

CPS 模型在高中化学课堂教学中的实践应用

——以“催化剂的探索之旅”为例

曹唯一

(江苏省常熟市中学,江苏 常熟 215500)

摘要:文章以“催化剂的探索之旅”教学内容为例,展示了在核心素养背景下,CPS模型在高中化学课堂教学中的实践特点及对学生创造性思维培养的积极作用。

关键词:核心素养;CPS模型;课堂教学;创造性思维;催化剂

中图分类号:G632

文献标识码:A

文章编号:1008-0333(2024)36-0108-04

2017年修订的《考试大纲》中增加了“了解反应活化能的概念,了解催化剂的重要作用”,2020修订版课程标准也增加了“知道反应是有历程的,认识基元反应活化能对化学反应速率的影响”“知道催化剂可以改变反应历程,对调控化学反应速率具有重要意义”等要求。从近几年江苏高考卷中也不难发现,催化剂考查已聚焦在化学反应历程中,考查催化剂与反应历程的关系、催化剂与活化能的关系、中间产物和反应选择性的判断、催化剂失活与再生的原因等,对学生核心素养的要求极高。因此,能否采用合适有效的教学方式去培养学生的创造性思维,发展学生的核心素养已成为教师值得深思的问题。

1 CPS 教学模型

创造性问题解决(Creative Problem Solving,简称CPS)模型,由美国学者帕恩斯(Parnes)提出。本文采用的CPS模型为“四成分八阶段”模型(如图1所示)。该模型以问题解决过程为基础,强调学习者在遇到问题时应先结合发散思维与聚敛思维,了解问题的

条件及目标,搜集资料后,加上自己已有的知识经验,寻求可能的解决方法,推测欲达到的目标成果。再针对此方法考虑每个步骤、使用的策略等实际行动,从而解决问题。该版本模型还引导解决问题者以小组合作的形式进行脑力激荡,让有限的个人创造力与其他小组成员的想法相互激荡,以产生更大的创造效果,更有效地提升团体成员的创造力^[1]。

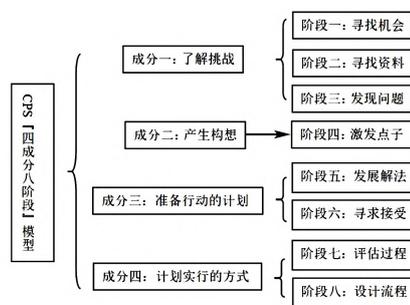


图1 CPS模型为“四成分八阶段”模型

2 CPS 教学模型的案例分析

2.1 教学意图分析

结合CPS模型与高中化学课堂教学的特点,教

收稿日期:2024-09-25

作者简介:曹唯一(1995.11—),女,江苏省常熟人,研究生,中学二级教师,从事高中化学教学研究。

基金项目:江苏省中小学教学研究课题“CPS模型在高中化学教学中的实践应用”(2021JY14-XK-L29)。

师对“催化剂的探索之旅”这一课的设计意图是将催化剂分为两类,分别从均相催化、非均相催化这两种催化机理角度去探索催化剂.通过真实合适的情境去探索两种催化的思维模型,并将模型迁移至真实情境中去解决问题.基于证据推理,建立认知模型,并运用模型解释问题,培养学生科学探究的精神和创新思维,提高学生的社会责任感,充分体现化学学科的核心素养.

2.2 教学过程分析

2.2.1 了解挑战

2.2.1.1 寻找机会

【情境导入】工业合成氨解决了全球粮食紧缺的危机,并多次获得诺贝尔化学奖.这个反应的关键就是寻找合适的催化剂,提高催化效率,那我们又对催化剂了解多少呢?

设计意图:在寻找机会阶段,教师将教材中工业合成氨的反应作为情境引入,突出工业合成氨反应的重要意义,符合学生的认知规律.

2.2.1.2 寻找资料

【活动一:重温催化剂】

【教师】谈谈你对催化剂的已有认识,基于你的认知,从能量变化角度构建使用催化剂的认识模型,用虚线进行描述(图2).

【建立模型】板书:

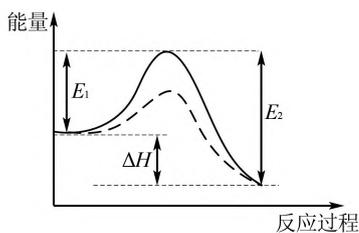


图2 催化剂与能量变化的图像

2.2.1.3 发现问题

【教师】从初中开始,你学过哪些使用催化剂的化学反应方程式,请举例.

【学生活动】初中学过双氧水的分解可以使用 Fe^{3+} 或 MnO_2 为催化剂.高中乙酸乙酯的制备中使用浓硫酸为催化剂,工业合成氨反应.

【教师】物质的气态、液态、固态三种聚集状态

也可以称之为相.观察列举的反应方程式中反应物与催化剂的相态,你有什么发现?

2.2.2 产生构想—激发点子

【学生活动】双氧水使用 Fe^{3+} 为催化剂的分解反应和乙酸乙酯的制备反应中反应物与催化剂属于同一相,而双氧水使用 MnO_2 为催化剂的分解反应和工业合成氨的反应中反应物与催化剂属于不同相.

