

沪科版化学新教材“项目学习活动”的实践探索

——以“如何测定气体摩尔体积”为例

喻俊¹, 叶佩佩²

(1. 上海交通大学附属中学, 上海 200439; 2. 同济大学第一附属中学, 上海 200438)

摘要:以沪科版化学新教材中“如何测定气体摩尔体积”项目学习为例,对项目学习活动的重点、难点进行分析和讨论,并提出实施流程。通过项目学习实践,引导学生从多个角度理解和把握实验的本质,初步建立定量实验研究的一般程序和方法。

关键词:气体摩尔体积; 项目学习活动; 定量实验

文章编号: 1005-6629(2025)01-0032-07 **中图分类号:** G633.8 **文献标识码:** B

1 问题背景

为加强科学过程和科学方法的教育,对科学研究的过 程及要求产生真实的感知体验,上海科技出版社出版的普通高中教科书《化学》(必修)(2021年版,以下简称“新教材”)设置了“如何测定气体摩尔体积”等四个项目学习活动^[1]。开辟“项目学习活动”专题,是新教材的特色处理方式之一。

该项目实验原理是用镁带制取氢气: $\text{Mg(s)} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) = \text{MgSO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$,通过一定质量的镁条与过量稀硫酸反应,借助实验装置(见图1)测得氢气体积的实验值,将其转化为气体的摩尔体积后,与参考值进行比较。从学习内容看,与沪科版2016年版化学教材^[2]“测定1 mol 气体的体积”有很多共同之处,而后者则是将其安排在定量实验单元中。实际教学中,教师往往先阐述实验原理,然后学生按部就班进实验室完成实验,最后进行实验误差分析。这样的学习方式几乎不给学生留有主动思考和探索的空间,难以培

养解决定量实验问题的综合思维能力。

2 项目整体分析

2.1 课标与教材分析

气体摩尔体积是高中化学重要的基本概念之一。普通高中化学课程标准^[3]在必修课程模块的课程内容“主题1:化学科学与实验探究”中明确提出“能基于物质的量认识物质组成及其化学变化,运用物质的量、摩尔质量、气体摩尔体积、物质的量浓度之间的相互关系进行简单计算”。新教材将气体摩尔体积的教学安排在第一章第二节“物质的量”(见图2)中。从知识结构

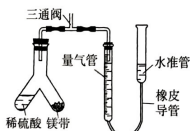


图1 实验装置示意图

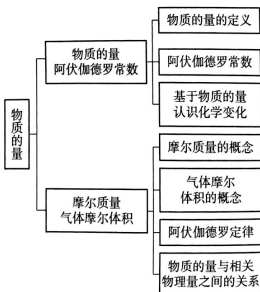


图2 教材的知识结构

看,教材先后通过物质的量、阿伏伽德罗常数、摩尔质量和气体摩尔体积,搭建了一座完整的“微观-物质的量-宏观”的桥梁。

教材将此项目置于章节最后,在学生理解气体摩尔体积概念、阿伏伽德罗定律的基础上,给学生创设了一个运用已有知识解决实际问题的机会,实现对知识的迁移和应用。与2016年版化学教材将该实验分为实验原理、实验装置、实验步骤和实验数据分析不同,新教材的项目学习活动分为活动目标、活动指导、活动要求 and 活动反思四个部分,新增了活动要求、活动反思,引入了“实验偏差”等概念,对学生的实验技能和思维发展水平要求更高。

2.2 学情分析

学生在初中阶段已经知道常见气体的制取原理、装置和仪器,在高中“气体摩尔体积”概念学习中也已掌握了影响气体体积的主要因素、阿伏伽德罗定律,这都为项目学习作了很好的铺垫。仅从“气体摩尔体积”概念学习的目标达成来看,无需借助“ $PV=nRT$ ”即可实现。教师参考用书也提出“对于阿伏伽德罗定律,仅将其作为影响气体体积微观因素的一个必然推论,而不宜拓展到其他比例关系”。该项目学习活动目标之一是明确测定一定温度和压强下气体摩尔体积的方法,而教材方案测定的是实验条件下的温度和压强,需要厘清二者的关系。此外,活动反思中,由于要考虑混合气体中的水蒸气,其背后关联的是学生对“分压”和“分体积”的认识和理解。因此,教学中要把握好学生基础和项目需求之间的关联,以更好地落实重点、突破难点。

