

# 以環 12 烷進行木質彩繪菩薩立像的暫時性加固

■ 陳澄波

國立故宮博物院（以下簡稱故宮）所收藏的木質彩繪木雕菩薩立像（圖 1），傳為宋代（960-1279）年間之文物，觀察造像結構，其身體係以數件木材拼接雕刻而成，而頭、手、蓮座、飄帶與頭飾等構件，則為製作完成後另行接合成型，再施以地仗、彩繪等裝飾。然而此文物因年代久遠，自彭楷棟先生（1912-2006）捐贈予故宮以來，有多處木質胎體開裂、膠合處脫膠、部分構件缺損之外，表面的彩繪層亦有大範圍之起翹、遺失、褪色等狀況（圖 2），再加上其量體較大（高約 262 公分）不易規劃合適的展覽主題與修護空間，故此文物僅呈現於圖錄出版之中，無任何展示紀錄。

## 修護緣起

〈木質彩繪木雕菩薩立像〉材質劣化，各部件彩繪處皆處於較不穩定的狀態。雖此文物長期靜置於環境穩定控制的庫房內，並無新增損壞狀況；但考量文物未來展示、研究與後續修護計劃，本院規劃將此文物運至南部院區，以利後續相關作業之進行。在運送前須先穩定文物，同時擬定完善的暫時性加固處理、包裝運輸期程以及後續庫房收納計畫等三個環節，其中暫時性加固為本案須優先執行的修護動作。一般而言，當脆弱文物有運輸或移動需求時，需先以暫時性加固方式穩定文物狀況。所需步驟，便是以楮皮纖維所製造之紙張及低濃度的黏著劑進行暫時性加固。常應用於修護上的黏著劑如纖維素、澱粉、布海苔等，施作於須保護於文物脆弱之部位，如彩繪層有裂痕、起翹等區域，



圖 1 木質彩繪菩薩木雕立像 作者攝

以利於運輸包裝作業。然而此種暫時性加固方式仍有風險。雖已使用較低濃度的黏著劑（一般為 0.5 至 1% w/w 之間），但若黏著劑使用於灰塵髒污較為明顯的表面，或是於短期內無法進行修護作業，造成長時間置放留存，反而可能讓文物表面產生不易移除之漬痕，本案即是有此情形。

因此，以往修護上較常見的暫時性加固材料，如可溶於水溶液的甲基纖維素（methyl cellulose）或可溶於極性溶劑之 Klucel®E 等，雖然都是以低濃度調製之黏著劑，卻不是此個案的優先選擇。

### 易揮發性的黏著劑

綜合上述原因，因此本案便考量使用具易揮發性特點的媒材（Volatile Binding Medium，以下簡稱 VBM），其中最被修護領域廣為使用的 VBM 便是環 12 烷（Cyclododecane，以下簡稱 CDD）。<sup>1</sup> 最初該材料之出現可追溯至 1995 年由德國修護師 Hans Hangleiter 以液態氮（liquid nitrogen）將二甲苯（xylene）冷凍後作為暫時性之黏著劑，藉由液態氮的低溫使二甲苯低於其熔點。二甲苯低於零下  $-47.8^{\circ}\text{C}$  時轉化為黏稠

之淤泥狀，此時二甲苯可作為暫時性加固劑使用，一旦二甲苯的溫度上升且高於其熔點，二甲苯便會復原至液體狀並逐漸揮發且不留痕跡。然而此種方式或許適用於自然史或無機質的文物，當應用於具有塗層、樹脂等文物時，便須考慮文物是否能承受如此之低溫，以及塗層是否會被溶劑溶解等問題。此外亦須考量有機溶劑對操作人員的健康危害風險，特別是需大規模運用的案例時。故以低溫法備製有機溶劑的暫時性加固材，並不適用於文物修護。

