

以培养研究型人才为导向的基础化学实验教学设计与实践

王静, 李会平, 王小燕, 罗世忠*, 王书文

青岛科技大学化学与分子工程学院, 山东 青岛 266042

摘要: 从培养研究型人才的角度出发, 阐述了研究性教学模式在基础化学实验教学过程中的必要性。以“硫代硫酸钠溶液标定实验”为教学案例, 引导学生主动探索, 综合运用所学理论知识和技能, 选择碘酸钾作为基准物, 从酸度、加水量、反应时间和碘化钾溶液加入量四个方面考查实验条件和终点判断方法。实验设计和教学过程的实施, 有助于培养学生系统的研究方法、严谨的科学思维和勇于探索创新的科学素养。

关键词: 研究型人才; 基础化学实验; 研究性教学; 创新能力

中图分类号: G642.423; O6

Design and Practice of Basic Chemistry Experiment Teaching Guided by Training Research Talents

Jing Wang, Huiping Li, Xiaoyan Wang, Shizhong Luo*, Shuwen Wang

College of Chemistry and Molecular Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, Shandong Province, China.

Abstract: From the point of cultivating research talents, the necessity of research teaching mode in the teaching process of basic chemistry experiment is expounded. Taking “sodium thiosulfate solution calibration experiment” as the teaching case, students were guided to actively explore, and comprehensively use the theoretical knowledge and technology. Selecting KIO_3 as the basis material, the experimental conditions and end-point judgment methods were investigated from four aspects: acidity, water addition, reaction time and KI solution addition. The design and practice of research-oriented teaching in the process of basic chemistry experiment teaching is helpful to cultivate students' systematic research methods, rigorous scientific thinking, and the scientific literacy to explore and innovate.

Key Words: Research-type talents; Basic chemistry experiment; Research-based teaching; Innovative ability

新时代全国高等学校本科教育工作会议指出, 人才培养是大学的本质职能, 一流大学建设必须聚焦人才培养^[1]。各高校把握人才培养工作的新形势和新任务^[2,3], 将培养具有科研和创新能力的研究型人才作为高等教育战略目标^[4,5]。研究型人才是指在具有扎实的理论知识、系统的研究方法和能力、掌握先进科学技术的同时, 具有严谨求实的科研能力和勇于探索的创新能力, 今后主要从事各专业的科学研究和创新工作^[6]。对培养研究型人才具有重要作用的研究性教学模式, 不同于单向的知识传授方式, 而是以学生为主体, 教师通过多方位启发, 引导学生主动探究, 充分参与, 提倡学生自主学习, 将所学理论与实践充分结合^[7-9]。

收稿: 2020-05-02; 录用: 2020-06-22; 网络发表: 2020-07-08

*通讯作者, Email: luosz64@126.com

基金资助: 青岛科技大学2019年信息化教学课程(2019-22, 66)

基础化学实验作为面向大一新生的一门必修实践课程,在锻炼学生综合运用理论和实验知识、培养分析和解决问题能力,以及养成良好科学素养和习惯等方面起着不可替代的作用^[2]。在传统的化学实验教学过程中,教师为学生准备好所需浓度的试剂和仪器,准确的实验步骤,详细的注意事项,确切的实验结果。学生进入实验室后,只需要“照方抓药”,验证实验结果,不利于思考、动手、总结,实验教学效果远远达不到预期的目标,创新能力难以得到培养^[10]。实验课堂作为研究性教学环节的重要载体,要求融合知识传授、技能锻炼、能力培养、思维更新、素质提升于一体^[11]。那么,如何将研究性教学模式应用于基础化学实验的课堂,就要求对基础化学实验的授课内容、传授方式、教学环境等环节进行缜密的设计和充足的准备。

