

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

030812

神奇的金紙灰

學校名稱：臺中縣立石岡國民中學

作者：  國三 黃咨瑋  國三 張宸馨  國三 王思喻  國三 關榮盼	指導老師：  吳嘉鴻
---	------------------

關鍵詞：防火塗料、金紙、環保

# 神奇的金紙灰

## 摘要

本實驗主要是探討如何製作有效的防火塗料，使其達到環保又省錢的利用。我們利用拜拜後燃燒剩下的金紙灰燼，來當作防火塗料的主材料並使用不同的黏著劑（例如：膠水和白膠）與金紙灰燼混合，塗在實驗用的冰棒棍上。經由設計九組不同的實驗，我們發現到純粹的冰棒棍在酒精燈上燃燒，平均約 8 秒即起火燃燒；若在冰棒棍表面塗上金紙灰燼加上各種不同的黏著劑所製成之防火塗料，其起火燃燒的時間均有明顯的延後。實驗結果也顯示不同的先後順序之塗料塗抹製程，其防火效果，也會有明顯的差異。

我們為求能獲得最佳的防火塗料，選用學校實驗室中的碳酸鈣及碳酸氫鈉藥品作為第二主材料，將藥品混合金紙灰燼與黏著劑作為防火塗料，使用碳酸鈣藥品的實驗結果顯示防火功效並不如膠水加上金紙灰燼來得好；而且意外發現使用碳酸氫鈉藥品加上膠水混合，產生縮合之化學反應，其產物有如一團橡皮筋球，無法作為塗料使用。

這次的實驗讓我們知道，像金紙灰燼這麼平凡無奇的東西，竟然也能發揮這麼令人意想不到的功效，實在奇絕！

## 壹、研究動機

在中國傳統習俗上，拜拜時，金紙總是不可或缺的，但是每當燒完後都會留下許多灰燼，使我們百思不解：為何金紙的灰燼無法燃燒？這個現象讓我靈機一動——生活中有許多祝融肆虐的事件，若把金紙灰燼作成防火的塗料，使家俱不易著火，這樣人們就能延長逃生的時間，雖然它不是永久性的，但是只要能延長逃生的時間，那將造福受困於火場中的人，讓他們都能平平安安的逃出來，這樣豈不是又環保又省錢更能造福人群，真是一舉數得。

## 貳、研究目的

- 一、研究金紙灰燼的防火功效與時間
- 二、研究若金紙灰燼加上不同的黏著劑(膠水、白膠)，看是否能增加「防火時間」
- 三、研究若用多層的金紙灰燼，看是否能增加「防火效果」
- 四、研究塗上顏料，是否可以增加美觀，也能增加或不影響「防火效果」

