

翻转课堂在无机化学实验中的探索与实践 ——以无机结晶化合物制备实验为例

楚进锋¹, 靳兰¹, 宋宇飞^{1,2,*}

¹北京化工大学化学学院, 北京 100029

²北京化工大学化工资源有效利用国家重点实验室, 北京 100029

摘要: 传统的无机化学实验教学模式具有一定的弊端, 信息技术的发展为实验教学模式的改革提供了契机。本研究以无机结晶化合物制备实验为例, 以晶体结构为兴趣切入点, 以星问卷为有效测评手段, 在无机化学实验教学中开展了翻转课堂教学模式改革与实践。实践过程包括: 课前学习、课堂探究和课后反馈及反思三个阶段。结果表明, 翻转课堂教学模式有助于激发学生对无机化学实验的兴趣, 有利于提高学生的学习主动性、创新意识、逻辑思维和解决问题的能力。

关键词: 无机化学实验; 翻转课堂; 晶体结构; 星问卷

中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of Flipped Classroom in Inorganic Chemistry Experiment: a Case Study on the Preparation of Inorganic Crystalline Compounds

Jinfeng Chu¹, Lan Jin¹, Yu-Fei Song^{1,2,*}

¹ College of Chemistry, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China.

² State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China.

Abstract: The traditional experimental teaching mode of inorganic chemistry presents certain drawbacks. Advances in information technology offer new opportunities for reinvigorating the experimental teaching mode. This study explores the reform and practice of flipped classroom teaching mode within the context of inorganic chemistry experimental, specifically focusing on the preparation of inorganic crystalline compounds, utilizing the crystal structures as the starting point to engage interest, and employing the star questionnaires as an effective evaluation method. The practical process includes three stages: pre-class preparation, in-class exploration, and post-class feedback and reflection. Our findings reveal that the flipped classroom teaching mode effectively stimulates students' interest in inorganic chemistry experiment, and enhances their learning initiative, innovative consciousness, logical reasoning and problem-solving ability.

Key Words: Inorganic chemistry experiment; Flipped classroom; Crystal structure; Star questionnaire

目前, 无机化学实验教学主要采用传统的教学模式进行, 基本流程为学生课前预习并书写预习报告、教师课堂讲授、学生实验、学生提交实验报告、教师批改实验报告。该教学模式下, 教师是

收稿: 2023-08-01; 录用: 2023-08-29; 网络发表: 2023-09-12

*通讯作者, Email: songyf@mail.buct.edu.cn

基金资助: 北京化工大学国际教育学院2022年中外合作办学教育教学改革项目(HZBX202209, HZBX202204)

实验课程的主体, 学生处于被动地位, 往往学生仅是按照既定的实验步骤机械地完成实验任务, 师生交流互动非常有限, 且主要体现在纠正错误操作, 缺乏对学生综合实验技能、逻辑思维能力、创新能力与解决问题能力的训练。学生对实验课的兴趣不高、动手能力较差、创新意识和解决问题能力不足, 亟须在教学活动中改进与提高。

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》明确提出要“强化信息技术应用”与“创新网络教学模式”^[1]。数字化与网络技术可实现交流手段的快捷与大众化, 极大地促进教学改革, 翻转课堂、慕课和混合式教学等多种教学模式应运而生, 这有利于提高教学质量和效果。

1 翻转课堂

翻转课堂, 也称为颠倒课堂, 是一种将传统课上教学过程与课下学习活动进行转换的新型教学模式。在该教学模式下, 教师不再占用课堂时间讲授信息, 学生需要在课前通过看视频、阅读电子书或者与同学讨论等方式完成自主学习。课堂上, 学生可更专注于基于实验项目的学习, 通过探究实践、讨论与总结获得更深层次的理解, 从而将实验原理和知识点内化于心, 获得更真实的学习, 教师也能有更多的时间与每个人交流, 体现了以学生为中心的教育思想。翻转课堂让学习更加灵活、主动, 可激发学生的兴趣与热情, 让学生的参与度更高。

