

“空气中氧气含量测定”实验的改进与扩展

李鼎, 石阳

(上海市中小学数字化实验系统研发中心, 上海 200072)

摘要:以“空气中氧气含量测定”实验为例,提出在教学设计中应贯彻“以融合促发展”的思想,即依托传统实验方式开展演示实验,鼓励学生使用DIS传感器开展分组实验。两者的融合不仅能充分发挥传统实验蕴含的教学价值,还能对该实验形成积极有效的扩展,让学生获得更为丰富的科学探究体验,提高实验教学的效率。

关键词:空气中氧气含量测定; 氧气传感器; DIS数字化实验

文章编号: 1005-6629(2022)11-0065-05 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

1 问题提出

“空气中氧气含量的测定”实验是“空气的组成”这一教学单元中最为核心的内容,涉及到燃烧、氧化以及质量守恒等基本的化学概念,因此备受重视。

现行初中化学教材中该实验的设计思想源于拉瓦锡著名的“12天实验”或“20天实验”^[1],一般采用燃烧或氧化法测定燃烧或氧化前后空气体积的变化数据,分别以“水-气置换”或气球缩小为表征,得出氧气约占空气体积1/5的结论。其中,鲁教版化学教材采用了铜氧化法^[2],而人教版、沪教版和粤教版等化学教材则采用了传统的红磷燃烧法。笔者认为相比之下,鲁教版化学教材的实验设计更能够体现拉瓦锡实验的精髓,不仅使用铜的氧化反应大幅缩短了实验周期,而且使

用气球直观地显示了反应消耗氧气导致的气压变化现象,避免了红磷燃烧产生的五氧化二磷有害气体对课堂环境的污染,更适合课堂演示实验。

但是无论上述哪一种实验方式,都面临着继续优化和改进的挑战。一线教师针对上述实验设计提出了以下意见:(1)实验操作相对繁琐,实验操作对教师的技能要求比较高^[3];(2)红磷燃烧会产生有害气体^[4];(3)所用器皿和导管不规则,且其内存有残留空气,导致实验结果会存在较大误差^[5];等等。

2 实验改进

借助DIS改进传统实验,不是简单的手段替代,而是在厘清原有实验基本思维逻辑的基础上,基于教学

越能够发挥“以评促学”和“以评促教”的功能。例如在教学活动三中,通过学生小组之间的充分讨论与评价,学生理解了图2(1)中无法构成闭合回路的原因是缺乏离子导体,而如何利用离子导体构成回路,通过学生的生生评价和教师的引导自然而然地引入了“盐桥”这一概念。

参考文献:

[1] 中华人民共和国教育部制定. 普通高中化学课程标准

(2017年版2020年修订)[S]. 北京:人民教育出版社, 2020.

[2] 杨季冬.“素养为本”的高中化学“教、学、评”一致性研究[D].武汉:华中师范大学硕士学位论文,2020.

[3] 李秉德. 教学论[M]. 北京:人民教育出版社,2001.

[4] [5] 施良方. 课程理论——课程的基础、原理与问题[M]. 北京:教育科学出版社,1996.

[6] 崔允灏,雷浩. 教-学-评一致性三因素理论模型的结构[J]. 华东师范大学学报(教育科学版), 2015, 33(4): 15~22.

需求重新展开新的系统设计。

2.1 对拉瓦锡实验的再认识

当年拉瓦锡在设计 12 天和 20 天实验的时候,是科学家们开始质疑并准备推翻燃素说的前夜,其实验设计的重点在于揭示燃烧和氧化的本质。因此,无论 12 天实验还是 20 天实验,都是遵循了先确定空气中有某种成分参与了反应,再测量参与反应的空气成分在空气中的大致占比的原则。鉴于科学认知体系和测量手段的双重空白,拉瓦锡创造性地采用了间接测量法和等效替代法解决了上述两个问题,成为了化学史上的一个里程碑。这是传统化学教材一直尊重并沿用其实验思路的原因。

2.2 教学需求的改变

但是,由于小学科学教育的有效铺垫,氧气作为空气的基本成分和燃烧的基本条件之一,已经成为当前小学毕业生的常识。这一点在 2022 年版义务教育化学课程标准中已有体现:“了解空气的主要成分;通过实验探究认识氧气、二氧化碳的主要性质,认识物质的性质与用途的关系(内容要求)”“探究空气中氧气的含量(学习活动建议)”等^[6]。这说明,新课标针对空气成分的实验和探究要求已经由拉瓦锡时代面临的两个问题——确定空气中存在参与反应的成分并测量其含量,演变成了一个问题:测量参与反应的成分(氧气)在空气中的含量。因此,如果再使用与拉瓦锡类似的实验,客观上就造成了目标和手段的不匹配。因此,通过采用直接测量法获取实验过程中的氧气含量数值来简化实验具备了相当的合理性。

