

优质课例

基于尺度视角下的“催化剂”拓展课教学*

孙磊^{1,2**} 郑长龙²

(1. 东北师范大学附属中学 吉林长春 130021; 2. 东北师范大学化学教育研究所 吉林长春 130024)

摘要 通过对 Fe^{3+} 催化过氧化氢分解的实验过程的探究,证实了有的均相催化剂参与反应后化学性质是有改变的,完善了对催化剂概念的认识。进一步基于尺度视角设计并制备了新型的非均相催化剂磁性 Fe_3O_4 纳米粒子,并对其催化双氧水分解的过程进行了实验探究,对其是否损耗与 Fe^{3+} 的催化过程形成对比,对均相催化剂和非均相催化剂进行了比较与评价。以尺度为思考问题的出发点,引导学生理解科研前沿(单原子催化剂)的设计思想,构建学生认识物质的尺度观念,促进学生进一步认识科学本质和学科价值,培养学生的创新意识。

关键词 催化剂 均相 非均相 尺度 单原子催化 过氧化氢

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2019040055

1 教学主题内容及相关教学设计分析

催化剂是影响化学反应速率的重要因素,在工业生产中有非常重要的作用和意义,也是初中和高中化学课程中都会学习到的内容。《普通高中化学课程标准(2017年版)》^[1]对“催化剂”内容做了如下要求:(1)通过实验探究,了解温度、浓度、压强和催化剂对化学反应速率的影响;(2)知道催化剂可以改变反应历程,对调控化学反应速率具有重要意义。高中化学教材都有“催化剂对反应速率的影响”的相关内容。以人教版普通高中化学教材为例,《化学2(必修)》^[2]第2章“化学反应速率和限度”第2节和《化学反应原理(选修4)》^[3]第2章“化学反应速率和化学平衡”第4节都有关于“催化剂对反应速率的影响”的内容,主要是通过实验探究阐述催化剂对反应速率的影响和有关催化剂改变反应历程降低活化能的内容。以往文献报道中对于催化剂的教学设计^[4-6]都主要集中于通过改进催化剂加快反应速率的实验装置和实验载体或基于手持技术对催化剂加快反应速率来进行实验探究,或是通过模型建构对化学反应速率进行整体教学设计。而对于催化剂参与反应过程的实验探究很少见到报道,必修2教材中分别用均相催化剂(FeCl_3 溶液)和非均相催化剂(固体 MnO_2)进行了催化双氧水分解的实验探究,但是并没有进一步对均相催化剂和非均相催化剂是否有损耗进行深入探究,把2种类型的催化剂进行对比分析的教学设计几乎没有。

2 教学设计思想

2.1 基于尺度认识物质的性能

尺度是认识物质的一个重要方面,尺度效应普遍存在于自然界和物质的制备与合成中。尺度问题涉及化学研究的一系列对象:从原子、分子、高分子、生物大分子、超分子、分子片及有关聚集态直至复合材料和复杂体系。在生命科学领域,以物质转化角度为视角,生物系统的化学复杂性通常表现为多层次和多尺度问题。在材料化学领域,以物质制备为视角,通过尺度的调控对材料的性质和性能起到了至关重要的作用。当微观结构的特征尺度减小到一定程度时,其结构的力学及其他特性随着尺度的变化而变化,即其力学性能存在尺度效应现象^[7]。因此,在教学过程中构建学生认识物质的尺度视角具有十分重要的意义。

2.2 基于尺度认识催化剂的活性

纳米科学的发展更新了人们对催化剂的认识,产生了“纳米催化”的概念,由于纳米催化剂颗粒尺寸小,表面与体积比增大,表面原子的键态和电子态与晶体内部不同,原子配位不饱和导致催化剂表面反应活性位点增加。近年来,纳米催化引起了科学界和产业界的充分重视,纳米催化科学的相关研究十分广泛而深入,极大地促进了纳米催化科学的发展,扩大了纳米催化剂的应用领域^[8]。随着纳米科学的发展,人们认识到催化剂活性组分颗粒尺寸减小所带来的尺寸效应对于催化反应具有极大的影响。科学家们通过不断减小活性金属粒

* 吉林省教育学会“十三五”教育科研规划课题“基于‘素养为本’的高中化学课堂教学设计与实施”(编号:2019G10822B)

** 通信联系人, E-mail: sunlei2065@126.com

子的尺寸提高金属原子利用率, 获得催化剂的高活性。理论上讲, 催化剂活性组分的极限尺寸为单个原子, 此时活性成分的原子利用率为 100%, 传统的催化剂以及称之为“纳米和亚纳米”的催化剂的原子利用率远低于这种理想的水平^[9]。因此, 在催化剂的教学中有必要通过尺度视角构建对催化剂活性的认识。

2.3 整体设计思路

本文是在学生学习完催化剂的全部相关内容后的一节拓展课, 其目的是拓展对均相和非均相催化剂的认识, 增加学生的动手实验能力。开设本节课需要在实验室中进行, 需要 1.5 课时, 所需的仪器、药品都是实验室中常用的, 具体见教学实录。《普通高中化学课程标准(2017 年版)》的基本理念中有这样的描述: “通过有层次、多样化、可选择的化学课程, 拓展学生的学习空间, 在保证学生共同基础的前提下, 引导不同的学生学习不同的化学, 以适应学生未来发展的多样化需求”。本节拓展课的目的正基于此, 在学生对催化剂基本内容有了充分的学习, 同时在学生具有一定的动手能力的基础上授课的。本节课的探究实验和制备实验都不复杂, 一般的实验室条件都可以完成, 具有很强的可重复性。基于实验探究不断推进教学, 通过探究实验获得证据, 基于证据进行推理, 基于证据的教学会使课堂充满趣味和欢乐, 积极主动的推理让学生享受思辨的快乐^[10], 培养和发展学生的“证据推理”和“科学探究”的核心素养。

