

中華民國第四十六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

最佳(鄉土)教材獎

040801

神奇的碳素送話機

學校名稱： 南投縣立旭光高級中學

作者：	指導老師：
高一 李育睿	李佩樺
高一 陳彥豪	陳英田
高一 傅傳岩	
高一 簡廷宇	

關 鍵 詞：電話原理、碳素、石墨導電性

神奇的碳素送話機

壹、 摘要

實驗結果發現在校園中樹木的碳化溫度要在 500℃ 以上，若燒至 800℃ 以上時如未做好阻隔氧氣之工作，則樹木容易氧化成灰燼；高溫爐如果乾餾溫度愈高、乾餾停留時間愈久及樹材乾餾減重量愈多則導電性愈好意即愈有利於碳變成石墨結構。在 700℃ 乾餾後比較各材料之導電性為石墨碳棒 > 電池碳棒 > > 鉛筆芯 > 福木 > 榕樹 > 桃花心木 > 阿勃勒 > 印度紫檀 > 台灣欒樹 > 相思木；碳素粉末顆粒愈小及粉末間愈緊密則導電性愈佳，但是愈緊密導電愈好有一極限值存在。另導電性碳素材料需量多對電磁波之阻隔效果才會有效。我們可以成功製作出可清晰通話之碳阻式送話機，亦可以據此充當測量聲音大小之自製分貝計，從測量結果可以瞭解聲音的傳遞確實是需要介質的。

貳、 研究動機

發明大王愛迪生試驗了 50 多種不同的傳話器和許多的材料作嘗試，直到無意中在實驗室的燈罩上發現了碳黑材料，他利用這種碳黑的物質發明了比電磁原理傳聲效果更佳的碳阻式「碳素送話機」，愛迪生曾說：「幾乎所有的人都在他們的構想達到極限時，會喪失繼續創作的毅力，其實這才是真正的開始」。於是，我們就想追隨他的腳步，利用手邊常見材料來自製「碳素送話器」，仿效愛迪生發明家的精神與毅力，進而培養解決問題的能力，充分發揮實驗的精神。

參、 研究目的

- 一、要利用「碳素」就得先瞭解各種木炭及其物理性質，因此我們決定先以校園內幾種常見樹木材料以乾餾方式來自製木炭，並測試其導電性質來與乾電池碳棒及石墨棒作比較。
- 二、選擇一最佳導電效果之「碳素」將其磨成粉末，在適當條件控制下，再測試顆粒大小、粉末緊密度與導電性之關係等實驗，好作為下一應用步驟的參考依據。
- 三、作更多方面之嘗試，瞭解各種碳素對阻隔電磁波之影響。
- 四、多方嘗試後，依據實驗結果選擇出最佳條件之碳素，研究自製「碳素送話機」之可行性及作其他應用。

肆、 研究設備與器材

- 一、**實驗藥品及器材**：各種校園樹材、鋁箔、廢電池、備長碳、故障耳機、研鉢、篩網、蜂鳴器、故障喇叭、熱熔膠槍、五金工具、空保特瓶、護背紙。

二、**儀器設備**：高溫爐、電源供應器、電磁爐、玻璃鐘罩、抽氣馬達、收音機、真空鈴、護背機。

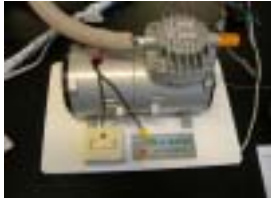
三、**測量工具儀器**：電子天平、游標卡尺、螺旋測微器、精密萬用電表、高斯計、分貝計。

整理如下表一所示：

表一、研究設備與器材圖示與說明。

研究設備與器材	用途說明	研究設備與器材照片
實驗藥品及器材	各種校園樹材	乾餾自製木炭用
	鋁箔	乾餾阻隔空氣用
	廢電池	拿取電池碳棒
	備長碳	作為對照組
	故障耳機	製作聽筒用
	故障收音機	拆喇叭製作話筒用

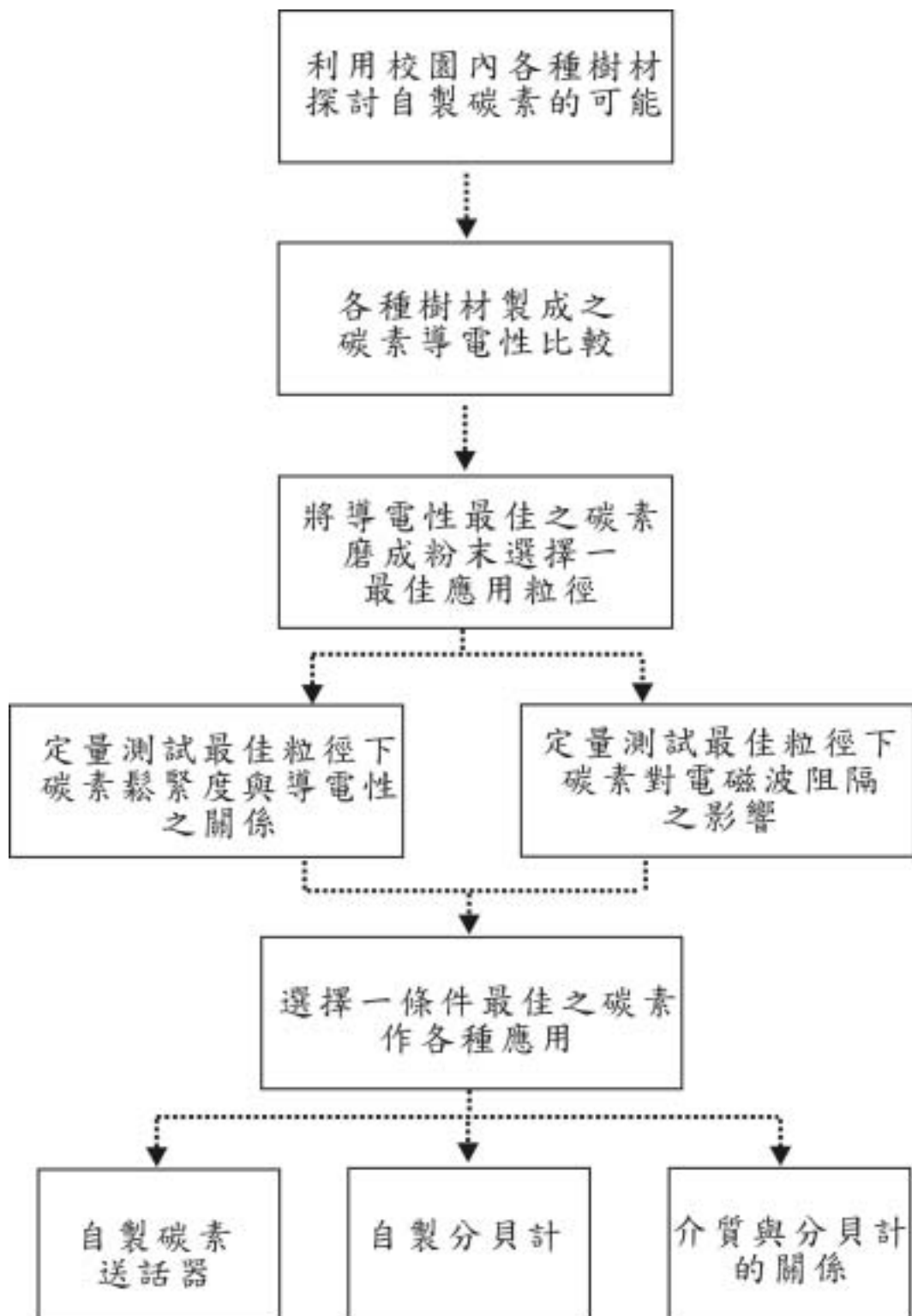
	蜂鳴器	當固定聲源	
	篩網	粉末過篩分粒級用	
	研鉢	研磨碳素粉末	
	五金工具	製作器具用工具	
	保特瓶	自製話筒材料	
	熱熔膠槍	製作器材工具	
儀器設備	J&D 高溫爐	高溫乾餾用	
	電源供應器	提供固定電壓	

