

基于学科理解的数字化实验在高中化学中的应用研究

——以人教版《化学反应原理》为例

浙江省桐乡市高级中学 314500 金国林
浙江省桐乡市茅盾中学 314500 周慧智

一、数字化实验简述

数字化实验技术,由“传感器、数据采集器和计算机软件”组成。传感器主要包括电流、电压、压强、温度、pH、电导率等多种传感器。工作时通过传感器将实验产生的化学信号转化为电信号并将其传送至数据采集器,数据采集器实时进行数据采集并将数据传送至电脑

软件,电脑软件通过计算和分析将数据以图像或曲线形式传送出来。

二、新教材凸显数字化实验的重要性

人教版新教材(2019 年版)中在正文、“科学·技术·社会”栏目、课后习题、章末习题、“思考与讨论”栏目中多次出现数字化实验的相应内容(见表 1)。

表 1

实验	所用传感器	内容出处
$\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液滴入稀硫酸的电导率曲线	电导率传感器	必修一 P13“离子反应”课后习题
验证次氯酸光照分解产物的数字化实验	pH 传感器、氯离子传感器、氧气传感器	必修一 P45“氯及其化合物”“科学·技术·社会”栏目
探究锌粉与不同浓度盐酸的反应速率	H_2 传感器	必修二 P54“化学反应与能量”章末习题
探究镁分别与盐酸和醋酸反应速率的变化	压强传感器	选修一 P59“电离平衡”思考与讨论
酸碱中和滴定	pH 传感器、滴数传感器	选修一 P66“水的电离和溶液的 pH”正文

数字化实验内容在新教材中的增加突显了数字化实验在高中化学教学中应用地位不断提升的新趋势。

该文基于建立在教师从学生层面出发的对化学学科知识及其思维方式和方法的本原性、结构化的认识,对具有化学学科特质的思维方式和方法的理解,即化学学科理解,以人教版《化学反应原理》为例,探讨和研究在高中化学教学中有效应用数字化实验,增进学生的化学学科理解,落实化学学科核心素养的培养。

三、数字化实验在高中化学中的应用——以人教版《化学反应原理》为例

1. 从教材出发,利用数字化实验增强实验数据测定的准确性

《化学反应原理》第一章第一节中“中和反应反应热的测定”以温度计测量中和反应前后的温

度得到温度差数据计算中和反应的反应热。该实验中玻璃搅拌器是手动搅拌,若搅拌不均匀,对温度的测量有较大影响,且要求实验过程中“密切关注温度变化,将最高温度记为反应体系的温度”,从人为角度对温度变化的观察数据误差较大,因此以学生实验获得的数据计算出的中和反应的反应热与理论数据相差较大。

将该传统实验更进为数字化实验,反应试剂均不变化,用无线温度传感器代替温度计,用磁力搅拌器代替玻璃搅拌器,将简易量热器放在磁力搅拌器上,无线温度传感器是中将 PASCO, 打开无线温度传感器蓝牙开关和计算机软件连接无线温度传感器,在软件中选择要呈现的数据形式是温度-时间坐标曲线图和温度-时间数据表格,将温度传感器插入盐酸中测初始温度并记录 $t_1(\text{HCl})$, 清洗擦干温度传感器后再插入 NaOH 溶

液中测初始温度并记录 t_1 (NaOH)。简易量热器的盖子上的 2 个小孔要进行密封处理,原来插入温度计的小孔半密封处理后使其能正好插入无线温度传感器的探头。将盐酸加入简易量热器中,并放入磁石,打开磁力搅拌器进行搅拌,将温度传感器插入盐酸中,点击“开始”按钮,从温度-时间坐标曲线显示平稳后,立即加入 NaOH 溶液同时迅速盖紧插有无线温度传感器的盖子,计算机软件中温度曲线随之不断上升,同时结合温度-时间数据表,观察温度上升一段时间达到最高值后开始下降,点击“停止”按钮,停止数据采集并且保存曲线图和数据表,记录最高温度 t_2 (其中 1 次的温度-时间坐标曲线和时间-温度数据表格如图 1 所示),根据 3 次平行实验的温度-时间坐标曲线图和温度-时间数据表格,将 3 次平行实验的数据整理成表 2。

