

# 三維電腦繪圖輔助 H 型空心戒指設計及製作之研究

## A Study on the Designing and Making of H-Shaped Hollow Rings in a 3D Computer Graphic - Aided Process

周立倫 Lih-Luen Aaron Jou<sup>1</sup>

南華大學創意產品設計學系副教授

Associate professor, Department of Creative Product Design, Nanhua University

李豫芬 Yu Fen Lee<sup>2</sup>

南華大學創意產品設計學系副教授

Associate professor, Department of Creative Product Design, Nanhua University

### 摘要

在所有能搜尋到的圖書和網路資訊，以及研究者在台灣和美國，向師父及教授學習珠寶金工的經驗中，H 型空心戒指的設計及製作方式都一樣。就是以既有的 H 形展開圖的紙型版為基礎，在戒指棒上彎折成戒指的樣子，再以嘗試錯誤的方式予以適量的增、減，期望最終能獲得接近預想造形的展開圖，再透過彎折、鍛敲、焊接等工序，製作出成品。可以想見的是，透過這種不太科學的工作流程，很難得出精準的展開圖，如果戒指的造型上稍有變化，則幾乎成為不可能的任務。

筆者在創作及教學中所使用的三維繪圖軟體 Rhino 5，具有自動展開單曲面的功能，加上實體模型布林運算聯集及差集等功能的運用，能夠製作出複雜的單曲面造形，並將每個曲面製作成展開圖。對於以造形表現為主的藝術創作者而言，的確非常方便，解決了許多複雜而困難的技術問題。

本專題的目的即在於以三維繪圖軟體 Rhino 5

的使用為基礎，發展出一套方便、可行又精準的工作流程，來解決 H 型空心戒指原本不太科學的展開圖繪製工作，從而能讓創作者隨心所欲的設計出任意造形的 H 型空心戒指，並且能夠精準的製作出來。

**關鍵字：**H 型空心戒指、電腦輔助三維繪圖、單曲面、展開

<sup>1</sup> Email:lihlen@mail.nhu.edu.tw

<sup>2</sup> Email:t0135yufen@mail.nhu.edu.tw

## Abstract

In all the books and network information I can find, as well as my learning experience from jewelry masters and university professors in Taiwan and the U.S.A, the way of making H-shaped hollow rings is about the same. First you take an H-shaped paper template as a basic flat layout, fold into a ring shape on a mandrel, then you modify the paper template by trying error, and hopefully, you will get the right shape. With the acquired flat layout, you can then transfer the pattern to a piece of sheet metal, and make the hollow ring by sawing, banding, forging and soldering. Obviously, it is very difficult to obtain a precise flat layout through this way. If the hollow ring is asymmetrical or complex, then the process will be like mission impossible.

Rhino 5 is a three-dimensional graphic software, which I use a lot to help me designing and making art works, as well as an important article in my teaching jobs. It provides some powerful modeling tools, like “Boolean Union” , “Boolean Difference” and “Unroll Developable Surface” which make it so easy, fast and accurate to produce flat layout of complex single-curved surface. For artists who want to create complex form, but can not deal with the difficult techniques of acquiring the flat layout of complex surface by engineering drawing, this software is real a great help.

The purpose of this study is to develop a convenient and accurate work flow base on using Rhino 5 to help designing and making H-shaped hollow ring – to build the models and produce their flat layouts accurately, so jewelers and artists should be able to design and make any kind of H-shaped hollow rings without worrying about the unreasonable try-error process and the uncertainty of accuracy.

**Keywords:** H-shaped hollow ring, 3D computer aided graphic, developable surface, surface unrolling, Rhino 3D

## 壹、前言

由於創作及設計實務的需求，研究者在十數年前開始學習各類電腦繪圖軟體，以拓展自己的創作及設計能力，並開設相關課程，指導學生學習先進的數位工具。電腦繪圖的目的，就立體造形的設計領域（例如：產品設計、工藝設計、室內設計、公共藝術、建築設計等）而言，無非就是正確無誤的描述設計者的造形構想，以作為溝通之用。工程圖是與施工單位溝通，表現圖則是與客戶或一般民眾溝通。

隨著數位工具的開發及推廣，現今與立體造形設計有關的領域中，越來越多的行業放棄以正投影多面視圖作為造形描述的核心，而開始使用 3D 繪圖軟體所建構的數位 3D 模型來描述立體造形。因為數位 3D 模型除了能精準的呈現立體造形，還有許多延伸用途。例如：製作表現圖；透過 CNC 或 RP、3D Printer 等加工機具直接製作成形或製作模具；以相關軟體進行工程分析等等。如果需要正投影視圖，電腦也可以根據 3D 模型直接投影製作出來。

本研究之構想，來自於研究者學習 3D 電腦繪圖軟體 Rhino 的過程。研究者於十多年前開始接觸這套軟體，稍經學習，即發現它比研究者先前所學過的任何 3D 繪圖軟體都好用，而且容易自學。學會了軟體中的許多工具之後，促使研究者聯想到可以藉由它們去解決一些過去相當惱人的造形設計及繪圖方面的問題。其中之一便是單曲面立體造形的交線及展開的問題。

研究者從前學習傳統手工繪圖時，感覺到曲面之間的交線以及展開圖的繪製，是最難的繪圖項目之一（另一困難的項目就是複斜面的實長求解）。

而在 3D 電腦繪圖軟體 Rhino 中，只要透過簡單的步驟，便能精準的產生任何複雜曲面之間的交線，以及製作單曲面的展開。

在研究者所從事的珠寶金工創作領域中，有一種很特殊的戒指，稱為 H 形空心戒指。它是以較薄的金屬板材經鍛敲成形後，再焊接成形。它外表看起來很大，但因為是空心的，所以重量不大。其製作方法，不論是在臺灣的打金師傅所傳授的、美國的金工教授在課堂上所教的、珠寶金工教科書上所記載的，或是網路上所搜尋到的都一模一樣。都是很科學的以一個紙型樣版為基礎，以嘗試錯誤的方式求出其展開圖，再以金屬板材完成之。

研究者在學會 3D 電腦繪圖軟體 Rhino 後，了解到能夠透過她完成精準的交線及展開的工作。因此聯想到，應該能夠藉由這些功能，將原本不科學的 H 形空心戒指的製作流程，轉變成較科學而精準的工作流程，從而觸發研究著進行本項研究。

## 貳、研究目的

本研究將針對 H 形空心戒指的設計及製作，提出一套以 3D 電腦繪圖軟體（Rhino 5）為主要工具的解決方案，並透過實作，予以驗證。運用這個解決方案，珠寶設計師或金工創作者能夠排除不太科學的試誤方式，跳躍過困難的交線與展開的製圖工作，並依據造形構想，利用 3D 電腦繪圖軟體，建構出數位 3D 模型，並立即得到每個曲面的展開圖，從而進行後續的加工製作。除了降低 H 形空心戒指之設計及製作工作的困難度，並能創作出以傳統方式不可能作出的較複雜的造形。

