

高中化学必修新教材探究实验设计特点比较研究^{*}

万 莉, 夏晓丽, 杨新佳

(四川师范大学化学与材料科学学院, 四川成都 610066)

摘要: 从科学探究本质、探究过程技能和探究过程水平三个维度分析 2019 版人教版、鲁科版和苏教版高中化学必修教材探究实验的设计特点。结果显示,教材探究实验对科学探究本质内容的呈现不够全面;探究过程技能以观察、比较、推断与预测、分析与解释技能为主;所呈现的探究过程水平基本在水平 1 或水平 2。

关键词: 高中化学教材; 探究实验; 科学探究; 对比分析

文章编号: 1005-6629(2024)07-0014-07 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

“科学探究”作为化学学科核心素养之一,是化学学科在实践层面上育人的具体体现^[1]。探究实验是化学教材中最具探究属性的活动,其特征明确以解决问题为核心,旨在使学生亲身体验探究的过程和思路^[2]。对化学教材中探究实验设计特点的研究可以充分挖掘出探究实验的素养功能,有助于提升科学探究教学的实践水平。

1 研究背景

作为科学素养的核心要素之一,科学探究已成为国际科学教育改革的主要趋势^[3]。教材中的探究实验不仅为学生提供了参与真实科学探究的机会,而且还具有引导学生进行自主探究,建构学科知识,掌握探究技能和发展科学探究素养等多方面的功能价值^[4]。

关于教材中探究实验的研究,从实验改进^[5,6]和实验教学^[7]的层面来探讨的比较多,而关于教材探究实验设计的研究还比较少。陈俞文等^[8]分析了人教版高中化学教材探究实验的知识类型和探究水平;郑柳萍等^[9]分析了人教版初中化学教材中探究栏目的内容特点等。可见,不论是从研究对象还是研究内容上看,对

不同版本高中化学新教材探究实验设计特点的相关研究仍较为不足。

必修课程是全体学生全修全选的内容,对于化学学科核心素养发展和科学探究能力的培养具有普适性^[10],因此,选择使用范围广泛且具有代表性的 2019 版人教版“探究”、鲁科版“活动·探究”和苏教版“实验探究”栏目中的探究实验^①为分析单元,对比分析不同版本新教材中探究实验设计的特点,可以为进一步深化探究实验教学提供参考。

2 研究设计

目前对教材探究实验设计特点的研究,大致可分为三类:一是从探究实验的开放性水平分析,如张新宇等^[11]根据教师与学生在探究活动环节中的角色地位,构建了科学教材“五环节、三水平”的探究水平分析框架。二是从探究过程技能视角分析,如龚正元^[12]对化学教材的探究过程技能设计进行了研究。三是基于探究实验的功能视角,如杨文源等^[13]从支持构建科学概念、使用探究过程技能和树立对科学探究本质的理解 3 个角度构建了评价生物教材探究实验文本的分析框

^{*} 四川师范大学教改课题“一流本科课程(线下型)《中学化学课程标准与教材研究》(20210047SKC)”；四川师范大学教改课题“核心课程《中学化学课程标准与教材研究》(20220118XKC)”。

^① 选择 2019 版人教版“探究”、鲁科版“活动·探究”和苏教版“实验探究”栏目中的探究实验为研究对象,虽然各栏目的定位不完全一致,但本质在于“探究”二字,栏目定位共同点在于兼顾实验的开放性和探究性进行设计,为学生理解科学知识及其产生过程,启迪科学思维和发展科学探究素养提供了重要支持。

架。Lederman 等^[14]认为科学探究包含探究本质和过程技能两个部分,二者分别从认识论和实践层面诠释了科学探究的内涵。教材探究实验的设计不仅应该为学生理解科学探究本质和掌握探究过程技能提供有效支持,还需考虑其探究过程水平应与学生的能力水平相契合。

因此,从科学探究本质、探究过程技能和探究过程水平三个维度构建高中化学教材探究实验设计特点的分析框架,分析不同版本高中化学必修教材探究实验设计的特点,为新教材的使用和探究教学的开展提供参考。

2.1 科学探究本质

科学探究本质指科学家所从事活动的特征,解释了科学家是如何进行工作的^[15]。Lederman 等^[16]提出了科学探究本质的 8 个条目^①,杨文源等^[17]在此基础上构建了科学教材中科学探究本质的分析框架(如表 1 所示),借鉴此科学探究本质框架进行分析。

表 1 科学探究本质分析框架^[18]

