

世界国防科技年度发展报告 (2016)

先进制造领域科技发展报告

中国兵器工业集团第二一〇研究所



国防工业出版社
National Defense Industry Press

世界国防科技年度发展报告 (2016)

先进制造领域科技发展报告

XIAN JIN ZHI ZAO LING YU KE JI FA ZHAN BAO GAO

中国兵器工业集团第二一〇研究所

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造领域科技发展报告/中国兵器工业集团第二一〇研究所编. —北京: 国防工业出版社, 2017. 4
(世界国防科技年度发展报告. 2016)
ISBN 978-7-118-11285-6

I. ①先… II. ①中… III. ①国防工业—科技发展—
研究报告—世界—2016 IV. ①TJ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 055228 号

先进制造领域科技发展报告

编 者 中国兵器工业集团第二一〇研究所
责任编辑 汪淳 王鑫
出版发行 国防工业出版社
地 址 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048
印 刷 北京龙世杰印刷有限公司
开 本 710 × 1000 1/16
印 张 13 $\frac{1}{4}$
字 数 151 千字
版 印 次 2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
定 价 79.00 元

《世界国防科技年度发展报告》 (2016)

编委会

主 任 刘林山

委 员 (按姓氏笔画排序)

卜爱民	王 逢	尹丽波	卢新来
史文洁	吕 彬	朱德成	刘 建
刘秉瑞	杨志军	李 晨	李天春
李邦清	李成刚	李晓东	何 涛
何文忠	谷满仓	宋志国	张英远
陈 余	陈永新	陈军文	陈信平
罗 飞	赵士禄	赵武文	赵相安
赵晓虎	胡仕友	胡明春	胡跃虎
真 溱	夏晓东	原 普	柴小丽
高 原	席 青	景永奇	曾 明
楼财义	熊新平	潘启龙	戴全辉

《先进制造领域科技发展报告》

编辑部

主 编 高彬彬

副 主 编 苟桂枝

编 辑 (按姓氏笔画排序)

曲 兵 祁 萌 李良琦 李晓红

陈胜军 罗 永 胡晓睿 郭 洋

《先进制造领域科技发展报告》

审稿人员

李志强 关 桥 王华明 毛 明
杨中成 彭艳萍 周荣林 高 原
许奔荣 李向阳 王大森 王克鸿

撰稿人员（按姓氏笔画排序）

万 勇 王华明 王志伟 石 倩
叶 蕾 曲 兵 刘 志 刘亚威
刘骄剑 关 桥 祁 萌 孙红俊
李志强 李良琦 李晓红 余 杰
陈胜军 苟桂枝 罗 永 周明贵
胡晓睿 高彬彬 黄秋实 董扬帆
程之年

编写说明

军事力量的深层次较量是国防科技的博弈，强大的军队必然以强大的科技实力为后盾。纵观当今世界发展态势，新一轮科技革命、产业革命、军事革命加速推进，战略优势地位对技术突破的依赖度明显加深，军事强国着眼争夺未来军事斗争的战略主动权，高度重视推进高投入、高风险、高回报的前沿科技创新。为帮助对国防科技感兴趣的广大读者全面、深入了解世界国防科技发展的最新动向，我们秉承开放、协同、融合、共享的理念，共同编撰了《世界国防科技年度发展报告》（2016）。

《世界国防科技年度发展报告》（2016）由综合动向分析、重要专题分析和附录三部分构成。旨在通过深入分析国防科技发展重大热点问题，形成一批具有参考使用价值的研究成果，希冀能为促进自身发展、实现创新超越提供借鉴，发挥科技信息工作“服务创新、支撑管理、引领发展”的积极作用。

由于编写时间仓促，且受信息来源、研究经验和编写能力所限，疏漏和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

中国国防科技信息中心

2017年3月

前 言

先进制造技术是衡量一个国家综合实力和科技发展水平的重要标志，国防先进制造技术对确保武器装备产品质量、缩短研制生产周期、降低制造维护成本、提高战术技术性能指标具有重大影响，因此，世界各国高度重视国防先进制造技术进步，近年来获得迅速发展。密切跟踪世界国防先进制造技术发展态势，深入研判国防先进制造技术热点问题，把握时代脉搏、选准突破方向，对于促进我国国防科技创新、对标国际先进水平、推动制造技术进步、实现武器装备更新换代和跨越发展具有重要意义。

