

3D列印技術於軍事用途之初探

畢可信

提要

- 一、3D列印技術的起源，可回溯到1980年代，一些新創公司和學院發明的機器，能在幾分鐘內依照數位設計製作出三維模型。
- 二、過去傳統的列印是將墨點印在紙上，由墨點組成影像。然3D列印則指，將物品分為很多分層(layer)，透過雷射的高溫，將特殊材料融合在一起，壓製出每一層分層的模型，將所有的分層疊合起來，即成為立體的物品模型。由於一層一層疊合的方式與列印的原理相似，因而稱為3D列印，或稱三維列印。
- 三、3D列印技術，亦謂積層製造技術，能輕易將任何實體元件加以複製，取代機器開模，傳統製作模型的方法，往往曠日費時，甚至數週，但是運用3D列印技術可大幅縮短原型的製作時間。
- 四、國軍倘若能將3D列印技術迅速、節省成本又高製作彈性的優點，提供戰時裝備技術維修與後勤補給，將形成未來革命性的新變化。

關鍵詞：3D列印技術、軍事用途

壹、前言

「彈指之間，大千世界」，這句話用來形容英國《經濟學人》(The Economist)雜誌喻為「第三次工業革命」的3D列印技術(Three Dimensional Printing Technology)極為貼切，根據此雜誌內容指出，人類生活已邁入「第三次工業革命(又稱數位化革命)」的時代，使得傳統工業變得更加智慧化及自動化，藉數位化生產模式減少了工作上的成本，進而讓整個社會的運作模式徹底改變。3D列印技術將改變工業的未來，雖然它尚未顛覆傳統製造業，但會加速科技創新，美國《時代》週刊並將其列為美國十大增長最快的工業。

然而，這當中又以3D列印(3D Printing)最具代表性及精神，只需要擁有一個頗具創意的想法，再加上一臺3D列印機，以及專屬材料，人人都能夠印製出專屬於個人的客製化物件。美國國家情報委員會2012年11月提出一份研究報告，名為「2030全球趨勢：不同的世界」中指出，在2030年以前，3D列印可能會取代特定的傳統量產製程，像是鑄造、造模、切削業等，特別是那些生產時程較短，或是專注於客製化商品的製造業(商)¹。

《連線》(Wired)雜誌總編輯安德森(Chris Anderson)也曾說過，3D列印的影響

力將超過網路。我國工研院南分院積層製造與雷射應用中心總監曾文鵬說，「現在，3D列印是一門顯學，世界各國無不想要參一腳！」²。根據國際研究暨顧問機構Gartner的研究報告，3D列印技術是近年來發展最快速的技術之一。據2013年2月3日自由時報所載：歐洲太空總署利用3D列印技術來打造月球基地，未來將可利用搭載機器人操作3D列印機，利用表土轉成漿狀，將泥漿製成磚塊，建構可供人類居住的圓頂式基地。

製造的科技改變了世界，它允許在常規技術無法實現的形狀之創作，未來的世界將是藉由無窮盡的想像力，科技將使未來事物變成真！本文藉由探索3D列印的技術特性，及其如何影響並改變軍事作戰的應用方式。由於3D列印乃屬相對新穎的科技形式，在軍事應用上，因而仍未有體系化的相關論著，不僅國內付之闕如，國外的相關論述也不多見。本文的研究目的即在於嘗試為3D列印的特性勾勒一個初步的圖像，探索此種科技形式，萌生於軍事基礎上可能帶來的改變，以資作為後續研究發展的基礎。

貳、3D列印技術簡介

3D列印技術的起源，可回溯到1980年代，一些新創公司和學院(其中最有名的是

1 撰文／格內麥爾(Larry Greenemeier) 翻譯／鍾樹人，《科學人》，2013年第136期6月號。

2 顏瓊玉，〈新顯學3D列印-神秘基地在台南〉，《商業周刊》第1323期，西元2013年4月1日。

美國德州大學奧斯汀分校)發明的機器,能在幾分鐘內依照數位設計製作出三維(Three dimensional, 3D)模型。舉例來說,在1980年代,由Crumpp成功開發熱溶解積壓成形(Fused Deposition Modeling, FDM)技術,並於1990年代商業化³。在1980年代中期,選擇性雷射燒結(Selective Laser Sintering, SLS)被在美國德州大學奧斯汀分校的Deckard博士開發出來並獲得專利⁴。在1987年,Hull發明的立體光刻工藝(Stereo Lithography)並取得了專利。由於當時的3D Printing為起萌階段,因此3D列印機體積龐大、價格昂貴,且所能製造的產品非常有限⁵。最後,1995年麻省理工學院創造了「3D列印」術語,當時的畢業生Bredt和Anderson修改了噴墨列印機方案,變為把約束溶劑擠壓到粉末床,而不是把墨水擠壓在紙張上的方案。平面列印技術透過噴墨、雷射,讓電腦中的文字圖檔在紙上顯現;3D列印則從噴頭噴出塑料,讓3D設計圖躍出電腦螢幕成為真實產品,無須開模且沒有最低生產件數的限制。

