

第二十二屆旺宏科學獎 成果報告書

參賽編號：SA22-199

姓名：郭逸農

作品名稱：

萬丹火山泥取代氧化鐵在釉藥上的研究與應用

參賽類別：化學

關鍵字：釉藥、青瓷、火山泥

目錄

摘要.....	1
壹、研究動機.....	1
貳、研究目的.....	2
參、研究設備及器材.....	2
一、實驗材料.....	2
二、儀器.....	3
肆、研究過程及方法.....	4
一、研究架構圖.....	4
二、火山泥採集、送驗.....	4
三、試片製作.....	5
四、釉藥製作.....	5
五、燒製.....	6
伍、研究結果.....	8
一、亮光基礎釉:.....	10
二、無光基礎釉:.....	11
三、樹枝流釉:.....	12
四、縮釉:.....	13
五、開片釉:.....	14
陸、討論.....	16
柒、結論.....	18
捌、參考資料及其他.....	19
一、未來展望.....	19
二、參考資料.....	19

圖次

圖一 試片 6.0×4.0×0.6 cm	2
圖二 側開式氧化燒成、還原燒成兩用電窯.....	3
圖三 小型爐	3
圖四 研究架構圖.....	4
圖五 窯燒前的火山泥塊	9
圖六 窯燒後的火山泥塊	9

表次

表1 釉式配方表	5
表2 漿釉配方表	6
表3 氧化燒成溫度時間表	7
表4 還原燒成溫度時間表	7
表5 火山泥成分定量分析結果	8
表6 100%火山泥作為釉藥的燒成結果.....	9
表7 亮光基礎釉加火山泥的燒成結果	10
表8 無光基礎釉加火山泥的燒成結果	11
表9 樹枝流釉基礎釉加火山泥的燒成結果	12
表10 縮釉基礎釉加火山泥的燒成結果	13
表11 開片釉基礎釉加火山泥的燒成結果	14
表12 漿釉燒成結果	15
表13 15%火山泥與1%氧化鐵做為發色劑之對照.....	17

附件一 國立台灣工藝研究發展中心委託試驗報告	20
附件二 成品燒成照.....	21

萬丹火山泥取代氧化鐵在釉藥上做為發色劑的研究與應用

摘要

不定時噴發的火山泥是屏東萬丹知名地景，但對於農民來說，這些在他們土地上所噴發出來的火山泥卻是影響作物收成跟汙染環境的一大問題。大量泥漿很難清理，只能做為廢棄物被清理堆積。自然界的土壤中富含各種金屬氧化物，本篇研究推測萬丹的火山泥中含有較多鐵的成分，透過將萬丹火山泥的粉末溶入釉中做為發色劑的實驗，以窯燒後的成色與參考資料做比較，來驗證這樣的想法，並嘗試將火山泥作主要材料來開發泥漿釉，將之做更有效的運用。實驗的結果顯示「以火山泥做為發色劑」的釉藥會產生與「以氧化鐵為發色劑」相似的青瓷效果，以之為主體做成泥漿釉也得到似油滴天目釉。所以得知火山泥是能夠取代氧化鐵做為發色劑使用，也可當作主要材料開發泥漿釉，而不只做為廢棄物堆積的。

壹、研究動機

屏東縣萬丹鄉泥火山噴發時間不定，每次噴發流出的大量泥漿時常清理完後接著又噴發，導致當地乾燥後的泥漿土塊堆積如小山，造成當地住戶及農民的困擾。本小組成員及家長均對陶藝有興趣及研究，希望能將火山泥化為釉料，解決火山泥廢棄堆積的問題，對環境保護做出所貢獻，所以開始與家人及老師討論並查閱文獻，從而得知現今科技及窯燒技術發達，不少陶藝家經常四處採集土壤，燒製有特色的陶藝品，萬丹火山泥當然也成眾多陶藝採集的標的。

有經驗的陶藝家會清楚知道火山泥經過調配，可以用來當作製器的陶土，也可以放入釉中成為陶器的彩衣，但這些配方都是陶藝家們的祕密、寶貝，甚少流出分享，因此可參考資料寥寥無幾。也因為如此，這些噴發的泥漿長年來只能被當作廢棄物清理掉，無經濟效益可言。

本研究嘗試將乾燥的火山泥塊粉碎過篩，成為陶瓷釉藥的發色原料，再站在巨人肩膀上，從他人的釉藥研究中，參考找尋適當的基礎釉配方，做一系列火山泥釉的實驗，最後將火山泥釉燒製成試片，透過實驗分享，期能有拋磚引玉的效果，吸引更多人來參與研發，讓火山泥成為有用的環保材料，創造經濟效益。

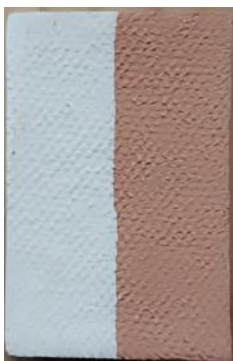
貳、研究目的

- 一、探討火山泥的耐溫性，透過高溫 1240°C 氧化及還原燒製，了解火山泥當作陶藝用土及釉料的可行性。
- 二、透過窯燒後的呈色將天然火山泥與化工氧化鐵做比較，探討以火山泥取代氧化鐵做為發色劑的可能性。
- 三、參考文獻，將火山泥作為主要材料開發泥漿釉，將火山泥做更有效的運用。
- 四、為火山泥帶來做為釉藥應用的面向，使火山泥不再只是被做為廢棄物處理，還能帶來經濟效益。