## 參、研究設備及器材

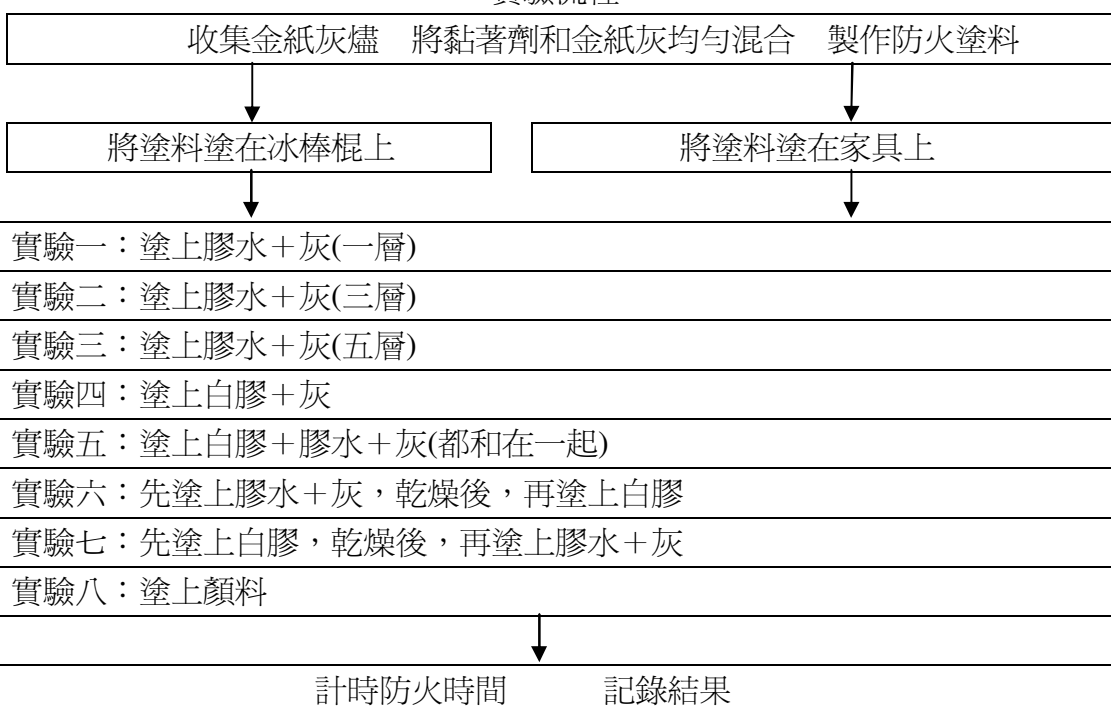
器具：酒精燈 燒杯 鑷子 打火機  
水彩筆 碼表

材料：雙面膠 膠水 白膠 紙杯  
廣告顏料 金紙灰燼 冰棒棍子  
碳酸鈣



## 肆、研究過程或方法

### 實驗流程



【註】起火時間定義為實驗樣品離開火源仍持續燃燒之第一時間。

### 實驗組別與黏著劑種類

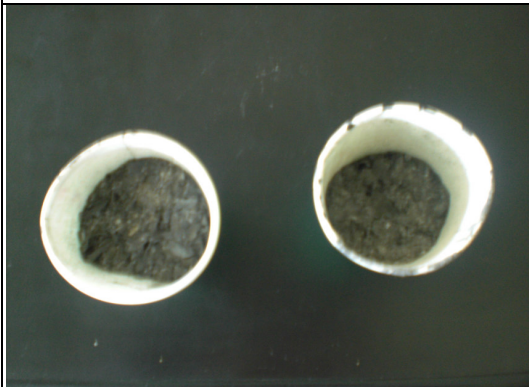
名稱	膠水	白膠
實驗一	○	X
實驗二	○○○(3層)	X
實驗三	○○○○○(5層)	X
實驗四	X	○
實驗五	○(一起)	○(一起)
實驗六	○(先)	○(後)
實驗七	○(後)	○(先)



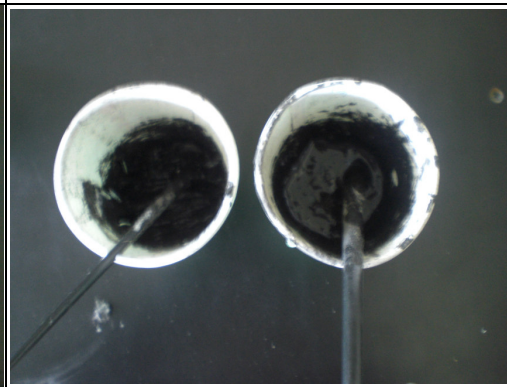
準備實驗材料



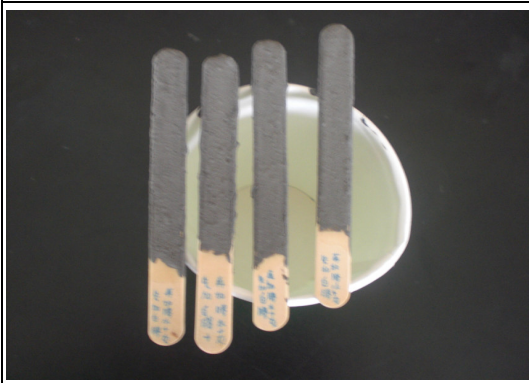
燒金紙



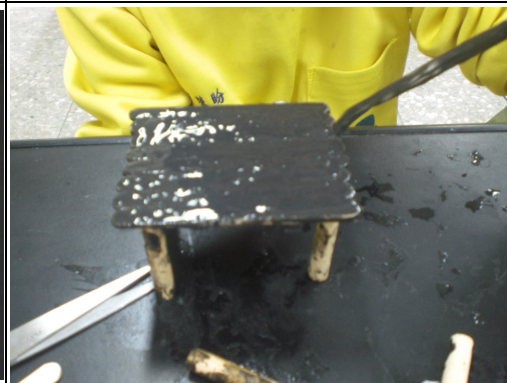
把燒好的金紙灰裝起來



加上白膠或膠水



做成冰棒棍



塗在家具上



全部的實驗冰棒棍



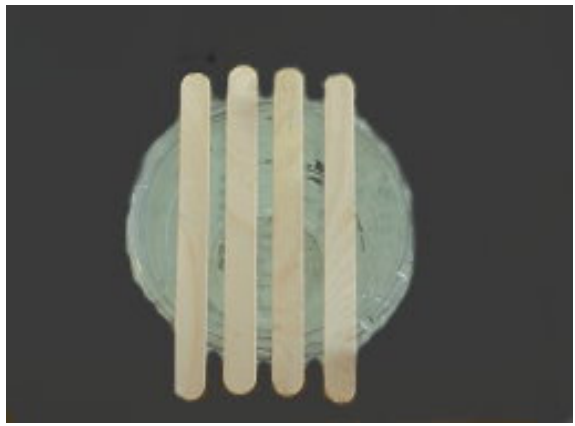
家具的材料

本實驗設計分為「對照組」與「實驗組」。「對照組」中先獲得純冰棒棍置於火焰上起火燃燒的反應時間，作為防火功效的基準；再測試黏著劑本身是否會影響起火燃燒的時間。

### 一、【對照組實驗】

#### 《對照一》純冰棒棍

過程： 將冰棒棍置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	8 秒
	第二次	6 秒
	第三次	9 秒
	第四次	8 秒
	平均秒數	8 秒


