

基于“ST_S理念”的“课题式”本科综合化学实验教学探究 ——以金纳米粒子相关实验为例

刘利娜, 魏小兰, 胡建强*

华南理工大学化学与化工学院, 广州 510641

摘要: 为全面推进科教融合, 推进化学实验教学的改革, 本文以金纳米粒子实验为例, 在综合化学实验中引入“科学、技术、社会(ST_S)理念”, 通过“课题”形式开展本科实验教学。将科研方法和科学技术融入本科教学, 让学生掌握科学研究方法和最新的科学技术, 培养学生科研实践探索能力, 实现科学与技术在社会中得到应用的获得感。

关键词: 本科实验教学; ST_S理念; 实验探究; 科学研究; 科学技术

中图分类号: O6; G4

Exploration of Subject-Oriented Undergraduate Comprehensive Chemistry Experimental Teaching Based on the "ST_S Concept": Taking the Experiment of Gold Nanoparticles as an Example

Lina Liu, Xiaolan Wei, Jianqiang Hu *

School of Chemistry and Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China.

Abstract: To comprehensively promote the integration of science and education and the reform of chemical experimental teaching, this article introduces the concept of "science, technology and society (ST_S)" in comprehensive chemical experiments to develop undergraduate experimental teaching through the form of "projects" and taking the experiment of Au nanoparticles as an example. By integrating scientific research methods and technology into undergraduate teaching, the students can master scientific research methods and the latest scientific technologies and acquire their ability of scientific research, finally achieve the sense of achievement in the application of science and technology in society.

Key Words: Undergraduate experimental teaching; ST_S concept; Experimental exploration; Scientific research; Science and technology

科学、技术与社会(ST_S)理念是科学教育改革中兴起的一种新的科学教育构想, 其宗旨是培养具有科学素质的学生^[1]。ST_S理念要求面向公众、面向全体, 强调理解科学、技术和社会三者的关系, 重视科学、技术在社会生产和人们生活中的应用。提高学生对科技的兴趣与动机, 培养学生适应未来的能力, 培养学生对科技的决策力; 开拓学生的价值观与伦理观。扩展学生对社会的理解: 理解社会生活中的合作关系, 培养学生的社会责任感。

纳米技术是现代科学与技术结合的产物, 它的产生对现代生产生活有重要的推进作用, 其中有关金纳米粒子制备^[2,3]及应用的研究有很多, 尤其在生物医学领域。例如, 金纳米粒子可用于免疫层

析技术(作为显微镜示踪物, 疫情期间使用的一种新冠检测试剂盒)、均相溶胶颗粒免疫测定技术、流式细胞仪, 斑点免疫金银染色技术、生物芯片、传感器等, 实质上是蛋白质等高分子被吸附到金纳米颗粒表面的包裹过程。Negahdari等将金纳米粒子与探针偶联, 与目标核酸分子形成超分子结构, 从而引起溶液相应的颜色变化, 可实现可视的核酸定性或定量检测^[4]。李娟的研究表明, 100 nm胶体金纳米粒子作为新型探针载体在免疫层析检测中具有良好的研究价值和应用前景^[5]。Chen等开发了一种基于纳米金溶胶和适配体耦合阿仑膦酸上转换荧光纳米粒子, 可应用于简单、快速检测鼠伤寒沙门氏菌的荧光生物传感器^[6]。因此, 选择金元素且制备金纳米粒子, 并考察其与蛋白质的作用在实际生活中具有重要的应有价值。

1 本科综合性实验教学的设计

本文主要研究的是打破以往实验的常规设计方法及思路, 引入STS理念, 建立一个从科学和技术出发, 并应用于教学的实验教学体系。通过设计“课题式”的实验内容, 综合运用四大化学的知识解决复杂的化学问题, 掌握高端仪器的使用方法, 设计方法及思路如图1所示。而化学专业大三的本科生基本上已经学习了四大化学理论及其实验课程, 大四将进入本科毕业论文或以后的研究生学习。因此, 本研究主要针对本科三年级的学生进行本科综合化学实验教学的探究, 为以后的毕业论文和科学研究打下基础。

