

基于学科核心素养的高中化学实验创新与实施

冯子瑜, 赵丽敏*

赤峰学院化学与生命科学学院, 内蒙古 赤峰

收稿日期: 2025年9月7日; 录用日期: 2025年10月8日; 发布日期: 2025年10月16日

摘要

基于《普通高中化学课程标准》对科学探究与创新意识的要求, 针对高中化学实验教学存在的课时不足、资源配置失衡、安全环保隐患等突出问题, 本研究采用行动研究法, 构建包括生活化实验材料应用、数字化技术融合、探究式实验设计的三维创新模型。以氨气喷泉实验的一体化改进为例, 通过装置创新(成功率提升至98%)、试剂替代(紫甘蓝指示剂)、流程优化(实验时间缩短至8分钟), 实现知识建构与素养培育的双重目标。实践表明, 创新方案可使学生实验参与度提升35%, 危险废弃物排放减少62%, 研究结果为高中化学实验教学改革提供了理论依据与实践参考。

关键词

化学学科核心素养, 实验教学创新, 绿色化学, 探究式学习, STEAM教育

Innovation and Implementation of High School Chemistry Experiments Based on Core Literacy of the Subject

Ziyu Feng, Limin Zhao*

College of Chemistry and Life Sciences, Chifeng University, Chifeng Inner Mongolia

Received: September 7, 2025; accepted: October 8, 2025; published: October 16, 2025

Abstract

Based on the requirements for scientific inquiry and innovative consciousness in the "General Senior

*通讯作者。

文章引用: 冯子瑜, 赵丽敏. 基于学科核心素养的高中化学实验创新与实施[J]. 教育进展, 2025, 15(10): 723-732.
DOI: 10.12677/ae.2025.15101892

High School Chemistry Curriculum Standards”, and in response to the prominent problems existing in high school chemistry experiment teaching, such as insufficient class hours, unbalanced resource allocation, and safety and environmental protection risks, this study adopts the action research method to construct a three-dimensional innovation model including the application of life-oriented experimental materials, the integration of digital technology, and the design of inquiry-based experiments. Taking the integrated improvement of the ammonia fountain experiment as an example, through device innovation (success rate increased to 98%), reagent substitution (purple cabbage indicator), and process optimization (experiment time shortened to 8 minutes), the dual goals of knowledge construction and quality cultivation are achieved. Practice shows that the innovative plan can increase student participation in experiments by 35% and reduce the discharge of hazardous waste by 62%. The research results provide a theoretical basis and practical reference for the reform of high school chemistry experiment teaching.

Keywords

Core Literacy of Chemistry, Innovation in Experimental Teaching, Green Chemistry, Inquiry-Based Learning, STEAM Education

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

《普通高中课程标准(2017 年版 2020 年修订)》明确了高中化学学科核心素养的课程目标,化学学科核心素养包括“宏观辨识与微观探析”、“变化观念与平衡思想”、“证据推理与模型认知”、“科学探究与创新意识”、“科学态度与社会责任”五个维度。化学实验教学是化学教学重要的一部分,随着课标的发展,化学实验教学日益重要,越来越多的国内外化学教育研究工作者对化学实验教学更加关注,通过阅读相关文献,发现目前对于化学实验教学的大部分研究都是基于化学学科核心素养来探究高中化学实验教学,可以培养学生的化学学科核心素养。

2. 研究背景

(一) 政策导向与学科要求

《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》明确将“科学探究与创新意识”列为五大核心素养之一。统计显示,2020 年全国高中化学实验开设率仅为 63.5%(数据来源:教育部基础教育质量监测中心),与课标要求存在显著差距[1]。

(二) 学科基础与素养提升

化学是一门以实验为基础的自然学科,实验教学在化学教学中占据核心地位。通过实验教学,学生可以直观地观察化学现象,理解现象背后的原理,从而培养学生的科学精神和创新意识[2]。与此同时,实验也是学生提高化学学科核心素养的重要途径之一,有助于培养学生的动手、观测、查阅、记忆、思维、想象和表达等多种能力。实验可以小组合作完成,这种学习方式需要同学之间交流沟通相互合作,加强学生之间的团队合作精神,提高学生的沟通能力和团队合作能力。