一、概述

「3D列印」在歐美已是風起雲湧的熱門

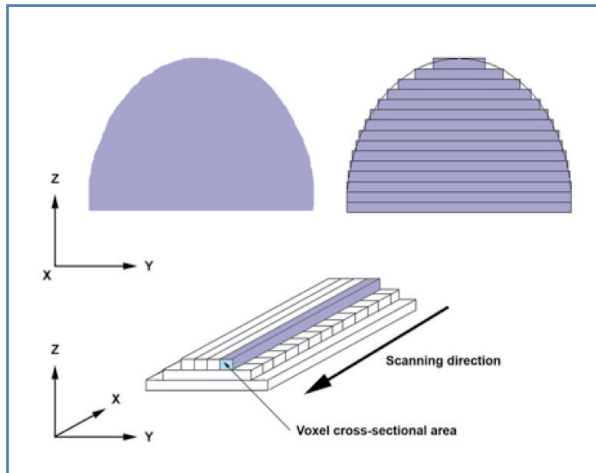
話題,預料將引發全球性的製造革命。過去傳統的列印是將墨點印在紙上,由墨點組成影像。然3D列印則指,將物品分為很多分層(Layer),透過雷射的高溫,將特殊材料融合在一起,壓製出每一層分層的模型,將所有的分層疊合起來,即成為立體的物品模型,如圖一所示。由於一層一層疊合的方式與列印的原理相似,因而稱為3D列印,或稱三維列印。由於整個製造流程非常迅速,因此3D列印又稱為「快速成型技術」(Rapid Prototyping),先繪製出數位的立體模型檔案,再使用塑膠(聚合物)或金屬粉末等容易加工成形的材料,透過快速成型技術逐層列印的方式來形成立體構造。簡單來說,3D列印是積層製造(Additive Manufacturing)的一支,其列印的過程是先將3D軟體模型轉化為2D切層,逐層將材料堆疊到要成型的區域,不斷重複直到成型。早期多為塑膠材料,目前已發展到金屬、陶瓷、透明玻璃材料,應用在有孔道的零件最有優勢。目前還有速度慢、品質不穩定、不易製造複雜零件、尺寸精度、表面細緻度不佳的限制,等待突破⁶。但由於3D列印具有節省空間、降低成本、製作快速及高速彈性

3 <http://rpworld.net/cms/index.php/additive-manufacturing/rp-rapid-prototyping/fdm-fused-deposition-modeling-.html>.

4 Deckard, C., "Method and apparatus for producing parts by selective sintering", 美國專利 4,863,538, filed October 17, 1986, September 5, 1989.

5 Jane Bird, "Exploring the 3D printing opportunity", The Financial Times, 2012.

6 王曉玟、周原,〈3D列印 印出你的夢幻產品〉,《天下雜誌》525期,西元2013年6月25日。



圖一 3D列印分割模型圖⁷

等優點，因此可廣泛應用在個性化公仔玩偶製作、藝術、娛樂、醫療、生醫美容、教育、建築及成型服務等事業，具高度市場價值。

二、3D列印機

3D列印機，主要由控制元件、機械元件、列印頭、耗材和介質等部分所組成，其運作



圖二 3D列印分割模型圖⁸

原理與普通列印機相同，主要差異處在於耗材和介質不同。簡單來說，普通列印機是由傳統的墨水和紙張組成的，將內容列印在紙張上輸出，然而3D列印機的分層材料主要是液體或粉末等，並依據電腦內的設計圖，分層列印然後堆疊起來，如圖二。3D列印機將催生下一波製造革命，不論是從工業或製造角度來看，3D列印機能讓公司或個人還在創意階段的想法或設計，無需開模，即可製作產品原型，更方便、更快速且更省成本，顛覆以往生產製造的模式。

三、運作原理

3D列印需先掃描整個物品，如同傳統列印須先掃描檔案一樣，電腦會進行立體建模，並計算每一層分層的資料，包括構造及顏色等，接著機器就會依據電腦所計算的資料，依序一層一層進行「印製」，累積成為最後的成品，流程如圖三。

3D列印技術每一層的分層過程分為兩步驟，首先在需要成型的區域噴灑一層特殊膠水，膠水液滴本身很小，且不易擴散。然後是噴灑一層均勻的粉末，粉末遇到膠水會迅速固化黏結，而沒有膠水的區域仍保持鬆散狀態，如圖四所示。其運作方式即一般平面列印但層層疊加，直到累積(Additive)為立體物品為止，由於物品透過材料一層層的累積被列印出來。目前較常使用的3D設計檔案格式

7 維基百科http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Rapid_prototyping_slicing.jpg.

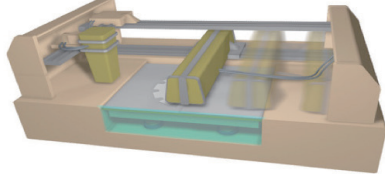
8 http://wired.tw/2013/01/23/big_3d_printers_euromold_2012/index.html.

Incredible Shrinking Factory | The 3-D printing process, from digital file to finished product

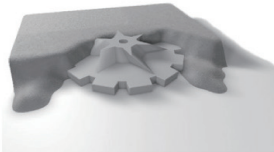
STEP 1: All production begins on a computer screen where an object is formatted into a 3-D image that serves as a digital blueprint for the printer to follow.



STEP 3: Once the printer head completes the programmed pattern, the printing machine covers it with a fresh layer of pulverized material and another thin layer is produced using the heat or binder.

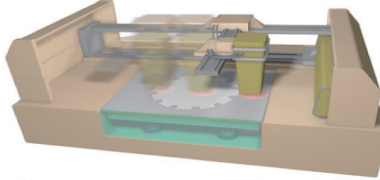


STEP 5: By the time an object is completed, it is buried under excess powder that wasn't exposed to binder or heat. For plastic items, sand cores used in castings and certain metal objects assembled with a laser printer head, the production process is mostly completed.

