



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114163664 A

(43) 申请公布日 2022.03.11

(21) 申请号 202111567890.0 *C08F 220/56* (2006.01)

(22) 申请日 2021.12.21 *C08F 220/58* (2006.01)

(71) 申请人 浙江理工大学 *C08F 222/38* (2006.01)

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经 *B25J 15/00* (2006.01)

济开发区白杨街道 *C08L 33/26* (2006.01)

(72) 发明人 刘爱萍 许为中 樊转转 苑苗发  
曹宁晨

(74) 专利代理机构 杭州敦和专利代理事务所  
(普通合伙) 33296

代理人 姜术丹

(51) Int. Cl.

*C08J 3/075* (2006.01)

*C08L 33/24* (2006.01)

*C08K 3/34* (2006.01)

*C08F 120/54* (2006.01)

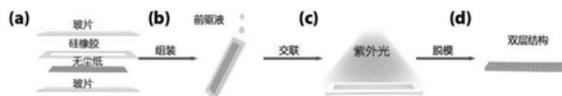
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法及其应用

(57) 摘要

本发明提供了一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,该水凝胶驱动器包括具有条纹结构的柔性基底及智能水凝胶,属于柔性智能驱动领域。本发明的制备方法为:(1)将单体、交联剂、引发剂及溶剂按一定比例混合均匀配制水凝胶预聚液;(2)将一定尺寸的具有条纹结构的基底和硅橡胶垫片依次放置在透明玻璃板上,用另一块透明玻璃板密封制作模具;(3)将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应得到所述的双层水凝胶驱动器。本发明提供的双层水凝胶驱动器具有良好的响应弯曲性能与力学性能,制备方法操作简单,制备快速,成本低廉,具有普遍适用性。



1. 一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 水凝胶预聚液的制备:水凝胶预聚液的原料包括单体、交联剂和引发剂,所述0.05~1.0g交联剂加入10~20mL去离子水中磁力搅拌2~6h至完全分散得到悬浮液,将一定量的单体和引发液加入上述悬浮液中,室温下避光搅拌1~4h至溶液均匀,再往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

(2) 模具的制备:将具有条纹结构的基底和中间掏空硅橡胶垫片依次放置在透明玻璃板上,用另一块透明玻璃板密封制作模具;

(3) 双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器。

2. 根据权利要求1所述普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,其特征在于,所述步骤(1)中的单体为N-异丙基丙烯酰胺、丙烯酰胺或2-丙烯酰胺基-甲基丙磺酸中的一种或多种,交联剂为纳米粘土XLG型合成硅酸镁锂或N,N'-亚甲基双丙烯酰胺,引发剂为1-羟基环己基苯基甲酮和甲醇的混合液或2,2'-偶氮双(2-甲基丙脒)二盐酸盐。

3. 根据权利要求2所述普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,其特征在于,所述单体、交联剂和引发剂的质量比为500:30~350:1。

4. 根据权利要求1所述普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)中具有条纹结构的基底为具有条纹结构的无尘纸或具有清晰叶脉的树叶。

5. 根据权利要求4所述普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,其特征在于,所述具有清晰叶脉的树叶采用如下方法得到:摘下新鲜的叶子用去离子水冲洗干净,置于10%氢氧化钠(NaOH)溶液中煮沸5~20min,取出冲洗干净,并用软毛刷取出多余的叶肉,留下完整的叶脉骨架,再压平并在50~70℃下真空干燥30~120min得到平整的修饰后的树叶。

6. 根据权利要求5所述普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,其特征在于,所述步骤(3)中的紫外照射使用的紫外灯波长为350~380nm,聚合反应时间为2~6h。

7. 一种采用权利要求1-6制备方法得到的普适性双层水凝胶驱动器的应用,其特征在于,所述具有条纹的基底为具有清晰叶脉的树叶时,树叶与水凝胶形成双层结构,在高于体积相转变温度的水中由于叶脉的无规则分布导致其由平整状态逐渐进行不规则蜷缩,而在低于体积相转变温度的水中蜷缩的树叶逐渐舒展,从而模拟树叶的枯萎与绽放。

