

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高職組 機械科

佳作

090903

球中智慧，智慧之球

學校名稱：高雄市立高雄高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 陳學良	吳寬瀛
職二 謝文彬	李達權
職二 呂秉軒	
職二 劉俊賢	

關鍵詞：正面多體 電腦輔助設計 機械加工

壹、摘要

在日常生活中處處可見幾何多面體在我們四周，像是 1996 年得到諾貝爾化學獎肯定，英、美三位教授首次發現的巴克球（C60 Buckyball），是由六十個碳原子組成的球狀分子，經施加壓力後硬度提昇至較鑽石硬，其結構便是切角正二十面體。由上可知，在現代醫療、科學、環保環環相扣的趨勢下，我們可以把常見的幾何多面體，經過詳細的生產流程設計後，量產成為供觀賞的藝術品。

為達到量產的目的，我們使用繪圖軟體將多面體形狀模擬後，進行分解，並討論面與面的夾角。在生產時會有夾持不易的問題，所以需思考利用其結構特性設計模具。當中需要配合到工程數學、投影幾何學、機械製造，設計最有效率的生產模具，以便在生產時快速夾持，避免產生角度錯誤或是偏差。



圖 1 建築物上的多面體

貳、研究動機

在我們生活的週遭，有著許許多多的幾何圖形環繞著我們，舉凡細胞的排列、電子晶體的放大圖、知名的建築物等等，都可見幾何的蹤跡。其中建築物的部分，像是台北市立天文科學教育館的立體電影院，那直徑三十五米的鋁錐圓頂建築便令人印象深刻；另外即將在 2008 年在北京舉行的奧運會，其世界首例，藉由氣泡理論建造的多面體鋼架結構建築—國家游泳中心“水立方”，也進入驗收的階段。“水立方”的多面體結構便是令人激賞的發揮，也是促使我們製作菱形正多面體，並實際量產的動力。

我們平時製作的多面體，都是由紙板剪裁並切割後黏貼，但這次製作的菱形正多面體，是朝向藝術品的境界邁進，除了在材質選用木頭柱外，更強烈的要求互相接合的精準度，而如何提昇生產效率更是我們要討論的部分。

參、研究目的

- 一、 實體建構軟體模擬出正多邊形的規律，並發現其互相的關係。
- 二、 將菱形正多面體製作完成，並製作其生產所需的夾具，提昇其生產過程的效率。
- 三、 提昇多邊形的美觀性及精密度，並將其定位於益智玩具，又不失其觀賞價值。

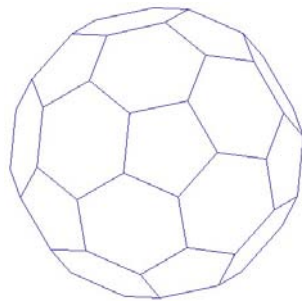


圖 2 巴克球(Buckyball)

肆、研究設備及器材

- 一、 電腦輔助繪圖軟體：
Autodesk AutoCAD 2006
- 二、 電腦輔助設計軟體：
Autodesk Inventor 10
- 三、 文書編輯軟體：
Microsoft Word 2003
- 四、 影像編修軟體：
Adobe Photoshop CS2
- 五、 電腦六台
- 六、 高度規 一台
- 七、 虎鉗 一台
- 八、 鑽床 一台
- 九、 銑床 一台
- 十、 高速鋼鑽頭 5/12 mm各兩支
- 十一、 面銑刀 $\phi 4$ " 一把
- 十二、 端銑刀 $\phi 6/\phi 12/\phi 13/\phi 18/\phi 20/\phi 25$ 各一把
- 十三、 10" 細平挫 一把
- 十四、 量具：
6" 游標尺 一把
0-25mm、25-50mm 分厘卡 各一把
正弦桿 一個
- 十五、 萬向磁性固定座 一座

伍、研究過程與方法

一、多面體結構分析

多面體是指四個或四個以上多邊形所圍成的立體，在傳統意義上，它是一個三維的多胞形，而在更新的意義上它是任何維度多胞形的有界或無界推廣。以下分析略分類為柏拉圖多面體、均勻多面體。

(一) 柏拉圖多面體 (regular polyhedron)：柏拉圖多面體即正多面體（為與多面體區分，以下皆稱柏拉圖多面體）

(1) 構成必要條件為：每一面由正多邊形構成、各個頂角相等、各條菱邊都相等。存在的柏拉圖多面體只有五種，即正四面體、正六面體、正八面體、正十二面體以及正二十面體。

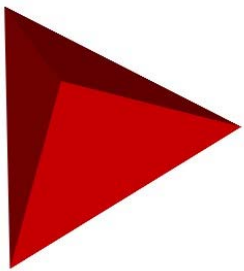
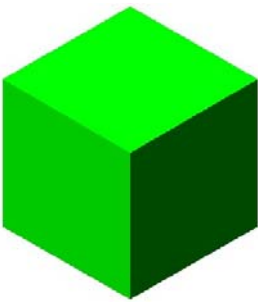
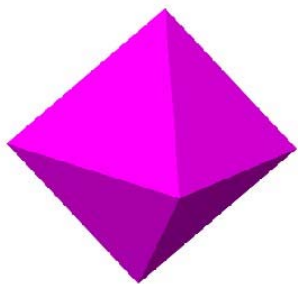
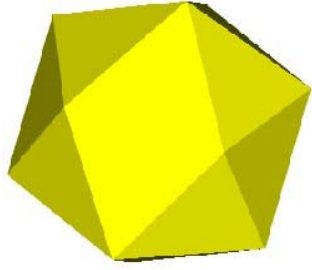
		
正四面體	正六面體	正八面體
		
正十二面體	正二十面體	

表 1 柏拉圖多面體

(2) 特性：

1. 對稱性：若一個圖形經過中心對稱後所得到的圖形仍是該圖本身，則稱這個圖形為對於中心的自相對稱圖形。若一個圖形經過軸對稱後所得到的圖形仍是該圖本身，則這個圖形為對於軸的自相對稱圖形。若一個圖形經過平面對稱後所得到的圖形仍是該圖本身，則這個圖形為對於平面的自相對稱圖形。
2. 對偶性：若兩個多面體的稜數相等，並且一個多面體的頂點數與面數分別等於另一個多面體的面數與頂點數，則稱兩個多面體為對偶多面體。正四面體與自身為對偶多面體；正六面體與正八面體為對偶多面體；正十二面體與正二十面體為對偶多面體。

