

# 科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

## 釉藥塞格式表示法應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗與分析

計畫類別：個別型計畫  
計畫編號：MOST 102-2410-H-144-005-  
執行期間：102年08月01日至103年07月31日  
執行單位：國立臺灣藝術大學工藝設計學系（所）

計畫主持人：呂琪昌

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：宋泊毅  
大專生-兼任助理人員：熊悅炆

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中華民國 103 年 10 月 23 日

中文摘要： 釉藥是覆蓋在陶瓷器表面的一層玻璃質膜，更給人印象深刻的色彩、光澤等視覺表現能力。釉藥是由無機物所構成的非結晶性固態玻璃質，其原子間結構不具有一致性的排列方式，因而強烈受到燒成的溫度、氣氛，以及燒製過程的差異影響，而產生種種變幻莫測的效果。雖然充滿了擾人的變數，但也提供了更多藝術表現的可能性。

影響釉藥特性的最主要因素仍然是化學組成之成分及比例。現代釉藥研究多使用 H. A. Seger 博士所發展出來的公式——塞格式，藉以記錄其化學組成並作為探討釉藥性質的基礎。不過塞格式是以化學氧化物為組成元素，必需透過計算轉換為原料配方才能實際應用。陶瓷原料多為天然礦物，因產地或開採層位的不同而有差異；原料的不穩定特徵，給陶瓷製造業帶來了莫大的困擾。

筆者之前從事水庫淤泥作為陶藝釉藥的研究工作，曾經成功地透過塞格式資料將古代釉藥複製出來，但也不乏失敗的案例。此外，因為不同批次所獲得的淤泥成分有差異，故也嘗試透過塞格式之計算來轉換為新的配方。結果顯示，在相同的燒成條件下卻得到外觀截然不同的效果。是成分數據掌握不夠精確的問題，亦或是原料差異所產生的影響？將是本研究探討的重點。最後，也希望能找到一個有效的方式來解決原料的替換問題。

本研究之成果顯示，釉藥的「塞格式」組成數據確實能提供計算上最有利的運算基礎。透過合理及精確的數據運算，以及合宜的實驗過程，確實能以最精簡的手段得到釉藥原料的替換配方。以下是執行時應該注意的重點：

1. 本方案之執行必須先取得各原料之化學組成的精準數據。
2. 實施 Excel「規劃求解」的優化運算時，建議以「目標與配方之莫耳差的絕對值」之和的最小值作為「目標函數」。
3. 「SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>」及「RO / (RO + R<sub>2</sub>O)」的比值可以作為約束條件，其值分別為 0.1 及 0.01 以內，在「規劃求解」的運算上也多能達成這一條件。
4. 應避免用「全部原料塞格式替換」的方案，而應以「局部或單一原料塞格式替換」的方式來執行，以避免受到原料之結構因素的影響。此一方式的「目標函數」儘可能要求在 0.7 以內。
5. 在新、舊原料交替的過渡階段，可以使用「局部比例替換」方案，但應透過實驗確認其比例與效果。

中文關鍵詞： 陶瓷、陶藝、釉藥、塞格式（賽格式、賽格爾式）、釉藥公

式

英文摘要： Glaze as glass membrane that is covered on potteries. Glaze visually attracts people by bringing color and bright together. A glaze is a non-crystallized glass that is constructed by inorganic matters. The structure of atom is not arranged in consistently. It is affected by different temperatures, atmospheres, and firing processes, then comes out unexpected results. Although glaze experiments have many unexpected factors, it brings more possibilities in artistic expressions.

The characteristics of glaze are mainly affected by composition and proportion of chemistry. Currently many researches of pottery glaze are developed from H. A. Seger' s idea which is called Seger formula. It is a series of empirical rules put forward by the H. A. Seger for the prevention of crazing and peeling. The formula takes down composition of chemistry and becomes a foundation in glaze research. The chemistry oxides are components of Seger formula. Chemistry components have to be converted to raw materials through calculation before using practically. Ceramics materials usually come from mineral substances. Different places give different qualities. These instable qualities always bring numerous troubles into ceramics industries.

I was engaging in a research project which exams ceramics glaze from reservoir silt. Although I successfully found ancient glazes through using Seger formula, there were many failed examples. Besides, I tried using Seger formula to transfer to another formula in order to find out new components, because of different qualities of reservoir silt. It shows completely different results, but they were in the same firing conditions. No matter calculation problems or component differences, it becomes the key point of this research. In the end, I also expect to find an effective way to solve problems of material replacement.

The results of this study show that the composition data of Seger formula can indeed provide the basis to

calculate the most favorable operation. Through reasonable and accurate data operations, and appropriate experimental process, can really get the most streamlined means to replace ingredients in glaze recipe.

英文關鍵詞： Ceramics, Pottery, Glaze, Seger Formula, Glaze Formula

# 科技部補助專題研究計畫成果報告

(期中進度報告/期末報告)

## 釉藥塞格式表示法

### 應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗與分析

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 102-2410-H-144 -005 -

執行期間：102 年 08 月 01 日至 103 年 07 月 31 日

執行機構及系所：國立臺灣藝術大學工藝設計學系

計畫主持人：呂琪昌

共同主持人：

計畫參與人員：宋泊毅、熊悅玟

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 貳 份：

執行國際合作與移地研究心得報告

出席國際學術會議心得報告

期末報告處理方式：

1. 公開方式：

非列管計畫亦不具下列情形，立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否 是

3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考 否 是，\_\_\_\_\_（請列舉提供之單位；本部不經審議，依勾選逕予轉送）

中 華 民 國 103 年 10 月 15 日

# 釉藥塞格式表示法應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗與分析

## 摘要

釉藥是覆蓋在陶瓷器表面的一層玻璃質膜，更給人印象深刻的色彩、光澤等視覺表現能力。釉藥是由無機物所構成的非結晶性固態玻璃質，其原子間結構不具有一致性的排列方式，因而強烈受到燒成的溫度、氣氛，以及燒製過程的差異影響，而產生種種變幻莫測的效果。雖然充滿了擾人的變數，但也提供了更多藝術表現的可能性。

影響釉藥特性的最主要因素仍然是化學組成之成分及比例。現代釉藥研究多使用 H. A. Seger 博士所發展出來的公式——塞格式，藉以記錄其化學組成並作為探討釉藥性質的基礎。不過塞格式是以化學氧化物為組成元素，必需透過計算轉換為原料配方才能實際應用。陶瓷原料多為天然礦物，因產地或開採層位的不同而有差異；原料的不穩定特徵，給陶瓷製造業帶來了莫大的困擾。

筆者之前從事水庫淤泥作為陶藝釉藥的研究工作，曾經成功地透過塞格式資料將古代釉藥複製出來，但也不乏失敗的案例。此外，因為不同批次所獲得的淤泥成分有差異，故也嘗試透過塞格式之計算來轉換為新的配方。結果顯示，在相同的燒成條件下卻得到外觀截然不同的效果。是成分數據掌握不夠精確的問題，亦或是原料差異所產生的影響？將是本研究探討的重點。最後，也希望能找到一個有效的方式來解決原料的替換問題。

本研究之成果顯示，釉藥的「塞格式」組成數據確實能提供計算上最有利的運算基礎。透過合理及精確的數據運算，以及合宜的實驗過程，確實能以最精簡的手段得到釉藥原料的替換配方。以下是執行時應該注意的重點：

1. 本方案之執行必須先取得各原料之化學組成的精準數據。
2. 實施 Excel「規劃求解」的優化運算時，建議以「目標與配方之莫耳差的絕對值」之和的最小值作為「目標函數」。
3. 「 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 」及「 $\text{RO}/(\text{RO}+\text{R}_2\text{O})$ 」的比值可以作為約束條件，其值分別為 0.1 及 0.01 以內，在「規劃求解」的運算上也多能達成這一條件。
4. 應避免用「全部原料塞格式替換」的方案，而應以「局部或單一原料塞格式替換」的方式來執行，以避免受到原料之結構因素的影響。此一方式的「目標函數」儘可能要求在 0.7 以內。
5. 在新、舊原料交替的過渡階段，可以使用「局部比例替換」方案，但應透過實驗確認其比例與效果。

## 關鍵字：

陶瓷、陶藝、釉藥、塞格式（賽格式、賽格爾式）、釉藥公式

# An Examination and Analysis of Seger's Formula Applied to Pottery Glazes

## Abstract

Glaze as glass membrane that is covered on potteries. Glaze visually attracts people by bringing color and bright together. A glaze is a non-crystallized glass that is constructed by inorganic matters. The structure of atom is not arranged in consistently. It is affected by different temperatures, atmospheres, and firing processes, then comes out unexpected results. Although glaze experiments have many unexpected factors, it brings more possibilities in artistic expressions.

The characteristics of glaze are mainly affected by composition and proportion of chemistry. Currently many researches of pottery glaze are developed from H.A. Seger's idea which is called *Seger formula*. It is a series of empirical rules put forward by the H.A. Seger for the prevention of crazing and peeling. The formula takes down composition of chemistry and becomes a foundation in glaze research. The chemistry oxides are components of *Seger formula*. Chemistry components have to be converted to raw materials through calculation before using practically. Ceramics materials usually come from mineral substances. Different places give different qualities. These instable qualities always bring numerous troubles into ceramics industries.

I was engaging in a research project which exams ceramics glaze from reservoir silt. Although I successfully found ancient glazes through using *Seger formula*, there were many failed examples. Besides, I tried using *Seger formula* to transfer to another formula in order to find out new components, because of different qualities of reservoir silt. It shows completely different results, but they were in the same firing conditions. No matter calculation problems or component differences, it becomes the key point of this research. In the end, I also expect to find an effective way to solve problems of material replacement.

The results of this study show that the composition data of *Seger formula* can indeed provide the basis to calculate the most favorable operation. Through reasonable and accurate data operations, and appropriate experimental process, can really get the most streamlined means to replace ingredients in glaze recipe.

