

# 2023 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100029

參展科別 工程學

作品名稱 紬下光工程

得獎獎項 一等獎

美國 ISEF 正選代表

就讀學校 高雄市立高雄女子高級中學

指導教師 林孝正

作者姓名 陳若雅

關鍵詞 紬藥、機器學習、成色模擬

## 作者簡介



大家好，我是陳若雅，目前就讀高雄女中三年級。在學校同時擔任第九屆雄女模擬聯合國社團學術長，擁有相關的豐富經驗和興趣。熱衷於陶瓷藝術、滑雪和閱讀。也因對陶藝產生的濃厚興趣而著手進行本作品的規劃，希望在未來的道路上能將製紬經驗結合未來相關科技，使這個領域更進一步的發展。

## 摘要

釉藥為陶瓷藝術的核心呈現，本研究利用釉藥作為媒介，融合資訊工程的隨機森林演算法主題進行釉藥燒製後成果的預測。從陶藝釉藥的公開網站篩選釉藥配方及圖片色標建立數據庫，後續能進行未燒製前配方成果的模擬建模。

利用已發展千年的釉藥調製技術和材料，以塞格式、一維二元...常見調釉藥比例的方式，同時記錄大量釉藥數據庫，結合現代科技分析方法快速模擬成品樣貌，未來可應用於磁磚或是釉料產業的釉藥顏色矯正。

釉藥具有高度藝術及商業價值。本作品以東方傳統技藝結合現代機器學習的演算法。數據庫的建立用於結合眾多陶藝家製釉經驗，來達成預測釉燒後的釉色。故此作品的未來發展有極大的前瞻性。

A layer of glaze is attached to the surface of ceramics. This study uses the glaze as a medium and integrates the deep learning theme of information engineering to predict the results of the glaze after firing. From the public website of pottery glazes, filter the glaze formula and picture color code to establish a database, and then simulate and model the formula results before firing.

Using the glaze preparation technology and materials that have been developed for thousands of years, in the plug format, one-dimensional two-dimensional ... common way of adjusting the proportion of glaze, and recording a large number of glaze databases at the same time, combined with modern scientific and technological analysis methods to quickly simulate the appearance of finished products, which can be applied in the future It also has high artistic value and practicality in the color correction of glaze in the ceramic tile or glaze industry.

Glaze has high artistic and commercial value. This work is based on the algorithm of Oriental traditional skills combined with modern machine learning. The establishment of the database is used to combine the experience of many ceramic artist-made glaze to achieve the glaze burning after the glaze. Therefore, the foreign development of this work is greatly forward-looking.

## 壹、 研究動機

陶瓷藝術為一門融和原始、古典、現代、民間等藝術性質為一體的傳統工藝。最早的工藝技巧可溯至石器時代。因一次的因緣際會而結識了陶藝老師，進而對陶瓷藝術產生了極大的興趣。為了增廣對陶瓷藝術的知識和了解程度，開始積極地觀賞各個展覽。也因此發現到藝術作品的高度失敗性。也因多方學習後知道許多釉藥流派需花費數千年不斷嘗試後才能得出預期的釉藥顏色和質地，除了失敗率極高之外也因缺乏完善經驗和學習系統而無法快速發展。後續在網路上查詢資料時意外發現公開的陶藝釉藥師的分享配方平台。聯想到是否能將資料庫和深度學習結合，增加釉藥配方的可行性。充分融合藝術以及資訊工程學。

## 貳、 研究目的

- 一、測試資料庫的資訊真假和可信程度
- 二、模擬圖檔的建立以及色標確認
- 三、自行製作的配方測試比對程式推斷成果色標的相似程度
- 四、建立完善資料庫及預測系統已達成準確預估釉料成色

### 參、實驗器材

#### 一、光譜儀

型號:LM801



#### 二、釉藥礦物



#### 三、電窯



## 肆、研究過程或方法及進行步驟

### 一、釉藥配置基本流程

#### (一) 拿取配方所需的礦物並秤重



各種礦物



秤取

#### (二) 均勻混合礦物和水

#### (三) 將試片泡入釉藥 2 到 3 秒

#### (四) 將試片放在一旁晾乾

#### (五) 放入窯內設定溫度後開始燒製



## 二、分析流程

### (一) 程式架構

本作品以 Python 來開發本程式，並使用 Jupyter Notebook 作為開發環境，並搭配相關套件來進行資料處理及建模，包含 Numpy (數學運算套件)、Pandas (資料處理套件)、Sklearn (機器學習套件) 以及 Matplotlib 及 Seaborn 等繪圖套件來進行相關結果的繪製。