## 參、研究方法

本研究以問題解決法及實驗研究法進行。研究者針對現有 H 形空心戒指之設計流程所存在的問題，透過 3D 電腦繪圖軟體 Rhino 5 中的相關工具（指令），發展出適切的解決方案，最後再以實作方式，驗證該方案之可行性。

## 肆、研究範圍及限制

本研究所針對的問題，乃是 H 形空心戒指之設計流程。探討如何以 3D 電腦繪圖軟體 Rhino 5 為工具，提出一套可行的解決方案，再透過實作，予以驗證。由於可能的解決方案不只一個，本研究所提出的，僅能是研究者專業主觀上認定為最佳的方案，並不能保證其為目前所有可能的解決方案中之最佳者。故與本研究無關之設計與繪圖方法，本研究不予討論之。此外，市面上的 3D 繪圖電腦為數眾多，本研究僅選用 Rhino 5 為工具。至於其他 3D 電腦繪圖軟體是否也能以相似的方法解決此問題，亦或有不同的功能，以不同的方式達成此目的，都不是本研究探討的範圍。

## 伍、研究使用工具

本研究所使用的工具，包括數位工具及金工工具。

### 一、數位工具：

- （一）硬體：PC 個人電腦、A4 雷射印表機。
- （二）軟體：3D 繪圖軟體 Rhino 5 及其外掛的彩現軟體 V-Ray。

### 二、金工工具：常規使用的珠寶金工鋸、銼、焊、鍛敲、砂磨、拋光等工具。

## 陸、研究實施步驟

本研究的實施，包括下列 6 個步驟：

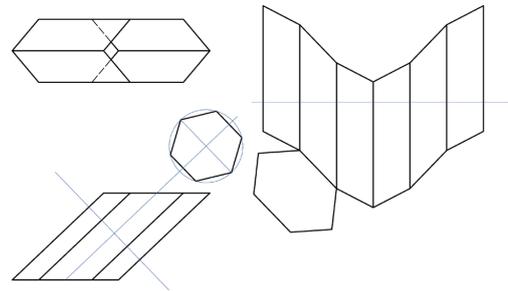
- 一、熟習電腦繪圖軟體 Rhino 5 和外掛彩現軟體 V-Ray 的使用：雖然就研究者的主觀經驗而言，Rhino 5 相較於其他 3D 繪圖軟體，算是比較容易學習的，但由於 Rhino 5 總共有超過 1000 個工具（指令），得投入漫長的時間才能將它們一一檢視並予以消化吸收；且經過融會貫通之後，才能針對本研究主題巨細靡遺的發展出適當的解決方案。
- 二、設計造形：針對研究目標，先以一個造形較單純的 H 形空心戒指為目標，發展出可行的解決方案。再設計多個 H 形空心戒指的造形，作為解決方案的延伸應用。
- 三、發展解決方案：針對前項 H 形空心戒指的造形，使用 3D 繪圖軟體中的各種工具（指令）發展出可能的解決方案，並隨即試作及評估，直至發展出最佳解決方案。由於解決方案可能不只一個，所謂「最佳」的解決方案，係就研究者的主觀經驗相互比較篩選所得，本研究不作客觀之評估。
- 四、繪圖及列印：發展出解決方案後，即針對不同的 H 形空心戒指的造形，使用此方案完成繪圖及列印工作。
- 五、試作：依繪圖結果，進行 H 形空心戒指的製作，完成實際作品。
- 六、撰寫論文並提出檢討與建議。

## 柒、文獻探討

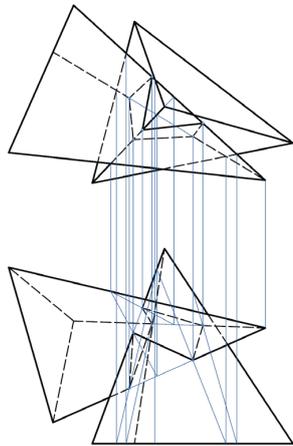
### 一、傳統手繪交線及展開圖的繪製

傳統製圖中的交線與展開的繪製，在整個製圖領域中算是難度較高的工作。王輔春等合著的《工程圖學》一書中有較詳細的介紹。交線的求得，可

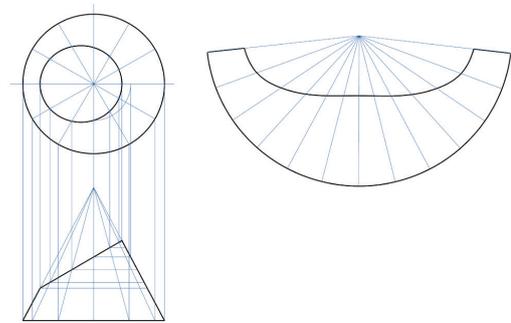
採邊視圖法、剖面法（用得最廣）及球面法（王輔春、朱鳳傳、楊永然、康鳳梅，1994）。其繪圖過程相當複雜，學習上的難度也較高（見圖 1 - 圖 4）。平面立體造形尚且如此，曲面立體造形就更困難了。單純的幾何相貫造形尚且如此，複雜的自由曲面造形（如圖 10 - 圖 19）想要用這些方法求解，簡直就是不可能的任務，因為往往連正確的正投影視圖都畫不出來。



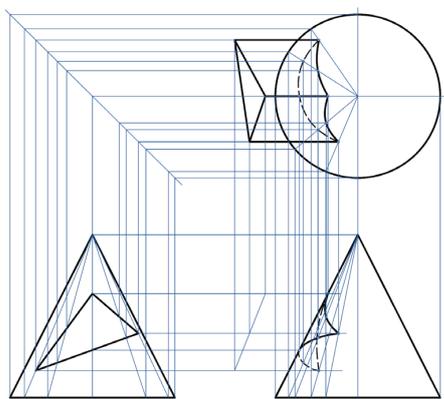
【圖 3】角柱體的展開（繪圖：周立倫）。



【圖 1】兩角錐相貫的交線（繪圖：周立倫）。



【圖 4】圓錐體的展開（繪圖：周立倫）。



【圖 2】角柱與圓錐相貫的交線（繪圖：周立倫）。

## 二、現有 H 形空心戒指的製作方式

H 形空心戒指是一種以金屬薄板，透過手工成形製作的戒指。其名稱之由來，並非戒指完成後的造形像 H，乃是其製作初期，金屬板取材的造形像 H（參見圖 49）。這種戒指的優點在於：看起來很大，但戴起來很輕，因為是薄板製作的空心造形。傳統西方的畢業戒指和東方的馬鞍形玉戒指都屬於此類，但由於手工製作費工費時，無法大批量生產，因此近年來幾乎都以脫蠟鑄造方式製作。

