

## 基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与 设计课程改革与实例

靳满满<sup>1</sup>, 吕志果<sup>2</sup>, 牛庆涛<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 济宁学院化学化工与材料学院, 山东 曲阜 273155

<sup>2</sup> 青岛科技大学化工学院, 山东 青岛 266000

**摘要:** 化学工业是国民经济的基础产业和支柱产业, 而化工过程开发与设计在化工生产中扮演着至关重要的角色, 是调整产业结构、优化产业布局、提高自主创新能力及发展循环经济的重要基础和支撑。本文创新性地提出基于准时制“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的教学模式, 结合环戊烯绿色催化氧化制戊二酸技术开发对化工过程开发与设计课程进行教学改革, 并构建了一种高校化工专业课程建设与产业需求精准对接的动态调整机制, 寄望为校企协同育人提供参考和借鉴。

**关键词:** Just-in-Time; 校企协同育人; 化工过程开发与设计; 教学改革

**中图分类号:** G64; O6

## Teaching Reformation and Case Study for “Chemical Process Development and Design” Based on “Just-in-Time” Dynamic and Accurate Matching Industrial Needs

Manman Jin<sup>1</sup>, Zhiguo Lv<sup>2</sup>, Qingtao Niu<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Chemistry, Chemical Engineering and Materials, Jining University, Qufu 273155, Shandong Province, China.

<sup>2</sup> College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266000, Shandong Province, China.

**Abstract:** Chemical industry serves as both a foundational and pillar sector of the national economy, with chemical process development and design playing a crucial role in chemical production. This process is essential for restructuring industries, optimizing industrial layouts, enhancing independent innovation capabilities, and advancing circular economy. This paper proposes an innovative teaching model based on “Just-in-Time” approach, focusing on dynamically and precisely aligning with industrial needs. The green catalytic oxidation of cyclopentene to glutaric acid is presented as a case study to reform the teaching of “Chemical Process Development and Design” course. Additionally, a dynamic adjustment mechanism has been developed to align university chemical engineering curricula more closely with industry demands, aiming to provide references for the school-enterprise collaborative education.

**Key Words:** Just-in-Time; School-enterprise collaborative education;  
Chemical process development and design; Teaching reform

收稿: 2024-03-11; 录用: 2024-05-06; 网络发表: 2024-09-02

\*通讯作者, Email: qingtaoniu123@163.com

基金资助: 国家自然科学基金(NSFC21978141); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2020QB025, ZR2021QB145); 济宁学院“百名卓越人才”支持计划培育项目(2020ZYRC07, 2020ZYRC03); 济宁学院教学改革研究项目(JNXY2023024, JNXY2023023)

化工行业是国民经济发展的基础行业,同时也是资源密集型高能耗、高污染产业,努力突破“卡脖子”、关键性技术,提高产业技术水平,是实现化工行业绿色健康发展的迫切任务。近年来,各地各高校正努力寻找“向应用型转变”和向建设高水平应用型大学转型发展的着力点、突破口,以增强地方高校为区域经济社会发展服务的能力、为行业企业技术进步服务的能力<sup>[1,2]</sup>。培养与区域产业结构相适应的高素质应用型人才无疑是促进区域经济发展的重要途径。其中,化工过程开发与设计作为化学工程与工艺专业的核心课程和化学工业发展的核心环节,对培养高素质应用型化工人才、推动产业升级和转型、增强社会效益具有至关重要的作用。目前,化工过程开发与设计教学面临诸多困境<sup>[3,4]</sup>,特别是无法满足技术不断创新、产业结构不断升级的现代化化工企业动态需求。如何实现高校化工专业课程建设和现代产业需求的及时、精准对接?如何构建有效的校企信息反馈机制?如何加强实践教学环节?以及如何提高人才培养质量和针对性?仍需进一步探讨和完善。

