

# 有趣的化學實驗——隱形墨水

方金祥

國立高雄師範大學化學系

相信有很多人在孩童時代便已看過或玩過所謂的「隱形墨水」，當時一定會感覺到相當的好奇，即使告知原因也無法瞭解。然而當我們學過國小自然科、國中理化或高中化學之後，對隱形墨水的原理便能恍然大悟了。其實當時的隱形墨水之原理也非常簡單，它僅僅是利用酸鹼指示劑在酸性或鹼性溶液中的顏色變化而已，除了應用化學變化中的酸鹼中和之原理之外，還可利用其他的化學反應——如沈澱反應、氧化還原、錯離子形成及催化反應等現象，來配製隱形墨水。爲了進一步揭開隱形墨水的秘密，以下僅以酸鹼型、沈澱型、錯離子型、氧化還原型及催化型等五種隱形墨水的配製與使用加以說明供作參考。

## 一、酸鹼型之隱形墨水

將酸鹼指示劑如酚酞溶液滴2滴於酸性溶液（如0.1 M HCl）中，並利用毛刷沾酸性溶液將濾紙塗滿，待乾後再利用毛筆沾取鹼性溶液（如0.5 M NaOH）做爲隱形墨水（無色透明），並在濾紙上寫字，則便會在白色濾紙上出現粉紅色字來。如改用其他常用的酸鹼指示劑（如廣用指示劑）加於酸性（或鹼性）溶液中，再用毛刷將其塗在濾紙

表一 酸鹼型隱形墨水之顏色變化

| 字體<br>隱形墨水<br>(無色透明) | 濾紙之<br>顏色之<br>變化處理 | 0.1 M HCl 加指示劑     |                        |                        | 0.1 M NaOH 加指示劑    |                        |                        |
|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
|                      |                    | 酚 酞<br>(濾紙呈<br>白色) | 溴 香 草 藍<br>(濾紙呈<br>黃色) | 廣 指 示 劑<br>(濾紙呈<br>紅色) | 酚 酞<br>(濾紙呈<br>紅色) | 溴 香 草 藍<br>(濾紙呈<br>藍色) | 廣 指 示 劑<br>(濾紙呈<br>藍色) |
| 0.5 M HCl            |                    | —                  | —                      | —                      | 紅 色 底<br>白 色 字     | 藍 色 底<br>黃 色 字         | 藍 色 底<br>紅 色 字         |
| 0.5 M NaOH           |                    | 白 色 底<br>紅 色 字     | 黃 色 底<br>藍 色 字         | 紅 色 底<br>藍 色 字         | —                  | —                      | —                      |

上而呈現紅色（或藍色）紙張，待乾後用毛筆沾取鹼性（或酸性）溶液在上述處理過的紅色濾紙（或藍色濾紙）上寫字，便會出現紅色底藍色字（或藍色底紅色字）來。其結果列於表一，而常用指示劑之顏色變化範圍列於表二。

表二 常用指示劑之顏色變化

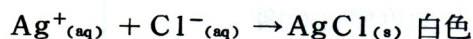
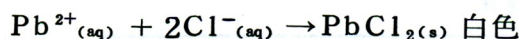
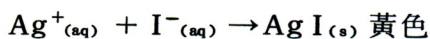
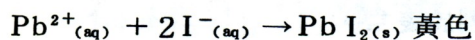
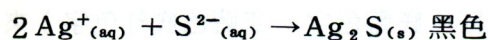
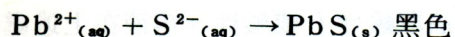
| 指 示 劑 | pH 和顏色變化範圍       |   |   |   |   |   |    |
|-------|------------------|---|---|---|---|---|----|
| 酚 酞   | 8.2（無色）～10.0（紅色） |   |   |   |   |   |    |
| 溴瑞香草藍 | 6.0（黃色）～7.6（藍色）  |   |   |   |   |   |    |
| 廣用指示劑 | 4                | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|       | 紅                | 橙 | 黃 | 綠 | 藍 | 靛 | 紫  |