傳統 H 形空心戒指係以純手工方式製作。先將金屬薄板依展開圖鋸出，再以彎折及鍛敲方式成形，經過焊接、修整後完成。一般而言，這種戒指

的製作難度不算太高，但關鍵在於：如何求出正確的展開圖。

在所有研究者能搜尋到的圖書和網路資訊，以及研究者在臺灣，向打金師傅學習；在美國，向大學金工教授學習的經驗中，H形空心戒指的設計及製作方式都一樣。就是以既有的H形展開圖的紙型版為基礎，在戒指棒上彎折成戒指的樣子，再以嘗試錯誤的方式予以適量的增、減，期望最終能獲得接近預想造形的展開圖。賴耿陽（1983）所譯著的《金飾藝品設計及鑲雕鑄法》中所提及的方法，以及 Alan Revere（1991）發表在 Ganoksin jewelry making resources<sup>3</sup> 網站上所詳細介紹的製作過程，都是採用相同的方法。

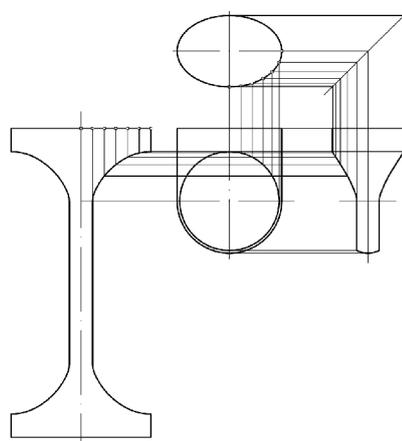
可以想見的是，透過這種不太科學的工作流程，很難得出精準的展開圖。如果戒指的造形上稍有變化，則幾乎成為不可能的任務。

照理說，不同造形的空心戒指，其展開圖自然大不相同。如何繪出正確的展開圖，其實才是製作H形空心戒指的關鍵因素。靠現有的紙型版增增減減，實在不是什麼可靠的專業技術。

研究者在美國學習珠寶金工時，曾經以工程製圖交線展開的繪圖方式，求出精準的H形空心戒指展開圖（圖5），但只限於非常簡單的造形。如今有了3D電腦繪圖軟體Rhino 5為利器，應能精準的設計複雜造形的H形空心戒指，並產出精準的展開圖。

### 三、3D電腦繪圖軟體Rhino 5

坊間的3D繪圖軟體相當多，各有各的特色。能完成本研究提出解決方案的軟體，應該不只一



【圖5】以傳統繪圖方式繪製空心戒指展開圖（繪圖：周立倫）。

種。本研究之所以選擇Rhino（或名：Rhino 3D、Rhinoceros）當然有自身的主觀因素。這是研究者多年來使用過數種不同類型的軟體，經過比較後，認為最適合自己平日設計及創作工作的3D繪圖軟體。目前研究者幾乎所有的3D設計工作——小到珠寶設計、產品設計、工藝設計，大到建築設計、室內設計等，都會使用Rhino 5來完成。

繪圖軟體的優、劣及適用性，恐怕很難客觀的比較與評量。就使用者而言，如果不是熟練的使用過多種軟體，恐怕都無法「主觀」的去認定哪一個是最適合自己工作的。然而，要能「熟練」的使用某一軟體，恐怕至少也得密集的使用數個月，甚至一、二年，方能達到這個狀態。因此，欲真正「客觀」的評估各軟體優劣的，的確相當困難。網路上許多專家及玩家的推薦，也只能是「如人飲水、冷暖自知」的自說自話。這些資訊的確會讓初學者無所適從。因為，學習3D軟體是一項大投資。所謂「大」，並不只是金錢的投資大，更大的的是學習時間及精力的投入。如果經過努力的學習，終於摸出一點頭緒，卻發現這並不是适合自己工作需求的軟

3 <http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/hollow-ring.htm>（瀏覽日期：2017/6/12）

體，那真會讓人欲哭無淚。研究者在過去的學習歷程中，就有許多這樣的經驗。

因此，本研究無法以客觀的方式比較各個 3D 繪圖軟體的特性及優、劣。只能說：Rhino 5 是研究者喜歡的、用起來最順的 3D 繪圖軟體。

跟據 Rhino 中文官方網站<sup>4</sup>上的介紹，Rhino 5 的特色如下：

概觀：Rhino 可以建立、編輯、分析、標註、彩現及轉換 NURBS 曲線、曲面、實體、點雲與網格，只要硬體條件許可，沒有複雜度、階數與大小的限制。

特殊功能包括：

- (一) 不受拘束的 3D 自由造形建模工具，可以建立任何您可以想像的造形，這類的工具通常是售價在 20 至 50 倍的建模軟體才有。
- (二) 精確度足以符合設計、快速原型、工程、分析各階段的需要，可以用於大至飛機，小至珠寶飾品的生產製造。
- (三) 相容性良好，可以與其它設計、出圖、CAM、工程分析、彩現、動畫、繪圖軟體搭配使用。
- (四) 讀取與修復網格及高難度的 IGES 檔案。
- (五) 易學易用，讓您可以專注在設計與呈現的構想，不會因為操作不易而分心。
- (六) 輕巧快速，普通的筆電也能安裝使用，無需特別的硬體。
- (七) 開發平台，數以百計的專業建模軟體的開發平台。(限 Windows 版)
- (八) 便宜好用，普通的硬體、學習快速、價格便宜且無需維護費用。

雖然以上是 Rhino 網站上的廣告用語，但以研究者超過多年的使用經驗而言，這些言語並不誇張。

在操作 Rhino 時，選取工具的方式有三種：

其一：直接點選工具圖像（工具按鈕、Icon）：較新的軟體都會將工具製作成圖像按鈕，只要點選，就能啟動，最適合圖像思考的使用者。Rhino 5 的工具超過 1000 個，雖然常用的也許只有一百來個，但初學者要從圖像判斷出是甚麼工具，恐怕不太可能，還是要透過圖像所附帶的彈出式文字提示，才能了解該圖像到底是甚麼工具。經過相當時間的使用，熟練之後，才能迅速辨認。

其二：在指令列中以鍵盤輸入工具指令。這個方式和 AutoCAD 相同，是屬於文字界面。過去習慣於舊版 AutoCAD 的使用者可能會這麼使用，但因為要背熟所有會用到的指令，所以新的學習者應該不會採用。

其三：透過下拉式清單來取得工具。這個方式介於前兩種之間。不必背指令，只要知道該工具所屬的類別，要用時再去該類別中尋找即可。

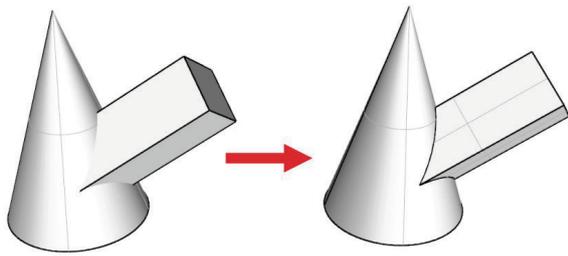
由於本研究係以文字敘述方式來指出所使用的工具，不方便使用圖像，因此選取工具時，一律以下拉式清單的工具（指令）名稱來表達。