Keywords:

Ceramics, Pottery, Glaze, Seger Formula, Glaze Formula

# 報告內容

## 壹、前言

筆者前數年致力於將水庫淤泥應用於陶瓷釉藥的研究工作；其成果顯示，以水庫淤泥作為陶藝釉藥的方案是具體可行的：

1. 文化層面：延續中國陶瓷釉藥文化傳統的「泥漿釉」體系。
2. 環保層面：使用水庫淤泥入釉，除了減少對原物料的依賴外，也可部分地紓解水庫淤泥難以處理的問題，得到廢棄資源回收處理的雙重效益。並且，製釉的過程也不必擔心有太大的環境污染。
3. 經濟層面：優異的產品燒成率，以及水庫淤泥入釉的高效率使用，可有效地降低生產成本，創造良好的經濟效益。
4. 藝術層面：豐富美麗的釉色、質感，創造陶瓷產品的優異表現能力。

不過相對於現行的製釉原物料，水庫淤泥由於堆積批次或層位的不同，存在著更大的不穩定因素。筆者在進行「石門水庫淤泥應用於陶藝釉藥之研究」時，曾分三次於不同沈澱池採集淤泥，經儀器分析證實其化學成分存在著明顯的差異，而經直接替換使用也證明水庫淤泥含量在 20% 以上的釉多會有明顯的外觀差異性。

面對這樣的問題，比較簡單的方法是一次儲備較多的原料備用。但再多的原料也有用罄的時候，又該如何面對呢？重新調整、試驗，找出新的配方是唯一的解決之道。不過有些視覺表現極為優異的釉藥卻往往也是對成分較為敏感的釉藥，很不容易在短時間內透過傳統的「三軸試驗法」復原出來。

個人的研究案因仍屬於實驗性質，每次採集的淤泥不多，因此對此一狀況倍感深刻。淤泥原料比起廠商供應的礦物原物料、化工原料存在著更多的成分不穩定因素，如果期待將淤泥釉藥做更大的推廣與應用，如何面對原料成分的變化是一個重要課題。

## 貳、研究目的

原料成分的不穩定不僅只是存在於淤泥釉藥，同樣地也困擾著陶瓷產業及陶藝界。

陶瓷器的釉藥原料如長石、石英、白雲石、黏土等都是天然礦物，其化學組成也因產地之不同而存在著較大的差異。以最主要的原料——長石來說，就有所謂鉀長石、鈉長石、鋰長石、鈣長石的分別。而同樣是鉀長石，又有南非、印度、澳洲等產地的區別。除產地的問題外，同一原料因開採層位、地點的變動也會有明顯的差異。

原料的停產、停止進口往往造成陶瓷製造業、陶藝界的困擾。尤其是產量較大的陶瓷產業在面對成本的壓力下，更會主動尋找廉價的替代原料：「目前在臺灣瓷磚生產廠家所使用的生料有百分之七十至八十來自中國大陸，單價約為歐美進口生料的五至六成，價格雖然非常低廉。由於採礦資金、規模及技術並不成熟，產品品質不穩定」。

「當原料進貨品質有異時，以傳統的三軸試驗法去調整釉料配方，一次只能針對三支原料去調整，往往需要花費很大的人力及時間。此外由於大多數的原料都必需仰賴進口，交貨過程之中，經常會因為不可抗拒之因素延誤交期，如颱風、罷工、船舶故障等，



廠商生產之損失往往求訴無門，……」原料的不穩定，面對的是品質下降，亦或整批嚴重瑕疵而報銷的巨大損失。這樣的報怨，在產業界時常可以聽到。

本研究之最終目標：「找到一個有效的模式來更精準及效率地解決原料的替換問題」，其目的及重要性如下：

1. 提供陶瓷產業在面對原料的不穩定或調整時，以最有效率及最經濟的手段達成任務。相較於傳統的三軸試驗法，可以縮短實驗時程並減少人力消耗，避免因為不可抗拒之因素而延誤交期，造成廠商生產之損失。另外，也可以根據原料之售價，迅速且有效地更動原料，降低生產成本，爭取最大利潤。
2. 陶藝界對釉藥的細膩變化部分有著更嚴格的要求，傳統的三軸試驗法有時並無法達成這樣的任務。本研究希望能透過更細緻的手段，有效地復原出作者期望的釉藥表現形式。
3. 淤泥成分之不穩定，是許多人對淤泥應用於陶瓷釉藥的主要質疑，也是未來淤泥釉藥能否有效推廣的關鍵之一。問題之解決，當可提供使用者更高度的信賴感，對於淤泥的環保利用有實質的正面效益。

## 參、文獻探討

### 3.1 研究計畫之基礎——塞格式的釉化學式 (Seger's formula)

陶瓷釉藥的釉方可以用「原料」或「化學成分」作為組成的單元。「原料」又可以用「容積」或「重量」作為計量單位，「化學成分」則有「重量」或「莫耳數」兩種不同形式。不過目前最常見的表示方式是「原料重量比例表示式」、「化學成分重量比例表示式」和「化學成分莫耳比例表示式」等三種。

其中的「化學成分莫耳比例表示式」是以化學氧化物的莫耳數比例來表示。「莫耳數」是原子或分子的數量單位，最能夠呈現出化學反應的實質內容。因此，這種表示法可以更有效的觀察釉藥的性質，如熟成溫度、物理、化學、呈色等。這是的 H.A. Seger 博士 (1839-1893) 所發展出來的公式，所以一般稱之為「塞格式」，廣泛地被現代釉藥研究所採用。但是，塞格式是以化學氧化物為組成元素，所以仍需透過計算轉換為原料配方才能實際應用。

塞格式最顯著的成就，還在於將釉藥的化學成分區分為鹽基(鹼)性、中性、酸性三組，以呼應玻璃質的形成方式，即： $RO \cdot xR_2O_3 \cdot yRO_2$

- (1) RO：鹽基(鹼)性，為玻璃網目修飾物，或稱媒熔劑。
- (2)  $R_2O_3$ ：中性(兩性)，為網目安定劑。
- (3)  $RO_2$ ：酸性，為玻璃網目形成物。
- (4) x、y 分別為  $R_2O_3$  及  $RO_2$  相對於 RO 的莫耳數比值。

現在的釉藥學者多同意，塞格式除了無法直接使用外，是所有釉表示式中最完善的，並認為有如下的優點：(薛瑞芳，釉藥學，p.70)

- (1) 容易記憶、分類、整理。
- (2) 有助於系統性試驗的規劃、分析、修改內容。

- (3) 方便相近的釉，或同類型的釉的比較，判斷釉組成是否合理可用。
- (4) 從釉式的內容，判斷的諸性質與大致的熟成溫度。
- (5) 利用同一個釉式計算出不同原料所調配的不同釉方。
- (6) 利用同一個釉式可在不同的地區以不同的礦物調出相似的釉方。

### 3.2 國內外有關本計畫之研究情況

#### 3.2.1 塞格式有利於應用在原料替換的說法

程道腴在《陶瓷釉藥學》的〈原料替換〉(臺北：徐氏基金會，1975年)小節：「陶瓷配料中，常想另找一種原料，來替代某種原料，而釉中各氧化物的比例量不變，有時候也用另一種氧化物來替代這種氧化物。……如果有一批複雜的替代品要用時，最好先算出這種混合物的公式(塞格式)，然後組合一新的配方，採用一些配料中所需要的原料。」

強調塞格式有利於應用在原料替換說法的，還有以下文獻：

- (1) 程道腴譯，Daniel Rhodes 著，《製陶瓷用的黏土和釉》，臺北：徐氏基金會，1980年，頁108-109。
- (2) 范振金，《配釉自己來》，臺北：五行圖書，2002年，頁49。
- (3) 薛瑞芳，《釉藥學》，新北：鶯歌陶瓷博物館，2003年，頁95。
- (4) Green, D., *A Handbook of Pottery Glazes*, New York: Watson-Guptill Publications, 1979.
- (5) Norsker, H., Danisch, J., *Glazes - for the Self-reliant Potter*, Informatica International, Inc., 1993.
- (6) Burleson, M., *The Ceramic Glaze Handbook: Materials, Techniques, Formulas*, Charlotte: Baker & Taylor Books, 2003.

#### 3.2.2 塞格式的相關特性探討及其優異性研究

從理論來看，塞格式(化學成分莫耳比例表示式)應該是所有釉藥表示式中最具學術性的表示法。藉由塞格式的數據，最足以判斷釉藥的特性，並可以作為目標值來調整所使用的原料。關於塞格式的相關特性探討及其優異性研究，有如下的論文：

- (1) 徐小莉，〈無鉛釉配方〉，《佛山陶瓷》，1998年1期，頁38-40。
- (2) 俞康泰、胡亞萍，〈對塞格爾式理論的修改和補充〉，《陶瓷》，1999年2期，頁12-13、29。
- (3) 賀宗武，〈陶瓷釉料始熔溫度計算公式研究〉，《佛山陶瓷》，1998年1期，頁11-13。
- (4) 李堅萍，〈陶藝三角座標試釉法與塞格式試釉法效能之比較研究〉，《臺北市立師範學院學報》，2004年9月，頁43-69。
- (5) 李堅萍，〈陶藝塞格式釉方數值與比率之最適區間研究〉，《國立臺北教育大學學報》，2006年9月，頁51-68。

(6) 葉柏均 (李堅萍指導), 〈重量比率表示式與莫耳當量表示式試釉法效能之比較研究〉, 《國科會大專學生參與專題研究計畫研究成果報告》, 2004年2月。

(7) Fröberg, L., Factors Affecting Raw Glaze Properties, Academic Dissertation, Åbo Akademi University, Process Chemistry Centre, 2007.

徐小莉的〈無鉛釉配方〉乃「根據塞格爾式的基本組成,簡述了各氧化物對無鉛釉性能的影響,提出了在不同的燒成溫度下,不同用途釉的各種組成建議的限量。」

俞康泰、胡亞萍的〈對塞格爾式理論的修改和補充〉認為:「塞格爾式用來表示釉有它的很大的不足和局限前言性。即它只有在中性氧化物僅為  $Al_2O_3$ 、酸性氧化物僅為  $SiO_2$  時,才能比較真實地反映釉的組成和性質。而當組成中含有  $Fe_2O_3$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $B_2O_3$ ;  $TiO_2$ 、 $ZrO_2$  等時,塞格爾式就變得複雜起來,就會出現很大的偏差,……」

賀宗武的〈陶瓷釉料始熔溫度計算公式研究〉在塞格爾式化學組成的基礎上,介紹了陶瓷釉料始熔溫度實用計算公式和公式的運用及效果。

李堅萍在〈陶藝三角座標試釉法與塞格式試釉法效能之比較研究〉一文中,有如下之塞格式試釉法優於三角座標試釉法的結論:「(1)塞格式試釉法較三角座標試釉法尋獲成功釉方比率高約三倍;(2)三角座標試釉法較塞格式試釉法節省時間約五倍;(3)塞格式試釉法與三角座標試釉法耗用材料量相當。」

並認為:「塞格式試釉法是以釉方化學成份元素的莫耳當數量,作為釉方表示式的試釉方法。此試釉法特質:(1)以莫耳當量表示釉方組成成份,表示方式最為精確;(2)釉方以化學元素符號表示,放諸四海皆準,利於流傳;(3)就莫耳當量表示式釉方,即能大略判讀釉方的適當燒成溫度與透明性質……」

對於塞格式中有關釉藥特性與其表示式的數值關係,在〈陶藝塞格式釉方數值與比率之最適區間研究〉中則談到:「塞格式據以預測釉方良窳與透明度最重要的數值與比率:中值(x)、酸值(y)、酸鹼比(1:y)與中酸比(x:y)等,文獻卻顯示眾說紛紜。」

Linda Fröberg 的論文則針對釉藥的化學組成以及燒成的快慢等因素進行探討,其方法乃透過儀器對燒成樣品進行觀察及分析,重點在於無光釉的結晶形態,物理、化學特性,以及其對光澤度、化學強度、清潔能力等的影響。

「塞格爾式用來表示釉有它的很大的不足和局限前言性」、「文獻卻顯示眾說紛紜」等詞都說明了塞格式雖然有許多優點,但由於釉藥組成及燒成情境的諸多複雜性,研究者得到的結論產生很多相異的狀況。

### 3.2.3 陶瓷釉料原料替代及配方優化計算之研究

目前蒐集到與本申請案之研究目的最相近的是郭文河等人的〈應用基因演算法於磁磚面釉配方最佳化〉(《元智大學資訊管理技術系人工智慧暨資訊專題參考範例》,2005年,頁17-31。)一文。此篇論文係配合某磁磚釉藥公司實際遭遇的問題而合作的研究,主要目的為:

- (1) 釉藥配方最佳化:在滿足某些釉性條件下,產生成本最低的配方。
- (2) 原料變動時配方調整:配方中某些原料的化學成分變動超出標準範圍時,由系統重新產生與元配方相同條件的調整配方。

