

温控测定反应速率演示仪的设计与应用^{*}

叶永谦¹, 张贤金², 吴新建²

(1. 福建省南安市侨光中学, 福建南安 362314; 2. 福建教育学院, 福建福州 350025)

摘要: 针对中学化学教材中缺乏定量研究温度变化对化学反应速率影响演示装置的现状, 设计了双节管气体发生器, 将其与碱式滴定管、三角漏斗、硅橡胶加热套、数显温控仪等组合成温控测定反应速率演示仪。以锌与稀硫酸反应为研究对象, 定量研究温度变化对反应速率的影响, 得出该反应条件下“温度每升高 10 K, 锌与稀硫酸反应速率增大 1.27 倍”的结论。仪器的设计和研究的过程有利于培养学生“科学探究与创新意识”、“证据推理与模型认知”等化学学科核心素养。

关键词: 反应速率; 气体发生器; 数显温控仪; 实验装置设计; 实验改进

文章编号: 1005-6629(2018)5-0057-06

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

高中化学苏教版选修四《化学反应原理》关于温度对化学反应速率的影响, 具体描述为“许多反应的温度每升高 10 K, 其反应速率增加 2 至 4 倍”^[1]。教材在引导学生探究浓度、温度、压强、催化剂等外界因素对化学反应速率影响的过程中, 这是唯一一个从定量角度进行描述的结论。唐红珍^[2]认为, 从定性的描述进入到定量的分析和计算阶段, 是人类对自然事物认识越趋深刻和精确的阶段。从定量实验中得到的有效数据是对化学反应原理和理论最充分的验证和说明。通过设计能定量研究温度变化对化学反应速率的影响的演示装置, 可以为学生搭建“定量”学习的平台, 让学生在实践活动中发现“定量”对于实验及学科本质的重要性, 主动建构“定量”概念, 逐渐形成“定量”的科学思维和习惯^[3]。

1 反应的选择

要定量演示温度变化对化学反应速率的影响, 必须选择某一类反应作为研究对象。而作为课堂演示实验, 设计时必须关注现象的清晰性和操作的简练性^[4], 方便教师在几分钟内将实验目的、实验原理、仪器药品、操作步骤、实验结果等讲解清楚。因此, 所选择的反应必须具备三个特点: 一是该反应是常见的反应, 二是该反应速率要适中, 三是该反应速率的测定要简单直观。综合以上要求, 选择锌与稀硫酸作为研究的对象, 通过测定生成氢气的速率衡量反应速率的快慢。使用稀

硫酸与锌片反应而不用稀盐酸, 原因有二: 一是稀盐酸易挥发, 本实验需加热可能加剧盐酸的挥发; 二是由于氯离子效应的存在^[5], 导致常温下锌与盐酸反应速率较快, 温度升高后反应更快难以准确测量。使用的稀硫酸浓度要提前进行试验, 当锌片在稀硫酸中能有明显气泡(室温下密度为 1.20 g/mL 左右)出现时才符合实验要求。否则, 硫酸浓度太高, 产生的气体不一定是氢气; 太低则因反应太慢不利于课堂演示。

2 仪器的设计

2.1 设计思路

高中化学苏教版选修四《化学反应原理》关于气体生成速率的测定中, 使用锥形瓶作为气体发生装置, 使用玻璃注射器收集生成的气体, 通过注射器的刻度变化读出气体在不同时间段的生成体积, 从而求出其生成速率^[6]。为了控制反应, 常用启普发生器代替锥形瓶作为发生装置。但该演示装置用于定量研究温度对反应速率的影响存在两个不足: 一是注射器的刻度读数只能精确到 1 毫升, 精确度不够高; 二是无论使用锥形瓶还是启普发生器, 都无法对反应进行加热。针对精确度不高的问题, 可以选择滴定管进行设计; 针对无法加热的问题, 可以选择硅橡胶加热套^[7]予以解决。由于硅橡胶加热套加热的对象必须是管状的, 因此发生装置必须按管状要求进行设计。

