

化学反应原理类图像题的命题特点和解答策略

江苏省南京市金陵中学 210019 陈廷俊

化学反应原理类图像题大多以化学原理和真实的工业生产为背景,将抽象的反应原理与试题信息通过新颖、直观、简洁的图形来呈现,能够较好地考查学生的阅读图像、提取信息以及匹配化学原理解决问题等学科素养。因而,这类试题颇受化学命题者的青睐,已经成为考查学生思维能力的热点和重点题型。

一、化学反应原理类高考图像题的命题特点

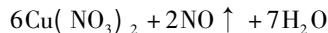
1. 注重化学反应过程能量变化的直观图示

化学反应过程能量变化图可以直观图示出反应物、生成物的能量高低和反应过程键能、电离能、晶格能、活化能等变化情况,能够很好地考查学生对吸热反应、放热反应、焓变、活化过渡态、盖斯定律等概念和原理的理解运用。

例 1 (2019 新课标卷 I 题 28(3)) 水煤气变换 $\text{[CO(g) + H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g) + H}_2\text{(g)}]$ 是重要的化工过程。我国学者研究了在金催化剂表面上水煤气变换的反应历程(如图 1),其中吸附在金催化剂表面上的物质用^{*}标注。水煤气变换的 ΔH ____ 0(填“大于”“等于”或“小于”),该历程

► (3) $a = \underline{\hspace{2cm}}$

解析 (1) Cu_2O 与稀硝酸反应生成 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 NO 和 H_2O 其化学方程式为



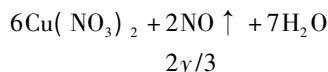
(2) 设混合物中 Cu 和 Cu_2O 的物质的量分别为 x 和 y 。则



$$x \quad 2x/3$$



$$y$$



由题意得:

$$x \times 64 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + y \times 144 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

中最大能垒(活化能) $E_{\text{正}} = \underline{\hspace{2cm}}$ eV,写出该步骤的化学方程式 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。

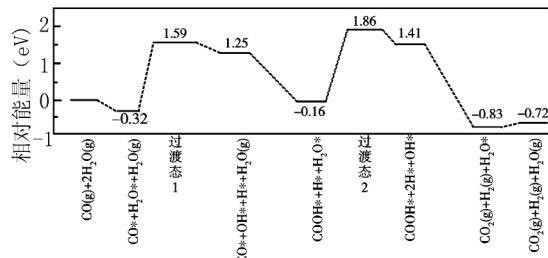


图 1

以水煤气变换过程的能量变化图来考查化学反应催化吸附机理及能量变化(2018 海南题 12 已经考过类似图像)。读图知, $\text{CO(g) + H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g) + H}_2\text{(g)}$ 的始态能量高于终态能量, ΔH 小于 0。过渡态 I、II 的能量变化分别为 $1.59 - (-0.32) = 1.91 \text{ eV}$ 、 $1.86 - (-0.16) = 2.02 \text{ eV}$ 。显然, 最大能垒(活化能)是过渡态 II, $E_{\text{正}} = 2.02 \text{ eV}$, 化学方程式为: $\text{COOH}^* + \text{H}^* + \text{H}_2\text{O}^* \rightleftharpoons \text{COOH}^* + 2\text{H}^* + \text{OH}^*$ (或 $\text{H}_2\text{O}^* \rightleftharpoons \text{H}^* + \text{OH}^*$)。

$$= 35.2 \text{ g} \quad ①$$

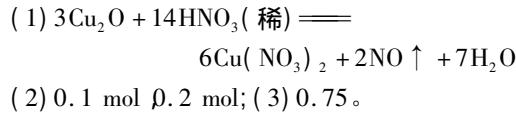
$$2x/3 + 2y/3 = 4.48 \text{ L} \div 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$= 0.2 \text{ mol} \quad ②$$

解方程组①②得 $x = 0.1 \text{ mol}$, $y = 0.2 \text{ mol}$ 。

(3) 由题意可知, 与 NaOH 溶液反应后所得溶液为 NaNO_3 溶液, 根据 N 元素守恒原则可得, $n(\text{NaNO}_3) = n(\text{HNO}_3) - n(\text{NO}) = 3.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.5 \text{ L} - 0.2 \text{ mol} = 1.5 \text{ mol}$; 根据 Na 元素守恒原则可得 $n(\text{NaOH}) = n(\text{NaNO}_3) = 2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times a \text{ L} = 1.5 \text{ mol}$ 解得 $a = 0.75$ 。

