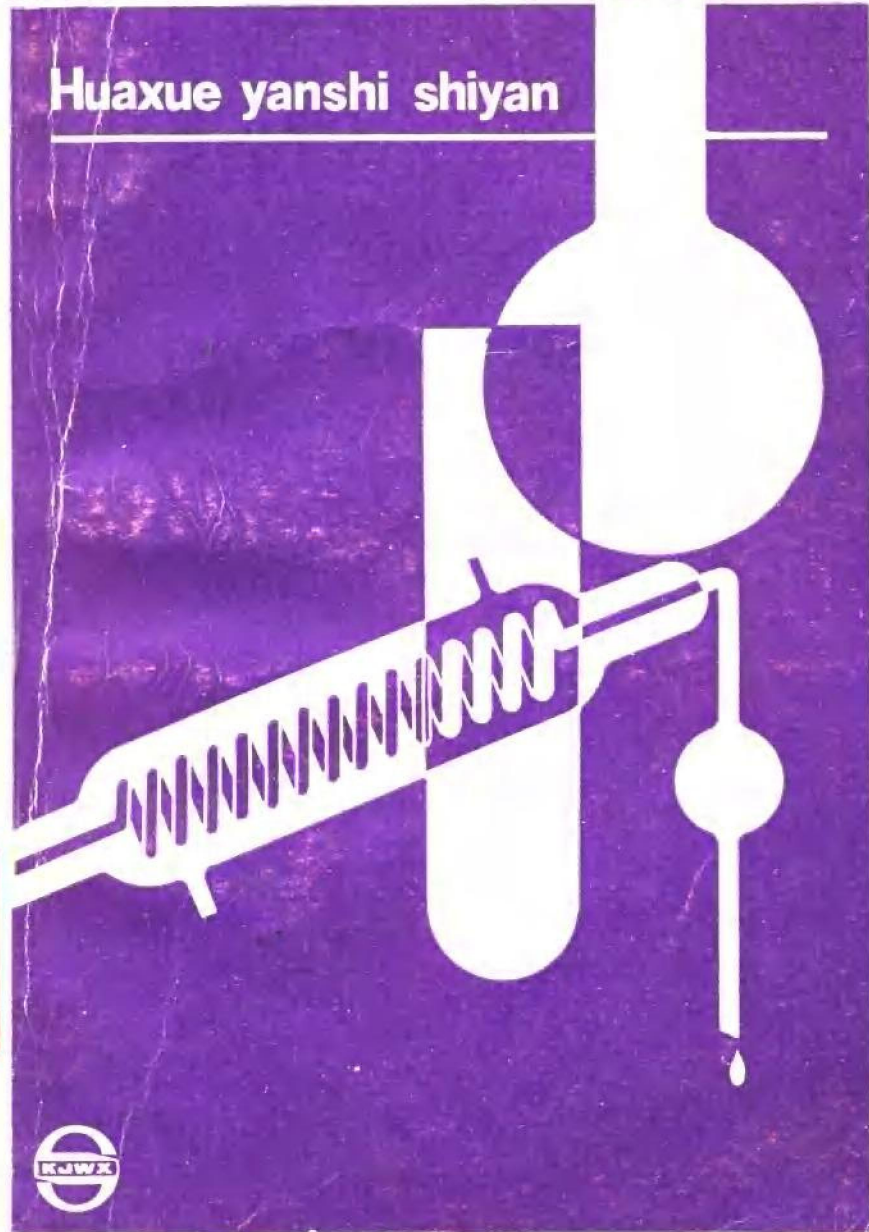


# 化学指示实验

[美] 谢克希里 等著

王耐冬 陈义铺 童九如 译

Huaxue yanshi shiyan

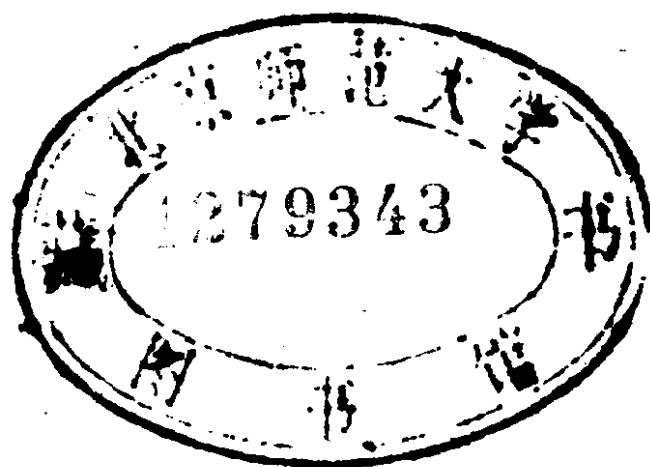


# 化学演示实验

[美] 谢克希里 等著

王耐冬 陈义镛 童九如 译

741/74/31



上海科学技术文献出版社

化学演示实验

[美] 谢克希里 等著

王耐冬 陈义镛 童九如 译

\*

上海科学技术文献出版社出版

(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行

德清洛舍印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 8 字数: 187,000

1985年4月第1版 1985年4月第1次印刷

印数: 1—13,000

书号: 13192·72 定价: 1.50元

〈科技新书目〉 90-186

## 出版者的话

本书所介绍的化学演示实验是由美国威斯康辛大学化学系谢克希里教授主持下的一次校际演示实验观摩表演。其内容大都来自谢克希里及其同事们多年来的教学研究工作。实验内容丰富、新颖,构思巧妙,直观性强,同时对实验的原理亦进行了讨论,因此能引起学生的兴趣,并能启发他们进行思考。

本书内容适合大学一年级及中学化学课堂演示实验之用;也为中学化学课外兴趣小组,化学游戏,化学魔术提供了丰富的内容。

实验 3, 5~8, 11, 12, 16, 17, 21~26, 28~31, 35~37 由王耐冬译; 9, 10, 13~15, 18~20, 27, 32~34, 38~44 由陈义鏞译; 1, 2, 4, 45~70 由童九如译。全书由童九如作技术校对。原书第 9, 46 实验(硝酸与铜的作用)两节,因内容一般,由本社删去。

本书是根据谢克希里教授的手稿复印本翻译的,因此译文内容可能与正式出版书本略有不同,插图往往不够精确,读者如遇疑问,以原书为准。

1984.6

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 1. 酸碱指示剂                    | 1   |
| 2. 碘时钟反应                    | 5   |
| 3. 橙-蓝时钟反应                  | 9   |
| 4. 过氧化氢-碘酸根离子摆动反应           | 15  |
| 5. 鲁米诺化学发光                  | 20  |
| 6. 化学发光时钟反应                 | 24  |
| 7. 单线态氧的化学发光及紫萘酮的激发         | 27  |
| 8. 水化氢氧化钡和铵盐之间的吸热反应         | 30  |
| 9. 银镜(妥伦试验)                 | 35  |
| 10. 氧化还原指示剂存在下的葡萄糖空气氧化      | 38  |
| 11. 银(I)化合物在水溶液中的溶解度和络离子平衡  | 48  |
| 12. 镍(II)在水溶液中的颜色、溶解度及络离子平衡 | 55  |
| 13. 聚丁二烯的制备与性质(弹射橡胶)        | 63  |
| 14. 聚氨酯泡沫塑料                 | 68  |
| 15. “冷光”化学发光                | 71  |
| 16. 化学发热包                   | 81  |
| 17. 化学致冷包                   | 84  |
| 18. 液氧的顺磁性和颜色               | 86  |
| 19. 气压计                     | 93  |
| 20. 分子碰撞的演示                 | 97  |
| 21. 等压下两种气体的相互扩散            | 103 |