#### 《對照二》只塗膠水

過程： 將冰棒棍塗上一層膠水，乾燥後，置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	10 秒
	第二次	12 秒
	第三次	8 秒
	第四次	7 秒
	平均秒數	9 秒

#### 《對照三》只塗白膠

過程： 將冰棒棍塗上一層白膠，乾燥後，置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	13 秒
	第二次	14 秒
	第三次	11 秒
	第四次	8 秒
	平均秒數	12 秒

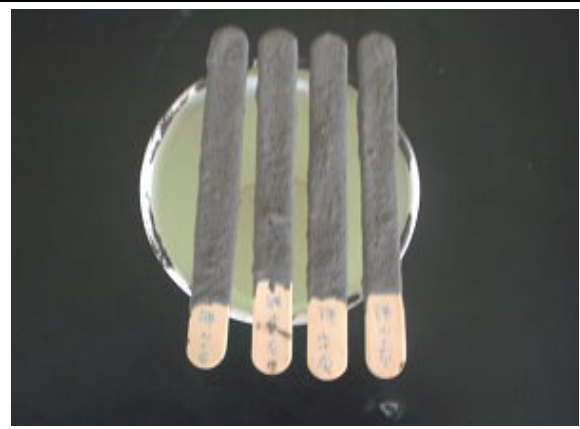
由實驗結果可得：

- (1) 對照組實驗之冰棒棍在酒精燈上均在短時間內即起火燃燒。
- (2) 無論使用膠水或白膠作為黏著劑，對冰棒棍起火燃燒的時間僅僅延遲數秒，防火功效皆無明顯增加。

## 二、【實驗組實驗】

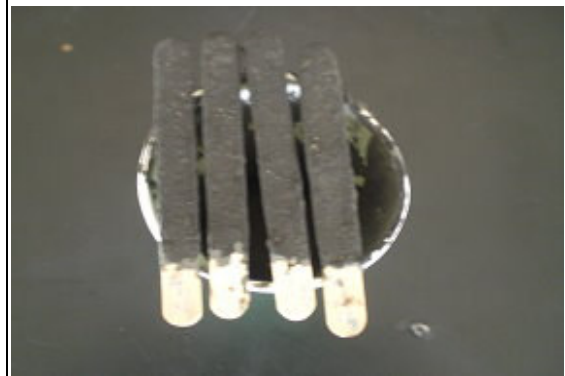
### 《實驗一》塗上膠水+灰(一層)

過程: 將蒐集的金紙灰，塗上膠水+灰(一層)  
乾燥後，置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	88 秒
	第二次	147 秒
	第三次	104 秒
	第四次	117 秒
	平均秒數	114 秒


### 《實驗二》塗上膠水+灰(三層)

過程: 將燒好的金紙灰收集起來  
先塗上膠水+灰(一層)，並且曬乾  
再塗上膠水+灰(二層)，並且曬乾  
再塗上膠水+灰(三層)，乾燥後，置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	135 秒
	第二次	126 秒
	第三次	156 秒
	第四次	104 秒
	平均秒數	125 秒


### 《實驗三》塗上膠水+灰(五層)

過程: 將燒好的金紙灰蒐集起來，加上膠水  
 先塗上膠水+灰(一層)，並且曬乾  
 再塗上膠水+灰(二層)，並且曬乾  
 再塗上膠水+灰(三層)，並且曬乾  
 再塗上膠水+灰(四層)，並且曬乾  
 再塗上膠水+灰(五層)，乾燥後，置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	138 秒
	第二次	150 秒
	第三次	142 秒
	第四次	168 秒
	平均秒數	150 秒


### 《實驗四》塗上白膠+灰

過程: 將燒好的金紙灰蒐集起來，加上白膠  
 塗在冰棒棍上，乾燥後，置於酒精燈上燃燒

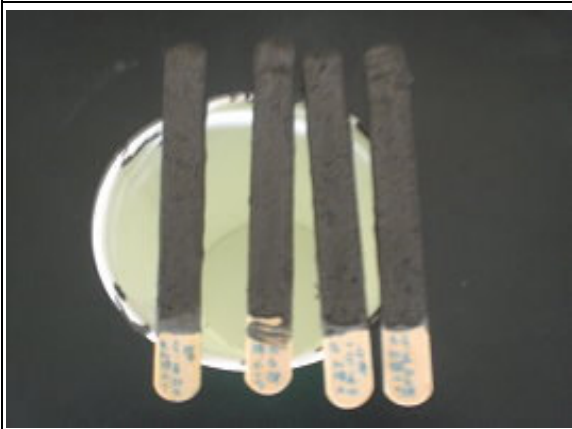
		實驗秒數
	第一次	88 秒
	第二次	87 秒
	第三次	71 秒
	第四次	96 秒
	平均秒數	85 秒

