

# 数字化实验教学改革：传感器技术在初中化学实验中的应用

冯春野

（上海市南洋初级中学）

摘要：以上海市南洋初级中学八年级学生为研究对象，在“二氧化碳的性质”的实验教学中引入温度传感器及二氧化碳传感器，设计对比实验组（数字化实验）与对照组（传统实验），通过实验能力测评，学习兴趣问卷及质性访谈评估实验教学效果。研究结果表明，相较于传统实验组，数字化实验组学生在科学探究能力、学习兴趣及知识理解深度方面均显著提升。

【关键词】初中化学；数字化实验；传感器技术；跨学科实践；核心素养

Digital Experiment Teaching Reform: Application of Sensor Technology in Junior High School  
Chemistry Experiments

FENG Chun-ye

Shanghai Nanyang Junior High School

## Abstract

This study, focusing on eighth-grade students from Shanghai Nanyang Junior High School, introduces temperature sensors and CO<sub>2</sub> sensors into experimental teaching on "acidity and alkalinity of solutions" and "properties of carbon dioxide." A comparative experiment design was implemented, with a digital experiment group and a traditional experiment control group. The effectiveness of the teaching was evaluated through experimental competency assessments, learning interest questionnaires, and qualitative interviews. The results indicated that students in the digital experiment group showed significant improvements over the traditional group in scientific inquiry skills, learning interest, and depth of knowledge understanding.

**Keywords:** Junior high school chemistry; digital experiments; sensor technology; interdisciplinary practice; core competencies

## 一、前言

### （一）研究背景

上海市教育委员会《2024年秋季中小学教学用书目录》将化学课程前置至八年级，通过优化学科衔接与强化实验教学（课时占比提升至30%）<sup>①</sup>。这一调整不仅分散了学习压力，更为培养学生科学素养提供了新路径。随着基础教育改革的推进，初中化学实验教学面临两大瓶颈，一是数据采集效率低，依赖定性观察（如pH试纸比色法）导致实验误差大，难以动态呈现反应进程（如酸碱中和曲线）。二是微观现象可视化不足，抽象概念（如分子运动、能量变化）难以通过传统实验具象化，导致学生认知障碍与兴趣缺失。因此如何借助数字化技术优化实验教学，提高学生科学探究能力，成为当前教学改革的重要课题。

在此背景下，《上海市教育数字化转型实施方案（2021-2023）》明确提出“推动传感器、数据采集器等新技术应用”，要求通过数字化工具突破教学难点<sup>②</sup>。政策驱动下，上海市20所试点学校已建立“初中化学实验教学创新基地”，初步验证了数字化实验的可行性<sup>③</sup>。我校作为第一批理化实验操作考系统测试学校，非常重视理化生等学科的实验教学，且拥有完备的数字化实验教学仪器和设备，支持多样化的实验操作，注重物理、化学、生物等学科的交叉教学，帮助学生建立综合知识体系，提升学生的动手能力。

### （二）研究意义与创新点

研究首先分析政策背景与传统实验的不足，其次详述数字化实验设计与实施过程，随后通过对比实验与访谈数据论证教学效果，最终提出推广建议与未来研究方向，以期为初中化学实验教学改革提供理论支撑与实践范例。研究基于上海市新课标要求，以“二氧化碳性质”为切入点，系统探索数字化传感器的教学应用，其创新性体现在以下三点：

1. 微观过程可视化：通过实时数据曲线实现“宏观-微观-符号”三重表征。
2. 跨学科深度融合：利用CO<sub>2</sub>传感器链接地理（温室效应）等学科，推动STEM教育实践<sup>④</sup>。
3. 评价体系革新：结合量化数据与质性反馈，构建多维度教学效果评估模型。

---

①上海市教育委员会. (2023). 《2024年秋季中小学教学用书目录》.

②教育部. (2021). 《关于推进中小学实验教学的指导意见》.

