

“难溶电解质的溶解平衡”教学设计、实施与反思

郑军, 潘虹

(重庆市巴蜀中学, 重庆 400013)

摘要:“难溶电解质的溶解平衡”作为一节理论性相当强的平衡理论学习,与元素化合物等介绍性、识记性知识的学习方法有很大的不同,必须让学生动手动脑。故在本节课实施中,采用启发式教学法,借鉴苏格拉底的产婆术,通过提出问题、助产(启发、引导学生,使学生通过自己的思考,得出结论)、归纳和定义(使学生逐步掌握明确的定义和概念)等步骤让学生主动参与思维活动,从而实现本节理论知识的高效建构。

关键词: 难溶电解质; 溶解平衡; 教学设计

文章编号: 1005-6629(2018)2-0053-05

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

1 教学设计思路

本节课内容是人教版化学选修4第三章“水溶液中的离子平衡”第四节“难溶电解质的溶解平衡”。第三章“水溶液中的离子平衡”是应用第二章所学的平衡理论,进一步探讨水溶液中的离子行为,而第四节“难溶电解质的溶解平衡”是继化学平衡、电离平衡、盐类水解平衡之后的又一个重要平衡理论。通过学习本节内容,学生能更全面地了解水溶液中离子平衡的相关理论,能用平衡移动理论去解释难溶电解质的溶解,能更加透彻地理解在溶液中发生离子反应的本质及它们在生活中应用^[1,2]。

鉴于本节学习内容的特点,在进行课堂教学时,采用启发式教学法,借鉴苏格拉底的产婆术,通过逐个深入地提出问题,有意识地引导学生进行思考,再利用实验进行探究。通过5个教学阶段步步深入地完成难溶电解质的溶解平衡知识与已有平衡理论知识的有效建构。

首先,基于学生的知识基础,从熟悉的部分酸、碱、盐的溶解性表,引出难溶电解质是否完全不溶的问题,以镁与热水反应后的溶液滴加酚酞变红得出溶解性表中写有“不”的 $Mg(OH)_2$ 是可以极少量溶于水的,从而自然引出学习内容。

4 教学反思

$FeCl_3$ 、 $AlCl_3$ 等盐溶液在蒸干时,会完全水解,生成的氢氧化物在灼烧后转化为氧化物。对 $FeCl_3$ 溶液灼烧实验进行改进发现得到黑色粉末的意外现象。由此,设计了本节的实验探究课,希望让学生通过实验探究,认识所发生变化的本质,提高问题意识、探究意识和探究能力。事实证明,化学实验的意外现象,能使学生学习兴趣高涨、引发探究欲望,活跃思维。课堂上,教师要抓住契机,充分利用意外现象生成的教学资源,不搪塞敷衍,不主观臆断,启发学生进行探究。

本节的教学设计也说明,在教学实践中,教师要注意将课本中现象不明显、成功率较低、污染大、耗时长的实验加以改进,提高实验的效果。教师示范演示实验创新,对于培养学生问题意识、批判精神,提高学生的创新意识也是一个很好的示

范。本节教学采用问题驱动式的教学方法,学生按以下程序开展学习活动:提出问题—确定任务—实验探究—解决问题。课堂上80%以上的时间是学生讲实验、做实验、交流讨论,教师只起引导的作用,把课堂真正地还给学生。在讨论评价环节,全体学生参加了每个问题的讨论,学生在遇到实际问题时,通过讨论、探究去寻找答案,充分体现学生的学习主体地位,学会交流讨论,增强团队精神。

参考文献:

- [1] 徐滨. 化学学科核心素养的培养策略[J]. 中学化学教与学, 2017, (4): 17.
- [2] 薛桂凤. 创新氯化铁水解实验及由该实验引发的实验探究[J]. 中学化学教学参考, 2012, (5): 53.
- [3] 薛桂凤. 3个高中化学演示实验的改进[J]. 实验教学与仪器, 2010, (7/8): 61.

