



iPXS  
經濟部產業人才能力鑑定

初級能力鑑定－學習指引

# 3D 列印積層製造工程師

▶▶▶ 3D 列印概論

# 序

為提供授課教師及考生掌握評鑑方向，準備有所依循，本計畫委託委員會題庫組及規劃組領域專家，以科目評鑑內容為分項，展開重點說明及考題解析。

本冊為該能力鑑定學習指引，並非教材也非題庫，僅做為引導學習的考前準備工具手冊，並不保證考試通過之責，建議依循考試簡章所公告之評鑑主題內容準備考試。

如有相關問題，請逕自聯繫 [iPAS@itri.org.tw](mailto:iPAS@itri.org.tw)。



經濟部產業人才能力鑑定推動小組

敬啟

# 目錄

第一章	<b>3D 列印技術與應用</b> .....	<b>1-1</b>
1.1	基礎原理與應用 .....	1-1
1.2	各式成型機制基礎 .....	1-3
第二章	<b>3D 列印設備系統(ME 與 VP 技術)</b> .....	<b>2-1</b>
2.1	設備系統性能 .....	2-1
2.2	機台操作實務 .....	2-8
2.3	適用環境、電氣與安全需求 .....	2-20



職能基準代碼		免填		
職能基準名稱 (擇一填寫)		職類		
		職業	3D 列印積層製造工程師	
所屬類別	職類別			職類別代碼
	職業別	其他工程專業人員 機械工程師		職業別代碼 C2149 C2144
	行業別	塑膠製品製造業 金屬製品製造業 機械設備製造業 珠寶及金工製品製造業 其他醫療器材及用品製造業 專業、科學及技術服務業／專門設計業		行業別代碼 C22 C25 C29 C3391 C3329 M74
	工作描述	評選設置列印服務所需之 3D 列印設備、環境及安全，並依據顧客需求選擇適當的 3D 列印設備、製程與材料；模型檔案前處理與轉製，設計必備之支撐，調整列印參數與模式等客製條件，列印成實體產品及其後處理與檢測。		
基準級別		4		

工作職責	工作任務	工作產出	行為指標	職能級別	職能內涵 (K=knowledge 知識)	職能內涵 (S=skills 技能)
T1 建置與維護 3D 列印設備、環境及安全	T1.1 評選與建置 3D 列印設備、環境及安全	O1.1.1 各式相關機台功能分析比較表 O1.1.2 機台採購與驗收規格 O1.1.3 機台與環境之安全工作檢核	P1.1.1 依據客戶需求評選適當設備規格，並建置妥適安全環境。	4	K01 3D 列印原理與進階應用 K02 3D 列印進階設備	S01 設備系統性能評析 S02 ME 及 VP 設備最佳化 S03 PBF 及 BJ 設備結構與機台操作 S4 成本分析
	T1.2 驗收與操作 3D 列印設備	O1.2.1 列印機台 O1.2.2 驗收報告及操作手冊	P1.2.1 瞭解 3D 列印各式成型機制及原理、應用，熟悉及瞭解各式 3D 列印設	3	K03 3D 列印技術與應用 K04 3D 列印各式成型機制基礎	S05 基礎原理及應用 S06 機台操作實務 S07 適用環

工作職責	工作任務	工作產出	行為指標	職能級別	職能內涵 (K=knowledge 知識)	職能內涵 (S=skills 技能)
			備系統，並正確操作設備。		K05 3D 列印設備系統 K06 設備系統性能	境、電器與安全需求評估 S08 驗收報告撰寫
	T1.3 保養檢修設備與環境	O1.3.1 保養檢查紀錄表	P1.3.1 能夠依 3D 機台操作步驟進行保養及簡易機台故障、問題排除，並評估及遵守適用環境、電器與安全需求。	3	K05 3D 列印設備系統	S06 機台操作實務 S07 適用環境、電器與安全需求評估 S09 機台清潔與保養
T2 識別及選用材料	T2.1 選擇與使用材料	O2.2.1 工作單(包含列印設備、製程參數、材料及數量、外觀、顏色等)	P2.2.1 能夠依產品規格，選擇妥適機台、材料、製程參數、外觀、顏色。	4	K07 3D 列印材料類型(粉末、液體、固體)	S10 材料選擇與應用
	T2.2 負責材料儲存、安全、特性與識別選用	O1.4.1 材料儲存、安全與使用紀錄表 O1.4.2 物質安全資料表建檔	P2.2.1 瞭解各種列印材質之特性、儲存與安全，與選用適當材料。	3	K08 3D 列印材料概論	S11 材料安全儲存環境選擇
T3 建立 3D 模型檔案前處理與轉製	T3.1 建立 3D 模型檔案，並轉製適用之介面格式	O3.1.1 產品之 3D 模型檔案 O3.4.1 相關機台介面格式檔案	P3.1.1 建立符合設備要求之產品 3D 模型檔案，並依設備規格建立適用之介面格式檔案。	3	K09 3D 建模 K10 檔案格式	S12 3D 建模軟體操作與檢驗

工作職責	工作任務	工作產出	行為指標	職能級別	職能內涵 (K=knowledge 知識)	職能內涵 (S=skills 技能)
	T3.2 建立支撐結構、列印方位及切層參數	O3.2.1 支撐層模型檔案 O3.3.1 產品之排列與列印方位及切層參數檔案	P3.2.1 能夠設計與建立支撐結構，並選定模型之適當列印方位及切層參數。	3	K09 3D 建模 K11 支撐結構 K12 列印方位及切層路徑	S13 支撐設計 S12 3D 建模軟體操作與檢驗
T4 製作產品及製程優化	T4.1 執行製作	O4.2.2 工作單(包含列印設備、製程參數、材料及數量、外觀、顏色等)	P4.2.1 能依工作單備料與檢查機台與參數設定、調整校正到可生產狀態	3	K13 3D 列印製程參數 K14 加工參數 K15 環境安全法規 K16 產品後處理知識	S06 機台操作實務 S14 加工參數調整 S15 不良現象分析
	T4.2 製程優化	O4.2.1 產品	P4.2.1 掌握支撐設計準則及切層、加工參數對品質之影響，進行 3D 列印製程優化。	4	K17 進階支撐設計準則 K18 切層與路徑對品質之影響 K19 加工參數對品質之影響	S16 3D 列印製程優化
T5 執行產品後處理及檢測	T5.2 移除支撐材、處理廢棄物及進行表面處理	O5.2.1 廢料、殘料及可再回收的餘料 O5.3.1 產品	P5.2.1 使用適當方法移除支撐材，並進行表面處理與清潔，且妥當完成廢棄物回收處理。	3	K08 3D 列印材料概論 K15 環境安全法規 K16 產品後處理知識	S10 材料選擇與應用 S17 表面處理
	T5.4 執行必要之品質檢測	O5.4.1 產品 O5.4.2 產品檢測報告	P5.4.1 依據標準流程檢測與確認機台產出之產品符合客戶之需求	3	K20 量測知識 K21 品管知識	S18 量測儀器使用 S19 檢測結果判讀

職能內涵(A=attitude 態度)
---------------------

A01 創新、A02 分析推理、A03 自我學習發展、A04 成本意識
-------------------------------------

說明與補充事項
---------

建議擔任此職類/職業之學歷/經歷/或能力條件：
-------------------------

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• 具備電腦實體建模基本能力，且對積層製造有基本認識者。</li></ul> |
|--|

iPAXS

# 第一章 3D 列印技術與應用

本章節將說明 3D 列印的基礎原理以及美國材料與試驗協會(ASTM)對 3D 列印的標準分類、各種典型機台的特性與應用等，並在章節後面添加練習評量供讀者練習。

## 1.1 基礎原理與應用

3D 列印又稱為直接數位製造或數位增材製造，但標準學名為『積層製造(additive manufacturing)』，其流程包含數位模型的建立、製造方法與材料的選用、前處理如切層與支撐的設定與控制介面的操作、進行加工與後處理如支撐移除、拋光與後曝光等。

3D 列印相較於傳統的材料移除加工有著容易自動化、產品輕量化、材料多元化、客製化與節省材料等優點，且由於是疊層加工，所以任何複雜曲面的設計不會影響其加工的困難度。另外，因為 3D 列印可以輕易地產生內部網格、空孔或肋的結構而達到吸震、強度梯度與密度差異化等效果，故廣泛的應用於航太產業的零組件加工製造。

經由 3D 列印的流程可以得知，此技術是高度數位化且能將數位化資訊經由積層的方式轉換為實體化，因此，不論是在德國的工業 4.0、或是美國的先進製造產業聯盟(AMP2.0)都包含著 3D 列印的設備開發與拓展應用，期望能加速產品的開發而達到數位經濟的提升。

ASTM 將 3D 列印系統以加工方法來區分，如表 1 分成七類：光聚合固化技術(VP)、材料噴印成型技術(MJ)、黏著劑噴印成型技術(BJ)、材料擠製成型技術(ME)、粉末床熔融成型技術(PBF)、疊層製造成型技術(SL)以及指向性能量成型技術(DED)。

由表 1-1 可知目前最常見的大廠有 3D System(美國)、Stratasys(美國)、Envision TEC(德國)、EOS(德國)、Arcam(瑞典)與 FormLab(美國)、研能科技股份有限公司



(台灣)等。但近期我國科技部專案計畫而衍生之新創公司的成立如柏樂科研股份有限公司、陽明數位牙材股份有限公司以及台科三維科技股份有限公司等，另財團法人方面有工業技術研究院雷射與積層製造科技中心等，正逐漸形成數位製造經濟的創新力量。

表 1-1、ASTM 歸納積層製造類型表

技術分類	英文學名	主要廠商
光聚合固化技術	Vat Photopolymerization(VP)	3D Systems Envision Tec
材料噴印成型技術	Material Jetting(MJ)	Stratasys 3D Systems
黏著劑噴印成型技術	Binder Jetting(BJ)	3D Systems 研能科技
材料擠製成型技術	Material Extrusion(ME)	RepRap Stratasys
粉末床熔融成型技術	Power Bed Fusion(PBF)	EOS 3D Systems Arcam
疊層製造成型技術	Sheet Lamination(SL)	Fabrisonic
指向性能量沉積技術	Directed Energy Deposition(DED)	POM Optomec

由以上的表可以得知，3D 列印所使用的加工能主要有光能、電能與熱能。

## 1.2 各式成型機制基礎

以下說明七種成型法的技術原理、特性與設備系統：

### 1. 光聚合固化技術(VP)

藉由光能量照射在光聚合固化樹脂，促使其進行光聚合作用而固化，一層一層的堆疊而獲得三維的固體。此法因為建立的物體是逐漸離開樹脂槽或浸入樹脂槽而可以分為(a)上照式(Top-down)與(b)下照式(Bottom-up)兩種如圖 1-1 所示。由圖可知，若固化中的物體浸入槽中，則樹脂槽必須填滿許多價格昂貴的樹脂，但樹脂的壽命約 3 到 6 個月，已開封樹脂不能回填充於新樹脂桶中，是昂貴的消耗材。因此，早期所開發之光聚合固化技術的機台是以上照式為主，此法造成應用率低的原因之一。因此，下照式的方法解決了高樹脂使用量的問題，因為固化中的物體是離開樹脂槽，僅需填充適當的液態樹脂即能完成所需物體的加工，但衍生出拉拔力的問題。

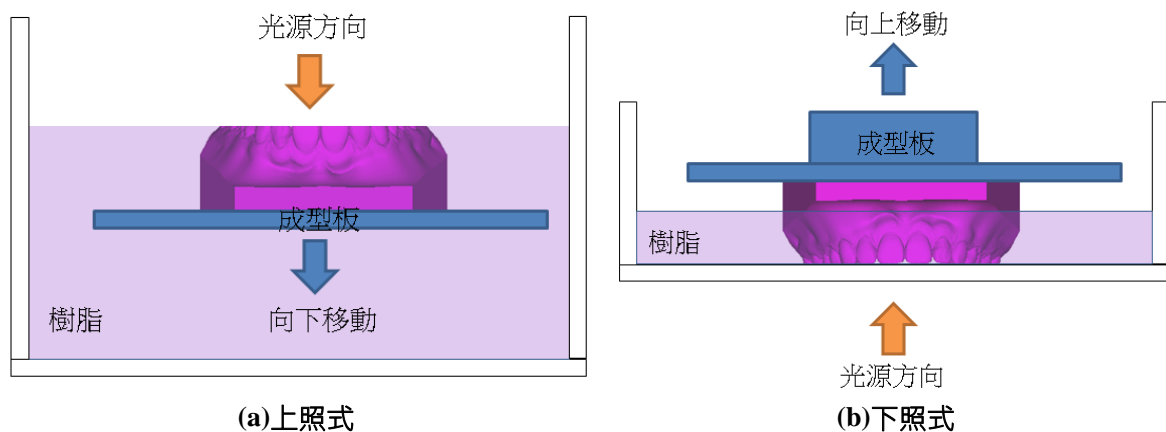


圖 1-1、上照式與下照式之加工示意圖

拉拔力產生的原因是因為下照式的光由下往上照促使位於樹脂槽底部至成型板表面的光聚合固化樹脂進行光聚合而固化，待該層曝光完成後，成型板上升造成成型板與樹脂槽底部產生拉拔的現象，即力量稱為拉拔力。成型板若拉拔失敗，

則固化物體黏著於樹脂槽，則無法再進行下一層的加工。因此，有些系統會使用彈性材料如 PDMS 提供微變形或疏水性材料如鐵氟龍薄膜提供弱離型力，這樣可以獲得較低的失敗率。