| 22. 蒸发-吸热过程                 | 107 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 23. 不燃的毛巾                 | 110 |
| 24. 硫酸的稀释热                | 113 |
| 25. 氯化锂的溶解热               | 116 |
| 26. 氢氧爆炸反应                | 119 |
| 27. 甲烷的燃烧                 | 123 |
| 28. 锌与硫的放热反应              | 126 |
| 29. 锌与碘的放热反应              | 129 |
| 30. 硝酸铵和氯化铵的混合物与锌的放热反应    | 132 |
| 31. 铝热剂反应——铝与三氧化二铁的放热反应   | 135 |
| 32. 高锰酸钾与甘油的放热反应          | 140 |
| 33. 用硫酸使蔗糖脱水的反应           | 143 |
| 34. 由硫酸引发的氯酸钾与蔗糖的放热反应     | 146 |
| 35. 重铬酸铵的放热分解反应           | 148 |
| 36. 硫代硫酸钠的结晶              | 151 |
| 37. 温度对化学平衡的影响            | 155 |
| 38. 甲醛时钟反应                | 158 |
| 39. 具有立体机构的化学体系           | 161 |
| 40. 尼龙 610 (尼龙绳魔术)        | 166 |
| 41. 酚醛聚合物                 | 169 |
| 42. 盐酸苯胺-甲醛聚合物            | 173 |
| 43. 脲醛聚合物                 | 175 |
| 44. 三碘化氮的分解               | 177 |
| 45. NO/CS <sub>2</sub> 火炮 | 180 |
| 46. 冰弹                    | 184 |
| 47. 用氢气或甲烷还原氧化铜           | 186 |
| 48. 由铜“变”银, 再“变”金         | 187 |
| 49. 氨喷泉                   | 188 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 50. 液体的导电性           | 192 |
| 51. 弯曲的水流            | 194 |
| 52. 互溶溶液及其体积缩小       | 195 |
| 53. 银树反应             | 197 |
| 54. 简化的沉浮子           | 198 |
| 55. 氢-氧燃料电池          | 199 |
| 56. 蒸汽压降低时水沸点的降低     | 204 |
| 57. 碘化钾溶液的电解         | 205 |
| 58. 多相催化             | 209 |
| 59. 碳阳离子的稳定性         | 210 |
| 60. 催化剂加速反应          | 212 |
| 61. 离子交换演示           | 213 |
| 62. 彩色水笔墨水的纸谱分析      | 214 |
| 63. 蒸馏水与缓冲溶液中的 pH 变化 | 218 |
| 64. 一个复分解反应          | 220 |
| 65. 另一个红、白、蓝三色演示实验   | 221 |
| 66. 铅气球              | 223 |
| 67. 吸热反应             | 227 |
| 68. 一个国际单位的演示        | 232 |
| 69. 并列反应-橙色旋风        | 239 |
| 70. 古老的喷射剂           | 241 |

