

中華民國第 51 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

最佳(鄉土)教材獎

030815

金日一舉、紙引未來、灰煌再現

—環保建材、金紙灰用於陶土及灰釉試驗

學校名稱：臺中市立石岡國民中學

作者： 國二 楊子儀 國二 林采穗 國二 翁子懿	指導老師： 鐘健德 蔡望生
---	-----------------------------

關鍵詞：金紙灰、環保、抗壓強度

金日一舉、紙引未來、灰煌再現—

環保建材、金紙灰用於陶土及灰釉試驗

摘要

本研究藉由簡易測試，了解金紙灰添入陶土和釉藥中所產生的影響，以評估金紙灰可否取代部分陶土及灰釉中的草木灰，達到廢物利用，同時降低材料成本，增加經濟效益。測試結果顯示金紙灰水溶液為鹼性，金紙灰在陶土素燒以及釉燒過程中仍可保存在試體中，並且添加金紙灰愈多，陶土坯體抗壓強度愈弱，吸水率愈高，導熱愈慢。金紙灰可用於抗壓強度需求較低的陶瓷建材中，並且有發展為耐火材料的潛力。

壹、研究動機

我們的傳統習俗在祭拜神明、祖先時常常燒金紙，燒完後都會留下許多灰燼。內政部統計資料顯示^{註1}，至民國九十八年底台灣地區寺廟神壇總數已達一萬一千七百九十六處，平均每個鄉鎮廟宇密度達三十五個之多；台灣每年進口及自產的金紙約十二至十五萬噸，每年宗教活動焚燒的金紙數量都極為龐大，燒完後所產生的金紙灰不僅得花錢處理，對能源枯竭，日漸暖化的地球來說，無疑是雪上加霜。縣市政府為解決相關環保問題，陸續推廣「金紙集中燒」活動；若能結合回收計畫，透過本研究尋求再利用之價值及可行性，非但能兼顧環境保護，且能降低材料成本，並透過宗教結合地方特色提升附加價值。

金紙灰的化學成分有： SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 K_2O 、 Na_2O ^{註2}等類似陶土的成分。因此，若能以金紙灰取代建材的部分陶土，甚至添入釉藥中，而具有實用性，就能達到既環保又省錢的目的；更進一步地，若能以此發揮藝術創作，創造產品的文化涵義，則衍生的經濟效益更大。

貳、研究目的

為了評估金紙灰再利用的可能性，本研究以金紙灰取代釉藥和坯體部分陶土，並做一些簡易測試，以了解金紙灰摻入陶土、釉藥中所產生的影響，主要項目有以下：

- 一、了解金紙灰取代部分陶土對坯體抗壓強度的影響。
- 二、了解金紙灰取代部分陶土對坯體含水率的影響；
- 三、了解金紙灰取代部分陶土對坯體導熱速率的影響；
- 四、了解金紙灰取代部分釉藥成分對釉燒的影響。
- 五、初步評估金紙灰取代坯體部分陶土和釉藥在建材上的應用






註1 數據資料來源：內政部統計處 <http://www.moi.gov.tw/stat/>

註2 數據資料來源：四十七屆中小學科學展覽會 讓神明保佑“泥”！金紙灰水泥砂漿試體試驗



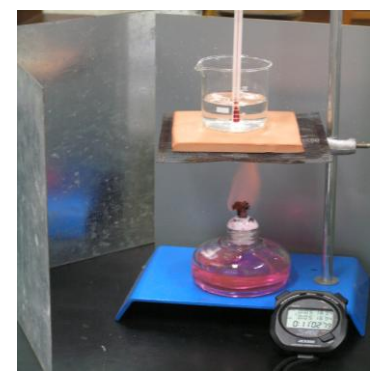
參、研究設備及器材

本研究使用材料、設備說明如表 1。

表 1 本研究使用的相關設備儀器及用途說明

名稱	圖片	用途	備註
陶土		製作陶土試體	
金紙灰		取代釉藥和部分陶土	取得後先做初步處理，把未燒完的物質過濾掉，只保留灰燼
篩網		過濾釉藥中的雜質	100 目
煉土機		均勻混合陶土與金紙灰成為坯體	抽真空
陶板機		壓製坯體為平板狀	厚度小於 1cm