	電磁爐（SR-1330）	製造高電磁波環境	
	護背機	護背碳粉用	
	玻璃鐘罩	製造真空環境	
	抽氣小馬達	抽氣製造真空環境	
	真空鈴	製造真空環境用	
	收音機	測聲源音量分段用	
測量工具儀器	電子天平	精密稱量藥品	
	游標卡尺	量測尺寸	

	螺旋測微器	製造緊密度量化	
	精密萬用電表(泰仕電子 TES-2804)	測量微弱電流	
	高斯計 (Lutron EMF-823)	測量電磁波	
	分貝計	測量聲音大小聲	

伍、 研究方法與步驟

仿效愛迪生從無到有的實驗精神，實驗流程如圖一：

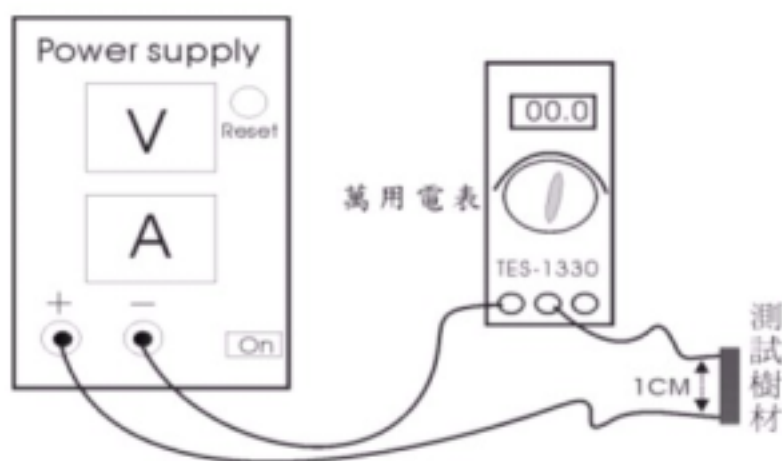


圖一、實驗流程圖。

一、各種自製碳素導電度的比較：

我們一直有疑惑木炭能導電嗎？為了澄清心裡的疑惑我們決定將校園裡常見之木材以『乾餾』方式來製備木炭，並比較自製多種碳類與市售木炭之導電性，其實驗步驟如下：

1. 首先在校園內尋找數種不同的樹木材料，約略定量長 5cm、直徑約 2.0cm 之樹材以鋁箔包裹，再分別放入不同溫度（500、600、700、800、900）之高溫爐內乾餾，並測量放入前後樹木總重量之減重克數，藉以瞭解各種樹木碳化（石墨化）之程度與導電度之關係。
2. 導電度之比較是使用游標卡尺測量木炭直徑與長度，且選取控制木炭長度為 1cm，使用一般電源供應器以控制電壓在 2V 當作電源提供，模擬一般電話提供微弱電流之模式，再利用萬用電表測量通過木炭的電流，如圖二所示。



圖二、導電性電流變化測試接法示意圖。

3. 選擇在上述步驟 2 中導電度最好之材料，以固定溫度（800）停留 0、15、30、45 及 60 分鐘等不同時間，再重複上述步驟 1、2，討論與探討固定溫度下乾餾時間長短對導電度之影響。

二、量測粉末顆粒大小與導電性的關係：

嘗試由此瞭解到實驗應用中粉末顆粒大小對導電度之影響。實驗步驟如下：

1. 根據上（一）步驟，選擇導電性最佳之碳素磨成粉末。
2. 以不同孔徑之篩網（10、50、150、200mesh）一起過篩，分成五種不同顆粒粒徑大小之粉末。
3. 定量 2.0g 置於針筒容器中，並以小 c 型夾固定（在固定距離之兩側接出導線來導電，固定電壓為 2V），以螺旋測微器固定每次旋入 0.5mm 量測電流值變化，實驗裝置與圖三類似。

三、量測定量容器內粉末鬆緊度與導電性之關係：

由上述步驟”導電度”與”粉末顆粒大小”之實驗結果的延伸模擬實際電話使用時碳粉鬆緊度與電流大小之關係，其實驗步驟如下：

1. 根據步驟（二），選擇導電性最佳之粒徑大小之碳素粉末進行量測。
2. 定量 1.0g 置入自製可壓縮針筒容器中，並以小 c 型夾固定，在固定距離之兩側接出導電，再以螺旋測微器固定每次旋入 0.5mm，以壓力(改變小 c 型夾之間距)讓粉末改變其鬆緊度，量測旋入碳素粉末緊密度與導電性之關係，裝置如圖三所示。

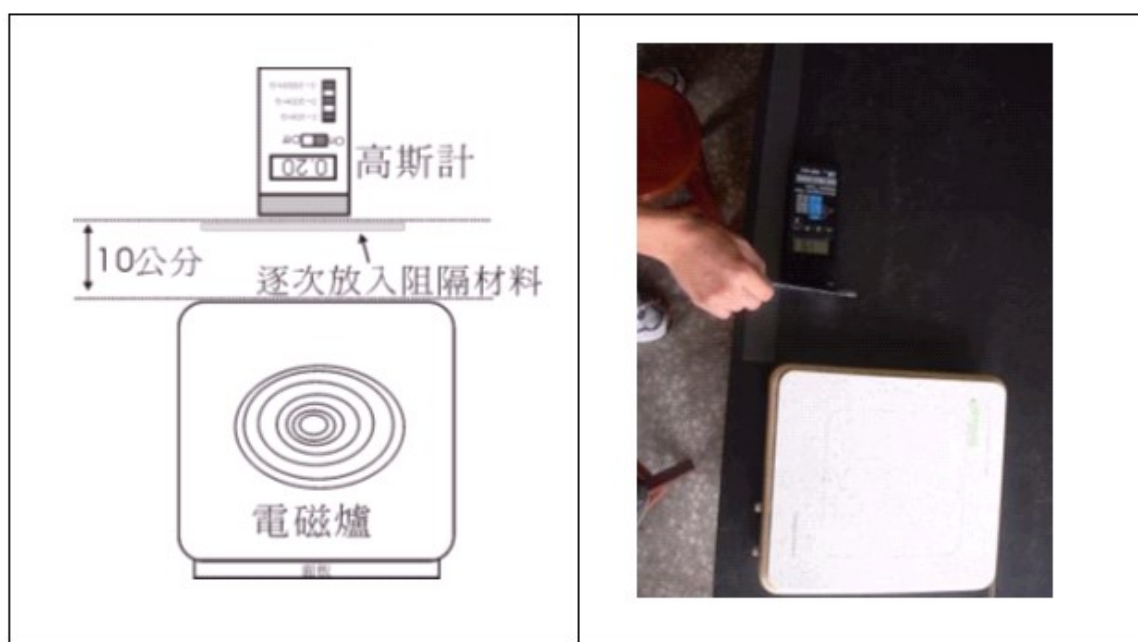


圖三、碳素粉末鬆緊度與電流大小之關係測量裝置圖。

四、量測碳素對電磁波阻隔之影響：

近來掀起一股注重養生的潮流，市售的備長碳常會被灌以「防電磁波」之功能，我們將檢驗碳素物質防止電磁波之功效，實驗步驟如下：

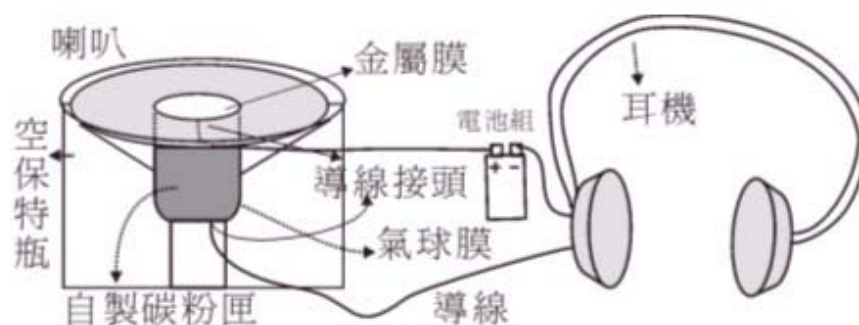
1. 選擇導電性不同之電池碳棒、備長碳及烤肉碳等碳素來作比較。
2. 以固定之粉末顆粒粒徑大小（150~200mesh），定量 2.0g 均勻塗抹在護背紙上進行護貝，再將護貝紙對折成一紙測量單位。
3. 以電磁爐為電磁波之發射場，距離電磁爐 10cm 處固定置放高斯計並進行電磁波測量，再將自製之每一碳素護貝紙在固定位置依次放入電磁波感測器之前進行電磁波阻隔效果之測試並作成記錄如圖四。



