

# 情境教学下系统性思维培养研究

## ——以“CO<sub>2</sub>重整反应制甲醇”为例

上海市西南位育中学 佘城良

**摘要：**本文以“CO<sub>2</sub>重整反应制甲醇”为教学案例，基于情境教学模式，探究如何培养学生的系统性思维，以解决复杂化学实际问题。情境中尝试引入“甲醇选择性”概念，构建双平衡体系分析模型，深化学生对速率、平衡、选择性协同调控的认知，并培养其在真实工业情境中综合运用理论。研究表明，该教学模式能有效提升学生的系统性思维和复杂问题解决能力，为化学教育实践提供了可操作性方案。

**关键词：**化学教学；化工生产；CO<sub>2</sub>重整反应；核心素养；高中化学

《普通高中化学课程标准(2017年版 2020年修订)》提出：了解化学在工农业生产中的具体应用，认识化学工业在国民经济发展中的地位；认识化学科学发展对技术进步的促进作用，强化技意识。深化对化学、技术、社会 and 环境的相互作用关系的理解，化学应用必须考虑化学过程对自然带来的各种影响的意识；认同在学反应原理、化学技术的应用中必须坚持“绿色化学”的思想，形成“化学—技术—社会—环境”的基本理念。<sup>[1]</sup>本文针对化工实际生产过程的复杂性特征，以“CO<sub>2</sub>重整制甲醇”为教学载体，开展情境教学中系统性思维的培养研究。对学生而言，整合理论分析和实际分析，识别关键变量、平衡竞争因素及结合绿色化学评估技术经济可行性的系统思维能力属于高阶思维。选取合适的情境及递进式问题可以培养学生从多维度思考问题、解决复杂问题的能力，进而培养系统性思维。

### 一、 情境教学研究与设计

情境教学通过创设真实或问题导向的情境，将化学知识融入实际场景（如环保、生活应用），有效提升学生兴趣与理解深度。目前情境教学研究热点集中在多元化情境设计，例如结合社会议题（碳中和、药物合成）或生活案例（食品添加剂、清洁剂化学），建立知识迁移桥梁，或运用新兴技术等，还可以开展角色带入等强化实践能力。多数研究表明，情境教学能够显著提升学生解决问题的能力，面对复杂问题更有效培养系统性思维，但比较依赖于教师的情境设计能力与问题的设计。

本文选取沪教版高中化学必修二“化工生产”主题，二氧化碳重整反应作为教学情境，主要基于以下三点考量：首先，该反应是当前化工领域的研究热点，涉及“碳达峰”、“碳中和”等国家战略，在情境设计中融入成本控制和绿色化学理念，具有重要的教学研究价值；其次，以学生熟悉的二氧化碳为原料，合成与日常生活密切相关的甲醇产品，可有效降低学生的认知负荷；最后，该反应体系包含主副反应的竞争平衡，能够帮助学生建立多变量动态思维模型，同时培养其综合考虑反应效率和生产成本的能力。

### 二、 系统性思维培养研究

系统性思维作为一种高阶认知能力,强调从整体性、关联性和动态性角度分析复杂问题,近年来在科学教育、化学教学、工程实践等领域受到广泛关注。随着核心素养导向的教育改革深化,系统性思维的培养已成为跨学科教学的重要目标。<sup>[2]</sup>

根据学生学习化工生产章节后的实际掌握情况反馈表明:学生在学习化学反应速率与化学平衡后,虽然掌握了相关原理(如速率影响因素等),并以工业制硫酸为例进行了实践,但对知识的理解仍较为机械,着重于记忆层面,很难建立系统性思维模型。结合学生掌握程度和认识方法,在问题设计上参考下列三个维度。初级:结合已学知识分析基本要素(如温度,催化剂等对反应的影响)。中级:分析变量相关性(如温度对选择性与转化率的影响)。高级:优化系统方案(如基于绿色化学原则综合设计反应条件)。在反应条件优化环节,通过组织小组讨论和实验数据分析,引导学生探究温度、压强等关键参数对CO<sub>2</sub>重整反应制甲醇中平衡、速率及选择性三重影响规律。在方案决策阶段,要求学生从技术可行性、经济效益和节能环保三个维度进行综合权衡,制定科学合理的工艺优化方案。这种多平衡体系的复杂情境设计,不仅体现了化工生产中变量间的对立统一关系,更通过因素间的动态关联分析为学生构建系统性思维提供了理想的实践平台,对培养其综合分析能力和工程决策素养具有显著优势。

