

对燃碳法“测定空气中氧气的体积分数”实验的质疑与探究*

周梅华¹, 李德前²

(1.常熟市外国语初级中学, 江苏苏州 215500; 2.徐州市西苑中学, 江苏徐州 221000)

摘要: 依据燃烧反应相关知识, 对比分析了燃碳法测定空气中氧气体积分数的可行性; 并借助数字传感器技术, 探究了燃碳法实验的可行性; 实验结果表明, 燃碳法没有燃磷法消耗氧气彻底, 并且生成无法吸收的一氧化碳气体。本研究为科学测定空气中氧气体积分数的实验提供了理论基础和实践指导, 有助于培养学生尊重事实的科学态度。

关键词: 燃碳法; 氧气体积分数测定; 燃磷法; 气体传感器

文章编号: 1005-6629(2015)2-0048-04

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

从 1956 年以来, 我国的初中化学教科书中大多采用燃磷法测定空气中氧气的体积分数^[1]。该实验的化学原理是通过磷燃烧消耗密闭容器内的氧气, 生成五氧化二磷固体, 物理原理是“消耗的氧气”与“替换氧气的流体”发生等体积交换。

笔者发现, 在某些有关“燃烧法测定空气中氧气体积分数”的改进实验中, 出于实验的绿色化及实验的综合性考虑, 中考化学试题^[2]以及有的教师设计的实验改进方案^[3-5], 涉及使用木炭、蜡烛或棉花等含碳物质代替磷(同时利用氢氧化钠溶液吸收二氧化碳)。笔者借助有关的化学理论及燃烧学基础知识, 利用数字传感器, 对燃碳法测定空气中氧气体积分数的改进实验进行研究, 发现此改进方案不仅存在科学性(违背了原实验的物理原理), 而且人为地增大了实验的误差。

1 理论探讨

利用有关的化学理论及燃烧学基础知识, 笔者对含碳物质在密闭容器内燃烧消耗氧气、生成二氧化碳和一氧化碳等情况进行理论分析。

1.1 对含碳物质在密闭容器内燃烧消耗氧气的问题分析

利用燃烧法测定空气中氧气的体积分数时, 集气瓶里残留的氧气越少, 实验结果越接近环境值(约 21%)。但事实却是任何可燃物在有限的空间里燃烧, 当氧气浓度降低到一定的程度时, 燃烧都会自行停止。

笔者从《物质燃烧和性质》、《消防安全技术》

等专业书籍中, 查到了一些可燃物燃烧需要的最低氧含量^[6](见表 1)。

表 1 一些可燃物燃烧需要的最低氧含量

可燃物名称	最低氧含量 /%	可燃物名称	最低氧含量 /%	可燃物名称	最低氧含量 /%
氢气	5.9	丙酮	13.0	黄磷(白磷)	5.9
乙炔	3.7	二硫化碳	10.5	棉花	8.0
乙醚	12.0	汽油	14.4	蜡烛	16.0
乙醇	15.0	煤油	15.0	木炭	14.0

根据表 1 中的数据可以看出, 蜡烛、木炭、棉花在密闭的容器内燃烧停止后, 残留氧气的体积分数分别高达 14.0%、16.0%、8.0%。而白磷在密闭容器内燃烧停止后, 残留氧气的体积分数仅为 5.9%(耗氧更为彻底), 这应该是许多教科书中选用燃磷法测定空气中氧气体积分数的主要原因。

1.2 对含碳物质在密闭容器内燃烧生成二氧化碳、一氧化碳的问题分析

在利用燃烧法测定空气中氧气体积分数的实验中, 燃烧的产物最好是固体, 因为少量固体所占的体积近乎为零, 这样实验结果就比较准确。如果燃烧的产物是气体, 该气体必须容易被吸收, 这样实验的误差才小。

含碳的物质在氧气充足的实验体系中燃烧时, 主要生成二氧化碳气体; 若是在密闭的集气瓶内燃烧, 氧气浓度会不断变小, 这就会生成一氧化碳气体。

像足量的木炭在密闭的集气瓶里燃烧时, 当

* 基金项目: 全国教育科学“十二五”规划教育部重点课题“运用现代教育技术装备促进基础教育实践教学模式的改革与创新研究”子课题“享受化学实验, 激发创新思维”(DCA110195-10104); 江苏省中小学教学研究第十期重点课题“研制教具创新机制, 全面落实初中化学实验”(2013JK10-Z016)。

氧气不足时木炭不完全燃烧,主要通过“ $2\text{C}+\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{CO}$ ”反应生成一定量的氧化碳气体;在局部缺氧的高温情况下,主要通过“ $\text{C}+\text{CO}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{CO}$ ”反应生成一氧化碳气体^[7]。

