

胡艳萍

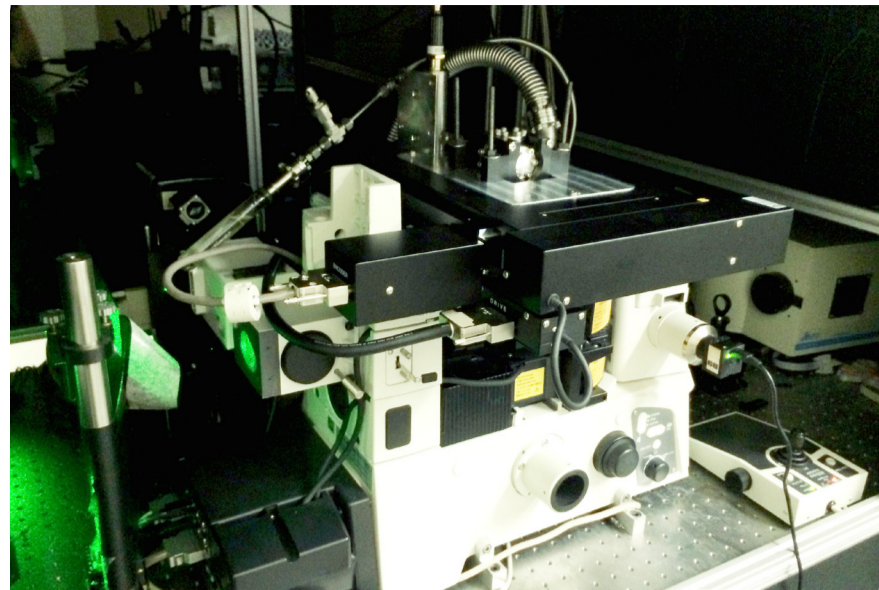
材料进步是技术进步的重要贡献者，但长期以来以人为主的试错研发模式，导致材料研发周期长、费用高。美空军研究实验室正将人工智能技术和机器人、大数据以及高通量计算、原位表征技术相结合，研制材料自主研究系统（ARES）。ARES比现有研究方法能快几个数量级地设计、执行和分析迭代材料试验，大幅缩短材料开发时间。目前ARES已成功用于单壁碳纳米管的合成研究，未来有可能对复杂材料开发带来颠覆性影响。

研发周期长是新材料研发面临的最主要问题

新材料研发对提高国家经济竞争力、促进国家繁荣和保障国家安全有重要意义。但是，目前以人为主的试错研发模式导致材料研发周期长，已成为新材料发展面临的最主要问题。

1. 传统的新材料研发模式耗时长
新材料从发现到走出实验室再到工程化实际应用，特别是用于航空装备等使用要求较高的产品，至少需要20~30年时间。以树脂基复合材料为例，该材料早在20世纪60年代就被初步开发出来，但直到2000年之后才在波音787的机身主承力部件上大面积应用。在军用装备上应用的材料都是20年前的“老”材料，造成了材料发展跟不上装备发展需求的困境。

新材料研发耗时耗力有四个方面的原因：一是研究对象复杂。许多材料问题都很复杂且涉及宏观、微观多个尺寸维度，捕捉相关现象往往需要大量的试验和数据支撑。二是研究倚重于经验积累。新材料的开发是一个以人为中心的过程，每一个过程都需要利用个人的知识、耐心和理解能力进行设计、实施、分析和解释试验数据，然后做出决定。三是研究方法是基于试错原理的往复试验迭代法。由于对材料内在本质的认识不全，传统新材料开发采用基于经验的试错法，是一种在错误的尝试和多次往复试验中不断向正确目标迈进的方法，效率低。受限于人的精力和经验，一个典型研究团队利用传统试错方法一天只能做一到两个试验。四是材料从实验室走向工程应用需花更多的时间。材料在实验室仅能完成初步试制，就需10年左右时间，还需20年左右反复试验，才能精确确定工艺和操作参数，满足工程应用的批次性能稳定需求。



“自主研究系统”已在碳纳米管生长试验中，将材料研发速度提高了百倍以上。



材料研究者用“自主研究系统”人工智能规划工具检查实验数据

人工智能技术有望使新材料研发提速百倍

2. 材料计算和模拟可有效缩短开发时间，但仍无法替代试验验证
为解决新材料研发周期长的问题，美国科学技术委员会于2011年启动了“材料基因组计划”，拟充分利用数据库，开发先进试验和表征工具，建立一个以计算模拟和理论预测为先，试验验证随后的新材料研发模式，有效缩短材料研发周期，目标是将材料研发周期缩短至10~15年，目前仍未达到目标。



