

参赛学生姓名： 张雅凝，张笑涵

中学： 北京市第五中学

省份： 北京市

国家/地区： 中国

指导老师姓名： 赵良珮

指导老师单位： 北京市第五中学

指导老师姓名： 黄雅钦

指导老师单位： 北京化工大学

论文题目： 废弃污染物再生四环素-牛毛碳

复合物用于提升锂硫电池性能的研究

废弃污染物再生四环素-牛毛碳复合物用于提升锂硫电池性能的研究

学生：张雅凝，张笑涵

北京市第五中学高二年级

指导教师：赵良珮、黄雅钦

摘要：为解决抗生素污染水体的问题，我们创新性地开发了一种利用废弃动物毛制备的碳材料，作为高效吸附剂应用于水净化领域。这一方法不仅实现了有机固体废弃物——动物毛资源的高值化利用，而且为水净化技术提供了性能卓越的新型吸附材料。研究结果显示，由动物毛转化而来的碳材料展现出优异的吸附性能，其最高吸附量可达 380 mg/g，相较于市面上商用的碳吸附剂，其吸附效率实现了显著提升。更进一步，四环素分子中丰富的羟基和羧基利于活化存储锂离子，而牛毛碳具有高电导率的特点，为此我们使用吸附有四环素的炭产物制备了一种导电复合隔膜涂层用于锂硫电池，以抑制多硫化物的穿梭效应。电池充放电测试结果显示，使用改性隔膜组装的锂硫电池在 1C 循环 400 次后的比容量为 542.99 mAh/g，容量衰减率仅为 0.106%，有效提升了锂硫电池的能量密度和循环寿命，具有较好的应用潜力。

关键词：吸附剂，抗生素，水净化，碳材料，锂硫电池

Green Preparation of Cowhair-Biochar/Tetracycline Composites Regenerated from Discarded Pollutants for Lithium- Sulfur Batteries

Abstract: To address antibiotic contamination in water bodies, we prepared carbon materials derived from the waste-animal-hair combined with the environmental protection concept of "turning waste into treasure", and, which serves as a highly efficient adsorbent in the field of water purification. This method not only achieves the high-value utilization of organic solid waste-animal hair resources and is in line with the concept of green environmental protection, but also provides a novel adsorbent material with high-performance for water purification technology. The experimental results show that the carbon material converted from animal hair exhibits excellent adsorption properties, with a maximum adsorption capacity of 380 mg/g. Compared to commercially available carbon-based adsorbents on the market, its adsorption efficiency has been significantly improved. It has great application potential in the field of polluted water purification. Furthermore, the abundant hydroxyl and carboxyl groups in the tetracycline molecule facilitate the activation and storage of lithium ions, and the resultant cowhair-biochar/tetracycline composites have high electrical conductivity. Thus, a conductive composite separator coating was prepared using the carbon product adsorbed with tetracycline, and this coating was applied to inhibit the polysulfide shuttling effect in lithium-sulfur batteries. The results of battery charge-discharge tests show that the lithium-sulfur battery assembled exhibits a specific capacity of 542.99 mAh/g after 400 cycles at 1C, with a capacity fading rate of only 0.106%. This effectively improves the energy density and cycle life of the lithium-sulfur battery, demonstrating promising application potential.

Key words: adsorbent, antibiotic, water purification, carbon material

目 录

1、 引言.....	4
2、 实验方案.....	5
3、 结果与讨论.....	8
4、 结论.....	15
5、 收获和继续研究设想.....	15
6、 参考文献.....	16
7、 致谢.....	17
8、 研究背景及分工说明.....	17

2025 S.-T. Yau High School Science Award
仅用于2025丘成桐中学科学奖论文公示

1. 引言

随着医药产业的快速发展和广泛的应用，抗生素作为治疗感染性疾病的重要药物，其生产和使用量都在逐年快速增加。但是存在的问题是抗生素可能会通过各种途径进入环境，尤其是水体，导致含抗生素污染水的产生。这类污染水若未经妥善处理直接排放或使用，不仅会对水生生态系统造成破坏，还可能通过食物链累积，从而影响人类健康。因此，净化含抗生素的污染水是如今环保领域的热门研究之一。

1.1 现状

含抗生素污染水通常呈现出成分复杂、浓度波动大、生物毒性高且降解难度大等特征。这些特性导致传统的污染水处理方式在处理含抗生素污染水时面临着巨大的挑战。抗生素污染水的危害主要体现于以下几个方面：对水生生物的生长起到抑制作用，从而破坏水生生态系统的平衡；借助食物链的传递，进而影响人类健康；推动抗生素抗性基因的生成与传播，加剧抗生素耐药性等诸多问题。

当前，处理含抗生素污染水的方法主要含有物理法（如沉淀法、过滤法、吸附法等）、化学法和生物法（如活性污泥法、生物膜法等）^[1-4]。然而，这些方法在处理含抗生素污染水时均存在一定的局限性。例如，物理法可以去除部分漂浮物及杂质，难以去除溶解性抗生素；化学法虽然能有效降解部分抗生素，但可能产生二次污染，且处理成本较高；生物法在处理过程中微生物易受抗生素毒性影响，致使微生物活性下降，处理效果不稳定。综合当前的实际效果来看，吸附剂吸附仍然是污染水处理的较优选择。近年来，研究者们不断努力开发了多种新型吸附剂^[5-10]，如生物质碳材料，具有吸附容量大、选择性好等优点，在含抗生素污染水的处理中能大展身手，实现优异的处理效果。