2.3 使用直接测量法测量空气中氧气含量的实验设计

使用 DIS 传感器测量空气中氧气含量的实验设计如下。

仪器和器材:XX 品牌氧气传感器;传感器数据显示模块等。

实验装置如图 1 所示。



图 1 使用氧气传感器测量空气中的氧气含量

实验操作:将数据显示模块与氧气传感器连接,打开数据显示模块电源,当前环境中氧气的含量立即显示在数据显示模块的液晶屏上。

该数据显示模块具备数据存储功能,可记录较长时间内的传感器数据变化过程,并利用特定程序上传至计算机,以供实验者对实验过程性数据进行处理分析。上述实验装置基于移动测量而设计,便于对不同环境下的氧气含量数值进行测量和比较。在实验室里,亦可采用“传感器+数据采集器+计算机”的传统连接方式,直接将氧气传感器的测量值上传至计算机。

3 立足 DIS 与传统实验融合的实验设计

3.1 引入新技术造成的传统断裂

引入 DIS 数字化实验手段之后,大部分传统实验的基本装置和操作过程得到了保留,同时实验精度和效率获得了显著提高,这确保了传统的延续和新技术的推广。但本实验确实是一个特例——引入传感器将直接获得实验结果,而传统实验的基本装置、反应过程及实验操作便显得毫无意义。这不禁引发了笔者的思考。早就有科学哲学家指出:因为文明的发展,我们失去了美感^[7]。随着自动机械和机器的引入,特别是工业革命后,技术与艺术相分离,技术被降低为单纯地对时间、空间、能量的征服。在这种条件下,生产量虽然空前增加,但技术却失去了美感,人被降低为依附于机器的生产部件^[8]。

尽管传统实验复杂、繁琐甚至还有污染,但其基本装置、反应过程和实验操作毕竟既承载了丰富的科学内容、精巧的设计思想,又构成了科学史教育的素材,因此必然拥有相应的教育价值和与生俱来的美感。笔者虽然长期致力于 DIS 数字化实验的研究与开发,但不愿看到引入新技术后造成学生科学认知经历的缺失。

3.2 新旧实验手段的再融合

在对美国 AP 高中物理教材进行研究时,发现该教材通过采用“并行给出传统实验与数字化实验的设计方案,由教师自行决定采用何种实验手段”的策略,有效避免了对数字化实验不熟悉的资深教师对新实验手段的抵触。同时又因为所选择的数字化实验均具备解决传统实验“痛点”的显著优势,反而有效推进了数字化实验的教学应用实践^[9]。经过反复思考与实践,笔者逐步形成了“以融合促发展”的教学设计思路:

(1) 教师在“空气中的氧气含量”的授课过程中,对拉瓦锡的 12 天和 20 天实验做简单的回顾,特别要提炼出拉瓦锡实验设计的基本逻辑。

(2) 教师可以按照传统教材中的实验方案,开展演示实验,让学生观察实验现象、理解变化过程、总结相应规律。对于实验误差,教师不必过于在意。

(3) 完成传统实验演示之后,教师可向学生介绍 DIS 氧气传感器和其他传感器,演示操作过程、展示实验结果,向学生呈现因为技术进步而带来的直接测量法对间接测量法的取代。

(4) 设计几个学生分组实验,将 DIS 氧气和其他类型的传感器作为监控设备用于实时获取、显示及全程记录实验中的数据,让学生在借助数据表征建立更为深刻的科学认知的同时,掌握在化学实验中应用各种传感器的方法。

3.3 DIS 数字化实验带来的经验扩展

基于 DIS 数字化实验与传统实验融合的思路,设计了四个与空气中氧气含量测量有关的实验。这些实验既可以成为传统实验的补充,也能够作为研究性学习项目,为学生提供自主学习、自主探究的参照或指导。