③上海市教委教研室. (2022). 《数字化实验案例集：从宏观现象到微观解释》.

④张强, 刘芳. (2020). 基于STEM教育的跨学科实验教学设计——以温室效应为例. 《中国电化教育》, (8), 78-84.

二、实验设计与实施

(一) 实验设计

1. 实验对象

对象：上海市南洋初级中学八年级学生（n=10），随机分为数字化实验组（n=5）与传统实验组（n=5），两组学生均来自同一个班级，化学基础水平相近。

2. 控制变量

实验时间、环境及指导教师保持一致。

3. 实验工具与平台

硬件：Vernier 二氧化碳气体传感器（量程 0-100200ppm）、Vernier 不锈钢温度传感器（分辨率 0.1℃）、数据采集器（Vernier LabQuest mini）<sup>⑤</sup>。

软件：Vernier Graphical Analysis Pro 分析软件。

(二) 实施方案

实验一：温室效应验证

| 分类   | 数字化实验组                                                                                                                                                                           | 传统实验组                                                                                                                                                            |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 实验器材 | 充满二氧化碳的集气瓶、温度传感器、CO <sub>2</sub> 传感器、取暖器、数据采集器。                                                                                                                                  | 充满二氧化碳的集气瓶、温度计、取暖器、计时器。                                                                                                                                          |
| 实验步骤 | 1. A 瓶（空气）与 B 瓶（CO <sub>2</sub> ）置于相同距离，打开取暖器。<br>2. 插入温度传感器，记录 5 分钟温度变化曲线，比较升温速率差异。                                                                                             | 1. A 瓶（空气）与 B 瓶（CO <sub>2</sub> ）置于相同距离，打开取暖器。<br>2. 插入温度计，每隔 1 分钟手工记录温度，持续 10 分钟，手工绘制温度-时间曲线。                                                                   |
| 实验现象 | 初始现象：A 瓶（空气）与 B 瓶（CO <sub>2</sub> ）初始温度相同，均为 16.6℃。<br>加热过程及数据记录：取暖器开启后，B 瓶（CO <sub>2</sub> ）温度迅速上升，A 瓶（空气）温度上升较慢。温度传感器实时显示 B 瓶温度曲线斜率明显大于 A 瓶。3 分钟后，B 瓶温度升至 27.4℃，A 瓶温度升至 25.6℃。 | 初始现象：A 瓶（空气）与 B 瓶（CO <sub>2</sub> ）初始温度相同，均为 17.0℃。<br>加热过程及数据记录：取暖器开启后，B 瓶（CO <sub>2</sub> ）温度上升较快，A 瓶（空气）温度上升较慢。每隔 30 秒记录温度，3 分钟后，B 瓶温度升至 27.1℃，A 瓶温度升至 25.3℃。 |

⑤李华，王明. (2021). 数字化传感器在中学化学实验教学中的应用研究. 《化学教育》，42(3)，45-50.

| 分类   | 数字化实验组                                                                                                                     | 传统实验组                                                                                                                                                      |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 实验结论 | CO <sub>2</sub> 比空气更易吸收热量，验证了 CO <sub>2</sub> 作为温室气体的特性。数字化工具通过实时温度曲线直观展示升温速率差异，帮助学生理解温室效应的微观机理（CO <sub>2</sub> 分子吸收红外辐射）。 | CO <sub>2</sub> 瓶升温速率明显高于空气瓶，说明 CO <sub>2</sub> 具有更强的吸热能力，验证了温室效应的基本原理。传统实验通过手动记录温度数据，虽能定性验证 CO <sub>2</sub> 的吸热特性，但数据采集效率低，且缺乏实时动态展示，学生对温室效应的理解停留在宏观现象层面。 |