以“素养为本”为出发点, 以科学大概念“尺度”为线索和主题完成对催化剂的教学, 包括探究实验的设计、 Fe_3O_4 纳米粒子的制备、均相与非均相催化剂的对比以及单原子催化的引入等环节。主要有以下几个要点:

(1) 通过实验探究证实了均相催化剂参与反应后性质并不是完全不变, 完善了对催化剂概念的认识;

(2) 对均相催化剂和非均相催化剂各自的优缺点进行了对比讨论, 丰富了催化剂的教学内容, 尤其是基于尺度视角分析了均相催化剂和非均相催化剂活性的差异原因;

(3) 突出化学学科思想。基于催化剂尺度与活性的关系, 设计并合成了具有磁性的非均相纳米催化剂, 并探究了该催化剂催化双氧水分解, 这种设计→合成→验证的化学学科思想很好地体现在了本课的教学中;

(4) 进一步以尺度为线索, 教学中引入了科研

前沿(单原子催化剂)的设计理念, 进一步构建了学生认识催化剂的尺度视角, 同时培养并发展学生的创新意识。

3 教学目标

根据上述关于教材等文本的解读和有关的催化剂的相关内容的分析, 本节课的教学目标为:

(1) 通过 Fe^{3+} 在催化 H_2O_2 分解过程中和反应后是否有 Fe^{2+} 的实验探究, 初步认识到均相催化剂参与反应后性质并不是完全不变, 能够较好地设计出验证该问题的实验方案, 认识到实验验证是解决化学问题的重要方法, 认识到实验和理论对化学发展的重要作用, 感悟化学学科价值, 在实践中培养“科学探究”的核心素养, 形成化学学科的思维。

(2) 通过对上述实验结论的交流和讨论, 能够初步总结出均相催化剂和非均相催化剂各自的优点和缺点, 初步形成构建影响催化剂活性的重要视角即催化剂的尺度。

(3) 根据已有实验事实, 先设计而后制备新型非均相催化剂磁性 Fe_3O_4 纳米粒子, 然后再进行相应的其催化双氧水的实验探究, 在实验过程中培养设计实验能力、动手操作能力, 善于合作, 加深对化学学科本质的认识, 感悟化学的学科价值, 促进学习方式转变, 培养创新精神和实践能力。

(4) 认识科学探究是进行科学解释和发现的重要实践活动, 通过实验探究收集实验证据进行证据推理的重要依据, 从而发现和提出有探究价值的问题, 基于实验事实得出结论, 通过讨论提出观点和创新性设想。通过实验探究非均相催化剂 Fe_3O_4 催化双氧水分解后的损耗问题与均相催化剂形成对比, 进行优缺点的对比讨论, 分析出克服非均相催化剂缺点的办法是改变尺度, 构建认识物质的尺度视角, 增强问题意识, 独立完成实验, 分析现象和得出结论; 通过分析思考, 能够理解科学家设计单原子催化剂的理论初衷, 培养“创新意识”的学科素养, 深刻认识化学对创造更多物质财富和工业生产的重大贡献。

4 教学流程

基于学生对催化剂的已有认识, 在对几个核心问题的实验探究和讨论下逐步展开教学, 通过实验探究, 在不断地设问和追问中层层深入, 将整个学习过程分为 4 个阶段, 按照图 1 所示教学流程展开, 在课堂中不断围绕问题进行实验探究, 在实验探究的基础上得出结论, 再引出新的问题, 将实验

探究与证据推理相结合, 引导学生对知识的理解和学科本质的认识不断深入。驱动本文的主要问题是: (1) 归纳教材中已有的催化剂的相关知识, 提出问题: 催化剂参与反应后化学性质完全不变吗? (2) 以已经学过的 Fe^{3+} 催化 H_2O_2 分解的实验为载体, 进一步提出问题: Fe^{3+} 参与后是否性质不变? 如何设计并实施实验? (3) 均相催化剂和非均

相催化剂都各自有什么优点和缺点? 催化剂的活性与尺度的关系是什么? (4) 能否根据 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 都能催化 H_2O_2 分解的实验事实, 设计一个非均相催化剂? 如何设计实验验证合成的 Fe_3O_4 纳米粒子催化 H_2O_2 分解后是否也有损耗? (5) 如何在非均相的条件实现均相催化的效果? 通过控制什么因素提高非均相催化剂的活性?

