



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112899054 B

(45) 授权公告日 2022.05.03

(21) 申请号 202110093216.7

WO 2014012080 A1,2014.01.16

(22) 申请日 2021.01.25

CN 110520211 A,2019.11.29

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103242948 A,2013.08.14

申请公布号 CN 112899054 A

王昊等.非共价键表面修饰的石墨烯/聚合物复合材料研究进展.《材料工程》.2018,(第07期),

(43) 申请公布日 2021.06.04

魏强兵.表面接枝聚合物刷与仿生水润滑研究进展.《高分子学报》.2012,

(73) 专利权人 西北师范大学

地址 730070 甘肃省兰州市安宁东路967号

Ren Shanshan.Graphene oxide/poly(ethylene glycol)/chitosan gel with slow-release lubrication applied on textured surface.《Applied Polymer》.2018,

(72) 发明人 魏强兵 付甜 麻拴红 周峰

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

代理人 刘潇

付甜.聚合物/无机纳米杂化材料的设计制备及仿生水润滑性能.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技I辑》.2021,

(51) Int.Cl.

C10M 125/02 (2006.01)

C10M 177/00 (2006.01)

C10N 30/06 (2006.01)

C10N 30/04 (2006.01)

C10N 60/10 (2006.01)

C10N 60/00 (2006.01)

Wei Qiangbing.Graphene oxide/brush-like polysaccharide copolymer nanohybrids as eco-friendly additives for water-based lubrication.《Tribology International》.2021,

(56) 对比文件

CN 110522953 A,2019.12.03

US 2004172121 A1,2004.09.02

审查员 马文梅

权利要求书1页 说明书6页 附图2页

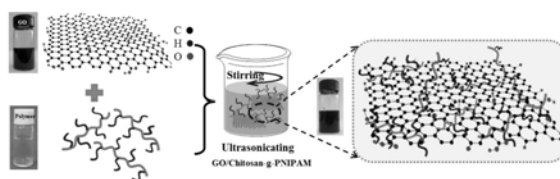
(54) 发明名称

一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂及其制备方法和应用

提高碳质摩擦反应膜的稳定性,从而具有优异的减摩抗磨性能。

(57) 摘要

本发明提供了一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂及其制备方法和应用,涉及水基润滑添加剂技术领域。本发明提供的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,有效成分由氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物非共价自组装复合而成。在本发明中,刷型壳聚糖接枝共聚物利用其与氧化石墨烯表面的含氧官能团之间的氢键和静电相互作用,可以组装到石墨烯表面形成非共价纳米复合物;刷型壳聚糖接枝共聚物的组装一方面可以增强石墨烯的分散稳定性,另一方面通过刷型壳聚糖接枝共聚物和石墨烯之间的协同作用,增强石墨烯在摩擦界面的吸附,并



CN 112899054 B

1. 一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,其特征在于,有效成分由氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物非共价自组装复合而成;

所述刷型壳聚糖接枝共聚物的侧链为聚丙烯酰胺、聚N-异丙基丙烯酰胺、聚甲基丙烯酸3-磺酸丙酯钾盐或聚甲基丙烯酸磺酸甜菜碱。

2. 根据权利要求1所述的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,其特征在于,所述刷型壳聚糖接枝共聚物中壳聚糖与聚合单体的质量比为1:5~20。

3. 根据权利要求1所述的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,其特征在于,所述氧化石墨烯为片状,片层厚度为0.8~5nm。

4. 根据权利要求1所述的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,其特征在于,所述氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物的质量比为1:0.1~5。

5. 根据权利要求4所述的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,其特征在于,所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂为水分散液;以所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂中氧化石墨烯的质量计,所述氧化石墨烯在水分散液中的浓度为0.5~2mg/mL。

6. 权利要求1~5任一项所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂的制备方法,包括以下步骤:

将刷型壳聚糖接枝共聚物和氧化石墨烯水分散液混合,得到石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂。

7. 根据权利要求6所述的制备方法,其特征在于,所述氧化石墨烯水分散液的质量浓度为0.5~2mg/mL。

8. 根据权利要求6所述的制备方法,其特征在于,所述混合包括依次进行的搅拌和超声;所述搅拌的时间为6~12h;所述超声的时间为0.5~1h。

9. 权利要求1~5任一项所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂或权利要求6~8任一项所述制备方法制备得到的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂在水基润滑领域中的应用。

