

# 反应速率测定实验的创新设计<sup>①</sup>

张 建 蓉

西南大学 化学化工学院, 重庆 400715

**摘要:** 分析了在本科基础化学实验教材中反应速率测定实验所存在的不足, 提出了符合反应速率定义的、易于被学生理解接受的、操作简单省时的、巧妙的实验设计.

**关键词:** 反应速率; 定义; 实验设计

**中图分类号:** O61

**文献标志码:** A

在本科基础化学实验中, 反应速率的测定是一个重要的实验, 测得了反应速率, 可进一步确定其他重要的动力学参数, 如反应级数  $n$ 、速率常数  $k$  以及热力学物理量——反应的活化能  $E_a$ , 从而对反应进行更深入的研究. 反应速率测定实验的关键是如何测得反应体系中某物质在不同反应时刻的浓度, 而基础化学实验教材中反应速率的测定实验在这方面存在一些不足.

## 1 现有反应速率测定实验存在的不足

在现有的基础化学实验教材中, 反应速率测定实验主要有两种情形. 吴琴媛等编著的《无机化学实验》教材<sup>[1]</sup>中“过氧化氢分解速率的测定”, 用化学分析法测定不同反应时刻过氧化氢的浓度, 操作繁琐、费时. 其他实验教材<sup>[2-9]</sup>则测定反应体系中某反应物在不同初始浓度下, 消耗相同量的反应物所需的时间, 以平均反应速率代替瞬时反应速率, 然而由于反应物消耗量不可能足够的小, 采用这种测定方法不仅会产生较大的实验误差, 也不能加深学生对反应速率定义的正确理解. 本文以大多数实验教材<sup>[3-7]</sup>所用的试剂、仪器, 巧妙地设计实验, 测得了反应体系中反应物在不同反应时刻对应的浓度, 操作简单、省时, 并且利用作图法求反应速率, 符合反应速率的定义, 能减小实验误差, 易于被学生理解、接受.

## 2 反应速率测定实验的创新设计

采用的反应体系和实验方法与许多实验教材<sup>[3-7]</sup>相同: 以  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  和  $\text{KI}$  在水溶液中的离子反应为反应体系, 向反应体系中加入一定体积和浓度的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液和淀粉溶液. 为使各反应体系不同的仅仅是  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的初始浓度(以  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  作为测量对象), 需使各反应体系具有相同的体积和离子强度, 另外加入了不同体积的、一定浓度的  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 分别测定各反应体系从开始到体系溶液显示蓝色时所经历的时间  $\Delta t$ . 本方法与现有实验教材的不同之处在于, 各反应体系的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的初始浓度必须满足: 第 2 个反应体系的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  初始浓度恰好是第 1 个反应体系溶液变色时刻的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度, 第 3 个反应体系的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  初始浓度恰好是第 2 个反应体系溶液变色时刻的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度, 依次类推. 依据反应, 相邻两个反应体系的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  初始浓度之差恰好是各反应体系中  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  初始浓度的一半. 在作  $c-t$  曲线时,  $c$  为各反应体系变色时刻的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度,  $t$  为  $\Delta t$  的累加, 这样就相当于测得了同一个反应

① 收稿日期: 2010-05-26

作者简介: 张建蓉(1972-), 女, 四川岳池人, 博士研究生, 讲师, 主要从事普通化学课程理论及实验的教学和研究, 博士期间主要从事电分析化学的研究.

体系在不同反应时刻  $t$  对应的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度(图 1)。

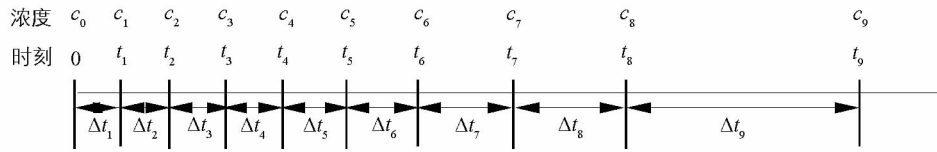


图 1 不同时刻  $t$  对应的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度  $c$  的示意图

在图 1 中, 第 1 个反应体系的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  初始浓度为  $c_0$ , 溶液变色时刻  $t_1$  对应的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度为  $c_1$ ; 第 2 个反应体系的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  初始浓度为  $c_1$ , 溶液变色时刻  $t_2$  对应的  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度为  $c_2$ ; …… 各反应体系在变色之前 KI 的浓度和离子强度未变且相同, 各反应体系叠加, 即: 在  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的初始浓度为  $c_0$  的反应体系中,  $t_1 (= \Delta t_1)$  时刻  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的浓度为  $c_1$ ,  $t_2 (= \Delta t_1 + \Delta t_2)$  时刻  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的浓度为  $c_2$ , ……。

