

# 突破！真正柔软的机器人手臂来了

■本报记者 陈欢欢

打开家里的一扇门、一个抽屉、一个瓶盖，有多难？

这些人类的“举手之劳”，却是机器人攻不下的“堡垒”，其难度不亚于让机器人下围棋，传统的刚性机械手臂都无法做到。

近日，中国科学技术大学教授陈小平团队研发出全球首款柔性机器人手臂，可以开门、开抽屉、甚至擦玻璃、拧瓶盖。相关成果发表于《国际机器人研究杂志》。

“这是一项突破性进展，会极大地丰富机器人应用，让机器人更灵活的人，而不是死的机器。”北京大数医达科技有限公司 CEO 邓侃评价道。

据了解，这项工作从发现问题到提出原理、实验验证，前后持续了13年之久。



中国科学技术大学机器人团队研发出一种可拧开瓶盖的机器人手臂。  
课题组供图

## 既能“绣花”又能“举重”

一谈起机器人，人们脑海中浮现的往往是变形金刚那样的形象。确实，传统机器人都是刚性机器人，结实但笨拙，让它们专门把手就像让张飞绣花。

这是由于刚性机器人的自由度由关节控制，一条手臂大约只有六七个自由度，而本项研究中的柔性手臂却有几十个自由度，根据使用需要还可以更多。

研究团队提出了一种蜂巢气动网络结构，由蜂巢和气囊结合形成。当气囊充气时，依靠蜂巢的六边形结构形变，手臂可以灵活地沿各个方向弯曲和运动，从而完成许多灵巧动作。由于气囊的存在，手臂自重很轻，可采用3D打印技术制备，成本低廉、制备简单。

柔性手臂不仅灵活，力气也很大。同传统的硅胶材料不同，蜂巢结构允许研究人员利用较硬材料，负载自重比达到1:1，使其既能“绣花”又能“举重”。

此外，这条柔性手臂还有一项刚性机器人望尘莫及的技能——借助尺子画出直线。“如果机器人能使用工具，将会有更广阔的应用空间。”陈小平告诉《中国科学报》。

长期从事人工智能研究的邓侃指出，此项工作有3方面学术价值：第一，摒弃了机械手臂的传统做法，用柔性材料取代刚性材料，是仿生学的巨大进步；第二，选用蜂巢这种新型结构，是材料及组织方式的巨大进步；第三，改变了传统机器人一体化的操作方式，将权力下放，各个关节都有自主决策权和自组织、自

学习能力，是对机器人操作算法的全新探索。目前，国内外对末端的柔性手指探索较多，柔性手臂则未见报道。

对此，邓侃表示，之前一些所谓的柔性手臂在他看来都是“伪软”。比如著名的南非残疾人运动员——“刀锋战士”，他的义肢采用弹簧钢片仿生豹子后腿，具有一定弹性。“而中国科大这项研究中的柔性手臂是‘真软’，像象鼻或者蛇。”

陈小平表示，除了灵活运动，该手臂还能伸缩，更像章鱼触角。

## 13年仍未走到终点

这条手臂的故事要从13年前说起。

2008年，中国科大机器人团队开始研发家政服务机器人，后来又开发了情感机器人。佳佳其貌不扬，但是勤劳能干；佳佳则聪明漂亮、善解人意。两者如果能合二为一，家政机器人就能上得厅堂，下得厨房。但在研究过程中，他们发现机器人的手是短板，极其不灵活。

2010年，哈佛大学首次做出硅胶软体机器人。受此启发，陈小平提出做气动软体手臂。经过广泛的调研和多次失败，直到2013年，他们才最终确定采用蜂巢网络结构实现气动软体手臂。但是，一群不懂材料和制造的计算机专业研究生们，如何能造出这样一条现实世界中不存在的手臂？

“学生们确实纠结了很久，好在学生动手能力比较强，他们找来各种材料实验，最后手工

做出一条简陋但具有基本功能的软体手臂。”陈小平介绍说。

同高精度控制的刚性机器人不同，软体机器人即使充气量一样，每个气囊的形变也可能不同，尤其是几十个气囊叠加起来非常复杂。至此，这项研究终于回归到研究小组老本行——不确定性控制问题。

此后，团队开始对新控制算法的长期摸索。相关论文在2014年获得国际机器人智能研讨会的最高奖项——“大会最佳论文”奖，同时还获得了最有创意的“金钥匙”奖。

从发现刚性机器人难以克服的缺陷，到提出原理创新和完成实验验证，学生换了三茬，时间也悄然过去13年，但陈小平表示，工作并没有结束。

“确定气动蜂巢网络结构之后，我们一边提出理论，一边实验验证，往往是实验走在前面。现在面临两个任务，一是构建出完整的抽象理论，二是实现应用。”陈小平强调，“科学的理论不是自然语言能说清楚的，一定要抽象为数学语言。”