“硫代硫酸钠溶液标定实验”是基础化学实验课程开设的氧化还原法滴定分析实验“硫代硫酸钠溶液的配制、标定及间接碘法测定铜含量”的一部分。在间接碘法标定硫代硫酸钠溶液的实验中,指示剂的加入时机、酸度、反应时间等因素均对实验结果有较大影响。本实验源于学生在标定过程中对基准物的思考,提出对反应条件、指示剂、滴定终点等实验条件如何确定的问题。教师根据学生提出的疑问,引导学生首先查阅文献,结合氧化还原滴定的理论知识,在理论分析计算的基础上,设计实验方案。学生以分组形式,各小组合理分工、相互配合完成实验动手操作、数据记录和整理。学生通过多次实验操作和总结分析,解决所提出的疑问,考查验证实验方案设计的合理性。在研究性教学模式的实施过程中,实验教学与系统科学研究方法相互渗透,学生在自主探索和研究中感受实验的乐趣和魅力,培养严谨的科学思维和良好的科学素养,有利于研究型人才的培养^[12]。

1 实验设计

1.1 实验目的

- (1) 掌握间接碘法标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的基本原理和方法。
- (2) 学习考查实验条件的方法,掌握标定终点的判断方法。
- (3) 培养学生查阅文献,分析、解决问题,综合运用理论与实践相结合的能力。

1.2 仪器与试剂

(1) 仪器:分析天平(Mettler Toledo, 型号 EL104100),酸度计(Mettler Toledo, 型号 EL20K),磁力搅拌器,台秤,烧杯(100 mL、500 mL),量筒(10 mL、20 mL、50 mL),250 mL 容量瓶,25 mL 移液管,250 mL 碘量瓶。

(2) 试剂: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (A.R., s), Na_2CO_3 (A.R., s), $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (A.R., s), KIO_3 (A.R., s), 10% KI 溶液, $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl, $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 , $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 , $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 , $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 , 1%淀粉溶液。

1.3 实验方法

1.3.1 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的配制

称取 20 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 于 500 mL 烧杯中,加入 200–300 mL 新煮沸已冷却的去离子水,再加入 0.2 g Na_2CO_3 ,待完全溶解后,用新煮沸已冷却的去离子水稀释至 800 mL,储于棕色试剂瓶中。

1.3.2 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的标定

方法一:

准确称取已烘干的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($M_r = 294.2$) 0.11–0.16 g 于 250 mL 碘量瓶中,加入 10–20 mL 水使之溶解,再加入 20 mL 10%KI 溶液和 5.0 mL $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl,混匀后盖好塞子,水封,暗处放置 5–10 min。反应结束后加 50 mL 水稀释一倍,用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定至呈浅黄绿色,加入 1 mL 1%淀粉溶液,继续滴定至蓝色变为绿色,即为终点。平行测定 3 次,计算 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的浓度 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ ^[13]。

方法二:

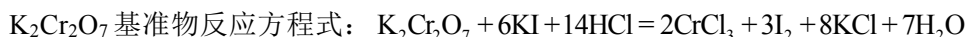
准确称取质量为 $m(\text{KIO}_3) = 1.0008 \text{ g}$ (误差 $\pm 0.0001 \text{ g}$)的 KIO_3 ($M_r = 214.0$)于 100 mL 烧杯中,加适

量去离子水完全溶解后, 转移, 定容至 250 mL 容量瓶中。

准确移取 25.00 mL 上述碘酸钾溶液于 250 mL 碘量瓶中, 加入体积 $V(\text{KI})$ 的 10% KI 溶液和浓度为 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 的硫酸 $V(\text{H}_2\text{SO}_4)$, 混匀后盖好塞子并水封, 暗处放置一定时间 t 。反应结束后加体积为 $V(\text{H}_2\text{O})$ 的去离子水稀释, 立即用待标定的 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液滴定至淡黄色, 加入 1 mL 1% 淀粉溶液, 继续滴定至蓝色恰好褪去呈无色溶液即为终点。记录消耗的 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的体积 $V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, 并计算 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的浓度 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ 。