本综合性实验的改革主要有以下几点: (1) 引入STS理念, 将科学研究与科学技术融入到教学实践中; (2) 实验教学的内容来自科学仪器和科研实践, 制备了实验原料并了解其特性, 再应用到教学中去; (3) 综合运用所学化学知识分析和处理通过科学仪器得到的信息, 培养学生的科研实践探索能力。



图1 基于STS的“课题式”本科综合化学实验教学示意图

2 本科综合性实验教学的内容及效果

首先, 结合本科实验人数多、时间紧和污染小的特点, 摸索出一种适合本科实验教学的方法, 具体到实验方法、药品用量以及注意事项等。然后, 给出学生实验题目和部分参考资料, 再结合学生自己查阅的资料, 让其自行拟定实验方案。最后, 每组挑选出一份最优实验方案, 经修改后作为最佳方案进行实验, 记录实验过程、处理实验数据和得出结论。

具体的实验过程相较于已发表的方法做了一些改动, 如在脱硫环节加入了尾气吸收装置, 以减少对人和环境的污染。另外, 为了激发学生的互相协作的能力, 我们将学生分为1或2人一小组, 8-10人一大组, 除了组内协作完成实验外, 还要进行组间实验结果的对照, 并对其实验结果进行分析和总结。在实验的过程中, 同学们在解决复杂的实际生产生活问题时, 不仅要用到我们所掌握的化学理论知识, 还要借助一些实验技术去才能更好、更快、更有效地完成。

2.1 用科学环保的方法从金精矿获取制备纳米金的原材料——氯金酸

2.1.1 实验方法及结果

用活性炭富集法从金精矿中制备氯金酸，并用火焰原子吸收光谱法测量金的含量。一个大组分4-6个小组同时进行实验，两个小组称取同一个分装袋中的金精矿，作为两个平行样。其中一大组用活性炭富集法制备氯金酸的火焰原子吸收(ABS)数据统计如表1所示，并通过标准曲线法计算出金的含量(图2)。对表1的测量结果分析表明，平行实验得到的金含量很接近，说明活性炭富集法可有效地从金精矿中提取到金。虽然可能因为样品分装不均造成测量的金含量不完全一致，但该大组测量的金含量的平均值(约 $19.46 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$)与金精矿的金含量(约 $20 \text{ g}\cdot\text{t}^{-1}$)几乎是一致的。

表1 待测样测量结果

待测样编号	平行实验	ABS	金含量/($\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$)
1	平行1-1	0.0523	18.66
	平行1-2	0.0526	18.81
2	平行2-1	0.0682	24.21
	平行2-2	0.0671	23.74
3	平行3-1	0.0446	16.01
	平行3-2	0.0428	15.32

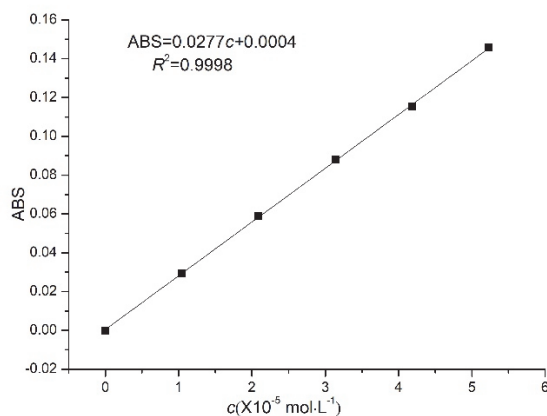


图2 本实验得到的金标准曲线图

2.1.2 实验结果的教学分析

在本实验中，学生可学习到如何从自然界获取制备金纳米粒子的原料——氯金酸，从科学到技术的过程，最后再服务于社会。同时，学生们可巩固已学的无机、分析化学知识，如无机化学元素鉴定方法和铁元素的检验方法。因此，本实验可更好地理解实验过程中的除杂步骤，掌握火焰原子吸收原理、使用方法和数据处理等。

