

基于 ADDIE 模型的试题命制流程与应用

——以高中化学无机框图推断题为例

曹彬彬

摘要：以高中化学无机框图推断题为例，借助 ADDIE 模型的分析、设计、开发、实施、评价五个环节，探索高质量命题的流程与方法，为后续试题命制与作业设计提供借鉴思路。

关键词：试题命制；ADDIE 模型；无机框图推断题

一、问题提出

评价是新课程背景下学科教学不可或缺的关键环节，测试是有效开展化学学习评价的基本途径和方法。因此，对命题进行研究，尤其是开展基于化学学科核心素养和学业质量标准的命题研究，是提高命题质量并实现“教—学—评”一致性的重要途径和方式。

作为中学化学教学研究的一项重要内容，试题研究和命制越来越成为中学化学教师专业能力的重要体现。本文以高中化学无机框图推断题为例，开展基于 ADDIE 理论模型的命题研究，以期形成完整的试题命制实施流程，为今后日常教学中的作业设计提供借鉴和参考。

二、ADDIE 模型的理论基础

ADDIE 模型是佛罗里达州立大学在 1975 年为美国陆军设计的一种训练模型，经过不断发展和完善，逐渐形成一种广泛意义上的 ADDIE 教学设计系统模型，被深入运用于教育教学领域^[1]。ADDIE 模型共包含分析（Analysis）、设计（Design）、开发（Development）、实施（Implementation）、评价（Evaluation）五个环节。图 1 呈现了课程标准中关于“命题程序”部分所陈述的命题流程与 ADDIE 模型

的一致性。

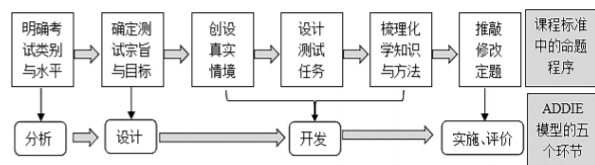


图 1 ADDIE 模型与课程标准命题程序的一致性

由此可见，基于 ADDIE 模型的五个环节开展试题命制具备可操作性与现实意义，能够提升试题命制的程序性与规范性，从而提高命题质量。

三、试题的开发与实施

（一）选考原题分析

1. 情境素材与试题结构

当前各类教学考试中呈现的无机推断题题型主要包括三种：突出物质变化过程的物料流程、突出操作内容（隐含原理）的操作流程和突出装置设备的装置流程^[2]。浙江选考的无机框图推断题主要是突出物质变化过程的物料流程这一题型，如表 1 所示。

从情境素材上看，两道试题都选择了真实的情境，符合情境化试题的特征。但是从“有意义”的角度而言，试题 2 的情境缺乏铺垫，学生对该情境相对陌生（主要表现为对原料 Y 不熟悉），可能会增加解题难度。从试题结构上看，两道试题的

作者简介：曹彬彬，浙江省杭州高级中学，一级教师。

小题结构基本相同，由 3 道小题组成，共计 10 分。第（1）小题为填空题，考查简单的物质组成与性质推断；第（2）小题为不定项选择题，综合考查无机元素化合物的知识，并结合化学基本概念与原理相关知识；第（3）小题为方案设计题，设计检验典型元素的实验方案，综合考查信息提取、加工与方案设计的相关知识，涉及面广、迁移性高、综合性强。

2. 关键能力、学业质量水平与核心素养

关键能力的分类参考卢雨辰^[1]等人的研究，分为记忆理解、推测论证、应用迁移和探究创新。该题型的测试内容主要体现了“高起点，低落

点”的能力考查特征。虽然学生对情境中的原料物质的性质可能比较陌生，但是小题中涉及的具体化学知识和情境并不复杂，学生通过 3~4 步的推断过程便能理解整个工艺的原理。由于题型结构比较固定，两道选考题背后所涉及的关键能力、学业质量水平与核心素养具有整体性的共同特征，具体如表 2 所示。

（二）试题的设计

基于上述分析，从真实情境、实际问题、化学知识、核心素养四个维度对试题的命制进行如下设计，为后续工作的开展提供明确的指导方向，具体如图 2 所示。

表 1 选考原题的情境素材与试题结构

题型	试题	情境素材	试题结构
突出物质变化过程的物料流程图	2023 年 6 月卷（试题 1）	工业上煅烧含硫矿物产生的 SO ₂ 的绿色化处理	由 3 道小题组成，共计 10 分。第（1）小题为填空题，第（2）小题为不定项选择题，第（3）小题为方案设计题
	2024 年 1 月卷（试题 2）	工业上以 Y[MgCaFeMn(CO ₃) ₄] 为原料实现不同金属元素的分离与转化	

