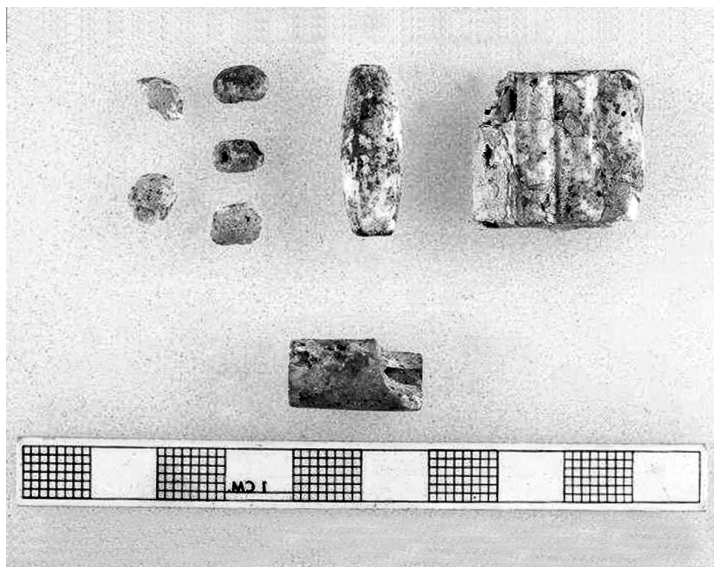


中東玻璃工藝技術：

跨越十個世紀以來的傳統、社會適應與技術改革

Julian Henderson 講

王竹平 編譯



圖一 敘利亞北部Tell Brak遺址出土的西元前十五世紀玻璃珠

玻璃易碎而珍，亦因折射、反光而美。添加不同的金屬成份於玻璃配方，則會產生不同的呈色效果，例如：鈷藍、銅綠、錳紫或錳黑。若是加入氧化錫顆粒作為乳濁劑或是經由加熱處理，讓玻璃配方中的成份遇熱產生結晶變化，則會製造出不透明或半透明的玻璃。

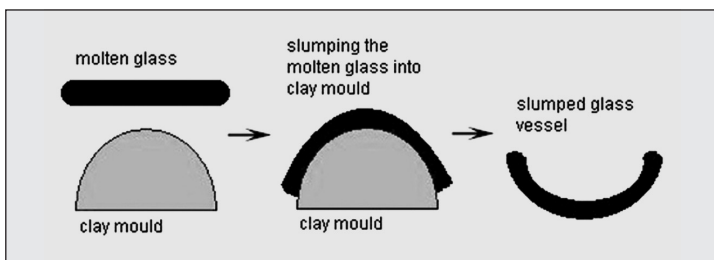
玻璃最早，大約在西元前二四〇〇年，生產於兩河流域的美索不達米亞平原，也就是今天的伊朗、伊拉克與敘利亞北部（以下簡稱中東地區）（註一）。而玻璃珠是最初的使用型式（如圖一），西元前一五〇〇年以後，便以陶芯成型製造的玻璃容器成爲主要使用型式（註二）。事實上，從那時到現在，中東地區的玻璃器並沒有太大的變化，玻璃還是玻璃，不像陶器發展到瓷器或是金屬器有各式各樣的合金改良。這點提醒研究者去思考是否古代玻璃工匠與現在玻璃工匠所面對的工作環境與挑戰是大致類同的？

中東玻璃器的研究議題

這裡討論的焦點放在西元第一世紀至第十世紀的地中海東岸地區，跨越羅馬文化、拜占庭文化與早期伊斯蘭文化等不同時期，所生產製造的玻璃器。在這一千年當中，幾乎所有的玻璃器都是鈉鈣玻璃配方（soda-lime-silica glasses）。通常根據製造原料與生材，科學分析研究者會依其化學成份，將玻璃分類為鈉鈣系統、鉀鈣系統或是鉛鋇系統。

大約在西元九、十世紀時，這項鈉鈣玻璃製造傳統，面臨重大的技術改革。主要是因應當時的社會經濟環境變動，玻璃主要原料之一「鹼性碳酸鈉」（the alkali-SODA）嚴重短缺，工匠必須尋找新原料來替代舊原料的不足，同時因為新原料造成玻璃配方中化學成分比例有所改變，導致在生產製程引發一連串的技术改革。

而研究者所關心的議題，就是在這段技術改革時期，工匠是否有進行試燒實驗，尋找最適當的玻璃配方？是不是可透過考古發掘與科學分析，研究者得以從出土的玻璃窯廠遺物與分析所知的化學成份，來一窺當時玻璃工匠面對原料短缺的壓力下，所應變出來的「新」玻璃？