### 《實驗五》塗上白膠+膠水+灰(都混合在一起)

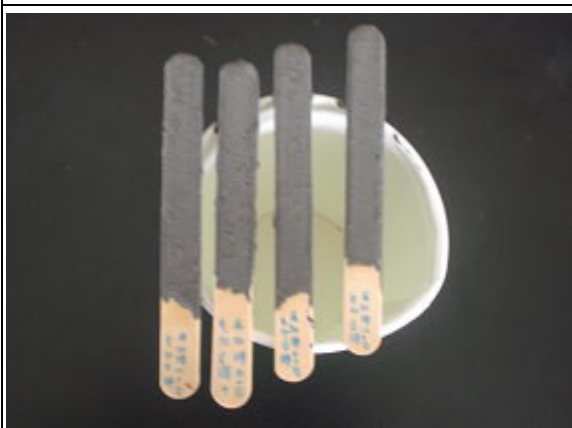
過程: 將白膠和膠水和灰都混合在一起  
 塗在冰棒棍上，乾燥後，置於酒精燈上燃燒

		實驗秒數
	第一次	82 秒
	第二次	72 秒
	第三次	54 秒
	第四次	64 秒
	平均秒數	68 秒


《實驗六》先塗上膠水+灰，乾燥後，再塗上白膠

過程	先將膠水加入金紙灰內，均勻攪拌 塗在冰棒棍上且曬乾後， 塗上一層白膠，乾燥後，置於酒精燈上燃燒	
		實驗秒數
	第一次	139 秒
	第二次	152 秒
	第三次	133 秒
	第四次	175 秒
平均秒數	150 秒	

《實驗七》先塗上白膠，乾燥後，再塗上膠水+灰

過程	先在冰棒棍上塗上白膠，並且曬乾 再塗上膠水+灰，乾燥後置於酒精燈上燃燒	
		實驗秒數
	第一次	127 秒
	第二次	143 秒
	第三次	147 秒
	第四次	148 秒
平均秒數	141 秒	