本程式的流程圖如圖 1 所示，首先先將釉藥資料集進行資料前處理，去除資料集中的遺失值 (NaN)。再將資料集分為紅 (Red)、藍 (Blue)、綠 (Green) 三個色系的子資料集，並對資料集進行特徵選取來得到對於分類釉藥色系的顯著礦物。接著將顯著礦物餵入機器學習演算法來預測釉藥的顏色。

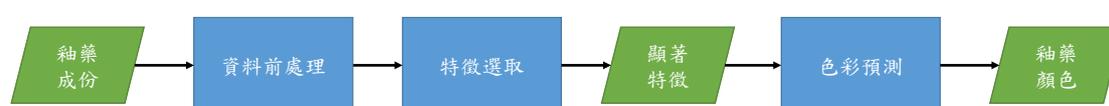


圖 1、程式流程圖

### (二) 資料集

本作品所使用的資料集來自於 Glazy 網站(<https://glazy.org>)，Glazy 網站為一公開的釉藥資料集，可供釉藥師傅上傳燒製的成果。本作品所收集之資料集包含 8080 筆釉藥資料，每筆資料包含此作品的所屬色系及 64 種礦物的比例，此資料集的比例以多種方式呈現，分別為百分比 (percent)、莫耳百分比 (percent mol) 以及 Unity Molecular Formula (UMF)。其中 UMF 為經過賽格式所得到的成份比例，較為釉藥師傅所使用。

### (三) 資料前處理

資料前處理的目的在於整理原始資料集，並去除遺失值來供後續分析使用。雖然原始資料集包含 64 種礦物，但實際上許多礦物並不被用來調配紮藥，在資料集上會呈現為遺失值。因此在進行分析前須將遺失值去除，僅留下調配紮藥所需的礦物，經過濾除後，最後留下的礦物共有 34 個，如表一所示。

表一、經過濾除後的礦物清單

SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>
Li <sub>2</sub> O	FeO
K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Na <sub>2</sub> O	CoO
KNaO	NiO
BeO	CuO
MgO	Cu <sub>2</sub> O
CaO	CdO
SrO	TiO <sub>2</sub>
BaO	ZrO
ZnO	ZrO <sub>2</sub>
PbO	SnO <sub>2</sub>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ratio
F	R <sub>2</sub> O
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO

接著再將資料集中紅、藍、綠三色個別的子資料集取出，三色子資料集的樣本數量如表二所示，可以看到最終藍色資料集共有 374 筆資料、綠色資料集共有 227 筆資料、紅色資料集共有 73 筆資料。

表二、各色子資料集的樣本數

顏色	樣本數
藍色	374
綠色	227
紅色	73

#### (四) 特徵選取

特徵選取的目的在於選取出對於分類色彩最有影響力的礦物組合來進行色彩預測，其原因在於此 34 筆礦物中有部分礦物在任一色系子資料集中的比例均為 0，如圖 2 的直方圖所示，即代表此礦物可能對於釉藥顏色的影響不大。

