



## B-Z 振荡反应

### 一、实验目的

1. 了解 B-Z 振荡反应的原理。
2. 观察化学振荡反应现象。
3. 学习测定振荡周期和调控化学振荡反应的方法。

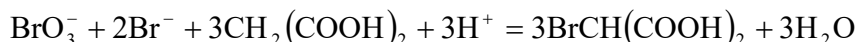
### 二、实验原理

一般化学反应中,反应物与产物的浓度均单方向(降低或增高)变化,最终可达到反应平衡,此时各物质浓度不随时间变化。而在某些化学反应系统中,有些组分的浓度忽高忽低,呈现周期性变化,这种现象叫化学振荡,这类反应称为振荡反应。20 世纪 50 年代,别洛索夫(Belousov)首次报道了在铈离子催化下,柠檬酸被溴酸氧化时,可呈现化学振荡现象。此后,扎勃丁斯基(Zhabotinsky)对化学振荡进行了更深入的研究,证明化学振荡体系还能呈现空间有序的周期性变化。目前已发现,除柠檬酸外,丙二酸、丁酮二酸等有机酸分别被溴酸氧化时,也都会出现化学振荡现象。而且除铈离子外,铁离子等对化学振荡体系也有催化作用,这类含溴酸盐的反应统称为 B-Z 振荡反应。由于化学振荡现象直观地展现了科学领域中普遍存在的非平衡非线性问题,因此成为化学探究中的新领域。在振荡反应系统中,当组分的浓度呈现周期性的变化时,在适当条件下反应液能形成漂亮的图案,如同在平静的水面上投入了一块石子后所呈现的涟漪传播,通常把这种运动变化的图案称为空间化学波。

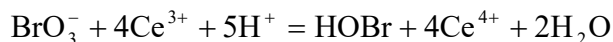
关于 B-Z 振荡反应的机理可简单表述如下:

在含溴酸盐溶液的反应系统中,假设存在 A、B、C 三个反应过程:

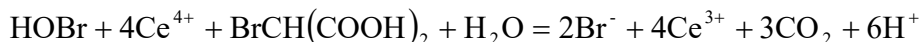
过程 A:



过程 B:



过程 C:

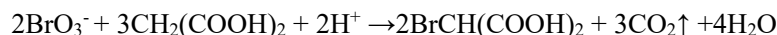


这三个过程合起来就构成一个反应的振荡周期。

当  $c(\text{Br}^-)$  足够大时,反应按过程 A 进行,随着  $c(\text{Br}^-)$  降低,反应从按过程 A 切换到按过程 B 进行,最后通过过程 C 使  $\text{Br}^-$  离子再生,因此,  $\text{Br}^-$  在此振荡反应中相当于一个“选择开关”,而铈离子在反应中起催化作用,催化过程 B 和过程 C。由此可见,反应中  $c(\text{Br}^-)$  和  $c(\text{Ce}^{4+})/c(\text{Ce}^{3+})$  随时间周期性变化,由于  $\text{Ce}^{4+}$  为黄色,  $\text{Ce}^{3+}$  为无色,所以反应液的颜色就在黄色和无色之间振荡。



总反应可如下:



如果向上述反应液中滴加适量的邻菲罗啉亚铁溶液, 则反应液的颜色就会在蓝色与红色之间振荡。此时, 如同铈离子一样, 铁离子对反应能起催化作用, 致使  $c(\text{Fe}^{3+})/c(\text{Fe}^{2+})$  随时间周期性变化, 其中,  $\text{Fe}^{3+}$  与邻菲罗啉结合生成蓝色配合物,  $\text{Fe}^{2+}$  与邻菲罗啉结合生成红色配合物。

### 三、实验仪器和试剂

仪器及材料: 秒表, 培养皿, 烧杯, 玻璃棒, 量筒, 试管, 试管架, 温度计

试剂: 氯化钾 (A.R.), 硝酸铈铵 (A.R.), 溴酸钾 (A.R.), 邻菲罗啉 (A.R.), 硫酸亚铁 (C.P.), 丙二酸 (C.P.), 硫酸 (A.R.)

