

课程思政视域下物理化学大单元教学设计 ——以“宁夏煤制油”为例

董雯浩*, 马琴, 吴晓灿

宁夏大学物理学院, 银川 750021

摘要: 在大情境“宁夏煤制油”中, 以设定反应条件(温度和压力)作为大任务开展物理化学的大单元教学。通过构建主题化和结构化的知识框架, 整合热力学和动力学内容。依托国家级慕课和中英文论文等教学资源设计丰富的课型活动, 在小情境“水煤气反应”和“费托合成反应”中设计问题, 训练学生的科学思维, 提高问题解决能力。

关键词: 课程思政; 物理化学; 大单元; 煤制油; 费托合成

中图分类号: G64; O6

Large Unit Teaching Design in Physical Chemistry from the Perspective of Curriculum Ideological and Political Education: A Case of the “Coal-to-Liquids Project in Ningxia”

Wenhao Dong*, Qin Ma, Xiaocan Wu

School of Physics, Ningxia University, Yinchuan 750021, China.

Abstract: Within the overarching context of the “Coal-to-Liquids Project in Ningxia”, this study focuses on the establishment of reaction conditions (temperature and pressure) as the primary task for implementing large unit teaching in physical chemistry. By developing a thematic and structured knowledge framework, the research integrates essential concepts from thermodynamics and kinetics. Utilizing diverse teaching resources, including national-level MOOCs and scholarly articles in both Chinese and English, the study designs comprehensive classroom activities. Specific questions are formulated within the sub-contexts of the water-gas reaction and Fischer-Tropsch synthesis to enhance students' scientific thinking and problem-solving capabilities.

Key Words: Curriculum ideological and political education; Physical chemistry; Large unit; Coal-to-liquid; Fischer-tropsch synthesis

物理化学是化学、材料、能源、环境等诸多理工专业的重要基础课程, 研究物质系统化学行为的原理、规律和方法, 涵盖了从宏观到微观不同层次的普遍规律和物质特性^[1]。根据《高等学校课程思政建设指导纲要》, 理学类课程“要在课程教学中把马克思主义立场观点方法的教育与科学精神的培养结合起来, 提高学生正确认识问题、分析问题和解决问题的能力”, 并且“注重训练科学思维方法、科学伦理、培养探索未知、追求真理、勇攀科学高峰的责任感和使命感”, 将价值塑造、知识传授和能力培养三者融为一体^[2]。近年来, 物理化学的课程思政研究取得了显著进展, 众多高校的不同专业^[3-5]进行了积极探索, 成果丰硕。比如结合专业特点挖掘、融入课程思政元素^[6], 依托HPS

收稿: 2025-01-08; 录用: 2025-04-18; 网络发表: 2025-07-29

*通讯作者, Email: dongwh19@nxu.edu.cn

基金资助: 宁夏大学“课程思政”示范课程建设项目; 数理信息融合课程思政示范项目

(History, Philosophy and Sociology of Science) [7]、BOPPPS (Bridge-in, Objective, Pre-assessment, Participatory Learning, Post-assessment, Summary) [8]等教学模式, 提升学生的综合素质。

大单元教学是一种结构化的教学模式, 一般以大概概念、大项目、大任务等作为统摄中心, 构建相对独立且完整的学习事件^[9-11]。通过大单元教学进行课程思政建设, 有利于将价值塑造、知识传授和能力培养融为一体^[12]。(1) 学生沉浸在大单元的大情境中, 能够在学习经历中持续感受价值引领; (2) 大单元容易在学科内、学科间形成关联, 促进知识结构化; (3) 通过基于真实情境的问题, 训练学生的科学思维方法, 提高问题解决能力。本研究以地方产业创设大情境“宁夏煤制油”, 激发学生的学习兴趣 and 爱国情感, 通过大任务“设定反应条件”驱动学生综合学习热力学和动力学知识, 在小情境“水煤气反应”和“费托合成反应”中解决问题, 实现三维目标的融合培养。

1 创设情境

根据我国“富煤少油”的能源特点, 发展煤制油产业具有重大的战略意义。宁夏煤制油项目年产量超过400万吨, 是目前全球单体规模最大的煤制油化工项目^[13]。从起初的试图引进海外技术却受制于人, 到联合国内多家单位自主研发建设, 实现了超过98%的项目国产化率, 获得了多项国家荣誉。作为本地的真实情境, 煤制油容易引起学生的情感共鸣, 其发展过程蕴含爱国、敬业、创新、生态文明等价值观。

