

# 对教材中摩尔气体常数测定实验原理误解的更正

林源为 迟瑛楠\*

(北京理工大学理学院 北京 100081)

**摘要** 摩尔气体常数的测定是高等院校无机化学课程中的一个重要实验。然而, 现行实验教材对该实验的实验原理分析中却出现了两处误解, 即没有正确理解实验中有关理想气体状态方程式和道尔顿分压定律的应用。本文对这两处误解进行了分析和解释。

摩尔气体常数 ( $R$ ) 的测定是高等院校无机化学课程中的一个重要实验, 在实验教学过程中普遍被采纳。本实验的目的是通过实验设计和操作, 加深对理想气体状态方程和道尔顿分压定律的理解。

目前, 实验教材都是采用置换法来测定摩尔气体常数  $R$  即采用图 1 所示装置, 使用定量的镁条与稀硫酸反应置换出氢气, 通过测量反应前后量气管内气体体积变化, 结合理想气体状态方程和道尔顿分压定律, 进而计算出  $R$  的数值。理想气体状态方程式和道尔顿分压定律为该实验原理的核心。虽然现行教材中最终运用正确的数据处理方法求出了  $R$  值, 但是关于为何采用这样数据处理方法没有给出正确合理的解释<sup>[1-5]</sup>。我们认为现行实验教材在该实验原理理解方面出现了两处误解。由于此类错误隐蔽性很强, 因而很难引起教育工作者的注意。

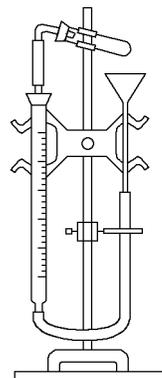


图 1 摩尔气体常数测定装置

## 1 教材中对实验原理的大致叙述

在教材中, 对于摩尔气体常数测定实验原理的描述大致如下<sup>[1-5]</sup>:

“由理想气体状态方程式  $PV = nRT$  得: 一定量理想气体的体积和压力的乘积与气体的物质的量和它的绝对温度的乘积之比  $R$  是一个常数, 即  $R = \frac{PV}{nT}$ ”

因此, 对一定量的气体, 若能在一定温度、压力下测出其体积, 则可求出  $R$  值。即准确称取一定质量的镁条, 与过量的稀硫酸作用, 在一定温度  $T$  (可由温度计读出) 和压力  $P$  (由气压计读出) 下, 用量气管前后读数之差测得被置换出来的氢气的体积, 而氢气的物质的量可通过镁条的质量算出。但由于氢气是在水面上收集的, 故混有水汽, 若查得实验温度下水的饱和蒸气压, 则根据分压定律, 氢气的分压可由下式求得:

$$P = P(\text{H}_2) + P(\text{H}_2\text{O})$$

\* 通讯联系人, E-mail: cy17887@yahoo.com.cn

则

$$P(\text{H}_2) = P - P(\text{H}_2\text{O})$$

由于  $P(\text{H}_2)$ 、 $V(\text{H}_2)$ 、 $n(\text{H}_2)$ 、 $T$  均得到, 根据  $R = \frac{P(\text{H}_2)V(\text{H}_2)}{n(\text{H}_2)T}$  可求得  $R$ ”

在以上关于实验原理的叙述中, 出现了两处误解: 一处是关于氢气产生前后量气管读数之差 ( $V_2 - V_1$ ) 所代表的意义; 另一处是关于理想气体状态方程式在混合气体体系下的应用。