故答案为:



(收稿日期: 2019-09-10)

2. 强调化学平衡移动原理的内在本质

图像主要包括浓度、温度、压强、催化剂对反应速率和平衡的影响,既有改变一个条件的简单图像,也有改变多个条件的复杂图像。如,速率-浓度(温度、压强、催化剂)图像,转化率(百分含量)-时间-温度(压强)图像,转化率(百分含量)-温度-压强图像等。

例 2 (2019 江苏题 15) 在恒压、NO 和 O₂ 的起始浓度一定的条件下,催化反应相同时间,测得不同温度下 NO 转化为 NO₂ 的转化率如图 2 实线所示(图中虚线表示相同条件下 NO 的平衡转化率随温度的变化)。下列说法正确的是()。

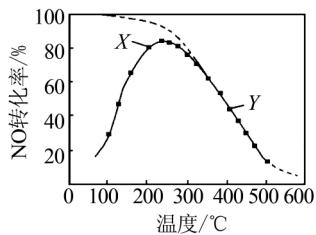


图 2

- A. 反应 $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H > 0$
- B. 图中 X 点所示条件下, 延长反应时间能提高 NO 转化率
- C. 图中 Y 点所示条件下, 增加 O₂ 的浓度不能提高 NO 转化率
- D. 380°C 下, $c_{\text{起始}}(\text{O}_2) = 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, NO 平衡转化率为 50%, 则平衡常数 $K > 2000$

本题考查化学平衡图像的综合应用。根据图中虚线变化规律知,NO 的平衡转化率随着温度升高而减小, $\Delta H < 0$; X 点时, 反应尚未达到平衡, 延长反应时间平衡正向移动, NO 转化率增大。Y 点时, 反应达到平衡状态, 增加 O₂ 的浓度, 平衡向正方向移动, NO 的转化率增大。380°C 下, 设 NO 起始浓度为 $a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 当 NO 的转化率为 50% 时, NO、O₂ 和 NO₂ 的平衡浓度分别为 $0.5a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $(5 \times 10^{-4} - 0.25a) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.5a \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 由平衡常数表达式知 $K = \frac{c^2(\text{NO}_2)}{c^2(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_2)} = \frac{(0.5a)^2}{(0.5a)^2 \times (5 \times 10^{-4} - 0.25a)} > 0$, 故 $K >$

$$\frac{1}{5 \times 10^{-4}} = 2000.$$

3. 揭示酸碱中和滴定的变化规律

典型的图像有酸碱滴定曲线、溶液中粒子分布系数图、沉淀溶解平衡曲线等。中和滴定曲线有: pH - V(滴定百分数)、pH - lgc、pH - pOH、pH - $-\lg \frac{c(X^{2-})}{c(HX^-)}$ 或 $\lg \frac{c(HX^-)}{c(H_2X)}$ 等。分布系数图有: 一元弱酸(CH_3COOH)、二元弱酸(H_2CO_3 、 H_2SO_3 、 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)、多元弱酸(H_3PO_4 、 H_3AsO_4)等。沉淀溶解平衡曲线有: 以 M_nA_m 为例, $c(M^{m+}) - c(A^{n-})$ 、 $-\lg c(M^{m+})$ 与 $-\lg c(A^{n-})$ 、 $pM - pA$ 等。

例 3 (2019 全国卷 I 题 11) NaOH 溶液滴定邻苯二甲酸氢钾(邻苯二甲酸 H₂A 的 $K_{a1} = 1.1 \times 10^{-3}$, $K_{a2} = 3.9 \times 10^{-6}$) 溶液, 混合溶液的相对导电能力变化曲线如图 3 所示, 其中 b 点为反应终点。下列叙述错误的是()。

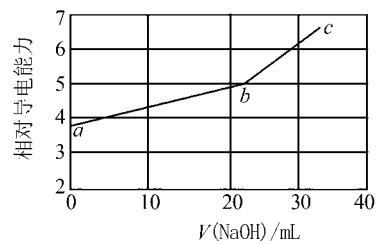
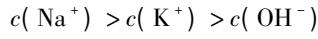


图 3

- A. 混合溶液的导电能力与离子浓度和种类有关
- B. Na^+ 与 A^{2-} 的导电能力之和大于 HA^-
- C. b 点的混合溶液 $\text{pH} = 7$
- D. c 点的混合溶液中:



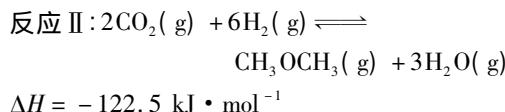
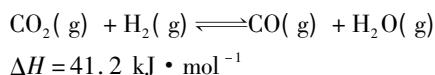
本题考查 NaOH 溶液滴定邻苯二甲酸氢钾溶液过程中, 溶液导电性和离子浓度大小关系。溶液的导电能力与离子浓度和所带电荷有关。图像显示, 随着 NaOH 溶液的滴入, $\text{OH}^- + \text{HA}^- \rightleftharpoons \text{A}^{2-} + \text{H}_2\text{O}$, 溶液导电能力增强, Na^+ 与 A^{2-} 的导电能力之和大于 HA^- 。b 点是拐点, 此时 NaOH 与邻苯二甲酸氢钾恰好完全反应, 因为邻苯二甲酸是二元弱酸, 邻苯二甲酸根水解使得溶液 $\text{pH} > 7$ 。b 点后, 溶液导电性增强是因为加入 NaOH 所致, 则 c 点混合溶液中 $c(\text{Na}^+) > c(\text{K}^+) > c(\text{OH}^-)$ 。

4. 凸显多种图像信息的整合分析

试题主要包括物质转化数据图,体积分数(转化率)–温度(压强)–时间图,浸出率(转化率、去除率、选择性)–浓度(质量分数、反应时间)图,溶解度–温度图等;综合考查学生对图像和数据等信息的接受、吸收和整合分析能力。

例 4 (2019 江苏 - 20 - 3) CO_2 催化加氢合成二甲醚是一种 CO_2 转化方法,其过程中主要发生下列反应:

反应 I:



在恒压、 CO_2 和 H_2 起始量一定的条件下, CO_2 平衡转化率和平衡时 CH_3OCH_3 的选择性随温度的变化如图 4。其中, CH_3OCH_3 的选择性 = $\frac{2 \times \text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的物质的量}}{\text{反应的 CO}_2 \text{ 的物质的量}} \times 100\%$

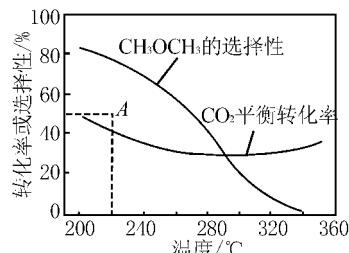


图 4

①温度高于 300 °C, CO_2 平衡转化率随温度升高而上升的原因是_____。

②220°C 时,在催化剂作用下 CO_2 与 H_2 反应一段时间后,测得 CH_3OCH_3 的选择性为 48% (图中 A 点)。不改变反应时间和温度,一定能提高 CH_3OCH_3 选择性的措施有_____。

图像显示,随着温度的升高, CO_2 的平衡转化率先减小后增大。因为反应 I 是吸热反应、反应 II 是放热反应,升高温度,平衡 I 向正反应方向移动, CO_2 平衡转化率增大;平衡 II 向逆反应方向移动, CO_2 平衡转化率减小。开始阶段,平衡 II 对 CO_2 平衡转化率的影响超过了平衡 I,因此 CO_2 转化率减小。当温度超过 300°C 时,平衡 I 对 CO_2 平衡转化率的影响超过了平衡 II,因此 CO_2 转化率增大。

衡转化率的影响超过了平衡 II,因此 CO_2 转化率增大。图中 A 点 CH_3OCH_3 的选择性没有达到此温度下平衡时 CH_3OCH_3 的选择性,而要提高 CH_3OCH_3 的选择性,在不改变反应时间和温度的情况下,可以根据反应 II 选择增大压强或者更有利的反应 II 的催化剂。

二、学生解答化学反应原理类图像题存在的主要问题

1. 不能准确识别化学图像所对应的反应原理

化学图像中蕴含着许多重要的化学反应原理信息,学生必须要准确地读出并能够进行有效加工处理。但实际答题过程中,往往出现反应原理混淆、坐标轴含义不清、特殊点意义不明、数量级遗忘、单位错误等现象,从而出现答非所问、答案相反等错误。