系统性思维的培养是科学教育的重要趋势,尤其在化学、工程等学科中具有广泛应用。未来需加强理论,实践结合,完善评价体系,并推动跨学科协作,以培养适应复杂问题解决的创新型人才<sup>[3]</sup>。

### 三、 教学设计思路

结合研究内容,设计以下教学过程:以“CO<sub>2</sub>重整反应制甲醇”为主题,采用“真实问题—理论分析—实际生产”的三段式架构。首先以我国“碳中和”和“碳达峰”战略导入,创设工业减排的真实情境;核心环节围绕CO<sub>2</sub>制甲醇展开,通过对比工业制硫酸的已有知识,引导学生迁移建构化工生产分析框架(原理—原料—条件)。针对反应条件优化设计递进式探究活动:先自主讨论温度,压强,浓度和催化剂的影响,再通过数据实证修正认知,最后深入探讨催化剂对选择性的特殊作用,分析双平衡体系培养多维度分析能力。课程融合化学平衡、反应速率等核心知识,并引入甲醇选择性的新指标,通过理论预测与工业实际的认知冲突,发展学生的工程思维和社会责任感。

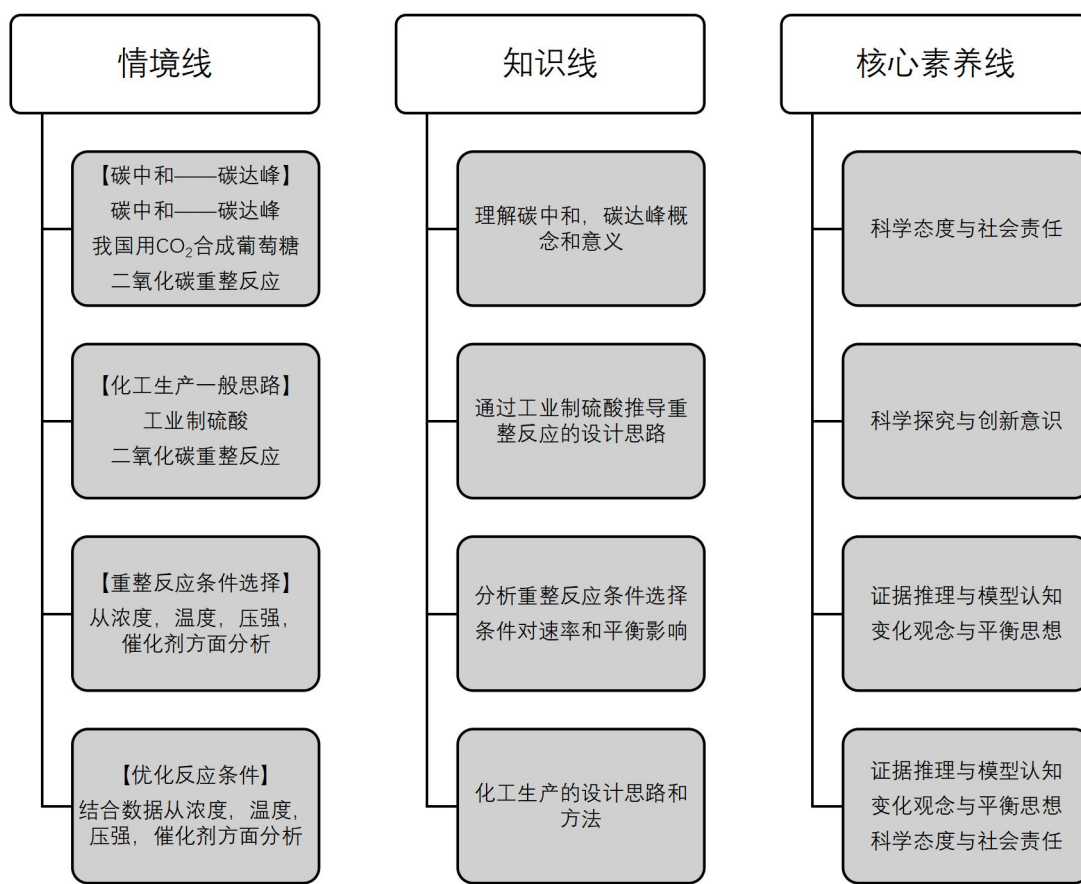


图1 教学活动与核心素养

#### 四、 教学目标与教学重难点

##### 【教学目标】

- 1、分析工业生产的生产流程并初步运用于新情境
- 2、结合绿色化学，环保和节约成本的角度，从速率、平衡、选择性的角度分析生产过程适宜的生产条件
- 3、建立化工生产设计的系统性思维框架，体会实际工业生产中多因素协同优化的科学决策方法

##### 【教学重难点】

结合数据从浓度、温度、压强、化剂方面优化重整反应的条件选择

#### 五、 教学实录

- 1、情境引入和建立