圖四、測量碳素對電磁波阻隔效果之示意圖。

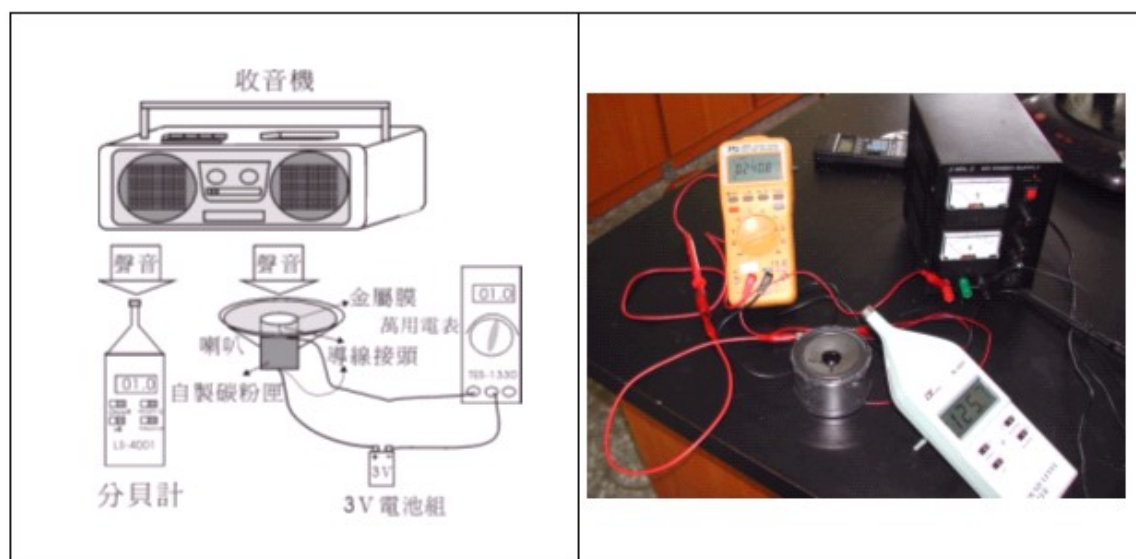
五、自製最佳條件之碳素粉末的應用：

1. 依據上述實驗結果，選擇最佳條件之碳素粉末，依據愛迪生製造電話之原理，嘗試製造出簡易之「碳素電阻式電話送話器」並測試其通話功能如圖五。



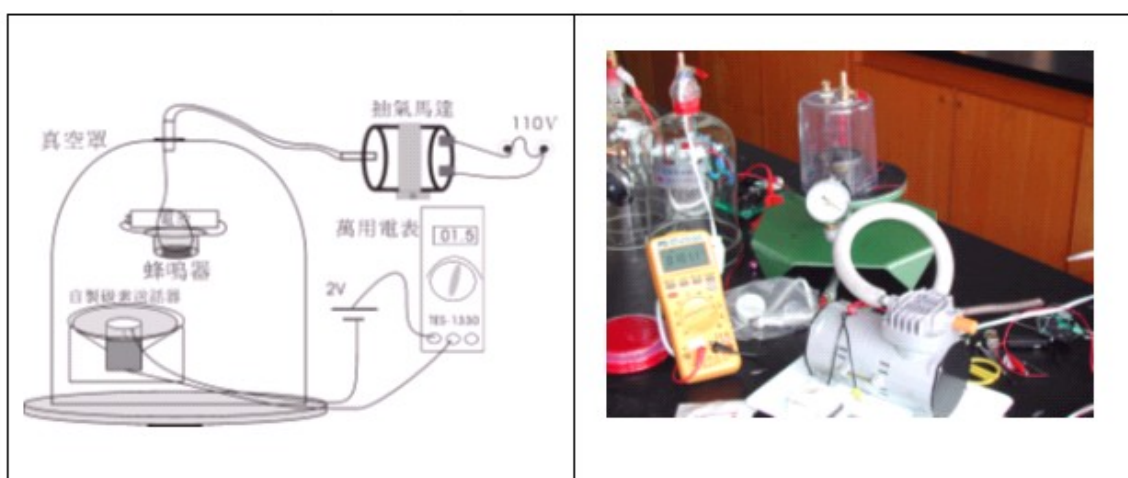
圖五、自製「碳素電阻式電話送話器」示意圖。

2. 在固定聲音響度之下，將上述步驟 1 製造出之電話送話器與分貝計一起接受聲音刺激，紀錄分貝計之指數與自製電話送話器改變電流值，嘗試將電話送話器改製成自製簡易分貝計（圖六）。



圖六、分貝計指數與自製電話送話器電流值大小之關係實驗圖示。

- 依據上述步驟 2，在抽氣玻璃鐘罩內以蜂鳴器為聲源固定響度的條件下，將自製簡易分貝計置入玻璃鐘罩內，並同時記錄抽氣過程中電流之變化如圖七。



圖七、真空裝置抽氣時間與自製電話送話器電流值大小之關係實驗圖示。

陸、結果與討論

一、各種自製碳素導電度的比較結果與討論：

(一). 校園內幾種不同樹木在不同溫度乾餾後其導電性比較結果。

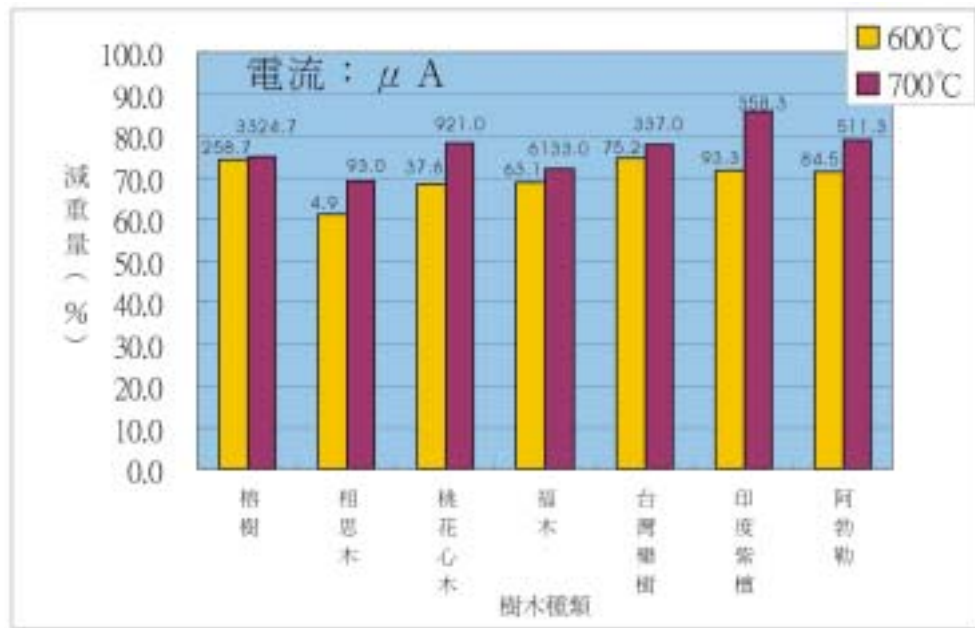
- 將校園內幾種不同樹木在不同溫度（500 、600 、700 、800 、900 ）之高溫爐內乾餾後發現在 500 時，因溫度或停留時間不夠，很多樹木都未碳化，而且在 800 已有部分樹木灰化。

2. 到 900 °C 時更是全部可能因為鋁箔未包好或是沒能有效阻隔氧氣，幾乎樹木都灰化了，甚至我們嘗試先緊密包一層鋁箔後再塗上厚厚一層泥土，然後再包上一層鋁箔再放進高溫爐，但乾餾後依然完全氧化如圖八。

