申报编号：2023-210674

# 第三批国家级一流本科课程申报书

# （虚拟仿真实验教学课程）

课程名称：动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验

专业类代码：0804

负责人：周小中

联系电话：15117182652

申报学校：西北师范大学

填表日期：

推荐单位：甘肃省教育厅

中华人民共和国教育部制

二○二三年十一月

# 填报说明

1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2022）》中的专业类代码（四位数字）。

2.文中○为单选；□可多选。

3.团队主要成员除主讲教师外，可以包含一位确实发挥重要支持作用的技术人员，并在“承担任务”栏中说明属于技术人员。

4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。

5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。

6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

第三批国家级一流本科课程推荐

## 1.基本情况

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 实验名称 | 动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验 | | 是否曾被推荐 | ○是●否 | |
| 实验负责人 | 周小中 | | | | |
| 负责人所在单位 | 西北师范大学 | | | | |
| 是否国家级一流本科专业建设点 | ○是●否 | （如是）专业名称 | | 专业代码 | |
| 实验所属课程(可填多个) | 材料科学综合实验 | | | | |
| 性质 | ●独立实验课 ○课程实验 | | | | |
| 实验对应专业 | 材料科学与工程 | | | | |
| 实验类型 | ○基础练习型 ●综合设计型 ○研究探索型 ○其他 | | | | |
| 虚拟仿真必要性 | ☐高危或极端环境 ☑高成本、高消耗 ☐不可逆操作<br>☑大型综合训练 | | | | |
| 实验语言 | ●中文<br>○中文+外文字幕（语种） ○外文（语种） | | | | |
| 实验已开设期次 | 共 3 次：<br>1. 2021-03-01 ~ 2021-07-31、28 人<br>2. 2022-03-01 ~ 2022-07-31、30 人<br>3. 2023-03-01 ~ 2023-07-31、32 人 | | | | |
| 有效链接网址 | （要求填写标准 URL 格式的实验入口网页，不允许仅为文件下载链接）<br>https://vs.nwnu.edu.cn/virexp/dldc | | | | |

## 2.课程团队情况

| 2-1 课程团队主要成员（序号 1 为课程负责人，总人数限 5 人以内） | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 序号 | 姓名 | 出生年月 | 单位 | 职务 | 职称 | 手机号码 | 电子邮箱 | 承担任务 |
| 1 | 周小中 | 1982-06-21 | 西北师范大学 | 材料科学与工程专业负责人 | 副教授 | 15117182652 | zxz20004@163.com | 整体规划（在线教学服务） |
| 2 | 张哲 | 1983-08-18 | 西北师范大学 | 国有资产管理处副处长、分析测试中心主任 | 教授 | 13893219765 | zhangzhe@nwnu.edu.cn | 项目规划（在线教学服务） |

第二批国家级一流本科课程推荐

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 彭辉 | 1988-10-10 | 西北师范大学 | 学科负责人 | 教授 | 13919335501 | penghui@nwnu.edu.cn | 教学设计（在线教学服务） |
| 4 | 李岩 | 1973-02-25 | 西北师范大学 | 实验中心主任 | 副教授 | 15101297762 | liyanchem@nwnu.edu.cn | 项目管理（在线教学服务） |
| 5 | 裴鑫 | 1999-05-10 | 北京润尼尔科技股份有限公司 | 产品经理 | 工程师 | 17336462162 | peixin@rainier.net.cn | 技术支持 |

**2-2 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）**

（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）

团队主要成员周小中、张哲、彭辉近 5 年持续承担该实验及所属《材料科学综合实验》课程的教学任务，人年均 54 学时。

近五年，负责人周小中相关成果情况：

1）教学研究

①教材《材料科学基础实验》，化学工业出版社，2022.1，主编

②“新能源材料”甘肃省创新创业教育教学团队，2020，主持

③甘肃省创新创业教育教学改革项目：基于实践课程的专创融合人才培养，2023，主持

④教育部产学协同育人项目：基于实践课程的材料专业大学生创新创业教育改革（202101361051），2021，主持

2）学术研究

①国家自然科学基金：过渡金属复合于残余含氧官能团取代强化锑氧化物负极储锂可逆性及机制研究（52064045），2021-2024，主持

②甘肃省杰出青年基金：基于多电子存储的高性能钠离子电池电极材料研究（17JR5RA066），2019-2021，主持

③授权国家发明专利：一种熔融盐辅助镁热还原制备硅碳复合材料的方法（ZL 202011426521.5），主持

3）教学奖励

①甘肃省高等学校青年教师成才奖，甘肃省教育厅，2022

②西北师范大学教学名师，西北师范大学，2022

第二批国家级一流本科课程推荐

## 3.实验描述

3-1 **实验简介**（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

本实验适应我国新能源、新材料发展需求，以培养具有坚实专业能力和社会能力的创新型卓越工程人才为目标，坚持“学生中心、问题导向、创新实践”的实验教学理念，以“材料组成-制备-结构-性能”专业核心知识体系为嵌入点，选取锂离子动力电池电极材料研发实验场景，基于科学研究成果的100余组真实实验数据，按照“虚实结合、以虚补实”的原则，采用三维仿真等技术自主研发了动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验，以解决现实中专业人才培养瓶颈问题。

**（1）实验的必要性及实用性**

**1）实验的必要性**

**① 材料组成与结构表征需高精密仪器，操作专业性强，用于本科实验教学的实操仪器少，成本过高，消耗过大。**

材料科学与工程本科专业核心知识体系中，材料的组成与结构直接决定材料的性质和使用性能，表征测试是确定材料组成与结构的关键。然而，实验过程中，材料的组成、微观结构的表征，必须要用到价值几百万、上千万单价的X 射线衍射仪、扫描电镜、透射电镜等高精密仪器设备；这些仪器不仅存在一定高危辐射、造价大、使用和维护成本高，而且操作专业性极强，在经济欠发达的西北地区已经是科学研究的稀缺资源，无法承受本科实验课程学生批量实践使用。此外，电池器件组装需要无水、无氧、惰性气氛的手套箱，性能测试需要恒温、恒湿、洁净环境，这对于本科实验课程教学使用也存在成本过高、消耗过大的限制。基于此，在以往实验教学中，本科生通常只能集中听任课教师讲解这些表征测试仪器的工作原理、功能和注意事项，尽管能通过视频、动画等方式增强实验教学效果，但无法实现实验者亲自动手操作仪器进行表征测试，致使学生对相关内容的理解和掌握不够，学习积极性欠佳，实践能力培养无法达成，很难达到高质量教学效果。

在本虚拟仿真实验中，虚拟构建了包含 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜和透射电子显微镜的高精密表征仪器实验室、电池器件组装实验室和性能测试实

第二批国家级一流本科课程推荐

验室场景，实验者不仅可以对这些高精密仪器部件进行虚拟拆分-组装认知，还可以进行仪器进样和表征仿真操作，完成制样、进样、使用高精密仪器进行表征操作的全过程；同时，还可以在虚拟电池器件组装实验室和性能测试实验室场景中进行器件的仿真组装和性能测试，既提高了学生对知识学习和实验实践操作的积极性、主动性和趣味性，有助于对知识点的理解和掌握，通过仪器仿真操作还能培养学生的动手能力和实践能力，获得优秀的实验教学效果。

**② 实验过程工艺复杂、耗时过长,无法实现过程参数系统性调节和实验全过程完成，只有虚拟仿真实验的形式可以消除限制。**

材料组成和微观结构可以通过材料制备工艺及参数的选取来调控。在实验过程中，通常需要考察原材料种类及配比、制备工艺及其参数（包括先包碳后还原、先还原后包碳、碳化和还原温度等）等诸多因素对材料组成及微观结构的影响规律。从原料准备及混合、碳包覆高温煅烧处理（升温-保温-冷却）、中间产物处理，到镁热还原热处理（升温-保温-冷却）、酸洗、干燥，样品制备单个实验周期通常在 72 小时以上，尤其是热处理过程需不间断实验守护，严重限制了实验教学的有效实施。同时，动力电池材料的关键性能指标测试需超长时间进行，如通常在 0.1C 循环 200 次或 1C 循环 2000 次，均需约 4000 小时（160 天以上），耗时过长且过程乏味。

在以往实际教学过程中，通常由授课教师讲授材料制备相关原理与各个工艺参数对目标材料组成、微观结构以及最终性能的影响规律，并结合已有的图表进行解析说明；而实验操作通常仅仅是以象征性地进行单一因素考察的材料半成品的制备实验，根本没有足够的时间完成工艺参数优化、器件组装和性能测试的实验全过程，更无法跳过已学会或单调乏味的部分实验过程，致使学生被动参与实验教学，学习积极性不足，动手能力培养不够；同时，对相应“材料组成-合成-结构”知识体系通常停留在认识层面，理解不够深入，更难说创新思维和能力的培养。

非常荣幸的是，在该虚拟仿真实验中，实验者能够在虚拟环境下，筛选并优化原材料组成、配比、制备工艺流程及参数，在有限时间（＜4 小时）内即可自主完成材料制备、组成与结构表征、电池器件组装、性能测试的全过程仿真操作并获得实验数据；实验者还可自主设置并优化材料制备工艺流程或参数，

第二批国家级一流本科课程推荐

越过已经学会、重复或单调乏味的部分实验过程，直接仿真操作关键步骤，实现多因素实验实践考察，集中认知、理解和应用“材料组成-合成-结构”知识体系，不仅能够提升实验教学的趣味性、主动性和积极性，还能够有效促进学生学习、掌握动力电池硅碳负极材料制备的基本方法和研究思路，掌握材料制备方法、电化学性能测试基本操作技能及各种相关仪器设备的使用方法，拓展学生工程实践能力，培养学生创新思维和动手能力，实现高质量的教学效果。

**③ 工作状态下电极材料微观结构演变过程抽象，难以视觉呈现和理解，虚拟仿真教学中可自由实现**。作为最有应用潜力的锂离子动力电池负极材料，硅碳电极材料在充、放电工作过程中发生电化学嵌、脱锂反应，同时产生成分和微观结构演变。即使是同一成分组成材料，初始微观结构不同，在工作过程中微观结构演变的过程与呈现出来的使用性能也会存在极大差异。这也是通过本实验实现学生深入理解和灵活应用“材料组成-制备与合成-结构-性能”专业知识体系教学目标的关键所在。然而，材料微观结构需要通过透射电子显微镜来进行观察，充放电工作状态下微观结构演变的观察更是必须在特殊改装的、装有原位表征附件的高价值透射电镜（价值在数千万元）中进行；而且，即使拥有这样的高价值的设备，要完整、恰当、高效地实现充放电工作过程中微观结构演变过程的观察，还需要具有经验丰富且高超技术的专门实验人员，连续花费十数小时甚至数十小时。虽国内拥有该条件的高校不在少数，但绝大多数为满足科学研究所需，而实际专门面向众多本科学生的教学实验是不现实的。在传统教学过程中，微观结构演变过程仅通过口头描述、动画、气球近似模仿来进行讲解，致使学生对知识点理解不透、认知不足，无法达到预期教学效果和目标。

**④ 实验主要知识点是该专业核心知识体系的重要体现**。材料的组成-制备-结构-性能及表征，是材料科学与工程本科专业核心知识体系。本实验通过材料制备工艺流程及参数的选取，调控硅碳复合结构，进而控制电极材料的电化学性能，采用 X 射线衍射、扫描/透射电子显微镜、电化学工作站等现代分析技术对材料组成、结构及性能进行表征验证，并分析材料结构-性能关系及相互作用机制；实验包含固态反应及其热力学和动力学、物相分析、结构表征、电化学反应机制及动力学、电化学性能、物理性能和机械性能等专业核心知识体系的

主要知识点，以及实验设计与实施、仪器操作、数据获取与分析等技能，且实验过程与行业领域材料实际工程实践高度契合。因此，本实验既有助于本科生深入认识、理解和掌握材料专业核心知识体系，还能高效培养学生的工程实践能力和创新思维，助力新工科背景下新能源材料卓越工程师人才培养。

本虚拟仿真实验虚拟了微观结构自由设计与演变场景，实验者可以自由设计材料组成（有、无碳包覆）、形态（零维颗粒状、一维线状）、尺寸（50~210 nm，数值可连续调节）和复合结构（有内空隙的蛋黄-蛋壳结构、无内空隙的核桃结构），并形成材料微观结构，自主操作在不同工作状态（嵌锂、脱锂）下结构持续演变的仿真模拟，让结构演变过程仿真可视化，便于实验者直观感受和理解“材料组成-结构-性能”关系及制约规律，增强学生中心理念，提升教学效果。

**2）实验的实用性**

通过三维仿真技术，本实验系统虚拟构筑了锂离子动力电池电极材料控制制备、表征与性能调控真实实验场景，全方位实现了所涉及主要知识点的实验探究，包括材料高温制备、高精密仪器认知与仿真表征操作、器件组装与性能评价、微观结构自由设计及演变等实验环节，将抽象而难理解的微观结构演变过程及“材料组成-制备-结构-性能”相互关系和制约规律通过操作和场景直观呈现，极具可视性和吸引力。

