

【教学研究】

# 基于 APOS 理论的高中电化学概念教学实证研究

陈娟娟 莫尊理 东雪芳

**【摘要】**以 APOS 理论为理论支撑促进电化学概念的教学,确定基于 APOS 理论的教学设计理论框架、原则与策略,开发“原电池”和“电解池”教学案例。运用准实验法对定西市 L 县某中学的 80 名高二学生实施教学,探讨基于 APOS 理论的电化学概念教学对学生学习电化学概念的概念理解水平和学科能力水平的影响。结果表明,与传统概念教学相比,基于 APOS 理论的电化学概念教学对提升学生成绩、概念理解水平和化学学科能力水平效果更为显著。同时,将 APOS 理论与建模教学结合更有助于学生学习电化学概念。

**【关键词】**电化学;化学学科能力;APOS 理论;化学概念教学;概念理解

## 一、理论基础

APOS 理论是 20 世纪 80 年代由数学家杜宾斯基 (Dubinsky) 基于皮亚杰的反思性抽象理论所提出的,由心理结构和心理机制构成<sup>[1]</sup>。心理结构包括活动 (Action)、过程 (Process)、对象 (Object) 和图式 (Scheme) 四阶段 (简称 APOS),四阶段模型如图 1 所示,心理机制包括内化、协调、逆转、封装、去封装、概括和主题化等,心理结构通过心理机制而建立,心理机制就是各种心理构成要素之间的互动<sup>[2]</sup>。

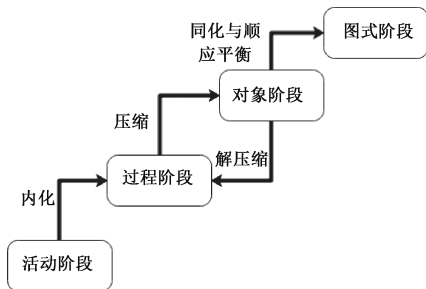


图 1 APOS 理论的四阶段模型

## 二、研究设计

### (一) 研究对象

本研究选取的研究被试为甘肃省定西市 L 县 S 中学两个高二理科平行班的学生,共 80 人,随机分为实验班 (42 人) 和对照班 (38 人),教授者、教学方式和高一电化学的讲解内容均一致,平时考试成绩相当,学习氛围较浓厚,学习态度端正,大部分学生对学习化学持有积极的态度,具备独立思考意识。但学生的学习成绩处于中等水平,基础相对薄弱,思考能力欠缺,不能全面分析推理分析类的题,语言表达能力和符号表征能力处于劣势。

在前测阶段,同时在两个班发放《电化学概念前测试题》,所有被试均在规定时间内完成了作答,试卷回收率 100%,通过 SPSS22.0 对两个班前测成绩进行独立样本 T 检验,结果显示 ( $p=0.853>0.05$ ) 两个班成绩无显著性差异,即对电化学概念的理解水平无明显差别。在研究之前,研究者已取得学校领导、班主任、被试学生及学生家长的同意,并说明前后测成绩不会对学生产生任何影响。在研究结束之后,给对照班学生也实施了基于 APOS 理论的电化学概念教学,弥补了两个班的差距,符合学术伦理要求。

### (二) 工具研制

本研究结合许云蕾制定的电化学概念理解水平—水平描述—具体行为对应表<sup>[3]</sup>,采用化学教育目标分类标准,将王磊教授提出的化学学科能力水平<sup>[4]</sup>对应于具体行为,同时邀请定西市 L 县 10 名化学专业的高级教师对化学学科能力与具体行为的符合程度进行评价并提出建议,再结合对一线教师的访谈,确定出量表 (见下页表 1) 指导电化学概念前测试题的编制和后测试题的分析。

前测试题均为二段式选择题,共 11 道题。后测试题选择许云蕾开发的电化学概念量表作为电化学概念后测试题依据,结合学情和考查内容,对原始试题进行删减和整合,最终试题包含 8 道单选题和 5 道二段式选择题,共 18 个项目,分为三个理解水平:识记理解水平 (Q1 ~ Q2)、简单应用水平 (Q2 ~ Q6) 和综合应用水平 (Q7 ~ Q12),对应学科能力水平分别为 A1 和 A2; B1 和 B2; B2、B3、C1 和 C2。每一道单选题赋分为 5 分,二段式选择题赋分为 10 分,总分为 90 分。通过预测试得出前测、后测试题的克隆

