

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 化學科

050207

鈷化合物與鈷配位化合物的顏色探討與應用

學校名稱：新北市立中和高級中學

作者：  高一 王育琳  高二 林彥霖  高二 張宇翔	指導老師：  劉宗憲  黃甄玲
---	-----------------------------

關鍵詞：過渡金屬、配位化合物、顏色變化

## 摘要

本次實驗主要討論鈷化合物與鈷配位化合物的顏色變化，透過實驗中改變藥品劑量、加熱時間以及加溫時間後得到反應的最高產率，並觀察鈷化合物顏色的變化情形，改變反應物的量不會造成顏色變化，製作過程中改變加熱時間對顏色變化也不會改變，而鈷綠顏色在溫度高時會變成黑色，而鈷配位化合物鈷黃在高溫時會產生顏色變化。

在加熱過程中我們發現鈷黃顏色有明顯的漸變，在 100~190 度之間顏色變為橘色，而 190~240 度之間會呈現咖啡色，大於 240 度粉末會呈現黑色，當溫度在 100~190 度內，冷卻後橘色粉末會變回黃色。故把鈷黃塗在紙上，做成檢測排煙管溫度的試紙來應用，也利用此變化現象做成會變色的圖畫跟火災時門的簡易溫度檢測。

## 壹、研究動機

在一次的美術參訪中，我們得知了一種特殊的藍色—普魯士藍，經過上網查詢後，發現其顏料和配位化合物有關，而配位化合物通常都有特殊的顏色，於是啟發了我們對類似顏料的探討，並請教化學老師以及美術老師相關的製作方法，開始研究對鈷配位化合物在不同反應條件下的顏色變化情形。

## 貳、研究目的

- 一、探討鈷綠加熱時間的影響
- 二、探討鈷綠加高溫後的顏色變化情形
- 三、探討醋酸劑量對鈷黃的影響
- 四、探討亞硝酸鉀劑量對鈷黃的影響
- 五、探討含水氯化鈷劑量對鈷黃的影響
- 六、探討加熱時間對鈷黃的影響
- 七、探討加高溫對鈷黃水溶液的顏色影響
- 八、探討加高溫後對鈷黃粉末的顏色影響
- 九、鈷黃在生活中的應用

## 參、研究設備及器材

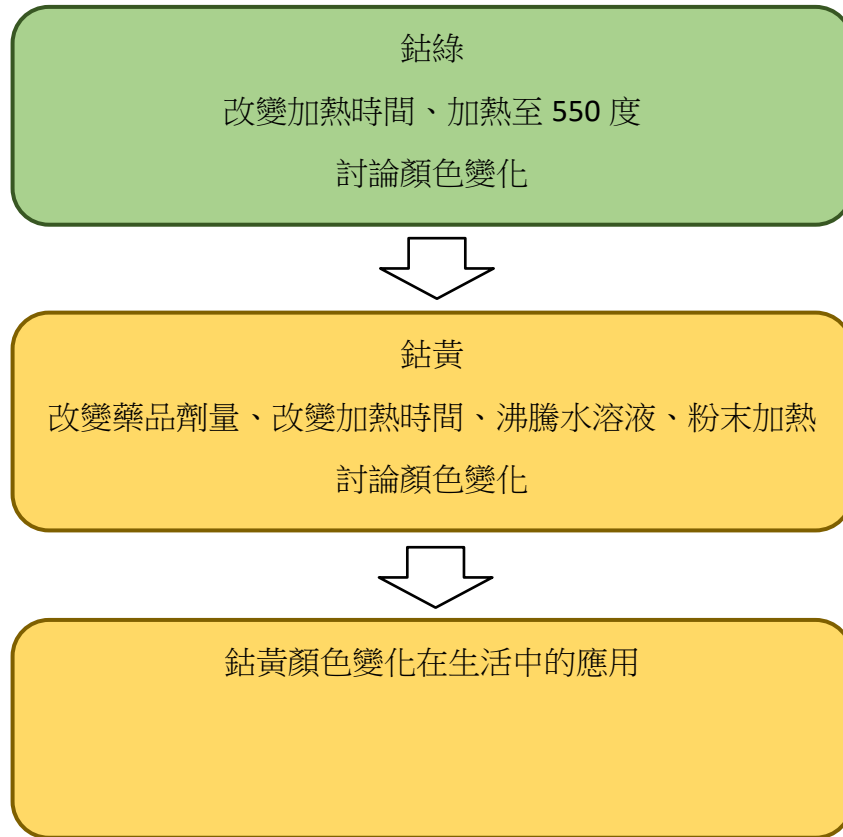
### 一、實驗藥品：

實驗藥品				
鈷黃 $K_3[Co(NO_2)_6]$	含水氯化鈷 $CoCl_2 \cdot 6H_2O$	亞硝酸鉀 $KNO_2$	冰醋酸 $CH_3COOH$	蒸餾水 $H_2O$
鈷綠 $CoO \cdot ZnO$	含水氯化鈷 $CoCl_2 \cdot 6H_2O$	氧化鋅 $ZnO$		

### 二、實驗器材：

器材	規格	數量	器材	規格	數量
燒杯	400ml	30 個	研杵		3 個
量筒	100ml	1 個	研鉢		3 個
量筒	10ml	1 個	玻璃攪拌棒		12 個
滴管	3ml	20 支	圖畫紙	A4	5 張
秤紙	10*10cm	1 包	電子秤	0.01g~500.00g	3 座
烘乾爐	標準型 150L	1 台	電熱板	均勻式	1 座
磁石攪拌子	2 x 0.5cm	3 個	加熱攪拌器	IACF-PC420D	2 座
玻璃瓶	25ml	50 罐	刮勺	15cm	12 支
吸濾瓶	250ml	1 個	橡膠管		1 條
濾紙	90mm	20 張	布氏漏斗	100mm	1 個
水彩筆		1 支	橡皮塞		1 個

## 肆、研究過程或方法



### 一、加熱時間對鈷綠影響

實驗步驟：

- 一：將 1.00g 的含水氯化鈷和 5.00g 氧化鋅在研鉢、研杵混合均勻。
- 二：使用刮勺和玻璃攪拌棒將混合物移至燒杯中。
- 三：在加熱板上 300 度分別加熱 10min、20min、30min、40min、50min、60min，以磁石攪拌子攪拌(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 四：將混合物冷卻至室溫，儲存至玻璃罐中觀察顏色變化。

### 二、加高溫對鈷綠的影響

實驗步驟：

- 一：將 1.00g 的含水氯化鈷和 5.00g 氧化鋅在研鉢、研杵混合均勻。
- 二：使用刮勺和玻璃攪拌棒將混合物移至燒杯中。
- 三：在加熱板上 300 度加熱 30min，以磁石攪拌子攪拌(加熱溫度過高，故在抽風廚內反應且全程看著)。
- 四：將混合物冷卻至室溫後，再次將粉末加熱 550 度觀察顏色變化(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。

### 三、醋酸劑量對鈷黃影響

#### 實驗步驟：

- 一：將 6.00g 的含水氯化鈷溶於 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 二：將 15.00g 亞硝酸鉀溶於 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 三：用滴管吸取 1ml、2ml、3ml、4ml、5ml、6ml、7ml、8ml 冰醋酸至不同氯化鈷溶液中。
- 四：將所有溶液放用玻璃攪拌棒攪拌均勻後置在加熱盤上加熱至 80 度(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯混合均勻，產生沈澱物並釋放氣體(攪拌需保持在加熱盤上，由透明紫色變渾濁的棕澄色)，加熱 1 個小時(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為芥末黃，濾液為透明的淺粉)，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥。
- 七：用刮勺將沉澱物取下並放在研鉢中，再用研杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。

### 四、亞硝酸鉀劑量對鈷黃的影響

#### 實驗步驟：

- 一：將 6.00g 的含水氯化鈷溶於 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 二：將 3.00g、6.00g、9.00g、12.00g、15.00g、18.00g、21.00g、24.00g 亞硝酸鉀溶至不同 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 三：用滴定管吸取 3ml 冰醋酸至所有氯化鈷溶液中。
- 四：將所有溶液放用玻璃攪拌棒攪拌均勻後置在加熱盤上加熱至 80 度(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯混合均勻，產生沈澱物並釋放氣體(攪拌需保持在加熱盤上，由透明紫色變渾濁的棕澄色)，加熱 1 個小時(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為芥末黃，濾液為透明的淺粉)，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥。
- 七：用刮勺將沉澱物取下並放在研鉢中，再用研杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。

## 五、含水氯化鈷劑量對鈷黃的影響

### 實驗步驟：

- 一：將 2.00g、4.00g、6.00g、8.00g、10.00g、12.00g、14.00g、16.00g 的含水氯化鈷至不同 60ml 蒸餾水，共 8 杯。
- 二：將 15.00g 亞硝酸鉀溶於 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 三：用滴定管吸取 3ml 冰醋酸至所有氯化鈷溶液中。
- 四：將所有溶液放用玻璃攪拌棒攪拌均勻後置在加熱盤上加熱至 80 度(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯混合均勻，產生沈澱物並釋放氣體(攪拌需保持在加熱盤上，由透明紫色變渾濁的棕澄色)，加熱 1 個小時(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為芥末黃，濾液為透明的淺粉)，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥。
- 七：用刮勺將沉澱物取下並放在研鉢中，再用研杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。

## 六、加熱時間對鈷黃的影響

### 實驗步驟：

- 一：將 6.00g 的含水氯化鈷溶於 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 二：將 15.00g 亞硝酸鉀溶於 60ml 蒸餾水中，共 8 杯。
- 三：用滴定管吸取 3ml 冰醋酸至所有氯化鈷溶液中。
- 四：將所有溶液放置在加熱盤上加熱至 80 度(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯混合均勻，產生沈澱物並釋放氣體(攪拌需保持在加熱盤上，由透明紫色變渾濁的棕澄色)，分別加熱 20、40、60、80、100、120、140、160min(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為芥末黃，濾液為透明的淺粉)，再用蒸餾水沖洗沈澱物，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥過夜。
- 七：用玻棒將沉澱物取下並放在研鉢中，再用研杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。

