

## The Heterogeneous Combination of 3D Printer in Mobius Ring

JyhJeng Deng<sup>1</sup>, Chyi jiun Ku<sup>2\*</sup>, Hsueh-Chuan Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Industrial Engineering and Management Department, DaYeh University

<sup>2</sup> Plastic Art Department, DaYeh University

\*Corresponding author, E-mail: [urushi@mail.dyu.edu.tw](mailto:urushi@mail.dyu.edu.tw)

(Received 13 November 2015; final version received 29 January 2016)

### Abstract

3D printing is a customized manufacturing technology in the 21 century. The design complexity is no more the problem, only imagination is its limit. However, Most researchers and practitioners of 3D printing, both academia and industry, limit their products in the form design and seldom involve different materials combination to result in special effects. This paper attempts to apply Mobius ring in the 3D printing and combining it with lacquer and plastic optical fiber. In the combination with lacquer, a necklace with Mobius ring is coated with lacquer to add aesthetic value to the traditional ABS material of 3D printing. In combination with plastic optical fiber, a hollow Mobius ring nightlight with butterflies carved and hollowed on its surface is embedded with plastic optical fiber so that the shape of butterflies can be illuminated. The attempt breaks through boundaries among the industries of 3D printing, plastic optical fiber and lacquer and compensates their usage limits. This heterogeneous combination application fits the evolution trend of transition to a super-system.

*Keywords:* 3D printing, Lacquer, Plastic Optical Fiber, Evolution Trend, Transition to Super-System.

### References

- Altschuller, G. (1984). *Creativity as an Exact Science: the Theory of the Solution of Inventive Problems*. New York: Gordon and Breach.
- Brecher, C. (Ed.) (2012). *Integrative Production Technology for High-Wage Countries*. Berlin: Springer.
- Bukhman, I. (2012). *TRIZ Technology for Innovation*. Taipei: Cubic Creativity Company.
- Burke, S. & Sinclair, R. (2014). Computer-aided design (CAD) and computer aided manufacturing (CAM) of apparel and other textile products. In R. Sinclair (Ed.), *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology* (pp. 671-703). UK: Woodhead Publishing.
- Cashew Co., Ltd. (1989). *Science of Paint*. Japan: Cashw Co., Ltd. (In Japanese)
- Chiu, B. S. (October, 1<sup>st</sup>, 2015). Making ice-creams via 3D printing? Taipei Int'l Invention Show & Techomart shows you how. *Central News Agency*. <http://www.cna.com.tw/news/afe/201510010450-1.aspx> (In Chinese)
- Chou, C. Y. (2009). *Light Coupling of LED Plastic Optical Fiber: Design and Application* (Master's thesis). National Taipei University of Technology, Taiwan. (In Chinese)
- Chou, S. M. (2008). 「Infinity · ∞」—*Concept of Topology applied in Jewelry design* (Master's thesis). Fu Jen Catholic University, Taiwan. (In Chinese)
- Frauens, M. W. (2000). *Improved selection of technically attractive projects using knowledge management and net interactive tools* (Master's thesis). Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA.
- Friedman, N.A. & Sequin, C.H. (2007). Keizo Ushio's sculptures, split tori and möbius bands. *Journal of Mathematics and the Arts*, 1(1), 47–57.
- Gay, D. (2007). *Explorations in Topology – Map Coloring Surfaces, and Knots*, 149-155. Burlington, MA: Academic Press.
- He, H. L. (2008). *A Study of Luminous Home Textiles by Plastic Optical Fibers and combining LED into Weaving Fabric Design* (Master's thesis). Shu-Te University, Taiwan. (In Chinese)
- Horvath, J. (2014). *Mastering 3D printing: modeling, printing, and prototyping with REPRAP-style 3D printers*. New York: Apress.
- Japan Urushi Association (1987). *Japanese Lacquer*. Tokyo: Japan Urushi Association. (In Japanese)
- Jedi Ginsi laser knife Commercial. Retrieved November 26, 2014, from <https://www.youtube.com/watch?v=SuEnrpfaiw>
- Lee, H. C. (2014). *The Application of Mobius Strip Structure and Lacquer to the Commercial Products* (Master's thesis). Dayeh University, Taiwan. (In Chinese)
- LOCK8 The world's first SMART bike lock MailOnline. Retrieved February 10, 2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=TOKj8uZoNaA>
- Mann, D. (2002). *Hands-on Systematic Innovation*. Leper, Belgium: CREAX Press.
- Miller, J. S. (2014). The Billion Cell Construct: Will Three-Dimensional Printing Get Us There? *PLoS Biol*, 12(6), 1-9: e1001882. doi:10.1371/journal.pbio.1001882.
- Sederberg, T. W., Finnigan, G. T., Li, X., Lin, H., & Ipson, H. (2008). Watertight Trimméd NURBS. *ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008*, 27(3), Article No. 79.
- Sederberg, T. W., Zheng J., Lyche, T., Cardon, D., Finnigan, G. T., & North, N. (2004). T-Spline Simplification and Local Refinement. *ACM Trans. Graph*, 23, 276-283.
- Sequin, C.H. (2013). Making graphics tangible. *Computers & Graphics*, 37, 148–164.
- Townsend, K. & Gorlding, R. (2011). The interaction of two and three dimensional design in textiles and fashion. In A. Briggs-Goode, K. Townsend, & I. Textile (Eds.), *Textile Design: Principles, Advances and Applications*, 13, 288-322..
- Trend Airshield Pro Respirator. Retrieved January 05, 2015, from <http://www.trendairshield.com/>
- Uriarte Del Rio, M. J. (1959). FR. Patent No. 1198362. Paris: FR.
- Vang, J. B. (1993). DM. Patent No. EP0560777. Taastrup: DK.
- Yan, X. & Gu, P. (1996). A review of rapid prototyping technologies and systems. *Computer-Aided Design*, 28(4), 307-318.
- Yerka project. Retrieved November 26, 2014, from <http://www.nadiemelaroba.cl/>
- Zhang, F. L. (2010). *Lacquer Crafts and Paint Protection in China*. Beijing: Chinese Science Publishing & Media Lt. (In Chinese)

# 莫比烏斯環在三 D 列印的異類結合應用

鄧志堅<sup>1</sup>、顧琪君<sup>2\*</sup>、李雪娟<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大葉大學工業工程與管理系