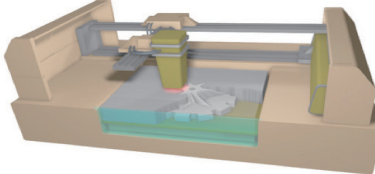


Sources: EOS GmbH, ExOne Co.

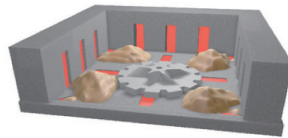
STEP 2: The computer instructs the printer head to move back and forth across the powder-filled build box, spraying binder or directing heat in a precise fashion to produce a very thin shape.



STEP 4: This lamination process is repeated over and over, sometimes for hours. As sequential layers of an object are added, the bottom of the build box is lowered to accommodate more layers of powdered building stock.



STEP 6: Metal objects often undergo heat-treating to harden and strengthen them for industrial or medical uses. Metal objects held together with binder are infused with other types of metal, such as bronze, in a 2,000-degree furnace. When the bronze melts in the furnace, it is absorbed by the porous metal object assembled by the printer, like water soaked up by a sponge.



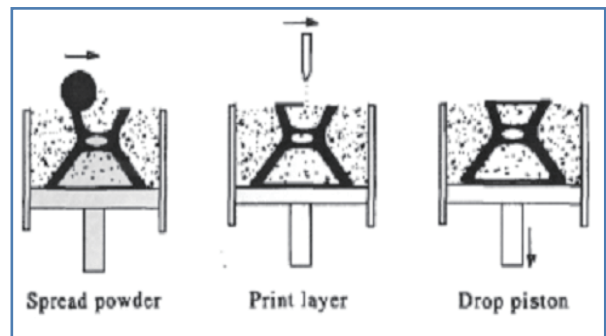
STEP 7: After an object cools, it will be denser, stronger and able to withstand coatings, machining and additional finishing work.



The Wall Street Journal

圖三 3D列印流程圖⁹

為Stereo Lithography (STL)單色與Findings on the Play (PLY) 支援彩色與貼圖，而STL是使用三角面來設計出類似物體的表面，只要三角面越小，則產生的表面解析度就越高。至於PLY則是使用掃描方式產生3D設計檔案的掃描機，所產生的檔案為Virtual Reality Modeling Language (VRML) 及Windows Runtime C++ Template Library (WRL) 格式。



圖四 3D列印的工作原理¹⁰

9 A version of this article appeared June 11, 2013, on page R5 in the U.S. edition of The Wall Street Journal, with the headline: How 3-D Printing Works. <http://online.wsj.com/article/SB10001424127887323716304578483062211388072.html#articleTabs%3Darticle>.

10 許毅然、王信雄、鄭俊益、賴維祥，〈印表機使用於 3D Printer 成型機上程序控制之分析與研究〉，(中國機械工程學會第24屆全國學術研討會論文集)，西元2007年11月，頁1238。

四、技術種類

目前較為常見的3D列印技術有以下幾種，其個別特點如下所述¹¹。

(一)立體印刷法 (Stereo Lithography Appearance, SLA)

立體印刷法也被稱為光學製造、光凝固、固體自由形式製造和固體成像，是一種添加劑製造技術（3D列印），用於生產模型、原型、模式和生產零件。立體印刷法是以電腦控制下，採用了一種紫外線可固化的光聚合物液體樹脂，以預定原型各分層截面的輪廓為軌跡逐點進行掃描，讓被掃描區的樹脂薄層產生光聚合反應後固化，並形成薄層截面，當一層固化後，工作臺將往上或往下移，在固化光敏樹脂表面形成新的液態樹脂，接著再進行新一層的掃描與固化。優勢則是印製速度快，且完成的實體成品精度也高，適合應用在結構較為複雜的模型。所花費的時間，以產生一個特定部分的長度取決於項目的大小和複雜性，並可以持續數小時至一天以上的時間，但樹脂固化過程中產生收縮，往往會產生變形的問題。

(二)選擇性雷射燒結成形 (Selective Laser Sintering, SLS)

雷射燒結成形技術原理為藉由電腦所輸出的原型分層輪廓，運用雷射光束於指定的路徑上有選擇地掃描，並熔融工作臺上既薄又均勻鋪層的材料粉末，經過一層掃描後，再

向上（下）移動工作平臺，控制完成新一層的燒結（燒結是把粉狀物料轉變為緻密體的製程技術），是一種添加劑用於小批量生產的原型模型和功能部件的製造技術。

(三)層疊實體製造法 (Laminated Object Modeling, LOM)

層疊實體製造法是由Helisys公司所發展出來的，正如同SLA與SLS一樣，也是在1987至1990年間被商品化的產品。在LOM成型技術中，雷射主要是切割逐層堆疊膠合的紙張之最上層，當每一層形狀經雷射切割後，紙張的滾子會往前轉動，將新的一層堆疊並膠合至最上層，此過程被一再重複到結束為止。完成之後，工件需要做適當的邊修、手工拋光與處理。對大型工件（譬如在汽車廠的應用）而言，薄片疊層法成型技術通常比SLA或SLS製程較受到喜愛。

(四)熔融沉積法 (Fused Deposition Modeling, FDM)

