

Improvement of the Experiment of Toluene Decolorizing Acidic Potassium Permanganate Solution

Wen'an Bi

Minzu Middle School of Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Xiangxi, Hunan, 416000, China

Abstract

The experiment of toluene decolorizing acidic potassium permanganate solution is a conventional demonstration experiment to verify the reducing property of toluene. To ensure the complete reaction of potassium permanganate solution, an adequate amount of toluene and concentrated sulfuric acid are added for acidification and then mixed with the acidic potassium permanganate solution. However, the two layers are immiscible, and the lower layer is the purple potassium permanganate solution. It is difficult to observe the color change by adding a few drops of potassium permanganate solution. To facilitate the observation of the color change of the solution, this property experiment was improved through theoretical demonstration and experimental verification. Take 2 mL of toluene in a test tube, add 8 to 10 drops of concentrated sulfuric acid, and then add 1 mL of acidic potassium permanganate solution. Shake it, and the solution immediately decolorizes.

Keywords

Acidic potassium permanganate solution; Improvement; Acidification; Construction of demonstration experiment model

甲苯使酸性高锰酸钾溶液褪色的改进

毕文安

湘西土家族苗族自治州民族中学, 中国·湖南 湘西 416000

摘要

甲苯使酸性高锰酸钾溶液褪色, 是一个常规的检验甲苯还原性的性质演示实验, 为保证高锰酸钾溶液完全反应, 加入足量的甲苯和硫酸酸化, 与酸性高锰酸钾溶液混合, 互不相溶, 分层, 下层是紫色高锰酸钾溶液。滴几滴高锰酸钾溶液, 难以观察颜色, 为了便于观察溶液颜色变化, 通过对该性质实验进行理论论证和实验验证, 成功进行改进。取2mL甲苯于试管中, 滴加8~10滴浓硫酸, 再加入1mL的酸性高锰酸钾溶液, 振荡, 溶液立即褪色。

关键词

酸性高锰酸钾溶液; 改进; 酸化; 建构演示实验模式

1 教材的出处

选择性必修3《有机化学基础》P46【实验2-2】。

实验内容	实验现象	解释
(3) 向两支分别盛有2mL苯和甲苯的试管中各加入几滴酸性高锰酸钾溶液, 静置		
(4) 将上述试管用力振荡, 静置		

药品: 苯、甲苯、酸性高锰酸钾溶液。

仪器: 试管、滴管。

思考: 没有给出酸性高锰酸钾溶液的浓度, 没有加热, 特别是酸化时加入硫酸的量, 容易被忽视, 导致课堂演示实验失败。

【作者简介】毕文安(1972-), 男, 土家族, 中国湖南吉首人, 副高, 本科, 从事化学教育研究。

2 问题引入

2.1 演示实验的真实结果

按照书本提供的试剂用量进行实验, 甲苯和苯均不能使酸性高锰酸钾溶液褪色, 振荡后甲苯仍然不能使酸性高锰酸钾溶液褪色。

与实验预期不一致, 直接影响学习甲苯与强氧化剂酸性高锰酸钾溶液发生氧化反应, 一起分析实验失败的可能原因。

2.1.1 分析试剂用量

用试管取2mL甲苯, 向其中滴入3滴酸性高锰酸钾溶液, 振荡10分钟, 几乎不变色。

2.1.2 分析反应条件

为了加快反应速率, 进行加热, 实验前没有准备酒精灯, 学生马上想到用饮水机中的热水浴, 一段时间后观察现象, 仍然未褪色。

2.1.3 分析反应物条件

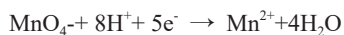
从反应物条件分析,溶液呈紫色,高锰酸钾未变质,可能的三种情况:a.两瓶试剂都是苯;b.配制的高锰酸钾溶液浓度太大;c.配制的高锰酸钾溶液,没有加入硫酸或太少。

(1)

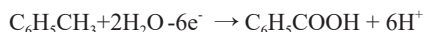
查阅资料进行理论研究,再进行实验验证。

2.1.4 理论探究

①依据氧化剂和还原剂的标准电极电势,在酸性条件下,高锰酸钾的电极反应为:



其标准电极电势为 +1.507 V。



文献查不到标准电极电势数据,计算如下:

$$\Delta G_f^\ominus(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3, \text{l}) = +114.0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_f^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -237.1 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_f^\ominus(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}, \text{s}) = -363.6 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_f^\ominus(\text{H}^+) = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\ominus &= \Delta G_f^\ominus(\text{生成物}) - \Delta G_f^\ominus(\text{反应物}) \\ &= (-363.6 + 0) - [114.0 + 2 \times (-237.1)] \text{ kJ/mol} \\ &= -3.4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

由 $\Delta G^\ominus = -nFE^\ominus$ 可知:

$$E^\ominus = -\frac{\Delta G^\ominus}{nF} = \frac{-(-3.4 \times 1000) \text{ J/mol}}{6 \times 96485 \text{ C/mol}} = +0.0059 \text{ V}$$

