

# 酒精固體燃料的製作與研究

高中組化學科第二名

台北市立第一女子高級中學

作者：蔡明格

指導教師：張金珠

## 一、研究動機

酒精為日常常用的液態燃料，易傾溢造成危險，若能轉變為固態而不降低其燃燒熱、發煙量不多且取用方便，則包裝、運送、貯存均方便而安全。課堂上曾觀賞固體燃料影片，使聯想到在喜宴上所用來保溫食物的燃料，也激起研究固體燃料成分及製作方式的興趣。

## 二、研究目的

- (一) 找出酒精固化的方法
- (二) 探討酒精固化的原理
- (三) 實驗製作使其燃燒熱高、且有各種火花及焰色

## 三、研究設備

(一) 器材：量筒、滴管、漏斗、玻棒、刮杓、廣用夾、燒杯、表玻璃橡皮管、火柴、烘箱、電子秤、鋁箔紙、石蠟膜、碼表、冷凝管、馬達、磁石攪拌器、貝克曼溫度計、彈式量熱器恆溫槽

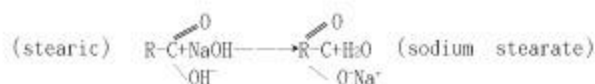
(二) 藥品：乙醇、硬脂酸、氫氧化鈉、甲基纖維素、醋酸鈣、氯化銅、氯化鋇、硝酸鈣、醋酸鈉、醋酸鎂、氯化鈣、鐵粉、甲醇異丙醇、2-甲基-2-丙醇、戊醇、乙醇、環己醇、乙二醇、丙三醇、甲醚、丁酮、丙醛、乙酸、乙酸乙酯、葡萄糖、蔗糖、果糖、乳糖

## 四、研究過程

(一) 文獻探討：

1. 硬脂酸和氫氧化鈉（有機酸及強鹼）生成硬脂酸鈉—肥皂主要部分。他們

混合後形成一種半固體類似膠態的結構。



2. 當溶膠(sol)利用聚集法(aggregation method)製造時，通常可得較高的分散度。聚集法製成的膠體溶液通常由含分子狀分散超飽和的溶液所形成，且其中之膠態物質可以適度的分割狀態沈澱出來。利用較佳的溶劑、冷卻方法及不同的化學反應過程，可望形成一充分分散之膠體溶液。

3. 膠體粒子粒徑大小受反應物濃度影響。在非常低濃度，一般情形造成溶膠形成；中等濃度時更多的反應物造成一種可粗過濾的膠體沉澱物；在高濃度，晶體成長速率減緩，如此將有足夠的時間產生更多成核及形成許多膠體粒子。由於其密接的特性(closeness)，膠體將會連結(link)在一起而形成半透明之半固體凝膠。

4. 任何膠體溶液中膠體若為動態平衡，則其中的溶化速率及沉澱速率將形成有秩序的平衡(balance in order)如此方可維持溶液中膠體物之飽和溶解度。在一多粒徑溶液中，小粒徑膠體較大者溶解度高，因此小粒徑膠體有越來越小的趨勢，但大粒徑膠體即成長變大。所以除非加入界面活性劑成膠質物(gelatin)，由於成熟現象作用，此膠體溶液將無法長時間的呈現出均勻分散的行為。

(二) 固化方法之研究：

1. 建立使酒精固化的方法：

(1) 測試一：

- ① 動物脂肪(豬油) + 氫氧化鈉 + 酒精
- ② 鹽(硬脂酸 + 氫氧化鈉 → 硬脂酸鈉) + 酒精

(2) 測試二：

- ① 飽和醋酸鈣溶液 + 酒精
- ② 醋酸鈣 + 酒精
- ③ 鈣鹽(飽和溶液) + 酒精
- ④ 醋酸鹽(飽和溶液) + 酒精
- ⑤ 鈣鹽 + 醋酸鹽 + 酒精

(3) 測試三：

- ① 甲基纖維素 + 酒精
- ② 膠態甲基纖維素 + 酒精 (70°C 恆溫靜置30分鐘，急速冷卻至5°C)

2. 確定方法並作定量實驗：

(1)

①硬脂酸+酒精+氫氧化鈉(1.6g)

	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>
硬脂酸(g)	2.03	2.44	3.05	4.06	6.1	12.2
酒精與硬脂酸莫耳數比	180:1	150:1	120:1	90:1	60:1	30:1

