

馬友友：「這把戴維朵夫對我而言，

是我演奏過最好的樂器，

我真的相信這把琴是有靈魂的，而且也具有想像力。」

慕特：「對我來說，這就是理想的琴，

當你擁有一把史特拉底瓦里琴，

即使只是碰觸到它，都能感到無比的興奮。」

祖克曼：「這把特別的史特拉底瓦里琴，

對我來說是代表明亮、純淨音質……，

就好像是早上5點起床，看到燦爛陽光，

那如黃金般的模樣……」

約夏貝爾：「我從未聽過這樣驚人的琴聲，

就好像是夢想成真。」

—出自《製琴教父—史特拉底瓦里》

(Antonio Stradivari - A Gala Celebration)

追尋琴弦間的夢幻音色

一個化學家的小提琴之路

如此的絕美琴聲，

讓許多演奏者願意散盡家產，

只願親手演奏史特拉底瓦里小提琴，

而一個來自台灣的化學家，

是如何從兩百年來散落於世界各地的資料中，

找尋遺失在十八世紀的技藝。

D.C. al Fine

一切的探尋與感動，

都接續著出現在這條由好奇和熱情所堆砌出來的道路上。

歷時兩百年的另類口水戰— 誰能複製完美琴音？

為什麼史特拉底瓦里的小提琴動輒上百萬美元？因為它發出的琴音舉世無敵。為什麼它的琴音這麼完美？這就是個長達 200 年的解謎過程了。

葉偉文

古 人說「工欲善其事，必先利其器」，許多技藝的表現，都深受所用工具的影響。以小提琴家的演奏為例，表演的效果絕對和表演者所用的小提琴有關。但什麼才是最好的小提琴？一提到這個問題，不同的製造人依據不同的理論，往往吵得殺聲震天。我們的社會經常出現頗具爭議性的問題，如殺蟲劑、化學肥料、基因改造食物或人工甘味素，贊成與反對雙方經常提高分貝吵得面紅耳赤。但和小提琴的優劣爭執相比，前面那些爭論只像是小孩子在遊戲間鬥嘴而已，小提琴的優劣可是引發物理、化學與傳統這三個領域，長久之間互相的情緒性爭執。

在這些不同的陣營裡，至少存在有一個共識——製琴師要奪取聖杯，就必須製出能與十八世紀義大利克里蒙納 (Cremona) 地區的巧匠所製出來的名琴相匹的小提琴。其中最為著名的如史特拉底瓦里 (Antonio Stradivari) 和瓜奈里 (Giuseppe Guarneri del Gesù) 等大師製作的小提琴，這些名琴目前只有上百具存世，多數身價都高達數百萬美元。據小提琴家描述，演奏史特拉底瓦里琴是一種神聖的經驗，遠非演奏現代的小提琴所能比擬。

史特拉底瓦里的小提琴，

音色絕妙，至今無人能及。傳說他在製作小提琴的時候，有天使降臨助他一臂之力；有人說，他製琴的材料，取自教堂的橫樑，也有人說他的木材浸過特殊的溶液，但這些都是沒憑據的說法。史特拉底瓦里小提琴的奧祕大家都苦思不解，幾百年來，很多人都想破解其奧祕，誰將可能成功呢？

塗漆是關鍵的「化學派」

在許多學說見解中，大約可以歸納出兩方面的原因。第一派的見解認為答案在油漆上。1902年，英國希爾 (Hill) 兄弟出版了一本書——《史特拉底瓦里的一生與工作》(Antonio Stradivari: His Life and Work)。書中指出，名琴的祕密是在琴身塗漆的特殊配方，因為史特拉底瓦里琴身結構與木材來源，經過分析測量之後，並沒有什麼特殊之處，後人都可以仿造。剩下的部分只有漆

料，可惜史特拉底瓦里漆料的配方並未留下資料，留給後人許多探討的空間。

但後來的研究顯示，塗漆對小提琴的振動並沒有什麼助益。1968年，物理學家史歇林 (John C. Schelleng) 指出，上漆對小提琴面板的振動，反而有不利的影響。他認為上漆只有保護及美



安東尼奧·史特拉底瓦里

觀的效果，關鍵是越少越好。

然而有些史特拉底瓦里琴，表漆雖已大量脫落但音色依然脫俗，因此便有人認為表漆好像沒什麼影響，表漆下的底漆可能才是關鍵。底漆會滲入木材，有可能影響到木材的成分。史特拉底瓦里琴的權威專家薩科尼(Simone Fernando Sacconi)在《史特拉底瓦里的祕密》(The "Secrets" of Stradivari)書中表示，分析史特拉底瓦里琴面板材質之後，化學家發現面板塗有一層含矽及鈣的底漆，這些元素會滲透進琴板裡，填塞了木材組織間的空隙，具有硬化作用。木材的硬化可促進琴板的振盪，增加振盪靈敏度和音響的反應，使得史特拉底瓦里的琴板又薄又堅固，並兼具防水功能，即使外層的面漆脫落，亦無損於琴音的音質。

薩科尼進一步的探討，古義大利有在漆裡添加葡萄藤灰的作法。而灰裡含有矽及鈣，可能就是漆內含此元素的原因。薩科尼是提琴維修專家，幾乎見過所有存世的史特拉底瓦里琴，還修護過其中大部分的琴，因此他的研究應該是具有相當的可靠性。

美國德州農工大學退休教授納吉瓦里(Joseph Nagyvary)也認為史特拉底瓦里名琴的奧祕應該是在於使用的木材與塗料的化學特性，而非另一批專家所認為的音箱物理特性。當然他也承認小提琴的音箱構造有其重要性，但絕非美妙琴音的關鍵因素，因為就算可以準確地依照原古老名琴的尺寸與重量，複製出幾乎完全一樣的新琴來，但卻無法複製原琴的美妙琴音。

納吉瓦里從史特拉底瓦里名琴上，取了一些碎片去做電子顯微鏡攝影和X射線光譜分析，發現在木材裡有些真菌類的痕跡，而且似乎這些材料曾經浸泡在海水裡一段很長的時間。推測可能在史特拉底瓦里時代，原木都是利用河道順流而下抵達亞德里亞



位於義大利北方的克里蒙納，在十七至十八世紀是製造小提琴的重鎮。

海，木材在泡水的過程當中，吸收了水裡的微量礦物質，改變了特性。納吉瓦里也在木材裡發現了硼和鋁，因此他假設可能是當年使用硼砂與明礬來為木材作防腐處理的結果。此外，他還發現史特拉底瓦里使用了某種植物成分來作表面塗料，可能是瓜爾膠再摻了玻璃與其他礦物質的粉末。因此，根據納吉瓦里的說法，史特拉底瓦里名琴的美妙聲音，關鍵在於為木材作防腐處理與上漆的無名化學家。

納吉瓦里教授花了30年，實驗了各種不同的配方，終於得到滿意的成果，聲稱可以將美妙的琴音再現。他製作了一些高價的小提琴，價位在1萬5000美元左右。但是納吉瓦里受到很多小提琴製造商及代理商的攻擊，這些人一方面認為受到威脅，另一方面是生氣居然有人認為偉大的琴藝家史特拉底瓦里不了解自己做的琴為什麼會那麼好。

結構最重要的「物理派」

另一派則從小提琴的發聲原理入手。小提琴的聲音是這樣產生的：琴弓摩擦琴弦，使琴弦產生振動，這股振動會透過琴橋與音柱，使小提琴的腹板與背板一起震動而發出聲音。

哈金斯(Carleen Maley Hutchins)本來是一位中學的科學教師，退休後她決定獻身於製造小提琴這門古老的工藝技術。其實她最想要的還是發掘這門工藝背後隱藏的科學原理，她和哈佛大學的物理學家桑德斯(Frederick Saunders)合作了近20年，研究小提琴音箱產生的振動。

哈金斯把聖誕節裝飾用的亮粉，灑在預備做小提琴音箱的表板和背板上，然後用電子發生器來使木板產生振動，研究亮粉的振動模式。她的結論是，悅耳琴音的關鍵在於音箱木板的質量與厚度，以及音箱內部「低音樑」與「音柱」的位置。不僅如此，根據哈金斯的研究，小提琴拉的次數越多，發出來的聲音越好聽。她認為經過數十年的振動後，音箱木頭的結構會改變，改善共振品質，因此她嘗試把做好的小提琴先放在音樂室裡，暴露在古典音樂的樂音裡約 1500 小時後才銷售。她認為這些小提琴使用百年左右，音色應該會接近史特拉底瓦里名琴。哈金斯做的小提琴價位與納吉瓦里琴在伯仲之間，但她也常受傳統派人士的冷嘲熱諷，認為科學家不應把手伸進傳統的藝術領域裡。

說到木材的材質，還有一段插曲。美國哥倫比亞大學的古生物學家柏克爾（Lloyd Burckle），和田納西大學的樹木年輪學家桂西諾梅耶（Henri Grissino Mayer），2003 年在《樹齡學期刊》（*Dendrochronologia*）上發表論文。他們發現史特拉底瓦里生於歐洲「小冰河期」的前一年，因此認為小冰河期與史特拉底瓦里的琴音可能大有關係。

歐洲這段小冰河期是從 1645 年到 1715 年，在這 70 年間，太陽上幾乎沒有出現黑子。由於太陽的活動力減弱，使得歐陸出現明顯的低溫，微弱的日照減緩了暖空氣從大西洋上空飄移至西歐的速度，導致往後數十年的潮溼氣候，也使阿爾卑斯山上的樹木生長緩慢；再加上當地土壤的特質、溼度與坡地等環境，致使樹木長出更強韌、更堅固的材質。高密度木材的細胞壁較厚，共鳴能力比細胞壁薄的木材好很多，音質也較佳。而這段小冰河期，正是義大利克里蒙納地區製琴技術的黃金時期，此時的大師如史特拉底瓦里、瓜奈里、瓜達尼尼等人，從阿爾卑斯

山區精選雲杉來製作小提琴的面板，所製作的小提琴音色優美，迄今無人能及，可能就是小冰河期的功勞。

另類塑膠小提琴

最後還有一項令傳統小提琴眾聽了幾乎要發狂，離經叛道的小提琴製作法。馬加法利（Mario Maccaferri）本來是個傳統的樂器製造商，製造吉他和小提琴。1939 年馬加法利到紐約去看世界博覽會，被會中出現的新穎塑膠材質迷住了，因此在第二次世界大戰之後，便設法弄來一套聚苯乙烯的射出成型設備。他先靠製作塑膠衣夾賺了些錢，接著製作夏威夷的四弦琴「尤克蘿里」，正式進入塑膠樂器行業。這種塑膠製的四弦琴後來經由藝人戈弗雷（Arthur Godfrey）在電視節目裡介紹，開始聲名大噪，賣出好幾百萬把。

接下來，馬加法利就開始製作塑膠吉他和塑膠小提琴。由於這種合成材料的小提琴，音質比不上傳統小提琴，因此一流的演奏家很少使用。但這種全新材料已經進入小提琴的製造領域了，目前最新使用的為碳纖維材質。有些專家預言，由於合成材料能精密鑄造，最後一定能做出非常傑出的樂器。