## 七、溫度對鈷黃粉末的影響

### 實驗步驟：

- 一：將 6.00g 的含水氯化鈷溶於 60ml 蒸餾水中。
- 二：將 15.00g 亞硝酸鉀溶於 60ml 蒸餾水中。
- 三：用滴定管吸取 3ml 冰醋酸至氯化鈷溶液中。
- 四：將溶液放置在加熱盤上加熱至 80 度(加熱溫度過高，故在抽風廚內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯至均勻，產生沈澱物並釋放氣體。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為芥末黃，濾液為透明的淺粉)，再用蒸餾水沖洗沈澱物，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥過夜。
- 七：用玻棒將沉澱物取下並放在研鉢中，再用杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。
- 八：將粉末倒上加熱板加熱觀察顏色變化(加熱溫度過高，故在抽風廚內反應且全程看著)。
- 九：將粉末冷卻後觀察顏色變化。

## 八、加高溫對鈷黃的影響

### 實驗步驟：

- 一：將 6.00g 的含水氯化鈷溶於 60ml 蒸餾水中。
- 二：將 15.00g 亞硝酸鉀溶於 60ml 蒸餾水中。
- 三：用滴定管吸取 3ml 冰醋酸至氯化鈷溶液中。
- 四：將溶液放置在加熱盤上加熱至沸騰(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯混合均勻，將加熱板開至 550 度，產生沈澱物並釋放氣體(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為橘色)，再用蒸餾水沖洗沈澱物，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥過夜。
- 七：用玻棒將沉澱物取下並放在研鉢中，再用杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。

## 九、鈷黃在生活中的應用

實驗步驟：

- 一：將 6.00g 的含水氯化鈷溶於 60ml 蒸餾水中。
- 二：將 15.00g 亞硝酸鉀溶於 60ml 蒸餾水中。
- 三：用滴定管吸取 3ml 冰醋酸至氯化鈷溶液中。
- 四：將溶液放置在加熱盤上加熱至 80 度(加熱溫度過高，故在抽風櫥內反應且全程看著)。
- 五：將亞硝酸溶液添加入氯化鈷溶液，攪拌燒杯至均勻，產生沈澱物並釋放氣體。
- 六：使用布氏漏斗和濾瓶收集沈澱物(沈澱物為芥末黃，濾液為透明的淺粉)，再用蒸餾水沖洗沈澱物，取下濾紙並在乾燥箱中乾燥過夜。
- 七：用玻棒將沉澱物取下並放在研鉢中，再用杵將混合物磨至粗細大小一致，接著再轉移到玻璃瓶儲存。
- 八：取出粉末後製成溫度感測試紙，並黏貼於機車排氣管上觀察機車發動與熄火後顏色變化情形。

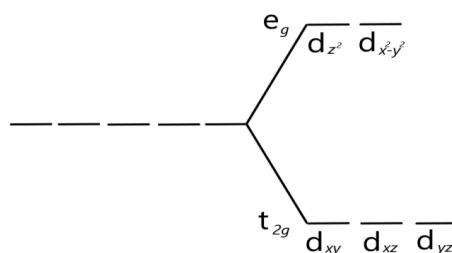
## 十、配位化合物

**配位化合物**：以一個具有空價軌域的中心金屬原子和金屬陽離子為中心，與周圍具有孤對電子的陰離子和分子，結合成複雜的原子團，這種複雜的原子團稱為錯合物或配位化合物，帶有電荷的配位化合物又稱錯離子。

**配位基(ligand)**：結合於中心金屬原子或其陽離子四周的陰離子和極性分子。

## 十一、晶體場理論

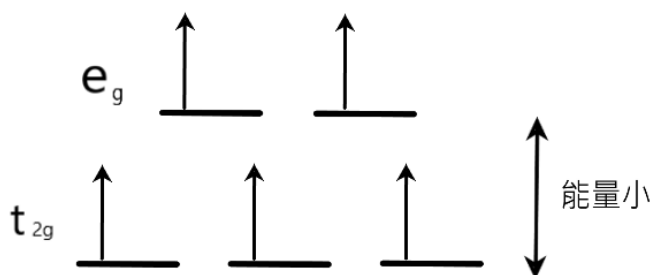
**晶體場理論(Crystal field theory)**：錯合物的中心金屬經常是過渡元素，過渡元素具有五種相等能量的 d 軌域，在空間中的方向都不同。首要假設是將配位鍵都視為正負電荷相吸的純離子鍵，配位基的孤對電子視為負的點電荷，或是部分負的電偶極；帶正電的中心金屬離子處於負電荷配位基所形成的晶體場中。當配位基加進來形成錯合物後，受到晶體場的交互作用，五種 d 軌域的能量會受到影響，此謂 d 軌域開裂。



圖一：d 軌域開裂

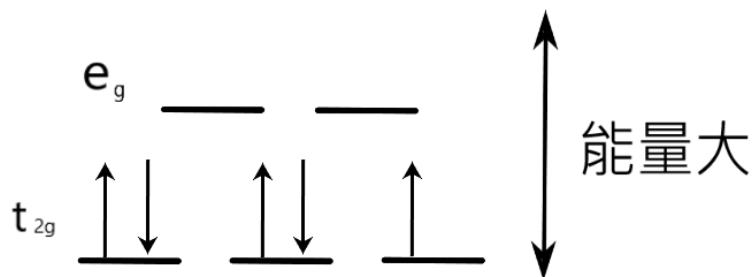


**高自旋(high spin)**：配位基屬於弱配位場會使 d 軌域分裂能較小，電子傾向平行填入所有 d 軌域。



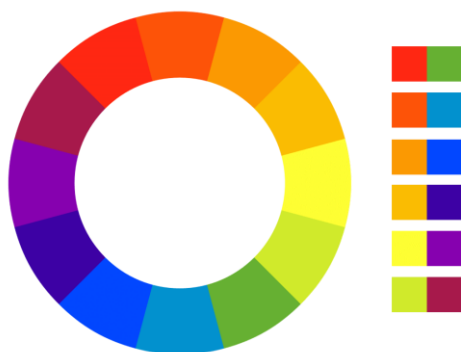
圖二：[FeBr<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>電子排布圖

**低自旋(low spin)**：配位基屬於強配位場會使 d 軌域分裂能較大，填入電子時，電子傾向非平填入所有 d 軌域,會先填滿分裂後能量較低的軌域。



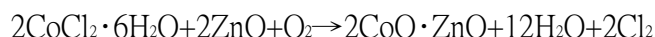
圖三：[Fe(NO<sub>2</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>電子排布圖

**顏色理論**：基態的 d 電子處在低能的軌域，照光獲得能量後，吸收光子躍遷到高能軌域。其顯色的原因是光被吸收而呈現被吸收光的補色。由於不同的配位基分裂能不相同，導致顏色差異也很大，所以當中心金屬原子不變時，低自旋使能分裂減少，光波長增加，頻率減少；高自旋使能分裂增大，光波長減少，頻率增大。



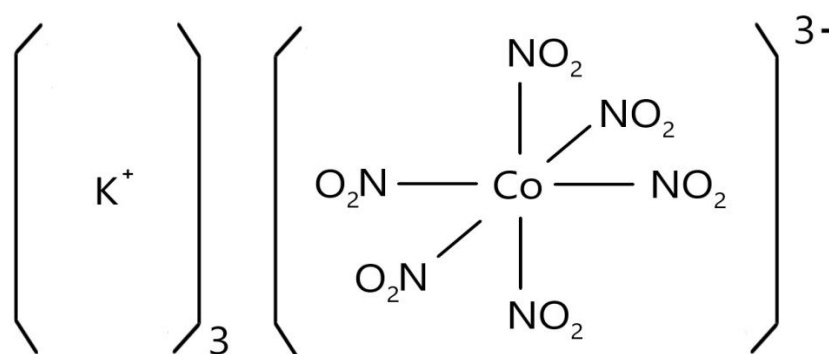
圖四：顏色互補色

## 十二、鈷綠原理



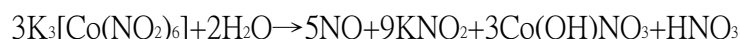
$\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$ ：此化合物屬於離子化合物，其中在離子化合物中，外層電子為八隅體，較為穩定，故要使化合物發生化學反應，需要非常高的能量。

## 十三、鈷黃原理



圖五：鈷黃結構

**溶液沸騰時出現橘色的鈷化合物**：溶液在高溫下鈷黃與水反應形成  $\text{Co}(\text{OH})\text{NO}_3$ ，因此製成的粉末會變為橘色，且不會因為溫度降低而改變顏色。



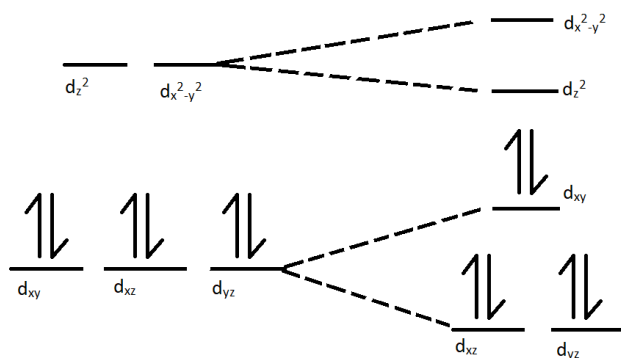
**加高溫的鈷黃粉末**：因為在鈷黃中鈷的配位基亞硝酸根(強配位基)，所以當其 d 軌域分裂時的軌域屬於強場配位，其分裂的軌域能隙較大，因此其六個電子優先填入較低能量的三個軌域且其分裂能較大導致其電子在躍遷時吸收較高能量，躍遷到較高能量的軌域發出互補光，即是我們肉眼可看見的顏色為橘色。