宁夏煤制油项目主要采用间接液化工艺, 首先通过水煤气反应将煤炭原料转化为一氧化碳和氢气的合成气, 随后在催化剂的作用下通过费托合成反应得到油品或化工产品(图1)。费托合成反应产物复杂, 碳链长度为1-50分布较宽, 包括烷烃、烯烃、和醇、醛、酸、酯、酮等含氧有机化合物^[14]。总体来说, 煤制油过程包含多种化学反应, 容易在具体的小情境中设计问题, 提高学生的问题解决能力; 在整体的大情境中建立关联, 促进结构化知识框架的形成。

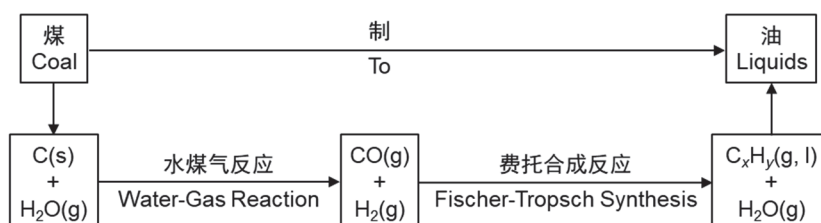


图1 煤制油情境

2 大单元教学设计

图2是在煤制油情境中的大单元教学设计, 以“设定煤制油反应条件的温度和压力”作为大任务。根据解决问题的逻辑展开为四项子任务, 分别是“发生哪些化学反应”“如何获得更多目标产物”“如何更快获得目标产物”和“热力学与动力学综合评估”。由各项子任务所需要的核心知识确定了六个学习主题, 归属于物理化学教材中的对应章节, 选取相关的教学内容。依托国家级精品MOOC、中英文论文等教学资源, 设计了不同的课型活动, 达到各个主题的教学目标(表1)。通过大单元教学设计, 使学生沉浸在煤制油情境中, 持续感受价值引领, 重构的知识框架帮助学生在多学科间建立联系, 在完成子任务的过程中训练科学思维、提高问题解决能力。

3 教学流程

依据上述教学设计, 教学流程具体如下展开。

3.1 煤制油化学反应(导引课)

根据宁夏卫视《天下第一炉》、新闻报道、中文综述论文^[15]等资源, 使学生了解宁夏煤制油的发展过程、包含的化学反应, 认同煤制油项目的实施意义, 进入情境领取大任务, 完成第一个子任务。