②飽和醋酸鈣溶液(10ml)+酒精

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>
酒精(ml)	35	40	45	50	55	60

③醋酸鈣+酒精

	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	c <sub>6</sub>
酒精與醋酸鈣莫耳數比	3:1	3.5:1	4:1	4.5:1	5:1	5.5:1

④甲基纖維素(20g)+酒精

	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>
酒精(ml)	40	48	56	64	72

⑤膠態甲基纖維素(6g+18g水)+酒精

	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	e <sub>4</sub>	e <sub>5</sub>	e <sub>6</sub>	e <sub>7</sub>	e <sub>8</sub>	e <sub>9</sub>
酒精(g)	18	27	36	45	54	63	72	80	90
置於70℃恆溫槽5分鐘後加酒精								先加	後加

(2)空氣中延燒時間測試：各樣品取1g固定其與空氣接觸面積

(3)燃燒熱的測定：利用彈式卡計測量

(4)成品在空氣中重量減輕(酒精或水分散失)的測定

(三)固化原理之探討：

1.飽和醋酸鈣形成膠體之研究：

(1)常見有機溶劑+飽和醋酸鈣溶液：

①乙醇②乙酸③乙酸乙酯④甲醛⑤丙醛⑥丁酮

(2)單元醇類+飽和醋酸鈣溶液：

①甲醇②乙醇③異丙醇④2-甲基2-丙醇⑤戊醇⑥己醇⑦環己醇

(3)多元醇類+飽和醋酸鈣溶液

①乙二醇②丙三醇③葡萄糖④蔗糖⑤乳糖⑥果糖

2. 醋酸鈣—乙醇膠體粒子形成與醋酸鈣濃度關係：

	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	f <sub>5</sub>	f <sub>6</sub>	f <sub>7</sub>	f <sub>8</sub>	f <sub>9</sub>	f <sub>10</sub>
醋酸鈣溶液濃度(X)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

(四) 趣味實驗：

1. 焰色：

(1)添加CuCl<sub>2</sub>(2)添加SrCl<sub>2</sub>(3)添加CuSO<sub>4</sub>

2. 火花：

添加鐵粉

## 五、實驗結果

(一) 固化方法之研究：

1. 定性實驗

(1) 測試一

樣品	外觀		燃燒	
	剛製成時	放置數天	焰色	殘留物
豬油+NaOH+酒精	上層透明且軟，下層黃色而硬	上層漸變少且越來越硬	橙黃色	黑色
硬脂酸+NaOH+酒精	即成膠體，透明中帶白色	白色中帶橙色，越來越硬	橙黃色	上黑，內部白

(2) 測試二

樣品	外觀		燃燒	
	剛製成時	放置數天	焰色	殘留物
飽和醋酸鈣溶液+酒精	即成半透明膠體	越來越多液化成白色稠狀物	淡藍色 不明顯	灰白色薄片
醋酸鈉+氯化鈣+酒精	色白而軟	越來越多液體	無法燃燒	
醋酸鎂+氯化鈣+酒精				
醋酸鎂+硝酸鈣+酒精				
醋酸鈉+硝酸鈣+酒精				
醋酸鈣+酒精	白色黏稠似樹脂	白色乾硬	淡藍色	灰白色薄片

## (3)測試三

樣品	外觀		燃燒	
	剛製成時	放置數天	焰色	殘留物
甲基纖維素+酒精	軟、褐色	淡乳黃色有彈性	先紫藍後橙黃	黑色塊狀
膠態甲基纖維素+酒精	透明微黃	透明微黃	先紫藍後橙黃	黑色分散

## 2. 定量實驗

(1)空氣中延燒時間的測定。

(2)燃燒熱的測定。

(3)酒精（及水分）重量散失的測定。

## (二) 固化原理之探討：

1. 飽和醋酸鈣溶液形成膠體之研究：

有機溶劑		膠體形成	外觀	燃燒時間 (s)	備註
醇	醚	無	沒有膠體形成，不變		
	醛	無	沒有膠體形成，不變		
	酸	無	沒有膠體形成，不變		
	酮	無	沒有膠體形成，不變		
	酯	無	沒有膠體形成，不變		
	單元醇	甲醇	有	放置數分鐘後膠體析出	159.1
		乙醇	有	膠體立即析出並均勻分散	180.9
		異丙醇	有	膠體立即析出，分散不均勻	290.2
		2-甲基-2-丙醇	有	數秒後下層有膠體析出，上層仍為液體	135.9
		戊醇	無	沒有膠體形成，不變	難點燃、火焰大、有臭味
		己醇	無	不變（放置數日後有棉絮狀沉澱）	有惡臭
		環己醇	無	沒有膠體形成，不變	有臭味
	多元醇	乙二醇	無	沒有膠體形成，不變	
		丙三醇	無	沒有膠體形成，不變	
		葡萄糖	無	沒有膠體形成，不變	
		蔗糖	無	沒有膠體形成，不變	
		果糖	無	沒有膠體形成，不變	