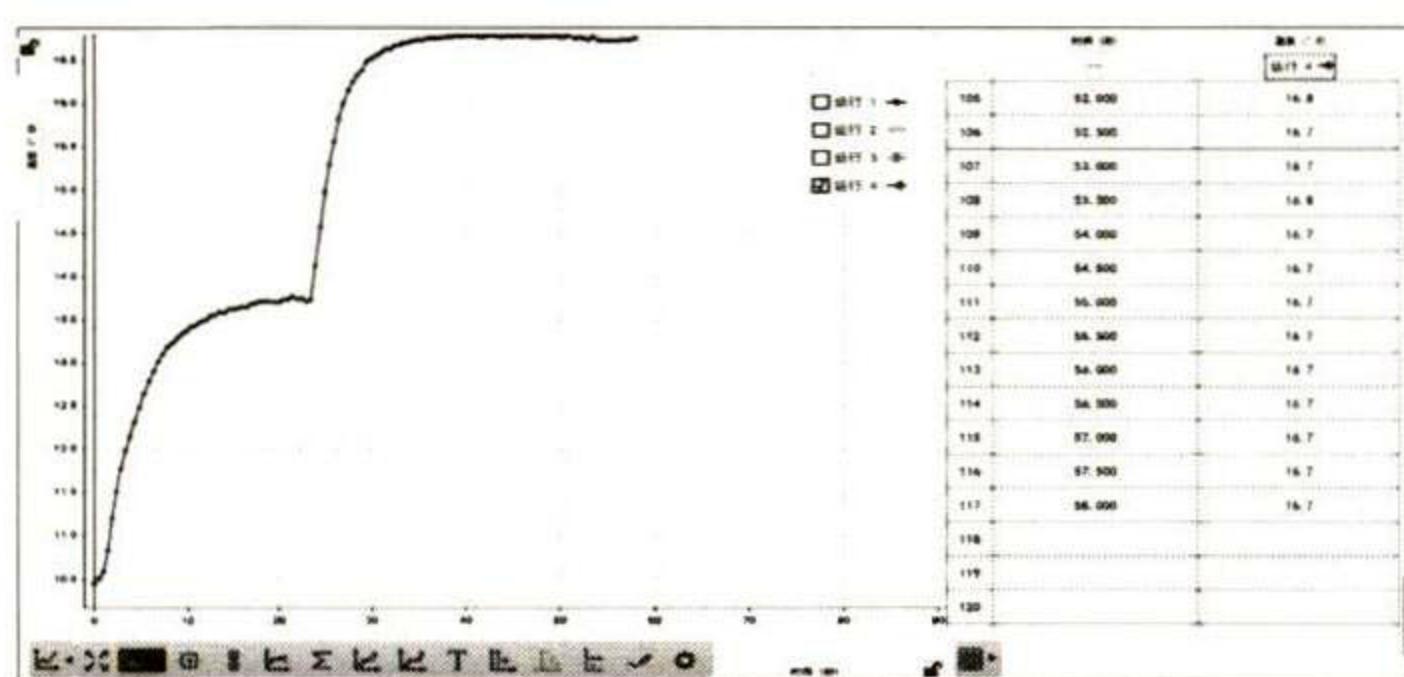


图 1

表 2

平行实验	t_1 (HCl)	t_1 (NaOH)	t_2 (最 高温度)	ΔH (中和 反应反应热)
实验 1	13.5℃	13.8℃	16.8℃	-52.668 kJ · mol ⁻¹
实验 2	13.0℃	13.5℃	16.5℃	-54.34 kJ · mol ⁻¹
实验 3	17.1℃	17.3℃	20.4℃	-53.504 kJ · mol ⁻¹

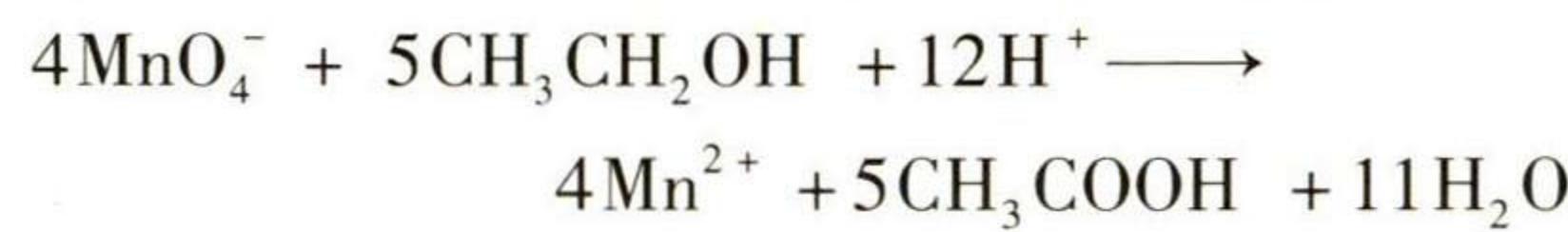
由此计算得到的盐酸与 NaOH 溶液反应的反应热与理论值 $-57.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 比较接近。