<sup>2</sup> 大葉大學造形藝術學系

\*通訊作者 E-mail: urushi@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

三 D 列印是 21 世紀的客製化製造的產業技術。設計的複雜性不再是問題，只有想像力是其極限。三 D 列印研究人員和創作者大多侷限在造型的設計，驗證設計的功能性，極少談論與不同素材的結合，以產生特殊功效。本論文嘗試探討莫比烏斯環造型在三 D 列印的應用，並在其上結合天然漆和塑膠光纖。在與天然漆結合上，一個具有莫比烏斯環的項鍊塗上天然漆使具有傳統 ABS 材質的 3D 列印展現美學價值。在塑膠光纖上，三 D 列印結合 ABS 材質將使得在中空的莫比烏斯環的鏤空部分藉由塑膠光纖側面發光效應凸顯鏤空的蝴蝶圖案。以上的嘗試突破傳統天然漆、塑膠光纖、三 D 列印在其個別產業的應用，補強其個別的使用限制。此異類結合的應用符合趨勢演進的過渡到更高層次的系統之趨勢法則。

**關鍵詞：**三 D 列印、天然漆、塑膠光纖、趨勢演進、過渡到更高層次。

## 1. 前言

三 D 列印是快速成型 (Rapid Prototyping) 的其中一種技術。快速成型是一種增材製造 (additive machining)，它可依材料和增材的技術分為 (Yan & Gu, 1996)：光固化立體成型 (Stereolithography apparatus, SLA)、光罩幕 (Photo-masking)、選擇性雷射燒結 (Selective laser sintering, SLS)、熔融沉積成型 (Fused deposition modeling, FDM)、層狀實體製造 (Laminated object manufacturing, LOM)、彈道粒子製造 (Ballistic particle manufacturing, BPM) 和三 D 列印 (Three-dimensional printing, 3D Printing)。光固化立體成型是由雷射光照射液態光敏聚合物而立體成型的技術；光罩幕是利用光罩技術固化液態光敏聚合物而立體成型的技術；選擇性雷射燒結是用二氧化碳雷射選擇性的燒結連續的固態粉末層而立體成型的技術；熔融沉積成型是用加熱的擠壓頭將熱塑性塑膠長絲照著實體的斷面的形狀熔化，然後一層層往上堆加成型的技術；層狀實體製造是用雷射光束將金屬片依照實體的斷面的形狀切割而立體成型的技術；彈道粒子製造是用壓電式噴墨機構將熔化物質的顆粒，用冷焊接合，射出在之前沉積層上而立體成型的技術。

三 D 列印是一種疊層式的產品製造技術，利用熱將堆疊材料融合成造型。一般公認查爾斯·W·(恰克)赫爾 (Charles W. (Chuck) Hull) 首先於 1984 年開發第一個可應用的三 D 列印機 (Horvath, 2014)。隨著關鍵技術之專利的保護年限到期、個人製造博

覽會 (maker faire) 的興起、開放資源共享等因素使得三 D 得以快速興起成為 21 世紀最引人注目的技術。三 D 列印採用的是熔融沉積成型 (Fused deposition modeling, FDM) 技術。塑膠填充劑從捲盤拉出，分為模型材和支撐材，依據產品三 D 模型切片結構不斷由底部往上填充而成。支撐材可由溶劑溶解，剩下的就是模型材所形成的結構。

三 D 列印技術不只可用於塑膠、尼龍、樹脂、ABS 樹脂 (acrylonitrile-butadiene-styrene)、聚乳酸 PLA (Polylactic Acid)、壓克力、聚碳酸酯等無機的聚合材料，更可用於金屬、陶土、石膏、液滴、細胞等材質來製作車子外殼、雕像、食物、人體器官 (Miller, 2014)。三 D 列印的特色在於複雜的設計開發不再是難處，傳統塑膠射出成型以及 CNC 加工機、雷射切割所視為困難的造型，三 D 列印都可以製造出來。這對於客製化的產品以及設計初的模型評估有著很大的幫助。設計者可以快速的打樣模型來檢驗設計的有效性。對於一些罕見的零件，三 D 列印也可以製作避免缺零件的窘境。三 D 列印在金屬上的應用有選擇性激光熔化 (Selective Laser Melting, SLM) 和激光金屬沉積 (Laser Metal Deposition, LMD) 兩種。選擇性激光熔化是將三 D 模型切片，在腔室內塗滿金屬粉末，用激光在模型實體部分燒結金屬粉末成型，之後平台將腔室下移，進行下一切片的金屬成型；而激光金屬沉積是在需要燒結的實體部分注入金屬粉末，並用激光燒結成型。SLM 和 LMD 的技術主要是用於確保經濟高度發展國家的永續經營。

在面對嚴峻的國際競爭，如何在少量生產下獲利，因此，發想出這種少模具 (die less) 製造技術 (Brecher, 2012)。

雖然三 D 列印具有各方面的應用，不但是製造業，甚至生物科技、食品科技到醫療科技都可以看到其應用層次，但是它真的可以運用到每一個家庭甚至是每個人的日常生活上嗎？如果是的話，將會有何種景況呢？本文就著萃智的創始人真理奇·阿舒勒 (Genrich Altshuller) 所提出的趨勢演進法則中的第六項：過渡到一個超系統，來說明其可行性。並且用莫比烏斯環造型的生活用品作範例，解釋如何與系統外的異類結合，在此特別是指與天然漆和塑膠光纖的結合，使三 D 列印這個技術朝著超系統過渡，使其成為超系統的一部分。

本論文的結構接續如下：第二段作文獻探討，根據文獻說明萃智的八大技術演進趨勢、塑膠光纖和天然漆的發展與應用，以及莫比烏斯環在業界的應用。第三段說明三 D 列印的異類結合的過程。第四段說明應用此演進趨勢的心得和建議。第五段是結論與未來展望。

## 2. 文獻探討

技術衝突與物理矛盾、質場分析和技術演進趨勢是萃智理論的三大重要解題工具 (Altschuller, 1984)。一般萃智的從業者喜歡用技術衝突與物理矛盾以及質場分析來解決問題，較少使用技術演進趨勢來解決問題。前面兩種工具主要是用在技術問題上而不是用在管理或是文創產業上，因為這兩項工具都是根據大約四萬個第三層次以上的專利問題內所衍生的解決方法歸納出來的，每種的方法至少要有十種以上的專利支持才可被接受為解決方法。因此，這種方法是具有統計數據支持的。除此之外，第三種解題模式，技術演進趨勢，還可以用在一般性的問題上。以下就針對技術演進趨勢作進一步說明。

