

指向创新创造力培养的实验教学育人变革探索^{*}

——基于开源硬件的电子天平制作及应用

赵 雯¹, 马 力²

(1. 上海市教育委员会教育技术装备中心, 上海 200070; 2. 上海外国语大学附属大境中学, 上海 200011)

摘 要: 结合编程教育, 借助 Arduino 开源电子原型平台、单点式压力传感器元件、K 型热电偶温度传感器元件、亚克力板等设计一款成本低廉、制作难度适中, 可测温、传输数据、外接扩展其他传感器的电子天平, 并就其在化学反应速率和结晶水含量测定等改进实验中的应用进行具体阐释与实践。为基于开源硬件设计制作的电子天平在教学上的应用, 为创客式实验教学在化学学科的具体实践提供借鉴和参照。

关键词: 开源硬件; 实验教学; 化学反应速率测定; 结晶水含量测定; 创客式实验设计

文章编号: 1005-6629(2025)01-0065-05 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

1 问题的提出

在根据“双新”(新课程、新教材)实施要求修编上海市中小学校教学仪器配备标准和对全市中小学校实验室调研工作中发现, 当前中学化学实验室配备的电子天平, 能基本满足精确的质量测量需求, 为实验教学提供了基础性保障, 但大多数不具备将数据传输到终端(如计算机、iPad、手机等)以及形成数据曲线或进行数据分析处理等功能。也有部分学校配备的电子天平可通过数据接口转换器(如 RS-232 或 USB 转换器)与终端连接, 并通过配套专用数据采集器和软件从电子天平读取数据、将数据存储在终端, 生成并显示质量随时间变化的曲线。然而, 目前市场上具备上述功能的电子天平的价格普遍较高, 从中小学校教育装备配备的角度考虑, 需要教育财政经费的支持和专项投入, 短时期内尚难以满足大规模学生的个性化实验实践需求, 这并不利于“双新”实验教学的顺利开展, 且此类电子天平的连接端口往往为专用接口, 一般无法扩容外接其他传感器设备进行各类实验拓展, 具有一定的局限性。

在教学数智化转型的背景下如何破解上述困境, 让教学仪器兼具经济性、可拓展性和教学适用性? 鉴于近年来开源硬件在教学上的多元应用^[1-3], 及其在赋

能科学教育和创新创造力培养方面展现出的巨大应用潜力, 能否基于经济实惠的开源硬件设计制作一款价格低廉、可传输数据绘制曲线且可实现外接拓展的电子天平来有效解决上述问题呢? 鉴于此, 本研究项目团队, 借助 Arduino 开源电子原型平台、单点式压力传感器元件、K 型热电偶温度传感器元件、亚克力板等, 结合编程教育, 设计制作了一款可传输数据绘制曲线、可测量温度、可外接扩展其他传感器的电子天平(以下简称“基于开源硬件的电子天平”), 且使用到的基础电子元件成本仅需几十元。由于成本低廉、制作难度适中, 既能满足当前大规模、个性化学生实验实践的需求, 又能为物资缺乏地区学校“双新”实验教学实施提供新选择, 还能探索创客式实验教学^[4]在化学学科的实践应用^[5-8]提供参照。

2 基于开源硬件的电子天平设计制作

项目团队基于开源硬件设计制作的电子天平(如图 1 所示), 具体制作步骤如下:

第一步: 将 2 块亚克力板分别用螺丝固定在单点式压力传感器上下两侧。

第二步: 将单点式压力传感器的输出端与称重模

^{*}上海市教育委员会项目“2024 年度上海市基础教育装备管理研究”(项目编号: a1100124001); 2023 年度上海市教育委员会非竞争性社会科学课题“‘双新’背景下中小学实验教学与创客教育融合研究”阶段性研究成果。

块输入端相连接、K 型热电偶温度传感器输出端与温度模块输入端相连接。

第三步:将称重模块输出端、温度模块输出端均与 Arduino UNO 开发板输入端相连接,Arduino UNO 开发板输出端则与计算机端相连接,并通过程序指令实现从称重模块读取质量数据、从温度模块读取温度数据。

值得注意的是,为确保质量读数的准确性,在称重前需先编写程序代码进行初始校准。

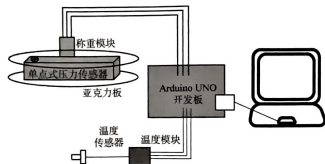


图1 基于开源硬件设计制作的电子天平示意图

3 程序代码编制

编制程序代码时遵循以下实施步骤:

- (1) 引入所需的库,并声明外部函数;
- (2) 定义与称重模块连接的引脚;
- (3) 定义称重传感器的零点校准值;
- (4) 定义温度模块连接的引脚;
- (5) 创建称重模块对象;
- (6) 创建温度模块对象;
- (7) 初始化重量传感器串行通信,等待 3 秒,并运用比较校准法通过砝码进行校准操作;
- (8) 初始化温度传感器串行通信,等待 3 秒,并运用比较校准法通过水银温度计进行校准操作;
- (9) 从称重传感器读取质量数据;
- (10) 从温度传感器读取温度数据;
- (11) 通过串行通信发送格式化的数据;
- (12) 等待 2 秒,以便计算机软件处理数据。

