

用钙离子浓度传感器探究硫酸钙沉淀的转化

陈 浩

(上海市徐汇区教育学院, 上海 200032)

摘 要: 分析传统实验在“沉淀的转化”教学中的薄弱之处,运用钙离子浓度传感器探究硫酸钙沉淀转化为碳酸钙沉淀的过程。通过软件将钙离子浓度变化的数据绘制成曲线,展现硫酸钙沉淀溶解平衡的破坏、移动、建立新平衡的全过程,揭示沉淀溶解平衡移动和沉淀转化的原理,并为该内容的教学提出建议。

关键词: 实验探究; 钙离子浓度传感器; 沉淀溶解平衡

文章编号: 1005-6629(2024)11-0080-03 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

1 问题的提出

目前正在使用的四个版本(人教版、鲁科版、苏教版、沪科版)《化学选择性必修1·化学反应原理》教材中,都按照可逆反应的化学平衡、弱电解质的电离平衡、盐类的水解平衡和沉淀溶解平衡的顺序编排。学生在学习沉淀溶解平衡之前,已经能运用平衡移动原理对一些简单的平衡问题进行分析 and 解释,具备了一定的平衡思想。

在沉淀溶解平衡的学习过程中,学生容易理解难溶电解质在水溶液中形成沉淀溶解平衡体系的过程,但当需要应用沉淀溶解平衡移动的原理时,便会遇到困难,比如解释“沉淀的转化”问题。教师常会演示AgCl转化为AgI的实验,试图提供实验现象为依据,帮助学生进行推理,但教学效果不很明显。这可能是由

于学生从该实验的现象中容易得知平衡移动的结果(白色的AgCl沉淀变为黄色的AgI沉淀),但不易获取破坏平衡的因素(溶液中银离子浓度的减少),导致无法顺利地将化学平衡移动原理迁移至沉淀溶解平衡中来。

本文设计CaSO₄沉淀转化为CaCO₃沉淀的实验,即在CaSO₄悬浊液中滴加Na₂CO₃溶液,运用钙离子浓度传感器测出沉淀转化过程中钙离子浓度的变化,直观地展示出CaSO₄沉淀溶解平衡破坏、平衡移动、达到新的平衡直至CaSO₄完全转化为CaCO₃等过程,提供给学生完整的证据链,帮助学生运用平衡移动的原理进行分析、推理和解释,深化认识沉淀溶解平衡的移动导致沉淀转化的原理。

[6] 王晓芳, 鹿钰锋, 夏建华. 手持技术数字化实验在我国近20年的研究进展及现状——基于CiteSpace可视化分析[J]. 化学教学, 2021, (4): 32~34.

[7] 邹丽丹. 初中化学课堂数字化手持技术的应用——以“酸碱中和反应”为例[J]. 黑龙江教育(教育与教学), 2024, (2): 60~61.

[8] 马慧. 化学核心素养导向下的教学设计——以基于手持技术的“酸碱中和反应”为例[J]. 新课程导学, 2023, (2): 77~80.

[9] 李文良, 张丽芳. 建构基本观念 丰富学生的科学素养——以基于手持技术的“中和反应”教学为例[J]. 中小学教学研究, 2017, (9): 26~29.

[10] 彭豪. 基于信息技术的“四重表征”图形化教学设计——以《酸与碱之间会发生什么反应》为例[J]. 中小学信息技术教育, 2010, (9): 58~60.

[11] 陈德权. 多重表征理论下初中化学酸碱中和反应教学实践[J]. 智力, 2023, (24): 111~114.

2 问题解决的思路

在难溶电解质的沉淀平衡体系中,用传统实验的手段观察到破坏平衡的因素是有难度的,因为难溶电解质在水中的溶解度本身就很小,对应的离子浓度非常小,难以呈现出明显的实验现象。因此借助传感器和运用数字化技术可以将原本“看不见”的量转化为数字或曲线,是解决该难点的思路。

钱扬义等基于数字化实验实时收集数据及自动生成曲线的技术背景,提出了化学“曲线表征”的定量分析方法,构建了“四重表征”教学模式,包括宏观表征、微观表征、符号表征、曲线表征^[1]。运用数字化实验的教学,在原有的“宏-微-符”的基础上加入了“曲线表征”后,能够更好地引导学生从本质上理解概念、原理和反应,促进学生认知方式的提升。

杜博等运用 pH 传感器探究氢氧化镁处理印染废水的原理,以此为情境设计了沉淀溶解平衡的教学案例。案例中教师用 pH 传感器测出硫酸滴入氢氧化镁悬浊液过程中 pH 的变化并绘制 pH 变化曲线,学生从曲线中观察到加入硫酸后 pH 先减小后增大,然后推理得出氢氧化镁溶解平衡正向移动,深化了对于沉淀溶解平衡的理解^[2]。

