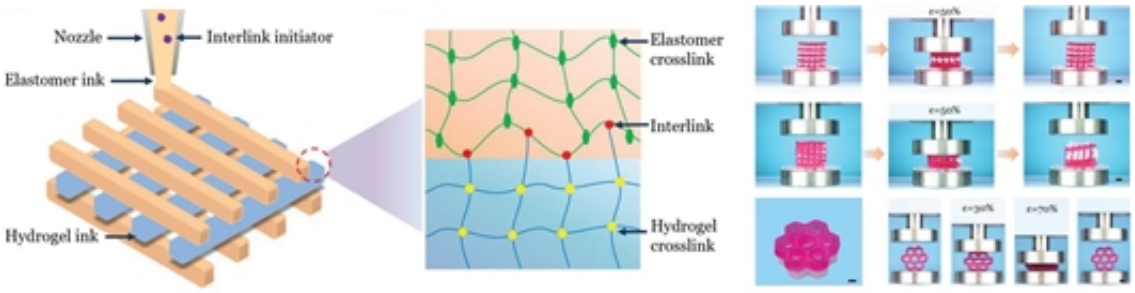
软材料在3D打印中实现强韧粘接

作者：writer 来源：中国科学报

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/5130.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！



左：软材料3D打印的超强粘接策略;右：打印的栅格结构及蜂窝结构(唐敬达供图)

软材料在3D打印中实现强韧粘接。亲疏水复合结构在自然界中广泛存在，如细胞膜、哺乳动物皮肤、植物表层等，这种异质材料的结合使细胞得以传递生物电信号，演化出纷繁复杂的生命系统。

近年来，基于水凝胶/弹性体的亲疏水结构取得明显进展，在可拉伸电子、软体机器人、摩擦发电机等领域具有广泛应用前景，但其构造仍较为简单，无法媲美天然结构。作为快速成型技术，3D打印可用于复杂软结构的制备。然而，现有的亲疏水结构在打印过程中的界面粘接性能极差。

针对此问题，西安交通大学航天航空学院软机器实验室教师唐敬达与美国科学院院士、美国工程院院士、哈佛大学教授锁志刚合作提出了一种软结构3D打印的强韧粘接技术，实现了具有超强界面粘接的水凝胶/弹性体亲疏水异质结构的打印。相关研究结果近日发表于《先进功能材料》。

水凝胶/弹性体复合物粘接困难

软材料在生物医用、电子皮肤、柔性机器人等现代科技领域中具有潜在的应用价值，因此软材料被广泛关注。

水凝胶作为软材料的一种，由水分子和聚合物网络组成，是以水为分散介质的凝胶。具有高含水量、化学生物分子透过性、生物相容性以及可生物降解性等优点。该亲水材料对人体组织无刺激，因此在日常生活中得到广泛应用，如果冻(明胶)、婴儿尿不湿、隐形眼镜等。

唐敬达告诉《中国科学报》，第一代水凝胶是软而脆的材料，因此其力学性质并没有得到广泛关注。

近二十年来，国际上针对改进水凝胶力学性能开展了大量工作，形成了研究热点，相继开发出了纳米复合水凝胶、双网络水凝胶和韧性水凝胶等高强度、高韧性水凝胶，这些高强水凝胶可以承受大的变形。如锁志刚2012年在《自然》报道的一种韧性水凝胶——聚丙烯酰胺-
海藻酸钠水凝胶。

弹性体泛指在除去外力后能恢复原状的材料，目前弹性体更扩展为具有弹性的聚合物的总称。弹性体具有优异的机械性能，并且在各种环境下表现出稳定的性质。作为疏水性材料，弹性体通常配合多种材料形成亲疏水复合结构发挥作用。

水凝胶与弹性体具有优势互补的特点，因此，设计一种同时具有水凝胶与弹性体优势的复合材料将极大的拓宽其应用领域。

近年来，一系列的水凝胶/弹性体复合物通过界面结合的方式连接在一起，但存在界面结合力弱，质地不均一等缺点。通过简单的制备方法得到一种均质的水凝胶/弹性体复合材料仍然是一大挑战。