## 一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂及其制备方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水基润滑添加剂技术领域,具体涉及一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂及其制备方法和应用。

### 背景技术

[0002] 摩擦和磨损是导致机械设备故障和增加能源消耗的主要原因之一,润滑被认为是节省能源并延长设备使用寿命最有效的方法之一。传统的油基润滑剂可以在摩擦表面上形成油膜,以避免两个滑动表面之间直接接触来减少摩擦和磨损。但是石油来源的油基润滑剂由于其闪点低、易燃、导热系数小的性质而无法应用在一些具有爆炸危险和需要快速散热的特殊工况条件,因此油基润滑剂经常受到限制。同时由于环境问题的日益严重和资源短缺,近年来,使用水作为润滑流体已经引起了摩擦学领域的广泛关注。水基润滑剂具有成本低、环境相容性好、无毒、导热系数高等优点。但是与油基润滑剂相比,水本身粘度低,易蒸发且易腐蚀,无法像油一样在摩擦副表面形成油膜来有效降低摩擦磨损,这极大的限制了水作为润滑剂的应用范围。因此,亟需开发高效水基润滑添加剂改善水的润滑性能,降低摩擦系数,并减少磨损。

[0003] 石墨烯以其独特的力学性能、导电性、高导热性和低表面能,被认为是极具发展前景的纳米添加剂之一。在水中加入少量氧化石墨烯可以显著降低摩擦系数,但是石墨烯薄片之间强范德华力和 $\pi$ - $\pi$ 相互作用导致其在剪切过程中容易团聚。因此,如何在提高石墨烯在水中分散性的同时,保持其优异的摩擦学性能是将其作为水基润滑剂添加剂的关键。例如,专利CN108130159A报道了一种利用氨基化的聚乙二醇共价改性羧基化石墨烯,获得水分散性好的石墨烯添加剂,同时也显著改善了氧化石墨烯的摩擦学性能。但是,该改性方法制备过程复杂,需要使用多种有毒的化学试剂,而且共价改性在一定程度上会破坏石墨烯的共轭结构,影响其摩擦学性能。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂及其制备方法和应用,本发明提供的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂不仅改善了氧化石墨烯在水中的分散稳定性,而且具有优异的减摩抗磨性能,能够承受高的载荷。

[0005] 为了实现上述发明目的,本发明提供以下技术方案:

[0006] 本发明提供了一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,有效成分由氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物非共价自组装复合而成。

[0007] 优选地,所述刷型壳聚糖接枝共聚物的侧链为聚丙烯酰胺、聚N-异丙基丙烯酰胺、聚甲基丙烯酸3-磺酸丙酯钾盐或聚甲基丙烯酸磺酸甜菜碱。

[0008] 优选地,所述刷型壳聚糖接枝共聚物中壳聚糖与聚合单体的质量比为1:5~20。

[0009] 优选地,所述氧化石墨烯为片状,片层厚度为0.8~5nm。

[0010] 优选地,所述氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物的质量比为1:0.1~5。

[0011] 优选地,所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂为水分散液;以所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂中氧化石墨烯的质量计,所述氧化石墨烯在水分散液中的浓度为0.5~2mg/mL。

[0012] 本发明提供了上述技术方案所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂的制备方法,包括以下步骤:

[0013] 将刷型壳聚糖接枝共聚物和氧化石墨烯水分散液混合,得到石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂。

[0014] 优选地,所述氧化石墨烯水分散液的质量浓度为0.5~2mg/mL。

[0015] 优选地,所述混合包括依次进行的搅拌和超声;所述搅拌的时间为6~12h;所述超声的时间为0.5~1h。

[0016] 本发明提供了上述技术方案所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂或上述技术方案所述制备方法制备得到的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂在水基润滑领域中的应用。

[0017] 本发明提供了一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,有效成分由氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物非共价自组装复合而成。在本发明中,刷型壳聚糖接枝共聚物利用其与氧化石墨烯表面的含氧官能团之间的氢键和静电相互作用,可以组装到石墨烯表面形成非共价纳米复合物;刷型壳聚糖接枝共聚物的组装一方面可以增强石墨烯的分散稳定性,另一方面通过刷型壳聚糖接枝共聚物和石墨烯之间的协同作用,增强石墨烯在摩擦界面的吸附,并提高碳质摩擦反应膜的稳定性,从而具有优异的减摩抗磨性能。

