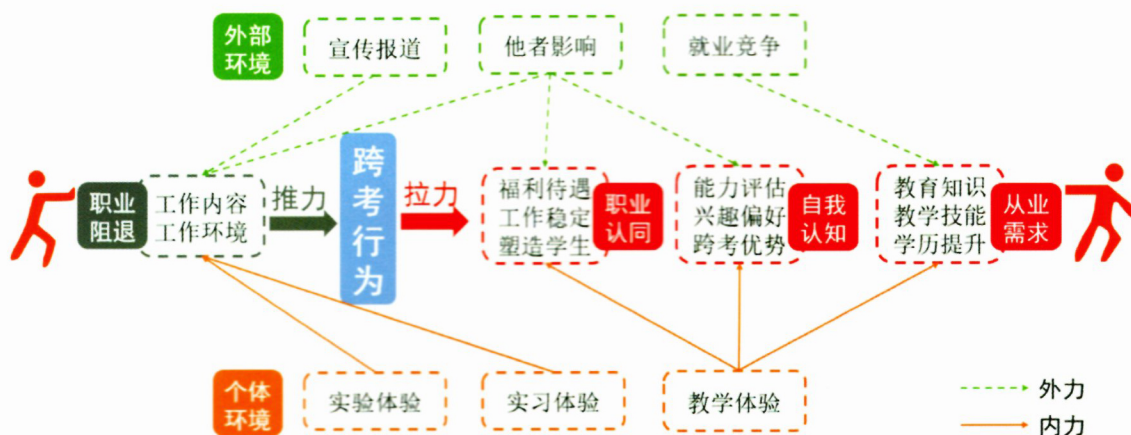


化学教育(中英文)

Chinese Journal of Chemical Education

2023年 第44卷 第18期 Vol.44 No.18



邮发代号: 2-106

ISSN 1003-3807



9 771003 380239

HUAXUE JIAOYU



CHINESE
CHEMICAL
SOCIETY



主管: 中国科学技术协会
主办: 中国化学会
北京师范大学

化学·生活·社会

多取代吡啶衍生物合成及在医药和农药领域应用研究进展 燕子红 李金兰 郑源松 苗志伟 (1)

课程·教材·评价

促进学习的同伴评价学习活动设计和实践——含铬废水处理工艺 刘 萍 韩 莉 陈虹锦 (17)

新时代背景下无机合成化学教学策略与方法 黄 艳 田振芬 王 磊 徐志珍 白 鹤 杨宇翔 (25)

理论教学

“变正、变形、互变”:三变观念下羰基的整体化教学 邢国文 张敬东 卢忠林 (30)

基于雨课堂和 BOPPPS 改进模型的混合式教学设计与实践——精细合成单元反应
..... 栾吉梅 方 龙 姜 鹏 孙德帅 张晓东 (37)

撰写“高分子物理”教案的几点策略 霍 红 (45)

实验教学

光敏树脂合成及 3D 打印的综合实验教学设计与实践 刘兴好 沈永雯 王宝燕 郭金山 惠新平 (49)

综合创新实验: Zn-LiFePO₄ 软包装电池的制备与性能表征
..... 冯 凯 朱亚茹 管金成 刘洪浩 刘珊珊 韩艳阳 崔 伟 管仁贵 杨 昕 何 涛 (56)

思维导图促进高分子化学实验创新型人才培养的教学探索 温 昕 王素娟 田月兰 顾 芳 (64)

教师教育

师范专业认证背景下化学师范生的教育实践训练体系构建与实践 江雪清 宋万琚 李艳莹 (71)

非师范生缘何选择化学教育类研究生专业——基于多个案的质性研究 张思思 杨季冬 (77)

学习轨迹视角下的化学教师教育课程建设机制与路径——中学化学课程与教材研究 黄鸣春 王维臻 (85)

职业教育

成就目标定向对中职生学习投入的影响机制研究 安 蓉 杜 薇 (93)

非化学专业化学教育

多维度高效有机化学教学策略的探索——松墨天牛性信息素的合成和应用 陈维一 李 敏 虞 虹 郝德君 (102)

问题链式教学法在医用有机化学教学中的应用——氨基酸和多肽 何 炜 王海波 李明华 秦向阳 冀 楠 (108)

信息技术与化学

基于 Python 的沉淀滴定学习软件设计与教学应用
..... 王 顺 李 伟 赵士举 刘小花 吴璐璐 谢黎霞 宋美荣 李 辉 (113)

问题讨论与思考

转换数和转换频率概念的有效性与局限性 张 恒 (120)

国内外动态

国内外化学学者立场标记语使用研究 杨传鸣 冷利田 (124)

《化学教育》订阅通知 (16)

封面图片 (80)

本期责任编辑 杨金瑞 齐 娜

信息技术与化学

基于 Python 的沉淀滴定学习软件
设计与教学应用*

王 顺 李 伟 赵士举 刘小花 吴璐璐 谢黎霞

宋美荣 李 辉**

(河南农业大学理学院 河南郑州 450002)