依托该虚拟仿真实验，以学生为中心的实验教学理念得以高质量贯彻。实验者在虚拟情景中进行材料制备、表征和性能测试仿真操作，自主设计材料结构及其主要制备工艺流程和参数，亲手仿真操作器件组装与高精密仪器进行表征测试，自由调控材料微观结构并实现其在工作状态下的仿真动态演变观察，结合软件自动评分系统，让学生能够直观看到实验效果，并综合运用专业知识深入认知和理解“材料组成-制备-结构-性能”相互关系和制约规律并加以应用；这些仿真交互性操作，还可以通过关键参数的任意调节来调控材料结构及性能，并可跳过已学会步骤进行系统性实验操作，不仅突破了传统实验中耗时长、成本高、消耗高、设备少等限制，促进了对专业知识体系知识点的理解和应用，还增强了实验教学的趣味性、交互性、完整性和以学生为中心的理念，让学生在虚拟情境中开展自主探究式操作与研讨学习，激发学生学习兴趣和潜

第二批国家级一流本科课程推荐

能，有助于实践能力和创新思维的培养，显著提高实验教学效果，凸显虚拟仿真实验的巨大优势。

同时，在引导学生完成基本实验的前提下，还可布置动力电池电极材料综合设计与应用的拓展实验任务，要求学生自主设计微观结构及其控制制备工艺参数，利用虚拟仿真实验系统，验证与完善材料结构设计及其性能调控各项指标，自主分析实验结果，可有效提升学生解决复杂问题的综合能力和高阶思维。

此外，本虚拟仿真实验以动力电池电极材料为实验对象。动力电池，是新能源汽车，尤其是纯电动汽车产业链的核心环节，在实现碳达峰碳中和目标中将起着中流砥柱作用；而电极材料的组成、结构和性能是动力电池性能的关键。因质量比容量大、工作电压恰当、安全性能好，硅碳电极材料已经成为动力电池提容增程的明日之星。因此，不仅可供材料类专业本科生进行实验教学，经过不断补充和完善，本虚拟仿真实验还可供新能源储能材料相关研究生的入门实验教学和从业人员的岗前培训使用，应用对象广，实用性极强。

**（2）教学设计的合理性**

本虚拟仿真实验，以动力电池用硅碳电极材料的制备、表征与性能为实验教学内容，主要包括材料组成和结构表征相关的高精密仪器认知与仿真操作（XRD、SEM、TEM），材料制备、表征及性能测试全流程仿真操作与分析（高温碳化、镁热还原、结构表征、电池组装、性能测试评价），和结构-性能相关微观结构自由设计（组成、形态、尺寸、复合结构）与工作状态下的演变模拟等具体教学内容，融汇了材料科学与工程本科专业“材料组成-制备-结构-性能”核心知识体系的主要知识点；将传统炒菜式的结构与性能调控过程，转化为结构设计-控制制备科学理念，将抽象且分散的知识点转化为生动而直观的知识框架。实验主要采用线上虚拟情境中进行材料结构设计、制备、表征、性能测试全流程仿真实验操作，线下仪器实物和真实工作场景观摩，案例教学强调实验原理和方法，结合任务驱动式教学和探究式研讨，促进学生对知识体系和知识点的理解、掌握和应用，培养创新思维和团队合作精神。

第二批国家级一流本科课推荐

该课程所涉实验材料技术属新能源材料领域，教学过程中将深入贯彻“碳达峰碳中和”、“清洁能源”等国家战略思维，融入我国新能源汽车及其动力电池发展历程、现状与未来需求，激发学生爱国热情和专业奉献动力。

通过这些以“学生中心、问题导向、创新实践”的实验教学理念，按照“虚实结合、以虚补实”的原则实施的虚拟仿真实验教学设计，有助于培养适应社会主义现代化建设和科学技术发展需要的、具有坚实专业知识、实践能力和创新精神的新工科背景下卓越工程人才。

**(3) 实验系统的先进性**

本虚拟仿真实验数据库基于课程团队近年来以坡缕石矿物为硅源、海藻酸钠为碳源和辅助剂调控制备高性能硅碳负极材料方面的科学研究创新成果（授权国家发明专利，专利号 ZL 2020 1 1426521.5）的 100 余组真实实验数据构建，虚拟与现实实验过程和结果高度契合；实验流程设计接轨动力电池相关国家或行业标准，如《电动汽车用动力蓄电池电性能要求及实验方法》（GB/T 31486-2015）、《电动汽车用动力蓄电池循环寿命要求及试验方法》（GB/T 31484-2015）等，使本实验体系更具先进性、合理性、可操作性、科学性和前瞻性。

本虚拟仿真实验场景，基于 360 度全实景拍摄，创建以真实动力电池材料生产、表征与性能测试场所为参照的虚拟场景，运用三维建模、动画等技术手段，高度仿真了材料制备工艺过程、高精密仪器表征操作过程、器件组装与性能测试的全过程，并建立了微观结构自主设计及在工作状态下演变虚拟仿真操作场景，使实验场景和实验内容更加直观形象；学生可在虚拟环境下进行自主设计材料制备工艺流程及对过程参数调整的仿真操作，自主选择步骤进行学习和实验操作，并可跳过已经学会或重复的步骤或单调乏味的部分实验过程，直接仿真操作关键步骤，实现多因素实验实践考察，并最终由软件系统自动给出实验结果，便于学生记录和分析，集中认知、理解和应用“材料组成-合成-结构”知识体系。

通过键盘和鼠标，使学生双手在虚拟场景中操作，如同亲临实境，结合现实实验室相关实验设备实物认知，更加感受互动效果。我校拥有该软件的自主知识产权，并获软件著作权（登记号：2022SR0872297）。

第二批国家级一流本科课程推荐

3-2 **实验教学目标**（实验后应该达到的知识、能力水平）

本实验主要包括实验准备、实验操作、实验报告与在线测试三个部分，其中，实验操作由高精密仪器认知与仿真操作、硅碳材料制备、成分及结构表征、电池器件组装、电化学性能测试、材料微观结构自由设计与演变模拟6个阶段组成。**实验内容详细描述如下：**

① 实验准备，学习实验指导书、思政内容和模拟操作视频，撰写预习报告。实验指导书内容包括实验原理、目的、方法和实验过程等，思政内容提供国家碳达峰碳中和新发展理念、新能源汽车发展规划与技术路线、领域名人故事等，熟悉虚拟仿真实验操作流程；

② 高精密仪器认知与仿真操作实验，学习认知X射线衍射仪、扫描/透射电子显微镜的工作原理、结构、注意事项等知识，采用上述仪器对材料进行仿真操作表征过程，包括样品准备、进样和表征操作；可线下对相关表征设备进行观摩；

③ 硅碳材料制备实验，认知、分析并自主选择制备工艺流程。以制备工艺1为例，即先包碳后还原工艺为例，称取原料并混合研磨均匀，自主设置碳包覆工艺参数，完成煅烧碳化过程；将碳化后所得样品与镁粉研磨混合，依据自主设置的镁热还原参数进行煅烧还原，酸洗、烘干后，获得蛋黄结构硅碳复合材料。制备工艺2为先碳化、后还原实验操作，获得核桃结构硅碳复合材料。本实验提供12套制备工艺及参数；

④ 成分及结构表征实验，分别采用XRD、SEM和TEM对所制材料进行组成、形貌和微观结构表征。在“制备工艺参数选择台”选择设置不同工艺、碳包覆参数、镁热参数，跳过材料制备重复步骤，可直接得到相应样品的表征结果；分析材料制备工艺及参数与材料组成、结构之间的关系，获得制备工艺对材料组成和结构的影响规律；

⑤ 电池器件组装与电化学性能测试实验，认知相关原理和电极片制作；在电池组装平台自主、可重复组装扣式电池，组装顺序正确后进入惰性气体手套

第二批国家级一流本科课程推荐

箱仿真电池组装模拟操作；学习认知相关电化学性能测试原理，设置测试程序并进行测试操作，获得性能测试数据；自主设置不同材料制备参数，跳过材料制备、器件组装等重复步骤，可直接得到相应样品的性能测试结果，并自主调节结果显示方式；对比不同制备工艺和参数所得硅碳复合电极材料的电化学性能数据，分析获得材料组成-合成-结构-性能关系和相互影响规律；可线下观摩性能测试实验室；

⑥ 材料微观结构自由设计与演变模拟，自由设计材料组成、形状、尺寸和复合结构，生成相应微观结构，并对其在工作状态下的嵌锂膨胀、脱锂收缩演变过程进行模拟操作，记录结构稳定性数据，解析材料结构对性能的影响规律及机制。

⑦ 记录实验数据，分析讨论实验结果，在线填写实验报告并完成在线测试。

通过本实验，**要达到以下实验教学目标：**

① 能够自主学习实验相关背景知识，拓展行业信息，了解动力电池工作原理、电极材料的关键指标，为后续实验操作乃至从事相关领域工程和研究积聚力量；

②掌握硅碳复合材料制备方法及结构调控机制，能够依据实验调节和要求，设计合适而有效的实验工艺流程和参数，并完成材料制备实践；

了解扣式电池组装流程，熟悉材料表征方法和仪器原理，能够运用材料现代仪器，对实验相关产物进行组成、形貌、结构、性能进行测试，应用所学专业知识进行分析与讨论，获得相关性与机制，并给出评价；

能够就实验过程中出现的相关问题，与合作者或指导教师进行有效沟通与交流，理解并掌握材料成分-制备-结构-性能相互影响和制约关系，并撰写预习报告和实验报告；

⑤ 能够基于材料科学与工程相关背景知识，合理分析与评价综合实验方

第二批国家级一流本科课程推荐

案、过程和结果及其对社会、健康、环境等的影响，获得适用于工程实践的优化方案和思维；培养团队意识、创新精神、科学严谨的工作态度；树立应对全球气候变化、推动人类可持续发展的社会责任感；提高学生工程实践能力和创新思维，培养解决复杂工程问题的综合能力。

上述实验教学目标的达成，有助于学生对材料科学与工程专业知识体系的理解、掌握和应用，培养学生坚实的专业能力和社会能力，尤其是适应新能源、新材料生产、表征与性能检测或科学研究工作需要，助力新工科背景下材料领域卓越工程师人才培养。

实验内容、目标与能力培养的对应关系如图 1 所示。

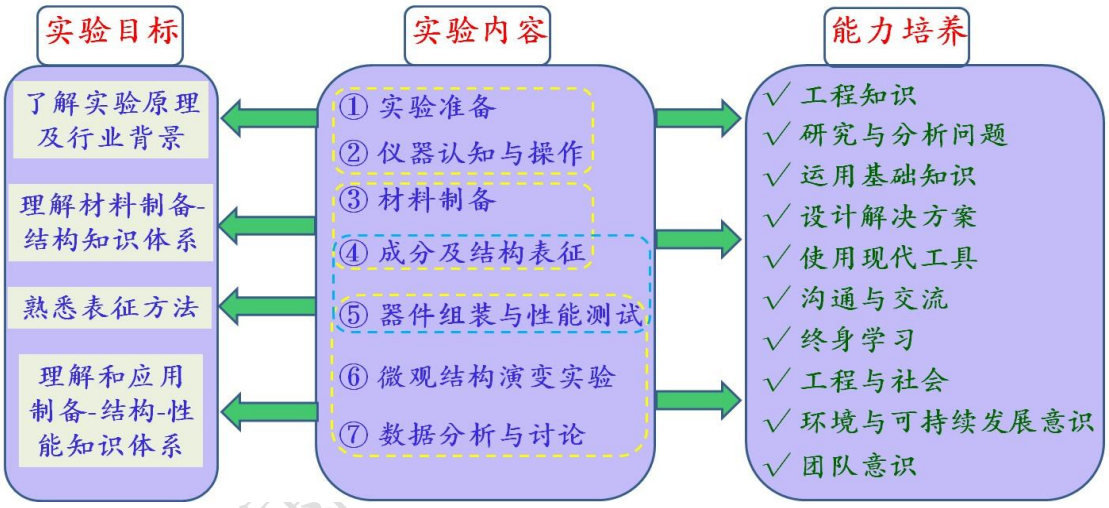



图 1 实验内容、目标与能力培养对应关系图

3-3 实验课时

（1）实验所属课程课时：54 学时

（2）该实验所占课时：4 学时

第二批 课程推荐

3-4 实验原理

（1）实验原理(限 1000 字以内)