论文第一作者姜皓在2014年加入团队时还是“小弟”，如今已经成长为软体机器人研究小组组长，从事本论文中涉及的研究已有3年时间。他认为这3年时间花得值得，因为“这一篇论文足以证明我们实验室的实力”，姜皓告诉《中国科学报》，毕业后将继续留组做博士后，完成理论抽象的相关工作，“后面还有很大空间”。

陈小平则表示，做原始创新的一个直接表现就是论文发得少，“我常劝学生少写论文，但是也不能光靠思想工作，还是要带着他们一

# 中国首张生物样本库认可证书颁发

■本报记者 郑金武

近日，第二届国家干细胞资源库创新联盟大会暨标准发布会在京召开。中国科学院动物研究所国家干细胞资源库获中国合格评定国家认可委员会颁发的中国第一张生物样本库认可证书，标志着中国生物样本库的认可制度建设已走在世界前列。

“这里相当于一个‘细胞银行’。”国家干细胞资源库主任郝捷向《中国科学报》介绍道。目前，国家干细胞资源库建立了不同来源、不同发育潜能的细胞系近3100株，共计5万余份细胞。

会上，6项干细胞领域团体标准——《人间充质干细胞》《人视网膜色素上皮细胞》《人诱导多能干细胞》《人心肌细胞》《人造血干/祖细胞》《原代人肝细胞》同期发布，有望进一步促进干细胞领域标准化发展。

## 开展干细胞资源开发利用

2020年新冠疫情期间，国家干细胞资源库自主研发的干细胞新药——CAstem细胞注射液获得了国家药品监督管理局I/II期药物临床试验批件，用于治疗重症新冠肺炎导致的急性呼吸窘迫综合征和肺纤维化，并入选“三药三方案”。

这是国家干细胞资源库开展干细胞资源开发利用的成功案例之一。

国家干细胞资源库主任郝捷表示，国家干细胞资源库建立了我国首株临床级人胚干细胞系，成功研发了多巴胺神经前体细胞、间充质干细胞(M细胞)等多种临床级干细胞资源，开展了人胚干细胞来源功能细胞治疗帕金森病、黄斑变性和半月

板损伤等11项国家药监局备案干细胞临床研究，以及2项国家药品监督管理局批准的I/II期药物临床试验。

然而，我国目前市场上也存在干细胞概念“泛化”“滥用”的现状。为此，2019年，国家干细胞资源库发起并联合另3家国家级资源平台、5家具有重要影响力的代表性细胞资源库，共同建立了“国家干细胞资源库创新联盟”，以构建细胞资源汇集和共享平台；鼓励学术交流、推动技术合作与产业转化；加强知识产权保护和标准体系建设；保障生物安全和伦理规范。

## 尚需更多从“0”到“1”的突破

中国科学院干细胞与再生医学创新研究院执行院长、北京干细胞与再生医学研究院执行院长胡宝洋介绍，近年来，以北京干细胞与再生医学研究院为代表的我国科研机构，在干细胞研究方面呈现出一些显著特点。

例如，在基础研究方面，建立了具有国际影响的原创性技术，取得了哺乳类单倍体干细胞、同性生殖、灵长类胚胎体外长期发育等重大成果。在细胞资源方面，建设了临床级干细胞资源库，历经十多年发展，为临床和产业转化提供了支撑。在临床研究方面，基于扎实的科研基础，率先实现人胚干细胞分化细胞的临床试验。在产业转化方面，积极推进干细胞成药研发，能力和水平在疫情防控中得到检验。

但胡宝洋也指出，面对人民群众对健康的迫切需求，目前我国在干细胞研究方面也存在源头性创新不足、成果转化体系不完善等问题。

“生殖医学、老年相关医学等，都对干细胞研究提出了迫切需求，要使干细胞药物安全有效地用于疾病防控，尚有待不断深入的研究。”胡宝洋指出，“特别要着重于源头性、底层性技术的研究和创新。”

“国家干细胞资源库的建设，本身就是一项‘从0到1’的工作。”郝捷也指出，当前，能满足合理合规且具有清晰知识产权的可供应用的干细胞资源非常稀少；随着对干细胞药物需求的日益迫切，急需在该领域加强原创性基础研究。