维度	内容	操作性定义
维度 1: 科学探究本质	1-1 科学探究都始于一个问题,但不一定要验证一个假说	教材有明确的探究问题,不属于验证性实验,不要求学生提出假说
	1-2 探究不遵循单一的一套或一系列研究步骤	教材中的探究任务设计不一定呈现“提出问题-形成假设-设计方案-获取证据-分析数据-形成结论-反思评价-表达交流”的完整探究模式
	1-3 探究过程由研究问题所指导	提出的研究问题是明确的、科学且相关,所提供的实验过程是由提出的问题指导的
	1-4 科学家使用相同的过程可能不会获得一样的结论	探究任务的预期结果是不确定的,教材中存在“建议与标准数据比较”“存在实验误差”等相关表述
	1-5 探究过程会影响研究结果	不同的探究设计方案会对研究结果产生影响,教材中要求学生自主设计部分或完整的实验方案
	1-6 结论必须与收集的数据保持一致	研究结论必须要真实、可检验,教材中要求学生基于收集的数据得出结论

续 表

维度	内容	操作性定义
	1-7 科学数据不等于科学证据	教材中存在将除实验数据以外的观察结果或收集的资料信息等作为证据等内容
	1-8 解释是根据收集的数据和已知的信息而形成的	教材有要求根据实验现象、数据或已知信息进行解释等相关表述

2.2 探究过程技能

探究过程技能指学生在探究过程所需要用到的思维方式和操作技能。美国科学促进会提出 13 种探究过程技能,包括基础技能(观察、测量、分类、交流与质疑、预测、推论、空间或时间关系的使用、数字的使用)和综合技能(下操作性定义、控制变量、数据解释、提出假设、实验)^[19]。在此基础上,姚娟娟等结合新课标对探究过程技能的要求,构建了探究过程技能的分析框架(如表 2 所示)^[20]。

表 2 探究过程技能分析框架^[21]

维度	技能分类	技能要素
维度 2: 探究过程技能	基础技能	2-1 观察、2-2 测量、2-3 比较、2-4 推断与预测、2-5 展示与表述
	综合技能	2-6 形成并验证假设、2-7 识别与控制变量、2-8 数据(图表、符号)表征、2-9 分析与解释

2.3 探究过程水平

探究过程水平是指学生在探究过程中所表现出的自主性或独立性的程度。依据新课标中化学学科核心素养“科学探究”的要求^[22],将科学探究的要素“提出问题、猜想假设、制定实验方案、获取证据、形成结论、交流评价”作为二级维度,构建如表 3 所示探究过程水平分析框架。

① (1) scientific investigations all begin with a question and do not necessarily test a hypothesis; (2) there is no single set of steps followed in all investigations; (3) inquiry procedures are guided by the question asked; (4) all scientists performing the same procedures may not get the same results; (5) inquiry procedures can influence results; (6) research conclusions must be consistent with the data collected; (7) scientific data are not the same as scientific evidence; (8) explanations are developed from a combination of collected data and what is already known.

表 3 教材探究实验的探究过程水平分析框架

内容要素	3-1 提出问题	3-2 猜想假设	3-3 制定实验方案	3-4 获取证据	3-5 形成结论	3-6 交流评价
水平 1	教材给定探究问题	教材给出猜想假设	基于探究问题,教材提供了简单的实验方案	教材提供部分实验现象,要求观察和记录实验现象	教材提供部分探究结论	教材提供探究实验的总结和反思
水平 2	根据情境,引导学生提出简单的问题	提供思路角度,引导学生作出假设	提供设计思路,引导学生设计简单实验方案	提供思路角度,引导学生收集和表述证据	提供分析思路,引导学生基于实验事实得出结论	提供引导性问题使学生进行交流评价
水平 3	根据解决问题的需要,让学生提出探究问题	基于经验,学生自主提出猜想假设	学生自主设计简单实验方案	学生独立收集简单实验现象或数据	学生独立分析数据并基于实验事实得出结论	对探究成果或新发现的问题进行交流
水平 4	根据文献和实际需要,让学生提出综合性的探究课题	根据文献和探究课题,学生独立提出合理的猜想假设	根据假设自主设计多种综合实验方案	能根据实验目的运用仪器分析、实验、文献资料等多种方式收集证据	能用数据、图表和符号处理实验信息,推理形成结论	能对实验中的“异常”现象和已有结论进行反思交流,提出进一步探究或改进的优化方案