2.2 不同尺寸球形金纳米粒子的制备与表征

2.2.1 实验方法及结果

采用1%柠檬酸钠还原0.01%氯金酸，制备出不同大小的金纳米颗粒，并利用透射电子显微镜观察金纳米粒子的形貌，如图3所示。经测量，除使用 $200 \mu\text{L}$ 1%柠檬酸钠制备的金纳米粒子(图3A)的一组同学外，其他组同学制得的金纳米粒子均为球形金纳米颗粒。即分别使用 400 、 600 和 $800 \mu\text{L}$ 的柠檬酸钠时，制得的金纳米颗粒的平均直径依次约为 35 (图3B)、 20 (图3C)和 15 nm (图3D)。经过小组间的测量结果对比，可以看出，随着使用柠檬酸钠的量的增加，金纳米粒子尺寸依次减小。图4为

使用能量散射谱分析上述制备的纳米粒子的成分。研究发现，除了铜网载体上的碳、铜、氧外，只有金元素存在，说明我们制备的纳米粒子是金纳米粒子。

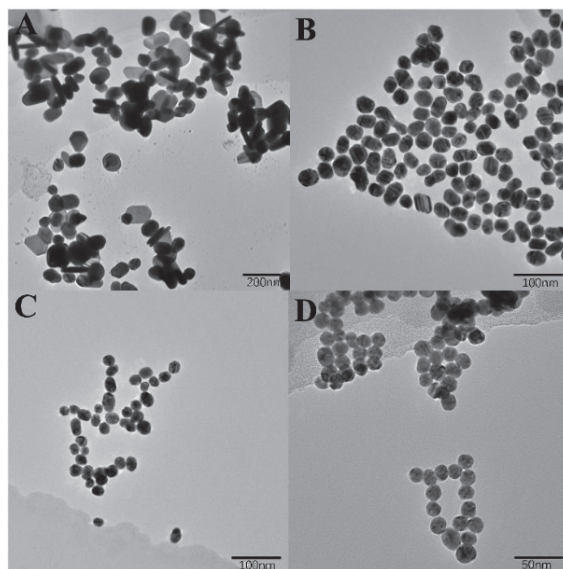


图3 本实验用柠檬酸钠制备的金纳米粒子的TEM图

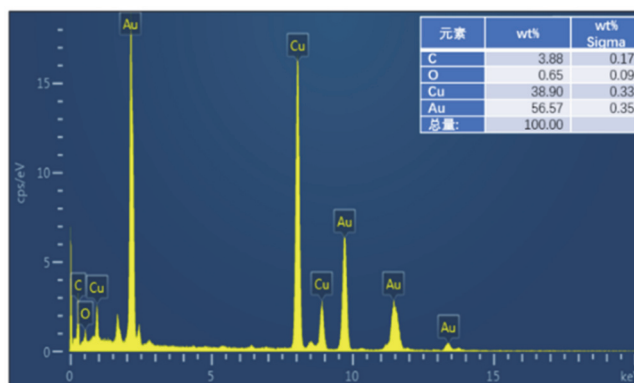


图4 本实验制备的金纳米颗粒的元素分析图

2.2.2 实验结果的教学分析

本实验采用科学方法制备出金纳米粒子，涉及有机化学、晶体结构等知识，改变了学生对金的常规印象，了解了纳米级金的状态及制备方法。同时，首次掌握了透射电子显微镜的结构原理、简单的操作和分析方法。激发了学生对更广阔的科学世界的憧憬。

