

生物陶瓷及透明陶瓷

「生物陶瓷」及「透明陶瓷」都是「精密陶瓷」的一種。和可以用在人體內的金屬及塑膠材料相比，生物陶瓷更接近人體的硬組織，因此可以做為人體骨骼的替代品。透明陶瓷則可以使用在工業生產及日常生活上。

■ 蘇明德

陶瓷是陶器和瓷器的總稱，它是由黏土與石英、長石等混合物，經過成形、乾燥和焙燒而成的製品。陶瓷在中國已有悠久的歷史，也是中華民族古老文明的象徵。像是秦始皇陵中的大批兵馬俑，形象逼真且氣勢宏偉，被譽為世界文化的奇蹟、人類文明的寶庫。又例如唐代的唐三彩、宜興的東坡壺、景德鎮的瓷器等，也都馳名中外。

從陶瓷材料的發展來看，它可以分成傳統材料和精密陶瓷（或者先進陶瓷）兩大類。精密陶瓷由於具有獨特的性能，因而受到人們的青睞，在資訊、機械、能源、生物系統等方面都有廣泛的應用。

對於精密陶瓷來說，原材料的選取和製備的要求是十分嚴格的，它必須滿足3個條件。第一是原料純度和顆粒大小。首先選擇的原料必須是高純度的，在這個前提下，原料粒子尺寸必須達到微米（ 10^{-6} 公尺）級。第二是嚴格控制的化學成分。在整個製備過程中，不允許有雜質混入，也不允許自身成分因為揮發等原因而受到耗損。第三是確保產品有精確的形狀和大小。因為精密陶瓷在通常的使用情況下是不加工的，或者盡可能地少加工。

生物陶瓷與人體的硬組織較接近，適合用在人體硬組織上，而且在製作過程中，經過精心的設計，能模仿出人體骨骼中的微小孔隙，進而使人體細胞完全親和，甚至可以在它上面生長。

在生物系統方面的應用，精密陶瓷主要用來修復人體的硬組織，尤其是牙齒和骨骼的修復，常製成人造骨、人造關節、骨釘等，因此把這一類陶瓷稱作生物陶瓷。和可以用在人體內的金屬及塑膠材料相比，它更接近人體的硬組織。在以前，生物陶瓷主要是由氧化鋁組成的，目前已逐漸被更接近人體硬組織的羥基磷灰石生物陶瓷取代。

植入人體

生物陶瓷是一種用於人體器官和組織修復的功能性精密陶瓷。精密陶瓷又稱為先進陶瓷或工程陶瓷，為什麼具有那麼多優異性能呢？根本的原因是在製備過程中，採用的原材料及製備工藝與傳統陶瓷不同，因而產品的顯微結構也有所不同。

生物陶瓷與生物相容合金或高分子材料一樣，都有良好的生

物相容性。對於肌體沒有免疫排斥反應，也不會有溶血和凝血反應；同時，對人體無毒害，不會引起異常的代謝作用而產生異常現象，也不會致癌。由生物陶瓷做成的人造器官，一旦植入人體

後，通常比生物相容合金和塑膠做成的人造器官有更大的優越性。

人體內的生理環境是非常複雜的，植入人體的人造器官，必須能夠接受這種複雜生理環境的



● 由氧化鋯製成的醫療材料



● 羥基磷灰石人工骨材的外觀

長時間考驗。在這種情況下，人造器官因原材料不同所引起的差異，也會充分顯現出來。例如，不銹鋼和鈦合金在常溫下都是非常穩定的材料，但是用其製成的人造關節、骨骼和一些器官，一旦植入人體三、五年後，就會產生銹蝕現象。因而在人造關節、骨骼和一些人體器官上，往往會出現腐蝕斑，甚至還會析出微量的金屬離子！