3 研究过程

3.1 分析对象

选择 2019 版人教版“探究”栏目、鲁科版“活动·探究”栏目和苏教版“实验探究”栏目中探究实验为分析对象,并依据分析框架对探究实验进行编码。

3.2 编码标准

为保证编码的相对客观性,由 2 位学科教学(化学)专业的研究者依据分析框架对 3 版教材中的探究实验文本独立分析统计^①。在评定过程中,科学探究本质和探究过程技能的所有指标均采用“1”或“0”评定,若符合某一指标的描述,则评定为“1”,反之则评定为“0”。对于探究过程水平的指标,用“1”“2”“3”和“4”分别表示“水平 1”“水平 2”“水平 3”和“水平

4”,若教材未体现具体的科学探究过程,则用“0”进行评定。

3.3 示例说明

以人教版教材中的探究“不同价态含硫物质的转化”实验为例,进行示例说明,如图 1 和表 4 所示;在编码时,将栏目前必要的连接文本“那么,在实验室如何实现不同价态含硫物质的互相转化呢?”纳入其中分析。

3.4 信度分析

利用 SPSS26.0 软件对 2 位研究者的编码结果进行内部的一致性和相关性检测,Kappa 值为 0.883,说明编码可靠性较好。最后对评定不一致处重新讨论,达成一致后确定最终评定结果。



不同价态含硫物质的转化

(1) 下图是人们总结的不同价态硫元素的转化关系,请尽可能多地列举每种价态的硫元素所对应的物质,并根据硫元素化合价的变化,分析各种物质在氧化还原反应中表现氧化性还是还原性。



(2) 从上述转化关系中选择你感兴趣的一种或几种,设计实验实现其转化,并填写下表。

转化目标 (价态变化)	转化前的 含硫物质	选择试剂 (氧化剂或还原剂)	转化后的 含硫物质	预期 现象
-2→0				
……				

(3) 综合考虑实验安全和环境保护,选择一种实验方案进行实验。实验过程中及时观察和记录实验现象,并对其进行分析,通过推理得出结论,就你的结论和发现的问题与同学交流。

图 1 人教版教材“不同价态含硫物质的转化”探究实验

^① 统计说明:为了体现完整性,将栏目前后的必要连接部分也纳入其中进行分析。用出现指标“1”的次数与各版本总探究实验的数目的占比表示该指标在该版教材中的占比。

表 4 人教版教材“不同价态含硫物质的转化”探究实验评定说明

维度	评定理由	评定结果
维度 1： 科学探究本质	有明确的探究问题：不同价态含硫物质的转化，不属于验证性实验，不要求学生提出假说	满足指标 1-1，评定为“1”
	有明确的探究步骤且未按完整的探究模式进行呈现	满足指标 1-2，评定为“1”
	探究过程以探究问题“不同价态含硫物质的转化”为指导	满足指标 1-3，评定为“1”
	未体现“建议与标准数据比较”“存在实验误差”等相关表述	不满足指标 1-4，评定为“0”
	要求自主设计实验方案实现不同价态含硫物质之间的转化关系	满足指标 1-5，评定为“1”
	要求学生结合观察到的实验现象进行分析解释得出结论	满足指标 1-6，评定为“1”
	要求学生将实验现象作为证据来论证观点	满足指标 1-7，评定为“1”
	要求学生根据实验现象进行分析解释	满足指标 1-8，评定为“1”
维度 2： 探究过程技能	实验需要学生观察并记录实验现象，推理得出结论，与同学交流探究结果	包含观察（2-1）、推断与预测（2-4）、展示与表述（2-5）基础技能
	实验需要学生依据硫元素转化图示和实验现象进行分析	包含数据（图表、符号）表征（2-8）、分析与解释（2-9）综合技能
维度 3： 探究过程水平	提出明确的探究问题：“不同价态含硫物质的转化”	3-1 提出问题，评定为“1”
	教材实验通过价态变化-2→0 引导学生进行猜想假设	3-2 猜想假设，评定为“2”
	需要学生自主设计方案	3-3 制定实验方案，评定为“3”
	需要学生独立获取实验现象	3-4 获取证据，评定为“3”
	需要学生基于实验事实独立分析得出结论	3-5 形成结论，评定为“3”
	实验要求就结论和新发现的问题与同学讨论交流	3-6 交流评价，评定为“3”

4 研究结果分析

4.1 科学探究本质分析

3 版教材探究实验对科学探究本质的呈现情况如图 2 所示。从整体上看,3 版教材探究实验对科学探究本质内容呈现的丰富程度不同,均较为重视探究实验

中问题的导向作用(1-1、1-3),其探究流程均不按固定步骤进行(1-2),能够体现论证逻辑一致性的科学思维(1-6),凸显了证据和数据差别(1-7),能注重解释的形成过程(1-8)。