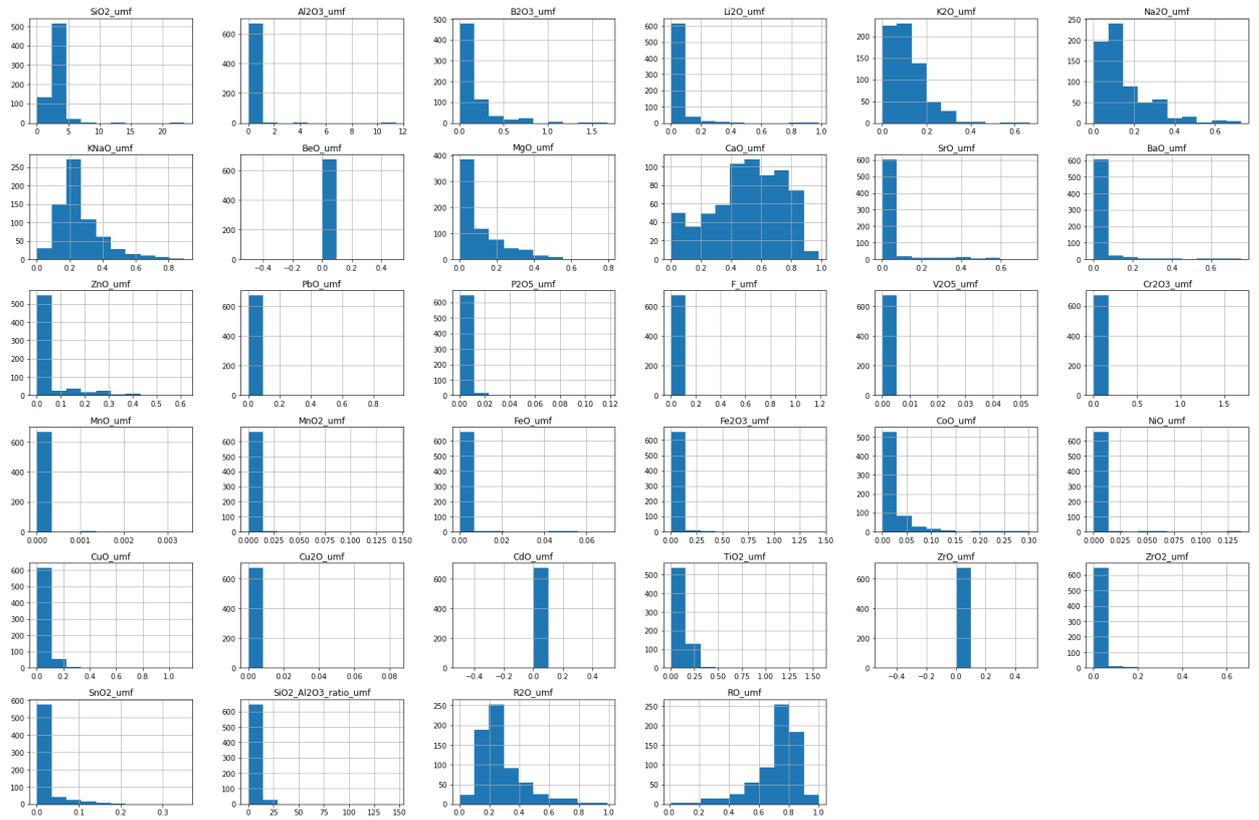


圖 2、34 種礦物成分的直方圖

因本作品的目的為預測紅藍綠三個色系，因此所採用的特徵選取方法為單因子獨立變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA)。ANOVA 為一種統計常用的檢定方法，主要用於檢定三種以上群組平均數差異，當 p 值越小即代表此變因對於分類此三個族群越顯著。因此我們將 p 值的閾值設為 0.01，當 p 值小於 0.01 即代表此礦物對顏色的影響較大。經過特徵選取後，最終得到用來輸入機器學習演算法的礦物共有 9 個，分別為 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O、SrO、ZnO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CoO、CuO 以及 SnO<sub>2</sub>。

表三、被選出的顯著礦物以及其 p 值

礦物變數	p-value
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> _umf	2.7229557791238483e-06
K <sub>2</sub> O_umf	0.00045532166035516656
SrO_umf	0.0031240330976914574
ZnO_umf	0.004829033204598902
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> _umf	0.002493261279930551
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> _umf	5.155176359812069e-14
CoO_umf	6.3508450717153e-13
CuO_umf	0.0004880226428272921
SnO <sub>2</sub> _umf	4.446436082073468e-22

### (五) 色彩預測

接著則以上述所得到的 9 個礦物輸入機器學習演算法進行色彩預測，本作品所使用的機器學習演算法為隨機森林演算法 (Random Forest)，其示意圖如圖 3 所示。Random Forest 為一種監督式學習演算法，其結合了多個使用吉尼係數 (GINI index) 的決策樹 (Decision Tree) 來作集成學習，每棵決策樹均會產生一分類結果，再透過多數決的方式來進行投票，決定最後的分類。使用隨機森林演算法好處在於它可以提供分類的規則，讓整個過程可被解釋，相較於如同黑盒子般的傳統機器學習方法更具備模型解釋性。

