

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

第一名

030111

電池跳、挑電池～探討 3 號鹼性電池電量與電池
彈跳及滾動行為之關聯性

學校名稱：彰化縣立陽明國民中學

作者： 國一 陳柏廷 國一 楊碩頌 國一 賴苕盈	指導老師： 蔡名峯 韓顏吉
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鹼性電池、電池電量、恢復係數

得獎感言

科展讓我們充滿能量

這次的科展活動豐富了我們的知識、增廣了我們的見聞。參賽前我認為我們的作品已經是數一數二的了，但直到我參加了這次的全國科展，看到了別人的作品，我們才能夠了解，外面的世界高手雲集，我們只不過是取得了全國比賽的入場券罷了，不該得意自滿。

在全國科展比賽會場中，我環顧四週的作品，發現:不管是國中組還是國小組、是物理科還是應用科學科，所參展的每件作品，每個人的實力都和我們旗鼓相當，甚至更加厲害、豐富，不禁激起了我們的鬥志，企圖奪下全國冠軍，最後，果然達成心願。

能夠拿下國中組物理科全國第一的獎盃，要謝謝指導老師們大力的協助，得知可以參加全國科展後，他們更是捨棄了自己的時間，在假日及午休時間特地抽空來指導我們，常看到他們累得打呵欠，但卻從來沒有抱怨過一聲，得獎的消息宣布後，我們最想感謝的就是他們，謝謝他們無怨無悔的付出，捧著第一名的獎盃時，我們高興得簡直要跳起來，我想，指導老師們也是一樣吧!因為我們總算沒有辜負了他們的用心。

最後，我想告訴我未來的學弟妹們，若也有幸來到全國科展的舞台，他們該做什麼，是不是要每天都勤奮努力的練習?沒錯，除了練習，是不可或缺的元素之一，同時也要鍛鍊自己的口語能力，並且和教授有充分的互動，思考教授可能會問的問題。我相信：只要用心去做，堅持到底，一定會有收穫，預祝大家也能摘下金牌！



賽前與指導老師在看板前合影，老師為我們加油打氣！

摘要

為了找出電池消耗電量超過五成時，電池的恢復係數會有劇烈變化之原因，本組將電池解剖，觀察內部構造，並將電池中央挖空填入塑鋼土，模擬電池內部物質硬化結塊對電池彈跳之影響，並進一步使用玻璃瓶填充不同比例的砂-水混合物進行彈跳模擬。

經一連串的實驗設計可知，新舊電池內部構造截然不同，而造成彈跳性質變化：1、新電池底部有一空腔，充滿電解液，在撞擊時具有緩衝效果；2、新電池中央隔離層包覆的負極物質是柔軟的，會吸收反彈之能量；3、新電池的正極是固液混合物質，隨電池放電，會逐漸結塊硬化，當達到一定比例時，電池便會跳得更高。最終，根據電池彈跳性質差異，利用其撞擊時所發出之聲響，來迅速判斷電池新舊，此為一重大發現。

壹、研究動機

一般家庭中，通常都有許多新舊電池，一不小心就會混在一起，於是就要用三用電錶一顆一顆檢驗，非常麻煩，而且用電壓來判斷電池電量又不夠精準，一不小心連新電池都被回收掉。

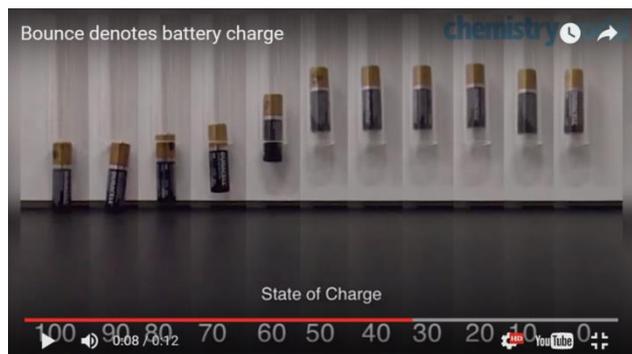


圖 1 不同電量電池跳高影片。

後來，在泛科學(PanSci)網看到一則網路文章-[摔電池也能知道電量](#)，我們感到非常的訝異，電池的電量多寡竟然能夠影響電池的彈跳行為，因此本組便實際使用新舊電池做測試，發現新舊電池的彈跳高度有明顯的差異，我們不禁心想，為何電池的電量多寡會與電池彈跳行為有關，上網找了相關文獻資料，發現對於影響電池彈跳行為變化的物理原因探討非常稀少，因此本組利用此次科展機會設計實驗來探討電池電量多寡為何會影響電池彈跳的行為。

貳、研究目的

- 一、了解不同廠牌全新與回收鹼性電池其恢復係數之差異。
- 二、探討碰撞平面材質對電池彈跳行為變化之影響。
- 三、探討電池消耗電量與其恢復係數之關係。
- 四、利用市售鹼性電池回充器回充，觀察電池恢復係數之變化
- 五、探討 G 牌鹼性電池，正極與負極端撞擊時，恢復係數之差異。
- 六、解剖新舊電池，分析電池構造變化。
- 七、探討電池內部物質特性對其彈跳行為之影響。
 - (一) 全新三號鹼性電池在冷凍前後的彈跳情形之探討
 - (二) 自製電池空筒填充塑鋼土，探討塑鋼土變硬過程對電池彈跳行為之影響
 - (三) G 牌電池在側面釘二孔並加入快乾比較前後彈跳情形
 - (四) 利用透明精油瓶填充各種物質，觀察撞擊時內部物質震盪之情形
- 八、探討利用電池撞擊時，聲音變化迅速判斷電池是否有電。
- 九、探討鹼性電池電量與其滾動行為之關聯性。

參、研究設備與器材

一、三號鹼性電池種類

G、P、E、F、K 牌三號鹼性電池

二、實驗材料

甘油、果糖、膠水、粘土、雞蛋(生)、橄欖油、碳鋅電池

				
滾動軌道	油封(電池直徑)	配重華司	放大鏡	導線式溫度計
				
鹼性電池充電器	橡膠硬度測量測器	精油瓶	碳鋅電池空筒	電磁鐵(自製)