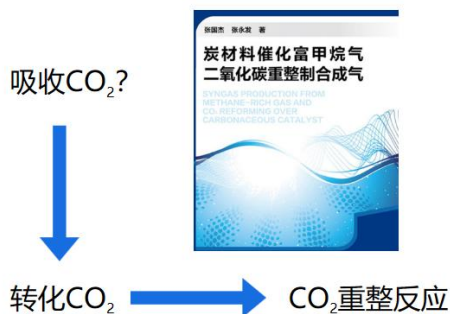
##### 【活动1——“碳中和”与“碳达峰”】

【教师】我们了解到“碳中和”与“碳达峰”对国家发展具有很重要的意义。我国矿物燃料使用量大，二氧化碳排放量大，如何处理这些二氧化碳已达成“碳中和”呢？

【学生】用碱吸收、植树造林、节能减排、转化为有用的其他化工产品。

【教师】2024年中国碳排放达126亿吨，很难用吸收的方法达成“碳中和”。但换一个角度，这些二氧化碳经过处理也可以成为来源相当广的化工原料。因此，除了植树造林等方式以外，将产生的二氧化碳进行转化成为有用的产品成为了当下的研究热点。

【教师】将二氧化碳转化为高价值化工产品，这类反应称为CO<sub>2</sub>重整反应。



例:

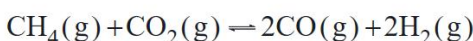


图2 达成“碳中和”研究思路

【教师】中国从二氧化碳人工合成淀粉被国际学术界认为是影响世界的重大颠覆性技术，这一成果2021年9月24日在国际学术期刊《科学》发表。而这其中的关键性一步就是利用二氧化碳重整反应合成一种优质化工原料——甲醇，化学式CH<sub>3</sub>OH。

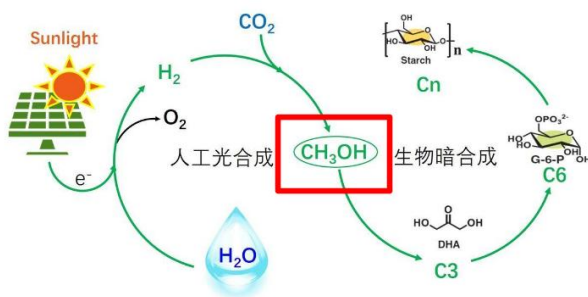


图3 二氧化碳人工合成淀粉

【设计意图】情境引入中通过师生互动和视频资源，帮助学生理解“碳中和”和“碳达峰”的概念及其现实意义。引入二氧化碳转化利用的前沿研究方向，让学生看到科技在环保中的重要作用，激发学习兴趣和社会责任感。整个教学过程注重联系实际，同时让学生意识到化学在可持续发展中的价值，增强他们的环保意识。