然后,学生自己动手实验,探究溶解性表中同样写有“不”的 AgCl 是否也能极少量溶于水,进而打破已有知识观,得出一个重要的辩证性结论:溶是绝对的,不溶是相对的。这是因为难溶电解质在水溶液中会建立溶解平衡。

再然后,为完善溶解平衡理论,通过向饱和 NaCl 溶液中添加浓盐酸,出现明显的白色浑浊现象,证明了溶解平衡在易溶电解质中的广泛存在。并有意识地进行了平衡知识的迁移,以化学平衡、弱电解质的电离平衡、水的电离平衡、盐类水解平衡为基础,从动态平衡的角度去理解沉淀溶解平衡的建立、移动及影响因素。

接下来,创设如何解救误服 AgNO_3 患者的情境,让学生结合实践举一反三,而学生的回答也耐人寻味、引人思考。假设解救标准为 $c(\text{Ag}^+) < 10^{-5} \text{ mol/L}$, 则洗胃时若用 2% 的 NaCl 溶液 [0.34 mol/L] 能否达到成功解救病人的目的呢? 引入溶度积这个定量常数,通过溶度积规则解答救人问题。

最后,学以致用,将新建构的沉淀溶解平衡知识迁移并应用于沉淀先后顺序的分析及工业除杂。

课堂教学中学生的参与度很高,通过层层递进的问题解决,不断地获得解决问题的成就感,又在不断地发现需要深入分析的新问题,如此螺旋前进,反复从宏观辨识与微观探析进行相互论证,推进了学生对难溶电解质溶解平衡的认识和理解,完善了平衡的理论知识体系。

2 教学目标

能从微粒观认识难溶电解质在水中的溶解情况及溶解平衡的建立过程;会用平衡观对沉淀的生成与溶解进行分析;能从定量观理解溶度积及其表达式,结合溶度积规则定量分析溶解平衡的进行方向。能运用宏观、微观、符号等方式描述难溶电解质、易溶电解质沉淀溶解平衡的移动规律。

通过对难溶电解质 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和 AgCl 的溶解性实验探究、易溶电解质 NaCl 的沉淀实验验证,发展运用化学实验作为分析手段的兴趣,养成注重实证、严谨求实的科学态度。

3 教学过程

3.1 复习旧知, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 实验引发认知冲突

[教师] 查阅教材第 91 页部分酸、碱和盐的

溶解性表(20℃), 请问表格中的“溶、微、挥”, 还有一个短横线“—”, 分别表示什么?

[学生] “溶”表示这种物质在水溶液中是溶解的, “微”表示这种物质微溶于水, “挥”是指这种物质具有挥发性, “—”是指这种物质不存在或者遇水就分解了, 而“不溶”是指这种物质是不溶于水的。

[设问] “不”表示不溶于水, 例如 Mg^{2+} 、 OH^- 对应的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。它是否就真的一点都不溶呢?

[展示教师课前对比实验]

(1) 蒸馏水加 Mg 条, 加热煮沸, 发生反应, 滴加酚酞, 溶液变红;

(2) 蒸馏水不加 Mg 条, 加热煮沸, 滴加酚酞, 无明显现象。

[学生] 分析讨论、推理形成共识: 镁与沸水反应后的溶液呈碱性, 生成的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 不是一点都不溶!

设计意图: 从初三开始伴随学生的“部分酸、碱、盐的溶解性表”, 已不知不觉成为权威的代表。殊不知随着知识的深入学习, 却已成为一种意识禁锢, 必须先破而后立。

3.2 物质迁移, 实验探究引出沉淀溶解平衡

[探究实验] “不”溶的 AgCl 是否也能溶解一点?

[学生交流] 我们先取少量氯化银的上层清液于试管中, 再加少量硫化钠, 发现生成了极少量的黑色沉淀, 应该是硫化银, 说明这个溶液中有一定的银离子存在, 即不溶的 AgCl 也能溶解一点。

[追问] 很严谨! 为什么会想到加硫化钠呢?

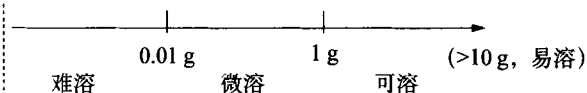
[学生] 因为氯化银悬浊液本来是白色沉淀, 加氯化钠或浓盐酸等将再生成白色沉淀, 在悬浊液中, 现象看起来不明显。

[小结] 氯化银这个“不”, 也是可以溶解一点点的。实际上, 这样的一个辩证性的结论, 在一百多年前, 德国科学家维特就提出过。“从严格的科学意义上来说, 不溶物是不存在的, 即使是最顽固抗水的物质也不是不溶的”。从相对论的角度来讲, “溶”是绝对的, “不溶”是相对的, 即不存在绝对不溶的物质。

[查阅数据] 请阅读教材第 61 页一系列物质的溶解度(20℃)。氯化银 $1.5 \times 10^{-4} \text{ g/100 g H}_2\text{O}$, 硝酸银 222 g/100 g H_2O , 对比第 91 页氯化