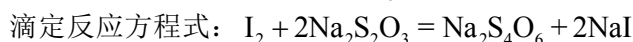
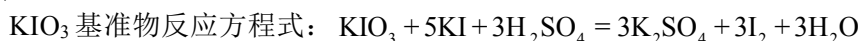
1.4 反应方程式及计算公式

方法一:



$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ 溶液浓度计算公式: } c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{6m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 10^{-3}} \quad (1)$$

方法二:



$$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ 溶液浓度计算公式: } c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{6m(\text{KIO}_3) \times \frac{25.00}{250.00}}{M(\text{KIO}_3)V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 10^{-3}} \quad (2)$$

2 实验教学过程

实验教学中将学生分成小组, 每个小组根据考查实验条件的影响因素分工操作, 完成实验操作后, 整理实验数据, 分析实验结果。

2.1 方法一标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液

采用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 作为基准物标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的实验方案(方法一)在基础化学实验课堂中已开展多年。实验数据见表 1。

表 1 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 作为基准物标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液实验数据

实验编号	$m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)/\text{g}$	$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mL}$	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$\bar{c}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$
1	0.1250	25.68	0.09928	0.09929
2	0.1309	27.11	0.09848	
3	0.1589	32.37	0.1001	

实验过程中发现: (1) 使用 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸作为酸性介质时, 标定终点为 CrCl_3 亮绿色。但在实验过程中发现由于盐酸的挥发性较强, 极易形成酸雾。(2) 改为使用 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸后, 标定终点时反应产物有 $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ 、 I^- 和蓝绿色 $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液。标定终点由淀粉与碘生成的蓝黑色突变到蓝绿色, 颜色变化不显著, 不利于终点观察。(3) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 毒性强, 有强致癌性, 污染严重。学生总结实验时提出是否可以采用 KIO_3 作为基准物标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液以解决这三个问题。

2.2 方法二标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液

考虑到采用 KIO_3 作为基准物标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液, 基准物反应条件和滴定过程均发生变化。这就要求对整个实验过程的条件重新进行摸索。学生首先查阅文献, 小组分析讨论, 最终确定需要考查的实验条件有: 酸度、加水量、反应时间、KI 溶液的加入量, 以及滴定终点的判断方法。

2.2.1 溶液酸度的影响

基准物 KIO_3 与 KI 的反应在中性或弱酸性条件下进行。若酸度较强, I^- 与空气中 O_2 反应生成

I_2 。若在碱性条件下, I_2 发生歧化反应生成 IO_3^- 和 I^- 。同时考虑到 I_2 与 $Na_2S_2O_3$ 滴定反应也是在中性或弱酸性的条件, 所以反应体系 pH 的控制至关重要。

$$\text{与基准物反应需要 } H^+: n_1(H^+) = 6n(KIO_3) = 6 \times \frac{m(KIO_3)}{M(KIO_3)} \times \frac{25.00}{250.00} \quad (3)$$

$$\text{此时 pH 为 } -\lg \frac{n_1(H^+)}{[V(KIO_3) + V(KI)] \times 10^{-3}} \quad (4)$$

在考查 pH 对实验的影响时, 10%KI 溶液的加入量为 10 mL, 反应时间 3 min, 基准物反应结束后加入 50 mL 水。由公式 3 计算可知基准物反应理论需要 H_2SO_4 2.806×10^{-3} mol, pH 为 4.3 (公式 4), 即滴定反应时 pH 最大为 4.3。

基准物 KIO_3 与 KI 在酸性条件下反应生成 I_2 , 滴定过程中必须考虑降低 I_2 的挥发。同时为了实时测试反应溶液的 pH, 学生借鉴实验“乙酸解离常数的测定——电位滴定法”中 pH 的测定方法^[13], 搭建标定实验装置(图 1)。



