

# 自适应制造——加速武器系统研制的利器

## Adaptive Manufacturing: Tool for Acceleration of Weapon System Development

北方科技信息研究所 胡晓睿 李晓红 高彬彬

**[摘要]** 美国国防部认为武器系统现有研制模式周期长、成本高、不能保证及时交付。美国国防预先研究计划局(DARPA)投资10亿美元启动“自适应制造(AM)”计划,致力于通过采用铸造式基于平台的设计、奖金挑战赛等创新研究方法,实施生物系统、材料与结构、组件级、武器系统级等多层次多领域的项目研究,加速技术研发创新、促进新技术快速应用,显著缩短武器系统研制周期,重新确立未来武器系统的制造模式。

**关键词:** 武器系统 自适应制造 快速研制

**[ABSTRACT]** US Department of Defense finds that current weapon system development has long period, high cost, resulting in could not delivery timely. US Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) invested \$ 1 billion to embark on a five-year roadmap in adaptive manufacturing, known as Adaptive Make. Adaptive Make seeks to facilitate insertion of new technologies and accelerates innovation, enable the defense industry to dramatically shorten the timeline from idea to production. Implementing this strategic approach involves innovative methodologies and tools, such as Foundry-inspired, platform-based design, Prize-based challenges, and comprises biological systems, materials and structures, components and systems.

**Keywords:** Weapon system Adaptive manufacturing Rapid development

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.15.117

随着国际安全环境日益复杂,武器系统复杂性越来越高以及美国国防预算的减少,要求武器系统能及时、有效、经济可承受地交付战场。但是,美国国防部认为当前采用的武器系统设计、制造模式存在技术创新能力不足、适用的技术数量难以满足需求等问题,导致武器系统研制与交付的进度大幅延迟、成本居高不下。比如,美国国防部研究发现,按照现有模式研制一种新的武器系统,从项目启动到形成初步作战能力(IOC)所需的时间比其他国家长约10年(见图1)。作为美国国防领域的创新尖兵,国防预先研究计划局(DARPA)2009年投资约10亿美元启动为期5年的“自适应制造(AM)”计

划,旨在彻底改变现有武器系统的研制模式,从根本上改变武器系统的设计、制造与试验验证方式,提升处理复杂问题的能力,大幅提高研制效率并降低成本,加速战场交付能力。

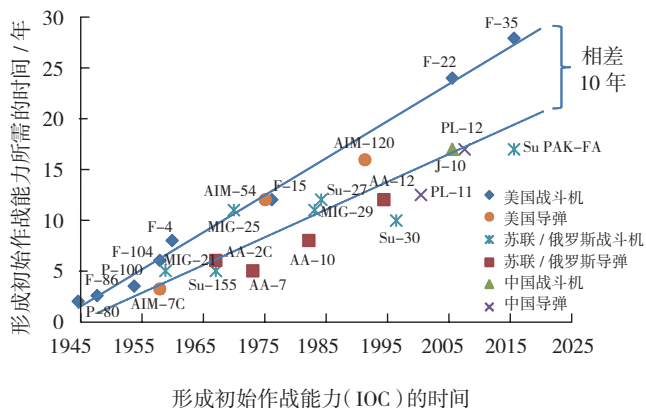


图1 1945~2025年美国及非美国家新型号研制从项目启动到形成初始作战能力(预计)所需时间

Fig.1 Time to Initial Operating Capability (IOC), a measure of time to develop new system, from 1945 to 2025 (projected).

