

# 情境化实验题的命题设计与实践\*

## ——兼评 2023 年天津市学业水平等级性考试化学实验题

卢雨辰<sup>1\*\*</sup>, 何文<sup>2</sup>, 英华<sup>3</sup>, 王欢<sup>4</sup>

(1. 天津市教育招生考试院, 天津 300387; 2. 天津市南开中学, 天津 300100;  
3. 天津市河西区教师发展中心, 天津 300201; 4. 天津市第一中学, 天津 300054)

**摘要:** 真实的问题情境是学科核心素养测评的重要载体。天津市 2023 年学业水平等级性考试化学试卷以“铜变‘银’, ‘银’变‘金’”实验作为问题情境设计了一道实验题, 结合《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》和《中国高考评价体系》, 对试题的素材选择、情境创设、考查元素等设计维度加以评析, 提出试题命制要通过情境的丰富意蕴实现价值引领, 适当地融入所需考查的核心素养、必备知识和关键能力, 同时试题设计要注重提质增效, 引导中学教学夯实学科基础, 进而促进化学实验教学质量的提升。

**关键词:** 情境化; 实验题; 试题命制; 学业水平

**文章编号:** 1005-6629(2024)01-0084-05      **中图分类号:** G633.8      **文献标识码:** B

情境化试题已经成为当下国内外评价学生能力和素养的常见方式。《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》(以下简称“课程标准”)在“学业水平考试命题建议”中明确要求学业水平等级性考试的命题应创设真实的、有意义的测试情境, 并在此情境的基础上设计符合学生认知水平的测试任务<sup>[1]</sup>。《中国高考评价体系》(以下简称“评价体系”)提出以情境承载考查内容, 实现考查要求<sup>[2]</sup>。情境化试题不仅可以实现对学生的关键能力和学科素养发展情况的诊断, 还可以通过情境的意蕴实现对学生的价值引领<sup>[3]</sup>。

天津市 2023 年普通高中学业水平等级性考试化学试卷第 15 题以“铜变‘银’, ‘银’变‘金’”实验<sup>[4]</sup>为素材命制了一道实验题。现将该实验以及以此为基础编制的试题呈现给读者, 并结合“课程标准”和“评价体系”, 将试题做一评析以供读者参考。

### 1 试题素材和试题呈现

#### 1.1 实验试题的素材

[实验名称] 铜变“银”, “银”变“金”

[实验仪器及药品]

铁架台、蒸发皿、酒精灯、药匙、坩埚钳、100 mL 烧杯; 锌粉、铜币、3 mol/L 氢氧化钠溶液

[实验操作]

(1) 铜变“银”。

在蒸发皿里放入一药匙锌粉, 然后倒入 3 mol/L 的氢氧化钠溶液, 使之浸没锌粉。将蒸发皿置于酒精灯上加热至沸腾, 撤去酒精灯, 待混合液稍稍冷却, 用坩埚钳夹持一块洁净的铜币, 浸入热溶液中, 立刻看到铜币表面呈现银白色, 并有极少量的无色气体从溶液中逸出。片刻后, 取出将它置于盛水的烧杯中洗净、擦干。此时, 铜币就变为“银币”了。

(2) “银”变“金”。

将实验得到的“银币”, 用坩埚钳夹持其边缘, 在酒精灯的外焰上加热。片刻后, “银币”由银白色变为黄色, 立

\* 2021 年天津市教育科学规划课题“基于核心素养的普通高考及高中学业水平等级性考试试卷设计与后效研究”(项目编号 CHE210130) 阶段性研究成果。

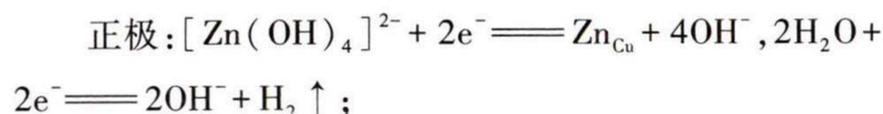
\*\* 通讯联系人, E-mail: luyuchen@mail.nankai.edu.cn。

刻远离火焰,将它置于有水的烧杯中冷却,以防止黄铜的进一步氧化。然后洗净,用干布擦亮,此时“银币”又变成“金币”了。观察并比较铜币、“银币”、“金币”颜色上的差异。