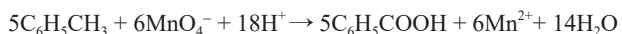
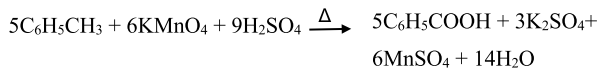
根据苯甲酸/甲苯的标准电极电势为 +0.0059V,远低于 +1.507 V。从电极电势的角度来看,酸性高锰酸钾能够氧化甲苯中的甲基,反应能自发进行。

②依据氧化还原反应原理,酸性高锰酸钾溶液是一种强氧化剂,在酸性条件下, MnO_4^- 离子具有很强的氧化能力,能够接受电子被还原为 Mn^{2+} 离子,溶液的紫色逐渐褪去。

甲苯 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) 中的甲基 ($-\text{CH}_3$) 与苯环直接相连,苯环对甲基的影响,使 ($-\text{CH}_3$) 甲基上的氢原子 (α -氢原子) 具有一定的活性,可被高锰酸钾氧化为 $-\text{COOH}$ 。

③反应过程。

在酸性条件下,甲苯中的甲基被酸性高锰酸钾氧化,最终生成苯甲酸 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$), 反应方程式如下:



为了增强高锰酸钾溶液的氧化性,加入硫酸,可以改变高锰酸钾的电极电势,加热使反应速率加快,溶液紫色褪去更明显。(2)

2.2 设计实验验证实验失败原因

在实验室重新设计验证性实验方案,进行实验,分析原因,逐一排除,确定一个最佳的实验方案。

2.2.1 从反应物甲苯和反应条件入手

表 1 向原甲苯中滴加原酸性高锰酸钾溶液,并加热

原甲苯 /mL	2	2
滴加原酸性高锰酸钾溶液	3 滴	1mL
振荡,观察现象	不褪色	不褪色
继续加热,观察现象	不褪色	不褪色

表 2 向新取的甲苯中滴加原酸性高锰酸钾溶液,并加热

新取甲苯 /mL	2	2
滴加原酸性高锰酸钾溶液	3 滴	1mL
振荡,观察现象	不褪色	不褪色
继续加热,观察现象	不褪色	不褪色

上述实验现象,溶液均不褪色,排除了甲苯和温度对实验结果的影响,可能是配制的酸性高锰酸钾溶液浓度太大。

2.2.2 从反应物酸性高锰酸钾溶液的浓度入手

另取 1mL 原 0.025mol/L 酸性高锰酸钾溶液,稀释 10 倍,备用。

表 3 向新取的甲苯中滴加稀释的酸性高锰酸钾溶液,并加热

新取甲苯 /mL	2	2
滴加原酸性高锰酸钾溶液	3 滴	1mL
振荡,观察现象	不褪色	不褪色
继续加热,观察现象	不褪色	不褪色

稀释后的酸性高锰酸钾溶液仍然不褪色,排除酸性高锰酸钾溶液浓度太大。

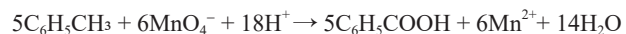
甲苯过量下,少量酸性高锰酸钾溶液不褪色,呈紫色,不可能变质,重新配制 100mL 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液,冷却至室温,进行对比实验:

表 4 向新取的甲苯中滴加新制的酸性高锰酸钾溶液,并加热

新取甲苯 /mL	2	2
滴加新制酸性高锰酸钾溶液	3 滴	1mL
振荡,观察现象	变浅	变浅
继续加热,观察现象	褪色,时间短	褪色,时间长

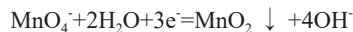
甲苯不能使高锰酸钾溶液褪色,但甲苯能使酸性高锰酸钾溶液褪色。实验失败原因在于:实验员配制 1L 0.025mol/L 的酸性高锰酸钾溶液时,只滴加 2 滴硫酸。而硫酸不仅提供酸性条件,且 H^+ 参与反应 [下见 (3)], 量太少, KMnO_4 过剩较多,几乎不褪色。

2.2.3 从反应原理入手



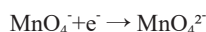
加入硫酸酸化,必须保证 H^+ 过量, MnO_4^- 才能完全反应。

查阅资料,中性条件下,高锰酸钾溶液的氧化性较弱,其标准电极电势为 0.588V,被还原为棕色的二氧化锰 (MnO_2) 沉淀。反应方程式为:



在中性条件下,高锰酸钾可氧化一些还原性较强的物质,如亚铁离子 (Fe^{2+})、硫离子 (S^{2-})、硫化氢 (H_2S) 等。

强碱性条件下，高锰酸钾溶液的氧化能力较弱，标准电极电势约为 0.56V，被还原为绿色的锰酸盐 (MnO_4^{2-})。反应方程式为：



3 探索最佳的性质实验条件

为了性质实验的化学反应速率较快，现象很明显，书本提供的反应物条件，反应条件及实际用量，实验装置等应该是可行的，可靠的，具有科学性的。为了培养学生的化学学科素养，培养具有创新思维能力和动手实践能力，养成严谨的逻辑思维能力，可以参与探究书本的性质实验条件，为未来学习力的培养，打下坚实基础。从以下“四个最佳”进行探究性质实验的最佳效果。(3)

