

南華大學藝術與設計學院產品與室內設計學系

碩士論文

Department of Product and Interior Design

College of Arts and Design

Nanhua University

Master Thesis

環氧樹脂應用於木工車床藝品的探索

Exploration of Epoxy Resin

Applied to Woodworking Lathe Art

呂俊良

Chun-Liang Lu

指導教授：鄭順福 副教授級專業技術人員

Advisor: Shen-Fu Cheng, Associate Prof. Rank Specialist

中華民國 108 年 6 月

June 2019

# 南 華 大 學

產 品 與 室 內 設 計 學 系

碩 士 學 位 論 文

環氧樹脂應用於木工車床藝品的探索  
Exploration of epoxy resin applied to woodworking  
lathe art

研究生：吳俊良

經考試合格特此證明

口試委員：鄭順福

李安勝  
黃清雲

指導教授：鄭順福

系主任(所長)：鄭順福

口試日期：中華民國 108 年 6 月 14 日

## 謝誌

感謝母校南華大學提供研究所升學方案，讓對未來迷茫的我繼續尋找答案，使個人在專業領域及為人處事方面受益良多。研究所學習期間，承蒙授課師長的指導與勉勵，僅藉此論文之完成，表達誠摯的謝意。

特別感謝指導老師鄭順福教授，從大學到研究所的學習歷程中，給予很多啟發與建議，使個人在木工設計的專業學術領域成長許多，也是本論文能順利完成的關鍵。

感謝南華大學藝術學院院長、南華大學黃清雲博士、國立嘉義大學李安勝博士，提供經驗與意見，使本論文能掌握適切的研究方法、正確的的實施技術及客觀的結論與建議，在此表示最深的謝意。

感謝南華大學周立倫教授傳授環氧樹脂相關知識與概念，啟發本論文研究緣起與動機，也感謝教授提供實驗用設備，使本論文能順利進行及完成。

最後要感謝父母親，在人生規劃上的提點與支持，使我在無後顧之憂的情形下，安心於課業及論文探索研究上，鄭重將本論文獻給所有關心我愛護我的師長及朋友。

呂俊良 謹識

108.07 於南華

## 中文摘要

本研究旨在探索木質材料與環氧樹脂應用的車床藝品，探討材料性質與影響，將實做過程記錄並加以探究。環氧樹脂是工業進步的產物，附有多種功能與特性，在藝術應用方面值得進一步探索研究。

透過簡易的環氧樹脂試驗，了解環氧樹脂的特性與適用性，並藉由相關文獻資料的蒐集，擬定最佳的實做與應對方法，做為本研究的實做基礎，再透過循序漸進的方式，從製作過程中獲取成功及失敗經驗來完成研究。

環氧樹脂灌注技術與藝品品質及美觀息息相關，本研究實作中因氣泡造成的坑洞多，導致物件表面填補多次影響外觀，且在車刀刮削物件時，也因坑洞問題影響加工速度，雖然五項探索的藝品順利完成，還是可從藝品細節觀察到小缺陷。

適當的調配環氧樹脂還有灌注時完善的作業細節，可使藝品更優秀；車床加工時，環氧樹脂與木質材料的硬度與加工手感不同，車床加工與最後打磨必須細心處理，以增加藝品美觀及價值；最後統整探索過程，提出結論與建議，提供專家、業者及相關事物應用之參考。

**關鍵字:**環氧樹脂、木材質、木工車床、藝品

## Abstract

The purpose of this research is to explore lathe artwork made of wood and epoxy resins and investigate the characteristics of the materials and their effects. The implementation process was recorded and analyzed. Epoxy resin is a product of industrial progress, with a variety of features and characteristics that are worthy of further investigation in the field of artwork applications.

The characteristics and applicability of epoxy resin can be determined through simple tests; as the basis for this research, the optimal implementation method and solutions to relevant issues can be determined by referring to the relevant literature. This research is completed by obtaining the success and failure experiences from the implementation process in a step-by-step manner.

Epoxy resin perfusion technology directly affects the artwork's quality and appearance. In this implementation, there are many pits caused by bubbles in the infusion, which result in multiple instances of filling on the artwork surface, which degrades the appearance. The pits also affect the processing speed when the artwork is being scraped by the tool bit. Although the five experimental pieces of artwork were completed successfully, it is still possible to observe small defects in the details of the artwork.

The appropriate blending of epoxy resin and refined operation details during perfusion can make the art more excellent. During lathe processing, since the hardness and processing feeling of epoxy resin and wood material are different, lathe processing and final polishing must be handled carefully to improve the esthetics and value of the artwork. Finally, the investigation process is summarized and conclusions and recommendations are provided for experts, operators, and related applications for reference.

**Keywords:** epoxy resin, wood material, woodworking lathe, artwork

# 目 錄

謝誌.....	I
中文摘要.....	II
英文摘要.....	III
目 錄.....	IV
圖目錄.....	VI
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與動機.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 待答問題.....	2
第四節 研究方法.....	3
第五節 研究範圍與限制.....	3
第六節 名詞界定.....	5
第二章 文獻探討.....	6
第一節 環氧樹脂之認識.....	6
第二節 環氧樹脂的應用.....	10
第三節 車床技法之認識.....	20
第三章 研究方法與實施規劃.....	32
第一節 研究架構.....	33
第二節 尺寸設計與實作流程計劃.....	35
第四章 研究實施與成果.....	38
第一節 環氧樹脂使用真空幫浦機試驗.....	38
第二節 環氧樹脂加熱消泡試驗.....	42
第三節 瓶口瓶底備料.....	43
第四節 實作加工.....	45

第五章 結論與建議.....	84
第一節 結論.....	84
第二節 建議.....	85
參考文獻.....	87
附錄:南華大學-個人作品展.....	89



## 圖目錄

圖 2-1	雙酚 A 型環氧樹脂分子式 .....	6
圖 2-2	相對分子質量環氧樹脂 n 質 .....	7
圖 2-3	雙酚 A 型環氧樹脂結構式 .....	8
圖 2-4	雙酚 A 型環氧樹脂分子結構 .....	9
圖 2-5	裂痕與腐朽 .....	11
圖 2-6	材料對切保留樹皮 .....	11
圖 2-7	各種元素點綴 .....	11
圖 2-8	角料 .....	12
圖 2-9	木屑 .....	12
圖 2-10	樹瘤 .....	13
圖 2-11	碎裂的原木 .....	13
圖 2-12	壓花 .....	13
圖 2-13	乾燥植物 .....	14
圖 2-14	咖啡豆 .....	14
圖 2-15	貝殼 .....	15
圖 2-16	金屬零件 .....	15
圖 2-17	木塊 .....	16
圖 2-18	環氧樹脂與木材角料 .....	16
圖 2-19	環氧樹脂染色與樹瘤 .....	17
圖 2-20	環氧樹脂填入事前準備 .....	17
圖 2-21	黑色色粉與青銅粉混入環氧樹脂 .....	18
圖 2-22	色粉、青銅粉與環氧樹脂的金屬效果 .....	18
圖 2-23	環氧樹脂桌面 .....	19

圖 2-24	色粉填補 .....	19
圖 2-25	小 F 型夾 (拍攝者: 呂俊良) .....	21
圖 2-26	單刀鋸 (拍攝者: 呂俊良) .....	22
圖 2-27	海棉襯底砂紙 (拍攝者: 呂俊良) .....	23
圖 2-28	氣動砂磨機 .....	23
圖 2-29	氣動砂磨專用人造纖維襯底砂紙 (拍攝者: 呂俊良) .....	23
圖 2-30	橡膠襯底砂帶 (拍攝者: 呂俊良) .....	24
圖 2-31	藍手塗料無毒護木油 .....	24
圖 2-32	二度底漆 (拍攝者: 呂俊良) .....	25
圖 2-33	多用途香蕉水 (拍攝者: 呂俊良) .....	25
圖 2-34	透明噴漆 (拍攝者: 呂俊良) .....	26
圖 2-35	粗鑿車刀 .....	26
圖 2-36	圓鑿車刀 .....	27
圖 2-37	碗鑿車刀 .....	27
圖 2-38	刮鑿車刀 .....	28
圖 2-39	刮鑿車刀 .....	28
圖 2-40	斜鑿車刀 .....	29
圖 2-41	搪孔車刀 .....	29
圖 2-42	分鑿車刀 .....	30
圖 3-1	研究實施流程圖 (繪圖者: 呂俊良) .....	32
圖 3-2	環氧樹脂實驗架構 (繪圖者: 呂俊良) .....	33
圖 3-3	環氧樹脂應用於車床藝品實作架構 (繪圖者: 呂俊良) .....	34
圖 3-4	外模具(拍攝者: 呂俊良) .....	35
圖 3-5	內模具(拍攝者: 呂俊良) .....	35
圖 3-6	尺寸設定示意圖 (繪圖者: 呂俊良) .....	36

圖 3-7	安裝車床示意圖（繪圖者：呂俊良）	37
圖 4-1	均勻攪拌環氧樹脂（拍攝者：呂俊良）	38
圖 4-2	抗黃型（拍攝者：呂俊良）	39
圖 4-3	慢乾抗黃型（拍攝者：呂俊良）	39
圖 4-4	使用真空壓縮機之過程變化（拍攝者：呂俊良）	40
圖 4-5	環氧樹脂使用真空壓縮前（拍攝者：呂俊良）	40
圖 4-6	環氧樹脂使用真空壓縮後液面變化（拍攝者：呂俊良）	41
圖 4-7	未完全抽出的小氣泡（拍攝者：呂俊良）	41
圖 4-8	使用自動縱開鋸機備製材料寬度（拍攝者：呂俊良）	43
圖 4-9	使用手壓鉋木機鉋削平面（拍攝者：呂俊良）	43
圖 4-10	使用平面鉋木機鉋削平面（拍攝者：呂俊良）	44
圖 4-11	使用線鋸機鋸切材料（拍攝者：呂俊良）	44
圖 4-12	使用側面砂帶修整材料（拍攝者：呂俊良）	44
圖 4-13	使用線鋸機鋸切色鉛筆（拍攝者：呂俊良）	45
圖 4-14	環氧樹脂產生大量氣泡（拍攝者：呂俊良）	45
圖 4-15	第一次灌注未排出的氣泡（拍攝者：呂俊良）	46
圖 4-16	第二次灌注未排出的氣泡（拍攝者：呂俊良）	46
圖 4-17	三次灌注都發現未排出的氣泡（拍攝者：呂俊良）	46
圖 4-18	分離容器與環氧樹脂（拍攝者：呂俊良）	47
圖 4-19	用側面砂帶機磨平（攝影者：呂俊良）	47
圖 4-20	用側面砂帶機磨平（攝影者：呂俊良）	47
圖 4-21	在瓶底塗上環氧樹脂（拍攝者：呂俊良）	48
圖 4-22	瓶底膠合（拍攝者：呂俊良）	48
圖 4-23	增加夾板防止材料損壞	48
圖 4-24	檢視偏心並車圓（拍攝者：呂俊良）	49

圖 4-25	塗上環氧樹脂補洞 (拍攝者：呂俊良)	49
圖 4-26	填補後繼續加工 (拍攝者：呂俊良)	49
圖 4-27	切出瓶口位置 (拍攝者：呂俊良)	50
圖 4-28	擴口、修飾瓶口 (拍攝者：呂俊良)	50
圖 4-29	修飾容器內壁 (拍攝者：呂俊良)	51
圖 4-30	砂磨容器內壁 (拍攝者：呂俊良)	51
圖 4-31	木棒輔助砂磨內部 (拍攝者：呂俊良)	52
圖 4-32	使用高號數砂紙砂磨 (拍攝者：呂俊良)	52
圖 4-33	使用棉布與蜂蠟拋光 (拍攝者：呂俊良)	53
圖 4-34	塗裝底漆增色拋光 (拍攝者：呂俊良)	53
圖 4-35	檢視效果 (拍攝者：呂俊良)	53
圖 4-36	預留部分 (拍攝者：呂俊良)	54
圖 4-37	環氧樹脂灌注與色鉛筆結合之容器 (拍攝者：呂俊良)	54
圖 4-38	將原木切成數段 (拍攝者：呂俊良)	56
圖 4-39	模具上方檢視樹脂溢出有無 (拍攝者：呂俊良)	56
圖 4-40	氣泡快速排出示意圖 (繪圖者：呂俊良)	57
圖 4-41	脫模不易，直接上膠 (拍攝者：呂俊良)	57
圖 4-42	上蓋黏合 (拍攝者：呂俊良)	57
圖 4-43	畫線並檢查偏心 (拍攝者：呂俊良)	58
圖 4-44	藉由旋轉觀察偏心程度 (拍攝者：呂俊良)	58
圖 4-45	模具去除、車削 (拍攝者：呂俊良)	58
圖 4-46	表面車圓、刮削 (拍攝者：呂俊良)	59
圖 4-47	曲面修飾、切削 (拍攝者：呂俊良)	59
圖 4-48	切開平口 (拍攝者：呂俊良)	59
圖 4-49	車削內部 (拍攝者：呂俊良)	60