- (3) 原料缺貨時配方取代：配方中某些原料缺貨時，在同性質的條件下，以替代原料產生新的替代配方。

論文之研究目的(2)、(3)兩點與本研究計畫申請案相同，但是最後所呈現的只是開發了一套釉藥原料的資料庫及釉方計算軟體。至於實際運用成果如何，並沒有任何的驗證資料。不過在〈結果與討論〉中提到：「尚有一些可繼續改進之處：1.未來可納入釉藥之物性及發色因素，以使配方更輔合實際要求（目前無精確數據提供）。2.燒成條件不易納入系統（燒成條件差異不易掌控）。3.原料之化分資料為抽樣分析而得，系統無法判定各個單原料之穩定性。未來可就各原料之穩定性，納入風險考量模式，精算其成本。」似乎結果與原來期待的還有段距離。

以結果而論，與前述論文相近的還有以下諸篇：

- (1) 肖著珏、周飛濤，〈釉料配方優化計算方法的程序設計〉，《電瓷避雷器》，1989年6期，頁24-29。
- (2) 余正德，〈陶瓷坯釉配方設計計算機輔助系統的開發〉，《陶瓷工程》，1999年6月，頁25-28。
- (3) 劉軍章、張洪勤，〈陶瓷坯釉料配方研究計算軟件包的設計〉，《陶瓷》，2000年3期，頁12-17。
- (4) 王志強、姜群英、溫其兵，〈釉料配方優化設計的通用方案開發〉，《中國陶瓷》，2001年8月，頁37-39。
- (4) 陸強，〈陶瓷坯釉料配方設計及其優化方法研究〉，《中國陶瓷工業》，2009年8期，頁23-26。
- (5) 向明、羅賢海，〈遺傳算法在陶瓷釉料配方研制中的應用〉，《中國陶瓷》，2009年2期，頁59-61。
- (6) 楊云、王秀峰，〈陶瓷坯釉料配方優化算法的設計與實現〉，《功能材料》，2009年8期，頁1409-1412。
- (7) Kronberg, T. Hupa, L. and Fröberg, K., Optimizing of Glaze Properties, Ceramic Engineering & Science Proceedings, 2001, 22(2), 179-189.

另外在國內外也開發了許多相關的軟體來處理陶瓷計算及相關的資料庫等問題，如 Insight、GlazeChem、The Glaze Calculator、Matrix、Clayart、GlazeMaster、釉藥計算軟體、陶藝釉藥研究管理系統等，對於釉藥從化學成分轉換為原料之重量比例問題提供了比較方便的解決辦法。

不論是現成的軟體或相關的研究主要都是提供有效的運算模式，藉以將化學成分轉換為原料重量比例。但是，運算出來的資料是否能提供直接應用，並沒有明確的驗證資料。

筆者以為：相關於優化計算成果的關鍵是「目標函數」的設定。陸強是以最低成本來做為規劃的目標函數，並將約束條件設定為目標配方值。而其它相關於釉藥優化計算的論文也多採用最低成本來做為規劃的目標函數。只有王志強等則提供了三種目標函數方案：(1) 原料總成本的極小值、(2) 計算值與理論值的絕對誤差總和的極小值、(3) 效益/成本之比的極大值。其實就一般陶瓷產業而言，釉藥原料成本只是其中一小部分。

因此，筆者的「目標函數」選用王志強的第二方案，即計算值與理論值的絕對誤差總和的極小值，將會達到更好的結果。

另外就是成分計算值的問題，多數的相關論文在計算上都是以「重量百分組成」作為計算依據。其實釉藥成分元素的相互作用，是以原子或分子為構成單元，因此用塞格式數據的莫耳比值才能夠得到更好的計算結果。基於這樣的認知，筆者將採用「目標與配方之莫耳差的絕對值」之和的最小值作為「目標函數」。

#### 肆、研究方法

本研究根據研究目的，採用自然科學之「實驗研究法」來驗證新釉方與原釉方在相同燒成情境下所得成果的外觀差異。其差異程度則以：「熔融度」、「流動性」、「光澤度」、「縮凝性」、「透明度」、「皸裂度」、「結晶性」、「肌理」等來觀察，藉以評估塞格式運用在原料替換時對以上各面向所能達成的精準度。

原申請案所擬定之實驗過程及方法在經過初步的執行後，發現其中所規劃之不同的SiO<sub>2</sub>原料方案在執行上有其難度且無法獲得預期的成效。另外，將Excel「規劃求解」與「三軸試驗法」分開執行的兩階段作法，也在成本及效率表現上較為不佳。因此，最後的實驗過程（圖1）及執行重點修正如下：



圖1 實驗流程與方法

1. 為有效收束研究研究焦點，本研究對所使用之原料均重新測定其化學成分，並選擇相同之坯土載體，以及同窯燒製控制燒造情境等，力求排除無關變項。
2. 為了讓原料配方能儘量趨近於原釉方的塞格式組成數值，將透過 Excel 文書處理軟體的「規劃求解」功能來進行優化運算。本研究旨在驗證原料替換後的精準度，故先不考慮成本因素(以往的研究案多以成本為首要考量)，而以各氧化物的差異值之總合取其最小值作為目標函數。另外考察現有文獻之有關中值(x)、酸值(y)、酸鹼比(1:y)與中酸比(x:y)等的影響效力資料，設定約束條件，力求新釉方與原釉方能配合塞格式之相關理論達到最接近的數值。
3. Excel「規劃求解」之約束條件設定，擬規劃不同方案進行優化計算，藉以觀察其對所能達成精準度的影響。
4. 為擴展釉方的實驗點，將計算所得之原料配方作為「三軸試驗法」的參考點，執行「多點式重量比例數據」的擴充性實驗手段，藉以尋找最合適之釉藥配方。
5. 在燒成結果之精準度的判讀上，以原釉方之燒成試片作為標準，各新釉方的燒成試片則在前列諸面向上逐一與之比較。為求客觀解讀其差異度，邀請專家3人以「五點量表」作差異性檢定，以量化數據評斷塞格式應用於陶瓷釉藥配方的精準度。
6. 預期達成之目標為：
  - (1) 塞格式應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗的結論。
  - (2) 尋求釉藥原料替代處理的最佳操作模式。
  - (3) 數據資料提供作為更深入研究的方案擬訂。

## 伍、結果與討論

### 5.1 實驗釉方之選擇

本研究案的首要目標在解決水庫淤泥釉藥之不同批次淤泥的替換問題，故選擇前此研究中較為特殊的釉方作為驗證標本。其名稱、編號、特徵如下：

1. 金星紫金釉（編號 Da112-1、淤泥含量：50%、燒製溫度：1280°C）：此釉除呈現優異的紫金色澤外，在釉面還散佈許多金、銀色斑點。這些斑點是懸浮在釉層中的金屬氧化鐵板狀晶體，能反射光線而閃耀光芒，如同天然的砂金石礦一般，非常具有特色。
2. 烏金鏡面天目（編號 Da138-1、淤泥含量：20%、燒製溫度：1280°C）：本釉為純屬氧化鐵發色，具透明度的天目體系。隨著釉之厚薄變化而展現極為豐富的層次感。
3. 油滴天目·兩點釉（編號 Db100-a3、淤泥含量：65%、燒製溫度：1290°C）：此釉的特徵在於具備了氧化鐵結晶斑點——油滴斑，燒成結果與氧化鐵含量、升溫曲線等都有較大的關係。
4. 黑天目（編號 Dc113、淤泥含量：60%、燒製溫度：1280°C）：呈現溫潤厚實的黑色調，與釉下鐵繪搭配使用可以得到宋代所謂「鐵鏤花」的裝飾效果。

5. 油滴天目・豹斑紫金釉 (編號 Rc105、淤泥含量：80%、燒製溫度：1290°C)：也屬於油滴釉類型之結晶，但可能因為釉藥熔融度、黏稠度等因素，斑紋較為漫漶。
6. 青瓷 (編號 Rb149、淤泥含量：10%、燒製溫度：1280°C)：由於青瓷的氧化鐵含量不能太高，因此使用的淤泥也較少，為 10%。本釉燒成狀況穩定，施於雪白瓷土或日本 26 號瓷土坯的發色極佳，與南宋龍泉青瓷的精品非常相似，且無開片現象。

作品圖片			
編號名稱 燒成溫度 淤泥含量	da112-1 (金星紫金釉) 1270°C RF 50%	da138-1 (烏金鏡面天目) 1270°C RF 20%	db100-a3 (金油滴釉) 1290°C OF 65%
作品圖片			
編號名稱 燒成溫度 淤泥含量	dc113 (黑釉鐵鏽花) 1280°C RF & OF 60%	rc105 (豹斑油滴釉) 1290°C OF 80%	rb149 (粉青釉) 1270°C RF 10%

## 5.2 Excel「規劃求解」

在釉藥成分的計算上，筆者以往雖然也採用 Excel 軟體輔助計算，但在原料及其數量的選用上仍然採用了人工調整、比對的方式來處理。其後在文獻上找到所謂的「優化計算」的相關資料，其中最簡便易行的就是利用 Excel 文書處理軟體的「規劃求解」功能來進行。兩相比較，Excel「規劃求解」的方式確實優越許多，不僅能更多地考慮到釉藥成份的相互關聯性，同期在誤差方面也更精準，時間效率更是難以比較。以下就「規劃求解」的具體作法以圖 2 為例敘述如下：

1. 啟用 Excel 的「規劃求解」功能。如果表之「工具(T)」選項並無「規劃求解」一項，則需則點選「增益集(I)...」設定「規劃求解」之啟用。
2. 在 Excel 表格上建立一個原料及氧化物名稱的表單 (黃色網底部分)。
3. 完成「目標含量」列包括「化學組成重量百分比」及「塞格式莫耳數據」的規劃。未來要計算時只要先將該釉藥的化學組成重量百分比數據對應填入 C3 ~ K3 中，即可得出該釉藥的塞格式。(天青色網底部分)

4. 將「目標含量」列 M3~X3 的塞格式運算資料下拉複製至 M3~X3 儲存格，即可完成與「計算含量」相關的塞格式計算。
5. 填入分析值數據：直接將原料的化學組成分析值依相對應之位置填入，如「日化長石」的化學組成重量百分比數據為  $\text{SiO}_2=72.37\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3=15.19\%$ ……。則將數值 72.37 填於「日化長石」的橫列與「 $\text{SiO}_2$ 」的直欄相交會的方格內。數值 15.19 填於「日化長石」的橫列與「 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 」的直欄的交會位置。依此方法將所有原料的化學組成分析值填入相對應的位置（淡紫色網底部分）。
6. 選取求算的數值空格（B6~B24，即表中紅色粗線框範圍），此一區域乃求解後各原料數量的出現位置。選取後在 Excel 畫面左上角之「名稱方塊」內鍵入「Value」為名稱（也可用其它名稱）。並且，設定 B4 為「原料總重量」之儲存格，其函數為「=SUM(Value)」。
7. 在緊鄰「Value」區塊的右側，選取各原料的  $\text{SiO}_2$  含量數據區，在「名稱方塊」內鍵入「sb\_1」的名稱（表中黑色粗線框範圍）。同理，設定  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量數據區為「sb\_2」，CaO 含量數據區為「sb\_3」……， $\text{P}_2\text{O}_5$  含量數據區為「sb\_9」。
8. 目標方程式的計算結果為「計算含量」這一系列，即 C4~K4 儲存格（紅色雙線框範圍）。目標方程式之計算公式為 Value 與（sb\_1 或 sb\_2 或……sb\_9）兩陣列之乘積和。例如 C4 為 Value 與 sb\_1 兩陣列之乘積和除以「原料總重量（B4）」，D4 為 Value 與 sb\_2 兩陣列之乘積和除以原料總重量，依此類推。以 C4 為例，設定方法為在「資料編輯列」輸入「=SUM(Value\*sb\_1)/B4」後按下 Ctrl+Shift+Enter，就會在兩端出現大括號成為 {=SUM(Value\*sb\_1)/B4}，如此就能進行「陣列運算」。必須用同樣方法把所有的「計算含量」這一系列，即 C4~K4 儲存格設定完畢。
9. 將第 5 列「含量差值/調整係數」設為「目標含量」與「計算含量」之差的「絕對值」，絕對值的 Excel 函數為「=ABS(number)」。以 C5 為例，在其「資料編輯列」內輸入「=ABS(C4-C3)」。其右邊的 B5~K5 儲存格，可由 C5 複製的方式來完成。
10. 目標函數的設定：設 B26 為目標函數值的儲存格，並在其變數儲存格內輸入「=SUM(N5:V5)」，即塞格式數據的「目標含量」與「計算含量」之差的「絕對值」之和（橘色網底部分）。如果  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  不予採計，則輸入「=SUM(N5:T5)」。
11. 上面所有的項目在設定及輸入完成後即可進行「規劃求解」的計算(圖 4-5)。計算時要先選定 B26 (\$B\$26) 為「目標儲存格」，其目標值設為「最小值」。然後在「變數儲存格」填入「Value」，代表 B6~B24。
12. 原料數計算：設定 B25 為原料數的儲存格，其 Excel 函數為「=COUNTIF(Value, ">0")」。