用生物相容高分子做成的人造關節、骨骼和一些人體器官，雖然不會銹蝕，卻容易老化。相對地，由於陶瓷本身的惰性和耐腐蝕性，做成的人造

關節、骨骼和一些人體器官，既不會銹蝕，也不會老化，更適合植入人體。

生物陶瓷為什麼會比生物相容合金和高分子更適合用在人體硬組織上？這是因為在生物相容合金、高分子和生物陶瓷中，只有生物陶瓷與人體的硬組織較接近。組成骨骼等硬組織的無機鈣質主要是羥基磷灰石，生物陶瓷製品的主要原料也正是羥基磷灰石，與人體骨骼等硬組織材料幾乎相同。而且在製作過程中，經過精心的設計，能模仿出人體骨骼中的微小孔隙，進而使人體細胞完全親和，甚至可以在它上面

生長。

現在又研製出一些特殊的生物陶瓷，可以製成絲和線，甚至紡成布、做成衣服。

生物陶瓷按照組成可以分成3類：第一類是純氧化物，例如氧化鋁、氧化鋯等；第二類是複合氧化物，如羥基磷灰石、磷酸鈣等；第三類是生物玻璃。如果依照與人體修復部位的生化關係，生物陶瓷也可以分成3類：第一類是生物惰性陶瓷，例如氧化鋁和氧化鋯；第二類是生物活性陶瓷，例如羥基磷酸鹽；第三類是可吸收的生物陶瓷，例如磷酸三鈣和羥基磷灰石。

透明陶瓷是一類像玻璃一樣透明的陶瓷，在製備透明陶瓷的過程中，必須設法把雜質和氣孔除去，使得晶粒大小非常均勻，而且沒有微小氣孔存在。

生物惰性陶瓷 氧化鋁在醫學上的應用已經有四十多年的歷史，主要用在修復牙齒、骨骼等硬組織上。在牙齒的修復中，常用氧化鋁的生物惰性陶瓷做成假牙和人工牙根，其顏色、光澤、導熱性等性質與天然牙齒十分接近，因此在植入以後，一般患者的感覺良好。它的主要缺點是由於氧化鋁的燒結收縮率比較大，很難製得與原牙齒尺寸大小完全相同的假牙。

在骨骼修復方面，主要用氧化鋁生物惰性陶瓷做成各種人工關節，例如髖關節、膝關節、肘關節、肩關節、指關節等。也有用它做成人體不同部位的人工骨，例如耳、面、腕、腿、指、腰椎等，以及骨折固定用的螺釘、螺絲等。

另外，新型的氧化鋯生物惰性陶瓷在1988年才開始進入臨床應用，它的強度和斷裂韌性都比

氧化鋁生物陶瓷高，因此一般用它來製造人體中最重要的承重關節。而且，它的尺寸還可以做得更小，以增加關節的自由度，延長使用壽命。

生物活性陶瓷 它是一類具有特殊化學活性的生物陶瓷，在植入人體以後，會在與人體組織的結合面上形成化學結合。現有的生物活性陶瓷，主要有羥基磷灰石組成的陶瓷和玻璃兩種。

