

## BZ振荡反应实验的课程思政设计

淳远\*, 杨立军, 杨金月, 高卫

南京大学化学化工学院, 化学国家级实验教学示范中心, 南京 210023

**摘要:** 传统BZ振荡反应实验着重于耗散结构知识的传授和诱导期反应活化能的测量。本案例基于同心圆生长过程呈现的丰富多彩的现象和蕴含的人生哲理, 以耗散结构理论为支撑, 对实验内容进行了创新设计, 引入同心圆实验内容和翻转学习模式, 在提升学生科学素养和研究能力的同时, 引导学生分析实验中存在的安全隐患和对环境可能造成的影响, 在实验过程中融入对人生的思考, 在课后利用耗散结构相关原理去认识世界和改造世界。改进后实验将有助于树立学生正确的人生观和世界观。

**关键词:** 物理化学实验; BZ振荡反应; 同心圆; 课程思政; 实验设计

**中图分类号:** G64; O6

## Ideological and Political Design of BZ Oscillatory Reaction Experiment

Yuan Chun\*, Lijun Yang, Jinyue Yang, Wei Gao

National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

**Abstract:** The traditional BZ oscillating reaction experiment focuses on the imparting of dissipative structure knowledge and the measurement of the activation energy during the induction period. Based on the rich and colorful phenomena and the underlying philosophy of life presented by the concentric circle growth process, this case study innovatively designs the experimental content supported by the dissipative structure theory, introducing the concentric circle experiment content and the flipped learning model. It aims to enhance students' scientific literacy and research abilities, guide students to analyze the safety hazards and potential environmental impacts in the experiment, integrate reflection on life into the experimental process, and utilize the principles of dissipative structures to understand and transform the world after class. The improved experiment will help establish students' correct outlook on life and the world.

**Key Words:** Physical chemistry experiment; BZ oscillatory reaction; Concentric circle; Ideological and political education; Design of experiment

### 1 引言

BZ振荡反应是一个经典的物理化学实验。BZ振荡是指在酸性介质中, 有机物在有(或无)金属离子催化下, 被溴酸盐氧化, 某些中间组分的浓度发生周期性变化, 溶液颜色出现交替变化现象, 属于一类化学振荡, 最早由前苏联科学家Belousov和Zhabotinsky研究发现, 并以他们的首字母来命名

收稿: 2023-08-20; 录用: 2023-10-09; 网络发表: 2023-10-25

\*通讯作者, Email: ychun@nju.edu.cn

基金资助: 南京大学“百”层次优质课程建设; 南京大学“十三五”实验教学改革创新课题; 南京大学教学实验室建设提升计划; 2021年度基础学科拔尖学生培养计划2.0研究课题(20212044); 南京大学虚拟教研室建设培育项目

此类反应。该反应涉及非平衡态热力学耗散结构理论，基本原理复杂，实验成本较低，很多高校都开设了这一实验<sup>[1-6]</sup>。在教学过程中，大部分高校主要测定电势随时间的变化曲线以观察BZ振荡随时间有序变化，利用诱导期与速率常数成反比，通过测定诱导期随温度变化来获得反应的表观活化能。胡芯等<sup>[7]</sup>对实验过程进行了重新设计，加入了传统动力学实验中较少涉及的复杂反应动力学数学处理及BZ振荡反应在分析检测中的应用，提高了实验的自主性和设计性。不过现有的BZ振荡反应实验主要还是验证性实验过程为主，实验方法成熟、实验操作简单，不利于激发学生的学习兴趣，难以落实思政育人目标。

同心圆实验是静态条件下进行的BZ振荡反应，在特定的条件下系统会形成由同心圆构成的颜色鲜艳、层次分明的图案(图1)。同心圆实验中精彩纷呈的现象对提升学生的学习兴趣很有帮助。但是受限于实验时长等因素，各高校开设的BZ振荡实验中较少涉及同心圆实验内容<sup>[1]</sup>。