目前, 翻转课堂应用于化学实验课教学的研究较少^[2,3]。(企业)微信、QQ和云课堂等信息技术平台具有便捷性强、交互方式灵活、存储容量大和普及性广等特点, 为翻转课堂提供了多种强大的交流工具。本研究以无机结晶化合物制备实验为例, 在传统无机化学实验教学模式的基础上引入翻转课堂, 通过教学模式的改革与创新, 激发学生的兴趣与热情, 让学生主动参与、主动学习、主动创新, 进而提高无机化学实验的教学质量。

2 无机化学实验翻转课堂方案的设计与实践

实践方案分为课前学习、课堂探究和课后反馈及反思三个阶段, 设计实践方案的思维导图如图1所示。

2.1 课前学习

课前学习是翻转课堂的必要环节, 也是翻转课堂顺利实施的前提。

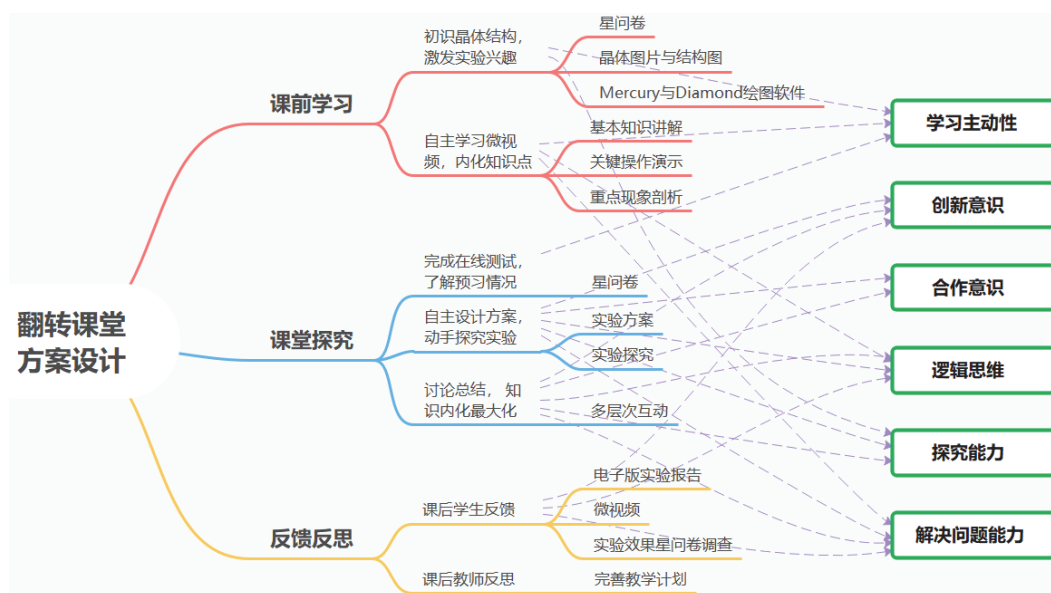


图1 实践方案设计思维导图

目前, 我校开设的无机化学实验除性质实验外, 主要包含简单化合物、复盐以及配合物等不同类型的无机结晶化合物制备实验, 具体为工业硫酸铜的提纯、硫酸镁铵与硫酸镍铵的制备、三草酸合铁酸钾的制备、硫酸四氨合铜的制备、二草酸合铜酸钾的制备等。在上述实验中, 学生可由制备的无机化合物溶液通过结晶的方法得到无机化合物产品, 产品外观通常为细小晶体, 晶莹剔透, 深受学生喜爱。正基于此, 教师可将晶体结构作为切入点, 激发学生学习兴趣, 促使学生在课前主动学习。

2.1.1 初识晶体结构图, 激发实验兴趣

(1) 教师在课前设置星问卷并将问卷推送至本校企业微信等信息平台中, 学生通过回答星问卷中的问题, 引发连串思考, 激发学习兴趣和动力。

星问卷除了需要学生填写基本信息外, 可设置如下问题: 你知道该化合物的分子式吗? 你见过该化合物晶体吗? 你知道该化合物的具体结构吗? 你了解该化合物的性质吗? 你了解Mercury与Diamond等晶体结构绘图软件吗? 你了解该化合物中心离子的空间立体构型吗?

