

doi: 10.3969/j.issn.1004-275X.2024.06.40

高中化学“电解池”的项目式教学设计* ——利用电解技术设计低碳合成氨工艺流程

李 杰, 马文霞**, 林 珊**
(宁夏师范学院 化学化工学院, 宁夏 固原 756000)

摘 要:以“哈伯合成氨工艺”为项目情境,以“利用电解池技术对合成氨工艺进行降碳改进”为项目任务,通过分析哈伯合成氨工艺高碳排放的原因建立初步研究思路;通过“制作简单的燃料电池”实验构建电化学认识模型,在知识层面理解电解池装置的原理及其在物质转化中的重要应用,深入理解项目任务;通过设计绿色可持续的合成氨方案,加强理论与实践的结合,培养和发展学生科学态度与社会责任化学学科核心素养。

关键词:项目式教学;电解池;核心素养;合成氨

中图分类号:G633 文献标识码:A 文章编号:1004-275X(2024)06-0151-05

Project – based Teaching Design of High School Chemistry “Electrolytic Cell” ——Design of Low – carbon Ammonia Synthesis Process Using Electrolysis Technology*

Li Jie, Ma Wenxia**, Lin Shan**

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ningxia Normal University, Guyuan 756000, China)

Abstract: Taking the “Haber ammonia synthesis process” as the project scenario and “using electrolyze technology to improve the carbon reduction of the ammonia synthesis process” as the project task, the research ideas were preliminarily established by analyzing the reasons for the high carbon emissions of the Haber ammonia synthesis process. Through the experiment of “making a simple fuel cell”, the electrochemical understanding model was constructed, and the principle of the electrolytic cell device and its important role in the transformation of matter were understood at the knowledge level, and the project tasks were deeply understood. Through the design of green and sustainable ammonia synthesis schemes, the combination of theory and practice is strengthened, and the core literacy of chemistry with scientific attitude and social responsibility is cultivated and developed.

Keywords: Project – based teaching; Electrolytic cells; Core competencies; Synthetic ammonia

项目式学习(Project – based learning, PBL)是以学生为主体,以真实情境为知识载体,让学生在分析和解决真实问题的过程中获得基本知识和技能、关键能力和必备品格的一种教学方式,项目式学习的理念和目标与当前基础教育教学改革相一致,是促进核心素养融合发展的有效教学方式,更是推动教学发展方式转型的重要抓手^[1]。

1 项目情境分析

“哈伯合成氨工艺”如今面临着重大能耗问题和环境问题,该工艺会排放大量二氧化碳。据统计,“哈伯合成氨工艺”消耗了全球大约1%~2%的能源,以及5%的天然气,占据了全球1.6%的二氧化碳排放量^[2],这不利于我国“碳达峰、碳中和”目标的实现。目前针对合成氨工艺降碳优化有两种方案:一是电解水制氢气耦合哈伯合成氨工艺;二是电催化氮气还原合成氨(NRR)工艺。此外,还可以通过电化学生成氨耦合清洁能源发电实现全流程无碳排放的同时解决能源浪费问题,助力“碳达峰、碳中和”目标的实现。

2 高中化学“电解池”的项目式教学设计

2.1 教材内容分析

“电解池”是人教版选择性必修1《化学反应原理》第四章“化学反应与电能”的重要内容,主要包括电解池装置、电解原理和电解原理应用3部分知识,新课的教学重点应定位于电化学认知模型的变化拓展和电解原理的理解应用^[3]。《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》在选择性必修课程的主题1:化学反应与能量中明确要求将“制作简单的燃料电池”作为学生的必做实验之一^[4],该实验有助于学生迁移原电池认识模型,自主构建电解池认识模型。

2.2 学情分析

1) 已有知识方面

学生已经学习了“哈伯合成氨工艺”流程及条件选择、氧化还原反应、原电池工作原理、化学反应及能量转化等知识,对基于合成氨工艺情境学习电解池原理及应用有一定的知识储备。

2) 心理及认知特征

创设有趣的教学情境能有效激发学生的学习兴趣,调动学习热情。但在项目式教学过程中,因为情境的复杂性,学生一般不具有独立思考、分析、解决问题的能力。所以教师应预设阶梯式子任务,引导学生小组合作、自主学习,通过完成子任务的正反馈强化学习动机,避免产生畏难心理。