本实验的实验原理和知识点涵盖了《材料科学基础》、《材料现代分析方法》、《电化学原理与技术》等多门本科生课程。

**① 硅基电极材料工作原理与失效机制**

涉及电化学、固态反应等相关专业知识。硅（Si）在地壳中丰度高（26.4%），可与锂发生可逆合金化反应（$Si+xLi^{+}+xe^{-}\leftrightarrow Li_xSi$，$0<x\leq 4.4$），理论质量比容量高（4200 mAh/g，$Li_{4.4}Si$），是下一代高能量密度锂离子动力电池最具应用前景的电极材料。锂化产物密度远低于 Si，循环过程中 Si 的体积膨胀达到 280%以上，产生的巨大内应力易致使材料破碎、粉化甚至电极崩塌，造成电极失效（即体积效应）。当尺寸小于 150 nm 时，纳米尺寸效应（材料韧性显著提高）可有效缓减体积效应。硅本征导电性差，致使电化学反应动力学过程迟滞、性能得不到有效发挥。同时，硅尺寸越小，与电解液界面越大，生成不稳定固态电解质膜（SEI 膜），不利于库伦效率的提高。因此，将纳米硅与导电碳复合制备硅碳纳米复合材料，既能改善导电性、减少与电解液的界面，还可减缓体积效应、形成稳定 SEI 膜，显著改善性能。

**② 硅碳材料制备与结构调控原理**

涉及固态反应、粉末烧结等相关专业知识。

以坡缕石、海藻酸钠为原料，采用高温碳化+镁热还原方法制备硅碳电极材料。镁热还原是以镁粉为还原剂，在密闭的环境下加热处理，将 Si 还原出来，其反应式为：$SiO_2+2Mg\rightarrow Si+2MgO$。在制备过程中，先将碳源均匀包覆坡缕石纳米棒，在惰性气氛下煅烧碳化，得到碳包覆坡缕石复合材料，再与镁粉混合、镁热还原处理，即获得有内空隙的蛋黄蛋壳结构硅碳复合材料。此外，还可采用先将坡缕石还原、后碳化包碳制备工艺，获得无内空隙的核桃结构硅碳复合材料。硅碳复合材料组成、形貌和结构的调控，可通过选取不同制备工艺

第二批国家级一流本科课程推荐

流程（先碳包，或先镁热还原）以及改变原料比例、加热温度和保温时间来实现。

**③ 材料成分及结构表征**

涉及晶体学、材料表征等专业知识。采用 X 射线衍射、电子显微分析等方法，对所得材料进行组成、形貌及结构表征，表征原理在相关课程中有详实描述。

**④ 器件组装及性能测试原理**

涉及电池工业相关扩展知识和电化学原理与技术等专业知识。器件组装，即将材料通过涂覆制作成电极，与金属锂、隔膜和电解液在惰性气氛手套箱中组装成扣式电池。性能测试是采用恒流充放电、循环伏安等方法对扣式电池进行电化学性能测试，表征材料的性能。

知识点：共 5 个

1. 锂离子动力电池工作原理、电极材料的关键指标
2. 硅的储锂机制与结构演变规律
3. 硅碳复合材料的制备方法及结构调控机制
4. 材料表征方法、仪器原理和操作
5. 材料成分-制备-结构-性能相互影响和制约关系

（2）核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

本实验核心要素有微观结构演变、硅碳复合材料制备、高精密仪器操作、器件组装与性能测试。

① 虚拟不同结构和尺寸硅材料嵌、脱锂过程微观结构演变场景，自主设置材料形态、尺寸和复合结构，仿真形成微观结构并进行连续演变操作，实现视觉直观感受，以虚补实。

② 虚拟硅碳材料制备过程场景，自主设置制备工艺、碳化和镁热还原参数，可短时间内多次重复仿真完成实际长耗时、复杂的材料制备全过程，可跳过已学会或重复步骤，实现自主选择步骤操作制取多种材料，以虚代实。

③ 虚拟高精密仪器（XRD、SEM、TEM）构造（部件可剥离、组装）和材料表征场景，仿真样品准备、进样与表征等无法实操的全流程表征操作过程，以虚代实。

④ 虚拟扣式电池组装和电化学性能测试场景，学生可多次重复仿真自主操作

第二批国家级一流本科课程推荐

惰性、无水无氧环境中扣式电池组装，在短时间仿真多次完成实际长耗时的性能测试，结合线下观摩，虚实结合。

实验基于 100 组以上真实实验数据，构建材料成分-制备-结构-性能关系的连续变化函数，满足每个学生的实验结果差异性，正确反映真实实验数据变化规律，最大程度重现真实实验过程和结果。

3-5 实验教学过程与实验方法

**（1）实验教学过程**

动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验将依托虚拟仿真软件进行，软件将包含“高精密仪器认知与仿真操作”、“材料制备、表征及性能测试”、“自由设计微观结构及演变”、“实验报告”、“在线测试”五个主要内容。西北师范大学拥有自主知识产权，并获软件著作权（登记号：2022SR0872297）。

实验教学实施过程包括以下几个步骤：

① 课前布置预习任务

实验课前，布置预习任务，要求学生先认真阅读实验指导书、思政内容、模拟操作视频等实验相关资料和课外资料，了解实验背景，知晓国家碳达峰碳中和新发展理念、新能源汽车发展规划与技术路线、领域名人故事等；熟悉实验目的、实验内容、基本原理、实验方法、实验过程、注意事项以及虚拟仿真软件操作流程。学生在课前进行预习，根据实验目的和内容，设计实验方案，绘制出思维导图，提交预习报告和相关疑问或问题。

② 讲解与实验设计

实验课堂上，首先由教师讲解实验背景、原理和流程，融入思政教育内容；指导学生进入系统模块，讲解每个模块的功能和操作方法及注意事项；从锂离子动力电池性能需求出发，结合学生提交的课前预习报告和提出的相关问

第二批国家级一流本科课程推荐

题，教师提出理论与技术问题，结合实验设计，引导学生进行交流讨论，形成共识或者确定产生的争议点，老师最终予以解答。给学生布置实验设计任务。

③ 指导学生进行自主实验

指导学生参考教学引导视频、虚拟仿真操作手册、模拟操作视频，登录系统、进入实验模块，按照流程和要求完成相应的学习及虚拟仿真实验操作；可指导教师通过 QQ 交流讨论群、学习通、软件平台等方式接受学生的在线咨询、交流与讨论；为了充分调动学生的积极性和主动性，阐明实验过程和实验结果数据均基于课程建设团队近年来科学研究成果而构建，让学生无约束地尝试自主实验虚拟仿真操作，并由系统给出测试结果与相应评价，均可获得符合规律的实验结果。

在实验操作过程中，指导学生以自上而下、自下而上、依照提示等多种形式自主认知高精密仪器构件、工作原理，并仿真操作样品准备、进样和表征，自由设计材料制备工艺流程和参数，提醒自主组装扣式电池及性能测试程序，要求连续设置材料形态、尺寸和复合结构并仿真工作状态下微观结构演变操作，并由系统评价操作的正确性和规范性；如操作不正确或不规范，系统要求重新操作，直至操作正确且规范时，才能进入下一步实验。

④ 指导学生进行自主实验探究与优化

针对前面自主实验引发的问题，结合实验目的及实验内容，指导学生开展虚拟操作仿真实验探究与优化，并提醒遇到困难或疑问时，可以打开解析参考；实验操作可反复进行相关参数优化，提醒可跳过已经学会或重复步骤自主选择步骤操作，直至获得预定性能，完成整个实验。

比如，结合理论学习结果，举例说明设计不同微观结构与形态来考察电极材料工作状态下的结构演变规律，设计不同的材料制备工艺及参数来观察所需的材料组成与结构的变化规律，通过不同的测试条件来考察材料的性能等等。

第二批国家级一流本科课程推荐

此外，虚拟仿真实验可采用开放型的教学模式。如果课上时间不足，或有任何问题，依靠网络平台的便利性，教学团队保证工作日期间为学生提供每天八小时在线服务，指导学生随时进行线上虚拟仿真实验操作，与学生就实验问题进行随时交流讨论。同时，告知学生可自主选择时间、地点登陆虚拟仿真实验平台，进行虚拟实验操作。提醒学生实验操作的任何中间结果可以暂存，此时不会产生实验操作成绩，学生可在不同的时段多次重复实验操作，直至完全掌握相关知识，提交正式的实验报告。给予学生充分的学习自由，有利于个性的发挥。

⑤ 实验报告及在线测试

布置实验报告撰写与提交、完成在线测试任务。当学生认为已经完全理解掌握了相关知识，并完成了实验操作、数据分析和讨论后，指导并要求学生在线填写实验报告及在线测试模块。

撰写实验报告时，系统提供 word 版实验报告模板，供学生在线填写，要求学生需将实验数据、实验结论和讨论等内容填入实验报告，再将填好的实验报告在线提交。考核测试试题由系统自动给出，学生完成实验考核测试后系统自动给出得分。此部分软件操作只能进行一次，也就是只能提交一次实验报告和考试测试一次。

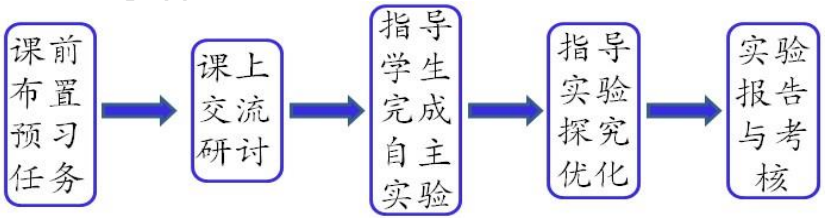



图2 实验教学过程流程图

**（2）实验方法**

本虚拟仿真实验课程综合了微观结构演变模拟法、高温碳化法、镁热还原法、XRD/SEM/TEM 表征方法、循环伏安法、恒电流充放电方法、归纳与工艺

第二批国家级一流本科课程推荐

优化等材料制备、表征与性能测试有关的多种实验方法。具体的实验方法、实验目的与教学思路对应关系如图 3 所示。

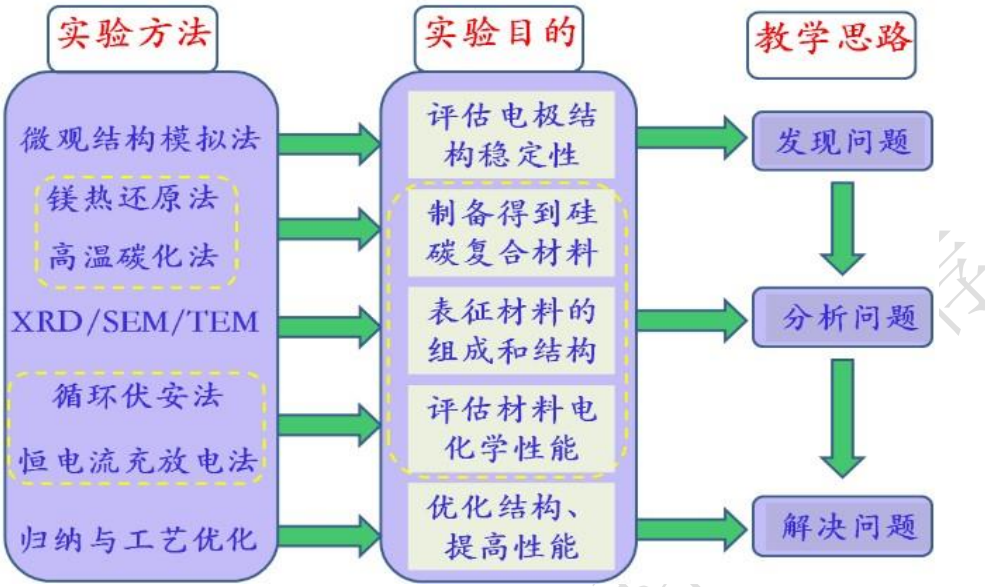



图 3 本实验课程采用的实验方法、目的和教学思路对应关系图

① 自由设计并自主调控材料组分、形态、尺寸和复合结构，形成相应微观结构，并模拟操作其在嵌锂、脱锂过程中微观结构演变过程，观察并记录实验结果，分析材料组成-结构-性能关系及影响机制，并获得如下认识和结论：随着硅材料颗粒尺寸的降低、形状维度的改变，硅碳电极材料的结构稳定性逐渐提高，未包覆的纯相结构、核桃结构、蛋黄蛋壳结构在演变过程中完整性依次增强；当硅为零维颗粒或一维线状、尺寸降低到 150 nm 以下、包覆碳形成蛋黄结构时，硅碳电极材料在工作状态下不会产生裂纹和粉碎现象，具有最优的结构稳定性。

② 完成原料准备和材料制备工艺流程选取，采用镁热还原法，自主调控镁热还原工艺参数，制备硅材料；当选取合适的材料制备工艺和镁热还原处理参数时，可以获得较高纯度和合适尺寸及复合结构的硅碳电极材料。如：当选取先碳化后还原工艺时，对于预处理后的坡缕石原料，当镁硅比为 1:1、在 750℃保温 4h 时，可以获得纯度比较高的蛋黄蛋壳结构硅碳纳米复合材料。

③ 采用高温碳化法，通过自主调控碳化工艺参数，制备得到硅碳复合材料；随着温度的提高，碳化程度增加；当选取先碳化后还原工艺时，经 800℃碳化处理 4h、750℃镁热还原 4h 处理后，可以获得具有内空隙的蛋黄蛋壳结构硅碳纳米复合材料。

