

融入探究和思政特色的新胶体电泳实验

李运超*, 陈珊莹, 綦可, 霍康宁, 李淑欣, 李晶怡, 魏盈, 范楼珍

北京师范大学化学学院, 北京 100875

摘要: 本案例以解决传统 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体电泳实验中存在的胶体废液浪费、缺乏探究性以及思政育人难融入等局限为出发点, 通过发展胶溶法、引入表面带不同电荷 AgI 胶体制备及其带电性质自主判断环节, 守正创新, 赋予该实验项目以资源节约、绿色环保、富有探究性等特色。尤其重要的是, 本案例通过综合采用任务驱动自主学习、翻转课堂、研讨启发等多种教学模式, 将经典基础物理化学实验与提高我国数量巨大但来之不易的钢铁资源的循环利用率和改变学生对胶体带电性质的固有认识有机结合起来, 在潜移默化中弘扬/培育了学生“绿色”化学理念、可持续发展责任担当、科学辩证思维素养以及创新精神等。本案例已初步推广应用于本校的胶体电泳实验教学中, 教学反响热烈, 达到了专业知识、技能传授与课程思政育人相济相长的教学效果; 为提升传统实验的专业育人和思政育人效果提供有益借鉴。

关键词: $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体; 胶体电泳; 胶溶法; AgI 胶体; 表面电荷性质; 绿色化学; 探究性学习; 课程思政
中图分类号: G64; O6

A New Colloid Electrophoresis Experiment Incorporating Characteristics of Inquiry Learning and Ideological and Political Education

Yunchao Li*, Shanying Chen, Ke Qi, Kangning Huo, Shuxin Li, Jingyi Li, Ying Wei, Louzhen Fan
College of Chemistry, Beijing Normal University, Beijing 100875, China.

Abstract: This experimental case aims to address the limitations of traditional $\text{Fe}(\text{OH})_3$ colloid electrophoresis experiments, such as the waste of $\text{Fe}(\text{OH})_3$ colloids, the lack of exploration, and the difficulty in incorporating ideological and political education. To do so, we have developed a colloidal dissolution method, introduced AgI colloids with different surface charges and designed colloid surface charge exploring assays, thus rendering this experiment with the features of resource conservation, green development, and richness of inquiry. It is particularly important that this case has integrated multiple teaching modes (e.g., task-driven self-learning, flipped classroom, and deliberative teaching) to seamlessly combine this basic experiment with the improvement of the recycling ratio of China's steel resources and the correction to students' inherent knowledge on the surface charges of colloids. As a result, green chemistry concept, sustainability responsibility, scientific dialectical thinking skills, and innovation spirit can be implanted into the mind of students in a nature way during this experiment. This case has been initially applied to the colloid electrophoresis experimental taught in our university, achieving excellent teaching responses and mutual promotion effect between value shaping, knowledge imparting and ability cultivation. Hopefully, this case can provide helpful reference for enhancing the effect of professional education and ideological and political education in basic experiments.

收稿: 2023-08-17; 录用: 2023-10-12; 网络发表: 2023-10-30

*通讯作者, Email: liyc@bnu.edu.cn

基金资助: 教育部虚拟教研室建设试点项目(师范院校物理化学课程虚拟教研室); 北京师范大学校级教改项目(jx2022057)

Key Words: Fe(OH)₃ colloid; Colloid electrophoresis; Colloidal dissolution method; AgI colloid; Surface charge nature; Green chemistry; Inquiry learning; Ideological and political education