2.3 活动价值分析

影响气体体积的主要因素、气体摩尔体积、阿伏伽德罗定律,这是化学理论性知识,将知识转化为可迁移的能力,必须通过实践活动。“如何测定气体摩尔体积”的项目学习活动为学生实践提供了机会。学生在完成项目学习活动时,经历查阅资料、设计方案、实践体验、信息获取、数据处理、反思评价等过程,可以有效促进学生学科思维的发展,提升学生的逻辑思维、实验操作以及问题解决等能力。

3 项目实施规划

从项目活动目标来看,应从实验原理、装置原理以及操作原理、数据处理等角度尽可能提高实验的精准性,这与一般定量实验的教学目标差别并不大。如果项目的实施完全和传统定量实验教学一样,课堂中就会把知识点的训练当作主要目的,学生容易形成单一的思维模式;若以项目的视角进行高阶思维设计,将有助于学生更好地形成定量实验设计的思路、技能和方法。

面对确定的项目主题所蕴含的实际问题,其解决方案并不是唯一的。教材只是呈现了一种范式,这并不意味着学生只能被动接受,可让学生先自行设计方案,再与教材方法进行比较、迁移(见图3),并从多个角度来认识、接受和评价教材中的方案,特别要关注自己考虑不周全或涉及新知识的地方。教师要选择合适的时机为学生搭建学习支架,同时围绕实践中发现的新问题进行讨论,引导学生对教材方案形成客观理性的认识,理解教材方案背后的学科逻辑和思想方法。

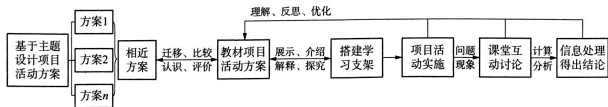


图3 项目实施流程

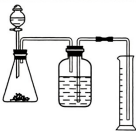
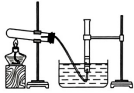
4 项目活动实施过程

4.1 设计项目方案,渗透定量实验的精准性

课前任务:要测定常压室温下气体的摩尔体积,你会选择什么气体?用到哪些装置?选择什么仪器?需要准确测量的物理量有哪些?简要描述你的方案(见表1)。

从方案中可以看出学生的思维是活跃的、开放的。学生认为,可以根据测定原理和方法选择不同的气体。如通过排水法测体积,可选择溶解度较小的 H_2 ;如通过针筒测体积,只要无毒无害、操作方便、性质稳定即可。而仪器选择主要与气体制取原理、测定方法等有关。以

表1 学生实验方案

编号	①		②		③		④	
气体	H_2		H_2		O_2		N_2	
装置	发生装置	测量装置	发生装置	测量装置	发生装置	测量装置	发生装置	测量装置
主要仪器	分液漏斗 锥形瓶	电子天平 广口瓶 量筒	分液漏斗 锥形瓶	电子天平 针筒	试管 酒精灯	量筒 铁架台	氮气瓶	弹性的 密闭容器
试剂	Zn/Fe 、 H_2SO_4	H_2O	Zn/Fe 、 H_2SO_4		$KClO_3$	H_2O	N_2	
图示								
测量的物理量	金属的质量 量筒中水的体积		金属的质量 针筒中气体的体积		$KClO_3$ 质量 量筒中气体的体积		收集气体前后容器体积 收集气体前后容器质量	

上信息反映出学生能从不同角度建立起与气体摩尔体积的关系,同时也暴露出问题,如普遍认为金属的纯度都很高、忽视化学反应快慢、不考虑水蒸气对氢气体积的影响等,对测量仪器的选择除了常见的量筒以外,不清楚

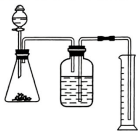
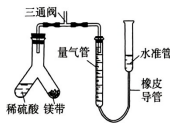
实验室还有哪些仪器,也不注重仪器对精度的要求。

