

投稿類別：化學類

篇名：

魔術火焰—設計定性法實驗探討丁烷性質

作者：

王薪維。台北市私立景文高級中學。普通科一年級 2 班  
陳卉蓁。台北市私立景文高級中學。普通科一年級 2 班

指導老師：

王連庸老師  
陳仁貴老師

## 壹、前言

### 一、研究動機:

看著美國節目實境秀，街頭魔術師巧妙的手段，讓火焰在手與物體間穿梭，巧妙地如神仙般的魔幻！令人驚訝的就是那「火焰」在手上燃燒的魔術；魔術破解節目中，原來魔術師在巧妙的手法中，塗抹上「丁烷」這種神奇而又不失魔法的化學物質，在大家以為火燒產生高溫，點燃了名片，在觀眾驚呼之下，火瞬間熄滅，但名片卻依然完好如初，這些讓我不可思議，卻驚喜萬分！讓我們更想去探索這神奇矛盾物質！

在高中基礎化學(一)第四章化學與能源章節第二單元-化石燃料中，介紹到液化石油氣中的丁烷，發現市面上容易買到以丁烷作為 400-600cc 罐裝打火機瓦斯燃料，竟然也是冷媒材料，表示其潛熱高，燃料燃燒是升溫反應，而冷媒是降溫反應，再查出丁烷沸點(-0.5°C)與水的熔點相近(0°C)，室溫下液氣共存令人覺得互相牴觸，讓我們決定設計定性法實驗探討丁烷特性，讓大家更認識這物質。

### 二、研究目的

利用資料收集查詢丁烷相關實驗，本研究擬設計定性的實驗來探討丁烷性質，另外設計添加冷劑相關實驗。研究目的如下:

- 設計定性法實驗探討丁烷的汽化速率、外界溫度與燃燒火焰大小關係。
- 已知丁烷在同狀況下氣體體積與液體體積比為 245:1，設計實驗探討暴增產生的氣壓是否成為火箭動力來源。

### 三、實驗設計原理與控制變因

丁烷互相牴觸的吸、放熱現象與 -0.5°C 沸騰汽化的特別現象，讓我們決定設計丁烷特性相關實驗，讓大家更認識這物質的特色。利用丁烷冷劑把物質降溫到燃點之下，使燃燒火焰未能達到該物質閃燃點，進而無法點燃該物質。而其變因有被燃物質性質；例如一般紙張、衛生紙等吸油性紙張、塑膠、金屬等固態物質，是否有不同結果。

丁烷火焰本身提供熱量與高溫，時間越長越容易點燃物質。但當點火產生火焰本身也是由冷劑丁烷汽化(吸熱)產生，若物質在冷劑中持續降溫就不易點燃。而當丁烷完全汽化，物質才開始受熱上升，此時火焰也即將結束，在最後的時間是否加溫到該物質的閃燃點，關係到該物質是否燃燒，或是火焰後維持原狀。本研究擬設計五項定性實驗(如下表)作觀察，以探討丁烷性質

表 01 五項定性實驗設計

	名稱	實驗目的	實驗設計作法
實驗 101	『燒後成冰』	液態丁烷汽化時高吸熱現象	將液態丁烷直接接觸溫度計上計時，觀察液態丁烷汽化時的冷度與冷卻速度，範圍從室溫 20°C 降至 -30°C，將溫度計噴上液態丁烷中觀察

