



微纳加工让液滴“乖乖听话”

■本报记者 张双虎

在前沿研究和精密制造领域，微液滴应用广泛。国家纳米科学中心研究员高玉瑞团队与香港城市大学讲席教授曾晓成和美国宾夕法尼亚大学讲席教授 Joseph S. Francisco 等合作，在前期理论研究的基础上，通过光刻技术和后期处理，制备出一类具有同心闭环微壁/微通道的结构表面，实现了对微液滴的精准调控。

这一研究拓展了人们对微尺度下液滴和材料接触面关系的认识，对探索可控微液滴在微流体、化学反应和生物传感等领域的应用具有重要意义，同时为材料制造和绿色合成提供了技术方案。相关研究近日在线发表于美国《国家科学院院刊》。

微液滴操控难题

“微液滴在化学、材料科学、生物化学和工业制造等领域发挥着重要作用。”论文通讯作者高玉瑞告诉《中国科学报》，“尤其是微反应器和生物传感器等领域，更离不开微液滴精准调控。”

在著名的“密立根油滴实验”中，美国物理学家密立根将带电的细小油滴悬浮在空气中，并利用电场改变油滴的运动状态，从而通过测量油滴所带的电荷和沉降速度，间接算出电子的基本电荷量并揭示了电子的离散性质。

“微液滴化学”是当前研究热点。以美国国家科学院院士、斯坦福大学教授 Richard N. Zare 和美国国家科学院院士、普渡大学教授 R. Graham Cooks 为代表的科学家发现，很多原本在液相中难以进行的化学反应，在微米级小液滴中可以自发发生，甚至可以被加速到原本的 100 万倍。而且液滴的尺寸越小，这些现象越明显。

“微液滴有望成为一种低能耗、绿色环保的化学反应器。”高玉瑞补充说，“特别是在新兴的微液滴化学领域，化学反应能否顺利可控进行，很大程度上取决于能否‘制造’出均匀、

可控的液滴。”

实际应用中，控制微液滴的大小、形状以及接触角，即液滴边界和材料接触的角度，对化学反应以及加工过程影响很大。但液体没有固定“形状”，因此产生液滴不难，难的是实现对液滴的精准控制，甚至批量“制造”出大小均匀、形状相同的液滴。

微尺度下吉布斯方程不适用

在前期研究中，联合团队通过理论预测，认为微结构的闭环拓扑属性会诱导微液滴在本征完全浸润的材料上表现出多个具有较大接触角的 Wenzel 态，并将其命名为“拓扑浸润态”。采用这种同心闭环拓扑微结构，研究人员实现了对微液滴形状、尺寸和本征接触角的调控。

物理学界用吉布斯方程来预测液滴达到表面边界上接触角的上限。宏观条件下，液滴的本征接触角符合该方程，甚至连本征超亲水的材料表面也不例外。

实验中，研究人员发现，在超亲水闭环微结构表面上，本征接触角为 0 度时，无论闭环结构的形状如何，水滴在边界的最大接触角均远大于吉布斯方程预测的数值，水滴的接触角甚至可以比吉布斯方程预测值大 40 度以上。

“这意味着，预测宏观条件下液滴和材料接触角的经典吉布斯方程在微观领域尤其是拓扑浸润现象中可能不再适用。”高玉瑞说。

“对微结构表面加工和处理时正逢新冠疫情，我们为精确控制闭环结构的边界角(90 度)、产生可控的超亲水表面摸索了很久。”论文第一作者、宁波大学特聘研究员林冬冬说。

最终，研究人员利用光刻微加工技术，设计出微米级的多种闭环微结构，验证了前期理论模拟提出的“拓扑浸润态”。研究团队发现，微结构表面液滴的尺寸可以通过同心闭环微壁的位置调

控；液滴与表面接触形状可以通过设计闭环结构的形状调控；接触角可以通过控制液滴增加量或结合蒸发效应在大范围内进行调控，甚至在本征完全浸润情况下，也可以从 0 度调到 130 度。