4.2 比较项目方案,感悟定量实验的精准性

学生实验方案①与教材项目活动方案较为接近。

如表2所示。

表2 学生实验方案与教材方案对比

类别	学生方案		教材方案	
气体	H_2		H_2	
装置	发生装置	测量装置	发生装置	测量装置
主要仪器	分液漏斗 锥形瓶	电子天平 广口瓶 量筒	Y型管	量气管 水准管
试剂	Zn/Fe 、 H_2SO_4	H_2O	Mg 、 H_2SO_4	H_2O
图示				
不同点	1. 实验步骤多; 2. 没有考虑金属的纯度和反应速率; 3. 反应物自身体积、广口瓶和量筒的导管中的水对气体体积有影响; 4. 10 mL 量筒的精度为 0.1 mL, 量程小。		1. 实验步骤少; 2. 选择的金属考虑到了纯度和反应速率; 3. 无需考虑反应物自身的体积对气体体积的影响; 4. 水准管的精度为 0.01 mL, 量程大。	
相同点	1. 将气体的体积转化为液体的体积; 2. 取一定质量的金属, 转化为一定物质的量的气体; 3. 将气体的温度和压强转化为环境的温度和大气压; 4. 都选择了不易挥发的稀硫酸; 5. 均不需要直接测定气体的温度和压强。			

通过对比可以看出,教材考虑的角度更广、精准度更高、操作更便利,整体上优于学生方案。学生认为教材中的方案仪器设计巧妙,如从原理的角度分析,也可

用恒压分液漏斗等其他仪器代替。通过这样的展示与讨论,充分肯定了学生的合理想法,增强了学生的探究欲望。

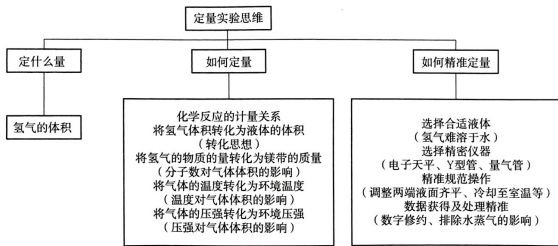


图4 学生形成定量实验思维过程

在讨论教材方案时,需重点围绕实验步骤蕴含的学科本质问题来展开。定量实验要从“量”的角度出发设计实验,围绕“定什么量”“如何定量”以及“如何精准定量”的过程逐渐展开,引导学生逐步形成定量实验思维(见图4)。通过解决与实验结果精准度有关的问题,将其转化为实验步骤,引导学生体会化学定量实验的严谨、仪器的优越,激发其探索创新的主动性和积极性。

学生对教材方案也有疑惑的地方,如项目反思中提到的如何消除水的饱和蒸气压对气体体积的影响、偏差和误差的区别、精确度不同的数字如何修约等,这些需要教师为其搭建学习支架。

4.3 搭建学习支架,完善定量实验的精准性

从原理来看,本实验需要测定氢气的体积,排除水蒸气的影响是必要的,需要对数据进行修正。

4.3.1 认识“分体积”和“分压”

[问题]一定温度下,将2 mol A、1 mol B两种气体分别充入体积为V的固定容器中,A、B所占的体积分别是多少?画出示意图进行说明。

学生普遍认为A、B所占的体积均为V,分子因为热运动充满了整个容器。也有部分学生会用气体分子运动的“瞬间”静止状态(可以认为图5呈现的就是瞬间状态)去理解分子占有的体积,认为空白处不算是气体分子所占有的体积。

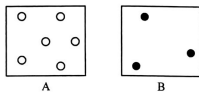


图5 分子在容器中占有体积示意图

[问题]一定温度下,将2 mol A、1 mol B两种气体(A、B不反应)充入体积为V的固定容器中。 $V(A)$ 、 $V(B)$ 、 $\varphi(A)$ 、 $\varphi(B)$ 分别为多少?

