

## 基于科教融合的综合化学实验教学设计：银纳米材料的制备及催化性能

王海媛<sup>1,2</sup>, 唐易名<sup>1</sup>, 郭浩然<sup>1</sup>, 陈国辉<sup>1</sup>, 孙雅静<sup>1</sup>, 赵超<sup>1</sup>, 张振<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>天津大学理学院化学系, 天津 300350

<sup>2</sup>化学化工国家级实验教学示范中心(天津大学), 天津 300354

**摘要:** 开展了研究型综合化学实验教学, 将基础教学与科研训练有机结合, 以和谐共进的方式加强人才培养效果, 有助于推进教育教学改革进程。本实验利用简单的无机化学反应制备银纳米粒子, 通过添加不同溴/银比例可调控银纳米胶体溶液颜色, 将表面等离子体共振特性引入实验教学, 提高了实验的趣味性。实验利用经典的对硝基苯酚催化反应模型验证银纳米粒子的化学活性, 结果表明银纳米粒子催化效果良好, 可近似为一级反应动力学过程。利用实验室常见的玻璃仪器搭建简易污染物降解反应器, 使用自制载银滤纸实现了10次以上的循环降解, 降解率可达90%。

**关键词:** 科教融合; 银纳米粒子; 表面等离子体特性; 环境保护; 以学生为中心

**中图分类号:** G64; O6

## Comprehensive Chemistry Experimental Teaching Design Based on the Integration of Science and Education: Preparation and Catalytic Properties of Silver Nanomaterials

Haiyuan Wang<sup>1,2</sup>, Yiming Tang<sup>1</sup>, Haoran Guo<sup>1</sup>, Guohui Chen<sup>1</sup>, Yajing Sun<sup>1</sup>, Chao Zhao<sup>1</sup>, Zhen Zhang<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemistry, School of Science, Tianjin University, Tianjin 300350, China.

<sup>2</sup> National Demonstration Center for Experimental Chemistry & Chemical Engineering Education (Tianjin University), Tianjin 300354, China.

**Abstract:** This study implements research-oriented comprehensive chemistry laboratory teaching by combining fundamental education with scientific research training, thus enhancing talent development and promoting educational reform harmoniously. Silver nanoparticles were synthesized using straightforward inorganic chemical reactions, with the color of the resulting silver nanocolloid solution controlled by varying the bromine/silver ratio. This introduction of surface plasmon resonance characteristics into the experimental curriculum increases the experiment's engagement. The chemical activity of the silver nanoparticles was verified using the classic *p*-nitrophenol catalytic reaction model. Results indicated that the silver nanoparticles exhibited excellent catalytic performance, approximating first-order reaction kinetics. Additionally, a simple pollutant degradation reactor was constructed using standard laboratory glassware, and homemade silver-embedded filter paper was used for over ten cycles of degradation, achieving a degradation rate of up to 90%.

**Key Words:** Integration of science and education; Silver nanoparticle; Surface plasmon property; Environmental protection; Student-centered

党的二十大报告明确指出：“教育、科技、人才是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑”，教育的根本目的在于促进学生发展。以学生为中心，通过引入科学前沿、创新教学方法、深化教学改革，开展基于科教融合的综合化学实验教学<sup>[1-3]</sup>来重塑化学实验教学课堂，对于培养学生的主动探索精神，构建自主学习方式，让学生成为教学主体具有重要意义。

纳米尺度是生命的界限，也是物质的界限。纳米材料(有一个维度低于一微米的材料)因其独特的光学、电学、生物学及表面催化活性等，在能源、医疗、环境等诸多领域受到广泛关注。而贵金属纳米材料，如银纳米颗粒(Ag Nanoparticles, AgNPs)具有特殊的表面等离子共振特性(Surface Plasmon Resonance, SPR)和表面增强拉曼特性(SERS)，成为近年来研究的热点<sup>[4]</sup>。

目前，实验教学中常采用水热合成或微波合成法制备银纳米粒子<sup>[5,6]</sup>，在实验条件优化的过程中，学生科研思维与创新能力得到锻炼。本文聚焦纳米科学前沿，通过简单的氧化还原反应制备银纳米胶体，实验方法简单，普适性强。通过调控溴/银比控制银纳米粒子尺寸，创新性地将贵金属材料的表面等离子共振特性引入基础实验教学，借助颜色的变化展现缤纷的纳米世界。通过引入经典的硝基苯酚催化还原模型锻炼学生分析问题、解决问题的能力，强化化学反应机理、化学测量方法等相关理论技术，传递水体保护及绿色化学的环保理念。学生利用智能手机的RGB颜色识别功能对AgNPs尺寸进行基础评估，解决了基础实验中大型仪器缺少的问题；利用球棍模型搭建催化还原反应机理，增加了实验的趣味性；通过搭建简易降解反应器降解硝基苯酚废水，践行“美丽中国”理念。

## 1 实验部分

### 1.1 实验目的

- (1) 掌握利用氧化还原反应制备银纳米胶体的基本原理和方法。
- (2) 掌握利用紫外光谱仪测定催化反应动力学的基本原理和方法。
- (3) 掌握常用分析测试仪器的基本原理和使用方法。
- (4) 培养学生发现问题和解决问题的能力，推动研究型综合化学实验教学改革。