圖 4-50	砂磨內部 (拍攝者: 呂俊良)	60
圖 4-51	砂磨 (拍攝者: 呂俊良)	60
圖 4-52	蜂蠟塗抹 (拍攝者: 呂俊良)	61
圖 4-53	蜂蠟塗抹 (拍攝者: 呂俊良)	61
圖 4-54	車斷 (拍攝者: 呂俊良)	61
圖 4-55	鋸斷 (拍攝者: 呂俊良)	62
圖 4-56	底部鋸斷後的樣子 (拍攝者: 呂俊良)	62
圖 4-57	側面砂帶機修飾 (拍攝者: 呂俊良)	62
圖 4-58	氣鼓式砂磨機修飾 (拍攝者: 呂俊良)	63
圖 4-59	底部上蠟前 (拍攝者: 呂俊良)	63
圖 4-60	底部上蠟後 (拍攝者: 呂俊良)	63
圖 4-61	環氧樹脂與原木樹枝切片結合之容器 (拍攝者: 呂俊良)	64
圖 4-62	將角料綜切成小木條 (拍攝者: 呂俊良)	65
圖 4-63	將木條鋸切成小塊 (拍攝者: 呂俊良)	65
圖 4-64	用側面砂帶機修整 (拍攝者: 呂俊良)	66
圖 4-65	將木塊隨意放入模具中 (拍攝者: 呂俊良)	66
圖 4-66	消泡過程 (拍攝者: 呂俊良)	66
圖 4-67	固化完成 (拍攝者: 呂俊良)	67
圖 4-68	固定黏合瓶底與瓶口 (拍攝者: 呂俊良)	67
圖 4-69	車圓表面 (拍攝者: 呂俊良)	67
圖 4-70	外觀弧面製作 (拍攝者: 呂俊良)	68
圖 4-71	車出瓶口 (拍攝者: 呂俊良)	68
圖 4-72	表面砂磨 (拍攝者: 呂俊良)	68
圖 4-73	分鑿車刀車出的縫隙 (拍攝者: 呂俊良)	69
圖 4-74	氧樹脂灌注小木塊之容器 (拍攝者: 呂俊良)	69

圖 4-75	平鉋機製造出來的鉋花 (拍攝者: 呂俊良) .....	70
圖 4-76	使用真空幫浦機分四次灌注 (拍攝者: 呂俊良) .....	71
圖 4-77	檢視四次灌注結果 (拍攝者: 呂俊良) .....	71
圖 4-78	取出固化的環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良) .....	71
圖 4-79	凸出的木材鉋花與環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良) .....	72
圖 4-80	砂磨瓶口與平底的黏接面 (拍攝者: 呂俊良) .....	72
圖 4-81	塗上環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良) .....	72
圖 4-82	塗上環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良) .....	73
圖 4-83	環氧樹脂灌注與木材鉋花結合之容器 (拍攝者: 呂俊良) .....	73
圖 4-84	非洲紅木小鉋花 (拍攝者: 呂俊良) .....	74
圖 4-85	放入木屑 (拍攝者: 呂俊良) .....	74
圖 4-86	發現環氧樹脂流不到底部 (拍攝者: 呂俊良) .....	74
圖 4-87	協助環氧樹脂流入底部 (拍攝者: 呂俊良) .....	75
圖 4-88	第一次灌注使用真空幫浦 (拍攝者: 呂俊良) .....	75
圖 4-89	第二次加入鉋花 (拍攝者: 呂俊良) .....	75
圖 4-90	鉋花附著在容器內壁 (拍攝者: 呂俊良) .....	76
圖 4-91	第二次灌注環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良) .....	76
圖 4-92	第二次灌注使用真空幫浦 (拍攝者: 呂俊良) .....	76
圖 4-93	泡沫消退 (拍攝者: 呂俊良) .....	77
圖 4-94	氣泡排出使體積變少 (拍攝者: 呂俊良) .....	77
圖 4-95	第三次加入木材鉋花 (拍攝者: 呂俊良) .....	77
圖 4-96	第三次灌注環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良) .....	78
圖 4-97	使用真空幫浦機前 (拍攝者: 呂俊良) .....	78
圖 4-98	使用真空幫浦機中 (拍攝者: 呂俊良) .....	78
圖 4-99	使用真空幫浦機五分鐘 (拍攝者: 呂俊良) .....	78

圖 4-100	木材鮑花附著在模具內壁 (拍攝者: 呂俊良) .....	79
圖 4-101	鋪平木材鮑花 (拍攝者: 呂俊良) .....	79
圖 4-102	第四次放入木材鮑花 (拍攝者: 呂俊良) .....	79
圖 4-103	真空幫浦機啟動時氣泡膨脹非常快速 (拍攝者: 呂俊良) .....	80
圖 4-104	氣泡緩慢排出與泡沫緩慢下降 (拍攝者: 呂俊良) .....	80
圖 4-105	表面泡沫結合成大氣泡 (拍攝者: 呂俊良) .....	80
圖 4-106	氣泡幾乎消失 (拍攝者: 呂俊良) .....	81
圖 4-107	完成第五次灌注 (拍攝者: 呂俊良) .....	81
圖 4-108	火烤加熱使表面氣泡破裂 (拍攝者: 呂俊良) .....	81
圖 4-109	砂磨平整 (拍攝者: 呂俊良) .....	82
圖 4-110	砂磨後發現氣泡坑洞 (拍攝者: 呂俊良) .....	82
圖 4-111	黏合 (拍攝者: 呂俊良) .....	82
圖 4-112	黏合 (拍攝者: 呂俊良) .....	83
圖 4-113	環氧樹脂與木材小鮑花的試驗完成 (拍攝者: 呂俊良) .....	83

# 第一章 緒論

木質製品具有天然的紋理與香味，距今六千多年中國河姆渡遺址已有大量木材加工技術，至今仍然有許多專家研鑽木材工藝提高木材的利用價值，近年來工業技術進步迅速，出現許多複合材質加工品深受消費者喜愛。

早在 1891 年德國已有環氧樹脂的發明，1947 年美國開發工業化技術，多運用在大型積體電路的封裝、發電機絕緣、機械土木建築的膠黏劑，至今已運用在我們生活周遭；環氧樹脂具有優良的物理機械性、電絕緣性、耐藥性與黏結性，高強度常溫硬化的特性，非常適合硬應用在耐壓、耐磨、耐酸鹼、無縫、易清潔、美觀等要求基床，是經濟發展不可或缺的材料。

資料來源：<https://sites.google.com/site/7788uuiiuu2/>

## 第一節 研究緣起與動機

### 壹、研究緣起

近年來，看見傳統的木工技術與新潮的環氧樹脂結合，也在市面上出現許多各種不同形式風格的產品，例如餐桌的桌面、花瓶的瓶身、鋼筆的筆桿等，這些產品不但增加了本身的價值，也增加了視覺上的多元化，許多不同的木工拼接技法應用而生。

歷年來相關之學者及專家，對環氧樹脂技法呈現許多操練及實作。但是，對於許多不規則材質的適用度及製作細節，並未能深入加以探究，對於如何提高選材及實作的技術層面，受限於專業的車床製造技術，並未能深入加以探討或研究。

### 貳、研究動機

環氧樹脂製品在設計過程中，一般多只注重整體造形、配色、成本、結構等技術，往往忽略該加工材料反應過程的影響性。因此本研究必須了解環氧樹

脂加工過程之變化與不同材質所產生的問題，並探討應用於車床加工的製作方法，善用美學概念展現傳統木料拼接無法呈現的視覺角度，以做為未來工藝設計製作之參考。

## 第二節 研究目的

依據研究緣起與動機之論述，優良的車床藝品必須具備手工製作、高度美感及價值之三大原則。為證明環氧樹脂應用於車床藝品是否具有適用的發展價值，本研究的目的如下：

- 一、了解環氧樹脂應用於木工車床藝品的製作方式。
- 二、了解不同木材質的特性，是否適用於木工車床的探討。
- 三、了解木材質於環氧樹脂固化反應過程的影響，如何改善並應用在車床藝品。
- 四、了解木材質與環氧樹脂結合之複合材質的優缺點。
- 五、提供上述相關實驗過程及影響因素之建議，供國內有關單位及相關學者與專家參考，並作為後續研究之依據。

## 第三節 待答問題

本研究將應用環氧樹脂灌注，改良傳統車床之藝品。利用木工車床的原理及環氧樹脂試驗，設計改變拼接的材料及形式，使拼接材料與環氧樹脂加工後整體的價值美觀能獲得提昇，以達最佳的材質複合應用及創新，因此本研究探討之主要問題如下：

- 一、木質材料與環氧樹脂結合車床應用後之外觀為何？
- 二、木質材料與環氧樹脂應用於車床加工之方式與過程為何？
- 三、環氧樹脂車製時所使用之木質材料影響為何？
- 四、木質材料、環氧樹脂應用於車床加工時與刀具之影響為何？

## 第四節 研究方法

應用所學的經驗與技術，手工製作、體會、改良，找到適合的環氧樹脂複合材質的加工方式，來完成本研究的車床藝品。

- 一、應用環氧樹脂的特性，可讓許多不規則、不平整的木料，也能使用於車床工藝，並利用車床技術加工完成。
- 二、為了使材料統一規格，選用適合之簡易接合模具進行灌注。
- 三、選用五種不同效果之木質材料，利用所學之技能與經驗，實驗並製作藝品，加以探究不同效果的木質材料應用於環氧樹脂所造成的結果及過程。

## 第五節 研究範圍與限制

由於工業時代傢俱量化生產上的需求，全球森林過度的開發，人造林的速度趕不上人類的需求，替代材料不斷的被開發出來，例如過去台灣地區藝品店家所使用之聚寶盆常以龍柏、紅檀製造，色澤鮮豔討喜，目前已漸漸被桃花心木及樟木所替代。

由於許多木材稀有度上昇，減少了選擇材料的多元性，為了開發應用車床藝品的新材料與形式，本研究選用五種木料相關材質做實驗製作，為使製作過程較易進行，選擇較易取得、價格合理且容易加工之材料，因此，本研究選擇以色鉛筆、龍柏樹枝、紅木、山毛櫸、木屑為拼接製作材料。

### 壹、研究範圍

- 一、本研究之材料皆以塑膠袋密封，並放置室內常溫乾燥處，因此不討論溫度、潮濕等自然因素。
- 二、本研究僅進行五種不同材質之車床藝品實驗，相同樣式大小之製作，不包括材質物理性能差異之測定。
- 三、本研究環氧樹脂存放、灌注與硬化過程皆處無陽光直射之室內，不討論陽光溫度的因素。

## 貳、研究限制

- 一、本研究基於節省不浪費，色鉛筆部分僅採用較便宜的立威企業社彩色鉛筆，因此不討論不同筆材質影響之問題；木屑取用胡桃木、山毛櫸、非洲紅木之平鉋機鉋花，因此為隨機使用機器加工廢料之鉋花不討論不同木材影響之問題；樹枝切片部分僅採用龍柏樹枝，因此不討論不同木材、邊材、心材、硬度、蛀蟲等影響之因素；小木塊部分僅採用紅木角材裁切的小方塊，因此不討論不同角材影響之因素。
- 二、木料接合劑有許多種類（尿素甲酸樹脂、RF、PU、Epoxy、PVAc），本研究只針對環氧樹脂應用作為探索，僅取用慢乾抗黃型環氧樹脂。因此，研究結果將無法解釋推論至其他不同接合劑。
- 三、物品有不同的紋理、毛孔或質感，本研究針對其物理性質作觀察、探究；化學反應或化學變質產生之問題，僅透過觀察與記錄其過程，研究結果將無法分析化學相關資訊。
- 四、本探索的主要變項僅限於「環氧樹脂應用於木材質的車床藝品」的關係研究，其他非木材質影響因素（如金屬硬度與延展性、橡膠彈性、陶瓷硬度與脆度等），則無納入探索。
- 五、本研究使用的機器已有年紀，功率及效能有些退化，可能造成一些瑕疵，使完成之作品沒有達到完美。

## 第六節 名詞界定

### 環氧樹脂 (Epoxy)

一類重要的熱固性塑料，廣泛用於黏著劑，塗料等用途。人造樹脂 (Epoxy resins/Epoxy/Polyepoxide) 是熱固性環氧化物聚合物。大多數人造樹脂由環氧氯丙烷 (epichlorohydrin, C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>ClO) 和雙酚 A (酚甲烷, bisphenol-A, C<sub>15</sub>H<sub>16</sub>O<sub>2</sub>) 產生化學反應而成。

資料來源:<https://zh.wikipedia.org/wiki/>

### 車床 (Lathe)

是一種將加工物固定在一旋轉主軸上加工的工具機。由電力驅動馬達，經皮帶及齒輪等傳動系統使主軸轉動，帶動主軸夾頭上之工件旋轉，再利用固定於刀架上之車刀進行車削之工具機。

資料來源:<https://zh.wikipedia.org/wiki/>

### 真空幫浦 (Vacuum pump)

製造真空的一種機械，它可以把一個密閉的或半密閉的空間中空氣排出或者吸收，達到局部空間的相對真空。

資料來源:<https://zh.wikipedia.org/wiki/>

## 第二章 文獻探討

依研究目的，本章節分三節進行文獻整合、首先為環氧樹脂認識、環氧樹脂相關藝品了解，次之探討造車床技法之認識。

本研究為「環氧樹脂應用於木工車床藝品之探索」，主要探討環氧樹脂特性、相關藝品參考、車床加工技法與工具選用。

### 第一節 環氧樹脂之認識

#### 壹、環氧樹脂種類

環氧樹脂的種類繁多，為了區別起見，常在環氧樹脂的前面加上不同單體的名稱。如二酚基丙烷(簡稱雙酚 A)環氧樹脂(由雙酚 A 和環氧氯丙烷製得);甘油環氧樹脂(由甘油和環氧氯丙烷製得);丁烯環氧樹脂(由聚丁烯氧化而得);環戊二烯環氧樹脂(由二環戊二烯環氧化製得)。此外，對於同一類型的環氧樹脂，也根據它們的黏度和環氧值的不同而分成不同的牌號，因此它們的性能和用途也有所差異。目前應用最廣泛的是雙酚 A 型環氧樹脂的一些牌號，通常所說的環氧樹脂就是指雙酚 A 型環氧樹脂，如圖 2-1 所示。