8. 一种采用权利要求1-6制备方法得到的普适性双层水凝胶驱动器的应用,其特征在于,所述所述具有条纹的基底为90°条纹结构的无尘纸时,将其制备成具有双层水凝胶驱动器后,裁切成抓手模型,然后将抓手模型放入高于体积相转变温度的水中可实现失水收缩,当放入低于体积相转变温度的水中则会吸水膨胀,实现抓取释放功能。

## 一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法及其应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于柔性智能驱动领域,尤其涉及一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法。

### 背景技术

[0002] 水凝胶是一种亲水性高分子交联网络被水溶胀而形成的软物质材料。由于内部存在大量的水分子作为分散相,水凝胶具有“软”与“湿”的特性。作为最重要的智能材料之一,聚合物水凝胶驱动器可以将各种外部刺激(如热、pH、光、化学物质、电)转换成可控和可逆的形状变换。此外,与其他聚合物驱动器(如液晶驱动器)相比,水凝胶驱动器是柔软潮湿的材料,就像生物体一样。因此,它们引起了极大的关注,并在软机器人、人工肌肉、瓣膜等方面显示出了良好的应用前景。

[0003] 水凝胶驱动器可分为两类:膨胀/收缩和弯曲/不弯曲。膨胀/收缩变形通常是各向同性的,因为水凝胶是均匀的,导致了各向同性的体积膨胀或收缩。相反,弯曲/不弯曲变形代表各向异性变形,通常通过制造两层结构来实现,其中两层在外部刺激下的膨胀或收缩行为不同,导致各向异性弯曲/不弯曲运动。因此,人造软体机器人,如步行机、游泳运动员和机械手,都是利用这种可逆弯曲/不弯曲变形制造的,各向异性结构的设计和制备是开发水凝胶驱动器的基础。

[0004] 迄今为止,科研人员已经研究了双层结构、梯度结构、定向结构、图案结构以及其他结构等多种非均质结构,使其具有优异的驱动性能和良好的力学性能,但是普适性比较差。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服水凝胶各向异性方法构筑技术的不足,通过研究水凝胶驱动器的制备工艺,获得具有普适性的双层水凝胶驱动器并将其应用在日常生活中。

[0006] 本发明中一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种普适性双层水凝胶驱动器的制备方法,包括如下步骤:

[0008] (1) 水凝胶预聚液的制备:水凝胶预聚液的原料包括单体、交联剂和引发剂,所述0.05~1.0g交联剂加入10~20mL去离子水中磁力搅拌2~6h至完全分散得到悬浮液,将一定量的单体和引发液加入上述悬浮液中,室温下避光搅拌1~4h至溶液均匀,再往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

[0009] (2) 模具的制备:将具有条纹结构的基底和中间掏空硅橡胶垫片依次放置在透明玻璃板上,用另一块透明玻璃板密封制作模具;

[0010] (3) 双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器。

[0011] 进一步地,所述步骤(1)中的单体为N-异丙基丙烯酰胺、丙烯酰胺或2-丙烯酰胺基-甲基丙磺酸中的一种或多种,交联剂为纳米粘土XLG型合成硅酸镁锂或N,N'-亚甲基双丙烯酰胺,引发剂为1-羟基环己基苯基甲酮和甲醇的混合液或2,2'-偶氮双(2-甲基丙脒)二盐酸盐。

[0012] 进一步地,所述单体、交联剂和引发剂的质量比为500:30~350:1。

[0013] 进一步地,所述步骤(2)中具有条纹结构的基底为具有条纹结构的无尘纸或具有清晰叶脉的树叶。

[0014] 进一步地,所述具有清晰叶脉的树叶采用如下方法得到:摘下新鲜的叶子用去离子水冲洗干净,置于10%氢氧化钠(NaOH)溶液中煮沸5~20min,取出冲洗干净,并用软毛刷取出多余的叶肉,留下完整的叶脉骨架,再压平并在50~70℃下真空干燥30~120min得到平整的修饰后的树叶。

