

重构化学革命叙事：HPS 的氧化学说教学与学生科学本质观培养

蔡呈腾*

(温州中学附属初中, 温州, 325016)

摘要: 针对初中化学教学中存在的“辉格史观”叙事局限, 本研究以拉瓦锡氧化学说为例, 旨在实现从史实传递向科学本质观培养的教学论转向。通过文献研究与案例设计, 构建了包含“历史语境还原”“认知冲突设计”与“定量思维与范式转换”三个维度的 HPS 教学框架。基于此框架, 系统开发了以“燃素说听证会”“新空气发布会”和“拉瓦锡的最终审判”为核心的三阶段“情景剧场”式教学案例。本研究阐明, 科学史教学应引导学生理解科学理论的韧性与历史合理性、体验“观察渗透理论”的哲学内涵、领悟定量证据在范式革命中的决定性作用, 从而为在中学课堂中深化核心素养教育提供兼具理论深度与实践操作性的路径。

关键词: 拉瓦锡; 氧化学说; 科学本质观; HPS 教育; 初中化学

一、引言：重构化学革命叙事的教育意义

在当前的初中化学教学中, 安托万-洛朗·拉瓦锡 (Antoine-Laurent de Lavoisier) 常被塑造成一位毋庸置疑的科学英雄形象, 他凭借精密的天平与严谨的定量方法, 最终实现了从燃素说到氧化学说的范式转换, 发现了氧气并揭示了燃烧本质, 被誉为“现代化学之父”。此叙事虽简洁有力, 却暗含“辉格史观”的陷阱, 遮蔽了科学革命中真实的认知张力与思想历程。此种叙事, 正是科学史家赫伯特·巴特菲尔德 (Herbert Butterfield) 所批判的“辉格史观”的典型体现^[1], 包含着一种以今度古、将历史简化为从“谬误”到“真理”的线性进程的倾向。它抹除了科学探索中的不确定性、多重路径与思想挣扎, 将历史上的科学家简化为当代知识的单向度先驱, 而非活生生的、置身于复杂智力传统中的思考者。

* 蔡呈腾, cctcax@sina.com。

（一）问题的提出

本研究核心在于回应以下教学问题：如何超越对科学史实的结论性传递，将氧化学说这一段蕴含丰富哲学内涵的历史，转化为培养学生科学思维与科学本质观的生动载体？传统的教学处理往往忽略了燃素说的历史合理性、先驱者发现的范式约束以及拉瓦锡革命的范式转换意义^[2]，这使得科学显得像是一系列既定事实的集合，而非一种充满批判与建构的探究实践。

（二）研究背景与意义

《义务教育科学课程标准（2022年版）》（以下简称“新课标”）明确提出要培养学生的“科学观念、科学思维、探究实践、态度责任”等核心素养。^[3]作为科学教育者，我们肩负的使命远不止传递“氧气是空气的组成部分，燃烧是剧烈的氧化反应”这一结论，更重要的是引导学生理解这一结论是如何从一个充满迷思、争议与理论竞争的历史语境中艰难诞生的。教学应引导学生置身于“氧气”概念尚未诞生、“燃素”仍属合理实体的历史语境中，去体会像约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley）这样的研究者，在制得助燃气体时，为何仍以“脱燃素空气”命名它，与“氧气”的发现失之交臂。这不是历史的偶然，而是理论范式对观察与解释的根本性制约。

将科学史融入教学被视为实现理解科学本质的关键路径。^[4]然而，若教学实践不能自觉摆脱“辉格史观”的桎梏，科学史的教育价值将大打折扣，甚至可能加深学生对科学的片面认识。因此，对科学革命叙事进行教学论上的批判与重构，具有重要的理论与实践意义。

（三）研究目的与方法

本文旨在解决“辉格史观”叙事与学生科学本质观培养脱节这一核心矛盾：

- （1）批判传统教学中关于氧化学说的“辉格史观”叙事；
- （2）重构其真实的历史语境与范式革命过程；
- （3）构建一个系统性的、以“情景剧场”为实践特色的教学框架，以培养学生的科学本质观。