參、研究設備及器材

一、實驗材料

- (一) 火山泥，來源：採集自屏東萬丹皇源聖殿(地址:屏東縣萬丹鄉灣內村觀音路 31 巷 151 號)泥火山。
- (二) 輔助材料：日化長石、霞正長石、釜戶長石、石英、碳酸鈣、氧化鋅、碳酸鋇、碳酸鎂、美國土、滑石、氧化鐵等由磊盈股份有限公司購得。
- (三) 試片(圖一)：本研究試片所使用之陶土為一成陶器工廠出品陶土，白色化妝土則為萬琛企業有限公司進口之日本 26 號瓷土直接製成泥漿使用。編號書寫則使用弘立陶瓷廠有限公司所生產之「輕鬆畫」釉下彩。



圖一 試片 6.0x4.0x0.6 cm

二、儀器

(一) 電子秤，廠牌：宏德衡器，型號：MINI-369。

(二) 篩網：不鏽鋼篩網過濾釉漿，去除雜質、顆粒，使用 100 目篩孔篩網。

(三) 窯爐(圖二)，廠牌：鴻昇爐業有限公司，側開式氧化燒成、還原燒成兩用電窯，內徑為 50 x50x 80 cm。

(四) 窯爐(圖三)，廠牌：昇揚爐業有限公司 T1 小型爐，內徑為 25x25x25 cm。



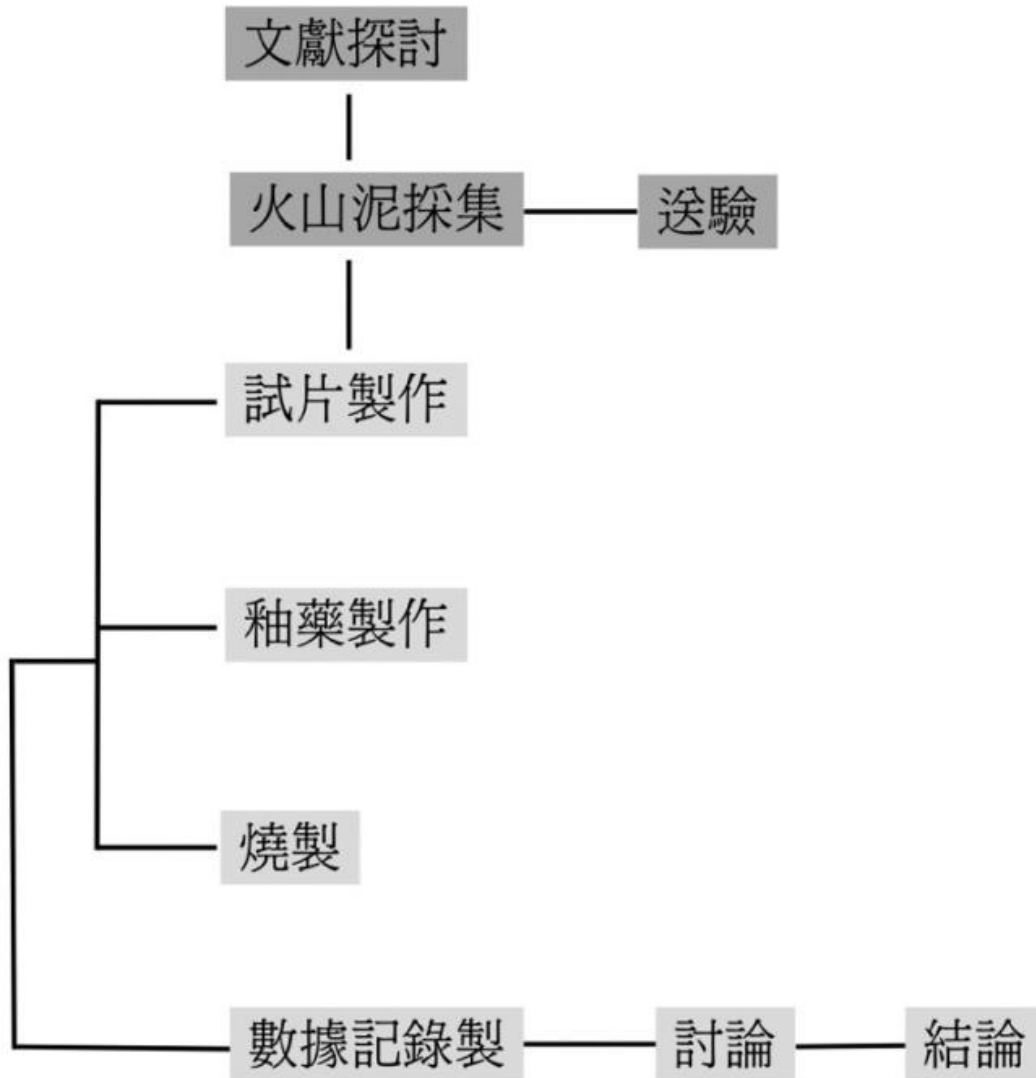
圖二 側開式氧化燒成、還原燒成兩用電窯



圖三小型爐

肆、研究過程及方法

一、研究架構圖



圖四 研究架構圖

二、火山泥採集、送驗

本研究採集了屏東萬丹火山泥的噴發點皇源聖殿(地址:屏東縣萬丹鄉灣內村觀音路 31 巷 151 號)的火山泥作為實驗原料，採集時火山泥沒有噴發，過去噴發的火山泥已乾燥結塊，經寺院處理後堆積成約一層樓高的土丘。採集後的火山泥塊需要經過敲碎，再用 100 目篩網過篩等動作處理，變成粉末狀後才能儲存備用。為能輔助驗證研究結果，另將採集的火山泥送至國立台灣工藝研究發展中心鶯歌多媒材研發分館進行定量分析(附件一)，讓研究判讀結果更具科學性。

