

基于控制变量思想的化学科普实验设计与实践 ——以“银离子回收”科普实验项目为例

景一丹¹, 张效敏^{1,*}, 徐楠²

¹ 湖南师范大学化学化工学院, 长沙 410081

² 湖南师大附属三一云谷实验学校, 长沙 410199

摘要: 科普教育活动不仅需要传播科学知识, 更需要传播科学思想方法。以“银离子回收”科普项目为例, 简要介绍蕴含基于控制变量思想的趣味科普实践活动方案的实施, 从认识科学变量、认知控制变量方法、体会运用控制变量思想三个层次逐层深入, 逐步提升大众对控制变量思想的认识水平, 从而提升科学素养水平。同时通过对含银废水的毒性、污染性与银的回收处理方法与价值的讨论, 也提升了公众的绿色环保理念和资源循环利用的价值理念。

关键词: 科普活动; 科学思想方法; 含银废水; 回收银; 控制变量

中图分类号: G64; O6

Design and Practice of Chemical Science Popularization Experiments Based on the Concept of Controlling Variables: Taking the “Recovery of Silver from Silver-Containing Wastewater” Science Popularization Project as an Example

Yidan Jing¹, Xiaomin Zhang^{1,*}, Nan Xu²

¹ College of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China.

² SANY Yungu Experimental School Attached to HNNU, Changsha 410199, China.

Abstract: Science popularization activities should not only disseminate scientific knowledge but also promote scientific thinking methods. This study explores and implements chemical science popularization activities that embody these scientific ideas and methods. Using the project “Recovering Silver from Silver-Containing Wastewater” as an example, we briefly introduce the implementation of an engaging science popularization activity plan centered around the concept of controlling variables. This approach aims to enhance the public’s understanding of controlling variables through three levels: recognizing scientific variables, understanding the method of controlling variables, and experiencing the application of this concept. This progression ultimately aims to improve scientific literacy. Additionally, discussions on the toxicity and pollution of silver-containing wastewater, along with recovery and treatment methods and their values, foster the public’s awareness of green environmental protection and the principles of resource recycling.

Key Words: Popularization of science; Scientific thinking methods; Silver-containing wastewater; Silver recovery; Controlling variables

收稿: 2024-05-22; 录用: 2024-10-02; 网络发表: 2025-01-02

*通讯作者, Email: zhangxm@hunnu.edu.cn

基金资助: 湖南省学位与研究生教学改革研究项目(202201002018)

科学技术的普及程度，是国民科学文化素质的重要标志。习近平总书记指出：“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼^[1]”。科普的表层意义在于普及科学知识，深层意义在于提升全民科学素养水平。近年来，随着科学传播事业不断向纵深发展，要全面提升民众科学素养水平，需要从更深层面传播科学思想与方法^[2]。科学思想方法是科学家工作中的一些方法论观点提炼，能够促人思考、给人启迪。《全民科学素质行动规划纲要(2021–2035年)》中指出，我国科学素质建设目前面临的问题“科学精神弘扬不够，科学理性的社会氛围不够浓厚”，也明确提出“突出科学精神引领……传递科学的思想观念和行为习惯”。

化学学科中蕴含了丰富的科学思想和方法，控制变量是其中一种基础的思想方法。在科学探究中，许多问题都会涉及多个变量，正确使用控制变量法是顺利完成探究的关键。控制变量方法不仅适用于自然学科，还是用于解决一些其他学科领域甚至生活中的现象和问题，可以真正成为大众解决学习和生活问题的一种方法。因此，我们基于化学科普现状和科普的宗旨，探索了蕴含科学思想与方法的科普活动。下面以“银离子回收”科普项目为例简要介绍如何在科普教育工作中传播控制变量的科学思想和方法。

1 挖掘科普实验项目中蕴含的科学思想方法

1.1 “银离子回收”科普实验项目

贵金属银具有优异的导电性和稳定性，被广泛应用于电子产品、感光材料等生产领域。其工业废水水质复杂，对生态环境破坏极大，严重危害人体健康。伴随着银的应用日趋广泛，其价格及需求量都呈不断上涨的趋势，同时面对日益严格的废水排放标准，寻求一种高效、低廉的含银废水处理工艺是当下的研究热点之一。目前回收银离子的主要方法有沉淀法、电解法、金属置换法及还原法，但这些方法都存在不同的局限，需要探索一种环保、有效的方法来提取废水中的银离子。聚苯胺作为一种聚合物，具有良好的稳定性和一定的选择还原贵金属的能力，在贵金属回收领域有着潜在的应用价值。

