

大概念统领的跨学科项目式学习

——以“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”为例

江合佩

林艺玲

【摘要】遴选“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”作为真实情境,利用“变化观念”“平衡思想”学科大概念的统摄性功能,逐级拆解形成“知识关联→认识思路→核心观念”结构化认识,设计成3课时4个学习任务的单元项目式教学,激发学生主动探究的兴趣、发展学生的高阶思维,实现深度学习。

【关键词】大概念;单元教学;项目式学习;变化观念;平衡思想

一、项目教学主题分析

核心素养是学生在面对真实、陌生的和不确定的问题任务时所需要的关键能力、必备品格和正确态度价值观。化学学科核心素养一方面需要在真实问题情境下才能表现出来,另一方面也只有在分析和解决真实问题任务的过程中才能得到培养和发展。目前,项目式教学被认为是最具有核心素养融合发展效力的教学方式。^[1]项目式教学因其任务的挑战性、问题的真实性、活动的体验性往往很难在一个课时完成,因此设计单元项目式教学势在必行。STEM项目设计强调将知识蕴含于情境化的真实问题中,强调调动学生主动积极地利用各学科的相关知识设计解决方案,跨越学科界限提高学生解决实际问题的能力。^[2]STEAM教育强调跨学科整合、重视真实情境与问题解决等基本理念,与项目式学习存在天然联系。^[3]对单元进行整体设计,让学生在应用的问题解决过程中不断迁移学科知识、认识思路和方法,有助于实现学生的深度学习。^[4]在具体进行单元整体教学过程中,以大概念为统领进行单元教学,有利于教师把握教学内容的本质和关键,让具体内容的学习服务于学生学科核心素养的发展。^[5]大概念有助于达成高通路迁移,形成具体与抽象交错的复杂认知结构,不仅可以打通跨学段、跨学科的学习,而且能解决学校教育和真实世界相阻隔的问题。^[6]

(一) 项目的育人价值

“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”项目的育

人价值如图1所示。

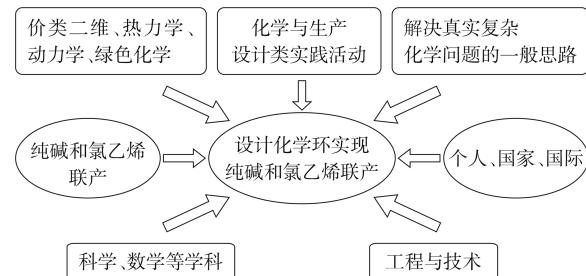


图1 “设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”项目的育人价值

项目致力于解决“纯碱”和“氯乙烯”的工业生产问题,如何在化工生产中减少能耗,并使原料得到充分利用是需要解决的问题,属于化学与生产的设计类实践活动,对于化工生产具有重要的意义。

以纯碱的生产和氯乙烯的生产为主要研究对象,探究设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产,承载了价类二维、化学热力学和动力学等必备知识,融合科学、数学和技术等相关内容,促进学生发展元素观、变化观、平衡观等化学观念,进一步建构变化观念、平衡思想等学科大概念。

将学生置身于“实现纯碱和氯乙烯联产”真实情境中,发展学生融合科学、技术、工程等解决实际问题的能力,形成解决真实复杂化学问题的一般思路,发展社会责任、国家认同、国际理解等素养,促进知、意、行的统一。

(二) 内容结构

项目涉及多个学科,其内容结构如下页图2所

示。从化学热力学和动力学视角设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产的实际转化是化学学科“化学反应原理”模块的核心知识;设计生产纯碱、氯乙烯以及两者联产的工业流程,涉及物料的循环利用、绿色化学等思想,属于工程的重要内容;如何巧妙设计融入反应条件和试剂的顺序,属于技术的问题;了解“释氨反应”“释氯反应”过程中有关的数据的处理和图表的绘制等与数学课程内容息息相关。

项目以“基于化学环分解氯化铵的纯碱和氯乙烯集成清洁工艺”^[7]为真实情境,将其设计成“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”^[8]单元项目式教学,可用于选择性必修1“化学反应原理”模块第三章单元复习当中使用。大概念抽象性强,具有高度的统

