

# GeoGebra软件助力“沉淀溶解平衡”曲线解析\*

贾婷<sup>1</sup> 申燕<sup>2</sup>

(1 深圳市第七高级中学 广东 深圳 518104; 2 深圳市教育科学研究院 广东 深圳 518000)

**摘要:**沉淀溶解平衡图像是高考的常见考点也是难点,运用 GeoGebra 软件绘制出系列沉淀溶解平衡图像,帮助学生理清图像背后的数学关系和化学原理,深入分析图像含义,进一步引导学生形成数形结合的图像分析视角。

**关键词:**GeoGebra 软件;沉淀溶解平衡;数形结合

**文章编号:**1002-2201(2023)11-0034-07

**中图分类号:**G632.4

**文献标识码:**B

## 一、背景介绍

“沉淀溶解平衡”位于《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》选择性必修课程模块1主题3,对学生的学习要求是能认识难溶电解质在水溶液中存在溶解平衡,且能从化学平衡的角度分析溶液的性质<sup>[1]33</sup>。综观近几年高考题,沉淀溶解平衡问题深受命题者的青睐,并多以图像为信息呈现的载体,对电解质在水溶液中的平衡及平衡影响因素进行考查,如以浓度为横、纵坐标的反比例函数图像(2019年全国II卷第12题);以浓度的对数(或负对数)为横、纵坐标的一次函数图像(2017年全国II卷第13题)。然而,图像的识别和解析一直以来都是学生分析解决问题的难点,主要表现为不能准确分析图像横、纵坐标所代表的具体含义,不能综合理解图像中横、纵坐标的关联,不能从图像中找到曲线变化所蕴含的规律和化学反应原理,甚至不能较好地将所学数学知识应用于图像分析。

因此,借助相关作图软件,引导学生经历由数据到图像的过程,更有利于学生准确把握图像的本质。GeoGebra 软件是一款有效的课堂活动数字工具(可在 <https://www.geogebra.org> 免费下载),其功能丰富,操作简单,输入简单的函数解析式即可生成相关图像。笔者使用 GeoGebra 软件将图像可视化,使学生体验图像生成和转变的过程,抽提出“沉淀溶解平衡”中离子浓度关系中的数学问题,进一步帮助学生

理解溶液性质及平衡移动相关知识。通过信息技术与化学教学的深度融合,提高课堂教学效率,促进教师教学方式和学生学习方式的转变<sup>[1]87</sup>。

## 二、图像形成过程介绍

### 1. 基本图像建构

AgCl 是典型的 AB 型沉淀,人教版教材以 AgCl 沉淀的生成为教学素材,建立了沉淀溶解平衡的概念及溶度积常数( $K_{sp}$ )的表达式<sup>[2]</sup>。AB 型沉淀相关图像的函数解析式及其变换较为简单,学生熟练掌握 AB 型沉淀图像的本质后,面对  $AB_n$  型(或  $A_nB$  型)沉淀的图像时便可举一反三。因此,以 AgCl 为例介绍两类典型图像的形成过程。

(1) AgCl 的沉淀溶解平衡反比例函数图像。

#### ① 图像形成。

由 AgCl 的溶度积常数表达式  $K_{sp} = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$  可知,  $c(\text{Cl}^-) = K_{sp}/c(\text{Ag}^+)$ 。已知 25℃ 时,  $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.77 \times 10^{-10}$ <sup>[3]8,15</sup>, 为便于后续处理,将其简化为  $1.0 \times 10^{-10}$ 。

设  $x$  为  $c(\text{Ag}^+)$ ,  $f(x)$  为  $c(\text{Cl}^-)$ 。在 GeoGebra 软件中输入函数  $f(x)$ , 即“ $f(x) = 10^{-10}/x(x > 0)$ ”, 即可得到  $c(\text{Cl}^-)$  随  $c(\text{Ag}^+)$  变化的反比例函数图像(见图 1)。需注意,为符合客观事实,  $x$  应为大于 0 的数。

#### ② 图像分析。

图像形成后,识别 AgCl 溶解度最大的点、判断外界条件对离子浓度的影响等都可以通过软件完成。

\*广东省基础教育高中化学学科(深圳)教研基地项目阶段性研究成果;深圳市教育科研专家工作专项课题“‘素养为本’的高中化学教学与评价研究”(课题编号:kysz4p007)阶段性研究成果。