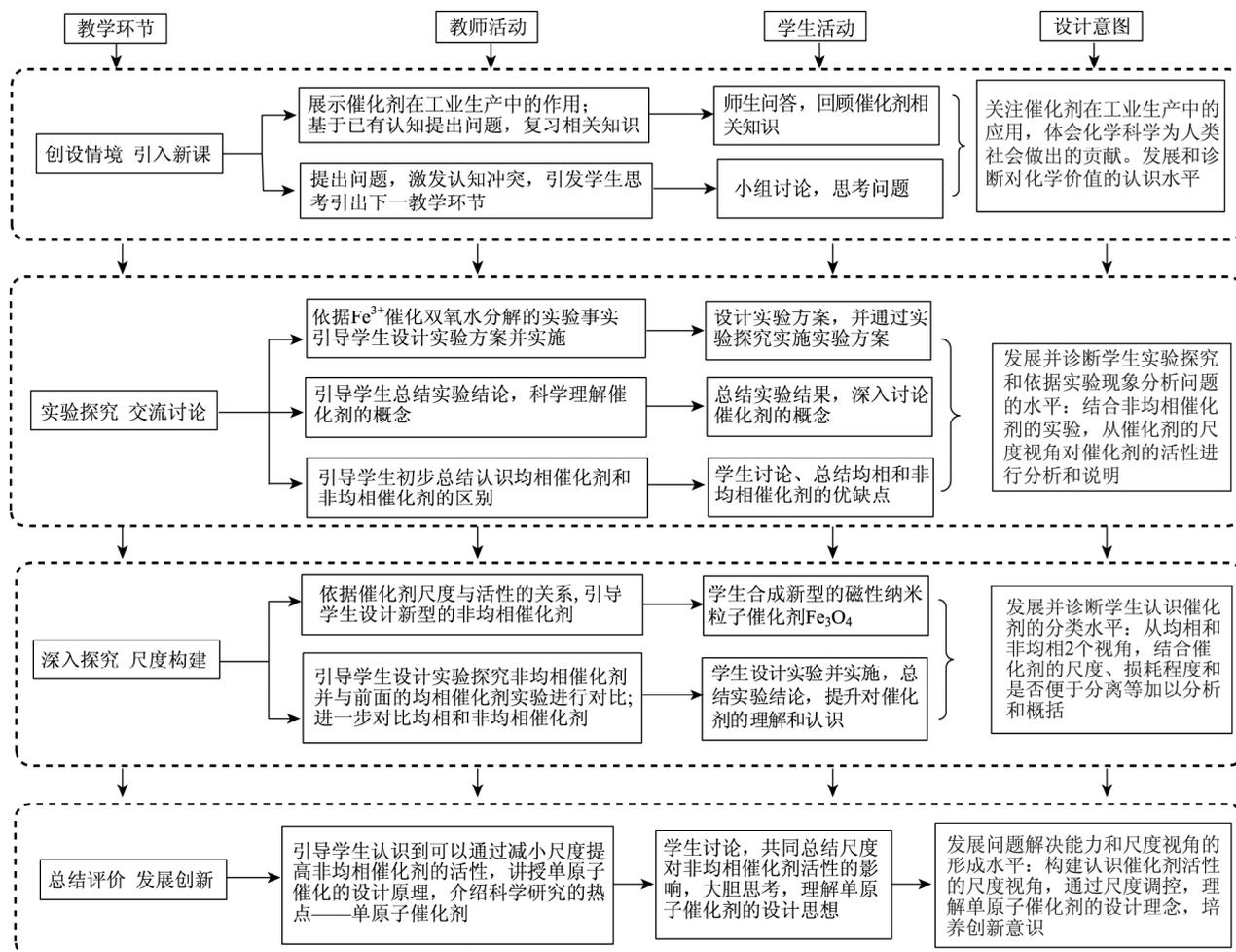


Fig. 1 Teaching process

图1 教学流程

5 教学实录

5.1 创设情境, 展示催化剂在工业生产中的作用;

基于已有认知提出问题, 激发认知冲突

首先通过表1的内容向学生介绍催化剂在工业生产中的重要作用。然后采用问答的形式回顾已经学过的关于催化剂的概念和催化剂加快反应速率的几个基本问题。

[问题1] 同学们, 请问关于催化剂你都有哪些认识?

[学生回答] 几名同学分别从不同角度进行了回答, 要点如下:

表1 催化剂在工业生产中的应用实例

Table 1 Examples of the role of catalysts in industrial production

实例 1	30 万吨合成氨工业中: 催化剂的催化剂活性提高 1%, 每年可增产 3 000 吨氨
实例 2	45 万吨乙烯工程 (乙炔加氢): 催化剂选择性提高 0.5%, 每年可增产乙烯 2 250 吨
实例 3	氧化丙烯制备丙烯腈: 副产物有丙烯醛和乙腈, 由于使用了选择性较好的催化剂, 丙烯消耗由 1.4 吨降低到了 1.1 吨
实例 4	催化剂对反应条件的改变: 通过催化剂改进甲醇合成的反应压强和反应温度, 由 25 MPa, 400 °C 降为 5 MPa, 200 °C, 很大程度地降低了能耗, 节约了资源

(1) 催化剂是改变化学反应速率而本身的质量和化学性质在反应前后都没有发生变化的物质。

(2) 催化剂既是反应物又是生成物。

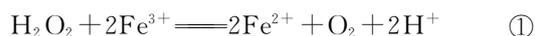
(3) 催化剂通过参与反应, 改变反应路径, 降低活化能, 从而加快反应速率。

[问题 2] 催化剂在工业生产中发挥着至关重要的作用(展示表 1 内容)。同学们在初中学习过催化剂的概念, 高中又学习了催化剂对反应速率的影响。那么催化剂参与反应都是反应前后化学性质不变吗? 你有亲自实验验证过吗? 今天我们将以此问题为出发点, 通过实验探究对催化剂的相关问题进行再认识, 再理解。

