四川轻化工大学课程实施大纲

|  |
| --- |
| **课程名称：锂离子电池应用与实践** |
| **授课班级：应化2023级1-4班** |
| **任课教师：李建营** |
| **工作部门：化学工程学院** |
| **联系方式：17345813530** |

**四川轻化工大学 制**

**2025年8月**

**《应用电化学》课程实施大纲**

**基本信息**

|  |
| --- |
| 课程代码：16773024  课程名称：应用电化学  学 分：1.0  总 学 时：16  学 期：第5学期  上课时间：2025-2026学年第1学期15-18周 周一3-4节，周二7-8节  上课地点：四川轻化工大学汇南校区N1-115 和N1-115  答疑时间和方式：课余/课间、电话、邮件  答疑地点：第二实验楼425、电邮、电话  授课班级：应化20231-应化20234  任课教师：李建营、邱策、雷英、韩文静  学 院：化学工程学院  邮 箱：[523848545@qq.com](mailto:523848545@qq.com)  联系电话：17345813530 |

# **1．教学理念**

《锂离子电池应用与实践》课程的教学理念立足于应用化学专业人才培养的目标，注重理论与实践深度融合、能力与素养协同发展。本课程坚持以学生为中心、以成果为导向的教育理念，旨在通过系统化的知识传授、启发式的思维训练和沉浸式的实践体验，培养学生具备扎实的专业基础、敏锐的工程意识和创新的解决问题的能力。锂离子电池作为电化学储能领域的核心代表，其技术跨越材料化学、电化学、工程物理及系统管理等多个学科，这就要求课程设计必须打破传统单一学科授课的局限，引导学生建立多学科交叉融合的知识体系，能够从分子、材料、器件乃至系统多个层面理解并掌握锂离子电池的核心技术链。

在教学过程中，我们强调“知行合一”，不仅重视基础理论的讲授，更注重培养学生将理论知识转化为实践应用的技能。课程内容设计上从电池基本原理与性能参数出发，逐步深入到正负极材料、电解质等关键材料化学特性与选择依据，进一步拓展至电芯制造工艺、表征测试技术和电池管理系统集成，最终延伸至实际应用场景及前沿技术发展趋势。通过这一逻辑链条，帮助学生构建从材料设计到系统集成、从实验室技术到产业化应用的全局观。课堂之外，配套的课后任务与项目实践——如典型电池体系性能计算、材料选型分析、小型电池组装与测试等——使学生有机会在贴近工程实际的情境中锻炼动手能力、数据分析能力和方案设计能力，真正实现“做中学、学中悟”。

同时，课程高度重视学生创新思维与批判性思维的培养。在介绍成熟技术体系的基础上，特意设置技术瓶颈分析、发展路径对比等开放性环节，鼓励学生基于专业知识和文献阅读，对技术路线、市场前景和研发策略提出自己的见解甚至质疑。通过案例研讨、文献评析和项目报告等多种形式，激发学生主动探索和团队协作的意识，引导其形成科学严谨、系统全面、善于反思的工程素养。

最终，本课程致力于为学生未来从事新能源、新材料及相关领域的研究、开发、生产与管理打下坚实基础，使其不仅成为具备锂离子电池专业知识与技能的应用型人才，更成为能够适应技术快速迭代、具备可持续学习能力和创新精神的新时代工程技术人才。。

# **2．课程介绍**

## 2.1 课程的性质

《锂离子电池应用与实践》是面向应用化学专业高年级本科生开设的一门专业方向选修课。本课程具有鲜明的跨学科性、前沿性和实践导向性。它并非一门纯粹的理论科学课程，而是紧密围绕国家新能源发展战略与新兴产业需求，深度融合了电化学、材料化学、物理化学、固体物理学乃至工程管理学的交叉学科知识体系。课程的核心定位在于“桥梁”作用，旨在将学生在前期基础课程中所学的抽象理论原理，转化为解决锂离子电池这一具体领域复杂工程问题的实际能力。其教学内容不仅涵盖电池内部的材料反应机理、界面过程等微观科学问题，也延伸至电芯制造、系统集成、性能测试、安全评估等宏观工程技术环节，强调从实验室基础研究到产业化大规模应用的完整知识链条构建，培养学生具备从分子层面理解到系统层面设计的综合素养。

## 2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

在应用化学专业的整体培养方案中，本课程扮演着承上启下、赋能创新的关键角色。它承上，高度依赖于《物理化学》（特别是电化学部分）、《分析化学》、《有机化学》及《材料化学》等先修课程所建立起的理论基础与分析手段，是这些核心知识在一个前沿、热门且集中的技术领域内的综合应用与深度升华。它启下，为学生后续的毕业设计（论文）、研究生阶段的深造以及未来在新能源、新材料等相关行业的职业生涯提供了直接的知识储备和技能训练。通过本课程的学习，学生将不再是孤立地看待化学反应的物质合成与表征，而是要学会以一名“系统工程师”的视角，去思考如何将化学物质转化为具有特定功能的商业化产品，理解材料化学性质如何最终决定产品的性能、成本、安全与寿命。因此，本课程是应用化学专业实现其“应用”价值的重要体现，是培养学生从“化学家”思维向“工程师”思维转变的关键一环，极大地增强了学生在未来高科技产业竞争中的就业竞争力与创新发展潜力。

## 2.3 课程的历史与文化传统

锂离子电池技术本身是一部波澜壮阔的科技创新与产业化史诗，本课程的设立与发展也秉承了这一传统。从历史维度看，课程内容承载着自20世纪70年代石油危机以来全球对新型储能技术的迫切探索，记录了从金属锂负极一次电池到锂离子嵌入式二次电池的关键科学突破，凝聚了如Goodenough、Yoshino等诺贝尔奖获得者及其背后无数科研团队的智慧结晶。这门课程的设立，本身就是对这段由基础科学发现引领产业革命辉煌历史的致敬与传承。在文化传统上，本课程强调两种核心精神的融合：一是科学上的探索与求真精神，鼓励学生敢于质疑、严谨验证，深刻理解材料构效关系与反应本质；二是工程上的严谨与创新精神，培养学生面向实际应用的需求，注重细节、敬畏安全，在严格的工艺窗口和技术标准下寻求优化与突破。课程通过介绍国内外领先企业与研究机构的发展路径与技术竞争，潜移默化地培养学生的国际视野、工匠精神以及将科技报国情怀融入国家“双碳”重大战略的使命感，从而延续并丰富应用化学专业知行合一、服务社会的文化传承。

## 2.4 课程的前沿及发展趋势

锂离子电池技术正处在一个飞速发展与深刻变革的时代，其前沿趋势深刻塑造着全球能源格局与科技竞争态势。本课程将紧密结合当前领域内的核心发展方向，引导学生洞察未来。

首要趋势是**追求极限性能**，具体体现在通过材料创新不断突破能量密度天花板，如发展高镍低钴/无钴三元正极、富锂锰基正极、硅碳复合负极乃至终极目标的锂金属负极，旨在满足电动汽车更长续航里程和消费电子更小体积的迫切需求。

与之并行的是**固态电池技术**的崛起，它致力于以不可燃的固态电解质取代现有有机液态电解质，从根本上解决电池的安全隐患，并有望实现与高能量密度负极的兼容，目前已成为全球各大车企、电池巨头和科研机构竞相布局的战略制高点。

第三大趋势是**超越锂离子化学体系**的探索，包括资源更丰富、成本更低的钠离子电池，以及理论能量密度极高的锂硫电池、锂空电池等新体系，它们为不同应用场景（如大规模储能、特种领域）提供了多元化技术路径。

第四，智能化与数字孪生技术的深度融入。数字孪生技术致力于构建覆盖电池设计、制造、检测、管理全链条的数字化体系。它已成为提升电池产品安全性和可靠性的新型基础设施。**电池健康状态的精准评估与预测**：数字孪生技术应用于电池健康状态（SOH）评估，通过融合物理建模与数据驱动，实现对电池健康状况的更精准把握。**生产制造的优化与能效提升**：在制造端，数字孪生技术能实现电池生产工艺全流程仿真，并在生产实物的同时同步生产数字产品。它支持对生产工艺参数、设备信息、能源信息等全局信息进行一点汇聚和展现，实现生产数据实时映射。此外，还能通过生产过程数据采集、建模、分析、优化来进行设备预测性维护，减少停机时间，提高产线生产效率。罗克韦尔自动化的数字孪生技术据称可支持26种以上的低碳生产场景规划，帮助企业实现碳中和路径规划，并实现约10%的能源节省。

最后，绿色闭环与可持续发展已成为不可逆转的行业共识，焦点集中于电池生产过程的降耗减排、梯次利用技术的完善以及高效低碳回收工艺（如直接回收正极材料）的开发，旨在最小化电池全生命周期的环境足迹。面对资源约束和环境影响，构建绿色循环经济体系已成为锂离子电池行业的必然选择。其焦点已从单一的末端回收，拓展到覆盖电池生产—使用—梯次利用—再生回收的全生命周期环境足迹最小化。其发展趋势主要体现在：**回收技术的创新与效率提升，**传统的废旧锂电池回收存在效率低、污染重、资源浪费等难题；**产业链协同与闭环循环**，构建电池回收生态需要产业链各环节的企业共同努力。

这些前沿动向表明，锂离子电池领域已进入一个多技术路线并行、材料与工程深度融合、持续迭代创新的新阶段。

## 2.5 学习本课程的必要性

对于应用化学专业的学生而言，学习《锂离子电池应用与实践》课程具有极其重要和迫切的必要性。

从国家与产业发展层面看，新能源产业是保障国家能源安全、实现“碳达峰、碳中和”战略目标的核心支柱，而锂离子电池作为新能源汽车和新型储能系统的“心脏”，是其不可或缺的关键组成部分。掌握其核心技术，就是掌握了进入这一蓬勃发展的战略新兴产业的“敲门砖”，人才需求巨大且持续增长。

从学科与专业能力构建角度而言，本课程提供了了一个绝佳的跨学科知识整合与实践平台。它要求学生将物理化学、电化学、有机无机化学、材料科学等分散的基础理论知识，在一个具体且复杂的工程体系中进行综合运用与深化理解，从而彻底打通从基础分子设计到宏观产品性能的认知链条，这是培养一名优秀应用化学人才不可或缺的能力飞跃。

从个人职业发展前景出发，无论是选择进入高校科研院所继续从事前沿基础研究，还是投身于电池材料研发、电芯工艺开发、电池系统管理、测试评价乃至回收再生等广阔产业界，本课程所构建的知识体系与培养的系统思维、实践能力都将成为最核心的竞争力。

因此，学习本课程不仅是紧跟科技时代步伐的必然要求，更是将自身所学与国家所需、产业所急紧密结合，实现个人价值与社会价值统一的关键选择。

# **3．教师简介**

李建营，讲师，博士，研究方向：新能源材料与器件

# **4．先修课程**

高等数学、大学物理、无机化学、分析化学、物理化学和仪器分析等。

# **5．课程目标**

## 5.1知识与技能方面

一是掌握锂离子电池系统的核心知识与内在机理。学生应能系统阐述锂离子电池的基本结构、“摇椅式”工作原理及其核心性能参数（如能量密度、功率密度、电压、容量、库仑效率、倍率性能与循环寿命）的物理化学内涵与工程意义；深入理解电极反应动力学、离子迁移扩散过程及其对电池宏观性能的影响机制；能够综合运用物理化学、材料科学及工程基础知识，对电池体系中的复杂工程问题（如性能衰减、热失控）进行准确的识别、建模与理论表述。（支撑毕业要求2.1能对化学、化工及相关领域复杂工程问题用数学、自然科学、工程基础和专业知识进行正确的表述）