第四届“中学化学思维课堂暨‘核心素养教育’教学研究成果交流会议”提交的教研成果特等奖选登。



任务1:寻找AgCl溶解度最大的A点。

操作:①输入函数“ $g(x) = x, (x > 0)$ ”;②运用“交点”功能,得到函数 $f(x)$ 与函数 $g(x)$ 的交点。

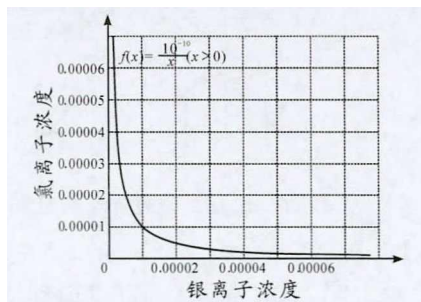


图1 AgCl沉淀溶解平衡反比例函数图像

结论:坐标为 $(10^{-5}, 10^{-5})$ 的A点处AgCl的溶解度最大(见图2)。

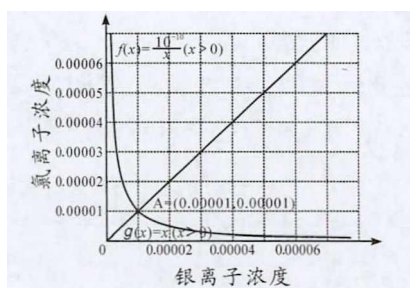


图2 A点AgCl溶解度最大

任务2:判断AgCl饱和溶液中加入NaCl固体时,离子浓度的变化。

操作:①运用“描点”功能,找到坐标为 $(10^{-5}, 10^{-5})$ 的点,记为B;②运用“移动”功能,使B点从 $(10^{-5}, 10^{-5})$ 向纵坐标增大的方向移动。

结论:加入NaCl固体,氯离子浓度增大时,银离子浓度减小(见图3)。

任务3:判断AgCl饱和溶液中加入AgNO<sub>3</sub>固体时,离子浓度的变化。

操作:①运用“描点”功能,找到坐标为 $(10^{-5},$

$10^{-5})$ 的点,记为C;②运用“移动”功能,使C点从 $(10^{-5}, 10^{-5})$ 向横坐标增大的方向移动。

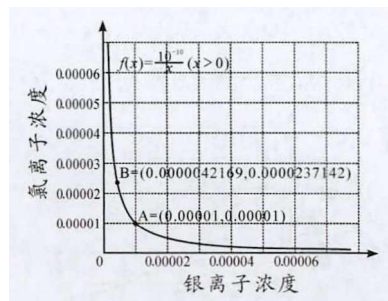


图3 加入NaCl固体(由A点变到B点)图像

结论:加入AgNO<sub>3</sub>固体,银离子浓度增大时,氯离子浓度减小(见图4)。

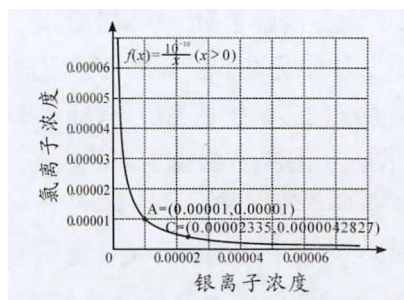


图4 加入AgNO<sub>3</sub>固体(由A点变到C点)图像

在线的上方和下方依次选择两个点(见图5),可以判断在给定条件下是否能生成沉淀(见表1)。

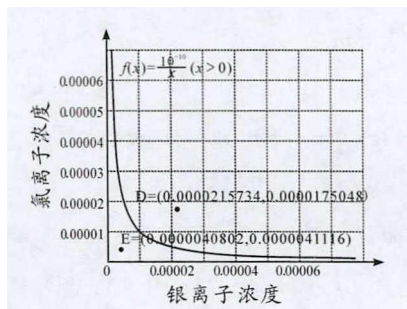


图5 AgCl沉淀溶解平衡反比例函数图像及点

表1 运用GeoGebra软件认识 $Q_c$ 与 $K_{sp}$ 的关系

点对应的坐标	$Q_c$	$Q_c$ 与 $K_{sp}$ 的关系	结论
D $(2.16 \times 10^{-5}, 1.75 \times 10^{-5})$	$Q_c = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$ $= 2.16 \times 10^{-5} \times 1.75 \times 10^{-5}$ $= 3.78 \times 10^{-10}$	$Q_c > K_{sp}$	曲线上方表示AgCl的过饱和溶液,有沉淀析出(D点表示AgCl的过饱和溶液)
E $(4.08 \times 10^{-6}, 4.11 \times 10^{-6})$	$Q_c = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$ $= 4.08 \times 10^{-6} \times 4.11 \times 10^{-6}$ $\approx 1.677 \times 10^{-11}$	$Q_c < K_{sp}$	曲线下方表示AgCl的不饱和溶液,不能析出沉淀(E点表示AgCl的不饱和溶液)

