

# 大学生创新训练项目申请书

项目编号 s201910536035

项目名称 层次孔结构硬碳的构筑及其储钾性能研究

项目负责人 裴琳璐 联系电话 15211093093

所在学院 材料科学与工程学院

学 号 201739160303 专业班级 无机非金属材料 1703

指导教师 秦伟

E - m a i l qinwei59@gmail.com

申请日期 2019.04.10

起止年月 2019.05-2021.05

长沙理工大学

## 填 写 说 明

1、本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要

2、申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填负责人。“项目编号”一栏不填。

3、本申请书为大 16 开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。

4、负责人所在学院认真审核，经初评和答辩，签署意见后，将申请书（一式两份）报送xxxx大学项目管理办公室。

## 一、基本情况

项目名称	层次孔结构硬碳的构筑及其储钾性能研究						
所属学科	学科一级门：	工学			学科二级类：	材料类	
申请金额	20000 元		起止年月	2019 年 5 月至 2021 年 5 月			
负责人姓名	裴琳璐	性别	女	民族	满族	出生年月	1999 年 7 月
学号	20173916030 3	联系电话	15211093093				
指导教师	秦伟	联系电话	17873540176				
负责人曾经参与科研的情况	无						
指导教师承担科研课题情况	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、国家自然科学基金青年科学基金项目：柔性超级电容器中 Co/Ni 基氧/硫化物的激光液相溶蚀调控，项目编号：51702371，2018.01-2020.12, 25 万元，主持</li> <li>2、中山大学中央高校基本科研业务费青年教师启动项目：激光液相溶蚀调控 MOF-74 衍生氧(硫)化物及其电催化和储能特性研究，项目编号：18lgpy03，2018-2020，15 万元，主持</li> <li>3、广东省科技厅科技计划项目/广东省应用型科技研发专项：绿色环保石墨烯功能材料制备技术研发和产业化及其在超级电容器电极材料上的应用，项目编号：702134928310，2017-2019，800 万，参与</li> <li>4、上海市基础研究重点项目：高性能锂/钠离子电池的氮掺杂纳米碳球负极材料的制备与机理研究，项目编号：14JC1491000，2014-2017，60 万，参与</li> <li>5、国家自然科学基金面上项目：异质界面力学性能的键弛豫理论与光电子能谱选区标定研究，项目编号：11172254，2012-2015，65 万，参与</li> <li>6、国家自然科学基金青年科学基金项目：碳量子点/MoSe<sub>2</sub> 纳米复合材料的构筑及其光催化性能，项目编号：21401180，2015-2018，25 万，参与</li> </ol>						

指导教师对本项目的支持情况	<p>实验室位于新能源大楼 3B-512, 515 以及 516, 具有比较完善的材料制备条件, 并且拥有多位手套箱可以用于扣式电池组装以及电化学工作站, 新威及蓝电电测测试系统多套, 可以实现从电极材料制备到电池组装测试等全部实验。并且指导老师目前主持国家自然科学基金, 湖南省教育厅等项目, 具有多年的电化学研究经验, 发表 20 多篇 SCI 收录论文。该项目具有很大可行性, 支持申请并会提供相应的资助。</p>				
项目组主要成员	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目中的分工
	黄莹佳	201639160302	无机非金属材料 1703 班	材料科学与工程学院	样品制备
	蒋硕彦	201739160324	无机非金属材料 1703 班	材料科学与工程学院	电池组装
	邢祺烽	201739160419	无机非金属材料 1704 班	材料科学与工程学院	电池测试
	宋焯锋	201739160430	无机非金属材料 1704 班	材料科学与工程学院	电池性能分析