审稿人意见让研究更深入

“值得一提的是，前期的审稿人给我们提了许多宝贵的意见和建议，特别提醒了我们关于边界最大接触角的反常问题。为确定这一问题，我们对各类实验测试进行反复验证。”林冬冬说，在确认存在这一现象后，研究人员结合分子动力学模拟，揭示了实验和吉布斯方程预测的偏差来源于液滴和表面相互作用，以及表面边界原子结构的综合影响。具体的理论机制还需深入探讨。

“在不断改稿、补充实验的过程中，一方面，我们的研究不断深入，为微尺度下吉布斯方程的修正带来了新的启发；另一方面，我们为之前的理论发现找到了应用方向。”高玉瑞说，“获得能精确控制的液滴，有望为研究人员提供一种精准液滴测量平台。同时我们的研究成果对探索可控微液滴在微流体、化学反应和生物传感等领域的应用具有指导意义，为材料制造和绿色合成提供了新方案。”

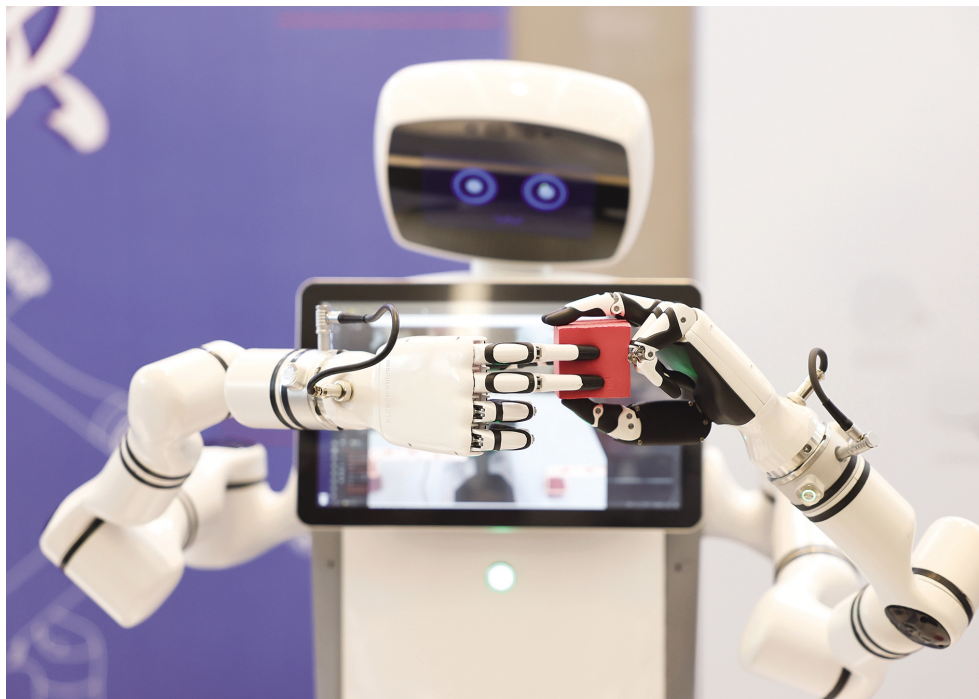
此外，该研究的另一个亮点是：除水之外，他们在实验中发现异丙烷、乙醇、癸烷和辛烷等液滴也表现出相似的“拓扑浸润”现象。

“这意味着，我们对这些液体都可以进行控制。而且能‘制造’出多种大小均一的不规则形状。”高玉瑞说。

论文审稿人认为：“这是一项很有潜力的工作，通过选择微液滴表面和其他条件，调节微液滴的大小、形状和表现接触角的重要性和新颖性会受到读者的认可和关注。”

