

doi: 10.7690/bgzdh.2022.12.001

## 国外推进先进军工制造技术的战略举措研究

朱松柏<sup>1,3</sup>, 康林<sup>2</sup>, 程虹霞<sup>3</sup>, 周月阳<sup>3</sup>

(1. 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094; 2. 陆装驻广元地区军代室, 四川 广元 628000;  
3. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司科技与战略发展部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为提高我国高新技术武器装备研制生产能力, 对国外推进先进军工制造技术的战略举措进行研究。针对日益复杂的国际安全形势和国防科技工业发展需求, 梳理分析欧美等军事发达国家在工业化形势下, 积极推进先进制造业、提升军工制造技术能力的重要战略举措及相关案例。结果表明, 该研究可为我国国防科技工业发展提供一定的参考和借鉴。

**关键词:** 军工制造技术; 国防科技工业; 协同创新

**中图分类号:** TJ05 **文献标志码:** A

## Research on Foreign Strategic Measures to Promote Advanced Military Manufacturing Technology

Zhu Songbai<sup>1,3</sup>, Kang Lin<sup>2</sup>, Cheng Hongxia<sup>3</sup>, Zhou Yueyang<sup>3</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;  
2. Military Representative Office of Army Equipment Department in Guangyuan, Guangyuan 628000, China;  
3. Department of Science, Technology and Strategic Development, Automation Research Institute Co., Ltd., of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to improve the development and production capacity of high-tech weapons and equipment in China, the strategic measures of promoting advanced military manufacturing technology abroad are studied. In view of the increasingly complex international security situation and the development needs of national defense science and technology industry, this paper combs and analyses the important strategic measures and related cases of military developed countries such as Europe and the United States to actively promote advanced manufacturing industry and enhance military manufacturing technology capabilities under the industrialization situation. The results show that the research can provide some reference for the development of China's defense science and technology industry.

**Keywords:** military manufacturing technology; national defense science and technology industry; collaborative innovation

### 0 引言

军工制造技术是发展高新技术武器装备的共性基础技术之一, 对提高武器装备的性能、质量和效能, 以及延长服役寿命具有决定性作用, 是解决高新技术武器装备发展缓慢、性能水平低、质量一致性差、使用寿命短、研制成本高、研制周期长等诸多瓶颈问题的重要手段。针对日益复杂的国际安全形势以及经济发展需求, 美、欧、日等军事发达国家与地区都将发展先进制造业、提升军工制造技术能力, 视为增强国家经济实力、满足国防需求、确保全球竞争优势的重要内容, 积极制定相关发展战略、规划和计划, 投入大量资金, 以及积极运用政策手段, 通过积极构建协同创新体系、重视工艺技术人员培养、实施多元化投资模式、加强立法保障等途径完善政策环境, 以引导军工制造技术快速发

展。笔者介绍了欧美等国在制定先进制造战略规划、构建协同创新体系、完善工艺技术发展环境方面的相关举措及案例, 可为我国国防科技工业发展提供参考。

### 1 制定先进制造战略规划, 明确发展方向和投资重点

近十年来, 美欧发达国家为振兴制造业、满足国防需求纷纷出台加速发展以先进制造业为核心的再工业化国家战略, 在国家层面统筹规划, 明确军工制造技术发展方向及投资重点。其中, 最具影响力的国家或地区级先进制造战略包括美国国家先进制造战略、美国国家制造创新网络计划、DARPA自适应制造计划、美国国防部制造技术计划、欧洲地平线 2020 计划、英国高价值制造战略等。

收稿日期: 2022-08-19; 修回日期: 2022-09-28

作者简介: 朱松柏(1981—), 男, 湖南人, 博士, 正高级工程师, 从事信息系统集成。E-mail: pine100@163.com。

## 1.1 美国的先进制造战略规划、发展方向和投资重点

### 1.1.1 美国国家先进制造战略

自 2008 年金融危机以来, 振兴本土制造、促进制造业回流一直是美国政府推进制造业发展的关键词。在此期间, 美国政府密集发布了一系列先进制造计划和相关报告, 强调通过努力提高先进制造能力, 促使美国工业在竞争激烈的全球环境中保持领先地位, 满足国家安全需要<sup>[1]</sup>。其中, 奥巴马政府和特朗普政府分别在 2012 年和 2018 年两度发布的国家级先进制造战略, 代表着美国政府对先进制造的最权威部署。