技術演進趨勢是朝著理想性演進。理想性被定義為有用功能除以有害功能。有害功能包括使用資源的成本以及系統所產生的有害效果。理想性的值越高則系統越理想。理想值的最大值是無限大，表示有用功能存在，但是有害功能消失。古典萃智共有 8 種演化趨勢 (Altschuller, 1984; Bukhman, 2012)，達雷爾·曼 (Darrell Mann) 進一步衍生到 35 種趨勢 (Mann, 2002)。雖然古典的 8 種趨勢被包括在 35 種趨勢內，但是在解釋的意涵是不一樣的。在古典演化趨勢中，趨勢是被嚴謹的遵守，違背趨勢表示系統是背著理想化後退的。但是，達雷爾·曼的趨勢是不嚴

謹的，系統並非一定要遵守其演進趨勢。這是兩者對趨勢最不同的看法。本研究將依照古典趨勢作應用。在古典 8 種趨勢中，這趨勢是分成 3 種範疇的：靜態的 (Static) 包含第 1-3 趨勢、動畫 (Animation) 的 (過去的時間演進) 包含 4-6 趨勢以及動態的 (Dynamic) (未來可能的走向) 包含 7-8 趨勢。第 1-6 的趨勢是適用於所有系統，生物或科技系統；第 7-8 的趨勢僅能用於科技系統 (Altschuller, 1984)。

第 1 個趨勢律是系統零件完整性的律 (The law of the completeness of parts of the system)。為使系統能夠完整的運作，它必須包括 4 個基本零件：引擎、傳動器、工作機關和操縱機關。引擎指轉換能量的機器。傳動器指傳遞力的機構，工作機關指執行系統功能的元件，操縱機關指能照著使用者的意圖的執行元件，特別指元件的屬性可以改變者。以腳踏車為例它的功能是移動物體 (人)，它的引擎是腳，腳將生物能轉為動能，傳動器是踏板和鏈條 (包含前後齒輪)，將踏板的轉動轉為輪胎輪軸的轉動，工作機關是輪胎，操縱機關是龍頭。踏板將人腳的旋轉動能傳遞到前面齒輪的旋轉動能；鏈條將前面齒輪的旋轉動能傳遞到後齒輪的旋轉動能；輪胎由於後齒輪的推動而旋轉，並與地的摩擦力使得輪胎往前走，因而移動腳踏車座椅上的物體 (人) 而達到系統的功能；龍頭能照著騎者的意思控制腳踏車方向。因此，就著腳踏車的系統零件完整性而言，它不完整，它只有包括 4 個完整系統零件的 3 項，傳動器、工作機關和操縱機關。所以它有進一步的演化，就是電動腳踏車。電動腳踏車有電動馬達可以將電能轉換為旋轉動能，它將引擎加入原來只有 3 項元件的傳統腳踏車中，使系統元件達到完整。另一個例子是口罩。口罩的功能是過濾空氣，空氣移動的能量是由人鼻子的呼吸產生的，因此，它沒有引擎轉換能量；當然它也沒有傳動器；工作機關就是內層、中層、外層；操縱機關也沒有。因此，就著口罩的發展，它還有許多的元件可以加進來使其成為更理想的產品。例如：加入電池、抽風機構 (引擎和傳動機構)、開關 (控制機構)，就可產生防霧氣的 Trend Airshield Pro Respirator (Trend Airshield Pro Respirator, 2015)。

第 2 個趨勢律是系統之能量傳導的律 (The law of energy conductivity of a system)。這是指能量傳導需要沒有阻礙的通道。這可以由刪減傳動器或是改變傳動器的屬性使其傳動元件由物質 (例如：齒輪、槓桿) 改為場 (磁場) 或是質-場 (帶電荷的粒子)。以三陽工業的摩托車 RoboScooter 為例，它的傳動器

被刪除，引擎直接作用在後輪，亦即工作機關上 (Bukhman, 2012)。

第 3 個趨勢律是調合系統的元件節奏的律 (The law of harmonizing the rhythms of parts of the system)。系統中元件都有其節奏 (例如，震動的頻率、週期)，每個系統的元件的節奏如果調和，就使系統朝高理想性演進。例如：傳統的汽車冷卻風扇，只要啟動引擎後是一直不停的運轉，其目的是冷卻引擎。但是，事實上是當引擎熱的時候才需要冷卻，因此，造成能源的浪費。直到 1951 年一種粘性離合器 (viscous clutch) 安裝到引擎上時，才使冷卻風扇運轉的週期與引擎熱度的週期調和，這樣就大大減少能源的浪費，使冷卻風扇系統朝高理想性演進 (Frauens, 2000)。

第 4 個趨勢律是增加系統理想性的律 (The law of increasing the degree of idealness of the system)。理想的技術系統是其重量和體積都朝著零推進，但是其功能並沒有減低。理想性的終極就是功能存在但是系統消失。例如：傳統的倒酒的滴酒捕捉器，如法國專利 FR1198362 的設計結構 (Uriarte Del Rio, 1959) 複雜 (圖 1)，它是將一個類似房子型狀的金屬片的一邊切兩個細縫後，將兩邊交叉接合而成。但是，新的歐洲專利 EP0560777 (Vang, 1993) 是一個軟的圓片 (圖 2)，不需要特別加工程序，在使用上僅需將其捲取後插入瓶口即可。其重量、體積和結構都較之前的專利輕和簡單。