游標尺		測量陶片尺寸	精度：0.01 mm								
實驗電窯		素燒和釉燒	可依素燒和釉燒的目的有不同溫度階段、不同定溫時間長短、不同加熱速度								
釉藥	 <p>(一)</p> <p>(二)</p> <p>(三)</p>	覆蓋於陶片上，釉燒後凝固在坯體表面有美觀效果	<table border="1" data-bbox="1198 909 1481 1108"> <tr> <td></td> <td>金紙灰：基本釉</td> </tr> <tr> <td>(一)</td> <td>10：100</td> </tr> <tr> <td>(二)</td> <td>20：100</td> </tr> <tr> <td>(三)</td> <td>30：100</td> </tr> </table>		金紙灰：基本釉	(一)	10：100	(二)	20：100	(三)	30：100
	金紙灰：基本釉										
(一)	10：100										
(二)	20：100										
(三)	30：100										
釉藥球磨機		混合金紙灰和基本釉，磨細達大小均勻	溶劑和溶質質量比 1：1 球磨時間每 1 kg/hr								
電子式抗壓機		測量抗壓強度	最大承壓荷重：30噸 精度：1 % 向台中高工商借								

電子天秤		秤量陶土試體質量	精確至 0.1 公克
碼錶		測量時間	精度：0.01 秒
酒精燈、 石綿網、 固定架		加熱定量水	檢測導熱速度

肆、研究過程或方法

除透過文獻回顧、團體討論進行研究外，主要實驗設計如下：

(一) 收集金紙灰：為確保實驗材料一致性，在廟宇（石中宮）一次取得足量金紙灰，經由篩析過濾、均勻拌和後，作為本研究之摻料備用。

(二) 製作試體和調配釉藥：

1. 在陶土中加入適量金紙灰並利用煉土機混合均勻，混合後的材料含金紙灰的質量比例有5%和10%兩種，並另外以純陶土（金紙灰佔0%）製作試體以作為對照組。
2. 不同金紙灰比例的陶土皆利用煉土機作出直徑80.11mm的圓柱形試體，各切一厚度約40mm的試體經素燒後作為檢測抗壓強度的試體，其餘部分利用陶板機壓製成厚度0.5cm的平板，再切割成5cm x 5cm的方形試體，在室溫下陰乾7~10天，經素燒後作含水率檢測、導熱時間檢測和釉燒後觀察。
3. 參考常見的灰釉由基本釉（各組成質量比：日斧長石50%、霞正長石35%、石英15%）和草木灰所組成，本研究使用的釉藥調配成三種，各以基本釉為基礎，另加入不同比例的金紙灰混合。三種釉藥中所含金紙灰分別為基本釉質量的10%、20%和30%。

