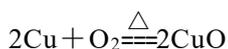


## 例析与催化剂相关的六个考点

在基于真实情境考查学生综合运用知识的能力的考试理念引导下，与化工生产关系密切的催化剂备受青睐，成了热门考点。从考查的知识看，主要从反应历程、活化能、速率、平衡移动等角度考查催化剂对反应的影响。从试题形式上看，常常融合图像、表格等信息呈现形式，考查学生吸收和整合陌生信息的能力。

### 一、催化剂与反应历程

催化剂如何影响化学反应？有一个熟悉的例子：Cu 催化乙醇的氧化反应。



催化剂 Cu 先参与反应后又重新生成，它经历了  $\text{Cu} \rightarrow \text{CuO} \rightarrow \text{Cu}$  的变化历程。

**[例 1]** 用  $\text{NaClO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  和稀硫酸制备  $\text{ClO}_2$ 。反应开始时加入少量盐酸， $\text{ClO}_2$  的生成速率大大提高( $\text{Cl}^-$  对反应有催化作用)。该过程可能经两步反应完成，将其补充完整：① \_\_\_\_\_ (用离子方程式表示)；



**[解析]** 第②步中  $\text{Cl}_2$  生成  $\text{Cl}^-$ ，可知催化剂  $\text{Cl}^-$  的变化历程是  $\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 \rightarrow \text{Cl}^-$ ，即  $\text{Cl}^-$  在第①步中变成  $\text{Cl}_2$ 。由题给信息及氧化还原知识可知，氧化剂是  $\text{ClO}$ ，且  $\text{ClO}$  反应后生成  $\text{ClO}_2$ 。离子方程式： $2\text{ClO} + 2\text{Cl}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{ClO}_2\uparrow + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ 。



### 二、催化剂与活化能、焓变

催化剂通过降低反应的活化能而加快反应速率。而且催化剂的性能越好，反应的活化能越低。

**[例 2]** 在  $\text{Cu}/\text{ZnO}$  催化剂存在下， $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  可发生两个平行反应：



某实验室控制  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2$  初始投料比为 1 : 2.2，在相同压强下，经过相同时间测得实验数据如下表所示。在图中分别画出反应 I 在无催化剂、有 Cat.1 和有 Cat.2 三种情况下“反应过程—能量”示意图。

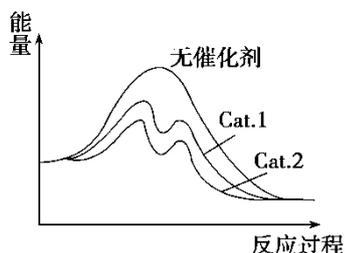
T(K)	催化剂	CO <sub>2</sub> 转化率(%)	甲醇选择性(%)
543	Cat.1	12.3	42.3
543	Cat.2	10.9	72.7
553	Cat.1	15.3	39.1
553	Cat.2	12.0	71.6

【备注】 甲醇选择性：转化的 CO<sub>2</sub> 中生成甲醇的百分比。



【解析】 据表中的数据可以算出生成 CH<sub>3</sub>OH 的 CO<sub>2</sub> 占全部 CO<sub>2</sub> 的百分比。543K, Cat.1 作用下是  $12.3\% \times 42.3\% \approx 5.20\%$ , Cat.2 作用下是  $10.9\% \times 72.7\% = 7.92\%$ 。所以 Cat.2 的催化选择性要好于 Cat.1, 即在 Cat.2 的作用下反应的活化能低。

