

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生活與應用科學科

040809

保護管術－從不斷水筆套到美工刀安全裝置

學校名稱：新北市立新店高級中學

作者： 高一 蔡瀚興	指導老師： 黃玉鷹 黃信彰
---------------	---------------------

關鍵詞：3D 列印、槓桿原理、Sketchup 軟體

摘要

一開始，我們從文獻查找原子筆及水性筆斷水的原因，希望能提出有效的解決方案；經蒐集資料分析後，發現斷水原因皆與筆頭受外力撞擊有關，故我們的研究興趣很快就調整為，設計一組能有效避免筆頭受到衝擊的保護裝置。

過程中考量到，「單純的問題應採用單純的方法解決」，經過幾次預作實驗及討論，我們即決定應用學校現有的單噴頭 3D 印表機及 Sketchup 軟體，以較直覺的槓桿原理設計，製作外掛式的側壓型筆蓋。

後再經幾位老師提點，發現我們能將原有筆套，延伸為多種文具的保護裝置，譬如美工刀。美工刀具危險性，卻又是常用文具，若能加裝於美工刀而降低因使用不當傷人或自傷的機率，對人類的日常生活應頗有助益！

壹、研究動機

我們平常上課做筆記、回家寫作業都有個共同的困擾，那就是經常無法將一隻筆完全用到沒水。新買不久的水性筆，總會有時筆蓋忘了蓋上，一不注意將筆摔了；或著轉筆轉一轉，脫手將筆甩到地上，類似的生活經驗不勝枚舉。我們都知道，水性筆一經地面撞擊斷水的機率相當高，斷水的筆芯沒有其他用途只能丟棄，我們也只能替換新的筆芯，十分浪費資源。

而我們只能將一支支斷水的筆芯送進垃圾桶嗎？有沒有可行的方法，讓筆不再重蹈斷水的命運，將筆水用的徹底？若能透過研究筆斷水的機制，找到有效的因應方案，相信一定能為人類生活帶來些許的幫助。

貳、研究目的

我們希望能提出有效降低筆芯斷水機率的方法或裝置，更甚者，我們希望這個裝置能加裝於多種規格的水性筆甚至其他質性不同的文具，如美工刀或剪刀。美工刀或剪刀十分銳利卻又是日常文具，許多人幼稚園時學摺紙就開始使用上述器具了，這些文具即使操作正確，仍有潛在傷人或自傷的危機，不可不慎。若我們能將一開始發想的筆芯保護裝置延伸為危險文具保護裝置，豈不更加有貢獻呢？

參、研究設備及器材

單噴頭 3D 印表機一台、桌上型電腦一組搭配 Sketchup 軟體、複式光學顯微鏡、三菱 0.38 中性筆、紙黏土、磅秤。

肆、研究過程或方法

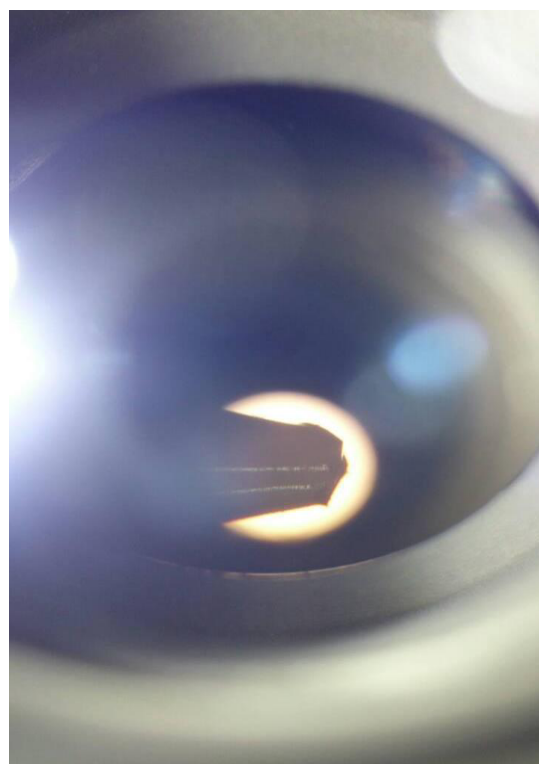
為了提出有效的解決方案，我們要分成幾個方向進行研究：

一、蒐集資料並分析，找出水性筆斷水的主要原因。

我們經過網路資料查找及分析，發現筆芯斷水的主要原因大致分為幾類。一是筆尖直接受到外力撞擊產生凹陷或變形，此時鋼珠不再滑動，無法帶動筆尖出水。再者，是墨水中出現間隙，主要也是因為筆尖受到外力撞擊，鋼珠向後退縮產生縫隙、空氣滲入於墨水中形成斷層，鋼珠復歸原位後，斷層空氣壓力阻止上方墨水下降，筆自然也會斷水。當然也有因製程不良造成筆尖容易滲入空氣、或者個人使用習慣造成的其他斷水情事，但那些應屬少數。綜合以上作出結論，我們知道造成筆芯斷水的主要原因與筆尖受到外力撞擊有莫大關係。



【圖 1-1】正常筆尖、滾珠渾圓可滑動



【圖 1-2】斷水後滾珠變形凹陷

【圖 1-1~2】分別為正常及斷水之三菱 0.38 中性筆在複式光學顯微鏡下觀察的結果(目鏡 10x、物鏡 4x)。我們先準備好斷水及正常的中性筆各一支，將筆芯從筆管取出，觀察時利用膠帶固定住筆芯於載物臺上，插上電源調整光圈亮度，再調整目鏡間距與焦距調節輪，觀察斷水筆芯和正常筆芯之差異。我們可以在【圖 1-1】清楚看見筆尖滾珠的半球輪廓，是直徑約 0.1 公分的「小鋼珠」；【圖 1-2】則顯示筆在掉落過程中筆尖朝地，受撞擊後，包圍鋼珠的銀灰色金屬圓筒前端會受力變形，鋼珠也隨之

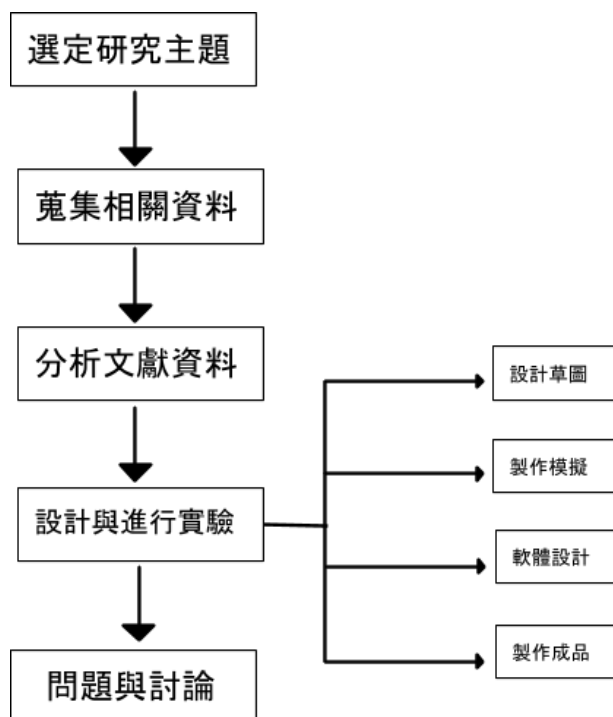
凹陷。根據上述情形，我們聽聞的解決方式是將筆芯放到熱水裡浸泡，或是拿打火機燒一燒筆尖，但上述方法使筆芯回復正常的機率很低，而且也不科學。