表 2 选考原题的关键能力、学业质量水平与核心素养

题号	关键能力	学业质量水平	层次性	核心素养	题目示例
（3）	探究创新 应用迁移	水平 4	↑ 循 序 渐 进	科学探究与创新意识	酸性条件下，固体 NaBiO ₃ （微溶于水，其还原产物为无色的 Bi ³⁺ ）可氧化 Mn ²⁺ ，根据该反应原理，设计实验验证 Y 中含有 Mn 元素。
（2）	推测论证 记忆理解	水平 3 水平 2		证据推理与模型认知 科学态度与社会责任	B. 固体 E 可能含有 Na ₂ CO ₃ A. 气体 D 是形成酸雨的主要成分
（1）	推测论证 记忆理解	水平 2 水平 1		证据推理与模型认知 宏观辨识与微观探析	步骤 II 中，加入氯化铵的作用是什么？ 写出溶液 C 中的所有阴离子。

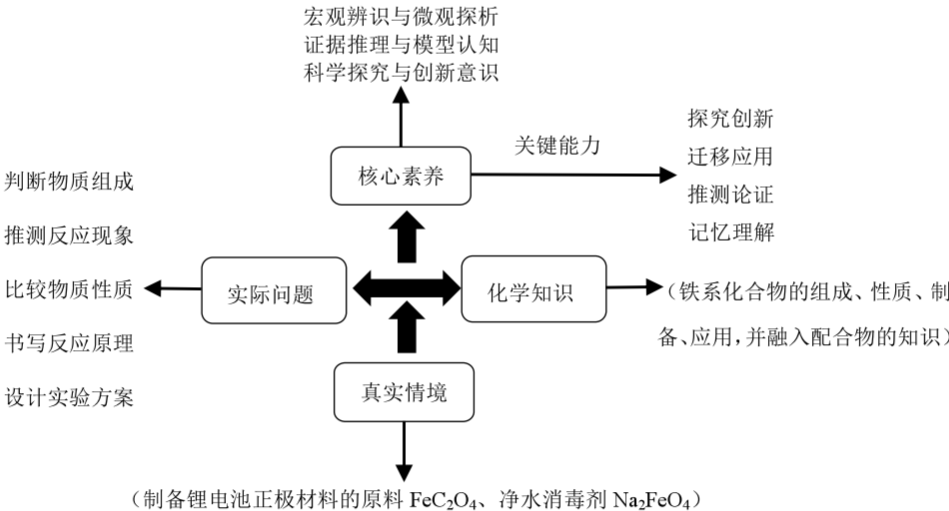


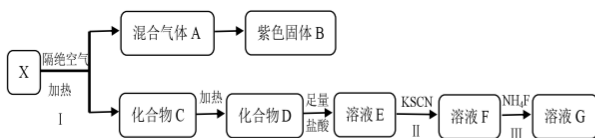
图 2 无机框图推断题的命题设计

(三) 试题的开发

1. 真实情境的选择

真实、有意义是情境化试题的内在要求,在帮助打开学生解题思路的同时,也有利于学生关键能力与核心素养的培养。试题情境的选择应紧密联系学生学习和生活实际,体现科学、技术、社会和环境发展的成果^[4]。 FeC_2O_4 可用作照相显影剂、抛光剂,尤其是作为制备正极材料磷酸铁锂的原料,其在新型锂电池工业中是一种十分重要的工业原料; Na_2FeO_4 是一种高效的净水消毒剂,学生对净水消毒并不陌生,如 84 消毒液、臭氧、二氧化氯等是学生熟悉的常见消毒剂。因此,综合考虑学生的基础生活经验和必备化学知识,以上述两种物质为基础设计铁系化合物的知识考查是一个非常好的、真实且有意义的情境素材。具体题干如下所示。

固态化合物 X(FeC_2O_4) 是制备锂离子电池正极材料磷酸铁锂的主要原料。以 X 为原料可实现如下的转化。



已知:溶液 G 中的阴离子与冰晶石中的类似, Ba^{2+} 会与高铁酸盐形成难溶于水的白色沉淀。

2. 试题内容的确定

第(1)小题为填空题,设计了两个小问,具体如表 3 所示。

设计意图:第(1)小题主要考查物质组成判断,并进行微观表征,需要学生具备基本的物质推断能力,进而对化合物 C 进行表征,对溶液 E 的成分进行判断。解决第二问时对学生的能力要求较高,需要学生关注到“足量盐酸”的提示,作答时不遗漏,完整写出 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 H^{+} 才能获得满分。

第(2)小题为不定项选择题,设计了四个选项,具体如表 4 所示。

设计意图:第(2)小题主要考查物质组成判断、反应类型及现象判断、物质性质比较。选项 A、B 承接的是上一小题的推断过程,需要学生具备基本的物质推断能力来判断物质组成和反应类型,是对化学基本概念의考查。选项 C、D 需要学生具备扎实的铁及其化合物、配合物的相关知识。学生解答该题的难度不高,但是需要选出 ABC 才能获得满分。