三、實驗器材

計時器、電子秤(單位:0.01g)、量杯、吸管、數位式三用電表、冰箱、布尺、強力磁鐵

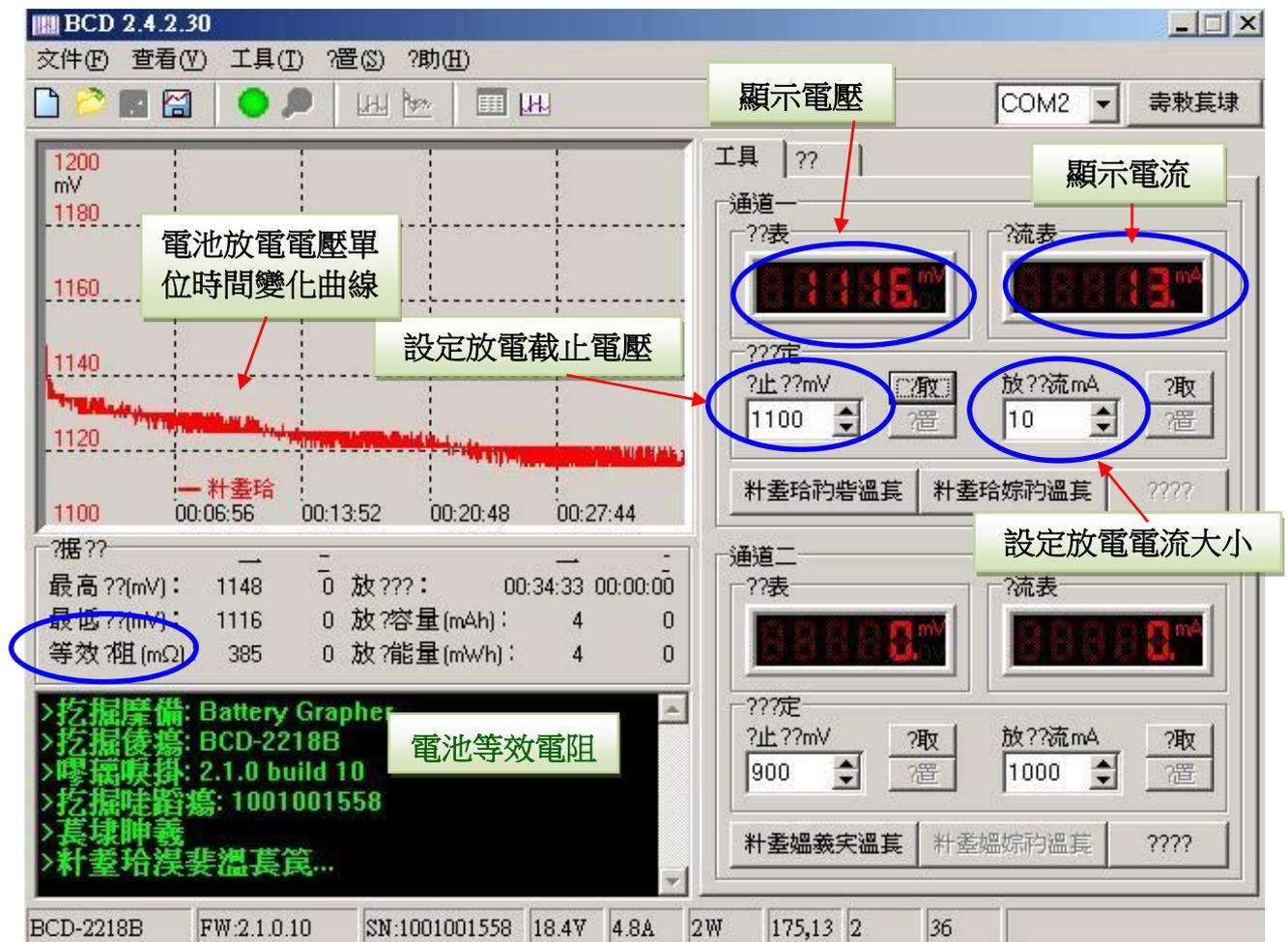
				
高速攝影機(以220格/秒攝影)	電池彈跳高度測量管(玻璃製)	鋼珠 3mm-4mm	傾角儀	細砂
				
雷射筆	電池放電用相機	串口控制的電池容量測試器	塑鋼土 90分鐘硬化	手持式數位顯微鏡

四、實驗軟體說明

會聲會影、POWERPOINT、Excel、Word、視訊軟體、GoldWave

電池容量測試軟體(B C D) 放電軟體設定說明

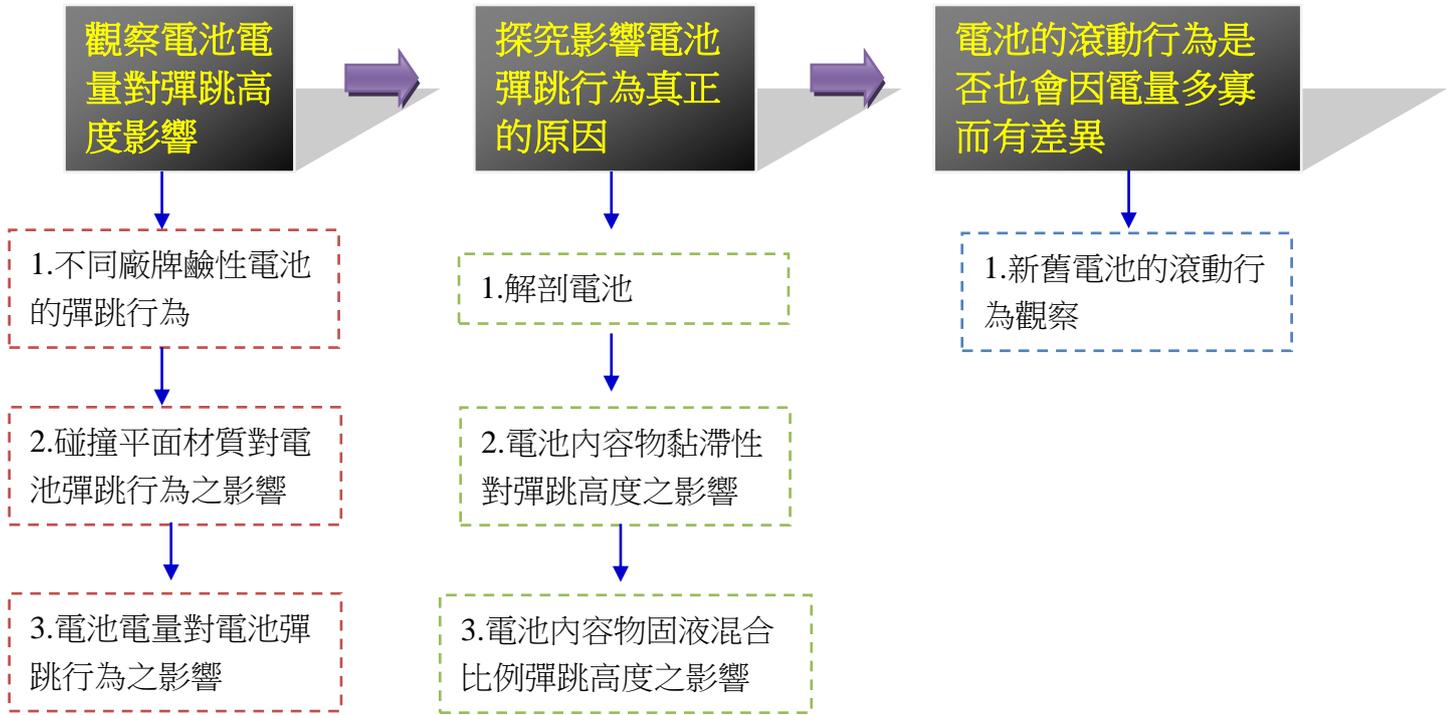
軟體取得：網路－共享軟體 使用介面：電腦 RS232



肆、研究過程與方法

一、研究架構

本研究主要分成三大部份：



二、文獻探討

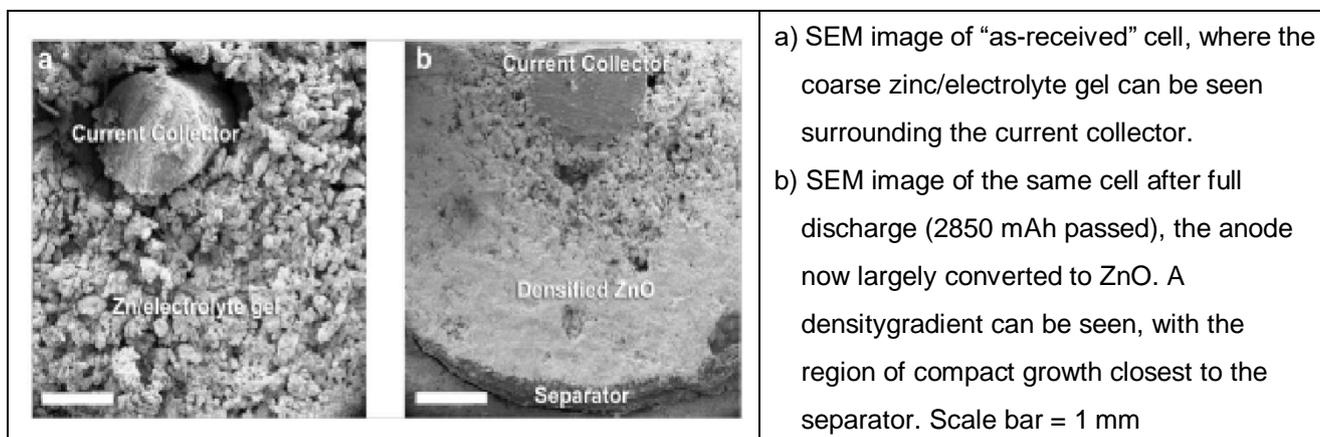
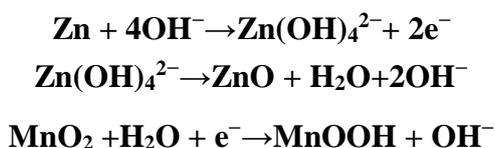
關於電池電量與彈跳行為最早也是最新的文章為下面兩篇：

1. [Bounce denotes battery health](#). [Royal Society of Chemistry, 31 March 2015]
2. Bhadra, S., Hertzberg, B. J., Hsieh, A. G., Croft, M., Gallaway, J. W., Van Tassell, B. J., ... & Steingart, D. A. (2015). [The relationship between coefficient of restitution and state of charge of zinc alkaline primary LR6 batteries](#). *Journal of Materials Chemistry A*.

文章內容提到普林斯頓大學的研究團隊指出，恢復係數（the coefficient of restitution，簡稱 COR，一種反彈的度量）與電池的不同電量有關，並可藉此判定其電量，其精確度竟然接近能量解析式 X 光繞射（energy-dispersive x-ray diffraction, EDXRD）反應所測得之電量。而對於電池電量為何會影響其彈跳行為，他們做了以下說明：

鹼性電池是由凝膠狀的鋅作為陽極、二氧化錳作為陰極。當電池開始放電時，陽極的鋅開始氧化，於電解液中形成氫氧化鋅離子（ $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ ）直到達飽和。這些離子接著在鋅粒子周圍沈澱成為氧化鋅，並在陽極創造出一個滲透網絡(percolation network)；約剩五成電量時，

原本凝膠態的鋅便會緻密化成具滲透性的固態狀氧化鋅。這些變化顯著地增加了電池的反彈高度，且此反彈高度的增加速率與氧化鋅的形成直接相關。



根據上述文獻得知，電池內部產生化學變化，材質發生變化，電池彈跳行為就會受到影響，而對於為何會有影響，怎麼影響的物理機制並無太多著墨，因此本組便進一步自行設計物理實驗，來探討為何內部物質發生變化使得電池彈跳行為發生改變。

三、研究原理

恢復係數 (coefficient of restitution)

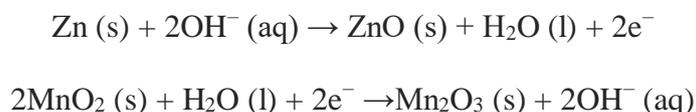
假設，一個自由落體碰撞到剛硬地面，然後反彈起來，則其恢復係數是：

$$C_r = \frac{V_f}{V_i} = \sqrt{\frac{h}{H}}$$

其中， V_i 是碰撞前的速率， V_f 是碰撞後的速率， H 是物體掉落前的高度， h 是物體彈回的高度。

鹼性電池：

鹼性電池（英文：Alkaline battery）指使用鹼性電解液的電池，惟一般生活中所說的鹼性電池特指鹼性鋅錳電池。廣義的鹼性電池使用的電極材料包括：鋅-二氧化錳、鋅-氧化汞、鎘-氫氧化鎳等。而市面上常見的一次性鹼性電池的成份是前者：鋅-二氧化錳，它以二氧化錳為電池的陰極、鋅為陽極，氫氧化鉀水溶液作為電解液。化學反應如下：



一枚鹼性電池的電動勢 (e.m.f)，也即在無負載時的電壓一般是1.5V左右。未使用的新電池，空載電壓可能接近1.65V，隨著使用電池電壓會不斷下降，在電壓低於1.0V或0.9V後可認為電池已經失效。鹼性電池當接上負載後，隨輸出電流的增加電壓會下降，在一般負載下電壓常常會降至1.1V至1.3V之間。鹼性電池接上負載後的電壓下降是由於極化和內阻造成的。通常全新的AA鹼性電池內阻約有100mΩ左右，並隨著使用時間的增加而加大。

電池內電阻

電池的電阻可以看成是一個內阻為0的電池與一個電阻串聯。電源內阻的大小取決於電池的大小、化學性質、使用時間、溫度和負載電流，但通常只有幾歐姆左右。電池的內阻通常隨著電池使用的時間增大而增大，所以當電池使用較久時，其內阻會增大，進而導致對外輸出的電動勢下降。

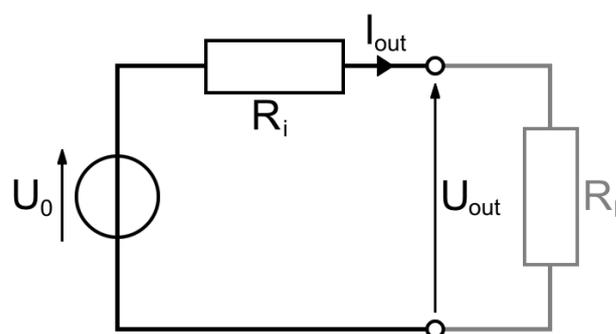
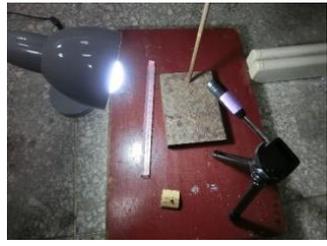


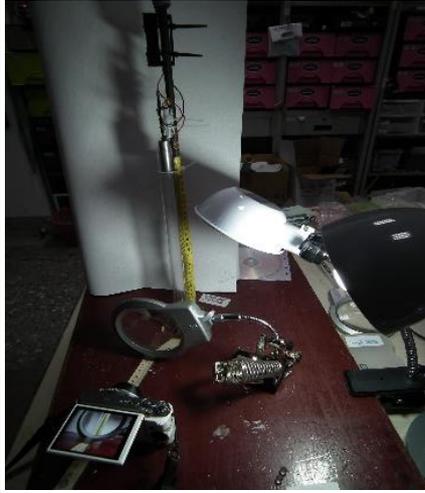
圖 10 理想電壓源的內電阻 (R_i) 是零

四、實驗步驟流程

(一)器材製作流程圖

1、製作電池彈跳高度測量管與彈跳工作台

		
<p>A.準備透明玻璃管減少彈跳摩擦力</p>	<p>B.彈跳平台相關材料</p>	<p>C.將木質桌面鑽洞</p>
		
<p>D.洞內插入直角測量儀。</p>	<p>E.確定直角測量儀垂直狀態</p>	<p>F.利用放大鏡輔助觀察</p>

		
<p>G.將測量管及皮尺束線帶固定於直角測量儀上</p>	<p>H.將電磁鐵固定於鐵架上</p>	
		<p>K.完成圖</p>
<p>I.電池座固定於鐵架 開關控制落下時間</p>	<p>J.架設高速攝影機記錄</p>	

2、高速攝影影片 → 結合視訊軟體分析 → 量測軟體對照(公厘 - 畫素)

		
<p>A.打開會聲會影軟體並插入影片</p>	<p>B.確定投入電池的秒數</p>	<p>C.插入畫素量測軟體並開始記錄</p>

3、製作電磁鐵來控制電池落下的時間以減少人為因素

		
<p>A.利用鐵釘利用手繞漆包線配合電池盒。缺點：磁力太弱，無法吸取三號電池</p>	<p>B.將 3V 電池改成 12V 電壓，並增加電池磁力增加但仍無法吸取三號電池</p>	<p>C.利用低轉速電動起子固定鐵釘增加漆包線的纏繞密度及圈數配合 12V 直流電成功吸取三號電池</p>

