

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

第二名

080205

向火神借五分鐘

～談耐火材料延遲火災發生的效應

學校名稱：臺南市東區勝利國民小學

作者： 小六 林祐亘 小六 鄧笙啟 小六 郝貞愛 小六 黃雨珮	指導老師： 林啟鴻 林尚玟
---	---------------------

關鍵詞：耐火材料、小蘇打、矽酸鈉

~~向火神借五分鐘~~

談耐火材料延遲火災發生的效應

摘要

小蘇打用在乾粉滅火器。將小蘇打混成紙球在火上燒，紙球受到火的作用不會起火，摸起來不燙，希望找到材料組合，火災發生時對起火點產生延遲效應，爭取逃生機會；首先使用不同材質的紙與小蘇打混合，觀察加熱效應，因紙球易散掉，接著討論黏著材料，再將不同物質與酒精混合燃燒，測試燃燒時間及對流產生的溫度，結果發現小蘇打可延遲火勢產生降低溫度，其次使用浸泡矽酸鈉的紙作耐火木材，實驗發現泡矽酸鈉的紙不會起火，再將矽酸鈉與小蘇打依不同比例混合，發現7：3比例混合物最硬適合做建材替代品，最後製作幾種耐火製品，發現小蘇打及矽酸鈉相關製品可延遲火勢降低火焰溫度，火災發生初期可爭取逃生機會，減少悲劇發生。

壹、研究動機：

在翰林版『自然與生活科技』五年級單元中談到燃燒，說明滅火的方法有1. 移除可燃物 2. 減少助燃物 3. 降低燃點，查閱資料發現小蘇打受熱時會產生二氧化碳，達到滅火的效果，產生我們將小蘇打及紙漿混合的想法，如果將製作好的物質放在容易起火的位置附近(例如插座盒)，當物質溫度上升到足以起火的溫度時，我們製作的耐火材料可延遲火災發生時間，爭取逃生機會，減少悲劇的發生，但必須注意二氧化碳濃度，建立預警機制，以免二氧化碳中毒。

貳、研究目的：

- 一、探討不同紙張與小蘇打混合後燃燒的效應。
- 二、探討紙張黏著的方式，對燃燒效應的影響。
- 三、將酒精與不同物質混合燃燒，觀察燃燒效應。
- 四、將矽酸鈉與紙張混合，觀察燃燒效應。
- 五、將矽酸鈉與小蘇打依不同比例混合，觀察燃燒效應。
- 六、製作不同生活應用的成品，比較燃燒效應。

參、研究設備與器材：

藥品：小蘇打、矽酸鈉、碳酸鈉、碳酸鈣、葡萄糖、砂糖、地瓜粉、玉米粉、在來米粉、糯米粉
麵粉、膠水、樹脂、酒精

其他：衛生紙、報紙、廣告紙、影印紙、牛皮紙、彩色印刷紙

裝置：果汁機、酒精燈及腳架、溫度計、電子秤、燒杯、藥勺

肆、研究過程及方法：

一、文獻探討

(一) 小蘇打：學名碳酸氫鈉(NaHCO_3)，俗稱烘培鹼，外觀白色粉末，微澀弱鹼性，俗稱發粉，做麵包膨鬆劑。中和胃酸的抗酸藥及乾粉滅火器主要成分、清涼飲料原料。

化學反應 1: 小蘇打受熱分解成碳酸鈉、水和二氧化碳等 3 種不助燃物質。



化學反應 2: 小蘇打遇酸分解成鹽和水，放出二氧化碳。



用途：1. 製作發粉或膨糖原料。

2. 乾粉滅火器：裝有碳酸氫鈉及高壓氮氣。操作：打開活栓 → 高壓氮氣小蘇打壓出，噴向火源 → 小蘇打遇熱分解，產生二氧化碳 → 二氧化碳密度大，無助燃性，也無可燃性，直接蓋住火源 → 隔絕空氣中的氧氣進入火源 → 滅火。

