

## 應用耐火板及耐熱震技術在樂燒窯產品改良設計

胡祖武

朝陽科技大學工業設計系

(收件日期：105年4月7日；接受日期：105年7月13日)

### 摘要

傳統樂燒窯體因必須裝置鐵架、石棉及鋪設底座等組裝過程費時與費工，而且其結構外部保溫的石棉會危害身體健康有安全顧慮，此外等待窯燒時間缺乏休閒活動的樂趣。因此，本研究擬採用耐火板材料，結合耐熱震陶土技術，來改善傳統樂燒窯為兼具休閒功能的行動樂燒窯(包括行動式樂燒窯窯體及引用窯燒餘熱的休閒用烤爐)。使樂燒窯不但變成可行動式便於推廣，而且在窯燒等待期間可以提供附加之烤爐功能，進行披薩類食材燒烤的休閒活動，增加樂燒窯活動的樂趣。

本研究開發之樂燒窯重新改良骨架架構、設計外觀並與耐火板做結合，開發可行動式樂燒窯，跳脫傳統使用簡陋工具組裝而成窯體，使樂燒窯整體造型感與實質耐用性提高。現今市面上並沒有開發這類型的產品，本項利基將成為產品的主要競爭優勢。此外，更提升耐火材料的新應用、結構設計的新開發，帶來不一樣的商業利基點，打造不一樣的產品面貌與工藝的結合。本研究有下列創新重點：1.改良材料與技術結合，創造樂燒窯新附加價值。2.對外重視陶藝文化服務推廣精神；對內提升樂燒窯燒製流程與使用安全的考量。3.產業的應用範圍多元化，可以建立獨有的品牌與產品特色。4.工藝設計的融入，使樂燒窯有不一樣的新風貌。

關鍵詞：樂燒窯、休閒窯烤爐、耐火板、耐熱震陶土

## **A Redesign of Raku Kiln Using Firebricks and the Technology of Thermal Shock Resistance**

**Tsu-Wu Hu**

Department of Industrial Design, Chaoyang University of Technology

(Date Received : April 7, 2016 ; Date Accepted : July 13, 2016)

## Abstract

For traditional raku kiln, it was tedious and time-consuming to install the metal framework asbestos and lay the base. Besides, the external asbestos for insulation was toxic. In addition, there were no activities for enjoyment while waiting for kiln. Therefore, this study intends to use fireproof materials, with thermal shock resistance clay technics to improve the traditional raku kiln to be a mobile raku kiln with recreational functions (including a mobile kiln body and a kiln oven using afterheat). Thus, raku kiln will become an easy activity not only for promotion, but also for more fun in toasting pizza or other food while waiting. This research improved skeletal architecture, re-designed outward appearance, combined with firebricks, and developed action-style raku kiln, abandoning the traditional assembled kiln with rudimentary tools. Therefore, kiln became more aesthetic and durable, giving more profound impression. The recent market did not have this type of product. These new advantages will become major competitive virtues of this product. The employment of refractory material and development of structure design will bring the new merit for product commercial promotion.

This study focused on the following innovations: 1. a combination of improved materials and technology to create a new value-added raku kiln. 2. an emphasis on pottery cultural services and spirit externally as well as a promotion of production process and safety usage of Raku kiln internally. 3. the diversified application of industry, and the establishment of the company's unique brand and product characteristics. 4. the integration of craft design, bringing raku kiln a new appearance.

Keywords: raku kiln, leisure kiln oven, firebricks, thermal shock resistance pottery clay.

## 一、前言

類似於樂燒的陶藝燒製方式在我國唐朝時期已經被廣泛的運用，當代的樂燒技巧是為了娛樂大眾而被意外的發現，人們在燒陶過程中快速的即興表演，在高溫下拋擲草地，滾至池塘中，濃煙燻染陶體產生不受控制的自然美，不經匠師刻意創做出的自然肌理，這樣子獨特的陶製技法現在西方及東方皆廣泛的備受推崇。大多數的人們把樂燒(Raku)認為係源自於日本的一種傳統陶藝，它的源起與日本茶道息息相關，這種充滿了“禪學”哲理的茶道開始於 16 世紀末日本特有的飲茶方式，藉此茶道而衍生出特殊的茶碗製作方式“樂燒”，它所呈現的美有別於當時其他日本傳統陶瓷的表現，“樂-Raku”在當時是對設計及製作者家族的榮耀的尊稱，一直到 20 世紀初陶藝家伯納德·利奇 (Bernard Leach) 在日本發現它特殊的美，而將這個窯燒方式引進美國。

“陶藝”進入到現代人們的生活中已是相當普遍的事，近年來台灣的作陶人口、愛陶人口，都在急劇的增加，陶藝作品所展現的造形、質感、釉彩及其製作過程，除了陶藝工作室、社區大學等的推廣外，甚至都已導入各級學校的課程教學中，陶藝在當今已經受到普遍的重視和認識。然而，一般的陶瓷窯燒都需要長時間的燒成，除了燒窯者外，

大部分的初學者都無法全程參與燒製過程。“樂燒”讓我們不必在特定的窯爐、窯場，就可以隨地隨時享受整個窯燒過程的樂趣，在較短的時間(約 3-4 小時)內，就可從捏陶、上釉、樂燒到燒製完成、急速降溫，而立即取得作品，期間還會因作品不可預期的效果而驚豔不已。樂燒隨意性大，是一種較前衛與挑戰性的燒陶法，而且原材料價格低廉，設備簡單，容易操作。樂燒的坯體一般需要加入相當成份的熟料，以避免燒製過程中爆裂。當火紅滾燙的陶器從窯爐裡取出，放入盛有木屑，樹葉等易燃物的鐵桶裡。當火焰撲面而升的時候，場面非常有趣，玩味十足。這種燒成方式特別適用於群體作業。樂燒的作品表面施有較厚重的含鉛或硼的低溫裂紋釉與金屬氧化物，作品燒成後會有一種不可複製的煙燻效果和金屬光澤，又被稱為“意外的驚喜”(周光真,2012)

本研究主要係改善陶藝所使用的傳統樂燒窯，結合耐火板材料與耐熱震陶土技術，進行改造設計一組具休閒功能的行動樂燒窯烤爐(包括行動式樂燒窯窯體及引用窯燒餘熱的休閒用烤爐)。本案行動式樂燒窯烤爐兼具樂燒及窯烤食物的樂趣，不但使樂燒窯變成可行動式便於推廣，而且在窯燒等待期間可以提供附加之烤爐功能，進行披薩類食材燒烤的休閒活動，增加樂燒窯活動的樂趣。