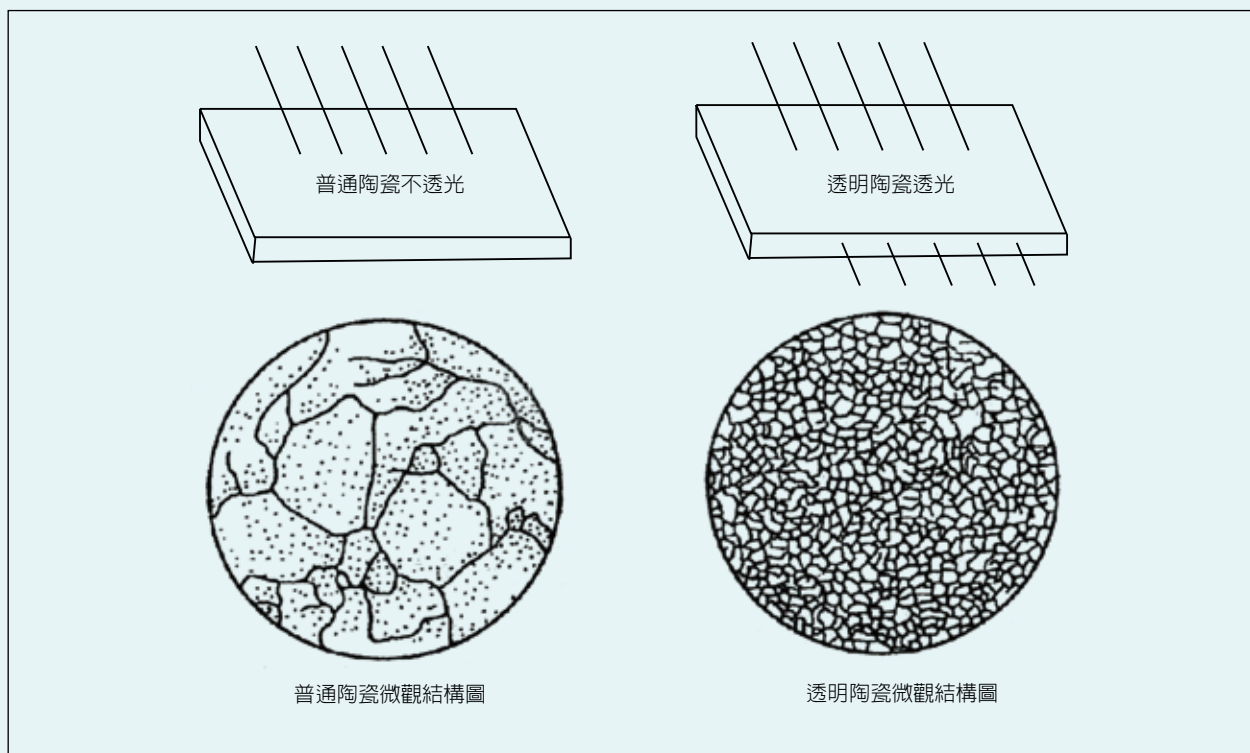
羥基磷灰石組成的生物活性陶瓷的主要特點，是化學成分與人體骨骼相似。人體骨骼組織質量的65%是羥基磷酸鈣，化學式是 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ，而羥基磷灰石的化學式也是 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 。

此外，也有用熔融法製得生物玻璃，它的化學組成可以表示成 $\text{CaO} \cdot \text{NaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ，主要特點是具有與骨骼鍵結的能力。當生物玻璃植入人體後，在與骨骼的結合過程中，會先在植入件

的表面形成富矽凝膠，然後再轉化成磷灰石晶體，進而在兩者的結合面上形成有機和無機的複合物。羥基磷灰石組成的生物活性陶瓷，主要用來做假牙和中耳道的修復材，生物玻璃則可以製成金屬股骨的塗層。

可吸收的生物陶瓷 這是在植入人體後，可以逐漸降解，最後轉化成人體骨骼組織的陶瓷材料。可吸收的生物陶瓷的主要成分是磷酸三鈣， $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ，與人體骨骼的組成相似。

可吸收的生物陶瓷的醫用方法主要有兩種。一種是先把它們製成粉末，然後用來填補骨損傷。這些粉末在骨組織的恢復和重建過程中，會逐漸被吸收。另一種是把可以吸收的生物陶瓷製成多孔性的結構物，當它與骨連接以後，骨組織就會逐漸地長入陶瓷中，再通過降解而逐漸形成礦化骨。



● 普通陶瓷與透明陶瓷的差異

像玻璃一樣透明

透明陶瓷是一類像玻璃一樣透明的陶瓷。一般來說，陶瓷通常是不透明的，因而無法使用在許多場合中。科學家從1930年代就開始研製透明陶瓷，結果在1957年，由美國通用電器公司的陶瓷專家科爾及他的助手首先研究成功。

在當時，科爾與他的助手們正在實驗室中研製透明陶瓷。當一位助手從爐中取出一塊燒結好的陶瓷時，一不小心把樣品掉在一本翻開的書上。他們

驚喜地發現，書上的字體透過陶瓷樣品仍然清晰可見。科爾仔細觀察這片史無前例的陶瓷樣品，發現在這塊樣品中居然找不到一個微氣孔，他認為這就是他們成功的原因。此後，他們進行重複的試驗，結果還是相同。

