

基于 pH 传感器的高中化学数字化实验教学研究与实践——以“酸碱中和滴定”与“盐类水解”为例

牛建航¹ 杨静² 李银翠³

1. 固原市第二中学 宁夏 固原 756000

2. 固原市原州区第六小学 宁夏 固原 756000

3. 宁夏西吉中学 宁夏 固原 756000

摘要: 随着信息技术的飞速发展,数字化实验以其精准、直观、高效的特性,正逐步融入高中化学教学的各个环节。本文以pH传感器的应用为例,探讨了数字化实验在高中化学教学中的价值与实施路径。通过对比传统实验与数字化实验在“酸碱中和滴定”和“盐类水解”两个核心教学模块中的实践,分析了数字化实验在深化概念理解、培养科学探究能力、提升学科核心素养方面的显著优势,并对其应用过程中的挑战与对策进行了反思与展望。

关键词: 数字化实验; pH传感器; 高中化学; 核心素养; 酸碱中和滴定; 盐类水解

引言

传统高中化学实验主要依赖肉眼观察、手动记录数据,如观察颜色变化、测量气体体积、使用pH试纸等。这些方法虽然经典,但在精确度、实时性和数据处理的深度上存在局限。例如,在酸碱中和滴定中,学生往往对“滴定突跃”这一抽象概念理解困难,仅凭酚酞或甲基橙的瞬间变色难以形成深刻的认知。数字化实验(Digital Lab)利用传感器、数据采集器和计算机软件,能够实时、精准地捕获实验过程中各种物理化学参数的变化,并以图表等形式直观呈现,为化学教学注入了新的活力^[1]。

pH传感器作为连接宏观现象与微观粒子变化的桥梁,是化学数字化实验中最常用、最核心的传感器之一。它能够连续、精确地测量溶液pH值,将“H⁺浓度”这一不可见的微量转化为可视的电信号和数据曲线。本文旨在系统阐述基于pH传感器的数字化实验在高中化学教学中的应用设计、教学效果及其对培养学生化学学科核心素养的积极意义。

1 pH传感器在高中化学数字化实验中的教学价值

1.1 突破认知难点

高中化学中“弱电解质的电离平衡”“盐类水解”“缓冲溶液”等核心概念,因涉及微观粒子的动态作用,一直是学生认知的难点。传统教学中,教师多依赖板书、动画演示或静态实验现象讲解,学生只能通过想象理解“平衡移动”,难以建立微观过程与宏观现象的关联。而pH传感器能将抽象的平衡变化转化为实时、可视的pH数值曲线。例如,探究醋酸电离平衡时,向醋酸

溶液中逐滴加入醋酸钠溶液,传感器会立即捕捉到pH值的缓慢升高,并以连续曲线形式呈现;若加入少量盐酸,曲线又会小幅下降后趋于稳定。这种动态变化直观展现了“同离子效应”对平衡的影响——醋酸根离子浓度增加抑制醋酸电离,H⁺浓度降低导致pH升高,让学生“亲眼看见”平衡的移动过程,从而突破认知障碍,建立起“微观粒子变化→宏观pH数值变化→平衡理论”的完整逻辑链。

1.2 强化科学态度

传统pH测量依赖pH试纸或pH计,存在明显局限:pH试纸精度仅1个pH单位,精密试纸也仅能达到0.2-0.3的精度,且颜色判断易受光线、学生主观感受影响,同一溶液可能出现不同读数;传统pH计虽精度更高,但需手动多次校准、逐点测量记录,操作繁琐且耗时,课堂实验中常因数据误差大或效率低,导致学生难以获得可靠结论。而pH传感器的精度可达0.01甚至0.001个pH单位,能精准捕捉溶液pH的微小变化——例如中和滴定中,接近终点时1滴溶液即可引发0.5以上的pH突变,传感器能完整记录这一瞬时变化,避免传统实验中“错过终点”或“终点判断不准”的问题。同时,传感器与数据采集器联动,可自动以每秒1-10次的频率记录数据,无需学生手动记录,将学生从重复的操作中解放出来。学生能将更多精力投入实验设计(如选择不同指示剂、调整滴定速度)、过程观察(如溶液颜色变化与pH曲线的对应关系)和数据分析(如通过曲线拐点确定滴定终点),在“精准数据→可靠结论”的过程中,逐渐养成严谨求实、尊重数据的科学态度,理解“误差控制”在科学实验中的重要性。

