



## 基于绿色化学的基础化学实验改进<sup>\*</sup> ——以“二氧化碳相对分子质量的测定”为例

周贤亚 郑 蕾<sup>\*\*</sup> 黄 磊 杨 丽 聂 丽 秦兴兴 汪 颖 魏润峰

(皖西学院实验实训教学管理部 安徽六安 237012)

**摘要** 以“二氧化碳相对分子质量的测定”为例,分析了传统实验中存在的试剂用量大、“三废”排放多等问题,以绿色化学为突破口,采用氢氧化钠-酚酞溶液替代火柴进行验纯,使用注射器代替碘量瓶集气,通过上述方法对实验进行优化设计,达到了绿色化、准零排放的要求,可以增强学生的环保意识。

**关键词** 绿色化学 实验改进 二氧化碳 相对分子质量测定

**DOI:** 10.13884/j.1003-3807hxjy.2018110152

基础化学实验面向专业多、受众面广,试剂耗材用量大,“三废”排放多。在基础化学实验教学中加强绿色化学教育已成为共识,也是化学实验课程改革的重点课题,一般通过梳理绿色化学相关成果、完善理论体系、提出实施方向与手段等方式实现,如寻找替代品,推进绿色化、微型化实验以及优化实验方案等<sup>[1-2]</sup>。近年来关于实验的绿色化改进报道较多,如闫生忠等人对甲烷与氯气取代反应进行绿色化改进,通过巧妙的设计实现了反应的可控化、定量化,提高了实验的推广性<sup>[3]</sup>。针对二氧化碳相对分子质量测定的实验改进也有报道,如杨秋野用集气瓶代替锥形瓶,提高装置的密封性,使二氧化碳气体不易散失<sup>[4]</sup>;洪彤彤等人进行的微型化改造,具有试剂用量小,污染低等优点<sup>[5]</sup>。

在已有研究基础上结合教学实践,对二氧化碳相对分子质量测定实验提出改进方案,主要创新点如下:(1)用氢氧化钠-酚酞溶液替代火柴对二氧化碳进行验纯,经济环保,增强实验的趣味性;(2)使用注射器代替碘量瓶收集气体,加入尾气吸收装置,保持装置的封闭性,减少废气排放,提高了实验抗干扰能力;(3)采用半微量仪器代替传统仪器,节省试剂的同时也保证了实验的准确度。假设一学期授课对象为1000人,仅这一项目,便可节约浓盐酸30L,火柴30打。进行绿色化改进后可显著降低教学成本、减少环境污染。在教学中让学生感受绿色化学的重要意义,通过实际行动倡导环保理念比一味说教效果更好。

### 1 实验原理

根据阿伏伽德罗定律可知,同温、同压、同体积的2种气体的质量比等于其相对分子质量之比:

$$\frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{空气}}} = \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_{\text{空气}}}$$

其中 $m_{\text{CO}_2}$ 、 $m_{\text{空气}}$ 分别代表二氧化碳和空气的质量, $M_{\text{CO}_2}$ 、 $M_{\text{空气}}$ 分别代表2者的相对分子质量,已知 $M_{\text{空气}}$ 为29.0,即得:

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{m_{\text{空气}}} \times 29.0$$

式中体积为 $V$ 的空气质量 $m_{\text{空气}}$ 根据实验时大气压( $p$ )和温度( $T$ ),利用理想气体状态方程得到,同体积的 $m_{\text{CO}_2}$ 可通过称量(注射器+气体)质量求得<sup>[6]</sup>。

### 2 问题与改进

#### 2.1 传统实验存在的问题

结合实际教学将实验中的问题概括如下:

##### (1) 风险高、污染大

传统实验通过火柴对二氧化碳气体进行纯度检验。火柴属于易燃品,在实验室中使用安全隐患大,使用时产生二氧化硫等有害气体,火柴盒侧面含有红磷及三硫化二锑等有害物。收集二氧化碳时,尾气直接排放也造成空气污染,对呼吸道系统影响较大,危害师生的健康。

\* 安徽省质量工程项目(2017zhkt455)