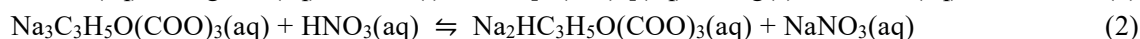
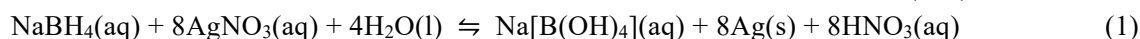
### 1.2 实验原理

实验原理包含两部分，一是银纳米材料的制备，二是银纳米材料的催化活性测量。

#### 1.2.1 银纳米胶体的制备及其表面等离子体共振特性

利用硼氢化钠还原硝酸银制备银纳米胶体，反应体系简单、胶体颜色可调控、安全系数高、可操作性强。通过AgNPs的表面等离子体共振特性将纳米科学具象化，充分激发学生的学习兴趣。

实验主反应为NaBH<sub>4</sub>与AgNO<sub>3</sub>反应，使Ag<sup>+</sup>还原生成Ag<sup>0</sup>(式1)。柠檬酸钠作为缓冲剂，用于维持体系的pH值(式2)，柠檬酸钠还能在银粒子表面与银结合，使其带负电荷，防止静电作用引起的纳米粒子聚集，起到稳定胶体的作用。形成的银纳米颗粒被H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>氧化重新生成Ag<sup>+</sup>(式3)，减少缺陷结构纳米颗粒的形成，在硼氢化钠与过氧化氢的双重作用下生成大小均匀的银纳米颗粒。溴化钾作为形状调节剂，可以阻止银纳米颗粒表面的继续生长，从而起到调控颗粒尺寸的作用(式4)。



银可以看作是由正离子构成的规则晶格以及在晶格中自由流动的电子组成，当特定波长的光入射在银表面时，光子诱导表面自由电子偏移运动，光子与电子产生共振引起电磁场辐射急剧变化，从而引起表面等离子体共振特性。这是银纳米粒子的一个非常重要的光学特性，主要有两种不同的

模式：一种主要发生于偏振光激发下的金属膜与电介质的界面上，为可传播式，称为传统表面等离子体共振；另一种仅在金属纳米粒子表面的局部区域产生，称为局域表面等离子体共振。当银纳米粒子发生等离子体共振时，与其表面振动频率相当的光，会被共振吸收而转化为振动能量，因此银纳米胶体会因为这种局域表面等离子体共振吸收而呈现出一定的颜色，这与颗粒形状、尺寸、间距等均有关。

### 1.2.2 银纳米材料催化硼氢化钠还原4-硝基苯酚

催化4-硝基苯酚(4-NP)还原为4-氨基苯酚(4-AP)的反应机理尚存争议(表1)，本文较为支持吸附活化及中间体还原机理。

表1 主流反应机理

诱导期机理	反应期机理
溶解氧化还原生成的中间体亚硝基苯酚 <sup>[7]</sup>	生成对亚硝基苯酚中间体和对4-羟基氨基苯酚 <sup>[7,8]</sup>
溶解氧化纳米银催化剂使其失活 <sup>[8]</sup>	4-硝基苯酚直接还原为4-氨基苯酚 <sup>[10]</sup>
硼氢化钠和硝基苯酚在纳米催化剂表面的吸附重组 <sup>[9]</sup>	

笔者认为(图1)，在硼氢化钠的碱性环境中4-硝基苯酚首先形成酚钠，并发生互变异构与AgNPs结合，此时硼氢化钠利用H<sup>-</sup>进攻带正电的N<sup>+</sup>，还原形成中间体对亚硝基苯酚，对亚硝基苯酚受到H<sup>-</sup>的再次进攻，被还原为对羟基氨基苯酚，继而在AgNPs的催化下生成不稳定中间体类醌产物对苯醌亚胺，并被快速还原为最终产物对氨基苯酚钠，紫外吸收发生明显蓝移。

