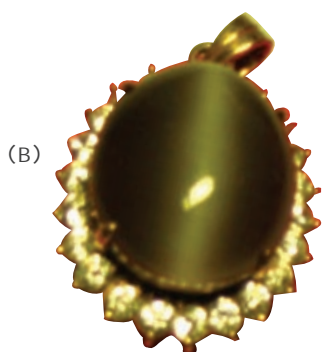




(A) 由於多晶互鎖的天生特質，閃玉是天然材料中韌度最高的礦物。圖中的玉原產地是花蓮，底邊 22 公分、高 8 公分、厚 4 公分。

(B) 雕刻琢磨細緻優雅的貓眼玉（原產地花蓮，長 2 公分）。



玉可以養嗎

從礦物學或寶石學的角度來看，

古玉常常不是某一種特定的礦物或它的變種。

然而在清朝翡翠大量從緬甸引進中國之前，

古玉有很大部分是我們今天所說的閃玉。

余樹楨

考古研究發現，早在 8 千年前中國人就已經使用工具切割、琢磨玉器了。幾千年來，在中國的傳統文化裡，玉占有非常重要且崇高的地位。由於「石之美者

曰玉」的說法，從礦物學或寶石學的角度來看，古玉常常不是某一種特定的礦物或它的變種。然而在清朝翡翠大量從緬甸引進中國之前，古玉有很大部分是我們

從韌度的角度而言，閃玉其實是極為理想的寶石材料，而閃玉的韌度之所以居各物質之冠，主要是角閃石晶體結構特徵所造成的。

今天所說的閃玉（nephrite）。

閃玉和輝玉

早期，玉分為硬玉和軟玉兩種。翡翠就是含鉻元素而呈現高雅翠綠色的一種硬玉。硬玉是輝石類礦物，現在稱為「輝玉」；軟玉則是角閃石類礦物，現在稱為「閃玉」。台灣東部的玉礦，俗稱「台灣玉」，以及新疆的「和闐玉」，就是道道地地的優質閃玉。

玉的軟、硬之分，原來是指兩者硬度的差別，但輝玉和閃玉的礦物學莫氏硬度都在6和7之間，其實相差並不是那麼明顯。事實上，材料科學研究結果顯示，閃玉是天然材料中韌度最高的礦物。因此，用軟玉和硬玉這樣的字眼非但不切實際，也容易誤導民眾。許多學者也不建議使用，而應該稱它們為閃玉和輝玉。

韌度最高的閃玉

「硬度」是礦物晶體抵抗外力刮傷的能力，莫氏硬度表從1排列到10，代表的硬度由小到大。鑽石的莫氏硬度是10，是已知自然界中最堅硬的天然晶體。「韌度」則是指晶體抵抗破裂的能力，也就是說，受外力作用時，晶體破裂成兩片或多片的抗拒力。韌度越大，晶體掉落地面或受外力撞擊導致破裂的機率就越小。

試想，你佩戴的飾物一不小心掉落地面就破成兩片，你還會

喜歡擁有它嗎？因此從韌度的角度而言，閃玉其實是極為理想的寶石材料。數千年來，閃玉在中國普遍為帝王、公卿、乃至庶民所喜愛，而且歷久不衰，不是沒有道理的。

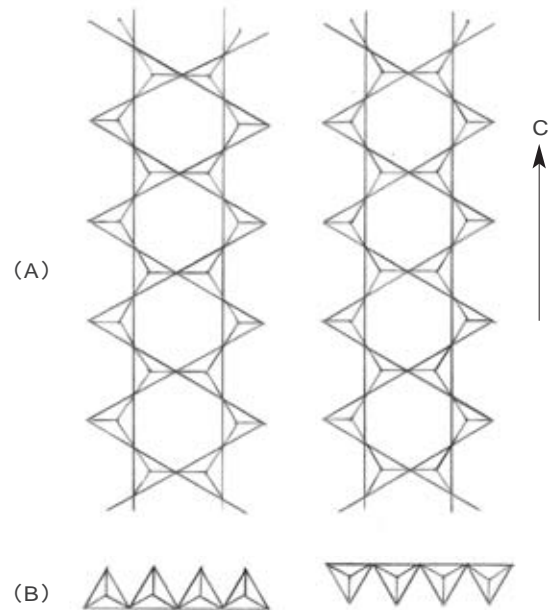
閃玉的韌度之所以居各物質之冠，主要是角閃石晶體結構特徵所造成的。角閃石屬於雙鏈矽酸鹽礦物，這裡所謂的雙鏈，指的是半徑比較小的矽原子和4個氧原子先鍵結成矽氧四面體，矽氧四面體再以共用氧原子的方式連結，沿著C結晶軸方向延伸形成矽氧四面體鏈，每兩鏈再平行連接在一起形成一串雙鏈的基本構造單元。至於閃