500 明顯未碳化是樹木	800 已有部分樹木化成灰燼
800 部分殘存之木碳	900 多層包覆仍灰化之樹木

圖八、高溫爐內低溫未碳化或因高溫而灰化的樹木。

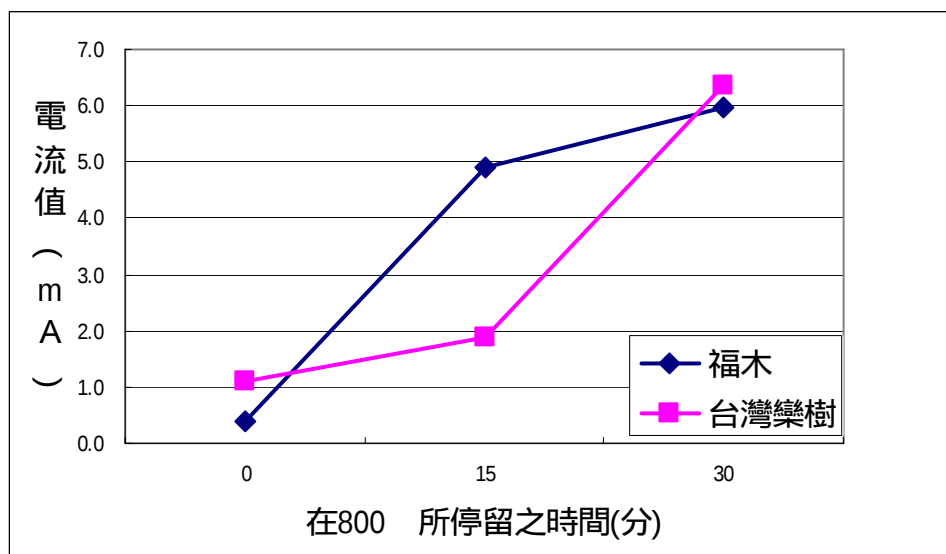
3. 碳具有多種同素異形體，唯一可以導電的結構是石墨片狀結構，故比較 600 °C、700 °C 乾餾溫度的結果可以看出乾餾溫度愈高導電度愈好(如圖九)，所以研判溫度愈高，愈有利於碳變成石墨結構。
4. 由圖中比較樹木的導電度與減輕重量之關係，結果發現相同樹木，溫度愈高，減重愈多，導電性愈好，研判樹木在溫度高時，H、O、N 等這些非碳元素氧化趕走較多，所以石墨化愈好。



圖九、以 600 、 700 乾餾各種木材之導電度與減重量之比較。

(二). 以固定溫度 (800) 之條件下，探討乾餾時間長短對導電性之影響結果。

1. 在 800 還有尚未氧化且資料尚為完整的福木與台灣樂樹，以固定溫度 (800) 停留 0、15、30 分鐘 (45 分、60 分已氧化) 等不同時間做乾餾，將乾餾後之木炭量測其電流與乾餾時間作一比較，結果如圖十。
2. 結果發現乾餾時間愈久導電性就愈好，研判**高溫爐內乾餾停留時間愈久就愈有機會讓碳素排成石墨片狀之結構**，所以木炭石墨化程度就愈高。



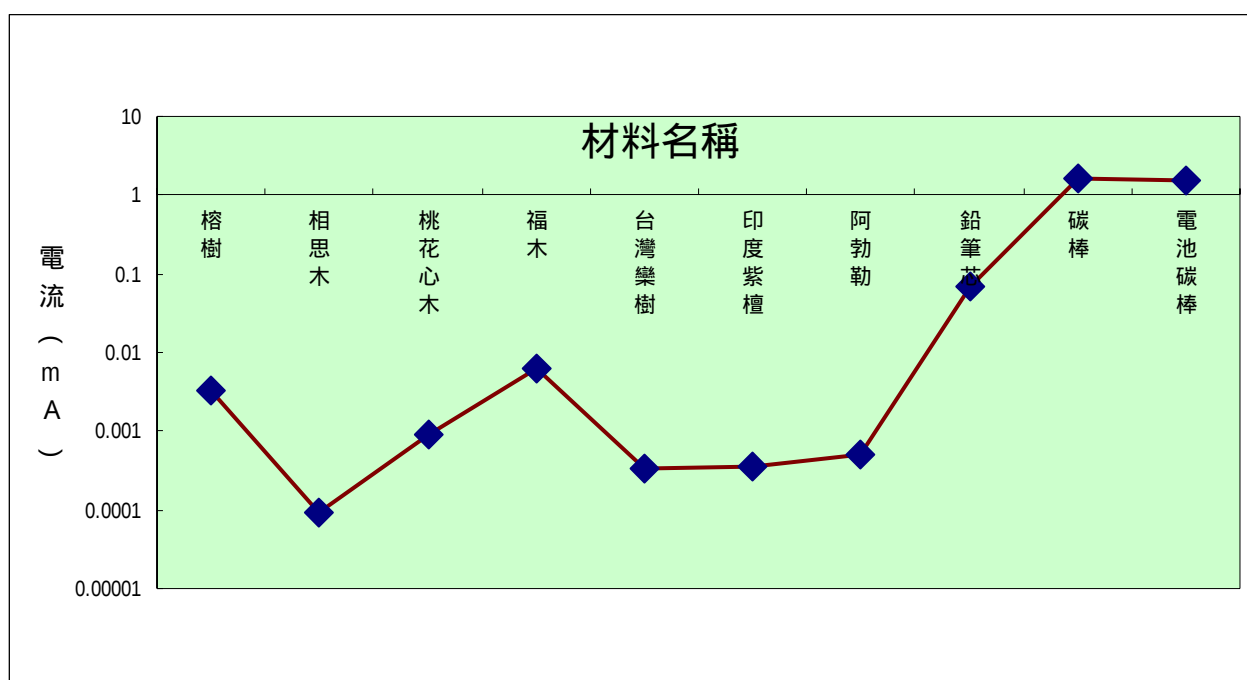
圖十、福木、台灣樂樹以 800 比較不同停留時間之導電度關係。

(三). 將實驗所製得之各種樹木材料跟實驗室中之碳棒與電池碳棒之導電性做比較。

1. 根據實驗結果以 700 所得較完整之資料與實驗室碳棒及廢電池碳棒比較整理如表二及圖十一。

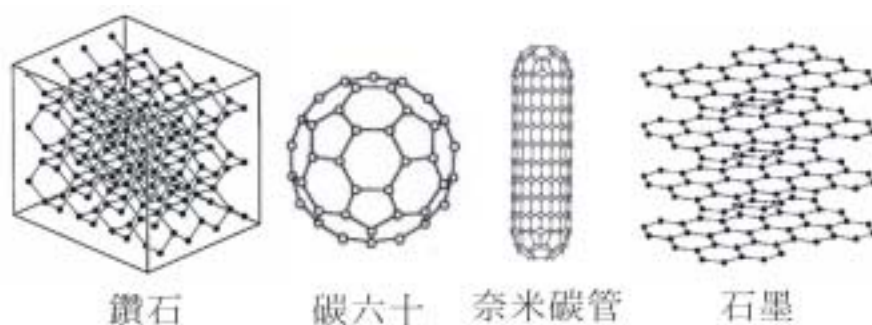
表二、各種碳類導電性比較表。

編號	品名	規格 1	施加電壓 V	電流值 A	理論電阻 Ω	說明
1	榕樹	$\Phi 1.07^* L 1\text{cm}$	2	0.003325	1503.895088	乾餾自製
2	相思木	$\Phi 0.94^* L 1\text{cm}$	2	0.000093	53763.44086	乾餾自製
3	桃花心木	$\Phi 0.92^* L 1\text{cm}$	2	0.000921	5428.88165	乾餾自製
4	福木	$\Phi 1.3^* L 1\text{cm}$	2	0.006133	815.261699	乾餾自製
5	台灣樂樹	$1^* 3.5^* 0.4\text{cm}$	2	0.000337	14836.79525	乾餾自製
6	印度紫檀	$\Phi 1.32^* L 1\text{cm}$	2	0.000358	13954.78649	乾餾自製
7	阿勃勒	$\Phi 1.37^* L 1\text{cm}$	2	0.000511	9778.994719	乾餾自製
8	鉛筆芯	$\Phi 0.19^* L 1\text{cm}$	2	0.0692	28.9017341	鉛筆
9	碳棒	$\Phi 1.0^* L 1\text{cm}$	2	1.588	1.259445844	實驗室碳棒
10	電池碳棒	$\Phi 0.8^* L 1\text{cm}$	2	1.52	1.315789474	碳鋅乾電池



