

# 让纳米级“变形金刚”灵动起来

■本报见习记者 程唯珈

谈起变形金刚大家可能并不陌生，但是纳米级的变形金刚你见过吗？

比起体积庞大的刚性机器人，由软材料或具有柔性结构的材料构建的微型机器人似乎能够更安全地与人类互动。不过想要让它们随心所欲地“变身”，科学家费尽了脑筋。

近日，瑞士联邦理工学院、保罗谢尔研究所研究员崔继斋、博士黄天云所在团队通过对单个区域的纳米磁体进行设计，将形状变化指令通过编程的方式输入微型机器人。对纳米磁体施加特殊的磁场序列后，实现微型机器人的形状变化。相关成果发表于《自然》。

## 搭建磁控系统

如何让机器人跟着你“左手右手一个慢动作”？老祖宗早就告诉了我们答案。中国古代典籍《鬼谷子》与《韩非子》中曾提出，磁石是与地球磁场相一致的矿物质，并将其应用于早期的罗盘。只要磁场发生改变，罗盘的指针就会发生转动。

假如我们把罗盘的指针想象成机器人的四肢，便可一目了然。

过去几年里，软体机器人就采用了类似的原理实现了运动。不过，因为几何结构和驱动控制的限制，只能产生一种形变。想要让它真正大展“身手”，还需要通过精确计算外部磁场作用于磁体上的力和力矩建立模型，并定量描述来设计机器人的运动。

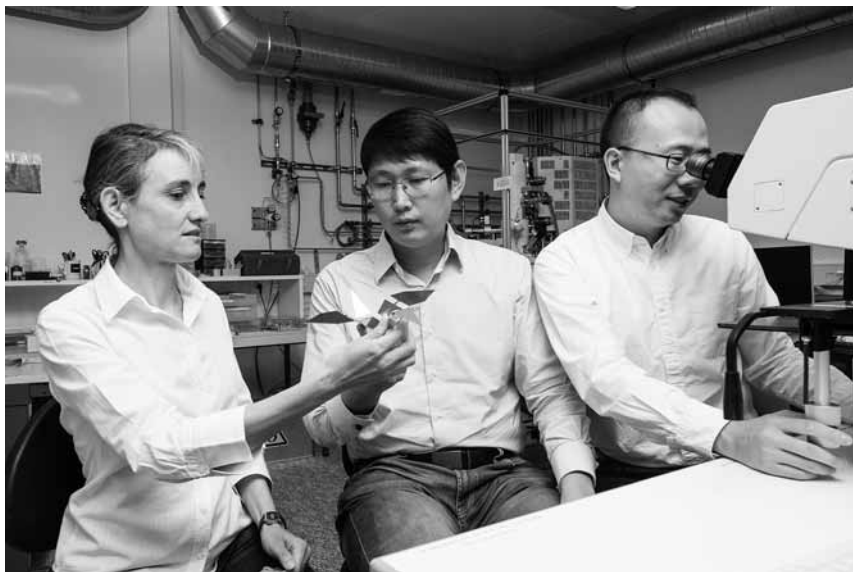
论文通讯作者崔继斋告诉《中国科学报》，“想让机器人灵活运动，你需要反复改变磁场条件，普通磁铁是做不到的。不过，使用我们搭建的磁性控制系统，通过线圈改变信号就便得多。”

此外，机器人的形状大小设计也至关重要，这直接决定了它的未来应用。“磁性软体机器人的进一步小型化可能带来新的应用，如在最小的血管中进行操作甚至操纵单个细胞，如定向药物输送、生物活检以及心脏支架安置等。”崔继斋说，“这不是黑科技，而是能够广泛应用。”

“我们研制的机器人最小只有几微米大小，是真正的微纳级机器人。”他说。

## 让机器人“大展身手”

那么，有没有什么方法可以让微纳机器人自由变换形态？为此，团队提



Laura Heyderman (左) 和黄天云 (中) 看着一只折纸鸟的模型，崔继斋 (右) 则在显微镜下观察真正的微型机器人。图片来源：保罗谢尔研究所

“过去几年里，软体机器人采用了类似的原理实现运动。不过，因为几何结构和驱动控制的限制，只能产生一种形变。想要让它真正大展‘身手’，还需要通过精确计算外部磁场作用于磁体上的力和力矩建立模型，并定量描述来设计机器人的运动。”

出了一种新的策略，即在微纳机器人上制备了单磁畴的纳米磁体，从而使得变形信息可以被重复编码到微纳机器人中。

瑞士联邦理工学院教授 Laura Heyderman 告诉《中国科学报》，实验人员使用了高精度电子束曝光的方法来加工纳米磁体和机器人的结构。“机器人的结构由纳米尺度的弹簧和刚体面板组成。我们向机器人施加了一系列不同大小和方向的磁场，对机器人进行变形信息的编码。”