2012 年《先进制造业国家战略计划》的重点是从增加研发投入、调整优化联邦政府投资、促进中小型企业投资、建立健全伙伴关系等 4 方面战略目标进行落实。5 年来为美国国家制造业再次实现创新发展奠定了良好基础。主要体现在: 1) 国家制造创新网络为工业界和学术界创造了合作创新的空间, 并向各种规模的企业推广新技术, 显著加快了美国制造商开发新技术的速度并降低了风险; 2) 在美国国家标准与技术研究院跨部门国家先进制造项目办公室的指导下, 已实现跨部门协调和优化政府在先进制造研发方面的投资, 避免重复且相互补充; 3) 先进制造研发投资有所增加, 如能源部用于先进制造的拨款总额从 2012 年的 1.17 亿美元增至 2017 年的 2.91 亿美元; 4) 国家制造创新机构从 2012 年开始建设, 到 2017 年已建成 14 个, 总计划投资已超 30 亿美元。

2018 年《先进制造国家战略计划》则进一步强调颠覆性前沿制造技术的创新与转化, 确定以下技术发展重点领域: 1) 智能制造: 重点发展智能制造和数字制造、先进工业机器人、人工智能基础设施、制造网络安全; 2) 世界领先的材料和加工技术: 高性能材料、添加剂制造等; 3) 组织和器官的低成本分布式制造、连续生产、生物制造; 4) 电子设计和制造技术: 半导体设计工具和制造、新材料、新器件和新架构。同时, 提出发展颠覆性军民两用技术, 采购本土产品、强化国防制造业基础, 构建制造业创新生态系统, 提升国内制造业供应链能力。

### 1.1.2 美国国家制造创新网络计划

2012 年, 奥巴马任期内启动的美国国家制造业创新网络 (national network for manufacturing innovation, NNMI) 计划旨在通过投资有前景的制造

技术来加速创新, 确保下一代产品的本地发明和本地制造, 并提高美国制造业的全球竞争力。自美国国会通过《振兴美国制造业和创新法案》授权该计划以来, 截至 2018 年, 其重点是加性制造、下一代电力电子、数字化设计和制造、轻量化和现代金属制造、先进复合材料制造、智能制造、柔性混合电子、集成光子学、先进功能纤维、生物制造、生物制药、先进工业机器人等领域, 成立了 14 家制造创新机构, 共有 1 291 家成员单位, 创新网络的规模不断扩大<sup>[2]</sup>。

通过实施大量应用研究与开发项目, 吸纳创新投资已经超过 30 亿美元, 在推动制造技术研发与成果扩散、持续优化创新生态、带动整个国家制造业竞争力提升等方面的作用日益凸显。同时, 14 家制造创新机构中 13 家由国防工业领衔, 每个创新机构均协调了相关制造技术领域或方向的大量军地优质资源, 几乎囊括了该领域技术实力最强的政府科研机构、大型军工企业和大学, 堪称先进制造协同创新的典范。通过国家制造业创新网络, 国防工业在 33 个州的许多行业投资超过 10 亿美元, 从工业、地方政府和大学获得超过 20 亿美元的支持资金, 实现制造业各领域合作, 有效推动国防制造技术协同创新。

### 1.1.3 DARPA 自适应制造计划

2009 年, DARPA 开始着手为期 5 年的自适应制造计划路线图。该计划的投资总额约 10 亿美元, 旨在显著缩短国防工业复杂军事系统从概念生成到规模生产的时间表, 同时对军事系统的复杂性进行积极管理。该计划侧重于实施子计划, 如自适应车辆制造 (adaptive vehicle manufacturing, AVM)、开源制造、寿命铸造和梯度折射率光学元件制造。其中, AVM 子计划投资超过 3 亿美元, 目的是突破现有武器装备系统研制技术和方法瓶颈, 开发革命性复杂武器系统的数字化设计、验证和制造新技术, 从根本上解决美国新武器系统开发严重逾期和超支的问题, 开发时间缩短 80% 以上。

AVM 计划是美国在武器装备研制模式创新方面的一次大胆尝试, 也是美国武器装备数字化/智能制造技术研发应用的先行军, 通过在复杂武器系统从概念设计到全尺寸物理样机建造的整个研制过程中采用先进的数字化、智能化设计制造技术、方法、工具和理念, 详细描绘并验证了一种全新的武器系统研制模式, 这对提高美国武器系统的研制能力具

有重要影响<sup>[3]</sup>。AVM 计划总共实施 3 个项目：meta(基本工具、模型、方法等)、IFAB(数据驱动快速自适应工厂)和 Fang(快速自适应新一代地面车辆)，专注于数字化设计技术，如基于模型的系统设计/分析/验证数字化制造技术，如可制造性反馈和自动生产配置，以及基于网络的协作平台技术。DARPA 利用该计划开发的数十个软件工具和“vehicleforge”虚拟开放式协同工作平台，在 2 个多月内完成了新型两栖步兵战车动力传输子系统和行动子系统的设计和仿真验证，一种新的开发模式原型已经开始出现。