#### [实验原理剖析]

电极表面材料的不同,会导致电极电位差异,若阴极产物不是纯金属而是合金,则有利于还原反应的实现<sup>[5]</sup>。李南方等<sup>[6]</sup>认为,铜表面的析氢过电位较低,反应过程中在铜表面有一定量的氢原子的积累,可将溶液中的 $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ 还原为金属锌而沉积在铜的表面。Szczepankiewicz等<sup>[7]</sup>对本实验所涉及电化学过程进行了研究,指出在实验过程中锌在铜表面析出并向铜晶胞内扩散生成了铜锌合金,其通过电化学方法测量出当Cu做正极、Zn做负极,电解质溶液为 $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ 溶液时,二者电极电位的差值为 $1.1\text{V}$ {即 $E([\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}/\text{Zn}_{\text{Cu}}) - E([\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}/\text{Zn}_{\text{Zn}}) = 1.1\text{V}$ }。

本实验所涉及的电极反应如下:



( $\text{Zn}_{\text{Zn}}$ :代表锌电极表面的Zn; $\text{Zn}_{\text{Cu}}$ :代表铜电极表面的Zn)

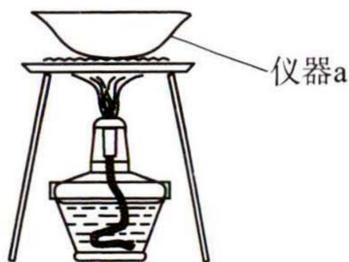
锌的熔点为 $419.5^\circ\text{C}$ ,铜的熔点为 $1083.4^\circ\text{C}$ ,后续的加热过程使铜表面的镀层发生了相变,生成了外观与黄金相似的 $\alpha$ -黄铜合金。

### 1.2 实验试题的全貌

某化学兴趣小组的同学查阅文献后,设计了如下实验,揭示古代炼金术由廉价金属“炼制贵金属”的本质。

#### [实验 I] 铜片包“银”

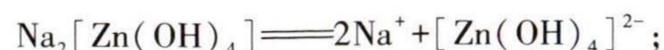
用 $3\text{mol/L}$ 的 $\text{NaOH}$ 溶液浸没锌粉,加热至沸,其实验装置如右图所示。反应一段时间后,撤去酒精灯,锌粉有剩余。溶液稍冷后,将洁净的铜片浸没其中与锌粉接触,观察到铜片表面逐渐覆盖一层银白色金属,同时有少量气体逸出。



已知:Zn能与 $\text{NaOH}$ 溶液发生反应:



$\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ 的电离方程式:



#### [实验 II] 灼“银”成“金”

将包“银”的铜片置于酒精灯上灼烧,待银白色变成黄色时,立即将其置于水中冷却,取出并用布擦干,“银”变成了“金”。

(1) 仪器a的名称是\_\_\_\_\_。为了防止加热过程中液体飞溅,应当采用的操作是\_\_\_\_\_。

(2)  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ 中的化学键有\_\_\_\_\_ (填序号)。

a. 离子键 b. 极性共价键 c. 非极性共价键  
d. 配位键

(3) 写出Zn与 $\text{NaOH}$ 溶液反应的离子方程式\_\_\_\_\_。

(4) 根据实验I的现象,写出相关的电极反应式: 负极\_\_\_\_\_; 正极\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

(5) 实验II中“立即将其置于水中冷却”的目的是\_\_\_\_\_。灼“银”成“金”实际上是铜表面生成了与黄金外观相似的合金——黄铜。为区分黄铜和黄金,可向二者表面分别滴加硝酸,写出实验现象和结论\_\_\_\_\_。

(6) 取Zn与 $\text{NaOH}$ 溶液反应后的上层清液,将另一洁净铜片浸没其中,是否能将此铜片包上“银”层? 回答并说明理由\_\_\_\_\_。

### 1.3 试题的参考答案

(1) 蒸发皿,搅拌;(2) a、b、d;(3)  $\text{Zn} + 2\text{OH}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + \text{H}_2 \uparrow;$

(4) 负极: $\text{Zn} - 2\text{e}^- + 4\text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-};$   
正极: $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn} + 4\text{OH}^-, 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow;$

(5) 防止表面金属被氧化;表面有气泡生成的是黄铜,无明显现象的是黄金;