第(3)小题为方案设计题,设计了两个小问,具体如表 5 所示。

设计意图:第(3)小题主要考查氧化还原反应、化学方程式的书写、实验方案的设计,需要学生具备较好的信息提取和加工能力、实验探究与设计能力,属于高能力水平的考查。第一问需

表 3 第(1)小题的内容设计

必备知识	关键能力	学业质量水平	核心素养
铁及其化合物的组成、结构、性质化学用语	记忆理解 推测论证	水平 1 水平 2	宏观辨识与微观探析 证据推理与模型认知
(1) 化合物 C 的化学式为_____, 写出溶液 E 中所有的阳离子。			

表 4 第(2)小题的内容设计

必备知识	关键能力	学业质量水平	核心素养
化学基本概念与原理 配合物的性质 铁及其化合物的性质	记忆理解 推测论证	水平 2 水平 3	宏观辨识与微观探析 证据推理与模型认知
(2) 下列说法正确的是。 A. 反应 I 属于分解反应 B. 混合气体 A 的组成为 CO 、 CO_2 C. 反应 III 的现象说明稳定性: $[\text{FeF}_6]^{3-} > [\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$ D. 步骤 II 中能观察到血红色沉淀			

要学生具备扎实的氧化还原反应相关知识，难点在于产物的判断和方程式的配平。第二问需要学生利用好“ Ba^{2+} 会与高铁酸盐形成难溶于水的白色沉淀”、高铁酸钠“酸性条件下不稳定，易分解”这两处已知信息，基于上述信息再进行方案设计。如果学生直接使用 Ba^{2+} 检验 Na_2SO_4 则说明信息提取不到位。这一小题具备一定的难度。

综合来看，3 道题的设计既具备基本化学知识的考查，试题难度又依次递进，具有较好的结构性与层次性。

(四) 试题的实施

1. 样本选择与施测

选取高二年级化学选考考生为测试样本，学生已经学完全部选考内容。为保证测试的独立性与可靠性，采用单人单桌的方式进行测试，测试时间为 10 分钟，测试结束回收全部试题。测试共发放试题 101 份，回收 99 份，其中无效答卷 9 份，有效回收率 89.1%。具体信息如表 6 所示。

2. 数据回收与处理

汇总每份答卷的总得分，输入 SPSS 软件等待后续处理分析。参考答案与评分标准如表 7 所示。

(五) 测试结果的评价

1. 试题难度分析

将每一份测试的答题情况输入 SPSS 软件，使用“描述统计”功能统计各小题的得分情况，并据此分析试题难度，具体见表 8。试题整体的难度为 0.4，属于较难题。主要表现为方案设计题的难度较大，学生作答的得分率不高。

2. 不同水平学生的差异分析

高质量的试题需要有较好的区分度，能够区分出不同能力水平的学生。相关研究表明，以 27% 作为分组依据时所得到的区分度的可靠性最大^[5]。以高二下学期期中联考的化学成绩为分组依据，排名前 27% 的学生作为高水平组，排名后 27% 的学生作为低水平组，如遇多位同分学生，则共同分入该组。最终高水平组有 24 人，低水平组有 26

表 5 第 (3) 小题的内容设计

必备知识	关键能力	学业质量水平	核心素养
氧化还原方程式书写 硫酸根的检验 实验方案的设计	迁移应用 探究创新	水平 3 水平 4	宏观辨识与微观探析 证据推理与模型认知 科学探究与创新意识
(3) 高铁酸钠 (Na_2FeO_4) 是一种易溶于水的固体，酸性条件下不稳定，易分解。可用 FeSO_4 与 Na_2O_2 高温共熔制得，产物之一为 Na_2O 。 ①写出制备高铁酸钠的化学方程式。 ②假设原料反应完全，设计实验证明制得的 Na_2FeO_4 中是否混有 Na_2SO_4 。			

表 6 施测样本情况

类型	年级	发放/份	回收/份	无效答卷/份	有效回收率/%
选考考生	高二学生	101	99	9	89.1

表 7 参考答案与评分标准

题号	参考答案与评分标准
(1)	FeO (2 分); Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 H^+ (全部写出得 2 分，漏写得 1 分，写错不得分)
(2)	ABC (全部选对得 2 分，漏选得 1 分，有错选不得分)
(3)	$2\text{FeSO}_4 + 6\text{Na}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Na}_2\text{FeO}_4 + 2\text{Na}_2\text{O} + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$ (2 分，物质写对未配平得 1 分，漏写条件得 1 分) 取适量固体于试管中，加稀 HNO_3 溶解，待无气泡产生后滴加 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，若有白色沉淀生成，证明有 Na_2SO_4 (2 分，有加酸溶解的步骤得 1 分，选择稀硫酸该步不得分；有加 Ba^{2+} 的步骤得 1 分)