(三) 素燒、上釉和釉燒：

1. 利用實驗電窯把不同金紙灰比例的陶土試體作素燒，素燒的加熱階段表示如下：

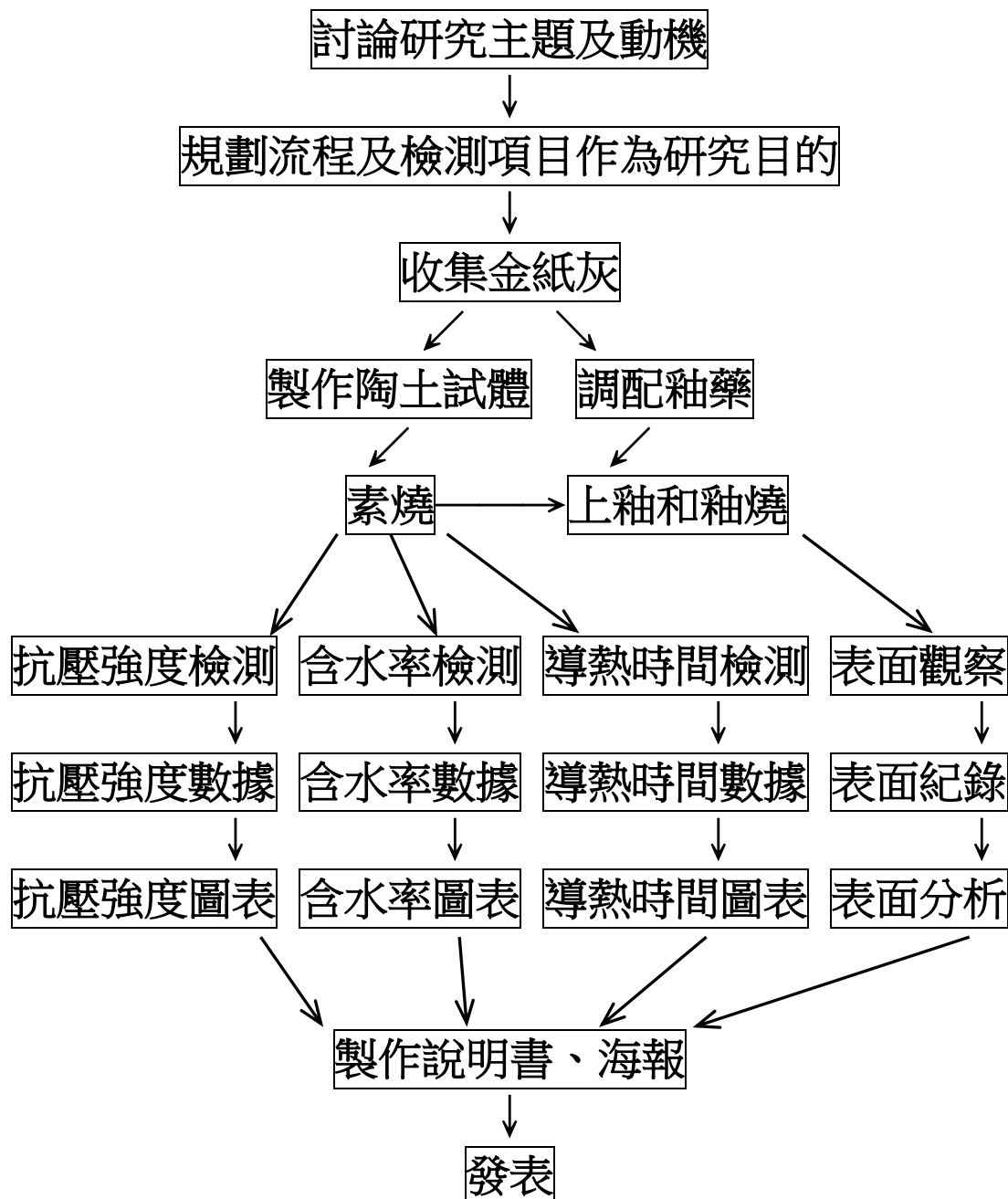
素燒溫度（℃）	100	250	420	750
加熱時間（小時）	1.3	5	3	3.3