准时制“Just-in-Time”理论是一种以顾客需求为拉动,以消灭浪费和快速反应获取高效益的生产经营方式,本质是保持材料流和信息流在生产过程中的同步化,强调对市场需求的快速响应,关键要素包括准时制生产、零库存、持续改进、员工参与<sup>[5]</sup>。基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计教学模式创造性地将“Just-in-Time”理论与化工过程开发与设计教学有机融合,是一种以最新技术实践应用为导向,将理论知识与动态发展的实践操作相结合的教学方法。同时,创新性地以环戊烯绿色催化氧化制戊二酸技术开发为探针实例,对基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计教学改革创新展开研究,并构建了一种有效的高校化工专业课程建设与产业需求精准对接的动态调整机制。

## 1 化工过程开发与设计课程面临的困境及挑战

化工过程开发与设计是化学工程与工艺专业的一门专业性课程。化学工程与工艺专业培养目标之一为培养具有创新精神和实践能力的高素质应用型工程技术人才,化工过程开发与设计在其中扮演着重要角色。许多高校包括综合性大学、理工科大学及职业技术学院等纷纷开设此课程,其传统教学方法及仿真教学方法具有系统性强、成本低、安全性高的优点<sup>[6,7]</sup>,但忽视了学生创新科研精神的培养及学生的实践操作。

### 1.1 理论与动态发展的具体实践相脱节

#### 1.1.1 技术发展和教材更新速度不匹配

随着科技的发展和产业结构的不断变化,新兴技术不断涌现,传统技术逐渐衰退,化工过程开发与设计教材更新往往跟不上这种快速发展的节奏,导致理论教学内容明显滞后于实际工业生产过程。这种滞后现象和教材编写的复杂性密切相关,化工过程开发与设计教材不仅涉及基础理论知识,还需结合实际工程应用案例,因而需要既具备深厚专业理论知识,又深入了解最新工程实践的教材编者,然而,寻找具备这种双重条件的编者并不容易。另外,教材的编写和出版往往需经历相对较长的时间周期,这也导致教材内容无法及时反映最新的技术进展。

#### 1.1.2 模式化实验环节失实于工业生产的动态变化

化工过程开发与设计课程传统的虚拟式、模式化实验环节(如化工单元操作虚拟实验:流体输送、传热、精馏和吸收等)往往采用预设的实验步骤和条件,难以模拟实际生产的连续性和实时性,忽略了实际生产中多变且复杂的环境因素及实时的操作调整,进而无法反映实际生产的复杂性。

#### 1.1.3 静态的理论和模型难现工业生产的动态调整

化工过程开发与设计课程理论教学提供的静态知识和模型往往基于固定的假设和条件,难以涵盖实际生产中多种动态因素(如市场需求、原料供应、设备状况等),并且这些模型和知识通常是在特定时间和环境下建立的,随着时间的推移和环境的变化,适用性逐渐降低,难以反映实际生产过程中的动态变化和调整。

## 1.2 项目驱动式教学缺乏、低效甚至无效

### 1.2.1 师生对项目驱动式教学关注不足

传统教学模式在化工过程开发与设计课程中仍占据主导地位，许多教师习惯以讲授为主的传统教学模式，难以认可和接受项目驱动式教学<sup>[8]</sup>，进而缺乏主动尝试的积极性。另外，化工过程开发与设计课程项目驱动式教学需要学生积极参与项目、主动探索并解决问题，而许多学生习惯被动接受知识，对于在学习中突出其主体性感到陌生和不适应，进而忽视了项目驱动式教学对其能力培养和技能掌握所产生的重要作用。

### 1.2.2 教师对项目驱动式教学关键环节把握不足

项目设计与选题、项目实施及项目评估是化工过程开发与设计课程项目驱动式教学的三个关键环节。教师对关键环节把握不足主要体现在：项目选题缺乏实际的背景和意义或无法涵盖相关理论知识导致教学目标不明确；项目实施缺乏有效的指导和支持导致学习效果不佳；项目评估缺乏明确和具体的评估标准或缺乏多样性和客观性的评估方式导致项目评价流于形式。