1.2 我们的想法

在学校的选修课上，老师给我们讲了一些天然材料的知识，使得我更加深刻地明白了“世界上没有垃圾，只有放错地方的宝藏”的含义。于是我们想到了常见的固体废弃物-动物毛，产生了用动物毛来净化污染水的想法，通过查阅资料并与老师讨论，设计了如图 1 的研究设想。

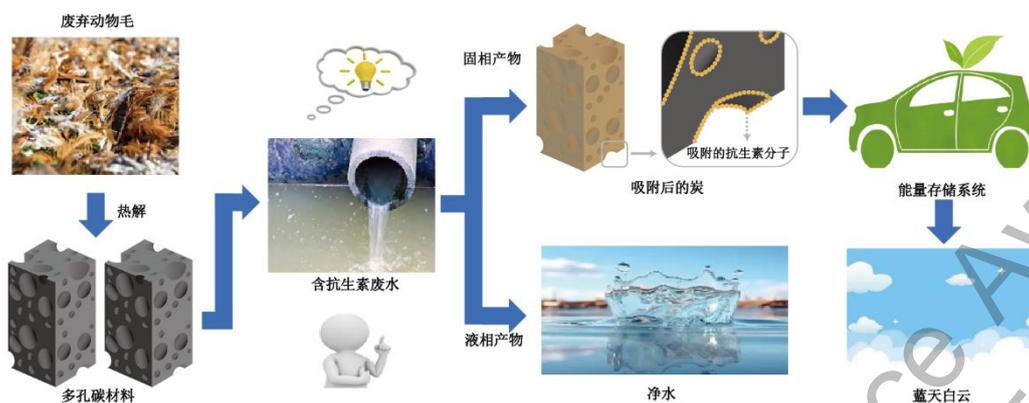


图 1、研究方案示意图

我们希望通过研究为含抗生素污染水的净化提供新的方法,为废弃动物毛及其吸附后产物的高值化利用提供新的途径。首先通过高温热解将动物毛转化为大比表面积的多孔碳材料,利用其优异的吸附能力去除含抗生素废水中的四环素,从而达到“以废制废”净化污水的目的;同时使用吸附有四环素的炭产物制备导电复合隔膜涂层,将其用于抑制锂硫电池中多硫化物的穿梭效应,以获得具有较好能量密度和循环寿命的锂硫电池。因此,该实验设计有望为污染物治理和“碧水蓝天”的环保目标提供有益参考。

2. 实验方案

2.1 所用的原料和试剂

实验所用的药品和试剂如表 1 所示。

表 1 主要药品和试剂列表

试剂药品名称	规格	厂家或来源
四环素	化学纯	上海迈瑞尔
活性炭	牛毛基	北京大学提供
活性炭	Novit Dx UITRA	CABOT
硫正极	63 wt%, $\Phi=12$ mm	北京大学提供

2.2 所用的仪器和设备

实验所用的仪器设备如表 2 所示。

表 2 主要仪器设备列表

仪器名称	型号	厂家
电热鼓风干燥箱	101-0AB	天津市泰斯特仪器有限公司
恒温振荡器	SHA-B	常州智博瑞仪器制造有限公司
高速离心机	HC-3516	安徽中科中佳科学仪器有限公司
紫外可见分光光度计	TU-1810	北京普析通用仪器有限责任公司
扫描电子显微镜/能谱仪	JSM7800F	日本电子株式会社
扣式电池切片机	MSK-T10	深圳市智达科晶科技有限公司
手套箱	V-Lab	威格气体纯化科技股份有限公司
液压式扣式电池封装机	MSK-110	深圳市智达科晶科技有限公司
蓝电充放电测试仪	CT2001A	武汉市蓝电电子股份有限公司
比表面积分析仪	2460	美国麦克仪器公司

2.3 实验方法

2.3.1 碳材料的表征分析

本研究所采用的碳材料的外观形貌是用扫描电子显微镜 (SEM) 进行测试; 元素组成用能谱 (EDS) 进行分析测定; 其比表面积用比表面积测试仪 (BET) 进行分析测定。

2.3.2 校准曲线的绘制

取 6 个 10 ml 容量瓶中, 分别加入 0 ml、0.2 ml、0.3 ml、0.4 ml、0.5 ml、0.6 ml 的四环素储备液, 对应的四环素浓度分别为 0 mg/L、10 mg/L、15 mg/L、20 mg/L、25 mg/L 和 30 mg/L, 后加水至刻度线并摇匀使四环素分散均匀。在波长 357 nm 下, 用 10 mm 比色皿, 以水作参比, 测量并修正吸光度, 最后绘制四环素浓度 (mg/L)-校正吸光度校准曲线 (图 2)。

