



# 纳米复合材料 让清除微塑料的“鱼”受伤可自愈

罗洪焱 陈科

塑料是我们日常生活中寻常可见之物。但如今，塑料已造成了白色污染。实际上，比白色污染更可怕的是在无形之中悄然威胁生物健康的微塑料污染。

近年来，随着科学家相继在多个海域的水体和沉积物中发现微塑料，人们意识到了微塑料污染已经成为了一个全球性的环境问题。海洋中的微塑料是一种新型的污染物，颗粒小、数量多、分布广且易于被海洋鱼类、贝类等生物摄食并富集，会进一步随着食物链的传递，对其他海洋生物及人类造成威胁。

## 软体机器人材料需具备多种性能

微塑料在地球上几乎无处不在，在水域环境中尤其多，一旦它们落在水道底部的角落和缝隙中，便很难去除。针对这一情况，目前常用的解决方案是使用小型、灵活和自行推进的软体机器人来清除这些污染物。

软体机器人在复杂的水域环境中作业，需要具备较高的适应性和环境耐受性等，要在含盐量不同或者酸碱环境不同的水域中都能适应自如。论文第一作者、四川大学高分子研究所博士生王宇嫣说，在水域环境下工作，软体机器人不可避免会遭受水流的冲刷，这就要求机器人材料必须满足一定的机械强度，若机器人材料在水中遭受破坏或者碎裂，又会产生新的微塑料。

实际上，现有的水生软体机器人通常都由水凝胶及硅橡胶制成，由于其结构、含水量、介质组成等固有条件，因此机械性能差，并且容易损坏。目前，许多研究者在机器人的各种驱动方式

近日，四川大学高分子材料工程国家重点实验室张新星教授团队开发出了一种使用新材料制作的、由光驱动的软体机器人——机器鱼。该机器鱼能以光源为动力向各个方向游动。当激光照射到鱼的尾巴上时，光线会使材料变形，发生弯曲。连续几次这样的弯曲就能够使尾巴左右摆动，从而使鱼向前行进。

值得一提的是，该机器鱼每秒大约可以游自身长度的2.67倍。在游动过程中，机器鱼会释放出带轻微负电的分子，吸引带正电的微塑料分子，从而让附近的每一个微塑料吸附在机器鱼的身上。不仅如此，制作机器鱼的新材料在切割后还能自我愈合。日前，相关研究论文发表在国际学术期刊《纳米快报》上。

和驱动速度方面取得了重大突破，比如引入机械手等额外的分离功能模块等。然而，这类嵌入式电子元件无疑会增加机器人的重量，不利于机器人快速稳定运行。此外，现有的水生软体机器人多为电机或燃油发动机驱动，难以满足环境友好和可持续驱动的需求。

考虑到操作条件和经济成本，软体机器人的发展必然会朝着集成化、轻量化和智能化的方向前进。王宇嫣说，一些研究通过引入功能填料实现了软体机器人的功能集成，但由于纳米结构设计的缺乏，使得制备的材料只能进行简单缓慢的弯曲或伸缩。

另一方面，由于实现材料的功能集成需要功能填料的高填充，而填料填充率高，又会导致复合材料柔性下降，在动态受力下容易开裂破损。所以，如何平衡材料的功能与力学性能也成为了一个挑战。她说。

制出了一种类似的梯度结构，创造出了一种耐用可弯曲，并且可自动愈合的材料。

我们发现，自然界中的珍珠层在无机物含量达90%以上的时候依然能够同时保持强度和韧性。王宇嫣介绍，团队仿照珍珠层的微观梯度结构，将环糊精修饰的磺化石墨烯纳米片层以层层抽滤的方式，逐层递进组装到聚氨酯胶乳中，创造了有序的浓度梯度的纳米复合材料。这样的制备方法不仅有效解决了功能填料高填充导致柔性下降的难题，并且过程简单，有利于大规模制备。王宇嫣说。