#### 四、Rhino 5 的交線及展開功能

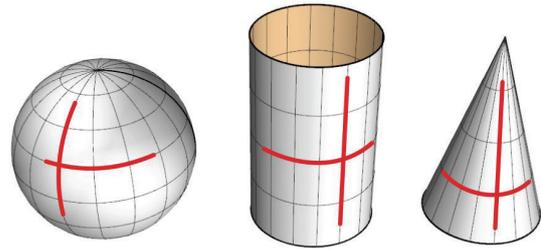
##### (一) 交線：

在 Rhino 5 中，相交的物件可透過「布林運算聯集」、「布林運算差集」、「布林運算交集」、「布林運算分割」等工具（指令），產生新物件，也會自動產生物件之間的交線（圖 6、圖 7）。

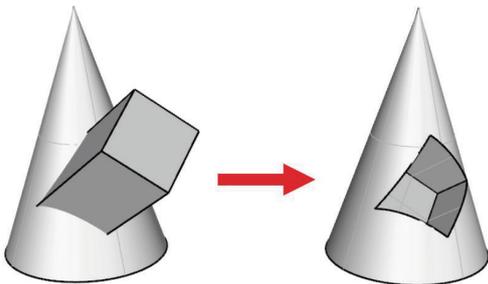
<sup>4</sup> <http://www.rhino3d.com/features>（瀏覽日期：2017/6/12）



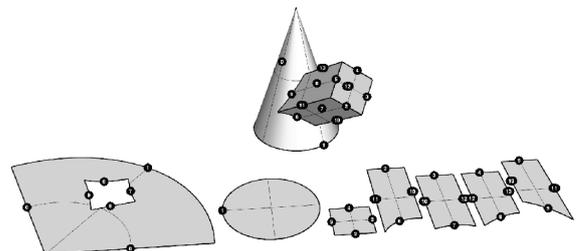
【圖 6】透過「布林運算聯集」工具，將兩個物件聯集成一個物件，交線自動產生。（繪圖：周立倫）



【圖 8】單曲面和雙曲面的差異。（繪圖：周立倫）



【圖 7】透過「布林運算差集」工具，將兩個物件差集成一個物件，交線自動產生。（繪圖：周立倫）



【圖 9】使用「攤平可展開的曲面」工具，將物件製作出展開圖。（繪圖：周立倫）

## （二）展開：

在 Rhino 5 中，可以使用「攤平可展開的曲面」工具，將單曲面製作成精準的展開圖。所謂單曲面，是指曲面的 U、V 兩組結構線中，至少有一組是由直線所構成的。在基本的曲面造形中，圓柱面及圓錐面都屬於單曲面，而球面則是雙曲面，因為其 U、V 兩組結構線都是由非直線所構成的（圖 8）。若以實際操作來說明，所有的單曲面都能以紙張或板金彎折成形，而複曲面就不可能以彎折的方式製作，必須以鍛造成形的方式，將板材作局部的伸張及壓縮，才可能作得出來。

使用「攤平可展開的曲面」工具，能將複雜的，由單曲面所構成的物件，製作出展開圖，並且可以選擇標示出每一個對應的接縫，以方便以後的實際組合工作（圖 9）。

## 五、研究者曾經完成之案例：

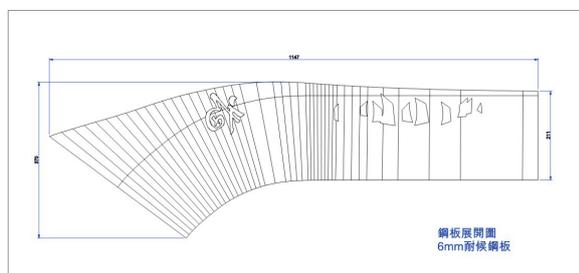
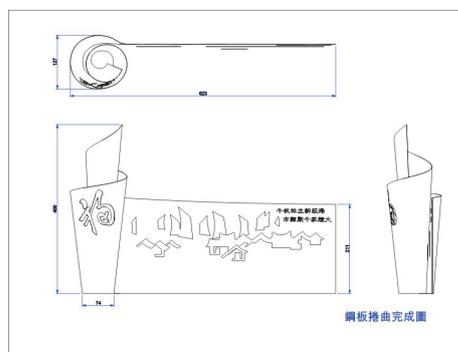
近幾年來，研究者一直使用 Rhino 電腦繪圖軟體，從事立體造形創作的工作，已實質上解決過許多藝術及設計領域中，複雜造形的交線及展開方面的案例。以下數例可為說明。

- （一）新莊福營行政大樓公共藝術：這是由雕塑家林振仁設計，由研究者完成建模及彩現的工作項目。目的是為了爭取政府的公共藝術標案。最終得標，並施作完成。
- （二）紙雕作品：以 Rhino 5 輔助設計紙雕作品，不但迅速確實，還能立即產生展開圖。若是將此數位資料，透過雷射切割機或是平片切割機的切割輸出，在很短的時間內便可以完成工作。



【圖 10】新莊公共藝術得標案作品3D彩現圖。(繪圖:周立倫)

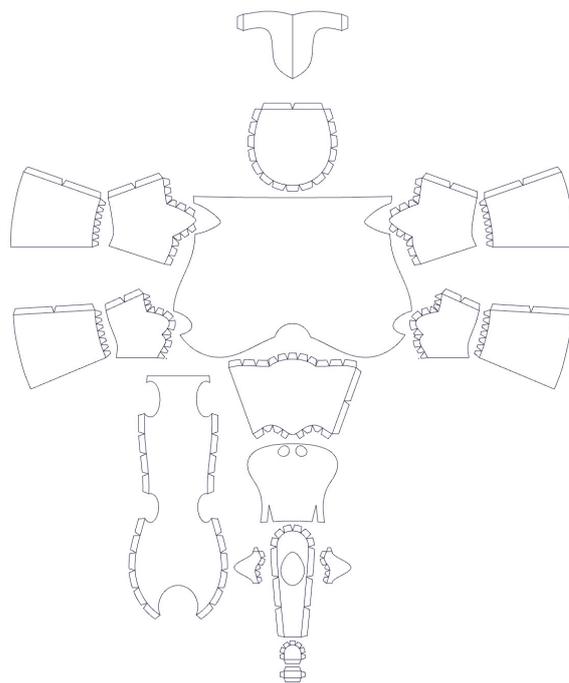
新莊福營公共藝術鋼板造形工程



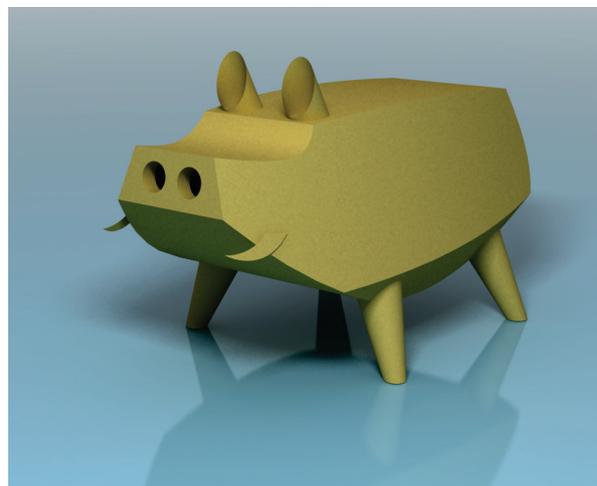
【圖 11】新莊公共藝術得標案作品工程及展開圖。(繪圖:周立倫)