## 二、文獻探討

隨著台灣經濟的起飛，台灣人漸懂得開始追求生活中的品味，人們對於陶瓷品不再單純只是當成生活用品，更逐漸可以接受好的陶瓷創作為藝術品或裝飾品。本研究從陶藝樂趣當中選擇最簡易獲得做陶樂趣的樂燒窯製作為研究主軸，進行樂燒窯與休閒窯烤的結合嘗試。

### 2-1 陶藝燒窯演進分析

我國發展藝術陶瓷已有千年之久，遠從黑陶時期一直延續到今日，每一時代均有優秀的產品蜚聲國際。自從人類開始懂得製作土器開始後不久，窯爐也跟著被發明，經過漫長的時間，人類最原始的窯，主要是用來燒製可以貯藏、釀造以及盛水並用火來燒煮的器皿，經過漫長的演替之後，才開始發展出「官瓷民陶」兩條路，「官瓷」開始製作各種裝飾及藝術品，「民陶」則大量製作各種民生實用品，不只是碗、杯、大甕、小瓶及鍋子，更製作出磚、瓦、柱…等各式建材，成為常民百姓中最主要的生活用品。

在窯燒不斷演進的歷程中，人類總是不斷地設法改變窯體結構，目的就為了有效提昇且精緻窯燒的溫度，因而發展出不同的柴燒窯體結構，大致可分為：直焰式窯、橫焰式窯、半倒焰式窯、倒焰式窯…等。不同結構的窯，自會產生不同的火焰與火路，影響到火在窯體內的時間，其所產生和蓄積的溫度也不同，造就了截然不同的氧化焰或還原焰氣體氛圍。從雛型窯開始，到蛇窯、登窯…今日的四方窯、八卦窯、瓦斯窯、電窯、隧道窯、柴燒窯、乃至最先進的快速滾釉窯；台灣在荷蘭殖民時期便出現了宋硿（也被稱為宋甕、宋陳甕、明瓷、龜甕…，因大多在安平出土，因而被俗稱為安平壺），但一直到清代初葉，台灣的陶瓷品主要還都來自中國，清代末葉台灣才開始自行建立了龜仔窯，開始造磚燒瓦，到了日本統治時期，台灣始建蛇窯及目仔窯(登窯)，同時還將半自

動輪燒方式的「霍夫曼窯」由歐洲引入台灣，並且改成了八卦窯，台灣開始進入磚瓦、陶器自行生產的時代，漸漸地燒陶工業也逐漸發展成重要的工業，並且締造出許多地方的陶藝美名，包括鶯歌陶、公館陶、苗栗陶、清水陶、大甲東陶、集集陶、南投陶、八卦山陶、鳳山陶…等。從火燄行進的方式到造窯的材質及燃料種類的多樣性，足以寫下人們對於陶製品的喜愛與應用是不會因時代的變遷而有太大的更改。

## 2-2 傳統式樂燒窯使用性分析

現況樂燒窯的活動推廣過程中，所使用的窯體分別有傳統攜帶式樂燒窯、學校班窯式樂燒窯、藝術家專用式樂燒窯，相關各類樂燒窯體優、缺點如表 1 說明。

在台灣樂燒也普遍受到陶藝工作者的採用，其作法如下：(1)預先將成形完畢的坯體素燒(800~1100℃)，其坯土必須摻入 10~20%的熟料或匣鉢粉，使能承受急劇升降溫，而不至爆裂。(2)以淋釉、浸釉、噴釉或塗彩等方式進行上釉，施於素燒過的坯體，然後放入窯裡燒成。(3)採用自製的簡便樂燒窯進行窯燒，它是以厚約 3 公分的耐火石棉，用粗鐵絲網固定住，捲成或折成窯壁，底座則是用耐火磚鋪疊而成，中間架以瓦斯噴火嘴。將坯體裝窯後，點小火烘燒，逐漸加大火勢，直到坯體通紅而表面的釉藥也呈現光澤，這表示溫度已經達到使釉藥熔融的程度就可以準備熄火出窯了。至於多少的溫度可以達到這個程度，則視釉藥調配所適合的溫度，一般都在 900~1100℃左右。(4)出窯時由兩人從兩端將便窯提掀移開，此時即全部露出通紅坯體，盡速用火鉗將坯體一個一個挾入事先準備的鐵桶，內置碎報紙、木屑或是個人所偏好的有機物，如乾樹葉或龍眼殼等。(5)將火紅的坯體挾入桶內，裡頭的物質被點燃，待火舌大肆的竄升時，蓋上桶蓋，此時由於空氣被阻絕，火舌隨即消失，而被濃濃的白煙所取代，呈悶燒的還原狀態。大約經過 15~30 分鐘的悶燒，再挾出丟入水中，以防再氧化。(6)出窯的作品在水中冷卻到不燙手的程度即可取出，用粗菜瓜布將表面所粘附碳屑及游離的碳素刷除掉，再用水洗淨即完成。

從坯體排窯、點火到出窯冷卻可以拿在手上，所操作的時間大約是 2~3 小時。然而，習知傳統樂燒窯有以下缺點：(1)裝置鐵架及石棉，鋪設底座等步驟繁瑣耗時。(2)傳統的樂燒窯其結構外部保溫的石棉係有害物品。(3)等待窯燒時間缺乏休閒活動的樂趣。

## 2-3 耐火板材質分析

製作耐火窯體的防火材質，通常稱為防火板或稱耐火板，其產品名稱為陶瓷纖維棉板(Board)，陶瓷纖維棉製品是將氧化鋁、氧化鈣經高溫熔融製成陶瓷纖維，再加工成不同用途的陶瓷纖維毯、板、管、紙及散棉等。陶瓷纖維棉板(Board)其特性為：1)優良的熱穩定和化學穩定性。2)低熱容量、低熱導率，低收縮。3)、板面平整，耐壓强度高。4)容重、厚度均勻一致。5)均質的結構，易於機械加工。

陶瓷纖維板採用陶瓷纖維棉加入無機及少量有機結合劑，用真空成型法制成，表面平整、尺寸精確、韌性好、可任意切割、保溫效果優良等性能特點，工作溫度為 1100℃~1700℃是窯爐等熱工設備壁襯理想選材。高性能的陶瓷纖維早在 1960 年代就開始做成石膏板的形狀，應用在爐壁隔熱件，早期只有高氧化矽材質的耐火板，隔熱性質就