圖二 玻璃製造技術之一：蓋模技法（王竹平製圖）



圖三 正在進行吹玻璃的工匠，攝於敘利亞大馬士革Bab Sharki的現代玻璃工場

第一世紀~第十世紀中東玻璃器的回顧

如前所述，在這一千年當中，幾乎所有的玻璃器都是以鈉鈣玻璃配方生產製造。在化學成份大致相同的情況下，想要將這段時期的中東玻璃器作一分期整理，就得從製造痕跡（如吹製或是模製）搭配器型風格來判斷。

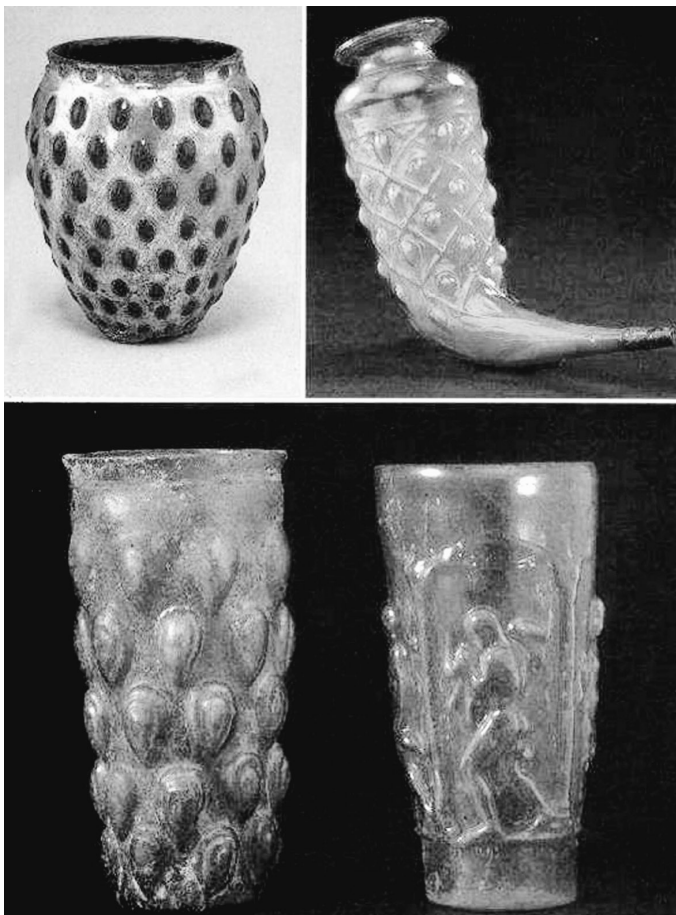
接續陶芯成型技法的玻璃容器製造技術，是使用蓋模（slumping）的方式（如圖二）。一直到了大約西元前一世紀中期，吹玻璃技術才發展出來（圖三），考古學家在巴勒斯坦耶路

撒冷附近 (Istroeti 1991)，發掘出土許多窖藏玻璃管，因而認為此地很可能是當時的吹製玻璃產地之一。這時的玻璃器受希臘文化影響，以深色玻璃器居多。吹製技術使得玻璃器產能提高，原本被視為奢侈品，到了希臘化晚期在中東地區已逐漸成為普遍商品 (Jackson-Tall 2004)。到了西元五十年左右，受羅馬文化影響，透明淡綠色吹製玻璃器逐漸成為生產主流。除了吹製技法之外，還有吹製與模製技法的同時運用，這種技法可重複製造相同器型的玻璃器 (如圖四)。玻璃器表面的裝飾技法亦有多樣性，例如：雙色浮雕或是立體線紋等等 (如圖五)。大部分玻璃器的使用用途為飲器或儲藏器。

到了第五世紀，拜占庭時期玻璃器仍是以



圖五 以立體線紋(trail decoration)裝飾壺身的羅馬玻璃器



圖四 小亞細亞地區出土的羅馬玻璃器皿，裝飾技法為吹模製 (mould-blown technique)



圖六 西元六~七世紀拜占廷時期的吹模製玻璃容器



圖七 典型的直長頸圓瓶，攝於敘利亞大馬士革Bab Sharki的現代玻璃工坊

中東地區製造為主，器型變化較少。技法繼續沿用吹模製技法，在玻璃器外觀上，則出現有天主教與猶太教圖飾的結合，似乎象徵當時宗教融合的社會景象或是當時不同文化背景玻璃工匠的多貌性（如圖六）。

拜占庭風格與伊斯蘭風格的玻璃器，在第七世紀並沒有明顯的劃分點，一直到阿拔斯王朝（Abbasid caliphate, 750-1258 AD），才有所謂的典型伊斯蘭風格玻璃器——「直長頸圓瓶」（如圖七）及其他器型的吹模製容器（如圖八）。另一種典型伊斯蘭風格玻璃器——「虹彩Juster」玻璃器，是以金或銅合金溶液刷繪紋飾

