞争日益激烈,我国在中低端制造领域的优势正在逐渐丧失,造成人力成本上升、市场份额下降。在中低端制造领域,我国的市场空间被越南、印度、马来西亚、墨西哥等新兴发展中国家挤占。例如,2010 年,耐克鞋越南制造的份额超过中国制造,越南成为耐克鞋全球最大制造基地。

3 科技创新推动我国先进制造业发展的迫切性

在当今时代,最不可忽视的就是科技创新的推动力。科技创新可推动产业转型、升级,也可催生新

的产业,对推动经济发展和人类社会进步的作用是极其巨大的^[28]。任何行业领域的发展,都需要科技创新的推动力,我国先进制造业的发展也不例外,以下说明了先进制造业对科技创新的迫切性。

(1)亟需加强制造基础能力方面的科技创新。我国制造基础能力薄弱,这成为当前制约我国装备制造产业发展的主要瓶颈之一。很多基础研究、关键技术研究没有取得突破,工艺装备、测试、标准化等共性技术薄弱,亟需进行科技攻关。

(2)亟需加强制造企业经营管理模式创新。我国制造企业管理正处于由传统管理模式向现代管理模式转变的阶段,经营目标管理模式、管理理念和决策标准均发生了根本性变化,部分企业并没有从根本上改变“以产品为中心”的传统制造模式,无法适应互联网、云制造等模式下的多品种大批量定制化的要求,企业管理信息化、生产过程智能化、咨询服务网络化的水平制约着我国制造业的快速发展。我国亟需加强制造企业经营管理模式创新,以智能工厂为载体,推动亏联网技术在生产过程中的融合应用,支撑制造业智能化转型,建造开放、共享、协作的智能制造产业生态,如图 2 所示。



图 2 制造企业经营管理创新模式

(3)亟需加强制造业智能化创新。随着中低端产品加工制造产业的重心向东南亚等发展中国家转移,我国装备制造业在全球的地位面临挑战,我国急需利用互联网、物联网、大数据、传感器等增强装备

产品智能化程度,构建数字化、智能化、网络化的生产线/工厂。

制造业的发展模式正由单纯制造产品变为围绕产品制造提供终身服务。制造和服务之间的区别变

得模糊,制造业的价值创造重点将不在于最初的销售收入,而是集中在“高附加值制造”,包括设计、研发、生产、销售、物流和终身服务。例如,波音在B787研制中,不仅在设计阶段采用数字化手段,而且在研发和制造全过程及全生命周期中全面采用数字化技术;为了支撑B787的研制,建立了GCE平台,用以解决数据的全生命周期管理,实现异地、异构、全时的协同。罗罗公司推行的Total Care计划,利用覆盖全球的网络技术,将其产业模式由最初的出售发动机到出租发动机,再到现在的出租发动机时;通过信息技术,监控中心可以全程实时监控正在飞行的航空发动机,一旦发现异常情况,马上启动紧急应对的服务流程。用户也从传统的“买产品”发展到“买服务”。

(4)亟需加强新兴产业关键装备的创新。

新兴产业所需的装备空白较大。其中,我国光电子、光伏产业、新一代通信设备等发展所需的关键技术和核心技术的自给率较低,核心技术掌握仍较少,试验设计能力较欠缺;技术集成能力薄弱,制造装备进口依赖大,新兴产业发展所需的关键装备自给不足。

面向国民经济重点行业,我国急需研发一批具有代表性智能化制造装备、检测设备及关键工艺装备,探索高效低耗加工工艺,开展装备使用寿命和可靠性技术研究,形成面向重点行业生产应用的高端成套工艺装备整体技术方案。

(5)亟需加强绿色技术创新

我国的优质、高效、节能、节材的先进基础制造工艺和自动化、智能化技术的普及程度不高,在降低能源消耗、提高材料利用率及减少污染排放上与国际先进水平相比存在较大差距;制造业仍未摆脱大而不对的局面,在产业发展的同时也付出了巨大的资源和环境代价,制约着制造业的健康持续发展。在面向全生命周期的产品减量化设计、全工艺链制造能效提升、高附加值再制造与资源化等关键技术方面迫切需要创新,使资源效率与环境负荷指标达到国际先进水平,推动制造技术的可持续发展,实现节能、减排、降耗,提高产品的质量、性能以及企业的资源效率、经济效益和可持续发展能力。

4 我国先进制造技术的发展思路与战略思考

我国先进制造业应强化制造业核心基础能力,构建企业业务系统及创新应用模式,推动制造过程向智能化、绿色化、服务化发展,提升装备制造水平,使我国的先进制造关键技术取得重大突破,在一些重点领域掌握一批具有自主知识产权的核心技术和关键技术,实现产品“做得出,用得上,卖得掉”。

