

# 陶瓷側影——從斷面切片與原料成份解讀陶瓷工藝技術

## 前言

考古學家指出人類是以擁有製造工具的特殊技能而區別於其他動物，研究人類有意識的創造，如：對火的控制，可以瞭解人類工藝技術的總體發展情況。(註一)十九世紀丹麥學者湯姆森將人類歷史劃分為石器、銅器和鐵器時代；而在舊石器時代晚期遺址發現的陶甕(圖一)，隨著人類生活方式由採集狩獵發展到定居型態，陶製品用途擴大，在新石器時代遺址開始有陶容器的出現。

早期陶器研究以類型學為主，考古學家依據器型和紋飾變化辨別陶器的類型，作為年代學排列的依歸，對

於無文字文化的年代確定尤為重要。近年陶器研究，隨著考古科學的學科發展，研究重點轉向陶器產地與製陶原料來源地的鑑定、由陶器有機殘留

物回溯過去的飲食習慣以及探究陶器的製作方法與使用功能。本文藉由陶瓷的斷面切片，說明在顯微影像技術與元素成份分析的輔助下，如何詮釋



王竹平



圖一 舊石器時代晚期遺址出土(29000-25000BC)下維斯特尼采愛神陶甕 高11.1公分 寬4.3公分 捷克伯諾摩拉維亞博物館藏 引自Petr Novák, Wikipedia

有關陶瓷製作的相關資訊，包括：由胎的種類來識別陶器與瓷器、由釉的厚度來瞭解施釉技法、由釉的層次來認識上彩技法。

## 胎的種類

陶器的燒造製作是古代人類對用火技術的進一步創新。除了由生食轉為熟食之外，早期人類發現具可塑性的黏土可用低溫燒成較耐用材料，做成可供加熱與不透水的使用器具；也發現用黏土拌砂或拌碎貝殼再燒製成陶器，可以減緩胎體在燒製過程的收縮作用，減少燒成品爆裂的機率。不同區域，因為地理環境不同，黏土原料的組成成份亦不大相同，同時，隨著窯爐的發明與改良，選料的差異，成就後來各式各樣的陶器與瓷器。

當胎土的含鐵量高，在氧化焰環境下，胎土所含金屬鐵轉為三價鐵，燒成陶器會偏紅，例如：中國北方升焰窯所生產的仰韶文化紅陶器。當窯爐控制成還原環境，胎土中的金屬鐵轉為二價鐵，就會燒成灰陶器；如果窯爐溫度提升達攝氏一千度，加上富

含礦物質的胎土在還原環境下產生碳化現象，則會燒成黑陶器，例如：中國龍山文化的黑陶作品。白陶器是中國史前陶器精品，從龍山文化遺址作品(3000~1700BC)、二里頭文化遺址作品(2100~1700BC)與殷商遺址作品(1300~1070BC)，在在說明白陶的消費層級為社會頂端階級，顯示白陶具有重要的物質文化意義。換

句話說，陶工特別挑選質純色白的胎料來製作白陶。(圖二)從科學化驗結果，目前得知有兩類白陶：鉛質黏土燒造的白陶(如山東龍山文化與河南安陽殷墟出土作品)、鎂質黏土燒造的白陶(如浙江羅家角文化遺址作品)。(註一)

由於浙江出土的鎂質白陶，並不是耐高溫的材料，因此，當南方窯



圖二 新石器時代大汶口文化晚期(3000-1700BC)白陶甕 高29.5公分 寬16.9公分 國立故宮博物院藏(贈瓷000444)



圖五 西晉 印紋鋪首青瓷罐 國立故宮博物院藏 (購瓷000064)



圖四 漢 灰釉硬陶繫耳罐 國立故宮博物院藏 (購瓷000042)



圖三 戰國 布紋硬陶罐 國立故宮博物院藏 (贈瓷00461)

業研發出可進行高溫燒造的龍窯結構時，陶工選擇可耐高溫的印紋硬陶胎料，將其精選洗練之後，燒造出原始瓷，並在柴燒的窯爐環境中，發現以灰成釉的現象，進而研發出施青釉的瓷器。由印紋硬陶精製轉至原始瓷（灰釉陶），再由原始瓷精製轉至南方青瓷的史觀，已分別獲得科學化驗的研究證明。（註三）（參見圖三）

圖五）大多數陶器史學者都主張中國白瓷的出現，是由青瓷逐步發展轉型下的新產物，也就是說，浙江青釉瓷器，不僅僅是南方窯系的代表，其施釉效果亦刺激北方窯系上釉瓷器的創燒，早期北方白瓷六世紀作品，其釉色均泛青，後以隋唐時代邢窯、鞏縣窯、定窯所成熟燒造的白瓷作品為代表。譬如：河南省安陽出土的北齊武平六年（西元五七五年）范粹墓之白瓷作品，被認為是脫胎於青瓷的過渡時期早期白瓷。（註四）