图 1 $Na_2S_2O_3$ 溶液标定实验装置图

结合计算结果, 选择不同浓度和不同体积的硫酸溶液考查 pH 的影响, 实验数据见表 2。

在滴定过程中, 考虑到减小 I_2 挥发, 滴定开始时搅拌速度较慢, 加入淀粉指示剂后可增大搅拌速度。从表 2 中可以看出不同浓度的 H_2SO_4 对 pH 影响较大。浓度为 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时酸度较强, 浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时体积从 1 mL 到 2 mL 的 pH 由 5.89 急剧减小为 1.67, 酸度骤然增强。而浓度为 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时体积从 3 mL 到 4 mL 的 pH 由 5.15 急剧降低为 2.15。可见对加入一定浓度的 H_2SO_4 溶液, 体积应严格控制在一定范围。从实验数据计算得到的 $c(Na_2S_2O_3)$ 来看, pH 为 0.8–4.3 时标定得到的 $c(Na_2S_2O_3)$ 与方法一结果相近。

2.2.2 加水量的影响

基准物反应条件是中性或弱酸性条件, 实际实验操作的条件偏酸性。而滴定反应需要在中性或弱酸性条件下进行, 以防止酸性过强 $Na_2S_2O_3$ 分解和 I^- 被氧化。所以, 基准物反应结束后需要降低溶液的酸度。标定实验过程中考虑加入一定体积的水来达到降低溶液酸度的目的。

基准物反应结束后: $n_2(H^+) = 2cV(H_2SO_4) - n_1(H^+)$

$$\text{则 pH 为 } -\lg \frac{n_2(H^+)}{[V(KIO_3) + V(KI) + V(H_2SO_4)] \times 10^{-3}} \quad (5)$$

滴定开始前加一定体积水后的 pH 为:

$$-\lg \frac{n_2(H^+)}{[V(KIO_3) + V(KI) + V(H_2SO_4) + V(H_2O)] \times 10^{-3}} \quad (6)$$

由公式 6 理论分析可以看出, 加入少量水对溶液 pH 影响不大。学生通过实验考查滴定开始前加入不同体积水对 pH 的影响, 数据见表 3。

表 2 溶液 pH 对 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液标定的影响

H_2SO_4		基准物反应结束时 pH	$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mL}$	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$
$c(\text{H}_2\text{SO}_4)/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	V/mL			
3	1	1.32	28.55	0.09829
	3	0.81	28.30	0.09915
1	1	5.89	24.54	0.1144
	2	1.67	28.50	0.09846
	3	1.35	28.47	0.09856
	4	1.17	28.50	0.09846
	5	1.06	28.60	0.09811
	6	0.99	28.41	0.09877
	7	0.93	28.51	0.09842
	8	0.84	28.49	0.09849
0.5	2	5.96	18.30	0.1533
	3	5.15	28.36	0.09894
	4	2.15	28.52	0.09839
	5	1.89	28.51	0.09842
	6	1.64	28.50	0.09846
0.2	7	1.52	28.51	0.09842
	5	5.94	18.76	0.1496
	6	5.54	22.80	0.1231
	7	5.30	26.38	0.1064
	7.5	4.34	28.41	0.09877
	8	2.72	28.42	0.09874
	9	2.50	28.51	0.09842
	10	2.06	28.30	0.09915
	11	1.94	28.27	0.09926

表 3 滴定开始前加入不同体积水对 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液标定的影响

加入 $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ H}_2\text{SO}_4$ 的体积 $V(\text{H}_2\text{SO}_4)/\text{mL}$	加入水的体积 $V(\text{H}_2\text{O})/\text{mL}$	pH		$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mL}$	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
		基准物反应结束时	加水后		
8	0	2.70	2.75	28.10	0.09986
	50	2.69	2.92	28.67	0.09788
	100	2.72	3.04	27.89	0.1006
10	0	2.03	2.10	28.23	0.09940
	50	2.02	2.19	27.95	0.1004
	100	2.06	2.30	28.01	0.1002