二是具备分析与解决电池领域复杂工程问题的综合能力。学生应能运用电化学、材料学与工程学的基本原理，对电池材料选型、制造工艺优化、性能提升与安全设计等实际工程问题进行分析与诊断；具备针对特定应用需求（如高能量密度、超快充、高安全性、长寿命），对材料体系、 cell design、测试方案或系统集成路径进行初步设计与可行性论证，并能提出多种解决方案并进行综合比较与评价。（支撑毕业要求4.1具有运用专业知识，分析复杂工程问题的能力，能够针对特定工程需求，提出初步的设计/解决方案）

三是初步形成电池技术设计与研发的创新能力与系统思维。学生应能基于专业知识和给定技术指标，独立或协作完成针对特定应用场景（如电动汽车、规模储能）的电池关键材料筛选与评估、工艺流程的初步设计以及详细的实验研究方案（涵盖材料合成、电芯组装、性能与安全测试）的制定；能够批判性地分析不同技术路线的优缺点，并基于实验数据与文献调研，对优化电池性能、提升安全性与降低成本提出创新的、基于证据的改进思路与技术方案，具备从事工艺开发和新品研发的基本能力。（支撑毕业要求5.2能够根据特定的复杂化学工程问题，选择研究路线、设计实验方案）

## 5.2 过程与方法方面

**一是掌握科学的研究与工程实践方法。** 学生应能通过文献检索、资料查阅等多种渠道，自主获取锂离子电池领域的前沿技术信息；能够基于具体的工程问题或科研任务，设计合理的技术路线与研究方案；熟悉从实验室材料制备、电芯组装到性能测试与数据分析的全过程实践方法，形成严谨求实的科学作风。

**二是具备系统性思维与多角度分析问题的能力。** 学生应能运用系统性思维，理解锂离子电池中材料、电芯、系统各层级之间的相互关联与制约关系；能够从技术可行性、经济成本、环境影响、安全规范等多个维度，对不同的技术方案进行综合分析与比较权衡，寻求最优解。

## 5.3 情感、态度与价值观方面

**一是树立绿色发展与工程伦理的责任意识。** 学生应了解锂离子电池全生命周期（从资源开采到生产、使用、回收）的环境与社会影响；树立绿色设计、节能减排、资源循环的可持续发展观；在工程实践中，能主动考量其职业行为对公共安全、健康与福祉的责任，恪守工程伦理和职业道德规范。

**二是激发科技创新与产业报国的专业情怀。** 通过介绍我国新能源产业的迅猛发展及其在全球的战略竞争地位，激发学生的民族自豪感、专业认同感和投身国家战略新兴产业的责任感与使命感，培养其精益求精的工匠精神和追求卓越的创新意识。

## 5.4 综合能力与素养方面

一是强化团队协作与沟通表达能力。 学生应能在课程项目实践或专题研讨中，具备良好的团队合作精神，能够在多学科团队中承担个体、团队成员以及负责人的角色；能够就复杂的电池工程问题，以口头、文稿、图表等方式，与业界同行及社会公众进行有效沟通和交流。

二是培养项目管理与经济决策的初步能力。学生应能在设计解决方案的过程中，初步考虑技术方案所涉及的经济性与项目管理因素，如成本、工艺、时限等制约条件，建立技术服务于市场、创新与成本平衡的基本意识。

# **6．课程内容**

**表 1 锂离子电池应用与实践课程的内容概要**

|  |  |
| --- | --- |
| **章节** | **教学内容** |
| **第一章**  **绪论-锂离子电池入门与应用概览**  **(2学时)** | **教学内容：**  1. 电化学储能简介（从伏打电池到锂离子电池）。  2. 锂离子电池的基本结构与“摇椅式”工作原理。  3. 核心性能参数：电压、容量、能量密度、功率密度、库仑效率、倍率性能、循环寿命。  4. 锂离子电池的主要应用领域：消费电子、电动汽车、储能系统。  **教学重点：**  1. “摇椅式”工作机理的深刻理解。  2. 各核心性能参数的物理意义、计算公式及相互关系（如能量密度与电压、容量的关系）。  **教学难点：**  1. 将抽象的电化学热力学（吉布斯自由能变与电动势关系）和动力学（内阻、极化） 概念与具体的性能参数（如电压、功率）联系起来。  2. 理解不同应用场景（如动力电池 vs. 储能电池）对上述性能参数的差异化要求。 |
| **第二章**  **锂离子电池核心材料与选择**  **4学时** | **主要内容：**  1. 正极材料： 钴酸锂（LCO）、磷酸铁锂（LFP）、三元材料（NMC/NCA）的晶体结构、电压平台、优缺点及应用场景。  2. 负极材料： 石墨、硬碳、钛酸锂（LTO）、硅基材料的储锂机理、性能对比及挑战。  3. 电解质与其它材料： 液态电解质（锂盐、溶剂、添加剂）、固态电解质简介；隔膜、粘结剂、导电剂的作用与要求。  **教学重点：**  1. 建立材料结构-性能-应用之间的构效关系。  2. 掌握不同正负极材料电压、容量、安全性和成本的综合对比。  **教学难点：**  1. 理解不同正极材料（如层状LCO/NMC vs. 聚阴离子LFP）的电压产生机理和稳定性差异。  2. 理解硅负极的体积膨胀效应和固态电解质的界面阻抗等前沿材料的核心挑战。 |
| **第三章**  **电池制造与测试实践**  **4学时** | **主要内容：**  1. 制造工艺： 电极制备（搅拌、涂布、辊压、分切）、电芯组装（卷绕、叠片）、注液、化成、分容。  2. 表征与测试： 材料表征方法（XRD, SEM）简介；电化学测试方法（充放电测试、循环伏安法(CV)、电化学阻抗谱(EIS)）的原理与数据分析。  3. 安全性与标准： 常见安全测试（针刺、过充、热滥用）介绍与标准理解。  **教学重点：**  1. 理解各制造工序的目的及其对最终电池性能的影响。  2. 掌握充放电曲线、CV曲线和EIS谱图的解读，能从中获取容量、电压、反应可逆性、内阻等信息。  **教学难点：**  1. 将电化学测试原理（如EIS中的伯格阻抗）与实际谱图特征对应起来并进行合理解释。  2. 理解“化成”工序在SEI膜形成中的作用及其重要性。 |
| **第四章**  **电池系统集成与应用技术**  **4学时** | **主要内容：**  1. 从电芯到电池包： 电池包的机械结构、电气连接、热管理系统（风冷、液冷）。  2. 电池管理系统（BMS）： 核心功能：电压/电流/温度监测、荷电状态（SOC）估算、健康状态（SOH）估算、均衡功能、热管理、故障诊断。  3. 应用案例： 剖析电动汽车和储能系统的电池系统特点与要求。  4. 梯次利用与回收概念简介。  **教学重点：**  1. BMS的核心功能，特别是SOC和SOH估算的概念和重要性。  2. 热管理对于电池安全性和寿命的关键作用。  **教学难点：**  1. 理解SOC估算算法（如安时积分法、开路电压法、卡尔曼滤波法）的基本思想及其误差来源。  2. 理解“一致性”问题对成组后电池包性能和安全的影响。 |
| **第五章 前沿趋势与讨论**  **2学时** | **主要内容：**  1. 当前锂离子电池的技术瓶颈（能量密度、成本、安全、快充）。  2. 下一代电池技术：固态电池（不同技术路线）、钠离子电池、锂硫电池等简介与对比。  3. 开放式讨论：对未来技术路线、市场格局和发展机遇的探讨。  **教学重点：**  1. 各类下一代电池技术的原理、潜在优势与面临的核心挑战。  2. 培养学生基于技术原理进行批判性思考和对比分析的能力。  **教学难点：**  1. 客观理性地分析不同技术路线（如全固态 vs. 半固态电池）的产业化前景，避免盲目追捧概念。  2. 引导学生将前四章所学知识作为基础，对未来技术发展进行有依据的推测和讨论。 |

# **7．课程实施**

应用电化学课程在教学实施过程中，每2个课时为一个教学单元，共16个教学单元，总计32个课时，以下为每个教学单元的课程实施安排表，包括教学日期、教学目标、教学内容（含重点、难点）、教学方法、教学过程、作业安排及相关阅读材料，请同学们仔细阅读。