3) 不足与局限

学生应用理论知识分析、处理复杂真实问题的能力有限;实验设计和探究能力不足;自主建构化学认识模型及应用模型解决问题的能力不足。

2.3 教学目标

1) 通过完成本项目,能自主调用原电池认识模型进行迁移应用,能对电解池装置的工作原理进行分析,并正确写出电极反应式与总反应式,自主构建电解池认识模型,深入理解项目任务,培养发展学生宏观辨识与微观探析、科学探究与创新意识和模型认知的学科核心素养^[5]。

2) 通过探究不同因素对电解水效果的影响、了解电解水制氢技术和电催化合成氨技术的研究方向,从宏观和微观两个角度深入理解电解池认识模型。

3) 通过设计合成氨工艺低碳和零碳排放生产流程,认识电解在实现物质转化和能量转化中的具体应用,形成绿色化学和理论联系实际等观念,培养和发展学生科学态度与社会责任学科核心素养。

4) 通过设计实验验证设计方案的可行性,在深化对电解池认识模型理解的同时,培养学生坚持理论

指导和实践探索辩证统一的哲学思想。

2.4 评价目标

1) 通过分析电解池工作原理过程,诊断学生对电解池的认识角度(单一角度水平、多角度水平)和探究新知的思维水平(基于经验水平、基于概念水平)。

2) 通过设计实验方案探究不同因素对电解水效果的影响及验证设计方案的可行性,诊断学生探究方案设计水平(单一水平、综合水平)和学生探究水平(定性水平、定量水平、定性与定量结合水平)。

3) 通过设计合成氨工艺低碳和零碳排放生产流程,诊断学生问题解决水平(简单实际问题、综合实际问题)和化学价值水平(学科价值视角、社会价值视角、学科和社会价值视角)。

2.5 教学思路

项目问题为“如何利用电解技术降低合成氨工艺的碳排放”,根据对“哈伯合成氨工艺”进行分析,可将总项目分解成两个子项目,子项目1主要目标是构建电解池认识模型,子项目2主要目标是应用电解池认识模型,设计符合要求的电解池装置和优化合成氨生产工艺,实现了电解池认识模型任务维度从分析到设计的进阶^[6]。子项目内部任务设置符合理论和实践辩证统一的哲学理念。根据知识逻辑与问题解决逻辑,本项目设计思路如图1所示。

2.6 项目任务与流程

项目任务及流程设计如表1所示:

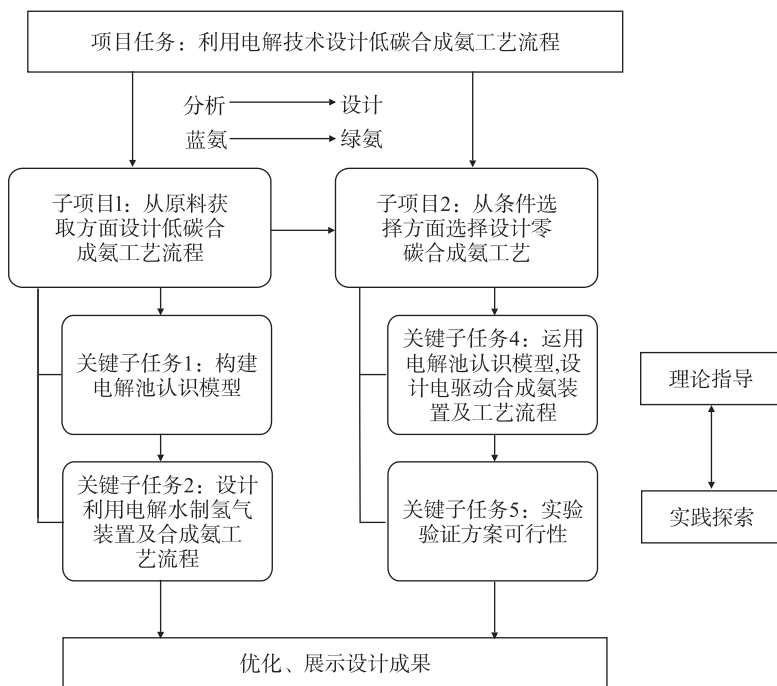


图1 项目设计思路

表 1 项目任务及流程设计

项目任务	学生活动	教师支持	设计意图
前置任务	查阅、整理资料，完成下列问题： ①碳排放过量带来的影响有哪些？ ②我国合成氨工艺碳排放现状？ ③“碳达峰、碳中和”目标是什么？	提供相关网络资料的获取方法。	培养信息获取及加工能力。
任务 1： 项目导入，激发学习热情	小组间交流前置任务成果，自主探究出项目背景和项目设计意图。	引导进行小组交流并总结出项目背景和项目意图。	激发学习兴趣和热情，培养“科学态度与社会责任”学科核心素养。
任务 2： 项目总任务拆解，建立基本研究思路	小组内讨论： ①从原料获取工段分析哈伯合成氨高碳排放的原因。 ②从合成氨工段的条件选择方面分析哈伯合成氨高碳排放的原因。 ③建立分别从原料获取及合成氨条件选择两方面进行优化设计的基本研究思路。	提供哈伯合成氨工艺中原料氮气的获取相关资料。	建立研究思路，发展分析问题的能力和“科学探究与创新意识”的学科核心素养。
任务 3： 建构知识体系，构建电解池认识模型	①通过“制作简单的燃料电池”实验，根据原电池认识模型迁移构建电解池认识模型。 ②明确电解池及相关概念。 ③根据实验现象，写出中性条件下电解水装置的电极反应式和总反应式，并分析工作原理。 ④预测酸性和碱性条件下电解水的实验现象，分析工作原理并设计实验验证	①提供实验器材：直流电源、铁丝、500 毫升烧杯、试管、火柴、酒精灯、石墨棒（已经过烘干活化处理）、鳄鱼夹、导线和开关、电流表。 实验药品：1 mol/L 的 Na ₂ SO ₄ 溶液、酚酞溶液、15% 的硫酸溶液、10% 的氢氧化钠溶液。 ②指导学生进行实验，观察并记录实验现象。 ③解释电解池、阴极和阳极等相关概念，引导学生建构电解池认识模型。 ④引导学生根据电解池认识模型分析电解水装置的工作原理，写出电极反应式及总反应式。	①通过“制作简单的燃料电池”实验，引导学生迁移原电池模型，自主建构电解池模型，发展“模型认知”学科和现实素养。②通过根据实验现象对中性条件下电解水装置的原理分析，从宏观层面和微观层面两方面全面理解电解池认识模型，发展“证据推理与模型认知”“宏观辨识与微观探析”学科核心素养。
任务 4： 模型简单应用，设计利用电氢技术合成氨的简单工艺流程	①阅读工业电解水制氢气相关资料，了解该项技术的现状和科学家的研究方向。 ②设计利用电解水制氢气技术合成氨工艺的简单工艺流程图。	提供工业电解水制氢气的现状和研究方向相关资料。	①通过了解电解水制氢技术现状及科学家的研究方向，激发学生学习兴趣，深入理解电解池认识模型，发展“科学态度与社会责任”学科核心素养。 ②通过简单工艺流程设计和优化，理解电解技术的应用价值，发展“科学探究与创新意识”的学科核心素养。

表 1 (续)

项目任务	学生活动	教师支持	设计意图
任务 5: 模型综合应用, 设计利用水做 氢源的电驱动 合成氨装置和 简单工艺流程	①设计、优化以氮气和 水为原料的电解池合成 氨装置。 ②设计实验验证装置的 可行性。 ③分析实验失败的原因 和该技术的研究方向。	①提供以氮气和 水为原料,利用电 驱动合成氨的相 关资料,引导学生 设计电解池合成 氨装置。 ②提供实验用品: 氮气气球、橡胶 管、500 毫升烧杯、 铂电极、溶液、 直流电源、鳄鱼 夹、导线、酚酞 溶液、1 mol/L 的 Na ₂ SO ₄ 溶液。	通过设计以氮 气和水为原料的 电解池合成氨装 置及用实验验证 其可行性,发展 学生“科学探究 与创新意识”学 科核心素养。
任务 6: 项目优化,培 养社会责任	①通过资料了解合 成氨工艺的发展历 史及未来发展方向。 ②优化、展示设计 方案。 ③头脑风暴,讨论 低碳理念如何落 实到日常生活。	①提供合成氨工 艺发展的相关资 料。 ②提供“弃光弃 风”问题相关资 料。 ③组织学生展 开头脑风暴并记 录内容。	引导学生了解 化学与社会、化 学与生活的紧密 联系,凸显学科 价值,发展“科 学态度与社会 责任”学科核心 素养。
课后任务	查阅、整理资料, 分别从经济、能 源、环境、社会 综合效益等方面 对比两种优化后 的合成氨工艺。	提供相关资料的 获取方法。	①通过自主查 阅、分析、整理 资料,提高信息 获取和加工能 力。 ②通过从经济、 能源、环境、社 会综合效益等方 面对比两种工 艺,培养学生绿 色化学理念和 工程思维,发 展“科学态度 与社会责任”学 科核心素养。