實驗 02	『火焰粉筆』	液態丁烷燃燒放熱與汽化吸熱同時發生現象	粉筆前 $\frac{1}{3}$ 處噴上液態丁烷點火，如拿蠟燭方式，然後在黑板上寫字(太用力會斷)，約 5~8 秒燃燒時間，粉筆依然保持室溫
實驗 03	『燒不著的紙鈔』	汽化時高吸熱現象降低紙鈔燃點使紙鈔遇火不燃	將 A4 紙平均切成四條，每條長 21 公分、寬 7.25 公分來進行實驗，將紙成直立狀，做好浸泡液態丁烷長度記號(測量完用折線輕折出記號)，放入準備好的液態丁烷浸泡至記號處，浸濕後直立點火計時觀察浸濕丁烷處燃燒的紙範圍，觀察是否會因丁烷燃燒而點燃紙本身燃點，以及燃燒情況下液態丁烷在浸泡紙上的揮發時間。
實驗 04	『大火小火』	溫度與液態丁烷汽化速率之關係	取 1 試管套上滴管，滴管滴口向上，用橡皮塞固定與密閉，外有燒杯裝水，控制水溫，零度以下使用食鹽冰塊作為冷劑實驗，測量溫度與液態丁烷汽化速率之關係，用來表演火焰大小的實驗。組裝完畢後點火觀察，在試管標示丁烷 5ml 時放入不同溫度的水中，2 秒穩定後觀察火焰高度。
實驗 05	『瓦斯火箭』	液態丁烷汽化體積產生高壓之關係	在網路上看到丁烷瓦斯加到可樂中產生汽化噴發現象，這引起我們好奇，到底是可樂產生的 CO <sub>2</sub> 影響噴發，還是瓦斯汽化產生噴發現象，我們設計實驗以印證網路資料。

#### 四、各項實驗設備器材與藥品

實驗設備器材準備如下

表 02(a)實驗設備

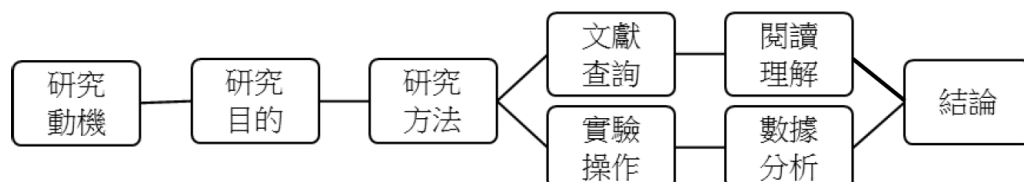
品名	規格/數量	品名	規格/數量
量筒	10ml/4 支	滴管	1C.C./4 支
燒杯	50cc/4 個	剪刀	若干
紙	A4/若干	溫度計	~90°C/1 支
點火槍	1 支	安全護鏡	若干
防火實驗服	若干	防火手套	若干

所需藥品/耗材'如下

表 02(b)實驗藥品

品名	規格/數量	品名	規格/數量
液態丁烷	打火機用瓦斯/1 罐	食鹽	若干
瓶裝碳酸飲料	600cc/1 罐	冰塊	若干
橡皮筋	若干	粉筆	若干

#### 五、研究流程:



圖一：研究流程與架構 (資料來源：研究者繪製)

## 貳、正文

### 一、丁烷性質和用途:

丁烷，物質安全資料表編號 MSDS-00008(台灣中國石油公司，2019)，在常溫常壓下為氣體，但加壓則可成液態存在，可貯存在密閉鋼筒中，使運送作業及使用上均極為方便。氣態時之比重約為空氣之 2 倍，較空氣重故洩漏時，會滯留在低下處，容易造成窒息、火災等傷害事故。理論上欲完全燃燒，丁烷與空氣之混合比約為 1：31，故其燃燒之空氣供給量需求大。液化丁烷的重量為水的 0.58 倍，比水及汽油輕。1 公升液化丁烷重量約 0.6 公斤。其物理及化學性質如下