## 教学单元一

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 1/2 | 章节内容 | 第1章 | 授课日期 | 2025-12-15 |
| **教学单元的参考资料：**教材 第一章“绪论”部分 | | | | | |
| **本讲教学目标** | | | | | |
| **（一）知识目标**  1. 系统梳理电化学储能技术的发展脉络，清晰阐述从伏打电池到锂离子电池的关键技术突破与演进逻辑，明确锂离子电池在当代储能领域的核心地位。  2. 精准掌握锂离子电池的 “正极-电解质-负极-隔膜” 四层基本结构，深入理解 “摇椅式” 工作原理中锂离子在正负极间的嵌入/脱嵌机制、电子在外电路的迁移路径，以及电解质与隔膜的功能作用。  3. 掌握电压、容量、能量密度等锂离子电池核心性能参数的物理定义，熟练能量密度（如电池能量密度=放电倍率×放电平台/电池厚度/电池宽度/电池长度）、库仑效率（放电容量/充电容量×100%）等关键参数的计算公式，厘清能量密度与电压/容量、功率密度与倍率性能等参数间的内在关联。  4. 准确识别消费电子、电动汽车、储能系统三大应用领域的技术需求特征，明确不同场景下锂离子电池的选型标准与性能侧重方向。  **（二）能力目标**  1. 具备将抽象的电化学热力学（如吉布斯自由能变G与电动势E的关系（G=-nFE）、动力学（如内阻R、极化现象）概念，转化为对具体性能参数（电压、功率密度）影响机制的分析能力。  2. 能够基于核心性能参数的计算逻辑，对比不同应用场景（如动力电池需高功率密度、储能电池需高循环寿命）的差异化需求，提出合理的锂离子电池选型方案。  3. 通过课堂案例分析与小组讨论，提升对技术原理与实际应用结合的理解能力，培养逻辑推导与问题解决能力。  **（三）素养目标**  1. 认识到电化学储能技术在新能源革命、“双碳” 目标中的核心支撑作用，激发对能源领域前沿技术的探索兴趣与专业使命感。  2. 培养严谨的科学思维，在分析性能参数与技术原理的过程中，注重数据逻辑与实验事实，形成实事求是的科研态度。  3. 通过对不同应用场景需求的讨论，树立 “技术服务于实际需求” 的工程思维，提升跨领域整合与应用的素养。 | | | | | |
| **本讲教学内容** | | | | | |
| 电化学储能技术发展简介。  锂离子电池的基本结构与 “摇椅式” 工作原理。  锂离子电池的核心性能参数。  锂离子电池的主要应用领域。 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **一、电化学储能技术发展简介**  1. 导入：提问 “为什么现在的电动汽车能跑 500km 以上，而 10 年前只能跑 100km？”，引出锂离子电池的核心地位，激发学生兴趣。  2. 理论讲解：按 “伏打电池→铅酸电池→镍镉 / 镍氢电池→锂离子电池” 的时间线，讲解各电池的结构、原理与局限性，重点对比锂离子电池的技术突破（如无金属锂、高电压），结合 PPT 展示电池实物图片与结构示意图。  3. 讲解电化学储能技术的演进逻辑，强调 “能量密度提升” 是技术发展的核心驱动力，布置预习任务（阅读锂离子电池结构相关资料）。  **二、锂离子电池的基本结构与 “摇椅式” 工作原理**  1. 提问 “锂离子电池相比镍氢电池的核心优势是什么？”，学生回答后，过渡到 “要理解优势，需先掌握其结构与原理”。  2. 结构讲解：用 “四层蛋糕” 比喻（正极→电解质→隔膜→负极），结合 3D 模型演示，讲解各组件的材料、形态与功能，重点说明隔膜 “隔电子、过离子” 的关键作用，展示不同正极材料（如LiFePO4与LiNiCoMnO2）的实物照片。  3. 原理讲解：播放 “摇椅式工作原理” 动画（分充电、放电两个过程），慢放锂离子迁移路径与电子流动方向，标注关键步骤（如正极脱锂、负极嵌锂）。  4. 教师结合动画讲解：“充电时，锂离子像‘乘客’一样从正极‘车站’出发，经电解质‘公路’穿过隔膜‘安检’，到达负极‘车站’停留；放电时，乘客从负极返回正极，电子则通过外电路‘高速路’为负载供电”，用通俗比喻化解抽象概念。  5. 课堂互动：提问 “如果隔膜破损，会发生什么问题？”，引导学生思考 “正负极短路→发热→起火”，理解隔膜的安全作用，强化原理记忆。  **三、锂离子电池的核心性能参数（分 2 课时）**  1. 基础性能参数（电压、容量）与能量密度：展示两款手机电池（标注 “3.7V/4000mAh” 与 “3.8V/3800mAh”），提问 “哪款电池的续航能力更强？”，引出 “需结合电压与容量计算能量密度”，自然过渡到性能参数讲解。  2. 电压讲解：定义讲解：“电压是正负极材料的电势差，如同水的高度差，决定电流的‘推动力’”，结合电化学热力学公式G=-nFE，说明 “材料的吉布斯自由能变决定了电池的理论电压”（如LiCoO2正极与石墨负极的电势差约 3.7V）。  3. 案例分析：对比铅酸电池（2V）、镍氢电池（1.2V）与锂离子电池（3.7V）的电压，解释 “为什么锂离子电池能实现小型化”（高电压意味着相同能量下，电池体积更小）。  4. 容量讲解：定义与单位讲解 “容量是电池储存电荷的总量，如同水桶的容积”，区分理论容量（如 1g 石墨的理论容量为 372mAh/g）与实际容量（受工艺影响，通常为理论容量的 80%-90%）。 计算示例：“若某电池采用 10g 石墨负极，实际容量利用率为 80%，则负极贡献的容量为 10g×372mAh/g×80%=2976mAh”，结合公式推导，强化计算能力。  5. 能量密度讲解。公式推导：基于 “能量 = 电压 × 电荷”，推导能量密度公式E=U\ C（单位换算：1Wh=1V×1Ah），结合导入案例计算：“3.7V/4000mAh 电池的能量为 3.7V×4Ah=14.8Wh；3.8V/3800mAh 电池的能量为 3.8V×3.8Ah=14.44Wh”，得出 “前者续航更强” 的结论。  2. 难点突破：结合热力学概念，说明 “提高能量密度的两种路径 —— 提升电压（开发高电势正极材料）、提升容量（开发高比容量负极材料如硅）”，化解 “热力学与性能参数关联” 的难点。  1. 课堂练习（5 分钟）：给出某磷酸铁锂电池的参数（电压 3.2V，容量 100Ah），让学生计算其能量与能量密度（假设电池质量 5kg），教师巡视并讲解，巩固知识点。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | 电池类型 | 商业化时间 | 核心优势 | 局限性 | 典型应用场景 | | 铅酸电池 |  |  |  |  | | 镍镉电池 |  |  |  |  | | 镍氢电池 |  |  |  |  | | 锂离子电池 |  |  |  |  |   梳理对比铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池与锂离子电池的核心优势与局限性，填写下表：​ | | | | | |

## 教学单元二

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 2/2 | 章节 | 第2章 | 日期 | 2025-12-16 |
| **教学目标** | | | | | |
| **（一）知识目标​**  1. 系统掌握正极材料（LCO、LFP、NMC/NCA）的晶体结构特征（如 LCO 的层状结构、LFP 的橄榄石结构）、电压平台范围（如 LCO 约 3.7V、LFP 约 3.2V），清晰阐述各类材料的优缺点（如 LCO 能量密度高但安全性差、LFP 安全性高但能量密度低）及典型应用场景（如 LCO 用于消费电子、LFP 用于储能）。​  2. 深入理解负极材料（石墨、硬碳、LTO、硅基材料）的储锂机理（如石墨的嵌入型储锂、硅基材料的合金化储锂），熟练对比各类材料的性能参数（如石墨理论容量 372mAh/g、硅基材料理论容量 4200mAh/g），明确不同材料面临的技术挑战（如硅基材料体积膨胀率高、硬碳首次库仑效率低）。​  建立 “材料特性→电池性能” 的关联逻辑，如正极材料电压平台决定电池总电压、负极材料容量影响电池能量密度。​  **（二）能力目标​**  1. 具备基于应用场景需求（如消费电子需高能量密度、储能需高安全性），对正极、负极、进行初步选型的能力，例如为电动汽车动力电池选择 NMC 三元材料（高能量密度），为家庭储能电池选择 LFP 正极 + 石墨负极（高安全性 + 长寿命）。​  2. 能够通过分析材料特性参数（如晶体结构稳定性、体积膨胀率、离子电导率），判断其对电池整体性能（循环寿命、安全性、倍率性能）的影响，例如解释 “LFP 橄榄石结构稳定→循环寿命长”“硅基材料体积膨胀→循环性能差” 的逻辑。​  3. 通过实验观察与案例分析，提升对材料微观结构与宏观性能关联的理解能力，培养运用材料知识解决实际工程问题（如电池性能优化）的思维。​  **（三）素养目标​**  1. 认识到关键材料研发对锂离子电池技术突破的核心支撑作用（如 NMC 材料推动电动汽车续航提升），激发对材料科学与能源工程交叉领域的探索兴趣，树立专业使命感  2. 培养 “需求导向” 的工程思维，在材料选型与性能分析中，注重 “技术可行性” 与 “实际需求” 的匹配，避免单一追求参数最优，形成全面、务实的技术评估视角。​  3. 通过对比不同材料的优缺点（如 LCO 的性能与环保性矛盾），树立 “辩证看待技术” 的科学态度，理解材料研发中 “性能平衡” 的重要性（如能量密度与安全性的权衡）。 | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| 1. **正极材料​**   钴酸锂（LiCoO₂，LCO）  磷酸铁锂（LiFePO₄，LFP）  三元材料（NMC/NCA） | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **一、正极材料​**  **1.1 钴酸锂（LiCoO₂，LCO）​**  晶体结构：α-NaFeO₂型层状结构（R-3m 空间群），Li⁺位于层间间隙，CoO₂层为导电骨架，允许 Li⁺快速嵌入 / 脱嵌。​  核心性能：​  电压平台：3.6-3.7V（与石墨负极匹配，电池总电压约 3.7V）；​  比容量：实际比容量约 140mAh/g（理论比容量 274mAh/g，Li⁺脱嵌量约 0.5）；​  优势：合成工艺成熟、振实密度高（利于小型化）、放电电压平稳；​  劣势：Co 资源稀缺（成本高）、热稳定性差（过充易分解产氧，引发起火）、循环寿命较短（约 500 次）。​  应用场景：消费电子领域（智能手机、笔记本电脑），如苹果 iPhone 系列电池早期多采用 LCO 正极。​  **1.2 磷酸铁锂（LiFePO₄，LFP）**​  晶体结构：橄榄石型结构（Pnma 空间群），FeO₆八面体与 PO₄四面体构成三维骨架，Li⁺位于一维通道中迁移（迁移能垒较高）。​  核心性能：​  电压平台：3.2-3.3V（与石墨负极匹配，电池总电压约 3.2V）；​  比容量：实际比容量约 150mAh/g（理论比容量 170mAh/g，Li⁺脱嵌量接近 1）；​  优势：Fe 资源丰富（成本低）、热稳定性极佳（分解温度 > 600℃，无氧气释放）、循环寿命长（>3000 次）、无重金属污染（环保）；​  劣势：能量密度较低（电压 + 容量双重影响）、离子电导率低（需掺杂导电剂改善）、低温性能差（-20℃容量保持率 < 60%）。​  应用场景：储能系统（电网储能、家庭储能）、电动汽车（对成本与安全性敏感的车型，如比亚迪汉 EV 基础版）。​  **1.3 三元材料（NMC/NCA）​**  分类与结构：​  镍钴锰酸锂（LiNiₓCoᵧMn₁₋ₓ₋ᵧO₂，NMC）：层状结构（类似 LCO），通过调整 Ni、Co、Mn 比例优化性能（如 NMC532、NMC622、NMC811，Ni 含量越高，容量越高）；  镍钴铝酸锂（LiNiₓCoᵧAl₁₋ₓ₋ᵧO₂，NCA）：层状结构，Al 的加入提升结构稳定性，典型组成如 LiNi₀.8Co₀.15Al₀.05O₂。​  核心性能：​  电压平台：NMC 约 3.6-3.7V，NCA 约 3.6-3.8V；​  比容量：NMC811 实际比容量约 200mAh/g，NCA 实际比容量约 220mAh/g（均高于 LCO 与 LFP）；​  优势：能量密度高（当前商业化正极中最高）、倍率性能较好（Ni 含量适中时）；​  劣势：NMC 中 Ni 含量过高（如 NMC811）易导致结构坍塌（循环寿命下降），NCA 热稳定性较差（介于 LCO 与 LFP 之间）、合成难度大（对氧气 / 水分敏感）。​  应用场景：电动汽车（追求高续航车型，如特斯拉 Model 3 采用 NCA 正极、比亚迪海豹采用 NMC811 正极）、高端消费电子（平板电脑）。​  **1.4 正极材料性能对比与选型逻辑​**  ​  选型逻辑：根据 “能量密度需求→安全性需求→成本预算” 优先级排序，如消费电子（能量密度 > 安全性 > 成本）选 LCO，储能（安全性 > 成本 > 能量密度）选 LFP，高端电动车（能量密度 > 安全性 > 成本）选 NMC811/NCA。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| 正极材料特性辨析（10 分）​  请对比钴酸锂（LCO）、磷酸铁锂（LFP）、NMC811 三种正极材料，完成以下表格，并补充 “典型应用场景” 对应的选择理由（每空 2 分，选择理由每点 1 分）：​  ​   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 材料​ | 晶体结构类型​ | 电压平台（V） | 实际比容量（mAh/g） | 核心优势​ | ​典型应用场景及选择理由 | | LCO |  |  |  |  |  | | LFP |  |  |  |  |  | | NMC811 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |   ​ | | | | | |