5.2 设计实验, 探究均相催化剂参与反应后是否性质不变

[问题 1] 我们已经学过 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 都可以催化双氧水分解, 请大家用离子反应方程式写出 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 催化双氧水分解的过程。

[学生思考, 互相讨论] 对于没有思路的学生, 可以从 Fe^{3+} 具有氧化性、双氧水具有还原性的角度给予适当提示。经过这样的过程, 学生都能写出: Fe^{3+} 催化双氧水分解的机理, 结果如下, 同时学生也能得出结论: Fe^{3+} 催化双氧水分解过程是先发生①然后发生②, Fe^{2+} 催化双氧水分解过程是先发生②然后发生①。



[问题 2] 如何验证 Fe^{3+} 催化双氧水分解过程中有 Fe^{2+} 生成? Fe^{3+} 催化双氧水分解完成后都复原了吗? 化学性质真的没变吗? Fe^{2+} 都没有了吗? 请同学们设计实验进行验证。

[学生思考, 讨论, 回答] 对于以上的问题, 学生基本能够想到这是检验 Fe^{3+} 催化双氧水分解过程中和反应结束后是否有 Fe^{2+} 的问题。对此学生给出了很多检验 Fe^{3+} 中是否含有 Fe^{2+} 的试剂, 如 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 、酸性 KMnO_4 、溴水等, 这些都是很好的答案, 教师及时地给予了肯定。最后由教师总结并确定实验方案, 学生分组进行实验。本节课采用 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 对 Fe^{2+} 进行检验, 同时采用点滴板进行微量实验, 既节约试剂又能通过缩短反应时间, 提高课堂效率。

[实验 1] 反应过程中 Fe^{2+} 的检验步骤是: 首先向点滴板的其中一个空穴中滴加 3 滴双氧水, 然后滴加 1 滴 FeCl_3 溶液, 看到有气泡产生, 然后再向其中滴加 1 滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液。

[实验 2] 反应结束后 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 的检验步骤是: 再向其中 2 个空穴中各加入 1 滴双氧水, 加入 5 滴 FeCl_3 溶液, 主要目的是让双氧水快速分解完毕, 当看到没有气泡后, 分别滴加 1 滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液和 KSCN 溶液。

[学生总结] 学生给出实验现象, 并依据实验现象初步针对问题 2 给出结论: 2 组实验都非常明显地看到了有蓝色沉淀生成, 第 1 组实验证明了反应过程中确实有 Fe^{2+} 的生成, 这是对前面猜测的催化机理给予了验证, 更重要的是反应结束后, [实验 2] 分别出现了蓝色沉淀和血红色的实验现象, 说明不仅有 Fe^{3+} 而且依然存在 Fe^{2+} , 催化剂参与反应后并没有完全复原, 化学性质发生了改变。这就打破学生对催化剂概念的原有认识。

[问题 3] 请各位同学思考, 我们上述实验是否有不严谨的地方, 如何改进?

[学生思考, 讨论, 回答] 这一问题还是具有一定难度, 考查学生的思维能力, 学生经过仔细琢磨刚刚做过实验, 有一部分学生能够发现上述实验的不严谨之处是: 没有验证实验使用的 FeCl_3 溶液中是否含有 Fe^{2+} ?

[实验 3] 再向并穴板中一个空穴中滴加几滴用的 FeCl_3 溶液, 然后滴加 1 滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 溶液。实验现象是没有蓝色沉淀生成。

[师生共同小结] 催化剂既是反应物又是生成物, 循环往复, 但催化剂参与反应后其质量和性质不变, 这只是在理想状况下的情况, 实际情况是催化剂往往要有损耗, 尤其是像能与反应物互溶在一起的均相催化剂更容易损耗, FeCl_3 就是能够催化双氧水分解的一种均相催化剂。

[教师讲授] 教师给出催化剂更加权威的定义: 2014 年国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 将催化剂定义为“催化剂是增加反应速率但不改变总反应的标准吉布斯自由能的位置。催化剂既是反应物又是生成物”。提醒学生注意这个定义需要注意的 2 个问题: (1) 催化剂专指加快反应速率的物质, 降低反应速率的现在不叫催化剂而叫抑制剂; (2) 该定义只是强调了催化剂既是反应物又是生成物, 没有强调反应后性质不变。

5.3 总结提升——均相催化剂和非均相催化剂对比讨论

上一个教学环节的总结已经给出了均相催化剂的定义, 引导学生定义非均相催化剂, 同时学生马上能够回答出典型的催化双氧水分解的非均相催化

剂二氧化锰。根据均相和非均相的不同特点,本教学环节引导学生在催化剂的尺度对催化活性的影响和催化剂回收利用2个方面,初步总结了2者各自的优点和缺点。

[师生共同小结]均相催化剂多数以分子或离子形式与反应物互溶,粒子尺度极小,接触面积大,活性极高,反应速率快,而非均相催化剂多数为固体,由于尺度很大,与反应物不互溶,接触面积小,活性就相对差。但由于非均相催化剂便于回收和重复利用,在工业生产实际中使用的大多为非均相催化剂。向学生展示表2。

表2 均相催化剂与非均相催化剂对比1

Table 2 Comparison one of homogeneous catalyst and heterogeneous catalyst

	均相催化剂	非均相催化剂
优点	尺度小,活性高	尺度大,活性差
缺点	不易分离,难于回收	便于分离,易于回收

5.4 实验探究——合成非均相催化剂 Fe_3O_4 纳米粒子,并探究其催化双氧水分解

[问题1]根据 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 都可以催化双氧水分解的实验事实,请各位同学设计一种含有铁元素的能催化双氧水分解的非均相催化剂?