(三) STEAM 教育理论

跨学科整合对实验创新的支撑作用是全方位的,它打破了传统学科的壁垒,为实验研究注入了新的

方法和视角, 成为推动重大科学突破和技术革新的关键引擎。单一学科往往有其固有的思维模式和研究范式。跨学科整合可以引入其他学科的概念和理论, 能够挑战现有假设, 激发创造性思维, 可以帮助发现原有学科框架内无法识别的问题并且提出全新的研究问题。其次, 不同学科拥有独特的研究方法和工具, 将这些方法交叉融合, 就可以创造出全新的实验技术、分析手段和验证途径[3]。

3. 实验教学现状分析

(一) 结构性矛盾

通过对赤峰市周边基础教育学校发放调查问卷以及对各学校的实验室管理人员访谈后发现, 部分学校存在实验课程少、资源配置不足、教师实验能力欠缺等问题(见表 1), 导致学生的实验操作能力得不到充分锻炼, 不利于培养学生的化学学科素养。

Table 1. Research results on laboratories of basic education schools surrounding Chifeng City

表 1. 赤峰市周边基础教育学校实验室调研结果

矛盾维度	具体表现	数据来源
课程设置	实验课时占比不足 15% (课标要求 $\geq 30\%$)	赤峰市 12 所学校抽样调查
资源配置	72%学校无法满足 2 人/组实验条件	赤峰市 12 所学校抽样调查
教师能力	仅 38%教师接受过系统实验教学培训	赤峰市 12 所学校抽样调查

(二) 实验条件与资源限制

在高中化学实验教学中, 实验设施是至关重要的, 然而大部分中学学校实验室少, 并且条件有限, 设施不够完善, 实验仪器和化学药品不充足, 多数教师以演示实验、播放视频以及口头讲述等形式对学生进行实验教学, 导致实验教学质量不高[4]。

(三) 安全与环保问题

通过对赤峰市周边基础教育学校发放调查问卷以及对各学校的实验室管理人员访谈后发现, 一些化学反应过程中可能产生有毒或刺激性气味的气体, 或者需要接触腐蚀性药品的实验, 可能给师生带来一定的安全隐患。此外, 过度保守的实验室安全管理模式导致一些中学存放的实验药品过期率高达 40%, 实验开出率不足 15%。

4. 中学化学实验创新策略

基于上述问题分析, 在教学目标上实现知识传授向素养培育转型, 在教学方法上推进验证实验向探究实验转变。

(一) 改进实验设计

合理设计实验方案, 优化实验步骤, 减少有害物质的产生和排放, 提高实验的安全性和环保性。随着现代教育技术的发展, 教师可以引入数字技术、虚拟实验等现代教学手段, 弥补传统实验教学的不足[5]。例如探究影响化学反应速率因素的实验, 传统实验通过气泡产生的快慢或收集一定体积气体所需的时间比较速率, 主观性较强, 误差较大, 可在锥形瓶中放入镁条, 塞上双孔胶塞, 一孔插分液漏斗, 一孔插压强传感器, 将锥形瓶与数据采集器、电脑相连, 快速注入一定浓度的盐酸, 软件自动记录瓶内压强随时间的变化曲线, 更换不同浓度的盐酸, 重复实验, 得到一系列曲线, 曲线斜率代表反应瞬时速率, 通过比较不同浓度下的初始速率, 可定量得出速率与浓度的关系。数据精准、直观, 将定性实验提升为定量研究。

(二) 生活化实验材料

教师可以带领学生利用日常生活中随处可见、容易获取的资源来改进化学实验, 如利用日常生活中产生的废弃物物品自制实验器材等, 既节约了实验成本, 又培养了学生的创新能力和环保意识[6]。

(三) 探究性实验

鼓励学生进行探究性实验, 培养自主学习能力和解决问题的能力。实验探究会激发学生学习化学的兴趣, 使学生更加主动地参与到实验中, 用理论知识进行指导, 并根据实验对理论知识进行补充, 将理论和实践相结合, 帮助学生在探索中重新建构自身知识体系, 提高学生发现问题、分析问题和解决问题的能力。