“自主研究系统”的发明人丸山勉治展示一种碳纳米管结构模型。

目前材料基因组计划已开发了大量的建模仿真工具和软件。但材料的计算和模拟并不能替代材料的试验验证，不能解决研究过程中的试验迭代问题，对材料研发周期缩短有限。

具有人工智能的自主材料试验系统将革新新材料研发过程

将人工智能应用到材料研发中，是解决目前材料研发周期过长的一种全新尝试。人工智能在材料研发中主要有两个重点方向：一是以美空军研究实验室为代表，利用人工智能开发自主材料试验机器；二是在美国国防部、自然科学基金和能源部、美国标准与技术研究院（NIST）等机构资助下，加州理工大学、西北大学、斯坦福大学等研究机构开发人工智能深度算法，开展新材料成分和配方设计。

1. 美空军研究实验室研制出首台可自主开展材料制备的机器

2013年，美空军研究实验室材料部高级研究人员丸山勉治（Benji Maruyama）受英国剑桥大学和阿波利斯特威斯大学开发的“Adam”和“Eve”科学研究机器系统的启发，利用人工智能与机器人、大数据、高通量计算、原位表征等技术结合，开始研发可自主开展材料制备试验的机器。2016年，成功研制出世界首套可自主进行材料试验的样机——“自主研究系统”（ARES）。该系统能在材料制备迭代试验过程中，自主学习并优化试

验设计，确定最佳制备参数，使材料制备试验效率提高百倍，大幅提高材料研发速度。

ARES主要由自动化反应器和智能控制软件组成。自动化反应器包括用于加热的532纳米激光光源、进行原位测试的光谱仪、完成材料生长的化学气相沉积室等设备。智能控制软件利用遗传算法和“随机森林”模型等人工智能算法，可根据已有数据和前次试验情况，自主确定本次试验的温度、压强、气体成分等材料参数，其可以操作显微镜、激光以及气流控制器，并控制光谱仪测试本次制备材料的性能。

“自主研究系统”已在碳纳米管生长试验中，将材料研发速度提高了百倍以上。该系统可以对石墨烯、碳纤维和碳纳米管进行试验，其优点远不止速度快，还可以分析前期试验中获取的数据，并利用这些数据来确定下一次最佳试验参数。

目前，ARES已在碳纳米管生长研究领域进行了试验。碳纳米管的生长过程影响因素较多，制备过程精细复杂、耗时费力。美空军研究实验室利用洛马公司的纳米材料数据库，通过“确定碳纳米管最佳生长参数试验”验证了ARES的能力。试验采用乙炔气体作碳源，在化学气相沉积室设置间距50微米、5×5排列的硅圆柱阵列作生长衬底，同时开展25组制备试验，在5天内完成了500余次试验，采用

计算机“大脑”确定了碳纳米管最佳生长参数。每一次实施新的试验，都获得新的知识积累，ARES使这些新知识成为未来试验设计的一部分。大量试验后，结果变得更加稳定，向预测的碳纳米管生长速度集中。ARES在一天内可完成100多个试验。相比ARES，人工开展相同制备试验，单人完成时间超过500天。后续，美空军研究实验室将在现有化学气相沉积基础上，进一步研发可开展电子束沉积、激光喷射沉积、蒸发沉积等材料生长试验的能力。

2. 具备人工智能的计算机“大脑”是自主试验机的核心

ARES综合了良好的硬件试验方法和人工智能算法，很大程度地改变了美空军研究实验室的材料研究方式，无需人的干预，能够设计、实施和评估试验数据，是材料研究过程的革命。但是，当前的ARES只能说具备了初步的自主性，距离真正的人工智能还有很大差距。

目前，美国正全力开发材料自主研发的相关算法。2017年美国国防部将材料自主试验系统纳入“行家”（Maven）项目，推动工业界、学术界和国家实验室合作，针对国防部的一些最棘手的挑战，开发和部署基于人工智能的算法。2018年开展“行家”项目首批算法的应用，ARES有望成为首批应用对象。此外，美国麻省理工大学、加州大学伯克利分校、西北大学等也

