



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116653372 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 29

(21) 申请号 202310615769.3

A61H 3/00 (2006.01)

(22) 申请日 2023.05.29

A61B 34/30 (2016.01)

(71) 申请人 东北电力大学

地址 132000 吉林省吉林市船营区长春路
169号

(72) 发明人 杨俊杰 姜震 姚金彤 王思永
于涛 韦康

(74) 专利代理机构 北京圣州专利代理事务所
(普通合伙) 11818

专利代理师 李志强

(51) Int. Cl.

B32B 9/04 (2006.01)

B32B 38/00 (2006.01)

B32B 38/16 (2006.01)

B32B 3/12 (2006.01)

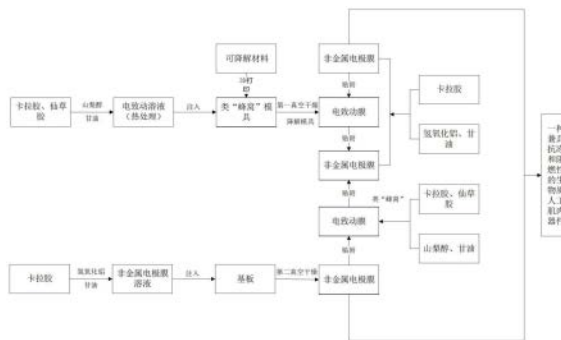
权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种生物聚合物人工肌肉及其制备方法和应用

(57) 摘要

本发明提供了一种生物聚合物人工肌肉的制备方法,利用卡拉胶与仙草胶作为原料,有利于得到机械性优良、抗氧化抗菌效果好的电致动膜;利用山梨醇抑制冰晶的形成,从而使制备的所述电致动膜具有良好的抗冻性能;并且类“蜂窝”结构使得所述电致动膜具有优良的力学性能,其特有的六边形结构能较好的隔绝氧气,从而使电致动膜具有优良阻燃效果;采用卡拉胶与氢氧化铝结合制备得到导电性能和阻燃性能优异的非金属电极膜;将所述非金属电极膜和电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,装配之后得到的生物聚合物人工肌肉整体为多层“夹心”结构,表现出十分优异的电-化学-机械性能,同时具有优异的阻燃性能和抗冻性。



1. 一种生物聚合物人工肌肉的制备方法,包括以下步骤:

(1) 利用可降解材料构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具;

(2) 向含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中依次加入山梨醇和甘油,然后进行热处理,得到电致动膜溶液;

将所述电致动膜溶液注入所述步骤(1)得到电致动膜模具中,依次进行第一真空干燥和降解模具处理,得到电致动膜;

(3) 向卡拉胶的水溶液中依次加入氢氧化铝和甘油,得到非金属电极膜溶液;

将所述非金属电极膜溶液注入基板上,进行第二真空干燥,得到非金属电极膜;

(4) 将所述步骤(3)得到的非金属电极膜和所述步骤(2)得到的电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,构筑得到生物聚合物人工肌肉;

所述步骤(1)和步骤(3)没有先后顺序之分;所述步骤(2)和步骤(3)没有先后顺序之分。

2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(1)中可降解材料为聚乳酸、聚乙内酯、聚羟基脂肪酸酯中的至少一种。

3. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)中含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中卡拉胶和仙草胶与山梨醇的质量比为(6~10):(1.5~4):(0.5~3)。

4. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)中热处理的温度为60~80℃,所述热处理的时间为15~25min,所述热处理在搅拌的条件下进行。

5. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)中将电致动膜溶液注入电致动膜模具前还包括:将所述电致动膜溶液依次进行超声处理和除去含有残余气泡与泡沫的表层溶液。

6. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(2)中第一真空干燥的温度为40~60℃,第一真空干燥的时间为24~32h,第一真空干燥的真空度为-0.1~-0.06MPa。

7. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(3)中卡拉胶的水溶液中卡拉胶和氢氧化铝的质量比为1:(0.8~2)。

8. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述步骤(3)中第二真空干燥的温度为40~60℃,第二真空干燥的时间为24~32h,第二真空干燥的真空度为-0.1~-0.06MPa。

9. 权利要求1~8任一项所述制备方法制备得到的生物聚合物人工肌肉,所述生物聚合物人工肌肉具有多层“夹心”结构。

10. 权利要求1~8任一项所述制备方法制备得到的生物聚合物人工肌肉或权利要求9所述的生物聚合物人工肌肉在仿生材料和/医疗材料中的应用。

一种生物聚合物人工肌肉及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及人工肌肉技术领域,尤其涉及一种生物聚合物人工肌肉及其制备方法和应用。

背景技术

[0002] 人工肌肉是指当在外界物理或化学刺激下发生伸缩、膨胀、弯曲、扭转等运动,且对外做功的柔性材料或器件,传统的人工肌肉技术已经在仿生机器人、机器人假肢和外骨骼、医疗机器人、软机器人等应用中展现出巨大的潜力。人工肌肉器件的广泛应用促使专业人员在研究过程中更加注重其机械性能以及耐候性,但是人工肌肉器件在工作过程中经常受到低温、高温的侵蚀,降低人工肌肉器件的使用寿命,因此,提供一种兼具抗冻与阻燃性的人工肌肉是现有技术亟需解决的问题。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种生物聚合物人工肌肉及其制备方法和应用,本发明提供的方法,制备的生物聚合物人工肌肉,具有优异的阻燃性和抗冻性以及良好的机械性能,延长了其使用寿命。

[0004] 为了实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0005] 本发明提供了一种生物聚合物人工肌肉的制备方法,包括以下步骤:

[0006] (1)利用可降解材料构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具;

[0007] (2)向含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中依次加入山梨醇和甘油,然后进行热处理,得到电致动膜溶液;

[0008] 将所述电致动膜溶液注入所述步骤(1)得到电致动膜模具中,依次进行第一真空干燥和降解模具处理,得到电致动膜;

[0009] (3)向卡拉胶的水溶液中依次加入氢氧化铝和甘油,得到非金属电极膜溶液;

[0010] 将所述非金属电极膜溶液注入基板上,进行第二真空干燥,得到非金属电极膜;

[0011] (4)将所述步骤(3)得到的非金属电极膜和所述步骤(2)得到的电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,构筑得到生物聚合物人工肌肉;

[0012] 所述步骤(1)和步骤(3)没有先后顺序之分;所述步骤(2)和步骤(3)没有先后顺序之分。

[0013] 优选地,所述步骤(1)中可降解材料为聚乳酸、聚乙内酯、聚羟基脂肪酸酯中的至少一种。

[0014] 优选地,所述步骤(2)中含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中卡拉胶和仙草胶与山梨醇的质量比为(6~10):(1.5~4):(0.5~3)。

[0015] 优选地,所述步骤(2)中热处理的温度为60~80℃,所述热处理的时间为15~25min,所述热处理在搅拌的条件下进行。

[0016] 优选地,所述步骤(2)中将电致动膜溶液注入电致动膜模具前还包括:将所述电致

动膜溶液依次进行超声处理和除去含有残余气泡与泡沫的表层溶液。

[0017] 优选地,所述步骤(2)中第一真空干燥的温度为40~60℃,第一真空干燥的时间为24~32h,第一真空干燥的真空度为-0.1~-0.06MPa。

[0018] 优选地,所述步骤(3)中卡拉胶的水溶液中卡拉胶和氢氧化铝的质量比为1:(0.8~2)。

[0019] 优选地,所述步骤(3)中第二真空干燥的温度为40~60℃,第二真空干燥的时间为24~32h,第二真空干燥的真空度为-0.1~-0.06MPa。

[0020] 本发明还提供了上述技术方案所述制备方法制备得到的生物聚合物人工肌肉,所述生物聚合物人工肌肉具有多层“夹心”结构。

[0021] 本发明还提供了上述技术方案所述制备方法制备得到的生物聚合物人工肌肉或所述的生物聚合物人工肌肉在仿生材料和/医疗材料中的应用。本发明提供了一种生物聚合物人工肌肉的制备方法的制备方法,利用卡拉胶与仙草胶作为原料,进行交联,可得到机械性优良、抗氧化抗菌效果好的电致动膜;山梨醇是一种小分子邻位醇,是优异的耐低温有机溶剂,它的结构中含有羟基分子,当山梨醇加入含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中,羟基和水分子间形成大量的氢键,使水的凝固点降低,抑制水凝胶网络中冰晶的形成,从而使制备的所述电致动膜具有良好的抗冻性能;并且利用具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具,得到同样具有类“蜂窝”结构的电致动膜,使得所述电致动膜具有优良的力学性能,其特有的六边形结构能较好的隔绝氧气,从而使电致动膜具有优良阻燃效果;采用卡拉胶与氢氧化铝结合制备得到阻燃性能优异的非金属电极膜,在所述生物聚合物人工肌肉使用过程中发生,随着温度升高,所述非金属电极膜中卡拉胶高分子发生热解产生一些非可燃性气体稀释了氧气浓度,所述非金属电极膜中 Al^{3+} 会与热解产生的羟基自由基结合生成 $Al(OH)_3$,终止链反应,促进可燃产物脱水炭化来达到阻燃效果,而随着燃烧进一步进行, $Al(OH)_3$ 受热热解生成结合水,能够吸收热量降低温度,同时生成氧化铝覆盖在电极膜表面,不仅起到抑制烟的效果,还会隔绝空气和热量,从而达到优良的阻燃效果,而氢氧化铝溶于水中有良好的导电性能,所制备的非金属电极膜导电性能优良;将所述非金属电极膜和电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,装配之后得到的生物聚合物人工肌肉整体为多层“夹心”结构,具有良好的响应变形量、可逆致动性和运动范围,即表现出十分优异的电-化学-机械性能,且电致动膜具有优异的抗冻性,最终获得具有优异的阻燃性能和抗冻性的人工肌肉。

[0022] 本发明的优点在于:

[0023] 第一,卡拉胶是从海洋红藻中提取的一种天然的聚多糖,其分子是由 β -(1→3)-D-半乳糖-4-硫酸基和 α -(1→4)-3,6-内醚-D-半乳糖形成的交替共聚物,具有优良的热可逆凝胶性、无毒、亲水、稳定分散以及较好的成膜性,但卡拉胶膜的强度低,耐水性、热稳定性差,仙草胶是以仙草茎叶为原料提取的仙草多糖,具有良好的天然水溶胶性能。将卡拉胶的水溶液与仙草胶的水溶液共混,卡拉胶上每个重复的二糖单元中含有一个硫酸基团,在其特有的溶胶-凝胶转变过程中,相邻可以自发地交联,形成有序的双螺旋结构,使仙草胶与其结合更加紧密,不仅可以改善单一卡拉胶膜的物理性质,同时还可以增强卡拉胶膜的抗氧化抗菌效果。山梨醇中含有羟基,羟基与水分子间可以形成大量的氢键,使水的凝固点降低,可以有效的降低水的冰点,抑制由卡拉胶和仙草胶形成的凝胶网络中冰晶的形成,使