(2) 教师利用企业微信等信息平台推送化合物晶体图片和分子结构图, 通过视觉冲击进一步提升学生的实验兴趣。

示例: 硫酸四氨合铜($[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)^[4]与三草酸合铁酸钾($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)^[5]晶体的分子结构示意图如图2所示。

(3) 学生利用教师提供的Mercury和Diamond晶体结构绘图软件、软件使用方法讲解视频以及晶体学信息文件(cif), 尝试自己动手绘制化合物分子结构图, 提高实验兴趣和主观能动性。

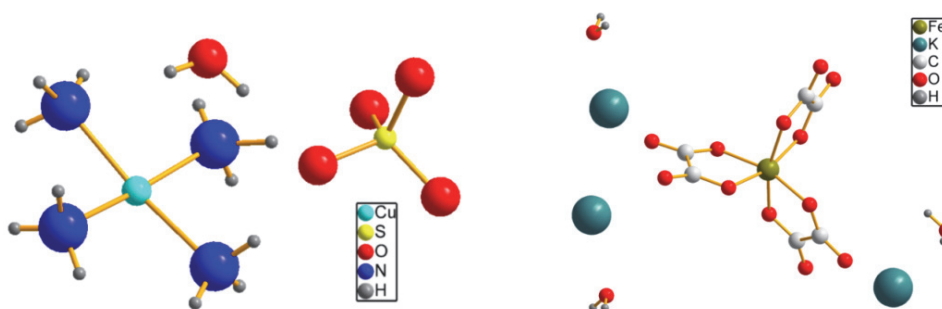


图2 硫酸四氨合铜(左)和三草酸合铁酸钾(右)分子结构示意图

2.1.2 自主学习微视频, 内化知识点

传统实验教学时, 通常首先由任课教师讲授实验目的、原理、步骤、数据处理、注意事项等内容, 有时还会进行操作演示, 大约用时0.5–1 h。然后学生根据老师的讲解与既定实验步骤照葫芦画瓢, 经常为了完成实验内容而做实验, 学生做实验时具有一定的机械性, 缺乏思考与创新。微视频是通过计算机或手机等视频终端摄录、上传互联网进而播放共享的视频资料, 具有短、快、精、易、趣等特点, 深受学生喜爱。基于微视频的特点, 如果将课上讲授和演示的内容制作成微视频, 可为学生提前自主学习实验内容提供一个很好的知识传播媒介, 非常有利于提高学生的学习积极性, 可使学生在课前自主完成知识传授过程, 课堂上则可利用各种教学形式帮助学生实现知识的内化。

供学生自主学习的微视频主要可分为基本知识讲解微视频、关键操作演示微视频和重点现象剖析微视频等。(1) 基本知识讲解微视频: 该类微视频主要讲解实验原理、操作要点和注意事项。(2) 关键操作演示微视频: 在无机化学制备实验中, 经常涉及称量、抽滤、蒸发浓缩、倾析法分离等基本操作, 学生在实验课前通过反复观看微视频, 可熟悉和掌握操作要领。(3) 重点现象剖析微视频。例如: 在三草酸合铁酸钾的制备实验中, 伴随着沉淀的生成与溶解, 溶液颜色与透明度也相应改变, 通过微视频呈现和剖析实验过程中的这一重点现象, 有助于学生提前感知实验过程, 引发学生思考。