④ 完成高精密仪器认知与仿真操作表征材料组成与结构。采用逐步拆解方式，对 X 射线衍射仪、扫描/透射电子显微镜等这些实际价值成百上千万的高精尖设备进行内部组成、工作原理进行观察和认知，并虚拟仿真操作仪器进行材料表征；采用 XRD 方法检测获得所制备材料的组成成分，如单质 Si、未还原的 $SiO_2$ 和杂质 SiC 等，并可以观察到相应组分的晶体结构和相关性质；采用 SEM 方法观察材料的外观形态和尺寸；采用 TEM 观察到材料的内部组织结构和硅、碳的分布状态，测量硅的颗粒尺寸等。

⑤将制备得到的材料制成电极片，并进行扣式电池器件模拟组装操作，采用循环伏安法和恒电流充放电等电化学性能测试方法，可以获得所得材料的工作机理、质量比容量和循环稳定性等电化学性能指标，评估材料的电化学性能。

⑥对材料组成、微观结构和性能测试数据进行归纳、分析和总结，依据性能指标，评估并优化材料制备相关工艺参数，并获得最佳性能硅碳电极材料。

第三批国家级一流本科课程推荐

3-6 **步骤要求**（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

（1）学生交互性操作步骤，共 13 步

| 步骤序号 | 步骤目标要求 | 步骤合理用时 | 目标达成度赋分模型 | 步骤满分 | 成绩类型 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 了解实验背景、内容和主要操作过程，掌握实验目的，了解我国相关政策及代表性人物经历 | 15 分钟 | 学习“实验简介”、“实验目的”、“思政内容”、“模拟操作视频”各 1 分 | 4 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☑预习成绩<br>☐教师评价报告 |
| 2 | 熟悉 X 射线衍射仪的工作原理、部件组成及测试操作基本流程和注意事项 | 15 分钟 | 学习“X 射线衍射仪（XRD）认知”下内容，每一项得 0.2 分，小计 1.4 分；完成 XRD 设备操作得 1.6 分 | 3 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 3 | 熟悉扫描电子显微镜的工作原理、部件组成及测试操作基本流程和注意事项 | 15 分钟 | 学习“扫描电子显微镜（SEM）认知”下内容，每一项得 0.3 分，小计 1.5 分；完成 SEM 设备操作得 1.5 分 | 3 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 4 | 熟悉透射电子显微镜的工作原理、部件组成及测试操作基本流程和注意事项 | 15 分钟 | 学习“透射电子显微镜（TEM）认知”下内容，每一项得 0.2 分，小计 1.6 分；完成 TEM 设备操作得 1.4 分 | 3 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 5 | 了解两种制备工艺的区别，有助于认识和理解材料制备工艺对材料成分、结构的影响规律 | 5 分钟 | 阅读两种制备工艺介绍各得 0.5 分，选择制备工艺 1 再得 1 分，选择制备工艺 2 再得 0.5 分 | 2 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 6 | 理解材料制备过程中碳包覆工艺流程及参数设置，熟悉材料制备过程仪器设备的操作 | 15 分钟 | 逐步完成碳包覆工艺流程全过程计 3 分，碳包覆工艺参数选择 800°C×4h 计再 2 分，选择 900°C×4h 再计 1.5 分 | 5 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 7 | 理解材料制备过程中镁热还原工艺流程及 | 15 分钟 | 逐步完成镁热还原工艺流程全过程计 3 | 5 | ☑操作成绩<br>☑实验报告 |

第二批国家级一流本科课程推荐

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 参数设置，熟悉材料制备过程仪器设备的操作 | | 分，镁热还原参数选择 750℃×4h 计再 2 分，选择 650℃×4h 再计 1.5 分，选择 850℃×4h 再计 1.0 分 | | ☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 8 | 更深入地认识和了解了材料组成表征方法，并获得所选取制备工艺相应的物相组成、形貌和结构特征，理解制备工艺流程及参数对材料组成、形貌和结构的影响规律 | 15 分钟 | 依次完成 XRD、SEM 和 TEM 表征，每一步得 1.5 分，小计 4.5 分；每一步下查看分析“结果解析”再各得 0.5 分，小计 1.5 分 | 6 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 9 | 认知动力电池高标准环境，熟悉惰性气氛手套箱规范操作、电极片制作、手套箱操作、扣式电池器件组装方法，掌握电池的基本构造以及组装条件和操作过程，强化学生工程实践意识。 | 15 分钟 | 依次完成两小步扣式电池组装，每完成 1 小步得 2 分，小计 4 分；第一小步组装错误 1 次扣 0.2 分 | 4 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 10 | 认知电化学工作站、电池测试系统等设备，理解电化学测试原理，掌握循环伏安和恒电充放电的电化学性能评价方法，认识和理解动力电池电化学性能测试条件与性能要求标准。 | 15 分钟 | 依次完成性能测试全部环节得 5 分，其中，学习循环伏安曲线、充放电曲线、循环曲线各得 0.5 分，小计 1.5 分；查看容量-电压&电流、时间-电压&电流、循环-效率&比容量曲线各得 0.5 分，小计 1.5 分；查看分析其下“结果分析参考”、“性能解析”各得 1 分 | 5 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 11 | 理解和掌握不同尺寸颗粒在不同结构条件下的嵌锂膨胀、脱锂收缩规律，理解材料微观结构对使用性能的影响规律 | 10 分钟 | 完成“粒-尺寸≤150nm”、“粒-尺寸≤150nm-蛋黄结构”、“粒-尺寸≤150nm-核桃结构”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作， | 5 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |

第二批国家级一流本科课程推荐

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 各得 0.4 分，小计 2.4 分；完成“粒-尺寸>150nm”、“粒-尺寸>150nm-蛋黄结构”、“粒-尺寸>150nm-核桃结构”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 0.4 分，小计 2.4 分；全部完成再加 0.1 分 | | |
| 12 | 理解和掌握不同尺寸线状硅嵌锂膨胀、脱锂收缩规律，理解材料微观结构对使用性能的影响规律 | 10 分钟 | 完成“线-尺寸≤150nm”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 1 分，小计 2 分；完成“线-尺寸>150nm”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 1 分，小计 2 分；选择填报“微观结构记录”1 项计 0.1 分，小计 0.6 分；查看解析再得 0.4 分 | 5 | ☑操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |
| 13 | 掌握材料制备-结构-性能之间的相互影响规律，理解高性能硅碳电极材料结构设计思路 | 20 分钟 | 实验报告在线填写并提交；在线答题，并根据答题结果给分 | 50 | ☐操作成绩<br>☑实验报告<br>☐预习成绩<br>☑教师评价报告 |

（2）交互性步骤详细说明

该实验教学项目属于《材料科学综合实验》课程，课程总课时 54 学时，本虚拟仿真实验占 4 个学时。本实验通过三维仿真技术，虚拟动力电池硅碳电极材料制备、表征与性能操作场景与实验情境，学生可以在整个场景和情境中进行交互性操作 13 步。具体实验流程如图 4 所示。

第二批国家级一流本科课程推荐

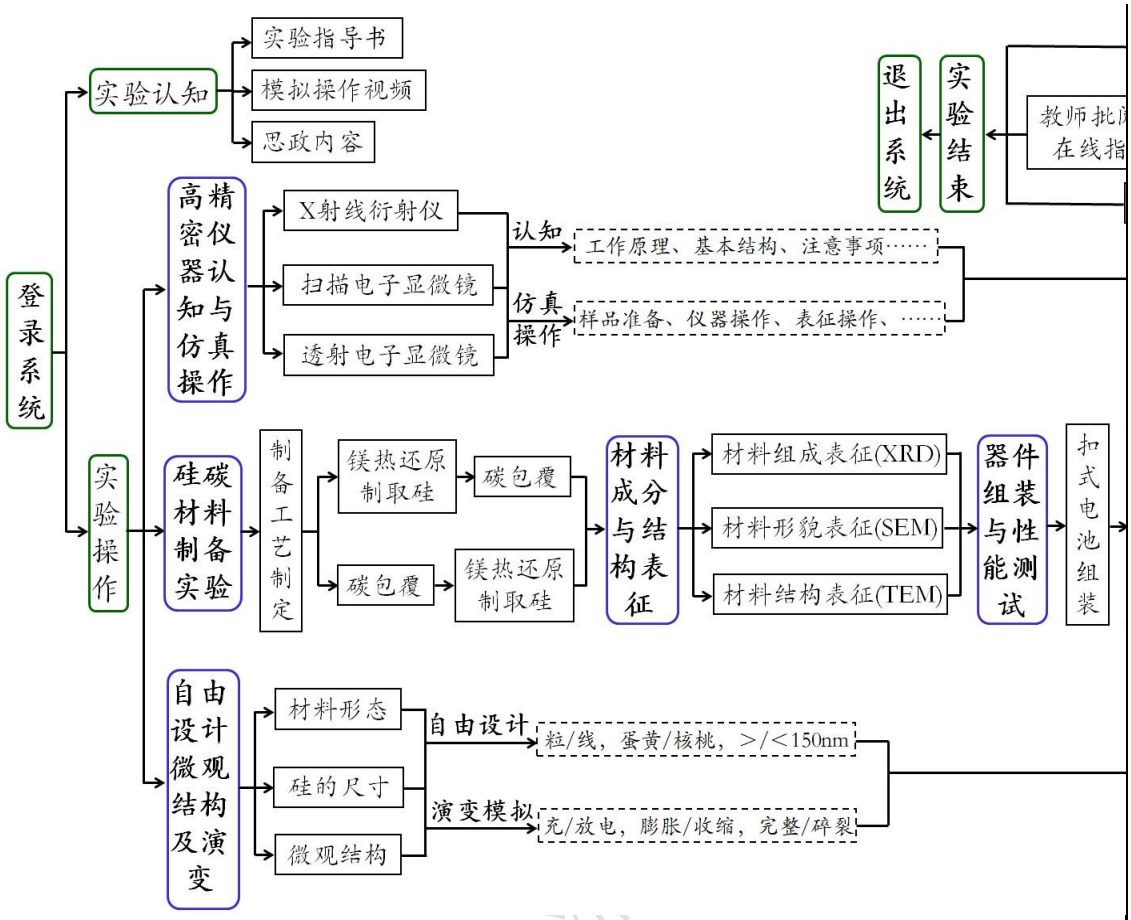



图 4 实验项目操作流程

**步骤 1：实验认知（15min）**

本交互性操作步骤的目的是，了解实验背景、内容和主要操作过程，掌握实验目的，了解我国相关政策及领域名人故事等。

在实验操作正式开始前，学生先认真阅读实验相关资料，查阅并了解锂离子电池工作原理、电极材料关键指标、我国相关政策及动力电池研究代表性人物经历等。本虚拟仿真实验项目提供实验指导书、思政内容和模拟操作视频。实验指导书包含实验目的、实验内容、基本原理、实验方法、实验过程、注意事项等；思政内容提供了我国碳达峰、新能源汽车（动力汽车）、诺贝尔奖获得者等相关文件和故事；模拟操作视频演示虚拟仿真实验的整个操作流程。

学生通过点击查看上述内容对实验进行认知，了解并根据实验目的和内容，设计实验方案，绘制出思维导图，撰写并提交预习报告和相关疑问或问题。

本交互操作过程，只有点击学习“实验简介”、“实验目的”、“思政内容”、“模拟操作视频”全部内容，才能记为该步骤全部完成；如缺任意一项，扣 1 分。

图 5 实验认知：查看实验简介（上）和思政内容（下）

**步骤 2：XRD 认知和操作（15min）**

本交互性操作步骤目的在于熟悉 X 射线衍射仪的工作原理、部件组成及测试操作基本流程和注意事项。通过认知 X 射线衍射仪的构造、工作原理、注意事项等内容，并仿真操作 XRD 对材料组成的表征全过程，使学生熟悉材料组成表征方法以及仪器构造、工作原理和具体操作流程，这是实际实验中很难实现的。

学生点击模块一，进入高精密仪器实验室，查看“X 射线衍射仪（XRD）认知物相分析原理、基本结构、防护、注意事项、样品要求、主要参数、测试等相关内容；对于基本结构部分，学生通过 ASWD 键操作移动进入虚拟 XRD 仪器室场景，利用鼠标点击仪器上想要认知的部件或仪器部件名称，该部件跳出并高亮显示、同时给出其详细工作原理或组成的对话框，认知完成后可将其放回原来位置。点击“XRD 设备操作”，学生在虚拟场景中仿真样品准备、进样、设定表征参数、XRD 表征操作全过程，并得出表征结果。

本交互操作过程，点击学习“X 射线衍射仪（XRD）认知”下全部内容，计 1.4 分，如缺任意一项，扣 0.2 分；正确完成 XRD 设备操作，再得 1.6 分，如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作。

