

高中化学实验教学目标任务和方法路径*

杨 骏¹, 朱志江²

(1. 江苏省泗阳中学, 江苏泗阳; 2. 泗阳县教师发展中心, 江苏泗阳 223700)

摘要: 基于“科学探究与创新意识”核心素养及其学业质量要求,系统整体规划高中化学实验教学主要任务目标。一是实验基本知识技能掌握目标,可通过建构基础实验认知模型和强化模型应用教学予以达成;二是有关思想观念思维方法形成目标,可通过加强实验探究促进学科理解融合教学予以实现;三是关键能力素养发展目标,可通过变革实验活动形式、设计实验组织逻辑和开展主题综合实验予以发展。

关键词: 化学实验; 高中化学; 目标任务; 方法路径

文章编号: 1005-6629(2024)01-0033-04 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

化学实验教学是发展学生核心素养的重要活动^[1]。对近年有关实验教学研究成果分析发现^[2-5],实验教学比较缺乏系统规划,没有关于实验目标任务及方法策略研究。整体规划高中化学实验教学任务,优化实验教学方法路径具有现实意义。从核心素养分析,“科学探究与创新意识”是高中化学实验教学的终极目标,根据化学课程目标及科学探究与创新意识素养的细分要求^[6],化学实验教学的主要任务目标应该包括知识技能掌握、思想方法形成和能力素养发展三部分。

1 知识技能掌握

1.1 实验知识技能的掌握目标

围绕物质性质反应、制备、分离提纯及检测分析等实验研究,需要很多实验基本知识和操作技能。如物质性质研究、气体制备、从溶液中获得固体、分离提纯检验分析物质等。实验基本知识和操作技能是实验的“物质基础”,是实验开展的基础平台。有研究指出^[7],实验基本知识包括实验所涉及的反应原理、实验装置、药品选择、产物检验、产物分离提纯、变量识别和反应条件控制等。实验基本技能包括各种仪器正确使用、装置组装调试及实验操作规范等。对于实验基本知识

技能目标要求,可结合不同教材进行比较概括。参考“科学探究与创新意识”学业水平要求,对必修中9个必做实验的知识技能目标建议如表1。

表1 必修课程必做实验知识技能目标建议

实验内容	教学目标
配制一定物质的量浓度的溶液	(1)知道配制溶液原理,能说出操作流程步骤,能判断实验误差。(2)能认识和使用相关实验仪器,重点认识容量瓶,能正确使用容量瓶。(3)正确取用固液态化学药品,能完成一定物质的量浓度溶液配制相关操作,包括计算、称量、溶解、转移、洗涤和定容等。
用化学沉淀法去除粗盐中的杂质离子	(1)能说出常见离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 的去除原理。(2)能够运用溶解、过滤、蒸发等实验原理,并能完成简单的物质分离提纯相关实验操作。(3)能正确选择化学试剂,从混合物体系中按照合理次序去除相应离子,能设计方案并完成从粗盐中获取纯净 NaCl 。
不同价态含硫物质的转化	(1)知道用品红溶液检验 SO_2 的方法原理。(2)能掌握用 pH 试纸测量溶液 pH 的实验操作方法。(3)能组装 SO_2 气体的实验制备装置并制得一定量 SO_2 气体,能完成酸性和还原性性质实验和尾气处理实验。
同周期、同主族元素性质的递变	(1)能完成 Na 、 Mg 、 Al 生成 H_2 相关实验。(2)知道实验变量意义并能控制此实验相关变量,如反应温度、反应物接触面积(形状)等,学会观察法比较反应快慢。(3)知道 Na 、 Mg 、 Al 性质的递变规律和原因。