(二) 碳酸鈉(Na_2CO_3) 俗稱洗滌鹼，白色粉末或細粒，溶於水呈鹼性：是重要化工產品，玻璃、肥皂、紡織、造紙、制革等工業重要原料。

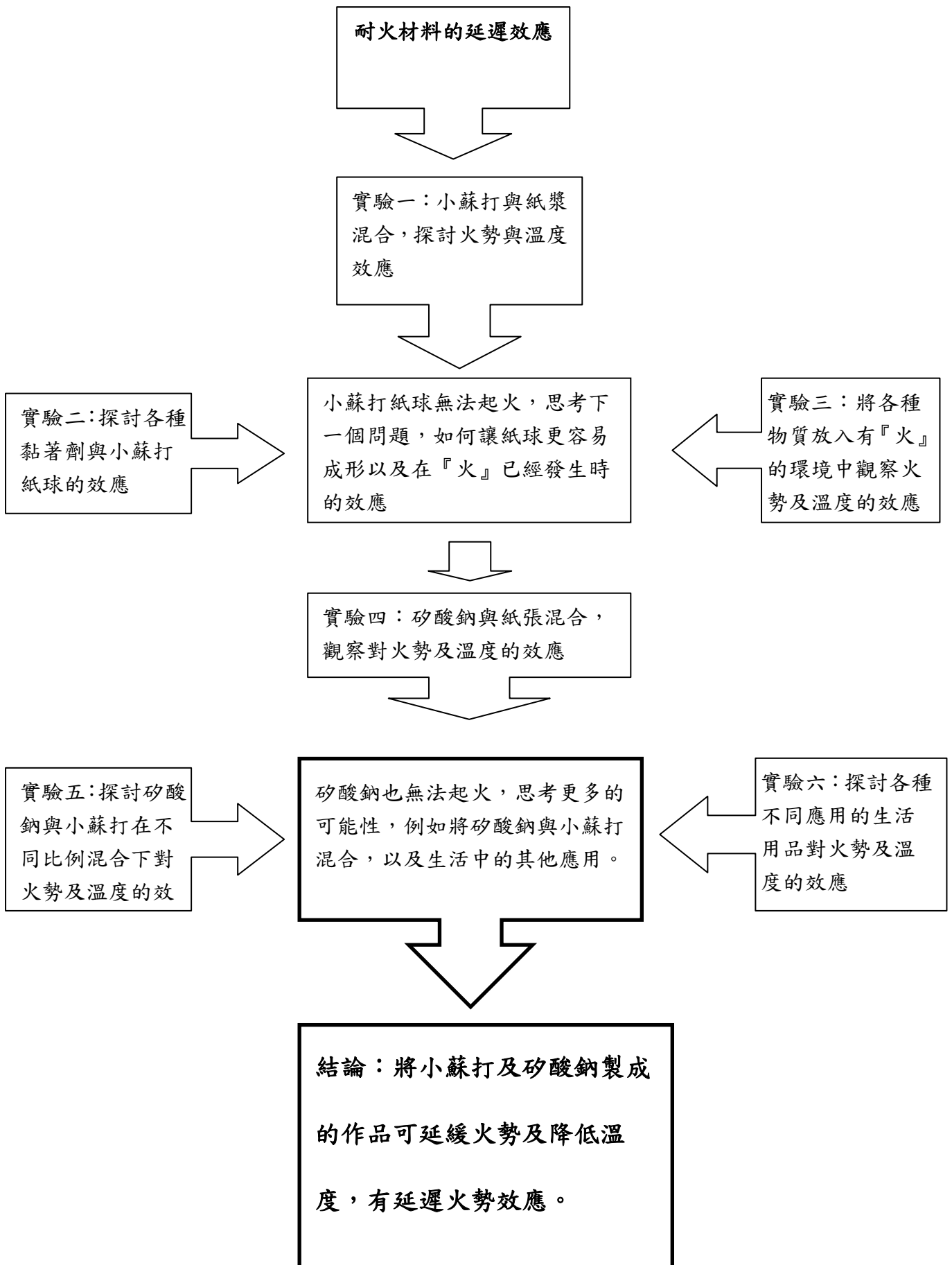
(三) sodium silicate 矽酸鈉：各種矽酸的鈉鹽總稱，以偏矽酸鈉為主，現知有正矽酸鈉，二矽酸鈉與四矽酸鈉，水玻璃是這些矽酸鈉總稱；因水玻璃黏度相當大不易流動，外表看起來類似於聚合物，將其滾成球狀再靜置於空氣中一段時間，慢慢由外層開始硬化，內層仍是液體狀，全部硬化至少需要一 ~ 兩天時間。性質說明如下：

1. 水玻璃商品有兩種：一種白色塊粒狀固體，另一是無色黏稠液體，外形很像玻璃，能溶解在水中，所以通稱水玻璃。
2. 水玻璃組成按 $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ 的組成比例表示。自 $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2=1:1.6$ 到 $1:4$ 的比稱為係數。係數可以變更。隨著係數變更，性質發生變化。
3. 水玻璃有水解作用，按下列方程式進行： $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SiO}_3$ 。水解的結果所分離出來的物質在水中形成膠體的膠粒群。
5. 水玻璃與無機酸（如鹽酸）起作用生成膠狀硅酸（但稀溶液不生膠狀物）。

水玻璃的用途如下：

1. 鑄造(鑄型用黏著劑)
2. 土木建築、窯業
3. 接著、硬化劑
4. 無水矽酸(白煙)
5. 肥皂、合成洗劑：
6. 紙、紙漿
7. 石材
8. 焊接
9. 纖維：矽酸鈉用於絹布的精練染色，印染的媒染劑，纖維漂白劑完整纖維的充填劑。
10. 淨水的軟化劑：11. 其他其他的應用有：原料塗料的展包劑防火陶磁器工業及各種化學工業。

二、實驗架構：



三、實驗流程

一、實驗一：

實驗一之一：將餐巾紙、報紙、報紙加小蘇打等三種材料捏製成球形，放在火上加熱，觀察火勢及燃燒現象。

實驗一之二：收集不同的紙（影印紙、廣告紙、衛生紙、報紙、牛皮紙、圖畫紙）打成紙漿，取出紙漿後捏成約 3 公分大小的紙球，加入小蘇打（因無法確實定量，逐次加入小蘇打直到表面有粉末現象出現為止）再捏製成球狀；乾燥二週，在酒精燈上加熱，觀察燃燒現象。

二、實驗二：

實驗二之一：製作黏著劑（地瓜粉、玉米粉、在來米粉、糯米粉、麵粉加水加熱攪拌成漿糊）及市售膠水、樹脂，將各種黏著劑直接加熱燃燒，紀錄燃燒現象。

實驗二之二：將餐巾紙及影印紙撒上小蘇打，使用上述的黏著劑黏住，再覆蓋一層相同的紙張，乾燥三天，在酒精燈上燃燒，紀錄燃燒現象，找出適合的黏著劑。

三、實驗三：將藥用酒精 20 克加入放有葡萄糖、紙球、小蘇打紙球、碳酸鈉、地瓜粉、砂糖等物質的容器，點火燃燒，比較燃燒時間、火勢及溫度（將溫度計放在離桌面 30 公分處）燃燒的效應。