摘要 在滴定分析教学中,将现代信息化 Python 编程语言与沉淀滴定分析法深度融合,设计开发了沉淀滴定学习软件。该软件无需安装和建立复杂的函数或计算方程,用户只需选择和输入相应参数,即可实现沉淀滴定曲线的可视化绘制、滴定可行性判断、化学计量点和滴定突跃范围以及滴定误差的计算等。软件以图形界面形式呈现,设计简洁、操作方便、内容丰富,可选择内置或自定义滴定实例,基本涵盖了沉淀滴定法教学大纲中重要知识点内容,便于教师教学和学生自主学习应用,协同提升教学效果。

关键词 分析化学 沉淀滴定 学习软件 滴定曲线 滴定误差

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2023040058

教育部在《关于加快建设高水平本科教育 全面提高人才培养能力的意见》中指出,推进现代信息技术与教育教学深度融合,积极打造适应学生自主学习、自主管理、自主服务需求的智慧课堂,提升教师运用现代信息技术的教学素养和能力^[1]。分析化学是高等院校中农、林、牧、理、医等多个学科和专业重要的基础课程,在培养综合性、专业性人才方面发挥着关键支撑作用^[2]。沉淀滴定法作为四大滴定分析方法之一,是定量化学分析教学中的重要组成部分。该方法涉及滴定曲线的绘制、化学计量点的计算、滴定突跃范围的计算及影响因素、滴定可行性判断以及滴定误差的计算等教学重点和难点,理论性强、公式推导多、实践性要求高^[2-6]。在传统讲授滴定分析内容时,多呈现单一化的计算推导和讲授过程,滴定反应过程中量的变化和滴定曲线无法直观、动态可视化展示,造成教学内容枯燥乏味,难以激发学生学习热情和学生自主学习内驱力。

已有报道采用 MATLAB、Origin、Excel 等商品化软件用于滴定曲线的绘制和分析数据的处理^[7-11],然而对于数据的可视化处理往往需要建立复杂的函数或计算方程,个性化的功能或实例的实现对于教师和学生等非专业编程人员要求较高,无法自行处理,操作不便,功能难以实现。Py-

thon 是目前最受欢迎的程序设计语言之一,具有易于学习、免费获取代码、编写语言简洁、运行速度快、可广泛应用于多种操作系统等优点^[12]。基于上述背景,本文将现代信息化 Python 编程语言与沉淀滴定教学深度融合,设计开发了沉淀滴定学习软件。该软件可直接在 Windows 平台上运行,无需复杂的安装过程及编程知识,也不需要进行函数或公式输入,用户只需进行简单的参数设置,即可通过简洁的图形用户界面实现沉淀滴定曲线的绘制、滴定可行性的判断和滴定误差的计算等。该软件基本涵盖了沉淀滴定教学大纲中重要知识点内容,使得教学过程更加直观、具体化,学生可以掌握更多的学习主动权,提高自身知识消化和吸收能力。

1 沉淀滴定学习软件的总体设计

根据沉淀滴定法教学重难点内容,基于 Python 编程语言,采用 PyQt5 设计实现图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)沉淀滴定学习软件,该软件整体设计框图如图 1 所示。提供有常见的银量法和非银量法,即钡钡铅法,具体包括滴定分析体系的确定,滴定参数的设置,滴定体系可行性判断,滴定曲线的绘制,化学计量点的计算,滴定突跃范围和滴定误差的计算等。软件系统各部

* 河南省高等教育教学改革研究与实践项目(2021SJGLX349, 2019SJGLX222);河南省专业学位研究生精品教学案例项目(YJS2022AL066);河南农业大学教学改革研究与实践项目(2022XJGLX043, 2022XJGLX115)

** 通信联系人, E-mail: syslw@henau.edu.cn

分内容和功能完成后,采用 Pyinstaller 将 Python 源文件程序打包为独立 exe 可执行文件,不仅方便传递和管理,也可在没有安装 Python 的环境中直接运行。