2. 醋酸鈣—乙醇膠體粒子受濃度影響之探討：

樣品	狀態
f1 (0.2M)	形成溶膠(sol)，流動性大
f2、f3 (0.4M~0.6M)	形成膠體沈澱物
f4~f6 (0.8M~2.0M)	形成凝膠(gel)，不流動

(三) 趣味實驗：

1. 焰色：

(1) 添加 $\text{CuCl}_2$ ：火焰主要為綠色，周圍藍、紫色。克數越多則綠焰持續越久，加入飽和醋酸鈣溶液樣品中，膠狀物變為藍綠色液體。

(2) 添加 $\text{SrCl}_2$ ：火焰為橙紅色，較原樣品色深。

(3) 添加 $\text{CuSO}_4$ ：火焰為綠色，樣品呈淡綠色。

2. 火花：加入鐵粉產生金黃色火花，量越多則火花持續越久。

## 六、討論

(一) 固化方法

1. 定性實驗

(1) 測試一：硬脂酸和氫氧化鈉混合後形成一種半固體、類似膠態的結構，把酒精捕捉在其內。硬脂酸的結構是 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$ ，它在室溫下（25℃）不溶於水，微溶於酒精中，但其能於高溫時完全溶於酒精中（但不能超過70℃硬脂酸的熔點），故須加熱處理。而加熱溶解氫氧化鈉時會造成酒精大量散失，因此採用冷凝裝置，但在實驗過程中仍發現有少量散失，為了徹底改善，使用馬達將冰水打入冷凝管中。豬油的動物脂肪中含有脂肪酸的成分，故其可以與氫氧化鈉產生反應，而上層透明的部分，極有可能為豬油中所含其他成分。

(2) 測試二：由實驗得知，膠體的形成並不是單靠鈣離子或醋酸離子，必須當兩者同時存在並均勻分散時才能形成膠體。而此膠體放置數天後漸漸液化，應為膠體之老化現象。在一多粒徑的膠體溶液中，小粒徑的膠體較大粒徑的膠體之溶解度為高，因此小粒徑膠體有越來越小的趨勢，但大粒徑膠體即成長變大。由於成熟現象的作用，此膠體溶液的膠體將無法長時間的呈現出均勻分散的行為。故經長時間放置（在密閉容器中），其凝膠流動性增加。

(3) 測試三：因想到纖維素本身成分 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ 有燃燒成分C、H，效果會較好。為使其形成一充分分散之膠體溶液，利用纖維素不溶於常溫水而溶於高溫水之特性，在熱水中使其分散，待其均勻分散後再急速冷卻至低溫使凝聚成膠體而

吸附乙醇。

2. 定量實驗：(1) 延燒時間：

① 燃燒時間長短為：

〔纖維素+酒精〕 > 〔硬脂酸+NaOH+酒精〕 > 〔飽和醋酸鈣+酒精〕 > 〔醋酸鈣+酒精〕

② 四組各樣品間並無明顯差異，但以a<sub>4</sub>、b<sub>4</sub>、c<sub>2</sub>、d<sub>2</sub>為最佳。

③ 〔膠態甲基纖維素+酒精〕隨著酒精的增多而延長燃燒時間。

④ 〔未飽和醋酸鈣溶液+酒精〕，醋酸鈣溶液濃度越高則延燒時間越長

⑤ 〔醇類+酒精〕，明顯以丙醇燃燒的時間為最長。

(2) 燃燒熱：

① 在測量燃燒熱的過程中，理論上定容系統溫度在尚未加熱時會受攪拌器的作功而上升，但在實驗中並無發現此現象，故忽略不計。

② 彈卡計為物化實驗中相當精密的儀器，但因器材、場地與時間限制，實驗仍在進行中，故目前數據過少。

③ 部分樣品在彈卡計中未燃燒完全，故實際燃燒熱應比實驗數據要高。

④ 〔飽和醋酸鈣溶液+酒精〕因為太過濕軟而未能製成薄片測其燃燒熱。

⑤ 纖維素本身成分(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>含有燃燒成分C、H，故推測〔纖維素+酒精〕之燃燒熱應該較高。