[0018] 本发明还提供了所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂的制备方法,制备过程简单,容易操作,制备完成后不需要任何后处理及纯化分离过程;本发明所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂环保绿色,整个制备过程不使用有机溶剂和有毒化学试剂,而且所采用的壳聚糖为可持续生物高分子。

[0019] 本发明所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂具有优异的减摩抗磨性能,将在水基润滑领域具有广阔的应用前景。

## 附图说明

[0020] 图1为氧化石墨烯(GO)水分散液、壳聚糖接枝聚-N异丙基丙烯酰胺(Chitosan-g-PNIPAM)水溶液以及实施例1制备的GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的光学照片;

[0021] 图2为纯水、GO水分散液、Chitosan-g-PNIPAM水溶液以及实施例1制备的GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的摩擦系数曲线图;

[0022] 图3为Chitosan-g-PNIPAM的合成示意图;

[0023] 图4为GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的制备示意图。

## 具体实施方式

[0024] 本发明提供了一种石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂,有效成分由氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物非共价自组装复合而成。

[0025] 在本发明中,若没有特殊说明,采用的原料组分均为本领域技术人员所熟知的市售商品。

[0026] 在本发明中,所述刷型壳聚糖接枝共聚物的侧链优选为聚丙烯酰胺、聚N-异丙基丙烯酰胺、聚甲基丙烯酸3-磺酸丙酯钾盐或聚甲基丙烯酸磺酸甜菜碱。在本发明中,所述刷型壳聚糖接枝共聚物中壳聚糖与聚合单体的质量比优选为1:5~20,更优选为1:10~15。在本发明中,所述刷型壳聚糖接枝共聚物中壳聚糖的脱乙酰度优选大于70%,平均分子量优选为1万~100万。

[0027] 在本发明中,所述刷型壳聚糖接枝共聚物的制备方法优选包括以下步骤:以醋酸水溶液为溶剂,以过硫酸铵为引发剂,壳聚糖和聚合单体进行接枝聚合反应,得到刷型壳聚糖接枝共聚物。在本发明中,所述醋酸水溶液的体积浓度优选为1%;所述壳聚糖与醋酸水溶液的用量比优选为0.1g:20~60mL,更优选为0.1g:40mL;所述壳聚糖与过硫酸铵的质量比优选为1:0.1~1,更优选为1:0.5。在本发明中,所述聚合单体优选为丙烯酰胺、N-异丙基丙烯酰胺或甲基丙烯酸磺酸甜菜碱或甲基丙烯酸3-磺酸丙酯钾盐;所述接枝聚合反应的温度优选为45~80℃,更优选为60℃;所述接枝聚合反应的时间优选为6~15h,更优选为12h。在本发明中,所述接枝聚合反应优选在氮气气氛中进行。本发明优选在所述接枝聚合反应后,利用透析除去小分子物质,浓缩并冷冻干燥,得到刷型壳聚糖接枝共聚物。在本发明中,所述接枝聚合反应过程中,壳聚糖侧链的氨基产生自由基,引发单体聚合,形成以壳聚糖为主链的接枝共聚物,这种接枝共聚物为“刷”型或“梳”型高分子。

[0028] 在本发明中,刷型壳聚糖接枝共聚物一方面可以增加氧化石墨烯的稳定性,尤其是所形成摩擦化学反应膜的稳定性,另一方面可以增强氧化石墨烯在界面的吸附作用;此外,刷型壳聚糖接枝共聚物主要通过水合效应起到润滑作用,因此,刷型壳聚糖接枝共聚物与氧化石墨烯之间具有协同润滑作用。

[0029] 在本发明中,所述氧化石墨烯优选为片状,片层厚度优选为0.8~5nm,更优选为0.8~1.2nm。在本发明中,所述氧化石墨烯的直径优选为0.5~5微米。在本发明中,氧化石墨烯组装刷型壳聚糖接枝共聚物后,基本不改变石墨烯的形貌,仍为纳米片。

[0030] 在本发明中,所述氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物的质量比优选为1:0.1~5,更优选为1:0.2~1。

[0031] 在本发明中,所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂优选为水分散液;以所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂中氧化石墨烯的质量计,所述氧化石墨烯在水分散液中的浓度优选为0.5~2mg/mL,更优选为1~1.5mg/mL。