該技術是由Crump於20世紀80年代中後期所提出，並在1990年商品化。目前運用熔融沉積法列印技術的3D列印機大都使用Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 塑膠作為列印材料。在強度、耐熱程度方面皆可達到傳統ABS塑膠射出成型品80%的品質，讓ABS塑膠成為目前使用最為廣泛的列印材料。熔融沉積法材料是以線狀線軸供給，當線狀經過高溫加熱的送料頭便會熔化，接著

11 陳韋哲，〈掌握未來的關鍵技術 - 3D Printing〉，《CTIMES雜誌》，2013年4月號。

從噴出口成為薄型的帶狀物，當溫度低於固化溫度時就會開始固化，經過層層堆疊形成最終的實體成品。

(五)三維粉末黏結 (Three Dimensional Printing and Gluing, 3DP)

本法又稱三維列印、陶瓷殼法。該法在製造過程中可以改變材料從而產生多種不同材料、顏色、力學性能、熱性能組合。三維粉末黏結是由美國麻省理工學院所開發，使用的材料為粉末（例如：陶瓷、金屬、塑料粉末），該列印技術的原理是，先鋪上一層粉末，接著使用噴嘴將專屬膠水噴灑在需要成型的區域，以便讓材料粉末與膠水黏結，形成一層層平面截面，反覆上述動作（鋪粉與噴膠）層層堆疊，最後列印出實體模型。該列印技術除了擁有快速列印的優點之外，亦能以全彩的形式呈現，以及無需支撐結構，優於其他3D列印技術。

五、列印程序

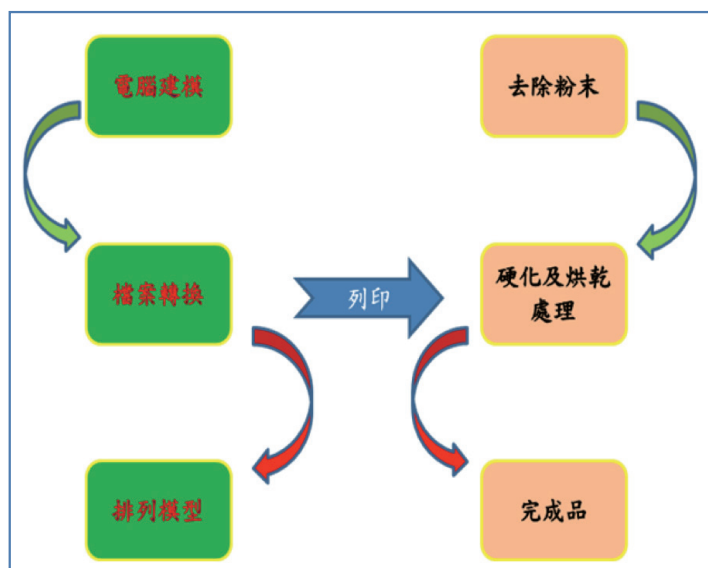
3D列印技術是一種快速成形的技術，係運用微積分來計算出精密的面積與體積，再通過多層列印的方式去構造出零(附)件。此項技術運作流程說明如下。

首先，將所需設備的零(附)件，藉由電腦3D模型(數字模型、電腦輔助設計【Computer Aided Design, CAD】模型等)完成設計。其次，經由

電腦3D建模後，將列印指令發送到3D列印機上，進行檔案轉換，再結合分層軟體，並確定擺放方位和分層路徑，進行分層工作和相關支撐材料的建構。再其次，透過3D列印機噴頭將固態的線形成型材料進行加工，形成半熔融狀態後再擠出，並一層一層由下往上堆疊在支撐材料上。最後，即為硬化烘乾處理。圖五中，說明了3D列印機印製流程。

參、軍事應用

3D列印未來可能印出軍武並用於戰場？美國海軍上尉指揮官蘭薩（Michael Llenza）在美國《武裝部隊月刊》（Armed Forces Journal）中指出，3D列印技術可能顛覆我們對補給線、海上軍事部署甚至戰略的看法¹²。



圖五 3D列印流程圖（作者自繪）

12 <http://www.wired.com/dangerroom/2013/05/military-3d-printers/>.

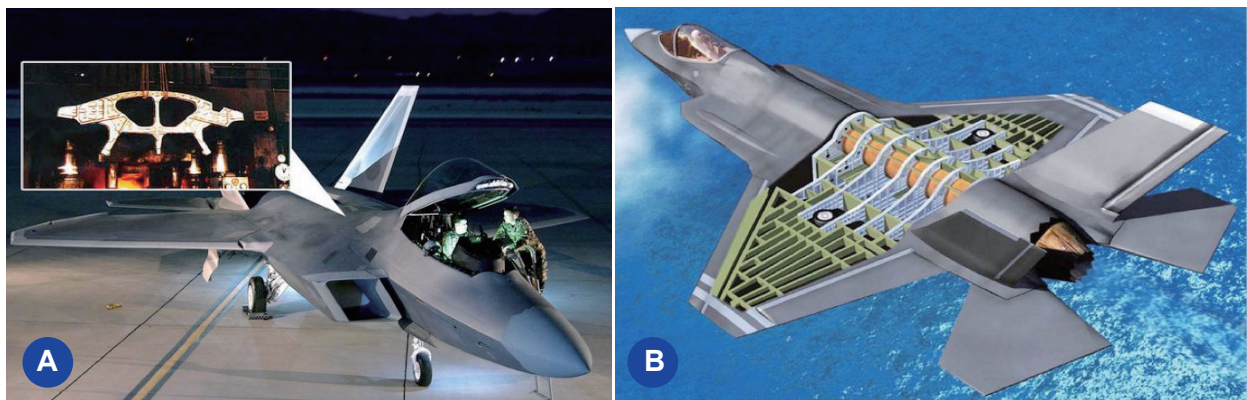
而且不只美國，中國軍方已經宣稱他們已利用3D列印技術打造下一代戰機零件，除了無人飛機已經被列印出來以外，彈藥也可能用這種科技製作。另外，立體列印的同時「提供了思考防禦工事或其他據點設施以及作戰基地的新方式」。理論上，軍方希望3D列印技術可以減少現代軍方在戰場上依賴後方補給的壓力，包括從食物到替換器官都用3D列印來製造¹³。