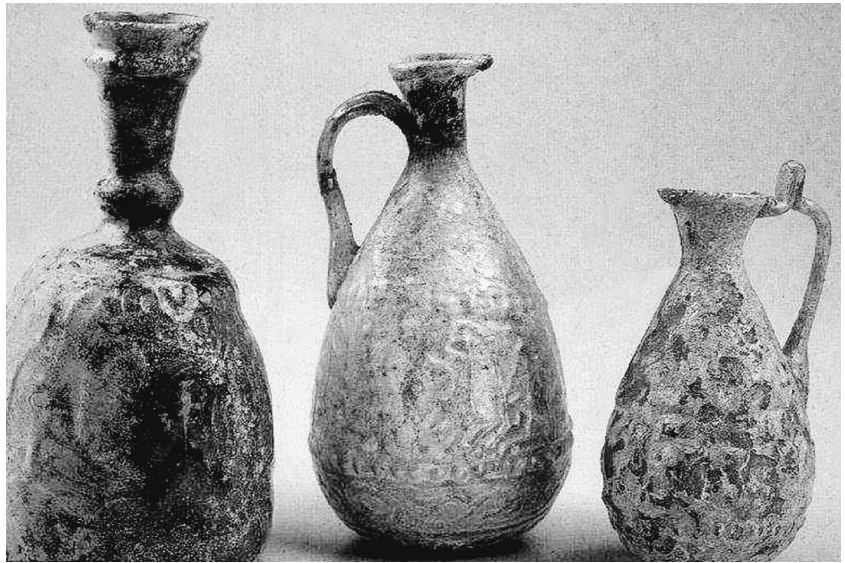
或文字在器表面，同樣的技法亦見於虹彩陶器。另外，從羅馬時期流傳下來的冷切技法與雙色浮雕技法，也廣為伊斯蘭玻璃工匠所運用。到了馬穆魯克王朝（Mamluk caliphate, 1250-1517AD），許多清真寺裡的油燈以及其他型式玻璃器，則主要以畫珐瑯技法來裝飾（如圖九）。

中東玻璃器的生產技術

玻璃製造原料

在這一千年當中，玻璃器的生產製造以鈉鈣玻璃配方為主導。主要原料有作為玻璃基質

的矽石 silica 以及扮演助熔劑的碳酸鈉 soda 與穩固劑的石灰 lime (參見圖一〇)。在第一世紀到第八世紀，中東鈉鈣玻璃配方所需碳酸鈉原料，取自於天然的鈉鹼礦物 natron (又稱 trona)，重要礦源地為埃及的 Wadi el Natrun (Shortland 2004)。這種天然的鈉鹼礦物，是多



圖八 西元八~九世紀伊斯蘭時期的各式吹模製玻璃瓶罐

種碳酸鈉鹽類的組合，在玻璃配方中的角色是將含有矽的砂土，在加熱過程中，使其熔點從攝氏一千七百度降低至攝氏一千一百五十~一千兩百度左右。而這段時期所用的砂土中，所含海貝碎片，則是石灰原料的來源，在玻璃配方中扮演穩固劑的作用 (Brill 1968)。否則，缺少石灰作為穩固劑的玻璃料，冷卻後仍會溶於水，不具有持久性，沒有實用價值。雖然有分析發現在這個時期(西元



圖九 西元十二~十四世紀以畫法瑯技法裝飾的虹彩玻璃器

1. Natron glass			
Constituent	SODA	LIME	SILICA
Raw material	Natron	Sea shell fragments (from the sand)	Sand
2. Plant Ash glass			
Constituent	SODA	LIME	SILICA
Raw material	Plant ash	Plant ash	Quartz

圖一〇 鈉鈣玻璃系統 Soda-lime-silica glasses

第一（八世紀）少數玻璃器是以植物灰取代天然鈉鹼礦物作為助熔劑，但是更多的化學分析研究指出絕大部分的羅馬玻璃器、拜占庭玻璃器與早期伊斯蘭玻璃器是以天然鈉鹼礦物作為助熔劑。典型的第二、第三世紀羅馬玻璃器的化學成份比例為c. 17% NaO, 7.5% CaO and 65.5% SiO₂。