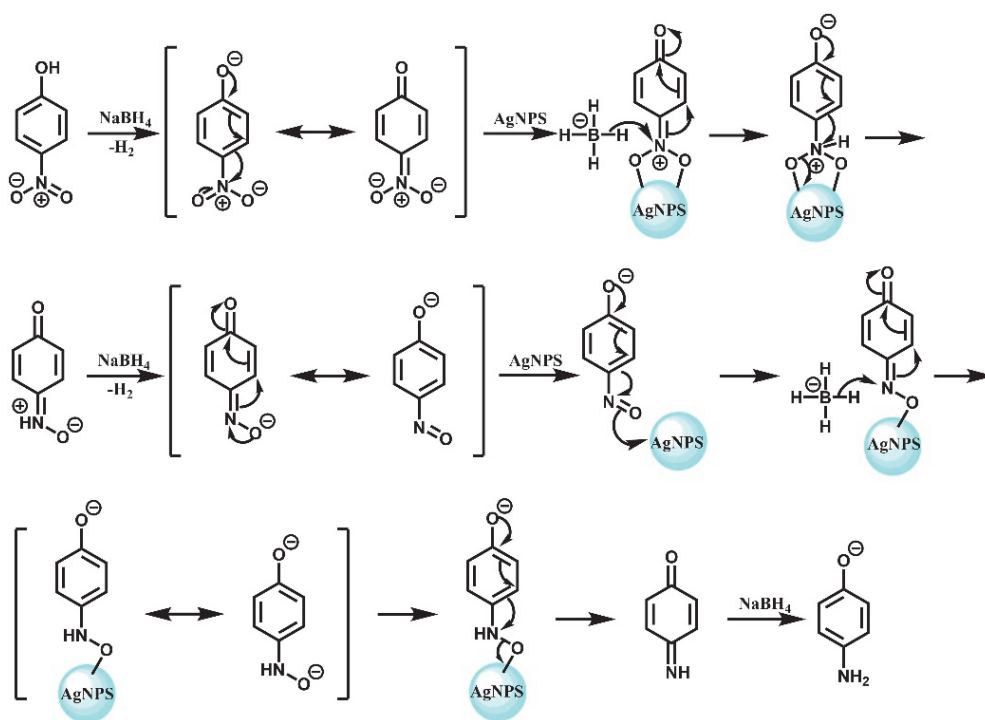


图1 4-NP还原机理图

## 1.3 仪器与试剂

### 1.3.1 仪器

实验仪器及型号见表2。

表2 实验所用主要仪器

仪器名称	型号	制造商
分析天平	GB/T 23111	梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司
双光束紫外可见分光光度计	TU-1901	北京普析
定性滤纸	GB/T1914-2007	杭州特种纸业有限公司
数显磁力搅拌器	MS-H-Pro	北京大龙
移液枪	10-100 $\mu$ L/100-1000 $\mu$ L	北京大龙
场发射透射电子显微镜	JEM-2100F	日本电子株式会社
纳米粒度及zeta电位仪	Zetasizer Nano ZS	马尔文仪器有限公司
RGB颜色识别	Color Meter	HUAWEI Mate30

### 1.3.2 试剂

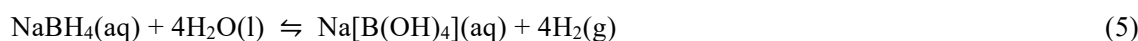
仪器药品及规格见表3。

表3 实验所用主要试剂

试剂名称	纯度/规格	制造商
无水乙醇	分析纯	天津市科密欧化学试剂有限公司
柠檬酸钠	分析纯	天津希恩思生化科技有限公司
硝酸银	分析纯	天津市江天化工技术股份有限公司
30%过氧化氢	分析纯	天津政成化学制品有限公司
硼氢化钠	分析纯	天津市大茂化学试剂厂
溴化钾	分析纯	天津希恩思生化科技有限公司
对硝基苯酚	分析纯	麦克林
邻硝基苯酚	分析纯	麦克林
间硝基苯酚	分析纯	麦克林

### 1.3.3 安全提示

过氧化氢是一种强氧化剂，硝酸银具有氧化性、毒性和腐蚀性，柠檬酸钠具有刺激性。硼氢化钠具有毒性和腐蚀性，为易爆品，与水接触会释放氢气(式5)，常温贮存易分解，需要现配现用或低温贮存，也可通过调节溶液pH至碱性减缓分解并提高还原能力。其他试剂的水溶液可稳定保存。本实验所用溶液均为稀溶液，风险危害很小，可放心使用。



## 1.4 实验方法

### 1.4.1 银纳米胶体的制备及颜色识别

在22 mL玻璃样品瓶中依次加入0.2 mL柠檬酸钠溶液( $1.25 \times 10^{-1} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )、5 mL硝酸银溶液( $3.75 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )、5 mL过氧化氢溶液( $5 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，及 $x \mu\text{L}$  KBr溶液( $2.175 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )和(2300 -  $x$ )  $\mu\text{L}$ 的蒸馏水，充分混合30 s后加入硼氢化钠溶液(现配现用， $5 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，拧紧瓶塞继续搅拌15 min，观察颜色变化(图2)。

利用纸箱制作简易暗室，样品池距离顶端白炽灯光源10 cm，手机距离样品池15 cm，二者连线相互垂直，利用HUAWEI手机相机拍照，Color Meter软件识别RGB值。

### 1.4.2 简易降解反应器的制作

向培养皿中加入50 mL硝酸银溶液( $3.75 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )浸泡慢速定性滤纸20 min，乙醇充分冲洗

后移至50 mL硼氢化钠溶液( $0.25 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 浸泡过硝酸银的滤纸在放入 $\text{NaBH}_4$ 溶液后纸张颜色迅速变为黄褐色, 浸泡20 min后用蒸馏水冲洗3次并置于 $60^\circ\text{C}$ 烘箱中干燥20 min。将滤纸折叠、展开成圆锥形置于玻璃漏斗中, 与胶塞、下口瓶等组装成简易反应器(图3)。

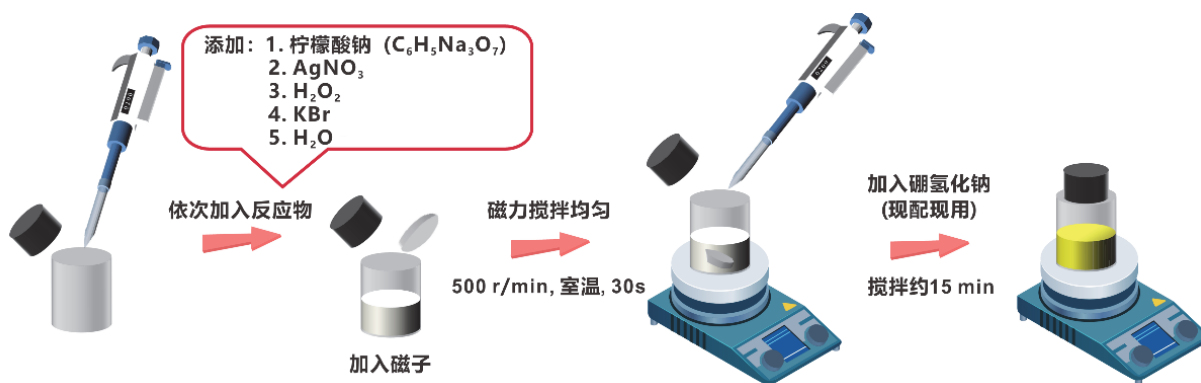


图2 银纳米胶体制备流程  
(大部分颜色可通过剧烈摇晃获得, 可不提供磁力搅拌)

