

氧化石墨烯及其复合材料的应用研究进展

宋军旺

陕西能源职业技术学院, 陕西 咸阳 712000

DOI:10.61369/ECE.2025080039

摘 要 : 本文聚焦氧化石墨烯及其复合材料, 阐述其应用研究进展。氧化石墨烯作为石墨烯重要衍生物, 因片层含羧基、羟基等官能团, 具备优异亲水性等特性。其制备方法多样, 如 Brodie 法、Hummers 法等, 各有利弊。在复合材料领域, 与纤维素、橡胶、生物炭等复合后优势互补, 在柔性电子、环境修复、橡胶增强、污染物吸附等方面应用广泛。尽管如此, 目前应用研究仍处于初级阶段, 存在可控制备技术不成熟、构效关系不明确等问题。未来需进一步优化制备工艺、深入研究构效关系, 以拓展其应用范围, 推动该领域发展。

关 键 词 : 氧化石墨烯; 复合材料; 应用

Research Progress on the Application of Graphene Oxide and Its Composites

Song Junwang

Shaanxi Energy Institute, Xianyang, Shaanxi 712000

Abstract : This paper focuses on graphene oxide and its composites, and expounds the progress of their application research. As an important derivative of graphene, graphene oxide has excellent hydrophilicity and other properties because its lamella contains functional groups such as carboxyl and hydroxyl. There are various preparation methods, such as Brodie method and Hummers method, each with its own advantages and disadvantages. In the field of composite materials, when combined with cellulose, rubber, biochar, etc., they can complement each other's advantages, and have been widely used in flexible electronics, environmental remediation, rubber reinforcement, pollutant adsorption and other aspects. However, the current application research is still in the primary stage, with problems such as immature controllable preparation technology and unclear structure-activity relationship. In the future, it is necessary to further optimize the preparation process and conduct in-depth research on the structure-activity relationship to expand its application range and promote the development of this field.

Keywords : graphene oxide; composite materials; application

一、氧化石墨烯的制备

随着科技进步, 制备氧化石墨烯的方法研究也日趋完善, 并且出现了不同制备方法相互组合的方式, 以弥补不足之处。例如, 电化学氧化法和改进 Hummers 法联合制备, 利用前者电化学法预处理石墨, 减小后者化学氧化时强氧化剂用量, 从而减少有毒副产物同时提高产率。另外, 还有以制备更绿色高效为目标的相关制备方法研究, 探讨通过使用生物酶/微生物将石墨高效转化为氧化石墨烯, 其生物方法由于具有反应条件温和、环境友好的优点, 但目前还处于实验室研究阶段, 实现成果转化尚需要一定的时间^[1-3]。在制备过程上, 对反应的精细控制至关重要, 反应温度、反应时间、反应物浓度等都直接影响了氧化石墨烯的氧化程度、片层结构和官能团分布。文献研究发现, 改进 Hummers 制备方法中适当的降低反应温度和延长反应时间可以制备得到氧化程度更均匀缺陷更少的氧化石墨烯, 在复合材料方面应用也会得到显著的提升^[4]。

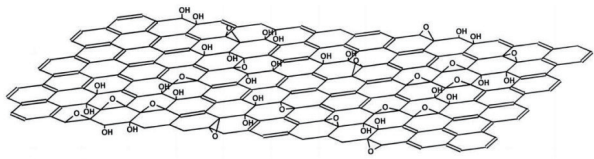


图 1 氧化石墨烯结构图

二、氧化石墨烯与纤维素的复合材料

氧化石墨烯与纤维素复合材料是近年来纳米材料与生物质材料交叉领域的研究热点, 因其结合了优异的力学性能、导电性、吸附能力和纤维素的生物相容性、可降解性及低成本等优势, 在柔性电子、环境修复、生物医学、能源存储等领域展现出广阔应用前景^[5]。主要有以下制备方法, ①溶液共混法, 将氧化石墨烯水溶液与纤维素(或衍生物如羧甲基纤维素、纳米纤维素)均匀混合, 通过浇铸、冷冻干燥或真空抽滤成膜。②原位还原法: 在纤

纤维素基质中原位化学还原氧化石墨烯为还原氧化石墨烯, 增强导电性(如用抗坏血酸或水合肼处理)。^③交联改性: 引入戊二醛、硼砂等交联剂, 或通过酯化、硅烷偶联剂(如 APTES)增强界面结合力^[6-8]。

崔泽等采用改进的 Hummers 的方法合成了高度氧化的石墨烯, 再通过原位接枝共聚法制备出氧化石墨烯/纤维素复合材料, 研究其对于纯水和 0.9wt%NaCl 盐溶液的溶胀性和保水性, 发现其经过五次循环使用, 依然维持最初吸水能力的 65% 以上, 是一种可重复使用的环保材料, 并对复合材料吸附性能进行探究, 在 1000 mg/L 的 Pb^{2+} 溶液中进行吸附实验中, 复合材料对 Pb^{2+} 吸附量达到最大 391 mg/g, 其重复使用 5 次依然能保证其去除率在初次吸附量的 75%^[9]。