正在开展人工智能相关算法在材料成分设计、工艺参数选取、性能预测等方面研究。2017年11月，美国麻省理工大学开发出了一套机器学习系统，采用谷歌“word2vec”深度学习人工智能算法，可从大量论文中提取数据进行分析学习，针对特定材料需求，定制性给出材料配方方案。对比试验数据，该系统可以给出99%准确率的材料方案。2018年4月，美国西北大学成功利用人工智能算法从数据库中设计出了新的高强超轻金属玻璃材料，比传统试验方法快200倍。

几点启示

人工智能技术的进步为加速新材料研发带来了新的机遇。我们从中可以得到一些启示：

一是国外已证实人工智能技术对缩短材料研发周期的颠覆性影响。美国ARES机器已通过碳纳米管生长试验证实，具备人工智能的自主材料试验机器可优化选择并控制庞大而复杂的试验参数，形成闭环反馈，将材料研发的速度提高数百倍。可以说，人工智能是材料研发的一种突破性工具，也是未来材料技术的重点发展方向，将改变新材料的研发模式，革新材料研发效率。

二是人工智能技术对于我国发展新材料意义重大。经过几个五年规划的发展，我国材料技术整体上有了长足进步。我国已成为世界材料大国，特别是在新材料基础研究领域的经费投入和论文数量均已超过日本，仅次于美国，位列全球第二。但是，由于国内新材料成果转化率低，工程化程度不高，造成我国距世界军用材料强国还有较大差距。目前我国人工智能技术与国外先进水平并驾齐驱，利用人工智能发展新材料有很好的条件，有可能通过这一最新的技术快速解决我国材料制约装备发展的问题。

三是我国应在新材料研发中尽快部署人工智能技术。根据我国对新材料的迫切需求，以及人工智能技术已有的基础，我国在新材料研发中有必要、也有可能大力应用人工智能技术。应用人工智能研制新材料，需要重点解决：已有材料数据的集成共享，打牢人工智能技术应用的大数据基础；研究机器的材料深度学习算法，提高人工智能化程度；解决部分先进材料试验和表征仪器设备进口依赖问题，建设国内材料设备研发和供应能力，实现设备的自主保障。

DARPA “快速轻量自主”项目完成第二阶段试飞

袁成

7月18日，美国国防部国防预先研究计划局（DARPA）宣布：该局最近完成了“快速轻量自主”（FLA）项目的第二阶段飞行试验，验证了先进算法。该算法加持，小型空中和地面无人系统将成为士兵的队友，有能力自动执行一些危险的任务，例如，遂行巷战前的侦察或者地震后在受损的结构中搜寻幸存者。

第二阶段试验概况

DARPA在2015年启动FLA项目，聚焦发展先进自主算法，以便使大约5磅（约2.27千克）的轻质四旋翼无人机可以拥有高性能的智能软件。



在第二阶段试飞中，研发团队直接使用戴尔笔记本电脑运行谷歌地图，监控四旋翼无人机的飞行情况。

因为这种无人机只有有限的电池功率和机载计算处理能力。FLA的算法目前仅在无人机上验证，但是其表现出的能力也应该可以应用在小、轻质无人地面车上。

在2017年成功开展第一阶段飞行试验的基础上，研究人员对软件进

行了优化，并改造了商用传感器以达到更高的性能水平以便封装尺寸更小、重量更轻的四旋翼无人机。

在佐治亚州警卫中心（Guardian Centers）模拟城镇进行的飞行试验表明，无论在室外还是室内自主飞行场景下，项目都取得了重要进展：

——在多层建筑之间以更快的速度飞行，在通过窄街道的同时确认感兴趣的目标；

——通过窄窗飞进建筑物，俯冲至走廊，在屋内进行搜索并创建三维地图；

——确认楼梯并沿着其飞下，从敞开的门退出建筑物。

FLA的项目经理勒德（J.C. Ledé）表示：“FLA可靠的算法由杰出的大学和工业研究团队开发。在不远的未来，该算法可以把商用货架无人机或无人地面车转变成具有实战能力的系统。在向无人系统提供大致的运行方向、距离以及要搜索的目标信息，作战人员便无需输入额外的信息。配备了FLA算法的无人系统无需远程遥控、无需GPS导航、无需数据链、无需预先设置区域地图。机载的软件、轻量处理器和低成本传感器可以实时自主处理各种工作。”