图1 BZ振荡实验中形成的一些同心圆照片

本案例对传统的BZ振荡反应实验进行了改进，针对BZ振荡反应实验周期性变化的规律，以耗散结构的理论知识为支撑，引导学生从生活中去寻找“耗散结构”实例，感受自然界、生命等的周期性变化；在实验过程中引入同心圆实验内容，通过调变同心圆的内在基因组成(原料的配比)和控制外部生长环境(温度、容器、扰动等)，创造各具特色的同心圆图案；在同心圆的生长过程中，以同心圆丰富多彩的实验现象吸引学生去观察和感悟其中蕴含的人生哲理；在对同心圆生长本质，也即耗散结构的形成原理的剖析和研讨中，融入对人生的思考，树立正确的人生观和世界观；在课后进一步运用耗散结构的相关原理去重新认识世界和改造世界。此外，利用本实验内容丰富、富于探索性的特点，结合线上、线下混合式“翻转学习”模式的实施，还将培养学生勇于探索的创新意识、分工协作的团队精神、规范严谨的科学态度、细心观察的实验习惯、发现问题和解决问题的科研能力。

## 2 课程思政案例的设计与实施

### 2.1 案例导入

经典热力学认为自发变化的方向是混乱度增加的方向，系统趋于无序和平衡<sup>[8]</sup>。但自然界中存在许多自发形成的有序形貌，比如花朵和树叶独特的形状、蝴蝶翅膀丰富多彩的条纹等(图2)，没法用经典热力学来进行解释，因而在20世纪50年代，发展出不可逆过程热力学(非平衡态热力学)理论。比利时科学家Prigogine在1969年提出了耗散结构的概念<sup>[9]</sup>，认为在远离平衡态的条件下，非线性非平衡态系统由于本身的非线性动力学机制有可能自发产生宏观时空有序的结构。耗散结构理论对自然界有序形貌的自发形成作了很好的解释，Prigogine因此于1977年获得诺贝尔化学奖。耗散结构在自然界中普遍存在，各类生命体都是耗散结构的典型例子。BZ振荡反应系统也是一种耗散结构系统。

在BZ振荡反应中，系统会自发出现时空有序的现象，和脉搏跳动、新陈代谢、生物圈进化等存在许多相似之处<sup>[8,10]</sup>。特别是在同心圆实验中，可以直观形象地呈现生命的演化过程，其中蕴含了丰

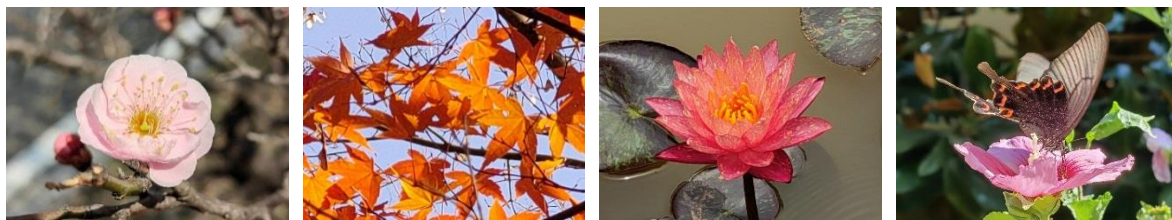


图2 自然界中一些自发形成的有序形貌

富的人生哲理。同心圆反应系统可以看作生命体，1–2 h的同心圆生长过程是漫长一生的缩影。每一个同心圆都会经历从诞生、成长到衰老和消亡的过程，绚丽的同心圆图案只会出现在短短的一段时间内，过去了就不能回头，同样生命是有限的，每个人的青春时光短暂，一去不复返，需要好好珍惜。形成同心圆(构成化学振荡)必须要满足三个条件：处于远离平衡态的开放系统，反应历程中包含自催化步骤，存在两个稳态。同样精彩的人生也需要多种条件的支撑。同心圆系统需要处于开放条件，从环境中不断地获取物质和能量，以形成和维系有序的形貌。对于人生而言，需要与社会接触，去适应环境，不断学习、不断进取，才会绽放光彩。而自我封闭、满足于现状只会走向消亡；化学振荡时系统会在两个稳态之间来回转变，每个稳态持续时间会随着条件的不同发生变化。人生也会经历高潮和低谷两个阶段，需要正确认识，尽力去缩短低谷期，延长高潮期，才能最大限度地发挥自己的潜力；同心圆的形成要靠自催化反应来打破平衡，实现从低谷到高峰的转变。对于人生而言，努力就是自催化剂，如果受到挫折只是一味地抱怨不公，不可能走出低谷。只有通过不断的努力，加速自己的积累，弥补不足，才能最终取得成功……观察同心圆的生长过程，剖析同心圆形成的机理，可以去亲身感受和体会其中蕴含的深刻道理，有助于树立积极向上的人生观和世界观。