(1)探索制造技术高端,实现关键装备跨越式发展

我国应研究和适应制造业的智能化、个性化发展趋势,结合互联网、物联网、大数据等新一代信息技术的发展,探索、跟踪在新兴产业中发展起来的重要大型装备、智能机器人、3D打印制造等核心技术,研制关键装备。

(2)夯实先进制造的基础,增强自主创新能力

针对我国制造业基础能力薄弱和核心部件依赖进口的问题,围绕轴承、液压件、仪器仪表等核心基础零部件开展重点攻关,研发相关的工艺库、材料参数库和制造过程核心软件产品,增强我国先进制造技术的自主创新能力。

(3)加强工业化与信息化的融合,转变制造业传统发展模式

结合云计算、大数据、物联网等新一代信息技术的发展,创新基于大数据的制造服务、大规模定制、集团管控等企业经营管理模式,积极探索新兴信息技术与制造技术的融合创新。

(4)大力发展绿色制造,实现制造业的可持续发展

针对资源、环境刚性约束增强,以信息技术为基础改造传统产业,探索高效、节能、节材产品的创新设计、智能化工艺、服务运维等全生命周期绿色化模式,实现制造业的可持续发展。

(5)加强顶层规划与宏观指导协调

加强顶层设计,制订和实施顶层发展规划,建立长效管理和运行机制,全面协调科技与研发、标准与检测、产业与示范等体系建设和发展。完善以企业

为主体、市场为导向的产学研相结合的创新机制建设,统筹利用社会资源,促进产业链、创新链、资金链结合和互动,推动协同创新,加快科技成果转化过程。

建立产业技术创新战略联盟,进行知识、技术和人才的有效集成,积极把握制定产品技术标准的主动权,建立健全相关标准体系;以共享和服务为核心,建立公共服务平台;推进性能检测和产品认证。

(6)拓宽投融资渠道,积极培育市场

加大政府财政投入,加大政府采购力度。设立发展专项基金,推动先进制造产业基地建设,推动重大自主创新项目实施,促进产业链上各企业的协调发展。将自主创新产品纳入财政性资金优先采购范围,并在政府采购中规定采购中小企业产品的合理比例。

鼓励行业应用,制订行业应用规范,围绕高端装备制造制造、医疗卫生、公共安全、助老助残、文化教育、科学考察、军事等领域的创新应用需求,大力推进综合应用。开展先进制造领域关键装备的税收优惠试点工作,重点关键行业应用国产产品“首台套”税收优惠政策,加强“后补助”,购买国产科学研究仪器和设备给予税收扶持政策。加快培育产业链的生态环境,形成龙头企业的示范带动效应;培育自主创新、核心零部件配套的一大批中小企业。

(7)加大创新性人才培养力度,加强国际合作

加大创新性人才培养力度,建立健全多层次的创新性人才培养体系,支持校企联合开展定制式人才培养;鼓励企业加大职工培训力度,加强联合实验室及配套条件的建设。

加强国际重大项目合作,注重合作项目的消化吸收和再创新,探索专利互换、标准互换、联合开发等多层次合作与交流;建立内地与港、澳、台的先进制造科技合作机制。加强多边国际合作,加强国内外技术交流与合作,增强与国际企业的合作;支持引进具有市场潜力和潜在竞争优势的先进技术、知识产权、关键零部件和设备;支持企业在境外开展联合研发活动和设立研发机构;吸引国外资金、技术和人才,开展国际技术交流活动,增强与国际企业的合作;支持引进具有市场潜力和潜在竞争优势的先进

技术、知识产权、关键零部件和设备。

5 结 论

本文结合国际先进制造业的发展趋势,分析了我国先进制造技术的现状、基础以及面临的挑战,阐述了先进制造业发展对科技创新的迫切需求,最后提出了先进制造技术发展的思路与建议。

致谢: 杨海成、邵新宇、赵杰、韩建达、王建民、黄涛、刘进长、孙立宁、刘强、谭民、黄田、黄强、王耀南、刘成良、孙林夫、李冬茹、姜念云等对本文撰写提供了帮助,在此表示感谢。