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1073/pnas.2315730121>



4 月 9 日，首届中国人形机器人产业大会暨具身智能峰会在北京开幕。人形机器人产业链上下游的上百家企业齐聚北京，展示前沿技术和产品，交流行业动态与新趋势。

会上发布的《人形机器人产业研究报告》预测，2024 年中国人形机器人市场规模约为 27.6 亿元，2029 年将达到 750 亿元，占世界总量的 32.7%，比例位居世界第一，2035 年有望达到 3000 亿元。

图为企业展示的机械手产品。

图片来源：视觉中国

中国工程院院士潘垣：

矢志造“太阳”的“90 后”

■本报记者 李思辉 通讯员 沈科

如果要问世界上最难的科学研究是什么，不同的科学家可能会给出不同的答案。近日，《中国科学报》记者带着这个问题来到华中科技大学，采访了该院院士、该校教授潘垣。他的回答是磁约束核聚变，也就是“人造太阳”。对于如何上这一“科幻”内容照进现实，他探索了很多年。

追逐“人造太阳”

潘垣今年已经 90 岁了。他告诉记者，在自己的所有科研成果中，最令他骄傲也最令他牵挂的，就是“人造太阳”。

“为什么叫‘人造太阳’？因为它的目标就是能源。核聚变能源就是要把氢弹控制起来，让它慢慢地释放能量。”潘垣说。

那么，这项工程到底有多难？潘垣解释，太阳核聚变的发生离不开巨大的太阳引力，高温高压条件下，充斥在太阳内部的氢原子核外电子摆脱束缚，其中两个原子核互相吸引、碰撞、进而发生聚变反应。但毕竟，地球引力仅是太阳的三十三万分之一。要在地球上将超高温等离子体约束起来，实现可控核聚变，难度堪比“夸父逐日”。

早在 1984 年，潘垣便参与并完成了中国第一座“人造太阳”装置——中国环流器一号。

建造中国环流器一号之初，参考材料极为缺乏，工程设计人员手里只有介绍苏联相关装置概况的 4 页文章。至于装置的每一个部件具体该怎么设计，需要自己摸索琢磨。

“主接线图、控制系统的逻辑图都是我自己画的，那时候年轻，能回到晚上 12 点。装置很复杂，超高真空、外通电源好几套，一边画一边思考、讨论，反复修改，装置的尺寸配合总体是稳定

七部门发文推动工业领域设备更新

据新华社电 记者 4 月 9 日从工业和信息化部获悉，工业和信息化部等七部门近日联合印发《推动工业领域设备更新实施方案》，提出到 2027 年，工业领域设备投资规模较 2023 年增长 25% 以上，规模以上工业企业数字化研发设计工具普及率、关键工序数控化率分别超过 90%、75%。

此次方案明确，围绕推进新型工业化，以大规模设备更新为抓手，实施制造业技术改造升级工程，以数字化转型和绿色化升级为重点，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。

方案提出，结合工业领域各类设备更新差异化需求，依靠市场提供多样化供给和服务。统筹考虑行业发展和市场实际，循序渐进、有序推进。积极推进新一代信息技术赋能新型工业化，在推动硬件设备更新的同时，注重软件

系统迭代升级和创新应用。

据了解，此次方案提出实施先进设备更新行动、实施数字化转型行动、实施绿色装备推广行动、实施本质安全水平提升行动四方面重点任务。其中明确，针对生产设备整体处于中低水平的行业，加快淘汰落后低效设备，超期服役老旧设备。针对航空、光伏、动力电池、生物发酵等生产设备整体处于中高水平的行业，鼓励企业更新一批高技术、高效率、高可靠性的先进设备。

保障措施方面，方案指出，加大工业领域设备更新和技术改造财政支持力度，将符合条件的重点项目纳入中央预算内投资等资金支持范围。此外，设立科技创新和技术改造专项再贷款，引导金融机构加强对设备更新和技术改造的支持。（张晓洁 张辛欣）