[学生回答] FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 。

[问题2]同学们觉得这些含铁的非均相催化剂哪个最好?

[学生回答] Fe_3O_4 最好,有磁性,可以直接用磁铁分离,而不需要过滤,更容易回收。

[问题3]直接用块状的磁铁矿做催化剂是否合适?为什么?

[学生回答]不合适。因为块状的尺度太大,接触面积太小,催化效果必然不好,应该将磁铁矿粉碎,以增大其与双氧水的接触面积。

[问题4]粉碎只是在宏观上变小,其粒子尺度微观上看依然很大,请问如果继续减小 Fe_3O_4 的尺度,你想到了什么量级的尺度?

[学生回答]纳米。

[教师讲授]今天就给同学们介绍一种合成 Fe_3O_4 纳米粒子的简单方法,让我们共同做一下这个实验吧。

[实验1]实验方案:将 $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (1.113 g) 和 FeCl_3 (1.817 g) 溶于含 150 mL 去离子水的三口烧瓶中(去离子水由教师事先加热除氧),并加热至 50°C ,然后在剧烈搅拌的条件下,加入 12.5 mL 的氨水。瓶内的溶液瞬间变黑,搅拌 5 min后,用磁铁收集合成的黑色磁性纳米粒子,

并用去离子水洗涤沉淀3次。该实验方法参考了已有文献^[11],该实验的装置如图2所示。本实验也可以在烧杯中进行,采用玻璃棒搅拌,需要将用量减少为1/10,减少氨水带来的污染。



Fig 2 Photograph of experimental device for preparing Fe_3O_4 nanoparticles

图2 制备 Fe_3O_4 纳米粒子的实验装置实物图

[备注]本实验如果时间容许,可由学生分组实施,也可以由教师做演示实验,学生观察实验现象。若由教师进行演示实验,本节课可在1课时内完成,若由学生分组实验,则由教师事先组装好仪器(所需仪器:机械搅拌器、水浴锅、滴液漏斗和温度计);也可以将用量缩小为原来的1/10,减少氨水的污染,实验仪器用烧杯、玻璃棒就可以完成;本节课需要1.5课时左右。当学生看到加入氨水后溶液瞬间变黑和在烧杯外壁加一块磁铁后,溶液迅速澄清,所有的 Fe_3O_4 纳米粒子全部被磁铁吸引而聚集,都感到异常的兴奋。

[教师讲授]我们如何才能知道我们制备的 Fe_3O_4 粒子是纳米量级呢?科学实验中常用透射电镜进行检验。老师已经在这节课之前将用同样合成方法制备的粒子送到了长春应用化学研究所进行了透射电镜测试,结果如图3所示,从其中可以看到我们制备的 Fe_3O_4 纳米粒子直径大约在 10 nm。

[问题5]我们制备的这个 Fe_3O_4 纳米粒子能催化双氧水分解吗?

[实验2]向每组学生的试管中加入少量合成的 Fe_3O_4 纳米粒子,然后再加入 2 mL 左右的双氧水,可以观察到产生了大量的气泡。反应几分钟后,将磁铁加在试管壁上,可以观察到浑浊的溶液迅速澄清, Fe_3O_4 纳米粒子聚集在了外加磁铁的试

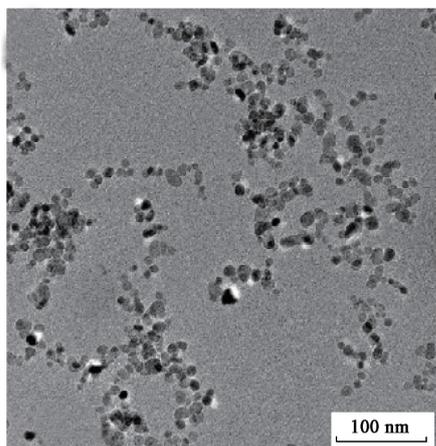


Fig 3 The FESEM of Fe₃O₄ nanoparticles

图 3 Fe₃O₄ 粒子的高倍透射电镜图^[10]

管壁附近, 如图 4 所示。

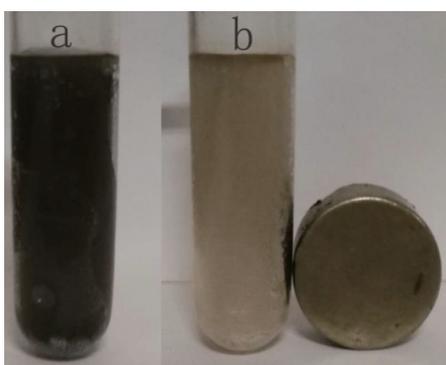


Fig 4 Photographs of an aqueous suspension of Fe₃O₄ nanoparticles catalyzed hydrogen peroxide decomposition (a) and after magnetic capture within 1 min (b)

图 4 Fe₃O₄ 纳米粒子催化双氧水分解实物图 (图 a) 和外加磁铁 1 min 后实物图 (图 b)

[师生共同小结] 根据 Fe³⁺ 和 Fe²⁺ 都可以催化双氧水分解的实验事实, 大胆猜测 Fe₃O₄ 能够催化双氧水分解, 又有基于尺度对催化剂活性的影响, 合成了 Fe₃O₄ 纳米粒子, 验证了其确实能够催化双氧水分解, 而且利用其磁性, 十分方便分离回收。

[问题 6] Fe₃O₄ 纳米粒子催化双氧水分解也有损耗吗? 如何进行实验验证?