### 1.3 有效校企信息反馈机制的缺失

校企之间缺乏有效的信息反馈机制会导致化工过程开发与设计课程教学与实际生产需求脱节，高校无法及时收集和整理企业产业技术需求和市场变化信息，从而无法对现有化工过程开发与设计课程教学内容进行优化和更新，进而影响教育与产业的协同发展及人才培养的实用性和针对性。

## 2 基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计教学改革措施

### 2.1 促进理论与动态发展的具体生产实践相结合

#### 2.1.1 建立并维护高质量横向课题库

通过线上或线下的方式定期组织教师进行充分的交流与研讨，了解教师在研或结题的横向课题的背景、目标、进展及其成果，探讨将其应用于化工过程开发与设计项目驱动式教学的可能性，并将潜在课题的基本信息如研究团队、合作企业、拟/已解决的关键科学问题、研究目标等情况记录在册。另外，课题库需要持续更新，以确保其时效性和动态性。

#### 2.1.2 制定课题筛选标准，锁定项目驱动式教学案例

综合考虑化工过程开发与设计课程教学目标、横向课题自有特点及学生参与意愿等，制定明确的横向课题筛选标准(表1)，进而锁定项目驱动式教学案例。

表1 化工过程开发与设计项目驱动式教学案例部分筛选标准

筛选标准	具体描述	评价
现有资源条件下能否实现?	-	
是否低成本、安全、绿色环保?	-	
教学价值	能否帮助学生深入理解课程的基本原理及方法?	
学生参与度	是否适合学生参与? 能否调动学生的主观能动性	
时间安排	能否在规定学时内完成?	
创新性和实用性	是否具有创新性和实用性?	
...	...	

#### 2.1.3 邀请企业专家参与教学，传递行业前沿知识

企业专家在实际工作中往往积累了丰富的实践经验，并对行业的前沿技术和最新发展有深入的了解，他们将自己的实践技能和前沿知识传授给学生，不仅能够激发学生的学习兴趣和好奇心，而且有利于学生主动将理论知识与实际工作情境相结合，提升其高阶思维能力。

### 2.1.4 深入企业一线，动态精准对接产业需求

化工过程开发与设计理应也必须服务于实际生产，其技术开发与工艺设计都需要与市场需求和产业发展紧密结合。通过组织学生到企业实习、参观、实验，让学生亲身参与企业的生产实践，学生根据企业提供的实际生产数据和工程案例进行开发与设计，实现化工过程开发与设计学习与市场需求和产业需求的精准对接。

## 2.2 构建有效校企信息反馈机制，同步共享信息

### 2.2.1 组建信息反馈团队

从学校和企业分别选择沟通能力好、专业知识扎实的人员组建信息反馈团队，高校根据信息反馈团队整理和分析的企业当前技术动态、市场需求、行业发展趋势等信息及时地调整和完善化工过程开发与设计课程的教学目标及教学内容与设计。校企双方还可以就材料、场地和设备等资源的共享情况进行有效沟通，进一步促进项目驱动式教学的有效开展。此外，学生作为项目驱动式学习的主体，他们的实习、实训经历及意见和建议也是重要的反馈信息，也可以为化工过程开发与设计课程构建和教学方法改革提供重要参考。

### 2.2.2 制定信息反馈流程，搭建信息共享平台

设立专门的信息反馈渠道(如电子邮件、在线表单、线上线下会议等)，由信息反馈团队成员负责接收和处理反馈信息，并形成具体的反馈报告或建议，确保信息得到及时、准确的响应。同时，搭建信息共享平台(如交流群、校企内部网等)实现反馈信息及结果的同步交流和精准实时分享(图1)。