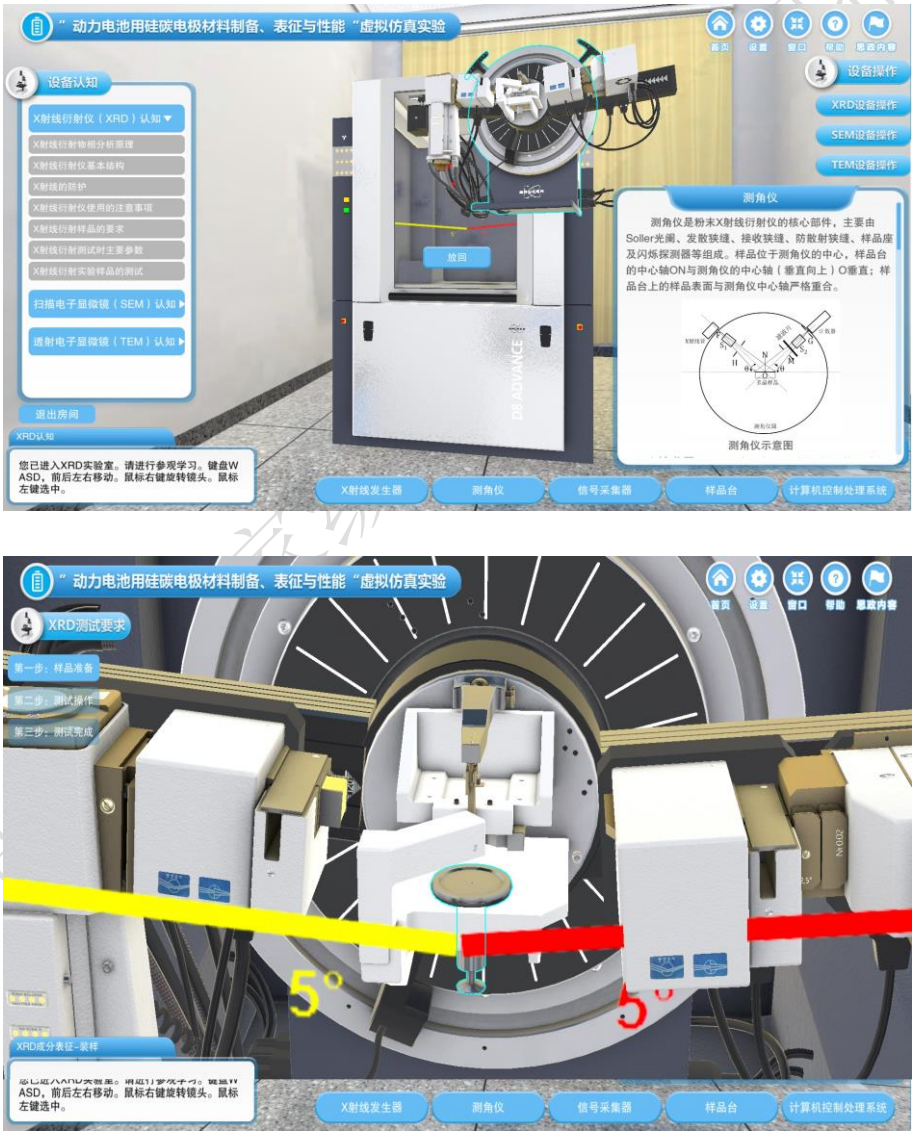



图 6 XRD 认知（上）和仿真操作（下）

**步骤 3：SEM 认知和操作（15min）**

本交互性操作步骤目的在于熟悉扫描电子显微镜的工作原理、部件组成及测试操作基本流程和注意事项。

通过认知扫描电子显微镜（SEM）的构造、工作原理、注意事项等内容，并仿真操作 SEM 对材料形貌的表征全过程，使学生熟悉材料形貌表征方法以及仪器构造、工作原理和具体操作流程，这也是实际实验中很难实现的。

学生查看“扫描电子显微镜（SEM）认知工作原理、仪器结构、样品要求和制备、应用等相关内容；对于基本结构部分，学生通过 ASWD 键操作移动进入虚拟 SEM 仪器室场景，利用鼠标点击仪器上想要认知的部件或仪器部件名称，该部件拆卸出并高亮显示、同时给出其详细工作原理或组成的对话框，认知完成后可将其放回原来位置。点击“SEM 设备操作”，学生在虚拟场景中仿真样品准备、进样、SEM 表征操作全过程，并得出表征结果。

本交互操作过程，点击学习“扫描电子显微镜（SEM）认知”下全部内容，计 1.5 分，如缺任意一项，扣 0.3 分；正确完成 SEM 设备操作，再得 1.5 分，如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作。

图 7 SEM 认知（上）和仿真操作（下）

**步骤 4：TEM 认知和操作（15min）**

本交互性操作步骤目的在于熟悉透射电子显微镜的工作原理、部件组成及测试操作基本流程和注意事项。

通过认知透射电子显微镜（TEM）的构造、工作原理、注意事项等内容，并仿真操作 TEM 对材料形貌的表征全过程，使学生熟悉材料结构表征方法以及仪器构造、工作原理和具体操作流程，这是实际实验中本科生基本不可能实现的。

学生查看“透射电子显微镜（TEM）认知工作原理、仪器结构、工作模式、相差、衬度、样品制备、基本操作步骤、实验注意事项、光路等相关内容；对于基本结构部分，学生通过 ASWD 键操作移动进入虚拟 TEM 仪器室场景，利用鼠标点击仪器上想要认知的部件或仪器部件名称，该部件高亮显示、同时给出其详细工作原理或组成的对话框。点击“SEM 设备操作”，学生在虚拟场景中仿真样品准备、进样、TEM 表征操作全过程，并得出表征结果。

本交互操作过程，点击学习“透射电子显微镜（TEM）认知”下全部内容，计 1.6 分，如缺任意一项，扣 0.2 分；正确完成 TEM 设备操作，再得 1.4 分，如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作。

第二批国家级一流本科课程申报书

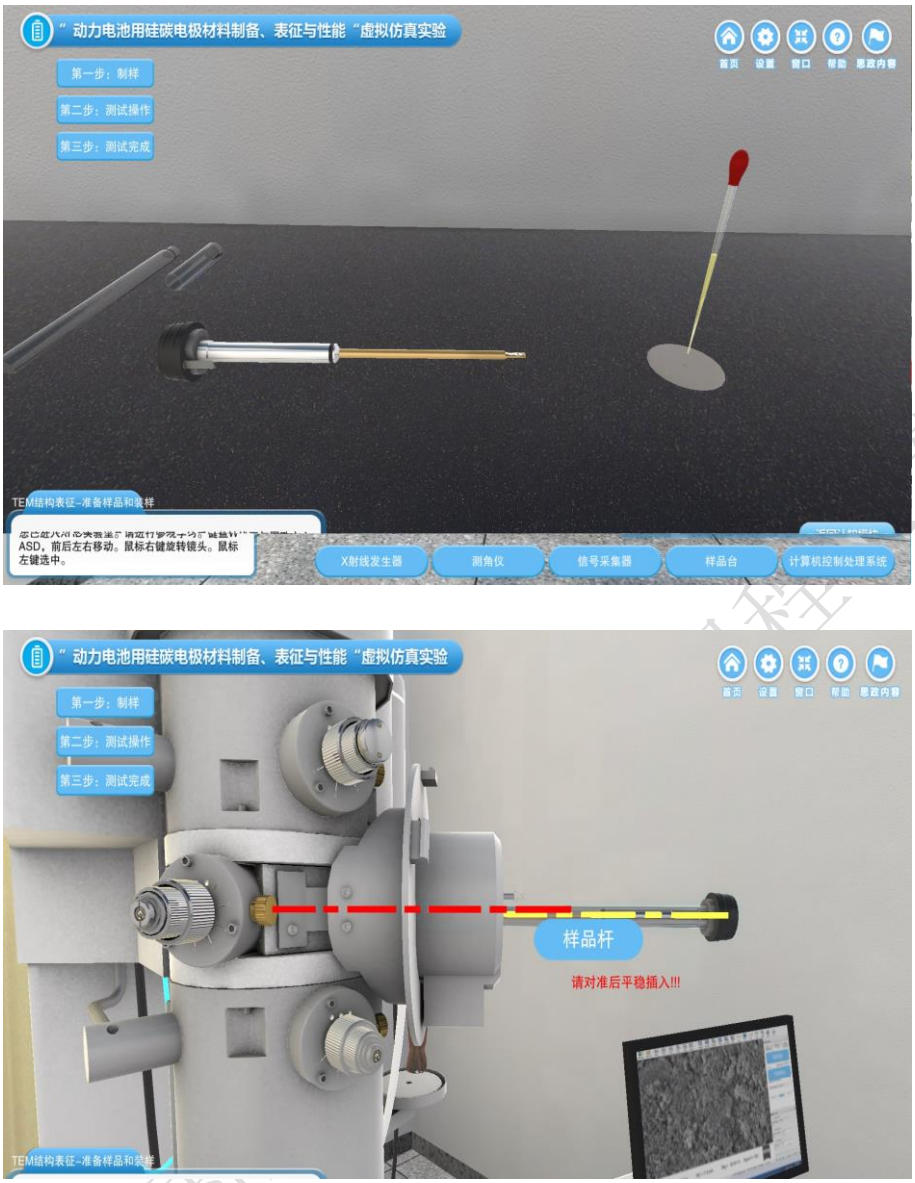



图 8 TEM 认知（上）和仿真操作（下）

**步骤 5：材料制备工艺制定（5min）**

本交互性操作步骤目的在于了解两种制备工艺的区别，有助于认识和理解材料制备工艺对材料成分、结构的影响规律。主要针对硅碳纳米复合材料的制备工艺设计，包括两种工艺选择，先镁热还原制取硅再碳包覆，和先碳包覆后镁热还原制硅。两种工艺的选取，直接影响到后续具体工艺的差别，便于让学生认识和理解材料制备工艺对材料成分、结构的影响，有助于培养学生的工程实践能力。

学生点击模块二，进入虚拟材料制备实验室，出现两个制备工艺对话框，将光标放置于对话框之上，则突出显示该工艺的具体描述和示意图；查阅后自

主设计自己的制备工艺流程，并点击选择相应按钮开始进入材料制备操作步骤。

本交互操作过程，点击阅读两种制备工艺介绍，各得 0.5 分，选择“制备工艺 1”再得 1 分（性能最优），如选择“制备工艺 2”再得 0.5 分，两者只能选其一；记录所选材料制备工艺流程。

图 9 材料制备工艺选择

**步骤 6：碳包覆制备（15min）**

本交互性操作步骤目的在于理解材料制备过程中碳包覆工艺流程及参数设置，熟悉材料制备过程仪器设备的操作。依据所设计和选取的材料制备工艺，在虚拟材料制备实验室，学生仿真碳包覆实验操作，依次进行原料领取、称量、研磨混合，自主选取碳包覆工艺参数后，在管式炉中煅烧碳化处理获得碳包覆复合材料；通过“微观视角”、“管式炉内部”和工艺曲线图窗口原位观察碳化过程中材料结构、炉内状态与工艺进程的演变全过程，有助于学生认识和理解碳化过程及其影响因素。

本交互操作过程，逐步完成碳包覆工艺流程全过程，计 3 分，如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作；碳包覆工艺参数选择 800℃×4h 再计 2 分，选择 900℃×4h 再计 1.5 分，两者只能选其一。记录所选碳包覆工艺参数。

图 10 碳包覆工艺参数选取（上）和碳化过程界面（下）

**步骤 7：镁热还原制取硅（15min）**

本交互性操作步骤目的在于理解材料制备过程中镁热还原工艺流程及参数设置，熟悉材料制备过程仪器设备的操作。依据所设计和选取的材料制备工艺，在虚拟材料制备实验室，学生仿真镁热还原制取硅的实验操作，依次进行原料领取、称量、研磨混合，自主选取镁热还原工艺参数后，在管式炉中煅烧还原，经后续酸洗、干燥后得到产品；在煅烧还原过程中，学生可通过“微观视角”、“管式炉内部”和工艺曲线图窗口原位观察还原过程中材料结构、炉内状态与工艺进程的演变全过程，有助于学生认识和理解镁热还原过程及其影响因素。

本交互操作过程，逐步完成镁热还原工艺流程全过程，计 3 分，如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作；镁热还原工艺参数选择 750℃×4h 再计 2 分，选择 650℃×4h 再计 1.5 分，选择 650℃×4h 再计 1.0 分，三者只能选其一。记录所选镁热还原工艺参数。

图 11 镁热还原工艺参数选取（上）和碳化过程界面（下）

**步骤 8：材料组成、形貌及结构表征（15min）**

本交互性操作步骤目的在于更深入地认识和了解了材料组成表征方法，并获得所选取制备工艺相应的物相组成、形貌和结构特征，理解制备工艺流程及参数对材料组成、形貌和结构的影响规律。

在前述高精密仪器认知和仿真操作的基础上，采用 XRD、SEM 和 TEM 对前述所制备得到的硅碳复合材料分别进行组成、形貌和结构表征，获得与学生自主设计和选取制备工艺参数对应硅碳复合材料的表征结果。

同时，学生还可在“制备工艺参数选择台”自主设计并选择其它制备工艺流程和参数，跳过材料制备流程直接获得相应材料的表征结果，这是实操实验中无法实现的。学生对这些表征结果进行分析和解析，就可以对比材料制备工艺及参数对材料组成、形貌和结构的影响规律。