(6) 不能,铜不能置换出锌。

## 2 试题命制思路与评析

### 2.1 依据课程标准,架构整体命题思路

随着教育的不断深化,2019年国务院发文要求“实施普通高中新课程的省份不再制定考试大纲”<sup>[8]</sup>,旨在扭转以考定教、弱化课程标准的现象,自此课程标准成为学业水平等级性考试命题的核心依据。

于考试命题而言,课程标准的学业质量要求提出了对学科知识、能力、素养的考查总体要求,但需要根据试题题型、主题进行分解、细化。我们可以结合评价体系对考查内容的要求,借鉴 PAD (Principled Assessment Design) 设计模式规划命题思路<sup>[9]</sup>,确定本实验试题的设计要素。试题整体设计和分析见表 1,其中典型特征是指区别于元素、有机物、反应原理等其他主题的特征,用以引发学生调用相关知识、能力和素养解答问题;可变化特征是指题目材料可改变的部分用以调控试题的难度和测评的相关知识、能力和素养。

表 1 2023 年等级考化学天津卷实验题试题设计要素分析

要素	说明
学业质量部分相关要求	设计有关物质转化、分离提纯、性质应用等的综合实验方案,运用变量控制的方法探究并确定反应条件,描述实验证据并据此进行分析推理,对实验进行评价,提出进一步探究的设想
关键能力	理解与辨析能力、实验与探究能力
必备知识	仪器的主要用途和使用方法,实验基本操作,物质的检验
其他相关能力和知识	分析与推测能力; 无机物的性质、转化关系,化学反应原理相关内容
知识运用的真实情境	实验——铜变“银”,“银”变“金”
典型特征	利用限定装置、药品进行实验方案设计
可变化特征	实验的表述、已知信息的呈现;探究实验设计的复杂程度

## 2.2 适度改编素材,创设真实问题情境

真实、有意义是情境化试题的内在要求。真实主

要指向化学在科学研究、生产、生活中的真实需求和实际问题;有意义主要指向唤起学生积极的情感体验,促进对化学学科的认知和理解。试题在题干中明确提及了古代炼金术中的廉价金属“炼制贵金属”,旨在让学生从化学史的角度了解古代炼金术的“物质嬗变”<sup>[10]</sup>本质,即由廉价金属转化成“贵金属”所涉及的化学原理,体现“科学态度与社会责任”素养,并用实验中“贵金属”的制备激发学生的好奇心,凸显“科学探究与创新意识”素养。

“铜变‘银’,‘银’变‘金’”实验作为问题情境,除了所涉及的实验基本操作外,还可将实验素材与中学化学教学契合的内容进行关联与整合,一是铜变“银”过程中的电化学原理,二是“银”变“金”过程所涉及的合金相关知识,前者可作为问题情境的考查重点。为了更好地发挥试题对学生能力和素养的测评功能,题干表述明确指出了探究实验揭示了炼金术的本质,暗示学生从化学反应原理的角度思考实验。由于课程标准对锌及其化合物的内容要求部分有所调整,锌元素的性质是帮助学生认识化学原理的载体,而非识记要求。试题题干将“Zn 与 NaOH 浓溶液反应的方程式、 $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$  的电离方程式、 $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  的解离平衡的方程式”等作为支持信息给予学生。

## 2.3 创设问题任务,综合设计考查元素

由于纸笔测试的自身限制,试题需要根据所选择实验素材筛选出适切的、与课程标准内容要求相符合的考查要素。结合课程标准和单旭峰提出的考试内容改革实施路径<sup>[11]</sup>,对 2023 年等级考化学天津卷实验题的试题考查要素分析如表 2 所示。

表 2 2023 年等级考化学天津卷实验题试题考查要素分析

题号	考查内容	必备知识	关键能力	学科素养	学科核心素养	学业质量水平及质量描述	
(1)-1	常用仪器	化学语言与概念	理解与辨析	化学观念	宏观辨识与微观探析	1-3	选择常见的实验仪器,完成简单的物质性质实验
(1)-2	实验基本操作	实验原理与方法					
(2)	化学键	化学语言与概念	分析与推测	思维方法		2-1	从构成物质的微粒、化学键等方面说明常见物质的主要性质
(3)	离子方程式	反应变化与规律	归纳与论证		1-1		
(4)	电极反应式						
(5)	实验操作目的	实验原理与方法			3-1	能采用符号对物质的变化进行综合表征	
(6)	电化学原理	物质转化与应用	探究与创新	实践探索	科学探究与创新意识	3-3	基于现象进行分析推理得出合理结论