1 引言

“胶体电泳”实验是不少高校甚至是中学都开设的一项基础物理化学实验^[1,2],旨在引导学生了解胶体粒子的组成结构、带电性质以及电泳特性。Fe(OH)₃胶体因制备简单、胶体稳定性好、带电性质稳定、颜色醒目等原因被广泛用于胶体电泳实验中。遗憾的是,传统的基于Fe(OH)₃胶体的电泳实验,既存在大量Fe(OH)₃胶体废液浪费问题,又存在实验结果可预知、缺乏探究性、思政元素难融入等缺点,限制了该实验的实际育人效果。为此,我们对原有实验做了以下改进:(1)以废弃的Fe(OH)₃胶体为原料,利用胶溶法将其分散于含有稳定剂的溶液中,进而制备出稳定的Fe(OH)₃胶体,实现废弃胶体的循环再利用;(2)引导学生自主查阅文献了解铁资源回收的重要性,提出Fe(OH)₃胶体回收和再利用方案;(3)在原有实验内容中引入实验探究环节,引导学生制备出表面带电性质不同的AgI胶体并设计实验来验证其带电性质,增加实验的探究性,加深学生对胶体带电性质及其构效关系的理解。经本校实验教学验证,上述改进方案均行之有效,涉及的实验操作简单、重复性好、现象明显,且具有资源节约、绿色环保、试剂安全、富有探究性等优点;同时上述改进又赋予该实验以鲜明的思政育人功效,包括对“绿色”化学理念、可持续发展责任担当、辩证思维素养以及创新精神等的弘扬与培育。本文着重展示如何合理挖掘和提炼实验项目所蕴含的思政元素并将其有机融入到实验教学中,以期提升传统实验的专业育人和思政育人效果提供有益借鉴。

2 课程思政案例的设计与实施

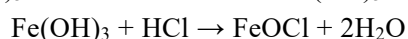
2.1 案例的导入

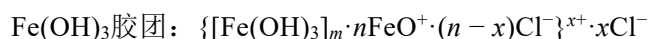
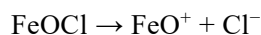
作为全球最大的钢铁生产和消费国,我国每年需要消耗大量的铁矿石。遗憾的是,尽管我国铁矿石资源丰富,但品质不高,每年需要从国外进口大量的铁矿石(约占消耗量的75%)以支撑正常的钢铁生产;不仅花费了大量外汇,还常常受制于人,不时出现铁矿石和钢铁价格倒挂的现象^[3-5]。因此提高现有钢铁资源的循环利用率,对保障我国钢铁安全具有重要意义。Fe(OH)₃是一种常见的铁基氢氧化物/氧化物,常用作净化剂、吸收剂、颜料、解砷毒药物、催化剂等^[6,7],同时也是制取磷酸铁锂等重要能源材料的基础原料^[8]。有鉴于此,回收胶体电泳实验所产生的Fe(OH)₃废液,不仅能减少环境污染,提高资源循环利用率,而且具有一定经济效益(若以回收制备磷酸铁锂为例,按原料成本估算,回收1 kg Fe(OH)₃可产生高于50元利润)^[9];同时还有助于培养学生“绿色”化学和可持续发展的理念。遗憾的是,目前对胶体电泳实验所产生的Fe(OH)₃废液回收既没有引起足够的重视,也缺乏有效处理手段。

胶体作为日常生产与生活中常见的物质体系,在高中乃至初中的教科书中均有或多或少涉及;但由于缺乏对其组成结构和带电来源的系统介绍,易给学生留下金属氧化物和金属氢氧化物带正电,非金属氧化物、金属硫化物、硅酸胶体带负电的固有认识^[10]。究其原因,是常见的胶体如Fe(OH)₃、Al(OH)₃等较难得到稳定的、表面分别荷正电、负电的胶体粒子。为此,有必要在实验教学中引入通过改变金属离子/非金属离子比率来调整胶粒表面带电性质的案例,以深化学生对胶体组成、结构及其带电来源的认识,从而有助于夯实结构决定性质的辩证唯物主义物质观的形成。

2.2 实验的创新设计

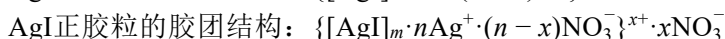
为了解决传统Fe(OH)₃胶体电泳实验产生大量Fe(OH)₃胶体废液的缺点,我们采用胶溶法处理Fe(OH)₃胶体废液以实现其循环使用。具体处理方案和原理如下:首先以MgSO₄作为聚沉剂,使Fe(OH)₃胶体废液发生聚沉,形成新鲜的Fe(OH)₃沉淀;随后以盐酸作为稳定剂,利用胶溶法将新鲜的Fe(OH)₃沉淀再溶解重新形成Fe(OH)₃胶体,涉及到反应原理可描述为^[11-13]。





