



# 颠覆性技术快报

DISRUPTIVE TECHNOLOGY LETTERS

2020年第10期（总第39期）

中国工程科技创新战略研究院

2020年10月

## 本期要目

- ★ 前沿动态
- ★ 观察思考
  - 重大颠覆性技术方向——超材料
  - 重大颠覆性技术方向——仿生智能集群技术

---

## 主 编 致 辞

自 1995 年克莱顿·克里斯滕森提出以来，历经演变和拓展，颠覆性技术已成为对行业和领域的格局、秩序和体系具备重构能力技术的统称。颠覆性技术是经济社会发展和军事变革的重要推动力量，是世界科技强国的战略竞争前沿。持续深入开展好战略研究，尽早识别和发展颠覆性技术，在我国当前由大变强、奋力实现“两个一百年”和“世界科技强国”战略目标的历史阶段具有特别重要的意义。

习近平总书记和党中央高度重视颠覆性技术，对颠覆性技术的战略研究和发展做出了一系列指示。为贯彻和落实指示要求，2016 年 8 月 25 日中国工程院和中国工程物理研究院联合发起成立了中国工程科技创新战略研究院（以下简称“创新战略院”），目的是联合国内单位组织开展持续、系统的颠覆性技术战略研究。

为及时、准确地报道国外政府、智库、高校及公司等颠覆性技术方面的规划及最新进展，展现国内外对颠覆性技术的相关观察与思考，在工程院和中物院的领导和指导下，创新战略院和“工程科技颠覆性技术战略研究”重大咨询项目项目组决定编辑出版《颠覆性技术快报》，期望能为决策层提供有益参考，为同行专家和研究人員提供交流的平台。

主 编：杜祥琬

2017 年 4 月 25 日

---

## 目 次

### 前沿动态

特朗普政府宣布关键技术和新兴技术新战略 .....	4
美国防未来工作组重申要大力投资人工智能 .....	4
美国对六种新兴技术实施出口管制 .....	5
美国发布最新的《国防部数据战略》 .....	5
美国发布 5G 安全战略以确保 5G 安全性和弹性 .....	6
欧盟拟投 80 亿欧元发展下一代超算技术 .....	6
法国氢能战略拟投资 70 亿欧元打造低碳经济 .....	7
英国政府投入 3.5 亿英镑支持绿色复苏技术 .....	7
美国防部投入 6 亿美元用于 5G 试验 .....	8
美国防部计划投入 2 亿美元加强微电子创新 .....	8
美能源部投入 1600 万美元研究机器学习和人工智能 .....	8
DARPA 小精灵（Gremlins）项目完成第二次试飞 .....	9
DARPA 完成超音速吸气式武器概念里程碑 .....	9
美陆军设立定位、导航和授时（PNT）现代化办公室和开放式创新实验室.....	10
美陆军在现实环境中测试网络防御工具 .....	10
美空军寻求增强电子情报能力的技术 .....	11
美海军陆战队探索机器人及 5G 网络的作战应用 .....	12

---

美太空军制定新战略增强卫星通信能力 .....	12
美智库发布《设计美国的数字发展战略》报告 .....	13
美智库发布《核能创新对美国国防的影响》报告 .....	13
美智库宣布启动美国国家技术战略 .....	14
脑机接口：军事应用与影响的初步评估 .....	14
人工智能应用于无人机执行任务取得重大进展 .....	15
科学家首次发现室温超导材料 .....	15
IBM 首次公开量子路线图，计划 2023 年突破千比特.....	16
<b>观察思考</b>	
超材料.....	17
仿生智能集群技术 .....	24

### **特朗普政府宣布关键技术和新兴技术新战略**

【美国白宫官网 2020 年 10 月 15 日】美国总统特朗普发布了一项关键技术和新兴技术国家战略，阐述了如何保持美国在人工智能、能源、量子信息科学、半导体、空间技术以及军事等领域的领先地位和竞争优势，更好地保护创新成果不被中国和俄罗斯窃取，维护美国的长期经济和国家安全。美国能源部部长高度赞扬该战略的发布，认为其为美国继续将思想转变为创新，将科学发现转化为商业产品以及保护和改善美国人今后的生活方式奠定了基础。（中物院科技信息中心编译）

### **美国防未来工作组重申要大力投资人工智能**

【Defense News 网站 2020 年 9 月 29 日】近日，美国防未来工作组向众议院军事委员会提交报告，重申美国必须加大力度投资人工智能相关技术。报告指出，人工智能、量子信息科学和生物技术正快速改变社会和武器装备，对手对抗能力的增强，致使美国正面临新型复杂性威胁，并可能失去几十年来享有的军事竞争优势。为确保美国在 21 世纪的领导地位，国防部和政策制定者须调整投资国家安全的方式，开发新兴技术，更有效地利用私营部门的创新成果。

为此，报告建议：（1）美国必须领先研发和部署人工智能相关技术，同时建立人工智能的使用标准；（2）美国应制定和批准一项关于人工智能的全球条约，为人工智能的民事和军事应用提供保障；（3）

---

美国须建立可靠的制造业来源，确保军事和民用部门的供应链弹性；  
(4) 为保持在科技创新、经济和军事领域的全球优势，美国应增加对基础科技研究的投资，承诺至少将国内生产总值的 1% 用于基础研发；  
(5) 增加对“科学、技术、工程和数学”(STEM) 人才的投资，确保持久的科技优势。(中物院科技信息中心编译)

