Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 726-730
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112436

Hans汉斯

从氧气发现历程看封闭系统对大学化学核心概念建构的教学价值

唐曾民*，许利剑，周　斌，张　巧

湖南工业大学生物与医学工程学院，湖南　株洲

收稿日期：2026年10月5日；录用日期：2026年11月4日；发布日期：2026年11月11日

摘　要

氧气的发现与氧化理论的确立，是近代化学从定性描述走向定量实证的里程碑事件，而封闭系统的构建与严格控制，是推翻燃素学说、建立质量守恒定律与氧化还原理论的核心方法论基础。文章以舍勒、普利斯特里与拉瓦锡的科学探索历程为逻辑主线，系统阐释开放系统对科学认知的遮蔽效应，以及封闭系统在物质守恒、反应机理、定量分析等核心化学概念形成中的支撑作用，并结合当前大学化学课程教学的现实需求，提出以化学史为载体、以系统思维为核心、以科学方法论为导向的教学改革路径，旨在帮助学生建立严谨的热力学系统观、定量守恒观与逻辑推理能力，提升大学化学课程的理论深度与育人价值。

关键词

大学化学，封闭系统，氧气发现，科学方法论，教学改革

The Teaching Value of Closed Systems in Building Core Concepts of University Chemistry: Insights from the Discovery of Oxygen

Zengmin Tang*, Lijian Xu, Bin Zhou, Qiao Zhang

School of Biological Science and Medical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan

Received: October 5, 2026; accepted: November 4, 2026; published: November 11, 2026

*通讯作者。

文章引用: 唐曾民, 许利剑, 周斌, 张巧. 从氧气发现历程看封闭系统对大学化学核心概念建构的教学价值[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 726-730. DOI: 10.12677/ae.2026.16112436

Abstract

The discovery of oxygen and the establishment of the oxidation theory represent a milestone in the transformation of modern chemistry from qualitative description to quantitative empirical research. The construction and strict control of a closed system serve as the fundamental methodological basis for overthrowing the phlogiston theory and establishing the law of conservation of mass and the redox theory. Taking the scientific exploration processes of Scheele, Priestley, and Lavoisier as the logical mainline, this paper systematically elucidates the masking effect of open systems on scientific cognition, as well as the supporting role of closed systems in the formation of core chemical concepts such as mass conservation, reaction mechanisms, and quantitative analysis. Furthermore, integrated with the practical demands of current university chemistry teaching, this paper proposes a teaching reform approach that takes the history of chemistry as the carrier, systems thinking as the core, and scientific methodology as the guidance. It aims to assist students in establishing rigorous views of thermodynamic systems and quantitative conservation, as well as developing logical reasoning skills, so as to enhance the theoretical depth and educational value of university chemistry courses.

Keywords

University Chemistry, Closed System, Discovery of Oxygen, Scientific Methodology, Teaching Reform

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

大学化学作为高等教育通识与大类基础课程，承担着构建学生化学理论框架、培养科学思维与研究素养的重要功能，其核心概念体系如质量守恒、能量守恒、化学反应热力学、氧化还原理论、定量分析方法等，均建立在对热力学系统的准确定义与边界控制之上[1] [2]。在化学学科发展历程中，系统边界的选择直接决定实验现象的解读、理论模型的构建乃至科学范式的更迭。18 世纪氧气的发现过程，正是封闭系统推动化学认知革命的典型范例[3]。当前，在大学化学教学中，部分课程仍存在重公式推导、轻概念生成，重计算结果、轻方法论教育的倾向，学生对封闭系统、状态函数、物质守恒等底层逻辑理解不深，难以将理论知识迁移至复杂体系分析与科学研究实践。基于此，本文以氧气发现的科学史为切入点，深入剖析封闭系统在化学核心概念形成中的关键作用，并探索契合大学化学课程定位的教学改革思路，为提升基础化学课程的教学质量提供理论参考与实践路径。

2. 氧气发现历程：封闭系统驱动化学理论的范式革命

在拉瓦锡建立氧化理论之前，燃素说作为统治化学界近百年的核心理论，将燃烧过程解释为可燃物释放燃素的分解过程。面对金属煅烧质量增加等实验事实，该理论只能以燃素具有负质量等牵强假设自圆其说。究其根源，在于当时的研究体系均处于开放环境，无法对参与反应的气体物质进行追踪、计量与守恒性验证[4]。舍勒于 1772 年通过热分解硝酸盐、氧化物等方式制得具有强助燃性的“火气”，并认识到该物质是空气的重要组成部分。普利斯特里则在 1774 年通过加热氧化汞制得“脱燃素空气”，并系统研究了其助燃与维持生命的性质。二者均在实验上实现了氧气的分离与表征，却始终未能摆脱燃素说

的理论束缚[5]。造成这一认知局限的重要原因在于，其实验均在开放系统中开展，无法实现反应体系与环境的物质交换隔离，难以获得精确的定量数据，更无法建立反应物与生成物之间的计量关系，最终只能停留在对现象的描述，而无法揭示燃烧与氧化反应的本质规律。