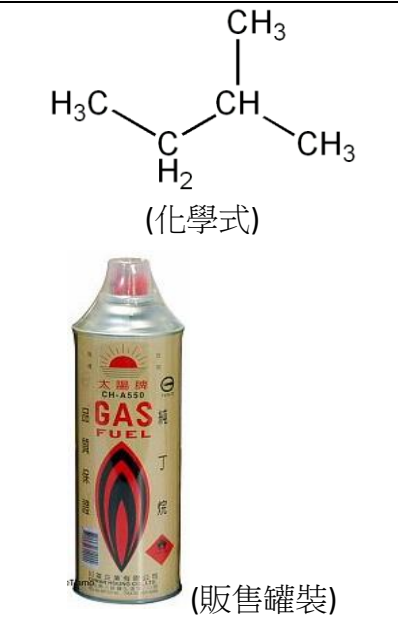
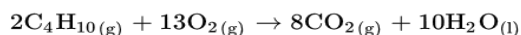
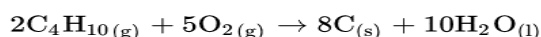
外觀	無色、高壓氣體氣味，沼氣或類似汽油味	
嗅覺閾值	2591ppm (覺察)	
熔點	-138.2℃	
易燃氣體閃火點	-74℃	
爆炸界限	1.8 % ~ 8.4 %	
蒸氣壓	2.1 atm(20℃)	
沸點/沸點範圍	-0.5℃	
自燃溫度	287℃	
汽化熱	92cal/g	
空氣中燃燒產生最高溫度	2243 K (1970℃)	

表 03 丁烷性質(台灣中國石油公司，2019)

在有充足的氧氣的情況下，丁烷燃燒時會產生二氧化碳和水蒸氣

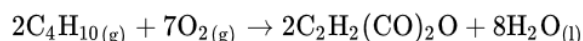


如果氧氣不足，會產生水蒸氣和碳（炭黑）或一氧化碳。



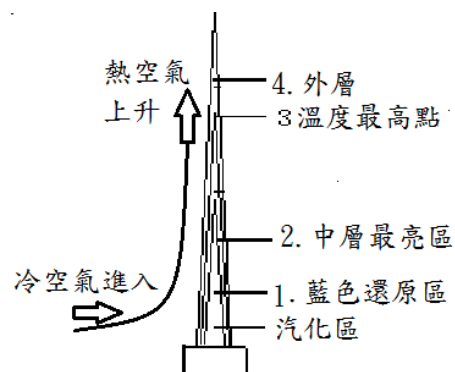
### 二、丁烷的用途:

有機合成；合成橡膠及高辛烷值液體燃料之原料；家庭用及工業用之燃料；乙烯製造；溶劑；冷媒；煙霧推進劑；純級用於校正儀器；食品添加。丁烷是石油裂化反應的產品之一。作為一種石油產品，正丁烷的日常用途包括家用液化石油氣，亦用於打火機和可攜式丁烷氣爐中作燃料。正丁烷是杜邦法合成馬來酸酐的原料，此反應的催化劑是焦磷酸鈳(如下) 此外，烷還可以用來合成丁烯、二硫化碳等。



### 三、丁烷火焰溫度

火焰 (flame)是燃料中的“汽化顆粒”被加熱到 1000-1400℃時，這些顆粒開始產生電磁輻射，因此我們習慣看到的熟悉的黃橙色。一般火焰可分內、中、外三層，內



蒸發到氣相並開始分解成碳自由基與氫氧燃燒反應，然後發射藍色光溫度約  $800^{\circ}\text{C}$ 。這與  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cu}^{2+}$  的原子發射光譜原理（黃色和綠色的火炬）相似，在高中課本說明過。像螢火蟲的發光一樣，這些光屬於冷光，因供氧不足，燃燒不完全，具有還原作用。中層最明亮(2)，溫度比內層高。最外層稱外焰(4)，為無色，因供氧充足，燃燒完全，溫度最高在上方中層與外層交接處(3)，具有最佳氧化作用。

#### 四、實驗設計與觀察

(一)「燒後成冰」實驗：將液態丁烷直接接觸溫度計上計時，觀察液態丁烷汽化時的冷度與冷卻速度，範圍從室溫  $20^{\circ}\text{C}$  降至  $-30^{\circ}\text{C}$ ，將溫度計噴上液態丁烷中觀察，五次實驗分別為 12、12、11、12、11 秒，平均 11.6 秒，換成速率為  $-4.31^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ，發現丁烷的降溫效果明顯，確實可以使其接觸物質快速降溫，達不到燃點。