三、試片製作

使用一成陶器工廠出品的陶土，壓成 6.0×4.0×0.6 公分的陶板，待其乾燥至皮革硬度時，再將陶板的一半浸泡萬琛企業有限公司進口之日本 26 號瓷土製成的泥漿製成試片，再待其完全乾燥後，進窯燒至 850°C 成為具吸水性的素坯備用，這樣的試片優點是，一個試片的實驗就能看見在兩種不同土質上呈現的效果，再經過氧化及還原兩種燒成方式，一組配方就能呈現四種不同的效果，事半功倍。同時將火山泥塊亦放入窯中進行 850°C 的窯燒，檢視燒成狀況。

四、釉藥製作

本研究首先將 100% 的火山泥加水調製成泥狀做成試片，進行燒製以觀察燒成狀況。接著參考了台北市立教育大學視覺藝術研究所研究生許玲鈴碩士論文釉色的變化:建立陶藝通用釉式中結論所得到的五種作者認為較佳的釉式(釉藥的成分及百分比)配方，有亮光釉、無光釉、樹枝流釉、縮釉跟開片釉等五種，將之分別加入 1%、2%、3%、4%、5%、6%、8%、10%、12%、15% 的火山泥粉末當作發色劑使用，並調製成泥狀做成試片燒製。

另外再用上述五種釉式配方，分別加入各 1% 的氧化鐵最為對照組，與加了火山泥為發色劑的試片做比較，結果如表 7、表 8、表 9、表 10、表 11，釉式配方如表 1:

表 1 釉式配方表

亮光基礎釉						
原料	日化長石	碳酸鈣	石英(SiO ₂)	氧化鋅	碳酸鋇	美國土
百分比(%)	60	15	8.2	6	6	4.8
無光釉						
原料	日化長石	碳酸鈣	美國土			
百分比(%)	38	27	35			
樹枝縮釉						
原料	石英(SiO ₂)	碳酸鋇	碳酸鎂	氧化鋅	氧化鈣	
百分比(%)	25	20	20	20	15	
縮釉						
原料	日化長石	石英(SiO ₂)	美國土	碳酸鈣	碳酸鎂	氧化鋅
百分比(%)	55	1.7	8.3	4.2	25.7	5.2
開片釉						
原料	霞正長石	碳酸鈣	滑石			
百分比(%)	70	25	5			

後來又參考台北教育大學藝術學系研究生羅紹綺碩士論文《生土死灰-運用漿釉與灰釉之陶藝創作》中的漿釉釉方，作者認為漿釉中天然土石比例須超過 50%，本研究以火山泥取代釉方中的泥漿，來開發以火山泥為主要原料的釉。釉方如表 2:

表 2 漿釉配方表

編號 原料%	WN-1	WN-2	WN-3	WN-4	WN-5
萬丹火山泥	100	90	80	70	60
釜戶長石		6	17	28	39
滑石		8	8	8	8
碳酸鈣		6	5	4	3
氧化鐵	2	1	1.5	2	2.5

五、燒製

將製作完成之式片擺放於用耐火磚切成的試片架上，分別放入窯內進行氧化¹及還原²的燒製，燒製溫度最高訂為 1240°C (燒成曲線圖如表 3、表 4)。氧化燒使用小窯燒製，但是還原燒使用的是大窯燒製，有上下窯溫差，為了減少變因，本研究選擇將試片放置在窯的中間位置，避免窯溫干擾燒成結果。

¹ 氧化燒成是指在釉燒過程中「足量的提供氧氣」。

² 薛瑞芳 (2013), p157。還原燒成是指在釉燒過程中「無足量的氧氣供給」使窯燒過程中，只有少許游離碳素生成及一氧化碳。在窯中高溫下，這種游離碳和一氧化碳都是化學活性的，它們都會從任何可用的來源中攫取氧，包括陶瓷原料中的氧化物等。使釉料及坯體中的金屬氧化物如氧化鐵、氧化銅等的氧化物中的氧，在高溫時被那些窯室內增加的還原氣體 (CO+H₂) 奪取，生成低價的氧化物，甚至被還原成為金屬。例如三價的 Fe₂O₃ 變成二價的 FeO、二價的 CuO 變成一價的 Cu₂O 或膠質狀的金屬銅 Cu 為人們所喜愛的乳白、青瓷、銅紅、鈞釉等，都以還原燒成。