DARPA 一直以来都非常注重投资快速自适应制造技术,实施了一系列计划,促进相关技术的快速发展。例如,1962年推出的敏捷计划,实现了陆军M16突击步枪快速装备部队;20世纪80年代实施的超高速集成电路(VHSIC)计划奠定了现代集成电路产业发展的基础;20世纪90年代实施的自由成形制造计划,促进了当前数字直接制造(3D打印)关键技术的开发;多类型导弹制造(M3)计划旨在为不同类型导弹开发通用基础设施;进入21世纪实施的突破性制造计划及材料加速插入计划,目的是通过计算机设计和新的工艺能力,开发新型复合材料和金属材料。这些成果为“自适应制造”计划的实施奠定了良好的基础。

### 1 自适应制造计划的战略愿景

自适应制造计划战略愿景的核心是通过各种方法加速技术研发与创新、促进新技术的快速应用,显著缩短复杂武器系统从概念生成到规模生产的时间周期,同时对武器系统的复杂性进行积极的管理,以应对日益复杂的国际安全环境。

## 2 自适应制造计划的重点投资领域及其攻关项目

自适应制造计划的重点投资领域涉及广泛,包括武器系统级、组件级、材料与结构、生物系统等多个层次和方面的研究项目。2011、2012 财年各研究领域的相对投资比例如图 2 所示。在此计划的实施过程中,通过与 DARPA 各技术办公室之间进行相互协调,保证研究项目的开发速度、对不同复杂程度的技术研究进行更好的管理。下面主要介绍在各个重点投资领域已经开展的比较典型的攻关项目。

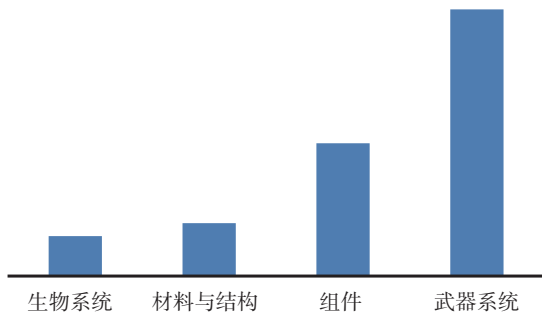


图2 2011财年和2012财年(预算)对各攻关领域的投资相对比例  
Fig.2 Relative scale of combined FY2011 & requested FY2012 investment thrust areas that form the 5-year adaptive make portfolio

### 2.1 武器系统级攻关项目

(1) 自适应车辆制造(AVM)。由 META,采用二进制即时铸造自适应(iFAB),快速、自适应下一代地面车辆(FANG)及 MENTOR 等 4 个子项目共同组成,旨在将复杂的计算机-电子-机械军事系统(如军用车辆)的研发周期缩短至少 80%。AVM 采用铸造式基于平台的设计,随后在位于岩岛兵工厂的联合制造技术中心进行总装,同时采用灵活的知识产权许可方式,实现基于模型的、开源的全面集成的任务使能(Mission-capable)系统。AVM 将提供相关的生产设备及制造方法,使由分散的研发人员组成的研发小组能够通过奖金挑战赛参与到军用地面战车的设计与制造中。海军陆战队两栖战车的研发将 AVM 的奖金挑战赛推向高潮。META 旨在使复杂计算机-电子-机械系统的设计过程民主化;FANG 将通过一系列向广大设计者开放的两栖战车设计奖金挑战赛对这种复杂的军事系统进行测试;vehicleforge.mil 将会使大量的独立创新者在开源的平台上协同设计相关军事系统;MENTOR 面向科学、技术、工程和数学(STEM)等学科的中学生,致力于在一千多所学校部署可编程的制造设备,让学生们也参与到分布式数字制造中来,目标是激发新一代的设计师以及制造创新者,演示验证基于模型的端到端的集成设计过程。

(2) UAVForge。DARPA 与海军空间和海战系统司

令部(SPAWAR)的协作项目,旨在设计、制造先进小型无人机(UAV)系统。UAVForge 试图超越传统的研发模式,推动联系并不紧密的相关国际组织间的创意交流,启发创造性思维,促进创新。任何人都能通过互联网访问 UAVForge.net 网站并提交解决方案,提供主题专家意见或其他对等的参与者提出的评价意见。专业的制造商将会提升技术的可制造性,最佳的解决方案将会在定义好的竞标飞行(fly-off)场景下进行竞争。

