

问题驱动 思维发散 对点发力

——“沉淀溶解平衡”复习课的设计

广东省深圳市新安中学高中部 518101 兰建祥

知识问题化、问题情景化,这是实现知识向能力转化的根本策略,也是最有效的策略。高三复习课中复习知识的过程、应用知识解决问题的过程和培养能力的过程,应体现能力大于学科本位知识的新课程理念,体现知识的应用价值和学以致用教学思想。基于高三学生已经具备良好的知识与能力积累,笔者在高三复习教学中一直秉持问题探究观,通过创设培养学生问题意识的学习环境,引导学生进行发现式、探究式和发展性、过程性学习。

下面以“沉淀溶解平衡”的复习为例说明如何设计问题驱动、思维发散、对点发力的高效复习课堂。

一、教学内容与目的指向分析

1. 教学重点: (1) 巩固学生对溶解平衡概念的理解。(2) 学会运用溶度积规则定量分析和解决溶解平衡问题。(3) 沉淀转化及其运用。

2. 解决学生的疑点问题: 化解学生对溶解平衡在认识上的三大误区: (1) 当两种离子恰好按化学方程式的计量数之比发生沉淀反应后,两种离子在溶液中就不再存在(忽视了溶解平衡的存在)。(2) 只有难溶物才存在溶解平衡(对溶解平衡的狭义理解)。(3) 溶解度小的难溶物可以转化成溶解度更小的难溶物,而溶解度更小的难溶物不能转化成溶解度小的难溶物(对沉淀转化的错误认识)。

3. 解决难点问题: 有关 K_{sp} 的计算, 溶解平衡

► B. 室温下 $\text{pH} = 3$ 的 CH_3COOH 溶液与 $\text{pH} = 11$ 的 NaOH 溶液等体积混合, 溶液 $\text{pH} > 7$

C. 钢铁水闸可用牺牲阳极或外加电流的阴极保护法防止其腐蚀

D. 一定条件下反应 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ 达到平衡时, $3v_{\text{正}}(\text{H}_2) = 2v_{\text{逆}}(\text{NH}_3)$

设计意图 对高考考题的研究和复习更能凸显章节知识复习的重点,例3是氧化还原反应的规律与有机物同分异构体的性质、盖斯定律、化学反应规律等内容的综合,在讲解过程中让学生意识到氧化还原反应规律体现在得失电子数目守

图像。

二、教学策略与设计思路

1. 通过问题情景,深化学生对溶解平衡概念的理解。2. 通过溶度积规则的运用,强化学生对溶解平衡本质的理解,并提升定量分析和解决溶解平衡问题的能力。3. 通过问题探究,化解学生对溶解平衡的理解误区。4. 通过典型问题的归类分析,突破学习中的难点,特别是提升有关计算和分析图像问题的能力。

教学设计思路如图1所示:

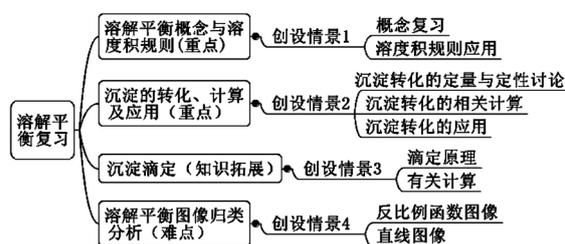


图1

三、教学主体流程

1. 环节一: 溶解平衡的概念与溶度积规则

创设情景1: 常温时, AgCl 、 AgBr 、 AgI 的溶度积常数见表1。

表1

$K_{sp}(\text{AgCl})$	$K_{sp}(\text{AgBr})$	$K_{sp}(\text{AgI})$
1.8×10^{-10}	5.0×10^{-13}	8.3×10^{-17}

恒、归中规律、强强联手等知识上。例4的侧重点则在氧化还原反应中电子转移、盐类水解和弱电解质的电离、金属防护、达到化学平衡的判断等知识综合上。

解题能力是高考获胜的利器,高三化学复习课必须帮助学生有效复习基础知识与基本技能,要切实提高学生解决化学问题的能力,尤其是解决类似高考难度问题的能力。在复习课上要多引导学生变换思考角度,这样不仅提高了知识和方法复习的广度,还能有效拓宽学生的思维。