制备出来的电致动膜具有良好的抗冻性。

[0024] 第二,卡拉胶中的硫酸酯基团可以与金属离子结合后会共同发挥阻燃作用,氢氧化铝是一种无机化合物,卡拉胶与氢氧化铝结合,随着外界环境温度升高,卡拉胶高分子发生热解,会与热解产生的羟基自由基结合生成,终止链反应,促进可燃产物脱水炭化来达到阻燃效果,而随着燃烧进一步进行,受热热解生成结合水,能够吸收热量降低温度,同时生成氧化铝覆盖在电极膜表面,不仅起到抑制烟的效果,还会隔绝空气和热量,从而达到优良的阻燃效果,而氢氧化铝溶于水中有良好的导电性能,以此来制备所述生物聚合物人工肌肉的非金属电极膜,它具有良好的导电性、阻燃性、耐弯折且安全无毒。

[0025] 第三,本发明制备的生物聚合物人工肌肉整体为多层“夹心”结构,其非金属电极膜含有氢氧化铝具有优异的阻燃性能以及导电性能,其电致动膜含有小分子山梨醇,因此具有优异的抗冻性,而其为类“蜂窝”结构,类“蜂窝”结构在能良好的隔绝氧气,促使电致动膜同样具有良好的阻燃性。将具有阻燃性的非金属电极膜与具有抗冻性的电致动膜的逐层紧密堆叠,多层“夹心”结构促使人工肌肉器件具有良好的响应变形量、可逆致动性和运动范围,即表现出十分优异的电-化学-机械性能,且整个人工肌肉器件具有优异的阻燃性能。实施例的结果显示,在阻燃性方面人工肌肉整体的厌氧指数达到28%,垂直燃烧等级为V-0级,在-20摄氏度的下人工肌肉的弹性模量、拉伸强度较室温(-5摄氏度)变化较小。

附图说明

[0026] 图1是本发明中生物聚合物人工肌肉制备方法的工艺流程图;

[0027] 图2是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法制备的人工肌肉器件整体示意图;

[0028] 图3是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法的非金属电极膜和电致动膜交替叠放的装配组装示意图;

[0029] 图4是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法中具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具的示意图;

[0030] 图5是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法中非金属电极膜的示意图;

[0031] 图6是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法中电致动膜的示意图;

[0032] 附图说明:1、非金属电极膜;2、电致动膜;3、类“蜂窝”模具。

具体实施方式

[0033] 本发明提供了一种生物聚合物人工肌肉的制备方法,包括以下步骤:

[0034] (1) 利用可降解材料,构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具;

[0035] (2) 向含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中依次加入山梨醇和甘油,然后进行热处理,得到电致动膜溶液;

[0036] 将所述电致动膜溶液注入所述步骤(1)得到电致动膜模具中,依次进行第一真空干燥和降解模具处理,得到电致动膜;

[0037] (3) 向卡拉胶的水溶液中依次加入氢氧化铝和甘油,得到非金属电极膜溶液;

[0038] 将所述非金属电极膜溶液注入基板上,进行第二真空干燥,得到非金属电极膜;

[0039] (4) 将所述步骤(3)得到的非金属电极膜和所述步骤(2)得到的电致动膜交替叠

放,两侧最外层为非金属电极膜,构筑得到生物聚合物人工肌肉;

[0040] 所述步骤(1)和步骤(3)没有先后顺序之分;所述步骤(2)和步骤(3)没有先后顺序之分。

[0041] 本发明利用可降解材料,构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具。

[0042] 在本发明中,所述可降解材料优选为聚乳酸、聚乙内酯、聚羟基脂肪酸酯中的至少一种。

[0043] 在本发明中,所述构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具的方法优选为联合3D打印与类消失模铸造。

[0044] 在本发明中,所述利用可降解材料构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具的方法优选包括以下步骤:首先使用三维作图软件,绘制出具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具;联合3D打印与类消失模铸造技术,利用可降解材料作为原料,使用3D打印机将所述具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具逐层打印出来。在本发明中,所述具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具的个数优选为两个或以上。

[0045] 本发明向含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中依次加入山梨醇和甘油,然后进行热处理,得到电致动膜溶液。

[0046] 在本发明中,所述含卡拉胶、仙草胶和水的共混物的配制方法优选为分别配制卡拉胶的水溶液和仙草胶的水溶液,然后将卡拉胶的水溶液和仙草胶的水溶液混合后,搅拌均匀,得到所述含卡拉胶、仙草胶和水的共混物。在本发明中,所述含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中卡拉胶和仙草胶与山梨醇的质量比优选为(6~10):(1.5~4):(0.5~3),更优选为(7~9):(2~3):(1.5~2)。本发明控制含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中卡拉胶和仙草胶与山梨醇的质量比在上述范围,以保证制备的电致动膜拥有优异的抗冻性以及膜的整体性能优良,达到最优的效果。

[0047] 在本发明中,所述热处理的温度为60~80℃,所述热处理的时间为15~25min,所述热处理在搅拌的条件下进行。

[0048] 得到电致动膜溶液后,本发明优选将所述电致动膜溶液依次进行超声处理和除去含有残余气泡与泡沫的表层溶液,得到超声后的电致动膜溶液。

[0049] 在本发明中,所述超声处理的次数为2~3;每次超声处理的时间优选为20~40min;所述超声处理的温度优选为45~55℃,所述超声处理的频率优选为16~25KHz。本发明通过将电致动膜溶液进行超声处理,使得电致动膜溶液中各处分散的小气泡,将会不断上浮并聚集在溶液表面上破裂开来而形成泡沫,继而,可将含有残余气泡与泡沫的表层溶液去除,有利于后续获得质地均匀、性能良好的电致动膜。