银标注的是“不溶”，此数据再次说明，它不是不溶而是难溶。常见的两种微溶物，硫酸银、硫酸钙，它们的溶解度分别为多少呢？ $0.796 \text{ g}/100 \text{ g H}_2\text{O}$ 、 $0.211 \text{ g}/100 \text{ g H}_2\text{O}$ 。

[板书]溶解性与溶解度(20℃)的关系：



[教师]在 AgCl 悬浊液中，一方面，在水分子的作用下， AgCl 会溶解产生极少量的 $\text{Ag}^+(\text{aq})$ 、 $\text{Cl}^-(\text{aq})$ ；另一方面，溶液中的 $\text{Ag}^+(\text{aq})$ 、 $\text{Cl}^-(\text{aq})$ 受 AgCl 表面阴阳离子的吸引，会回到 AgCl 的表面，又结合析出沉淀。在一定温度下，当沉淀溶解和生成的速率相等时， $\text{AgCl}(\text{s})$ 的质量及 $\text{Ag}^+(\text{aq})$ 、 $\text{Cl}^-(\text{aq})$ 的浓度保持不变，建立动态平衡： $\text{AgCl}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 。

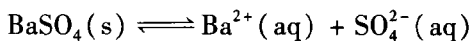
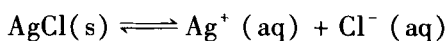
[板书]

一、难溶电解质的溶解平衡

1. 概念

在一定温度下，当沉淀 $v_{\text{溶解}} = v_{\text{生成}}$ ，固体电解质的质量、离子浓度不变的状态。

2. 表示方法



注意：用“ \rightleftharpoons ”且必须注明状态(s, aq)

3. 特征：逆、等、动、定、变

设计意图：学生自己设计并进行实验，获得真知“溶是绝对的，不溶是相对的”。分析得出新知识，难溶电解质在水溶液中必然存在溶解平衡状态。

3.3 理论辨析，平衡移动原理探讨水溶液中的离子行为

[设问1]等物质的量的 Ag^+ 、 Cl^- 真能反应进行到底吗？如何理解沉淀完全？

[学生]讨论交流，阅读教材，得出结论。

[板书]注：(1)难溶电解质溶解平衡的存在，决定了 Ag^+ 、 Cl^- 不能完全反应进行到底。

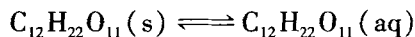
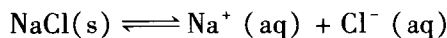
化学上，浓度 $< 10^{-5} \text{ mol/L}$ ，认为反应完全了。

[设问2]易溶物质是否存在溶解平衡？

[分组实验]饱和 NaCl 溶液滴加浓盐酸，观察现象。

[学生交流分享]我们首先取少量饱和氯化钠溶液加入到试管中，再向其中加入浓盐酸，试管中出现白色沉淀，因此我们判断出氯化钠存在溶解平衡。因为只有存在溶解平衡，加入浓盐酸后氯离子浓度迅速增大，平衡逆向移动，才会出现 NaCl 晶体的析出，这说明易溶电解质确实也存在溶解平衡。

[板书]注：(2)易溶物质也存在溶解平衡。



[过渡]由于易溶电解质的溶解方向进行的程度大，因此这里我们就仅讨论难溶电解质的溶解平衡。除了改变离子浓度，还有什么因素能改变平衡？

[板书]

4. 影响因素

(1) 内因：难溶电解质本身的性质(决定因素)。

(2) 外因：温度、浓度。

[交流讨论]根据化学平衡移动的知识，影响难溶电解质溶解平衡的因素为①温度：升温，多数溶解平衡正向移动，少数物质如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 会逆向移动。②浓度：加水，平衡向溶解的方向即正向移动；增大相同离子浓度，平衡逆向移动；加入消耗离子的物质，平衡正向移动。

[课堂练习] $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 悬浊液中， $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

条件	移动方向	Mg^{2+} 浓度	OH^- 浓度
升温			
加少量 H_2O			
加 $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s})$			
加 $\text{MgCl}_2(\text{s})$			

续表

条件	移动方向	Mg ²⁺ 浓度	OH ⁻ 浓度
加 NaOH(s)			
加稀 HCl 溶液			
加 CH ₃ COONH ₄ 浓溶液			

[小结] 难溶电解质的溶解平衡作为一种平衡体系, 遵从平衡移动原理。

设计意图: 对新建立的难溶电解质的溶解平衡知识进行深入探讨与分析, 正确理解沉淀完全问题; 形成溶解平衡广泛存在的知识观; 并利用平衡移动原理分析难溶电解质的溶解平衡的影响因素。

3.4 创设情境, 引入沉淀溶解平衡定量分析工具——溶度积

[情境素材] 如何解救误服 AgNO₃ 溶液的人?

