

台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：滾球之謎

學 校：臺北市立建國高級中學

作 者：周禹廷 王仁佐

作者簡介



王仁佐

畢業於思賢國小，福和國中，現在就讀於台北市立建國高級中學二年級，家中共五人，父母、我、及兩個妹妹，除了對於實驗及科學抱有著高度的興趣外，也相當喜愛電腦和各種機械；探索和吸收這些新奇事物時的趣味，對我總是會有著某種程度的吸引力，我和我的夥伴一樣喜歡音樂，不過可接受的音樂領域要比他多了一些。

作者簡介

作者周禹廷,生於台北縣汐止鎮,原籍福建,畢業於及人小學,福和國中,現就讀高中二年級,家庭 4 人,父母及一妹.

除酷嗜閱讀及欣賞古典音樂,興趣性情與平常高中生亦無二同

另對異國風情及生活頗著迷,

而科學研究對我,純粹為趣味而作……

(簡單的說……我是一個喜歡作實驗,卻有點討厭寫報告,尤其厭惡寫作者簡介的高中生)

前言

壹、實驗動機：

在一次課外進行的示範實驗中，化學老師用玻棒將 KNO_3 的飽和溶液塗在白紙上，以吹風機把水吹乾後，以線香去點塗過 KNO_3 的地方，會發現火星會沿著塗過 KNO_3 的軌跡燃燒。示範後，我們實際操作，發現 $KClO_3$ 也有這種性質，於是有人嘗試以 KNO_3 加上 $KClO_3$ 的溶液進行實驗，意外的發現在實驗進行時，軌跡之前端中會出現小小的球(爆燃)，邊滾邊燒，且球中有一些氣體。為得知這是什麼，於是設計、進行以下的實驗。

貳、實驗目的：

- 一、得知滾球的成分。
- 二、生成氣體的成分。
- 三、反應機制。
- 四、為何會形成滾動的球狀物。

研究方法

壹、實驗器材：

刮杓、250ml 燒杯、試管、滴管、漏斗、濾紙、蒸發皿、鑷子、 KNO_3 、 $KClO_3$ 、 $NaOH$ 、 Al 粉、 $CuSO_4$ 、 $Ba(OH)_2$ 、 $AgNO_3$ 、 C_2H_5OH 、A4 影印用紙、未漂白的宣紙、澱粉、 α -葡萄糖、本生燈

貳、實驗步驟：

- 一、組合下列藥品並混合均勻後，置於蒸發皿中。
 1. 「500mg 的 KNO_3 」或「500mg 的 $KClO_3$ 」或「250mg 的 KNO_3 +250mg 的 $KClO_3$ 」
 2. 少量 A4 影印用紙碎片、少量未漂白的宣紙碎片、500mg 的澱粉、500mg 的 α -葡萄糖
 3. 1ml 的 C_2H_5OH
- 二、以打火機將 C_2H_5OH 引燃，蒐集反應時之氣體，並於火熄後取下固體生成物。
- 三、將氣體及固體生成物加水溶解、過濾，並進行檢驗。
- 四、固體生成物的檢驗：

反應物含 $KClO_3$ 時，可能含有的離子： K^+ 、 CO_3^{2-} 、 OH^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、

NH_4^+

反應物含 KNO_3 時，可能含有的離子： K^+ 、 CO_3^{2-} 、 OH^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 NH_4^+

1. 進行焰色實驗，觀察 K^+ 是否存在。
2. 根據方程式 $Ba(OH)_2 + CO_3^{2-} \rightarrow 2OH^- + BaCO_3 \downarrow$ ，以 $Ba(OH)_2$ 作試劑檢驗，觀察是否有白色沉澱，以檢驗 CO_3^{2-} 是否存在。
3. 根據方程式 $AgNO_3 + OH^- \rightarrow NO_3^- + AgOH \downarrow$ ，以 $AgNO_3$ 作試劑檢驗，觀察是否有褐色沉澱，以檢驗 OH^- 是否存在。
4. 將通過步驟 3. 溶液過濾，根據方程式 $AgNO_3 + Cl^- \rightarrow NO_3^- + AgCl \downarrow$ ，以 $AgNO_3$ 作試劑檢驗，觀察是否有白色沉澱，以檢驗 Cl^- 是否存在。
5. 根據方程式 $MnO_4^- + NO_2^- \rightarrow NO_3^- + MnO_2 \downarrow$ (本方程式未平衡)，以 $KMnO_4$ 做試劑檢驗，觀察是否有黑色沉澱，以檢驗 NO_2^- 是否存在。
6. 根據方程式 $NH_4^+ + NaOH + \Delta H \rightarrow Na^+ + H_2O + NH_3 \uparrow$ ，以 $NaOH$ 為試劑檢驗，將此溶液置於試管中並在本生燈上加熱，以廣用試紙驗其生成氣體酸鹼性。
7. 根據方程式 $Al + NO_3^- \rightarrow Al(OH)_3 + NH_3$ (本方程式未平衡) (鹼性條件下)，以 Al 粉及 $NaOH$ 做試劑檢驗，以廣用試紙驗其生成氣體酸鹼性。