例 5 (2018 江苏 - 13) 根据下列图示所得出的结论不正确的是()。

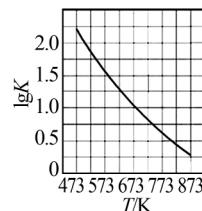


图 5

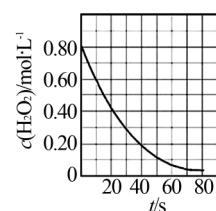


图 6

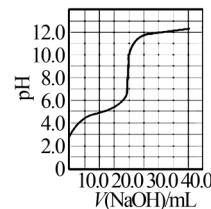


图 7

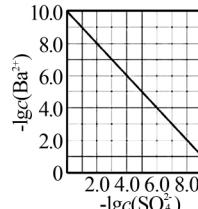


图 8

A. 图 5 是 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 的平衡常数与反应温度的关系曲线,说明该反应的 $\Delta H < 0$

B. 图 6 是室温下 H_2O_2 催化分解放出 O_2 的反应中 $c(\text{H}_2\text{O}_2)$ 随反应时间变化的曲线,说明随着反应的进行 H_2O_2 分解速率逐渐减小

C. 图 7 是室温下用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液滴定 $20.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 某一元酸 HX 的滴定曲线,说明 HX 是一元强酸

D. 图 8 是室温下用 Na_2SO_4 除去溶液中 Ba^{2+} 达到沉淀溶解平衡时, 溶液中 $c(\text{Ba}^{2+})$ 与 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 的关系曲线, 说明溶液中 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 越大, $c(\text{Ba}^{2+})$ 越小。

本题以四种图像来考查化学反应原理, 许多学生因为不能准确识别化学图像所对应的反应原理而失分。图 5 主要是混淆了 ΔH 与反应热的关系。图 7 是不知道从起点 pH 来判断酸性, 实质是没有掌握弱酸电离平衡及 pH 的计算。图 8 是不能准确判定 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 与 $-\lg c(\text{SO}_4^{2-})$ 的关系, 不会通过类比 $\text{pH} = -\lg c(\text{H}^+)$ 得出 $c(\text{SO}_4^{2-})$ 越小, $-\lg c(\text{SO}_4^{2-})$ 越大; $c(\text{Ba}^{2+})$ 越小, $-\lg c(\text{Ba}^{2+})$ 越大的结论。

2. 不知道整合同一试题不同图像信息来解题

近年来, 化学图像类试题不再仅仅针对一张图像进行问题设计, 出现了同一题目不同小题图像相互共享信息的试题, 要求学生能够将不同小题的图像信息进行融通, 以统整的思维来回答问题。但是, 在实际答题过程中, 许多学生没有发现不同化学图像间的内在联系, 导致回答问题片面化、模糊化。

例 6 (2018 江苏 19-3) 用副产品 Na_2CO_3 制备无水 Na_2SO_3 (水溶液中 H_2SO_3 、 HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 随 pH 的分布如图 9, Na_2SO_3 的溶解度曲线如图 10)。请补充完整由 NaHSO_3 溶液制备无水 Na_2SO_3 的实验方案: ____ 用少量无水乙醇洗涤, 干燥, 密封包装。

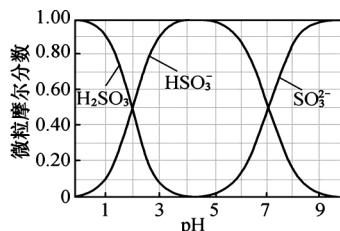


图 9

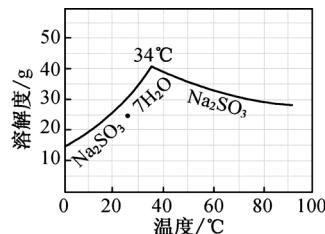


图 10

典型错误为“向 NaHSO_3 溶液中加入适量的

NaOH 蒸发浓缩、趁热过滤。”学生给出这样答案最主要的原因是不知道用图中的数据来答题, 更不知道要用图 9 数据来控制溶液的 pH。学生只有从图 9 中发现当 pH 约为 10 时, 产物为 Na_2SO_3 ; 从图 10 知道 Na_2SO_3 低于 34 ℃时会形成 $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 才能得到正确答案“向 NaHSO_3 溶液中滴加 NaOH 溶液, 控制溶液 pH 约为 10, 加热浓缩至有大量晶体析出, 控制温度 34 ℃以上, 趁热过滤。”