毋庸置疑,二氧化碳气体容易被氢氧化钠溶液吸收,而一氧化碳气体在通常条件下无法被氢氧化钠溶液吸收。

2 实验探究

借助于数字传感器,笔者对含碳物质在密闭容器内燃烧消耗氧气、生成二氧化碳气体和一氧化碳气体等情况进行了实验探究。

2.1 对含碳物质在密闭容器内燃烧消耗氧气的问题探究

2.1.1 实验用品

主要是:木炭,蜡烛;500mL集气瓶,配套的单孔橡皮塞,燃烧匙,氧气浓度传感器(量程为0~100%),TriE数据采集与分析软件(传感器及TriE软件均由江苏苏威尔科技有限公司生产,下同)。

2.1.2 实验操作

(1)取一个500mL集气瓶(瓶口加橡皮塞后的实际容积约为600mL),然后在与集气瓶配套的橡皮塞中插入一个燃烧匙。

(2)取足量的木炭放入燃烧匙中,在集气瓶外引燃木炭后快速伸入集气瓶内(见图1),注意及时塞紧橡皮塞。



图1 传感器测量含碳物质在密闭集气瓶里燃烧

(3)燃烧结束,等到集气瓶冷却到室温后,将集气瓶反复颠倒几次,以确保瓶内各种气体混合均匀。

(4)校准氧气浓度传感器,拔掉集气瓶口上的橡皮塞,点击传感器“开始”按钮后,立即把传感器的探头伸入集气瓶中(注意集气瓶口尽量封闭);在传感器示数稳定后,点击传感器“停止”按钮。此时,数据处理软件能将气体浓度的变化通过计算机真实地显示出来。

说明:在开启集气瓶塞的一瞬间,瓶内的混合气体会少逸出(因为氧气转化为一氧化碳气体

后体积会增加);但是,由于我们所要测量的是混合气体中某种气体的体积分数,因此少许混合气体的逸出不影响我们需要的测量结果。

(5)将木炭换成蜡烛,重复上面的实验。

2.1.3 测量结果

蜡烛燃烧停止后,集气瓶里残留氧气的体积分数约是16.7%(图2曲线A);木炭燃烧停止后,集气瓶里残留氧气的体积分数约是14.2%(图2曲线B),这与表1中的理论值基本一致。

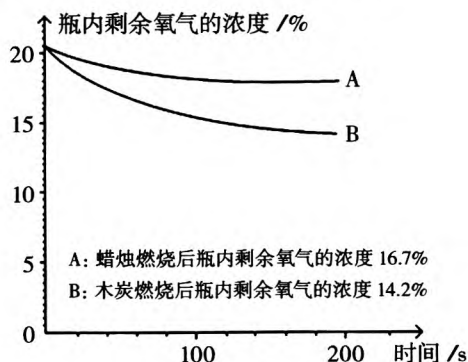


图2 含碳物质在密闭集气瓶里燃烧停止后瓶内剩余氧气的浓度

若使用燃磷法,集气瓶里氧气的残留量约为5.0%^[8]——这是苏州工业园区的章永军老师利用数字传感器在2011年测量出来的,该数据与表1中的理论值也是一致的。

2.2 对含碳物质在密闭容器内燃烧生成二氧化碳、一氧化碳的问题探究

2.2.1 实验用品

主要是:木炭,蜡烛;500mL集气瓶,配套的单孔橡皮塞,燃烧匙,二氧化碳浓度传感器(量程是0~100000ppm),一氧化碳浓度传感器(量程是0~500ppm),TriE数据采集与分析软件。

2.2.2 实验操作

(1)仍使用图1实验装置,把氧气浓度传感器分别更换为二氧化碳浓度传感器、一氧化碳浓度传感器测量蜡烛在密闭的集气瓶里燃烧停止后,生成的二氧化碳气体和一氧化碳气体的体积分数(操作流程同2.1.2)。