* 江苏省中小学教学研究第十四期重点课题“基于课程标准建构素养化课堂教学模型的实践研究”(2021JY14-L296)研究成果。

续 表

实验内容	教学目标
铁及其化合物的性质	(1)知道 KSCN 可与 Fe^{3+} 生成血红色物质,知道此反应用于检验 Fe^{3+} 。(2)理解 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 能相互转化,能选择使用氧化剂如 H_2O_2 、 O_2 及氯水和还原剂 Fe、Cu 等实现转化。(3)理解 Fe^{2+} 易被氧化及一般实验过程中的防氧化措施,如煮沸溶液除氧、滴管伸入液面以下加液以及有机物覆盖液面等。
化学反应速率的影响因素	(1)知道影响化学反应速率的主要因素有浓度、温度、压强和催化剂,能简单说明该因素影响反应速率变化的原因。(2)知道实验变量、因变量和对比实验的含义,能根据实验目的控制实验变量,如验证浓度、温度、催化剂、接触面积等因素对反应速率的影响结果。(3)设计并完成上述实验。
化学能转化成电能	(1)理解锌-铜原电池工作原理和装置模型。(2)能选择常见物质作为电极材料和电解质溶液,并组装成原电池。
搭建球棍模型认识有机化合物分子结构的特点	(1)能正确搭建出甲烷、乙烷、乙烯球棍模型。(2)能理解烷、烯碳原子的成键规则,能说出甲烷、乙烷、乙烯中各原子相对位置,知道这些代表物分子的空间构型。(3)通过碳氢氧等原子成键特点学习,结合球棍模型能够认识和说明简单有机物的分子空间构型。
乙醇、乙酸的主要性质	(1)能用实验证明乙酸具有酸性,如石蕊试液和碳酸钠溶液。(2)学会液体反应物的混合方法。(3)正确组装液体加热反应装置,完成乙酸乙酯制备操作获得较多产品。(4)能根据物质的物理化学性质,选择试剂获得纯净的乙酸乙酯,能解释相关实验现象和原理。

1.2 实现知识技能掌握的方法路径

实验基本知识技能从知识分类看属于事实性知识和程序性知识,如气体制备实验中收集方法、验满验纯、除杂干燥和尾气处理等。再如加热,煅烧、灼烧、高温、 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 加热,各种浴法加热,试管加热,石棉网加热,蒸汽加热,表现了不同的加热操作。掌握实验知识技能的有效方法是建构知识组织模型并应用模型。

实验基本知识技能主要在必修中学习,掌握的方法路径主要有两个。一是建构 5 个基础实验认知模型。(1)实验室气体制备认知模型,包括气体制备和性质探究实验。如通过 Cl_2 制备及活性铁粉制 FeCl_3 实验,培养“气流”系统认知思维,通过高阶思维模型建构学习实现零散知识技能记忆的低阶学习。(2)固液态物质除杂分离认知模型。以粗盐提纯为例讨论建构除杂流程认知模型,体会除杂实验“流程化”表达,掌握除杂原理、试剂选择、用量操作以及方案输出(语言表达)等知

识技能。(3)从溶液中获取固体认知模型。重点掌握冷却结晶和蒸发结晶原理,实现对沉淀反应、过滤、洗涤、检验、干燥等知识结构化。(4)工艺技术思想认识模型(流程图)。以侯德榜制碱为载体,理解现代工业技术“降本增效”核心思想,基于教材文本建构工艺流程认知模型,学习掌握流程表征形式的实验知识技能。(5)简单实验方案设计思维模型。立足教材相关内容初步建构离子检验类、物质制备类以及变量控制类实验方案设计思维模型,能用“定原理画流程写方案”思维程序进行简单设计和表达输出,实现基本知识技能综合化应用。另一个方法路径是在元素化合物知识学习过程中,加强以上 5 个认知模型应用教学。如气体制备性质认知模型,可从 CO_2 、 O_2 制备实验开始,在 Cl_2 学习中实现模型初建,在 C 与浓 H_2SO_4 反应产物检验和性质探究中进行模型巩固。再如从溶液中获得固体实验模型,在结晶教学时初次接触建构,在侯德榜制碱产物分离中巩固认识,到硫单元废铜屑制胆矾中进行总结认识,再到绿矾、氯化铁晶体制备中强化模型应用。通过 5 个实验认知模型建构及其强化应用,可实现实验基本知识技能的有效掌握。

