

宁波材料所在多场协同远程控制的水凝胶“变形金刚”领域取得进展

作者：， 日期：2020-12-09

作为一种新兴的智能材料，形状记忆聚合物（SMPs）能响应外界刺激从而在临时形状与原始形状之间切换，这种灵活的变形能力使得SMPs在包括生物医学、纺织、柔性电子等许多领域存在巨大的应用潜力。水凝胶由于具有柔性、质量轻、生物相容性等诸多优点逐渐得到研究者的重视，具有形状记忆能力的水凝胶（SMHs）的研究逐渐成为智能材料研究的一个重要分支。通过在SMHs引入“可逆开关”如氢键、主客体作用、金属配位作用等，使水凝胶可对许多刺激如光、热、化学、超声、电场等做出响应。然而，不管是传统的形状记忆高分子还是新型的形状记忆水凝胶，其临时形状通常由手动赋予；且在形状记忆过程中，必须要改变材料的“周围环境”（溶液环境、温度环境等），这将显著抑制形状记忆高分子的应用前景。因此迫切需要开发一种能够远程可控、程序化操纵形状记忆材料的新方法。

近年来，中国科学院宁波材料技术与工程研究所智能高分子材料课题组陈涛研究员与张佳玮研究员一直致力于智能变形水凝胶的研究（*Adv. Funct. Mater.* 2016, 26, 8670; *Chem. Sci.* 2016, 7, 6715; *Chem. Soc. Rev.* 2017, 46, 1284; *Chem. Commun.* 2018, 54, 1229; *Adv. Funct. Mater.* 2018, 28, 1704568; *Adv. Sci.* 2019, 6, 1801584; *Research* 2019, 23843 47; *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2019, 58, 16243; *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2020, 59, 19237; *Small* 2020, 2005461等）。近期，该团队成功开发了一种磁、光、热多场协同作用的形状记忆水凝胶，在Wiley旗下智能材料与系统新刊*Advanced Intelligent Systems*上受邀发表题为“Multi-field synergy manipulating soft polymeric hydrogel Transformers”的研究论文，并得到了wiley旗下Advanced Science News的专题报道（<https://www.advancedsciencenews.com/a-magnetically-controlled-hydrogel-for-octopus-like-robots/>）。

研究人员开发了一种新型光、热、磁控制的水凝胶“变形金刚”，具有非接触式形状操纵和定向导航特性（图1）。制备了具有化学交联聚（N-（2-羟乙基）丙烯酰胺）（PHEAA）和可逆交联明胶（Gelatin）网络的双网络结构水凝胶。明胶是动物胶原的水解产物，链段之间存在大量氢键，随着温度的变化，氢键不断断裂重组，使得明胶在单链和三重螺旋结构之间迅速转变。利用明胶的可逆转变，可以具备热响应形状记忆性能和自愈合能力。

在水凝胶中引入 Fe_3O_4 纳米颗粒，使水凝胶具有光致加热和磁操控能力。当近红外光（NIR）照射水凝胶时， Fe_3O_4 纳米粒子不断地将光转化为热，使水凝胶被加热。随着温度的升高，明胶的三重螺旋结构会解缠绕成单链，与此同时，水凝胶在磁场作用下变形为临时形状。随着温度的降低，三螺旋结构再次缠绕以固定临时形状。即使撤掉磁场，临时形状仍可以继续保持。当再次用NIR照射水凝胶时，明胶网络再次由三螺旋向单链转变，从而促使形状回复。结合磁场产生的形状操控，以及光诱导的形状固定和回复，可以实现非接触式形状操纵行为。

利用远程非接触式的形状操控，研究人员制备了一系列水凝胶软体机器人。由于不同 Fe_3O_4 纳米粒子含量的水凝胶在同一能量密度的NIR照射下，形状回复时间不同，研究人员设计了一朵可以顺序分步绽放的花朵以模拟自然界的植物对光的敏感性。受到人健身运动的启发，研究人员制作了形态惟妙的“水凝胶运动员”，它可以在磁场和NIR的协同作用下进行仰卧起坐运动。此外，由于水凝胶可以被磁铁引导而运动，研究人员巧妙地设计了一个三爪软机器人，它可以在特制的迷宫中运动转向，更有趣的是，当软机器人遇到小于自身宽度的狭缝时，利用磁、光的多场协同作用，可以暂时性地改变自身形状并在通过狭缝后迅速恢复原始形状（图1g）。该工作成功实现了远程操控水凝胶形状变化，为智能变形凝胶的发展提供了新思路。

该工作得到了国家重点研发计划资助项目（2018YFB1105100），国家自然科学基金（51873223,52073295），中国科学院青年创新促进会（2017337），中国科学院前沿科学重点专项（QYZDB-SSW-SLH036）等项目的支持。