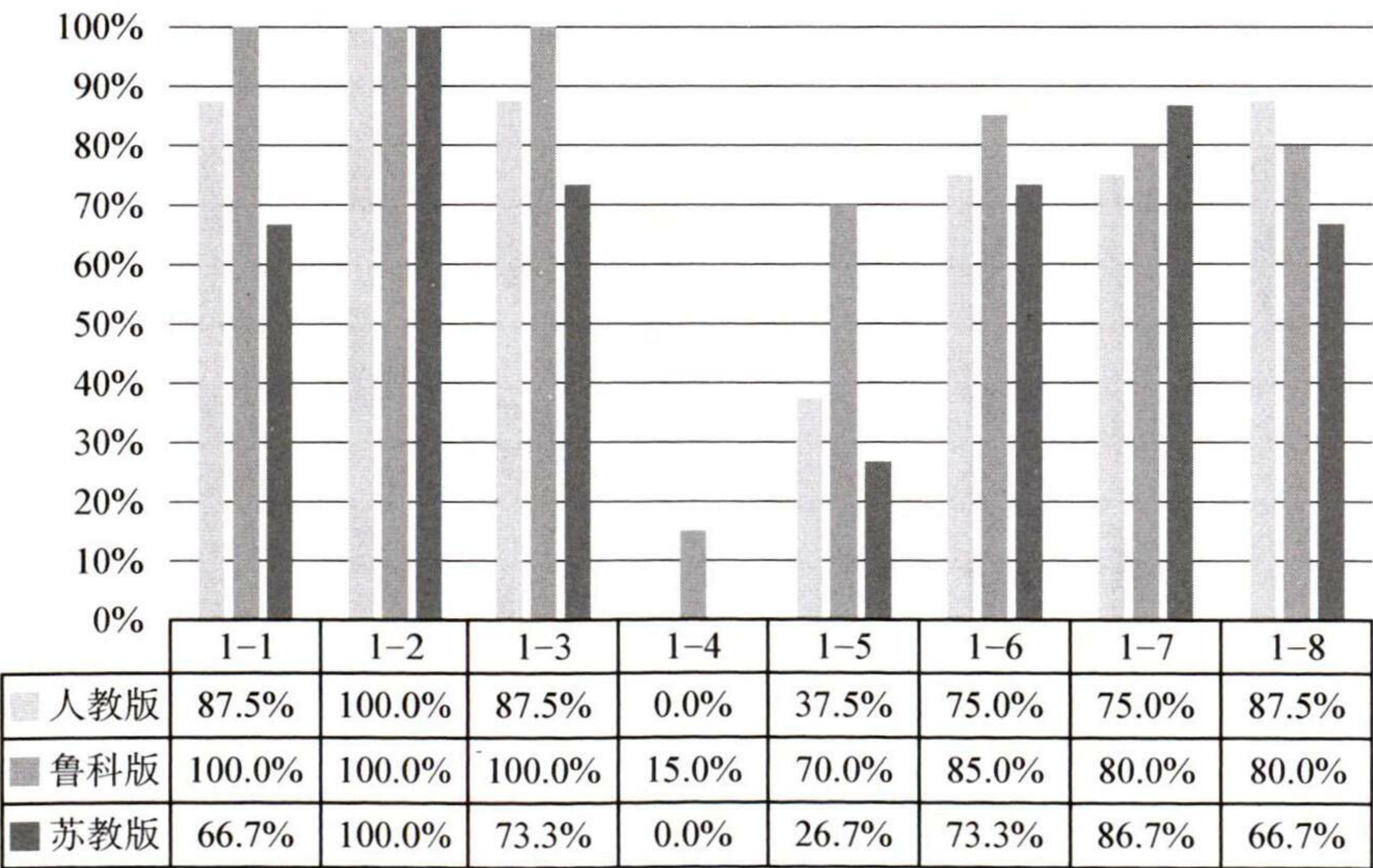


图 2 3 版教材探究实验中“科学探究本质”内容呈现情况统计

值得注意的是,3 版教材对指标 1-4 的呈现均较弱,只有鲁科版关注到过程性因素的影响,出现在“补铁剂中铁元素价态的检验”中,让学生思考补铁剂中的维生素 C、添加剂等成分对实验结果可靠性的影响,促进学生对探究结果是否受到其他因素影响的思考。另外,指标 1-5 体现相对较低,分析发现,教材中探究实验给定实验方案的情况较多,可能使得学生难以理解不同探究设计方案对研究结果产生的影响。