[实验 3] 学生通过仔细思考, 讨论, 形成实验方案: 用滴管取少量 [实验 2] (图 4b) 中的双氧水分别滴在点滴板的 2 个空穴中, 分别向其中加入 1 滴 K₃[Fe(CN)₆] 溶液和 1 滴 KSCN 溶液, 分别检验 Fe²⁺ 和 Fe³⁺。

实验现象: 没有明显的蓝色沉淀和血红色。

实验结论: Fe₃O₄ 纳米粒子催化双氧水分解几

乎没有损耗。

[备注] [实验 3] 完全由学生自己思考并进行实验验证, 由于有了前面几个实验的基础, 学生能够很好地完成由实验设计到实施再到得出结论。需要注意的是, 在进行 [实验 1] 制备 Fe₃O₄ 纳米粒子后, 务必要进行洗涤, 以除去未反应的 Fe²⁺ 和 Fe³⁺, 以免影响 [实验 3] 的结果。

[师生共同小结] 基于 Fe³⁺ 和 Fe²⁺ 都可以催化双氧水分解的实验事实和基于尺度对催化剂活性的影响, 大胆猜想设计合成了新型的非均相催化剂 Fe₃O₄ 纳米粒子, 进一步减小尺度, 增大活性, 并再次通过实验验证了我们合成的 Fe₃O₄ 纳米粒子不仅能使双氧水分解而且几乎没有损耗, 又得出了一条非均相催化剂相比于均相催化剂的优点, 如表 3 所示。

表 3 均相催化剂与非均相催化剂对比 2

Table 3 Comparison two of homogeneous catalyst and heterogeneous catalyst

	均相催化剂	非均相催化剂
优点	尺度小, 活性高	尺度大, 活性差
缺点	不易分离, 难于回收, 易于损耗	便于分离, 易于回收, 不易损耗

Fe₃O₄ 纳米粒子催化双氧水分解的过程示意图如图 5 所示, 双氧水与固体晶格表面的 Fe³⁺ 和 Fe²⁺ 碰撞, 双氧水分解。由于固体离子间的作用力, 致使表面的离子不易脱落。

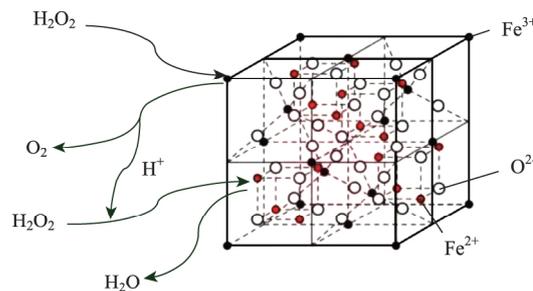


Fig 5 Schematic diagram of decomposition mechanism of hydrogen peroxide catalyzed by Fe₃O₄ nanoparticles

图 5 Fe₃O₄ 纳米粒子催化双氧水分解过程示意图

催化剂只是在理想情况下参与反应后性质不变, 非均相催化剂其实也有损耗, 只不过这种损耗更少更慢, 而均相催化剂损耗较多。

5.5 构建学生认识催化剂的尺度视角, 形成认识物质的尺度视角, 利用单原子催化剂的科研热点, 突出“创新意识”培养, 引发科学研究兴趣

[问题 1] 非均相催化剂优点是便于回收, 损耗少, 缺点是粒子尺度大导致活性小, 那么如何实现

在非均相条件达到均相催化剂那样的活性呢？

[学生回答] 缩小非均相催化剂的尺度。

[问题 2] 缩小尺度进而提高活性成为了解决这一问题的方法。从块状到粉碎再到纳米，请问如果继续减小尺度，可以缩小到什么量级？

[学生回答] 学生给出了各种尺度的单位，如微米、皮米等。

[问题 3] 催化剂的尺度还能不能再小？最小？

[学生回答] 原子。

[教师讲授] 请看图 6a^[12]，非均相催化剂通过缩小尺度提高催化活性，大家与科学家们的想法不谋而合。科学家们试图从纳米催化剂再次减小催化

剂的尺度，由此人们设计了单原子催化剂，但由于单个原子活性高，容易聚集，所以需要把单原子负载在一个载体表面，这样就可以实现高效催化（图 6b^[13]）。高活性的单原子催化剂现在是很多科学家重点研究的方向，已经在实验室中成功地制备出了金属单原子催化剂。比如图 6c 中^[14]，在载体金的表面制备出了单个 Pd 原子，利用 Pd 原子就可以高活性地催化 H₂ 与 CO 的反应。由于单原子的小尺度产生的巨大比表面积，所以单原子催化剂显示出了很高的活性，单原子催化剂正是科学家们为了在非均相条件下实现均相催化活性而诞生的科研成果。