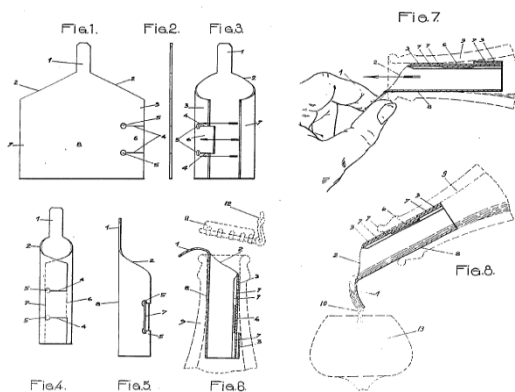


圖 1. FR1198362 圖式

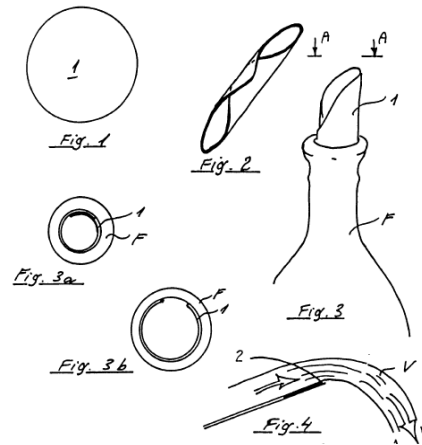


圖 2. EP0560777 圖式

第 5 個趨勢律是系統零件不均勻發展的律 (The law of uneven development of parts of a system)。系統內零件的發展是不均勻的；越複雜的系統，零件的發展越不均勻。這是產生矛盾現象的一個原因。例如：運送貨物的輪船之噸數始於引擎的快速發展，但是同時間制車的機構卻沒有改變。結果，如何制住排水量是 20 萬噸的貨輪成了一個問題 (Altschuller, 1984)。由於行駛中的油輪的動量極大，它需要花費 20 分鐘來完全停止。這個問題至今沒有一個有效的解決方式。

第 6 個趨勢律是轉移到超系統的律 (The law of the transition to a super-system)。當一個系統的發展到其極致，系統會朝成為超系統的一部分演進。原本系統就是超系統的一部分，此時，系統會進一步發展，例如：與超系統的其它元件整併，成為一個新的系統。這個新的系統是在演進的 S 曲線的初端，因此有許多演進的可能性。這一個新的系統還在超系統內。但是，其面貌與原有系統不一樣。列表機就是一個例子，當雷射列表機演進一個極致時，它會進入超系統，與周邊的系統如：影印機、傳真機、掃描機，整合成一部多功能事務機。另一個例子是腳踏車鎖，它從傳統的鑰匙鎖、號碼鎖、電子鎖。先進的電子鎖 LOCK8 可以用 GPS 定位和用手機鎖住腳踏車，並且可以用手機設定讓別人分享自己的腳踏車 (LOCK8, 2015)。因此就著第 2 個趨勢律是系統之能量傳導的律而言，它已經從機械場演進到電場，這樣一種先進的腳踏車鎖要進一步發展的空間就極為有限，因此它必須與超系統的元件結合，使其成為該元件的一部分。Yerka Project 所設計的腳踏車鎖就是這種演進的說明。Yerka Project 所設計的腳踏車鎖，鎖桿成為坐墊座桿和下桿，下桿是套疊結合而成。使用時，下桿分

成兩段往外拉開，拉開的空間套入路燈、樹幹或腳踏車架裡。之後，將座桿拉出插入兩段的孔洞內，然後用鑰匙鎖住。所形成的腳踏車具有無法偷竊的優點，因為，偷竊者必須鋸斷車鎖才能偷車，而車鎖被鋸斷將造成腳踏車無法使用 (Yerka project, 2014)。此時，車鎖在進入超系統，腳踏車，的一部分時，車鎖回復到演進的最初狀態，鑰匙鎖。

第 7 個趨勢律是從巨觀水平到微觀水平轉移的律 (The law of the transition from macro to micro level)。工作元件的發展由首先巨觀水平，然後，朝微觀水平進行。例如：汽車的輪胎是剛性的，如果繼續維持其剛性，則輪胎進一步發展將有其極限，但是，如果，維持其功能 (與地面產生摩擦)，剛性的輪胎可以朝微觀發展，其功能可以由其分子、原子、甚至電子完成。在星際大戰的電影中，拘禁犯人的監牢，可以由無形的場來完成。這種場事實上是微小粒子 (如：電子) 組成。另一個例子是 Jedi Ginsu Knife，它是一種可以伸縮的雷射刀 (Jedi Ginsu laser knife Commercial, 2014)，原本切割功能是剛性機械式的，但是朝微觀發展，其功能由電子完成。

第 8 個趨勢律是增加質場分析的參與的律 (The law of increasing the S-field involvement)。此律的意義是非質場系統要成為質場系統；已經成為質場系統的，其場要從機械場進化到電磁場；增加物質的分散性、元件之間的連接以及系統的反應性。例如：尺的演進由直尺->摺疊尺->捲尺->超音波尺->雷射尺。直尺僅能量直線，摺疊尺縮小直尺的長度並且可以量角度，捲尺進一步縮小尺寸，超音波尺將直尺的機械場 (機械刻度) 轉為聲場 (超音波)，雷射尺更進化到電磁場 (雷射)。

塑膠光纖 (plastic optical fiber)，簡稱光纖。光纖是一種彈性、透明纖維由玻璃或塑膠拉伸成型。其功能是導光，在纖維的兩端以全反射原理傳遞光。通常光纖的一端的發射裝置使用發光二極體或一束雷射將光脈衝傳送至光纖。除了點光源的傳遞外 (端光型)，也有側面發光的光纖 (側光型)，本研究所使用的就是側面發光的光纖 (何惠鈴，2008)。由於其導光特性，塑膠光纖可將原本置放在高處的 LED 照明設備改變為置於地面，並藉由塑膠光纖將光導引至高處產生照明，其優點是 LED 燈光源容易維護 (周建宇，2009)。由於塑膠光纖可以將光導引到遠處，許多傳統照明不易到達的地方，如游泳池底部、冷凍櫃或是衣服，就可以藉由塑膠光纖產生照明機制 (何惠鈴，2008)。

天然漆是由漆樹取出汁液 (生漆) 而形成塗裝媒

材。生漆為漆樹上採集而來之樹液，為一種天然塗料，耐酸鹼、具黏著性與防水特性，傳統上用於木構建築及木、竹等製品的防水保護及佛像製作等用途。石化工業發達後其功能幾乎被塑化材料完全取代。除防水保護功能外，漆的裝飾性魅力更是其他材質無法取代。近年環保意識抬頭與手作文創商品等潮流下漆藝又漸受重視。天然漆用於有毛細孔的表面材質，增加其美觀、防腐蝕、耐高溫的性質。可用於食器、木器、陶器、塑膠與金屬材質 (日本漆工協會，1987；張飛龍，2010；カシユ一株式会社技術部編，1989)。

