

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：black pink 黑粉—探討黑火藥在不同狀況下的燃爆程度
一、摘要
基於對煙火不同爆炸時間長短、爆炸範圍的疑問，我們透過高中所學的反應速率以找出可能的原因，最後針對火藥細緻程度、炭的種類以及黑火藥的成分比例不同，這三種不同變因來做探討，並經由實驗來探討這些變因對燃燒程度，氣體產生速度，燃燒時間的影響。
二、探究題目與動機
在中秋節時，我們發現點燃並施放同一廠牌的煙火，發生爆炸的時間長短與火花爆炸的範圍卻不盡相同，令我們感到疑惑和好奇。為了探究影響燃燒反應時間和劇烈程度的因素，推測應為其成分比例的不同以及顆粒大小差異，於是設計了一連串的實驗，利用高中所學的反應速率及氧化還原的觀念，改變煙火中主要成分——黑火藥的組成、比例以及顆粒大小，試分析所得數據並驗證假說。
三、探究目的與假設
過年施放煙火時觀察到煙火發射直到爆炸的時間間隔不同，在查詢資料之後我們得知煙火爆炸的時間間隔和其引燃黑火藥的反應速度有關。在課堂中有學到影響反應速率的因素有 本性、濃度、表面積、溫度、催化劑 ……，以下是我們的提出的假設： 根據反應速率表示法 設反應為 $aA + bB \rightarrow cC + dD$ 也可以寫成 $r = k [A]^m [B]^n$ [A] [B]表示各反應物的濃度 m n 稱為反應級數 從速率定律式中我們可以得知在火藥的組成中，硝酸鉀、硫和炭材料中只有炭並非粉末，而「 表面積 」為影響反應速率的主要因素之一，所以猜測粗細不同的炭會對反應速率產生影響。我們將炭利用杵鉢搗碎並用篩網篩選出不同粗細的炭，想探討表面積對實驗的影響。 另外，木炭的製作方法有兩種，分別是窯燒法和乾餾法分別會做出一般的炭和生物炭，而影響反應速率的因素中有「 本性 」，所以我們假設不同做法的木炭會有不同的本性從而對黑火藥的燃燒程度產生影響。 最後，反應物的「 濃度 」也會影響反應速率，於是我們假設調配不同量的硫磺多寡會對黑火藥的燃燒程度以及時間產生影響。

因此我們針對影響冲天炮爆炸時間而提出幾種因素來探究:

- 1.不同火藥的細緻程度(表面積)
- 2.不同炭的種類(本性)
- 3.硫含量的不同

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗原理

黑火藥的反應方程式：

主要反應是 $4\text{KNO}_3 \rightarrow 2\text{K}_2\text{O} + 2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$ ，目的是為後續反應提供氧氣，由碳的燃點較硫高，因此硫會先發生反應： $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$ 以及 $\text{S} + \text{O}_3 \rightarrow \text{SO}_3$ ，放出大量的熱能後溫度提高使碳開始反應： $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 。之後 K_2O 會和 SO_3 、 SO_2 、 CO_2 等酸性化合物進行反應，並產生鹽類，而因為 SO_3 、 SO_2 的酸性較 CO_2 強，因此優先與 K_2O 反應：

$\text{K}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{SO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4$ 。且 SO_3 還能再次被氧化成 K_2SO_4 ： $2\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{K}_2\text{SO}_4$ 。

若燃燒溫度繼續提高，則 K_2SO_4 將被碳還原成 K_2S ： $\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{K}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$ 。

則總反應式為： $2\text{KNO}_3(\text{s}) + 3\text{C}(\text{s}) + \text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{K}_2\text{S}(\text{s}) + \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{CO}_2(\text{g}) + \text{熱能}$ 。

若反應物少了硫，則反應式將會是 $4\text{KNO}_3(\text{s}) + 5\text{C}(\text{s}) \rightarrow 2\text{K}_2\text{CO}_3(\text{s}) + 2\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$ ，從此反應式中可發現氣體產量較少。

(二) 實驗過程

1、實驗器材:

硫磺、硝酸鉀、生物炭、木炭

電子秤、杵鉢、打火機、衛生紙、篩子、杯子、秤量紙、湯匙



圖 1 實驗器材

2、標準實驗流程：

1. 將木炭及生物炭利用木臼、木杵將其磨成粉末狀
2. 將磨完後的碳，利用篩網進行過篩
3. 用電子秤秤出適量的硝酸鉀、硫、碳
4. 將其放入杯中均勻混合
5. 放置在衛生紙中將其包成球狀

6.在戶外進行燃燒並錄影紀錄燃燒時間和觀測其劇烈程度

(三)實體實驗

1、實驗【一】：改變火藥顆粒大小

為了探究細緻程度的不同對黑火藥的燃燒程度影響，我們以燃燒時單位時間產生的煙量為依據判斷其燃燒程度，以燃燒時間的長度判斷反應速度的快慢最後驗證假說。

研究變因:

控制變因	1. 硝酸鉀:硫:碳 7.5(g):1.5(g):1.0(g) 2. 碳種類:木炭
操縱變因	火藥細緻程度(篩網過濾)
應變變因	當碳越細緻時反應速率越快，燃燒程度越劇烈，反之亦然。

與標準實驗步驟差異:

將磨完後的碳用篩網進行過篩，作為細緻程度的判斷標準

實驗結果:

	第一次	第二次	第三次
細	6(s)	6(s)	5(s)
觀察(照片)	 圖 2	 圖 3	 圖 4
粗	19(s)	22(s)	18(s)
觀察(照片)	 圖 5	 圖 6	 圖 7

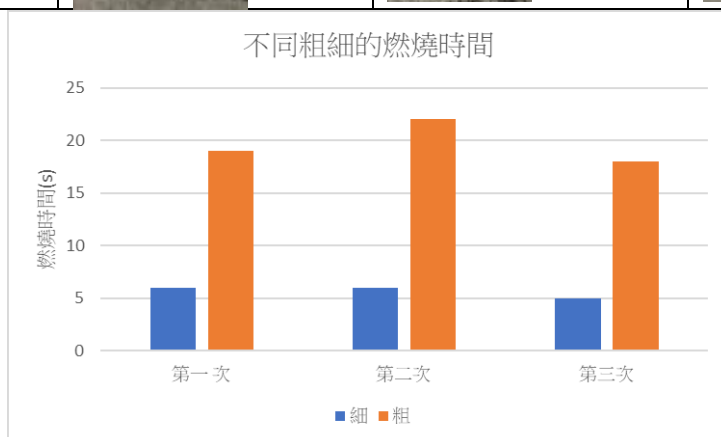


表 1 不同粗細的燃燒時間

2、實驗【二】：改變碳的種類

為了瞭解不同種類的碳對黑火藥的燃燒程度影響，且想探討資源再利用的生物炭是否

能夠運用於生活，因此我們以木炭和生物炭做為比較物。以燃燒時單位時間產生的煙量為依據判斷其燃燒程度，以燃燒時間的長度判斷反應速度的快慢最後驗證假說。


研究變因:

控制變因	硝酸鉀:硫:碳 7.5(g):1.5(g):1.0(g) 碳的細緻程度:細
操縱變因	碳的種類:生物炭、木炭
應變變因	木炭反應速率較快，燃燒程度較劇烈，反之亦然。

與標準實驗步驟差異:

將木炭和生物炭分次放入木臼並用木杵將其磨成粉末狀

實驗結果：

	第一次	第二次	第三次
木炭 時間(s)	6(s)	6(s)	5(s)
觀察(照片)	 圖 8	 圖 9	 圖 10
生物炭 時間(s)	10(s)	11(s)	10(s)
觀察(照片)	 圖 11	 圖 12	 圖 13

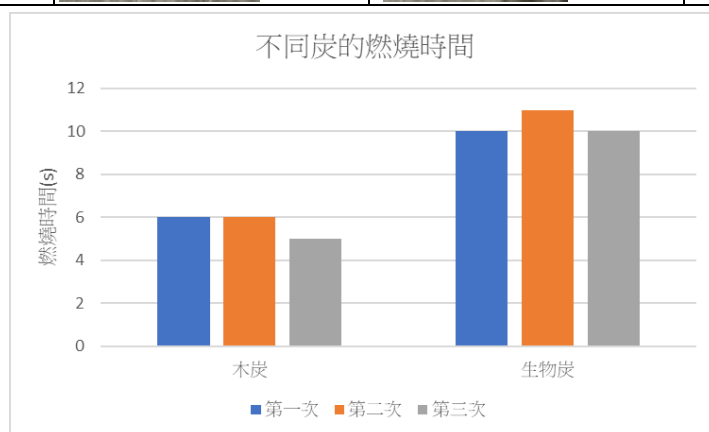


表 2 不同炭的燃燒時間

3、實驗【三】：改變硫含量

為了探究硫含量的不同對黑火藥的燃燒程度影響，透過電子秤秤出不同質量的硫，與定量的硝酸鉀和碳混合製成黑火藥並將其燃燒，以燃燒時單位時間產生的煙量為依據判斷其燃燒程度，以燃燒時間的長度判斷反應速度的快慢最後驗證假說。

研究變因:













控制變因	碳種類: 木炭 碳的細緻程度:細
------	---------------------

操縱變因	硫含量的不同
應變變因	硫的含量越多，反應速率越快，燃燒程度越劇烈，反之亦然。

與標準實驗步驟差異:

用電子秤秤出適量的硝酸鉀(7.5g)、碳(1.0g)，並分別取用硫(分別是 1.5g、1.0g、0.5g、0.0g)

實驗結果：

硝酸鉀:硫:碳 (g)	第一次	第二次	第三次
7.5(g) : 1.5(g) : 1.0(g)	 圖 14	 圖 15	 圖 16
時間(s)	6(s)	6(s)	5(s)
7.5(g) : 1.0(g) : 1.0(g)	 圖 17	 圖 18	 圖 19
時間(s)	7(s)	9(s)	8(s)
7.5(g) : 0.5(g) : 1.0(g)	 圖 20	 圖 21	 圖 22
時間(s)	10(s)	10(s)	11(s)
7.5(g) : 0.0(g) : 1.0(g)	 圖 23	 圖 24	 圖 25
時間(s)	13(s)	14(s)	16(s)

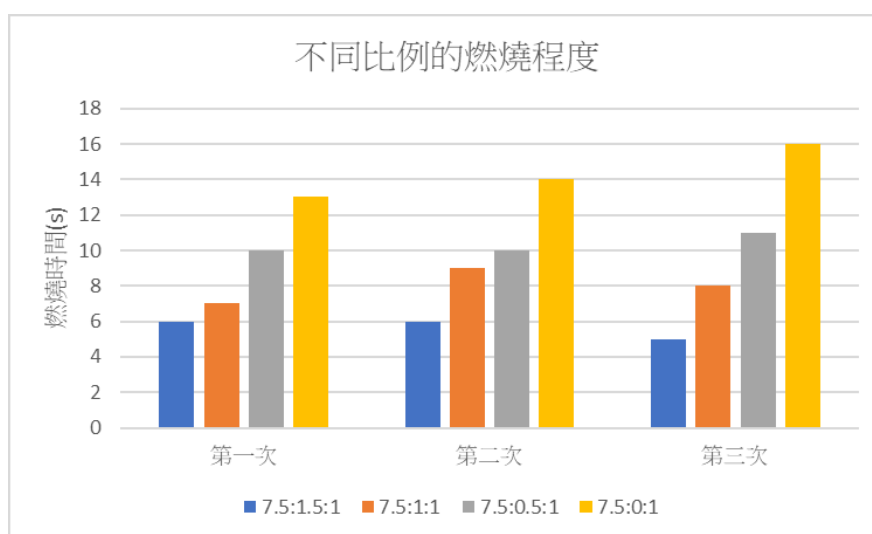


表 3 不同比例的燃燒時間

五、結論與生活應用

(一)透過實驗我們最後可得出以下結論：

1.碳粉的細緻程度會影響燃燒劇烈程度和燃燒時間，細粉末的燃燒程度雖明顯較粗粉末劇烈，燃燒時間就相對較短。而兩者產生的氣體總量因反應物的比例、質量均相同，合理推測產出的氣體量為同，只是因燃燒程度的不同進而影響氣體的釋放的速度。

2.木炭和生物炭在燃燒劇烈程度和燃燒時間上，生物炭燃燒程度較為平緩，反應時間較久。而調配碳粉質量時發現木炭和生物炭雖相同質量，但粉末量明顯不同，我們推測生物炭密度較大，結構較為緊密，所以反應時間才會較長、燃燒程度較弱。

3.硫含量的改變會影響燃燒劇烈程度、燃燒時間和氣體產量，透過前面的化學式可得知：若以 4 莫耳的 KNO_3 進行反應，有足量的硫所產生的氣體量比無硫的多出 3 莫耳，而無硫黑火藥的燃燒劇烈程度也不如含硫黑火藥。燃燒時間則是硫含量越少，燃燒時間就越長。根據以上三點可得知：若燃燒程度越激烈，氣體產生速度越快，燃燒時間越短，反之亦然。

(二)生活上的應用:

1.可應用在煙火等爆炸類的產品，可以透過粗細程度、硫的含量來改變氣體產生的速度，進而改變因內部壓力過大而爆炸的時間，可製作飛行時間更久、飛行距離更高的煙火。

2.可以利用生物炭取代木炭，增加煙火的燃燒時間，造成更巨大的火花，並且可以回收廢棄物，使其轉換成生物炭，增加物質的使用率、減少不必要的浪費。

參考資料

1. 崔慶忠、黃玉平、徐洋(2019)。黑火藥設計與製造技術。北京理工大學出版社。
2. 林震煌教授研究團隊(2020年02月05日)。[一炮沖天一迷你哨子如何解析沖天炮火藥的組成](https://rh.acad.ntnu.edu.tw/tw/article/content/5)。國立臺灣師範大學研究亮點網。
<https://rh.acad.ntnu.edu.tw/tw/article/content/5>