

南宋禹縣鈞窯分析鑑定研究

連萬福* 邱于庭* 林連勝** 黃朝聰*

*國立雲林科技大學文化資產維護系

**國立北港農工資訊科

摘要

不論在博物館或古董拍賣場中，均充斥著仿造的古陶瓷膺品，導致對古陶瓷文物鑑定失誤的情況時有所聞。除了傳統鑑識法外，目前藉由現代科學儀器的檢測分析輔助可使文物鑑定工作更加精確無誤。

本研究探討內容包含使用偏光顯微鏡來觀測鈞釉層窯變、鈣長石晶體殘餘、釉層中的石英不規則流紋晶花等現象；以掃描式電子顯微鏡 (SEM) 檢測釉層中的鈣長石析晶、內部的孔洞面相、窯變分相結構、乳光層之液滴相分離、及在不同的釉藥間，其分相液滴大小和數量之差異。並利用拉曼光譜儀，進行陶瓷胎釉的定性或半定量檢測。比對不同陶瓷拉曼光譜的特徵頻譜，可區別不同陶瓷類型中的不同成份。

由拉曼光譜的特徵頻譜結果得知只有天青色鈞釉和綠色鈞釉測得在 150 cm^{-1} 處的波峰，這與鈞釉中 CaO 的含量高有關，而在鈞胎中並未發現此波峰。同樣在 460 cm^{-1} 鈞窯瓷釉中可清楚看到 Ti 金屬氧化物的振動波峰，顯然與鈞瓷釉層中含有較高的 TiO_2 有關。在 40 cm^{-1} 附近是 K_2O 的特徵波峰，鈞瓷釉可清楚看到，而仿鈞釉、仿鈞胎皆無此振動波峰。以上結果可用為鈞窯瓷器鑑定的參考。

關鍵詞：鈞窯、鈞瓷鑑定、文物分析

I. 前言

宋代是中國陶瓷發展史上最繁榮的時期之一，當時窯場林立、名窯眾多，最著名者為汝、哥、定、官、鈞五大名窯，為中國陶瓷業發展寫下一頁輝煌的歷史。而其中鈞窯瓷器以釉具五色，光彩奪目繽紛的藝術魅力而獨樹一幟，鈞窯釉色包含以銅為著色劑還原燒而成的鈞紅釉，及藍色乳光釉上分布著紅色斑紋或紫色斑紋的多色釉。

古董收藏界自北宋以來，歷經元、明、清等時代，鈞窯一直享有崇高的收藏地位。但是因各時期都有鈞窯瓷器的仿製品，直至今日，不論博物館收藏或古董拍賣中，到處充斥著仿造贗品，對於古器物的鑑別更是雪上加霜，文物的鑑定失誤率也有越來越攀升的趨勢 (周寶中, 1998)，足見傳統文物鑑識法，已不能滿足今日對古文物鑑別的需求。欲精確地鑑定古陶瓷器文物的真偽，除了傳統鑑識法之外，應當再另闢蹊徑，如佐以現代科學儀器的檢測分析，俾使陶瓷器物的鑑定更能嚴謹精確。

陶瓷材料會因科技歷史的發展演進，及時代背景和地理位置關係等不同因素，使成分產生變異。典型鈞窯瓷的

釉層經過多次施釉燒造，用相機及偏光顯微鏡檢測，可觀察其釉面氣泡的分布、鈞瓷釉胎色澤及其釉層較厚。用掃描式電子顯微鏡 (SEM) 可觀察到釉胎上之長纖維雲母、石英顆粒、液滴分相、氣孔分布等呈現；還有利用拉曼光譜儀檢測，因材料化學成分不同而有不一樣的頻譜變化，可進行陶瓷材料的成分分析。儀器分析後之結果與文獻，可進一步了解鈞窯之製作工藝及得到鈞釉鑑定之相關資料。

本研究對陶瓷材料的分析檢視，建立鈞窯瓷器的基礎鑑定數據，使鈞窯瓷器在鑑定上更有科學依據。本研究運用現代科學儀器，如偏光顯微鏡、掃描電子顯微鏡 (SEM)，拉曼光譜檢測等。分析判斷各類陶瓷特徵所在，以期得到精確的鑑定與辨識信息。

II. 儀器與實驗方法

2.1 使用儀器

1. 偏光顯微鏡 (Polarizing Microscope), OLYMPUS, CX31P, 日本。

2. 掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy), 簡稱SEM, JEOL, JEOL 5410LV, 日本。
3. 拉曼光譜儀 (Raman spectrometer), Renishaw, Raman Imaging Microscope System 1000, 英國。

2.2 實驗方法與步驟

1. 檢測樣本：河南禹縣鈞窯址瓷片；對照組：現代仿鈞瓷片。
2. 以相機及偏光顯微鏡檢測河南禹縣鈞窯址瓷片樣本，利用掃描式電子顯微鏡，樣本表面經鍍碳膜處理，檢測鈞瓷片樣本以及對照組樣本，並做影像比對；以及使用拉曼光譜儀分別檢測鈞窯瓷片與對照組瓷片，擷取其拉曼特徵峰。

III. 結果與討論

3.1 鈞窯瓷片窯變檢視

宋鈞瓷釉在顏色呈現、乳光狀態和乳濁程度，除了化學組成成分，如 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比、 P_2O_5 含量和著色劑外，還與工藝技術中的燒成時間、燒造溫度、冷卻速度和燒成火焰氣氛等因素有關。鈞窯瓷的釉面常具有良好的乳光效果，較常見的釉色為在天青色、紫紅色等背景上，密布著淡藍色、藍白色等窯變流紋，即所謂的窯變現象。窯變現象¹是指釉的乳濁狀和色彩發生交複變化，而生成的釉多彩變化。鈞窯瓷屬青瓷系統，鐵也是鈞窯瓷的著色劑，因此它使原本為散射藍色乳光的釉偏移成為青綠色或黃色。銅及其化合物使鈞釉呈紅色乳濁釉，金屬銅微晶使鈞釉的紅色微向短波方向偏移。硫化銅 (Cu_2S) 微晶則使紅色的鈞釉變成紫色甚至玫瑰紫，是宋鈞窯常見的顏色釉。是以在不同的鐵、鈷、銅等著色劑的含量組合下，會有不同的釉色變化：

1. 鈞窯瓷釉的化學組成成分與乳光效果的關係：窯變現象是

釉層中產生不均勻性的分相結構，所引起的視覺效果。所謂不均勻性分相結構，是指鈞窯燒造時，胎釉間的燒成反應，使得釉層分為乳光釉層和透明釉層，及釉底層的氣泡向釉表層移動時，將部分透明層釉帶入乳光層中所形成的窯變變化。釉層橫斷面中對乳光層與透明層分相結構之形成因素主要分為兩種，第一是化學組成成分，第二則是釉的分相液滴直徑大小與數量多寡。根據羅宏杰於1997年之《中國陶瓷與多元統計分析》一書中，將瓷胎之化學主要組成成分分類為下面兩種：