### **美国对六种新兴技术实施出口管制**

**【美国商务部官网 2020 年 10 月 15 日】**美国商务部工业与安全局(BIS) 表示对六项新兴技术实施多边管制。这些技术涉及黑客取证工具、监视软件、次轨道飞行器以及制造集成电路和半导体的工具及技术，美国声称这些技术“对其国家安全至关重要”。六项技术具体包括：(1) 混合增材制造(AM) /计算机数控(CNC) 工具；(2) 设计制造极紫外(EUV) 掩模的计算光刻软件；(3) 用于制造 5nm 芯片的晶圆精加工技术；(4) 可绕过计算机(或计算机设备) 上的身份验证或授权控制并提取原始数据的数字取证工具；(5) 通过切换接口从电信服务提供商获取通信和元数据的监视和分析软件；(6) 次轨道飞行器。(中物院科技信息中心编译)

### **美国发布最新的《国防部数据战略》**

**【美国国防部官网 2020 年 10 月 8 日】**美国国防部发布了新的《国防部数据战略》，战略提出国防部应加快向“以数据为中心”的过渡，利用数据提高作战优势和提升作战效率。此外，战略还指出国防部数字化的 8 项指导原则，包括：将数据视为战略资源、集体性数据管理、重视数据伦理、适用于人工智能算法的数据管理框架等；4 项基本能

---

力包括国防部数据架构，数据管理和使用数据资产的标准，国防部数据治理的原则、政策和流程，以及人才和文化；7大发展目标为保障数据的可见性、可访问性、安全性、互操作性、易于理解、可链接性、可信赖性等。（中物院科技信息中心编译）

### **美国发布 5G 安全战略以确保 5G 安全性和弹性**

【美国国土安全部网络安全与基础设施安全局（CISA）网站 2020 年 8 月 24 日】美国国土安全部发布 5G 安全战略，以确保 5G 技术的安全性和弹性。该战略文件中提出了 5 项与美国《国家 5G 安全战略》保持一致的战略计划，分别为：通过强调安全性和弹性来支持 5G 政策和标准的开发；增强对 5G 供应链风险的态势感知并采取安全措施；与利益相关者合作以加强和保护现有基础架构，以支持未来的 5G 部署；鼓励 5G 市场创新，以培养值得信赖的 5G 供应商；分析潜在的 5G 用例并共享有关风险管理的信息。国土安全部表示，其设想的 5G 基础架构应“促进美国及其盟国的国家安全、数据完整性、技术创新和经济发展”。（远望智库供稿）

### **欧盟拟投 80 亿欧元发展下一代超算技术**

【Hpcwire 网站 2020 年 9 月 18 日】欧盟委员会对“欧洲高性能计算联盟计划”进行了升级，拟投资 80 亿欧元，发展下一代超级计算技术，主要包括百亿亿次超级计算机以及量子计算机的研制工作。此举措旨在加强欧洲数字主权，维持欧洲在超级计算以及量子计算领域的主导地位，促进欧洲经济的恢复和发展。新举措将从两个方面发力：（1）建造每秒能执行百亿亿次（ $10^{18}$ ）浮点运算的超级计算机；（2）研制出高性能的量子计算机以及结合了量子计算和经典计算的混

---

合计算机，从而执行当前超级计算机无法执行的操作。欧盟计划借助这笔资金，到 2021 年初研制出 3 台十亿亿级计算系统。（中物院科技信息中心编译）

### **法国氢能战略拟投资 70 亿欧元打造低碳经济**

**【法国政府官网 2020 年 9 月 8 日】**法国政府发布《法国发展无碳氢能的国家战略》，计划到 2030 年投入 70 亿欧元发展绿色氢能，促进工业和交通等部门脱碳，助力法国打造更具竞争力的低碳经济。法国国家氢能战略主要有三大目标：（1）到 2030 年新建 6.5 吉瓦的电解制氢装置；（2）发展氢能交通，尤其是用于重型车辆，到 2030 年减少 600 万吨 CO<sub>2</sub> 排放；（3）提升工业部门竞争力，促进就业，到 2030 年通过发展氢能直接或间接创造 5~15 万个就业岗位。此外，根据该战略，法国未来将投入 34 亿欧元重点支持三大优先事项：（1）通过打造法国的电解制氢行业促进工业脱碳（18.36 亿欧元）；（2）开发无碳氢能交通（9.18 亿欧元）；（3）支持氢能技术的研发和创新（6.46 亿欧元）。（中物院科技信息中心编译）

### **英国政府投入 3.5 亿英镑支持绿色复苏技术**

**【路透社 2020 年 7 月 22 日】**英国政府宣布总额为 3.5 亿英镑的一揽子资助方案，支持用于重工业、建筑、航天和交通运输部门脱碳的绿色技术，以确保英国处于绿色创新的前沿，实现经济的绿色复苏。具体包括：（1）投入 1.39 亿英镑支持发展氢能和二氧化碳捕获封存（CCS）技术，减少重工业排放；（2）投入 1.49 亿英镑，推动重工业使用创新的原材料；（3）提供 1500 万英镑的初始资金，启动一项新



---

的国家太空创新计划；（4）投入 1000 万英镑，支持汽车企业开发最前沿技术。（中物院科技信息中心编译）

### **美国国防部投入 6 亿美元用于 5G 试验**

**【美国国防部官网 2020 年 10 月 8 日】**美国国防部宣布将投资 6 亿美元，在 5 个军事试验场建立试验台以开展 5G 技术试验。试验内容主要包括：支持 5G 的增强/虚拟现实训练，5G 智能仓库技术测试，高容量、低延迟 5G 通信技术测试以及 5G 频谱共享技术试验等。（中物院科技信息中心编译）