表 3 氧化燒成溫度時間表

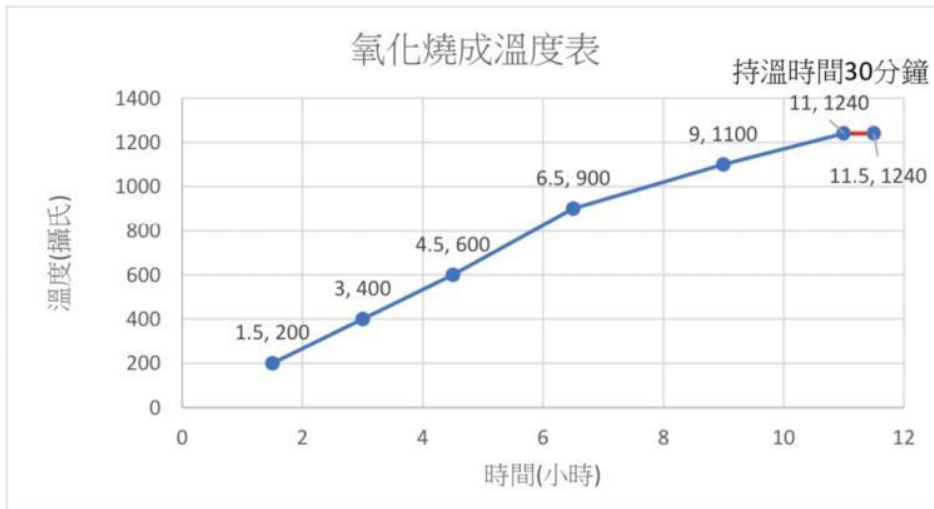
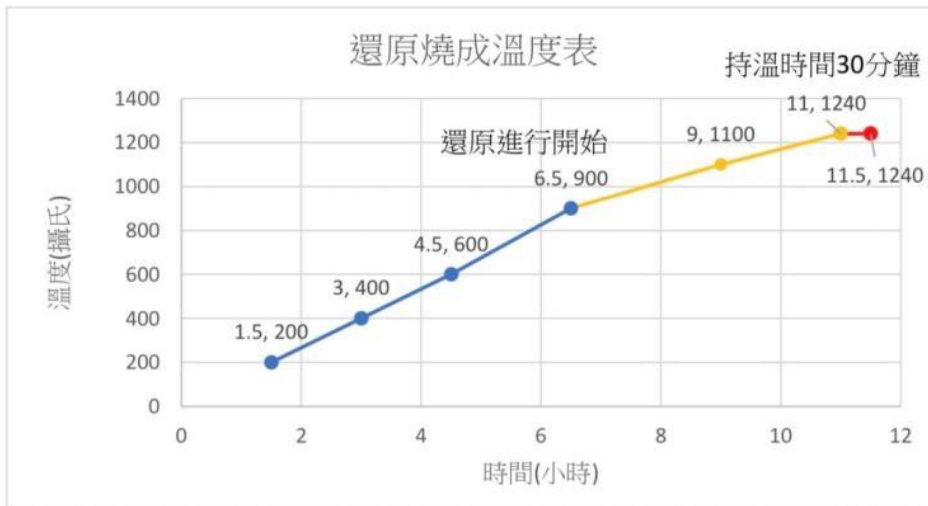


表 4 還原燒成溫度時間表



伍、研究結果

如果把燒熔後冷卻的釉分析出組成元素，其組成元素為一價、二價的元素包含鹼類、鹼土類是鹽基性又稱鹼性氧化物，中性氧化物包括三價元素、酸性氧化物包括四價氧化物；簡稱為鹼性、中性、酸性三種。鹼性:氧化鉀，氧化鈉，氧化鈣，氧化鋇，氧化鋅，氧化鎂，氧化鋇……等等。中性:氧化硼，氧化鋁，三氧化二鐵。酸性:氧化矽，氧化鈦，氧化錫，氧化鉛……等等。

從表 5 的火山泥成分定量分析結果來看，火山泥已具備釉藥完整的組成元素，也就是說火山泥含有鹼性的氧化鉀、氧化鈉、氧化鈣、氧化鎂，中性的氧化鋁、三氧化二鐵，還有酸性的氧化矽、氧化鈦，所以理論上火山泥是可以直接當作釉藥來燒製使用的。

本研究先將火山泥塊進行 850°C 的窯燒，並製成泥漿試片進行 1240°C 的氧化及還原高溫燒。火山泥塊的燒成前後狀況如圖五、圖六。850°C 燒成的火山泥塊狀態如磚一樣被燒結且呈現朱紅色。而將火山泥作為釉藥進行 1240°C 氧化、還原燒的結果，呈現深咖啡色(表 6)。

表 5 火山泥成分定量分析結果

檢驗項目	檢驗結果
SiO ₂	64.49 %
Al ₂ O ₃	15.49 %
Na ₂ O	1.67 %
K ₂ O	2.68 %
MgO	1.95 %
CaO	1.46 %
TiO ₂	0.81 %
Fe ₂ O ₃	6.45 %
燒失量	5.00 %
Total	100.00 %