## 2、系统性思维要素建立

### 【活动2——化工生产一般思路】

【教师】既然二氧化碳重整反应合成甲醇意义重大，现在要研究如何生产甲醇。回忆我们学过的“工业制硫酸”的流程，请以工业制硫酸为例描述研究化工生产的一般思路。

【学生】确定反应原理——反应原料——生产条件。

【教师】整理及补充后：

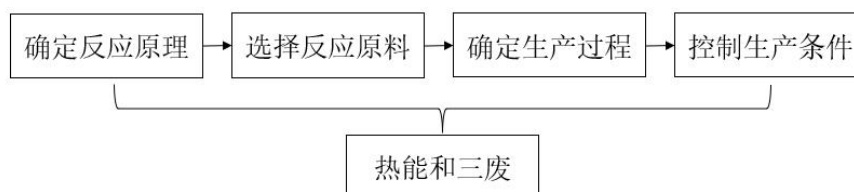
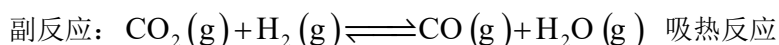
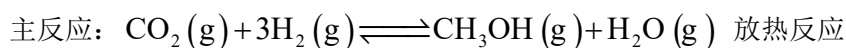


图4 化工生产一般思路参考

【教师】经过科学家研究，二氧化碳在一定条件下可以发生下列重整反应：



【教师】我们已经基本确定了反应原理和反应条件，现在要讨论生产条件。思考：衡量适宜合成甲醇工业生产的反应条件时，需要考虑哪些角度？

【学生】讨论得出结论：1、速率角度 2、平衡角度 3、更多发生主反应而减少副反应。

【教师】为了研究主副反应之间的关系，我们引入了衡量标准“甲醇选择性”，其计算方式如下：

$$\text{CH}_3\text{OH 的选择性} = \frac{\text{CH}_3\text{OH 的物质的量}}{\text{反应的CO}_2\text{的物质的量}} \times 100\%$$

【设计意图】系统性思维建立首先需要明确研究对象的要素。围绕“二氧化碳重整制甲醇”展开，旨在引导学生运用已有工业化学知识工业制硫酸迁移到新情境中。先让学生回顾化工生产的一般思路（反应原理—原料—条件），建立知识框架，再引入二氧化碳重整的具体反应，符合学生认知和思维培养。引入“甲醇选择性”这一新概念，让学生理解工业生产中不仅要关注反应效率，还要考虑产物纯度与经济性，从而深化对化学平衡和反应调控的理解。

### 3、系统性思维中级任务：相关性分析

#### 【活动三——重整反应条件选择】

【教师】请从多个角度分析工业合成甲醇的条件选择可能。

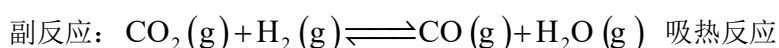
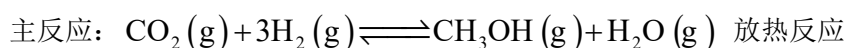


表1 工业合成甲醇的条件选择

	浓度	压强	温度	催化剂
速率				
平衡				
甲醇选择性				

### 【师生互动】

整理小结：

1、为了提升反应速率，应当提高反应物浓度，增大压强，提高温度，并使用催化剂来提升反应速率。

2、为了使主反应平衡正向移动，应当提高反应物浓度并降低生成物浓度，增大压强（主反应是气体数减少的反应），同时需要低温环境（主反应是放热反应），催化剂不影响平衡移动。

3、为了提高甲醇选择性，应当增大氢气浓度，选择高压（主反应是气体数减少的反应，而副反应是气体分子数不变的反应），低温环境（主反应是放热反应，低温使平衡正向移动，副反应是吸热反应，低温使平衡逆向移动），选择合适催化剂有利于甲醇选择性。

【设计意图】系统性思维建立中级任务中，需要建立冲突，再通过问题引导，引发思考。让学生发现单一的思路是无法调和矛盾和冲突的。从速率、平衡和选择性三个维度展开讨论，在填写表格的过程中，学生需要权衡不同条件对反应的影响，理解化工生产中条件优化的复杂性。特别是对甲醇选择性的深入探讨，让学生认识到实际生产中甲醇的选择性这一衡量标准起到重要作用。这样的设计既巩固了化学基本原理，又培养了学生科学决策能力，让学生体会到化学知识在工业生产中的实际价值。