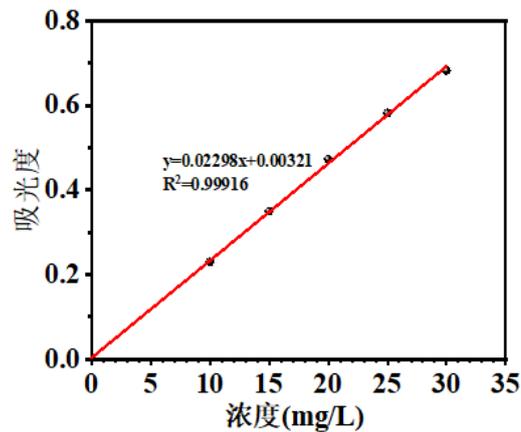


图 2、四环素校正吸光度的标准曲线

2.3.3 模拟废液的配置方法

将 500 mg 四环素固体粉末溶于超纯水中，在容量瓶中定容至 1L，得到 500 mg/L 的四环素溶液作为母液用于后续的实验环节，避光保存备用。

2.3.4 吸附效果的实验分析

通过模拟实验探究与吸附效果相关的影响因素，试验均在容量为 20ml 的样品瓶中进行，为确保实验结果的准确可靠，每一组实验都设置三个平行样品，四环素的浓度计算通过校准曲线获得，吸附实验将考察三个影响因素：

(1) 吸附剂用量的影响：分别移取 15 份 10ml 四环素母液于样品瓶中，称量质量分别为 1mg、2 mg、3 mg、4 mg 和 5 mg 的碳材料依次加入其中，置于恒温振荡器中于 30 °C 和 131 rpm 条件下避光震荡 24h，确保吸附达到吸附平衡状态，吸附平衡后于离心机中在 10000 转条件下离心 5 分钟，确保溶液中的炭颗粒沉降完全，以避免炭颗粒对分光光度法测量四环素溶液浓度的干扰。

(2) 吸附时间的影响：分别取 15 份 10 ml 的四环素母液，并称取 10 mg 的碳吸附剂，于 30 °C 和 131 rpm 条件下避光震荡，分别测量吸附 0.5 h、1 h、1.5 h、2 h 和 2.5 h 后溶液中四环素浓度，溶液浓度测量前同样需在于离心机中 10000 转下离心 5 分钟。

(3) 四环素浓度的影响：移取适量体积的四环素溶液母液，并配置 10ml 不同浓度四环素溶液（100 mg/L、200 mg/L、300 mg/L、400 mg/L 和 500 mg/L）于样品瓶中，称量质量为 10mg 的碳材料依次加入四环素溶液中，于 30 °C 和 131 rpm 条件下避光震荡 24 h，为确保吸附达到吸附平衡状态，吸附平衡后在 10000 转下离心 5 分钟，确保溶液中的炭颗粒沉降完全。

2.3.5 吸附后产物的应用研究

移取适量体积的四环素溶液母液配置 10ml 的 500 mg/L 四环素溶液于样品瓶中，称量质量为 10 mg 的碳材料依次加入四环素溶液中，30℃和 131 rpm 条件下避光震荡 24 h，为确保吸附达到吸附平衡状态，吸附平衡后在 10000 转下离心 5 分钟，确保溶液中的炭颗粒沉降完全。将吸附有四环素的炭产物在 60℃干燥 48 h 去除水分，将其命名为 CTC。

称取冻力为 160 的牛皮明胶 0.2 g，并将其置于样品瓶中以配置 2 wt%的明胶水溶液。称取 CTC 0.1 g，乙炔黑（AB）0.2 g，明胶水溶液 1.667 g 置于研钵中，将其均匀混合并研磨成浆料。使用 90 μm 的四方涂布器将浆料均匀涂布在厚度为 25 μm 的 Celgard 2325 隔膜表面，并将其置于 60 °C 干燥箱中干燥 48 h 以完全去除水分。作为对比，制备了不含吸附有四环素炭产物的乙炔黑改性隔膜和空白 Celgard 隔膜。

将隔膜裁切成直径为 19 mm 的圆片，使用 2025 不锈钢电池壳依次组装硫正极、隔膜、锂负极，并加入 40 μL 溶解有 1 mol/L 双三氟甲磺酰亚胺锂和 0.4 mol/L 硝酸锂的 1,3-二氧戊环/乙二醇二甲醚（体积比 1: 1）电解液后封装。将纽扣电池静置 10 小时后连接在蓝电充放电测试仪上进行充放电测试。