已經很優異，蓄熱量低，升降溫容易。

表 1 各類樂燒窯優缺點分析表

項次	規格	缺點	優點	樂燒窯照片
1	傳統攜帶式樂燒窯	傳統式的窯體組裝不方便，且傳統防火石棉易揮發有毒粉體。	可以到不同地方示範樂燒，就可設計攜帶式樂燒窯，它的體型較小、輕便、易於拆卸，可以帶到任何地方從新組裝。	
2	學校班窯式樂燒窯	外部窯體在燒完後要不易於拿起，窯蓋要開始時容易發生操作上重心不穩發生危險，且容易在開窯碰到成品導致作品掉落，所以，有的窯體會裝上長柄在窯體上，讓學生容易抬起它，但還是有一定的危險。	窯的體型較大，可以容納全班的作品，不用燒太多次，重要的是，它的內部可以分層。	
3	藝術家專用式樂燒窯	樂燒燒窯時，一定要注意，開始時窯火一定不可太大，否則坯體易爆裂。	窯的體型大小，隨藝術家個人喜好而定，重要的是若要燒較重較大的作品，則需準備特大鐵夾，可以讓兩人合力舉起作品，當然燒窯速度也要容易控制較好開啟窯蓋。	

## 2-4 耐熱震陶土技術分析

耐熱震陶土技術係結構陶瓷開發技術之運用，結構陶瓷開發中的氧化鋁陶瓷是一種以氧化鋁（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）為主體的陶瓷材料，有較好的傳導性、機械強度和耐高溫性。氧化鋁陶瓷是一種用途廣泛的陶瓷，因為其優越的性能，在現代社會的應用已經越來越廣

泛，滿足於日用和特殊性能的需要。高技術耐熱震陶瓷，內部係由體積比百分之 30 至 40 之類樹枝狀孔隙結構而成，表層則是較為緻密的燒結體。其結構對於熱震效應的緩衝和微細裂縫的傳導抑制，具有非常明顯的效果。氧化鋁陶瓷的特性：(1) 體成型結構、(2) 可以承受比較快之升溫/降溫速率、(3) 使用壽命更長久、(4) 相較於緻密型陶瓷重量較輕。氧化鋁是耐熱震陶土的主要原料，並添加不同比例之矽灰石、鈉長石、鉀長石、氧化鎂、氧化錳、氧化鋅、莫萊石或滑石比較之。隨著莫萊石或滑石添加量的增加，也可大幅降低氧化鋁陶瓷之密度並增加其孔隙度。

基於上述特色，本研究烤爐部分應用耐熱震陶土技術製作，採注漿成型法製作，注漿成型是氧化鋁陶瓷使用最早的成型方法，由於採用石膏模、成本低且易於成型大尺寸、外形複雜的部件。注漿成型的關鍵是氧化鋁漿料的製備，通常以水為熔劑介質，再加入解膠劑與粘結劑，充分研磨之後排氣，然後倒注入石膏模內，由於石膏模毛細管對水分的吸附，漿料遂固化在模內。空心注漿時，在模壁吸附漿料達要求厚度時，還需將多餘漿料倒出，為減少坯體收縮量、應儘量使用高濃度漿料。

### 三、設計方法與規範

#### 3-1 樂燒窯開發定位分析

本研究首先針對市面各種形式窯體產品重新定位，確認本次計劃中開發的方向。透過蒐集市面上已出現之窯爐同質應用產品法做比較分析(圖 1)，尋求特色商品差異化。由各種形式窯體產品定位十字分析圖中所示，發現目前窯體通常都是不可以移動，且多為笨重的型態，熱源也需經由燒柴或是插電加熱的方式才能燒製成品，後續開發將朝向輕巧便於移動的窯體進行規劃與設計。其後再針對市面各種形式樂燒窯體，進行十字分析比較尋求產品特色與需求方向(圖 2)，可以看出新開發改良的樂燒窯體須將陶瓷工藝與設計外觀結合為本研究開發改良設計的方向。



圖 1 各種形式窯體產品十字定位分析圖

圖 2 各種形式樂燒窯體產品開發改良設計方向分析圖



### 3-2 樂燒窯合理性結構評估

燒陶的窯體結構有直焰式窯、橫焰式窯、準(半)倒焰式窯、倒焰式窯等，不同窯種有不同火燄路徑，目的是要求窯體內氧化焰或還原焰的氣體氛圍與火溫在窯內停留的時間，來製造釉色與坯體的質地。因為本研究強調移動式樂燒的特色，如果使用倒焰型態的燒窯型態將會使設備體積過於龐大，所以選擇以直焰式燒窯做為本研究的發展的主要方向。行動樂燒窯烤爐熱對流與溫度調節(參閱圖 3)簡單說明如下：烤爐與樂燒窯室同時使用時，熱對流走向溫度由下方出發，利用熱空氣上升的原理我們將空氣導入最上方的小煙囪，同時將側邊煙囪口頂部蓋上鐵板好控制窯體的壓力。熱氣將會隨著孔隙流竄，因此控制排氣孔是控制窯體內部溫度的關鍵。當上方烤爐溫度到達適當窯烤溫度時，我們會將中間的通風口關上讓側邊的煙囪口打開，讓空氣能夠順利地從旁流出讓溫度能夠順利得往上升。

位於行動樂燒窯烤爐上方的「烤爐」，乃是針對教育推廣活動性質改善現有樂燒窯，努力思索結合了「蛇窯」與「瓦斯窯」多項窯爐優點；構築方式突破一般歐、美直焰式麵包窯的處理模式，將原本必須耗費多時在窯床上燃材烘燒窯體作業的設計，移往到下方燃燒，以直焰式原理將火焰（溫度）導引穿過窯體細縫孔洞，直接傳導熱能於耐熱震陶土烤爐上，隨之從中間溫度調節層煙道通連到後方煙囪排除。本項結構之所以將「燃燒處」火嘴移往下方，乃係考量藉由窯體結構為內部封閉式的熱循環方式，不用花費太多時間在清理窯床上的灰燼炭火，也比較不會讓窯爐內外瀰漫過多的塵埃；還有一個好處是耐熱震陶土本身，對窯體本身具有「持溫」、「除濕」功能。在短暫時間內用強大火力即可達到作業流程所需要的理想溫度，使用行動樂燒窯烤爐用來創作成品不會受環境限制，下方窯室溫度往上升時保持上方烤爐之爐溫繼續烘烤麵包、披薩等食物。