(二) 平台示意圖



利用**放大鏡**放大
高速攝影效果

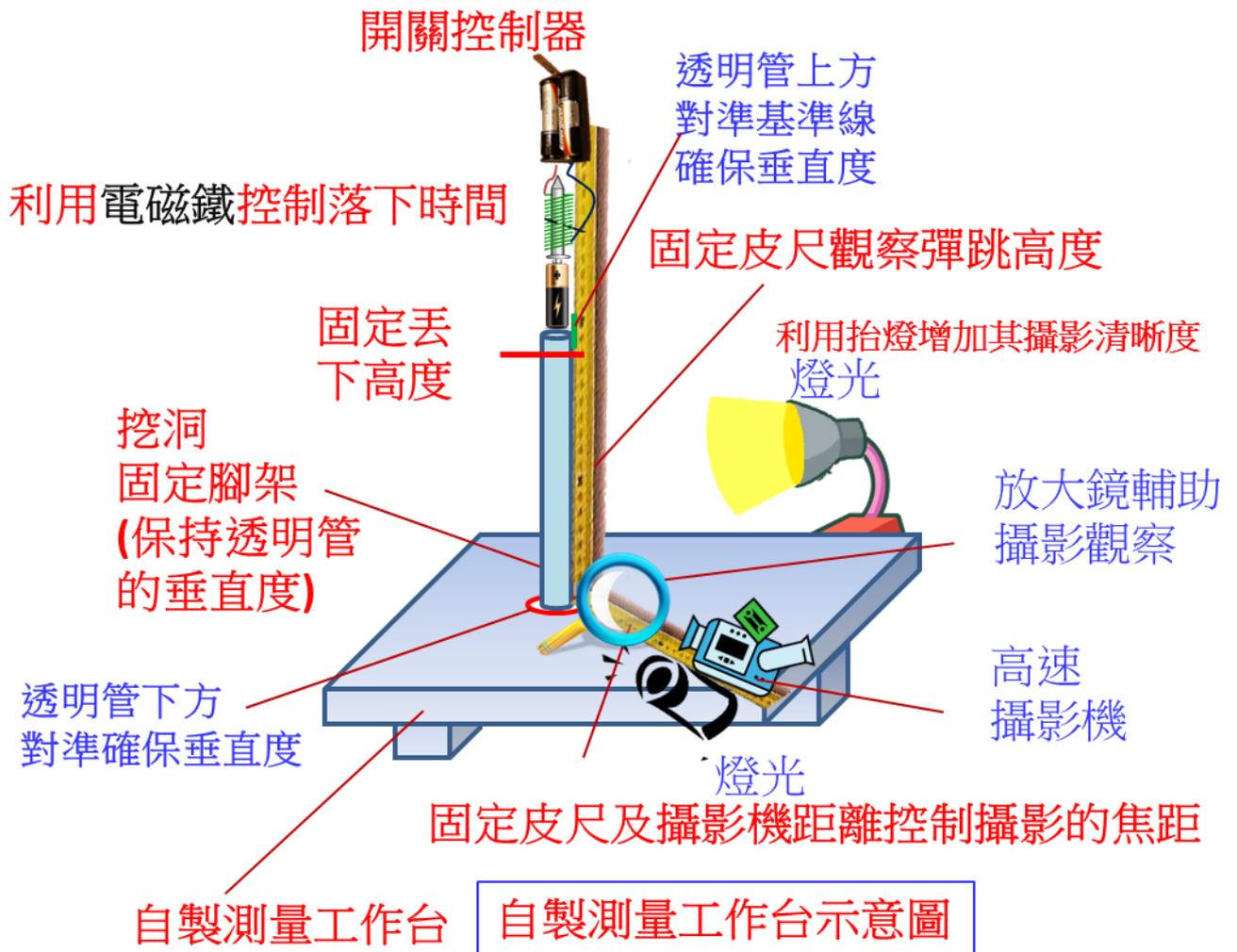
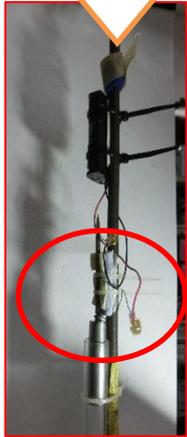
自製**鐵釘電磁鐵**
來**控制**電池落下
減少人為因素



先按下快門自動對焦
可讓畫面更清晰



分格分析
視訊軟體分格分析彈跳高度
00:12:05.23



伍、研究結果與討論

一、了解不同廠牌全新與回收鹼性電池其恢復係數之差異。

使用三款市售常見鹼性電池，黑貓、勁量及國際牌，由 26cm 處自由落下，記錄其反彈高度，並重覆實驗 20 次，取最高 10 次數據平均。比較新舊電池彈跳行為的差異，確認電池電量是否會影響電池的彈跳高度。

實驗結果：

表 1 不同廠牌鹼性電池，全新和沒電電池彈跳高度及恢復係數比值之列表

電池容量 電池廠牌	全新電池		回收電池		恢復係數比值
	彈跳高度(mm)	恢復係數	彈跳高度(mm)	恢復係數	
F 牌鹼性	13.2	0.23	32.4	0.35	1.57
E 牌鹼性	17.2	0.26	49.0	0.43	1.69
P 牌鹼性	17.1	0.26	54.7	0.46	1.79

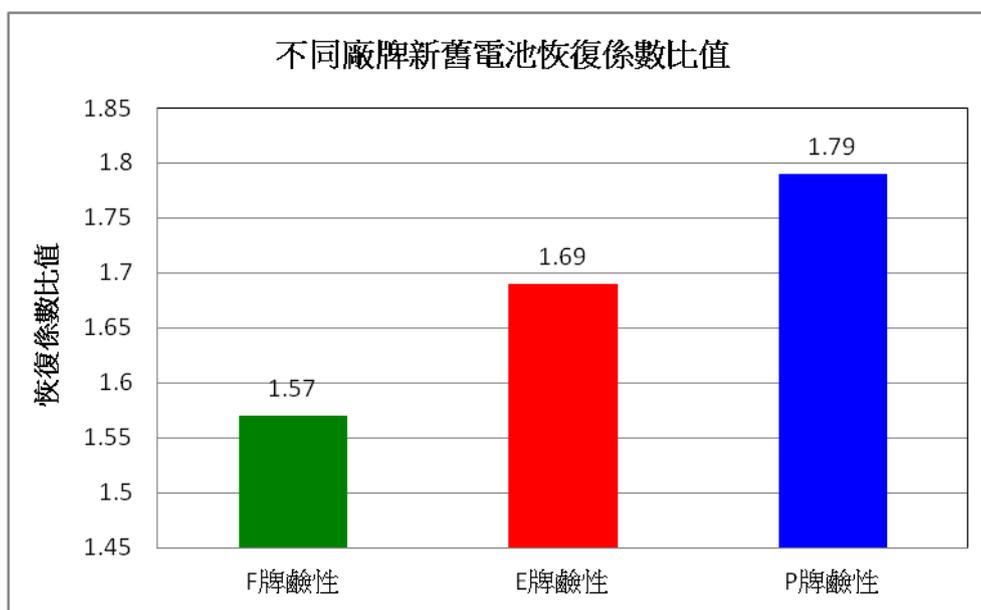


圖 2 不同廠牌鹼性電池，全新和沒電電池恢復係數比值之差異情形。

說明：由圖 2 實驗結果發現，雖然電池的廠牌不同，彈跳的情形也不同，但是回收的廢電池彈跳高度明顯比全新電池彈跳來得高，大約在 2.5 倍以上，而恢復係數（the coefficient of restitution）比值則約為 1.5 倍，由此可以明顯看出回收電池的彈跳性質發生改變。

二、探討碰撞平面材質對電池彈跳行為變化之影響

使用 3 號鹼性勁量電池，測試電池彈跳平面材質，對其彈跳行為變化之影響。

		
學生桌桌面	磨石子地面	桌球拍面(橡膠)

實驗結果：

表 2 號鹼性勁量電池撞擊不同材質表面，全新和回收電池彈跳高度及恢復係數比值列表。

電池容量 接觸材質	全新電池		回收電池		恢復係數比值
	彈跳高度(mm)	恢復係數	彈跳高度(mm)	恢復係數	
木質桌面	17.2	0.26	49	0.43	1.69
磨石地面	12.2	0.22	37	0.38	1.74
桌球拍面	137.9	0.73	140	0.73	1.01

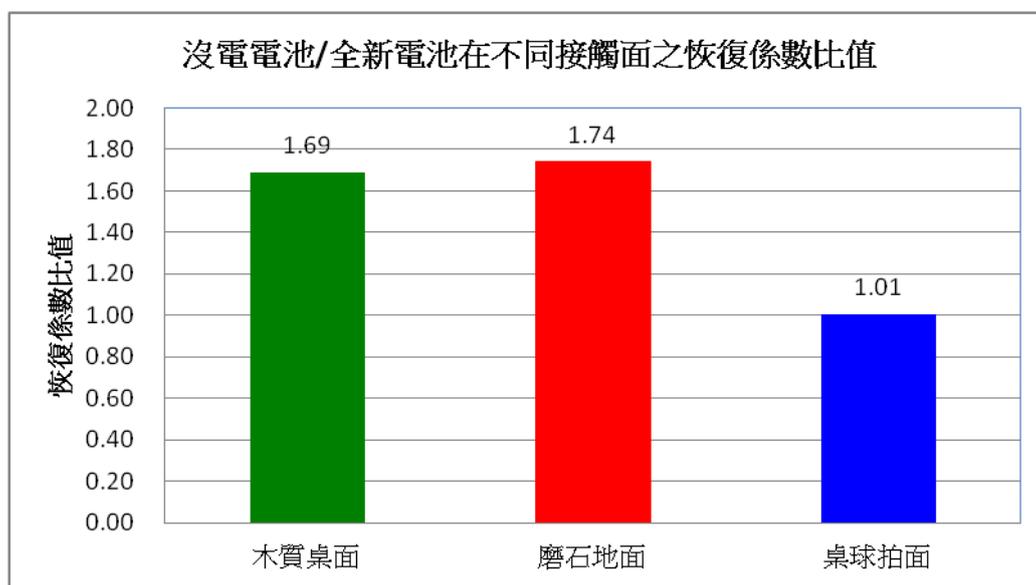


圖 3 3 號鹼性勁量電池撞擊不同材質表面，沒電電池/全新電池之恢復係數比值。

說明：由結果發現，新舊電池撞擊堅硬的材質表面時，其恢復係數差異較大，意謂著彈跳行為發生明顯變化，而撞擊在較具彈性的桌球拍面，其彈跳行為無明顯改變。因此，在測試電池彈跳行為不宜選用彈性較佳之平面，以免干擾電池本身彈跳行為的變化。。

(一) 相機拍照

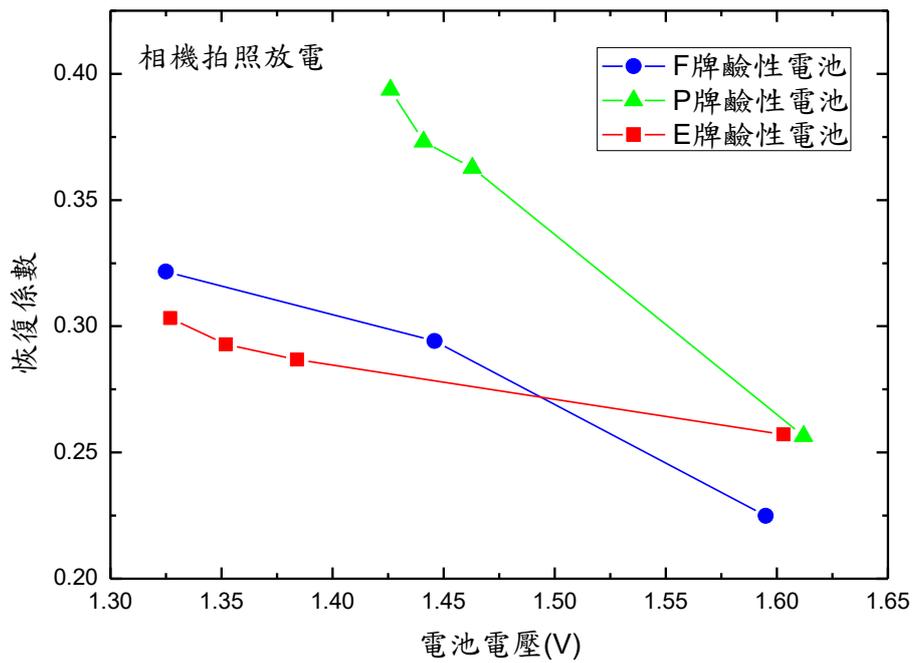


圖 4 不同廠牌，電池電壓與電池恢復係數關係圖。(相機拍照)