在光源的部分，早期使用雷射光進行單點光源的曝光，由點成面，再由面成體，但時間消耗許多，故有雙光源的光聚合固化技術提出[1]，但仍是以點為成型的加工；因此，日本理化學研究所提出使用光纖結成一個束陣列進行線掃描固化[2]，但此法立即被面固化成型所取代，上課所使用的透明膠片透過雷射印表機印出每一層的圖騰，在排列後成為透明膠片面投影光聚合固化技術，但透明膠片使用量高且無法重複使用，造成浪費，故發展出利用液晶螢幕為光罩的技術[3]，以當時的技術背景發現，當光穿透液晶光點時會產生光繞射與光暈，造成解析度下降，故進一步轉而使用投影機來取代液晶螢幕來產生每一層的光罩，為了將此兩法進行區分，故將投影機的方法稱為『動態光罩』[4]。則光聚合固化技術在光源發展方面如圖 1-2 所示，而我國目前的發展也是以 DLP 投影機為發展主流，其原因可以分為三方面：1.我國具有 DLP 光投影機的產業、例如台達電子工業股份有限公司(Delta)與明基電通股份有限公司(BenQ)等；2.我國有成熟的化工廠可以生產光聚合固化樹脂、例如長興材料工業股份有限公司與雙鍵化工股份有限公司等；3.學界具有關鍵技術與相關的研究進行、例如台灣科技大學的鄭正元教授，虎尾科技大學的江卓培教授以及台北科技大學的汪家昌副教授等。



圖 1-2、光聚合固化技術之光源發展演變圖

### (1) 3D System 推出之 Stereo-Lithography Apparatus(SLA)屬於上照式的方法

SLA 系統是使用雷射為光源，透過振鏡掃描的方式，使雷射能依指定的路徑在樹脂液面掃描，選擇性的固化。一般所使用的樹脂是對 UV(紫外線)能有好的固化反應。SLA 的掃描路徑是採輪廓(Contour)及往復(ZigZag)的方式，對每一層加工時，會對該斷面形狀先對其輪廓進行掃描，再於內部以往復的方式進行填滿性掃描。由於樹脂材料的光照硬化，由液相化學反應為固相的過程，會伴隨著些微體積的收縮，而以線為結構時，可由線的伸長變形而彌補，所以對其輪廓掃描時，其細緻的輪廓線除了能用以描繪出細緻的造形外，亦可改善成品的收縮變形。內部的往復掃描充填，其主要參數為線間距，也就是說，掃描間距為雷射光斑直徑加上線間距，透過掃描線的不連續，以避免內部的形成一區塊，使其整體的收縮無法由線變形補償，而在與之前的面相結合時，會因為新層的收縮，使整個面翹曲。

### (2) DLP 三維列印機

目前下照式的光聚合固化技術有 FormLab 所推出的 Form2 與許多的 DLP 類三維列印機，前者是以半導體雷射為主要光源進行層的點掃描加工，後者則有一般白光、405nm 與 470nm 波長的光源進行層的面成型加工。前者的參數與 3D System 推出之 SLA 類似，在此不在多述。後者的主要參數相對簡單，只有切層厚度、曝光時間、成型板提高高度以及刮板速度(進階選項)等。當然，三維物件的支撐必須事先建立，切層後輸出的每層光罩會依據不同的機台設定可以區分為『預先產生光罩後輸入系統讀取』與『同步切層產生光罩後立即曝光加工』兩種。

#### ■ 近期上市的光聚合固化技術機台

我國與國際上近期所開發商業化的機台許多，在此僅說明較具特色的系統，有 Form Lab 的 Form 2(屬於雷射光點掃描成型)、台達電子的(DLP 光罩投影固化)以及台科三維列印(手機式面板投影光聚合固化)。

### A. FormLab 的 Form 2

Form2 是下照式光聚合固化的成型方法如圖 1-3(a)所示，使用對人體無害輻射範圍(Class1)的紫光雷射、波長是 405nm、最大輸出功率為 250 mW。但請注意雷射光束對眼睛仍然有害，故絕對要避免直射光源。Form2 為了增加樹脂的流動性，故新增加了刮板的動作如圖 1-3(b)所示；另外，為了能完全自動化，Form2 也增加了自動補樹脂功能。可以預見未來的系統都會以具有藍芽傳輸 STL 檔案、遠端遙控(或監控)、自動添補樹脂與刮板功能為基本訴求，務使系統能達到自動化的完整性。

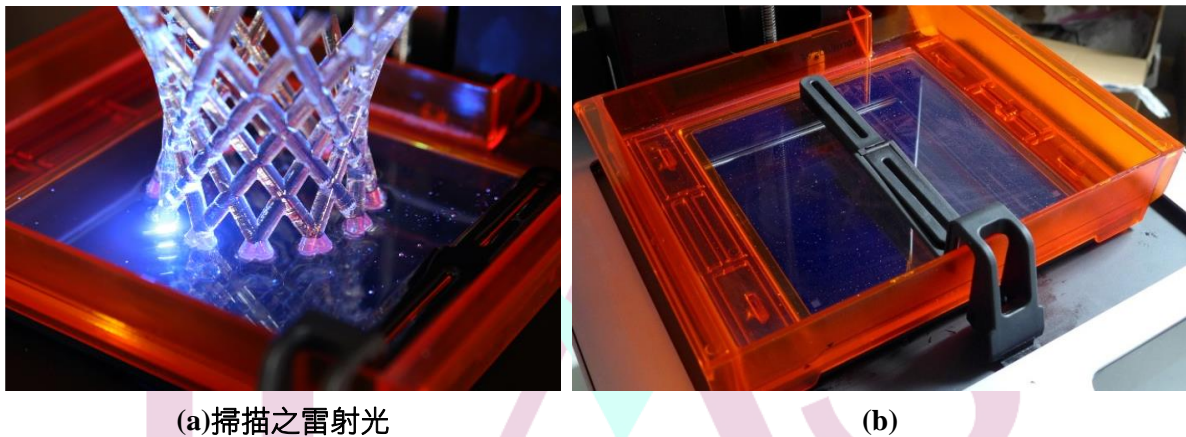


圖 1-3、Form 2 機台圖[5]

### B. 台達電子的 DLP 三維列印機

台達電子的產品之一是 DLP 投影機，其利用 LED 光源投影機修改而成三維列印專用光機後，自主開發 DLP 光投影固化三維列印機，命名為 Terra、如圖 1-4 所示，其光波段為 405nm。



圖 1-4、台達電子的 DLP 三維列印機台圖[6]

### C. T3D 手機投影式三維列印機

台科三維科技股份有限公司成立於 2016 年，以平價且可隨時列印為主要訴求，推出行動 3D 列印機，是利用手機或平板就可以進行 3D 列印，其強項是開發專用 APP 軟體，同時可鏈結雲端的圖庫，提供個人化 3D 模型建立與特殊切層服務，其機台如圖 1-5 所示。因為手機的光能量低，誘發光聚合反映需要相對於 DLP 光投影所需較長的時間，故該機的特點是光聚合固化樹脂的反應效率須較常用的樹脂高。

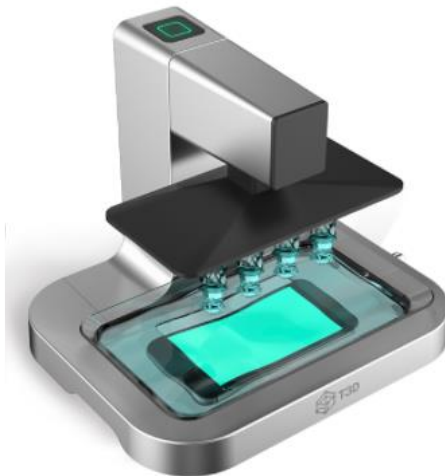


圖 1-5、T3D 手機投影式三維列印機[7]



## 2. 材料噴印成型技術(MJ)

此法的主要關鍵技術在於噴印元件，可分為壓電頭與噴嘴頭兩種，而可使用的材料可以分為蠟材與光聚合固化樹脂材料。若以蠟材，則必須加熱，利用噴印頭將融化的材料依據每一層的填充路徑進行加工，待噴印出後冷卻固化而成三維的物體，但每一層的厚度會因為蠟材的表面張力與黏滯性而產生不同的固化高度與寬度，故每加工一層需要利用銑削來維持每一層的精密厚度，典型加工方法有 Solidscape 公司所發表的 Modelmaker，如圖 1-6 所示[8]。若是以光聚合固化樹脂，常使用的是壓電噴印頭，則噴印出來後必須立即以光聚合固化樹脂對應的波長光燈進行曝光，最常見的系統是 Objet(現為 Stratasys 公司)所推出的 Polyjet 系統，如圖 1-7 所示[9]，尤其可以創造出超薄層(16 $\mu$ m)的狀態，故使用壓電噴頭已經逐漸取代加熱的噴嘴頭。

目前商業化機台在材料擠壓出來的方法有兩個種，分別是最常用的是溫度控制材料狀態(最常使用)以及化學變化導致材料凝固(此法少用)。因此，本章節僅以溫度控制材料狀態之材料擠製成型技術為說明。這樣的機台有 MakerBot(美國)、Zortrax(芬蘭)、Ultimaker 2 Extended(荷蘭)、RepRap Delta(美國)與 ATOM(台灣)等。

機構可以分為直角坐標系的 Cartesian 機構及以並聯臂機構運動的 Delta 系統。兩者的差異性為：

直角座標機構的工作方式主要是通過完成沿著 X、Y、Z 軸上的線性運動，此法的優點是結構簡單，缺點是機體所佔空間體積大、動作範圍小與靈活性不佳等，此種系統的機台多為近端進料機構，優點是進料機構馬達出料就直通加熱器，可降低進料的阻力；缺點是整個擠出模組因承受馬達的重量，整體的重量大而造成大慣性，對機構的移動速度容易產生顫動，故加工速度不宜快。

並聯式的結構是從兩個自由度到六個自由度的空間結構，優點有高剛性、承受高負載、結構不易彎曲變形、不易有動態誤差、低慣性與構造簡單等，可以改善傳統串聯式機構很難突破的根本限制，故目前的系統大多使用並聯式的結構。

加工參數可分為切層厚度、支撐的選用、路徑選用(填充率設定)、供料速度

與溫度設定等。加工物件的精度是由輪廓來維持的，故輪廓線需以較慢的速度來製作。輪廓內部的填充即可依據強度與收縮率的需求設定填充率。供料速度與穩定的溫度決定加工是否斷線的可能，在溫度穩定的情況下，適當的供料速度可以獲得較高的成功率。

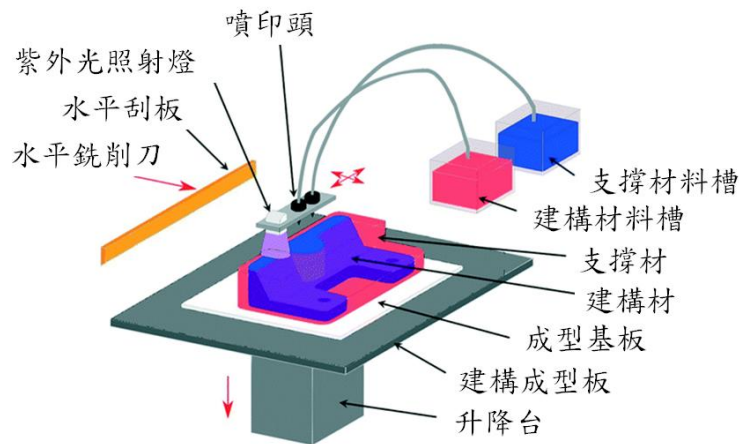


圖 1-6、材料噴印成型技術之加工原理[8]

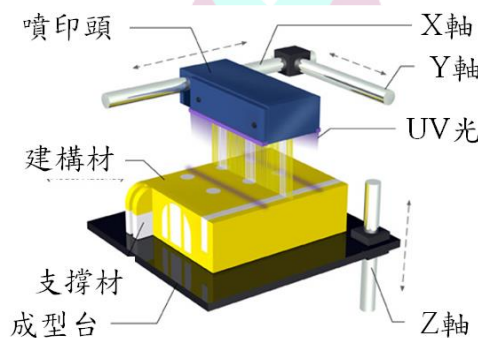


圖 1-7、使用光聚合固化樹脂之材料噴印成型技術示意圖[9]

### 3. 黏著劑噴印成型技術(BJ)

此法與材料噴印成型技術中使用壓電噴頭的方法極為類似，但不同處是所噴出來的材料為黏著劑，且噴頭也較常使用熱泡式壓電噴頭。被加工的材料為粉末，由於使用的是黏著劑，故可以經由不同色彩的黏著劑進行加工，所以可以製作彩色的物件，常用於建築與人偶模型的製作；而我國在此類型機台的代表是研能科技股份有限公司[10]。最近 HP 公司發表多噴嘴燒熔技術(Multi-jet Fusing



Technology)[11]，也是使用熱泡式噴嘴，但黏著劑改用熱觸媒墨水，再使用紅外光照射誘發觸媒反應放熱促使粉末被加熱至 200°C 左右，若使用的粉末為尼龍 (Nylon)則可以完全的加熱熔化而成為三維固體，如圖 1-8 所示。HP 專利中的噴頭稱為 Thermal Inkjet 陣列，每個陣列，能夠在每英寸的構建空間上以每秒噴出約 3,000 萬滴的熱觸媒墨水。粉末材料需披覆一層反應薄殼層如圖 1-8(a)、利用「鋪粉模組」自上向下滑動，在工作檯上鋪一層均勻的粉末，「熱噴頭模組」從左到右噴灑熱觸媒墨水如圖 1-8(b)，並通過上面的加熱源融化指定區域的材料如圖 1-8(d)。再利用「鋪粉模組」再次鋪粉，「熱噴頭模塊」接著再次灑試劑和加熱，循環往復直至成型。如果要提高材料融化的質量和速度，在「熱觸媒墨水」噴灑在需要融合的區域後，緊接著噴灑「細節處理觸媒」噴灑在融合區域的邊緣，則可以獲得邊緣表面光滑以及較高精確度的成型。