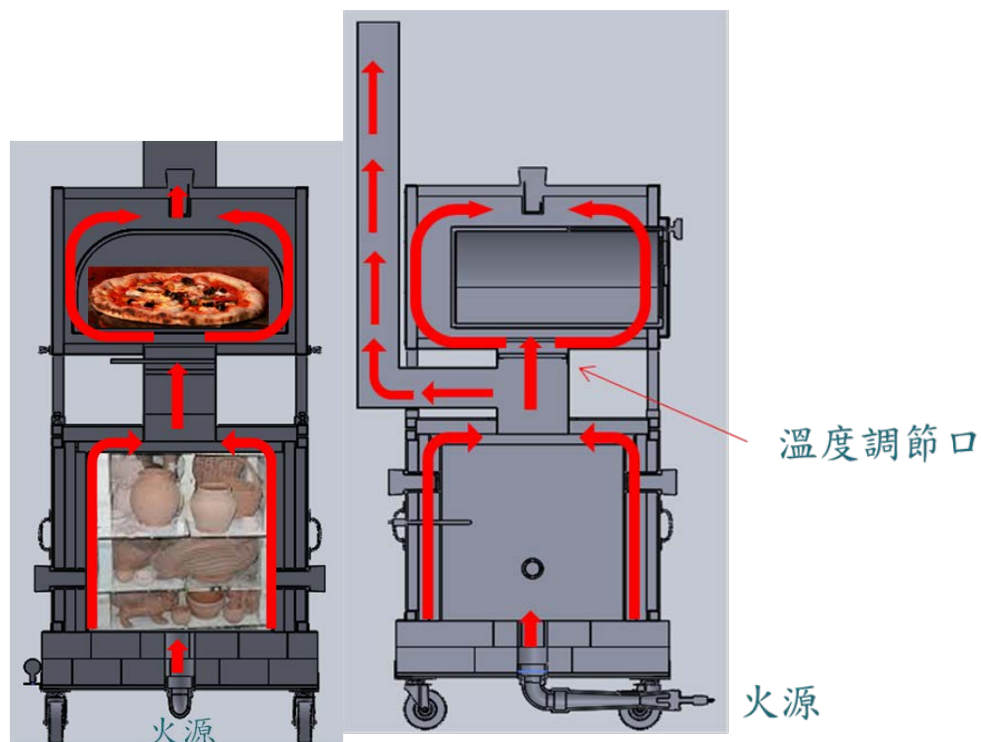


圖 3 行動樂燒窯烤爐熱對流與溫度調節示意圖

### 3-3 樂燒窯體開發方向分析

有別於一般陶藝使用之樂燒窯，本研究擬重新改良架構骨架、設計外觀與耐火棉板做結合，開發可行動式樂燒窯，跳脫傳統使用簡陋工具組裝而成窯體，使樂燒窯整體造型藝術感與實質耐用性提高，給人有更加深刻的印象。

1.改良後的行動樂燒窯，增加燒窯時藝術與文化的體驗度。消費者與遊客等在從事燒窯這類型活動時，一般傳統樂燒窯較缺乏現場感官體驗及情緒感受，大多燒窯時間拉長作品也都只能觀賞用。而藉由改良為可行動式樂燒窯更可以使時間效率提高，讓消費者可以有更多機會體驗陶藝文化的體驗度。

2.配合政府文化推廣、專業陶藝家的需求、光觀業者的活動設備...等，搭配健康無害娛樂體驗就可以享受陶藝薰陶，並與有地域性代表物、主題性的方式做為行動是陶瓷坯體窯燒裝置，給予消費者安心使用的簡易樂燒窯爐，加上短時間內便可取得作品。

3.應用設計美學，提升優質的行動樂燒窯。將行動熱燒窯功能性優化並應用美學角度，將外型設計符合消費者喜好，增加產品新特色。未來更可以連結當地特色行銷與推廣，促使傳產的特殊化與多元，帶來不一樣新氣象。

4.無害的樂燒窯體驗，增加樂燒窯的附加價值。傳統的樂燒窯其結構外部保溫的石棉係有毒物品，本研究行動式樂燒窯以耐火棉板取代有毒的石棉，改善以往樂燒窯燒製過程所排放的有毒氣體。

5.樂燒窯附加的耐熱震窯烤爐可以配合當季當地農產品，推出適合與美味的食譜製作，其滿足消費者求新求變的視覺與味蕾的體驗。本案的行動樂燒窯烤爐不僅可以燒製陶瓷，還附有耐熱震的烤箱，利用窯燒餘熱可以燒烤食物，給等待燒陶的消費者於等待期間的休閒娛樂，有別於以往傳統樂燒窯的型式，也將原有的問題解決，改良後的樂燒窯運用材料技術與結構設計的改造，強調整個窯燒過程能讓參與者達到體驗陶藝，不僅有品質保證也維護到安全感的基本需求。

### 3-4 熱燒窯體設計規範彙整

本研究主要係結合耐火板材料與耐熱震陶土技術，進行改造設計具休閒功能的行動樂燒窯烤爐(包括行動式樂燒窯窯體及引用窯燒餘熱的休閒用烤爐)。本研究係提供一種行動樂燒窯烤爐，係由不銹鋼體結構、耐熱板材、耐熱震陶土及瓦斯加熱燃燒裝置組所構成。

經過樂燒窯使用性分析、結構分析及熱傳導合理性評估等，彙整本研究所開發改良設計的行動樂燒窯烤爐產品之功能規範如下：

(1)附加價值的可行動式樂燒窯烤爐設計 (包含結構改良與外觀造型設計，窯體並裝置活動滾輪便於移動，也可簡便載於小貨車上做長距離移動)。

(2)材質應用:窯體架構為鋼鐵焊接而成，填充外壁與外部造型設計為耐火板，外部裝飾為耐高溫色料塗，上方烤窯與窯燒坯體為耐熱震陶土。

(3)尺寸規格:窯爐部分其長、寬、高分別為 100\*70\*100cm，烤爐部分其長、寬、高分別為 50\*30\*50cm。

(4)熱效應顯示:a.窯爐部分素坯加熱 800 ~ 1100℃，時間:約 240 分鐘；b.烤爐部分第一階段烤箱餘熱效應 200 ~ 300℃，時間:40~60 分鐘、第二階段保溫 50 ~ 70℃，時間:15~20 分鐘。



(5)有關窯體的能源係採用易取得及攜帶的桶裝瓦斯，加熱燃燒至 800~1100℃，屬於氧化燒非還原燒，能完全燃燒與一般餐廳的瓦斯燃燒相同，相關的熱效能也會透過熱能測試機械檢測以達到最佳熱效能。參加活動學員僅做陶藝品創作，有關燒窯相關事宜均由專業師傅執行，本研究也從使用性角度詳細思考，讓窯燒簡便使用外也會注重操作人員的安全，比一般樂燒窯僅用簡易的石棉圍起即進行燒窯會有更安全的規劃。

## 四、行動樂燒窯設計執行與驗證

樂燒窯開發改良設計製作階段包含樂燒窯設計規範與設計構想、窯體耐火板結構設計、工程圖與產品細部設計等步驟。首先針對設計規範所得之結果進行行動式樂燒窯的概念延伸，提出行動式樂燒窯的設計構想。接下來著手進行研究分析形成共識後，對於可行動式樂燒窯發想草圖進行討論溝通，將確定版本繪製 2D 圖稿後定案。製作部分在窯爐製作專業公司協助下，討論設計草圖與製作時會有的差異點及注意事項，整理後確認與設計規範較接近的概念圖進行實體成品設計與製作。行動樂燒窯製造過程依大量製成模式進行修正，所使用材質原料、造型外觀設計等依照各領域專業加工技術、成本進行調整，著手進行實品打樣測試後再整理細節部分，為後續驗證與開發進行前置準備。