升高温度的图像可以改变  $K_{sp}$  数值,建立新函数。已知升高温度,AgCl 的  $K_{sp}$  增大。此时可以  $K_{sp} = 1 \times 10^{-9}$  为例,在软件中输入函数“ $h(x) = 10^{-9}/x (x > 0)$ ”可得图 6,即温度升高,图像向右上方移动。

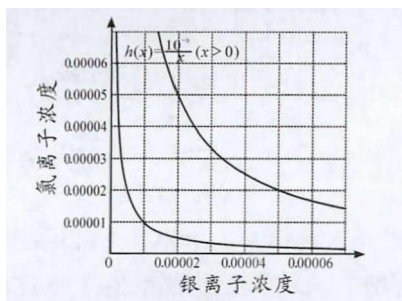


图6 升高温度曲线变化情况

### (2) AgCl 沉淀溶解平衡一次函数图像。

曲线转化为直线的思想帮助科学家成功确定了原子序数是原子的一种特征性质<sup>[4]</sup>,而对于沉淀溶解平衡图像,若将反比例函数转变为一次函数,即可将曲线图像转变为直线图像。一次函数图像蕴含了更多的数学知识,丰富了图像的含义且提高了图像解读的难度;反比例函数图像中数量级很小的数字,在一次函数图像中可转变成便于分析和书写的数字;除此之外,根据一次函数图像的横、纵坐标及斜率,还可以直接推测出沉淀的类型。

#### ① 图像形成。

由  $K_{sp} = c(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{Cl}^-)$  可知,  $\lg c(\text{Ag}^+) + \lg c(\text{Cl}^-) = \lg K_{sp} = -10$ ,为一次函数,图像为直线。以  $\lg c(\text{Cl}^-)$  为纵坐标,绘制  $\lg c(\text{Cl}^-) = -10 - \lg c(\text{Ag}^+)$  的图像得图 7。该图像位于第三象限,横、纵坐标均为负数(斜率 = -1,横截距 = -10,纵截距 = -10)。若将对数函数转变为负对数函数,即以  $\text{pc}(\text{Cl}^-) = 10 - \text{pc}(\text{Ag}^+)$  作图(见图 8),则图像位于第一象限,横、纵坐标均为正数(斜率 = -1,横截距 = 10,纵截距 = 10),运算较为简洁。

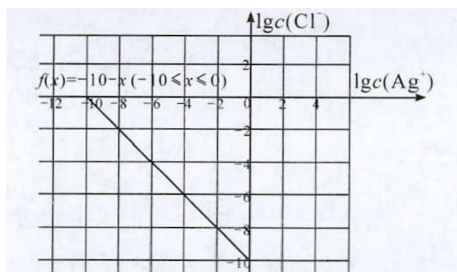


图7 AgCl 沉淀溶解平衡的对数图像

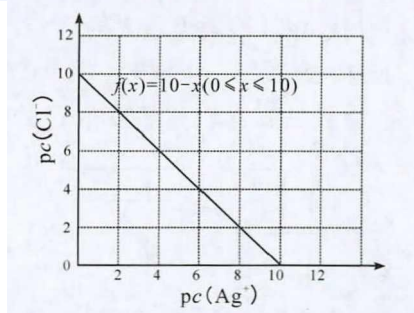


图8 AgCl 沉淀溶解平衡的负对数图像

#### ② 图像分析。

运用“交点”“描点”等功能,可以识别 AgCl 溶解度最大的点、判断外界条件对离子浓度的影响等。

任务 1: 寻找 AgCl 溶解度最大的 A 点。

操作: ①输入函数  $h(x) = x$ ; ②运用“交点”功能,得  $f(x)$  与  $h(x)$  的交点。

结论: 坐标为 (5, 5) 的 A 点表示 AgCl 溶解度最大,此时  $c(\text{Ag}^+) = c(\text{Cl}^-) = 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  (见图 9)。