大約到了第八世紀，原有鈉鈣玻璃配方中的天然鈉鹼礦物，逐漸由鹽生植物的植物灰取代作為助熔劑，在中東地區通常是生長於岩漠的藟草類植物，

例如：Salicornia（圖一一）。這時，鈉鈣玻璃配方所需的碳酸鈉與石灰，皆是來自於植物灰，而所需的玻璃基質「砂」，則是主要取自於攪碎的石英石（參見圖一〇）。

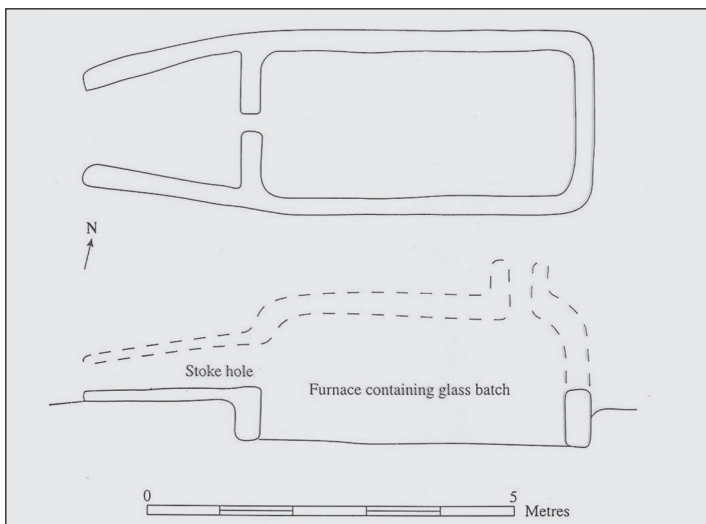
玻璃窯爐

砂、碎石、英、天然碳酸鈉或是鹽生植物等玻璃原料，有可能先聚堆在一

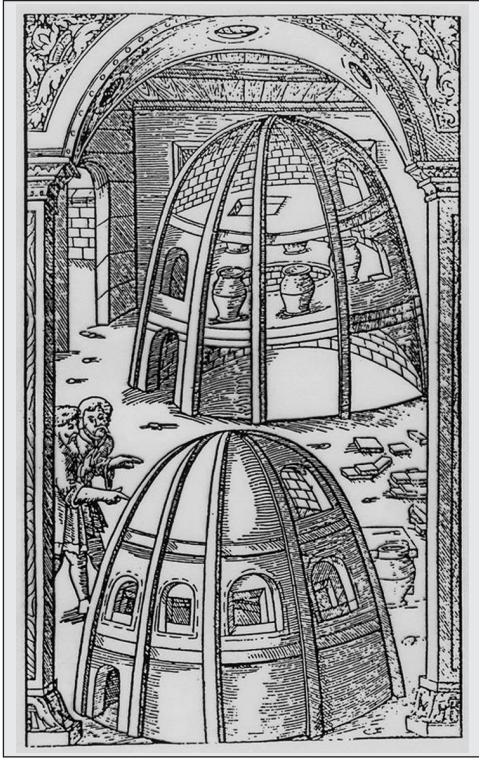


圖一一 敘利亞北部 Heracla 地區是藟草類植物適於生長的岩漠

起，經過低溫的粗燒，把大半雜質去除，成為粗玻璃；然後再以高溫將粗玻璃完全熔合，成為製造玻璃器的玻璃料。但也可能玻璃原料只經過一次燒就直接作為製造玻璃器的玻璃料（Henderson 2000）。有越來越多考古發現，在很多一次燒的窯址，玻璃窯爐的形制為大型單室窯爐 tank furnace（剖面圖見圖一二），例如，在 Hadera 遺址考古挖掘出十七座此種大型單室玻璃窯爐，據估計，每次開窯燒製約可產生八噸的玻璃料（Gorin-Rosen 2000）。而在敘



圖一二 中東地區Hadera遺址出土大型單室玻璃窯爐的橫剖面與縱剖面圖（經Yael Gorin-Rosen同意重繪）

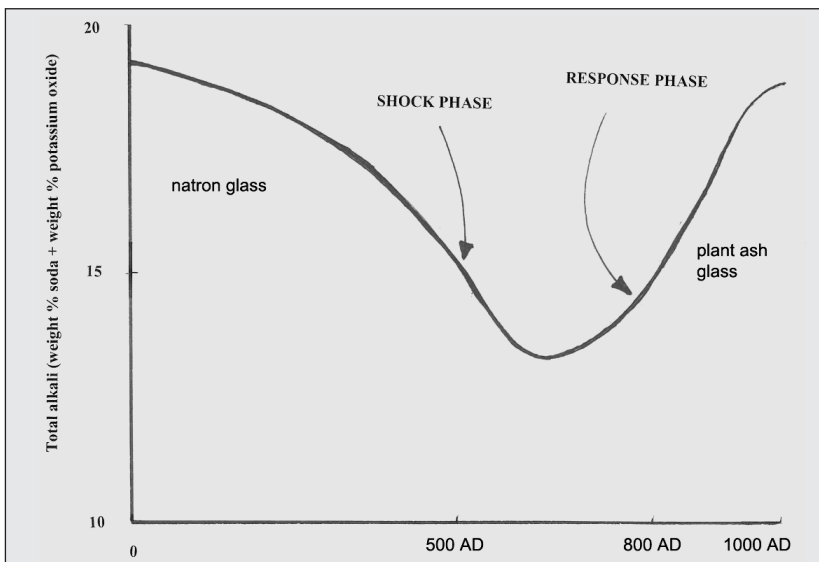


圖一三 三層蜂箱型窯爐，引自中古世紀文獻De re Metallica (Georgius Agricola著，一五五六年出版)