摄性,本项目选择“变化观念与平衡思想”核心素养作为主要的培育点,遴选“变化观念”与“平衡思想”这两个大概念进行统摄,将其拆解为凸显学科认识视角和思维方式的次级大概念物质转化(“价—类”二维)、能量转化(原电池、电解池等)、热力学、动力学,再将次级大概念进一步拆解为基本概念,寻找本项目涉及的具体知识进行匹配,形成了“化学环联产纯碱和氯乙烯”的大概念知识层级,如图3所示。

二、项目教学目标

通过“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”项目,对化学反应中的物质转化及能量转化、热力学、动力学、绿色化学等相关知识进行复习,帮助学生形成知识的结构化,建立学科大概念与具体问题之间

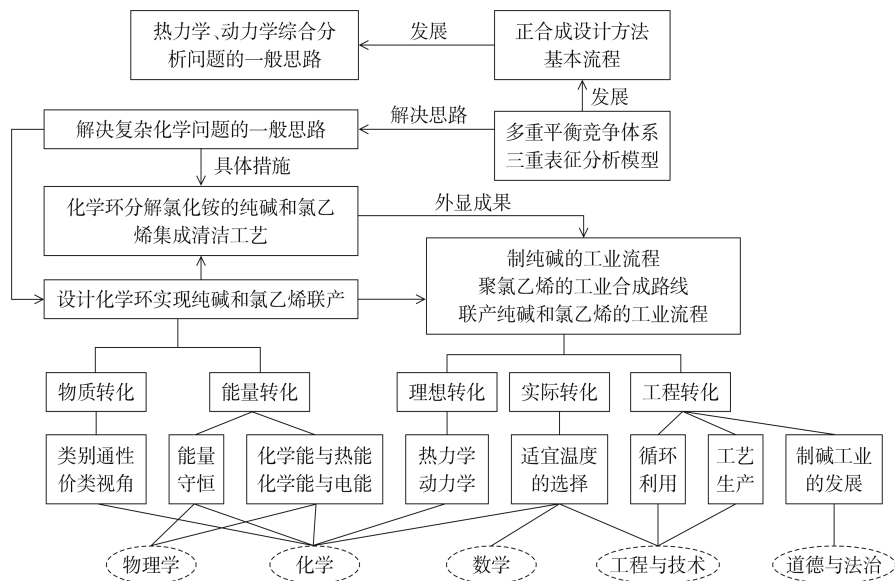


图2 “设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”项目的内容结构

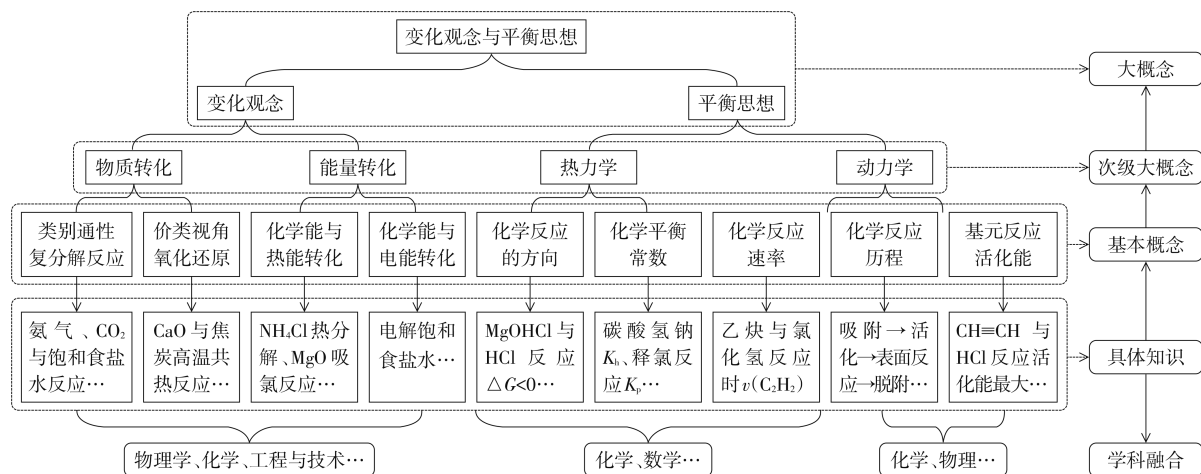


图3 “化学环联产纯碱和氯乙烯”大概念知识层级

的关联,发展学生的变化观念与平衡思想的学科核心素养,制定教学目标如下:

1. 通过“设计生产纯碱的工业流程”,帮助学生形成在多平衡复杂竞争体系中利用“价—类”二维、热力学、动力学、能量及物质循环利用等思想综合解决真实问题的能力。

2. 通过“设计生产聚氯乙烯的工业流程”,帮助学生利用逆合成分析和正合成分析系统解决陌生有机物的合成设计问题。

3. 通过“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产的理想转化”,帮助学生系统构建解决无机物和有机物耦合联产的一般思路与方法。

4. 通过“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产的实际转化”,帮助学生形成利用热力学、动力学系统调控反应条件的思路。

三、项目任务及教学流程

根据项目式教学的特点及教学目标,遴选“利用化学环联产纯碱和氯乙烯”真实情境,抽提出“变化观念”“平衡思想”大概念统摄下的学科核心知识,将其转化为对应的驱动性问题,设计了4个不断进阶的学习活动任务,让学生亲历问题的解决过程,教学流程设计如下页表1所示。

四、项目学习实施

本项目在厦门双十中学高二年级进行教学实践。由于篇幅所限,以第1课时任务1“设计纯碱的工业流程”为例呈现实施具体过程。

(一)设计制备纯碱的理想转化

【情境导入】纯碱是重要的化工产品,可用于热碱去油污;可用作缓冲剂、中和剂和面团改良剂;可用于解酸、轻泻剂;更是制玻璃的重要原料。请利用工业中常见的原料设计实现纯碱的转化。

【小组代表汇报】方案1: Na_2O_2 与 CO_2 反应;方案2: NaOH 溶液中通入少量 CO_2 ;方案3: 加热 NaHCO_3 固体粉末。

【小组互评】方案1中 Na_2O_2 一般由金属钠氧化获得,而钠一般是由电解熔融的 NaCl 获得,成本昂贵,不是常见的工业原料;方案2中 NaOH 一般由电解饱和食盐水获得,高耗能,不适合做原料;方案3中加热 NaHCO_3 固体没有问题,但是 NaHCO_3 本身就不是常见的工业原料,需要其他化学物质制备。

(二)设计制备纯碱的实际转化

【提供支持】制备 Na_2CO_3 根据元素守恒关键是要选取含钠元素和含碳元素的化学原料,自然界中含钠元素最广泛的化学物质应该是 NaCl ,含碳元素来源最广泛的应该是 CO_2 ,此时要获得纯碱需提供碱性环境,刚刚同学们已经注意到了选择 NaOH ,那还有没有其他成本低廉、来源广泛的碱呢?请同学们以小组为单位设计生产纯碱的工业流程,以“物质A $\xrightarrow{\text{物质B}}$ 物质C”框图形式表示。

【学生】小组讨论并汇报。

(三)评价设计方案的优劣

【教师点评】请设计方案1的小组分析为什么要使用饱和食盐水?为什么先通 CO_2 再通入 NH_3 呢?

【方案1小组】使用饱和食盐水, Na^+ 浓度可以达到最大;先通 CO_2 再通入 NH_3 有助于产生大量的 CO_3^{2-} ,最终获得目标产品 Na_2CO_3 。

【提供支持】下页表2为该研究中涉及的几种盐的溶解性数据

【教师点评】请设计方案2的小组同学分析为什么先通入 NH_3 再通入 CO_2 ,为什么获得的是 NaHCO_3 而不是 Na_2CO_3 ?

【方案2小组】因为 NaHCO_3 的溶解度远小于 Na_2CO_3 ,先通入 NH_3 再通入 CO_2 有助于增大 HCO_3^- 浓度并避免最终生成 CO_3^{2-} ,有利于 NaHCO_3 析出。

【教师追问】请试着分析溶液中的物质组成、相互作用及作用结果,从微观角度揭示反应的实质。

【方案2小组】

见图4。

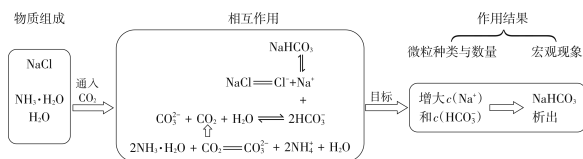


图4 方案2原理分析

【思维建模】分析电解质溶液中多重平衡竞争体系的一般思路方法如图5所示:

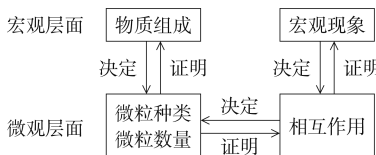


图5 多重平衡竞争体系“宏观—微观—符号”三重表征分析模型

表 1 “设计化学环联产纯碱和氯乙烯”项目流程设计

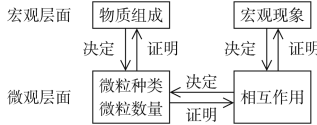
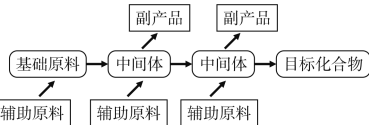
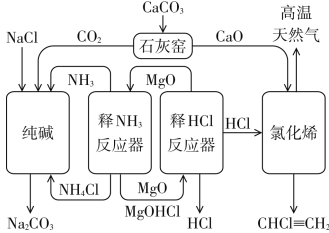
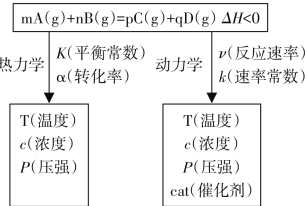
第 1 课时				
项目任务	项目活动	项目驱动性问题	项目推进的教师支持	项目涉及的核心知识
任务 1:设计生产纯碱的工业流程	活动 1:设计制备纯碱的理想转化	如何设计方案利用常见原料制备纯碱?	提供纯碱在工业生产及生活中的应用介绍	利用“价—类”二维实现目标转化
	活动 2:设计制备纯碱的实际转化	如何选择更廉价易得的原料制备纯碱?	提示元素守恒及廉价易得的思维角度	利用“多快好省”工程思维实现转化
	活动 3:评价设计方案的优劣	如何利用溶解度数据、平衡移动思想优选方案?	提供反应中涉及的盐的溶解度数据	多重平衡体系的分析思路: 
	活动 4:优化流程得出侯氏制碱法	如何优化流程并提高 NaCl 的利用率?	提供氯化铵在不同温度下的溶解度	
第 2 课时				
任务 2:设计合成 PVC 的路线	活动 1:设计合成 PVC 的路线	设计以石灰石和氯化氢为原料制备聚氯乙烯的合成路线	提供聚氯乙烯在工业生产及生活中的应用介绍	有机合成设计思路: 
任务 3:设计化学环实现联产	活动 1:设计化学环实现纯碱和 PVC 联产	如何实现上述流程中副产物 CO ₂ 和 Ca(OH) ₂ 的综合利用?	$\text{HCl} + \text{MgO} \xrightarrow[570^{\circ}\text{C}]{350^{\circ}\text{C}} \text{MgOHCl}$	原子利用率及循环利用: 
第 3 课时				
任务 4:通过热力学动力学调控反应	活动 1:调控释氨反应	分析释氨反应的适宜温度	提供释氨反应涉及的 4 个热化学方程式、ΔG 随温度变化曲线	利用热力学、动力学综合分析问题的思路: 

表 2 几种盐的溶解性数据

物质	NaCl	NH ₄ HCO ₃	NaHCO ₃	NH ₄ Cl	Na ₂ CO ₃	(NH ₄) ₂ CO ₃
溶解度/g(20℃,100g H ₂ O)	35.9	21.7	9.6	37.2	21.5	100

【教师点评】请设计方案 3 的小组同学分析为什么
要增加石灰石煅烧获得 CO₂ 这一环节呢?

【方案 3 小组】实际工业生产过程中从空气中捕
获富集 CO₂ 成本较高,但是确实是未来发展的重要
方向。从目前的实际情况来看,利用廉价易得的石
灰石获取 CO₂ 是比较适宜的方案。

【教师点评】请设计方案4的小组同学分析通入 CO_2 副产品为什么还有 NaCl 呢?

【方案4小组】根据图4分析模型,母液中一定还存在大量的 Na^+ 和 Cl^- 。

【教师追问】方案2~方案4都注意到了 CO_2 的循环再利用问题,母液中的 NH_4Cl 和制备 CO_2 产生的副产品石灰乳怎么实现综合利用呢?