1.3 培养高阶思维能力

高中化学实验教学常面临“重现象、轻分析”的问题——传统实验中，学生多关注“是否产生沉淀”“溶液是否变色”等直观现象，对实验数据的处理仅停留在“计算平均值”“对比数值大小”层面，难以形成对化学规律的深度认知。而pH传感器驱动的数字实验，核心优势在于将实验从“现象观察”升级为“数据建模”，倒逼学生开展高阶思维活动。例如，探究“不同浓度盐酸与氢氧化钠中和反应”时，传感器会生成不同浓度下的pH变化曲线：浓度越高，曲线的“突变段”越陡峭，且突变对应的体积差越小。此时学生需超越“pH从低到高”的表层观察，深入分析曲线特征——曲线起点pH为何随盐酸浓度降低而升高？突变段的斜率反映了什么？平台区的pH为何稳定在7左右？通过对这些问题的思考，学生需将pH曲线与“H⁺与OH⁻的反应速率”“离子浓度变化”等微观过程关联，尝试用曲线模型表达中和反应的规律。这一过程中，学生不仅需要提取数据（如拐点对应的体积）、分析趋势（如曲线斜率变化），还需构建“反应进程→离子浓度→pH曲线”的模型，最终实现“证据推理（基于曲线数据）→模型认知（建立反应规律模型）”的核心素养培养，为后续学习化学平衡、电离常数计算等复杂内容奠定思维基础。

1.4 赋能创新实验

传统化学实验多为“验证性实验”——教师给出实验步骤，学生按部就班操作，最终验证课本结论，学生的主动性和创新性难以发挥，长期下来易导致学习兴趣下降。而pH传感器的直观性和便捷性，能有效激发学生的探究欲望，推动实验从“验证性”向“探究性”转变。一方面，实时变化的pH曲线具有强烈的视觉冲击力：例如探究“碳酸钠溶液的水解平衡”时，向溶液中加入少量盐酸，pH曲线先缓慢下降（CO₃²⁻与H⁺反应生成HCO₃⁻），后快速下降（HCO₃⁻与H⁺反应生成CO₂和H₂O），这种“分段变化”的曲线远超传统实验中“溶液冒泡”的单一现象，能引发学生的好奇心——“为什么曲线会分两段下降？”“中间的平缓段代表什么反应？”。另一方面，pH传感器操作简便、数据获取快速，使得课堂内开展多变量探究成为可能。学生可自主设计实验方案：如探究“温度对醋酸电离平衡的影响”（通过加热醋酸溶液，观察pH曲线是否下降，判断电离程度变化）、“不同盐溶液的水解程度比较”（测量相同浓度的碳酸钠、碳酸氢钠、氯化钠溶液的pH，对比水解强弱），甚至尝试设计“简易缓冲溶液”（混合醋酸和醋酸钠溶液，加入少量酸碱后观察pH是否稳定）。在这一过程中，学生从“被动的实验

操作者”转变为“主动的科学探索者”，不仅深化了对化学知识的理解，更培养了创新意识和实验探究能力。

2 基于pH传感器的数字化实验教学案例设计

以下以人教版高中化学教材中的两个典型实验为例，展示数字化实验的教学设计。

案例一：酸碱中和滴定曲线的绘制

传统实验的局限：使用指示剂，只能判断终点，无法知晓滴定过程中pH的连续变化，对“滴定突跃”这一关键概念的理解停留在理论层面。

数字化实验设计：

实验目的：通过pH传感器实时监测NaOH溶液滴定HCl溶液（强碱滴定强酸）和NaOH溶液滴定CH₃COOH溶液（强碱滴定弱酸）的过程，绘制滴定曲线，比较其异同，深入理解滴定突跃与酸碱强弱的关系。

实验器材：pH传感器、数据采集器、计算机、磁力搅拌器、酸式/碱式滴定管、烧杯、铁架台、0.1000 mol/L NaOH标准溶液、0.1000 mol/L HCl溶液、0.1000 mol/L CH₃COOH溶液。

实验步骤：

a. 用酸式滴定管准确量取20.00 mL HCl溶液于烧杯中，置于磁力搅拌器上，放入搅拌子。将pH传感器固定并浸入液面以下。

b. 将传感器与计算机相连，设置好实验的横纵坐标，横坐标为时间，纵坐标为pH。

c. 开始采集数据，软件自动绘制pH曲线。

d. 更换为CH₃COOH溶液，重复上述步骤。

4. 数据分析与教学引导：

学生将获得两条特征鲜明的曲线。

强碱滴定强酸曲线：滴定初期pH变化缓慢，在化学计量点附近出现一个极其陡峭的“突跃”（pH从4到9），之后趋于平缓。教师引导学生思考：为什么突跃如此明显？这与强酸强碱完全电离的特性有何关系？

强碱滴定弱酸曲线：滴定起点pH更高（因为醋酸是弱酸），突跃范围变窄且偏向碱性区域。教师设问：为何起点pH高？为何突跃发生在碱性区间？这与醋酸根离子的水解有何关联？

通过对比，学生能深刻理解“酸碱的强弱决定了滴定曲线的形态”，将“滴定突跃”从一个抽象名词内化为一个具体的图像概念。

案例二：探究盐类水解的动态过程

传统实验的局限：通常使用pH试纸测量盐溶液的酸碱性，只能得到一个静态的、粗略的结果，无法反映水解过程的动态性和程度^[2]。

数字化实验设计:

实验目的: 利用pH传感器实时监测几种典型盐溶液(如 CH_3COONa , NH_4Cl , NaCl)的pH, 并探究温度、浓度对盐类水解平衡的影响。

实验器材: pH传感器、数据采集器、计算机、烧杯、温度计、热水浴、 CH_3COONa 固体、 NH_4Cl 固体、 NaCl 固体。

实验步骤:

a. 配制0.1 mol/L的 CH_3COONa 、 NH_4Cl 、 NaCl 溶液各50 mL。

b. 用pH传感器分别测量三种溶液的pH, 记录并分析原因。

c. 探究温度影响: 取一份0.1 mol/L CH_3COONa 溶液, 插入pH传感器和温度传感器, 置于热水浴中缓慢加热, 软件同步采集pH和温度数据, 绘制pH-T曲线。

d. 探究浓度影响: 分别配制0.01 mol/L和0.001 mol/L的 CH_3COONa 溶液, 测量其pH, 与0.1 mol/L的溶液进行对比。

数据分析与教学引导:

静态比较: 学生测得 CH_3COONa 溶液 $\text{pH} > 7$, NH_4Cl 溶液 $\text{pH} < 7$, NaCl 溶液 $\text{pH} \approx 7$ 。教师引导学生从“弱离子”水解的角度建立“盐的类型—溶液酸碱性”的模型。

动态分析: 在加热 CH_3COONa 溶液时, pH-T曲线清晰显示, 随着温度升高, 溶液的pH值逐渐下降。教师追问: “pH下降说明什么? ($c(\text{OH}^-)$ 减小? 不对, 应该是 $c(\text{H}^+)$ 增大)” “这与你学过的‘盐类水解是吸热反应’的结论是否一致? 如何用勒夏特列原理解释?” 这一过程将宏观现象(pH变化)、微观粒子(H^+ , OH^- 浓度)和化学原理(平衡移动)完美结合。

浓度影响: 学生发现, 浓度越稀, CH_3COONa 溶液的pH越接近7, 但依然大于7。教师引导学生定量计算不同浓度下的水解度, 理解“稀释促进水解”的规律。

3 教学实践反思与挑战

尽管数字化实验优势显著, 但在实际推广应用中仍面临一些挑战:

3.1 设备成本与维护: 传感器、数据采集器和配套软件价格不菲, 学校需投入大量资金。同时, 设备的日常维护、校准和耗材补充也是一笔持续的开销。

3.2 教师信息技术素养: 成功开展数字化实验要求教

师不仅懂化学, 还要熟悉软硬件的操作、数据处理和简单的故障排除。这需要对教师进行系统的、持续的专业培训。

3.3 与传统实验的平衡: 数字化实验不能完全取代传统实验。传统实验在训练学生基本操作技能(如滴定管的使用、沉淀的过滤洗涤)方面具有不可替代的作用。二者应相辅相成, 互为补充。例如, 在酸碱中和滴定中, 可先让学生用指示剂进行传统滴定, 再用传感器绘制精确曲线, 实现从定性到定量的认知飞跃。

3.4 避免“黑箱”操作: 教学中需防止学生沦为“按钮操作员”。教师应引导学生了解传感器的工作原理(如pH传感器的玻璃电极响应机制), 明确实验每一步的意义, 确保学生知其然更知其所以然。

总结

以pH传感器为代表的化学数字化实验, 是信息技术与教育教学深度融合的典范。它通过将不可见的微观过程和瞬态的宏观变化转化为可观测、可分析的数据图像, 极大地降低了学生的认知负荷, 为突破教学重难点提供了强有力的工具。在“酸碱中和滴定”和“盐类水解”等模块的教学中, 数字化实验不仅使学生对化学概念的理解更加深刻和持久, 更重要的是, 它培养了学生基于数据进行证据推理和科学探究的能力, 这正是新时代背景下化学学科核心素养所倡导的方向。

未来, 随着传感器技术的进一步普及和成本的降低, 以及教师信息化教学能力的不断提升, 数字化实验必将在高中化学课堂中扮演越来越重要的角色。我们应积极探索其与项目式学习(PBL)、跨学科主题教学(如与生物学科联合研究体液pH调节)等新型教学模式的整合, 充分发挥其育人价值, 为培养创新型人才奠定坚实的基础^[3]。

参考文献

- [1] 钱扬义. 手持技术数字化化学实验教学研究新视角[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [2] 吴晗清, 李梦玲. 基于传感器技术的中学化学实验创新设计——以“探究影响盐类水解的因素”为例[J]. 化学教育(中英文), 2021, 42(11): 76-80.
- [3] 张明月, 王祖浩. 国内外化学数字化实验研究进展与趋势[J]. 化学教学, 2020, (5): 10-16.