利亞 Raqqa 遺址，除了發現大型單室窯爐燒製玻璃料外，同時這些玻璃料往往就地以三層蜂箱型窯爐進行二次加工，少量少量地重新加熱，然後吹製成玻璃器 (Henderson et al. 2004)。這種蜂箱型窯爐 beehive-shaped furnace，底層為放置燃料，中間一層則是放置坩堝，重新加熱玻璃料，頂層則是讓製作完成的玻璃器慢慢冷卻的溫室 (如圖一三) (Henderson 2000)。當然，也有窯址並不進行玻璃料的生產，只是從外地進口玻璃料，專門負責進行二次加工，製作玻璃器。

中東玻璃器的研究問題核心

從第八世紀，玻璃原料嚴重短缺，背後的社會經濟因素，尚未有定論，但這個現象，研



圖一四 中東玻璃配方 (不包括埃及地區) 鹼性鈉鹽比例與時代對應曲線圖，西元五~六世紀出現危機期，而到了西元八~九世紀產生回應期

究者可從玻璃配方的化學成份分析逐步摸索推論得知。如圖一四所示，作為助熔劑的鹼性鈉鹽比例，從第一世紀羅馬玻璃的百分之十八下降至第六、七世紀拜占庭玻璃的百分之十二左右。一樣是鈉鈣玻璃配方，但是助熔劑含量的比例降低，玻璃熔點相對地也提高，往往超過攝氏一千二百度。在這個危機期 shock phase，

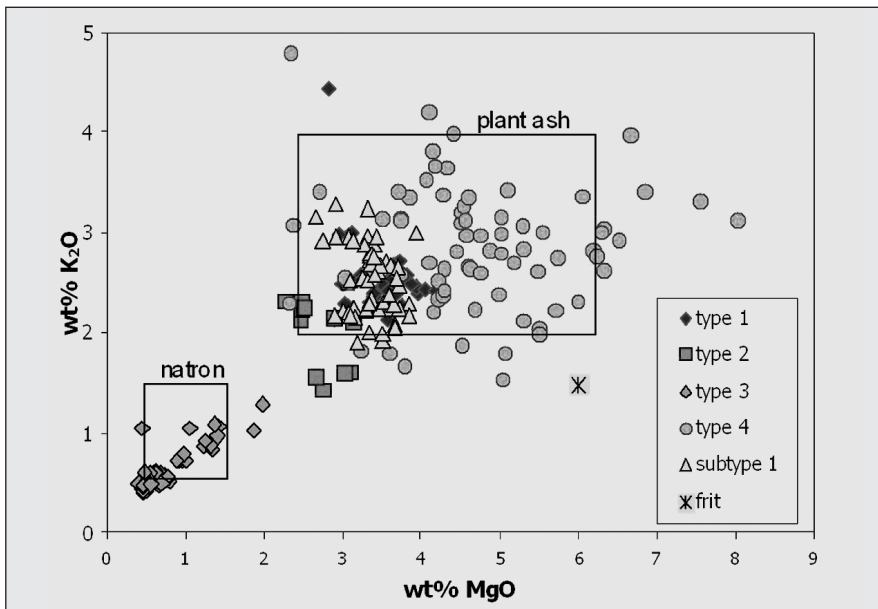
玻璃工匠面臨的難題有三重：燃料耗費太大、燒出來的玻璃料不易吹製成器（註三）、在助熔劑短缺的狀況下要想法降低玻璃熔點。

首先，對於在第六、七世紀時，助熔劑「天然鈉鹼礦物」開始短缺的原因，研究者有二種猜測：一是氣候環境改變，造成礦產減少，一是政治勢力因素。其實，從第一世紀開始，鹼性鈉鹽的含量在玻璃配方中，就已逐步減低，有可能這種天然礦產逐漸消耗殆盡，因而受到政治勢力所掌控；而不管真正的原因為何，至少，一個明顯的具體現象就是玻璃工匠開始尋找新原料作為助熔劑替代品。因此，在圖一四右半段的回應期 response phase，從第八世紀開始，中東玻璃工匠使用植物灰取代天然碳酸鈉作為助熔劑。

中東玻璃器的科學分析與討論

上述的推論，可由近五百件敘利亞出土玻璃切片樣本分析結果，說明如何藉由化學成份分析進一步將同是鈉鈣玻璃配方的第一至十世紀中東玻璃器，區分出「天然鈉鹼類」與「植物灰類」兩類（Henderson et al. 2004）。敘利亞 Raqqa 遺址範圍約有二平方公里，是第八、九世紀時期相當大規模的玻璃工業區，在這個遺址同時存在燒製玻璃料的大型單室方窯爐與燒製玻璃器的三層蜂箱型圓窯爐，配合對週遭植物標本與生態標本的環境考古分析，這個遺址提供相當充分的考古證據與分析數據，來協助回答之前所提出的研究議題。如圖一五所示，