表 1：温室效应验证

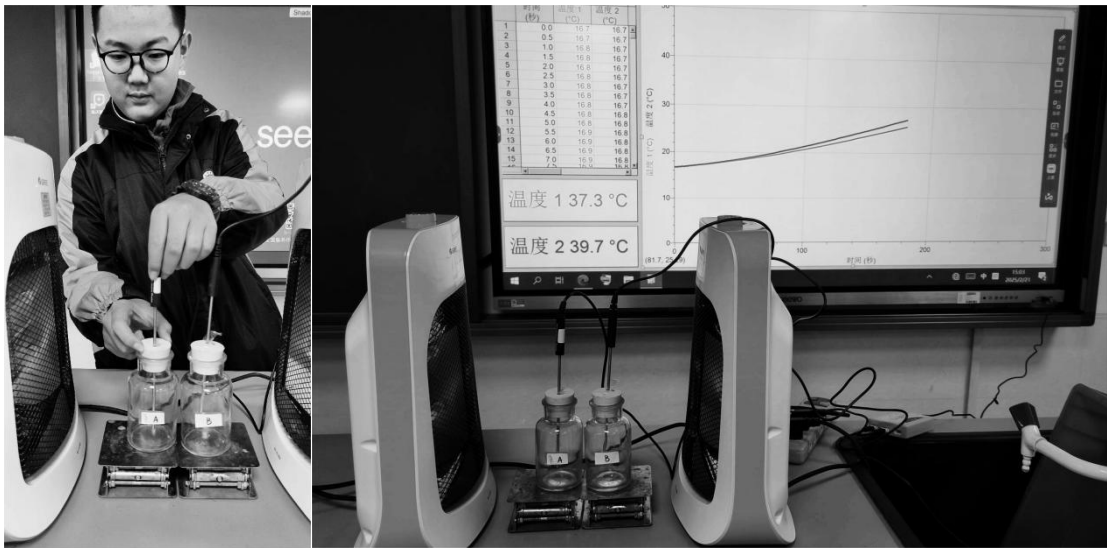


图 1：数字化实验组验证温室效应

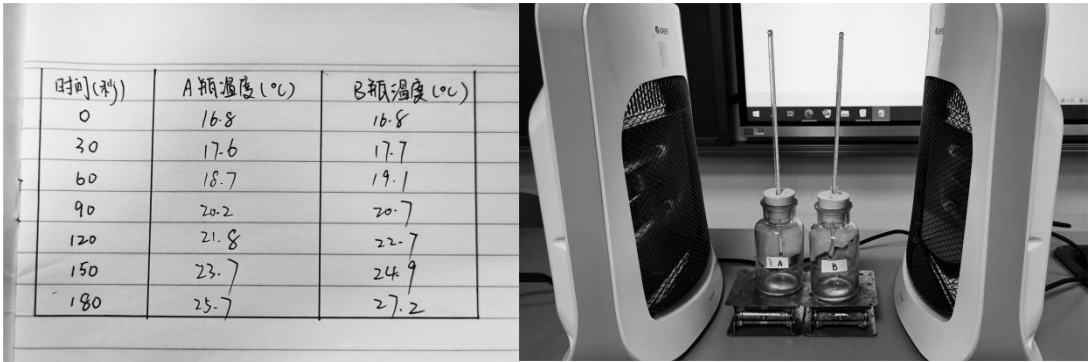


图 2：传统实验组验证温室效应

实验二：二氧化碳与石灰水反应

| 分类   | 数字化实验组                                                                                                                                                                                                                                              | 传统实验组                                                                                                                                   |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 实验器材 | 集气瓶、二氧化碳发生器、CO <sub>2</sub> 传感器、数据采集器、澄清石灰水。                                                                                                                                                                                                        | 试管、澄清石灰水、吸管。                                                                                                                            |
| 实验步骤 | 1. 取一个充满二氧化碳的集气瓶，使用 CO <sub>2</sub> 传感器记录 B 瓶中 CO <sub>2</sub> 的初始浓度。<br>2. 加入 60mL 澄清石灰水，剧烈摇晃。观察石灰水浑浊现象，记录 B 瓶反应后浓度。                                                                                                                               | 向盛有 2mL 石灰水的试管中吹气，观察浑浊现象。                                                                                                               |
| 实验现象 | 1. B 瓶充入 CO <sub>2</sub> 后，CO <sub>2</sub> 传感器显示浓度约为 100175ppm。<br>2. 加入澄清石灰水并剧烈摇晃后，B 瓶中石灰水迅速变浑浊，反应后 CO <sub>2</sub> 浓度降至 95201 ppm。                                                                                                                | 向澄清石灰水中吹气后，溶液逐渐变浑浊。                                                                                                                     |
| 实验结论 | CO <sub>2</sub> 与石灰水反应生成碳酸钙沉淀（CaCO <sub>3</sub> ），导致石灰水变浑浊，数字化工具通过 CO <sub>2</sub> 传感器记录浓度变化，定量揭示反应进程，帮助学生理解化学反应的微观机理（CO <sub>2</sub> 与 Ca(OH) <sub>2</sub> 的反应方程式：CO <sub>2</sub> + Ca(OH) <sub>2</sub> → CaCO <sub>3</sub> ↓ + H <sub>2</sub> O）。 | 吹入的 CO <sub>2</sub> 与石灰水反应生成碳酸钙沉淀，验证了 CO <sub>2</sub> 与 Ca(OH) <sub>2</sub> 的化学反应。传统实验通过定性观察（浑浊现象）验证反应发生，但缺乏定量数据支持，学生对反应机理的理解停留在宏观现象层面。 |