(二) 攝影機錄影

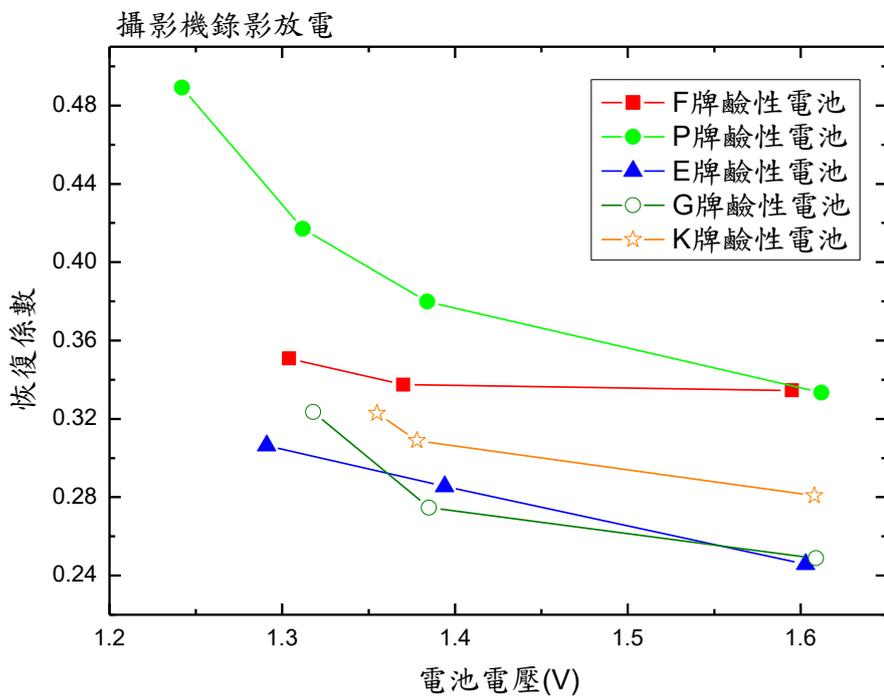


圖 5 不同廠牌，電池電壓與電池恢復係數關係圖。(攝影機錄影)

(三) BCD 放電

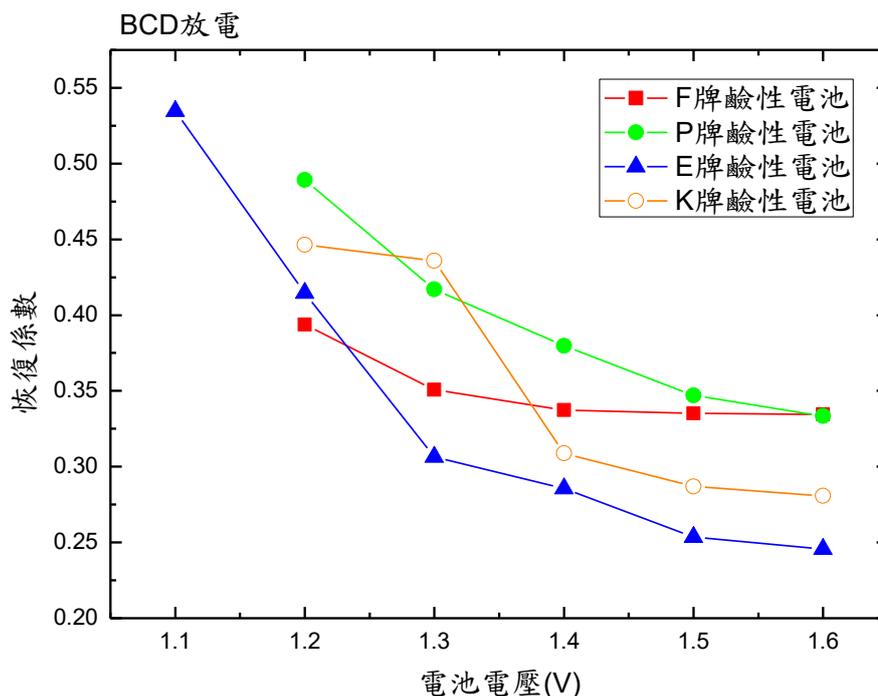


圖 6 不同廠牌，電池電壓與電池恢復係數關係圖。(BCD 放電)

說明：

- 1、使用相機拍照及攝影機錄影放電，因為受限於機器工作電壓緣故，僅能放電至 1.2V 左右。
- 2、基本上，不論任何廠牌，隨著電池電壓下降，電池彈跳的恢復係數皆會逐漸上升，而且變化也會因為電壓越來越低而變大。

(四) G 牌電池利用 BDC 精準放電

為了瞭解電池消耗電量與其彈跳行為，本組選用 G 牌鹼性電池，控制放電數出電流，設定放電終止電壓，記錄放電時間，測試電池彈跳高度，以及電池電壓回升情形。

放電電流：0.1A

設定終止電壓(V)	1.603	1.200	0.900	0.700
放電後電壓(V)	1.603	1.476	1.421	1.32
累計放電時間(s)	0	702	1658	3156
彈跳高度(mm)	16.1	20	29.7	70.2
恢復係數	0.249	0.277	0.338	0.520
電池耗電量 (mAh)	0	194	461	877

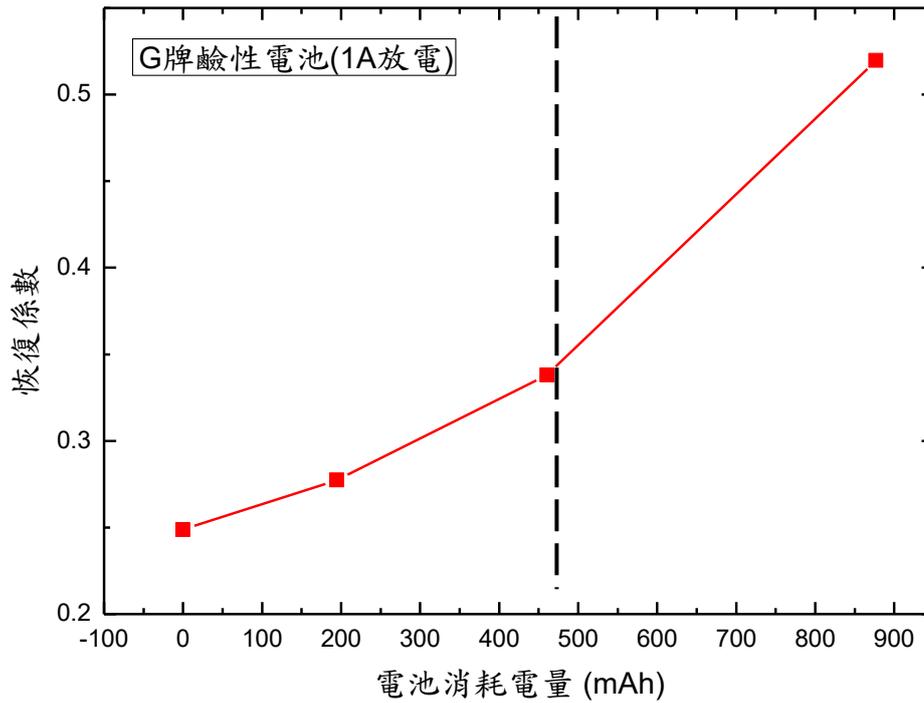


圖 7 G 牌鹼性電池固定 1.0A 電流放電，電池消耗電量與恢復係數之關係圖。

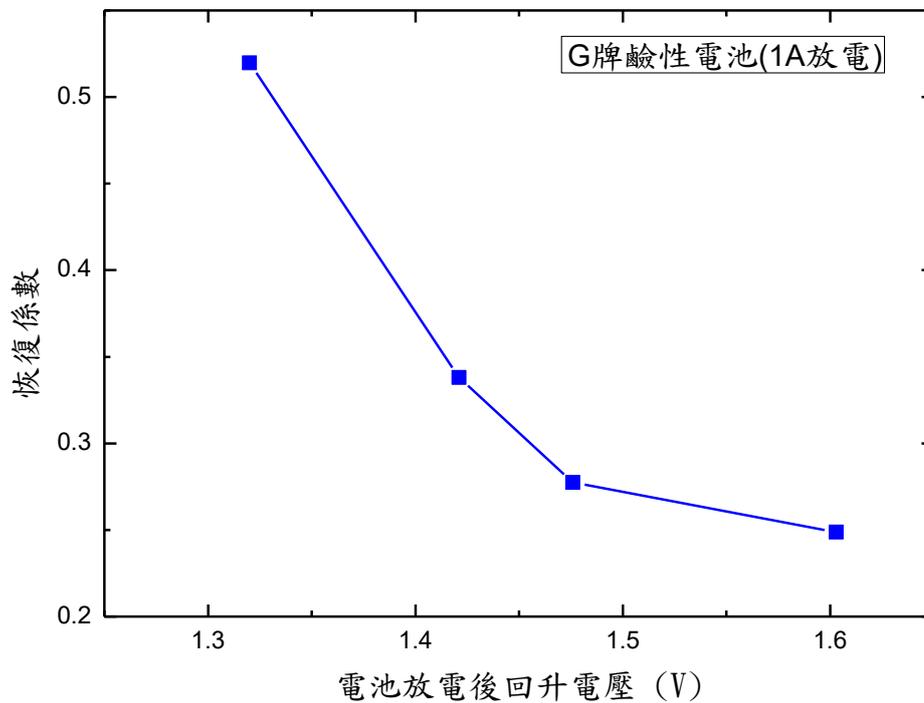


圖 8 G 牌鹼性電池固定 1.0A 電流放電，放電後電池電壓與恢復係數之關係圖。

說明：設定放電截止電壓，控制 1.0A 電流放電，可以發現隨著電池電量的消耗，電池彈跳行為發生改變，尤其是在消耗約五成電量(53%)時，彈跳性質會有較大的變化。

而為了更精準了解電池消耗電量與彈跳行為的關聯性，本組採用較小電流 0.1A，並設定較小截止電壓區間來進行實驗。

放電電流：0.1A

設定終止電壓 (V)	1.603	1.500	1.400	1.300	1.200	1.100	1.000	0.900	0.800	0.700
放電後電壓 (V)	1.603	1.537	1.487	1.452	1.451	1.447	1.425	1.421	1.346	1.268
累計放電時間 (s)	0	1432	4884	10668	12521	14348	17534	19406	32507	42406
彈跳高度 (mm)	16.1	15.9	18.6	19.5	19	22.2	23.8	26.9	71.3	103.2
恢復係數	0.249	0.247	0.267	0.274	0.270	0.292	0.303	0.322	0.524	0.630
電池耗電量 (mAh)	0	40	136	296	348	399	487	539	903	1178