天然漆採集當下是呈現乳白色，和空氣接觸後即刻產生氧化反應，逐漸轉為褐色。剛採集而來的稱為「生漆」其中約有 20~40% 為水分與雜質。生漆的主要成分包含 (一) 漆酚：漆酚是天然漆的主要成分，是天然漆成膜的主要物質。呈黏稠液體狀，能溶於乙醇、乙醚、丙酮等有機溶劑與植物油，但不溶於水。漆中漆酚含量越高漆的質量就越好。(二) 漆酶：漆酶又稱生漆蛋白質、氧化酵素。漆酶能促進漆酚氧化加快漆乾燥結膜。漆酶的活性強弱完全受氣溫與大氣濕度的影響，溫度攝氏 20~40 度、相對濕度 70~80% 範圍內容易乾燥。超過攝氏 80 度漆酶活性即被破壞。(三) 膠質 (水溶性多糖類)：溶於水但不溶於有機溶劑，呈黃白透明狀。具懸浮劑與穩定劑功能，使漆成份均勻分布並穩定不易變質 (四) 水分子：水份不單是形成乳膠體液的主要成分之一，也是天然漆乾燥過程中漆酶發揮作用的必要條件。天然漆成分因地區與品種而有不同的變化。

生漆經加工精製後去掉 30% 的水份後成為琥珀色透明狀即便為熟漆稱為透漆，透漆加入氫氧化鐵則成為黑漆，黑漆質地堅硬是底漆面漆的重要材料。將透漆與各種顏色的色粉攪拌、混合，充分的攪拌並過濾後即得到各色「色漆」。早期漆的基本色為黑、朱、黃、褐、綠五種顏色，主要為礦物色粉，直到近代レ一キ顏料的出現，才擴展了色彩的多樣性，也更強化漆在建築與器物裝飾上的功能，近年也成為純藝術創作的媒材。

莫比烏斯環的應用最常見於雕刻。例如：Keizo Ushio (Friedman & Sequin, 2007) 在澳洲的邦迪海灘 (Australia's Bondi Beach) 的莫比烏斯環雕刻就吸引上百萬的遊客拜訪；另一個是 Collins (Sequin, 2013) 在美國密蘇里西部州立大學 (Missouri Western State University) 的名為天體音樂 (Music of the Spheres) 的莫比烏斯環雕刻。莫比烏斯環與天然漆的結合在台灣僅有李雪娟和周仕敏 (李雪娟，2014；周仕敏，2008) 的碩士論文。另外，莫比烏斯環還可以用於時

裝設計 (Burke & Sinclair, 2014)，其中包含 Freedom of Creation (FOC) 公司的 textile mobius 和 MIT 教授 J. Meejin Yoon 的 Mobius dress (Townsend & Gorling 2011)。

### 3. 三 D 列印的異類結合

根據第 6 個趨勢的律，轉移到超系統的律。三 D 列印設備如果要被普及化，必須朝著系統外的其它元件結合才能普及並進一步的發展。在此探討與天然漆和塑膠光纖結合的可行性。由於三 D 列印的特色在於製作複雜的幾何造型，因此，在造型選取莫比烏斯環的結構作展示，以吊飾和小夜燈等生活用品凸顯三 D 列印的製造特色 (李雪娟, 2014)。莫比烏斯環 (Mobius ring) 是將一條矩形的長條帶子，沿著縱軸旋轉 180 度，並將兩端接合在一起所形成的帶子，其特色為帶子只有一個面和一條邊界線 (周仕敏, 2008; Gay, 2007)。莫比烏斯環的吊飾設計分為兩項：1. ABS 胎體設計與成型和 2. 漆工藝髹塗與加飾製作工序。在造型的設計上是用 Rhino 軟體繪製，整個胎體用 ABS 材質的 3D 列印製作，其詳細尺寸如圖 3。

漆工藝的材料可大分為：1. 漆料：生漆、透漆、黑漆、色漆。2. 灰料：供和生漆攪拌後在胎體上打底使用，成份因產地各不相同，臺灣使用的是黃土灰。3. 研磨材料：磨石、水砂紙、呂色粉等。4. 溶劑：松節油、樟腦油、酒精等。

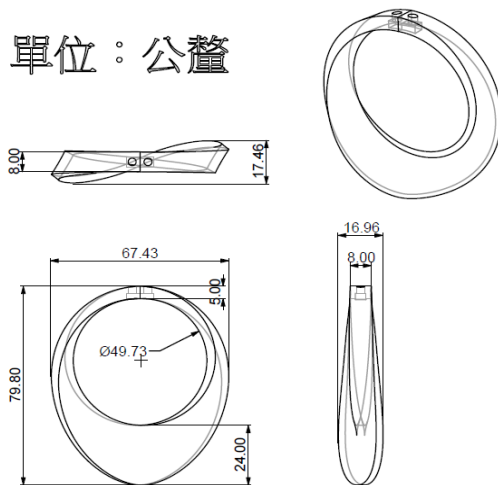


圖 3. 吊飾的三視圖

漆工藝髹塗與加飾製作工序包括：

#### 1. 底工程：

a. 整胎：將三 D 列印成型的莫比烏斯環狀胎體，用砂紙粗創將表面整平。

b. 批灰打底：將黃土灰加入生漆調拌成漆灰，薄塗 1~2 層於胎體上打一層底後待乾，再以 600# 砂紙將莫比烏斯環整平。

c. 糙漆髹塗：將生漆與熟漆 1/1 混合髹塗於打好底的環狀胎體上，待乾後以 600# 砂紙將莫比烏斯環水磨整平。

d. 底漆髹塗：髹塗黑漆兩層作為底漆，待乾後以 600# 水砂紙水磨。

e. 面漆髹塗：以黑漆髹塗 2~3 層，層層皆待乾後以水砂 600#~800# 水磨，完成底工程。

2. 裝飾工程：裝飾工程技法的種類繁多，此次莫比烏斯環採 a. 變塗技法 b. 金箔貼附技法 c. 透漆髹塗單明技法三種技法混合交疊使用，再經 d. 研磨推光技法完成。其工法工序如下：