不過，亦有學者提出白陶變白瓷的假設性說法，一是點出如果北方商代白陶上釉，那麼就是北方白瓷的起源（同註四）；一是提出北方商代白陶如果可以燒到攝氏1250—1350度的瓷器溫度，那白陶就變成白瓷（註五）。前項假設強調上釉與否，後項假設強調燒製溫度，兩項假設的共同點似乎是意味白陶與白瓷具有相似的胎料。就出土資料來看，鉛質白陶與白瓷皆有自河南省安陽出土的發現，應非偶然。

鉛質白陶的黏土礦物並不存在

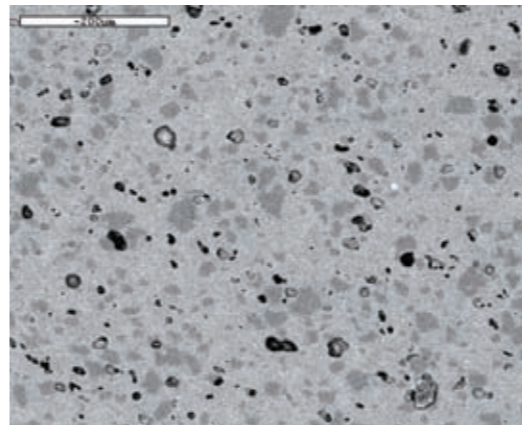
鉛質白陶的胎料存在有高度相似性，基本上是一類近高嶺土的黏土礦物（kaolin clay）；也就是說，鉛質白陶胎、北方白瓷胎同屬北方窯系系統，不同於浙江越窯青瓷胎所屬南方窯系系統。

北方陶工遲至北齊，才成功將白陶胎料轉型燒製成白瓷，或許可以推論，一方面是受到南方青瓷的啟發，例如：北朝河北景縣封氏墓群出土的青瓷，便是以北方鉛質胎搭配高鈣型青釉的組合作品（註六），以此為基礎，逐步發展出北方鉛質胎搭配鈣系透明釉的白瓷作品；另一方面，同時受到南方高溫窯的刺激，北方陶工將傳統升焰窯改良為饅頭窯，終於使窯溫提高至1370度，順利以足夠的高溫將鉛質胎燒成具玻璃相的瓷胎。至此，似乎可以看出北方白瓷發展的軌跡：鉛質白陶→鉛質瓷胎覆蓋高鈣型青釉（青瓷）→鉛質瓷胎覆蓋鈣系透明釉（白瓷）。

由於鉛質黏土燒造的白陶，在殷商時期沒能轉型成施釉的瓷器，那麼，中國瓷器的最早出現，應該算是

於中國南方環境，主要分佈於北方環境，對北方商代陶工而言，要將高鉛質的黏土礦物燒製成細緻的瓷胎，就當時技術是無法達到的，因為在胎料含鉛量過高（經常高於30%）且純度高造成助熔劑含量過少（CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O總量大多低於5%）的情況下，北方窯口所採用的升焰窯無法將高鉛質黏土礦物燒成具足夠玻璃相（vitreous phase）的緊緻瓷胎（參見圖八）。

與商代相隔一千五百年之後的北齊、隋唐時代，所燒製的白瓷作品，經過科學化驗結果，發現北方白瓷與



圖八 中國瓷片的掃描式電子顯微鏡斷面影像，顯示瓷胎結構緊致，燒結溫度夠高，胎料熔融，呈現玻璃相（淺灰色區域）。（作者攝）

東漢期間在浙江越窯所燒造的青瓷，是一種帶青釉且淡色胎的高溫燒造陶瓷器，以瓷石（porcelain stone）為主要製胎原料。（圖五）幾件帶有紀年的出土青瓷，提供確實的編年依據，譬如：在「延熹七年」紀年墓出土的四繫青瓷罐、伴隨「永康二年曹氏造作」的墓磚一起出土的青釉飛鳥樓閣、三國孫吳時代刻有「赤烏十四年會稽上虞師袁宜造」的青瓷虎子。

浙江青瓷的燒造成功，除了燒出淡色瓷胎之外，更重要的是釉的成功燒造。淡色瓷胎來自不斷地改良原始瓷瓷胎，從商代晚期，到西周，至春秋時代，瓷胎中的含鐵量也從3%，降至2%，再降至1.6%，根據陳鐵梅等人的科學化驗，可推論出這個改良瓷胎的趨勢。（同註二）同時，科學化驗結果亦指出青瓷所覆蓋的青釉是改良自原始瓷瓷釉的高鈣釉，但有較好的施釉效果。（註七）

如前所述，浙江青瓷是南方窯系的代表、中國瓷器的最早出現，且施釉效果刺激北方窯系上釉瓷器的創燒；其製作釉藥方法亦影響南方窯系

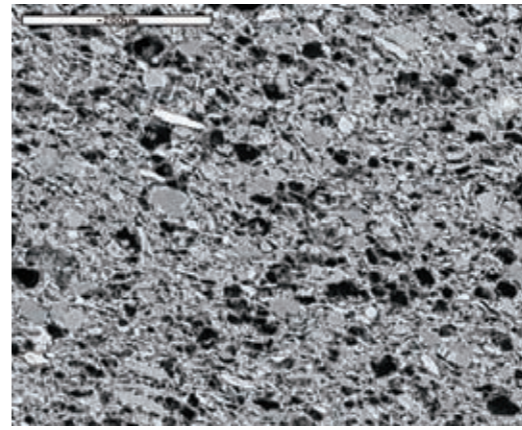


圖九 南宋至元 青瓷五管瓶 國立故宮博物院藏 (故瓷013914)