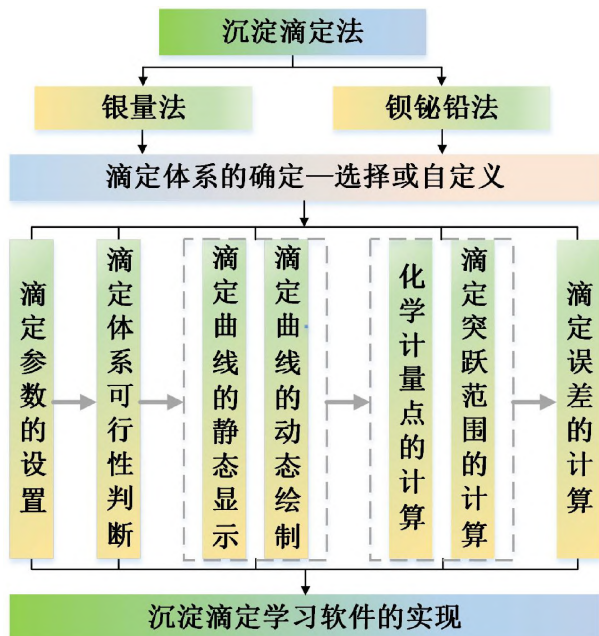


Fig. 1 Diagram of the precipitation titration learning software

图 1 沉淀滴定学习软件总体设计框图

2 沉淀滴定学习软件的界面和功能使用

2.1 软件主界面

沉淀滴定学习软件主界面如图 2 所示,包括标题栏、菜单栏和窗口显示栏,左侧为数据处理与曲线绘制显示区,右侧为参数设置和功能操作区。其中左侧窗口显示栏设置有“显示曲线”“绘制曲线”和“曲线求导”等 3 个窗口,对应于右下角功能操作结果的显示;右侧窗口显示栏设置有“银量法”和“钡铋铅法”2 个选项,方法分类确定后,即可在其下方的参数设置和功能操作区进行选择或自定义滴定体系实例、设置各种参数和操作使用相应功能,同时还可对具体实例进行滴定可行性判断、计算化学计量点、滴定突跃范围和滴定误差等。此外,滴定曲线显示或绘制成功后,左下角的快捷按钮还可实现局部缩放、坐标轴调整、图片保存等。

2.2 软件滴定实例的开发和操作流程

沉淀滴定学习软件基本涵盖了常见的沉淀滴定类型,包括常见的银量法、氯化钡法、硝酸铋法和硝酸铅法,提供有大量的滴定体系实例,具有较强的实践性。根据指示剂的不同,银量法又分为莫尔法(Mohr)、佛尔哈德法(Volhard)和法扬司法

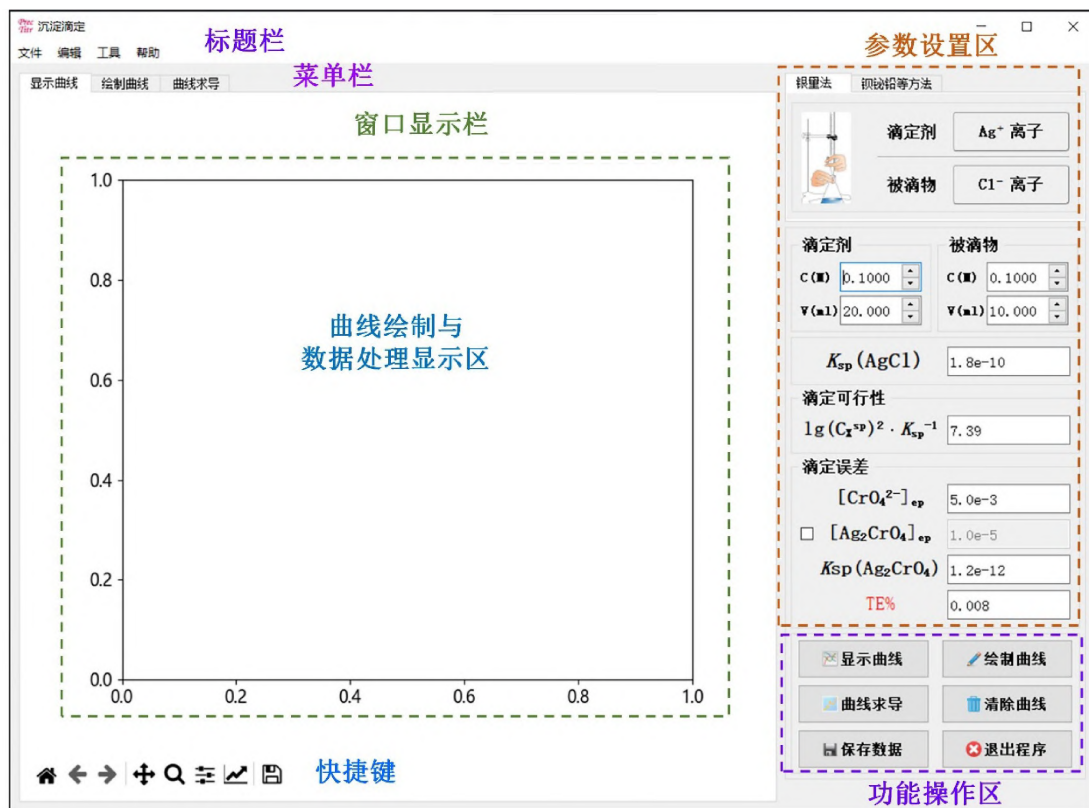


Fig. 2 Main interface of the learning software

图 2 学习软件主界面

(Fajans), 其他非银量法均归属为钡铋铅法, 如图 3 所示。同时, 界面底端的当前实例说明框会给出相应的溶度积常数 K_{sp} 、指示剂及其滴定条件等说明信息。软件除内置滴定实例外, 用户还可根据自身需要自定义滴定体系 ($T \rightarrow X$), 具有一定的开放性和灵活性。

