物理实验室

基于传感技术和温变原理的做功改变物体内能可视化实验改进*

张习祥 张守秋 刘 斌 (贵州省织金县第三中学 贵州 552100)
王祖兵 (织金县马场镇中学 贵州 552102)

摘 要 人教版初中物理教材中,采用快速压缩玻璃筒内的空气,空气温度升高后点燃底部硝化棉的方式验证做功改变物体的内能。改进实验从跨学科视角出发,融入传感技术和编程思想,用Data Streamer实时读取密闭在注射器中的BMP280传感器采集的空气温度和压强值到Excel中进行数据处理和可视化分析,绘制出实时变化的空气温度-压强动态图象,同时应用温变油墨变色原理增强实验效果和趣味性。

关键词 传感技术 温变油墨 做功改变内能 可视化 创新实验
文章编号 1002-0748(2024)12-0022 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

1 教材原实验的不足之处

人教版九年级《物理》第十三章“第2节 内能”中,为了验证空气被压缩时内能增大,实验中将一小团硝化棉放入配有活塞的厚玻璃筒中,迅速压缩玻璃筒内的空气,观察玻璃筒中的现象。若硝化棉燃烧起来,证明外力压缩空气,对空气做功,空气的内能增大,温度升高达到硝化棉的燃点。然而,成功点燃硝化棉只是一种理想状态,若硝化棉没有被点燃,则实验者无法表述观察到的实验现象,不能验证做功改变物体的内能。

结合实际的教学实践,我们发现原实验存在以下不足之处:

一是实验成功率不高。做功使空气升高的温度要达到硝化棉的燃点(170℃),并且要有充足的氧气才能燃烧[1]。压缩空气时需要很大的力迅速向下压活塞,对于一些力气小、没有经验的师生,若压缩速度和力度不够,温度达不到硝化棉的燃点,不能保证一两次压缩空气就可以点燃硝化棉。

二是实验现象难以清晰观察。硝化棉燃烧的持续时间较短,稍不注意就错过了有效的观察时间,不一定能清楚地观察到实验现象,难以达到预期效果;硝化棉的燃烧过程不可逆,若想重复实验,需要先清理干净玻璃筒中的废弃物,重新制作硝化棉,耗费时间较多。

三是实验中存在一些不安全因素。硝化棉是用浓硫酸、浓硝酸和棉花制作的,浓硫酸和浓硝酸具有较强的腐蚀性,稍有不慎会对实验操作者造成伤害,并且浓硝酸易挥发,会对空气造成一定的污染,进行多组实验时存在安全隐患,硝化棉的制作和燃烧、废弃物处理过程与环保理念相悖。

四是实验现象不够直观。学生只能看到短暂的燃烧现象,不能直观感知做功过程中玻璃筒内空气温度和压强的变化情况,无法将观察到的实验现象与能量转化的科学原理有机联系在一起。

基于以上不足,笔者融入STEAM理念,从跨学科视角出发,设计开发基于传感技术和温变原理的做功改变物体内能可视化实验装置,将压缩空气时压强增大、温度升高的过程实时可视化展示出来,同时利用温变油墨变色原理增强实验的效果和趣味性。

2 改进实验装置的设计与开发

2.1 功能需求分析

改进实验装置主要实现四个方面的功能:一是

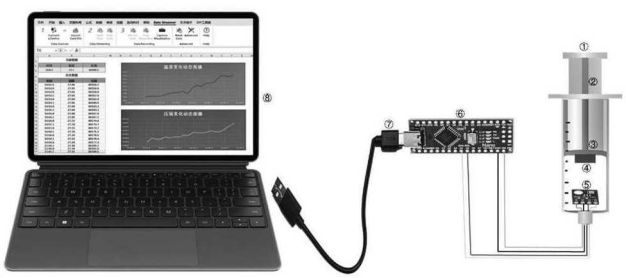
* **基金项目**:本文系2021年贵州省毕节市教育科学规划一般课题“基于STEAM教育理念的初中物理实验趣味化设计与实践研究”(课题批准号:2021122),和2024年贵州省毕节市教育科学规划一般课题“学科融合背景下的实验教学成果化实践研究”(课题批准号:2024B057)的阶段性研究成果。

中国知网 https://www.cnki.net

能够在可调节大小的密闭空间内压缩空气，实时在计算机上动态显示空气的温度和压强值[2]；二是在计算机上实时绘制出空气温度和压强的动态变化图象；三是能够用有趣的实验现象证明计算机上采集的空气温度数据是真实的，不存在数据造假情况；四是能够让力气小的人也能轻松操作实验装置压缩空气，观察到明显的空气温度和压强变化情况。