### 4-1 產品構想發展與 2D 圖稿

行動樂燒窯的設計構想草圖，分別以移動性、輕巧性、安全性組成作考量。構想草圖就直筒式窯與倒筒式窯方向進行發想，型態部分則考量窯室使用效率及現有產品造型分為八卦窯型、直立方型、金字塔型〈子彈型〉與行李箱型等 4 個方向計 16 款提案。上述構想草圖經與廠商討論製作可行性後，進行 2D 圖稿的整理如表 2。經對照設計規範中所提出的諸要項後，並考量設計草圖與製作時會有的差異點及注意事項，最終採 2D 圖稿中的直立方型構想進行後續產品與結構設計。

表 2 行動樂燒窯 2D 概念彙整表列

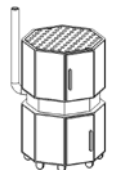
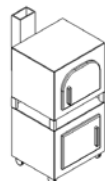


	設計概念與特色	2D 概念圖
八卦窯型	設計概念:由八卦窯的意象設計外觀為八卦多邊型，設計上下兩處窯爐口，頂端設計對流通風孔讓窯體有中國風。 設計特色:頂部設計散熱孔，增加空氣對流讓冷、熱空氣容易循環。樂燒窯底部設計可移動的輪子，讓窯體可便於移動。	
直立方型	設計概念:簡單素雅的方型外觀，幾何造型讓人在製作樂燒時，目光可以專注在作品之中，藉由利落簡潔的幾何線條，襯托出窯體的美。 設計特色:設計煙囪裝置，使多於熱能與煙可藉由此處調節。上下兩處窯爐口，設計左右不同方向，使取料不會有同側操作的不便感產生。 樂燒窯底部設計可移動的輪子，讓窯體可便於移動。	

表 2 行動樂燒窯 2D 概念彙整表列(續)

	設計概念與特色	2D 概念圖
金字塔型	<p>設計概念：金字塔頂端給與神秘的感覺，就像燒窯後會有什麼樣的作品產生，是無法預測的，期待的樂趣讓人在對此窯爐燒製出來的產品更有樂趣。</p> <p>設計特色：金字塔的意象，讓爐火於頂端聚熱後對流至下方燒烤食物。下寬上窄的窯體設計，讓熱的對流循環可以得到最佳的傳導。</p> <p>樂燒窯底部設計可移動的輪子，讓窯體可便於移動。</p>	
行李箱型	<p>設計概念：包子窯的概念發展，圓頂的造型，圓滿的意象，加上與幾何線條的組成，上方食物烤爐增加平台設計，讓食物方便出入窯，下方樂燒窯體維持單一窯爐口加大爐口尺寸易於讓成品取放容易。</p> <p>設計特色：圓頂的設計讓熱對流產生最佳循環，前方平台使食物進出取料更加方便。窯體維持單一窯爐口加大爐口尺寸易於讓成品取放容易。</p>	

## 4.2.產品 3D 圖面

本研究主要係將耐火板及耐熱震陶土技術應用在移動式行動樂燒窯的實驗研究，此外並進行產品開發改良設計。依據設計草圖階段所確認出的外觀造型，再與窯爐製作專業公司進行相關結構上的討論後，展開行動樂燒窯產品的結構設計，行動樂燒窯烤爐六面視圖(含外觀尺寸)如圖 4，最終 3D 等角視圖請參閱圖 5。