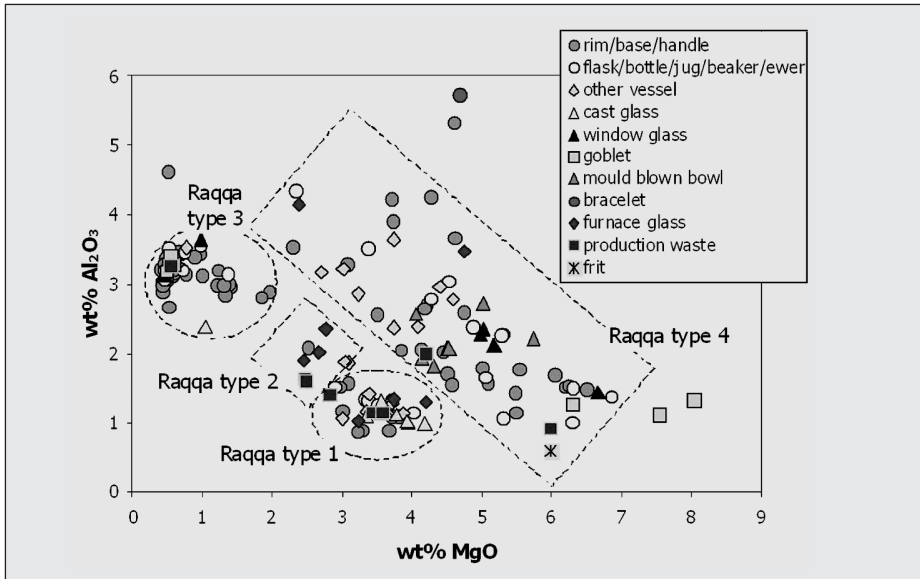
敘利亞 Raqqa 遺址出土玻璃殘片，經過樣本製備手續，以電子探針儀器進行元素分析，透過程式換算與統計分析，利用氧化鎂與氧化鉀含量的對比排列，可以清楚地將「天然鈉鹼類」與「植物灰類」兩類分離出來，各自成一族群。



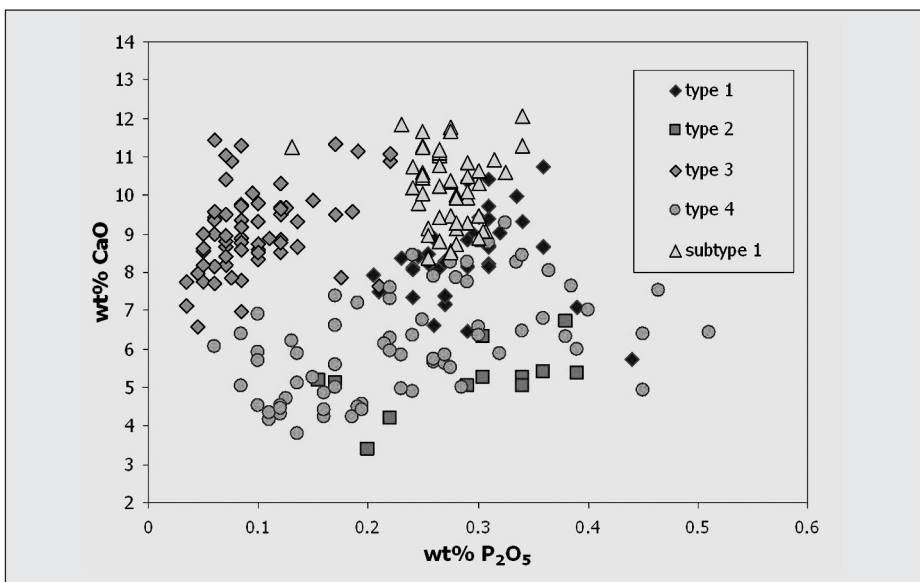
圖一五 西元八～十一世紀敘利亞Raqqa遺址出土的伊斯蘭玻璃，化學成份中氧化鎂(MgO)與氧化鉀(K₂O)的重量百分比(wt%)

接下來，要探究的是，這樣的改變純粹是技術上的改變？還是經過一番試燒實驗而來的技術上的改革與創新？想要知道有無玻璃配方的試燒與創新，研究者觀察並期待在鈉鈣玻璃配方中找出各式各樣的化學成份組合。如圖一

六所示，利用氧化鎂與氧化鋁含量的對比排列，Raqqa遺址的植物灰類鈉鈣玻璃可再細分出三種子類型。氧化鋁主要是反映玻璃基質「矽」的原料來源，較高含量的氧化鋁代表原料來源是含有海貝的矽沙土，所以圖一六中的