3. 结果与讨论

3.1 研究方案的可行性分析



图 3、商用碳和牛毛碳实物图片

图 3 给出了牛毛碳和商用碳实物照片，可见商用碳和牛毛碳外观相近，都是黑色的粉末。

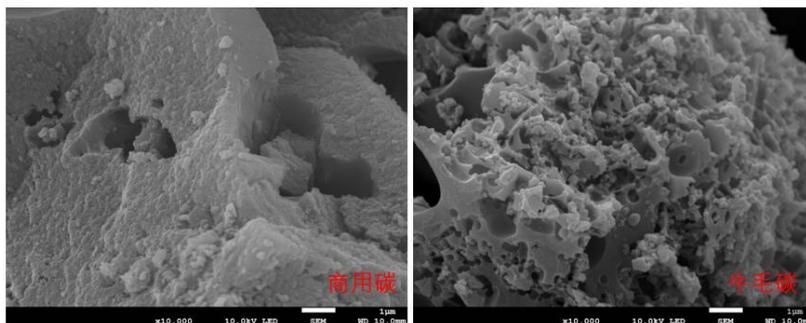


图 4、商用碳和牛毛碳的 SEM 图

从图 4 的 SEM 图可以看出，在放大同样倍数的情况下，牛毛碳具有更丰富的孔结构，但是商用碳材料相比之下孔较少，且孔相对较大。通过 BET 测试发现，两种碳材料的比表面相差较大，牛毛碳为 $2057.63 \text{ m}^2/\text{g}$ ，远高于商用碳的 $1142.66 \text{ m}^2/\text{g}$ ，这也进一步验证了其微观结构的差异。因此，我们合理推测推测比表面积更大的牛毛碳作为抗生素吸附剂时，可能具有更好的吸附效果。



图 5、吸附前后的样品溶液外观照片

图 5（左）给出了吸附开始时的样品溶液情况。可以看出，含有抗生素的水溶液呈现亮黄色，加入碳材料后水溶液的颜色明显变淡，特别是两种碳吸附对比实验结果显示，经动物毛衍生的碳材料的吸附后，水溶液的颜色变淡更明显，说明其吸附能力相对较强。这也证明了本研究方案的可行性。

3.2 模拟废水体系吸附行为研究

3.2.1 吸附剂加入量的影响分析

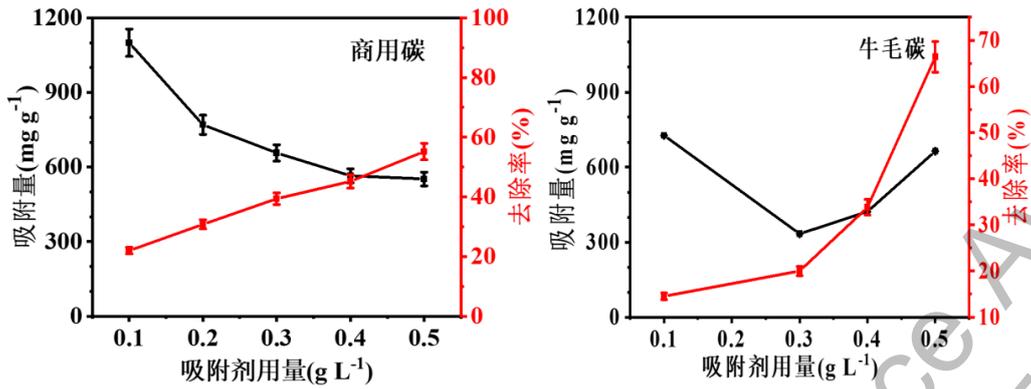


图 6、吸附剂用量对四环素吸附量与去除率的影响

图 6 为不同种类吸附剂用量对四环素吸附量与去除率的变化曲线。可以看出，当污染水中的四环素含量一致时，其去除效率基本随着碳含量的增加而增强。两种碳材料相比，牛毛碳的去除率明显高于相同条件下市售的吸附碳材料，说明了牛毛碳在吸附抗生素时的吸附剂用量可以降低，其吸附能力更强。

3.2.2 模拟废水初始浓度的影响分析

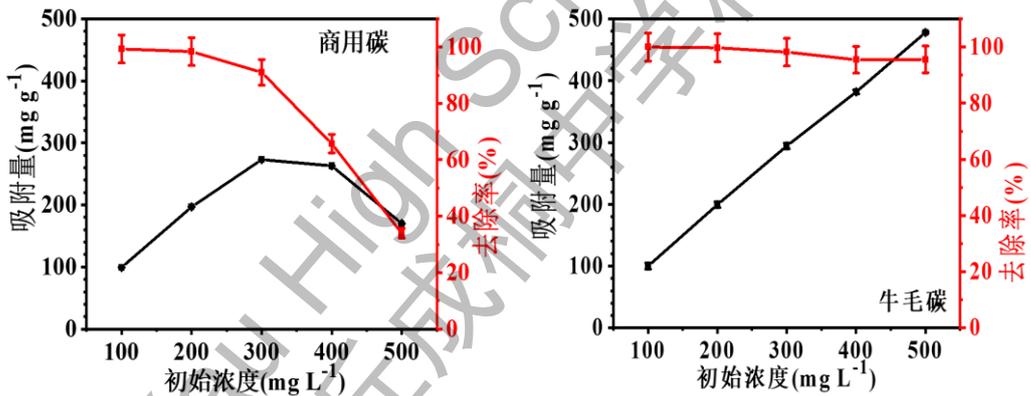


图 7、四环素初始浓度对吸附量与去除率的影响

由图 7 可见，采用商业碳作为吸附剂时，溶液中四环素去除效率随初始含量的增加而明显降低；而采用牛毛碳时，在较低初始浓度下，四环素的吸附效率能够达到 100%，随着初始含量的增加因牛毛碳吸附饱和后而导致吸附效率略有下降，经计算牛毛碳对四环素的吸附效率可以高达 380 mg/g，进一步证明牛毛碳对四环素的吸附效果明显高于商业碳。