试题所考查的内容涉及了“化学科学与实验探究”“化学反应与能量”“物质结构基础及化学反应规律”“常见的无机物及其应用”等多个主题的内容。试题除了考查实验的基本操作之外,还关联考查了选择性必修1 化学反应原理中的电化学原理、必修中的铜等金属与硝酸的反应、选择性必修2 物质结构与性质中的化学键等内容,这既实现了知识的结构化水平诊断,又可以引导中学化学教学重视实验教学。

第(1)小题考查化学实验中常见仪器的识别、实验基本操作以及实验安全意识。第(2)小题考查配位化合物中的化学键类型。第(3)小题考查考生能否判断陌生电解质的强弱,并将化学方程式改写为离子方程式。第(4)小题考查考生能否由宏观现象探析微观本质,正确书写电极反应式。第(5)小题考查“立即将其置于水中冷却”的操作目的,以及考生能否从无机物的性质角度区分黄金与黄铜。第(6)小题考查考生是否准确掌握原电池原理。

在必备知识方面,试题主要考查了化学语言与概念、实验原理与方法和反应变化与规律。在关键能力方面,试题主要考查了分析与推测、归纳与论证能力。在学科素养方面,试题主要考查了化学观念和思维方法。题目设问设计对应学业质量水平1~3,思维进阶由低阶向高阶提升。试题着重强调课本知识和题目所给信息的综合应用,利用真实的情境从实验装置、反应原理、问题任务等方面,考查学生知识的结构化,而不是生硬地考查学科知识内容。

#### 2.4 适度开放探究,考查学生综合素养

本试题所涉及的实验中,电极表面材料的不同,导致电池电极的电位差异,使铜表面镀上“银”成为现实。但考虑到此部分的原理分析超出高中化学课标要求。鉴于此,题目并未在此处设计探究性问题,仅要求学生依据实验现象答出相关的电极反应式。试题第(6)小题结合题目信息设计了一个探究性、开放性的问题,即探究在无锌粉剩余的上清液中能否让铜片镀上锌层。学生需要仔细思考、推敲每一步骤的操作流程背后所涉及的化学原理,方可判断出正确答案。该题的设计旨在让学生在实验过程中,更加注重实验操作涉及的化学反应原理,能基于实验条件和反应原理做出合理的推断。参考答案只给出了不能实现包“银”的理由的一种表述,作为开放性试题,理由还可有多种表述方

式,如体系中缺少锌作负极,不再能形成原电池,因此铜片不能包上“银”层;Cu 不如 Zn 活泼,不能与  $\text{Zn}^{2+}$  {或  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ } 反应产生 Zn 等。

由于试题出现在等级性考试中,受限于纸笔考试的形式和时间限制,为了保证学生的作答有一定的限制性和操作性,确保测试的效果,并未对实验进行深入扩展。实际上,该情境还可以衍生出更多问题,比如,能否使用电镀的方式使铜片包上“银”层,应该如何设计,同样是镀层,用原电池方式和电镀方式生成的镀层是否有明显的差异,不同的镀层溶液以及不同的浓度会对本实验产生怎样的影响,何种条件下才能制出更好的镀层?当然,作为实验试题所发挥的测评学生能力和素养水平的功能终究是有限的,但是题目所给出的实验何尝不是一个探究性学习的真实问题情境。

### 3 思考与建议

#### 3.1 情境化的实验试题,应充分发挥情境的育人价值

立德树人是教育的根本任务。作为自然科学之一的化学应结合学科特点,借助化学史培育科学精神,促进学生对科学本质的理解<sup>[12]</sup>。本次实验试题选择炼金术中的以廉价金属“炼制贵金属”作为情境的切入点,力图创设真实的、有意义的问题情境,引起学生对实验现象探索的兴趣,弘扬科学精神。

因此,在试题情境创设时,可以从化学发展史中遴选素材创设真实、有意义的问题情境,如古代化学中炼丹术、造纸术、炼金术,近代化学道尔顿原子学说、元素周期律,现代化学的合成氨工业、侯氏制碱法,在情境中让学生体会化学科学的价值和功能,进而发挥好情境的育人价值。