[0015] 进一步地,所述步骤(3)中的紫外照射使用的紫外灯波长为350~380nm,聚合反应时间为2~6h。

[0016] 本发明中普适性双层水凝胶驱动器的应用通过以下技术方案实现的:

[0017] 一种采用上述方法制备的普适性双层水凝胶驱动器的应用,其特征在于,所述具有条纹的基底为具有清晰叶脉的树叶时,树叶与水凝胶形成双层结构,在高于体积相转变温度的水中由于叶脉的无规则分布导致其由平整状态逐渐进行不规则蜷缩,而在低于体积相转变温度的水中蜷缩的树叶逐渐舒展,从而模拟树叶的枯萎与绽放。

[0018] 一种采用上述方法制备的普适性双层水凝胶驱动器的应用,其特征在于,所述所述具有条纹的基底为90°条纹结构的无尘纸时,将其制备成具有双层水凝胶驱动器后,裁切成抓手模型,然后将抓手模型放入高于体积相转变温度的水中可实现失水收缩,当放入低于体积相转变温度的水中则会吸水膨胀,实现抓取释放功能。

[0019] 本发明的有益效果:

[0020] 本发明通过仿生囊泡貉藻的捕虫夹制备了一种具有普适性的双层水凝胶驱动器,一方面通过选择合适的交联剂含量来获得具有优良的驱动性能的水凝胶驱动器,并且可以通过交联剂的含量调控水凝胶的机械性能和弯曲性能,扩大使用范围;另一方面,通过选择不同的水凝胶和不同具有条纹结构的基底验证该双层水凝胶驱动器制备方法的普适性。

## 附图说明

[0021] 图1为该双层水凝胶驱动器的制备流程图。

[0022] 图2为各向异性的无尘纸的SEM图。

[0023] 图3为不同粘土含量的温敏型双层水凝胶驱动器的驱动性能图。

[0024] 图4为溶剂响应型P(AAm-co-AMPS)水凝胶驱动器的驱动性能图。

[0025] 图5为基底为树叶的水凝胶驱动器的驱动性能图。

[0026] 图6为该双层水凝胶驱动器作为抓手的应用。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发现。应当指出的是,对本领域的普通技术

人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

#### [0028] 实施例1

[0029] 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.0762g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2h,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

[0030] 步骤(2)、模具的制备:如图1所示,将尺寸为40mm×10mm、表面条纹为90°(条纹与长边的夹角)的无尘纸和中间掏空面积为40mm×10mm的硅橡胶垫片依次放置在玻璃板上,用另一块玻璃片密封模具;

[0031] 步骤(3)、双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,注入过程应避免产生气泡,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器,记为“NC1”。

[0032] 图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。如图3所示,该双层水凝胶驱动器在高于体积相转变温度的水中会弯曲,在低于体积相转变温度的水中会回复变直。当纳米黏土含量较低时,NC1双层水凝胶驱动器在前5秒内可迅速由3.2°弯曲变形至420.0°,弯曲速率高达79.8°/s,但由于NC1双层水凝胶驱动器的粘土含量较低导致机械性能较差,无法克服弯曲带来的阻力,所以5秒后其弯曲角度无变化,30秒内的弯曲振幅为416.8°。

#### [0033] 实施例2

[0034] 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.2285g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2h,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

[0035] 步骤(2)、模具的制备:如图1所示,将尺寸为40mm×10mm、表面条纹为90°(条纹与长边的夹角)的无尘纸和中间掏空面积为40mm×10mm的硅橡胶垫片依次放置在玻璃板上,用另一块玻璃片密封模具;

[0036] 步骤(3)、双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,注入过程应避免产生气泡,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器,记为“NC3”。

[0037] 图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。如图3所示,该双层水凝胶驱动器在高于体积相转变温度的水中会弯曲,在低于体积相转变温度的水中会回复变直。当纳米黏土含量增加时,NC3双层水凝胶驱动器在前5秒内弯曲速率下降为24.74°/s,但由于NC3双层水凝胶驱动器的粘土含量增加导致机械性能提高,足以克服弯曲带来的阻力,所以5s后接着弯曲,30秒内的弯曲振幅为589.4°。