2. 素燒後的圓柱形試體進行抗壓強度檢測，素燒後的平板狀試體部分進行含水率檢測和導熱時間檢測，部分塗上不同比例釉藥後進行釉燒，釉燒的加熱階段表示如下：

釉燒溫度（℃）	250	450	850	1240	1230
加熱時間（小時）	1.3	3	3	3	1

- (四) 試體抗壓強度測試：素燒後的圓柱形陶土試體以「電子式抗壓機」依編號順序進行抗壓強度檢測。並紀錄最大荷重，以計算每一試體的抗壓強度。每一種金紙灰比例陶土有三個試體做檢測，以求得平均值。
- (五) 含水率檢測：素燒後的平板狀陶土試體在100°C下烘乾24小時後，秤量紀錄室溫下乾燥試體未含水的質量，然後置入水中24小時後再秤量含水試體的質量，計算其含水率（水重／未含水試體重）。每一種金紙灰比例有三個試體做檢測，以求得平均值。
- (六) 導熱時間檢測：在相同的室溫環境下，以相同酒精燈和間隔高度，透過不同金紙灰比例的平板陶土試體，加熱相同燒杯中 50ml 的水和同一溫度計，並以碼表計量水溫達 20°C、30°C、40°C、50°C、60°C所需時間。每一種金紙灰比例陶土有 1 個試體做檢測。
- (七) 表面觀察：釉燒後的試體進行目視觀察並紀錄釉藥凝固後的表面圖案、條紋、光澤以及是否有縮釉的情形。每一種釉藥各有兩個不同陶土（金紙灰佔 5% 和 10%）試體做觀察。

以上步驟在本研究過程中的流程如下：



伍、研究結果

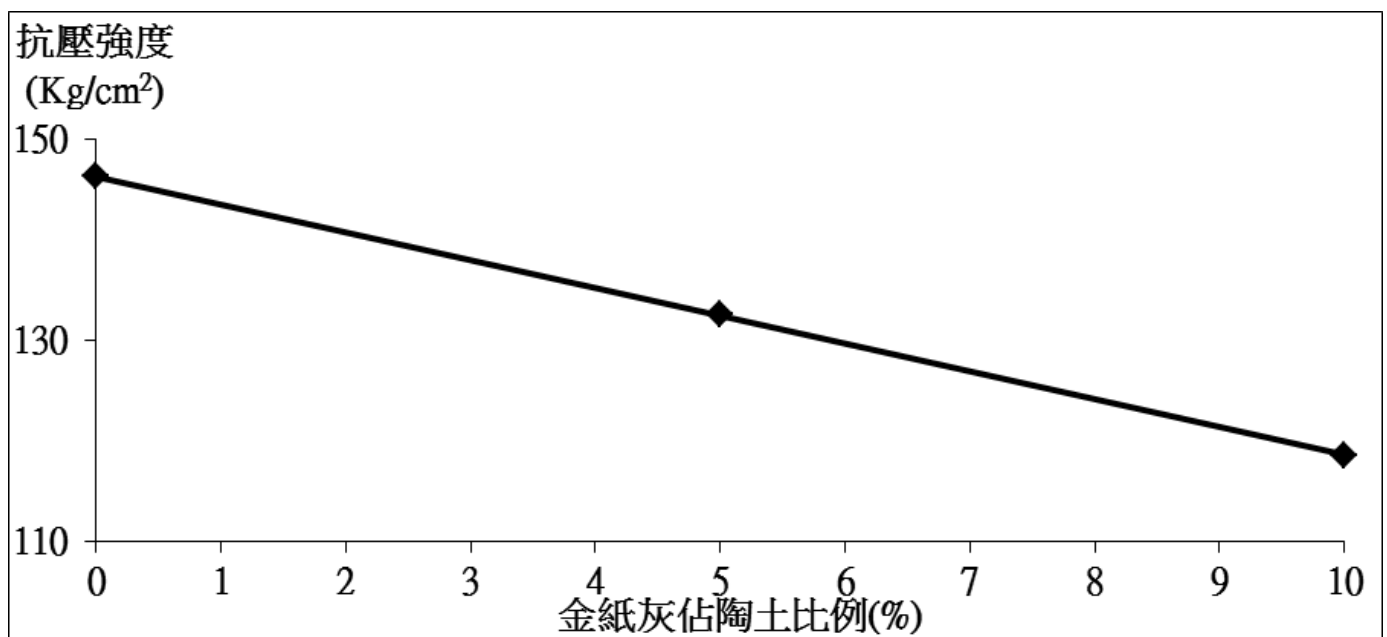
添加金紙灰的陶土試體測試結果包含抗壓強度檢測、吸水率檢測和導熱時間檢測。釉燒後的試體則進行目測，觀察釉藥凝固後是否有氣泡痕跡或縮釉的情形。陶土含金紙灰的量以金紙灰在陶土試體中所佔比例（百分比）表示，有 0%，5% 和 10% 三種。為求正確，抗壓強度檢測和吸水率檢測皆以同比例的 3 個試體同時素燒，再進行檢測，以求得平均值。結果分項敘述如下：