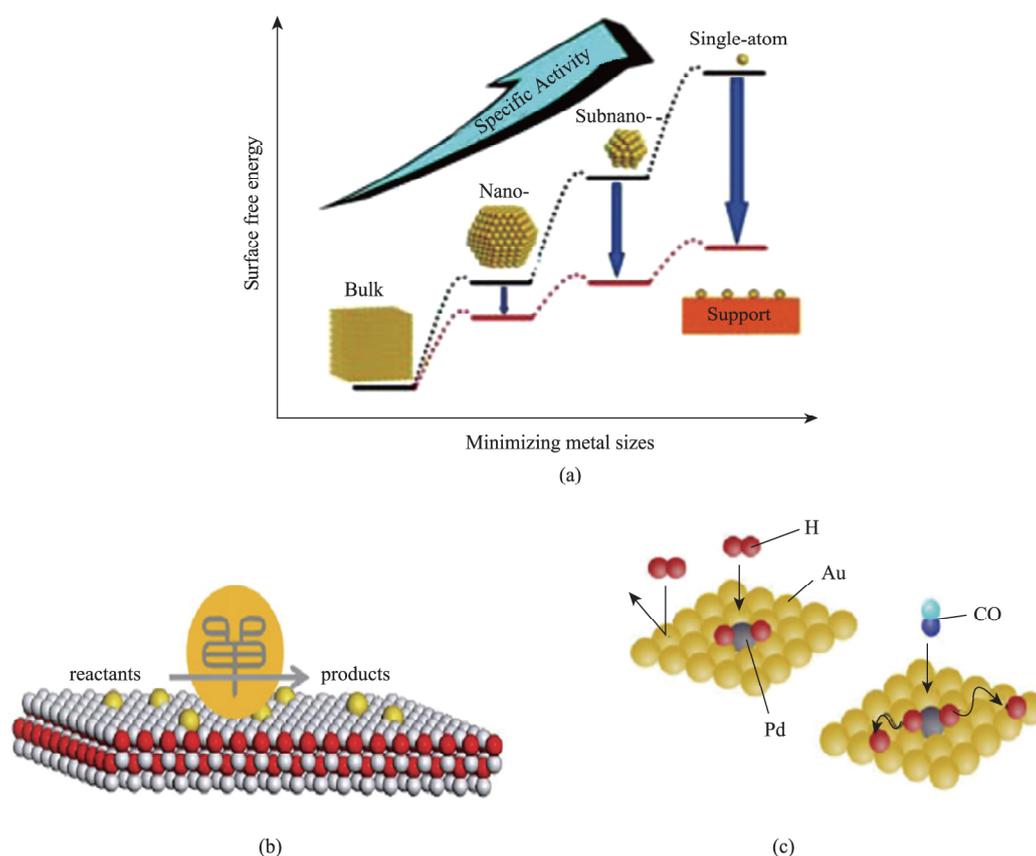


Fig 6 Schematic diagram of progress of metal-catalyst (a); Schematic diagram of single-atomic catalyst (b); Schematic diagram of CO-H₂ reaction catalyzed by Pt atom (c)

图 6 金属催化剂发展历程示意图^[12] (a); 单原子催化过程示意图^[13]和 Pt 原子催化 CO 与 H₂ 反应示意图^[14] (c)

[总结] 本节课，通过实验探究了 Fe³⁺ 催化双氧水分解过程中和结束后是否有 Fe²⁺，对催化剂的概念有了更严谨的认识；对均相和非均相催化剂进行了对比，并以已有实验事实为依据，大胆设计了非均相磁性纳米催化剂，而后将设想的催化剂立即进行实验合成，并对其催化性能进行再次实验探究，通过一系列的实验探究再次深入理解均相与非均相催化剂的优缺点。整个过程是实验探究→观察

现象→得出结论→再次实验→再次探究→再得新的结论。这一过程既体现了化学学科认识问题的一般过程和化学学科研究问题的一般方法，也符合了实践→认识→再实践的哲学认识论的一般过程^[15]。

本节课除了将实验探究贯穿于全过程中外，另一条线索就是催化剂的尺度，讨论了均相催化剂的优点是尺度小、活性高，非均相催化剂的缺点是尺度大、活性差。那么如何设计一种活性较好的非均

相催化剂呢?在这一问题的驱动下,自然地想到了缩小尺寸,这就有了合成纳米催化剂,并了解了科研前沿的单原子催化剂,单原子催化剂的介绍开阔了视野,更重要的是体会到了科学家的科研思想并不都那么艰涩难懂,自己也能想到!