4.2 探究过程技能分析

3 版教材探究实验中探究过程技能统计结果如图 3 所示。基础技能中,主要凸显观察、比较、推断与预测技能,对测量技能练习偏少。教材多用“适量”“一些”等词来描述用量或不给出具体用量,对学生测量技能的要求偏低。教材对展示与表述技能培养略显不足,实际教学中可设计分享汇报、调查实践等多样化活动,将探究思维方法外显,提高学生探究能力。

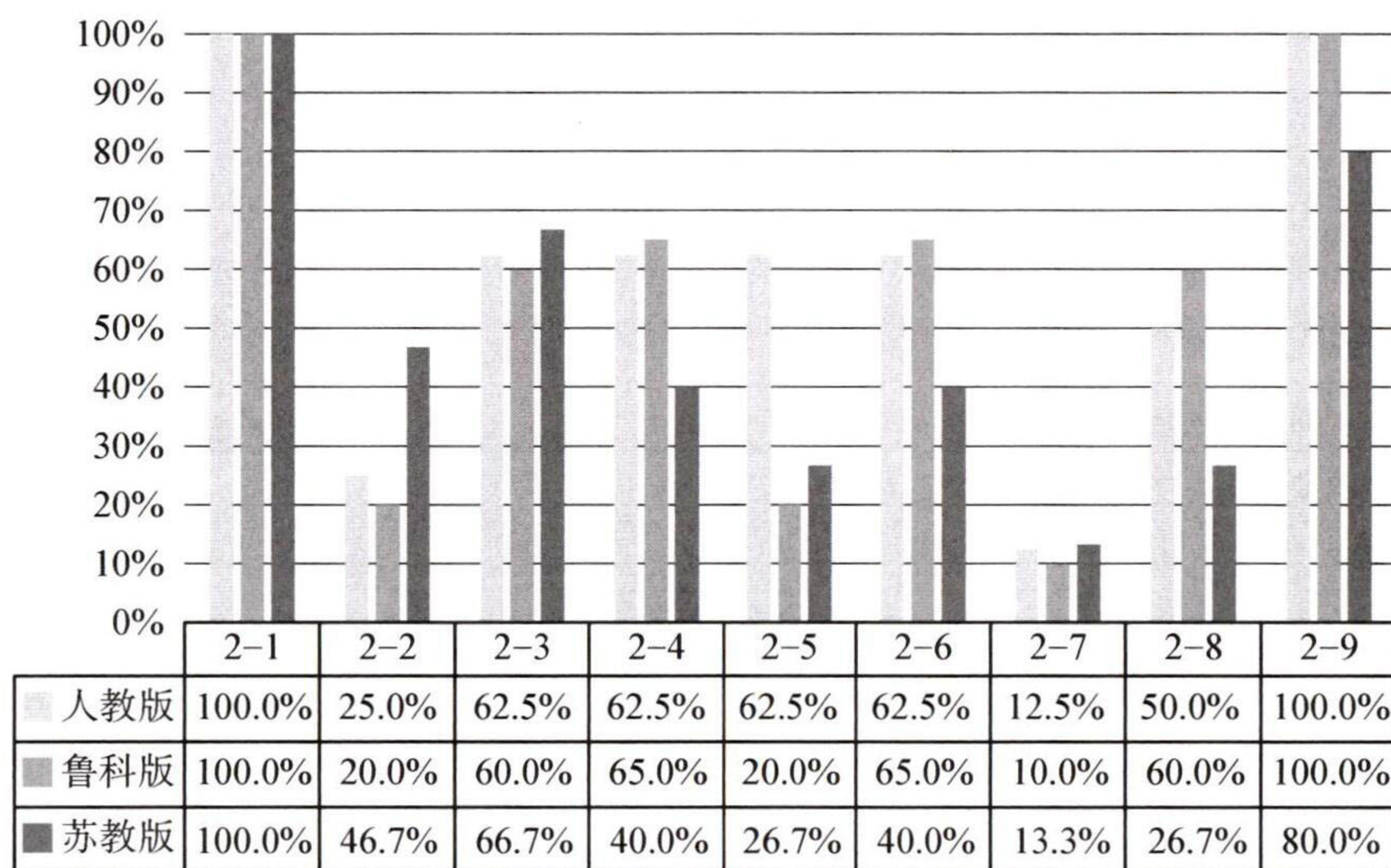


图 3 3 版教材“探究过程技能”统计情况

综合技能中,3 版教材均突出对分析与解释技能的训练,也较为重视对“形成并验证假设”和“数据(图表、符号)表征”技能的培养。相对而言,对“识别并控制变量”技能训练要求偏低,只是在“影响化学反应速率的因素”探究实验中明确了变量控制的思想。