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		優化用量	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	I.G. Loss	係數
2	分子量		60	102	56	40	94	62	160	80	142		
3	目標含量	100	61.539	11.597	5.6138	1.5180	4.1785	1.6525	5.7897	0.4876	0.1256		0.209
4	計算含量	100	62.205	11.855	5.7299	1.5625	4.0918	1.6528	5.8525	0.0447	0.0229		0.211
5	含量差值/調整係數	1.77986	0.6668	0.2571	0.1160	0.0445	0.0867	0.0002	0.0627	0.4428	0.1026	0	
6	石門水庫淤泥-d	40.77662	62.31	16.52	0.81	2.29	2.96	2.29	6.84		0	5.35	
7	日化長石	0	72.37	15.19	0.61	0.05	6.49	4.51	0.19	0.04		0.54	
8	霞石正長石	0	58.56	23.39	0.53	0.05	5.65	11.28	0.1	0.01		0.43	
9	印度鉀長石	23.28208	66.39	17.54	0.74	0.04	12.06	2.68	0.09	0.02		0.44	
10	釜戶長石	0.59902	77.5	12.23	1.1	0.03	6.29	2.49	0.12	0.01		0.23	
11	鈉長石	0.70937	68.02	18.71	1.32	0.12	0.48	10.74	0.13	0.07		0.42	
12	稻穀灰(太盟)	0	89.24	0.2	1.17	0.83	5.2	0.97	0.21	0.01	1.15	1.01	
13	美國白土	2	42.38	39.24	0.38	0.17	0.48	0.03	1.26	1.64		14.42	
14	合成土灰	0	17.28	2.55	36.37	5.16	0.17	0.03	0.28		2.7	34.42	
15	合成稻草灰	0	82.04	6.31	2.9	0.92	1.82	1.21	0.11		2.64	1.59	
16	合成稻穀灰	0	83.49	3.55	4.22	1.04	0.21	0.01	0.18		2.7	3.36	
17	輕質碳酸鈣	8.871958	0.7	0.08	54.72	1.21	0.13	0.03	0.07			43.04	
18	白雲石	0	0.22	0.07	33.89	19.13	0.06		0.09	0.01		45.74	
19	滑石	1.419087	59.63	0.08	1.46	31.19	0.09	0.02	0.39	0.03		7.1	
20	碳酸鎂	0	0.14	0.08	14.61	31.16	0.07	0.01	0.12	0.01		53.8	
21	骨灰(磷酸鈣)	0.762655	18.58	2.47	41.11	8.09	0.44	0.02	0.14	0.06	3.01	26.67	
22	石英	18.5042	99.7	0.06	0.05	0.01	0.04		0.04	0.02		0.09	
23	氧化鐵	3.075016	1.56	0.2	0.18	0.05	0.09	0.01	97.41	0.07		0.43	
24	氧化鈦	0	0.06	0.15	0.09	0.08	0.23		0.03	98.83		0.54	
25	原料數	10											
26	目標函數	0.022051											

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/(R <sub>2</sub> O+RO)	膨脹係數
2											
3	0.478955	0.181317	0.212382	0.127346	0.543253	4.900269	0.172886	0.029122	0.004226	9.020229	0.660271
4	0.483614	0.184638	0.205745	0.126003	0.549343	4.900269	0.172887	0.002644	0.000764	8.920229	0.668252
5	0.004659	0.003321	0.006638	0.001343	0.00609	1.41E-09	1.03E-07	0.026478	0.003462	0.1	0.007981

圖 2 從塞格式換算為礦物原料配料軸方的 Excel 規劃求解方案

13. 設定「限制式」，即所謂的「約束條件」。筆者習慣的設定原則如下：

- (1) 約束條件(1)：能直接應用的軸方均用原料的重量百分組成來表示，因此將「計算含量」設定為 100。也可以稍微給予一些合理誤差如 100±5。

- (2) 約束條件(2)：主要是所使用原料重量的設定問題。例如需要美國白土 2% 作為黏著及懸浮材料，或磷酸之數量不能太高等，都可以加以設定或限制。又因為目的在於利用水庫淤泥入釉，也可以強制將其用量限定在某數值之上。此外，某些供應狀況較不穩定，抑或價格太高的原料也可暫時先予排除而設定其數值為 0。
- (3) 約束條件(3)：原料使用種類數的設定。一般釉藥其原料數太少則穩定性會較差，太多原料數又會增加配釉時間及人工成本。因此，一般使用數大都在十種原料以內。
- (4) 約束條件(4)(5)：為  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  及  $\text{RO} / (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$  配比的差額之絕對值設定選項（淺綠色網底部分）。本研究將  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  的差額絕對值設定在 0.5 之內， $\text{RO} / (\text{RO} + \text{R}_2\text{O})$  的差額絕對值在 0.05 之內，兩者的相對比值大約是 10：1。不過在運算時可以設定得更小，如 0.1 與 0.01；若無法得到合適的解再予以逐步加大。又若放寬到 0.5 與 0.05 也無解，則必須再考慮修改前述其它的約束條件。
14. 設定完成後即可進行「規劃求解參數」之運算操作（圖 3）。

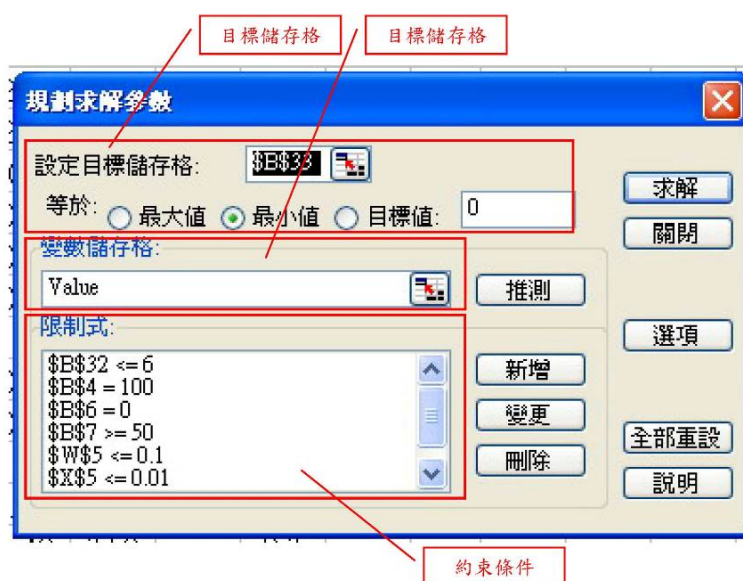


圖 3 Excel 規劃求解的「規劃求解參數」視窗及其設定

### 5.3 原料替換方案及實驗結果

本研究根據目標，共採用了三種不同的原料替換方案，包括「全部原料塞格式替換」、「淤泥部分塞格式替換」，以及「淤泥局部比例替換」等，其結果分述如下：

#### 5.3.1 全部原料塞格式替換方案

本方案在以前之研究案中就已經初步嘗試過，但結果卻非常不理想。由於其中之不確定因素很多，如原料成分的精確度、計算的精準度等。此次研究在這一部分的改進，包括對所使用之原料均重新測定其化學成分，透過 Excel「規劃求解」進行計算等。

本方案除企圖尋找替換之釉方外，重點還在於對「塞格式」應用範圍及能力的瞭解。現在的釉藥學者多同意，塞格式除了無法直接使用外，是所有釉表示式中最完善的。不過，「塞格式」的重點主要是釉藥的化學成分，並未涉及不同原料的晶型結構等因素，是否能有效表達釉藥的最終結果，是值得懷疑的重點。為了比較不同約束條件所產生的結果差異，本研究在計算「目標函數」時採取以下幾個方案：

- a. 目標函數=SUM(N5:T5)
- b. 目標函數=SUM(N5:T5)+V5+W5
- c. 目標函數=SUM(N5:T5)+2\*V5+W5
- d. 目標函數=SUM(N5:T5)+3\*V5+W5
- e. 目標函數=SUM(N5:T5)+V5+2\*W5
- f. 目標函數=SUM(N5:T5)+V5+3\*W5

「SUM(N5:T5)」為主要氧化物的莫耳數差額之絕對值的總和，「V5」、「W5」分別為「 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 」及「 $\text{RO}/(\text{RO}+\text{R}_2\text{O})$ 」的差額之絕對值。故上述 a 方案只採計主要氧化物的莫耳數差額部分，其它方案則兼顧了「 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 」及「 $\text{RO}/(\text{RO}+\text{R}_2\text{O})$ 」的差額，但採計比例不同。

燒製完成後之釉片樣本經由三位專家以五點量表進行評分，評分項目包括：熔融度、流動性、光澤度、縮凝性、透明度、皸裂度、結晶性、色澤、肌理等 9 項。其評分結果與 Excel「規劃求解」之「目標函數」（主要氧化物的莫耳數差額之絕對值總和）的關係如表 1 所示，經分析可歸納出以下幾個特點：

1. 燒成結果與原釉方仍然存在較大差異，平均分數能夠達到 4.75 以上的試驗釉方極其有限，說明將全部原料之成分透過塞格式運算的方案並不能一次到位解決原料的替換問題。
2. 隨著「目標函數」之值的增加，其燒成結果也普遍與原釉方產生更大的差距；一般而言要控制在 0.2 以下才有可能得到比較接近的燒成效果。此結果說明「塞格式」在釉藥研究的應用上仍然有其重要的價值。
3. 前述預設的六種「目標函數」計算方案仍以 a 案的實驗結果較佳，即只採計主要氧化物的莫耳數差額部分。因為增加「 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 」及「 $\text{RO}/(\text{RO}+\text{R}_2\text{O})$ 」的差額之考量，必將明顯地提高「目標函數」值而影響到各組成成分的精確度，反而產生不良的影響。大致而言，將「 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 」及「 $\text{RO}/(\text{RO}+\text{R}_2\text{O})$ 」分別約束在 0.1 及 0.01 以內即可，並且在「規劃求解」的運算上也多能達成這一條件。
4. 在各評分項目的表現狀況，以「皸裂度」及「透明度」的表現最佳。不過此部分牽涉到黑釉不易鑑別的問題，所以只能供做參考。其次則為「熔融度」與「流動性」，尤其在還原氣氛燒成時差異度更小。最難達成的是「結晶性」、「色澤」、「肌理」三個部分，尤其是對含鐵量較高的水庫淤泥釉藥而言，氧化鐵在助熔能力、結晶行為等的表現上皆極為敏感，使得這一部分的效果成為成敗關鍵。