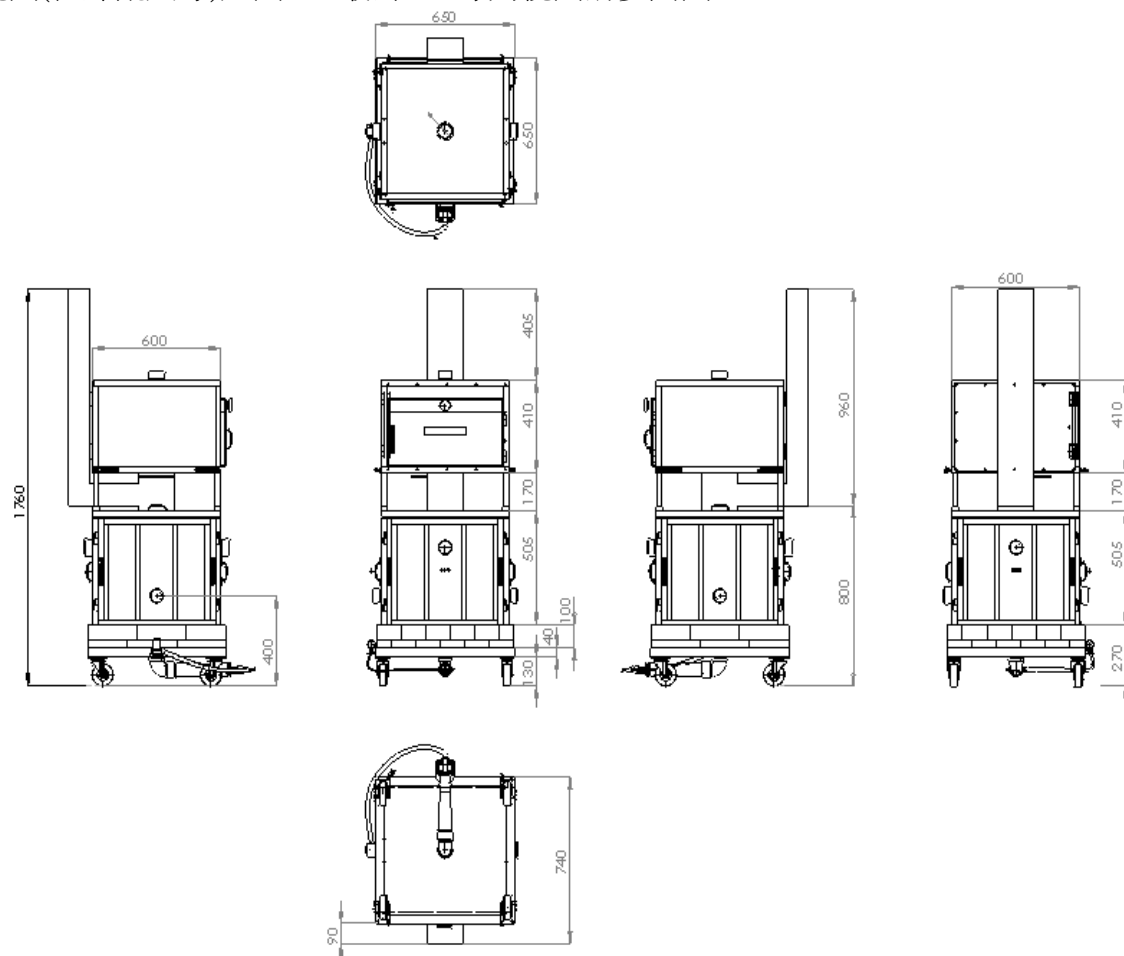


圖 4 行動樂燒窯烤爐六面視圖

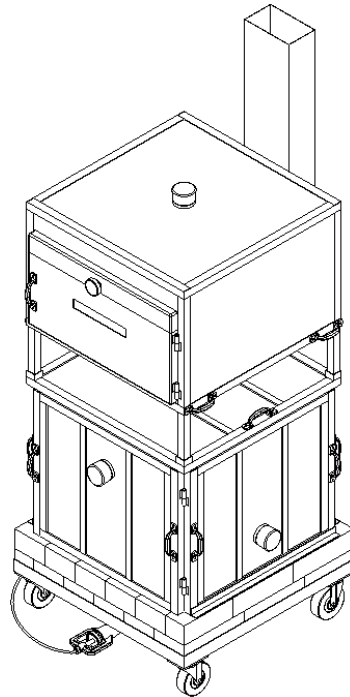


圖 5 行動樂燒窯烤爐 3D 等角視圖

#### 4-3 行動樂燒窯實體產品

實體產品除窯燒外，兼具樂燒及窯烤食物的功能，增加樂燒窯活動的樂趣。為達成上述目的，實體產品提供一種行動樂燒窯烤爐，係由不銹鋼體結構、耐熱板材、耐熱震陶土烤爐及瓦斯加熱燃燒裝置組所構成。整體主架構為一長方體狀不銹鋼體結構體，底部四端點處裝置有四組可移動滑輪組，底部中間為燃燒裝置組，其上方設有一耐熱板材隔板，隔板上方具有一窯室，燃燒裝置組與窯室間具有一連通孔隙，窯室四邊及頂端均裝置耐火隔板，窯室前側隔板並設置成可開合的窯門，窯室頂端的耐火隔板中間開孔，並設置一中空聯通管與位於最上端的爐室貫通；該中空聯通管設有一調節閥門裝置，可調節窯室餘熱上傳爐室與排出窯體外的量；爐室係以不銹鋼板隔成，其內裝置有耐熱震陶土烤爐，烤爐與不銹鋼板間裝置有耐火陶瓷纖維棉板，前端以不銹鋼板封合並設置一可開合的爐門；俾藉由此行動式樂燒窯烤爐的設計，可兼具樂燒及窯烤食物的樂趣，不但使樂燒窯變成可行動式便於推廣，而且在窯燒等待期間可以提供附加之烤爐功能，進行披薩類食材燒烤的休閒活動，增加樂燒窯活動的樂趣。(實體產品外觀與使用狀態請參閱圖 6)

製作完成的實體產品，具備有下列諸項優點與功效。

- (1)行動樂燒窯烤爐為模組式設計，容易組裝及方便搬移。
- (2)煙囪設於行動樂燒窯烤爐一側，順勢導熱可增加窯室知燃燒效率。
- (3)設置耐熱震陶土烤爐以進行披薩等食材的燒烤，提升玩陶休閒活動的樂趣。



圖 6 行動樂燒窯烤爐外觀與使用示意圖

#### 4-4. 窯燒烤爐實驗效果驗證

在行動樂燒窯實體產品設置完成後，將實驗用陶坯分別放入樂燒窯之燃燒裝置組上端的窯室空間，關閉窯門後點火進行燒窯。先點小火烘燒再逐漸加大火勢，直到坯體通紅而表面的釉藥也呈現光澤，這表示溫度已經達到使釉藥熔融的程度(可透過窯門窺視孔觀測，靠目測得知)；此時在窯燒過程中即可調整調節閥門裝置，讓窯燒餘熱導入上端爐室。窯爐與烤爐同時使用時，熱對流走向溫度係由下方出發，利用熱空氣上升的原理將空氣透過中空聯通管導入最上方的煙囪，同時將側邊煙囪口頂部蓋上鐵板，以便控制窯體的壓力。熱氣將會隨著孔隙流竄，因此控制排氣孔是控制窯體內部溫度的關鍵。當烤爐溫度到達食物窯烤溫度時，可以將中空聯通管的溫度調節口關上，讓側邊的煙囪口打開，使得空氣能夠順利地從旁流出，讓溫度能夠順利的往上升。當爐室內耐熱震陶土烤爐溫度達到 200-300 度 C 間，就可以進行 PIZZA 等食材的燒烤，在邊燒烤邊享用美食同時等待窯室內的坯體窯燒完成，以提升玩陶休閒活動的樂趣。

窯燒實驗研究依上述窯燒過程進行初次實驗，但由於耐熱震爐體因製造程序問題使得外壁結構製作上厚度不夠平均，加上成品燒製後變型，導致燒製過程中爐體底部溫度不平均，實驗窯燒過程的熱膨脹效應致使耐熱震爐體本身產生裂縫情況。烤爐內部溫度分佈經由儀器量測左後、中後、右後、左中、中中、右中、左前、中前及右前等 9 個點的爐體底面內測溫度，也有呈現不平均的情況。第一階段實驗由於急火燒窯(90 分鐘內將窯體溫度提升到 600 度 C)，升溫過於急遽造成窯內溫度不平均，溫度集中在中間調節閥門上方往後延伸，致使爐體前方溫度均無法提升，造成耐熱震烤爐體因受熱不均，爐體內部熱對流形成不平均的情況，在下方窯體溫度僅提升到 600 度 C 時，耐熱震烤爐體底部就產生裂縫情況，無法繼續升溫到樂燒 1100 度 C 的窯燒溫度之下，宣告實驗中止需再重新調整相關燒窯參數再次實驗。緣此，耐熱震爐體的設計仍需要再進行評估與設計。相關烤爐底部各溫測點在窯體燒窯溫度過程的溫度變化情形請參閱表 3 及圖 7。

第一階段的實驗因為溫度上升過快，致使耐熱震烤爐產生裂縫跡象而終止實驗。透過這次實驗，讓我們了解到硬火在窯燒時的施放需要再改進，好讓產品的收縮不會造成損壞。而有關耐熱震烤爐在製作與燒成過程處理不當，致使爆裂的原因大致可歸結如下：1)乾燥和冒水氣過成失當、2)石英轉換作用、3)氧化作用、4)瓷化作用等。此外，就耐熱震烤爐成形部分再度審視與考量 1)作品尺寸的大小、厚薄、2)陶土的乾燥速度、3)陶土乾燥的方式、4)陶土的燒成收縮、5)掏空的方式、6)陶土的種類等影響燒成部分的因素後，重新施做一個烤爐進行第二階段實驗。