【圖 12】紙雕作品「馬」的3D彩現圖。(繪圖:周立倫)

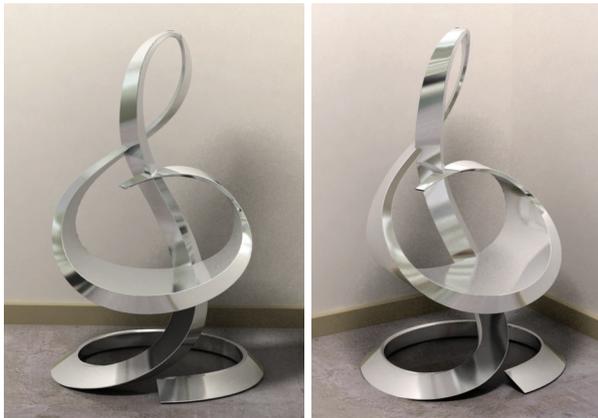


【圖 13】紙雕作品「馬」的平面展開圖。(繪圖:周立倫)

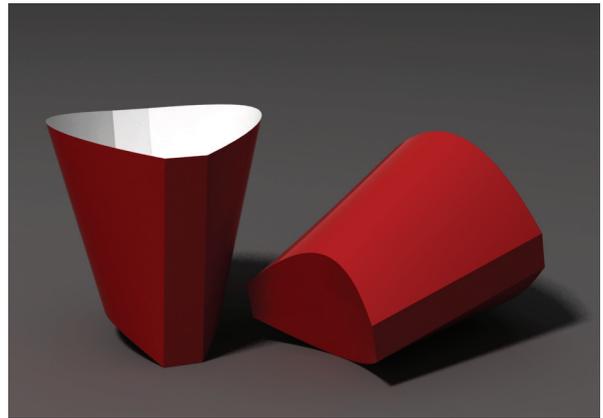


【圖 14】紙雕作品「豬」的3D彩現圖。(繪圖:周立倫)

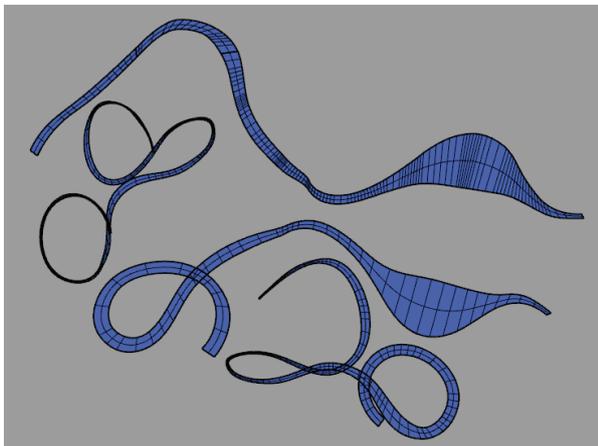
(三) 不鏽鋼雕塑作品「音符椅」：這是以高音譜表為造形，所發展出的不鏽鋼製雕塑型椅子。



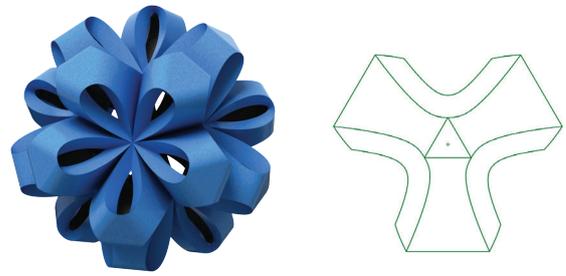
【圖 15】不鏽鋼板雕塑作品「音符椅」的 3D 彩現圖。(繪圖：周立倫)



【圖 17】曲線彎折的薯條包裝彩現圖。(繪圖：周立倫)



【圖 16】不鏽鋼板雕塑作品「音符椅」的展開結果。(繪圖：周立倫)



【圖 18】複雜的曲線彎折紙雕塑形 3D 彩現圖及其單元展開圖。(繪圖：周立倫)

(四) 曲線彎摺造形設計：曲線彎摺，顧名思意，其摺痕是曲線，有別於一般摺紙的直線摺痕。曲線彎摺的物件，具有較強的立體結構，當它們攤開的時候，必須是同一個平面。因此，即便能以 Rhino 建立起曲線彎摺的物件，也不能保證其展開圖各個面的接縫都沒有縫隙。研究者花了許多時間，才悟出其中的訣竅，將在他文中發表。

(五) 複雜的包裝設計：Rhino 5 的展開功能，應用於包裝設計最為貼切。除了可以產出展開圖，也可以透過貼圖，將平面設計以 3D 的方式呈現。



【圖 19】複雜的包裝設計。(繪圖：周立倫)

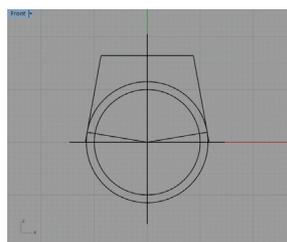
## 捌、發展解決方案

本研究將以一個較簡單的橢圓錐台造形的戒指為例題，研究如何在 Rhino 5 中將其建構成形，進而將其製作展開圖，成為後續金工製作鋸切之圖樣。

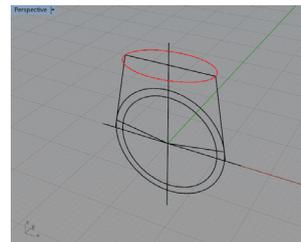
以下是完整的設計繪圖過程。由於在 Rhino 5 中工作，每一個動作都牽涉到特定工具（指令）的使用，如果要一一說明，意義不大。因此，本文下只針對關鍵動作，說明所使用的工具，其餘則予以省略。