2.3 纳米技术在生物医学中的应用——不同尺寸金纳米粒子对牛血清白蛋白猝灭的影响

2.3.1 实验方法及结果

不同组同学分别将平均直径约为35、20和15 nm的金纳米颗粒与牛血清白蛋白(BSA)进行培养，并测量其溶液的紫外-可见吸收光谱，如图5所示。BSA的最大吸收峰在280 nm处，加入金纳米粒子后，BSA溶液发生了蓝移，表明球形金纳米粒子与BSA发生了相互作用。从298、303、311 K温度下的荧光猝灭情况可知，在同一温度下加入不同浓度的球形金纳米粒子，BSA的荧光强度有不同程度的降低，如图6所示。随着温度的升高，加入同浓度金纳米粒子的BSA荧光强度降低，表明球形金纳米粒子会使BSA的结构发生改变。

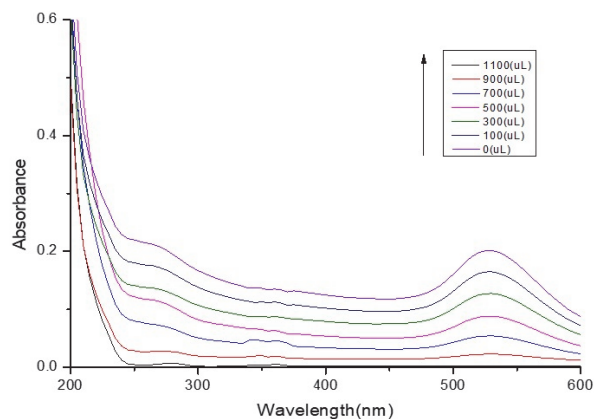


图5 25 °C时不同量的尺寸约为35 nm的金纳米颗粒与BSA相互作用的紫外吸收光谱图

电子版为彩图，下同

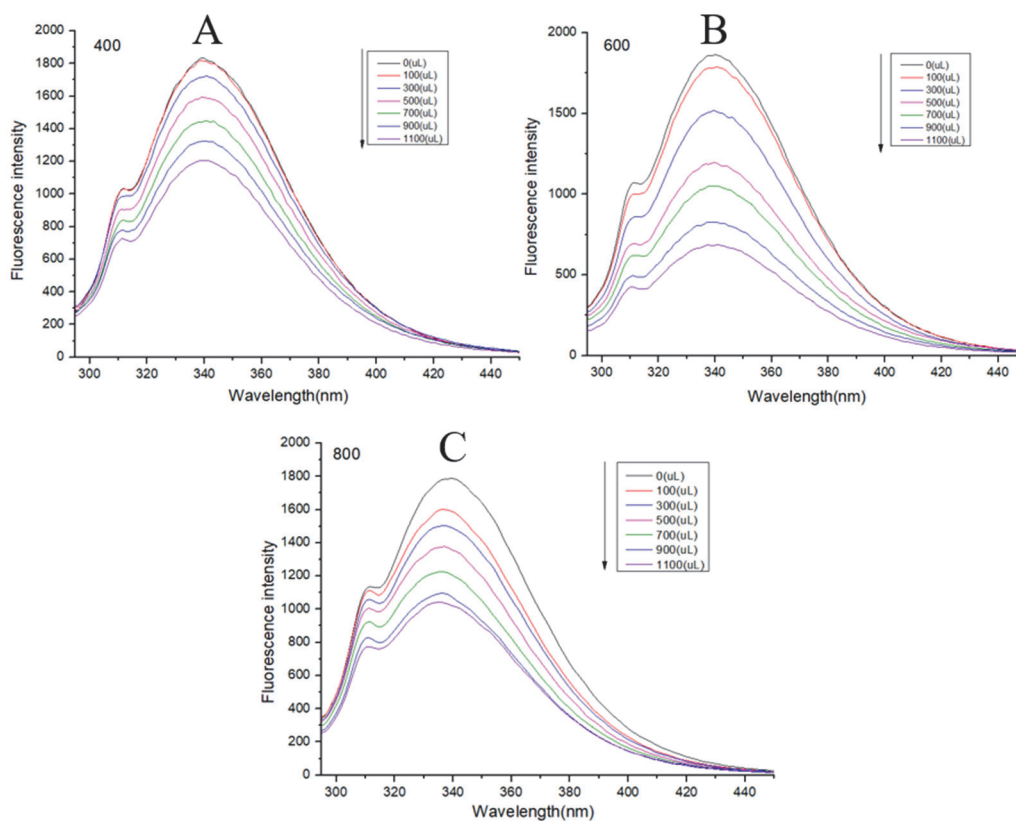


图6 25 °C时不同尺寸的金纳米颗粒与BSA相互作用的荧光光谱图

金纳米颗粒直径: (A) 35 nm; (B) 20 nm; (C) 15 nm

不同组同学根据Stern-Volmer方程: $F_0/F = 1 + K_{sv}c = 1 + K_q\tau_0c$, 拟合获得对应线性图, 如图7所示, 可知随着尺寸约为35 nm的金纳米粒子浓度的增加, K_{sv} 在298、303、311 K时依次增大, 说明其猝灭过程为动态猝灭过程。而随着尺寸为20和15 nm左右的金纳米粒子浓度的增加, 温度增高, K_{sv} 值减小, 且其 K_q 值均远远大于 $2.0 \times 10^{10} \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 说明该尺寸范围内的金纳米粒子与牛血清白蛋白属于静态猝灭过程, 如表2所示, 因此说明不同尺寸范围的纳米金与牛血清白蛋白的猝灭方式不同。