本交互操作过程，依次完成 XRD、SEM 和 TEM 表征，每一步计 1.5 分，小计 4.5 分；每一步查看分析“结果解析”，再各计 0.5 分，小计 1.5 分。如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作。记录所选工艺流程及过程参数所对应的表征结果。

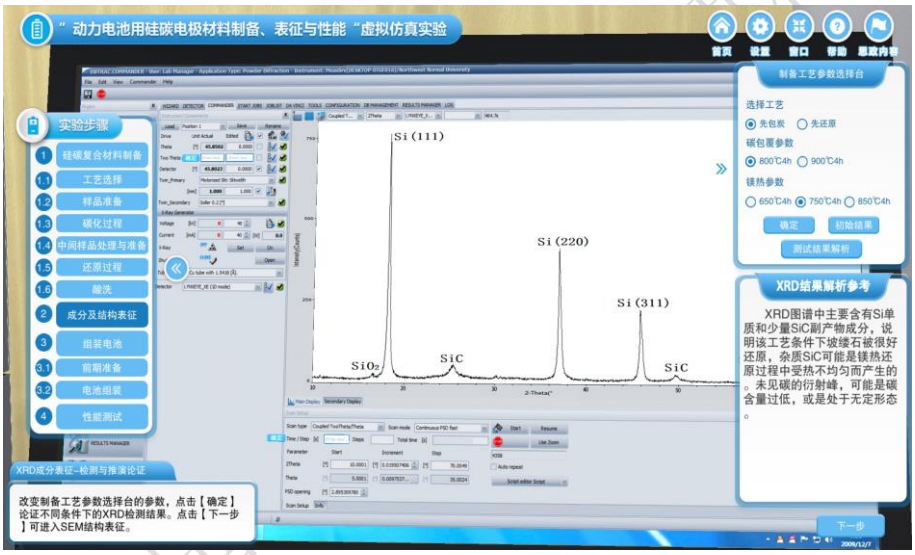


图 12 XRD（上）、SEM（中）和 TEM 表征界面（下）

**步骤 9：组装电池（15min）**

本交互性操作步骤目的在于认知动力电池高标准环境，熟悉惰性气氛手套箱规范操作、电极片制作、手套箱操作、扣式电池器件组装方法，掌握电池的基本构造以及组装条件和操作过程，强化学生工程实践意识。

在虚拟电池组装实验室及惰性气体手套箱情景中，学生先在组装台上自主、可重复组装扣式电池，如组装顺序有误则无法进入下一步，需重新组装，直至组装顺序正确后才能进入惰性气体手套箱仿真电池组装模拟操作完成电池部件的组装顺序；在虚拟惰性气体手套箱情景中，学生自主完成仿真扣式电池组装操作，并移出手套箱。

本交互操作过程，依次完成两小步扣式电池组装，每完成 1 小步计 2 分，小计 4 分；第一小步组装错误 1 次扣 0.2 分。如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作。

图 13 扣式电池模拟组装（上）和仿真组装界面（下）

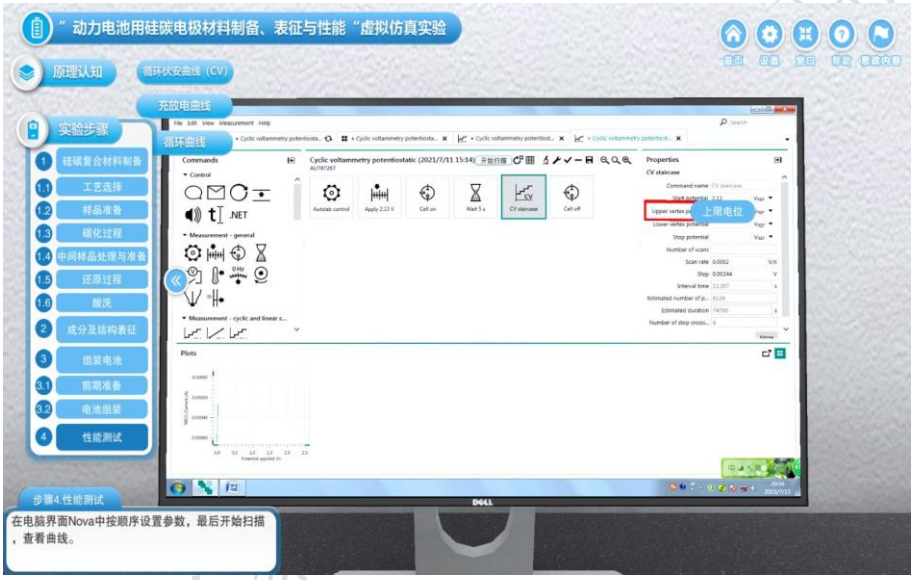
**步骤 10：性能测试（15min）**

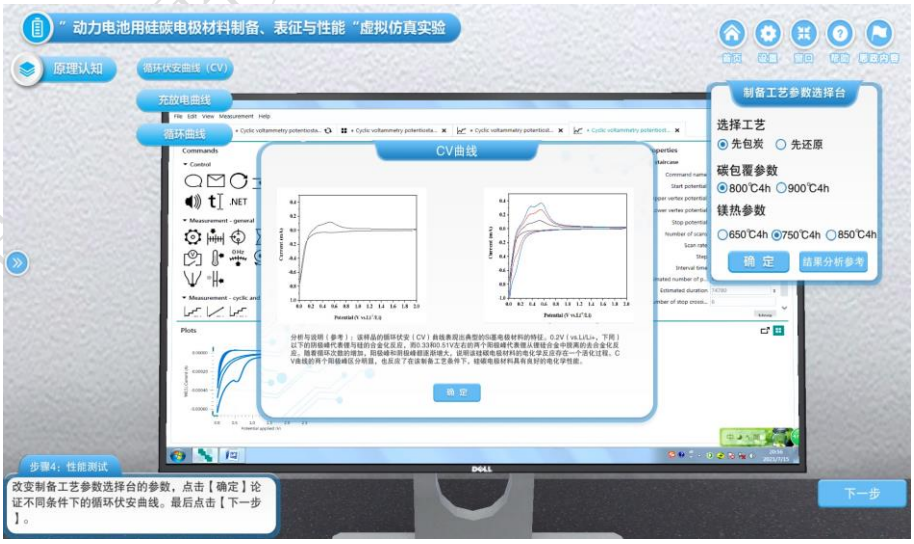
本交互性操作步骤目的在于认知电化学工作站、电池测试系统等设备，理解电化学测试原理，掌握循环伏安和恒电充放电的电化学性能评价方法，认识和理解动力电池电化学性能测试条件与性能要求标准。

在虚拟电化学性能测试实验室，学生自主设置测试程序并进行测试操作，获得性能测试数据；通过循环伏安曲线可以分析电极材料的电化学反应机理，通过充放电曲线可知电极材料充放电平台和质量比容量，通过循环曲线测试结果可以获得电极材料在循环过程中的循环稳定性；还可在“制备工艺参数选择

台”自主设计并选择其它制备工艺流程和参数，跳过材料制备、器件组装流程，直接获得相应材料的电化学性能测试结果，这是实操实验中无法实现的。对比不同制备工艺和参数所得硅碳复合电极材料的电化学性能数据，分析获得材料组成-合成-结构-性能关系和相互影响规律。

本交互操作过程，依次完成性能测试全部环节，计 5 分。其中，点击学习“循环伏安曲线”、“充放电曲线”、“循环曲线”各计 0.5 分；查看“容量-电压&电流”、“时间-电压&电流”、“循环-效率&比容量曲线”各计 0.5 分；查看分析其下“结果分析参考”、“性能解析”各计 1 分，未查看步骤不计分。测试过程操作中，如某一操作步骤错误，则无法进行下一步操作。记录所选工艺流程及过程参数所对应的电化学性能测试结果。



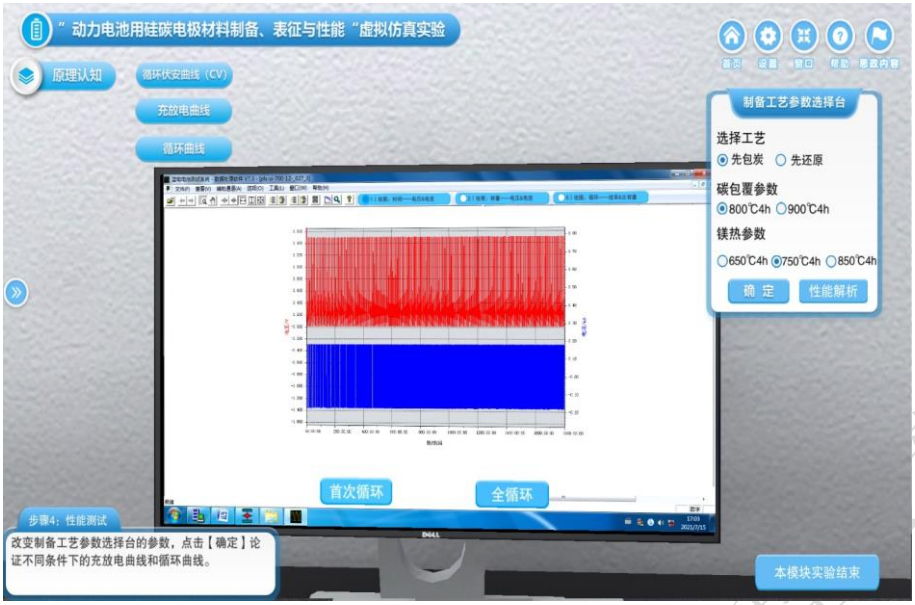



图 14 电化学性能测试：程序设置（上）、CV 曲线（中）和循环性能（下）

**步骤 11：结构演变模拟-颗粒状（10min）**

本交互性操作步骤目的在于理解和掌握不同尺寸颗粒在不同结构条件下的嵌锂膨胀、脱锂收缩规律，理解材料微观结构对使用性能的影响规律

进入模块三，在虚拟空间中，设置材料形状为粒状，学生可自由设计硅材料尺寸（50~210 nm）和复合结构（无包覆、蛋黄结构、核桃结构），生成相应微观结构，并对其在工作状态下的嵌锂膨胀、脱锂收缩演变过程进行模拟操作，记录结构稳定性数据，解析材料结构对性能的影响规律及机制。

本交互操作过程，将形状设置在“粒”端，当操作者将尺寸在 50-150nm 之间且复合结构不选择时，形成粒状材料在嵌锂膨胀、脱锂收缩过程中不开裂、不破损，反之则膨胀开裂、收缩破损；当操作者将复合结构选择蛋黄结构时，不管尺寸选择多少，形成蛋黄结构粒状材料在嵌锂膨胀、脱锂收缩过程中不开裂、不破损；当操作者将尺寸在 50-150nm 之间且复合结构选择核桃结构时，形成粒状材料在嵌锂膨胀、脱锂收缩过程中不开裂、不破损，反之则膨胀轻微开裂、收缩轻微破损；完成“粒-尺寸≤150nm”、“粒-尺寸≤150nm-蛋黄结构”、“粒-尺寸≤150nm-核桃结构”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 0.4 分，小计 2.4 分；完成“粒-尺寸>150nm”、“粒-尺寸>150nm-蛋黄结构”、“粒-尺寸>150nm-核桃结构”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 0.4 分，小计 2.4 分；全部完成再加 0.1 分，未完成步骤不计分。