[0050] 得到超声后的电致动膜溶液后,本发明将所述超声后的电致动膜溶液注入所述电致动膜模具中,依次进行第一真空干燥和降解模具处理,得到电致动膜。

[0051] 本发明对所述注入的方式没有特殊的限制,采用本领域熟知的注入技术方案,实现电致动膜溶液均匀分布在电致动膜模具中即可。

[0052] 在本发明中,所述第一真空干燥的设备优选为真空干燥箱。在本发明中,所述第一真空干燥的温度优选为40~60℃,更优选为45~55℃;所述第一真空干燥的时间优选为24~32h,更优选为26~30h;所述第一真空干燥的真空度优选为-0.1~-0.06MPa,更优选为-0.09~-0.07MPa。本发明控制第一真空干燥的温度、时间和真空度在上述反应,以保持真空

干燥箱里的恒温与负压环境,能够使得:一方面,彻底排出残留在电致动膜溶液内的小气泡,以确保干燥成型的电致动膜内部均匀一致、表面光滑平整与致动性能稳定;另一方面,随着工作压强的降低,水分扩散速率加快,电致动膜溶液的沸点温度也跟着降低,所以可使其处于低温状态下进行干燥,较好地保护了电致动膜溶液中的高分子组分结构。

[0053] 在本发明中,所述第一真空干燥过程中优选每隔3h打开真空干燥箱门10min,以排出箱内的饱和水蒸气,随后再次抽真空,继续进行恒温真空干燥。

[0054] 第一真空干燥完成后,本发明优选将真空干燥箱缓慢降温。本发明通过待电致动膜完全干燥成型后即第一真空干燥完成后,将真空干燥箱缓慢降温,以达到对电致动膜的退火效果,增加其自身柔韧性、改善力输出性能。

[0055] 在本发明中,所述降解模具处理优选为利用柠檬酸溶解电致动膜模具。

[0056] 本发明向卡拉胶的水溶液中依次加入氢氧化铝和甘油,得到非金属电极膜溶液。

[0057] 在本发明中,所述卡拉胶的种类优选为K型卡拉胶和I型卡拉胶中至少一种。本发明采用上述种类的卡拉胶作为原料,通过相邻硫酸基的交联形成三维双螺旋网络,形成水凝胶。在本发明中,氢氧化铝优选经过二次研磨的粒径为7~9 μm 的氢氧化铝粉末。在本发明中,所述卡拉胶的水溶液中卡拉胶和氢氧化铝的质量比优选为1:(0.8~2.2),更优选为1:(0.8~2),进一步优选为1:1。本发明控制卡拉胶的水溶液中卡拉胶和氢氧化铝的质量比在上述范围,以保证制备的非金属电极膜阻燃性能达到最佳以及膜的导电性能也优良)。

[0058] 在本发明中,所述向卡拉胶的水溶液中依次加入氢氧化铝和甘油的方法优选为首先将卡拉胶的水溶液进行超声处理,然后加入氢氧化铝粉末,进行搅拌处理至氢氧化铝粉末完全溶解,再滴加甘油。

[0059] 得到非金属电极膜溶液后,本发明优选将所述非金属电极膜溶液进行超声处理和除去含有残余气泡与泡沫的表层溶液,得到超声后的非金属电极膜溶液。

[0060] 在本发明中,所述超声处理的次数为2~3;每次超声处理的时间优选为20~40min;所述超声处理的温度优选为45~55 $^{\circ}\text{C}$,所述超声处理的频率优选为16~25KHz。本发明通过将非金属电极膜溶液进行超声处理,使得非金属电极膜溶液中各处分散的小气泡,将会不断上浮并聚集在溶液表面上破裂开来而形成泡沫,继而,可将含有残余气泡与泡沫的表层溶液去除,有利于后续获得质地均匀、性能良好的非金属电极膜。

[0061] 得到超声后的非金属电极膜溶液后,本发明将所述超声后的非金属电极膜溶液注入基板上,进行第二真空干燥,得到非金属电极膜。

[0062] 本发明对所述注入的方式没有特殊的限制,采用本领域熟知的注入技术方案,实现非金属电极膜溶液均匀分布在基板上即可。

[0063] 在本发明中,所述基板优选为培养皿。

[0064] 在本发明中,所述第二真空干燥的温度优选为40~60 $^{\circ}\text{C}$,更优选为45~55 $^{\circ}\text{C}$;所述第二真空干燥的时间优选为24~32h,更优选为26~30h;所述第二真空干燥的真空气度优选为-0.1~-0.06MPa,更优选为-0.09~-0.07MPa。本发明控制第二真空干燥的温度、时间和真空气度在上述反应,以保证干燥成型后非金属电极膜的质量更加稳定可靠,且导电性能和阻燃性能性能达到最优效果)。

[0065] 得到非金属电极膜和电致动膜后,本发明将所述非金属电极膜和电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,构筑得到生物聚合物人工肌肉。

[0066] 在本发明中,所述非金属电极膜和电致动膜交替叠放的方式优选为在非金属电极膜两侧均匀涂覆所述电致动膜溶液,将两个所述电致动膜分别贴附在所述非金属电极膜两侧,重复上述涂覆和贴附操作,保持两侧最外层为非金属电极膜,得到膜组装体。

[0067] 得到膜组装体后,本发明优选利用滤纸将所述膜组装体包裹,然后水平放置于气动热压机的托盘中央进行等温等压地紧合及平整修正,之后进行裁剪和密封存储于PE保鲜膜中,得到生物聚合物人工肌肉。