#### 3.2 情境化的实验试题,应促进“双减”政策理念落实

相比于以往的减负措施,“双减”更显全局性和战略性,并对考试评价提出了更高要求。终结性评价的等级考对日常教学评价与阶段性评价的内容、难度及方式存在着导向作用。相较于采用选择题考查电化学原理的方式,本试题以化学实验作为载体,将涉及的化学实验、电化学、元素化学知识进行关联和整合,在避免套路化的同时,增强了试题的整合性,学生需要分析出实验现象背后的化学原理才能全面、准确地回答

问题。

同时,试题也能引导教师在日常考试评价中设计适切的问题情境以激发学生对化学的兴趣,并帮助学生正确认识现象背后所涉及的化学原理,将碎片化的知识加以整合,有助于实现认知结构化的升级,即从知识关联的结构化到认识思路的结构化再到化学观念的结构化。

### 3.3 情境化的实验试题,应对实验教学有正面导向

考试是促进教学改进的重要手段<sup>[13]</sup>。实验是培养和提高学生核心素养的重要途径,但现实情况是实验教学的开展方式、次数、规模均未达到课程标准的要求<sup>[14]</sup>。

若是试题所涉及的实验过于复杂、危险,难以在教学中演示和重复,那么教师在教学中更倾向于用文字讲述而非实验演示的方式讲解化学实验试题,这对学生实验能力的提升不利,化学教学的“化学味”不浓。本实验试题选择在教学中相对容易重复的实验作为素材情境,便是希望中学教学进一步重视实验教学的开展,教师可以在结合必做实验“化学能转化成电能”“简单配合物的制备”“简单的电镀实验”的基础上,以本试题所涉及的实验作为探究性学习的情境,帮助学生认识到电极反应、电极材料、离子导体、电子导体是电化学体系的基本要素,提高学生对电化学本质的认识。

## 4 结语

实验题是化学试卷中极具亮点和学科特色的试题,也是测评学生必备知识和关键能力、诊断学生核心素养水平的重要载体。新时代背景下,深化教育评价改革、推进考试内容改革,是时代交给教育评价工作者的必答题。命题人员需要深入理解和掌握课程标准、评价体系、学科知识、化学史以及化学学科的发展前沿和发展趋势,命制具有探究性、开放性、综合性的高质量的实验试题,充分发挥考试价值的引领作用,综合考查学生的能力和素养。

### 参考文献:

- [1] 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年修订)[S]. 北京:人民教育出版社, 2020: 77~81.
- [2] 教育部考试中心. 中国高考评价体系[M]. 北京:人民教育出版社, 2019: 1~9.
- [3] 袁丫丫,付雷. 科学素养测评中情境化试题的命制技术[J]. 中国考试, 2022, (11): 38~44.
- [4] 卢香宇. 化学实验设计与研究[M]. 贵阳:贵州人民出版社, 2008: 120~121.
- [5] 李获,李松梅. 电化学原理(第4版)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2021: 256~260.
- [6] 李南方,王程杰. 一种不用电的镀覆技术——化学镀[J]. 化学教学, 2008, (8): 75~77.
- [7] Szczepankiewicz S H, Bieron J F, Kozik M. The “Golden Penny” Demonstration: An Explanation of the Old Experiment and the Rational Design of the New and Simpler Demonstration [J]. Journal of Chemical Education, 1995, 72(5): 386~388.
- [8] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于新时代推进普通高中育人方式改革的指导意见[EB/OL]. (2019-06-19) [2023-06-10]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-06/19/content\\_5401568.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-06/19/content_5401568.htm).
- [9] Riconscente M M, Mislevy R J, Corrigan S. Evidence-Centered Design [M]//Lane S., Raymond M. R., Haladyna T M. Handbook of Test Development. New York: Routledge, 2016: 40~63.
- [10] 劳伦斯·普林西比. 张卜天译. 炼金术的秘密[M]. 北京:商务印书馆, 2018: 15~17.
- [11] 单旭峰. 基于高考评价体系的化学科考试内容改革实施路径[J]. 中国考试, 2019, (12): 45~52.
- [12] 严文法,王小梅,李彦花. 新课标视域下化学史的科学本质教育功能研究[J]. 化学教学, 2020, (1): 3~7.
- [13] 雷新勇. 大规模教育考试命题:理论、方法和实例[M]. 上海:同济大学出版社, 2021: 2~18.
- [14] 王戈,王静,赵屹等. 天津市中小学实验教学综合改革政策研究之建设配备篇[J]. 中国现代教育装备, 2022, (24): 6~11.