

摘要

紙的殺傷力有多大?利用電鋸的方式，以實驗探討各種紙材、形狀、半徑大小，偷過實驗數據找出最適合切割的條件進行組合，並利用最佳組合的紙圓鋸，嘗試去切割生活上的幾種物品，量化紙張圓鋸的切割極限。在這實驗中，我們認為紙硬度支撐力是切割力的關鍵因子，也根據實驗結果進行討論如何有效改良紙張圓鋸的切割效果。

壹、 研究動機

千萬不要小看任何一件看上去沒有威脅的物件，若你曾經有過被紙張劃傷手指的經驗，你就可以體會，紙似乎擁有某種程度的殺傷力!

「軟軟的紙張，真的能夠像刀子般銳利嗎?」同學們對我的說法有了疑問，要不是親眼看到我的手指瞬間被紙割出一道血痕，其實我同樣也會懷疑自己是不是瘋了?

於是我們決定用紙割割看，還試了許多武俠小說中說過的招式，像是把紙做成飛鏢，或把紙接當成菜刀使用，但好像都成不了氣候。所以，我們上網找了許多用和紙有關的資料，也找到了要讓紙成為切割器需要具備的元素，希望能將紙結合馬達，作出方便又平凡的可愛版的鋸子，而看過恐怖電影奪魂鋸的元貞便把它叫做「紙張奪魂鋸了」!!

貳、 研究目的

透過實驗操作，我們的依序想探討以下研究目的：

研究 1：相同的厚度、半徑大小，不同「紙材」的切割效果。

研究 2：相同的紙材、半徑大小，不同「厚度」的切割效果。

研究 3：相同的厚度、紙材，不同「半徑大小」的切割效果。

研究 4：最佳紙材、厚度、半徑大小組合成的紙張奪魂鋸戰鬥力評估。

研究 5：不同「形狀」的鋸片，切割效果何者最好？

參、 研究材料

我們研究所需要的材料有：

奪魂鋸紙材：A4 紙、西卡、圖畫紙。

奪魂鋸動力：3 號電池、強力小馬達 6000~8000r. p.m.。

奪魂鋸握把：木板 4x9.5x0.4cm、熱融膠槍、膠條、瓦楞板、棉花棒。

其他工具：圓規刀，剪刀、直尺(精確值 0.1mm)、量角器、照相機、電腦。

肆、 製作方法和研究過程

一、紙張奪魂鋸構造介紹與製作

首先，（圖 1-1）、裁切木板，作為鋸子本體的握把（圖 1-2）、在握把前端使用熱融膠，固定小馬達（圖 1-3）、將電池盒的電線連接馬達（圖 1-4）、將棉花棒裁剪約 0.7mm（圖 1-5）、在鋸片中央打洞，並將棉花棒棍穿過（圖 1-6）、裁切瓦楞板，約 1x1 的正方形（圖 1-7）、將裁切好的瓦楞板黏著在鋸片兩側，加以固定（圖 1-8）、將鋸片裝置在小馬達上，實驗品就完成了!!!（圖 1-9）


表 1	紙張奪魂鋸製作方法:
紙迷電魂鋸製作過程	<p>步驟一</p> <p>裁切「鋸片」</p> <p>裁切出各種不同形狀、厚度、紙材、半徑大小的鋸片</p> 
	<p>步驟二:</p> <p>製作「握把」</p> <p>裁切木板，作為鋸子本體的握把(圖 1-2)、在握把前端使用熱融膠，固定小馬達(圖 1-3)、將電池盒的電線連接馬達(圖 1-4)</p> 
	<p>步驟三</p> <p>裝置鋸片</p> <p>將棉花棒裁剪約 0.7mm(圖 1-5)、在鋸片中央打洞，並將棉花棒棍穿過(圖 1-6)、裁切瓦楞板，約 1x1 的正方形(圖 1-7)、將裁切好的瓦楞板黏著在鋸片兩側，加以固定(圖 1-8)</p>

表 1

紙張奪魂鋸製作方法:

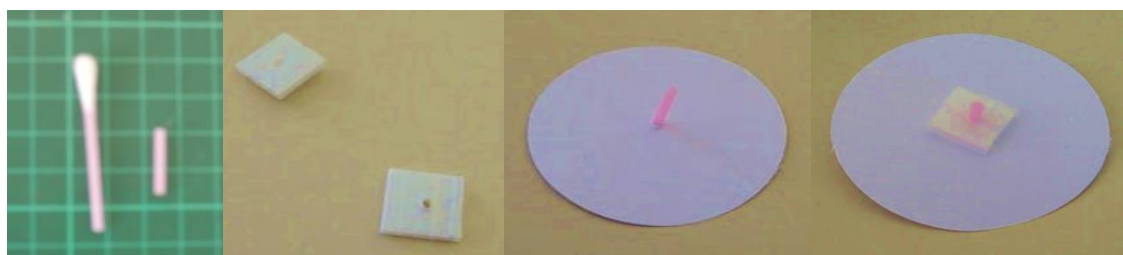


圖 1-5

圖 1-6

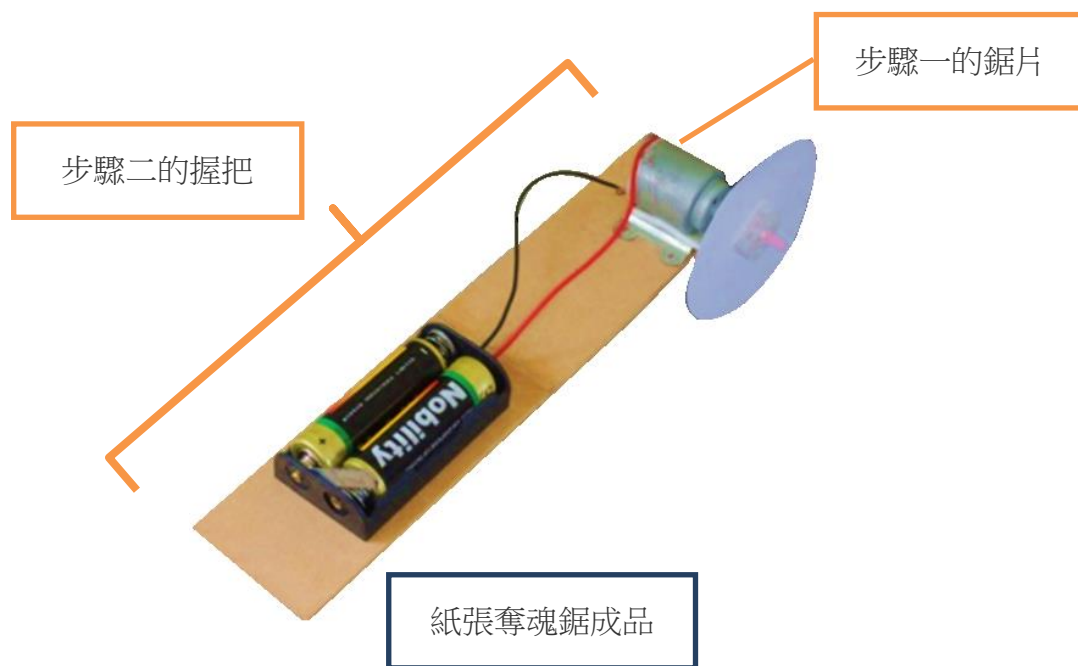
圖 1-7

圖 1-8

步驟四

成品

將步驟三的鋸片裝置在步驟二的小馬達上，實驗品就完成了!!!(圖 1-9)



二、:研究與實驗過程

研究一：在各種紙質下，何者切割效果最佳？

在決定了我們的科展主題之後，我們開始思考:究竟什麼樣的材質適合當作鋸片呢？我們一同花費下課時間討論，決定了使用平時在學校也不難見到的材料，像是:圖畫紙、西卡紙和 A4 紙等等，即使在課堂上也常常使用，所以我們決定利用這些簡易的材料來完成我們的紙張圓鋸!!

但是為了讓效果達到最好，我們將這三種材料分別切割為半徑、厚度皆相同的鋸片，準備進行實驗，並找出最適合的材質，而實驗的數據也都採五次實驗的平均值來呈現。

表 2:不同材質對 A4 紙的切割力

	A4 紙	西卡紙	圖畫紙
鋸片厚度	1 片	1 片	1 片
鋸片半徑	4cm	4cm	4cm
鋸片形狀	圓形	圓形	圓形
切割物	A4 紙	A4 紙	A4 紙
切割時間	15 秒	15 秒	15 秒
切割平均值	7.63cm	3.54cm	12.38cm

我們經過了反覆的實驗，做出了以下的結論:

圖畫紙在我們選擇的三個紙質之中，切割效果是最好的!