目前，该项目已交由美国数字化设计与制造创新机构负责进一步工程化技术研发和推广应用，并已取得多项成果。如“面向工业应用的 AVM IFAB 工具集成”项目将为复杂载具(飞行器、船舶、车辆等)的先进自适应制造开发工具和标准，包括创建“设计辅助工具”，帮助管理产品全寿命周期数据，提升研制效率和削减成本。这些工具将允许设计人员通过在虚拟原型上运行仿真，分析可制造性和可装配性。开发完成的工具将被添加到一个能够共享、使用制造数据和分析工具的在线平台——“数字制造公共资源”DMC 平台。

#### 1.1.4 美国国防部制造技术计划

美国国防部制造技术(ManTech)计划是国防部唯一一个致力于开发国防所需制造技术并促进先进技术武器系统中快速、低风险应用的计划，既引领美国制造技术的发展，又是全球先进制造技术发展的风向标。尤其是近年来，美国国防部通过实施 ManTech 规划，建立广泛、清晰的组织体系，采取有力的保障措施和投资机制，大力推进协同创新体系建设，持续推进制造技术创新，在促进美国国防科技发展，提升美军武器装备研制的经济可承受性，降低武器装备采购风险等方面成效显著。

在 2012 年提出的最新版 ManTech 战略规划中，ManTech 规划围绕以下 4 个战略重点，全面推进美国国防制造能力的提升：1) 快速响应国防部需求的、均衡的制造技术投资组合；2) 高度互联和协同的国防制造企业；3) 产品可制造性和制造成熟度管理制度；4) 健康、充足和高效的国防制造基础设施和劳动力。与战略重点相呼应，ManTech 规划在原有金属材料、复合材料、电子元器件制造 3 个重点技术领域的基础上进一步扩充，增加“先进制造企业”为第 4 个关键技术领域，重点关注能够促进制

造企业在产品/系统全生命周期内快速、高质量运行的技术和应用，主要包括基于模型的企业、智能制造规划与执行、制造网络连接、工业基础设施与成熟度等重点技术领域。另一方面，在美国国家制造创新网络战略实施过程中，ManTech 规划作为非常重要的骨干力量参与其中。如 2012 年 8 月成立的首个国家制造创新机构——增材制造创新机构是由美国国防部负责，并由 ManTech 规划资助建立的国防制造与加工中心牵头，以该机构作为联盟领导单位来统领推动全美增材制造技术的发展，同时满足国家经济建设和国防安全的需求。后续成立的数字化制造与设计创新机构、先进工业机器人、先进组织生物制造、革命性的纤维与织物、集成光子学、柔性混合电子学、面向未来的轻量化创新等 7 家机构也是由国防部负责牵头组建。从上述 ManTech 规划对重点技术领域的调整，及其在国家制造创新网络战略实施过程中积极参与增材制造、数字化制造、工业机器人等机构建设等情况可以窥探，Mantech 规划将数字制造和智能制造技术置于与精密成形、先进焊接、电子元件制造和复合材料制造等主流工艺技术同等重要甚至更高的地位，并且近年来也在通过多种形式不断加强布局谋划，强力推动以增材制造、机器人、数字化、自适应加工等技术为代表的智能制造领域相关技术发展<sup>[4]</sup>。

#### 1.2 欧洲地平线 2020 年计划

欧盟 2002 年启动的 FutMan(future of manufacturing)计划，提出了欧洲制造业 2015—2020 年的远景，提出了面向 2020 年的 11 项关键制造技术，分别是：新材料的加工技术、微细加工、机电模块化、纳米技术实用化、建模与仿真、产品生命周期规划、柔性制造系统、加工工艺过程集成、过程控制和传感技术的新概念、智能制造工艺和近净成形技术、工艺过程改进<sup>[5]</sup>。2010 年，欧盟委员会制定了“欧盟 2020 发展战略”，提出重点发展以智能为核心的先进制造；2014 年正式启动“地平线 2020 计划”，将先进制造与加工技术作为“工业技术”这一战略优先领域重点支持目标之一。德国通过政府、弗劳恩霍夫研究所和州政府的合作，投资数控机床、制造和工程自动化行业的应用制造研究，于 2013 年正式实施以智能制造为主体的“工业 4.0”战略，以信息物理系统技术“信息物理生产系统”(cyber physical production system, CPPS)为基础，构建由智能机械、存储系统和生产手段组成的智能