参照软件总体设计框图 (见图 1), 简要介绍学习软件的操作流程: 确定滴定方法 $\rightarrow$ 通过选择或自定义实现滴定体系实例的确定 $\rightarrow$ 设置滴定参数 $\rightarrow$ 滴定可行性判断 $\rightarrow$ 滴定曲线的静态显示或动态绘制 $\rightarrow$ 当前滴定体系化学计量点和滴定突跃范围的计算 $\rightarrow$ 输入相应的指示剂浓度等信息, 计算滴定误差 $\rightarrow$ 滴定曲线图像和数据的保存 $\rightarrow$ 退出程序或选择其他滴定实例。

2.3 滴定曲线绘制与应用

在沉淀滴定曲线绘制过程中, 横坐标为滴定剂的加入体积 V 或滴定分数 F , 纵坐标为溶液平衡体系的 pX ($pX = -\lg[X]$, X 表示被滴定的卤素离子或银离子)。滴定分数 F 定义为滴定剂的加入体积 V 除以化学计量点时滴定剂的加入体积 V_{sp} , 显然滴定分数 F 与体积 V 为一一对应关系。

以 $Ag^+ \rightarrow X^-$ 滴定体系为例, 介绍该软件如何基于滴定曲线方程实现 V - pX 曲线的绘制, 以及化学计量点和滴定突跃范围的计算等。设滴定剂 Ag^+ 和被滴物 X^- 的浓度均为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 体积分别设置为 40.00 mL 和 20.00 mL , 溶度积

常数为 K_{sp} , 则滴定剂的体积取值范围为 $[0, 40]$ 。又 Ag^+ 和 X^- 的反应计量关系为 $1:1$, 则可知 $V_{sp} = 20.00 \text{ mL}$, 滴定分数 $F = V/20.00$, 其取值范围为 $[0, 2]$ 。软件默认滴定剂加入体积的步长为 0.02 mL , 由此先产生一系列的 V 和 F , 之后软件依次将其代入滴定曲线方程 $(1+F)[X^-]^2 - 0.1000 \times (1-F)[X^-] - (1+F)K_{sp} = 0$, 计算获得一系列 $[X^-]$ 和 pX 值, 从而得到绘制滴定曲线的 2000 个 (V, pX) 或 (F, pX) 数据点, 最终基于 Python 程序实现高精度滴定曲线的绘制和显示。

应用绘制上述滴定曲线所使用的 (V, pX) 数据点, 以相邻 2 个数据点的体积平均值为横坐标, 2 个数据点的斜率 (ΔpX 差值除以步长 0.02 mL) 为纵坐标, 基于 Python 程序可绘制得到滴定曲线的导数曲线 V - dpX/dV 。当滴定误差 $TE\%$ 设定为 $\pm 0.1\%$ 时, 查找上述滴定曲线中 $V = V_{sp} = 20.00 \text{ mL}$ 、 $V = 0.999V_{sp} = 19.98 \text{ mL}$ 及 $V = 1.001V_{sp} = 20.02 \text{ mL}$ 对应的 pX , 由此可获得化学计量点和滴定突跃范围信息。

2.4 滴定误差的计算

滴定误差是滴定终点 (ep) 与化学计量点 (sp) 不一致而引起的误差, 是研究滴定分析理论和原理的重要环节。莫尔法和佛尔哈德法是银量法中的 2 种典型方法, 分别以铬酸钾和铁铵矾为指示剂。在滴定终点时, 为观察到明显的颜色变化, 莫尔法需