4、系统性思维高级任务：综合分析

### 【活动4——优化反应条件】

【教师】结合下列数据和图像，优化工业合成甲醇的条件，并思考实际生产过程中可能的条件。

$n(\text{H}_2) : n(\text{CO}_2)$	2 : 1	3 : 1	5 : 1	7 : 1
$\alpha(\text{CO}_2) / \%$	11.63	13.68	15.93	18.71
$\varphi(\text{CH}_3\text{OH}) / \%$	3.04	4.12	5.26	6.93

图5 不同  $n(\text{H}_2) : n(\text{CO}_2)$  对反应的影响

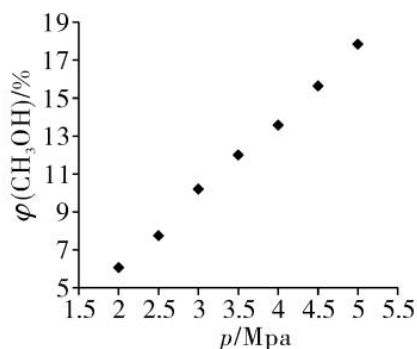


图6 不同总压对甲醇产率的影响

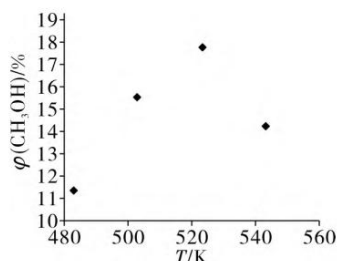


图 7 不同温度对甲醇产率的影响

组成	CuO/ (wt.%)	ZnO/ (wt.%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / (wt.%)	ZrO <sub>2</sub> / (wt.%)	MnO/ (wt.%)	$\varphi(\text{CH}_3\text{OH}) /$ [g · (kg-催化剂) · h <sup>-1</sup> ]	选择性/ (%)
CuO/ZnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65.8	26.3	7.9	0	0	78	40
CuO/ZnO/ZrO <sub>2</sub>	62.4	25.0	0	12.6	0	96	88
CuO/ZnO/ZrO <sub>2</sub> /MnO	65.8	26.6	0	3.6	4	88	100
CuO/ZnO/ZrO <sub>2</sub> /MnO	65.8	26.6	0	5.6	2	138	91

图 8 催化剂组成的改变对甲醇产率和选择性的影响

【师生互动】

1、浓度：

分析：提升氢气浓度对甲醇选择性提升不够明显，因此  $n(\text{H}_2) : n(\text{CO}_2)$  并非越大越好  
实际生产：

- ①考虑成本，一般按照合成甲醇主反应计量比投料即可。
- ②反应物浓度过大，会大幅加快副反应速率，不利于生产。
- ③及时移除生成物甲醇有利于主反应向正反应方向移动，且增强选择性。