通过结构的改进设计，研究团队用这种新材料制成了一个15毫米（约半英寸）长的微型机器鱼，使其既能快速游动又能吸附微塑料。

长期的可靠性是软体机器人在复杂条件下实际应用的先决条件。在实际操作中，材料的断裂极易引发重大的安全事故，研究团队发现，如果材料能感知断裂，并能够进行自我疗愈，就能大大延长其服役寿命。

## 延伸阅读

### 为消除水体污染

### 科研人员研发水产养殖场“清道夫”

近日，中国水产科学研究院东海水产研究所渔业生态环境研究室与中国水产科学研究院质量与标准研究中心合作研发了可快速富集渔业环境（淡水及海水养殖环境）中微塑料的磁性纳米材料（mANM）。相关研究成果发表在环境科学顶级期刊《危险材料杂志》上。

近年来，微塑料污染对水产养殖产品的影响引起广泛关注。渔业环境中的微塑料主要来源于陆地上大型塑料垃圾的降解及养殖过程中塑料产品的使用。

长期暴露于高浓度微塑料环境中，养殖水生物的质量和生殖发育都将受到巨大影响。但目前尚无快速检测并去除渔业环境中微/纳米塑料的可行方法，这一空白亟待填

我们在梯度组装的同时，创新性地引入了功能填料与聚合物软基体之间的界面氢键。相比于传统的均匀分散的材料结构，新材料的层与层之间有许多超分子的相互作用，这就使得材料在被切割后还能自我愈合。王宇嫣解释，功能填料与聚合物软基体接触界面上的氢键能在断裂后迅速重排，使得聚合物界面的力学强度增大，赋予了复合材料自动愈合的能力，也增强了其拉伸能力。

王宇嫣表示，当前开发出的机器鱼仅集成了水面微塑料定向收集功能，研究团队正尝试引入荧光发光基团，通过荧光基团对不同污染物的荧光响应性，进一步开发能够在水下在线实时检测微塑料污染物的新材料。

张新星认为，随着研究深入，这种可愈合的新兴材料还将被开发出其他功能，在太阳能发电、化学反应催化、生物医药、航空航天等领域展现出潜在的应用价值。

## 寻材问料

### 高性能镁合金强韧化研究获进展

科技日报讯（记者何亮）镁合金作为目前工程应用领域最轻的金属结构材料，满足航空航天、轨道交通等领域中长期减重计划要求，具有广阔的应用前景。然而与钢铁、铝合金等传统金属材料相比，镁合金存在一些明显的性能不足问题，如绝对工程强度低，极大地限制了其在上述领域的规模化应用。近年来，我国高端装备对轻质镁合金的高性能化、构件大型化的要求越来越突出，发展工程应用的大尺寸高强、超超强的镁合金材料已成为重中之重。

科技日报记者从沈阳化工大学了解到，近期该校机械与动力工程学院李荣广教授团队提出了充分利用强组织与高密度纳米沉淀相结合的强化方法制备大尺寸高性能Mg-Gd二元合金棒材，利用纳米亚结构界面偏聚结合高密度纳米团簇强化机理制备高性能Mg-Gd二元合金板材等学术观点，研究成果为制备超超强镁合金材料提供了基础理论指导。相关研究成果于近期发表在《材料研究快报》上。

针对大尺寸高性能镁合金棒材的制备技术和强韧化机制研究，李荣广教授团队与东北大学、哈尔滨工程大学、西安交通大学等科研单位合作，采用低温小挤压比挤压工艺，结合时效工艺，制备出大尺寸混晶组织Mg-13Gd二元合金棒材，其屈服强度可达470兆帕。研究发现混晶组织镁合金的高强度主要靠拉长晶粒内部的高密度纳米级沉淀与强组织的共同作用。针对镁合金板材的增强增塑机制，团队深入分析了超细晶镁稀土合金的塑性变形特点，采用270摄氏度单次轧制60%后再对超细晶组织镁稀土合金进行加工的方法，发现该工艺制备的Mg-15Gd二元合金板材的屈服强度大于500兆帕，该轧制态合金在时效后还表现出织构增强的趋势。轧制工艺促使超细晶合金中细晶粒内部形成高体积分数的小角度界面和高密度的位错，这些高密度位错在时效过程中能有效促使晶内形成高密度的纳米团簇。研究结果表明，该镁合金较高的屈服强度是由于高含量的亚结构界面及界面Gd偏聚、高密度的纳米团簇、高密度的亚微米动态沉淀以及较强组织共同作用的结果。同时，更多小角度界面和纳米团簇的形成也有利于基体弹性畸变的降低，进而促进了该合金塑性的提高。