受上述案例的启发,数字化技术改进沉淀溶解平衡实验用于教学,需要绘制出一条有教学价值的曲线。其中改进实验的关键点是“选择怎样的沉淀溶解平衡体系”。该体系中难溶电解质解离出的离子应是常见的,才能被常用的传感器测出,如 pH、钙离子、氯离子浓度传感器等。该难溶电解质的溶度积常数不能太小,否则解离出的离子浓度太小也无法被传感器测得。此外该难溶电解质最好符合安全易得等条件。这些考虑都是为了能够将改进的实验融入教学中。基于以上考虑,本研究选择 CaSO_4 沉淀溶解平衡体系,通过滴加 Na_2CO_3 溶液将 CaSO_4 转化为 CaCO_3 。该过程中钙离子浓度的变化能被传感器测得,详见下文实验原理和可行性分析。本实验中的 CaSO_4 、 Na_2CO_3 、 CaCO_3 均为常见试剂,适合课堂实验教学。

3 实验原理和可行性分析

查阅教材^[3]中提供的常见难溶电解质的溶度积常数(25℃): $K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 2.8 \times 10^{-9}$ 和 $K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4) = 4.9 \times 10^{-5}$ 。

依据 $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$, 可知

$$K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{CO}_3^{2-})。$$

由此可计算出 25℃ 的碳酸钙悬浊液中钙离子的浓度为:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \sqrt{K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3)} = \sqrt{2.8 \times 10^{-9}} = 5.3 \times 10^{-5} \text{ mol/L (折合为 } 2.1 \text{ mg/L)}$$

同理可计算出 25℃ 的硫酸钙悬浊液中钙离子的浓度为:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \sqrt{K_{\text{sp}}(\text{CaSO}_4)} = \sqrt{4.9 \times 10^{-5}} = 7 \times 10^{-3} \text{ mol/L (折合为 } 280 \text{ mg/L)}$$

采用 Vernier 公司生产的无线钙离子浓度传感器,其量程为 1~40000 mg/L(或 ppm),校准后的精确度为 10 mg/L(或 ppm)。由理论计算和传感器的指标可知:当硫酸钙沉淀转化为碳酸钙沉淀时,溶液中的钙离子浓度会明显变小且能够被传感器测得。

4 实验用品

仪器:Vernier 无线钙离子浓度传感器、电脑、磁力搅拌器(带搅拌子)、100 mL 烧杯、铁架台、电子天平、100 mL 量筒等

试剂:蒸馏水、二水合硫酸钙(AR)、饱和碳酸钠溶液

5 实验内容

5.1 传感器的准备

先用蒸馏水清洗钙离子浓度传感器的探头,用滤纸吸干探头上残留的蒸馏水。然后用 10 mg/L 和 1000 mg/L 的氯化钙标准溶液通过两点法校准钙离子浓度传感器。最后再用蒸馏水清洗钙离子浓度传感器的探头,用滤纸吸干探头上残留的蒸馏水,待用。

5.2 设置钙离子物质的量浓度的计算栏

Vernier 无线钙离子浓度传感器配套软件 Vernier Graphical Analysis 中钙离子浓度传感器读数的单位是 mg/L,可通过设置新的计算栏将读数单位换算为 mol/L,计算栏中的换算公式:钙离子物质的量浓度 = $0.000025 \times$ 钙离子浓度传感器读数。

5.3 配制硫酸钙悬浊液

用电子天平称量 0.5 g 二水合硫酸钙,加入 100 mL 烧杯中,加入搅拌子。用量筒量取 100 mL 蒸馏水,加入烧杯中。

5.4 测量钙离子浓度的变化

搭建实验装置如图1所示。打开搅拌器,待电脑上所示读数稳定后,开始采集数据绘制钙离子浓度变化的曲线。向硫酸钙悬浊液中滴加3滴饱和碳酸钠溶液,观察钙离子浓度的变化。待读数稳定后,再滴加足量碳酸钠溶液(1滴管),观察钙离子浓度的变化。