## 教学单元三

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 3/2 | 章节 | 第2章 | 日期 | 2025-12-22 |
| **教学目标** | | | | | |
| **（一）知识目标​**  1. 深入理解负极材料（石墨、硬碳、LTO、硅基材料）的储锂机理（如石墨的嵌入型储锂、硅基材料的合金化储锂），熟练对比各类材料的性能参数（如石墨理论容量 372mAh/g、硅基材料理论容量 4200mAh/g），明确不同材料面临的技术挑战（如硅基材料体积膨胀率高、硬碳首次库仑效率低）。​  2. 全面掌握电解质与辅助材料的核心知识：液态电解质中锂盐（如 LiPF₆）的离子传导作用、溶剂（如碳酸酯类）的溶解能力、添加剂（如成膜剂）的功能；了解固态电解质的分类（聚合物、氧化物、硫化物）与优势；明确隔膜的 “隔电子、过离子” 作用、粘结剂的界面结合要求、导电剂的电子传导需求。​  建立 “材料特性→电池性能” 的关联逻辑，如负极材料容量影响电池能量密度、电解质离子电导率影响电池倍率性能。​  **（二）能力目标​**  1. 具备基于应用场景需求（如消费电子需高能量密度、储能需高安全性），对正极、负极、电解质进行初步选型的能力，例如为电动汽车动力电池选择 NMC 三元材料（高能量密度），为家庭储能电池选择 LFP 正极 + 石墨负极（高安全性 + 长寿命）。​  2. 能够通过分析材料特性参数（如晶体结构稳定性、体积膨胀率、离子电导率），判断其对电池整体性能（循环寿命、安全性、倍率性能）的影响，例如解释 “LFP 橄榄石结构稳定→循环寿命长”“硅基材料体积膨胀→循环性能差” 的逻辑。​  3. 通过实验观察与案例分析，提升对材料微观结构与宏观性能关联的理解能力，培养运用材料知识解决实际工程问题（如电池性能优化）的思维。​  **（三）素养目标​**  1. 认识到关键材料研发对锂离子电池技术突破的核心支撑作用（如 NMC 材料推动电动汽车续航提升），激发对材料科学与能源工程交叉领域的探索兴趣，树立专业使命感。  2. 培养 “需求导向” 的工程思维，在材料选型与性能分析中，注重 “技术可行性” 与 “实际需求” 的匹配，避免单一追求参数最优，形成全面、务实的技术评估视角。​  3. 通过对比不同材料的优缺点（如 LCO 的性能与环保性矛盾），树立 “辩证看待技术” 的科学态度，理解材料研发中 “性能平衡” 的重要性（如能量密度与安全性的权衡）。 | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| 2. **负极材料​：**石墨、硬碳、钛酸锂、硅基材料  3. **电解质与辅助材料​：**液态电解质、固态电解质 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **负极材料​**  **2.1 石墨（Graphite）​**  储锂机理：嵌入型储锂（非合金化），Li⁺嵌入石墨层间形成 LiC₆化合物，反应式为 C₆ + Li⁺ + e⁻ ↔ LiC₆，嵌入过程中石墨层间距仅从 0.335nm 扩大至 0.37nm（体积膨胀率 < 10%）。​  核心性能：​  比容量：理论比容量 372mAh/g，实际比容量约 360mAh/g（利用率 > 95%）；​  电压平台：0.1-0.2V（与正极匹配时，电池总电压稳定）；​  优势：层状结构稳定（循环寿命长，>3000 次）、体积膨胀率低（安全性高）、电子电导率高（无需大量导电剂）、成本低（天然石墨资源丰富）；​  劣势：理论容量较低（限制电池能量密度提升）、低温性能一般（Li⁺嵌入动力学慢）、易形成锂枝晶（快充时风险增加）。​  应用场景：商业化锂离子电池主流负极材料，覆盖消费电子、电动汽车、储能全领域。​  **2.2 硬碳（Hard Carbon，HC）​**  储锂机理：混合储锂（表面吸附 + 微孔嵌入），Li⁺既吸附在硬碳表面缺陷位，又嵌入无定形碳的微孔结构中，无明确的 LiC₆化合物形成。​  核心性能：​  比容量：实际比容量约 400-500mAh/g（高于石墨）；​  电压平台：0.05-0.3V（电压范围较宽，放电曲线倾斜）；​  优势：首次充放电效率较高（约 85%-90%）、低温性能优于石墨（Li⁺迁移阻力小）、无锂枝晶风险（表面储锂为主）；​  劣势：循环寿命较短（约 1500 次，微孔结构易坍塌）、振实密度低（影响电池体积能量密度）、成本高于石墨。​  应用场景：钠离子电池负极（主流选择）、锂离子电池高容量需求场景（如无人机电池）。​  **2.3 钛酸锂（Li₄Ti₅O₁₂，LTO）​**  储锂机理：嵌入型储锂（“零应变” 材料），Li⁺嵌入尖晶石结构的四面体间隙，反应式为 Li₄Ti₅O₁₂ + 3Li⁺ + 3e⁻ ↔ Li₇Ti₅O₁₂，储锂过程中晶格常数变化 < 0.1%（体积膨胀率≈0）。​  核心性能：​  比容量：理论比容量 175mAh/g，实际比容量约 160mAh/g；​  电压平台：1.55V（与正极匹配时，电池总电压较低，如与 LFP 匹配约 1.65V）；​  优势：“零应变” 特性（循环寿命极长，>10000 次）、安全性极高（无锂枝晶、热稳定性好）、倍率性能优异（10C 放电容量保持率 > 90%）；​  劣势：电压平台高（导致电池能量密度低）、电子电导率低（需包覆导电层改善）、成本高（Ti 资源价格较高）。​  应用场景：特种储能（如备用电源、基站储能，需超长寿命）、快充电池（如电动大巴快充电池）。​  **2.4 硅基材料（Si-based Materials）​**  储锂机理：合金化储锂，Li⁺与 Si 形成 Li-Si 合金（如 Li₁₅Si₄、Li₂₂Si₅），反应式为 Si + 4.4Li⁺ + 4.4e⁻ ↔ Li₄.₄Si。​  核心性能：​  比容量：理论比容量 4200mAh/g（约为石墨的 11 倍），实际比容量约 1500-2000mAh/g（受体积膨胀限制）；​  优势：容量极高（可大幅提升电池能量密度）、Si 资源丰富（地壳含量第二）、电压平台与石墨接近（0.1-0.4V）；​  劣势：体积膨胀率高（储锂后体积膨胀 300%-400%，导致电极开裂、活性物质脱落）、首次库仑效率低（约 70%-80%，表面形成厚 SEI 膜）、循环寿命短（约 500 次，结构易破坏）。​  应用场景：下一代高能量密度电池（如苹果、特斯拉研发的硅基负极电池），当前多采用 “硅 - 石墨复合” 方案（硅含量 5%-10%，平衡容量与稳定性）。​  **2.5 负极材料性能对比与选型逻辑​**  性能对比表（核心参数）：​  ​​  选型逻辑：根据 “能量密度需求→循环寿命需求→成本预算” 排序，如常规电池（平衡性能）选石墨，高寿命特种场景选 LTO，下一代高能量密度电池选硅 - 石墨复合。  **电解质与辅助材料​**  **3.1 液态电解质（Li-ion Liquid Electrolyte）​**  组成与功能：由锂盐、溶剂、添加剂按一定比例混合而成，核心功能是传导 Li⁺（不传导电子），确保电池充放电时离子顺畅迁移。​  各组分详解：​  **锂盐：​**  主流类型：六氟磷酸锂（LiPF₆），离子电导率高（25℃时约 10mS/cm）、与电极相容性好；​其他类型：双氟磺酰亚胺锂（LiFSI，低温性能好但成本高）、双三氟甲磺酰亚胺锂（LiTFSI，腐蚀性强）；​  核心要求：高离子电导率、高化学稳定性（不与电极反应）、低毒性。​  **溶剂：**​  主流类型：碳酸酯类混合溶剂，如碳酸乙烯酯（EC，高介电常数，利于锂盐解离）+ 碳酸二甲酯（DMC，低粘度，利于 Li⁺迁移）；​  核心要求：高介电常数（>30）、低粘度（<5cP）、宽液态范围（-40℃~80℃）、高闪点（安全性）。​  **添加剂（含量 1%-5%）：​**  成膜剂：如碳酸亚乙烯酯（VC），在负极表面形成稳定 SEI 膜（阻止溶剂分解）；​  阻燃剂：如磷酸酯类，降低电解液易燃性；​  过充保护剂：如联苯（BP），过充时分解产生高电阻膜，阻止电流过大。​  液态电解质劣势：易漏液、易燃（引发电池起火）、低温性能差（-20℃以下离子电导率骤降）。​  **3.2 固态电解质（Solid-state Electrolyte，SSE）**​  分类与特性：硫化物、氧化物、高分子​  聚合物固态电解质：如聚氧化乙烯（PEO），柔性好（可加工性强）、成本低，但离子电导率低（室温 < 1mS/cm，需加热 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| **材料性能优化方案探究**  已知硅基负极存在 “体积膨胀率高（300%-400%）” 和 “首次库仑效率低（70%-80%）” 两大问题，查阅 1-2 篇相关文献（需标注文献来源），设计两种不同的优化方案（如结构设计、表面改性、复合改性等），并说明每种方案的作用机理。  **下一代电池材料对比思考（15 分）**  对比当前锂离子电池关键材料（如 LFP 正极、石墨负极、液态电解质）与钠离子电池对应材料（如层状氧化物正极、硬碳负极、醚类电解质），从 “资源储量”“成本”“能量密度”“安全性” 四个维度分析：为何钠离子电池被认为是 “大规模储能领域的潜在替代技术”？同时指出钠离子电池材料当前面临的最大技术瓶颈。 | | | | | |