[生 1] 口服大量浓(饱和)食盐水。

[生 2] 喝牛奶。

[教师] 只完成这些快速的应急方案是不够的, 接下来应该送进医院! 医生就会进行下一步更严密的操作那就是洗胃, 洗胃时医生会选择 2% 的氯化钠溶液洗胃, 为什么不选择饱和溶液呢? 是因为人体虽然可以接受钠离子和氯离子, 但浓度过大会引起细胞脱水, 这也是不能喝海水的原因。

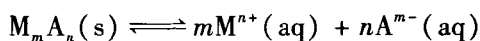
[过渡] 入院后, 医生一般会用两倍于生理盐水浓度的 NaCl 溶液缓慢洗胃。洗胃时若用 2% 的 NaCl 溶液 [0.34 mol/L] 能否达到成功解救病人的目的呢? 标准: $c(\text{Ag}^+) < 10^{-5} \text{ mol/L}$ 。这是一个定量问题, 我们需要利用前面所学的平衡移动的知识和接下来要学习的溶度积进行解决。

[板书]

二、溶度积 (K_{sp})

1. 含义: 在一定温度下, 在难溶电解质的饱和溶液中, 各离子浓度幂之积为一常数, 叫做溶度积常数, 简称溶度积。用 K_{sp} 表示。

2. 表达式



$$K_{sp} = [c(M^{n+})]^m \cdot [c(A^{m-})]^n$$

[学生] 练习: 已知某温度下, AgCl 的 $K_{sp} = 4 \times 10^{-10}$, 试写出 AgCl 的溶度积的表达式 _____。

试求 AgCl 饱和溶液中的 $c(\text{Ag}^+) =$ _____。

[设问] K_{sp} 与之前的 $K_w, K_a/K_b, K_h$ 都是一系列具体的常数, 那它们受什么因素影响呢? 比如 K_w 只受什么因素的影响?

[生] 温度。

[小结] 温度升高, K_w 会升高; 弱酸、弱碱的电离常数, 温度升高, K_a/K_b 增大; 水解常数, 温度升高, K_h 增大。所以我们可以总结出一个共同的规律, 前三项温度升高, K 均增大。那 K_{sp} 呢, 除了哪个? 氢氧化钙, 其余都是温度升高, K_{sp} 增大。

[板书]

3. 影响 K_{sp} 的因素

K_{sp} 只与难溶电解质的性质和温度有关, 而与沉淀的量和溶液中离子的浓度无关。

$$\frac{K_a/K_b \quad K_w \quad K_h}{T \nearrow \text{变大}} \quad \left(\text{大多数 } T \nearrow \text{ 变大} \right) \quad \frac{K_{sp}}{T \nearrow \text{变大}}$$

4. 意义: 溶度积 K_{sp} 反映了物质在水中的溶解能力。

[学生] 例题:

$$K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.77 \times 10^{-10},$$

$$K_{sp}(\text{AgBr}) = 5.35 \times 10^{-13},$$

$$K_{sp}(\text{AgI}) = 8.52 \times 10^{-17},$$

溶解能力 [$c(\text{Ag}^+)$]: _____。

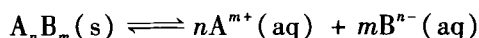
$K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 2.0 \times 10^{-12}$? 溶解能力 [$c(\text{Ag}^+)$]: AgCl _____ Ag_2CrO_4 。

注意: 对于 _____ 的电解质, K_{sp} 的数值越大, 电解质在水中的溶解能力越强。

[板书]

5. 应用: 溶度积规则

(1) 离子积



$$Q_c = c(A^{m+})^n \cdot c(B^{n-})^m$$

Q_c 称为离子积, 其表达式中离子浓度是任意的, 为此瞬间溶液中的实际浓度。

(2) 溶度积规则

① $Q_c > K_{sp}$ 时, 溶液过饱和, 有沉淀析出, 直至达到平衡。

② $Q_c = K_{sp}$ 时, 沉淀与饱和溶液平衡。

③ $Q_c < K_{sp}$ 时, 溶液不饱和, 若体系中有沉淀, 则沉淀会溶解直至达到平衡。

[思考] 已知相同条件下, $K_{sp}(\text{AgCl}) > K_{sp}(\text{AgBr})$, 在有 Cl^- 、 Br^- 共同存在的溶液中, 只要滴入 AgNO_3 溶液, 就一定先有 AgBr 沉淀生成吗?