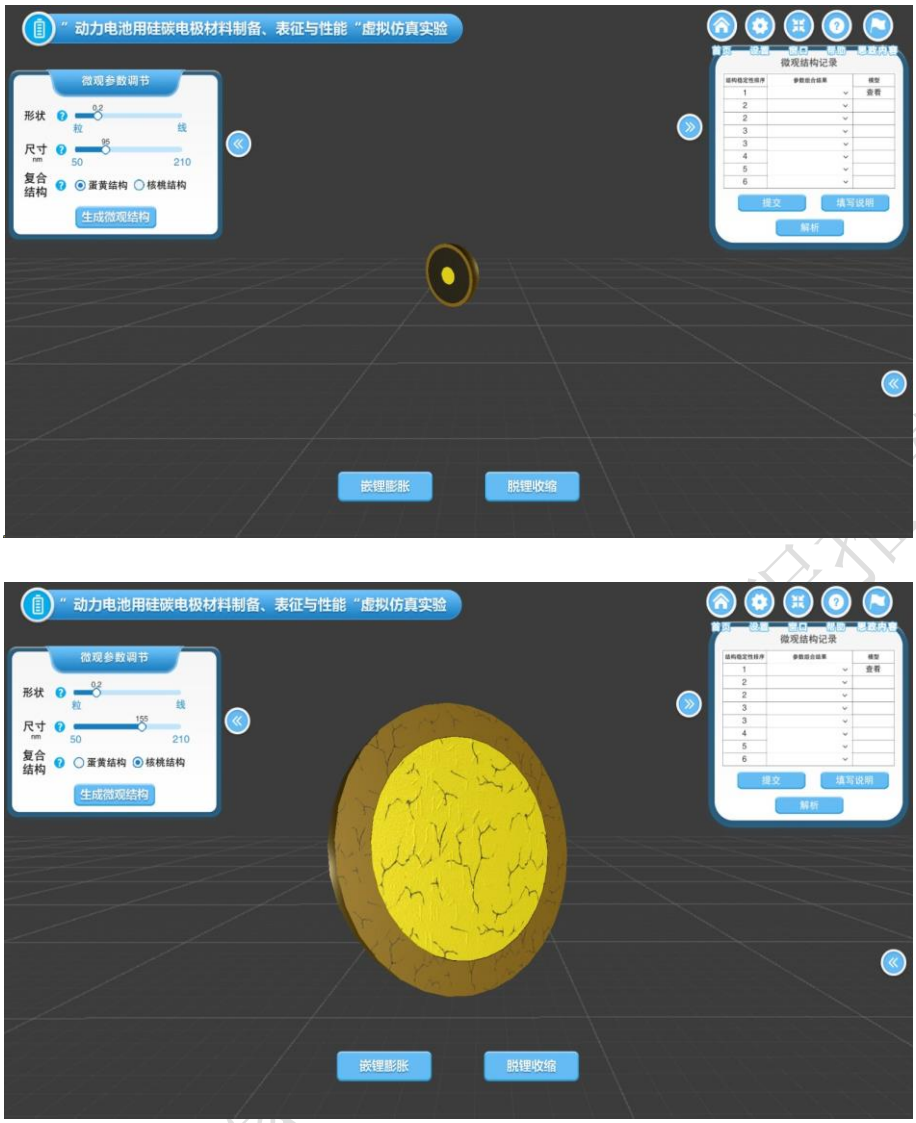



图 15 微观结构设计与模拟：蛋黄结构（上）和核桃结构界面（下）

**步骤 12：结构演变模拟-线状（10min）**

本交互性操作步骤目的在于理解和掌握不同尺寸线状硅的嵌锂膨胀、脱锂收缩规律，理解材料微观结构对使用性能的影响规律。在虚拟空间中，设置材料形状为线状，学生可自由设计硅材料尺寸（50~210 nm）和复合结构（无包覆、蛋黄结构、核桃结构），生成相应微观结构，并对其在工作状态下的嵌锂膨胀、脱锂收缩演变过程进行模拟操作，记录结构稳定性数据，在“微观结构记录”窗口中按照结构稳定性从高到底记录参数组合结果，并查看相应结构模型，解析材料结构对性能的影响规律及机制。

本交互操作过程，将形状设置在“线”端，当操作者将尺寸在 50-150nm 之间时，形成线状材料在嵌锂膨胀、脱锂收缩过程中不开裂、不破损，反之则膨胀开裂、收缩破损；完成“线-尺寸≤150nm”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 1

分，小计 2 分；完成“线-尺寸>150nm”的嵌锂膨胀、脱锂收缩操作，各得 1 分，小计 2 分；选择填报“微观结构记录”1 项计 0.1 分，小计 0.6 分；查看解析再得 0.4 分，未完成步骤不计分。

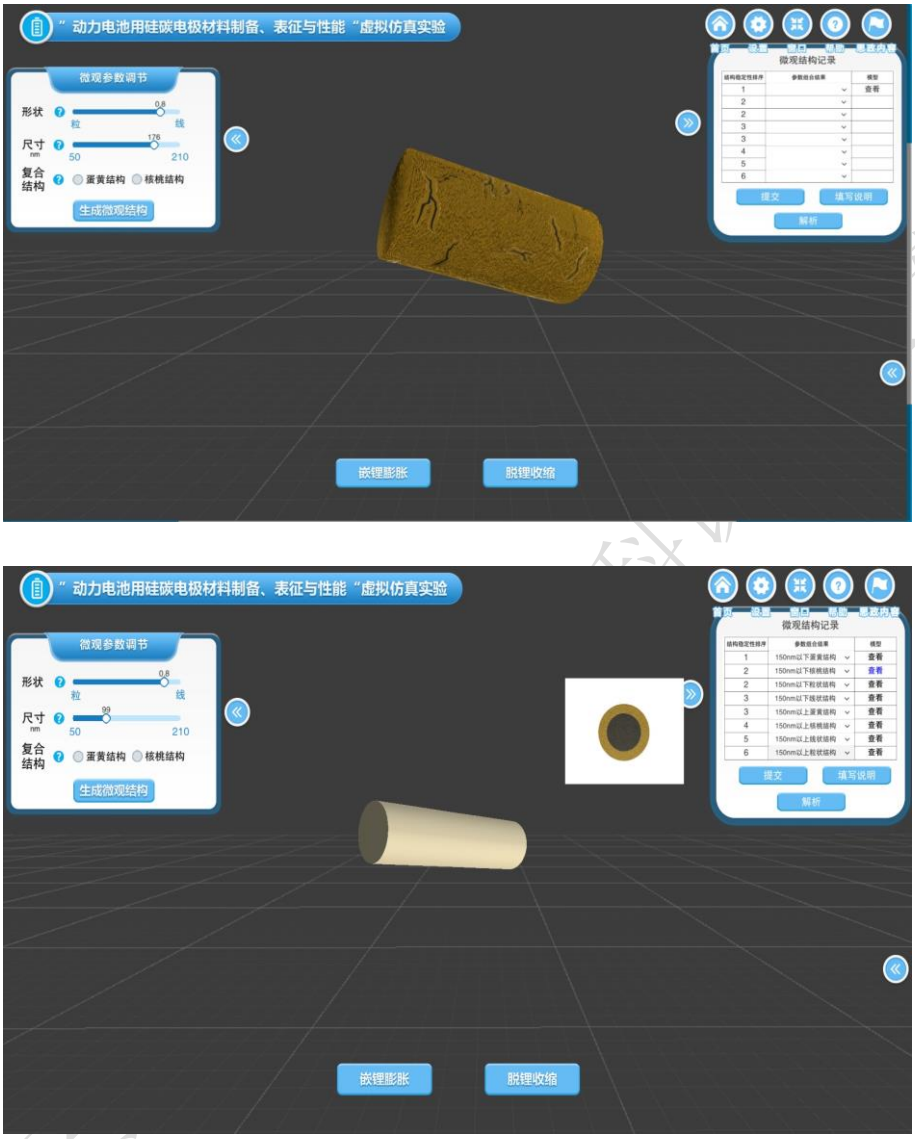



图 16 微观结构设计与模拟：大尺寸线状结构膨胀（上），小尺寸线状结构及演变模拟结果记录（下）

**步骤 13：在线测试（考核）（20min）**

本交互性操作步骤目的在于通过对实验所获得的数据进行整理、分析，掌握材料组成-制备-结构-性能之间相互影响和作用的规律，认识和理解作用机理，并得出相关结论，撰写实验报告。有助于培养学生分析、归纳、总结的能力和提高表达水平。

撰写实验报告时，系统提供 word 版实验报告模板，供学生在线填写，学生需将实验数据、实验结论和讨论等内容填入实验报告，再将填好的实验报告在线提交。考核测试试题由系统自动给出，学生完成实验考核测试后系统自动给出得分。此部分软件操作只能进行一次，也就是只能提交一次实验报告和考试测试一次。

本交互操作过程，实验报告在线填写并提交；在线答题，并根据答题结果给分。

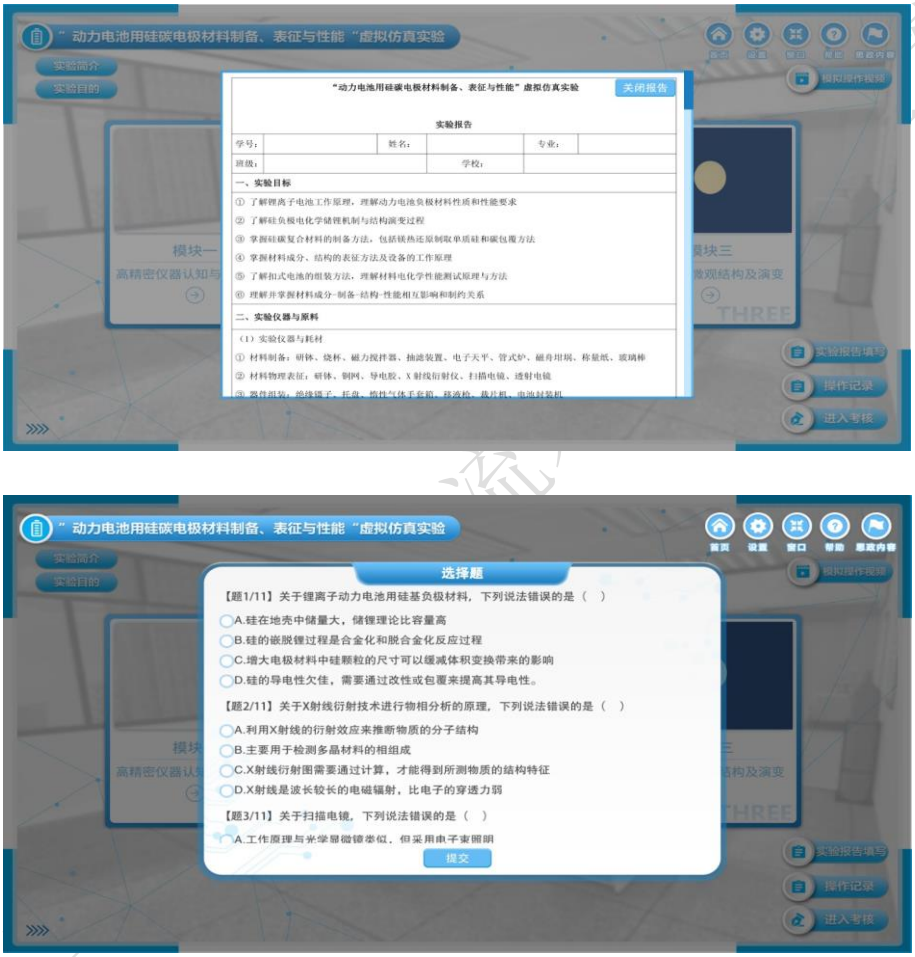



图 17 在线填写实验报告（上）和测试界面（下）

3-7 **实验结果与结论**（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

① 在硅碳材料制备实验中，以坡缕石为硅源，海藻酸钠为辅助烧结剂和碳源，如选择制备工艺 1，即先碳包覆、后镁热还原硅，且碳包覆工艺参数选取 800℃×4h、镁热还原参数选择 750℃×4h 时，则可得到具有良好电化学性能的蛋黄蛋壳结构硅碳纳米复合材料。若加热温度过低、则碳化或还原不彻底；反之则已形成杂质副产物。碳化或镁热还原时，需氮气或氩气保护。

② 在高精密仪器设备操作过程中中，样品准备、进样均需严格按照操作规程进行，否则为操作错误，在实际操作中很可能造成设备的损坏。

③ 在器件组装与性能测试环节，电池组装需严格按照操作规程进行；同时，扣式电池装配前，必须称量并计算电极片上硅碳复合材料的质量；并对每一个材料装配至少 3 块电池，性能测试结果取平均值。

④ 预习报告中，应体现锂离子电池工作原理、电极材料关键指标、材料组成与结构的基本表征手段、常见电化学性能测试的基本方法等相关内容。

⑤ 实验报告中，应体现如下结论：

A、硅碳电极材料的形态、尺寸和复合结构对其电化学性能影响巨大，纳米尺寸的蛋黄蛋壳结构硅碳电极材料具有更优的循环稳定性。

B、材料的形态、尺寸和复合结构可以通过材料制备工艺过程及参数优化来进行调控。

C、采用镁热还原方法从坡缕石中还原得到纳米硅的最佳工艺；镁热还原和碳化温度对产物的纯度和尺寸有较大的影响。

虚拟仿真实验设计过程中，基于 100 组以上真实实验数据，构建电极材料组成与结构、比容量和循环稳定性对于制备工艺、镁热还原温度、碳化温度的近连续变化函数，并可在给定区间内任意连续数值得到实验结果，以满足每个学生的实验结果差异性，并正确反映真实实验的数据变化规律，最大程度地重现真实材料制备及电化学性能实验数据测量过程和结果。

第三批国家级一流本科课程推荐

3-8 面向学生要求

（1）专业与年级要求

本实验项目主要面向材料科学与工程、化学、化学工程与工艺、新能源材料与器件等专业本科三、四年级本科生。

（2）基本知识和能力要求

在使用本虚拟仿真实验系统学习前，要求学生具备《材料科学基础》、《物理化学》、《材料分析与测试》、《材料工程》、《电化学原理与应用》等相关基础知识，了解材料制备、结构表征与电化学性能测试的基本原理；同