2.2　改进实验设计

根据功能需求分析，设计改进实验，绘制实验装置设计图，如图 1 所示。改进装置使用 1 个 BMP280 传感器实时采集密闭注射器内的空气温度和压强值，将采集到的温度和压强值实时读取到 Excel 中进行数据分析和可视化处理，绘制出实时变化的空气温度和压强动态图象。向下推动注射器活塞对空气做功时，实验者能够通过可视化图表观察密闭注射器内空气温度和压强的实时变化情况。为了增强实验效果和装置的趣味性，利用温变油墨在特定温度条件下色彩会发生变化的原理[3, 4]，让实验者直观感知对空气做功引起的温度变化带来温变油墨颜色的变化。



部件说明：①注射器手柄；②注射器连杆；③注射器活塞；④涂抹蓝色温变颜料的锡箔纸；⑤BMP280 传感器；⑥Arduino Nano 开发板；⑦Micro USB 数据连接线；⑧计算机及数据采集、可视化分析系统

图 1　实验装置设计图

2.3　实验装置开发

2.3.1　实验器材准备

根据功能需求分析和改进实验设计，准备实验器材，能够从废弃物上拆卸或改造使用的尽量物尽所能二次利用，而没有的器材通过网络购买。开发该实验装置需要用到的器材主要有：一块 Arduino Nano 开发板、一块 BMP280 传感器、一个大号注射器、一个注射器安装支架、锡箔纸、温变油墨、漆包细铜线、热熔胶、计算机（安装 Arduino IDE、Excel 和 Data Streamer 数据采集插件）等。

2.3.2　传感器数据采集功能调试

用杜邦线连接 BMP280 传感器和 Arduino Nano 开发板，在 Arduino IDE 开发环境中编写程序，完成后通过 USB 接口上传代码到开发板，进行功能调试，对传感器采集的空气温度和压强值进行标定，减少采集的实验数据误差，校准数据。

2.3.3　组装压缩空气装置

（1）分别用 4 根漆包细铜线焊接到 BMP280 传感器的 SDA（串行数据线）、SCL（串行时钟线）、VIN（连接正极）、GND（连接负极）引脚。

（2）将注射器活塞及连杆部分拆卸下来，将 BMP280 传感器放置于注射器内。

（3）将注射器针头拆卸下来，从针头安装处孔隙中引出焊接 BMP280 传感器的 4 根漆包细铜线，将传感器调整到合适的位置，用热熔胶将针头安装处的孔隙密封[5]。

（4）用剪刀裁剪一小片锡箔纸安装在活塞底部，在锡箔纸表面均匀涂抹蓝色温变油墨，将注射器活塞及连杆部分安装回注射器内。安装时调整好锡箔纸的位置，确保实验过程中能够正面观察到活塞底部的锡箔纸表面颜色的变化。

（5）反复推拉活塞，检测压缩空气装置的密闭效果，若存在漏气现象，用热熔胶再次密封针头安装处的孔隙，确保下压活塞时注射器不漏气。

2.3.4　制作压缩空气装置安装支架

为了便于实验时正面观察注射器内部的情况，制作一个大小适宜的木质支架，将注射器针筒标有刻度线的一侧朝外，用螺丝和卡扣将注射器固定在支架上，以便实验操作时一只手按住支架固定实验装置，另一只手向上拉动或向下推动注射器内的活塞运动。

2.3.5　连接开发板和计算机采集实验数据

将注射器内焊接上 BMP280 传感器的引线与 Nano 开发板连接（连接方式如图 1 所示），在 Arduino IDE 中选择好对应的开发板型号和端口号。待监测窗口中采集空气温度和压强数据正常后，打开安装好 Data Streamer 数据采集插件的 Excel，查看 Data Streamer 是否能检测到连接 USB 端口。若检测连接成功，会在软件操作界面出现“Connect a device”选项；若没有检测到，重新拔插连接开发板与计算机的 USB 接口，直到能够检测到连接成功。

执行“Connect a device”连接设备，连接上设备后，执行“Start Data”，开始采集实验数据，密闭注射器内的空气温度和压强值就能实时显示在 Excel 中。可以根据实际需要个性化配置数据采集的内容和方式。一是设置间隔多少毫秒采集 1 次数据，可选范围为 10～10 000 毫秒；二是设置 Excel 工作表中显示多少条实验数据，可选范围为 1～500 条，当

中国知网　https://www.cnki.net

采集的数据条数超过预设的数量时，系统自动按照先进先出的规则更新数据；三是设置同时采集多少组数据，可选范围为 1～100 组；四是按照采集时间的先后顺序，设置采集的实验数据在 Excel 中从上到下按正序还是逆序排列显示。

