

「超深鑽石」揭開地球內部的秘密

故事要從送抵倫敦的一個包裹談起。包裹裝在一個普通的紙盒中，收件人是倫敦中心的一家礦業銷售代理公司「S Neumann & Co」，這個盒子重量大約500克。但這不是一個普通的包裹。

包裹送抵的日子是1905年4月的一天，在這個日子的三個月前，南非普列米爾鑽石礦（Premier Mine）的地面經理在地面下5.4米的礦道作例行檢查時，突然發現他頭頂粗糙的岩牆上有亮光閃爍。他以為是同事用錘子敲進牆的一大塊玻璃，用來惡搞他。但怕萬一錯失珍寶，他掏出了小刀，在牆上掏挖了一會兒，小刀突然折斷。不過他最終還是把這塊發光的石頭取了出來，原來並非玻璃，而是一顆貨真價實的鑽石，一顆重達3106.75克拉，大如拳頭的巨大鑽石，而且，不僅罕見巨大，還澄澈透明異常。

這顆鑽石被稱為「庫利南鑽石」（Cullinan），是迄今為止人類發現最大的鑽石。最後被打磨成多塊較小的鑽石，最大的一顆就像遙遠星系中的恆星一樣發出冷冽的光芒。因此，這塊庫利南1號鑽石有時也被稱為「非洲之星」。

近120年過去，這顆超級巨鑽並未被世遺忘。在英國女王伊麗莎白二世的送葬隊伍中，幾顆庫利南鑽石被放在女王的靈柩上，伴隨著女王乘坐靈柩，直到女王靈柩下葬於皇家墓室，才從靈柩移走。因為這些巨大的鑽石是英國王室珠寶的一部分，通常保存在倫敦塔，在國家慶典才取出來展示於眾。庫裏南1號鑽石現鑲嵌在英王國權杖之上，而全球第二大的庫利南2號則鑲嵌於英國王冠。

不過在庫利南原鑽精細打磨成璀璨的鑽石並載入歷史史冊之前，還需要找到買主出售，而最有希望的買主應該在倫敦。但接下來的問題是：如何將價值連城的庫利南原鑽安全送到12755公里外的倫敦，而不會遭到盜劫？

最後，這塊無價之寶是在約翰內斯堡用普通掛號郵件寄往倫敦，郵費僅3先令，約合75美分（換算成今天的幣值約11.79英鎊或13.79美元）。與此同時，一顆原鑽的複製品則送上蒸汽輪船經長途海運到倫敦，這個冒牌貨故意惹人注目地放進船長的保險箱，並有警探作為看守，以此欺騙可能的盜賊。令人驚訝的是，真假兩個版本最後都安全寄達。（真的）這顆鑽石因為太貴賣了多年都賣不出去，最後由英國的德蘭士瓦（Transvaal）殖民地政府用15萬英鎊（約等於今天的2000萬英鎊或2250萬美元）買下，作為禮物送給英國國王愛德華七世（King Edward VII）。

不過，庫利南鑽石雖然以體積大和純淨透明度極高聞名全球，但並非唯一具有這類物理特性的鑽石。具有庫利南鑽石這類特性的鑽石總稱為克力匹爾鑽（Clippir diamond，英文clip-pir是這類鑽石六大特性的英文單詞首字母總和）。克力匹爾鑽不止有令人驚艷的特性，還有我們肉眼看不到的秘密。

鑽石如此美麗燦爛，但其出身卻很卑微，原是地球深處的岩石碎片，因一種人類似感困惑難解的異常地質活動，經歷極其漫長的歲月才化身成晶瑩奪目的金剛石。這些奇異的岩石

Smith）坐在美國寶石學院（GIA）的一台顯微鏡前，小心地戴上橡膠手套，凝視著儀器的鏡片。鏡片下是一顆124克拉，價值連城的鑽石，約有核桃大，光芒炫目。

為了研究這顆價值連城的鑽石，史密斯通過了幾乎達軍事級別的安全檢查，先是虹膜掃描和身份檢查，然後通過層層鎖鎖的安全門、安全升降機，以及限制甚多的神秘走廊。在他仔細研究著鑽石的時候，室內的監控攝像機還不斷地向時刻警惕的保安人員發送房間的畫面。