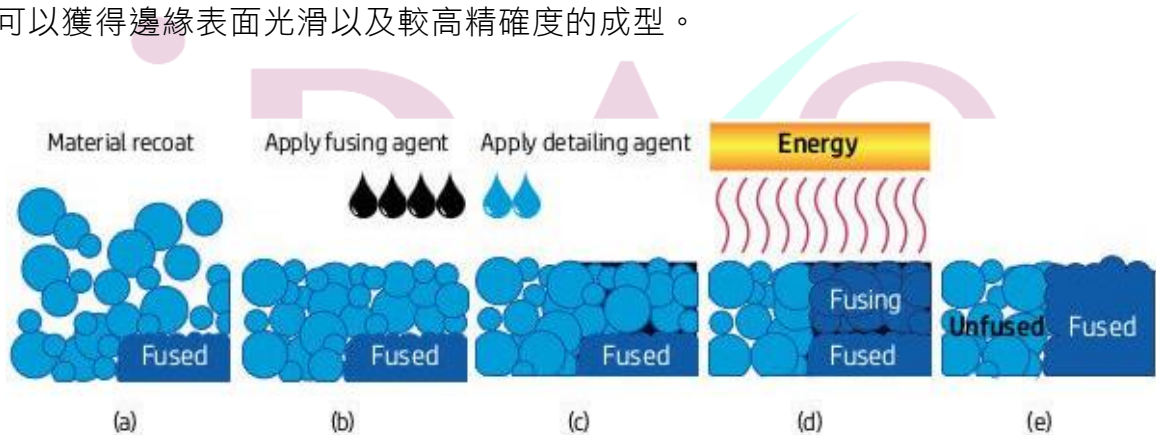


圖 1-8、HP 的多噴嘴燒熔技術流程圖[11]

#### 4. 材料擠製成型技術(ME)

此法是目前販賣機台最多種且價格較為便宜的機台，是利用可加熱的擠製頭將熱塑性線材加熱至半熔狀態後，經由填充路徑堆疊材料如圖 1-9 所示[12]，其原理類似熱熔膠，不同處是熱熔膠以全自動的方式進行擠製堆疊加工。由此法的原理可以得知，如何維持適當的加工溫度極為重要，因為材料未達半熔狀態則無法相互黏結；另外、擠出速度與加熱效率須達到平衡，否則會有斷線的可能。

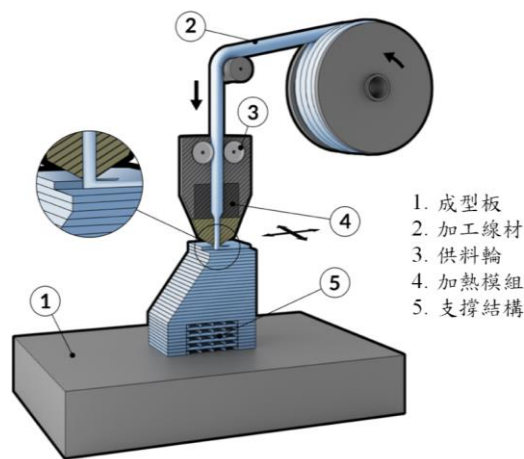


圖 1-9、材料擠製成型技術之加工原理[12]

## 5. 粉末床熔融成型技術(PBF)

以粉末為主要材料，將其鋪在成型板上而形成一層厚度，再以雷射進行每一層的掃描加熱燒結，受到雷射光照射的粉末熔合而成固體，未受照射的粉末形成支撐，所以一層層的鋪粉與雷射曝光直到所有加工層完成後，即可以從粉末裡取出固化之三維物體。此方法的粉末可以是金屬或塑膠，所以常用於航太與醫療植體產業的應用，最典型的系統式選擇性雷射燒結(Selective laser sintering, SLS)系統。

## 6. 疊層製造成型技術(SL)

利用紙為材料，將紙背面上膠，再使用雷射(較常使用)或尖刀的刀子(少用此法)進行每一層輪廓的切割，待每一層都加工完成後，再以刀具將不需要的部分剝離，但此法的精度低且僅能當原型使用，較不具強度與功能性，故較不常被使用於工業的實際應用。

## 7. 指向性能量沉積技術(DED)

使用雷射光束進行加工軌跡的掃描，再掃描的同時以同軸的方式輸出粉末如圖 1-10 所示，此法可以進行金屬線上雷射修復(Laser repairing)，因此、有些應用是將他架設在工具機上面進行加減法的複合加工；在使用能量方面，也可以是利用電子束直接照射在鋪滿粉末的粉床上面進行掃描加工，因此、有稱為『電子束熔化成型技術』，但必須要在真空環境下進行。

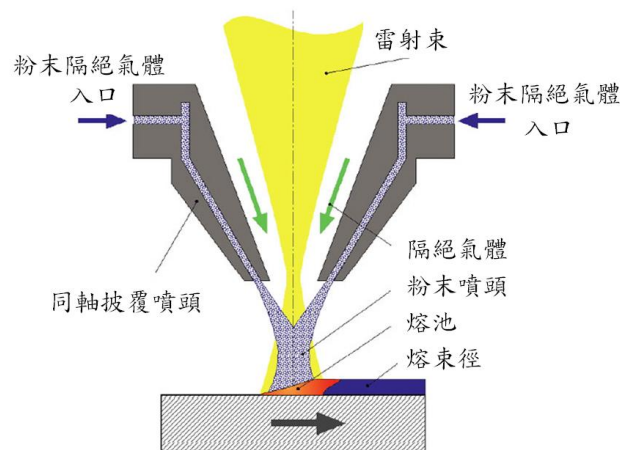


圖 1-10、雷射指向性能量沈積技術之加工原理[13]

以上七種類型所使用的材料可以歸納為液態類、固態類與粉末類共三種。不論是哪一種加工方法都必須要執行後處理的程序，以下歸納一般加工後可能必須進行的後處理事項。

表 1-2、技術分類與後處理關係表

技術分類	材料	後處理需求
光聚合固化技術(VP)	光聚合固化樹脂	後曝光、清洗、移除支撐
材料噴印成型技術(MJ)	光聚合固化樹脂	後曝光、清洗、移除支撐
	蠟材	浸入溶劑移除支撐材
黏著劑噴印成型技術(BJ)	粉末	清除表面粉末，滲膠
材料擠製成型技術(ME)	塑膠線材	移除支撐後拋光
	高分子粉末	
粉末床熔融成型技術(PBF)	粉末	清除粉末、移除支撐，拋光
疊層製造成型技術(SL)	紙，木薄片	切割、修整與拋光
指向性能量沉積技術(DED)	粉末	移除支撐後拋光

備註：1. 其中光聚合固化技術的每一層光聚合固化可能會為了降低拉拔力或增加加工速度而將設計固化程度約 80%，待整體加工完成後再將三維物件置入後曝光箱完成 100%的固化。

2. 材料噴印成型技術若以光聚合固化樹脂為材料，則需有支撐材與結構材兩種光聚合固化樹脂的使用，兩者的機械性質需不同以方便移除支撐材。以 Objet(現為 Stratasys)為例，其支撐材是可以水解，故加工完成之三維物件之後處理是將其浸入水中一段時間後，再以手工移除支撐材。



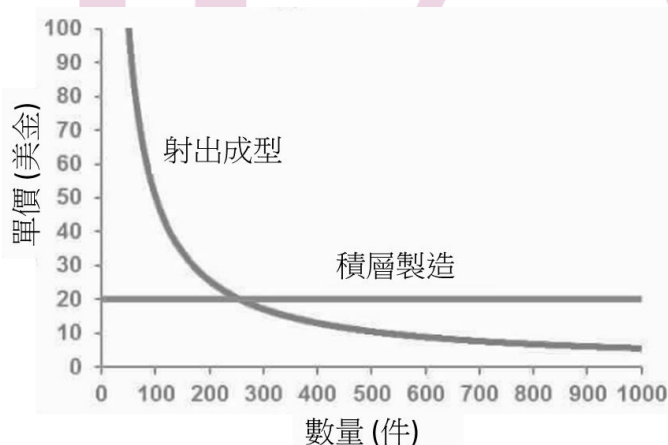
## 重點掃描

1. ASTM 將 3D 列印系統區分成七類：光聚合固化技術(VP)、材料噴印成型技術(MJ)、黏著劑噴印成型技術(BJ)、材料擠製成型技術(ME)、粉末床熔融成型技術(PBF)、疊層製造成型技術(SL)以及指向性能量沉積技術(DED)。
2. 光聚合固化技術依據曝光方向可以區分為上照式與下照式(Bottom-up)兩種。
3. 拉拔力產生的原因是樹脂固化於樹脂槽底部與成型板間，當成型板上升造成了成型板與樹脂槽底部的拉拔現象，所衍生的力量稱為拉拔力。
4. 光聚合固化技術之光源發展為單點雷射光→雙雷射光→光纖束線掃描→透明膠片面投影→液晶螢幕光罩面投影→DLP 投影機動態光罩面投影。
5. 材料噴印成型技術主要關鍵技術在於噴印元件，可分為壓電頭與噴嘴頭兩種。
6. 黏著劑噴印成型技術較常使用熱泡式壓電噴頭，被加工的材料為粉末，可以經由不同色彩的黏著劑進行加工，故可得彩色之物體。
7. 材料擠製成型技術是目前販賣機台最多種且價格較為便宜的機台，是利用可加熱的擠製頭將熱塑性線材加熱至半熔狀態後堆疊而成三維物件的方法。
8. 粉末床熔融成型技術最典型的系統式選擇性雷射燒結(Selective laser sintering, SLS)系統。
9. 疊層製造成型技術以紙為材料，每堆貼一層，即以雷射或尖刀進行層輪廓的切割至三維物體完成，再以刀具將不需要的部分剝離，此法因精度低，故使用不多。
10. 使用雷射光束進行加工軌跡的掃描，再掃描的同時以同軸的方式輸出粉末，此法可以進行金屬線上雷射修復或應用於工具機形成加減複合機的使用；若利用電子束直接照射在鋪滿粉末的粉床上面進行掃描加工，則必須要在真空環境下進行。
11. DLP 類三維列印機較常見的光源有白光(一般可見光)、405nm 與 470nm 波長的光源進行層的面成型加工。
12. DLP 三維列印機在處理光罩的方法可分為兩種，分別是『預先產生光罩後輸入系統讀取』與『同步切層產生光罩後立即曝光加工』。
13. 材料擠製成型技術的機構設計主要可以分為直角坐標系的 Cartesian 機構與並聯臂機構運動的 Delta 系統，目前商業機台的趨勢是使用後者。



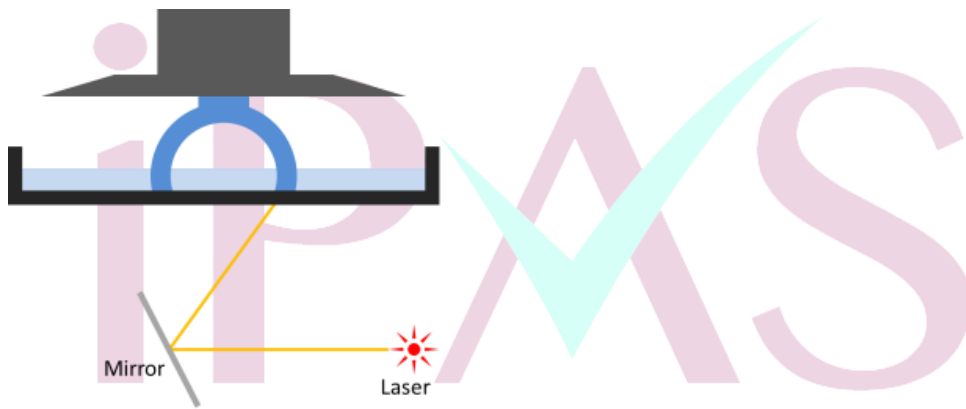
## 模擬考題

- 3D 列印系統中使用的加工工具有哪些？  
(A)雷射；(B)加熱器；(C)噴嘴；(D)以上皆是
- 3D 列印使用的材料有哪些種類？  
(A)粉末；(B)蠟材；(C)光聚合固化樹脂；(D)以上皆是
- ASTM 規劃七個類別，以下何種簡稱與正式名稱不符？  
(A)SL=疊層製造成型技術；(B)ME=材料擠製成型技術；(C)MJ=黏著劑噴印成型技術；(D)PBF=粉末床熔融成型技術
- 光聚合程度是依據 Beer-Lambert 法則，即雷射能量密度會隨著照射深度的增加而以何種關係衰減？  
(A)對數；(B)Sin 函數；(C)指數；(D)線性
- 根據下圖，射出成型與積層製造(AM)的製造成本案例比較，下列述敘何者正確？  
(A)量產射出成型成本較高；(B)數量越多，積層製造的製造成本相對越低；  
(C)射出成型在大量製造時反而沒有優勢；(D)數量少於 200 件時，積層製造的製造成本比射出成型低



- 近年常運用積層製造技術於醫療上，請問關於技術的應用方式，下列敘述何者有誤？  
(A)利用斷層掃描影像的 di com 格式可以轉換為列印用的立體圖檔；(B)可利用列印出的模型進行診療會議或是手術前的討論；(C)列印的手術導板可以提升手術的精確性；(D)能直接在患者口腔中列印進行無痛補牙

7. 積層製造(AM)技術運用於汽車產業的應用情境優勢，下列何者有誤？  
 (A)用在銷量較少的高單價車種零件；(B)用在斷貨的古董車的維修零件；  
 (C)用在長銷型車輛的零件生產；(D)用在賽車的風洞試驗模型
8. 目前航太工業已導入 3D 列印技術，主要運用的特性，下列何者有誤？  
 (A)少量多樣化；(B)結構最佳化；(C)產品量產化；(D)材料輕量化
9. 粉末床熔融成型技術(PBF)與指向性沈積成型技術(DED)列印金屬件，下列敘述何者有誤？  
 (A)都可使用粉末為材料；(B)都可使用雷射束為能量源；(C)都不需建立支撐結構；(D)都需考慮材料的熱應力影響
10. 下圖的製程示意圖為何種 3D 列印的技術？



- (A) Selective Laser Printing；(B) Digital Light Processing；  
 (C) Laser Stereolithography；(D) On-Demand Resin Writing
11. 核殼型粉末(Core-Shell)薄薄地鋪在列印平面上，再以雷射掃描圖層，將其殼熱黏著，如此反覆進行堆疊作業。此列印程序是何種技術？  
 (A)選擇性雷射燒結；(B)選擇性雷射熔結；(C)雷射指向性沉積；(D)薄片雷射疊層
12. 關於黏著劑噴印成型技術(BJ)，下列敘述何者有誤？  
 (A)其加工方式與粉末床熔融技術類似，需要妥善的氣氛控制；(B)粉末可以是石膏、金屬、高分子等粉末；(C)未經黏著劑噴印的粉末，可再被回收利用；  
 (D)粉末本身就是支撐材料