我国自主研发的波浪能海洋生态监测浮标启用



“合作者号”浮标。深圳先进院供图

本报讯（记者刁雯童 通讯员林一程）4 月 9 日，由中国科学院深圳先进技术研究院（以下简称深圳先进院）和中国科学院广州能源研究所（以下简称广州能源所）共同主办的新型波浪能海洋生态监测浮标“合作者号”启用仪式在深圳举行。

“合作者号”浮标由深圳先进院联合广州

能源所、广州航标处等单位共同设计研制，符合航标设计标准，具备搭载能力强、抗台风、防生物附着等优点。该浮标直径 3.3 米，高 9 米，重 9 吨，于 2024 年 1 月在深圳大鹏湾海域下水试运行，经过两个月的海上测试调整，各项功能运行良好。

据介绍，不同于仅具有导航功能的传统航标，“合作者号”浮标可以搭载更多设置于水面上下下的仪器，并且可以充分利用 4G/5G 无线信号形成智慧物联网。该浮标已成功搭载多种国产先进传感器和监测设备，包括深圳先进院创新研制的海洋浮游生物原位成像监测仪器，以及国产水下高清摄像机等。这些仪器不仅能实时监测温度、盐度、pH 值、溶解氧水平等传统海水环境要素，还能实现对浮游生物、底栖生物、游泳生物等反映海洋生态状况的新型重要指标的智慧监测。

此外，该浮标采用了由广州能源所自主研发的波浪能转换技术，有效地将波浪能转化为电能，弥补传统浮标仅依靠太阳能和蓄电池作为能量来源的不足，为浮标搭载的各类传感器和设备提供持续稳定的电力供应。

牛磺酸缺乏是肿瘤免疫逃逸和耐药复发重要原因

本报讯（记者严涛）消化系统肿瘤整合防治全国重点实验室、空军军医大学西京医院樊天明院士团队深入解析患者药物治疗前后的肿瘤免疫微环境，发现牛磺酸缺乏是导致肿瘤免疫逃逸和耐药复发的重要原因，揭示了化疗和免疫治疗“双重耐药”的新机制。相关研究成果近日在线发表于《细胞》。

胃癌是我国高发的恶性肿瘤，尽管化疗、分子靶向治疗以及近年来出现的免疫治疗有效延长了胃癌患者生存时间，但耐药依然是胃癌治疗面临的重大挑战。由于胃癌耐药的分子机理尚不完全清楚，临床仍然缺乏有效的预防和干预手段。

为此，研究团队深入解析了胃癌患者药物治疗前后的肿瘤微环境，率先发现牛磺酸转运体 SLC6A6 在胃癌耐药组织中高表达是患者预后的独立危险因素，可作为预后胃癌耐药和疾病进展的新标志物。研究团队揭示了一条由胃癌细胞通过 SLC6A6 竞争性摄取牛磺酸，诱发 CD8⁺T 细胞内质网应激促进 ATF4 转录的新途径，阐明了牛磺酸缺乏状态下，CD8⁺T 细胞中 ATF4 介

导免疫检查点表达和耗竭失能的新机制。

此外，该研究首次报道了牛磺酸“促进免疫缺陷肿瘤生长，抑制免疫健全肿瘤生长”的现象，发现补充牛磺酸能够特异性增加肿瘤浸润 CD8⁺T 细胞的数量和抗肿瘤细胞因子的分泌，并提出了牛磺酸不直接抑制肿瘤细胞，其抑制作用取决于对 CD8⁺T 细胞的影响的新观点。研究人员还发现了胃癌细胞中由化疗药引发 SLC6A6 升高的调控轴，为“免疫治疗在多线化疗后疗效降低”的临床现象提供了确切的机制解释，并为化疗和免疫治疗耐药提供了新的干预靶点。