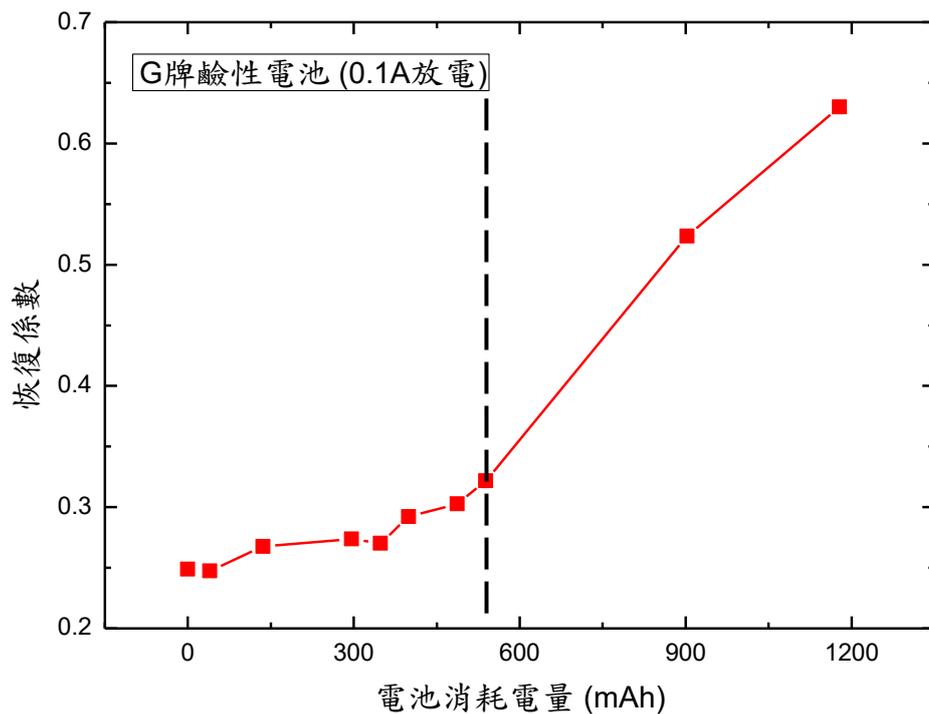


圖 9 G 牌鹼性電池固定 0.1A 電流放電，電池消耗電量與恢復係數之關係圖。

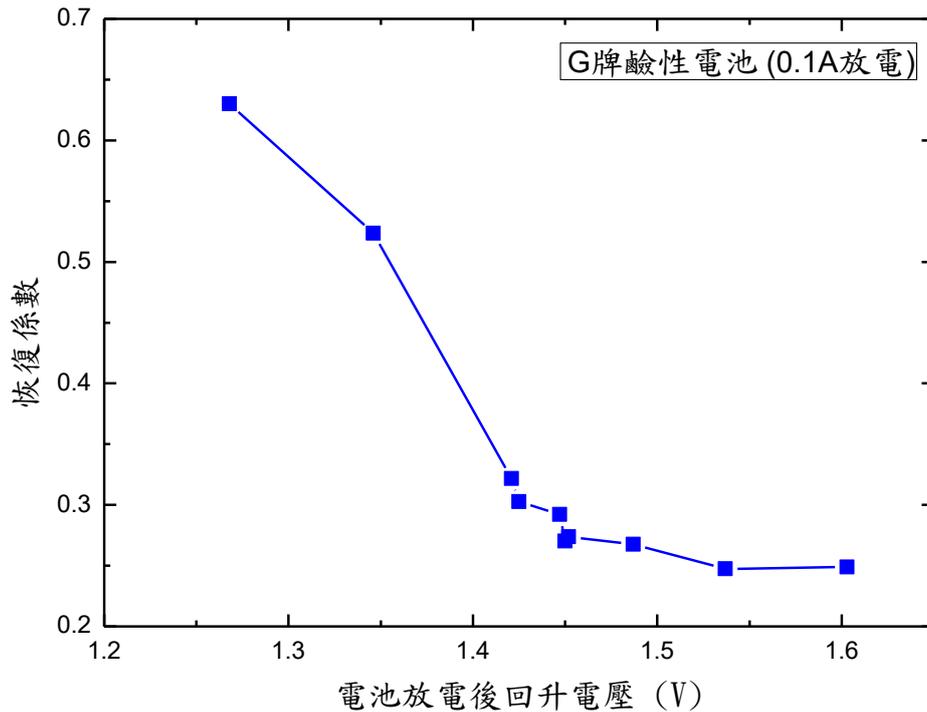


圖 10 G 牌鹼性電池固定 0.1A 電流放電，電池放電後電壓與恢復係數之關係圖。

說明:由圖 10 結果，更加確認電池消耗電量與其彈跳行為是有關的，且在消耗約五成電量(49%)時，彈跳性質會有較大的變化。由此，本組認為當電池電量消耗超過五成時，電池內部結構比例發生轉變，使得電池彈跳行為發生顯著變化。

四、利用市售鹼性電池回充器回充，觀察電池恢復係數之變化

本組思考如果將使用過的電池以市售鹼性電池回充器充電，那電池本身的彈跳性質是否也會有相應的變化。

<p>將二顆相同放電時間的電池 一顆不充、另一顆放入充滿</p>	<p>二顆電池同時進行放電實驗與電 壓量測並進行彈跳測試</p>

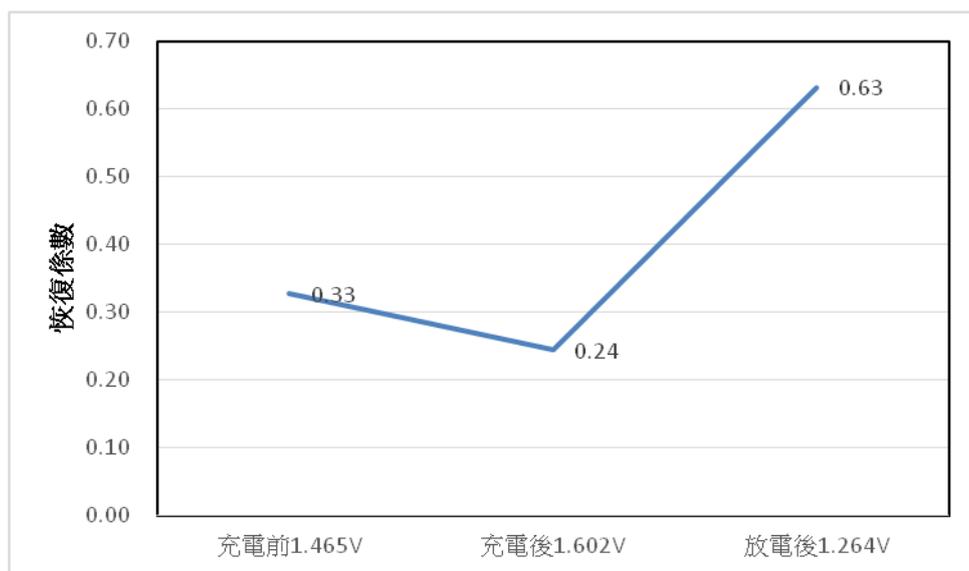


圖 11 電池充電後，再進行放電，電池恢復係數變化情形。

由圖 11 可以發現，用過的電池經由鹼性電池充電器充電後，其恢復係數會變小，且於新電池彈跳性質相近，而同樣再經過放電，電池最終恢復係數也會有明顯的增加。由此可知電池恢復係數確實與其內部所含物質狀態有關。

五、探討 G 牌鹼性電池，正極與負極端撞擊時，恢復係數之差異。

比較 G 牌電池，正極端與負極端撞擊時，恢復係數之差異性。

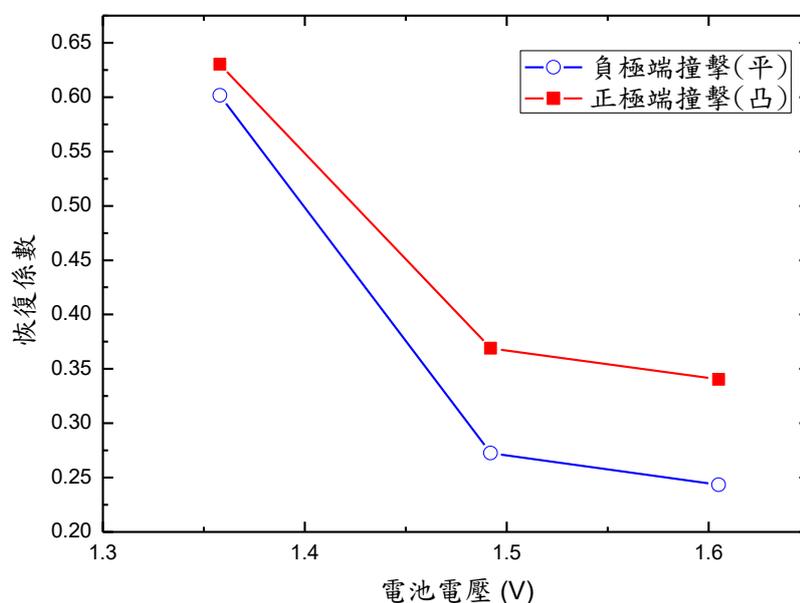


圖 12 電池正負極端撞擊時，電池電壓與其恢復係數之關係圖。

由圖 12 可以發現，電池以正極端及負極端撞擊，其彈跳性質的變化趨勢非常一致，意謂著電池外部構造並非影響電池彈跳性質劇烈變化的原因，而是其內部物質的結構。

六、解剖新舊電池，分析電池構造變化。

為了驗證前項實驗所推論電池內部化學物質發生改變，本組將全新與沒電之鹼性電池**縱切**，觀察其內部物質的狀況。

經由解剖電池發現新舊電池構造有幾處發生改變：

縱切：

如下圖所示，全新電池內部較為潮濕，而舊電池內部比較乾燥，且沙沙的，本組猜測舊電池因為內部物質較為堅硬，因此恢復係數較高，就如同高爾夫球一般，

而全新電池內部物質較潮濕，質地較軟，有吸震之效果，因此碰撞後反彈高度較低。

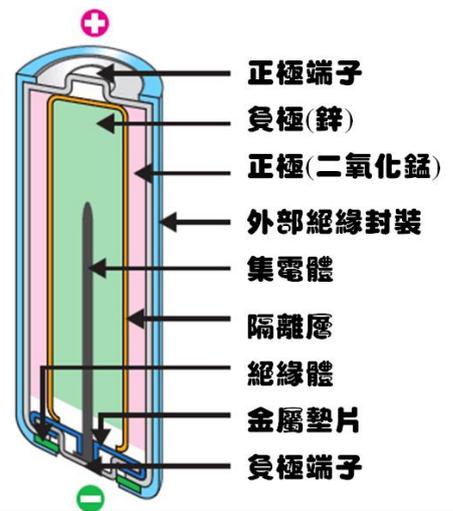


圖 13 鹼性電池內部構造示意圖。

		
<p>A. 量電壓大小</p>	<p>B. 利用虎鉗固定電池，並用鋸子鋸開</p>	<p>C. 鋸到最後必須直放並利用老虎鉗固定一端</p>



剥皮：



全新電池底部有一段距離是比較空洞的區域，也可以由鹼性電池構造示意圖看出，而舊電池在此區域則填充滿堅硬的物質，本組認為這樣的差異造成全新電池底部受到撞擊時，有一緩衝區，因此電池反彈高度便降低，而舊電池則無法吸收衝擊，因此反彈的比較高。

當將電池剝得更深入時發現，隔離層內部物質軟硬程度也會有所差別，舊電池非常的堅硬，新電池非常的軟，利用形變的方式來吸收能量，減緩電池的彈跳高度。

由上述解剖電池過程，得知新舊電池內部構造差異，猜測電池內部的化學物質因電量消耗(產生化學變化)而逐漸變硬，而當電量消耗約一半時，內部物質變硬的含量達到一臨界值，電池得彈跳性質產生急遽的變化。

為了更進一步了解電池內部變硬情形對電池彈跳性質的影響，本組設計了許多實驗來模擬電池內部構造物質情形，並進行彈跳試驗。

七、探討電池內部物質特性對其彈跳行為之影響

(一) 全新三號鹼性電池在冷凍前後的彈跳情形之探討

為了更進一步驗證電池內部物質對電池彈跳行為之影響，本組將全新 G 牌電池拿到冷凍庫冷凍，比較冷凍前後電池彈跳高度的變化。

電池冰凍測試

			
放入測量線量測內部溫度並封住洞口	同切開的電池放入冰凍	三台溫度計量測冷凍室及電池內部溫度	量測電池內部的軟硬度

實驗結果：

表 3 電池冷凍前後及退冰，相關物理參數列表

	冷凍前	冷凍 2hr	冷凍 4hr	冷凍 8hr	冷凍 24hr	退冰 4hr	退冰 8hr
彈跳高度(mm)	16.7	17.6	16.5	18.8	22.5	20.7	16.9
電壓(V)	1.605	1.608	1.608	1.609	1.609	1.609	1.609
表面溫度(°C)	30.1	-2.4	-15.4	-17.5	-17.8	30.2	30.2