参考文献

[1] 周济. 智能制造——中国制造 2025 的主攻方向. 中国机械工程, 2015, 17: 2273-2284

[2] 屈贤明. 中国制造 2025: 未来中国制造的发展方向. 中国品牌, 2015, 5: 41-41

[3] 苏波. 苏波大力发展先进制造业推进制造业由大到强. 创新科技, 2014, 13: 6-6

[4] 卢秉恒. 创新驱动增材制造的发展. 改革与开放, 2014, 15: 2-3

[5] 卢秉恒, 李涤尘. 增材制造(3D 打印)技术发展. 机械制造与自动化, 2013, 42(4): 1-4

[6] 杨海成. 我国 3D 打印制造技术产业化发展分析. 改革与开放, 2014, 15: 4-6

[7] 尚勇. 当今世界科技创新趋势. 科学咨询, 2011, 21: 5-9

[8] 吕铁, 韩娜. 智能制造: 全球趋势与中国战略. 人民论坛·学术前沿, 2015, 6(上): 6-17

[9] 杨海成. 两化深度融合的前沿技术. 中国信息界: e 制造, 2014, 8: 42-44

[10] 谭建荣. 取经强者, “消化”反刍——借鉴德国工业 4.0 壮大中国制造. 经贸实践, 2015, 5: 30-31

[11] 周济. 中国制造迎来创新驱动的春天. 杭州: 周刊, 2015, 16: 7-7

[12] 夏磊. 切准智能制造“新脉动”——2015 年第 3 季度智能制造跨国企业发展现状与趋势. 中国信息界-e 制造, 2015, 10: 22-24

[13] 李伯虎, 张霖, 王时龙等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-7

- [14] 杨海成. 云制造是一种制造服务. 中国制造业信息化, 2010, 6(3):22-23
- [15] 孙林夫. 从生产型制造向服务型制造转变. 中国制造业信息化, 2011, 10:29-29
- [16] 杨海成. 全面认识互联网+, 大力推进智能制造. 机器人技术与应用, 2015, 4:12-14
- [17] 刘强. 刘强:不在落后装备上搞智能化. 中国信息界-e制造, 2015,6:38-39
- [18] 王建民. 探索走出符合国情的工业大数据自主之路——工业大数据的范畴、关键问题与实践. 中国设备工程, 2015, 9: 36-37
- [19] 刘飞. 21 世纪制造业的绿色变革与创新. 机械工程学报, 2000, 36(1): 7-10
- [20] 徐滨士, 梁秀兵, 史佩京等. 我国再制造工程及其产业发展. 表面工程与再制造, 2015, 15(2):6-10
- [21] 谭弘颖. 积极倡导 典型引领——访中国机械工业联合会副秘书长兼科技工作部主任、绿色制造技术创新联盟秘书长李冬茹. 制造技术与机床, 2014, 12:47-48
- [22] 卢秉恒. 发展创新工艺和高端装备, 支持上天、入地、潜海. 航空制造技术, 2013, 22:56-57
- [23] 王田苗, 陶永. 我国工业机器人技术现状与产业化发展战略. 机械工程学报, 2014, 50(9):1-13
- [24] 赵杰. 我国工业机器人发展现状与面临的挑战. 航空制造技术, 2012, 12: 26-29
- [25] 刘强, 李冬茹. 国产数控机床及其关键技术发展现状及展望. 航空制造技术, 2010, 10: 26-30
- [26] 卢秉恒. 以协同创新推动中国制造由大变强. 中国中小企业, 2015, 10: 16-16
- [27] 张旭梅, 郭佳荣, 张乐乐等. 现代制造服务的内涵及其运营模式研究. 科技管理研究, 2009, 29(9):227-229
- [28] 尚勇. 让创新成为驱动发展新引擎. 决策探索, 2015, 3:4-6

Strategic thinking on promoting the transformation and upgrading of advanced equipment manufacturing by accelerating scientific and technological innovation

Tao Yong^{*}, Zhao Gang^{**}, Wang Tianmiao^{**}, Li Qiushi^{*}

(^{*} National Laboratory of Aerospace, Chinese Institute of Aeronautical Engineering Development Strategies, Beihang University, Beijing 100191)

(^{**} School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191)

Abstract

The intelligent trend of global advanced manufacturing is analyzed, and the current situation that the integration of manufacturing and information techniques such as the Internet now profoundly changes the conventional manufacturing in product design, process and management is paid attention. Then, the strategic thinking on promoting the transformation and upgrading of advanced equipment manufacturing by accelerating scientific and technological innovation is given according to China's current status in advanced manufacturing and challenges to meet in developing advanced manufacturing, and the approaches and viewpoints for promoting China's future advanced manufacturing mode with intelligent green and service oriented characteristics are interpreted.

Key words: Advanced manufacturing, scientific and technological innovation, intelligent, green, service oriented