# 1. 酸碱指示剂

## • 叙述 •

在 12 只高玻璃筒中充以有色液体並成对地排列在实验桌上,向每一对的一只玻璃筒中加入干冰,几分钟后玻璃筒中的溶液即改变了颜色。

## • 材料 •

一升玻璃筒(最好没有刻度) 12 只

指示剂溶液 每种 10 毫升

百里酚酞(制备 0.04% 储备液,溶解 0.04 克于 50 毫升乙醇中,並用水稀释至 100 毫升)

酚酞(制备 0.05% 储备液,溶解 0.05 克于 50 毫升乙醇中,並用水稀释至 100 毫升)

苯酚磺酞(酚红)(制备 0.04% 储备溶液,溶解 0.04 克于 11.3 毫升 0.01M 氢氧化钠溶液中並用水稀释至 100 毫升)

3',3''-二溴百里酚磺酞(溴百里蓝)(制备 0.04% 储备液,溶解 0.04 克于 8.4 毫升 0.01M 氢氧化钠溶液中並用水稀释至 100 毫升)

甲基红(制备 0.02% 储备液,溶解 0.02 克于 60 毫升乙醇中並用水稀释至 100 毫升)

亚甲基蓝(制备 0.01% 储备液,溶解 0.01 克于 100 毫升水中)



Yamada 广范围指示剂溶液<sup>[1]</sup> [制备 200 毫升储备液, 溶解 0.005 克百里酚蓝, 0.012 克甲基红, 0.060 克溴百里酚蓝, 0.100 克酚酞于 100 毫升乙醇中。用 0.05M 氢氧化钠溶液中和 (至绿色), 用水稀释至 200 毫升]

|             |         |
|-------------|---------|
| 5M 氨水(氢氧化铵) | 200 毫升  |
| 干冰, 小块状     | 约 500 克 |
| 6M 盐酸       | 20 毫升   |

### · 步骤 ·

在 12 只玻璃筒中, 各加水至 4/5 满, 并将它们成对地排列起来。在第一对玻璃筒中, 各加入 5 毫升百里酚酞指示剂溶液; 在第二对玻璃筒中各加入 5 毫升酚酞指示剂; 在第三对中各加入酚红; 在第四对中各加入溴百里蓝; 在第五对中各加入 5 毫升甲基红和 5 毫升亚甲基蓝; 在第六对玻璃筒中各加入广范围指示剂。在第一对 (含有百里酚酞) 玻璃筒中加入足量的 5M 氨水 (约 10 毫升) 以产生蓝颜色。在其他 10 只玻璃筒中加入与此相同数量的氨水。