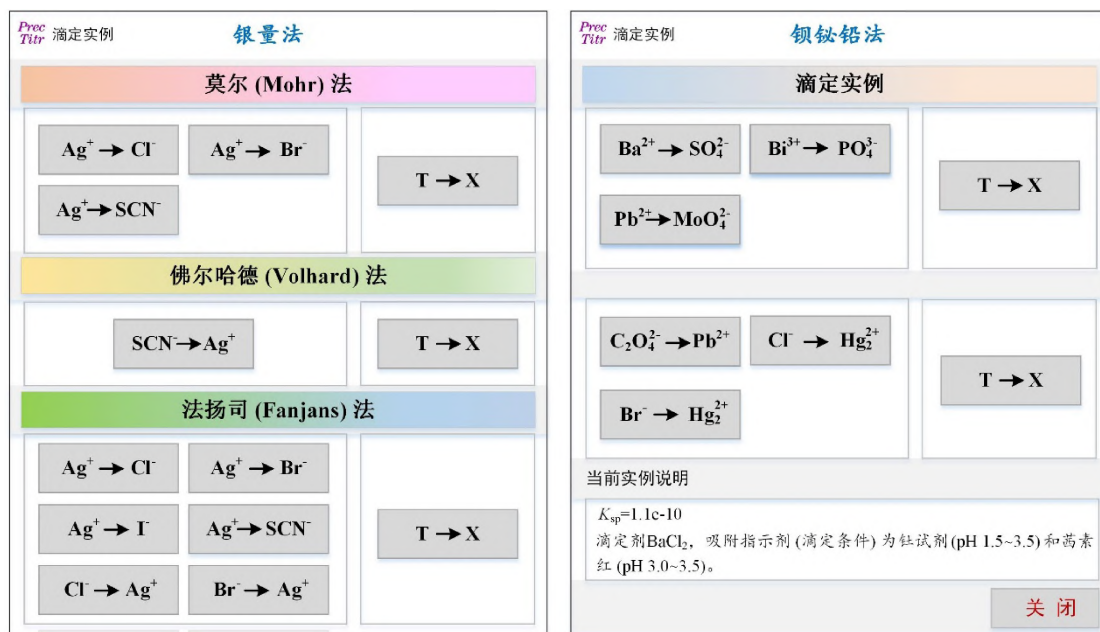


Fig. 3 Titration examples built-in the software

图 3 沉淀滴定学习软件内置的滴定实例

要多消耗一些滴定剂 Ag^+ 以生成一定量的 Ag_2CrO_4 沉淀, 佛尔哈德法需要多消耗一些滴定剂 SCN^- 以生成一定量的 FeSCN^{2+} 配离子^[3,13]。因此, 计算实际滴定误差时, 这部分消耗带来的误差往往不能忽略。学习软件提供有考虑和不考虑该部分消耗时计算滴定误差的功能, 可更直观地感受指示剂用量对计算结果的影响。

由于滴定终点在化学计量点附近时 $C_X^{\text{sp}} \approx C_X^{\text{ep}}$, 则终点误差通用表达式为式 (1), 其中第二项为

$$\text{TE}\% = \frac{[\text{Ag}^+]_{\text{ep}} - [\text{Cl}^-]_{\text{ep}}}{C_X^{\text{sp}}} + \frac{[\text{Ag}^+]_{\text{In}}}{C_X^{\text{sp}}} \times 100\% =$$

$$\left(\frac{\sqrt{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)/[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{ep}}} - K_{\text{sp}}(\text{AgCl})/\sqrt{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)/[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{ep}}} + \frac{2 \times [\text{Ag}_2\text{CrO}_4]_{\text{ep}}}{C_X^{\text{sp}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

类似地, 佛尔哈德法中以 $\text{SCN}^- \rightarrow \text{Ag}^+$ 为例, 式 (1) 转化为表达式 (3), 即软件默认的滴定误差计算公式:

$$\text{TE}\% = \left(\frac{[\text{SCN}^-]_{\text{ep}} - [\text{Ag}^+]_{\text{ep}}}{C_{\text{Ag}}^{\text{sp}}} + \frac{[\text{SCN}^-]_{\text{In}}}{C_{\text{Ag}}^{\text{sp}}} \right) \times 100\% =$$

$$\left(\frac{[\text{FeSCN}^{2+}]_{\text{ep}}/(K_{\text{f}}(\text{FeSCN}^{2+}) \times [\text{Fe}^{3+}]_{\text{ep}}) - K_{\text{sp}}(\text{AgSCN}) \times K_{\text{f}}(\text{FeSCN}^{2+}) \times [\text{Fe}^{3+}]_{\text{ep}}/[\text{FeSCN}^{2+}]_{\text{ep}} + \frac{[\text{FeSCN}^{2+}]_{\text{ep}}}{C_{\text{Ag}}^{\text{sp}}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

3 应用实例

3.1 沉淀滴定曲线的绘制

以银量法中 AgNO_3 溶液滴定等浓度的 NaCl 溶液为例, 根据上述学习软件的操作流程, 选择银量法, 点击滴定剂确定具体的 $\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cl}^-$ 滴定体系后, 如设置滴定剂 Ag^+ 浓度为 $0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 滴定体积为 40.00 mL , 被滴物 Cl^- 浓度为 $0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 滴定体积为 20.00 mL 。滴定参数设置完成后, 点击功能操作中相应图标, 软件可实现滴定曲线的静态显示或动态可视化绘制, 还可以进行

考虑指示剂所消耗的滴定剂用量时带来的滴定误差。

$$\text{TE}\% = \left(\frac{[\text{T}]_{\text{ep}} - [\text{X}]_{\text{ep}}}{C_X^{\text{sp}}} + \frac{[\text{T}]_{\text{In}}}{C_X^{\text{sp}}} \right) \times 100\% \approx$$

$$\left(\frac{[\text{T}]_{\text{ep}} - [\text{X}]_{\text{ep}}}{C_X^{\text{sp}}} + \frac{[\text{T}]_{\text{In}}}{C_X^{\text{sp}}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

以 $\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cl}^-$ 为例, 计算莫尔法滴定误差时, 式 (1) 转化为表达式 (2), 即软件默认的滴定误差计算公式:

$$\left(\frac{\sqrt{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)/[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{ep}}} - K_{\text{sp}}(\text{AgCl})/\sqrt{K_{\text{sp}}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)/[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{ep}}} + \frac{2 \times [\text{Ag}_2\text{CrO}_4]_{\text{ep}}}{C_X^{\text{sp}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

差计算公式:

曲线求导、保存数据和图片等操作。图 4 (a) 给出了该软件绘制的 $\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cl}^-$ 滴定体系的滴定曲线, 在曲线附近单击鼠标右键, 可同时在滴定曲线上标示出其滴定突跃范围和化学计量点。图 4 (b) 为该滴定曲线对应的导数曲线, 可以更加直观地观察到化学计量点对应的滴定体积和滴定突跃发生的位置。按照上述类似的操作流程, 该软件也可实现银量法或钡铈铅法中其他滴定实例的滴定曲线的显示、绘制、求导、保存以及滴定突跃范围和计量点的计算等功能。