2 思想方法形成
2.1 思想方法的形成目标

思想观念和思维方法属于高级知识,指向认知技能认知策略等。高中化学实验教学应帮助学生形成重要思想观念和思维方法。如基本的科学观念科学思维和重要的化学思想方法等。

科学的本质是证实证伪,实验能够反映科学的暂定性、经验性、创造性、建构性本质^[8],对学生形成科学本质观具有重要作用。实验是重要科学实践,实现知识理解同时形成思维方法。如在以实验为基础的探究教学中,学生通过观察事实获取信息,提出问题假设进行实验证明和分析推理,经历归纳比较抽象概括等思维活动,获得结论形成概念认识,体验了科学的思维方法。基本的科学观念和思维方法形成是实验教学的应有目标。此外,实验教学要有助学生透过知识表面,助力学生理解化学规律原理,培养学生形成化学思想观念和掌握化学思维方法。钠镁铝生成氢气实验,隐含金属活动性变化规律、位构相依原理、元素周期律等,都要在实验教学中得到明示。再如,通过实验探究六

价铬[Cr(VI)]在不同 pH 溶液中的存在形式(主要以 HCrO_4^- 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 CrO_4^{2-})和性质变化(微粒存在形式和微粒浓度影响氧化能力),促进学生形成变化观念与平衡思想,深化“结构决定性质”思想理解,形成从微粒元素价态、微粒浓度改变和微粒结构嬗变的多重视角综合分析性质变化的学科思想。

2.2 促进形成思想方法的教学策略

核心素养的证据推理是一种科学思维方法,化学实验为推理提供事实证据,有助于培养学生科学思维和科学方法。化学知识原理是科学结论,实验探究通过“假设-创造”“假设-检验”在事实证据与科学结论间建立逻辑关系,是学生获取知识、解决问题和理解概念的深度思维训练过程^[9]。在教学中要对实验赋能,建立起实验探究与学科知识和思想方法的内在联系,实现学科深度理解,形成学科思想和实验的浸润融合。

具体策略方法是:变革传统“实验展示-现象解释”教学模式,按照“物质结构分析-性质可能预测-问题证据联系”认知逻辑开展实验教学,强化预测分析、证据推理和综合判断的思维训练,在实验中实现思想方法形成和思维训练强化。如乙酸乙酯制备与性质实验,传统教学强调:(1)乙醇、浓硫酸和冰醋酸加料的顺序方法和乙醇稍过量的原因说明,(2)反应条件控制如水浴加热目的方法、收集产物蒸气的试剂选择和方法,(3)产品分离提纯过程的操作、现象和原因说明,(4)酯化反应中醇酸断键方式说明和原子示踪法了解,书写有关化学反应方程式。传统实验教学注重实验基本知识技能掌握和化学知识验证学习,缺乏科学思维方法的训练培养。如果依照“分析预测证据”认知逻辑进行该实验教学,则可以结合结构决定性质思想、平衡思想和速率原理进行深度探究教学。一方面是根据 C、H、O 元素电负性大小和电子效应原理,判断 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 CH_3COOH 分子中 C-O、O-H 的极性强弱,分析两种物质化学反应的活性位点,预测分子间脱水断键方式,这种断键方式的实验证据是原子示踪法。探究酯化反应机制,揭示伯醇、仲醇、叔醇中 C-O、O-H 极性的微妙变化,说明酯化反应中醇失羟基酸失氢的断键可能,强化基团影响和结构决定性质思想。另一方面是酯水解反应和 Na_2CO_3 溶液的问题讨论,如是否可以用蒸馏水吸收蒸气分离产物?你是怎么想到要用饱和 Na_2CO_3