- (1) 對分相有促進作用，易形成乳光層： P_2O_5 、 MgO 、 CaO 。
- (2) 對分相有抑制作用，易形成透明層： Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 。

要使釉形成良好乳光效果的分相結構，是使 P_2O_5 和 Al_2O_3 保持在一定比率 ($\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 0.52-0.71$) (劉凱民, 1987, 頁244)。 P_2O_5 含量高或 Al_2O_3 含量低，釉色呈渾濁灰暗 (乳光層)，反之則呈透明的橄欖綠色 (無乳光層，只呈現透明層)。液滴直徑尺寸大 (大於94nm)，數量大，是形成乳光層的必要條件，但從乳光層向透明層移動時，液滴直徑尺寸和數量逐漸降低，在透明層時，分相現象幾乎完全消失而變成均一的玻璃體 (劉凱民, 1987, 頁243)。釉層橫斷面之分相結構分層如圖1與圖2所示，圖2之鈞瓷斷面結構，與文獻所述之圖1分相分層示意圖，基本上吻合。

2. 鈞窯瓷釉的化學組成成分與窯變的關係：化學組成含有低比例的 Al_2O_3 (<10%) 和一定數量的 P_2O_5 是使鈞釉產生分相結構的基本條件 (劉凱民, 1987, 頁240)，而 $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比是控制乳光效果與窯變現象的關鍵因素。其中高的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比 (>7.5)，有利於形成窯變釉，如圖3所示，反之低的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比，則易於形成單色乳光釉，如圖4所示。加入 CuO 著色劑，更加豐富了鈞窯瓷的窯變色彩 (呂成龍, 1999)。

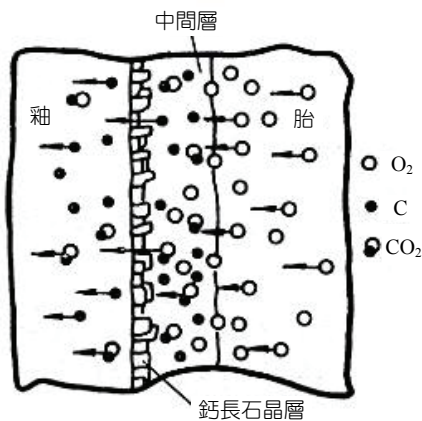


圖1 分相結構分層示意圖 (李家治, 1998)