正多面體	面性質	頂點數 (V)	面數 (F)	稜數 (E)	二面角 (θ)
正四面體	正三角形	4	4	6	70.529°
正六面體	正方形	8	6	12	90.000°
正八面體	正三角形	6	8	12	109.470°
正十二面體	正五邊形	20	12	30	116.565°
正二十面體	正三角形	12	20	30	138.189°

表 2 正多面體二面角數據

(二) 複合多面體：兩個或兩個以上的柏拉圖多面體組成，組合後會產生規則狀的多面體。
如六面體加八面體可得菱形十二面體、十二面加二十面體可得菱形三十面體。

1. 電腦繪圖：

(1) 菱形十二面體

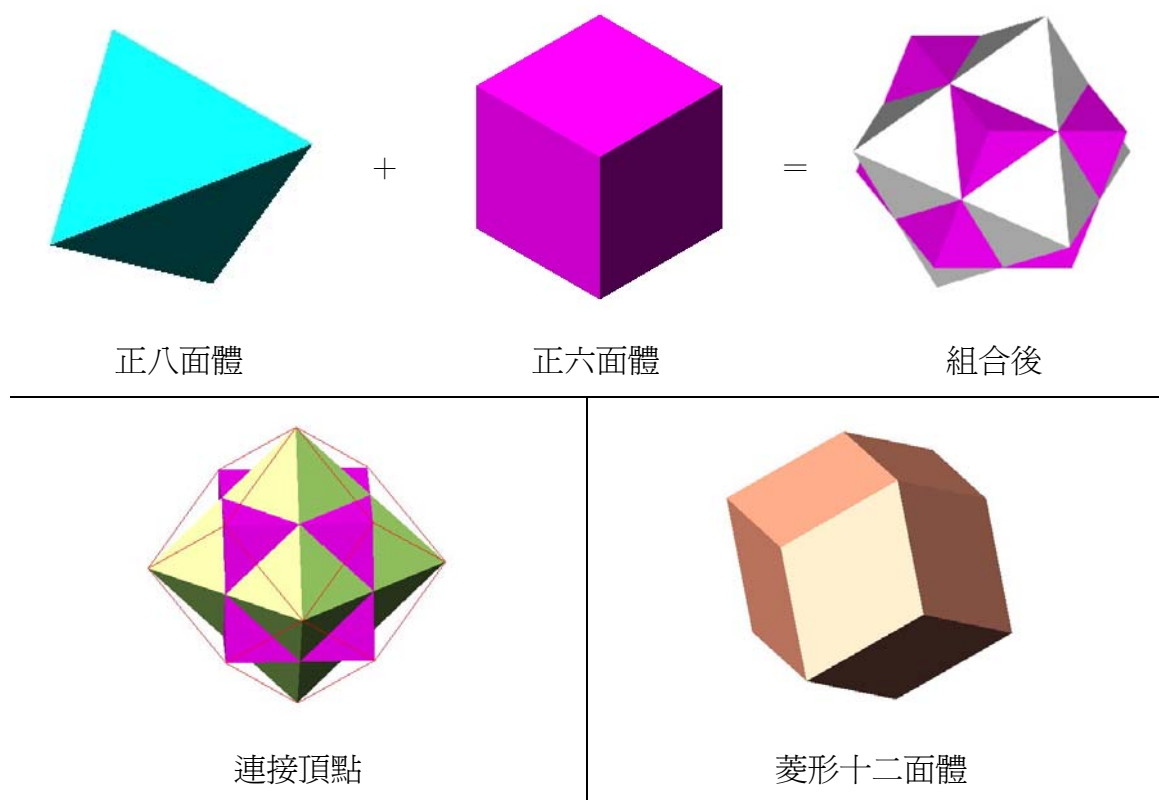


表 3 菱形十二面體電腦繪圖

(2) 菱形三十面體

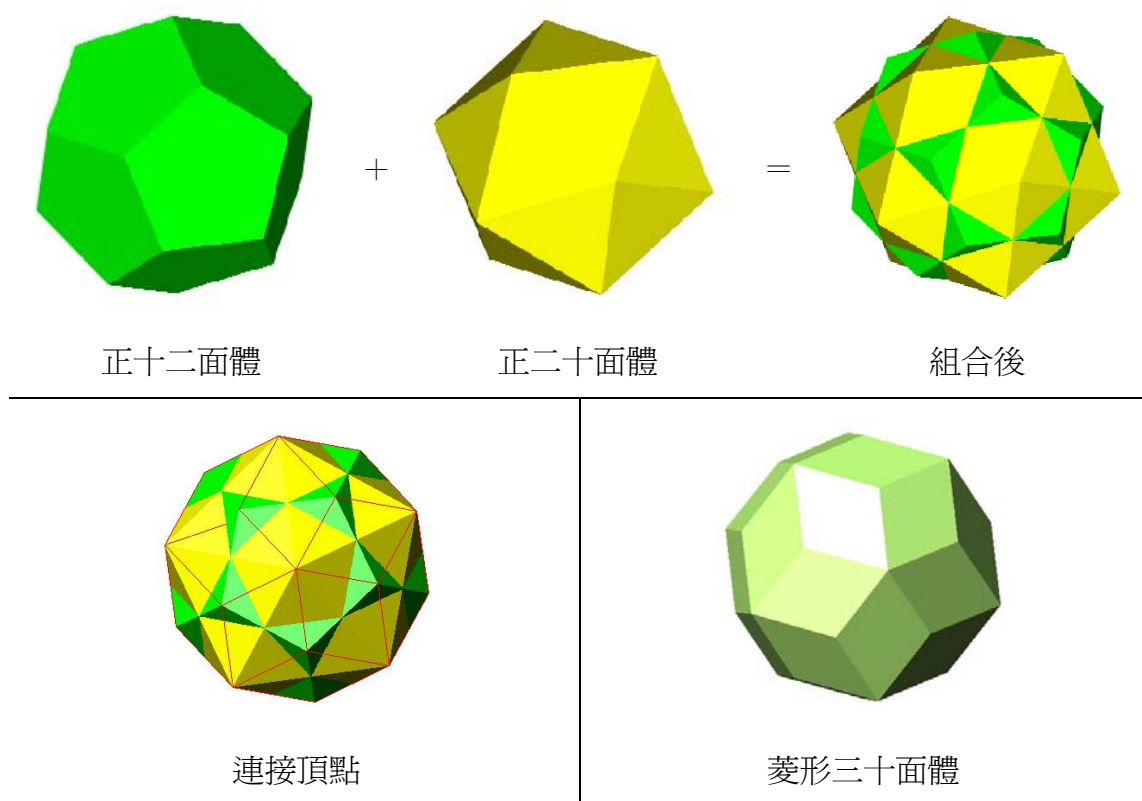


表 4 菱形三十面體電腦繪圖

2.二面角證明

(1) 菱形十二面體二面角：

從等角視圖中連接 ABCDEF，得一正六邊形

$\therefore$ 正六邊形內角=菱形十二面體二面角

$\therefore$ 正多邊形內角公式： $[(n-2) \times 180^\circ] \div n$

$\therefore$ 二面角= 120°

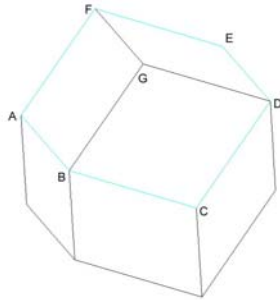


圖 3 菱形十二面體等角視圖

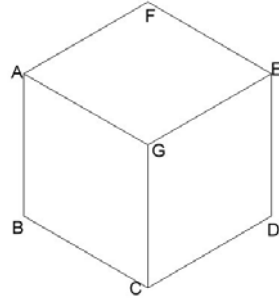


圖 4 正視正六邊形 ABCDEF

(2) 菱形三十面體二面角：

等角視圖中，

連接 ABCDEFGHIJ，得一正十邊形

$\therefore$ 正十邊形內角=菱形三十面體二面角