表 1 电化学概念理解水平—具体行为—学科能力水平对应表

| 理解水平 | 水平描述                                             | 具体行为                                    | 化学学科能力水平 |
|------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 识记理解 | 通过记忆或者识别具体的知识或者概念的定义进行作答                         | 能认识原电池和电解池,辨识其构成要素                      | A1 辨识记忆  |
|      |                                                  | 能辨别电极,写出电极反应方程式                         | A2 概括关联  |
| 简单应用 | 直接使用具体的知识或者概念的定义,解决简单的化学问题                       | 能辨别盐桥的作用                                | B1 分析解释  |
|      |                                                  | 能分析出阴阳离子的放电顺序以及对应的产物                    | B1 分析解释  |
|      |                                                  | 能判断出电池中电子运动方向和离子移动方向                    | B1 分析解释  |
|      |                                                  | 能判断出加快化学反应速率的装置                         | B1 分析解释  |
|      |                                                  | 能判断金属活动性强弱                              | B2 推论预测  |
| 综合运用 | 延伸理解知识或者概念的本质,建立概念间的联系,形成知识和概念的认知模型体系,解决复杂的化学问题。 | 能判断出原电池/电解池中离子浓度变化                      | B2 推论预测  |
|      |                                                  | 电池中离子移动的原因                              | B2 推论预测  |
|      |                                                  | 能进行原电池和电解池的相关定量计算                       | B3 简单设计  |
|      |                                                  | 设计原电池的装置模型                              | C3 创新思维  |
|      |                                                  | 设计电解池的装置模型                              | B3 简单设计  |
|      |                                                  | 能应用原电池和电解原理解决燃料电池、电镀、电解精炼金属、金属的腐蚀与防护等问题 | C3 创新思维  |
|      |                                                  |                                         | C1 复杂推理  |
|      |                                                  |                                         | C2 系统探究  |

巴赫系数分别为 0.796 和 0.759,均大于 0.7,说明试题内部一致性良好。

(三) 研究过程

研究实施过程主要包括五大阶段:准备阶段、前测阶段、设计阶段、实施阶段和后测阶段。具体流程如图 2。

(四) 研究内容

(1) 传统教学模式与基于 APOS 理论的教学模式对比分析

通过研读文献对基于 APOS 理论的教学特点梳理与总结,结合对一线教师的访谈结果分析整理出传统教学模式的特点,并与基于 APOS 理论的教学模式进行对比分析(见下页表 2)。

(2) 基于 APOS 理论的电化学教学设计理论框架

通过访谈一线教师和研读文献发现,由于电化学概念的抽象性和复杂性,教育研究者与部分一线

教师采用建模教学的方式对其进行教学,引导学生自主建构电化学概念模型,用来解决简单和复杂陌生情境的真实问题,培养学生模型认知素养,提高概念理解水平,帮助学生将碎片化的知识形成系统的知识框架,培养学生分析电化学问题的思维方式。为此,建立 APOS 理论指导电化学概念教学的理论框架(如下页图 3),为开发教学设计提供理论支撑。

(3) 基于 APOS 理论的电化学教学设计开发原则 主要包括:主体性原则、整体性原则、循序渐进原则。

(4) 基于 APOS 理论的电化学教学设计开发策略

①活动阶段——提供情境素材,感知化学概念

该阶段作为概念教学的首要阶段,教师主要通过给学生提供素材创设活动,调动学生的兴趣,让学生在活动中初步感知概念,因此该阶段包括两个准备任务:

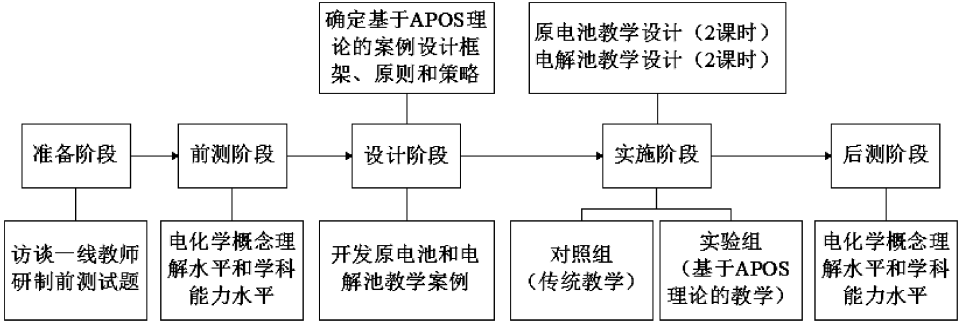


图 2 研究实施过程

表 2 传统教学模式与基于 APOS 理论的  
教学模式要素对比分析

| 要素   | 传统教学模式      | 基于 APOS 理论的教学模式        |
|------|-------------|------------------------|
| 学生   | 被动接受知识者     | 活动参与者、课堂主体者            |
| 教师   | 传授者、主导者、管理者 | 知识引导者、活动设计者            |
| 教学方法 | 讲练结合、演示实验   | 学生小组实验、合作探究、图式建构       |
| 教学评价 | 个人当堂作业完成情况  | 纸笔测试、图式构建、小组成果展示       |
| 教学用具 | 板书、多媒体课件    | 板书、flash 动画、多媒体课件、微型实验 |
| 教学内容 | 书本知识        | 书本内容、学科能力、学科核心素养       |

a. 活动素材的选择

胡久华教授指出进行教学活动设计时,要遵循问题解决或发展学生认识能力的需要,设计有针对性的活动内容与形式,力求达到学生学科思想方法的建构及学科素养的发展,选取的素材应符合学生已有认知且能调动学生的学习兴趣,素材形式可以丰富多样,让学生从多角度认识电化学概念<sup>[5]</sup>。如

可以选取锂离子电池或铅蓄电池等作为情境素材,也可以选择铜锌稀硫酸单液原电池实验引发学生的认知冲突,通过分析实验异常现象,认识单液原电池存在缺陷,提出改进方法,培养学生宏观辨识,微观探析,证据推理的核心素养<sup>[6]</sup>。或利用水果电池、电池的发展史等作为故事引入激发学生的求知兴趣。除此之外,还可以借助多媒体技术播放原电池与电解池工作原理动画进行直观教学,将微观原理用宏观现象展示给学生,化抽象为具体,便于学生感知和理解概念。

b. 活动方式的选择

根据所选素材决定活动方式的选取,如通过学生小组内分享交流生活中形形色色电池的工作原理,设计小组实验对铜锌稀硫酸单液原电池的缺陷进行探究并理解原电池概念、利用电解氯化铜的实验活动体验电解的原理等。适切的活动方式是学生理解概念的关键,可以有效促进学生对概念的直观感受<sup>[7]</sup>。

②过程阶段——问题串引导,初建概念模型

教师可以通过驱动型问题来引导学生对活动阶段的素材进行深度思考,与已有认知相结合,思考概念的本质,构建概念并初步用语言、符号或图式表征概念。教师需及时指出学生在构建概念时存在的问题,并引导学生修正模型,正确认识概念。通过设计驱动型问题,引发学生深度思考,通过循序渐进,层层递进的问题串让学生从表象感知到深入理解概念的内涵,初步构建概念模型。