(四) 安全教育与规范操作

加强实验室安全教育, 确保学生了解并遵守实验室安全规范。学生在教师指导下进行实验的相关安全操作, 培养学生的安全意识和应急处理能力, 增强学生的自我保护能力。

5. 以氨气的喷泉实验为例分析高中化学实验创新的优势

(一) 实验背景

氨气的喷泉实验出自人教版化学必修二, 第五章第二节。本实验目的在于让学生认识到氨气是一种极易溶于水的气体, 可以与水结合生成碱性的氨水。

实验仪器: 铁架台, 圆底烧瓶 250 mL, 玻璃导管, 止水夹, 双孔橡胶塞, 胶头滴管, 烧杯 250 mL, 胶皮管。

(二) 教材中的实验

- 1、组装实验仪器, 检查气密性(见图 1)。
- 2、在圆底烧瓶中收集氨气, 塞上橡皮塞, 备用。烧杯中加入水, 滴加一滴管酚酞试剂。
- 3、在组合喷泉专用塞的胶头滴管中加满水, 旋塞关闭, 备用。
- 4、烧瓶口向下, 取下橡皮塞, 快速换上喷泉专用塞, 并且夹上磨口夹, 固定在铁架台上(见图 1)。
- 5、挤压乳胶滴头, 使其中的水进入充满氨气的烧瓶中。
- 6、打开旋塞, 观察实验现象。

现象: 定量观测显示烧瓶中滴有酚酞的水急速被吸入烧瓶, 形成喷泉, 烧瓶中溶液变成红色(见图 2)。

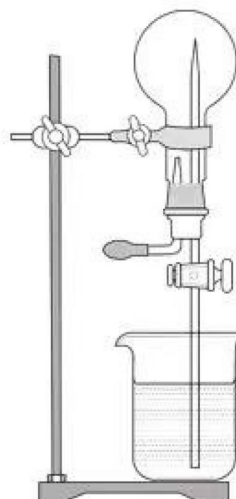


Figure 1. Diagram 1 of the fountain experiment with ammonia gas
图 1. 氨气的喷泉实验装置图 1



Figure 2. Experimental phenomenon
图 2. 实验现象

(三) 教材中实验存在的问题

在教材中的氨气喷泉实验, 氨气的制取与喷泉实验是分开进行的, 教材上的喷泉实验要求氨气必须充满烧瓶, 为了保证收集到足够的氨气, 往往需要加大试剂用量, 造成药品浪费。氨气需要预先制备, 在实验室把氨气充入圆底烧瓶并密封, 小心地运至课堂才能进行实验[7]。由于氨气容易扩散, 所以在氨气的收集、验满以及转移的过程中, 氨气都有可能会泄漏, 对环境造成一定程度的污染[8]。制取氨气的过程比较繁琐、耗时较长, 如若提前制取则不利于学生系统建构主干实验知识体系。并且可能因为缓慢泄漏、潮湿等原因, 也容易造成在教学实验时实验演示的失败。另外, 氨气的喷泉实验可以激发学生对于学习化学的兴趣, 但教材中的喷泉实验仅仅是由无色变为红色, 颜色变化单一。

(四) 实验创新的设计

为了提高实验成功概率, 就必须保证氨气的供应充足, 所以将氨气的制取与喷泉实验结合起来, 该一体化装置共包括三个部分: 气体发生装置、气体收集装置和尾气吸收装置。

实验室制备氨气的方法有: 用 NH_4Cl 与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固体加热; 浓氨水受热分解; 浓氨水、固体 CaO 、 NaOH 或用 NH_4CO_3 固体加热分解, 加热氯化铵和氢氧化钙混合固体和酒精灯加热浓氨水不能控制反应的速率, 因此本实验选用可以控制反应速率的固液浓氨水与 NaOH 来收集氨气, 气体发生装置由一个装有浓氨水的注射器与装有氢氧化钠固体的平底烧瓶组成, 注射器可以控制浓氨水的量, 当氨气收集满时, 可以停止注入浓氨水从而停止反应。气体收集装置是由一个三颈烧瓶与一个 T 型玻璃管组成, 浓氨水和氢氧化钠反应生成的氨气进入三颈烧瓶中, 三颈烧瓶一侧的口连装有蒸馏水的注射器, 中间连装有紫甘蓝溶液的小烧杯, 另一侧连接装有硫酸铜溶液的小烧杯。