$\therefore$ 正多邊形內角公式： $[(n-2) \times 180^\circ] \div n$

$\therefore$ 二面角= 144°

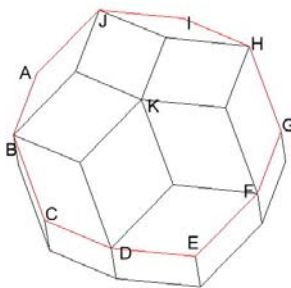


圖 5 菱形三十面體等角視圖

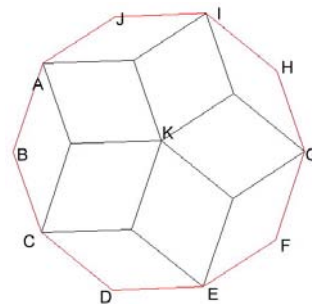


圖 6 正視正十邊形 ABCDEFGHIJ

(三) 準正多面體：使用兩種或以上的正多邊形為面的凸多面體。有人將半正多面體稱作阿基米德立體。因為面是由正多邊形組成的，每個相鄰的正多邊形的邊長相等，故半正多面體的邊均有相同長度。像是已廣泛應用到奈米科技的巴克球，為截角多面體中的截角二十面體。

二、電腦輔助機械設計

經過我們的討論和構想後，我們希望將要穿孔的面切削成平面，如此一來在定位置上都會更簡單、迅速。根據我們觀察菱形十二面體及菱形三十面體後，發現兩種面體的夾具分別由正八面體、正十二面體發展，以下將紀錄用 AutoCAD 模擬的過程。

(一) 菱形十二面體

1. 貼附三角柱：

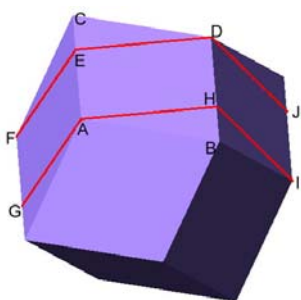


圖 7 設 X.Y 於平面菱形 ABCD 上，連 A 至 $\overline{BD}$ 上的垂直點 H，再連 D 至 $\overline{AC}$ 上垂直點 E。

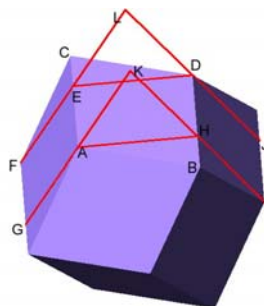


圖 8 連 F、I 至 E、H 和連 A、D 至垂直點 G、J，延伸 $\overline{AG}$ 、 $\overline{EF}$ 、 $\overline{HI}$ 、 $\overline{DJ}$ 至相交，得 $\triangle ABK$ 及 $\triangle DEC$ 。