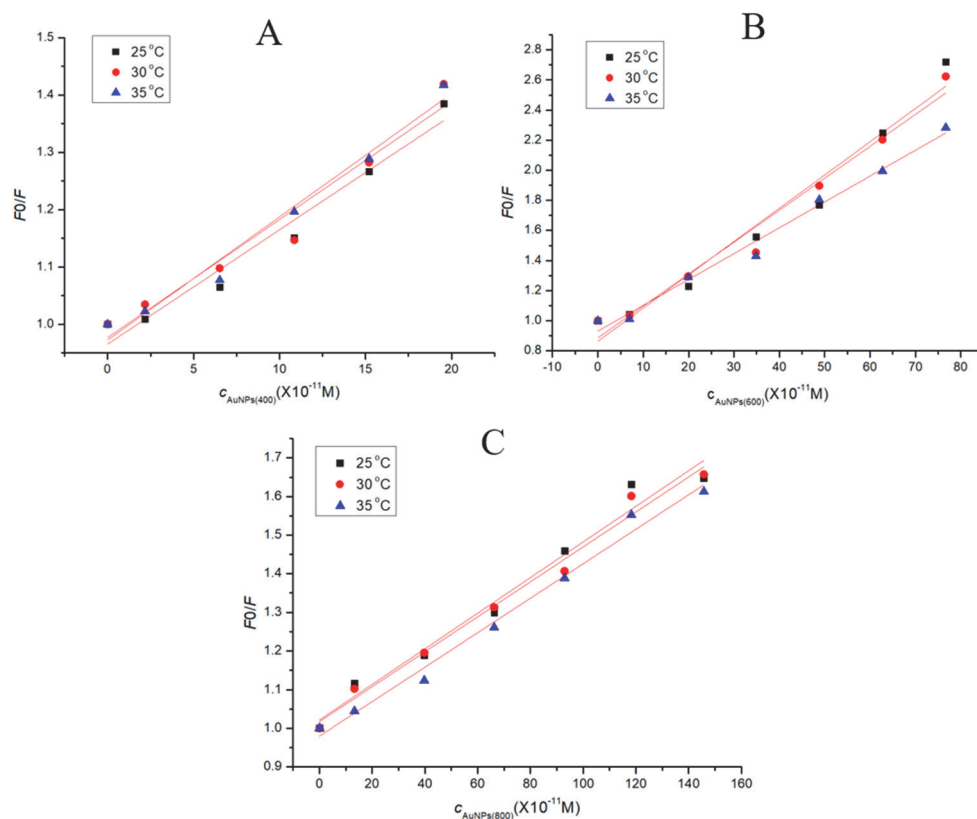


图7 不同尺寸的金纳米颗粒对BSA荧光猝灭的Stern-Volmer图

金纳米颗粒直径: (A) 35 nm; (B) 20 nm; (C) 15 nm

表2 三种尺寸纳米金颗粒在不同温度下与BSA相互作用猝灭常数

尺寸/nm	$T/^\circ\text{C}$	$K_{sv}/(\times 10^9 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1})$	$K_q/(\times 10^{17} \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$
35	25	1.996	1.996
	30	2.061	2.061
	35	2.149	2.149
20	25	2.210	2.210
	30	2.123	2.123
	35	1.718	1.718
15	25	0.461	0.461
	30	0.452	0.452
	35	0.446	0.446

2.3.2 实验结果的教学分析

本实验实现了纳米技术在实际生活中的应用, 了解了金纳米粒子与牛血清白蛋白的作用机理及其性质, 突出了STS教育中科学对社会的价值。同时, 学生掌握了紫外和荧光光谱仪的结构、原理和操作方法, 并利用Origin软件进行了绘图和分析。

2.4 实验教学效果分析

本实验为综合实验化学内容, 16个学时, 授课对象为本科三年级的应用化学专业1班、2班和强基班, 共计109位同学, 实验结束后, 我们对授课学生的能力进行了统计(表3)。可以看出, 本实验教

学已基本达到了教学改革的目的。不仅提升了学生们综合运用自己所学知识的能力，而且也提升了学生们仪器操作、数据处理和团结协作的能力，能够将新学的科学技术应用到社会，对“课题”选题和设计有很大帮助。理解到“科学”“技术”在“社会”中的作用，正如同学们所说，“本次实验为自己未来的学习和工作提供了强大的动力和信心”。

表3 实验教学效果统计表

考察点	达成度/(%)
1. 综合运用已学相关化学知识能力	91