[0068] 在本发明中,所述气动热压机的压力值优选为0.7~1.5kPa;所述气动热压机的温度优选为45~55℃;所述气动热压机的热压时间优选为12~18min。

[0069] 本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法操作简单可控,生产效率高且环境友好,适宜规模化生产。

[0070] 本发明还提供了上述技术方案所述制备方法制备得到的生物聚合物人工肌肉。

[0071] 在本发明中,所述生物聚合物人工肌肉具有多层“夹心”结构。

[0072] 本发明还提供了上述技术方案所述制备方法制备得到的生物聚合物人工肌肉或所述的生物聚合物人工肌肉在仿生材料和/或医疗材料中的应用。

[0073] 在本发明中,所述仿生材料优选为仿生机器人和机器人的假肢和/或外骨骼;所述医疗材料优选为医疗机器人和软机器人的假肢和/或外骨骼。

[0074] 下面将结合本发明中的实施例,对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0075] 本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法,工艺流程如图1所示,具体为(1)利用可降解材料,构筑具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具;(2)向含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中依次加入山梨醇和甘油,然后进行热处理,得到电致动膜溶液;将所述电致动膜溶液注入所述步骤(1)得到电致动膜模具中,依次进行第一真空干燥和降解模具处理,得到电致动膜;(3)向卡拉胶的水溶液中依次加入氢氧化铝和甘油,得到非金属电极膜溶液;将所述非金属电极膜溶液注入基板上,进行第二真空干燥,得到非金属电极膜;(4)将所述步骤(3)得到的非金属电极膜和所述步骤(2)得到的电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,构筑得到生物聚合物人工肌肉;所述步骤(1)和步骤(3)没有先后顺序之分;所述步骤(2)和步骤(3)没有先后顺序之分。

[0076] 图2是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法制备的人工肌肉器件整体示意图,由图2可知,本发明提供的方法,制备的生物聚合物人工肌肉具有多层“夹心”结构。

[0077] 图3是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法的非金属电极膜和电致动膜交替叠放的装配组装示意图,其中,所述非金属电极膜和电致动膜交替叠放的方式为在非金属电极膜两侧均匀涂覆所述电致动膜溶液,将两个所述电致动膜分别贴附在所述非金属电极膜两侧,重复上述涂覆和贴附操作,保持两侧最外层为非金属电极膜,得到膜组装体。

[0078] 图4是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法中具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具的示意图。

[0079] 图5是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法中非金属电极膜的示意图。

[0080] 图6是本发明提供的生物聚合物人工肌肉的制备方法中电致动膜的示意图,由图6

可知,电致动膜具有具有类“蜂窝”结构。

[0081] 实施例1

[0082] 生物聚合物人工肌肉的制备方法:

[0083] (1) 首先使用三维作图软件SolidWorks,绘制出具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具,联合3D打印与类消失模铸造技术,利用可降解材料聚乳酸作为原料,使用3D打印机将所述具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具逐层打印出来,所述具有类“蜂窝”结构的电致动膜模具个数为两个。

[0084] (2) 首先,设置磁力搅拌器的加热温度40℃,将两个装有25ml蒸馏水的小烧杯置于搅拌器中,进行水浴加热,待温度达到后,用电子分析天平分别称取0.8g卡拉胶粉末和0.2g仙草胶粉末,并将称取好的卡拉胶和仙草胶分别沿两个小烧杯中心向蒸馏水中缓慢倒入,放好搅拌转子且以600r/min匀速搅拌1.5h,得到配制好的卡拉胶的水溶液和仙草胶的水溶液,将以上二种溶液共混交联至完全搅拌均匀,得到含卡拉胶、仙草胶和水的共混物;所述含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中卡拉胶和仙草胶的质量比为8:2;

[0085] 向所述含卡拉胶、仙草胶和水的共混物中加入0.15g的山梨醇粉末,再加入甘油2mL,在搅拌条件、70℃下进行水浴加热即热处理20min,待其完全溶解后停止搅拌,得到电致动膜溶液;随后把所述电致动膜溶液放入超声波清洗机中,进行超声处理即震荡脱泡处理2次(15min/次),共计30min;同时设定温度50℃,超声处理的频率20KHz,随着持续的超声波震荡,所述电致动膜溶液中各处分散的小气泡,将会不断上浮并聚集在溶液表面上破裂开来而形成泡沫,然后将含有残余气泡与泡沫的表层溶液去除,得到超声后的电致动膜溶液;

[0086] 将所述超声后的电致动膜溶液均匀地流延倒入所述步骤(1)得到电致动膜模具中,再水平放进真空干燥箱内,进行真空恒温干燥即第一真空干燥;设置第一真空干燥的温度为50℃,第一真空干燥的时间28h,第一真空干燥的真空度为-0.085MPa,所述第一真空干燥过程中,每隔3h打开真空干燥箱门10min,以排出箱内的饱和水蒸气,随后再次抽真空,继续进行恒温真空干燥,直至电致动膜溶液已干燥成膜即第一真空干燥完成后,将真空干燥箱缓慢降温,随后使用柠檬酸将电致动膜模具进行溶解即进行降解模具处理,得到具有优异抗冻性以及良好阻燃性的类“蜂窝”结构的电致动膜;