\*\* 通信联系人, E-mail: xyzhou81@126.com

### (2) 外界干扰大

传统实验通过碘量瓶收集二氧化碳，用火柴检验气体纯度时，燃烧产生的灰尘与白色烟雾易进入瓶中，造成误差。

气体收集装置为开放式，每次检验纯度后，都必须将导管从瓶中取出，稍有不慎就造成瓶中混入空气，影响实验结果。

### (3) 试剂消耗量大

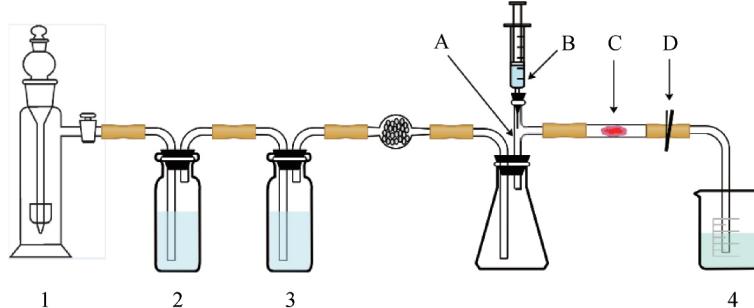
传统实验中启普发生器、洗气瓶等仪器体积

大，加入试剂、耗材多，实验中气体收集量较少，大量试剂并未反应完，如盐酸、大理石、硫酸铜溶液等，造成浪费。若采用微型化装置虽然节省试剂，但易造成实验误差偏大的后果。

综上所述，传统实验造成室内环境差，风险系数高，外界干扰大，实验耗材浪费严重，因此对实验进行针对性的改进很有必要。

## 2.2 改进方法及效果

通过以上分析，对实验作如下改进：



1—盐酸+大理石, 2—硫酸铜溶液, 3—碳酸氢钠溶液, 4—氢氧化钠溶液, A—三通管, B—注射器, C—玻璃管, D—止水夹

Fig. 1 Improved diagram of experiment

图1 改进后的装置图

(1) 用经氢氧化钠-酚酞溶液浸泡的棉花代替火柴进行气体验纯。装置中增加一玻璃管(图1-C)，管中红色棉花遇二氧化碳开始褪色，证明锥形瓶中已集满二氧化碳。在装置的最右端增加一个烧杯，内部装有10%氢氧化钠溶液，作为尾气吸收装置。改进后可以避免火柴灰尘或烟雾进入瓶中，干扰小、安全环保、现象明显、趣味性强。

(2) 用注射器代替碘量瓶作为集气容器进行称量，使用50 mL一次性注射器，排气后用针管插入三通管(图1-A)橡皮塞，从锥形瓶中抽入二氧化碳后称量，从而避免反复的装置拆除，使整体装置处于封闭状态，且注射器一旦潮湿可通过挤压活塞快速排水、便于干燥。

(3) 将传统启普发生器和洗气瓶进行半微量改进，启普发生器从250 mL以上缩小到50 mL。具体是将传统启普发生器中的葫芦状容器改为柱状容器，并在球形漏斗下端加一杯状容器，用于盛装大理石，杯底有若干小孔，酸液可经过小孔进入杯中；洗气瓶由原来的250 mL缩小为100 mL，相应的干燥管也缩小。半微量仪器比常量仪器节省试剂，同时避免了微型仪器数据偏差大的问题。

改进后试剂用量：50 mL盐酸(6 mol/L)、60 mL硫酸铜溶液(1 mol/L)、60 mL碳酸氢钠溶液(饱和)、8 g无水氯化钙、100 mL氢氧化钠溶液

(10%，可回收再利用)。和传统实验相比盐酸节省80%，其他试剂节省至少50%，氢氧化钠溶液可重复使用，易进行无害化处理，达到了预期的效果。

## 3 实验过程

(1) 称量(注射器+空气)质量。注射器清洗干燥后，双手带上洁净的纱布手套，将空气抽入注射器中，盖上针头保护套，在电子天平上称重，并记录数据。

(2) 装置组装及气密性检查。按图1组装实验装置(注射器暂时不装入)，用止水夹(图1-D)夹住右侧的乳胶管，关闭启普发生器导气管上旋塞，向球形漏斗中加水，液面至漏斗上端球泡一半高度时，打开旋塞，观察液面是否下降，若液面不下降说明气密性良好。