3. 分析解决化学原理图像的数学思维能力薄弱

化学问题经过抽象为数学问题后, 许多学生因为缺乏相关数学知识而不能很好地用数学方法来解决化学问题, 从而主动放弃或猜测答案。究其原因, 除了学生思维能力薄弱, 还与命题者喜欢过多地将化学问题数学化处理有关, 让学生陷入思维的泥潭而不能自拔。

例 7 (2017 全国卷 I 题 13) 常温下将 NaOH 溶液滴加到己二酸 (H_2X) 溶液中, 混合溶液的 pH 与离子浓度变化的关系如图 11 所示。下列叙述错误的是()。

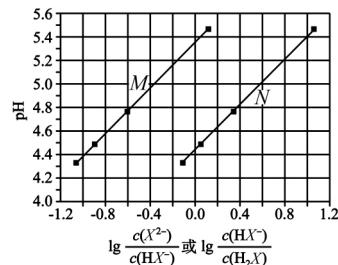


图 11

A. $K_{a2}(\text{H}_2\text{X})$ 的数量级为 10^{-6}

B. 曲线 N 表示 pH 与 $\lg \frac{c(\text{HX}^-)}{c(\text{H}_2\text{X})}$ 的变化关系

C. NaHX 溶液中: $c(\text{H}^+) > c(\text{OH}^-)$

D. 当混合溶液呈中性时, $c(\text{Na}^+) > c(\text{HX}^-) > c(\text{X}^{2-}) > c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+)$

典型问题是学生不明白横坐标的意义, 不知道 pH 和 $\lg \frac{c(\text{X}^{2-})}{c(\text{HX}^-)}$ 或 $\lg \frac{c(\text{HX}^-)}{c(\text{H}_2\text{X})}$ 的线性关系是如何得来的。其根源是学生不知道通过 H_2X 的分步电离方程式: $\text{H}_2\text{X} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HX}^-$ 、 $\text{HX}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{X}^{2-}$, 写出 $K_{a1} = \frac{c(\text{HX}^-) \cdot c(\text{H}^+)}{c(\text{H}_2\text{X})}$ 、 $K_{a2} =$

$\frac{c(X^{2-}) \cdot c(H^+)}{c(HX^-)}$, 再经数学处理得: $\frac{K_{a2}}{c(H^+)} = \frac{c(X^{2-})}{c(HX^-)} \cdot \frac{K_{a1}}{c(H^+)} = \frac{c(HX^-)}{c(H_2X)}$, 最后两边取对数得: $\lg \frac{K_{a2}}{c(H^+)} = \lg \frac{c(X^{2-})}{c(HX^-)}, \lg \frac{K_{a1}}{c(H^+)} = \lg \frac{c(HX^-)}{c(H_2X)}$ 。学生只要能够完成数学转化, 就可读图找到数据, 问题迎刃而解。

三、学生解答化学反应原理类高考图像题的策略

1. 准确理解化学反应原理类图像揭示的化学原理

化学反应原理类图像题借助图像的形式来考查化学原理, 解答该类试题的关键还是要明确化学原理的本质内涵, 以及可能出现的表现形式。如, 化学反应能量的变化从宏观上来讲是反应物与生成物的能量差异; 从微观上来讲是化学键的断裂和形成, 即反应物分子必须吸收能量变成活化分子, 然后活化分子发生有效碰撞生成新物质。 E_1 为反应物分子的活化能, E_2 为生成物分子的活化能。当 $E_1 > E_2$ 时 $\Delta H = E_1 - E_2 > 0$, 吸热反应(图 12); 当 $E_1 < E_2$ 时 $\Delta H = E_1 - E_2 < 0$, 放热反应(图 13)。如果使用了降低活化能的催化剂, 则 E_1, E_2 都减小, 而 ΔH 不变。即催化剂对化学反应能量的影响主要表现为降低反应所需的活化能, 但整个过程焓变不发生变化。因此, 催化剂可以加快化学反应速率, 但不能使化学平衡发生移动。

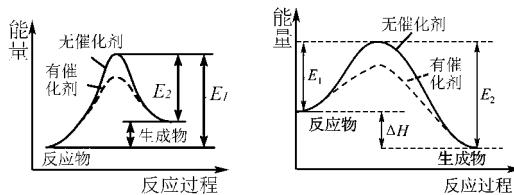


图 12

图 13

明确了化学反应能量图像的特点。再来看图 14, 它表示反应 $H_2 + 2ICl \rightleftharpoons I_2 + 2HCl$ 分①、②两步进行的能量变化图。读图可知反应①、②中反应物总能量均大于生成物, 则反应①、②均为放热反应, 但反应①的活化能大于反应②, 反应①比②的速率要慢。再由盖斯定律知, 反应①、②的焓