电子版为彩图, 下同

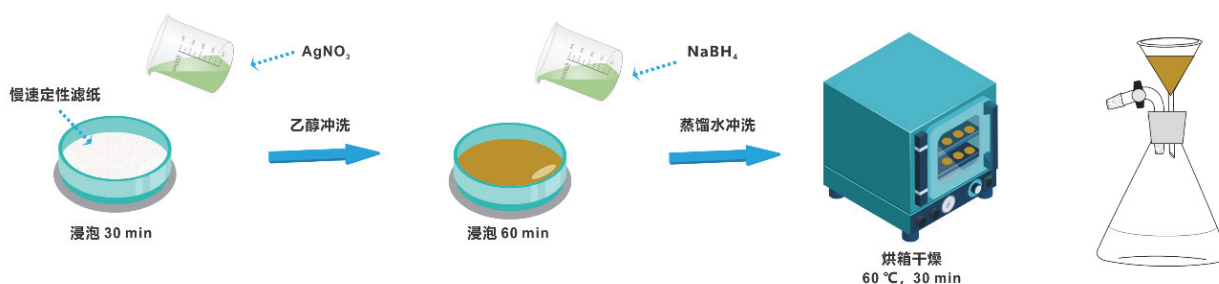


图3 载银滤纸制备流程及简易反应装置

### 1.4.3 银纳米材料催化还原硝基苯酚

在样品瓶中加入5.0 mL硝基苯酚溶液( $1.2 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )、0.5 mL  $\text{NaBH}_4$ 溶液( $5 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )混合均匀, 利用紫外-可见分光光度计的光谱扫描模式测定紫外吸收曲线找到最大吸收波长 $\lambda_{\text{max}}$ 。向上述反应液中加入稀释的银纳米胶体溶液, 在光度测量模式下, 以 $\lambda_{\text{max}}$ 测定反应动力学曲线。配制系列标准溶液, 以 $A = \lg(1/T) = Kbc$ 为定量依据, 在定量测量模式下, 测定待测物吸光度 $A$ 及浓度 $c$ 。

随着4-NP浓度下降, 溶液颜色由亮黄色逐渐变为无色, 可实现无仪器的可视化检测。

## 2 结果与讨论

### 2.1 银纳米胶体的表征

本实验通过添加不同体积的 $\text{KBr}$ 溶液(不同的 $\text{Br}/\text{Ag}$ 比)调节 $\text{AgNPs}$ 尺寸, 利用 $\text{AgNPs}$ 的表面等离子体共振效应, 得到一系列不同颜色(可见光)的银纳米胶体溶液(图4e,f)。随着 $\text{KBr}$ 添加量的增多, 银胶溶液颜色由蓝色逐渐变为黄色(图4e从左至右), 紫外吸收光谱的最大吸收峰明显蓝移, 半峰宽减小, 紫外吸收峰变得尖锐(图4g从右至左), 这与银胶溶液颜色情况一致。通过对比TEM图发现, 银纳米颗粒均为三角片状、六边形和球形混合, 较低 $\text{Br}/\text{Ag}$ 比得到的纳米颗粒具有较强的各向异性, 以三角片状为主, 尺寸较大(图4a), 同时混杂少量六边形及小尺寸球形。随着 $\text{Br}$ 添加比例的增高, 颗粒尺寸逐渐变小, 球状颗粒比例增加(图4b,c), 不断趋于各向同性。

在此基础上,引入RGB颜色识别机制<sup>[11,12]</sup>,以 $B/(R+G+B)$ 为横坐标,以粒径分布为纵坐标,拟合得到一条线性关系良好的直线(图4h),用于粗略评估AgNPs尺寸,可解决本科实验过程中表征手段缺失造成的限制。

针对实验课堂中存在的银胶溶液颜色失控问题,通过逐一排查发现柠檬酸钠的添加和快速充分混合对实验结果至关重要。对失败样品进一步表征,发现仍存在明显的丁达尔效应(图4f右),但其银纳米颗粒分散性极差,呈现三角片状面堆叠的状态(图4d),这种堆叠可能是造成胶体溶液颜色统一呈现棕色的主要原因。