## 2 更正分析

(1) 先分析第一处误解。现行教材普遍认为发生置换反应前后量气管内的体积之差为生成的氢气体积。但事实上, 前后体积之差并不完全是氢气的体积, 而是氢气和水蒸气的总体积。这是由于水蒸气的特性造成的: 当达到饱和蒸气压且有液态水存在时, 水蒸气的体积会随着其存在空间的增大而增大。如图 2 所示, 该图表示了置换反应发生前后量气管内气体体积的变化。具体到该实验, 置换产生氢气的反应发生前, 量气管的读数  $V_1$  包括空气的体积  $V(\text{空气})$  与水蒸气的体积  $V_1(\text{H}_2\text{O})$ , 即  $V_1 = V(\text{空气}) + V_1(\text{H}_2\text{O})$ ; 而置换产生氢气的反应发生后, 量气管的读数  $V_2$  为空气的体积  $V(\text{空气})$ 、氢气的体积  $V(\text{H}_2)$ 、原有水蒸气的体积  $V_1(\text{H}_2\text{O})$ 、新增水蒸气的体积  $V_2(\text{H}_2\text{O})$  的总和, 即  $V_2 = V(\text{空气}) + V(\text{H}_2) + V_1(\text{H}_2\text{O}) + V_2(\text{H}_2\text{O})$ 。这样  $V_2 - V_1 = V(\text{H}_2) + V_2(\text{H}_2\text{O})$ , 而不是教材所理解的  $V_2 - V_1 = V(\text{H}_2)$ 。

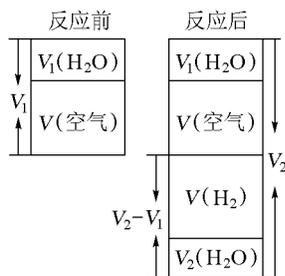


图 2 反应前后体积变化示意图

(2) 现行教材的第二处错误出现在对混合气体体系下的理想气体状态方程式的使用方面。教材中认为对于氢气和水蒸气的混合体系存在  $P_1V_1 = nRT$  根据道尔顿分压定律应该有  $P_1V_{\text{总}} = n_1RT$  或者  $P_{\text{总}}V_1 = n_1RT$  (其中下标的物理量表示混合气体体系中组分气体的对应物理量, 下标为“总”的物理量表示整个混合气体体系所对应的物理量)<sup>[67]</sup>。我们可以对后两个公式的正确性作简单的推导, 从而证明教材所理解的  $P_1V_1 = n_1RT$  是不成立的:

$$\textcircled{1} P_1V_{\text{总}} = n_1RT$$

由道尔顿分压定律  $P_{\text{总}} = P_1 + P_2 + \dots + P_k$  和理想气体状态方程式  $P_{\text{总}}V_{\text{总}} = n_{\text{总}}RT$  得  $(P_1 + P_2 + \dots + P_k)V_{\text{总}} = (n_1 + n_2 + \dots + n_k)RT$  即  $P_1V_{\text{总}} + P_2V_{\text{总}} + \dots + P_kV_{\text{总}} = n_1RT + n_2RT + \dots + n_kRT$  再由道尔顿分压定律的一个推论——组分气体的分压等于总压与该组分气体的摩尔分数之积  $P_i = P_{\text{总}}x_i$  即  $\frac{P_i}{P_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} = x_i$  得  $\frac{P_1}{P_{\text{总}}} = \frac{P_2}{P_{\text{总}}} = \dots = \frac{P_k}{P_{\text{总}}}$ 。由于  $P_1V_{\text{总}} + P_2V_{\text{总}} + \dots + P_kV_{\text{总}} = n_1RT + n_2RT + \dots + n_kRT$  中对应项成比例, 所以  $P_1V_{\text{总}} = n_1RT$  才是可能成立的, 而  $P_1V_1 = n_1RT$  必然不成立。

$$\textcircled{2} P_{\text{总}}V_1 = n_1RT$$

由  $V_{\text{总}} = V_1 + V_2 + \dots + V_k$ 、 $n_{\text{总}} = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ 、 $P_{\text{总}}V_{\text{总}} = n_{\text{总}}RT$  得  $P_{\text{总}}(V_1 + V_2 + \dots + V_k) = (n_1 + n_2 + \dots + n_k)RT$  即  $P_{\text{总}}V_1 + P_{\text{总}}V_2 + \dots + P_{\text{总}}V_k = n_1RT + n_2RT + \dots + n_kRT$  再由阿伏加德罗定律  $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = \dots = \frac{V_k}{n_k}$  得上式左右两端对应项成比例, 故  $P_{\text{总}}V_1 = n_1RT$  才是可能成立的, 而  $P_1V_1 = n_1RT$  必然不成立。