表 2：二氧化碳与石灰水反应



图 3：数字化实验组验证二氧化碳与石灰水反应



图 4：传统实验组验证二氧化碳与石灰水反应

| 实验维度 | 数字化实验组                                              | 传统实验组                                  |
|------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 数据特征 | 高精度传感器（温度 0.1℃、CO <sub>2</sub> 浓度）、动态曲线自动记录（如温度斜率）。 | 定性描述（如温度计读数，溶液外观变化）。                   |
| 教学优势 | 1. 实时动态展示（温室效应升温曲线）。<br>2. 建立“宏观—微观—符号”三重联系。        | 1. 操作简单，成本低。<br>2. 直观展示基础现象（如温度升高、浑浊）。 |
| 局限性  | 依赖硬件设备，操作复杂度较高。                                     | 数据精度和实验效率低，难以深入分析微观机理。                 |

表 3：数字化实验和传统实验的各项对比

三. 实验评估与结果

（一）设计定量评分量表和问卷分析评估实验教学效果

| 评估项  | 数字化实验组评分标准（满分 20 分） | 传统实验组评分标准（满分 20 分） |
|------|---------------------|--------------------|
| 实验操作 | 传感器校准、数据采集规范性（4 分）  | 试管操作规范性（4 分）       |
| 数据记录 | 实时数据完整性（4 分）        | 颜色/现象记录准确性（4 分）    |
| 结论推导 | 正确解释曲线与反应机理（6 分）    | 正确关联现象与化学式（6 分）    |
| 问题解决 | 回答拓展问题（如误差分析）（6 分）  | 回答基础问题（如现象原因）（6 分） |

表 5：实验结果总体评估量表

|                                      |                                                                                                                                        |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 实验兴趣与参与意愿                            | 1（非常无趣/不愿意）→5（非常有趣/非常愿意）                                                                                                               |
| 1. 实验过程是否有趣？                         | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 |
| 2. 是否愿意参与更多类似实验？                     | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 |
| 知识点理解程度                              | 1（完全不懂）→5（完全理解）                                                                                                                        |
| 1. 我理解温室效应的基本原理。                     | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 |
| 2. 我能描述 CO <sub>2</sub> 与石灰水反应的化学过程。 | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 |
| 实验兴趣与参与意愿                            | 1（非常无趣/不愿意）→5（非常有趣/非常愿意）                                                                                                               |