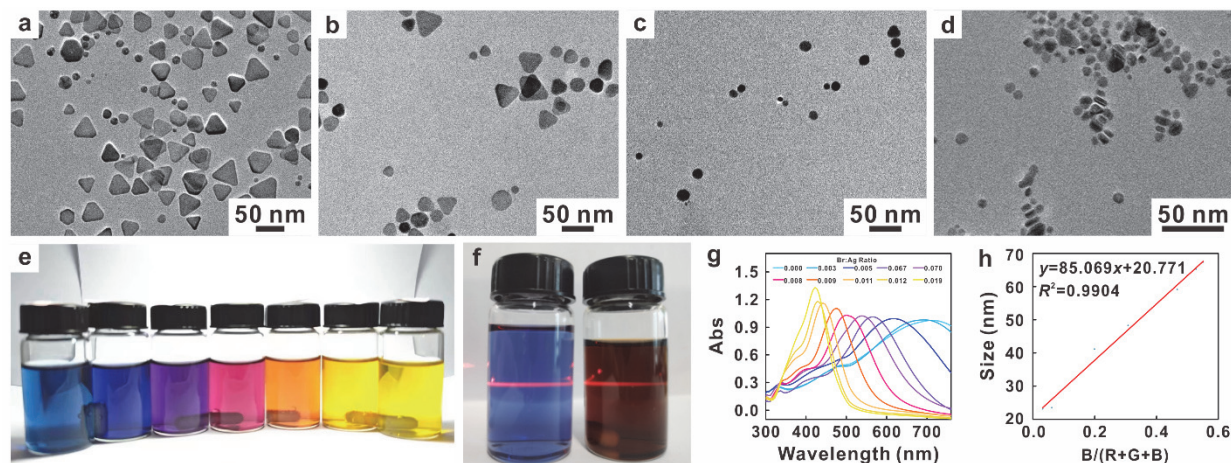


图4 不同比例KBr添加的银纳米粒子性质

- (a)  $R_{Br:Ag} = 0$ , 蓝色AgNPs的TEM图; (b)  $R_{Br:Ag} = 0.007$ , 紫色AgNPs的TEM图;  
 (c)  $R_{Br:Ag} = 0.019$ , 黄色AgNPs的TEM图; (d) 棕色AgNPs的TEM图; (e) 表面等离子共振效应;  
 (f) 胶体的丁达尔效应; (g) 紫外吸收光谱; (h) RGB与粒径关系图

## 2.2 紫外光谱测定条件选择

由于硝基对苯环有吸电子诱导效应和吸电子共轭效应,可使相应的苯氧负离子的负电荷离域到硝基的氧原子上,从而使氧负离子更稳定,因此对硝基苯酚溶液呈现酸性。当体系pH变为碱性(添加硼氢化钠),对硝基苯酚中的羟基变为氧负离子,孤对电子增多,电子离域程度增大,分子轨道中最低空轨道和最高占据轨道间的能级接近,激发能量减小,对应的 $\lambda_{max}$ 红移至400 nm处(图5a)。

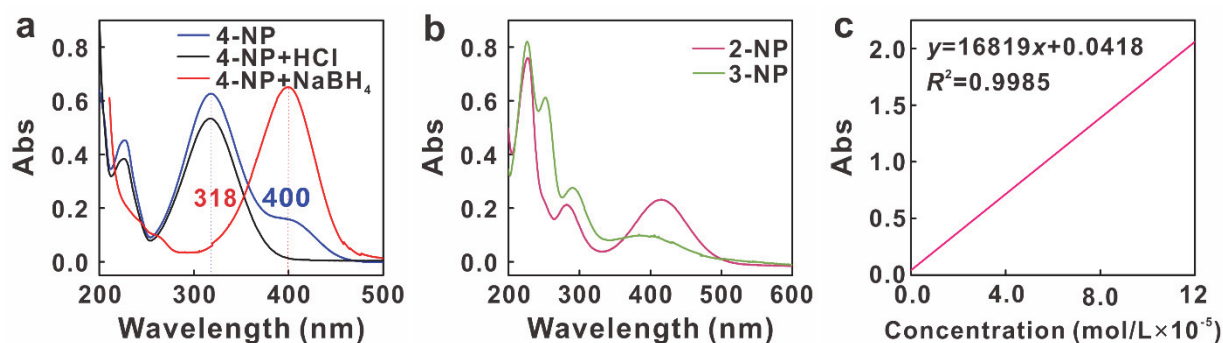


图5 (a) 4-NP的紫外吸收光谱; (b) 2-NP和3-NP的紫外吸收光谱; (c) 4-NP标准曲线

根据实际情况,以朗伯比尔定律为依据,绘制标准曲线 $y = 16819x + 0.0418$ ,线性关系良好(图5c),可以用于定量分析。

硝基苯酚通常以三种同分异构体的混合形式存在，实验将单独检测及同步降解纳入实验考查范围，邻硝基苯酚 $\lambda_{\max} = 227 \text{ nm}$ ，间硝基苯酚 $\lambda_{\max} = 226 \text{ nm}$  (图5b)。利用NaOH溶液调节反应液pH值至8–9的范围时，反应体系稳定性增强且硼氢化钠的分解速度明显降低，有利于实验进行。

### 2.3 银纳米胶体催化活性测定

当NaBH<sub>4</sub>加入到4-NP溶液时，酚羟基解离得到酚氧负离子，加入AgNPs后反应进入诱导期(图6)，这个过程中BH<sub>4</sub><sup>-</sup>在AgNPs表面吸附，当AgNPs吸附BH<sub>4</sub><sup>-</sup>后表面带负电，对溶液中的对硝基苯酚负离子的吸附存在电荷排斥，因此在吸附重组的过程中会出现一段时间的诱导期，在此期间4-NP的浓度不会发生明显变化(图7a 0–120 s)。吸附重组完成后，对硝基苯酚钠经多次还原得到不稳定中间体对苯醌亚胺，最终被还原为对氨基苯酚钠，紫外吸收发生明显蓝移。