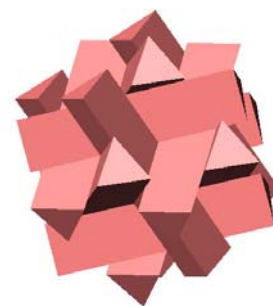


圖 9 擠出 $\triangle ABK$ 及 $\triangle DEC$ 得三角柱陣列，即成。

2. 貼附圓柱：

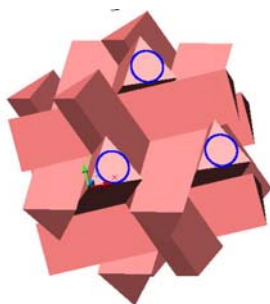


圖 10 在菱形十二面體貼附三角柱完成陣列後，於眾多三角柱中，任選其一，再選與其同平面的其他三角柱，將 X.Y 平面設於三角柱表面，並在上面畫內切圓。

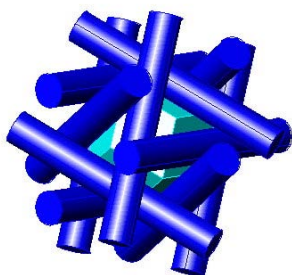


圖 11 擠出圓柱後同步驟 5 陣列，將三角柱刪除。

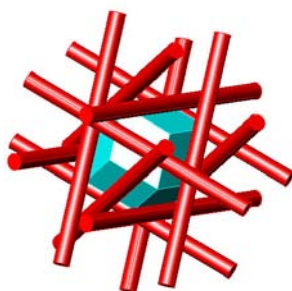


圖 12 同以上步驟製作旋向相反的小圓柱，直徑為大圓柱直徑的一半。

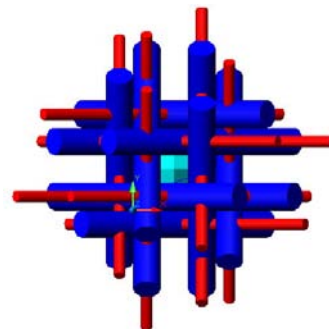


圖 13 成品。

3.貼附正方柱

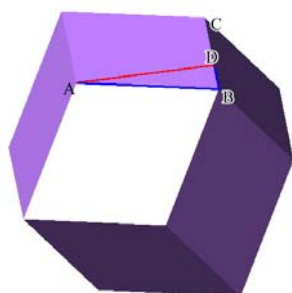


圖 14 連點 A 至 $\overline{BC}$ 上的垂直點 D，得菱形的高。

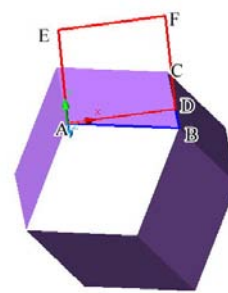


圖 15 以 $\overline{AD}$ 為長，畫一正方形如圖 15，正方形 ADEF。

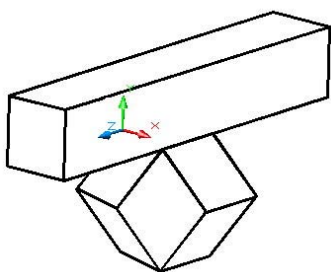


圖 16 擠出正方形 ADEF。

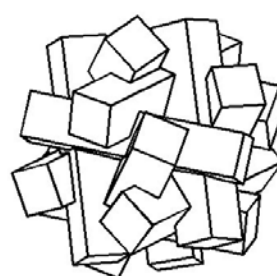


圖 17 陣列正方柱後即可得成品。

4.貼附六角柱

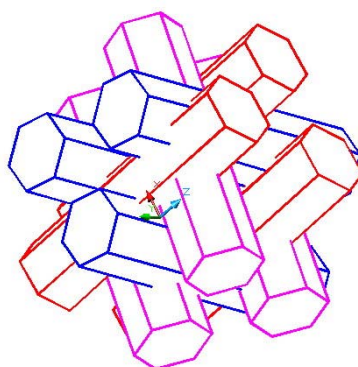


圖 18 六角柱的貼附和矩形柱完全相同

(二)菱形三十面體

1.貼附三角柱：

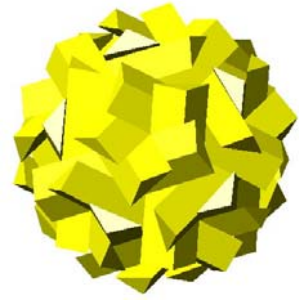
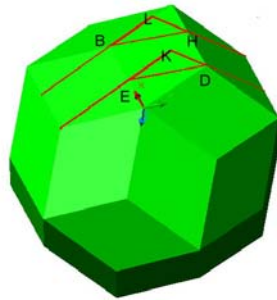
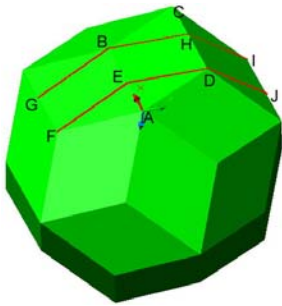


圖 19 設 X.Y 平面於菱形 ABCD 上，連 B 至 $\overline{CD}$ 上的垂直點，再連 D 至 $\overline{AB}$ 上垂直點。

圖 20 連 F、I 至 E、H 和連 B、D 至垂直點 G、J，延伸 $\overline{BG}$ 、 $\overline{EF}$ 、 $\overline{CI}$ 、 $\overline{DJ}$ 至相交，得 $\triangle BHL$ 及 $\triangle DEK$ 。

圖 21 擠出 $\triangle BHL$ 及 $\triangle DEK$ 得三角柱陣列，即成。

2.貼附圓柱：

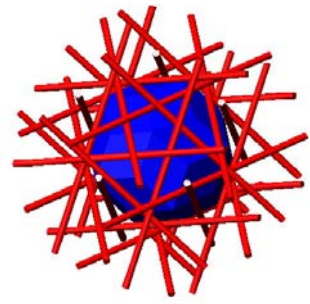
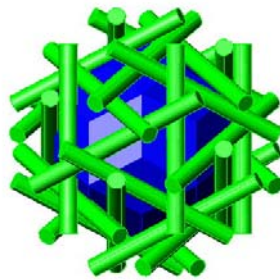
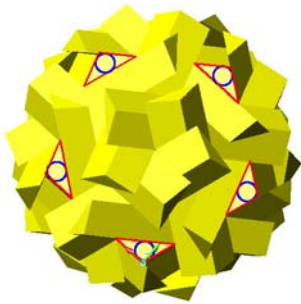


圖 22 在菱形三十面體貼附三角柱完成陣列後，在眾多三角柱中，任選其一，再選與其同平面的其他四個三角柱，設 X.Y 平面於三角柱的等腰三角形上，畫三角柱的內切圓。