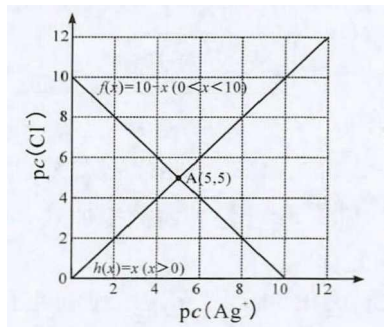


图9 A 点 AgCl 溶解度最大

任务 2: 判断 AgCl 饱和溶液中加入 NaCl 固体时,离子浓度的变化。

操作: ①运用“描点”功能,找到坐标为 (5, 5) 的点,记为 B; ②运用“移动”功能,使 B 点从 (5, 5) 向纵坐标减小的方向移动。

结论: 加入 NaCl 固体,氯离子浓度增大时,  $\text{pc}(\text{Cl}^-)$  减小,  $\text{Ag}^+$  浓度减小,  $\text{pc}(\text{Ag}^+)$  增大(见图 10)。

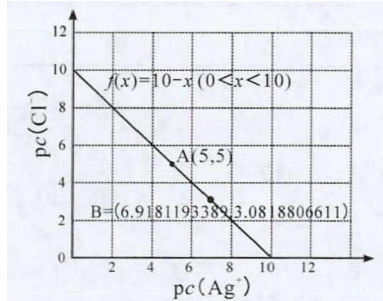


图10 加入 NaCl 固体(由 A 点变到 B 点)图像

任务 3: 判断 AgCl 饱和溶液中加入  $\text{AgNO}_3$  固体



时离子浓度的变化。

操作:①运用“描点”功能,找到坐标为(5,5)的点,记为C;②运用“移动”功能,使C点从(5,5)向横坐标减小的方向移动。

结论:加入  $\text{AgNO}_3$  固体,银离子浓度增大时,  $\text{pc}(\text{Ag}^+)$  减小,  $\text{Cl}^-$  浓度减小,  $\text{pc}(\text{Cl}^-)$  增大(见图 11)。

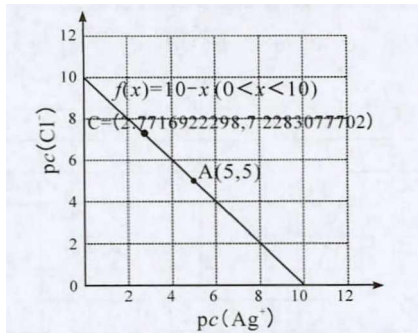


图 11 加入  $\text{AgNO}_3$  固体(由 A 点变到 C 点)图像

在图 12 中线上、线上方及线下方任意选取点,可以分析溶液是否饱和(见表 2)。

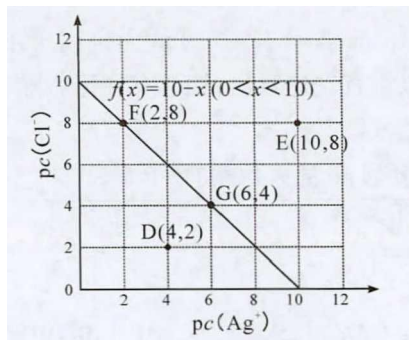


图 12  $\text{AgCl}$  沉淀溶解平衡负对数图像及点

表 2 运用 GeoGebra 软件认识  $Q_c$  与  $K_{sp}$  的关系

点对应的坐标	$Q_c$	$Q_c$ 与 $K_{sp}$ 的关系	结论
D(4, 2)	$10^{-6}$	$Q_c > K_{sp}$	线下方的点表示 $\text{AgCl}$ 的过饱和溶液
E(10, 8)	$10^{-18}$	$Q_c < K_{sp}$	线上方的点表示 $\text{AgCl}$ 的不饱和溶液
F(2, 8)	$10^{-10}$	$Q_c = K_{sp}$	线上的点都表示 $\text{AgCl}$ 的饱和溶液
G(6, 4)	$10^{-10}$	$Q_c = K_{sp}$	饱和溶液

升高温度,图像如何变化?仍以  $K_{sp} = 1 \times 10^{-9}$  为例做出负对数图像,输入函数  $g(x) = 9 - x (0 \leq x \leq 9)$  (见图 13)。这里可以帮助学生将图 13 和图 6 进行对比,可使学生进一步体会,  $\text{pc}(\text{Ag}^+)$  越大,则  $c(\text{Ag}^+)$  越小。

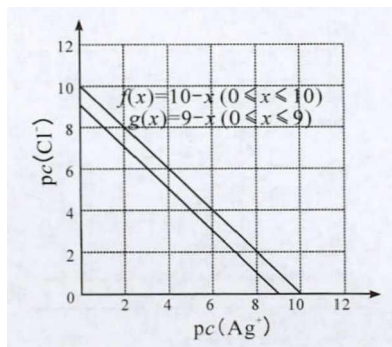


图 13 升高温度曲线变化情况

## 2. 常见图像拓展

### (1) 卤化银沉淀溶解平衡图像。

为简化操作,本文将卤化银的  $K_{sp}$  简化如表 3 所示。

表 3 三种卤化银的  $K_{sp}$  [3]8,15

化学式	$\text{AgCl}$	$\text{AgBr}$	$\text{AgI}$
$K_{sp}(25^\circ\text{C})$	$1.77 \times 10^{-10}$	$5.35 \times 10^{-13}$	$8.52 \times 10^{-17}$
简化后的 $K_{sp}(25^\circ\text{C})$	$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-16}$