a. 變塗技法：變塗是一種使漆面產生肌理，利用其肌理的高低差經數層色漆的堆疊，再研磨產生文樣的技法。熟漆中加入稠化物或溶劑可改變漆液的濃稠度和流動性。添加蛋白質會增加濃稠度，豆腐或蛋清都常被使用。此次選擇以豆腐當材料，將豆腐以刮刀壓碎，以紙張擠壓吸取適量水份，豆腐渣中的水分会影響稠漆的乾燥速度，水份過少會使肌理過於堅硬與乾燥緩慢，過多則漆不容易攪拌。將豆腐渣與黑漆攪拌至可拉起肌理不攤平程度即可，調製成的漆稱為豆腐漆，以豆腐漆薄髹於莫比烏斯環上製作肌理，待乾 10 天。之後髹塗三層不同色相或同色調的色漆。最後以水砂紙水依序由 600#、800#、1000#、1200#、1500# 磨至 2000#，再反覆擦拭生漆與使用呂色粉推光。

b. 金箔貼附技法：配合莫比烏斯環造型在邊緣擦拭生漆並貼上金箔後待乾。

c. 透漆髹塗單明技法：貼箔的漆乾後在金箔上塗上薄薄的透漆。

其結果如圖 4。整個形狀像是環中套環，由於莫比烏斯環只有一個面和一個邊，因此，在打上天然漆時以兩色配搭呈現其造型特色，在此，用金色的邊配上紅色的面。本藝品配上淺色上衣可適合於男士或女士穿戴，如圖 5。由於本設計的三視圖可以出圖列印，因此，客戶可以設定想要圓心的大小和形狀，這樣可以增進藝術設計者和客戶的互動性，共同創造想要的藝術作品，這有別於傳統的藝術設計產品中，客戶只能被動地選擇產品尷尬的情形。另外，即使胎體一樣，但是由於髹漆的條件不可能完全相同，因此，最後的產品具有獨特性，這不同於小量製造的產品中，每一件都一樣的單調情況。最後，本產品的胎體是電腦製作，因此，胎體可以複製，這不同於傳統手工製

作藝品不能重製的缺點。其它顏色天然漆的吊飾如圖 6。圖 4 和圖 6 是採用同一種 ABS 材質的 3D 列印胎體，但是經由不同的天然漆上色後，產生截然不同的吊飾風格。3D 列印與天然漆結合的優勢在於藝術品的胎體可以複製，並且在製作前就可以先在電腦模擬。與傳統用手工拉坯比較而言，好的手工胎體就無法複製，但是 3D 列印的電腦模型就可以複製，並且藉由網路可實現甲地設計，乙地製作的可能，方便最後產品的物流。使用者甚至只要從雲端下載就可在家製作，如果他有三 D 列印機的話。



圖 4. 上漆後的吊飾



圖 5. 穿戴吊飾的模特兒



圖 6. 第二種吊飾設計

莫比烏斯環 (Mobius ring) 漆藝小夜燈設計如下：本創作係關於一種燈具，係為一種提供光源遮罩，改變光線照射方向，並可提供使用者擺飾美觀之「燈具」設計者。如圖 7-9 所示，本創作所提供之燈具，係由星形所扭曲成角度環繞成環，且中間具有一孔洞，使得燈具呈流線環繞於環上，且流線均由中間孔洞所延伸而出，且流線間距離漸為擴大至環最外徑，再縮小流線間距離至延伸面之反面的中間孔洞，使得燈具具有多層次視覺美感的變化。圖 10 的燈具是由 3D 實體列印經由上天然漆的後製加工而成 (李雪娟, 2014)。很明顯由於 ABS 的透光性不足，光無法由內部透出。這進一步的觸發下一個中空並且鏤空的小夜燈構想。其中，燈不只可以由底下打光，更可以由中空部分植入側邊發光的塑膠光纖來打光，其結果如圖 11-12。很明顯的，內箱塑膠光纖的小夜燈在顯示中空的蝴蝶外形效果上，比單獨用 LED 展示燈投影出的中空的蝴蝶外形效果佳。



圖 7. 小夜燈立體圖

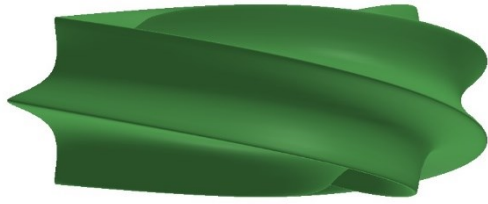


圖 8. 小夜燈前視圖

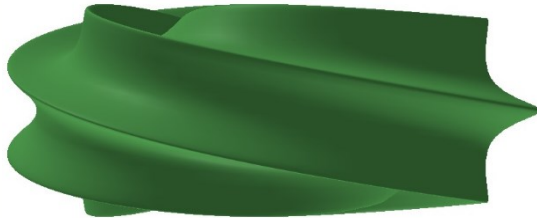


圖 9. 小夜燈後視圖



(a) 關燈



(b) 開燈

圖 10. 小夜燈成品圖

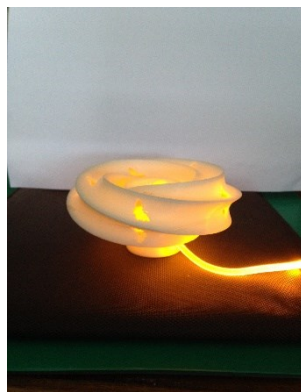


圖 11. 植入塑膠光纖的小夜燈



圖 12. LED 展示台的小夜燈

#### 4. 應用趨勢心得

三 D 列印結果的品質與列印機器的等級有極大的關係。本研究所使用的機器是 Stratasys 公司生產的 Mojo 型號三 D 列印機。其堆積厚度是 0.17mm。就著工業等級的要求還嫌粗糙。但是經由天然漆上色後，就完全遮蓋表面粗糙的缺點。反而，表面粗糙對天然漆的附著性而言是一大優點。因此，三 D 列印與天然漆的結合使得胎體的表面精細度要求不再是這麼重要，這使得三 D 列印與天然漆的結合後，使三 D 列印機器更容易推廣，因為，要求的等級不必太高就可作出更好的漆藝產品。就著漆藝而言，三 D 列印可以拓廣其胎體的幾何造型。傳統莫比烏斯環在藝術上的應用以 Keizo Ushio (Friedman & Sequin, 2007) 的雕刻最為顯著，但是與天然漆的結合在台灣僅有李雪娟和周仕敏 (李雪娟, 2014; 周仕敏, 2008) 的碩士論文。周的莫比烏斯環僅用於手環，由於莫比烏斯環有突出來的邊緣易讓手不舒服，本研究將其應用到吊飾，並且將單調的圓形改為橢圓，並且環的寬度是有變化的。本研究更進一步將其應用到燈具設計，使莫比烏斯環形成中空，並且在其表面刻鏤蝴蝶，進一步強化其視覺美觀。