有另一種特殊的斷水因素，是有些人寫字時，習慣將筆尖朝上(例如靠在牆上或躺在床上寫字)，此時若鋼珠附近油墨用完後，後端的油墨將因重力限制無法補充，此時持續施力書寫，容易使外界的空氣從筆尖縫隙進入筆管，造成斷水現象。若發生上述情況，我們可以將筆尖垂直向下，使油墨受到向下的重力作用(有時可以甩一甩筆)，並在紙上來回劃記，藉由摩擦滾動鋼珠以及油墨的壓力，就可以順利將筆管內的空氣擠出，恢復書寫功能。

原子筆的工作原理是筆芯在大氣壓力和油墨受重力的雙重作用之下，油墨自筆芯管流向筆尖並黏附在小鋼珠上。書寫時，黏附在小鋼珠上的油墨隨著球珠在書寫面上滾動而粘附在紙上。我們所觀察的 uni-Signo 三菱 0.38 中性筆，小鋼珠為碳化鎢(鎢鋼)滾珠。

二、確定筆芯斷水的主因後，尋思數種能有效預防斷水的機制或辦法。

為了提出好的解決方案，我們構思出多種設計圖，運用基本的物理原理，依據科學方法的研究流程【圖 2】，並代入生活中常見的環境進行實驗，比較各種方法孰優孰劣。以下為幾種與握筆姿勢及書寫有關的物理原理：



【圖 2】設計防斷水裝置的研究流程圖

(一)槓桿原理

生活中經常運用到槓桿原理，像我們如果要讓手指上的吸管達到平衡【圖 3-1】，就必須先找到吸管的支點，讓支點兩邊產生的力矩達到平衡；或我們每天吃飯時都會使用到的筷子【圖 3-2】，須設定支點並於合適的距離施力產生力矩，才能順利將食物夾起。



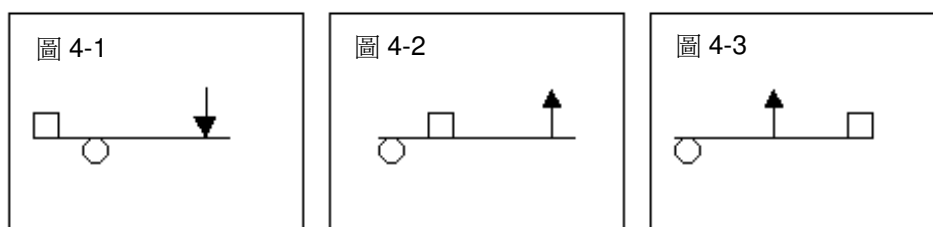
【圖 3-1】利用手指做支點平衡吸管



【圖 3-2】使用筷子的手勢示意圖

【圖 4】則解釋了轉動平衡時，支點、施力點與抗力點的關聯，平時寫字的握筆方式不會從側邊特別施加壓力，而側壓式筆套需要施比平時握筆還大的力，故我們必須特別考慮加裝筆套時寫字的省力情形。

註：【圖 4】中，方形代表抗力點、圓形代表支持點、箭頭代表施力點



【圖 4-1】：第一種槓桿(如：剪刀、釘鎚、拔釘器)。此槓桿可能省力(費時)可能費力(省時)，也可能既不省力也不費力。施力點離支點愈遠，則愈省力，愈近就愈費力；如果抗力點、力點距離支點一樣遠，就不省力也不費力，只是改變了「施力的方向」。

【圖 4-2】：第二種槓桿(如：開瓶器、榨汁器、胡桃鉗)。此槓桿的施力點比抗力點到支點的距離大，所以必省力但費時。

【圖 4-3】：第三種槓桿(如：鑷子、烤肉夾子、筷子)。此槓桿的施力點比抗力點到支點的距離小，所以必費力但省時。

(二)握筆姿勢

經過查找網站及書籍，我們找到一個網站，專門分析人們握筆姿勢的正確方法，

【圖 5-1~2】分別表示人們常見不正確及正確的握筆姿勢，雖然每個人都有自己習慣的握筆方式，書寫過程也因人而異，我們還是依據「正確」的握筆姿勢進行模擬。



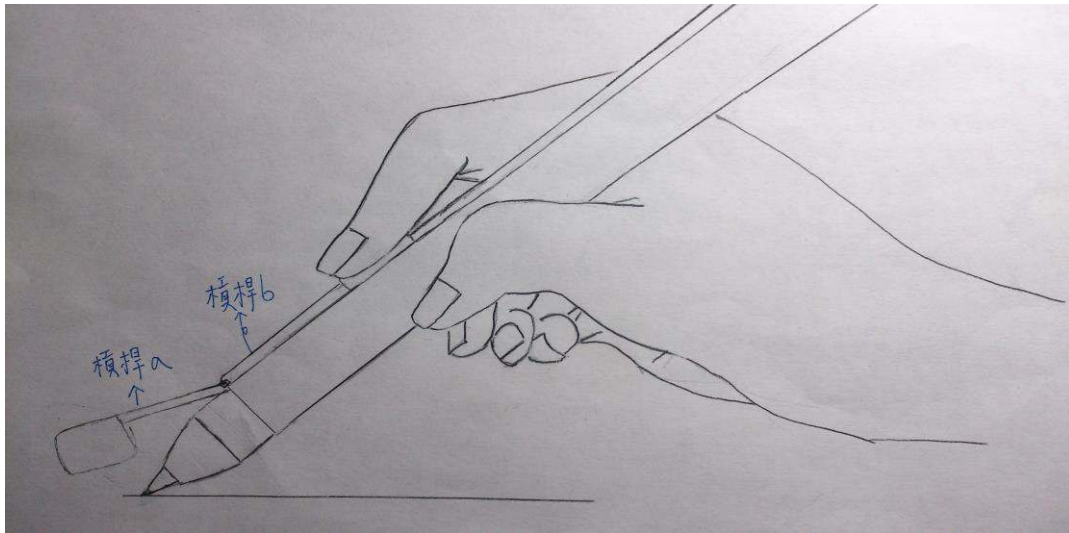
【圖 5-1】：不正確的姿勢，食指分成三截，接觸面積小、施力槓桿短，寫字較費力。



【圖 5-2】：正確的握筆姿勢，食指分成兩截，接觸面積大、施力槓桿長，寫字較省力。

(三)彈力位能：

外力施加於彈簧裝置，施予的力量可以轉換為彈力位能儲存起來，本次設計的筆蓋保護裝置概念如【圖 6】所示，未受力時筆套覆蓋筆尖，當手施力於槓桿 b 上端，壓力可以暫時轉換成彈力位能儲存起來，造成筆蓋翹起；手一鬆開，儲存的彈力位能釋放，恢復為未施力的狀態，筆套回彈套住筆尖，便能有效預防斷水。



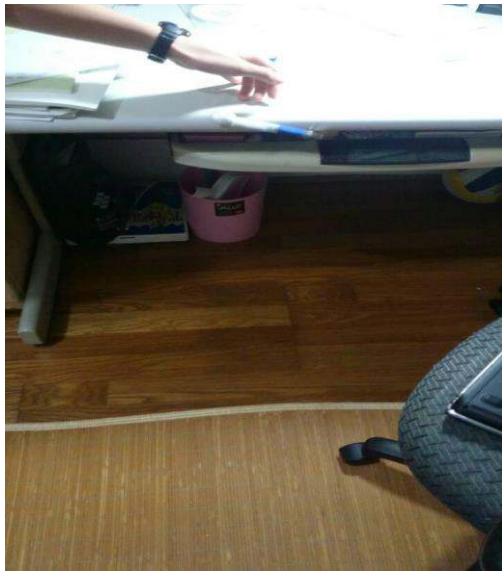
【圖 6】：筆套的設計概念，利用彈力裝置及槓桿原理，裝置未受力時筆蓋套住筆尖，施力時筆蓋翹起、筆尖露出可以書寫，不慎掉落時因施力消失，筆套可迅速覆蓋筆尖預防斷水。