^{*} 本文为福建省教育厅 2018 年福建省中青年骨干教师教育科研项目(项目编号 JZ170382)(福建教育学院资助)、福建省中学化学产业安名师工作室阶段性研究成果。

2.2 双节管气体发生器的设计

由于发生装置应为管状,再借鉴启普发生器固液分离的瓶体凹陷设计,可以设计出双节管气体发生器(见图1)。该发生器上节管作为发生装置及气体收集装置(加塞后上节管的容积为30 mL),反应产生的气体将液体压入下节管至固液分离后,反应即可停止。发生器下端设计玻璃活塞,用于控制液体的流出及对反应物固体的洗涤。



图1 双节管气体发生器

双节管气体发生器中产生气体后,为了测出气体体积变化情况,可以在发生器的上方加装碱式滴定管,将产生的液体压入滴定管,通过液面的上升测定气体体积的变化。由于碱式滴定管管径较大,无法直接插入双节管的凹陷处,在滴定管的下端连接一玻璃管,用于插入双节管的下节管部分。在碱式滴定管的上方再加装一个三角漏斗,用于加入液体和承接液体。装配后的测定反应速率演示仪装置示意图如图2所示。该演示仪可用于测量某一特定反应的气体生成速率。测定时将固体反应物放在双节管气体发生器的凹陷上节管中,液体通过三角漏斗倒入发生器浸没固体且液面高出固体一段距离,塞紧橡皮塞后反应产生的气体压入滴定管中进行读数。

为了定量研究温度变化对反应速率的影响,将硅橡胶加热套包裹在上节管,通过数显温控仪设置加热的温度。硅橡胶加热套必须包裹在双节管的上节管部位的原因有二:一是反应是在上节管发生的,包裹在上节管才可以准确控制反应的

温度;二是反应开始后,上节管产生的氢气将下节管的液体压入碱式滴定管中,下节管的液体未受热,可以确保碱式滴定管不会因为液体温度升高而失去精确度。为了使液面上升更明显,往硫酸中滴入甲基橙使其显橙红色。温控测定反应速率演示仪实物图如图3所示。

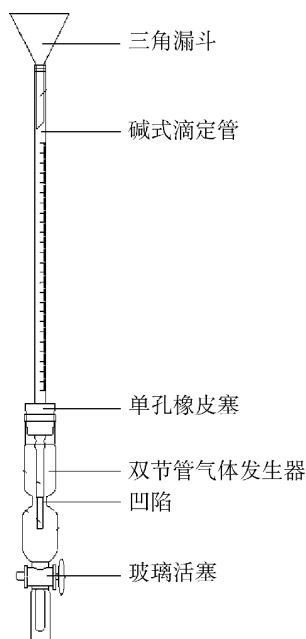


图2 测定反应速率演示仪示意图

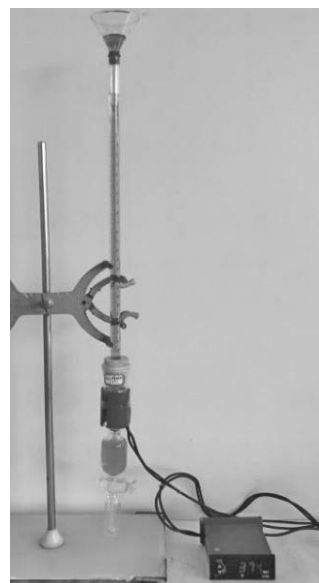


图3 温控测定反应速率演示仪实物图

3 方案的设计

选择一定数量的锌片与一定浓度的稀硫酸反应,在室温的基础上,通过数显温控仪设置加热温度。温度每升高 10°C ,使用温控测速演示仪测试该温度下的反应速率。将液面上升过程用秒表进行记录,画出每个温度条件下的速率时间图像。再寻找合适的液面高度作为氢气体积计算的起点和终点,比较不同温度条件下生成相同体积的氢气所用的时间(见表1)。