玉中的其他原子，包括鈣、鈉、鐵、鎂等比較大的陽離子，則占住在相鄰雙鏈構造單元之間，把無數矽氧四面體雙鏈連結成三維的閃玉結構。

這個雙鏈基本構造單元中，矽和氧的鍵結能較高，因此閃玉的C結晶軸是一個十分堅固的構造方向。在原子尺度下的矽氧鏈，在巨觀尺度下就成了纖維，例如在光學顯微鏡下就

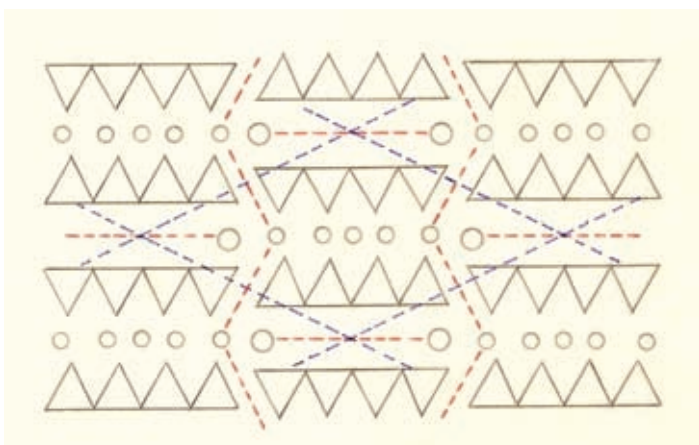
可以看到閃玉的纖維，主要就是沿著C軸方向成長。

原子尺度下的閃玉橫剖面結構，可以用4個同方向三角形連在一起代表矽氧四面體雙鏈。兩串尖端相對的雙鏈之間的空間，由鈣、鈉、鐵、鎂等比較大的陽離子占用。兩串尖端相背對的雙鏈之間的空間基本上是空的，就是閃玉結構中比較脆弱的地方。此外，雙鏈尖端反向的地方也是鍵結較弱之處。因此閃玉受到外力作用時，就容易沿著這些脆弱的地方裂開。不過原子實在太小了，以光學顯微鏡觀察時，看到的裂紋是沿著約略相交成 $120^\circ/60^\circ$ 夾角

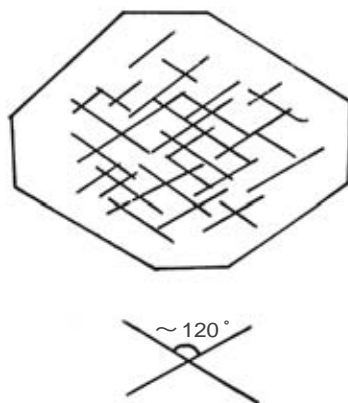


(A) 矽氧四面體以共用氧原子的方式連結成鏈，兩鏈矽氧四面體再平行相連，沿著C結晶軸方向延伸成為堅固的矽氧四面體雙鏈。這是理想化的閃玉基本結構單元，真實的閃玉雙鏈都有不同程度的曲折。(B) 從橫剖面看，可以看到兩串矽氧四面體雙鏈（共4鏈）並排，但是四面體尖端一朝上一朝下，互相交錯。

閃玉受外力撞擊時雖然不容易破裂，但內部會形成許多微細的裂紋，這是玉石吸收外力的遺跡，而這些裂紋的存在就是玉石之所以可以「養」的主要原因。



(左) 原子尺度下理想化的閃玉橫剖面結構，4個三角形連在一起代表矽氧四面體雙鏈，大小圓圈代表鈣、鈉、鐵、鎂等比較大的陽離子，紅色虛線代表鍵結比較脆弱的地方，藍色虛線代表光學顯微鏡下觀察到的解理面。(右) 光學顯微鏡下可以看到約略相交成120 / 60度夾角的(110)和(110)兩組解理面。



高居天然物質之冠，也就實至名歸了。

閃玉受外力撞擊時雖然不容易破裂，然而內部不也是會形成許多微細的裂紋嗎？的確如

此。這些微細的裂紋正是玉石吸收外力的遺跡，而其存在就是玉石之所以可以「養」的主要原因。

不易摔破的閃玉

了解了閃玉的晶體結構，似乎並沒有解答閃玉高韌度的原因。具高韌度的優質閃玉，通常都具備了所謂的互鎖組織。互鎖組織是指一塊玉石是由許多微小的閃玉單晶彼此鑲嵌組成，這是

閃玉和其他寶石很不一樣的地方。通常一顆美鑽，本身就是一顆金剛石的單晶，然而一塊優質閃玉卻是一個多晶體。

如果外力夠大，足以把外緣第1顆單晶沿解理面擊出裂紋，剩餘的外力繼續作用到相鄰的第2顆單晶時，由於方位不同，以及外力的減弱，要繼續讓第二顆閃玉單晶產生裂紋的機率相對降低。除非外力十分強大或作用時間短（即高的stress rate），否則由於前進玉石內部的外力會逐步消滅，以及各玉石單晶解理方位互異的互鎖效應，再加上外力進到玉石內部的分支作用，要讓一塊優質美玉破成兩半的確不是那麼容易。因此閃玉的韌度

光的折射

日常生活中有一個常見的現象：戴眼鏡的朋友常常會以手絹或衣角擦拭鏡片，以便在閱讀時能看得更清晰。另外，戴鑽戒的朋友都知道使用軟布擦拭鑽石外表，好讓美鑽更為亮麗。這是為什麼呢？