“机器人的加工非常困难。我们花费了三年的时间，才开发出理想的纳米加工流程。”她说。

首先，团队在柔性氮化硅(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)薄片基板上制备纳米级磁体阵列，即在

纳米薄膜上“生长”磁体。“因为需要很高的热量，不可避免就会出现热胀冷缩。但是纳米薄膜非常敏感，温度一高就起褶皱发生形变，所以这需要很高的工艺。”

论文通讯作者黄天云给《中国科学报》打了一个形象的比喻，“我们在纳米薄膜上去‘生长’磁体。小磁体有磁性，需要和外部磁场一致。通过设计磁体方向让一部分磁体向左、一部分向右。这样，如果加个向上磁场，小磁体就会带着基板向上竖立起来。施之相反的磁场方向，基板就会向下。由此产生折叠变形的效果。”

由于磁滞作用，在没有外加磁场的情况下，这种钴纳米磁性材料仍能保持磁性。这和纳米磁体的形状息息相关。

通常来说，细长的纳米磁体更难磁化。通过施加一系列不同大小和方向的磁场，可以编辑基板上不同形状的纳米磁体的磁化方向。

由此产生的薄片组合经过“编程”可以在驱动磁场中形变得得到特定的结构。这些结构可以进一步组装成复杂的形状，比如字母，甚至可以用显微镜来观察组装得到的“鸟”的转身、振翅和滑翔等。

最后，研究人员在液体中释放机器人，测试变形能力，均取得满意效果。

## “进得去”还要“出得来”

近年来，科研领域涌现了许多不同的磁性微纳机器人，可以通过将微米磁性颗粒(5微米)，或者超顺磁纳米磁体(10~20纳米)嵌入到微纳机器人中，或者给微纳机器人镀上磁性薄膜等制成。

尽管研制手段不同，但是各有其用途。“嵌有微米磁性颗粒的机器人普遍为毫米大小。此尺寸虽然不适用于血管中的操作与应用，但是对于人眼和肠胃中的操作却很理想。嵌有超顺磁纳米磁体和镀有磁性薄膜的微纳机器人可以做到小于微米尺度的尺寸。这种机器人可以用作定向药物运输的媒介。”崔继斋说。

不同于光和热，磁场可以安全地穿透生物组织。这也是磁控机器人的一大优势。

这一特性使得磁场控制非常适合生物医学应用。黄天云介绍，团队研发的纳米磁控微型软体机器人未来有望放在眼球里治疗白内障，还可治疗脑血管狭窄等病。“不用开颅，通过进入血管系统，在局部的靶点即可起到疏通血管的治疗效果。”

不过，想要真正实现应用，微纳机器人不仅“进得去”还要“出得来”。如何从生物体中回收微纳机器人是个不小的挑战。目前，科研人员正在加工可以生物降解的微纳机器人。

黄天云表示，纳米磁控微型软体机器人还可被广泛应用于生物医学以外的领域，如未来的智能微系统、三维磁性超材料、光学超材料以及柔性电子器件等。所有这些都为这一新型领域奠定基础。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1713-2>

# 直径5英寸CVD金刚石窗口制备技术跻身国际行列

■本报记者 高长安

开发微波 CVD 金刚石沉积技术，验证了多种谐振腔的高功率 2.45GHz 微波 CVD 金刚石设备，建成了国内首台 915MHz、75KW 微波 CVD 金刚石窗口已经进入了中试阶段，直径 5 英寸的多晶 CVD 金刚石窗口也已经制备出了样品。以 2.45GHz 设备为基础，项目组还进行了同性质单晶 CVD 金刚石的研究，主要应用于探测器、电子器件和珠宝等领域，目前已经取得了可喜的进展。

“CVD 金刚石在先进科研、航空航天、大科学装置等领域有广泛的应用，甚至是唯一的选择，例如研究核聚变的托卡马克装置上，大功率微波的馈入窗口只能选择多晶 CVD 金刚石。”孙振路表示，河北省激光研究所研究团队和上海及北京同步辐射光源进行了多项合作，已经成功研制了 CVD 金刚石荧光靶探测器、刀片探测器，正在进行 X 射线位置探测器、X 射线窗口、红外窗口的研发；金刚石已经成功在卫星扩热板、遥感卫星窗口、相控阵雷达收发模块上成功应用。