截至目前為止，在這場小提琴的製造競賽中，似乎是由化學派的納吉瓦里暫時取得領先。德州農工大學辦過一場琴藝評選，邀請一位世界級的小提琴演奏家，分別用納吉瓦里琴和史特拉底瓦里琴演奏，並把聽眾及演奏家用簾子隔開，而受邀的專家和聽眾，都覺得納吉瓦里琴的樂音略勝一籌。所以看起來化學分析琴漆可能的確是名琴優美音色的關鍵，但兩、三百年後，是否會有更多其他的學說，就不得而知了。◎

葉偉文：任職台灣電力公司

價值兩千萬美金的祕密— 從分析化學看義大利名琴塗漆

音樂廳裡的掌聲響起，小提琴大師又一次完美地演繹了經典名曲，台下如癡如醉的觀眾，總是對大師手中的那把小提琴感到無限好奇。到底是什麼樣的樂器，可以發出這樣的天籟呢？

戴桓青

世界一流的小提琴家，所使用的樂器大部分都出自兩位大師之手：安東尼奧·史特拉底瓦里（Antonio Stradivari）或是耶穌·瓜奈里（Giuseppe Guarneri *del Gesù*）。幾個世紀以來，製作小提琴的人不計其數，但這兩位名家的作品，在音色與價值上仍然是無與倫比的。而兩個人恰巧又是鄰居，住在義大利北方叫做克里蒙納（Cremona）的小城，而且都師承於阿瑪蒂家族的製琴工藝。克里蒙納的第一位製琴大師安德烈·阿瑪蒂（Andrea Amati），是現代小提琴的發明者之一，傳承到十八世紀初，克里蒙納的製琴工藝達到了顛峰，可是在1750年以後就迅速沒落。相傳這是因為克里蒙納的製琴師曾經擁有的獨門祕訣後來失傳了，而這正是今天的我們想用科學方法探討的。

克里蒙納名琴的祕密，到底是什麼呢？十九世紀最有名的小提琴專家——英國的希爾（Hill）家族，認為祕密既不是木材也不是結構，而是塗漆（varnish）。二十世紀最偉大的提琴修復家——薩科尼（Simone Fernando Sacconi）也認為祕密在塗漆。兩百年來，非常多人醉心於小提琴塗漆的研究，為的就是破解克里蒙納之謎，也經常有

人出書或發表文章，宣稱自己找到了塗漆的失傳祕方。公說公有理，婆說婆有理，這樣爭論了兩百年，但是連一些最基本的問題，例如名琴上的塗漆，到底是慢乾的油性漆（oil varnish）還是快乾的酒精漆（spirit varnish），都沒有辦法確定。時至今日，仍然沒有一個製琴師能夠與史特拉底瓦里在質與量上匹敵，也沒有人能從歷史文獻中找出克里蒙納失傳的祕訣，因此我們需要借助科學研究來幫忙解答。

到了近代，開始有科學家用分析化學的技術來研究名琴塗漆成分，得到了一些新的觀察與理論。可是這些所謂的科學證據，也經常互相矛盾，讓小提琴界的人士感到疑惑。我在攻讀博士的時候，因為想買一把新的小提琴，無意間接觸了這個問題以後也感到困惑，於是發揮了研究生的精神，大量蒐集相關科學文獻，在美國小提琴協會幾位人士的鼓勵之下，撰寫了這個領域兩百年來第一篇的科學性綜合評論，發表在美國小提琴協會的學術期刊上。相信許多讀者，在參觀奇美基金會傲視全球的名琴收藏後，也對義大利小提琴的祕密相當有興趣。這篇短文希望能給大家介紹，化學分析如何幫助我們揭

開名琴塗漆的奧祕；至於背後的科學考證歷程，在我的綜合評論中則有詳盡的探討。

油性漆還是酒精漆？

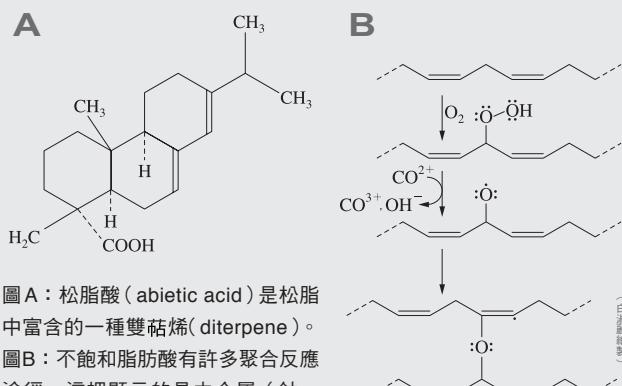
透過分析化學，科學家首先解答了塗漆到底是油性漆還是酒精漆的問題。藉由氣相層析儀與質譜儀分析，明顯可見名琴塗漆富含不飽和油脂（亞麻仁油或核桃油）與萜烯類樹脂（terpene resin）。這代表樹脂是溶在油畫所用的乾性油（drying oil）之中，而不

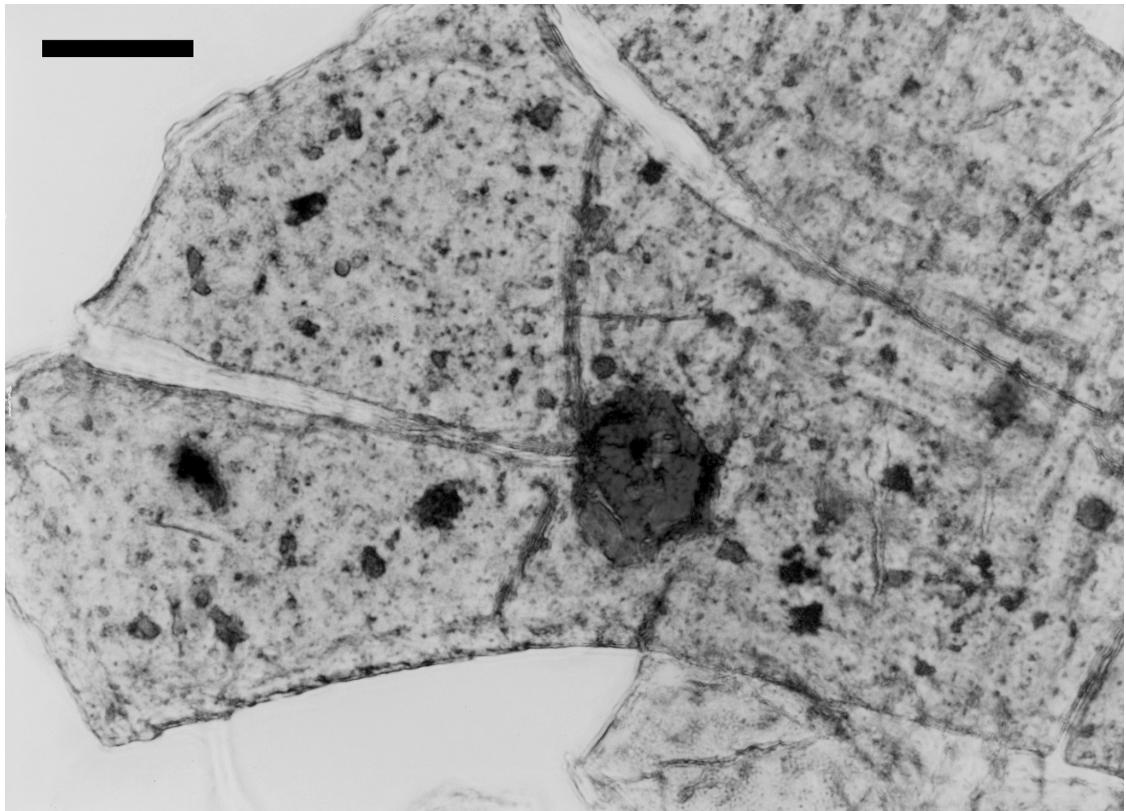
是溶在酒精中，所以是油性漆。多元不飽和脂肪酸在氧化的過程中，會在碳–碳雙鍵之間產生自由基的聚合反應，乾燥後是不溶於酒精的，但是數百年之內仍會持續氧化而造成分解，反而變得可溶於酒精。所以，有些人在舞會上不小心將烈酒打翻，潑到名琴上而造成塗漆溶解，就以為那是酒精漆，其實是錯的（還有一個造成誤解的原因是：1750年以後，小提琴上的油性漆普遍被酒精漆所取代）。

酒精漆與油性漆

小提琴的「塗漆」，英文叫 varnish，字義是一種液態的塗料，乾燥後會形成透明的保護膜。塗漆在義大利文叫 vernice，來自拉丁文的 vernix 或 veronice，原意是琥珀。琥珀是樹脂的化石，而樹脂的主要成分是萜烯類的化合物（terpenoids），屬於疏水性（hydrophobic）的物質（圖 A）。樹脂是樹木自我保護的分泌物，當樹受傷以後，黏稠的樹液流出來，遇到空氣凝固成樹脂，可以保護傷口，因此古人也想到用樹脂來保護美術工藝作品。天然的樹脂含有揮發性的植物精油做為溶劑，精油揮發之後，就變成固體。將固態的樹脂溶解在酒精或植物油之中，可以當做塗料，也就是所謂的酒精漆與油性漆。

酒精漆只要等酒精揮發就會固化，因此快乾易用。而油性漆所含的植物油不會揮發，其乾燥過程是一種緩慢的氧化反應；藉由氧化作用與自由基反應，不飽和脂肪酸（帶有碳–碳雙鍵）之間會形成共價鍵而變成高分子聚合物。只有富含多元不飽和脂肪酸（一個脂肪酸帶有二或三個雙鍵）的油，才能完全聚合成為穩定的固體，這樣的油也因此稱為乾性油。歐洲傳統上使用的乾性油有亞麻仁油、胡桃油與木麻油（hemp seed oil），而油畫的原理就是把顏料混入前兩者，連達文西的手稿都有提到怎樣用胡桃油會比較適合油畫使用。而史特拉底瓦里曾經寫信提到，小提琴上漆之後要曬太陽才會乾，這是因為紫外線照射會加速自由基反應，也由此可見他的確使用了油性漆，而且他也在油性漆中加入了鉛與鐵來加速聚合反應（圖 B）。