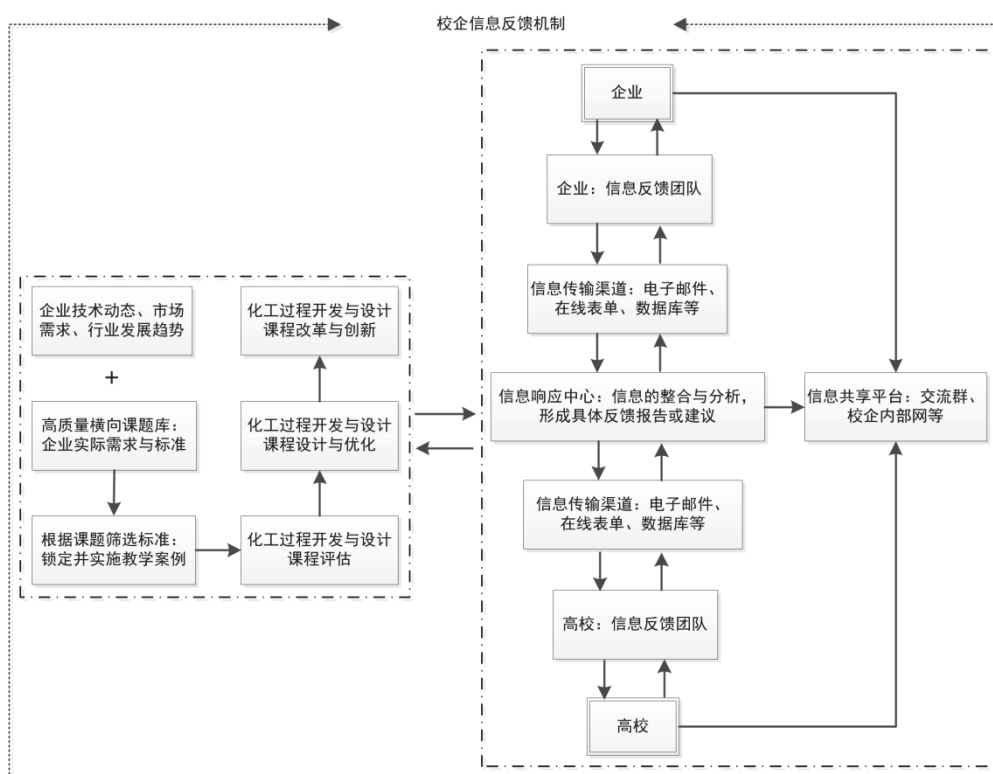


图1 校企信息反馈机制图

## 3 以环戊烯绿色催化氧化制戊二酸技术开发为例的化工过程开发与设计课程建设

戊二酸，一种重要的有机化工原料和中间体，我国需求逐年增加，当前市场价为6万/吨。目前，国内外生产戊二酸的核心工艺是以环戊烯为原料， $H_2O_2$ 为氧化剂，在催化剂催化作用下合成戊二酸，还原产物仅为 $H_2O$ ，是一条绿色环保的清洁生产路线<sup>[9,10]</sup>。但催化剂活性低、“定向”效果差造成的

戊二酸选择性低尤为化工行业所不能接受，催化体系难以回收再使用也造成工艺和经济上不可行。寻求兼具高效反应、高效定向选择和高效分离回收循环再使用性能的“定向”催化体系及高效工艺路线是环戊烯制戊二酸企业目前迫切需要解决的关键问题。基于“Just-in-Time”理论保持材料流和信息流在生产过程中同步化的本质及其强调对市场需求快速响应的特点，以环戊烯绿色催化氧化制戊二酸技术开发为实例的化工过程开发与设计课程改革以戊二酸企业技术难点及科研热点为切入点，将行业痛点问题与前沿科技成果有机融入到化工过程开发与设计课程中，寄望实现企业产业技术需求和市场变化信息在教学过程中的同步化。