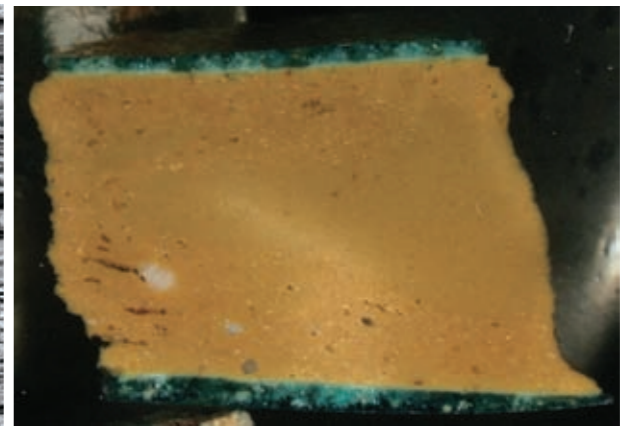
(CaO)含量略有差異；南方瓷釉，基本釉藥配方是以瓷石（同製胎原料）研磨而成細泥作為基底，加上氧化鈣含量高的草木灰作為熔劑，燒成後瓷釉的氧化鈣重量百分比（wt%）多達15%以上，屬高鈣釉，或俗稱「灰釉」。北方瓷釉藥配方，就化學組成成份來分類的話，屬鈣系釉中的鈣—鹼釉，但是北方瓷釉中矽鋁比率明顯不同於其自身瓷胎的矽鋁比

率，說明北方瓷釉基底為不同於其自胎之他種岩石礦物。然而，相對中國地理環境所呈現的多元性胎土原料，中東兩河流域的陶工受限於窯爐結構與胎土原料的單一性，數千年來的發展呈現保守狀態，在伊斯蘭世界形成以前，中東地區幾乎只有無釉的素燒陶器，孔雀藍釉陶作品是伊斯蘭地區七世紀以前唯一的施釉陶器。孔雀藍釉陶斷面切片，在光學顯微鏡下可觀察到陶胎為中東典型黃土胎（圖六），而其電顯影像顯示胎土燒結現象未具玻璃相，為低溫燒造（圖七），經電顯成份定量分析結果顯示中東典型黃土胎含鈣量偏高（CaO 17.79%，SiO<sub>2</sub> 51.79%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 12.29%），與中國南北窯系胎土皆相異（表一）。

中東陶瓷專家奧利佛華森博士曾指出所有的伊斯蘭陶瓷都是低溫的陶器，從未出現過所謂的瓷器，即使到了十二世紀，伊斯蘭陶工復興古埃及工藝技術，在陶胎原料加入大量磨碎的石英與玻璃或釉料，將典型黃土胎改良為白胎，甚至達半透明的胎體



圖七 中東陶片的掃描式電子顯微鏡斷面影像，顯示陶胎結構多孔



圖六 中東孔雀藍釉陶片 光學顯微鏡斷面影像（作者製備）

表一 中國南北窯系胎土與中東典型黃土胎之成份對照 (wt%) (註十一)

區域	類型	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>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
南方窯系	青瓷	76.4	<b>15.69</b>	0.48	0.59	2.97	0.97	2.20	0.66	0.02	
北方窯系	白瓷	60.98	<b>34.81</b>	0.69	0.64	1.29	0.24	0.65	0.59	0.04	0.01
中東陶瓷	藍釉陶	51.79	12.29	<b>17.79</b>	6.23	0.91	2.48	6.89	0.85	0.13	0.20

表二 中國南北窯系釉料與中東釉料之成份對照 (wt%) (註十二)

區域	類型	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>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO
南方窯系	青瓷	55.96	10.61	<b>19.89</b>	2.05	2.73	0.85	3.37	0.74	0.39	1.42	-
北方窯系	白瓷	64.65	13.90	<b>12.29</b>	1.89	2.97	2.17	0.84	0.16	-	-	-
中東陶瓷	藍釉陶	68.76	4.80	6.92	2.20	3.26	<b>8.94</b>	1.27	0.15	-	0.13	2.87

甚鉅，嘗試跳脫生產青瓷傳統，景德鎮窯業就地取材，調整配方，繼而創燒了名聞遐邇的青白瓷與青花瓷。到了十四世紀以後，南方瓷胎原料開始由瓷石的一元配方，轉型成瓷石—高嶺土的二元配方，背後原因有可能是景德鎮陶工為了拉大瓷胎可承受的窯燒溫度範圍俾以大規模生產製造的經濟因素而作的調整。（註八）