溶液的?能不能用 NaOH 溶液?饱和 Na_2CO_3 溶液具有较强碱性为什么不考虑乙酸乙酯的水解损失?为什么不能用稀的 Na_2CO_3 溶液?讨论不同介质体系对乙酸乙酯溶解及水解程度的影响,理解反应限度、平衡思想和速率原理在该实验中的综合应用,说明真实反应系统的复杂性,提升学生对物质、结构、性质及变化的理解水平。实验必须具有思想方法视野才能实现教学的品格提升。

3 能力素养发展

3.1 实验促进学生能力素养发展目标

知识掌握和思想方法形成,最终都归结为素养发展。实验教学促进核心素养发展,重点思考 3 个内容。(1)基于实验的宏观现象事实的微观解释。实验不仅是提供证据和经验证明,也是科学解释说明的对象。如有关铜元素组成物质的颜色变化事实,不同配体形成配合物的结构性质关系,可用 Cu^{2+} 核外电子排布、杂化轨道理论以及电子跃迁理论解释,发展宏观辨识与微观探析素养。(2)基于实验证据的理论假设模型建构。证据运用和科学推理是知识产生的基础,实验教学要为学生知识生产服务。如从多个晶体熔沸点硬度及熔融态导电事实出发,通过物性分类归纳和猜想分析,选择典型代表物 NaCl 为研究对象,对微粒间作用力进行理论假说和模型建构^[10],让学生经历“事实分析-猜想假说-建模应用”过程实现知识生成。(3)基于实验实现方法解决真实情境问题,培养学生科学创新意识和社会责任核心素养。素养发展的最终指向是实践力,具体表现是解决实际问题。物质制备创造、污水净化处理、环境修复工程和科技应用等,都是实验发展能力素养的情境领域。

3.2 实验促进能力素养发展的方法路径

一是摒弃传统操作验证性实验活动形式,设计注重思维能力培养的探究性实验活动。照方抓药式的操作实验活动,注重实验知识技能的训练掌握,注重化学知识内容的验证记忆,主要思维方式是验证说明演绎,较少分析推理归纳,两种思维后者更具能力素养发展品质。“根据解决问题需要提出探究课题”是科学探究创新意识素养的高要求^[11],照单操作的实验活动必须改变,主要途径是对教材演示验证性实验进行二次设计。如铁及其化合物性质实验^[12],可设计为:以某抗贫

血药片是否含 Fe^{2+} 为探索主线,以 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 检验和相互转化为暗线,引导学生提出问题、设计方案、推测假设,开展实验分析推理总结归纳,在掌握 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 检验和相互转化知识基础上,形成根据氧化还原反应原理研究物质性质的思想。具体问题:(1)如何检验药片中是否含有 Fe^{2+} ? 滴入 NaOH 溶液为什么未出现应有现象? 怎么改进才可检出微量 Fe^{2+} ? (2)向 FeSO_4 溶液中滴加 KSCN 溶液出现浅红色的原因? 加入何类物质能使颜色变深? H_2O_2 滴入颜色先变深后又褪色原因? 如何实验证明是此原因导致。(3)加入何类物质能使溶液血红色变浅?(4)药片与 Vc 同服可以增加药效吸收,猜测可能原因。(5)实验证明 Vc 具有还原性。