时，具备良好的实验素质和实验设备、仪器操作能力，以及具备基本的三维认识能力，能够熟练操作电脑，熟悉系统。

3-9 实验应用及共享情况

（1）本校上线时间：2021 年 1 月 10 日（上传系统日志，要求与实验已开设期次数据保持一致）

（2）已服务过的学生人数：本校 90 人，外校 570 人

（3）附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：1，具体专业：材料科学与工程，

教学周期：3，学习人数：90

（4）是否面向社会提供服务：●是 ○否

（5）社会开放时间：2022 年 3 月 1 日

（6）已服务过的社会学习者人数：230 人

## 4.实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限 800 字以内）

本虚拟仿真实验教学课程以动力电池用硅碳电极材料的制备、表征与性能为实验内容，教学内容涵盖了材料科学与工程专业“材料组成-制备-结构-性能”核心知识体系的主要知识点，具体实验包括：材料组成和结构表征相关的高精密仪器认知与仿真操作，材料制备、表征及性能测试全流程仿真操作与分析，和结构-性能相关微观结构自由设计与工作状态下的演变模拟；通过以虚补实、以虚代实和虚实结合方式，提高学生对高精密仪器认知、材料现代表征方法与专业知识的理解和掌握，实现核心知识体系的全过程实验实践应用。实验将传统炒菜式结构与性能调控过程，转化为结构设计-控制制备科学理念，将抽象且分散的知识点转化为生动而直观的知识框架，便于学生在虚拟场景中仿真操作、自由探索实验工艺参数过程中进行学习和应用，强化对知识点及相互间联系的理解和掌握；同时，实验过程设计接轨国家或行业标准，实验体系基于团

第二批国家级一流本科课程推荐

队科学研究成果 100 余组真实实验数据构建，虚拟与现实实验过程和结果高度契合，使本实验设计具有合理性、可操作性、科学性和前瞻性，助力新工科背景下创新型卓越工程人才培养。

本实验主要采用线上虚拟仿真实验操作、线下仪器实物和真实工作场景观摩的混合式教学模式，结合案例教学强调实验原理和方法，促进学生知识整合；借助任务驱动式教学，促进学生在实验中总结经验教训，加深知识理解和应用；引入探究式研讨，因材施教，充分发挥学生个人优势，促进交流和问题思考与解决，培养创新思维和团队合作精神。

本虚拟仿真实验课程重点考核学生利用专业知识和背景分析和解决材料科学与工程实际问题能力、实践能力和创新能力等；实验平台对主要实验步骤赋分并全过程记录和评价学生实验操作过程；教学评价体现 OBE 理念，采用预习报告、线上虚拟仿真实验操作过程及实验效果、实验报告、在线考核等多种方式进行；其中，预习报告、实验操作过程及实验效果等过程性评价占比 50%，实验报告、在线测试等占比 50%。

## 5.实验教学在线支持与服务

（1）教学指导资源：☑教学指导书☑教学视频 ☐电子教材☐课程教案

（申报系统上传）☑课件（演示文稿）☐虚拟仿真资源☐其他

（2）实验指导资源：☑实验指导书☑操作视频 ☐知识点课件库☐习题库

（申报系统上传）☑测试卷☐考试系统 ☐其他

（3）在线教学支持方式：☑热线电话☑实验系统即时通讯工具 ☐论坛

☑支持与服务群☐其他

（4）4 名提供在线教学服务的团队成员；1 名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供 8 小时/日的在线服务

## 6.实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

（1）说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

1）基于公有云服务器部署的系统，5M-10M 带宽 2）基于局域网服务器部署的系统，10M-50M 带宽

第二批国家级一流本科课程推荐

（2）说明能够支持的同时在线人数（需提供在线排队提示服务）
100

6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）
（1）计算机操作系统和版本要求

Windows7 及以上

（2）其他计算终端操作系统和版本要求

无

（3）支持移动端：○是 ●否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）
（1）非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

☑谷歌浏览器☐IE 浏览器☐360 浏览器☑火狐浏览器 ☐其他

（2）需要特定插件 ○是●否
如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量： M

下载链接：

（3）其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

浏览器推荐使用谷歌（Google Chrome）浏览器 55.0 以上版本、火狐（Firefox）浏览器 50.0 以上版本。

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）
（1）计算机硬件配置要求
计算机硬件配置需求（推荐）： 中央处理器： Intel® Core™ i5-8500-3.0GHz-6 核 6 线程 内存：16GB 硬盘空间：500GB 图形处理器：NVIDIA® GeForce® GTX 1060 显存：4G 及以上 显示器：16:9 分辨率 1920*1080 网络带宽：50Mbps 操作系统：Windows 10 浏览器：Chrome、Firefox、遨游、猎豹、360、QQ、搜狗、Edge 等 计算机硬件配置需求（最低）： 中央处理器： Intel® Core™ i5-7400-3.0GHz-4 核 4 线程 内存：8GB 硬盘空间：100GB 图形处理器：NVIDIA®

第二批国家级一流本科课程推荐

| |
|---|
| GeForce® GTX 960 显存：2G 及以上 显示器： 16:9 分辨率 1280*720 及以上 网络带宽：10Mbps 操作系统：Windows 7<br>（2）其他计算终端硬件配置要求<br>无 |
| 6-5 **用户特殊外置硬件要求**（如可穿戴设备等）<br>（1）计算机特殊外置硬件要求<br><br>无<br><br>（2）其他计算终端特殊外置硬件要求：●无○有<br>如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求: |
| 6-6 **网络安全**（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）<br>（1）是否已完成定级备案：●是 ○否<br>请选择备案主体：●课程所属学校名称 ○其他<br>证书编号：62010043009-21012<br>请附信息系统安全等级保护备案证明<br>（2）是否已完成等保测评：●是 ○否<br>请附正式测评报告中实验系统的相关描述页面（等级测评结论页、实验与平台隶属关系描述页等） |

## 7.实验教学技术架构及主要研发技术

| 指标 | 内容 |
|---|---|
| **系统架构图及简要说明** | 动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验项目的开放运行依托于开放式虚拟仿真实验教学管理平台的支撑，二者通过数据接口无缝对接，保证用户能够随时随地的通过浏览器访问该项目，并通过平台提供的面向用户的智能指导、自动批改服务功能，尽可能帮助用户实现自主的实验，加强实验项目的开放服务能力，提升开放服务效果。<br><br>开放式虚拟仿真实验教学管理平台以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托，采用面向服务的软件架构开发，集实物仿真、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体，是具有良好自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验教学平台。系统总体架构图如图 18 所示。 |

第二批国家级一流本科课程推荐

图 18 系统总体架构图

支撑项目运行的平台及项目运行的架构共分为五层，每一层都为其上层提供服务，直到完成具体虚拟实验教学环境的构建。下面将按照从下至上的顺序分别阐述各层的具体功能。

**（1）数据层**

动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验项目涉及到多种类型虚拟实验组件及数据，这里分别设置虚拟实验的基础元件库、实验课程库、典型实验库、标准答案库、规则库、实验数据、用户信息等来实现对相应数据的存放和管理。

**（2）支撑层**

支撑层是虚拟仿真实验教学与开放共享平台的核心框架，是实验项目正常开放运行的基础，负责整个基础系统的运行、维护和管理。支撑平台包括以下几个功能子系统：安全管理、服务容器、数据管理、资源管理与监控、域管理、域间信息服务等。

第二批国家级一流

| | | |
|---|---|---|
| | | **（3）通用服务层**<br><br>通用服务层即开放式虚拟仿真实验教学管理平台，提供虚拟实验教学环境的一些通用支持组件，以便用户能够快速在虚拟实验环境完成虚拟仿真实验。通用服务包括：实验教务管理、实验教学管理、理论知识学习、实验资源管理、互动交流、实验报告管理、教学效果评、项目开放与共等，同时提供相应集成接口工具，以便该平台能够方便集成第三方的虚拟实验软件进入统一管理。<br><br>**（4）仿真层**<br><br>仿真层主要针对该项目进行相应的器材建模、实验场景构建、虚拟仪器开发、提供通用的仿真器，最后为上层提供实验结果数据的格式化输出。<br><br>**（5）应用层**<br><br>基于底层的服务，最终动力电池用硅碳电极材料制备、表征与性能虚拟仿真实验项目教学与开放共享。该框架的应用层具有良好的扩展性，实验教师可根据教学需要，利用服务层提供的各种工具和仿真层提供的相应的器材模型，设计各种典型实验实例，最后面向学校开展实验教学应用。 |
| **实验教学** | 开发技术 | ☐VR☐AR ☐MR ☑3D 仿真 ☐二维动画☐HTML5<br>☑其他 |
| | 开发工具 | ☑Unity3D☑3D Studio Max ☐Maya<br>☐ZBrush☐SketchUp ☐AdobeFlash<br>☐UnrealDevelopment Kit ☐Animate CC<br>☐Blender☐Visual Studio<br>☑其他 |

第二批国家级一流本科课程推荐

| | | |
|---|---|---|
| | 运行环境 | **服务器**<br>CPU 4 核、内存 16 GB、磁盘 300*2 GB、<br>显存 2 GB、GPU 型号 NVIDIA<br>**操作系统**<br>☐Windows Server ☑Linux ☐其他<br>具体版本:<br>**数据库**<br>☑Mysql☐SQL Server ☐Oracle<br>☐其他<br>**备注说明**（需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明）<br>**是否支持云渲染**: ●是 ○否 |
| | 实验品质 | **单场景模型面数：**100000 **个； 贴图分辨率：**1024px * 1024px**； 每帧渲染次数：**calls**； 动作反馈时间：**ms**； 显示刷新率：高于每秒** 30 **帧** FPS; **分辨率：**1920ppi * 1080ppi **其他：** |

## 8.实验教学课程持续建设服务计划

（本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数）

（1）课程持续建设

| 日期 | 描述 |
|---|---|
| 第一年 | 进一步完善实验模块，深度开发工艺参数优化对材料制备工艺、成分及电化学性能的影响规律 |
| 第二年 | 继续升级分析模块，丰富原材料库及产品库，增加锂离子电池正极材料的制备工艺及电化学测试系统; |
| 第三年 | 继续完善分析模块，丰富原材料库及产品库，增加钠离子电池负极材料的制备工艺及电化学测试系统 |
| 第四年 | 继续完善分析模块，丰富原材料库及产品库，增加钠离子电池正极材料的制备工艺及电化学测试系统 |
| 第五年 | 结合材料科学与工程专业培养特色，开发新的虚拟仿真实验项目，如超级电容器材料、固沙材料、阻燃材料、发光材料等先进功能材料制备与性能，构建综合化的材料科学与工程虚拟仿真实验中心的虚拟仿真实验教学体系和平台，实现不同实验间知识点的衔接互通，培养、提升学生的创新思维和工程实践能力 |

第二批国家级一流本科课程推荐

其他描述:

西北师范大学已经连续实施六期本科教改工程，并印发《西北师范大学加快高质量发展实施方案》，深入推进实施第七期本科教改工程。本虚拟仿真实验课程建设持续获得学校第六期和第七期本科教改工程的大力资助，获得较为充足的持续建设经费支持。

（2）面向高校、社会的教学推广应用计划

| 日期 | 推广高校数 | 应用人数 | 推广行业数 | 应用人数 |
|---|---|---|---|---|
| 第一年 | 2 | 60 | 1 | 80 |
| 第二年 | 4 | 120 | 1 | 80 |
| 第三年 | 6 | 180 | 2 | 160 |
| 第四年 | 8 | 240 | 3 | 240 |
| 第五年 | 10 | 300 | 4 | 320 |

其他描述:

随着新能源材料的飞速发展，锂离子电池行业对材料相关专业人才需求越来越旺盛。本虚拟仿真实验项目内容就是正在实施产业化的锂离子动力电池电极材料的制备、表征与电化学性能测试，因此，可快速推广到相关领域，满足相关锂离子电池企业或初学者的培训学习需要。项目组将借助互联网前沿技术，整合生产实际案例，从兰州→甘肃→西北地域方向面向相关院校、企业进行虚拟仿真项目推广；组织师生走进企业，加强理论知识与工程实践结合，借助虚拟仿真项目助力企业相关问题解决。

## 9.知识产权

| 软件著作权登记情况 | |
|---|---|
| 以下填写内容须与软件著作权登记一致 | |
| 软件名称 | 动力电池用硅碳负极材料制备及性能虚拟仿真实验平台[简称：PAPTOS V1.0] |
| 是否与课程名称一致 | ●是　○否 |

第二批国家级一流本科课程推荐

每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作人填写栏进行填报。

| 著作权人 | 著作权人类型 |
| --- | --- |
| 西北师范大学 | ●课程所属学校 ○企业<br>○课程负责人 ○学校团队成员<br>○企业人员 ○其他 |
| 权利范围 | 全部权利 |
| 软件著作登记号 | 2022SR0872297 |

请附软件著作登记证书

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第0872297号

软件名称：动力电池用硅碳负极材料制备及性能虚拟仿真实验平台[简称：PAPTOS] V1.0

著作权人：西北师范大学

开发完成日期：2020年08月10日

首次发表日期：2021年08月10日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2022SR0872297

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

No. 11080230

2022年08月30日

如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。

| 受理流水号 | |
| --- | --- |

## 10.诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：

年 月 日

第二批国家级一流课程推荐

## 11.附件材料清单

**1.课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）**

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

**2.课程内容学术性评价意见（必须提供）**

[由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于 3 名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。]

**3.校外评价意见（可选提供）**

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以 1 份为宜，不得超过 2 份。无统一格式要求。）

第三批国家级一流本科课程推荐