表 8 各小题的得分情况

题号	第 (1) 小题	第 (2) 小题	第 (3) 小题	总分
平均分	2.24	1.14	0.66	4.04
难度	0.56	0.57	0.17	0.40

人。两组学生在该题的平均得分情况如图 3 所示。

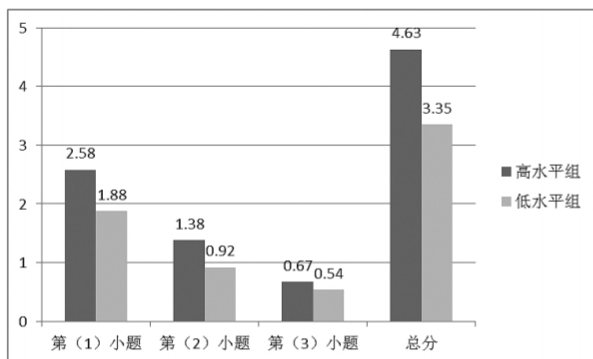


图 3 不同水平学生得分情况

利用 SPSS 软件进行独立样本 t 检验, 分析两组学生的差异情况, 经过方差齐性检验, 显著性数据如表 9 所示。

显著性 P 值小于 0.05 时, 表明两组样本存在显著性差异。可以看出, 高、低两组水平的学生在总分、第 (1) 小题和第 (2) 小题的得分上均存在显著性差异, 说明试题的区分度良好, 可以区分出不同能力水平的学生; 第 (3) 小题的得分不存在显著性差异, 可能的原因是该题作为方案设计题, 涉及陌生信息的获取与加工, 对学生迁移应用和探究创新的能力要求较高, 解答该题存在一定的难度。

综合上述分析, 试题整体难度稍大, 但区分度较好, 能够考查出不同能力水平的学生在无机框图推断题中的能力表现差异。

表 9 高水平与低水平学生的差异分析

题号	第 (1) 小题	第 (2) 小题	第 (3) 小题	总分
高水平组均分	2.58	1.38	0.67	4.63
低水平组均分	1.88	0.92	0.54	3.35
显著性 P 值	0.038	0.016	0.523	0.003

参考文献:

- [1]狄晶晶.基于ADDIE模型的高中数学单元教学设计研究——以“统计”单元为例[D].重庆:西南大学,2023.
- [2]娄华,闻昊,李国罡,等.刍议“无机化工生产”作业的设计[J].化学教学,2020(9):84-89.
- [3]卢雨辰,何文,英华,等.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[J].化学教学,2024(1):84-88.
- [4]文吉槐,杨志义.学术探索情境类高考化学试题的特点及启示——基于2018~2022年全国卷“化学电源”试题分析[J].化学教学,2023(7):76-81.
- [5]吴明隆.问卷统计分析实务——SPSS操作与应用[M].重庆:重庆大学出版社,2013:159.
- [6]王清涛.新时代我国中小学科学教育的发展路向——以PISA 2025科学测评框架为鉴[J].课程·教材·教法,2024,44(1):120-126.

(六) 创新与展望

PISA 2025 科学测评框架指出, 具有“科学素养”的学生能力表现之一是能够“研究、评估和使用科学信息, 并进行决策和行动”^[6]。题干中提供了“ Ba^{2+} 会与高铁酸盐形成难溶于水的白色沉淀”“高铁酸钠 (Na_2FeO_4) 是一种易溶于水的固体, 酸性条件下不稳定, 易分解”两则陌生信息, 考查学生对关键信息的获取、加工以及迁移运用能力。研究发现, 学生作答的得分率并不理想, 教师在日常教学中应提升学生对陌生信息的获取、加工与运用能力, 加强迁移应用、探究创新等高阶关键能力的培养。

人教版新教材在“物质结构与性质”教材中添加了新的学习内容——配合物与超分子, 如何适应新知识的增加并在命题中有所体现是高质量命题值得思考的问题。通过比较 $[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$ 和 $[\text{FeF}_6]^{3-}$ 两种配合物离子的稳定性来落实配合物知识的考查, 是命题的亮点与特色之一。

依标定教, 以教促评, 是实现课程标准、教学、评价三者有机整合的重要方式。研究中采用的命题模式与流程较好地体现了“依标命题”这一重要思想, 操作过程流程化、规范化, 具备可操作性与可重复性。根据不同的命题或作业设计需求, 只需要更换分析、设计的环节内容, 仍旧可依照该流程模式开展命题和作业设计工作。