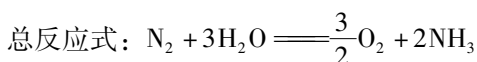
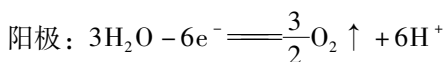
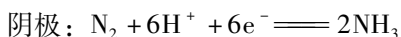
2.7 项目实施过程及学生学习成果

项目按照上述表 1 流程逐步进行。以任务 5 为例,项目具体实施过程如下:

【教师过渡】尝试以 N₂ 和 H₂O 为原料,设计电解池合成氨装置,并写出电极反应式和总反应式,根据电化学认识模型分析工作原理。

【成果展示】展示电催化合成氨装置设计图,如图 2 所示。

电极反应式:



根据电化学认识模型分析可知该电解池的工作原理如下:

在电源的驱动下,电解质溶液中阳离子移向阴极,阴离子移向阳极;H₂O 在阳极失去电子,发生氧化反应,被氧化为氧气和氢离子;N₂ 在阴极得到电子,发生还原反应后又和溶液中的 H⁺ 发生反应生成 NH₃;电子从阳极沿导线移向阴极,构成闭合回路,形成电解池。

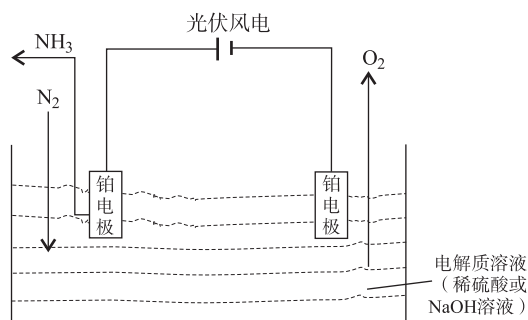


图 2 小组设计的电催化合成氨装置图

【教师评价】电极反应式和总反应式的书写非常正确,对于电解池的原理分析全面合理,设计的电催化合成氨装置图符合电解池模型的要求,可见大家对电解池认识模型的掌握已经较为深入。

【教师引导】根据电催化合成氨装置图,设计实验验证该方案的可行性。

【学生讨论、操作】按照设计方案进行实验探究,记录实验现象。

【教师引导】试分析实验失败原因。

【教师拓展】氨的合成发生在阴极还原反应中,此电极上的界面反应如图 3 所示^[7],主要分为三个步骤:N₂ 的溶解和扩散,N₂ 在电极表面的吸附、活化及加氢过程。

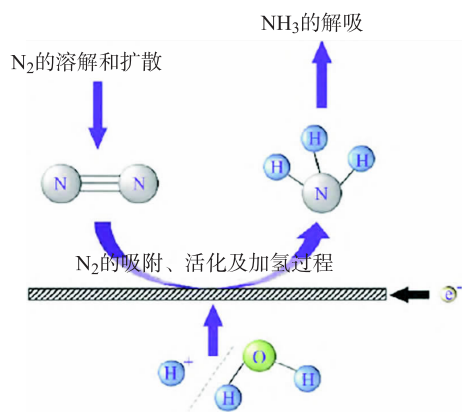


图 3 电催化合成氨阴极反应过程

【小组讨论】实验失败的原因可能有以下几点：

①因为氮氮三键键能较高，所以可能是电能不足，不能提供足够能量来断开键；②在常温常压下，氮气在水中的溶解度很低，而反应在溶液中进行，这可能也是实验失败的原因；③阴极会有 H^+ 参与反应，与合成氨反应竞争。所以电驱动合成氨技术的发展方向有：①研发催化剂，降低反应活化能、提高选择性；②寻求新的离子导体材料，提高氮气在其中的溶解度；③寻求合适的电极材料，提高电极对氮气的放电速率和选择性。