(二)「火焰粉筆」實驗：粉筆前  $1/3$  處噴上液態丁烷點火，如拿蠟燭方式，然後在黑板上寫字(太用力會斷)，約 5~8 秒燃燒時間，寫完後粉筆完好，粉筆接觸液態丁烷燃燒完溫度也比室溫低一點。發現丁烷在燃燒時同時具有冷劑作用，表示丁烷燃燒前會先行汽化吸熱作用，降低粉筆溫度，抵銷燃燒產生之熱能。



圖 03 火焰粉筆實驗過程(自行拍攝)

(三)「燒不著的紙」實驗：

從附件二發現浸泡丁烷的紙在 4.0 秒內是不會被引燃的，當超過 4 秒後，最上方的紙會因無汽化丁烷降溫而達到燃點燃燒，故在作本實驗，時間控制在 4 秒內表演，是可以達成燒紙燒不掉的效果。進而換成紙鈔實驗成功，在 4 秒內將火搖熄，紙鈔溫度比室溫還低，紙面上還有凝結成冰的水氣。



(四)「大火、小火」汽化實驗：

我們在牆壁上刻尺規表(cm 表示)，測量火焰高度來表示火焰大小與汽化丁烷的速度，實驗數據如附件二

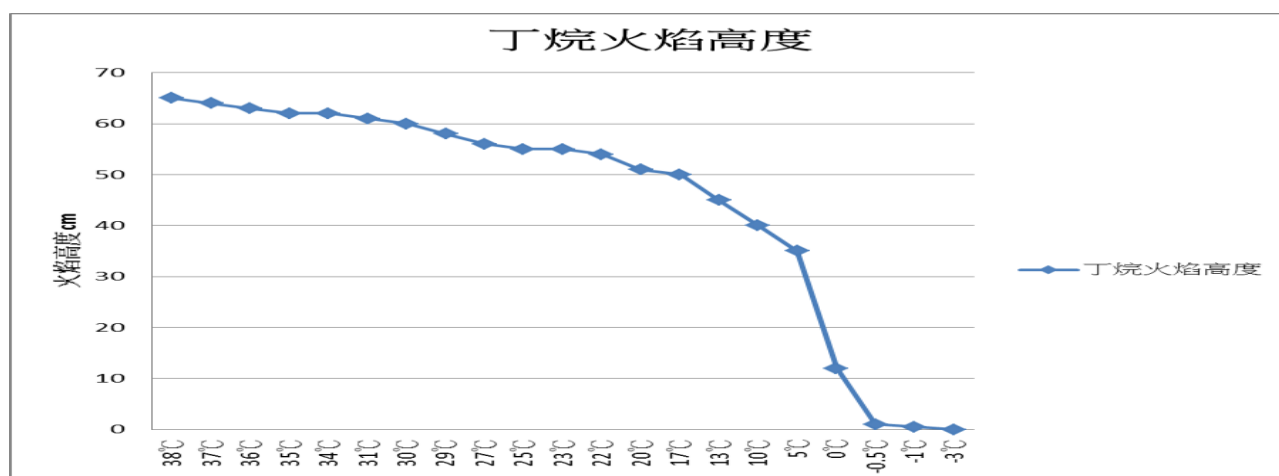
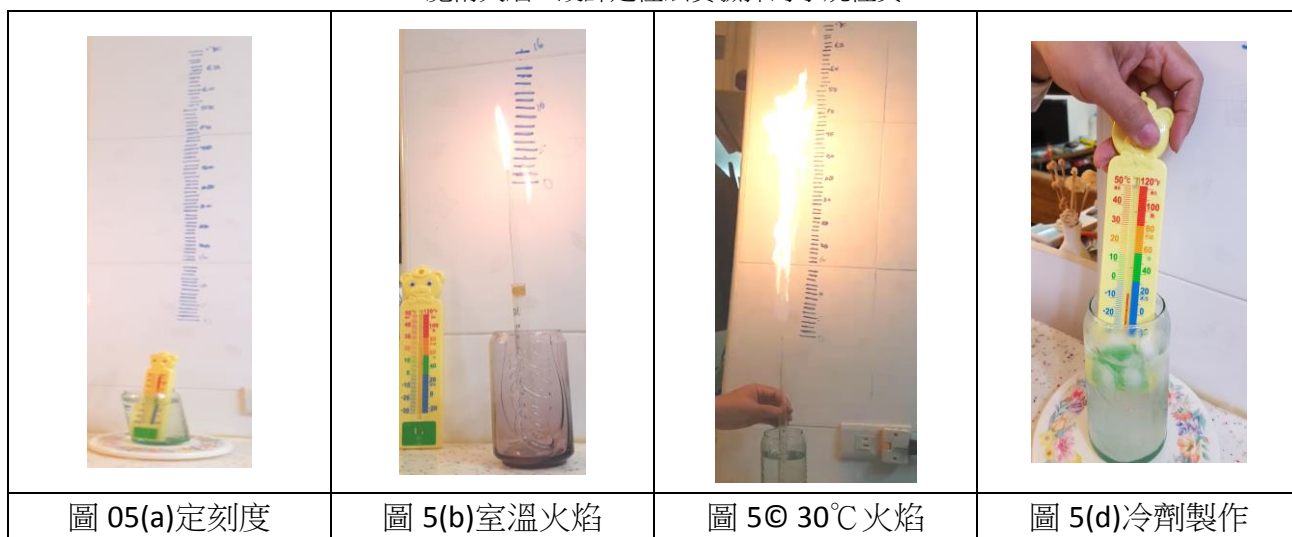