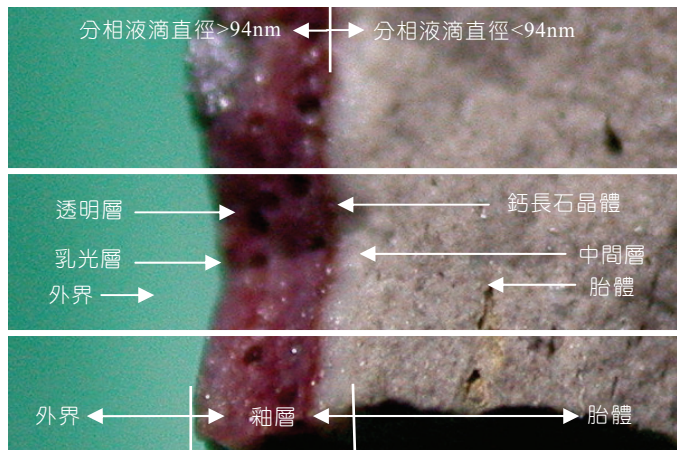


圖2 分相結構分層影像示意圖





圖3 窯變釉示意圖
以故宮館藏鈞窯天藍葡萄紫蓮花式盆托為例²

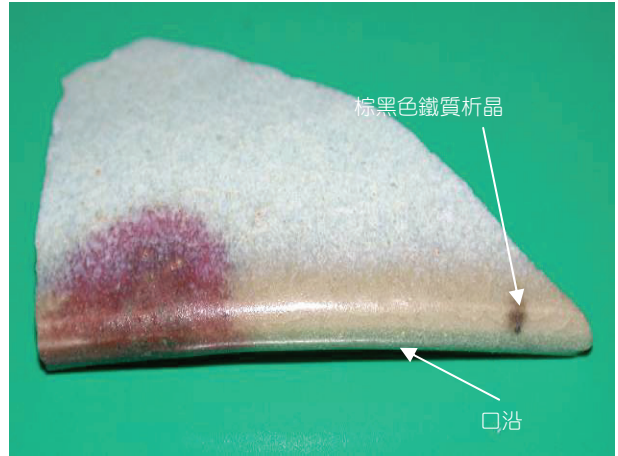


圖6 鈞瓷片口沿及棕黑色鐵質析晶



圖4 單色乳光釉示意圖
以故宮館藏鈞窯鈞天青膽瓶為例³

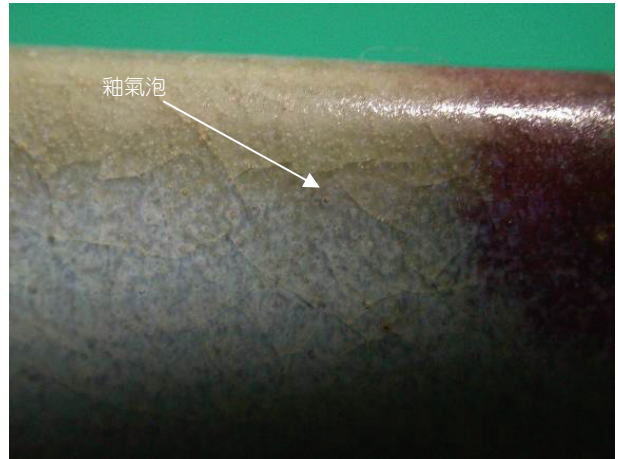


圖7 鈞瓷片表面佈滿微小釉氣泡

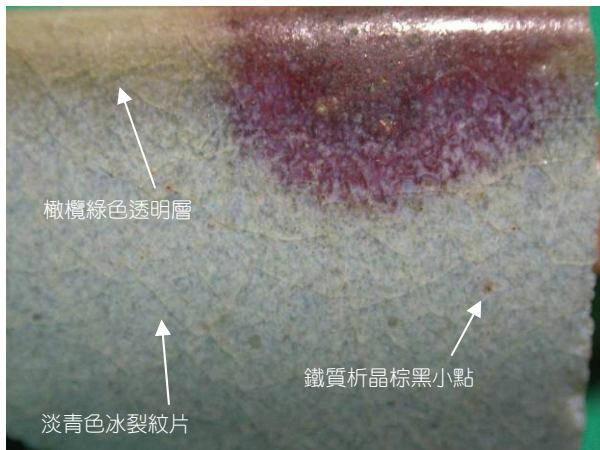


圖5 鈞瓷片口沿部位特徵

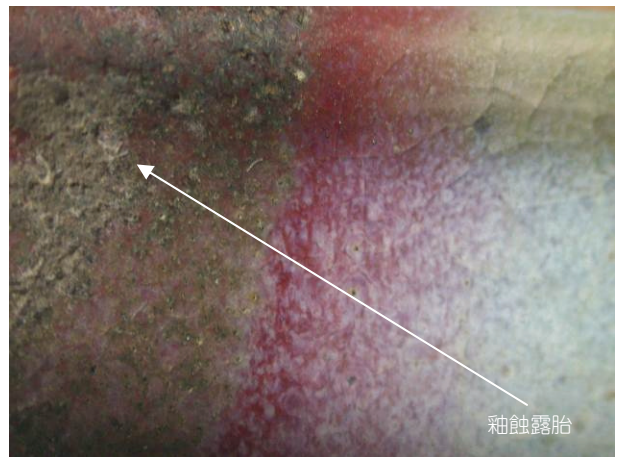


圖8 鈞瓷片釉蝕現象

3. 鈞釉口沿部位只呈橄欖綠色的透明層：另一種窯變現象是乳光層下的透明層，不呈乳光藍色而呈透明的橄欖綠色，是導因於坯體中 Al_2O_3 向釉層擴散時，因 Al_2O_3 的增加而阻止了乳光層的形成。實驗中，鈞瓷片口沿的地

方，其釉層薄呈現淡褐色邊，邊稜處釉色則呈綠褐色，如圖5及6所示。檢視鈞窯瓷片，整體為施以天青釉的不透明乳濁釉，但在口沿處釉質勻潤清澈，釉層細薄透明，釉色則為綠色釉（劉凱民，1987，頁243-245）。部分

釉面上掛紫紅釉彩紋斑，釉面帶有淡青色之冰裂紋片，釉的表面明顯含有氣泡針孔，在孔口其周緣含有鐵質析晶的棕黑色小點。

另外，在釉面上同時具有天青釉、紫紅釉等，清楚的看到其閉合氣孔或開口氣孔（針孔），並且可見很多透明氣泡的存在。而氣泡、氣孔的存在，對鈞瓷溫潤釉面的呈色有一定的助益，如圖7所示。如圖8，鈞窯瓷片樣本因年代久遠，釉面左邊有釉蝕露胎現象。

圖9顯示鈞瓷片由於鐵成分還原可見灰色胎。鈞釉胎質緻密，瓷片的口沿處，左邊釉層為青色，右邊則加重含銅紅釉的塗層，也特別顯現出紫紅釉色調。圖10為瓷片的新斷口（實驗中將其切斷），胎質雜質少、有小縫隙，靠近瓷胎的釉面氣泡較大，近釉面則小氣泡較多。左邊為紫紅窯變釉，右邊為乳光天青色釉。從釉層橫斷面的放大觀察，絕大多數的氣泡是在胎與釉界面上產生，剛開始氣泡並未太大，隨後由胎層跑到釉層時，小氣泡逐漸合併成大氣泡向

表面移動，如未能順利離開之氣泡，則在釉層中留下完整的氣泡。胎體一般因氣體快速的跑向釉面，少有氣泡存留（劉凱民，1987，頁242），然而大氣泡常在釉底層留駐，越靠釉的表面氣泡較小或無氣泡，鈞窯胎釉層中，氣泡存留為其重要的特色。經檢視圖11的氣泡孔與圖10的新斷口之氣泡孔，顯然並不一樣，在圖10中的新斷口，氣泡孔內清新乾淨，但在圖11中，因瓷片經長期埋在地表下，有灰色氧化物等雜質產生。圖12中瓷胎有兩處孔隙存在，使得在高溫燒造時，胎體嚴重下陷，並有填釉現象，填補原先胎土有凹陷的部位，使得外觀上並未產生太明顯的變形。

圖13中，瓷片的右邊釉層中，清楚的看到胎釉層的結構，為胎體-中間層-銅紅釉-銅紅偏白釉-紫紅釉。從圖13與圖14比較中得知，鈞瓷片及仿鈞瓷片之斷面，前者有釉層明顯較厚、氣泡較多，並有中間層，反之後者並無中間層，且氣泡較少。

