
光控“智能胶水”：像壁虎一样“想黏就黏、想脱就脱”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/32939.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

光控“智能胶水”：像壁虎一样“想黏就黏、想脱就脱”

。在自然界中，壁虎能在垂直玻璃上自由攀爬，树蛙能在雨林湿滑的叶片上稳稳附着。这些生物的“超能力”长期以来令科学家着迷。这种独特的运动能力源于其快速可逆的黏附状态切换机制。然而，在合成材料体系中实现高/低黏附态的快速可逆转换仍面临挑战，主要受限于材料双稳态的稳定性、状态切换的动力学速率以及两态间的黏附性能差异三个关键因素。

近日，中国科学院兰州化学物理研究所润滑材料全国重点实验室周峰研究员团队与西北工业大学合作通过仿生科学与材料技术的结合，成功解锁了光控智能黏附材料的“新密码”。这项成果不仅让实验室里的水凝胶材料拥有了“黏”与“脱”的自由切换能力，更为医疗、机器人等领域的技术革新提供了全新思路。相关论文发表于《化学与生物工程》。

从壁虎脚趾到“零残留”智能材料

“传统胶带撕下来时会疼，医用敷料揭掉时可能二次损伤皮肤——这些痛点让我们开始思考，是否能设计一种像壁虎脚掌那样‘按得牢、撕得轻’的智能材料？”兰州化物所研究员周峰开门见山地解释了研究的初衷。

壁虎的脚趾覆盖着数百万根纳米级刚毛，这些刚毛通过范德华力（分子间的吸引力）牢牢吸附在任何表面，无需黏性物质即可实现瞬时强黏附。更神奇的是，壁虎只需改变脚趾角度，就能瞬间“解锁”黏附力，轻松脱离。而树蛙的脚趾则依赖微米级沟槽和自分泌黏液，在潮湿环境中保持稳定附着，展现了复杂环境下的适应性。

“仿生的难点在于，生物的精妙结构和动态调控能力难以直接复制到人工材料中。”周峰坦言，“比如壁虎刚毛的纳米精度制造成本极高，而树蛙的黏液分泌需要复杂的生物系统支持。”

而人工材料往往依赖外部刺激（如光、热），响应速度和环境适应性受限。尽管挑战重重，研究人员还是通过仿生结构简化、动态聚合物开发等策略逐步实现类自然界的“智能黏附”。

为突破这一瓶颈，团队设计了一种“光控水凝胶”：将光热纳米颗粒（四氧化三铁）嵌入温敏性水凝胶基体中。

当红外光照射时，纳米颗粒将光能转化为热能，触发水凝胶表面分子的“隐身术”——原本暴露的黏附基团被亲水性基团覆盖，黏附力从9.86千帕（类似医用胶带）骤降至0.26千帕（接近无黏附）。

最为关键的是，撤去光源后，材料迅速恢复高黏附状态，且10次循环后无任何残留。“就像给材料装上了‘光控开关’，红外光一照就能远程指挥它黏住或松开。”周峰形象地比喻道。

智能水凝胶材料可逆黏附机制示意图。兰州化学物理研究所供图。

?

“光热-分子舞蹈”背后的科学奥秘

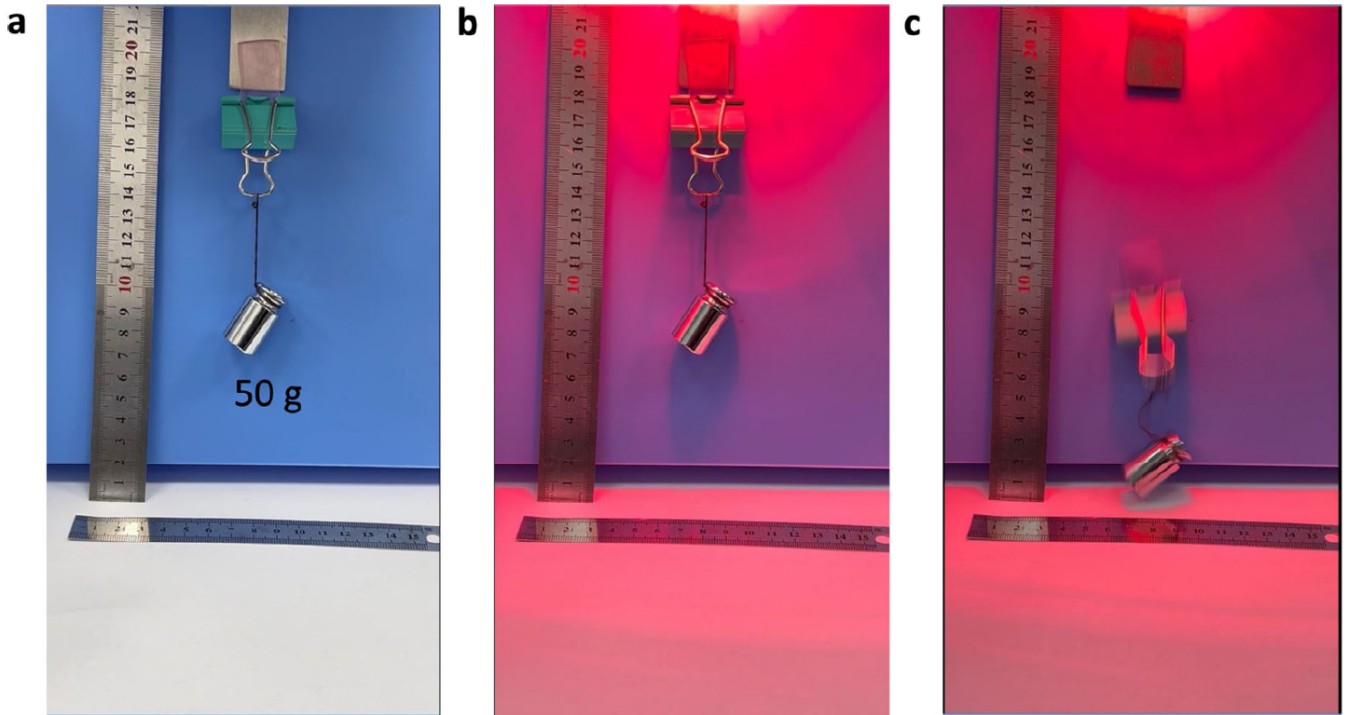
要理解这种材料的魔法，需要深入到分子层面。研究团队将水凝胶比作“小抓手”和“小雨伞”——负责黏附的儿茶酚基团和负责保护的羧酸基团。