由各項研究的結果，我們知道陶瓷透明與否與其材質中是否有微小氣孔確實有關。材料的透光性主要取決於材料的純度和晶體結構，如果材料中有微小的氣孔，當光線照射時，

由於微小氣孔對光有很強的散射能力，可以把大部分的光線分散到四面八方，最後被材料吸收。因此，這種材料是不透明的。如果材料中沒有微小氣孔，當光線進入時也不會散射，因而可以順利地通過，這種便是透明材料。

普通陶瓷是一種多晶材料，也就是說，在陶瓷形成時，晶體與晶體之間有界面。這種界面與晶體不同，它是由氣泡和玻璃狀的物質所組成，因此是不透明的。當然，在製備透明

陶瓷的過程中，必須設法把雜質和氣孔除去，使得晶粒大小非常均勻，而且沒有微小氣孔存在。

透明陶瓷不僅透明，而且還有高機械強度、耐高溫。它們的熔點一般都高於攝氏2,000度，尤其是氧化鈦—氧化釷透明陶瓷材料的熔點，更高達攝氏3,100度。因此，透明陶瓷是科學家心目中極好的高強度材料，在新型的無機材料中占有很重要的地位。

怎樣才能獲得透明陶瓷呢？專家們歸納出製作透明陶瓷的3個必要條件：第一是原料的純度必須很高；第二是原料的結構必須是光學異向性比較小的晶體；第三則是生產工藝必須使光的散射減低到最小。

目前，已經開發的透明陶瓷主要有兩個系列。一個是氧化物系列的透明陶瓷，例如氧化鋁、氧化鎂、氧化鈹、氧化釷、氧化鈦、氧化釷—氧化鋯、鋯鈦酸鉛鑲陶瓷等。另外一個是非氧化物系列的透明陶瓷，如砷化鎵、硫化鋅、硒化鋅、氟化鈣、氟化鎂陶瓷等。

透明陶瓷的用途很廣，有一種用途是做成高溫工作環境下的代替玻璃。玻璃是一種優良的光學材料，美中不足的是它的熔點比較低，在高溫下往往會軟化變形，因而不再生透明的。

透明陶瓷不僅像玻璃一樣透明，而且熔點高。在高溫下，透明陶瓷有較好的機械強度和穩定性，因此可以在高溫下使用。例如，氧化鋁透明陶瓷可以用來製造高壓鈉燈，這種鈉燈的工作溫度往往可以高達攝氏1,200度，發光效率很高，而且使用壽命可以達到2萬個小時，也是一種高效節能燈。現在世界上每年的用量高達100萬支以上。

透明陶瓷還可以做成核閃光致盲護鏡，供參加核試驗的工作人員使用。另外，供電弧焊接工和煉鋼工人用的眼睛防護用具，也都是用透明陶瓷製成的。透明陶瓷還可以製造防彈汽車的窗戶、坦克的觀察窗、轟炸機的瞄準器、高級防護眼鏡等。

透明陶瓷在軍事上，也有其他的重要用途。例如，常用來製

成飛彈頭部的紅外線探測器。一般來說，如果能在飛彈頭部裝上紅外線探測器，飛彈就像長了眼睛一樣，能夠探測到從敵機輻射出來極微弱的紅外線。

但是最重要的問題是，如果飛彈要擊中超音速飛機，飛彈的速度至少要超過飛機速度的1倍以上。這樣一來，因為和空氣強烈的摩擦，飛彈頭的溫度會達到攝氏1,000度以上。對於能透過紅外線的光學玻璃來說，這根本無法配合，因為它們的使用溫度只到攝氏200度。因此，飛彈彈頭的紅外線探測器也只能用透明陶瓷來製造。

看完以上介紹以後，您是否心癢癢也想來設計新奇有趣的生物陶瓷或透明陶瓷？以便使人類生活更向前邁進一步！

蘇明德
嘉義大學應用化學系