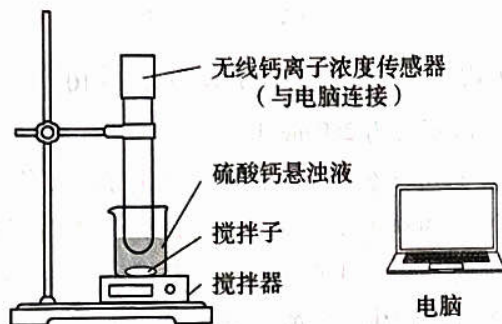


图1 实验装置示意图

6 实验结果与讨论

实验中测得一组钙离子浓度变化的曲线如图2所示,该组实验的温度为22℃。

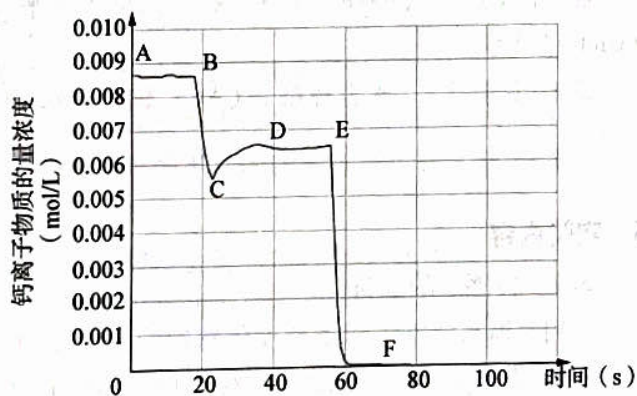


图2 钙离子浓度变化的曲线

AB段是硫酸钙悬浊液中钙离子浓度,平均值为0.0086 mol/L(347.62 mg/L)。B点时刻为向硫酸钙悬浊液中滴加3滴饱和碳酸钠溶液,由于钙离子和碳酸根离子结合生成更难溶的碳酸钙,钙离子浓度大幅下降。CD段由于硫酸钙溶解平衡被打破,溶解平衡正向移动,钙离子浓度逐渐增大,至DE段达到新的平衡状态。E点时刻为向该悬浊液中加入足量碳酸钠溶液,钙离子浓度大幅下降,F点时钙离子浓度为0.00003 mol/L(1.25 mg/L),此时硫酸钙几乎完全转化为碳酸钙。实验后肉眼可见烧杯中白色沉淀的量明显比实验前有所增加。

曲线中AB段和DE段理应是平直的,但大量实验中得到数据都略有波动,推测是由于搅拌悬浊液对传

感器读数造成的影响。

7 教学中的运用

人教版教材中提供了沉淀转化在实际生产中应用的情境:为了除去锅炉水垢中含有的硫酸钙,可以先用碳酸钠溶液处理,使硫酸钙转化为疏松、易溶于酸的碳酸钙,然后用酸除去^[4]。在教学中以此为情境,布置活动任务——解释该除垢方法的原理。活动中可结合本实验的数据和曲线(图2中AB段硫酸钙达到沉淀溶解平衡、BC段平衡破坏、CD段平衡移动、DE段达到新的平衡、EF段平衡完全破坏),设计以下六个问题供学生思考和交流:(1)AB段硫酸钙悬浊液是否达到了沉淀溶解平衡状态?(2)BC段钙离子的浓度为什么下降?发生了什么反应?(3)BC段硫酸钙的沉淀溶解平衡是否被破坏?(4)CD段钙离子的浓度为什么会上升?(5)DE段沉淀的组成是什么?(6)F点时沉淀的组成是什么?其中问题(2)和(3)能够引导学生分析BC段曲线变化的原因,找到破坏该平衡的因素——钙离子浓度的减小,迁移解决了AgCl转化为AgI的实验中银离子浓度变化不能可视化的难点。EF段的图像既能解决学生常提出的疑惑:硫酸钙能否完全转化为碳酸钙?还能让学生感悟到平衡移动是有条件的,极端改变条件会导致平衡完全破坏。

本实验测定的硫酸钙沉淀转化为碳酸钙沉淀过程中钙离子的浓度数据,能帮助学生运用离子反应、沉淀溶解平衡移动的原理解释钙离子浓度发生变化的原因,突破了“沉淀转化”教学中的难点,达成了理解沉淀转化原理的教学目标,有益于促进学生“变化观念与平衡思想”等学科核心素养的提升。

参考文献:

- [1] 王立新, 钱扬义, 苏华虹, 陈博股, 梁宏宇. 手持技术数字化实验与化学教学的深度融合: 从“研究案例”到“认知模型”——概念认知模型的建构[J]. 远程教育杂志, 2018, (4): 104~112.
- [2] 杜博, 沈子稚, 肖艳. 基于“证据推理”素养的沉淀溶解平衡教学设计[J]. 化学教学, 2021, (6): 61~62.
- [3] 北京师范大学等. 无机化学(第五版上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020: 9.
- [4] 王晶主编. 普通高中教科书·化学选择性必修1·化学反应原理[M]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 5.