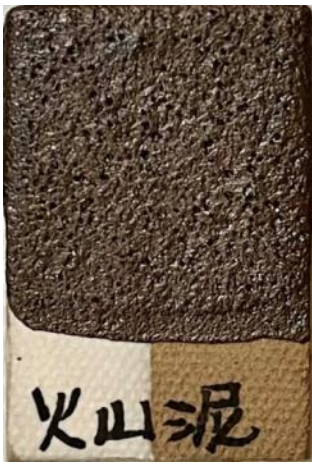



圖五 窯燒前的火山泥塊



圖六 窯燒後的火山泥塊

表 6 100%火山泥作為釉藥的燒成結果

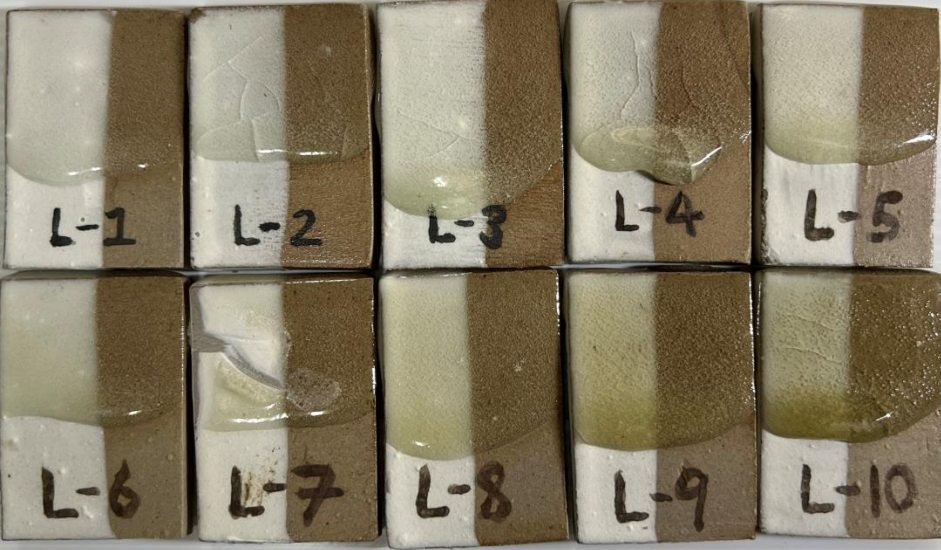
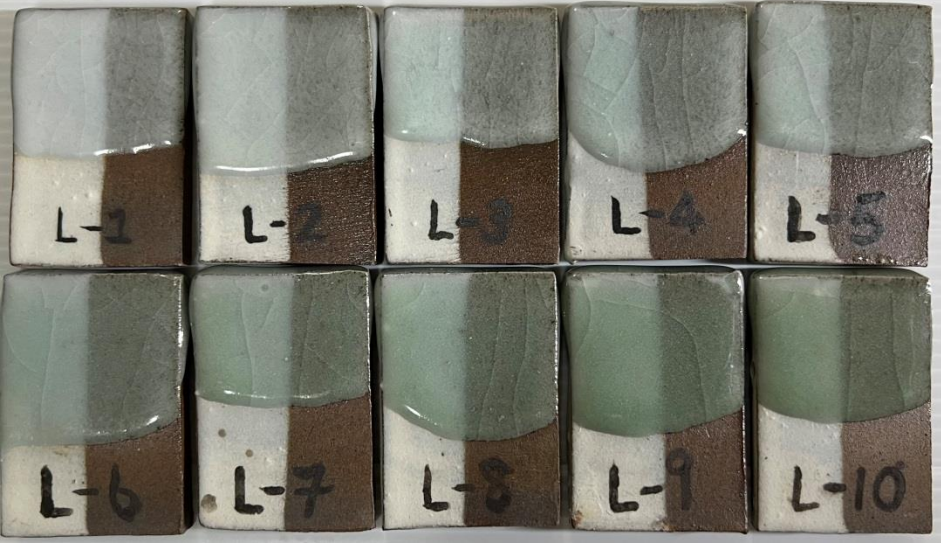
編號	釉式(%)	燒氧化試片	燒還原試片
火山泥	火山泥 100		

經定量分析，已知火山泥中含有 6.45%的氧化鐵，本研究嘗試將其作為發色劑加入五種不同基礎釉中。五種不同基礎釉式分別加入 1%氧化鐵跟 1%、2%、3%、4%、5%、6%、8%、10%、12%、15%等不同百分比的火山泥，試片燒成的結果，將同一組基礎釉式配方氧化燒與還原燒的試片放在一起做比較。每一組試片皆隨著火山泥含量由少至多，顏色由淡到濃，氧化燒呈現單寧色、土黃色，還原燒呈現青色，其結果如下：

一、亮光基礎釉:

其特點為釉面平整光滑且有光澤(表 7)。

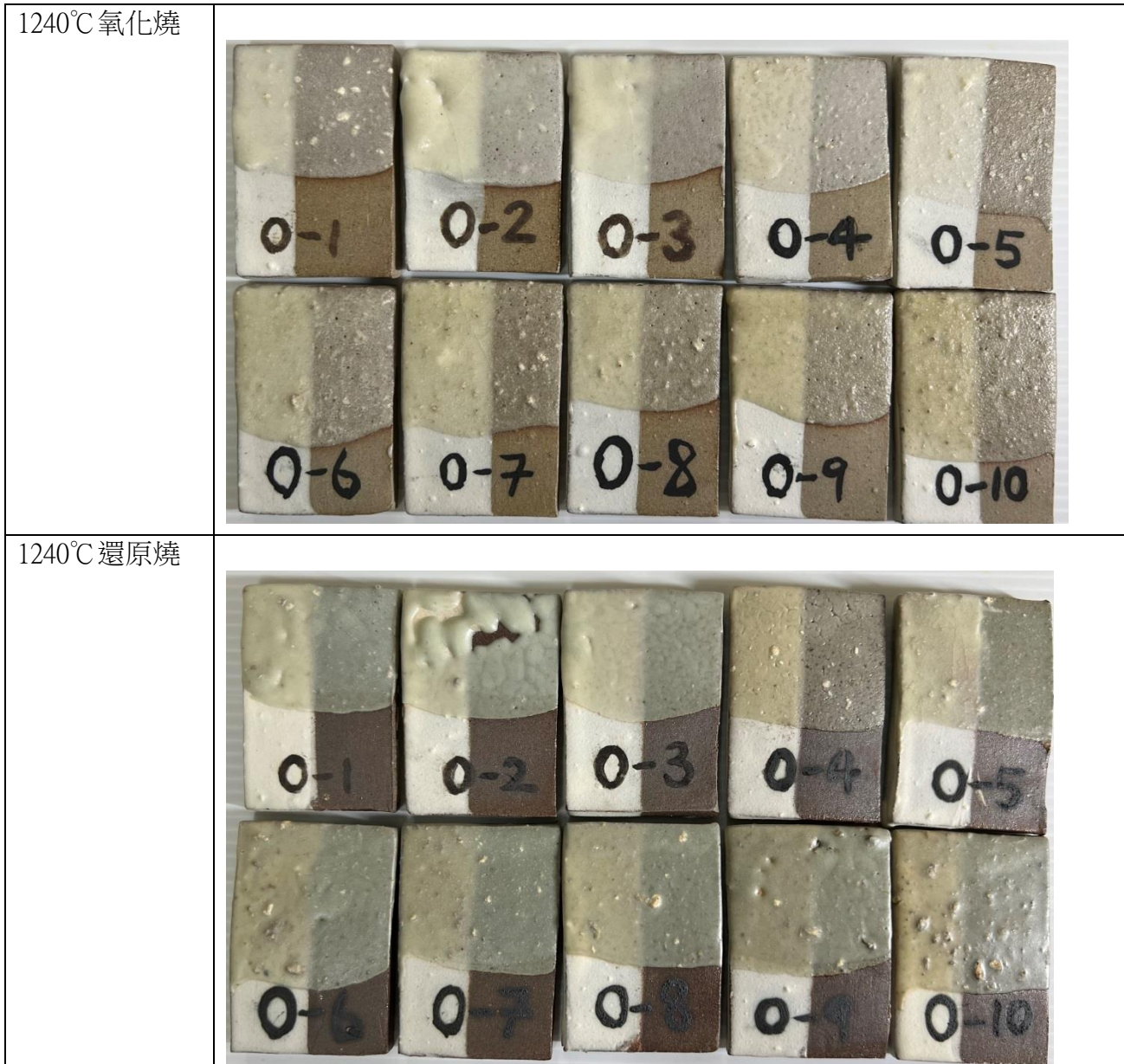
表 7 亮光基礎釉加火山泥的燒成結果

1240°C 氧化燒	
1240°C 還原燒	

二、無光基礎釉:

其特色為釉面呈現霧面且沒有光澤(表 8)。


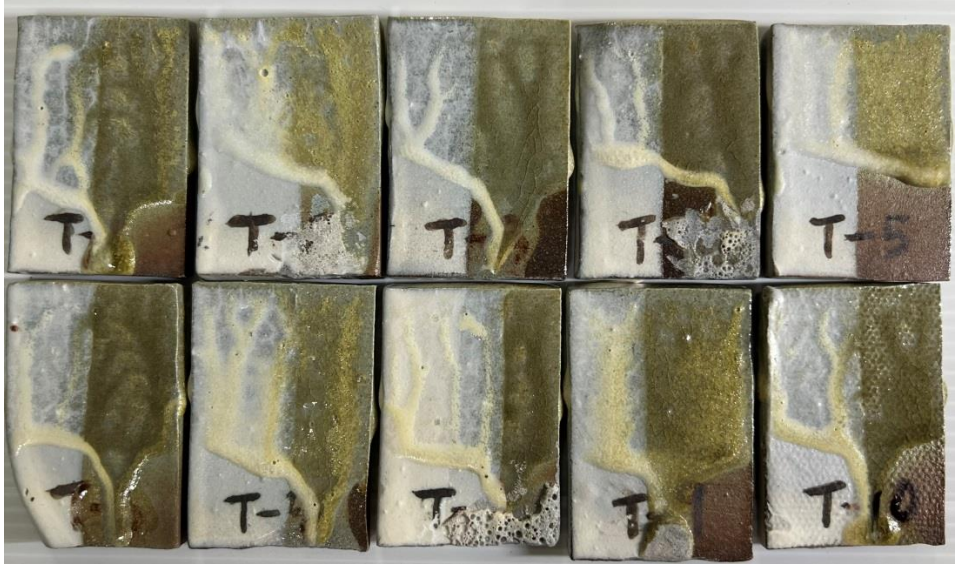
表 8 無光基礎釉加火山泥的燒成結果



三、樹枝流釉基礎釉:

其特色為流動性高，呈現如樹枝狀一班的流動痕跡(表 9)。



表 9 樹枝流釉基礎釉加火山泥的燒成結果

1240°C 氧化燒	
1240°C 還原燒	

四、縮釉基礎釉:

其特色為釉面會縮結成塊狀，並且具有光澤(表 10)。

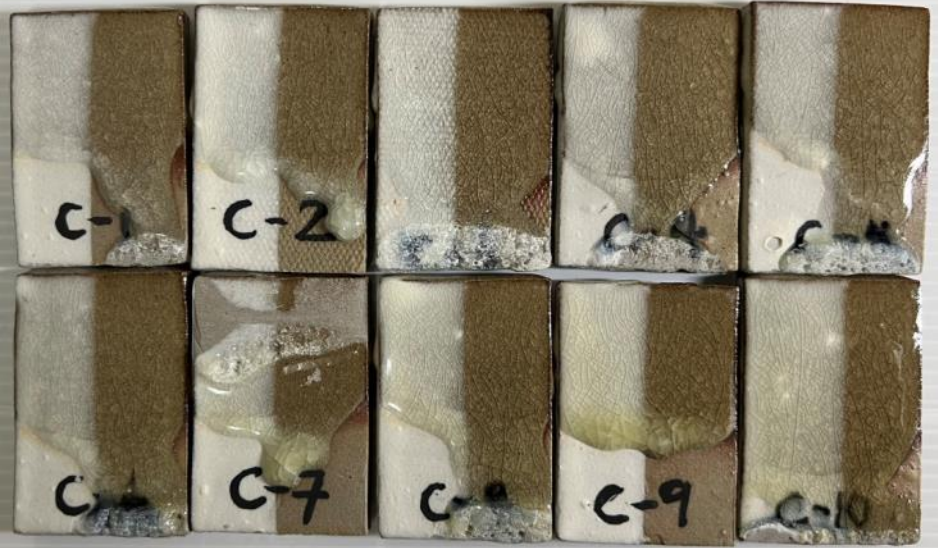
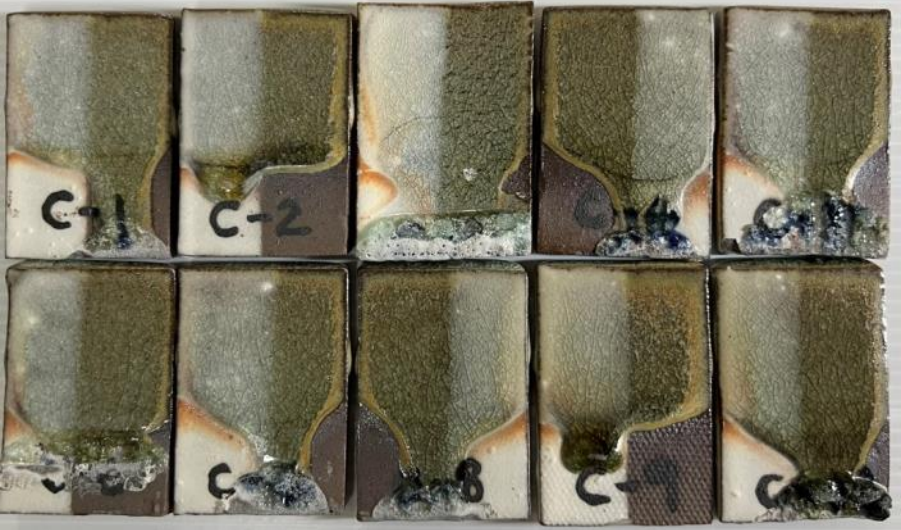
表 10 縮釉基礎釉加火山泥的燒成結果

1240°C 氧化燒	
1240°C 還原燒	

五、開片釉基礎釉:



又稱冰裂釉，其特色為流動性高，釉面有如同冰面或玻璃的碎裂痕跡(表 11)。

表 11 開片釉基礎釉加火山泥的燒成結果

1240°C 氧化燒	
1240°C 還原燒	

又根據火山泥成分定量分析結果得知，萬丹火山泥已經具備釉藥的基本特性，本研究參考台北教育大學藝術學系研究生羅紹綺碩士論文《生土死灰-運用漿釉與灰釉之陶藝創作》中的漿釉釉方，以 100%、90%、80%、70%、60%的火山泥取代釉方中的泥漿，來開發漿釉。試片呈現結果如表 12：

表 12 漿釉燒成結果

1240°C 還原燒	
1240°C 氧化燒	

陸、討論

一、火山泥可以直接拿來當做陶藝用的陶土及釉藥使用嗎？

本篇研究直接將火山泥塊入窯燒至 850°C，並將過篩後的火山泥粉末加水調成泥漿沾在準備好的試片上，以氧化、還原的燒製方式，各燒至 1240°C，觀察其燒成的狀態。燒至 850°C 的火山泥塊呈現如磚頭的狀態；氧化及還原高溫燒成方式的結果都呈現熔融的狀態，所以火山泥只適合低溫製磚，並不適合作為高溫陶土使用，但是它已經有釉藥的狀態了，只要加入助熔的原料，它是能被作為釉藥使用的。

二、把火山泥當作釉藥的發色劑使用，它會如何呈色?這樣的呈色反應是什麼氧化物造成的?

本研究所參考的文獻:台北市立教育覺藝術研究所碩士許玲鈴論文「釉色的變化:建立陶藝通用釉式」中統整了許多組來自不同研究者的陶藝釉呈色，其中以 1~2% 氧化鐵做為發色劑的還原燒實驗結果，顏色都呈現青綠色；氧化燒結果則為單寧色。氧化鐵的百分比增加至 4% 後，則開始呈現棕色。

而本研究的實驗結果顯示，加入的火山泥百分比逐漸增加，還原燒的結果會呈現由淺到深的青綠色，氧化燒則是由淺到深的丹寧色，所以把火山泥當作釉藥的發色劑使用，它的呈色應是氧化鐵造成的。此結論從定量分析結果可印證。

將實驗中加 1% 氧化鐵做為發色劑的對照組與加入 15% 火山泥做比較，能發現兩者呈現了最相似的效果，如表 13。在沒有針對火山泥作定量分析前，根據實驗結果與文獻的比對能推知，火山泥中是含有鐵的。

三、100% 的火山泥直接作為釉藥使用，其表面有氣泡且不平整，若以火山泥做為釉的主原料，加入輔助材料調整，呈現結果為何?