**[0038] 实施例3**

**[0039]** 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.3808g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2h,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

**[0040]** 步骤(2)、模具的制备:如图1所示,将尺寸为40mm×10mm、表面条纹为90°(条纹与长边的夹角)的无尘纸和中间掏空面积为40mm×10mm的硅橡胶垫片依次放置在玻璃板上,用另一块玻璃片密封模具,图2为各向异性结构的无尘纸的SEM图;

**[0041]** 步骤(3)、双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,注入过程应避免产生气泡,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器,记为“NC5”。

**[0042]** 图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。如图3所示,该双层水凝胶驱动器在高于体积相转变温度的水中会弯曲,在低于体积相转变温度的水中会回复变直。当纳米黏土含量继续增加时,NC5双层水凝胶驱动器在前5秒内弯曲速率逐渐下降为7.3°/s,30秒内的弯曲振幅也逐渐下降为344.2°。

**[0043] 实施例4**

**[0044]** 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.5331g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2h,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

**[0045]** 步骤(2)、模具的制备:如图1所示,将尺寸为40mm×10mm、表面条纹为90°(条纹与长边的夹角)的无尘纸和中间掏空面积为40mm×10mm的硅橡胶垫片依次放置在玻璃板上,用另一块玻璃片密封模具,图2为各向异性结构的无尘纸的SEM图;

**[0046]** 步骤(3)、双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,注入过程应避免产生气泡,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器,记为“NC7”。

**[0047]** 图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。如图3所示,该双层水凝胶驱动器在高于体积相转变温度的水中会弯曲,在低于体积相转变温度的水中会回复变直。当纳米黏土含量继续增加时,NC7双层水凝胶驱动器在前5秒内弯曲速率逐渐下降为6.6°/s,30秒内的弯曲振幅也逐渐下降为125.5°。

**[0048] 实施例5**

**[0049]** 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.7616g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2小时,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含

有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

[0050] 步骤(2)、模具的制备:如图1所示,将尺寸为40mm×10mm、表面条纹为90°(条纹与长边的夹角)的无尘纸和中间掏空面积为40mm×10mm的硅橡胶垫片依次放置在玻璃板上,用另一块玻璃片密封模具;

[0051] 步骤(3)、双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,注入过程应避免产生气泡,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器,记为“NC10”。图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。

[0052] 如图3所示,该双层水凝胶驱动器在高于体积相转变温度的水中会弯曲,在低于体积相转变温度的水中会回复变直。当纳米黏土含量继续增加时,NC10双层水凝胶驱动器在前5秒内弯曲速率逐渐下降为2.9°/s,30秒内的弯曲振幅也逐渐下降为68.6°。

[0053] 由实施例1~5可知,不同交联剂得到的水凝胶机械性能和驱动性能不同,可通过交联剂的添加量调控水凝胶机械性能和驱动性能,获得不同用途,增加使用性。

[0054] 实施例6

[0055] 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.887g的丙烯酰胺,0.180g的2-丙烯酰胺基-甲基丙磺酸,0.035g的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺,0.045g的2,2'-偶氮双(2-甲基丙脒)二盐酸盐依次溶解到8.86mL的去离子水中,得到澄清液体,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的P(AAm-co-AMPS)水凝胶预聚液;

[0056] 步骤(2)、模具的制备:如图1所示,将尺寸为40mm×10mm、表面条纹为90°(条纹与长边的夹角)的无尘纸和中间掏空面积为40mm×10mm的硅橡胶垫片依次放置在玻璃板上,用另一块玻璃片密封模具;

[0057] 步骤(3)、双层水凝胶驱动器的制备:将步骤(1)得到的水凝胶预聚液注入步骤(2)的模具中,注入过程应避免产生气泡,在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模后用去离子水浸泡除去未反应的物质,得到所述的双层水凝胶驱动器,记为“P(AAm-co-AMPS)”。