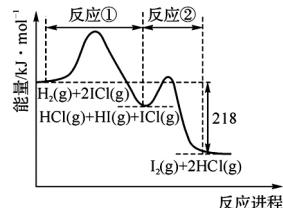


图 14

变之和等于总反应的焓变 $-218 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

2. 深刻分析化学反应原理类图像的变化规律

酸碱中和滴定是分析化学中常见的重要的反应, 尽管不同的酸、碱中和反应不同, 但其实质是相同的, 即 $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$, 最基本的是一元酸碱的中和滴定, 具体包括强碱与强酸、弱酸反应的滴定曲线以及强酸与强碱、弱碱反应的滴定曲线。

对比图 15、图 16 两组曲线发现: 滴定曲线起点不同; 强碱与强酸(强酸与强碱)的滴定突跃范围大于强碱与弱酸(强酸与弱碱)。产生这些差别的原因, 主要是等浓度的一元酸(碱), 强酸(碱)是完全电离的, 而弱酸(碱)是部分电离的。因此, 强酸的起点 pH 要比弱酸小, 强碱的起点 pH 要比弱碱大。当 NaOH 与等浓度盐酸、醋酸恰好完全滴定时, 溶液中的溶质分别是 NaCl、 CH_3COONa , $NaCl$ 不水解, 溶液 $pH = 7$; CH_3COONa 水解, 溶液 $pH > 7$ 。

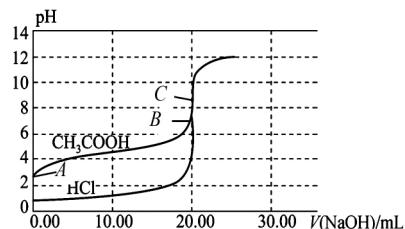


图 15

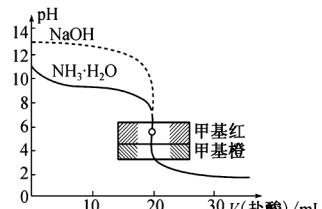


图 16

常温下, 用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaOH}$ 溶液滴定 $20.00 \text{ mL } 0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} CH_3COOH$ 溶液的过程

中,因为涉及到 CH_3COOH 电离和 CH_3COONa 水解两个方面。教师可以按照“滴定过程→溶质主要成分→溶液中存在的平衡→溶液中粒子浓度关系”组织学生讨论。让学生分析滴定前(*A*点)、滴定开始至溶液 $\text{pH} = 7$ 前(*AB*段)、 $\text{pH} = 7$ (*B*点)、 $\text{pH} = 7$ 到化学计量点前(*BC*段)、化学计量点(*C*点)、化学计量点后(*C*点后)溶液成分,明确随着 NaOH 溶液的滴入,溶液中的溶质发生了从 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}$ 和 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}$ 和 NaOH 的变化过程。随着溶质的变化,溶液中的平衡也发生了相应变化:只有 CH_3COOH 和 H_2O 的电离平衡 $\rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$ 电离平衡强于 CH_3COO^- 水解平衡 $\rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$ 电离平衡与 CH_3COO^- 水解平衡作用相当 $\rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^-$ 水解平衡为主。经过这样的分析,学生就容易理解溶液中粒子浓度的动态变化。

3. 认真厘清化学原理类图像的内在逻辑关系

各类化学原理类图像大多是通过数学处理得到的,因为表达方式的差异,使得图像不同;但其内在的化学原理是一致的。教师要引导学生找出图像的内在逻辑关系,弄清其是如何转化的。

例 8 (2013 江苏 -14) 一定温度下,三种碳酸盐 $M\text{CO}_3$ (M : Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+}) 的沉淀溶解平衡曲线如图 17。已知: $pM = -\lg c(M)$, $p(\text{CO}_3^{2-}) = -\lg c(\text{CO}_3^{2-})$ 。下列说法正确的是()。