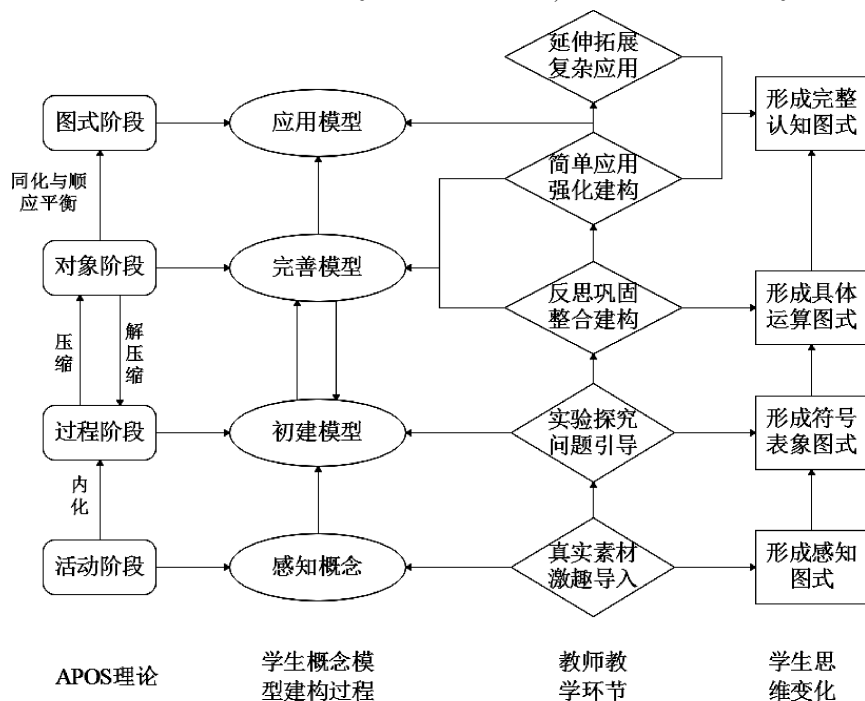


图 3 APOS 理论指导下的电化学概念教学环节理论框架

### ③对象阶段——正反例应用,完善概念模型

该阶段的主要任务是对概念的内涵和外延进行系统建构,使学生对概念形成一个整体的认识,使概念达到精致化,将其作为一个独立的对象进行理解。因此,在该阶段中需要用到如下策略:

#### a. 列举出正反例,深入理解概念

正例能够使学习者对概念内容进一步认识和巩固,而反例则能使其更清楚概念外延,进而消除对认识概念内容有干扰的特征,从而达到真正理解概念。如在原电池教学中,可以利用氢氧燃料电池,铜锌双液原电池作为正例加深学生对原电池模型的建构与认识,利用 Mg-NaOH 溶液-Al 原电池作为反例明确原电池的装置要素与原理之间的内在联系。

#### b. 多元表征概念,体现概念本质

通过活动阶段感知大量素材,过程阶段深入思考问题以及对象阶段前期对正反例的认识,学生对概念已经有了一定理解,可以运用语言、符号、模型等多元化方式将头脑中的概念进行表征,体现概念本质。

#### c. 变式巩固训练,应用概念模型

在对概念用模型表征后,教师提供先易后难的真实情境陌生问题,学生通过自主解题验证概念模型,并对模型加以应用,找出认识和应用概念模型的正确思路和方法,进而巩固概念。

### ④图式阶段——融合新旧图式,形成概念模型

学生经历了前三个阶段后,在大脑中会把新知识和原有认知(旧图式)加以融合,形成新的图式对概念进行表征,进而利用新图式概括概念的内涵和外延。可以通过构建模型图或绘制思维导图等建立概念之间的联系,还可以利用表格进行归纳对比总结,分析概念间的异同点,避免混淆概念。最终,运用图式解决综合复杂的真实问题,达到对概念模型的完善和迁移应用。

## 三、结果与讨论

通过 Excel2016 和 SPSS22.0 软件对收集的后测数据进行统计分析,评价 APOS 理论指导电化学概

《电化学概念后测试题》答题情况

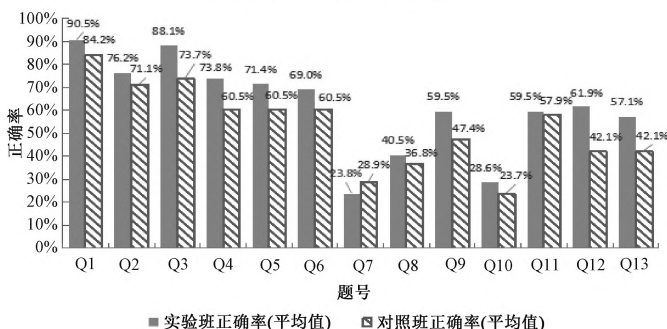


图4 电化学概念后测试题答题情况统计图

念教学的效果,重点从横向比较学生成绩、概念理解水平和化学学科能力水平的变化,以此说明基于 APOS 理论的电化学概念教学对学生概念理解水平和学科能力水平的影响。

### (一)不同教学方式对电化学概念教学的差异性分析

运用 SPSS22.0 对后测成绩进行平均数分析和独立样本 T 检验(见表3)发现,实验班和对照班的后测成绩平均值分别为 66.07 和 55.97,两个班相差 10.1 分,说明实验班对电化学概念的掌握情况要比对照班好。且  $t=2.063$ ,  $p=0.042<0.05$ ,说明教学干预后,实验班与对照班在电化学概念学习中存在显著性差异。