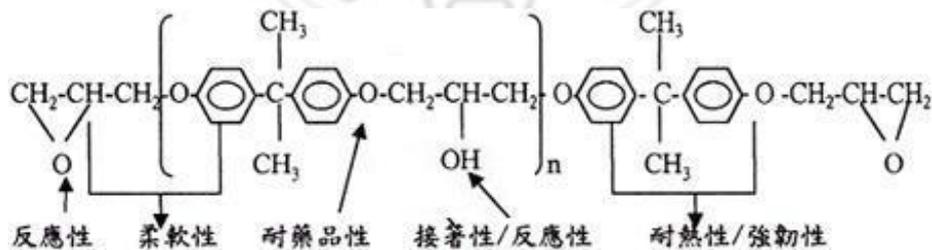


圖 2-1 雙酚 A 型環氧樹脂分子式

圖片與資料來源：<http://www.twword.com/wiki/>

#### 貳、雙酚 A 型環氧樹脂

雙酚 A 型環氧樹脂是環氧樹脂中產量最大、使用最廣的一種品種，因為它有很高的透明度，也是由雙酚 A 和環氧氯丙烷在氫氧化鈉存在下反應生成

的：式中：n 一般在 0~25 之間。根據相對分子質量大小，環氧樹脂可以分成各種型號。一般低相對分子質量環氧樹脂的 n 平均值小於 2，軟化點低於 50°C，也成為軟環氧樹脂；中等相對分子質量環氧樹脂的 n 值在 2~5 之間，軟化點在 50~95°C 之間；而 n 大於 5 的樹脂（軟化點在 100°C 以上）稱為高相對分子質量樹脂，如圖 2-2 所示。

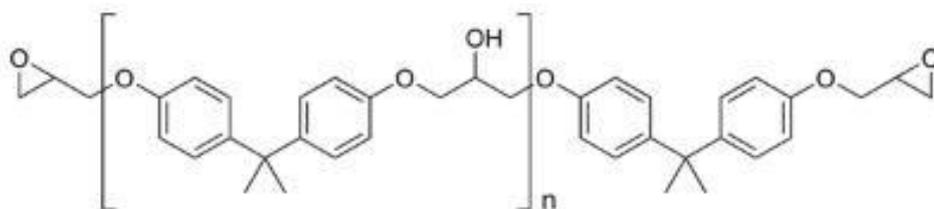


圖 2-2 相對分子質量環氧樹脂 n 質

圖片與資料來源：<http://www.tword.com/wiki/>

### 參、雙酚 A 型環氧樹脂固化原理

在環氧樹脂的結構中有羥基（ $\text{CH-OH}$ ）、醚基（ $\text{-O-}$ ）和極為活潑的環氧基存在，羥基和醚基有高度的極性，使環氧分子與相鄰界面產生了較強的分子間作用力，而環氧基團則與介質表面（特別是金屬表面）的遊離鍵起反應，形成化學鍵。因而，環氧樹脂具有很高的黏合力，用途很廣，商業上被稱作「萬能膠」。此外，環氧樹脂還可做塗料、澆鑄、浸漬及模具等用途。但是，環氧樹脂在未固化前是呈熱塑性的線型結構，使用時必須加入固化劑，固化劑與環氧樹脂的環氧基等反應，變成網狀結構的大分子，成為不溶且不熔的熱固性成品。環氧樹脂在固化前相對分子質量都不高，只有通過固化才能形成體形高分子。環氧樹脂的固化要藉助固化劑，固化劑的種類很多，主要有多元胺和多元酸，他們的分子中都含有活波氫原子，其中用得最多的是液態多元胺類，如二亞乙基三胺和三乙胺等。環氧樹脂在室溫下固化時，還常常需要加些促進劑（如多元硫醇），已達到快速固化的效果。 固化劑的選

擇與環氧樹脂的固化溫度有關，在通常溫度下固化一般用多元胺和多元硫胺等，而在較高溫度下固化一般選用酸酐和多元酸為固化劑。不同的固化劑，其交聯反應也不同。

#### 肆、雙酚 A 型環氧樹脂的結構

環氧樹脂的各個應用領域中，其最終的使用性能是由環氧樹脂固化物提供的，環氧樹脂固化物的性能取決於固化物的分子結構，如圖 2-3 所示，而固化物的分子結構及其形成則取決於環氧樹脂的結構及性能、固化劑的結構及性能、添加劑的結構及性能，以及環氧樹脂的固化歷程。雙酚 A 型環氧樹脂的結構對環氧樹脂及其固化物性能的影響如下：

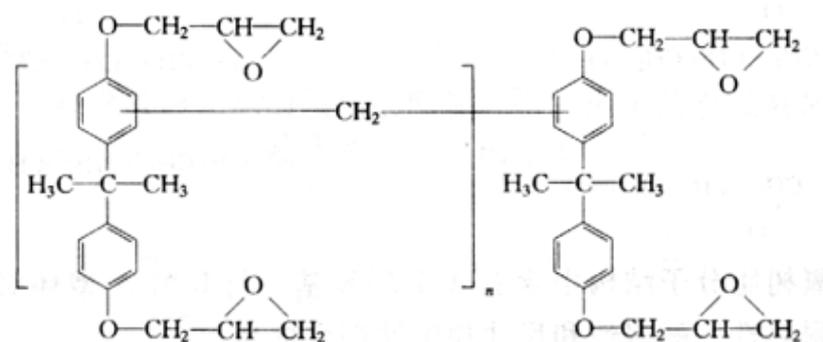


圖 2-3 雙酚 A 型環氧樹脂結構式

圖片與資料來源：<http://www.tword.com/wiki/>

##### 一、雙酚 A 型環氧樹脂的大分子結構具有以下特徵

- 1、大分子的兩端是反應能力很強的環氧基。
- 2、分子主鏈上有許多醚鍵，是一種線型聚醚結構。
- 3、n 值較大的樹脂分子鏈上有規律地、相距較遠地出現許多仲羥基，可以看成是一種長鏈多元醇。
- 4、主鏈上還有大量苯環、次甲基和異丙基。

##### 二、雙酚 A 型環氧樹脂的各結構單元賦予樹脂功能

- 1、環氧基和羥基賦予樹脂反應性，使樹脂固化物具有很強的內聚力和粘接力。

- 2、醚鍵和羥基是極性基團，有助於提高浸潤性和粘附力。
- 3、醚鍵和 C-C 鍵使大分子具有柔順性。
- 4、苯環賦予聚合物以耐熱性和剛性。
- 5、異丙基也賦與大分子一定的剛性。
- 6、-C-O-鍵的鍵能高，從而提高了耐鹼性。

### 伍、雙酚 A 型環氧樹脂特點

雙酚 A 型環氧樹脂的分子結構，如圖 2-4 所示，決定了它的性能具有以下特點：

- 1、是熱塑性樹脂，但具有熱固性，能與多種固化劑、催化劑及添加劑形成多種性能優異的固化物，幾乎能滿足各種使用要求。
- 2、樹脂的工藝性好。固化時基本上不產生小分子揮發物，可低壓成型，能溶於多種溶劑。
- 3、固化物有很高的強度和黏接強度。
- 4、固化物有較高的耐腐蝕性和電性能。
- 5、固化物有一定的韌性和耐熱性。
- 6、主要缺點是：耐熱性和韌性不高，耐濕熱性和耐候性差。

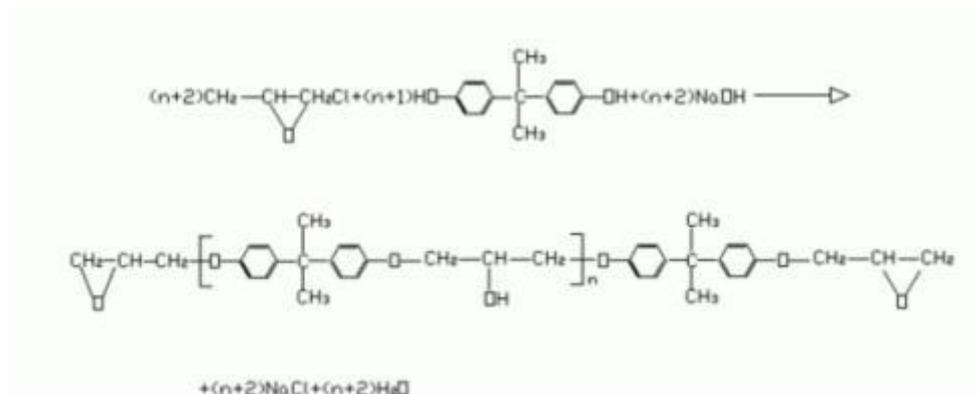


圖 2-4 雙酚 A 型環氧樹脂分子結構

圖片與資料來源：<http://www.twword.com/wiki/>

綜合以上對環氧樹脂應用的相關資訊，得知同環氧樹脂性質會有些微差異，在於不同溫度下反應亦不同，催化劑也隨之改變，在分子作用力下使環氧樹脂黏合力佳，此特性適用於木工藝品的黏著、填補等動作，可增加木材發生破裂、腐朽部分的結構力，環氧樹脂透明透光效果非常適合觀賞用，應用此效果將可大幅增加木材藝品的多樣性與價值，內容提及固化環氧樹脂耐熱性不高，可知環氧樹脂藝品不適合放置會產生高熱的物品旁邊，例如產生高溫的燈泡、高電阻的電器等，在了解環氧樹脂化學知識與特性後增加許多概念與發想，思考安全性的設計，並善用環氧樹脂特性使藝品變化更豐富。

## 第二節 環氧樹脂的應用

### 壹、環氧樹脂與木材結合的藝品

在許多複合材質中，環氧樹脂已被廣泛運用，且容易調色、可任意設計造型、可改變透明度等，增加製造的便利性也增加視覺效果的製造，是一種配合度極高的材質，以下介紹三項常見的環氧樹脂藝品。

#### 一、環氧樹脂與河床桌

大塊木板材常出現裂痕、腐朽等現象，如圖 2-5 所示，或者一些希望保留樹皮的設計師，將板材縱向對切後樹皮放在中間灌注，如圖 2-6 所示，藉由環氧樹脂填補木板材空洞來加強易斷裂、脫落的部分，過程中經過調色、攪動製造流動效果，以形成河流、小溪的感覺在桌面上，也有設計師將空洞部份加入造景元素加以點綴，將透明環氧樹脂直接灌入，如圖 2-7 所示。



圖 2-5 裂痕與腐朽

圖片來源 <https://www.youtube.com/>



圖 2-6 材料對切保留樹皮

圖片來源 <https://www.youtube.com/>



圖 2-7 各種元素點綴

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

## 二、環氧樹脂與飾品

在製作木工過程會製造許多角料、木屑、脫落的樹瘤或碎裂的原木等，這些都是很好利用的廢材，在經過精細的處理、加工、研磨後，就能呈現一項完整的作品，如圖 2-8 至 2-11 所示。



圖 2-8 角料

B 圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-9 木屑

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-10 樹瘤

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-11 碎裂的原木

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

不僅木類材質可參入其中，各種材料皆可應用，例如：壓花、乾燥植物、咖啡豆、貝殼、金屬零件等，如圖 2-12 至 2-16 所示。



圖 2-12 壓花

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-13 乾燥植物

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-14 咖啡豆

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-15 貝殼

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>



圖 2-16 金屬零件

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

### 三、環氧樹脂與車床

從工業機械到傢俱飾品皆被廣泛運用，這些物品都將環氧樹脂應用在塗料或灌注的動作，可表現環氧樹脂高強度、黏性、耐電、耐腐、美觀等優點，卻沒有車床加工過程的資訊，不能了解車床扭力與車刀切削時的影響，藉由參考網路影片製作過程獲得啟發，下列分為三項作為環氧樹脂車床相關資料整合。

- 1、使用木材角料作為灌注內容，首先製作方便固定上車床的木塊，如圖 2-17 所示，再將木塊放在模具正中間，灌注過程中僅使用臉盆與膠帶固定角料，固化後直接車製、砂磨、拋光，如圖 2-18 所示。



圖 2-17 木塊

圖片來源 <https://www.youtube.com/>



圖 2-18 環氧樹脂與木材角料

圖片來源 <https://www.youtube.com/>

2、使用不完整的原木樹瘤灌注環氧樹脂，將木瘤不規則的部分灌入環氧樹脂，混入不透明顏料增加色彩，固化後直接車製、砂磨、拋光，如圖 2-19 所示。



圖 2-19 環氧樹脂染色與樹瘤

圖片來源 <https://www.youtube.com/>

3、使用完整的木材車製接近完成的樣子，規劃並準備好要需要添加環氧樹脂的地方，如圖 2-20 所示，將黑色色粉與青銅粉混入環氧樹脂中充分攪拌，攪拌後像是黏土一樣，如圖 2-21 所示，再將壓克力棒與混合好的環氧樹脂填入木材中，只使用膠帶固定並未使用模具，最後車製不平整部分，經打磨拋光後外表類似金屬的樣子，如圖 2-22 所示。



圖 2-20 環氧樹脂填入事前準備

圖片來源 <https://www.youtube.com/>



圖 2-21 黑色色粉與青銅粉混入環氧樹脂

圖片來源 <https://www.youtube.com/>



圖 2-22 色粉、青銅粉與環氧樹脂的金屬效果

圖片來源 <https://www.youtube.com/>

## 貳、環氧樹脂灌注種類

環氧樹脂藝品製作加工方式甚多，調色、氣泡處理以及不同灌注材料皆為環氧樹脂硬化前的重要因素，因此環氧樹脂硬化反應前應用的相關技法為何，將決定藝品完成後的視覺效果。在了解常見的環氧樹脂藝品後，發現不同灌注材料應用於藝品設計的效果各不相同，材料比例與方式有著密切關係，下列為環氧樹脂藝品所使用灌注材料加工方法種類分析整理。

### 一、大面積桌面灌注

將環氧樹脂以適當比例調配均勻後直接倒入準備灌注處，如圖 2-23 所示。



圖 2-23 環氧樹脂桌面

圖片來源 <https://www.youtube.com/>

## 二、小型容器灌注

以可放入真空幫浦機為準的灌注模具，如戒指、項鍊、碗盤等，將適當比例調配的環氧樹脂倒入材料以固定之容器內，因使用真空幫浦機將氣泡抽出，比例調配以氣體易排出為佳，若製作方式不同可隨需求變動調配比例。