$\text{AgCl}$ 、 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgI}$  都是银的卤化物沉淀,三者的对比及转化也是常考点。若想在同一坐标系中对比  $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgI}$  的图像,应选择哪种图像类型呢?卤化银的反比例函数关系式及一次函数关系式如表 4 所示。 $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgI}$  的反比例函数图像和一次函数图像分别如图 14 和图 15 所示。

表 4 卤化银的反比例函数关系式和一次函数关系式

物质名称	反比例函数关系式	一次函数关系式
$\text{AgCl}$	$c(\text{Cl}^-) = 10^{-10}/c(\text{Ag}^+)$	$\text{pc}(\text{Cl}^-) = 10 - \text{pc}(\text{Ag}^+)$
$\text{AgBr}$	$c(\text{Br}^-) = 10^{-12}/c(\text{Ag}^+)$	$\text{pc}(\text{Br}^-) = 12 - \text{pc}(\text{Ag}^+)$
$\text{AgI}$	$c(\text{I}^-) = 10^{-16}/c(\text{Ag}^+)$	$\text{pc}(\text{I}^-) = 16 - \text{pc}(\text{Ag}^+)$

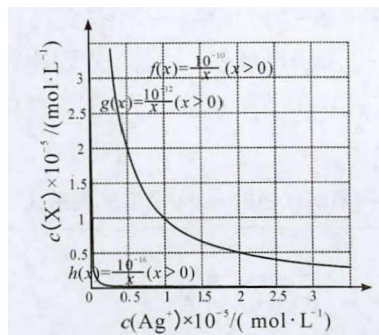


图 14 卤化银的沉淀溶解平衡反比例函数图像

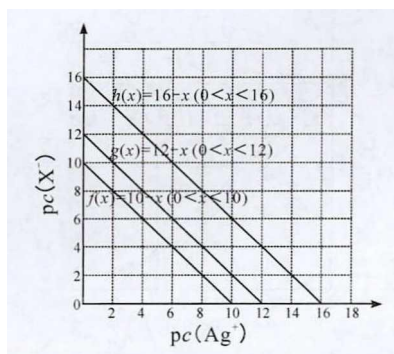


图15 卤化银的沉淀溶解平衡一次函数曲线

三种物质的  $K_{sp}$  数量级相差较大,在同一坐标系中难以同时呈现出三种物质的反比例函数图像(见图14)。而对数操作可以将很小的数字放大,再结合前面的经验,相比于点的坐标中存在负数的对数图像,绘制卤化银对比图像时,应选择负对数图像。由图15可知,在同一坐标系中能够完整呈现三种物质的图像,负对数运算可以缩小三种物质  $K_{sp}$  数量级的差距,且图像中坐标均为正数,便于分析计算。

(2) 铝各形态微粒浓度的对数( $\lg c$ )随溶液 pH 变化的关系图。

2009年广东省高考第24题曾呈现出  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  溶液中,铝各形态的浓度的对数( $\lg c$ )随溶液 pH 变化的关系图。运用 GeoGebra 软件可轻松画出此图像。

已知  $25^\circ\text{C}$  下,  $K_{sp}[\text{Al}(\text{OH})_3] = 1 \times 10^{-33}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq})$   $K=1$ 。可得出两个浓度关系式:①  $\lg c(\text{Al}^{3+}) = \lg K_{sp} + 42 - 3\text{pH}$ ; ②  $\lg c[\text{Al}(\text{OH})_4^-] = \lg K - 14 + \text{pH}$ 。操作及图像如下:

输入函数解析式:  $f(x) = \lg(10^{-33}) + 42 - 3x$ ,  $g(x) = \lg(1) - 14 + x$ , 图像如图16所示。

①输入函数  $h(x) = -1$ , 找到  $f(x)$ 、 $g(x)$  与  $h(x)$  的交点;②输入函数  $p(x) = -5$ , 找到  $f(x)$ 、 $g(x)$  与  $p(x)$  的交点;③运用“线段”功能,分别连接  $(0, -1)$  与 A、AB、BC、CD、D 与  $(14, -1)$ , 再隐藏其他函数图像(见图17)。