研究方法上，本文主要采用文献研究法，深度梳理科学史与科学哲学的相关理论；并基于HPS（科学史、科学哲学和科学社会学）教育理论，结合新课标关于科学核心素养的要求，采用案例研究法，进行教学论层面的转化与设计，形成可复用的教学方案案例设计。

（四）研究框架

首先，构建一个基于HPS的科学本质观^[5]教学理论框架；其次，在此框架下，详细阐述以“氧化学说”为案例的教学转化与实践路径；最后，总结全文并讨论其教学价值。

二、理论框架：基于HPS的科学本质观教学路径

本文致力于构建一个以“历史重演”和“思想实验”为路径的教学框架，引导九年级学生模拟18世纪科学实践者的角色，重演燃烧本质的科学革命历程。为有效实现从知识传递到科学本质观的教学转向，本文构建了“历史—认知—定量”三维教学框架（图1），该框架旨在通过特定的教学策略，引导学生达成对科学本质特定方面的理解，为科学史教学提供系统化的转化路径。这

一设计超越知识传授,直指科学本质理解,深度融合新课标所倡导的“科学观念、科学思维、探究实践、态度责任”四大核心素养。

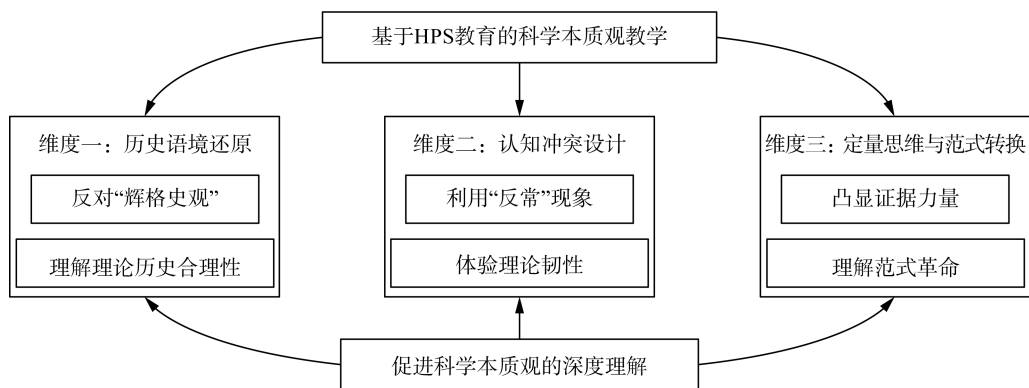


图1 科学本质观教学的理论框架

上述理论框架为科学史教学提供了原则性的指导。为使这一框架转化为可操作的课堂教学实践,下文将以“氧化学说”这一科学革命经典案例为载体,进行具体教学路径设计。以下呈现的三个递进式教学阶段,分别是理论框架中“历史语境还原”“认知冲突设计”与“定量思维与范式转换”三个维度的具体应用与生动体现,每个阶段均设置了明确的设计目标、核心活动与教学价值阐释,旨在将抽象的哲学观念转化为学生可参与、可思辨的探究旅程,从而确保理论框架能够扎实落地。

(一) 维度一：历史语境还原——反对“辉格史观”

科学的进步并非简单的“正确”取代“错误”。任何历史时期的科学理论都是在其特定的知识背景和实验条件下产生和发展的。^[6]若要真正理解拉瓦锡革命的深刻意义,就必须引导学生回到燃素说统治化学思想的时代,理解其作为一个逻辑自洽并成功解释了当时大部分化学现象(如燃烧、煅烧、呼吸)的理论体系的内在合理性,这是理解科学理论历史性与暂定性的第一步^[7]。这一步旨在破除学生“今是昨非”的简单化观念。若要让学生体验科学发现的真实乐趣,就必须让他们亲身感受那段历史中科学家所面临的认知困境与思想转型。

(二) 维度二：认知冲突设计——模拟理论韧性

当新的实验事实与核心理论发生冲突时,科学家并不会轻易放弃原有的范式或研究纲领。^[8-9]相反,他们往往会首先提出各种“辅助性假说”来维护理论的核心。教学设计应有意识地创设认知冲突(如“金属煅烧增重”),让学生模仿历史中的科学家,尝试提出诸如“燃素具有负重量”等假说^[10],亲身体验科学理论在面对反例时所表现出的“韧性”^[11]。这有助于学生理解科学理论的发展不是被动证伪,而是主动调整与辩护的动态过程。