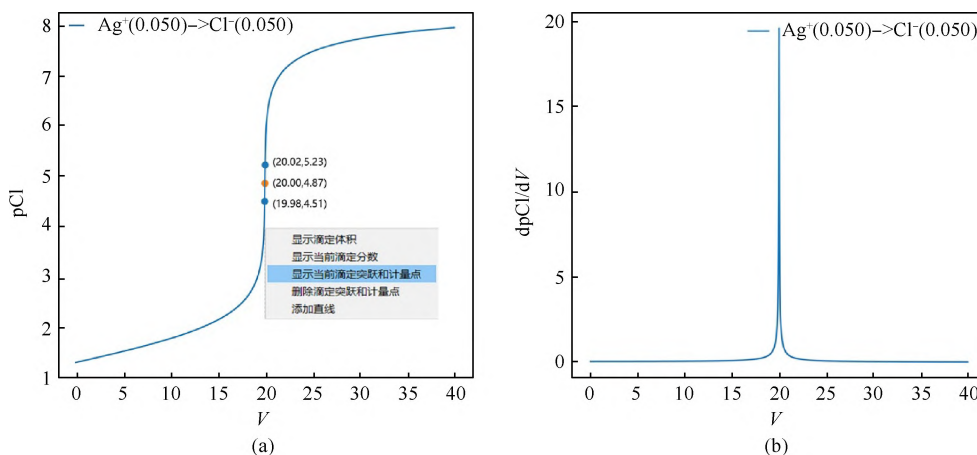


Fig. 4 Titration curve (a) and its corresponding derivative curve (b) plotted by the software

图 4 学习软件绘制的滴定曲线 (a) 及其导数曲线 (b)

3.2 滴定突跃范围的影响因素和计算

(1) 溶度积常数 K_{sp} 对滴定突跃范围的影响

以 Ag^+ 分别滴定等浓度的 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 离子为例, $K_{sp}(\text{AgCl})$ 、 $K_{sp}(\text{AgBr})$ 和 $K_{sp}(\text{AgI})$ 分别为 1.8×10^{-10} 、 5.0×10^{-13} 和 9.3×10^{-17} , 按照 2.2 操作流程及 3.1 滴定曲线的绘制过程, 设置滴定剂和被滴物浓度均为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 得到的滴定突跃范围分别为 $\text{pCl} = 4.27 \sim 5.47$ 、 $\text{pBr} = 4.30 \sim 8.00$ 和 $\text{pI} = 4.30 \sim 11.73$, 如图 5 (a) 所示。显而易见, 对于同类型的沉淀滴定, 随着溶度积常数的变小, 沉淀反应越彻底, 滴定突跃范围越大。并且可进一步看出, 滴定突跃范围的下限没有发生变化, 滴定突跃范围的增大归因于滴定突跃范围上限的增加。

(2) 浓度对滴定突跃范围的影响

以 Ag^+ 滴定等浓度的 Br^- 为例, 按照 2.2 操作流程和 3.1 滴定曲线的绘制操作, 滴定剂和被滴物的浓度分别设定为 $0.0020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.0100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 如图 5 (b) 所示。可以看出, 随着浓度的增加, 滴定突跃范围的下限降低, 上限升高, 对应的滴定突跃范围分别为 $5.86 \sim 6.44$ 、 $5.29 \sim 7.01$ 和 $4.30 \sim 8.00$, 突跃范围逐渐变宽。

3.3 沉淀准确滴定的可行性判断

为了保证沉淀滴定的准确度, 滴定突跃范围不能太小。滴定单个离子时 (如滴定 X^-), 若以 $\Delta \text{pX} = \pm 0.2$ 作为借助指示剂判断终点的极限, 要使滴定终点误差在 $\pm 0.1\%$ 以内, 则突跃范围应大于 0.4pX , 可以推导出沉淀准确滴定分析的条件为 $\lg(C_{\text{x}}^{\text{sp}})^2 K_{\text{sp}}^{-1} \geq 6$ 。沉淀滴定学习软件界面右侧功能

操作区提供有滴定可行性判断的计算功能, 根据其计算结果, 可快速判断滴定体系能否进行准确滴定。

3.4 滴定误差的计算

以莫尔法为例, CrO_4^{2-} 为指示剂, 用浓度为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ AgNO_3 标准溶液滴定等浓度的 NaCl 溶液, 滴定终点时 $[\text{CrO}_4^{2-}] = 5.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 红色沉淀 Ag_2CrO_4 消耗的 Ag^+ 相当于 $2.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。求滴定误差 $\text{TE}\%$ 。已知: $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$, $K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1.2 \times 10^{-12}$ 。