[0058] 图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。如图4所示,该双层水凝胶驱动器在乙醇中会弯曲,在去离子水中会回复变直且反向弯曲。该双层水凝胶驱动器中的水在乙醇中因浓度差而释放,导致其向水凝胶层的方向弯曲,10min左右弯曲角度达到279.3°,最大弯曲振幅为332.2°,整体弯曲速率为0.55°/s;而将其转移至去离子水中时,由于水凝胶内的乙醇因渗透压的关系缓慢释放,水重新进入水凝胶而发生回复,甚至进一步吸水溶胀出现反向弯曲的现象,由0min的276.0°回复至2min的30.8°,随时间增加,在10.5min反向弯曲-234.2°,整体弯曲速率为0.81°/s。

[0059] 实施例7

[0060] 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.2285g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2h,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的

溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

[0061] 步骤(2)、模具的制备:将风干的枫叶用去离子水冲洗干净;摘下新鲜的香樟叶用去离子水冲洗干净,置于10%氢氧化钠(NaOH)溶液中煮沸10min,取出冲洗干净,并用软毛刷取出多余的叶肉,留下完整的叶脉骨架;这些处理后的树叶在60℃下压平干燥30min得到平整的修饰后的树叶,真空干燥待用。

[0062] 步骤(3)、双层水凝胶的制备及其应用:将树叶放置在培养皿中,浇筑水凝胶预聚液后在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模,用去离子水浸泡除去未反应的物质,最后裁切成树叶形状,通过用树叶替换无尘纸来模拟树叶的绽放和枯萎过程。如图5所示,树叶与水凝胶形成双层结构,在高于体积相转变温度的水中由于叶脉的无规则分布导致其由平整状态逐渐进行不规则蜷缩,而在低于体积相转变温度的水中蜷缩的树叶逐渐舒展,10min内即可恢复初始的平整状态,整个变形过程很好地模拟了树叶的枯萎与绽放,验证了该制备方法的普适性。

[0063] 实施例8

[0064] 步骤(1)、水凝胶预聚液的制备:将0.2285g XLG型合成硅酸镁锂加入10mL去离子水中磁力搅拌4h,直至完全分散得到悬浮液,同时将0.226g 1-羟基环己基苯基甲酮加入10mL甲醇中配制引发剂溶液,然后再将1.13g单体N-异丙基丙烯酰胺和0.1mL引发剂溶液依次加入悬浮液中,室温下避光搅拌2小时,最后往溶液中通入高纯氮气鼓泡,除去溶液中含有的溶解氧,即得到透明的(N-异丙基丙烯酰胺)-粘土水凝胶预聚液;

[0065] 步骤(2)、双层水凝胶的制备及其应用:将特定形状无尘纸放置在培养皿中,浇筑水凝胶预聚液后在紫外光的照射下进行原位自由基聚合反应,去模,用去离子水浸泡除去未反应的物质,最后裁切成抓手。

[0066] 图2为无尘纸的SEM图,无尘纸的正面呈规则排列的条纹结构。反面呈无规则的纤维结构。无尘纸的条纹结构与水凝胶的多孔结构构成的双层水凝胶驱动器呈现整体上的各向异性结构。如图6所示,将抓手放入高于体积相转变温度的水中20秒内失水收缩而闭合,实现对纸团的抓取;接着放入低于体积相转变温度的水中则会吸水膨胀而张开,实现对纸团的释放。

[0067] 最后应说明的是以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的技术人员应当理解,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行同等替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神与范围。