制造系统,并将其应用于智能工厂,推动制造业向智能化转变,使德国成为新一代工业生产技术的核心力量,进一步提升全球竞争力。

### 1.3 英国高价值制造战略

英国政府自 2008 年起提出了“高价值制造战略”,鼓励英国企业在本地生产更多世界级高附加值产品,从而提高制造业在促进英国经济增长中的作用。该战略以材料、技术、制造设备、资源效率和商业模式 5 大主题为重点,大力投资高价值制造创新,年投资额达到 5 000 万英镑,积极建设弹射中心,为世界一流技术的商业化提供尖端设备和技能资源,提供开放共享的知识交流平台,帮助制造企业和科研力量共同创新,创造世界一流的产品、流程和服务<sup>[6]</sup>。2011 年,该战略支持建立了 7 个弹射中心,即先进制造研究中心、先进成形研究中心、制造技术中心、国家复合材料中心、工艺创新中心、核先进制造研究中心和华威制造集团弹射中心。这些中心拥有顶尖的制造装备、专业技术能力和合作环境,重点聚焦先进铸造、连接、加工、复合材料、装配、净成形和增材制造、粉末技术、计量测量、可持续制造、虚拟现实、建模与仿真、数字化制造、自动化等领域技术开发、工艺装备研制等领域,提供技术创新和工程化应用研究。

## 2 构建协同创新体系,营造国家制造协同创新生态

美欧发达国家有关制造技术发展战略均将鼓励协同创新、营造产学研协同的创新生态作为重要内容与措施,通过建立研发创新和服务平台,构建完整的协同创新体系,改善研究环境,加快知识流动,引领技术发展方向,对促进科技创新起到重要的支撑作用<sup>[7]</sup>。美国新版国家制造业战略将构建制造业创新生态系统作为重要战略目标之一,美国国家制造业创新网络的出发点是协调美国产业、学术界、联邦政府机构和地方政府机构的资源,在全国范围内建立制造业创新机构,形成更加完善的创新平台体系,创建国家制造业创新生态系统。美国 ManTech 规划通过联合国防制造技术委员会,协调各军种子规划开展协同创新。在英国高价值制造战略的指导下,英国也已经建立了 7 个高技术发射中心,通过公私合营方式运行,具备多个制造领域的技术创新和规模化能力。

## 3 完善工艺技术发展环境,为工艺技术发展提供重要保障

美欧发达国家高度重视为工艺发展建立良好的发展环境:

1) 重视工艺技术人才培养,美国制造创新网络中各制造创新机构都会为各种教育、培训和劳动力发展计划提供支持,美国新版国家制造业战略也将按需培训和输送劳动力作为 3 大战略目标之一,欧盟地平线 2020 也制定了资助人才的单列计划。

2) 重视支持中小企业发展,美国制造创新网络通过提供适于解决中小型企业需求的有价值信息和服务、允许中小型企业以非现金方式加入等灵活措施鼓励中小企业加入制造创新机构,美国新版国家制造业战略再次强调要加强中小型制造企业在先进制造业中的作用,欧盟地平线 2020 战略专门制定了中小企业创新计划,对中小企业提供直接和间接的资金支持,以支持其发展。

3) 建立多元化投资机制,美国制造创新网络资金来自政府、企业、机构自筹等多个渠道,欧盟地平线 2020 战略除了对制造技术发展直接提供资金支持,还提出了很多金融配套措施,包括提供融资担保、税费减免等。

4) 加强立法保障,在美国“制造创新网络”计划中,2014 年 12 月,奥巴马批准了国会通过的《2014 年振兴制造业和创新法案》,从而坐实了国家制造创新网络的法律地位及其管理机构,美国国防部制造技术规划多年来能持续滚动实施,与其在美国法典(10 U.S.C.)第 2521 章第 10 条中的规定关系密切<sup>[8]</sup>。

## 4 结束语

军工制造技术作为国防工业的基础性技术,是武器装备发展的重要基础和保障。从我国军工制造技术的发展和现状来看,经过几个五年计划的发展,军工制造技术取得重大突破,形成一批工艺技术成果,一批重大工艺装备实现了自主保障,促进了军工制造能力稳步提升,对保障在役武器装备的批产发挥了重要作用,突破一批共性关键工艺瓶颈,保障了新一代武器装备的研制,但与国外先进水平相比还有明显差距,表现为:

1) 工艺技术储备不足,难以满足新一代武器装备研制需求;

2) 工艺稳定性差,与产品可靠性和批产能力要求有较大差距;