### 2.2 组件级攻关项目

(1) 无掩模纳米直写工具研发。使国防领域高性能集成电路(ICs)的小批量制造具有经济可承受性,提高在半导体晶片上写数据的速度。同时采用由新型反射电子束制图技术生成的百万个平行的、单独控制的电子束,解决目前紫外光法制造集成芯片所需的掩模组成本高(每套数百万美元)、灵活性不好等问题。

(2) 自适应传感器系统(ADAPT)。采用类似于苹果 iPhone 和谷歌 Android 设备所用的基于平台的商用设计与生产技术,缩短智能、监视和侦察(ISR)传感器的研发和制造周期,使其由现在的平均每项技术需要 3~8 年的时间缩短到 2 年以内。

### 2.3 材料与结构攻关项目

(1) 梯度折射率光学组件(M-GRIN)制造。开发新颖的工艺用于更快的研制更小、更轻、经济性更好的优质光学镜片(如士兵夜视护目镜)和采用现有的传统镜片不能实现的新型光学系统,并减少复杂光学组件(如望远镜)镜片的数量,使其重量和尺寸减少 80%~90%。该项目的核心是把聚合物或玻璃的薄膜堆(每个单独的薄膜有不同的折射率)通过高温及强压使之熔合浇铸成一个单一的复合镜片。

(2) 开源制造(OM)。作为自适应车辆制造(AVM)及其他材料相关的制造研发项目的补充,将投资开发快速、适应性强、合适的工艺过程,制造设计、仿真和性能预测工具,以及加速制造产品整个生命周期性能保证的鉴定与认证的方法。

### 2.4 生物系统攻关项目

(1) 蓝色天使 H1 疫苗加速生产。将烟草植物转化成可重构的生物反应器,用于疫苗质量蛋白质的可移动、自适应、超快速生产。蓝色天使成功验证了蛋白质的大规模生产,符合优质生产规范(GMP),具备应对快速变化的病毒,如流行性感( H1N1 )的能力。

(2) 生命铸造厂。开发和应用一种可升级的生物学工程构架(engineering framework)与技术,通过简化、提取以及标准化处理,使生物设计从制造、成品率设计准则及工具中分离出去,并且对生物学复杂性进行管理,以应对当前生物制造技术开发周期长(7 年或更长)、研

发成成本高(0.5~5亿美元)、生物制品相对简单等挑战。

### 3 自适应制造的主要方法与工具

AM计划的重点投资领域虽涉及诸多不同的科学、技术及应用领域,但大多数研发项目所采用的主要方法和工具都是相同的。目前,自适应制造计划中研究应用较多的方法与工具包括:

#### (1) 铸造式基于平台的设计。

由 DARPA 在 20 世纪 80 年代参与投资开发,至今已发展成为集成电路产业的基石。1980 年,卡佛·米德和林恩·康威在 DARPA 的资助下开发了超大规模集成(VLSI)系统设计工具,教大学生如何在无半导体生产设备的情况下自行设计计算机电路。采用这种设计工具能够通过可升级的基于模型的设计与验证来梳理制造产生的设计问题,并由不同的小组各自独立解决,最后再集成起来用于产品生产。这些计算机芯片自适应制造技术研发的经验对后续的项目研究都有所借鉴,尤其是在开放式体系结构、可共享的基础结构及设计分析工具等方面。目前,该方法在自适应车辆制造、开源制造、生命铸造厂及梯度折射率光学组件制造等项目中都所有应用。

#### (2) 奖金挑战赛。

为了更好地激发人的潜能,攻坚克难, DARPA 设立了基于创业精神的奖金挑战赛机制,其中包括 DARPA 挑战大赛、城市挑战赛、网络“红气球”挑战赛、粉碎机挑战赛,以及其他面向未来发展的新的自适应制造挑战赛。FANG 项目中延续了这种奖金挑战赛机制,旨在开发满足美国海军陆战队需求的两栖战车。

