

基于水分散性植物纳米纤维素复合体系仿生制备超疏水阻燃柔性材料及其油水分离应用中的吸附-燃烧解吸性能研究

宋冬升, 张明*

(北华大学材料科学与工程学院; 吉林省、吉林市 132013)

摘要: 大量含油废水因排放不当, 对生态系统和人类健康安全构成严重威胁。本研究以玉米秸秆为原料, 将制得的纳米纤维素悬浮液依次与二氧化硅纳米颗粒、甲基三甲氧基硅烷共混并完成反应后, 再与低浓度聚乙烯醇(PVA)溶液共混, 得到水分散性植物纳米纤维素复合物, 经进一步冷冻干燥与热处理, 制得超疏水阻燃柔性材料(CSM-PVA)。该方法以水替代常规有机溶剂作为疏水材料制备过程中的分散介质, 有效规避了因溶剂挥发造成空气污染与引发火灾等安全隐患; 借助 SiO_2 NPS 附着于纳米纤维素表面模拟荷叶表面微/纳粗糙结构的同时, 赋予其阻燃性能; 通过甲基三甲氧基硅烷对材料表面及其内部进行多碳链接枝改性以达到类荷叶表面的低表面能疏水效果; 引入 PVA 溶液共混, 并采用冷冻干燥与热处理技术进行牵引, 增强其结构稳定性的同时, 赋予其更好的柔韧性。结果表明, CSM-PVA 超疏水阻燃柔性材料表面与内部的超疏水性能稳定, 其密度很低 ($55 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$), 吸油容量高达 34.2 g/g , 对油水混合物的分离通量与效率可达 $18462 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 99.6% 。即使经过 12 次循环后, 该柔性材料的分离通量和效率依然保持在初始值的 76.3% 和 98.5% 。CSM-PVA 超疏水阻燃柔性材料对油包水乳化液的分离通量与效率高达 $13333 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 99.4% 。即使经过 10 次循环后, 该柔性材料的分离通量和效率依然保持在初始值的 80.2% 和 98.8% 。当 CMS-PVA₆ 超疏水阻燃柔性材料分别浸泡于 $\text{pH}=1$ 的强酸溶液、 $\text{pH}=14$ 的强碱溶液以及 $5 \text{ wt}\%$ 的盐溶液中 168 h 后, 均依然保持着优异的结构稳定性能, 展示了良好的油水分离效果、显著的循环稳定性以及优良的强酸、强碱、高浓度盐溶液耐受性。在燃烧测试中, 完全暴露在空气中的 CSM-PVA 超疏水阻燃柔性材料的持续燃烧时间为 6 s, 仅在 2 s 内自行熄灭, 展现了优异的阻燃与防火性能。值得注意的是, 吸油后 CSM-PVA 超疏水阻燃柔性材料还能够通过燃烧解吸进行重复使用, 经 10 次吸附-燃烧解吸循环后, 该材料吸油量为初始时的 90.5% , 自重为初始时的 94.1% 。这充分展示了 CSM-PVA 超疏水阻燃柔性材料作为有机燃料载体的稳定性, 以及作为油水分离材料的高效性、优良的重复使用性与可再生能力, 为含油废水净化、绿色资源与废弃能源循环利用提供了重要的理论依据。

关键词: 水分散性; 纳米纤维素; 超疏水; 阻燃防火; 柔性材料; 吸附-燃烧解吸

