

臺灣傳統建築彩繪木構件修護材料  
——填補材料耐候性研究初探

Conservation Material for Polychrome Wooden  
Object of Traditional Architecture in Taiwan –  
Study of Weatherability of Filling Materials

吳佩錡 | Pei-Chi Wu

朱銘美術館典藏維護部專員  
Specialist, Collection and Conservation  
Department, Juming Museum

來稿日期：2016年7月25日

通過日期：2017年8月2日

## 摘 要

本文主要探討對象為目前臺灣傳統建築彩繪木構件修護常用的兔皮膠填料、壓克力乳膠 (Plextol®D498) 填料。填料以不同的填充材，如香檳白堊土、波隆納土、高嶺土、玻璃微泡、麻纖維、纖維素粉等材料，分別與兔皮膠、Plextol®D498 混煉製成。在充分了解填充材、結合劑與填料之基本性質後，針對填料進行拉伸強度試驗、耐候性試驗與水分吸附等溫線試驗，透過破壞伸長率、拉伸強度、硬度、附著性、水分吸附等溫線等數值，評估填料的耐候性與適用性，以提供修護師選材時參考使用。

試驗結果顯示，兔皮膠填料對於濕度較為敏感，若長時間暴露在高相對濕度的環境下，除了附著度與硬度降低外，填料將受到微生物病蟲害侵擾；反觀 Plextol®D498 填料則較為穩定。本次試驗的十組填料中，以 Plextol®D498 混合玻璃微泡為最穩定之填料。

但 Plextol®D498 混合玻璃微泡並非所有修護案皆適用，修護前，仍需由修護師評估文物的基本性質、劣化狀況、保存環境條件，以及填料特質等實際狀況，進而調整甚至改變填料配方。

**關鍵詞：**彩繪木構件修護、填料、填充材、結合劑、耐候性

## Abstract

This paper focuses on different kinds of filling materials, such as calcium carbonate, calcium sulfate, kaolin, glass bubbles, hemp, cellulose powder etc., which can be mixed with rabbit skin glue and acrylic dispersion (Plextol<sup>®</sup>D498). Those fillers are commonly used for polychrome wooden objects conservation of temples in Taiwan. After understanding the characteristics of filler and binding media and doing ageing test, tensile strength test, and moisture adsorption isotherms, the data could serve as a reference for choosing conservation materials.

The result shows that the effect caused by high relative humidity is stronger than high temperature, especially the filler mixed with rabbit skin glue. Exposed to high humidity environment for long term, the adhesion, its hardness would be decreased, and would attract insect and cause mildew growth. The filler mixed with Plextol<sup>®</sup>D498 is more stable after ageing test. Among ten fillers, Plextol<sup>®</sup>D498 mixed with glass bubbles is the most stable one.

However, Plextol<sup>®</sup>D498 mixed with glass bubbles does not suit each cases, it is not absolutely perfect. Choosing suitable filler for conservation, it still needs conservator to evaluate essential properties, degradation of objects, storage environment, and the filler's characteristics and other realistic conditions to make a suitable filler prescription.

**Keywords: Conservation material for polychrome wooden object, Filler, Filling material, Binding media, Weatherability**

## 一、前言

臺灣傳統建築林立，其中的木質構件，經匠師之彩繪裝飾，多彩絢麗，諸如門神、瓜筒、斗拱以及通樑等。位於最外層的彩繪層自然成爲引人注目的焦點，卻忽略了其下提供良好基理的地仗層。地仗層之於彩繪層，正如填料之於全色材料，彼此相互影響。當地仗層或填料穩定性不夠時，便會導致彩繪層、全色層產生劣化狀況。

基於改善與保存之目的，學者從歐美國家引進文物保護學術理念，並將國外研發之修護媒材一併帶入臺灣。雖然進口修護材料已通過國外測試，但由於文物、環境等背景條件不同，故在選擇修護材料時須斟酌材料特性、環境情況以及操作測試。近年來國內已有數間廟宇陸續進行並完成修護工作，但仔細觀察，修護填補區仍有出現細裂紋、填料與木基底分離等狀況。

臺灣修護領域近年來開始探討彩繪木構件修護材料耐久性之議題，目的在於確認材料在本地亞熱帶氣候環境下之適用性。例如，張銘宏〈臺灣廟宇彩繪修護材料—壓克力乳膠耐候性研究初探〉<sup>1</sup>；李文元〈全色材料黏著劑耐候性研究：以臺灣開放空間彩繪木質文物為例〉<sup>2</sup>以及段至尙〈煙燻於臺灣寺廟木作彩繪保護層之影響與清潔初

---

1 張銘宏，〈臺灣廟宇彩繪修護材料——壓克力乳膠耐候性研究初探〉（臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011）。

2 李文元，〈全色材料黏著劑耐候性研究：以臺灣開放空間彩繪木質文物為例〉（臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011）。

探》<sup>3</sup>等論文。這些研究便是針對材料進行耐候性研究，並對適用性做進一步的評估。

但木質文物修護用填料之相關文獻為數不多。西元1988年Grattan和Barclay於〈木質文物裂縫填料研究〉(A study of gap-fillers for wooden objects)<sup>4</sup>中，透過實際操作、拉伸強度試驗作為填料的第一階段評比，結果顯示以環氧樹脂混合玻璃微泡、矽膠樹脂混合玻璃微泡為較易於操作的填料。之後更進一步觀察填料在不同的相對溼度下對不同樹種之木材所造成的影響，但〈木質文物裂縫填料研究〉並未以壓克力乳劑作為實驗對象。西元1997年，Mintrop所發表的〈木質文物填料之永久彈性——應用於高度收縮膨脹的裂縫與接合處〉(Dauerelastische Kittmaterialien für Holzobjekte zur Verwendung in durch Quellung und Schwindung stark beanspruchten Rissen und Fugen)<sup>5</sup>分別討論了壓克力乳劑(Plextol® B500)和環氧樹脂混合多種填充材製成的填料之差異性與合適性。Mintrop的研究提供了黏著劑與填充材適當的比例關係。

---

3 段至尚，〈煙燻於臺灣寺廟木作彩繪保護層之影響與清潔初探〉(臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011)。

4 David W. Grattan and Robert L. Barclay, "A study of gap-fillers for wooden objects," *Studies in Conservation* 33, no. 2 (1988): 71-86.

5 Beerhard Mintrop, *Dauerelastische Kittmaterialien für Holzobjekte zur Verwendung in durch Quellung und Schwindung stark beanspruchten Rissen und Fugen*, Diplomarbeit. Der Fachhochschule Köln, 1997.

## 二、填 料

填料 (Filler) 係指混合結合劑 (Binding media) 與填充材 (Filler material) 之複合性高分子材料，種類多元。結合劑與填充材的種類不同，混合出來的填料特質也不盡相同。此外，結合劑與填充材的混合比例亦會影響填料特性。結合劑主要影響填料之玻璃轉移溫度、彈性、可逆性、附著度等性質；填充材則可改變填料的硬度、收縮膨脹度、彈性、吸濕性等特性。因此，欲了解填料的特性，須對結合劑與填充材有全面性之認識。

根據文獻記載，大部分的填料配方是工藝家、匠師們的經驗配方。但由於文物的性質、劣化狀況、所處環境不同，修護填料並無一固定的配方、重量百分比，修護師通常憑藉著經驗、手感來配製。雖然可以從文獻中找到一些已經被工藝家以技術、美學觀點研選出適合被使用的填料配方，但這些配方並非適用於所有修護案例。

文物修護後須要面對環境中溫濕度的變化、紫外線曝照、生物病蟲害、汙染物等外在劣化因子的考驗。若能事先了解劣化因子、導致文物、修護材料劣化的原因，將有助於修護師材料篩選，藉由填料有效地保護木質基底層，同時亦提供合適全色基理。

### (一) 填料性質與使用

在西洋修護發展的洪流中，最初修護依附在藝術創作之下，修護是藝術家與匠師的主要服務項目之一。當時使用的材料通常與原材料相同或近似，選擇填料時基本上是按文物材質而定，例如，木粉常被用來作為木質文物的填充材，而石膏底 (Gesso) 作為打底劑的木質彩繪文物、油畫等則使用石膏底做為填料。

西元 18 世紀以後，科技發展更為快速，大量的結合劑與填充材如雨後春筍般產出。自然科學在 19 世紀發展的更加的完善，文物保護也開始著手各種媒材的探討，並將不同的媒材引用到各類修護中，加以分析研究，進而歸納出版。現今科技發達、資訊傳播方便、迅速，修護師們可以無障礙的快速接收到許多與材料相關的訊息；科學家們也更專注於新材料的研發以及測試原有材料的耐候性等相關研究。

近二、三十年來臺灣開始重視文物保存，引進了西方的修護理念、方法，同時也將西方的材料帶入臺灣。西元 1999 年鹿港金門館的木板彩繪修護，修護師是以免皮膠混合碳酸鈣做為填料使用；西元 2000 年，安平歐氏古宅彩繪木構件修護案開始使用 Plextol®D498 混合玻璃微泡為填料。歸納近年來臺灣相關修護報告，<sup>6</sup>可發現大部分已修護或建議使用填料為 Plextol®D498 混玻璃微泡，次之為兔皮膠填料。

---

6 下列為本文所歸納的修護計畫書與報告書：林春美，《嘉義縣第二級古蹟新港水仙宮壁畫與三川殿木構件彩繪調查研究與修復計畫期末報告書》（嘉義：嘉義縣文化觀光局，2006）；林春美，《臺南市第一級古蹟大天后宮壁畫調查研究與修護計畫》（臺南：臺南市政府，2007）；林春美，《國定古蹟鹿港龍山寺彩繪調查研究暨修護計畫》（彰化：彰化縣政府文化局，2009）；曾國恩建築師事務所，《臺南市第三級古蹟興濟宮與大觀音亭修護工程工作報告書》（臺南：臺南市政府，2006）；彰化縣政府文化局，《彰化縣定古蹟鹿港金門館調查研究報告書》（彰化：彰化縣政府文化局，2004）；黃韻如，《臺灣府城隍廟木枋人物彩繪修護工程施工紀錄報告書》（臺南：臺南市政府，2007）；潘岳雄，《國定古蹟臺南北極殿門神彩繪修護工程工作報告書》（臺南：臺南市政府，2009）。

## (二) 填料基本性質

填料的玻璃轉移溫度、固形分、硬度、彈性、收縮率等，皆為修護師需特別關注的填料性質，以下將個別闡述。

### 1. 玻璃轉移溫度

填料的玻璃轉移溫度 (Glass transition temperature,  $T_g$ ) 主要受結合劑的玻璃轉移溫度影響。當環境溫度低於玻璃轉移溫度時，結合劑膠體會呈現玻璃狀，硬且脆；但隨著溫度上至玻璃轉移溫度時，膠體會逐漸地具有黏彈性；但溫度若持續上升，膠體轉具流動性，甚至造成分解，圖 1 為膠體在不同溫度下的變化。

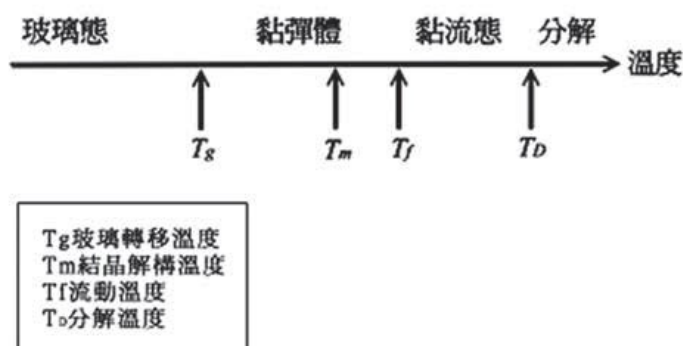


圖 1 膠在不同溫度的變化

圖片來源：徐武軍，《高分子材料導論》(臺北：五南圖書出版公司，2009)，頁 30。

修護師會針對不同文物、不同的修護目的採取不同的步驟及不同玻璃轉移溫度的材料。加固、填補時使用的材料需要選擇玻璃轉移溫度低於環境溫度的媒材，以達到黏附的功用；但塗覆在文物最外層的保護漆之玻璃轉移溫度則要高於環境溫度，以避免表面容易沾黏灰塵、髒汙。



## 2. 固形分

固形分 (Solid content, Nonvolatile content) 為結合劑、填料中所含不揮發固體成分之百分率。<sup>7</sup> 固形分越高，代表結合劑、填料在乾燥後收縮的程度越小，結構較為穩定。利用以下的方法可以求得填料的固形分：

$$W_v (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W 1 = 秤盤與樣品加熱前重量 (g)

W 2 = 秤盤與樣品加熱 100±5°C 3 hr 後重量 (g)

W v = 固形分 (%)

## 3. 硬度

J. Francis Young 等人在 2000 年指出，由於每個人對於物質的觀點有所不同，因此很難對硬度 (Hardness) 下一個明確的定義，但仍需要利用試驗方法來定性、定量測量及比較各種材料之硬度。在工業上常用之硬度，代表材料表面抗刮壓、磨損及穿透之能力。<sup>8</sup> 基本上填充材可以提高填料的硬度，而填料硬度與抗壓強度、拉伸強度成正相關係。修護所使用的填料，必須選擇硬度與周遭原始彩繪層的硬度相近或稍低者，以避免填料硬度過高擠壓到原始彩繪層，造成彩繪層的二度傷害。

7 參考自 weblio 辭書：<<http://www.weblio.jp/content/%E5%9B%BA%E5%BD%A2%E5%88%86>> (2017.7.12 點閱)

8 參考自 J. Francis Young, Sidney Mindess, Robert J. Gary, and Arnon Bentur 著，謝素蘭譯，《土木工程材料：科學與應用》(臺北：五南圖書出版公司，2000)，頁 142。

#### 4. 應力行爲

應力行爲 (Stress behavior) 係指當固體材料承受外力時產生之變形，材料若變形於一定的範圍內，外力除去後，材料將恢復至原來尺寸，此現象稱爲彈性 (Elastic)。

由於廟宇彩繪木構件處於開放空間，比起室內，環境條件變化較大，木基底較容易產生收縮、膨脹行爲，這會讓材料產生伸長或壓縮現象。若材料的延性、最大拉伸強度不足時，會導致材料產生裂痕、材料斷裂等劣化現象。

工業上會加入少量的填充材來增強塑料的拉伸強度、增加延展性，但由於修護用填料，主要目的是要填補彩繪層與基底層間的落差，故會添加大量的填充材，但大量的填充材卻會造成拉伸強度、延展性下降。