4 实验设计与现象

以沪科版教材中“化学反应速率测定”和“硫酸铜晶体中结晶水的含量测定”实验为例,对基于开源硬件设计制作的电子天平在化学实验改进和教学上的具体应用进行阐释与实践。

4.1 化学反应速率相关实验

沪科版化学必修第二册第六章“化学反应速率和化学平衡”的第一节“化学反应速率”中,通过实验探究大理石与稀盐酸反应过程中混合物质量随时间的变化来引入化学反应速率概念。教材中该实验通过测定反应体系的质量变化,绘制出随时间变化的曲线,很好地展示了如何用变量来表达化学反应速率。然而,在实际操作过程中,由于实验中是每隔 10 秒记录一次混合物的总质量,故无法较精准地展现 10 秒内混合物质量的变化,并涉及大量数据的读取和记录,且数据的不断变化也给记录工作带来了挑战。绘制变化曲线时,由于耗时较长、步骤繁琐以及学生操作时可能会出现误差,都可能对实验结果的准确性造成影响。此外,学生通过速率曲线也难以判断出具体影响该化学反应速率的因素。

基于上述考虑,项目团队运用前述设计制作的基于开源硬件的电子天平,测量反应体系的温度,并连续称量大理石和稀盐酸反应进程中反应体系的总质量,观察并记录数据及曲线的变化。

4.1.1 实验装置

将实验装置如图 2 所示连接,并放置于前述制作的基于开源硬件的电子天平上。

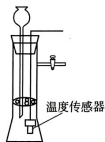


图2 大理石与稀盐酸化学反应速率测定实验装置示意图

4.1.2 实验操作步骤

(1) 打开前述设计制作的电子天平、计算机,并将两者相连接,然后在计算机上运行经测试的程序将电子天平调零;

(2) 向简易启普发生器中加入约 2 g 块状大理石,向长颈漏斗中倒入约 20 mL 稀盐酸(10%)。将温度传感器探头放置于液面下,并将该装置整体放置于自制电子天平上(图 2);

(3) 打开弹簧夹后,反应开始,运行前述编写的经测试的程序采集数据;

(4) 待实验结束后停止采集数据,并保存数据与图像。

4.1.3 实验现象及实验数据

实验中可观察到大理石表面逐渐产生气泡,经处理后计算机中显示数据曲线如图3所示。

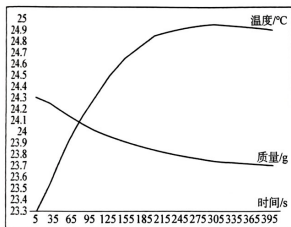


图3 大理石与稀盐酸反应过程温度、质量变化曲线

由图像可以观察到,反应开始后质量数据逐渐减小,温度数据逐渐增大,且质量数据变化幅度先增后减。由此可以得出,在反应刚开始时,温度影响为主导因素,虽然反应物浓度有所减小,但此时反应物浓度总体仍处于较高水平,且由于反应放热,反应速率随温度升高而显著增大;之后随着反应的进行,反应物浓度不断降低,反应物浓度逐渐成为影响反应速率的主导因素,反应速率逐渐下降。教学中借助本实验,可以帮助学生更好地认识在真实反应过程中不同因素的变化对化学反应速率产生的综合影响,加深对化学反应速率影响因素的理解。

4.1.4 实验优点

借助前述设计制作电子天平称量大理石和稀盐酸反应进行的过程中反应体系的总质量,测量过程中体系温度,可以准确、连续地展示并自动记录该反应体系的质量变化、温度变化,帮助学生更直观地观测其变化趋势,更好地分析并推断出影响化学反应速率的因素,培养基于证据的推理意识与能力,提高问题分析及解决能力。

4.2 晶体中结晶水含量测定的相关实验

测定物质的组成、确定化学式是化学研究的基础和关键环节。沪科版高中化学教材将测定硫酸铜晶体中结晶水的含量实验作为必修第一册第三章的项目学

活动,在该项目学习活动中需要学生通过称量、加热、恒重等操作,计算得出硫酸铜中的结晶水含量。该实验总体较为直观,学生也容易理解,但是该实验的操作过程较为繁琐、耗时也较长。

从仪器角度来说,可以选用热重仪来进行该实验。热重仪作为大学化学实验室的常见设备,经常用于测量样品在加热过程中的质量变化,且具有操作简便、自动化程度高、测量准确度高优点。毋庸置疑,使用热重仪测定硫酸铜中结晶水的含量是一种高效且精确的方法,但由于目前市场上热重仪的价格普遍较高,短期内难以实现其在中学化学实验室配备的全覆盖,更难以满足当前做好科学教育加法背景下大规模学生实验实践的个性化需求。