3.2.3 模拟废水体系吸附时间的影响分析

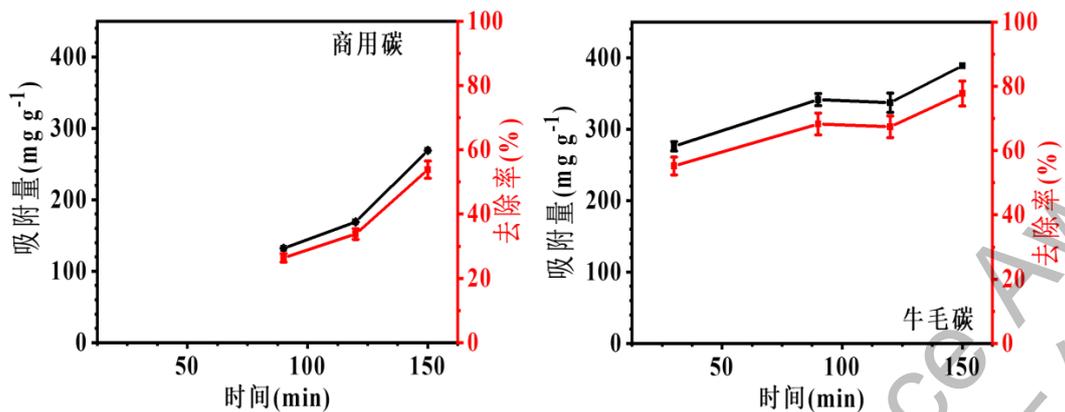


图 8、吸附时间对吸附量的影响

图 8 给出了溶液中四环素去除效率随吸附时间延长的变化曲线，溶液中四环素的去除效率基本随着碳材料吸附时间的延长明显增加，牛毛碳吸附效率明显高于商业碳，并且吸附速度快，效率高，在 30 min 内水中四环素去除率达到 60% 以上；而商用碳需用时 150 分钟以上。

3.3 吸附后产物的应用研究

3.3.1 产物对锂硫电池循环性能的影响



图 9、改性隔膜的制备过程及组装的锂硫电池照片

图 9 为研磨的导电四环素-牛毛碳复合物及其涂敷的导电复合隔膜，将硫正极、隔膜、锂负极依次组装为纽扣电池，在蓝电充放电测试仪上进行充放电测试。

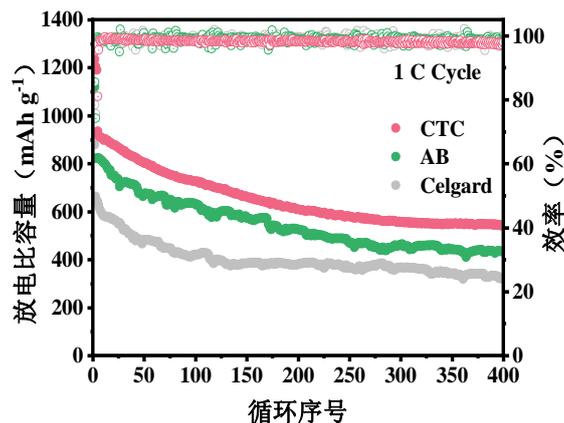


图 10、使用 CTC 改性隔膜、AB 改性隔膜和空白隔膜组装的锂硫电池在 1 C 条件下的充放电循环测试结果

如图 10 所示，使用 CTC 改性隔膜组装的锂硫电池表现出较高的能量密度和循环性能。在 0.1 C 时 ($1\text{ C} = 1675\text{ mAh/g}$)，使用 CTC 改性隔膜、AB 改性隔膜和 Celgard 隔膜组装的锂硫电池的首次放电比容量分别为 1265.87 mAh/g 、 1220.97 mAh/g 和 1111.07 mAh/g 。基于 CTC 的锂硫电池在 1 C 倍率下的首次放电容量为 934.84 mAh/g ，循环 400 次后，仍具有 542.99 mAh/g 的比容量。相比之下，使用 AB 改性隔膜和 Celgard 隔膜组装的锂硫电池的比容量仅为 431.26 mAh/g 和 326.73 mAh/g 。这说明由 CTC、AB 和明胶构成的功能涂层能够有效提升锂硫电池的循环寿命和能量密度。具体来说，明胶中富含的游离羧基、氨基和肽键上的酰胺结构有利于锚定电解液中溶解的多硫化物，提升活性物质的利用效率。而 CTC 作为一种由生物炭和四环素结合而成的复合材料，其炭表面能够提供活性位点，帮助锚定的多硫化物的进一步转化。同时，四环素分子上芳香结构提供的 π 电子云有利于阻挡多硫化物从正极侧向负极侧运用，抑制其穿梭，减少副反应。因此，使用 CTC 改性隔膜组装的锂硫电池不仅表现出了能量密度的提升，也具有稳定的库伦效率。