(2)将蜡烛换成木炭,再重复上面的实验。

2.2.3 测量结果

蜡烛在密闭的集气瓶里燃烧停止后,集气瓶里二氧化碳气体的体积分数约是3.88%(图3曲线B),一氧化碳气体的体积分数约是100ppm(图4曲线B)。

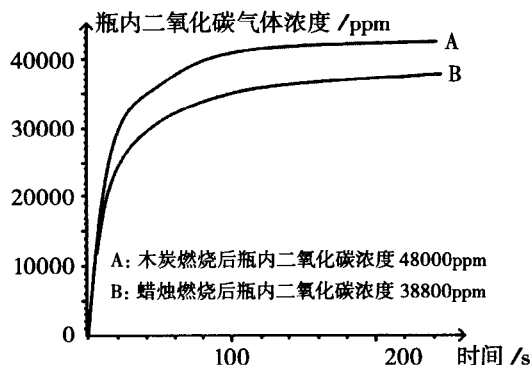


图3 含碳物质在密闭集气瓶里燃烧停止后瓶内二氧化碳气体的浓度

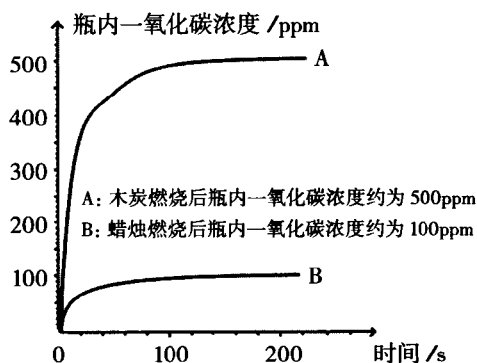


图4 含碳物质在密闭集气瓶里燃烧停止后瓶内一氧化碳气体的浓度

木炭在密闭的集气瓶里燃烧停止后,集气瓶里二氧化碳气体的体积分数约是 4.80% (图 3 曲线 A),一氧化碳气体的体积分数约是 500ppm (图 4 曲线 A)。不过,因为本实验使用的一氧化碳浓度传感器的最大量程是 500ppm,所以此测量值极可能与事实不符。笔者利用氧气、二氧化碳气体的体积分数推算出真实的一氧化碳气体体积分数。

推算过程如下:集气瓶内主要反应可以看成是 $C+O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} CO_2$ 及 $2C+O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO$ 。集气瓶中原有氧气的体积是 $600\text{mL} \times 1/5 = 120\text{mL}$,剩余氧气的体积是 $600\text{mL} \times 14.2\% = 85.2\text{mL}$,说明木炭燃烧消耗的氧气体积是 34.8mL ;集气瓶中二氧化碳气体的体积是 $600\text{mL} \times 4.80\% = 28.8\text{mL}$,由 $C+O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} CO_2$ 可知转化为二氧化碳气体的那部分氧气体积也是 28.8mL ;转化为一氧化碳气体的那部分氧气体积则是 $(34.8-28.8)\text{mL} = 6\text{mL}$,由 $2C+O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO$ 可知 6mL 氧气能转化为 12mL 一氧化碳气体。所以,集气瓶里一氧化碳气体的体积分数是 $12/600 \times 100\% = 2\%$,即 20000ppm。

3 研究结论

不管是理论探讨,还是实验探究,本研究的结论具有高度的一致性。

3.1 含碳物质在密闭容器内燃烧消耗氧气很不彻底

在密闭的集气瓶中含碳物质燃烧消耗氧气很不彻底(剩余氧气的体积分数高达 15% 左右),远没有磷燃烧耗氧彻底(剩余氧气的体积分数在 5% 左右)。

同时,上述研究也表明“集气瓶里残留氧气”是燃烧法测定空气中氧气体积分数实验无法消除的误差(但这个无法消除的误差是合理的)。

3.2 含碳物质在密闭容器内燃烧产生了难以吸收的一氧化碳气体

含碳物质在密闭的集气瓶内燃烧不仅生成二氧化碳气体,还产生一些一氧化碳气体(其体积分数在 2% 左右);由于一氧化碳气体在通常条件下无法被吸收,因此使用燃碳法测定空气中氧气的体积分数,不仅人为地增加了实验误差,尤其存在科学性问题——“消耗的氧气”与“替换氧气的流体”不能等体积交换。

但为什么不少的燃碳法实验还测出氧气体积分数是 20% 呢?这是因为“集气瓶口的密封明显滞后于含碳物质在集气瓶里的燃烧,造成了气体外逸”;“气体逸出集气瓶”属于本实验的正误差,“集气瓶里残留氧气、产生无法吸收的一氧化碳气体”属于本实验的负误差,正负误差的抵消,使部分实验者获得了貌似正常的实验结果。

4 有关建议

使用燃磷法测定空气中氧气体积分数,不仅实验原理符合科学性,而且耗氧较彻底,但传统的操作方法会造成一定的污染(这个问题在一定程度上是可以改进的^[9])。使用燃碳法测定空气中氧气体积分数,既耗氧不彻底,又产生了难以吸收的一氧化碳气体,所以,不能使用燃碳法测定空气中氧气的体积分数。若要改进“燃烧法测定空气中氧气体积分数”的实验,只能在实验装置、操作方法和实验手段上进行创新(如集气瓶密闭后再引燃磷、改用注射器进行实验等),但耗氧物仍应使用白磷或红磷。另外,在涉及“燃烧法测定空气中氧气体积分数”的实验论文、实验试题时,实验结果务必尊重事实——不管使用哪种可燃物、操作如何规范,都不可能得出与环境值一致的实验结果。