表 3 烤爐底部各溫測點在窯體燒窯溫度過程的溫度變化表(第一階段實驗)

時間(Min)	30	40	50	60	70	80	90
窯體溫度(°C)	250	300	350	400	450	550	600
左後	50	50	61	85	125	135	140
中後	50	50	80	125	155	165	170
右後	61	80	92	115	128	135	142
左中	50	50	55	73	100	110	120
中中	50	50	93	116	130	140	150
右中	50	50	55	67	85	100	115
左前	32	32	37	41	53	55	60
中前	32	32	36	45	55	58	63
右前	32	32	37	40	50	55	58

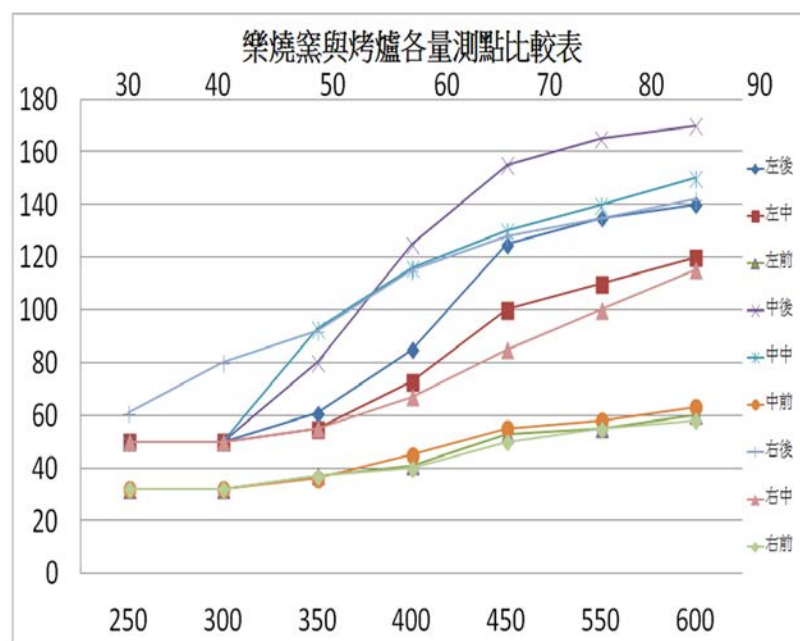


圖 7 樂燒窯與烤爐各量測點溫度變化折線圖(第一階段實驗) X 軸：樂燒窯溫度 Y 軸：烤爐溫度

第二階段實驗為了改善第一次因急火造成爐體溫度的不平均情形，就 1)燒成的速

度、2)緩慢燒成的影響、3)燒成的曲線等因素重新設定實驗條件，以符合實際樂燒窯燒製程序為原則。在第二次的實驗條件設定將升溫的熱源改成比較和緩的火源，用意在於將窯體升溫速度能維持一致性，避免燒窯過程溫度的急遽變化造成爐體的破裂。藉由上次經驗，這次在升溫時使用軟火，但是這樣時間將會拉長。第二階段相關烤爐底部各溫測點在窯體燒窯溫度過程的溫度變化情形請參閱表 4 及圖 8。

表 4 烤爐底部各溫測點在窯體燒窯溫度過程的溫度變化表(第二階段實驗)

時間(Min)		30	60	90	120	150	180	210	240	270
窯體溫度(°C)		250	350	450	550	650	750	850	1000	1100
烤 爐 溫 度 (°C)	左後	112	130	145	158	165	198	209	225	240
	中後	125	139	150	170	189	202	225	245	250
	右後	128	142	158	175	193	210	231	235	240
	左中	90	100	120	130	142	173	196	235	245
	中中	101	120	133	155	185	196	207	250	255
	右中	120	135	145	158	173	196	207	230	245
	左前	65	75	90	100	121	130	133	230	240
	中前	69	85	100	107	123	133	135	240	245
	右前	70	90	105	113	128	140	144	235	240

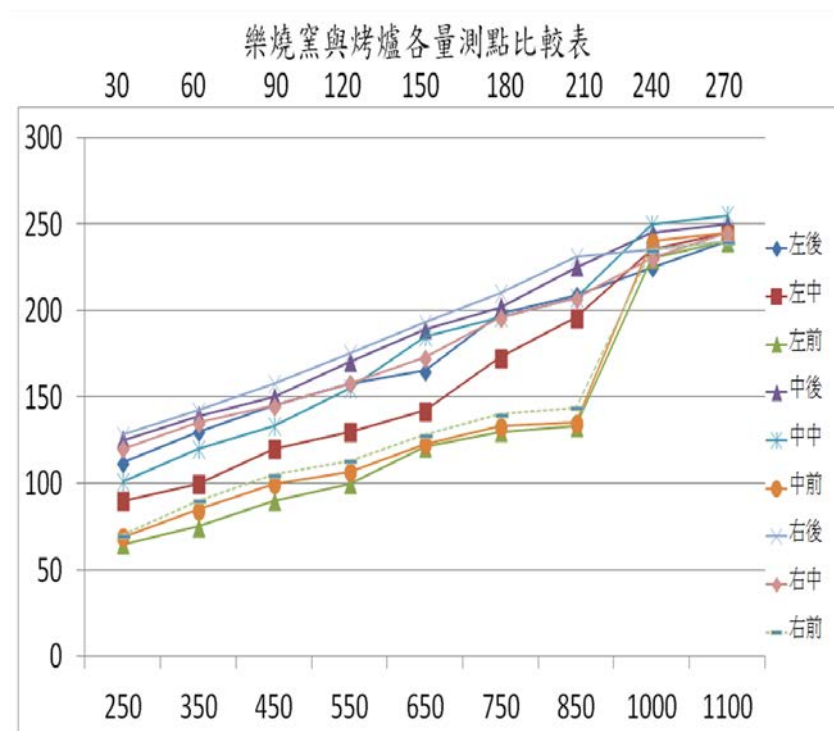


圖 8 樂燒窯與烤爐各量測點溫度變化折線圖(第二階段實驗) X 軸：樂燒窯溫度 Y 軸：烤爐溫度

為了避免在一次造成急火升溫讓素燒坯體，容易因溫度的不平均造成破烈的產生，



將第二次實驗改為軟火方式進行窯體的加熱，在針對窯體的加熱過程溫度到達 750 度左右，開始調節上方烤爐溫度，此時烤爐溫度約可到達 220 度，因樂燒窯體尚未達到 1100 度，需先將中間調節溫度遮板做關閉動作，此時烤爐的溫度可以藉由 K 型測溫棒進行溫度的確認，適當的在用中間調節溫度遮板做烤爐的溫度控制，樂燒窯將持續加熱到樂燒 1100 最終溫度點，而烤爐可藉由樂燒 1100 度後在完成樂燒活動後，將剩餘餘溫調節在 250 度左右，讓烤爐可以持續烘烤披薩類食材。