前置作業完成後，我們先想到透過加裝重物，改變結構重心的方法，以降低筆斷水的機率。市面上可以看到各式各樣的造型筆，我們決定以大眾共通的三菱 0.38 中性筆為研究對象，如此得到的結果才較具普遍性。主要透過外加重量改變筆的重心結構，觀察筆落地時可否減少筆尖落地的頻率或撞擊力，至於如何測定？當然是直接書寫確認斷水於否最為直接。而又需外加多少重量，才能有效降低斷水機率呢？

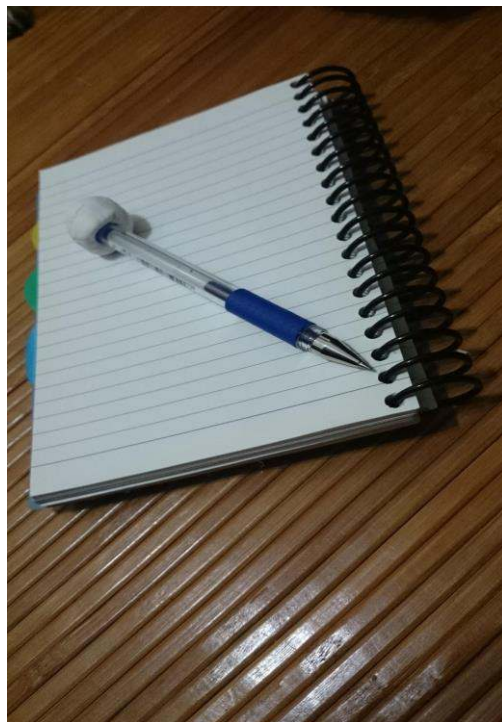
首先我們先測量筆原始重量(不含筆蓋)與外加的紙黏土重量，將秤重的紙黏土固定在筆頭，從桌子邊緣將筆推下如【圖 7】所示。之後再將筆拾起並於白紙上書寫確認斷水與否如【圖 8】，看是否有些微斷水或完全斷水的情況。書寫完全正常以「○」劃記、些微斷水為「△」、完全斷水則為「x」。重複上述實驗十次，觀察並記錄之。之後再依次減少紙黏土重量各 1g(從 15~10g)，重複以上實驗得到【表 1】。

外加重量(g)	於木質地面掉落次數(次)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15g	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
14g	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13g	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12g	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11g	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△
10g	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△

【表 1】外加紙黏土後於木質地面的掉落測試，顯示只有少數實驗造成部分斷水，其他則完全正常；不外加重量的情況下，則是較早出現些微斷水的狀況，要完全斷水，需要額外施力摔筆才會發生。註：書寫完全正常以「○」劃記、些微斷水為「△」、完全斷水則為「x」



【圖 7】將裝有重物的筆置於桌邊，再用手將筆輕輕撥下



【圖 8】筆摔落後將筆拾起書寫確認斷水情形

我們發現實驗結果與生活經驗差異甚大，原因應出自地板材質。

教室的地板材質多是水泥地面，為硬度高之地質。承先前實驗我們觀察筆尖，筆所受到的撞擊力是否也因不同的材質而有影響呢？於是我們將實驗環境切換至教室，在放學時進行實驗。我們將實驗場合簡單分為學校教室的「水泥地板」與大多數家裡的「實木地板」。兩者的筆尖受力情況則用硬度進一步解釋。

硬度一般是指礦物的「抵抗磨損」能力，通常利用摩氏(莫氏)硬度表示。鑑定礦物的硬度時，只要將兩種礦物相互摩擦，有刮痕的礦石代表其硬度較小。以摩氏硬

度標準比較。水泥地硬度極高，為 7~8。混凝土的硬度高、堅固耐用、原料來源廣泛、製作方法簡單、成本低廉、可塑性強、適用於各種自然環境，是世界上使用量最大的人工土木工程材料；與其對比，三菱中性筆的碳化鎢滾珠硬度約為 8.5~9。

木材若以摩氏硬度標準表示，硬度大約為 2。而木材的硬度測定方法與摩氏硬度法略有不同，是將鋼球壓入木材表面，使其發生凹痕，此稱為壓迫硬度。分為：1. 勃林納硬度：將一定直徑的鋼球，以一定壓力壓入切削或平滑的木材表面使其產生凹痕，再將其荷重除以凹痕表面積所得的值為表示其硬度。2. 美爾硬度：與上者相同，唯是以凹痕投影面積代表凹痕表面積，即以荷重除以凹痕投影面積之值來表示。

簡而言之，兩者的硬度資料因實驗方式不同，我們僅能約略做為參考。其中小鋼珠的硬度竟高於水泥地面，可知我們於圖 1 觀察到，筆尖是以包圍鋼珠的銀灰色金屬圓筒前端變形，鋼珠凹陷，無法帶動滾珠滾動的斷水為主要因素，而非鋼珠本身變形。

外加重量(g)	於水泥地面掉落次數(次)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15g	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
14g	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13g	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△
12g	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△
11g	○	○	○	△	△	△	X			
10g	△	△	△	X						

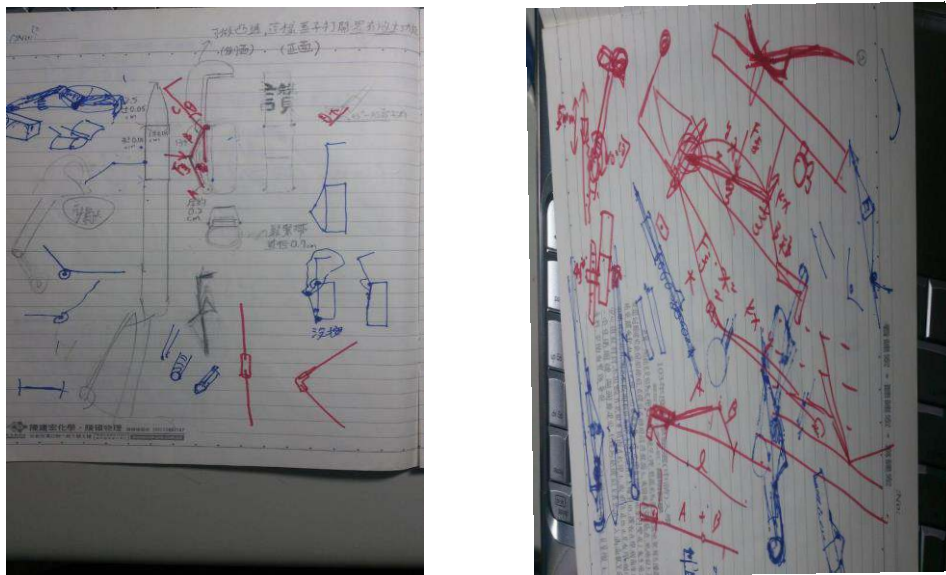
【表 2】外加紙黏土後於水泥地面的掉落測試，顯示只有外加重量大於 14g 時，才能有效避免斷水發生；不外加重量的情況下，則是 1~2 次水性筆即完全斷水。註：摔落後無斷水情況以 ○ 標註，些微斷水為 △，完全斷水為 x。

水泥地面的掉落實驗結果如【表 2】，結果如我們預期，因為鋼珠及鋼珠周邊材質的硬度大於木頭，且木質富有彈性容易形變，中性筆摔落在木質地板時，產生的衝擊能量比較容易分散，筆尖受力少硬度又高，自然不容易斷水。而一般學校的水泥材質地板，因為硬度大過鋼珠周邊材質，加上本身結構缺少彈性，筆落下產生的能量傳遞效果變差，多數反作用力由接觸地面的筆尖吸收，所以容易造成鋼珠周邊形變而斷水。