需要指出的是, Fe(OH)_3 沉淀的溶解再分散过程实际上是平衡移动的结果, 盐酸加入量是调控的关键因素。有趣的是, 用 FeCl_3 水解法制备 Fe(OH)_3 也是平衡移动的结果。这种利用两种截然相反的路径来制备同一产品的设计, 有利于思政元素的融入和凝练。

为了改变学生对胶体粒子带电性不变的固有认识, 增设了利用不同比例 Ag^+ 和 I^- 制备 AgI 胶体并分析其表面带电性质的探究实验环节。具体设计如下: 为学生提供二组试剂瓶(无标签), 分别盛有 $0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ AgNO}_3$ 溶液和 $0.01 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KI}$ 溶液; 当将这两种溶液以相反的滴加顺序分别混合时, 可获得表面带电性质差异明显的 AgI 胶体; 即若当 KI 过量时, 胶核会优先吸附 I^- , 形成带负电的胶粒(称为 AgI 负胶粒); 若 AgNO_3 过量, 则形成表面带正电的胶粒(称为 AgI 正胶粒); 两种胶团组成可分别表示为^[13,14]:



由于学生事先不知每组实验究竟是 Ag^+ 或 I^- 过量, 因此不知道每组胶粒表面带电类型; 然后要求他们设计简单实验来一一分析所制备胶体的带电类型; 从而增加了实验的开放性和探究性。

2.3 案例的研讨

针对利用胶溶法再生 Fe(OH)_3 胶体废液环节, 主要引导学生理解 Fe(OH)_3 胶体再生原理, 讨论分析再生胶体的组成结构和带电来源; 特别是通过引导学生对比分析水解法和胶溶法制备 Fe(OH)_3 胶体的异同, 启发学生认识到这两条相反制备路线均是利用改变反应条件(温度或反应物浓度)来调控反应进行方向进而形成胶体的原理。这种通过改变反应条件实现从胶体到沉淀再到胶体的循环过程, 不仅有助于学生加深对胶体组成结构以及稳定性(DLVO理论)^[14]的认识, 还有助于其辩证思维能力的培养, 能用发展的、联系的、矛盾的观点看待和理解物质变化。

针对不同配比 AgI 胶体的制备及其表面带电性质探究环节, 主要引导学生讨论分析胶体粒子的形成条件与组成结构、带电性质与结构关联, 以及如何便捷判断其表面带电性质。通过这样的设计和讨论, 不仅能使学生直观了解胶体粒子带电性质主要取决于表面吸附离子种类, 从而加深对胶体粒子组成结构与表面电荷性质的认识, 有助于夯实“结构决定性质”物质观的形成; 而且还增加了实验的探究性, 促使学生自主思考和自主设计, 激发他们的兴趣和创新潜力。

2.4 案例的实施

要求学生课前借助线上MOOC资源预习胶体电泳实验、熟悉胶体基本知识、完成文献调研和实验方案设计; 课堂上要求学生汇报交流调研结果和实验方案, 按照优化方案完成胶体制备、表面带电性质判断、纯化和电泳速度测试等实验内容; 课后完成实验报告、实验总结和课后拓展任务。具体而言, 对 Fe(OH)_3 胶体废液再回收环节, 实验前要求学生分组完成文献调研, 了解我国钢铁资源的实际情况、 Fe(OH)_3 的应用现状, 提出 Fe(OH)_3 回收方案并说明相关原理及回收重要性; 课堂上学生以分组汇报形式, 交流调研结果, 阐述回收方案及其原理; 教师引导同学分析各方案的优点和不足; 并结合电泳实验具体特点着重讨论分析胶溶法再生 Fe(OH)_3 胶体废液方案的优势和难点; 指导学生利用胶溶法完成 Fe(OH)_3 胶体的再生。实验结束后, 要求学生广泛调研分析, 根据实际应用需求提出更优化的 Fe(OH)_3 再生或转化方案; 该环节具体实施方案见图1。

对不同配比 AgI 胶体制备及其表面带电性质探究环节, 实验前教师要求学生分组讨论提出制备表面带不同电荷 AgI 胶体方案、设计出检测 AgI 胶体表面电荷性质的简便探究方案。课堂上学生以分组汇报的形式, 交流分享他们的制备和检测方案; 教师启发学生根据操作的简便性和可行性来分析各方案的优点和不足, 引导学生自主提出以表面电荷性质已知物质(如 Fe(OH)_3 胶体)为指示剂, 根据共混后是否产生沉淀来判断待测胶体带电性的简便方案。在具体实验操作环节, 提醒学生注意实验细节和观察实验异常现象。实验结束后, 要求同学结合DLVO等理论分析理解各异常现象产生的原