2、压强

分析：增大压强有利于主反应正向移动，且副反应不移动，故增大压强对二氧化碳转化率，  
速率和甲醇选择性都有提升。

实际生产：压强过高会提升生产成本，综合考虑一般控制在 4.5~5.5Mpa。

3、温度

分析：温度越高速率越快，但低温有利于主反应正向移动，副反应逆向移动，使甲醇选择性  
有所提升。

实际生产：结合图 3 可知，温度一般控制在 520K 左右。

【教师】为什么催化剂会改变甲醇的选择性？

分析：虽然催化剂不改变反应限度，但在双平衡体系中，催化剂可以改变主反应速率，因而  
在相同时间内发生更多主反应，从而减少副反应的发生，大幅增加甲醇的选择性。

实际生产：选择合适的催化剂对重整反应的速率和产率有着决定性影响。

小结：双平衡体系中，催化剂有可能改变反应物或生成物的体积分数或反应的选择性，从而  
改变化学反应的速率或平衡。



【教师】我们已经理解了催化剂在实际化工生产的重要意义。实际上近现代许多诺贝尔化学奖都是研究高效催化剂入手获得。对于重整反应而言，大家觉得未来的研究方向是什么？

【小结】①开发在较低温度下具有优良活性和选择性的催化剂。

②配置二氧化碳捕捉装置、甲醇—水分离装置以及副产物一氧化碳回收装置等

【活动介绍】2023年西南位育中学“与大师对话”活动——诺贝尔奖得主本杰明教授（德国）



图9 2023年西南位育中学参加“与大师对话”活动

【设计意图】系统性思维培养过程中要求学生着眼于全局考虑，例如引导学生观察四张图表中数据的变化趋势，会发现催化剂起着决定性因素，而非仅仅关注单一条件变化。对催化剂作用的深入剖析，突破了“催化剂只改变速率”的传统认知，引导学生发现催化剂在复杂反应体系中对选择性的调控作用，并结合学校活动进一步提升学生的科学态度和责任意识。整个教学过程通过“理论分析—实际生产”的对比模式，让学生体会化学原理在工业实践中的灵活应用，除了速率，压强和选择性角度外，还需要额外考虑生产成本和绿色化学，引导学生完成复杂问题的思考，有效培养系统性思维。

## 六、 教学反思

本节课围绕“二氧化碳重整制甲醇”展开工业条件优化的探究，较好地实现了知识迁移与学科思维的培养。通过浓度、压强、温度等变量的多角度分析，引导学生建立“理论分析—实际生产”的辩证认知；对催化剂选择性的深度探讨，突破了学生的固有认知，促进高阶思维发展。同时“双平衡体系”，可考虑设计“条件优化模拟实验”，通过可视化数据，增加数据解读环节，进一步强科核心素养的培育。

## 七、 研究体会

在本次基于二氧化碳重整反应的情境教学研究中，构建了“理论——实践”融合矛盾和统一的系统性思维培养模式，通过实证研究验证了该模式对化学教育的多重价值。研究发现，情境教学首先显著提升了学生的研究内驱力。通过创设真实的碳中和产业情境，学生表现出强烈的探究意愿，实现了从被动接受知识到主动构建解决方案的转变。结合所学知识，学生逐步建立了在化工生产过程中需要包含技术可行性、环境友好度和经济效益的多维决策框架，



这正是系统性思维的核心体现。

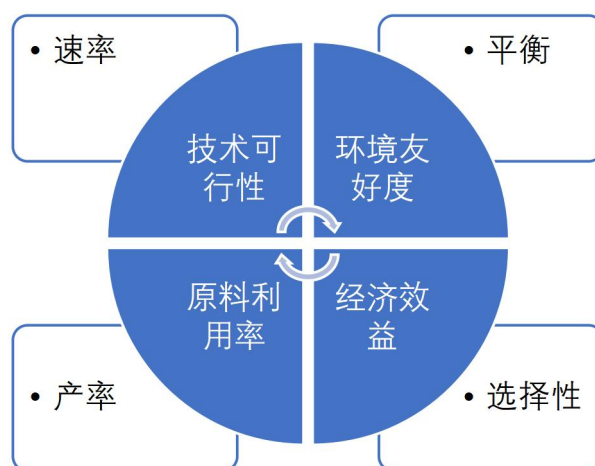


图 10 化工生产系统性思维模型

该研究为新课标背景下核心素养的落地提供了可操作的范例。在课后访谈中，学生表示“第一次真正理解化工厂为何选择特定反应条件”，这种深度认知的达成，源于情境教学将抽象的化学原理转化为包含矛盾约束（如高温提高速率但降低选择性）的决策问题。反馈也指出，该模式促使教学理念从“知识传授”转向“思维培育”。未来研究将进一步开发基于新型科技技术，如 AR 的虚拟情境，并建立系统性思维发展的分级评价体系，为化学教育向素养本位的转型提供更完善的支持。

参考文献：

- [1] 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)  
[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020.
- [2] 苗东升. 系统思维与复杂性研究[J]. 系统辩证学学报, 2004, 12(1): 1-5+29.
- [3] 李岳清, 李爱峰. 高中化学系统思维能力的培养探究[J]. 教育进展, 2024, 14(12): 1196-1202.