### 石墨到金刚石相变机制被阐明 为研发高性能新材料提供启示

科技日报讯（记者何亮）科技日报记者从燕山大学官方网站获悉，近期，燕山大学亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室田永君院士团队的赵智胜教授等人与国内外学者合作，阐明了静高压下石墨到金刚石直接相变这一困扰了科学界半个多世纪的难题，同时发现了一类具有优异性能组合的新型杂交碳材料。研究成果以《共格界面控制从石墨到金刚石的直接转变》为题，于近日在线发表在《自然》杂志上。

石墨和金刚石是自然界中最常见的碳材料。从石墨到金刚石的直接转变通常在高温高压的“黑盒子”里进行，相变机理一直存在很大争议。燕山大学研究团队在静高压下部分相变的石墨样品中首次观察并确定了石墨和金刚石之间的共格界面结构，进而阐明了静高压下石墨/金刚石相变机理：石墨层通过两种菱形结构基元和两种矩形结构基元局部键合形成共格界面，通过共格界面向石墨区域的推进，实现石墨到金刚石的转变。结构基元的不同组合形成了变化多样的共格界面结构，导致在金刚石相变区域形成了丰富的亚结构（层错、孪晶、金刚石多形体等）。这种全新的固-固相变机制不同于经典的成核生长和协同切变机制，并可能适用于其他的共价材料，如IVA族单质、IIIA-VA化合物等的固-固相变过程。

该研究团队将这类具有石墨/金刚石共格界面的杂交碳材料命名为Gradia。Gradia具有优异的力学性能和电学特性组合，集合了石墨和金刚石的性能优势。此外，其性能还可通过改变石墨和金刚石的比例进行进一步调控，是实现导电/超硬、极韧/极硬等优越性能组合的新一代高性能碳材料。

据了解，该研究揭示的石墨/金刚石直接相变机制丰富了固-固相变类型，此次发现的新型杂交碳材料也为发展高性能新材料提供了一定的启示。



### 等离子喷涂技术 提升稀土新磁材生产效率

科技日报讯（记者张景阳 通讯员李宝乐）科技日报记者日前从包头稀土研究院获悉，该研究院的稀土材料研究所磁性材料表面技术团队（以下简称表面团队），依托内蒙古重大专项与内蒙古工业大学合作，利用等离子喷涂-晶界扩散法在几乎不降低剩磁的条件下，用重稀土氧化物将牌号为50M磁体的矫顽力提升了约60%。

包头稀土研究院杭州常务副院长辛博坦言，这一效果与在磁体表面磁控溅射金属钕相当，而加工效率提高两到三倍，成本降低50%以上，具有极好的市场前景。该技术已申请和授权国家发明专利，并进行小规模生产，已取得了良好的效果。

等离子喷涂技术是一种将粉体加入到热源中熔化，并利用高速气流将其喷射到基体材料表面形成涂层的工艺，具有能耗和汽耗低、喷涂范围广、粉末沉积效率高及涂层质量好等诸多优点，经济效益突出、加工灵活，是重要的表面处理技术之一。

传统喷涂法，基体与涂料结合力不好，造成在后续热处理过程中涂层脱落和基体腐蚀的问题，而磁控溅射、多弧离子镀、蒸镀等技术，存在生产效率低、原材料成本高，以及靶材和蒸发材料的利用率低等问题。辛博说道。