13. 請問下列哪種列印技術，不會使用到雷射？

(A)指向性能量沉積成型技術(DED)；(B)薄片疊層成型技術(SL)；(C)材料噴印成型技術(MJ)；(D)粉末床熔融成型技術(PBF)

14. 下列何者不是粉末床熔融技術(PBF)的關鍵零組件？

(A)光學模組；(B)鋪粉模組；(C)壓電模組；(D)氣氛模組

iPAXS

## 考題解析

1. 3D 列印系統中使用的加工工具有雷射、加熱器、噴嘴、壓電噴頭、電子束與尖銳的刀子等。
2. 3D 列印系統中使用的材料可以歸納為液態類(光聚合固化樹脂)、固態類(蠟材、高分子束)與粉末(金屬、高分子與陶瓷)類共三種。
3. 請參閱表 1-1。
4. 光聚合程度是依據 Beer-Lambert 法則，即雷射能量密度會隨著照射深度的增加而以指數關係衰減。
5. **Ans (D)**  
如圖所示，積層製造之單價固定，而射出成型在數量超過 200 件之後之單價方低於積層製造。
6. **Ans (D)**  
目前尚無技術可以自動化的直接在患者口腔中進行列印。
7. **Ans (C)**  
用在長銷型車輛的零件生產，量產時以開模製作或射出成形降低成本為主。
8. **Ans (C)**  
列印品適合少量製作、客製化，大量製作會以開模生產降低成本為原則。
9. **Ans (C)**  
粉末床熔融成型技術(PBF)以塑膠粉末列印時雖可以當作支撐，但是列印金屬時，有過高的內應力，如沒有支撐，會翹曲，而製作失敗。三軸的指向性能量沉積成型技術(DED)在製作時會在底部與成形底板製作棧板，五軸的指向性能量沉積成型技術(DED)可以在各種角度列印物品，所以在特殊條件下可以不需要支撐。
10. **Ans (C)**  
雷射掃描技術(SLA)的照射方式是由振鏡系統，透過兩個光的反射鏡反射角的精密控制，而達到路徑掃描的目的。



11. **Ans (A)**

早期以選擇性雷射燒結(SLS)方式製作金屬工件時，是在金屬核的外面加上 PA 殼，製造過程中以雷射將 PA 燒結成型。

12. **Ans (A)**

黏著劑噴印成型技術(BJ) 技術無需高溫，所以無須控制氣氛控制。

13. **Ans (C)**

材料噴印成型技術(MJ)噴印液體材料再使其固化，固化機制可為冷卻或光聚合反應等等，都不需使用雷射。

14. **Ans (C)**

粉末床熔融技術(PBF)的關鍵零組件包含光學模組、氣氛模組、鋪粉模組、平台模組、控制模組。

iPAXS

## 第二章 3D 列印設備系統(ME 與 VP 技術)

本章主要以材料擠製成型技術與光聚合固化技術之系統中歸納出較常見的機台零組件，並說明其機構與標準的操作流程。

### 2.1 設備系統性能

#### 1. 材料擠製成型技術設備

材料擠製成型的技術類似用熱熔膠槍將熱熔膠加熱後施加壓力通過噴嘴擠壓出來而定形，一層層的堆疊而形成三維的立體形狀。

關鍵技術在於加熱儲存槽內的壓力在擠出過程中是否保持穩定。如果擠出的材料以穩定的速度擠出，並保持固定的擠出直徑，則不會有斷線的可能。材料在擠出的過程中，噴嘴是在一個水平面運作，材料的擠出與停止是依據預規劃路徑而完成，當一層完成後，噴嘴必須向上提升一個層厚，再繼續加工、直至所有層數完成為止。

#### 2. 材料擠製成型的機構分類

將材料擠出來的方法有許多種，最常用的是使用溫度作為控制材料狀態的方法，再以氣壓、螺桿或導桿將半熔的材料擠出，以此方法所設計出來的機台所使用的機構可以區分為直角坐標系的 Cartesian 機構及以並聯臂機構運動的 Delta 系統兩種，以下就兩種差別進行說明：

##### (1) 直角座標系統(Cartesian)

直角座標機構又稱『桁架機構』或『龍門式機構』，其工作方式是沿著 X、Y、Z 軸的線性運動。驅動動力以伺服馬達或步進馬達為主，以線性滑軌、皮帶搭配齒輪、或齒條為傳動元件所架構起來的機構系統，可以到達在 X-Y-Z 三軸立體空間的三維坐標系中任意的一點如圖 2-1 所示。

此法的優點是結構簡單，而採用此系統的機台多為近端(Wedge)進料機構，近端設計之優點為進料機構馬達出料就直通加熱器，可降低軟塑膠進料之阻力；缺點是機體所佔空間大、動作範圍小與靈活性不佳等，而且、整個擠製頭模組因負擔了馬達的重量，因此整體的重量大而造成慣性大，對移動速度較慢且容易產生顫動。

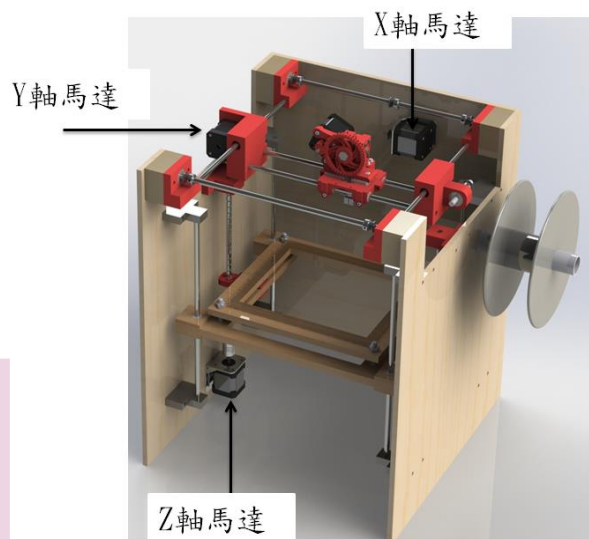


圖 2-1、直角座標系統示意圖

## (2) 並聯式系統(Delta)

並聯式的結構是從兩個自由度到六個自由度的空間結構，優點有高剛性、承受高負載、結構不易彎曲變形、不易有動態誤差、低慣性與構造簡單等，可以改善傳統串聯式機構很難突破的根本限制，例如：機架及運動軸重量太大導致結構彎曲變形，進給軸加速不易所導致的動態誤差，各軸及元件誤差累積導致系統整合誤差難以下降等。並聯式機構因為高剛性、構造簡單，且雙並聯桿設計可使擠製頭獲得更快的疊層加速度。



圖 2-2、並聯式系統示意圖

### 3. 支撐結構的製作

材料擠製成型的製造過程中，有時因懸臂、內凹或掛勾的幾何特徵而必須建立支撐結構，這樣的支撐結構主要有兩種形式來達成：

- A. 類似材料的支撐
- B. 次級材料的支撐

如果僅使用單一擠出裝置，那麼它只會有一個擠製儲存槽，則其支撐結構必須以相同的材料來製成。因此，可利用零件材料絲束強度變化，透過調整絲束間的間距差異性，來獲得可以導致斷裂面的效果，這個斷裂面可以用作從零件材料分離支撐結構的一種方式，如圖 2-3 所示。

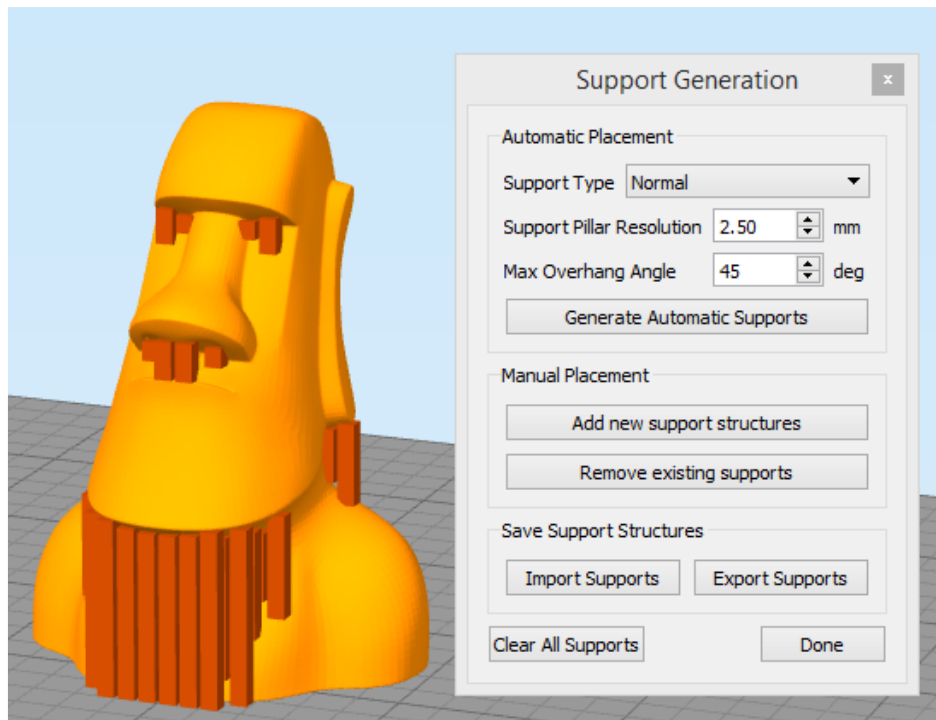


圖 2-3、單一材料建構支撐結構示意圖

最有效的拆除支撐架的方法是以不同材料製作它們。可以利用材料性質的差異性，則支撐結構即可輕易的從零件上作區分，無論是利用搭配不同顏色的材料、使用較弱的材料作支撐結構、或使用可以溶劑移除而不影響零件材料本身的材質等方法達成，都需要第二個擠出裝置、加工完成件如圖 2-4 所示。

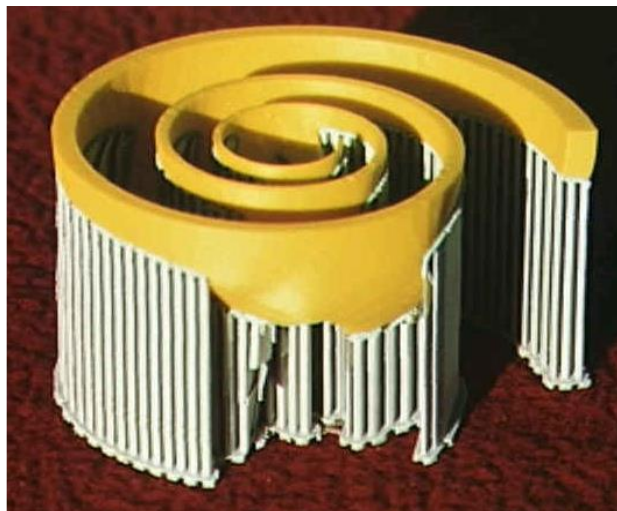


圖 2-4、利用不同材料為支撐結構之加工件圖

#### 4. 加工路徑產生

材料擠製成型的機器大都採用通用的 STL 格式檔案。在實際製作物件前，還必須先完成各層的輪廓內填料路徑產生。零件的精度是由輪廓來維持的，故輪廓線會以較慢的速度來製作。對加工物件的強度與密度決定於輪廓內部的填充率與填充方式。以開放軟體 Slic3r 為例，在 Slic3r 內可在調整原型的大小、高度、數量、位置，而原型的路徑與間距大小則是使用 Slic3r 裡的填充功能，將外壁(Vertical shells)與上下層(Horizontal shells)製作的功能取消選取，這樣出來的圖案就只會有填料的部分，還能選擇不同填充圖案與角度製作不同形狀孔洞的原型如圖 2-5 所示。

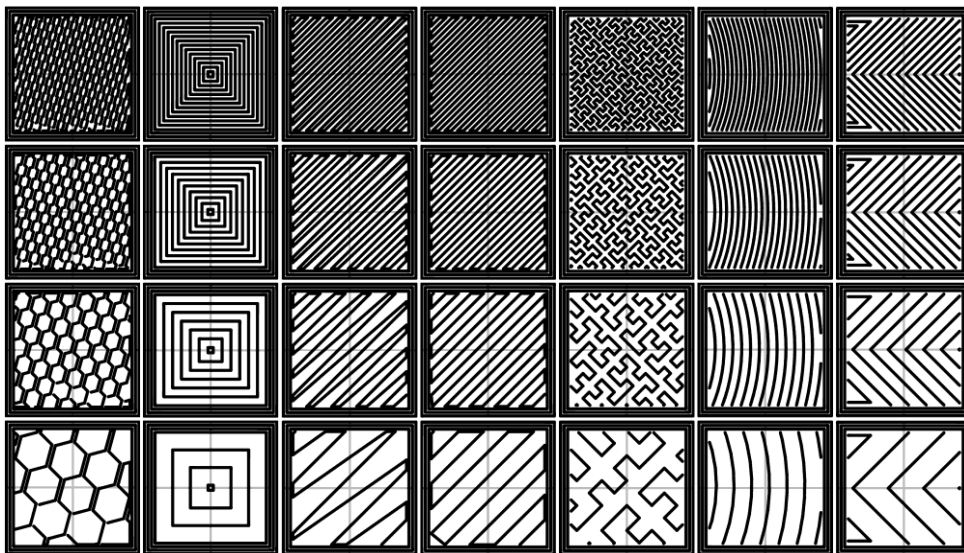


圖 2-5、Slic3r 裡的填充功能中的圖騰選項

原型的強度與填充率有關，強度減弱是空隙造成的。孔洞大小是由填料的密度去做選擇，第一層與每層的高度也需要做設定，每層高度不能超過針頭的內徑否則會無法輸出 G-code，最後在設定成形板的大小與中心點還有 Z 軸的補正(Z offset)距離，這樣就可以輸出 G-code 碼。