因。该环节具体实施方案见图2

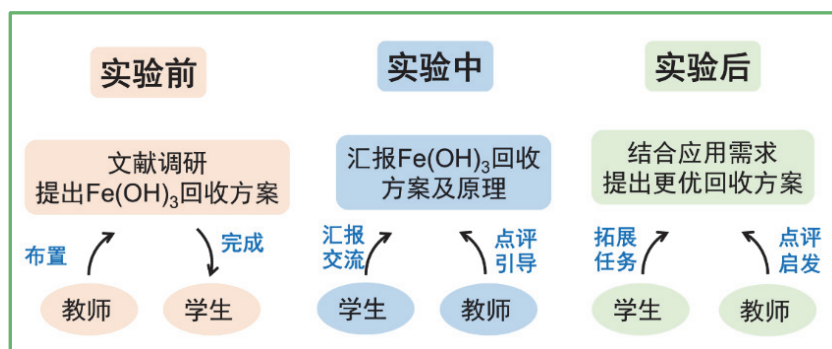


图1 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体废液再回收环节教学实施方案

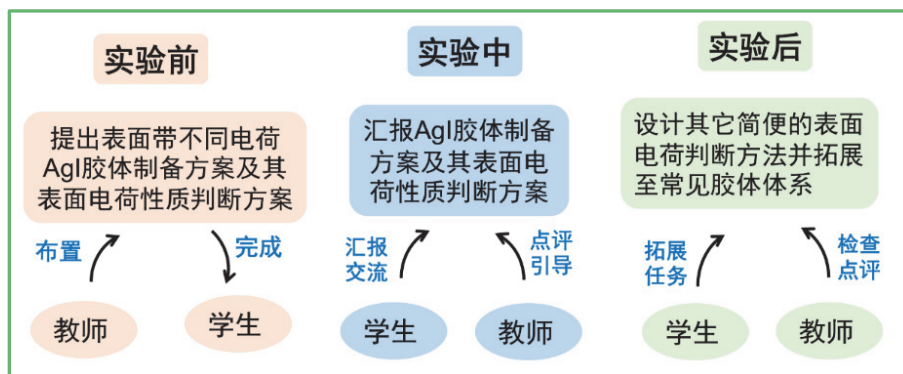


图2 不同配比AgI胶体制备及其表面带电性质探究环节教学实施方案

2.5 课后拓展

(1) 要求学生结合课堂交流讨论情况，再次调研分析，根据实际工业需求提出更优化的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体再生或转化方案^[7,8,15]；并系统总结 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体应用领域和回收重要性。

(2) 要求学生结合DLVO理论和胶体性质，解释 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 再生实验、AgI胶体制备及其表面带电性质探究实验中出现的现象(特别是异常现象)，籍此加深对胶体组成结构、带电性质、稳定性等基础性认识，深化对其带电性质与组成结构之间构效关系的理解，助力学生辩证思维和“结构决定性质”物质观的形成。

(3) 要求学生了解电泳技术在科研和生产中的实际应用，利用公共实验平台学习和练习纸片电泳和凝胶电泳^[14]，提升学以致用意识和能力。

3 实施建议与效果考核

教师按照产出导向理念，制订相关评价标准(参见表1)，根据学生在调研报告、预习作业、实验操作、课堂汇报、课后拓展总结等环节所体现的素质和能力，进行考核，多元评价实验教学专业育人和思政育人效果。

为了保证实验质量和效果，建议教师统筹规划，做好预实验，以从容应对实验中出现的异常实验现象。当学生最初提不出优化的实验方案时，教师应能循循善诱、适时引导。此外，为了保留传统 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体电泳实验的特色，可考虑在课堂上分组对照安排实验，让一部分学生利用水解法而另一部分学生利用胶溶法来制备 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体，以促使学生同时掌握经典和改进两套实验方案，从而有助于加深他们对胶体组成结构的认识以及辩证思维能力的培养。