(收稿日期: 2015-07-15)

将 $0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 和 $0.002 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 AgNO_3 溶液等体积混合。(1) 是否有 AgCl 沉淀生成?(2) 充分反应后,静置,上层清液中是否存在 Ag^+ 和 Cl^- ? 若存在,其物质的量浓度为多少?(3) 如何用实验证明上述清液中同时存在着少量的 Ag^+ 和 Cl^- ? (4) 若要检验出上述清液中的 Cl^- , 则 $c(\text{AgNO}_3)$ 必须满足什么条件?(5) 易溶物能建立溶解平衡吗?

学生分析 1: (1) $Q = c(\text{Cl}^-) \cdot c(\text{Ag}^+) = 0.001 \times 0.001 = 1 \times 10^{-6} > K_{\text{sp}}(\text{AgCl})$, 故有沉淀生成。(2) $c(\text{Ag}^+) = c(\text{Cl}^-) = \sqrt{K_{\text{sp}}(\text{AgCl})} = \sqrt{1.8 \times 10^{-10}} = 1.34 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。(3) 取少许上层清液于试管中,滴加硝酸酸化的 AgNO_3 溶液,若生成白色沉淀,则证明溶液中含 Cl^- ; 另取少许清液于试管中,滴加 NaCl 溶液,若生成白色沉淀,则证明溶液中含 Ag^+ 。(4) $c(\text{Ag}^+) \geq K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) / c(\text{Cl}^-) = 1.8 \times 10^{-10} / 1.34 \times 10^{-5} = 1.34 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。显然,常用 AgNO_3 溶液完全满足该浓度要求。(5) 易溶物其实也存在溶解平衡,如蔗糖、氯化钠的溶解与结晶平衡。

教师点拨 1: (1) 上述清液实质为 AgCl 的饱和溶液,溶液中存在着溶解平衡: $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 。(2) 当溶液中某离子物质的量浓度 $\leq 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可视为沉淀完全。(3) 溶度积规则: 当溶液中的离子浓度的幂之积等于溶度积时,则溶液是饱和的; 若小于其溶度积,则没有沉淀生成; 若大于其溶度积,则有沉淀析出。(4) 难溶物与易溶物之间并无严格的界限,当易溶物的溶液达到饱和状态时,也可建立溶解平衡状态。利用结晶法制备物质,其实就是改变条件(降温或蒸发溶剂)使平衡向着结晶的方向移动。由此可见,无论是难溶物还是易溶物,只要开始析出晶体,则建立了溶解平衡。

设计意图: (1) 过去知识的局限性,导致学生总是习惯性地认为,当两种离子恰好按化学方程式的计量数之比发生沉淀反应后,溶液中就不再存在这两种离子,故此忽视了沉淀溶解平衡的存在。通过上述问题情景,强化学生理解溶解平衡的客观存在,消除认识上的误区,并准确理解溶解平衡的特征。(2) 溶度积规则是定量分析和解决有关溶解平衡问题的重要工具。在上述问题情景中,通过对溶度积规则的运用,可以帮助学生对溶解平衡的认识由定

性上升到定量。(3) 多数学生认为,只有难溶物才存在溶解平衡,通过“易溶物存在溶解平衡吗?”的讨论,使学生认识到难溶物的溶解平衡本质属于溶解与结晶平衡。

2. 环节二: 沉淀的转化、相关计算及应用

创设情景 2: (1) 实现沉淀的转化: $\text{AgCl}(\text{s})$

$\xrightarrow[\text{NaCl}(\text{aq})]{\text{KI}(\text{aq})} \text{AgI}(\text{s})$, 则 $c(\text{KI}) \geq \underline{\hspace{2cm}}$, $c(\text{NaCl}) \geq \underline{\hspace{2cm}}$, 两者最小的物质的量浓度之比为 $\underline{\hspace{2cm}}$ 。据此得出什么结论?(2) 求反应 $\text{AgCl}(\text{s}) + \text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgI}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 体系中 $c(\text{Cl}^-) / c(\text{I}^-)$ 及该反应平衡常数 K 。(3) 向浓度均为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 和 KI 溶液中逐渐滴加 AgNO_3 溶液,当生成 AgCl 沉淀时,溶液中 $c(\text{I}^-)$ 为多少?(4) 如何除去 AgI 中的 AgCl ? (5) 如何理解沉淀转化在下列生产、生活过程中的应用?