按照 2.2 操作流程及 2.4 滴定误差的计算公式 (2), 选择银量法, 点击确定具体的莫尔法中 $\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cl}^-$ 滴定体系后, 在参数设置区中输入滴定剂和被滴定物质的浓度为 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 系统自动给出 $K_{sp}(\text{AgCl})$ 和 $K_{sp}(\text{Ag}_2\text{CrO}_4)$ 分别为 1.8×10^{-10} 和 1.2×10^{-12} , 同时输入滴定终点时 $[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{ep}}$ 的浓度为 $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 此时软件可自动给出此时滴定误差 $\text{TE}\% = 0.008$, 如图 6 (a) 所示; 若进一步考虑滴定终点时生成红色沉淀 Ag_2CrO_4 消耗的 Ag^+ 时, 需勾选 $[\text{Ag}_2\text{CrO}_4]_{\text{ep}}$ 前面的选框, 即 $[\text{Ag}_2\text{CrO}_4]_{\text{ep}}$ 的浓度为 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 此时软件给出精确计算的滴定误差 $\text{TE}\% = 0.048$, 如图 6 (b) 所示, 该结果与文献公式计算结果一致^[3]。

以佛尔哈德法为例, 用 $0.1000 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KSCN 标准溶液滴定等浓度的 AgNO_3 溶液, 终点时 $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{ep}} = 0.015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 求滴定误差 $\text{TE}\%$ 。实验证明, 当溶液中 FeSCN^{2+} 的浓度达到 $6.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 可观察到明显的红色而确定终点。已知: $K_{sp}(\text{AgSCN}) = 1.0 \times 10^{-12}$,

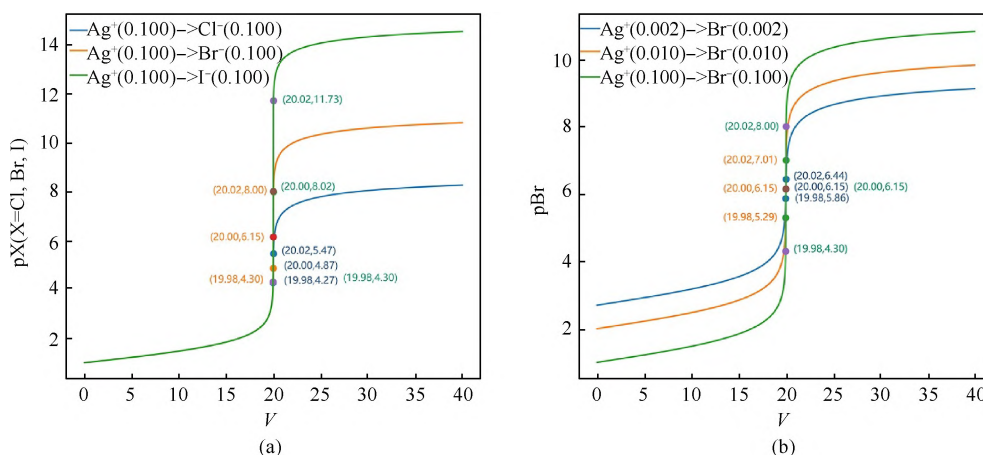


Fig. 5 Influence factors on the jumping range. The effect of solubility product constant (a) and concentration (b) on the jumping range

图 5 滴定突跃范围的影响因素。溶度积常数 (a) 及浓度 (b) 对滴定突跃范围的影响

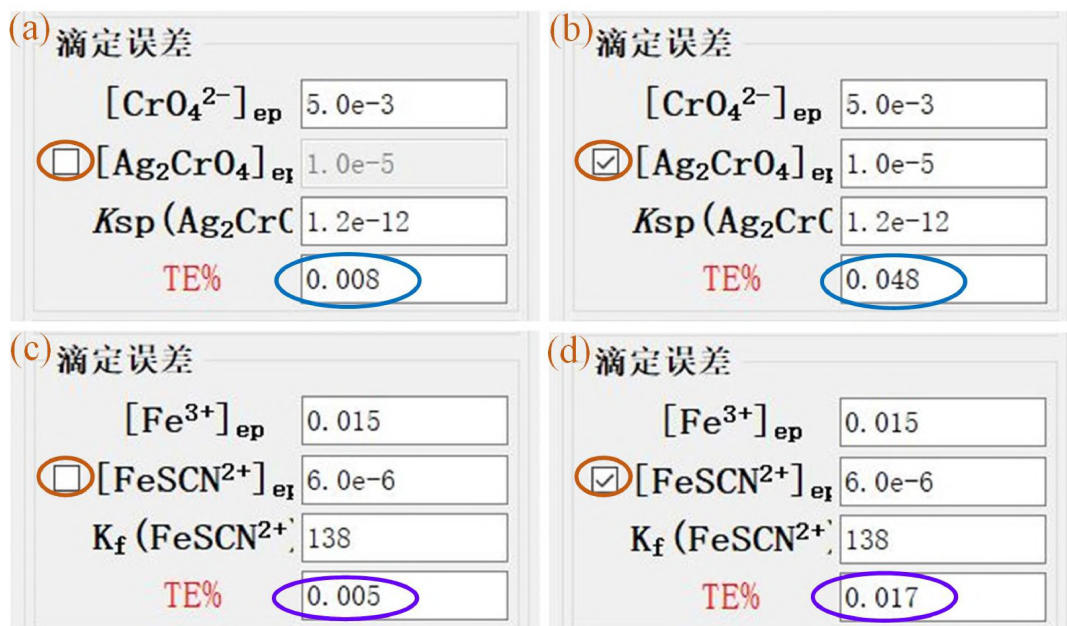


Fig. 6 Calculation of titration error by the software. The titration errors of samples for (a–b) Mohr's method and (c–d) Volhard's method, respectively