孙振路介绍，项目组研发的 915MHz 微波 CVD 金刚石设备及 5 英寸 CVD 金刚石制备技术目前在国内外尚未见报道，具有较大的技术优势。

据悉，在多年研发的基础上，河北省激光研究所项目组在石家庄市平山县建立占地 30 亩的产业化基地，基础设施条件完善，一期工程共有直流电弧等离子体喷射 CVD 金刚石设备 60 多台，产业化规模行业领先。目前 4000 平方米的二期工程正在建设中，将为科研成果的转化提供更好的条件。

## 纵览

### 华米科技确立公司新使命：“科技连接健康”

本报讯 12月3日，华米科技在京举行2019年度战略媒体沟通会，宣布已与北京大学第一医院心血管内科签署战略合作备忘录，共同在中国推动心脏健康管理计划；随后宣布将和一家来自美国的数字医疗创业企业“AliveCor”达成合作，一起拓展欧美国家的医疗级心电图服务市场。

上述两项合作，是华米科技在发布了“科技连接健康”的公司使命之后公布的。此前华米科技给人最大的印象是“智能手表制造商”——目前华米智能手表在售型号 15 个、SKU(即库存量单位，一款商品可以有多个SKU，如颜色不同等)达 39 个。此次媒体沟通会上，华米科技创始人、董事长兼 CEO 黄汪表示，华米科技的未来愿景是致力于构筑全球健康生态。

黄汪介绍说，华米科技从小米手环 2 引入了心率监测功能；此后，Amazfit 米动健康手环引入心电图分析

功能；华米科技还专门研发可穿戴 AI 芯片“黄山 1 号”，匹配华米智能手表对健康数据的需求。黄汪透露，已完成整体设计，将于 2020 年量产的“黄山 2 号”芯片也将应用在更多的智能手表上，支持更多的智能、健康功能。

“可穿戴设备在全生命周期健康和疾病管理中可以发挥重要作用。”会上，北京大学第一医院内科主任、心脏病研究所所长李建平表示，未来双方将就“可穿戴设备在心律失常患者中诊断准确性的验证”“基于可穿戴设备数据的人群心血管风险评估与预警”“建立依托可穿戴设备的线上线下一体化疾病预防—筛查—诊疗流程”等方面共同开展研究。

华米另一合作机构 AliveCor 成立于 2011 年，主要为心脏功能欠佳的用户提供产品和服务。该公司曾推出 KardiaPro 的平台，主要面向医生协助监测有可能中风或患上其他心脏疾病的人群的心电图。(赵广立)

### 全球首例 120 万吨氢冶金示范工程开建在即

本报讯 近日，河钢集团与意大利特诺恩集团(tenova)签署谅解备忘录，商定双方在氢冶金技术方面开展深度合作，利用世界领先的制氢和氢还原技术，联手中冶京诚共同研发、建设全球首例 120 万吨规模的氢冶金示范工程。

河钢集团副总经理、首席技术官王新东与特诺恩首席执行官马吉奥林诺·斯特凡诺分别代表双方签字。据介绍，项目将从分布式绿色能源、低成本制氢、焦炉煤气净化、气体自重整、氢冶金、成品热送、二氧化碳脱出等全流程进行创新研发，探索出一条世界钢铁工业发展低碳甚至“零碳”经济的最佳途径，从改变能源消耗结构入手，彻底解决钢铁冶金过程中产生的环境污染和碳排放问题。

### 装配式建筑创新产业联盟在京成立

本报 11 月 29 日，中国技术创业协会装配式建筑创新产业联盟在京成立。新成立的联盟由科技服务机构、高新科技企业、科创产业园区、科技服务专家等组成，是一个行业性、全国性的非营利组织。在当天举行的成立大会暨第一届第一次会员代表

大会上，通过了联盟章程并选举产生了理事会。

该联盟将打造国内外装配式建筑科技创新成果整合平台，致力于装配式建筑新产品技术推广、组建总承包联合体实施工程项目、承担国家重大装配式建筑科研任务。(肖洁)

## 智造论坛

# 航天发展面临的控制问题与挑战

■包为民

伴随新一代全球通信卫星与空间互联网星座、月球探测等为代表的大规模空间设施建设及航天产业的快速发展，我们已经迈向太空经济时代。相关产业规模快速增长，将成为社会经济发展的新动能、新趋势和新模式。

航天产业已经拓展到空间资源开发、能源利用、在轨制造、医药卫生、太空旅游等领域，其发展呈现出航班化、商业化、产业化、规模化等新特点。利用太空和开发太空可以完成许多在地面做不到的事情，破解许多在地面解决不了的难题，将使突破空间的限制，突破地球资源的限制，开拓出新的家园和经济疆域。

## 未来航天发展趋势

人们对交通运输的速度和活动范围提出了更高要求。例如人们对太空旅游关注度日益增长，“一小时全球达”已提上议事日程，高可靠、低成本进出空间的运输工具是实现以上需求的重要技术基础。