2.3.6　数据分析与可视化展示

在 Excel 中选择要进行动态图象可视化的温度和压强数据区域，执行“插入”-“图表”，在左边待选窗口中选择适合的图表样式，右边可看到对应图表的预览效果。为了凸显温度和压强变化的前后对比效果，选择“折线图”或“散点图”最为适合。将温度变化动态图、压强变化动态图设置为有一定差异的布局和颜色，调整优化图表，实现数据的可视化展示，可以观察到 Excel 工作表中采集的空气温度和压强数据实时动态变化，所对应的空气温度/压强图象也实时动态变化[6]。保存调整好相关参数的 Excel 数据可视化分析文件，以便后续实验过程中反复使用。如图 2 所示为某次实验保存下来的部分数据及可视化效果。

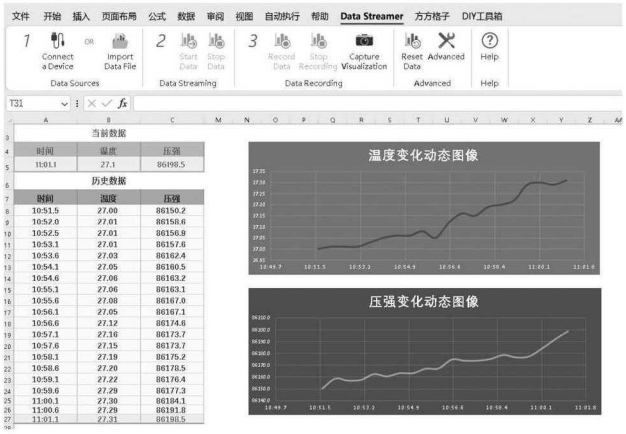


图 2　实验效果图

2.3.7　改进装置的工作原理

(1) 做功改变物体内能原理：下压活塞对空气做功，空气被压缩，内能增加，压强增大，温度升高；释放连接活塞的手柄，活塞逐渐往回反弹，空气对外界做功，空气体积变大，内能减小，压强减小，温度降低。

(2) BMP280 传感器原理：BMP280 传感器由一个微小的压阻传感器和一个温度传感器组成。当气体压强或温度发生变化时，传感器会产生相应的电信号，传感器通过转换这些电信号并进行处理，从而提供准确的气体压强和温度数据。

(3) 空气温度/压强可视化原理：BMP280 传感器采集到密闭注射器内的温度和压强数据后传递给开发板，开发板将数据处理后传递给计算机，Data Streamer 采集插件从计算机串口读取温度和压强值到 Excel 中进行数据分析，绘制出可视化的压强和温度的实时动态图象，下压活塞或释放连接活塞的手柄时，活塞逐渐往回反弹，实验者能够直观感知温度和压强的实时变化过程。

(4) 温变油墨变色原理：实验中涂抹在锡箔纸表面的温变油墨为蓝色，反复下压活塞做功使密闭注射器中温度上升，空气的热能传导到锡箔纸表面，锡箔纸表面的温变油墨温度达到或超过 32℃时，由蓝色变为紫色；活塞回弹的过程中，空气温度逐渐降低，锡箔纸表面温度也逐渐降低，当温度低于 32℃时，温变油墨逐渐恢复到原来的蓝色。

2.3.8　改进装置的创新之处

(1) 从跨学科分析问题、解决问题的视角出发，用 BMP280 传感器编程采集密闭在注射器内的空气温度和压强数据，用 Data Streamer 实时读取温度和压强数据到 Excel 中进行数据处理和可视化分析，绘制出实时变化的温度和压强动态图象，让实验者在压缩空气做功的过程中直观感知温度和压强的实时变化情况。

(2) 用温变油墨上升到 32℃时颜色会发生变化，低于 32℃时恢复到原来颜色的现象辅助验证温度的升高或降低。

(3) 将压缩空气点燃硝化棉验证做功改变物体内能，改进为压缩注射器内的空气验证能量的转化，不需要将活塞下压到注射器底部，就能看到明显的温度、压强变化现象，即使力气较小的人也能轻松完成实验操作演示。

(4) 解决制作硝化棉、清理实验废弃物时的繁琐和不安全、不环保因素，可反复、多次实验，提高实验的效率、成功率、安全性、环保性和趣味性。

3　改进装置的使用

(1) 连接好实验装置各部件，检查好空气压缩装置的密闭性，在计算机上打开 Excel 软件，调试好 Data Streamer 插件。

(2) 在计算机上打开 Arduino IDE，选择对应的开发板型号和端口号。

(3) 打开预先设置好相关参数的 Excel 数据可视化分析文件，在菜单栏选择“Data Streamer”选项，执行“Connect a device”连接设备，连接上设备后，执行“Start Data”，BMP280 传感器就能实时采