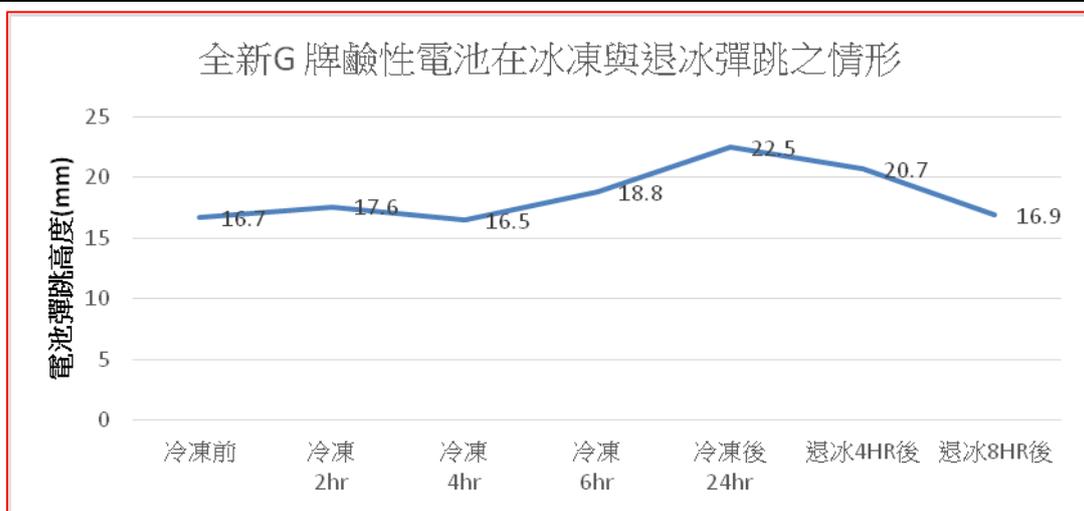


圖 14 全新鹼性 3 號電池在冷凍前後及退冰後的彈跳情形

說明：由圖 14 可以發現冷凍後電池彈跳高度在冰凍 24hr 後彈跳高度有些微的上升，但是退冰後彈跳高度又變回原來的狀態。而為了排除電池外殼因溫度變化而造成彈性改變，因此測量電池外殼溫度，發現當外殼溫度相同時，冰凍及退冰情形對彈跳高度有些微

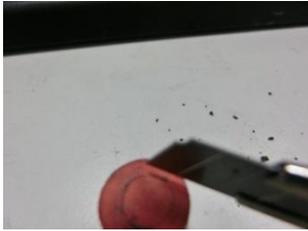
影響，但是差異仍舊沒有新舊電池所造成的差異來的大。觀察切開電池冷凍情形發現電池中心的液體並無硬化現象，可見在冷凍-18°C下電池內部仍呈液態狀，所以彈跳行為變化不大。

(二) 自製電池空筒並填充塑鋼土，探討塑鋼土變硬過程對電池彈跳行為之影響

本組為了呈現電池內部物質由軟變硬的過程，因此自行製造電池套筒，並填充塑鋼土，利用塑鋼土變硬的這段時間，量測其彈跳性質。



1、自行製造電池空筒

			
A. 去電池外殼並取出中間碳棒	B. 挖出中間化學物質	C. 利用試管塞固定出口處	D. 完成圖

實驗結果：

固化時間(分)	10	20	30	40	50	60	70	120
彈跳平均高度(mm)	26.3	31.2	34.8	38.1	40.2	32.1	24.5	24.8

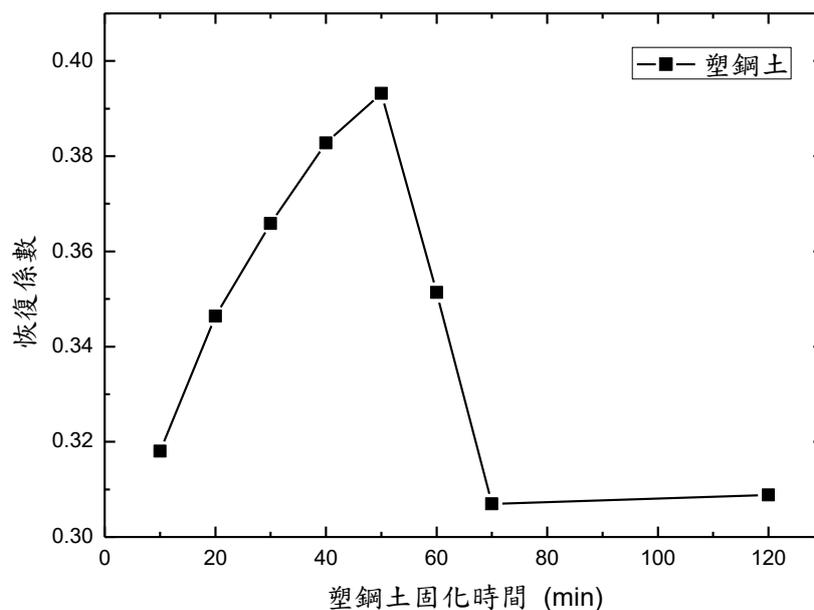


圖 15 電池套筒填充塑鋼土，固化時間與其恢復係數之關係圖。

由圖可以看出隨著填充塑鋼土逐漸固化，電池套筒的恢復係數越來越大，但是當固化時間超過 50 分時，其恢復係數反而降低了，這是因為隨著塑鋼土硬化，其黏性也逐漸喪失，再經由多次彈跳測試，塑鋼土會脫離電池套筒壁，因此使得彈跳高度反而降低。但是我們可以確認，當電池內部化學物質逐漸由黏稠而變硬，確實會使電池彈性變佳。

(三) G 牌電池在側面釘二孔並加入快乾比較前後彈跳情形

為了進一步驗證電池內部電解液對電池彈跳特性之影響，本組將電池底部打洞，漏出少許電解液，先進行彈跳試驗，再注入少許快乾後，重新進行彈跳試驗。

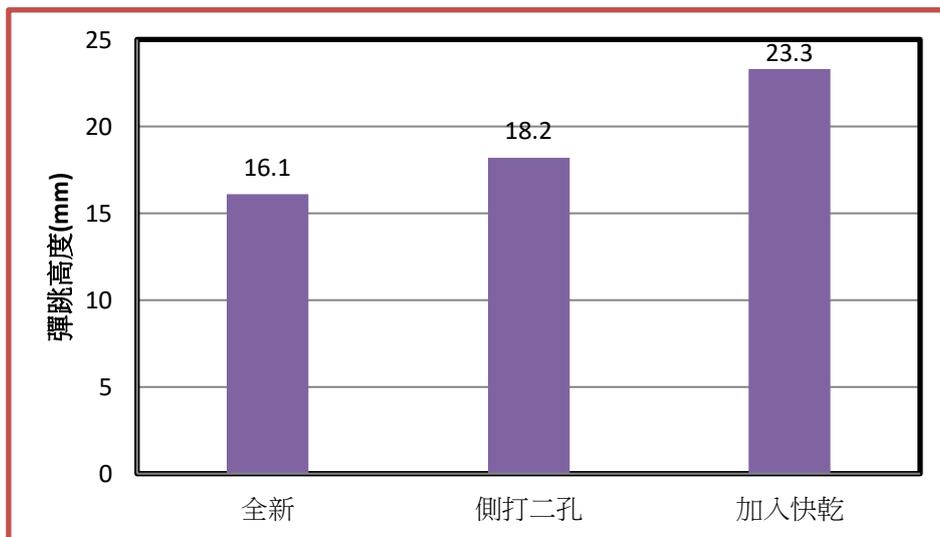
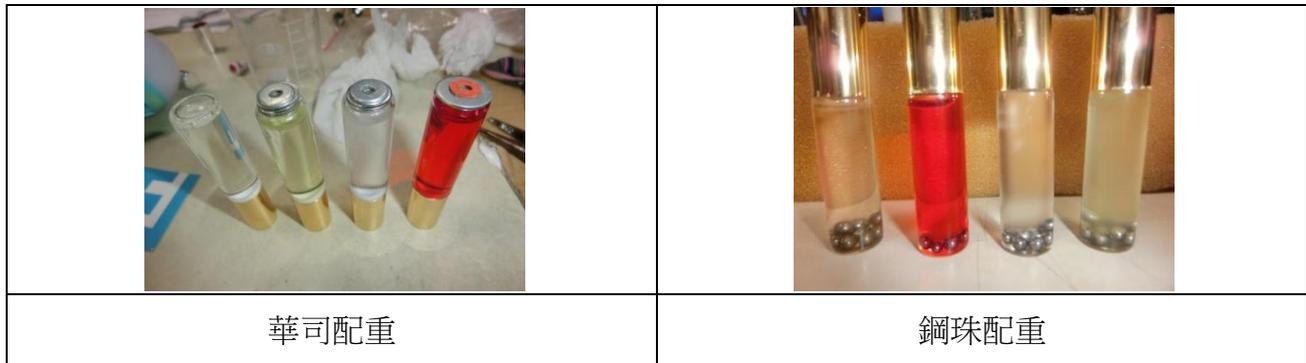


圖 16 電池底部打洞，電解液漏出及注入快乾後，電池炭跳高度比較圖。

由圖 16 可以發現，露出少許電解液，電池彈跳高度就會增加，而加入快乾後更明顯，因此本組認為電池內部液固混合情形是影響電池彈跳性質差異如此大的主因。

(四) 利用透明精油瓶填充各種物質，觀察撞擊時內部物質震盪之情形

為了更清楚電池內部物質結構對電池彈跳性質的影響，本組找到一款透明精油瓶，並且填充各種物質，測量其恢復係數，及觀察內部物質變化之情形。



1. 探討不同黏度的液體在全滿下配重與不配重之彈跳差異

	果糖	甘油	膠水	橄欖油	純水
原重	17.32g	16.38g	15.41g	14.72g	14.87g
彈跳高度(mm)	78	85.9	83.1	99.8	77.8
華司配重 17.32g	78	95.3	97.5	104.7	89.6
彈跳高度(mm)					
鋼珠配重 17.32g	78	63.5	45.1	35.2	32.5
彈跳高度(mm)					