这里要特别指出的是, 现行教材的实验数据处理部分用总压减去了该温度下水的饱和蒸气压, 即得到了氢气的分压  $p(\text{H}_2)$ ; 同时又将氢气和新增水蒸气混合气体的总体积 ( $V_2 - V_1$ ) 误认为  $V(\text{H}_2)$ , 将两者带入到错误的方程  $p_1 V_1 = n_1 RT$  中, 整理得到  $R = \frac{p(\text{H}_2) V(\text{H}_2)}{n(\text{H}_2) T} = \frac{(p - p(\text{H}_2\text{O})) (V_2 - V_1)}{n(\text{H}_2) T}$ 。而按照更正后的理解, 将  $V_2 - V_1$  看作氢气与水蒸气混合的总体积, 带入正确的方程  $p_1 V_{\text{总}} = n_1 RT$  可得  $R = \frac{p(\text{H}_2) V_{\text{总}}}{n(\text{H}_2) T} = \frac{(p - p(\text{H}_2\text{O})) (V_2 - V_1)}{n(\text{H}_2) T}$ 。也就是说, 虽然教材中对原理部分的理解出现两处误解, 但是最终用错误的理解却得到了正确的数据处理公式, 即教材仅仅是在实验原理部分中对于为什么这样计算的理解和叙述出现了问题。

### 3 结论

笔者认为, 在有关教材再版时应该更正这两处误解, 用正确的实验原理来支持实验的数据处理和计算。即在实验原理中, 作如下修正: ①将  $V(\text{H}_2) = V_2 - V_1$  改为  $V_{\text{总}} = V_2 - V_1$ , 并加以简单阐述; ②对混合气体体系的理想气体状态方程式进行合理表述。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 徐伟亮. 基础化学实验. 北京: 科学出版社, 2005
- [ 2 ] 徐家宁, 门瑞芝, 张寒琦. 基础化学实验(上册) 无机化学和化学分析实验. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [ 3 ] 中山大学, 辽宁大学, 北京大学, 等. 无机化学实验. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1992
- [ 4 ] 大连理工大学无机化学教研室. 无机化学实验. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [ 5 ] 朱湛, 傅引霞. 无机化学实验. 北京: 北京理工大学出版社, 2007
- [ 6 ] 宋天佑, 程鹏, 王杏乔. 无机化学(上册) 北京: 高等教育出版社, 2004
- [ 7 ] 彼得勒塞 哈伍德, 赫林. 普通化学原理与应用. 第 8 版(影印版). 北京: 高等教育出版社, 2004

(上接第 26 页)

智, 使学生明白实验课程注重的是实验过程和过程中所培养的能力, 而不是最终的实验成绩, 成绩只能说明一些问题而不是能力的全部。

21 世纪是科学技术高速发展的时代。现代分析化学的快速发展, 要求对分析化学实验教学不断进行改革与创新, 这样才能满足培养高素质复合型创新人才的需要, 才能实现培养创新性人才这个现代教育的重要目标。面对新形势下的新任务, 作为 21 世纪高等学校的教师, 我们有责任完成历史赋予的使命。高等教育教学改革任重道远, 在教学实践中, 我们要努力探索, 锐意进取, 不断创新, 进一步深化教学改革, 为实施素质教育、科教兴国、促进我国的教育事业做出自己的贡献。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 华东理工大学化学系, 四川大学化工学院. 分析化学. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [ 2 ] 姚思童, 张进. 现代分析化学实验. 北京: 化学工业出版社, 2008
- [ 3 ] 张本杰. 广东化工, 2007, 34(2): 88
- [ 4 ] 叶圣陶语文教育论集(下册). 北京: 教育科学出版社, 1980
- [ 5 ] 徐肖邢. 常熟理工学院学报(教育科学版), 2007(6): 110