二是建构实验组织设计逻辑的思维模型,促进实验知识技能和思想观念方法应用的结构化。孤立的零散个别实验不能实现实验知识和思想方法整合,实验要成为能力素养的培育手段,需要设计组织整体性综合化实验,进行实验知识技能思想的结构化整合。综合化整体性实验组织设计的思维逻辑模型主要有3个:(1)物质制备类实验。物质制备实验思维的主逻辑是“原理路径—方案设计—条件控制—产品获得”,具体包括:原料选择和反应路径比较,实验仪器装置实验方法,实验条件控制及目的分析,产品分析和实验优化评价。(2)物质分析类实验。按照“定性—定量—结构”思路建构实验思维模型。定性分析:在物质组成与结构学习基础上,预测性质猜想转化可能,设计实验进行验证检验。定量分析:定量实验获取物质组成及含量关系,包括重量分析、容量分析,如热重实验、滴定实验等。结构分析:物质微观结构分析,如 X 射线衍射法等。(3)理论建构类实验。化学原理认知实验的基本逻辑是“实验呈现—关联建模—模型实证”,在概念形成和理论建构过程中,实验起到联结事实经验与科学原理的纽带桥梁作用,促进学生认知从经验感觉向客观理性的跨越发展,同时也是检验认知结论和巩固认知结果的重要方法。如勒夏特列原理学习过程中围绕原理学习的实验至关重要。

三是积极开展情境化主题式实验教学,在任务驱动问题解决中提升能力素养。主题式情境化实验可在高三复习阶段进行。具体做法是基于学生认知设计大主题情境化实验任务,提高学生从实验视角分析问题解决问题的能力。如以含铬(VI)工业废水净化处理为

主题组织教学,设计多情境任务,引导学生从化学实验思维视角探寻问题解决思路。在任务的背景叙述、问题呈现、信息给予等方面采用文字、流程、坐标、曲线等多样化表达形式,在实验方案设计、事实现象究因、问题解决的学术表达等多任务完成中,实现学生素养能力的全面培育。教学任务有:(1)实验探究:铬(VI)在不同 pH 溶液中的形式转化及含量分数坐标曲线图认识,同为铬(VI)的不同形式铬(VI)离子氧化性不同原因分析。(2)方案设计:根据探究结论和资料信息,结合有关化学原理,设计电解法和沉淀法处理废水的实验方案,编制有关作用机理、条件控制、原因分析和方案评价问题。(3)迁移评价:设计评价性任务。如,纳米 FeS 可去除水中微量六价铬 $[\text{Cr}(\text{VI})]$ 。在 $\text{pH}=4\sim7$ 的水溶液中,纳米 FeS 颗粒表面带正电荷, $\text{Cr}(\text{VI})$ 主要以 HCrO_4^- 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 CrO_4^{2-} 形式存在,纳米 FeS 去除水中 $\text{Cr}(\text{VI})$ 主要经过“吸附→反应→沉淀”的过程。在 $\text{pH}=4\sim7$ 溶液中, pH 越大 FeS 去除水中 $\text{Cr}(\text{VI})$ 的速率越慢的原因分析。该评价任务重点发展学生信息能力和化学原理迁移应用能力。综合式实验主题教学有助于实现学生多方面的能力素养发展。

参考文献:

- [1][5] 胡红杏. 中学化学实验素养体系及其发展研究[J]. 课程·教材·教法, 2021, (6): 116~121.
- [2] 刘贝贝, 严文法. 中学化学实验改进与创新设计的误区及应然路径[J]. 化学教学, 2020, (12): 67~72.
- [3] 裴传友, 马善恒, 杨芹. 中学化学数字化实验的发展与应用[J]. 化学教学, 2020, (2): 56~59.
- [4] 李娟, 凌一洲, 李德前. 利用延时摄影技术观察铁铜置换反应[J]. 化学教学, 2019, (10): 67~69.
- [6][11] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中化学课程标准(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018: 64~67.
- [7][9] 杨梅, 莫尊理. 化学实验探究中证据推理过程模型的建构[J]. 化学教学, 2023, (5): 14.
- [8] 孙佳林, 郑长龙. 发展学生化学学科核心素养离不开实验[J]. 化学教育, 2019, (5): 60.
- [10] 保志明. 证据推理与模型认知: “化学键”的教学与思考[J]. 中学化学教学参考, 2018, (7): 16.
- [12] 王祖浩主编. 普通高中教科书·化学必修第二册[M]. 南京: 江苏凤凰教育出版社, 2021: 101.