圖十一、各類碳素材料導電度比較圖表。

2. 結果發現以樹枝乾餾後之自製木炭加 2V 電壓後雖仍具有極微弱之電流，但導電效果仍遠差於實驗室中的碳棒及廢電池碳棒。
3. 比較各種碳類導電性---碳棒 > 電池碳棒 > 鉛筆芯 > 福木 > 榕樹 > 桃花心木 > 阿勃勒 > 印度紫檀 > 台灣欒樹 > 相思木。
4. 碳具有金剛石、碳六十、奈米碳管、石墨及無定形碳等多種同素異形體 (如圖十二)，其中擁有導電性為奈米碳管與石墨結構，而奈米碳管之導電原因類似石墨，石墨其導電性主要為片狀結構上之 π 電子的傳導，所以各種自製碳素之導電性端看裡頭石墨結構之成分含量有多少，我們可以從結果看出石墨碳棒之導電性最佳，可知其所含石墨成分最多。



圖十二、碳的同素異形體示意圖。

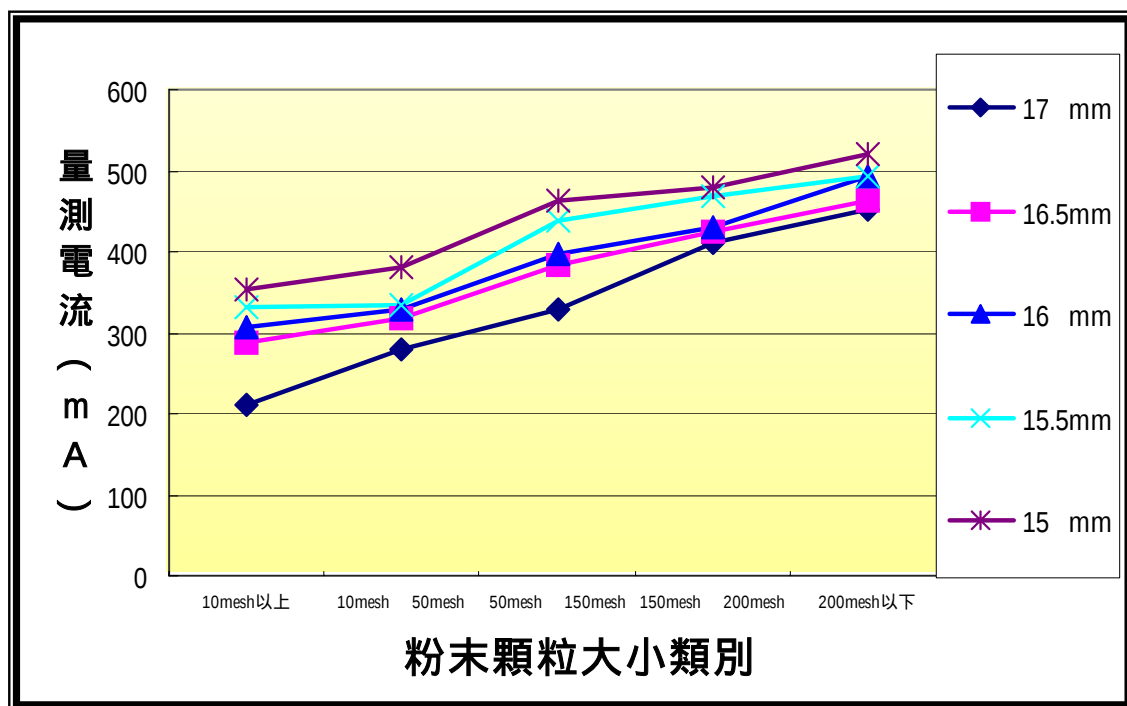
5. 鉛筆芯的製造為石墨加上黏土再加水混合成麵團似的東西，揉勻之後，再壓入金屬板的小洞中，成了一條條的細絲，然後再將這細絲拉直，截成一段一段，等烘乾之後，就成了鉛筆芯了，因為有這些雜質，所以導電性不比電池碳棒佳。
6. 要避免高溫樹木氧化之問題，可能要有有效的阻隔空氣來做實驗，或者高溫爐內要通入氮或氬氣等防止樹木氧化，在尚未克服溫度高而樹木材料容易氧化的問題之前，我們決定以廢棄電池之碳棒研磨過篩來進行下個實驗，也算是為環保盡一點點心力。

二、粉末顆粒大小與導電性的結果與討論：

根據實驗結果整理如表三及圖十三所示。

表三、粉末顆粒大小之導電性比較表。

電壓：2V						
測量工具：萬用電表						
測量粉末：採本實驗中之導電性最佳之碳素磨成粉末---電池碳棒粉。						
量測電流 (mA)	網目	10mesh 以上 (2.0mm)	10mesh~ 50mesh (0.297mm)	50mesh ~ 150mesh (0.104mm)	150mesh~ 200mesh (0.074mm)	200mesh 以下 最細粉末
小 c 型夾間距						
17 mm		210.32	278.96	329.01	412.07	452.79
16.5 mm		286.8	317.54	382.62	424.4	463.66
16 mm		306.51	327.56	397.2	429.2	492.31
15.5 mm		331.8	333.19	438.9	469.2	493.51
15 mm		354.21	380.09	463	480.54	519.97



圖十三、粉末顆粒大小與導電性之比較圖。

- 此實驗中，導電性大小為：10mesh 以上 < 10mesh 50mesh < 50mesh 150mesh < 150mesh 200mesh < 200mesh 以下最細粉，研判應是粉末顆粒越小，接觸面積越大，電阻愈小，則導電度亦趨愈大。
- 固定質量並固定粉末顆粒大小，小 c 型夾之間距亦會影響導電度，其導電性大小為：17mm < 16.5mm < 16mm < 15.5mm < 15mm。可知小 c 型夾之間距越小其導電度越佳 而以 10mesh