2.2 课堂探究

课堂教学是翻转课堂的关键环节，此环节应以学生为主体，注重培养学生的逻辑思维、创新意识、语言表达与解决问题的能力。

2.2.1 完成星问卷在线测试，了解学生课前学习情况

在课堂实验教学中，首先对学生课前学习情况进行线上测试。

(1) 测试目的：便于老师了解学生的课前学习情况、合理安排教学过程。

(2) 测试用时：约1–3 min。

(3) 测试内容：主要涉及实验的基本原理及知识点，一般含5–10个问题。

(4) 测试形式：老师事先准备好测试星问卷，上课后推送到企业微信等信息平台，然后计时线上统一测试，从而营造一个积极向上的竞争氛围，同时也可避免线下测试时学生查阅资料回答导致测试结果不真实的弊端。教师可根据答题正确率与用时，每次取前3–5名优秀学生给予奖励。三草酸合铁酸钾制备实验课前学习情况星问卷示例如图3所示。

三草酸合铁酸钾的合成实验 预习情况调研	
计时3分钟内完成，正确率优先，正确率相同，用时短者胜	
你的姓名： <input type="text"/>	
1. H_2O_2 氧化 FeC_2O_4 时，适宜的反应温度为（ ）	2. 实验步骤中第一次加入草酸所起的作用是（ ）
<input type="radio"/> A 常温 <input type="radio"/> B 40°C <input type="radio"/> C 60°C <input type="radio"/> D 80°C	<input type="radio"/> A 络合剂 <input type="radio"/> B 还原剂 <input type="radio"/> C 沉淀剂 <input type="radio"/> D 氧化剂
3. FeC_2O_4 的颜色为（ ）	4. 实验步骤中分离 FeC_2O_4 沉淀时采用的方法是（ ）
<input type="radio"/> A 绿色 <input type="radio"/> B 红色 <input type="radio"/> C 蓝色 <input type="radio"/> D 黄色	<input type="radio"/> A 离心分离 <input type="radio"/> B 倾析法 <input type="radio"/> C 减压抽滤 <input type="radio"/> D 常压过滤
	5. 下列说法正确的是（ ）
	<input type="radio"/> A 实验中所用双氧水的作用是还原草酸亚铁 <input type="radio"/> B 实验中所用双氧水的作用是氧化氢氧化铁 <input type="radio"/> C 可通过蒸干溶液的办法来提高产率 <input type="radio"/> D 实验中加入乙醇的作用是降低产物在水中的溶解度

图3 在线测试星问卷示例

2.2.2 自主设计实验方案，动手探究实验

通过实验来回答一个感兴趣的问题，可激发学生的好奇心，培养科学探究能力、创新意识与解决实际问题的能力。

以三草酸合铁酸钾的制备与二草酸合铜酸钾的制备为例分别说明如下。

(1) 在制备三草酸合铁酸钾产品过程中，需向所得溶液中加入乙醇并用冰水浴冷却，从而降低产物的溶解度，析出产品。

① 教师预设问题：乙醇加入量与冷却温度的改变对产率有何影响？

② 学生设计方案、探究实验：

以4人左右为一组，采用控制变量法设计探究方案。例如：得到滤液后，先等量分成四份(如30 mL)，分别加入不同量的乙醇(如0、5、10和20 mL)，再将每份溶液等量分为两份，将所得溶液分别置于常

温和冰水浴中冷却20 min后, 再进行抽滤、洗涤、干燥、称量等实验。记录实验现象和实验数据, 完成表1并讨论分析。

表1 三草酸合铁酸钾的制备探究实验记录表

乙醇用量/mL	常温		冰水浴	
	产物质量/g	产率/%	产物质量/g	产率/%
0				
5				
10				
20				
结论				

(2) 以往学生在做二草酸合铜酸钾的制备实验时, 得到的产品经常出现颜色有明显差异的现象。通过调研发现, 二草酸合铜酸钾溶液在冷却结晶时, 冷却条件不同, 可得不同产物。室温冷却时可得天蓝色的 $K_2[Cu(C_2O_4)_2] \cdot 2H_2O$ 片状晶体, 而冰水混合物中急速冷却时可得蓝紫色的 $K_2[Cu(C_2O_4)_2] \cdot 4H_2O$ 针状晶体^[6,7], 两种产物中结晶水含量存在明显差异。

① 教师预设问题: 改变冷却温度对产物颜色有无影响? 产物中结晶水含量是否会发生变化?