[0032] 本发明还提供了上述技术方案所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂的制备方法,包括以下步骤:

[0033] 将刷型壳聚糖接枝共聚物和氧化石墨烯水分散液混合,得到石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂。

[0034] 在本发明中,所述刷型壳聚糖接枝共聚物和氧化石墨烯的具体组成、结构与前文所述一致,这里不再赘述。

[0035] 在本发明中,所述氧化石墨烯水分散液的质量浓度优选为0.5~2mg/mL,更优选为1~1.5mg/mL。在本发明中,所述混合优选包括依次进行的搅拌和超声;所述搅拌的时间优选为6~12h,更优选为8~10h;所述超声的时间优选为0.5~1h。在本发明中,所述混合优选

在室温条件下进行。本发明对所述搅拌的速度和超声的功率没有特殊要求,采用本领域技术人员常规的搅拌速度和超声功率即可。本发明通过搅拌和超声使氧化石墨烯更好的分散,加快刷型壳聚糖接枝共聚物在氧化石墨烯表面的组装。

[0036] 本发明制备的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂具有较好的分散稳定性,室温下静置30天,未发现沉淀物或不溶物析出。

[0037] 本发明还提供了上述技术方案所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂或上述技术方案所述制备方法制备得到的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂在水基润滑领域中的应用。本发明提供的石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂具有较好的分散稳定性、稳定的摩擦系数和优异的减摩抗磨性能。本发明将所述石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂直接作为润滑剂使用,无需进行任何后处理及纯化分离过程。

[0038] 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。

[0039] 实施例1

[0040] 石墨烯-壳聚糖接枝聚N-异丙基丙烯酰胺(GO/Chitosan-g-PNIPAM)纳米复合水基润滑添加剂的制备:

[0041] (1) Chitosan-g-PNIPAM的合成:称取0.1g壳聚糖,在烧杯中加入40mL体积分数为1%的醋酸溶液,搅拌使壳聚糖完全溶解;然后将溶液倒入三颈烧瓶中并加热至60℃,在氮气保护下加入0.05g过硫酸铵;25min后称取1.0g N-异丙基丙烯酰胺单体并溶于10mL蒸馏水后加入三颈烧瓶中,进行接枝聚合反应12小时,利用透析袋将未反应的单体、引发剂和其它低分子量物质除去,冷冻干燥得到白色片状固体,即刷型壳聚糖接枝共聚物Chitosan-g-PNIPAM;Chitosan-g-PNIPAM的合成示意图如图3所示;

[0042] (2) GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的制备:取10mL1mg/mL的氧化石墨烯(GO)水分散液,在其中加入2mg Chitosan-g-PNIPAM,将混合后的分散液搅拌6h,然后超声30min使其均匀分散,即可得到GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂;GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的制备示意图如图4所示。

[0043] 本实施例制备的GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂稳定性很好,静置30天后未出现沉淀或析出物,具体照片见图1。

[0044] GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的摩擦性能评价:使用德国optimol油脂公司的SRV-IV微振动摩擦磨损试验机进行摩擦性能评价,摩擦测试条件:载荷100N,温度25℃,频率25Hz,振幅1mm,测试时间30min,摩擦对偶为直径10mm的普通钢球和316L不锈钢基底。平均摩擦系数见表1,摩擦系数曲线如图2所示,其中图2中“GO”代表的是浓度为1mg/mL的GO水分散液,“Chitosan-g-PNIPAM”代表的是浓度为1mg/mL的Chitosan-g-PNIPAM水溶液。

[0045] 测试GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的磨损率,结果见表1,磨损率的测试方法为:使用美国AEP公司非接触式三维表面轮廓仪测量并计算316L不锈钢基底的磨损率。

[0046] 表1纯水、GO、Chitosan-g-PNIPAM以及GO/Chitosan-g-PNIPAM的平均摩擦系数和

磨损率

	样品	纯水	GO	Chitosan-g-PNIPAM	GO/Chitosan-g-PNIPAM(1:0.2)
[0047]	平均摩擦系数	0.63	0.21	0.56	0.15
	磨损率 ( $\text{mm}^3\text{N}^{-1}\text{m}^{-1}$ )	$9.6 \times 10^{-2}$	$6.0 \times 10^{-2}$	$8.2 \times 10^{-2}$	$5.0 \times 10^{-2}$