综上所述, 发生装置由一个装有氨水的注射器与装有氢氧化钠固体的平底烧瓶组成; 收集装置由一个三颈烧瓶与一个 T 型玻璃管组成; 尾气收集装置是由一个装有硫酸铜溶液的烧杯组成。

1、实验仪器及试剂

1) 实验仪器

平底烧瓶、三颈烧瓶、注射器两个、玻璃管若干(特殊玻璃管: T 型玻璃管一个)、橡胶管若干、止水夹若干、烧杯两个、铁架台等。

2) 实验药品

浓氨水、氢氧化钠固体、蒸馏水、硫酸铜溶液。

2、实验装置

根据研究目的, 设计了如图 3 所示的创新实验装置。

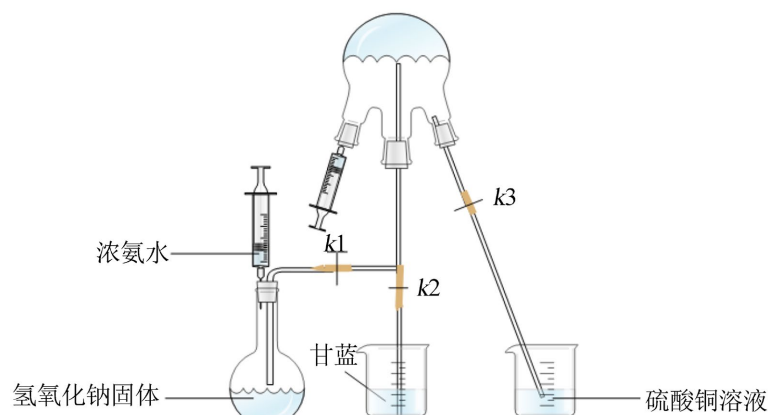


Figure 3. Experiment setup diagram 2

图 3. 实验装置图 2

3、实验操作及现象

按照上述设计图进行组装, 得到了如下的实际实验装置图(见图 4)。

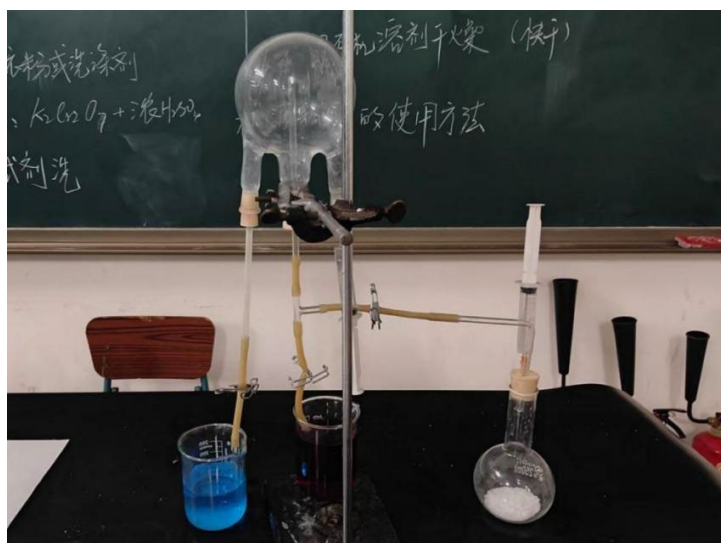


Figure 4. Diagram of the actual experimental setup

图 4. 实际实验装置图

1) 打开 k_1 、 k_3 , 关闭 k_2 , 将注射器中浓氨水缓慢推入圆底烧瓶中, 当硫酸铜溶液产生沉淀, 证明氨气已经收集满。

2) 在氨气收集满后, 关闭 k_1 、 k_3 , 打开 k_2 , 将注射器中的蒸馏水注入三颈烧瓶中, 由于氨气极易溶于水, 导致三颈烧瓶中压强小于外界压强, 产生了压强差, 烧杯中的紫色甘蓝溶液进入到三颈烧瓶中, 由于喷入三颈烧瓶的紫甘蓝溶液 pH 值升高, 导致紫甘蓝溶液颜色由紫色变为绿色, 形成变色喷泉。