史密斯是美國寶石學院的高級科研人員，他正在研究這顆鑽石的成分，鑽石中附帶的一些來自地球深處的化學物質可以揭示鑽石晶體是如何形成的，以及在什麼條件下形成。但是研究價值連城的鑽石是一件相當棘手的工作，通常情況下，研究人員不可能拿到最大粒的鑽石樣本進行研究。這些鑽石會被送到世界各地，不過是去見潛在的買家，而不是去見科學家，這令人很喪氣。

加拿大英屬哥倫比亞大學（University of British Columbia）礦物勘探教授瑪雅·科皮洛娃（Maya Kopylova）說，獲得任何可資研究的鑽石樣本作研究都很困難，而它可以研究的大多數鑽石則都沒有研究的價值。她說，「研究人員必須與鑽石公司保持良好的關係，他們永遠不會給你價值極高的鑽石。所以，他們永遠不會給我們比6毫米（0.2英寸）大的鑽石。」

即便可以獲得鑽石研究，其手續也很繁瑣而昂貴。首先，科皮洛娃必須參觀有高度保安監視的鑽石分類設施，並確定她想要研究的樣本。一旦獲得批准，接下來就是文書工作，所有鑽石進出口都必須要有金伯利進程（Kimberley Process）證書，以證明其來源合法，防止戰爭鑽石或曰「血鑽石」進入市場。

然而，史密斯不同，在美國寶石學院，他可以接觸到世界上最大量的鑽石，因為數量上百萬的珠寶鑽石會送到這裏進行評價估價，以便投保或出售。史密斯說，「如果你想看一些罕見或不尋常的珠寶，這裏是最理想的地方，因為鑽石都要經過這裏。每隔幾天，你就可以借一顆鑽石，也許用幾個小時，也許一兩天作研究。」

幾年前，史密斯正是做了這樣的研究。他和一個國際科學家團隊一起，隨意地索取了53顆屬於最大、最清澈、最昂貴的一類鑽石，即克力匹爾鑽石，其中有的即來自庫利南鑽石礦，然後他和同事把53顆鑽石帶回實驗室，放在顯微鏡下觀察。

史密斯的發現是革命性的。克力匹爾鑽石中有近四分之三含有微小的物質，一些未被氧化的金屬顆粒，這是普通鑽石中找不到的東西，而另外15顆鑽石中含有的異物顆粒是石榴石。石榴石只能在地幔中形成。地幔是地殼和熔融狀的地核之間的岩石圈，分成兩部分，接近地殼的上地幔和更深入地心，僅在地核之上的下地幔。

總的來說，克力匹爾鑽石中的金屬顆粒提供了化學物線索，顯示這些鑽石只可能在地表下深度從360公里到750公里之間的地幔岩石圈中形成。在這個鑽石「生成帶」中，其深度足以解釋其含有的金屬顆粒為何沒有氧化，因為氧氣含量要在比這較高的地層中才會增多，但這批克力匹爾鑽石也沒有深到750公里之下的下層地幔，因為這裏石榴石會在巨大壓力下分解。要知，一般鑽石形成於地殼以下僅150-200公里的地層中。

在2020年的研究中，史密斯與美國珠寶研究院研發副總裁王五一，共同分析了這顆124克拉的鑽石，發現這顆鑽石可能形成於較深的地底，至少在地表以下660公里的深處。

來自於超深的地幔

史密斯說，「從地質學的角度來看，（一般認為）鑽石是非常奇異的礦物。」碰巧的是，我們人類這個物種對這種奇異礦物深為迷倒，我們每年要花數以千萬美元計的金錢去尋求，這遠遠超過任何研究項目的預算。

雖然人類為挖礦找鑽石，造成戰爭、殖民、河流改造和稀有物種棲息地喪失等等的破壞，但史密斯認為，如果不是人類對這些閃閃發光的碳結晶的癡迷熱愛，「我們人類就會對（鑽石不尋常特性）的故事一無所知，因為我們永遠不會去尋找和研究。」