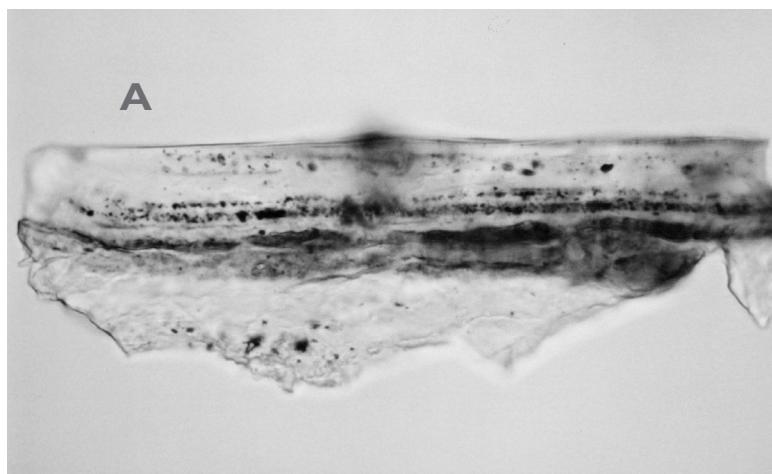
Joseph Nagyaro提供

圖一：光學顯微鏡下的史特拉底瓦里塗漆。左上的比例尺代表 50 微米。

透過氣相層析，目前名琴塗漆裡發現的樹脂包括松香脂（rosin）、威尼斯松香脂（Venice turpentine）與乳香脂（masitic），這些都是當時歐洲工藝中常用的素材。不過在樹脂分析上仍有相當多的技術困難，可能還有些成分未被發現。而名琴所呈現的黃橙色或紅棕色，則來自各種顏料的混合使用，目前已發現的顏料有紅色的氧化鐵、棕土（氧化鐵與氧化錳）、靛藍（indigo）、朱砂（硫化汞）、雌黃（硫化砷）、碳黑、胭脂蟲紅沉澱色料（cochineal lake）與茜素沉澱色料（madder lake）。在圖一，我們可以看到史特拉底瓦里的塗漆含有大小不一的顏料顆粒。有時候，小提琴塗漆採用類似油畫的多層透明上色法（glazing），製造出特殊的顏色層次感還有深度（圖二）。

發現奈米級礦物微粒

令人十分驚訝的是，將史特拉底瓦里的塗漆碎屑放在電子顯微鏡下觀察，有些時候可以看到許多細微的礦物粉末。其中最引人注意的一張電子顯微鏡照片（圖三），顯示出這些微粉的直徑相當均勻且分布在200奈米左右，這比自然界正常存在的細沙還小很



圖二：史特拉底瓦里塗漆的橫切面。（A）在一般光學顯微鏡下的照片。（B）加上正交干涉色（interference color），是因為塗漆內含有異相性晶體（anisotropic crystal）而產

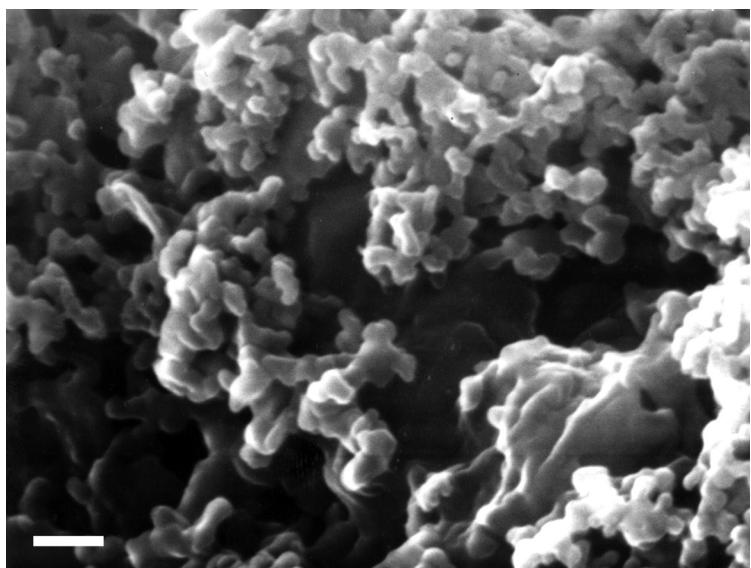
多，我們推測這些粉末是人工研磨而成，並且進一步經過分離，篩選出粒徑特別小的。沒有人知道十七世紀的義大利工匠怎麼會擁有所謂奈米科技，但是奈米微粒的確可以不著痕跡地改變塗漆性質。透過能量色散X射線分析，我們發現這些礦物包含碳酸鈣、硫酸鈣、二氧化矽與鉀長石，它們的共通性是折射率在1.55附近，與木頭、植物油與樹脂的折射率都很接近，可以盡量減少散射，保持整體塗漆的透明度，讓美麗的木頭紋路顯現出來。

顆粒越小的礦物粉末，越不容易因為顆粒的散射造成視覺上的混濁，就像小小的鏡子一樣有反光的效果，可以讓油性漆增加光澤，而且硬度也因此提高。過去就算利用光學顯微鏡，我們最小也只能看到1~2微米的粉末，所以說還沒有用電子顯微鏡觀察之前，完全沒有人看到也沒有人想過義大利小提琴上竟然有奈米微粉。

比塗漆更重要的底漆

不少史特拉底瓦里小提琴的彩色塗漆相當容易剝落，如果仔細觀察就會發現，剝落之後露出來的並不是木頭纖維的原始表面，而是一層略帶金黃色的透明塗料。這層透明

塗料，被稱作底漆（ground）。許多人認為底漆才是名琴的祕密所在。修琴與製琴大師薩科尼發現，很多史特拉底瓦里名琴的彩色塗漆完全剝落之後，由後人補漆，並不影響聲音。而歐洲別的地方製作的小提琴，同樣經過兩三百年，聲音並不會越來越好，反而越來越黯淡，很可能是木頭的細胞結構鬆弛

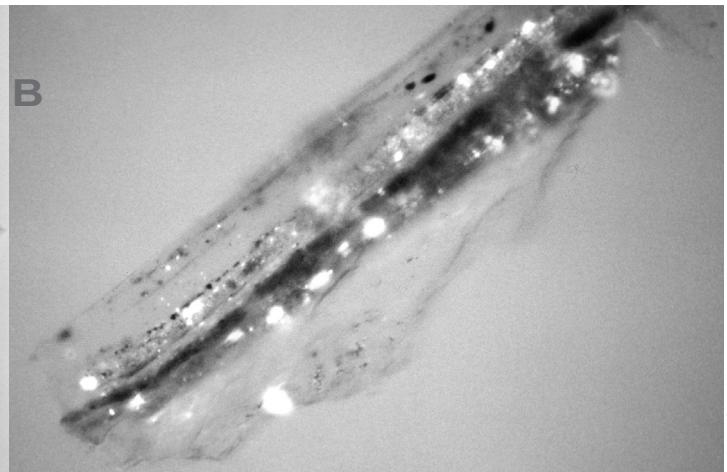


圖三：電子顯微鏡下的史特拉底瓦里塗漆。左下的比例尺代表1微米。圖中的礦物粉末已屬於奈米材料。（Sergio Neri/National Research Council）

所致。薩科尼覺得，因為底漆給木板帶來了「骨化」的作用，讓史特拉底瓦里小提琴聲音特別嘹亮，且不會隨著時間而鬆弛消失。

女高音般的穿透力

史特拉底瓦里琴的聲音特色，就是高音部分近聽極為嘹亮，遠聽則甜美扣人心弦。想像一個女高音引吭高歌，要是站在旁邊，可能會承受不了，但是進了音樂廳，她的聲音卻特別有穿透力，在音樂廳良好的迴響效果襯托下，顯得甜美無比，而且就算背後有合唱團伴唱，也很容易聽到。名琴的穿透力也有



偏光鏡以後觀察到的影像。新增加的顏色是由干涉現象造成，並非實際的顏色，稱為干生。

異曲同工之妙，就算有幾十把小提琴在伴奏，獨奏家手上的名琴，還是能凌駕眾琴之上。經過科學家分析，平常的人聲，在3000赫附近的共鳴不強，但是人耳聽覺最敏銳的就是這一頻段（尖叫聲也是這個頻率）。女高音經過特殊練習，聲帶在這一頻段共鳴特別強，而史特拉底瓦里名琴也一樣，所以特別容易被聽見，而一般小提琴在這一頻段的共鳴則不強。此外，1500赫附

近的共鳴聽起來像鼻音，史特拉底瓦里小提琴在這頻段的共鳴特別弱，假如這個頻段的共鳴太強，小提琴的聲音聽起來就會像暗沉的中提琴。

要怎麼樣使木頭做出的小提琴發出清脆的高音呢？我們知道，木製湯匙敲起來的聲音沒有金屬湯匙響亮，假如讓木頭變得更硬，就可以發出更多高音。根據薩科尼的推想，底漆可以增加木頭表面的硬度，也會讓

小提琴的歷史與價值

小提琴的發明，雖然沒有很明確的歷史軌跡可循，但一般認為是在1500年左右，於南歐的義大利或法國一帶創造出來的。由於中古時代歐洲就有各種提琴類的樂器，形狀不斷演進，也很難定義誰做出了第一支小提琴。現存的古樂器中，擁有現代小提琴的形狀，而且演奏起來很好聽的，可以追溯到安德烈·阿瑪蒂在1550年左右的作品。我們可以說，他是現代小提琴的規範制定者，而且作品廣為流傳而被模仿。阿瑪蒂家族在克里蒙納總共出現了三代的製琴大師，然後再由第三代授藝給安東尼奧·史特拉底瓦里還有安德烈·瓜奈里(Andrea Guarneri)。瓜奈里家傳到第三代，在耶穌·瓜奈里手中達到顛峰，克里蒙納也成為了公認的小提琴故鄉，見證了小提琴的誕生到登峰造極。兩百年來，針對歷史上最偉大的製琴家的頭銜，支持瓜奈里與史特拉底瓦里的兩大陣營總是相爭不下。

小提琴從阿瑪蒂的時代到今天，其實沒有什麼改變，也意味著近兩百年我們不但沒有改進小提琴，甚至還無法重現當初克里蒙納的工藝水平。除了以上三大家族，在1550~1750年之間，克里蒙納還有不少其他的製琴師，他們作品的價格到了現在也都水漲船高、價格不斐。

兩個世紀以來，頂尖的小提琴家，大多都以史特拉底瓦里或耶穌·瓜奈里的小提琴為主要樂器。有這樣的背書，大家都公認這兩位就是最偉大的製琴師。但是名琴的聲音到底好在那裡，還是眾說紛紛。以前大家覺得史特拉底瓦里的琴音響亮而甜美，瓜奈里的琴音雖然也有響亮的高音，但在中音域比較陰沉渾厚。後來大家的想法比較科學化，有人會從聲音頻譜來分析(不過問題在於好不好聽沒有科學數據來衡量)，有人會安排單盲測驗來比較歷史名琴與出色的現代琴(結果歷史名琴也沒有比較受聽眾青睞)，也有人覺得名琴好聽只是聽眾與演奏者的心理作用。不過，世界上頂尖的小提琴家，還是最喜歡用兩位大師的名琴是不爭的事實，而現代頂尖的製琴師，沒有一個不將兩位大師當作崇拜與鑽研的對象。簡單的說，這兩位大師的作品，就是有魔力吧。

雖然耶穌·瓜奈里的傳世作品還有將近兩百支小提琴，而史特拉底瓦里約有五百支，但是保存狀況良好的不會超過四分之一，屬於此等級的琴，拍賣價格應該可以達到兩百萬美金以上。其實決定小提琴聲音的是正反兩面木板（正面是雲杉 *Picea abies*、背面是楓