[0048] 由表1和图2可以看出,与纯水、GO水分散液、Chitosan-g-PNIPAM水溶液相比,GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂具有更低、更加平稳的摩擦系数和磨损率。

[0049] 实施例2

[0050] 石墨烯-壳聚糖接枝聚甲基丙烯酸磺酸甜菜碱(GO/Chitosan-g-PSBMA)纳米复合水基润滑添加剂的制备:

[0051] (1) Chitosan-g-PSBMA的合成:称取0.1g壳聚糖,在烧杯中加入40mL体积分数为1%的醋酸溶液,搅拌使壳聚糖完全溶解;然后将溶液倒入三颈烧瓶中并加热至60℃,在氮气保护下加入0.05g过硫酸铵;25min后称取1.0g甲基丙烯酸磺酸甜菜碱单体并溶于10mL蒸馏水后加入三颈烧瓶中,进行接枝聚合反应12小时,利用透析袋将未反应的单体、引发剂和其它低分子量物质除去,冷冻干燥得到白色片状固体,即刷型壳聚糖接枝共聚物Chitosan-g-PSBMA;

[0052] (2) GO/Chitosan-g-PSBMA纳米复合水基润滑添加剂的制备:取10mL1mg/mL的GO水分散液,在其中加入2mg Chitosan-g-PSBMA,将混合后的分散液搅拌6h,然后超声30min使其均匀分散,即可得到GO/Chitosan-g-PSBMA纳米复合水基润滑添加剂。

[0053] 按照实施例1中摩擦性能评价方法检测GO/Chitosan-g-PSBMA纳米复合水基润滑添加剂的摩擦性能,结果见表2,与纯水、Chitosan-g-PSBMA水溶液相比,GO/Chitosan-g-PSBMA具有更低的摩擦系数和磨损率。

[0054] 实施例3

[0055] 石墨烯-壳聚糖接枝聚甲基丙烯酸3-磺酸丙酯钾盐(GO/Chitosan-g-PSPMA)纳米复合水基润滑添加剂的制备:

[0056] (1) Chitosan-g-PSPMA的合成:称取0.1g壳聚糖,在烧杯中加入40mL体积分数为1%的醋酸溶液,搅拌使壳聚糖完全溶解;然后将溶液倒入三颈烧瓶中并加热至60℃,在氮气保护下加入0.05g过硫酸铵;25min后称取1.0g甲基丙烯酸3-磺酸丙酯钾盐单体并溶于10mL蒸馏水后加入三颈烧瓶中,进行接枝聚合反应12小时,利用透析袋将未反应的单体、引发剂和其它低分子量物质除去,冷冻干燥得到白色片状固体,即刷型壳聚糖接枝共聚物Chitosan-g-PSPMA;

[0057] (2) GO/Chitosan-g-PSPMA纳米复合水基润滑添加剂的制备:取10mL1mg/mL的GO水分散液,在其中加入2mg Chitosan-g-PSPMA,将混合后的分散液搅拌6h,然后超声30min使其均匀分散,即可得到GO/Chitosan-g-PSPMA纳米复合水基润滑添加剂。

[0058] 按照实施例1中摩擦性能评价方法检测GO/Chitosan-g-PSPMA纳米复合水基润滑

添加剂的摩擦性能,结果见表2,与纯水、Chitosan-g-PSPMA水溶液相比,GO/Chitosan-g-PSPMA具有更低的摩擦系数和磨损率。

[0059] 表2不同石墨烯-聚合物纳米复合水基润滑添加剂的平均摩擦系数

样品	GO/Chitosan-g-PNIPAM	GO/Chitosan-g-PSBMA	GO/Chitosan-g-PSPMA
平均摩擦系数	0.15	0.3	0.3

[0061] 实施例4

[0062] 与实施例1的制备方法基本相同,不同之处仅在于,在制备GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂时,Chitosan-g-PNIPAM的添加量由“2mg”调整为“1mg”;所得GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的摩擦性能见表3。

[0063] 实施例5

[0064] 与实施例1的制备方法基本相同,不同之处仅在于,在制备GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂时,Chitosan-g-PNIPAM的添加量由“2mg”调整为“10mg”;所得GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的摩擦性能见表3。