周峰解释道：“我们可以想象水凝胶表面有很多小抓手和小雨伞，而红外光负责伞的打开与闭合。当没有光的时候，伞叶闭合，小抓手就可以抓住任何外来物体；然而，一旦光控制伞叶打开，小抓手就被伞叶罩盖，削弱了小抓手的捕获能力。”

其中，小抓手就是水凝胶中的黏附基团（儿茶酚），而伞叶就是羧酸基团。然而，光是怎么告诉伞叶打开和关闭的呢？其实，红外光控制伞叶的关闭和打开还与水凝胶中的四氧化三铁纳米离子和温敏性官能基团有关。

纳米粒子能够吸收光，并将其转化为热，而N-异丙基丙烯酰胺基团能够通过热把自己从亲水状态变为疏水状态，从而降低水凝胶的储水能力，导致有一部分水从表面渗出。渗出的水诱导羧酸基团迁移到表面，也就是伞叶打开。反之，不用光照射，伞叶关闭。

实验中，团队意外发现，水分子不仅是物理屏障，还会引发表面分子构象的动态变化。“起初我们只考虑到表面水的渗出，想当然的认为高温下表面黏附性能的削弱主要源于水分子阻隔了界面接触。但后来发现，我们发现水不仅仅只是阻碍界面接触，其实表面水的出现还牵扯一系列分子构象的变化，而这些变化才是影响界面黏附的关键。”周峰强调，这一发现推翻了早期假设，也让团队对界面黏附机制有了更深理解。



智能黏附材料的光控演示。兰州化学物理研究所供图。

?

光控黏附的“柔性革命”

对于智能黏附材料来说，是否经得起可逆循环是评价其性能优异性的标准，这也与未来的潜在应用场景有关。

在医疗领域，对于大创面深度伤口如烧伤等，因为失去大面积皮肤保护极易给患者带来感染风险，采用水凝胶类皮肤敷料代替皮肤保护伤口是我们日常生活中常见的防护策略。

然而，常规敷料的高黏附特性在去除时会给患者带来极大地痛苦，具有按需黏附的光控水凝胶可在敷料揭除时保持低黏附，减轻患者疼痛。在敷于伤口时实现高黏附，在脱附时呈现低黏附。

“想象一下，医生只需用红外光笔轻轻一照，敷料就能轻松脱离伤口，同时保持湿润环境促进愈合。”周峰描绘了这一场景。

此外，在机器人领域，这种材料有望成为“轻量化黏附足部”的理想选择。“软体机器人需要在垂直甚至倒挂表面快速移动，传统电磁或真空吸附系统又重又耗能。而我们的材料仅需一束光，就能实现高效攀爬。”周峰补充道。

柔性电子设备同样受益匪浅。未来，智能手表或健康监测贴片可能通过光控黏附技术实现“按需

贴合”，既避免皮肤过敏，又能确保传感器与皮肤的稳定接触。

这项突破并非一蹴而就。周峰回忆，在几年前，团队一直攻克高强韧黏附水凝胶材料，偶然发现一种材料在多次按压后黏性骤降。“该现象引起了研究人员的极大兴趣，经过对材料的成分分析，机理验证等，才知道原来在多次按压以后，手部的温度传递于凝胶表面，导致凝胶发生相变，呈现低黏附态。”

当时团队反复测试，发现是手温触发了材料的相变。这让团队意识到，温度可能是调控黏附性能的钥匙。

从偶然现象到可控机制，团队历时数年验证了光热效应与分子迁移的协同作用。“科学研究往往源于对异常现象的好奇心。这次偶然发现提醒我们，基础研究的价值在于为应用打开新窗口。”

当被问及未来计划时，周峰表示：“我们正在探索更高精度的空间控制和更低能耗的响应机制。希望这种材料能成为智能装备的‘柔性关节’，让技术更贴近生命的需求。”

相关论文信息：<https://doi.org/10.1021/cbe.4c00177>

作者：叶满山 来源：中国科学报

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发