### 一、設計及建模：

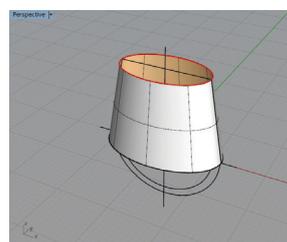
- (一) 繪製戒指的正視圖：指圍的直徑為 20mm，戒圈的厚度為 1.5mm，戒面為橢圓錐台狀（圖 20）。
- (二) 繪出戒台的橢圓形：將橢圓形繪製於錐台的頂端（圖 21）。
- (三) 建立橢圓錐台曲面：以「雙軌掃掠」工具，建立橢圓錐台曲面（圖 22）。
- (四) 建立橢圓形台面：以「以平面曲線建立曲面」工具，製作出橢圓形台面，並與橢圓錐曲面組成一多重曲面（圖 23）。
- (五) 修剪曲面：在正視圖視窗中，以「修剪」工具去除不需要的橢圓錐曲面，形成戒身（圖 24、25）。
- (六) 再修剪曲面：從右側視圖視窗中，可以預判：聯接至戒尾的曲線不順暢，因此得再多修剪一些橢圓錐曲面（圖 26、27）。
- (七) 繪製下半段戒圈曲線：先在戒尾內側建立一個平面，做為引導面。再以「可調式混接曲線」工具，在上半段戒圈內側邊緣線及引導面邊緣間，建立一條混接曲線。兩連接位置的連續性都選則正切。



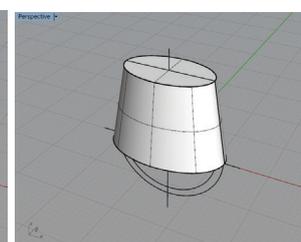
【圖 20】（繪圖：周立倫）



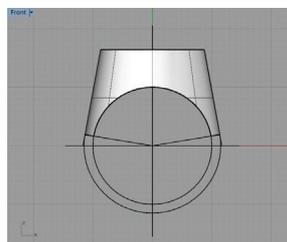
【圖 21】（繪圖：周立倫）



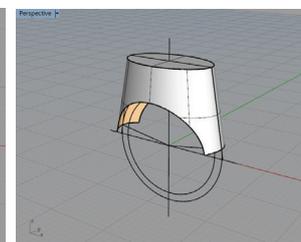
【圖 22】（繪圖：周立倫）



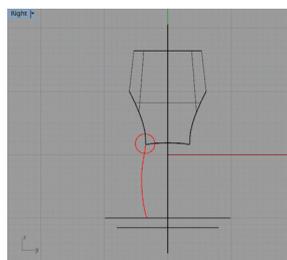
【圖 23】（繪圖：周立倫）



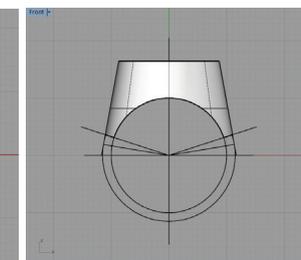
【圖 24】（繪圖：周立倫）



【圖 25】（繪圖：周立倫）

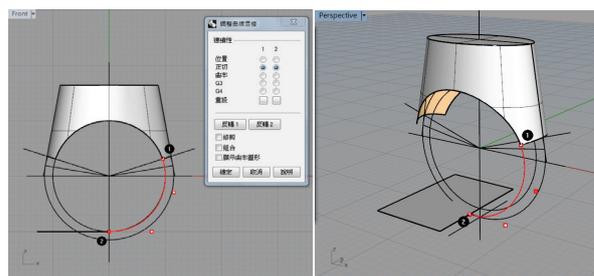


【圖 26】（繪圖：周立倫）



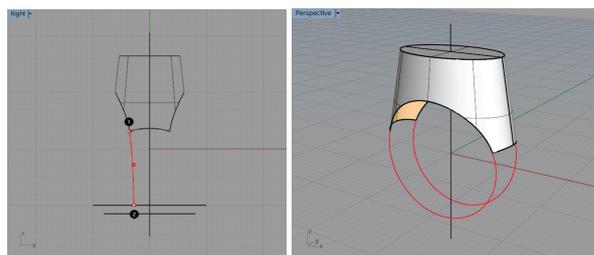
【圖 27】（繪圖：周立倫）

在正視圖視窗中，調整兩個曲線控制點，使得該曲線與原有戒圈內側圓弧線盡量重疊（圖 28）。接著調整與引導面相接的端點，使它在引導面的邊緣上移動（圖 29）。透過右側視圖視窗，可以觀察到這條曲線是否與上半段戒圈內側線條平順相接（圖 30）。調整完成後點選「確定」。



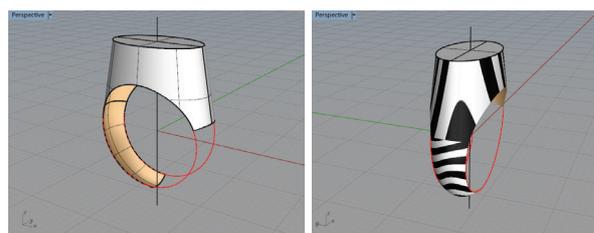
【圖 28】（繪圖：周立倫） 【圖 29】（繪圖：周立倫）

（八）複製下半段戒圈線：將上一步驟建立的曲線以「鏡射」工具複製到定位（圖 31）。



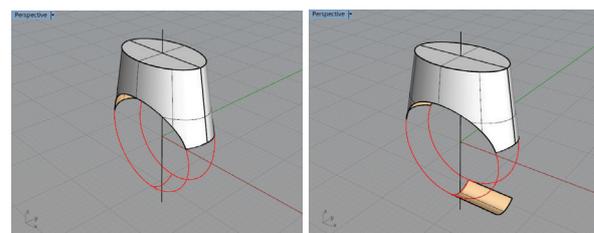
【圖 30】（繪圖：周立倫） 【圖 31】（繪圖：周立倫）

（九）建立下半段戒圈外形曲面：以「雙軌掃掠」工具，建立下半段戒圈外形曲面（圖 32）。這個曲面只是用來產生戒尾外側斷面曲線。因為以雙軌掃掠來建立它的時候，無法控制它與戒身曲面之間的連續性。其結果只得到相當於 G0 的位置連續性。透過「斑馬紋分析」工具，可以觀察到，的確如此，因為斑馬條紋在接縫處產生錯位（圖 33）。