2. 从教材出发,利用数字化实验增强实验数据变化的连续性

《化学反应原理》第二章第一节中提出化学反应速率是可以通过实验测定的,对于溶液中进行的反应,人们常利用颜色变化与浓度变化间的比例关系来测量反应速率。但是并没有进行相关的实验进行探究,在研究影响化学反应速率的影响因素时展示的探究实例是用传统实验测定锌与

稀硫酸反应的速率。这个探究实例与教材正文中所举内容不一致,化学反应速率的测定仅找了 2 个数据进行比较,不能让学生直观地看到化学反应速率变化的连续性。

将该实验更进为数字化实验,将实验的试剂改为 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ 、 $0.015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ 、 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ 、 $1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ 、 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$,发生反应:



反应过程中紫色的 MnO_4^- 生成无色的 Mn^{2+} ,溶液紫色逐渐变浅,利用无线色度传感器,测定反应过程中溶液吸光度数据的变化,其中探究实验和教材一样设置 2 组同时进行的实验。

实验一: $1.0 \text{ mL } 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ 和 $1.0 \text{ mL } 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ 混合后与 $1.0 \text{ mL } 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 反应。

实验二: $1.0 \text{ mL } 0.015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4$ 和 $1.0 \text{ mL } 1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ 混合后与 $1.0 \text{ mL } 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 反应。

实验操作时,打开 1 个无线色度传感器蓝牙开关,和计算机软件连接该色度传感器,首先将 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 溶液加入比色皿作为空白参照装入色度传感器,点击“校准”按钮进行数据校准,再打开另 1 个色度传感器蓝牙开关并连接计算机软件,在软件中选择要呈现的数据形式是吸光度-时间坐标曲线图,将装有 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 溶液的比色皿装入色度传感器进行数据校准。接下来在 2 个比色皿中各加入 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 溶液,然后再加入上述 2 组实验中的 KMnO_4 和 H_2SO_4 的混合溶液后立即放入色度传感器中同时进行实验,通过色度传感器测定溶液吸光度的变化,采集反应过程中的 2 组比色皿中吸光度变化曲线,将 2 条曲线呈现于同一张坐标图,如图 2 所示。