藉著塑膠光纖的引進，本研究將光的元素帶進莫比烏斯環燈具。傳統燈具的光源都是燈泡或是 LED 燈，極少考慮塑膠光纖。塑膠光纖的優點在於發光源的形狀是可以任意改變的。並且光較柔和非常適合小夜燈的使用情境：柔和的照明。目前碰到的



瓶頸是蝴蝶的輪廓在莫比烏斯環的面上，有些從遠處看還是沒有顯明。雖然，作者嘗試用類似壓克力的樹脂材質作三 D 列印，但是效果還是不令人滿意，目前推敲其原因可能是鏤空的蝴蝶造型造成在類似壓克力的樹脂材質中阻擋光的傳導，導致蝴蝶的外型有些清楚，有些不清楚。這是本研究可以進一步研究的方向。

創客展覽市集 (Maker Faire) 近年逐漸在台灣普及，其中有一半的展出都是與三 D 列印有關的，使用的族群從小學到大學都有，可見三 D 列印在台灣未來的產業是極具潛力的。然而大部份的產品還是侷限於陽春的單一素材，並沒有與其它的媒材作結合。若是要進一步的拓展是需要朝與異類結合轉移到超系統發展演進。

### 5. 結論與未來展望

三 D 本研究嘗試用萃智的第 6 個趨勢律，轉移到超系統的律 (The law of the transition to a super-system) 到三 D 列印產品。這個律指出當一個系統的發展到其極致，系統會朝成為超系統的一部分演進。此時，系統會進一步發展，例如：與超系統的其他元件整併，成為一個新的系統。這個新的系統是在演進的 S 曲線的初端，因此有許多演進的可能性。由於與其它元件整併，因此，其被接受的機會就比單一產品的更高。

三 D 列印產品的優勢是製作複雜的幾何造型。傳統 CNC、雷射切割或是塑膠射出成型無法完成的幾何造型對三 D 列印皆不是問題。雖然各級學校都在積極推動三 D 列印技術，並且其應用可以廣泛到許多層面，但是要每一個機構或家庭都能普及，單靠其列印產品的優勢還是無法完成。它必須演進到超系統內與其它元件結合才有可能，本研究嘗試讓三 D 列印與天然漆、塑膠光纖結合，並且用莫比烏斯環的結構作產品造型的基礎，分別製作吊飾、小夜燈等生活用品的產品。其目的就是希望將三 D 列印與生活用品結合達到加乘的效果。

以天然漆而言，由於天然漆需要塗在有毛細孔的表面上，因此三 D 列印機的等級就不需要太高。Stratasys 公司生產的 Mojo 型號三 D 列印機就足夠使用。三 D 列印與天然漆結合的優勢在於藝術品的胎體可以複製，並且在製作前就可以先在電腦模擬。與傳統用手工拉坯比較而言，好的手工胎體就無法複製，但是三 D 列印的電腦模型就可以複製，並且藉由網路可實現甲地設計，乙地製作的可能，方便最後產品的物流。使用者甚至只要從雲端下載就可在家製作，只要他有三 D 列印機。另外，藝術家也可

以發揮自己的上漆技術，使每一個三 D 列印產生的胎體藉由天然漆的色澤產生獨特的個性化產品。本研究用吊飾展示三 D 列印與天然漆結合，並且用兩種色澤說明雖然胎體相同但是產品的風格是完全不同。另外，本研究也嘗試將小夜燈塗上天然漆，但是透光效果不佳。

在塑膠光纖上，中空的小夜燈被剖開，塑膠光纖被植入在中空部分，並且小夜燈的表面鏤空許多蝴蝶。本創作的特質在於使用側面發光的塑膠光纖可以控制光源的形狀，這樣就能使蝴蝶的輪廓凸顯出來。這個透光效果比上天然漆的小夜燈好很多。本研究亦嘗試將 ABS 材質的小夜燈改為類似壓克力的樹脂材質來進一步改善其導光效果，但是實驗結果並不令人滿意，目前推敲其原因可能是鏤空的蝴蝶造型造成在類似壓克力的樹脂材質中阻擋光的傳導，導致蝴蝶的外型有些清楚，有些不清楚。這是本研究進一步的研究方向。

雖然本文列舉三 D 列印與天然漆、塑膠光纖結合應用於吊飾、小夜燈等產品。並不表示所有與三 D 列印的可能結合僅限於此。這只是用來舉例說明應用萃智的第 6 個趨勢律，轉移到超系統的律 (The law of the transition to a super-system) 到三 D 列印產品的可能性。讀者可以有更多的發想。最近的實例為健行科技大學與聚曜國際公司產學合作，整合 3D 列印技術與自動化機電系統，開發出「3D 冰淇淋機」，可製作出不同樣式的冰淇淋。該機器的特點是：輸入指令，機器即可做出各種不同樣式的冰淇淋，無需自己動手。作出來的冰淇淋品質穩定不受店員訓練水平的影響，由於製冰過程可減少人為接觸，也比較衛生 (中央通訊社，2015)。另外，本文也沒有對產品設計美學作深入的探討，這個議題可以由兩方面看：一是建構的軟體，一是藝術家的加入設計團隊。在建構的軟體上，本文使用 NURBS based modeling, Rhino 5.0 來建構。但是目前有一種與 Rhino 5.0 結合的軟體 T-spline (Sederberg 等, 2004, 2008) 是更合適的建構有機曲面。最後，藝術家的加入設計團隊也是使產品進入市場的重要關鍵。本研究的產品離商品化還有一大段要走，這也是未來的研究方向。