有学生认为 $V(A) = V(B) = V$ 、 $\varphi(A) = \varphi(B) = 100\%$,体积分数应该是各组分体积与总体积之比;也有学生认为 $V(A) = V(B) = V$ 、 $\varphi(A) = \frac{2}{3}$ 、 $\varphi(B) = \frac{1}{3}$,单一组分不可能在混合组分中占比100%,用物质的量之比作为体积之比可能比较合理,但说不出理由。

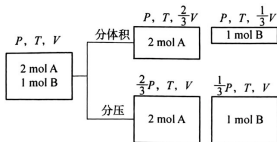


图6 分体积与分压

通过对上述问题的讨论,学生认识到气体所占有的体积是由容器大小决定的。而单一气体的体积分数如果是该气体的体积与容器体积(混合气体总体积)的比值,即 100%,其意义不大。按照常识,单一组分不可能在混合组分中占比 100%。因此,引入“分体积”是必要的,“分”不是简单地独立出来,而是要维持温度和压强等其他条件相同进行比较才有意义:

$$PV_A = n_A RT, PV_B = n_B RT, \text{则} \frac{V_A}{V_B} = \frac{n_A}{n_B}$$

由此可知,混合气体中不同组分的“分体积”之比与各物质的量之比相同(见图 6)。同理,压强是所有气体共同作用的结果。气体的物质的量不同,对总压强的贡献是不一样的。因此,引入“分压”是必要的,与分体积不同,分压应维持体积和温度相同:

$$P_A V = n_A RT, P_B V = n_B RT, \text{则} \frac{P_A}{P_B} = \frac{n_A}{n_B}$$

显然,混合气体中不同组分的“分压”之比与各物质的量之比相同(图 6)。

4.3.2 认识“水的饱和蒸气压”

[教师]从字面含义来看,你认为什么是水的饱和蒸气压?

[学生 1]在某温度下,水蒸气所能产生的最大压强。

[学生 2]温度一定时,水与其他气体共存时水蒸气的分压。

[学生 3]水的液面上方存在平衡, $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g)$, 此时 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 在混合气体中的分压。

[学生 4]在一定温度下,在一密闭容器中放一定量的水。充分放置一段时间后,水蒸气在容器中的分压。

在认识了分压的基础上,学生尝试从字面上解读“水的饱和蒸气压”,其含义表述已经八九不离十。在密闭条件中,在一定温度下,与固体或液体处于相平衡的水蒸气所具有的压力称为“饱和蒸气压”。

[教师]各小组在实验设计中称量的镁条质量不相同。那么,各小组收集的混合气体中,水蒸气的物质的量相同吗?水蒸气的体积分数相同吗?

大多数学生认为,从水中逸出氢气时,携带出的水蒸气应该是“均匀”的。换言之,各小组收集的气体中,水蒸气的体积并不相同,但水蒸气的体积分数是相同

的。为消除水的饱和蒸气压,学生查阅到的参考资料是这样呈现的:

$$P(\text{H}_2\text{O}) \Delta V = n(\text{H}_2\text{O}) RT$$

$$P(\text{H}_2) \Delta V = n(\text{H}_2) RT$$

$$P(\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}) \Delta V = [n(\text{H}_2) + n(\text{H}_2\text{O})] RT$$

只要查阅到实验条件下水的饱和蒸气压,即可计算出 $V(\text{H}_2)$ 。学生认为,上述等式没有考虑混合气体中的空气,且氢气是充满了整个装置的。可见,当把这些气体放在一个封闭的系统中分析时,便能发现这个问题的复杂性,其关键还是在于对分压和分体积的理解。

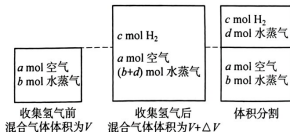


图 7 混合气体中的分体积

收集氢气前,装置中的气体为水蒸气、空气,混合气体体积为 V 、压强为 P 、温度为 T ;收集氢气且冷却至室温后,装置中的气体为氢气、水蒸气、空气,混合气体体积为 $V + \Delta V$ (ΔV 是氢气和新增的水蒸气体积之和)、压强为 P 、温度为 T ,如图 7 所示。

ΔV 是量气管末读数与初读数之差。由于 T 、 P 相同,可以将混合气体体积 $V + \Delta V$ 进行分割, ΔV 是氢气和新增的水蒸气。再依据分体积、分压思想,即可算出 $V(\text{H}_2)$ 。显然, ΔV 中氢气的占比与实验前空气的含量无关,这才解答了学生的问题。