团队发现，牛磺酸与化疗或免疫治疗药物联用能协同发挥抗肿瘤效果，目前已在空军军医大学国家消化系统疾病临床研究中心发起了针对局部晚期胃癌患者和新辅助化疗胃癌患者的两项随机对照临床研究。初步结果显示，牛磺酸联合化疗的干预策略具有良好的临床应用前景。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.03.011>

英国投巨资推动标本数字化



本报讯 英国政府近日宣布，从 2026 年开始，将在 10 年内为伦敦自然历史博物馆（NHM）提供 1.55 亿英镑（约 2 亿美元）资金，将该国大部分自然历史藏品转为线上数字化藏品。

据《科学》报道，事实上，全球有不少博物馆都在尝试推动藏品数字化，努力让所有人能够轻松访问、了解藏品。此前，诸如古代岩石和化石、植物和昆虫标本等藏品，都沉睡在世界各地研究机构或博物馆的藏柜抽屉里，其中可能蕴藏着星球如何形成、生命如何进化和相互作用等问题的答案。但只有当世界各地的研究人员接触到它们，才能提出真知灼见。

“就 NHM 的能力而言，上述行动会产生巨大影响。”美国佛罗里达大学科学家 Gil Nelson 说。Nelson 负责美国生物标本数字化平台的运行工作。这个平台的数据库中有来自美国各地近 1.4 亿份标本的信息。

对于英国科研创新署承诺提供资金这件

事，负责 NHM 数字化工作的 Helen Hardy 感到“超级兴奋”。2021 年，她和其他英国研究人员的一项分析为此次国家资助藏品数字化奠定了基础。Hardy 等人的分析估计，在未来 30 年内，国家藏品数字化可以为保护计划、入侵物种控制、药物和药物开发以及矿产开采等工作节省 20 亿英镑。

“我们为支出这笔数字化资金提供了‘令人信服的理由’。”Hardy 说。

英国政府要求 NHM 利用这笔资金在对自身藏品进行数字化的同时，帮助其他约 90 家英国机构总计约 1.37 亿件藏品数字化。NHM 希望至少与世界各地的其他机构一样，以数字化方式记录标本标签上的所有细节，比如采集时间和地点、物种名称以及其他识别细节。其中，植物标本是最容易数字化的，因为它们通常被平压在纸面上，标签明显，可以在传送带上以流水线的方式拍摄。而昆虫标本数字化则面临挑战，因为每种昆虫都需要取下来，才能位于其下的标签数字化。

此外，NHM 研究人员还希望数字化内容中包含足够详细的产品数字图像，并最终在人工智能程序的帮助下对数字标本进行拓展延伸，将生物标本与相关生物体生活环境和所处生态系统的细节联系起来。（徐锐）



湖北省科技厅供图

基础设施之一。

为推进工程，潘垣带领团队提出双电容器耦合动态调控方案，解决了脉冲平顶磁场生成过程中的一些技术难题，使得我国在脉冲强磁场技术方面走在了世界前列。

截至 2022 年底，该设施已累计运行超过 7 万小时，为北京大学、清华大学、中国科学院物理研究所等 119 家国内外科研机构提供科学研究服务 1677 项，在《自然》《科学》《物理评论快报》等期刊发表论文 1385 篇，取得了包括发现第三种规律新型量子振荡等在内的一大批原创成果。

潘垣善于从国家发展的脉络里，找寻自己的专业背景能够解决的难题。比如，针对京津冀雾霾问题，他提出建设柔性直流电网，为 2022 年冬奥会的成功举办提供了优质环境保障；针对南方电网负荷过大的问题，他创新性研发世界首台 50 万伏机械式直流断路器，避免电网基础设施的损失……

眼下，潘垣团队正在瞬间升温和资源回收方向进行多类型实验，朝着终极能源的方向不断探索。潘垣说，这是他的收官之作，也是世界上最困难的科研工作。他可能看不到自己的收官之作在国际舞台大放异彩的那天了，但只要中国人未来能借此站上相关研究的世界之巅，他就高兴。