### **美国国防部计划投入 2 亿美元加强微电子创新**

**【俄罗斯卫星通讯社（Sputnik）网站 2020 年 10 月 16 日】**美国国防部宣布拨款 1.972 亿美元，以支持致力于人工智能、5G 通信和其他技术的美国公司。这笔经费将通过快速确保微电子技术原型化（RAMP）计划以及先进异构集成原型化（SHIP）计划进行拨付。其中，RAMP 计划向微软和 IBM 提供 2450 万美元，以开发具有增强安全性的新型商业微电子设计方法。而 SHIP 计划的合同总额为 1.727 亿美元，分别用于英特尔联邦和 Qorvo 公司，以开发一种安全集成的先进微电子封装方法。（中物院科技信息中心编译）

### **美能源部投入 1600 万美元研究机器学习和人工智能**

**【美国能源部官网 2020 年 9 月 9 日】**美国能源部再次宣布为机器学习和人工智能研究提供 1600 万美元的资助，用于科学调查和复杂系统的管理。这笔资金将资助 2 个项目，分别是“建模与模拟的科学机器学习”项目和“人工智能和复杂系统的决策支持”。第一个项目

---

侧重于开发用于预测建模和模拟的机器学习和人工智能方法，可用于整个物理科学的研究。第二个项目侧重于基本的机器学习和人工智能方法研究，以用于复杂过程管理和提供决策支持，比如机器学习和人工智能方法可为类似自动驾驶汽车中的复杂过程提供实时决策或帮助做出决策。（中物院科技信息中心编译）

### **DARPA 小精灵（Gremlins）项目完成第二次试飞**

**【DARPA 官网 2020 年 8 月 25 日】**DARPA 的 X-61A “小精灵”（Gremlins）无人机项目完成了第二次试飞及空中回收系统的测试。“小精灵”项目的首要目标是演示多个低成本可重复使用的无人机空中发射和回收技术。本次测试涉及“小精灵”演示系统的所有组成部分，包括“小精灵”无人机、发射和回收系统、机载操作员控制站以及“小精灵”指挥、控制和通信系统。测试的重点是降低风险、支撑系统和子系统的性能验证，为今年晚些时候的空中回收测试做准备。未来，美国将进一步提高“小精灵”无人机的作战灵活性和有效性。（远望智库供稿）

### **DARPA 完成超音速吸气式武器概念里程碑**

**【DARPA 官网 2020 年 9 月 1 日】**DARPA 与空军宣布成功完成超音速吸气式武器概念（HAWC）两种原型样机的带飞试验，并准备在今年内进行首次自由飞行试验，这也标志着美国空射高超音速巡航导弹研制工作完成又一关键里程碑。

此次飞行试验采用的两型 HAWC 原型分别由洛马公司和雷神技术公司研制，即将进行的飞行试验则将重点关注碳氢燃料超燃冲压发

---

动机技术和热管理技术，以及经济可承受的系统设计和制造方法，以实现长时间的高超声速巡航。DARPA HAWC 项目主管表示，带飞试验的完成表明两型 HAWC 原型均已为自由飞行试验做好准备，结合过去多年开展的仿真和风洞试验，美军对该项目的前景抱有极大信心。（远望智库供稿）

### **美陆军设立定位、导航和授时（PNT）现代化办公室和开放式创新实验室**

【C4ISR 网站 2020 年 9 月 10 日】美国陆军正在设立一个新的定位、导航和授时（PNT）现代化办公室和开放式创新实验室。该实验室位于马里兰州的阿伯丁试验场，负责开发射频系统、GPS、芯片级原子钟、其他计时技术和天体导航等技术，使定位、导航和授时（PNT）系统能在 GPS 信号被拒、降级或欺骗的地区正常运行，以减少士兵对 GPS 的依赖。现代化办公室将联合陆军使用开放系统架构开发指挥、控制、通信、计算机、情报、监视和侦察/电子战（C4ISR/EW）模块化开放标准套件（CMOS），以提供即插即用的定位、导航和授时解决方案。该办公室计划于 2020 年 10 月 8 日正式开放，11 月 17 日举行工业日活动，预计每五年发布一次新的定位、导航和授时系统解决方案。（远望智库供稿）

### **美陆军在现实环境中测试网络防御工具**

【C4ISR 网站 2020 年 8 月 24 日】美陆军正在进行“网络现代化实验”（NetModX），以测试实验室中开发的用于战术网络防御和数据安全传输的技术能否在现实环境中发挥作用。为适应美国陆军机动性，

---

陆军战术网络必须是灵活、分布式、易于组合与拆解的，其带宽、连通性和云计算能力不如静态的企业网络。因此，用于战术网络防御的技术也不同于传统的网络防御方法。

目前陆军的测试内容主要包括旨在自主检测网络异常、帮助网络防御人员并保障用户间信息传输的技术，如自主网络与信息信任技术。NetModX 将促使这些技术进一步完善，促进旅营级及下级部队的战术网络现代化，并协助采购官员决定购买哪些架构与系统。（远望智库供稿）

### **美空军寻求增强电子情报能力的技术**

【Nextgov 网站 2020 年 9 月 1 日】美国空军研究实验室近日发布了一份广泛的机构公告，寻求能够利用现有和新兴技术实现自动化、实时信号检测、处理的解决方案，旨在帮助空军确定能跟上日益增加的电子情报作战空间复杂性和数据量，并优化从情报、监视和侦察任务中收集情报的整个过程。