真正实现化学理论范式革新的是拉瓦锡，其核心贡献并非发现新物质，而是以封闭系统为基础的定量实验方法与逻辑推理体系，从根本上颠覆了传统燃素说的认知框架[6]。拉瓦锡设计的汞煅烧封闭实验装置，将反应体系与外界环境完全隔离，确保体系内物质既不流失也不引入外界杂质，在长达十余天的实验过程中，对体系总质量进行持续精准称量，证实反应前后总质量保持严格不变，同时通过汞灰分解的可逆实验，实现了气体消耗与生成的定量对应，最终明确提出燃烧是物质与氧气发生化合反应的科学结论，金属煅烧后的质量增加，恰好等于体系内氧气的消耗质量[7]。封闭系统的应用，使得原本不可见、易散失的气相物质被纳入定量观测范围，让化学反应的物质守恒关系得以直接验证，也为质量守恒定律、化学计量关系、氧化理论的建立提供了不可动摇的实验基础，标志着近代化学真正迈入定量与科学的时代。为直观呈现实验体系的差异，可通过图 1 拉瓦锡汞煅烧封闭实验装置示意图展示封闭系统的结构特征[8]，该装置由曲颈甑、密闭玻璃罩与汞槽构成，通过液(水银)封实现体系与环境的完全隔离，是实现定量测量与守恒验证的关键结构。



Figure 1. Schematic of Lavoisier's closed mercury calcination apparatus
图 1. 拉瓦锡汞煅烧封闭实验装置示意图

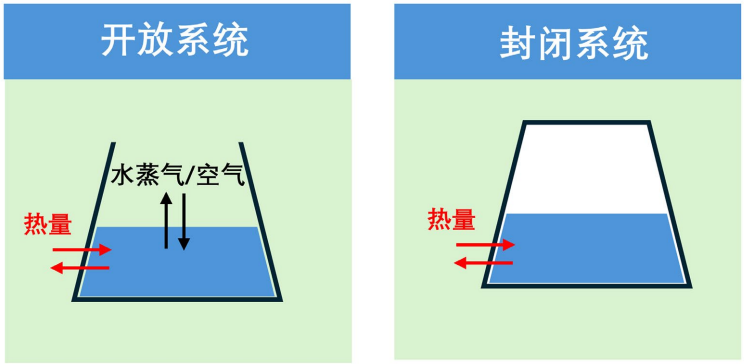


Figure 2. Schematic comparison of mass exchange for open and closed systems
图 2. 开放系统与封闭系统物质交换对比示意图

从氧气发现的完整历程可以清晰认识到，封闭系统不仅是一种实验控制手段，更是化学核心概念得以成立的逻辑前提。封闭系统划定了明确的物质与能量边界，隔绝了体系与环境之间的物质交换，为质量守恒与元素守恒提供了必要条件，是一切定量化学分析与热力学计算的基础。封闭系统能够有效排除环境干扰、简化变量关系，实现对反应本质的精准识别，为反应机理研究与理论模型构建提供可靠支撑。同时，封闭系统也是连接宏观实验现象与微观反应本质的重要桥梁，在开放系统中只能观测到表观的质量变化与状态改变，而在封闭系统中才能揭示物质转化、原子重组与能量传递的内在规律，这一认知逻辑贯穿于大学化学热力学、动力学、分析化学等核心知识模块。为进一步区分不同研究体系的差异，可通过图 2 开放系统与封闭系统能量/物质交换对比示意图直观展现两类系统的本质区别，开放系统存在气体进出与质量散失，无法实现守恒验证，而封闭系统无物质进出，能够保证定量分析的准确性。

3. 大学化学教学中封闭系统思维培养的不足与教学困境

在当前大学化学课程教学中，封闭系统作为热力学与定量化学的基础概念，其思维价值尚未得到充分挖掘，学生在理论理解与知识应用中仍存在明显局限。在课程内容组织上，多数教材与课堂教学将封闭系统、敞开系统、孤立系统作为热力学基本概念简要介绍，缺乏与化学史、核心定律、理论模型的深度融合，导致学生将其视为孤立的定义记忆，无法理解其对质量守恒、能量守恒、平衡常数计算、定量分析等内容的支撑作用。

与此同时，学生对核心概念的理解呈现碎片化与工具化倾向，能够熟练运用守恒关系进行计算，却无法解释守恒成立的系统前提，能够进行热力学函数运算，却不能准确判断系统类型对状态函数的影响，知识迁移能力与逻辑推理能力难以满足后续专业学习与科学研究的要求[9]。此外，科学方法论教育在大学化学教学中存在缺位，对化学史中蕴含的系统思维、定量方法、批判精神等核心素养挖掘不足，学生难以从学科发展的高度理解理论建立的过程，不利于创新意识与科学精神的培育。