一、抗壓強度檢測結果

從表 2 中可知同一金紙灰比例的 3 個圓柱形陶土試體抗壓強度檢測值與平均值比較的差異小於 6%，應具有代表性。並且從圖二中顯示出金紙灰佔陶土比例愈高，抗壓強度愈小的對應關係。

表 2 不同金紙灰比例與試體抗壓強度 (kg/cm^2) 的關係

金紙灰 佔陶土比例(%)	最大 荷重(kg)	圓柱形 試體半徑(cm)	抗壓強度 測值(kg/cm^2)	抗壓強度 平均值(kg/cm^2)	差異
0	7563.3	4.0055	150.05	146.3	2.59%
	7618.4	4.0055	151.15		3.34%
	6935.4	4.0055	137.60		5.93%
5	6754.2	4.0055	134.00	132.7	0.99%
	6555.3	4.0055	130.06		1.98%
	6753.7	4.0055	133.99		0.99%
10	5943.4	4.0055	117.92	118.7	0.63%
	6067.4	4.0055	120.38		1.44%
	5932.3	4.0055	117.70		0.81%



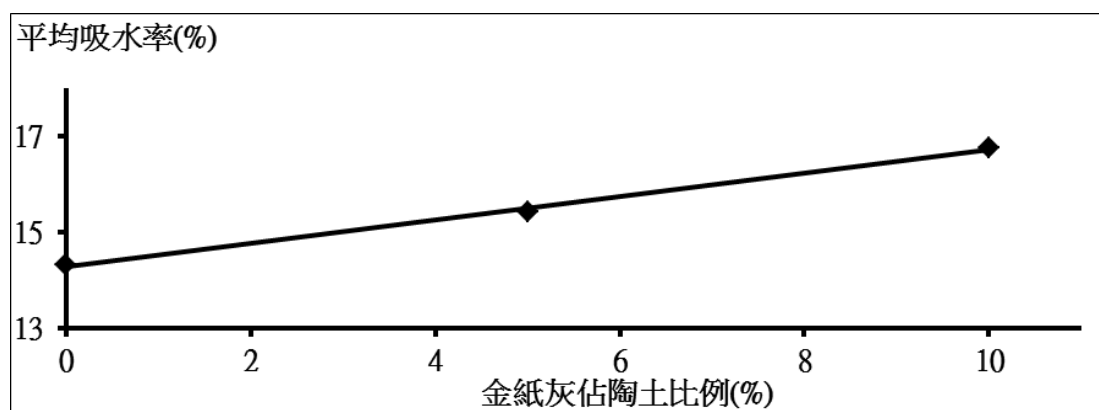
圖二、添加不同比例金紙灰對抗壓強度 (kg/cm^2) 關係

二、吸水率檢測結果

從表 3 中可知同一金紙灰比例的 3 個陶土試體吸水率檢測值與平均值比較的差異小於 6%，應具有代表性。並且從圖三中顯示出金紙灰佔陶土比例愈高，吸水率愈大的對應關係。

表 3 不同金紙灰比例與試體吸水率(kg/cm²)的關係

金紙灰 佔陶土比例(%)	乾燥陶土 試體質量(g)	吸水後陶土 試體質量(g)	質量變化 (g)	吸水率 (%)	平均值 (%)	差異 (%)
0	158.2	180.0	21.8	13.8	14.3	3.80%
	158.4	182.3	23.9	15.1		5.33%
	158.8	181.2	22.4	14.1		1.53%
5	158.4	182.9	24.5	15.5	15.4	0.25%
	160.2	185.0	24.8	15.5		0.34%
	160.4	185.0	24.6	15.3		0.59%
10	160.4	186.8	26.4	16.5	16.8	1.75%
	160.2	186.7	26.5	16.5		1.25%
	158.8	186.2	27.4	17.3		3.00%