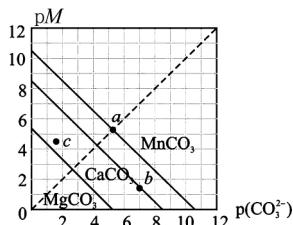


图 17

- A. MgCO_3 、 CaCO_3 、 MnCO_3 的 K_{sp} 依次增大
- B. *a* 点可表示 MnCO_3 的饱和溶液,且 $c(\text{Mn}^{2+}) = c(\text{CO}_3^{2-})$
- C. *b* 点可表示 CaCO_3 的饱和溶液,且 $c(\text{Ca}^{2+}) < c(\text{CO}_3^{2-})$
- D. *c* 点可表示 MgCO_3 的不饱和溶液,且 $c(\text{Mg}^{2+}) < c(\text{CO}_3^{2-})$

本题考查沉淀的溶解平衡。因为 $c(M) =$

$10^{-pM} \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) = 10^{-p(\text{CO}_3^{2-})}$, 而 $K_{sp} = c(M) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})$, 由图 17 知 MgCO_3 、 CaCO_3 、 MnCO_3 的 K_{sp} 依次减小。直线上的每一点都表示饱和溶液,点 *a* 在对角线上 $c(\text{Mn}^{2+}) = c(\text{CO}_3^{2-})$, 点 *b* 也是饱和溶液,但 $c(\text{Ca}^{2+}) > c(\text{CO}_3^{2-})$; 通过 *c* 点横、纵坐标可看出 $c(\text{Mg}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-}) < K_{sp}$, 溶液不饱和,且 $c(\text{Mg}^{2+}) < c(\text{CO}_3^{2-})$ 。

对于 $pM - p(\text{CO}_3^{2-})$ 的线性关系,它的原型是 CaCO_3 水溶液中 $c(\text{Ca}^{2+}) - c(\text{CO}_3^{2-})$ 的曲线关系(图 18)。如何将曲线关系转化为直线关系?根据 $\text{CaCO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$, $K_{sp} = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})$ 来推导,将等式两边同时取负对数,即有 $-\lg K_{sp} = -[\lg c(\text{Ca}^{2+}) + \lg c(\text{CO}_3^{2-})]$ 。再根据 $pK_{sp} = -\lg K_{sp}$, $pM = -\lg c(M)$, $p(\text{CO}_3^{2-}) = -\lg c(\text{CO}_3^{2-})$, 将等式化为: $pK_{sp} = pM + p(\text{CO}_3^{2-})$, 这样 pM 与 $p(\text{CO}_3^{2-})$ 之间就变成了线性关系。

事实上,无论是 $c(\text{Ca}^{2+}) - c(\text{CO}_3^{2-})$ 的曲线关系还是 $pM - p(\text{CO}_3^{2-})$ 的直线关系,考查的都是沉淀溶解平衡时溶液中离子浓度关系,只是表达形式不同,而考查的原理是相同的,解答的关键是要厘清化学原理类图像的内在逻辑关系。

4. 积极提升整合同一试题不同化学图像信息解题的能力

对于同一题目中不同小题图像相互关联的试题,要引导学生琢磨命题意图,分析答题需要的化学反应原理,比较问题涉及物质的图像信息,学会从复杂图像信息中找到答题共享信息。

例 9 (2017 江苏 -20-3) 溶液的 pH 对吸附剂 *X* 表面所带电荷有影响。 $\text{pH} = 7.1$ 时,吸附剂 *X* 表面不带电荷; $\text{pH} > 7.1$ 时带负电荷, pH 越高,表面所带负电荷越多; $\text{pH} < 7.1$ 时带正电荷, pH 越低,表面所带正电荷越多。 pH 不同时吸附剂 *X* 对三价砷和五价砷的平衡吸附量(吸附达平衡时单位质量吸附剂 *X* 吸附砷的质量)如图 19 所示。