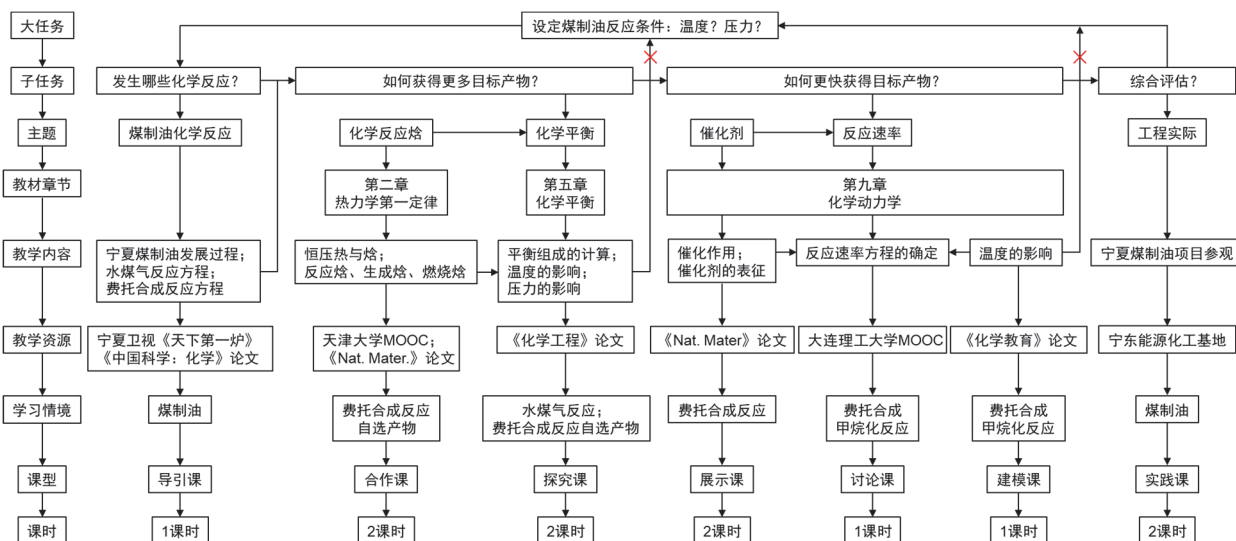


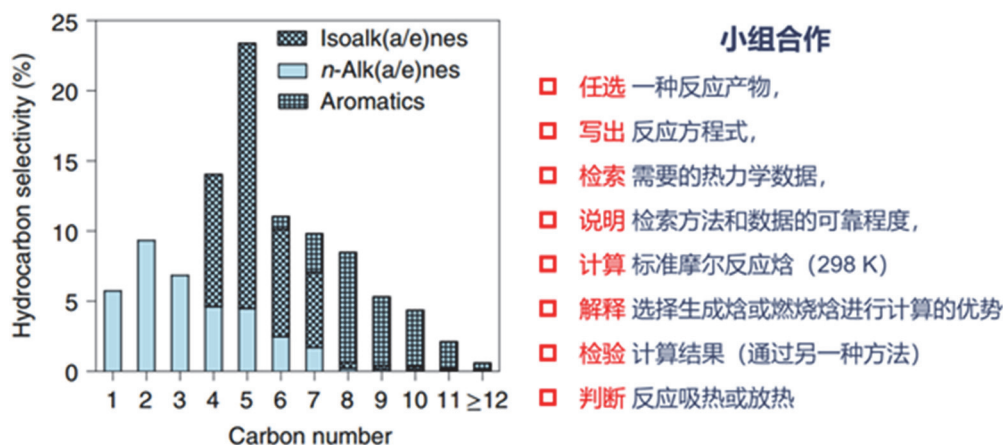
图2 大单元教学设计

表1 教学目标

标题	知识目标	能力目标	素养目标	思政元素	融入方式
1. 煤制油化学 反应	知道煤制油过程包含 的化学反应	能够概括、转述中文论文观点	认同能源安全的重要性, 激发 爱国情感, 弘扬自立自强的价 值观	价值观	地方产业 真实任务
2. 化学反 应焓	掌握化学反应焓、生成 焓、燃烧焓的概念	能够检索数据计算化学反应 焓, 判断反应吸热或放热	根据检索数据选择适合的方法 解决化学反应焓的问题	问题解 决能力	小组合作 解决问题
3. 化学平 衡及影响 因素	理解温度、压力等因素 对化学平衡的影响	能够计算平衡组成、判断平衡 移动的方向	应用控制变量法辨别化学平衡 的影响因素	科学思 维	控制变量; 温度或压力
4. 反应速 率及速率 方程	掌握反应速率和反应 级数的概念	能够通过积分法、微分法等确 定反应速率方程	根据实验数据选择适合的方法 解决反应速率方程的问题	问题解 决能力	不同方法 解决问题
5. 催化 剂的作用 与表征	理解催化作用, 知道评 价催化剂性能的方法	能够阅读学术图表提取关键信 息, 通过数据可视化表达观点	了解控制变量法在催化剂结构 和性能研究中的应用	科学思 维	控制变量; 组成或形貌
6. 温度对 反应速率 的影响	理解反应级数的特点	体验应用数学建模解决物理化 学专业问题	具有质疑意识, 认同批判性思 维	问题解 决能力	数学建模 解决问题
7. 宁夏煤 制油项目	了解煤制油项目的实 际反应条件	能够通过观察、交流获取信息, 联系已学内容进行对比	具有工程意识, 培养综合分 析反思的习惯	科学思 维	实践活 动 总结反思

3.2 化学反应焓(合作课)

根据第二个子任务, 引出热力学的相关主题。化学反应常常伴随有热的交换, 而煤制油情境常常是在恒压条件下进行的, 因此本节讨论恒压热, 即在非体积功为零的前提下, 恒压反应热也称为反应焓。学生通过MOOC学习计算化学反应焓需要的基础热数据: 标准摩尔生成焓和标准摩尔燃烧焓。在小情境费托合成反应中, 引用*Nature Materials*论文^[16]设置问题(图3), 观察产物的分布情况, 任选一种产物判断反应吸热或放热, 通过小组合作完成。