4. 融入封闭系统思维与化学史的大学化学教学改革路径

依托氧气发现等经典化学史内容重构概念教学逻辑，是强化学生系统思维与科学方法论的有效路径。在大学化学课堂中，可以将氧气的发现与氧化理论的建立，作为系统思维与定量方法的典型案例展开教学，引导学生对比分析舍勒、普利斯特里与拉瓦锡的研究体系差异，理解开放系统带来的认知局限与封闭系统实现的科学突破，让学生在历史演进中体会系统边界控制对理论创新的决定性作用，将封闭系统从一个抽象的热力学定义，转化为支撑化学理论体系的核心思想。

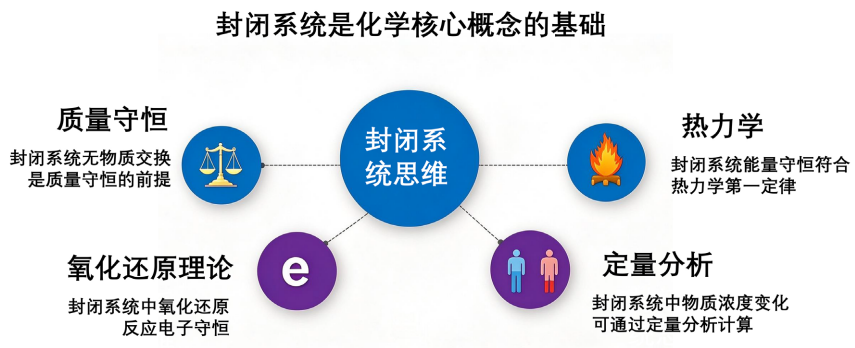


Figure 3. Framework for closed-system thinking linked to core concepts in university chemistry
图 3. 封闭系统思维在大学化学核心概念中的关联框架图

在理论教学中强化系统观与核心概念的深度融合，将封闭系统思维贯穿于质量守恒、能量守恒、化

学平衡、氧化还原滴定、气相反应等全知识模块，在讲授每一定量关系与理论模型时，明确其成立的系统前提，引导学生建立先界定系统、再分析过程、最后得出结论的严谨思维模式。结合热力学第一定律、状态函数等核心内容，深化封闭系统与能量传递、物质转化的内在联系，提升学生对大学化学理论体系的整体性理解。在教学呈现上，可引入图 3 封闭系统思维在大学化学核心概念中的关联框架图，将封闭系统与质量守恒、热力学、定量分析、氧化还原理论等知识点建立可视化关联，帮助学生构建系统化的知识网络。

将科学思维与学科素养培育贯穿教学全过程，以封闭系统与氧气发现案例为载体，引导学生体会科学研究中变量控制、定量实证、逻辑推理与批判质疑的重要价值，实现从知识传授向能力培养的转变，让学生不仅掌握大学化学的理论与公式，更具备化学学科特有的系统思维、守恒思维与实证思维。

5. 结语

氧气的发现历程充分证明，封闭系统是近代化学理论建立的方法论基石，也是大学化学核心概念体系不可或缺的组成部分，其价值不仅体现在实验控制层面，更深刻影响着化学思维的形成与理论模型的构建。大学化学作为大类基础课程，应当回归学科本源，强化系统思维、定量思维与科学方法论的教育，以经典化学史为载体，将封闭系统思想深度融入理论教学、实验教学与素养培育全过程，改变碎片化、工具化的教学模式，帮助学生构建完整、严谨、具有迁移价值的化学认知框架。通过教学改革的不断深化，能够有效提升学生的逻辑推理能力、实验探究能力与创新意识，让大学化学真正发挥夯实专业基础、培育科学素养的重要功能，为学生后续专业学习与科学研究奠定坚实的思维与理论基础。

基金项目

项目名称：知识图谱驱动的大学化学“大学科思维”教学模式构建与实践。

项目等级：湖南省普通本科高校教学改革研究项目。

项目编号：B20261540。

参考文献

[1] 姚加, 彭笑刚. 从科学到大学化学[J]. 大学化学, 2025, 40(12): 95-107.

[2] 卢学实, 王桂英, 王吉清. 大学化学[M]. 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2019.

[3] 王波. 氧气的发现史及其教育价值的探析[J]. 化学教与学, 2023(24): 16-20.

[4] 顾晔. 科学发展史中批判性思维的作用和习得途径[J]. 大学化学, 2019, 34(7): 109-116.

[5] 柏廷顿. 化学简史[M]. 胡作玄, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2010.

[6] 史在君, 崔婧. 不畏权威的天才化学家——拉瓦锡[J]. 新世纪智能, 2021(66): 42-43.

[7] 赵匡华. 化学通史[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.

[8] 课程教材研究所. 人教版化学九年级上册[M]. 北京: 人民教育出版社, 2024.

[9] 郑舒月. 大学化学教学中使用化学史案例对提高军校学员科学素养的作用[J]. 中国教育技术装备, 2020(16): 99-102.