表 1 「全部原料塞格式替換」之釉片燒成評分結果與目標函數關係一覽表

釉藥編號	試片編號	目標函數	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/R <sub>2</sub> O+RO	平均分數	氧化平均	還原平均
Da112-2	A1	0.022051	0.1	0.008	4.7778	4.7778	4.7778
	A-a10	0.013448	0.1	0	4.5185	4.4444	4.5926
	A-b10	0.46144	0	0.0069	4.1852	4.0741	4.2963
	A-c10	0.513245	0	0.003	4.1852	4.0741	4.2963
	A-d10	0.177201	0	0.000169	4.6667	4.6296	4.7037
	A-e10	0.129165	0	0	4.4444	4.3704	4.5185
	A-f10	0.132187	0	0	4.5556	4.5185	4.5926
	A-a20	0.023357	0.1	0.0088	4.7593	4.6667	4.8519
	A-b20	0.278958	0	0.01	4.7333	4.7778	4.7037
	A-c20	0.56059	0	0.01	4.2963	4.2593	4.3333
	A-d20	0.222469	0	0.01	4.7407	4.6667	4.8148
	A-e20	0.227602	0	0.01	4.4722	4.3333	4.5185
	A-f20	0.225972	0	0.01	4.5185	4.4815	4.5556
釉藥編號	試片編號	目標函數	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/R <sub>2</sub> O+RO	平均分數	氧化平均	還原平均
Da138-1	B1	0.191243	0.2	0.02	4.5741	4.4074	4.7407
	B-a10	0.222159	0.1	0.01	4.3889	4.2963	4.4815
	B-b10	0.960004	0	0.01	3.8148	4	3.6296
	B-c10	0.584287	0	0.01	4.0926	4.1111	4.0741
	B-d10	0.980459	0	0.01	3.7593	3.9259	3.5926
	B-e10	0.461621	0	0.01	4.4167	4.3889	4.4444
	B-f10	1.011008	0	0.01	3.6111	3.7407	3.4815
	B-a20	0.400121	0.1	0.01	4.2778	4.1111	4.4444
	B-b20	0.728063	0	0.01	4.1481	3.8519	4.4444
	B-c20	0.771164	0	0.01	3.7778	3.7037	3.8519
	B-d20	1.188457	0	0.003694	3.5556	3.6296	3.4815
	B-e20	0.588557	0	0.01	4.1296	3.963	4.2963
	B-f20	1.139005	0	0.01	3.4745	3.5787	3.3704
釉藥編號	試片編號	目標函數	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/R <sub>2</sub> O+RO	平均分數	氧化平均	還原平均
Db100-a3	C1	0.267292	0.099	0.006	4.6481	4.7037	4.5926
	C-a10	0.112156	0.025932	0.009953	4.7037	4.5556	4.8519
	C-b10	0.672364	0	0.01	4.2778	4.4444	4.1111
	C-c10	0.846634	0	0.01	3.7963	3.7407	3.8519
	C-d10	0.336533	0	0.0099	4.5556	4.4815	4.6296
	C-e10	0.163161	0	0	4.4444	4.3333	4.5556
	C-f10	0.794752	0	0.0039	3.8333	3.963	3.7037
	C-a20	0.121922	0	0	4.6852	4.5556	4.8148
	C-b20	0.702864	0	0.01	4.037	4.2593	3.8148
	C-c20	0.46353	0	0.005	4.537	4.6296	4.4444
	C-d20	0.292247	0	0.0077	4.5926	4.5185	4.6667
	C-e20	0.177319	0	0.00195	4.5185	4.4815	4.5556
	C-f20	0.878066	0	0.01	3.6296	3.6667	3.5926

釉藥編號	試片編號	目標函數	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/R <sub>2</sub> O+RO	平均分數	氧化平均	還原平均
Dc113	D1	0.513224	0.1	0.004	4.3889	4.3333	4.4444
	D-a10	0.121161	0.1	0.007656	4.5556	4.5926	4.5185
	D-b10	0.602896	0	0.0096	4.1296	4.1852	4.0741
	D-a20	0.096634	0	0	4.5	4.4815	4.5185
	D-b20	0.607168	0	0.01	3.9815	3.8519	4.1111
	D-c20	0.602518	0	0.0178	4.0185	3.9259	4.1111
	D-d20	0.60971	0	0.013	4.0185	3.9259	4.1111
	D-e20	0.597496	0	0.0192	4.0185	3.9259	4.1111
釉藥編號	試片編號	目標函數	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/R <sub>2</sub> O+RO	平均分數	氧化平均	還原平均
Rc105	E-a10	0.164219	0.1	0	4.6667	4.8148	4.5185
	E-b10	0.226914	0	0.01	4.7222	4.8148	4.6296
	E-c10	0.24442	0	0.0038	4.7963	4.8519	4.7407
	E-d10	0.49075	0	0.004	4.7037	4.7037	4.7037
	E-e10	0.274172	0	0.0004	4.7037	4.8519	4.5556
	E-f10	0.442293	0.0016	0.0001	4.7222	4.8148	4.6296
	E-a20	0.110949	0.000169	0.000108	4.7222	4.8519	4.5926
	E-b20	0.143893	0	0	4.7222	4.8148	4.6296
	E-c20	0.200977	0	0.00339	4.7963	4.8519	4.7407
	E-d20	0.174587	0	0.0026	4.7407	4.7407	4.7407
	E-e20	0.232121	0	0.0008	4.6481	4.7778	4.5185
	E-f20	0.195057	0	0	4.7037	4.7778	4.6296
釉藥編號	試片編號	目標函數	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO/R <sub>2</sub> O+RO	平均分數	氧化平均	還原平均
Rb149	F-a10	0.117323	0.1	0.01	4.537	4.5926	4.4815
	F-b10	0.224006	0	0.01	4.1296	4.0741	4.1852
	F-c10	0.281988	0	0.01	3.8889	3.8148	3.963
	F-d10	0.326664	0	0.001735	3.6852	3.3704	4
	F-e10	0.644658	0	0.00142	3.5556	3.1852	3.9259
	F-f10	0.285104	0	0.0058	3.7778	3.5185	4.037

### 5.3.2 淤泥部分塞格式替換方案

此一方案僅針對淤泥部分的「塞格式」分析值進行替換之計算，其有利之處為讓大部分的原料仍然維持原配方，從而將原料之分子結構所可能產生之影響降到最低。不過此法比較不易獲得「目標函數」極低的精確替換值，所求得之解在化學成分上會比上一方案的精準度低一些。以此次研究所使用的四種淤泥——石門水庫淤泥 a、c、d 及日月潭淤泥為例，其原始組成及以石門水庫淤泥 a 為替換標的之計算結果如表 2、3。其「目標函數」均在 0.65 以上，相較於前一方案之 a 案的 0.2 以下，顯然高出不少。

表 2 本研究所使用的四種淤泥之「化學成分重量比例表示式」

淤泥名稱	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
石門水庫淤泥-a	64.5	12.8	0.27	2.75	4.52	0.68	7.6	0.9	0.25	0.14	8.5838
石門水庫淤泥-c	63.8	17.8	0.61	2.27	3.06	2.18	6.91	0.85	0.15		6.0879
石門水庫淤泥-d	62.3	16.5	0.81	2.29	2.96	2.29	6.84		0	0.1	6.4120
日月潭淤泥	60.2	21.4	1.8	2.88	3.28	0	8.31	0.85	0.04		4.7858

表 3 本研究所使用的四種淤泥之「化學成分重量比例表示式」

	以「石門淤泥-c」替換	以「石門淤泥-d」替換	以「日月潭淤泥」替換
石門水庫淤泥-c	70		
石門水庫淤泥-d		71	
日月潭淤泥			55
印度鉀長石	5	6	17
合成土灰	4	3	
石英	19	18	28
氧化鐵	3	3	2
目標函數	0.670176	0.650878	0.933988
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.2	0.144	0.2
RO/R <sub>2</sub> O+RO	0.02	0.007	0.02

在實驗程序上，此一方案研究除透過 Excel「規劃求解」所得出的優化配方外（試片編號\*-g10、\*-g20、\*-g30 分別為石門淤泥 d、石門淤泥 c、日月潭淤泥的優化配方），也一併實驗三角座標擴張實驗的其它各相鄰配方（試片編號\*-g1\*、\*-g2\*、\*-g3\*）。

燒製完成後之釉片樣本同樣經由三位專家以五點量表進行評分，其評分結果如表 4 所示，並可歸納出以下幾個特點：

1. 燒成結果比前一方案為佳，說明在化學成分之外兼顧原料的結構因素是替換運算應該要考慮的重點。
2. 燒成結果以 Da138-1 的表現最佳，不論何種燒成氣氛，其全部平均分數皆達到 4.77 分以上。不過這一釉方的原始淤泥含量僅 20%，應該是最重要的原因。其它除 Dc113 以外，也都能得到 4.75 分以上的燒成試片，只需再加以微調試驗應該不難獲得極為接近的替代配方。至於 Dc113，主要的問題在「色澤」這一向度，經微調氧化鐵含量後也完成替代配方。
3. 就三種淤泥的替代效果來看，石門水庫淤泥的表現優於日月潭淤泥。從表 3 也可以看出，日月潭淤泥的替換配方之「目標函數」遠高於另外兩個石門水庫淤泥，應該是關鍵因素所在。
4. 在各評分項目的表現狀況，與前一方案大致類似。其中「熔融度」與「流動性」、「光澤度」的表現明顯提升。最不易達成的仍是「結晶性」、「色澤」、「肌理」三個部分，這也是高鐵釉藥的特徵及表現力所在。

表 4 「淤泥部分塞格式替換」之釉片燒成評分結果一覽表

釉藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均	釉藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均
Da112-2 淤泥 50%	<b>A-g10</b>	4.77778	5	4.55556	Da112-2 淤泥 50%	A-g24	4.88889	4.88889	4.88889
	A-g12	4.61111	4.66667	4.55556		A-g25	4.94444	5	4.88889
	A-g13	4.38889	4.11111	4.66667		A-g26	4.55556	4.44444	4.66667
	A-g14	4.66667	4.66667	4.66667		A-g27	4.77778	4.88889	4.66667
	A-g15	4.66667	4.66667	4.66667		<b>A-g30</b>	4.33333	4.22222	4.44444
	A-g16	4.66667	4.66667	4.66667		A-g32	4.41667	4.38889	4.44444
	A-g17	4.72222	4.77778	4.66667		A-g33	4.44444	4.38889	4.5
	<b>A-g20</b>	4.86111	4.83333	4.88889		A-g34	4.27778	3.94444	4.61111
	A-g22	4.55556	4.44444	4.66667		A-g35	4.27778	3.94444	4.61111
	A-g23	4.33333	4	4.66667		A-g36	4.25	3.94444	4.55556

粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均	粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均
Da138-1 淤泥 20%	<b>B-g10</b>	4.94444	5	4.88889	Da138-1 淤泥 20%	B-g24	4.94444	5	4.88889
	B-g12	5	5	5		B-g25	4.94444	5	4.88889
	B-g13	5	5	5		B-g26	4.94444	4.88889	5
	B-g14	4.94444	4.88889	5		B-g27	4.88889	4.88889	4.88889
	B-g15	5	5	5		<b>B-g30</b>	4.91667	4.88889	4.94444
	B-g16	4.94444	4.88889	5		B-g32	4.88889	4.83333	4.94444
	B-g17	4.94444	4.88889	5		B-g33	4.88889	4.88889	4.88889
	<b>B-g20</b>	4.97222	4.94444	5		B-g34	4.94444	4.88889	5
	B-g22	4.88889	4.88889	4.88889		B-g35	4.83333	4.77778	4.88889
	B-g23	4.94444	4.88889	5		B-g36	4.83333	4.77778	4.88889
粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均	粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均
Db100-a3 淤泥 65%	<b>C-g10</b>	4.97222	4.94444	5	Db100-a3 淤泥 65%	C-g24	4.58333	4.38889	4.77778
	C-g12	4.83333	4.72222	4.94444		C-g25	4.25	3.88889	4.61111
	C-g13	4.61111	4.44444	4.77778		C-g26	4.55556	4.5	4.61111
	C-g14	4.77778	4.83333	4.72222		C-g27	4.58333	4.38889	4.77778
	C-g15	4.72222	4.55556	4.88889		<b>C-g30</b>	4.58333	4.33333	4.83333
	C-g16	4.52778	4.55556	4.5		C-g32	4.88889	4.94444	4.83333
	C-g17	4.63889	4.44444	4.83333		C-g33	4.80556	4.77778	4.83333
	<b>C-g20</b>	4.86111	4.88889	4.83333		C-g34	4.83333	4.77778	4.88889
	C-g22	4.5	4.27778	4.72222		C-g35	4.66667	4.55556	4.77778
	C-g23	4.41667	4.27778	4.55556		C-g36	4.52778	4.38889	4.66667
粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均	粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均
Dc113 淤泥 60%	<b>D-g10</b>	4.44444	4.38889	4.5	Dc113 淤泥 60%	D-g24	4.61111	4.55556	4.66667
	D-g12	4.55556	4.61111	4.5		D-g25	4.41667	4.5	4.33333
	D-g13	4.41667	4.33333	4.5		D-g26	4.55556	4.38889	4.72222
	D-g14	4.58333	4.55556	4.61111		D-g27	4.36111	4.33333	4.38889
	D-g15	3.66667	3.72222	3.61111		<b>D-g30</b>	4.63889	4.55556	4.72222
	D-g16	4.61111	4.5	4.72222		D-g32	4.63889	4.61111	4.66667
	D-g17	3.88889	3.72222	4.05556		D-g33	4.61111	4.55556	4.66667
	<b>D-g20</b>	4.58333	4.61111	4.55556		D-g34	4.52778	4.5	4.55556
	D-g22	4.58333	4.61111	4.55556		D-g35	4.55556	4.38889	4.72222
	D-g23	4.58333	4.5	4.66667		D-g36	4.19444	4	4.38889
粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均	粘藥編號	試片編號	平均分數	氧化平均	還原平均
Rc105 淤泥 80%	<b>E-g10</b>	4.88889	4.88889	4.88889	Rc105 淤泥 80%	E-g24	4.91667	5	4.83333
	E-g12	4.94444	4.88889	5		E-g25	4.86111	4.83333	4.88889
	E-g13	4.80556	4.66667	4.94444		E-g26	4.41667	4.5	4.33333
	E-g14	4.58333	4.55556	4.61111		E-g27	4.80556	4.88889	4.72222
	E-g15	4.66667	4.5	4.83333		<b>E-g30</b>	4.69444	4.66667	4.72222
	E-g16	4.41667	4.44444	4.38889		E-g32	4.58333	4.55556	4.61111
	E-g17	4.66667	4.5	4.83333		E-g33	4.86111	4.77778	4.94444
	<b>E-g20</b>	4.88889	4.94444	4.83333		E-g34	4.47222	4.44444	4.5
	E-g22	4.88889	4.88889	4.88889		E-g35	4.63889	4.61111	4.66667
	E-g23	4.69444	4.66667	4.72222		E-g36	4.27778	4.33333	4.22222

### 5.3.3 淤泥局部比例替換方案

筆者在之前的研究曾經將淤泥之全部含量直接以前述之不同淤泥直接替換，發現含量在 20% 以內的釉藥皆與原來效果極為接近。此一方法或可運用於工廠生產作業，即在新淤泥已經製成而舊淤泥尚未用盡之時以搭配使用的方式來延續同一釉色的生產。

燒製完成後之釉片樣本同樣經由三位專家以五點量表進行評分，其評分結果如表 4 所示，並可歸納出以下幾個特點：

1. 多數釉藥可以得到不錯的燒成結果，說明是簡便易行的替換方案。
2. 燒成結果與釉藥本身特質有極大之相關性。如 Dc113 不論透過優化計算或此一局部替換方案，其成效都是最低的，說明該釉藥的燒成效果非常敏感。
3. 淤泥成分差異度也有較大之影響，替代比例需要靠實驗來決定。從目前實驗成果的數據看，同一水庫採用此一方法的成功率比較高。

表 5 「淤泥局部替換」之釉片燒成評分結果與替換比例關切一覽表

釉藥編號	試片號	平均分數	氧化平均	還原平均	淤泥替換量	試片號	平均分數	氧化平均	還原平均	淤泥替換量
Da112-2 淤泥 50%	A1	4.7778	4.7778	4.7778	全優化配方	A6	4.8333	4.8519	4.8148	20%石門 c
	A2	4.7778	4.8519	4.7037	10%石門 d	A7	4.7778	4.8148	4.7407	30%石門 c
	A3	4.8519	4.8889	4.8148	20%石門 d	A8	4.8148	4.8889	4.7407	10%日月潭
	A4	4.8333	4.8519	4.8148	30%石門 d	A9	4.7963	4.8889	4.7037	20%日月潭
	A5	4.8148	4.8889	4.7407	10%石門 c	A10	4.7963	4.8519	4.7407	30%日月潭
Da138-1 淤泥 20%	B1	4.5741	4.4074	4.7407	全優化配方	B3	4.5556	4.3333	4.7778	10%石門 c
	B2	4.6667	4.4074	4.9259	10%石門 d	B4	4.5741	4.3333	4.8148	10%日月潭
Db100-a3 淤泥 65%	C1	4.6481	4.7037	4.5926	全優化配方	C8	4.8519	4.9259	4.7778	30%石門 c
	C2	4.8519	4.8889	4.8148	10%石門 d	C9	4.7963	4.8889	4.7037	40%石門 c
	C3	4.8889	4.9259	4.8519	20%石門 d	C10	4.8148	4.9259	4.7037	10%日月潭
	C4	4.8704	4.9259	4.8148	30%石門 d	C11	4.8667	4.8889	4.8333	20%日月潭
	C5	4.8704	4.9259	4.8148	40%石門 d	C12	4.6852	4.7037	4.6667	30%日月潭
	C6	4.8333	4.8889	4.7778	10%石門 c	C13	4.7037	4.7037	4.7037	40%日月潭
	C7	4.8333	4.9259	4.7407	20%石門 c					
Dc113 淤泥 60%	D1	4.3889	4.3333	4.4444	全優化配方	D8	4.6481	4.7037	4.5926	30%石門 c
	D2	4.7222	4.6667	4.7778	10%石門 d	D9	4.5556	4.5556	4.5556	40%石門 c
	D3	4.7037	4.7037	4.7037	20%石門 d	D10	4.6111	4.5185	4.7037	10%日月潭
	D4	4.7222	4.6667	4.7778	30%石門 d	D11	4.3519	4.3704	4.3333	20%日月潭
	D5	4.7407	4.7407	4.7407	40%石門 d	D12	4.3519	4.3704	4.3333	30%日月潭
	D6	4.6296	4.6296	4.6296	10%石門 c	D13	4.4074	4.4815	4.3333	40%日月潭
	D7	4.7037	4.6667	4.7407	20%石門 c					
Rc105 淤泥 80%	E1	4.8333	4.6667	5	10%石門 d	E7	4.7778	4.8148	4.7407	30%石門 c
	E2	4.8889	4.7778	5	20%石門 d	E8	4.6481	4.7778	4.5185	40%石門 c
	E3	4.8333	4.8148	4.8519	30%石門 d	E9	4.7778	4.8519	4.7037	10%日月潭
	E4	4.7778	4.7778	4.7778	40%石門 d	E10	4.7593	4.8519	4.6667	20%日月潭
	E5	4.7963	4.7778	4.8148	10%石門 c	E11	4.6296	4.6667	4.5926	30%日月潭
	E6	4.7407	4.6667	4.8148	20%石門 c	E12	4.5926	4.6296	4.5556	40%日月潭



#### 5.4 執行時應注意之重點

本研究之成果顯示，釉藥的「塞格式」組成數據確實能提供計算上最有利的運算基礎。透過合理及精確的數據運算，以及合宜的實驗過程，確實能以最精簡的手段得到釉藥原料的替換配方。以下是執行時應該注意的重點：

1. 本方案之執行必須先取得各原料之化學組成的精準數據。
2. 實施 Excel「規劃求解」的優化運算時，建議以「目標與配方之莫耳差的絕對值」之和的最小值作為「目標函數」。
3. 「 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 」及「 $\text{RO}/(\text{RO}+\text{R}_2\text{O})$ 」的比值可以作為約束條件，其值分別為 0.1 及 0.01 以內，在「規劃求解」的運算上也多能達成這一條件。
4. 應避免用「全部原料塞格式替換」的方案，而應以「局部或單一原料塞格式替換」的方式來執行，以避免受到原料之結構因素的影響。此一方式的「目標函數」儘可能要求在 0.7 以內。
5. 在新、舊原料交替的過渡階段，可以使用「局部比例替換」方案，但應透過實驗確認其比例與效果。

#### 5.5 推廣及運用的價值


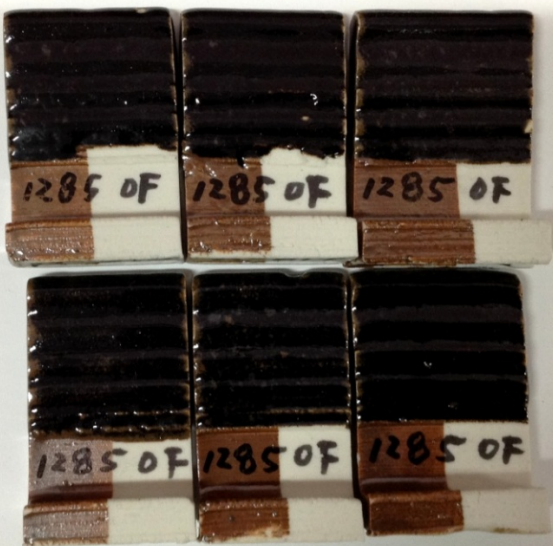
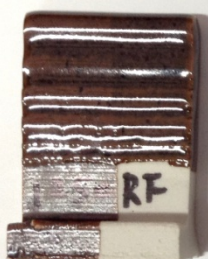


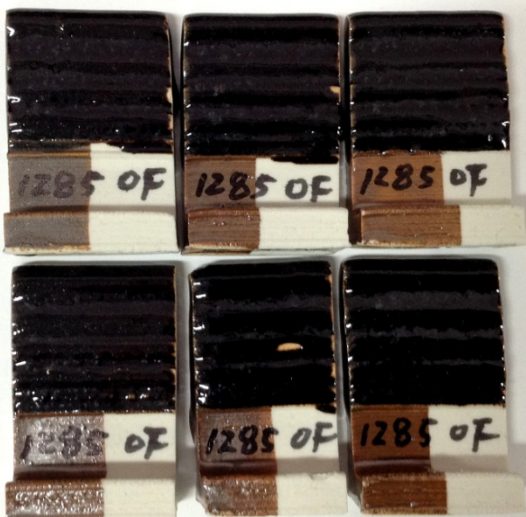
原料的停產、停止進口往往造成陶瓷製造業、陶藝界的困擾。尤其是產量較大的陶瓷產業在面對成本的壓力下，更會主動尋找廉價的替代原料。因此，如何在最短時間內以新原料替代，並達到與原來釉藥類似效果，是陶瓷製作的一個重要課題。