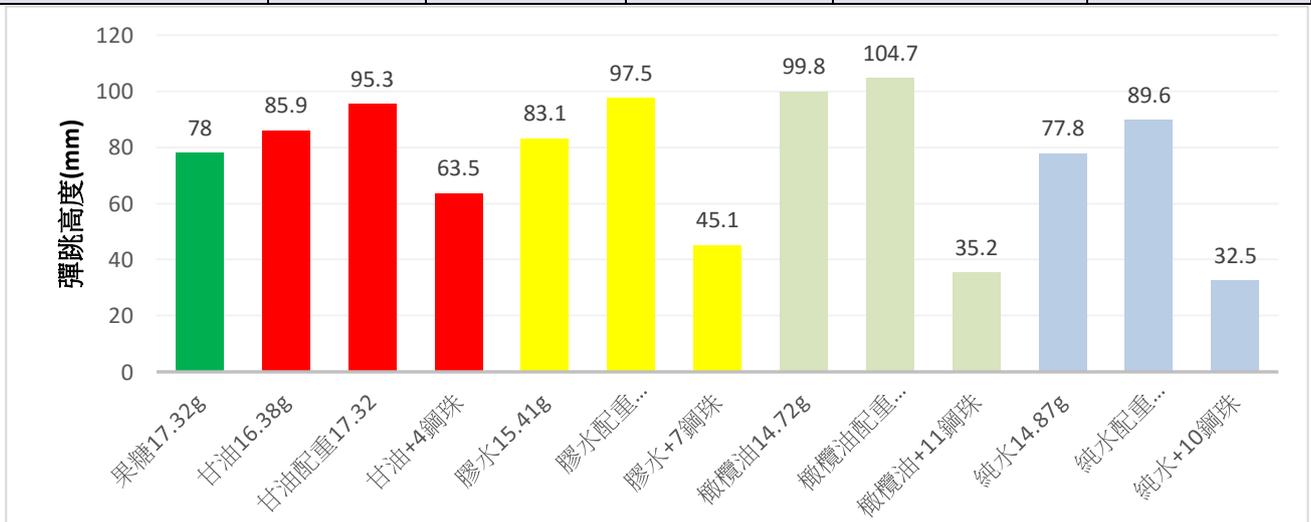


圖 17 不同液體，配重方式對其彈跳行為之影響。

由圖 17 可以發現，藉由華司配重後，彈跳高度有些微上升，但是若將鋼珠塞進瓶中配重，則彈跳高度會有明顯的下降，這是因為鋼珠本身在瓶子內部彈跳(如下圖所示)，導致內外彈跳不一致，損耗過多能量。



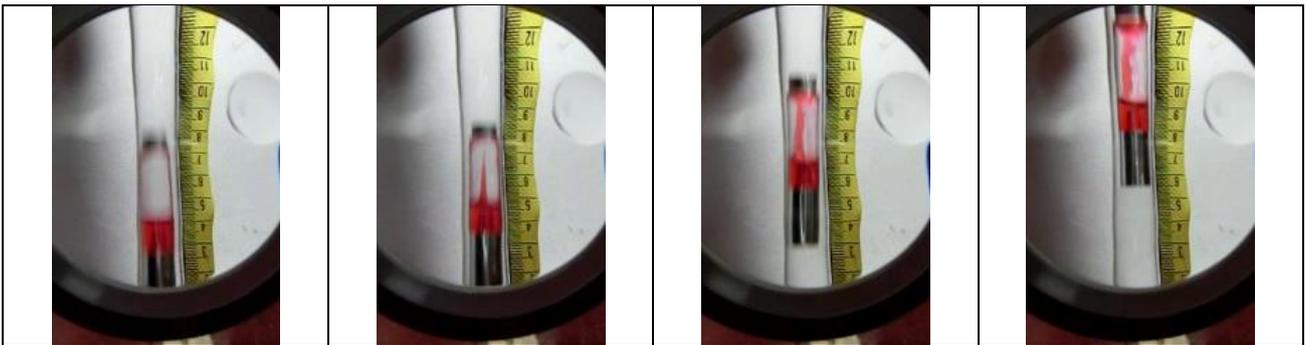
此外，填充液體本身黏滯性對於彈跳情形也只有些微的影響，不夠顯著。

2. 探討填充甘油多寡對其彈跳性質之影響

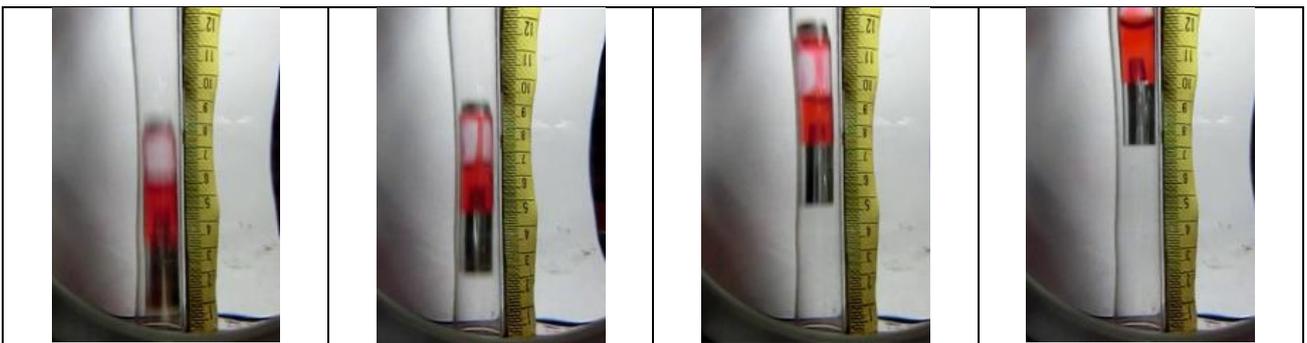
改變填充甘油的多寡，全滿、3/4 滿、1/2 滿、1/4 滿，來釐清內部液體震盪以及與壁面摩擦情形對彈跳高度之影響。

	甘油(全滿)	甘油(3/4 滿)	甘油(2/4 滿)	甘油(1/4 滿)
甘油重+配重	16.77g	15.32+1.45g	13.87+2.90g	12.42+3.25g
彈跳平均高度(mm)	87.7	91.8	88.7	91.3

1/4 滿



1/2 滿



由上述實驗結果發現，甘油填充多寡對其彈跳行為影響並不明顯，由高速攝影影片觀察，基本上只有在撞擊的一瞬間會產生往上的液柱噴發，其餘過程甘油的震盪是非常平穩的，因此能量消耗差異並不明顯。

3. 填充不同比例的砂、水，探討固、液比例對彈跳性質之影響。

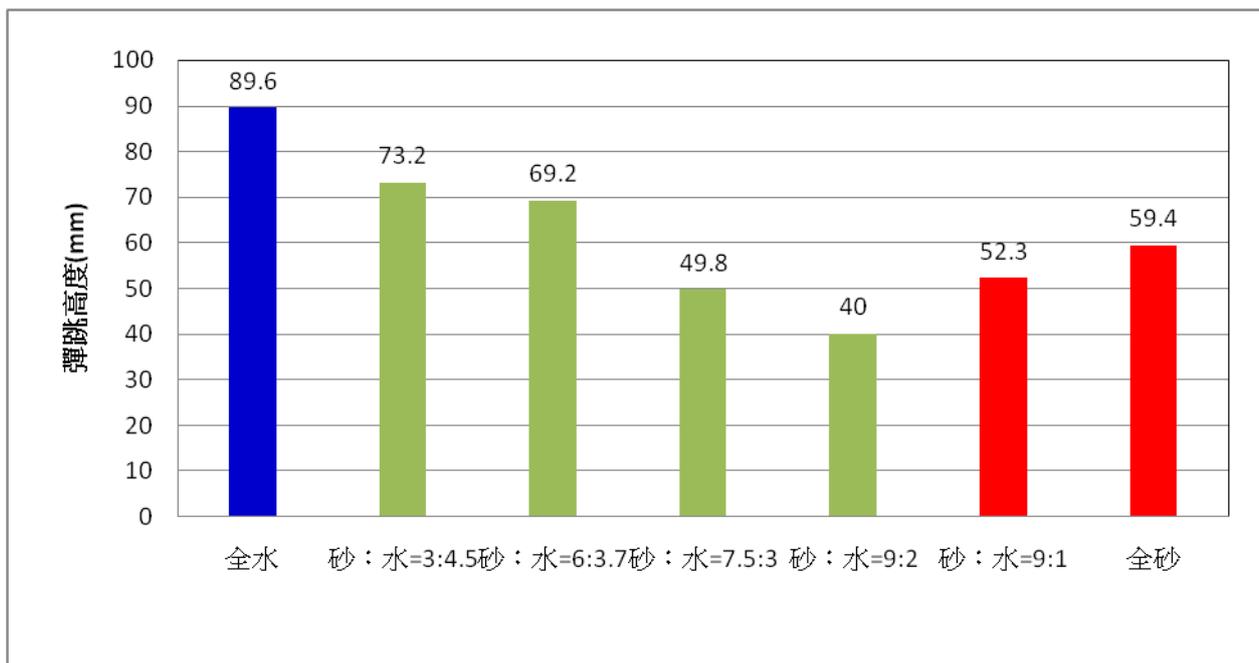


圖 18 不同比例砂、水混和填充物與彈跳高度之關係圖。

由圖 18 來看，以內部裝滿水時，彈跳高度最高，而隨著砂子的增加，彈跳高度便會降低，其中砂：水=9：2 事先裝滿砂子後，再加水慢慢滲入；而當沙子變得更乾時，彈跳高度反而會上升，本組認為電池內部固液混合的比例較接近 9：2，甚至更低，因此當電池放電後，內部物質結塊硬化，造成其彈跳高度變高。

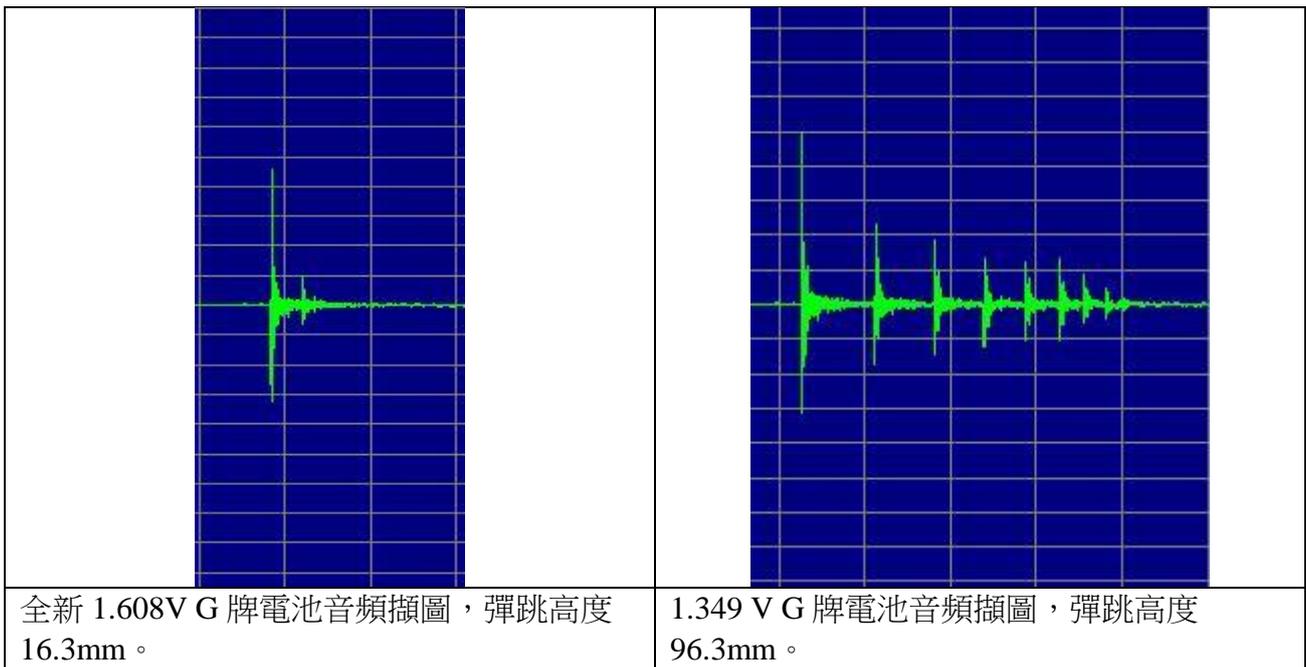
	砂：水=3：4.5	砂：水=6：3.7	砂：水=9：2	全砂
碰撞瞬間				
反彈高度				

八、探討利用電池撞擊時，聲音變化迅速判斷電池是否有電。

再經過無數次的實驗，本組無意間察覺到新舊電池在撞擊桌面後，所發出來的聲音明顯不同，那是否可以像敲擊西瓜一般來判斷西瓜的好壞。因此使用麥克風錄下電池撞擊的聲音，並使用聲音編輯軟體分析其聲音頻率。