为及时、准确地了解 2016 年国外先进制造技术的发展进步，我们组织相关力量，遴选具有重大现实或潜在影响意义的领域和专题开展系统分析研究，形成了《先进制造领域科技发展报告》。全书包括综合动向分析、重要专题分析、附录三部分。综合动向分析部分，一是主要对 2016 年先进制造技术发展战略和技术领域总体发展趋势进行分析研判，二是主要围绕增材制造、智能制造、先进设计、表面工程、微纳制造、生物制造 6 个技术领域进行系统归纳；重要专题分析部分，针对 15 个重点问题和热点技术展开深入研究；附录部分，按时间顺序梳理了 2016 年先进制造领域科技发展大事记。

本书在统一编撰思路的指导下，集中优势领域相关单位共同完成。在报告编撰过程中，得到了中国工程院院士关桥研究员、中国工程院院士王华明教授、中国航空制造技术研究院李志强院长、中国国防科技信息中心杨中成研究

员、中国兵器工业集团首席专家毛明研究员、原国防科工局科技与质量司彭艳萍副巡视员、中国航空研究院国防制造技术办公室主任周荣林研究员、中国航天科工集团第三研究院副总工艺师许奔荣研究员、中国兵器工业集团第五十二研究所总工程师王大森研究员及南京理工大学王克鸿教授等专家的指导与参与，在此致以敬意与衷心感谢。

限于编著人员水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请批评指正。

编者

2017 年 3 月

目 录

综合动向分析

2016 年先进制造领域科技发展综述	3
2016 年增材制造技术发展综述	11
2016 年智能制造发展综述	23
2016 年先进设计技术发展综述	36
2016 年表面工程技术发展综述	45
2016 年微纳制造技术发展综述	52
2016 年生物制造发展综述	60

重要专题分析

美国首份《国家制造创新网络计划战略》解读	69
美国国防部持续推进制造技术创新	75
DARPA “自适应载具制造”计划发展分析	85
美国大举推进太空制造技术创新发展	92
航空智能制造当前的 3 个热点方向	99
通用电气公司稳步推进智能工厂建设	108
洛克希德·马丁公司数字化制造理念分析	114

机器人在外国国防制造领域中的应用分析	121
增强现实技术快速步入工业应用	127
电子束熔融增材制造技术在航空航天发动机领域取得突破	133
基于模型的技术在外国国防工业领域的应用发展现状	140
美国坦克装甲车辆数字化研制技术发展分析	149
外国国防绿色制造发展现状	159
F-35 战斗机先进低成本制造技术应用及成效分析	167
美国陆军火炮身管爆炸包覆技术发展综述	175

附录

2016 年先进制造领域科技发展大事记	185
---------------------------	-----

综合动向分析

2016 年先进制造领域科技发展综述

武器装备作为科学技术成果的物化产品，直接受到装备制造技术的影响。先进制造技术从现代科学技术发展中不断吸纳新成果，综合改进装备质量、使用与保障服务等诸环节或全过程，以提高质量效益，是军队战斗力的倍增器，备受世界各国重视。2016 年，美国、俄罗斯等军事强国，通过发布顶层规划、投资重点制造技术研发项目等举措，积极推动国防先进制造技术发展，增材制造、智能制造、先进设计、生物制造等领域都取得重要进展。

一、顶层战略规划制定推动国防先进制造技术创新

2016 年 2 月，美国商务部部长、总统行政办公室、国家科学与技术委员会等向国会联合提交了首份《国家制造创新网络计划年度报告和战略规划》报告，围绕确保美国在先进制造领域始终处于全球领先地位的愿景，列出了“国家制造创新网络”计划发展的战略目标：一是提升美国制造业的竞争力，支持更多美国本土制造产品的生产，培育美国在先进制造技术

研究和创新上的领导地位；二是促进创新技术尽快转化为规模化、经济和高效率的本土制造能力；三是加速先进制造职能人才教育，培养制造业各领域所需的高技能人才，使其更加适应未来全球先进制造业的竞争环境；四是支持有助于创新机构稳定和可持续发展的商业模式，创建制造创新生态系统，最终实现稳定可持续发展。新任美国总统特朗普的思路与奥巴马政府实施的国家制造创新网络计划的宗旨如出一辙。在美国“国家制造创新网络”计划的实施中，国防主导和引领作用凸显，在 14 家制造创新机构中，国防部负责 8 家。