聚苯胺分子结构如图1所示，其包含还原单元和氧化单元，单元配比不同影响聚苯胺氧化还原状态。通过化学氧化合成中间氧化态聚苯胺，其分子链中含有大量的胺基和亚胺基，不仅对金属离子具有良好的配位作用，还具有还原性，可以与一些氧化还原电位较高的贵金属离子发生氧化还原反应，但不易与溶液中电位较低的铜、锌等非贵金属离子发生反应，具有一定的选择还原银的能力。根据已有研究对聚苯胺回收银效果的测试，其回收率能达到理论值的96.1%，目前对于银生长的宏观形貌的探究尚未有系统性报道，对其开展探究有一定的创新性。

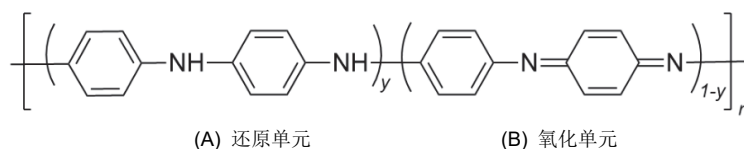


图1 聚苯胺分子结构

1.2 项目原理与实验操作

1.2.1 实验原理

聚苯胺分子结构的还原单元能与阴离子发生氧化还原反应，银离子能被聚苯胺还原为银单质，其反应过程如图2所示。

1.2.2 实验操作步骤

(1) 合成聚苯胺(根据具体科普方案需要，聚苯胺也可直接购买使用)：称取1.50 g酒石酸溶于20 mL水中，再加入1 mL苯胺，磁力搅拌使其溶解充分反应生成苯胺盐，然后缓慢加入20 mL过硫酸铵水溶液，静置反应12 h。过滤、洗涤、烘干，得到墨绿色聚苯胺(图3)。

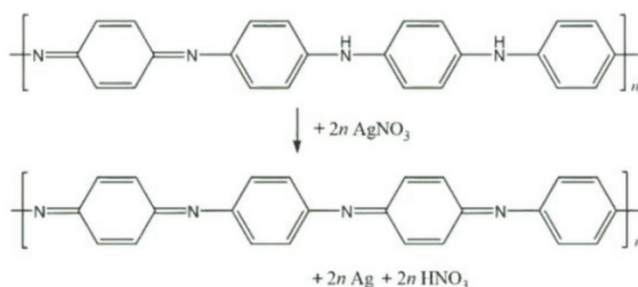


图2 银被聚苯胺还原为银单质的反应原理^[3]



图3 聚苯胺制备装置图及反应现象

(2) 配制模拟含银废水：称量0.169 g硝酸银、0.195 g硫酸铁、0.161 g硫酸锌，定容于50 mL容量瓶中配制模拟含银废水。

(3) 废液中回收银单质：量取10 mL上述溶液于试剂瓶中，并称量50 mg聚苯胺固体置于模拟含银废水中，可以观察到银光闪闪的银单质。

(4) 实验调控：可以通过控制生长时间、模拟废水的酸度及聚苯胺颗粒大小、温度等变量来调控银的生长轨迹，从而构建银光闪闪的水下花园。

1.3 项目蕴含的科学思想方法

本项目选择含银废水中回收贵金属银为载体，是因为选材金属银贴近民众生活，实验方法操作较简单，条件温和，易拉近大众与科学知识的距离；另外由于金属置换等方法还原银大多只能观察到灰色絮状银，而该实验方法能生成银光闪闪的银单质(图4)，并可调控出丰富绚丽实验现象，易激发学习兴趣。

该实验本质上是基础的化学实验原理，能够普及化学知识，采用聚苯胺回收得到的具有多样化形貌的银。不仅能够构筑一个闪闪亮亮的水中画面、具有美学的视觉吸引力，而且银的回收调控过程中蕴含丰富的控制变量的思想方法，能够传播科学思想方法。在调节银的多样化的形貌过程中，可以探究生长时间、模拟废水的酸度及聚苯胺颗粒大小、温度等因素对银形貌的影响，可设计基于控制变量思想与方法的科普实验活动。而且了解含银废水的污染性与银的回收处理的价值，有助于帮助大众建立正确的化学观念及绿色环保、资源循环思想。