圖 23 擠出圓柱後同步驟 5 陣列，並將三角柱刪除。

圖 24 同上步驟製作旋向相反的小圓柱，直徑為大圓柱直徑的一半。

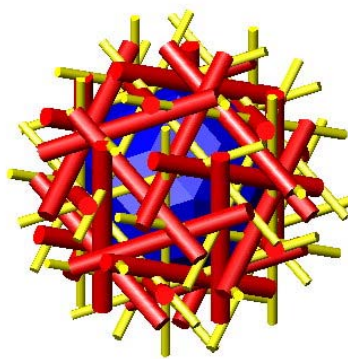


圖 25 成品。

3.貼附正方柱

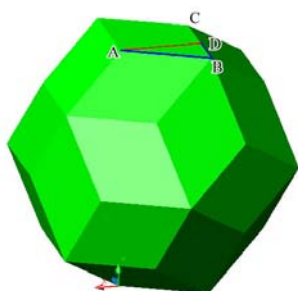


圖 26 連點 A 至 $\overline{BC}$ 上的垂直點 D，得菱形的高。

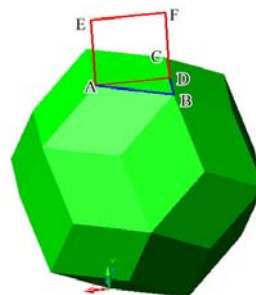


圖 27 以 $\overline{AD}$ 為長，畫一正方形 ADEF。

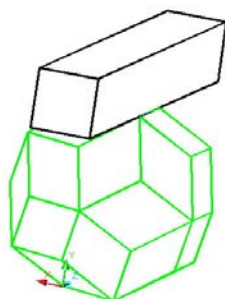


圖 28 擠出正方形 ADEF。

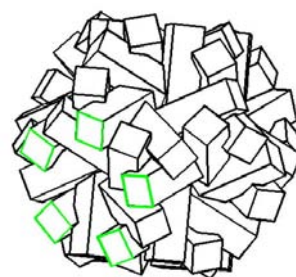


圖 29 陣列正方柱後即可得成品。

4.貼附六角柱

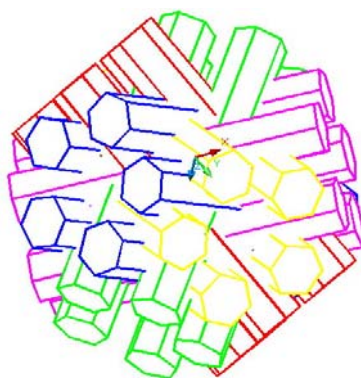


圖 30 六角柱的貼附和矩形柱完全相同

(三)天蠍星

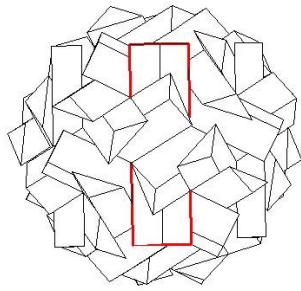


圖 31 打開貼滿三角柱的菱形三十面體

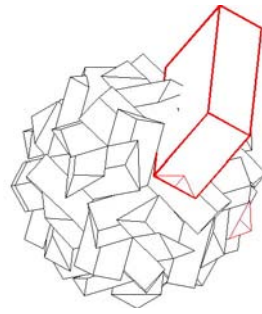


圖 32 任選一三角柱，以其底面之矩形擠出矩形柱

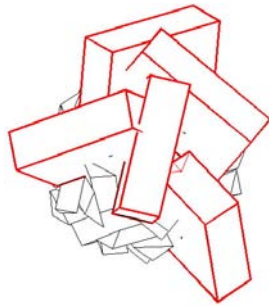


圖 33 陣列該矩形柱

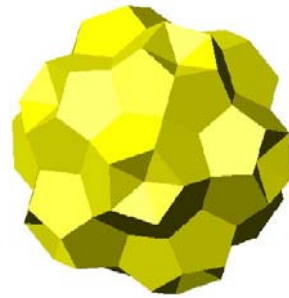


圖 34 陣列結束後與原圖形差集，即得到天蠍星

三、模具設計

在加工菱形三十面體矩形柱的部份，我們先用 AutoCAD 繪圖軟體繪製矩形柱的交集凹槽，並討論凹槽處是否有互相平行或哪些角度與長度上的不同差異，接著把加工時所需應用的尺寸標示出就完成了。同樣的方法亦適用於六角柱的貼附，經電腦模擬後，是可行的。

在貼附圓柱的部分，爲了避免單根圓柱多次加工鑽孔而產生的累積誤差，我們思考了：能不能一次固定全部的大小圓柱，一次加工鑽孔，將整體加工的概念帶入機械設計、機械加工中，如此是最簡單最能從根本解決累計誤差的方法。

從加工的原理來思考，加工面和刀具必須要垂直，並且再加工面對另一端也爲一平面，以便於工件的定位、加工。基於這些原因，我們用 Auto CAD 分析菱形十二面體和菱型三十面體的結構，並延伸發展出我們的模具。

(一)菱形十二面體貼附三角柱：

從圖形中我們發現，貼附三角柱的菱形十二面體剛好會有四組各有互不平行的三角柱，每一組三角柱由三根互相平行的三角柱組成(圖 35)。而每一根三角柱即是成品中的圓柱和圓孔(順、逆時針)，於是我們將每組三根互相平行的三角柱取其端面，連其頂點，成八個大正三角形。沿著這八個大正三角形切割(圖 36)，切割後成為一正八面體，再和大小圓柱組合切割後即為菱形十二面體貼附三角柱的模具(圖 37)。

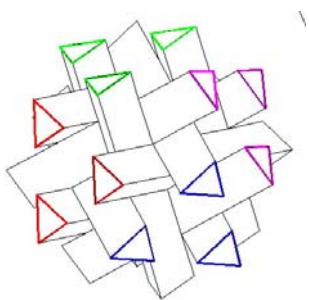


圖 35

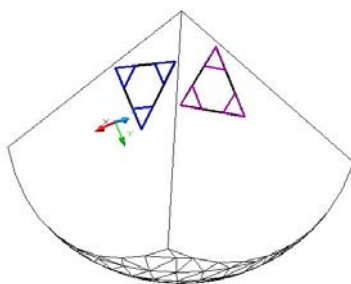


圖 36

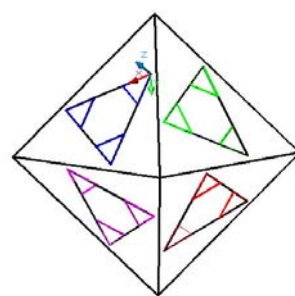


圖 37

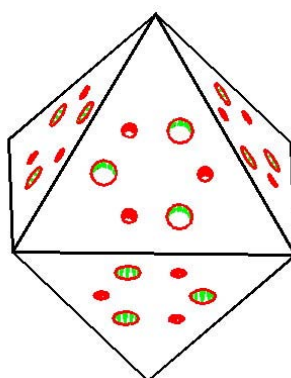


圖 38 菱形十二面體模具—正八面體

(二)菱形三十面體貼附三角柱：

觀察其圖形後，發現菱形三十面體和菱形十二面體有異曲同工之妙。其有六組互不平行的三角柱，每組則有五根互相平行的三角柱(圖 39)。而每一根三角柱即是成品中的圓柱和圓孔(順、逆時針)，於是我們將每組三根互相平行的三角柱取其端面，連其頂點，成十二個大正五邊形。沿著這六個大正五邊形切割(圖 40)，切割後成為一正十二面體(圖 41)，再和大小圓柱組合切割後即為菱形三十面體貼附三角柱的模具(圖 42)。