除去工业废水中含有的 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} , Cu^{2+} 可采用 FeS 固体作为沉淀剂。

除水垢: $\text{CaSO}_4(\text{s}) \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3} \text{CaCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\text{盐酸}} \text{Ca}^{2+}$ 。

氟化物防治龋齿: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{F}^- \rightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F} + \text{OH}^-$

学生分析 2: (1) 在 AgCl 的饱和溶液中 $c(\text{Ag}^+) = c(\text{Cl}^-) = 1.34 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $c(\text{KI}) = c(\text{I}^-) \geq K_{\text{sp}}(\text{AgI}) / c(\text{Ag}^+) = 8.3 \times 10^{-17} / 1.34 \times 10^{-5} = 6.19 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。同理,在 AgI 的饱和溶液中 $c(\text{Ag}^+) = c(\text{I}^-) = \sqrt{K_{\text{sp}}(\text{AgI})} = \sqrt{8.3 \times 10^{-17}} = 9.11 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $c(\text{NaCl}) = c(\text{Cl}^-) \geq K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) / c(\text{Ag}^+) = 1.8 \times 10^{-10} / 9.11 \times 10^{-9} = 1.98 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。两者最小的物质的量浓度之比为: $c(\text{NaCl}) / c(\text{KI}) = 1.98 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} / 6.19 \times 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 3.20 \times 10^9$ 。由此可见,两种难溶物可以相互转化,但转化的难易程度相差很大。(2) $c(\text{Cl}^-) / c(\text{I}^-) = K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) / K_{\text{sp}}(\text{AgI}) = 1.8 \times 10^{-10} / (8.3 \times 10^{-17}) = 2.17 \times 10^6$ 。 $K = c(\text{Cl}^-) / c(\text{I}^-) = 2.17 \times 10^6$ 。(3) 当生成 AgCl 沉淀时 $c(\text{Ag}^+) = K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) / c(\text{Cl}^-) = 1.8 \times 10^{-10} / 0.10 = 1.8 \times 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $c(\text{I}^-) = K_{\text{sp}}(\text{AgI}) / c(\text{Ag}^+) = 8.3 \times 10^{-17} / 1.8 \times 10^{-9} = 4.61 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。(4) 把混合物与饱和 KI 溶液混合,振荡静置,溶度积大的 AgCl 就慢慢转化为溶度积小的 AgI , 过滤,即得 AgI 。(5) 采用 FeS 固体作为沉淀剂,是因为生成更

难溶的 CuS 、 PbS 、 HgS 、 CuS ； CaSO_4 难溶于酸，因 $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) > K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)$ ，先通过可溶性碳酸盐的溶浸发生反应： $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ，再用酸溶解 CaCO_3 即可除去；通过沉淀转化，将牙齿中的矿物质羟基磷灰石转化成具有更好抗酸蚀性能的氟磷灰石，从而防治龋齿。

教师点拨 2：(1) 根据以上计算结果可知：两种难溶物可以相互转化，但转化的难易程度不同，难溶的易于转化成更难溶的。(2) 沉淀转化的实质是沉淀溶解平衡的移动，两种沉淀的溶解度差别越大，沉淀转化越容易。(3) 当某一个反应的平衡常数 $K \geq 10^5$ 时，可认为反应进行得较完全；当 $K \leq 10^{-5}$ 时，则认为反应很难进行。根据以上计算可知 AgCl 转化为 AgI 的平衡常数较大，该转化较易，而其逆反应的平衡常数 $K = 1 / (2.17 \times 10^6) = 4.6 \times 10^{-7}$ 很小，转化非常困难。(4) 对于一些用酸或其他方法不能溶解的沉淀，可以先将其转化为另一种用酸或其他方法能溶解的沉淀。沉淀的转化在科研和生产中具有重要的应用价值。