但是為甚麼西卡紙和 A4 紙的切割效果不如圖畫紙呢?我們經過了一番漫長的討論，依舊對答案毫無頭緒。在一次的實驗期間，我們突然想到了:我忽視掉了一個最明顯的特徵，那就是：紙張的軟硬程度。由於我們使用的是 3 伏特的電壓，和平時插座上的 110 伏特簡直天差地遠，因此我們電鋸雖然轉速不輸一般的裝潢電鋸，但是電壓所驅動的力道卻差了很多。我們不能否定西卡紙和 A4 紙的切割能力，但我們至少可以依照實驗結果斷定:當馬達電壓為 3 伏特時，

圖畫紙是最適合的。可能是因為我們的電壓無法將轉動力道提升至適合西卡紙的狀態，讓西卡紙無法發揮他最好的切割效果；而 A4 紙，我們馬達的電壓也不適合他切割。所以我們做出了第一個結論：當馬達電壓為 3 伏特時，圖畫紙是最適合的。所以我們之後的實驗都採用圖畫紙當作鋸片的材料。

研究一結論及說明到此結束

研究二：在相同紙質，但厚度不同時，何種紙切割效果最好？厚的還是薄的??

在經過研究 1 之後，我們知道圖畫紙，在多種紙質下，切割的效果是最好的。於是我們嘗試將多張紙利用膠水黏住，希望能增加鋸片的堅硬程度，才不會像之前那樣容易損毀；一開始我們打算以平時容易見到的膠水來黏貼，我們將半徑為:3、4、5 公分的鋸片(各三張)，利用膠水黏貼起來，利用重物壓著，放著一天。過了一天，我們滿懷期待的地掀開了桌墊，發現了一鋸片更厚了，興奮的我們急忙將鋸片裝上，啟動了馬達，立刻朝著實驗物鋸過去，但是，效果不但沒有更好，反而鋸片更快解體，連鋸都沒辦法了! 見到這個結果的我們感到非常懊惱，於是我們決定將黏貼的材料改成白膠，但是結果雖然比膠水好一點，但依舊容易解體。這個問題困擾了我們好久，在經過和實驗夥伴們一同腦力激盪後，我們決定將單張鋸片和多張黏貼的鋸片一比較，看看究竟薄的鋸片和厚的鋸片，哪一個效果較好?

表 3:不同厚度對 A4 紙的切割力

鋸片材質	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙
鋸片厚度	1 片	2 片	3 片
鋸片邊長(半徑)	3cm	3cm	3cm
鋸片形狀	圓型	圓型	圓型
切割物	西卡紙	西卡紙	西卡紙
切割時間	15 秒	15 秒	15 秒
切割平均值	14.57cm	9.25cm	8.91cm

結束了這個實驗，我們又得出了新的結論：同樣紙質的紙張，一片會比兩或三片黏在一起好鋸，但是就算得到了這個結論，我們也必須知道理論才行！經過了一番討論，我們知道了一個原因，就是：鋸片的摩擦力。鋸片越厚，切割紙張的摩擦力就會越強，鋸片產生的毛邊也愈多。當紙張的切割邊緣開始產生毛邊不夠平整時鋸片就難以向前切割，甚至鋸片開始擺動停滯不前；而鋸片越薄，和紙張產生的摩擦力也越小。而摩擦力越大，切割時會受到很大的阻力，無法向前切，鋸子旋轉時接觸面也會不斷的小幅前後移動晃動。當然也有可能是因為我們的電壓太小，不能將多片黏貼鋸片的切割效果發揮到極致，不過我們的實驗宗旨是：要做出平凡又方便的鋸子，所以我們還是決定使用一樣的馬達。因此我們做出了第二個結論：當馬達電壓 3 伏特時，鋸片單張一片的效果比多片黏在一起好！所以我們之後的實驗都是使用一張的鋸片。

研究二結論及說明到此結束

研究三：在相同紙質，而鋸片厚度也相同時，半徑卻不同，切割效果有什麼差別?? 半徑大的還是小的??