本研究參考的文獻:台北教育大學藝術學系研究生羅紹綺碩士論文「生土死灰-運用漿釉與灰釉之陶藝創作」記錄了以天然土石作為釉的主要原料去開發泥漿釉的配方，將其中天然土石的成分改為火山泥，亦可燒出釉面平整光滑的狀態，氧化燒成出現似油滴天目般的釉面。

表 13 15%火山泥與 1%氧化鐵做為發色劑之對照

<p>1240°C 氧化燒</p>	
<p>1240°C 還原燒</p>	

柒、結論

- 一、透過將火山泥不做添加直接加水調製成泥漿做成實驗試片，將試片進窯分別以氧化及還原的方式進行燒製，結果發現兩種燒成方式燒成後均能熔融，並與土坯充分結合，得知在窯燒 1240°C 的狀態下，火山泥是呈現熔融狀態的，所以不適合直接拿來當作陶藝用土使用，但當成釉則適合，燒成結果分述如下：
 - (一) 氧化燒：釉面呈現深咖啡色，表面粗糙多針孔，呈現深咖啡色。
 - (二) 還原燒：燒成後釉面較氧化燒平整光滑，不見粗糙面及針孔，顏色亦為深咖啡色。在攝氏 1240°C 的燒成後火山泥泥漿與土坯充分結合，已呈現熔融釉的狀態，由此得知火山泥適合作為釉藥使用，而從深咖啡色的呈色可以得知火山泥中含足以讓釉呈色的氧化鐵。
- 二、亮光釉、無光釉、樹枝流釉、縮釉跟開片釉等五種基礎釉加入 15% 的火山泥，與加入 1% 的氧化鐵的對照組，兩者燒成效果及呈色最為接近，得知當在基礎釉中加入 15% 的火山泥，相當於加入 1% 的氧化鐵，因此，火山泥可取代氧化鐵當作發色劑運用於釉中。
- 三、以火山泥為主要成分的釉在加入輔助原料後，表面不再有氣泡，釉面呈現平整光滑的狀態，其釉色因為高含量的鐵呈現黑棕色，帶有金屬光澤。故得知，經過輔助成分的調整，火山泥可以做為釉主要成分被大量使用。
- 四、本研究將火山泥塊燒至 850°C，發現它呈現如磚的燒結狀況與朱紅色，推測如將火山泥製成建築用的磚頭是可行的，但是因它不定時噴發，噴發量雖對當地造成無處堆棄的困擾，對磚廠來說卻遠不足以供應製磚所需，所以沒有經濟開發價值，若用於釉的開發卻綽綽有餘，研究中所燒製的美麗試片結果顯示，火山泥不是只能當廢棄物堆棄，是能妥善開發利用的資源。

捌、參考資料及其他

一、未來展望

本研究僅針對五種基礎釉式加入不同比例，最多 15% 的火山泥做實驗，尚可持續增加測試其極限量，也可以直接用火山泥作為基底來開發釉藥，且基礎釉的組合眾多，又可加入其他發色的金屬氧化物開發其他釉彩，後續可資開發研究的方向多且廣，本研究期望能有拋磚引玉的效果，吸引更多有興趣的人一起來善用這原本被棄置的資源，讓它發揮最大的效益。

二、參考資料

吳鵬飛（1999），《陶藝實用釉藥配方與釉色之美》。五行圖書出版有限公司。ISBN：957-8964-09-9。

許玲鈴（2008），《釉色的變化：建立陶藝通用釉式》。台北市立教育大學視覺藝術學系教學碩士班碩士學位論文。

郭志雄（2019），《以改良釉方三角座標試驗法進行釉式實驗研究》。國立高雄師範大學文化創意設計碩士班碩士學位論文。

程道腴（1996），《製陶瓷用的黏土和釉》。台北縣：徐氏基金會。ISBN：957-18-0309-X。

薛瑞芳（2013），《釉藥學》。台北縣：鶯歌陶瓷博物館。ISBN：957-01-4324-x。

羅紹綺（2007），《生土死灰-運用漿釉與灰釉之陶藝創作》。國立台北教育大學藝術學系碩士班碩士學位論文。

國立台灣工藝研究發展中心(2023)，鶯歌多媒材研發分館定量分析試委託試驗報告。

國立台灣工藝研究發展中心

地址:239新北市鶯歌區鳳鳴路160號 TEL:(02)2670-5308#123 FAX:(02)2670-5792

委託試驗報告

聯絡人：郭志雄先生/小姐
電話：(08)8642311 / 0975-389118
樣品名稱：屏東萬丹火山泥
送樣日期：112年05月
實驗日期：112年05月
實驗室：鶯歌中心化學實驗室



檢驗項目	檢驗結果
SiO ₂	64.49 %
Al ₂ O ₃	15.49 %
Na ₂ O	1.67 %
K ₂ O	2.68 %
MgO	1.95 %
CaO	1.46 %
TiO ₂	0.81 %
Fe ₂ O ₃	6.45 %
燒失量	5.00 %
Total	100.00 %

註 1：本報告只對所送樣品負責。

註 2：請參考正本，以保障使用者權益。

註 3：本報告不作任何商業廣告、宣傳推銷或訴訟證明之用。

註 4：以上檢測項目及狀態為廠商指定選測並同意之計算方式，皆為最高值。

承辦人

副研究員沈俊良

日期 112年05月19日

附件二 成品燒成照



L-10 還原燒成:選擇表面光滑的亮光基礎釉，加入 15%火山泥還原燒出青瓷效果的陶杯。在本研究中，15%的火山泥所呈現出的青色最濃，效果最佳，故選擇以其燒製陶杯。



WN-4 氧化燒成:以 70%火山泥為基底的泥漿釉，加入輔助材料(如:長石、滑石、碳酸鈣、氧化鐵)燒製出油滴效果的茶杯。



以火山泥開發出的釉藥燒製之陶器。