#### 5. 收縮、膨脹率

材料含水率的增減是影響材料收縮、膨脹的因素，收縮、膨脹量的大小通常以收縮、膨脹率 (Contraction rate and expansion rate) 表示。當乾燥的填料置放於相對濕度較高的環境中時會吸附大氣中的水分子，使之與外在環境達到平衡，而這些水分會進入到填料內部並存在於結合劑分子、填充材顆粒之間，導致填料內部分子間距變大而使體積變大、質量增加。反之，當環境相對濕度較填料低，填料便會釋放出水分子，此舉使填料內部分子間的距離縮小，體積與質量也跟著縮小。除了環境相對濕度外，諸如溫度、填料固化過程、填料品種、結合劑與填充材之種類、結合劑分子量大小、重量百分比等因素都會造成不同的收縮率。

收縮、膨脹率是修護師選擇填料的考慮要點之一，填料收縮率大，需反覆地針對同一區塊進行填補。此外，填料在收縮的過程中，

同時也抓附著周圍彩繪層，故填料大幅度收縮所產生的拉力可能造成彩繪層出現裂痕。

### (三) 填料耐候性與劣化因子

填料性能由填料的結構所決定，而自然環境老化特性則是由環境條件對填料結構的影響所造成的。自然老化會對填料造成物理或化學結構的改變。填料在自然環境中，會受到熱、氧、水、光、微生物、力、化學介質等環境因素的綜合影響，造成填料降解、劣化，產生諸如反黏、變硬、變色、失去強度、失去黏度等狀況。

#### 1. 光

光促使高分子材料加速老化，是高分子材料劣化、老化的主要影響因子之一。自然界的光實際上就是各種波長的太陽輻射能。太陽光譜係一連續光譜，其波長範圍一般在 150 ~ 4300 nm，可分為三個光區，分別為紫外光、可見光和紅外光，圖 2 為光譜圖。其中，紫外光輻射較有傷害力，當高分子材料吸收了紫外線，其化學鍵會斷裂分解。<sup>9</sup>

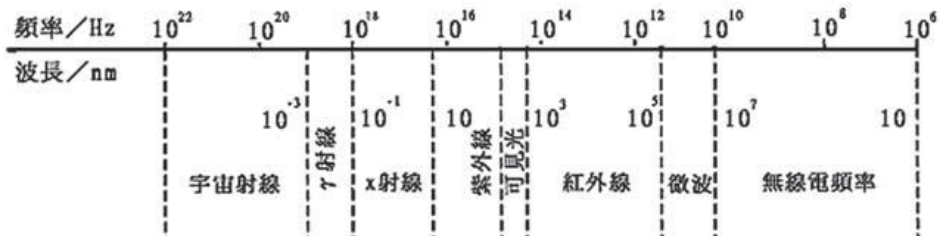


圖 2 光譜圖

圖片來源：劉劍波，《光化學》（臺北：五南圖書出版有限公司，2004），頁 11。

<sup>9</sup> 李曉剛、高瑾、張三平、杜翠薇、盧琳，《高分子環境材料自然環境老化規律與基理》（北京：科學出版社，2011），頁 12。

高分子材料在光的照射下，會先吸收與光波長相當的能量，並被激發到不穩定的電子激發態。由於氧同時存在，故光會加速高分子材料的氧化。即使光照停止，仍會有繼續氧化的現象。<sup>10</sup>

此外，光會造成高分子材料的膨潤度、溶解度下降，因為材料會產生聚合反應。另一方面，光也使高分子材料分子降解，降低了黏著劑的黏度。<sup>11</sup>

## 2. 溫度

熱會加速化學反應的速率，高分子材料劣化的速度也會提高，產生降解或交聯反應。<sup>12</sup> 膠體在降解過程中，分子質量會減少，拉伸強度及破壞伸長率降低，表面會發黏而變軟；而交聯反應則是會使分子量變大，外表變硬、脆，甚至是變成不溶性。

位於亞熱帶的臺灣，不論是臺北或是高雄，夏季均溫皆有到達 28 ~ 29°C。從中央氣象局的氣溫記錄中，可以觀察到臺北站曾經觀測到的最高氣溫是 38.8°C，而高雄站觀測到的最高氣溫 37.2°C。<sup>13</sup> 因此，在填料的選用時，臺灣氣候的變遷也須列入考量的要件。

---

10 吳茂英，〈聚合物光老化、光穩定機理與光穩定劑（上）〉，《高分子通報》4（2006），頁 76-83。

11 李曉剛、高瑾、張三平、杜翠薇、盧琳，《高分子環境材料自然環境老化規律與基理》，頁 12。

12 李曉剛、高瑾、張三平、杜翠薇、盧琳，《高分子環境材料自然環境老化規律與基理》，頁 13。

13 中央氣象局全球資訊網：〈<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>〉（2012.7.12 點閱）

### 3. 相對溼度

相對濕度 (Relative humidity, RH)，即空氣中實際所含水蒸汽密度和同溫度下飽和水蒸汽密度的百分比。相對溼度越大，水氣越容易凝結。

當相對濕度過高時，濕氣會附著在物質表面上凝結成露，若高分子材料存在親水基團或水溶性物質，水分會被吸附並滲透到材料內層，並在內層形成水珠，材料的物理和力學等性能因而降低，甚至導致材料結構損害。另外，潮濕也容易引發微生物的生長，造成生物劣化過程。自然降水如下雨或人為不當的清洗，水直接潑灑在高分子材料更是加速老化、劣化的嚴重要素。<sup>14</sup>

雖然 Marcel Visscher 與 Rob van der Linda 等人的研究顯示相對濕度對乳膠乾燥成膜的影響不大，<sup>15</sup> 但 William C. Feist、James K. Little 等人研究發現，為防止水氣進入木頭而塗覆的保護層也只能短時間有效阻隔，若長時間暴露在高相對濕度環境下，保護層會失去保護作用。<sup>16</sup>

- 
- 14 李曉剛、高瑾、張三平、杜翠薇、盧琳，〈《高分子環境材料自然環境老化規律與基理》〉，頁 14。
- 15 Marcel Visscher, Rob van der Linda 與 Bian Ming-Zhe，〈聚合物乳液的成膜〉，《江蘇建材》1 (2002)，頁 6-10。
- 16 參考自 William Carballa Feist, James Kreder Little, and Jill Marie Wennesheimer, *The Moisture-Excluding Effectiveness of Finishes on Wood Surface* (Madison: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1986), <<https://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/index.php>> (2012.6.12 點閱)

#### 4. 微生物病蟲害

當高分子材料表面遭黴菌等微生物孳生，除嚴重影響高分子材料外表的顏色、光澤等外，亦有可能導致高分子材料的機械強度降低，甚至破壞高分子材料的組分、結構，引起老化。微生物病蟲害，不但會影響高分子材料的使用性能，而且其分泌物可能會造成高分子材料發生降解反應。<sup>17</sup>

中央氣象局資料統計，從 1981 ~ 2010 年的全台年平均溫度 21.52°C，最高溫為更到達 38.4°C；年平均相對溫度 79.83%RH，最高相對濕度為 92%RH。這樣的高溫高濕環境有助於黴菌、白蟻或生物的滋長，除了彩繪木構件需要面臨黴腐、蟲蛀等威脅外，修護上亦得避免使用容易招引蟲食、長黴等生物病蟲害的材料。

#### 5. 汙染物

空氣汙染物包含了氣態汙染物、懸浮微粒、二次汙染物、大氣氣溶膠等。都會區空氣汙染物的產生主要來自於人爲的「一次汙染物」，如氮氧化合物、一氧化碳及揮發性有機氣體等。當氣態汙染物進入大氣後，在經過太陽輻射所啓動的光化學反應，就會生成「二次汙染物」——臭氧。這些汙染物對於不僅對於人體有害，對於古蹟、文物皆會造成不同程度的損壞。<sup>18</sup>

---

17 李曉剛、高瑾、張三平、杜翠薇、盧琳，《高分子環境材料自然環境老化規律與基理》，頁 14。

18 臺灣大百科全書：<http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=3342> (2012.7.12 點閱)

酸雨也是致使文物劣化的原因之一。1980 年代後期以來，已將「酸雨」定義為受到人為酸性汙染物影響造成的雨水，pH 值在 5.0 以下。因此臺灣環保署定義「酸雨」為 pH 值達 5.0 以下的雨水。酸雨的化學組成，以硝酸鹽以及二氧化硫為主要的致酸物質，是由氮氧化物與硫氧化物轉化而來。硝酸鹽與化石燃料使用、火力電廠、含硫有機物燃燒有關；二氧化硫主要源自工廠高溫燃燒過程，交通工具排放等，<sup>19</sup> 而二氧化硫與二氧化氮是造成塗料裂解的重要因素。劉正字與黃金城指出酸雨對於經塗裝處理後的材面，至少會產生兩種破壞：塗料的裂解、基底材的降解。<sup>20</sup>

## 6. 應力因素

高分子材料製品大多數在應力的狀態下使用，但由於高分子材料結構及其應力分布不均勻，多次受力、變形疲勞後，機械應力就會嚴重破壞高分子材料的分子結構。此外，填料本身在固化過程中，填料或基底材的尺寸產生了變化，會導致填料產生裂痕。當基底材收縮、膨脹的應力大過於填料本身的拉伸強度時，填料便會產生龜裂。但填料的拉伸強度仍不應大於基底材料之伸縮應力，否則將損害文物之彩繪層或基底層。

---

19 臺灣酸雨資訊網：〈<http://acidrain.epa.gov.tw/understand/01.htm>〉（2012.7.12 點閱）

20 劉正字、黃金城，〈桐油製造油變性胺基醇酸樹脂塗料之研究〉，《中華林學季刊》22：2（1989），頁 41-66。

## 二、結合劑與填充材

填料是由填充材與結合劑組構而成的高分子複合材料，其特性取決於填充材與結合劑。充分了解這兩大要素的材料特質，有助於修護師為文物調配出適切的填料。

### (一) 結合劑概述

結合劑是指具有結合力的高分子化合物，用途十分廣泛。依組成成分化學性質的不同，可將結合劑分為三類：天然有機結合劑 (Natural organics binding media)、合成有機聚合物 (Synthetic organic polymers) 及無機結合劑 (Inorganic binding media)。<sup>21</sup> 本研究中使用到的結合劑為兔皮膠與 Plextol®D498，分別隸屬於天然有機結合劑—動物膠和合成有機結合劑—壓克力乳膠。

#### 1. 動物膠

巴特雷 (A. Barthelet) 曾指出，動物膠是所有結合劑中最容易取得且最好使用的材料。<sup>22</sup> 動物膠，種類多樣，多是由動物皮、骨、結締組織或魚鰔中的膠原蛋白水解形成之天然有機蛋白質類結合

---

21 Ulrich Weilhammer, *Binding Media and Adhesives* (Unpublished handout of Tainan National University of the Arts, Graduated Institute of the Conservation of Cultural Relics, 2004), 1-4.

22 A. Barthelet, *The Works of Art and Bric-a-Brac Doctor* (Philadelphia: privately published by author, 1884), 15-30.



劑，<sup>23</sup> 例如兔皮膠、鱈魚膠。動物膠使用歷史悠久，具有取得容易、操作簡單、具可移除性等優點，至目前仍被持續使用中。

### (1) 物理化學性質

蛋白質分子結構具有彈性且可運動，其活動性會隨著溫度上升而提升。由此可見，溫度對蛋白質或酵素的活性有很大的影響，但若過熱或酸鹼值太高、太低、界面活性劑、劇烈震盪等因素下，蛋白質則會受到破壞而變性。<sup>24</sup>

動物膠是具高分子量且硬度、抗拉張強度等物理機械性質強的物質。若以溫水加熱可使動物膠分子水解；膠體在密閉常溫下呈凝膠狀，若於通風常溫下則會乾燥形成薄膜。從凝膠到薄膜，動物膠的收縮率極大。<sup>25</sup>

### (2) 溶解性質

動物膠不溶於冷水，但其配置程序卻需先以冷水浸泡顆粒狀的動物膠，靜置一夜，待動物膠吸水膨脹成凝膠狀後，隔水加熱，將固態膠溶解成液態膠。動物膠可溶解於 30 ~ 50°C 的溫水中，但若加熱溫度超過 60°C，動物膠分子與分子間的氫鍵將會被打斷，導致黏著力下降。

---

23 天然有機黏著劑可再分成蠟 (Wax)、蛋白質類 (Proteins)、碳水化合物類 (Carbohydrates)、乾性油 (Dry Oil) 以及天然樹脂類 (Natural Resins)。

24 生物化學基礎，蛋白質：<http://juang.bst.ntu.edu.tw/BCbasics/index.htm> (2012.5.11 點閱)；以及 Shayne Rivers and Nick Umney, *Conservation of Furniture* (Oxford: Butterworth Heinemann, 2010), 169.

25 Charles Velson Horie, *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings* (London: Butterworth Heinemann, 2010), 142-143.