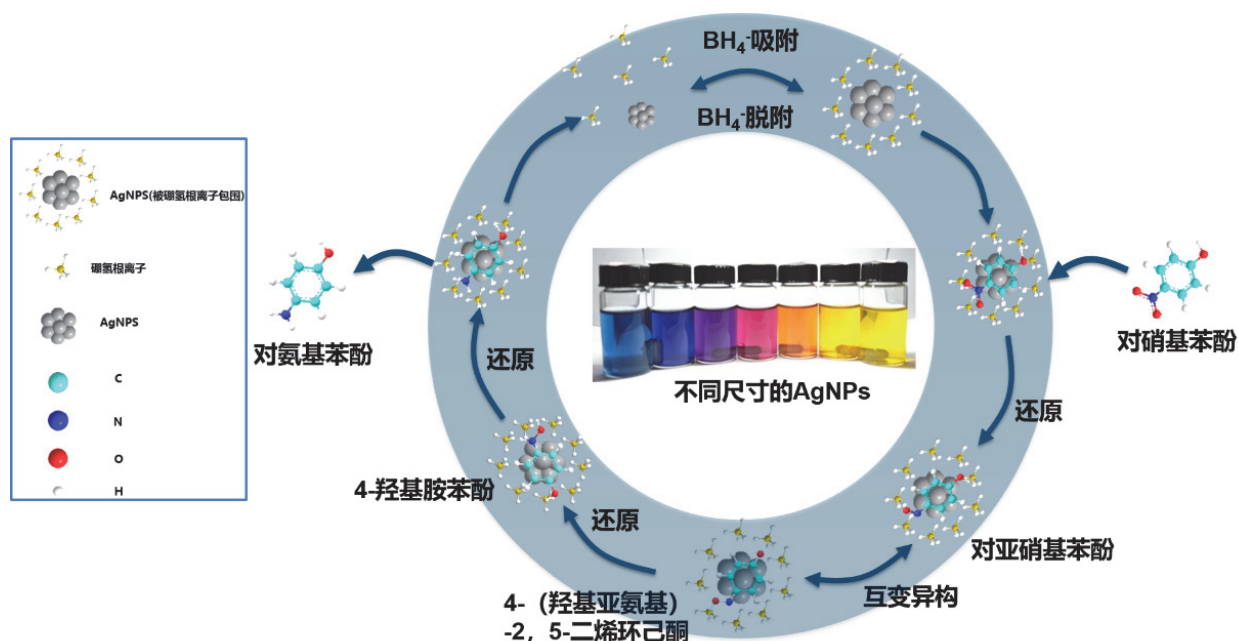


图6 AgNPs催化4-NP反应过程

由于4-NP与4-AP之间的电位差  $E_{4\text{-NP}/4\text{-NP}}^{\ominus}$  ( $-0.76 \text{ V}$ ) 小于硼氢化钠的还原电位  $E_{\text{H}_3\text{BO}_3/\text{BH}_4}^{\ominus}$  ( $-1.33 \text{ V}$ )，NaBH<sub>4</sub>对4-NP的还原在热力学上是可行的但没有催化剂存在下反应进行困难(图7a blank)。

因硼氢化钠过量，反应速率只与4-NP的浓度相关，此阶段可近似为一级反应动力学过程 (图7b)，又因4-NP浓度与吸光度存在良好的线性关系，所以4-NP的催化还原反应速率方程可用  $\ln(A_t/A_0) = -kt$  表示，其中  $k$  为表观反应速率常数，量纲为  $\text{s}^{-1}$ ，其值与温度、催化剂等有关。

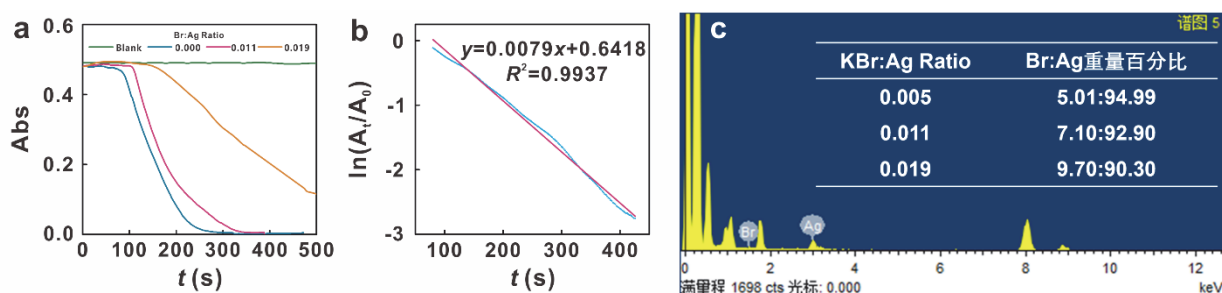


图7 不同AgNPs催化动力学曲线(a)、一级动力学方程(b)、EDS能谱数据(c)

图7a显示了不同种类AgNPs的催化反应动力学曲线，随着Br比例的增加，反应速率明显变慢，这与银纳米颗粒形态及表面性质相关。随着表面Br含量的增加，AgBr占据了更多的活性位点，使得吸附活化及催化还原速度降低，表现为诱导时间和反应时间均有一定程度延长，这与能谱结果相吻合(图7c)。而纳米颗粒形态似乎对其活性也有一定的影响，Gu等<sup>[7]</sup>指出具有三角片状及六边形形貌的AgNPs具有更高的催化活性，在其边或角上更易提供活性位点，而李东祥等<sup>[13]</sup>则认为三角片状比球状结构具有更高的比表面积，从而提供更多的活性位点，但均尚未给出明确的数据支持，有待进一步考察。