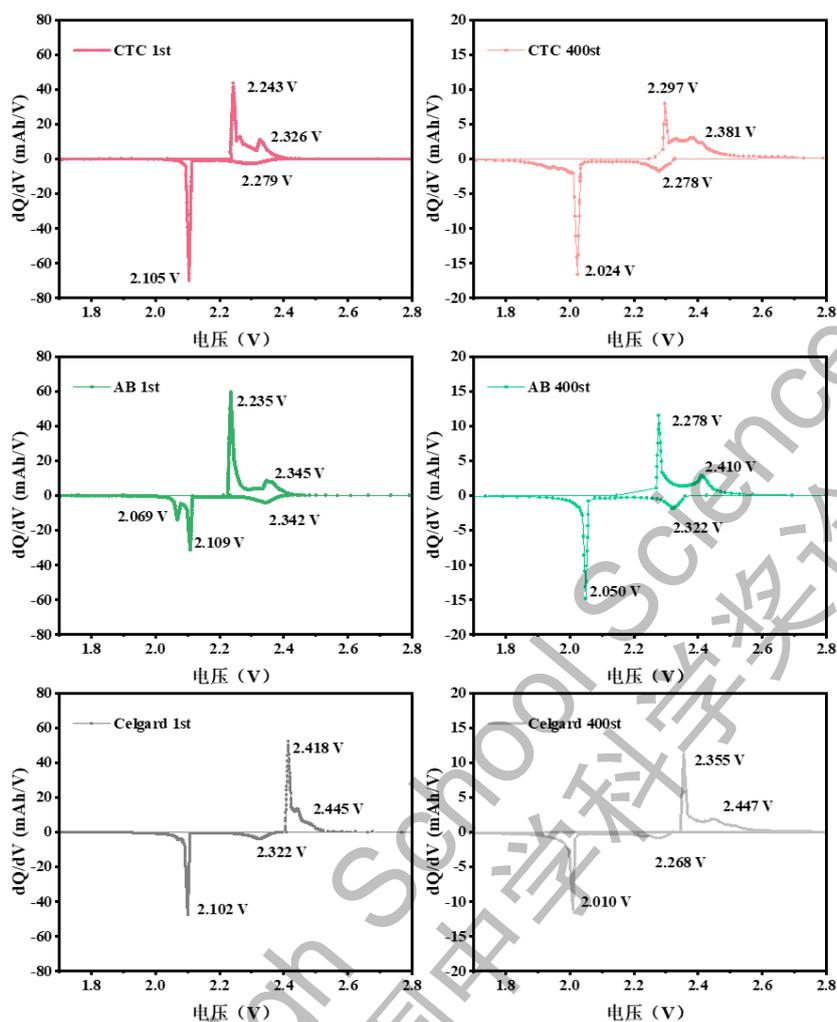


图 11、使用 CTC 改性隔膜、AB 改性隔膜和空白隔膜组装的锂硫电池第一次循环和第 400 次循环的容量微分曲线

图 11 展示了几种电池的容量微分曲线，其氧化和还原峰的电位及电位差如表 3 所示。2.3 V 和 2.1 V 左右的还原峰分别代表长链多硫化物和短链多硫化物的锂化。使用 CTC 改性隔膜和 AB 改性隔膜组装的锂硫电池在 2.3 V 左右展示出相对 Celgard 较高的还原峰面积，这与功能导电网络对长链多硫化物反应的促进作用有关。无论是第一次循环还是第 400 次循环，使用 CTC 改性隔膜组装的锂硫电池的氧化还原峰位电压差最小。同时，其主要反应的峰形和峰位未随循环次数的增加而出现明显变化。这说明 CTC 对锂硫电池的循环稳定性和可逆性有一定的提升作用。

表 3 容量微分曲线中氧化还原反应峰电位情况

样品名称	氧化还原峰峰位电压 (V)	极化电压差 (V)
------	---------------	-----------

第 1 次循环					
CTC	2.105	2.279	2.243	2.326	0.138
AB	2.069/2.109	2.342	2.235	2.345	0.276
Celgard	2.102	2.322	2.418	2.445	0.316
第 400 次循环					
CTC	2.024	2.278	2.297	2.381	0.357
AB	2.050	2.322	2.278	2.410	0.360
Celgard	2.010	2.268	2.355	2.447	0.437