人们在复合材料中引入了导电聚合物后进一步加强其电学性能, 制成了具有高灵敏度的压力传感器、应变传感器等。在环境净化方面, 除了吸附重金属离子外, 复合材料对有机污染物同样具有较好的去除作用。该复合材料可用物理吸附与化学降解进行协同实现水溶液中染料、农药等有机污染物的去除。在医学领域, 其良好的生物相容性使它在生物医学领域具有广泛应用, 如利用该复合材料将生长因子或药物负载后再可实现药物的缓慢释放, 达到更好的治疗效果。同时该材料也可作为细胞培养支架, 提高细胞的黏附、增殖与分化。在能源存储方面, 制备超级电容器、电池电极的复合材料, 复合材料可提升电极比电容与电极充放电等性能, 延长电池使用寿命^[10]。

三、氧化石墨烯与橡胶的复合材料

邱俊等研究了在氧化石墨烯片上原位生长乙烯基掺杂的二氧化硅纳米杂化填料对非极性丁苯橡胶) 的力学和热稳定性等的影响, 表征了乙烯基掺杂的二氧化硅纳米杂化填料中乙烯基含量对纳米二氧化硅形貌与比表面积的影响, 与传统的 SiO_2 -GO 杂化填料相比, 乙烯基掺杂的二氧化硅纳米/氧化石墨烯杂化填料填充的 SBR 复合材料具有优异的力学性能和耐热老化能力^[11-12]。

由于氧化石墨烯橡胶的耐低温、耐高温、气体阻隔及力学等性能较好, 因此氧化石墨烯橡胶可用作航空、航天橡胶密封件; 也可加工成止水橡胶带及减震橡胶等高强度建筑橡胶, 在地震频发地区能有效吸收地震能量, 减轻地震造成的建筑物损伤。

四、氧化石墨烯及其复合材料的应用

1. 能源存储领域: 氧化石墨烯常被用于超级电容器及锂离子电池的电极材料。以超级电容器为例, 其高比表面积能为电荷存储提供丰富位点, 加快离子传输速率, 提升充放电效率。将氧化石墨烯与具有高理论比容量的金属氧化物(如 MnO_2 、 Fe_3O_4) 复合, 能协同二者优势。一方面, 氧化石墨烯的二维结构可有效防止金属氧化物颗粒团聚, 增大活性物质的暴露面积; 另一方面, 复合材料内部形成的导电网络, 有助于电子快速传导, 从而提高超级电容器的能量密度与功率密度。在锂离子电池中, 氧化石

烯能缓冲电极材料在充放电过程中的体积变化, 增强电极结构稳定性, 延长电池循环寿命^[13]。

2. 环境治理方面: 氧化石墨烯及其复合材料对污水中的重金属离子和有机污染物展现出优异的吸附性能。其表面丰富的官能团可与重金属离子发生络合反应, 通过静电吸引和离子交换等作用实现高效吸附。例如, 对废水中的 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 等重金属离子, 吸附容量可达数百 mg/g。将氧化石墨烯与聚合物(如壳聚糖)复合制备的吸附材料, 不仅能提高吸附容量, 还具备良好的机械性能与可回收性。处理有机污染物时, 氧化石墨烯的大 π - π 共轭结构可与有机分子通过 π - π 堆积作用相互作用, 对染料、酚类等有机污染物表现出较强的吸附能力。同时, 基于氧化石墨烯构建的光催化复合材料, 在可见光照射下能够产生具有强氧化性的自由基, 实现对有机污染物的降解矿化, 为污水处理提供了新的有效途径。

3. 生物医学领域: 氧化石墨烯及其复合材料在药物递送、生物成像和生物传感等方面具有广阔应用前景。由于氧化石墨烯具有良好的生物相容性与较大的比表面积, 可通过共价或非共价修饰的方式负载多种药物分子。肿瘤治疗中, 将抗癌药物连接到氧化石墨烯表面, 利用肿瘤组织的高通透性和滞留效应(EPR 效应), 实现药物在肿瘤部位的靶向富集, 提高治疗效果并降低对正常组织的毒副作用。生物成像方面, 氧化石墨烯的荧光特性可用于标记细胞或生物分子, 结合荧光成像技术实现对生物体内生理过程的实时监测。生物传感方面, 基于氧化石墨烯构建的生物传感器, 利用其与生物分子之间的特异性相互作用, 可实现对葡萄糖、DNA、蛋白质等生物标志物的高灵敏检测, 为疾病的早期诊断提供有力工具。