四、實驗四：

實驗四之一：紙張泡在矽酸鈉溶液中二天，按照未浸泡、烤乾、吹乾及自然乾等四種方式，在酒精燈上加熱，觀察燃燒現象。

實驗四之二：將浸過矽酸鈉的紙張包在銅線上，通入直流電產生短路的熱效應，觀察是否起火，再將裝置放在酒精燈上加熱兩端的裸露的銅線部分，觀察起火條件及效應。

五、實驗五：將矽酸鈉與小蘇打分別按照 9：1、8：2、7：3、6：4、5：5、6：4、3：7、2：8、1：9 等不同比例混合，混合後倒在烘焙紙上，折成約 8*4 公分大小的形狀，使用擀麵棍擀平，乾燥一日後，放在酒精燈上加熱，將溫度計放在酒精燈上方 20 公分處測量對流溫度，觀察燃燒現象。

六、實驗六：經過討論決定製作幾種生活用品，測試耐火效果。

實驗六之一：將小蘇打與水性水泥漆按照不同比例混合（9：1、8：2、7：3、6：4、5：5）塗在建材行所購得的裝潢用夾板（5 分板，中等厚度），乾燥一日後放在酒精燈上（以腳架支撐）直接加熱 5 分鐘，紀錄夾板背面出現黑點、開始冒煙及夾板破裂的時間。

實驗六之二：將棉布及餐巾紙鋪平放在淺盤中，慢慢加入矽酸鈉溶液（未稀釋），等到矽酸鈉滲透進入棉布，乾燥一日後，分別放在實驗三裝置中燃燒，觀察燃燒現象，再依實驗一裝置，在酒精燈上直接加熱，觀察燃燒現象。

實驗六之三：將實驗五結論所得矽酸鈉及小蘇打 7:3 比例的混合物壓製成形後放入家中插座盒，作為短路時電路保護裝置，因考慮 110 伏特電壓短路實驗的安全考量，未做相關測試。

實驗六之四：之前的科展作品曾經探討 PVA 膠水加入硼砂溶液製成的聚合物，我們想到將矽酸鈉加入聚合物中混合，包覆在銅線上，直接在酒精燈上加熱並觀察燃燒現象。

實驗六之五：在實驗六之二棉布測試中，棉布加矽酸鈉不會燃燒，因此想到將棉布加矽酸鈉鋪在拖鞋的底部，乾燥後直接放在酒精燈上分別加熱 15 秒、30 秒及 45 秒，觀察並記錄燃燒現象。

伍及陸、研究結果與討論：

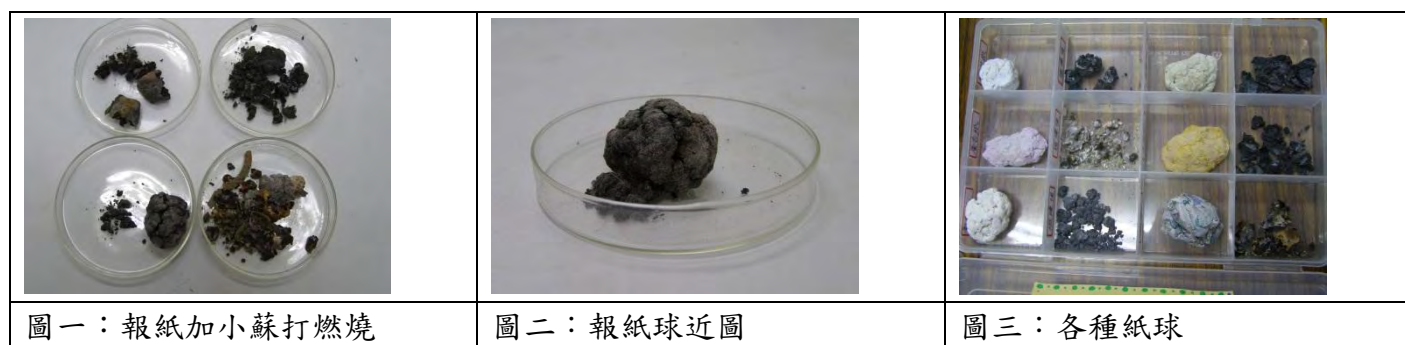
一、實驗一：

實驗一之一：將 1. 餐巾紙 2. 報紙 3. 小蘇打報紙球；放在酒精燈上方加熱，觀察並記錄燃燒條件。

實驗二之一：使用物質/衛生紙				
次數	1	2	3	4
衛生紙重量	2.1 克	2.3 克	2.1 克	2.0 克
平均起火時間：1.75 秒		平均完全燃盡時間：67 秒		平均 1 克物質燃燒時間：32 秒
實驗二之二：使用物質/報紙				
次數	1	2	3	4
報紙重量	4.5 克	4.6 克	4.9 克	6.0 克
平均起火時間：5.0 秒		平均完全燃盡時間：97 秒		平均 1 克物質燃燒時間：20 秒
實驗二之三：使用物質/報紙加小蘇打				
次數	1	2	3	4
報紙加小蘇打	8.7 克	8.3 克	7.9 克	8.8 克
燃燒現象	小蘇打加入紙張後點火燃燒，紙張不會有燃燒現象，紙張呈現灰白及灰黑交接，沒有明顯的火焰，有小小少少的火星，有火星的燃燒現象維持大約 30 分鐘，紙球完全成灰，以手掌在距離約 5 公分處感覺，感覺溫度不是很熱。			