空军研究实验室期望的是技术成熟度等级为 2~3 级和 5~6 级的技术，技术的应用应不受硬件限制，并且拥有无限的数据权限。技术需求主要包括“可展示自动化、实时信号检测、处理、利用和报告能力”的一些技术，涉及五个具体的研究主题：加强电子情报信号处理的软硬件；适用于单平台和多平台采集的提高采集系统效率的技术；开发能够检测和利用新兴电子情报信号和系统的技术；使用多源、多平台、实时采集系统来提高效率的数据库增强技术；使情报处理更加及时和准确的技术。（远望智库供稿）

---

## 美海军陆战队探索机器人及 5G 网络的作战应用

【Defense News 网站 2020 年 8 月 31 日】美国海军陆战队对未来快节奏的作战行动提出了分布式作战的概念，但目前的后勤系统成为短板。为此，美国海军陆战队与机器人研究公司合作，探索利用无人手段进行战场补给，并于 2020 年 7 月在马里兰试验场进行了实验。实验中，一辆多用途战术无人运输车（MUTT）搭载 2 架“飞马”小型无人机，一架用于前出侦察，另一架用于投递补给物资，同时还有一个预置的 SUAVI 雷达传感器用于监控，并为 MUTT 提供实时态势更新。上述无人平台使用 4G LTE 网络共享数据而非传统的无人通信手段。同时，海军陆战队与 Verizon 公司签署合作研发协议，探索利用 5G 通信大带宽、低延迟的特性，使无人系统能够交换更多的数据。（远望智库供稿）

## 美太空军制定新战略增强卫星通信能力

【C4ISRNET 网站 2020 年 9 月 9 日】在 9 日举行的美国国防新闻发布会上，太空军太空作战副主任 Bill Liquori 中将称，在 2022 财年预算制定的同时，美太空军正在制定一项旨在对卫星通信和服务的建立和租赁进行管理的新战略。该战略与 2020 年 2 月发布的企业卫星通信构想是一致的，战略正式阐明了军方“建立一种单一卫星通信架构，让作战人员即使在竞争、降级和运行受限环境中也能保持联系”的愿景。未来，太空军还希望能够实现作战人员通信信号的无缝连接和漫游，增强互操作性。

太空军正将《卫星通信愿景》的部分内容纳入 2021 财年预算，

---

2021 财年预算申请包括 4300 万美元的研究、开发、测试和评估资金，用于发展战斗卫星通信企业。预计将在 2022 财年预算中开发战场卫星通信链路的通用作战态势图，开发样机，应用“受保护战术波形”。（远望智库供稿）

### **美智库发布《设计美国的数字发展战略》报告**

【新美国安全研究中心（CNAS）网站 2020 年 9 月 10 日】美智库新美国安全研究中心发布了题为《设计美国的数字发展战略》报告，介绍了美国数字发展战略的四大指导原则和五项关键举措，为设计美国数字发展战略提供了建议。其中，四大指导原则包括：（1）数字化发展需要政府整体战略；（2）私营部门在数字发展中可发挥重要作用；（3）战略必须优先考虑与“全球摇摆国家”的紧密联系；（4）美国的数字发展战略应强调开放数字生态系统在国内生产总值增长、创造就业、创新和能力建设方面带来的好处，而不是让美国公司与对手竞争。五项技术包括：（1）提升美国与盟国的合作效率；（2）开发技术解决方案和民间机制，促进互联网自由；（3）在涉及新兴数字生态系统的技术规范 and 标准方面，加强国际领导和多边合作；（4）促进人力资源发展，加强职业技能培训；（5）设立奖学金项目，招募顶尖人才，推进和实施美国数字发展战略。（中物院科技信息中心编译）

### **美智库发布《核能创新对美国国防的影响》报告**

【美国大西洋理事会网站 2020 年 9 月 14 日】美智库大西洋理事会发布《核能技术创新：对美国国防的影响》报告，系统分析了小型模块化反应堆和微型核反应堆等新型核反应堆在美国军事上的应用

---

潜力,探讨了美国国防部采购微型核反应堆面临的机遇和挑战。同时,报告还强调了国防部应该与美国国会、能源部等部门协调工作,以支持军用核能系统的开发、演示和部署。报告认为,上述两种新型反应堆在美国军事领域的应用潜力主要体现在三个方面:(1)为美国军事基地和设施提供可靠和安全的电力;(2)为定向能武器供电;(3)为太空飞行和太空基地提供能源。(中物院科技信息中心编译)

### **美智库宣布启动美国国家技术战略**

【新美国安全研究中心(CNAS)网站 2020年9月17日】美智库新美国安全研究中心宣布启动美国“国家技术战略”(NTS)计划,以加速美国的创新能力并保护美国的技术竞争优势,维持其在全球的技术领导地位。国家技术战略计划针对高影响力的前沿技术领域制定具体可行的政策建议,包括:通过研发资金加速创新、建立并维护一个强大的技术人才渠道、制定领先的技术标准与准则、维持供应链的多样性与安全性、改革出口管制政策等。该计划得到了美空军商业和经济分析办公室的部分资助,将为美国其他技术战略制定蓝图与实施框架。(中物院科技信息中心编译)

### **脑机接口:军事应用与影响的初步评估**

【兰德公司网站 2020年8月27日】兰德公司发布《脑机接口:军事应用和影响的初步评估》报告。报告指出,脑机接口(BCI)是一种新兴的、具有潜在破坏性的技术领域,随着美国军方越来越多地将人工智能和半自动化系统纳入作战行动中,BCI技术将成为扩大和改善人机协同、辅助人类操作以及先进的有人和无人作战团队的重要