### (3) 修護應用

動物膠用途廣泛，可作為多種媒材的結合劑、黏著劑，例如：動物膠與麵粉糊可做為重裱畫布以及其他織品時所使用的黏著劑；作為彩繪文物加固用的黏著劑時，動物膠可以使起甲的彩繪層再度固定於基底層上，此外當須將彩繪層與基底層分離、轉移時，動物膠可暫時加固、保護彩繪層。

## 2. 壓克力乳膠

Henry 指出壓克力乳膠係由單體、界面活性劑、起始劑、水與相關添加物藉乳化聚合反應而生成。<sup>26</sup> 所謂的聚合物 (Polymer) 是由一些簡單的單體 (Monomers) 重複排列、建構而成，而這個合成過程稱為「聚合作用」(Polymerization)。

壓克力乳膠主要是由單體結構是丙烯酸 (Acrylic acids) 與甲基丙烯酸 (Methacrylic acids) 兩單體乳化聚合而成，單體聚合後，加入氨水或胺類中和，丙烯酸與甲基丙烯酸的結構如圖 3、圖 4。而壓克力水分散液是利用水作為分散介質並以丙烯酸樹脂為分散相，其外觀呈乳白狀液體，乾燥後轉為透明。<sup>27</sup> 西元 1950 年起壓克力乳膠逐漸盛行，至今仍被大量頻繁地被使用於修護領域。常見的壓克力乳膠產品有 Paraloid®、Plextol® 等系列產品，可作為顏料、凡尼斯、黏著劑、上漿劑等。

---

26 Henry Walter, "Sizing/Resizing," *Conservation Online*: <[http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/17\\_sizing-resizing.pdf](http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/17_sizing-resizing.pdf)> (2012.5.31 點閱)

27 陳劉旺,《工業塗料與高分子化學》(臺北:高立圖書有限公司,1997),頁196。

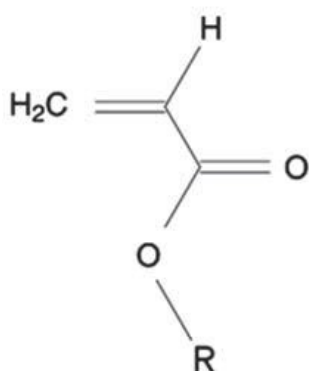


圖 3 丙烯酸酯類單體架構

圖片來源：張銘宏，〈臺灣廟宇彩繪修復材料——壓克力乳膠耐久性研究初探〉（臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011），頁 13。

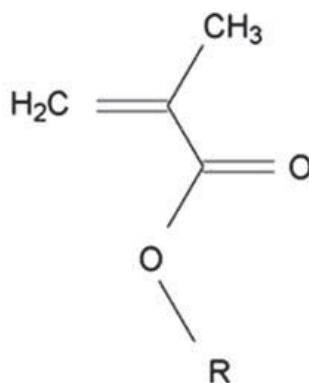


圖 4 甲基丙烯酸酯類單體架構

圖片來源：張銘宏，〈臺灣廟宇彩繪修復材料——壓克力乳膠耐久性研究初探〉（臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011），頁 13。

### (1) 物理化學性質

由於壓克力乳膠類結合劑固形份較高，故乾燥所造成的收縮率相對也比較低。Horie 曾指出，當溫度高於或接近玻璃轉移溫度時，乳膠極易產生交聯作用（Cross linking）。<sup>28</sup> 壓克力乳膠的玻璃轉移溫度是受分子結構中的側基影響，當碳鏈的旋轉範圍降低時，玻璃轉移溫度就會上升；反之碳鏈可旋轉範圍提高，玻璃轉移溫度便會下降。<sup>29</sup>

28 Charles Velson Horie, *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*, 103.

29 徐武軍，〈高分子材料導論〉（臺北：五南圖書出版股份有限公司，2004），頁 39-40。

此外，不同乳膠產品，因為添加劑等材料不同，故酸鹼值也有所差異。加拿大保存修護研究所（Canadian Conservation Institute）研究發現，乳膠的 pH 值會在乾固後下降。原因為乳膠在製作過程中添加氨水作為抑菌劑，氨水使乳膠的 pH 值上升。當膠體乾燥、氨水揮發後，pH 值便會下降。<sup>30</sup>

### (2) 溶解性質

壓克力乳膠類結合劑的稀釋劑為水，但當在膠體乾固後，則需要酒精、丙酮、芳香烴、酮類、醇類以及乙二醇等溶解參數相近的有機溶劑作為清潔溶劑；水僅能使膠體膨脹，並無法與膠體產生化學反應。乳膠乾燥後，界面活性劑仍會殘留於乳膠內，使得乳膠對水與濕氣敏感而產生吸濕作用。<sup>31</sup>

### (3) 修護應用

壓克力乳膠黃化的問題比 PVAc 輕微，因此逐漸的取代了 PVAc。有人將之使用於骨質文物、壁畫以及紙張的修護，作為黏著劑、加固劑。Plextol®B500 是西方常用的壓克力乳膠，使用範圍廣泛，

---

30 Walter Smith, et al. "Adhesive," *Paper Conservation Catalog* (Washington D.C.: American Institute for Conservation Book and Paper Group, 1989), <[http://cool-aic.stanford.edu/sg/bpg/pcc/46\\_sizing-resizing.pdf](http://cool-aic.stanford.edu/sg/bpg/pcc/46_sizing-resizing.pdf)> (2012.6.4 點閱)

31 張銘宏，〈臺灣廟宇彩繪修護材料——壓克力乳膠耐久性研究初探〉，頁 35。

可作為畫布重裱用的黏著劑、貼金黏著劑。<sup>32</sup> 此外，壓克力乳膠亦可作為顏料的結合劑、織品、木質文物等的黏著劑等。

## （二）填充材概述

填充材，是與結合劑混合的固體物質，種類繁多。若以屬性分類，可分為有機與無機類。其中，常用於修護領域的有機類填充材有：麻等植物性纖維、木粉等；無機類：則有石灰、高嶺土、碳酸鈣、硫酸鈣、玻璃微泡等。若以微觀的方式觀察填充材的顆粒形狀，可以發現不同類型填充材的形狀各有千秋，大致上可以分為立方狀、球狀、針狀、不規則狀等。填充材不同的物理、化學性質影響了之後填料的顏色、紋理等外觀特質以及物理性特質，如彈性、重量、硬度等。以下將分別介紹常用於國內、外彩繪木質文物常用的填充材料。

### 1. 高嶺土

高嶺土（Kaolin），聚合物中常用的無機礦物填料之一，色白或夾雜各種色調，屬黏土類岩石。高嶺土可劃分為硬質高嶺土、軟質高嶺土和砂質高嶺土三種類型，類型不同其質量、可塑性和砂質含量也不同。

---

32 由於具有可移除性，又可以製造出光澤感，Sawicki 推薦使用此乳膠作為油畫框重新貼金的黏著劑。參考自 Malgorzata Sawicki, "Research into non-traditional gilding techniques as a substitute for traditional matte water-gilding method," *13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro: ICOM Committee for Conservation, Triennial meeting, 13th, Rio de Janeiro, Brazil, 22 - 27 September 2002*. Edited by Roy Vontobel, James and James, 2002, 524-532.

### (1) 物理與化學性質

高嶺土為層狀矽酸鹽礦物，分子式為： $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ ，由二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）、三氧化二鋁（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）和水（ $\text{H}_2\text{O}$ ）組成。晶層間通過氫鍵緊密連接，故高嶺土的分散度較低，性能較穩定。<sup>33</sup> 高嶺土主要由小於  $2\mu\text{m}$  的微小片狀，或管狀高齡石族礦物晶體組成，其顆粒大小，對可塑性、黏度、成型性能、乾燥性能、燒成性能等皆有很大影響。<sup>34</sup>

高嶺土極易吸附水氣，在潮濕的狀態下，土壤結晶會膨脹；當水蒸發後就會恢復到原本的樣子，如圖 5 所示。<sup>35</sup> 在潮濕的狀態下，高嶺土具有可塑性；乾燥後高嶺土便會固定變型後的形狀。片狀結晶以及潮濕的分子團極易滑動、塑型，但乾燥的高嶺土反而會變得易碎。

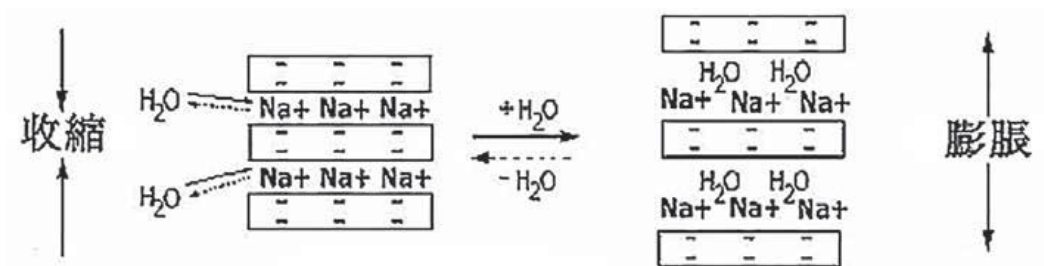


圖 5 高嶺土的膨脹與收縮

圖片來源：Giorgio Torraca, *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation* (Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2009), 40.

33 高嶺土層之間距僅  $0.72\text{nm}$ 。參考自鄧璋，〈高嶺土表面修飾及其在聚丙烯煙中的應用研究〉（湖北：武漢理工大學材料學系碩士論文，2010），頁 1。

34 朱粉利、周漢文，〈高嶺土在材料學方面的應用〉，《礦產保護與利用》1（2004），頁 22-26。

35 Giorgio Torraca, *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation* (Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2009), 40.

## (2) 修護與應用

高嶺土作為填充材，加入乳膠混合物中，高嶺土與乳膠的有機大分子結合，產生交聯，交聯點可以分散應力，提高乳膠製品的機械強度，增強耐磨性和化學穩定性、改變乳膠的流變性等。再者，高嶺土具有化學惰性、高的覆蓋能力、理想的流動性和懸浮性、成本低、色白等特性，所以也是顏料、油漆中做為色粉的替代物，以減少昂貴染料的需要量。<sup>36</sup> 造紙亦以高嶺土做為填料、表面塗佈用的顏料，添加高嶺土使紙張的覆蓋性、白度、光澤度、平滑度提高。此外，高嶺土也是修護用填充材之一，常用於木質文物、陶瓷等文物。

## 2. 碳酸鈣

碳酸鈣 (Calcium carbonate)，化學式為  $\text{CaCO}_3$ ，是天然石灰石、大理石、方解石和白堊土等的主要成分，無論在工業或修護領域皆為常用的填充材之一。<sup>37</sup>

### (1) 物理與化學性質

碳酸鈣係屬多晶體型，晶型多樣。白堊、石灰石、大理石是碳酸鈣的主要原礦。碳酸鈣的結晶形狀多樣，如針狀、菱形、球形、鏈狀等，形狀不同，用途也不同。如球狀碳酸鈣適用於造紙填料、立方狀碳酸鈣、針狀的人工合成碳酸鈣則用來提升橡膠、塑膠的強度。<sup>38</sup>

36 朱粉利、周漢文，〈高嶺土在材料學方面的應用〉，頁 23-24。

37 楊明山，〈聚丙烯改性及配方〉（北京：化學工業出版社，2009），頁 128。

38 陳銀霞、趙改青、王曉波，〈聚合物控制碳酸鈣晶形、形貌的研究〉，《化學進展》21：8（2009），頁 1620。

天然碳酸鈣類礦石為多由海洋生物遺骸堆積而成，屬無機類填充材。碳酸鈣的穩定性佳，露置於一般環境中並不會有反應。碳酸鈣化學反應如下：<sup>39</sup>

1.  $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{CaO} + \text{CO}_2$ ：將碳酸鈣加熱至  $850^\circ\text{C}$  左右，便會分解並生成二氧化碳和氧化鈣。
2.  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ ：氧化鈣遇水生成氫氧化鈣。
3.  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ：二氧化碳通入氫氧化鈣後可得沉澱的碳酸鈣。
4.  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ：碳酸鈣溶於含有二氧化碳的水中，生成碳酸氫鈣。
5.  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ：碳酸鈣溶於鹽酸、硫酸等酸性溶劑中並會釋出二氧化碳。

## (2) 修護與應用

碳酸鈣是價格便宜的填料之一，無毒、無刺激性、無氣味；色白，折射率與許多增塑劑、樹脂的相近，對填充塑料的著色干擾極小，<sup>40</sup> 故可作為填料廣泛應用在傳統產業上，如造紙、塑／橡膠、塗／顏料。而在修護領域上，常用於建築、雕像、油畫之填補。

39 化學式參考自〈生活中的碳酸鈣——探究碳酸鈣的性質〉：<http://wenku.baidu.com/view/f14a7b3a87c24028915fc3d5.html> (2012.9.12 點閱)

40 楊明山，《聚丙烯改性及配方》，頁 123。



### 3. 硫酸鈣

硫酸鈣 (Calcium sulfate)，俗稱石膏，西方又稱之為 Gypsum plaster 或 Plaster of Paris。在自然界中以斜方晶系無水硬石膏 ( $\text{CaSO}_4$ ) 及單斜晶系的二水合硫酸鈣 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 兩種方式存在。

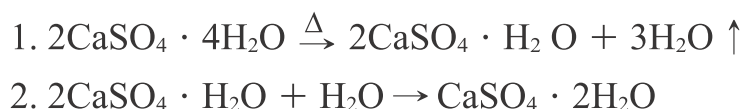
#### (1) 物理與化學性質

石膏為單斜晶系礦物，其晶體結構是由硫酸鹽與鈣透過水分子連結而成的結構。晶體可呈板狀、粒狀、針狀等圖 6 為硫酸鈣為白色半透明的針狀晶體。



圖 6 硫酸鈣針狀結晶 (100x)，筆者自攝。

常見的硫酸鈣類型有三種：無水型硫酸鈣 / 硬石膏 (Anhydrite)、二水型硫酸鈣 / 生石膏 (Calcium sulfate dihydrate, Gypsum) 以及半水型硫酸鈣 / 熟石膏 (Calcium sulfate hemihydrate, Plaster of Paris)，這三種型態的硫酸鈣之間的關係可以透過以下的化學式呈現：



化學式 1 爲二水型硫酸鈣受熱約  $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$  後，礦石內的水分部分蒸散，進而形成半水型硫酸鈣。<sup>41</sup> 化學式 2 則是在表示半水型硫酸鈣在吸收水分後，可以再恢復成二水型硫酸鈣。兩組化學式是可以循環的。

硫酸鈣略溶於水，在遇水、吸水後，針狀晶體會迅速成長，並集結成平面，水分子會存在於這些晶體間的空隙中，溫度在水合作用時升高，水分會蒸發，在固體內留下許多小小的孔洞。硫酸鈣的乾燥速度快、收縮膨脹度小，但不論是在潮濕環境中或乾燥固化後的硫酸鈣的機械性強度會變弱。

## (2) 修護與應用

無水硫酸鈣，是紙張常用的填充材，也常被用在乾壁畫、義大利和地中海地區的藝術家以此作爲油畫、彩繪木質文物等的打底層。成爲這些地區的主要材料之原因，不僅是因爲方便取得、便宜，更是因爲經過煅燒，使其質地較輕軟且具滲透性，易於研磨之特質。<sup>42</sup>

半水硫酸鈣，在修護應用上，一開始是被用來修補戶外的石質文物，<sup>43</sup> 之後也常見於彩繪木質文物、油畫的填補。石膏底，蛋彩畫、油畫等其他彩繪材料中常用的打底材，指的便是二水硫酸鈣。

---

41 半水型硫酸鈣又可以細分成  $\alpha$  型半水硫酸鈣與  $\beta$  型半水硫酸鈣，兩者差異在於烘烤的時間不同。 $\alpha$  型半水硫酸鈣的烘烤時間較  $\beta$  型久，也因為烘烤時間不同導致顆粒平均粒徑不同。 $\alpha$  型半水硫酸鈣是由比表面積較小，平均粒徑較大之晶體組成， $\beta$  型半水硫酸鈣是由比表面積較大，平均粒徑較小之晶體組成。

42 Rutherford John Gettens and Mary Mrose, "Calcium Sulphate Minerals in the Grounds of Italian Painting," *Studies in Conservation* 1, no. 4 (1954): 175.