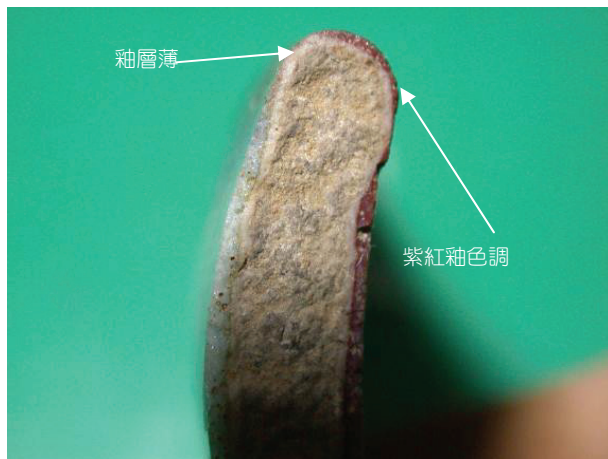


圖9 鈞瓷片口沿處胎質緻密呈灰色，右邊為銅紅釉塗層

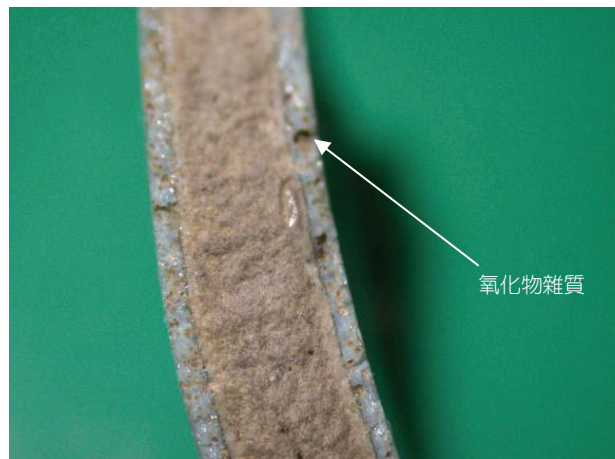


圖11 舊斷口之氣泡孔內灰色氧化物等雜質

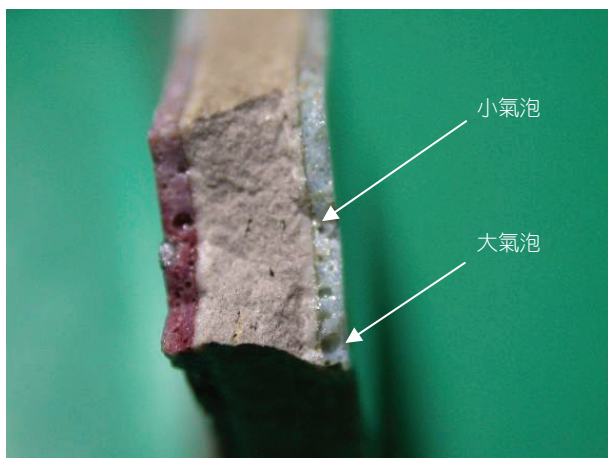


圖10 鈞瓷片新斷口，離口沿較遠處，大氣泡靠近瓷胎，近外界氣泡小

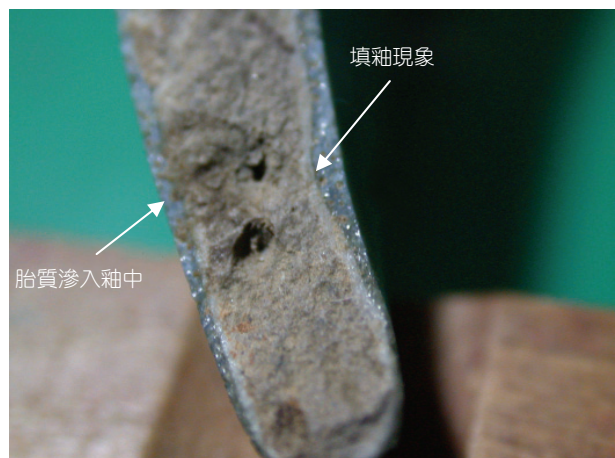


圖12 胎質明顯與釉層融合



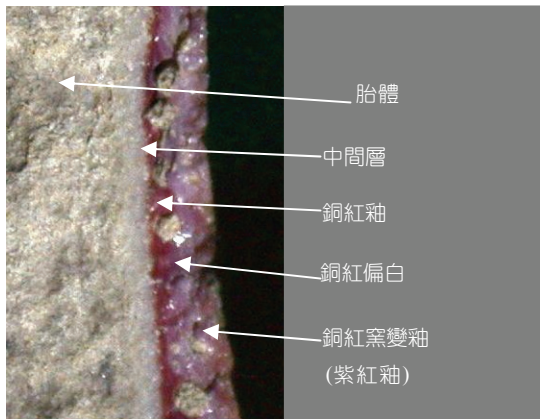


圖13 鈞瓷片釉層經過多次施釉燒造之斷面放大影像圖

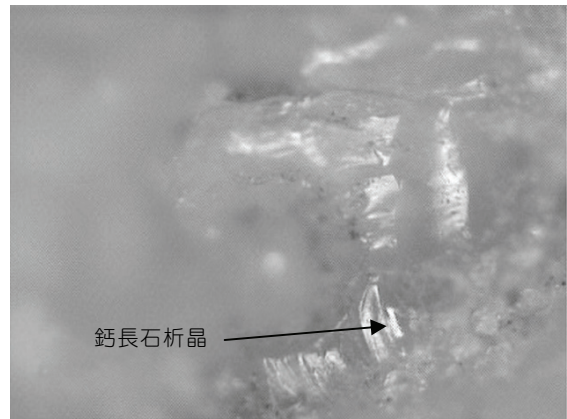


圖15 偏光顯微鏡PM100X鈞瓷片中間層鈣長石大量析晶影像

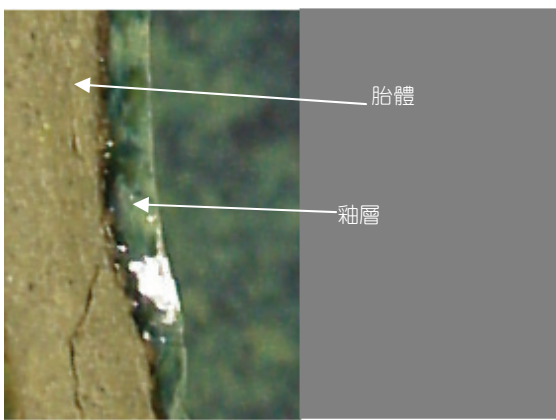


圖14 仿鈞瓷片斷面放大影像圖—未見中間層，且氣泡較少

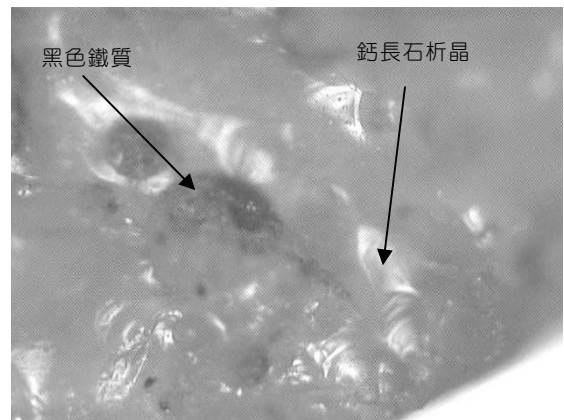


圖16 偏光顯微鏡PM100X鈞瓷片中間層之鈣長石與黑色鐵質析出影像 (程朱海, 盛厚興, 1987)

3.2 偏光顯微鏡檢測分析

將鈞瓷片斷面，用偏光顯微鏡檢測並擷取圖像，佐以礦物晶形及文獻上之描述，及古今所用原料與製造工藝之差異，判斷為何種礦物，如圖15、16所示。鈞窯瓷釉在還原氣氛燒造時，由於燒造溫度不斷的提高，釉層熔融良好形成白色的鈣長石層，胎中的 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等成分因濃度高而部分融入釉中；同樣 CaO 、 K_2O 、 P_2O_5 等，因在釉中的濃度高，而往胎中融合 (李家治, 陳顯求, 1989)。其間著色元素 Fe 和 Cu 在鈣長石和釉層中的含量比較低，因此鈣長石在中間層析晶時析出一部分 Fe 及 Cu 成份，使中間層呈現出較淡白的外觀 (盧嘉錫總主編, 1998)，於是在高溫反應下生成鈣長石的白色層。圖15、16可清楚看見黑色鐵質及鈣長石析晶，此與Cheng等之鈞窯中間層元素分析含 Si 、 K 、 Ca 互相吻合。(Cheng, et al., 2009)

鈞窯瓷的窯變現象會因釉層中氣泡數量和大小不同而有所差異；以肉眼裸視觀察單色乳光釉，氣泡尺寸小不易發現；而窯變釉中氣泡較單色乳光釉中的氣泡少，但尺寸較大，可由肉眼看到許多大而明亮的氣泡分散在釉層中。

由100倍 (PM100X) 偏光顯微鏡觀察，天青色單色乳光釉和藍白混雜的窯變釉，其釉層橫斷面，可分為乳光層和透明層，上層為深藍色乳光層，下層為橄欖綠色的透明層。透明層位於乳光層和坯胎之間。口緣、稜緣等處的釉層，薄得只剩下透明層，而無乳光層。絕大多數氣泡會於入窯燒製時在胎釉界面上產生，其間一部分氣泡從表面跑出，並在釉面上留下的針孔狀痕跡，如圖10、17所示。鈞窯瓷釉中含有多量的氣泡，有的呈閉口狀，有的在釉表上形成大針孔，針孔的底部為黑灰色氧化鐵析晶，見圖17。

胎體原料頗為緻密，胎質融溶均勻，其間可觀測到少部分石英顆粒殘餘，並有許多形似芝麻的氧化鐵質 (張福康等, 1992) 黑色顆粒微晶析出 (陳堯成, 張福康, 1989)，見圖18、19。