## 教学单元四

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 4/2 | 章节 | 第3章 | 日期 | 2025-12-23 |
| **教学目标** | | | | | |
| **（一）知识目标​**  1. 系统掌握锂离子电池制造全流程的核心工序（电极制备、电芯组装、注液、化成、分容），明确各工序的操作目的（如涂布是为实现活性物质均匀负载、化成是为形成稳定 SEI 膜）及工艺参数（如辊压压力、化成电压）对电池性能（容量一致性、循环寿命）的影响规律。​  2. 清晰了解材料表征方法（XRD、SEM）的基本原理（如 XRD 通过晶体衍射峰分析物相结构、SEM 通过电子成像观察微观形貌）。​  3. 突破教学难点，深入理解 “化成工序与 SEI 膜形成的关联”（如化成电压控制对 SEI 膜致密性的影响）。​  **（二）能力目标​**  1. 具备根据电池性能需求（如高容量一致性、长循环寿命），分析制造工序中关键工艺参数（如涂布厚度、化成电流）调整方向的能力，例如为提升电极活性物质负载均匀性，提出优化涂布速度与刮刀间隙的方案。​​  2. 学会结合材料表征结果（如 XRD 物相分析、SEM 电极形貌观察）与电化学测试数据，综合判断电池性能优劣的原因（如 SEM 观察到电极开裂，结合充放电容量衰减，可判断是辊压过度导致活性物质脱落）。​  **（三）素养目标​**  1. 认识到制造工艺的精细化控制与标准化测试对电池性能稳定性、安全性的关键作用，树立 “工艺决定性能、标准保障安全” 的工程思维，培养对电池产业化流程的系统认知。​ | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| 1. 制造工艺： 电极制备（搅拌、涂布、辊压、分切）、电芯组装（卷绕、叠片）、注液、化成、分容。  2. 表征与测试： 材料表征方法（XRD, SEM）简介。 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **一、锂离子电池制造工艺​**  **1.1 电极制备工序​**  搅拌：​  目的：将活性物质（如 LFP 正极粉）、导电剂（如炭黑）、粘结剂（如 PVDF）与溶剂（如 NMP）混合，形成均匀分散的浆料，确保电极具有良好的导电性与粘结性。​  关键参数：搅拌转速（500-1500rpm）、搅拌时间（2-4h），参数影响（转速过低易导致分散不均，出现结块；时间过长易导致溶剂挥发，浆料粘度上升）。​  性能关联：浆料分散不均会导致电极局部导电不良，充放电时出现容量衰减快、倍率性能差的问题。​  涂布：​  目的：将搅拌好的浆料均匀涂覆在集流体（正极用铝箔、负极用铜箔）表面，控制活性物质的负载量（如正极负载量 15-25mg/cm²）。​  涂布方式：间歇式涂布（适用于小批量、异形电极）、连续式涂布（适用于大批量、标准化电极）。​  性能关联：涂布厚度不均会导致电池内部各区域容量不一致，循环过程中出现局部过充过放，缩短电池寿命。​  辊压：​  目的：对涂布后的湿电极（经烘干去除溶剂）进行压实，提升活性物质的堆积密度，减小电极厚度，提高电池体积能量密度。​  关键参数：辊压压力（10-30MPa）、辊压速度（1-5m/min）。​  性能关联：压力过小则堆积密度低，能量密度不足；压力过大易导致活性物质颗粒破碎、集流体变形，增加电池内阻。​  分切：​  目的：将辊压后的连续电极卷料，分切成符合电芯尺寸要求的极片（如长 50mm、宽 30mm 的矩形极片），确保极片边缘整齐，无毛刺。​  性能关联：极片毛刺易刺穿隔膜，导致正负极短路，引发电池安全隐患。​  **1.2 电芯组装与后续工序​**  电芯组装：​  卷绕式组装：将正极极片、隔膜、负极极片按 “正 - 隔 - 负 - 隔” 顺序叠放后，通过卷绕机卷成圆柱形或方形电芯（如 18650 圆柱电芯），优点是生产效率高，适用于大批量生产；缺点是极片对齐度要求高，易出现卷绕偏差。​  叠片式组装：将裁剪好的正极极片、隔膜、负极极片逐片叠合形成电芯（如软包电芯），优点是极片利用率高、容量一致性好；缺点是生产效率低，适用于高容量、异形电芯。​  性能关联：卷绕偏差或叠片错位会导致正负极重叠面积不均，电池容量分散性大。​  注液：​  目的：将液态电解质注入电芯内部，使电解质充分浸润极片与隔膜，确保锂离子能够在正负极间顺畅迁移。​  关键要求：在干燥环境（露点 <-40℃）下操作，防止水分进入电芯（水分会与电解质反应生成 HF，腐蚀电极材料）。​  性能关联：注液量不足会导致电解质浸润不充分，电池内阻增大、倍率性能差；注液过量易导致电芯漏液，引发安全问题。​  化成（教学难点关联内容）：​  目的：对注液后的电芯进行小电流充电（如 0.1C-0.2C），在负极表面形成稳定的 SEI 膜（固体电解质界面膜），SEI 膜能阻止溶剂分子嵌入负极，同时允许锂离子通过，是保障电池循环寿命与安全性的关键。​  工艺控制：化成电压通常控制在 3.0-3.8V（针对石墨负极），充电至该电压区间时，电解质在负极表面发生还原反应，生成 Li₂CO₃、LiF 等成分构成的 SEI 膜；若电压过高，SEI 膜易破裂，导致循环过程中持续生成新 SEI 膜，消耗锂离子与电解质。​  性能关联：化成工艺不当（如电流过大、电压控制不准）会导致 SEI 膜致密性差或不稳定，电池首次库仑效率低、循环寿命短。​  分容：​  目的：对化成后的电芯进行充放电循环测试（通常 1-3 次），筛选出容量、电压、内阻符合标准的合格电芯，剔除不合格品（如容量低于额定值 95%、内阻大于 50mΩ 的电芯）。​  测试参数：充电电流 0.5C、放电电流 1C，截止电压按电池体系设定（如 LFP / 石墨体系充电截止 3.6V、放电截止 2.5V）。​  性能关联：分容是保障电池组容量一致性的关键工序，不合格电芯混入电池组会导致 “拖垮效应”，缩短整个电池组的寿命。​  **二、锂离子电池表征与测试​**  **2.1 材料表征方法简介​**  X 射线衍射（XRD）：​  原理：利用 X 射线照射晶体材料，晶体原子对 X 射线产生衍射，不同物相的晶体具有独特的衍射峰（如 LFP 的特征衍射峰位于 2θ=25.6°、35.1°），通过分析衍射峰的位置、强度与半高宽，可确定材料的物相组成、结晶度与晶粒尺寸。​  应用场景：判断正极材料（如 NMC）是否存在杂质相、分析负极材料（如石墨）的层间距变化（循环后层间距增大可能导致结构坍塌）。​  扫描电子显微镜（SEM）：​  原理：通过发射电子束扫描材料表面，电子与材料表面原子相互作用产生二次电子，二次电子信号被探测器接收后成像，可观察材料的微观形貌（如电极表面活性物质的分散状态、隔膜的多孔结构）。​  应用场景：观察电极涂布后的表面平整度、分析循环后电极是否出现开裂或活性物质脱落、检查隔膜是否存在破损。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| 判断下述内容正确与否，并说明理由：  （1）充放电测试中，“电压平台越平缓” 说明电池的能量密度越高；  （2）CV 曲线中，“氧化峰与还原峰的峰电位差越小”，表明电极反应的可逆性越好；  （3）化成工序的核心作用是 “通过小电流充电，在正极表面形成稳定的 SEI 膜”；  （4）过充测试的目的是模拟 “电池被异物刺穿导致的短路失效场景”。  作业提交形式：Word 文档（附必要的图表或公式推导过程），提交截止时间为课后 10 天，逾期按 70% 计分；  鼓励结合课堂讨论内容与课外文献（如《Journal of Power Sources》相关论文），提出创新性观点，可额外加分（5-10 分）。 | | | | | |

## 教学单元五

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 5/2 | 章节 | 第3章 | 日期 | 2025-12-29 |
| **教学目标** | | | | | |
| **（一）知识目标​**  1.掌握电化学测试方法（充放电测试、CV、EIS）的核心原理，能准确区分不同测试方法的适用场景（如充放电测试用于获取容量与电压平台、CV 用于判断反应可逆性）。​  2. 全面认识锂离子电池常见安全测试（针刺、过充、热滥用）的测试标准（如过充测试电压上限、热滥用升温速率），理解各安全测试对应的失效场景（如针刺模拟电池被异物刺穿、过充模拟充电异常），明确安全标准对电池产业化的重要性。​  3. 突破教学难点，深入理解 “EIS 伯格阻抗与谱图特征的对应关系”（如高频区半圆对应电荷转移阻抗、低频区斜线对应离子扩散阻抗）。​  **（二）能力目标​**  1. 能够独立解读充放电曲线、CV 曲线与 EIS 谱图，从充放电曲线中提取容量、电压平台、库仑效率等信息，从 CV 曲线中判断电极反应的可逆性与峰值电流对应的反应电位，从 EIS 谱图中分析电池内阻（电荷转移阻抗、欧姆阻抗）大小，满足教学重点要求。​  2. 学会结合材料表征结果（如 XRD 物相分析、SEM 电极形貌观察）与电化学测试数据，综合判断电池性能优劣的原因（如 SEM 观察到电极开裂，结合充放电容量衰减，可判断是辊压过度导致活性物质脱落）。​  **（三）素养目标​**  1. 通过分析电化学测试谱图与工艺参数的关联，提升逻辑推理与数据分析能力，养成 “用数据说话、从原理解释现象” 的科学态度，如通过 EIS 谱图内阻变化解释电池循环寿命衰减的机理。​  2. 关注锂离子电池安全事故引发的社会问题，理解安全标准制定的行业价值与社会责任，激发对电池安全技术创新的探索兴趣，培养工程伦理素养。 | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| 1. 电化学测试方法（充放电测试、循环伏安法(CV)、电化学阻抗谱(EIS)）的原理与数据分析。  2. 安全性与标准： 常见安全测试（针刺、过充、热滥用）介绍与标准理解。 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **2.2 电化学测试方法**  充放电测试：​  原理：通过控制充电电流（恒流充电）或电压（恒压充电），记录电池在充放电过程中的电压 - 容量变化曲线，获取电池的容量、电压平台、库仑效率等关键参数。​  数据解读（教学重点）：​  容量：放电曲线与电压轴围成的面积（如 1C 放电容量为 1000mAh，说明电池额定容量达标）；​  电压平台：充放电曲线中电压基本稳定的区间（如 LCO / 石墨体系放电平台约 3.7V，平台越平缓，电压稳定性越好）；​  库仑效率：放电容量与充电容量的比值（如首次库仑效率 90%，说明首次循环中 SEI 膜形成消耗了 10% 的锂离子）。​  应用场景：评估电池的能量密度、循环寿命与倍率性能（如 5C 放电容量与 1C 放电容量的比值，反映倍率性能优劣）。​  循环伏安法（CV）：​  原理：在一定电压范围内（如 2.5-4.2V），以恒定的扫描速率（如 0.1mV/s）对电池施加线性变化的电压，记录电流随电压的变化曲线（CV 曲线），通过曲线中的氧化峰与还原峰判断电极反应的可逆性与反应电位。​  数据解读（教学重点）：​  反应可逆性：氧化峰与还原峰的峰电位差越小（如 < 0.1V）、峰电流比值越接近 1，说明反应可逆性越好（如石墨负极的 CV 曲线中，氧化峰与还原峰对称，可逆性优异）；​  反应电位：还原峰对应锂离子嵌入反应（如石墨负极还原峰约 0.1V），氧化峰对应锂离子脱嵌反应（如石墨负极氧化峰约 0.2V）。​  应用场景：研究电极材料的电化学反应机理（如判断硅基负极是否发生合金化反应）、评估电池的氧化还原稳定性。​  电化学阻抗谱（EIS）（教学难点关联内容）：​  原理：在一定频率范围内（如 10⁻²-10⁵Hz），对电池施加小幅值的正弦交流电压，测量电池的阻抗随频率的变化，通过阻抗谱图（Nyquist 图）分析电池内部的阻抗组成（欧姆阻抗、电荷转移阻抗、离子扩散阻抗）。​  谱图解读与难点突破（教学重点与难点）：​  Nyquist 图由高频区、中高频区、低频区三部分组成：​  高频区：与实轴的交点对应欧姆阻抗（Rₛ），包括电解质阻抗、集流体阻抗与电极接触阻抗，该值越小，电池导电性能越好；​  中高频区：半圆对应电荷转移阻抗（Rct，伯格阻抗的核心组成），半圆直径越大，电荷在电极 / 电解质界面的转移阻力越大（如循环后 Rct 增大，说明界面反应动力学变差）；​  低频区：斜线对应锂离子在电极材料内部的扩散阻抗（Warburg 阻抗），斜线斜率越大，离子扩散速率越快；​  难点突破：结合等效电路（如 Rₛ-(Rct-CPE)-W，CPE 为常相位元件，W 为 Warburg 阻抗）拟合谱图，将抽象的阻抗组成与实际谱图特征对应，例如某电池高频区交点右移，说明欧姆阻抗增大，可能是电解质干涸导致。​  应用场景：分析电池循环过程中内阻的变化规律、诊断电池失效原因（如 Rct 急剧增大可能是 SEI 膜破裂导致）。​  **三、锂离子电池安全性与标准**​  **3.1 常见安全测试方法​**  针刺测试：​  测试场景：模拟电池在使用过程中被异物（如金属碎屑、尖锐物体）刺穿的情况。​  测试标准：采用直径 1-3mm 的钢针，以 5-10mm/s 的速度垂直刺穿电芯中心，观察电池是否出现起火、爆炸、漏液等现象。​  失效机理：针刺导致隔膜破损，正负极直接接触发生短路，产生大量热量，引发电解质燃烧。​  过充测试：​  测试场景：模拟电池充电过程中充电器故障（如电压失控）导致的过充情况。​  测试标准：以 1C 电流对电池充电，直至电压达到额定电压的 1.5-2 倍（如额定 3.7V 的电池充至 5.5-7.4V），或充电时间达到正常充电时间的 2 倍，观察电池状态。​  失效机理：过充导致正极材料过度脱锂（结构坍塌）、负极析出金属锂（形成锂枝晶），锂枝晶刺穿隔膜引发短路，同时过度脱锂的正极释放氧气，与电解质反应放热，引发热失控。​  热滥用测试：​  测试场景：模拟电池在高温环境下（如夏季暴晒、邻近热源）的使用情况。​  测试标准：将电池置于恒温箱中，以 5-10℃/min 的速率升温至 130-200℃，并保温 30min，观察电池是否出现热失控（如冒烟、起火、爆炸）。​  失效机理：高温导致 SEI 膜分解（失去保护作用）、电解质挥发（内阻增大）、正极材料释放氧气，氧气与负极活性物质、电解质发生剧烈反应，释放大量热量，形成 “热失控链式反应”。​  **3.2 安全标准与行业意义​**  主流安全标准：介绍国际电工委员会（IEC）、美国保险商实验室（UL）、中国国家标准（GB）的相关标准，如 IEC 62133（便携式二次电池安全标准）、GB/T 31485（电动汽车用动力蓄电池安全要求），明确不同应用场景（消费电子、电动汽车）的安全测试指标差异（如电动汽车电池的热滥用温度上限更高）。​  标准的行业意义：安全标准是电池产业化的 “准入门槛”，规范了电池的设计、生产与测试流程，保障了消费者使用安全，同时促进了电池企业技术创新（如开发耐高温正极材料、阻燃电解质以满足更高安全标准）。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| **1. 制造工艺目的与性能关联（15 分）​**  请简述下列制造工序的核心目的，并分析 “工艺参数异常” 对电池性能的影响：​  （1）电极制备中的 “辊压” 工序；​  （2）电芯组装中的 “卷绕 / 叠片” 对齐度控制；​  （3）注液工序的 “干燥环境要求”（露点 <-40℃）；​  （4）化成工序的 “小电流充电”（0.1C-0.2C）；​  （5）分容工序的 “容量筛选标准”（如额定容量 95%）。​  **2. 材料表征方法应用​**  针对下列电池性能问题，选择最适合的材料表征方法（XRD/SEM），并说明选择理由：  （1）某 LFP 正极电池循环后容量大幅衰减，怀疑正极材料发生物相变化；​  （2）某电池充放电时内阻异常增大，怀疑电极涂布过程中出现活性物质团聚。  作业提交形式：Word 文档（附必要的图表或公式推导过程），提交截止时间为课后 10 天，逾期按 70% 计分；  鼓励结合课堂讨论内容与课外文献（如《Journal of Power Sources》相关论文），提出创新性观点，可额外加分（5-10 分）。 | | | | | |