 图3 化学反应焓情境问题^[16]

3.3 化学平衡及影响因素(探究课)

化学反应的吸热或放热决定了温度对化学平衡的影响, 引出本节的学习内容。在小情境水煤气反应中, 改编教材题目^[17]设置问题(图4), 在不同条件下计算反应的平衡转化率, 归纳总结影响化学平衡的因素。迁移至小情境费托合成反应中, 由学生计算上一节自选的目标产物的平衡转化率, 并且判断温度和压力的影响, 引出定性判断与定量分析、原料比例、惰性组分、同时反应平衡等(图5)^[18], 供学有余力的同学进一步探究。

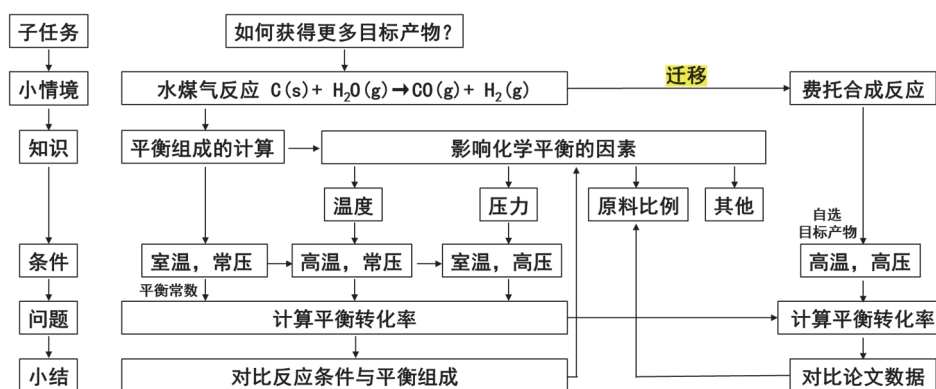
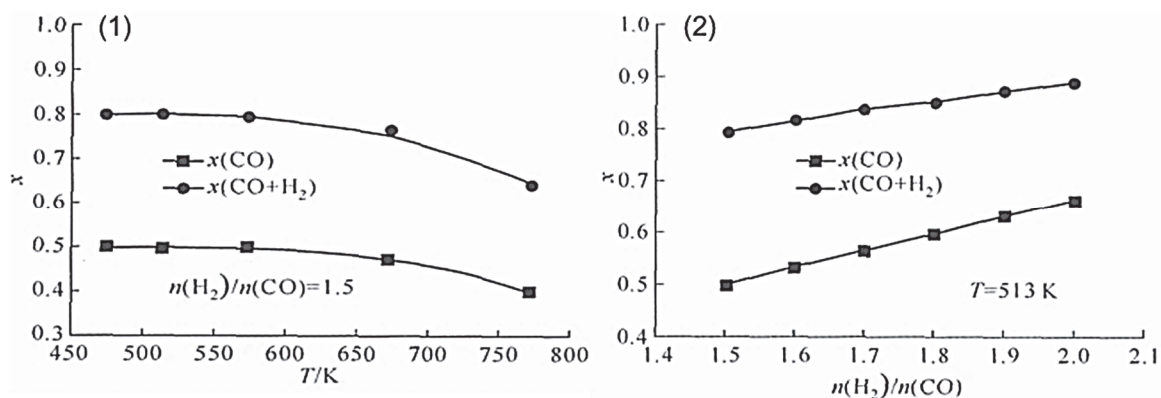


图4 化学平衡及影响因素教学流程


 图5 化学平衡的影响因素(1)温度(2)原料比例^[18]

3.4 反应速率及速率方程(讨论课)

以上第二个子任务的结果不能直接返回大任务，引出第三个子任务动力学的相关主题，即在实际生产中还需考虑反应的快慢程度。学生根据MOOC自学确定反应速率方程的方法，讨论不同方法的特点。在小情境费托合成甲烷化反应中，改编教材题目^[19]设置问题(图6)，根据实验数据选择适合的方法确定反应速率方程，并且说明依据。