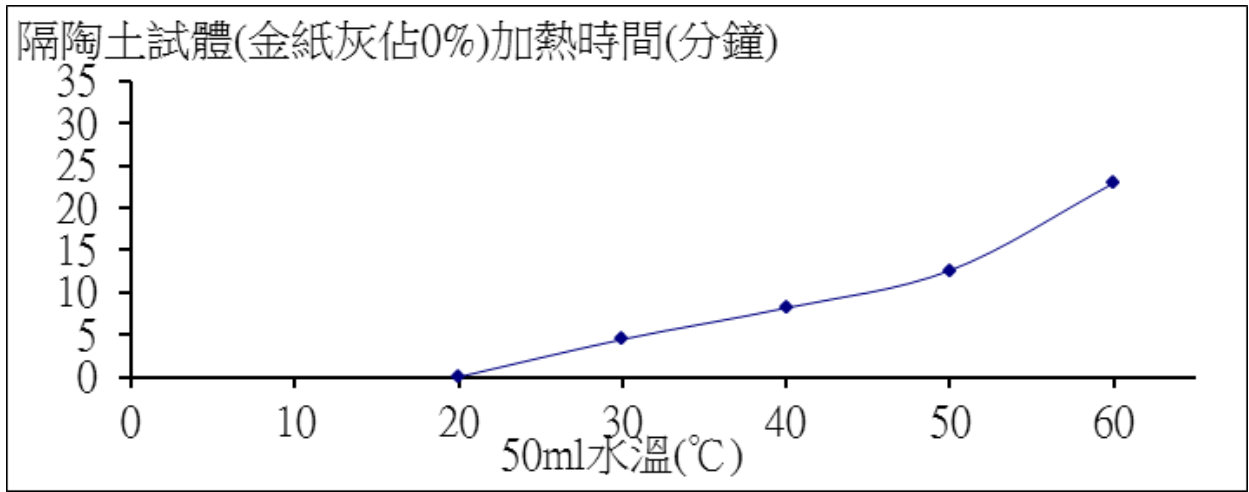
圖三、添加不同比例金紙灰對吸水率(%)關係

三、導熱時間檢測結果

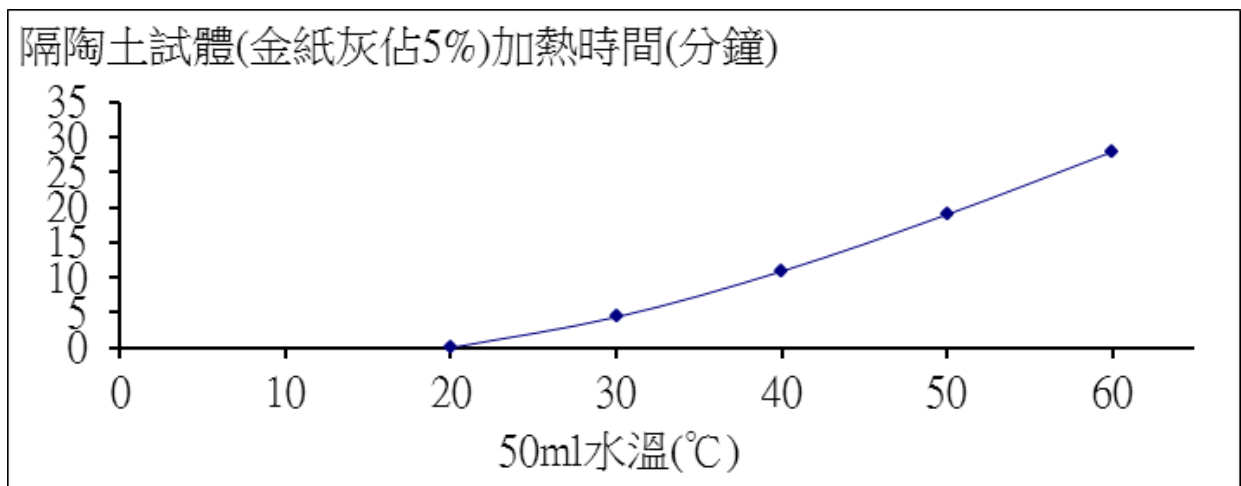
由於加熱過程的室溫約從 15°C 至 18°C 隨時間改變，故加熱時間的計量以水溫達 20°C 作為起始時間，結果如表 4，從圖四、圖五和圖六的比較，可顯示出金紙灰佔陶土比例愈高，導熱時間愈長的關係。