3.3.1 木条燃烧过程中氧气含量变化研究

仪器、器材及试剂: X 品牌数据采集器、氧气传感器、集气瓶、带孔橡胶塞、木条和火柴

实验装置图如图 2 所示。

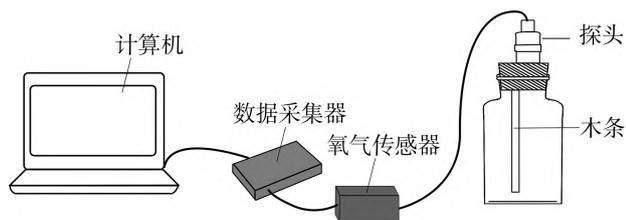


图 2 监测木条燃烧前后氧气含量的变化

实验步骤:按图 2 搭建实验装置,将氧气传感器探头插入到带孔橡胶塞顶部,将木条插入带孔橡胶塞底部,如图 3 所示。利用火柴点燃木条,并将橡胶塞迅速

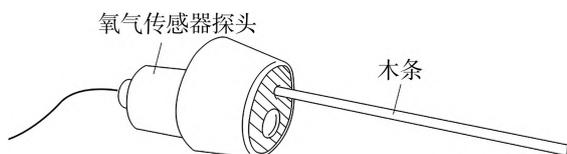


图 3 氧气传感器探头及木条安装细节图

插入集气瓶口,观察氧气数据及曲线变化,待燃烧停止且集气瓶冷却后停止数据收集。

数据分析:实验开始前集气瓶内空气的氧气含量与外部相同。点燃木条后,瓶中氧气有小幅度的上升(上升的原因在于:木条燃烧导致瓶内空气膨胀、压强升高,导致短时间内透过氧气传感器敏感器件的氧气分子增加)。随后,燃烧迅速消耗瓶中的氧气,氧气含量呈下降趋势。至实验结束,瓶内氧气含量由初始值 20.9% 下降至 11.7% (见图 4)。本实验利用 DIS 氧气传感器测定并实时显示、记录了木条燃烧过程中集气瓶内氧气的变化,并通过数据的差值和过程图线给出了氧气含量的直接表征。

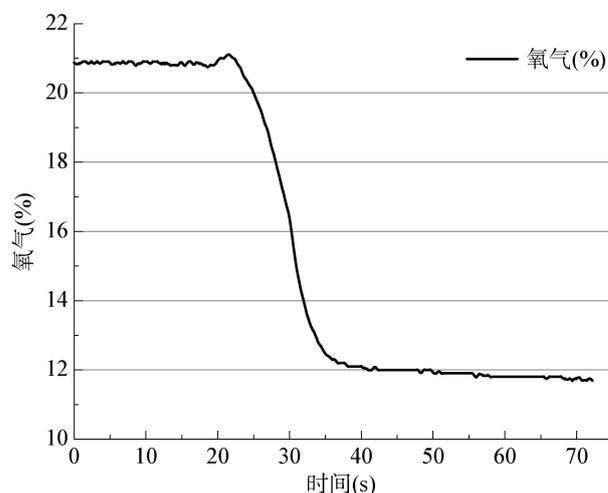


图 4 木条燃烧后引起集气瓶内氧气含量下降

3.3.2 蜡烛燃烧过程中的氧气含量测定

仪器、器材及试剂: X 品牌数据采集器、采集器无线接口、传感器无线发射模块、氧气传感器、钟罩、橡胶塞、蜡烛和点火枪

实验装置如图 5 所示。

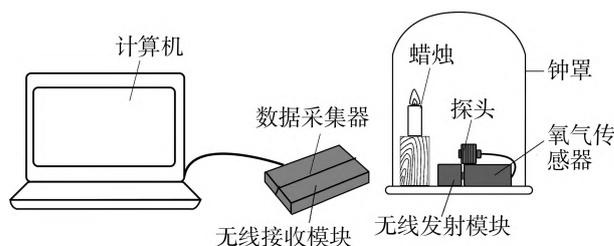


图 5 使用氧气传感器测量蜡烛燃烧导致的氧气含量变化

实验步骤:将氧气传感器与传感器无线发射模块

连接。打开无线发射模块开关,将两者均置于钟罩内部,将换装无线接口的数据采集器接入计算机。打开钟罩上方的橡胶塞,用点火枪点燃钟罩内的蜡烛。迅速盖紧橡胶塞,观察实验现象和数据变化(见图6)。