圖 06 丁不同實驗烷火焰高度(自行繪製)

在室溫下(22°C)不放入水中之火焰高度與 0°C 水溫下相仿，表示在液態丁烷汽化吸熱使試管外周圍水氣凝結成冰(0°C)，加上室內空氣對流散熱慢，使外界溫度保持大約 0°C，這從試管外結冰的水滴可以得到驗證。這也是起始表演的小火。一般人的手溫約 35°C，若以此溫度下丁烷汽化火焰高達 61cm 與室溫下 10cm 有明顯差距，這可以使本實驗更容易成功。

汽化現象在 0~20°C 最為明顯，吸熱降溫現象最強，這也是利用丁烷短時間冷卻效果使接觸物質未達燃點的主因。在接近丁烷沸點時(-0.5°C)汽化效果近乎於零，無法燃燒。表示在低溫下丁烷性質穩定，儲藏安心。表演實驗時用手接觸式館與室溫下相比，發現其火焰變化很大，達到表演效果。

#### (五)「瓦斯火箭」實驗：

實驗成分與改變便因如下表。可樂產生的 CO<sub>2</sub> 並不能使寶特瓶噴發，就算加入催化劑曼陀珠也未能產生氣體快速膨脹。發現丁烷汽化下，體積瞬間增加 245 倍，所產生的壓力才是寶特瓶噴發的主因。所以表演實驗以水為取代品，乾淨又安全，形成瓦斯水火箭，效果與一般水火箭更好。原理猜測為在有水或可樂的液體擾動下，流動的外界熱能進入液態丁烷，瞬間產生大量汽化丁烷，體積膨脹 245 倍之多，進而產生強大壓力，產生小型氣爆噴射現象。

主要成分(容器:600cc 寶特瓶)	改變變因	觀察效果
可樂 100cc	丁烷 15cc	噴發
可樂 100cc	無添加	未噴發
可樂 300cc	無添加	未噴發
可樂 600cc	曼陀珠 10 顆	未噴發
水 100cc	丁烷 15cc	噴發

表 04 瓦斯火箭實驗觀察紀錄(自行繪製)