表1 定量测定不同温度条件下锌与稀硫酸的反应速率实验方案

编号	固体反应物	液体反应物	温度	产生一定体积氢气所需时间
A	长2厘米,宽1厘米,厚0.2厘米锌片各4片	100 mL 稀硫酸(室温下密度为 1.20 g/mL)	室温	t_1
B			室温 $+10^{\circ}\text{C}$	t_2
C			室温 $+20^{\circ}\text{C}$	t_3
D			室温 $+30^{\circ}\text{C}$	t_4
.....			室温 $+.....$	

4 实验步骤

(1) 设定测试温度: 使用水银温度计测试室温, 结果显示室温为 27℃。将 27℃ 作为研究的温度起点, 通过数显温控仪设定后续加热温度分别为 37℃、47℃、57℃、67℃、77℃、87℃、97℃、107℃。超过 107℃ 后, 溶液开始沸腾, 有水蒸气生成, 混入氢气中导致所测数据不准确。

(2) 加入药品并加热: 将温控测速演示仪固定在铁架台上, 关闭双节管排液活塞, 转动套在滴定管下部的橡皮塞, 使其与双节管留出一定空隙, 方便液体倒入。往三角漏斗中加入近 100 毫升滴有甲基橙室温下密度为 1.20 g/mL 的稀硫酸至充满双节管, 塞紧橡皮塞。接通电源, 按照设定温度开始加热。当加热到达设定温度时(加热 2 分钟后, 加热套处的温度等于上节管内反应液温度), 转动橡皮塞, 通过滴定管下部橡皮塞与双节管留出的空隙加入长 2 厘米、宽 1 厘米、厚 0.2 厘米的锌片 4 片, 塞紧橡皮塞。

(3) 记录及仪器清洗: 反应开始后, 产生的氢气将液体压入碱式滴定管中。当锌片与稀硫酸脱离后(上节管内反应液剩余约 5 mL 时已有锌露出液面), 反应结束, 有部分液体进入三角漏斗, 使用秒表记录液面上升过程。拆下加热套, 打开双节管下端排液活塞, 使液体全部流出, 从上口倒出锌片。清洗双节管及三角漏斗、碱式滴定管。

重复前三步操作至设定的温度下全部过程均完成。

5 数据处理

5.1 绘制同一温度条件下的反应速率曲线

将采集到的数据进行处理, 记录每个温度条件下每增加 5 秒液面上升的刻度(见表 2), 再将所记录的数据绘制成不同温度下在不同时间段的速率时间曲线(见图 4)。由图 4 可知, 九个温度条件下, 产生氢气的速率曲线都是倾斜向上的曲线, 其中温度为 27℃ 的曲线斜率最小, 温度为 107℃ 的曲线斜率最大, 由此说明温度越高反应越快。九条曲线还有一个共同的特点就是当氢气生成体积为 5 毫升后曲线有明显的拐点, 特别是 107℃ 的曲线, 拐点非常明显。说明反应一开始速率都比较慢, 生成 5 毫升氢气后速率都明显变大。可能的原因是锌片表面都有氧化物覆盖, 反应一开始比较慢是因为这层氧化物覆盖物还未与酸完全反应。当生成 5 毫升氢气后, 锌片表面全部露出与稀硫酸接触, 反应加快。要定量研究锌与稀硫酸反应在不同温度条件下的速率变化, 必须采取控制变量法, 即单一变量只能是温度。因此, 反应前段锌表面氧化物参与反应, 不能作为研究的起点。研究起点宜选择在氢气生成 5 毫升之后。同样, 当液面下降至锌片露出液面后, 也不能作为研究的终点。