---

手段。同时，BCI 技术受制于能力-脆弱性悖论，利益和风险相平衡，需要采取预防措施，以减轻对国防部业务和机构的脆弱性影响，并减少其潜在的伦理和法律风险。（远望智库供稿）

### **人工智能应用于无人机执行任务取得重大进展**

【简式防务期刊 2020 年 9 月 10 日】波音澳大利亚公司 9 月 8 日宣布，在利用人工智能（AI）“教”无人驾驶飞行器（UAV）来探测、决定和执行任务方面取得了“重大进展”。波音公司在一份声明中说，最近进行的一次飞行测试任务包括四个无人驾驶试验台，证明了可以通过仿真使具有 AI 功能的无人机进行行为和学习，“以便它们可以检测到现实世界中的目标，然后进行仿真，并决定如何采取行动或对环境做出反应”。

这项技术对于情报、监视和侦察（ISR）任务特别重要，旨在满足澳大利亚军队对快速反应、战术路线执行以及在拥挤和竞争激烈的环境中对提升定位和识别能力的需求。目前，波音澳大利亚公司与可信赖的自主系统防御协作研究中心（TASDCRC）合作成功完成了飞行测试任务，该项目为期一年，旨在开发无人驾驶技术的项目的一部分。（远望智库供稿）

### **科学家首次发现室温超导材料**

【美国麻省理工技术评论杂志 2020 年 10 月 14 日】美国罗切斯特大学研究人员表示，他们发现了一种新型的室温超导材料。据悉，这是一种含碳、硫、氢的化合物，在 15℃ 可表现出超导性能，成为电阻为零的超导体。不过，该新型超导材料只能在 2670 亿帕的极高压



---

室温环境下实现电阻为零。这个压力是汽车轮胎压力的 100 万倍，限制了该超导材料的应用前景。研究人员表示，下一步将研究如何使该材料在较低压力环境下发挥超导性能。（中物院科技信息中心编译）

### **IBM 首次公开量子路线图，计划 2023 年突破千比特**

**【IBM 官网 2020 年 9 月 15 日】**IBM 首次公布其未来几年的量子计算发展路线图。预计 2023 年，将实现 1121 比特的量子系统 Condor（IBM 目前最先进的量子计算机仅包含 65 个量子比特）；且 IBM 认为，未来再需十年时间就能实现容错型量子计算机。

研究人员表示，建成 1000 量子比特的量子计算机是通往成熟量子计算机道路上的一个重要里程碑，尽管这样的机器仍无法发挥量子计算机的全部潜力，例如破解当前的互联网加密方案，但它足以发现并纠正通常困扰量子比特的无数微小错误。这台突破 1000 量子比特的机器将成为一个“拐点”，自此，量子计算的研究重点将从降低单个量子比特的错误率转向优化整个系统的体系结构和性能。（中物院科技信息中心编译）

# 超材料

化工、冶金与材料领域的颠覆性技术战略研究课题组

## 1 技术说明

超材料的重大科学价值及其在诸多应用领域呈现出革命性的应用前景得到了世界各国科技界、产业界、政府以及军界密切关注，其研究和工程化应用在近年来得到了迅速发展<sup>[1-3]</sup>。

### (1) 超材料透镜

超材料透镜在生物领域、微电子学、光学工程领域都有迫切的需求。超材料透镜可以对病毒和 DNA 分子、细胞等在自然环境中随活细胞管壁活动的快速过程进行直接观察。同时，随着计算机芯片和互联的微电子学器件制造越来越小的器件，对高分辨率的光学仪器、特别是光刻设备的需求也日趋强烈，超材料透镜的实现为满足这种需求提供了条件<sup>[4]</sup>。普通透镜只捕获传播的光波，而超材料透镜捕获传播的光波和停留在物体表面顶层的光波，从而可以获得更完整的信息，使光学和光工程领域获得重大的进展。

- 
- [1] Pendry J B, Schurig D, Smith D R. Controlling electromagnetic fields[J]. science, 2006, 312(5781): 1780-1782.
  - [2] Ziolkowski R W. Metamaterial-based antennas: Research and developments[J]. IEICE Transactions on Electronics, 2006, 89(9):1267-1275.
  - [3] Yu X, Zhou J, Liang H, et al. Mechanical metamaterials associated with stiffness, rigidity and compressibility: A brief review[J]. Progress in Materials Science, 2018, 94:114-173.
  - [4] Pendry J B. Negative refraction makes a perfect lens[J]. Physical Review Letters, 2000, 85(18):3966.