## 二、立项依据（可加页）

### （一）项目简介

本项目是基于申请人近几年对纳米材料的合成、钠/钾离子电池电解液的优化及其在钠离子电池领域探索性的研究基础上提出的。申请人最近几年在国际学术期刊上发表 SCI 论文 20 余篇，相关的工作得到了同行认可。如首次利用醚类电解液改善 CuS-RGO 复合物的在钠离子电池中的倍率性能、首次库伦效率等；首次设计具有自支撑结构的 MoS<sub>2</sub>-RGO 海绵体，并获得优异的储钠性能；构筑出具有自支撑结构的硫掺杂石墨烯海绵体，得到具有超长循环寿命的钾离子电池。本项目拟根据对前期工作的积累，对微纳结构硬碳进行拓展性研究，探讨其在构筑中的形成过程。将构筑的微纳结构硬碳用于新型钾离子电池，并通过一系列表征手段研究其电化学增强机制及钾离子在硬碳中的脱嵌动力学，为钾离子电池的进一步研究提供有益的指导。

### （二）研究目的

- ①研究不同微纳结构硬碳对钾离子电化学性能的影响，进而提升硬碳的比容量，延长电池循环寿命、增加库伦效率。
- ②进一步研究钾离子在微纳结构硬碳中的嵌入机制，在充放电过程中对材料的微观结构、表面等进行非原位分析，从而在纳米尺度上探索微纳结构硬碳在钾离子电池中的相互作用及其电化学机理。
- ③研究成膜电解液添加剂在钾离子电池中对微纳结构硬碳的相互作用，分析成膜电解液在其在电化学反应过程中 SEI 膜的形成过程，进而阐明在其对微纳结构硬碳的电化学性能的影响。

综上所述进一步优化钾电池的使用时长，储钾等各方面性能，放大钾电池的优势。

### （三）研究内容

#### ①微纳结构硬碳的构筑及表征：

利用湿化学法合成具有微纳结构的硬碳，通过探究反应前驱浓度、溶剂种类、模板种类、反应温度、加热时间及后续热处理等因素对其微纳结构结构的影响。综合运用多种手段对所合成材料的形貌、结构进行全面表征，分析所得参数对硬碳微纳结构的影响，并筛选出适合做负极材料的种类。

#### ②微纳结构硬碳的储钾性能研究

以具有不同微纳结构硬碳作为钾离子电池的负极，利用电池测试系统及电化学工作站对其库仑效率、比容量、循环寿命、倍率性能以及动力学性能等电化学性能进行研究，优选出具有最佳储钾性能的微纳结构硬碳。

### ③微纳结构硬碳储钾性能的机理探讨

对微纳结构硬碳进行非原位表征，研究硬碳的孔径、形貌、尺寸、表面、掺杂等微纳结构对钾离子的嵌入的影响，进而深入分析微纳结构硬碳在钾离子电池中的相互作用及其电化学机理，寻找其电化学特性与钾离子存储性能之间的规律。

### ④成膜电解液添加剂对硬碳储钾性能的机理分析

配合成膜电解液添加剂，研究其对微纳结构硬碳储钾性能的影响，实现对微纳结构硬碳电化学性能的改善。并利用电化学工作站、固体核磁共振技术、红外光谱、TEM、XPS 等材料进行非原位表征，分析成膜电解液添加剂在其在电化学反应过程中 SEI 膜的形成过程，阐明在电解液添加剂其 SEI 膜的演化过程及其对微纳结构硬碳的电化学性能的影响。