【答案】

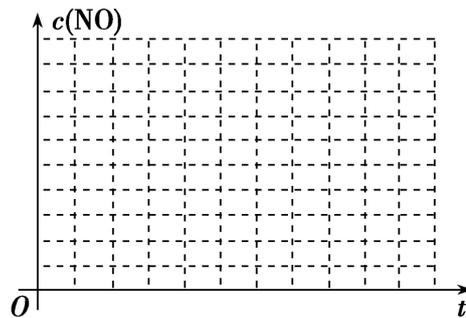


【归纳小结】 作图时还要注意，催化剂不能改变反应物、生成物的总能量，所以曲线的起点、终点应相同。也正是这个原因，所以催化剂不能改变反应的焓变。

三、**催化剂与反应速率、平衡移动** 催化剂能加快反应速率，缩短到达平衡所需时间。催化剂的活性越好，所需时间越短。但催化剂不能使化学平衡发生移动。

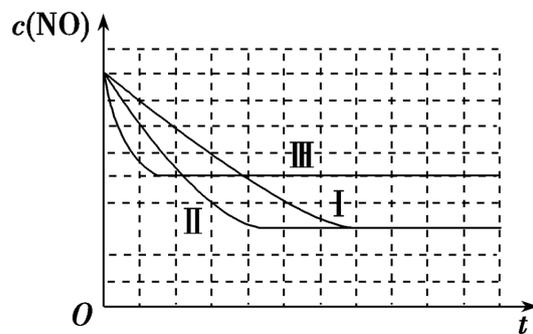
【例 3】 密闭容器中发生反应： $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。研究表明：在使用等质量同种催化剂时，增大催化剂比表面积可提高反应速率。某同学设计了下表所示的三组实验。请在图中画出三个实验中  $c(\text{NO})$  随时间变化的趋势曲线，并标明实验编号。

实验编号	$T/^{\circ}\text{C}$	初始 $c(\text{NO})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	初始 $c(\text{CO})/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	比表面积/ $(\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1})$
I	280	$1.20\times 10^{-3}$	$5.80\times 10^{-3}$	82
II	280	$1.20\times 10^{-3}$	$5.80\times 10^{-3}$	124
III	350	$1.20\times 10^{-3}$	$5.80\times 10^{-3}$	124



**[解析]** 先比较实验I、II：实验II的催化剂比表面积大，故实验II的反应速率大；因催化剂不影响平衡移动，故达到平衡后，实验I、II的  $c(\text{NO})$  相同。再比较II、III：实验III的温度高，故实验III的反应速率大；因温度升高，平衡左移，故平衡时  $c(\text{NO})$  较大。

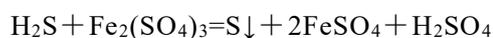
**[答案]**



#### 四、温度与催化剂活性

催化剂具有一定范围的活化温度，过高或过低，都会导致催化剂的活性降低。如生物催化剂酶，对温度就非常敏感。

**[例 4]** (2017·高考天津卷节选)  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{SO}_2$  会对环境和人体健康带来极大的危害，工业上采取多种方法减少这些有害气体的排放……生物脱  $\text{H}_2\text{S}$  的原理为



硫杆菌存在时,  $\text{FeSO}_4$  被氧化的速率是无菌时的  $5 \times 10^5$  倍, 该菌的作用是\_\_\_\_\_。  
若反应温度过高, 反应速率下降, 其原因是\_\_\_\_\_。

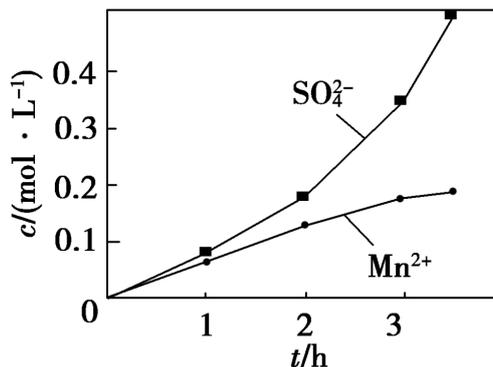
**[解析]** 因为硫杆菌能显著加快反应速率, 故它是反应的催化剂。当反应温度过高时, 硫杆菌会因蛋白质变性而失去了催化性能, 反应速率明显下降。