4.3 探究过程水平分析

3 版教材探究实验中探究过程水平的统计结果如图 4 所示。整体看来,在必修阶段学习中,探究实验所呈现的探究过程水平基本处于 1、2 水平,由教材直接提供相关表述,或引导学生进行思考。值得注意的是,在

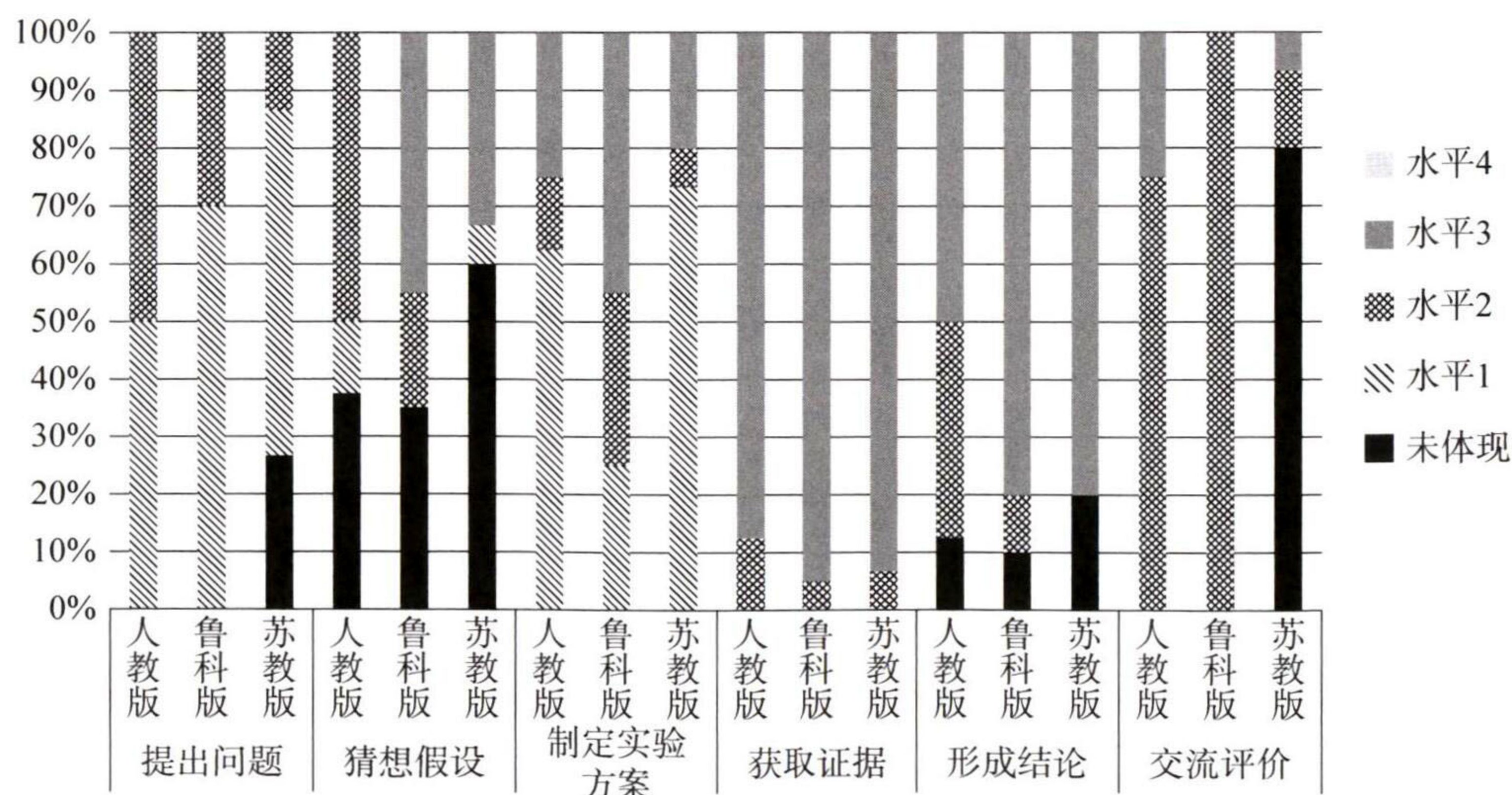


图 4 3 版教材探究实验的“探究过程水平”分析结果统计

猜想假设和制定实验方案环节,出现水平3的情况较多。在具体实施时,对于必修阶段学生的能力水平而言具有一定难度。教师在实际教学时可根据学情和课标要求,可适当调整探究实验教学难度,给予学生预测和方案设计思路引导。