## （四） 国、内外研究现状和发展动态

能源是支撑当前社会可持续发展的一项重大问题。随大量石油、煤炭等非可再生能源的广泛使用，其可开采的储量仅可维持未来的几十年时间。因此，开发各种可再生的包括太阳能，风能，水电能，地热能等的新能源成为了万众瞩目的焦点<sup>[1]</sup>。但是，由于这类新能源具有间断性等特点，因此，为了有效提高其利用效率，开发廉价的能量存储成为了新能源开发的一个关键<sup>[2, 3]</sup>。与其它储能技术相比，锂离子电池具有高的能量密度、长的循环寿命，因此开始大量应用于包括电动汽车、新能源储能等领域。然而，随着锂离子电池的大量使用，锂资源的短缺也开始引起人们的重视。因此也促使科学家们基于钠离子电池进行研究。但是，与锂离子电池相比，钠离子电池由于具有相对较高的氧化还原电位，其能源密度受到了极大的限制<sup>[4-6]</sup>。相比与锂离子与钠离子，钾离子在地壳中广泛存在，并且其氧化还原电位较钠离子更低（ $\text{Li/Li}^+ = -3.040 \text{ V}$ ； $\text{Na/Na}^+ = -2.714 \text{ V}$ ； $\text{K/K}^+ = -2.936 \text{ V vs SHE}$ ），因此，钾离子电池也开始被提出，并被认为是下一代有前途、低成本的储能系统<sup>[7-9]</sup>。

钾离子电池的结构及其工作原理与锂/钠离子电池基本相似：在充放电过程中，钾离子在电池的两极来回穿梭，其电子则在其外电路流动，从而形成回路，如图 1

所示。其结构同样与锂/钠离子电池类似，主要包括正极、负极、电解液、隔膜等。而对于动力型钾离子电池的研究中，研制高性能、高安全性的负极材料成为目前最具挑战性的课题之一。但是，由于钾离子与锂/钠离子相比具有更大的离子半径（ $\text{Li}^+=0.76\text{\AA}$ ， $\text{Na}^+=1.02\text{\AA}$ ， $\text{K}^+=1.38\text{\AA}$ ）<sup>[10]</sup>，因此寻找合适的负极材料更具挑战。而对于目前关于钾离子负极材料的研究，其比容量、循环寿命、倍率性能等还有待提高。

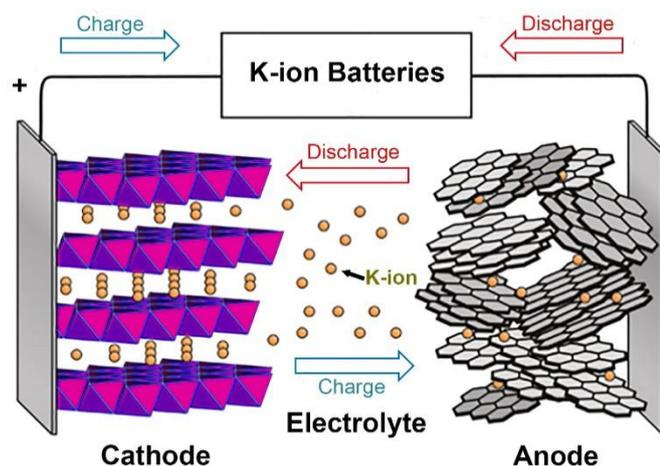


图 1. 钾离子电池的结构及工作原理图

自 1932 年钾离子电池这个概念首次被提出来以后<sup>[11]</sup>，由于当时其被认为无法与石墨很好的协同工作，因此其相关的研究开始停止。至 1996 年日本京都大学 Y.Mizutani 团队再次用钾离子对石墨在有机溶液进行插层研究，发现钾离子可有效地嵌入石墨中，颠覆了之前人们对钾离子电池的看法<sup>[12]</sup>。但是，由于锂离子电池的商业化的迅速发展，对钾离子电池相关的研究未引起相关的重视。然而，随着大规模储能的迅速发展，锂离子电池似乎遇到了一个“瓶颈期”，即能量密度提升缓慢，成本下降并不迅速。同时，其所在大规模储能领域遇到了严重的挑战。因此人们一直在寄希望于一种新的二次电池技术弥补锂电的不足。由于钾元素在地壳中的储量是锂的 1000 倍，且化学性质与锂接近<sup>[13]</sup>，因此，钾离子电池重新回到人们的视野，并吸引了大量国内外的科研工作者对其进行深入研究。美国德克萨斯大学奥斯汀分校的 John B. Goodenough 团队也对相关的工作进行跟进，并在钾离子正极材料领域取得一系列突破性的进展<sup>[14]</sup>；美国俄勒冈州立大学 Xiulei Ji 团队也开展了石墨的储钾性能研究，并首次证明石墨可有效嵌入钾离子，并通过测试及