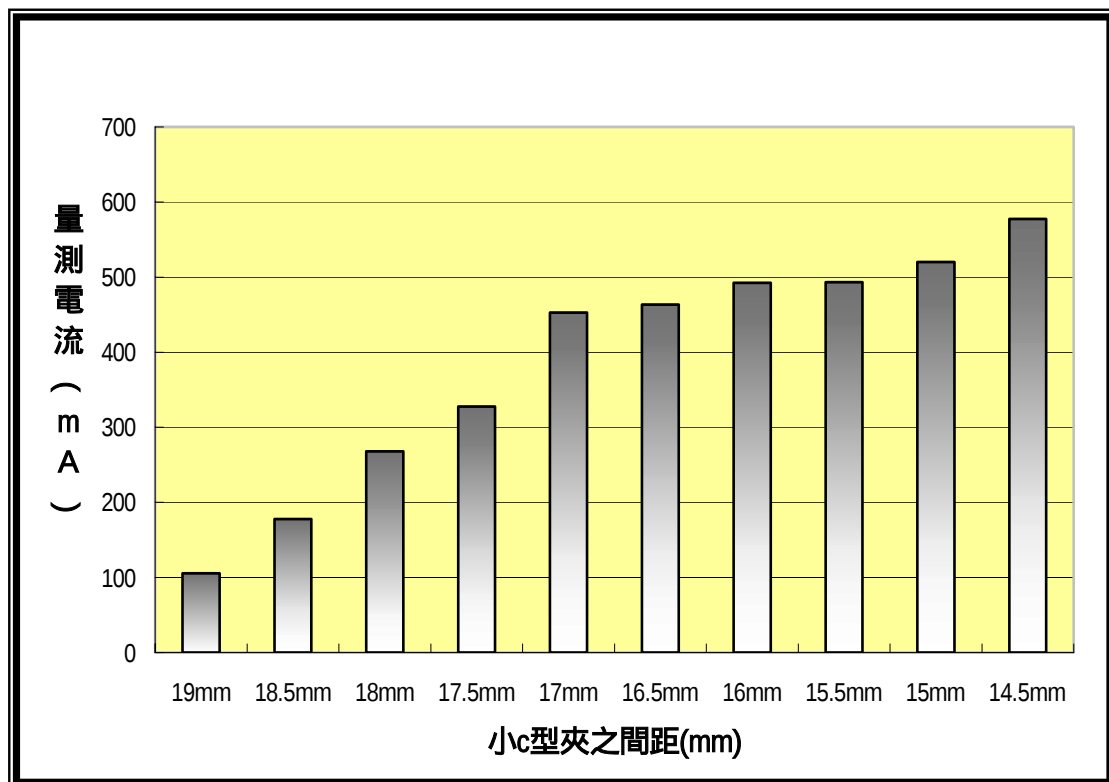
以上之電流改變速度最為明顯。

三、定量容器內粉末鬆緊度與導電性之關係比較結果與討論：

根據實驗結果整理如表四及圖十四所示。

表四、粉末鬆緊度之導電性比較表。

電壓：2V	
測量工具：萬用電表	
測量粉末：採本實驗中之「最細粉末」	
小c型夾間距(mm)	量測電流(mA)
19.0	105.40
18.5	177.78
18.0	267.66
17.5	327.61
17.0	452.79
16.5	463.66
16.0	492.31
15.5	493.51
15.0	519.97
14.5	577.56



圖十四 碳素鬆緊度 與導電性大小之比較圖。

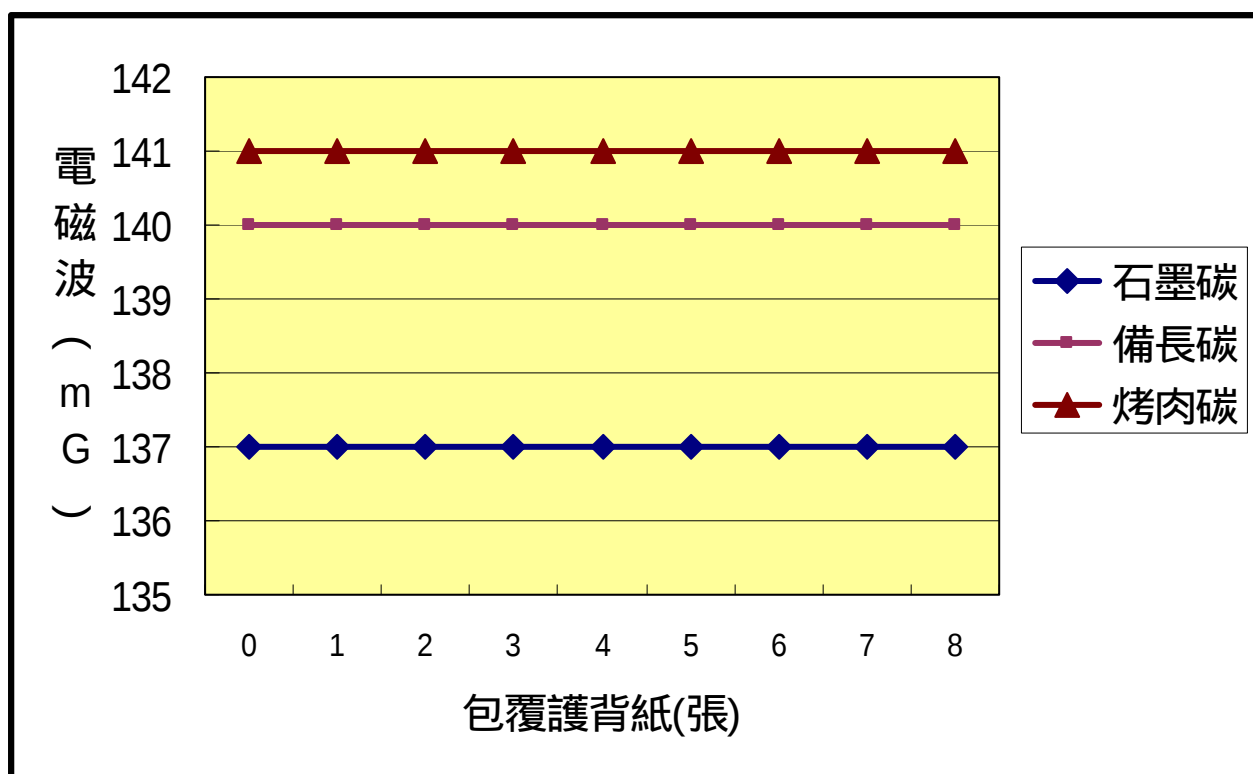
1. 由實驗數據中得知導電性為：19mm < 18.5mm < 18mm < 17.5mm < 17mm < 16.5mm < 16mm < 15.5mm < 15mm < 14.5mm。當小 c 型夾之間距愈小，即施加壓力愈大，此時粉末密度越緊密，導電性愈佳。
2. 在前一實驗，探討粉末顆粒大小與導電性關係中及發現小 c 型夾之間距會影響導電度大小，在此實驗中，以更多數據檢驗顯示，在同質量中，施予容器壓力愈大，則粉末密度愈大、顆粒間愈緊密，則導電度越大。
3. 發現一開始電流所增加的速度較為快速，量測至小 c 型夾之間距為 16.0 時，電流上升之速度減緩下來，研判「粉末密度越緊密，導電性愈佳」應該有一限度存在，亦即欲接近單一塊材導電行為之表現。
4. 由上述之實驗逐步驗證，由各種碳類的導電度至選取最佳導電度之碳粉進行顆粒大小對導電性之比較再到選取最細粉末進行碳素鬆緊度與導電性之關係，在抽絲剝繭中，逐步找出最佳導電物質的條件，我們並思考如何將這碳素應用在日常生活中。

四、各種碳素對電磁波阻隔影響之結果分析：

根據實驗結果整理如表五及圖十五所示。

表五、碳類物質對防止電磁波之功效紀錄表。

測量物質：以尚朋堂電磁爐為電磁波之發射場。				
隔絕物質：石墨碳、被長碳、烤肉碳之粉末定量 1.0g 塗抹於護背紙。				
量測工具：高斯計				
量測電磁波 (mG)	碳類物質	石墨碳 (毫高斯)	備長碳 (毫高斯)	烤肉碳 (毫高斯)
包圍護背紙(張)				
0		137	140	141
1		137	140	141
2		137	140	141
3		137	140	141
4		137	140	141
5		137	140	141
6		137	140	141
7		137	140	141
8		137	140	141