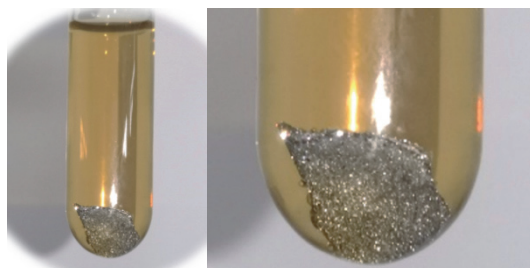


图4 聚苯胺从模拟废液中回收单质银的实验现象

2 基于控制变量思想的科普展示和互动方案

可以根据科普对象，并充分考虑实验安全的基础上，将其打造成以下三个科普展示互动实验，为科普对象提供一种层次化的、逐步深入观察认识化学世界的视角，有利于激发其化学兴趣、普及化学知识、提升公众的环保意识，并传播控制变量的科学思想和方法。

2.1 基于时长变化，认识科学变量

科普展示内容：模拟废液中回收银的生长形貌观察

科普活动目的：

- (1) 了解到化学对污染废液处理的作用；
- (2) 通过时长变化，认识什么是科学变量。

科普实验地点：实验室或通风效果好的地方

展示对象：中小學生、普通群众(视为初中二年级以下)

互动形式：观看视频+志愿者讲解+动手实验+思考讨论

科普展示与互动：

(1) 观看视频：播放含银废液的危害，与聚苯胺回收废液中银的视频，结合视频讲解化学学科的用途，增强大众的环保意识；

(2) 样品展示：展示回收银的生长样品，激发大众的兴趣与好奇心；

(3) 实验展示与观察：在中性溶液，将聚苯胺颗粒(~7 mm)放入10 min后，表面出现白色的银微粒。

(4) 思考讨论：① 不同反应时长，聚苯胺固体表面现象的差异；② 反应时长对于该反应来说，为什么可以称为变量？③ 该反应用来回收废液中的银有什么优点？

(5) 课后观察：将学生们做好的样品密封，置于实验化学角，定时观察并记录不同条件下银的生长变化。

时间变量的感知：10 min后聚苯胺表面出现白色的银微粒，6 h银尖长出，24 h形成银丝，2天后银丝变长(图5a)，随着时间的延长还可以长出银片、银花(图5b)和贴壁的银树(图5c)。

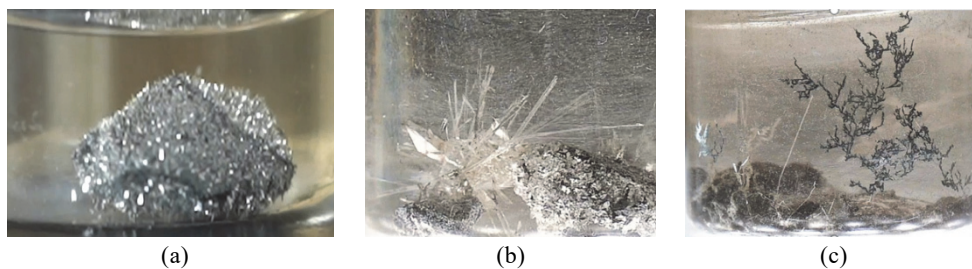


图5 不同生长时间的银单质形貌

(a) 银丝变长；(b) 银片、银花；(c) 银树

2.2 进行科学探究，认识控制变量方法

科普展示内容：不同pH模拟废液中回收银的生长形貌观察

科普活动目的：

- (1) 通过调控pH，探究不同pH对银形貌的影响；
- (2) 通过实验探究发现科学变量对实验结果的影响；
- (3) 通过思考讨论发现进行科学变量观察时要控制其他变量。

科普实验地点：实验室或通风效果好的地方

展示对象：初三及以上层次的大众(已初步了解溶液pH和还原反应)