## 五、實驗討論與分析

(一)、『燒後成冰』創意實驗：丁烷的冷劑現象  $0\sim 20^{\circ}\text{C}$  最為明顯，吸熱降溫現象最強，甚至噴在桌面上(1~2ml 少量)點火燃燒後，竟然中心仍有水氣結冰現象(溫度可如上實驗研究結果與方法(一)，可降溫至  $-30^{\circ}\text{C}$  以下)。只要噴在不吸水表面物質，均有此現象，如寶特瓶頭蓋、水壺蓋、桌面、鏡子，甚至於手機背面、手機鏡面也可燃燒，且燒完後可目視該處凝結成冰，手接觸有低溫現象，相當有趣。

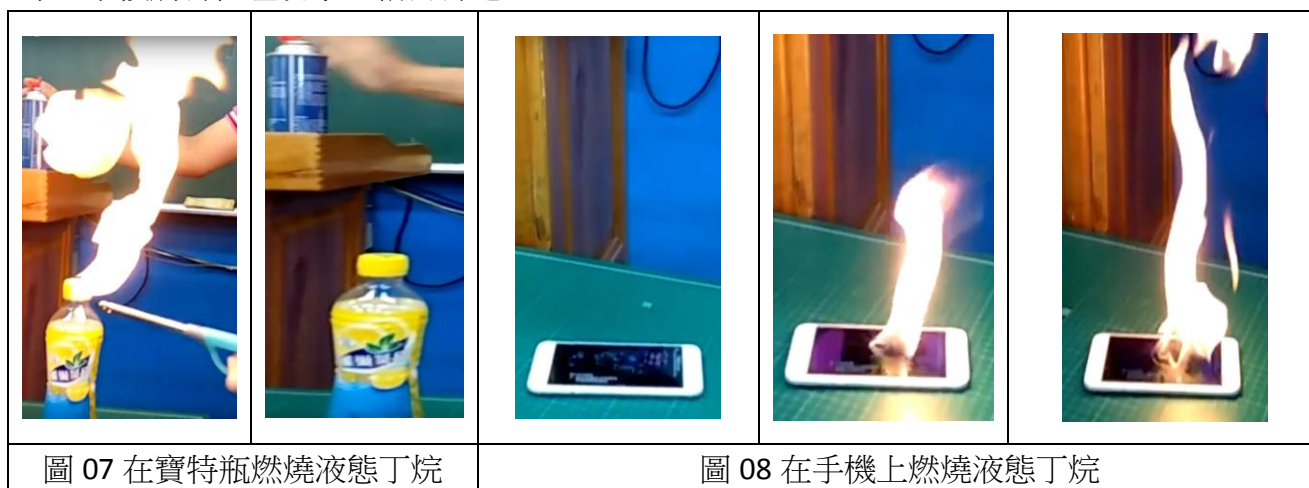


圖 07 在寶特瓶燃燒液態丁烷

圖 08 在手機上燃燒液態丁烷

(自行拍攝)

(二)、『火焰粉筆』實驗延伸：利用丁烷的冷劑現象，裝置如實驗設計原理，控制在  $5\sim 8$  秒內完成，效果讓組員眼睛一亮。我們加上在不吸液態丁烷物質上做實驗，轉書與轉球實驗上，證明冷劑在火焰下的降低燃點功效顯著。



火焰丁烷粉筆寫字實驗

火焰丁烷轉書實驗

火焰丁烷轉球實驗

(三)『燒不著的紙鈔』實驗：利用丁烷的冷劑現象，如上實驗研究結果，從邊上網內噴上液態丁烷在紙鈔上不要超過 6 公分，且雙面都要噴，各約 1~2ml，直立點火要在 4 秒內熄滅，熄滅後紙鈔還是低溫狀態，請觀眾觸摸感受。這會讓觀眾有困惑，可藉此介紹物質燃點的定義與丁烷先汽化再燃燒的吸熱原理。