小提琴聽起來更響亮。自從薩科尼在 1970 年代發表此理論以後，很多小提琴界的人士開始特別研究底漆的成分與作用。

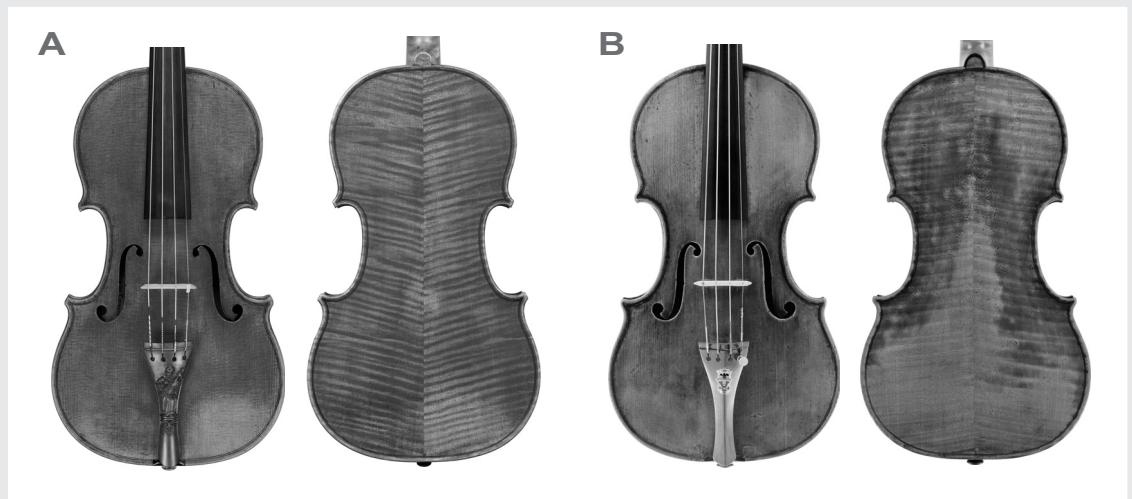
底漆的成分

用電子顯微鏡來觀察，好幾個實驗室都分別發現了部分名琴的底漆富含礦物粉末，像是史特拉底瓦里（圖四）以及瓜奈里（圖五）名琴，都含有礦粉底漆。儘管發現了名

琴底漆中的礦物成分，但是把粉末黏在一起的有機媒介劑的成分卻很難分析，因為它的溶解度很低。這些有機媒介劑看起來像是以乾性油為主成分，而不少人認為其中可能添加了琥珀；琥珀是一種樹脂的化石，硬度比所有的樹脂都高。此外，為了使油性漆更堅固，底漆中也有可能加入了蛋白質，形成一種乳化液（emulsion）。化學分析目前只能證明名琴塗漆中含有少量蛋白質，是什麼種

木），其他部分可以換掉無妨，也就是說一片木板值一百萬美金，也難怪大家都想知道名琴的祕密（而這個祕密並不是琴齡）。由於歷史名琴只會因遺失或損壞而越來越少，隨著愛樂人士越來越多，供需失衡，收藏家與投資者的興趣也越來越大。全世界最可觀的義大利名琴收藏，其實就在台灣的奇美基金會，要研究義大利小提琴，去台南走一趟可能不會輸給去義大利。

至於史特拉底瓦里與瓜奈里一時瑜亮，到底誰比較厲害，還真的很難說。當時史特拉底瓦里的名聲較大，很多王公貴族會跟他下單訂購，讓他荷包滿滿。可是小提琴之神帕格尼尼（Niccolo Paganini）最鍾愛的琴是 1742 年瓜奈里的名琴「加農砲」（Il Cannone），「加農砲」在他手中威力無窮，也把耶穌·瓜奈里提升了近乎神格的地位。根據我私下觀察，雖然史特拉底瓦里在今日依然名聲較大，但是覺得瓜奈里的音響成就更高更難複製的小提琴專家似乎比較多一些。



(Corzo Publishing 數據)

圖 A：史特拉底瓦里在 1703 年所製的小提琴，暱稱為「哈姆斯沃斯夫人」（Lady Harmsworth）。圖 B：耶穌·瓜奈里在 1742 年所製的小提琴，暱稱為「韋尼奧夫斯基」（Wieniawski）。小提琴的正面是挪威雲杉（Norway spruce, *Picea abies*）、背面是楓木（通常是 *Acer platanoides* 或 *Acer pseudoplatanus*）。克里蒙納常用的雲杉來自義大利的阿爾卑斯山，而如圖所示的火焰條紋楓木通常來自巴爾幹半島。

類與如何分布仍不甚明白。

我們目前可以合理地猜測，史特拉底瓦里的底漆應是由乾性油、某些樹脂與蛋白質組成的乳化液，加上礦物粉末的複合塗料。而名琴底漆的礦物粉末，大致包含碳酸鈣、氧化矽與鉀長石，其折射率與油性漆相近，直徑約在0.5~2微米之間，所以在光學顯微鏡下不易被觀察到，肉眼更是察覺不出。一直要等到科學家用電子顯微鏡來觀察，人們才恍然大悟原來名琴底漆的硬度是因為添加了礦物粉末，也符合薩科尼當初提出的木頭表面「骨化」的理論。

總結來說，藉由化學分析，史特拉底瓦里的彩色表漆成分，已經大致被闡明，基本上與油畫的原理類似。近年來專家認為這一層表漆只是增加美感，對音色影響不大。而底漆則能顯著地影響聲音，但其中的媒介劑因為溶解度太低很難直接分析，所以我們對

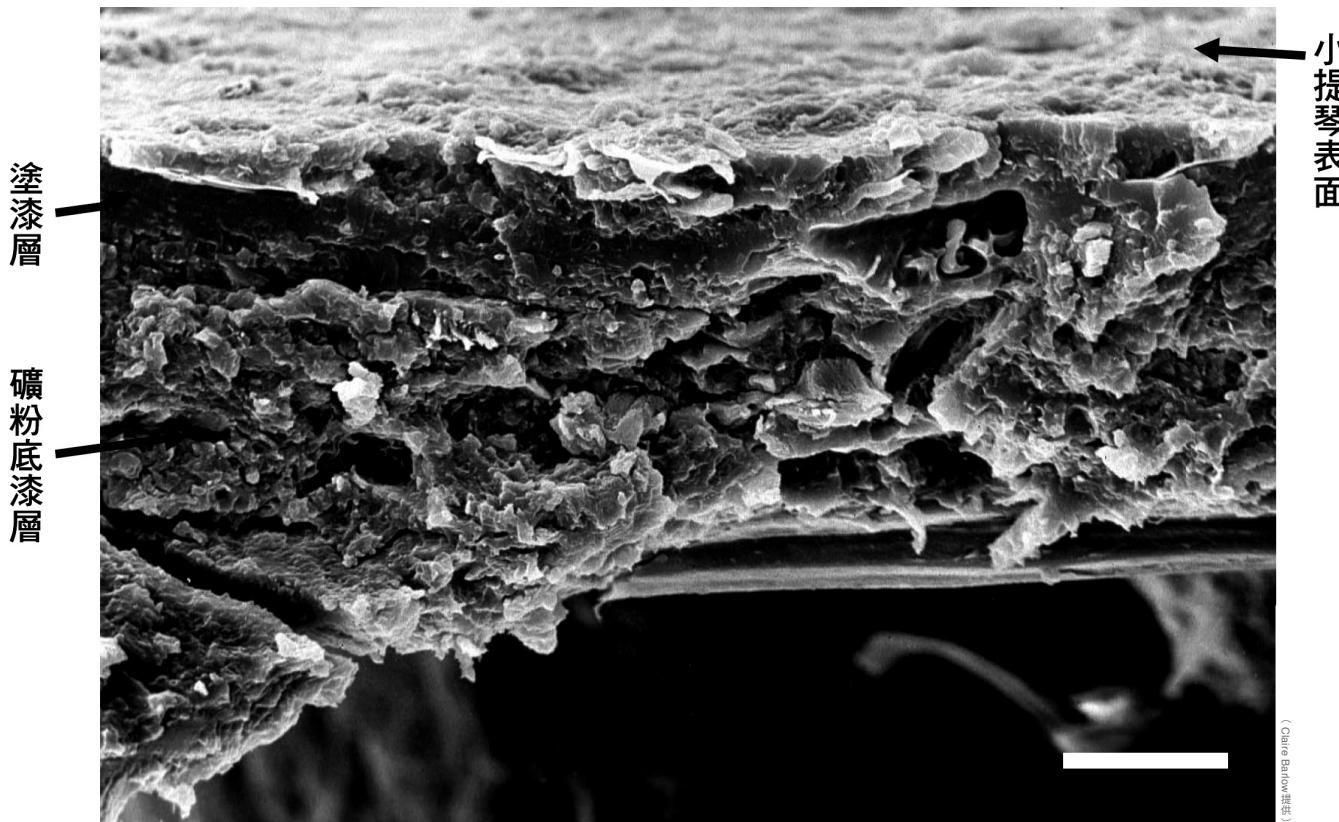
於它的有機成分還是了解有限。由間接證據推測，應該是含樹脂的油性漆與蛋白質形成的乳化液，乾燥以後相當堅硬，再加上礦物細粉，形成了義大利名琴的獨特底漆。

底漆之下 還有密封漆？

還有一個懸而未決問題，是塗上底漆之前，木頭表面是否有經過特殊處理。兩位歐美小提琴界的漆藝家曾經分別跟我說，他們觀察到礦物底漆剝落後，裸露出來的也不是原本的木頭纖維，而還有另一層密封漆（sealer）保護著。到目前為止，我們並沒有直接科學證據顯示密封漆是否存在，也不知道其成分。因此我們對名琴塗漆的了解仍然不完整，還有待更多的科學分析來解密。

失傳的工藝

我們在名琴塗漆裡已經發現的成分，都

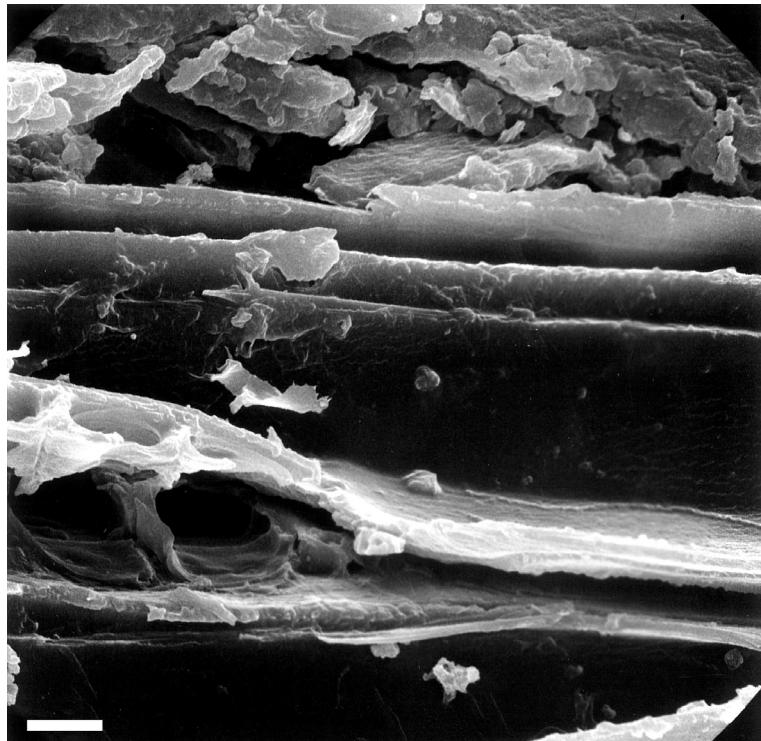


圖四：電子顯微鏡下的史特拉底瓦里小提琴塗漆的橫切面。可以清楚地看到表漆與含有許多顆粒的底漆。下方是楓木的細胞。右下的比例尺為30微米。

是當時常見的工藝材料，沒有特別的祕密。不過其中的礦物細粉，雖然都是常見的礦物，直徑之小卻是出乎意料，甚至已經屬於奈米科技。十七世紀的美術工藝用品是由藥房（apothecary）來販售的，製琴師應該也是在那裡買到礦物粉、樹脂、乾性油與顏料。克里蒙納的製琴大師，把當時常見的工藝材料，做了巧妙的組合運用，製造出獨特而難以模仿的塗漆，其中的手法與程序似乎相當複雜。當時的製琴工藝是師父與學徒之間口耳相傳，而製琴師本身識字程度也不高，沒有留下文字紀錄實屬正常，也因此很容易就失傳。