再通过朗伯-比尔定律,将溶液的吸光度数值换算为 $c(\text{MnO}_4^-)$,这样就可以测定各时间段的化学反应速率。

通过数字化实验,将化学反应过程中的化学反应速率的连续性变化曲线直观呈现,能够有效增强学生的数据意识、变化意识,培养学生证据推

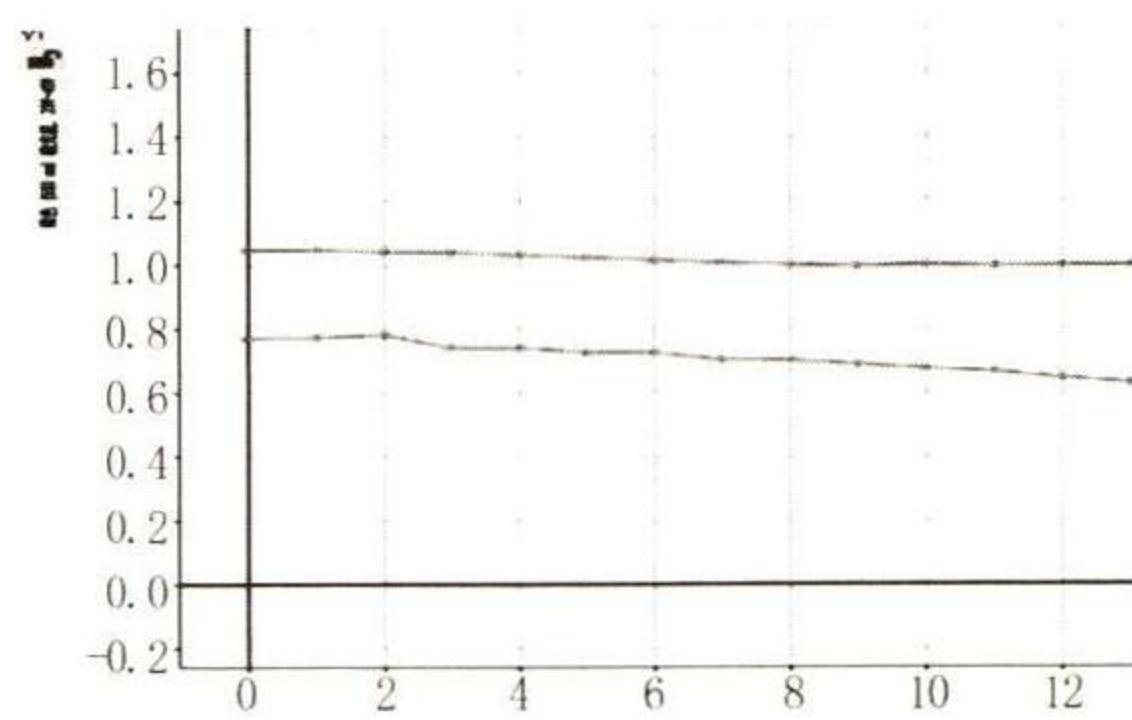


图 2

理和变化观念的学科核心素养。

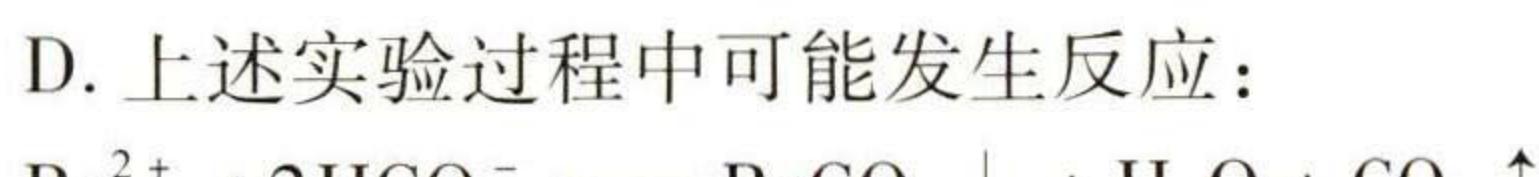
3. 从习题出发,利用数字化实验增强认知冲突实验的可操作性

根据学生在学习《化学 1》时,可以用 BaCl_2 溶液鉴别 Na_2CO_3 溶液和 NaHCO_3 溶液, BaCl_2 溶液与 Na_2CO_3 溶液混合会产生白色沉淀 BaCO_3 , BaCl_2 溶液与 NaHCO_3 溶液混合后没有明显现象,因为 BaCl_2 与 NaHCO_3 不发生化学反应。但当学生进入《化学反应原理》学习时,遇见这样一道习题:

碳酸是二元弱酸, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液 pH 约为 8.3, 向 5 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液中逐滴滴加 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ BaCl_2 溶液。[已知: 常温下碳酸的电离平衡常数 $K_{\text{a1}} = 4.3 \times 10^{-7}$, $K_{\text{a2}} = 5.6 \times 10^{-11}$, $K_{\text{sp}}(\text{BaCO}_3) = 2.6 \times 10^{-9}$, 溶液混合后体积变化忽略不计]下列有关说法不正确的是()。

- A. $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 溶液中, $c(\text{CO}_3^{2-})$ 、 $c(\text{HCO}_3^-)$ 比值为: $5.6 \times 10^{-2.7}$
- B. NaHCO_3 溶液中存在自耦电离:

$$\text{HCO}_3^- + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{CO}_3$$
 其平衡常数约为 1.3×10^{-4}
- C. $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液中离子浓度大小为: $c(\text{Na}^+) > c(\text{HCO}_3^-) > c(\text{OH}^-) > c(\text{H}^+) > c(\text{CO}_3^{2-})$
- D. 上述实验过程中可能发生反应:



该题答案选 C, 学生在理解 D 选项时一般只能根据选择题选项设置的特殊性, 从 B 选项出发, 利用平衡移动原理试着去理解将 BaCl_2 与 NaHCO_3 混合可能发生化学反应产生白色沉淀和气体, 但学生在元素化合物学习中获取的知识是 BaCl_2 与 NaHCO_3 混合不发生化学反应, 没有明显

现象, 这样就产生了认知冲突, 对学生的理解产生干扰。利用传统实验将 BaCl_2 与 NaHCO_3 混合要产生白色沉淀则所需溶液的浓度比较高, 低浓度的两溶液混合可能观察到沉淀产生, 但很难观察到气体产生。