(三) 维度三：定量思维与范式转换——突显证据力量

科学革命的最终发生,依赖于新的观察工具、思维方式以及决定性的证据。拉瓦锡引入的定量方法,不仅是技术的革新,更是化学研究范式的根本转换。^[12]教学应引导学生重点关注拉瓦锡

如何通过精密的质量测量数据，构建起一个超越燃素说的全新解释体系。通过分析数据与理论之间的逻辑链条，学生能够领悟到，最终推动科学理论变革的不是权威，而是基于严密实验的证据与逻辑推理。

三、教学转化与实践路径：以氧化学说为例

以下三阶段“情景剧场”教学设计，是上述理论框架的具体化应用。每个阶段都明确对应一个核心维度，旨在将宏大的科学哲学观念转化为学生可参与的、具身的思维探究活动。

（一）阶段一：燃素说听证会——理解理论的韧性与局限（对应维度一、二）

设计目标：为落实“历史语境还原”（维度一），本阶段引导学生置身于18世纪的化学语境，体会燃素说作为当时主流理论的内在逻辑与历史合理性。同时，通过创设“金属煅烧增重”这一认知冲突（维度二），让学生亲历科学理论在面对反例时所表现出的韧性，理解其动态发展的本质。

核心活动：

1. 情境导入与模型建构。教师以18世纪“自然哲学家”身份，引导学生基于燃烧、煅烧等现象，共同推导并“建构”燃素说的核心假设^[13]：

①万物皆含燃素。所有可燃物和能被煅烧的金属，都被认为含有一种名为“燃素”的微妙物质。可燃性越强，代表物质所含燃素越多，木炭被视为近乎纯粹的燃素。

②燃烧即释放燃素。燃烧被理解为物质迅速释放内部燃素的过程，火焰则是逸出燃素的可视表现。燃烧后残留的灰烬或煅渣，则是失去燃素后的“死寂”物质。

③空气的作用。空气并不直接参与反应，而是作为燃素的“接受体”或“载体”。其作用是溶解并带走燃烧中释放的燃素。因而在密闭空间中蜡烛熄灭，并非由于某种成分被消耗，而是因为空气已“饱和”，无法再容纳更多燃素。

这一理论体系以其内在一致性成功解释了当时大部分化学现象：木材燃烧后质量大幅减少是因为燃素逸入空气；封闭系统内火焰熄灭是因为空气容纳燃素的能力已达上限；冶金过程中使用木炭，则被理解为燃素从木炭转移至金属灰烬，使其“再生”为金属。燃素说在当时的实验条件下构成了一个逻辑自洽、解释力强大的理论闭环。

2. 认知冲突与理论辩护（“听证会”）。教师可设置如下认知冲突情境：“假设你是18世纪的科学家，坚信燃素说，但当你密闭容器中煅烧金属并发现其增重时，你会作何解释？”此任务旨在驱动学生体验科学家的理论困境。燃素说学者提出了一系列辅助性假说来弥补理论缺陷^[14]，例如：

①燃素具负重量。部分学者推测燃素可能具有“轻性”或“负重力”，其逸出导致物体变重。在牛顿力学尚未完全统合自然哲学的时代，这一设想并非全无道理。

②火微粒的介入。另一些人主张，燃烧过程中来自火焰的“火微粒”进入物质内部，导致增重，但这与燃素释放的核心观念存在明显矛盾。

面对这一“反常”，学生将模仿燃素论者提出辅助性假说，如“燃素具负重量”或“火微粒介入”。这一过程并非为了记住历史上的错误答案，而是为了亲身体验科学理论的韧性。

在教学中,引导学生审视这些“辩护策略”极具教育意义。它揭示出科学理论并非轻易就被证伪,而是常常通过引入辅助假设以维持核心范式——这正是科学史家伊姆雷·拉卡托斯(Imre Lakatos)所称的“研究纲领”的自我保护机制^[15]。重量问题之所以关键,正因为它无法在燃素框架内得到圆满解释,从而最终推动拉瓦锡借助定量方法,重新审视线索,建构新范式。