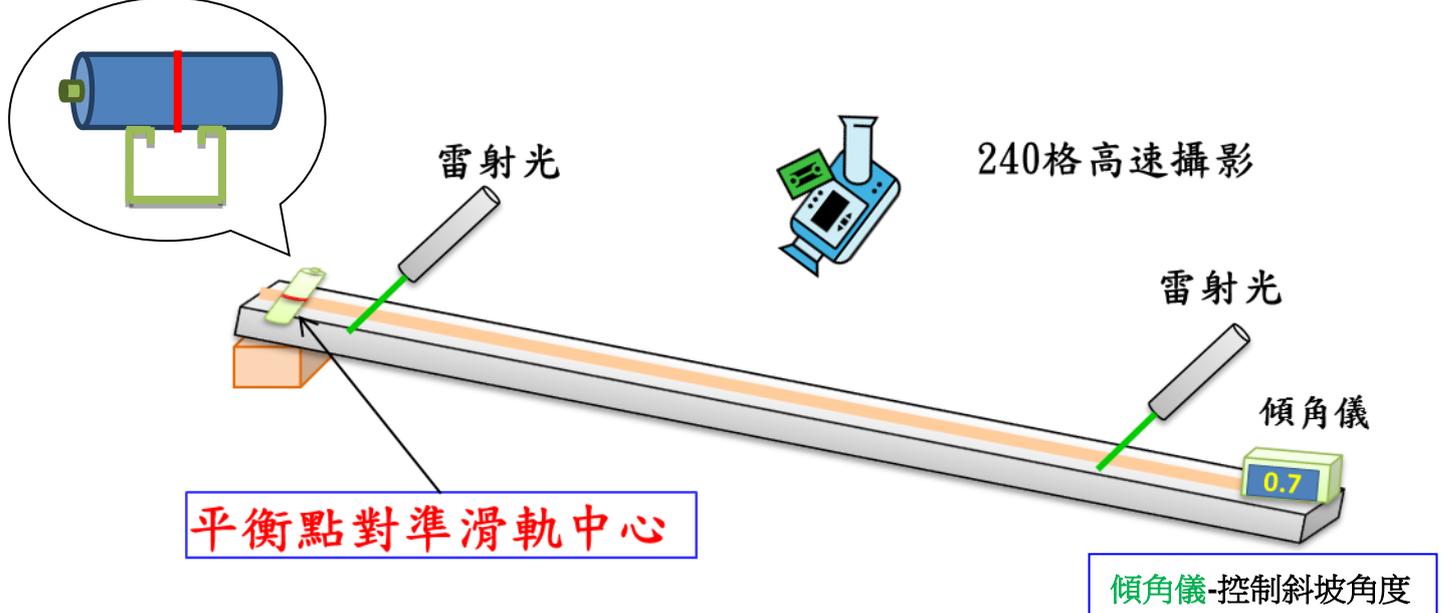
圖 19 電池撞擊時，錄音情形。



因為全新電池彈跳性質較差，因此撞擊桌面後，僅會發出一聲厚實的聲音，而舊電池因為彈性較佳，因此撞擊桌面後，因多次彈跳，而產生一連串急促的聲音，因此本組發現，要迅速判斷電池是否有電，只要將電池由離桌面 1~2cm 處，自由落下，聽聲音即可分辨出新舊電池。

九、探討鹼性電池電量與其滾動行為之關聯性。

實驗情形：



滾動實驗示意圖

利用高速攝影機電池擋住雷射光計算影格數				
利用磁鐵尋找 電磁的平衡點	利用油封固定於 平衡點	油封對準滑軌 中心點	利用雷射光控制前 後位置	傾角儀控制角度 滾電池 1.4°

本組設計電池滾動實驗，發現電池要好好地滾下斜坡非常困難，因此多次改良實驗裝置，採用鐵路軌道原理，將橡皮筋套在電池兩側，並使用凹槽滑軌，這樣就可以改善電池出軌的情形，並且使用高速攝影方式記錄滾動過程，來計算不同電量電池滾動過程所花時間。



實驗結果：

0.1A 電流放電—滾動情形數據—設定 240 格錄影的影格數

設定終止電壓(V)	1.603	1.500	1.400	1.300	1.200	1.100	1.000	0.900	0.800	0.700
回升後電壓(V)	1.603	1.537	1.487	1.452	1.451	1.447	1.425	1.421	1.346	1.268
電池耗電量(mAh)	0	40	136	296	348	399	487	539	903	1178
滾動影格數	1596	1587	1573	1557	1542	1521	1500	1469	1273	1221
滾動經過時間(s)	6.65	6.61	6.55	6.49	6.43	6.34	6.25	6.12	5.30	5.09

0.1A放電

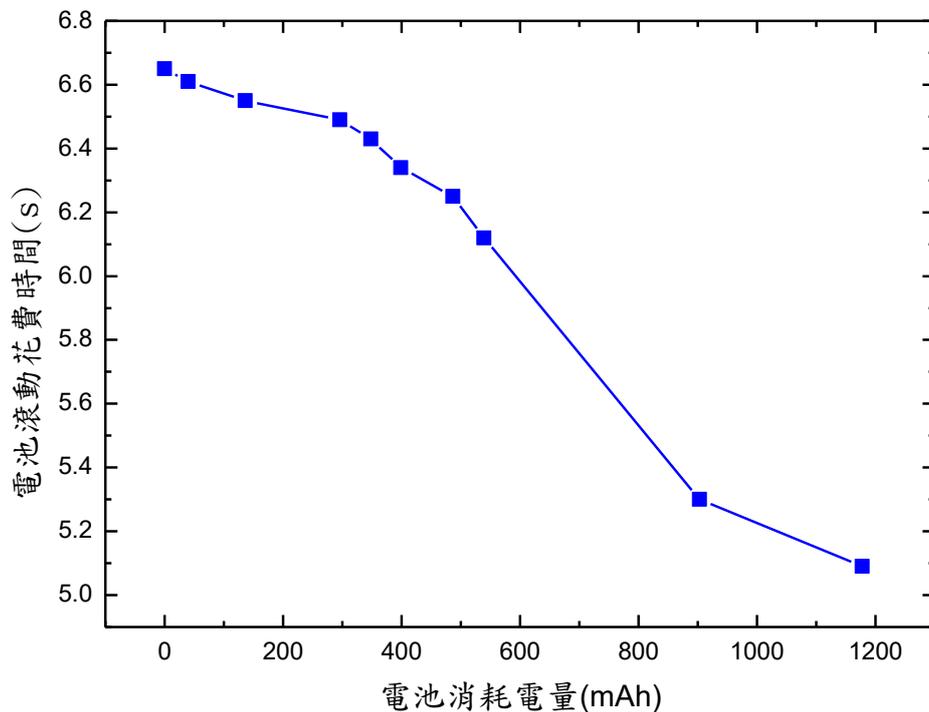


圖 20 電池消耗電量與電池滾下斜坡所花費時間之關係圖。(0.1A 放電)

由圖 20 結果發現，當電池消耗電量約五成時，電池滾下斜坡所花費的時間有明顯的減少，本組認為電池內部化學物質由黏稠轉變硬，因此與電池壁面摩擦情形不同，新電池內部舉有空腔，且含有黏稠的電解液，因此當電池滾下時，會產生反向的力矩，使電池不易滾動。

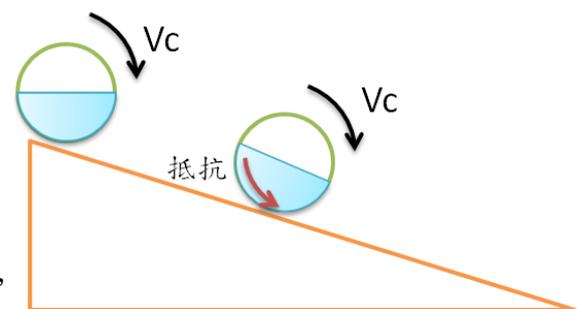


圖 21 電池滾下，內部黏稠物質抵抗轉動示意圖。

陸、結論

- 1、不管任何廠牌，新舊電池的彈跳性質皆產生明顯差異。
- 2、新舊電池必須撞擊在堅硬平面時，才能有效呈現其彈跳行為之差異。
- 3、使用相機拍照、錄影及 BCD 放電，得知電池消耗電量接近五成時，彈跳性質會有較巨大的改變。
- 4、利用市售鹼性電池充電器將使用過的電池(1.46V)回充至 1.6V，其彈跳高度確實有降低，而再經由放電過程(放電至 1.0V)，其彈跳高度又再變高。
- 5、分別以正負極端撞擊平面，發現電池的彈跳性質變化具一致性，意謂著外部構造並非造成電池彈跳差異如此大之主因。
- 6、經由解剖電池，清楚了解電池內部構造，新電池底部具有一空腔，充滿粘稠的電解液，而中央有隔離層包覆的負極，質地相當柔軟，而外圍區域則是由液固混合物質所組成的正極。而當電池放電後，內部物質變硬結塊，空腔被充滿，而中央負極物質變硬，外圍區域的正極物質也變得乾燥，因此導致電池彈跳變高。
- 7、使用塑鋼土模擬電池內部物質變硬之情形，發現彈跳高度有隨塑鋼土變硬而上升之情形，與電池放電時內部物質變硬後彈跳高度變高情形一致。
- 8、將電池底部打洞，漏出少許電解液，並再注入快乾，使其底部空腔硬化填滿，整個過程發現，電池彈跳越來越高，由此可知電池內部液體物質的多寡會影響其彈跳行為。
- 9、當玻璃瓶填充不同比例的砂和水時，雖然含水量越低彈跳高度變越低，但是當含水量極低時(約 20%~10%間)，彈跳高度反而上升，本組認為電池內部液固物質比例約為 1:9 左右，因此當電池內部物質變乾時，彈跳高度反而上升。
- 10、全新的鹼性電池滾下斜坡所花的時間較長，這是應為其內部具有空腔，且含有黏稠的電解液，因此當鹼性電池在滾動時，黏稠的電解液會抵抗轉動，因此全新的鹼性電池滾下斜坡時花費的時間較長。
- 11、**新舊電池因為彈性不同，因此撞擊桌面時，所發出之聲音有明顯的差異，新電池是發出一聲厚實的聲音，而舊電池則是一連串急促的聲音，由此可以迅速判斷出電池是否有電。**

柒、參考資料

- 一、[Bounce denotes battery health](#). [Royal Society of Chemistry, 31 March 2015]
- 二、Bhadra, S., Hertzberg, B. J., Hsieh, A. G., Croft, M., Gallaway, J. W., Van Tassell, B. J., ... & Steingart, D. A. (2015). [The relationship between coefficient of restitution and state of charge of zinc alkaline primary LR6 batteries](#). *Journal of Materials*
- 三、翰林版自然與生活科技第六冊第一章化學與電
- 四、網路資料：
 - 1、維基百科：鹼性電池
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%B9%BC%E6%80%A7%E9%9B%BB%E6%B1%A0>
 - 2、維基百科：非牛頓流體
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9D%9E%E7%89%9B%E9%A0%93%E6%B5%81%E9%AB%94>
 - 3、泛科學網：摔電池也能知道電量 <http://pansci.asia/archives/78878>
- 五、第 47 屆科展作品說明書電池也會拋媚眼--探討電池在不同環境下的放電情。
- 六、楊承遠等，焦耳電力公司－榨乾廢電池電力之研究，103 年第 54 屆全國中小學科學展覽會國中組物理科。
- 七、甘杰生等，「電」光「水」蝕 ~ 探討電池漏液原因和預防方法，102 年第 53 屆全國中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科。
- 八、張維軒等，廢棄乾電池大變身—燃料電池，97 年第 48 屆全國中小學科學展覽會國中組理化科。

【評語】 030111

1. 研究的內容非常仔細。結果也在生活上有一定程度應用性。
2. 其所提出的解答也與眾不同。如再深入下去，可以有學術性的發展。