上面的兩種實驗數據，我們已經知道了紙質和厚度在切割上的影響，而在之前我們實驗時所使用的鋸片半徑皆為 4 公分；為我們已經找出了最適合切割的材質，所以接下來就只剩半徑了！而我們的半徑一共有：3、4、5 公分，為了證明何種的切割效果最佳，我們設計了各種實驗，來找出最適合切割的鋸片半徑！

表 4:不同半徑對 A4 紙的切割力

鋸片材質	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙
鋸片厚度	1 片	1 片	1 片
鋸片半徑	3cm	4cm	5cm
鋸片形狀	圓形	圓形	圓形
切割物	A4 紙	A4 紙	A4 紙
切割時間	15 秒	15 秒	15 秒
切割平均值	12.56cm	8.48cm	3.83cm

我們經過了上面的實驗，發現了一件重要的事：鋸片半徑越短，切割效果越佳。但是為甚麼是這樣呢？我們一同探討，發現了一個重點：會不會和鋸片本身的支撐力有關？經過多次反覆持驗後，我們發現：鋸片的半徑愈長，紙張的支撐力越小，在切割物品時容易曲折；而鋸片本身半徑愈短，紙張的支撐力越大，在切割時也容易晃動。不過鋸片半徑太大會晃動的原因，可能和我們馬達的電壓又脫不了關係，也可能因為電壓太小，無法保持半徑三公分以上在切割時的穩定度。不過我們可以斷定：在馬達電壓為 3 伏特時，半徑 3 公分的圓形鋸片擁有最好的切割效果。所以我們之後所用到的圓形鋸片實驗都是用半徑 3 公分的當作實驗物。

研究三結論及說明到此結束

研究四：我們所製作的紙張圓鋸能夠鋸開生活上的各種東西呢？

做了以上的實驗，我們已經找出了鋸片的「最佳比例」，再來就要來看看能夠鋸開生活上的多少東西啦！我們經過討論，選出生活中常見的更各種材質，如：圖畫紙、尼龍繩、棉花棒棍、粗電線、還有我們的終極大魔王－寶特瓶！，並降上述 5 項製作成表 5。為了能夠迎戰這些堅強的挑戰者，我們也利用了上面這四項實驗，並作出我們的最佳圓鋸，來擊敗他們！

表 5:各項切割物及圖片







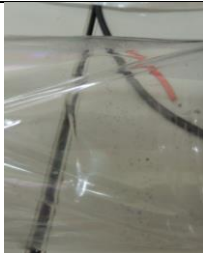
切割物	圖畫紙	尼龍繩	棉花棒棍	粗電線	寶特瓶
圖片					

表 6 紙張奪魂鋸對生活中材質的切割力

鋸片材質	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙
鋸片厚度	1 片	1 片	1 片	1 片	1 片
鋸片邊長(半徑)	3cm	3cm	3cm	3cm	3cm
鋸片形狀	圓形	圓形	圓形	圓形	圓形
切割物	A4 紙	尼龍繩	棉花棒棍	電線	寶特瓶
切割時間	15 秒	15 秒	15 秒	15 秒	15 秒
切割程度	18.87cm	6 條	一根	下圖	下圖
切割程度					

經過上面五位敵人的考驗，只有辦法將三個「殲滅」。從尼龍繩開始，尼龍繩是最容易切割的，只要角度對，將材質拉緊，輕輕鬆鬆就解決，所以我們在短促的 15 秒之中，一共鋸斷了 6 條；棉花棒比尼龍繩堅硬許多，我們花了 15 秒才完全切斷一根；再來是小魔王：粗電線。由於 15 秒不太足夠，我們只能將電線外的塑膠套稍微切出刻痕。不過我們有再另外試幾次，我們的電鋸將表皮全數撥開，見到銅線(圖 2-6)，需要花費大約 1 分 10 秒左右的時間。最後是大魔王－寶特瓶！寶特瓶實在太過困難，我們花了 15 秒只能在瓶上製造出刮痕。所以一鋸實驗結果，我可以知道：紙張圓鋸的切割硬度大約為一般電線外皮的材質。





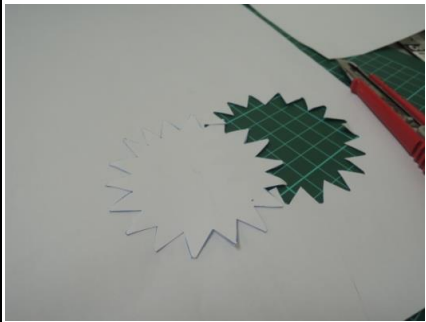
(圖 2-6)

研究四結論及說明到此結束



研究五：採用不同形狀的鋸片，不知道可以得到什麼樣的結果呢？

在最後的研究過程中，我們意識到：只嘗試圓形的鋸片，也太單調了！於是我和夥伴們決定嘗試各種不同形狀的鋸片。我們使用了平時鋸片上常見的形狀：鋸齒狀；和許多與眾不同的形狀，像是：正方形和三角形。希望這些特殊形狀的鋸片能為我們帶來一「鋸」驚人的效果！