43 當半水石膏從巴黎引進義大利時，並未用作彩繪文物打底層，而是做爲修補室外石質文物用的填料。參考自 Rutherford John Gettens and Mary Mrose, "Calcium Sulphate Minerals in the Grounds of Italian Painting," 174.

#### 4. 玻璃微泡

玻璃微泡是一種中空的玻璃體微粒材料，主要成分為三氧化二鋁（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）、氧化硼（ $\text{B}_2\text{O}_3$ ）和二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）。玻璃微泡種類繁多，大體上玻璃微泡，包含了空心、實體兩種形式。由於玻璃微泡呈球狀、具高填充性、化學穩定性等特性，而被引用至修護領域，將之做為填充材。

##### (1) 物理與化學性質

玻璃微泡屬於鈉鈣硼矽酸鹽玻璃（Soda-lime-borosilicate glass），含有硼的氧化物，這種硼玻璃中有部分二氧化矽（ $\text{SiO}_2$ ）四面體被氧化硼（ $\text{BO}_3$ ）取代。而三氧化二鋁的硬度高、化學穩定性良好，<sup>44</sup> 不僅改善了玻璃的化學穩定性、提高玻璃的機械性強度，同時亦增加了玻璃彈性模量係數，但玻璃結構也因而複雜了許多。<sup>45</sup> 玻璃微泡因為含有大量的二氧化矽，故具有高穩定性，耐高溫、酸鹼之性質。<sup>46</sup>

##### (2) 修護與應用

在修護領域中，玻璃微泡常與各種結合劑混合（如環氧樹脂、壓克力乳膠、矽膠等）而成複合材料，作為劣化的木質文物、大理石文物等之填充料。

---

44 田英良、程金樹、張磊、梁新輝、孫詩兵，〈超薄鋁矽酸鹽玻璃生產關鍵技術探討〉，《玻璃與搪瓷》39：1（2011），頁 22-26。

45 Barbara Becket, *Fillers inorganic material* (Unpublished handout of Tainan National University of the Arts, Graduated Institute of the Conservation of Cultural Relics, 2010), 31.

46 于曉杰，〈無鹼鋁硼矽酸鹽玻璃的研究〉（廣東：濟南大學材料學系碩士論文，2008），頁 6。

## 5. 麻纖維

「麻」是各種不同麻類植物的總稱，例如大麻、亞麻、苧麻等，而用於建築灰漿填加的麻纖維皆概括以「麻絨」、「麻絮」稱之。由於麻纖維價廉質輕並且具有高強度、耐磨擦等特質，故麻纖維常被用來增強複合性材料之強度。

### (1) 物理與化學性質

麻纖維取自於植物之韌皮部纖維或維管束纖維。<sup>47</sup> 構成麻纖維的主要成分為纖維素，再者為半纖維素、果膠物質、木質素等。纖維素是 D-吡喃葡萄糖酐彼此以  $\beta(1-4)$  苷鍵連結，或可以解釋成是由數個聚合的 D-葡萄糖酐（即失水葡萄糖）連結而成的線形高分子，可寫成通式  $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。

麻纖維為親水性材料，故吸濕性高、透氣性能佳。此外，麻纖維的伸長率較低、強度高，但這些力學特質會因為植體生長條件、纖維抽取部位、栽種時間不同而有所改變。<sup>48</sup>

### (2) 修護與應用

麻是人類最早使用的紡織原料之一，由於質輕、強度足夠，故在工業領域中常被用為補強材料；在建築方面，麻絨、稻殼等被用作為

---

47 韌皮纖維有苧麻 (*Boehmeria nivea*, Ramie)、亞麻 (*Linum usitatissimum* L., Flax)、黃麻 (*Corchorus capsularis* L., Jute)、大麻 (*Cannabis sativa* L., Hemp) 等；維管束纖維則有劍麻 (*Agave sisalana*, Sisal)、洋麻 (*Hibiscus cannabinus* L., Kenfa) 等。維管束纖維因細胞壁木質化，故比韌皮纖維粗硬。

48 苧麻一年可收成三次，分為頭麻、二麻、三麻。每次收成的品質皆不同，頭麻最細、二麻最粗。中國織檢：[http://www.prt dyeing.org.tw/tech/index.php?parent\\_id=108](http://www.prt dyeing.org.tw/tech/index.php?parent_id=108) (2012.5.30 點閱)

增強壁面強度的元素。此外，填料混麻或其他纖維常可見於壁畫、建築修護上，利用麻絨來作為補強木板和壁面塗層間的附著力。

## 6. 纖維素粉

纖維素 (Cellulose)，為纖維素之產物，植物細胞壁的主要成分，是由葡萄糖組成的大分子多醣體。

### (1) 物理與化學性質

碳水化合物構成的葡萄糖單體，數個單體串聯組成纖維素，屬線性高分子化合物。由於纖維素分子結構中含有大量的羥基，易形成複雜的分子，而分子間以氫鍵相互鍵結，故造成纖維素具吸濕性，但不溶于水與乙醇、乙醚等有機溶劑之特性中。<sup>49</sup> 纖維素質輕、表面積大且具分散性，能均勻分散在水中，具有一定的吸水、增稠能力，形成凝膠狀物質，因此可作為增稠劑亦或是與其他的填充材、結合劑相混，增加填料的強度。

### (2) 修護與應用

纖維素粉用途廣泛，在修護領域大量被使用。例如，壁畫清潔，可添加纖維素粉於清潔溶劑中，做為增稠劑使用、在紙質修護上會將之作為隱補破洞的填充材使用、木質文物彩繪層加固亦使用人工合成纖維素做為黏著劑、暫時性加固劑。但本試驗添加纖維素粉之目的同麻纖維，為增強填料的強度、降低裂痕的產生等。

---

49 程鋒偉，〈一種新型溶劑的製備及其對纖維素溶解性能研究〉（上海：東華大學紡織材料與紡織品設計系碩士論文，2007），頁 12-29。

### 三、試驗材料與方法

本試驗分爲兩階段：第一階段透過拉伸試驗來確定以往來被確立的填充材與結合劑之比例。第二階段爲耐候性試驗，透過冷熱循環、濕老化，進一步分析溫度、濕度對於各種填充配方的影響。此外，亦可觀測不同濕度下填充料的吸水性、膨脹性。

#### (一) 試驗材料

本試驗主要選取目前臺灣廟宇彩繪木構件修護常用的結合劑、填充材作爲試驗對象。結合劑爲兔皮膠以 Plectol®D498；而填充材採用高嶺土、香檳白堊土、波隆納土和玻璃微泡等四種。

##### 1. 兔皮膠 (Rabbit skin glue)

購自 Talas 公司的兔皮膠，爲黃色粉末，比重爲 1.2。將兔皮膠以水浸泡，經一夜後，隔水加熱，直至顆粒完全溶解後使用。

##### 2. Plectol®D498

Plectol®D498 是由 Polymerlatex 責任有限公司製造生產，爲丙烯酸丁酯 (Butyl acrylate, BA) 和甲基丙烯酸甲酯 (Methyl methacrylate, MMA) 的共聚物。在臺灣傳統建築彩繪木構件修護中，常用爲黏著劑、填充之結合劑、顏料結合劑使用。

##### 3. 高嶺土

高嶺土爲鋁矽酸鹽類填充材，購自鶯歌太麟化工材料行，顆粒尺寸  $2.2\mu\text{m}$ ，其顆粒形狀爲片狀。高嶺土含有矽酸鋁、氧化鎂、氧化鉀等成分。

##### 4. 香檳白堊土 (Chalk from Champagne)

由 Omya 責任有限公司出品的香檳白堊土，由天然碳酸鈣礦石

加工而成，為細緻的碳酸鈣粉末，呈不規則狀顆粒。成分含碳酸鈣、碳酸鎂、氧化鐵以及氯化氫。

### 5. 波隆納土 (Chalk from Bologna)

Deffer & Johann 責任有限公司出品的波隆納土，為硫酸鈣填充材，呈白色管狀顆粒狀。其化學成分包含大量的二水硫酸鈣，與少部分的硫酸鈣，三氧化二鋁、氧化鐵、二氧化矽以及結晶水。

### 6. Scotchlite™ Glass Bubbles S22

Scotchlite™ Glass Bubbles S22 是由 3M 公司製造生產，是微小的空心玻璃球，其主要成分為鈉鈣硼矽酸玻璃，外觀呈白色粉末狀，實際為細小球狀顆粒，無氣味，低密度。

### 7. 麻纖維 (Hemp fiber)

麻纖維購於臺南市六甲區的旭成建材行。此產品之原始纖維長  $19 \pm 1$  cm、纖維直徑為  $155.24 \pm 10 \mu\text{m}$ 。原始長度過長不宜直接混於填料中，將長度裁剪為  $2.4 \pm 1.68$  mm，以利均勻摻混。

### 8. Arbocel® BC1000

Arbocel® BC1000 纖維素粉，由 J. RETTENMAIER & SÖNER 責任有限公司開發生產，產品由紙漿經過研磨處理而成，為不溶於水的白色棉絮狀纖維，呈扁條狀結構，具有毛細管道，有良好的導水功能。<sup>50</sup> 後文將以「A」代表 Arbocel® BC1000。

---

50 高昱、宏永順、張琳，〈木質纖維在乾混砂漿中的應用研究〉，《新型建築材料》35：7（2008），頁 71-73。

## (二) 樣本配比與名稱

將等量結合劑，加入不同種類、質量的填充材。結合劑與填充材的搭配採用臺灣傳統建築彩繪木構件修護案常用配方為主要依據。試驗將利用拉伸測試機以恆定速率來測試不同配方、不同重量百分比填料之破壞伸長率以及拉伸強度。

表 1 為各材料之編號縮寫、表 2 為填充材與結合劑的配比、表 3 為纖維補強填料樣本列表。由於結合劑與填充材的性質不同，相同的重量百分比調配而成的填料濃稠度也不盡相同，故在進行試驗前，透過前置步驟找出每一組填料的填充材最大、最小添加量，以此做為各配方重量百分比之範圍，在將此範圍劃分成 4 種比例。

為區分樣本種類，將給予各樣本一編碼。樣本編號依序以結合劑、填充材的英文名稱排列，如 RK 為 兔皮膠混合高嶺土；PG 則為 Plextol®D498 混合玻璃微泡。此外，B 為波隆納土、C 為香檳白堊土、H 為未知麻纖維、A 為 Arbocel® BC1000。而水分吸附等溫線的樣本編號則於最後附上 a，表示水分吸附等溫線（Adsorption isotherms）之意，如 PG3a。

表 1 各材料之編號縮寫

材料	縮寫
兔皮膠	R
Plextol®D498	P
高嶺土	K
香檳白堊土	C
波隆納土	B



材料	縮寫
Scotchlite™ Glass Bubbles S22	G
麻纖維	H
Arbocel® BC1000	A
高嶺土 + 香檳白堊土 + 波隆納土	M

表格製作：吳佩錡

**表 2 填充材與結合劑的配比**

項目	重量百分比	樣本編號
7% 兔皮膠：高嶺土	1 : 0.25	RK1
	1 : 0.5	RK2
	1 : 1	RK3
	1 : 1.1	RK4
7% 兔皮膠：波隆納土	1 : 0.5	RB1
	1 : 1	RB2
	1 : 1.5	RB3
	1 : 2	RB4
7% 兔皮膠：香檳白堊土	1 : 1	RC1
	1 : 1.5	RC2
	1 : 2	RC3

項目	重量百分比	樣本編號
	1 : 2.75	RC4
7% 兔皮膠 : (高嶺土 + 波隆納土 + 香檳白堊土) <sup>51</sup>	1 : 0.5	RM1
	1 : 1	RM2
	1 : 1.5	RM3
	1 : 2	RM4
Plextol®D498 : 高嶺土	1 : 0.4	PK1
	1 : 0.44	PK2
	1 : 0.5	PK3
	1 : 1	PK4
Plextol®D498 : 玻璃微泡	1 : 0.33	PG1
	1 : 0.4	PG2
	1 : 0.5	PG3
	1 : 0.7	PG4

表格製作：吳佩錡

51 高嶺土 + 波隆納土 + 香檳白堊土，三種填充材之間的配比會因修護師之習慣會有稍許的差異，本試驗選用德國慕尼黑 Bildwerk Restaurierung 修護工作室之配比，三種填充材之體積比為 1 : 6 : 4，實際秤重後測得其質量比為 8.964 : 4.917 : 1。

表 3 添加纖維之樣本配比

項目	重量百分比	樣本編號
Plextol®D498：高嶺土：麻纖維	1：0.44：0.001	PKH1
	1：0.44：0.008	PKH2
	1：0.44：0.054	PKH3
	1：0.44：0.1	PKH4
Plextol®D498：高嶺土：Arbocel® BC1000	1：0.44：0.001	PKA1
	1：0.44：0.008	PKA2
	1：0.44：0.054	PKA3
	1：0.44：0.1	PKA4
Plextol®D498：玻璃微泡：麻纖維	1：0.5：0.001	PGH1
	1：0.5：0.008	PGH2
	1：0.5：0.054	PGH3
	1：0.5：0.1	PGH4
Plextol®D498：玻璃微泡：Arbocel® BC1000	1：0.5：0.001	PGA1
	1：0.5：0.008	PGA2
	1：0.5：0.054	PGA3
	1：0.5：0.1	PGA4

表格製作：吳佩錡

### (三) 拉伸強度測試

由於不同的修護案例之環境、文物材質、文物劣化狀況等背景條件不同，因此每個案例適用的填料也有所差異。修護師會依背景條件不同，對材料的種類及填料比例做不同的選擇與調整。本試驗除了欲確立填充材與結合劑的重量百分比外，並藉以確定第二階段的控制變因，同時觀察結合劑的不同與填充材量之多寡對於填料機械性強度的影響。

#### 1. 樣本製作

利用轉速為 453 條 r.p.m. 攪拌器攪拌，將填充材慢慢倒入裝有結合劑的燒杯中，攪拌時間為 5 mins。填料在混練的過程中並未加入任何添加劑，以貼近實際使用情況。

拉伸強度試驗之樣本形狀與尺寸，如圖 7 所示。樣本為總長 (LO) 165 mm、總寬度 (WO) 19 mm、厚度 (T) 0.2 mm 的啞鈴型試片。需將樣本置於暗處溫度  $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度  $50 \pm 5\%$  的環境中 7 日待至填料乾燥。