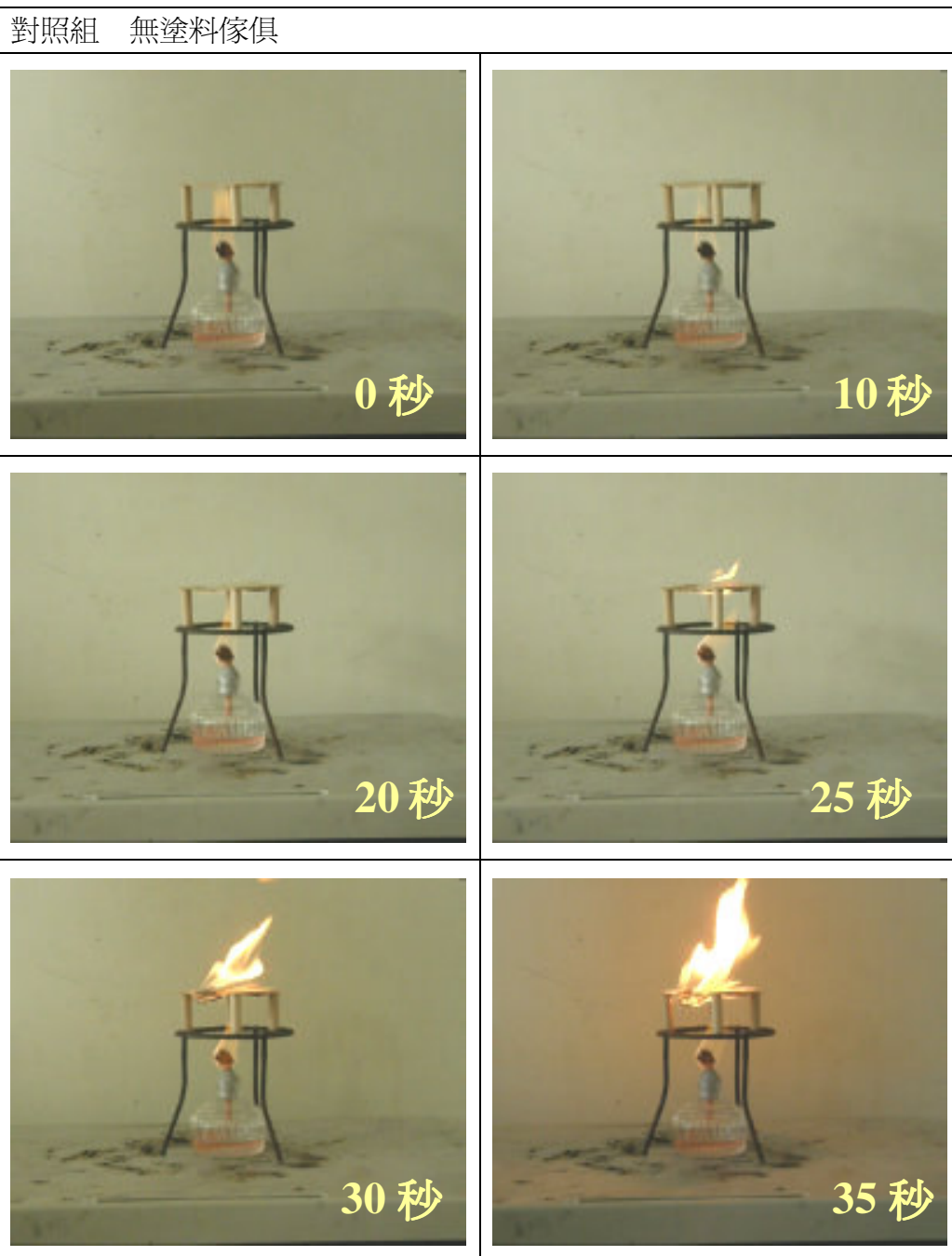
《實驗八》塗上顏料

過程:	將冰棒棍塗上顏料，乾燥後，置於酒精燈上燃燒	
		實驗秒數
	第一次	40 秒
	第二次	48 秒
	第三次	44 秒
	第四次	50 秒
平均秒數	46 秒	



### 三、【模擬木製傢俱防火實驗】

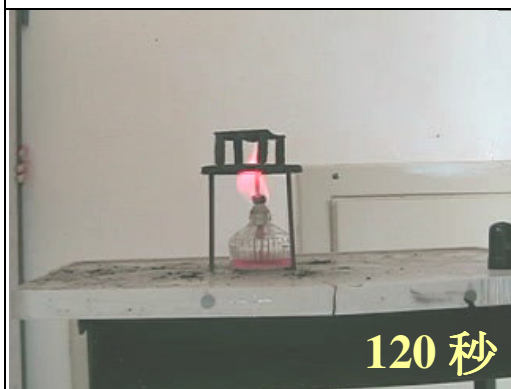
以冰棒棍作為材料，製作成桌子模型，來模擬傢俱。在模型外塗上各式實驗樣品塗料，觀察並記錄塗上各式防火塗料的模型傢俱置於酒精燈上燃燒，其防火功效與實驗樣品的結果是否有密切的相關性。



實驗一塗料〈膠水+灰一層〉與傢俱



實驗二塗料〈膠水+灰三層〉與傢俱



實驗三塗料〈膠水+灰五層〉與傢俱



實驗五塗料〈白膠+膠水+灰〉與傢俱



實驗六塗料〈先塗上膠水+灰，乾燥後，再塗上白膠〉與傢俱



實驗七塗料〈先塗上白膠，乾燥後，再塗上膠水+灰〉與傢俱



實驗八塗上顏料





#### 四、【添加副材料之防火塗料實驗】

##### (一)實驗目的：

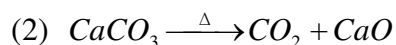
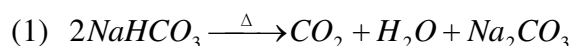
為求能增加防火塗料之防火功效，添加副材料與金紙灰燼混合。

##### (二)實驗原理：

從國中的自然與生活科技課本第四冊第三章，認識鹽類的單元中提到，鹽類中的碳酸鈣( $CaCO_3$ )與碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )加熱時皆會產生二氧化碳( $CO_2$ )，其中碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )也是乾粉滅火器的主要材料，滅火器噴出乾粉覆蓋在火燄上，使碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )分解產生二氧化碳，進而達到滅火的目的。

我們期待在金紙灰燼中摻入碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )與碳酸鈣( $CaCO_3$ )之防火塗料，在遇到火燄加熱時，會先分解出二氧化碳( $CO_2$ )，即使無法達到滅火的目的，也能更延遲內部木質傢俱起火燃燒的時間。

化學反應方程式：



##### (三)實驗結果:

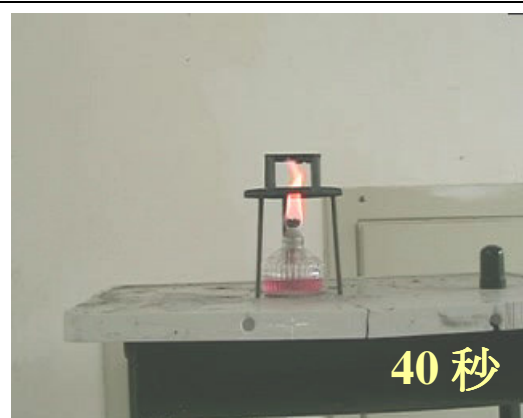
《添加碳酸鈣為副材料》

過程: 將蒐集的金紙灰與碳酸鈣( $CaCO_3$ )均勻混合，加入膠水製作塗料  
將防火塗料塗在冰棒棍上，乾燥後，置於酒精燈上燃燒



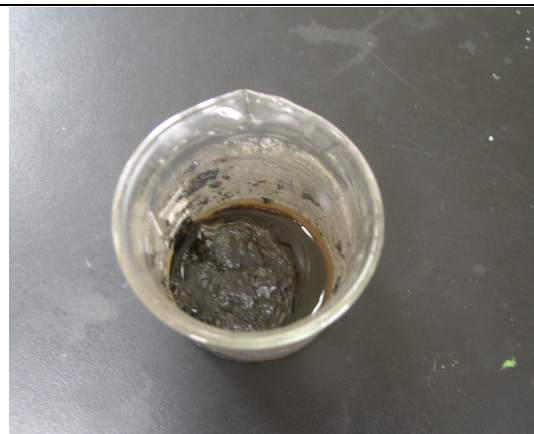
	實驗秒數
第一次	10 秒
第二次	16 秒
第三次	11 秒
第四次	12 秒
平均秒數	12 秒