在 CaO 含量多的鈞窯瓷釉中，生成頗大的纖維狀鈣斜長石針晶 (李中和, 戴粹新, 1989)，附近亦有部分莫來石析晶 (陳顯求, 黃瑞福, 1987)，如圖20。釉層中包含玻璃相和結晶相，其間透明層之釉泡與固體顆粒清徹可見，其間石英顆粒邊緣已被熔蝕，見圖21。

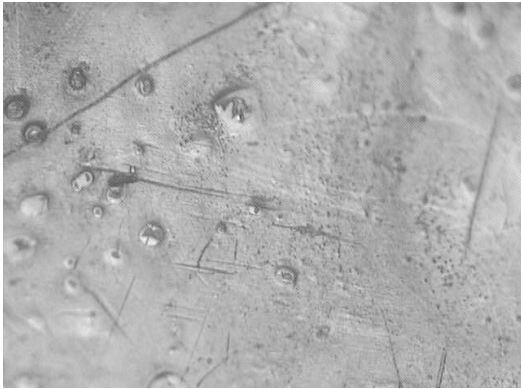


圖17 偏光顯微鏡PM 100X鈞釉表面針孔

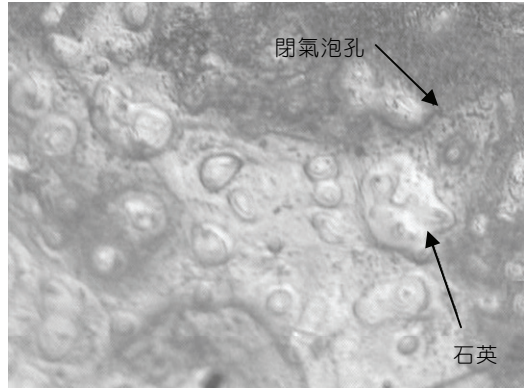


圖21 偏光顯微鏡PM 100X鈞釉面透明層氣泡石英

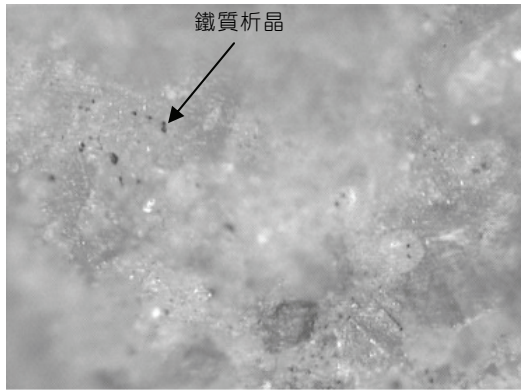


圖18 偏光顯微鏡PM 100X 鈞瓷片胎體內氧化鐵質析晶影像圖

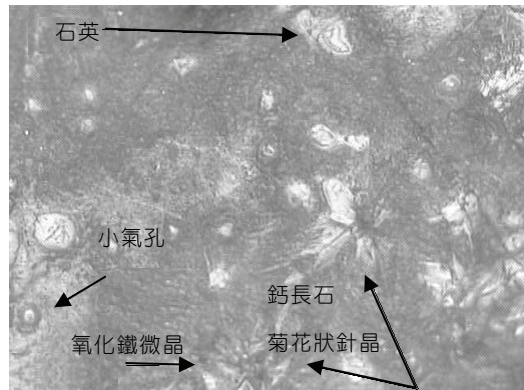


圖22 偏光顯微鏡PM 100X 鈞瓷片鈣長石菊花針晶

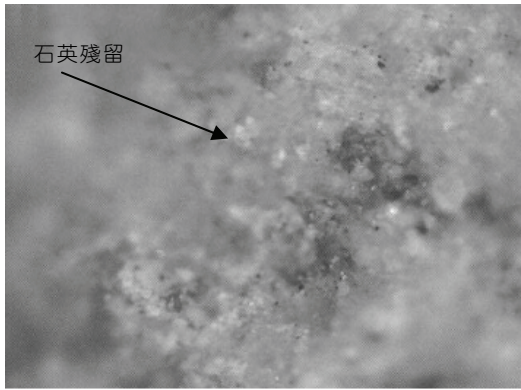


圖19 偏光顯微鏡PM 100X 鈞瓷片胎體內石英顆粒殘留影像圖

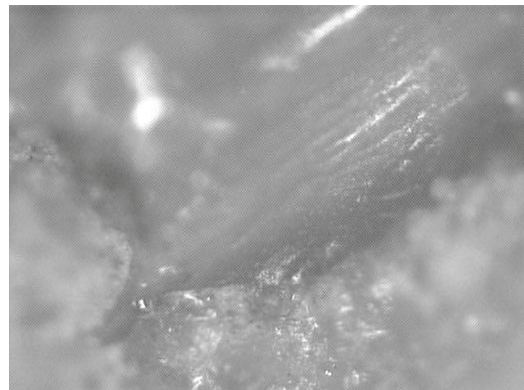


圖23 偏光顯微鏡PM100X鈞釉層流紋

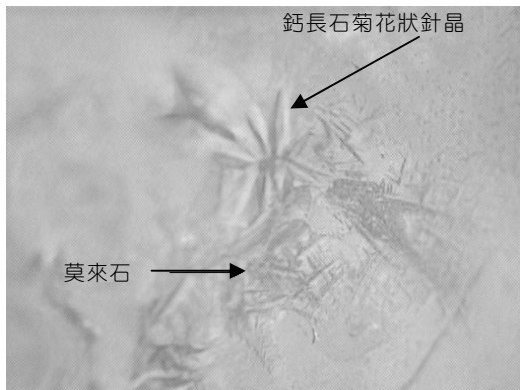


圖20 偏光顯微鏡PM 100X鈞釉纖維狀鈣斜長石針晶

偏光顯微鏡檢驗中，可觀察到多處鈣長石的菊花狀針晶析出，呈放射排列的顯微結構 (陳顯求, 陳士成, 1989)，在花瓣之間有氧化鐵微晶存在。另尚有小氣孔和若干殘留石英，見圖22。在玻璃釉層中含有不規則的流紋狀晶花。流紋的形成與氣泡的作用亦有很大關聯，當胎體或釉層底部的氣泡合併變大而向表面移動時，就會把部分透明層帶入乳光層，甚至帶到釉的表面，於是形成了外觀上介於透明層和乳光層之間的斑狀區 (背景區)，因新形成的局部釉區含有較多的 Al_2O_3 和較少的助熔劑，而使粘度加大，加上周圍有的氣泡對其流動有抑制作用，因此該處釉區的周圍