很巧的是，中國古琴的底漆，也是由大漆（一種天然的乳化液）與鹿角灰（主成分是礦物質與蛋白質）混合而成，在組成上似乎跟克里蒙納的底漆有異曲同工之妙。清朝以前的名貴古琴，大多是用這種底漆，非常堅固耐用，所以唐代與宋代傳世的千年古琴，還可以公開演奏的仍有幾十把；而現存最古老的小提琴也只不過是十六世紀中葉的阿瑪蒂作品，對應的是中國的明琴。到了清朝以後，不知為何鹿角灰普遍被瓦灰取代，造成底漆日久容易龜裂剝落，音色也較差。由此可見，底漆的成分，對於小提琴或是古琴的音色與保存都有很大的影響。

在研讀歐洲美術史後，我又進一步發現，義大利名琴塗漆的消失，跟中國的漆器傳入歐洲有極大關連。當中國與日本的漆器傳入歐洲後，非常受到王公貴族歡迎，他們把中國的進口家具拆解重製成歐式家具，甚至還有些家具經由海運送到中國上漆，再千里迢迢送回歐洲。在義大利，他們把這些漆



圖五：電子顯微鏡下的瓜奈里名琴底漆。此琴為朱塞佩·瓜奈里(Giuseppe Guarneri filius Andrea)在1690年所製。照片下方為木頭細胞，上方為礦粉底漆。左下方比例尺代表5微米。此照片由納吉瓦里教授於1978年發表在美國小提琴協會會誌，首次揭露了克里蒙納塗漆內含的礦物粉末。(Joseph Nagyari提供)

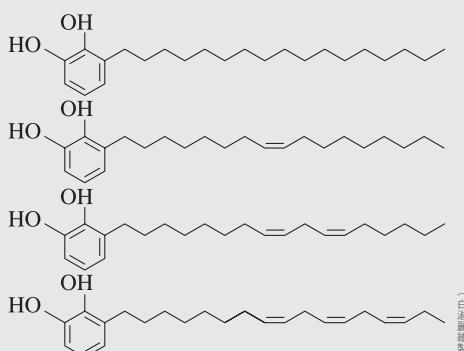
器上的漆稱之為「中國漆」(vernis de la Chine)，讚歎其美麗耐用、防蟲防水。十六到十八世紀，歐洲很多工藝家，一窩蜂地想複製中國漆，嘗試了各種配方，掀起了一股風潮。由於大漆的性質特殊，原料無法長途運送，而歐洲又沒有漆樹，當然不能成功複製，只弄出了很多的仿冒品。其中模仿得最像的，是將蟲膠(shellac)溶在酒精裡的快乾漆。

在英國，塗漆這門工藝，直接改稱為japan，當時歐洲最暢銷的漆藝手冊，書名便是*A Treatise of Japaning and Varnishing* (1688年在倫敦出版)，連給人照描的附圖都是日本鶴與日本塔等，不過裡面的日本漆配方也是唬弄人的蟲膠酒精漆。相對於油性漆需要費時的氧化步驟才會完全固化，酒精漆與植物精油的漆(essential oil varnish)只

中國的古琴與大漆

在各種做塗漆的樹脂中，中國的大漆可以說是最奇特的一種，也難怪歐洲人曾經為它著迷，把自己的傳統油性漆都給捨棄了，也間接造成克里蒙納的塗漆技藝失傳。在中國與日本，漆藝一向被視為國寶藝術。

中國的大漆（也叫生漆），產自漆樹（Chinese varnish tree, *Toxicodendron vernicifluum*），我們光看拉丁文的學名中有 toxic，就知道這是一種「毒樹」。漆樹的樹液，主成分是漆酚（urushiol），會使某些人產生嚴重的過敏反應，足以致死。在美國常見的毒常春藤（poison ivy, *Toxicodendron radicans*）也是此屬的植物，同樣會分泌漆酚造成過敏，但沒有大漆那麼嚴重。大漆凝固時的化學反應非常複雜而有趣，所以漆藝的工法也可以非常複雜，最主要的步驟是由漆酵素（laccase）來催化雙酚的形成。漆酵素的反應中心含有四個銅原子，可以催化氧化反應，也因此大漆凝固的過程須保持適當的溫度與極



大漆含有 60% 的厭水性物質（包括漆酚）、30% 的水、7% 的多醣、2% 不溶於水的醣蛋白，是一種天然的油包水型乳液（water-in-oil emulsion）。圖為漆酚類化合物的化學式。

高的溼度，來控制漆酵素的活性，需要很好的經驗與技巧。大漆凝固後會變成棕色、不透明、堅韌且防水的保護膜，可保護木頭千年不壞，也不再導致過敏，可以混入碳黑或是朱砂等顏料來改變顏色。

歐洲人接觸到中國與日本的漆器之後，非常努力地模仿，可是歐洲沒有任何樹會生產類似的樹脂，所以並不成功。當歐洲人來到中國，最早試圖接觸大漆時，因為不知如何處理，容易因過敏而死亡。他們也試圖將大漆帶回歐洲，但發現大漆在海運中途就會發生變化，到達歐洲已不可使用，這可能是因為大漆裡面的酵素會不斷地反應而失去活性。對歐洲人來說，中國的大漆是神祕而值得敬畏的。

是東方的寶藏之一，他們花了約兩百年才終於了解它的來源與性質。

大漆堅硬的程度勝過任何植物樹脂，可以保護並幫助木製樂器發出更清脆的高音，戰國時代曾侯乙墓出土的古琴，表面就有紅黑色的大漆。古琴是歷代中國文人最喜愛的樂器，「琴棋書畫」排在首位的便是古琴。史記有記載孔子學古琴的故事，由於孔子與曾侯乙的時代相近，可以想像孔子彈的古琴應該也是上了大漆的。

現存最古老而且適合演奏的古琴來自唐代（超過十把），歷史上聲音最受推崇的也是唐琴。唐琴之中最有名的是「春雷」，由雷威在西元八世紀所製（四川雷家是中國第一製琴家族，號稱蜀中九雷），宋徽宗彈過以後讚賞不已，將它列為宣和殿萬琴堂之首。「春雷」到今天仍完整保存在中國收藏家手中，都要歸功於大漆的保護作用。另外還有一把更美侖美奐、裝飾精美的唐琴，則是在西元八世紀被帶到日本宮廷，至今還完好如初地保存著。



中國南宋時期的古琴「靈峰神韻」。

（圖片來源：維基百科）

需等溶劑揮發就會固化，使用起來方便很多。十八世紀的歐洲正要進入工業革命，蒸餾技術進步，高純度酒精與精油的供應量大增，在供需都增加的情況下，酒精漆與精油漆漸漸在美術工藝上取代了油性漆。一份1747年在克里蒙納編撰的塗漆配方手稿，顯示當時的油性漆已經普遍被遺忘，更沒有提到任何類似史特拉底瓦里所使用的塗漆。一直要到最近，失傳的克里蒙納塗漆才在科學方法研究下，逐漸被解密。我們希望各地的提琴收藏家能進一步與化學家合作研究，重現名琴的工藝，造福更多現代的愛樂者。

後記

小提琴製作是個高度競爭的行業，資訊很少公開，大部分的知識是密而不宣的。可能因為我是圈外人，撰寫文章等於是做義工，才有幸得到歐美非常多小提琴界專業人士與愛好者私底下的慷慨協助，幫助我拼湊出現今小提琴塗漆研究的完整面貌。透過網路，曾與我意見交流的人士很多，在此只能對其中一小部分表達感謝之意。

首先我要感謝世界上研究小提琴材料的三位頂尖專家，美國德州農工大學的納吉瓦里（Joseph Nagyváry）教授、法國音樂城（Cité de la musique）音樂博物館的厄察特（Jean-Philippe Echard）博士、與英國劍橋大學的巴洛（Claire Barlow）教授，他們跟我分享了很多研究成果與意見。感謝歐美小提琴界著名的漆藝家帕丁（Koen Padding）與羅布森（Joe Robson），與我分享了寶貴的心得。世界製琴大師伯吉斯（David Burgess）給我的意見與鼓勵也是彌足珍貴，也感謝美國小提琴協會幾位核心成員還有小提琴討論網站maestronet.com的網友不

吝指教。雖然我們每個人對於名琴塗漆的理解都不盡相同，對史特拉底瓦里的祕密也有不同的詮釋，但是我們都相信，科學研究對於我們理解古代名琴與提升現代製琴工藝同樣重要，希望這方面能不斷地進步。

此外在相關科學背景方面，要感謝我的朋友安德魯（Andrew Hsieh）、馬可（Marko Cetina）以及前中央研究院副院長陳長謙教授的指點；我也非常感謝加州理工學院圖書館所提供的資料搜尋服務（連歐洲有些小提琴研究者都對我蒐集到的罕見文獻覺得驚奇）。在這整個過程中，我深深領悟到，二十一世紀的知識進展，實在需要跨領域與跨國界的合作，要大家集思廣益，而不是一昧的個人競爭，才能真正為大眾服務。◎

參考資料

1. Hill, W.H., Hill, A.F., and Hill, A.E., *Antonio Stradivari: His Life and Work*, repr. of 1902 ed., Dover, New York, 1963.
2. Sacconi, S.F., *The "Secrets" of Stradivari*, Libreria del Convegno, Cremona, 1979.
3. Tai, B.H., Stradivari's varnish: A review of scientific findings-Part 1, *J. Violin Soc. Am.:VSA Papers*, vol. 21(1):119-44, 2007.
4. Tai, B.H., Stradivari's varnish: A review of scientific findings-Part 2, *J. Violin Soc. Am.:VSA Papers*, in press.
5. Stalker, J. and Parker, G., *A Treatise of Japaning and Varnishing*, J. Stalker, Oxford, 1688.
6. Gheroldi, V. Ed., *Varnishes and Very Curious Secrets, Cremona 1747*, Cremonabooks, Cremona, Italy, 1999.