溶液: 9 mol/L 硫酸溶液、0.1 mol/L 的氯化钾溶液、A 液、B 液、邻菲罗啉亚铁指示剂

A 液的配制: 用电子天平称取 3 g 丙二酸放入 100 mL 烧杯中, 加入 47 mL 去离子水, 用玻璃棒搅拌溶解后, 小心加入 3 mL 浓硫酸, 再加入 0.2 g 硝酸铈铵颗粒, 搅拌溶解。

B 液的配制: 用电子天平称取 2.5 g 溴酸钾放入 100 mL 烧杯中, 加入 50 mL 去离子水, 用玻璃棒搅拌溶解。

邻菲罗啉亚铁指示剂的配制: 用电子天平称取 0.7 g 硫酸亚铁和 0.5 g 邻菲罗啉颗粒放入 100 mL 烧杯中, 加入 50 mL 去离子水, 用玻璃棒搅拌溶解。

### 四、实验步骤

#### 1. 观察化学振荡现象

- 1.1 用 10 mL 量筒分别量取 8 mL 的 A 液和 8 mL 的 B 液, 倒入 100 mL 烧杯中, 用玻璃棒搅拌均匀, 1~2 min 后, 观察并记录溶液颜色的变化及时间 (观察并记录 4 个周期时间间隔)。
- 1.2 在上述溶液中, 再滴加 5 滴邻菲罗啉亚铁指示剂, 用玻棒搅拌均匀后可观察到溶液颜色在蓝色和红色之间振荡, 观察并记录 6 个周期时间间隔。同时观察气体释放情况 (观察时可轻轻拿起烧杯悬空观察)。
- 1.3 向培养皿中分别加入 4 mL 的 A 液和 4 mL 的 B 液, 再滴加 10 滴的邻菲罗啉亚铁指示剂, 充分混合均匀后, 将培养皿水平放在桌面上。这时培养皿中溶液先呈均匀的红色, 片刻后呈现蓝色环状, 向外扩展, 形成各种同心圆图案。摇动培养皿后再静置, 会再有新的图案出现。或者倾斜培养皿, 使其中一些同心圆被破坏, 静置后也可观察到新图案的形成。这些化学波现象能维持 1 h 左右, 认真观察, 在实验报告上画出两个代表性的图案。

#### 2. 化学振荡反应的调控

- 2.1 再现振荡反应。用量筒分别量取 4 mL 的 A 液和 4 mL 的 B 液, 并倒入 25 mL 烧杯



中，再滴加 5 滴的邻菲罗啉亚铁指示剂，用玻璃棒将溶液搅拌均匀。当烧杯中的混合液颜色不再变化，停止振荡时，向混合液中再加入 1 mL 的 B 液，混合均匀后，记录现象。

2.2 加快振荡反应。用量筒从上述[1(2)]的溶液中量取 8 mL 液体于另一洁净的 25 mL 小烧杯中，用玻璃棒边搅拌边滴加 10 滴 9 mol/L 硫酸溶液，观察振荡反应，记录 6 个周期，并与[1(2)]中的振荡周期相比较。

2.3 抑制振荡反应。向[2(2)]的混合液中加入 10 滴 0.1 mol/L 的氯化钾溶液，记录观察到的现象。

## 五、思考题

- 1、若本实验所用仪器只用自来水清洗，是否可以，为什么？
- 2、为什么本实验中振荡停止后，再加入 1 mL 的 B 液能使振荡再现？加入 A 液是否可以？请根据反应方程式用计算说明。
- 3、为什么要等待 1-2 min 后再观察振荡现象？

## 六、注意事项

- 1、反应容器必须清洗干净。
- 2、其他卤素形成的含氧酸盐及阴离子，例如氯离子，会对振荡反应产生干扰，因此实验所需试剂均需用不含氯离子的去离子水配制。
- 3、指示剂的加入量要适量，指示剂加得太多可能观察不到实验现象，加得太少则溶液颜色变化不明显。

## 参考资料

- [1] 尉京志，杨锦，现代化学实验基础[M]，清华大学出版社，2011
- [2] 金丽萍，邬时清，陈大勇，物理化学实验[M]，华东理工大学出版社，2005
- [3] 贺占博，黄智，顾惕人，B-Z 振荡反应的奇异现象，自然杂志，1991 年 06 期，477-478.