



“难溶电解质的溶解平衡”教学实录与反思

王延广

(金陵中学 江苏 南京 210005)

摘要:本节课通过对自来水中 Cl^- 的检验、自来水中 Cl^- 的测定、水垢的处理等三个实例中若干问题的讨论,引导学生应用难溶电解质的溶解平衡的基本知识分析沉淀的生成、沉淀的转化和沉淀的溶解等问题,并在讨论中培养学生综合应用知识处理实际问题的能力。

关键词:沉淀溶解平衡;沉淀的生成;沉淀的转化;沉淀的溶解;溶度积常数

文章编号:1008-0546(2018)05-0044-04

中图分类号:G633.8

文献标识码:B

doi:10.3969/j.issn.1008-0546.2018.05.012

一、设计思想

“难溶电解质的溶解平衡”是人教版化学选修4《化学反应原理》第三章第4节的内容,是在化学平衡基础上对水溶液中的一种离子平衡的讨论。在此之前学生已经学习了化学平衡、弱电解质的电离平衡、水的电离平衡、盐类的水解平衡等知识,已经能从化学平衡的角度对弱电解质的电离、水的电离、盐类的水解等化学问题进行分析,并初步形成了从化学平衡的角度分析问题、理解问题的能力。

本节课是翻转课堂教学模式的一次尝试。在课前我们录制了三个视频,分别介绍了沉淀溶解平衡的概念、溶度积常数和溶度积常数的应用,视频中涉及的基础知识由学生在课前学习掌握。在课堂教学中,主要通过对自来水中 Cl^- 的检验、自来水中 Cl^- 的测定、水垢的处理等三个实例中若干问题(表1)的讨论,引导学生应用难溶电解质的溶解平衡的基本知识理解沉淀的生成、沉淀的转化和沉淀的溶解等问题,培养学生综合应用多方面知识处理问题的能力。

表1 实例及问题

| 三个化学实例 | 课堂上讨论的问题 | 问题指向的目标 |
|---------------------------|--|---------------|
| 1. 自来水中 Cl^- 的检验 | 1. 如何检验自来水中的 Cl^- ? | 沉淀的生成 |
| | 2. 自来水中 Cl^- 的含量约为 $18 \sim 30\text{ppm}$ (1ppm 即 1mg/L)。向 5mL 自来水中滴加1滴 0.05mol/L AgNO_3 溶液能产生沉淀吗? | |
| 2. 自来水中 Cl^- 的测定 | 3. 如何测定水中 Cl^- 的含量? | 沉淀的转化和沉淀的先后顺序 |
| | 4. K_2CrO_4 溶液为什么能用作为 AgNO_3 溶液滴定 Cl^- 的指示剂? | |
| | 5. 在用 AgNO_3 溶液滴定 Cl^- 的过程中溶液为什么要控制在中性或弱碱性($\text{pH}=6.5 \sim 10$)? | |
| 3. 水垢的处理 | 6. 水垢的主要成分为 CaCO_3 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 CaSO_4 等,如何处理水垢? | 沉淀的转化和沉淀的溶解 |
| | 7. 能将更难溶的 BaSO_4 转化成难溶的 BaCO_3 吗? | |

二、教学目标

运用平衡移动的观点分析沉淀的生成、转化和溶解;使用溶度积常数(K_{sp})、离子积(Q_c)对沉淀的生成、沉淀的转化和沉淀的溶解进行理论分析;通过自来水中 Cl^- 的测定、水垢的处理等问题的讨论,体会沉淀溶解平衡在生产生活中的应用,激发学生学习化学的热情。

三、教学实录

环节一:讨论自来水中 Cl^- 的定性检验,理解沉淀的生成

【引课】(从实验室水龙头中取约 5mL 自来水置于大试管中,同时讲述)因为要杀菌消毒,我们会向自来水中通入一定量的 Cl_2 ,这就导致自来水中会有少量的 Cl^- 。如何检验自来水中的 Cl^- ?