## 2.4 载银滤纸的催化效果测定

上述AgNPs对4-NP虽具有优异的催化反应活性，但在胶体溶液存储过程中发现明显的颜色变化(三周左右开始变暗淡)，可能是纳米粒子聚集造成的，且银纳米粒子的催化活性随着时间的推移也会逐渐降低(即便不使用)。此外，反复的离心也会加剧纳米粒子的聚集且造成不可避免的样品损失。为了克服这一问题，首先考虑将催化剂负载到合适的载体上，如聚合物、石墨烯、碳纳米管等，然而此类负载流程步骤繁琐，耗时较长，不适合本科实验教学。定性滤纸是化学分析实验中常见的耗材，纸质疏松，对液体有强烈的吸收能力，本实验将硼氢化钠还原硝酸银反应与定性滤纸相结合制备了载银滤纸，用于改善催化剂循环使用的问题。

纸张通常由纤维素纸浆制成，含有大量的羟基(-OH)基团，使其表面带负电荷，有利于硝酸银溶液中的Ag<sup>+</sup>通过静电作用吸附在滤纸上，此外纤维素基质中存在大量孔隙，通过毛细作用可以吸附大量基质，有利于银纳米颗粒的沉积。实验对比了直接沉积和浸泡沉积两种制备方式(图8a)，左侧样品采用直接沉积法，右侧样品采用浸泡沉积法，上方为第一次制备样品，下方为第二次制备样品，经对比发现浸泡沉积法制备的载银滤纸颜色均匀，重现性好，而直接沉积过程中会形成大量黑色银单质，颜色分布极不均匀，催化效果也较浸泡法差。浸泡过硝酸银的滤纸在放入NaBH<sub>4</sub>溶液后，纸张颜色迅速变为黄褐色，干燥即得载银滤纸，方便快捷。

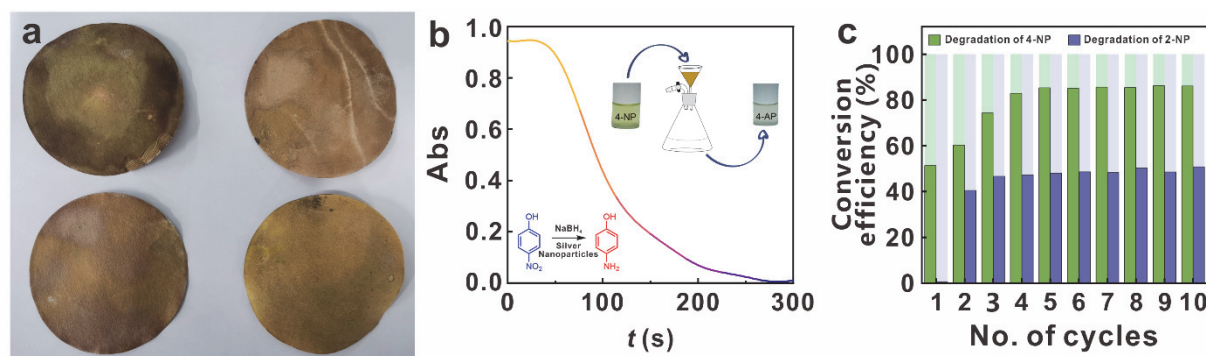


图8 (a) 不同制备方法载银滤纸(左-直接法、右-浸泡法); (b) 载银滤纸动力学曲线; (c) 循环使用效率

利用载银滤纸、三角漏斗、锥形瓶等搭建简易反应收集器，紫外分光光度计进行催化性能研究。当NaBH<sub>4</sub>加入到4-NP溶液时，酚羟基解离得到酚氧负离子，溶液呈现明亮黄色，反应液在与载银滤纸接触后可由黄色转变为近乎无色(图8b)，改善了反复离心造成的诸多问题，同时还可实现催化降解的可视化研究。在十次循环实验中(图8c)，催化剂的转化效率不断提高直至稳定，前三次效果不佳，主要归因于滤纸上银纳米颗粒对反应物的吸附活化过程(与AgNPs的诱导期类似)，三次循环后载银滤纸表现出了较高的催化效率，循环7次转化率仍没有明显下降，说明其良好的重复性和稳定性。此外，实验还对比了4-NP与2-NP的转化效果，发现对4-NP的催化活性(降解率90%)明显高于2-NP(降解率50%)，这与AgNPs结果相符，二者整体趋势相同，这也能进一步说明其良好的重复性和稳定降解效果。

### 3 实验安排和教学建议

实验融合多个二级学科的理论知识与实验技能,既可以作为综合化学实验对高年级本科生开设,也可模块化为基础化学实验对低年级学生开展。该实验作为天津大学应用化学专业本科生《化学研究与训练II》的子项目已开设两期,具体实践环节如表4所示。