[0087] 将0.2g的氢氧化铝粉末倒入研磨器中,对其进行二次研磨备用,向盛有50ml的蒸馏水的烧杯中加入0.5g的卡拉胶粉末,置于磁力搅拌器中,并且水浴恒温加热50℃、500r/min匀速搅拌2.5h,至烧杯中卡拉胶粉末完全溶解,得到卡拉胶的水溶液,随后对其进行超声处理10min,然后加入二次研磨的氢氧化铝粉末,继续恒温搅拌1h,使卡拉胶与氢氧化铝粉末完全溶解。再均匀地滴加丙三醇4滴(<1ml),至溶液充分混合,得到非金属电极膜溶液;随后把所述非金属电极膜溶液放入超声波清洗机中,进行超声处理即震荡脱泡处理2次(15min/次),共计30min;同时设定温度50℃,超声处理的频率20KHz,随着持续的超声波震荡,所述非金属电极膜溶液中各处分散的小气泡,将会不断上浮并聚集在溶液表面上破裂开来而形成泡沫,然后将含有残余气泡与泡沫的表层溶液去除,得到超声后的非金属电极膜溶液;

[0088] 将所述超声后的电致动膜溶液均匀地中注入培养皿上,再水平放进真空干燥箱内,进行真空恒温干燥即第二真空干燥;设置第二真空干燥的温度为50℃,第二真空干燥的

时间28h,第二真空干燥的真空度为-0.085MPa,所述第二真空干燥过程中,每隔3h打开真空干燥箱门10min,以排出箱内的饱和水蒸气,随后再次抽真空,继续进行恒温真空干燥,直至非金属电极膜溶液已干燥成膜即第二真空干燥完成后,将真空干燥箱缓慢降温,得到具有优异阻燃性的非金属电极膜;

[0089] (4)将所述步骤(2)制备好的两个电致动膜和三个所述步骤(3)制备的非金属电极膜取出备用,将其中一个非金属电极膜两侧均匀涂覆所述步骤(2)得到电致动膜溶液,将两个电致动膜分别贴附在已涂覆电致动膜溶液的非金属电极膜两侧,然后分别在贴附后的电致动膜上涂覆所述步骤(2)得到电致动膜溶液,将剩余两个非金属电极膜紧密贴附在两电致动膜上,得到膜组装体,使用滤纸将所述膜组装体包裹,并水平放置于气动热压机的托盘中央,对所述膜组装体进行等温等压地紧合及平整修正,设定气动热压机的压力值为1KPa、温度为50℃、热压时间为15min,再用小刀将其裁剪成长条状,尺寸为35mm×8mm×1.076mm),最后密封存储于PE保鲜膜中得到具有多层“夹心”结构的生物聚合物人工肌肉,所述生物聚合物人工肌肉的最中间一层为非金属电极膜,两侧最外层为非金属电极膜。

[0090] 对实施例1制备的生物聚合物人工肌肉分别进行阻燃性和抗冻性测试。

[0091] 抗冻性测试的步骤为:将实施例1制备的生物聚合物人工肌肉放入冷冻箱进行冷冻,冰冻为-20℃的实施例1制备的生物聚合物人工肌肉为实验组,采用-5℃下的实施例1制备的生物聚合物人工肌肉作为对照组,采用拉伸实验方法,测得-5摄氏度和冰冻-20℃下的生物聚合物人工肌肉最大拉伸强度分别为23.3MPa和15.5MPa,这表明,在-20℃下,实施例1制备的加入山梨醇的生物聚合物人工肌肉的最大拉伸强度仍然保持较高的水平,采用三点弯曲测试方法,测得-5℃和冰冻-20℃下的生物聚合物人工肌肉的弹性模量分别为1.8GPa和1.3GPa,仍保持良好的弹性。

[0092] 阻燃性测试的步骤为:首先采用小火焰点燃实施例1制备的生物聚合物人工肌肉,经过测试火焰在实施例1制备的生物聚合物人工肌肉上燃烧2.2秒左右会熄灭,垂直燃烧等级达到V-0级,其次采用压力扩散测试方法对实施例1制备的生物聚合物人工肌肉进行厌氧性能测试,经测试其厌氧指数为28%,表明实施例1制备的生物聚合物人工肌肉拥有良好的阻燃性。

[0093] 综上所述可知,本发明提供的制备方法,利用卡拉胶与仙草胶作为原料,有利于得到机械性优良、抗氧化抗菌效果好的电致动膜;利用山梨醇抑制冰晶的形成,从而使制备的所述电致动膜具有良好的抗冻性能;并且类“蜂窝”结构使得所述电致动膜具有优良的力学性能,其特有的六边形结构能较好的隔绝氧气,从而使电致动膜具有优良阻燃效果;采用卡拉胶与氢氧化铝结合制备得到导电性能和阻燃性能优异的非金属电极膜;将所述非金属电极膜和电致动膜交替叠放,两侧最外层为非金属电极膜,装配之后得到的生物聚合物人工肌肉整体为多层“夹心”结构,表现出十分优异的电-化学-机械性能,同时具有优异的阻燃性能和抗冻性。