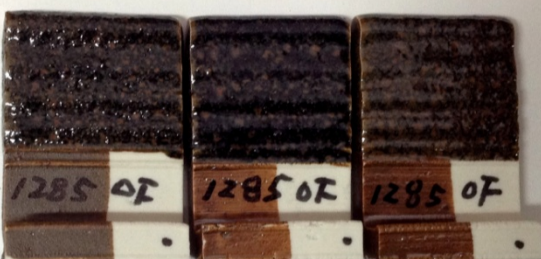




本研究之成果證明：釉藥使用之原料在遇到無法抗拒的因素必須進行替換時，可以透過系統化、規範化的程序得到接近之配方。將此配方再進行微調整試驗，多數能得到類似效果的新配方。前一階段可以作為系統化的執行方案，簡便易行。後一階段的微調則需要有經驗的專家，仍然存在一定的變數。不過基本可行且有效率的方法，確實給予存在更多物料來源之不穩定因素的淤泥釉藥有更大的發展空間。

淤泥釉的難度遠高於一般商業用釉，其關鍵在於氧化鐵成分的複雜影響力。釉中所含有的高量氧化鐵，對於燒成氣氛、結晶形態，以及釉色、肌理變化等都增加了更多的變數。相較於淤泥釉藥，一般量產陶瓷器釉對色澤、肌理等的要求要簡單得多。因此，此一方案及執行原則也絕對可以勝任一般釉藥的替換作業，解決陶瓷產業經常遇到的原料成分不穩定問題。

附錄

表 5 「淤泥部分塞格式替換」之目標試片與較佳之仿製試片一覽表

目標試片編號	仿製試片編號	燒成結果之照片	
		目標試片	仿製試片
Da112-2 1285°C 氧化燒	A-g10		
	A-g17		
	A-g20		
	A-g24		
	A-g25		
	A-g27		
Da112-2 1250°C 還原燒	A-g20		
	A-g24		
	A-g25		
Da138-1 1285°C 氧化燒	B-g10		
	B-g12		
	B-g13		
	B-g15		
	B-g24		
	B-g25		

目標試片編號	仿製試片編號	燒成結果之照片	
		目標試片	仿製試片
Da138-1 1250°C 還原燒	B-g12 B-g13 B-g14 B-g15 B-g16 B-g17		 
Db100-a3 1285°C 氧化燒	C-g10 C-g14 C-g20 C-g10 C-g10 C-g10		 
Db100-a3 1250°C 還原燒			 





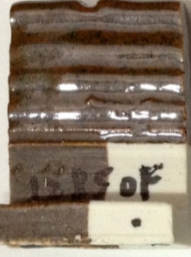
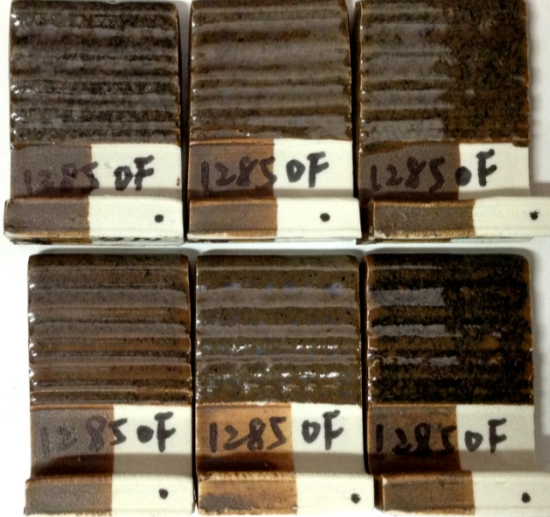






















目標試片編號	仿製試片編號	燒成結果之照片	
		目標試片	仿製試片
Dc113 1285°C 氧化燒	D-g12 D-g20 D-g32		
Dc113 1250°C 還原燒	D-g14 D-g16 D-g30		
Rc105 1285°C 氧化燒	E-g10 E-g12 E-g20 E-g24 E-g25 E-g27		
Rc105 1250°C 還原燒	E-g10 E-g12 E-g13 E-g22 E-g25 E-g33		

表 6 「淤泥局部替換」之目標試片與較佳之仿製試片一覽表

目標試片編號	仿製試片編號	燒成結果之照片	
		目標試片	仿製試片
Da112-2 1285°C 氧化燒	A4 A6 A8		
Da112-2 1250°C 還原燒	A3 A4 A6		
Da138-1 1285°C 氧化燒	B2 B3 B4		
Da138-1 1250°C 還原燒	B2 B3 B4		
Db100-a3 1285°C 氧化燒	C3 C7 C10		

目標試片編號	仿製試片編號	燒成結果之照片	
		目標試片	仿製試片
Db100-a3 1250°C 還原燒	C2 C7 C10		
Dc113 1285°C 氧化燒	D3 D8 D13		
Dc113 1250°C 還原燒	D2 D7 D10		
Rc105 1285°C 氧化燒	E3 E-7 E10		
Rc105 1250°C 還原燒	E2 E6 E9		

## 科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否有嚴重損及公共利益之發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性），如已有嚴重損及公共利益之發現，請簡述可能損及之相關程度（以 500 字為限）

原料的停產、停止進口往往造成陶瓷製造業、陶藝界的困擾。尤其是產量較大的陶瓷產業在面對成本的壓力下，更會主動尋找廉價的替代原料。因此，如何在最短時間內以新原料替代，並達到與原來釉藥類似效果，是陶瓷製作的一個重要課題。

本研究之成果證明：釉藥使用之原料在遇到無法抗拒的因素必須進行替換時，可以透過系統化、規範化的程序得到接近之配方。將此配方再進行微調整試驗，多數能得到類似效果的新配方。前一階段可以作為系統化的執行方案，簡便易行。後一階段的微調則需要有經驗的專家，仍然存在一定的變數。不過基本可行且有效率的方法，確實給予存在更多物料來源之不穩定因素的淤泥釉藥有更大的發展空間。

淤泥釉的難度遠高於一般商業用釉，其關鍵在於氧化鐵成分的複雜影響力。釉中所含有的高量氧化鐵，對於燒成氣氛、結晶形態，以及釉色、肌理變化等都增加了更多的變數。相較於淤泥釉藥，一般量產陶瓷器釉對色澤、肌理等的要求要簡單得多。因此，此一方案及執行原則也絕對可以勝任一般釉藥的替換作業，解決陶瓷產業經常遇到的原料成分不穩定問題。

## 科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：103 年 10 月 20 日

<b>科技部補助計畫</b>	計畫名稱：釉藥塞格式表示法應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗與分析 計畫主持人：呂琪昌 計畫編號：NSC 102-2410-H-144 -005 - 領域：		
<b>研發成果名稱</b>	(中文) 陶瓷釉藥配方以新原料替換之解決方案		
	(英文) The Solution for Ceramic Glaze Recipes with New Materials to Replaced		
<b>成果歸屬機構</b>	國立臺灣藝術大學 工藝設計學系	<b>發明人 (創作人)</b>	呂琪昌
<b>技術說明</b>	(中文) 以釉藥之「塞格式」組成表示法作為計算的數據基礎，透過 EXCEL 軟體的「規劃求解」優化運算，得到替代配方的最佳解。技術上以原使用原料之改變最少為原則，輔以相關之約束條件，以及擴張性的三角座標實驗後，多可以得到近似效果的釉方。		
	(英文) It was used Seger's formula as the data base of glaze composition, and by the Solver operator of EXCEL software to obtain the optimal solution of alternative recipes. The principle is to make as few changes in the type of raw material and setting appropriate constraint condition. Finally, using the obtained recipes as a reference point to executed the experimental method of glaze prescription presentation by weight percentage.		
<b>產業別</b>	陶瓷製造業、陶藝工坊。		
<b>技術/產品應用範圍</b>	陶瓷器釉藥		
<b>技術移轉可行性及預期效益</b>	可以廣泛推廣，提供相關業者、研究人員，以及陶藝作家一種可以參考使用的方案。		

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。



## 科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：2014 年 7 月 15 日

計畫編號	MOST — — — — —		
計畫名稱			
出國人員姓名	呂琪昌	服務機構及職稱	臺灣藝術大學 工藝設計學系副教授
會議時間	2014 年 6 月 22 日至 2014 年 6 月 27 日	會議地點	Creta Maris, Heraklion, Crete(克里特島), Greece(希臘)
會議名稱	(中文)2014 HCI 國際學術研討會 (英文)16th International Conference on Human-Computer Interaction		
發表題目	(中文) 文化創意設計策略——鳥形茶壺使用者偏好的個案探討 (英文) Cultural Creativity in Design Strategy: A Case Study of User's Preference of a Bird-shaped teapot		

## 一、參加會議經過

2014 年第十六屆 HCI 國際學術研討會(16th International Conference on Human-Computer Interaction) 於 6 月 22~ 27 日在希臘(Greece)克里特島(Crete)伊拉克利翁(Heraklion, Crete)的 Creta Maris 飯店舉行。為期 6 天的議程包括以下的學術交流活動：全體大會(專題演講)、研討會論文及海報論文發表、現場展覽、教程指導等多項活動。

此次大會的主要議題為 Human-Computer Interaction 與 Human Interface and the Management of Information，涵蓋人機互動理論、常規和應用，包含工程心理學、認知工效學、跨文化設計、人機互動的通用使用、線上社群與電腦社會、數位人因模型與應用、使用者經驗與可用性設計等領域。共計 1476 篇論文與 225 篇海報發表型式論文獲大會審查通過，收錄在會議現場中發表與展示，並有約 2000 人實際參與會議。

與會人員按規定於 6 月 22~24 日完成報到手續後，主辦單位隨即於 6 月 24 日舉行大會開幕典禮、專題演講及歡迎晚宴。專題演講邀請 Dr. James R. (Jim) Lewis (IBM 軟體集團的高級人因工程人員)，其主講的題目為："Usability: Lessons Learned ... and Yet to Be Learned"，演講中指出過去 30 多年來，不管是實務工作或是作為一門新興的學科，可用性工程領域均受到爭論；它繼承了一些早期的實驗心理學、測量法和統計學，並在這些學科在可用性工程領域的應用逐漸成熟後，更延伸成以使用者為中心的設計(UCD)和使用者體驗(UX)領域。在這個專題演講中，Dr. James R. (Jim) Lewis 回顧一些在可用

性工程領域持續性的爭論，並以自己實務工作者角度，從它們的過往緣由開始，然後評估它們當前的狀態。並提出過去三十年，一些我們已經學到的關鍵教訓，還有未來仍要學習的議題與討論。



註冊報到



會場



開幕式



專題演講



論文口頭發表

研討會共有 244 場次附屬研討會議的論文發表聯合舉行，而其子議題之一為「文化創意的產品設計」(Cultural Creativity in Product Design)，本人研究主題「文化創意設計策略——鳥形茶壺使用者偏好