2. 仪器操作和应用能力	88
3. 数据处理能力	81
4. 团结协作能力	84
5. 将科学与技术应用于社会的能力	82
6. 对“课题”选题和设计的帮助	80

3 结语

综上所述，本文通过在本科综合化学实验中引入“STS理念”，通过“课题”形式开展了本科实验教学。本综合性探究实验首先从自然界中获得金元素，制备金纳米粒子并应用于生物医学，形成“课题式”的教育方式，并将科学、技术与社会有机结合，体现了STS的教育理念。让学生学会如何结合社会需求和现有的科学技术去选题，如何综合运用所学知识及“手段”去解决复杂的综合性问题或创造出更有益于社会的科学技术，服务于社会的同时实现自己的人生价值，培养学生在有限的时间内共同协作解决问题的能力，从而理解社会生活中的合作关系。学习并掌握了火焰原子吸收仪、透射电子显微镜、荧光光谱仪的原理及操作方法，熟练掌握了Origin等软件的数据处理能力，让学生掌握科学研究的方法和最新的科学技术，培养学生的科研实践探索能力，实现科学与技术在社会中得到应用的获得感。

参 考 文 献

- [1] 杨明全. 比较教育研究, **2010**, No. 10, 86.
- [2] Hariharan, S.; Karthikeyan, B. *Spectroc. Acta Pt. A-Molec. Biomolec. Spectr.* **2018**, 193, 344.
- [3] 潘碧峰, 崔大祥, 徐萍, 李清, 黄拓, 陈浩, 刘凤涛, 邵君, 尤晓刚, 贺蓉等. 材料科学与工程学报, **2007**, 3 (25), 333.
- [4] Cagil, E.; Ozcan, F.; Ertul, S. J. *Nanosci. Nanotechnol.* **2018**, 8 (18), 5292.
- [5] 李娟. 不同粒径球状纳米金的合成及其对免疫层析方法检测灵敏度的探究[硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [6] Chen, M.; Pan, L.; Tu, K. *Anal. Methods* **2021**, 13 (21), 2415.