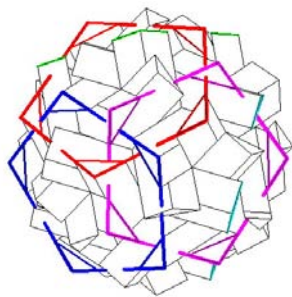


圖 39

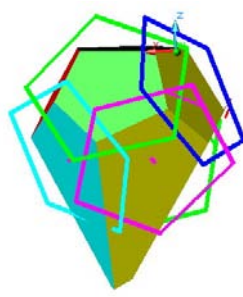


圖 40

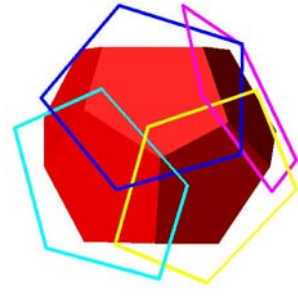


圖 41

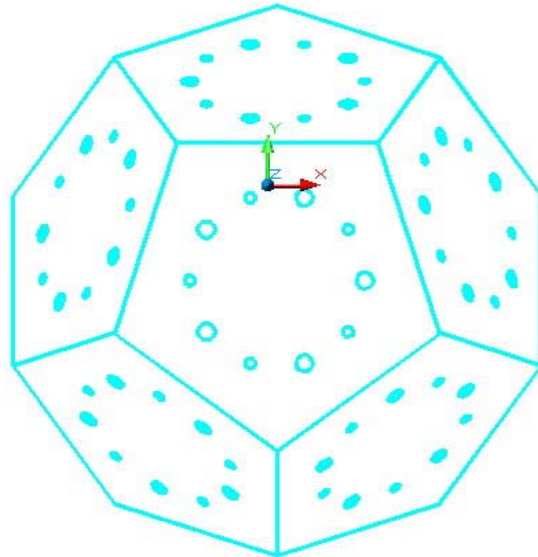


圖 42 菱形三十面體模具—正十二面體

四、實際機械加工

我們設計了菱形十二面體外貼三角柱、矩形柱、圓柱、六角柱，還有菱形三十面體外貼三角柱、矩形柱、圓柱、六角柱，及菱型三十面體交集切割後的模型。

在製作菱形十二面體外接三角柱過程中，我們用分度頭來固定要加工的物件，並且要確定切削物體與銑刀切割處的平行，測量時要非常準確、精密，任一小點的誤差都可能會影響往後組裝的成敗。在切割菱形十二面體的三角柱時，我們一開始使用的材料是圓柱，然後進行兩邊斜角的切割。我們從三角柱的長、高、深的計算中發現，用圓柱進行切割可以切成兩個三角柱，但是會過度的浪費一些材料，爲了減少材料的消耗率，我們改成用薄片進行三角柱切割，我們使用了跟三角柱差不多高的薄片進行切割，但怕饒性不夠，所以設計了一個專門用來固定三角柱的夾具，以節省往後在加工三角柱時所耗費的時間並加快加工程序的速度。



圖 43



圖 44

夾具的製作過程中，如圖示：



圖 45 正弦桿：先將所需使用的角度用正弦桿擺好，接著將壓克力板放在調整好角度的正弦桿



圖 46 角度規：用銑刀切割後為角度規

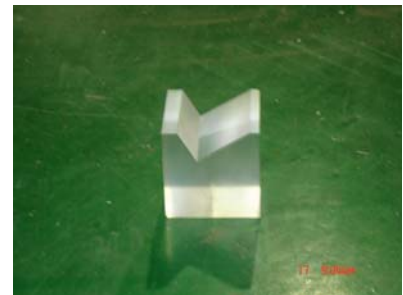


圖 47 V 型枕：將角度規作為底座，在將另一個壓克力板放在與角度規的平行斜面上用虎鉗固定，再進行銑割，夾具 V 型枕完成

我們使用 36° 的 V 型枕製作 108° 的菱形三十面體三角柱，並拿出之前用圓盤鋸(圖 40)切割好的長、寬、高的木材板厚，放在 V 型枕裡的 V 型凹槽，在切割之前必須檢驗中心位置的偏移，觀察銑刀是否能準確切割，並注意銑刀與虎鉗的距離不可太近。在切割三角柱時我們分成幾個步驟，一開始先將所有木材板塊的其中一面都粗銑過一遍，再來就開始切割我們所要的三角柱角度，之後就是將全部的三角柱都再一次的精密切割。過程中必須注意到在切割途中是否會有崩壞的可能。在每一次的切割完畢，或更換木板時，要特別清理虎鉗底座、V 型枕裡的 V 型凹槽，因為每一細小木屑或其他灰塵都可能會帶有 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 之間的小誤差，這可能會影響到後面切割完的結果。

切割完後進行組裝，以一個菱形三十面體的任一面作為基準，然後照著面的方向做接黏，便可完成。



圖 48 圓盤鋸

在加工菱形三十面體正方體柱的部份，我們先用 AutoCAD 繪圖軟體繪製正方體柱的交集凹槽，並討論凹槽處是否有互相平行或哪些角度與長度上的不同差異，接著把加工時所需應用的尺寸標示出就完成了。



圖 49 多軸鑽孔攻牙機：在生產貼附圓柱的菱形十二面體及菱形三十面體時，發現我們已經利用這兩種多面體貼附三角柱後，有四組三根及六組五根的共面關係，利用這點特性，恰好可以使用多軸鑽床攻牙機輔助，增加生產效率。

五、製作成本估算

在這次研究中，「製作成本」佔了極高的學術、商業價值，我們實地查訪中發現的傳統做法，也就是一根根木條下去鑽孔，其「製作過程」與「組裝」兩者的效率遠不及我們用模具的做法，首先我們估計菱形十二面體貼附圓柱後（市面上已經販售，但因成本過高，產量極少），兩種做法的成本差，在估計菱形三十面體（市面上還未販售）。

(一)成本估計：欲求傳統作法與改良作法的成本比例關係，假設鑽孔來回一次 x 塊錢

菱形十二面體，共 12 根圓柱，成品每根圓柱五個孔，若以傳統做法，無疑地必須鑽 (12 根 $\times$ 5 孔)次 $\times x$ 元 $=60x$ 元，而且誤差極大，粗製濫造，成品給人的印象不好，就賣不太出去；但以正八面體模具來做，一次孔鑽到底等於鑽五個洞，總共只需鑽(4 面 $\times$ 3 孔)次 $\times x$ 元 $=12x$ 元，後來又發展到使用多軸鑽床，一次鑽一個面，就只需鑽 4 面(次) $\times x$ 元 $=4x$ 元，在成本上就比傳統做法少了約 15 倍。

製作菱形三十面體，其複雜度又更甚於菱形十二面體，也因成本高的嚇人，導致市面上還無法供給，但我們的模具也給了它驚人的低成本。若依照市面上製作菱形十二面體貼附圓柱的方法製作，菱形三十面體，一根 8 孔，就必須鑽(30 根 $\times$ 8 孔)次 $\times x$ 元 $=240x$ 元，因誤差累積的特性，其誤差更高於菱形十二面體；改用正十二面體模具製作，只需鑽(6 面 $\times$ 5 鑽)次 $\times x$ 元 $=30x$ 元，再使用多孔鑽床，就只需鑽 6 面(次) $\times x$ 元 $=6x$ 元，成本上整整降低了約 40 倍。

(二)工作效率：

從成本估計中可以發現菱形十二面體，傳統做法一次只能鑽一個孔，但使用模具的做法一次可鑽(1 面 $\times$ 3 根 $\times$ 5 孔) $=15$ 孔，效率是 15 倍。若是菱形三十面體，使用模具一次可鑽(1 面 $\times$ 5 根 $\times$ 8 孔) $=40$ 孔，效率是 40 倍。