實驗結果討論：

1. 衛生紙因材質的關係，起火時間較快；報紙起火時間則較慢。
2. 報紙因為油墨的關係，燃燒時黑煙較多，平均燃燒時間反而較快。
3. 衛生紙球較容易製作，製作完成時形狀較易固定成形，燃燒時間較平均。
4. 報紙球有油墨，纖維較粗，不易成形，乾燥後會有破裂的現象，造成不同報紙球之間的空隙不同，燃燒時間也差異甚大，造成實驗結果差異，我們試圖以平均法來降低實驗誤差。
5. 將報紙加上小蘇打製成球狀後，放在酒精燈上加熱，紙張沒有起火的燃燒現象，但會慢慢燒成灰，紙球中會有火星發生，沒有起火，整個有火星出現的燃燒現象大約可以維持將近 30 分鐘，而且紙球的溫度不高，經過討論決定再用幾種不同的紙來測試燃燒效應。



圖一：報紙加小蘇打燃燒

圖二：報紙球近圖

圖三：各種紙球

實驗一之二：

	影印紙	廣告紙	衛生紙	報紙	牛皮紙	圖畫紙
外觀條件	白色	淡粉紅色	白色	灰色	黃色	白色
燃燒時間	30 分					
燃燒現象	均不會起火燃燒，表面有火星，有少許煙，在距離 5 公分處感覺溫度不高					
燃燒後	碎片很小	呈粉末狀	較大的塊狀	結塊	結塊	更大的塊狀

實驗結果討論：

1. 將小蘇打混合紙張加熱燃燒，因為高溫造成小蘇打分解產生碳酸鈉、二氧化碳及水 3 種不助燃物質，減低燃燒溫度，也無起火燃燒現象，雖然紙張最後燒成灰但燃燒現象有效抑止，可見將小蘇打加上紙張可延遲起火現象並降低溫度，讓紙張在較低的溫度下悶燒，假設電線短路溫度上升時，若達到電線絕緣體的熔點及燃點時，小蘇打紙球燃燒初期產生二氧化碳降低氧氣濃度，產生水來降低溫度，延緩起火的時間效應，且紙張及小蘇打共同特色是**取得容易，製作簡單，成本低廉，滅火效果佳**，實驗後曾試著將紙漿加小蘇打混合，每天定時壓製，最後成為相當硬的紙板，可放在插座盒內部，作為保護裝置並延遲火災發生的效應。
2. 不同紙張製成紙球，外觀顏色略有不同，燃燒時廣告紙有較多的煙產生，應是油墨及顏料之故。
3. 牛皮紙及圖畫紙燒完的灰燼結塊較大，推測是紙張纖維較粗造成。
4. 紙漿成型時因為含水，不易定量，重量無法控制，加入小蘇打也因有部分粉末外逸，重量不易控制。
5. 酒精燈加熱時火勢因空氣流動飄搖，無法在固定點加熱。
6. 加熱時因紙球為球體，只能等底部加熱到沒有火星時再翻到另一面加熱，不易受熱均勻。

二、實驗二： 實驗二之一：將各種漿糊成品直接燃燒，紀錄如下：

物質	著火時間	燃盡時間	氣味	顏色	過程變化
A—地瓜粉	112 秒	161 秒	無	128 秒完全變黑	11 秒冒泡，33 秒底下燒焦
B—玉米粉	148 秒	182 秒	無	123 秒變黑	37 秒部分變黑
C—在來米粉	87 秒	106 秒	無	63 秒完全變黑	
D—糯米粉	77 秒	170 秒	無	63 秒完全變黑	22 秒部分發黑
E—麵粉	188 秒	510 秒	無	78 秒全變黑	18 秒部分發黑
F—膠水	燃燒 30 秒即熄火		惡臭	灰色	
G—樹脂			惡臭	白灰色	

實驗二之二：紙張加小蘇打黏上紙後開始燃燒，紀錄燃燒情形：

物質	著火	燃盡	氣味	顏色
A-1	不著火	均不會起火燃燒	燒焦味	由白變黑
A-2			燒焦味	
B-1			燒焦味	
B-2	著火		燒焦味	
C-1	不著火		燒焦味	
C-2			燒焦味	
D-1			燒焦味	
D-2			燒焦味	
E-1			燒焦味	
E-2			燒焦味	
F-1			臭味	
F-2			臭味	
G-1	著火		惡臭	
G-2			惡臭	

實驗結果討論：

1. 不同澱粉做成漿糊質感及黏著性均不同，地瓜粉最黏，麵粉黏著性最差。
2. 不同澱粉製作漿糊彈性也不同，地瓜粉及玉米粉彈性最佳，麵粉及在來米粉彈性較差。
3. 澱粉類物質可起火燃燒，燃燒時間以麵粉最久，向老師詢問可能原因，老師說因為澱粉是聚合物，可能麵粉分子較大，較不易分解燃燒。
4. 膠水及樹脂都是常見黏著劑，燃燒時會產生惡臭，沒有實驗完就熄火，查閱資料後發現膠水及樹脂都是塑膠類的聚合物，燃燒時會產生惡臭。
5. 七種物質做成黏著劑，除膠水及樹脂外，以澱粉製作的五種黏著劑效果都差不多，但加了澱粉做黏著劑燃燒時會有焦味，經過討論為考慮實驗時的空氣品質，後續實驗決定暫時不使用這些物質作為黏著劑，加熱時所產生的臭味可作為火災預警機制的一種。
6. 將黏著劑加上紙張及小蘇打，在酒精燈上加熱發現物質不會起火，但會慢慢燒成灰燼，溫度也不高，可見將小蘇打混合紙漿加熱燃燒，燃燒現象被有效抑止，可作為保護裝置並延遲火勢蔓延的物質。

三、實驗三：不同物質與酒精燃燒的溫度效應

加入物質	酒精空燒	衛生紙 紙球	小蘇打 紙球	小蘇打	碳酸鈉	葡萄糖	地瓜粉	砂糖
物質重量		10.0 克	10.0 克	10.0 克	10.0 克	10.0 克	10.0 克	10.0 克
酒精重量	20 克							
燃燒時間	194 秒	413 秒	354 秒	451 秒	330 秒	410 秒	670 秒	388 秒
最高溫度	163°C	145°C	65°C	59°C	59°C	86°C	81°C	91°C