五、氣體生成物的檢驗：

反應物含 $KClO_3$ 時，可能的氣體生成物： CO_2 、 Cl_2 、 NO 、 NO_2 、 KCl 、 H_2O

反應物含 KNO_3 時，可能的氣體生成物： CO_2 、 NO 、 NO_2 、 H_2O

1. 根據方程式 $Ba(OH)_2 + CO_3^{2-} \rightarrow 2OH^- + BaCO_3 \downarrow$ ，以 $Ba(OH)_2$ 作試劑檢驗，觀察是否有白色沉澱。
2. 根據方程式 $AgNO_3 + Cl^- \rightarrow NO_3^- + AgCl \downarrow$ ，以 $AgNO_3$ 作試劑檢驗，觀察是否有白色沉澱。
3. 根據方程式 $MnO_4^- + NO_2^- \rightarrow NO_3^- + MnO_2 \downarrow$ (本方程式未平衡)，以 $KMnO_4$ 做試劑檢驗，觀察是否有黑色沉澱。
4. 根據方程式 $Al + NO_3^- \rightarrow Al(OH)_3 + NH_3$ (本方程式未平衡) (鹼性條件下)，以 Al 粉及 $NaOH$ 做試劑檢驗，以廣用試紙驗其生成氣體酸鹼性。
5. 將氣體中的白煙蒐集為粉末，秤重後溶於水中，加入 $AgNO_3$ 產生沉澱，已濾紙將其濾出後，水洗濾紙，去除其他離子後烘乾秤重比對。

6. 蒐集白煙粉末時，看蒐集器的玻璃內壁，是否有無色液滴，用氯化亞鈷試紙檢測。

六、反應溫度的測量：

7. $KClO_3 + \alpha$ -葡萄糖 + C_2H_5OH 燃燒時，將高溫溫度計置於反應物正上方約 1mm 處，引燃 C_2H_5OH ，測量反應進行時的溫度。

結果與討論

壹、反應過程

反應開始時，先由 C_2H_5OH 開始燃燒，在經過 2~5 秒後，開始出現爆燃的現象，在火焰的中心出現正在滾動的球狀物。在此實驗的反應中，為檢查大氣中的 N_2 是否參與反應，且「250mg 的 KNO_3 + 250mg 的 $KClO_3$ 」與「單獨 500mg 的 $KClO_3$ 」的反應無明顯差異，故將統一討論。

另外，用少量 A4 影印用紙碎片或少量未漂白的宣紙碎片或 500mg 的澱粉量產固體生成物時，可能出現因量產製程而無法避免的雜質，爆燃的效果也明顯較 α -葡萄糖的情形差，而且這些都是葡萄糖的聚合物，所以將只討論用 500mg 的 α -葡萄糖反應的情形。

此反應若只加入 C_2H_5OH 及 $KClO_3$ 或 KNO_3 時，反應不進行，因此可將 C_2H_5OH 視為引燃的功用，不影響反應。 KNO_3 所形成的球狀物在冷卻後相當容易潮解而且含有較多因燃燒不完全而殘留的碳，生成氣體中帶有類似焦油的黑褐色液體， $KClO_3$ 所形成的球狀物在冷卻後則呈現相當白的顏色，且中間有時會包有氣體，散出的氣體帶有明顯的白色煙霧，應為固體的微粒形成的；兩種反應形成的生成物均為鹼性。

貳、固體生成物的檢驗結果

藥品名 \ 離子	K^+	CO_3^{2-}	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	Cl^-	OH^-
KNO_3 之生成物	有	有	無	有	無	無	有
$KClO_3$ 之生成物	有	有	無	不定	無	有	有