由於秦嶺、淮河與鄆廬斷裂帶造成中國地質環境南北不同，導致南北陶工就地所開採的陶瓷製造原料有所不同，因此，就化學組成成份而言，瓷胎所呈現的矽鋁特徵說明北方窯系瓷胎為高鋁胎（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 25%），取材自北方含鋁量高的耐火黏土；而南方窯系瓷胎為高矽低鋁胎（SiO<sub>2</sub> 含量大多高於70%，而Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量大多少於20%），取材自南方豐富的風化後花崗岩所生成的瓷石，富含石英與絹雲母。

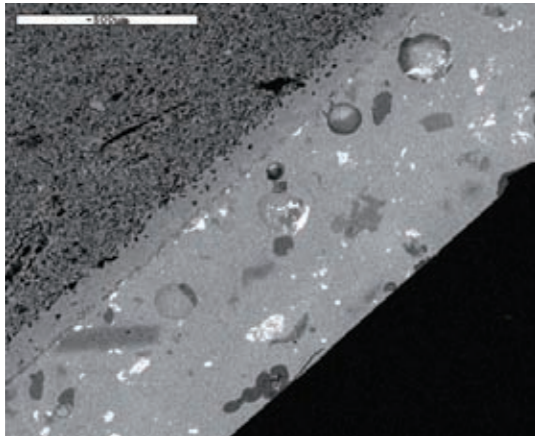
而瓷釉基底的矽鋁含量，主要來源為含砂砂土，沿襲「無灰不成釉」的傳統，中國南北瓷釉皆以氧化鈣為助熔劑，屬鈣系釉，但在氧化鈣

(fritware, 譯作弗利特陶器)，器表施透明釉後仿作白瓷，仍未達中國瓷器的堅硬與精緻（參見圖二四）。而西方創燒瓷器，一直要到西元一七〇八年，在德國德勒斯登煉金師波特格與科學家契恩豪斯努力下，才發現用當地高嶺土（Calditz clay）混合可以成功燒製出白色半透明的瓷器。

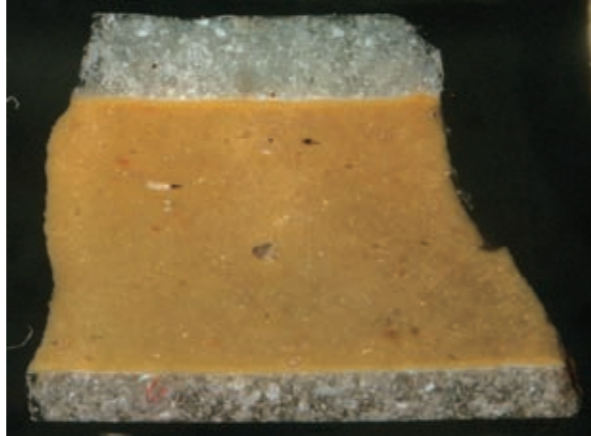
### 釉的厚度

浙江越窯青瓷一直延續燒造至宋朝年間，宋以後以浙江龍泉青瓷聞名。陳萬里曾說：「浙江造瓷之見於記載的，在晉曰縹，在唐曰越，曰秘色，曰婺州，在宋曰哥，曰龍泉，曰修內司官窯，曰郊臺下新窯，還有所謂象山窯等等名稱。」（註十）隨著製陶技術的精進，胎是越做越薄，釉則越施越厚。宋代青瓷潮流為乳濁狀的厚釉，然而因為增加釉的厚度，會因胎釉膨脹係數不同，常導致開片效果，形成另一種美感。（圖九）

由於施釉厚（0.5~2mm），燒製溫度不能太高，來降低窯中熔融釉的流動性，但仍會出現積釉與垂流痕跡



圖十四 中東錫釉陶切片的掃描式電子顯微鏡斷面影像（作者攝）

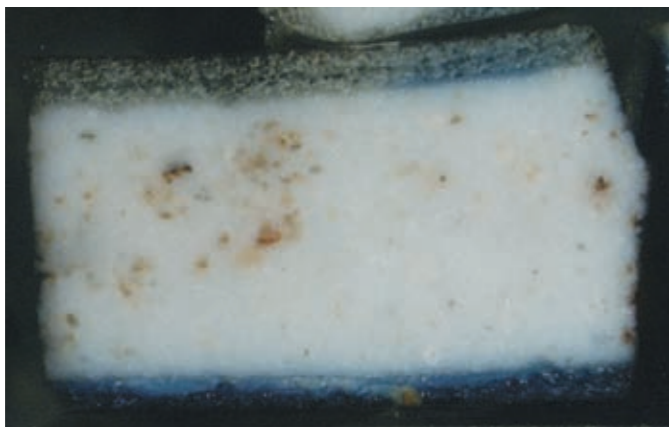


圖十三 中東錫釉陶切片光學顯微鏡斷面影像（作者製備）

顆粒（長方形或菱形深灰色顆粒）以及白色的氧化錫顆粒，這些都是造成白色效果的錫白釉因子。

**釉的層次**

中國陶瓷在景德鎮窯業的蓬勃發展，除了贏得瓷鎮美名，更以青花瓷享譽世界。由於唐宋兩朝青花破片出土量少，早期學界皆認定景德鎮所產元青花是中國青花瓷之始，其所對應的消費需求，由各地窖藏出土與博物館傳世的元青花可以發現供應中東市場與供應國內市場產品在型制上的差異，藉此說明不同文化對陶器器皿有著不同的使用功能。那麼，元青花的製造，究竟是中國自身製陶技術發展與社會需求的產物？還是中東消費市場伊斯蘭文化影響下的產物？這仍是目前青花瓷的討論重點之一，尤其隨著唐代沉船黑石號所發現的三件完整青花器，針對中國與中東鈷藍彩技術異同或是交流傳承的課題，也許未來透過更多的科學化驗可以有更進一步的發現。這裡，先藉著下列幾組斷面切片，從觀察釉彩的層位關係，初步