甲烷化反应是一个重要的化学过程，用于从CO和H₂（它们由煤和生物质气化产生）制备甲烷。



通常，该反应运行温度为250~400°C，采用含钴、镍、铁或钨的催化剂在连续流动反应器中进行。

下表给出了3组不同起始浓度下甲烷化反应的实验结果。（可以假设在该体系中没有其他反应发生）

实验	[CO]/(mol·L ⁻¹)	[H ₂]/(mol·L ⁻¹)	初始反应速率/(mol·L ⁻¹ ·s ⁻¹)
1	0.1	0.1	0.00323
2	0.1	0.2	0.00642
3	0.2	0.1	0.01288

图6 化学反应速率情境问题^[19]

3.5 催化剂的作用与表征(展示课)

怎样加快反应速率引出催化作用，在小情境费托合成反应中，简介一种具有双壳空心球结构的金属氧化物-沸石双功能催化剂^[16]。学生通过小组合作阅读图表，了解反应物转化率和产物选择性可以作为评价催化剂性能的指标，理解控制变量法在催化剂结构和性能研究中的应用(图7)^[16]，了解图表各自的表达优势。

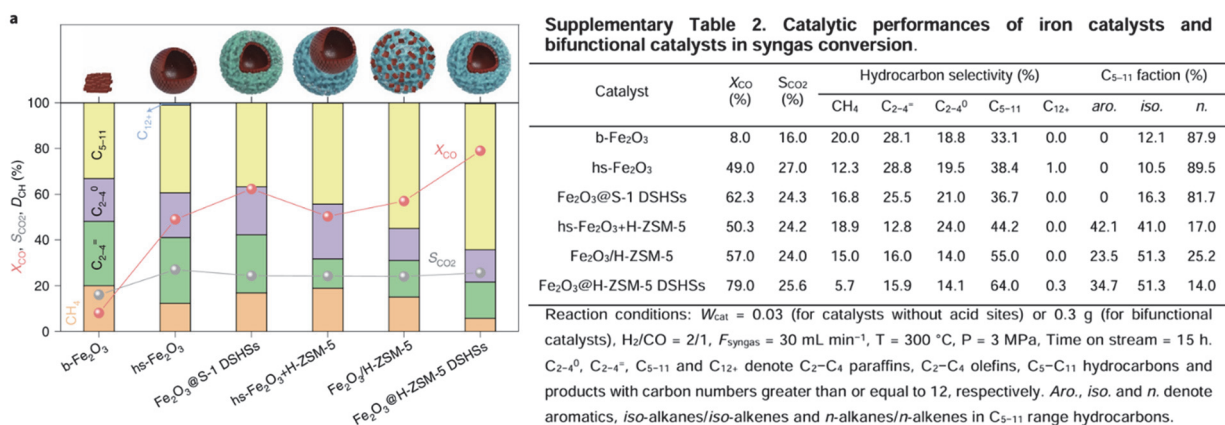
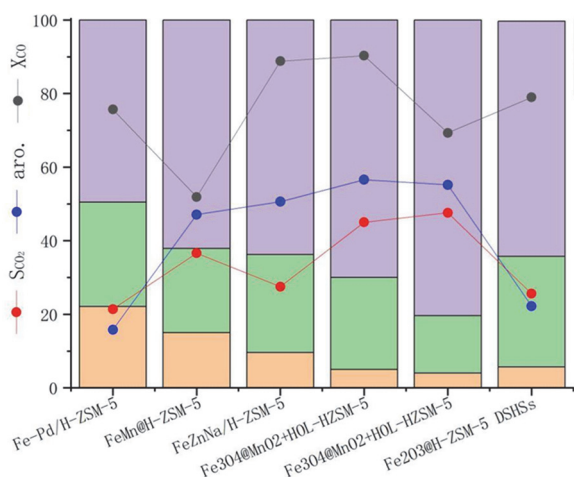


图7 双壳空心球催化剂在费托合成反应中的性能对比图与数据表^[16]

根据论文附件中的表5训练学生进行数据可视化的能力，对比目前性能最优的铁基费托合成催化剂^[16]。学生阅读表格分析数据，通过雨课堂投稿展示图片表达观点、交流讨论(图8)，有些同学注意到类汽油的组分C₅₋₁₁中芳香烃的比例较小时，作为燃料使用更加绿色环保。

3.6 温度对反应速率的影响(建模课)

由上一节论文的实验条件^[16]引出温度对反应速率的影响，验证论文中的描述“Rh催化费托反应的反应速率对于CO的反应级数高于H₂的反应级数，表明在反应气氛中增加CO的比例可以显著提高反应速率”^[20]，使学生理解反应级数的特点，体验数学建模分析解决问题的过程。