### 致謝

作者感謝大葉大學 104 學年度個人型計畫專案代號：ORD-104072 的支持。

**參考文獻**

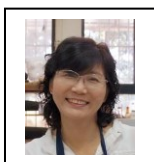
- 邱柏勝 (104 年 10 月 1 日)。3D 列印也能做冰淇淋？國際發明展告訴你。中央通訊社。104 年 12 月 8 日，取自  
<http://www.cna.com.tw/news/afe/201510010450-1.aspx> (Chiu, 2015)
- 日本漆工協會 (1987)。日本漆工 日本の漆工 其の一 材料と用具。東京都，社団法人 日本漆工協會。(Japan Urushi Association, 1987)
- 李雪娟 (2014)。結合莫比烏斯環與天然漆在生活用品上的應用。大葉大學工業工程與管理學系碩士論文。(Lee, 2014)
- 何惠鈴 (2008)。塑膠光纖與 LED 於發光傢飾梭織物的設計與研究。樹德科技大學應用設計研究所碩士論文。(He, 2008)
- 周仕敏 (2008)。「無限 $\cdot\infty$ 」--拓樸學概念應用於飾品設計。輔仁大學應用美術系碩士論文。(Chou, 2008)
- 周建宇 (2009)。發光二極體與塑膠光纖耦合之光學設計與應用。國立臺灣科技大學電子工程系碩士論文。(Chou, 2009)
- 張飛龍 (2010)。中國髹漆工藝與漆器保護。北京，科學出版社。(Zhang, 2010)
- カシユー株式会社技術部編 (1989)。うるしとカシユーの塗料学。埼玉県，カシユー株式会社。(Cashew Co., Ltd., 1989)
- References**
- Altschuller, G. (1984). *Creativity as an Exact Science: the Theory of the Solution of Inventive Problems*. New York: Gordon and Breach.
- Brecher, C. (Ed.) (2012). *Integrative Production Technology for High-Wage Countries*. Berlin: Springer.
- Bukhman, I. (2012). *TRIZ Technology for Innovation*. Taipei: Cubic Creativity Company.
- Burke, S. & Sinclair, R. (2014). Computer-aided design (CAD) and computer aided manufacturing (CAM) of apparel and other textile products. In R. Sinclair (Ed.), *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology* (pp. 671-703). UK: Woodhead Publishing.
- Cashew Co., Ltd. (1989). *Science of Paint*. Japan: Cashew Co., Ltd. (In Japanese)
- Chiu, B. S. (October, 1<sup>st</sup>, 2015). Making ice-creams via 3D printing? Taipei Int'l Invention Show & Techomart shows you how. *Central News Agency*, <http://www.cna.com.tw/news/afe/201510010450-1.aspx> (In Chinese)
- Chou, C. Y. (2009). *Light Coupling of LED Plastic Optical Fiber: Design and Application* (Master's thesis). National Taipei University of Technology, Taiwan. (In Chinese)
- Chou, S. M. (2008). 「Infinity  $\cdot\infty$ 」—Concept of Topology applied in Jewelry design (Master's thesis). Fu Jen Catholic University, Taiwan. (In Chinese)
- Frauens, M. W. (2000). *Improved selection of technically attractive projects using knowledge management and net interactive tools* (Master's thesis). Massachusetts Institute of Technology, Boston, MA.
- Friedman, N.A. & Sequin, C.H. (2007). Keizo Ushio's sculptures, split tori and möbius bands. *Journal of Mathematics and the Arts*, 1(1), 47–57.
- Gay, D. (2007). *Explorations in Topology – Map Coloring Surfaces, and Knots*, 149-155. Burlington, MA: Academic Press.
- He, H. L. (2008). *A Study of Luminous Home Textiles by Plastic Optical Fibers and combining LED into Weaving Fabric Design* (Master's thesis). Shu-Te University, Taiwan. (In Chinese)
- Horvath, J. (2014). *Mastering 3D printing: modeling, printing, and prototyping with REPRAP-style 3D printers*. New York: Apress.
- Japan Urushi Association (1987). *Japanese Lacquer*. Tokyo: Japan Urushi Association. (In Japanese)
- Jedi Ginsi laser knife Commercial. Retrieved November 26, 2014, from <https://www.youtube.com/watch?v=SuEnrpfaiew>
- Lee, H. C. (2014). *The Application of Mobius Strip Structure and Lacquer to the Commercial Products* (Master's thesis). Dayeh University, Taiwan. (In Chinese)
- LOCK8 The world's first SMART bike lock MailOnline. Retrieved February 10, 2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=TOKj8uZoNaA>
- Mann, D. (2002). *Hands-on Systematic Innovation*. Leper, Belgium: CREAM Press.
- Miller, J. S. (2014). The Billion Cell Construct: Will Three-Dimensional Printing Get Us There? *PLoS Biol*, 12(6), 1-9: e1001882. doi:10.1371/journal.pbio.1001882.
- Sederberg, T. W., Finnigan, G. T., Li, X., Lin, H., & Ipson, H. (2008). Watertight Trimmed NURBS. *ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2008*, 27(3), Article No. 79.
- Sederberg, T. W., Zheng J., Lyche, T., Cardon, D.,

- Finnigan, G. T., & North, N. (2004). T-Spline Simplification and Local Refinement. *ACM Trans. Graph*, 23, 276-283.
- Sequin, C.H. (2013). Making graphics tangible. *Computers & Graphics*, 37, 148-164.
- Townsend, K. & Gorlding, R. (2011). The interaction of two and three dimensional design in textiles and fashion. In A. Briggs-Goode, K. Townsend, & I. Textile (Eds.), *Textile Design: Principles, Advances and Applications*, 13, 288-322..
- Trend Airshield Pro Respirator. Retrieved January 05, 2015, from <http://www.trendairshield.com/>
- Uriarte Del Rio, M. J. (1959). FR. Patent No. 1198362. Paris: FR.
- Vang, J. B. (1993). DM. Patent No. EP0560777. Taastrup: DK.
- Yan, X. & Gu, P. (1996). A review of rapid prototyping technologies and systems. *Computer-Aided Design*, 28(4), 307-318.
- Yerka project. Retrieved November 26, 2014, from <http://www.nadiemlaroba.cl/>
- Zhang, F. L. (2010). Lacquer Crafts and Paint Protection in China. Beijing: Chinese Science Publishing & Media Lt. (In Chinese)

### 作者簡介



鄧志堅博士自 2003 年以來在大葉大學工業工程與管理學系當任教授。鄧教授從美國愛荷華州立大學獲得工學博士學位。他的研究領域包括系統化創新、TRIZ 和電腦幾何模型。



顧琪君任職大葉大學造形藝術系副教授。日本金澤市立美術工藝大學美術工藝碩士。專長研究領域：工藝設計、漆工藝創作。



李雪娟老師目前於臺中市信義國小服務。2014 年自大葉大學工業工程與管理研究所畢業。論文研究為「結合莫比烏斯環與天然漆在生活用品上的應用」。