## 二、沈澱型之隱形墨水

利用兩種不同的化合物反應時會產生不溶性之有色沈澱物來配製成沈澱型隱形墨水，例如(1)由硝酸鉛或硝酸銀溶液與硫化銨溶液作用產生黑色的硫化鉛（ $\text{PbS}$ ）或黑色的硫化銀（ $\text{Ag}_2\text{S}$ ）沈澱。(2)由硝酸鉛或硝酸銀溶液與碘化鉀溶液作用產生黃色的碘化鉛（ $\text{PbI}_2$ ）或黃色的碘化銀（ $\text{AgI}$ ）沈澱。(3)由硝酸鉛或硝酸銀溶液與氯化鈉溶液作用產生白色的氯化鉛（ $\text{PbCl}_2$ ）或白色的氯化銀（ $\text{AgCl}$ ）沈澱。前者(1)與(2)可在白色濾紙上呈現出黑色或黃色字體，而後者(3)可在預先染成黑色的濾紙上呈現白色字體來。其結果列於表三，其反應方程式如下：

表三 沈澱型隱形墨水之顏色變化

| 字體顏色之變化<br>隱形墨水（無色透明）<br>濾紙之處理      | 硫化銨溶液<br>$(\text{NH}_4)_2\text{S}$<br>（濾紙呈白色） | 碘化鉀溶液<br>$\text{KI}$<br>（濾紙呈白色） | 氯化鈉溶液<br>$\text{NaCl}$<br>（濾紙先染成黑色） |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 硝酸鉛溶液<br>$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ | 白色底<br>黑色字                                    | 白色底<br>黃色字                      | 黑色底<br>白色字                          |
| 硝酸銀溶液<br>$\text{AgNO}_3$            | 白色底<br>黑色字                                    | 白色底<br>黃色字                      | 黑色底<br>白色字                          |

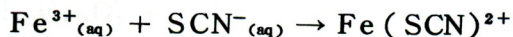


### 三、錯離子型之隱形墨水

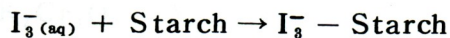
由金屬陽離子和非金屬陰離子結合成有色的錯離子 (Complex ion) 來配製而成隱形墨水。例如(1)由氯化鐵溶液和硫氰酸鉀溶液作用形成紅色的硫氰酸鐵〔 $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ 〕錯離子。(2)由可溶性澱粉溶液和碘液作用而形成深藍色的  $\text{I}_3^-$  - Starch 錯離子。(3)由氯化鐵或氯化亞鐵與亞鐵氰化鉀或鐵氰化鉀溶液作用皆分別形成深藍色錯化合物，其結果列於表四，其反應方程式如下：

表四 錯離子型之隱形墨水顏色變化

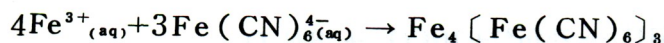
| 字體顏色變化<br>濾紙之處理<br>隱形墨水<br>(無色透明)             | 氯化鐵溶液<br>$\text{FeCl}_3$<br>(濾紙呈淡棕色) | 碘-碘化鉀溶液<br>( $\text{I}_3^-$ )<br>(濾紙呈棕色) | 氯化亞鐵溶液<br>$\text{FeCl}_2$<br>(濾紙呈淡棕色) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 硫氰酸鉀溶液<br>$\text{KSCN}$                       | 棕色底<br>紅色字                           | —                                        | —                                     |
| 可溶性澱粉溶液<br>Soluble starch                     | —                                    | 棕色底<br>深藍色字                              | —                                     |
| 亞鐵氰化鉀溶液<br>$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ | 淡棕色底<br>深藍色字                         | —                                        | —                                     |
| 鐵氰化鉀溶液<br>$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  | —                                    | —                                        | 淡棕色底<br>深藍色字                          |



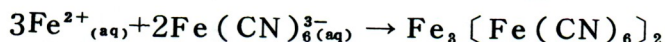
紅 色



澱 粉 深藍色



深藍色



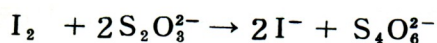
深藍色

#### 四、氧化還原型之隱形墨水

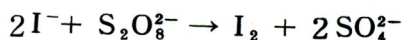
由氧化劑與還原劑作用時產生顏色變化（產生或消失）之現象而配製成隱形墨水。例如(1)由硫代硫酸鈉溶液與碘液作用時碘液的棕色會消失。(2)由過氧二硫酸鉀溶液將碘化鉀溶液中之碘離子氧化成碘分子而呈現棕色。(3)由草酸將紫紅色的過錳酸鉀溶液還原成無色的錳離子。其結果列於表五，其反應方程式如下：