傳統製作模型的方法，往往曠日費時，甚至數週。但是運用3D列印技術可大幅縮短原型(Prototype)的製作時間，例如智慧型手機蓋製作花費只需1小時即可完成。當然，對於大型造形物的模型製作所需時間比較長，然而亦僅需一天即可完成自行車車架等大型物體。隨著3D列印能使用的材料越來越多，以及能夠製作的精密程度越來越高，其應用範圍也不再侷限於工業用模型製造。目前3D列印技術的應用範圍，已經擴大到包括頭蓋骨、

髕關節、牙齒等醫材、建築、珠寶、工業設計、教育產品、土木工程、槍枝與航太零(組)件等範疇。因此本研究將藉由廣泛應用的實際案例說明軍需工業可運用3D列印幫助他們減少主要成本、時間和複雜性障礙，介紹如下。

一、航太領域

美國空軍認為，如果將這種技術運用在武器製造上，產生的威力將是驚人的。在航空工業上廣泛被使用的是一種名為鈦的金屬，它的密度只有鋼鐵的一半，強度卻遠勝於絕大多數合金，如果藉由鐳射技術將鈦熔化並一層層噴出飛機來，無疑將大大提高美國戰機的製造速度與水準。為此美國於1985開始秘密進行鈦合金鐳射成形技術研究，直至1992年才將此技術公諸於世人所知。圖六為美國F-22戰機的鈦合金整體式承力框，它曾經是世界上最大的一體式鈦合金構件¹⁴。近期，中國大陸科技部公布的《國家高技術研究發展計劃(863計劃)》以及國家科技支撐



圖六 美軍應用3D列印技術於隱身戰機製造(資料來源：同註14)

13 <http://wired.tw/2013/06/10/military-3dprinters/index.html>.

14 http://blog.sina.com.cn/s/blog_5e7f2b6e0101716z.html.

計劃製造領域2014年度備選項目徵集指南》中，3D列印產業首次入選。

2012年7月，美國國家太空總署(The National Aeronautics and Space Administration, NASA)在地球上進行無重力拋物線飛行過程中，測試了3D列印機。未來的太空人幾乎可以使用3D列印機列印他們所需的任何物品，及金屬材質的機器零(附)件¹⁵。

南安普敦大學的研究團隊製作出全世界第一架以3D列印技術製作的無人飛機，整架飛機採一體成型的設計，以特殊的化合物為原料，經雷射壓製而成。傳統飛機製造，須大量精密零件組成，因此造價高，倘若又有機身輕便的需求，則必須選用特殊的材質，成本更高。但採用3D列印技術製作，整架飛機只分為前後兩部份，各自「列印」完成後再進行組裝，不僅組裝方便，並可減少許多零件，讓機身更輕巧，亦可減少風阻¹⁶。

二、槍彈武器

3D列印技術已經被大量應用於美軍武器裝備的研發之中。美國軍方已應用此技術成功且有效的輔助製造導彈用彈出式點火器模型。另外，更藉由運用3D列印機列印出了一款新式步槍AR-15槍身，進而製造出AR-15半自

動槍，此武器名為“維基武器”，如圖七所示¹⁷。2012年底，美國《外交政策》雜誌報導《今日未來武器—2013年值得關注的五種武器》的文章¹⁸，其中認為2013年最值得關注的武器，首推3D列印機—只要擁有一臺電腦和一臺3D列印機，只需幾個小時就可以製造一支半自動槍。另外3D列印技術已經可以製造塑膠手槍，亦可列印子彈，希澤爾的好友Tony Griffy用一臺僅要價800美元(約臺幣2萬3900元)做



圖七 AR-15半自動槍(資料來源：同註17)

15 《網易探索：NASA測試3D印表機 宇航員或可在太空列印零件》，<http://discovery.163.com/12/0725/09/878FC603000125LI.html>，2012年07月25日。

16 <http://ieet.org/index.php/IEET/more/firstflight3dprintedplane20120812>.

17 <http://big5.ce.cn/gate/big5/www.ce.cn/xwzx/kj/?201305/08/t20130508>.

18 <http://www.foreignpolicy.com/>.