即使是最普通的鑽石在諸多類岩石中也是鶴立雞群，因為所有鑽石都是在地表以下很深處形成，達到的深度比其他任何岩石形成的深度都要深得多。科皮洛娃說，除了鑽石，「地表上沒有任何來自600公里深處的物質，對沒有。」到達地球表面的熔岩來自地下約400公里深的地方，但這是融化的岩石，而鑽石不同，從地底深處到達地表仍是原封原樣。科皮洛娃補充說，而且岩石熔化「增加了另一層的不確定性，即我們不知在熔化之前的原始物質是什麼。」

每一顆被出售或佩戴過的鑽石，除了在實驗室裏製造的人造鑽石，都至少形成於9億9千萬年前，在那個非常遙遠的地質年代，奇異意大利面狀的生命形式和原始藻類剛剛從海洋爬上陸地。而有些鑽石的年齡更是地老天荒，結成鑽石晶體至少在32億年前，那時整個地球可能還全是一片汪洋，從太空看是一個通體藍色的旋轉球體，不見一線陸地，更無所謂大陸。

鑽石一旦在地球深處形成，要經過一系列機率很低的過程才能帶到地表。首先，是地幔中極熱岩石的自然運動經過數億年的時間將鑽石帶到接近地殼的位置，這個流動可能是從地核邊緣到地幔之間高達數千公里的巨大岩石「熔流」的一部分。

然後鑽石還必須在正確的時間出現在正確位置，即需在來自地核的熔岩向下往上噴發時恰在此處。史密斯說，「（熔化的岩體）會帶走形成於不同地方的鑽石，然後鑽石與熔岩混合在一起。」這些包含斑斑點點鑽石的熔岩隨後在地殼內冷卻凝固成岩石，主要是一種被稱為金伯利岩的岩石。千百萬年後，被夾在金伯利岩層層的鑽石才可能被人類發現。

早在20世紀80年代，地質學家就開始注意到，有些鑽石看起來與多數鑽石不同，有時其含有的礦物質可能表明，這些罕見鑽石是在比普通鑽石更高的壓力下形成的（後面會詳細介紹）。史密斯說，「我們開始懷疑，是否有些鑽石的形成比其他鑽石更深入地心。」

庫利南鑽石

再回到本文開始講述的故事。那顆巨大粗糙的庫利南原鑽安全抵達倫敦後，即送到荷蘭的皇家阿舍爾鑽石公司，由公司最好的鑽石切割師約瑟夫·阿舍爾（Joseph Asscher）操刀。據報道，因這塊原鑽太大，錘子的第一次重擊竟將刀子震碎，阿舍爾當場昏倒。不過阿舍爾最終成功將這顆原鑽切割成9顆大鑽石，最大的一顆重達530.20克拉，此外還有96顆較小的鑽石。最大的幾顆成為英國皇冠和權杖上的裝飾及英國王室的私人珠寶，其餘較小的鑽石則賣給世界各地的客戶。

就在這個時候，他們注意到一個令人費解的模式。大多數被稱為I型的鑽石都含有大量的氮，這影響了鑽石的晶體結構，並為鑽石增加一絲淡黃色或棕色。不過，有時某顆鑽石上幾乎檢測不到這種元素的痕跡。這些是II型鑽石，極其罕見，通常是非常大的鑽石。

史密斯說，「這類鑽石與眾不同的不僅僅是大。當你觀察這些很大高質量的（II型）鑽石時，比如庫利南鑽石，發現都有一些異常之處，這些鑽石較有可能屬於罕見同類的。這曾經是一個長期未解的謎團。」

最終，科學家發現一些鑽石是「超深」鑽石，即在地表以下極深處形成，其深度超乎想象，遠超於一般鑽石。另外還確定了一些最有可能發現超深鑽石的鑽石礦，比如南非的庫利南礦和附近萊索托王國的萊特森礦（Letseng），史密斯在顯微鏡前研究的124克拉鑽石就出產於後者。