## 2.2 案例的研讨

借助课程网站、电子资源库等线上学习平台，学生在线查阅相关资料，了解非平衡态热力学研究的历史和意义；从大自然、日常生活中去寻找耗散结构的存在实例，通过拍照、文字报告等形式记录和分享；从绿色环保出发，对实验中可能产生的有害物种进行分析，思考如何减少环境污染、降低安全隐患。

通过线上学习平台讨论区或者布置线上作业，完成以下一个或多个研讨：(1) 学生上传从大自然和生活中找到的耗散结构实例资料，对这些耗散结构实例进行初步讨论和分析；(2) 对研究非平衡态系统、耗散结构的意义进行讨论，辩证地看待历史上热力学第二定律的宇宙推论“热寂论”观点；(3) 分析本实验中存在的安全隐患，可能对环境造成的影响，并讨论如何进行防范和改进。

## 2.3 实验的创新设计

为了能够顺利地完成任务，首先需要解决实验时长问题，我们对实验流程进行了调整。原来的实验过程中，学生需要当场配制反应原料，而其中 $\text{KBrO}_3$ 固体溶解速率慢，导致溶液配制花费很长时间。调整后，教师事先配制好所需的硝酸铈铵、硫酸、溴酸钾和丙二酸四种储备液，学生实验时直接按需取用；原来的反应温度区间为 $25\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ ，而 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 时反应速率较慢，耗时较长。调整后，反应温度区间变为 $30\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ ，并且减少了重复的实验测试过程，在保障测量足够实验数据的基础上，时间明显缩短。通过这一系列改进，时长从原来近5 h压缩到约2.5 h，留出了足够多的时间供学生进行同心圆实验和开展探索研究。

为了培养学生勇于探索的创新意识，实验过程中引入了自主探索环节，学生可以分别针对不同反应物种浓度的变化、反应条件(如预混合、搅拌速率、恒温时间等)的改变、外加物种(如 $\text{Br}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ag}^+$ 等离子)等因素对BZ振荡反应的影响开展研究，教师需要事先进行预备实验做相关的准备，以更有效地引导学生进行创新性探索实验。在同心圆实验中学生也并非按照指定的条件进行，而是通过

自行选择同心圆的原料配比和控制外部生长环境，创造独特的同心圆图案。

## 2.4 案例的实施

本实验可通过“翻转学习”模式进行教学，分为线上学习和线下学习两个部分。

线上学习时，学生根据教材相关实验内容，依托课程网站等教学平台提供的实验教学视频，结合其他教学资源，线上自主学习本实验的相关原理和操作过程，并完成线上预习测试，保证学生能够顺利完成线下的实验过程。该过程可以培养学生的自主学习能力，同时在线下实验时可以留给学生更多的时间开展探索性研究。

线下学习可分为验证实验、探索实验和翻转讨论三个环节，建议采用两人一组团队合作的形式完成。在一开始验证实验环节，每组学生需要各自完成BZ振荡反应活化能的测量，在实验过程中突出规范操作、实事求是、安全环保等要求，帮助学生养成规范严谨的实验习惯和实事求是的科学态度。而在探索实验环节，则采用团队实验的形式进行探索。针对影响BZ振荡反应的各种因素，如不同反应物浓度的变化、反应条件的控制、外加物种等，由同一天实验的几组学生共同商议，选定其中一个方向，不同组学生分别去开展探索研究，结果汇总后再进行系统的讨论。这一过程不仅能够提升实验的研究属性，还可以培养学生勇于探索的创新意识和分工协作的团队精神。同心圆实验穿插于验证实验和探索实验过程之中进行，建议由每位学生单独完成。学生可以自行调控实验条件，改变原料配比，形成各具特色的同心圆图案。实验过程中，引导学生去仔细观察同心圆的生长过程、思考形成机制，自行体会和感悟其中蕴含的丰富的人生哲理。

最后的翻转讨论环节以学生为主体来开展，在前期实验结果和感悟的基础上，可以围绕对实验原理的理解、实验现象的剖析、人生哲理的体会等方面，由每位学生自己来进行讲解，并共同展开讨论，最后教师进行适当的总结。

## 2.5 课后拓展

在实验报告撰写中，要求学生查阅文献，了解BZ振荡反应在化学、物理、生物等领域的研究应用，认识BZ振荡反应在生活中的实际应用价值。作为一种化学分析、药物、医学检测的手段，进一步要求学生把BZ振荡和其他相关的传统和现代检测手段进行比较，分析各自的优势和适用范围，提升学生的思辨能力。