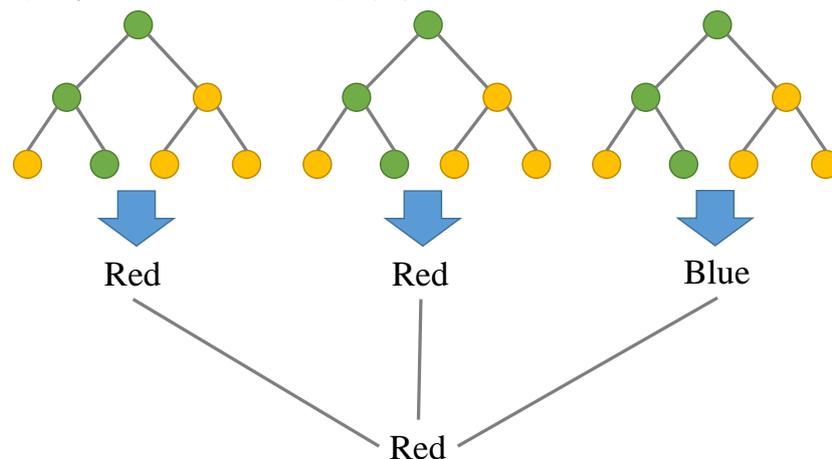


圖 3、隨機森林演算法示意圖

為了測試模型分類的準確度，本作品將資料集 80% 作為訓練資料集，20% 作為測試資料集，為了能夠得到更真實的準確度，測試資料集並不參與模型訓練及驗證階段，訓練及測試資料集的樣本數如表四所示。

表四、訓練及測試資料集的樣本數

顏色	訓練樣本數 (80%)	測試樣本數 (20%)
藍色	289	85
綠色	195	32
紅色	55	18

由於隨機森林演算法有許多參數可供設定，不同參數設定可能會影響模型的表現，因此我們使用格點搜尋計算法 (Grid Search)對模型進行了超參數調整 (Hyperparameter Tuning)，並套用至訓練資料集進行 10 折交叉驗證，來得到最佳的模型。我們所使用的超參數如表五所示，包含最大深度 (max\_depth)、葉子節點最小樣本數 (min\_samples\_leaf)以及樹的總數 (n\_estimators)。

表五、超參數

參數	超參數
max_depth	2,3,5,10,20,50
min_samples_leaf	5,10,20,50,100,200,500
n_estimators	10,25,30,50,100,200,250,500

最終我們則將 20%的測試資料輸入最佳模型，來得到此模型預測色系的 precision、recall、f1-score、accuracy 等指標來作為此模型對於預測此三個色系的表現。

### 三、期末之結果

#### (一) 色彩預測準確度

經過 Grid Search 後，我們得到最佳的模型為 max\_depth 為 10、min\_samples\_leaf 為 5、n\_estimators 為 200，因此我們以此模型作為最後用來進行測試驗證其準確度的最佳模型，而最佳模型視覺化的樹結構如圖 4 所示。