表1 课程思政教学目标达成度的考核设计

课程思政教学目标	考核形式	考核标准
责任担当：“绿色”化学、可持续发展的理念和责任担当	依据课前调研报告、课堂汇报和实操表现、课后总结来打分	提出对 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 废弃胶体回收和再利用合理方案，认识到资源回收的重要性，实验过程能将环保和废液处理落到实处
科学素养：规范严谨的实验习惯、实事求是的科学态度，辩证思维能力、科学物质观和勇于探索创新精神	依据预习作业、实验操作全过程、课堂提问、实验方案设计、实验报告及课后拓展总结来打分	实验操作、数据记录、结果分析规范、严谨、实事求是；能够用发展、联系、矛盾的观点看待和理解胶体制备和带电性质分析中的物质变化和异常现象；能够深入认识胶体组成与带电性质关联；能够设计出合理的胶体制备和带电性质判断实验方案并能分析其优缺点
关心国家、服务国家：关注涉及国民经济的重要问题，尝试利用所学知识提供可行解决方案，学以致用	依据调研报告、实验方案以及课后拓展任务完成质量打分	能够认识到资源回收的重要意义，能够结合产业需要和专业专业知识提出合理的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 回收、转化和利用方案，能够通过本实验了解并设计电泳的实际应用

4 结语

本案例针对传统 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体电泳实验存在胶体废液浪费、缺乏探究性以及思政育人难融入等局限，发展了胶溶法以实现 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 废胶体的循环利用，引入带不同电荷 AgI 胶体的制备及其带电性质判断环节以增强探究性，从而使得该实验项目具有资源节约、绿色环保、富有探究性等优点。尤其重要的是，本案例通过综合采用任务驱动自主学习、翻转课堂、研讨启发等多种教学模式，将经典基础物理化学实验与提高我国数量巨大但得之不易的钢铁资源循环利用率和改变学生对胶体带电性质的固有认识有机结合起来，融入了丰富的思政育人元素，包括“绿色”化学理念、可持续发展责任担当、科学辩证思维素养以及创新精神等。本案例已初步推广应用于本校的胶体电泳实验教学中，教学反响热烈，达到专业知识、技能传授与课程思政育人有机融合、相济相长的教学效果；为提升传统实验的专业育人和思政育人效果提供有益借鉴。

参 考 文 献

- [1] 北京大学化学学院物理化学实验教学组. 物理化学实验. 第4版. 北京: 北京大学出版社, 2002.
- [2] 复旦大学. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 中国现在, 非常缺铁! [2023-10-21]. <https://user.guancha.cn/main/content?id=853929>
- [4] 世界与中国铁矿地质资源特点浅析. [2023-10-21]. http://www.csteelnews.com/xwzx/gjgt/202203/t20220318_60891.html
- [5] 铁矿石期货价格突破5年高点, 部分钢铁产品成本倒挂. [2023-10-21]. <https://m.huanqiu.com/article/9CaKrnKl7VB>
- [6] 汪肖楠, 张贤金. 化学教学, 2009, No. 2, 16.
- [7] 那宝双. 多壁碳纳米管负载氢氧化铁纳米胶粒修饰电极及其应用研究[硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2018.
- [8] 杨志宽, 黄文杰, 都立珍, 程元胜. 一种采用氢氧化铁胶体制备纳米晶磷酸铁锂粉体的方法: 中国, CN102005564A[P]. 2011-04-06.
- [9] 相关产品价格参考百度爱采购平台网上报价. [2023-8-12]. <https://b2b.baidu.com/>
- [10] 常见的胶体的带电情况. [2023-8-12]. <https://www.docin.com/p-2435174660.html>
- [11] 阮秀琴, 尹家卉. 化学教育, 2015, 36 (10), 29.
- [12] 司承运, 刘子凡, 潘胜强, 肖活, 杨弈, 黄嘉琪, 辛思源, 张正华, 徐开俊. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2023, 49 (1), 120.
- [13] 范康年, 周鸣飞. 物理化学. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2021.
- [14] 傅献彩, 侯文华. 物理化学. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [15] Liu, T. Z.; Zhang, X. D.; Li, B. J. *RSC Adv.* 2014, 4 (92), 50765.