---

## （2）超材料全光开关

全光信息技术的原理已趋完善，但在实际应用中面临着一系列器件的实现问题，其中作为逻辑光路的核心部件的全光开关器件是光信息的核心技术和主要难点。全光开关是通过光来改变光的传播特性（如强度、传播方向、偏振状态等）的器件。开关阈值和响应速度一直是基于材料光学非线性的全光开关器件发展的两个主要瓶颈。我国首次提出了基于超材料的、无非线性过程参与的全光开关设计思想<sup>[5]</sup>。基于利用介质超材料中 meta-atom 在特定方向上可承载多个不同的多级震荡模态的特性，通过在不同方向施加调制电磁波的波场，使两束（多束）电磁波导致的电磁谐振模态发生相互耦合，改变介质 meta-atom 中影响信号波传播的特征谐振模态，进而实现全光调制。

## 2 研发状态

### （1）超材料透镜

2015 年，美国纽约州立大学布法罗分校设计并研制出了一种可进行单个分子成像和癌细胞检测的透镜——超材料超透镜。这种由微小的黄金薄片和透明聚合物超材料制成的透镜能在可见光下工作，并解决传统光学透镜的折射问题。2016 年，美国哈佛大学研制出了一种仅有纳米厚度的超材料透镜，这种新型透镜由于其轻、薄的性质，有望给光学仪器带来革命性的变化。2017 年，美国加州理工学院开发了一种新型平面光学透镜系统，该系统可以轻易地实现批量生产，并且还能与图像传感器进行集成。这一光学透镜系统有望能为包括手

---

[5] Liu X, Zhou J, Litchinitser N, et al. Metamaterial all-optical switching based on resonance mode coupling in dielectric meta-atoms[J]. ArXiv:1412.3338, 2014.

---

机乃至医疗设备等在内的几乎所有领域，带来更为便宜、更为轻巧的相机<sup>[6-7]</sup>。

## (2) 超材料全光开关

清华大学最近预测并通过实验观察到了介质基超材料中两束传播方向相互垂直和偏振方向均相互垂直的电磁波在介质基超材料中的耦合现象及其对传播特性的影响。研究表明，在双光束作用下，原有的单光束诱导出的模态将被破坏，形成新的复杂模态，其谐振频率将发生改变，谐振点附近的超材料的透射光谱发生大幅度改变。并模拟计算出了介质超材料在两束电磁波照射下的投射参数并总结规律，通过设计不同的参数得到了垂直方向上同一频率处的谐振模态，初步模拟设计出微波频段的全光开关，获得调制光束作用下介质透射光谱的改变。在实验方面，利用陶瓷超材料在微波频段透射参数谱测试验证了其光开关特性。在太赫兹频段的全光开关实验也取得了令人满意的结果。

## 3 技术成熟度

### (1) 超材料透镜

超材料透镜目前在原理上已趋成熟，其中在太赫兹成像等方面已经有了演示性的产品，在一些军工领域的应用已悄然进行。而光学频段的超材料透镜主要受限于微纳加工技术，尽管出现了一系列原理性

---

[6] Sun J, Shalaev M I, Litchinitser N M. Experimental demonstration of a non-resonant hyperlens in the visible spectral range[J]. *Nature Communications*, 2015,6:7201.

[7] Arbabi E, Arbabi A, Kamali S M, et al. MEMS-tunable dielectric metasurface lens[J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 812.

---

样机，但从制造成本上考虑，量大面广的产品应用还有待时日。随着微细加工技术的发展及其成本的进一步下降，一个辐射面很广的新型产业群可望出现。

## （2）超材料全光开关

超材料全光开关目前在原理上已趋于完善，在微波和太赫兹频段的演示性实验已经完成，器件的性能优化正在进行中。相关的器件可望在短期内在太赫兹光调控等领域获得实际应用。但在应用意义较大的可见光领域，还需要解决高介电常数材料的获得和纳米人工结构单元的制备等难题，需要大量的研究工作。

## 4 产业和社会影响分析

### （1）超材料透镜

超材料透镜可望在材料、生物医学、信息技术等领域获得应用。在材料显微研究方面，可望实现利用光学显微镜直接观察亚波长、甚至纳米尺度的材料显微结构；在生物领域，在常规显微镜中嵌入超透镜，既大幅度提高了显微镜分辨率，又实现了实时观测的目的，对生物医学发展大有帮助。此外，在安全检测和光学仪器等领域，超材料透镜都呈现出令人鼓舞的应用前景；在微纳加工领域，基于超材料的完美透镜可实现亚波长尺度的光刻，一旦实现将使微电子加工技术水平大幅度提高，从而进一步延续集成电路的摩尔定律，推动信息技术的不断发展。

### （2）超材料全光开关

超材料全光开关为全光信息技术提供关键器件，该器件涉及的过程无须改变材料本身的性质，而只改变超材料的谐振模态性质，因此

---

具有低的开关功率和高的响应速度。其开关功率在信号功率量级，开关时间在电磁波周期量级。粗略估计，这两个关键指标均优于非线性过程数个量级。这一新技术可望为解决全光开关的开关阈值和速度这两个重要问题提供一个突破口，为全光信息技术的实现打开大门，对信息技术的发展产生深远的影响。

## 5 研发障碍及难点

超材料是诸多领域颠覆性技术的源头。然而，超材料作为一大类全新的材料系统，其研发到产生颠覆性技术则需要解决一系列技术和非技术领域的障碍。

技术障碍和难点主要体现在以下几个方面。

(1) 具有应用价值的超材料的模拟设计技术：目前超材料的研究以原理性探索为主，模拟仿真技术基于简单模型和通用的模拟软件，而实际应用的器件设计需要考虑多种因素、多场耦合和海量计算，各种超材料的专用设计技术尚需进一步发展。

(2) 超材料制备技术：超材料制备需要精密的材料加工技术，特别是一些超材料（如太赫兹以上频率的电磁超材料）的制备需要微纳加工技术，这些技术的发展依赖于相关加工技术的进步。

(3) 具有应用价值的三维大尺寸超材料的工程可行性和服役性能：超材料由大量的人工结构单元构成，这种单元阵列的可工程化及其服役性能（如机械性能、热性能等）是其应用的难点。