因此 Hangleiter 開始尋找替代方案並與化學家 Elisabeth Jägers 及 Erhard Jägers 合作，調查是否有更好的替代材料得以進行相似的暫時性加固，經由研究剔除了萘（naphthalene）、樟腦（camphor）、對二氯苯（*p*-dichlorobenzene）等可用於暫時性加固且具易揮發性的材料。因這三種材料皆對環境有害，或是對人體有毒性之副作用，<sup>2</sup> 甚至對二氯苯在動物實驗中已被證實具有產生肝臟腫瘤的致癌性，最後選用 CDD 這種可溶於低毒性且非極性溶劑的材料。備製時可調配於對多數文物無不良反應的礦精（mineral spirits）或 Shellsol®T 等溶劑中，塗佈或噴塗於文物表面，待溶劑揮發乾燥後形成堅硬蠟質的固體塗層，且 CDD 於一般室溫條件下逐漸揮發，可避免如一般暫時性加固材料須使用物理或化學的方式進行紙材移除之潛在風險。再者，從 CDD 問世以來，亦有許多文獻對其性能進行研究，特別是有關於該材料是否導致文物外貌產生變化或殘留的問題。然而在一般修護界的認知當中，<sup>3</sup> 如劍橋大學博物館（University of Cambridge Museum）修護師 Sophie Rowe 與 Christina Rozeik 便曾指出 CDD 是一種完全可逆的修護材料，已廣泛運用於壁畫、陶瓷、紙質、金屬等修護領域；但仍有少數案例證實使用於



圖2 彩繪層有多處遺失、裂痕、起翹等狀況。 作者攝

某些材質時應注意 CDD 對文物的影響性，<sup>4</sup> 例如 Gudrun Hiby 認為 CDD 會改變新塗刷完成後的壓克力塗層外貌，若又配合揮發速率較快的石油醚溶劑，<sup>5</sup> 會因溶劑揮發時產生破壞塗料表面之應力。<sup>6</sup> Nicole Riedl 和 Georg Hilbert 則認為 CDD 會殘留在砂岩的孔隙中，可能會長達數個月的時間。此外影響 CDD 殘留之因素亦有相關討論，例如 Brückle 等人將 CDD 刷塗於玻璃上，膜厚 0.03mm 實驗樣本可於二十四小時內完全消失，膜厚 0.08mm 樣本在攝氏 20°C 環境下於三天內完全消失，溫度提升至 38°C 下則可於一日內揮發消失。Nicole Riedl 和 Georg Hilbert 則是將 CDD (140% w/w) 調配於己烷 (hexane) 中，同時與直接加熱融化使用的 CDD，相互對照應用於砂岩材質，並記錄其揮發時間，觀察發現溶於己烷中的 CDD 約在十三至十四日後消失，<sup>7</sup> 直接融化使用的 CDD 則約於十六至十七日左右

消失。<sup>8</sup> 另 Sophie Rowe 則認為可藉由測量文物重量變化的方式，以確定 CDD 是否已經完全揮發。

由上述的文獻資料可知，CDD 原則上在各式文物材質中應為相當穩定的材料，且其易於揮發的特性亦有相當之可信度與適用性，但當 CDD 應用於具有壓克力塗層或砂岩材質時，修復人員可能便須留意對文物帶來的影響。然而若是欲運用於木上彩類型的文物時，對文物應不致於有不良之影響，目前亦未見有研究報告指出木上彩文物因使用了 CDD 而有不良反應的議題，因此本案例即選用 CDD 作為文物運輸時的暫時性加固劑。