计算得到石墨嵌入钾离子后的化学式为  $\text{KC}_8$ <sup>[15]</sup>；美国马里兰大学 Chunsheng Wang 团队对钾离子电池的正极材料进行研究，设计出具钴酸钾微球并展示出良好的稳定性<sup>[16]</sup>；美国范德堡大学 Cary L. Pint 团队基于对石墨烯进行改性并对其储钾性能进行深入分析<sup>[17]</sup>；北京大学郭少军团队基于短程有序介孔碳的储钾特性进行探讨，并深入分析了钾离子的嵌入机制<sup>[18]</sup>；武汉理工大学麦立强团队基于金属氧化物设计高比容量的钾离子全电池<sup>[19]</sup>；华中科技大学谢佳团队基于碳改性材料在钾离子电池的研究中也做了非常有意义的工作<sup>[20]</sup>。基于钾离子电池电极材料及器件的相关技术已得到快速的发展。上述关于钾离子电池的工作，推动着其商业化发展，对未来廉价、安全、稳定的储能系统提供有力的支持。

在对钾离子电池的相关研究中，提高能量密度、倍率性能、循环寿命、库伦效率等电化学性能成为了在储能领域的一个重要目标。对于提高能量密度及其稳定性，目前一个有效途径是通过引入具有高比容量的负极材料并对其电解液进行改善。与锂离子电池类似，由于碳材料的嵌入电位低、导电性好，价格低廉、安全稳定，因此也成为了钾离子电池负极材料的首选。但是，由于钾较钠与锂具有更大的相对原子质量（K: 39; Na: 23; Li: 7），因此钾离子电池较钠/锂离子电池的比容量更低，同时，钾离子也更大的离子半径（K: 1.38 Å, Na: 1.02 Å, Li: 0.76 Å）<sup>[21]</sup>，因此寻找一种合适的负极材料更为困难。尽管石墨也具有一定的钾离子存储能力，但是由于其倍率性能差，相对比容量也偏低，为此，科研工作者们开始利用活性炭、碳纤维等硬碳用于钾离子电池负极材料进行进一步的研究<sup>[22, 23]</sup>。与石墨相比，由于硬碳具有各向同性，结原子与原子之间的层间距会出现一定程度的增大，可让钾离子在循环过程中可逆脱嵌。同时，由于硬碳的碳层之间也存在一些空间，在电化学反应过程中可形成钾团簇，进而增加其比容量<sup>[23]</sup>。**由于碳材料具有稳定的结构，其在作为钾离子电池负极材料具有长的循环寿命，因此，对碳材料在钾离子电池中的研究对其在储能领域的发展具有重要的意义。**然而，由于普通硬碳的孔结构较少，因此在钾离子电池中离子运输的速度较慢，导致离子不能很好的嵌入硬碳中。同时，由于微孔结构关系，在电化学循环过程中，大量的钾离子嵌入进碳层中，无法有效地脱出，导致其可逆容量大大降低，同时其首次库伦效率的降低也极大消耗了全电池中正极材料的钾，不利于全电池比容量的提高。因此，如何通过提高硬的储钾能力成为了目前科研工作者们对这种储能

技术探索的一个重要目标，而对硬碳微纳结构进行有效构筑则成为提升其电化学性能的一个有效途径。至今，已有一些关于对硬碳在钾离子电池中电化学性能的研究，如表 1 所示。从表 1 中发现，硬碳的储钾性能得到不断提高，但是还不能满足钾离子电池对负极材料的要求。因此，对硬碳的微纳结构的设计及提升其电化学性能还有待进一步探索。