## 三、環氧樹脂染色粉填補

色粉加入環氧樹脂中，均勻攪拌使混入色粉的環氧樹脂類似黏土，再加其填入準備之空缺中，如圖 2-24 所示。



圖 2-24 色粉填補

圖片來源 <https://www.youtube.com/>

## 參、環氧樹脂灌注方法

使用環氧樹脂灌注時最常發生氣體殘留的問題，環氧樹脂的黏性較高、流動速度緩慢，有阻擋物或孔洞較小時，容易發生氣泡或空洞現象。

下列為環氧樹脂灌注過程的氣泡現象，以三大類做為分類整理。

### 一、包風現象型成的氣泡

這類氣泡形成的原因為氣泡阻隔，因空氣存在導致阻礙環氧樹脂無法流經該處，常發生在容器角落或有物體阻礙處，在氣體被快速湧入膠液擠壓時，導致氣體上浮型成氣泡。

### 二、環氧樹脂調配硬化劑時混入氣體

將環氧樹脂 A、B 兩劑倒出時，就可能順著流動混入氣體，且混合時須充分攪拌，此時非常容易把小氣泡混入液體中，導致灌注前就已經參雜許多小氣泡在其中。

### 三、膠量不足

環氧樹脂灌注很難掌控用量需求，大多情況下為了減少成本而選擇較少的用量，看似灌滿的容器中卻含有許多氣體，固化過程中氣體慢慢排出，使原本以為有灌滿的位置產生空洞，留下大面積灌不滿的現象。

## 第三節 車床技法之認識

本節為車床加工過程的基本知識，將了解車床基本技法與加工流程，流程分類為機器與備料、工具與消耗品、刀具、車刀技法名稱，下列為車床相關作業分類整理。

### 壹、機器與備料

#### 平鉋機

將木料板材鉋削平整之機器；為了善用材料因此取用此機器鉋削後的鉋花做為材料。

#### 圓鋸機

裁切木板、角材或修整板材邊緣及角度切割等用途。

## 線鋸機

適合鋸切中小型木料，旋轉材料可鋸切多種造型。

## 砂帶機

修整表面粗糙或多餘處，使物品更平滑、造型更美觀。

## 貳、工具與消耗品

設計一件物品時，必須考慮加工過程、工具使用與時間成本等因素，依照物品設計樣式選定最適宜的工具，根據參考車床技法相關資料蒐集並整理，下列為選用工具用法與時機之參考。

### 模具

灌注環氧樹脂時限制流動的輔助容器，為了節省成本與時間所選用模具與成品造型越相似為佳。

### 夾具

在複合材質之間黏著過成所使用的加壓或固定工具，一般常用夾具為 F 型夾、C 型夾，在不規則或不易使用夾具處通常以橡皮筋、束帶取代，如圖 2-25 所示。



圖 2-25 小 F 型夾 (拍攝者：呂俊良)

## 單刃鋸

因車床高速運轉中切斷物品容易造成危險，所以車細再取下用單刃鋸切斷是安全的方法，如圖 2-26 所示。



圖 2-26 單刃鋸 (拍攝者：呂俊良)

## 砂紙

在製作一項完整的作品時，砂磨是非常重要的步驟，不僅使成品更細緻也是最後修飾造型的動作，因製作方式不同或材質不同，選用的砂紙與砂磨方式也隨之改變；砂紙粗細等級以號數分類，號數越小代表其表面的顆粒越粗，用於打磨顆粒的材料有燧石、石榴石、金剛砂、氧化鋁、氧化矽、氧化鋁合金、氧化鋅合金、氧化鉻、氧化鋁陶瓷，一般木工用途砂紙號數範圍在 60 至 400 號。襯底為橡皮與人造纖維的砂紙一般安裝於機器上使用，抗張力較強較堅韌不易斷裂，不適合用於較細緻部分；紙砂紙分為兩種，一種只能乾磨，另一種可水磨，水砂紙通常會利用水流將粉塵沖去，降低磨擦溫度且增加砂磨能力；為了提升加工效率與便利性會使用手攜式氣動或電動砂磨機加工，這類型砂紙襯底附有海棉、人造纖維、橡膠、棉等種類，如圖 2-27 至 2-30 所示。



圖 2-27 海棉襯底砂紙 (拍攝者：呂俊良)



圖 2-28 氣動砂磨機

圖片來源 <https://tw.ttnet.net/>



圖 2-29 氣動砂磨專用人造纖維襯底砂紙 (拍攝者：呂俊良)



圖 2-30 橡膠襯底砂帶 (拍攝者：呂俊良)

### 護木油

護木油是由蜂蠟和植物油調配而成的塗料，可提供木材基本的防水和潤色效果，味道較輕且能保有木材觸感，如圖 2-31 所示。



圖 2-31 藍手塗料無毒護木油

圖片來源 <https://blog.xuite.net/>

### 底漆

木器塗裝所使用的底漆是由二度底漆與香蕉水混合，為面漆塗裝的前置步驟，需打磨細緻才可塗上面漆，也可選擇不塗裝面漆直接拋光，形成簡易防塵防水的保護層，如圖 2-32 所示。



圖 2-32 二度底漆 (拍攝者：呂俊良)

### 香蕉水

與底漆調配時，可利用香蕉水調整底漆適合塗裝的黏稠度，如圖(2-33)所示。



圖 2-33 多用途香蕉水 (拍攝者：呂俊良)

### 面漆

面漆分為亮光、半消光、消光三種，塗裝過程常發生白化、橘皮現象，溫度、濕度、塗裝速度、塗裝厚度、下層塗膜等都是塗裝失敗的重要因素，如圖 2-34 所示。



圖 2-34 透明噴漆 (拍攝者：呂俊良)

### 參、車床刀具

在了解車刀相關資料時，發現同一種車刀有不同的名稱，常因為車刀本身型式不同、樣式略有差異、外型稍有不同而產生不同的名稱，這些車刀的稱呼也可能因為車床師傅保養刀具時研磨形狀不同或是使用差異而改變，這種差異可能發生溝通或理解上的問題，下列車刀名稱以外型、用途做為簡單的區分。

#### 粗鑿刀/大半圓弧刀 (spindle roughing gouge)

刀刀為弦月形狀，粗鑿多用運在車床第一步驟，方形或不規則形物體的圓柱狀加工，如圖 2-35 所示。



圖 2-35 粗鑿車刀

圖片來源 <https://www.timbecon.com.au/>

### 圓鑿刀/小半圓弧刀 (spindle gouge)

刀刀為弦月形狀與粗鑿車刀相似，可運用轉刀技巧控制入刀角度，以應付特殊造型加工，有多種尺寸，如圖 2-36 所示。



圖 2-36 圓鑿車刀

圖片來源 <https://www.amazon.com/>

### 碗鑿(bowl gouge)

外觀類似圓鑿車刀，多用於碗的加工，也可用於平面粗車但是效率不佳，如圖 2-37 所示。



圖 2-37 碗鑿車刀

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

### 刮鑿刀/平刀/大面積修形車刀 (scraper gouge)

車刀前端為正方形，用於大面積表面處理，也可做特殊技巧的細修，如圖 2-38 所示。



圖 2-38 刮鑿車刀

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

### 刮刀鑿/平圓刀/圓車刀 (scraper gouge)

刀刀為圓鼻形、車削接觸面為平面，可用於表面修整、造型加工等，如圖 2-39 所示。



圖 2-39 刮鑿車刀

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

### 斜鑿車刀/斜角刀/切角車刀(skew chisel)

車刀前端為斜平面，使用時需將車刀立起，用於特殊角度細修，如圖 2-40 所示。



圖 2-40 斜鑿車刀

圖片來源 <https://www.highlandwoodworking.com/>

### 搪孔刀/內孔車刀(hollowing tool)

車刀前端為 7 字形橢圓狀，專門車製物件內圓，如圖 2-41 所示。



圖 2-41 搪孔車刀

圖片來源 <https://www.amazon.com/>

## 分鑿刀/車斷刀/劍型車刀/分離車刀(parting tool)

車刀前端為劍型，使用於切斷分離坯體，如圖 2-42 所示。



圖 2-42 分鑿車刀

圖片來源 <https://www.pinterest.com/>

## 肆、車床技法名稱

在學習車床技法階段常常發生操作失誤，大部份是技術與經驗不足，這些只需多花時間練習就可克服，而少部分原因是握刀方式、刀架高度或是選用車刀等問題，以下將車床技法分類歸納各種車刀技法名稱。

### 粗車(粗鑿)

用於車床加工第一步驟；利用大半圓弧車刀處理粗坯的偏心與稜角，有效率地將坯體處理成圓柱形。

### 分鑿

用於劃分界線時所使用的技法；車床製作初期先用鉛筆劃出需要的比例位置，再使用車斷車刀車出溝槽，區分不同的工作區與切斷位置，方便釐清加工區不至於車過頭。

## 刮削(刮鑿)

使用小半圓弧車刀時不需轉刀技巧，是較為簡單安全的車削方法，以刮的方式去除胚體，因此表面不平滑。

## 切削(切鑿)

使用小半圓弧車刀配合轉刀技巧的技法，可將表面處理平滑，若技巧使用得宜會有類似壓光效果，但因轉刀技巧需要將刀背貼近坯體，常常發生失誤造成坯體受傷。

## 斜鑿

在造型加工過程需處理細縫溝槽時，需要較細的車刀才能做到，雖然切削也可加工細溝，但可處理溝槽深度有限；利用斜角車刀處理細縫，入刀角度可改變溝槽型狀。

## 搪孔

加工坯體內圓時應以內圓深淺判斷使用工具，較淺的物品例如盤子，可直接用刮削與切削技法完成內圓，若內圓較深不容易加工，會先用鑽頭鑽至需要的深度，再使用平圓車刀擴口方便搪孔車刀加工。

## 切斷

加工完成取下物品的技法，車斷刀直接對準要車斷的位置鑿入胚體，如果切斷層面較厚，需要不斷擴寬切入口以免卡刀。

### 第三章 研究方法與實施規劃

本論文採用實作分析法研究，應用所學的經驗與技術手工製作、體會、改良，找到新的且適合的拼接車床藝品。為了確實求證環氧樹脂與車床材料的製作方法及實用價值性，必須以桌上型木工車床測試製作成品，觀察並紀錄加工過程及之變化，作為本研究之理論基礎，以了解環氧樹脂 A、B 劑劑量調配比例、灌注不同車床材質之影響、車床加工方法等因素，對材質、結構及美觀影響的相關性。本章主要在說明實驗架構的設計、實作流程計劃及資料整理。本研究實施流程，如圖 3-1 所示。

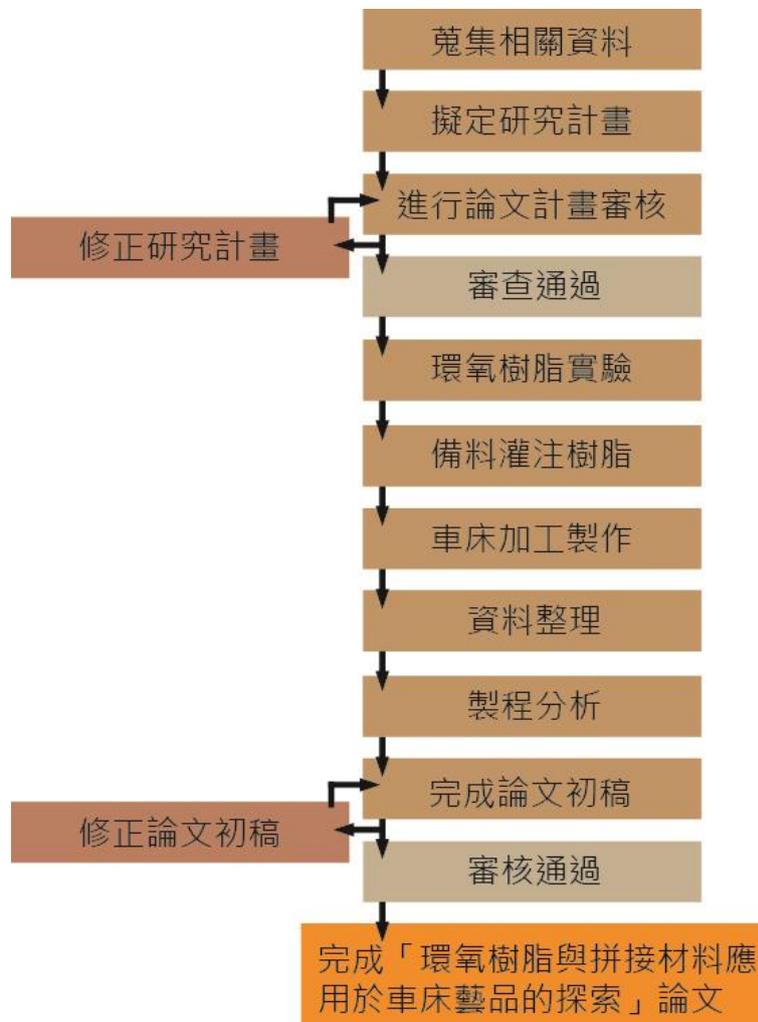


圖 3-1 研究實施流程圖（繪圖者：呂俊良）

## 第一節 研究架構

因選購環氧樹脂時類型分為抗黃型(EP-2U1)與慢乾抗黃型(EP-S2U1)兩種，必須挑選較適合灌注的環氧樹脂類型作為本研究主要實驗對象，再依據環氧樹脂調配方法將樹脂區分為 1.5:1、2:1 兩組，皆使用吹風機加熱、火烤兩種測試，並選用兩者中最適合灌注之比例及加熱方法，以應用於環氧樹脂灌入車床材質中，探究不同調配比例與溫度變化對硬化速度、氣體排出及車床材料之影響，上述之分類即為本研究之自變項。環氧樹脂灌注材料經木工車床加工製作，所得最完善藝品為本研究之依變項。透過觀察、觸摸製作結果，藉以了解各組製作方法之差異，並分析不同變項對環氧樹脂與材料的製作方法的影響程度及相關性。本研究之實驗架構，如圖 3-2 所示。