實驗九:塗(碳酸鈣+膠水+灰)在家具上



《添加碳酸氫鈉爲副材料》

過程: 將蒐集的金紙灰與碳酸氫鈉( $\text{NaHCO}_3$ )均勻混合, 加入膠水製作塗料



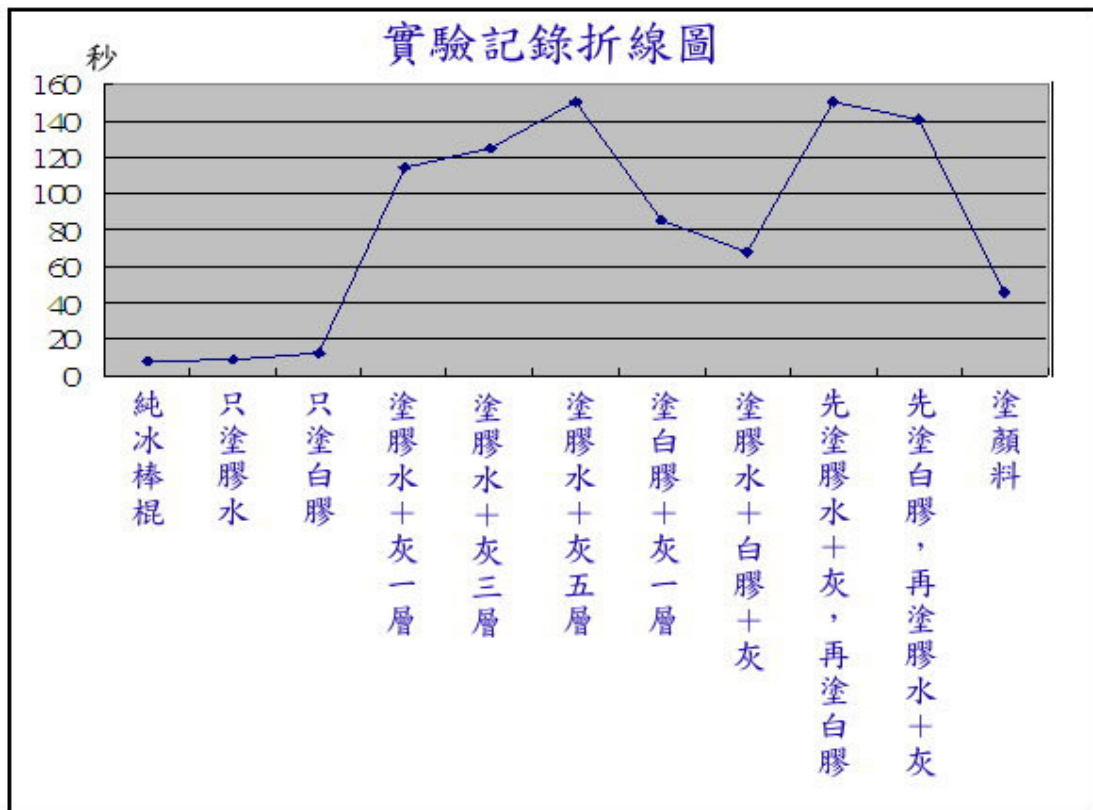
金紙灰燼和碳酸氫鈉( $\text{NaHCO}_3$ )均勻混合後再加入膠水, 似乎產生了縮合反應, 產物有如一團橡皮筋球, 無法作爲塗料使用。

由實驗結果可得：

- (1) 在金紙灰燼中添加碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )，無法製作成防火塗料。
- (2) 在金紙灰燼中添加碳酸鈣( $CaCO_3$ )，無法獲得預期延遲起火時間的效果，甚至加快了起火燃燒的時間，對金紙灰燼之防火功效產生負向的影響。