戴桓青：任職美國哈佛大學醫學院

台灣的「提琴王國」— 奇美文化基金會與奇美博物館

郭玲玲

奇美文化基金會是一個民間的純私人基金會，是奇美集團創辦人許文龍先生在事業成功之後，回饋社會及抒發自己的藝術情懷的極佳典範。基金會屬下最主要的機構是奇美博物館，雖然說博物館內的美術館、自然史館、兵器館等各分館均有傲人的收藏，但樂器館的提琴部門則更是一顆光彩奪「耳」的明珠。

奇美基金會提琴部門收藏625把以上的提琴，年代從1550~1950年，涵蓋約有470多位製琴師。其中不僅包括多把史特拉底瓦里、耶穌·瓜奈里、阿瑪蒂家族、加斯帕洛·達薩羅……等——那些名聞遐邇，又等閒難得一見的名琴。而且作為弦樂器的另外一個組成部分，奇美基金會也沒有忽視對琴弓的收藏。其收藏品以法國的製弓大師為主，兼收一些英國、德國的名弓，收藏現今總數也已超過380枝，包含了約130多位製弓名家的作品。

如此豐富數量的收藏品，加上許富吉、鍾岱廷、杜建宏等前後幾位主人狂熱執著、專心致志地收覓及研究，且充分運用現代高科技術

如：斷層掃描器、3D光學掃描器、紫外線分析、元素分析……等，對提琴內部結構、木料年輪、年齡、油漆的成分元素

比例、油漆中特定元素的分析作出科學的判斷。對提琴的鑑定已不是如過去那樣，靠少數幾個有經驗的人士憑肉眼評估，就說某琴像或不像某製琴師的作品(坦白說，誰都會有看走眼的時候)。何況奇美基金會已經收藏了相當數量的名琴，所以利用高科技加上與自有的藏品中同一製琴師的作品加以比對，讓證據來說話，對提琴的鑑定自然就有了極具說服力的科學佐證。

不同於世界上其他收藏家或基金會，以自身財力或提琴本身的名氣為考量，東一榔頭，西一錘子地收羅樂器，奇美基金會提琴部門的主事人員是全面宏觀地、以專業又踏實的研究精神來梳理提琴製作藝術的發展史；有系統、有目標、有計畫地蒐集提琴及與提琴有關的各種資訊。所以奇美基金會除了把自身擁有，以及從其他研究所匯集來的提琴資料電腦存檔之外，還把近60年來，所有出版過的提琴專刊論文全部作數位化掃描，一併編檔存入基金會的提琴資料庫。這些論述與文章總數在70萬頁以上，因此奇美提琴資料庫內容之豐富及全面已躍居世界之首位。

在這樣堅實的基礎上，奇美基金會與台灣師範大學以及其他科學研究會聯合開發了一個「提琴數位化研究計畫」，或可稱為VHIT (Violin History in Taiwan)。該計畫聯合歐美各國的研究人員，以歐美提琴製作藝術的發展過程、地域傳統、製作流派為經絡，對提琴史進行全面的考察與研究，並將研究成果數位化和文字化。現已選擇出了30把有珍貴歷史價值的提琴，並已初步完



位於台南縣仁德鄉的奇美博物館，從館外的草坪開始就充滿藝術氣息。

成對它們的提琴文史研究、互動式3D影像拍攝、虛擬實境製作、聲音紀錄、網站建構等工作。而且奇美基金會還將繼續收購和收藏歷來所有重要製琴師和製弓師至少一把或更多的作品，以求進行更深入務實的探查與考究。奇美基金會以如此的眼光、氣度、襟懷來策畫這麼一個前所未有的、細緻又長遠的研究計畫，實是其他收藏家或機構難以望其項背的。

更可貴的是，奇美基金會本著回饋社會、廣澤後學的宗旨，公開供大眾參觀其美術、自然史、兵器、樂器各館，以增益大家對真善美的靈性感受。此春風化雨、潤物無聲之潛移默化作用，定必影響深遠。而提琴部門的「提琴出借方案」更是一項宅心仁厚、充分顯示基金會氣度宏邈、寬慈淳厚的長者襟懷之善舉。由於考慮到當今多數提琴專業的學生與演奏家都已經無力購置那些幾成天價的名琴，奇美基金會樂於慨然借出它們的藏品，使那些有潛質的提琴家們在開拓其藝術生涯之初得到一臂之助。

奇美基金會始終秉承這樣的理念——這些名琴乃世界文化瑰寶之一部分，是全人類的文化遺產。我們有幸收藏到這些珍貴的樂器，就有義務及責任保護這些大師的作品，並盡可能把它們長久地保存在台灣，使我們的子孫將不是僅能在書本上想像這些大師傑作，而是能真實地接觸到，並感受到那些名琴發出的純醇雋永又動人心弦的天籟之聲。這是奇美文化博物館對人類音樂文化資產所奉上的一份敬意和一份心力，讓全世界了解我們

華人對藝術文化之珍視及對於保存藝術文化之重視。這光榮是屬於我們全體華人的，因為目前還沒有任何其他國家或基金會能達到這樣的成果。

在這樣的的理念導引下，許多優秀的提琴家都來過奇美基金會借琴或試琴，如林昭亮、馬友友、呂思清、黃濱、胡坤、寧峰、黃蒙拉、張萬君及多位歐美的演奏家，更不用說年輕的莘莘學子了。至今累積的出借紀錄已經遠遠超過一千次，目前出借在外的提琴也有160把之多。

2009年9月至2010年1月，奇美基金會與台北故宮博物院聯合舉辦了「絕色名琴展覽會」，將百餘把提琴及琴弓，包括歷史上非常重要的40把名琴一併陳列在故宮博物院，供所有愛好音樂人士觀賞。同時通過設置在側的大屏幕電視機，以互動式3D攝影顯示的高科技技術，以及可選擇的聲音錄製技術，供觀眾從各個不同角度仔細觀察和聆聽這些天價的名琴。因此，參觀者所能得到的切身感受，在全世界的琴展歷史上也是前所未有的。該展覽吸引了全世界提琴界的權威人士以及北京

中央音樂學院的校長王次炤，特地到台北故宮博物院來參觀，王次炤也讚佩，這樣高層次的展覽，是令人終生難忘的。

放眼世上，成功的企業家及實力雄厚的財團可謂不計其數，相信將來也必定會有更多如「奇美」那樣仁厚宏邈的基金會來澤福後人。(本文圖片皆由奇美博物館提供)

郭玲玲：奇美博物館館長



安德烈·阿瑪蒂（Andrea Amati）是阿瑪蒂製琴學派的創始人，他的提琴作品存留在世的數量非常稀少，每一把提琴都極為珍貴。奇美博物館收藏的這把小提琴是安德烈晚年的作品，在1570年左右製作完成，別名「Ross」。

中研院裡的音樂會— 科學與藝術的相遇

科學月刊編輯部

一個週末前的下午，中研院生化所的講堂一座無虛席，有媽媽牽著還在念小學的小孩，有剛做完實驗的研究生，幾名資深研究員悄聲交談，一位背著提琴的樂手匆匆走進。這群看似沒有什麼關聯的人，為了什麼齊聚一堂，他們在等待一場什麼樣的演講？

中研院副院長王惠鈞為大家介紹了今天的演講者——戴桓青博士。戴桓青是個年輕的化學家，高中時是建中資優班的學生，曾代表台灣參加國際化學奧林匹亞競賽，獲銀牌獎的殊榮而保送台大化學系，畢業後赴美留學，以蛋白酶體（proteosome）在神經細胞的作用為題，取得加州理工學院的博士學位。目前他剛結束在加州理工學院的研究工

作，準備前往哈佛醫學院進行第二階段的博士後研究工作。

不過，戴桓青準備要講的題目，卻和他目前的研究沒什麼關係。

投影片的第一張，是一把有著精緻雕刻的小提琴。這把擁有近三百年歷史的小提琴，由史特拉底瓦里所製作，收藏在

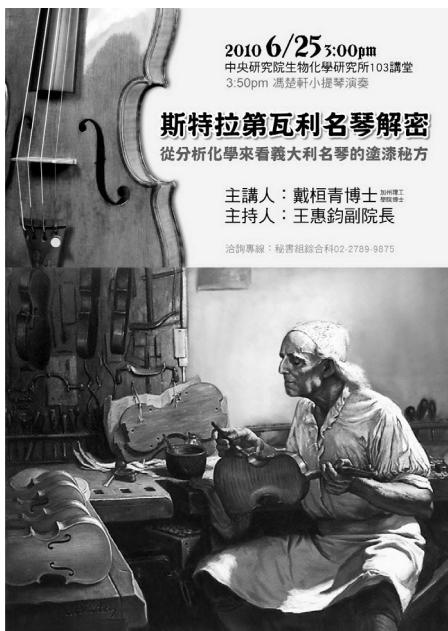
英國牛津大學的博物館，它是世界上最有名也最貴的小提琴——有著兩千萬美金的驚人身價。究竟是什麼讓一支重量幾百克的小提琴如此昂貴？戴桓青要以化學的角度，解開這個埋藏三百年的祕密（參閱前文〈從分析化學看義大利名琴塗漆〉）。

秘密背後的故事

這位研究神經科學的化學家，竟然扯上八竿子打不著邊的小提琴，其實背後有一段和他的演講一樣精彩的故事。

戴桓青在念博士班的時候，除了正經的研究工作，也熱衷於組裝音響。每個玩音響的人都有自己的一套標準，戴桓青用來衡量音響表現的標準，就是小提琴的音色。恰在此時，他的一個朋友告訴他，美國德州的納吉瓦里教授致力於小提琴研究，他用現代技術做出來的琴，音色竟然跟史特拉底瓦里的琴音非常接近。戴桓青聽到這個消息，心裡半信半疑，但直覺卻告訴他，他想要擁有這把琴。於是和朋友一起拜訪納吉瓦里，親耳見證了似乎名琴才會有的音色。儘管所費不貲，但那美妙的琴音，讓他當場就決定敗光積蓄（獎學金、家教酬勞和當兵的薪水），買下這把不可思議的好琴。

和一般人一樣，戴桓青也是個聰明的消費者——甚至比一般人更精明也更用心。從



戴桓青演講的海報，他有趣的講題吸引了各個領域及不同年齡層的聽眾。

普通小提琴和史特拉底瓦里琴的琴音頻譜比較。

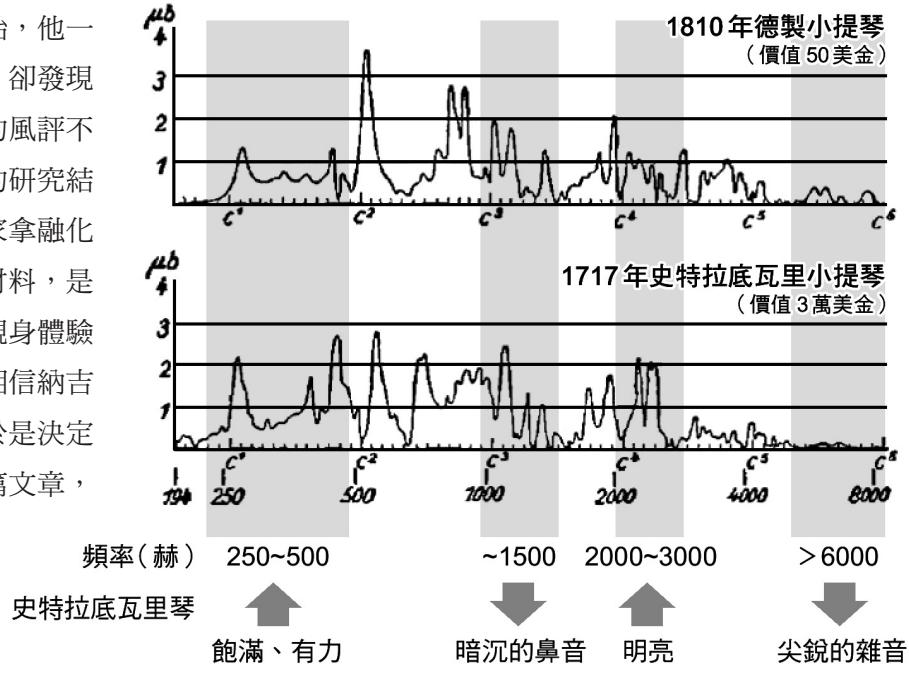
最初想要買琴的念頭開始，他一頭鑽進了小提琴的研究，卻發現納吉瓦里教授在製琴界的風評不太好：製琴師說他發表的研究結果常誤導人，還建議大家拿融化的蟑螂外殼去做塗漆的材料，是個不折不扣的騙子。但親身體驗過美妙琴音的戴桓青，相信納吉瓦里的確有兩把刷子，於是決定整理過去的文獻來寫一篇文章，來為納吉瓦里平反。