表3 电化学概念后测数据统计分析结果

| 班级  | 样本容量<br>(N) | 平均值<br>(E) | 标准偏差<br>(SD) | t     | p       |
|-----|-------------|------------|--------------|-------|---------|
| 实验班 | 42          | 66.07      | 18.689       | 2.063 | 0.042 * |
| 对照班 | 38          | 55.97      | 24.904       |       |         |

注: \*  $p<0.05$ 。

另外,运用 Excel2016 分析后测数据得出电化学概念后测试题答题情况统计图(如图4),可以看出除 Q7 外,其余题项实验班的正确率均明显高于对照班,说明基于 APOS 理论的电化学概念教学可以促进学生对电化学概念的认识,Q3、Q9、Q12 和 Q13 的差距尤为显著,考查内容为常见原电池中电子的移动方向、正负极的判断、简单设计以及原理的应用,对学生系统认识电化学概念和综合应用电化学模型的要求较高。由此说明基于 APOS 理论的电化学概念教学能够让学生形成系统的电化学认识模型,建立解决综合复杂问题的视角和思路。

### (二)基于 APOS 理论的教学对电化学概念理解水平的影响

通过图5的数据发现教学干预后,两个班的复杂应用水平差距较大,识记理解水平差距次之,简单应用水平差距最小。由化学教育目标的分类依据说

概念理解水平统计分析

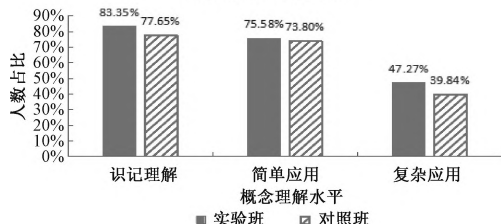


图5 电化学概念后测试题概念理解水平分布图

明识记理解水平对学生的要求最低,仅需要学生达到知道、记忆和理解水平,简单应用水平次之,要求学生能够对概念举一反三,明确概念的应用范围和应用条件,并能根据对概念的理解分析和解决简单问题,综合应用水平要求最高,不仅要求学生能够理解概念的内涵和外延,还需要熟知概念间的联系,建立概念图式,并解决复杂的化学问题。对学习基础一般的学生来说,教学模式的不同,对学生的复杂应用水平影响最大,因为对于辨识、记忆类型的题目,学生只需记住概念,不需了解概念的本质和外延,传统教学模式完全满足识记简单应用水平的要求,与图5结果相吻合。APOS理论的教学模式注重学生的主体性,教学活动多元化,注重学生主动构建图式,所以在教学过程中学生不断在活动中感受和内化概念的外延,促进理解概念的本质,并将其通过过程阶段举一反三,明确概念的外延,将概念不断应用在简单化学问题中,提升学生对概念的理解水平,则与传统教学模式所达到的效果出现显著差异。复杂应用水平对学生的已有知识水平要求较高,需要学生把握概念间的内在关联,对于学习基础差和思维能力弱的学生来说,要想显著提高复杂应用水平是一个比较漫长的过程,需要教师不断在教学过程中渗透先进的教学理念,提供情境素材,让学生多在复杂变式题型中运用概念,达到综合应用概念的水平。

(三)基于APOS理论的电化学概念教学对学科能力水平的影响

由图6可知,基于APOS理论的电化学概念教学可以有效提升学生的学科能力水平。B1、B3和C2的差异尤为显著。说明基于APOS理论的概念教学对学生应用实践能力和迁移创新能力的提升效果明显优于传统教学模式,对学习理解能力的影响程度差异较小,因为对学习理解能力考查的题型为描述性题目,不需要分析和解释,学生善于作答,再加上高一对简单原电池的装置组成和工作原理进行了学习,学生的已有认知会对新知识的学习起促进作用,理解更容易,并且原电池和电解池的装置维度就相差有无电源,容易判断。正如杜宾斯基所说,APOS