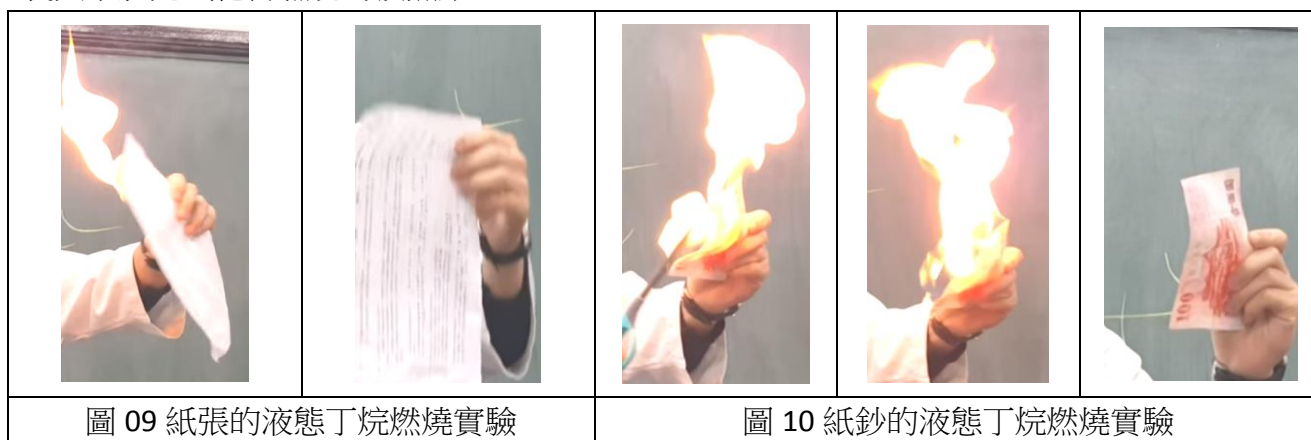


圖 10 燒不著的紙鈔實驗(自行拍攝)

(四)『大火小火』實驗：裝置如上實驗研究結果省略水杯部分，先介紹試管內汽化的丁烷是一種吸熱反應，可以請人感受其低溫，藉以了解化學吸熱反應現象。點火後先觀測並說明激烈的氧化放熱現象是燃燒，再介紹丁烷汽化速度與溫度關係，再用手握住試管，利用體溫產生快速汽化與大火現象，觀眾會快速了解汽化現象與燃燒現象，也可以輕搖試管讓液態丁烷接觸試管管壁，瞬間產生汽化丁烷與大火焰，但要注意請不要靠近頭髮，注意安全。



圖 11 汽化燃燒實驗(自行拍攝)

(五)『瓦斯火箭』實驗：裝置如上實驗設計原理，運用水與丁烷的組合下，測試養樂多瓶、洗髮精瓶、600cc 寶特瓶、1250 cc 寶特瓶、2350 cc 寶特瓶、6 公升寶特瓶均可以成功，其方便度與經濟考量下仍是以 600cc 寶特瓶最佳，可以藉由活動解釋汽化現象產生 245 倍體積，瞬間的高壓使水噴出產生與水火箭相同的反作用力，使寶特瓶發射飛出。





圖 12.不同變因汽化實驗(自行拍攝)

### 參、結論

一、結論: 本研究以定性法實驗方式說明下列丁烷的特性如下:

- (一) 冷劑的快速吸熱能力。
- (二) 冷卻可以使空氣中的水氣凝結成冰。
- (三) 本身易燃又可以降低物質燃點，使其不易燃燒。
- (四) 體溫下汽化速率快，使氣態丁烷產生多，燃燒火焰變大。
- (五) 丁烷在水貨可樂液體擾動下，流動的外界熱能進入液態丁烷，瞬間產生大量汽化，體積膨脹 245 倍之多，進而產生強大壓力，產生小型氣爆噴射現象。

二、未來展望

- (一) 本研究丁烷定性實驗是可以有物理、化學原理說明與展現，並有很好成效與反應。
- (二) 持續尋找改良實驗物質，例如使用較粗的粉筆做實驗，發現效果更好。
- (三) 瓦斯火箭的研究可以再進一步探討研究，找出最佳比例與方式。
- (四) 找出其他化學並設計該物質性質實驗，引發與介紹更多科學特性討論。