基于上述考虑,项目团队借助前述设计制作电子天平,结合自制的迷你加热台,设置加热程序,实时记录样品的质量变化,并生成温度、质量曲线。通过分析曲线,可以确定结晶水开始失去的温度范围,以及结晶水完全失去时的温度。

4.2.1 实验装置

4.2.1.1 实验装置总图

将实验装置如图4所示连接,并放置于前述制作的基于开源硬件的电子天平上。



图4 晶体中结晶水含量的测定实验装置示意图

4.2.1.2 迷你加热台的设计制作

设计的迷你加热台主要由铝基加热板(55 mm × 55 mm, 约6Ω)、隔热板(55 mm × 55 mm)、主控板、显示屏(OLED, 0.9寸)、调控按钮、铜柱等组成(如图5所示)。具体制作方法如下:

(1) 在铝基板下方通过导热胶将热敏电阻固定,制作铝基加热板。该铝基加热板电阻约6Ω,当使用20V的电压供电时,铝基加热板上的功率消耗约为65W。可通过增加铝基板走线宽度或增大供电电压的方式提升铝基加热板的功率以达到更高温度;

(2) 通过铜柱将铝基加热板与隔热板、主控板依

次相连接;

(3) 通过导线将铝基加热板的热敏电阻、主控板的显示屏、调控按钮等分别与主控板连接。为美观考虑还可 3D 打印外壳,使显示屏、调控按钮恰好嵌入外壳;

(4) 对主控板进行加热程序代码编制。

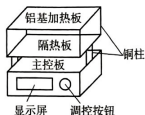


图5 自制迷你加热台的构造示意图

4.2.1.3 迷你加热台程序编制

为实现加热控制,编制程序代码时遵循以下实施步骤:

- (1) 引入所需的库,并声明外部函数;
- (2) 定义与热电偶模块、脉冲宽度控制模块连接的引脚;
- (3) 初始化显示屏、热电偶传感器等;
- (4) 设置函数用于初始化串口通信、OLED 显示屏、热电偶传感器和其他硬件;
- (5) 设置触发函数用于读取当前温度,并更新目标温度和其他相关变量;
- (6) 设置循环函数负责更新 OLED 显示屏、检测按钮输入、根据当前工作模式调节加热器功率;
- (7) 设置函数负责在 OLED 显示屏上绘制当前温度、目标温度、功率和其他状态信息;
- (8) 设置函数进行加热控制,根据当前的温度和目標温度差距,逻辑程序会决定是否需要加热以及加热模式选择、切换等;
- (9) 设置程序通过检测按钮的输入来启动或改变加热台的工作模式。

4.2.2 实验操作步骤

- (1) 打开前述设计制作的电子天平、迷你加热台和计算机,并将电子天平、迷你加热台与计算机连接;
- (2) 在电子天平上放置迷你加热台、迷你加热台上放置坩埚,然后在计算机上运行前述编写的经测试的程序将电子天平调零;
- (3) 将研磨后的硫酸铜晶体放置于坩埚中,读取

初始质量,并将温度传感器放置于坩埚中;

(4) 调节迷你加热台参数 pid[比例 (proportional)-积分 (integral)-微分 (derivative)],控制升温速率,每隔固定时长手动设置目标温度,如间隔每分钟设置升温 10℃,直至达到目标温度,如 260℃;

(5) 运行前述编写的经测试的程序采集温度与质量的数据;

(6) 待实验结束后停止采集数据,并保存数据与图像。

4.2.3 实验现象及实验数据

最终可观察到坩埚中硫酸铜晶体由蓝色晶体变为白色粉末,经处理后计算机中显示数据曲线如图 6 所示。

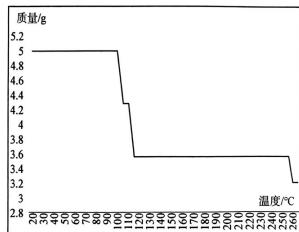


图6 加热硫酸铜晶体过程质量变化曲线

由图像可以观察到,随着温度的升高,曲线开始下降,表示硫酸铜晶体开始失去结晶水。在 102℃ 左右时,硫酸铜晶体可能失去部分结晶水,经计算可知残留物的化学组成为 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$;在约 113℃ 时,经计算可知残留物的化学组成为 $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。在更高的温度下(如约 258℃),硫酸铜会完全失去结晶水。

4.2.4 实验优点

改进后的实验装置成本低廉、操作简单,相比传统的加热、冷却和称量的方法,只需通过预设的控温程序,就可以自动执行加热、测量和数据记录等步骤,既提高实验效率,又极大地减少人为干预,从而确保实验结果的准确性和可重复性,有利于课内课外学生实验的组织与开展。

该实验装置能够自动绘制温度曲线与质量曲线,