燃燒現象描述：

物質	燃燒現象
酒精空燒	火勢很大，藍紫色火焰
衛生紙紙球	火黃黃的
小蘇打紙球	火勢凌亂，橘黃色，煙較少，較臭
小蘇打	火變橘黃，火勢較小
碳酸鈉	火橘黃
葡萄糖	先期火藍藍紅紅的，後來火變得較紅，葡萄糖結塊，慢慢變小，黏黏稠稠
地瓜粉	紫橘色的火
砂糖	橘黃色的火，火勢較大

實驗結果討論：

- 20 克酒精燃燒時間 194 秒，後續燃燒效應以此為參考基準。
- 衛生紙紙球會吸附酒精，酒精燒完衛生紙繼續燃燒，燃燒時間維持很久，溫度維持在 50°C 左右。
- 小蘇打紙球經過幾次重複實驗，發現將小蘇打紙球剛放入酒精中時，溫度會上升約 15-20°C，約 10 秒鐘後溫度就快速下降，會降到 60-70°C，且維持相當長的時間，後期的溫度約維持在 30°C；溫度初期上升的原因，因為重複做多次均有此現象，老師推測可能和紙包覆在外有關，但加入小蘇打時卻沒有此現象，經過討論推測紙為此現象的原因。
- 燃燒碳酸氫鈉及碳酸鈉，可有效延長酒精燃燒時間，酒精定量為 20 克，釋放的燃燒熱差異不大，燃燒時間越久則平均放熱效率較差，可見碳酸鈉和小蘇打一樣可作為延緩起火條件的物質，但加入小蘇打時火勢最小，考慮取得難易程度、成本及製作難易，決定以小蘇打為首選物質。
- 與老師討論實驗結果時，提到小蘇打燃燒後產生二氧化碳、水及碳酸鈉，不考慮碳酸鈉的原因是因為碳酸鈉是小蘇打燃燒的產物，與小蘇打比較，產生二氧化碳是重要考量，故不考慮碳酸鈉。
- 燃燒葡萄糖、地瓜粉及砂糖均為可燃物也屬有機化合物，燃燒時會產生水及二氧化碳，酒精燃燒時間受到影響也較長，但是燃燒時有焦味，不易清理，若製作成紙球會引來蟲蟻，保存也有問題，這類物質不在考慮範圍內。
- 在實驗裝置上，第一次實驗時在陶鍋旁 10 cm 架上溫度計並接上鋁箔收集輻射熱記錄溫度，經過幾次測試後，發現溫度數字無法有效呈現，加上火勢飄搖不定，溫度計又有感應溫度的時間差，均造成紀錄困難及數字誤差，經過討論之後，溫度的數據僅做為參考。經過幾次實驗後決定更改實驗裝置，購置可測量至 300°C 的溫度計，以鐵架固定在高 30 公分處，改測量對流的空氣溫度，架上鋁箔時因

為對流空氣上昇造成晃動，所以將鋁箔取下，結果溫度數字較穩定呈現且與以手感應差異不大，決定更改實驗裝置重做一次，取得更具參考性的數據。

8. 小蘇打及碳酸鈉燃燒有橘黃色火焰，與老師討論時表示是鈉離子的焰色反應，有機化合物則是燃燒的反應，會有不同的火焰顏色。

9. 實驗中所使用的物質均會降低酒精燃燒溫度，延長酒精燃燒時間，碳酸鹽及有機化合物燃燒現象有所不同，考慮取得成本，保存難易程度及時效，決定以小蘇打為選用材料。



圖四：酒精燈燃燒



圖五：葡萄糖燃燒中



圖六：報紙球燃燒



圖七：小蘇打球燃燒



圖八：小蘇打燃燒後



圖九：碳酸鈉燃燒



圖十：碳酸鈉燃燒後



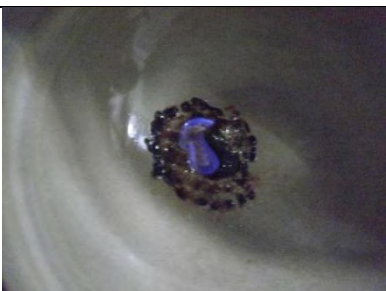
圖十一：地瓜粉燃燒中



圖十二：地瓜粉燃燒完



圖十三：砂糖燃燒中



圖十四：砂糖燃燒後

四、實驗四：實驗四之一：處理方式：矽酸鈉隔水加熱到 70°C，將紙張浸入溶液中再放入悶燒鍋中靜置 2 天，將紙張拿出以吹風機吹乾、放到烤箱中烤 2 分鐘、自然乾，在酒精燈上加熱 5 分鐘。

	紙張	厚紙板	紙板-撕開	紙板-沒撕	餐巾紙	西卡紙	影印紙
未浸泡的 燃燒現象	開始燃燒	29 秒	13 秒	13 秒	1 秒	4 秒	3 秒
	燃燒結束	190 秒	207 秒	75 秒	6 秒	33 秒	25 秒
浸泡 矽酸鈉 溶液後 的燃燒 現象	浸泡溶液 (烤乾)	表面有白色泡泡，不燙手	燃燒有臭味，從中間開始燒	表面有白色泡泡，不燙手	黏在錫箔紙上，未操作實驗	表面白白灰灰，中間呈黑色	會捲曲，有許多白色的泡泡
	浸泡溶液 (吹乾)	5 分鐘後仍未燃燒，一邊是白色泡泡，一邊是黑色，有臭味。	32 秒從撕開處燃燒，離火即熄掉。5 分鐘後有白白灰灰的霜狀物有臭味	燒了 5 分鐘仍未燃燒表面有白白灰灰的霜狀物有臭味，容易撥開	無臭味，燒 5 分鐘後用手摸，稍有升溫但不燙手，霜狀物不明顯。	有爆裂聲，燒後變脆表面白白灰灰，霜狀物不明顯，中間呈黑色	約 20-30 秒開始冒泡，會捲曲，一面白白灰灰不燙手
	浸泡溶液 (自然乾)	120 秒冒煙 240 秒著火 (紙張內部冒出小火)	78 秒冒煙 97 秒燃燒 (紙張內部冒出小火)	90 秒冒小煙 105 秒冒煙	80 秒冒煙	84 秒冒煙	17 秒冒煙後立即變黑