### 3.1 催化剂设计

设计了一种新型双壳层限域双维Mo物种催化剂Mo@B@Mo@A (图2)，双层结构中双维Mo物种的协同作用可有效改善反应物/产物分子的扩散、避免活性组分的浸出，并可通过捕获反应中间体调节反应方向，为戊二酸的高效选择和可循环催化剂的设计提供了可能和思路。

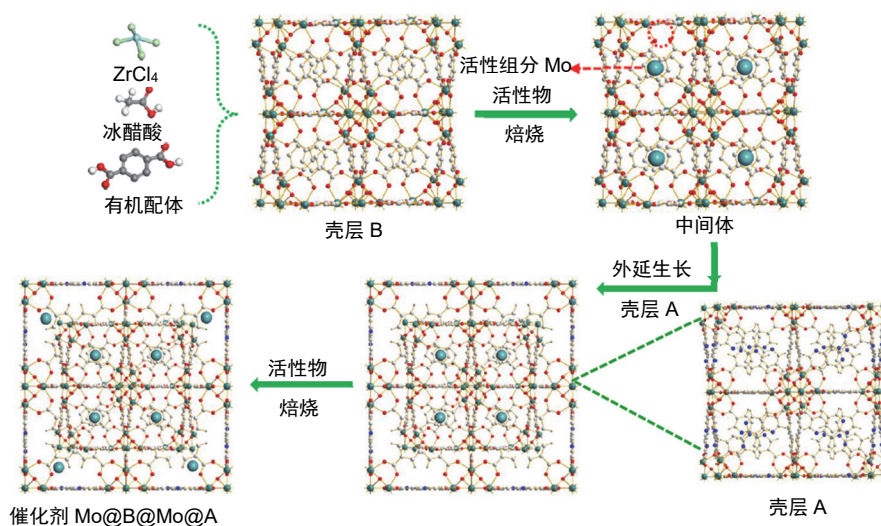


图2 催化剂设计示意图<sup>[11]</sup>

### 3.2 多因素正交实验设计

环戊烯绿色催化氧化制戊二酸实验条件、各因素水平分别为：因素 $H_2O_2$ 与环戊烯摩尔比3:1、4:1、4.2:1、4.4:1、4.6:1；反应温度60、70、80、85、90 °C；反应时间6、6.5、7、8、9 h；催化剂用量0.04、0.06、0.08、0.10、0.12 g。此实验4个因素5个水平，可选用正交表 $L_{25}(5^6)$  (表2)，此表可安排6个因素，尚空2列。根据正交实验结果，各因素水平做如下选择： $H_2O_2$ 与环戊烯摩尔比为4.2:1，反应温度为85 °C，反应时间为6 h，Mo@B@Mo@A用量为0.10 g，最优设计为 $A_3B_4C_1D_4$ 。

### 3.3 反应动力学数据估算

正确模拟化学反应器的前提是准确估算其动力学参数。图3为环戊烯绿色催化氧化制戊二酸动力学模型，其中，A、B、D、E、F、G分别代表环戊烯、 $H_2O_2$ 、环氧环戊烷、戊二醛、戊二酸、1,2-环戊二醇， $k_{1-5}$ 代表反应速率常数。

反应速率方程：

$$r_A = -k_1 C_A C_B \quad (1)$$

$$r_B = -k_1 C_A C_B - k_2 C_B C_D - k_3 C_B C_E - k_5 C_B C_G \quad (2)$$

$$r_D = k_1 C_A C_B - k_2 C_B C_D - k_4 C_D \quad (3)$$

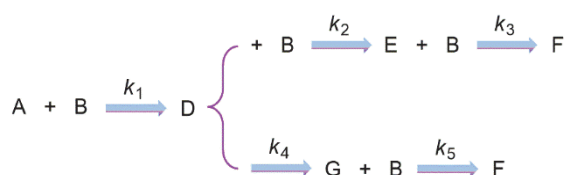
$$r_E = k_2 C_B C_D - k_3 C_B C_E \quad (4)$$