然而鈷黃屬於配位化合物，連接處是由配位共價鍵組成，遇高溫容易斷裂，鈷離子會曝露在空氣中，與空氣中的氧氣反應，形成鈷的氧化物，故為黑色。

## 十四、姜泰勒效應

具有六配位的過渡金屬離子，其中  $d_0$ 、 $d_3$ 、 $d_5$ 、 $d_{10}$  以及高自旋的  $d_5$  和低自旋的  $d_8$  離子，它們之中被電子所佔據的各個軌道疊合在一起時，整個 d 殼層電子雲在空間的分佈，符合  $O_h$  對稱，它們在正八面體配位位置中是穩定的。d 軌域的離子皆有可能發生姜泰勒效應，d 殼層電子雲的空間分佈不符合  $O_h$  對稱，在正八面體配位位置中是不穩定的，導致 d 軌道分裂，配位位置發生偏離  $O_h$  對稱的某種畸變，使中心離子穩定。這種由於中心過渡金

屬離子之 d 電子雲分佈的對稱性和配位體的幾何構型不相協調，因而導致後者發生畸變，並使中心陽離子本身的 d 軌道的簡併度降低，以便達到穩定化程度提高。



圖六：Co<sup>3+</sup>的 d 軌道分裂

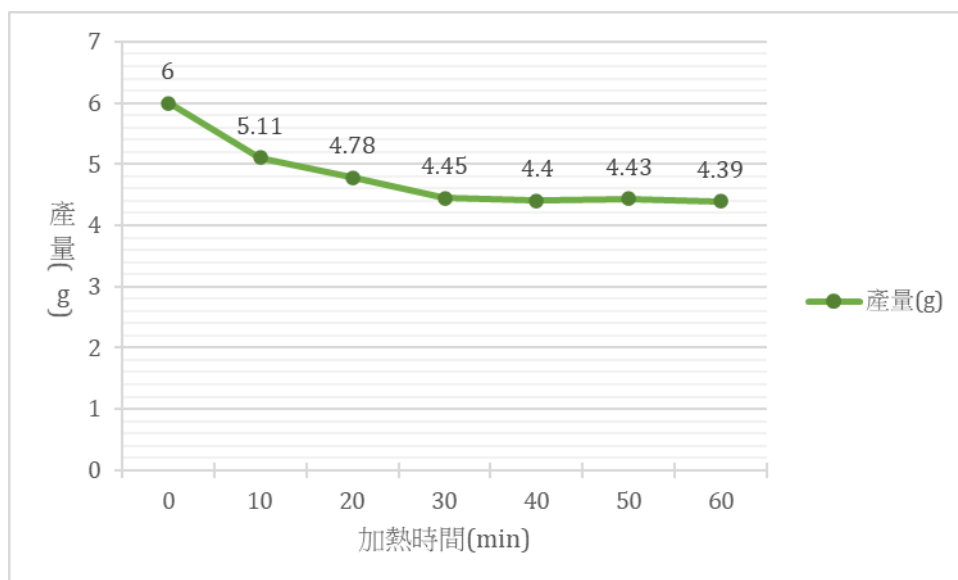
## 伍、研究結果

### 一、加熱時間對鈷綠影響

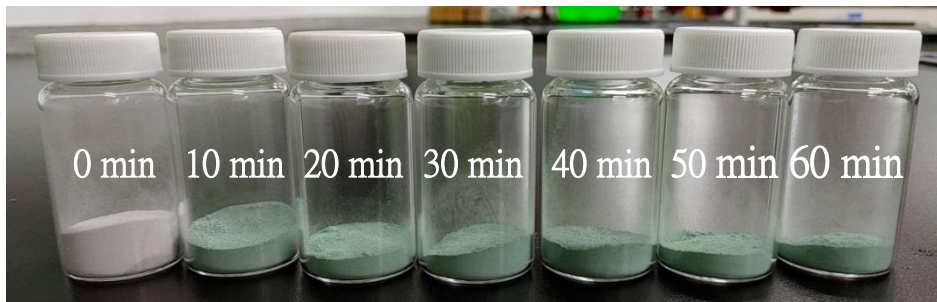
(一)使用 1.00g 含水氯化鈷與 5.00g 氧化鋅，加熱至 300 度，改變加熱時間並觀察顏色變化與產量

表一：改變加熱時間之產量

加熱時間(min)	0	10	20	30	40	50	60
產量(g)	6.00	5.11	4.78	4.45	4.40	4.43	4.39



圖七：改變加熱時間與產量折線圖



圖八：改變加熱時間之鈷綠粉末

(二)觀察結果

- 1、加熱時間的改變對鈷綠顏色沒有太大影響。
- 2、在加熱 30min 後產量逐漸趨緩

二、加高溫對鈷綠的影響

(一)使用 1.00g 含水氯化鈷與 5.00g 氧化鋅，加熱至 550 度並觀察顏色變化



圖九：高溫加熱鈷綠



圖十：加熱後鈷綠(下)與未加熱(上)對比

(二)觀察結果

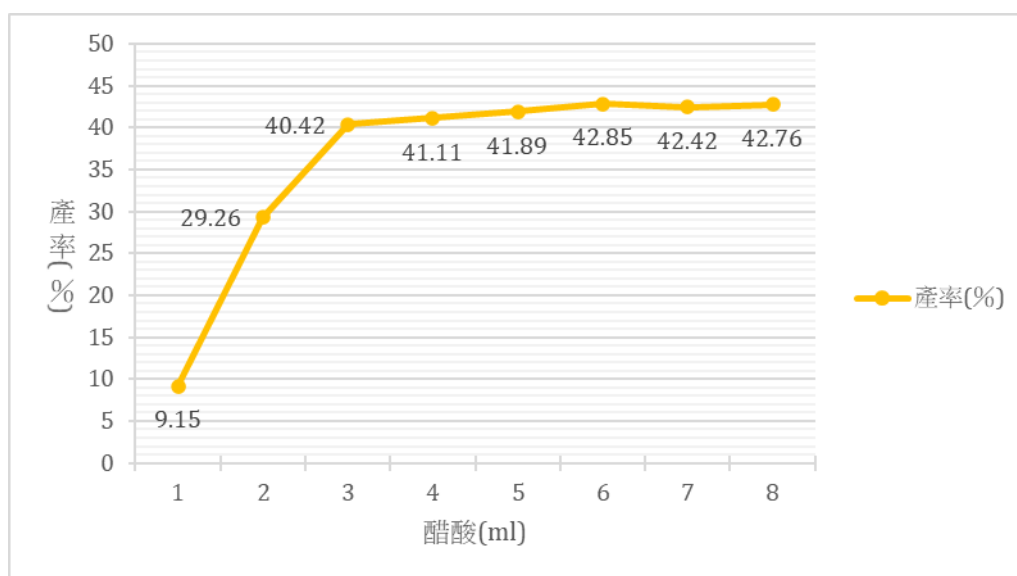
- 1、加熱至 550 度的鈷綠和未加熱的鈷綠顏色差別不大

### 三、醋酸劑量對鈷黃影響

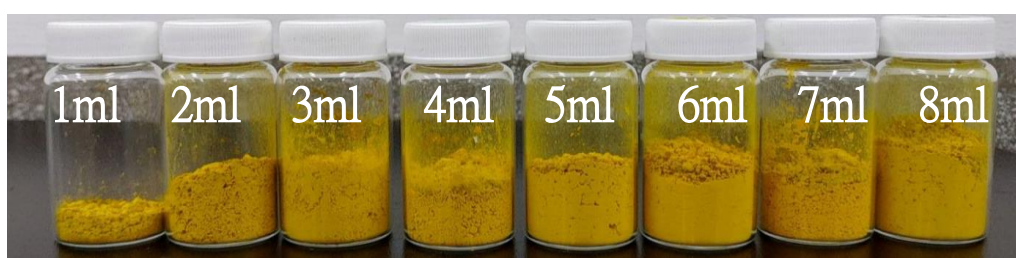
(一)含水氯化鈷(6.00g)、亞硝酸鉀(15.00g)、醋酸(1~8ml)，共 8 杯溶液，加熱 80 度(1hr)

表二：不同的醋酸劑量與產量

醋酸(ml)	1	2	3	4	5	6	7	8
產量(g)	1.05	3.40	4.64	4.72	4.81	4.92	4.87	4.91
產率(%)	9.15	29.26	40.42	41.11	41.89	42.85	42.42	42.76



圖十一：醋酸劑量與產率折線圖



圖十二：醋酸劑量對與鈷黃顏色

#### (二)觀察結果

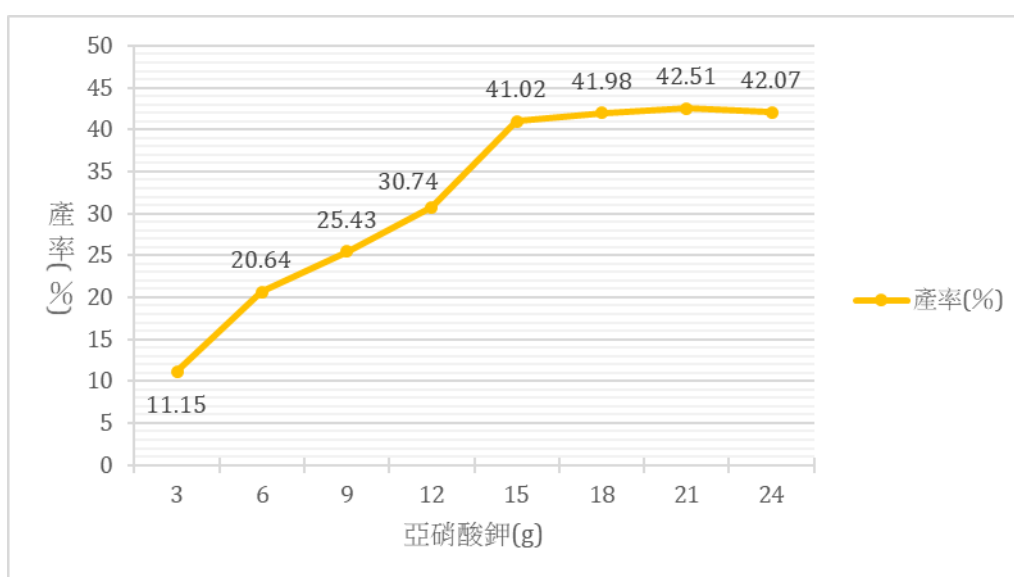
- 1、不同的醋酸劑量(1~8ml)改變對鈷黃的顏色影響不大。
- 2、由 3ml 醋酸以上製作的鈷黃產量都很接近。