先檢視一下光線在金剛石晶體中的進行路徑。鑽石的折射率高達2.42，臨界角只有24度，在適當的切割角度配合下，一束入射光可經兩次折射和兩次全反射後返回。一般低折射率的寶石，比如玻璃，由於臨界角高達42度，因此這種連續產生全反射，而使進入寶石的光線最後又回到觀察者眼中的機率就小很多。這



閃玉的多晶互鎖組織使撞擊的外力產生分叉的效應，被削弱的外力多半只能沿解理面產生微尺度裂隙，造成玉石無與倫比的高韌度。

一般玉石在切割琢磨完成後，會加上一道「墩蠟」的步驟，以蠟充填玉器表層的微細裂縫。假如不做適當的保養，隨著歲月的流逝，玉器裂隙中的蠟會慢慢地消耗減少，而影響到玉器的光澤。

是為什麼高折射率的金剛石，在適當角度的切割琢磨之下，會是如此璀璨亮麗的主要原因之一。

然而當有油脂覆蓋在鑽石表面上時，金剛石不再和空氣接觸，而直接和油脂相接。如果油脂的折射率是1.4，比空氣的折射率1大了40%，則鑽石臨界角增大為35度，比起和空氣接觸時的鑽石臨界角24度，足足增加了46%，全反射的發生機率就相對減少許多。反過來說，有效地清除鑽石表面的油脂，使鑽石表面直接和空氣接觸，就等於提升光線在鑽石晶體中全反射發生的機率，也就等於提升鑽石的光芒和亮麗。

磨砂膏和美容霜

礦物學中，在描述礦物的光學性質時，有一項重要的參數稱為「光澤」(luster)，主要是描述礦物表面對入射光的反射狀況。光澤主要取決於礦物的表面特性，越是光滑平整的表面，就越多有光澤。

化妝品中的磨砂膏，主要功能之一是透過機械式的研磨，把角質化的粗糙不平的臉部表面，盡可能磨成平整的表面；美容霜則用來補平剩餘的凹凸的地方。如此一來，照射到臉部的光線會有更多的機率從臉部反射出來，給人的感覺就是光鮮亮麗，這和

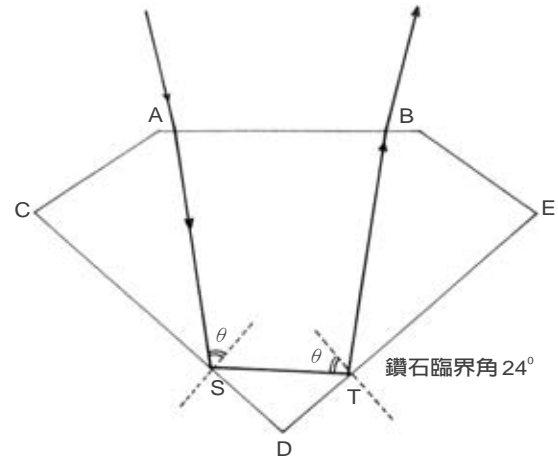
礦物學的「光澤」效應幾乎一致。

墩蠟

回過頭來看看我們的主角一閃玉。鑽石不希望油脂來攪局，相反地，玉石卻希望油脂多多益善。一般玉石的正常加工過程，在切割琢磨完成後，會加上一道「墩蠟」的步驟。這是一項公認的合法手續，是使蠟溶入切割琢磨好的玉器表面。這項過程的主要目的，是以蠟充填玉器表層的微細裂縫。蠟的折射率可達1.4~1.5之間，墩蠟處理過的玉器，外表展示出的炫麗光澤，就好比經過濃妝豔抹的臉部散發出的亮麗光芒，令人眼睛為之一亮。

假如不做適當的保養，隨著歲月的流逝，玉器裂隙中的蠟會慢慢地消耗減少，這種表面特性的改變會大大影響玉器的光澤。在乾燥的地區，這種光澤遞減的效應也越發明顯。這就是為什麼寶石展示櫥窗內，除了寶石玉器外，常常可以發現在櫥窗的角落會擺一小杯清水，主要的目的就

是維持櫥窗內適當的濕度。



一束入射鑽石桌面AB的光線，折射後進入亭部面CD時，由於入射角 θ 大於臨界角而在S點發生全反射，射向另一亭部面DE，在T點第2次全反射後，射回桌面AB，經第2次折射而進入觀察者的眼中。

養玉

常常聽到民間的說法，說玉鐲子越戴越變得翠綠，或玉墜子越戴越有光澤，這是一般民間所謂「養玉」的說法。

戴在身上的玉器，或經常把玩的玉石，都有充分的機會接觸到人體上或手中的油脂。這個不被注意的過程，其實就像玉石墩蠟的動作一樣，時間久了，玉石或玉器在油脂的長期滋潤下，所有微細裂縫都被油脂充填，因此表面變得更為光滑平整，自然就散發出優雅的光芒和色澤。就閃玉的天生特質而言，玉可以養其實是有科學根據的。 □

余樹楨

成功大學地球科學系