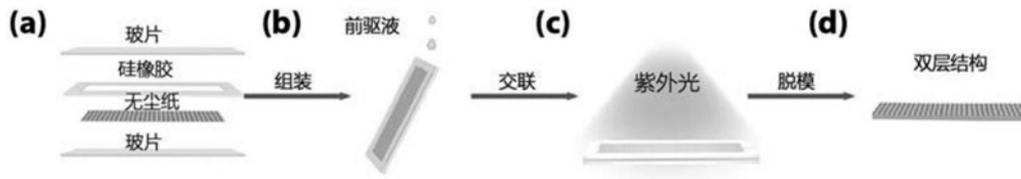


图1

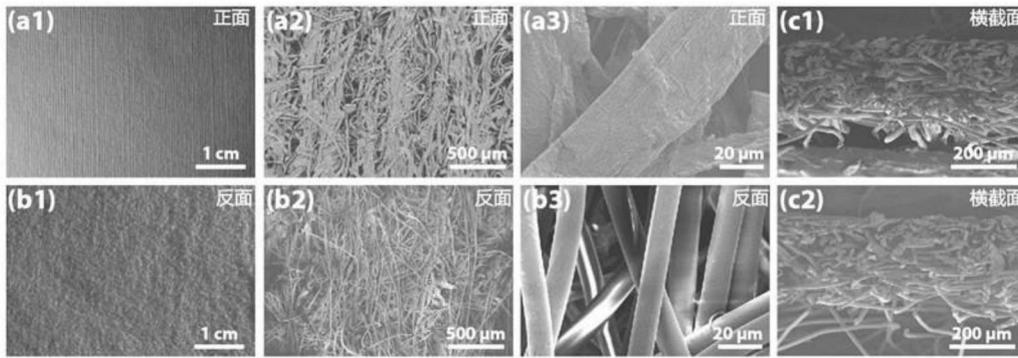


图2

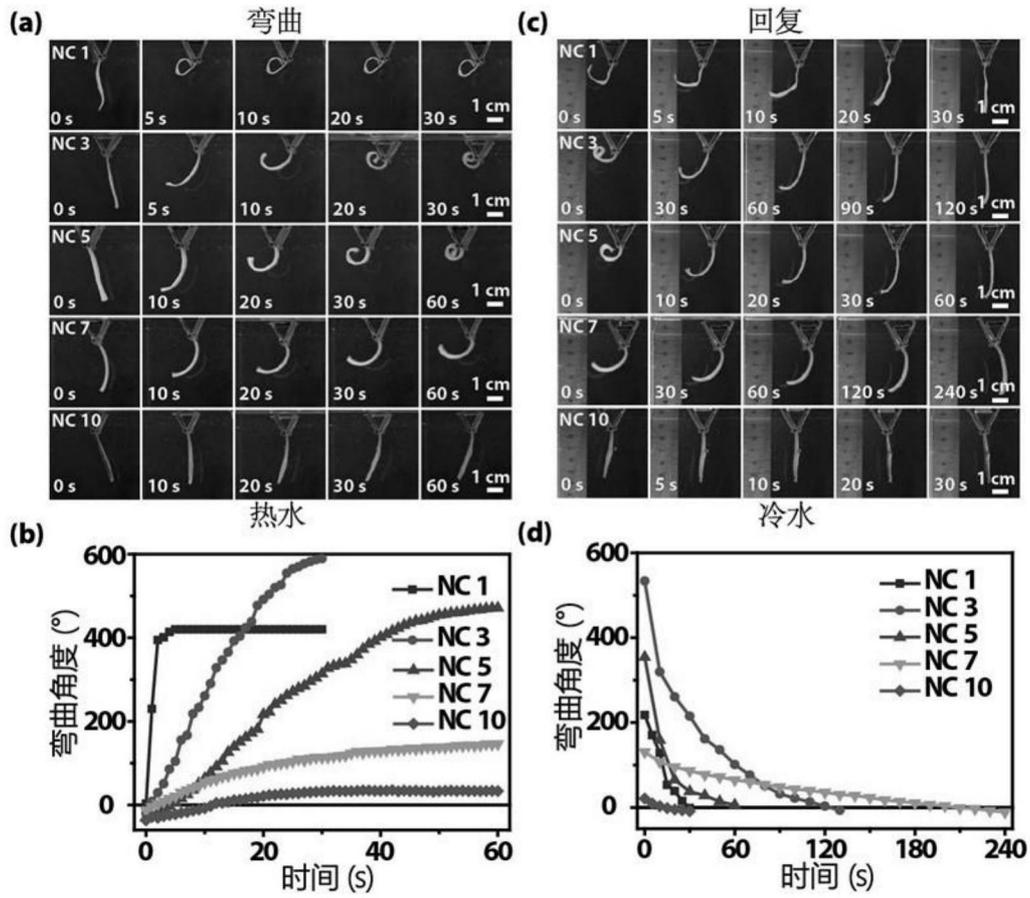


图3