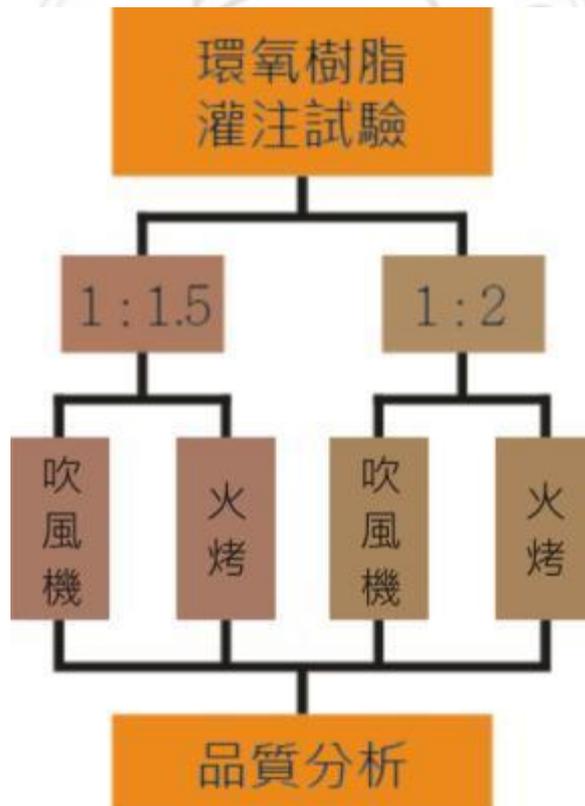


圖 3-2 環氧樹脂實驗架構 (繪圖者：呂俊良)

初步了解環氧樹脂特性與應對方法後，選擇較適用於藝品加工的方法應用於被灌注的材質，選用五種相似材料研究灌注過程差異性，記錄實驗過程、發現問題、問題解決方法，統整結果並提出建議做為未來相關產業之依據；選用材料以廢物利用為主，分別為色鉛筆、原木片、小匏花、大匏花、小木塊，因色鉛筆常出現於環氧樹脂灌注藝品中，所以列入實驗加以探索，其他選用材料皆為角料、機器匏花、蛀蟲與腐朽樹枝等再利用；經過簡單裁切、砂磨後馬上開始灌注環氧樹脂，計劃將循序漸進的將各種材料經過灌注、黏合、車床，並非將同步驟一次性做完，從第一項灌注、黏合、車床等動作發現問題、檢討，再接續第二項目，依此類推，預防個人經驗不足或認知錯誤等問題，藉此方式獲得更多經驗與檢討點，如圖 3-3 所示。

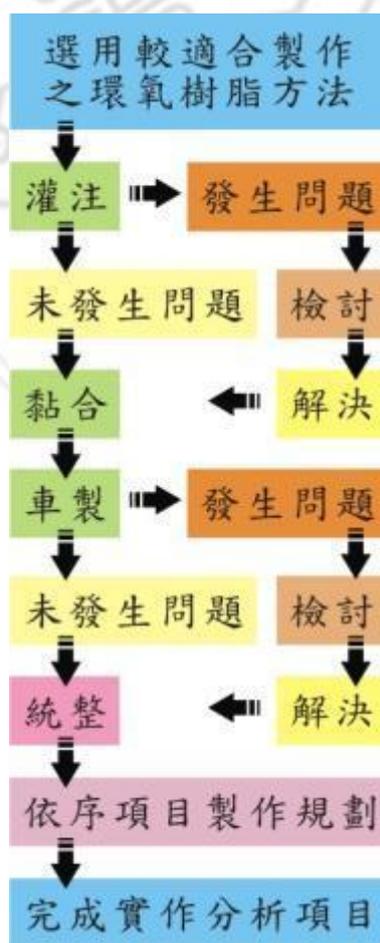


圖 3-3 環氧樹脂應用於車床藝品實作架構（繪圖者：呂俊良）

## 第二節 尺寸設計與實作流程計劃

為了使環氧樹脂灌注之材料達到更多展示效果，需設計可充分展示環氧樹脂與內容物之外型，將以圓柱外形製作使表面充分展現實驗成果，因使作品的透光效果更佳，決定製作中空可透光的容器，此容器不加以設計造型，僅製作簡易圓弧面，營造出稍有不同於平面反光的效果即可。環氧樹脂灌注模具及調配容器皆使用市面上販賣的塑膠容器，尺寸設計依照模具規模來做更改，為了節省環氧樹脂用量，中空部分放置較小的容器減少灌注容積。

本研究採用的外模具尺寸為  $11*12*16(\text{cm})$ ，如圖 3-4 所示。



圖 3-4 外模具(拍攝者:呂俊良)

環氧樹脂坯體中空部分使用之內容器尺寸為  $6*8*15(\text{cm})$ ，如圖 3-5 所示。



圖 3-5 內模具(拍攝者:呂俊良)

考慮使用真空幫浦時，環氧樹脂中的氣體可能增加體積，預留模具高度 4~6 公分的空間，以防止環氧樹脂溢出，因此環氧樹脂灌注液面高度設定在模具高度 10~12 公分處；為了使中空的環氧樹脂坯體便於安置車床上，將環氧樹脂坯體上下方黏上木材；模具瓶口直徑 12 公分、底部直徑 11 公分，依照灌注後的尺寸裁切木材，減少耗材，如圖 3-6 所示。

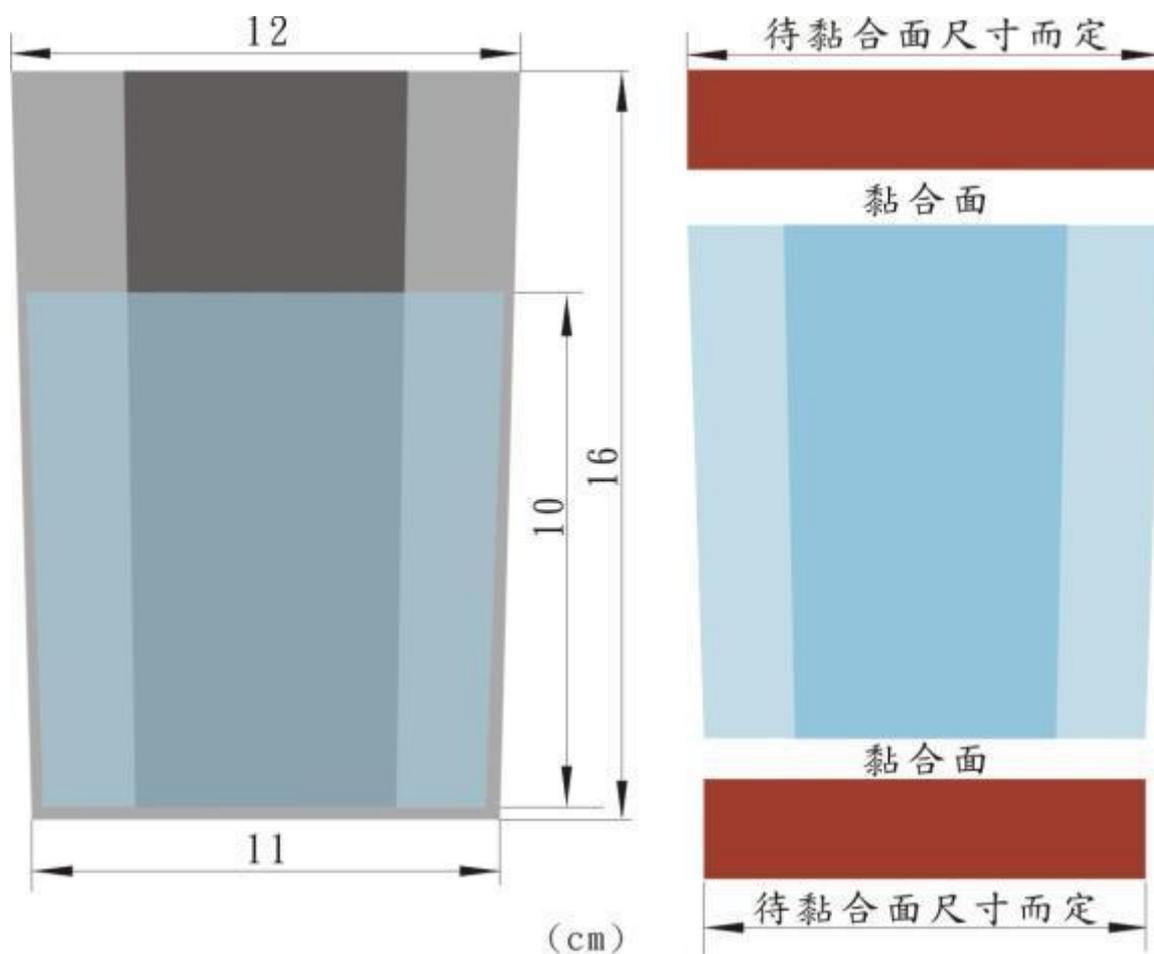


圖 3-6 尺寸設定示意圖 (繪圖者: 呂俊良)

在車床鎖盤與坯體之間增加一層夾板，便於螺絲鎖上時不會破壞到胚體，而坯體另一側規劃製作瓶口，則不需用夾板來防止頂針刺傷，如圖 3-7 所示。

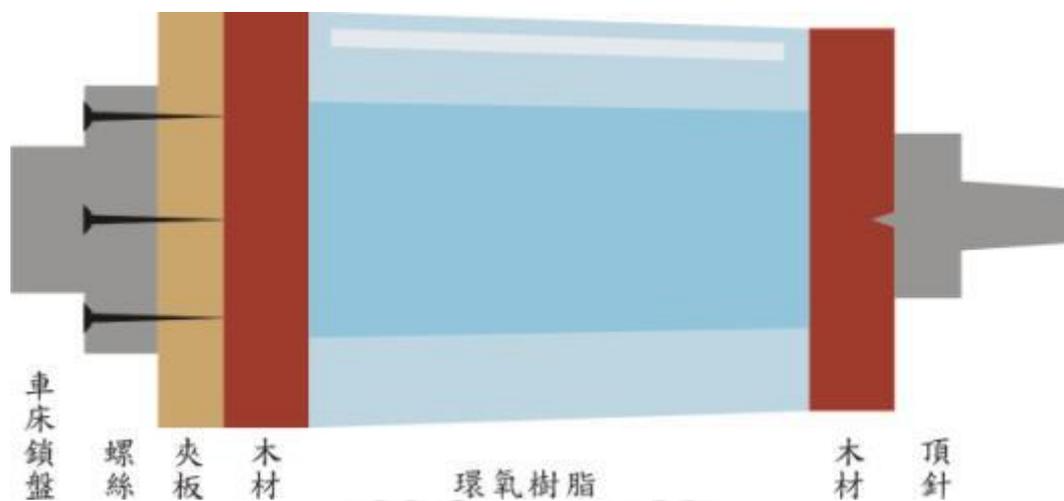


圖 3-7 安裝車床示意圖 (繪圖者：呂俊良)

## 第四章 研究實施與成果

依照研究方法的步驟來實施探索，首先測試兩種型號的環氧樹脂，再依據試驗結果選用較適合的環氧樹脂型號，接續試驗溫度對環氧樹脂之影響，將此兩項目試驗結果統整探討，並將試驗結果應用於車床藝品之環氧樹脂灌注步驟中，最後以車床加工完成試驗。本研究之實驗依照五種不同木質材料加以敘述說明，研究實施分為環氧樹脂使用真空幫浦機之試驗、環氧樹脂加熱消泡之試驗、瓶口瓶底備料、實作加工(色鉛筆、原木切片、木塊、大木屑、小木屑)等四個小節實施，各節實施流程如下：

### 第一節、環氧樹脂使用真空幫浦機試驗

#### 壹、環氧樹脂瞭解與比較

本研究採用市售模型製作及藝品製作常用之環氧樹脂為灌注材料，由於購買之樹脂是抗黃型(EP-2U1)與慢乾抗黃型(EP-S2U1)兩種，因此必須瞭解環氧樹脂之特性與適用價值；首先比較兩種樹脂之差異，因此，只談論兩種樹脂之差異，其他因素不參與試驗，A、B 劑量皆以 2:1 為調配比例。為節省成本僅用六十公克做試驗，因 A 劑與 B 劑比重不同攪拌時必須均勻，才不會出現半乾或不乾的現象，可檢視攪拌過程中是否有雲霧狀，攪拌至清澈即可，如圖 4-1 所示。



圖 4-1 均勻攪拌環氧樹脂 (拍攝者：呂俊良)

經檢視兩種樹脂之 A、B 劑，發現抗黃型 A 劑(EP-2U1A)較慢乾抗黃型 A 劑(EP-S2U1A)黏稠，B 劑黏稠度相同。抗黃型(EP-2U1)放置約一至二小時發現已呈現半固體狀態，慢乾抗黃型(EP-S2U1)則需要四至五小時才開始明顯固化，因環氧樹脂固化時間會隨著溫度的變化而出現差異，為了確保環氧樹脂完全固化，皆放置陰暗處一天以上。

本研究需經過車床加工，車床產生的扭力與車刀抗力，可能造成斷裂、破碎等結果，必須消除環氧樹脂中的氣泡，增加坯體結構力；觀察兩種樹脂固化過程，未使用真空壓縮機的情況下發現抗黃型(EP-2U1)坯體之氣泡幾乎沒有上浮，經晃動才能使氣泡上浮且非常緩慢；慢乾抗黃型(EP-S2U1)坯體之氣泡緩慢上浮，經晃動後明顯上浮，完全固化後能明顯比較出氣泡多寡，如圖 4-2、4-3 所示。



圖 4-2 抗黃型 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-3 慢乾抗黃型 (拍攝者：呂俊良)