(3) 按装置从左向右分别加入试剂，用镊子将沾有氢氧化钠-酚酞的棉花放入玻璃管中(图1-C处)，最后向烧杯中加入氢氧化钠溶液吸收尾气。

(4) 缓慢打开启普发生器旋塞，开始收集气体，当棉花逐渐褪色时，将注射器针头从三通管(图1-A)上端处的橡皮塞小心插入三通管中，并缓慢抽取二氧化碳气体，抽气时要保持烧杯中导管有少量气体冒出，以免液体回流。

(5) 关闭启普发生器旋塞，停止反应，并称量

(注射器+二氧化碳)质量;将注射器内气体注入10%氢氧化钠溶液中,取出并擦干针头。打开启普发生器旋塞,继续反应,再次抽取气体、称重,如此反复,直到(注射器+二氧化碳)质量前后相差小于0.5 mg。

(5)用注射器吸取同体积的水,称量(注射器+水)质量;测量室温、大气压。

(6)拆除装置,回收试剂,清洗并整理仪器。  
(数据处理略)

#### 4 分析与总结

(1)从2次称量(注射器+二氧化碳)质量看,注射器体积为50 mL,实验条件下二氧化碳气体质量为0.098 9 g,2次相差不大于0.5 mg,平均相对偏差不大于0.25%。从最终实验结果看(表1),和传统用100 mL碘量瓶收集二氧化碳相比,改良后测量误差略大,但满足实验要求,实现了绿色化改进的目标。

表1 实验结果对比

Table 1 Comparison of experimental results

测量方式	测量值	文献值	相对误差
传统实验	43.86	44.01	-0.34%
改进实验	43.79		-0.50%

(2)注射器内二氧化碳压强分析:抽取二氧化碳时,由于气体制备装置内的压强比大气压略高,抽到注射器内的气体压强也略高于大气压,但拔出针管后,由于注射器内外存在压强差,会将少量的

二氧化碳快速排出,直至内外压强相等,在盖上针头保护套之前这一过程已经完成,因此不会因注射器内压强大影响实验结果。

(3)棉花褪色会持续一段时间,一般不需更换玻璃管内的棉花,若收集气体次数太多,可提前再准备一根玻璃管,并塞好棉花,以便褪色后快速替换,替换时,由于二氧化碳的密度大,碘量瓶出口端仅有三通管与外界相连,瓶中气体不会逸出。

当前国家大力倡导环保理念,基础化学实验在培养学生实验技能时,要让学生建立绿色化学的思想和环保意识,理解化学的社会责任。从教学反馈看,改进后实验环境得以改善、装置密封性好、抗干扰能力强、节约试剂、安全环保、趣味性强,达到了绿色化学教育的目的,取得了良好的经济与社会效益。

#### 参 考 文 献

- [1] 阎松,孙小平. 实验技术与管理, 2017, 34 (12): 200—202
- [2] 钟国清. 西南师范大学学报, 2018, 43 (5): 162—165
- [3] 闫生忠,陈琳,王科旺,等. 化学教育(中英文), 2018, 39 (16): 21—24
- [4] 杨秋野. 丹东师专学报, 1994 (1): 56—57
- [5] 洪彤彤,陈衍名,梁明泉,等. 湛江师范学院学报, 2012, 23 (3): 35—37
- [6] 北京师范大学无机化学教研室. 无机化学实验. 北京:高等教育出版社, 1999: 77—79

## Improvement of Determination of Relative Molecular Weight of Carbon Dioxide Based on the Green Chemistry

ZHOU Xian-Ya ZHENG Lei\*\* HUANG Lei YANG Li NIE Li QIN Xing-Xing  
WANG Ying WEI Run-Feng

(The Experimental Training and Teaching Management Department, West Anhui University, Liu'an 237012, China)

**Abstract** The following problems in traditional experiments of determination of CO<sub>2</sub> molecular weight are analyzed, for instance, too much reagent consumption and “three wastes” emissions. Based on green chemistry principle some optimizing schemes, such as purity test with mixed solution of sodium hydroxide and phenolphthalein instead of matches, and gathering gas in injector instead of iodine flask were proposed. The improved experiment meets the requirements of green chemistry and can make students understand the importance of the ecological environment.

**Keywords** green chemistry; improvement in the experiment; carbon dioxide; determination of relative molecular mass