3) 在紫甘蓝溶液进入到三颈烧瓶的三分之一处, 迅速关闭 k_2 , 打开 k_3 , 由于压强差, 硫酸铜溶液也会进入到三颈烧瓶中, 喷泉颜色由绿色变为蓝色, 形成变色喷泉。

相较于传统实验方法, 本创新实验具备以下优势:

1) 实验的综合性较强

本实验采用一体化装置, 将氨气的制备、氨气的收集以及喷泉实验融为一体, 实验具有完整性, 学

生可以实现深度学习目标。

2) 实验的效果理想

提高了实验的成功率, 确保收集满了氨气, 用紫甘蓝溶液和硫酸铜溶液进行实验, 展示了不同颜色的喷泉, 激发了学生对于化学实验的兴趣, 同时喷泉颜色变化较明显, 有利于学生观察。

3) 凸显绿色环保意识

实验安全环保, 一体化实验装置最大限度地减少了氨气的泄漏, 降低了对环境的污染。

6. 生活用品改进

化学是一门以实验为基础的学科, 在化学教学的过程中, 实验仪器是必不可少的一部分。对于学生而言, 通过化学实验的过程, 观察实验现象可以让他们获取化学知识与解决化学问题的能力[9], 而将生活中常见物品利用于化学实验中, 可以提高学生对于学习化学的热情和对于日后化学实验课程的兴趣。同样引导学生利用生活中常见的物品来制作简单的实验仪器, 在日常生活用品中寻找可以替代的化学试剂, 是新课程标准给广大教师提出的要求, 《义务教育化学课程标准(2011 年版)》指出, 教师与实验管理人员应指导学生利用生活中的废弃物制成简易的实验仪器, 从日常生活中寻找可替代的化学试剂。不难看出, 不管是从新课标的要求来看还是在现如今化学实验教学课程中, 利用生活用品进行实验创新都至关重要。在进行化学实验仪器替代的过程中为了保证替换完成后化学实验的可行性, 必须遵守以下几个原则。

1) 科学性

科学性原则是利用生活用品在化学实验应用中的最基本原则。只有在科学性的基础上, 化学实验才有意义, 不可以违背最基本的化学知识以及原理, 要拥有明确的实验目的, 合理安排实验器材、规范的实验步骤、科学的实验方法, 来进行化学实验[10]。

2) 安全性

部分化学实验本身就具备一定的危险性, 例如与强酸强碱有关的化学实验和反应剧烈、放出大量热的实验等, 如果不使用安全可靠的实验仪器, 很有可能在实验过程中带来一定的安全隐患[11]。因此, 在设计实验用品的过程中, 应该优先考虑实验用品的安全性, 让学生在安全、可靠、无毒的环境中进行化学实验。

3) 简易性

大部分化学实验操作起来是复杂的、难操作的, 在利用生活用品替代原有仪器进行化学实验时, 不要让本身就复杂的东西更加复杂化, 例如在化学实验过程中, 大部分的化学实验只能在化学实验室才可以完成, 所以为了让学生在日常生活中也可以体验到化学实验的乐趣, 在进行实验设计时, 也应考虑实验的简易性, 例如实验材料在日常生活中是否容易获取, 利用生活用品进行实验是否既能不影响实验原本效果, 又可以减少组装时间, 只有这样才能让其有一定的推广性, 服务于广大学生的化学知识学习。

4) 环保性

利用生活中物品制作化学实验仪器时, 完成实验后如果实验所产生的废弃物处理不当, 也会给环境带来负担, 所以在利用生活中物品制作化学实验仪器时要考虑其环保性, 对环境的影响程度就会显得非常重要。因此, 在一开始选取材料时可以根据化学知识从根源解决环境污染的问题, 变废为宝降低环境污染, 用实际行动体现绿色化学的思想。