(3) 酒精（或水分）散失重量百分比：

① 用石蠟膜封瓶的樣品所減少的酒精比率明顯比直接暴露於空氣中的樣品減少的要少。

② 由參考資料得知，一般水合物的水分只被微弱的結合，因此水合物常有明顯的蒸氣壓，如果水合物的蒸氣壓大於空氣中的蒸氣壓，此水合物遭受風化（efflorescence）即失去水合的水。同樣的，此實驗中的樣品並無緊密結合，故推測散失比率的差異是因其蒸氣壓不同所致。

③ 醋酸鈣與酒精在沒有催化劑的狀況下也有可能產生微量揮發性的乙酸乙酯。

④ 相同時間內酒精重量散失的百分比由多至少為：

〔膠態甲基纖維素+酒精〕 > 〔飽和醋酸鈣+酒精〕 > 〔醋酸鈣+酒精〕 > 〔硬脂酸+NaOH+酒精〕 > 〔纖維素+酒精〕

⑤ 膠態甲基纖維素樣品與飽和醋酸鈣樣品的損失百分比嚴重，推測是因其製作過程中均須加水，而水也能逐日蒸發，故喪失重量不全為酒精。

(二) 同化原理：

1. 膠體粒子表面至少有一層分子具媒溶性，溶劑分子在膠體表面形成緊密結合，同時溶劑分子在醋酸鈣離子結構中也會被機械性捕捉作用，大量溶劑分子會固著於膠體粒子表面。一般有機溶劑醇、醚、醛、酮、酸、酯，只有醇可與醋酸鈣飽和溶液形成醋酸鈣—醇膠體。鏈狀C<sub>1</sub>—C<sub>4</sub>單元醇明顯與飽和醋酸鈣溶液形成膠態物質，多元醇如果糖葡萄糖、環狀醇如環己醇則不與飽和醋酸鈣溶液形成膠態物質。由實驗推知，離子化合物在醇與水混合溶液中的溶解度減少，可促進離子對或離子簇的形成，故鹽在其中高度凝聚。而C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>醇類及多元醇與水的極性差異因碳數增多而較大，不易與水互溶，且多元醇OH間的作用力強，因此不易帶走水分子以造成鹽類的析出。而甲醇較難析出，推論是因其與醋酸鈣離子間的作用力比乙醇、丙醇強的緣故。（參見表15）

\*醇類在水中的溶解度

〈表15〉

名稱	Name	Formula	(20°C)在水中的溶解度(g/100gH <sub>2</sub> O)
甲醇	Methanol	CH <sub>3</sub> OH	可溶
乙醇	Ethanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	可溶
1-丙醇	1-Propanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	可溶
1-丁醇	1-Butanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	7.9
1-戊醇	1-Pentanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	2.7
1-己醇	1-Hexanol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	0.6

2. 由資料得知，膠體粒子粒徑的大小受反應物濃度的影響。由實驗結果，低濃度和高濃度的醋酸鈣溶液加酒精分別有溶膠及凝膠的形成，而在中等濃度的溶液中，發現膠體沈澱物。醋酸鈣粒子在酒精中析出，高濃度的醋酸鈣溶液因高黏度的影響，使晶體生長速率減緩，如此有足夠的時間形成很多膠體粒子，故顆粒較小而均勻分散。

(三) 趣味實驗：

1. 由參考資料得知Sr(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>、Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>分別會產生紅色、淡綠色、黃色火焰，但考慮其同時會有大量氣體產生，有爆裂效果，故不使用。