$$r_G = k_4 C_D - k_5 C_B C_G \quad (5)$$

$$r_F = k_3 C_B C_E + k_5 C_B C_G \quad (6)$$

 表2 部分实验方案<sup>[11]</sup>

No.	A	B	C	空列	D	空列	实验方案
1	3:1	60	6	1	0.04	1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>
2	3:1	70	6.5	2	0.06	2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>2</sub>
3	3:1	80	7	3	0.08	3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub>
4	3:1	85	8	4	0.1	4	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub> C <sub>4</sub> D <sub>4</sub>
5	3:1	90	9	5	0.12	5	A <sub>1</sub> B <sub>5</sub> C <sub>5</sub> D <sub>5</sub>
6	4:1	60	6.5	3	0.1	5	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>4</sub>
7	4:1	70	7	4	0.12	1	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>5</sub>
8	4:1	80	8	5	0.04	2	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>4</sub> D <sub>1</sub>
9	4:1	85	9	1	0.06	3	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub> C <sub>5</sub> D <sub>2</sub>
10	4:1	90	6	2	0.08	4	A <sub>2</sub> B <sub>5</sub> C <sub>1</sub> D <sub>3</sub>
11	4.2:1	60	7	5	0.06	4	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub> D <sub>2</sub>
12	4.2:1	70	8	1	0.08	5	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>4</sub> D <sub>3</sub>
13	4.2:1	80	9	2	0.1	1	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>5</sub> D <sub>4</sub>
14	4.2:1	85	6	3	0.12	2	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub> D <sub>5</sub>
15	4.2:1	90	6.5	4	0.04	3	A <sub>3</sub> B <sub>5</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
16	4.4:1	60	8	2	0.12	3	A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>4</sub> D <sub>5</sub>
17	4.4:1	70	9	3	0.04	4	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> C <sub>5</sub> D <sub>1</sub>
18	4.4:1	80	6	4	0.06	5	A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
19	4.4:1	85	6.5	5	0.08	1	A <sub>4</sub> B <sub>4</sub> C <sub>2</sub> D <sub>3</sub>
20	4.4:1	90	7	1	0.1	2	A <sub>4</sub> B <sub>5</sub> C <sub>3</sub> D <sub>4</sub>
21	4.6:1	60	9	4	0.08	2	A <sub>5</sub> B <sub>1</sub> C <sub>5</sub> D <sub>3</sub>
22	4.6:1	70	6	5	0.1	3	A <sub>5</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>4</sub>
23	4.6:1	80	6.5	1	0.12	4	A <sub>5</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub> D <sub>5</sub>
24	4.6:1	85	7	2	0.04	5	A <sub>5</sub> B <sub>4</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>
25	4.6:1	90	8	3	0.06	1	A <sub>5</sub> B <sub>5</sub> C <sub>4</sub> D <sub>2</sub>


 图3 环戊烯绿色催化氧化制戊二酸动力学模型<sup>[11]</sup>

式中,  $r_{A-F}$ : 反应速率;  $C_{A-F}$ : 各组分浓度。

物料衡算:

$$V_t = V_0 + vt' \quad (7)$$

$$dn_A = c'vdt' - k_1 C_A C_B V_t dt' \quad (8)$$

$$dn_B = -k_1 C_A C_B V_t dt' - k_2 C_B C_D V_t dt' - k_3 C_B C_E V_t dt' - k_5 C_B C_G V_t dt' \quad (9)$$

$$dn_D = k_1 C_A C_B V_t dt' - k_2 C_B C_D V_t dt' - k_4 C_D V_t dt' \quad (10)$$

$$dn_E = k_2 C_B C_D V_t dt' - k_3 C_B C_E V_t dt' \quad (11)$$

$$dn_G = k_4 C_D V_t dt' - k_5 C_B C_G V_t dt' \quad (12)$$

$$dn_F = k_3 C_B C_E V_t dt' + k_5 C_B C_G V_t dt' \quad (13)$$

式中,  $V_t$ : 某一时刻体积;  $V_0$ : 初始体积;  $v$ : 环戊烯进料速率;  $t'$ : 任意时刻;  $c'$ : 滴加液中环戊烯的浓度。