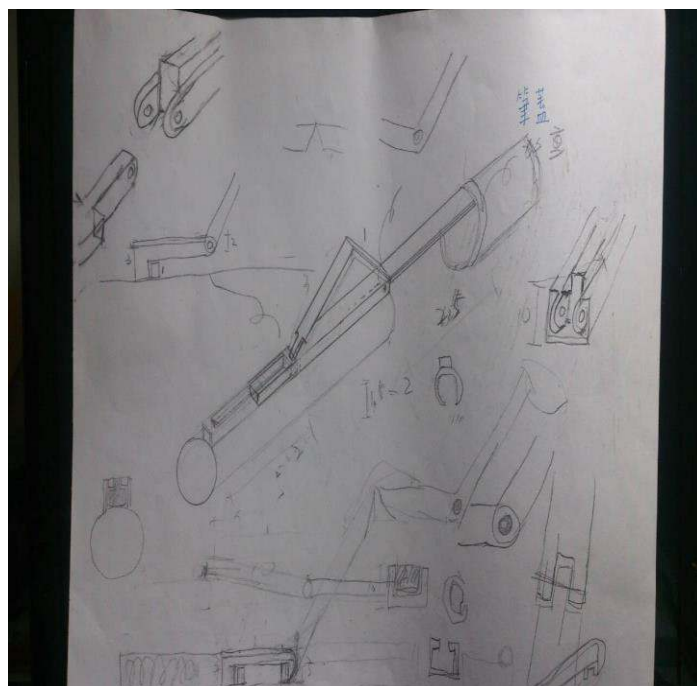
經過上述實驗，我們發現 1 支才約 10g 重量的筆，需要加裝 14g 以上的重量於筆頭才能有效改變筆的重心，於掉落時將接觸點由筆尖移至另一端，這樣的方法想必是很不經濟、也不符人體工學的，就有點像國中時女孩子喜歡的大型筆用吊飾，漂亮

歸漂亮，但卻讓寫字變得費力，有時甚至會改變習慣的握筆姿勢，實在得不償失。這時我們才想要從頭來過，開始設計專屬的保護裝置，分別產生紙本的初稿及複稿，希望能透過學校現有的 3D 印表機直接產生我們理想的保護裝置。

初期的裝置設計，是以齒輪與輪軸為主，配合接點的設計來構想筆套，如【圖 9】所示。後因學校現有 3D 印表機規格限制，無法列印太小而精緻的齒輪配件而作罷，且原始裝置的設計原理與前人的科展作品有些近似；經與指導老師討論，我們一致認為，「簡單的問題應該用簡單的方法解決」，所以決定以更貼近握筆原理的槓桿裝置取代齒輪，再加以修改設計，如【圖 10】所示，成為筆套設計之初稿。



【圖 9】初期以齒輪及輪軸設計為初步構想，後考量現有 3D 印表機限制而作罷。



【圖 10】後改以彈簧及槓桿裝置設計之筆套原稿，放大接合點以利 3D 列印製圖及製作。

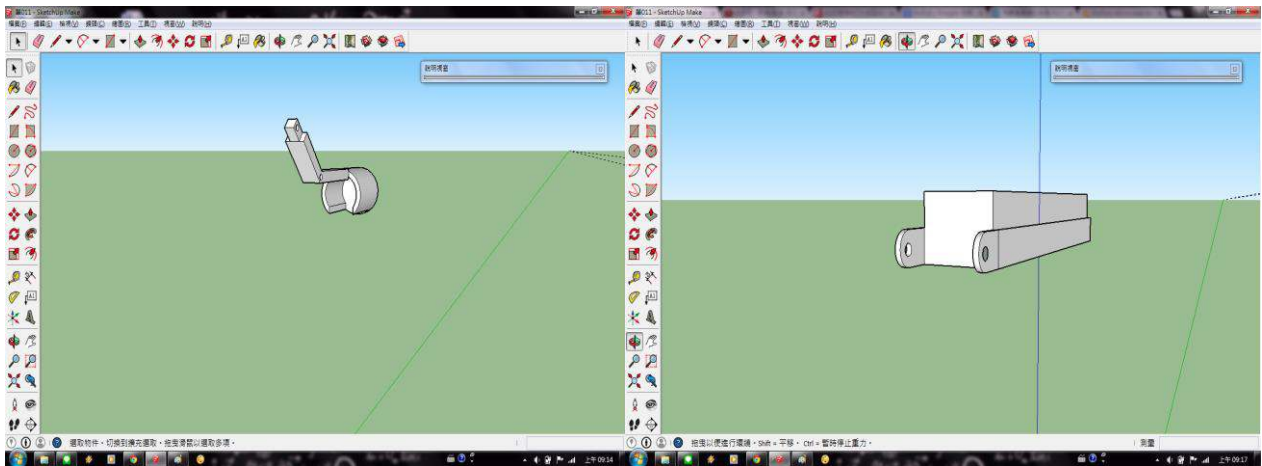
紙本設計圖面產生，要進入軟體設計跟作品輸出前，老師提醒我們要先進行模擬試作，所以我們先用鐵絲為材料，鐵絲可撓曲，方便我們模擬製作樣品，成品如【圖 11】所示。確認有支點的情況下，相似比例的物件的確可以輕易的開闔，此時我們才能放心進入下一階段的工作。



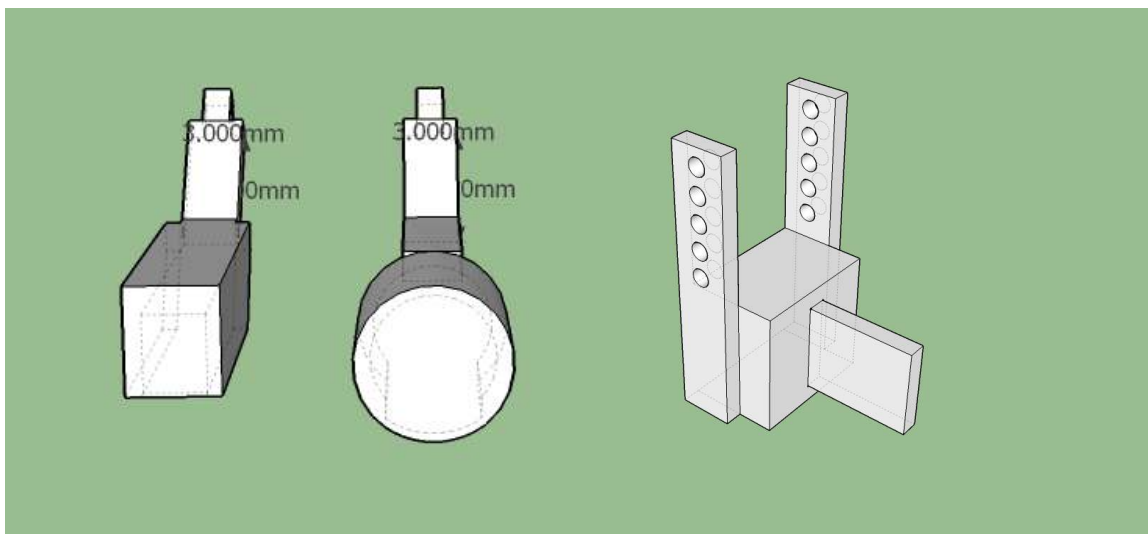
【圖 11】以鐵絲為材料，製作模型類似裝置的骨架，簡單模擬筆蓋的結構。

上述工作確認後，我們開始學習 3D 印表軟體的實地操作，3D 列印因為具快速成型(RP, Rapid Prototyping)的功能，新聞界稱之為新一波工業革命。操作原理相當簡單，將色帶固定於噴嘴、工作時噴嘴加熱使色帶於噴頭融化，於基底噴出後冷卻硬化、最後固定，形成作品的單層；最後層層堆疊，就能達到立體三維形狀的效果。噴頭工作時往 X、Y、Z 軸三個獨立方向運作，就是目前 3D 印表機的基礎原理。