【教师】根据反应物与催化剂是否属于同一相,可以将催化剂分为两类:均相催化剂与非均相催化剂.

设计意图:在寻找资料和发现问题阶段,从学生对催化剂的已有认识着手,通过能量与反应历程的图像,进一步夯实学生对催化剂的基础认知;从学生熟悉的教材中的化学方程式入手,帮助他们利用聚敛思维对发散问题进行构想.

2.2.3 准备行动的计划

【活动二:初识均相催化反应历程】

【教师】不同催化剂的催化机理不同,让我们一起来开启我们的探究之旅吧.

2.2.3.1 发展解法

【学生活动】(学生阅读)均相催化剂催化机理:一般,均相催化剂既是反应物也是产物,开始时与反应物反应,改变反应途径,降低了活化能,加快反应速率,有中间产物生成,最后又得到催化剂.

2.2.3.2 评估过程

【教师】结合均相催化剂的催化机理,试着分析图3中催化剂是否参与反应.如果参与,能否写出分步反应.

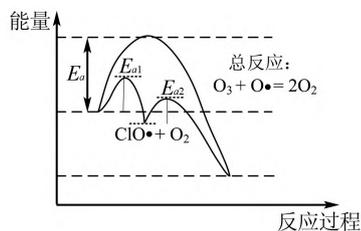
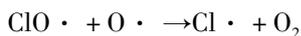


图3 氯自由基催化臭氧分解历程示意图

【学生活动】催化剂参与反应,因为使用催化剂后,活化能大大降低了.

【学生板书】 $\text{O}_3 + \text{Cl} \cdot \rightarrow \text{O}_2 + \text{ClO} \cdot$



[教师]中间产物是谁? 决定反应速率的是哪一步?

[学生活动] $\text{ClO}\cdot$ 决速步是第一步, 因为 $E_{a1} > E_{a2}$, 第一步为慢反应, 第二步为快反应, 故决速步为慢反应.

[建立模型] 建立对于一般的用 K 作催化剂的反应 $\text{A} + \text{B} = \text{C}$ 来说, 反应可分为 $\text{A} + \text{K} = \text{AK}$, $\text{AK} + \text{B} = \text{K} + \text{C}$, AK 为中间产物, K 为催化剂, 符合均相催化剂的催化机理.

[能力迁移 1] (17 年江苏高考) 碱式氯化铜有多种制备方法, 先制得 CuCl_2 , 再与石灰乳反应生成碱式氯化铜. Cu 与稀盐酸在持续通入空气的条件下反应生成 CuCl_2 , Fe^{3+} 对该反应有催化作用, 其催化原理如图 4 所示. M 的化学式为_____.

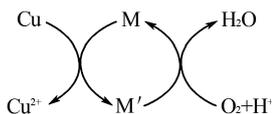


图 4 Fe^{3+} 对该反应的催化原理

设计意图: 从鲁教版素材出发, 在寻求接受阶段, 明确均相催化的机理; 在评估过程阶段, 利用聚敛思维尝试建立均相催化的思维模型. 再通过 17 年的高考真题, 进一步提高利用思维模型分析解决问题的能力, 提升学生的发散性思维.

2.2.4 准备行动的计划—发展解法, 寻求接受

【活动三: 初识非均相催化反应历程】

[教师] 2007 年埃特尔研究“固体表面化学过程”揭开了合成氨的“天机”, 同时初步揭开了非均相催化剂表面催化的反应机理, 获得了诺贝尔化学奖. 请同学们基于上述合成氨的反应历程, 梳理出图 5 中表面催化反应历程.

[建立模型] 扩散 - 吸附 - 表面反应 - 脱附 - 扩散

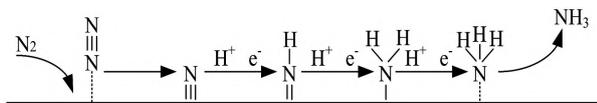


图 5 氮气合成氨反应机理

设计意图: 准备行动的计划是从工业合成氨的反应机理出发, 呼应了情境, 在发展解法和寻求接受阶段利用聚敛思维梳理出非均相催化的一般反应历程, 又利用发散思维构建非均相催化模型.

2.2.5 计划实行的方式

2.2.5.1 评估过程

[教师] 从 N_2 为主线, 合成氨表面催化反应历程如图 5: 第一步 N_2 、 H_2 扩散至催化剂表面; 第二步 N_2 、 H_2 吸附到催化剂表面, 一开始是简单的物理吸附, 后过渡到以化学键为主的化学吸附, 化学吸附指的是 N_2 、 H_2 吸附到催化剂表面的活性位点处, 形成吸附化学键, 在吸附化学键的作用下, N_2 、 H_2 发生断键, 形成了活性很强的自由基或离子等, 从而降低了反应的活化能; 第三步 N_2 在催化剂表面得到电子与 H^+ 反应, 最终生成 NH_3 ; 第四步 NH_3 从催化剂表面脱附; 第五步 NH_3 扩散, 离开反应区.