实验设计、实验数据及相关数据见表 1。为更直观, 这里设计了较多的反应体系, 而在实际教学中, 设计 5 个反应体系即可。改变 KI 或  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的浓度, 可调整反应时间, 以便实验在要求学时内完成。表 1 中浓度对应时刻项  $t$  是  $\Delta t$  的累加:  $t_1 = \Delta t_1$ ,  $t_2 = \Delta t_1 + \Delta t_2$ ,  $t_3 = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$ , …,  $t_n = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$ 。

表 1 实验设计、实验数据及相关数据表

实验序号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
KI(0.5 mol · dm <sup>-3</sup> )/mL	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0.1 mol · dm <sup>-3</sup> )/mL	4	4	4	4	4	4	4	4	4
淀粉(0.2%) /mL	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.2 mol · dm <sup>-3</sup> )/mL	0	1	2	3	4	5	6	7	8
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (0.2 mol · dm <sup>-3</sup> )/mL	10	9	8	7	6	5	4	3	2
变色时间 $\Delta t$ /min	5.22	5.86	6.59	7.64	9.01	10.83	16.15	20.08	43.37
总体积/mL	20	20	20	20	20	20	20	20	20
S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> 初始浓度/(mol · dm <sup>-3</sup> )	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
变色时刻 S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> 浓度/(mol · dm <sup>-3</sup> )	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01
浓度对应时刻 $t$ /min	5.22	11.08	17.67	25.31	34.32	45.14	61.30	81.38	124.75

$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的浓度随时间的变化关系曲线见图 2。根据反应速率定义式, 过不同时刻对应曲线上的点作切线, 切线的斜率除以  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的化学计量数即为对应时刻的瞬时反应速率。不同时刻  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的浓度不同, 反应速率不同, 根据速率方程可求出  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的反应级数。在上述实验设计中, 如果使各反应体系不同的仅仅是 KI 的初始浓度, 另外加入不同体积、一定浓度的 KNO<sub>3</sub> 溶液, 且各反应体系中 KI 的初始浓度满足上述创新设计条件, 同理, 可求出 KI 的反应级数。由  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  的反应级数和 KI 的反应级数, 可得到测量温度下的速率常数  $k$ ; 测定不同温度下的速率常数  $k$ , 作直线  $\lg k - 1/T$ , 由直线斜率可求反应的活化能  $E_a$ 。

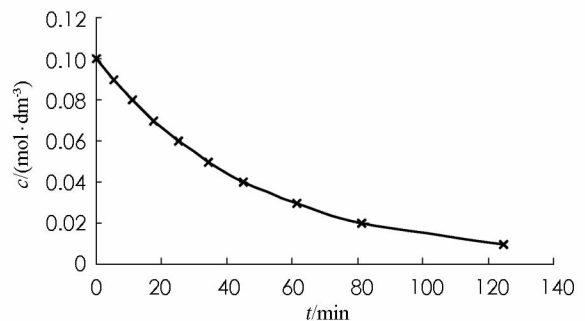


图 2  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  浓度随时间的变化关系曲线

### 3 结 语

在反应速率的测定实验中, 为获取不同反应时刻反应物或产物的浓度, 可不采用通常的化学分析法和物理分析法。通过巧妙地设计实验, 将多个反应体系叠加, 就如对一个反应体系中进行的反应进行测量, 能够得到反应体系中不同反应时刻某物质的浓度, 作出的  $c-t$  曲线符合反应速率定义, 学生容易理解, 并且操作简单。

**参考文献:**

- [1] 吴琴媛, 徐培珍. 无机化学实验 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1988: 121—123.
- [2] 王致勇, 连祥珍. 实验无机化学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1987: 18—19.
- [3] 朱 湛, 傅引霞. 无机化学实验 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 110—115.
- [4] 南开大学化学系无机化学课程组. 基础无机化学实验 [M]. 天津: 南开大学出版社, 1991: 104—107.
- [5] 史启祯, 肖新亮. 无机化学与分析化学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 215—221.
- [6] 刘汉兰, 陈 浩. 基础化学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 158—162.
- [7] 吴俊森. 大学基础化学实验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 58—61.
- [8] 吴琴媛, 徐培珍. 无机化学实验 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1988: 124—126.
- [9] 张伯南, 马德宪, 齐秀珍. 无机化学实验 [M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1988: 31—36.

## A Creative Designing Reaction Rate Determination in Under-Graduate Chemistry Experiments

ZHANG Jian-rong

*School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715*

**Abstract:** The shortage existing in the experiment of the determination of the response rate in undergraduate base chemical experiment textbook is analyzed. Simple operation and time-saving, ingenious experimental design that satisfies response rate definition and can be easily understood and accepted by the students is advised.

**Key words:** response rate; definition; experimental design

责任编辑 潘春燕