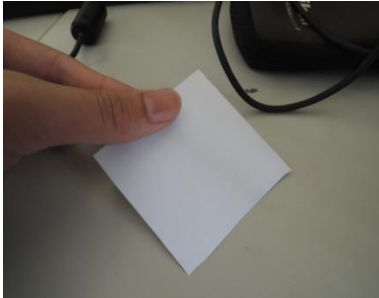
表七：鋸齒狀鋸片製作方法

鋸齒狀鋸片		
紙質	A4 紙	
作法	我為了能讓切割出的鋸齒大小、形狀都一樣，我們用了軟磁鐵(圖 3-1)、並在上面畫出半徑三公分的圓的樣式、然後在相同的圓心再畫出一個半徑 2 公分的圓、在半徑 2 和 3 公分的圓之間平均畫出鋸齒，並鋸下來，模子就完成了(圖 3-2)！ 完成了模子之後，在紙上畫出鋸齒鋸片的形狀，並剪下來，就可以得到鋸齒型的鋸片了(圖 3-3)！	
		
圖 3-1	圖 3-2	圖 3-3

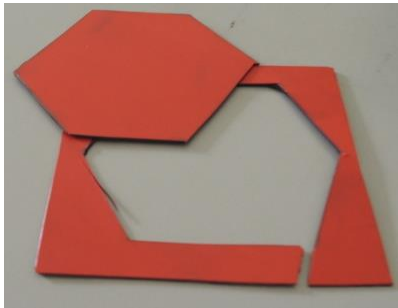
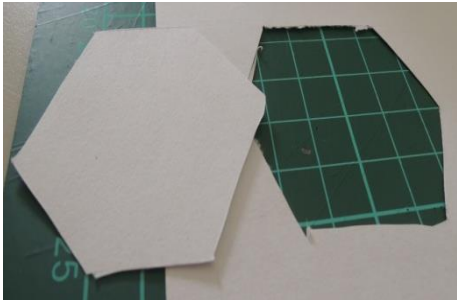
表八:三角型鋸片製作方法

三角型鋸片	
紙質	A4 紙
作法	<p>為了在切割時不要因為三角形的邊長而受到影響，我們的三角形鋸片都是正三角形。</p> <p>三角形邊常皆為 4 公分，紙質皆為 A4 紙。</p> <p>首先，先將邊長為 4 的正三角形畫在模具上，接著用美工到去切割出模型(圖 3-4)，並將模型畫在紙上並切出來，三角形鋸片就大功告成了!(圖 3-5)</p>
	
圖 3-4	圖 3-5

表九:正方形鋸片製作方法:

正方形鋸片	
紙質	A4 紙
作法	<p>正方形邊長皆為 3 公分</p> <p>首先，先將邊長為 3 公分的正方形畫在模具上，接著用美工到去些割出模型(圖 3-6)，並將模型畫在紙上並切出來，正方形形鋸片就輕鬆地完成了!(圖 3-7)</p>
	
圖 3-6	圖 3-7

表十:六邊形片製作方法

六邊形鋸片	
紙質	A4 紙
作法	<p>邊長皆為 3 公分</p> <p>紙質皆為 A4 紙</p> <p>首先,先從軟磁鐵切出一個邊長 6 公分的正方形,然後在正方形上切出一個正六邊型(圖 3-8),再用正六角型模子在圖畫紙上畫出形狀,在切割下來,正六邊形鋸片就完成了(圖 3-9)!</p>
	
圖 3-8	圖 3-9

表十一:各種形狀的鋸片的切割效果

鋸片材質	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙	圖畫紙
鋸片厚度	1 片	1 片	1 片	1 片	1 片
鋸片邊長 (半徑)	3cm	3cm	3cm	3cm	3cm
鋸片形狀	正三角形	正方形	鋸齒狀	圓形	正六邊形
切割物	A4 紙	A4 紙	A4 紙	A4 紙	A4 紙
切割時間	15 秒	15 秒	15 秒	15 秒	15 秒
切割深度	21.51cm	10.12cm	16.34cm	15.47cm	10.32cm