圖十五：西卡紙燃燒



圖十六：厚紙板燃燒



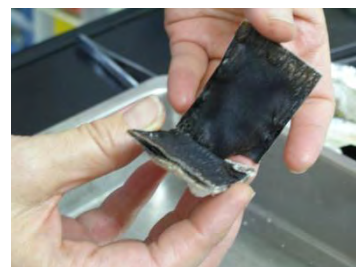
圖十七：撕開的紙板燃燒






圖十八：燒完的厚紙板



圖十九：餐巾紙燃燒

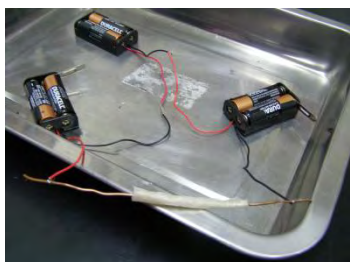
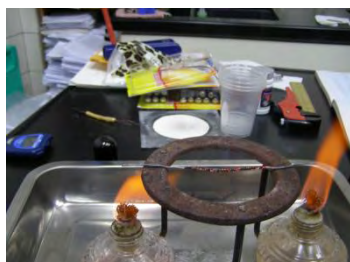



圖二十：燒完的厚紙板可撥開

		
圖二十一：沒撕開的紙板	圖二十二：烤乾的紙	圖二十三：自然乾的紙

實驗四之二：

將浸泡過的餐巾紙，包覆銅線，放在酒精燈上加熱，結果兩分鐘後開始冒泡，第 7 分 29 秒時，餐巾紙開始燒焦。如果只包餐巾紙第 45 秒開始冒煙。

		
圖二十四：利用短路電路加熱 (可是失敗了)	圖二十五：只有包餐巾紙 (45 秒就燒掉了)	圖二十六：包覆泡過矽酸鈉的餐巾紙

實驗結果討論：

1. 矽酸鈉是液態物質，採用浸泡再乾燥方式製作，發現紙張乾燥後燃燒不會起火，產生泡泡狀孔隙物質會冒煙有臭味，最後成灰狀物質，碎碎的容易剝裂，若不考慮燃燒後的回收問題，矽酸鈉是值得考慮的耐火物質。
2. 紙張浸泡的難易程度會影響紙張的燃燒現象，經過比較，發現自然乾燥的紙張看起來像矽膠，沒有經過加溫的方式乾燥，在酒精燈上加熱時會有起火的現象，移開酒精燈後只看到微小的火星。
3. 吹乾的紙張燃燒有臭味，自然乾的紙張燃燒則沒有味道。
4. 處理過的紙張觸感相當特殊，外觀顏色看起來像是矽膠片，經過處理後在建材上可以有更多的應用與變化，只要找到將矽酸鈉進入材質空隙的方法，就是耐火材料的考慮物質。
5. 紙張材質及空隙會影響矽酸鈉浸入的效果，也會影響燃燒現象。
6. 我們試著使用短路裝置來測試防火效果，因為電壓不足失敗，後來改用酒精燈加熱方式來測試，發現包餐巾紙的銅線在 45 秒時開始冒煙燃燒，可是包了浸泡過矽酸鈉的餐巾紙在加熱第 7 分 29 秒時才開始有冒煙及燒焦的現象，沒有起火現象，可見物質浸泡矽酸鈉後，可以有效延緩起火時間及抑制燃燒現象，火災現場分秒必爭，向火神爭取 5 分鐘，可挽回更多悲劇，希望經過更多深入研究，可開發出更有效的產品。

五、實驗五：

比例	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5	6:4	3:7	2:8	1:9
矽酸鈉	18克	16克	14克	12克	10克	8克	6克	4克	2克
小蘇打	2克	4克	6克	8克	10克	12克	14克	16克	18克
外觀	白略透明				白				
成形	可	可	可	可	會碎裂	會碎裂	粉末狀	粉末狀	粉末狀
硬度	軟 可彎折	略硬	最硬	邊緣會 碎裂	輕碰即 碎裂	無法成形			
起火嗎	否	否	否	否	無法成形不做燃燒測試				
燃燒 現象	有冒泡 的現象	有略焦黑現象							



圖二十七：各種物質



圖二十八：燒過的物質

實驗結果討論：

1. 將矽酸鈉與小蘇打混合後以桿麵棍壓製成形，發現 5:5 以下比例混合物不易成形，試著以木工夾將粉末狀物質加壓成形，結果成形後仍是一碰即碎裂，因此放棄以較低比例製成成品。
2. 小蘇打 10% 的混合物，物質觸感較粗較軟，稍用力可以彎折，加熱時會有氣泡及較大的聲響，混合物不會起火，溫度不高。
3. 20-40% 比例的混合物較硬，燃燒時都不會起火，以手在旁邊感覺溫度都不高。
4. 基於壓製成形的難易程度以及應用考量，討論後決定以小蘇打比例 30% 的混合物做為後續的應用。