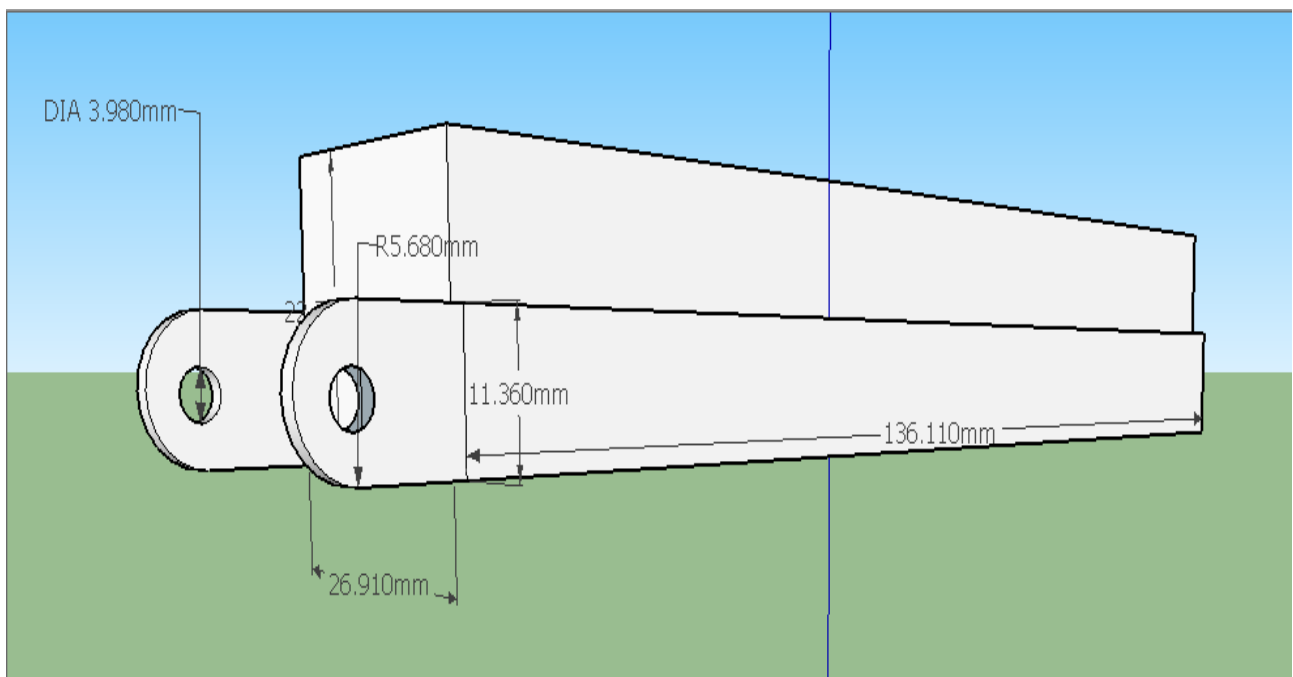
可運用的設計軟體相當多，我們選擇的 Sketchup 軟體原因之一，是因為它是免費的，再者是因為操作介面較為簡單，適合初學者出門學習。我們將設計圖繪製好後【圖 12-1~4】，再以 3D 印表機列印出成品，一般 3D 印表機適用的色帶材質是 FDM(熔融沉積成型)，但過程中會釋放較多有毒氣體，於是我們採用製作過程中較為安全的 PLA(聚乳酸)。



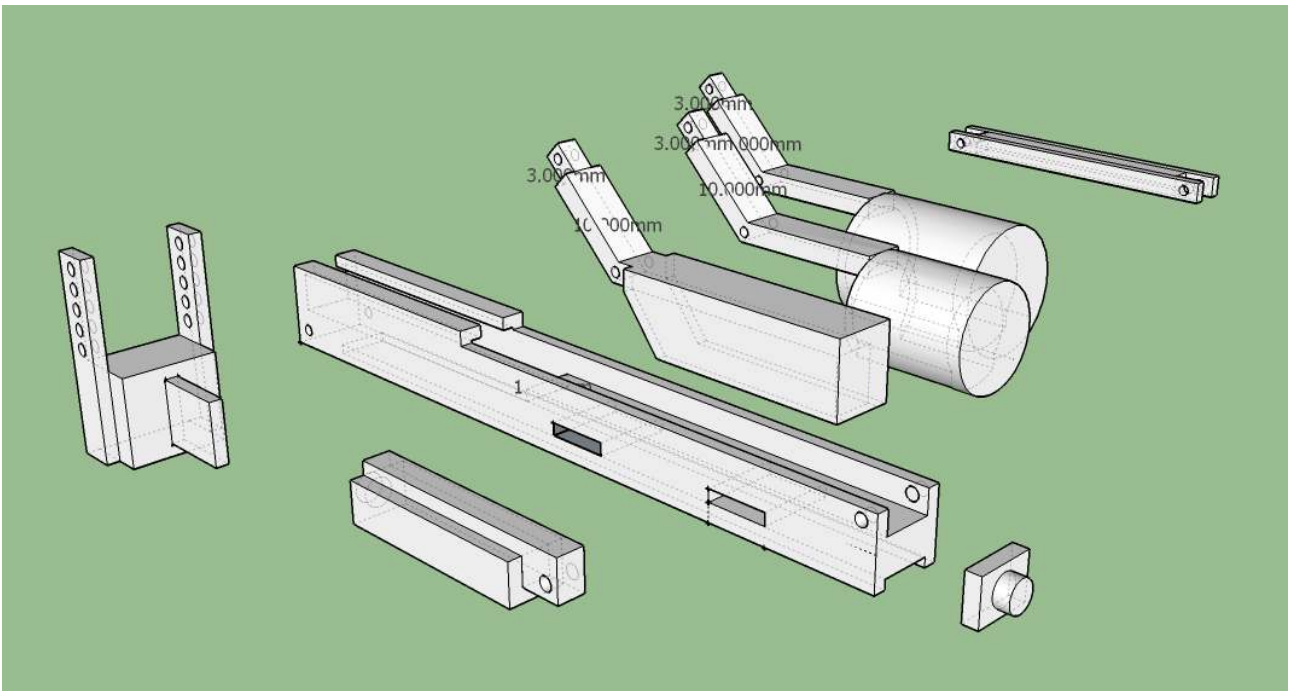
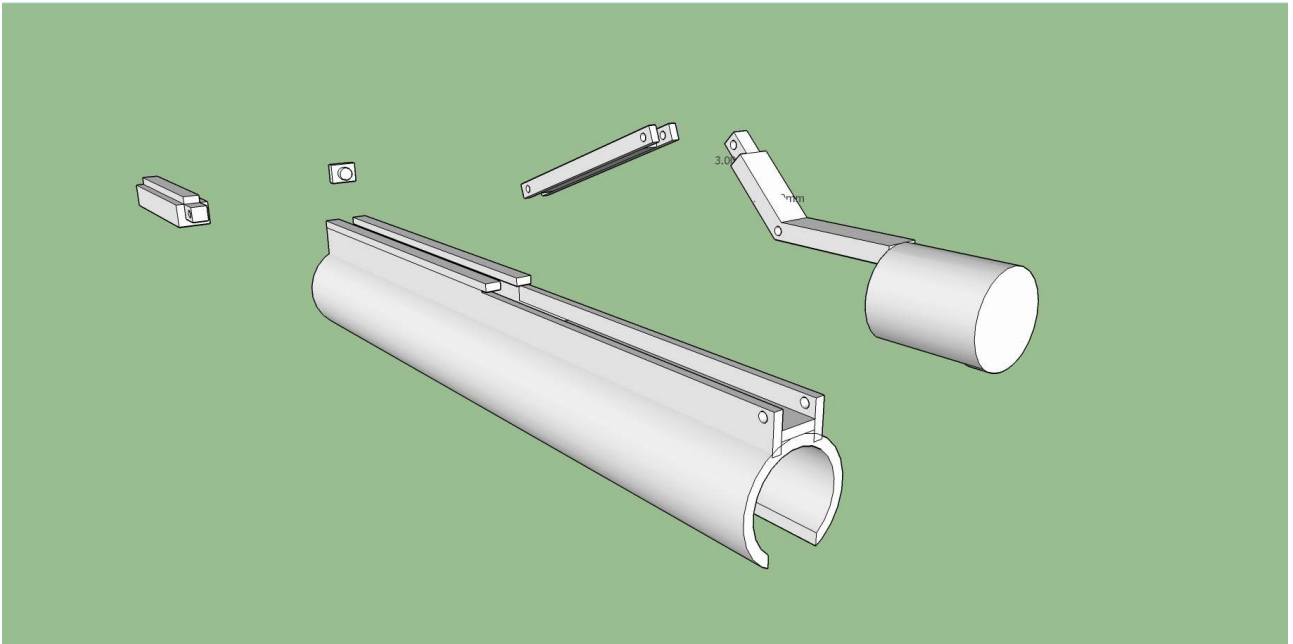
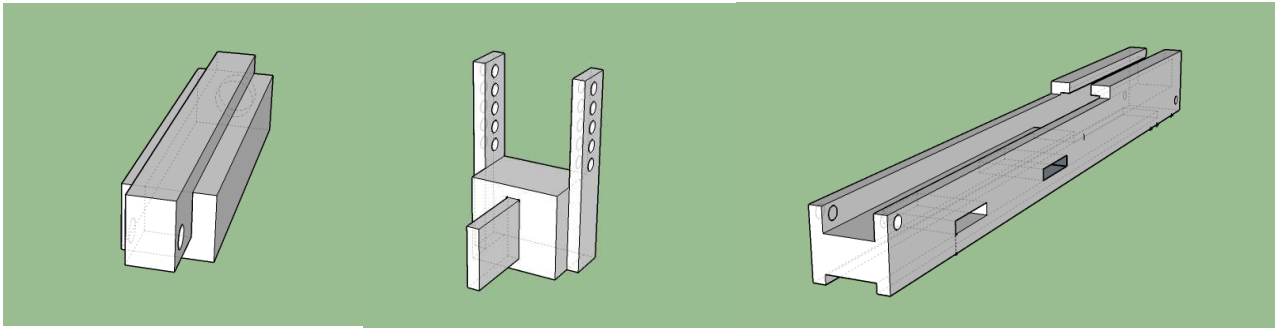
【圖 12-1】筆套即槓桿的裝置連結情形，總長為 125mm、寬度為 1.287mm。