表7 不同氢氧化物的  $K_{sp}^{[3]}$  及浓度关系式

氢氧化物	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$\text{Cu}(\text{OH})_2$
$K_{sp}(25^\circ\text{C})$	$2.79 \times 10^{-39}$	$1.3 \times 10^{-33}$	$6.3 \times 10^{-31}$	$2.2 \times 10^{-20}$
浓度关系式	$\lg c(\text{Fe}^{3+}) = \lg K_{sp} + 42 - 3\text{pH}$	$\lg c(\text{Al}^{3+}) = \lg K_{sp} + 42 - 3\text{pH}$	$\lg c(\text{Cr}^{3+}) = \lg K_{sp} + 42 - 3\text{pH}$	$\lg c(\text{Cu}^{2+}) = \lg K_{sp} + 28 - 2\text{pH}$

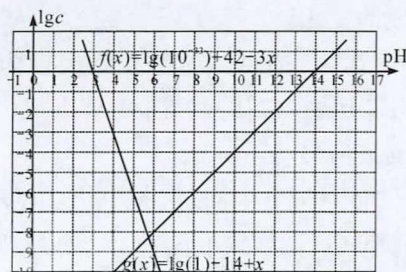


图16  $c(\text{Al}^{3+})/c[\text{Al}(\text{OH})_4^-]$  与 pH 的关系

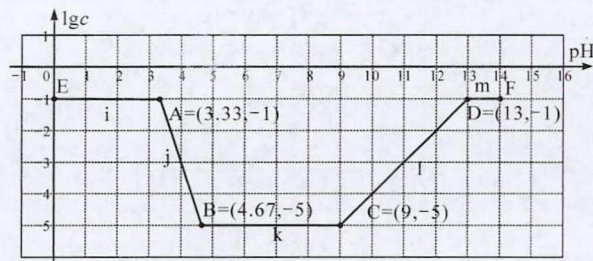


图17 铝各形态的浓度的对数( $\lg c$ )随溶液 pH 变化的关系

$0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$  溶液中,  $c(\text{Al}^{3+})$  或  $c[\text{Al}(\text{OH})_4^-]$  的最大浓度为  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 若离子浓度小于  $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,可认为该离子不存在。由图17可以很直观地看出,铝的存在形态随着 pH 发生变化(见表6)。

表6 不同 pH 环境下,铝的存在形态

pH	铝的形态
小于 3.33	$\text{Al}^{3+}$
3.33 ~ 4.67	$\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$
4.67 ~ 9	$\text{Al}(\text{OH})_3$
9 ~ 13	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$
大于 13	$\text{Al}(\text{OH})_4^-$

由 A、B、C、D 点的坐标也可以确定函数  $f(x)$ 、 $g(x)$ 、 $h(x)$ 、 $p(x)$  的取值范围,也可以得到图17所示图像。

(3) 金属离子分步沉淀图。

在文献中经常遇到的金属离子分步沉淀图也可同理画出。不同氢氧化物的  $K_{sp}$  及浓度关系式如表7所示。其操作过程如下:

续表7 不同氢氧化物的 $K_{sp}$ <sup>[3]</sup>及浓度关系式

氢氧化物	$Fe(OH)_2$	$Ni(OH)_2$	$Mn(OH)_2$	$Mg(OH)_2$
$K_{sp}$ (25 °C)	$4.87 \times 10^{-17}$	$5.48 \times 10^{-16}$	$1.9 \times 10^{-13}$	$5.61 \times 10^{-12}$
浓度关系式	$\lg c(Fe^{2+}) = \lg K_{sp} + 28 - 2pH$	$\lg c(Ni^{2+}) = \lg K_{sp} + 28 - 2pH$	$\lg c(Mn^{2+}) = \lg K_{sp} + 28 - 2pH$	$\lg c(Mg^{2+}) = \lg K_{sp} + 28 - 2pH$

操作:①依次将表7中的浓度关系式转变为函数解析式[如 $x$ 为 $pH$ , $f(x)$ 为 $\lg c$ ];②在GeoGebra软件中依次输入函数解析式(见图18)。