參、氣體生成物的檢驗結果

藥品名 \ 離子	CO_2	NO_2^-	NO_3^-	Cl_2
KNO_3 之生成氣體	有	無	有	無
$KClO_3$ 之生成氣體	有	無	無	有

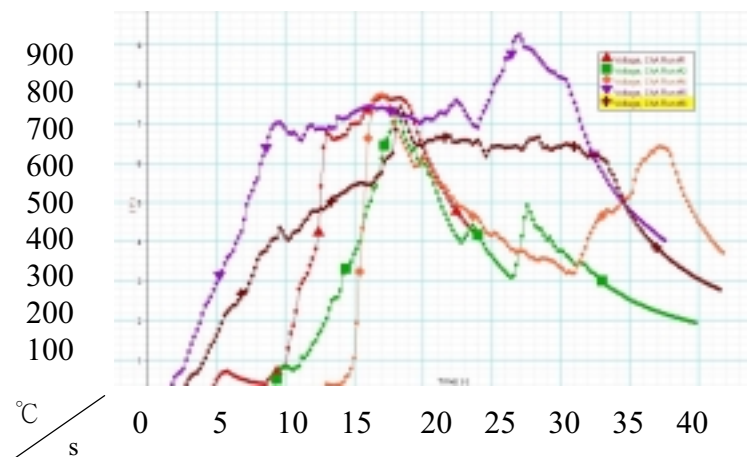
肆、白色煙霧的檢驗

一、冷卻後，外觀呈白色粉末狀，水溶液呈中性。

二、對水溶解性最佳，對丙酮的溶解性次，對正己烷則不溶，應為離子化合物。

三、粉末秤重為 0.075g，加入 $AgNO_3$ 產生沉澱，烘乾秤重後為 0.142g，若 0.075 克粉末式量為 74.5(同 KCl)且純度為 100%，則應產生 0.144 克的沈澱。

伍、 $KClO_3 + \alpha$ -葡萄糖 + C_2H_5OH 燃燒時，溫度對時間的作圖，5 次量測中，每一次皆可達 750 °C 的高溫，僅 1 次會達 920°C(如附圖)，可能仍有控制溫度的變因未發現。



附圖：燃燒時溫度與時間的關係

結論

壹、因在蒸發皿中燃燒均有原地“滾球”的現象，故推知紙上燃燒時，滾球亦可能是隨著紙的燃燒而產生延燃燒方向滾動的現象。

貳、 $KClO_3 + \alpha$ -葡萄糖 + C_2H_5OH 燃燒後的產物應有 KCl 、 K_2CO_3 、 KOH 、 CO_2 、 NO_3^- 、 Cl_2 和 H_2O ； $KNO_3 + \alpha$ -葡萄糖 + C_2H_5OH 燃燒後的產物應有 K_2CO_3 、 KOH 、 CO_2 、 NO_3^- 和 H_2O 。

參、 $KClO_3 + \alpha$ -葡萄糖 + C_2H_5OH 燃燒產生的白色煙霧，有些會冷卻在收蒐器上，呈白色粉末狀，應是 KCl 粉末，為 $KClO_3$ 因高熱而分解出的 KCl 粉末。

肆、不論反應物含 $KClO_3$ 、 KNO_3 ，或是兩者皆有，產物中皆有 CO_2 及 H_2O ，應是 α -葡萄糖和 O_2 燃燒反應後的結果，而 O_2 則來自 $KClO_3$ 的分解、 KNO_3 的分解或空氣中。

伍、因為燃燒時，溫度超過熔點，所以滾動的球狀物，應為 $KClO_3$ (m.p.365°C) 及 KNO_3 的熔化 (m.p.334°C) 及 H_2O 所造成。燃燒後所生成的 KCl 、 K_2CO_3 和 KOH ，應是 $KClO_3$ 及 KNO_3 分解出 O_2 、 α -葡萄糖與 O_2 反應後逐步形成的。

陸、 $KClO_3 + \alpha$ -葡萄糖 + C_2H_5OH 燃燒後的產物分析中，檢驗 NO_3^- 時，五次之中僅一次出現 NH_3 ，使廣用試紙變色，在測量反應溫度時，突破 $900^\circ C$ 似乎是例外情況，可能仍有控制溫度的變因未發現。

未來發展：

- 壹、以電解方式分析產物
- 貳、檢測 KNO_3 反應生成的黑褐色液體
- 參、找出改變反應時溫度的變因
- 肆、建立滾球滾動的模型
- 伍、 $KClO_3$ 遇熱應會形成 $KClO_4$ 後才放出 KCl 和 O_2 ，將檢測 ClO_4^- 是否存在。

參考文獻

- 壹、<http://www.chemfinder.com>
- 貳、<http://webbook.nist.gov>
- 參、<http://www.ntsec.gov>
- 肆、高中化學下冊
- 伍、高中物質科學化學篇下冊
- 陸、楊寶旺教授著 物質科學化學篇 台北縣出版 龍騰文化 154 頁 民 89
- 柒、Edward. J. King 定性分析 台北市 合記出版社 650 頁