2.2.3 反应时间影响

基准物 KIO_3 作为氧化剂与 KI 反应中, 在酸性条件下氧化性增强, 且酸性越强, 氧化性越强, 反应速率也越快。而反应时间过长, 会发生副反应, 增加 I_2 的挥发。表 4 是加入 10 mL 10% KI 溶液时, 不同 pH 条件下, 不同反应时间的实验数据。

表 4 数据显示, pH 分别为 2、3、4 时, 反应时间为 3 min 和 5 min 的实验数据基本一致。而不同 pH 时, 反应时间为 0 min 时与方法一的实验结果最相近。说明 KIO_3 作为基准物, 与 KI 和 H_2SO_4 溶液的反应速率快, 反应物混匀后无需放置, 可立即开始滴定。

表 4 不同 pH 条件下反应时间对 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液标定的影响

0.2 mol·L ⁻¹ H_2SO_4 溶液体积 $V(\text{H}_2\text{SO}_4)/\text{mL}$	pH	基准物反应时间 t/min	$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mL}$	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$
7	5.23	0	26.44	0.1061
		1	26.40	0.1063
		3	26.38	0.1064
7.5	4.22	0	28.19	0.09954
		1	28.04	0.1001
		3	28.00	0.1002
		5	28.00	0.1002
8	2.96	0	28.22	0.09943
		1	28.21	0.09947
		3	28.01	0.1002
		5	28.00	0.1002
11	1.95	0	28.20	0.09951
		1	28.09	0.09990
		3	28.02	0.1001
		5	27.94	0.1004

2.2.4 KI 加入量的影响

基准物反应需加入过量的 KI , 以增加反应物浓度, 促使反应进行得更完全。而且过量 I^- 与 I_2 反应生成 I_3^- , 增加 I_2 溶解度, 确保滴定反应定量进行。但若 KI 过量较多, 会造成滴定反应产物 I^- 浓度增加, 致使反应进行不完全。为提高 KI 的加入速率, 选择加入 10% KI 溶液。由公式 7–9 理论计算得出与 KIO_3 反应需要 KI 的质量为 0.6210 g, 10% KI 溶液体积约为 5.6 mL。即基准物反应最少需要约 5.6 mL 的 10% KI 溶液。表 5 考查了不同 pH 条件下, 加入不同体积的 10% KI 溶液的影响。

$$\text{与基准物反应需要 KI: } n_1(\text{KI}) = 5n(\text{KIO}_3) = 5 \times \frac{m(\text{KIO}_3)}{M(\text{KIO}_3)} \times \frac{25.00}{250.00} \quad (7)$$

$$\text{考虑到为增加 I}_2 \text{ 的溶解度 } \text{I}^- + \text{I}_2 = \text{I}_3^-, \text{ 需 } n_2(\text{KI}) = n(\text{I}_2) = 3n(\text{KIO}_3) \quad (8)$$

$$\text{则理论上共需要 } n(\text{KI}) = n_1(\text{KI}) + n_2(\text{KI}) = 8n(\text{KIO}_3) = 8 \times \frac{m(\text{KIO}_3)}{M(\text{KIO}_3)} \times \frac{25.00}{250.00} \quad (9)$$

分析表 5 可以看出, 加入 5 mL 10% KI 溶液时, 由于 KI 量不足造成产生较多无法溶解的 I_2 , 滴定实验无法正常进行。pH 为 2–4 时, 10% KI 溶液体积大于 8 mL 标定所得 $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ 与方法一相近。pH 为 3, 加入 10 mL 10% KI 溶液, 以及 pH 为 2, 加入 13 mL 10% KI 溶液时标定所得 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

浓度与方法一最相近。

2.3 实验数据讨论分析

将方法二与方法一的实验数据相比较可以看出, 选择 KIO_3 为基准物标定 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液的条件是溶液 pH 小于 4, 硫酸的加入量应严格控制, 以防止 pH 骤变。加入 10% KI 溶液的体积应大于 10 mL, 基准物反应速率快, 反应物混合均匀后可立即开始滴定。滴定开始前水的加入对 pH 影响不大。滴定过程中, 淀粉指示剂在滴定至溶液呈淡黄色时加入, 继续滴定至蓝色恰好消失呈无色, 即为滴定终点。