(三)組裝：

傳統方式，鑽完圓柱後老實地把東西組合起來，以菱形十二面體來說，經我們反覆練習，嘗試以最快速度組合完畢，費時 18 分 47 秒；但以模具來說，當鑽完孔把細圓柱插入，再將模具一片片拆開，即組合完畢，此方法我們也嘗試以最快速組合，費時 2 分 52 秒，組裝效率快 6 倍。

而菱形 30 面體因太過困難，勉強以 4 人共組的方式組合出來，費時 47 分 41 秒；以模具組合，只需一人費時 6 分 07 秒，組裝效率快了約 7.5 倍，勞力減少四分之一。

陸、研究結果

- 一、我們的成品是幾何模型。由正六面體加正八面體所形成的菱形十二面體，及正十二面體加正二十面體所組成的菱形三十面體。
- 二、將菱形十二面體、菱形三十面體每個面貼附所能之最大三角柱(即不互相干涉)後，可得順、逆時針兩種旋向(即左、右螺旋)，是我們的第一項成品。
- 三、組合菱形十二面體、菱形三十面體大小相異的左、右螺旋圓柱後，發現大小圓柱互相牽制、定位。若拆開後再組裝極需要立體觀念思考，即我們的第二項成品，是益智遊戲也為藝術品。

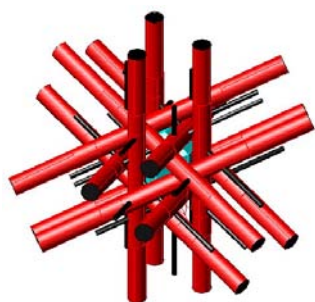


圖 50 菱形十二面體大小圓柱相接

- 四、續研究結果二，切割菱形三十面體的三角柱後可得一嶄新、規則狀之立體，即我們的第三項藝術成品。

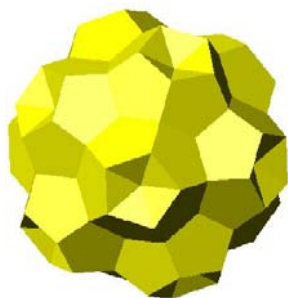


圖 51 天蠍星

- 五、續研究結果三，從貼附大小圓柱後的菱形十二面體可發現有四組平行的圓柱，每組有三根圓柱，且三根圓柱的圓為共面。將其切割後可得一正八面體，與大小圓柱差集後可得大小圓孔，即我們所求的模具。

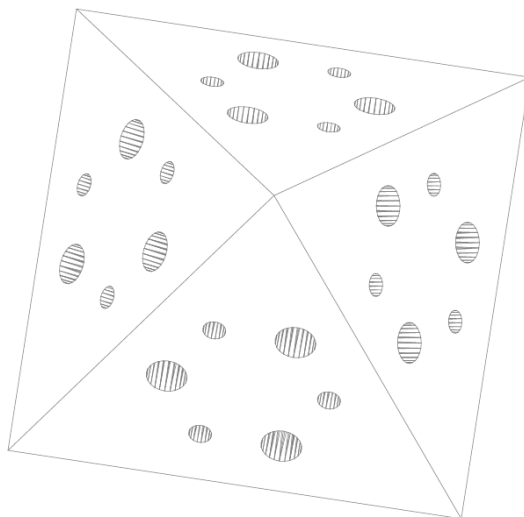


圖 52 菱形十二面體模具(電腦模擬)

六、續研究結果三，從貼附大小圓柱後的菱形三十面體可發現有六組平行的圓柱，每組有五根圓柱，且五根圓柱的圓為共面。將其切割後可得一正十二面體，與大小圓柱差集後可得大小圓孔，即我們所求的模具。

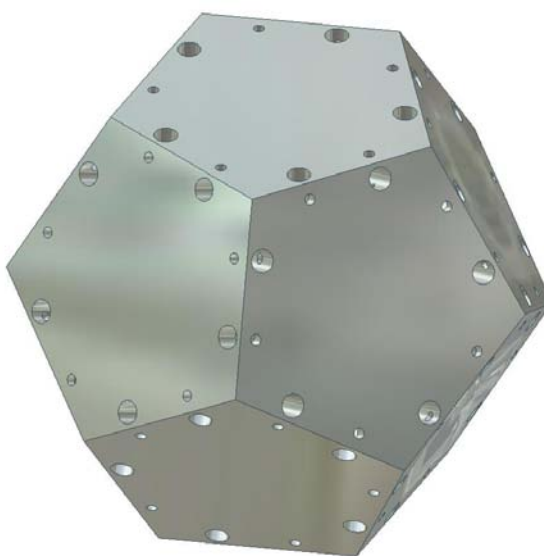


圖 53 菱形三十面體模具(電腦模擬)

七、菱形十二面體及菱形三十面體貼附矩形柱、六角柱成功，為我們第四、五項藝術成品。

柒、討論

- 一、 如何藉由觀察立體模型中找出正多面體的二面夾角角度？

先鎖定要尋找的兩個面，將鎖定那兩個面剖面，接著在尋找圖形之間的關係，然後再利用三角函數計算，便可知道二面角度。

- 二、 在製作紙模型時，要考慮到黏接在菱形三十面體上面的三角柱的相交角度，以及三角柱內嵌的圓的直徑。

三角柱的相交角度可由二面角得知；而內嵌圓的直徑則是可從三角柱端面作一三點與端面相切的圓。

- 三、 將菱形十二面體和菱形三十面體外圍貼附的三角柱或圓柱嘗試將其柱長延伸後，是否可以在外圍所產生的空隙再插入一組三角柱或圓柱呢？

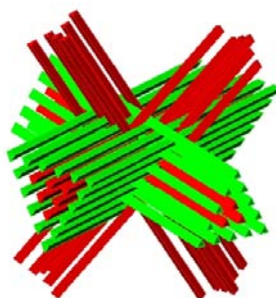


圖 54 菱形十二面體的三角柱延伸，發現其對稱，可以擴張模型。菱形三十面體相接的三角柱，其延伸後沒有完全對稱，故無法用三角柱擴張。把三角柱改成圓柱後，就可以擴大。