#### 5. 光聚合固化設備

光聚合固化三維列印系統的材料主要是光聚合固化樹脂，通常是熱塑性樹脂，而光聚合固化樹脂的成分主要有單體、寡聚物、光起始劑以及其他的添加物

如染色劑或粉末等，當單體、寡聚物與光起始合成時，受到適當的反應光波長、分子可解離產生活性自由基或陽離子(強質子酸或路易士酸)，當存在不飽和雙鍵時，即能誘發光聚合反應，其反應可以分為四個步驟：

- 起始反應(Initiation Reaction)
- 連鎖反應(Chain Reaction)
- 成長反應(Propagation Reaction)
- 終止反應(Termination Reaction)

光聚合固化的行為不是完全固化及沒固化反應，的差別而已，它是光能量與固化的深度的正相關，但固化的深度也不是完全固化與完全不固化的現象，是因為光的穿透性而在不同深度下有不同的能量，所照成的固化百分比也不同。因此、光聚合反應所誘發的固化是以是依據 Beer-Lambert 法則來定義，即雷射能量密度會隨著照射深度的增加而以指數衰減，如公式(1)所示：

$$E(z) = E_0 e^{\left(\frac{-z}{D_p}\right)} \quad (1)$$

式中  $E_0$  表示為雷射入射的能量， $D_p$  為樹脂的穿透深度， $z$  為樹脂表面下的深度。由公式(1)可以得知，雷射垂直照射於樹脂液面的能量最大。

光聚合固化三維列印系統在製作三維物件的可調參數有切層厚度、支撐方法、刮板參數(上照式使用居多)以及加工路徑參數(雷射式需要)。切層厚度可依據需求定義，厚度越小、則加工層數越多，所需的時間越久。支撐方法會影響到製作物件的穩定性與精確定位，所以若只使用支撐柱(strand)不夠，可以再增加交叉網柱(projection)。刮板參數與切層厚度相關，當加工層固化完成時、樹脂表面會因為表面張力而產生凹凸面，需藉由刮板進行添料與掃平樹脂表面，因此、刮板參數越大時，表示間隙越大，所鋪的樹脂較多，層厚有較厚；另刮板移動速度越快，則所鋪的樹脂較少，層厚也較薄。

光聚合固化之機台零組件可以區分為光源、能量傳遞驅動器，成型平台與樹脂槽等，因為光源與能量傳遞驅動器較具有共通性，故在此謹說明這兩項。



## (1) 光源

### A. 雷射

光聚合固化機台之雷射光源會隨著雷射技術的發展而變化，早期使用紫外光波段之  $\text{Ar}^+$ (Argon)雷射，但由於功率會衰減的太快而轉向固態雷射。最早被使用的固態雷射是 Nd:Yag 雷射，其波長是 1,064nm，並非紫外光波段，因此、使用倍頻技術使波長變短，第一次倍頻可以獲得 532nm 的綠色波段，第二次倍頻即可獲得 355nm 的紫外光波段。在成本的考量與半導體的技術驅動下，半導體雷射的技術也逐漸成熟，故可以使用 405nm 波段的半導體雷射來取代固體雷射。

### B. 高功率發光二極體

高功率發光二極體(Light-emitting diode, LED)光源經常被應用於液晶面板(Liquid crystal panel，簡稱 LCD)或數位數位微型反射鏡元件(Digital micromirror device，簡稱 DMD)為發射光源而產生投影的光罩進行面固化成型。

## (2) 能量傳遞驅動器

### A. X-Y 滑台

利用馬達與滑軌或皮帶帶動光學鏡組(如聚焦鏡)，雖然因為結構簡單而獲得初期的使用，但又因為重量所誘發之慣力促使整個機台震動與傳遞速度緩慢的結果，使其被應用的機會逐漸減少。

### B. 振鏡模組

振鏡模組是透過兩個馬達精密的控制著反射鏡而改變光的反射角度進行光的傳遞，因此，馬達小且幾乎無負載的情況下，慣性力極小，導引光束的能量速度快，已經逐漸取代 X-Y 滑台的使用，目前使用振鏡模組的系統有 3D Systems 的 SLA 系列、FormLab 的 Form2 以及三緯國際立體印列科技股份有限公司的 Nobel 系統等。



## 2.2 機台操作實務

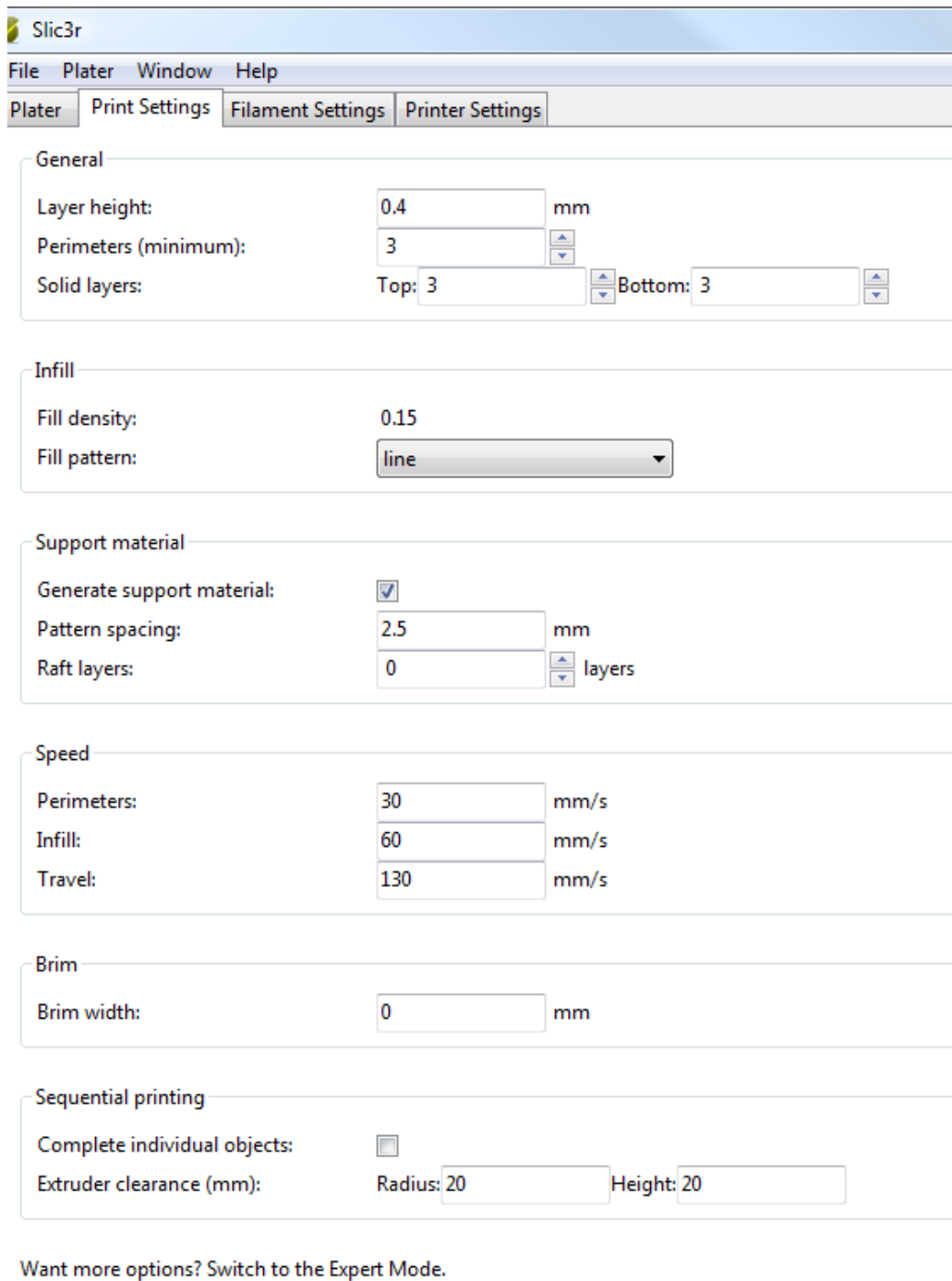
雷射式的光聚合固化三維列印系統也可以使用免費的開放軟體如 Slic3r 以及 RepRap 等，與材料擠出式之三維列印不同處是改為雷射的開關替代擠出頭的開關。基於以上的原因，本章節以開放軟體 Slic3r 與 CURA 來說明切層並產生加工路徑，再以 Autodesk 的 Print studio 與 Meshmixer 來產生光罩為說明。

### 1. Slic3r 流程演練

本章節將以開放軟體 Slic3r 為例，因為這樣比較容易取得，且與其他的軟體有許多的共同點，關鍵的參數大同小異，若能瞭解則使用其他的軟體也能很容易上手。材料擠出技術系統的製程參數可以分為列印設定與束徑設定等，如圖 2-6 所示為簡易模式之一般列印設定，共可分為一般(general)、內部填充(infill)、支撐材料(support material)、速度(speed)、邊緣寬度(Brim)以及連續列印(sequential printing)等功能。

- (1) 一般設定有層厚(layer height)，垂直外殼(perimeters)，上下層面之固化層(solid layer)。
- (2) 內部填充設定有填充密度(fill density)與填充圖案(fill pattern)。
- (3) 支撐材料包含支撐材料的間隔(pattern space)與木筏層(raft layer)。
- (4) 加工速度區分為垂直外殼加工速度、內部填充速度與非加工時的移動速度。
- (5) 邊緣寬度：邊緣寬度通常用於第一層添加更多的周邊，作為基礎層，以便為模型提供更多的表面積，使其粘附到成型板的面積增加以減少翹曲的發生。一旦列印完畢並從成型板取下後、邊緣就被切掉。
- (6) 連續列印：成型板上同步列印兩個以上的模型使用。

參數	參數說明
層厚	依據切層厚度設定。
垂直外殼	定義列印模型將具有的垂直外殼的最小數量層。除非模型需要單一寬度的外殼，否則通常建議至少具有兩個周長，因為這樣做較不會在初期塌陷，例如如果一段周長未正確列印，則第二個周邊將有助於覆蓋。
上下層面之固化層	這個設定表示夾著模型的上層和最下層填充有固體層圖案。建議至少有兩層底層。
填充密度	填充的密度。
填充圖型	較複雜的填充方法通常對於大多數案例來說會造成填充效率差，因此大多數情況下，填充圖案會選擇是直線式或蜂巢式。蜂巢式組合具有最強的強度，但是加工速度比直線都還要慢。
支撐材料的間隔	支撐材料的間隔。
木筏層	木筏層將在模型之下添加額外的層。它可以幫助列印機底部沒有加熱板，或成型台不是很平坦的時候使用，但它通常是不需要的被使用的，因為木筏層還是需要後處理才能將其移除。
邊緣寬度	第一層添加邊緣的寬度以減少翹曲的發生。
連續列印	此功能允許組合一個成型板，在返回到 $Z = 0$ 之前可以開始下一個模型的列印。
束徑	使用的材料束徑。
擠出倍增器	此功能允許精細調節擠出流速。例如 1 表示 100%的擠出速度，1.5 表示 150%的擠出速度。



**Slic3r**

File Plater Window Help

Plater **Print Settings** Filament Settings Printer Settings

**General**

Layer height: 0.4 mm

Perimeters (minimum): 3

Solid layers: Top: 3 Bottom: 3

**Infill**

Fill density: 0.15

Fill pattern: line

**Support material**

Generate support material: ☒

Pattern spacing: 2.5 mm

Raft layers: 0 layers

**Speed**

Perimeters: 30 mm/s

Infill: 60 mm/s

Travel: 130 mm/s

**Brim**

Brim width: 0 mm

**Sequential printing**

Complete individual objects: ☐

Extruder clearance (mm): Radius: 20 Height: 20

Want more options? Switch to the Expert Mode.

圖 2-6、Slic3r 之列印設定圖

束徑的設定有束徑的直徑(diameter)、擠出倍增器(extrusion multiplier)、溫度則包含擠出頭的溫度與成型板的溫度等，如圖 2-7 所示。

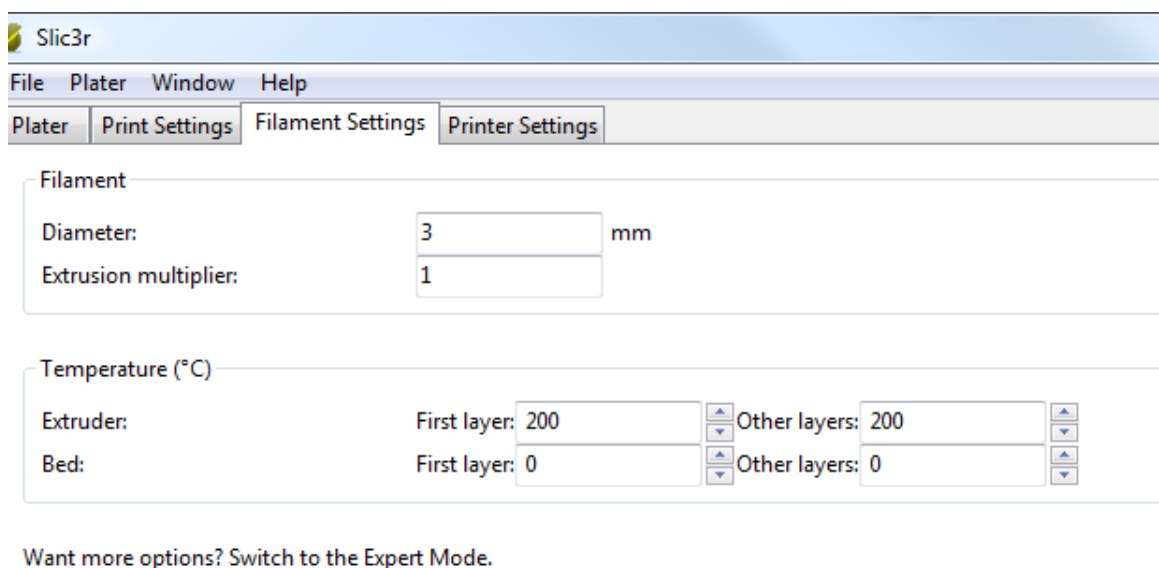


圖 2-7、Slic3r 之束徑設定圖

一般常用的 G-code 說明如下：

- G28 - 回到軸的 Home 點
- M104 S0 - 設定擠出頭溫度為零
- M140 S0 - 設定成型板溫度為零
- G28 X0 - X 軸回到 Home 點
- M84 - 使馬達失去功能

## 2. CURA 流程演練

### (1) 圖檔設定

零件檔可以從繪圖程式匯出 STL 格式的檔案，可使用網路上免費的切層程式，本流程演練以 CURA 為例，但下載完 CURA 後，內部參數設定如圖 2-8 所示。

The image shows two side-by-side screenshots of the CURA software settings interface. The left screenshot shows the 'Basic' and 'Advanced' tabs, with 'Retraction' and 'Quality' settings visible. The right screenshot shows the 'Basic' and 'Advanced' tabs, with 'Quality' and 'Speed and Temperature' settings visible.