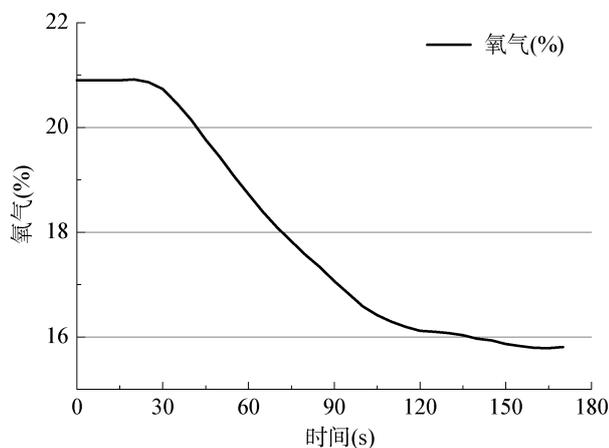


图6 蜡烛燃烧过程中的氧气含量变化

数据分析:蜡烛点燃后钟罩内氧气含量呈下降趋势,当氧气含量降为15.8%时蜡烛熄灭。由此可知:蜡烛燃烧对氧气含量的要求高于木条燃烧,其对氧气的消耗率也低于木条燃烧。该实验利用了X品牌传感器与数据采集器之间的无线通讯功能,避免了有线传输可能会给钟罩密封性造成的影响。该模式可广泛应用于其他类型的密封实验。

3.3.3 “暖宝宝”内芯材料发热过程中氧气含量变化研究

仪器、器材及试剂:X品牌数据采集器、氧气传感器、温度传感器、压强传感器、250 mL三口分体烧瓶、带孔橡胶塞×3、“暖宝宝”内芯材料1整袋(约25 g)

实验装置如图7所示。

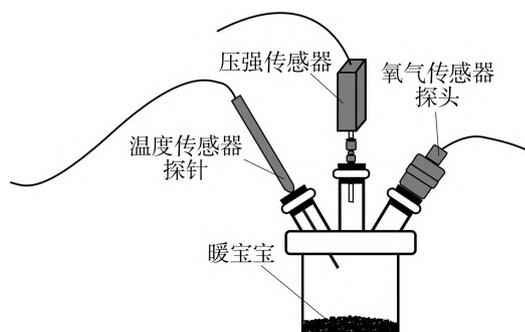


图7 将三种传感器接入三口分体烧瓶

实验步骤:根据图7搭建实验装置,将三种传感器连入数据采集器和计算机。将氧气、温度和压强传感器的探头透过带孔橡胶塞插入分体烧瓶盖子的三个插口。打开烧瓶中“暖宝宝”内芯释放出黑色粉末,迅速盖紧烧瓶,即可获得如图8所示的氧气、压强和温度数据初始值、当前值及变化曲线。其中,位于图像上方呈下降趋势的图线为压强曲线,中间为温度曲线,下方为氧气曲线。

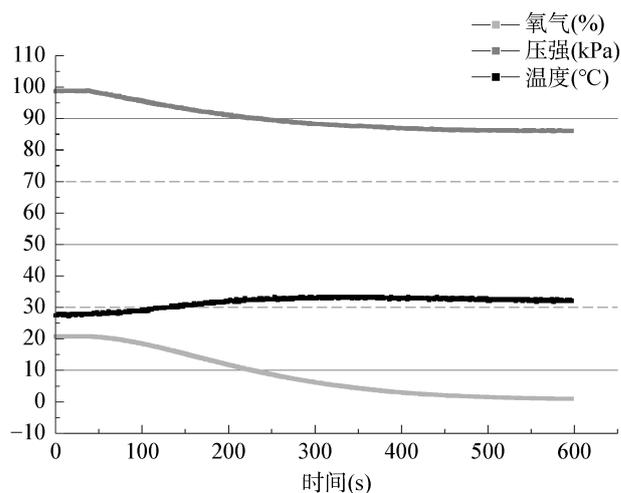


图8 “暖宝宝”内芯氧化引发的氧气含量、温度和压强变化

数据分析:“暖宝宝”内芯中的主要成分是铁粉、氯化钠、木炭粉、水等,接触空气之后,即发生氧化反应,消耗空气中的氧气,释放热量并降低烧瓶中的压强。由图8可见,该反应对氧气的消耗率超过了木条燃烧。

3.3.4 利用氧气传感器监测过氧化氢分解过程中氧气含量变化

仪器、器材及试剂:X品牌数据采集器、氧气传感器、带孔橡胶塞、带注射器的塑料锥形瓶(自制)、药匙、电子天平、蒸馏水、过氧化氢溶液、二氧化锰粉末

实验装置图如图9所示。



图9 测量过氧化氢分解过程中氧气含量的实验装置

实验步骤:利用电子天平称量 0.1 g 二氧化锰粉末,并转移至锥形瓶中,随后按照图 9 进行仪器组装。用注射器向锥形瓶加入 3% 过氧化氢溶液 2.5 mL,观察氧气数据及曲线变化,待反应结束后停止数据收集(见图 10)。