圖 55 菱形三十面體圓柱

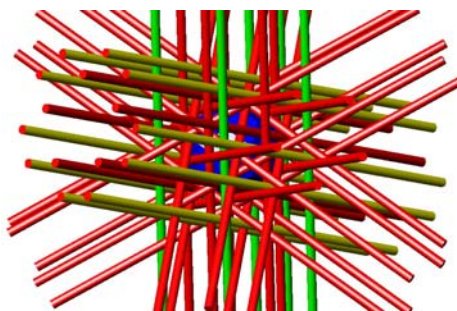


圖 56 菱形三十面體圓柱延伸、圓柱擴增一層

四、 菱形三十面體的大小圓柱，是否恰為順時針與逆時針的關係呢？

是，因為順時針加逆時針的圓柱剛好變成一個可以組裝的益智模型。

五、 討論所要鑽孔的實體的邊或面，並思考如何讓鑽孔的實體再鑽孔的過程中不易脫落，而能準確固定。

設計恰當的夾具。但是經過我們多次的實際試驗，發現夾具並沒有辦法做到萬全的精準，所以我們設計了另一款模具作代替

六、 查詢菱形三十面體插滿圓柱後的孔與孔之間的距離與總長，及孔與孔之間是否在中點位置。

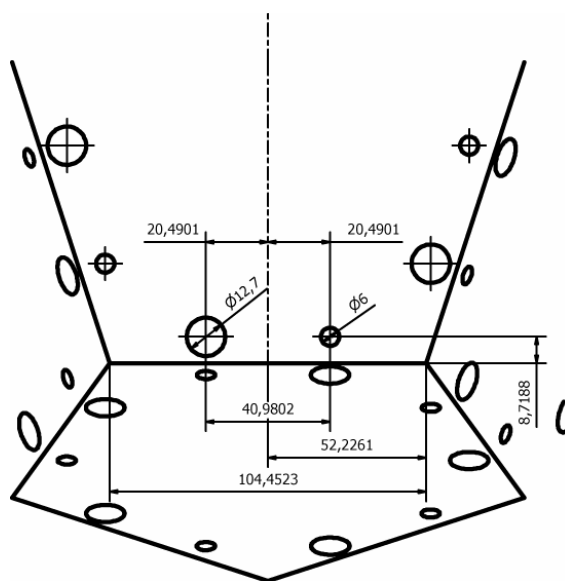


圖 57 經過小數 4 位的測量後，是在中點。

七、 討論切割後的紙雕三角柱的展開面是平行還是梯形，及如何製作。

在繪圖軟體中，把切割後的菱形三十面體的其中一個三角柱取出，發現是個平行的三角柱，接著將三角柱展開，列印出來後進行製作。在製作的過程中必須將三角柱的前端與三角柱的邊長對齊才正確。

八、 如何正確地利用正弦桿，將壓克力板作成 30° 的角度規？

先製作一塊規，塊規高度以三角函數計算出來。

九、 如何將壓克力板放置在角度規上固定，以正確的進行切割。

只要確定定位角度規的正弦桿量度正確，再將角度規及壓克力板夾具以墊片適當的夾持，最重要的是銑削夾具時的方向應該是低轉速逆銑，把握上述原則，即可確定以壓克力板為夾具其精準度可信賴。

十、 為何每次切割完成後，都要清理一次虎鉗夾及 V 型枕的部位。

切削過後的碎屑會因靜電而黏在虎鉗、工件上，若不將其清理乾淨，則會影響到切削過後的精度。

十一、 怎麼避免切割到一半時物件崩裂？

測試進刀方向以及進刀的轉速是否適當，經實作發現，木材的紋理會產生程度不一的崩裂，需特別注意其進刀方向。

十二、 如何加工三角柱才不會使木製三角柱有毛邊？

在三角柱後放一塊木板，切削時連後面木板一起，則毛邊會在後面的木板。

十三、 為何製作完一零件時必須先檢查是否正確？

先確定加工後的零件正確後，再大量加工生產，如此以降低風險。

捌、結論

我們研究的題目是「球中智慧，智慧之球」，是以柏拉圖多面體為中心，向外延伸思考，組合正六面體和正八面體的菱形十二面體，以及組合正十二面體和正二十面體的菱形三十面體為架構製作成的益智遊戲及藝術品。

其實在市面上已經可以看見菱形十二面體的產品，不過實際訪查發現，其製作流程毫無效率，成品也不再乎其接合的精密度。所以，我們針對這些缺點設計出模具，不再是以往那種一根一根鑽孔，而是設法減少鑽孔的次數，帶入整體加工的概念，更進一步的要求精準以及生產速率。製作完菱形十二面體的產品後，再挑戰更複雜的菱形三十面體，一樣使用整體加工的觀念設計出專屬的模具，便輕鬆的完成作品。

在切割貼附三角柱的菱形三十面體後得到的立體中，我們發現它也是具有多面體規律變化的美感，規律又不像菱形三十面體呆滯，於是我們嘗試用機械加工將它作出來，由於是從原本三角柱複斜切削，所以我們也製作了專屬的 V 型夾具，成功切削出複斜三角柱後，貼附到菱形三十面體便是我們的第二項藝術成品了。

在這次的研究中，對於機械製造最大的獲益是將整體加工的概念引進機械設計和機械加工中，確實降低單工件多次加工所產生的累積誤差，並且有效的降低工時成本，以便商業發展時得以增加利潤。

玖、參考資料

1. 梁子傑（民 94）。**幾何原本導讀**。臺北市：九章。
2. 歐幾里得，藍紀正、朱恩寬譯（民 81）。**幾何原本**。臺北市：九章。
3. 李維華、陳永昌（民 94）。**電腦輔助製圖 2005**。全華科技圖書。
4. 林英明、林昂（民 95）。**機械製造 I**。全華科技圖書（四版）。
5. 林英明、林昂（民 95）。**機械製造 II**。全華科技圖書（四版）。
6. 平斯（無日期）。**柏拉圖的地面數學傳播** 22 卷 4 期。民 87 年 12 月，取自：
http://www.math.sinica.edu.tw/math_media/d224/22413.pdf
7. **國立台灣科學教育館歷屆作品說明書，方圓之間－方體內的正多面體造形設計與加工**（無日期）。台北縣：國立台灣科學教育館。民 95，取自：
<http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/technical/0909/090904.pdf>
8. **多面體**（無日期）。維基百科全書。民 96，取自：
[http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E5%A4%9A%E9%9D%A2%E4%BD%93&variant=zh-t
w](http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E5%A4%9A%E9%9D%A2%E4%BD%93&variant=zh-tw)
9. **多軸式鑽孔攻牙機**（無日期）。成發工業股份有限公司。民 96，取自：
<http://www.chenfwa.com.tw/chinese/05-d6-165.htm>

【評 語】

090903 球中智慧，智慧之球

1. 充份運用多面體原理與電腦輔助機械設計工具完成菱形多面體與
模具設計
2. 善用多面體模具，有效節省加工組裝模型時間。
3. 使用各式夾具，有效降低加工時間。
4. 精度應可再提昇並解木材加工問題。