4.3.3 误差与偏差

在化学实验教学中关于数据的分析,大多教材都是以“误差分析”来处理。上一版教材以误差分析展开,新教材则直接引入偏差。从概念上来看,误差是测量值与真值之差,但由于真值只是一个理想概念,一般无法绝对地测定出来。由于真值不知道,因而误差也无法计算,只能作为分析误差的理论基础。而实际测量中只能得到偏差,真值通常用参考值或多次测量的算术平均值代替。如果将“误差”和“偏差”不加以区别,容易给人一种“误差是能求出其值的”错误观念。

新教材做出这样的调整,有利于实验教学更加科学和严谨。

4.4 课堂互动讨论,强化定量实验的精准性

在搭建好脚手架后,学生进入实验室先观察仪器构造,再完成实验。不过学生的目的非常明确,就是为了获得相应数据。课堂互动中可以根据学生在实验课中出现的新情况、新问题设计学习活动,促进师生、生生之间的有效交流来构建知识。

4.4.1 任务一:分子数对气体体积的影响

关键问题:哪些实验步骤体现了气体分子数要精准?

气体分子数是影响气体体积的主要因素之一。在本项目中,气体分子数是由金属的质量转化而来,因此金属的纯度、金属质量的精准测定都是非常重要的。尽管金属的任意质量都可以转化为气体的摩尔体积,但是金属的质量也不是取任意值,而是要充分考虑气体体积测定装置的量程、偏差范围等因素。

4.4.2 任务二:温度对气体体积的影响

关键问题:为什么要冷却至室温再读数?

[补充学生实验](1)将镁条与稀硫酸混合后,用手触摸Y型管,感知混合前后温度变化;(2)镁条全部溶解后,观察示数变化,记录最大示数。待冷却至室温后,再次记录示数。

在气体摩尔体积教学时,讨论过温度对气体体积的影响,但学生在迁移到本实验中仍旧遇到了障碍。可能是因为镁和稀硫酸的反应是一个放热反应,因温度升高造成的体积膨胀在看似“细长”的量气管中感知并不明显。这与学生很少关注化学反应中的热效应有关。另外,实验方案中只强调了“冷却至室温再读数”,很多学生只是按部就班记录好初读数后,就直接等待温度恢复到室温后再次读数。通过补充实验,进一步增进了学生对实验步骤的理解。

4.4.3 任务三:压强对气体体积的影响

关键问题:为什么要调节两端液面齐平后再读数?

[补充学生实验]冷却至室温后,记录量气管中液面示数;调节两端液面齐平后,再次记录量气管中的液面示数。比较两个读数的大小,并解释原因。

[教师]实验中有些小组水准管中的水溢出来了,

是什么原因造成的?

[学生]由于实验开始时量气管和水准管的高度相差不大,后来生成的气体使得水准管中的水溢出来。

[教师]有同学认为,水溢出来后,意味着实验失败。你是否认同这个观点?请说明理由。

[学生]由于水本身起到密封气体的作用,且读取的是两端液面齐平时的体积,因此水溢出来相当于一开始加水的量减小了,对实验结果并无影响。

[教师]实验步骤中明确指出:……量气管尽量低,水准管尽量高。你认为应该如何调节呢?

[学生]若产生的氢气体积为20 mL,在不考虑气体膨胀的情况下,水准管至少应该预留20 mL的空间。

4.5 开展数据处理,反思定量实验的精准性

关键问题:实验中实验步骤如何体现出获取数据的精准性?

[学生]用镁条不用铁片(铁片纯度低)、电子天平精确到0.0001 g、量气管精确到0.01 mL等。不同仪器精度不同,要按照有效数字计算规则进行修约吗?

[教师]数字的正确表达非常重要。无论是称量还是测量得到的数据,有效数字的位数由测量中所用仪器的精度决定。但数字修约的规则比较复杂,有兴趣的同学可以课后查阅资料了解。

[学生]有资料指出:收集的气体体积越大,测量结果越精准。为什么?