FLA算法让具有实战能力的人机编队成为可能，其中小型无人机或无人地面车将扮演侦察兵的角色，自主搜索未知的环境，并把有用的侦察信息向后传给作战人员。由于不需要数据链，敌方利用辐射传播确定己方部队位置的机会便大幅降低，这进一步增加了美军的作战安全性，而这在“搜

索—营救”作战场景中至关重要，配备FLA算法的平台将在敌人前线后方以无线电静默方式搜索跳伞的飞行员或机组成员。

美国麻省理工学院联合团队成就

在第二阶段，来自美国麻省理工学院（MIT）和德雷珀实验室（Draper Laboratory）的工程师减少了机载传感器的数量，进一步降低了飞行器的重量以实现更高的飞行速度。

MIT / 德雷珀联合团队队长尼克·罗伊（Nick Roy）表示：“这是关于轻量自主的项目，因此我们正在努力让传感器尽可能的轻。在第一阶段，我们在机上安装了各种不同的传感器以便告知环境信息，而在第二阶段，我们正在加倍努力让一台摄像机承担更多的工作。”

研究团队的核心工作之一是让无人机在飞过城市时不仅创建地理上准确的地图，而且还要创建在语义上准确的地图。联合团队另一名队长琼·豪（Jon How）认为：“当无人机使用传感器在未知环境中快速探测并导航越过障碍物，它会不断产生地图，并回忆起任何已经去过的地方，因此它可以自主返回起始点。”

通过使用神经网络，机载计算机可以识别出公路、建筑物、车辆和其他目标，之后把它们在地图中进行创建，并提供可供点击的图像。作战人员在任务完成后可以从机载处理器上下载这些地图和图像。

另外，MIT / 德雷珀联合团队通

过在手持系统中安装“安卓战术攻击套件”（ATAK），也可以拥有实时获得无人机电数据的能力。ATAK目前已经在美军中使用，其能够使用可选的Wi-Fi连接无人机（可选之意为：作战人员可以随时打开或关闭Wi-Fi），无人机可以发送实时的目标图像。在飞行试验中，研究人员成功验证了无人机自主确认在模拟城镇中不同位置的不同车辆目标的能力。当打开“探测”模式后，无人机确认了车辆，并通过Wi-Fi发送高分辨率可供点击的图像来提供位置信息。该图像回传后可以覆盖手持设备上的ATAK地理数字地图。

宾州大学团队成就

来自宾夕法尼亚大学（宾州大学）的研究团队在项目第二阶段降低了他们无人机的尺寸和重量，以便在局促、混乱的室内空间实现自主飞行。因为在第一阶段，他们设计的传感器和计算机对于小型无人机来说太重了。

宾州大学团队队长卡米洛·泰勒（Camillo J. Taylor）表示：“我们设计了一种全新的综合单片机，可以容纳所有的传感器和计算平台。在项目第二阶段，我们无人机的尺寸只有之前的一半，同时重量也降低了一半多。我们可以使用能耗非常低的商用处理器承担全部的计算工作。”

试验中，宾州大学的无人机从户外起飞，并从二层楼的仅开了数英寸宽的窗口中飞入建筑，俯冲至走廊，寻找开放的空间，发现楼梯并下降到一层地板，之后从敞开的门飞出建筑



装有美国麻省理工学院 / 德雷珀实验室公司自主导航软硬件的四旋翼无人机。

物。该无人机的关键特征是：有能力在未知的室内空间创建详细的三维地图，避免碰撞和有能力沿着楼梯向下飞。

泰勒说：“这是非常重要的室内环境。因为飞行器不能仅仅思考环境的片段，还要思考上面有什么，下面有什么，需要围绕桌子或椅子飞行。因此我们不得不构建完整的三维视图。”

未来发展和转化情况

据泰勒介绍，项目下一步是在更小的平台上配置更多的计算能力，以便让部队或救援队使用可以放在掌心的更加小巧的无人机。另外，FLA项目发展的算法即将转化至美陆军研究实验室（ARL）进行进一步的军事应用开发。



正在进行第二阶段试飞的四旋翼无人机。



在第二阶段试飞中，四旋翼无人机在各种受限飞行环境下自主飞行，右侧为试飞机上的摄像机拍摄的航迹画面。