② 学生设计方案、探究实验:

两人为一组, 将制备得到的二草酸合铜酸钾溶液(约80 °C)等分为两份。其中一份采用常温冷却, 另一份置于冰水浴中急速冷却, 观察实验现象。冷却充分后, 抽滤、洗涤、干燥、收集产品, 观察产品的外观有何异同, 必要时可借助显微镜或放大镜观察。分别准确称取一定量的产品于称量瓶中, 于120 °C的烘箱中烘至恒重, 计算结晶水含量, 并推测两种产物的分子式。记录实验现象和实验数据, 完成表2并讨论分析。

表2 二草酸合铜酸钾的制备探究实验记录表

外观	产量/g	产率/%	空称量瓶/g	称量瓶+样品质量/g	恒重后质量/g	水含量/%	推测分子式
室温							
冰水浴							
结论							

2.2.3 多层次互动, 知识内化最大化

翻转课堂的目标是达到知识内化的最大化, 因此教师需通过课堂活动的设计充分发挥学生的主体性。线下教学过程中, 需注重师生互动、生生互动。探究实验时教师跟踪指导, 并引导学生之间、师生之间对实验现象和错误操作及时进行交流互动。在实验课临近结束时, 可利用30 min左右的时间对本次实验进行全班讨论与小结, 在此过程中, 师生共同思考, 讨论实验过程中遇到的各种问题, 人人思考, 人人参与, 代表发言, 逐步培养学生的合作与创新意识, 以及逻辑思维、科学表达和解决实际问题的能力。

2.3 课后反馈与反思

课后反馈与反思是翻转课堂的重要环节, 通过此环节可使学生将知识点进一步内化于心, 提高其分析解决问题的能力, 从而使翻转课堂教学模式取得满意的成效。

2.3.1 学生反馈

学生反馈形式主要有电子版实验报告、微视频与实验效果问卷调查。

(1) 电子版实验报告：传统实验教学时通常在下周做实验时学生上交上一次的实验报告，一周后老师再将批改完的实验报告返还给学生。这种做法的主要弊端是从学生做实验当天开始计算，通常两周后才能收到返还的实验报告，中间时间跨度较长，不利于学生及时进行总结与反思。为避免此弊端，倡导学生利用企业微信等平台将实验报告以电子版形式上交给老师，报告可以是word、pdf或ppt等文件形式。老师在收到报告后，可随时批改并及时反馈给学生，这将使收发实验报告环节变得非常快捷。此外，要求学生在实验报告的结果与讨论部分对每次实验进行总结，从而主动实现知识内化，达到提升学生探究及解决问题能力的目的。学生对三草酸合铁酸钾制备实验的总结与讨论示例如图4所示。

实验总结与讨论：

- ①从溶液中分离草酸亚铁沉淀时，我学习了一种新的固液分离方法：倾析法。和以前学习的常压过滤与减压过滤操作相比，倾析法分离操作简单易学，更加快速高效，但这种分离方法并不是万能的，只适用于从液体中分离密度比较大、易于沉降的固体物质。
- ②通过实验探究发现，冰水浴冷却比常温冷却时效果好、产率高，且向溶液中加入的乙醇越多，产率越高，这主要是由于三草酸合铁酸钾的溶解度随温度降低而减小，另外由于三草酸合铁酸钾不溶于乙醇，加入乙醇后使其溶解度降低，且加入的乙醇越多，溶解度降低的越明显，产率越高。
- ③本实验激发了我的实验兴趣和自主学习的动力，提高了我的逻辑思维和分析解决问题的能力。

图4 学生对三草酸合铁酸钾制备实验的总结与讨论示例

(2) 微视频：学生可将实验现象、实验操作与实验总结等内容录制成微视频，并分享到企业微信等平台。这样不仅可提高学生探究实验的积极性，而且最重要的是可提高学生的创新意识、动手能力与综合素养。