互动形式：观看视频+志愿者讲解+动手实验+思考讨论

科普展示与互动：

(1) 观看视频：播放含银废液的危害与聚苯胺回收废液中银的视频，结合视频讲解氧化还原知识，增强大众的科学知识和环保意识；

(2) 实验设计与样品展示：展示不同回收银的生长样品，激发大众的兴趣与好奇心；

分别配制pH为7、5和3的含银模拟废水。展示不同pH的模拟含银废水中，银的生长形貌分别为稀疏的牙尖状(图6a)、茂盛的草丛状(图6b)、茂密的绒毛状(图6c)。

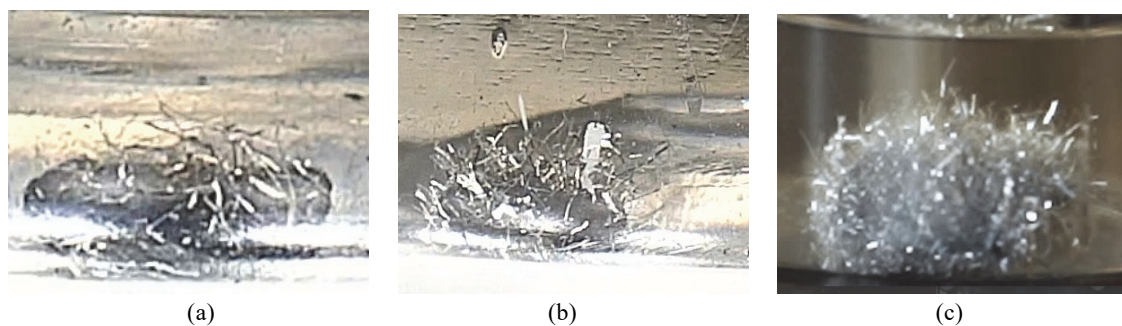


图6 不同pH下银单质形貌

(a) 稀疏的牙尖状；(b) 茂盛的草丛状；(c) 茂密的绒毛状

(3) 思考讨论：

- ① 聚苯胺固体表面现象的差异是由哪个变量引起的？
- ② 几组实验，如果反应时长不同，能否说明现象是pH引起的？
- ③ 酸性环境对银的回收效率有促进还是阻碍作用？

(4) 实验探究并课后观察：大众分组配制或选取不同pH的模拟含银废水，加入等量聚苯胺，将做好的样品密封，置于实验化学角，定时观察并记录不同条件下银的生长变化。

(5) 课后思考：你认为还有哪些变量因素可能会引起回收银形貌的不同？你能够设计实验进行探究吗？

2.3 进行实验设计，运用控制变量方法、体会科学思想

科普展示内容：其他变量对银的生长形貌变化影响的观察

科普活动目的：

- (1) 通过设计变量，运用控制变量的科学方法；
- (2) 通过运用控制变量方法调控银的生长形貌，体会科学思想。

科普实验地点：实验室或通风效果好的地方

展示对象：高中及以上层次大众(已初步了解pH和氧化还原反应)

互动形式：观看视频+志愿者讲解+动手实验+思考讨论

科普展示与互动:

(1) 讨论: 可能引起银生长形貌变化的因素还有哪些?

(2) 实验方案设计: 运用控制变量思想设计实验方案, 比如: 设计不同聚苯胺颗粒大小, 设计不同条件的反应温度等。

(3) 实验探究: 分别将直径10、7、4 mm, 不同大小但质量相近的聚苯胺颗粒置于相同银离子含量和浓度的中性溶液中。

(4) 观察思考: 不同聚苯胺颗粒大小, 银的生长形貌差异。

(5) 课后观察: 将学生们做好的样品密封, 置于实验化学角, 定时观察并记录不同条件下银的生长变化。

随着聚苯胺颗粒的减小, 表面分别长出银珊瑚、银柱、银丝(图7a-7c)。说明减小颗粒增加固体的比表面积, 能够增加银的生长位点, 使银丝越来越密、越来越细。

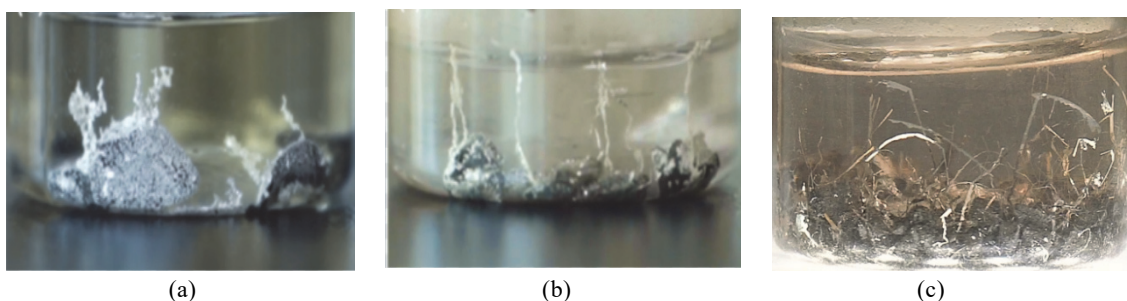


图7 不同聚苯胺颗粒大小下的银单质形貌

(a) 银珊瑚; (b) 银柱; (c) 银丝

(6) 课后思考:

① 你认为还有哪些变量因素可能会引起回收银形貌的不同? 你能够设计实验进行探究吗?