Tab	Section	Parameter	Value
Basic / Advanced	Retraction	Speed (mm/s)	80
		Distance (mm)	5
	Quality	Initial layer thickness (mm)	0.2
		Initial layer line width (%)	100
		Cut off object bottom (mm)	0.0
		Dual extrusion overlap (mm)	0
	Speed	Travel speed (mm/s)	200
		Bottom layer speed (mm/s)	15
		Infill speed (mm/s)	80
Top/bottom speed (mm/s)		0	
Outer shell speed (mm/s)		30	
Inner shell speed (mm/s)		80	
Cool	Minimal layer time (sec)	5	
	Enable cooling fan	<input checked="" type="checkbox"/>	
Basic / Advanced	Quality	Layer height (mm)	0.1
		Shell thickness (mm)	0.8
		Enable retraction	<input checked="" type="checkbox"/>
	Fill	Bottom/Top thickness (mm)	0.8
		Fill Density (%)	20
	Speed and Temperature	Print speed (mm/s)	40
		Printing temperature (C)	188
		Bed temperature (C)	0
	Support	Support type	Everywhere
		Platform adhesion type	Brim
Filament	Diameter (mm)	1.75	
	Flow (%)	100.0	
Machine	Nozzle size (mm)	0.4	

圖 2-8、CURA 內部參數設定圖

## (2) 編輯程式碼

將載下來的 CURA 修改內部程式，如圖 2-9 所示。

The image shows two side-by-side screenshots of the CURA software's internal G-code editor. The left screenshot shows the 'start.gcode' and 'end.gcode' tabs, with 'start.gcode' selected. The right screenshot shows the 'start.gcode' and 'end.gcode' tabs, with 'end.gcode' selected.

```

;Print time: {print_time}
;Filament used: {filament_amount}m {filament}
;Filament cost: {filament_cost}
;M190 S(print_bed_temperature) ;Uncomment to
;M104 S(print_temperature) ;Uncomment to add
G28
M106 S200
M104 S(print_temperature)
M109 S(print_temperature)
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
G28 ;move to endstops
M114
G29 Z0.75
M106 S200
G92 E0 ;zero the extruded l
G1 F100 E8 ;extrude 3mm of feed
G1 X0 Y-90 Z-0.05 F4000
G1 X-20 Y-80 Z0 F1800
G92 E0 ;zero the extruded l
G1 F3000
;Put printing message on LCD screen
M117 KINGSEEL Printing
    
```

```

M104 S0 ;extruder heater
M140 S0 ;heated bed heat
G91 ;rela
G1 E-5 F300 ;retr
G1 Z+0.5 E-5 X-20 Y-20 F(travel_speed) ;move
G28 X0 Y0 ;move
M106
G4 P90000
M107
M84 ;steppers off
G90 ;absolute positi
;{profile_string}
    
```

圖 2-9、CURA 內部編輯程式碼圖

### (3) 輸入欲要列印的 STL 檔

開啟 Cura 程式，輸入 STL 檔，如圖 2-10 所示。若要對此模型做方向及大小比例調整，請先點取模型選取即可，上方會有大概的列印時間，好讓使用者控制時間。設定方向和比例後，選擇文件→保存 GCODE，如圖 2-11 所示。保存 GCODE 檔時，檔名切記不可使用中文及空白和特殊符號。

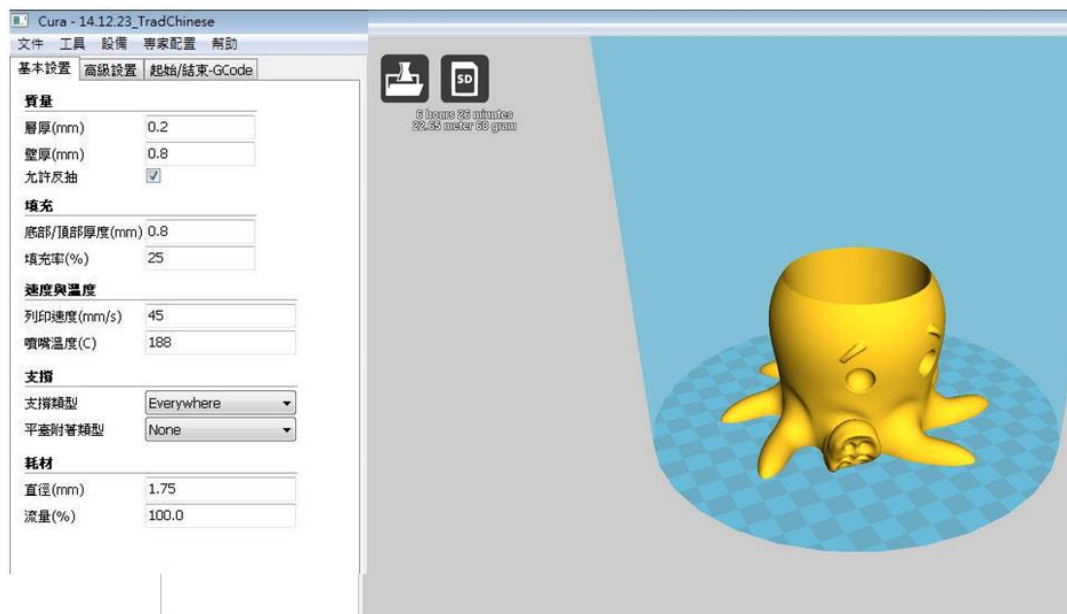


圖 2-10、CURA 程式執行與輸入 STL 檔圖

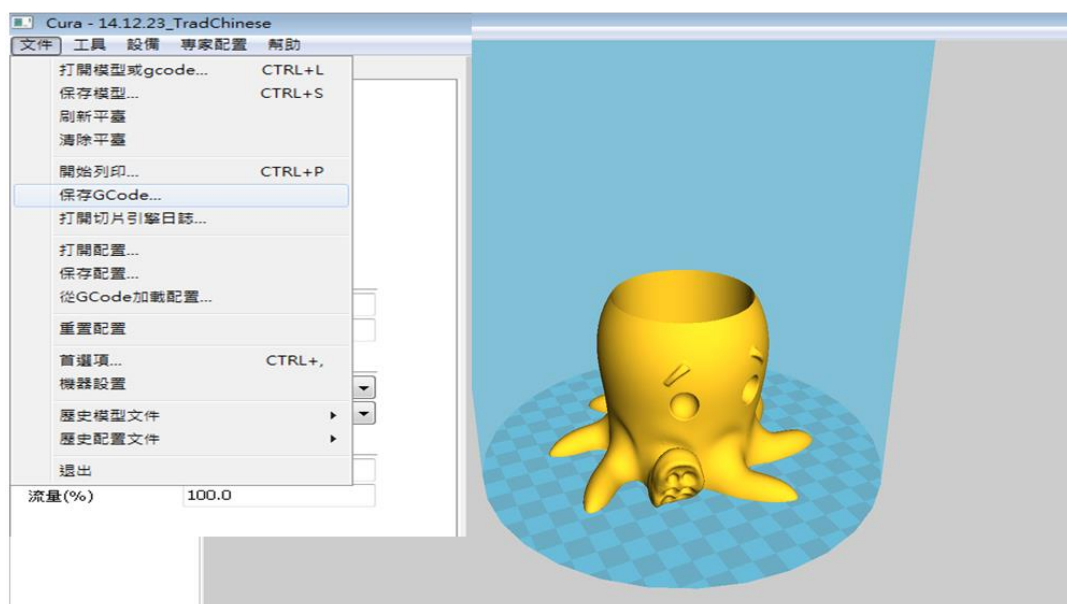


圖 2-11、GCODE 輸出檔圖

完成後將輸出的 GCODE 利用 SD 卡儲存，再將 SD 卡輸入所使用的 FDM 系統進行加工。

#### (4) 開始 FDM 系統的電源

儀錶板包含螢幕和滾輪如圖 2-12 所示。首先需要做預熱的動作，此機台材料選擇為 PLA 須達到 180℃ 方可加工，等待溫度到達後、下一步按壓滾輪→滾動滾輪，選擇 Prepare 如圖 2-13 所示，再按下 Preheat 進行加熱如圖 2-14 所示。

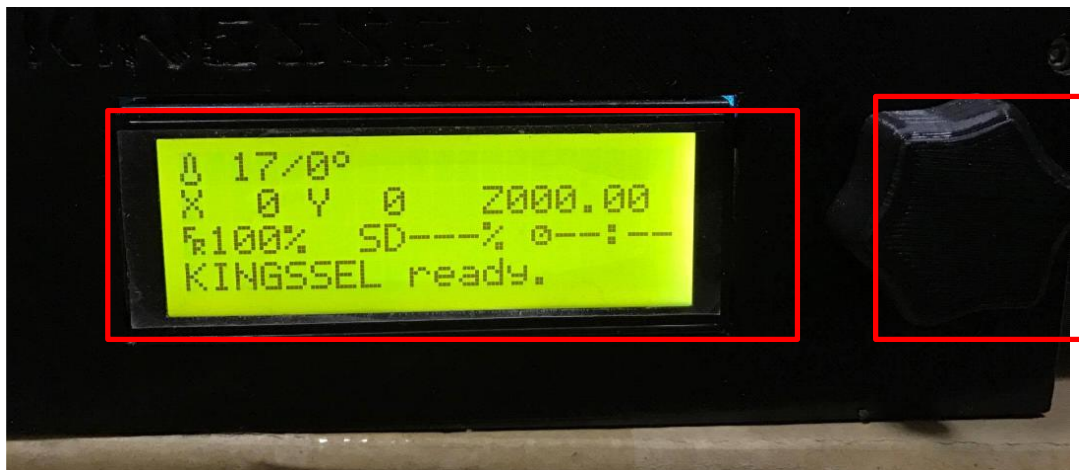


圖 2-12、儀錶板圖



圖 2-13、滾動滾輪至 Prepare 功能示意圖





圖 2-14、選擇 Preheat PLA 圖

機器便跳回原面板並會開始加熱(會有加熱聲響)，此時等待儀表板上的溫度到達 180 度如圖 2-15 所示，此時再按壓滾輪→滾動滾輪，選取 Print from SD 如圖 2-16 所示，選擇檔案名稱如圖 2-17，即可開始列印。機器便會開始運作，此時須馬上在成型版上塗上口紅膠(塗的面積依模型大小而定)塗完後等待其完成模型即可。



圖 2-15、加熱完成圖



圖 2-16、選取 Print from SD 圖





圖 2-17、選取 Print from SD 圖

### 3. Printstudio 的實作演練

#### (1) 開啟 Print studio 進行支撐結構的建立

不論是上照式或是下照式都需要考量是否需要建立支撐結構，因此、圖 2-18 為開啟 Print studio 的畫面，按下+的符號後可以導入欲製作的模型。

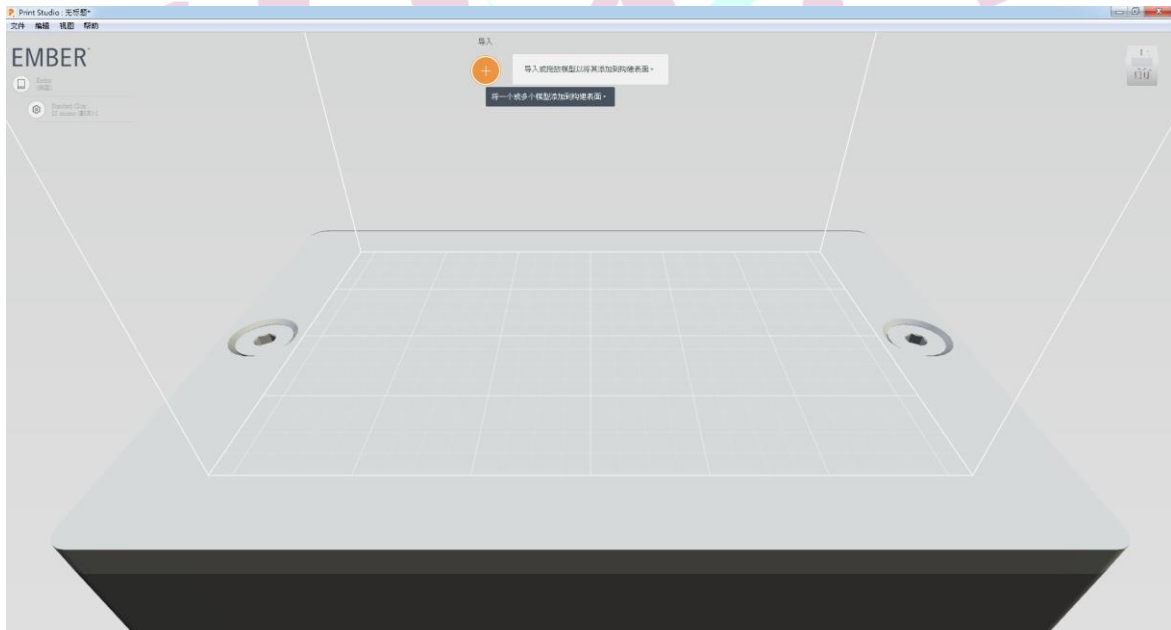


圖 2-18、開啟 Print studio 的畫面

本案例導入一個咬合板，因是其結構必須製作支撐結構比較能獲得較好的成功機率，導入後如圖 2-19 所示。調整建模角度至較能成功長出支撐結構的角度如圖 2-20 所示，以咬合板為模型，非齒型表面不會與牙齒接觸，所以支撐結構應該