表4 教学环节设计

课程安排	完成内容	时间安排
课前准备	教师公布子课题并对相关规则进行介绍 学生自由结组,自主选择子课题	开课前一周(2学时)
实验前准备	学生查阅相关文献后进行组内讨论并拟定实验方案(教师监督) 教师与学生讨论实验方案,提出指导意见	开课前一周(4学时) 开课前一周(2学时)
实验准备	学生统计实验所需仪器、药品、耗材,并报送教辅老师 学生到实验准备室自助式选取所需物品,整理清洗等	第一次实验课(2学时) 第一次实验课(2学时)
实验过程	银纳米胶体的制备及颜色识别 测试及表征(TEM、纳米粒度仪等) 银纳米材料催化还原硝基苯酚 学生自主开展创新实验或拓展实验	第二次实验课(6学时) 第三次实验课(4学时) 第四次实验课(4学时) 第五次实验课(4学时)
数据处理	分析讨论实验结果并撰写结课报告	课后自主学习(8学时)
成果展示	小组汇报及成绩评定	开课一周(4学时)

#### 3.1 课前准备

教师在课前一周进行课程介绍及实验分组(2-3人一组为宜),发布课题任务,要求学生查阅文献并设计实验方案。学生根据所选子课题进行文献查阅及实验设计,并在教师的监督和帮助下确定初步实验方案。此过程需要教师对学生实验方案进行可行性评估,并根据实验室的具体条件给出建设性意见,最终得到合理的实验方案。

#### 3.2 课中实践

学生首先在准备室选取实验所需的仪器和药品并做好登记,同时将需要额外采购的试剂和耗材整理成文档报送教师。参照实验设计方案完成实验探究,并做好数据记录。其中,银纳米胶体的制备需要4学时,颜色识别需要2学时;TEM和纳米粒度仪等测试表征需要4学时;银纳米材料催化还原动力学实验需要4学时;简易降解反应器搭建及效果测试需要4学时。此过程需要教师随时关注学生的实验情况,并及时给出可行性建议或启示。

#### 3.3 课后反馈

学生需对实验过程中收集到的数据进行处理及分析,要求学生查阅文献并根据实验现象推导实验原理,绘制实验机理图并给出各步反应方程式。在课后一周,以小组为单位进行课程汇报,学生互评为主,指导教师评价为辅。此过程需要教师及时为学生答疑解惑提供指导,并根据成果报告及汇报情况统计学生成绩。

实验教学内容可根据实验室条件及课程学时任意组合,如银胶溶液及载银滤纸制备可作为4学时无机化学实验;硝基苯酚的催化还原可作为4学时仪器分析实验或物理化学实验,同时可高度外延,引出催化还原机理阐述及模型搭建的有机化学知识、异相催化能量测算的计算化学方法、纳米酶的性质研究等科技前沿内容。

基于科教融合的综合化学实验教学通过项目式教学与体验式学习融合,能够充分尊重学生的主

体地位, 激发学生的学习热情。在教学过程中教师应适当增加思政元素的融入, 但注意把握好融入的节点和时机, 避免生硬的思政植入激发学生反感情绪, 多尝试启发式、融合式及讨论式教学方法, 实现专业知识与理想信念、品德修为、文化自信的内在融合, 确保以学生为中心, 拓展本科基础化学实验课堂。

#### 4 结语

本实验以银纳米粒子为切入点, 引出贵金属纳米材料的表面等离子体共振效应, 通过视觉上的颜色变化反观纳米材料科学; 通过颜色调控方法引导学生思考“量”与“质”的辩证关系; 利用手机采集RGB值预估纳米颗粒尺寸, 弱化表征手段缺失造成的课堂影响; 聚焦水污染防治问题, 践行绿色、环保的发展理念; 通过简单的负载方法, 提高循环利用率, 强化学生对可持续发展与合作共赢的理解, “润物细无声”地将科研思维与思政元素融入化学实验课堂。实验绿色、安全、可操作性强, 能够充分锻炼学生的创新思维和实践能力, 学生主导课堂, 利用灵活、开放的成果展示方式, 激发学生的团体意识和社会意识, 培养有情怀、有担当的新时代化学人才。

#### 参 考 文 献

- [1] 房川琳, 藏丽娟, 宋红杰. *实验室科学*, **2024**, 27 (1), 49.
- [2] 郝一达, 乔丹, 孙琦, 丁立军, 海波, 魏航. *化学教育(中英文)*, **2024**, 45 (4), 47.
- [3] 郑胜彪, 李亮, 张妮妮. *大学化学*, **2024**, 39 (7), 345.
- [4] 凌剑. 银纳米粒子的局域表面等离子体共振散射在生化药物分析中的应用研究[博士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [5] 卢怡, 周丹, 刘金库. *实验室研究与探索*, **2019**, 38 (3), 165.
- [6] 刘梦婷, 杨树芬, 薛雨. *大学化学*, **2023**, 38 (9), 163.
- [7] Gu, S.; Wunder, S. *J. Phys. Chem. C* **2014**, 118, 18618.
- [8] Strachan, J.; Barnett, C. *ACS. Catal.* **2020**, 10, 5516.
- [9] Wunder, S.; Lu, Y. *ACS. Catal.* **2011**, 1, 908.
- [10] Menumerov, E.; Hughes, R. A. *Nano. Lett.* **2016**, 16, 7791.
- [11] 吴硕, 罗圆圆. *食品安全质量检测学报*, **2023**, 14 (6), 54.
- [12] 马璐瑶, 张钧富. *大学化学*, **2023**, 38 (4), 78.
- [13] 李东祥, 张晓芳. *化学教育(中英文)*, **2020**, 41 (16), 49.