但在之前幾十年期間，大多數在地球深處發現的鑽石都很微小，沒有特別的價值。要研究大型、昂貴的鑽石卻一直很麻煩，沒有人檢查過這些巨鑽是否也屬於超深一類。史密斯說，「我們從來沒有想到某些超深鑽石會是什麼珍寶，沒有想過有人會把超深鑽石戴在身上，或者，你知道，裝飾在王冠或權杖之類的東西上。」

史密斯2020年研究發現的關鍵證據是一種很難找到的礦物，這是6年前在一顆於1879年撞擊地球的隕石碎片中首次發現，而這個隕石已有45億年歷史。

據認為，這塊古老的地外岩石曾經是一個更大的天體小行星的一部分，在撞擊地球的一次災難中破裂。撞擊時產生的驚人高壓類似於地球內部



的強大壓力。這顆被稱為特納姆（Tenham）的隕石在下落中破碎，碎片散落在澳大利亞昆士蘭州，其中許多被人收集，最終由一位地質學家的遺孀送給了倫敦的大英博物館。143年後的今天，科學家對這些隕石碎片進行了廣泛的研究，特別是想知道這些碎片是否能提供有關我們地球內部的信息。

2014年，科學家們在這些天外來客的其中一塊岩石中發現了橋錳石。儘管這種礦物在地球上儲量最豐富的物質，但卻只能在地幔的高壓下存在，而地幔在處於熔融狀態的地核之上。橋錳石就像許多高壓礦物一樣，到達地表就會分解，因此這還是人類第一次看到橋錳石的真實面目。

令人相當意外的是，史密斯研究的124克拉鑽石中也含有僅存於地幔中的這種礦物質，不過呈現破碎狀態，因為即使包裹在堅不可摧的鑽石中，到了地表，橋錳石一般也無法維持原狀。這表明，這顆閃閃發光的大鑽石是在超深的下地幔形成的，在地球這個深度，壓力至少是海平面的24萬倍，是海洋最深處馬里亞納海溝（Mariana Trench）壓力的240倍。但為什麼這一切使得超深鑽石非同尋常？超深鑽石能否告訴我們其所在的那個人類看不見的世界的任何信息？

來自古代的碳

根據史密斯的說法，世界上最大和最珍貴的鑽石的不同尋常的品質完全取決於其形成方式。

即或是一般普通鑽石，其起源至今仍然有些神秘，科學家認為鑽石是以一種流體的形式開始其形成晶體的歷程，最初有可能是被困在地底深處的遠古海水，然後隨著下沉的大洋板塊到達地球深處。不知什麼原因，也許是由於溫度或壓力的突然變化，富含礦物質的水最終會把溶解在水中的碳排放出來，被排出來的碳然後沉澱，最終在地球深處的巨大壓力下結晶成為鑽石。

但像庫利南鑽這樣的超深鑽石就不一樣了。這些鑽石不是在水中開始的，而是在更深的地球內部，從溶解在液態金屬中的碳開始。史密斯說，「這就像溶解了硫和碳的熔狀鐵鎳合金。所以是一種完全不同的流體，但

之下，再也不會出現在地球表面。雖然科學家們一直懷疑這些消失的俯衝板塊通常是較重的海洋板塊，最終會漂流下沉到更近地核的下地幔中，但這一猜測從未得到證實。史密斯說，「你可以去看一座火山，然後說，『是的，這些岩漿來自地球』，或者去海洋中的熱液噴口，看到新的地殼正在形成……但除此之外，真的很難做相反的事（即深入地球探看），只能問道，有什麼東西進入了地球？」

但超深的鑽石可以為我們探看地球深處的秘密提供重要的線索，因為很神奇的是，這些從地表消失的構造板塊可能就是超深鑽石的原材料。史密斯說，「所以我們現研究的鑽石看起來大致是下沉到地幔中的海洋地殼的碎片。這些鑽石的物理特性告訴我們，這個形成過程在物理學上是說得通的。」

超深鑽石除了證實最終到達地球內部的海洋板塊發生了什麼變化，還能告訴我們，在下地幔中可以發現什麼樣的東西。首先，那裏一定有礦，否則鑽石就不會存在。但在2021年，在巴西的茹伊納（Ju?na）發現了一顆罕見的超深鑽石，表明下地幔可能也有整個「海洋」的海水。