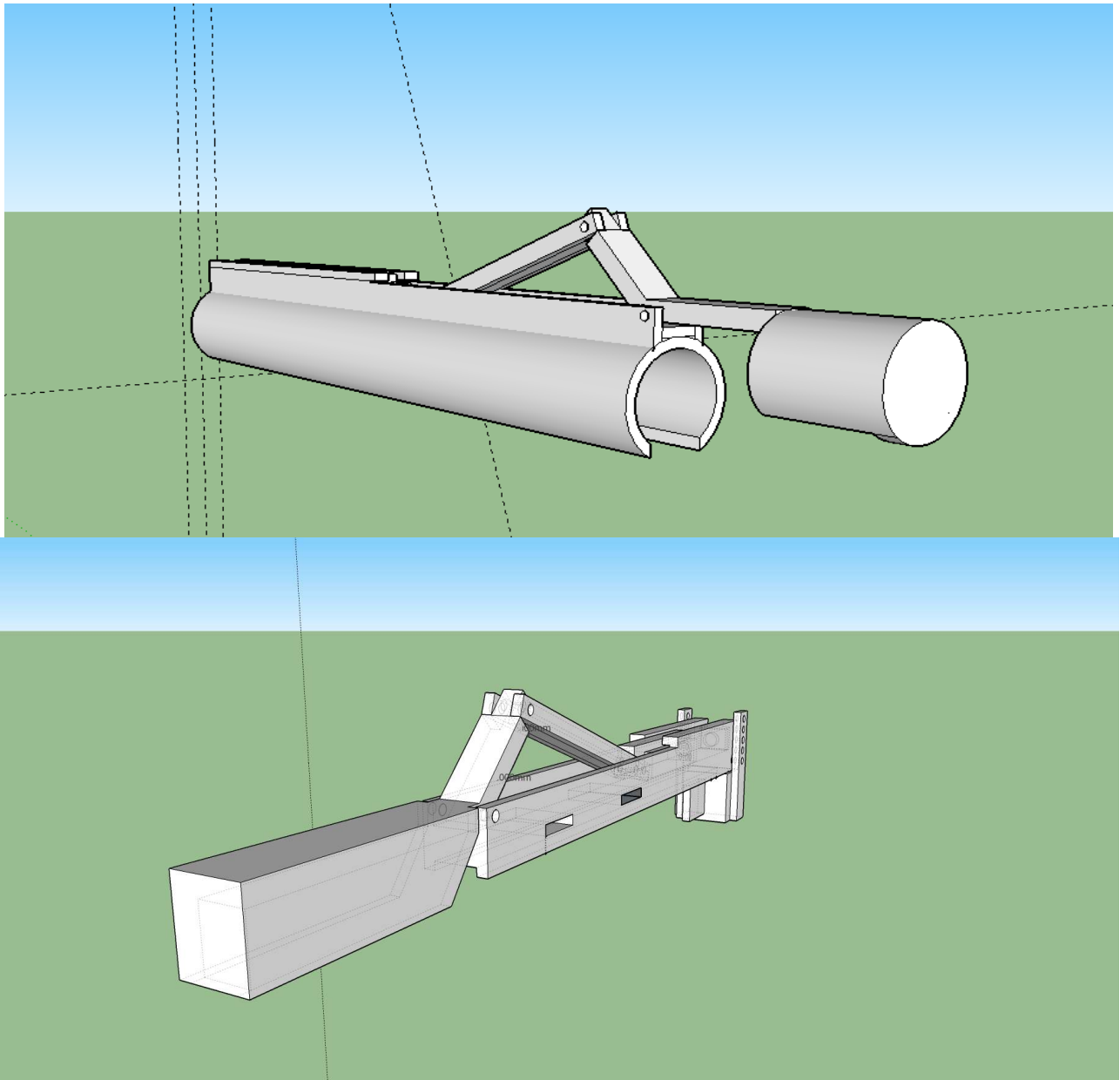
【圖 12-2】左方為美工刀用頭出版，中間為水性筆筆用頭，左方則為美工刀專用連接器