五、小结

目前, 氧化石墨烯及其复合材料目前已经在环境、催化、生物医药、防腐、聚合物阻燃、 CO_2 捕集等诸多领域得到了广泛的应用。但是, 应用研究还处于初级探索阶段, 对于目标材料的可控制备技术尚不成熟, 目标材料的构效关系尚不明确, 因此, 氧化石墨烯及复合材料在未来一段时间内仍然是广大科研工作者的研究重点。

发展氧化石墨烯及其复合材料需要增加多学科交叉, 在材料制备技术的革新、应用领域的拓展上需要化学、物理学、材料学、生物学等多学科的研究。在基础研究领域需要着力探讨氧化石墨烯及其复合材料的微观结构和性能之间的关系, 用最先进的表征手段如 TEM、AFM 等从原子和分子层面揭示其作用机理; 在应用研究领域, 需要与企业合作加快科技成果的转化, 使氧化石墨烯及其复合材料真正实现投入生产、应用于生活中, 也需要政府和科研机构加强对该领域的资金投入力度, 鼓励和吸引更多的科研人员投身于该领域的研究, 共同推动该领域蓬勃发展。

未来, 氧化石墨烯及其复合材料的发展需在基础研究与应用转化之间搭建更紧密的桥梁。一方面, 针对现有制备技术的瓶颈展开攻关, 为构效关系研究提供标准化样本。同时, 借助同步辐

射、原位表征等先进技术，深入解析其在不同应用场景中的界面作用机制，比如在重金属离子吸附中，明确含氧官能团与金属离子的配位方式；在催化反应里，揭示活性位点的形成与催化效率的关联规律。另一方面，强化产学研协同创新，针对各应用领域的实际需求开发定制化材料。例如，在生物医药领域，设计具有

生物相容性和靶向性的氧化石墨烯复合材料，提升药物递送效率；在环保领域研发高吸附容量、可循环再生的吸附材料，降低水处理成本。此外，还需关注材料的规模化生产工艺与安全性评估，推动相关标准体系的建立，助力其在更多领域发挥核心材料的支撑作用。

参考文献

[1] 刘坤定, 杨斌, 王爱琴, 等. 烧结温度对放电等离子烧结 (SPS) 制备氧化石墨烯 /2024Al 复合材料的微观组织和性能影响 [J]. 粉末冶金工业, 2023, 33(05): 25-30+42.

[2] 李金旭, 张婷. 氧化石墨烯 / 凹凸棒石基催化剂的制备及其对废水中污染物处理的研究进展 [J]. 粘接, 2023, 50(08): 57-61.

[3] 陈玥琪, 张震斌, 单凤君. 氧化石墨烯及其复合材料对重金属离子的吸附研究进展 [J]. 辽宁工业大学学报 (自然科学版), 2022, 42(05): 325-332.

[4] 孔祥清, 王荣政, 高伟, 等. 石墨烯表面性质对水泥砂浆复合材料力学性能和微观结构的影响 [J]. 复合材料学报, 2023, 40(03): 1637-1648.

[5] 魏致强, 王远贵, 齐孟, 等. 没食子酸协同聚羧酸减水剂分散氧化石墨烯及其对水泥砂浆性能的影响 [J]. 材料导报, 2021, 35(10): 10042-10047.

[6] 张思雨, 赵立环, 刘斯璐, 等. 基于氧化石墨烯及其复合材料的纺织品抗菌整理研究进展 [J]. 复合材料学报, 2021, 38(04): 1043-1053.

[7] 陈阳, 李运芃, 朱根, 等. 氧化石墨烯基纳米材料在重金属离子去除中的应用研究进展 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(03): 64+67.

[8] 一种橡胶助剂还原和改性氧化石墨烯及其制备方法与应用 [J]. 橡塑技术与装备, 2020, 46(03): 61.

[9] 赵阳, 赵玉真, 张永明, 等. 功能化氧化石墨烯 / 纤维素共混复合材料对 Pb2+ 吸附性能的研究 [J]. 纤维素科学与技术, 2018, 26(03): 39-44.

[10] 高丰琴, 王珊, 王云芳, 等. 磁性氧化石墨烯固定化氯过氧化物酶及其在奥酸性蓝 45 脱色中的应用 [J]. 高等学校化学学报, 2018, 39(05): 904-910.

[11] 褚伟伟, 卢真真, 岳燕丽, 等. 石墨烯 / 氧化石墨烯及其复合材料在污水处理中的应用研究进展 [J]. 化工新型材料, 2018, 46(02): 217-221.

[12] 王乐乐, 吕婷婷, 蒋涛, 等. 磁性氧化石墨烯的制备方法及其复合材料的应用研究 [J]. 江西化工, 2016, (03): 1-5.

[13] 杨鸿鹰, 张文存, 高小媛. 氧化石墨烯薄膜的制备及其在水处理应用中的研究进展 [J]. 应用化工, 2016, 45(04): 760-764+777.