[0094] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

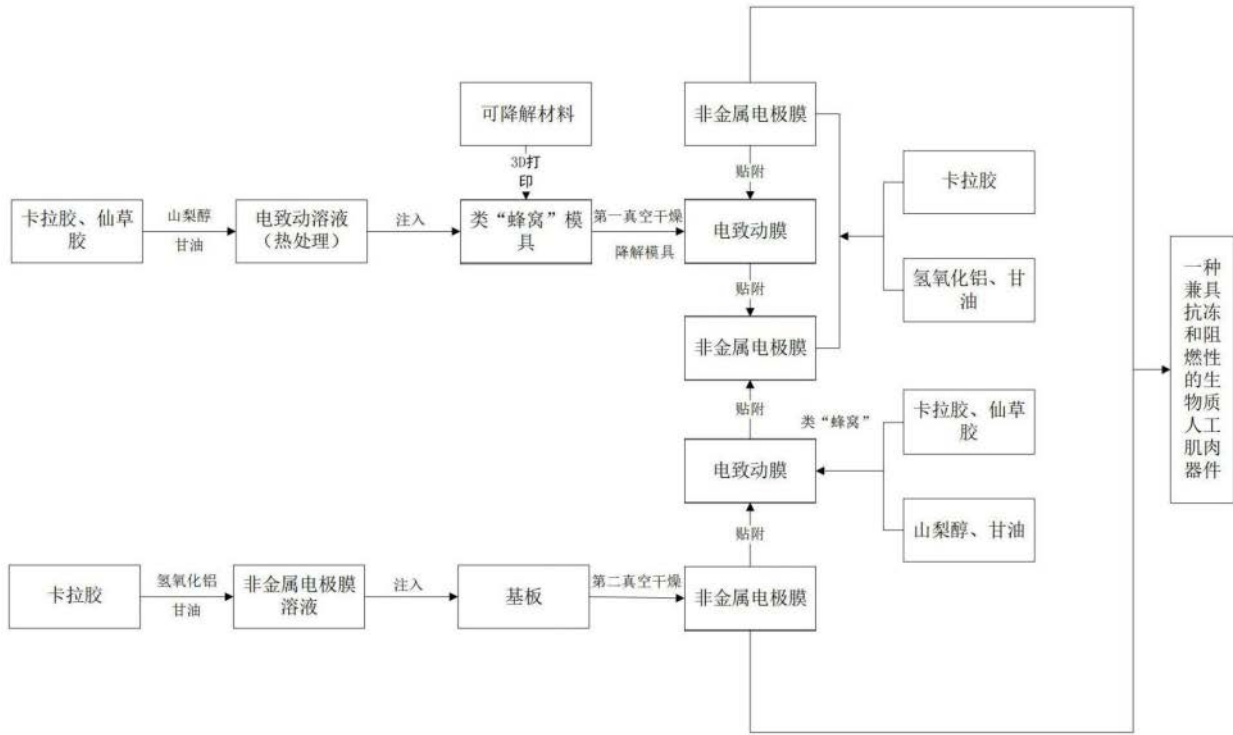


图1

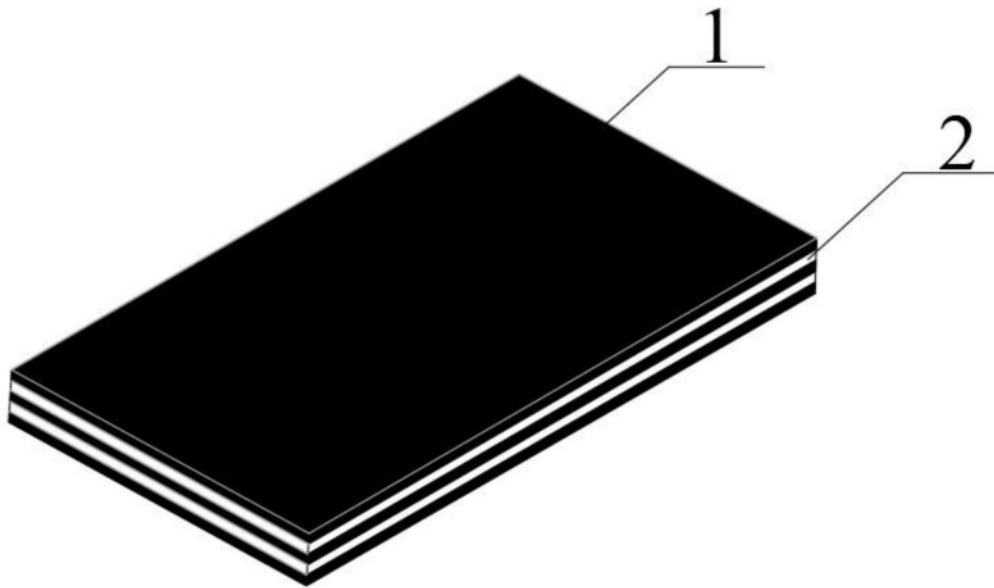


图2