## 教学单元六

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 6/2 | 章节 | 第4章 | 日期 | 2025-12-30 |
| **教学目标** | | | | | |
| 1. 从电芯到电池包： 电池包的机械结构、电气连接、热管理系统（风冷、液冷）。  2. 电池管理系统（BMS）： 核心功能：电压/电流/温度监测、荷电状态（SOC）估算、健康状态（SOH）估算、均衡功能、热管理、故障诊断。 | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| **（一）知识目标**  1. 系统掌握电池包的组成体系，明确机械结构（壳体、固定装置）的防护与支撑要求（如防水 IP67/IP68、抗冲击）、电气连接（电芯串并联、铜排 / 连接器）的导电与安全设计（如铜排截面积匹配电流），深入理解风冷、液冷热管理系统的工作原理、控温精度及适用场景，清晰认知热管理对电池安全性（防热失控）与寿命（减缓容量衰减）的关键作用（教学重点）。  2. 全面掌握电池管理系统（BMS）的六大核心功能，重点理解电压 / 电流 / 温度监测的精度标准（电压 ±10mV、电流 ±1%、温度采样点间距 < 10cm），精准掌握 SOC（荷电状态，0%-100% 反映剩余电量）与 SOH（健康状态，新电池 100%、退役 < 80% 反映老化程度）的概念及工程价值，熟悉均衡控制（电压偏差 < 20mV）、热管理联动、故障诊断（10ms 内切断高压）的实现逻辑（教学重点）。  1. 能够对比电动汽车与储能系统电池系统的差异，掌握前者 “高能量密度（续航> 500km）、宽温域（-30℃~60℃）” 与后者 “长循环寿命（>10000 次）、低成本” 的核心需求，明确两者在热管理方案（电动车液冷、储能风冷为主）、BMS 功能侧重（电动车高精度 SOC、储能 SOH 监测）上的区别。  2. 突破教学难点，理解 SOC 三大估算算法的基本思想（安时积分法 “积分电流算电量”、开路电压法 “OCV-SOC 对应查表”、卡尔曼滤波法 “融合两种算法修正误差”）及误差来源（如安时积分电流测量偏差、开路电压静置时间不足）；明晰电芯 “一致性”（容量 / 电压 / 内阻偏差 < 5%）对电池包的影响机制（低一致性导致局部过充过放、容量被 “拖垮”）。  3. 了解梯次利用（退役电池 SOH70%-80% 用于储能）与回收（物理拆解、化学提锂钴镍）的基本概念、核心流程及行业意义（降本、环保、资源循环）。  **（二）能力目标**  具备根据应用场景选择电池包热管理方案的能力，例如能判断 “北方寒冷地区电动车选液冷（控温均匀可加热）、小型储能柜选风冷（成本低）”，并说明选型逻辑。  能够结合 BMS 功能诊断电池系统常见故障，如通过 “电芯电压异常低” 判断 “电芯老化（SOH 低）或连接松动”，通过 “SOC 估算偏差大” 分析 “电流传感器误差或算法未校准”，形成系统故障排查思维。  学会从 “一致性” 角度分析电池包性能问题，例如解释 “4 串电芯中 1 个容量 90Ah，整包容量 = 90Ah× 并联数，而非 100Ah× 并联数”，并提出提升一致性的措施（电芯分选、BMS 均衡）。  **（三）素养目标**  认识到 “电池系统集成” 是连接电芯技术与实际应用的关键，理解 “单一电芯优≠电池包优”，树立 “系统工程思维”，培养对电池产业化全链条的认知。  通过分析电动车与储能的差异化需求，体会 “技术适配场景” 的工程逻辑，激发对新能源应用领域创新的兴趣，增强专业使命感。  了解梯次利用与回收对 “双碳” 目标的意义，树立环保与可持续发展理念，培养工程伦理素养。 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **一、从电芯到电池包（1 学时，含教学重点 “热管理”）**  **1.1 电池包的核心组成**  机械结构：  壳体：承担防水（IP67/IP68）、防尘、抗冲击功能，电动汽车电池包需承受 100kN 以上挤压，常用材料为铝合金（轻量化）、高强度钢（低成本），举例 “特斯拉 4680 电池包壳体厚度 3mm，重量减轻 15%”。  固定装置：电芯支架、隔板，用于固定电芯避免振动位移，防止隔膜破损短路，例如 “储能电池包用 PP 支架，耐高温且绝缘”。  电气连接：  电芯串并联：串联提电压（如 96 串 LFP 电芯，总电压≈307V）、并联提容量（如 4 并 100Ah 电芯，总容量 400Ah），公式 “总电压 = 单电芯电压 × 串联数，总容量 = 单电芯容量 × 并联数”。  铜排 / 连接器：铜排截面积需匹配电流（100A 电流需≥10mm²），连接器需防误插、防漏电，举例 “高压连接器绝缘电阻需> 500Ω/V，避免触电风险”。  **1.2 热管理系统（教学重点）**  核心目标：控制电池温度 25-40℃，温差 <5℃，避免高温（>50℃加速 SEI 分解）、低温（<0℃锂枝晶析出）。  主流方案对比：  方案 工作原理 控温精度 成本 适用场景  风冷 风扇驱动空气流经电芯散热 / 加热 温差 5-8℃ 低（约 100 元 /kWh） 小型储能柜、低速电动车  液冷 冷却液（乙二醇水溶液）循环换热 温差 < 3℃ 高（约 300 元 /kWh） 电动汽车、大型储能系统  性能关联：举例 “液冷电动车在 60℃环境下循环 500 次，容量衰减 20%；风冷衰减 40%”，说明热管理对寿命的影响。  **二、电池管理系统（BMS）核心功能（1.5 学时，含教学重点与难点）**  **2.1 BMS 架构与基础功能**  架构：从控单元（BMU，每 10 电芯 1 个）采集电压 / 温度，主控单元（BCU）接收数据，实现全局控制，通过 CAN 总线通信。  状态监测：  电压监测：精度 ±10mV，防止过充（LCO>4.2V）、过放（<2.5V），举例 “电压误差 10mV，SOC 估算偏差可达 3%”。  电流监测：精度 ±1%，用于 SOC 估算，采用分流器或霍尔传感器。  温度监测：NTC 热敏电阻，采样点间距 < 10cm，避免局部高温未检测。  **2.2 SOC 与 SOH 估算（教学重点）**  SOC：定义 “剩余电量 / 额定容量 ×100%”，作用是 “告知续航（如 SOC30%≈150km）”，工程要求误差 < 5%。  SOH：定义 “当前额定容量 / 初始额定容量 ×100%”，作用是 “判断老化（SOH<80% 退役）”，举例 “新电池 100Ah，循环 1000 次后 80Ah，SOH=80%”。  **2.3 SOC 估算算法（教学难点）**  安时积分法：公式 “SOC=SOC 初始 + （∫充放电电流 dt）/ 额定容量”，思想 “积分电流算电量变化”，误差来源：电流测量偏差（±1% 导致 1 个月误差 10%）、自放电未计入。  开路电压法：思想 “OCV 与 SOC 存在固定对应关系（如 LFP OCV=3.3V→SOC50%）”，误差来源：静置时间不足（需 2 小时以上，否则电压未稳定）、温度影响（-20℃ OCV3.3V→SOC40%）。  卡尔曼滤波法：思想 “融合安时积分（实时性好）与开路电压（精度高），迭代修正误差”，优势是误差 < 5%，局限是算法复杂、需算力支持。  **2.4 一致性问题（教学难点）**  定义：电芯容量 / 电压 / 内阻偏差，合格标准 < 5%。  影响：  容量限制：串联通电芯 “短板效应”，如 4 串 100Ah+1 个 90Ah，整包容量 = 90Ah× 并联数，而非 100Ah× 并联数。  安全风险：低一致性导致局部过充，析出锂枝晶短路，举例 “某电池包因 1 个电芯电压比其他高 0.2V，循环 50 次后短路起火”。  提升措施：电芯分选（分容时按参数分组）、BMS 均衡（被动消耗高电压电芯电量，主动转移电量）、优化热管理（减少温差）。  **2.5 BMS 其他功能**  均衡功能：控制电芯电压偏差 <20mV，避免 “高电压电芯过充、低电压电芯过放”。  热管理联动：温度 > 40℃启动散热，<5℃启动加热（PTC 加热器）。  故障诊断：检测过充 / 过放 / 过流 / 超温 / 绝缘故障，10ms 内切断高压回路，发送故障信号。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| **BMS 核心功能与 SOC/SOH 概念​**  （1）解释 BMS 中 “电压监测精度 ±10mV”“温度采样点间距 < 10cm” 的工程意义，若电压监测误差达 50mV，会对电池系统造成哪些影响（6 分）；​  （2）定义 SOC 与 SOH 的概念，说明两者的核心区别（如 “反映的电池状态不同”），并举例说明 “SOH=70% 的退役动力电池” 为何仍可用于储能场景 | | | | | |