根据(7)–(13)式及微分法得到70、85、90 °C的反应速率常数 $k_{1-5}$ (表3)。

表3 Mo@B@Mo@A催化环戊烯绿色氧化制戊二酸反应速率常数 $k_{1-5}$ <sup>[11]</sup>

温度/°C	$k_1/(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	$k_2/(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	$k_3/(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	$k_4/(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$	$k_5/(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$
70	8.2750	1.2471	13.8656	2.0142	16.3634
85	18.0305	3.4952	19.8143	7.8111	25.2519
90	20.8407	9.8361	32.6018	16.8032	37.8695

根据 $k_{1-5}$ 值及阿仑尼乌斯方程(14)–(15)式, 得到Mo@B@Mo@A催化环戊烯绿色氧化制戊二酸指前因子 $A_{1-5}$ 及活化能 $E_{1-5}$ (表4)。

$$k = A e^{-(E/RT)} \quad (14)$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT} \quad (15)$$

式中,  $A$ : 指前因子;  $E$ : 活化能;  $R$ : 气体常数;  $T$ : 绝对温度。

表4 Mo@B@Mo@A催化环戊烯绿色氧化制戊二酸指前因子 $A_{1-5}$ 和活化能 $E_{1-5}$ <sup>[11]</sup>

$A/(\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1})$		$E/(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	
$A_1$	$2.484 \times 10^8$	$E_1$	49.067
$A_2$	$9.662 \times 10^{14}$	$E_2$	97.992
$A_3$	$1.338 \times 10^7$	$E_3$	39.418
$A_4$	$2.300 \times 10^{16}$	$E_4$	105.546
$A_5$	$2.006 \times 10^7$	$E_5$	40.063

### 3.4 工艺流程设计

工艺过程包括原料进料、氧化反应、过滤及催化剂回收、结晶纯化、干燥、催化剂焙烧等(图4)。

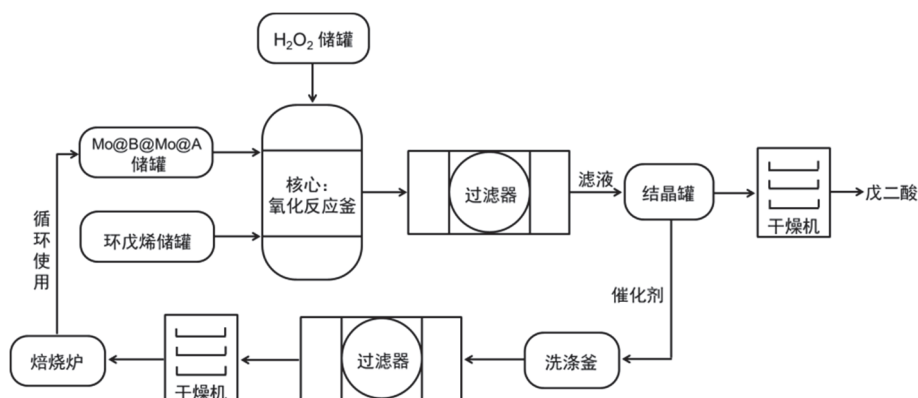


图4 Mo@B@Mo@A催化环戊烯绿色氧化制戊二酸工艺流程图

## 4 基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计课程改革成效

### 4.1 教师成效

基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计课程改革对教师专业能力的提升、教学手段的创新及教学资源的拓展十分有利。在这种教学模式下，教师不再是传统的知识传授者，而是转变为学生学习和实践的引导者和支持者，教师需要持续跟踪行业企业的实际需求及技术动态，进而不断更新自己的专业知识，并积极寻找各种教学资源来提高教学效果。同时，教师在基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计课程改革过程中，积极开展科学研究，以期将科研成果转化为教学内容，目前已发表科学引文索引(SCI)论文20余篇，授权发明专利4件(图5)。另外，教师还通过基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计课程改革，积极拓展社会服务功能，与企业建立紧密的合作关系，为企业提供技术咨询、人员培训等服务，推动了产学研的深度融合。