【生】将石灰乳与母液进行混合加热即可得到 NH_3 ,将其循环利用,实现再生。

【教师】请同学们进一步完善设计方案,接下来请小组代表进行展示。

【学生】小组讨论并汇报。

(四) 优化流程得出侯氏制碱法

【教师追问】该工业流程是1867年比利时化学家索尔维设计的,因此被命名为索尔维制碱法,该法食盐利用率只有72%~74%,为什么食盐利用率较低?如何优化流程并提高 NaCl 的利用率?

【提供支持】表3为氯化铵在不同温度下的溶解度。

【小组汇报1】母液中含有大量 NH_4^+ 和 Cl^- 以及高浓度的 Na^+ 和 HCO_3^- ，“灰蒸”过程只实现了 NH_4^+ 的回收利用, Na^+ 和 Cl^- 等都随废液排放,因此 Na^+ 和 Cl^- 利用率较低。

【小组汇报2】要提高食盐的利用率,循环利用母液很重要。可通过补充氨气、食盐和 CO_2 提高母液中 Na^+ 和 HCO_3^- 的浓度生成 NaHCO_3 ,但是溶液中大量的 NH_4^+ 和 Cl^- 不利于该过程,尤其是高浓度的 Cl^- 使得添加的食盐难以溶解。根据表2的数据, NH_4^+ 浓度过高会析出碳酸氢铵。利用表3的溶解度随温度变化的数据,可通过降温使得 NH_4Cl 盐析脱离体系实现目标。

【教师】请同学们在索尔维制碱法基础上根据刚才的讨论的结果用图式将新的工业流程绘制出来。

【作品展示】如图6。

【教师点评】刚刚同学们自主设计出的流程就是侯氏制碱法,食盐利用率可达98%。该法是在特殊

历史时期巧妙设计加入试剂的顺序和反应条件,调控多个平衡发生移动,同时实现循环利用母液、补充原料和联产有价值副产物氯化铵等多个目标,体现工程技术与平衡思想耦合的创造性应用。

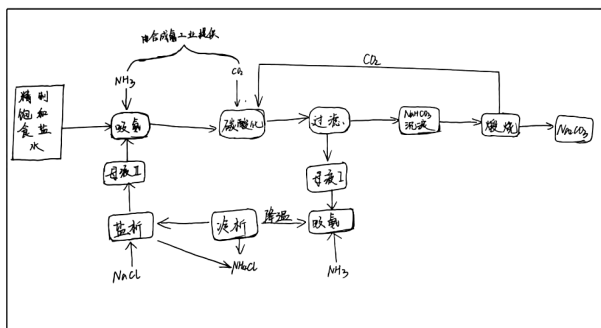


图6 优化后的工业流程

(五) 项目成果展示

本项目以“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”为真实情境,抽提出设计物质转化的一般认识思路与方法,如图7所示。

【作品展示】

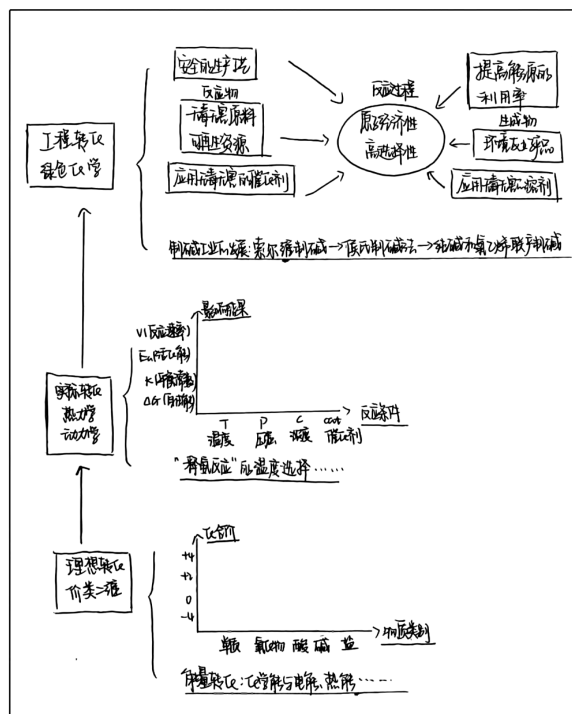


图7 学生的项目作品

表3 氯化铵在不同温度下的溶解度

$t/^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70
溶解度/ $\text{g}(100\text{g H}_2\text{O})$	29.4	33.2	37.2	41.4	45.8	55.3	65.6	71.2