利用无线 CO_2 传感器进行数字化实验。打开无线 CO_2 传感器的蓝牙开关及计算机软件连接无线 CO_2 传感器, 在软件中选择要呈现的数据形式是 CO_2 浓度 - 时间坐标曲线图。取一定体积 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液于传感器配套的反应容器中, 插上 CO_2 传感器点击实验“开始”按钮, 先用 CO_2 传感器检测反应容器中原始 CO_2 浓度, 等图中曲线稳定后快速加入一定量 BaCl_2 溶液, 观察到反应容器中溶液变浑浊, 但未观察到气泡, 用 CO_2 传感器继续检测反应容器中的 CO_2 浓度, 将检测的 CO_2 浓度 - 时间曲线用数据图线的形式展示, 如图 3 所示。

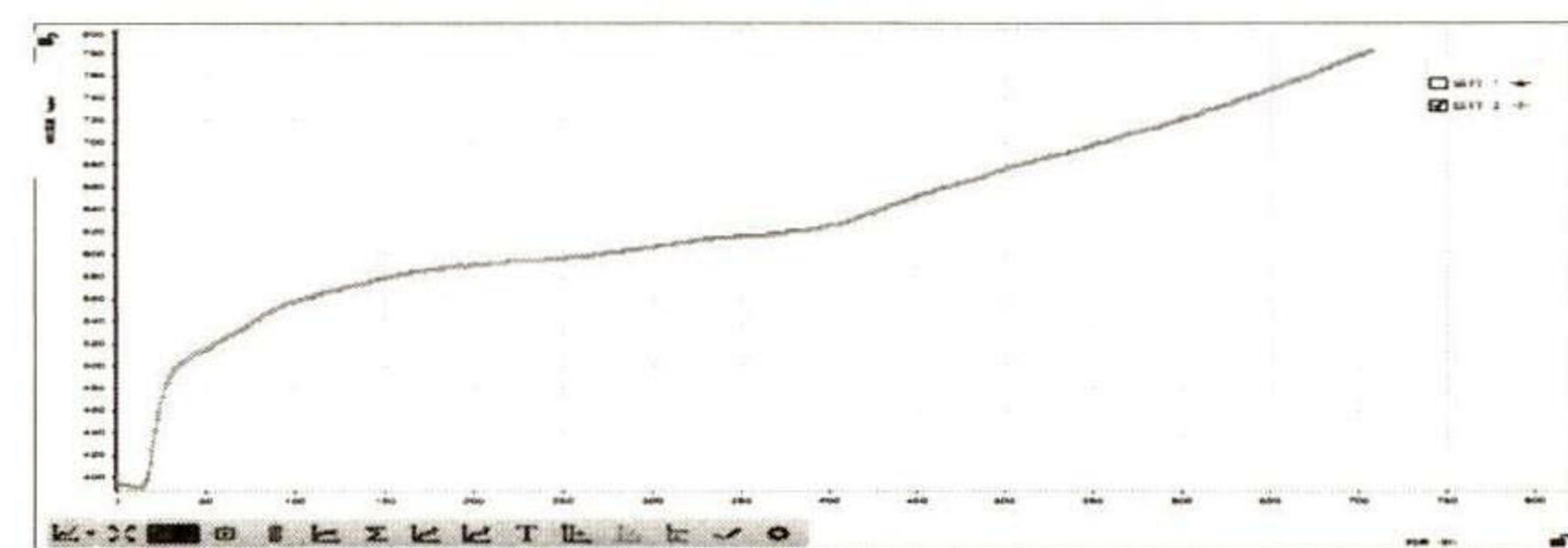


图 3

从图中的曲线看, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 溶液确实与 BaCl_2 溶液发生反应并产生了 CO_2 。

利用数字化实验成功帮助了这个有明确认知冲突的实验的顺利开展, 进一步帮助学生理解 NaHCO_3 溶液中存在自耦电离, 加入 BaCl_2 溶液生成 BaCO_3 沉淀, 促使该自耦电离正向进行, 从而产生 CO_2 气体, 让学生充分理解两者反应的本质, 深刻理解化学知识, 提高学生的实验探究能力, 进一步培养学生问题分析和解决的能力。

《化学反应原理》的内容偏重抽象化和定量化, 利用数字化实验通过一定的数据图表进行定量分析或微观分析, 能使抽象原理实验化、定量实验数据化, 引导学生深入理解其中的抽象原理知识, 从而更好地构建化学核心概念, 发展学生科学探究、创新意识、证据推理等化学学科核心素养。

(收稿日期: 2024-05-15)