[教师]根据水的饱和蒸气压知识可以得到,氢气在混合气体中所占的比例是一定的。但在计算摩尔体积时,需要进行换算。因为测量的不精准,导致放大的倍数也就越多。

5 项目教学反思

5.1 项目实施取得的成效

通过项目教学的实施,学生拓展了气体体积规律的认识范围,理解和掌握了定量实验分析的一般过程、常用仪器的使用方法以及如何记录、处理实验数据,如何书写实验报告,体验到了严谨求实的科学态度对定量实验重要性,顺利达成了项目学习目标。通过“为什么不直接测定1 mol气体的体积”等问题的讨论,学生深刻意识到化学定量实验过程中的细节非常多,

(下转第43页)

教学实践中,发现部分学生对于家装材料比较陌生,建议教师在教学设计时充分考虑当代学生的特点,可以适当布置课前任务、准备丰富的实物或模型,以增强学生体验感并保证课堂教学顺利进行。此外,学生对前沿科技兴趣浓厚,建议教师可以补充相关素材、设计课后拓展任务,进一步挖掘并延伸该主题的能力培养价值。

参考文献:

- [1] 王晶,郑长龙主编.普通高中教科书·化学(必修第二册)[M].北京:人民教育出版社,2019:19~24.
- [2] 人民教育出版社课程教材研究所化学课程教材研究开发中心.普通高中教科书·教师教学用书·化学(必修第二册)[M].北京:人民教育出版社,2019:98~100.
- [3] 邵传强.基于人文背景融合学科核心素养的化学教学设计与实践——以“含硅矿物与信息材料”教学为例[J].化学教学,2020,(12):41~45,51.
- [4] 王磊.学科能力构成及其表现研究——基于学习理解、应用实践与迁移创新导向的多维整合模型[J].教育研究,

2016,(9):83~92.

- [5] 王磊.基于学生核心素养的化学学科能力研究[M].北京:北京师范大学出版社,2017:13~14,17~19.
- [6] 滕瑛巧,王星乔,潘妍璠等.促进学科能力发展的化学教学实践——以“氧化剂和还原剂”为例[J].化学教学,2024,(8):55~60.
- [7] 王治聪,解文圣,李爱民.碳酸钙为发泡剂的粉煤灰发泡陶瓷制备[J].大连理工大学学报,2024,64(2):118~126.
- [8] Ren Y, Li W, Cao Z, et al.. Robust TiO_2 nanorods- SiO_2 core-shell coating with high-performance self-cleaning properties under visible light [J]. Applied Surface Science, 2020, (509): 145377.
- [9] 李泽,马翠英.工业废弃物在生态水泥中的应用进展研究[J].耐火材料,2015,49(6):470~474.
- [10] Lin Y, Cao Y, Ding S, et al.. Scaling aligned carbon nanotube transistors to a sub-10 nm node [J]. Nature Electronics, 2023, (6): 506~515.
- [11] 杨伏勇,武衍杰,江合佩.促进学生认识角度建构的项目式复习教学——以“探秘石墨烯”进行“物质结构与性质”模块复习为例[J].化学教学,2022,(11):37~42.

(上接第37页)

实验的精准性需要从化学原理、实验操作、实验仪器、数据获得及处理等角度进行综合考虑,并将孤立、碎片化的知识在复杂的情境下重整、应用,才能更好地解决实际问题的。

5.2 项目实施主要问题与对策

从项目教学的实施情况看,“如何测定气体摩尔体积”项目并非是“气体摩尔体积”概念的简单应用和转化,其中主要存在四个问题:一是知识储备的不足。如不同金属的纯度、化学反应的快慢、一定温度和压强下气体摩尔体积参考值计算、混合气体中水的饱和蒸汽压等知识,项目实施时需要通过自主学习、课堂交流等方式补充;二是迁移能力较弱。尽管学生知道气体体积受温度、压强的影响,但将其迁移到实验仪器和操作中时并不顺利,需要增强实践体验;三是对实验结果精准度的把握。由于不同仪器精密程度不一样,数据的处

理是否要一味追求精准引入复杂的数据修约规则,还是重在引导学生对实验原理、技能和方法的理解;四是对生成性问题的解决。如实验中出水水准管一端水溢出的原因,教材仅说明量气管和水准管需错开“一定”高度。因此教学中要及时洞见方案中需要优化之处,引导学生在设计、实践和体验中感悟定量实验的严谨性。

参考文献:

- [1] 沪科版高中化学教材编写组.沪科版高中化学必修教材的编制策略与特色分析[J].化学教学,2021,(10):3~9.
- [2] 姚子鹏主编.高级中学课本·化学(高二年级第一学期)[M].上海:上海科学技术出版社,2016:47~62.
- [3] 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.