#### 四、亞硝酸鉀劑量對鈷黃顏色的影響

(一) 含水氯化鈷(6.00g)、亞硝酸鉀(3.00g、6.00g、9.00g、12.00g、15.00g、18.00g、21.00g、24.00g)、醋酸(3ml)，共 8 杯溶液，加熱 80 度(1hr)

表三：不同的亞硝酸鉀劑量與產量

亞硝酸鉀(g)	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00
產量(g)	1.28	2.37	2.92	3.53	4.71	4.82	4.88	4.83
產率(%)	11.15	20.64	25.43	30.74	41.02	41.98	42.51	42.07



圖十三：亞硝酸鉀與產率折線圖



圖十四：亞硝酸鉀劑量對與鈷黃顏色

#### (二) 觀察結果

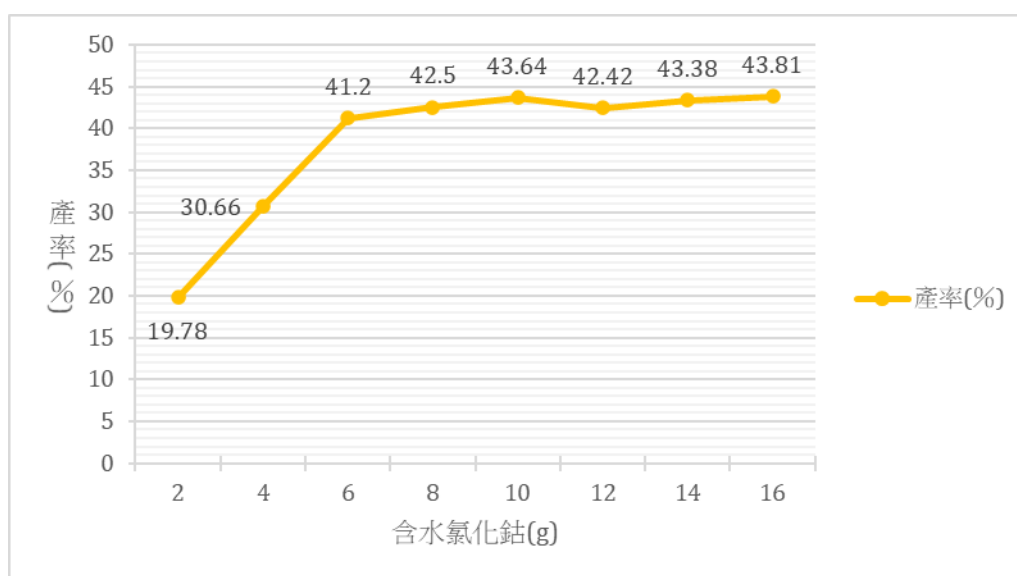
- 1、不同的亞硝酸鉀劑量(3.00g、6.00g、9.00g、12.00g、15.00g、18.00g、21.00g、24.00g)改變對鈷黃的顏色影響不大。
- 2、由 15.00g 亞硝酸鉀以上製作的鈷黃產量都很接近。

## 五、含水氯化鈷劑量對鈷黃的影響

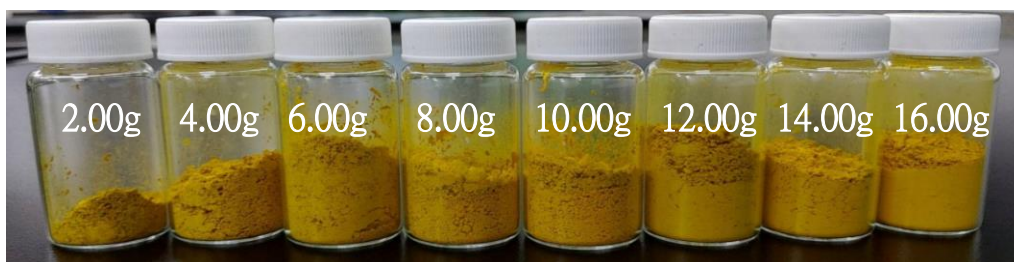
(一)含水氯化鈷(2.00g、4.00g、6.00g、8.00g、10.00g、12.00g、14.00g、16.00g)、亞硝酸鉀(15.00g)、醋酸(3ml)，共 8 杯溶液，加熱相同時間 80 度(1hr)

表四：不同的含水氯化鈷劑量與產量

含水氯化鈷(g)	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00
產量(g)	2.27	3.52	4.73	4.88	5.01	4.87	4.98	5.03
產率(%)	19.78	30.66	41.20	42.50	43.64	42.42	43.38	43.81



圖十五：含水氯化鈷與產率折線圖



圖十六：含水氯化鈷劑量對與鈷黃顏色

### (二)觀察結果

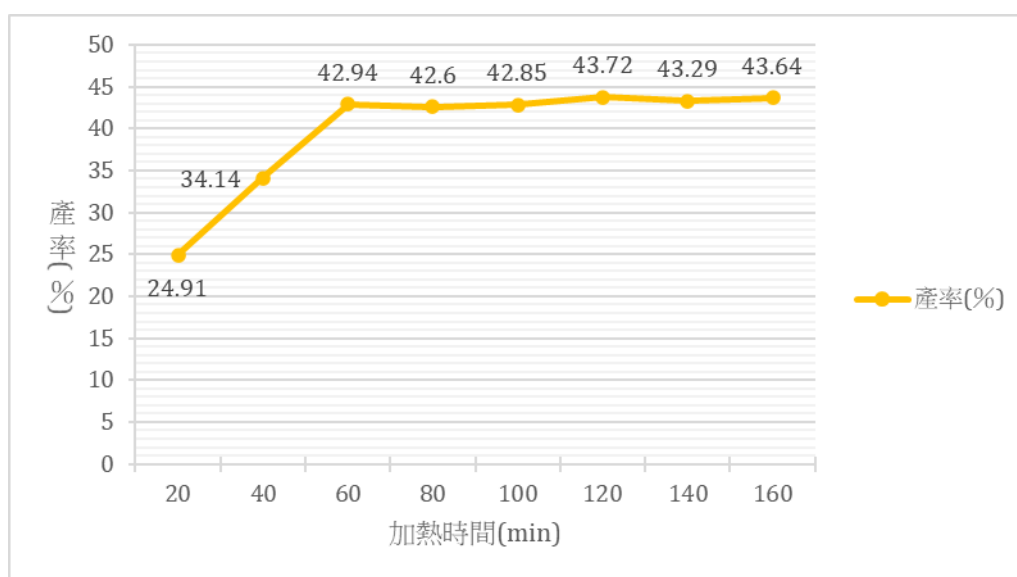
- 1、不同的含水氯化鈷劑量(2.00g、4.00g、6.00g、8.00g、10.00g、12.00g、14.00g、16.00g)改變對鈷黃的顏色影響不大。
- 2、由 6.00g 含水氯化鈷以上製作的鈷黃產量都很接近。

## 六、加熱時間對鈷黃的影響

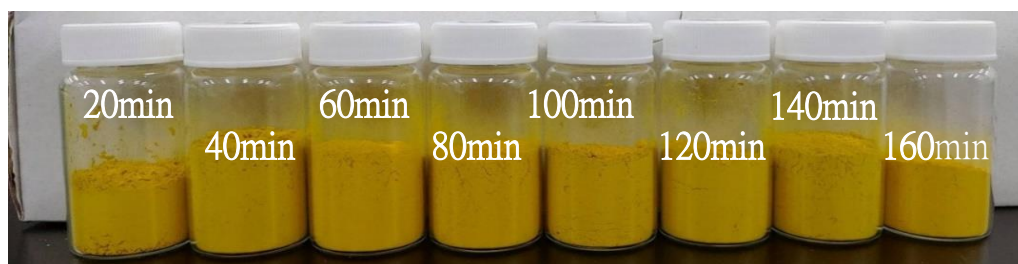
(一)使用定量含水氯化鈷(6.00g)、亞硝酸鉀(15.00g)、醋酸(3ml)，共 8 杯溶液，分別加熱至 80 度，改變不同的加熱時間(20min、40min、60min、80min、100min、120min、140min、160min)

表五：不同的加熱時間與產量

加熱時間(min)	20	40	60	80	100	120	140	160
產量(g)	2.86	3.92	4.93	4.89	4.92	5.02	4.97	5.01
產率(%)	24.91	34.14	42.94	42.60	42.85	43.72	43.29	43.64