第4组
田昕妲、姚夏夏、马莹、张云
催化剂: Fe₂O₃@H-ZSM-5 DSHSS
查文献得 ①费托合成产物中 C₆~C₂₀ 馏分产量大、富含烷烃、烯烃, 对其进行充分、合理的加工利用是实现煤制油产业高质量发展发展的关键。
②大量含有混合芳烃不符合高质量柴油的环境要求, 大多数芳烃具有毒性, 芳烃含量应限制在 35% 以下。

图8 不同催化剂在费托合成反应中的性能对比图(学生作业)

根据论文数据(图9), CO的反应级数低于H₂的反应级数, 将上述文字描述转换为数学问题, “已知反应速率 v 是关于CO的比例(摩尔分数 x)的函数 $v(x)$, 则 $v(x)$ 在 $x \in (0, 1)$ 单调递减, 即 $v'(x) < 0$ ”。假设费托合成反应中最简单的甲烷化反应, 将反应速率方程中的原有变量浓度[CO]和[H₂]替换为 x 和 $1-x$, 即得到函数 $v(x)$ (图10)。随后对 $v(x)$ 求导, 由于 $x \in (0, 1)$, 则令需要判断的部分为新函数 z 。从图9中读取不同温度时反应级数 α 和 β 的数值, 计算 z 的列表, 得到该函数仅在 $T \in (500, 800)$ K满足条件。即上述论文中的描述不准确, 应添加温度条件。使学生体验批判性思维方法, 认同独立思考的重要性。

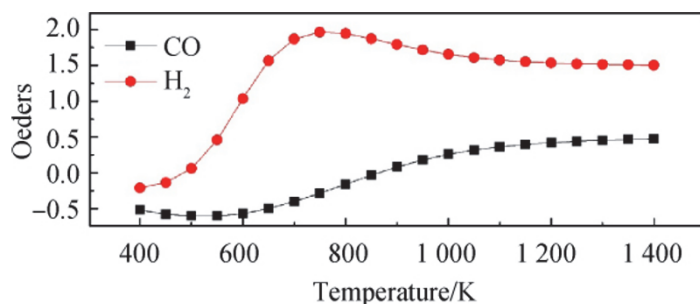


图9 费托合成反应级数随温度的变化关系^[20]

费托合成:
甲烷化反应 $\text{CO} + 3\text{H}_2 \xrightarrow{Rk} \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
条件: 原料比例 $\text{CO}:\text{H}_2 = 1:3$
压力 $p = 1 \text{ MPa}$
反应速率方程 $v = k[\text{CO}]^\alpha [\text{H}_2]^\beta$
设CO摩尔分数为 x , 则 H_2 为 $1-x$, 令 $v = v(x)$,
由浓度 $[\text{CO}] = \frac{n_{\text{CO}}}{V} = \frac{n \cdot x}{V} = \frac{p}{RT} \cdot x$,

得 $v = k \left(\frac{p}{RT} \cdot x \right)^\alpha \left[\frac{p}{RT} \cdot (1-x) \right]^\beta$
 $= k \left(\frac{p}{RT} \right)^{\alpha+\beta} x^\alpha (1-x)^\beta$
 $= k' x^\alpha (1-x)^\beta$
则 $v(x) = k' x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} (\alpha - \alpha x - \beta x)$
已知 $x \in (0, 1)$, 则 $k' x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} > 0$,
令 $z = \alpha - \alpha x - \beta x$, 验证 $z > 0$ 是否成立?

T/K	α	β	z	T/K	α	β	z
400	-0.50	-0.20	$0.70x - 0.50$	800	-0.15	1.90	$-1.75x - 0.15$
500	-0.65	0.10	$0.55x - 0.65$	900	0.10	1.75	$-1.85x + 0.10$
600	-0.60	1.00	$-0.40x - 0.60$	1000	0.25	1.65	$-1.90x + 0.25$
700	-0.35	1.80	$-1.45x - 0.35$	1100	0.40	1.60	$-2.00x + 0.40$

图10 板书设计

(左) 数学建模分析过程; (右) 不同温度时的函数 z

3.7 宁夏煤制油(实践课)