建立在較不影響功能與美觀的表面，因此、在咬合板的外表面(無牙型的面)使用自動建立支撐，建立後如圖 2-21 所示。

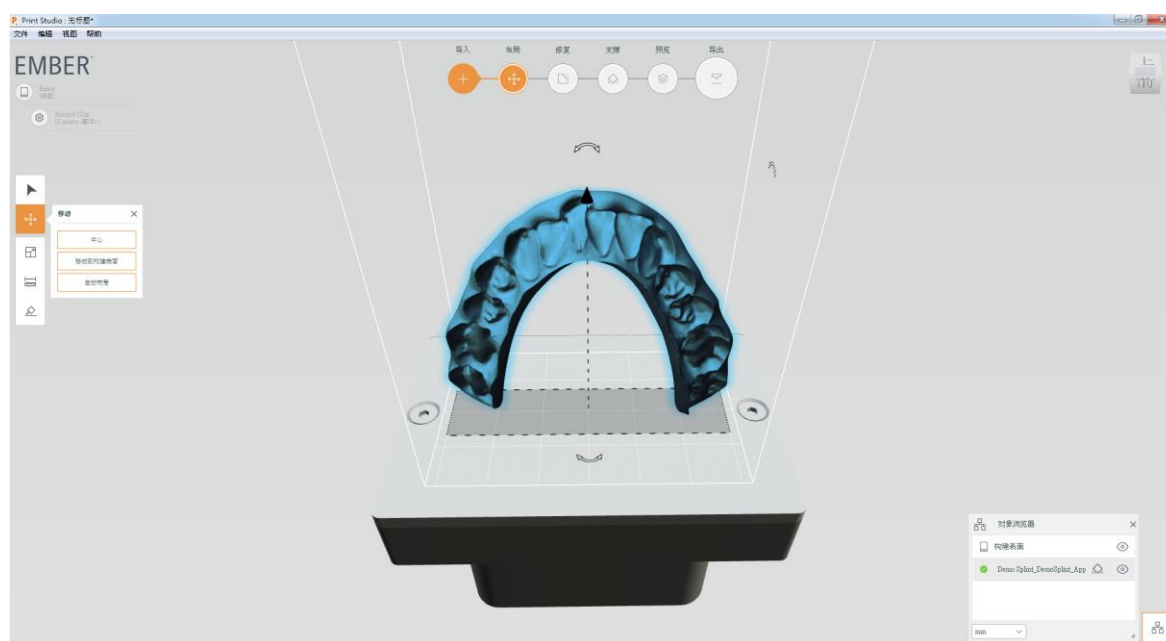


圖 2-19、導入咬合板後畫面圖

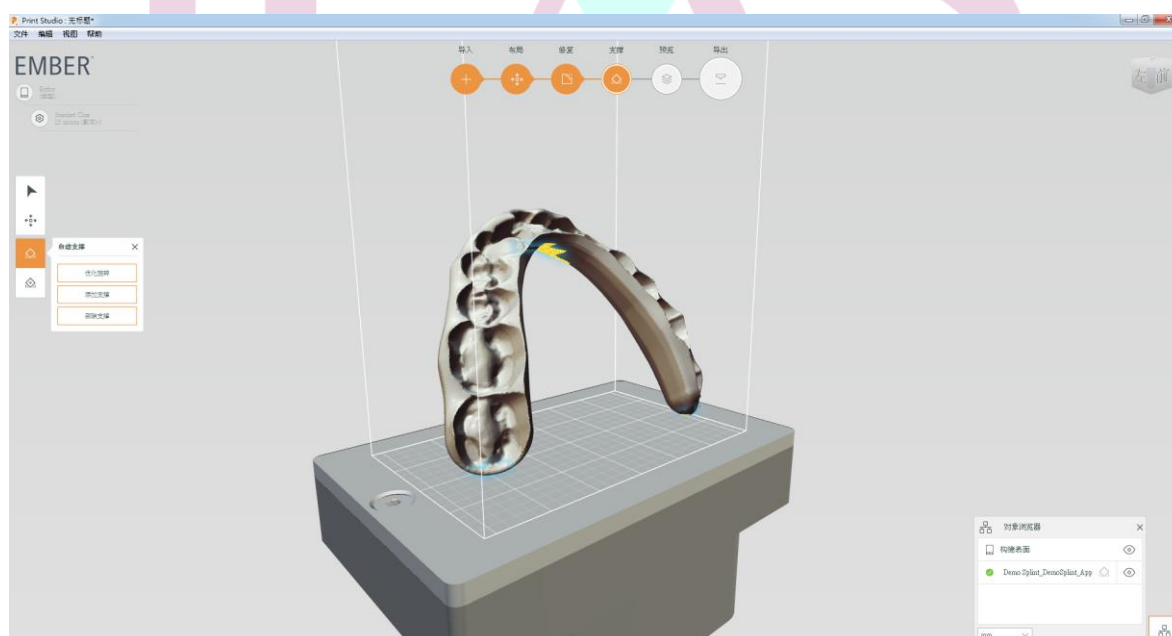


圖 2-20、調整建模角度

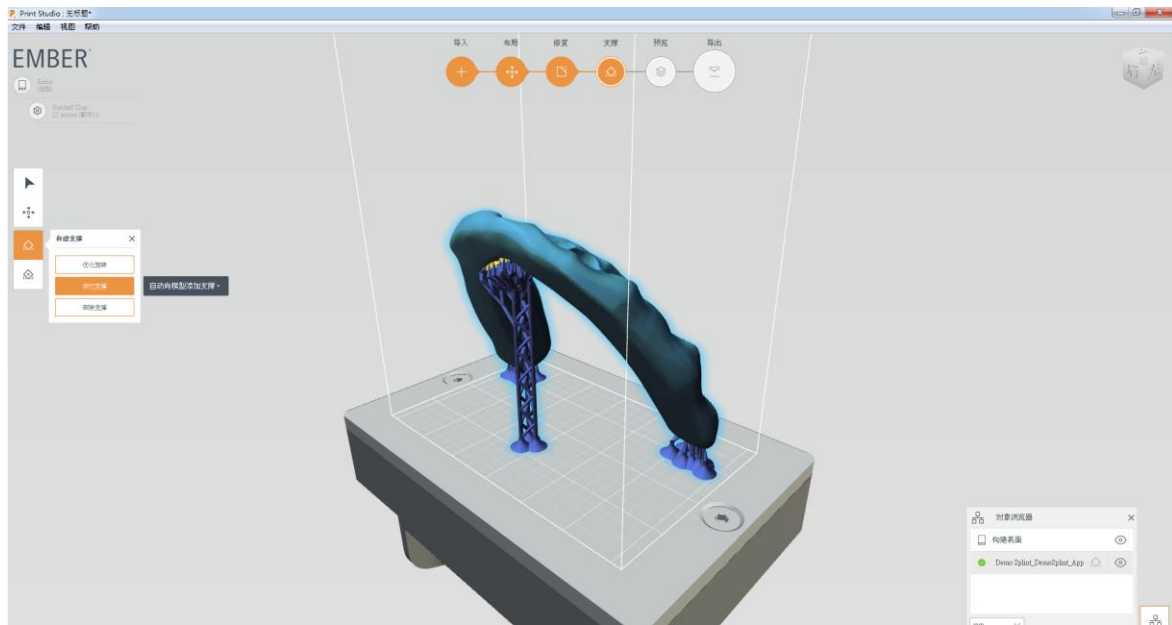


圖 2-21、自動建立支撐圖

建立完支撐之後，即可以進行切層，預先設定切層厚度，一般是約 20-50 $\mu\text{m}$ ，切層厚度的設定須先了解加工成型板使用軸的解析度與光聚合固化樹脂對光照射後固化深度的關係而定。切層完之結果如圖 2-22 所示。

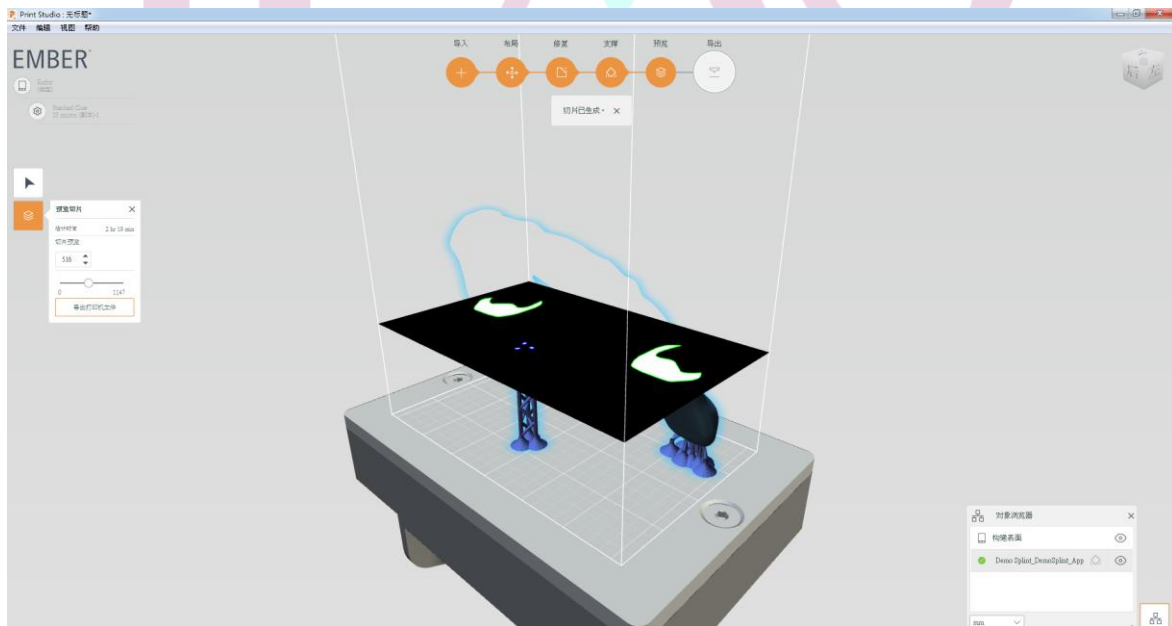


圖 2-22、切層後之示意圖

最後步驟即是輸出切層檔案。由以上的說明可以知道，一般的光罩式光聚合固化三維列印系統的光罩產生流程可以歸納為：輸入檔案→調整最佳建模的角度與位置→建立支撐→進行切層→輸出切層光罩→進行加工。

iPAXS

## 2.3 適用環境、電氣與安全需求

### 1. 使用材料擠製成型的誤動作

材料擠出產品常見之不良現象說明如下：

不良現象	產生現象	解決方法
	列印的第一層是非常重要的，因為其餘的部分是建立在第一層的基礎上。如果第一層沒有粘貼到構建成型台上，那麼後續就會失敗。	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 校正成型台位置</li> <li>2. 降低第一層加速度</li> <li>3. 調整加熱溫度與冷卻參數</li> <li>4. 以上都無效，請使用木筏層與邊緣寬度功能</li> </ol>
	轉角處未擠出足夠的塑料	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加束徑的直徑</li> <li>2. 增加擠出倍增器</li> </ol>
	在最上層產生孔洞與間隙	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加上層之固化層層數</li> <li>2. 增加內部填充百分比</li> </ol>
	牽絲於結構中	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降低加熱溫度</li> <li>2. 增加非加工時的移動速度(travel speed)</li> <li>3. 減少縮回距離，縮回距離通常是 0.5~2 mm</li> </ol>

不良現象	產生現象	解決方法
	過熱效應	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降低擠出頭的溫度</li> <li>2. 提高冷卻效率</li> <li>3. 增加列印速度</li> </ol>
	層移位	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 降低移動速度</li> <li>2. 檢查機構是否鬆脫，馬達與皮帶是否產生間隙</li> </ol>
	擠出頭阻塞	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提高擠出頭的溫度、並手工推擠束料</li> <li>2. 重新填入束料</li> <li>3. 清理擠出頭</li> </ol>



## 2. 光聚合固化成型的誤動作

光聚合固化成型產品常見之不良現象說明如下：

<p>尺寸誤差</p>  <p>校正前      校正後</p> <p>單齒牙模底座      校正方塊</p>	<p>投影誤差：</p> <p>模型沒有校正，導致投影機投射誤差顯現在模型上。</p>
<p>間隙肉芽：</p> <p>色粉用量過多，導致光源散射，固化旁邊的樹脂產生肉芽</p> 	<p>間隙肉芽：</p> <p>色粉用量過多，導致光源散射，固化旁邊的樹脂產生肉芽；也可光散射造成間隙肉芽。</p>
 <p>層間間隙</p>	<p>層間間隙：</p> <p>軸向滑軌系統或螺桿系統失步，導致層與層之間的堆疊不一致產生間隙。</p>
 <p>氣泡產生：</p>	<p>氣泡產生：</p> <p>成型板下降速度過快，將空氣壓入樹脂中，然而、樹脂的黏性無法快速將氣泡排泄出去而固化於物件中。</p>



### 3. 安全注意事項

- (1) 當材料擠出之 3D 列印機列印完成物件後，可使用刮刀取下模型，並進行後續的處理工作。請注意取模型時不要碰到噴頭以免燙傷。
- (2) 操作光聚合固化列印設備請不要用肉眼直視光源與光線以免造成眼睛的損傷。另因為光聚合固化樹脂具有毒性，操作員應戴手套(如乳膠手套)進行工作，避免直接碰觸樹脂。
- (3) 3D 列印機屬於電器用品，也應考慮工作的環境濕度與溫度。環境溼度高容易造成內部電子零件的損壞，另溫度高不易散熱，材料擠出類型之 3D 列印機需加熱噴頭，另光聚合固化在固化的過程中都會產生熱，所以，工作環境最好是通風易散熱的場所。
- (4) 材料擠出類型之 3D 列印機，其噴頭旁時有餘料，不可用手直接觸碰去除，應以濕抹布擦拭移除餘料。