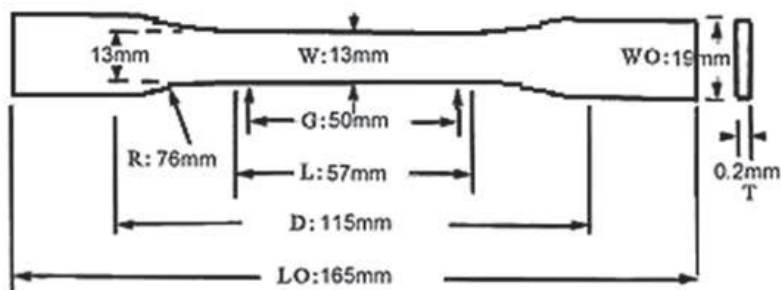


圖 7 樣本規格

圖片來源：American Society for Testing and Materials: <<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D638-03.htm>> (2012.5.24 點閱)

## 2. 試驗方法

拉伸試驗所使用之儀器為日本 SHIMADZU 公司出產的 SHIMADZU EZ-TEST 拉伸試驗機。將試片固定在試驗機的夾具上，透過儀器逐漸施加拉力至試片斷裂為止。圖 8 為拉伸強度試驗試片，<sup>52</sup>  $l$  為原長， $F$  為拉力。當  $F$  力度增加時，若媒材為延性材料，則可得圖 9 的應力應變關係曲線：<sup>53</sup>  $S_{pt}$  為比例限度（Proportional limit）， $S_y$  為降伏強度（Yield strength）， $S_u$  為極限抗拉強度（Ultimate tensile strength）， $S_f$  為破壞強度（Fracture strength）。

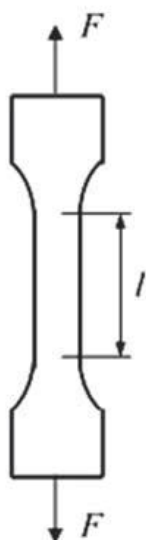


圖 8 試驗拉力方向

圖片來源：〈固體力學的基本概念：拉伸強度試驗〉：<<http://researcher.nsc.gov.tw/site/nscml/public/jinchee/MMO/CAE-Ch3a.pdf>> (2012.6.23 點閱)

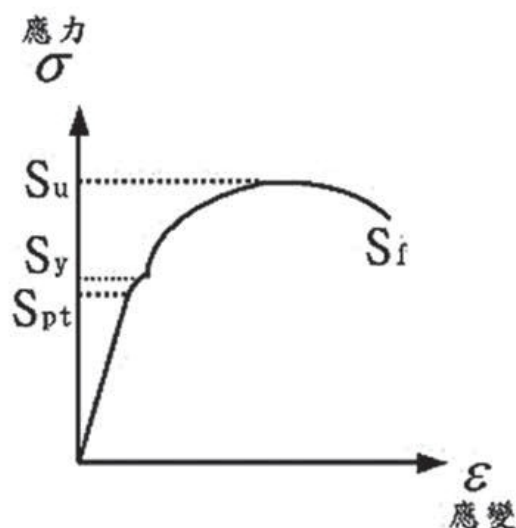


圖 9 應力應變關係曲線

圖片來源：劉晉奇、褚晴暉，《有限元素分析與 ANSYS 的工程應用》（臺北：滄海書局，2006），頁 114。

52 引自〈固體力學的基本概念：拉伸強度試驗〉：<<http://researcher.nsc.gov.tw/site/nscml/public/jinchee/MMO/CAE-Ch3a.pdf>> (2012.6.23 點閱)

53 劉晉奇、褚晴暉，《有限元素分析與 ANSYS 的工程應用》（臺北：滄海書局，2006），頁 114。

儀器設定條件：拉伸速度 5 mm/min，夾具間距為 13 mm，測定填料之拉伸強度與破壞伸長率，分別以下列二式計算，每種填料取 3 片測定，取其平均值。

$$\text{拉伸強度 (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{\text{破壞載重 (kgf)}}{\text{截面積 (cm}^2\text{)}}$$

$$\text{破壞伸長率 (\%)} = \frac{\text{伸長量 (mm)}}{\text{夾具間距 (mm)}} \times 100$$

透過拉伸測試得以取得填料的破壞伸長率與最大拉伸強度。

#### (四) 耐候性試驗

耐候性試驗是針對填料進行冷熱循環、濕老化以測試各填料的耐候性質，並透過掃描式顯微鏡觀察儀器觀察填充材與結合劑之間的變化，再進一步藉由儀器測試來分析填料在循環前後附著性、光澤度、硬度等性質的改變情形，並將填料分別置放於不同相對濕度環境中並計算填料的水分吸附等溫線。

##### 1. 樣本製作

依據拉伸強度測試結果，選取樣本比進行耐候性試驗，樣本列表如表 4。樣本分成對照組與實驗組，將實驗組進行冷熱循環、濕老化後再與對照組進行分析與比較，觀察兩組之間的差異性。

表 4 進行第二階段試驗的填料重量百分比

項目	重量百分比	編號	
		冷熱循環、 濕老化	水分吸附 等溫線
7% 兔皮膠：高嶺土	1:1	RK3	RK3a
7% 兔皮膠：波隆納土	1:1.5	RB3	RB3a
7% 兔皮膠：香檳白堊土	1:2	RC3	RC3a
7% 兔皮膠：(高嶺土 + 波隆納土 + 香檳白堊土)	1:2	RM4	RM4a
Plextol®D498：高嶺土	1:0.44	PK2	PK2a
Plextol®D498：玻璃微泡	1:0.5	PG3	PG3a
Plextol®D498：高嶺土：麻纖維	1:0.44:0.008	PKH2	PKH2a
Plextol®D498：高嶺土： Arbocel® BC1000	1:0.44:0.008	PKA2	PKA2a
Plextol®D498：玻璃微泡：麻纖維	1:0.5:0.001	PGH1	PGH1a
Plextol®D498：玻璃微泡： Arbocel® BC1000	1:0.5:0.008	PGH2	PGH2a

表格製作：吳佩錡

以下為樣本製作方法：

(1) 冷熱循環、濕老化樣本製作：

1. 將各填料以自動攪拌器混合均勻後，使用修護用金屬刮刀在杉木板上填補，杉木 (*Cunninghamia lanceolate*) 板規格：<sup>54</sup>  $6 \times 6 \times 1.5 \text{ cm}^3$ 。
2. 以鹿頭牌雙面膠圈圍出  $3 \times 3 \times 0.02 \text{ cm}^3$  方格。將填料填補於方格內，並利用面積較大的木刮刀將表面整平。樣本需待 7 天試片乾燥養護，試片如圖 10。

(2) 水分吸附試驗樣本製作：

1. 利用修護用金屬刮刀將填料填入矽膠模型中。
2. 製成直徑 2.5 cm 高 2 cm 的圓柱體，待乾取出。
3. 經過 7 天的樣本乾養期，方可進行試驗，樣本如圖 11。



圖 10 冷熱循環、濕老化樣本，筆者自攝。

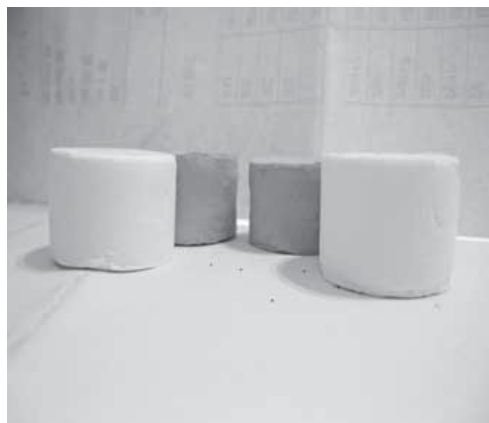


圖 11 水分吸附試驗樣本，筆者自攝。

54 杉木板含水率 (MC) 約為 10.8 水率 (扣 2%)。



## 2. 試驗方法

### (1) 冷熱循環：

1. 試驗目的：測試溫度對填料性質影響。

2. 試驗步驟：

先將樣本置放於 -20 本的烘箱 2 hrs 之後，將樣本從烘箱取出，即刻放入 50 烘的烘箱中 2 hrs。重複進行 10 次循環。若進行中若填料出現龜裂或其他劣化狀況時，即刻劣化狀況與記錄循環數。

### (2) 濕老化：

1. 試驗目的：測試濕度對填料性質影響。

2. 試驗步驟：

先將樣本置放於 103 本置放的烘箱 24 hrs，烘乾後，將樣本放入相對濕度 99% 的微環境中。分別在第 40 hrs 以及 168 hrs 紀錄樣本，老化過程中若填料出現龜裂或其他劣化狀況時，即刻紀錄劣化狀況與老化累積時數。

### (3) 樣本觀察：

1. 試驗目的：巨觀以肉眼觀察每一次老化循環樣本外表的變化。

2. 試驗方法：

微觀以手持式數位顯微鏡以及掃描式電子顯微鏡（SEM）觀察樣本細部。透過掃描式電子顯微鏡得以觀察填料在未老化、10 次冷熱循環、濕老化 168 hrs 之間的差異，以判別填充材和結合劑的結合狀況有無受到環境因子的影響。

### (4) 附著性試驗：

1. 試驗目的：測試填料老化前後黏著力之大小，觀察填料與基底材間的黏附狀況。

2. 試驗方法：

參考 CNS 10757 之方格黏帶法測試未老化、經過 5 次、10 次冷熱循環之樣本。

(5) 鉛筆硬度：

1. 試驗目的：以鉛筆之硬度號數來區分填料硬度。

2. 試驗方法：

參考 CNS 10757 規定，利用硬度不同的鉛筆進行測試。透過試驗來判斷填料老化前後有無變化。

(6) 水分吸附等溫線

1. 試驗目的：測試填料的吸濕性，以確認填料在不同相對濕度下質量的改變以及膨脹係數。

2. 試驗方法：

將絕乾的圓柱體樣本，置放於 33、78、99%RH 微環境中各一週。<sup>55</sup> 每天記錄樣本的質量與直徑、高度。需計算、統整數值，以觀察樣本在不同相對濕度下的填料的重量增加率、填料高度、直徑後，再進一步計算出填料的體積膨脹率。質量增加率與體積膨脹率之算式，如下，

$$\text{質量增加率 (\%)} = \frac{\text{材料含水時的質量} - \text{材料烘乾後質量}}{\text{材料烘乾後質量}} \times 100$$

$$\text{體積膨脹率 (\%)} = \frac{\text{材料含水時的體積} - \text{材料烘乾後體積}}{\text{材料烘乾後體積}} \times 100$$

---

55 利用不同的飽和鹽溶液來控制試驗用微環境，將微環境相對濕度調整至 99%、78%、33%，模擬臺灣降雨、夏季、冬季的相對濕度。

## 四、試驗結果與討論

檢測與分析，主要將各個試驗結果完整歸納，藉由數據、圖表來瞭解填料老化前後之差異，並嘗試進一步的分析。

### （一）拉伸強度

透過拉伸強度試驗可發現除了結合劑本身性質之外，填充材的添加量也會影響填料的拉伸強度與破壞伸長率。以兔皮膠填料為例，圖 12、13 分別為拉伸強度與破壞伸長率之曲線圖，從曲線的走勢可見，當填充材的添加量超過 0.5 倍（RK2）後，不論是拉伸強度或是破壞伸長率，都出現削弱的趨勢。而 Plectol®D498 填料狀況與之相似，從圖 14 可見，高嶺土的添加量提高，其破壞伸長率隨之降低；拉伸強度則在填充材超過 0.5 倍（PK3）後下降。推估是因為填充材添加過量，導致結合劑無法完全包覆填充材而影響填料的拉伸強度與彈性等特質。

試驗顯示，兔皮膠填料強度大於 Plectol®D498 填料，但破壞伸長率則相反。由於乾燥的兔皮膠為硬脆物質，而 Plectol®D498 乾燥後之膠體較為軟韌，填料受結合劑的影響，具有相似之特點。由此推斷，當填料具有高拉伸強度時，其破壞伸長率較弱，是為硬脆性質的填料；若填料的破壞伸長率較高，其拉伸強度往往偏低，是軟韌性質填料。