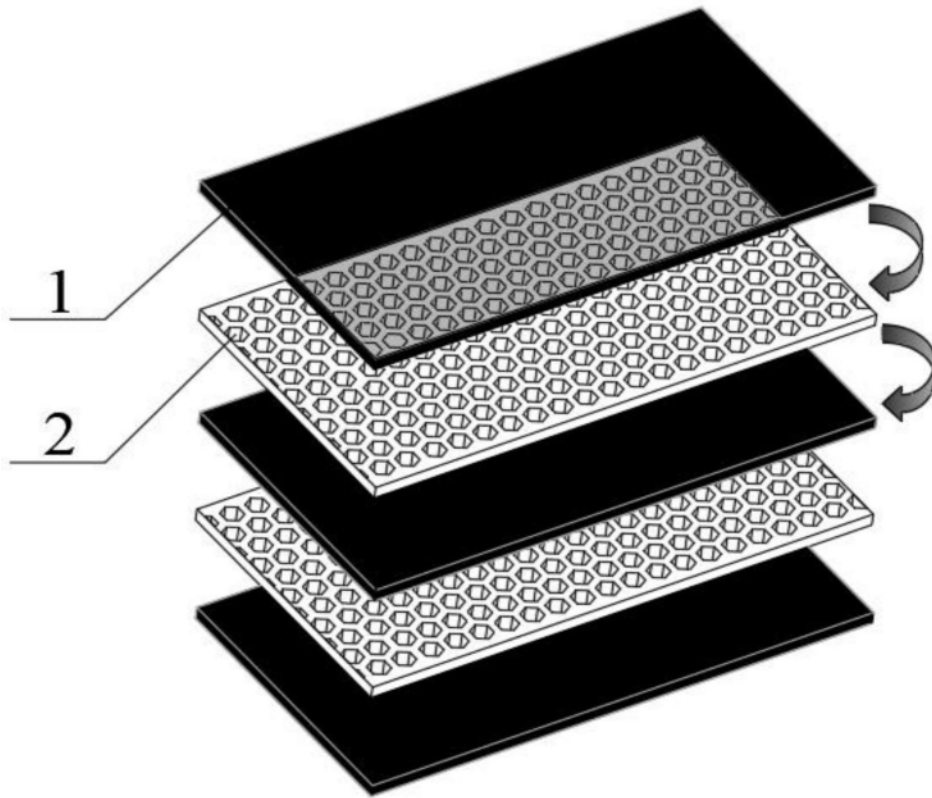


图3

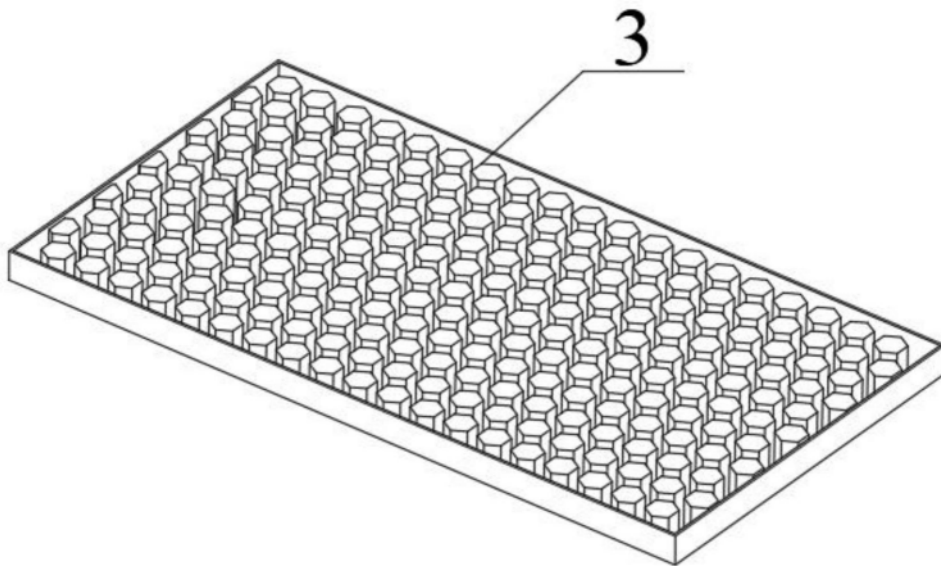


图4

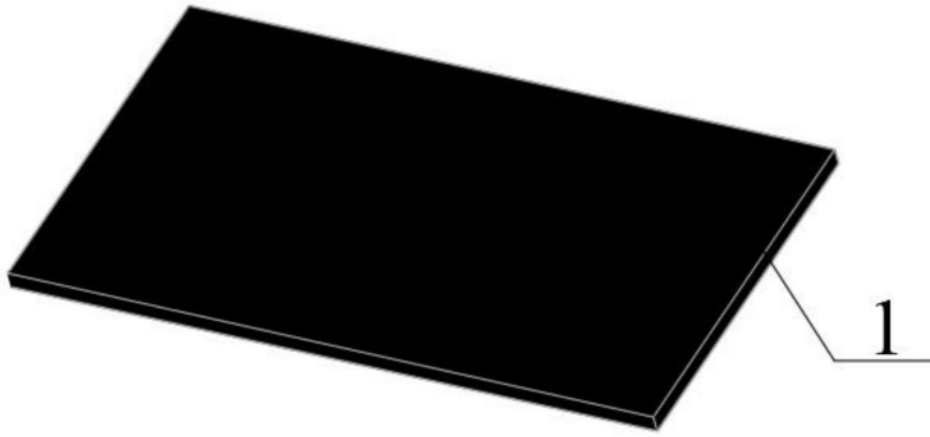


图5

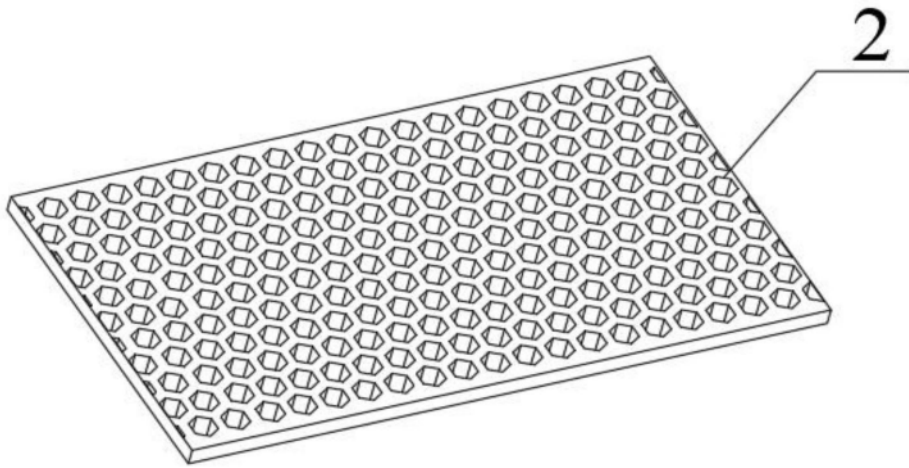


图6