本來戴桓青只打算花兩、三個星期做這件事，沒想到資料越看越

多，興致越來越高昂，計畫也就無限期延長。最後他完成了四十多頁的評論，分成兩部分刊載在全世界唯一專門討論小提琴硬體的學術期刊——《美國小提琴協會期刊》(Journal of the Violin Society of America: VSA Papers)，第一部分討論小提琴的製造歷史及無機成分，第二部分討論小提琴的有機成分和顏料。後來這篇評論受到許多當代製琴師大力推崇，一位德國的製琴師甚至寫信讚揚：「關於義大利古琴的塗漆，終於有了一篇像樣的科學文獻回顧！」

與衆不同的琴音

戴桓青這次回台，特別帶來納吉瓦里製作的這把琴，在演講結束後，由專業的小提琴家馮楚軒來演奏。為了有個比較的對象，馮楚軒也用自己的琴（一百多年的義大利琴）穿插演奏。同樣的一首巴哈無伴奏組曲，納吉瓦里的琴所展現的音色，相較之下更為飽滿、豐富而有力度，就像戴桓青演講中所說的一一猶如女高音充滿穿透力的聲



(資料來源：Meinel H. F., J. Acoust. Soc. Am., Vol. 29, 817-823, 1957)

音。接下來一首泰依思冥想曲，更將納吉瓦里的小提琴表現得淋漓盡致，聽眾不知不覺被深刻的琴音牽引，陶醉在甜美的旋律中。

演奏會結束以後，不少人留下來和戴桓青交流意見，這之中有中研院的研究員、科學教育推廣者，甚至還有小提琴演奏家。國家音樂廳交響樂團的李京熹，是個一輩子都在玩琴、賞琴的小提琴專家，他在現場聽到納吉瓦里琴的音色，也不禁嘖嘖稱奇：「我拉過許多一流的好琴，在高頻音域能表現得那麼好的琴並不多，新琴更是不可能做到。可是這把琴的高頻音色卻很閃亮，就像是高級香檳細緻的氣泡，它在你口中不會有刺激感，又非常豐富活潑。」

一般的新琴，因為木頭很新又不夠乾燥，震動的頻率有限，聲音通常都是悶悶啞啞的，往往要經過很長的時間才會開化，這就是為什麼小提琴的聲音會越拉越好的原因。甚至也有人認為，現今保存良好的義大利古琴能有那麼好的聲音，是因為從以前到現在，演奏音樂的方式和標準音高不斷改

變，長時間下來，同一把琴經過各式各樣的演奏方式，終於完全發揮它的潛力，讓現代琴望塵莫及。

納吉瓦里製作的琴卻跟一般新琴不同：它沒有新琴鈍悶的缺點，又擁有豐富的共鳴音色，究竟是怎麼做到的？戴桓青表示，納吉瓦里的琴音頻譜應該和史特拉底瓦里的非常接近：它們在200~500赫及3000赫的表現特別豐富，因此同時兼具低頻的飽滿和高頻的閃亮；但在1500赫及6000赫以上的表現則降到最低，因此少了中頻的暗沉鼻音，也沒有超高頻的尖銳刺耳。

雖然現在已經有了精良的科學儀器，可以把琴音測量得非常透澈，卻還有很多問題是現階段無法解決的。以納吉瓦里為例，他從德州農工大學退休以前，是個傑出的生化學家，但就算是科學背景出身的他，還是要依賴自己的耳朵去分析琴音。也因為要不斷拉出純粹的單音來辨別琴音的好壞，納吉瓦里曾打趣地說：「我大概是世界上拉一個單音拉最好的人。」

「我們的耳朵是非常複雜的，它就像是一台擴大機」戴桓青說，「小提琴的聲音透過演奏廳的反射傳到我們的耳朵，還會繼續在耳朵產生繞射的現象。我們的耳膜會震動，也會跟樂器一樣產生共鳴，最後還要由大腦綜合詮釋我們得到的訊號，可想而知，這是一個非常複雜的問題。」

科學與人文的完美結合

戴桓青演講的最後一張投影片，不是「謝謝你的聆聽」，也不是「請指正」，而



在戴桓青緊湊的來台時光中，科學月刊非常幸運地有機會採訪他，除了了解他研究小提琴的過程外，也得知許多戴桓青對音樂、科學上的想法。訪問中一講到小提琴，戴桓青的臉上就露出興奮的神情，滔滔不絕地與我們分享研究過程中的點點滴滴，講到精彩之處，甚至當場演示起來，彷彿回到與小提琴初次相遇的時刻。

是分享他在追尋小提琴祕密的過程裡習得的「寶貴的一課」，他說：「知識的追求，可以跨越古今，跨越中西，跨越科學與人文。不是因為我們什麼都知道，只因為我們什麼都很想知道。」

為了解答三百年前史特拉底瓦里留下的祕密，戴桓青不只收集科學分析的文獻，更閱讀了大量的歷史文獻，不管是十一世紀修士寫的手稿，或是十四世紀義大利人蛋彩畫的技術手稿，只要能尋得一點蛛絲馬跡，他都不會錯過。因為只有在了解小提琴製造的歷史、美術材料在歐洲的發展，以及現代的化學分析證據以後，他才有辦法把這些資訊通通整合在一起，架構一個完整的故事。

這是一個跨越時空的大問題，也是科技史上的十大祕密，可是戴桓青告訴我們的不僅於此。我們在他身上看到的是，包容不同領域、各種面向的完美融合，科學不再只是科學，它可以是歷史，可以是人物，更是一門考古學。透過戴桓青的演講，我們看到科學與人文交會了，我們聽到史特拉底瓦里琴的美妙樂音，此時，科學昇華為藝術，繚繞在每個人的心際。◎

科學月刊編輯部

從好奇心開始— 一個化學家的提琴夢

升學路順暢的優等生為何會接觸小提琴，又是如何與「提琴材料教父」納吉瓦里扯上關係，在他研究小提琴的過程中遇到哪些困難與幫助，以及完成之後的心得與感動又是什麼？

戴桓青

音樂和我，原本沒有太多淵源，我也從來沒有想過，有一天會在中央研究院這樣的學術機構，做音樂主題的演講。從建中數理資優班、參加化學奧林匹亞、甄試進入台大化學系，到加州理工學院取得化學博士，我走的是標準的升學之路。以前我在學校裡，都沒有特別上過音樂課程或參加音樂社團。所以親朋好友們聽到我最近開始研究小提琴，而且還是第一個在美國小提琴協會的學術期刊（*Journal of the Violin Society of America: VSA Papers*）發表論文的台灣人，紛紛覺得驚奇。其實我的專業是分子神經生物學這個新興領域，至於鑽研幾百年前的小提琴祕密，不在原本的計畫中，是意外的邂逅。我想這意味著，人生有時候單純地跟隨著直覺走，結果可以是很好玩的。

從「聽」開始

像許多亞洲的小孩一樣，我小時候學過幾年的小提琴，「學音樂的小孩不會變壞」是亞洲父母耳熟能詳的口號。也像大部分的小朋友一樣，我覺得樂器演奏是件難事，小時候對音樂沒什麼悟性也欠缺節奏感，在父母一路都不勉強情況下，到了國中有升學壓

力時自然就放下小提琴，往後十幾年也都沒有再去碰琴。

會在 28 歲的時候開始研究小提琴，回想起來除了因為難得的機遇，也有幾個背景因素。在大三結束後的那個暑假，我第一次自己去唱片行買了一張古典音樂的 CD，是帕格尼尼的第一號小提琴協奏曲。回家一聽，覺得不錯，畢竟自己學過小提琴，對這種音樂有點感覺。可是也覺得從電腦喇叭放出來，怎麼義大利名琴聽起來一點也不像真的小提琴。此後的幾年，我開始蒐集古典音樂 CD，也開始玩一些音響器材，想要在家裡多享受聽音樂的樂趣。

到了 28 歲，我的古典樂 CD 已經超過 500 張，而且擁有一對非常奇特的、奧地利 AKG 公司生產的 K1000 耳掛式揚聲器（掛在耳邊的小喇叭，比耳機大得多）。在市面上琳瑯滿目的喇叭與耳機裡面，我覺得最能正確傳達小提琴音色的就是這一款。為了挑選適合推動 K1000 的真空管（會去 eBay 買很多早已停產的真空管來玩），我都用義大利名琴的錄音來調校音響。事後回想起來，這正是一種聽力訓練，從反覆的練習中去分辨琴音的細微分別。在這過程中，我開始對

史特拉底瓦里與瓜奈里等名琴的特殊音色感到著迷。

恰巧我在加州理工學院的一個好朋友，是個業餘音樂家，和我說美國德州有一位教授，研究出了史特拉底瓦里琴的祕密，他做的琴不但聽起來很像史特拉底瓦里的琴，更可能會在兩百年後超越史特拉底瓦里的琴。我聽了第一個直覺反應是「真的那麼好嗎」？第二個就是「一支要多少錢」？

第二個問題，比較容易回答，只要買得起量產汽車，也就買得起現代精製的手工琴。假如這位教授做的琴真的有那麼好，甚至只要史特拉底瓦里琴的一半好，我都會很想買，問題是我平時不拉小提琴，買琴做什麼呢？於是一股衝動下，利用回台灣的假期拿出儲藏室裡塵封已久的小提琴，重新開始摸索，拉拉小曲自娛。

與「提琴材料教父」的相遇

網路搜尋德州農工大學納吉瓦里 (Joseph Nagyvary) 教授的研究，發現他常

在媒體上暢談材料科學是名琴音色的關鍵，從直覺上我非常同意這個觀點。而我的直覺判斷，也是依靠多年以來所累積的物理、化學、生物化學、神經與認知科學還有音響學這些綜合知識。於是我就帶著朋友一起去德州參觀他的工作坊來選購小提琴。我朋友恰巧有一支1萬5000美金的現代義大利琴(琴齡約一百年)，是一個職業樂團以前的首席所用的樂器，退休後送給我朋友。相比之下，納吉瓦里店裡開價8000美金的琴都比我朋友的琴容易演奏又好聽，我就毅然決然地把當場覺得音色最好的一把琴買回家。