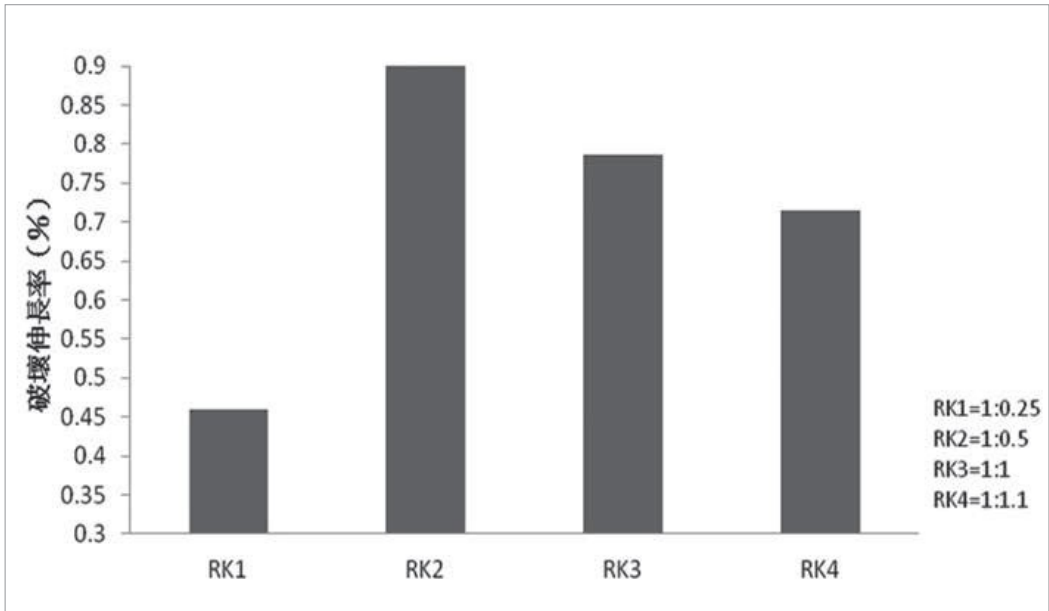


圖 12 7% 兔皮膠混高嶺土破壞伸長率，筆者自製。

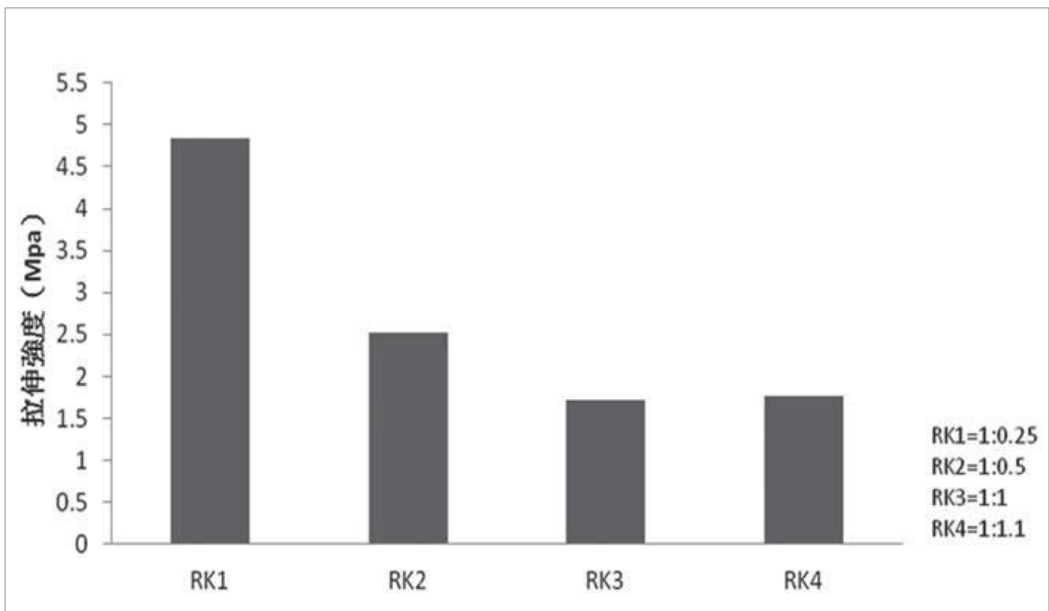


圖 13 7% 兔皮膠混高嶺土拉伸強度，筆者自製。

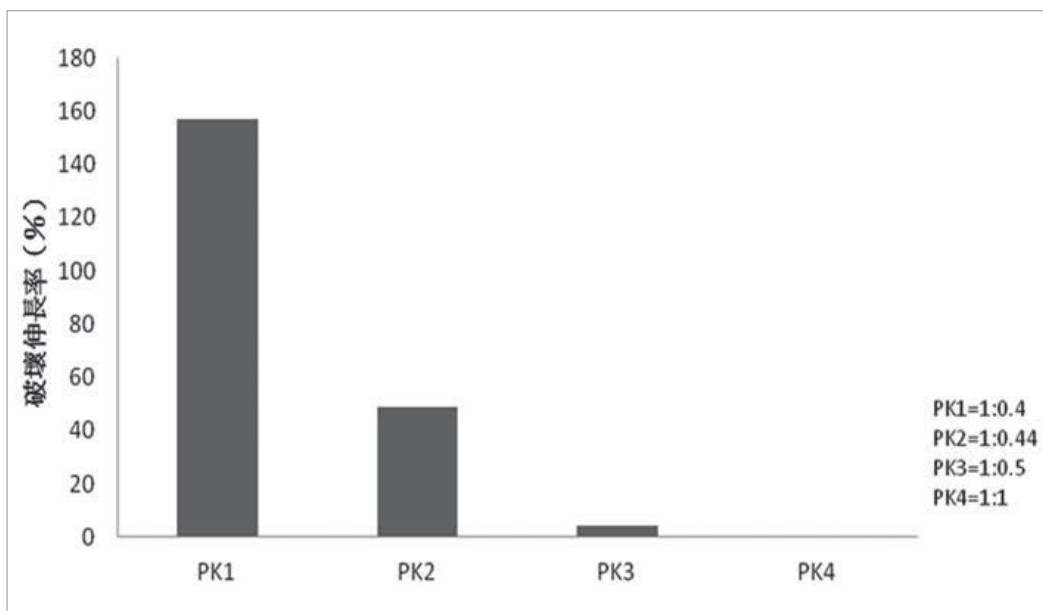


圖 14 Plextol®D498 混高嶺土破壞伸長率，筆者自製。

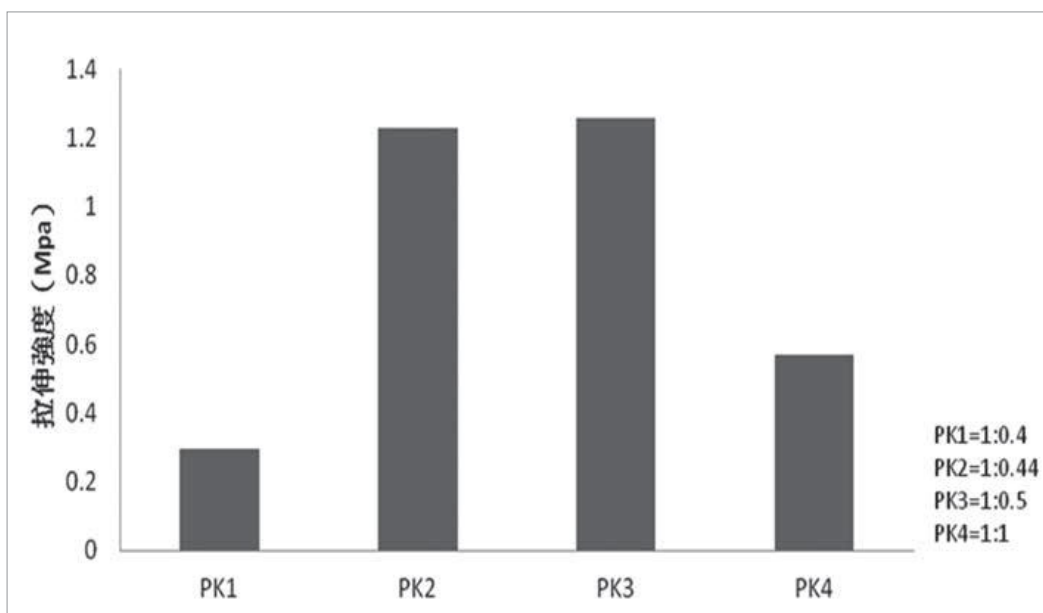


圖 15 Plextol®D498 混高嶺土拉伸強度，筆者自製。

## (二) 表面觀察

透過表面觀察做最初步且值觀的評估，從肉眼、手持式數位顯微鏡到掃描式電子顯微鏡，從宏觀到微觀，來檢視填料在老化後有無產生細裂紋、是否與基底材分離等是基本且重要之評估要點。以下將分別闡述冷熱循環、濕老化後的填料變化：

### 1. 肉眼觀察

大部分的填料樣本經歷過 10 次冷熱循環後，肉眼難以察覺樣本有無產生細微劣化，唯有 RB3 (兔皮膠混：波隆納土 1：1.5) 在第 4 次冷熱循環後產生了裂痕，並與木基底分離，如圖 16。而 Plectol®D498 填料推測因為結合劑反黏，在表面上有沾黏髒汙。

濕老化 168 hrs 後，樣本並未出現明顯的劣化狀況。但兔皮膠樣本在 99%RH 第 144 個小時後產生黴菌滋生之狀況，<sup>56</sup> 如圖 17，故可推估兔皮膠填料長期暴露在高相對濕度環境下易造成黴菌滋長。

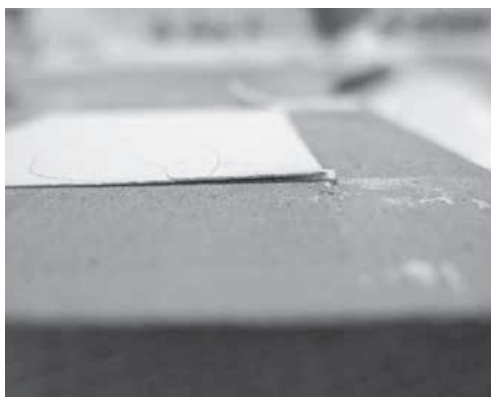


圖 16 兔皮膠填料在第 4 次冷熱循環產生裂痕且與木基底分離，筆者自攝。

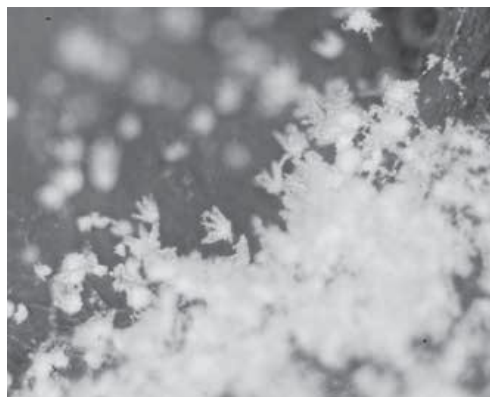


圖 17 兔皮膠樣本發黴 (100x)，筆者自攝。

56 RK2 則在置放於 99%RH 微環境中一個月後發現黴菌。

## 2. 手持式數位顯微鏡

冷熱循環老化之觀察結果，以Plextol®D498 混合玻璃微泡填料—PG3 為例，<sup>57</sup> 此樣本在經歷 5 次循環後填料表面開始產生小凹陷。隨著冷熱循環次數的增加，凹陷數量也有所增長，圖 18 為經歷 10 次循環後之表面。而兔皮膠填料，表面並無出現凹陷現象，但是在部份樣本上，如 RK3、RM4 可觀察到些許填充材團聚的情況，<sup>58</sup> 見圖 19、圖 20。

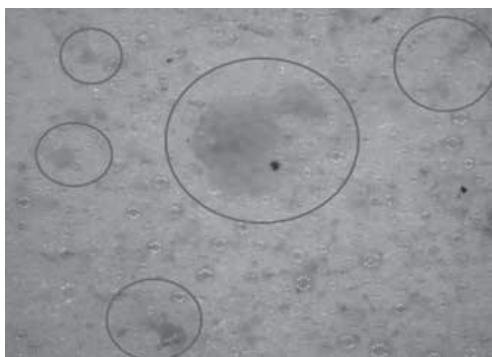


圖 18 Plextol®D498 填料第 10 次冷熱循環產生的細小凹陷 (200x)，筆者自攝。

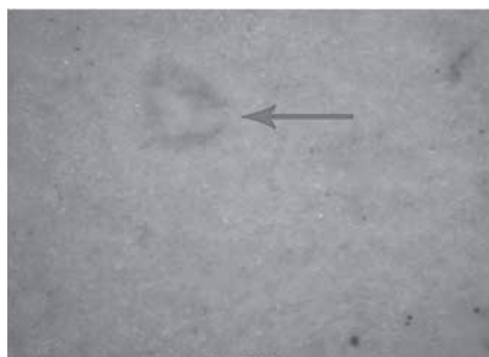


圖 19 RK3 填料第 10 次冷熱循環發現團聚現象 (200x)，筆者自攝。

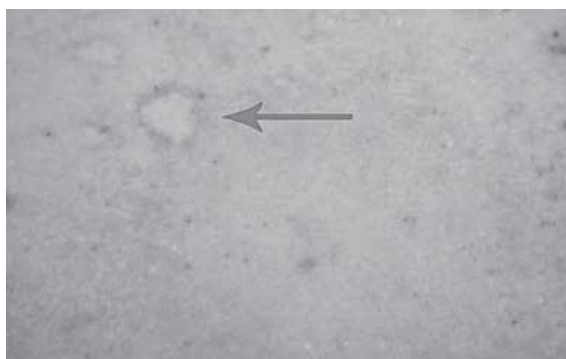


圖 20 RM4 填料第 10 次冷熱循環發現團聚現象 (200x)，筆者自攝。

57 PG3 填料為 Plextol® D498：玻璃微泡 1：0.5。

58 RK3 填料為兔皮膠混高嶺土 1：1，而 RM4 填料為兔皮膠混（高嶺土＋波隆納土＋香檳白堊土）1：2。

而在手持式數位顯微鏡的觀察下，高相對濕度對於 Plectol®D498 填料與兔皮膠填料樣本的外表影響甚小，並無特殊情況。

### 3. 掃描式電子顯微鏡

透過掃描式電子顯微鏡，可見結合劑與填充材彼此黏結之微觀景象。冷熱循環老化後的觀察結果，Plectol®D498 填料老化前後填料差異並不太大，以 PK2 為例，<sup>59</sup> 如圖 21、圖 22，不論是冷熱老化前後，結合劑皆能夠均勻包覆填充材顆粒，讓顆粒與顆粒間彼此黏結。反觀兔皮膠填料，以 RK3 為例，<sup>60</sup> 經過十次冷熱循環的樣本，結合劑似乎較無均勻分布、表面較不平整，且填充材顆粒與顆粒間有空隙存在，見圖 23 與圖 24。但，加入纖維的 Plectol®D498 填料，如 PKH2，<sup>61</sup> 在第十次冷熱循環後，纖維與填料基材的界面出現空隙，圖 25。不論是 Plectol®D498 填料或兔皮膠填料，若填充材與結合劑之間的界面出現空隙，當空隙越多或越大，填料便會從此處開始劣化。

而濕老化後的兔皮膠填料因附水氣，而產生膨脹現象，可對比圖 23 和圖 26。相較之下，Plectol®D498 填料在濕老化後（圖 27），雖然位於表面的填充材顆粒較為外露，老化前後之差異並不太大。