3.3.1 产物对锂硫电池倍率性能的影响

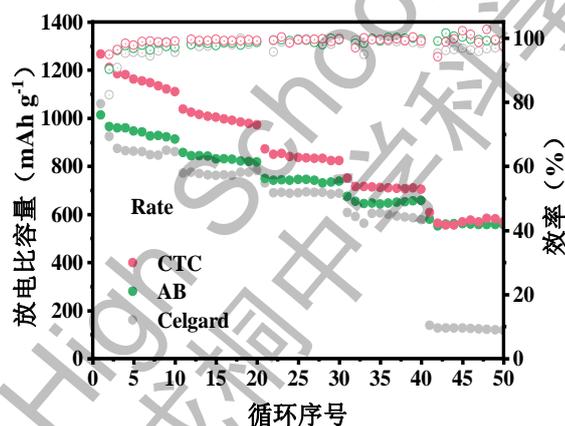


图 12、使用 CTC 改性隔膜、AB 改性隔膜和空白隔膜组装的锂硫电池在 0.1 C、0.2 C、0.5 C、1 C 和 2 C 条件下的充放电循环测试结果

为了分析构筑的导电功能涂层对电池倍率性能的影响，图 12 显示了其组装的电池在 5 中递增的不同倍率下的比容量和库伦效率。结果显示，CTC 改性隔膜组装的电池在 0.1 C、0.2 C、0.5 C、1 C 和 2 C 条件下首次放电的比容量分别为 1265.36 mAh/g、1037.61 mAh/g、872.16 mAh/g、749.86 mAh/g 和 606.44 mAh/g。相比使用 AB 改性隔膜和 Celgard 隔膜制备的锂硫电池具有显著提升。图 13 是几种电池在倍率测试中表现出的充放电曲线。使用 CTC 改性隔膜组装的锂硫电池表现出了较低水平的电压差和最高的可逆容量，提高了活性物质的利用率，降低了电池充放电过程中的极化作用。

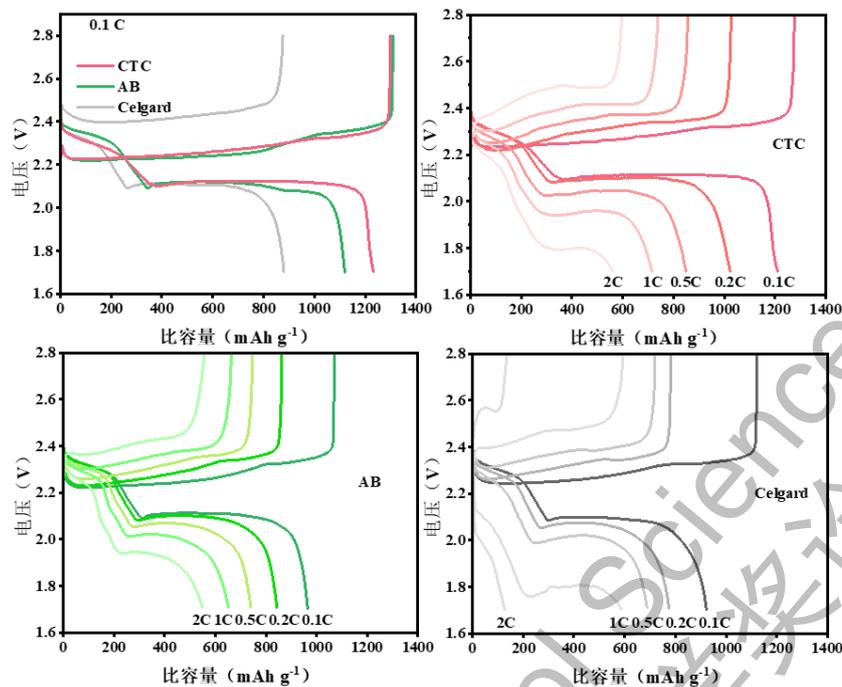


图 13 使用 CTC 改性隔膜、AB 改性隔膜和空白隔膜组装的锂硫电池在 0.1 C、0.2 C、0.5 C、1 C 和 2 C 条件下的充放电曲线

4. 结论

(1) 牛毛碳可以作为模拟废水中四环素的高效吸附剂，其具有比商业碳更好的吸附效果，吸附效率快，吸附量高，最大吸附量可以高达 380 mg/g。

(2) 将牛毛碳应用到实际含四环素废水中研究发现，其具有优异的吸附能力，有望将其应用于实际含抗生素废水的处理

(3) 使用吸附有四环素的炭产物制备了一种导电复合隔膜涂层用于锂硫电池，在 1C 循环 400 次后的比容量为 542.99 mAh/g，有效提升了锂硫电池的能量密度和循环寿命，具有较好的应用潜力。

5. 收获和继续研究设想

这个活动不仅培养了严谨的科学探究精神，更锻炼了我们的查找科研文献的能力；通过动手实践，掌握了常用实验仪器的操作方法，找到了具有较好四环素吸附性能的碳材料，增加了我们对科学研究的兴趣。我们希望继续开展相关的研究，具体设想包括两个方面：(1) 继续优化碳材料提升碳材料的吸附性能，希望能探究使用猪毛、鸭毛或废弃动物骨等其他废弃生物质制备性能更高的碳材料；(2) 扩大材料应用范围，希望探究采用现有材料或优化

后的材料吸附其他种类的抗生素或其他水中常见的污染物，以及同时吸附多种污染混合物，考察其吸附的选择性和协同效果，并应用于实际水体中，为水的净化提供好的材料和新方法。

(3) 探索再生四环素-牛毛碳复合物作为锂离子电池、钠离子电池等电极材料方面的应用，综合评估其在成本和性能方面的特点并于现有产品对比，力争为相关新能源材料的制备与应用探索绿色环保的新方法。