据辛博介绍，将等离子喷涂技术应用于烧结钕铁硼磁体表面重稀土元素晶界扩散层的制备，破解了用重稀土氧化物进行晶界扩散的难题，具有成本低、原料性质稳定、便于实现自动化等优点。该技术易于推广，可以对纯金属或合金，以及陶瓷、塑料等大多数非金属材料进行表面改性，有望在航空航天、机械制造、石油化工等领域中得到广泛应用。

本版图片由视觉中国提供

# 人造肌肉 以柔代刚 在微细管道巡检探测中大显身手

本报记者 唐芳

航空发动机有许多复杂弯曲的管道，定期巡检这些管道，依靠的是管道机器人。以刚性材料制成的机器人，块头大，无法进入微细管道，但一种靠智能材料驱动的软体机器人，有望填补微细管道巡检探测设备的短缺。

近期，清华大学机械工程系现代机构学与机器人化装备实验室的科研团队研发了一种以新型软性材料介电弹性体致动器和基于智能复合微结构的锚定单元作为人造肌肉和传动装置，构建的蚯蚓仿生管道机器人。相关研究论文发表于国际期刊《科学·机器人》。

蚯蚓通过肌肉和刚毛的配合使身体蠕动，在窄小的环境中来自如。由新型软性材料构建的人造肌肉具有可控收缩和舒张变形特性，智能复合微结构的作用则类似于蚯蚓腹部的刚毛，使机器人在微细和弯曲的复杂管道内高速蠕动。

## 人造肌肉在外界刺激下可变形

目前已研发的管道机器人有轮式、腿足式、履带式等，其电机、齿轮、传动杆件等主要构件使用的是刚性材料，适用于大口径管道巡检。当涉及直径小于1厘米的微细管道时，其尺寸不能按比例缩小。

而该团队研发的蚯蚓仿生管道机器人仅比常见的蚯蚓体型稍粗，机器人重量只有2.2克，长4.7厘米、直径不到1厘米。与蚯蚓由若干小体节组成稍有不同的是，该管道机器人由3部分拼装而成，分别为延伸单元、锚定单元和磁单元。

论文通讯作者、清华大学机械工程系副教授赵慧婵告诉科技日报记者，实现管道机器人尺寸小型化的关键在于智能材料的选取和制备。

该机器人的延伸单元是一种柔软的人造肌肉。针对刚性材料无法缩小等问题，该团队创造性地将弹性体软材料和柔性电极材料层层交替堆叠卷绕，制备成机器人的人造肌肉。

赵慧婵介绍，采用这种方式制备的人造肌肉十分柔软，具有高功率密度、长寿命等优势，其智能性体现为在外界（电场）刺激作用下可变形，能够在弯曲管道中被动适应管道曲率。此外，利用人造肌肉独有的可控收缩和舒张变形特性，机器人可在管道中快速蠕动。

## 避免软性材料黏性影响运动速度

蚯蚓的蠕动行为给了研究团队很大的启发。论文第一作者、清华大学机械工程系博士后汤超表示，为使管道机器人真正动起来，除了上文所述由人造肌肉构成的延伸单元，另一个关键要素是机器人的锚定单元。

为了制造锚定单元，团队经过一番讨论研

由新型软性材料构建的人造肌肉十分柔软，具有高功率密度、长寿命等优势，其智能性体现为在外界（电场）刺激作用下可变形，能够在弯曲管道中被动适应管道曲率。

研究，决定采用一种专门制作微小材料的加工技术——智能复合材料微结构技术。基于该技术，研制人员通过激光切割以及热压成形工艺，设计制造了一种特殊的刚性组件，它密密麻麻地附着于延伸单元底部，可使机器人高效移动。汤超说。

通过人造肌肉和刚性组件，使管道机器人像蚯蚓一样蠕动的物质基础已经具备。但是，管道机器人的应用场景决定了其需要在多介质、多材质、变管径的复杂管道内，按照一定的速度进行探测。那么，该机器人的移动速度会受到材料哪些方面因素的影响呢？

赵慧婵介绍，多次实验表明，在高频的驱动