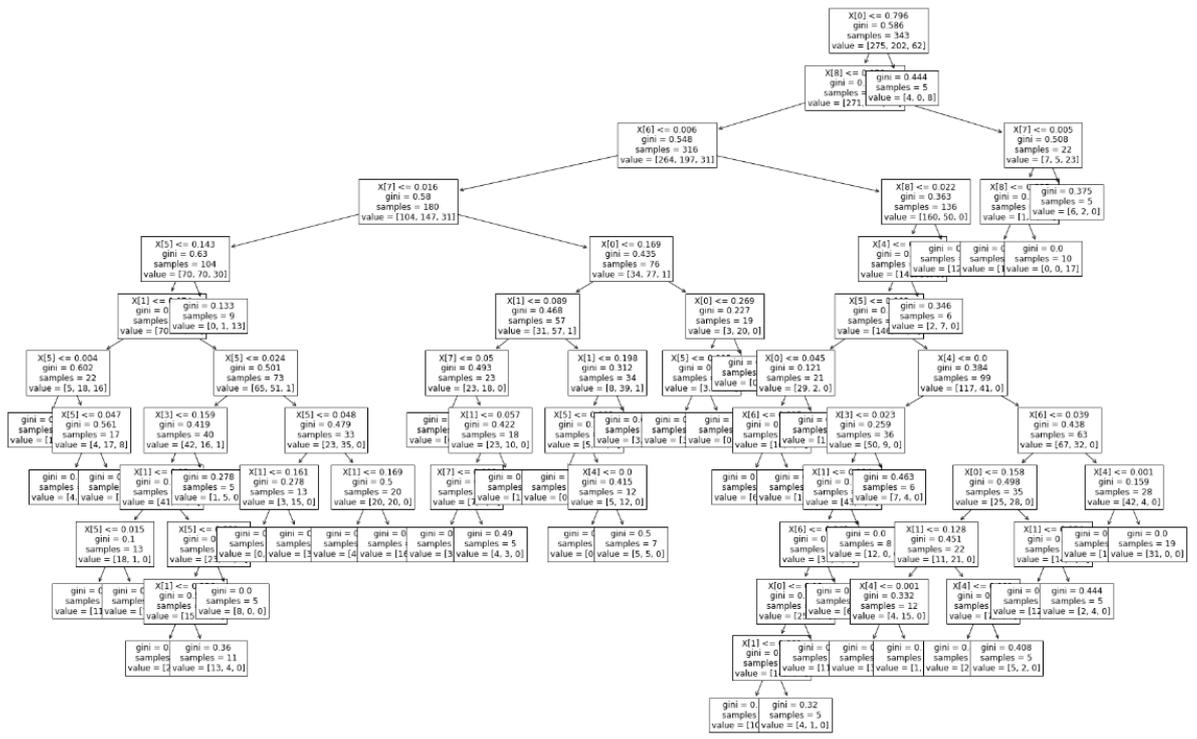


圖 4、最佳模型視覺化之樹結構

使用 20%測試資料集對此模型進行測試的混淆矩陣 (Confusion Matrix)如圖 5 所示。而此模型的預測準確度則如表六所示，模型的整體 Accuracy 為 0.81，若以個別來看的話，預測藍色、綠色以及紅色的 F1-score 為 0.86、0.70 及 0.77，由結果可看出藍色分類準確度較高，可能是因為藍色的樣本數較多。其次是紅色，再來是綠色。

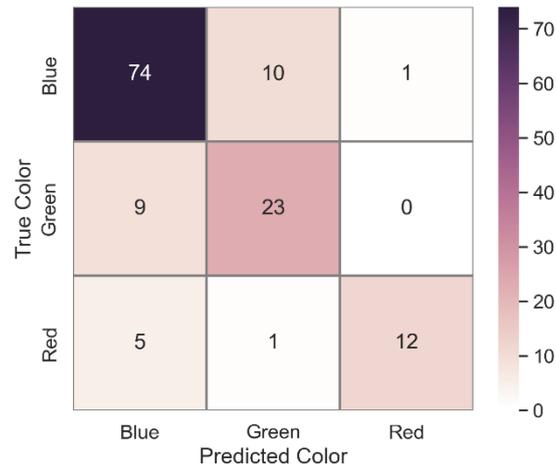
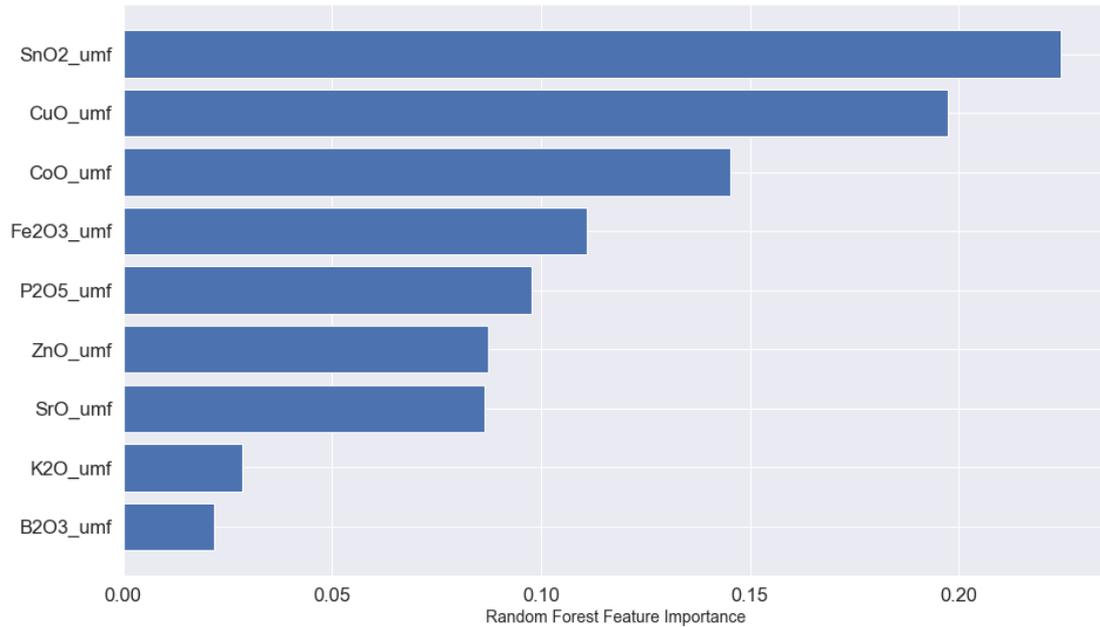