表 2 不同温度条件下每增加 5 秒滴定管液面读数对比表

时间(秒)	产生氢气体积(滴定管液面读数, 毫升)								
	27℃	37℃	47℃	57℃	67℃	77℃	87℃	97℃	107℃
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.5	0.4	0.5	1.0	0.7	0.5	0.4	0.6	3.0
10	1.0	0.8	1.1	3.0	1.6	1.5	1.0	2.1	5.7
15	1.5	1.3	1.7	3.2	2.6	2.7	2.0	4.2	12.4
20	1.9	1.9	2.5	4.5	4.0	4.3	3.2	7.2	21.8
25	2.3	2.6	3.2	6.1	5.5	6.6	4.9	11.5	
30	2.9	3.2	4.3	8.1	7.6	9.5	6.6	17.3	
35	3.5	4.1	5.2	10.4	10.2	13.0	9.1	23.8	
40	4.1	5.2	6.4	13.2	13.1	17.5	11.9		
45	4.9	6.3	7.6	16.2	16.2	23.6	16.4		
50	5.5	7.4	9.1	20.0	20.8		20.0		

续 表

时间(秒)	产生氢气体积(滴定管液面读数 ,毫升)								
	27℃	37℃	47℃	57℃	67℃	77℃	87℃	97℃	107℃
55	6.3	8.9	10.9	24.4					
60	7.3	10.1	12.4						
65	8.2	11.8	14.6						
70	9.3	13.5	17.2						
75	10.3	16.0	19.6						
80	11.5	18.1	22.8						
85	12.7	20.5							
90	14.1	23.4							
95	15.6								
100	17.4								
105	19.1								
110	20.8								
115	22.8								
120	24.5								

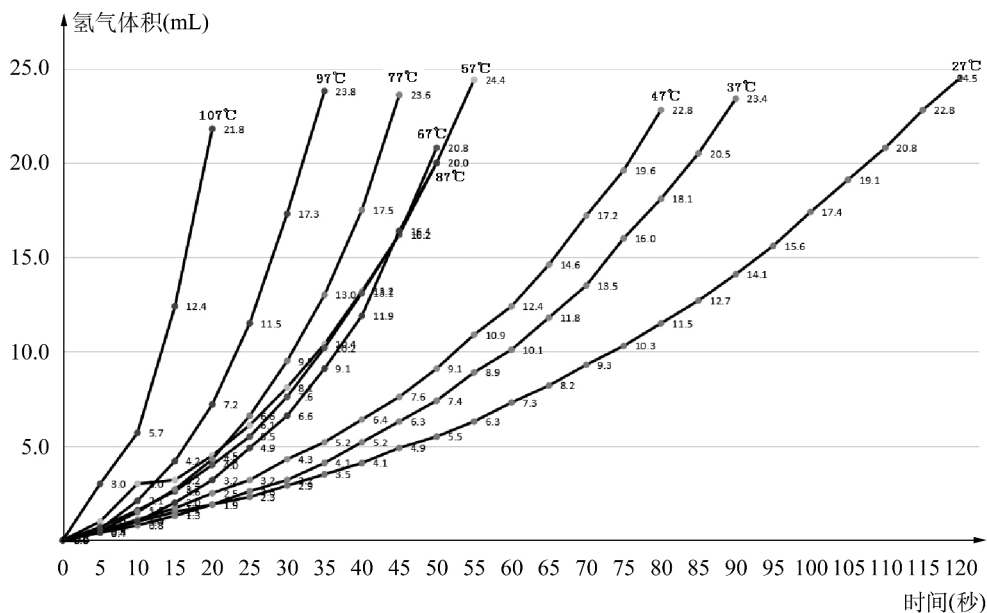


图4 不同温度条件下每增加5秒氢气体积变化图

5.2 绘制不同温度条件下的反应速率对比图

根据以上曲线研究结果,选择液面上升至滴定管刻度为20毫升时作为记录时间的起点,选择液面上升至滴定管刻度为5毫升时作为记

录时间的终点。计算出不同温度条件下同样生成15毫升氢气所用的时间,从而算出不同温度条件下的反应速率(见表3)。按照表3数据绘制不同温度条件下锌与稀硫酸反应速率对比图(见图5)。