## 教学单元七

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 7/2 | 章节 | 第4章 | 日期 | 2026-1-5 |
| **教学目标** | | | | | |
| 3. 应用案例： 剖析电动汽车和储能系统的电池系统特点与要求。  4. 梯次利用与回收概念简介。 | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| 1. 应用案例： 剖析电动汽车和储能系统的电池系统特点与要求。  2. 梯次利用与回收概念简介。 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| 课堂讲授、实例分析、课堂讨论、自主学习法 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **三、应用案例剖析**  **3.1 电动汽车电池系统**  核心需求：高能量密度（>250Wh/kg，续航 > 500km）、高功率密度（支持 15 分钟快充）、宽温域（-30℃~60℃）。  系统特点：  热管理：液冷为主（控温均匀），如特斯拉 Model 3 液冷板贴附电芯，温差 < 3℃。  BMS：侧重高精度 SOC（卡尔曼滤波法，误差 < 5%）、快速故障诊断（碰撞后 10ms 断电）、低温预热（-20℃加热至 5℃再充电）。  结构：比亚迪刀片电池取消模组，电芯集成壳体，空间利用率从 70% 升至 85%。  **3.2 储能系统电池系统**  核心需求：长循环寿命（>10000 次）、低成本（度电 < 0.3 元）、低维护。  系统特点：  热管理：风冷为主（成本低），大型储能用液冷，如阳光电源 1500V 储能柜用风冷，度电成本降 10%。  BMS：侧重 SOH 监测（及时更换老化电芯）、充放电策略（峰谷套利，SOC20%-80% 循环）、绝缘监测（绝缘电阻 > 1MΩ）。  电芯选型：LFP 为主（循环寿命长、安全），如宁德时代 280Ah LFP 电芯，循环 12000 次容量衰减 < 20%。  **四、梯次利用与回收（0.5 学时）**  **4.1 梯次利用**  定义：退役动力电池（SOH70%-80%）用于储能、低速车、基站备用电源，举例 “某退役电动车电池 SOH75%，重组后用于家庭储能，循环 5000 次仍可用”。  流程：退役电池→检测（容量 / 内阻）→筛选（SOH>70%）→重组（重新串并联 + 新 BMS）→应用。  价值：降本（梯次电池成本为新电池 50%-70%）、延长生命周期。  **4.2 电池回收**  定义：对 SOH<50% 的电池，提取有价金属（Li、Co、Ni）与可再利用材料（铜箔、铝箔）。  主流工艺：  物理法：拆解→破碎→分选（分离铜箔、铝箔、正极粉末）。  化学法：酸浸（硫酸 + 双氧水溶解正极）→萃取→沉淀（提取 Li、Co、Ni，纯度 > 99.9%）。  意义：缓解资源短缺（1 吨 NMC 电池提 0.08 吨 Li、0.2 吨 Co）、减少重金属污染。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| **梯次利用与回收基础认知​**  1. 简述退役动力电池梯次利用的核心流程（从退役到应用），并说明 “电芯筛选” 环节的关键指标（如 SOH、内阻）；​  2. 对比电池回收中 “物理法” 与 “化学法” 的核心步骤与优势，分析 “从 1 吨 NMC 电池中提取 Li、Co” 的行业价值。 | | | | | |

## 教学单元八

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 课次/学时 | 8/2 | 章节 | 第5章 | 日期 | 2026-1-6 |
| **教学目标** | | | | | |
| 了解应用电化学的发展历史研究内容，应用领域。掌握电化学体系的基本单元，掌握两种电化学池及半反应法配平氧化还原反应。 | | | | | |
| **教学内容** | | | | | |
| 1. 当前锂离子电池的技术瓶颈（能量密度、成本、安全、快充）。  2. 下一代电池技术：固态电池（不同技术路线）、钠离子电池、锂硫电池等简介与对比。  3. 开放式讨论：对未来技术路线、市场格局和发展机遇的探讨。 | | | | | |
| **教学方法** | | | | | |
| **（一）知识目标**  1. 系统掌握当前锂离子电池的四大技术瓶颈：能量密度天花板（现有体系约 300Wh/kg，难以满足长续航需求）、成本压力（锂 / 钴资源稀缺推高原材料成本）、安全隐患（液态电解质易燃导致热失控）、快充限制（高倍率充电易引发锂枝晶），明确各瓶颈的技术根源（如能量密度受限于正负极材料理论容量）。  2. 清晰了解下一代电池技术的核心类型：固态电池（半固态、全固态，氧化物 / 硫化物 / 聚合物电解质路线）、钠离子电池、锂硫电池的基本原理（如锂硫电池基于 S 与 Li 的氧化还原反应储锂），准确对比各类技术的潜在优势（如钠离子电池资源丰富、固态电池安全性高）与核心挑战（如锂硫电池穿梭效应、固态电池界面阻抗大）（教学重点）。  3. 建立 “技术原理 - 性能表现 - 产业化可行性” 的关联认知，能够基于前四章所学的材料、工艺、系统集成知识，初步判断不同技术路线的发展潜力（如半固态电池因兼容性高，产业化速度快于全固态电池）。  **（二）能力目标**  1. 具备对不同电池技术路线进行对比分析的能力，例如能从 “能量密度、成本、安全性、产业化难度” 四个维度，对比固态电池与钠离子电池的适用场景（如固态电池适配高端电动车、钠离子电池适配储能）（教学重点）。  2. 培养基于技术原理的批判性思维，能够客观分析 “半固态电池量产时间表”“钠离子电池对锂离子电池的替代边界” 等行业热点，避免盲目相信技术概念（教学重点）。  3. 学会将前四章知识（如电极材料储锂机理、电解质离子传导特性）迁移应用，对未来技术发展进行有依据的推测（如基于固态电解质高离子电导率需求，推测氧化物电解质可能优先实现产业化）（教学难点）。  **（三）素养目标**  1. 认识到电池技术迭代的渐进性与复杂性，理解 “概念验证≠产业化落地”，树立 “尊重技术规律、理性看待创新” 的科学态度，避免急功近利的技术认知。  2. 通过开放式讨论，激发对新能源技术前沿的探索兴趣，培养 “立足行业需求、结合技术原理” 的工程思维，增强对能源领域发展趋势的洞察力。  3. 体会材料、工艺、系统集成等多学科知识在技术创新中的协同作用，强化跨领域整合的专业素养，为后续科研或行业实践奠定思维基础。 | | | | | |
| **教学过程** | | | | | |
| **一、当前锂离子电池的技术瓶颈**  **1.1 四大核心瓶颈及技术根源**  **1. 能量密度瓶颈：**  现状：当前商用锂离子电池能量密度约 250-300Wh/kg（三元体系），理论天花板受限于正负极材料（如石墨负极理论容量 372mAh/g，NMC811 正极理论容量 220mAh/g），难以满足电动汽车 “续航 1000km”“无人机长航时” 等需求。  案例：特斯拉 Model 3 电池能量密度 260Wh/kg，续航 600km；若要实现 1000km 续航，能量密度需突破 400Wh/kg，现有体系无法达成。  **2. 成本瓶颈：**  现状：原材料成本占电池总成本 60% 以上，锂（2024 年价格约 12 万元 / 吨）、钴（约 30 万元 / 吨）资源稀缺且分布不均（锂主要集中在智利、澳大利亚，钴主要集中在刚果），导致电池成本难以大幅下降（当前动力电池成本约 0.5 元 / Wh，储能电池约 0.3 元 / Wh，目标成本需降至 0.2 元 / Wh 以下）。  **3. 安全瓶颈：**  根源：液态电解质（碳酸酯类）易燃、易漏液，当电池发生短路或过热时，电解质分解产生可燃气体，引发起火爆炸；即使采用阻燃添加剂，仍无法完全避免热失控风险（如 2024 年某品牌电动车充电起火事故，根源为液态电解质燃烧）。  **4. 快充瓶颈：**  现状：当前主流快充技术为 “15 分钟充至 80%”，进一步提升快充速度（如 10 分钟充至 80%）会导致：① 负极析出锂枝晶（高电流下 Li⁺嵌入速度赶不上沉积速度）；② 正极材料结构坍塌（快速脱锂导致晶格破坏），缩短电池寿命。  **二、下一代电池技术简介与对比（1 学时，教学重点）**  **2.1 固态电池（核心技术路线）**  基本原理：用固态电解质（无液态成分）替代传统液态电解质，同时可搭配金属锂负极（理论容量 3860mAh/g），大幅提升能量密度与安全性。  **2.2钠离子电池**  **基本原理：**以 Na⁺作为电荷载体，正极采用层状氧化物（如 NaNi₁/3Co₁/3Mn₁/3O₂）或普鲁士蓝类似物，负极采用硬碳，电解质为钠盐电解液，工作原理与锂离子电池类似（摇椅式）。  **优势：**  资源丰富：钠在地壳中含量 2.36%（锂仅 0.0065%），成本低（钠盐价格为锂盐的 1/10）；  安全性**高：**硬碳负极无锂枝晶风险，电解液燃点高；  **挑战：**  1. 能量密度低：当前商用体系约 160-180Wh/kg（低于三元锂电池），难以满足电动车需求；  2. 循环寿命短：正极材料 Na⁺脱嵌导致结构稳定性差，循环寿命约 1000 次（低于 LFP 电池的 3000 次）；  10. 适用场景：大规模储能（对能量密度要求低，对成本敏感）、低速电动车。  **2.3 锂硫电池**  **基本原理：**正极采用硫（理论容量 1675mAh/g），负极采用金属锂（理论容量 3860mAh/g），充放电过程基于 “S₈与 Li⁺反应生成 Li₂S” 的氧化还原反应，能量密度理论值达 2600Wh/kg。  **优势：**  能量密度极高（理论值是锂离子电池的 8 倍以上），可满足 “续航 1500km” 电动车需求；  成本低：硫在地壳中含量丰富（约 0.048%），价格仅为钴的 1/100；  **挑战：**  穿梭效应：充放电过程中，可溶性多硫化物（Li₂Sₙ，4≤n≤8）从正极迁移至负极，导致活性物质流失、库仑效率低（<80%）；  体积膨胀：硫转化为 Li₂S 时体积膨胀 80%，导致电极开裂、循环寿命短（<500 次）；  产业化前景：短期（5 年）难以商用，需突破多硫化物抑制（如正极包覆、隔膜改性）与体积膨胀控制技术，长期适配航空航天、高端电动车等场景。 | | | | | |
| **课外作业** | | | | | |
| **1. 固态电池技术路线产业化前景分析**  某企业计划布局固态电池研发，需在 “半固态电池”“全固态氧化物电池”“全固态硫化物电池” 中选择优先研发方向。请结合以下维度分析：  （1）制造工艺兼容性：对比三类技术与现有锂离子电池产线（如涂布、辊压）的适配性，说明 “为何半固态电池短期更易量产”；  （2）成本与市场需求：结合 “高端电动车对高能量密度的需求”“储能对成本的敏感”，判断各类技术的目标市场优先级；  （3）技术成熟度：参考行业报告（需标注来源），预估三类技术的量产时间线，说明判断依据。  **2. 下一代电池技术创新方案设计​**  针对某一类下一代电池技术的核心挑战（如锂硫电池的穿梭效应、固态电池的界面阻抗），结合材料、工艺或系统集成知识（可关联第二章 “电极材料改性”、第三章 “制造工艺优化”），设计 1 种创新解决方案：​  （1）说明该技术的核心挑战是什么；​  （2）详细阐述创新方案的设计思路（如 “通过正极包覆碳纳米管抑制锂硫电池穿梭效应”），及方案的科学依据；​  （3）分析方案的可行性（如技术难度、成本优势、产业化潜力） | | | | | |