向每一对的一只玻璃筒中, 加入一块干冰。另一只不加干冰以作对比。当二氧化碳溶解时, 溶液的 pH 值降低, 引起颜色的改变。有必要在盛有甲基红、亚甲基蓝和广范围指示剂的玻璃筒中加入数滴盐酸以完成颜色的转变。

### · 危险点 ·

浓氨水具有强烈的刺激性臭味, 应在通风柜中将溶液稀释至 5M。

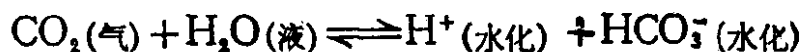
干冰温度至少为  $-78^{\circ}\text{C}$ , 取用时应戴手套, 与皮肤瞬时直接接触会引起冻伤和起泡。

## · 后处理 ·

溶液可用水冲入下水道。干冰可在通风良好的地方升华。

## · 讨论 ·

二氧化碳与水反应的方程式为：



在 25℃ 时，平衡常数值为  $4.3 \times 10^{-7}$ <sup>[2]</sup>。在 760 托压力下，二氧化碳在水中溶解度与温度的关系为<sup>[3]</sup>：

| T·C   | 0      | 5      | 10     | 15     | 20     | 25     | 30     | 35     | 40     |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\frac{\text{gCO}_2}{100\text{gH}_2\text{O}}$ | 0.3346 | 0.2774 | 0.2318 | 0.1970 | 0.1688 | 0.1449 | 0.1257 | 0.1105 | 0.0973 |

在 25℃ 时二氧化碳在水中饱和溶液的 pH 值为 3.8<sup>[2]</sup>。但是在这一演示实验条件下，其 pH 值仅达 5~6。

所用的指示剂产生如下变化<sup>[2]</sup>：

|       |         |             |
|-------|---------|-------------|
| 百里酚酞  | 蓝 → 无色  | pH 10.6—9.4 |
| 酚 酞   | 粉红 → 无色 | pH 10.0—8.2 |
| 酚 红   | 红 → 黄   | pH 8.0—6.6  |
| 溴百里蓝  | 蓝 → 黄   | pH 7.6—6.0  |
| 甲 基 红 | 黄 → 蓝   | pH 6.0—4.8  |

含有亚甲蓝的甲基红：绿色 → 深红

Yamada 广范围指示剂显现可见光谱的颜色<sup>[1]</sup>：

|          |         |
|----------|---------|
| 紫色，pH 10 | 黄色，pH 6 |
| 靛蓝，pH 9  | 橙色，pH 5 |
| 蓝色，pH 8  | 红色，pH 4 |
| 绿色，pH 7  |         |

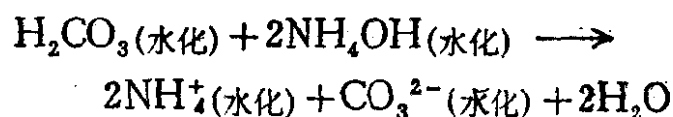
甲基红以及广范围指示剂的最后颜色改变需要加入比碳酸更强的酸。

最初在玻璃筒中加入氨水是为了保证 pH 值在 11 左右。此时的方程式为：



25℃ 时的平衡常数值为  $1.774 \times 10^{-5}$ [2]。

中和反应是



其最终 pH 值是由过量的二氧化碳造成的。

### • 参 考 文 献 •

- [1] Foster, Laurence S., Irving J. Grunfest, "Demonstration Experiments Using Universal Indicators" *J. Chem. Edu.*, Vol 14, 274 (1937)
- [2] Weast, Robert C., Editor *Handbook of Chemistry and Physics* 54Th Edition, Cleveland : The Chemical Rubber Co. Press (1973)
- [3] Hodgman, Charles D., Editor *Handbook of Chemistry and Physics* 40Th Edition, Cleveland: The Chemical Rubber Company Press 1706 (1958)
- [4] Alyea, Hubert N. and Frederick B. Dutton, Tested Demonstrations in Chemistry, 6Th Edition, Easton, Penn: *Journal of Chemical Education* 147 (1965)

## 2. 碘时钟反应

### • 叙述 •

两种无色溶液在烧杯中相混,约10秒钟后,溶液的颜色变为暗蓝黑色。时间间隔可因反应物浓度的变化或反应温度的变化而改变。该演示颇能说明浓度和温度的变化时反应速度所产生的影响。