设计意图：(1) 通过对两种沉淀相互转化的定量比较，使学生确信溶解度不同的两种沉淀其实是可以相互转化的，只是转化的难易程度不同，从而消除“溶解度较小的沉淀不能转化为溶解度较大的沉淀”的理解误区。(2) 求算沉淀转化体系中两种离子的浓度之比或沉淀转化反应的平衡常数，是高考常见的考点，在此强化学生的计算解题能力。(3) 帮助学生理解沉淀的转化应用于分离和提纯物质的原理。

3. 环节三：沉淀滴定

创设情景 3：莫尔法是一种沉淀滴定法，以 K_2CrO_4 为指示剂，用标准硝酸银溶液滴定待测液，进行测定溶液中 Cl^- 的浓度。已知表 2 中的有关数据：

表 2

性质 \ 银盐	AgCl	AgBr	AgCN	Ag_2CrO_4	AgSCN
	颜色	白	浅黄	白	砖红
溶解度 / $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	1.34×10^{-6}	7.1×10^{-7}	1.1×10^{-8}	6.5×10^{-5}	1.0×10^{-6}

(1) 滴定终点的现象是_____。

(2) 若用 AgNO_3 溶液滴定 NaSCN 溶液，可选为滴定指示剂的是_____(填字母序号)。

A. NaCl B. BaBr_2 C. Na_2CrO_4

(3) 刚好达到滴定终点时，发生的离子反应方程式为_____。

学生分析 3：(1) 由于 AgCl 的溶解度小于 Ag_2CrO_4 的溶解度，则 Ag^+ 和 Cl^- 先反应， Cl^- 消耗完后，再和指示剂反应生成 Ag_2CrO_4 砖红色沉淀，由此可知滴定终点时的颜色变化。(2) 若 AgNO_3 溶液滴定 NaSCN 溶液，所选择的指示剂和 Ag^+ 反应所生成沉淀的溶解度应大于 AgSCN 的溶解度，由题给数据可以看出溶解度比 AgSCN 大的有 AgCl 和 Ag_2CrO_4 ，但是由于 AgCl 是白色沉淀，所以应选择 Na_2CrO_4 为指示剂，这样在滴定终点时沉淀的颜色发生明显的变化(白色→砖红色)以指示滴定终点。(3) 离子反应方程式为 $2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} = \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \downarrow$ 。

教师点拨 3：(1) 沉淀滴定是以沉淀反应为基础的滴定分析方法。利用生成难溶性银盐沉淀的滴定方法称为银量法(即利用 Ag^+ 与卤素离子的反应来测定 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 浓度)。(2) 以 K_2CrO_4 为指示剂的银量法称为莫尔法，主要是用 AgNO_3 标准溶液滴定氯化物或溴化物，反应为： $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl} \downarrow$ (白色) $2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} = \text{Ag}_2\text{CrO}_4 \downarrow$ (砖红色)。因 AgCl 比 Ag_2CrO_4 更难溶，根据分布沉淀的原理，当出现砖红色沉淀时，指示滴定终点。

设计意图：(1) 中学教材没有介绍沉淀滴定，但高考题中常有涉及(如 2014 年的江苏高考化学卷)，主要是为了拓展学生的视野。(2) 上述问题情景，可以帮助学生了解莫尔法滴定的原理，即为什么可选择 K_2CrO_4 为滴定指示剂，以及滴定终点的判断。

过程是教学的第一要素，没有学习的过程，没有学生的积极参与，就没有真正的教与学。在高三的复习教学中，无论是元素化合物知识，还是化学的基本概念、反应原理，都能以“知识问题化，问题情景化”为教学策略，围绕主干知识设置环环相扣、层层深化的程序性小问题，让学生在情景中应用化学知识，理解和还原概念与原理，这样不仅可以有效诱导学生尝试解决问题的内驱力，激发学生积极的思维活动，而且可以抓住主干知识，降低知识难度，突破知识难点，更能培养学生应用知识解决问题的能力，在复习中达到知识升华、能力落地的双重效果，促进学生学习能力的发展。(收稿日期：2015-07-15)