## 貳、觀察使用真空壓縮機的環氧樹脂

環氧樹脂中的氣泡產生，大多數來自於攪拌過程中混入的氣體，為了有效減少其中的氣體，可以試著緩慢攪拌、震動或加熱，但是還是會有微小的氣泡無法完全排出，可能導致藝品製作完成後表面有許多小洞，在此使用真空幫浦機將氣泡抽出，抽真空過程中氣泡看雖然不多，卻因為壓力變小導致氣泡變大，如圖 4-4 所示。

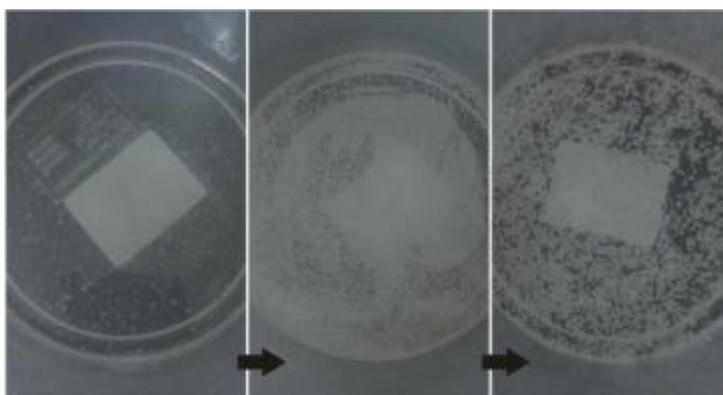


圖 4-4 使用真空壓縮機之過程變化 (拍攝者：呂俊良)

在第一次使用真空幫浦機抽出氣泡過程中，所使用的環氧樹脂劑量非常少，僅能觀察氣泡變化，在此更換成底面積較小的容器且環氧樹脂用量較多，藉此作為觀察試驗，發現使用真空幫浦時，可能產生大量氣泡並溢出，如圖 4-5、4-6 所示。



圖 4-5 環氧樹脂使用真空壓縮前 (拍攝者：呂俊良)

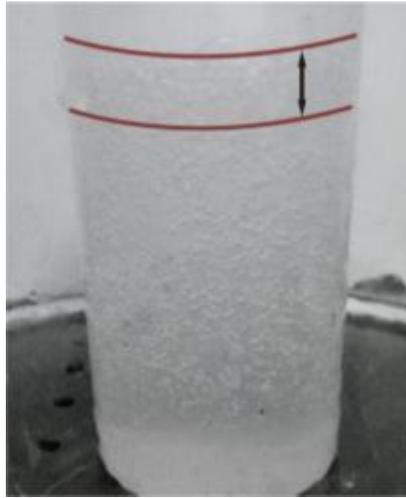


圖 4-6 環氧樹脂使用真空壓縮後液面變化 (拍攝者：呂俊良)

### 參、使用真空壓縮機的木料與環氧樹脂

觀察真空幫浦機使用後，了解氣泡可藉由真空幫浦機消除大部分的氣泡，在此決定放入木材做試驗，觀察有物體時，是否能順利將氣泡去除，測試容器尺寸為直徑 11 公分、高 16 公分，放入木頭尺寸為直徑 10.5 公分、高 2.5 公分；環氧樹脂用量只附蓋過木頭表面，觀察底部環氧樹脂氣泡狀況，發現環氧樹脂固化後木頭上方無氣泡，木頭下方卻有許多小氣泡，因底面積較寬，造成包風現象，如圖 4-7 所示。



圖 4-7 未完全抽出的小氣泡 (拍攝者：呂俊良)

### 肆、環氧樹脂使用真空幫浦機試驗結果探討

在環氧樹脂瞭解與比較過程中，沒有任何添加物以及外在因素，純粹觀察兩型號的環氧樹脂攪拌均勻後得反應變化，發現液體黏稠度影響氣泡上浮速度；

在未經晃動的情況下，較黏稠的抗黃型(EP-2U1)環氧樹脂，氣泡難以排出，慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂中的氣泡也難以排出，氣體僅緩慢上浮；氣體上浮過程中加入震動、搖晃的情況下觀察，較黏稠的抗黃型(EP-2U1)環氧樹脂，氣體難以排出僅緩慢上浮，慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂，氣泡有明顯上浮，但還是有許多氣泡殘留；使用真空幫浦機觀察氣泡上浮情形，抗黃型(EP-2U1)與慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂中的氣泡都有上浮，固化後抗黃型(EP-2U1)環氧樹脂中含有少量氣泡，慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂中幾乎沒有氣泡，試驗得知慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂的氣泡消除較容易成功，因此選用慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂作為本研究試驗對象。

## 第二節、環氧樹脂加熱消泡試驗

第一節測試結果選用的環氧樹脂為慢乾抗黃型(EP-S2U1)，本節將試驗兩種消泡會使用的加熱方式，研究架構中規劃以兩種比例調配的環氧樹脂做加熱實驗(1:1.5 與 1:2)，加以探究不同加熱方法對環氧樹脂的影響，四項試驗比較如下：

### 壹、環氧樹脂經吹風機加熱效果

兩種比例混合的環氧樹脂，經檢視吹風機加熱結果，發現環氧樹脂固化速度變快，但氣泡排出沒有明顯效果。

### 貳、環氧樹脂經火烤加熱效果

兩種比例混合的環氧樹脂，經檢視火烤加熱結果，發現氣泡排出有明顯效果，硬化劑較多的比例 1.5:1 在氣泡排出過程有較明顯的效果；控制不當、加熱時間過久的部分，有微微焦黃與冒煙。

### 參、環氧樹脂加熱消泡試驗結果探討

在適當將溫度提升的情況下，有益於消除氣泡與加速環氧樹脂固化，環氧

樹脂混合比例 1.5:1 的消泡試驗結果較優，因此由上述實驗結果，可知加熱有助於環氧樹脂的消泡，較不黏稠的環氧樹脂更易於消除氣泡。

### 第三節、瓶口瓶底備料

本研究採用市售傢俱桌椅及建築門窗常用之非洲紅木為實作材料，試件備料階段的作業程序如下：

#### 一、試件寬度備料

由於購買之材料是寬板料，因此，首先必須使用自動縱開機將材料縱開成寬度 120mm 之板材，如圖 4-8 所示。



圖 4-8 使用自動縱開鋸機備製材料寬度（拍攝者：呂俊良）

#### 二、試件鉋削寬厚度

使用手壓鉋木機將材料毛邊處裡成平面，完成尺寸約為寬 115mm、厚 35mm 的板材，如圖 4-9 所示。



圖 4-9 使用手壓鉋木機鉋削平面（拍攝者：呂俊良）

平面鉋木機鉋削材料成寬 115mm、厚 30mm 的板材，如圖 4-10 所示。



圖 4-10 使用平面鉋木機鉋削平面 (拍攝者：呂俊良)

### 三、試件鋸圓

使用線鋸機將材料鋸切成直徑 110mm，如圖 4-11 所示。



圖 4-11 使用線鋸機鋸切材料 (拍攝者：呂俊良)

### 四、試件修整

使用側面砂帶機將鋸路毛邊、纖維磨平，如圖 4-12 所示。



圖 4-12 使用側面砂帶修整材料 (拍攝者：呂俊良)

## 第四節、實作加工

本節藉由實驗過程的優劣，進一步了解環氧樹脂藝品的流程，因此從灌注環氧樹脂階段到車床加工結束，分為五項試驗，這五項試驗將比照前一項試驗之結果探討，決定是否改善或延用各步驟的做法，以達到更多的成果分析。

### 壹、色鉛筆

將色鉛筆料鋸切成小段，方便以各種角度放入模具，為了美觀而取隨機長度與角度鋸切，機器鋸切時，會讓材料斷面產生毛邊或剝落，可用側面砂帶機修整，如圖(4-13)所示。



圖 4-13 使用線鋸機鋸切色鉛筆（拍攝者：呂俊良）

將色鉛筆放入準備好的模具中，因實際試驗抗黃型(EP-2U1)與慢乾抗黃型(EP-S2U1)的差異，色鉛筆試驗選用較黏稠的抗黃型(EP-2U1)製作，A、B 混和比例為 2:1，並分三次灌注，觀察真空過程發現，黏稠的環氧樹脂導致氣泡被抽出液面後沒有破裂，大量氣泡堆積而溢出，如圖 4-14 所示。



圖 4-14 環氧樹脂產生大量氣泡（拍攝者：呂俊良）

灌注環氧樹脂過程中，除了使用真空幫浦機將氣泡抽出，必須注意被灌注的材料是否影響或阻擋氣泡排出，可以藉由震動、晃動、傾斜等方式，引導氣泡排出，如圖 4-15~4-17 所示。



圖 4-15 第一次灌注未排出的氣泡 (拍攝者：呂俊良)

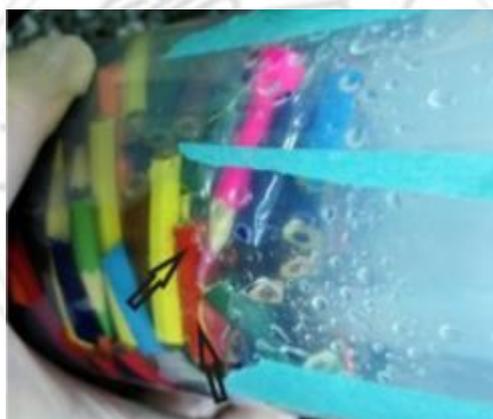


圖 4-16 第二次灌注未排出的氣泡 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-17 三次灌注都發現未排出的氣泡 (拍攝者：呂俊良)

敲打容器讓固化的環氧樹脂模具分離以節省時間，如圖 4-18 所示。



圖 4-18 分離容器與環氧樹脂 (拍攝者: 呂俊良)

將上下面用側面砂帶機磨平方便加工，如圖 4-19~4-20 所示。



圖 4-19 用側面砂帶機磨平(攝影者: 呂俊良)

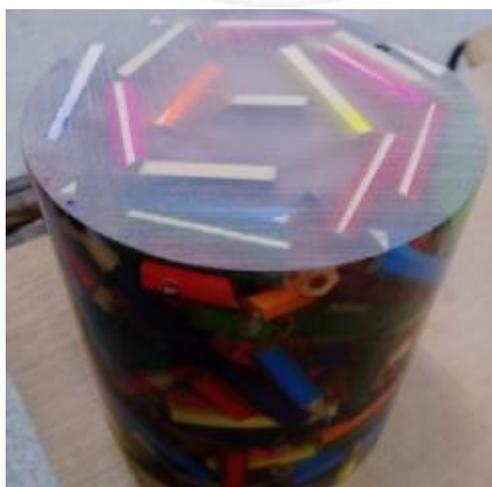


圖 4-20 用側面砂帶機磨平(攝影者: 呂俊良)

使用少量環氧樹脂將瓶口與瓶底黏上，如圖 4-21~4-22 所示。



圖 4-21 在瓶底塗上環氧樹脂 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-22 瓶底膠合 (拍攝者：呂俊良)

黏上夾板以增加厚度，防止螺絲鎖到材料上，也可避免作品取下時，車刀誤觸螺絲釘，如圖 4-23 所示。



圖 4-23 增加夾板防止材料損壞

檢視偏心率，若偏心率過大，則必須重新安裝至車床，並將其車至無偏心的圓柱狀，如圖 4-24 所示。



圖 4-24 檢視偏心並車圓 (拍攝者：呂俊良)

車床加工至圓柱型後，發現表面有很多坑洞，這些空洞是氣泡未完全抽出造成的，因此使用環氧樹脂將凹洞填補起來再繼續加工，如圖 4-25 ~4-26 所示。



圖 4-25 塗上環氧樹脂補洞 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-26 填補後繼續加工 (拍攝者：呂俊良)

外型加工成形後，用分鑿刀將瓶口切開，再依據外型的曲線修飾內壁，  
如圖 4-27~4-30 所示。



圖 4-27 切出瓶口位置 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-28 擴口、修飾瓶口 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-29 修飾容器內壁 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-30 砂磨容器內壁 (拍攝者：呂俊良)

瓶子內壁較不易修飾，因此先由內壁底部向外研磨，使用砂紙顆粒號數為60、100、150、240、320、400、600、800、1000，過程中不斷使用氣槍清理粉塵，將砂紙效果維持在最佳；內部研磨使用自製輔助木棒便能將內部修整光滑，如圖4-31所示。



圖 4-31 木棒輔助砂磨內部（拍攝者：呂俊良）

原計畫使用粗蠟將環氧樹脂拋光，卻導致研磨下來的色鉛筆筆粉滲入木質纖維中，視覺上骯髒混濁，因此全部重頭砂磨，改用天然護木油增色，先將護木油塗抹各處並靜置數分鐘，再使用乾淨的棉布將護木油推開，藉由車床旋轉的速度、熱度將表面拋光，最後在塗上薄薄的底漆，用棉布推勻拋光，如圖4-32~4-35所示。



圖 4-32 使用高號數砂紙砂磨（拍攝者：呂俊良）



圖 4-33 使用棉布與蜂蠟拋光 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-34 塗裝底漆增色拋光 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-35 檢視效果 (拍攝者：呂俊良)

取下作品時，使用分鑿刀將底部車斷，為了避開螺絲預留了10~20mm的距離，快要切斷時關閉車床，採用手鋸方式以免作品因高速旋轉而脫離，如圖4-36所示，最後使用側面砂帶機、鼓式砂磨及手工砂磨方式，將底部磨平再上漆。



圖 4-36 預留部分（拍攝者：呂俊良）

環氧樹脂灌注與色鉛筆結合之容器製作完成，如圖4-37所示。



圖 4-37 環氧樹脂灌注與色鉛筆結合之容器（拍攝者：呂俊良）

在環氧樹脂與色鉛筆結合的藝品試驗中，選用的環氧樹脂型號為抗黃型(EP-2U1)，已從環氧樹脂消泡試驗得知抗黃型(EP-2U1)不容易消泡，但為了實際比較使用於藝品灌注的結果，在此試驗還是使用抗黃型(EP-2U1)。