未来，的活动空间将从地球到月球，再到火星和太空，我们的视野将转向地月空间，地月空间将成为航天任务主要目的地和前哨基地。航班化运输系统将是重要工具，为人类走向深空、探知未知世界、认知宇宙、拓展人类文明提供更多可能。

深空探测业已成为各国竞速热点，很多新兴航天国家不断加入到深空探测行列当中，其目标锁定月球、小行星和火星等三类天体，各类计划正在稳步实施。中国在深空探测重大专项方面规划了火星、小行星和木星探测，尤其是无人月球探测四期规划，2030 年前将安排四次探测任务，三期任务是在明年进行月球无人采样。

未来航天技术将聚焦四大能力，打造新兴产业，培育新动能，迎接太空经济。这

四大能力是进出空间能力、探索空间能力、利用空间能力和开发空间能力。

进出空间能力将发展出低成本、高可靠进出空间的航天运输系统。航天运输由三个系统组成，分别是一小时全球抵达运输+天地往返运输+空间转移运输，具有高可靠、低成本特性，能满足我国未来较长时间空间探测任务需求，支撑航天任务和产业的发展。

探索空间能力将助力“觅音”计划。我们正在寻找另外的适宜人类居住的星球，通过这些探索来研究地球和生命起源。我们设想在日地 L2 点，也就是 150 万公里日引力平衡点的位置做一个干涉望远镜阵列，达到提高等效口径、分辨率的目的，搜寻近邻恒星的宜居带行星，确定行星轨道半径以及温度范围，实现寻找另一个地球的梦想。

## 对航天控制的新需求与挑战

自由进出空间、探索浩瀚宇宙仍然需要解决诸多基础问题，如可靠性及成本问题、材料的极端服役与重复使用疲劳问题、动力与能源问题、高超声速气动/热问题、多学科耦合与优化问题等，这些对航天控制也提出了高可靠、高品质、高精度、低成本、易维护等新需求。

对航天控制高可靠的需求要关注人类乘员与高价值载荷的安全、天地运输航班应急备份、不依赖地面指挥通信的自主飞行等。对航天控制高品质的需求主要包括乘客的乘坐体验、驾驶员的操纵品质、适应复杂的热/过载/时间等约束，以及空间服务站、空间机器人的高效运行等。对航天控制高精度的需求有飞行器精确交会、对接与抓捕等。对航天控制低成本的需求有商业可运行、大众可支付等。对航天控制易维护的需求有航班化班次密集、运行间隔时间短，适应全球各地的发射/着陆场，地勤操作简单快捷等。



包为民 韩天琪摄影

航天控制未来也面临着各种挑战，实现高可靠性方面，挑战在于可靠的飞行控制架构与软件、飞行控制的故障诊断隔离与恢复技术、快速的自主轨道规划与任务规划。实现高品质方面，跨域多模态的高品质飞行控制将是未来挑战。高精度方面的挑战在于强适应高精度制导与姿态控制。实现易维护的挑战集中在快测试、易维护的电气系统上。实现低成本，挑战在于多次重复使用的制导与控制、集成化标准化系统架构。

## 控制学科发展的思考

1948 年，“控制论之父”诺伯特·维纳发表《控制论》，将控制论看作是一门研究机器、生命、社会中控制和通信一般规律的科学。通俗地说，控制论是研究动态系统在变化环境下如何保持平衡状态与稳定状态的科学。1954 年，钱学森发表《工程控制论》，用系统工程的视角，把控制理论与工程实践紧密结合起来，开创了一门新的技术科学，真正架起了控制理论和工程的桥梁。

现在航天控制技术还面临很多基础科学问题，包括极端条件带来的非

线性与不确定性问题、陌生环境带来的知识归纳与自主适应问题、人机融合/智能控制带来的可信与安全性问题、不确定性带来的模型描述与有效调控问题等。

控制的基础是用数学工具处理信息，信息的传递都是为了更好地实现控制意图，而任何控制又都依赖于对控制目标信息反馈来实现，信息挖掘变得非常重要。控制理论和方法主要面临的问题是应对各种非线性、不确定性和多元干扰，而对信息的智能处理将成为解决非线性、消除不确定性、抑制多元干扰的有效方法。信息和控制的深度融合可能是解决未来发展中基础问题的重要方法。

世界航天已进入大规模进出空间和地月空间经济的新时代，航班化航天运输是实现低成本、大规模进出空间的重要手段和支撑，重复使用航天运载系统是大幅降低航天运输成本的重要途径，未来的航天器也必将是可学习、可训练的智能航天器。

(作者系中国科学院院士，本报记者韩天琪采访整理自 2019 中国自动化大会)