教学价值:通过为“错误”理论辩护,深刻理解科学理论是具有暂定性和动态发展的,而非静止的真理。

(二) 阶段二:新空气发布会——体验观察的理论渗透(对应维度一、二)

设计目标:本阶段是“历史语境还原(维度一)”的深化,让学生扮演普里斯特利与舍勒(Carl Wilhelm Scheele),在固有的燃素说范式下解释新气体的性质。核心目的在于使学生切身体验“观察渗透理论”^[16](维度二的核心哲学观念),深刻认识到已有的理论框架如何深刻地塑造科学家的观察视角与概念命名。

核心活动:

1. 实验现象重现与历史语境导入。通过演示或视频展示氧化汞分解放出气体的实验,突出其助燃性与呼吸效应。随后引导学生回到18世纪中期的化学语境,强调当时研究者共享的理论工具只有燃素说。

2. 角色扮演与理论解释活动。让学生分组扮演“普里斯特利”与“舍勒”,依据燃素说框架撰写实验报告,并为该气体命名。重点在于推理过程的合理性,例如:“如果普通空气因能吸收燃素而助燃,那么助燃性更强的气体,理应更缺乏燃素。”

3. 范式反思与观念冲突讨论。学生提出如“活气”“优空气”等名称后,教师再揭示历史上“脱燃素空气”的命名,引导学生讨论:

- ①为何同样现象会导致不同解释?
- ②理论如何塑造我们“看见”的东西?
- ③你认为普里斯特利是“失败者”还是“贡献者”?

这一过程旨在让学生体会,科学认知并非被动接收感官信息,而是主动在理论框架下进行建构。正如托马斯·库恩(Thomas Samuel Kuhn)所指出的,“范式”不仅提供解决问题的工具,也限定了提出问题的空间。^[17]

舍勒和普里斯特利的工作表明,科学进步既依赖准确的实验观察,更需突破原有理论范式的局限。他们提供了关键的经验材料,而拉瓦锡则实现了概念重构的飞跃。这一从“实验发现”到“理论革命”的历程,正是引导学生理解科学本质的生动案例,也呼应了新课标中对于“科学思维”和“科学探究”的核心素养要求。

教学价值:让学生认识到,科学观察并非客观中立,而是深受已有理论框架的影响。

(三) 阶段三:拉瓦锡的最终审判——开展基于证据的科学辩论(对应维度三)

设计目标:本阶段聚焦于“定量思维与范式转换”(维度三),通过复盘拉瓦锡的定量实验,引导学生认识到,精密的定量数据是击破旧理论韧性、构建新理论体系的决定性力量。由此,学生将直观理解拉瓦锡的工作如何完成从“燃素说”到“氧化学说”的化学范式革命。

核心活动:

1774年10月,普里斯特利访问巴黎时与拉瓦锡共进晚餐,其间提及自己制得“脱燃素空气”的实验。^[18]拉瓦锡敏锐地察觉到这一发现可能正是破解“煅烧增重”之谜的关键,他并未停留于现象观察,而是以精确的定量方法重新设计实验,将化学研究从定性推入定量时代。其著名的“十二天汞实验”^[19],不仅是一系列操作步骤,更是一场以严密逻辑审判燃素说的科学典范。

1. 通过实验复盘培养学生定量思维。教师可利用动画或交互式课件,引导学生化身“数据侦探”,重走拉瓦锡的探究之路。重点不在于重复冗长的加热过程,而在于追踪每一步的定量数据(如体积变化、质量变化)。

拉瓦锡的实验设计体现了其对质量守恒原理的深刻理解与卓越的实验控制能力。整个过程分为三个阶段,环环相扣,构成一个完整的论证闭环。

(1) 分析(化合)——空气的“消失”。拉瓦锡设计了一套精密装置:将定量汞置于曲颈甌中,其长颈导入倒扣于汞槽的玻璃钟罩内,形成密闭系统。他准确记录起始空气体积,并持续以缓火加热汞12天。其间,汞表面逐渐生成红色氧化汞,同时钟罩内汞液面上升,证明气体体积减小。待反应停止,气体体积减小约六分之一,同时收集到氧化汞(图2)。这一过程表明,汞与空气中某一成分发生化合,并导致固体增重、气体减量。