共价键+坚韧材料实现强韧粘接

唐敬达表示，实现水凝胶和弹性体两种材料的超强粘接，需要满足两个条件：一是两者之间以共价键连接;二是水凝胶材料足够坚韧。这样水凝胶/弹性体复合结构才能达到较高的粘接能，实现强有力的粘接。唐敬达说。

湖南大学机械与运载工程学院副教授毛贻齐向《中国科学报》表示，他曾尝试用物理方法进行水凝胶和弹性体之间的粘接。用弹性体包裹水凝胶，通过水驱动实现二者的粘接。但此方法形成的粘接体很容易脱离，效果不好。

据介绍，此前美国麻省理工大学教授赵选贺课题组率先通过表面处理的方式，实现了水凝胶/弹性体以共价键形式粘接，但表面处理的方式不宜用于3D打印技术。

唐敬达等人分别制备了水凝胶和弹性体预聚体，采用本体处理方式，将联接引发剂溶于弹性体材料中。然后分别调节弹性体预聚液和水凝胶预聚液的粘度，将两者以任意顺序3D打印在一起，紫外引发聚合反应，使水凝胶和弹性体材料在打印过程中实现粘接，形成具有强韧粘接的水凝胶/弹性体复合体。

该方法不同于常规的表面改性，采用本体改性的策略，打印试样的粘接能可达5000J/m2以上。

为测试粘接效果，研究人员分别打印了有粘接、无粘接复合栅格结构并对其进行压缩。有粘接的试样经受巨大压缩仍不破坏，而未采取粘接策略的试样完全不能承载。此外，研究人员发现，使用普通凝胶打印则会发生拉伸断裂和溶胀断裂。由此可见，形成稳定的亲疏水结构既需要良好的粘接，也需要强韧的基体材料。

由于水含量较高，水凝胶与其他软物质的粘接效果不是很好。该研究利用引发剂，以共价键的形式将水凝胶和弹性体粘接，固化了二者之间的粘接，实现了强韧的粘接效果，是一项有意思的创

新技术。毛贻齐说。

粘接技术服务3D打印应用广泛

软材料3D打印在医学中的应用尤其广泛，可打印出心脏、血管等生物仿体。唐敬达举例介绍，很多医学生或实习医生在初始阶段对人体结构并没有完善的认知，利用3D打印的器官仿体，可以对他们进行培训教学，帮助他们形成较准确的感官认识。这对他们技术、技能的提高大有裨益。

毛贻齐认为，亲疏水材料的结合为软结构的3D打印提供了一种通用的解决方案，该粘接技术适用于多种水凝胶和弹性体的强韧粘接打印，可以发散性地应用到很多领域。如可拉伸器件、功能器件的驱动制备等。

唐敬达表示，该软材料3D打印强韧粘接技术不局限应用于水凝胶/弹性体的粘接，或许还可以拓展到形状记忆聚合物与水凝胶的粘接。利用形状记忆聚合物这种智能材料，可以通过3D打印机，实现4D打印。

例如打印平面结构时，给予一个刺激(热刺激或电刺激)，这个平面就可以从二维结构变成三维结构。以此类推，三维结构也能变成另外一个复杂的结构，这就叫4D打印。唐敬达解释，换句话说，在3D打印的基础上，加上时间的因素，给予刺激后，智能材料可以从一个形状变成另外一个形状，实现4D打印。

与3D打印相比，4D打印更为智能，它不但能够创造出有智慧、有适应能力的新事物，还可以改变传统的工业打印。与此同时，4D打印对打印材料也有更高要求。

基于此，研究人员利用该粘接技术，进一步打印了花朵、蝴蝶、章鱼形状的复合结构，实现了具有溶胀响应的4D打印。因此，该粘接技术在4D打印领域将具有更大的发展前景。唐敬达说。

相关论文信息：https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201901721

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转发