表 1 比较最近硬碳关于钾存储性能的几个参考数据。

材料	循环次数	电流密度 (mA g <sup>-1</sup> )	比容量 (mAh g <sup>-1</sup> )
碳纤维 <sup>[16]</sup>	20	50	~50
硬碳微球 <sup>[24]</sup>	100	27.9	216
硬碳球 <sup>[25]</sup>	200	279	160
活性炭 <sup>[22]</sup>	100	200	100
碳纤维 <sup>[23]</sup>	80	20	270
富氮氧碳纤维 <sup>[26]</sup>	300	279	160
氮掺杂硬碳 <sup>[20]</sup>	200	32.4	205
氮掺杂碳纳米管	300	50	254

[13]

在锂/钠离子电池中，已经有相当多关于微纳结构硬碳存储机制的研究工作。但是，在涉及到钾离子电池，其相关的储存机理研究关注度还不够。由于钾离子与锂/钠离子在化学性质上不同，因此，其在电化学反应的过程中也具有一定的差异。因此，我们非常有必要研究钾离子在微纳结构硬碳中脱嵌过程、钾离子脱嵌后硬碳微纳结构的变化、钾离子脱嵌的动力学及其对微纳结构硬碳的电化学性能影响等。深入分析材料、结构与钾离子之间脱嵌机制，这对钾离子电池的改进及其应用具有重要意义。

#### 参考文献

[1] Jacobson M. Z., Delucchi M. A., Bauer Z. A., Goodman S. C., Chapman W. E., Cameron M. A., Bozonnat C., Chobadi L., Clonts H. A. and Enevoldsen P. 100% clean and renewable wind, water, and sunlight all-sector energy roadmaps for 139 countries of the world[J]. Joule, 2017, 1(1): 108-121.

[2] Shokrzadeh S. and Bibeau E. Sustainable integration of intermittent renewable energy and electrified light-duty transportation through repurposing batteries of plug-in electric vehicles[J]. *Energy*, 2016, 106: 701-711.

[3] Chen K., Xu R., Luu N., Secor E., Hamamoto K., Li Q., Kim S., Sangwan V., Balla I. and Guiney L. Comprehensive enhancement of nanostructured lithium-ion Battery cathode materials via conformal graphene dispersion[J]. *Nano Letters*, 2017, 17(4): 2539-2546.

[4] Zhang W., Mao J., Li S., Chen Z. and Guo Z. Phosphorus-based alloy materials for advanced potassium-ion battery anode[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2017, 139(9): 3316-3319.

[5] Sultana I., Rahman M. M., Ramireddy T., Chen Y. and Glushenkov A. M. High capacity potassium-ion battery anodes based on black phosphorus[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5(45): 23506-23512.

[6] Jian Z., Xing Z., Bommier C., Li Z. and Ji X. Hard carbon microspheres: potassium-ion anode versus sodium-ion anode[J]. *Advanced Energy Materials*, 2016, 6(3): 1501874 .

[7] Ren X., Zhao Q., Mcculloch W. D. and Wu Y. MoS<sub>2</sub> as a long-life host material for potassium ion intercalation[J]. *Nano Research*, 2017, 10(4): 1313-1321.

[8] Pramudita J. C., Sehrawat D., Goonetilleke D. and Sharma N. An initial review of the status of electrode materials for potassium-ion batteries[J]. *Advanced Energy Materials*, 2017, 7(24): 1602911.

[9] Zou X., Xiong P., Zhao J., Hu J., Liu Z. and Xu Y. Recent research progress in non-aqueous potassium-ion batteries[J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2017, 19(39): 26495-26506.

[10] Shadike Z., Shi D., Cao M., Yang S., Chen J. and Fu Z. Long life and high-rate Berlin green FeFe(CN)<sub>6</sub> cathode material for a non-aqueous potassium-ion battery[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5(14): 6393-6398.

[11] Schleede A. and Wellmann M. Über die struktur der einwirkungsprodukte von alkalimetallen auf graphit[J]. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 1932, 18(1): 1-28.