表 6：实验兴趣与知识点理解 Likert 5 级量表

（二）评估结果与分析

| 评估项  | 数字化实验组（n=5） | 传统实验组（n=5） | 提升幅度   | 显著性检验（p 值） |
|------|-------------|------------|--------|------------|
| 实验操作 | 3.8±0.4     | 3.2±0.6    | +18.8% | p=0.032    |
| 数据记录 | 3.9±0.3     | 2.7±0.8    | +44.4% | p=0.002    |
| 结论推导 | 5.4±0.5     | 4.1±1.0    | +31.7% | p=0.015    |
| 问题解决 | 5.0±0.6     | 3.0±1.2    | +66.7% | p=0.001    |
| 总分   | 16.1±1.2    | 12.0±2.3   | +34.2% | p<0.001    |

表 7：实验能力测评结果（满分 20 分）：

结果分析：数字化组在数据记录(+44.4%)与问题解决(+66.7%)维度提升最显著(p<0.01)，动态可视化工具帮助学生捕捉关键现象。

| 题目                   | 数字化实验组  | 传统实验组   | 差异显著性（p 值） |
|----------------------|---------|---------|------------|
| 实验过程趣味性              | 4.6±0.3 | 3.8±0.7 | p<0.01     |
| 参与更多实验意愿             | 4.8±0.4 | 3.5±0.9 | p<0.001    |
| 温室效应理解               | 4.3±0.6 | 3.0±1.0 | p<0.05     |
| CO <sub>2</sub> 反应理解 | 4.7±0.3 | 3.8±0.6 | p<0.05     |

表 8：实验兴趣、参与意愿与知识点理解得分（Likert 5 级量表）

结果分析：数字化实验组对实验趣味性和参与意愿评分显著更高 ( $p < 0.01$ )，动态交互与可视化数据增强学生探索动机。数字化组在  $\text{CO}_2$  反应理解上表现突出，实时曲线与定量数据帮助学生建立“宏观-微观”关联，传统组对温室效应的理解评分较低，定性实验难以直观展示  $\text{CO}_2$  吸热特性。

### （三）质性反馈与教学观察

#### 1. 学生访谈摘录

数字化组：“充满  $\text{CO}_2$  的瓶子温度升高快，让我联想到暑假一年比一年热的原因。”

传统组：“用温度计测  $\text{CO}_2$  瓶升温更真实，但记录数据太麻烦。”

#### 2. 教师观察记录

数字化组学生在讨论中主动提出假设和探究，例如：“如果换成其他气体，温度上升的比较会是如何呢，是否可以模拟宇宙中其他星球的情况？”

传统组学生更多依赖教师指导，对现象的解释停留在表层，如“澄清石灰水变浑浊是突然发生的，不清楚石灰水到底能吸收多少二氧化碳”。

## 四、结论与展望

### （一）研究结论

研究表明，数字化传感器能够有效提升实验教学的科学性和可视化水平，使实验教学更加精准、高效、可量化，为未来的智能实验室建设提供了重要参考。同时也推动了 STEM 教育实践，有效提升了学生的核心素养，增加了学习兴趣和知识点的深刻理解，为初中化学课程改革提供实践参考。未来可结合人工智能与物联网技术，构建“智慧实验室”新生态。

### （二）研究局限与展望

由于本研究样本量较小 ( $n=10$ )，未来研究可扩大样本规模，并进一步探讨数字化实验在长期知识保留和跨学科应用方面的效果<sup>⑥</sup>，未来可探索人工智能辅助数据分析（如自动生成实验报告），或结合虚拟现实（VR）模拟危险实验场景，未来可加强教师培训，推动数字化实验案例库建设，并探索 VR/AI 实验模拟，为实验教学提供更丰富的技术支持并纳入校本课程，提升教师技术应用能力。

---

⑥陈晓，周涛，吴静. (2022). 教育数字化转型背景下的实验教学创新路径. 《现代教育技术》，32(5), 56-62.