就形成了流紋 (劉凱民, 1987, 頁245)。如流紋在釉表面呈現, 就是所謂的「淚痕紋」、或較長的「兔絲紋」, 如圖 23。

3.3 掃描式電子顯微鏡 (SEM) 檢測分析

在SEM的檢測下, 不同類型的陶瓷, 其所呈現的岩相皆有很大的差別, 每種陶瓷都有其釉層形成機理, 其原因所在是各式陶瓷皆有不同配方外, 燒製的方式, 溫度的控制及工藝技術等皆會使各類陶瓷產生不同的特質, 也因為陶瓷之間皆存在著差異性, 尤其使用現代科技的檢測儀器, 更可精確的鑑別各中異同, 因此SEM是鑑定中的重要工具。

鈞瓷釉的顯微掃描中, 可看出呈長纖維狀的雲母、鈣長石殘骸、和不規則石英顆粒殘留等結構, 見圖24。其中有一方石英團粒在殘留石英顆粒周圍析晶, 見圖25。釉層中具微氣孔和石英殘留, 釉層內氣孔均一分布, 不若紫砂窯釉層是屬鏈狀氣孔 (孫荊, 阮美玲, 1987) 的型態, 見圖26、27。

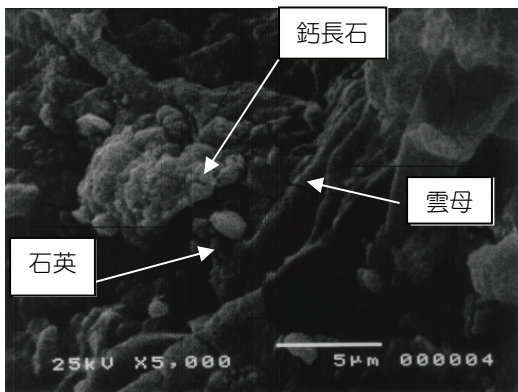


圖24 鈞釉結構 SEM X5000

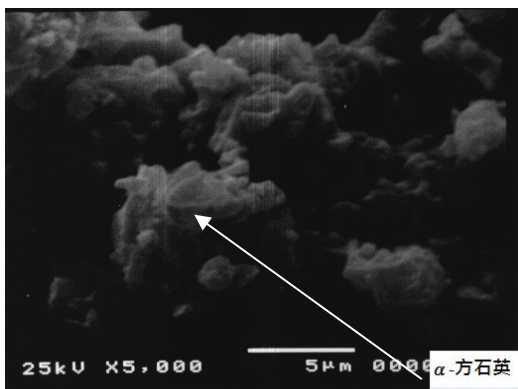


圖25 SEM X5000釉方石英團塊

鈞窯的窯變含有分相結構, 在乳光層呈現液滴相分離。液相小滴, 以一定的濃度和直徑大小, 使釉發生乳濁狀, 也就是說這些孤立液相小滴都是屬非晶態的球形粒子, 以滿足散射要求, 使釉產生美麗的乳光顏色。孤立小滴相是含有較多CaO, 而連續相則含有較多SiO₂ (陳顯求, 黃瑞福等,

1989), 在不同的釉色 (如天青色、紫紅色) 之分相液滴直徑大小和數量會有差異。從SEM的掃描中, 見圖28, 可看出釉層中的許多孤立小滴。鈞窯胎中除了少數石英殘留外, 尚可見高嶺礦、雲母、長石融合良好, 並有氣孔的存在 (楊物準, 陳乃平等, 1989), 見圖29。

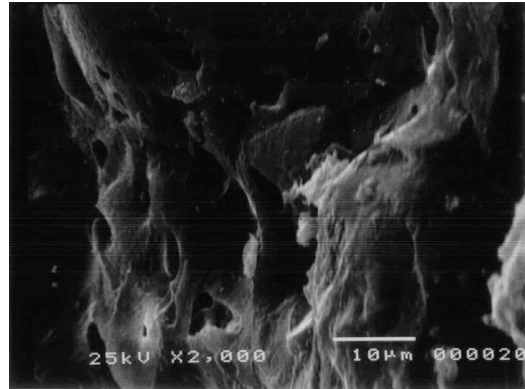


圖26 鈞釉微氣孔 SEM X2000

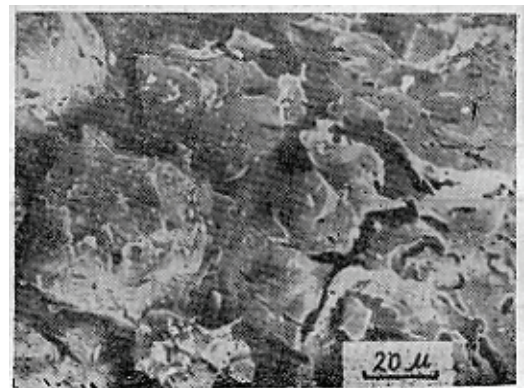


圖27 宜興紫砂窯系釉層雙重氣孔結構 (孫荊, 阮美玲, 1987)

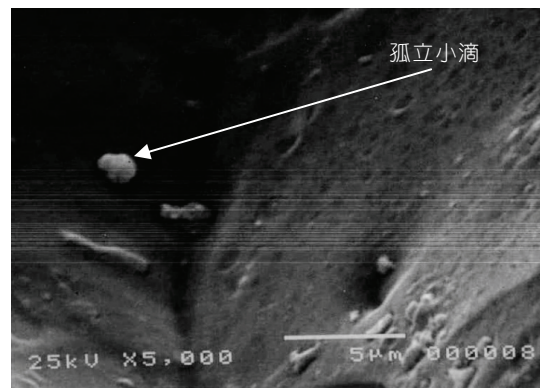


圖28 鈞釉液-液分相 SEM X5000

3.4 拉曼 (Raman) 光譜檢測分析

用拉曼光譜儀進行鈞窯瓷片的測試, 主要吸收光譜頻率為 1900cm⁻¹以下, 在此頻率範圍內可觀察到拉曼特徵峰和波峰強度。一般晶格振動包括分子間的振動 (external mode) 頻譜及分子內的振動 (internal mode) 頻譜。陶瓷分子間的振

動頻譜主要有Mg、Fe、Ca等與O的振動頻譜在0-600 cm^{-1} ；而分子內的主要有Si與O的振動頻譜在600-1200 cm^{-1} ，矽酸鹽類的特徵峰在1760~1850 cm^{-1} 處和OH鍵拉伸振動頻譜在3600-3800 cm^{-1} (Kieffer, 1979)；Mg-O的拉曼頻譜位於350-450 cm^{-1} ， Fe^{2+} -O的頻譜在200-400 cm^{-1} 。(黃恩萍, 2003) K_2O 的拉曼特徵峰在40-90 cm^{-1} 附近；CaO則在95-160 cm^{-1} (潘文玉, 2002) 有拉曼振動頻率頻譜。