### CDD 測試樣本之製作

早期文獻對於 CDD 使用量已有約量化，且提供完全揮發期程的數據，但卻無法確定是

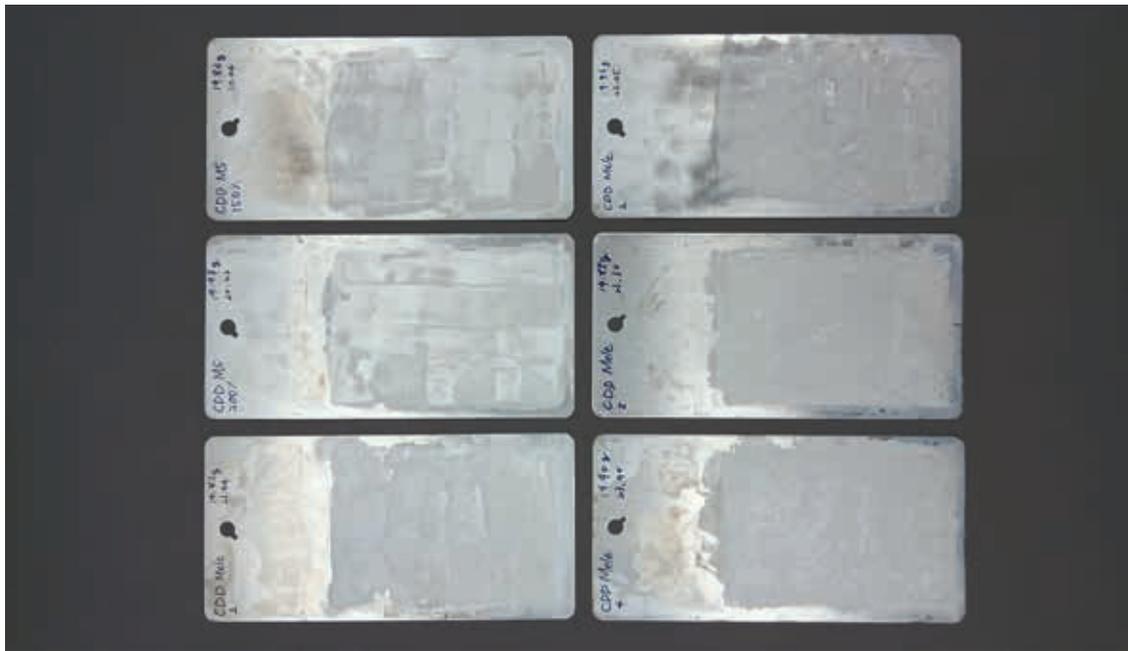


圖3 CDD之測試樣板 作者攝

否真能契合本案的作業期程及實際需求。因考量該案文物尺寸、運輸人力以及入庫前預防性低氧除蟲作業，首先搬運文物時至少須有八名工作人員協助文物移動、翻身、站立等處理，以利 CDD 可充分施作於文物的各個部位，並於 CDD 施作完成後可立即進行文物的裝箱作業，在次日運往南部院區後直接進入氮氣櫃中進行低氧除蟲之入庫前置處理，預計整體流程約需一個月左右的時間方可讓文物進入庫房，也意味著文物可能需歷經多次搬運的流程，由此可知本案非僅寥寥幾名修護人員可獨立完成之作業。故為妥善控管且充分運用博物館之預算，又欲使 CDD 可於文物上停留較長的時間，於施作前測試調製之配比，將 CDD 分成直接以 60°C 熔化與溶於溶劑中再刷塗等兩種調配方案進行測試，評估兩種方案的施作便利性與 CDD 能否達到停留於文物表面一個月左右的時間，做為對文物運輸最有利安全之暫時性加固處理。