② 如果要提高废液中银的回收效率, 你会设计哪些变量来探究确定影响废液中银的回收效率的因素? (该问题主要针对大学以上层次的大众)

3 基于控制变量思想科普活动实践效果

以“银离子的回收”项目为例探索了基于控制变量思想的科普活动的开展和互动方案。从认识科学变量、认识控制变量方法、体会运用控制变量思想三个层次设计了逐层深入的科普活动方案, 逐层深入、层层提升大众的科学思想和认知。

基于这种科普思想和方式, 已在不同层次进行了多次实践, 如实验开放日亲子活动和中学生趣味化学夏令营等, 均收到了很好的反响。该科普实验项目展现的“淘银”之美不是昙花一现, 而是几分钟、几个小时、一天、一个星期和一个月都有各不相同的“日”新“月”异之美, 具有很强的趣味性、观赏性、应用性、创新性和推广性。无论是儿童、青少年还是成人均表示在活动中不仅增加了对化学的兴趣、了解和认识, 有助于形成对化学学科的正确认知, 而且认识到了科学思想和方法, 在不少青少年心中埋下了科学的种子。而这些良好的效果与有意识地进行蕴含科学思想方法的科普活动实践密不可分。另外, 该反应常温下可观察过程稍长, 若需控制演示实验时长, 可探究温度对反应速率的影响, 通过提升溶液温度提高反应速率。在有条件的情况下, 展示时可提供40-50 °C 温热水, 在保障实验安全的前提下提高反应速率。

该科普实验方案通过处理含银废水提取银单质, 实现了废物的循环利用, 凸显出资源循环的价值理念; 通过对含银废水的毒性、污染性与银的回收处理方法与价值的讨论, 传达绿色环保理念, 使受众形成对化学的正确观念和认知。通过此科普项目在体现化学之美和化学之用的同时, 对实验

中蕴含的科学思想和方法进行挖掘,使受众在科普活动中逐步提升对科学变量思想和方法的认识,在观察和互动中逐步提升科学认知水平,并掌握科学思想和方法,从深层次提升科学素养水平。

4 开展蕴含科学思想方法的科普活动的思考

科学方法诞生于自然科学,在社会领域与人类思维领域也具有重要借鉴意义。接受科学方法的教育,有利于培养人正确而有效的思维方式。蕴含科学思想方法的科普教育内容,具有变革人们思维方式的作用。

目前科普工作中普及显性科学知识的科普内容较多,而对隐形的科学思想和方法虽或多或少有所蕴含,但重视程度明显不足。大多数化学类科普较注重呈现神奇趣味的科普实验现象,重视科普知识的传递,而对期中蕴含的科学思想和科学方法关注的并不多。受众往往只记住了过程中神奇和绚丽的现象,而对其科学性认识不足。美丽有趣的实验现象只是载体,吸引受众的关注^[4],进一步传达科学知识和科学观念、传播科学思想和方法才是科普的深层要义,也是需要越来越多科普工作者为之努力的科学事业的根本。

基于美丽有趣的科普实验项目,不仅要分析其中的科学知识,更要深挖蕴含其中的科学方法与科学思想。通过美丽有趣的实验现象吸引受众进入化学的知识领域,了解其中的科学知识,形成正确的科学认知^[5]。在科普活动方式上,可以根据受众层次特点,设计不同形式和不同深度以及科学思想方法逐层提升的系列科普活动,从不同层次深度提升公众对科学知识以及科学思维和方法的体验和感知,有利于受众从思维层面提升科学素养,走近科学学科。

参 考 文 献

- [1] 全民科学素质行动规划纲要(2021–2035年). [2024-12-20]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1704804126836371794&wfr=spider&for=pc>
- [2] 王挺. 科普研究, **2022**, *17* (5), 5.
- [3] Hu, X. Y.; Zhou, M.; Xu, X. Y.; Jing, Y. D.; Zhang, X. M. *J. Chem. Educ.* **2023**, *100* (2), 1069.
- [4] 刘海燕, 李元, 宋逸飞, 陈诺言, 胡锴. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (15), 1.
- [5] 景一丹, 李伶俐. 化学教育(中英文), **2022**, *43* (13), 126.