碱性 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 浊液检验 $-\text{CHO}$ 的作用机理探究

朱华英, 刘怀乐

(重庆巴蜀中学, 重庆 400013)

摘要: 设计了实验探究碱性 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 浊液检验 $-\text{CHO}$ 的作用机理。从实验结果及逻辑推理得出: 从氧化醛基试剂的配制方法, 以及氧化醛基的反应过程和本质来看, 都应该是 $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{OH})_4$ 氧化醛基而不是 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 氧化醛基; 并提出了表述该反应的可能机理。

关键词: $\text{Cu}(\text{OH})_2$; $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{OH})_4$; 醛基的检验; 实验探究

文章编号: 1005-6629(2015)2-0051-03

中图分类号: G633.8

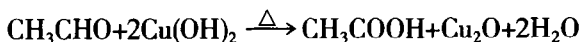
文献标识码: B

1 问题的提出

高中化学历来用碱性 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 浊液检验 $-\text{CHO}$, 碱 (NaOH) 的作用是什么? 现行高中化学选修 5 《有机化学基础》教材第 57 页上有实验 3-6:

在试管里加入 10% 的 NaOH 溶液 2mL, 滴入 2% 的 CuSO_4 溶液 4~6 滴, 得到新制的氢氧化铜, 振荡后加入乙醛溶液 0.5mL, 加热, 观察记录现象。

新制的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 是一种弱氧化剂, 能使乙醛氧化:



经查阅文献, 包括一般大学教材, 确实很少提及该反应机理, 如检验醛和糖的 Fehling 反应、Benedict 反应也是用 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 来表示氧化剂的。可长期以来一直有一个疑问在困扰我们: 真是 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 氧化醛基的吗? 教材中强调的新制的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 的含义究竟是什么? 顾颉刚先生曾经这样告诫做学问的人们^[1]: “对待书籍亦要留心, 千万不要上古人的当, 被作者瞒过; 需要自己放出眼光来, 敢想, 敢疑。” 笔者认为, $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 氧化乙醛的

传统认识, 正是具有这种思考价值, 并且值得提供给大家讨论的问题。

2 实验探究

为了对上述问题有一个直觉的认识, 我们设计了如下的实验: 在 7 个试管中分别都注入不同体积的 1 mol/L NaOH 溶液, 按表 1 所示的顺序和操作方法进行实验和记录现象。

表 1 不同浓度 NaOH 溶液与 CuSO_4 溶液的混合溶液与乙醛等反应的现象

试管序号	1	2	3	4	5	6	7
实验操作序号							
1. 注入 1 mol/L CuSO_4 溶液的量(滴)	1	1	1	1	1	1	1
2. 加入 1 mol/L NaOH 溶液的体积(mL)	1	2	3	4	5	6	7
3. 加入试剂乙醛(或试剂甲醛, 或葡萄糖溶液)(滴)	3	3	3	3	3	3	3
4. 加热煮沸观察	无明显变化			红色 Cu_2O 沉淀			

从实验中我们发现, 如果在 NaOH 溶液中加入 CuSO_4 溶液, 若只停留在生成绿色 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{SO}_4$

参考文献:

- [1] 朱华美, 刘怀乐. 空气里氧气含量的测定实验值得改进 [J]. 教学仪器与实验, 2005, (7): 25.
- [2] 李德前, 陈立铭. 对近年来中考化学命题中一些科学性问题的商榷 [J]. 基础教育课程, 2014, (4 下): 57~61.
- [3] 农恒东. 测定空气中氧气含量的两个常规实验和几个改进实验 [J]. 中学教学参考(中旬), 2010, (2): 119~120.
- [4] 苏阳. 测氧气体积分数实验的疑问 [J]. 农村青少年科学探究, 2008, (9): 18.
- [5] 孟献华, 李广洲. 基于析因实验方法的探究活动设计

与实践 [J]. 化学教学, 2004, (11): 23~25.

[6] 郑端文, 刘振东. 消防安全技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 22.

[7] 许小忠, 陈和祥. 测定空气中氧气含量的实验探究与反思 [J]. 化学教育, 2008, (4): 12~14.

[8] 章永军. 利用传感器分析空气中氧气含量测定的误差 [J]. 化学教与学, 2011, (7): 91, 93.

[9] 李德前. “测定空气中氧气体积分数”实验新装置 [J]. 化学教学, 2011, (7): 49~50.