2. 使用CuCl<sub>2</sub>能在使用最小量藥品情況下達到色彩鮮艷的最佳效果。

3. 鎂粉產生大量白光可會影響色質使焰色單調，且金屬火花不明顯。加鋁粉反應劇烈，但金屬火花不明顯。與鐵粉產生金黃色分叉火花，效果最佳。

## 七、結論



- (一) 目前市面上，如餐廳多使用液態酒精或酒精膏（流體），另有一部分雖為固體，但因添加蠟的成分使之固化，故黑煙的產生十分明顯。此次我們找到方法以適當比例，確定可使酒精固化。
- (二) 此次實驗設計五個方法作固體燃料：
1. 硬脂酸+氫氧化鈉+酒精
  2. 飽和醋酸鈣溶液+酒精
  3. 醋酸鈣+酒精
  4. 甲基纖維素+酒精
  5. 膠態甲基纖維素+酒精
- (三) 1. [飽和醋酸鈣溶液+酒精] 與 [膠態甲基纖維素+酒精]、[硬脂酸+氫氧化鈉+酒精] 生成固化酒精都成膠體狀態，利用加乙醇使溶液中分子或離子聚集法形成溶膠，可得較高分散度。而 [纖維素+酒精] 結構孔隙捕捉乙醇，及表面吸附乙醇。
2. 一般有機溶劑醇、醚、醛、酮、酸、酯中，依據實驗結果只有C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>醇的分子大小及分子極性強度較容易在醋酸鈣離子結構中產生較明顯的機械捕捉及膠體吸附。
3. 乙醇是最常用的燃料，此次實驗就以醋酸鈣—乙醇膠體形成受醋酸鈣溶液濃度的影響作探討重點：
- (1) 在較低濃度時 (<0.4M)，膠體成核速率（結晶核心之形成速率）> 晶體生成速率，此時，可得高度分散的膠體溶液。
  - (2) 在中等濃度時 (0.4~0.6M)，膠體成核程度並不太高，故晶體生長形成膠體沈澱物。
  - (3) 在高濃度時 (>0.6M)，因黏度高的影響，Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> 膠體連結在一起，形成半固體凝膠。
- (四) 此五方法所得酒精固體燃料之酒精暴露於空氣中之重量減少比較：
1. 減少比率：  
[膠態甲基纖維素+酒精] > [飽和醋酸鈣+酒精] > [醋酸鈣+酒精] > [硬脂酸+NaOH+酒精] > [纖維素+酒精]
  2. 外觀：
    - (1) [硬脂酸+氫氧化鈉+酒精]、[飽和醋酸鈣溶液+酒精]、[醋酸鈣+酒精]、[甲基纖維素+酒精] 縮小且表面有許多空隙。
    - (2) [飽和醋酸鈣溶液+酒精] 液化且產生針狀結晶。

- 3.酒精重量逐日減少，酒精分子暫陷入原來各物結晶結構的孔洞或氫鍵的鏈結，在結構方面的探討希望能藉高能X-Ray探測，以了解酒精分子如何嵌入物質結構中。

(五) 四種固體燃料燃燒比較：

1. 相同重量的燃燒時間：

[甲基纖維素 + 酒精] > [硬脂酸 + NaOH + 酒精] > [飽和醋酸鈣 + 酒精]  
> [醋酸鈣 + 酒精]

2. 燃燒熱：[甲基纖維素 + 酒精] 燃燒熱最高。

(六) 四種狀態與保持方式的比較與建議：

1. 以石蠟膜或密封容器可保存製成樣品。

2. [硬脂酸 + 氫氧化鈉 + 酒精] 不可使用鋁箔紙或保鮮膜保存。

(七) 趣味實驗：

1. 焰色：添加金屬鹽類使其燃燒增加焰色效果。使用CuCl<sub>2</sub>能在使用最小量藥品情況下達到色彩鮮艷的最佳效果。

2. 火花：共溶入金屬粉末增加火花效果，提昇固體燃料燃燒樂趣。

(八) 展望：

1. 正在自行設計卡計，對不同方法及組成製作之成品，有系統地作燃燒熱之分析及比較。

2. 目前自行設計五種方法使酒精固化方法，屬於形成膠體狀態，所以希望再添鹽類使膠體凝聚，而此方法還在繼續探討中。

## 八、參考資料

(一) 〈Chemical Demonstration〉Second Edition P.111、112、165—  
America Chemical Society Washington D.C.1988

(二) 影片〈實驗DIY〉——MHK製作

(三) 〈台大化學系大三物化實驗手冊〉

(四) 〈化學〉(上)——曾國輝(藝軒出版)

(五) 〈The Merck Index〉Eleven Edition—Centennial Edition

(六) 〈煙火化學〉——李昂(科技圖書)

(七) 〈膠體及界面化學入門〉——張有義、郭蘭生編譯Duncan J. Shaw原著  
(高立圖書有限公司)

(八) 〈General Chemistry〉Third Edition P.464—Ebbing

(International Student Edition)

## 評語

此研究題目，檢討市售酒精固體燃燒之優缺點，設計了“五種”製作固體燃料比較相互間，“固化體”與“酒精”燃燒之合適度，找到約在70~80溶解甲基纖維素，再突冷而成膠體“固態”燃料，其在燃燒時間及燃燒熱皆比傳統為佳，尤其是去黑煙，且又附加各種不同“金屬離子”之火焰色增加情趣。