5 结论与建议

5.1 研究结论

通过以上分析,发现3版教材探究实验设计具有如下特点:

(1) 教材探究实验设计对科学探究本质内容呈现不够全面,较为关注问题导向、论证逻辑一致性、探究流程灵活性、证据和数据差别、解释的形成过程等。相比之下,对于“科学家使用相同的过程可能不会获得一样的结论”,整体关注不够。

(2) 在探究过程技能维度,基础技能以观察、比较、推断与预测为主,对测量技能的使用频率整体偏低;在综合技能上教材均比较关注分析与解释技能,但对于识别并控制变量技能呈现都较少。

(3) 在探究过程水平维度,各环节的探究过程水平多数处于1、2水平,较为符合必修阶段学生的能力水平发展要求。也有部分探究实验在猜想假设、制定实验方案环节处于3水平,对于学生的能力水平要求较高。

5.2 教学建议

5.2.1 重视追问和反思,加深对科学探究本质的理解

不同探究实验蕴含的科学探究本质丰富程度不同,教师可对探究实验本身特点进行分析,挖掘值得重点发展的科学探究本质内容。如在探究“钠与水的反应”实验中,教材要求学生根据钠在水中的位置、溶液颜色变化等现象得出结论,教师可重点强化学生对“论证逻辑一致性”的理解,设计诸如“你认为‘证据-结论’之间具有何种关系”的问题进行追问。

此外,真实探究过程中不可控制的预期结果应该被传递到课堂,可针对性设计如“本实验中哪些因素会影响实验的结果?如何保证实验的准确性?”等问题,促进元认知反思,以增进对“科学家使用相同的过程可能不会获得一样的结论”的理解。

5.2.2 强化测量技能训练,加强变量控制的思路引导

针对探究实验中测量技能的使用频率整体偏低这一特点,教师需关注实验中药品具体浓度和用量,对教

材中没有给出浓度或用量的实验予以必要补充,加强量筒、天平、容量瓶等测量仪器的使用技能训练,强化“量”的意识。

针对教材对“识别并控制变量”技能培养不足的情况,在设计对比实验教学时,有意识地加强变量控制的思路引导,显性呈现各变量之间的关系,如试管体积大小、溶液的体积、温度、压强等变量的处理方法,再以表格的形式将设计方案中的自变量、因变量和无关变量显性化呈现,引导学生控制变量进行实验验证,以培养学生的变量意识。

5.2.3 基于教材特征和学情特点,合理调整探究过程水平

教师在实际教学中,可结合教材内容特征和学生认知发展特点,根据实际情况设计和调整探究任务的水平层次,为学生自主探究提供“支架”。如“铁盐和亚铁盐的性质”探究实验要求学生自主预测 FeSO_4 和 FeCl_3 的性质并设计实验方案,对于学生能力要求略高。一方面,教师可先以 FeSO_4 为范例引导学生从“价-类”二维视角预测物质性质,再让学生自主进行 FeCl_3 的性质预测,以降低探究过程水平。另一方面,可依托“资料卡片”呈现教材所给实验试剂的性质,为学生提供知识储备,降低认知负荷,从而支撑学生从显色反应和氧化还原视角选取实验试剂设计实验方案。

此外,已有研究表明^[23],我国中学化学教师对科学探究本质及科学探究过程的理解还相对不足,制约了探究实验教学活动的开展,所以教师还有必要不断地进行理论学习和文献研读,加深对科学探究本质和过程的理解,提高探究式教学的质量水平。

参考文献:

- [1] 李俊. 化学学科核心素养探析[J]. 教育理论与实践, 2019, 39(11): 55~57.
- [2][10][22] 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2020修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [3] 李西营, 马志颖, 申继亮. 中学科学教科书中科学探究评价指标体系的构建[J]. 课程·教材·教法, 2019, 39(10): 124~130.
- [4] 杨向东. 教育中的“科学探究”: 理论问题与实践策略[J]. 全球教育展望, 2011, 40(5): 18~26.