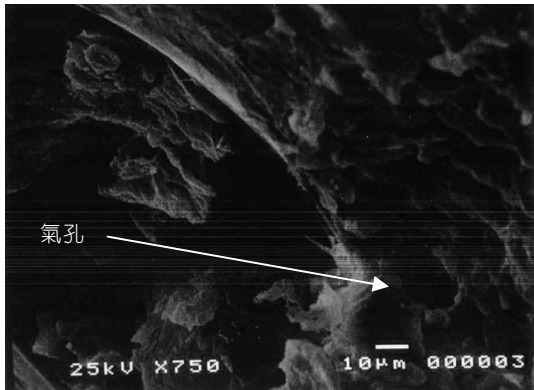
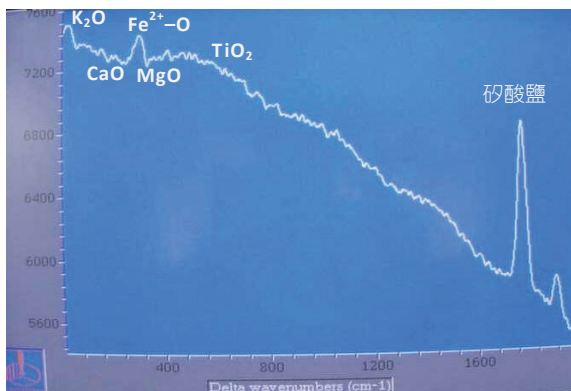


圖29 胎結構 SEM X750

在光譜中背景值的高低，是陶瓷化學組成分中，受到雷射激發而產生螢光，造成接收到比較高的背景值，以下是以鈞瓷片天青色釉、鈞瓷片綠色釉、鈞瓷片胎、仿鈞釉、仿鈞胎等的拉曼光譜測試實驗的結果。

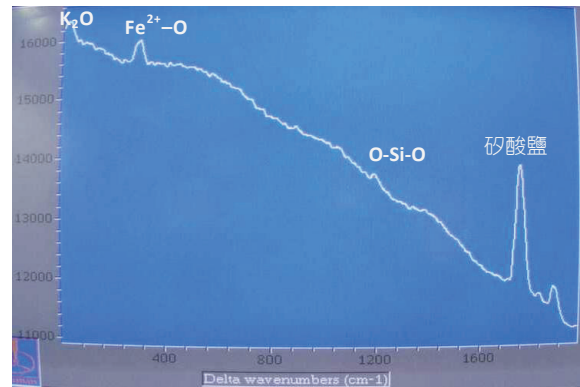
1. 在 150 cm^{-1} 處，鈞瓷片天青釉測得該拉曼光譜，證明鈞釉中有高含量的CaO成分。在280 cm^{-1} 為 Fe^{2+} -O 所形成的離子極化反應光譜，390 cm^{-1} 為MgO的拉曼波峰。在400-460 cm^{-1} 為 TiO_2 的拉曼特徵峰，在鈞窯瓷釉中可見其振動波峰，顯然與鈞瓷釉層中含有較高 TiO_2 的關係。880-960 cm^{-1} 為Al-O伸張鍵拉曼波峰，1050 cm^{-1} 則為O-Si-O伸張鍵的拉曼波峰，見圖30。



拉曼特徵峰：40、150、360、1760、1850 cm^{-1} 。

圖30 鈞瓷天青釉樣本拉曼光譜圖。

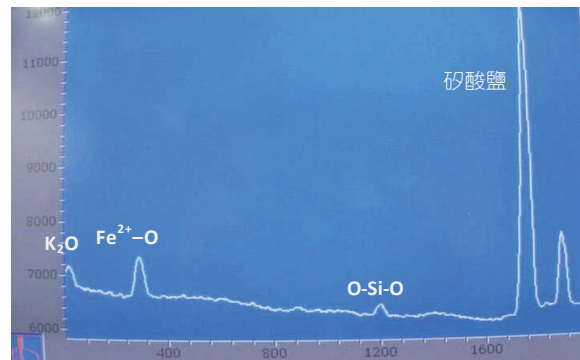
2. 鈞瓷片綠色釉各種化學組成分豐富，與鈞瓷天青釉樣本所測得的特徵峰波相近，見圖31。



拉曼特徵峰：40、300、1160、1760 cm^{-1} 。

圖31 鈞瓷片綠色釉樣本拉曼光譜圖

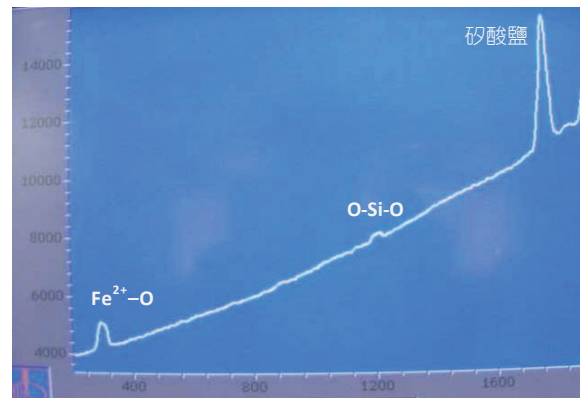
3. 鈞瓷片胎樣本可見 K_2O 、 FeO 、O-Si-O及矽酸鹽的拉曼特徵波峰，見圖32。



拉曼特徵峰：40、300、1180、1760 cm^{-1} 。

圖32 鈞瓷片胎樣本拉曼光譜圖

4. 仿鈞釉樣本在拉曼光譜檢測中，可見300 cm^{-1} (Fe^{2+} -O) 振動峰，1180 cm^{-1} (O-Si-O) 波峰，1760 cm^{-1} (矽酸鹽) 最強，但未見 K_2O 之特徵峰，見圖33。

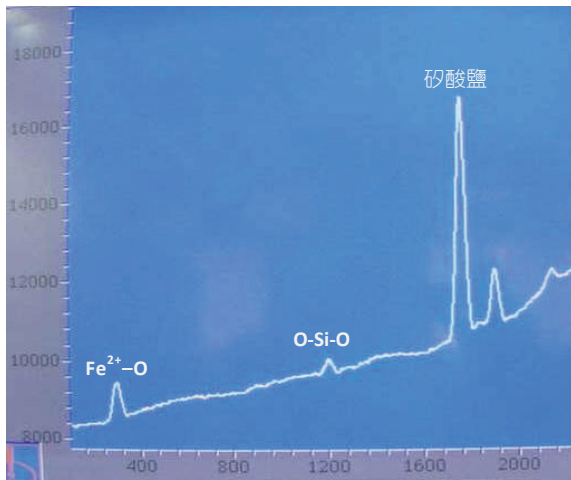


振動特徵峰：300、1180、1760 cm^{-1} 。

圖33 仿鈞釉樣本拉曼光譜圖 (260 cm^{-1} 以下，未見拉曼特徵峰)



5. 仿鈞胎樣本在拉曼光譜實驗中，3個振動波峰與仿鈞釉類似，見圖33。



拉曼特徵峰：300、1160、1760、1850 cm^{-1} 。

圖34 仿鈞胎樣本拉曼光譜圖。(260 cm^{-1} 以下，未見拉曼特徵峰)