非技术障碍主要体现在以下几个方面。

(1) 在一些已经形成技术系统的领域，超材料的应用可能遭遇技

---

术标准的制约；而在一些尚未形成技术系统的领域，亟待建立相应的技术标准体系。

(2) 作为一种全新的概念，超材料在学术界、工程界的认同程度尚有待于进一步提高。一方面，这一概念被滥用，一些不属于超材料的新材料被冠以“超材料”，造成认识上的混乱；另一方面，少数人望文生义，对超材料产生误解，认为超材料这一概念有炒作之嫌。这两方面的认识在一定程度上制约了社会对超材料重大技术价值的理解和认识。

## 6 发展所需的环境、条件与具体实施措施

### (1) 加强投入

加强对超材料及其工程化领域的研发投入：在提高对超材料研究的投入。

### (2) 通过政策引导推动相关产业

将超材料应用列入各领域国家产业计划中重点发展的领域，培育基于超材料的新型高新技术产业的形成和发展，促进超材料向信息、能源、国防军工、精密仪器等领域等渗透。

### (3) 重视超材料与常规材料和已有技术的融合

超材料与常规材料的融合既是发展新型功能材料、打破常规材料性能极限的重要途径，也是推进超材料走进已有技术领域的捷径，应重点发展基于超材料思想和常规功能的新型材料系统，推动这些超材料与已有技术的融合，形成颠覆性技术<sup>[8]</sup>。

---

[8] 周济. 广义超材料: 超材料与常规材料的融合[J]. 中国材料进展,2018, 37(7): 21-25.

---

#### (4) 重视超材料的科普工作

通过多种方式，使科技界、工业界以及公众对超材料的科学意义和应用价值有更全面的理解，增强全社会对这一新兴颠覆性技术的重视，提高企业和国防部门对超材料应用的积极性。

### 7 预计发展历程、发展阶段及最终产业化规模

#### (1) 2018~2025 年

产业形成期，电磁超材料在天线、隐身、电子元器件领域的应用形成规模，产业年复合增长率达 40% 以上，形成产值 500 亿美元的国际市场，带动包括通信、国防军工、交通运输、机器人等领域近千亿美元的产业集群。其中国内的产业化规模占到 30% 以上。

#### (2) 2025~2035 年

产业迅速增长期，电磁超材料、机械超材料、热学超材料、声学超材料等全面进入工程应用领域，产业复合增长率达到 50% 以上，形成 5000 亿美元的国际市场，带动多领域近万亿亿美元的产业集群。其中国内的产业规模占到 35% 以上。



# 仿生智能集群技术

机械运载领域的颠覆性技术战略研究课题组

仿生智能集群技术是基于仿生微型飞行器和智能集群技术的出现而发展的，航空飞行器主要向微型化和大型化方向发展。世界范围内对于大型航空飞行器的研究比较充分和透彻，对于微型飞行器的研究则比较缓慢，因此微型化将是飞行器设计的重要方向，蕴藏着出现颠覆性技术的巨大潜力。

## 1 技术说明

微型化是是飞行器设计的重要方向，单个微型飞行器具有感知能力不足、信息交互受限的缺陷，考虑到自然界多种生物存在的集群现象，协同集群技术将通过能力互补和行动协调实现集群的自主控制和自主编队飞行，将大大地提升微型飞行器的作战能力。

仿生飞行器的研制将会突破目前大型航空飞行器设计过程中固化的设计理念和技术限制，微小型飞行器将具备极佳的隐蔽性和在狭小空间的飞行能力，对于这类微型飞行器的研究正在开展，并取得了微小的进展，在突破厘米级/毫米级的过程中，面临着包括设计、能源、导航、微制造等多方面的技术瓶颈，具有极大的发展潜力。

## 2 研发状态及技术成熟度

微型飞行器的研究和发展是目前航空领域的热点课题之一，美国、澳大利亚、俄罗斯、印度、以色列等国已成立专门研究机构，并投入

---

专项研究经费，正在研制和开发各种性能独特的微型飞行器，部分已进入实用化研究阶段。目前，微型固定翼飞行器由于更接近常规飞机，空气动力学理论比较成熟，研制难度相对较小，研究成果也较多，比较出名的有美国航空环境公司（AeroVironment）的黑寡妇（Black Widow）系列，包括黑寡妇（Black Widow）、黄蜂（Wasp）、大黄蜂（Hornet）；美国洛克希德公司的微星（Micro Star）；MLB 公司研制的“Trochoid” MAV。微型扑翼飞行器是一种模仿鸟类或昆虫飞行的新型飞行器。较典型的微型扑翼飞行器是加州技术学院研制的 MicroBat，荷兰 delft 大学的 Delfly Micro，哈佛大学的 Robobee 和美国 AeroVironment 公司的 Nano Hummingbird。其他新型微型飞行器如扑旋翼飞行器等也逐渐地开始进行研究。在飞行平台上呈现出从实验室走向工程应用的状态。

由于微型飞行器载荷有限，需要采用集群方式完成任务。目前无人集群技术主要通过视觉导航和航迹规划来完成。美国、欧洲、日本和澳大利亚等国家和地区均开展了视觉导航研究，用双目视觉、模板匹配、特征跟踪、人工图标识别等方式完成目标识别与跟踪、相对位置估计、地形重建等任务。这些技术在无人机领域得到了广泛的使用和开展，但与微型飞行器的结合发展还需要进一步探索。

### 3 产业和社会影响分析

微型仿生智能飞行平台能够有效减小飞行器尺寸，具有更好的飞行性能和隐蔽性，可用于单兵携带、车辆搭载、机器人协同等任务，因此发展微型仿生智能飞行平台研究具有重要的军事意义。