【圖 12-3】筆套即槓桿的裝置連結細部結構，經軟體製圖確認後始可產生成品。



【圖 12-4】保護套的零件設計(上圖)，保護套初版各元件連接前的樣貌(中圖)，以及新版各元件連接前的樣貌(下圖)。



【圖 12-5】初版各元件組裝後的呈現情形(上圖)，新版各元件組裝後的呈現情形(下圖)。

伍、研究結果

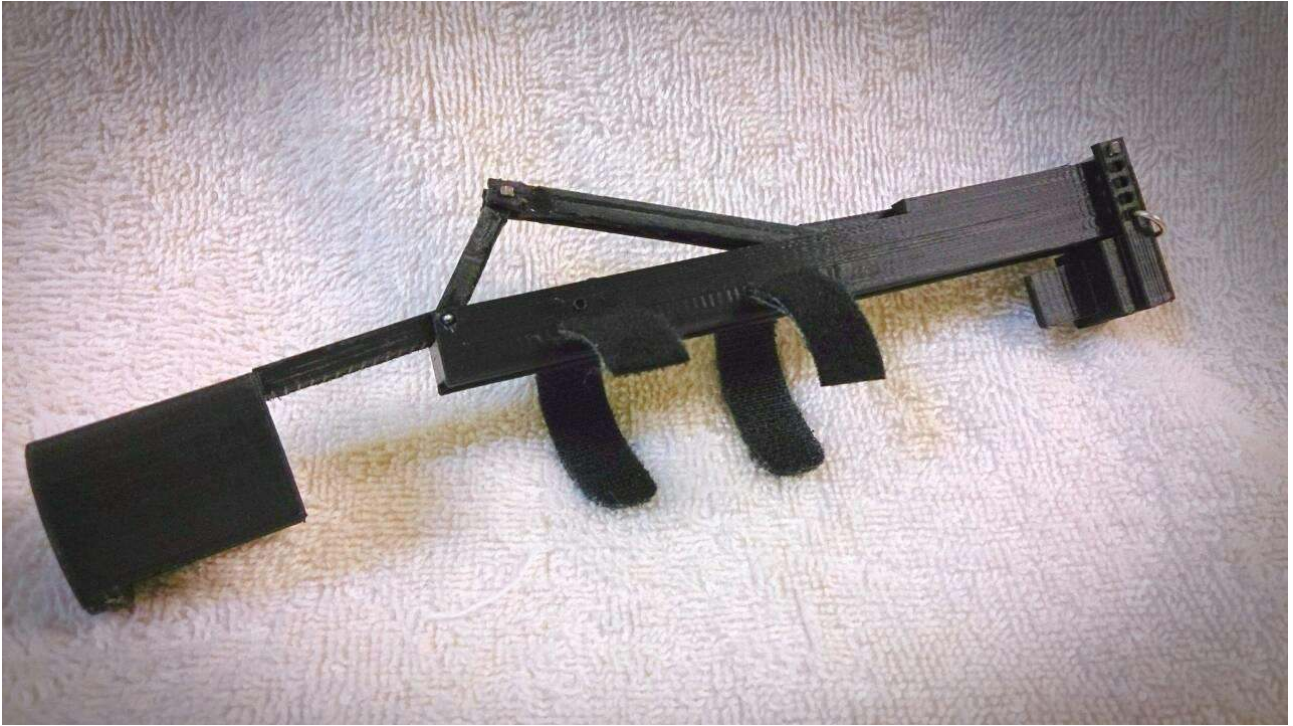
因學校既有的 3D 印表機規格尚屬陽春，3D 列印的成品還需後續組裝，接合處也還需要打磨平整，才能順利接合。我們首先製出初版裝置【圖 13~14】，規格是以三菱中性筆現有尺寸放大兩倍的結果，以利 3D 印表機列印成品。實際操作發現，放大兩倍尺寸，按壓也全不費力，一放開施力點筆套馬上就縮回，因彈簧的形變反應迅速，從高處摔下時一定可以保護好筆尖。成品就如同我們理想的一般，效果相當好。但也在成功製作初版保護套後，發現了一些問題，因此我們嘗試修正了那些缺點，並製作出改良後的新版【圖 15~17】保護套，與一代不同處，在於我們縮短了裝置的長度，以及能夠推廣至各種形狀的筆，甚至可以使用在美工刀上，在【圖 16】中我們實際使用了加裝保護套的美工刀來裁切紙張，動作十分順利，固定也很緊密；因此，我們得知在加裝了此裝置後，實際的運用上也不會影響操作。