[12] Mizutani Y., Abe T., Ikeda K., Ihara E., Asano M., Harada T., Inaba M. and Ogumi Z. Graphite intercalation compounds prepared in solutions of alkali metals in 2-methyltetrahydrofuran and 2, 5-dimethyltetrahydrofuran[J]. Carbon, 1997, 35(1): 61-65.

[13] Xiong P., Zhao X. and Xu Y. Nitrogen-doped carbon nanotubes derived from metal–organic frameworks for potassium-ion battery anodes[J]. ChemSusChem, 2018, 11(1): 202-208.

[14] Xue L., Li Y., Gao H., Zhou W., Lü X., Kaveevivitchai W., Manthiram A. and Goodenough J. B. Low-cost high-energy potassium cathode[J]. Journal of the American Chemical Society, 2017, 139(6): 2164-2167.

[15] Jian Z., Luo W. and Ji X. Carbon electrodes for K-ion batteries[J]. Journal of the American Chemical Society, 2015, 137(36): 11566-11569.

[16] Liu Y., Fan F., Wang J., Liu Y., Chen H., Jungjohann K. L., Xu Y., Zhu Y., Bigio D. and Zhu T. In situ transmission electron microscopy study of electrochemical sodiation and potassiation of carbon nanofibers[J]. Nano Letters, 2014, 14(6): 3445-3452.

[17] Share K., Cohn A. P., Carter R., Rogers B. and Pint C. L. Role of nitrogen-doped graphene for improved high-capacity potassium ion battery anodes[J]. ACS Nano, 2016, 10(10): 9738-9744.

[18] Wang W., Zhou J., Wang Z., Zhao L., Li P., Yang Y., Yang C., Huang H. and Guo S. Short-range order in mesoporous carbon boosts potassium-ion battery performance[J]. Advanced Energy Materials, doi: 10.1002/aenm.201701648 .

[19] Wang X., Xu X., Niu C., Meng J., Huang M., Liu X., Liu Z. and Mai L. Earth abundant Fe/Mn-based layered oxide interconnected nanowires for advanced K-ion full batteries[J]. Nano Letters, 2016, 17(1): 544-550.

[20] Chen C., Wang Z., Zhang B., Miao L., Cai J., Peng L., Huang Y., Jiang J., Huang Y. and Zhang L. Nitrogen-rich hard carbon as a highly durable anode for high-power potassium-ion batteries[J]. Energy Storage Materials, 2017, 8: 161-168.

[21] Zhu Y., Yin Y., Yang X., Sun T., Wang S., Jiang Y., Yan J. and Zhang X.

Transformation of rusty stainless-steel meshes into stable, low-cost, and binder-free cathodes for high-performance potassium-ion batteries[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2017, 56(27): 7887-7885.

[22] Tai Z., Zhang Q., Liu Y., Liu H. and Dou S. Activated carbon from the graphite with increased rate capability for the potassium ion battery[J]. *Carbon*, 2017, 123: 54-61.

[23] Zhao X., Xiong P., Meng J., Liang Y., Wang J. and Xu Y. High rate and long cycle life porous carbon nanofiber paper anodes for potassium-ion batteries[J]. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5(36): 19237-19244.

[24] Jian Z., Xing Z., Bommier C., Li Z. and Ji X. Hard carbon microspheres: potassium-ion anode versus sodium-ion anode[J]. *Advanced Energy Materials*, 2016, 6(3): 1501874 .

[25] Jian Z., Hwang S., Li Z., Hernandez A. S., Wang X., Xing Z., Su D. and Ji X. Hard-soft composite carbon as a long-cycling and high-rate anode for potassium-ion batteries[J]. *Advanced Functional Materials*, 2017, 27(26): 1700324.

[26] Adams R. A., Syu J. M., Zhao Y., Lo C. T., Varma A. and Pol V. G. Binder-free N- and O-rich carbon nanofiber anodes for long cycle life K-ion batteries[J]. *ACS applied materials & interfaces*, 2017, 9(21): 17872-17881.