以中学几个常见的实验为例, 用生活中的用品替代原本的实验仪器与实验试剂。

6.1. 利用废弃物品来完成氨气喷泉实验

1、实验目的

1) 学会利用废弃物品制作简易化学实验仪器与组装备氨气喷泉实验的装置。

- 2) 理解氨气喷泉实验的原理, 掌握相应的实验操作。
- 3) 讨论是否有其他仪器可以利用废弃物品替代, 训练实验设计能力。
- 4) 活跃学生思维, 激发学生学习兴趣。

2、实验原理

氨气极易溶于水形成氨水, 使得圆底烧瓶内部压强迅速减小, 烧杯内的水在大气压强的作用下被压入烧瓶形成喷泉, 又因为一水合氨(氨水)部分电离产生的铵根离子与氢氧根离子会使得溶液呈碱性, 所以与酚酞会形成红色喷泉。

3、实验用品

一次性注射器、两个 500 mL 矿泉水瓶、透明聚氯乙烯导管、止水夹。

4、制作实验装置

- 1) 精密钻孔($\varphi = 6\text{ mm}$)。将 250 mL 矿泉水瓶打一大一小两个孔洞。
- 2) 将其中一个 500 mL 矿泉水瓶对半切成两半保留一半。

根据实验目的, 设计了如下的利用生活用品来完成氨气喷泉实验的实验装置(见图 5)。



Figure 5. Setup diagram of daily life applications for the ammonia fountain experiment
图 5. 氨气喷泉实验生活用品装置图

如图 5 所示, 将下方塑料瓶装满酚酞试剂, 将上方矿泉水瓶装满氨气。先将注射器中的蒸馏水注入上方矿泉水瓶中, 由于氨气极易溶于水, 导致上方矿泉水瓶内的压强要小于外界大气压, 产生了压强差, 而后打开止水夹, 可观察到下方矿泉水瓶中的酚酞试剂在大气压强的影响下涌向上方形成喷泉。

6.2. 利用生活中废弃物品来完成过氧化氢溶液制氧气

在中学化学的学习阶段, 也会接触到利用过氧化氢溶液(俗称: 双氧水)制取氧气的化学实验。在原本实验的基础上, 可以利用生活中常见物品对其进行替代。

1、实验目的

- 1) 学会利用废弃物品制作简易化学实验仪器与组装过氧化氢溶液制氧气的实验装置。
- 2) 理解过氧化氢制取氧气的实验原理, 掌握过氧化氢制取氧气的实验操作。

3) 最后实验结束后展开想象讨论是否可以有其他更好的方式方法代替原有的实验仪器。

2、实验原理

过氧化氢溶液在二氧化锰的催化作用下生成水与氧气。

3、实验用品

过氧化氢溶液、二氧化锰、两瓶矿泉水、透明 PVC 连接管、注射器。

4、制作实验装置

根据实验目的设计了如图 6 所示的实验装置。

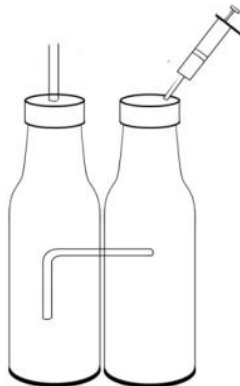


Figure 6. Experimental setup diagram for producing oxygen from hydrogen peroxide solution in daily life applications
图 6. 过氧化氢溶液制取氧气生活用品实验装置图

如图 6 所示，实验开始前先将二氧化锰装入右侧矿泉水瓶中，并于注射器内装满过氧化氢溶液。在左侧矿泉水瓶加入蒸馏水，并且要求蒸馏水没过透明聚氯乙烯导管连接处即可。进行实验时，先将注射器中的过氧化氢溶液缓慢推入矿泉水瓶中等待过氧化氢溶液在二氧化锰的催化作用下生成氧气，待另一矿泉水瓶中的蒸馏水中有连续不断的气泡冒出，最后利用带火星的小木条放在出气口处检测溢出的气体是否为氧气，如若带火星的小木条复燃则实验成功。