【学生】使用 AgNO_3 溶液。

设计意图: Cl^- 的检验是学生比较熟悉的知识,从学生日常生活中常见的物质和熟悉的知识出发,引起学生的学习动机。

【演示实验1】向盛有 5mL 自来水的大试管中滴加



1~2滴AgNO₃溶液,振荡,观察现象。

【学生】无明显现象。

设计意图:基于已有的知识背景,学生预期试管中会产生白色AgCl沉淀。在本实验中,教师通过控制AgNO₃溶液的浓度,使得反应开始时沉淀现象不明显,与学生的预期产生冲突,引起学生的学习动机。

【教师】没有出现沉淀的可能原因是什么?

【学生】思考后回答:可能是自来水中Cl⁻浓度太小。

【教师】若自来水中Cl⁻的含量约为18~30ppm(1ppm即1mg/L)。向5mL自来水中,滴加1滴0.05mol/L AgNO₃溶液。能出现AgCl沉淀吗?(已知 $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$,一滴溶液的体积约为0.05mL。)

【学生】(计算出 Q_c ,比较 Q_c 和 K_{sp} 的相对大小,讨论) $Q_c > K_{sp}$,可以产生AgCl沉淀。

设计意图:使学生熟悉应用 K_{sp} 和 Q_c 之间的关系判断沉淀溶解平衡移动方向。从理论计算结果和实验结果的冲突引出浓度对反应速率的影响,启发学生综合考虑问题。

【演示实验1】再次观察上述演示实验的现象。(部分学生可能会因为距离远而观察不到沉淀的现象。若学生仍不能观察到现象,可用激光笔照射体系,观察丁达尔效应。)

【学生】看到丁达尔效应。

【教师】在上述实验中不是不能产生沉淀,而是产生沉淀的速率比较慢。原因是反应体系中Cl⁻和Ag⁺的浓度都比较小。

设计意图:在前面的课程中学习Cl⁻的检验时,是不考虑AgNO₃溶液的浓度的。在选修4第二章中学生已经系统学习了化学反应速率的知识,掌握了反应物浓度对化学反应速率的影响。通过这个实验的设计和对结果的讨论启发学生综合考虑沉淀的生成和沉淀反应速率等知识,体会解决实际问题的复杂性。

环节二:讨论自来水中Cl⁻的测定,理解沉淀的转化

【教师】如何测定自来水中氯离子的含量?

【学生】(思考,讨论,总结测定方案。)用已知浓度的AgNO₃溶液滴定一定体积的自来水。

设计意图:在选修4化学反应原理第三章第二节中刚刚学习过酸碱中和滴定,同时前面演示实验中定性检验Cl⁻时又使用了AgNO₃溶液,所以学生比较容易想到滴定的方法。若有同学提出测定AgCl质量的方法,

教师可以就此和学生讨论重量法的不合理之处。

【教师】在酸碱中和滴定知识的学习中,我们知道滴定过程需要指示剂。如果用AgNO₃溶液滴定Cl⁻,一样需要指示剂。化学工作者已经帮助我们选出了一种指示剂,就是K₂CrO₄溶液。K₂CrO₄溶液为什么能用作AgNO₃溶液滴定Cl⁻的指示剂?

【学生】思考,讨论。

【教师】作为指示剂要满足的一些要求:(1)能和Ag⁺反应产生明显的有别于Ag⁺和Cl⁻反应的现象。(2)在Cl⁻完全沉淀后与Ag⁺反应。

设计意图:在酸碱中和滴定中学生已经学习过酚酞、甲基橙等指示剂的使用,故不难理解作为滴定指示剂需要满足的一些要求。

【分组实验1】取1mL 0.1mol/L K₂CrO₄溶液置于小试管中,向其中滴加0.05mol/L AgNO₃溶液,观察现象。

【学生】生成(砖)红色沉淀。

【教师】CrO₄²⁻和Ag⁺反应生成砖红色Ag₂CrO₄沉淀,有别于AgCl白色沉淀。若已知 $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$, $K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 2.0 \times 10^{-12}$,CrO₄²⁻为什么在Cl⁻后与Ag⁺反应?