[生] 不一定。

[情境回归] 如何解救误服 AgNO_3 溶液的人?

洗胃时若用 2% 的 NaCl 溶液 $[0.34 \text{ mol/L}]$ 能否达到成功解救病人的目的呢? 解救标准: $c(\text{Ag}^+) < 10^{-5} \text{ mol/L}$ 。

[中毒解救] 学生查阅资料, 25°C $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ 。

根据 K_{sp} 计算出 $c(\text{Ag}^+) \approx 5.3 \times 10^{-10} \text{ mol/L} \ll 1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, 所以洗胃救人成功。

[课堂小结] 学生总结。

设计意图: 从定性到定量, 是平衡移动知识深入分析与应用的必然。通过创设情境, 引入定量表达难溶电解质溶解能力的溶度积, 为全面解决水溶液中的离子平衡问题提供了重要的分析工具。

3.5 学以致用, 定性、定量分析水溶液中的离子平衡问题

[小试牛刀] 已知某温度下, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的 $K_{sp} = 4.0 \times 10^{-38}$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的 $K_{sp} = 3.2 \times 10^{-11}$, 在该温度下, 向 0.02 mol/L MgCl_2 、 0.005 mol/L 的 FeCl_3 溶液中加入 KOH 固体, 假设溶液体积不变。

若要生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀, 应使溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 最小为_____。

若要生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀, 应使溶液中 $c(\text{OH}^-)$ 最小为_____。

若要除去 MgCl_2 溶液中的 FeCl_3 , 下列试剂最适合的是()

- A. KOH B. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
C. Na_2CO_3 D. MgCO_3

[学生] 首先, 题目告诉了 $c(\text{Mg}^{2+})$ 为 $2 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$, 然后就可以将 $[c(\text{OH}^-)]^2$ 算出来, 就是用 K_{sp} 除以 $2 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$, 然后再算出

$[c(\text{OH}^-)]$ 。同理, 已知 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的 $c(\text{Fe}^{3+})$, 用 K_{sp} 除以 $c(\text{Fe}^{3+})$ 等于 $[c(\text{OH}^-)]^3$, 然后再算出 $[c(\text{OH}^-)]$ 。第一个的结果算出来等于 $4 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$, 第二个算出来等于 $2 \times 10^{-12} \text{ mol/L}$ 。

[追问 1] 正确。由这样一个计算结果发现 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 是不是同时沉淀的?

[追问 2] $c(\text{Fe}^{3+})$ 更小却先沉淀, 说明 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 中谁结合 OH^- 的能力要强一些?

[追问 3] 当溶液中存在 MgCl_2 、 FeCl_3 时, 溶液肯定呈酸性, 如何除去 MgCl_2 溶液中的 FeCl_3 ?

[追问 4] 除了 MgCO_3 , 还有没有其他合理的除杂试剂?

设计意图: 知识的迁移与应用能力, 是学生对新知识建构情况的直观反映。故设计了此环节反馈学生的学习情况。

4 教学反思

本节课“难溶电解质的溶解平衡”的教学设计与实施, 教学过程流畅、娓娓道来, 启发式的教学法很好地发展了学生的微粒观、平衡观与定量观等核心观念, 在对本节内容高效建构的同时, 培养了学生注重实证、严谨求实的科学态度。坚持辩证性思考与实验分析是本节平衡理论知识优质课的一大特色, 学生动手动脑相结合, 教学效果很好。

在教学过程中的课堂练习环节, 向 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 悬浊液中, 加 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 进行平衡移动方向、 Mg^{2+} 浓度、 OH^- 浓度变化的分析时, 针对部分学生“ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 水解呈中性, 因此 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的溶解平衡不移动”的“异常”观点, 可让其立刻动手进行实验、论证假设。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 悬浊液中加入 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 实验现象究竟如何? 可做如下实验, 取用少量的 NaOH 溶液与过量的 MgSO_4 溶液制备出一定量的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 悬浊液, 向其中滴加 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 浓溶液, 沉淀立即溶解, 现象非常明显。

参考文献:

- [1] 陈懿. “难溶电解质的溶解平衡的应用”教学设计[J]. 化学教学, 2010, (3): 43~47.
[2] 吴星. 对高中化学核心素养的认识[J]. 化学教学, 2017, (5): 3~7.