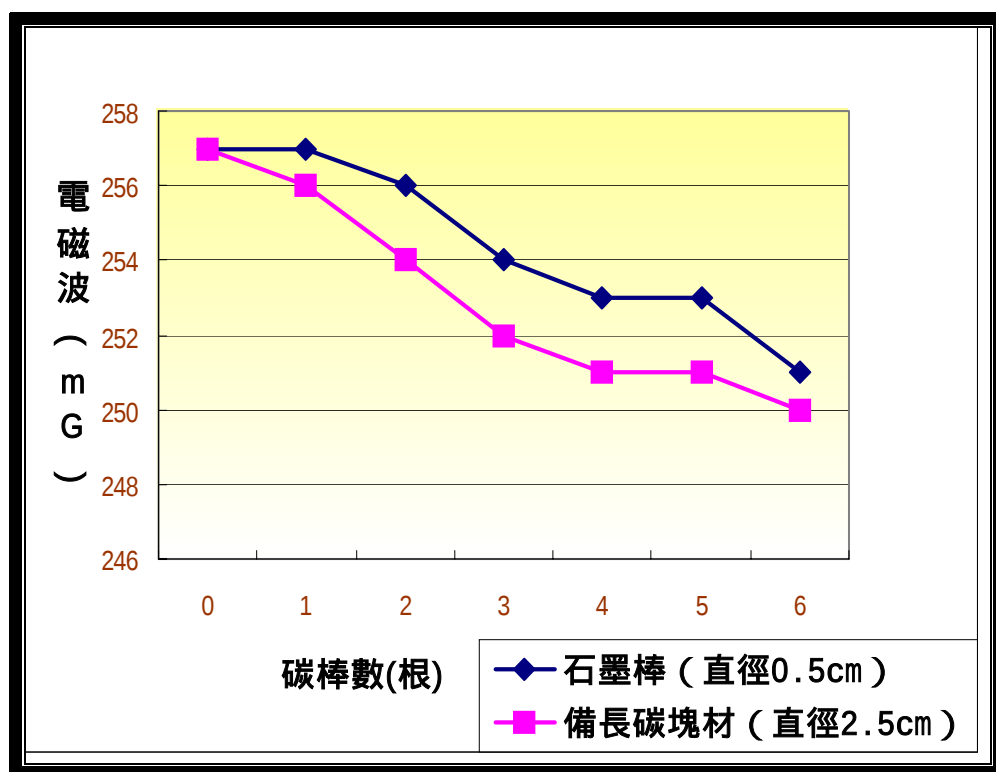


圖十五、碳素粉末對阻隔電磁波效果之比較圖。

1. 由實驗數據中得知塗抹碳素物質之護貝紙增加張數對防止電磁沒有效用，意即當碳素量少時，對電磁波之防護沒有任何效果無法得知導電性大小(石墨碳、備長碳、烤肉碳)對防止電磁波有什麼影響，所以**研判當量愈大時應是可增加其阻絕電磁波功能才是。**
2. 改採取大量碳素物質為阻絕物重作碳素對電磁波阻隔效果之實驗，結果如表六及圖十六發現雖然石墨碳棒與備長碳塊材的體積與質量並不完全一致，但**明顯的會因量之增多而略微阻隔電磁波。**
3. 市售的備長碳常標榜著「阻絕電磁波」功效，但除了量的考量之外，備長碳為由植物乾餾產生，**乾餾植物之特性包含導電性與人為乾餾方法及選擇溫度之差異，會造成石墨化之程度的不同**，故選取相關產品時必須加以注意。

表六、碳類物質對防止電磁波之功效紀錄表。

測量物質：以電加熱器為電磁波之發射場。		
隔絕物質：以整枝碳棒為阻絕物。		
量測工具：高斯計。		
量測電磁波 (mG) 碳棒根數	碳類物質 石墨棒（直徑 0.5cm）	備長碳塊材（直徑 2.5cm）
0	257	257
1	257	256
2	256	254
3	254	252
4	253	251
5	253	251
6	251	250

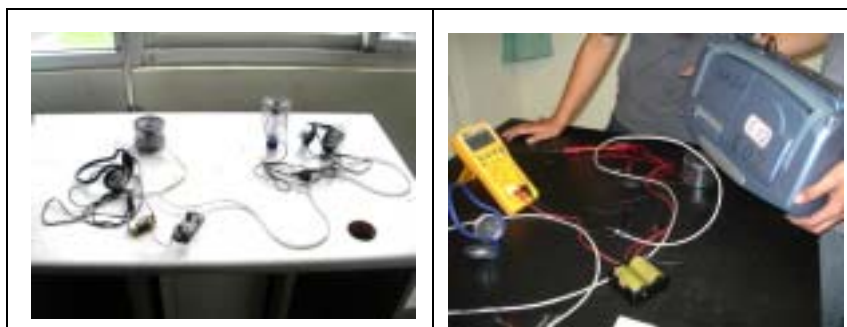


圖十六、導電碳素材料對阻隔電磁波效果之比較圖。

五、自製最佳條件之碳素粉末的應用結果：

依據上述實驗結果，我們選擇最佳條件之廢棄電池碳素最細粉末，依據愛迪生製造電話之原理，成功製造出簡易之「碳素電阻式電話送話器」並有效測試其發話功能。

1. 裝置如圖十七所示，我們確實可以從聽筒這端聽到自製送話機的說話聲。

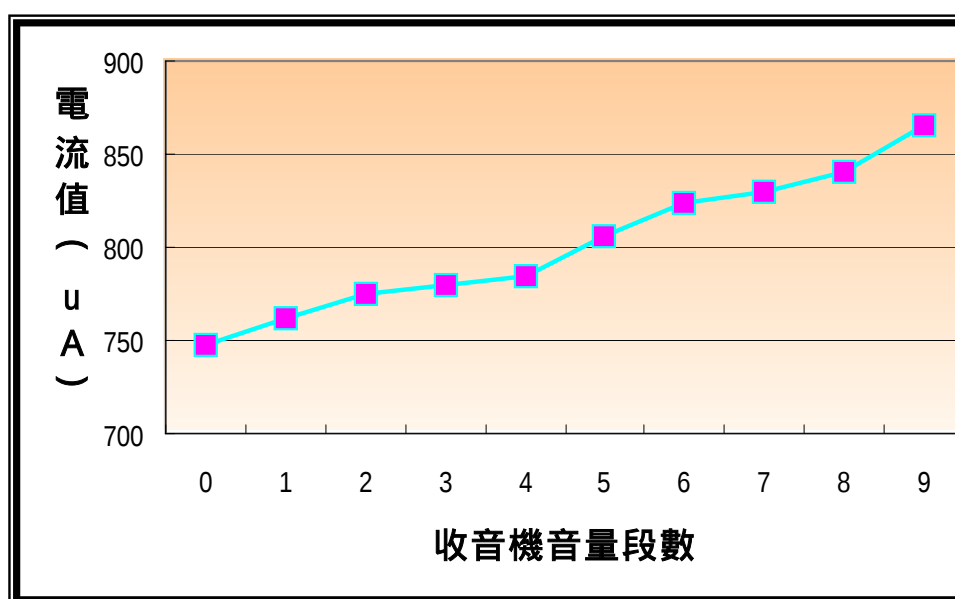


圖十七、實際應用圖示。

2. 另外利用收音機為聲音來源，控制音量旋鈕共分九段測試，紀錄音量段數與自製送話機電流值之關係。我們發現**音量越大，電流值也確實越大**（表七及圖十八）。

表七、收音機音量段數與送話器電流值記錄表。

段數	電流大小值 (uA)
0	748
1	762
2	775
3	780
4	785
5	806
6	824
7	830
8	840
9	866

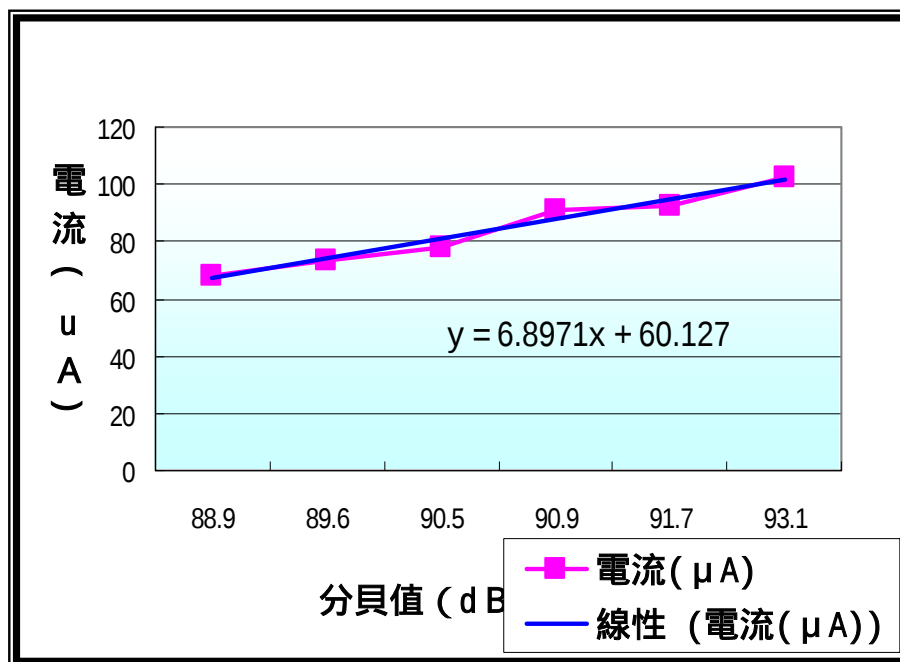


圖十八、收音機音量與送話器電流值變化關係圖。

3. 當我們通以微弱之電流，實際應用確實可以聽到由送話器傳來之清晰之聲音，且可發現其電流值與聲音音量成正比關係。
4. 在固定聲音響度之下，將上述步驟 1 製造出之電話送話器與分貝計一起接受聲音刺激，紀錄分貝計之指數與自製電話送話器改變電流值，嘗試將電話送話器改製成自製簡易分貝計。根據實驗結果整理如表八及圖十九所示。由結果可看出，因電流值與聲音分貝值成正比關係（如附上之趨勢線），所以我們可以將自製的電話送話器轉成自製分貝計並於下一步驟利用之。