①在 $\text{pH} 7-9$ 之间,吸附剂 *X* 对五价砷的平

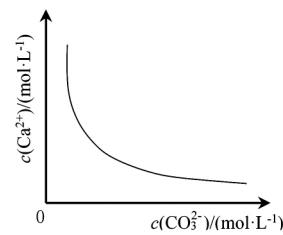


图 18

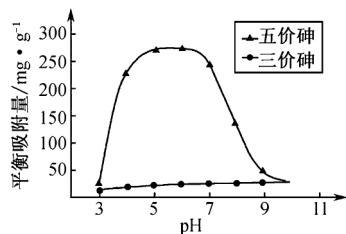


图 19

平衡吸附量随 pH 升高而迅速下降，其原因是_____。

②在 $pH 4 - 7$ 之间，吸附剂 X 对水中三价砷的去除能力远比五价砷的弱，这是因为_____。

本题信息较多，不仅要准确读取题目和图 19 所给信息，还要结合图 20、图 21 信息来解答。当 pH 在 $7.1 - 9$ 时， X 表面带负电荷。图 21 显示，在 pH 从 $7.1 - 9$ 的变化过程中， $H_2AsO_4^-$ 转化为 $HAsO_4^{2-}$ ， X 表面所带负电荷增多，电荷间的排斥力使得吸附剂 X 对五价砷的平衡吸附量迅速下降。当 pH 在 $4 - 7$ 时， X 表面带正电荷。在 pH 从 $4 - 7$ 的变化过程中，五价砷主要以 $H_2AsO_4^-$ 和 $HAsO_4^{2-}$ 存在，异性电荷相互吸引使得吸附效果好；而图 20 显示三价砷主要以 H_3AsO_3 分子存在，与吸附剂 X 的静电引力较弱，从而导致吸附剂 X 对水中三价砷的去除能力远比五价砷的弱。

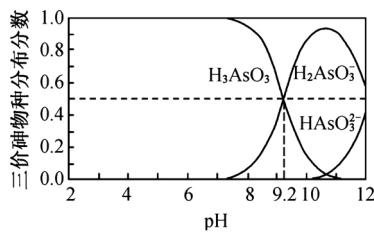


图 20

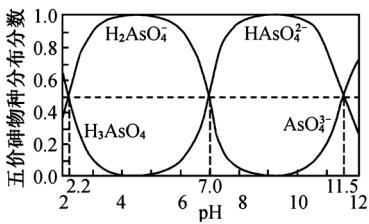


图 21

5. 有效构建解答化学反应原理类图像题的认知模型

化学反应原理类图像大多来源于科学文献资料，经过命题者的加工处理转化成试题，图像信息

量较大，能够全面考查学生摄取、吸收、加工处理新信息的能力。学生感觉既新颖又陌生，看起来容易做起来难。如何帮助学生做到正确读取图像信息，准确转化图像信息，深入挖掘隐含信息，合理选择使用数据，恰当匹配化学原理，需要教师引导学生分析图像类型、选择认知视角、捕捉图像变量、抓住关键信息进行证据推理；按照“读取图像信息→研究图像特征→匹配化学原理→判断变化规律→进行证据推理→作出解释论证”来建构认知模型（图 22）。

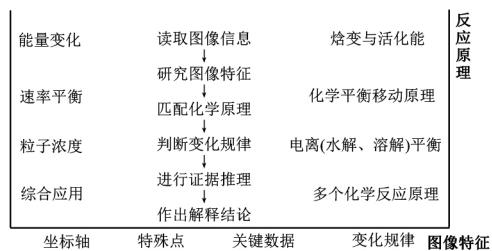


图 22

读取图像信息要求学生能知道图像的类型、坐标轴的意义、特殊点的含义、关键数据的作用和图像变化规律；研究图像特征，需要明确单一图像的特殊性，比较不同图像的差异性，学会通过控制变量来分析图像，理解图像所考查化学原理的本质内涵，能够根据图像类型将信息数据与规律原理进行准确匹配。对于信息较多的图像要进行整合，要抓住图像主要特征，挖掘隐含信息，排除干扰信息，找准有效信息，运用相关的化学原理来进行证据推理。对问题或结论的解答一定要反复追问化学图像考查的本质，图像变化的条件，图像的数据与规律是否符合化学原理及生产实际。

化学反应原理类图像题具有材料真实、形式简洁、信息隐蔽、难度较大等特点，对学生的思维能力要求较高。面对形式多样、越来越抽象综合的图像题，教师要引导学生依据图像题的认知模型，全方位地解读图像信息，准确整合有效信息；让学生在对化学图像的观察与识别、抽象与比较、概括与统整的过程中，实现图像和原理间的有效转化，运用整体思维、有序思维和批判性思维来解答化学反应原理类图像题。

基金项目 江苏省中小学第十二期教学研究课题“中学生化学模型认知能力培养的实践研究”（2017JK12-L004）成果之一。

（收稿日期：2019-08-17）