的個案探討」(Cultural Creativity in Design Strategy: A Case Study of User's Preference of a Bird-shaped teapot)，為此子議題收錄發表論文之一。論文報告時間 15 分鐘，以自編之 PowerPoint 進行口頭簡報，並有 3~5 分鐘的提問與回應時間。發表之論文主要以筆者親自執行的一個設計案例之設計策略為基礎，將其完成之結果透過問卷調查的方式與其它市面上現有的相關產品進行比較探討，分析其得失以作為文化創意設計策略之參考。設計的根據來自於中國史前時期造型優美且具備鳥的抽象特徵的陶鬲，然後透過塞尚的「三圓體理論」對物件進行形體萃取，最後完成現代鳥形茶壺的設計案。此一方案能兼顧傳統與時尚，並有利於電腦輔助設計手段的實施。問卷調查結果也顯示，鳥形茶壺的設計成果符合設計者預先設定的目標，也得到受測者在喜好度方面的高度認同。目前臺灣的文化創意設計發展甚為蓬勃，但品質瑕瑜互見。研究之目的即在提供一個可以參考的設計策略模式，達到優秀的創意產品設計目標。

## 二、與會心得

藉由此次的論文發表經驗，除了可以一窺世界各國專家學者所帶來的最新研究成果，得到啟發與刺激。更體認到透過此類學術交流活動，可讓國內從事相關研究的師生有國際化的展現舞台，讓彼此得以交流學習並互為借鏡。



參與它場會議

同場研討會的學者所發表之論文，如臺藝大林伯賢教授的「應用撒奇萊雅族火神祭的文化創意產品設計研究」(A Study of Applying Sakizaya Tribe's Palamal (The Fire God Ritual) into Cultural Creative Products Design)、醒吾科大葉萊俐教授的「應用詩詞的時空形式於創意設計」(Applying the Time and Space Forms of Poetry to Creative Design)、佛光大學徐啟賢教授的「數位典藏應用於文化創意產品設計加值之分析」(Analysis of Application of Digital Archives to Value-Added Design in Cultural Creative Products)，以及海洋技術學院林育如教授的「觀眾的情感經驗影響對於文化創意策展的個案研究」(Cultural Creativity in Design Exhibition— A Case Study of Emotional Effects Experienced by the Audience)等臺灣文化創意產業相關議題之研究，涵蓋文化分析、設計應用、數位典藏應用、策展，以及商業模式之探討等，對於臺灣文化創意產業發展現況及願景，具有正面之意義與價值。

在另場子議題「從設計進化到城市躍升」(From Adaptive Design to Adaptive City (I), (II))裡，則可看到中州科技大學黃旻棟教授的「臺北夜市導入感質設計之研究」(Designing “Qualia” into night market for Taipei City)、亞東技術學院徐秋宜教授的「以時尚導入臺北市清潔隊員制服設計」(Designing “Fashion” into Uniform for Taipei City Public Cleaner Team)，以及自由落體總經理陳俊良的「設計臺北市為世界設計之都」(Designing “Taipei City” as a World Design Capital)等的研究，則可發現藉由跨領域研究的學術

交流，將文化議題與商業發展、科技應用結合探討，有助於因應未來整體經濟與研究發展趨勢。

### 三、發表論文全文或摘要

摘要：在「感性消費」高度需求的時代，仿生設計中的形態仿生成為重要的創意手段。仿生設計的系統化概念與方法雖然遲至 20 世紀 60 年代才成熟，但實質上卻是史前人類創造器物的重要方法之一。陶鬻即是中國新石器時代的仿生陶器傑作，在文化上也承載了原始先民理念所寄的太陽崇拜及相關的圖騰信仰。本文的目的是以陶鬻的形象為基礎來設計一個鳥形茶壺，並且希望在造型上除了具備傳統東方魅力外，還能夠符合現代時尚風格。問卷分析結果顯示：透過塞尚的「三圓體理論」對物件進行形體萃取，不但能夠達到時尚的目標，也有利於電腦輔助設計手段的實施。

### 四、建議

此次 HCI 國際學術研討會，臺灣有許多學校師生參加並親自與會報告，除本校外，還有臺灣科技大學、交通大學、雲林科技大學、高雄師範大學、佛光大學、海洋技術學院、醒吾科大等，對於帶動國際性的學術研究風氣有極大助益。下屆的 HCI 國際學術研討會，已訂於 2015 年 8 月 2~7 日在美國洛杉磯(Los Angeles, CA, USA)舉行，相關的論文研究探討，可及早因應及準備，以延續本年度的參與成果。

目前世界各國，都將自身的歷史文化資產發揮應用於創意產品、觀光旅遊等，各有所擅，且有其值得借鏡之處。臺灣擁有豐富的人文特色，一直是世界各地及大陸觀光客深愛的旅遊地點，以臺灣的產業及經濟型態，如何兼具科技的發展與人文美學的應用，需要各界深思致力。

### 五、攜回資料名稱及內容

攜回 HCI 2014 研討會的 DVD 光碟與書面資料，包括大會議程目錄、論文全文光碟、海報宣傳品等。所有與會發表的論文，主辦單位集結為 27 卷的研討會論文集，由 Springer 出版發行，收錄於電腦科學演講記錄 (LNCS)、人工智慧演講記錄(LNAI)和電腦通信與資訊科學(CCIS)系列，亦收錄於 ISI Citation Index、EI Engineering Index 與 ACM Digital Library 索引中。

### 六、其他

希臘是地處歐洲東南角、巴爾幹半島的南端的共和制國家，由半島南部的伯羅奔尼撒半島和愛琴海中的 3,000 餘座島嶼共同構成。希臘通常被視為西方文明的搖籃，是西方哲學、奧林匹克運動會、文學、歷史學、政治科學、民主制度、科學和數學原理，以及西方戲劇、奧林匹克運動會等的發源地。此次研討會行程雖然緊湊，但仍以有限的時間探訪希臘具有特色的歷史古蹟、博物館與地方特色：

1. 雅典衛城(Acropolis of Athens)：位於希臘首都雅典，衛城由阿提卡的平原延伸至陡峭的懸崖上，三面被懸崖包圍，人們只可由西面步行上去。由平頂岩構成，位於海拔 150 公尺，是最著名的衛城之一。

2. 雅典國家考古博物館(National Archaeological Museum)：位於雅典市中心，毗鄰希臘歷史建築-雅典理工學院(National Technical University of Athens)。它被認為是世界上最偉大的博物館之一，收藏出自希臘不同考古地點的重要豐富文物，年代由史前到晚古時期都有。

3. 克諾索斯宮(Palace of Knossos)：克里特島上的一座米諾斯文明(Minoan civilization)遺迹，始建於約前 2100 年至前 1800 年，被認為是傳說中米諾斯王的王宮。它位於克里特島的北面，海岸線的中

點，是米諾斯時代最為宏偉壯觀的遺址，可能是整個文明的政治和文化中心。克諾索斯遺址是由英國考古學家阿瑟·伊文思於 1878 年進行了最早的完整發掘，發現了大批米諾斯遺跡，揭示了米諾斯文明的存在。

4. 赫拉克利翁考古博物館(Herakleion Archeological Museum)：是米諾斯文明的寶庫，收藏克諾索斯宮及其它克里特島遺址出土的米諾斯時期的珍品，包括陶土器皿、壁畫、金飾、青銅器具等，藏量豐富可觀，其重要性不下於雅典國家考古博物館。

5. 錫拉史前博物館(Museum of Prehistoric Thera)和聖托里尼考古博物館(Archeological Museum of Santorini)：兩個博物館均位於知名旅遊景點聖托里尼所在的錫拉島上，收藏許多與克里特島米諾斯文明有密切關係的基克拉澤斯(Cyclades)文明的器物及壁畫。

此次古跡之旅除得以見到古希臘文明的輝煌成就外，最大的收獲是在赫拉克利翁考古博物館發現與中國史前陶鬻之造型非常相似的器物，其類似程度不得不令人懷疑在當時兩地之間可能已經有著某種實質上的接觸與交流。筆者多年從事中國史前陶鬻之研究，瞭解陶鬻的圖騰意義及其從兩袋足到三袋足的演變歷程。相較之下，克里特島出現的三袋足器卻出現得即為突然。回國後搜尋相關資料，類似的三袋足器具在塞浦路斯(Cyprus)的史前文明也有發現，但也呈現非常獨特的狀況。這些器物是否也具有鳥的圖騰性質或太陽崇拜的意義呢？筆者在當時就對此深具興趣，並試圖從其它相關器物或陶器上的繪畫積極尋找相關線索。不負所期待，在錫拉島的兩個博物館有非常驚人的發現。錫拉的基克拉澤斯(Cyclades)史前文明有許多鳥形陶器，其中的乳頭壺(nippled ewer)尤其具有特色及器形的延續與演變序列，並從相關繪畫內容可以看到鳥圖騰信仰的跡象，而且似乎也與太陽崇拜有關。是否當時東西方之間確實存在著某種極其密切的聯繫與交流，是一個值得探討的學術議題！



雅典衛城



雅典國家考古博物館



雅典國家考古博物館收藏



雅典國家考古博物館收藏



克諾索斯宮遺址



克諾索斯宮遺址



赫拉克利翁考古博物館收藏的類似中國陶鬻作品



錫拉史前博物館收藏的乳頭壺(nippeler ewer)

# 科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2014/10/23

科技部補助計畫	計畫名稱: 釉藥塞格式表示法應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗與分析
	計畫主持人: 呂琪昌
	計畫編號: 102-2410-H-144-005- 學門領域: 環境藝術與設計
無研發成果推廣資料	

102 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：呂琪昌		計畫編號：102-2410-H-144-005-				計畫名稱：釉藥塞格式表示法應用於陶瓷釉藥配方精準度之檢驗與分析	
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	1	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			



<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>原料的停產、停止進口往往造成陶瓷製造業、陶藝界的困擾。尤其是產量較大的陶瓷產業在面對成本的壓力下，更會主動尋找廉價的替代原料。因此，如何在最短時間內以新原料替代，並達到與原來釉藥類似效果，是陶瓷製作的一個重要課題。</p> <p>本研究之成果證明：釉藥使用之原料在遇到無法抗拒的因素必須進行替換時，可以透過系統化、規範化的程序得到接近之配方。將此配方再進行微調整試驗，多數能得到類似效果的新配方。前一階段可以作為系統化的執行方案，簡便易行。後一階段的微調則需要有經驗的專家，仍然存在一定的變數。不過基本可行且有效率的方法，確實給予存在更多物料來源之不穩定因素的淤泥釉藥有更大的發展空間。</p>
--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

# 科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

## 1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

## 2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以 100 字為限）

## 3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

原料的停產、停止進口往往造成陶瓷製造業、陶藝界的困擾。尤其是產量較大的陶瓷產業在面對成本的壓力下，更會主動尋找廉價的替代原料。因此，如何在最短時間內以新原料替代，並達到與原來釉藥類似效果，是陶瓷製作的一個重要課題。

本研究之成果證明：釉藥使用之原料在遇到無法抗拒的因素必須進行替換時，可以透過系統化、規範化的程序得到接近之配方。將此配方再進行微調整試驗，多數能得到類似效果的新配方。前一階段可以作為系統化的執行方案，簡便易行。後一階段的微調則需要有經驗的專家，仍然存在一定的變數。不過基本可行且有效率的方法，確實給予存在更多物料來源之不穩定因素的淤泥釉藥有更大的發展空間。

淤泥釉的難度遠高於一般商業用釉，其關鍵在於氧化鐵成分的複雜影響力。釉中所含有的高量氧化鐵，對於燒成氣氛、結晶形態，以及釉色、肌理變化等都增加了更多的變數。相較於淤泥釉藥，一般量產陶瓷器釉對色澤、肌理等的要求要簡單得多。因此，此一方案及執行原則也絕對可以勝任一般釉藥的替換作業，解決陶瓷產業經常遇到的原料成分不穩定問題。