圖十六 中國青花瓷（見圖十五）經切片後的光學顯微鏡斷面影像，可由斷面觀察到白色瓷胎上藍彩後以透明釉料覆蓋的層位關係。（作者製備）

介紹與辨別釉下彩、釉中彩、釉上彩等技法。

中國典型青花瓷的特色是在潔白的瓷胎上，以鈷藍顏料彩繪後，施以透明釉料，在攝氏1200度以上的高溫，燒造而成。這種青花彩繪技術，稱為釉下彩，可由斷面觀察到白色瓷胎上藍彩後以透明釉料覆蓋的層位關係，參見圖十五~十七。

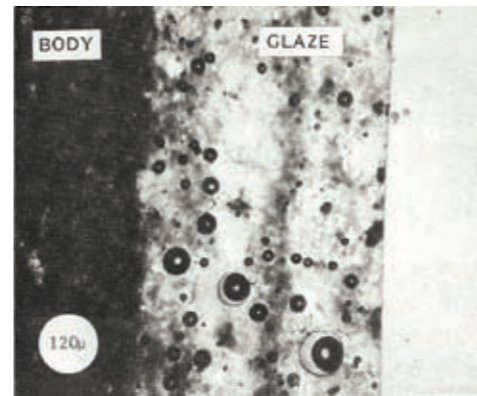
到了清代，隨著畫琺瑯技術的



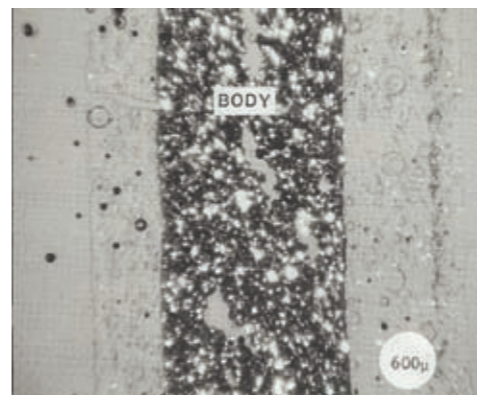
圖十 宋 青瓷撇口盞 國立故宮博物院藏（故瓷009837）

（如圖十）。而控制溫度不要過高的情形下，使得釉層中氣泡滯留，還有釉層中未完全熔融的顆粒，皆會阻礙光線的行進，造成厚釉青瓷的不透明乳濁效果。透過斷面切片，更可發現宋代陶工改良施釉技術，由單次施釉改為多層施釉來增加釉的厚度（參見圖十一、圖十二）。

受到南方青瓷施釉影響而發展



圖十一 龍泉青瓷的掃描式電子顯微鏡斷面影像，左側為瓷胎，中間為瓷釉；此件瓷釉除可清楚觀察到氣泡，亦可觀察到兩層釉料，說明多層施釉技術的研發，引自Robert Tichane, 1998, *Celadon Blues*, Fig.13-8。



圖十二 南宋官窯青瓷的掃描式電子顯微鏡斷面影像，可觀察到此件南宋官窯胎薄，內壁施釉壹層，外壁施釉兩層，引自Robert Tichane, 1998, *Celadon Blues*, Fig.14-8。

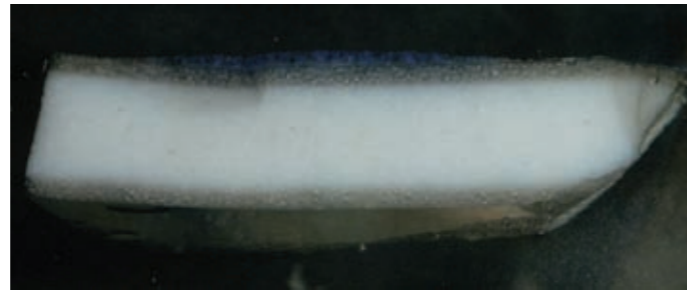
出的北方白瓷，為了顯露胎的潔白，保留施薄釉以維持其清澈度，僅以降低含鐵雜質，將青釉改良為無色透明釉，並未往厚釉潮流發展。北方白瓷自唐代起，就透過貿易網路輸出到中東地區，中東陶工受到中國白瓷傳入的影響，試圖就當地材料燒造外表為白色的陶瓷器皿。在欠缺白色陶土的資源下，中東陶工發揮創意，試圖在典型黃土胎外表施上具有白色效果的釉，也許是受到中東玻璃工藝的啓發，陶工在釉料中加入氧化錫顆粒，利用氧化錫不熔於釉的特性，阻礙光線行進，產生不透明效果，形成視覺