经过热力学和动力学的基本概念和原理的学习, 引出最后的子任务。通过实地参观煤制油项目, 促进学生反思理论与实际之间的联系, 培养工程意识。图11是“三阶六级水平”反思支持性框架^[21], 帮助学生激发高阶思维, 形成综合分析反思的习惯。

学后反思水平		引导问题	学生活动	评价方式	类型
一阶： 复述	1级：回忆出有价值的信息	本次任务中我学到的知识是？	整理大单元学习内容	课堂作业	形成性 评价
二阶： 关联	2级：陈述的内容有一定的结构	新知识之间有什么关系？	完成大单元思维导图	单元作业	
三阶： 转化	3级：能在新旧知识间建立关联	新知识与我已知的（含其他课程）有关系	拓展、解释思维导图	反思作业	
	4级：在所学与自我间建立联系	我想分享的经验、感受、看法是？	撰写煤制油参观总结报告	期末考试	总结性 评价
	5级：形成正确的观点或观念	选择煤制油产品中的某种目标产物，回答大任务的问题	从不同角度说明依据		
	6级：解决问题或具有自知之明		设定某个具体反应的温度和压力		

图11 “三阶六级水平”反思支持性框架

4 结语

在煤制油大单元教学中，学生运用多学科知识解决情境问题，促进了价值、知识、能力的融合培养。大单元教学设计具有较强的推广优势。(1) 情境易迁移。教师可以根据学生专业、本地特色等创设相似的学习情境，学生可以把结构化的知识框架迁移到今后的工作中去解决真实问题。(2) 框架有弹性。教师根据课程的学习目标可以删减或者拓展任务和内容，学生也可以根据自己的兴趣进行个性化学习。

参 考 文 献

- [1] Atkins, P.; de Paula, J.; Keeler, J. 物理化学. 第11版. 侯文华, 等译. 北京: 高等教育出版社, 2021.
- [2] 中华人民共和国教育部. 高等学校课程思政建设指导纲要. [2025-07-21].
http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/202006/t20200603_462437.html
- [3] 张树永. 大学化学, **2019**, *34* (11), 4.
- [4] 孙兵. 大学化学, **2024**, *39* (8), 28.
- [5] 张荣, 潘育方, 罗三来, 王丹. 大学化学, **2024**, *40* (4), 166.
- [6] 孙艳辉, 南俊民, 马国正, 何广平, 左晓希, 李国良, 林晓明. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2010015.
- [7] 陶亚奇, 朱映光, 李国华. 大学化学, **2021**, *36* (3), 2010053.
- [8] 孙博, 周晖, 刘瑞卿, 李美星, 陆峰, 范曲立. 大学化学, **2024**, *39* (12), 40.
- [9] 雷浩, 李雪. 全球教育展望, **2022**, *51* (5), 49.
- [10] 王鉴, 张文熙. 中国教育学刊, **2023**, No. 10, 5.
- [11] 刘徽, 周晴雪, 徐亚萱, 董博涵. 上海教育科研, **2025**, No. 1, 1.
- [12] 孙春红. 教育理论与实践, **2024**, *44* (26), 42.
- [13] 宁夏的一号工程: 400万吨煤制油项目带活37项国产化技术. [2025-07-21]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_2363580
- [14] 苏俊超, 刘勒, 郝庆兰, 刘星辰, 滕波涛. 燃料化学学报(中英文), **2023**, *51* (11), 1565.
- [15] 相宏伟, 杨勇, 李永旺. 中国科学: 化学, **2014**, *44* (12), 1876.
- [16] Xiao, J.; Cheng, K.; Xie, X.; Wang, M.; Xing, S.; Liu, Y.; Hartman, T.; Fu, D.; Bossers, K.; van Huis, M. A. *et al. Nat. Mater.* **2022**, *21*, 572.
- [17] 天津大学物理化学教研室. 物理化学(简明版). 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2018: 166–167.
- [18] 吴建民, 孙启文, 高腾飞, 岳建平, 庞利峰. 化学工程, **2012**, *40* (3), 30.
- [19] Rothenberg, G. 催化原理与绿色应用. 第2版. 徐华龙, 乐英红, 沈伟, 华伟明, 译. 北京: 高等教育出版社, 2020: 69.
- [20] 宋卫余, 陈露露, 杜永鑫, 苏文清. 化学教育(中英文), **2020**, *41* (10), 79.
- [21] 李昱蓉. 思想政治课教学, **2023**, No. 12, 26.