五、项目教学效果及反思

本项目通过设计4个不同复杂程度的学习任务,在大概概念统摄下设计跨学科单元项目式教学,从学生实际的认知水平出发,以期能够解决“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”前沿学术问题,发展学生的变化观念与平衡思想等化学学科核心素养。学生历经3课时的项目化学习,获得了以下成长:

(一)精心设计跨学科挑战性任务,激发了学生主动探究的兴趣

索尔维制碱法和侯氏制碱法学生在初中、高中都有所涉猎,都是从培养学生的爱国热情,激发民族自豪感的视角开展教学的。本项目不仅将侯氏制碱法的内核指向多平衡竞争体系的调控,更是将问题指向了将无机工业原料纯碱和有机工业原料聚氯乙烯联合生产这样一个真实复杂具有高度挑战性的学习任务。通过设计这一个具有挑战性的任务,将问题拆解成四个学习任务,融合科学、技术、数学和工程等思维实现设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产的理想转化和实际转化,抽丝剥茧,层层递进,最终实现问题的解决。学生在解决问题的过程中感受到了科学家创新的精髓,更是感受到了科学家解决复杂问题的一般思路与方法,将初高中必修阶段低水平的科学精神与社会责任提升到“针对某些化学工艺设计存在的多种问题,提出处理或解决的具体方案”。

(二)精心设计学习活动,发展学生的高阶思维

侯氏制碱法等问题因其综合性、复杂性,传统的教学基本都是将其设计成分析型任务,让学生利用已学的知识来解决其中涉及的化学问题。本项目直面教学中的难点问题,无论是侯氏制碱法、聚氯乙烯的合成还是联产纯碱和聚氯乙烯,都将其设计成了“设计、评价”等高阶的学习任务,让学生通过小组合作,生生互评,不断修正和完善设计方案,形成问题解决的结构化思路,发展学生的高阶思维。

(三)突出实践性,关注学生的过程体验

“设计化学环实现纯碱和氯乙烯联产”的项目融合跨学科思维,通过层层递进的问题,引导学生提出“生产纯碱”“生产聚氯乙烯”“联产纯碱和氯乙烯”

的设计思路和工业流程,在师生交流和生生交流的互动中不断完善方案,在解决单个学习任务的同时,及时帮助学生实现“知识关联”的结构化走向“认识思路”的结构化,从具体的问题解决形成解决一般问题的思路与方法。在问题的解决过程中,发展学生跨学科思维和迁移应用的能力,提升学生跨学科素养。

参考文献:

[1]王磊,陈光巨.外显学科核心素养促进知识向能力和素养的转化——北京师范大学“新世纪”鲁教版高中化学新教材的特点[J].化学教育,2019(17):9-19.

[2]余胜泉,胡翔.STEM教育理念与跨学科整合模式[J].开放教育研究,2015,21(4):13-22.

[3]崔鸿,朱家华,张秀红.基于项目的STEAM学习探析:核心素养的视角[J].华东师范大学学报(教育科学版),2017,35(4):54-61,135-136.

[4]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,2020:102,90-91.

[5]何彩霞.化学学科核心素养导向的大概念单元教学探讨[J].化学教学,2019(11):44-48.

[6]刘徽.“大概念”视角下的单元整体教学构型——兼论素养导向的课堂变革[J].教育研究,2020(6):64-77.

[7]罗蓓尔,诸奇滨,成有为,王丽军,李希.基于化学环分解氯化铵的纯碱和氯乙烯集成清洁工艺[J].化学反应工程与工艺,2015(10):449-458.

[8]江合佩.基于真实情境的项目式化学教学[M].济南:山东科学技术出版社,2019:208-230.

【作者简介】江合佩,厦门市教育科学研究院(福建 厦门 361003);林艺玲(通讯作者),厦门大学附属科技中学(福建 厦门 361005)。

【原文出处】摘自《化学教与学》(南京),2023.1.7-12,18

【基金项目】本文系全国教育科学规划2018年度课题“STEM视域下中学理化项目式学习课程实践研究”(编号:FHB180605)的阶段性研究成果。