(下转第29页)

这种环境中,如果学生融入了审美的意识,审美活动就会与学习活动同步地发生,脑中形成的形象便是具有化学意蕴的意象(即化学美)。总之,化学美育不应被视为常态课之外的“额外补充”,而是贯穿化学常态课全过程的有机组成部分,这样化学常态课便得以审美化。

参考文献:

- [1] Klapper M H. Truth and aesthetics in chemistry [J]. *Journal of Chemical Education*, 1969, 46(9): 577~579.
- [2] 王云生. 应当重视化学教学中的美育[J]. *化学教学*, 1985, (4): 45~46.
- [3] 凌一洲. 从美的发生到美的体验、美的创造——利用可视化实验室实现美育渗透的探索[J]. *化学教学*, 2017, (12): 10~13.
- [4] 江乐霄, 王伟. 初中化学中的美育: 功能、类型及实践策略[J]. *化学教学*, 2018, (7): 23~27.
- [5] Parrish P E. Aesthetic principles for instructional design [J]. *Educational Technology Research and Development*, 2009, (57): 511~528.
- [6] 卢海栗. 中华美育精神的内蕴与价值[N]. *中国艺术报*, 2022-06-20(5版).
- [7] 朱志荣. 论审美意象的内涵问题——答冀志强先生[J]. *山东社会科学*, 2020, (2): 43~49.
- [8] 朱志荣. 审美意象本体论[J]. *复旦学报(社会科学版)*, 2021, 63(4): 1~7+18.
- [9] Curtin D W. *The Aesthetic Dimension of Science* [M]. New York: Philosophical Library, 1982.
- [10] Watson J D. *The Double Helix* [M]. New York: Atheneum, 1968.
- [11] 陈巧. 论马克思《1844年经济学哲学手稿》中的“美的规律”[J]. *文学教育*, 2013, (3): 100~101.
- [12] Root-Bernstein R. Sensual chemistry aesthetics as a motivation for research [J]. *HYLE — International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2003, 9(1): 33~50.
- [13] 闫若楠. 以美育为视角的“五育融合”: 价值转向与实践逻辑[J]. *中国电化教育*, 2021, (7): 69~74+121.
- [14] Elliott L A. Supporting aesthetic experience of science in everyday life [J]. *International Journal of Science Education*, 2022, 44(5): 775~796.
- (上接第19页)
- [5] 林秀丽. 钠与水反应实验的新设计[J]. *化学教学*, 2022, (5): 75~77.
- [6] 范玉英. 二氧化碳的性质探究实验新设计[J]. *化学教学*, 2023, (3): 80~84.
- [7] 林晓霞. 乙醇与钠反应的新装置及教学实践[J]. *化学教学*, 2022, (9): 72~74.
- [8] 陈俞文, 陈惠敏, 石光. 核心素养下新旧人教版教材科学探究内容对比分析[J]. *化学教育(中英文)*, 2022, 43(19): 7~12.
- [9] 郑柳萍, 康丽华. 中美初中化学教材实验和探究栏目编写的比较研究[J]. *化学教育*, 2014, 35(3): 7~10.
- [11] 张新宇, 占小红, 陈琳. 基于探究水平的科学教材活动比较研究[J]. *化学教学*, 2012, (10): 10~13.
- [12] 龚正元. 化学课程中的科学过程技能研究[D]. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 2007.
- [13][17][18] Wenyuan Yang, Enshan Liu. Development and validation of an instrument for evaluating inquiry-based tasks in science textbooks [J]. *International Journal of Science Education*, 2016, 38(18): 2688~2711.
- [14][16] Lederman N G, Lederman J S. Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity Through Professional Development [M]//Fraser B J, Tobin K, McRobbie C J. *Second International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012: 335~359.
- [15] Lederman J S, Lederman N G, Bartos S A, et al. Meaningful Assessment of Learners' Understandings About Scientific Inquiry-The Views About Scientific Inquiry (VASI) Questionnaire [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2014, (1): 65~83.
- [19] Livermore A H. The process approach of the AAAS commission on science education [J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 1964, 2(4): 271~282.
- [20][21] 姚娟娟, 王世存, 姚如富, 等. 高中化学教材中实验类栏目的探究水平和探究技能研究[J]. *化学教学*, 2020, (10): 19~23, 29.
- [23] 柴小翠, 盖立春. 职前化学教师对“科学探究”理解水平的调查研究[J]. *化学教育(中英文)*, 2020, 41(4): 52~59.