6. 参考文献

- [1] 刘振国. 氮硫共掺杂多孔炭材料对四环素的吸附性能研究[D]. 北京:北京化工大学, 2023.
- [2] 杨奇亮. 玉米秸秆基多孔碳的制备及其对水中四环素的吸附性能研究[D]; 华南理工大学, 2019.
- [3] 周力. 不同热解温度下苜蓿和玉米芯生物炭对水中四环素的吸附特性研究[D]; 西北大学, 2021.
- [4] 展海银, 周启星. 环境中四环素类抗生素污染处理技术研究进展[J]. 环境工程技术学报, 2021, 11(03): 571-81.
- [5] 李广英, 杜敏洁, 谈成英, 等. 养殖固废再利用的高效磷吸附剂制备与作用机制[J]. 净水技术, 2021, 40(10): 131-7.
- [6] 刘桂燕, 车晖贤, 宾万艳等. 氮掺杂生物质炭吸附抗生素左氧氟沙星的研究[J]. 炭素技术, 2024, 43(2): 43-48.
- [7] 戚海洋, 魏聂晶, 王文静等. 小麦秸秆生物质炭的结构特征及其对 Cr(VI)的吸附性能研究[J]. 土壤, 2024, 56(1): 135-142.
- [8] 王佳颖, 刘峥, 张晶等. 生物质多孔炭特征构建及对 N₂O 吸附可行性分析[J]. 中国环境科学, 2024, 44(6): 3502-3516.
- [9] 程龙. 生物炭结构定向调控及其对有机污染物吸附传质机理的研究[D]. 江苏:东南大学, 2022.
- [10] 陈思魁, 刘黎, 郭荣辉. 莲秆纤维多孔碳的制备及其 CO₂ 吸附性能[J]. 纺织科学与工程学报, 2024, 41(3): 71-74.

7. 致谢

感谢北京市第五中学提供的开展科学实践的机会，以及北京化工大学提供的实验研究平台。感谢北京市第五中学老师和同学们给予的帮助和支持。

8. 研究背景及分工说明：

1、必须对研究背景，指导老师与参赛学生的关系，在论文写作过程中所起的作用，指导是否有偿；以及他人协助完成的研究成果等进行详细说明。如有必要，可附上参赛学生和指导老师的简历。

本研究作者张雅凝和张笑涵均为北京市第五中学的高二年级学生；赵良珮老师为我们北京市第五中学的指导老师，而北京化工大学的黄雅钦老师为我们本项目的科学指导老师，其均为无偿指导。

相关研究结果是我们在指导老师指导下独立完成的。

2、必须对整体研究过程：从选题来源、数据获取、分析数据及计算、实验设计及实施，到撰写论文等方面，进行详细的分工说明；详细列举指导老师和参赛学生的具体分工及每一个队员在研究报告撰写中承担的工作以及贡献；并说明不同环节遇到的困难及解决问题的经过。此部分要求 1-2 页 word 文档（500-1000 字）。

本研究是我们在学校组织的科学课上了解到目前含抗生素废水对环境的严重影响，从而关注到了环境污染问题及治理的迫切性，通过查阅文献资料得知，含抗生素废水的净化处理成为了当前环保领域的研究热点。老师们给我们讲了天然材料知识，使我们明白了“世界上没有垃圾，只有放错地方的宝藏”的含义。于是我们讨论想到了固体废弃物-动物毛，并利于动物毛制备多孔碳以净化废水的想法，为处理吸附抗生素的碳材料我们又想到了尝试将其用于锂硫电池材料的思路。

本研究的牛毛碳的制备、形貌性能表征、锂硫电池的组装与电化学性能测试是在北京化工大学完成的，而多孔碳吸附四环素实验和其他相关实验主要是在北京市第五中学的化学实验室完成的。

老师指导情况：

赵良珮：在研究报告中主要参与论文相关的数据计算和论文写作指导

黄雅钦：选题、理论指导、实验指导和论文写作指导

学生分工情况:

在老师指导下,张雅凝和张笑涵两位同学共同完成了基本实验方案的设计和实验执行,两人合作完成了研究论文撰写。具体分工如下:

张雅凝: 完成牛毛碳的吸附实验影响参数的探索和性能总结,使用吸附有四环素的炭产物制备导电复合隔膜涂层。

张笑涵: 牛毛碳和商业碳的结构性能表征和吸附性能分析,基于导电复合隔膜涂层的锂硫电池的组装和电化学性能的研究。

研究过程遇到的困难及解决过程:

(1)、四环素校正吸光度的标准曲线实验时面临问题: 在实验过程中发现无法得到标准的四环素吸光度的标准曲线,波长不是预期的 357 nm,经检查是买的四环素样品纯度不够所致,换分析纯样品后得到理想结果。

2、锂硫电池组装过程中手套箱的适用问题: 为保证电池组装过程的无水无氧环境,相关操作需要在手套箱中进行,通过厚厚的手套来实现硫正极、隔膜、锂负极的依次精确组装非常困难,各个材料难以对齐,电池外壳上下层容易错位。在老师指导下,经过多次失败和反复耐心的练习终于获得了合格的电池样品,测试合理的电池性能。

3、论文撰写过程中数据分析方法和画图问题: 在获得相关吸附数据后不会分析,无法获得符合科研要求的图标,在老师指导下我们学习了专业分析软件 Origin,画出了和文献上类似的吸附曲线和电池电化学性能曲线,并根据相关变化分析得出了符合实验现象的实验结论。