【学生】由Ag₂CrO₄的 K_{sp} 计算饱和Ag₂CrO₄溶液中Ag⁺的浓度(饱和AgCl溶液的浓度计算在课前视频中已涉及),并由此说明沉淀反应的先后顺序。

【教师】总结:CrO₄²⁻在Cl⁻之后和Ag⁺反应产生砖红色沉淀,可以用作AgNO₃溶液滴定Cl⁻的指示剂。

【教师】在实际测量过程中锥形瓶中溶液要控制在中性或弱碱性(pH=6.5~10),为什么?

【学生】思考后回答:若pH太大,容易产生AgOH沉淀,影响测量结果;若pH太小,CrO₄²⁻会和H⁺发生如下反应: $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$,降低了指示剂的浓度。

设计意图:在基本知识的教学中,我们接触到的一般是对单一知识的介绍。而这个问题的解释要涉及CrO₄²⁻和Cr₂O₇²⁻之间的转化平衡、溶液的pH、沉淀溶解平衡等诸多知识,通过这个问题的讨论培养学生在真实情境中综合考虑多方面因素的能力和意识。

【教师】在Ag⁺和Cl⁻反应的化学计量点,若想产生Ag₂CrO₄沉淀,锥形瓶中CrO₄²⁻的浓度大约为多少?

【学生】使用 K_{sp} 计算指示剂CrO₄²⁻的浓度,大约为10⁻²mol/L。

【教师】通过计算可知锥形瓶溶液中CrO₄²⁻的浓度较高,比酸碱中和反应中指示剂的浓度大的多。在滴定过



程中,会不会在局部区域因 Ag^+ 浓度较高(如 AgNO_3 溶液滴落的区域)导致 Ag_2CrO_4 沉淀先出现而影响滴定结果?

【分组实验2】向含有 Ag_2CrO_4 沉淀(分组实验1中的试管)的试管中加入 0.1mol/L NaCl 溶液,观察现象。

【学生】砖红色沉淀逐渐变成白色沉淀。

【教师】在 Ag_2CrO_4 溶液中,存在溶解平衡, $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-}$, Cl^- 和 Ag^+ 结合生成 AgCl 沉淀,推动了 Ag_2CrO_4 的溶解平衡正向移动,总的结果为 $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons 2\text{AgCl}(\text{s}) + \text{CrO}_4^{2-}$, 反应进行的程度由该反应平衡常数的大小决定。已知 $K_{\text{sp}}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$, $K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 2.0 \times 10^{-12}$, 试计算该反应平衡常数的大小。

【学生】计算 $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{s}) + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons 2\text{AgCl}(\text{s}) + \text{CrO}_4^{2-}$ 的化学平衡常数大小。

$$K = \frac{c(\text{CrO}_4^{2-})}{c^2(\text{Cl}^-)} = \frac{c(\text{CrO}_4^{2-}) \times c^2(\text{Ag}^+)}{c^2(\text{Cl}^-) \times c^2(\text{Ag}^+)} = \frac{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)}{K_{\text{sp}}^2(\text{AgCl})} = 6.2 \times 10^7$$

【教师】可以看出,向 Ag_2CrO_4 沉淀中加 NaCl 溶液 Ag_2CrO_4 会转化成 AgCl , 说明难溶的电解质可以转化成更难溶的电解质。同样,如果向同浓度的 Cl^- 和 CrO_4^{2-} 的混合溶液滴加 AgNO_3 溶液, Cl^- 会优先沉淀。

设计意图:沉淀转化和沉淀反应的先后顺序应该是同一规律的两个不同方面,类似于酸碱反应、氧化还原反应中可行性问题、反应先后顺序问题。

【演示实验2】向大试管中加入 0.1mol/L NaCl 溶液、 0.1mol/L K_2CrO_4 溶液各约 3mL , 再向混合溶液中滴加几滴 0.05mol/L AgNO_3 溶液,振荡,观察现象。

设计意图:演示实验的目的是对理论分析过程的实证。

【学生】滴入 AgNO_3 溶液时会出现砖红色沉淀,振荡后转化成白色沉淀。

【教师】通过上述讨论可以看出,在 AgNO_3 溶液滴定 Cl^- 的过程中, CrO_4^{2-} 会在 Cl^- 沉淀完全后再和 CrO_4^{2-} 反应。因为即使先生成了 Ag_2CrO_4 沉淀,只要溶液还有 Cl^- , Ag_2CrO_4 沉淀还是会转化成 AgCl 沉淀。