一、灌注過程中，原本計畫將瓶口與瓶底的非洲紅木與色鉛筆一起灌注，考量環氧樹脂用量與氣泡體積增大問題，避免溢出與浪費，決定固化後再將其黏合。

二、在抽真空過程中大量氣泡排出，使得表面產生許多白色泡沫，原本擺放好的色鉛筆位置，因浮力與氣泡增大而位移，稍有改變原本擺放的外觀。

三、因色鉛筆擺放角度不同，灌注過程中容易產生包封現象，抽完真空後固化前，稍稍傾斜模具讓環氧樹脂流動，可讓一些氣泡順利排出。

四、車床過程中車刀碰到氣泡空洞時，車刀會快速往內陷，導致車刀刮削太多影響外型，容易產生裂痕且從裂痕處噴出小塊環氧樹脂碎片。

五、修補破洞時，將破洞朝上防止環氧樹脂往下流，因坑洞太多，依依補洞太麻煩，決定用膠帶包覆住，節省環氧樹脂用量，也很方便。

六、在砂磨階段原計畫使用粗蠟研磨，認為會有細砂與拋光效果，使用過後含有木材的部份看起來灰灰髒髒的，因此撤銷粗蠟拋光的方法並用砂紙重磨。

## 貳、原木切片

將原木裁切成適合放入模具的厚度，達到展示年輪的效果，機器鋸切時，會讓材料斷面產生毛邊或剝落，也因樹皮有蛀洞不美觀，所以將樹皮去除，如圖 4-38 所示。



圖 4-38 將原木切成數段（拍攝者：呂俊良）

將原木片放入準備好的模具中，已從色鉛筆試驗得知抗黃型(EP-2U1)環氧樹脂的特性，在此選用慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂進行灌注試驗，A、B 劑混和比例為 2:1，並分三次灌注；觀察真空過程無大量氣泡產生，所以樹脂也沒有溢出來，如圖 4-39 所示，黏稠度較低的環氧樹脂氣泡容易順著原木邊緣快速排出，無氣泡堆積現象，消除氣泡非常順利，如圖 4-40 所示。



圖 4-39 模具上方檢視樹脂溢出有無（拍攝者：呂俊良）

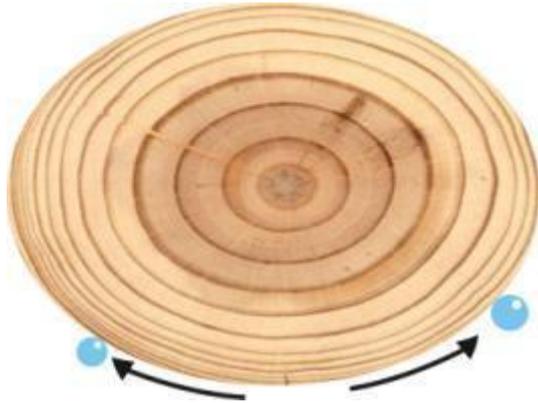


圖 4-40 氣泡快速排出示意圖 (繪圖者：呂俊良)

脫模時，環氧樹脂無法順利脫離模具，計畫在車床加工過程中去除；直接使用砂帶機磨平，並接合瓶口、瓶底與夾板，如圖 4-41~4-42 所示。



圖 4-41 脫模不易，直接上膠 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-42 上蓋黏合 (拍攝者：呂俊良)

鎖上螺絲、畫定位線、安裝至車床檢查是否偏心，如圖 4-43~4-44 所示。



圖 4-43 畫線並檢查偏心 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-44 藉由旋轉觀察偏心程度 (拍攝者：呂俊良)

在色鉛筆試驗中選用抗黃型(EP-2U1)環氧樹脂，有許多殘留氣泡，造成加工上的影響，使用慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂灌注，能確實將氣泡抽出，在製作氣泡極少的胚體過程中，發現不會因為氣泡坑洞影響進刀施力穩定度，不需要再填補凹洞且加工過程平穩、安全，不會出現跳刀，如圖 4-45~4-47 所示。



圖 4-45 模具去除、車削 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-46 表面車圓、刮削（拍攝者：呂俊良）



圖 4-47 曲面修飾、切削（拍攝者：呂俊良）

外型加工成形後，用分鑿刀將瓶口切開，如圖 4-48 所示。



圖 4-48 切開平口（拍攝者：呂俊良）

使用搪孔車刀修飾瓶子內緣，再用木棒包裹砂紙砂磨內部，如圖 4-49~4-50 所示。



圖 4-49 車削內部 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-50 砂磨內部 (拍攝者：呂俊良)

砂磨時不斷吹開粉塵以提升砂磨效果，如圖 3-51 所示。



圖 4-51 砂磨 (拍攝者：呂俊良)

在色鉛筆試驗中，是使用二度底漆塗裝、拋光，考慮各種市場需求的做法，在此試用蜂蠟效果，自製蜂蠟成分中含有亞麻仁油，拋光過程中先將蜂蠟均勻塗抹，再利用高速旋轉產生的溫熱，順勢將蠟推開，如圖 4-52 ~4-53 所示。



圖 4-52 蜂蠟塗抹 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-53 蜂蠟塗抹 (拍攝者：呂俊良)

預留 5mm 防止車刀與螺絲碰撞，車至直徑 2~3 公分準備鋸斷，如圖 4-54 所示。



圖 4-54 車斷 (拍攝者：呂俊良)

使用鋸子取下作品，如圖 4-55 所示。



圖 4-55 鋸斷（拍攝者：呂俊良）

底部製作成稍微有弧度的內凹，擺設時比較穩定，如圖 4-56 所示。



圖 4-56 底部鋸斷後的樣子（拍攝者：呂俊良）

側面砂帶機砂磨粗糙面再使用氣鼓式砂磨修飾底部曲線，如圖 4-57、4-58 所示。



圖 4-57 側面砂帶機修飾（拍攝者：呂俊良）



圖 4-58 氣鼓式砂磨機修飾 (拍攝者：呂俊良)

在底部均勻塗上蜂蠟，前後光澤比較，如圖 4-59、4-60 所示。



圖 4-59 底部上蠟前 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-60 底部上蠟後 (拍攝者：呂俊良)

環氧樹脂灌注原木切片之容器製作完成，如圖 4-61 所示。



圖 4-61 環氧樹脂與原木樹枝切片結合之容器（拍攝者：呂俊良）

在環氧樹脂與原木切片結合的試驗中，選用的環氧樹脂型號為慢乾抗黃型 (EP-S2U1)，實作過程減少許多消除氣泡的問題，使加工過程順利。

- 一、在抽真空過程中，大量氣泡排出，使得表面產生許多白色泡沫，與色鉛筆試驗相似，因被灌注的原木片表面圓滑，木片之間縫隙較大，氣泡不會發生包風現象，而且厚度較厚，與模具內壁互相擠壓不易移動，剛好避免移位的問題。
- 二、車床過程中車刀未碰到氣泡坑洞，只需小心環氧樹脂與木材硬度不同的問題。
- 三、因每個人喜好不同，拋光選用的塗料也不同，色鉛筆試驗與原木切片試驗選用的塗料分別為底漆、蜂蠟，底漆對木材質保護效果明顯，有基本的防水、防塵作用，但是在環氧樹脂上沒有明顯效果，蜂蠟對木材質有潤色效果，色澤平光溫潤，有基本的防水、防塵作用，對環氧樹脂有不錯的拋光效果。

## 參、木塊

在前兩項試驗探討後，可肯定較黏稠的環氧樹脂調配比例，不適合用於灌注，因此接下來試驗都選用慢乾抗黃型(EP-S2U1)環氧樹脂灌注；從環氧樹脂結合原木切片的試驗中，探討有關氣泡排出與浮力會影響材料移動的問題時，計畫未來試驗中，環氧樹脂灌注時需要固定材料，或者是少量多次灌注環氧樹脂，減少材料位移情形。

將加工後所剩的角材綜開成更小的木條，如圖 4-62 所示。



圖 4-62 將角料綜切成小木條 (拍攝者：呂俊良)

將木條鋸切成小塊，機器鋸切時會讓材料斷面產生毛邊或剝落，可用側面砂帶機修整，如圖 4-63、4-64 所示。



圖 4-63 將木條鋸切成小塊 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-64 用側面砂帶機修整 (拍攝者：呂俊良)

將木塊隨意放入模具中，如圖 4-65 所示，觀察利用真空幫浦消泡過程的氣泡排出，明顯比原木切片慢，如圖 4-66 所示。



圖 4-65 將木塊隨意放入模具中 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-66 消泡過程 (拍攝者：呂俊良)

木塊試驗與原木切片試驗相比，氣泡排出時間較長，固化後觀察環氧樹脂中的氣泡多寡，僅有極少的小氣泡，如圖 4-67 所示。



圖 4-67 固化完成 (拍攝者：呂俊良)

脫模後黏上瓶底、瓶口，前兩次試驗在黏合瓶底與瓶口時材料有些滑動，因此以紙膠帶固定住，如圖 4-68 所示。



圖 4-68 固定黏合瓶底與瓶口 (拍攝者：呂俊良)

安裝至車床上，調整偏心幅度，然後車圓表面，如圖 4-69 所示。



圖 4-69 車圓表面 (拍攝者：呂俊良)

車出外觀弧面檢查是否需要填補氣泡凹洞，如圖 4-70 所示。



圖 4-70 外觀弧面製作 (拍攝者：呂俊良)

車出瓶口，準備取下多餘部分，如圖 4-71 所示。



圖 4-71 車出瓶口 (拍攝者：呂俊良)

左右來回平移砂紙，減少砂紙造成的刮痕，如圖 4-72 所示。



圖 4-72 表面砂磨 (拍攝者：呂俊良)

利用分鑿車刀將底部車出縫隙，再用鋸子取下作品，如圖 4-73 所示。



圖 4-73 分鑿車刀車出的縫隙（拍攝者：呂俊良）

砂磨底部鋸切痕跡與砂磨撕裂的纖維，再塗上護木油拋光，環氧樹脂灌注小木塊之容器製作完成，如圖 4-74 所示。



圖 4-74 氧樹脂灌注小木塊之容器（拍攝者：呂俊良）

在環氧樹脂與色鉛筆結合的試驗中，發生包風現象導致程序增多、製作時間增加，環氧樹脂與原木切片結合的試驗中，氣泡排除順利，僅需注意車床加工操作問題，依照前兩次試驗經驗製作環氧樹脂與小木塊結合的藝品。

一、在與前兩次試驗結果相比之下，環氧樹脂與小木塊結合的試驗中，木塊較色鉛筆短，沒有互相交錯造成的阻擋，而木塊排列較緊密、沒有原木片圓滑的表面，看似容易消除氣泡，卻因木塊與木塊之間縫細小，形成氣泡張力使消泡不易。

二、雖然存在氣泡張力的消泡問題，透過搖晃震動還是可將氣泡排出。

三、灌注過程中，發現浸泡在環氧樹脂中的紅木，隨時間增加，滲出更多紅色素，以至於原本透明的環氧樹脂被染成橘紅色。

四、因每個人喜好不同，拋光選用的塗料也不同，也因小木塊表面裸露較多木材質，因此選用護木油拋光塗裝，有基本的防水、防塵作用，但是在環氧樹脂上沒有明顯效果，稍有潤色效果、色澤溫潤。

#### 肆、木材鉋花

為了瞭解更多木材料對環氧樹脂的影響，採用機械平鉋後的木屑，想了解環氧樹脂應用於纖維毛燥之材質上的效果，如圖 4-75 所示。



圖 4-75 平鉋機製造出來的鉋花（拍攝者：呂俊良）

在環氧樹脂與小木塊結合的試驗中得知氣泡張力的影響，考慮液體張力問題，可能導致氣泡附著、堵塞在纖維之間，環氧樹脂 A 與 B 劑混和比例為 2:1、分四次灌注，如圖 4-76、4-77 所示。



圖 4-76 使用真空幫浦機分四次灌注 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-77 檢視四次灌注結果 (拍攝者：呂俊良)  
用鐵鎚敲打容器底部、側面取出物件，如圖 4-78 所示。



圖 4-78 取出固化的環氧樹脂 (拍攝者：呂俊良)

固化的液面有凸出的木材鮑花及環氧樹脂，如圖 4-79 所示。



圖 4-79 凸出的木材鮑花與環氧樹脂（拍攝者：呂俊良）

用側面砂帶機砂膜上、下，將其磨平方便加工，如圖 4-80 所示。



圖 4-80 砂磨瓶口與平底的黏接面（拍攝者：呂俊良）

均勻塗上環氧樹脂，準備黏合，如圖 4-81、4-82 所示。



圖 4-81 塗上環氧樹脂（拍攝者：呂俊良）



圖 4-82 塗上環氧樹脂 (拍攝者：呂俊良)  
最後安裝至車床，以完成外型加工，如圖 4-83 所示。



圖 4-83 環氧樹脂灌注與木材鮑花結合之容器 (拍攝者：呂俊良)  
在環氧樹脂與木材鮑花結合的試驗中，原認為木材鮑花的毛躁、纖維會造成一些影響，試驗結果未發現特殊情況，探討結果認為木材鮑花之間距離太遠，因此無法明顯展現纖維毛躁成的問題，藉由下個試驗環氧樹脂與木材小鮑花結合的試驗中，獲得更多相關經驗。

## 伍、木材小鮑花

在環氧樹脂與小木塊結合的試驗中，已知非洲紅木色素會融入環氧樹脂中，改變環氧樹脂的顏色，因此微染色不影響試驗，在此試驗還是使用原計畫的非洲紅木小鮑花，如圖 4-84 所示。



圖 4-84 非洲紅木小鮑花 (拍攝者：呂俊良)

將鮑花放入模具中，環氧樹脂 A、B 劑混和比例為 2:1，分五次灌注，如圖 4-85 所示。



圖 4-85 放入木屑 (拍攝者：呂俊良)