圖十七：加熱時間與產率折線圖



圖十八：加熱時間對鈷黃顏色的影響

## (二)觀察結果

- 1、加熱 60min 以上製作的鈷黃產量都很接近。
- 2、我們推測不同的加熱時間改變對鈷黃的顏色影響不大。



## 七、加高溫對鈷黃粉末的影響

### (一)觀察結果

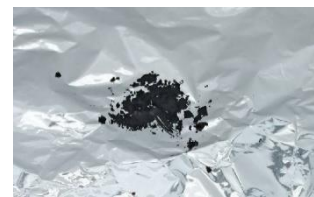
- 1、大約至 100 度時開始變淡橘色，溫度越高顏色越接近橘色。
- 2、190~240 度開始變咖啡色和黑色。
- 3、240 度以上時全部變黑色。
- 4、將加高溫後的橘色鈷黃粉末降溫後變回黃色。
- 5、將加高溫後的咖啡色鈷黃粉末降溫後變回黃黑色。
- 6、將加高溫後的黑色鈷黃粉末降溫後顏色還是黑色。



圖十九：高溫加熱鈷黃



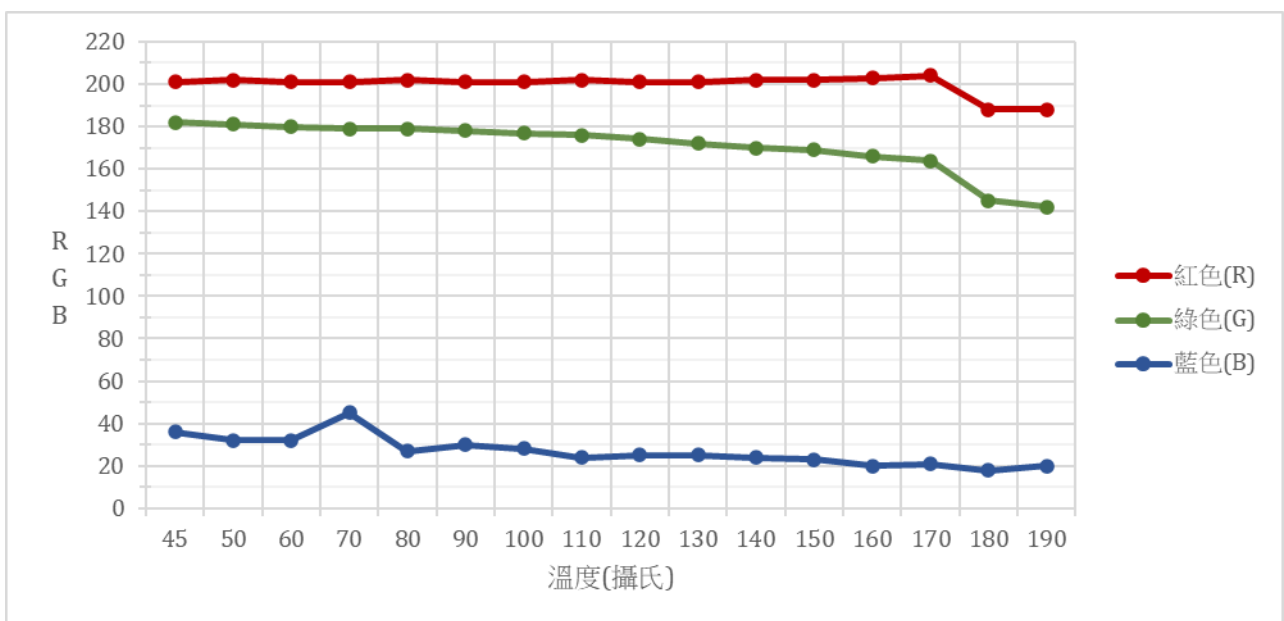
圖二十：冷卻後鈷黃



圖二十一：鈷黃變黑冷卻後

表六：不同加熱溫度所造成的 R、G、B 數值影響

加熱溫度 (攝氏)	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
紅色(R)	201	202	201	201	202	201	201	202	201	201	202	202	203	204	188	188
綠色(G)	182	181	180	179	179	178	177	176	174	172	170	169	166	164	145	142
藍色(B)	36	32	32	45	27	30	28	24	25	25	24	23	20	21	18	20



圖二十二：鈷黃粉末加溫後的 R、G、B 對應數值

## 八、加高溫對鈷黃水溶液的影響

(一)使用含水氯化鈷(6.00g)、亞硝酸鉀(15.00g)、醋酸(3ml)配製之溶液加熱(1hr)至沸騰

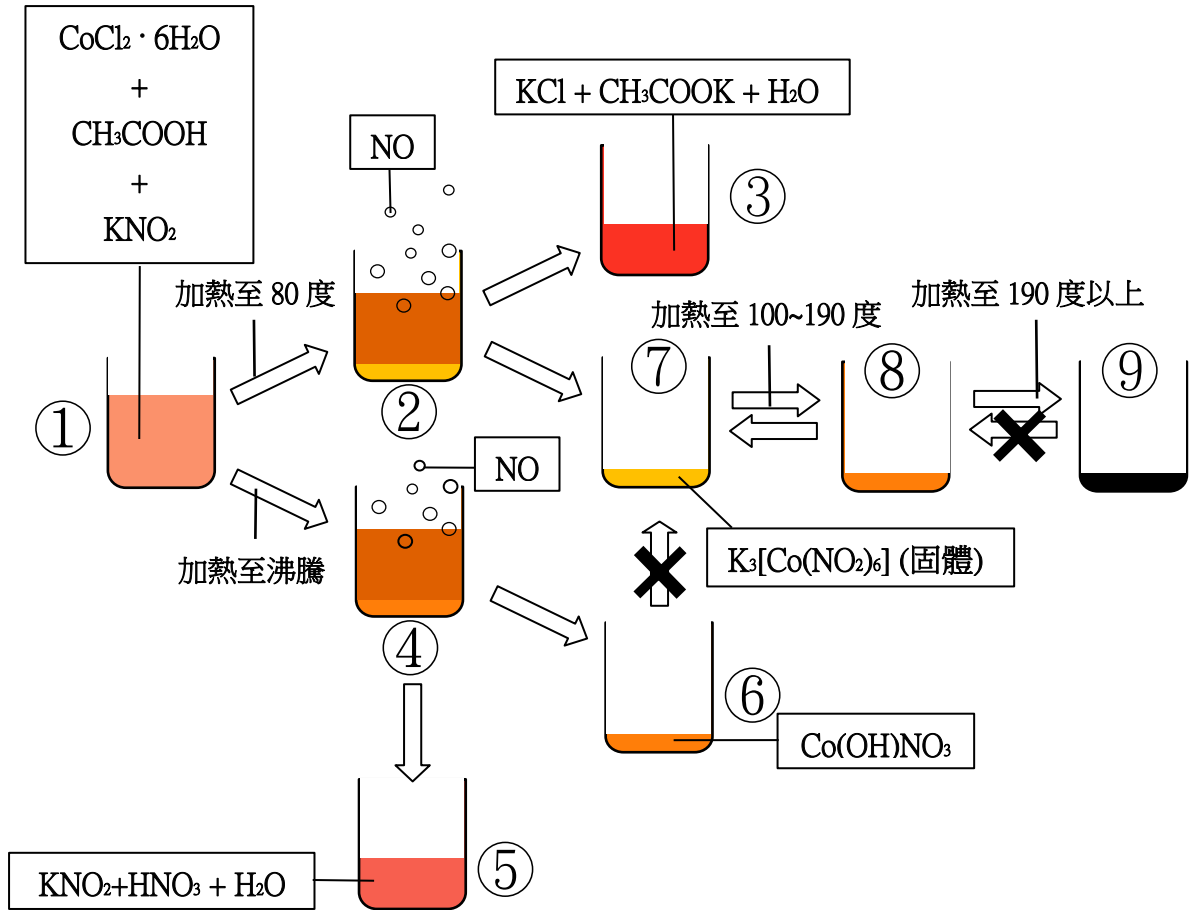


圖二十三：沸騰鈷黃溶液後的沉澱物

### (二)觀察結果

- 1、鈷黃與沸水反應，沉澱物為橘色。
- 2、和直接加熱鈷黃粉末不同，降溫後顏色為橘色。

鈷黃實驗之總流程圖



圖二十四：鈷黃實驗之總流程圖

①②③鈷黃之濾液

①②⑦⑧⑨加熱鈷黃粉末

① ⑤沸騰鈷黃水溶液之濾液

①④⑥加熱鈷黃水溶液至沸騰之粉末



圖二十五：①



圖二十六：②



圖二十七：③



圖二十八：④



圖二十九：⑤



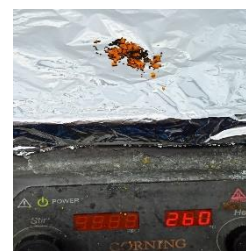
圖三十：⑥



圖三十一：⑦



圖三十二：⑧



圖三十三：⑨

## 九、鈷黃在生活中的應用

(一)將鈷黃與黃色顏料塗在圖畫紙上，畫成蘑菇的圖樣並開始加熱，觀察顏色的變化



圖三十四：將相近於鈷黃顏色的顏料與鈷黃塗在圖畫紙，畫出蘑菇的圖樣。



圖三十五：將圖畫紙持續加溫。



圖三十六：將圖畫紙持續加溫，鈷黃顏色從黃色變成橘色。



圖三十七：圖畫紙降回室溫，鈷黃顏色變回接近圖三十四的鈷黃顏色。

(二)將鈷黃粉末製成試紙，黏貼於排氣管觀察溫度與顏色之間的關係



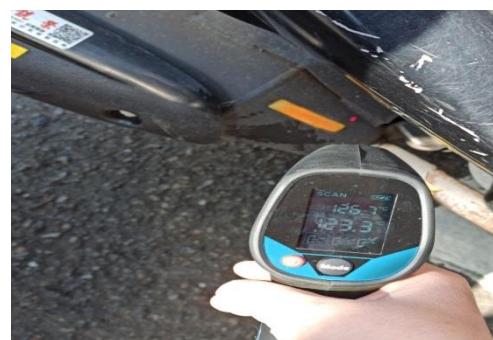
圖三十八：鈷黃粉末尚未變色前  
1、我們將鈷黃粉末製成試紙，將試紙貼於排氣管各處。