IPAS



## 重點掃描

1. 材料擠製成型的機構分類可以區分為直角坐標系的 Cartesian 機構及以並聯臂機構運動的 Delta 系統兩種。
2. 直角座標機構又稱『桁架機構』或『龍門式機構』，其工作方式是沿著 X、Y、Z 軸的線性運動。
3. 並聯式的結構是從兩個自由度到六個自由度的空間結構，優點有高剛性、承受高負載、結構不易彎曲變形、不易有動態誤差、低慣性與構造簡單等，可以改善傳統串聯式機構很難突破的根本限制。並聯式機構因為高剛性、構造簡單，且雙並聯桿設計可使擠製頭獲得更快的疊層加速度。
4. 材料擠製成型的製造過程中，有時因懸臂、內凹或掛勾的幾何特徵而必須建立支撐結構，這樣的支撐結構主要有兩種形式來達成，分別為類似材料的支撐與次級材料的支撐。
5. 最有效的拆除支撐架的方法是以不同材料製作它們。可以利用材料性質的差異性，則支撐結構即可輕易的從零件上作區分。
6. 對加工物件的強度與密度決定於輪廓內部的填充率與填充方式。
7. 原型的強度與填充率有關，強度減弱是空隙造成的。孔洞大小是由填料的密度去做選擇。
8. 光聚合固化機台之雷射光源應用發展為外光波段之  $\text{Ar}^+$ (Argon)雷射、固態雷射的 Nd:Yag 雷射、半導體雷射。
9. 高功率發光二極體(Light-emitting diode, LED)光源經常被應用於液晶面板(Liquid crystal panel，簡稱 LCD)或數位數位微型反射鏡元件(Digital micromirror device, 簡稱 DMD)為發射光源而產生投影的光罩進行面固化成型。
10. 振鏡模組是透過兩個馬達精密的控制著反射鏡而改變光的反射角度進行光的傳遞。
11. 影響材料擠出成三維物體之重要參數有層厚(layer height)，垂直外殼(perimeters)，上下層面之固化層(solid layer)，填充密度(fill density)與填充圖案(fill pattern)，垂直外殼加工速度與內部填充速度等。

12. 材料擠出產品常見之不良現象有轉角處未擠出足夠的塑料，在最上層產生孔洞與間隙，牽絲於結構中，過熱效應，層移位以及擠出頭阻塞等。
13. 光聚合固化樹脂的成分主要有單體、寡聚物、光起始劑以及其他的添加物如染色劑或粉末等。
14. 光聚合反應，其反應可以分為四個步驟：起始反應，連鎖反應，成長反應，終止反應。
15. 光聚合反應所誘發的固化是以是依據 Beer-Lambert 法則來定義，即雷射能量密度會隨著照射深度的增加而以指數衰減。
16. 光聚合固化三維列印系統在製作三維物件的可調參數有切層厚度、支撐方法、刮板參數(上照式使用居多)以及加工路徑參數(雷射式需要)。
17. 一般的光罩式光聚合固化三維列印系統的光罩產生流程可以歸納為：輸入檔案→調整最佳建模的角度與位置→建立支撐→進行切層→輸出切層光罩→進行加工。



## 模擬考題

1. 材料擠出技術系統輸入 STL 格式後，進行加工設定後，輸出何者格式進行加工？  
(A) PNG 格式；(B) Part 格式；(C) Asm 格式；(D) G-code 格式
2. 材料擠製成型的機構分類可以區分為？  
(A)直角座標機構；(B)龍門式機構；(C)並聯臂機構；(D)以上皆是
3. 材料擠出系統中，遇到必須建立支撐結構時，最有效的拆除支撐結構的支撐建構方法是？  
(A)以較軟的材料製作支撐結構；(B)以較硬的材料製作支撐結構；(C)以與主結構相同的材料建立支撐結構；(D)以上皆非
4. 材料擠出系統中，加工完成的物件強度與何者較有直接的關係？  
(A)擠出模組所加熱的溫度高低有關；(B)與填充率有關；(C)絲束的直徑有關；(D)有加工的速度有關
5. 光聚合固化機台之光源下列何者正確？  
(A)可使用 Ar+(Argon)雷射；(B)可使用光纖雷射；(C)可使用一般可見光的燈泡；(D)以上均可
6. 雷射能量與光聚合固化樹脂間之光聚合程度可依據何者法則來定義？  
(A) Beer-Lambert；(B) Gaussian；(C) Maxwell；(D) Scaling
7. 材料擠製成型技術的加工物件常會因為熱效應而發生縮收的現象，則展現在加工完成物件上會有什麼影響？  
(A)縮孔；(B)尺寸誤差；(C)牽絲於結構中；(D)以上皆是
8. 材料擠製成型技術的加工參數說明何者正確？  
(A)線材的束徑設定與切層厚度的設定不需一致；(B)溫度會影響擠出的絲寬與粘貼的結合強度；(C)填滿層輪廓內面積的圖案方法會影響加工物件的變形行為；(D)以上皆是
9. 在商業化的光聚合固化 3D 列印機台中，下列何者不是需要設定的加工參數？  
(A)切層層厚；(B)曝光時間；(C)光聚合固化樹脂的成分；(D)成型板升降的速度

10. 材料擠製成型技術加工的被加工件所獲得的強度主要受哪個參數影響較明顯？  
(A)填充率；(B)切層厚度；(C)填料圖案；(D)加熱溫度
11. 下列何者不是構成下照式(Bottom-Up)光聚合固化成型技術(VP)的必要元件？  
(A)光學引擎；(B)成型平台及升降機構；(C)表面平整機構；(D)樹脂槽
12. 關於遠端進料機構與近端近料機構的敘述，下列何者有誤？  
(A)近端進料可以減少線材推送的阻力；(B)近端進料可以精確控制回抽量；  
(C)遠端進料可以降低擠製頭移動的慣性；(D)遠端進料適合使用軟性線材
13. 關於光聚合固化成型技術(VP)中，使用 FHD 的數位光處理(DLP)技術，下列敘述何者有誤？  
(A)投影圖層的像素為微鏡片(DMD)數量；(B)軟/韌體可平滑處理 DLP 投影所造成的鋸齒特徵；(C)可列印尺寸與使用之像素數目無關；(D)主要採用高能量深紫外光汞燈為光源，以提升固化效率
14. 有關熔融擠製成型技術其噴頭系統熱端(Hot End)有一噴頭(Nozzle)設計，請問下列敘述何者有誤？  
(A)一般常用青銅(Bronze)材質是因為導熱效果佳；(B)使用特殊材料如碳纖維(CF)材料時可能會造成磨耗縮短使用壽命；(C)高硬度噴頭硬度高可防止擴孔與磨耗增加壽命；(D)噴頭內部加工不夠平滑時容易阻礙材料流動造成焦燒(Scorch)
15. 光聚合固化成型技術(VP)之光照射與成型方式，下列敘述何者正確？  
(A)可區分為上照式(Top-Down)與下照式(Bottom-Up)兩種；(B)一般使用的樹脂對 IR(紅外光)能有良好硬化反應；(C)光能量與固化深度呈線性關係；(D)光聚合反應會伴隨著些微體積的膨脹
16. 光聚合固化成型技術(VP)是以光進行選擇性的照射樹脂，其光學引擎大致上以投影機、雷射掃描、液晶面板這三種技術為主，關於上述三種技術下列敘述何項有誤？  
(A)雷射的掃描時間每一層都不同；(B)相同解析度的投影機，使用在不同列印範圍的不同設備上，其列印的精度相同；(C)手機螢幕為液晶面板，故手機螢

幕亦可做為光聚合固化列印機的光源；(D)相同尺寸的液晶面板，像素愈高，  
列印成品精度愈高

17. 熔融擠製成型技術中，若發生材料在第一層列印時無法固定在平台上，下列何者不是造成此現象的原因？

(A)第一層列印太快；(B)擠製頭離平台太遠；(C)切層厚度太薄；(D)噴頭溫度  
過低

18. 關於熔融擠製成型系統中平台校正的敘述，下列何者有誤？

(A)透過手動調整可以校正平台的高低落差；(B)用極限開關感應可以協助自動  
校正平台的高低落差；(C)平台校正後仍然有可能列印出歪的物件；(D)平台校  
正後可減少 XY 方向的誤差

19. 關於光固化列印設備使用的安全注意事項，以下敘述何者有誤？

(A)不慎噴濺眼睛時，應立即用有機溶劑沖洗；(B)使用設備時，應配戴手套和  
活性碳口罩以避免接觸到樹脂；(C)若皮膚不慎觸碰到樹脂應盡快做清潔；  
(D)工作環境有溶劑及樹脂的使用，環境應通風

20. 材料擠製成型技術(ME)操作環境與安全，下列敘述何者有誤？

(A)若發現接頭接觸不良，需停機檢修；(B)若進料棘輪有異音且佈滿材料碎  
屑，只要還可以出料可以繼續列印；(C)列印時若聞到材料燒焦味道時，有可  
能是加熱溫度過高；(D)列印運作中請勿用手清除噴頭上的殘料，以避免燙傷  
和夾傷

## 考題解析

1. **Ans (D)**

材料擠出技術系統輸入 STL 格式後，進行加工設定後，輸出 G-code 格式。

2. **Ans (D)**

材料擠製成型的機構分類可以區分為直角座標機構(又名龍門式機構)與並聯臂機構。

3. **Ans (A)**

材料擠出系統中，遇到必須建立支撐結構時，最有效的拆除支撐結構的支撐建構方法是以較軟的材料製作支撐結構。

4. **Ans (B)**

材料擠出系統中，加工完成的物件強度與填充率較有直接的關係。

5. **Ans (D)**

光聚合固化機台之光源可使用雷射、一般可見光的燈泡或 LED 等，只要能量夠且符合光聚合固化樹脂的反應波段即可。

6. **Ans (A)**

雷射能量與光聚合固化樹脂間之光聚合程度可依據 Beer-Lambert 法則來定義。

7. **Ans (D)**

材料擠製成型技術的加工物件常會因為熱效應而發生縮收的現象，則展現在加工完成物件上會有縮孔、尺寸誤差、牽絲於結構中等。

8. **Ans (D)**

材料擠製成型技術的加工參數設定考量須注意，線材的束徑設定與切層厚度的設定不需一致，溫度會影響擠出的絲寬與粘貼的結合強度，填滿層輪廓內面積的圖案方法會影響加工物件的變形行為。

9. **Ans (C)**

在商業化的光聚合固化 3D 列印機台中，通常沒有開放設定光聚合固化樹脂的成分。

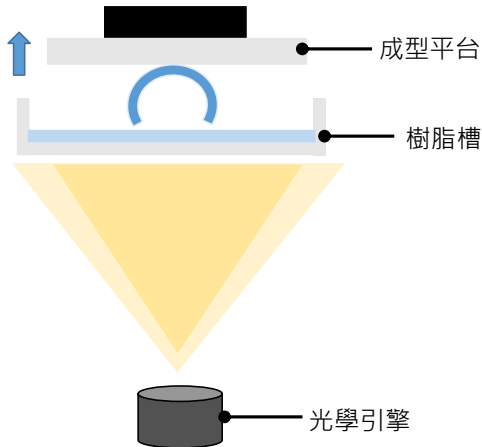
10. **Ans (A)**

填充率在材料擠製成型技術加工中最直接影響被加工件的強度。



11. **Ans (C)**

下照式(Bottom-Up)光聚合固化(VP)設備系統如下圖，其必要元件包含光學引擎、樹脂槽及成型平台。



12. **Ans (D)**

軟性材料的線材在遠端進料時容易彎曲變形，無法有效控制擠出量及容易塞在管中。

13. **Ans (D)**

深紫外光無法穿透 DMD 上方之保護玻璃，無法達到投影之目的。

14. **Ans (A)**

熔融擠製成型技術其噴頭材質多為黃銅，現今還有不銹鋼及鎢鋼材質耐磨噴頭。

15. **Ans (A)**

光聚合固化成型技術(VP)之光照射與成型方式可區分為上照式(Top-Down)與下照式(Bottom-Up)兩種。

16. **Ans (B)**

相同解析度的投影機，使用在不同列印範圍下，其 pixel size 都會不同，而精度是取決於 pixel size 的尺寸上，所以會有不同的精度。

17. **Ans (C)**

切層厚薄影響的是列印時間與列印精度與第一層附著無關。

18. **Ans (D)**

平台校正是為了使列印之水平面與平台相平行，及確保高度位置的正確，而與 XY 方向無關。

19. **Ans (A)**

不慎噴濺眼睛時，應立即用有機溶劑沖洗；清水沖洗不可使用其他液體清洗，清洗後送醫處理。

20. **Ans (B)**

需停機清理進料輪以免之後影響進料或卡料，甚至堵料後溫度過高而造成危險。

iPAXS

## 參考文獻

1. 江卓培，新式多光源系統之研發與固化收縮變形之分析，國立台灣科技大學，博士論文，民國 91 年。
2. Kai Loose Toshiki Niino, Takeo Nakagawa, (1999) "Multiple LED photographic curing of models for design verification", Rapid Prototyping Journal, Vol. 5 Issue: 1, pp.6-11
3. Cho- Pei Jiang, You- Min Huang, Chun- Ho Liu, (2006) "Dynamic finite element analysis of photopolymerization in stereolithography", Rapid Prototyping Journal, Vol. 12 Issue: 3, pp.173-180
4. 沈昌和，動態光罩技術研發與其於微小 3D 元件之製作，國立台灣科技大學，碩士論文，民國 91 年。
5. <https://www.youtube.com/watch?v=b-slcYo8isI>
6. 台達電子股份有限公司的 DM。
7. <http://myt3d.com/>
8. <https://www.solid-scape.com/support/end-of-life-policy/>
9. <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>
10. <http://www.microjet.com.tw/zh-tw/applications/#>
11. <https://all3dp.com/multi-jet-fusion/>
12. <https://www.manufacturingguide.com/en/fused-deposition-modeling-fdm>
13. [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4939-2113-3\\_10.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4939-2113-3_10.pdf)

▶ 主辦單位



經濟部產業發展署  
Industrial Development Administration, MOEA

▶ 執行單位



工業技術研究院  
Industrial Technology  
Research Institute

▶ 協辦單位



3D列印協會  
Additive Manufacturing Association of Taiwan (AMAT)



臺灣區電機電子工業同業公會  
Taiwan Electrical and Electronic Manufacturers' Association

111 年版 版權所有 © 經濟部產業發展署