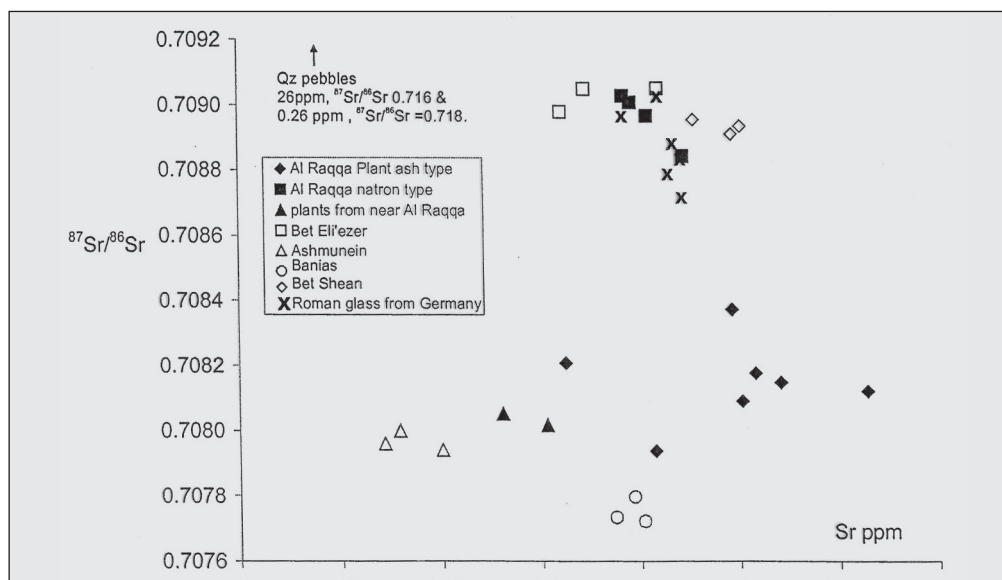


圖一六 西元八~十一世紀敘利亞Raqqa遺址出土的伊斯蘭玻璃，化學成份中氧化鎂(MgO)與氧化鋁(Al_2O_3)的重量百分比(wt%)



圖一七 西元八~十一世紀敘利亞Raqqa遺址出土的伊斯蘭玻璃，化學成份中氧化磷(P_2O_5)與氧化鈣(CaO)的重量百分比(wt%)

子類型二是原有的天然鈉鹼類鈣玻璃族群，而較低含量氧化鋁，則說明「砂」的原料來源



圖一八 利用銨同位素法進行Banias遺址與Raqa遺址出土的植物灰類鈉鈣玻璃的鑑別

是石英石顆粒或是較無雜質的砂土。同時，子類型三族群中的氧化鎂含量很低，主要是氧化鎂為植物灰中的雜質，故在子類型一、二、四族群中，氧化鎂含量相對地升高。而子類型四為主要的植物灰類族群，跨越相當大程度的化學成份含量變化，也足以說明當時試燒各式配方正如火如茶地進行中。另外從氧化鎂的含量，有分別集中於c.4%與c.6-7%的趨勢，亦可得知兩種以上的鹽生植物被玻璃工匠所使用。從圖一七所示，利用氧化磷與氧化鈣的對比排列，亦可清楚的看出有四種鈉鈣玻璃配方族群的存在。

其他後續的分析則指出，到了十一世紀，中東玻璃工匠的試燒實驗階段告一段落，子類型一的植物灰類鈉鈣玻璃成爲中東玻璃器的主導性配方。同時，這個玻璃配方的熔點比原有的天然鈉鹼類鈉鈣玻璃要低五十度左右，相當具有實際的經濟效益。

最近具有突破性的分析是將地質學研究的銨同位素分析應用在植物灰類鈉鈣玻璃的產地鑑定。這個應用理論的可行性，在於植物灰類鈉鈣玻璃所需的鹽生植物主要是就地取材，受到地層中石灰岩與地下水的影響，每一地區的鹽生植物中的所含銨 ^{87}Sr 與銨 ^{86}Sr 比率亦會隨之不同，這個比率並不會受到溫度影響，從玻璃配方中的銨 ^{87}Sr 與銨 ^{86}Sr 比率，則可推敲出哪一地區的鹽生植物被使用，進一步，可藉此作爲產地的鑑定的決定性指標（如圖一八所示）（Henderson et al 2005）。

結語

對於文初提出的研究議題——在這段技術改革時期，工匠是否有進行試燒實驗，尋找最適當的玻璃配方？從上述的分析解釋，答案應是肯定的。從對 Raqqa 窯址出土玻璃的化學分析及相關的環境考古得知，除了前後有兩大類型的鈉鈣玻璃生產：「天然鈉鹼類」與「植物灰類」兩類。在植物灰類型中，可再依化學分析結果，將其細分為三個子類型。如此充分的考古證據與分析數據，巨細靡遺地說明西元八世紀時玻璃工匠在原有的天然鈉鹼類配方以及創新的三種植物灰鈉鈣玻璃配方中，尋覓、揣摩與實驗最佳的替代配方，這亦是敘利亞 Raqqa 遺址最具代表性的重大發現，目前尚未有其他同時期的窯址能提供這麼完整的資訊來解釋當時在中東地區的玻璃工業活動。