圖三十九：機車發動後粉末顏色  
2、越接近引擎處的溫度越高，試紙顏色也越出現顯著差異。



圖四十：機車發動後粉末顏色變化  
3、機車啟動 20min 後，溫度大於 240 度的地方已呈現黑色，而中間處也變橘，溫度約 120 度



圖四十一：機車發動後溫度  
4、測量機車啟動 20min 後的溫度並觀察試紙。



圖四十二：機車熄火降溫後粉末顏色  
5、熄火後排氣管靜置到顏色開始變回黃色，觀察顏色恢復情形。



圖四十三：熄火後排氣管溫度  
6、降至 42 度時顏色已回到原本的顏色，而變成黑色的地方無法變回黃色

### (三)觀察結果




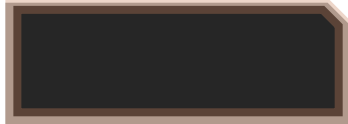

- 1、在機車啟動 3min 後，最接近引擎的試紙已變為橘色，排氣管溫度約 110 度。
- 2、機車啟動 20min 後，最接近引擎的試紙已出現黑色，中間部分的試紙變為橘黃色而最外側的試紙顏色變化不明顯為黃色，排氣管溫度分別約為 270 度、120 度與 60 度。
- 3、將機車熄火 10min 後，除了原先變黑的鈷黃粉末外，其餘試紙皆變回黃色，溫度約 40 度。














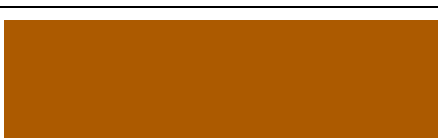







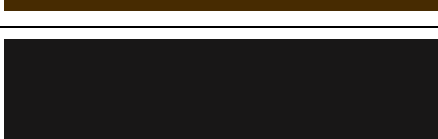
### (四)溫度警告示紙

## 溫度警告試紙

### 使用說明

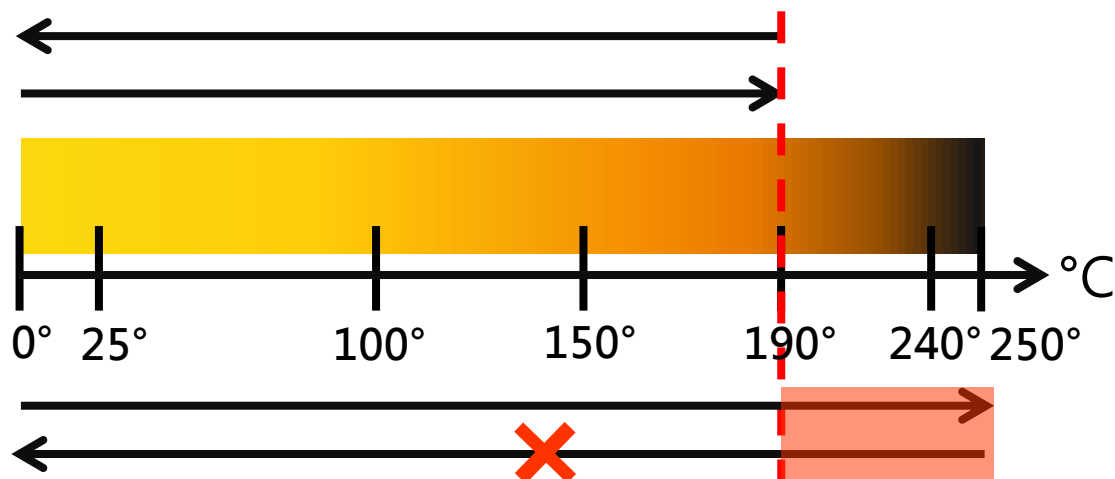


試 紙 顏 色	說 明
	溫度 100°C 以下
	溫度已達 100°C 以上  (100°C ~ 190°C)
	溫度過高 或 需更換試紙 

溫度 (°C)	顏色	溫度 (°C)	顏色
40°		150°	
50°		160°	
60°		170°	
70°		180°	
80°		190°	
90°		200°	
100°		210°	
110°		220°	
120°		230°	
130°		240°	
140°		250°	

## 陸、討論

- 一、製作鈷綠對照，探討加熱時間對粉末的顏色變化，發現加熱時間長短對鈷綠的顏色改變沒有太大影響，而粉末產量持續下降直到反應物完全反應完畢。
- 二、將鈷綠加溫至 550 度，發現鈷綠加熱後顏色並沒有太大差別，是因為鈷綠屬於離子化合物，離子鍵的鍵能較大，不易受到高溫的影響，改變其化學結構。
- 三、改變醋酸、亞硝酸鉀、含水氯化鈷劑量與加熱時間後，鈷黃的顏色並沒有多大的影響。
- 四、根據研究結果的五~八點得知，因為鈷黃達到一定產量後，反應就已經完成，而多餘的反應物會經由清水沖洗掉，所以才對顏色變化不大。
- 五、將鈷黃溶液加熱至沸騰，發現製成粉末後粉末為橘色，且不會變回來。
- 六、將鈷黃粉末加熱觀察粉末變化，在 100 度左右顏色開始有變化，鈷黃漸漸轉成橘色，在 190~240 度之間會呈現咖啡色，大於 240 度之後顏色會變成黑色。而溫度升高(不超過 190 度)後顏色會變橘，但溫度下降後顏色又會變回黃色，此時若溫度過高(大於 190 度)，溫度下降後顏色不會變回黃色。
- 七、加熱後的鈷黃粉末推測會因為姜泰勒效應，而導致軌域改變，所吸收的能量範圍也就不同，所以看到的顏色會因為顏色理論變成橘色。



圖四十四：鈷黃變色溫度示意圖



## 柒、結論

不同配位化合物有多樣的顏色，透過實驗中改變藥品劑量、加熱時間以及加高溫後，觀察配位化合物顏色的變化情形，從反應中改變反應物的量不會造成顏色變化。我們發現溫度的改變是造成本篇探討配位化合物顏色改變的主因，而查詢許多資料後，認為顏色的改變與姜泰勒效應有密切的相關，也發現並沒有人做過加熱鈷黃的實驗。

我們希望在後續的實驗中找到顏色變化溫度範圍更廣，呈現顏色更分明的配位化合物，達到方便應用於各式生活日用中的目的，像我們發現了鈷黃粉末會因為溫度顏色有明顯的漸變，在 100~190 度之間顏色變為橘色，而 190~240 度之間會呈現咖啡色，大於 240 度粉末會呈現黑色，當溫度在 100~190 度內，冷卻後橘色粉末會變回黃色，故把鈷黃塗在紙上，做成檢測排煙管溫度的試紙來應用，發現是個效果很好的警示試紙，我們推測顏色的變化也可能牽涉到金屬在形成配位化合物高溫發生電子的轉移，之後還是需要變溫的 UV-vis 跟 IR 儀器來分析。

## 捌、參考資料及其他

- 一、Christopher R. Vyhnal\*, Elizabeth H. R. Mahoney, Yuan Lin, Roxanne Radpour, and Henry Wadsworth (2020): Pigment Synthesis and Analysis of Color in Art: An Example of Applied Science for High School and College Chemistry Students. 2020 American Chemical Society and Division of Chemical Education, Inc. 1272 – 1282 from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b01093?ref=pdf>
- 二、陳炳亨(2019)·選修化學(下)·翰林出版
- 三、Cobalt Yellow Pigment Synthesis - Aureolin  
<https://youtu.be/fVyCDkESAg4>
- 四、化學反應式資料  
<https://chemiday.com/en/reaction/3-1-0-4401>
- 六、曾國輝(2014)·化學(下冊)(第二版)·藝軒出版社
- 七、曾國輝(2015)·觀念叢書 11--過渡金屬·建宏出版
- 八、俞姿宇(2015 年 6 月 3 日)·晶體場理論·取自

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=63413>

九、許邵瑛(2007)·利用飛秒激發探測光譜量測  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$  薄膜中的相干極化子·國立交通大學 電子物理系 碩士論文 11-13

十、熱敏塗料的概述、變色原理，常見種類、應用領域及使用問題解決

<https://kknews.cc/home/kv29j9v.html>

## 【評語】 050207

本次實驗主要討論鈷化合物與鈷配位化合物的顏色變化，也利用此變化現象做成會變色的圖畫跟火災時用的簡易溫度檢測。從高中課本中發想，動機正確且符合科學探究精神，建議下列幾點作為改進方向：

1. 在講實驗步驟前，應把實驗假設及目的先說一下，而非只有標題。
2. 書面資料的 p9~p12 (例如：第十點開始突然變成原理解說?)，可放在剛開始的背景介紹或是最後討論。
3. 實驗觀察的現象，需要更進一步探討或推論。(例如圖七：為何加熱時間越長，產率越低？圖二十四：鈷黃實驗之總流程圖，那 190~240 度之間會呈現咖啡色是什麼結構?)
4. 試紙溫度變化範圍不大?顏色變化相近且可逆性似乎不太明顯 (機車啟動 20 分鐘後，最接近引擎的試紙已出現黑色，試紙就變不回去了，較不敷成本考量)。
5. 顏色的改變與姜泰勒效應有密切的相關，也發現並沒有人做過加熱鈷黃的實驗。鈷黃原理應改為鈷黃製備，但醋酸好像沒有改變，其功用為何？討論三說改變醋酸、亞硝酸鉀、含水氯化鈷劑量與加熱時間後，鈷黃的顏色並沒有多大的影響，化學結構或配位數是否相同或有差異？這些實驗問題可與鄰近大學合作，利用 UV-VIS 或 IR 光譜結構分析較佳。