### 肆、引註資料

- 陳秋炳主編 (2016 年) 高中基礎化學(一)翰林版 課本。
- 台灣中油公司(2019)，丁烷，物質安全資料表，取自 <https://www.cpc.com.tw/division/lpgb/gas-text.aspx?ID=43>
- 液化石油氣與液化天然氣之特性(2017 年) 取自 <https://www.umarket.com.tw/ImguMarket/20170623112726.pdf>
- 邱美虹、林世洲、湯偉書、周金城、張榮耀、王靖璇(2005)，科學創意實驗書，洪葉文化出版

附件一、燒不著的紙鈔實驗--燃燒浸泡液態丁烷紙條長度實驗數據

浸泡液態丁烷 紙條長度(公分)	第 01 次燃燒時 間(單位:秒)	第 01 次燃燒時 間(單位:秒)	第 01 次燃燒時 間(單位:秒)	第 01 次燃燒時 間(單位:秒)	第 01 次燃燒時 間(單位:秒)
1 cm	X/0.9	X/0.9	X/1.0	X/1.0	X/0.9
2 cm	X/2.0	X/2.2	X/2.1	X/2.1	X/2.1

魔術火焰—設計定性法實驗探討丁烷性質

3 cm	X/1.9	X/2.0	X/2.2	X/2.5	X/2.1
4 cm	X/2.6	X/2.3	X/2.0	X/2.2	X/2.5
5 cm	X/2.7	X/3.0	X/2.8	X/2.1	X/2.3
6 cm	X/3.2	X/3.1	X/2.6	X/3.0	X/2.9
7 cm	X/3.5	O/4.0	X/3.1	O/4.1	X/3.6
8 cm	X/3.7	X/3.6	X/3.6	X/3.0	O/4.2
9 cm	O/4.1	O/4.0	O/4.0	O/4.1	O/4.0
10 cm	O/4.0	O/4.1	O/4.0	O/4.0	O/4.1

附註說明: 紙是否燃燒:若是標明 O 否則 X(自行繪製)

附件二、大火小火實驗--在試管中燃燒丁烷觀察火焰高度 01

液態丁烷體積	室內溫度	火焰高度 1	火焰高度 2	火焰高度 3	觀察火焰狀態
5 ml	22°C	10cm	11cm	10cm	平穩
5 ml	38°C	65	66	66	猛烈有強焰聲
5 ml	37°C	65	66	65	猛烈有強焰聲
5 ml	36°C	63	62	63	猛烈有焰聲
5 ml	35°C	62	62	63	猛烈有焰聲
5 ml	34°C	62	62	62	猛烈有焰聲
5 ml	31°C	61	60	61	猛烈有焰聲
5 ml	30°C	60	60	60	猛烈有焰聲
5 ml	29°C	58	55	57	猛烈有焰聲
5 ml	27°C	55	56	56	猛烈有焰聲
5 ml	25°C	55	55	55	猛烈有弱焰聲
5 ml	23°C	55	54	54	猛烈有弱焰聲
5 ml	22°C	54	55	54	猛烈有弱焰聲
5 ml	20°C	50	51	50	無焰生
5 ml	17°C	50	48	50	無焰生
5 ml	13°C	45	46	45	平穩
5 ml	10°C	40	38	39	平穩
5 ml	5°C	35	32	33	平穩
5 ml	0°C	12	11	12	平穩

附件三、在試管中燃燒丁烷觀察火焰高度 02--加冷劑(食鹽+冰)

液態丁烷體積	室內溫度	火焰高度 1	火焰高度 2	火焰高度 3	觀察火焰狀態
5 ml	-0.5°C	1	1	0.5	微弱
5 ml	-1°C	0.5	0.5	0.5	微弱
5 ml	-3°C	0	0	0	沒火
5ml	手握(35°C)	61	60	61	猛烈有焰聲