表八、分貝計之指數與自製電話送話器改變電流值紀錄表。

	分貝計(dB)	電流(μA)
1	88.9	68.2
2	89.6	73.7
3	90.5	77.9
4	90.9	90.7
5	91.7	92.4
6	93.1	102.7

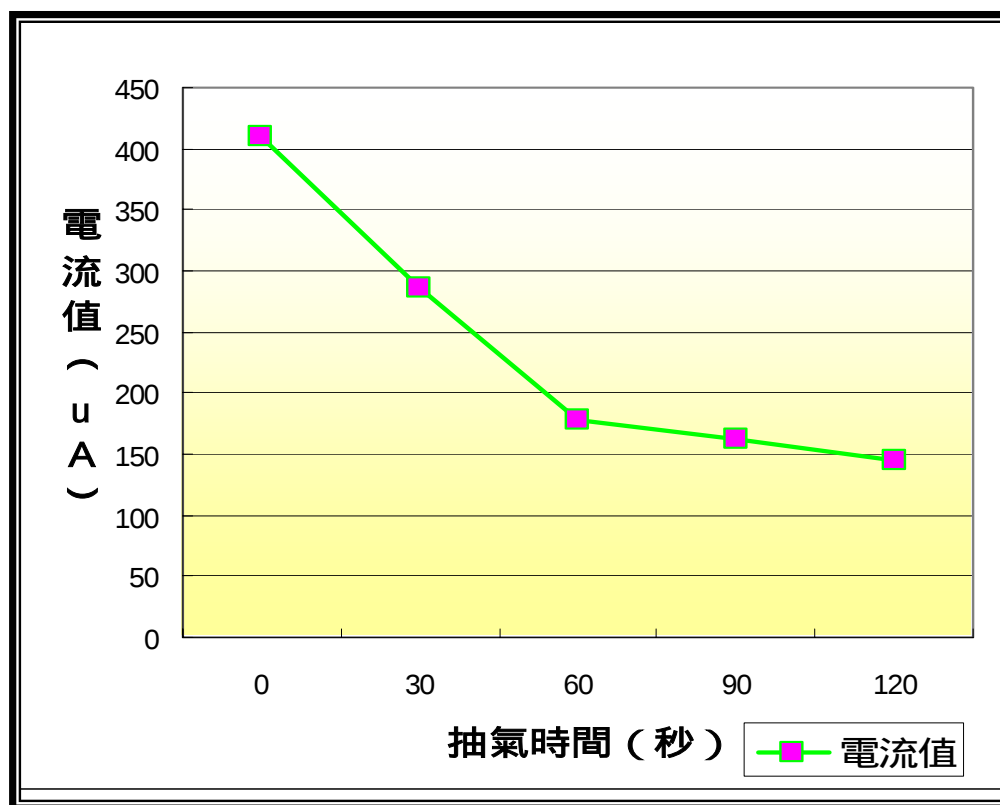


圖十九、分貝計與電流值大小關係圖。

5. 依據上述步驟 2，在抽氣玻璃鐘罩內放入蜂鳴器為聲源固定響度的條件下，將自製簡易分貝計置入玻璃鐘罩內，打開蜂鳴器記錄未抽氣前之電流值，接著開始抽氣，並同時記錄抽氣過程中電流之變化其結果如表九及圖二十。

表九、真空抽氣時間與自製電話送話器改變電流值紀錄表。

時間(秒)	電流(μA)
0	409.1
30	286.8
60	178.6
90	162.3
120	144.5



圖二十、分貝計與電流值大小關係圖。

6. 由上圖表可知在真空系統中，在一開始抽氣時，由於聲音介質空氣快速持續被抽走，所以電流值持續快速下降，到了後半段因為真空抽氣機功率的限制，被抽走之氣體量有限，因此電流值下降趨於緩勢，另一有可能為抽氣時造成內部壓力之變化而改變電流值，無論如何由此實驗我們仍可知道自製分貝計確實可以測得聲音音量在抽真空容器中是持續下降的，瞭解到聲音的傳遞確實是需要介質的。

柒、 結論

- 一、 在校園樹木以高溫爐來自己製備碳粉之實驗中，發現樹木的碳化溫度要在 500 以上，而 800 以上時如未做好阻隔氧氣之工作，則樹木容易氧化成灰燼；而且我們發現乾餾溫度愈高愈有利於碳變成石墨結構，同時導電度亦愈佳。
- 二、 在樹木木炭的導電度與減輕重量之關係，發現相同樹木，乾餾的溫度愈高，木炭減重愈多，導電性愈好，就是石墨化程度愈好；同樣樹木在高乾餾溫度停留的時間愈長，愈有利於碳變成石墨結構，導電性亦愈佳。
- 三、 在 700 乾餾後比較各種碳類導電性---碳棒 > 電池碳棒 > > 鉛筆芯 > 福木 > 榕樹 > 桃花心木 > 阿勃勒 > 印度紫檀 > 台灣欒樹 > 相思木，各種樹材之導電效果端看碳素石墨化程度高低狀況，而為求高導電性及環保概念我們選擇廢棄乾電池碳棒將之磨成粉末備用。
- 四、 在碳素粉末顆粒大小與導電效果之比較實驗中，發現在定質量條件下，廢乾電池碳棒之粉末顆粒愈小導電性愈佳，應為顆粒愈小接觸面積愈大，電阻愈小之故。
- 五、 在碳素粉末鬆緊度之導電性的研究中，發現廢乾電池碳棒粉末愈緊密，導電效果愈好，意即電流愈大，所以符合碳阻式電話的工作原理，而且我們發現愈緊密導電性愈佳是有其限度的，緊密度程度與通過電流的大小並非呈線性關係。
- 六、 一般量少之碳素材料對電磁波之阻隔效果作用不大，要達到有效阻隔電磁波必需使用具有導電性之碳素材料，並且使用量必須達到相當程度才行。
- 七、 依據實驗之結果我們確實可以製作出可清晰傳話之碳阻式電話送話機模型，而此送話器亦可以充當測量聲音大小之自製分貝計，此自製分貝計在研究真空系統中空氣介質量與聲音大小的實驗結果亦指出聲音的傳遞確實是需要介質的。

捌、 參考資料

1. 貓頭鷹出版社（民 89）。**原來如此—世界運轉的秘密**。貓頭鷹出版社，p251-p253。
2. 高中基礎物理（民 93）。**第 4 章 “聲音”**。台北市：南一書局出版社。
3. 高中基礎物理（民 93）。**第 6 章 “電與磁”**。台北市：南一書局出版社。
4. 大谷杉郎、大谷朝男，賴耿陽譯著（民 80）。**碳纖維材料入門**。臺南市：復漢出版社。
5. 稻垣道夫、大谷杉郎、大谷朝男，賴耿陽譯著（民 83）。**碳材料碳纖維工學**。臺南市：復漢出版社。
6. 美柯尼電工專校原著東方書店編輯部譯（民 49）。**電話機**。臺北市：東方書店。
7. 柳世洋編譯（民 79）。**電話電路實務**。臺北市：全華科技圖書。
8. 黃永睦編譯（民 83）。**最新實用電話電路設計及製作**。臺北市：全華科技圖書。
9. 臺灣師大物理系，“傳統電話的原理”，物理教學/示範實驗室，鄭茹芬。
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/index.php?viewcat=4>
10. “碳素纖維之研製與應用”，台灣科技大學，吳文演教授。
<http://ttf.textiles.org.tw/Textile/TTFroot/aa02n.htm>

評	語
---	---

040801 神奇的碳素送話機

本作品的初構想完整，且由週遭環境的素材著手研究，符合鄉土教材的精神，此外作品的本身亦為課本學理的實踐及改良，符合科展的精神。惟實驗的方法宜更嚴謹，設計更有效的實驗方法讓結果更準確地呈現。