#### (3) 研发游戏化。

针对一些复杂的设计问题, DARPA 将其转化成解谜形式,把这些问题放在互联网上的大型多人游戏系统中,通过强大的计算机工具与大量创新者之间的合作来解决。这种技术被称为“众源”,能够更好地利用人类天生的问题解决能力,比只运用计算机分析快捷得多。比如,运用计算机分析一个感染 HIV 的猕猴的蛋白质长达 15 年仍没有得到答案,但是最近却在网上被 Foldit(由 DARPA 资助的一款基于物理学设计的游戏)的游戏玩家破解,并已通过 X 射线晶体学确认。

#### (4) 快速验证方法及工具。

工程人员通过实际经验已经认识到,计算机虽然先进,但是分析能力并不强大,除非分析结果和设计预测正好匹配。自适应制造计划也支持快速验证方法及工具的开发,比如,开源制造项目正在开发新的设计和可通过经验数据验证的具有仿真功能的生产力分析工具。

#### (5) 协作工具。

自适应制造计划正在开发协作方法,打造可靠、安全以及可信的基础结构分享环境,知识产权共享环境,设计验证以及产品物流计划。类似 UAVForge、vehicleforge.mil 等网站为参与人员提供了在线沟通平台,可以共同合作开发、评估、提交并且评论新的系统概念。

#### (6) 可计算的设计工具链。

DARPA 正在利用高性能计算机推动全新种类材料的设计,并且采用这些新材料来设计可生产的组件。自适应制造对系统性能进行多域分析,从而实现“一次性生成即保证无误”的设计,即不仅要在第一时间建立正确的设计,同时需确保其在本质上的可生产性。

## 4 结束语

近 50 年来, DARPA 通过有效的自适应制造,已经在开发更小、更轻、更快的技术方法、生产工艺、流程和工具,重塑全球工业格局的过程中取得了显著的成绩。自适应制造计划正在对可能的技术进行重新定义,并重新确立未来军事系统的制造模式,这将彻底改革美国未来的作战方式。未来 DARPA 将继续与美国国防部及美国政府的其他研发机构保持通力协作,为重振美国制造业,确保美军的技术优势地位,从战略高度保障国家安全不懈努力。

(责编 玲犀)

(上接第 116 页)

Detonation Combustor-Based Hybrid Engine. ASME 2007-GT-28056.

[16] Venkat E T, Narendra D J. Systems level performance estimations for a pulse detonation combustor based hybrid engine. ASME 2008-GT-51525.

[17] Anthony J D, Adam R, Venkat T. Operation and noise transmission of an axial turbine driven by a pulse detonation combustor. ASME 2005-GT-69141.

[18] Sivarai A K. Parametric and performance analysis of a hybrid pulse detonation/turbofan engine[D]. Arlington: University of Texas, 2011.

[19] Sudip B, Hao T. Comparative performance analysis of combined-cycle pulse detonation turbofan engines (PDTEs). Propulsion and Power Research, 2013,2(3):214-224.

[20] Nicholas C L. Heat transfer experiments of a pulse detonation driven combustor[D]. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Airforce Institute of Technology, 2011.

[21] Aaron J G, Nicholas C, Ephraim G. Performance of an axial flow turbine driven by multiple pulse detonation combustors. AIAA-2007-1244.

[22] Rouser K P, King P I. Unsteady performance of a turbine driven by a pulse detonation engine. AIAA 2010-1116.

[23] Rouser K P. Unsteady specific work and isentropic efficiency of a radical turbine driven by pulsed detonations[D]. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio: Airforce Institute of Technology, 2012.

[24] Mark H F, Steven E G. Design and fabrication of an experimental test facility to compare the performance of pulsed and steady flow through a turbine. AIAA-2013-0277.

(责编 玲犀)