表 4 不同金紙灰比例試體對加熱時間(從 20°C 起計)的影響

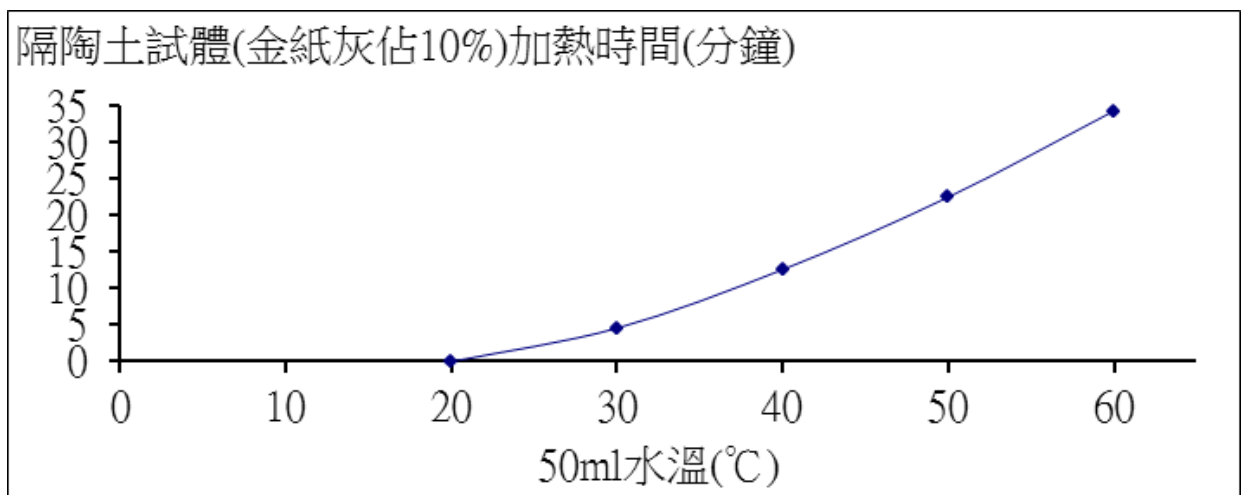
50ml 水溫(°C)	隔陶土試體(金紙灰佔 0%) 加熱時間(分鐘)	隔陶土試體(金紙灰佔 5%) 加熱時間(分鐘)	隔陶土試體(金紙灰佔 10%) 加熱時間(分鐘)
20	0.00	0.00	0.00
30	4.45	4.37	4.58
40	8.16	10.90	12.59
50	12.59	19.00	22.50
60	22.92	27.97	34.28



圖四、隔陶土試體(金紙灰佔 0%)的加熱時間(分鐘，從 20°C 起計)



圖五、隔陶土試體(金紙灰佔 5%)的加熱時間(分鐘，從 20°C 起計)

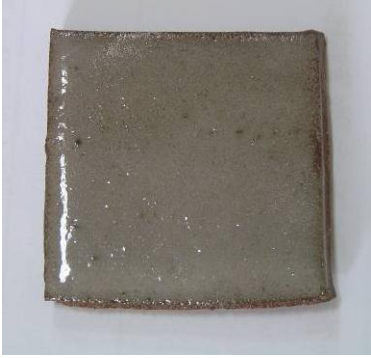
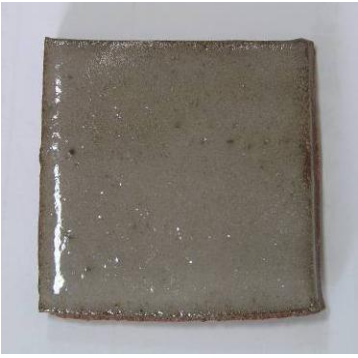