上的白色釉，這樣的燒成品，稱為錫釉陶。為了遮蓋黃土胎，除了上一層洗練過的胎泥（化妝土），所施的釉亦不能太薄，因此在某些錫釉陶的作品，可以發現在口沿外壁有積釉現象。

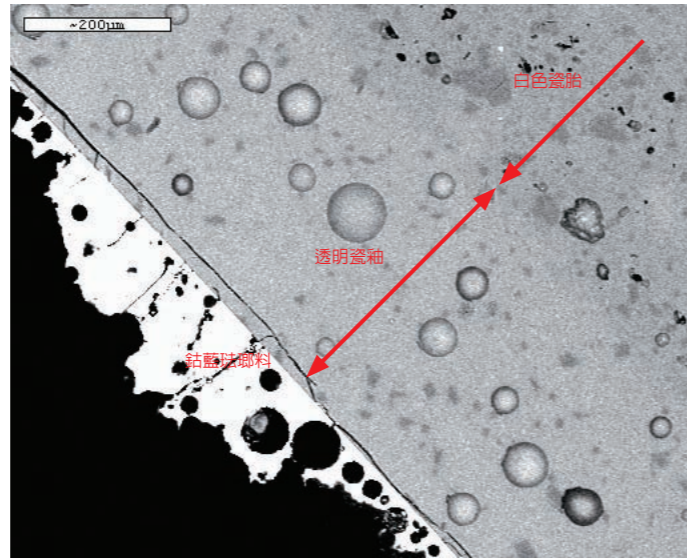
如圖十三所示，錫釉陶的陶胎為典型黃土胎，釉層有一定厚度，並非白色，而是半透明狀，配合圖十四的電顯影像，可以觀察到左上角的陶胎與右下方的陶胎中間夾有一層顆粒細小的泥層，用以修飾器皿色澤與表面平滑度。同時，釉層中，可觀察到圓形的氣泡充斥、釉料中未完全熔融的



圖十九 中國釉上彩瓷破片 17-18世紀 馬爾地夫馬列出土 英國牛津大學愛荷莫林博物館藏 (作者攝)



圖二十 中國釉上彩瓷 (見圖十九) 經切片後的光學顯微鏡斷面影像 (作者製備)。



圖二一 中國釉上彩瓷 (見圖十九) 經切片後的掃描式電子顯微鏡斷面影像，可以觀察出白色瓷胎、透明瓷釉、鈷藍顏料三者由右上到左下的層位關係，顯現釉上彩的技法。(作者攝)

中國陶瓷與伊斯蘭陶瓷皆有以鈷藍彩繪陶器器的作法，先不論孰先孰後，除了陶胎與瓷胎在原料、化學成份以及燒製溫度有所不同之外，鈷藍彩的施作亦有所差別。青花瓷以一次燒的釉下彩技術進行鈷藍彩繪，清代彩瓷則是採取二次燒的釉上彩技術進行鈷藍彩繪，而在伊斯蘭錫陶上的鈷藍彩，又是以何種技法來裝飾陶

器？  
大約自九世紀起，中東陶工模仿唐代白瓷器而創燒錫白釉陶，隨著考古發掘而在伊朗與伊拉克遺址所出土的綠彩與藍彩錫白釉器（如圖二二、圖二三），似乎也訴說著它們與同時期的唐代青花與白釉綠彩之間有著某種關聯性。  
在不透明白釉上施掛以銅發色的綠彩，流動性高，在燒結過程中



圖二三 伊朗蘇薩遺址出土 九~十世紀 藍彩錫釉陶盤 巴黎羅浮宮藏 (作者攝)

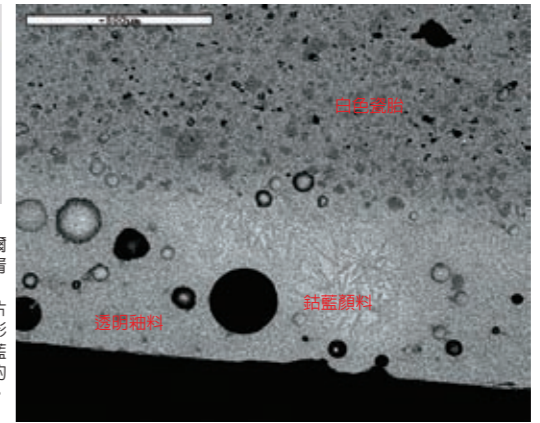


圖二二 伊朗蘇薩遺址出土 九~十世紀 藍綠彩錫釉陶碗 巴黎羅浮宮藏 (作者攝)

發展、調色盤的增加，出現許多釉上彩瓷作品；在高溫燒成的透明釉白瓷器面，繪以珐瑯彩料，然後用低溫燒熔固結，是採二次燒的作法。這種低溫即可燒融的珐瑯彩料，結合西方燒製玻璃工藝，有宮中燒造的瓷胎畫珐