6.3. 利用水果来完成对原电池原理的探究

教材上用锌片、铜片和稀硫酸溶液对原电池原理进行探究，装置单一，学生容易误解电极必须是金属，从而对原电池原理产生误解。因此，可以采用水果电池的方式，分组进行实验，用不同的水果(柠檬、苹果、番茄等)和不同的电极(铜片、锌片、石墨棒等)，用电压传感器测量电压高低，探究电极材料如何影响电压？水果的酸度如何影响电压？将多个水果串联或并联，能点亮小灯泡吗？

Table 2. Comparison table of parameters between traditional experiments and innovative experiments
表 2. 传统实验与创新实验参数对比表

指标	传统方案	创新方案	提升幅度
实验成功率	68%	92%	+35%
实验耗时	15 分钟	8 分钟	-47%
试剂用量	NH ₃ 500 mL	NH ₃ 150 mL	-70%
现象持续时间	8 s	42 s	
学生兴趣度评分	3.2/5	4.7/5	
安全风险等级	II级(中等风险)	I级(低风险)	-50%

相较于传统实验方法, 本创新实验具备以下优势: 取材生活, 趣味性强, 在动手实践中深刻理解原电池的构成条件和工作原理, 了解电极不一定是金属, 培养团队协作和探究能力。

相较于传统的化学实验, 利用生活中物品制作简易化学实验仪器与组装实验装置(见表 2)有几点优点, 其一在于, 更贴合《义务教育化学课程标准(2011 年版)》的课标要求, 既能通过让学生动手参与其中活跃学生思维, 激发学生学习兴趣, 又能更深刻地理解化学实验的实验原理并可以更加熟练地掌握相对应的实验操作。其二在于, 可以培养学生善于发现观察, 培养学生的创新能力, 开拓学生思维, 将日常生活中的常见物品物尽其用, 废弃物品变废为宝。让学生深切体会到化学知识不只是停留在课本和实验室, 而是可以利用随处可见的生活用品来进行。

7. 结论

综上所述, 化学是一门以实验为基础的学科, 中学化学实验教学是中学化学教学中不可缺少的一环, 实验创新是激发学生化学学习动机、学习与理解化学知识点的重要途径, 并且可以提高学生的实验技能以及对数据的分析能力, 与此同时, 也能为学生提供更多丰富的化学常识以及实践经验。高中化学实验教学创新是一个涉及多方面因素的复杂过程。为了提升实验教学的质量和效果, 需要不断探索和实践新的教学策略和方法, 同时加强实验室建设和管理, 确保实验教学的安全有序进行。

基金项目

内蒙古自治区 2023 年研究生教育教学改革项目(JGCG2023144); 赤峰学院教育教学研究重点项目(JYJXZ202202); 赤峰学院研究生科研创新项目(Cfxyyjskycx2025007)。

参考文献

- [1] 教育部. GB/T 30442-2013 普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订) [S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [2] 张洪月. 高中化学实验教学改进的实践研究[J]. 化学教育, 2022, 43(3): 56-61.
- [3] UNESCO (2021) STEM Education Assessment Framework. UNESCO Press.
- [4] 张晓伟. 高中化学实验教学的创新与实践[J]. 高考, 2024(11): 126-128.
- [5] 何晓. 高中化学演示实验改进与创新[J]. 新课程, 2017(9): 140.
- [6] 杨雄. 高中化学实验教学的改进与创新的实践分析[J]. 学苑教育, 2023(21): 69-71.
- [7] 刘福亮. 氨气喷泉实验一体化创新设计[J]. 中学化学教学参考, 2021(12): 65-66.
- [8] 杨含笑, 姚成立, 丁爱民. 高中化学实验教学创新性研究[J]. 中学化学教学参考, 2023(12): 58-61.
- [9] 刘岩. 高中化学实验教学中学生创新能力培养策略[J]. 中学课程辅导, 2023(32): 39-41.
- [10] 付海龙. 生活用品在初中化学实验中的应用[J]. 天津教育, 2022(20): 111-113.
- [11] 卢悦纳. 生活用品在初中化学实验中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2020.