圖六、隔陶土試體(金紙灰佔 10%)的加熱時間(分鐘，從 20°C 起計)

四、釉燒後的表面觀察結果

釉燒後的表面觀察以照片呈現如表 5，比較不同金紙灰比例的釉藥在釉燒後的情形，可發現釉藥在陶土試體表面凝固的情形與陶土中的金紙灰關係不大，但是釉藥中的金紙灰比例愈大，縮釉的情形愈明顯，並且有氣泡產生。

表 5 釉藥在陶土試體（含不同金紙灰比例）表面凝固的情形

釉燒後的情形 (金紙灰佔陶土 5%)	釉燒後的情形 (金紙灰佔陶土 10%)	釉藥描述
		(1)組成比 基本釉：金紙灰 = 100：10 (2)釉燒後表面凝固 無縮釉
		(1)組成比 基本釉：金紙灰 = 100：20 (2)釉燒後表面凝固 無縮釉 有氣泡
		(1)組成比 基本釉：金紙灰 = 100：30 (2)釉燒後表面凝固 明顯縮釉

陸、討論

藉由數個問題，以研究結果來推論如下：

一、金紙灰是否能在陶土和釉藥中產生影響？

金紙灰的主要成分及熔點如表 6，顯示絕大部分的組成在不超過 1600°C 的燒製過程中不會揮發掉，陶土試體和表面釉藥的檢測結果差異可確定是添加金紙灰所產生的變化。

表 6 金紙灰各主要組成的熔點

組成	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O
熔點(°C)	1650	2054	1566	2572	2800	>490	1132	1132

二、摻入金紙灰的陶土建材可能的應用為何？

陶土試體的抗壓強度隨金紙灰所佔比例遞減，因此，添加金紙灰的陶土建材較適合作為低強度需求的建材，容許添加範圍約在 10% 以內。

金紙灰佔陶土的比例愈大，吸水率愈高，水在空隙中隨溫度變化的脹縮愈明顯，但幅度並不大，在日夜溫差小的地區影響不大。

金紙灰佔陶土比例越高，陶土材料的導熱愈慢，有發展為耐火材料的潛力。

三、摻入金紙灰的釉藥可能產的應用為何？

金紙灰的比例越高，窯燒後的縮釉愈明顯。可能是金紙灰的雜質太多使釉藥的內聚力提高大於跟坯體之間的結合力所導致，有美觀考量時須考慮在內。金紙灰添加百分比小於 10%，較不易有縮釉的情況。

柒、結論

- 1.摻入陶土中的金紙灰愈多，抗壓強度愈低，吸水率愈高，導熱愈慢。
- 2.添加金紙灰的陶土材料可作為低強度建材，且有發展為耐火材料的潛力。
- 3.添加金紙灰會提高釉藥內聚力，在應用上需考量適當的比例，而有待更多的試驗。

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.國民中學自然與生活科技教科書3下翰林出版社
- 3.內政部統計處<http://www.moi.gov.tw/stat/>
- 4.優傢飾工仿<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!MUj5CGiZQ0fz6XwqOxX5dg--/article?mid=2139>
- 5.維基百科全書<http://wikipedia.tw/>
- 6.釉藥學 台北縣立鶯歌陶瓷博物館 ISBN：957014324X

【評語】 030815

1. 利用本土社會民俗特有金紙灰，既減廢又可回收資源。
2. 作成磁陶成品實用，值得推廣。
3. 磁磚成品之數據未顯示。
4. 可再測試其他利用方法（如堆肥或鉀肥）。
5. 作釉材之適用性宜再改進。