表 5 不同 pH 时 10%KI 溶液的加入体积对 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液标定的影响

pH	加入 10% KI 溶液的体积 $V(\text{KI})/\text{mL}$	加入 10%KI 溶液后现象	$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mL}$	$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)/\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$
4	5	浑浊, 放置 3 min 后可见明显棕色沉淀		
	8	红棕色澄清溶液	28.10	0.09986
	10		28.13	0.09975
	13		28.28	0.09922
	15		28.03	0.1001
3	5	浑浊, 放置 3 min 后可见明显棕色沉淀		
	8	红棕色澄清溶液	28.00	0.1002
	10		28.28	0.09922
	13		28.11	0.09982
	15		28.21	0.09947
2	5	浑浊, 放置 3 min 后可见明显棕色沉淀		
	8	红棕色澄清溶液	28.03	0.1001
	10		28.10	0.09986
	13		28.14	0.09972
	15		28.2	0.09951

3 教学建议及总结

(1) 实验以学生为主体, 教师主要起到引导作用, 通过观察实验现象提出问题, 引导学生整理所学理论知识, 结合学习的实验内容, 融会贯通, 设计有理有据的实验方案。

(2) 根据基准物的不同和需要考查的实验影响因素, 将全班分成小组进行实验。小组间积极开展针对实验基本操作技能和实验方案设计、实施的介绍和讨论。

(3) 该实验属于滴定分析中的氧化还原滴定, 在实验方案的实施中, 引导学生借鉴电位滴定法的实验装置, 全面培养学生的综合实验技能。

(4) 培养学生学习整理实验数据, 对比分析数据, 得出实验结论的能力。实验报告以论文的形式完成, 训练学生整理数据和撰写科技论文的能力。

(5) 实验内容具有较强的可操作性和研究性。教学实践证明能够激发学生的实验热情, 有利于培养学生严谨的科学思维和勇于探索的研究精神。

参 考 文 献

- [1] 饶中浩, 赵佳腾, 霍宇涛, 刘臣臻. 实验室研究与探索, 2019, 38 (8), 201.
- [2] 牛余忠, 杨正龙, 陈厚, 刘希光, 蒙延峰. 化学教育, 2014, 35 (20), 27.
- [3] 王忠辉, 李艳红, 范浩军. 实验技术与管理, 2018, 35 (10), 177.

- [4] 张琦弦. 实验技术与管理, **2018**, 35 (4), 192.
- [5] 陈梁, 许文苑, 徐晨曦, 何斌鸿, 侯朝辉. 山东化工, **2019**, 48, 170.
- [6] 靳明, 王献玲, 韦丽红, 闰明涛, 刘磊, 白国义, 杨瑜涛. 实验技术与管理, **2015**, 6 (1), 213.
- [7] 李鹏飞, 赵健, 范立强, 叶江, 吴海珍, 张惠展. 化工高等教育, **2016**, 33 (2), 25.
- [8] 郑学丽, 陈华, 李梦龙. 化学教育, **2014**, 35 (18), 29.
- [9] 田东亮. 大学化学, **2018**, 33 (3), 17.
- [10] 吴瑛, 张越锋. 化学教育, **2014**, 35 (8), 37.
- [11] 李睥, 陈英海, 孙明礼, 刘毓琪, 胡树林. 大学化学, **2012**, 27 (1), 19.
- [12] 王小燕, 王静, 罗世忠, 解从霞, 李会平. 化学教育, **2018**, 39 (14), 14.
- [13] 罗世忠, 魏庆莉, 王小燕, 解从霞. 基础化学实验. 北京: 科学出版社, 2016: 76, 124.