出威力驚人的塑膠霰彈槍子彈。在實驗過程中，希澤爾將子彈填入莫斯伯格子，並在後方木板留下大洞。試射結果證明，塑料子彈確實具有殺傷力，如圖八所示¹⁹。

三、運輸裝備

美國Stratasys公司與加拿大Kor Ecologic集團，持續合作進行3D列印汽車的研發，並於日前公布其油電混合車(Hybrid Vehicle)的研發成果，它的絕大多數零件都是用3D列印的方式完成，而它的列印材料大部分則是塑膠，地盤和引擎還是鋼鐵材質。該車輛可使用年限長達30年，省油、省電，是以環保為理念設計的未來概念汽車，包括車身、底盤等外部零件，均由3D列印技術製作。Kor Ecologic認為3D列印的一個巨大的優勢就是它具有其他片狀金屬材料所不具備的靈活性和可塑性。傳統的汽車製造是生產出各部分



圖八 3D列印子彈(資料來源：同註19)

然後再行組裝，3D列印機能列印出單個的、一體式的汽車車身，再將其他部件填充進去。據稱，新版本3D汽車需要50個零部件左右，而一輛標準設計的汽車需要成百上千的零部件²⁰。

一級方程式賽車(Formula One，也叫Formula 1或者F1)之父Gordon Murray也將3D列印技術應用在車輛中，該車款亦強調環保概念，採用可回收塑料作為原料，並以3D列印技術製作，整車重量僅575Kg(一般小型汽車重量約750Kg以上)，耗材也相對減少，並且由於車體重量輕，而達到省油環保的目地²¹。

四、生技醫療

除了機械製造之外，3D列印目前也逐漸被應用在生醫領域。美國Oxford Performance Materials (OPM) 公司所推出3D人工骨骼列印材質，也通過Food and Drug Administration (FDA) 的審核，於2013年3月時為一位病人量身打造顱骨，取代原本頭上75%的骨頭，如圖九所示²²。另外，2012年2月比利時LayerWise公司以鈦金屬粉作為3D列印材料，為一位患有慢性的骨頭感染下顎骨損壞的老婦人，經由3D列印機“列印”出量身打造專屬的

19 <http://www.ettoday.net/news/20130524/212117.htm>.

20 <http://sh.eastday.com/m/20130302/u1a7226435.html>.

21 Emily, 〈3D列印技術與應用，創新趨勢〉，2011，<http://catalog.uns.org.tw/node/749>.

22 http://asset2.cbsistatic.com/cnwk.1d/i/tim/2013/03/08/oxfordskull_implant_610x801.jpg.



圖九 3D列印人體骨骼產品(資料來源:同註22)

下顎骨，這也是世界上首位使用3D列印產品做人體骨骼的案例，如圖十所示²³。

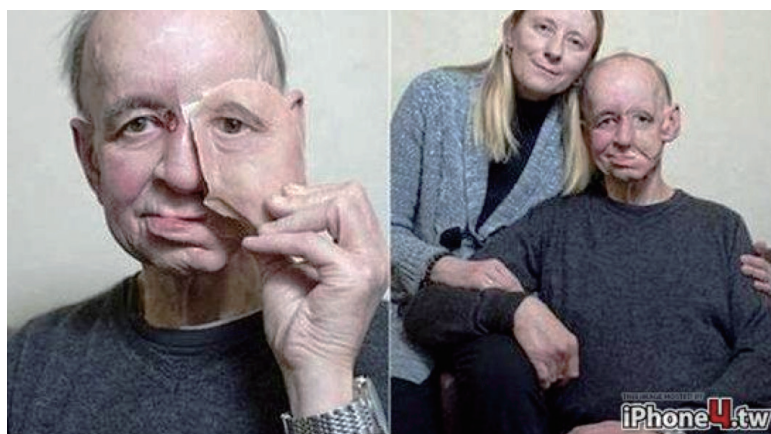
美國北卡羅來納州維克森林大學再生醫



圖十 比利時LayerWise公司以鈦金屬粉3D列印出下巴骨²⁴

學研究所研究團隊，日前發表了一套皮膚的3D列印系統，其列印機會先掃描患者傷口，分析傷口所在部位、傷口的深淺與大小等相關資訊，進一步計算出患者所需的皮膚大小，直接於患者傷口上進行皮膚的列印。其功能與目前醫療上常使用的「人工皮」相似，均能保護傷口，幫助皮膚新生，但由於是針對個別患者的傷口情況進行計算列印，因此較一般人工皮更符合患者的需求，且材質可針對不同傷口深淺程度進行調整，更接進人體的皮膚組成，是更為「客製化」的人工皮，如圖十一所示²⁵。上述生醫領域新應用，可改善戰時官兵作戰受(負)傷時緊急醫療所需。

舊金山家具設計公司 Bespoke innovation 利用3D列印，成功跨足義肢設計市場，無論產品外型、構造設計與材質顏色，均能透過電



圖十一 3D生物列印為面部殘缺者重建面貌(資料來源:同註25)

23 藍弋丰，〈3D列印，量身打造你的下巴與天靈蓋〉，《健康世界》449期，西元2013年，頁17。

24 <http://technews.tw/2013/05/23/3d-organ-printer/>.