化学学科能力水平统计分析图

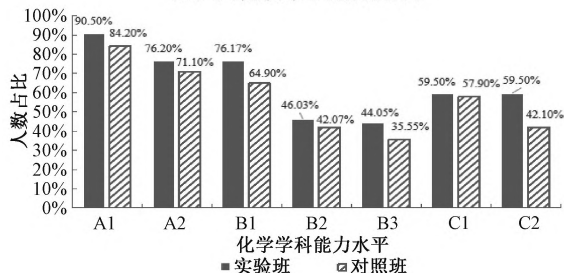


图6 电化学概念后测试题学科能力水平分布图

理论指导概念教学的实质是关注学生的心理机制,引导学生不断建构概念图式,让学生深度理解概念,从而锻炼学生系统认识电化学概念的能力,使学生能够全面合理地分析解释电化学问题,提升学生的化学学科能力。因此,在电化学概念教学中,不能一味地让学生机械地记住概念,而要注重学生对电化学认知模型的建构,培养学生解决电化学问题的思路和方法,提升学生主动分析问题、解决问题的能力,要重视教学方法与策略的选用,注重总结与反思学生的困惑点,做到对症下药,击破难点,对知识点的分析要由表及里,让学生完全理解概念,并熟练应用概念。

#### (四)讨论

通过以上分析发现,实践结果基本达到了一定的预期,证明了APOS理论在电化学概念教学中的应用价值。然而难免保证所有数据与预期设想相吻合。

正如Q7的正确率对照班高于实验班。其原因是第7题考查陌生原电池的离子移动方向和离子移动的原因,其中理由段CD选项描述均正确,较多学生没有看到试题作答说明,将单选题选了两个选项,降低了整体正确率。就问题段而言,实验班的正确率为50.0%,高于对照班的47.4%,说明实验班学生能够结合常见原电池正确判断出正负极,结合阳离子移向正极,阴离子移向负极的规律分析解释Fe—HCl(溶液)—C电池中阴阳离子的移动方向,但由于实验班有8名同学在理由段选择了CD,对照班仅有1名,导致实验班第7题的两段正确率比对照班低5.1%。说明学生对题目所问的离子移动方向和D选项所表达的离子移动的原因产生了混淆。

就学科能力水平而言,达到迁移创新能力水平的人数比应用能力水平的多。由于Q4、Q7、Q8、Q9和Q10应用能力水平的B1、B2和B3,Q11、Q12和Q13对应迁移创新能力水平的C1和C2,Q7理由段出现了很难排除的干扰选项,Q8为电学的相关计算题,需要用到物理学中所学的电学知识,属于学生的弱项,60%以上的学生无法将生成物的物质的量之比与转移的电子数正确关联,Q9和Q10不仅考查原电池和电解池的设计,还包括氧化还原反应方程式的书写,需要学生具备抽象思维和逻辑思维。但在平时教授过程中发现,学生们化学基础一般,三重表征能力不高,对化学方程式和电极方程式的书写存在困难,抽象思维和逻辑思维比较欠缺,虽然实验班学生已形成电化学认识模型,但逻辑思维还有待提升,导致正确率偏低,对应学科能力较弱。相比而言,Q11、Q12和Q13属于电学综合应用类题目,难度系数中等,学生只要记住原电池和电解

池的工作原理以及课堂中所讲到的原理应用题,就可以选出正确答案,不需要用符号表征电极方程式,对逻辑思维和抽象思维能力要求比 Q9 和 Q10 的低,所以学生正确率比 Q9 和 Q10 高,对应的化学学科能力所占人数比例则大。综上所述,将 APOS 理论融入电化学概念教学可以有效提升学生的学习成绩,对学生的概念理解水平和学科能力水平有促进作用,且对简单应用水平、分析解释能力和系统探究能力的提升效果最明显。

#### 四、研究结论与展望

##### (一) 研究结论

APOS 理论作为抽象概念教学的理论之一,将其四阶段模型作为教学设计主线,渗透建模教学过程,开发了符合学情的电化学教学案例并实施。实施结果表明:

(1) APOS 理论指导电化学概念教学需融入建模教学可以彰显其功能价值

基于 APOS 理论进行电化学概念教学时,需要根据学生的认知特点和思维内化过程,将 APOS 理论的四阶段与建模教学四环节相融合,形成电化学概念教学理论指导框架,为开发教学设计提供理论依据,在图式阶段最终形成的概念认识模型还可以评价学生掌握化学概念的程度。APOS 理论的四阶段不是独立存在的,它们之间没有明显的划分界限,特别是对于建模教学来说,对象和过程阶段都会融合活动阶段,图式阶段也会交替出现在过程阶段或对象阶段。因此,将 APOS 理论应用在化学概念教学时要根据教学内容选择符合学生思维认知发展规律的教学策略与原则,根据概念属性的不同调整教学策略和四阶段的顺序,但要保证 APOS 理论四阶段的整体性及循序渐进性,且要突出学习者的主体性,力争将 APOS 理论灵活高效地应用到抽象概念教学中,体现 APOS 理论指导化学概念教学的价值,让学生思维能够深度参与,实现深度学习。

(2) APOS 理论教学可以有效提高学生概念理解水平和学科能力水平

APOS 理论是基于建构主义所发展起来的一种概念学习理论,对抽象概念的学习具有一定的促进作用。从后测数据的分析结果来看,两个班的学习成绩、概念理解水平和学科能力水平在教学干预后有显著差异。说明基于 APOS 理论的电化学概念教学对提升学生的概念理解水平和化学学科能力水平效果比传统教学显著,可以增进学生对原电池和电解池概念的理解。同时也可以看出基于 APOS 理论的概念教学过程对学生学习概念的思维变化历程展现得淋漓尽致,其中图式的建构、完善和应用过程也

能发展学生的模型认知素养。

##### (二) 研究展望

从实践结果可以看出基于 APOS 理论的教学对学习电化学概念有促进作用,但纵观整个研究过程,由于 APOS 理论在化学概念教学中的应用处于探索阶段,且加上个人能力及客观条件的限制,在理论研究与实践探索方面还有许多不足及待改善的地方。因此,后续研究将从以下三个方面进行改进:①结合学情差异优化教学设计。②保证质性研究与量化研究相结合的同时,增加样本量,为 APOS 理论在化学概念教学中的应用提供更强有力的支撑。③将 APOS 理论应用到其他化学概念教学和化学实验教学中,开发相应的教学设计并实施,拓展 APOS 理论在化学教学中的应用范围。

#### 参考文献:

- [1] Dubinsky E. Actions, Processes, Objects, Schemas (APOS) in Mathematics Education[J]. Encyclopedia of Mathematics Education, 2014:8-11.
- [2] Arnon I, Cottrill J, Dubinsky E, et al. From Piaget's Theory to APOS Theory: Reflective Abstraction in Learning Mathematics and the Historical Development of APOS Theory[M]. Springer: New York, 2014.
- [3] 许云蕾. 电化学概念量表的开发与应用[D]. 济南:山东师范大学, 2019.
- [4] 王磊, 支瑶. 化学学科能力及其表现研究[J]. 教育学报, 2016, 12(4):46-56.
- [5] 胡久华, 罗滨, 陈颖. 指向“深度学习”的化学教学实践改进[J]. 课程·教材·教法, 2017, 37(3):90-96.
- [6] 吴嘉媚. 巧设实验深度探究原电池的教学设计[J]. 教育与装备研究, 2022, 38(9):13-16.
- [7] 王祥海. 基于核心素养下化学概念教学的有效策略[J]. 教育与装备研究, 2022, 38(12):23-26.

【作者简介】陈娟娟, 甘肃省临洮中学二级教师; 莫尊理, 西北师范大学化工学院教授, 博士生导师; 东雪芳, 西北师范大学化学化工学院在读博士研究生, 漳县第二中学一级教师。

【原文出处】摘自《教育与装备研究》(京), 2023. 11. 27~35

【基金项目】本文为中国化学会化学教育委员会“十四五”规划 2021 年重点课题“新教育理念下化学课程资源开发与实践研究”(课题批准号:HJ2021-0039); 甘肃省教育科学“十四五”规划 2023 年度一般课题“基于 HPS 模式促进高中化学概念理解的教学策略改进研究——以氧化还原反应为例”(课题批准号:GS[2023]GHB0187)研究成果。