图 6 终点误差计算应用实例。(a–b) 莫尔法终点误差应用实例, (c–d) 佛尔哈德法终点误差应用实例

$K_f(\text{FeSCN}^{2+})=138$ 。

按照 2.2 操作流程及 2.4 滴定误差计算公式(3), 选择银量法, 点击确定具体的佛尔哈德法中 $\text{SCN}^- \rightarrow \text{Ag}^+$ 滴定体系后, 在参数设置区中输入滴定剂和被滴定物质的浓度信息, 同时输入滴定终点时 $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{ep}}$ 的浓度为 $0.015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 软件可自动给出此时滴定误差 $\text{TE}\% = 0.005$, 如图 6 (c) 所示; 若进一步考虑滴定终点产生红色产物 FeSCN^{2+} 消耗的 SCN^- 时, 需勾选 $[\text{FeSCN}^{2+}]_{\text{ep}}$ 前面的选框, 即 $[\text{FeSCN}^{2+}]_{\text{ep}}$ 的浓度为 $6.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 此时软件给出精确计算的滴定误差 $\text{TE}\% = 0.017$, 如图 6 (d) 所示, 该结果与文献公式计算结果一致^[2]。

4 结语

本文将课程教学与现代信息技术深度融合, 基于 Python 编程语言, 采用 PyQt5 设计开发了图形用户界面 (GUI) 沉淀滴定学习软件, 基本涵盖了现阶段沉淀滴定教学大纲中重要的知识点内容。该软件无需安装, 可直接在 Windows 平台上运行, 界面简单友好、布局相对合理, 便于用户操作使用。软件内容丰富, 可选择内置或自定义的沉淀滴定实例, 无需建立复杂的函数或计算方程, 即可静态显示或动态可视化绘制所选择滴定体系的滴定曲线, 同时还可实现滴定可行性判断、化学计量点、滴定突跃范围和滴定误差的计算, 具有较强的开放

性、灵活性和实践性。该软件可辅助教师教学和学生自主学习, 也可开展探究式学习, 协同优化完善知识体系, 有效提升学习效果。

参 考 文 献

- [1] 教育部. 关于加快建设高水平本科教育全面提高人才培养能力的意见 [EB/OL]. (2018-10-08) [2023-04-08]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201810/t20181017_351887.html
- [2] 武汉大学. 分析化学上册. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2016
- [3] 邵利民. 分析化学. 2 版. 北京: 科学出版社, 2020
- [4] 陈兴国, 何疆, 陈宏丽, 等. 分析化学. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2021
- [5] 焦琳娟, 郭会时, 黄冬兰, 等. 化学教育 (中英文), 2021, 42 (10): 23–28
- [6] 甘峰. 大学化学, 2021, 36 (4): 2005008
- [7] 秦向东, 杨姝, 赵红梅, 等. 化学教育, 2015, 36 (12): 58–62
- [8] 池泉, 王献. 化学教育 (中英文), 2020, 41 (2): 21–27
- [9] 孙晓波, 李琳, 王秀霞, 等. 大学化学, 2016, 31 (5): 78–84
- [10] 伍涛, 吴湘, 童艳花. 湖州师范学院学报, 2015, 37 (8): 95–101
- [11] 王进平, 孙晓波. 大学化学, 2014, 29 (6): 29–33
- [12] 王彦恺, 郭长艳. 化学教育 (中英文), 2022, 43 (18): 87–91
- [13] 龙文清, 孟凡昌. 吉安师专学报: 自然科学, 1995, 16 (5): 5–9

Design and Application of the Precipitation Titration Learning Software Based on Python

WANG Shun LI Wei ZHAO Shi-Ju LIU Xiao-Hua WU Lu-Lu XIE Li-Xia
SONG Mei-Rong LI Hui**

(College of Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract In the process of teaching titration analysis, a precipitation titration learning software is designed and developed using Python language in order to promote the deep integration of modern information technology and teaching. The software does not need to install and establish complex functions or calculation equations. It is easy to operate for users only by selecting and inputting the corresponding parameters, which can make the precipitation titration curve visualization. In addition, the software can automatically calculate the stoichiometric points, the jumping range, the feasibility of the titration and the titration error. This software is presented in the form of a graphical interface with simple design, convenient operation and rich content. Users can choose built-in or customized titration examples. This software almost contains the important knowledge of the precipitation titration method in the syllabus, which is convenient for teachers to prepare lessons for teaching and students to study independently, cooperating to improve the teaching effect.

Keywords analytical chemistry; precipitation titration; learning software; titration curve; titration error