25 同註18。

腦進行設定，因此採用此技術，能夠增加更多材質與設計，例如皮革與金屬質感的義肢，提供患者做選擇，且成本只有傳統義肢十分之一，如圖十二所示²⁶。

近期最知名的例子便是美國密西根兒童醫院幫一名患有支氣管軟化症的3個月大嬰兒Kaiba Gionfriddo，利用3D列表機與塑膠粒子製作一支人工氣管，植入胸腔作為呼吸輔助系統，通常罹患支氣管軟化症的病患，大多會在3歲之前痊癒，但如果缺乏照料或器官移植，嚴重者可能會導致死亡，因此經由3D列印機輸出的人工氣管，不但可以幫助Kaiba Gionfriddo順暢呼吸，所使用的特殊材料還會隨著Kaiba Gionfriddo的成長，待氣管發育成熟後，慢慢被身體分解吸收。因此，新的技術與材料若結合得宜將可以為人類帶來重大的醫療貢獻²⁷。

五、經理裝備

列印衣服的技術，在近幾年開始發燒。2013年初，荷蘭新銳設計師 Iris Van Herpen 首度與美國麻省理工學院推出「3D列印」時裝，並在巴黎時裝周登場亮相，造成話題。麻省理工學院奧絲曼教授認為，「新科技讓時裝進入科技時裝新境界，在這裡，手縫及慢工出細活的針線功夫，將被條碼取代。」²⁸

此外，3D列印製鞋的研發，亦是目前各製鞋業者紛紛投入的重要投資項目，包括NIKE、ADIDAS等兩大鞋廠，看重的就是可以省下不少成本，像是以往打造一雙鞋子的原型，需要12名技師，花4至6個星期，若改成3D列印，只需要2個人就能操作，省下大幅成本，經濟又實惠²⁹。透過網路與列印機，可選樣式、顏色與布料後，便可在家「自製」衣服，節省了傳統製衣業衍生的運輸成本與降低大量製造衣服時造成的汙染。

六、糧秣補給

美國康乃爾大學研究團隊將本來用於3D列印的各種化學物質改為麵糊、巧克力、奶油等各種食材，用同樣的原理將各種食材層層堆疊成食物。而除了食材的堆疊，透過電腦的控制，還可調整食物的外型及軟硬度等



圖十二 3D列印義肢(資料來源：同註26)

26 <http://blog.uns.org.tw/node/749>.

27 http://www.mottimes.com/cht/article_detail.php?serial=489&type=1.

28 http://www.anntw.com/awakening/news_center/show.php?itemid=39729.

29 <http://www.ettoday.net/news/20130612/?221823.htm>.

口感。採用這種方法製作食物，可以減少食材的浪費，大幅降低製造成本。美國太空總署資助美國一位工程師，設計3D食物列印機，如果機器設計成功，不僅能為長途太空任務提供食物，未來若運用於軍事用途將可於野戰炊事³⁰。

肆、未來影響

3D列印已帶來第三次工業革命，美國總統歐巴馬在2013年初國情咨文中宣示須掌握這項「顛覆工業」的新技術；中國大陸方面也不甘示弱，日前舉行世界3D列印大會，宣稱已可印出戰機零組件，兩大強權競逐3D列印技術互不相讓。我政府亦不落人後急起直追，於工研院南分院(臺南烏山頭水庫附近大山谷)，創立了3D雷射光谷秘密基地名為『積層製造與雷射應用中心』，作為國內首創唯一「金屬3D列印研發」重鎮，為下一代製造業革命搖籃，亦引起各國注意，其中德、日等工業大國，紛紛派專技人員參訪取經。該中心目前以研發商業用途製模為首務，未來也將可能發展堆疊模製各類電磁砲、雷火砲、戰車、飛彈、火箭、戰機、戰艦…等軍事裝備³¹。

3D列印具備迅速、節省成本又高製作彈

性的特色，將成為未來的產品製造趨勢，摒除以往需藉由切割或模具塑造後產製物品的傳統製造方式，而是藉由層層堆積形成實體物品的方法，從物理的角度擴大到了數位概念的範圍。對於產製物品要求具有精確的內部凹陷或互鎖部分的形狀設計，3D列印機即是首選的加工設備，它可以將這樣的設計在實體世界中實現。倘若，國軍能將3D列印技術優點，提供戰時裝備技術維修保養與後勤補給，將帶來革命性的新變化，以下幾點說明如后。

一、毀損零件更換

在未來信息化戰爭中，任何位置的戰場上如果需要更換毀損零(附)件，可藉由3D列印機，直接在戰場上將所需要的零(附)件逐一地“列印”出來，然後經由技術維修人員予以裝配起來，就可以讓武器裝備重新投入戰場，從而使遭到毀損的武器裝備得到再生，並發揮戰力。任何人都可以又快又便宜地生產出複雜的毀損零件，傳統製造的局限不再是問題，創新將被激發。如果只從生產線的角度來思考3D列印技術，確實現階段無法滿足大量生產的需求，並且只有特定3D列印技術機組之成品才能符合產品級的期待。但是3D列印真正帶來的關鍵轉變，在於產品的開

30 <http://blog.uns.org.tw/node/749>.

31 [http://i3w55.pixnet.net/blog/post/49138300-%E3%80%84%E5%88%97%E5%8D%B0\(%E5%A0%86%E7%96%8A\)%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%95%9F%E7%87%83%E8%B7%A8%E6%99%82%E4%BB%A3%E6%96%B0%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E9%9D%A9%E5%91%BD%E7%82%AB](http://i3w55.pixnet.net/blog/post/49138300-%E3%80%84%E5%88%97%E5%8D%B0(%E5%A0%86%E7%96%8A)%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%95%9F%E7%87%83%E8%B7%A8%E6%99%82%E4%BB%A3%E6%96%B0%E5%B7%A5%E6%A5%AD%E9%9D%A9%E5%91%BD%E7%82%AB).