我們五種鋸片的切割紋路一共有兩種:正方形和鋸齒狀的紋路較不平整(圖 4-1);而其餘形狀的切割線條較為平整(圖 4-2)。

採用了五種不同的形狀後，我們得到了一個令人意外的結果:在這五種鋸片之中，三角形鋸片的效果竟然是最好的! 經過我們的推測，可能是因為鋸片的內角度問題(圓形、鋸齒狀除外) — 像是我們採用的正三角形，內角度數皆為 60 度；正方形鋸片，內角都是 90 度；六角形鋸片，內角大約是 103 度。上述三個，只有六角形的內角是鈍角，剩餘的兩個都是銳角；況且六角形鋸片在三個之中的切割效果是最差的，所以我們合理的推論:如果鋸片有內角，則內角度數越小，切割紙張的效果最好。為甚麼特別強調是紙張呢?因為 — 三角形鋸片雖然在切割紙張時的效果鶴立雞群，但面對到了實驗四的強敵，簡直不堪一擊。所以三角形的鋸片只適合用於切割較軟的材質，一旦材質超出了他能夠負荷的硬度，就會變型，切割的效果也大大下滑。我們又重新做了幾遍實驗，發現非圓形的鋸片切割較軟材質時，效果較圓形鋸片好，但是一旦面臨到比較堅硬的材質時，就要交給圓形鋸片了!!



(圖 4-1)

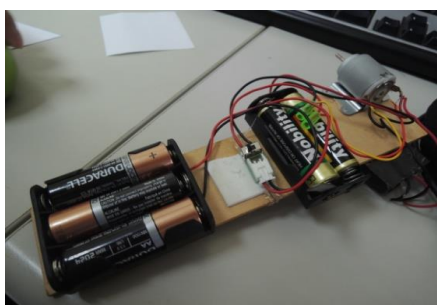


(圖 4-2)

研究五結論及說明到此結束

總實驗附註:圓鋸的電池

因為我們的小馬達最高電壓只有 3 伏特，和網路上電鋸的 110 伏特，實在是差太多了，所以我們面對堅硬的材質必須花更多的時間來鋸斷。經過我們和老師不斷的嘗試錯誤並累積經驗之後，決定使用三個電池座，來並聯七個電池，以增加使用時間(圖 5-1)。



伍、紙張圓鋸的各種優缺

我們找出了紙張圓鋸的各種優缺點，並將他們列成一個表格，更方便了解。

表十二：紙張圓鋸的各種優缺點

	一般裝潢用電鋸	紙張圓鋸
容易製作	X	O
電壓大小	O	X
方便攜帶	X	O
耐久度	O	X
裁切效率	O	X
危險程度	O	X
轉速	X	O
材料總價	X	O

從上面的表格可以知道，雖然紙張圓鋸的切割效果比一般裝潢用的電鋸差，耐久度也不佳，但是它卻比一般電鋸方便攜帶、材料便宜，也更安全。電壓輸給了一般電鋸，這和我們使用的馬達有關:為了公平，我們的馬達都是用一樣的類型(強力小馬達 6000~8000r. p.m.)。

陸、紙張圓鋸的各種應用

從表格六點中，我們知道，紙張圓鋸最大的優點就是一簡易、便宜、平民化。因為紙張圓鋸比一般圓鋸安全，比起被一般的電鋸碰到手那血肉模糊的慘狀，碰到手也頂多破皮，讓我們在使用時感覺安心了些，不必戰戰兢兢；也因為它沒有像普通電鋸一樣，切割使只要一閃神就會出現無法彌補的錯誤，他是慢慢的切割，比較能及時控制力道，不論是在美術課、生活科技課，都是一位好幫手! 甚至再將它放大個幾倍，連除草也沒問題呢!

柒、結論及討論

在實驗過程中，我們發現一個問題:紙鋸旋轉的時候有些微的上下震動，讓螺絲穿過固定用的圓心也很難卡在正中間，因此旋轉時接觸面也會不斷的小幅前後移動 這些因素都會使紙張圓鋸的切割能力下降，這是我們最大的問題。

經過和夥伴們實驗多次並找出原因改善之後，我們發現:圓規刀是一個重要的工具，有了它，找出圓心便容易許多；當然在組裝過程也要精細無比，才能做出完美的紙張圓鋸!

捌、結語

沒有想到，一張平時看似軟弱的紙張，竟然能夠擊敗用手也難以破壞的電線外皮，這大大的顛覆了我以「紙張很軟弱」的觀念；加上和實驗夥伴的探討，讓我們彼此的友誼和默契又增進了不少，這是我國中生中最珍貴且不可取代的幸運!

玖、參考資料

康軒版自然與生活科技第四冊:力與壓力

圖片來源: <https://vovo2000.com/phpbb2/viewtopic-357493.html>