在微型化的发展过程中，微型无人机的能力将会远远不及大型航

---

空飞行器，其个体感知能力、信息交互能力均将大大减弱，因此，单独的微型无人机将无法适应现代化战争和使用的需求，协同集群技术的发展将会逐渐改变这一现象，能够克服单个微型飞行器能力不足的缺陷，其对于单一飞行器的作战模式而言，将是全新并且颠覆性的，将使作战模式产生重大变革。

#### 4 我国实际发展状况与趋势

目前中国的无人机集群作战技术正处于快速发展阶段，随着战场环境的日益恶化，随着无人机自主能力的不断提高，无人机集群作战必将成为解放军未来无人机系统应用的重要作战样式。

2016年，中国电子科技集团在珠海航展披露了67架固定翼无人机集群试验记录；2017年，该集团再次完成了119架固定翼无人机集群飞行试验，标志着我国智能无人机集群领域的又一突破，奠定了我国在该领域的领先地位。智能无人机集群再一次成为“改变游戏规则”的颠覆性力量，以集群替代机动、数量提升能力、成本创造优势的方式，重新定义未来力量运用的形态。

#### 5 研发障碍及难点

微型仿生飞行器的发展面临着包括设计、能源、导航、微制造等多方面的技术瓶颈。仿生智能集群技术需要探索新的低雷诺数下的飞行原理，需要研究微型飞行的控制、设计、能源等领域的前沿技术。

#### 6 技术发展所需的环境、条件与具体实施措施

(1) 突破无人机平台微型化发展难题，研究小尺寸低雷诺数下的飞行器气动机理和高升力机制，实现低成本的无人机平台设计与制

---

造，加大对于微小型飞行平台研制的支持力度。

(2) 突破微小型无人机智能驱动/结构一体化设计技术，加大对于高精度的增材制造技术的研究，开展微型/超微型部件的快速加工与制造，推动微小型无人机制造的快速发展。

(3) 突破微小型飞行器导航/通信/控制的集成设计，研究低雷诺数下微小型飞行器的导航/通信/控制方式，进一步进行功能部件的集成设计，为智能集群技术奠定基础。

(4) 突破超微型轻质高效能源发展技术，开展太阳能等环境能量的收集以及基于集群无人机的快速能源补充系统研究，开展综合的能量管理技术研究，实现综合能量的最优管理研究，不断提高飞行时间，增大航程。

(5) 突破无人机集群的航迹规划、任务分配技术，实现智能集群。开展以蜂群技术为基础的协同作战模式研究，不断提高集群作战能力。

## 7 技术发展历程、阶段及产业化规模的预测

微小型无人机是目前航空飞行器发展的一大方向，世界多国均开展了微小型无人机的发展研究，并逐渐从实验室走向工程制造，不断研究微小型飞行器的导航、通讯控制技术，将大大提高单个微小型飞行器的能力。同时研究无人机之间的协同作战技术，提高个体之间的相互联系，进行最优任务分配与航迹规划，开展不同任务下的协同方案研究将颠覆目前的作战形式，带来全新的变革。纵观目前技术的发展现状，预测发展历程如下。

---

2020 年左右：智能集群技术取得新的突破，能够应用在大型无人机上，实现多个无人机的协同配合和任务完成。

2025 年左右：微小型飞行器平台设计制造、通讯/导航/飞控一体化设计与集成技术、高精度增材制造技术取得重大突破，实现微小型飞行器的低成本快速制造，微小型飞行器从实验室走向工程实践。

2030 年左右：智能集群技术与微小型飞行器平台相结合，能够实现微小型飞行器集群的最优任务分配，实现任务完成，能够应用于工程实践。

## 栏 目 说 明

前沿动态栏目主要报道国外政府、智库、高校及公司等颠覆性技术方面的规划及最新进展；观察思考栏目重点刊登颠覆性技术战略研究各课题组阶段成果和认识；观点荟萃栏目主要刊登与颠覆性技术有关的观点和看法，特别是期望刊登多种不同观点的争鸣，重在引发讨论。观察思考和观点荟萃栏目内容要求为原创作品。

如需引用本刊文章，请与作者联系并注明出处。

## 《颠覆性技术快报》编辑委员会成员

主 编：杜祥琬

副 主 编：孙昌璞 张 科

委 员：(排名不分先后)

金东寒	张 军	尤 政	吕跃广	王一德	曹湘洪
殷瑞钰	屠海令	欧阳晓平	何华武	王 浩	肖绪文
贺克斌	岳国君	康绍忠	曹雪涛	林东昕	孙永福
王礼恒	陈伟芳	赵武文	苗红波	张建敏	王林军
刘 阳	孙蓟泉	郭红霞	冯仲伟	赵 明	田见晖
杨俊涛	王崑声	傅立斌			

执行主编：张建敏

编 辑 组：冯晓辉 刘媛筠 刘安蓉 曹晓阳 傅 英 李冬梅  
梅哲卿

---

主办单位：中国工程科技创新战略研究院

(官方网站：<http://www.caeis.cn>)

协办单位：中国工程物理研究院科技信息中心

编辑出版：中国工程物理研究院科技信息中心

通信地址：四川省绵阳市 919-805 信箱（621900）

联 系 人：15378230357(李莉) 0816-2485753(编辑室)

010-59300320(张宇)

电子邮件：[caeis@caep.cn](mailto:caeis@caep.cn)



微信公众号

---