---

59 PK2，Plectol®D498：高嶺土 = 1：0.44。

60 RK3，兔皮膠：高嶺土 = 1：1。

61 PKH2，Plectol® D498：高嶺土：麻纖維 = 1：0.44：0.008。



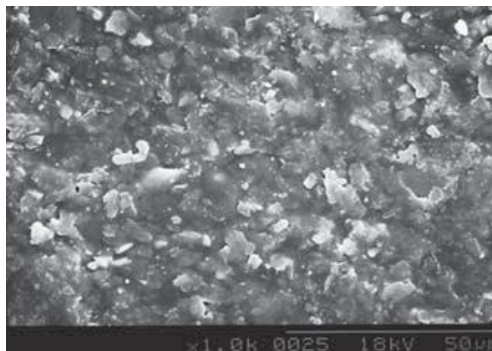


圖 21 SEM 下的未老化 Plextol® D498 填料 (1000x)，筆者自攝。

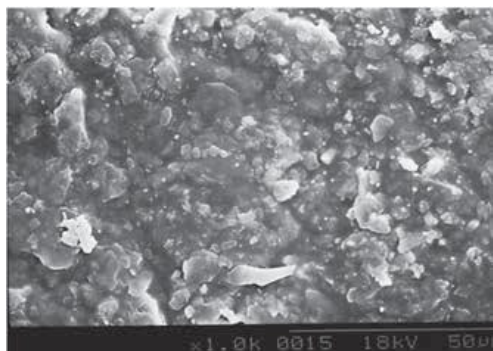


圖 22 SEM 下的第 10 次冷熱循環 Plextol®D498 填料 (1000x)，筆者自攝。

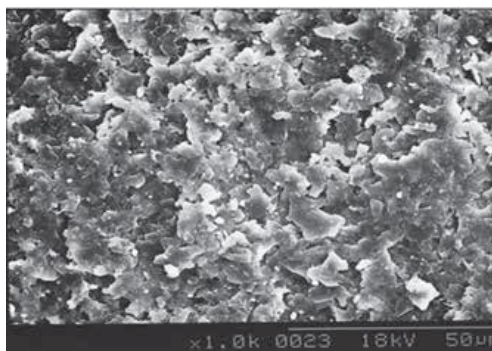


圖 23 掃描式電子顯微鏡下的未老化 RK3 (1000x)，筆者自攝。

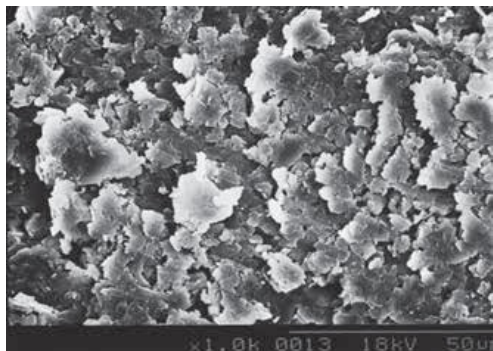


圖 24 掃描式電子顯微鏡下的第 10 次冷熱循環 RK3 (1000x)，筆者自攝。

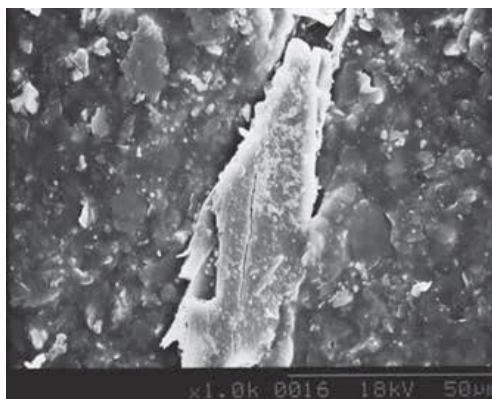


圖 25 掃描式電子顯微鏡下的第 10 次冷熱循環 PKH2 (1000x)，筆者自攝。

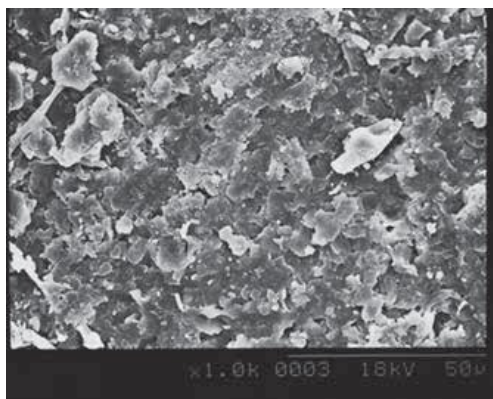


圖 26 掃描式電子顯微鏡下的濕老化 168hrsRK3 (1000x)，筆者自攝。

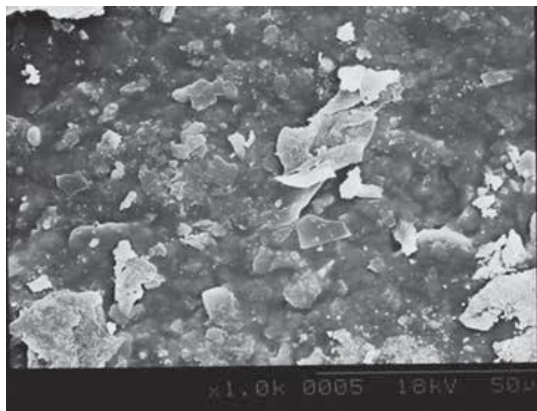


圖 27 掃描式電子顯微鏡下的濕老化  
168hrsPK2 (1000x)，筆者自攝。

綜合 2 種老化之觀察結果，推測溫度、濕度皆能使兔皮膠填料產生變化。當高、低溫瞬間交換時，填料產生凝露作用，導致位於填料表面的兔皮膠溶化並往下滲透，故在掃描式電子顯微鏡下可清楚觀察到填充材顆粒。此外，濕老化後的填料，覆蓋在填充材上的膠體變厚，可能是填料長時間暴露在高相對濕度下，填料吸附大量的水氣，故結合劑、填充材膨脹變大。

Plextol®D498 填料，由於結合劑在乾燥後形成防水膜，故老化前後之差異性不大，結合劑、填充材間的改變較兔皮膠填料小，似乎較具有穩定性。

### (三) 附著性

透過附著性測試可得知填料與基底材的接著效果，並有助於分析填料是否因老化而失效。

#### 1. 冷熱老化

大部份的兔皮膠填料隨著冷熱循環次數增多，附著性會逐漸降低，但基本上附著性下降幅度不大。值得注意的是，兔皮膠混和波隆

納土的填料在老化後，剛準備以美工刀切割備製樣本時，填料就已經與基底材分離。

冷熱循環下，Plextol®D498 系列填料的附著度並沒有太大的改變，穩定度高。其中混和玻璃微泡者是最穩定的，不論老化前後附著性皆為 8 等級。

## 2. 濕老化

試驗顯示，部分填料因高濕度而導致附著性驟降，例如兔皮膠混波隆納土、Plextol®D498 混合高嶺土與麻纖維以及 Plextol®D498 混合高嶺土與 Arbocel® BC1000，此三組填料在經過 40hrs 後，數值便降到大約 0 之狀態，附著力降至最低。但 Plextol®D498 混合玻璃微泡、兔皮膠與混和土（高嶺土 + 波隆納土 + 香檳白堊土），這兩種填料的附著性在 168 hrs 老化後，數值仍保有 8 等級，是十組填料中附著性較佳者。

總觀樣本老化後附著性的變化可發現，填料附著性受濕度影響略比溫度大，多數樣本在濕老化後附著性低於冷熱循環後的附著性。推測是因填料、基底材富含水分，造成結合劑吸水膨脹、軟化，進而導致填料附著性降低。

## （四）硬度

在老化前，兔皮膠填料硬度大於 Plextol®D498 系列填料，因為乾燥的兔皮膠為硬脆物質，硬度高於 Plextol®D498。觀察樣本老化前後之硬度變化，整體而言，高相對濕度降低填料硬度之程度較溫度高，大部分的填料樣本在濕老化後，硬度皆降低至 6B 以下。推估是因結合劑與填充材因為吸附水分子，導致物質產生膨潤效果，當物質分子間不緊密，其硬度便會降低。

## (五) 水分吸附等溫線

透過水分吸附等溫線，可得知在不同相對濕度下材料的水分吸附性，同時亦能測得材料吸附空氣中的水分後的膨脹係數。填料吸水性取受結合劑與填充材化學成分、構造以及外在環境的相對濕度、溫度所影響。填料吸附水分，會使填料質量增加，體積膨脹，而其強度也會隨之降低。

### 1. 質量增加率

圖 28、圖 29，分別為兔皮膠填料與 Plextol®D498 填料的質量增加率。從圖可見，隨著環境相對濕度的提高，填料的質量也隨之抬升。在兔皮膠填料中，吸濕幅度最小者為兔皮膠與碳酸鈣相混之填料（RC），而常用的兔皮膠與混和土（RM）則次之。Plextol®D498 填料系列中，混和高嶺土（PK）的填料，其質量增加

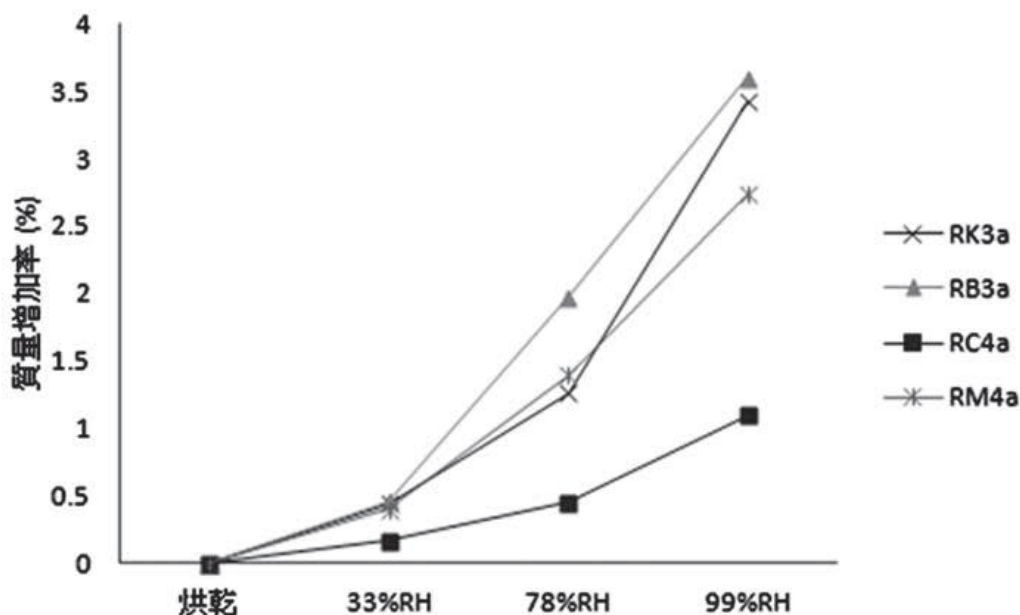


圖 28 兔皮膠填料質量增加率，筆者自製。

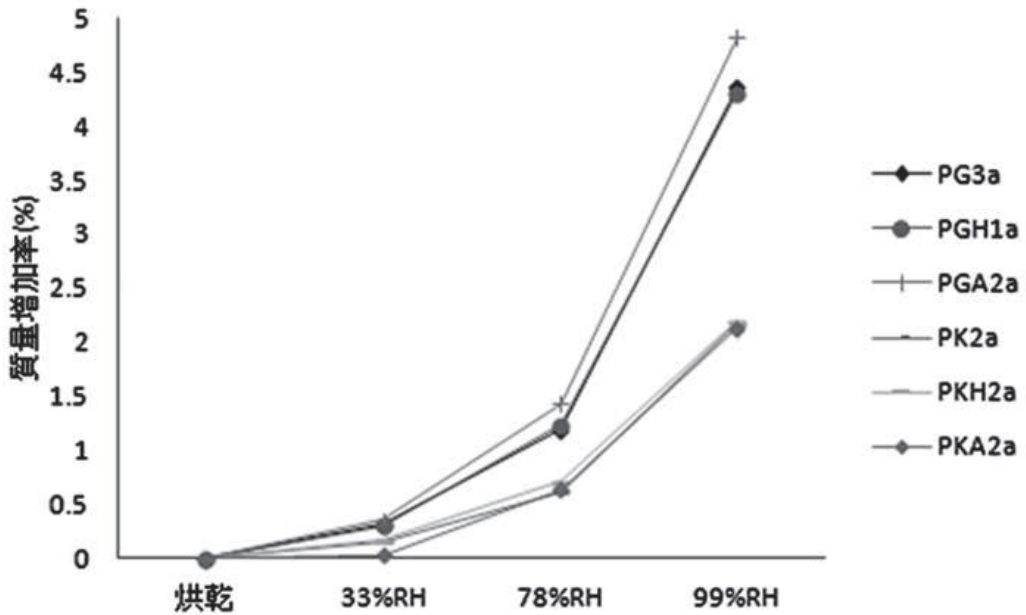


圖 29 Plextol®D498 系列填料的質量增加率，筆者自製。

率小於混和玻璃微泡（PG）者。而微量的纖維添加，對填料的吸水性似乎影響不大。兩種系列之填料，其質量增加率，接在 78%RH 與 99%RH 間明顯增加，但總體而言，其質量增加率皆在 0.005 倍以下，增加的幅度並不太大。

## 2. 體積膨脹率

圖 30 與圖 31 是兔皮膠填料與 Plextol®D498 填料，分別在 33%RH、78%RH 以及 99%RH 環境下，10 天後的體積膨脹率。2 系列的膨脹率並不大，但兔皮膠填料相較之下，其體積膨脹率仍是較 Plextol®D498 填料大，其中又以兔皮膠混和高嶺土之填料膨脹較多。而常用的兔皮膠與混合土的膨脹率在 99%RH 環境下，約為 0.005 倍。Plextol®D498 系列填料，體積膨脹率最小的微 Plextol®D498 混玻璃