表3 不同温度条件下产生15毫升氢气所用时间对比表

液面读数 (毫升)	产生15毫升氢气所用时间(秒)								
	27℃	37℃	47℃	57℃	67℃	77℃	87℃	97℃	107℃
20毫升	00:46	00:49	00:39	00:31	00:28	00:26	00:25	00:16	00:08
5毫升	01:47	01:33	01:20	01:00	00:54	00:46	00:49	00:32	00:19
所用时间(秒)	61	44	41	29	26	20	24	16	11
速率(毫升/秒)	0.25	0.34	0.37	0.52	0.58	0.75	0.63	0.94	1.36

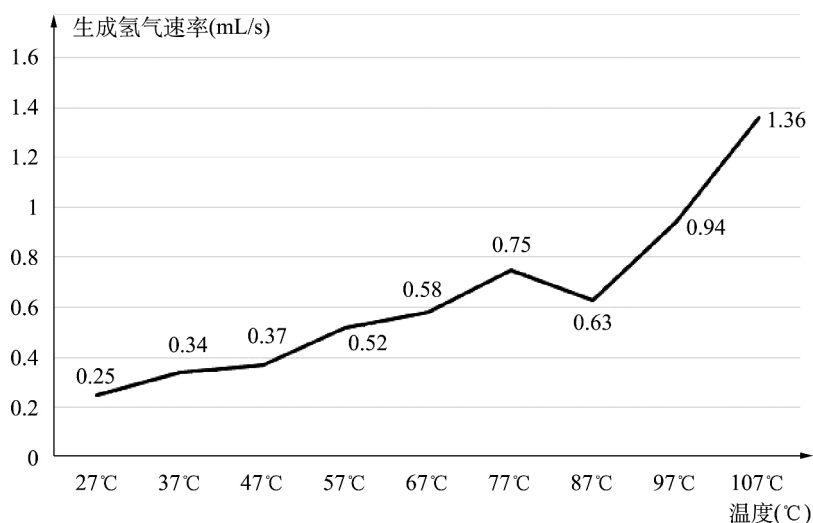


图5 锌与稀硫酸反应温度与速率对比图

6 实验结果

6.1 定性结果

根据以上表3及图5的数据,可以看出,从定性角度分析,温度越高,反应越快。但是87℃时出现反常,比77℃慢,原因可能与锌片表面的氧化膜厚度不同有关。总体变化趋势上看,温度越高反应越快是肯定的。

从图5曲线看,27℃至67℃之间曲线斜率比较小,说明这段温度升高对反应速率影响不如77℃后的影响。特别是97℃后反应速率增大出现突跃,说明后阶段温度对反应速率影响更大。

6.2 定量结果

将表3数据中速率数据进行分析,每升高10℃,将升高后的速率减去升高前的速率,可以计算出每升高10℃速率增大的倍数关系(见表4)。如果将所有的增大倍数平均起来,对于本实验中的锌与稀硫酸的反应,温度每升高10℃,其反应速率增加1.23倍。如果将87℃的反常数据剔除,温度每升高10℃,其反应速率增加1.27倍。与教材中所述“许多反应的温度每升高10K,其反应速率增加2至4倍”不一致,说明本实验所选择的锌与稀硫酸反应不在教材所述的反应中。

表4 温度每升高10℃反应速率增大的倍数对比表

温度	27℃	37℃	47℃	57℃	67℃	77℃	87℃	97℃	107℃
速率(毫升/秒)	0.25	0.34	0.37	0.52	0.58	0.75	0.63	0.94	1.36
倍数关系	1	1.36	1.09	1.4	1.11	1.29	0.84	1.49	1.45

通过以上研究过程,使用温控测定反应速率演示仪演示了温度变化对锌与稀硫酸反应速率的影响,并通过对数据的定量分析得出温度对反应

速率产生一定影响的结论。在有效地训练了定量研究方法的同时,也有利于学生化学学科核心素养的培育。双节管气体发生器和测定反应速率演

次氯酸漂白作用实验的新设计

李 兴¹, 齐俊林²

(1. 河北公安警察职业学院, 河北石家庄 050091; 2. 唐山师范学院玉田分校, 河北唐山 064100)