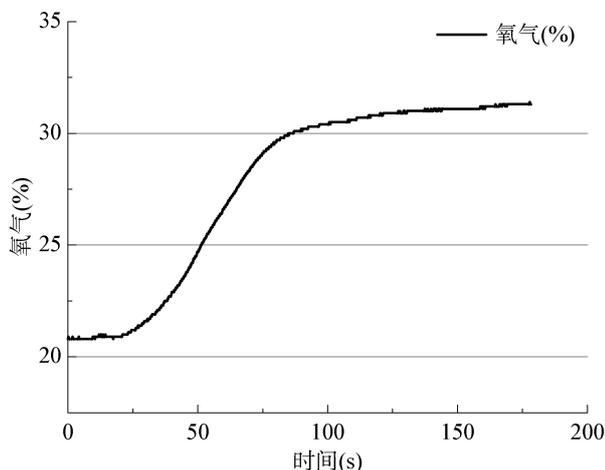


图 10 加入过氧化氢后,锥形瓶内氧气含量上升

数据分析:实验开始前锥形瓶内空气的氧气含量为 20.9%,与外部一致。加入过氧化氢后,在锥形瓶内二氧化锰的催化下开始反应,可观察到瓶内有气泡生成,此时氧气含量呈上升趋势,至实验结束,瓶内氧气含量由初始值上升至 31.3%。

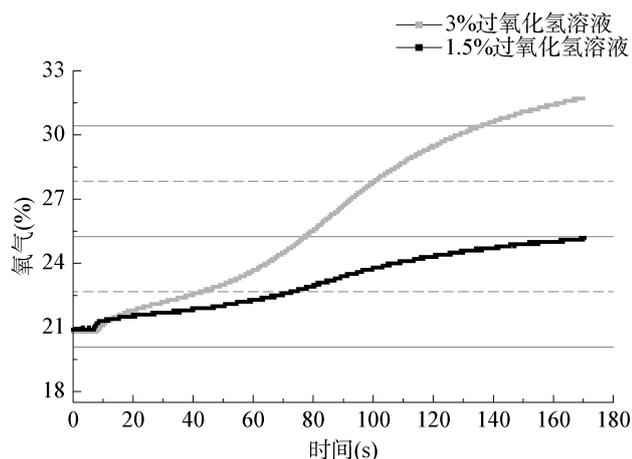


图 11 溶液浓度对过氧化氢分解产生氧气的影响

基于 DIS 的数据和图线表征功能,本实验还可以很方便地扩展为“影响过氧化氢分解的因素研究”。改变过氧化氢溶液的浓度,即可获得如图 11 所示的两条氧气含量变化图线,溶液浓度对于过氧化氢分解的影响作用也就清晰可见了。此外,由于 DIS 传感器灵敏度高,本实验使用的反应物和催化剂总量比传统实验减少很多,显著降低了实验成本。

综上,将 DIS 引入化学实验教学之后,势必给传统教学带来冲击。笔者通过实践证明,为在发挥 DIS 数字化优势的同时,延续传统实验的教学功能,应该“以融合促发展”,通过完善的教学设计来实现对实验效率和教学效益的兼顾,避免“单打一”的教学导向引发教师对新技术的抵触。而且,DIS 数字技术与传统实验相融合的扩展实验,为学生提供了更多的实验经历和科学体验^[10]。这在教育数字化转型过程中,不仅是可行的,也是必要的。

参考文献:

- [1] J. R. 柏廷顿. 胡作玄译. 化学简史[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2003: 4, 107~108.
- [2] 毕华林, 卢巍主编. 义务教育教科书·化学(九年级上册)[M]. 济南: 山东教育出版社, 2012: 75.
- [3] 李海江, 毕樱. 空气里氧气含量测定实验探究[J]. 课程教材教学研究, 2009, (Z5): 2.
- [4] 冯志进. 空气中氧气含量实验测定的几种新设计[J]. 中学课程资源, 2017, (9): 2.
- [5] 潘金龙. 测定空气成分实验中若干问题的探究[J]. 中小学实验与装备, 2017, 27(4): 21.
- [6] 中华人民共和国教育部制定. 义务教育科学课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022: 4.
- [7] 中华人民共和国教育部制定. 义务教育化学课程标准(2022年版)[S]. 北京: 北京师范大学出版社, 2022: 4.
- [8] 沈大力. 西方文明的衰萎, 瓮弗莱新著《宇宙》发出的嗟叹[N]. 北京. 中华读书报, 2015-06-24(18).
- [9] 吴晓江. 芒福德的技术观: 破除机器的神话[J]. 世界科学, 2004, (1): 3.
- [10] 李鼎, 冯容士. 数字化实验在 AP 教材中的呈现特点及启示[J]. 中学物理教与学, 2020: 11