**[答案]** 催化剂 硫杆菌因蛋白质变性而失去了催化性能。

### 五、催化剂的来源问题

化学中有一类特殊反应, 叫自催化反应, 该类反应中的生成物对反应有催化作用。它的特点之一是开始反应速率很小, 随着起催化作用的产物的积累速率迅速增大。

**[例 5]** 向三颈烧瓶中加入一定量的  $\text{MnO}_2$  和水, 搅拌, 通入  $\text{SO}_2$  和  $\text{N}_2$  混合气体, 恒温下发生反应:  $\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 = \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 。若将  $\text{N}_2$  换成空气, 测得  $c(\text{Mn}^{2+})$ 、 $c(\text{SO})$  随时间  $t$  的变化如图所示。导致  $c(\text{Mn}^{2+})$ 、 $c(\text{SO})$  变化产生明显差异的原因是\_\_\_\_\_。



**[解析]** 由图可知, “ $\text{N}_2$  换成空气”发生了副反应:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_3 = 2\text{H}_2\text{SO}_4$ 。表示  $c(\text{SO})$  的曲线斜率逐渐增大, 说明  $\text{SO}$  的生成速率逐渐增大。因反应物浓度、压强、温度、接触面积等维持不变, 所以导致  $\text{SO}$  的生成速率加快的因素应是催化剂, 而且催化剂是某种生成物, 应是  $\text{Mn}^{2+}$ 。

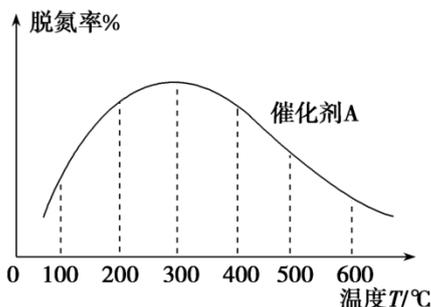
**[答案]**  $\text{Mn}^{2+}$  对  $\text{O}_2$  和  $\text{H}_2\text{SO}_3$  的反应有催化作用

**[归纳小结]** 判断一个化学反应是否是自催化反应, 先要排除温度、浓度、压强、接触面积等的影响, 然后再分析是何种生成物具有催化作用。

### 六、催化剂、温度对平衡的综合影响

**[例 6]**  $\text{NH}_3$  催化还原氮氧化物技术是目前应用最广泛的烟气脱氮技术:  $4\text{NH}_3(\text{g}) + 6\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons 5\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ 。密闭容器中, 在相同时间内, 在催化剂 A 作用下脱氮率随温度变化如图所示。现改用催化能力稍弱的催化剂 B 进行实验, 请在图

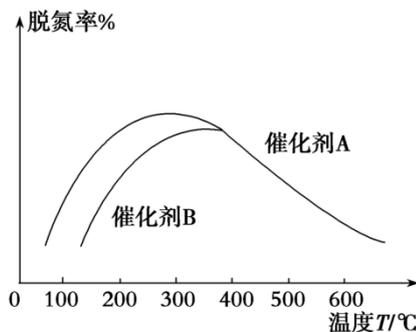
中画出在催化剂 B 作用下的脱氮率随温度变化的曲线(不考虑温度对催化剂活性的影响)。



**[解析]** 先分析催化剂 A 作用下的脱氮率为什么会先增大后减小。低于 300 °C 时，温度越高，反应速率越快，相同时间内消耗的 NO 越多，所以脱氮率增大。高于 300 °C 时，因为温度升高，平衡逆向移动，消耗的 NO 减小，所以脱氮率下降。

改用催化剂 B，就涉及催化剂和温度两个变量，在解题时要分别考虑。①B 催化下，随着温度的升高，脱氮率也应先增大后减小。②达到曲线最高点之前，B 的催化能力弱，相同温度时的脱氮率要小于 A。即所画曲线应在 A 的下方。③B 催化下在相同时间内达到平衡，则曲线最高点应出现在高于 300 °C 的位置。④当 A、B 均达到平衡后，平衡脱氮率只与温度有关，所以两条曲线重合。

**[答案]**



**[概括整合]** 催化剂通过参与化学反应，改变反应历程，从而降低活化能，加快反应速率，到达平衡所需的时间减少。但催化剂不能改变焓变，也不能使平衡移动。催化剂的催化性能也会受外界条件的影 响，如温度、表面积等。