因此，來自於玻璃工匠進行試燒實驗的重要成就，莫過於成功的找出以當地植物灰取代天然鈉鹼礦物作為助熔劑原料，足以再次降低玻璃燒製熔點，節省燃料成本，並生產出可進行吹製的玻璃料。而背後促成這項試燒實驗進行與成功，有賴於當時伊斯蘭勢力的在中東地區的擴張，尤其在阿拔斯王朝第三任哈里發馬赫迪在位時期（775-785AD），降服拜占庭帝國，政治勢力達到頂峰，隨之而來的經濟效益在玻璃工業上，則是大批從外地引進不同背景的玻璃工匠，暢通無阻的在其版圖境內取得燃

料與玻璃原料，無形中慢慢擴大了整體的玻璃製造工業規模。

除此之外，植物灰類型的鈉鈣玻璃配方，影響亦遠至歐洲，著名的威尼斯玻璃則是奠基於此配方，最早的歷史文獻，可追溯至十三世紀，便有自中東進口該種鹽生植物到威尼斯作為玻璃燒製原料的記載。

編譯註：本篇文章內容主體是科技室學術交流學者 Julian Henderson 教授於二〇〇四年十一月十日應邀來院發表之演講。Henderson 教授現為英國諾丁漢大學考古學系所教授兼系主任。文中圖片若未特別註明，由 Julian Henderson 教授提供。

註釋：

一、「中東」是近代出現的一個地理概念，十六、十七世紀西方國家向東方擴展時，按照距離的遠近，把歐洲西部以外的地區分別稱為「遠東」、「中東」和「近東」，這種劃分從來沒有明確的界定，有時按照自然地理範圍來分，有時則按照政治地理的觀點來確定範圍。大體上，近東是指巴爾幹、海峽地區和北非。中東是指從土耳其至阿富汗，以及埃及這一片地區。遠東則指東亞與東南亞諸國。（參照黃鴻釗主編《中東簡史》，台北：書林，一九九六）

二、陶芯成型技法 Core-formed technology，是先把陶黏土拌水裹在金屬管上，略將此陶芯塑形成一容器模樣，然後將此金屬管連同陶芯浸到熔解的玻璃溶液中，取出待其冷卻後，將陶芯移除，玻璃

器即完成。或說將熔化的玻璃球拉成，圓圈纏繞在陶芯外，再將其放在金屬斗內口，圓圈外圍表面，在冷後發綠陶芯，玻璃器亦即完成。（同參 勒 Henry Hodges, *Artifacts*, London: Duckworth, 1989, p.57）

Henderson, J., McLoughlin, S. and McPhail, D. 2004 Radical changes in Islamic glass technology: evidence for conservatism and experimentation with new glass recipes from early and middle Islamic Raqqa, Syria *Archaeometry* 43, 3, 2004, 439-468.

參 考 文 獻 ..

Henderson, J., Evans, J.A., Sloane, H.J., Leng, M.J and C. Doherty in press “The use of oxygen, strontium and lead isotopes to provenance ancient glasses in the Middle East”, *Journal of Archaeological Science* 2005.


Brill, R.H. 1968 “The Scientific Investigation of ancient glasses”, *Proceedings of the VIIIth International Congress on Glass, The Society of Glass Technology*, London and Sheffield, 47-68.

Israeli, Y. 1991, “The invention of blowing” in M.Newby and K. Painter, *Roman Glass:Two Centuries of Art and Invention*. The Society of Antiquaries of London, Occasional Paper XVIII, 46-55.

Gorin-Rosen, Y. 2000 “The Ancient Glass Industry in Israel: Summary of the Finds and New Discoveries”, in M. D. Nenna (ed.) *La Route du Verre, Maison de l’Orient Méditerranéean-Jean Pouilloux*, Lyon, 2000, 49-64.

Jackson-Tall, R.E. 2004 The Late Hellenistic Glass Industry in Syro-Palestine: A reappraisal, *Journal of Glass Studies*, 46, 2004, 11-32.

Henderson, J. 2000, *The Science and Archaeology of Materials*, Chapter 3: Glass, London and New York: Routledge, 2000.

Shortland, A.J. 2004 “Evaporites at Wadi Natrun: seasonal and annual variation and its implication for ancient exploitation”, *Archaeometry* 46,4, 497-516. 

Henderson, J. 2002, “Tradition and experiment in first millennium A.D. glass production - the emergence of early Islamic glass technology in Late Antiquity”, *Accounts of Chemical Research* 35,8, 2002, p. 594-602.