### • 材料 •

溶液 A: 溶解 1.8 克碘酸钾( $KIO_3$ )于水中,稀释至最终体积为 1 升; $[IO_3^-]=8.4 \times 10^{-3}M$ 。

溶液 B: 溶解 0.9 克亚硫酸钠( $Na_2SO_3$ )于水中并稀释至最终体积为 1 升; $[SO_3^{2-}]=7.1 \times 10^{-3}M$  (该溶液必须在使用前 24 小时之内配制)。

溶液 C: 使 10 克可溶性淀粉悬浮在 50 毫升冷水中,并将此悬浊液加到 500 毫升沸水中,使继续沸腾约 5 分钟;然后将溶液倒到 450 克冰上。边搅拌,边慢慢地加入 25 毫升浓硫酸。加水至最终体积为 1 升。

500 毫升烧杯 (最好是高型的) 13 只

150 毫升烧杯 13 只

100 毫升量筒 1 只

计时器 (可测量至秒的)

电热板

冰水浴

温度计 ( $-10\sim 110^{\circ}\text{C}$ )

### • 步骤 •

1. 时钟反应 在讲台上将 8 只大烧杯排成一行。往每一只烧杯中加入 200 毫升水、50 毫升溶液 C 和 50 毫升溶液 A。每只烧杯都予以充分搅拌。将 8 只小烧杯紧跟在大烧杯后面排成一行,往每只小烧杯中注入 50 毫升溶液 B。

将第一只小烧杯中的溶液加到第一只大烧杯中,同时慢慢计数至 10。当数到 10 时,第二只小烧杯中之物倒到第二只大烧杯中,並重新开始计数,重复此过程,直至所有溶液都混合完毕为止。保持同样的计数速度,注意溶液变成暗蓝黑色时的读数。或者,可以测量从混合反应物至暗色出现的时间(计算至最接近于整数的秒数),室温下,每个混合物应该在 10 秒钟左右改变颜色。

2. 浓度的影响 并排放置两只大烧杯,在一只烧杯中准备好溶液 T;在另一只烧杯中准备好溶液 T/2:

|      | 溶液 T   | 溶液 T/2 |
|------|--------|--------|
| 水    | 225 毫升 | 200 毫升 |
| 溶液 C | 50 毫升  | 50 毫升  |
| 溶液 A | 25 毫升  | 50 毫升  |

在两只小烧杯中各加入 50 毫升溶液 B,同时将小烧杯中的溶液分别加到大烧杯中去,测量由混合至暗蓝黑色出现时所需的时间。室温下,溶液 T 20 秒左右变色,而溶液 T/2 则 10 秒左右变色。

在保持温度不变的条件下,变色所需要的时间可由改变溶液 A 的量( $\text{KIO}_3$  的浓度)而改变。正如在溶液 T 和溶液 T/2 的说明中所示,每当  $\text{KIO}_3$  的浓度在最后反应混合物中加倍时,变

色的时间减半。

3. 温度的影响 变色的时间随温度的变化可由准备三份相同的溶液 T 来演示。一份维持至室温；一份接近 0℃ (冰水浴)；另一份 50℃ 左右。当溶液 B 加到这三只烧杯中时，接近 50℃ 的一只烧杯首先改变颜色，0℃ 左右的那一只变色最迟。高于 50℃ 时，可以看到不同的颜色变化(蓝到橙色)。温度保持在 50℃ 以下是值得推荐的。

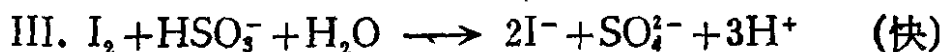
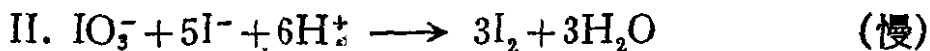
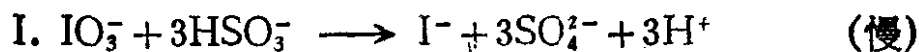
浓硫酸的腐蚀性极强，会引起严重灼伤。加酸入淀粉溶液时必须小心，因为浓硫酸用水稀释是一个剧烈的放热反应，很可能因局部沸腾而飞溅出来。

### · 后处理 ·

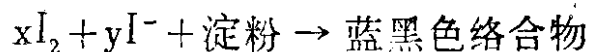
此演示实验中用的所有试剂都是水溶性的，可以冲洗入下水道。

### · 讨论 ·

这个演示实验是基于被称为 Landolt 反应的一系列反应<sup>[1,2]</sup>：



如上所述，反应 I 和 II 相对来说是慢的而反应 III 基本上是瞬间的。所有上述三个反应都是同时进行的，只要存在一些  $\text{HSO}_3^-$ ，反应 II 产生的碘就在反应 III 中消耗。结果是反应混合物中没有足够浓度的碘，然而，当  $\text{HSO}_3^-$  消耗完以后，碘不再会被反应 III 所除去。于是溶液中碘的浓度增加而与淀粉形成蓝黑色络合物<sup>[3]</sup>。