圖 5、使用最佳模型進行分類的混淆矩陣

表六、預測各色系之準確度

Color	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
Blue	0.84	0.87	0.86	0.81
Green	0.68	0.72	0.70	
Red	0.92	0.67	0.77	

最後我們從最佳模型中取出此九個礦物對於模型的影響性，如圖 6 所示，可以看出影響顏色最為重要的前三名為二氧化錫、氧化銅以及氧化鈷，代表此三者的比例變動時會大幅對於釉藥的顏色影響較大。



#### 四、本計畫之討論與後續之方向

本作品提出的人工智慧釉藥色彩預測系統其貢獻在於只要輸入九種礦物成分的 UMF，即可預測出釉藥的色系。在傳統上雖然已知部分礦物會讓釉藥呈現某種顏色，例如添加越多氧化鈷可能會讓作品呈現更深的藍色，但是當礦物成分比例接近時，或是準備嘗試調配某個不熟悉的釉藥配方時，仍難以判斷這些礦物比例會讓釉藥會偏向哪個色系。傳統的方法仍是釉藥師傅不斷嘗試各種配方，用不同比例的礦物來進行多次測試，可是這樣的過程將過於耗時。這時若採用我們所開發的人工智慧釉藥色彩預測系統，僅需輸入此九種礦物成份的 UMF 值，即可得到釉藥顏色，對於釉藥師傅來說是很方便的。

## 伍、 結論

本作品提出一人工智慧釉藥色彩預測系統，可以以礦物比例來進行釉藥色彩的預測。實驗成果顯示此系統色彩預測的準確度為 81%，可以為釉藥師傅所使用。除此之外，此系統也透過機器學習演算法得到影響色彩最重要的礦物成分為二氧化錫、氧化銅以及氧化鈷。未來本作品將以自行燒製的試片進行驗證，並建立一套標準化的釉藥資料庫，透過收集更多的標準化資料來建立一個更完善的模型，提供全世界釉藥師傅一個更有效率的方式來燒製出理想中的作品。

## 陸、 本計畫遇到的問題及解決方式

一、RGB 的來源為網站圖片，但網站圖片拍攝環境角度皆不同

解決方式:利用電腦繪圖軟體去處光線明暗干擾後，抓取圖檔釉藥區塊面積最多的顏色 RGB 值

二、資料庫過於龐大無法人為刪減

解決方式:程序進行刪除階段

## 柒、 參考文獻資料及其他

(一)薛瑞芳(2013)。「釉藥學 GLAZE」。藝術家出版社

(二)劉偉仁(2014)。「LED 螢光粉技術」。五南圖書出版股份有限公司

(三)陳若雅(2021)。「釉色-千年釉彩工藝應用于間接燈光照明色溫及演色性之研究」。第 61 屆高雄市科展第一名。中華民國第 61 屆全國科展

(四)Glazy,from: <https://glazy.org>

## 附錄

此為之前的作品為方便評審審閱特放在附錄給予參考。以下內容為以塞格式、一維二元…常見調製釉藥比例的方式製作釉藥試片的配方數據。絕大多數釉藥師在嘗試新配方或是進行發想時皆是使用以下調製技巧。燒製過程經常花費過多時間及精力，一片完整呈現的試片需要 2 到 3 天的燒製時程。更何況失敗品佔了很大部分，因此才有了本作品的發想。過去作品以傳統陶藝燒製為主軸，而本作品則更改了方向，以機器學習為核心發想進行研究。

### 基本實驗

#### (一) 基本實驗一：助熔劑變化實驗(一維二元實驗)

一是指線性測試，二是指兩項變因。觀察同一種透明釉，組合不同的助熔劑使其對釉的透明度、質感、光澤、流動等因素產生變化，並觀察其結果。

釉藥配方：

1A1-1		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	80
碳酸鈣 Whiting	27	54
白雲石 Dolomite	10	20
石英 Quartz	9	18
蛙目土 Ball Clay	8	16
氧化鋅 Zinc Oxide	6	12
碳酸銅 Copper Carbonate	4	8

1A1-11		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	80
碳酸鋇 Strontium Carbonate	27	54
白雲石 Dolomite	10	20
石英 Quartz	9	18
蛙目土 Ball Clay	8	16