圖十五 中國青花瓷破片 15-16世紀 馬爾地夫馬列出土 英國牛津大學愛荷莫林博物館藏 (作者攝)  
圖十七 中國青花瓷 (見圖十五) 經切片後的掃描式電子顯微鏡斷面影像：可以觀察出白色瓷胎、鈷藍顏料、透明瓷釉三者由上到下的層位關係，顯現釉下彩的技法。(作者攝)



圖十八 乾隆年製 瓷胎畫珐瑯碟 國立故宮博物院藏 (故瓷017112)

瑯，也有景德鎮燒造的各式各樣釉上彩瓷。（圖十八）  
以釉上藍彩為例（圖十九），從其斷面影像可觀察其與釉下藍彩迥然不同的層位關係，透過光學顯

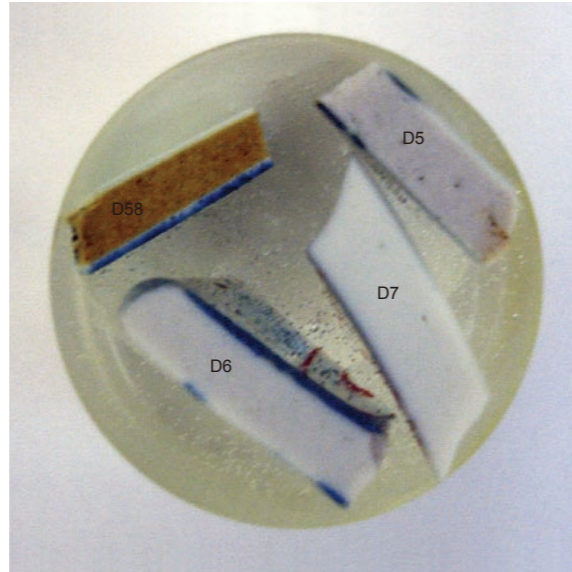
微鏡與電顯影像皆可以發現低溫燒融的藍色珐瑯料（玻璃料）與下方透明瓷釉之間有一明顯之分界線存在，藍料突起座落於透明瓷釉上方，在視覺上可形成立體效果（參見圖二十、圖

註釋

1. Renfrew, C. and P. Bahn, *Archaeology, Theories, Methods and Practice. Chapter 8: Technology*. London: Thames and Hudson, 1991, p. 296-306.
2. 科學化驗數據，請參見張福康《中國古陶瓷的科學》（上海人民美術出版社，2000），頁27。
3. 從印紋硬陶進化至原始瓷的科學研究，參見李家治、羅宏杰、高力明，《古陶瓷科學技術國際討論會論文集2》，1992，頁1-17；從原始瓷進化至青瓷的科學研究，參見陳鐵梅、王建平、今村峰雄、坂本稔，《兩周原始瓷的中子活化和鉍同位素分析研究》，《古陶瓷科學技術國際討論會論文集5》，2002，頁63-69。
4. 謝明良，〈關於中國白瓷起源的幾個問題〉，《故宮文物月刊》，42期，1986，頁133-136；但其後研究轉向注意鉛白釉陶與白瓷起源的關聯性。
5. Nigel Wood, *Chinese Glazes*, London: A&C Black, 1999, p.93.
6. 中國硅酸鹽學會編，《中國陶瓷史》（北京文物出版社，1982），頁165。
7. 原始瓷釉相關研究與化驗均指出，原始瓷釉乃由自胎胎泥混草木灰燒製而成，參見羅宏杰、李家治、高力明，〈原始瓷釉的化學組成及顯微結構研究〉，《古陶瓷科學技術國際討論會論文集2》，1992，頁72-77；與陳堯成、張筱薇，〈夏商原始瓷和瓷釉起源研究〉，《古陶瓷科學技術國際討論會論文集5》，2002，頁32-40。
8. Guo Yanyi, 1987, 'Raw materials for making porcelain and the characteristics of porcelain wares in north and south China in ancient times', *Archaeometry*, 29(1), pp.3-19.
9. 施靜菲、王淑津、彭盈真，〈伊斯蘭陶瓷的主流發展與一些有關交流的發想〉，《故宮文物月刊》，283期，2006，頁78-88。
10. 見《陳萬里陶瓷考古文集》，（北京：紫禁城出版社、兩木出版社，1990），頁11。
11. 藍釉陶胎數據為作者2004年分析所得，青瓷瓷胎數據選錄自 Pollard and Hatcher (1986) *Journal of Archaeological Science*, No.13, pp. 261-287, 白瓷胎數據選錄自陳堯成等（1996）《考古》，第九期，頁81-87。
12. 藍釉陶胎數據為作者2004年分析所得，青瓷與白瓷釉料數據選錄自李家治、郭演儀（1985）《中國名瓷工藝基礎》，頁73&99。

323期訂正：

〈吉祥如意迎虎年〉一文頁70，「晉人張華撰《博物志》引《北堂書鈔》云：『張則為祥河太守，吏民為之歌曰臥虎。』」應更正「虞世南撰、孔廣陶校註《北堂書鈔》云『益部耆舊張則為祥河太守，吏民為之歌曰臥虎。』」