表五 氧化還原型隱形墨水之顏色變化

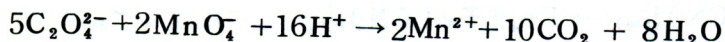
| 字<br>體<br>顏<br>色<br>變<br>化<br>隱<br>形<br>墨<br>水<br>濾<br>紙<br>之<br>處<br>理 | 碘 酒<br>$\text{I}_2$<br>(濾紙呈棕色) | 碘化鉀溶液<br>$\text{KI}$<br>(濾紙呈白色) | 過錳酸鉀溶液<br>$\text{KMnO}_4$<br>(濾紙呈紫紅色) |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 硫代硫酸鈉溶液<br>$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$<br>(還原劑)                   | 棕 色 底<br>白 色 字                 | —                               | 紫紅色底<br>白 色 字                         |
| 過氧二硫酸鉀溶液<br>$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$<br>(氧化劑)                   | —                              | 白 色 底<br>棕 色 字                  | —                                     |
| 草酸鈉溶液<br>$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$<br>(還原劑)                     | —                              | —                               | 紫紅色底<br>白 色 字                         |



棕色                      無色



無色                      棕色



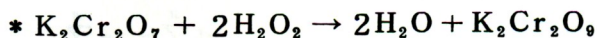
紫紅色                      無色

## 五、催化型之隱形墨水

由於催化劑之催化作用而使化學反應發生而且產生明顯的顏色變化來配製的隱形墨水。例如(1)由二鉻酸鉀 ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 催化過氧化氫而分解成水和氧氣時，二鉻酸鉀先轉變成暗褐色的過氧二鉻酸鉀 ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_8$ )，隨後又會放出氧氣而回復為原來的二鉻酸鉀。(2)魯米諾 (Luminol) 在鹼性溶液和雙氧水存在下受到  $\text{Fe}^{3+}$  或  $\text{Fe}^{2+}$  等離子之催化而出現藍綠色光。因此若將二鉻酸鉀溶液處理在濾紙上，隨後用毛筆沾取雙氧水在濾紙上寫字，則會出現暗褐色字體，但不久又會消失。若將赤血鹽 ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ )、氯化鐵 ( $\text{FeCl}_3$ ) 或氯化亞鐵 ( $\text{FeCl}_2$ ) 溶液分別處理在濾紙上，然後在魯米諾之氫氧化鈉溶液中加入少許雙氧水，於暗室內在濾紙上寫字，則會出現藍綠色光之字跡，但不久又會消失。其結果列於表六。

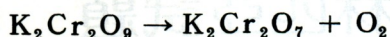
表六 催化型隱形墨水之顏色變化

| 字體顏色之<br>隱形墨水                     | 濾紙之處理 | 二鉻酸鉀溶液<br>$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$<br>(濾紙呈橘紅色) | 赤血鹽溶液<br>$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$<br>(濾紙呈紅色) | 氯化鐵溶液<br>$\text{FeCl}_3$<br>(濾紙呈淡棕色) | 氯化亞鐵溶液<br>$\text{FeCl}_2$<br>(濾紙呈淡棕色) |
|-----------------------------------|-------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 雙氧水<br>( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) |       | *橘紅色底暗褐色字隨後又消失                                          | —                                                      | —                                    | —                                     |
| 魯米諾之鹼性溶液<br>(Luminol/NaOH)        |       | —                                                       | **於暗室內呈現藍綠色光字，隨後又消失                                    | **於暗室內呈現藍綠色光字跡，但在光線下呈深棕色字跡           | **於暗室內呈現藍綠色光字跡，但在光線下呈深棕色字跡            |