(3) 实验效果问卷调查：为确保无机化学实验教学改革的科学性和效果，需了解学生对翻转课堂教学模式的认可程度及满意度，以便及时对教学模式与方法进行适当调整与完善。采取无记名方式，通过星问卷开展实验效果调查，结果可直观感知学生的满意度。由表3数据可看出，非常同意或同意“翻转课堂可提高学生的积极性与创新意识”的学生比例合计达98.21%，非常同意或同意“翻转课堂可提高学生分析解决问题的能力”的学生比例合计达94.65%，所有学生均对翻转课堂教学效果满意。

表3 翻转课堂教学模式的满意度调查结果

问题	非常同意/%	同意/%	不确定/%	不同意/%	非常不同意/%
你对晶体结构感兴趣	60.71	37.5	1.79	0	0
你在课下尝试学习使用了晶体结构软件	51.79	39.29	7.14	1.78	0
实验前你进行了认真预习与准备	76.79	23.21	0	0	0
支持任课教师采用问卷星等方式检查学生的预习情况	80.36	19.64	0	0	0
支持任课教师布置拍摄微视频作业	80.36	17.86	0	1.78	0
应多开展探究类实验	80.36	19.64	0	0	0
翻转课堂可提高学生的积极性与创新意识	87.50	10.71	1.79	0	0
翻转课堂可提高学生分析解决问题的能力	80.36	14.29	5.35	0	0
满意翻转课堂教学效果	83.93	16.07	0	0	0

2.3.2 教师反思

教师根据学生的课前预习情况、课堂实验探究表现及课后反馈对学生进行总体评价，对无机化学实验课程进行教学反思，深入分析引入翻转课堂教学模式后的效果与问题，及时调整与完善教学计划，逐步提升自己的教学能力和实验教学效果。教师对二草酸合铜酸钾制备实验的反思示例如图5所示。

教师反思：

① 实验探究表明，冷却条件不同，得到的产物也不同。以往在制备二草酸合铜酸钾时，学生对冷却条件的影响认识不足，冷却操作不够规范和严格，可能存在不同条件下冷却的情况，因此造成产物的颜色不均匀、个体差异大等现象。本实验的日后教学活动中，教师应向学生进一步强调控制冷却条件的重要性，加强对学生的冷却操作的指导。

② 大多数学生星问卷正确率很高，说明学生在课前自主学习时比较认真。所有学生课上都能积极思考、认真操作、积极互动，课后及时上交了报告，分享了微视频。该实验学生的完成度比以往更高，体现了以学生为主体的教学理念，取得了满意的实验效果。

图5 教师对二草酸合铜酸钾制备实验的反思示例

3 结语

为激发学生对无机化学实验的兴趣，改善无机化学实验的教学效果，以无机结晶化合物制备实验为例，以晶体结构为切入点，以星问卷为有效测评手段，开展了翻转课堂在无机化学实验中的探索实践。实践表明，翻转课堂教学模式有助于激发学生对无机化学实验的兴趣，有助于培养学生的积极性和创新协作意识，有助于提高学生的逻辑思维以及探究解决问题的能力，获得了学生的普遍认可与好评。

参 考 文 献

- [1] 国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010–2020年). [2023-09-05]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A01/s7048/201007/t20100729_171904.html
- [2] 王彦沙, 刘松艳. *大学化学*, **2016**, 31 (4), 17.
- [3] 贾雪平, 丁津津, 朱玥, 缪建文, 葛存旺, 张跃华, 葛明. *大学化学*, **2023**, 38 (1), 56.
- [4] Morosin, B. *Acta Crystallogr. B* **1969**, 25, 19.
- [5] Razmara, Z.; Janczak, J. *Dalton Trans.* **2020**, 49, 10498.
- [6] 袁秋萍, 张丽霞. *大学教育*, **2017**, No. 3, 82.
- [7] 刘絮, 李子峰, 孟祥茹. *大学化学*, **2022**, 37 (11), 2209033.