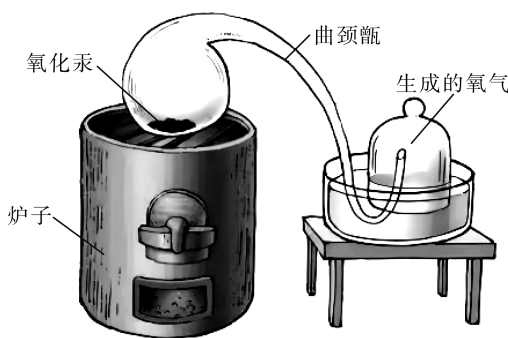


图2 拉瓦锡12天实验

(2) 拉瓦锡对剩余气体进行检验,发现它既不助燃也不支持呼吸。他将其命名为“Azote”(即氮气,意为“无生命之气”)。燃素论者称之为“燃素饱和空气”,但拉瓦锡已超越这一框架,转向新的解释路径。

(3) 合成(分解)与重构——“消失”之物的回归。他将氧化汞强烈加热,分解出银亮的汞和一种气体。该气体体积恰好与第一阶段“消失”的气体量一致,且表现出极强的助燃性与生命支持性,即普里斯特利所谓的“脱燃素空气”。最终,他将该气体与剩余气体混合,成功重构出与原始空气性质完全一致的气体,完成了物质的循环追踪。

教学价值:让学生认识到定量数据是推动科学理论变革的基石,从而培养其实证意识与逻辑推理能力。

2. 引导学生完成从数据到理论的逻辑建构。拉瓦锡实验的伟大,在于其以定量数据驱动理论建构的认知跃迁。

(1) 旧理论的破产与理论韧性之终结。若按照燃素说,汞煅烧应因“失燃素”而减重,事实却相反。更关键的是,氧化汞分解时未添加任何含有燃素的物质(如木炭),却仍得到金属汞。这

一反例无法在燃素框架内通过增设假说得以补救，显示出该范式的根本局限。

(2) 新理论的诞生——定量推理与概念重建。拉瓦锡展现出清晰的演绎链条：

- ①从“汞增重、气体减量”推导出汞必与空气中某成分结合；
 - ②从氧化汞分解为汞和“活空气”，推断该气体即为参与反应的成分；
 - ③通过质量与体积的定量对应，确证反应前后物质守恒。
- (3) 革命性结论与化学范式的转变。他的工作得出三个跃迁性认识：
- ①空气是混合物，由“活空气”（氧气）和“Azote”（氮气）等组成；
 - ②燃烧与煅烧非释放燃素，而是物质与氧的化合过程；
 - ③化学反应遵循质量守恒定律，定量分析成为化学研究的基石。

拉瓦锡将“活空气”命名为“Oxygène”（氧气），取自希腊词“酸的形成者”，虽然后续证明其关于氧为酸之本原的观点有误，但不妨碍这一命名标志了现代化学元语言的诞生。以元素、化合反应及质量守恒为支柱的化学体系由此确立，拉瓦锡也因此被誉为“现代化学之父”。

教学价值：完成从燃素说到氧化学说的认知跃迁，让学生理解科学革命同时是概念体系、思维方式和科学语言的重构。

四、结论：从知识传递到科学本质观的教学转向

针对传统教学中“辉格史观”的叙事困境，本文所构建的理论与案例体系，旨在破解如何超越史实传递、利用化学革命叙事深化学生科学本质观这一核心教学问题。研究表明：

1. 科学理论具有历史性与韧性。通过“历史语境还原”与“认知冲突设计”，学生能够理解科学理论并非静态真理，而是动态发展的、具有强大解释力的思想体系。
2. 科学观察渗透理论。“新空气发布会”的角色扮演使学生切身感受到，范式如何深刻地塑造了科学家的观察与解释，从而破除了“科学发现源于纯粹观察”的朴素观念。
3. 科学革命由证据与逻辑驱动。“拉瓦锡的最终审判”以定量数据为核心，让学生清晰地看到，是精密的实验证据和严密的逻辑推理而非修辞或权威，最终促成了化学范式的革命。

本研究为理论建构与案例设计，未来可通过实证研究（如课堂观察、学生访谈）进一步检验该教学框架对学生科学思维发展的实际效果。

作者简介

蔡呈腾，浙江省基础教育课程改革专业指导委员会委员，温州中学附属初中副校长。研究方向：中考命题、课堂教学、科学史在教学中的应用等。

参考文献

- [1] 肖磊，徐学福. 科学课程中的辉格史批判 [J]. 教育学报，2012，8（2）：72-80.
- [2] 王萍. 氧气的发现及其哲学意蕴——兼论拉瓦锡的研究纲领 [J]. 南华大学学报（社会科学版），2024，25（1）：34-39.