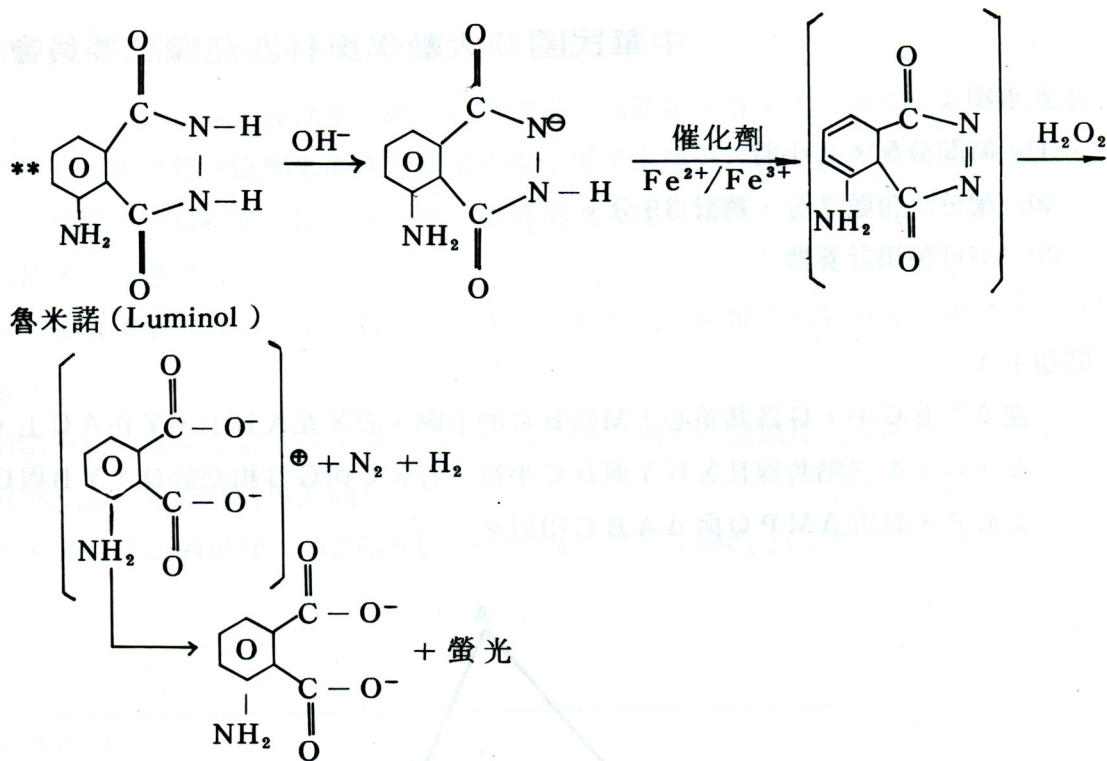
橘紅色

暗褐色



暗褐色

橘紅色



## 六、結 論

上述所介紹的五種隱形墨水乃是分別由不同的化學藥品，如酸鹼性溶液和指示劑，沈澱劑、氧化劑、還原劑、錯化劑或催化劑及發光劑等分別調配而成無色透明的溶液作為隱形墨水，而且必須分別在特殊藥品處理過之濾紙上來寫字，才會由於分別發生酸鹼中和、產生沈澱、氧化還原、形成錯離子或錯化合物或催化作用等而出現各種不同顏色的字體，此乃為隱形墨水之秘密所在。

若將上述幾種隱形墨水加以混合，則便可同時針對不同藥品處理的濾紙寫出不同顏色的字體來，由此配製成一綜合型的隱形墨水。如將碘化鉀溶液、硫代硫酸鈉溶液及硫氰酸鉀溶液等混合成一綜合型的隱形墨水時，便可分別在硝酸鉛溶液、碘酒溶液及氯化

(下接第 49 頁)

鐵溶液等處理過的濾紙上寫出白底黃色字體 (  $\text{PbI}_2$  )、棕褐色底白色字 (  $\text{I}^-$  ) 及白色底紅色字 (  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  ) 來。

## 七、參考資料

1. 方金祥：趣味化學實驗講義。國立高雄師大化學系。中華民國七十九年二月。
2. 蕭韻玲、邱寶鳳、蘇昭瑾、方泰山：化學能轉變成光能的示範實驗——一套方便的教具。化學；第四十二卷第三期，A 52 — A56。中華民國七十三年九月。
3. 國立編譯館：高中基礎理化實驗手冊上册實驗 3-4 化學能轉換成光能。中華民國七十六年八月四版。
4. E. J. King : Qualitative Analysis and Electrolytic Solutions.