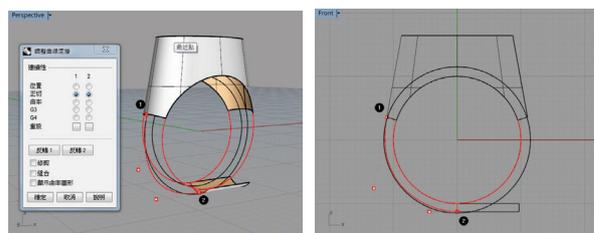
【圖 32】（繪圖：周立倫） 【圖 33】（繪圖：周立倫）

（十一）建立引導曲面：以「直線擠出」工具，將戒尾外側斷面曲線擠出一曲面，作為引導曲面（圖 35）。



【圖 34】（繪圖：周立倫） 【圖 35】（繪圖：周立倫）

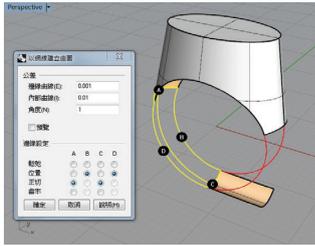
（十二）建立戒圈外形曲線：以「可調式混接曲線」工具，點選「邊緣」，從引導曲面邊緣中心點，及戒身上、下交接邊緣中心點，建立一條曲線，作為下半段戒圈外形曲線。曲線端點連續性勾選「正切」（圖 36）。在正視圖視窗中，調整控制點，使曲線造形順暢（圖 37）。



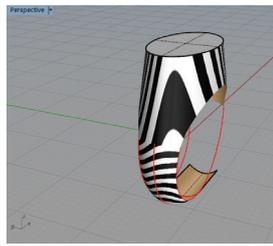
【圖 36】（繪圖：周立倫） 【圖 37】（繪圖：周立倫）

（十三）重建下半段戒圈外形曲面：使用「從網線建立曲面」工具，重建下半段戒圈曲面，在與戒身及引導面相接的邊緣，勾選正切的連續性（圖 38）。建立完成的曲面，透過「斑馬紋分析」工具，可觀察到：斑馬條紋未產生錯位（圖 39），所建立的曲面與戒身曲面呈現 G1（斜率連續）的連續性。

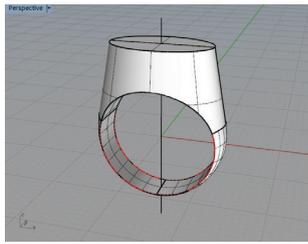
（十四）建立戒圈內側曲面：以「放樣」工具，分



【圖 38】(繪圖：周立倫)



【圖 39】(繪圖：周立倫)



【圖 40】(繪圖：周立倫)



【圖 41】(繪圖：周立倫)

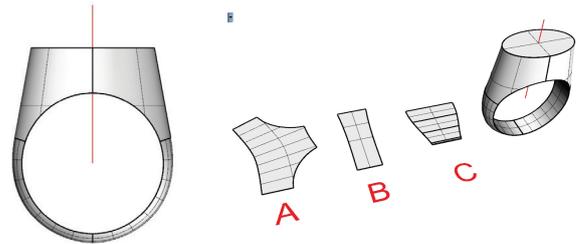
別將戒圈內側曲面完成，並與其它曲面組合成一個多重曲面物件(圖 40)。至此，完成了空心戒指的設計工作(圖 41)。整個戒指，除了戒圈下半段外側曲面為複曲面，其餘都是單曲面。

## 二、製作展開圖：

- (一) 打散全部曲面：以「炸開」工具，將戒指的所有曲面打散成單一曲面。在本例中，因為有一個曲面不是單曲面，所以無法直接運用「攤平可展開的曲面」工具。如果構成多重曲面或實體物件的曲面都是單曲面，就可以直接使用。
- (二) 分割曲面：在正視圖視窗中，以一條垂直線，將戒指曲面從中間一分為二(圖 42)。因為這個戒指是左右對稱的，只要展開一半，另以半以鏡射複製即可。戒台中央的接縫，將會是以後實際製作的焊接處。
- (三) 展開曲面：以「攤平可展開的曲面」工具，分別將曲面製作出展開圖(圖 43)。在本例中，只需攤平 3 個單曲面。從結果可以看

出：這 3 個單曲面被攤平成平面，其中有一個還是由 3 小塊所構成的多重曲面。其中的 A 部分是戒指上方的橢圓錐台，B、C 部分則組成戒圈內側的曲面。

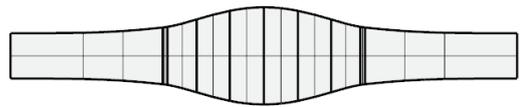
- (四) 組合戒圈內側攤平曲面：以「定位：兩點」工具，將 B、C 部分合併，再鏡射複製出另一半，完成戒圈內側曲面展開的工作(圖 44)。
- (五) 製作戒指外側攤平曲面：戒台攤平的展開曲面，應該是以左右對稱的方式安置，但由於戒圈下半段的外側曲面為複曲面，無法攤平，因此只能以近似的方式求取。其方式如下：



【圖 42】(繪圖：周立倫)

【圖 43】(繪圖：周立倫)

Top



【圖 44】(繪圖：周立倫)

Perspective



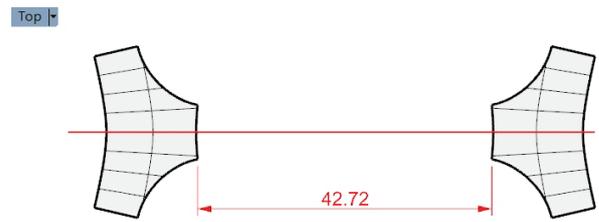
【圖 45】(繪圖：周立倫)

1. 以「抽離結構線」工具，從戒圈下半段外形曲面抽出一條中心線（圖 45），再以「長度」工具測量其長度，本例為 21.36mm。
2. 將左、右戒台攤平的展開曲面的間隔調整到 21.36mm 的 2 倍，即 42.72mm（圖 46）。
3. 以「長度」工具測量戒尾外側斷面曲線長度，本例為 6.36mm。
4. 在左、右戒台攤平的展開曲面中間建立一條長 6.36mm 的垂直線段。
5. 以「可調式混接曲線」工具，在兩戒台攤平的展開曲面間建立一平順曲線，同時調整兩個曲線控制點（按住 Shift 鍵），使得該曲線剛好經過中間線段的端點（圖 47）。
6. 鏡射複製另一半，即完成戒指外側的展開工作（圖 48）。
7. 複製攤平曲面邊緣線：以「複製邊緣線」或「複製邊框」工具，將各個攤平曲面的邊緣線摘取出來，去除多餘的曲線，加以組合，即完成展開圖（圖 49）。戒面的橢圓形原本就是平面，故無需展開。

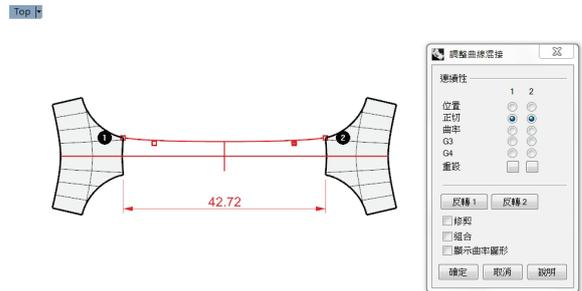
由於戒圈下半段的長度，是從其外側曲面上取出最長的結構線的長度來決定的。而在實際製做時，此部分金屬經過鍛敲成形的製程，可能會有所伸張，使得長度超過所需。但過長總比過短好，因為過長的部分，可以輕易的鋸切掉，再重新焊接。