6 教学实践效果与反思

本文在“催化剂对反应速率的影响”这一章节的教材内容及其教学目标等基础上,结合个人教学与科研实践,在学生已有催化剂相关知识的基础上进行了进一步的拓展与探讨。

(1)从教学效果上看,实验能够极大地激发学生的学习兴趣,整个过程中学生一直保持了较高的学习热情,尤其是在 Fe_3O_4 纳米粒子的制备及催化双氧水的实验探究过程中,当学生拿着磁铁进行磁性回收的时候都非常兴奋。正如傅鹰先生的名言:“实验是化学的最高法庭”。化学实验能够激发学生的兴趣,也能引起学生的深入思考,使学生更好地理解化学知识,热爱化学学科。

(2)笔者认为主动的知识构建比单纯的信息接受更能促进学习,这是知识的生成效应,是深度学习的体现。本节课从知识层面上看没有特别难懂的知识点,无论是 Fe^{3+} 中 Fe^{2+} 的检验问题,还是 Fe_3O_4 的制备,都是高中生很容易理解和接受的知识。一节课并不能解决催化剂的全部问题,那么本文的教学价值何在?笔者认为就在于学生主动构建知识的过程。这节课是在实验探究中不断推进的,目的就是通过不断的实验探究得出结论,然后再实验验证形成新的结论,这一系列过程形成学生的探究意识、主动思考以及形成认识化学物质的尺度视角,同时这也是学生主动构建知识的过程。本节课通过实验探究带来的深度学习促进了学生高阶思维的形成,对化学研究问题的方法和一般过程有了清晰的认识和过程体验,对科学前沿问题有了更深入的理解,这种理解不是灌输的和简单阅读后形成的理解,而是学生主动参与实验探究后自己感悟到的理解,构建了尺度视角后,学生能够自然地单原子催化这一科学研究的热点问题从本质上很好地接受,从授课效果看基本达到了这样的预期目的。

(3)通过与各位专家、学者及听课教师的讨论,对本节课也做了几点思考:①由于授课时间限制,制备 Fe_3O_4 纳米粒子有时是课前准备,有时是授课时由教师完成制备,如果在时间充裕的条件

下让学生亲自动手完成这个制备实验应该收效更好。一节课的时间有限,本节课也省略了宏观量级的粉末状 Fe_3O_4 与制备出的纳米量级的 Fe_3O_4 粒子催化双氧水分解的效果的定量实验对比,如果能够利用传感器进行定量对比实验,对于构建尺度视角将起到更好的效果。②将实验探究贯穿于整节课中,但核心素养的发展很难在一节课中完成,需要长时间的坚持才能实现,需要教师在今后的教学中一直实践,更多地利用好实验探究这一化学学科研究问题的重要方法,不断培育“科学探究与创新意识”的核心素养。③本节课是在学生已经有了一些关于催化剂的基本认识的基础上形成的一节拓展课,如何结合本节课形成催化剂在高中教学中的整体教学设计,这是下一步工作的方向。④本节课的实验设计和实验探究多是基于教师设问和追问条件下完成的,在时间充分的条件下,还应该再更多地放手给学生讨论,由教师设问启发学生思考转换为学生自己提问,由教师组织问题推进为培养学生自主构建问题系统,由教师追问为培养学生相互追问,这样就可以让学生的学习更好地主动发生,深度发生,持续发生。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017年版). 北京:人民教育出版社,2018
- [2] 宋心琦. 普通高中课程标准实验教科书:化学2(必修). 3版. 北京:人民教育出版社,2014
- [3] 宋心琦. 普通高中课程标准实验教科书:化学反应原理(选修4). 3版. 北京:人民教育出版社,2014
- [4] 郑敏. 化学教育,2015,36(23):59-60
- [5] 任尧,陈君,陈联梅. 中学化学教学参考,2018(3):40-41
- [6] 姜言霞. 化学教育,2013,34(3):20-26
- [7] 魏悦广. 中国科学基金,2000(1):221-224
- [8] 吴越. 催化化学. 北京:科学出版社,1995
- [9] 大连理工大学无机化学教研室. 无机化学. 5版. 北京:高等教育出版社,2011:433
- [10] 沈兆刚. 化学教育(中英文),2019,40(15):48-52
- [11] Sun L, Li Y X, Yang Q B. New Journal of Chemistry, 2011, 35: 2697-2704
- [12] Yang X F, Wang A, Qing B. Accounts of Chemical Research, 2013, 46(8):1740
- [13] Han B, Lang R, Qiao B. Chinese Journal of Catalysis, 2017, 38: 1498-1507
- [14] Lucci F R, Darby M T, Mattera M F G. The Journal of Physical Chemistry Letters, 2016(7):480-485
- [15] 郑长龙. 化学教育(中英文),2018,39(9):41-47

Teaching of Extended Catalyst Course Based on Scale Perspective

SUN Lei^{1,2*} ZHENG Chang-Long²

(1. High School Attached To Northeast University, Changchun 130021, China;

2. Institute of Chemical Education, Northeast University, Changchun 130024, China)

Abstract In this paper, the experimental process of hydrogen peroxide decomposition catalyzed by Fe^{3+} was explored. It was proved that the chemical properties of some homogeneous catalysts changed after they participated in the reaction. It helped students to understand the concept of catalyst thoroughly and comprehensively. Then, the comparison and summary of homogeneous catalysts and heterogeneous catalysts were made, especially the influence of scale on the activity of catalysts. In this paper, a new type of heterogeneous catalyst magnetic Fe_3O_4 nanoparticles was designed and prepared from a scale-based perspective, and its catalytic decomposition process of hydrogen peroxide was investigated experimentally. It was compared with the catalytic process of Fe^{3+} . The scale-based approach was taken as the starting point for thinking about the problem. It guided students to understand the design idea of the frontier of scientific research (monatomic catalyst) and constructed students' understanding. The concept of material scale promoted students to further understand the nature of science and subject value, and cultivates students' innovative consciousness.

Keywords homogeneous phase; heterogeneous phase; scale; single-atomic catalyst; hydrogen peroxide