[0065] 实施例6

[0066] 与实施例1的制备方法基本相同,不同之处仅在于,在制备GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂时,Chitosan-g-PNIPAM的添加量由“2mg”调整为“50mg”;所得GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的摩擦性能见表3。

[0067] 表3不同质量比的GO/Chitosan-g-PNIPAM的平均摩擦系数

GO: Chitosan-g-PNIPAM (质量比)	实施例 4	实施例 1	实施例 5	实施例 6
1:0.1	1:0.1	1:0.2	1:1	1:5
平均摩擦系数	0.21	0.15	0.31	0.60

[0069] 由表3可以看出,当氧化石墨烯与刷型壳聚糖接枝共聚物的质量比为1:0.1~5时,所得GO/Chitosan-g-PNIPAM纳米复合水基润滑添加剂的摩擦系数较低,具有优异减摩抗磨性能。

[0070] 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

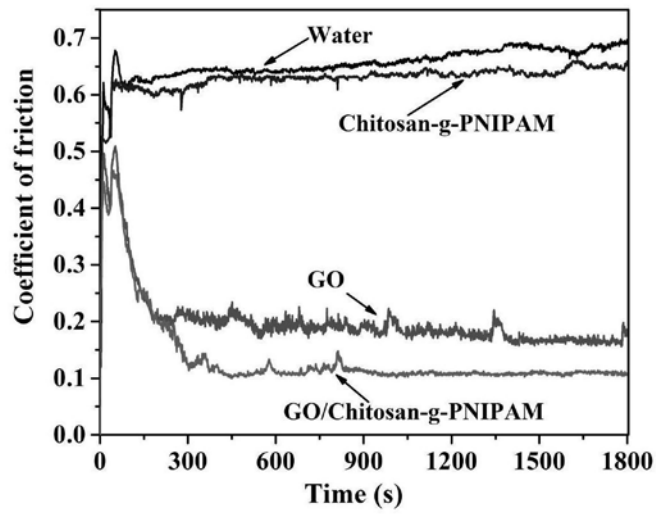


图2

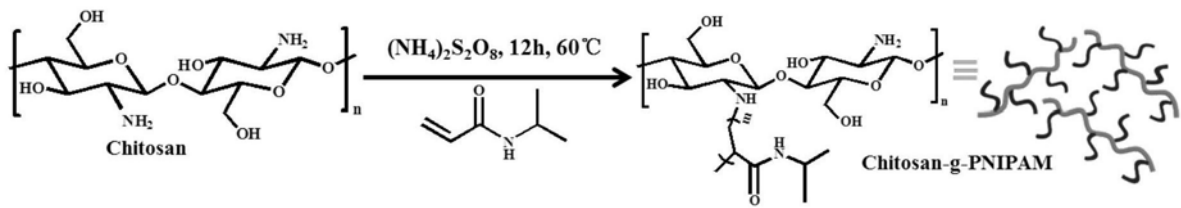


图3

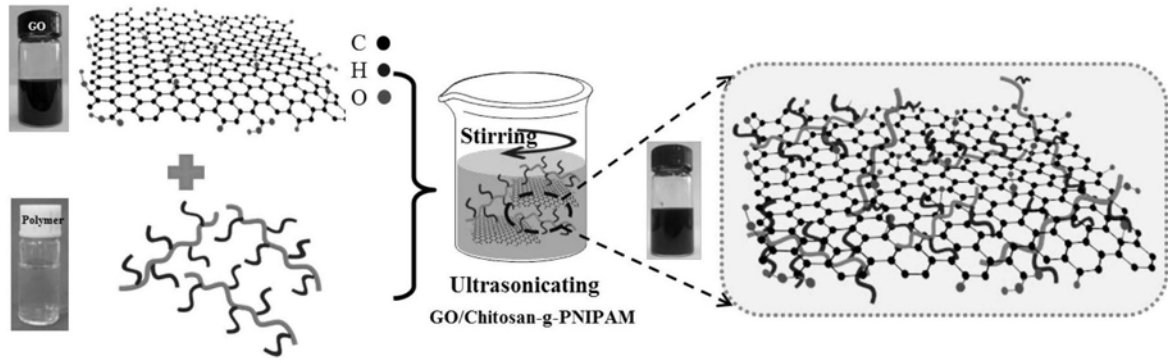


图4