(值得注意的是：由反应 I, II, III, 的整个化学计量学来看，如果  $SO_3^{2-}$  的浓度超过  $IO_3^-$  浓度的三倍或更多，则看不到颜色的变化。这种情况下， $IO_3^-$  在  $SO_3^{2-}$  被消耗完之前已消耗殆尽。)

### • 参 考 文 献 •

- [1] H. Landolt, *Chem. Ber.* Vol. 18, 249 (1885); Vol. 19, 1317 (1886); Vol. 20, 745 (1887)
- [2] C. H. Sorum, F. S. Charton, J. A. Naptune, J. O. Edwards *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 74, 219 (1952) and references therein
- [3] J. A. Chnrch, S. A. Dreskin *J. Phys. Chem.* Vol. 72, 1387 (1968)

### 3. 橙-蓝时钟反应 (Old Nassau)

#### • 叙述 •

碘时钟反应,其方法之一是使溶液先转为橙色,然后变成暗蓝色。该演示实验的另一种方法,是使溶液产生从无色到橙色然后再到无色的颜色变化。

#### • 材料 •

溶液 A: 0.07M 碘酸钾 100 毫升 (配制 1 升 0.07M 储备液,溶解 15 克  $KIO_3$  于水中,并稀释至 1 升)

溶液 B\*: 100 毫升 [配制 1 升储备液,溶解 4 克可溶性淀粉于 500 毫升沸水中,并冷至室温。15 克亚硫酸氢钠( $NaHSO_3$ )溶于约 400 毫升水中。将这两种溶液混合,并稀释至 1 升。此溶液为 0.14M  $NaHSO_3$ ]

溶液 C: 0.01M 氯化汞 100 毫升 (配制 1 升储备液,取 3 克  $HgCl_2$  溶于水中,并稀释至 1 升)

500 毫升烧杯 (高型) 1 只

250 毫升烧杯 2 只

100 毫升量筒 1 只

#### • 步骤 •

取 100 毫升溶液 C, 盛于 500 毫升烧杯中。在两只 250 毫

---

\* 由于亚硫酸氢盐的分解,此溶液必须在使用前 24 小时之内制备。



升烧杯中,分别放入100毫升溶液A和100毫升溶液B。将溶液B和溶液A依次倒入100毫升溶液C中,使迅速混合。溶液混和之后约5秒钟,即生成橙色沉淀,再过5秒钟变成深蓝色溶液。

在混合液中添加水可以延长发生颜色演变所需的时间。例如,若将100毫升溶液B,100毫升溶液A与用三倍水稀释了的100毫升稀的溶液C混合,则此混合液每种颜色变化所需时间约10秒钟。如果溶液C的用量减少(总体积不变),蓝色发生较快,若溶液C的用量更多,则蓝色的出现更慢。

### • 危险点 •

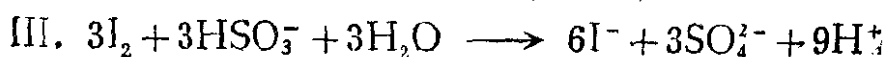
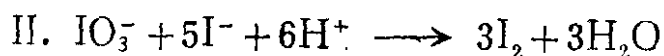
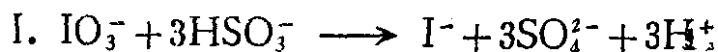
氯化汞是极毒的,引起中毒的原因可能是由于吸入粉末,咽下或接触皮肤所致,而且汞的化合物的中毒是积累性的。

### • 后处理 •

鉴于汞的毒性,因此决不能让单质汞和它的化合物沾污空气和水。可加入硫化钠使汞离子以硫化汞( $K_{sp}=3 \times 10^{-52}$ )形式沉淀,然后洗涤干燥。此固体可拿到适当的地方埋掉(核查一下有关规章)或送回生产单位进行再生产处理。

### • 讨论 •

该演示实验是碘时钟反应的变种之一。发生的主要反应是:



这三步反应是同时进行的,只要反应过程有 $\text{HSO}_3^-$ 存在,II式