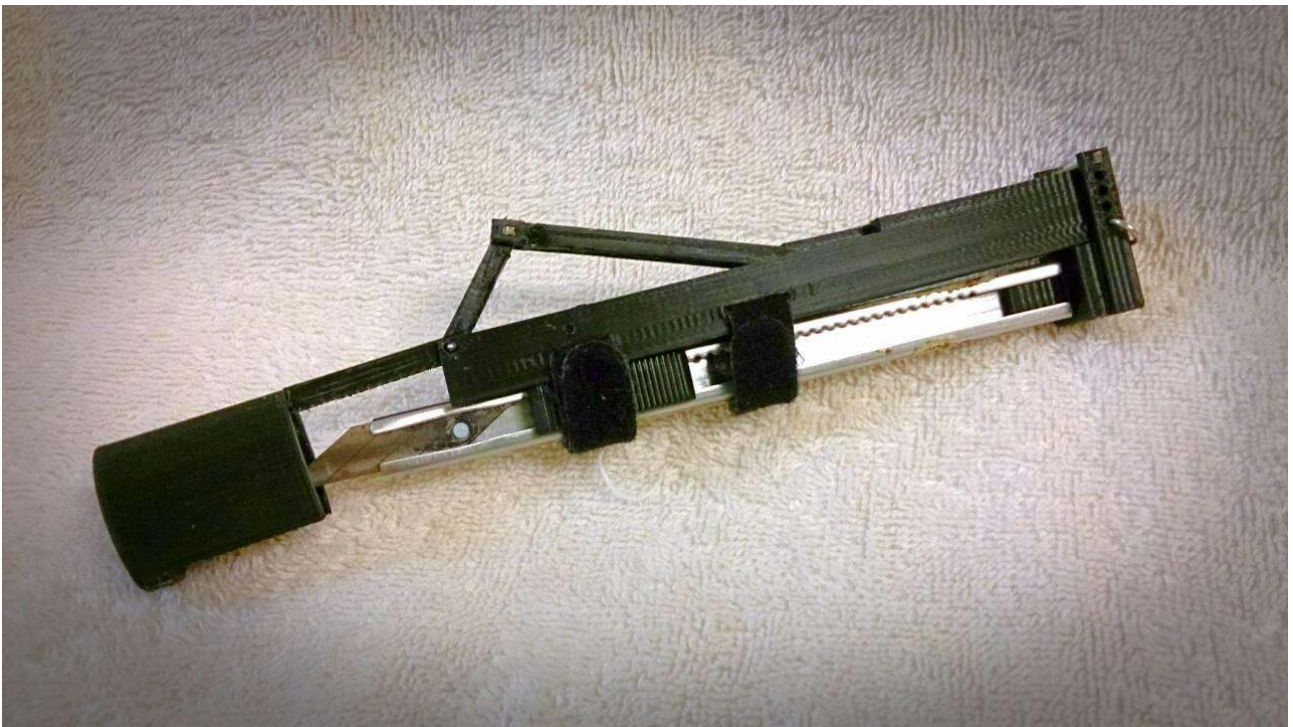
【圖 13】初版保護套，功能為水性筆的防斷水裝置



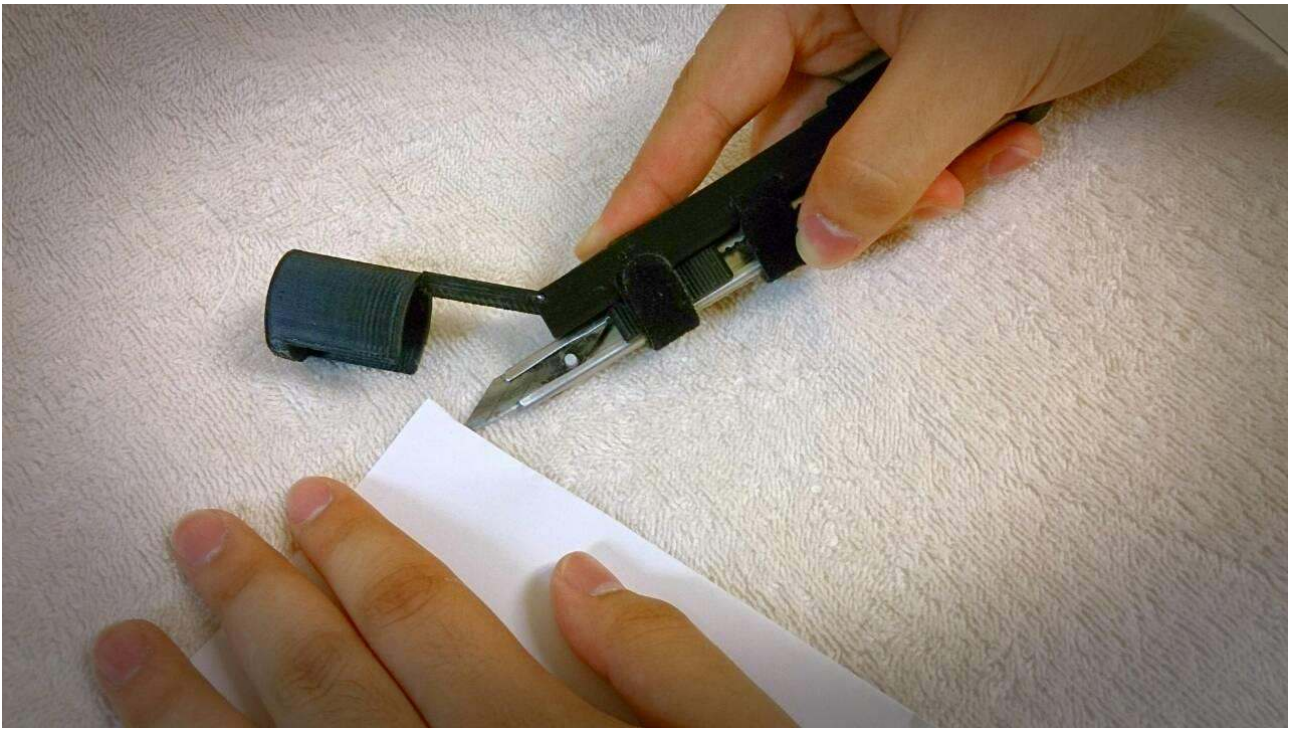
【圖 14】實際操作情形，按壓全不費力



【圖 15】新版保護套，可以適用不同尺寸的水性筆



【圖 16】新版保護套加裝美工刀，透過固定裝置固定美工刀刀身



【圖 17】新版保護套加裝美工刀，實際進行紙張裁切，大致不影響到操作，切割順利



【圖 18】初版、新版裝置比較，除了尺寸減小，新版保護裝置新增了許多功能

陸、討論

雖成功設計出可保護筆尖之筆套，但仍遇到數個難題需要克服。像是考量到未來若恢復原有尺寸，所需施力應增加兩倍左右，我們雖認為應仍落在握筆的正常施力範圍內，卻沒有理論數據跟實際的測量結果可以支持，屆時還需要更多人體工學及省力裝置的修正。

再者，本裝置遭遇最重要的困難，是加裝裝置後可能會擋到使用者的視線，當初我們思考，會擋到視線的筆蓋是否有別的用處？可否改成透明材質或加裝凸透鏡在筆蓋前，如此可達到放大字體的效果。本來想要一試，但礙於現有印表機材料有限，只有數種顏色也無透明材質，故無法做出成品。未來希望能將裝置精緻化、像是引入第二組槓桿裝置，讓握筆時筆蓋有二度收回的效果，如此可以修正視線受到遮蔽的問題，但實際設計以及放鬆後裝置回彈的速率都將列入考量。

最後，我們設計的保護裝置為側壓型裝置，是需要施加外力筆蓋才會打開；對於有些人寫字時會習慣性重新調整握筆姿勢，筆蓋時開時關會讓他們無法書寫順利，以上諸多可能性，我們留待未來再作進一步探討。

我們設計的防斷水裝置是希望能達到資源盡用的目的，因為時下很多人都有轉筆的習慣，以及其他諸多因素，導致筆常常在還有很多墨水的狀況下，摔幾次就斷水而無法再使用。這個裝置的好處就是，如果沒有辦法改掉轉筆的習慣，至少可以在筆蓋闔上的時候轉筆，如此可大幅降低斷水的機率。而在經過討論後我們想能否不只是單單保護筆斷水？是否能保護我們避免被某些銳利的物品傷害，因而我們產生了應用到美工刀的想法。

此外，我們還做了一項小測驗，因為我們很好奇，一隻筆的墨水究竟可以寫多少字呢？三菱中性筆筆芯的水墨總長大約是 7.4cm，我們寫了 1.0cm 長的水墨，以單字” ugly” 連續書寫，可以寫 2,078 次。總共算起來 $7.4 \times 2078 \times 4$ (4 個英文字母) = 61058.8。因此我們可以得知，一隻筆大概可以寫 61,000 個英文字母，當然這裡有很多的誤差因素，單就有趣而為之。

柒、結論

我們希望這項發明可以帶給大眾帶來更方便、更安全的生活。摩托羅拉的廣告名言，「科技始終來自於人性」，雖然說轉筆是不好的習慣，但筆斷水也不是只有轉筆才會造成的因素。研發了初版筆套後，我們才注意到保護裝置應有更多的應用，也才有新版保護裝置的催生。生活處處都與科學習習相關，想用科學的態度去解決問題，很多時候我們必須回歸到問題的根本，從問題的本質去觀察及蒐集資料，通常可以找到生活上常見問題的解決方案。

捌、參考資料及其他

一、筷子為何七寸六分長，作為中國人你不能不了解。2015 年 2 月 15 日，取自

<http://big5.backchina.com/blog/135369/article-203949.html>

二、槓桿原理 - 教育部數位教學資源入口網。2015 年 2 月 17 日，取自

<http://blog.xuite.net/nonepp/twblog/119910227>

三、維基百科 - 原子筆。2015 年 2 月 18 日，取自

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8E%9F%E5%AD%90%E7%AD%86>

四、Yahoo 奇摩知識+ - 三菱的筆斷水。2015 年 2 月 18 日，取自

<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1306020515225>

五、Yahoo 奇摩知識+ - 木頭有像水晶礦石一樣分硬度嗎?。2015 年 3 月 3 日，取自

<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1106102308350>

六、維基百科 - 混凝土。2015 年 3 月 3 日，取自

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B7%B7%E5%87%9D%E5%9C%9F>

七、Yahoo 奇摩知識+ - 最硬的木頭之詳細資料與木頭處理方法。2015 年 3 月 5 日，取自

<https://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1507021805458>

八、電腦王 - 3D 印表機的 7 大成型技術，材質與固化方式你知道多少?。2015 年 2 月 5 日，

取自 <http://www.techbang.com/posts/18161-3d-printer-technology-talk>

【評語】 040809

本裝置係利用槓桿裝置操作一保護套，用以保護筆尖或防止美工刀等尖銳物品造成傷害。裝置係利用 3D 列印機製造，此過程饒富趣味，但也導致整體保護裝置量體過大，不易握持與操作。若在機構之設計上能加以改進，或有實現原目標之可行性。