## 五、結論

本研究所開發的行動式樂燒窯是在樂燒窯體上方設置一個耐熱震烤爐，可以一邊燒窯一邊享受美食；在觀光旅遊業與教育引導體驗環境中找到個性化的價值，創造出業者與消費者共同認同的平台，從而得到文化知識也替業者帶來更多的經濟的效益。

目前國內所從事樂燒窯的活動進行中，在搭窯與燒窯的準備上，十分耗費工序與工時，窯體的組裝與使用材質也都有一定的危險度；此外窯燒過程也需要一段等待時間，如果在燒窯過程中能夠加入休閒活動，必定能使樂燒過程中增添不同的回憶與樂趣。本研究改良後的行動樂燒窯增加了燒窯時藝術與文化的體驗度，有別於一般陶藝使用之樂燒窯，藉由重新改良架構骨架、設計外觀與耐火板做結合，開發可行動式樂燒窯烤爐，跳脫傳統使用簡陋工具組裝而成窯體，使樂燒窯整體造型藝術感與實質耐用性提高。消費者與遊客等在從事燒窯這類型活動時，一般傳統樂燒窯較缺乏現場感官體驗及情緒感受，而藉由改良為可行動式樂燒窯烤爐更可以使時間效率提高，讓消費者可以有更多機會體驗陶藝文化。

本研究主要係改善陶藝所使用的傳統樂燒窯，結合耐火板材料與耐熱震陶土技術，進行改造設計具休閒功能的行動樂燒窯烤爐(包括行動式樂燒窯窯體及引用窯燒餘熱的休閒用烤爐)。傳統的樂燒窯其結構外部保溫的石棉係有毒(害)物品，本研究開發之行動式樂燒窯烤爐以耐火板取代有害的石棉，可以改善以往樂燒窯燒製過程有排放有害氣體的疑慮。此外，本研究行動式樂燒窯烤爐，不僅可以燒製陶瓷，其上端的烤爐部分則採用耐熱震陶土，設計成阻絕熱氣但可利用輻射加熱之密閉烤爐，利用窯燒餘熱可以燒烤食物，讓等待燒陶的消費者於等待期間可進行休閒娛樂。行動式樂燒窯烤爐兼具樂燒及窯烤食物的樂趣，不但使樂燒窯變成可行動式窯體便於推廣，而且在窯燒等待期間可以提供附加之烤爐功能，進行披薩類食材燒烤的休閒活動，增加樂燒窯活動的樂趣。

有別於以往傳統樂燒窯的型式，改良後的樂燒窯運用材料技術與結構設計的改造，強調整個窯燒過程能讓參與者達到體驗陶藝，不僅有品質保證也維護到安全感的基本需求。透過材料與結構改良，不僅改善了一般市面樂燒窯的缺點，本案並針對遊客與消費者的族群考量，預計從坯體到成品時間相較於現有方式能有效縮短減少窯燒等待時間，當天就可拿到自己親手 DIY 的作品作為紀念達到心裡滿足感。

本研究改良後的樂燒窯運用材料技術與結構設計的改造，強調整個窯燒過程能讓參與者達到體驗陶藝。現代的樂燒結合了很多的新創意，讓更多的人對樂燒產生興趣，通常參與者會帶著一種玩樂藝術的心情，浸釉色、做造型、一起燒窯，甚至進行披薩類食

材的窯烤活動，等樂燒陶品完成後還可一起分享食物和心得不亦樂乎，或許今日我們可以給樂燒一個新定義“快樂的燒窯”。陶藝已經慢慢的在人們休閒生活中，轉變成一種期待的樂趣，在等待燒窯的過成當中，如果可能再添加一些休閒樂趣，將做陶變成一種複合式的休閒樂趣，兼顧創意製作中同時享受窯烤的樂趣，豐富手感與視覺的精彩創作過程中體驗不同的特殊休閒感受。

## 參考文獻

1. 閻飛、王雙華(2013)。中國傳統樂燒技法燒砂鍋工藝的田野調查。藝術百家，132，253-254。
2. 李京桓、黃肇瑞(2013)。生活化的結構陶瓷。科學發展，481，60-65。
3. 周光真(2012)。現當代陶藝鑒賞與收藏。南京市；江蘇美術出版社。
4. 孫志剛(2009)。樂燒研究之管窺。南京藝術學院學報(美術與設計版)，6，202-204。
5. 韋文誠(2006)。高效能隔熱陶瓷纖維。未出版之碩士論文，國立台灣大學材料科學與工程學系暨研究所，台北市。
6. 林淑惠(2005)。台灣樂燒陶藝發展的困境。未出版之碩士論文，國立台灣藝術大學造型藝術研究所，新北市。
7. 李堅萍(2005)。陶藝釉藥呈色劑之顯色能力研究。台中教育大學學報人文藝術類，19(2)，21-51。
8. 洪暉(2004)。現代樂燒陶藝創作研究。未出版之碩士論文，東方設計學院文化創意研究所，高雄市。
9. 廖加婧(2003)。日用陶瓷產品設計策略之研究。未出版之碩士論文，國立雲林科技大學工業設計研究所，雲林縣。
10. 吳水沂(1999)。台灣現代柴燒陶藝的探討與柴燒創的要素。台灣工藝，1，。
11. 氧化鋁陶瓷(無日期)。中國：百度百科。上網日期：2015年3月27日。網址：<http://baike.baidu.com/view/309777.htm>
12. 陳三元(無日期)。材料學什麼 / 陶瓷材料 (Ceramic Materials)。上網日期：2015年3月27日。網址：[http://www.mse.nctu.edu.tw/high/super\\_pages.php?ID=high1&Sn=2](http://www.mse.nctu.edu.tw/high/super_pages.php?ID=high1&Sn=2)
13. 多孔陶瓷(Porous Ceramics)(無日期)。新北市：台溢實業股份有限公司。上網日期：2015年3月27日。網址：[http://www.taiyiaeh.com.tw/P\\_D02.html](http://www.taiyiaeh.com.tw/P_D02.html)
14. 建窯的方式與演進(無日期)。台灣：台灣茶訊 tea520 的部落格。上網日期：2015年4月20日。網址：<http://blog.udn.com/tea520/16587372>