六、實驗六：

實驗六之一：

小蘇打比例	0%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
小蘇打重量	0 克	0 克	4 克	8 克	12 克	16 克	20 克
水泥漆重量	0 克	40 克	36 克	32 克	28 克	24 克	20 克
塗刷說明	空白實驗 無塗刷	輕易塗刷	可輕易塗 刷	塗刷較用 力，塗層有 條紋	塗刷更用 力，塗層較 厚	有顆粒狀 塗層會較 厚	不易塗刷 塗層不均 勻
觸感		水泥漆	同一般水 泥漆	較粗	略粗	厚薄不均	顆粒很大
加熱時間	5 分鐘						
背面出現 黑點	1 分 15 秒	1 分 45 秒	1 分 33 秒	1 分 40 秒	2 分 07 秒	1 分 45 秒	2 分 18 秒
開始冒煙	1 分 51 秒	2 分 12 秒	2 分 09 秒	2 分 32 秒	2 分 35 秒	2 分 45 秒	3 分 07 秒
背面出現 裂痕	4 分 15 秒	4 分 21 秒	4 分 17 秒	4 分 52 秒	4 分 54 秒	4 分 46 秒	4 分 51 秒
裂痕說明	完全裂開 約 0.2 cm	完全裂開	部分裂開	部分裂開 有裂縫	有裂縫	有裂縫	有裂縫
正面燒痕 敘述	全黑	全黑	黑色，表面 有白色片 狀物質	黑色、表面 有白色片 狀物質，會 剝落	同 20%	同 20%	黑、有白色 物質但不 均勻



圖二十九：調水泥漆



圖三十：刷在板子上



圖三十一：矽酸鈉加水泥漆



圖三十二：加熱中



圖三十三：加熱後的正面



圖三十四：加熱後的背面

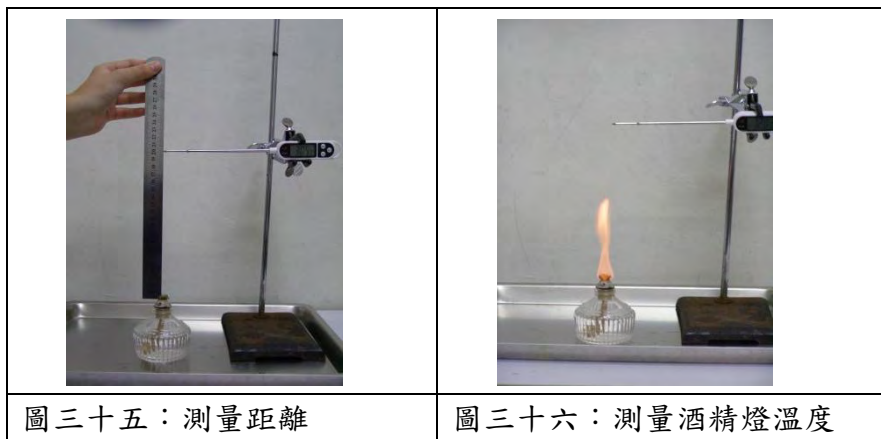
實驗結果討論：

1. 將小蘇打混入水泥漆中，小蘇打比例越高，木板越不容易塗刷，到 50%時幾乎刷不動且水泥漆厚度不均勻，因此實驗只做到 50%比例。
2. 加熱時測試夾板與酒精燈距離，從 30 公分到 15 公分，因未接觸到火焰，加熱時間及溫度都耗費許久，經過幾次測試後決定將夾板放在酒精燈腳架上直接加熱，以加熱 5 分鐘作為基準。
3. 混有小蘇打的水泥漆夾板加熱時會延遲在背面出現黑點的時間，小蘇打比例越高延遲越久。
4. 混有小蘇打的水泥漆加熱時正面會出現白色片狀物質，應是碳酸鈉。
5. 加熱時產生大量灰煙，實驗時要在通風良好處進行。
6. 混有小蘇打夾板加熱時裂縫較慢出現也較小。
7. 基於親自塗刷的經驗，40%的夾板已不易塗刷，塗層也不均勻，在居家塗刷的立場並不適用，因此建議可將水泥漆混入 10-30%的小蘇打，可延遲夾板起火時間，作為耐火材料的一種。
8. 同學曾將矽酸鈉混入水泥漆中，因為矽酸鈉黏性問題，水泥漆變得較難塗刷，類似油漆的塗刷效果，混合物有分層現象且有氨水的味道，相當刺鼻，因此不考慮在水泥漆中混入矽酸鈉。

實驗六之二：

在本實驗操作之前，為確定溫度計的位置及確定溫度的效應，先行測試溫度計的位置及溫度，結果如下：

距離	35 cm	30 cm	25 cm	20 cm
最高溫度	56°C	70°C	100°C	140°C



如果溫度計再往下降，就可能直接接觸到火焰，會產生危險，決定以距離 20 cm 為測試距離。

參考溫度：140℃

物質	小蘇打紙球	矽酸鈉加布	矽酸鈉加紙	矽酸鈉加小蘇打
加熱時最高溫度	68℃	65℃	48℃	38℃
加熱現象	表面變黑	變成白色多孔狀物質	變成白色多孔狀物質	板子會變得略黑
起火嗎	否	否	否	否



圖三十七：小蘇打紙球



圖三十八：小蘇打紙球燃燒後



圖三十九：其他三種物質

如果將物質放入 20 克酒精中燃燒，測試結果如下：參考溫度：163℃，參考時間：194 秒

物質	小蘇打紙球	矽酸鈉加布	矽酸鈉加紙	矽酸鈉加小蘇打
物質重量	10.0 克	9.7 克	6.5 克	10.2 克
加熱時最高溫度	68℃	68℃	81℃	69℃
燃燒時間	354 秒	304 秒	338 秒	336 秒