【分组实验3】向盛有一滴管 0.05mol/L AgNO_3 溶液的试管中滴加足量 0.1mol/L NaCl 溶液,再向其中滴加 0.1mol/L KI 溶液,观察实验现象。

【学生】先产生白色沉淀,加入 KI 溶液后变成黄色沉淀。

设计意图:通过 Ag_2CrO_4 沉淀转化成 AgCl 沉淀、

AgCl 沉淀转化成 AgI 沉淀的实验事实,使学生理解沉淀转化的普遍性和一般规律。

【教师】难溶的电解质可以转化成更难溶的电解质,这种转化在自然界中也是普遍存在的,如难溶的 ZnS ($K_{\text{sp}} = 2.93 \times 10^{-25}$) 转化成更难溶的 CuS ($K_{\text{sp}} = 1.27 \times 10^{-36}$), 难溶的 PbS ($K_{\text{sp}} = 9.04 \times 10^{-29}$) 转化成更难溶的 CuS ($K_{\text{sp}} = 1.27 \times 10^{-36}$) 等。

环节三:讨论水垢的处理过程,理解沉淀的转化和沉淀的溶解

【教师】锅炉中的水垢会降低热能的利用率,甚至因传热不均会引发爆炸事故。水垢的主要成分为 CaCO_3 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 CaSO_4 等,如何处理水垢?

设计意图:基于生活常识和已有的学科知识,在水垢的处理方法中学生容易想到的是用酸溶解水垢,由此指出该处理方法的问题,即 CaSO_4 不溶于酸的问题,进而讨论沉淀的转化在生产生活中的应用,以及沉淀的酸溶解问题。

【学生】用醋酸溶解。

【教师】日常生活中我们可以选择醋酸溶解水垢,工业上我们可能会选择更强的酸,如盐酸。如果加入盐酸, CaCO_3 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 均能溶解,但 CaSO_4 不溶于盐酸,该怎么处理 CaSO_4 ?

【学生】思考后回答:用 Na_2CO_3 溶液将 CaSO_4 转化成 CaCO_3 , CaCO_3 可以溶于盐酸。

【教师】用 Na_2CO_3 溶液处理 CaSO_4 , 发生如下反应 $\text{CaSO}_4(\text{s}) + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}$, 该反应的平衡

常数 $K = \frac{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)}{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)} = 3.3 \times 10^3$, 平衡常数较大,反应容易发生。

将 CaSO_4 转化成 CaCO_3 后,水垢成分主要是 CaCO_3 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 可以用盐酸溶解。从沉淀溶解平衡的角度, $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$, CO_3^{2-} 和 H^+ 反应生成 CO_2 气体,降低了溶液中 CO_3^{2-} 的浓度,推动了 CaCO_3 溶解平衡的正向移动,于是 CaCO_3 溶于盐酸,这个过程我们一般用方程式 $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 表示,类似的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的溶解过程用 $\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} = \text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 表示。

【教师】难溶电解质可以转化成更难溶的电解质,那么难溶电解质能不能转化成相对易溶的电解质呢? 已知 $K_{\text{sp}}(\text{BaSO}_4) = 1.1 \times 10^{-10}$, $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3) = 5.1 \times 10^{-9}$, 能将 BaSO_4 转化成 BaCO_3 吗?

设计意图: BaSO_4 不溶于酸,这一点类似于 CaSO_4 , 不同是 CaSO_4 的 K_{sp} 大于 CaCO_3 , 而 BaSO_4 的 K_{sp} 小于



BaCO₃,所以BaSO₄转化成BaCO₃的过程不易发生。所以在该沉淀转化过程中要综合考虑平衡移动的问题。

【学生】计算BaSO₄(s)+CO₃²⁻⇌BaCO₃(s)+SO₄²⁻的平衡常数,得出结论:平衡常数为2.2×10⁻²,反应不易进行。

【教师】能想办法使平衡正向移动吗?