為了便於量測 CDD 塗膜的厚度與重量，選擇常用於塗料試驗的鋁合金金屬試板作為測試

之基底，並分為溶劑組與熔化組。將 CDD 分別調製成 150%、200% (w/w) 溶於礦精中，同時以尼龍筆刷塗佈一次，以及直接熔化 CDD 刷塗一至四次等試片樣本，於每日測量樣本重量的變化，觀察 CDD 可於若干時間完全揮發，以評估現場施作時應選用的方案。(圖 3) 此外於刷塗測試中可發現，調製於非極性溶劑中(礦精)的 CDD，須等待乾燥的時間較長，刷塗一層至少須二小時左右方可完全乾燥，而直接熔化使用的 CDD 則無此限制，可視其需求反覆堆疊至所需之厚度，但兩者皆有其優缺點，溶於溶劑中的 CDD 易於刷塗，反之直接熔化使用者則有塗佈施作較為不易的情形。然而施作的易與否也反映在刷塗的膜厚上，CDD 溶於溶劑者難以堆疊出適當的厚度，在未達二小時完全乾燥前無法進行重覆刷塗的動作，故刷塗一次 150% 與 200% (w/w) CDD 的試板平均膜厚分別僅有 21.4 和 23.0  $\mu\text{m}$ ，而直接熔化分別刷塗一至四次者，其平均膜厚各為 321.2、542.4、724.8、985.2  $\mu\text{m}$ ，以加熱熔化方式則較易於重覆堆疊達到欲設定之厚度。

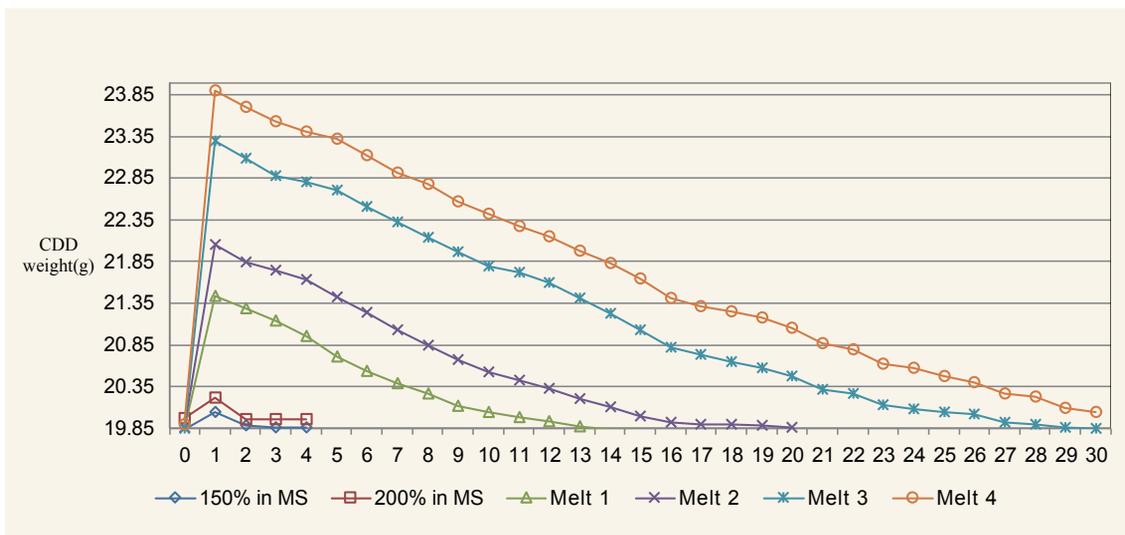


圖4 CDD揮發速率折線圖 作者製圖

## CDD 揮發時間之測試

將備製的試片放置於與庫房環境相同的空間（ $22^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ， $55\%\pm 5\text{RH}$ ，圖4），觀測時間則參考 Nicole Riedl 的期程，於每日秤重記錄一次，直至試板上的 CDD 完全揮發且與試板基重相同為止，而 CDD 揮發速率折線圖則可參考圖4。測試後得知溶於礦精使用的 CDD 較無法維持較長之附著時間，而 150% 與 200% 兩者同時於四日後完全消失，與前人研究可停留十日以上之數據呈現出較大的差異，推測係因金屬鋁合金試板材質較為平滑，屬較無孔隙的材質，易使 CDD 快速揮發，與 Nicole Riedl 等人試驗所使用的多孔隙砂岩材質試樣不同，故而產生與前人的測試結果之差異性；而 CDD 直接熔化刷塗一至三次者，則分別於 15、20、30 日後完全揮發，刷塗四次者則可停留 35 日以上的時間。