## 伍、研究結果

將所有對照組與實驗組之實驗結果的平均防火秒數作成折線圖，如下圖所示

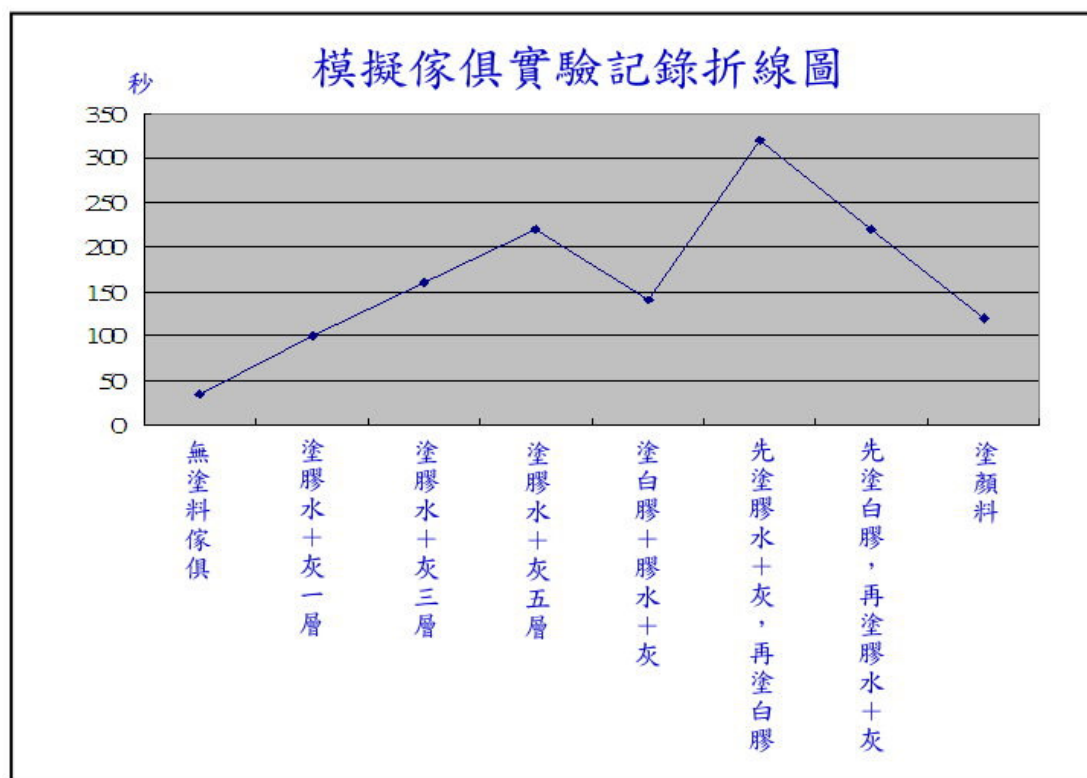


由實驗結果可得：

- (1) 以純冰棒棍及只塗上黏著劑的對照組的結果顯示，均在短時間內即起火燃燒，表示實驗樣品本身無防火功效。
- (2) 無論是膠水或白膠作為黏著劑加上金紙灰燼所製成的防火塗料，均有效提高實驗樣品的防火功效達 8 倍以上（最高達 18 倍）。
- (3) 比較《實驗一》與《實驗四》，使用不同黏著劑與金紙灰燼塗上一層防火塗料，結果顯示，塗膠水+灰一層有較佳的防火功效。
- (4) 比較《實驗一》、《實驗二》、《實驗三》，分別增加防火塗料為一層、三層、五層，結果顯示，防火塗料層數愈多，其防火功效越佳。
- (5) 同時將兩種黏著劑膠水、白膠與金紙灰燼混合在一起作為防火塗料，其防火功效比單使用一種黏著劑的塗料時表現較差。
- (6) 試圖改變防火塗料的製程，如《實驗六》與《實驗七》，分別為先塗上膠水+灰，乾燥後，再塗上白膠、先塗上白膠，乾燥後，再塗上膠水+灰，實驗結果顯示兩者的防火功效皆較同時混合兩種黏著劑者為佳，且約可達到《實驗三》〈膠水+灰 五層〉之防火能力。
- (7) 《實驗八》在冰棒棍上塗上白色顏料，實驗結果顯示白色顏料本身可以延遲

冰棒棍起火燃燒的時間約 30 秒。

將各式實驗塗料與模擬傢俱之實驗結果的平均防火秒數作成折線圖，如下圖所示



由實驗結果可得：

- (1) 在模擬傢俱外塗上防火塗料，皆能有效地延遲傢俱起火燃燒的時間〈最高可延遲近十倍〉。
- (2) 各式防火塗料與傢俱的模擬實驗結果與樣品實驗結果有相當一致的關連性。將膠水+灰的防火塗料分別塗一、三、五層，能增加模擬傢俱防火功效；將兩種黏著劑同時混合再加上灰燼的塗料，防火功效表現較差；在模擬傢俱實驗中表現防火功效最佳的塗料是先塗膠水+灰，再塗白膠的製程，此結果與樣品實驗結果一致。表示樣品實驗具有高可信度。
- (3) 整體而言傢俱模擬實驗比樣品實驗起火燃燒時間較晚，表示將防火塗料用於傢俱上應能更有效的延遲起火燃燒時間。