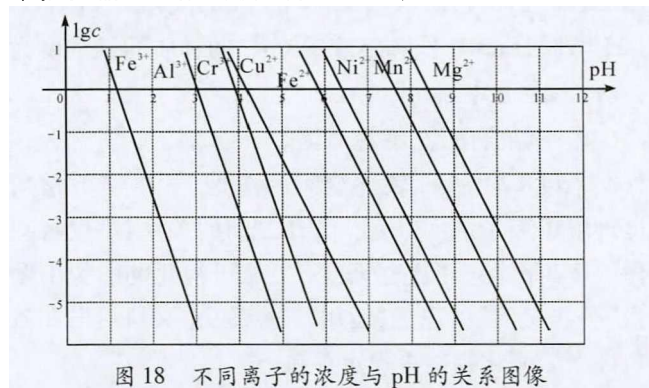


图18 不同离子的浓度与pH的关系图像

操作:①运用“交点”功能,找到各图像与 $y = -1$ 和 $y = -5$ 之间的交点;②运用“线段”功能,分别连接AB、CD、EF、GH、IJ、KL、MN、OP,再隐藏其他函数得到金属离子分步沉淀图像(见图19)。

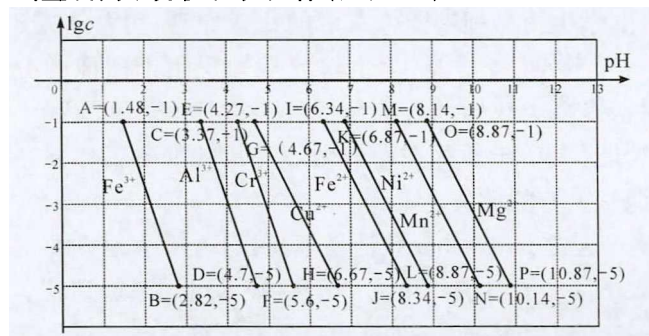


图19 金属离子分步沉淀图像

由图19可以查阅各种金属离子(起始浓度为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )开始沉淀与完全沉淀的 $pH$ (见表8)。

表8 不同金属离子开始沉淀和完全沉淀的 $pH$

离子符号	开始沉淀的 $pH$	完全沉淀的 $pH$
$Fe^{3+}$	1.48	2.82
$Al^{3+}$	3.37	4.7
$Cr^{3+}$	4.27	5.6
$Cu^{2+}$	4.67	6.67
$Fe^{2+}$	6.34	8.34
$Ni^{2+}$	6.87	8.87
$Mn^{2+}$	8.14	10.14
$Mg^{2+}$	8.87	10.87

由图19还可知, $Fe^{3+}$ 与 $Mg^{2+}$ 的沉淀范围相差较大,可以分步沉淀,而 $Fe^{2+}$ 与 $Ni^{2+}$ 沉淀范围太近,一般若想除去 $Ni^{2+}$ 中混有的 $Fe^{2+}$ ,常将 $Fe^{2+}$ 转化为 $Fe^{3+}$ ,再通过调节 $pH$ 的方式除去。

### 三、教学实施过程

现将利用GeoGebra软件辅助教学的部分师生活动片段梳理如下:

1. 牛刀小试——绘制 $c(Cl^-)$ 随 $c(Ag^+)$ 变化的图像

【师】一定温度下, $c(Ag^+)$ 与 $c(Cl^-)$ 之间的关系属于数学中的什么函数?请思考如何根据函数解析式画出 $c(Cl^-)$ 随 $c(Ag^+)$ 变化的图像。

学生确定函数类型,建立坐标系,明确横、纵坐标含义。

【师】如何寻找 $AgCl$ 溶解度最大的点呢?如何在图像中表达同离子效应?图像中曲线上方和下方的点又有什么含义?升温后图像如何变化?

学生运用“交点”“描点”“移动”等功能,理解溶解度含义、同离子效应、图像上任意点、线上方、线下方点的含义;在同一坐标系中绘制 $K_{sp}$ 增大后的图像,理解温度对平衡的影响。

2. 化曲为直——绘制 $pc(Cl^-)$ 随 $pc(Ag^+)$ 变化的图像

【师】在化学学习中,很多难题得以破解的关键都是把曲线转变为直线。我们能不能试着把所得的曲线转变为直线呢?

【生】对数函数可以把原本的乘除关系转化为加减关系。

【师】请大家表示出离子浓度之间的关系,并尝试作图。

学生作图,交流讨论。

【师】我们先根据一位同学的对数函数解析式作图。请大家观察图像,你有什么建议吗?

【生】能不能把点的坐标变成正数?