摘要: 分析现行中学化学中次氯酸的漂白作用实验的不足以及该实验的研究现状和存在的问题, 设计了新的实验。利用玻璃罐头瓶、具支试管、干燥管以及一次性注射器等材料的组合, 构建了一套实验装置。新实验装置简单、操作简便、现象明显、绿色环保。增强了实验的趣味性, 提高了教学效果。

关键词: 氯气; 次氯酸; 漂白作用; 实验改进

文章编号: 1005-6629(2018)5-0062-03

中图分类号: G633.8

文献标识码: B

1 问题提出

“次氯酸的漂白作用”实验是现行高中化学教材^[1]中的一个经典实验。教材中的实验看起来似乎设计简单、便于操作(如图1所示),但实际上存在诸多不足:其一,氯气制备系统^[2]复杂(如图2所示),影响课堂教学效率;其二,没有指明通入的氯气是否为干燥氯气,如若通入混有水蒸气的氯气,水蒸气会干扰实验效果;其三,在制备、通入氯气过程中容易外逸,造成空气污染,有悖于绿色环保理念和要求;其四,使用有色布条做实验效果不佳,不能达到实验预期目的。综上所述,我们认为有必要对该实验作进一步的研究和探讨,尽可能地使实验效果达到理想状态。

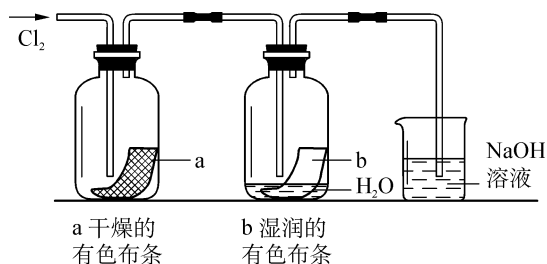


图1 次氯酸的漂白作用实验

示仪的设计和实验探究,有利于培养学生的“科学探究与创新意识”核心素养;使用温控测定反应速率演示仪从定量角度研究温度对反应速率的影响进行研究,用数据说话,用证据推理,有利于培养学生的“证据推理与模型认知”核心素养。

参考文献:

[1][6] 王祖浩主编. 普通高中课程标准实验教科书·

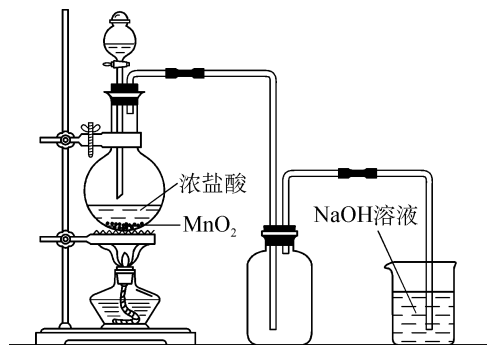


图2 在实验室中制取氯气

2 研究现状及分析

为弥补现行教材实验的缺点,近些年来,一些化学界同仁曾经公开发表了一些文章,对该实验进行了有针对性的研究和改进,总的来说有一定的收效,但仍然不尽如人意。有的实验^[3]虽然解决了氯气制备系统复杂的问题,使实验简单化、绿色化,但没有解决氯气干燥问题(如图3所示);有的实验^[4]不仅没有干燥氯气,而且容器内的氢氧化钠溶液容易吸收氯气,降低了漂白效率(如图4所示);还有的实验^[5]尽管装置简单、操作方便、

化学反应原理[M]. 南京:江苏凤凰教育出版社,2014:32~38.

[2][3] 唐红珍. 高中化学定量实验能力培养的教学策略[J]. 化学教学,2017,(6):49~52.

[4] 沈伟艺. 试论如何提高化学课堂演示实验效果的途径[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2011,(9):192~194.

[5] 王程杰. 关注氯离子效应在中学化学实验中的应用[J]. 化学教学,2015,(11):53~58.

[7] 叶永谦,张贤金,吴新建. 藕节式气体发生器的设计与应用[J]. 化学教学,2017,(1):71~74.