	氧化鋅 Zinc Oxide		6	12								
	碳酸銅 Copper Carbonate		4	8								
試片號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	
#1 百分比	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
#11 百分比	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
#1 調配量 mL		45	40	35	30	25	20	15	10	5		
#11 調配量 mL		5	10	15	20	25	30	35	40	45		

1B1-1		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	80
矽灰石 Wollastonite	27	54
白雲石 Dolomite	10	20
石英 Quartz	9	18
蛙目土 Ball Clay	8	16
氧化鋅 Zinc Oxide	6	12
碳酸銅 Copper Carbonate	4	8

1B1-11		調配量
霞石正長石 Nepheline Syenite	40	80
碳酸鋰 Strontium Carbonate	27	54
白雲石 Dolomite	10	20
石英 Quartz	9	18
蛙目土 Ball Clay	8	16
氧化鋅 Zinc Oxide	6	12
碳酸銅 Copper Carbonate	4	8

試片號碼	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
#1 百分比	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
#11 百分比	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
#1 調配量 mL		45	40	35	30	25	20	15	10	5	
#11 調配量 mL		5	10	15	20	25	30	35	40	45	

鹼土族(鎂、鈣、鋇、鋇)通常會被選用加入釉藥能夠增強助熔溫度範圍並提高助熔作用。而添加了越多的助熔劑，能使有藥燒製出來的顏色更均勻，流動性更高。觀察燒製出來的試片即可明顯看出其外觀因濃度不同而造成的改變。本實驗屬於一維二元，利用固定某一釉藥成分濃度的改變觀察燒製出的試片外觀以及其特性。改變助熔劑會使其燒製出的光澤、流動性、顏色均勻程度隨之改變。助熔劑濃度越高，光亮度越高，流動性越好，顏色也越均勻。

## (二)基本實驗二：金屬氧化物混合實驗(交叉測試)

系統性的混合多種釉藥，觀察並且比較釉藥相互影響之結果。兩兩互相混合加有六種不同金屬氧化物的基礎釉和一份基礎釉，已得知其產生的顏色變化。

釉藥配方：

1A2-1		調配量
印度鉀長石 India Potash Feldspar	30	300
熔塊 3124	20	200
石英 Silica	22	220
高嶺土 Kaolin/China Clay	20	200
滑石 Talc	10	100
碳酸鈣 Whiting	8	80

杯號	#2	#3	#4	#5	#6	#7
釉藥金屬氧化物	氧化鉻	氧化錳	紅氧化	氧化鈷	氧化鎳	碳酸銅

			鐵			
添加量 g	1.3	6.7	10.6	0.67	2.7	5.3

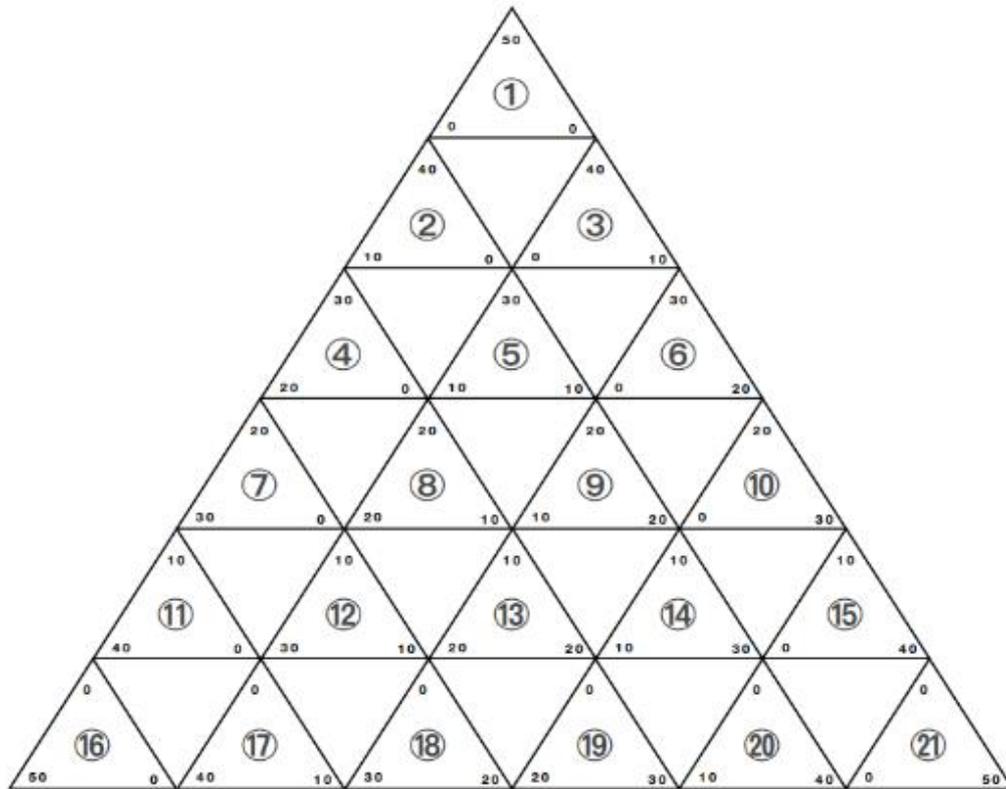
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
-	-	-	-	-	-	-
	8 #1+#2	9 #1+#3	10 #1+#4	11 #1+#5	12 #1+#6	13 #1+#7
		14 #2+#3	15 #2+#4	16 #2+#5	17 #2+#6	18 #2+#7
			19 #3+#4	20 #3+#5	21 #3+#6	22 #3+#7
				23 #4+#5	24 #4+#6	25 #4+#7
					26 #5+#6	27 #5+#7
						28 #6+#7