3.1 探究最佳用量

计算以下试剂的物质的量及体积：

甲苯的密度为 $0.866\text{g}/\text{cm}^3$ ，取 2mL 的甲苯的物质的量为：

$$2\text{mL} \times 1\text{cm}^3/\text{mL} \times 0.866\text{g}/\text{cm}^3 \div 92\text{g}/\text{mol} = 0.188\text{mol}$$

取 1mL 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液， KMnO_4 物质的量为：

$$1 \times 10^{-3}\text{L} \times 0.0025\text{mol}/\text{L} = 2.5 \times 10^{-6}\text{mol}$$

配制 100mL 0.025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，需称量 KMnO_4 的质量为： $0.100\text{L} \times 0.025\text{mol}/\text{L} \times 158\text{g}/\text{mol} = 0.395\text{g} \approx 0.4\text{g}$

配制 100mL 0.025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，需加入密度为 $1.84\text{g}/\text{cm}^3$ 浓 H_2SO_4 的体积至少为：

$$0.100\text{L} \times 0.025\text{mol}/\text{L} \div 9 \div 6 \times 98\text{g}/\text{mol} \div 1.84\text{g}/\text{cm}^3 \times 1\text{cm}^3/\text{mL} = 0.2\text{mL}$$

用量筒量取 10mL 0.025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，加水稀释 10 倍，得到 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，备用。

3.2 探究最佳浓度

配制 100mL 0.025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，需加入密度为 $1.84\text{g}/\text{cm}^3$ 浓 H_2SO_4 的体积超过 0.2mL，才能使 1mL 的 0.05mol/L 酸性高锰酸钾溶液反应完全而褪色。硫酸要参加反应，一定要过量，绝不能随意加入几滴浓硫酸酸化。

配制酸性高锰酸钾溶液浓度低于 0.0025mol/L，其浓度越大，消耗硫酸和甲苯的量越大，且褪色时间越长。

3.3 探究最佳温度

取 3 支小试管，分别取 2mL 甲苯，滴加 1mL 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，分别放入盛有不同温度的热水中加热，用秒表计时，记录溶液完全褪色所需时间。推荐三种加热方式，褪色较快。

- ①酒精灯直接加热。
- ②热水浴。
- ③滴加几滴浓硫酸，利用浓硫酸溶于水放热。

表 5 向新取的甲苯中滴加新制的酸性高锰酸钾溶液，加热

三种方式加热	常温	酒精灯加热	热水浴	滴加 8 滴浓硫酸
褪色时间	一天内	2'12"	16'51"	5"

其中三种方式使溶液温度升高，褪色时间短，滴加

8~10 滴浓硫酸更加便捷，现象更加明显，溶液分层，上层是无色液体，下层 1mL 的紫色溶液很快褪色。(4)

4 建构演示实验模式

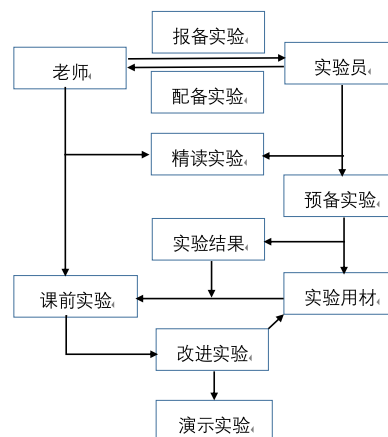


图 1 建构演示实验模式

4.1 重视每一次课堂演示性质实验

老师要高度重视实验操作，同时也要重视实验现象明显，设计更为合理的性质演示实验。

4.2 验证书本中性质实验方案的合理性

配制浓度低于 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，加入足量的硫酸酸化，向 2mL 甲苯中加入 3 滴酸性高锰酸钾溶液，振荡后，观察现象。

按照书本实验步骤进行实验，振荡，溶液颜色略变浅，20 分钟以上才能完全褪色。加入几滴酸性高锰酸钾溶液，量少，学生不易观察颜色变化。

此实验成败关键在于，确保高锰酸钾完全反应。为了优化实验效果，通过上述实验探究甲苯使酸性高锰酸钾溶液褪色，提出一个改进措施：用试管取 2mL 甲苯，加入 1mL 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液，再滴加 8~10 滴浓硫酸，振荡，溶液立即褪色。

此操作的优点：加入 1mL 的 0.0025mol/L 酸性高锰酸钾溶液呈紫色，便于观察颜色变化，利用滴加 8~10 滴浓硫酸溶于水，放出大量热，且保证 H^+ 足量，振荡溶液立即褪色。操作更简便，不需要酒精灯加热，确保酸过量，实验现象更明显。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部，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
- [2] 选择性必修3《有机化学基础》教师教学用书，北京：人民教育出版社 2024（7）：183-184
- [3] 中小学实验教学基本目录（2023年版）化学部分(1) 教育部教育技术与资源发展中心 普通高中化学实验教学基本目录 选择性必修课程模块3有机化学基础 基本实验活动53.探究芳香烃的性质
- [4] 权正军《中学化学实验设计与教学》出版社：科学出版社 出版时间：2023年3月