2016 年 4 月，美国国家科学与技术委员会发布《先进制造：联邦政府优先技术领域速览》报告，提出了 5 个应重点考虑的新兴制造技术领域——先进材料制造、推动生物制造发展的工程生物学、再生医学生物制造、先进生物制品制造和药品连续生产，表明先进材料制造仍是美国政府占领制造业制高点的首要杀手锏，而生物及医药制造将是包括国防部在内的美国政府未来一段时间的工作重点，是美国获取巨大效益、发展军民用颠覆性技术的主战场之一。

2016 年 10 月，俄罗斯积极推进创新发展战略，落实“国家技术创新”计划，初步提出了以创新为导向的“工业 4.0”计划，实现技术飞跃和科技创新。

二、增材制造技术发展促进应用范围扩大

增材制造技术继续呈现持续快速发展态势，应用范围不断扩展，在航天、航空、电子等国防领域取得多项突破性新进展。

(1) 美国发布《增材制造联合路线图》。美国国防部 2016 年 11 月发布

的该路线图，为陆、海、空三军和国防后勤局联合发展增材制造技术提供基础与框架。其中重点关注4个共性技术领域：设计领域，消除传统计算机辅助设计/计算机辅助制造（CAD/CAM）软件的约束，打破设计增材制造零件的旧模式；材料领域，建立谱系化数据集和架构，开发基于模型的方法，加速材料的合格鉴定与认证；工艺领域，提升原位感知和反馈控制，开发新工艺能力以及标准；价值链领域，聚焦“数字链”，将增材制造与传统供应网络紧密结合。

（2）太空增材制造技术首次实现商业应用。2016年3月，美国航空航天局（NASA）和太空制造公司在国际空间站上安装了首台实用型“增材制造设备”，开始为国际空间站制造实用物品，为地面用户提供制造服务。太空增材制造技术能够在太空快速制造出在轨作业所需的零部件和工具，实现“按需即造”，避免等待航天发射带来的时间延误和火箭整流罩尺寸限制，解决未来载人深空探测任务按需和应急货物原位制造与供应问题。

（3）增材制造技术设备成为航空企业重要生产设施。为进一步扩大增材制造技术在航空发动机零部件生产中的应用范围，通用电气公司2016年2月在美国匹兹堡建立增材制造研发中心，10月收购德国 Concept Laser 公司（粉床选区熔化激光增材制造全球领先），12月收购瑞典 Arcam 公司 76.15% 的股份（粉末选区电子束增材制造全球领先）。目前，洛克希德·马丁公司拥有5个增材制造创新中心，旗下工厂的增材制造设备超过100台，还研发出世界上首台“多机器人增材/减材混合设备”。

（4）增材制造技术成功实现电子器件制造。NASA 正在研究利用“气溶胶喷射打印”制造集成了各种电子器件的探测器组件，旨在满足对探测器组件日益小型化和紧凑型的需求，有助于大幅压缩电路板生产时间，提高电子组件性能以及与其他电子组件的相容性；雷声公司资助美国洛厄尔

大学研究利用增材制造技术制造出雷达电子器件。

三、智能制造已成为全球制造业发展的风向标

智能制造发展在战略实施、企业布局、关键技术应用方面取得突破性进展，呈现出多样化发展态势。

(1) 美国国防工业引领国家智能制造发展。美国主要通过“国家制造创新网络”计划聚焦智能制造发展。2016年6月，美国国防部牵头组建“制造环境中的机器人”制造创新机构。至此，国防部和能源部已牵头组建4家以智能制造关键技术为主攻方向的制造创新机构，其他3家分别是“增材制造”“数字化制造与设计”“智能制造”，这些机构已成为推动整个国家智能制造发展的核心力量。

(2) 通用电气公司加速智能工厂建设步伐。通用电气公司2014年提出“卓越工厂”建设模式，依据该模式进行智能工厂建设。2016年4月，该公司在美国建成第3家智能工厂，8月在加拿大启动建设第4家，未来拟建十余家。这些智能工厂可实现高度柔性生产，根据不同需求，在同一厂房内用相同生产线制造航空发动机、燃气轮机、风力发电机等不同类型产品。该公司还根据智能工厂建设经验，推出名为“卓越制造”的智能工厂软件整体解决方案，可使突发停工期缩短10%~20%，库存降低20%，不同产品转产效率提升20%。

(3) 日本将机器人和物联网等作为向智能制造迈进的主要抓手。日本于20世纪末提出智能制造系统的全球合作计划，与美国、加拿大等国联合研发高技术智能生产系统；2015年，日本政府发布《机器人新战略》，提出建立世界机器人创新基地，引领世界机器人产业发展等目标。2016年3月，