结合课上对BZ振荡反应形成机制的分析和讨论，课后学生再一次走进大自然，重新去认识周围的世界，深入分析课前找到的耗散结构实例以及脉搏跳动、新陈代谢、生物圈进化等一系列现象的内在本质，进一步利用耗散结构相关的原理去改造世界，创建美好的家园。另外将同心圆实验中体会到的人生哲理融入日常生活中，保持积极向上的心态，正确对待挫折和失败，适应环境、努力学习、不断进取，为国家富强最大限度地做出自己的贡献。

在课程网站讨论区要求学生分享对耗散结构实例的重新认识、课后实践中的心得、感想和体会并进行讨论，相互学习、借鉴。

## 3 实施建议与效果考核

教师可按照产出导向的理念，通过在课前线上研讨和预习报告、课中实验过程和翻转讨论、课后实验报告和表现等多种形式，全面考查学生的科学素养、社会责任感和社会主义人生观的养成和提升情况，从而对思政元素教学目标的达成度进行综合评价。课程思政目标达成度的具体考核建议见表1。

由于同心圆实验过程中会产生 $\text{Br}_2$ 、 $\text{HBrO}$ 和 $\text{HBrO}_2$ 等具有挥发性的有害物种，实验过程中一定要注意安全防范。比如混合几种反应物需要在通风橱中进行，同心圆生长过程中需要盖上培养皿减少有害物质的释放。这些安全注意事项在课前学生研讨的基础上需要进一步强调。由于同心圆的生长

和持续时间较长,实验时要合理安排时间。

表1 课程思政目标达成度的考核建议

| 课程思政教学目标                                                  | 考核形式                       | 考核标准                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 规范严谨的实验习惯、实事求是的科<br>学态度、分工协作的团队精神、坚韧不<br>拔的意志品质、勇于探索的创新精神 | 实验过程评分                     | 能够严谨规范地进行实验操作;认真仔细记录和处理数据;实验<br>过程同学之间分工明确、相互协作;遇到问题时努力克服和解决;<br>能够开展探索研究并对结果进行合理分析   |
| 树立积极向上、努力进取的人生观和<br>世界观                                   | 课前线上研讨、课中<br>翻转讨论、课后表现     | 能够从自然界和生活中找到耗散结构实例并进行阐述;能够对同<br>心圆形成过程和机理进行深入分析,说明其中蕴含的人生哲理;<br>能够在课后把这些人生哲理融入生活和学习之中 |
| 关心国家环境安全和人民生命健康                                           | 课前线上研讨或预<br>习报告、实验过程评<br>分 | 能够明确实验中涉及到的药品试剂的安全信息,对环境和人民生<br>命健康可能造成的危害;在实验过程中尽量减少三废的产生并正<br>确地处理实验废弃物             |

#### 4 结语

本实验课程思政案例引入同心圆实验内容,对原有物理化学实验——BZ振荡反应进行改进,更有利于对学生的科学素养、社会责任感和正确人生观的培养和提升。同心圆的形成过程蕴含丰富的人生哲理,精彩纷呈的实验现象可以激发学生的学习兴趣,在实验过程中融入对人生的思考。通过本实验的学习,有助于树立学生积极向上、努力进取的人生观和世界观。

#### 参 考 文 献

- [1] 邱金恒, 孙尔康, 吴强. 物理化学实验. 北京: 高等教育出版社, 2010: 87-92.
- [2] 复旦大学. 物理化学实验. 第3版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 90-94.
- [3] 孟长功, 田福平, 宿艳, 徐铁齐, 王春燕, 姜文凤. 基础化学实验. 第3版. 高等教育出版社, 2019: 293-295.
- [4] 宋淑娥. 基础化学实验(III)-物理化学实验. 第3版. 北京: 化学工业出版社, 2019: 171-173.
- [5] 韩国彬, 陈良坦, 李海燕, 袁汝明. 物理化学实验. 厦门: 厦门大学出版社, 2010: 197-201.
- [6] 北京大学化学学院物理化学实验教学组. 物理化学实验. 第4版. 北京: 北京大学出版社, 2001: 77-79.
- [7] 胡芯, 陈泽, 闫涛, 胡锴, 赵发琼, 黄驰, 刘欲文. 大学化学, **2020**, 35 (4), 137.
- [8] 侯文华, 傅献彩. 物理化学. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2022.
- [9] Glansdorff, P.; Prigogine, I. *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*; John Wiley Sons: New York, NY, USA, 1971.
- [10] 高文颖, 刘义, 李伟, 屈松生. 大学化学, **2004**, 19 (4), 30.