中国知网 https://www.cnki.net



图3　改进装置用于实验教学场景图

集密闭注射器内部的空气温度和压强值，Data Streamer实时将采集到的空气温度和压强值读取到Excel中，并随着数值的变化绘制空气温度/压强动态图象。

(4) 快速下压活塞，密闭注射器内压强迅速增大，温度逐渐升高，可在计算机上观察到实时变化的空气温度/压强动态图象。要想使温度持续升高，可以快速多次反复下压活塞；松开连接活塞的手柄，活塞渐渐复位到初始位置，可观察到空气压强逐渐变小，温度逐渐降低。若想停止采集实验数据，执行Data Streamer插件的“Stop Data”选项即可。

(5) 当注射器内部温度上升到32℃时，注射器内部的锡箔片表面的温变油墨由蓝色变为紫色；松开连接活塞的手柄，停止压缩空气，温度逐渐下降，当温度降低到32℃以下时，锡箔片表面的温变油墨由紫色变为原来的蓝色。

(6) 观察实验现象，分析实验数据，得出结论：做功改变物体内能(对空气做功，空气内能增大，压强增大，温度升高)。

4　改进装置的拓展应用

4.1　大气压强可视化

初中阶段的大气压强只能定性观察，不能定量探究，实验者不能以准确量化的数值来直观感知客观存在的大气压强。改进装置恰好能够弥补初中物理大气压强不能准确量化的不足之处，下压活塞对空气做功或停止压缩空气，可以让实验者直观感知注射器内温度和气体压强的实时变化过程。

4.2　探究一定体积下温度和压强之间的关系

参照“改进装置的使用”前3个步骤连接好实验装置各部件，在Arduino IDE中选择对应的开发板型号和端口号，打开预先设置好相关参数的Excel数据可视化分析文件，连接上设备，执行“Start Data”，开始实验数据采集。

下压活塞到注射器的某个刻度线，能够直观读取注射器内部空气被压缩后的体积(可以忽略不计传感器体积，也可以每次减去传感器体积精确得出空气体积)，观察和记录计算机上呈现的温度和压强值，分析得出当前体积下温度和压强的关系。反复压缩密闭注射器内的空气，在不同体积下观察和记录实验数据，进行计算和分析，就可以得出一定体积下温度和压强之间关系的规律。

观察实验现象，分析实验数据，得出结论：一定体积下，温度越高，分子运动越剧烈，压强越大。

4.3　探究不同温度或压强下气体的性质

对实验装置稍做改造，在注射器上增加一个抽气孔，就可以通入气体，用于探究不同温度或压强条件下气体的性质。以NO_2和N_2O_4的相互转化为例，向注射器内通入一定体积的NO_2，常温下，NO_2为红棕色，缓慢下压注射器活塞，注射器内NO_2的压强逐渐增大，NO_2逐渐转化为N_2O_4，可观察到气体红棕色逐渐变淡；用水浴法加热注射器，N_2O_4会随着温度的升高逐渐转化为NO_2，可观察到气体红棕色逐渐变深。使用改进装置，能够探究NO_2和N_2O_4在不同压强或温度下的可逆反应过程和平衡条件。

5　结束语

改进实验装置能够通过实时动态变化的空气温度/压强数据和图象，帮助实验者直观地理解和分析空气被压缩时的实验现象和规律，观察和研究空气被压缩时内能变化的过程。该实验装置为物理实验教学和研究提供了新的手段和方法，有助于深入理解压缩空气过程中的热力学规律和能量转化过程。研究中的实验数据可视化分析的思路方法和技术手段可供广大师生参考，应用于设计和改良与声、光、热、力、电、磁等物理量相关的实验方案和实验装置。

参考文献

[1] 沈孝兵. 从实验失败的原因找实验改进的方法——以“空气压缩引火仪”实验的改进为例[J]. 中学物理，2023(18)：58—59.

[2] 秦宇飞，杨晓辉，张进富，等. “双减”政策下初中物理实验教学的改进研究——以“做功改变物体内能”为例[J]. 赤峰学院学报(自然科学版)，2022(04)：82—84.

[3] 莫滨，颜沸. 应用温变油墨改进做功改变内能实验[J]. 中学物理，2022(18)：42—44.

[4] 钱士庄. 空气压缩引火实验对比分析及改进[J]. 中学物理教学参考，2020(29)：55—56.

[5] 屠铁剑. 巧用注射器改进做功改变物体内能实验[J]. 实验教学与仪器，2019(2)：28—29.

[6] 张习祥. 基于Data Streamer开发的摩擦力可视化测量装置[J]. 中学物理，2024(2)：59—62.

中国知网　https://www.cnki.net