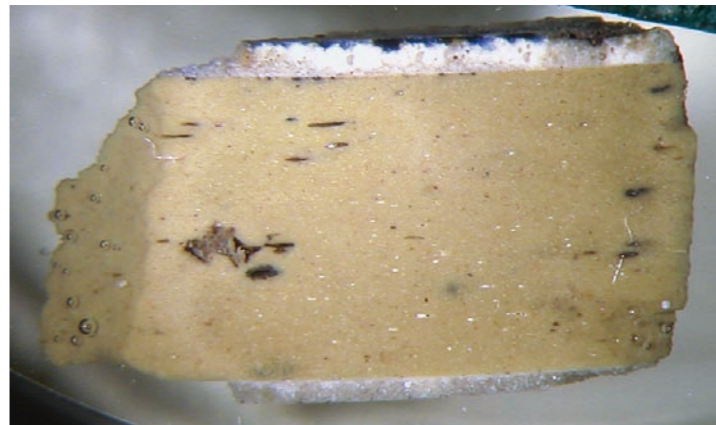
圖二七 完成研磨與拋光等樣本製備程序的樹脂鑲埋塊

依據。近來多以金相學或是材料科學研究方法，製作厚片樣本（thick section），除了可以光學顯微鏡觀察胎釉層位關係之外，亦可以電子顯微鏡搭配X射線能量散佈分析儀或波長散佈分析儀進行胎釉的成份分析，獲得更多的文物原料與生產製作資訊。

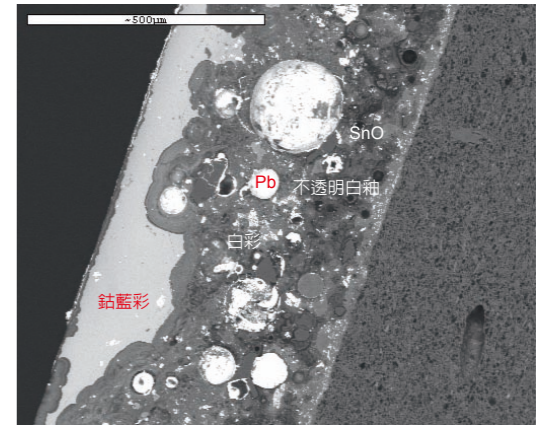
樣本製備包含針對破片斷面的切割、將切片樣本鑲埋在樹脂，然後依序進行不同係數的研磨與拋光等標準作業流程，通常為了求取分析效率、節省樣本製備時間，會採取多件樣本

一起鑲埋的方式，如圖二七，一塊直徑二·五公分的樹脂樣本，鑲埋四個青花切片。這種樣本製備的斷面研究方法，搭配現代精密儀器的研發，樣本可以在光學顯微鏡、掃描式電顯、電子探針或是離子束加速器等不同的檢測設備之間重複使用與被保留，不同於過往的成份分析，例如：原子吸收光譜儀、感應耦合電漿質譜儀或中子活化分析，樣品本身會隨著檢測分析而消耗殆盡。

作者任職於本院登錄保存處



圖二五 藍彩錫釉陶切片 光學顯微鏡斷面影像（作者製備）



圖二六 藍彩錫釉陶切片 掃描式電子顯微鏡下的斷面影像（作者製備）

滲入釉層，形成所謂的釉中彩（in situ）；為了控制釉彩的流動性，阿拔思王朝陶工在鈷藍彩的施作上加以改良。依圖二五所示，鈷藍彩施掛於不透明白釉上，經過燒製，熔融於釉層，釉面平順，如同前文所述，不透明白釉是因為氧化錫顆粒散佈在釉層所造成的效果（圖二六釉層中不規則狀的白色顆粒即為氧化錫）；早期中東鈷藍彩繪屬一次燒的釉中彩技法。然而，在圖二六的電顯影像，似乎還可以觀察出在鈷藍彩與不透明錫白釉層中間夾雜著一層鉛白彩（釉層中的正圓形白色顆粒即為金屬鉛）。鈷藍彩下墊鉛白彩也許是為了控制藍彩的流動性，也許是為了增加藍白相映的效果。一直要到了十二世紀，中東陶工發展出弗利特陶器，施以透明釉，藍彩裝飾才逐漸由釉中彩改為釉下彩技法（圖二四）。

**結語：斷面切片的研究方法與樣本製備流程**

從表面觀看文物，往往很難確認胎的種類、釉的厚度以及釉彩繪



圖二四 敘利亞北部出土 十二~十三世紀 透明釉下繪藍黑彩弗利特陶碗 巴黎羅浮宮藏（作者攝）

是屬於釉上彩、釉中彩或是釉下彩的施作技法。而這些資訊卻又有助於藝術史與考古歷史學家在解讀與詮釋不同區域不同窯址之間陶瓷器的源流發展、相互交流與影響等研究課題。利用豐富的考古出土破片資源，考古科學家積極地採用斷面分析法（cross-section examination）來研究釉層與胎層，以便進一步解讀當時的製造原料與生產技術。斷面（截面）是指垂直於事物主軸的切面，早期多採地質學研究方法，製作薄片樣本（thin section），透過光學顯微鏡來研讀胎層所含岩石種類，作為產地歸類的