IV. 結 論

鈞釉樣本釉層是屬典型鈞窯變釉，釉層包含表面釉膜層、乳光層、透明層、中間層、胎層等，在一般攝影及偏光顯微檢驗下皆可清楚的呈現，皆是鈞窯特殊釉層結構的特徵。經由偏光顯微鏡探測，可觀察鈞窯釉層的氣泡、少量鈣長石及石英，及氧化鐵微晶顆粒，中間層靠胎面的一邊有白色鈣長石析晶出現。在SEM掃描觀測中，鈞瓷胎的顯微結構由絹雲母、長石、高嶺礦、和少量石英組成，釉層內部更可觀察到微孔。乳光層呈液滴相分離，在不同的釉色分相中，其液滴大小和數量會有差異。鈞瓷片天青色釉在拉曼光譜檢驗中發現150 cm^{-1} 的CaO特徵峰。證明與鈞釉中CaO的含量較高有關；鈞瓷釉發現40 cm^{-1} 附近的K₂O特徵峰，仿鈞釉、仿鈞胎皆無此振動特徵峰。

注 釋

1. 由於瓷器在窯內燒成時，因為窯中含有多種呈色元素，經過氧化或還原作用，在瓷器出窯後，釉面上會呈現出意想不到的色彩。由於這是在窯中燒成時變化而得，乃出於偶發情形，非人力所能加以控制，故稱為窯變釉。國立故宮博物院，主題導覽，鈞窯之美，釉彩的魔術：<http://tech2.npm.gov.tw/chunware/ch/a/a3.htm>，2012。
2. 國立故宮博物院，主題導覽，鈞窯之美，展品賞析：<http://tech2.npm.gov.tw/chunware/ch/b/b7.htm>，2012。
3. 國立故宮博物院，主題導覽，鈞窯之美，展品賞析：<http://tech2.npm.gov.tw/chunware/ch/b/b6.htm>，2012。

參考文獻

- 呂成龍，1999，中國古代顏色釉瓷器，紫禁城出版社，北京市，頁18。
- 李中和，戴粹新，1989，江西省吉州窯天目釉的釉層結構，1989年國際討論會論文集1，上海科學技術文獻出版社，上海市，頁212。
- 李家治，1998，中國科學技術史-陶瓷卷，科學出版社，北京市，頁275。
- 李家治，陳顯求，1989，古代鈞瓷的科學分析，1989年國際討論會論文集，上海科學技術文獻出版社，上海市，頁59。
- 周寶中，1998，文物材質分析檢測與文物鑑定，中國歷史博物館出版，北京市，頁284。
- 孫荊，阮美玲，1987，羊角山古窯紫砂殘片的顯微結構，中國科學院上海矽酸鹽研究所，中國古陶瓷研究，科學出版社，上海市，頁90。
- 張福康等，1992，衢州繪彩瓷器的研究，李家治、陳顯求，古陶瓷科學技術 2，上海古陶瓷科學技術研究會，上海市，頁275-276。
- 陳堯成，張福康，1989，邢窯隋唐鍋白瓷研究，1989年國際討論會論文集1，上海科學技術文獻出版社，上海市，頁193、197。
- 陳顯求，陳士成，1989，皇室用的建窯，1989年國際討論會論文集1，上海科學技術文獻出版社，上海市，頁79。
- 陳顯求，黃瑞福，1987，宋元鈞瓷的中間層、乳光和呈色問題，中國科學院上海矽酸鹽研究所，中國古陶瓷研究，科學出版社，上海市，頁233-234。
- 陳顯求，黃瑞福等，1989，中國歷代分相釉-其化學組成，不混溶結構與藝術對觀，1989年國際討論會論文集1，上海科學技術文獻出版社，上海市，頁29。
- 程朱海，盛厚興，1987，洛陽西周青釉器碎的研究，中國科學院上海矽酸鹽研究所編，中國古陶瓷研究，科學出版社，上海市，頁37-38。
- 黃恩萍，2003，角閃石類物之拉曼光譜研究，國立成大學碩士論文，台南市。
- 楊物準，陳乃平等，1989，古代「金磚」的研究，1989年國際討論會論文集1，上海科學技術文獻出版社，上海市，頁309-310。
- 劉凱民，1987，鈞窯釉的進一步研究，中國科學院上海矽酸鹽研究所編，中國古陶瓷研究，科學出版社，上海市。
- 潘文玉，2002，拉曼光譜研究混合金屬氧化物觸媒的表面結構，私立文化大學碩士論文集，台北市。
- 盧嘉錫總主編，1998，中國科學技術史-陶瓷卷，科學出版社，北京市，頁274-275。



羅宏杰著，1997，中國陶瓷與多元統計分析，北京市，中國輕工業出版社。

Cheng, Lin, Li, Rongwu, Pan, Qiuli, Li, Guoxia, Zhao, Weijuan, and Liu, Zhiguo, 2009, Analysis of elemental maps from glaze to body of ancient Chinese Jun and Ru porcelain by micro-X-ray fluorescence, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267, p. 119.

Kieffer, S. W., 1979, Thermodynamics and lattice vibrations

of mineral: vibration characteristics of silications, Rev. Geophys, Space Phys., Vol. 17.

Received 9 October 2012

Accepted 30 January 2013



THE ANALYSIS AND APPRAISAL OF JUN KILN IN YU COUNTY OF SOUTHERN SONG DYNASTY

Wan-Fu Lien*, Yu-Ting Chiu*, Na-San Lin**, Chau-Tsung Huang*

*Department of Cultural Heritage Conservation
National Yunlin University of Science and Technology
Yunlin, Taiwan 64002, R. O. C.

**Department of Computer Science
National Pei-Kang Agricultural and Industrial Vocational High School
Yunlin, Taiwan 65146, R. O. C.

ABSTRACT

The ancient porcelains in museum or at the place of antiques auction are full of fakes, which results in common mistakes in the identification of porcelain heritage. In addition to the traditional examination method, the identification of porcelain heritage can be more precise by using the analysis of the modern scientific instruments. In this study, the polarizing microscope has been used to observe the glaze blending in the Jun kiln, the residual crystal of calcium feldspar, the irregular circulating pattern of quartz crystal etc. The scanning electron microscopy (SEM) has been used to analyze the crystallization of calcium feldspar, interior hole, and phase separation of glaze blending, and to analyze the liquid drop phase separation of milky glaze layer. The size and amount of liquid drop in different glazes have also been observed by SEM. The Raman spectroscopy, a qualitative and semi-quantitative method, has been used to analyze the components of porcelain samples. Comparing the characteristic peaks of Raman spectroscopy for different porcelain samples, the components of these porcelain can be distinguished. The Raman spectra results indicate that peak at 150 cm^{-1} for CaO has been observed in the Celadon and green glaze but not in the kaolin of Jun kiln porcelain. Other characteristic peaks for the glaze of Jun kiln porcelain are 460 cm^{-1} for TiO_2 , and 40 cm^{-1} for K_2O . There are no K_2O peaks for the glaze and kaolin of fake porcelain. The above results can be used as the reference for the appraisal of Jun kiln porcelain.

Keywords : Jun kiln, appraisal of Jun kiln, analysis of cultural heritage