- [3] 中华人民共和国教育部. 义务教育科学课程标准 (2022 年版) [S]. 北京师范大学出版社, 2022.
- [4] 张颖之, 刘恩山. 科学本质教育的课堂教学方法初探 [J]. 课程. 教材. 教法, 2007 (10): 60-63.
- [5] 张晶. HPS (科学史、科学哲学与科学社会学): 一种新的科学教育范式 [J]. 自然辩证法研究, 2008 (9): 83-87.
- [6] 郝新鸿. 库恩与吴文俊: 反辉格史观的比较研究 [J]. 南京工业大学学报 (社会科学版), 2009, 8 (4): 16-20.
- [7] 邱仁宗. 拉卡托斯的科学研究纲领方法论 [J]. 自然辩证法通讯, 1982 (5): 45-52.
- [8] 谭斌昭, 杨永斌. 试论托马斯·库恩的“范式”概念 [J]. 教育理论与实践, 2007, 27 (S1): 273-276.
- [9] 胡维定. 从燃素说的兴衰看掌握科学思维方法 [J]. 盐城工学院学报 (社会科学版), 2002 (3): 1-4.
- [10] 周寄中. 科学理论的功能标准——燃素说案例分析 [J]. 自然辩证法研究, 1986 (1): 33-40.
- [11] 马来平. 评库恩的科学判据 [J]. 山东大学文科论文集刊, 1984 (2): 181-186.
- [12] 袁江洋, 冯翔. 现代化学研究纲领的构建 [J]. 科学文化评论, 2011, 8 (2): 5-18.
- [13] 黄家裕. 错误假说的作用——燃素说 [J]. 南宁师范高等专科学校学报, 2005 (1): 15-17.
- [14] 同 [10].
- [15] 同 [7].
- [16] 袁建新, 向莉. 观察渗透理论的心理基础探析 [J]. 洛阳师范学院学报, 2017, 36 (7): 5-8.
- [17] 纪树立. 论库恩的“范式”概念 [J]. 自然辩证法通讯, 1982 (3): 6-15.
- [18] 郭帅. 约瑟夫·普里斯特利: 气体化学的先驱, 一意孤行的斗士 [J]. 自然辩证法通讯, 2023, 45 (11): 114-124.
- [19] 余天桃, 刘玉玲. 拉瓦锡与近代化学革命 [J]. 临沂师范学院学报, 2001 (6): 141-144.

Reconstructing the Narrative of the Chemical Revolution: HPS-Based Teaching of the Oxygen Theory and the Cultivation of Students' View of the Nature of Science

Cai Chengteng

(Junior High School of Wenzhou Middle School, Wenzhou, 325016)

Abstract: Aiming at the limitations of the Whig historical narrative in junior high school chemistry teaching, this study takes Lavoisier's oxygen theory as an example to shift the instructional focus from conveying historical facts to cultivating students' view of the nature of science. Through literature review and case design, a three-dimensional HPS teaching framework is constructed, comprising "historical context restoration," "cognitive conflict design," and "quantitative thinking and paradigm shift." Based on this framework, a three stage "scenario based theater" teaching case is systematically developed, centered on the "Phlogiston Theory Hearing," "New Air Release Conference," and "Lavoisier's Final Judgment." This study clarifies that history-of-science teaching should guide students to understand the resilience and historical rationality of scientific theories,

experience the philosophical connotation of “theory-laden observation,” and grasp the decisive role of quantitative evidence in paradigm revolutions, thereby providing a theoretically profound and practically operable approach to deepening core literacy education in secondary school classrooms.

Key Words: Lavoisier; Oxygen Theory; View of the Nature of Science; HPS Education; Junior High School Chemistry