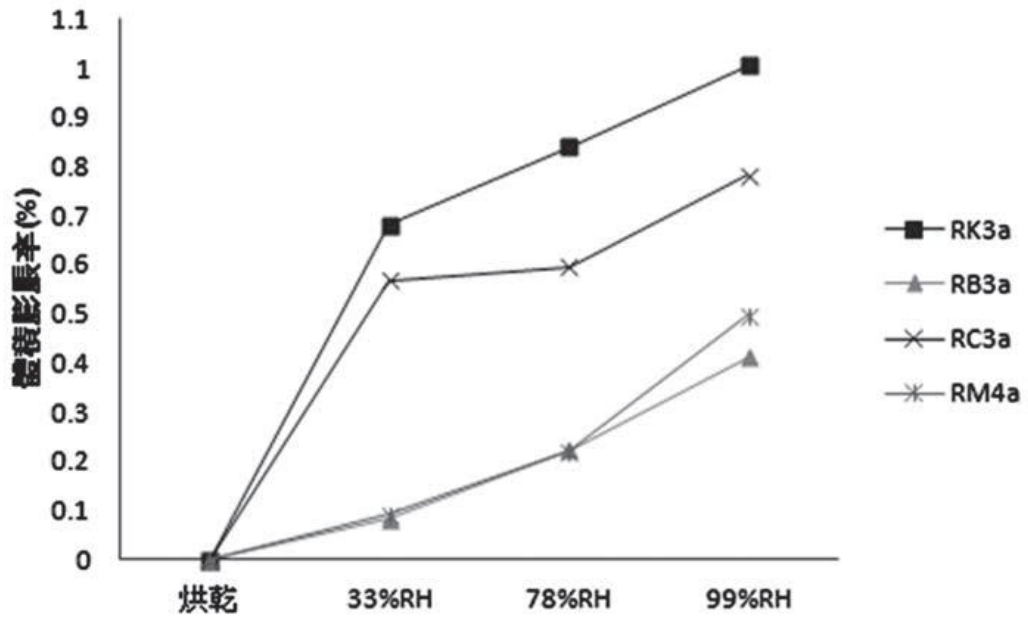


圖 30 兔皮膠填料之體積膨脹率，筆者自製。

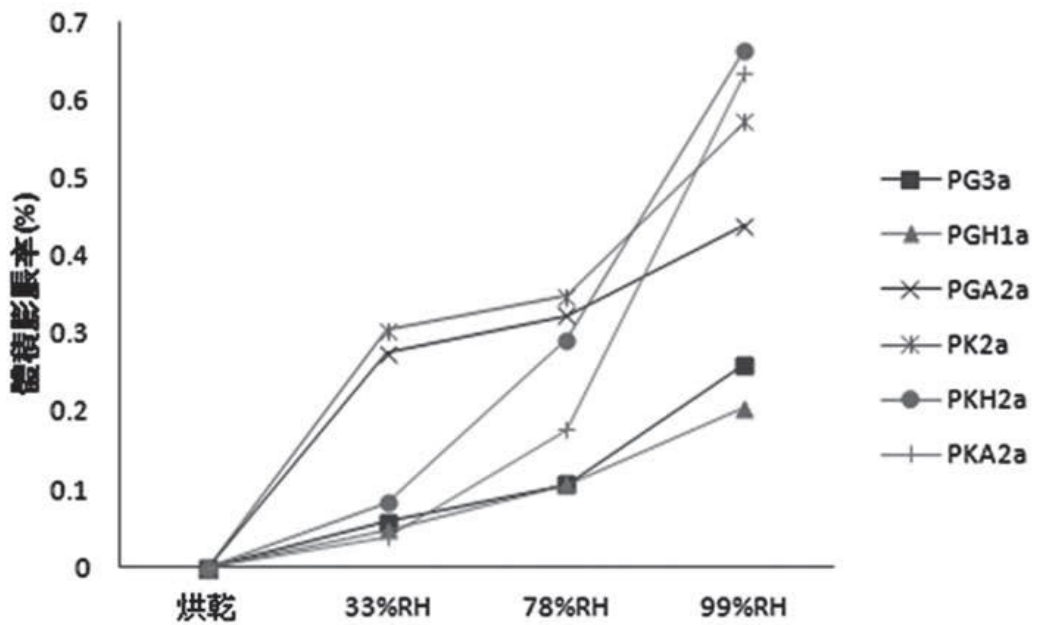


圖 31 Plextol®D498 填料之體積膨脹率，筆者自製。

微泡跟微量麻纖維者。單純混和玻璃微泡之填料次之，二者幾乎不受相對濕度影響其體積的變化。

歸納上述水分吸附等溫線之試驗結果，可以發現，雖然 2 種填料的吸濕性差異不大，但兔皮膠的線性膨脹率變化較 Plextol®D498 大，故可推論 Plextol®D498 的吸濕性、尺寸變化較兔皮膠穩定。

推測不論是結合劑的化學結構或填充材的種類都有可能造成上述的差異。此外，影響結合劑尺寸穩定性之因素，除了結合劑固形分外，吸濕性亦會影響尺寸之變化。填充材的種類會影響吸濕性，由於其顆粒形狀、吸濕性不同，即便與相同的結合劑相混形成複合材料，這些特性仍會影響填料的性質。填料額外添加纖維欲補強填料強度，由於添加量極少，故填料吸濕性、膨脹性的改變並不太大，但能稍微改善原本填料之尺寸穩定性。

## 五、結論與建議

結合劑與填充材混合而成的填料，其性質直接受結合劑種類、填充材屬性之影響，諸如顆粒大小、形狀、材質等，並直接反映在填料系統的應力行爲。而填料性質則會影響其老化後的轉變。

試驗結果顯示，兔皮膠的抗拉強度大於 Plextol®D498；而 Plextol®D498 的彈性則大於兔皮膠。但兩種結合劑與填充材相混後，抗拉強度及彈性幾乎皆呈下降趨勢，但大體上 Plextol®D498 填料的破壞伸長率比兔皮膠填料佳。

在溫度落差大的環境下，兔皮膠填料、Plextol®D498 填料之性能並未有太大的變化；反之，濕度對填料的影響較爲明顯，尤其是兔皮

膠填料。高濕度導致兔皮膠、Plextol®D498 填料附著度、硬度降低，機械性能下降。更甚者，若將兔皮膠填料長期置放於高濕度(99%RH)環境下，會引發黴菌滋生。

此外，少量纖維的添加有助於提高填料的破壞伸長率與吸濕性，而附著性、硬度方面則無明顯變化。需注意的是，當纖維過多或過長，填充材在填料中的分佈性會降低，反而使填料性能降低且表面不易整平、全色。

綜觀試驗結果可知，Plextol®D498 混玻璃微泡填料之抗溫度、濕度變化性較高、較為穩定，較適用於戶外彩繪木質文物。但若長時間暴露於高濕度環境仍會削減填料與木板間的附著性，故得以證實濕度是促使填料與廟宇木構件分離的因素之一。若要增強填料與基底材間的附著性，基底材上可先塗覆一層 Plextol®D498 再進行填補。反觀兔皮膠填料，其特性及穩定性雖佳，但對濕度較為敏感，故其適用環境需如博物館等溫度、相對濕度等因子受控制之場所。

Plextol®D498 混玻璃微泡並非十全十美的材料，不能將之直接應用於各個修護案例中。除了 Plextol®D498 混玻璃微泡外，市面上存在著許多可做為填料的材料，但哪些材料適用於文物修護，仍需修護師評估文物的基本性質、劣化狀況、保存環境條件，以及填料特質等，不同案例所適用的材料不盡相同，所以「唯一的」標準修護方法與步驟並不存在。

若填料選擇不當，文物將會受到二次傷害。因此平日應在試板上合理的嘗試各種不同的填料、不拘泥材料的選擇，藉此了解各種材料的性質，以利於日後修護進行時能篩選出一合適材料。



## 參考書目

### (一) 中文論著

- 于曉杰，〈無鹼鋁硼矽酸鹽玻璃的研究〉，廣州：濟南大學材料學系碩士論文，2008。
- 田英良、程金樹、張磊、梁新輝、孫詩兵，〈超薄鋁矽酸鹽玻璃生產關鍵技術探討〉，《玻璃與搪瓷》39：1，2011，頁 22-26。
- 朱粉利、周漢文，〈高嶺土在材料學方面的應用〉，《礦產保護與利用》1，2004，頁 22-26。
- 吳宜昭、陳永明、朱容練，〈臺灣氣候變遷趨勢〉，《國研科技》25，2010，頁 40-46。
- 吳茂英，〈聚合物光老化、光穩定機理與光穩定劑（上）〉，《高分子通報》4，2006，頁 76-83。
- 李文元，〈全色材料黏著劑耐候性研究：以臺灣開放空間彩繪木質文物為例〉，臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011。
- 李曉剛、高瑾、張三平、杜翠薇、盧琳，〈高分子環境材料自然環境老化規律與基理〉，北京：科學出版社，2011。
- 林春美，〈國定古蹟鹿港龍山寺彩繪調查研究暨修復計畫〉，彰化：彰化縣政府文化局，2009。
- 林春美，〈嘉義縣第二級古蹟新港水仙宮壁畫與三川殿木構件彩繪調查研究與修復計畫期末報告書〉，嘉義：嘉義縣文化觀光局，2006。
- 林春美，〈臺南市第一級古蹟大天后宮壁畫調查研究與修復計畫〉，臺南：臺南市政府，2007。
- 段至尚，〈煙燻於臺灣寺廟木作彩繪保護層之影響與清潔初探〉，臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011。

- 徐武軍，《高分子材料導論》，臺北：五南圖書出版股份有限公司，2004。
- 高昱、宏永順、張琳，〈木質纖維在乾混砂漿中的應用研究〉，《新型建築材料》35：7，2008，頁 71-73。
- 張銘宏，〈臺灣廟宇彩繪修護材料——壓克力乳膠耐候性研究初探〉，臺南：國立臺南藝術大學古物維護研究所碩士論文，2011。
- 陳盈升，〈現今傳統建築木構彩畫的塗膜層耐久性之研究〉，臺南：國立成功大學建築學系碩博士班碩士論文，2003。
- 陳銀霞、趙改青、王曉波，〈聚合物控制碳酸鈣晶形、形貌的研究〉，《化學進展》21：8，2009，頁 1619-1625。
- 陳劉旺，《工業塗料與高分子化學》，臺北：高立圖書有限公司，1997。
- 陳靜修，〈臺灣傳統建築彩繪塗料之研究〉，臺中：國立中興大學森林學系碩士論文，2004。
- 曾國恩建築師事務所，《台南市第三級古蹟興濟宮與大觀音亭修護工程工作報告書》，臺南：臺南市政府，2006。
- 程鋒偉，〈一種新型溶劑的製備及其對纖維素溶解性能研究〉，上海：東華大學紡織材料與紡織品設計系碩士論文，2007。
- 黃韻如，《臺灣府城隍廟木枋人物彩繪修護工程施工紀錄報告書》，臺南：臺南市政府，2007。
- 楊明山，《聚丙烯改性及配方》，北京：化學工業出版社，2009。
- 彰化縣政府文化局，《彰化縣定古蹟鹿港金門館調查研究報告書》，彰化：彰化縣政府文化局，2004。
- 劉正字、黃金城，〈桐油製造油變性胺基醇酸樹脂塗料之研究〉，《中華林學季刊》22：2，1989，頁 41-66。

- 劉晉奇、褚晴暉，《有限元素分析與 ANSYS 的工程應用》，臺北：滄海書局，2006。
- 劉劍波，《光化學》，臺北：五南圖書出版有限公司，2004。
- 潘岳雄，《國定古蹟臺南北極殿門神彩繪修護工程工作報告書》，臺南：臺南市政府，2009。
- 鄧瑋，〈高嶺土表面修飾及其在聚丙烯烴中的應用研究〉，湖北：武漢理工大學材料學系碩士論文，2010。
- J. Francis Young, Sidney Mindess, Robert J. Gary, and Arnon Bentur 著，謝素蘭譯，《土木工程材料：科學與應用》，臺北：五南圖書出版公司，2000。
- Marcel Visscher, Rob van der Linda and Bian Ming-Zhe，〈聚合物乳液的成膜〉，《江蘇建材》1，2002，頁 6-10。

## (二) 西文論著

- Barthelet, A. *The Works of Art and Bric-a-Brac Doctor*. Philadelphia: privately published by author, 1884.
- Becket, Barbara. *Fillers Inorganic Material*. Unpublished handout of Tainan National University of the Arts, Graduated Institute of the Conservation of Cultural Relics, 2010.
- Gettens, Rutherford John and Mary Mrose. "Calcium Sulphate Minerals in the Grounds of Italian Painting." *Studies in Conservation*, no. 4 (1954): 174-189.
- Grattan, David W. and Robert L. Barclay. "A Study of Gap-Fillers for Wooden Objects." *Studies in Conservation* 33, no. 2 (1988): 71-86.
- Horie, Charles Velson. *Materials for Conservation: Organic Consolidants, Adhesives and Coatings*. London: Butterworth Heinemann, 2010.

Mintrop, Beerhard. *Dauerelastische Kittmaterialien für Holzobjekte zur Verwendung in durch Quellung und Schwindung stark beanspruchten Rissen und Fugen*, Diplomarbeit. Der Fachhochschule Köln, 1997.

Rivers, Shayne and Nick Umney. *Conservation of Furniture*. Oxford: Butterworth Heinemann, 2010.

Sawicki, Malgorzata. "Research into non-traditional gilding techniques as a substitute for traditional matte water-gilding method." *13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro: ICOM Committee for Conservation, Triennial meeting, 13th, Rio de Janeiro, Brazil, 22 - 27 September 2002*. Edited by Roy Vontobel, James and James, 2002, 524-532.

Thornton, Jonathan. "A Brief History and Review of the Early Practice and Materials of Gap-Filling in the West." *Journal of the American Institute for Conservation* 37, no. 1 (1998): 12.

Torraca, Giorgio. *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2009.

Weilhammer, Ulrich. *Binding Media and Adhesives*. Unpublished handout of Tainan National University of the Arts, Graduated Institute of the Conservation of Cultural Relics, 2004.

### (三) 網路資源

中央氣象局全球資訊網：<<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>> (2012.7.12 點閱)

中國織檢：<[http://www.prt dyeing.org.tw/tech/index.php?parent\\_id=108](http://www.prt dyeing.org.tw/tech/index.php?parent_id=108)> (2012.5.30 點閱)

生物化學基礎：<<http://juang.bst.ntu.edu.tw/BCbasics/index.htm>> (2012.5.11 點閱)

〈生活中的碳酸鈣——探究碳酸鈣的性質〉 : <<http://wenku.baidu.com/view/f14a7b3a87c24028915fc3d5.html>> (2012.9.12 點閱)

〈固體力學的基本概念：拉伸強度試驗〉 : <<http://researcher.nsc.gov.tw/site/nsctl/public/jinchee/MMO/CAE-Ch3a.pdf>> (2012.6.23 點閱)

臺灣大百科全書 : <<http://taiwanpedia.culture.tw/web/index>> (2012.7.12 點閱)

臺灣酸雨資訊網 : <<http://acidrain.epa.gov.tw/understand/01.htm>> (2012.7.12 點閱)

American Society for Testing and Materials: <<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D638-03.htm>> (2012.5.24 點閱)

Feist, William Carballa, James Kreder Little, and Jill Marie Wennesheimer. *The Moisture-Excluding Effectiveness of Finishes on Wood Surface*. Madison: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1986, <<https://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/index.php>> (2012.6.12 點閱)

Smith, Walter, et al. "Adhesive." *Paper Conservation Catalog* (Washington D.C.: American Institute for Conservation Book and Paper Group, 1989), <[http://cool-aic.stanford.edu/sg/bpg/pcc/46\\_sizing-resizing.pdf](http://cool-aic.stanford.edu/sg/bpg/pcc/46_sizing-resizing.pdf)> (2012.6.4 點閱)

Walter, Henry. "Sizing/Resizing." *Conservation Online* : <[http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/17\\_sizing-resizing.pdf](http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/pcc/17_sizing-resizing.pdf)> (2012.5.31 點閱)

Weblio 辭書 : <<http://www.weblio.jp/content/%E5%9B%BA%E5%BD%A2%E5%88%86>> (2012.6.12 點閱)