## 玖、延伸應用

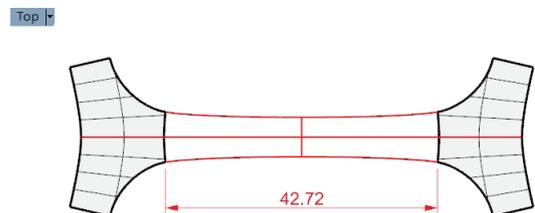
本研究所發展的 H 形空心戒指設計及展開的技法，可以應用在不同造形的空心戒指上，只要其造形基本上是由單曲面所構成的。以下是研究者嘗試的不同造形的空心戒指（圖 50），以及它們的展開圖（圖 51）。



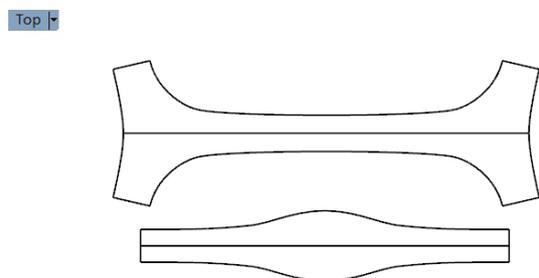
【圖 46】（繪圖：周立倫）



【圖 47】（繪圖：周立倫）



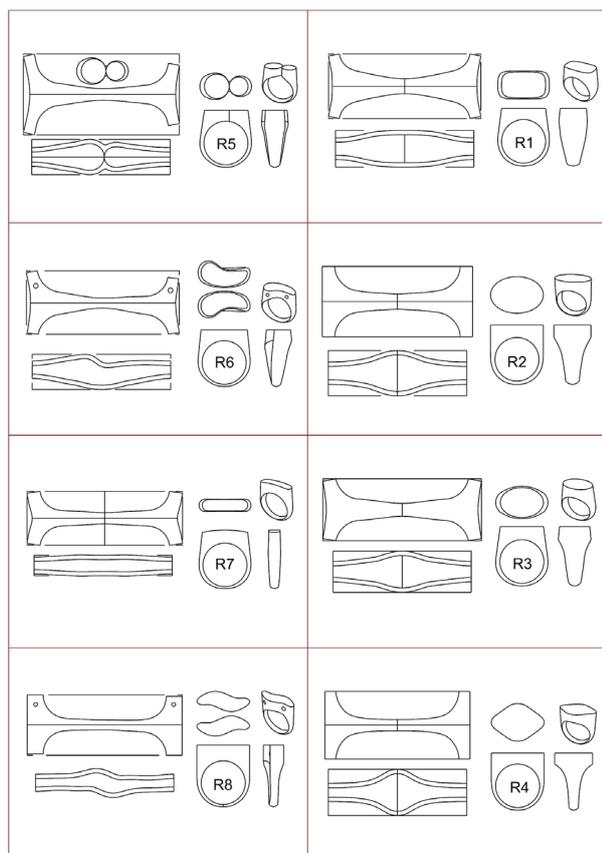
【圖 48】（繪圖：周立倫）



【圖 49】（繪圖：周立倫）



【圖 50】各式造形的 H 形空心戒指。(設計繪圖：周立倫)



【圖 51】各式戒指的展開圖。(設計繪圖：周立倫)

## 拾、實際製作

H 形空心戒指的製作，所使用的工具及技術，都是基本的珠寶金工鋸、銼、焊、彎折、緞敲等初階技術。只要是稍微學過金工的人，應該都能完成（參閱引用文獻第 3 條的網路資料）。因此，其中的關鍵因素，還是在於是否能求得正確的展開圖。本研究中，研究者實際製作完成的 H 形空心戒指（圖 52）是圖 51 中的 R1 戒指。整個製作過程相當順利，完全沒有精密度不足的問題。



【圖 52】研究者試作的 H 形空心戒指。(設計繪圖：周立倫)

## 拾壹、結論及建議

### 一、結論

本研究針對 H 形空心戒指的設計及製作，提出一套以 3D 電腦繪圖軟體為主要工具的解決方案，並透過實作，予以驗證。研究結果顯示，本研究所開發的解決方案，不但能精準的設計出由單曲面所構成的空心戒指，並且能製作出精準的展開圖，作為實際加工製作時的依據，降低了 H 形空心戒指之設計及製作工作的困難度。運用這個解決方

案，可以使得珠寶金工的創作者，不必再用傳統不科學的試誤方式，或是困難的交線與展開的製圖工作來製作展開圖，而是直接利用 3D 電腦繪圖軟體來進行工作。將此解決方案略加延伸，更能創作出許多以傳統方式不可能作出的較複雜的造形。

## 二、建議

- (一) 3D 電腦繪圖軟體的應用，在珠寶設計領域，已經蔚為風氣。高等教育中，與珠寶金工相關的學系，也都會開設 3D 電腦繪圖相關課程，教授 Rhino 5 或是類似的 3D 繪圖軟體。如果曾經學過 Rhino 5，再來學習本研究所發展的解決方案，將會是相當容易的事。
- (二) 珠寶金工最主要的原材料是板材。許多類型的珠寶金工作品，都是以板材加工組焊成形。只要是單曲面所構成的造形，都能使用本研究所闡述的方法，製作出展開圖，以為實際加工製作之依據。本研究以最小的戒指為題材，期能達拋磚引玉之效，盼望各界先進，能針對更多相關題材，作更深、更廣的研究，將心得分享給同好。
- (三) 在 3D 繪圖軟體 Rhino 5 中，相交物件的交線，可以透過布林運算聯集、差集及分割等工具（指令），由電腦計算而得；而單曲面造形的展開，也可透過單曲面展開工具（指令）自動產生，不論造形多麼複雜都一樣。這些功能可以讓原本不可能做到，或是很困難才能做到的單曲面立體造形創作工作，變得輕鬆易行。因此本研究建議，從事立體造形藝術創作或設計工作者，應該都要學習 Rhino 5 或類似的繪圖軟體。如果加以靈活運用，不只是提供極大的協助，簡直就是化不可能為可能，讓藝術創作者或設計師跳脫技術的門檻，釋放出造形創作的能量。

## 拾貳、引用文獻

王輔春、朱鳳傳、楊永然、康鳳梅，1994。工程圖學，頁：20-1 至 21-22。台北市：師大書苑有限公司。

賴耿陽（譯著），1983。金飾藝品設計及鑲雕鑄法，頁：74。台南市：復漢出版社。

<http://www.ganoksin.com/borisat/nenam/hollow-ring.htm>，空心戒指製作過程

<http://www.rhino3d.com/features>，Rhino 中文官方網站