【学生】思考后回答:使用饱和Na₂CO₃溶液,降低c(SO₄²⁻),使平衡正向移动。

【教师】使用Na₂CO₃溶液浸泡BaSO₄固体,溶液中SO₄²⁻浓度变大后更换饱和Na₂CO₃溶液,可以促使平衡正向移动,使BaSO₄转化成BaCO₃。在某些情况下,我们可以通过反应条件的改变促使平衡正向移动,使难溶电解质转化成相对易溶的电解质。

四、实施反思

翻转课堂教学模式对学生课前的自主学习提出了更高的要求。在本节课的教学中,课前主要是学生自主学习基础知识,课堂上师生就一些问题共同展开讨论,在讨论过程中形成知识体系、深化认识。在课堂讨论中主要注重知识体系的构建,知识的综合利用,如综合沉淀溶解平衡和反应速率的知识解释自来水和

AgNO₃溶液的反应,综合应用多个平衡理解莫尔法中溶解pH值的选择等。这些都要求学生课前对基础的知识的学习达到较好的掌握程度,对学生的自主学习能力、自我管理能力提出了更高的要求,若课前基本知识掌握不到位,课堂讨论中可能会遇到较大困难。

在翻转课堂教学模式的实施中应更多关注学生思维的培养、能力的提升。在传统的课堂中,我们首先进行的是知识的传授,这是要花费一定的课堂时间的,甚至有些时候会占据绝大多数的课堂时间,然后在知识传授的基础上再进行能力的培养。在翻转课堂的教学形式中,教学重心很明显的后移了,教学效率更高。而当学生的能力形成以后,课后处理问题则事半功倍,所以我们对翻转课堂的讨论不应只关注于课前学习会不会占据学生更多的学习时间,作业是不是要减少,作业减少到多少合适等问题,而更多的应该关注在翻转课堂的教学模式下学生的思维有没有得到培养、能力有没有得到提升等。

参考文献

- [1] 武汉大学主编.分析化学(上册)[M].北京:高等教育出版社,2006:269-275

(上接第39页)

三、教学思考与体会

科学风险的教育在国内尚处在起步阶段,而且本质上属于隐形教育范畴,因此在教学模式上要尽量避免生硬的说教,本课的教学内容不局限于现有教材,是基于主题式教学范式进行的开发和重组,比如《空气质量报告》、《资料卡》、《数字化实验》等,都是真实而鲜活的素材。通过恰当的教学设计,“让事实说话”,从而达到“润物细无声”的教学效果。在教学策略上要把握风险教育的三个维度,即认知、评估和决策不可偏颇,比如我们将风险种类细化为5个方向,评估采用打等级的形式,决策是在讨论的基础上总结生成的,并且安排了4个循环递进的小组活动。这些都体现了教学的重心向“学生的学习”倾斜的理念,让学生在生动活泼的氛围中建构新认识、新观点,在潜移默化的熏陶中提升科学精神和社会责任,在主动学习的过程中发展核心素养。特别是4种风险等级的评估,基本上符合了“高开低走”的教学预期(见表1),肯定了风险教育的效果:科学的认知、理性的看待、客观的决策会降低“无知的畏惧”和“盲从的群体性冲动”。

化学教与学2018年第5期

表1 风险预估等级

| | | | | |
|------|----|----|----|-----|
| 风险种类 | 健康 | 认知 | 生态 | 生存 |
| 风险程度 | 高 | 较高 | 中 | 中或低 |

当然科学风险教育是“超越学科知识”的新生事物,目前在诸多方面还存在不足,值得探讨和争鸣,特别是教学评价方面还缺乏具有共识的标准和诊断工具,希望我们的这种努力和尝试能收到“抛砖引玉”的效果。

参考文献

- [1] 王云生.基础教育阶段学科核心素养及其确定——以化学学科核心素养为例[J].福建基础教育研究,2016(2):7-9
 [2] 陆军.化学教学中学生科学风险认知及其能力的培养[J].课程·教材·教法,2016(1):104
 [3] 核心素养研究课题组.中国学生发展核心素养[J].中国教育学报,2016(10):1-2
 [4] 严西平等.基于培养科学风险素养的主题式教学[J].中学化学教学参考,2017(5)
 [5] 袁顶国等.论主题式教学设计的内涵、外延与特征[J].课程·教材·教法,2006(12):19