當時納吉瓦里最貴的琴賣1萬6000美金，剛好同時他在*Nature* 發表了一篇小提琴木材的論文，因此過了一個月因為詢問的人變多了，就漲價到2萬美金。店中還有一把也很好聽的琴，在2005年由日本知名的小提琴家千住真理子在東京歌劇院演奏過，原因是為了紀念愛因斯坦發現相對論一百年。日本應用物理學會有鑑於愛因斯坦很喜歡拉小提琴，所以邀請納吉瓦里去演講小提

琴的科學。巧的是納吉瓦里在瑞士攻讀博士時，也借用過愛因斯坦的小提琴好一段時間。千住真理子當天除了演奏納吉瓦里的一把新琴，還有她的1716 史特拉底瓦里名琴，目的是展示兩者之間的相似度。同時日本應用物理學會因為納吉瓦里教授發現史特拉底瓦里名琴塗漆採用了奈米科技，頒發給他終身成就獎的金質獎章。

可是在美國的製琴界，納吉瓦里是個非常具爭議性的人物，朋友很少但批評者卻很多。這讓我非常緊張，因為我才剛買了納吉瓦里的小提琴，就發現在熱門的小提琴網路討論區上



圖一：戴桓青與納吉瓦里。

(maestronet.com)，不少人說他是個騙子，那我的琴日後豈不是沒有價值了？可是根據我親身與納吉瓦里教授的互動，發現他的小提琴與化學知識都很淵博(四十歲以前他是個成功的生化學家)，聽力也非常敏銳，加上他曾經接受兩位諾貝爾化學獎得主的指導，也跟幾位著名小提琴家友好。這樣的一位專家，怎麼會被說成招搖撞騙呢？主要是納吉瓦里早年發表了不少不成熟的理論，又經常批評製琴師這個行業，以致製琴界普遍抵制他。等到他的研究日趨成熟後，製琴界基本上是故意忽略他。他也不願意公開太多研究成果，發表的論文也經常是在很少人閱讀的刊物上，或是描述得避重就輕，於是整個小提琴界大概有二十幾年的時間都忽視也誤解了他的研究成果。

追尋真相之路

於是我想寫一篇文章來說明納吉瓦里教授的研究成果，起初是為了我的琴的日後價值著想。一開始的計畫是花幾個星期，寫成一篇文章貼在網路討論區上，看看能不能扭轉大家對他的誤解。另一方面，因為我自己沒有機會拿到名琴的樣本來做分析，我怎麼確定納吉瓦里的結論是對的呢？所以我決定蒐集其他研究小提琴的科學文獻，同時去了解當時的歷史背景，做一個綜合比較。但是資料閱讀得越多，了解越深入，反而越想知

道的更多。幾個月過去了，當我一邊蒐集資料，一邊上網與別人討論時，我發現自己的見解已經非常獨到。原來這幾十年來，用分析化學來看名琴塗漆的研究還不少，只是從來沒有人好好整理，拼湊出一個完整的面貌。很多小提琴界的人士，一聽到我願意做這項整理工作，都非常鼓勵我，私底下跟我分享了很多資訊來幫助我，甚至有瑞士的出

版商願意幫我出書。最後，我還是決定藉由有外部評審(peer-review)的學術期刊來發表我的文章，務必追求內容的準確性。

又為了集思廣益，我想懇請各方專家與熱心人士，對我的文章提出意見。於是將寫好的初稿上傳到美國最主要的小提琴討論區上，如此一來，很多人一起看到，也不怕有人剽竊其中內容搶先發表。兩週之內，就有人跟我說，

連歐洲的頂尖製琴師都已經紛紛傳閱我的文章，我也陸續收到不少專家與提琴愛好者的意見回饋。此外，我又主動請教了不少學者、製琴師與琴漆專家，加上勤讀中世紀與文藝復興時期關於歐洲美術材料發展的書，才能將許多零散而難以解釋的科學數據，拼湊出一個符合工藝原理的圖像。在這個過程中，我很像一個考古學家也很像偵探，總是在找各種蛛絲馬跡。

這兩百年來，西方很多文章書籍都試著討論義大利名琴的塗漆祕密，卻忽略了基本



圖二：戴桓青所購買，由納吉瓦里製作的小提琴。

(作者提供)

的塗漆的科技原理以及當時歐洲在油畫與木工方面所發展的塗料歷史。越是不將基本的原理與背景講清楚，整件事就被描述得越神祕，讀者看越多資料卻越感到迷惑。我發現，只要先了解當時歐洲的幾種基本塗料配方，以及其他添加物背後的材料性質與科學原理，就知道史特拉底瓦里當時可以選擇的塗料種類是有限的。配合化學分析數據與我們熟知的琴漆性質，用刪去法便可知道史特拉底瓦里當初大致的琴漆配方，至少有七、八成是已經可以還原出來的。剩下還有兩、三成是客觀上還無法確認的，也是這種考古工作不可避免的事。孔子說「知之為知之，不知為不知，是知也」，我非常同意這種態度。我從不宣稱自己知道史特拉底瓦里的祕密為何，只從客觀事實來敘述我們已經相當確定的部分，剩下的則有待研究者進一步研究或是現代製琴師自己嘗試。這樣的客觀態度，對製琴師來說非常有幫助，有一位得獎紀錄傲人的世界級製琴大師便私下和我說，他認為我的文章是有史以來最有份量的琴漆研究著作。

其實我所寫的文章，不是為了展現我個人的知識，而是為了幫助現代製琴師了解古代琴漆的基本資訊，進而達到相似或更高的水平。為什麼我覺得這件工作那麼重要呢？名琴的珍稀與高價，其實對社會本身並沒有什麼好處，雖然能促成名琴本身的保存，但也造成了不少的遺憾與悲劇。其實十九世紀的法國製琴大師維約姆（Jean-Baptiste Vuillaume）基本上已經接近史特拉底瓦里的水平，可是他的塗漆秘訣連徒弟都不肯傳授，導致他死後大家又得重新摸索。這樣的事情在歷史上層出不窮，都是因為知識沒有累積傳承。

更令人感嘆的是，美國有一位傑出的小提琴家瑞秋·巴頓（Rachel Barton），在走出芝加哥的捷運時琴盒背帶被車門夾住，卻為了搶救阿瑪蒂名琴而不肯放手，結果被列車拖行捲入輪下，雙腿都必須截肢。雖然名琴毫髮無傷，她的琴藝也沒有受影響（我很喜歡她受傷後錄的一張專輯），但是為了一項失傳的工藝而犧牲這麼多，真的很可惜。後來她也和納吉瓦里教授變成朋友，透過她的基金會（捷運公司的賠償金）把納吉瓦里稍微不滿意的實驗品捐給有天分的學童。假如我的文章能間接促成製琴工藝的提升，讓年輕音樂家不用再受限於永遠買不起的古董名琴，將會很有意義。

重新發現研究之樂

回想自己開始研究名琴的過程，沒有人告訴我這個題目值得研究，沒有人說我適合研究這個，也沒有人指導我如何研究這題目。因為好奇、因為有興趣，就想辦法利用手上有限的資源開始試圖了解問題，這不就是研究的本意嗎？在西方有很多人花一輩子研究小提琴的歷史與祕密，大部分都是為了興趣。這讓我重新認識到世界上還有一些人，他們研究一門知識，不會因此得到研究經費，得到學術著作的積分（impact factor score），或是取得學術工作，他們只是因為想知道所以去研究。

對於需要儀器設備的實驗科學來說，提供經費的單位，基本上決定了什麼領域可以研究，也藉此決定了學術的範圍。美國聯邦政府可以選擇資助幾萬個科學家研究癌症，幾千個科學家研究阿茲海默氏症，但納吉瓦里教授的小提琴研究卻從來申請不到聯邦經費補助，雖然美國化學會總是大力宣揚他的

研究。這是一個很奇怪的現象，因為研究者可以自由利用的研究經費幾乎已經消失了，都需要用特定的計畫去申請。我們已經習慣把缺乏經費補助的題目聯想成非學術，因為去研究那些領域就會拿不到足夠的經費在學術界生存，自然在學術界也不會有人專職研究這些東西。可是真正的學術不是應該以好奇心與知識探索為目的，去做那些別人不會想到也不會做的題目，而不是去搶一些別人暫時還沒想到或暫時還沒做的事？

好奇是知識的原動力

曾經有一個義大利的男低音寫電郵給我，向我索取論文的 PDF 檔案，因為他生平最大的興趣就是研究小提琴的知識，但他不易訂閱美國小提琴協會的期刊。他還給我看他的藏書目錄，有超過四百本小提琴書籍，大部分我根本都沒聽過。我覺得這樣研究精神實在很可愛，因為懂不懂小提琴都對他的聲樂演唱沒有影響吧。其實發表著作，是分享自己的知識與熱情，是希望過了很久以後，還有人讀了以後覺得很有參考價值。因為我們讀了很多很久以前的著作，很感激前人把這麼多寶貴的知識寫下來流傳給我們，我們自然也希望有一天自己能成為被感激的對象。

我在研究小提琴的時候就發現，在歐美大學還不招收女生的十九世紀初，曾有一位家庭主婦將很多文藝復興時期的拉丁文美術手稿翻譯成英文，到今天早已被奉為美術史的經典書目，因為今日已經沒有幾個人看得懂那種拉丁文。而當時頂著教授頭銜的學者，後來又有多少留下了經典呢？假如一個人能完成經典著作，不管是用什麼方式，難道不該請她來開班授課來發揚這門知識？其

實研究小提琴只是我一時興起的業餘嗜好，卻讓我反思很多，想想研究到底是什麼，學術又是什麼。雖然我的祖父與父親都是大學教授，可是到了我這一代，我覺得還是需要自己去思考這些問題。任何的事物，演變成今日所見的情形，好像都很自然很有道理，但是我們不能因此就不去問它背後的本質與目的，要不然我們怎麼知道有沒有大家一起走偏呢？

研究小提琴的過程裡，最好玩的就是認識了很多新朋友，有的是透過網路，有的見了面，雖然我們的職業未必都與音樂相關，但大家共同的興趣都是小提琴。能夠對名琴有深入的了解，是因為很多朋友們本身都有二、三十年研究小提琴的經驗，但不吝與我這個新手分享一些心得。能受到這麼多專家朋友的指點，除了自己的熱情與努力，我想謙虛的態度，語言能力，與網路的發達都有關係。知識的追求，其實也在全球化；在此同時，我覺得在地化也很重要，我就發現中國古琴的塗漆與義大利小提琴的塗漆也有異曲同工之妙，那下一步我們是不是也應該分析唐朝古琴的塗漆，或是把中國的大漆應用到小提琴上？

最後順便提一下，市面上我看過關於中國古琴最好的一本書是瑞典人寫的，我在想有一天要寫一本關於義大利小提琴材料歷史最好的書，這樣才算是文化平衡與交流。為什麼只有歐美的人可以成為亞洲文化專家，亞洲人不能成為歐美文化的專家？我們送去歐美的留學生不是比他們送來的還多的多？總之，我覺得什麼都是可以研究的，好玩其實很重要，好奇才是拓展知識的原動力。◎

戴桓青：任職美國哈佛大學醫學院