胡宝洋表示，北京干细胞与再生医学研究院正在积极推动学科交叉，特别是生命健康与工程、人文等学科的融合，以促进生命健康研究理念上的突破。

他还建议，要实现更多更高层次的突破，还需要积极加强相关的平台和体系建设。例如在国家的大力支持下，建设能用以高效模拟人类生理病理的大科学装置，推动生命健康研究和新药研发范式的变革；同时，建立可助力科学家获得高质量知识产权的成果转化团队，促进原创成果尽快实现应用。



## 单柱 15.83 米 国产取样系统破纪录

近日，中国科学院海洋研究所研究员阎军团队开创性研发且独有的“中科海开拓”系列深水可视化可控沉积物柱状取样系统完成装备成果转化，正式列入“海洋地质九号”地球物理勘探船。

该取样系统在我国南海1778米水深成功完成海试验收，获取单柱、连续、低扰动沉积物柱状样品15.83米，取样率88%，超过该取样系统15米的设计最大取样长度，创造了该海域具有姿态和方位信息样品的最长纪录。该取样系统还可完成沉积物多层温度探测、打桩基、布设小型海底空间站等工作。图为取样器进行海上作业。

本报记者廖洋 通讯员王敏报道 中国科学院海洋研究所供图

## 简讯

### 香山科学会议聚焦碳中和科技创新路径选择

本报讯 近日，香山科学会议第S60次学术讨论会在北京召开，会议的主题为“碳中和科技创新路径选择”。来自科技部、中国科学院、中国工程院、中国社科院等相关单位的80余位专家学者参加了会议。

会上，多位专家从能源、工业、建筑、交

### 伶仃洋福永河口枯水季水体环境调查完成

本报讯 近日，南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)教授牟林团队项目“河口区海洋环境综合在线监测关键技术研究”，完成了珠江口伶仃洋福永河口附近海域枯水季水体环境调查任务，为河口区海洋环境综合在线智能监测系统的关键技术研究提供了重要现场数据。

起，一步一步克服困难，做出更高台阶的研究成果”。

## 让机器走进人心

机器人进入家庭，最大的困难何在？陈小平经过长期研究发现，关键在于环境的“非封闭性”，即人工智能无法有效处理场景中无尽的未知变元。比如，无人驾驶汽车在完全不受控的自然环境下自动驾驶、识别别人的内心想法，等等。

以AlphaGo为例，下棋时，不管对手是谁，它每一步只选择胜率最大的落子，第一步有362个选择，第二步减少一个，每一步都选择最优，这就将一个原本非封闭的问题转化为一个封闭性问题。

然而，家庭是典型的非封闭环境，而且无法完全封闭化，因此AlphaGo的方法训练不出合格的家庭机器人。

“非封闭问题是最复杂的人工智能问题。”陈小平说。

在人类世界中，抓住门把手、向下压、往后拉，门就开了。而在机器的世界中，这些步骤变成了感知、建模、规划、控制，任何一个环节不够精确，都有可能失败。也就是说，刚性机器人对封闭性要求极高，甚至是“生人勿近”，碰上人为捣乱更是灾难性后果。

此前，陈小平团队曾让刚性手臂的可佳机器人在有人捣乱的情况下成功使用微波炉，部分破解了非封闭问题。

此次的软体手臂，更是巧妙弱化了封闭性，在跟环境交互时，既不需要精确建模，也不需要精确感知。实验证实，即使被人为捣乱，也能顺利完成任务。

“1998年日立第一次做出爬楼机器人时，我们都觉得很惊艳，涉及到动力学的问题。现在波士顿动力机器狗能蹦跳、翻身，看起来很炫目，但是本质上和前者没有太大区别。柔性手臂则不同，这种自组装自学习的方式会让机器人研究上一个大的台阶，应用会多得多。”邓侃说。

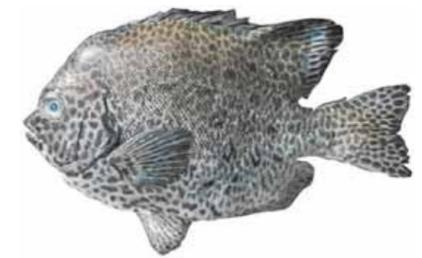
民政部2018年的数据显示，中国有4000万失能老人，但家庭服务人员只有不到1700万，且缺口在不断增大。填补这一缺口是陈小平研究家政机器人的初衷，如今离这一目标更近一步，他说：“技术的目标就是要提高人类的福祉。”