## 作品簡報

# 鈷化合物與鈷配位化合物 的顏色探討與應用

組別：高級中學學校組

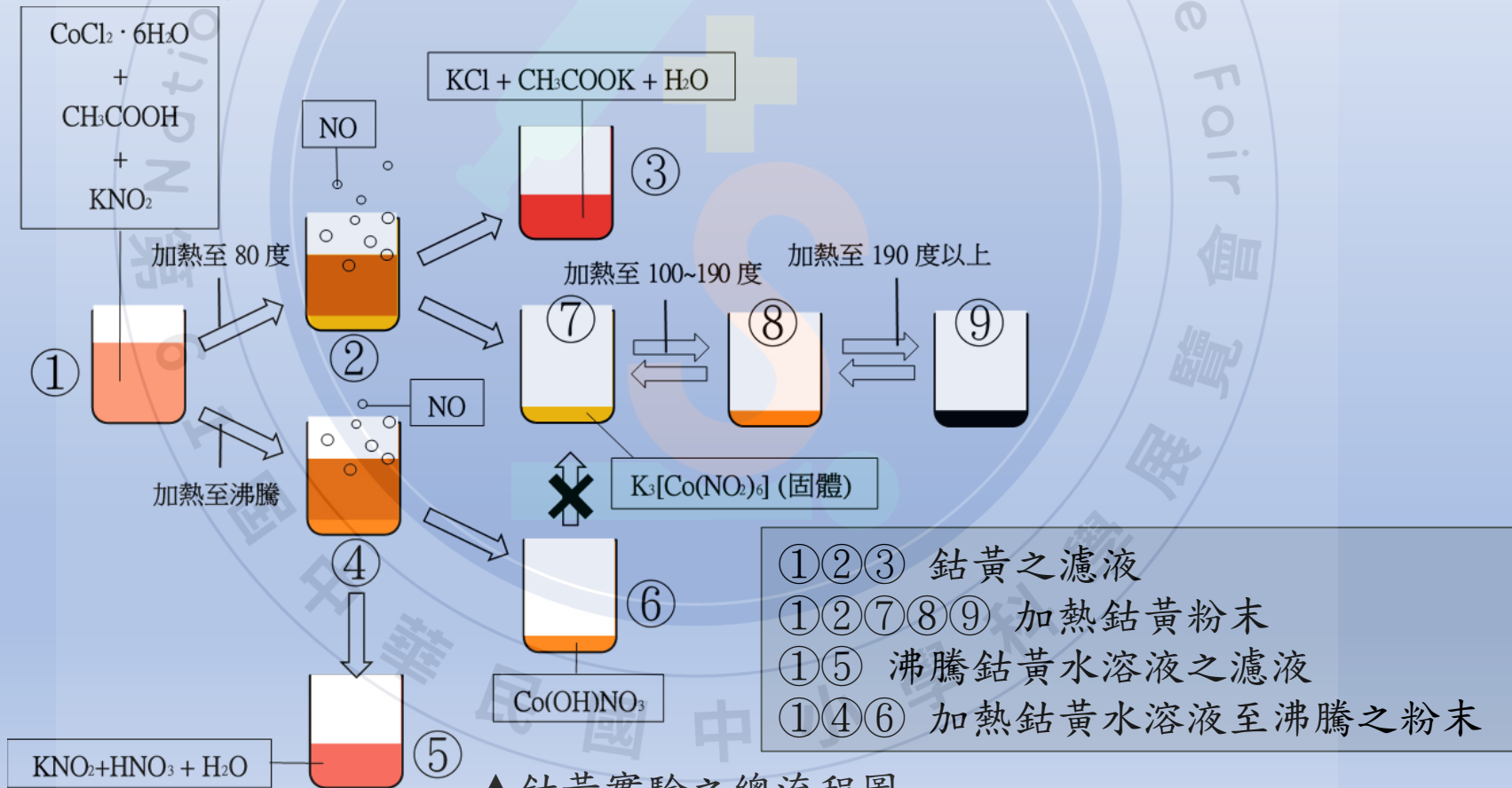
科別：化學科

# 摘要

- ◆ 實驗討論鈷化合物與鈷配位化合物的顏色變化，改變藥品劑量、加熱時間以及加溫溫度後得到反應**最高產率**。
- ◆ 反應物的量以及加熱時間對**顏色不會影響**
- ◆ 鈷綠顏色在**溫度高時變黑色**。
- ◆ 而鈷配位化合物鈷黃在高溫時會產生**顏色變化**。
- ◆ 在加熱過程100度以上發現鈷黃顏色有明顯的變色，利用此特點把鈷黃製作成試紙塗在紙上，**應用在檢測排煙管溫度、畫中畫跟火災時簡單檢測門的溫度**。

# 研究目的

- ◆ 探討鈷綠加熱時間、鈷綠加高溫的影響
- ◆ 探討藥品量、加熱時間、加高溫對鈷黃的影響及應用



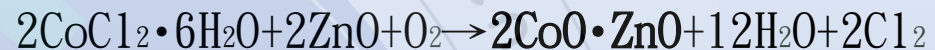
▲ 鈷黃實驗之總流程圖

# 研究過程或方法

## 鈷綠

改變加熱時間、加熱至550度  
討論顏色變化

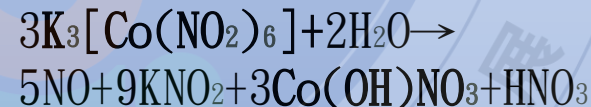
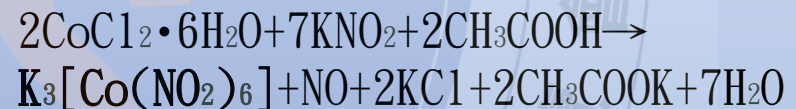
鈷綠化學式：