[学生阅读] 资料卡: Taylor 和活性中心理论

1920 年左右, Taylor 发现在催化剂表面的角、裂纹等不连续的地方会发生优先吸附, 他认为这些位点的催化活性会比平坦表面的高, 这就是“活性中心”与“活性结构”概念的起源. 1940 年代中期, Balandin 提出所谓的“多位理论”, 即催化剂的活性取决于表面上几个空间合适的原子与反应分子的合适匹配.

[教师] 实际生产中, N_2 和 H_2 物质的量比为 1:2.8, 而非 1:3, 从生产成本、催化机理角度分析 N_2 稍过量的原因?

[学生活动] 生产成本角度, N_2 在自然界中存在普遍, 原料易得, 稍过量有利于提高 H_2 的转化率. 催化机理角度, 氮氮三键键能比较大, 因此它的吸附是决速步, N_2 稍过量有利于加快反应速率.

[教师] 但 N_2 为什么又不能过量太多?

[学生活动] N_2 和 H_2 在催化剂表面存在竞争吸附的关系, 如果 N_2 过多, 影响了 H_2 的吸附, 反而不利于反应.

[教师] 实际生产中, 从催化机理角度分析为什

么要将 NH_3 及时液化移出?

[学生活动] NH_3 及时液化移出可以让出更多的活性位点,有助于 N_2 和 H_2 在催化剂表面活性位点处继续吸附,保证反应的继续进行.

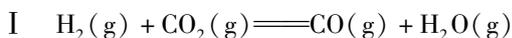
[能力迁移3] $500\text{ }^\circ\text{C}$ 时,甲烷与二氧化碳重整反应原理如下.在原料气中添加微量 O_2 有利于保持催化剂的活性,分析其原因.

主反应:



$$\Delta H = 246.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

副反应:



$$\Delta H = 41.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H = -172.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H = 75 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

设计意图:落实计划实行的方式中,高起点,低落点,通过实际生产中的问题,学生可在真实情境下进一步解决非均相的催化机理历程中涉及的实际问题,发展学生的科学探究与创新思维.教师通过模考题目的陌生情境,引导学生用非均相的催化模型来分析解决问题,并指导学生用规范的化学用语进行答题,培养学生的严谨态度.

[链接高考](21年江苏高考)利用铜—铈氧化物($x\text{CuO} \cdot y\text{CeO}_2$, Ce 是活泼金属)催化氧化可除去 H_2 中少量 CO ,催化氧化过程中 Cu、Ce 的化合价均发生变化,可能机理如图 6 所示.将 $n(\text{CO}):n(\text{O}_2):n(\text{H}_2):n(\text{N}_2) = 1:1:49:49$ 的混合气体以一定流速通过装有 $x\text{CuO} \cdot y\text{CeO}_2$ 催化剂的反应器, Ce 基态原子核外电子排布式为 $[\text{Xe}]4f^15d^16s^2$.

[教师]请同学们从催化机理角度思考步骤(i)中,元素 Cu、Ce 化合价发生的变化情况?

[学生活动]元素 Ce: +4 价降到 +3 价;元素 Cu: +2 价降到 +1 价.

[教师]当催化氧化温度超过 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 时,催化剂的催化活性下降,其可能原因?

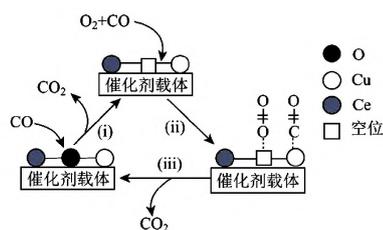


图 6 催化机理

[学生活动]温度升高, Cu^{2+} 或 Cu^+ 被 H_2 或 CO 还原为 Cu .

设计意图:以一道高考真题带动学生真切地体会非均相催化模型,聚敛阶段尝试用该模型去评估过程,探究问题的解决方案.

2.2.5.2 设计流程

[教师]本节课我们探究了不同类型催化剂的催化机理,研究性能更为优异稳定的催化剂已成为目前化工行业的重点.请同学们总结探究过程,你有哪些收获呢?

[学生活动]这节课我们探究了不同催化剂的催化机理,经历了提出问题、分析问题、构建思维模型去解决问题的过程.

3 结束语

CPS 模型是培养学生创造性思维的一种教学模式.问题解决者在选择或实行符合现实环境、问题条件的解决方法前,需要先以发散性思维构想出大量的方案,再以聚敛性思维来选择最适合的解决方法,最后加以执行,由此提升问题解决者的创造力及问题解决能力.如何在真实情境下合理地交替使用这两种思维方式是 CPS 模型的关键^[2].因此,教师要根据教学内容和学生实际情况灵活运用 CPS 模型,促进学生创造性思维的培养.

参考文献:

- [1] 袁维新. 国外创造性问题解决模型研究[J]. 外国教育研究, 2010, 37(07): 6-11.
- [2] 周佳. 基于“CPS”模型的“库仑定律”教学案例分析[J]. 物理教师, 2020, 41(01): 30-33.

[责任编辑:季春阳]