藉由多種氧化物的兩兩混合，觀察不同氧化物混合後所產生的變化。由下圖我們可以看到氧化鈷的顏色最不受其他氧化物影響，仍然保持藍色。交叉測試實驗能讓我們有系統性的混合不同的金屬氧化物，並且看出金屬氧化物互相影響的顏色變化，從而得知金屬氧化物在釉藥中影響和被影響的強弱程度。

### (三) 基本實驗三：顏色混合實驗(三軸測試)

本次實驗中有三個變因，按照固定的比例互相混合，並將此實驗方法應用在測試不同顏色、質感、光澤、開裂等主題，以利有系統性的觀察其變化結果。

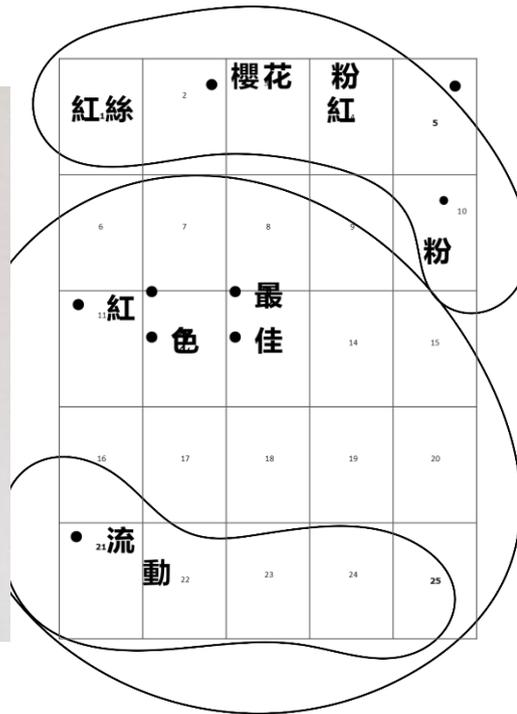


紅、黃和藍三種不同顏色的釉藥相互混合，由此實驗能夠有條理地看出三個顏色互相影響的強弱程度。從實驗結果中可看到黃色蓋過其他顏色的程度較大，接下來是藍色，最後才是紅色。三軸測試實驗可看出三個不同變因互相影響的結論，並且判斷三個變因之間的影响力大小。

(四) 基本實驗四：流動性及顏色混合測試(二維測試)

利用二為測試讓變因操作有更大的功能，而且不限制哪一組試片為起點，因此能夠更完善的探討細部變因變化所造成的外觀變化。

因為二維測試實驗變因可以較廣泛的展現，因此每一塊試片的變化量較小也較仔細。鉻通常和錫反應生出粉紅色，常用碳酸鈣和氧化鋁代替錫來降低鉻綠。本次實驗藉由調整氧化鋁與二氧化矽氧化鋁比例達成實驗。而我們可以發現越往左下角流動性越高，也越紅。而越往右上角則越白，最佳的中和試片為編號 13，位正中央的試片。



## 【評語】 100029

The study uses an RGB color model to predict the color of the glaze after firing. It presents a clever approach to applying deep learning. To be more accurate , the CMYK color model may be used to consider the absorption nature of the coloring of the glaze.