這顆巴西超深鑽石中含有一種鮮艷的藍色礦物，即帶有水份的尖晶橄欖石（ringwoodite）。這是在極高壓下形成的一種特別橄欖石。一般橄欖石是構成大部分上地幔的綠色岩石。在顯微鏡下，這顆尖晶橄欖石看起來像一個很小的靛藍色玻璃碎片，這種橄欖石中含有2.5%左右的水。

很多年來，科學家們一直認為，地球表面的所有水：河流、冰蓋、湖泊和海洋中的水，其原始源頭都來自地幔。但是地幔中的水究竟儲存在哪裏一直是有爭議的，特別是因為一般橄欖石儲水能力很差。然而，含水尖晶橄欖石的發現表明，水可能儲存在地幔更低的地方，也即是許多超深鑽石形成的地方。

科學家對超深鑽石了解得越多，就越清楚地認識到，超深鑽石不僅在金錢方面具有非凡的價值，而且要是沒有這些來自地球深處的寶石，地球深處發生的許多變化至今不為人類所知。

史密斯說，「你試圖在顯微鏡下



英王的王冠上鑲嵌的鑽石中可能有兩顆是超深鑽。一顆是庫利南2號（或曰非洲之星2號），一顆是有名的「光之山」（Koh-i-Noor）

仍然是含碳的流體。經歷某種化學或溫度變化的影響，導致碳從金屬液體中結晶出來。」因此最初的金屬液體含有較少的氮，所以由此產生的鑽石氮元素含量極低，因此更加透明。

簡而言之，克力匹爾超深鑽石不僅僅是以某種方式增長到驚人比例的鑽石，其從開始誕生就相當不凡。事實上，超深鑽石無與倫比的尺寸和透明度正是其不同尋常的形成方式的直接結果。自從超深鑽石被發現，這種來自地球超深處的寶石開始揭示我們星球深處一直對人類嚴防死守的某些秘密。

史密斯說，「我認為（超深鑽石）告訴我們的最重要的信息是與海洋構造板塊下沉到地球的俯衝過程。」這是在我們在學校課堂上都學過的地質現象。地球岩石圈被分割成七個構造板塊，「漂浮」在地球表面，當彼此摩擦時就會產生地震，當彼此分開或靠得太近時就會產生火山。至關重要的是，在新板塊不斷形成的同時，一些板塊也會逐漸緩慢地滑入地殼

仔細觀察某樣東西時，你肯定會有一種驚嘆不已的感覺，但同時你也會在腦海中想到你正在處理的東西價值數百萬美元。有幾次，我的意思是，看著其中一些東西，想著，『哦，如果我們能打開來看或更詳細地研究不是很好嗎，因為這是如此迷人的科學樣本』……但你能不，因為這是無價之寶。這是一種很怪異的矛盾感受。」

由於通常沒有人想砸破鑽石作研究，史密斯不禁渴望有一種破壞性較小，但手段也很徹底的選擇，即讓鑽石保持原始形態。鑽石從地球深度冒出來時，是粗糙的塊狀，也沒有經過切割和打磨後那種奪目光澤，但你看到的鑽石表面能夠講述鑽石在地底的冒險歷程。

史密斯說，「鑽石會受到岩漿的化學反應侵蝕，最終形成鑽石極其獨特的形狀和複雜的表狀，鑽石的表面是由數百萬年來各種不同的力量雕塑出來的。這是獨一無二的，讓我感到美不勝收。」（BBC 中文）



今天諸多超深鑽石來自南非的庫裏南鑽石礦和萊索托的萊特森礦

是來自人類無法探測的一個隱秘世界的罕見信息囊，這個世界在地球深處，壓力大到不可想象，含有扭曲的綠色岩石和其他無可名狀的礦物。全世界的科學家數十年來一直埋首研究，希望能揭示這個地球深處世界的秘密。有趣的是，正是我們最珍視的燦爛鑽石能向我們提供這個地心世界非比尋常的信息。事實上，正是庫裏南這樣的大型鑽石正在改變我們對地球內部的認識。

難得的機會

2020年，埃文·史密斯（Evan