【师】转变为负对数函数即可。

教师展示 $pc(Cl^-)$ 随 $pc(Ag^+)$ 变化的图像,学生

分析图像。

学生借助数学知识,运用“交点”“描点”“移动”等功能,分析图像含义,并深化了对负对数的理解。学生还发现,可以根据图像与横、纵坐标的交点坐标快速判断出 $pK_{sp}$ ,且 $A_nB$ 型沉淀与 $AB$ 型沉淀一次函数图像的斜率不同。

### 3. 学以致用——绘制卤化银的沉淀溶解平衡图像

【师】氯化银、溴化银和碘化银都是银的卤化物。它们的性质相似,如果想把三种卤化物的沉淀溶解平衡曲线放在同一幅图中,应选择哪种函数类型呢?

教师展示反比例函数图像(见图14)。

【生】有一条线看不清,因为 $K_{sp}$ 太小了。

【师】理论上两种函数类型都可以。但是由于三种物质的 $K_{sp}$ 数量级相差太大,反比例函数图像难以呈现在一幅图中。请大家尝试画出一一次函数图像,并思考还能得到什么结论?

学生写出三种物质 $K_{sp}$ 的函数解析式,建立坐标系,作图。

【师】老师将大家写出的函数解析式输入GeoGebra软件中,结合生成的图像,你能总结出哪些规律呢?

【生】三条线斜率相同,因为是同类物质。可以直接找图像与横、纵坐标交点的坐标确定 $K_{sp}$ 。图像越占据右上方, $K_{sp}$ 越小。

在建立坐标系过程中,学生意识到只有共用横、纵坐标,才能将三种物质的图像画在同一坐标系中,为后面金属离子分步沉淀图像的识别打下基础,同时减少对横、纵坐标有多重含义图像的陌生感。

### 4. 拓展提升——解析氢氧化物的沉淀溶解平衡图像

【师】工艺流程的除杂环节常涉及金属离子的除去,一般将金属离子转化为氢氧化物沉淀除去。以 $Fe^{3+}$ 为例,尝试找出金属离子的浓度( $lgc$ )与 $pH$ 之间的关系,并预测图像形状。

学生进行变形运算,写出浓度关系式和函数解析式。

【师】根据大家的函数解析式,应用GeoGebra软件得到图像,请大家分析图像的含义。

学生分析线上任意点、线上方、线下方点的含义。

【师】按照同样的思路,可以写出其他离子对应的函数解析式,应用GeoGebra软件得到图像(见图

19)。这些线有什么特点呢?

【生】都是直线。有些线的斜率相同。 $AB_2$ 型沉淀的图像斜率都相同, $AB_3$ 型沉淀的图像斜率也都相同。

【师】在粗制 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 晶体中常含有杂质 $Fe^{2+}$ 。在提纯时,为了除去 $Fe^{2+}$ ,常加入少量 $H_2O_2$ ,使 $Fe^{2+}$ 氧化为 $Fe^{3+}$ ,然后调节溶液 $pH=4$ ,可以达到除去 $Fe^{3+}$ 而不损失 $CuSO_4$ 的目的。请解释原因(25℃时, $CuSO_4$ 饱和溶液中 $Cu^{2+}$ 的物质的量浓度为 $1.41 mol \cdot L^{-1}$ [2])。

学生结合图像,解释原因。

借助GeoGebra软件绘制的图像,学生从数学角度理解了离子浓度( $lgc$ )与 $pH$ 之间的关系,不仅将图像斜率与沉淀类型建立联系,更从可视化的图像中领悟“分步沉淀”的思想;运用“描点”功能,判断出在该条件下氢氧化物能否稳定存在。

## 四、总结

在GeoGebra软件辅助下,学生从函数解析式出发建立坐标系,更关注横、纵坐标的含义及横、纵坐标之间的关联、曲线的含义等;将函数解析式变成图像,学生更易理解图像背后的化学原理;得益于“交点”“移动”等功能,学生将数学知识用于图像的分析,提高了数形结合的分析能力;“隐藏”和“显示”功能,更便于教师在课前做好充足的准备工作并在课堂上有的放矢。

总之,GeoGebra软件易学易操作,极大地方便了教学活动的组织和开展。信息,技术已经渗透到教学工作的方方面面[5],如何更好地发挥信息技术对化学教学的辅助功能?我们仍需不断地探索与实践。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [2] 王晶,郑长龙. 普通高中教科书化学·化学反应原理[M]. 北京:人民教育出版社,2021:77-85.
- [3] J·A·迪安. 兰氏化学手册[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 保志明. 关注科学概念的教育价值(续)——以“原子结构”为例[J]. 中学化学教学参考,2015(7):1-3.
- [5] 沈艳华,俞纲. GeoGebra软件在晶体结构教学中的应用[J]. 中学化学教学参考,2022(20):52-54.

(本文编辑:青 风)