【教师评价】同学们的分析结果与目前电催化合成氨技术的发展方向一致，希望大家能好好学习，在将来能解决相关技术难题。

【教师引导】通过理论设计和实验验证大家明白了理论联系实际的重要性，接下来请设计电催化合成氨工艺流程简图。

【成果展示】小组设计的电催化合成氨工艺流程简图如图 4 所示。

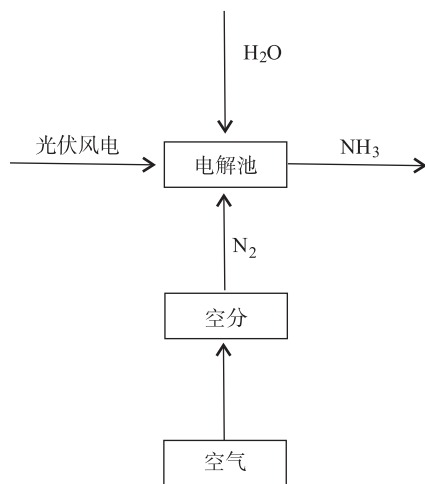


图 4 小组绘制的电催化合成氨工艺流程简图

【小组互评】该工艺流程以光伏风电作为电能输入，利用电解池技术实现了全流程零碳排放合成氨，即绿氨的生产，完全符合项目要求。

3 结语

项目式教学对于自主构建学生知识体系有显著效果，学生以小组合作的形式深度参与项目，不仅经过迁移原电池认识模型自主建构了电解池认识模型，并且在设计优化合成氨工艺过程中应用了电解池认识模型，实现了从分析到预测再到应用的认知思维进阶，构建了电化学知识体系。此外，该教学设计以真实化工生产情境为载体，学生在设计优化合成氨生产工艺的过程中积极关注“碳达峰、碳中和”政策和全球气候问题，并参与对环境及能源问题的讨论，有效培养和发展“科学态度与社会责任”学科核心素养。

参考文献：

- [1] 王磊, 胡久华, 魏锐, 等. 化学项目式学习的课程、教学与评价系统研究——北京师范大学化学教育研究团队 20 年研究历程与成果[J]. 化学教育(中英文), 2022, 43(16): 24-29.
- [2] 吉旭, 周步祥, 贺革, 等. 大规模可再生能源电解水制氢合成氨关键技术与应用研究进展[J]. 工程科学与技术, 2022, 54(5): 1-11.
- [3] 张青杨, 梁德娟. “电解池”新授课的项目式教学实践与探索[J]. 化学教育(中英文), 2020, 41(21): 16-21.
- [4] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 52.
- [5] 王磊. 基于学生核心素养的化学学科能力研究[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2017: 259-298.
- [6] 王维臻, 王磊, 支瑶, 等. 电化学认识模型及其在高三原电池复习教学中的应用[J]. 化学教育, 2014, 35(1): 34-40.
- [7] 刘恒源, 王海辉, 徐建鸿. 电催化氮还原合成氨电化学系统研究进展[J]. 化工学报, 2022, 73(1): 32-45.

收稿日期: 2023-12-07

* 基金项目: 宁夏回族自治区普通本科高校本科教学改革研究与实践项目(编号: bjg2023072); 宁夏师范学院教育硕士学位研究生教学案例项目学科教学(化学)6“指向学科核心素养发展的中学化学单元整体教学与研究共同体构建”。

作者简介: 李杰(1997-), 男, 甘肃天水人, 硕士, 主要从事化学学科教学研究。

** 通讯作者: 马文霞(1972-), 女, 宁夏彭阳人, 本科, 副教授, 主要从事化学课程教材与学科教学实践、教师教育工作; 林珊(2001-), 女, 陕西商洛人, 硕士, 主要从事化学学科教学研究。