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1177/0278364920979367>

## 发现·进展

中国水产科学研究院等

# 揭示斑石鲷 Y 染色体起源与进化



斑石鲷

中国水产科学研究院供图

本报讯(记者张晴丹)近日，中国水产科学研究院黄海水产研究所研究员陈松林团队联合青岛华大基因研究院、德国维尔茨堡大学等单位，在斑石鲷 Y 染色体起源与进化研究中取得重要进展。相关研究成果在线发表于《分子生物学与进化》。

斑石鲷是我国新兴的重要海水养殖鱼类，其味道鲜美，市场价值很高，深受消费者欢迎。斑石鲷具有复性染色体特征，其雌鱼具有22对常染色体和X1X2X2性染色体，而雄鱼则具有22对常染色体和X1X2Y性染色体，是研究鱼类性染色体起源与进化的理想材料。

该联合研究团队结合BGI-500、Nanopore、PacBio和Hi-C等技术，率先完成斑石鲷雌鱼和雄鱼染色体水平基因组精细图谱绘制。利用三代和重测序数据获得单倍型信息，将斑石鲷 Y 染色体非同源重组区进行精确组装。结构分析表明 Y 染色体上存在一个约23.5Mb的倒位，推测其在性别决定基因的产生和性染色体的进化过程中发挥重要作用。该研究推演了新 Y (neo-Y) 性染色体的起源与进化轨迹。

进化分析表明，Y 染色体上新融合进来的部分在融合后才产生重组抑制，推断 neo-Y 的形成是原始的 Y 染色体与一条常染色体融合而来。同时该研究揭示了精巢和卵巢发育过程中性染色体基因的时空表达特征，鉴定了性染色体上性腺发育相关重要基因。斑石鲷 neo-Y 和 X 染色体的高质量组装，为理解复性染色体鱼类性别决定机制和性染色体的进化提供了宝贵的遗传资源。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1093/molbev/msab056>

中科院古脊椎动物与古人类研究所

# 便便化石表明蒙古国中生代曾有好多鱼

本报讯(记者崔雪芹)近日，《科学报告》报道了对蒙古国西部早白垩世查干察布组螺旋状粪化石的研究，这是首次发表该地的粪化石记录。该研究由中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 Paul Rummy、Kazim Halaclar 和陈鹤主导完成。

研究涉及的7件标本由该所研究员汪筱林于1998年在参与蒙古高原国际恐龙项目考察期间于同一地点采集，其中包括6件螺旋状粪化石和1件涡旋状粪化石。

粪化石是一类遗迹化石，不同造迹者所产生的粪便存在不同的形态特征，因此通过不同粪化石的比对，可反映出造迹者的相应类群及其肠道构造的演化信息。目前，已知最古老的螺旋状粪化石记录在南非上奥陶统索姆页岩中，而最早的涡旋状粪化石记录在爱尔兰梅奥州路易斯基志留系地层中。一般来说，涡旋状粪化石的记录更为罕见，多见于古生代和新生代地层中。

该研究中，研究人员发现了四个新的粪化石遗迹类别——两个新的遗迹种 *Hyronocopus tsagantsbensis* 和 *Hyronocopus hunti*，两个新的遗迹属 *Megakalocopus barremianensis* 和 *Scrollocopus tatalensis*，后者中的 *Scrollocopus* 遗迹化石也是目前全世界发现的第二件中生代涡旋状粪化石。

高精度的计算机断层扫描(CT)显示，这7件粪化石标本中均存在骨骼残片和鳞片，其中还存有完整的围眶骨，据此，研究人员推断产生这些粪化石的生物的消化系统环境可能并非强酸性，并不足以溶解食物中的骨骼等。此外，扫描电镜能谱分析中的钙和磷酸盐也表明这些粪化石的造迹者具有肉食性类群的特征。

由于这7件粪化石的大小不一，研究人员推测这些粪化石造迹者体形的大小也不相同。另从这些粪化石的颜色、干裂程度、孔的数量、空腔数量及盘管深度存在的差异来看，其埋藏条件也各不相同。

研究人员推测，*Hyronocopus tsagantsbensis*、*Hyronocopus hunti* 和 *Megakalocopus barremianensis* 的造迹者可能与鲟形目成员有关。目前还无法确定 *Scrollocopus tatalensis* 具体是哪一类特定鱼类产生的，但它有可能来源于肉鳍鱼类，其中未被消化完全的对象可能为叉鳞鱼目的成员。另外，这些粪化石表明蒙古国西部 Tatal 盆地在早白垩世曾经生活着大量的鱼类。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-87090-5>