#### （五） 创新点与项目特色

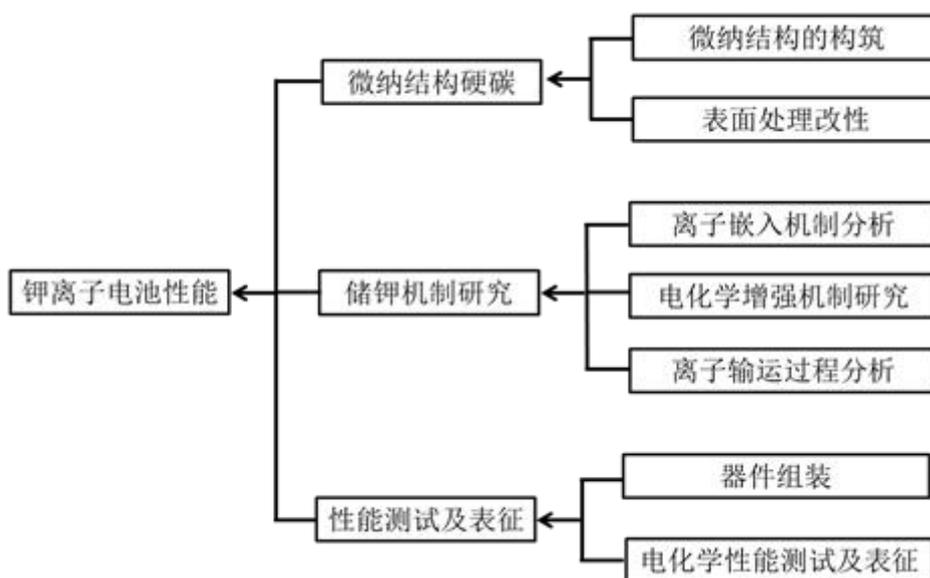
- 1.在钾离子电池中，采用醚类电解液来显著提高多孔碳球的比容量、库伦效率、循环稳定性。目前少有此方面研究。
- 2.采用一系列非原位手段探索醚类电解液中钾离子在多孔碳球中的共嵌入现象，分析其电化学增强机制。目前国际上此类研究缺乏。

#### （六） 技术路线、拟解决的问题及预期成果

##### 1.技术路线：

本项目的技术路线如图 2 所示，主要包含多孔碳球制备、醚类复合电解液优化以及钠离子电池性能测试三部分。在合成多孔碳球的过程中通过改变前驱环境条件、模板牺牲剂以及后续处理条件等，可控制备出高比表面积的多孔碳球。再

通过表面处理，改善多孔碳球与电解液的浸润性。在对醚类复合电解液的优化中，通过选择合理的钾盐（高氯酸钾、六氟磷酸钾、四氟硼酸钾、三氟甲基磺酸钾等）以及共嵌溶剂（二乙二醇二甲醚、四乙二醇二甲醚、四氢呋喃等），并添加适量的脂类溶剂添加剂以提高电解液在钾离子电池中的稳定性。将多孔碳球作为钾离子的负极材料，并配合醚类复合电解液组装成钾离子半电池，系统地考察多孔碳球在醚类复合电解液作用下的储钾性能，深入研究醚类复合电解液的共嵌机制，探讨材料的结构、醚类复合电解液构成与其电化学存储性能之间的关系，从原子尺度揭示醚类复合电解液中钾离子对多孔碳球的脱嵌过程，阐明其电化学机制。



图二、技术路线框图。

## 2.预期成果:

- ①用湿化学法合成具有微纳结构的硬碳，并探索前驱浓度、溶剂种类、模板种类、反应温度、加热时间及后续热处理等因素对其微纳结构结构的影响，初步将其应用于钾离子电池。
- ②通过对微纳结构的硬碳进行 SEM、TEM、XPS、拉曼光谱等进行表征，分析其生长过程及其对硬碳微纳结构的变化。
- ③利用前期制备的微纳结构硬碳用于钾离子负极进行优化，并结合电化学交流阻抗谱、循环伏安等电化学测试，测试电极材料、电解液添加剂等对钾离子电池的影响。
- ④通过非原位 TEM、XPS、拉曼光谱、红外光谱等手段进行深入表征，分析钾离