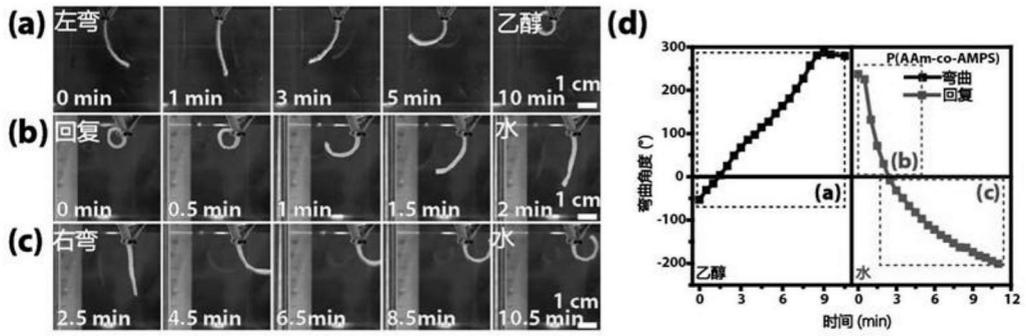


图4

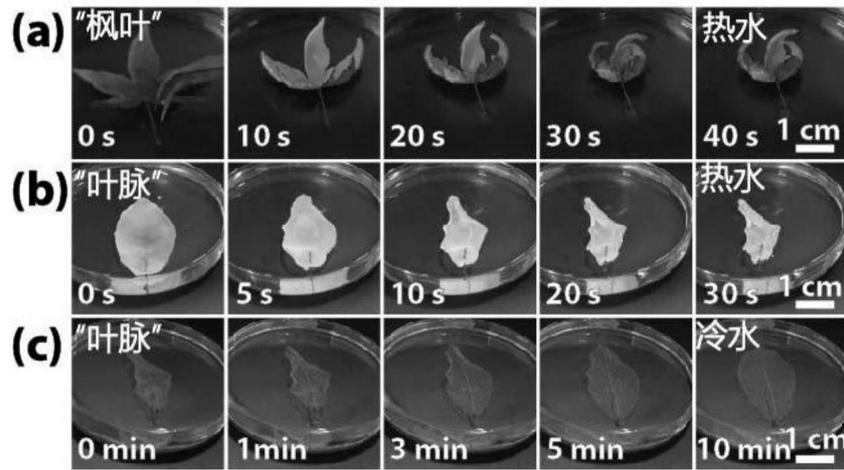


图5

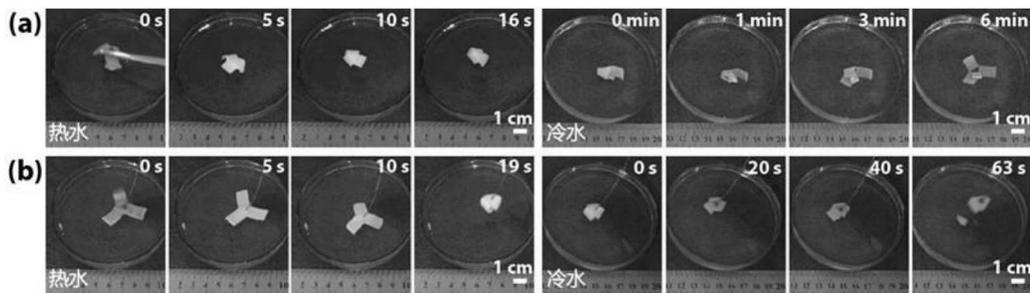


图6