圖四十：三種物質(由左至右分別為：加紙、加布、加小蘇打)

實驗結果討論：

1. 實驗發現將矽酸鈉與布或紙混合滲透後，大約 2 小時就乾燥完成，物質的表面觸感涼爽也很光滑，結果顯示矽酸鈉與布或紙混合後，可作為防火布，防焰窗簾或是做為廚房及學生的桌墊使用，具有防焰，降溫及使用的功能性。
2. 矽酸鈉與小蘇打依 7:3 混合製作的板子，堅硬又有防焰降溫的效應，可應用在建材的替代選擇上。
3. 小蘇打紙球再做一次，仍有溫度上升的現象但馬上就降溫，可做為家中自製的簡易滅火器。

實驗六之三：圖片如下，未作性質測試。

實驗結果討論：本實驗因電壓考量未進行，其實也可考慮將小蘇打混入水泥塗在插座盒上，以實驗六之一的方式來做為耐火材料。



圖四十一：防火電池盒

實驗六之四：電線測試

物質	電線	樹脂電線	膠水電線
絕緣體物質	塑膠	樹脂、硼砂、矽酸鈉	膠水、硼砂、矽酸鈉
加熱溫度	104°C	86°C	99°C
燃燒現象	加熱 5 秒即開始燃燒，有大量黑煙及臭味，火勢會延燒	沒有燃燒現象，火勢不會蔓延	15 秒左右起火，旋即熄滅，有黑煙及臭味，火勢不會蔓延



圖四十二：製作的電線



圖四十三：燃燒後的電線
由上而下分別為一般電線、樹脂電線、膠水電線

實驗結果討論：

1. 樹脂電線及膠水電線製作時，外型厚薄不均，且矽酸鈉會水解產生氫氧化鈉，會導電，並不適合直接包覆在銅線外緣，可考慮包覆在塑膠絕緣體外。
2. 兩種電線經過幾次彎折會有裂縫，包覆的耐用性不足。
3. 可考慮在插座盒中配線中，在安全考慮下包覆在電線外緣，作為耐火材料的應用。
4. 3 種電線除原有電線外，外型均要再研究思考如何處理，因為厚薄不均，且未作長時間保存及日曬測試，若不考慮成本、製作難易及是否導電的問題，在遇到火災時的表現均較普通電線為佳。

實驗六之五：耐火鞋測試

加熱時間	15 秒	30 秒	45 秒
一般鞋底	第 5 秒即起火	第 5 秒即起火 大量黑煙及惡臭 有燒融的現象	第 5 秒即起火 大量黑煙及惡臭 有燒融的現象
矽酸鈉加布	鞋底有黑色隆起 無煙、未起火 以手碰觸溫度不高	較大的黑色隆起 無煙、未起火 以手碰觸溫度不高	更大的黑色隆起 無煙、未起火 以手碰觸溫度不高



圖四十三：燃燒後的鞋底對照
(由左至右別為加熱 15 秒、30 秒、45 秒)



圖四十四：耐火鞋底經過摩擦後

實驗結果討論：

1. 加了耐火布的鞋底明顯較一般鞋底更可以耐火，不僅沒有燒融現象也不起火，溫度不高，是可以慎重考慮的防火鞋底材質。
2. 在耐火測試之後，我們試著用手輕碰耐火鞋墊的鞋底，物質變得非常的脆，一碰即破，在地板略為摩擦就破掉，仔細觀察鞋底發現只有最外一層膨脹且破掉，在真正的應用上，必須黏上多層的耐火布，作為保護鞋底及腳底之用。

柒、結論：

一、將紙漿加入小蘇打放在酒精燈上加熱，因小蘇打燃燒會產生二氧化碳及水，可以降低溫度，降低氧氣濃度，紙張會悶燒但是不會起火，且具有取得容易，製作簡單，成本低廉，滅火效果佳等特點，可將紙漿加入小蘇打壓製乾燥成較硬的紙板，做成耐火材料，可有效延緩火災發生的時間。

二、使用澱粉類製作的黏著劑因為燃燒會有燒焦的現象及焦味，氣味可作為預警機制的一種。

三、碳酸鹽的物質以小蘇打為較佳的耐火材質。

四、矽酸鈉浸泡過的物質(物質的選擇以有孔隙的物質為主)，可製做為耐火材質，在建材上可以有更多的處理及發揮的空間。

五、可將矽酸鈉與小蘇打混合製作成較硬的板子，作為耐火建材或是放入插座盒中作為延遲短路起火的裝置。

六、將矽酸鈉浸泡布或紙張中，可以製作成防火布、防焰窗簾、防火鞋底或是桌墊等物質。

七、將小蘇打混在水泥漆中，以 10-30%的比例混合塗刷在木板上，可延遲木板的起火時間。

五、耐火材質希望可以降低起火點的溫度，延緩起火的時間，小蘇打製做的紙板適合放在容易短路或是空間較小的容易起火位置，矽酸鈉則是適合浸泡後進入物質的孔隙中，直接改變材質的耐火度，希望可以降低火災的發生，延緩火災發生的時間，向火神爭取這分秒必爭的五分鐘！

捌、參考資料：

- 一、翰林版 『自然與生活科技』 五年級 第二單元 物質與燃燒
- 二、南一版 『自然與生活科技』 八年級 下學期第二單元 化學反應

【評語】 080205

本作品利用簡單的材料製作耐火的產品，探討延遲燃燒的效應，為非常具有實用性的作品，研究動機良善。在實驗設計上仍可略作調整來分辨不同的浸泡液之優劣，將有助於改善耐火材料。