綜合上述 CDD 揮發速率測試結果可知，溶於溶劑使用者雖較易於塗佈，但其膜厚較薄，若欲增加其厚度可能須視文物實際之需求，於配製時再增加其濃度，或是分數日反覆等待乾燥後依序進行堆疊，若有較厚的膜厚需求時，便會增加較多的施作工時及工序；直接熔化刷塗者明顯可讓 CDD 於環境中停留較長的時間，可能較適合本案需較長時程的規劃。

## CDD 的暫時性加固之運用

從 CDD 的簡易測試可知，將 CDD 直接熔化刷塗為維持其停留於文物表面最長時間的較佳選擇，故本次暫時性加固即以此法進行。此外考量庫房溫度約為  $22^{\circ}\text{C}$  左右，若以 CDD 熔點  $58$  至  $60^{\circ}\text{C}$  的溫度進行加熱，待拿起至文物旁欲加固時，CDD 可能已有先行固化之虞，因此於文物作業現場將 CDD 置於玻璃瓶中並以  $80^{\circ}\text{C}$  的熱水先行熔化，待持拿加固時不至於使

CDD 降至固化之溫度，同時亦準備多個玻璃瓶，作為已降溫的 CDD 替換之用，以利加固作業的進行。（圖5）於文物開箱後，先檢視確認整體的穩定性，並將菩薩頭頂較易脫落之髮髻配件取下，於加固完成後再個別包裝收存，避免搬運過程中鬆脫掉落。（圖6）此外文物雖有多處彩繪層已完全消失，僅露出木材胎體，但於下方裙襬的紅赭色彩繪層仍有為數不少的彩繪殘留，可觀察到該區域因有較嚴重的起翹以及因黏著劑之老化，尚有許多彩繪殘片脫落的狀況。故為使暫時性加固達到較好的效果，先針對此區域進行重點式的加固（圖7），且施予四次以上重覆刷塗的動作，同時亦檢視有明顯起翹的局部區域，塗敷厚度較厚的 CDD 以避免搬運時造成脫落之可能；另外，於彩繪層殘存較少或是無明顯起翹的區域，則分別視情況進行一至二層 CDD 之處置。

此文物完成全面暫時性加固後，由運輸人員協助打包裝箱之作業，並於箱內置放調濕劑，以避免運輸過程中產生濕度變化，造成木料收縮劣化之虞。（圖8）

## 結語與建議

本次文物暫行性加固的處理，雖僅是文物研究、修護與典藏管理中的一部分，但往往是在這些微小的細節中，體現出力圖保留文物樣貌的努力。特別是這些日後可再修護的彩繪殘片，特別容易於搬運作業中掉落，一旦發生此種狀況，便難以釐清其原始之位置，進而增加日後修護上的困難度，因此更加突顯暫時性加固的重要性。另外本次以 CDD 暫時性加固後，典藏人員發現於觀音臉部煙燻區域與上半身褪色區域，CDD 揮發速度相當緩慢，與前人研究以及本次測試的數據有較大之差異，CDD 至少



圖5 以控溫加熱器熔化CDD備用 作者攝



圖6 將文物配件取下分開收存 蔡旭清攝



圖7 針對較脆弱部位進行重點式加固 蔡旭清攝



圖8 文物包裝後置入調濕劑 作者攝

有存留二至三個月以上的時間，或許後續可研究 CDD 於不同介質上的揮發速度，期可於日後施作時進行更加精確的時間控管，以利博物館於時間成本上的管理。

此外 CDD 雖可應用於多數脆弱文物的暫時性加固，但近年來 CDD 的市售價格漲幅相當驚人，自 2015 年以來，其價格已有翻倍的成長幅度，且價格一直有所變動，最高時甚至每五百克需二至三萬元臺幣不等。雖近期價格已有所趨緩，來到每五百克約六千元臺幣左右，但以暫時性加固材而言，仍為相當昂貴的材料，特別是需以 VBM 材料做為全面暫時性加固的方案時，便非每個博物館可負擔之成本。