## 陸、討論

1. 金紙製造的材料主要為竹製紙漿或廢紙紙漿(成分為木質纖維)，經硫磺及酸劑漂白製成原紙，再添加其他填料(如：碳酸鈣、二氧化鈦、白土)所製成，由於一般製紙過程使用使用「鹼法紙漿」，將植物原料加入 20~25% 的氫氧化鈉及 1~4% 碳酸鈉，加熱至 150°C~170°C 蒸 2~3 分鐘後獲得產品，因此 95 年度「環保署/國科會空汙防治科研合作計畫」燃燒金紙與拜香產生空氣污染物的研究資料指出金紙原料之金屬元素含量中以鈣(Ca)含量約 5~10 mg/g 及鈉(Na)約 1.5 mg/g 之含量最高。
2. 金紙成分中被燃燒的部分主要應為木質纖維成分，其灰燼應為其他金屬元素之氧化物，此類氧化物無法再被燃燒。其中金紙製造過程中加入含鈦礦金紅石，使其呈現淺黃色，金紙燃燒之後的餘燼呈灰白色，因此推測金屬

灰燼灰白色部份應含有二氧化鈦成分。

3. 鈦金屬是現代工業重要的材料之一，為質輕而堅的金屬。與其他金屬比較，鈦金屬導電性及導熱性比較低，其融點在主要金屬中最高為 1688 度熱傳導率為銅之 4.4% ，現今鈦金屬被廣泛應用於太空梭、核子潛水艇、戰鬥機外殼，以及核子發電、火力發電之回收水用熱交換器亦使用純鈦金屬之材質，以上應用都展現出鈦金屬抗熱的特性。本科展研究即應用此特性來製作防火塗料。
4. 由對照組第二、三組實驗結果顯示塗有白膠黏著劑之冰棒棍起火燃燒時間略較膠水黏著劑晚，但實驗一(膠水+灰)與實驗四(白膠+灰)之結果卻顯示實驗一之塗料防火功效較佳，我們認為實驗一塗料較易均勻的塗在冰棒棍上，但實驗四塗料不易均勻的塗在冰棒棍上，而不均勻的部份較易燃燒，因此無法維持長久的防火時間。
5. 實驗五同時使用膠水與白膠兩種黏著劑時，防火效果也顯著下降。此結果應與黏著劑彼此間不能混合，導致塗料無法均勻的塗在冰棒棍上，而不均勻的部份較易燃燒，因此防火效果反而變差。
6. 實驗六與實驗七改變黏著劑使用之製程，皆獲得防火功效的顯著提升。由此表示防火功效與防火塗料的均勻程度有相關性，實驗六先使用能混合均勻的實驗一塗料，乾燥後，再塗上白膠，由對照組第三個實驗結果得知，白膠比膠水略能延遲燃燒時間，因此實驗六的製程獲得了最佳的防火功效。
7. 塗上顏料之冰棒棍實驗顯示，顏料雖然無法增加防火時間，但可以使火包在內層燒，不會在外層燒，但缺點就是火在內層燒易使傢俱瓦解，且起火時不易被發現，較有危險性。
8. 本科展研究摻入之副材料碳酸鈣( $CaCO_3$ )與碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )，皆無法提升防火功效。加入碳酸氫鈉( $NaHCO_3$ )時產生化學反應無法製作塗料；加入碳酸鈣( $CaCO_3$ )，原本期待，燃燒時會分解出二氧化碳，能熄滅小火苗，以達到延遲起火燃燒的時間，但經過實驗後，結果顯示效果並不良好，反而減少實驗一塗料的防火效果，所以碳酸鈣( $CaCO_3$ )不適合與金紙灰燼混合作為防火塗料。

## 柒、結論

1. 使用金紙灰燼作為防火塗料之主材料能有效延遲木製材料起火燃燒的時間。
2. 金紙灰燼之防火塗料的層數(厚度)與防火功效呈現正相關，層數越多，延遲起火燃燒的時間越久。
3. 防火塗料的防火功效與塗料本身混合的均勻性及製作過程的均勻塗上有明

顯的關係，當均勻性較差時，防火功效也隨之變差。

4. 採用多次製程且使用均勻性較佳的防火塗料，能夠使防火功效達到最大化。因此除了材料本身的性質之外，製作過程的影響也需列入考慮。
5. 本科展研究所採用的副材料未能使防火功效提升，未來欲獲得更佳效果，有待進一步實驗。

## 捌、參考資料及其他

1. 95年度「環保署/國科會空屋防制科研合作計畫」成果完整報告  
總計畫主持人：周明顯
2. TTA台灣鈦金屬協會: <http://www.titan-taiwan.org.tw/>
3. 柏夫企業有限公司:  
[http://www.trade-taiwan.org/WebSiteTemp/a4.asp?page=4&v\\_id=86763364](http://www.trade-taiwan.org/WebSiteTemp/a4.asp?page=4&v_id=86763364)
4. 國民中學 自然與生活科技2下 翰林出版
5. 亞中實業股份有限公司: <http://www.yachung.com.tw/>

## 【評語】 030812

- 1.本作品利用金紙灰燼混合膠水和白膠做成塗料，並用酒精燈來燃燒測試其耐火，防火之效能，進而推測金紙中含有二氧化鈦之成分，以形成耐火之功用。
- 2.本實驗過程符合國中化學之實驗精神，但學術性和實用性則較欠缺。