發而非生產階段。一般工業開模或其他快速成型技術所需耗費的時間與經濟成本不是中小企業與小型工作室可以常態承受的負擔，因而許多創新理念受限於成本效益根本無從試驗。這時，軍用3D列印普及化使「開模校對」成本大幅下降。當創新試驗的時間與經濟成本降低，研發團隊可在數位3D列印技術的交互使用中快速提升產品成熟度，還能減低內部與外部的溝通成本，提前掌握產品最終樣貌。

二、增進維保效率

就現況而言，使用相同數量的耗材製造零件，3D列印機的生產效率是傳統方法的三倍。這種生產技術會給傳統製造業帶來益處，比如生產線成本更低，廢品大量減少，可以製造出傳統技術無法生產的零件。列印機替代了人工製造，對人工勞力的需求大大減少。今後的聯保廠，唯一固定的不是維修線，而是一臺列印機，生產出各式維修零件，滿足各式需求。往後，軍隊可以直接由電腦點選零件，30分鐘後就可完成製作並取貨，這樣的技術顯然更貼近使用者需求，同時還擁有碳足跡減少與廢料掌控的雙重優勢。戰時，如藉由此項技術，將可及時提供戰場上消耗的武器裝備和補給物資，此將大大減輕維修負荷，並且增進後勤維保效率。

三、急造武器裝備

現今，藉由3D列印技術“列印”出AR-15衝鋒槍已是不爭的事實，未來作戰中對於戰

耗設備或武器補充，也許小到槍支彈藥，大到軍艦、飛機、坦克，都可以運用此項技術直接快速製造出來，以維護裝備妥善率增強戰力。由於整個製作過程都是透過電腦控管，因此產品製作迅速、良率高，加上幾乎全程電腦操控，可以24小時無間斷進行生產，大幅縮短製造時程，並且在同一個地方從頭到尾製作完成，亦減少運送成本。

四、節省國防預算

過去生產物品時，均分別生產多個零組件，再將零組件組合成最終的成品，而每製作一個零件，就有部分浪費掉的材料，且必須將所有零組件運送至最後組裝地。然而使用3D列印，所有的材料都是依據每一層建模進行製作，完全不會有一分一毫的浪費，大幅降低耗材；此外，由於產品本身一體成型無需另行組裝，除了本身材質更為輕巧，亦減少大量組裝時多餘的零件重量。3D列印技術與傳統的金屬製造技術相比，於製造過程中可產生較少的金屬副產品(意指瑕疵品)，且傳統加工作業模式約有90%的金屬原材料被丟棄。3D列印製造金屬產品時浪費量減少，且隨著材料的進步，“淨成形”製造更為環保。

五、機動快速製造

就後勤單位生產空間而言，3D列印機與傳統製造機器相比，其製造能力更有效率且精準。舉例來說，塑模機一般只能製造比本身還小的物品，然而3D列印機卻可以製造和列印臺本身一樣大的物品。另外，該機器調

校好後，設備可以自由移(搬)動，並且無須有工廠及工人，可節省大量工廠空間與人力，3D列印衝擊最大的無疑是傳統的製造行業。由於3D列印是通過電腦進行建模控制，所以在成本、速度以及列印的精確度上要勝於傳統的製造行業。另外由於3D列印快速、精準的特性所致，非常適合用於規模生產，從而降低了成本，提高了效率。

六、保持高度彈性

傳統製造中，越複雜的產品如果改動的地方越多，意味著需要越高的成本。由於產品製作初期投注成本很高，所以製造業非常講求規模經濟，一旦開模就必須大量生產。但在數位化製造中，這一切在改變。3D列印生產成本低且製作迅速，讓產品更多樣、複雜和靈活變得簡單，可以先小量生產測試市場反應，進行調整後再大量製作，並且隨時可以進行產品調整，具備高度生產彈性。

伍、結論

生活推動新科技，科技創造新生活。產業的發展階段，一開始會有一段先行者、開發者與被炒熱後的初期成長階段，這時會有一波高峰(Peak)上來，產生小峰值。在供應鏈未成型時，會有一些投入者離開，產業也在技術發展中，進入一段過渡期。到技術成熟，供應鏈擴大後，自然整個生態圈就能夠擴大，會進入產業真正的上升期。再來，產業會進入高原期，直到下一個技術大進展的開

始，產業的版塊又會有所移動。科技進步可說一日千里，將來透過3D列印技術升級與普及化，當可加快數位模品生產速效度，及強化製出品之質感、精密度、強度，欲自行列印重型家電、汽車、飛機、房子、機器人、……等，將不再是幻夢。關於3D列印將引領新的工業革命、3D列印將顛覆傳統製造業、3D列印將改變世界等一系列的分析文章見諸於各大媒體。總的來說，由於3D列印技術可按客戶需求精準訂制產品，大幅提高對原材料和能源的使用率，降低生產成本及對環境的影響；而且，目前3D列印的材料以金屬和塑膠為主，而使用等量耗材製造零件，3D列印機的生產效率是傳統方法的三倍。因此未來關於3D列表機的行銷策略，如何改變其生硬印象並融入國軍環境使用，操作過程中的使用者經驗流程、跨領域業界合作等，都將是發展重點，假設未來在開發的過程中，開發人員能有多一點的廣度思維，相信我國在3D列表機的發展史將不會缺席，並佔有重要的一席之地。3D列印技術將會在軍需工業製造等領域大放光彩，市場前景將會非常廣闊。

作者簡介

畢可信中校，陸軍官校正81年班、陸軍砲兵學校正規班172期、國防大學陸軍指揮參謀學院97年班，現職於國防大學陸軍指揮參謀學院防衛作戰組教官。