因此未來欲以 VBM 材料進行暫時性加固時，或許可找尋其他可行的替代方案。如近年來已有相關研究欲以薄荷腦（Menthol）作為代替 CDD 的 VBM 材料，如 Sophie Rowe 於 2018 年提出薄荷腦可作為替代 CDD 的可能性。薄荷

腦具有熔點較低（約 31 至 35°C 左右）的特性，也意味著在典藏環境中有易於刷塗的可能，同時於已知的 VBM 體系中具有較佳之黏性，且每五百克僅需臺幣八百元左右，與 CDD 至少相差 7.5 倍之金額差距。但薄荷腦對人體黏膜有刺激性，且對水生生物有毒性，這些缺點使得其暫不宜大規模應用於文物保存上，或使用時須進行全面性的安全措施，未來或許可進行薄荷腦改良等研究，期可增加 VBM 材料用於暫時性加固之選擇。

本文特別感謝本院南院處林宛萱女士於本修護案中協調運輸、保險、除蟲等諸多事項，使本案能更臻順利。同時也感謝本院登錄保存處修護科同仁林永欽、蔡旭清、林燕雪、李佩珊等眾人之協助，方得使暫時性加固作業可於短時間內完成，以及感謝本案負責運輸的眾多工作人員之協助，皆為此案缺一不可的環節，筆者不勝感激。

作者任職於本院登錄保存處

---

註釋：

1. Sophie Rowe, "Second fiddle: a review of lesser-known volatile binding media in conservation," in *Subliming Surfaces: Volatile Binding Media in Heritage Conservation*, ed. C. Rozeik (Cambridge: University of Cambridge Museums, 2018), 13.
  2. 《國家環境毒物研究中心》[http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/toxfaq\\_detail\\_mobile.php?id=59](http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/toxfaq_detail_mobile.php?id=59)（檢索日期：2022 年 1 月 6 日）。
  3. Sophie Rowe and Christina Rozeik, "The Uses of Cyclododecane in Conservation," *Reviews in Conservation* 9 (2008): 17-31.
  4. Gudrun Hiby, "Das flüchtige Bindemittel Cyclododecan," *Restauro* 2 (1997): 96-103.
  5. Gudrun Hiby, "Cyclododecan als temporäre Transportsicherung: Materialeigenschaften des flüchtige Bindemittels bei Bildung Fassungs-schichten," *Restauro* 105 (1999): 358-363.
  6. Renée Stein, Jocelyn Kimmel, Michele Marincola and Friederike Klemm, "Observations on Cyclododecane as a temporary Consolidant for Stone," JAIC online, accessed December 6, 2021. [https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic39-03-004\\_4.html](https://cool.culturalheritage.org/jaic/articles/jaic39-03-004_4.html)
  7. Renée Stein, Jocelyn Kimmel, Michele Marincola and Friederike Klemm, "Observations on Cyclododecane as a temporary Consolidant for Stone."
  8. "Volatile Binding Media," AIC Wiki, accessed November 30, 2021, [https://www.conservation-wiki.com/wiki/Volatile\\_Binding\\_Media#How\\_do\\_you\\_know\\_the\\_CDD\\_is\\_gone.3F](https://www.conservation-wiki.com/wiki/Volatile_Binding_Media#How_do_you_know_the_CDD_is_gone.3F).
-

# 華 | 麗 | 魔 | 法 | 屋

故宮的洛可可珍藏

GALLERY 300 陳列室



2021.12.24

# ROCCOCO

DECORATIVE ARTS IN THE NATIONAL PALACE MUSEUM