## 鈷黃

改變藥品劑量、改變加熱時間、  
沸騰水溶液、粉末加熱顏色變化

鈷黃化學式：

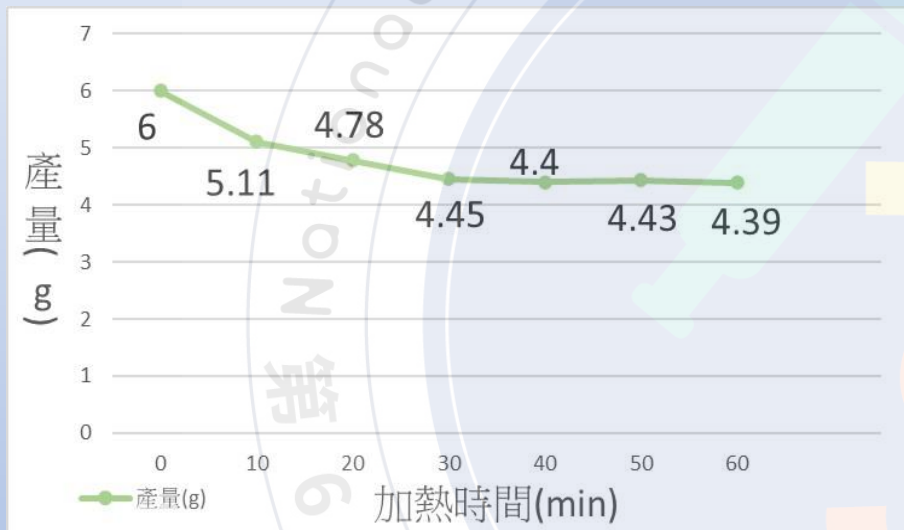


鈷黃顏色變化在生活中的應用



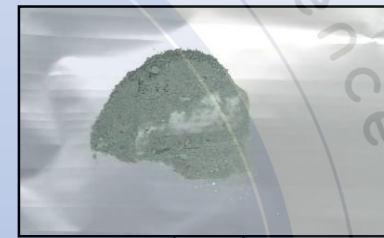
# 研究結果

## ■ 改變鈷綠的加熱時間



改變加熱時間與產量折線圖

## ■ 加熱鈷綠到550度



◀ 未加熱鈷綠

加熱550度

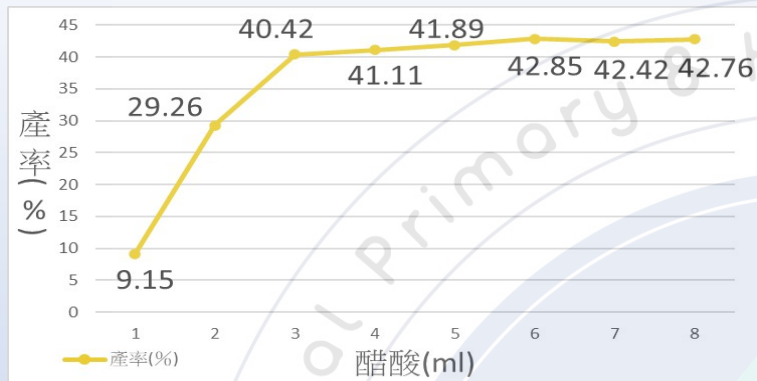


◀ 加熱後鈷綠

◆ 不同加熱時間和高溫對鈷綠顏色沒有太大影響

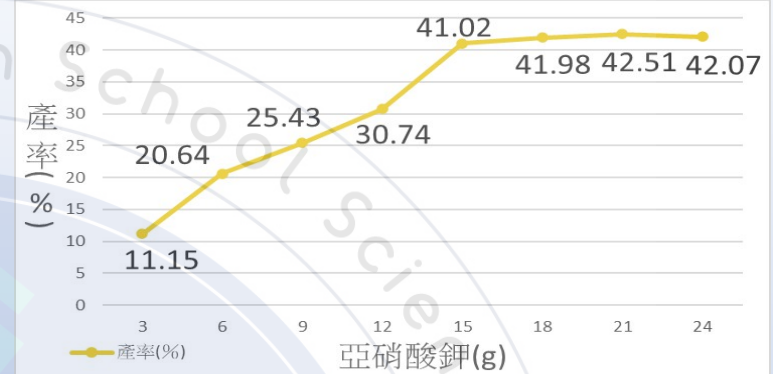
◆ 產量在加熱30min後逐漸趨緩

## ■ 醋酸劑量對鈷黃影響



醋酸劑量與產率折線圖

## ■ 亞硝酸鉀劑量對鈷黃影響



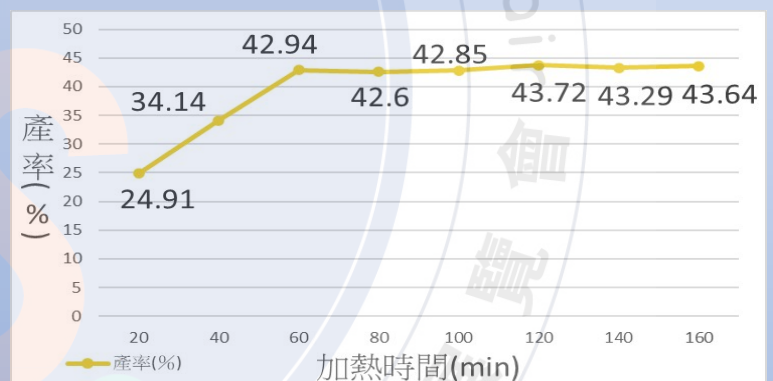
亞硝酸鉀與產率折線圖

## ■ 含水氯化鈷劑量對鈷黃的影響



含水氯化鈷與產率折線圖

## ■ 加熱時間對鈷黃的影響



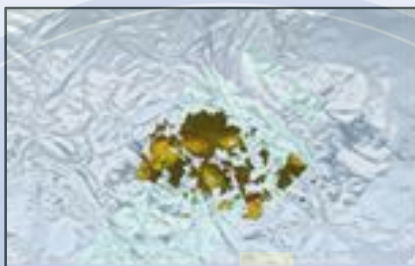
加熱時間與產率折線圖

■ 醋酸3毫升、亞硝酸鉀15克、含水氯化鈷6克、加熱時間一小時，可以製作出最高產量的鈷黃

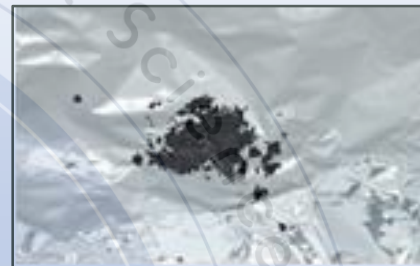
## ■ 加高溫對鈷黃粉末的影響



高溫加熱鈷黃

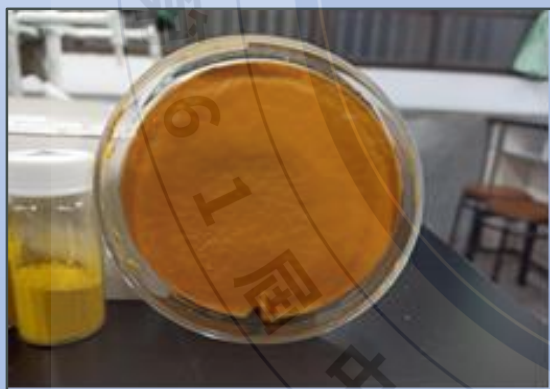


冷卻後鈷黃



鈷黃變黑冷卻後

## ■ 加高溫對鈷黃溶液的影響



沸騰鈷黃溶液後的沉澱物

◆ 改變醋酸、亞硝酸鉀、含水氯化鈷劑量與加熱時間後，鈷黃的顏色沒有變化

◆ 將鈷黃溶液加熱至沸騰，發現製成粉末後為**橘色**，且不會變回黃色

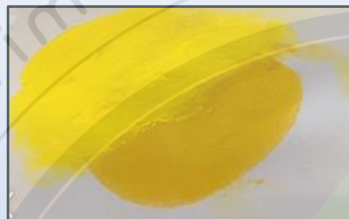
◆ 鈷黃在100~190度之間顏色變為**橘色**，而190~240度之間會呈現**咖啡色**，大於240度粉末會呈現**黑色**

## ■ 鈷黃在生活中的應用

- 將鈷黃與黃色顏料塗在圖畫紙上加熱，觀察顏色的變化



將黃色顏料和鈷黃塗在圖畫紙，畫出蘑菇圖案



將圖畫紙加溫



將圖畫紙持續加溫，鈷黃從黃色變成橘色



圖畫紙降溫，鈷黃顏色變回原本的鈷黃顏色

- 將鈷黃製成試紙，黏貼於排氣管觀察溫度與顏色之間的關係



鈷黃未變色前



機車發動後



機車持續發動



溫度為123.3度



熄火降溫後粉末顏色



溫度為42.6度

紅色圓圈標示處，發動後的顏色加深變橘色、降溫顏色變回黃色 7

# ■ 溫度警告示紙

## 溫度警告試紙

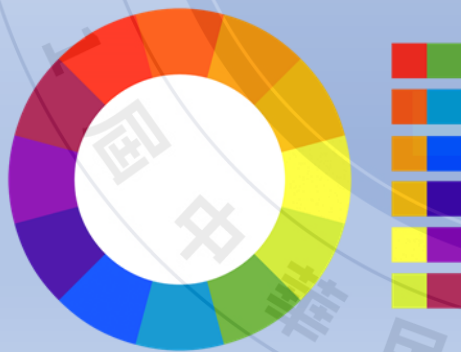
使用說明

試紙顏色	說明
	溫度100°C以下
	溫度已達100°C 以上 (100°C ~190°C)
	溫度過高 或 需更換試紙

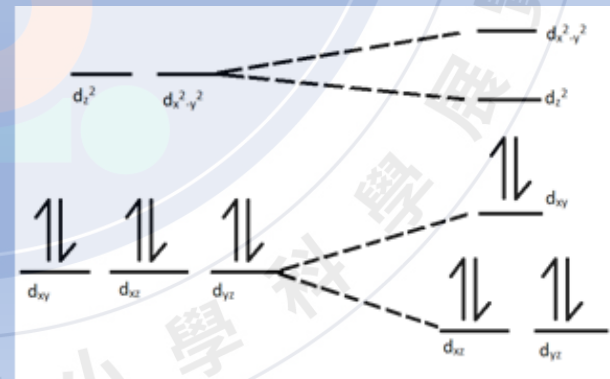
溫度 (°C)	顏色	溫度 (°C)	顏色
40°		150°	
50°		160°	
60°		170°	
70°		180°	
80°		190°	
90°		200°	
100°		210°	
110°		220°	
120°		230°	
130°		240°	
140°		250°	

# 研究結果與討論

- ◆ 鈷綠屬於**離子化合物**，不易受到高溫的影響，改變其化學結構。
- ◆ 鈷黃反應完成，未反應物會溶於水過濾沖洗掉，所以顏色變化才不大。
- ◆ 加高溫的鈷黃粉末推測是因為**姜泰勒效應**，而導致軌域改變，吸收能量範圍也不同，所以看到的顏色會因為顏色理論變成橘色。



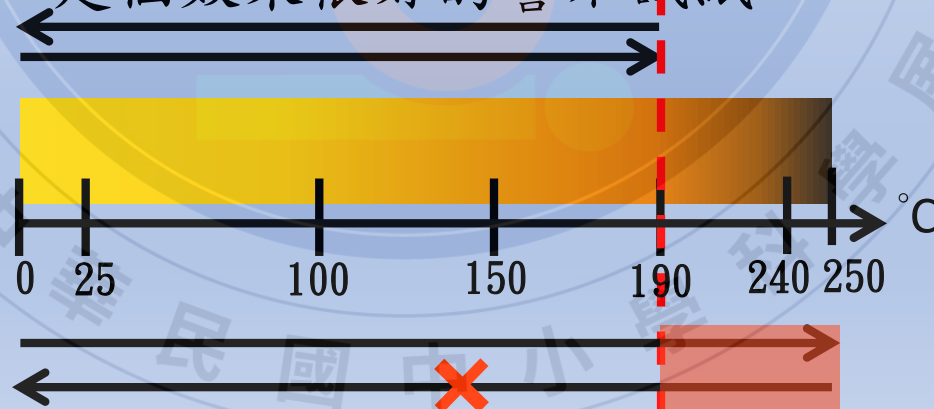
顏色互補色



Co<sup>3+</sup>的d軌域分裂

# 結論

- ◆溫度是造成本篇探討配位化合物顏色改變主因，顏色的改變與姜泰勒效應有相關。
- ◆鈷黃粉末會因為溫度顏色有明顯的變色過程  
在100~190度之間顏色變為橘色，而190~240度之間會呈現咖啡色，大於240度粉末會呈現黑色，溫度降下後，橘色粉末會變回黃色。
- ◆鈷黃塗在紙上，可以做成畫中畫跟檢測排煙管溫度、火災時簡單檢測門，是個效果很好的警示試紙。



鈷黃變色溫度示意圖

# 未來展望與參考資料

## ◆ 未來展望

我們推測顏色的變化可能牽涉到高溫配位化合物會發生電子的轉移，需要UV-vis跟IR儀器來分析。

也希望在後續實驗中找到顏色變化溫度範圍更廣，顏色變化更分明的配位化合物，達到方便應用於各式生活日用中的目的。

## ◆ 參考資料

- Christopher R. Vyhnal\*, Elizabeth H. R. Mahoney, Yuan Lin, Roxanne Radpour, and Henry Wadsworth (2020): Pigment Synthesis and Analysis of Color in Art: An Example of Applied Science for High School and College Chemistry Students. 2020 American Chemical Society and Division of Chemical Education, Inc. 1272 - 1282
- Cobalt Yellow Pigment Synthesis - Aureolin
- 許郅瑛(2007)·利用飛秒激發探測光譜量測 $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$  薄膜中的相干極化子 國立交通大學 電子物理系 碩士論文 11-13