第一次灌注環氧樹脂時，發現環氧樹脂不易流入底層，大區域內沒有灌到環氧樹脂，如圖 4-86 所示。

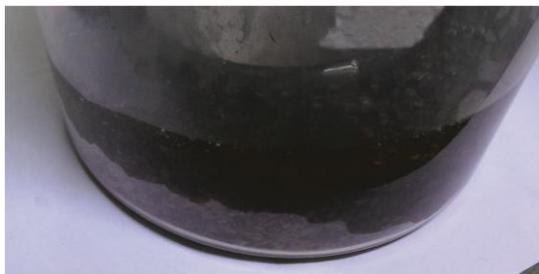


圖 4-86 發現環氧樹脂流不到底部 (拍攝者：呂俊良)

用冰棒棍撥開鉋花以協助環氧樹脂流入底部，如圖 4-87 所示。



圖 4-87 協助環氧樹脂流入底部 (拍攝者：呂俊良)

第一次灌注使用真空壓縮機的情形，檢視氣泡變化，如圖 4-88 所示。



圖 4-88 第一次灌注使用真空幫浦 (拍攝者：呂俊良)

第二次加入鉋花，因使用真空幫浦機過程，環氧樹脂產生大量氣泡，使鉋花上浮，氣泡消退後，鉋花並沒有完全下沉而附著在容器內壁，如圖 4-89、4-90 所示。



圖 4-89 第二次加入鉋花 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-90 鉋花附著在容器內壁 (拍攝者：呂俊良)

第二次灌注環氧樹脂，許多微小氣泡在其中，如圖 4-91 所示。



圖 4-91 第二次灌注環氧樹脂 (拍攝者：呂俊良)

抽真空時氣體快速膨脹，鋪上白紙預防環氧樹脂溢出沾黏機器，過程中產生大量白色泡沫，如圖 4-92 所示，半小時後表面泡沫消退，環氧樹脂開始固化反應變得黏稠，如圖 4-93 所示。



圖 4-92 第二次灌注使用真空幫浦 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-93 泡沫消退 (拍攝者：呂俊良)

固化後去除了氣泡體積，看起來較原本少，可與圖 4-91 做對照，如圖 4-94 所示。



圖 4-94 氣泡排出使體積變少 (拍攝者：呂俊良)

第三次加入木材飽花，如圖 4-95 所示。



圖 4-95 第三次加入木材飽花 (拍攝者：呂俊良)

第三次灌注環氧樹脂，加入環氧樹脂過程中氣泡不斷排出，如圖 4-96 所示。



圖 4-96 第三次灌注環氧樹脂（拍攝者：呂俊良）

因鮑花細小以至於阻礙了氣泡排出速度，抽真空時氣體快速膨脹，五分鐘內液面上漲呈白色部分，五分鐘的變化過程，如圖 4-97~4-99 所示。



圖 4-97 使用真空幫浦機前（拍攝者：呂俊良）



圖 4-98 使用真空幫浦機中（拍攝者：呂俊良）



圖 4-99 使用真空幫浦機五分鐘（拍攝者：呂俊良）

抽真空後木材鮑花位置變動，因木材鮑花會附著在模具內壁上，需使用木棒將其鋪平，如圖 4-100 所示。



圖 4-100 木材鮑花附著在模具內壁 (拍攝者：呂俊良)

鋪平與第四次放入木材鮑花，如圖 4-101、4-102 所示。



圖 4-101 鋪平木材鮑花 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-102 第四次放入木材鮑花 (拍攝者：呂俊良)

第四次使用真空幫浦機，每十分鐘拍攝一次，四十分鐘內上層泡沫緩慢消退，過程中不斷開、關真空幫浦機的氣閥，防止溢出，如圖 4-103~4-106 所示。



圖 4-103 真空幫浦機啟動時氣泡膨脹非常快速（拍攝者：呂俊良）



圖 4-104 氣泡緩慢排出與泡沫緩慢下降（拍攝者：呂俊良）



圖 4-105 表面泡沫結合成大氣泡（拍攝者：呂俊良）



圖 4-106 氣泡幾乎消失 (拍攝者：呂俊良)

重複前四次處理方式，最後完成第五次灌注，如圖 4-107 所示。



圖 4-107 完成第五次灌注 (拍攝者：呂俊良)

每次灌注結束環氧樹脂呈半乾狀態，因此在表面的氣泡不會破掉，可用火烤加熱方法使氣泡破裂，如圖 4-108 所示。



圖 4-108 火烤加熱使表面氣泡破裂 (拍攝者：呂俊良)

將上下面用側面砂帶機砂磨平整平方便黏合，如圖 4-109、4-110 所示。



圖 4-109 砂磨平整 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-110 砂磨後發現氣泡坑洞 (拍攝者：呂俊良)



圖 4-111 黏合 (拍攝者：呂俊良)

最後步驟車床加工，車床加工過程，有許多未排出氣泡形成的坑洞，增加了處理步驟與時間，因在環氧樹脂與色鉛筆結合的試驗中，已有處理經驗，僅增加填補、修復時間，並無因素影響作品完成，如圖 4-112 所示。



圖 4-112 黏合（拍攝者：呂俊良）

環氧樹脂與木材小匏花結合的試驗完成，如圖 4-113 所示。



圖 4-113 環氧樹脂與木材小匏花的試驗完成（拍攝者：呂俊良）

## 第五章 結論與建議

本章主要系透過研究結果與分析，歸納出本研究之結論，並進一步提出具體建議，期能提工作為藝品製造及設計業之參考。

### 第一節 結論

依據本研究文獻探討與實際操作，歸納出研究結論如下：

- 一、本研究使用統一規格的灌注模具，計畫外觀為木酒桶造形，卻因環氧樹脂中，參雜的氣泡量不同，導致固化後尺寸稍有差異，也因氣泡形成的坑洞，導致車床加工失誤，影響外觀。
- 二、木質材料應用於環氧樹脂中的影響，最明顯的問題有兩種，分別為灌注樹脂與車床車製時，灌注環氧樹脂的要點在於前置作業的處理以及避免材料阻擋氣泡的問題，而車床車製時，除了被氣泡坑洞影響外，還會被裸露在外的材料影響，例如色鉛筆的筆芯，會斷裂而脫離。
- 三、首次使用環氧樹脂過程，發生未乾與半軟的情形，猜測可能與劑量比例有關，經第二次使用同比例調配卻成功固化，得知攪拌不足之處會影響環氧樹脂固化程度，可能是 A 或 B 劑沒有充分混合，甚至可能某些地方只有 A 劑或只有 B 劑，導致某些部分已固化、某些部分還是液態，兩劑雖然都是透明無色的，攪拌時可藉由觀察雲霧狀是否消失，判斷有無充分攪拌，大部分位於容器底層邊緣容易忽略，而發生固化不完全的現象。
- 四、環氧樹脂類型不同，例如灌注用、黏著用、積體電路封裝、表面塗料等，若使用的類型不適合當下加工，過程必會出現問題，本研究中環氧樹脂與色鉛筆結合的試驗，刻意選用不適合的類型實驗，雖然結果成功，灌注過程與車床加工中，增加許多細節處理。
- 五、在無任何添加物或無任何機器使用的情況下，振動與加熱是很好的消泡方式。

- 六、在火烤加熱消除氣泡時，表面氣泡接觸到火焰高溫，會瞬間排出液面漲大破裂，較深層的氣泡則需等待上浮接近表面，不可以火烤太久，會使環氧樹脂冒煙甚至起火，固化後架熱過度的環氧樹脂會呈現半透明焦黃色。
- 七、須使用火烤加熱消除氣泡的設計上，首先考慮模具的選用，耐熱材質、耐藥材質較安全，其次考慮抗凹、抗彎性質等等。
- 八、若考慮避免環氧樹脂中氣泡不易排除的情形，可將灌注過程適當分為多次進行，液體深度越淺越容易把氣泡消除。
- 九、原試驗為了不讓環氧樹脂溢出模具外，多次將氣閥開啟使氣泡消退，無意間發現，使用真空幫浦機過程，前期可適度開關氣閥，泡沫漲大再縮小的過程容易將泡沫結合成大氣泡，大氣泡比泡沫容易破裂，因此可加快消除氣泡。
- 十、車床加工過程常碰到氣泡坑洞，少量氣泡影響極小，只需增加填補動作就可解決，若氣泡空洞很多或氣泡極大，極可能在高速旋轉的車床上斷裂、噴飛。
- 十一、木工車床刀具有是車床加工技術重要的因素之一，不鋒利的刀具除了加工時間增加，還會損傷物品、刀具及機器，可能發生危險；本研究使用的刀具都保持在鋒利的狀態，適度磨刀是製作完善的關鍵。
- 十二、環氧樹脂是透明無色的材料，可充分展現被灌注材料的表面，層次分明與光影效果是環氧樹脂藝品極大的優點。

## 第二節 建議

- 一、精確計算環氧樹脂使用劑量可減少成本，也可避免盲灌造成的空洞，也較容易掌控大小、形狀等外觀。
- 二、生產環氧樹脂工廠不同，雖然類型相同，使用上還是會有差異；相同工廠生產的環氧樹脂，可能因為生產日期不同，產生些微差異，這些生產時間的問題可能造成無法完全固化，因此需要使用同一間工廠生產的同一批環

氧樹脂為佳。

- 三、本研究製作物品較小，為了美觀都使用環氧樹脂黏合才不會有色差，若有較大型的設計，可鑽孔、開槽等等讓環氧樹脂與材質結合之間，增加結構力。
- 四、車床加工時會受到灌注缺點影響，為了處理缺點會減去不少材料，因此前置作業必須完善，才能增加外觀的完整性。
- 五、材料選用須適合應用於環氧樹脂，因本研究試驗中發生木材顏色染到環氧樹脂，若是有使用環氧樹脂調色配色的設計中，會影響成品美觀及價值。
- 六、車床刀具須保持鋒利，可減少車刀刮削時的破損，也可減少車床加工的時間，並且減少砂磨的磨耗量。
- 七、在車床扭力的作用下，環氧樹脂與平面黏合的部分可能分離，可將黏合表面積增加，或者將黏合表面黏著力增加。
- 八、可使用路達機、研磨機等，取代車刀，自製導板取代刀架；利用各種機具的便利性結合特殊導板，增加製作效率。
- 九、本研究實施過程中針對加工方式的體驗提出對藝品加工業者的建議：
  - 1、灌注環氧樹脂時，應戴上口罩、手套、護目鏡，防止吸入化學物質、皮膚傷口碰觸環氧樹脂、環氧樹脂噴濺到眼睛。
  - 2、車床加工時，應戴上口罩、護目面罩，減少粉塵吸入，防止環氧樹脂碎屑噴入眼睛。
  - 3、車床過程中會製造許多大量白色細絲與白粉，短時間內就會阻礙視線，可配置工業用電風扇將粉塵吹走，有助於工作便利。

# 參考文獻

## 書籍

- 1、陳平(2011) 環氧樹脂及其應用。
- 2、楊佩曦(2018)全圖解木工車床家具製作全書。
- 3、木工家具雜誌社 (1981)木工家具雜誌
- 4、福州木工機床研究所(1979)木工機床
- 5、湯頓出版社 Fine Woodworking

## 中文論文

- 1、沈士傑(2013)微型文創商品設計之研究-以小型木質產品為例。
- 2、林貴生(1998)器—林貴生木質創作論述。
- 3、黃韻甄(2018)木製鋼筆造型與市場喜好度調查之研究。
- 4、楊彝綱、陳奕君、李文昭(2016) 架橋硬化劑添加量對雙酚 A 型及液化木材為基質環氧樹脂硬化性及硬化樹脂性質之影響。
- 5、李政軒(2018)木材拼接技法應用於家具製作之研究。
- 6、鄭順福(2003)雙邊半圓不慣穿木楔樁接結構強度之分析研究。

## 網路資訊

- 1、每日頭條，應該如何計算環氧樹脂固化劑理論用量  
<https://kknews.cc/zh-tw/science/x8q9o28.html>
- 2、每日頭條，木材種類大全 木材種類有哪些 常用與名貴木材介紹  
<https://kknews.cc/zh-tw/home/kxe4ryr.html>
- 3、環氧樹脂，維基百科  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%8E%AF%E6%B0%A7%E6%A0%91%E8%84%82>
- 4、環氧樹脂，華人百科

<https://www.itsfun.com.tw/%E7%92%B0%E6%B0%A7%E6%A8%B9%E8%84%82/wiki-475599>

5、環氧樹脂，百度百科

<https://baike.baidu.com/item/%E7%8E%AF%E6%B0%A7%E6%A0%91%E8%84%82>

6、電子製造，工作狂人

<https://www.researchmfg.com/2016/08/epoxy-bubble/>

7、環氧樹脂(epoxy)與保力膠(poly)的差別--哈利材料總會 FAQ

<https://blog.xuite.net/harrych666/0980538985/150948851-%E7%92%B0%E6%B0%A7%E6%A8%B9%E8%84%82%28epoxy%29%E8%88%87%E4%BF%9D%E5%8A%9B%E8%86%A0%28poly%29%E7%9A%84%E5%B7%AE%E5%88%A5--%E5%93%88%E5%88%A9%E6%9D%90%E6%96%99%E7%B8%BD%E6%9C%83FAQ>

8、毅超布砂紙有限公司知識庫

<http://www.nikken-super.com.tw/knowledge-1.html>

9、Pahjo Design

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=162&v=hPr\\_qGWFba4](https://www.youtube.com/watch?time_continue=162&v=hPr_qGWFba4)

10、Jim Overton - Jimson's

Stuff<https://www.youtube.com/watch?v=TiWwfeBnsas&t=1061s>

11、Eric Tan 哈莉貓陳老師說木工

[https://www.youtube.com/channel/UCdS\\_iVz62jBYbHWXPcRnf0w](https://www.youtube.com/channel/UCdS_iVz62jBYbHWXPcRnf0w)

12、Heath Knuckles

<https://www.youtube.com/channel/UC7ymj9d5H0-sLh2AnyILAiQ>

# 附錄

南華大學-個人品展