图5 部分教师取得成果

### 4.2 学生成效

基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计课程建设以学生为主体，以企业实际项目为基点，进行创造性的开发与设计，进而解决企业痛点问题，有助于提升学生的实践能力和就业竞争力。同时，学生还可以将所做项目发表论文、申请专利、申报大学生科技创新、创新创业和“互联网+”大赛，这对于学生科研创新能力的提升十分有利。目前，学生已发表SCI论文2篇，主持国家级创新创业训练计划项目1项，获山东省大学生节能减排社会实践与科技竞赛三等奖1项、2020年华北赛区大学生化工设计竞赛一等奖1项、第十四届全国大学生化工设计竞赛二等奖1

项、第十二届山东省大学生科技节—“京博杯”第九届山东省大学生化工过程实验技能竞赛三等奖1项、第十三届山东省大学生科技节—“京博杯”第十届山东省大学生化工过程实验技能竞赛三等奖1项(图6)。



图6 部分学生已获荣誉

## 5 结语

本文提出了基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计教学模式,以环戊烯绿色催化氧化制戊二酸技术开发为实例对化工过程开发与设计课程进行了教学改革与创新,并构建了一种高校化工专业课程建设与产业需求精准对接的动态调整机制。基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计教学强调动态调整的实践应用和持续开拓的创新思维,有助于培养更加符合市场需求的高素质应用型化工人才。基于“Just-in-Time”动态精准对接产业需求的化工过程开发与设计教学的有效益处主要体现在:(1)促使学生紧跟行业动态,提升实践能力,为未来职业生涯奠定坚实基础;(2)拓展教师教学能力和研究领域,提高教师专业素养和教学水平,增强教师科研能力和社会服务能力;(3)精准及时对接产业需求,有利于推动化工产业的技术升级和经济发展;(4)将理论知识与动态发展的实践操作相结合,有利于提高教学效果和人才培养质量。

## 参 考 文 献

- [1] 文桂林, 刘道富, 王凤武, 陈永红, 朱其永, 魏亦军, 田冬. *大学化学*, **2020**, 35 (1), 17.
- [2] 曹宝月, 李春, 刘明宝, 李燕怡, 杨强, 龚伟, 侯小洁, 周春生. *大学化学*, **2023**, 38 (3), 40.
- [3] 黄子宾, 张海涛, 李瑞江, 袁佩青, 程振民, 李涛. *化工高等教育*, **2022**, 39 (1), 86.
- [4] 张凌云, 董强, 高大明. *合肥学院学报(综合版)*, **2019**, 36 (5), 141.
- [5] 曹晓峰. *企业管理*, **2021**, No. 5, 28.
- [6] 柳荫, 陆慧丽, 张玮玮, 柴成文, 袁文霞, 常璐璐, 郭丽芳. *大学化学*, **2023**, 38 (12), 242.
- [7] 李海琴, 薛亮, 东婉莹, 杨洋. *大学化学*, **2022**, 37 (7), 2109095.
- [8] 王传林, 吴鸣. *林区教学*, **2024**, No. 2, 58.
- [9] 何龙, 冯靓婧, 陈晓丽, 马松凯. *工业催化*, **2019**, 27 (1), 67.
- [10] 杨慧, 吴鹏. *天津化工*, **2017**, 31 (3), 19.
- [11] Niu, Q. T.; Jin, M. M.; Liu, G. D.; Lv, Z. G.; Si, C. D.; Han, H. *Mol. Catal.* **2021**, 513, 111818.