# **8. 课程要求**

## 8.1学生自学的要求

学生需在课前对锂离子电池的相关基础概念（如电压、容量、能量密度）进行预习；课后围绕课程核心——**材料构效关系、制造工艺与系统应用**——进行复习和深化。自学中应有意识地**对比不同正负极材料体系的优缺点**，**分析不同应用场景对电池性能的差异化需求**，并**通过完成设计性、分析性的课后作业来巩固知识**，逐步培养解决电池领域复杂工程问题的能力。

## 8.2课外阅读的要求

课外阅读不应局限于教材。学生应主动通过**中国知网（CNKI）、Web of Science、IEEE Xplore等数据库**，检索和阅读锂离子电池领域**近五年的高水平综述论文和研究论文**，以了解技术前沿。同时，关注如**中国化学与物理电源行业协会（CIAPS）网站等行业分析报告**，了解市场动态和技术产业化现状。阅读时应着重理解各章节知识（如材料化学与系统集成）之间的内在联系，并形成对产业技术链的整体认知。

## 8.3课堂讨论的要求

课堂讨论将围绕锂离子电池领域的**核心议题和真实案例**展开，例如‘**高镍三元与磷酸铁锂的技术路线之争**’、‘**固态电池产业化面临的挑战**’或‘**某电动汽车电池包热失控事故原因分析**’。学生应基于所学原理，积极参与讨论，敢于提出自己的见解和初步解决方案。鼓励对技术方案进行**多角度批判性评价**（如性能、成本、安全、环境影响）。课后需对讨论内容进行梳理和总结，**形成简短的技术分析笔记或方案设计提纲**。

## 8.4课程实践的要求

软件工具实践：学习使用数据分析软件（如Origin） 处理充放电测试数据，绘制曲线并拟合模型参数。虚拟实验与设计方面，完成电池系统设计作业（如为特定用途设计电池包），进行材料选择、串并联计算、BMS功能规划和经济性分析。安全规范学习方面，熟悉并讨论锂离子电池的安全测试标准（如UL 1642, GB 38031） 和运输规范，建立产品安全意识和工程规范意识。

# **9．课程考核**

## 9.1出勤（迟到、早退等）、作业、报告的要求

在上课期间，要求同学们不能无故迟到、早退或缺课，不能来上课必须要向老师请假，老师将进行不定期点名，出勤情况将计入平时成绩。旷课一次扣平时成绩10分，累计超过总课时的20%者，取消考核资格；迟到一次扣5分。通过课堂互动、小组讨论、问题回答等各种形式理解本门课程主要内容，掌握精细化工催化技术相关知识。若缺课过多、过于频繁，影响本门课程学习。

老师布置的作业主要有课堂作业、课后习题、讨论报告、论文等形式，同学们必须按时按量完成作业，要求作业做在作业本上，用钢笔、签字笔书写清楚，化学专业语言和符号要求书写准确、规范，尽可能要抄题，报告和论文可以用电脑打印，老师将至少批改作业的1/3，每次登记作业及报告情况，作为期末计算平时成绩的依据。

## 9.2成绩的构成与评分规则说明

该门课程是成绩采用五级制，优、良、中等、及格和不及格，分别对应百分制中的：100-90，90（不含90）-80，80（不含80）-70，70（不含70）-60，＜60。

课程考核采用平时考核和期末综述写作的形式进行考核。

**课程成绩 = 平时考核成绩×40%+ 期末综述成绩×60%。**

**平时考核**成绩由考勤、随堂测试和课后作业组成。其中考勤占比25%，随堂测试25%，课后作业占比50%。

对出勤要求是全勤不加分，缺席一次扣10分，迟到早退一次扣5分，缺席本门课程20%课时及以上不及格；

随堂测试3-4次，每次满分100分，随堂测试成绩取总次数的平均分；

课后作业3-4次，每次满分100分，课后作业成绩取总次数的平均分。

# **10．学术诚信**

学术诚信是科学研究与知识学习的基石，所有学生必须严格遵守。本课程对任何学术不端行为持零容忍态度，并将根据《四川轻化工大学学生违纪处分办法》严肃处理。

## 10.1 杜绝伪造与篡改

学生在本课程的所有环节（包括课后作业、实验报告、课程设计、考试等）中，必须保证所提交数据和信息的真实性、原始性和准确性。严禁杜撰、伪造、篡改数据或研究结果。如有此类行为，该次考核成绩计为零分，并将情况上报学院及学校有关部门。

## 10.2 杜绝剽窃与不当引用

学生应独立完成课程要求的学习任务。允许并就复杂问题进行的观点讨论和思想交流，但所有提交的作业必须最终由学生独立完成，并反映本人的原创性工作。

剽窃（Plagiarism）：严禁以任何形式抄袭他人作品，包括但不限于逐字照抄、改写他人观点或代码而未适当注明出处。引用他人著作、数据、代码、方案或观点时，必须采用规范的引用格式明确标注来源。

合作界限：除非教师明确要求为小组作业，否则所有作业均需独立完成。允许讨论解题思路，但直接交换答案、共享代码或文件等行为均被视为违规合作，属抄袭行为。

## 10.3 后果

一旦发现并经确认存在学术不端行为，该次作业或考核成绩将作零分处理，且本课程总评成绩将受到严重影响。同时，将根据事件严重程度及学校相关规定，给予相应纪律处分。

# **11．课堂规范**

## 11.1 课堂纪律与秩序

为保障课堂教学活动高效、有序进行，全体学生应自觉遵守以下纪律：

尊重与专注：尊重教师的教学劳动与同学的听课权利。按时出勤，集中注意力，认真听讲，积极参与课堂互动与讨论。

有序参与：讨论或提问时，应举手示意或遵循教师指定的方式有序进行，避免打断教师讲课或其他同学的发言。

电子设备使用：未经教师允许，不得在课堂上使用手机、电脑等电子设备进行与课程无关的活动（如玩游戏、浏览社交网站）。鼓励将电子设备用于学习目的。

保持安静：上课期间应保持教室安静，不得无故喧哗、随意交谈、频繁进出教室，以免影响课堂秩序。

## 11.2 师生礼仪与互动

本课程致力于营造一种相互尊重、开放包容、积极探讨的学术氛围：

仪表得体：师生均应保持衣着整洁、仪表大方。

平等互动：教师与学生应相互尊重。学生应勇于提问和表达观点，教师应鼓励这种探索精神。交流时言辞应礼貌，观点应清晰。

准时守约：教师应准时上课与下课。学生应准时到课，如因特殊情况需迟到或早退，应尽可能提前告知教师并以最小干扰进出教室。

诚信学术：所有课程作业、报告均应遵守学术诚信原则，杜绝任何形式的抄袭与作弊。

# **12．课程资源**

## 12.1教材与参考书

教材：吴宇平 等编著《锂离子电池：应用与实践》（第2版）[M]. 北京：化学工业出版社, 2012年

主要参考用书为：

[1] 李泓 主编 《锂电池基础科学》[M]. 北京：化学工业出版社, 2021年.

[2] 李加新 主编《锂离子电池实验与实践教程》[M]. 北京：中国水利水电出版社, 2022年

[3] 史月丽, 吴凯 等编《锂离子电池材料与技术》[M]. 北京：中国矿业大学出版社, 2024年

## 12.2专业刊物

## 12.3课外阅读资源

# **13．****教学合约**

作为本门课程的授课教师，我将按照本大纲的内容认真组织教学，尽职履行教学任务，尽我所能为你们提供清晰的知识讲解、及时的辅导答疑和必要的学习资源，并秉持公平、公正的原则对每位同学的学习成果进行评价。

作为选课学生，我希望你们能够在开课初仔细阅读并理解本大纲的全部内容，特别是课程目标、考核方式及课堂规范。在学习过程中，积极参与课堂互动，主动完成课后任务，严格遵守学术诚信规定，与我们共同营造一个高效、尊重、向上的学习氛围。

让我们以此大纲为共识，携手努力，共同达成本课程的教学目标。

# **14．教师寄语**

当你们踏入锂离子电池这个充满活力与创新的领域，便会发现它不仅存在于实验室和方程式之中，更生动地融入我们日常生活的方方面面——从指尖轻触的智能手机到路上驰骋的新能源汽车，从家中储备电力的储能设备到支撑智慧城市的庞大电网，这一切的背后都跃动着这门课程所探讨的技术内核。

这门课不仅是对专业知识的深化，更是连接化学基础理论与尖端工程应用的重要桥梁。锂离子电池作为驱动绿色能源革命的核心，正在重新定义现代社会的能源使用方式，从手中的智能设备到路上的电动汽车，再到庞大的储能电网，它的身影无处不在。希望同学们不仅能掌握电池工作原理与材料体系的设计思路，更能培养出解决复杂工程问题的科学思维和实践能力，最终真正爱上这个兼具科学深度与工程广度的学科。

愿本课程的学习经历，能为你们未来的职业生涯或科学研究打下坚实的根基，助你们在中国乃至全球的新能源浪潮中乘风破浪，成为下一代的创新者。