子的扩散过程及嵌入机制。

⑤撰写并发表 SCI 论文 1-2, 申请发明专利 1-2 项

### (七) 项目研究进度安排

2019 年 5 月~2020 年 5 月

①利用湿化学法合成出具有微纳结构的硬碳, 并探索前驱浓度、溶剂种类、模板种类、反应温度、加热时间及后续热处理等因素对其微纳结构结构的影响, 初步将其应用于钾离子电池。

②通过对微纳结构的硬碳进行 SEM、TEM、XPS、拉曼光谱等进行表征, 分析其生长过程及其对硬碳微纳结构对变化。

2020 年 5 月~2021 年 5 月

①利用前期制备的微纳结构硬碳用于钾离子负极进行优化, 并结合电化学交流阻抗谱、循环伏安等电化学测试对电极材料、电解液添加剂等对钾离子电池的影响。

②通过非原位 TEM、XPS、拉曼光谱、红外光谱等手段进行深入表征, 分析钾离子的扩散过程及嵌入机制

③整理补充实验数据, 并进行总结分析, 撰写论文专利, 提交结题报告。

### (八) 已有基础

#### 1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

无

#### 2. 已具备的条件, 尚缺少的条件及解决方法

本项目依托长沙理工大学新能源材料与器件系, 具有较完善的材料制备和电化学检测所用仪器和设备。另外与华东师范大学, 中山大学, 暨南大学等单位建立了良好的合作关系, 可以方便使用分析测试中心的透射电子显微镜、扫描电子显微镜、X-射线衍射仪、X-射线光电子能谱、BET 分析仪、激光拉曼光谱仪、红外谱、热重分析仪等, 能迅速准确地表征材料各种性质。

## 一、 经费预算

开支科目	预算经费	主要用途	阶段下达经费计划 (元)
------	------	------	--------------

	(元)		前半阶段	后半阶段
预算经费总额	20000		10000	10000
1. 业务费	12000		6000	6000
(1) 计算、分析、测试费	8000	主要分析表征手段为 SEM、TEM、XPS、XRD。	4000	4000
(2) 能源动力费	0		0	0
(3) 会议、差旅费	4000	项目组成员参加国内学术会议	2000	2000
(4) 文献检索费	0	0	0	0
(5) 论文出版费	0	0	0	0
2. 仪器设备购置费	0	0	0	0
3. 实验装置试制费	0	0	0	0
4. 材料费	8000	原材料/试剂药品购置费、常规耗材、劳保用品	4000	4000
学校批准经费	10000		5000	5000

## 二、 指导教师意见

相比与锂离子与钠离子，钾离子在地壳中广泛存在，并且其氧化还原电位较钠离子更低 ( $\text{Li/Li}^+ = -3.040 \text{ V}$ ;  $\text{Na/Na}^+ = -2.714 \text{ V}$ ;  $\text{K/K}^+ = -2.936 \text{ V vs SHE}$ )，钾离子电池被认为是一种潜在的锂/钠离子电池替代储能系统。在该项目中，裴琳璐等同学拟通过构筑层次孔结构的炭材料作为钾离子电池，解决钾离子电池比容量低，循环性能不理想的问题，具有很大可行性及创新性。同意指导。

导师（签章）：秦伟

2019年4月30日

### 三、院系大学生创新创业训练计划专家组意见

推荐校级项目

专家组组长（签章）：  
年 月 日

### 三、学校大学生创新创业训练计划专家组意见

推荐省级项目

负责人（签章）：  
年 月 日

### 四、大学生创新创业训练计划领导小组审批意见

同意推荐

负责人（签章）：  
年 月 日

